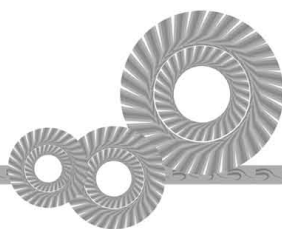


# 目录

# Contents ★★★★★



<b>第 1 章 化学反应与能量转化</b> .....	1
第 1 节 化学反应的热效应 .....	1
第 1 课时 化学反应的反应热、内能变化和焓变 .....	1
第 2 课时 反应焓变的计算 .....	6
第 2 节 化学能转化为电能——电池 .....	11
第 1 课时 原电池的工作原理 .....	11
第 2 课时 化学电源 .....	15
第 3 节 电能转化为化学能——电解 .....	20
第 1 课时 电解的原理 .....	20
第 2 课时 电解的应用 .....	24
第 4 节 金属的腐蚀与防护 .....	30
微项目 设计载人航天器用化学电池与氧气再生方案 ——化学反应中能量及物质的转化利用 .....	35
本章总结 .....	36
本章自我检测 .....	37
<b>第 2 章 化学反应的方向、限度与速率</b> ...	40
第 1 节 化学反应的方向 .....	40
第 2 节 化学反应的限度 .....	45
第 1 课时 化学平衡常数 .....	45
第 2 课时 平衡转化率 .....	50
第 3 课时 反应条件对化学平衡的影响 ...	54
第 3 节 化学反应的速率 .....	59
第 1 课时 化学反应速率 .....	59
第 2 课时 反应条件对化学反应速率的影响 .....	63
第 4 节 化学反应条件的优化——工业合成氨 .....	70

微项目 探讨如何利用工业废气中的二氧化碳合成甲醇 ——化学反应选择与反应条件优化 .....	75
本章总结 .....	77
本章自我检测 .....	78
<b>第 3 章 物质在水溶液中的行为</b> .....	81
第 1 节 水与水溶液 .....	81
第 1 课时 水的电离 溶液中的电解质 ...	81
第 2 课时 溶液的酸碱性 with pH .....	85
第 2 节 弱电解质的电离 盐类的水解 .....	88
第 1 课时 弱电解质的电离平衡 .....	89
第 2 课时 盐类水解的原理 .....	92
第 3 课时 水解平衡的移动 .....	96
第 4 课时 盐类水解的应用 .....	99
第 3 节 沉淀溶解平衡 .....	104
第 1 课时 沉淀溶解平衡与溶度积 .....	104
第 2 课时 沉淀溶解平衡的应用 .....	107
第 4 节 离子反应 .....	111
第 1 课时 离子反应发生的条件 .....	112
第 2 课时 离子反应的应用 .....	115
微项目 揭秘索尔维制碱法和侯氏制碱法 ——化学平衡思想的创造性应用 .....	124
本章总结 .....	125
本章自我检测 .....	126
期末检测(一) .....	129
期末检测(二) .....	133
参考答案 .....	137

## 第2章

# 化学反应的方向、限度与速率

通过第1章的学习,我们对化学反应中的能量转化问题有了较深入的认识,本章我们将从化学热力学的反应方向和限度视角以及化学动力学的反应速率视角继续深入研究化学反应,引入定量描述反应快慢和限度的物理量,并分析两方面因素对实际化工生产的影响,帮助我们充分体验化学反应的方向、限度和速率在生产生活和科学研究中的重要作用。本章内容的学习将促进我们“宏观辨识与微观探析”“科学探究与创新意识”“变化观念与平衡的思想”“科学态度与社会责任”以及“证据推理与模型认知”化学学科核心素养的发展。

## 第1节 化学反应的方向

### → 瞄准课标 靶向学习 →

课标内容要求	课标学业要求
知道化学反应是有方向的,知道化学反应的方向与反应的焓变和熵变有关。	能讨论化学反应条件的选择和优化。

### 走进新知

### 素养初探

#### 预习导读

1. 自发反应是指在给定条件(通常指温度、压强)能自发进行的反应。请你熟悉的化学反应举例说明。

2. 阅读教材相关内容,试着从反应类型角度,归纳常见的放热反应和吸热反应。

3. 阅读教材相关内容,你能够用一个图示表示反应的自发性与焓变、熵变的关系吗?

#### 自主检测

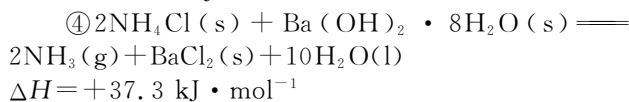
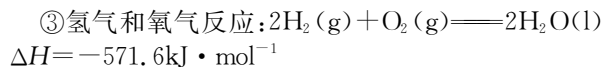
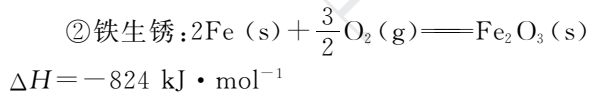
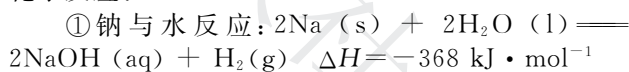
- 下列过程是非自发的是( )  
A. 水由高处向低处流    B. 天然气的燃烧  
C. 铁在潮湿空气中生锈    D. 室温下水结成冰
- 冰融化为水的过程的焓变和熵变正确的是( )  
A.  $\Delta H > 0, \Delta S < 0$     B.  $\Delta H < 0, \Delta S > 0$   
C.  $\Delta H > 0, \Delta S > 0$     D.  $\Delta H < 0, \Delta S < 0$

### 学习体验

### 素养形成

#### 探究学习(一) 反应焓变与反应方向

19世纪,一些化学家曾认为决定化学反应能否发生的因素是反应热:放热反应可以自发进行,而吸热反应则不能自发进行。观察下列几个自发进行的化学反应:



思考:

1. “放热反应可以自发进行,而吸热反应则不能自发进行”,这种说法是否正确?

2. 判断焓变与反应能否自发进行的关系是怎样的?

## 归纳总结

从焓变(能量)角度: $\Delta H < 0$ ,有利于反应自发进行,但不是唯一因素。

## 典例解析

【例1】实验证明,多数能自发进行的反应都是放热反应。对此说法理解正确的是( )

- A. 所有的放热反应都是自发进行的  
B. 所有的自发反应都是放热的  
C. 焓变是影响反应是否具有自发性的一个重要因素  
D. 焓变是决定反应是否具有自发性的唯一判断

解析:多数能自发进行的反应是放热反应,并不是所有,A错误;自发进行的反应不都是放热反应,B错误;焓变是影响反应是否具有自发性的一种重要因素,但不是唯一因素,C正确,D错误。

答案:C

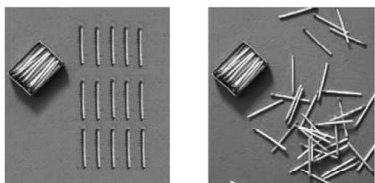
## 拓展训练

1. 下列自发反应可用焓判据来解释的是( )

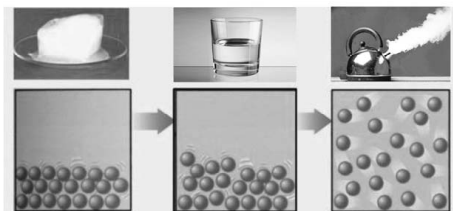
- A.  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$   
 $\Delta H = +178.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
B.  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$   
 $\Delta H = +56.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
C.  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{s}) + \text{NH}_3(\text{g})$   
 $\Delta H = +74.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
D.  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $\Delta H = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

## 探究学习 二 反应熵变与反应方向

1. 观察两组图片,思考解决以下学习任务。



图片组1



图片组2

(1) 自然界中的体系都有从 \_\_\_\_\_ 向 \_\_\_\_\_ 变化的趋势。对于同一个物质,在状态不同时,表现的混乱度是否相同? 存在什么关系?

(2) 完成熵和熵变的对比分析:

	熵	熵变
概念		
符号及单位		
特点或计算式	混乱度越大,体系越无序,体系的熵值就 _____	$\Delta S = \text{_____}$
影响因素		

2. 请观察下列自发反应,思考以下问题:

- ①  $2\text{KClO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{KCl}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g})$   
②  $2\text{C}(\text{s}, \text{石墨}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$   
③  $4\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$   
④  $2\text{Al}(\text{s}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{Fe}(\text{s})$   
 $\Delta S = -39.4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

(1) 判断①~③是熵增加反应还是熵减小反应。

(2) 判断熵变与反应能否自发进行的关系。

## 归纳总结

1. 熵的影响因素

(1) 同一物质: $S(\text{高温}) > S(\text{低温})$ ;  $S(\text{g}) > S(\text{l}) > S(\text{s})$ ;

(2) 相同条件下的不同物质:分子结构越复杂,熵值越大;

(3)  $S(\text{混合物}) > S(\text{纯净物})$ 。

2. 熵变正负判断依据

(1) 物质由固态到液态、由液态到气态或由固态到气态的过程, $\Delta S > 0$ ,是熵增加的过程;

(2) 气体体积增大的反应,熵变通常都是  $\Delta S > 0$ ,是熵增加的反应;

(3) 气体体积减小的反应,熵变通常都是  $\Delta S < 0$ ,是熵减小的反应。

3. 从熵变角度

$\Delta S > 0$ ,有利于反应自发进行,但不是唯一因素。

## 典例解析

【例2】下列对熵变的判断不正确的是( )

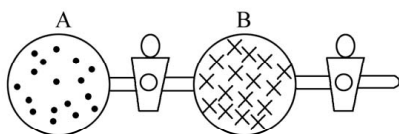
- A. 少量的食盐溶于水: $\Delta S > 0$   
B. 碳和氧气反应生成  $\text{CO}(\text{g})$ :  $\Delta S > 0$   
C. 气态水变成液态水: $\Delta S > 0$   
D.  $\text{CaCO}_3(\text{s})$  受热分解为  $\text{CaO}(\text{s})$  和  $\text{CO}_2(\text{g})$ :  $\Delta S > 0$

解析:食盐溶于水是典型的熵增加过程; $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$ ,气体的物质的量增大,为熵增加的反应;气态水变成液态水是体系混乱度减小的过程,为熵减小的过程; $\text{CaCO}_3(\text{s})$  的分解产生了气体,为熵增加的反应。

答案:C

## 拓展训练

2. 在图中 A、B 两容器里, 分别收集着两种互不作用的理想气体。若将中间活塞打开, 两种气体分子立即都分布在两个容器中。这是一个不伴随能量变化的自发过程。关于此过程的下列说法不正确的是( )



- A. 此过程为混乱程度小的向混乱程度大的方向进行的变化过程, 即熵增大的过程  
 B. 此过程为自发过程, 而且没有热量的吸收或放出  
 C. 此过程从有序到无序, 混乱度增大  
 D. 此过程是自发可逆的

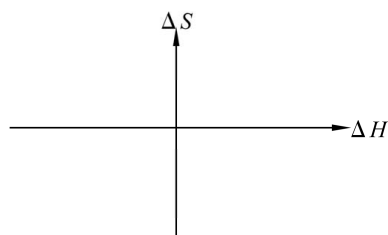
### 探究学习 反应的焓变、熵变与反应的方向

通常来说, 放热、混乱度增加有利于反应自发进行, 但是也有一些吸热、混乱度减小的反应也可以自发进行, 反应的自发性还受哪些因素的影响? 科学家一直在寻求一个可以综合这两个主要因素的判据。

1. 请你分析下表中反应在给定温度下能否自发进行? 这些反应的焓变和熵变是否有利于反应自发? 反应的自发性还受哪些因素的影响?

变化	方向	$\Delta H$	$\Delta S$
常温 $\text{Zn(s)} + 2\text{HCl(aq)} \rightleftharpoons \text{ZnCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$			
常温 $6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g})$		$\Delta H > 0$	
常温 $\text{C(s)} + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO(g)}$			
常温 $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl(g)} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl(s)}$			
高温 $\text{NH}_4\text{Cl(s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl(g)}$			

2. 为了确定一个过程(或反应)自发性的判据, 著名物理化学家吉布斯综合考虑了系统的  $H$ 、 $S$  以及温度这三者之间的关系, 提出了一个新的状态函数, 称为吉布斯自由能, 用  $G$  表示。  $\Delta G$  为反应的吉布斯自由能变,  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 。吉布斯提出: 在等温、等压及除了体积功以外不做其他功的条件下, 可用  $\Delta H - T\Delta S$  进行化学反应自发进行方向的判断。即: 在以上条件下, 自发反应总是向  $\Delta H - T\Delta S < 0$  的方向进行, 直至达到平衡状态。请在以下四个象限内, 完善  $\Delta H$ 、 $\Delta S$ 、温度与反应自发性的关系。

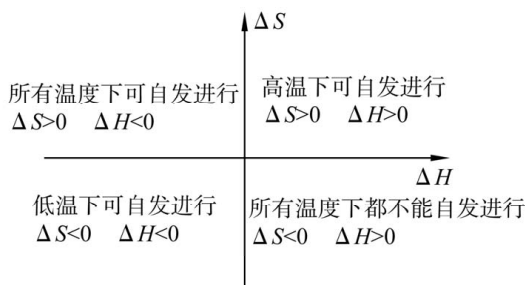


## 方法导引

1. 综合考虑焓变和熵变对体系的影响, 可用  $\Delta H - T\Delta S$  进行化学反应自发进行方向的判断。

- (1)  $\Delta H - T\Delta S < 0$  时, 反应能自发进行;  
 (2)  $\Delta H - T\Delta S = 0$  时, 反应达到平衡状态;  
 (3)  $\Delta H - T\Delta S > 0$  时, 反应不能自发进行。

也可以形象地用下图表示:



**特别提醒** 在利用  $\Delta H - T\Delta S$  作为判据判断反应方向时, 给出  $\Delta H$  的单位通常为  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\Delta S$  的单位通常是  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , 进行计算时应将二者的单位统一。

2. 应用吉布斯判据应注意的问题

- (1) 条件是温度、压强一定条件下。  
 (2) 反应具有自发性, 只能说明这个反应有进行趋势, 但这个反应到底能不能反应, 那还要看反应进行的限度和反应进行的速率。  
 (3) 在讨论反应的方向时, 指的是没有外界干扰时体系的性质。如果允许外界对体系施加某种作用, 就可能出现相反的结果。

## 典例解析

**【例 3】** 回答下列问题:

(1) 汽车燃油不完全燃烧时产生  $\text{CO}$ , 有人设想按下列反应除去  $\text{CO}$ :  $2\text{CO(g)} \rightleftharpoons 2\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g})$ 。已知该反应的  $\Delta H > 0$ , 简述该设想能否实现的依据: \_\_\_\_\_。

(2)  $25^\circ\text{C}$  和  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  时, 自发反应:  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$   $\Delta H = +56.76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  能进行的原因是 \_\_\_\_\_。

(3) 将水蒸气通过红热的炭即产生水煤气, 化学方程式为  $\text{C(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO(g)}$   $\Delta H = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\Delta S = +133.7 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。该反应在低温下能否自发进行? \_\_\_\_\_ (填“能”



或“不能”。

**解析:**(1)该反应的  $\Delta H > 0$ 、 $\Delta S < 0$ , 由于该反应的  $\Delta H - T\Delta S > 0$ , 故不能实现该反应。

(2)该反应能自发进行, 说明  $\Delta H - T\Delta S < 0$ , 而该反应的  $\Delta H > 0$ ,  $\Delta S > 0$ , 故  $\Delta S$  对反应方向起决定作用。

(3)  $\Delta H - T\Delta S < 0$  为自发反应, 现  $\Delta H = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\Delta S = +133.7 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 0.1337 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , 据此解得在  $T > \frac{131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}{0.1337 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \approx 982.0 \text{ K}$  时该反应能自发进行, 由此可知该反应在低温下不能自发进行。

**答案:**(1)该反应是  $\Delta H > 0$ 、 $\Delta S < 0$  的反应, 任何温度下均不能自发进行

(2)该反应是熵增反应, 且常温下熵变  $\Delta S$  对反应的方向起决定作用

(3)不能

**易错点拨:**若  $\Delta H$  和  $\Delta S$  影响相反且相差不大时, 温度有可能对反应的方向起决定性作用, 应对定量关系式  $\Delta H - T\Delta S$  进行分析。用判据  $\Delta H - T\Delta S$  计算时, 应将  $\Delta H$  和  $T\Delta S$  的单位统一再相减。

### 拓展训练

3. 下列说法正确的是( )

A.  $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$  在常温下能自发进行, 则该反应的  $\Delta H > 0$

B. 反应  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$  在室温下可自发进行, 则该反应的  $\Delta H < 0$

C.  $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$  室温下不能自发进行, 说明该反应的  $\Delta H < 0$

D. 常温下, 反应  $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$  不能自发进行, 则该反应的  $\Delta H < 0$

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

1. 下列说法不正确的是( )

- A. 铁生锈和氢燃烧均为自发放热过程  
B. 冰融化的过程中, 熵值增加  
C. 无热效应的自发过程是不存在的  
D. 同一物质固态时熵值最小

2. 下列对熵的理解不正确的是( )

- A. 同种物质气态时熵值最大, 固态时熵值最小  
B. 体系越有序, 熵值越小; 体系越混乱, 熵值越大  
C. 与外界隔离的体系, 自发过程将导致体系的熵减小

D.  $25^\circ\text{C}$ 、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  时,  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  是熵增的反应

3. “熵”表示体系的混乱度, 它的符号是“S”。下列变

化中,  $\Delta S < 0$  的是( )

A.  $3\text{Fe}(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g})$

B.  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{l})$

C.  $2\text{IBr}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{g})$

D.  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

4. 下面是生活中的几个自发过程, 你认为其中能用熵判据解释的是( )

- A. 自然界中水由高处往低处流  
B.  $0^\circ\text{C}$  时水变为冰  
C. 墨水滴到水中会扩散到整个水体  
D. 铁器暴露在潮湿空气中会生锈并放出热量

5. 下列关于判断过程的方向的说法正确的是( )

- A. 自发反应在任何条件下都能实现  
B. 同一物质的固、液、气三种状态的熵值相同  
C. 高温高压下可以使石墨转化为金刚石是自发的化学反应  
D. 由能量判据和熵判据组合而成的复合判据, 更适用于判断过程是否自发

6. 碳酸铵  $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$  在室温下就能自发地分解产生氨气, 对其说法正确的是( )

- A. 碳酸铵分解生成了易挥发的气体, 使体系的熵增大  
B. 碳酸铵分解是因为外界给予了能量  
C. 碳酸铵分解是吸热反应, 根据能量判据判断该反应根本不可能自发分解  
D. 碳酸盐都不稳定, 都能自发分解

### 应用·实践

7. 已知反应  $\text{FeO}(\text{s}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Fe}(\text{s})$  的  $\Delta H$  为正、 $\Delta S$  为正(假定  $\Delta H$ 、 $\Delta S$  不随温度变化而变化), 下列叙述正确的是( )

- A. 低温下为自发过程, 高温下为非自发过程  
B. 高温下为自发过程, 低温下为非自发过程  
C. 任何温度下均为非自发过程  
D. 任何温度下均为自发过程

8. 下列内容与结论不相对应的是( )

选项	内容	结论
A	一个反应的 $\Delta H > 0$ , $\Delta S > 0$	反应一定不能自发进行
B	硝酸铵溶于水可自发进行	因为该反应的 $\Delta S > 0$
C	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 变成 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\Delta S < 0$
D	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HF}(\text{g})$ $\Delta H = -271 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , $\Delta S = +8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	反应只有在低温下能自发进行

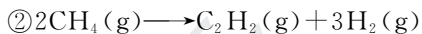
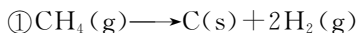
9. 有 A、B、C、D 四个反应:

反应	A	B	C	D
$\Delta H/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	+10.5	+1.80	-126	-11.7
$\Delta S/(\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	+30.0	-113.0	+84.0	-105.0

则在任何温度下都能自发进行的反应是\_\_\_\_\_；  
任何温度下都不能自发进行的反应是\_\_\_\_\_；  
另两个反应中，在温度高于\_\_\_\_\_℃时可自发  
进行的反应是\_\_\_\_\_；在温度低于\_\_\_\_\_℃  
时可自发进行的反应是\_\_\_\_\_。

### 迁移·创新

10. 炭黑在工业上主要用于增强轮胎的耐磨性，生产油墨、油漆和黑色涂料等，可用甲烷制得。已知甲烷隔绝空气在不同温度下有可能发生如下两个裂解反应：



某同学为了得到用天然气制取炭黑的允许温度范围和最佳温度，在图书馆查到了如下热力学数据：

$$\text{①的 } \Delta H(298 \text{ K}) = +74.848 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}, \Delta S(298 \text{ K}) = +80.674 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1};$$

$$\text{②的 } \Delta H(298 \text{ K}) = +376.426 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}, \Delta S(298 \text{ K}) = +220.211 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

已知焓变和熵变随温度变化很小。请帮助这位同学考虑如下问题：

(1) 判断反应①高温自发还是低温自发：\_\_\_\_\_（填“高温”或“低温”）。

(2) 通过计算判断反应①在常温下能否自发进行：\_\_\_\_\_。

(3) 计算制取炭黑的允许温度范围\_\_\_\_\_。

(4) 为了提高甲烷的炭化程度，你认为下面四个温度中最合适的是\_\_\_\_\_。

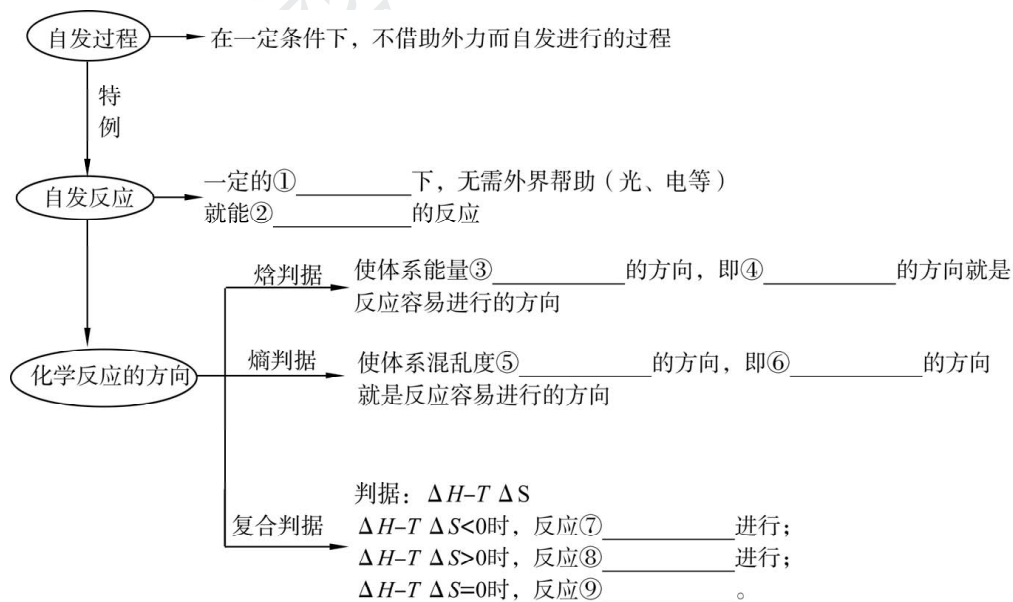
A. 905.2 K

B. 927 K

C. 1 273 K

D. 2 000 K

### 本节建构整合



### 教材习题答案

1. 当焓变与熵变的影响相同时，若反应为放热、熵增反应，该反应一定能自发进行；当焓变和熵变的影响相反时，利用  $\Delta H - T\Delta S$  判断。

2. 略

3. (1) 可以 该反应为放热、熵增反应 (2) 无

法判断 该反应为放热、熵减反应，且  $\Delta H$ 、 $\Delta S$  具体数值不确定，无法通过定量计算判断

4. 在常温下，该反应为放热、熵增反应，放热、熵增均有利于反应自发进行，因此该反应能自发进行。

5. 氨气与氯化氢气体的反应为熵减反应，碳酸氢钠分解为熵增反应。

## 第2节 化学反应的限度

### 瞄准课标 靶向学习

课标内容要求	课标学业要求
1. 认识化学平衡常数是表征反应限度的物理量,知道化学平衡常数的含义。 2. 了解浓度商和化学平衡常数的相对大小与反应方向间的联系。 3. 通过实验探究,了解浓度、压强、温度对化学平衡状态的影响。 4. 学生必做实验:探究影响化学平衡移动的因素。	1. 能书写平衡常数表达式,能进行平衡常数、转化率的简单计算,能利用平衡常数和浓度商的关系判断化学反应是否达到平衡及平衡移动的方向。 2. 能运用浓度、压强、温度对化学平衡的影响规律,推测平衡移动方向及浓度、转化率等相关物理量的变化,能讨论化学反应条件的选择和优化。

### 第1课时 化学平衡常数

#### 走进新知

#### 素养初探

#### 预习导读

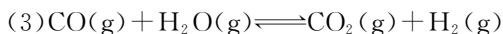
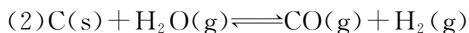
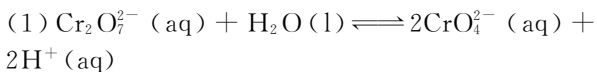
某些化学反应在一定条件下是不可能进行完全的,即存在一定的限度,而反应的限度的大小对于生产和生活实际有着直接影响。因此仅研究化学反应的方向是不够的,还需要关注化学反应的限度问题。

1. 什么叫化学平衡状态? 化学平衡有哪些特点?

2. 怎样定量描述化学反应的限度呢?

#### 自主检测

1. 写出下列反应中平衡常数的表达式:



2. 下列关于化学平衡常数的叙述正确的是( )

- A. 只与化学反应方程式本身和温度有关  
 B. 只与反应的温度有关  
 C. 与化学反应本身和温度有关,并且会受到起始浓度的影响

D. 只与化学反应本身有关,与其他任何条件无关的一个不变的常数

#### 学习体验

#### 素养形成

#### 探究学习(一) 化学平衡状态

1. 根据自己的理解描述化学平衡状态的概念。

2. 化学平衡状态有哪些特点?

3. 依据你对化学平衡状态的理解,判断以下哪些情况能说明容积不变的密闭容器中,反应  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  已达到平衡状态。

(1)  $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{NH}_3$  的物质的量之比是 1 : 3 : 2。

(2)  $v(\text{N}_2) : v(\text{H}_2) : v(\text{NH}_3) = 1 : 3 : 2$ 。

(3)  $\text{NH}_3$  的生成速率和消耗速率相等。

(4)  $\text{H}_2$  的生成速率和  $\text{NH}_3$  的消耗速率之比是 3 : 2。

(5) 各成分的质量不随时间变化。

(6) 单位时间内有 1 mol  $\text{N}_2$  生成,同时有 2 mol  $\text{NH}_3$  生成。

(7) 1 mol 氮氮三键断开的同时有 3 mol 氢氢键断开。

(8) 气体的总质量不随时间变化。

(9) 气体的总物质的量不随时间变化。

## 方法导引

## 判断化学平衡状态的方法

1. 动态标志： $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}} \neq 0$ 。

(1) 同种物质：同一物质的生成速率等于消耗速率。

(2) 不同物质：必须标明是“异向”的反应速率关系。如  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ ， $\frac{v_{\text{正}}(A)}{v_{\text{逆}}(B)} = \frac{a}{b}$  时，反应达到平衡状态。

2. 静态标志：各种“量”不变。

(1) 各物质的质量、物质的量或浓度不变。

(2) 各物质的百分含量(物质的量分数、质量分数等)不变。

(3) 温度、压强(化学反应方程式两边气体体积不相等)或颜色(某组分有颜色)不变。

总之，若物理量由变量变成了不变量，则表明该可逆反应达到平衡状态；若物理量为“不变量”，则不能作为平衡标志。

## 典例解析

**【例 1】** 已知  $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2W(g) + M(g)$   $\Delta H = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} (a > 0)$ 。一定温度下，在体积恒定的密闭容器中，加入 1 mol X(g) 与 3 mol Y(g)，下列说法正确的是( )

- A. 充分反应后，放出热量为  $a \text{ kJ}$   
 B. 当 X 与 W 的物质的量浓度之比为 1 : 2 时，反应达到平衡状态  
 C. 当 X 的物质的量分数不再改变，表明该反应已达到平衡状态  
 D. 气体的总质量不随时间变化，表明该反应已达到平衡状态

**解析：**A 项，该反应为可逆反应，不会完全进行，加入原料 1 mol 并未完全反应，故放出的热量小于  $a \text{ kJ}$ ，选项 A 不正确；B 项，当 X 与 W 的物质的量浓度之比为 1 : 2 时，并不能说明各组分的浓度不再变化，不能说明反应达到平衡状态，选项 B 不正确；C 项，当 X 的物质的量分数不再变化时，反应达到平衡状态，选项 C 正确；D 项，反应物、生成物均为气体，所以根据质量守恒定律，其总质量永远不变，选项 D 不正确。

**答案：**C

**易错点拨：**对于可逆反应  $X(g) + 3Y(g) \rightleftharpoons 2W(g) + M(g)$   $\Delta H = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} (a > 0)$  的焓变，应为按该方程式系数所示物质的量的反应物，即 1 mol X 与 3 mol Y 参与反应放出的热量，而如题所示“在体积恒定的密闭容器中，加入 1 mol X 与 3 mol Y”，因该反应是可逆反应，反应物不完全反应，所以放热数值必小于  $a$ 。

## 拓展训练

1. 反应  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$   $\Delta H < 0$ ，若在恒压绝热的容器中进行，下列选项表明一定已达平衡状态的是( )

- A. 容器内的温度不再变化  
 B. 容器内的压强不再变化  
 C. 相同时间内，断开 H—H 键的数目和生成 N—H 键的数目相等  
 D. 容器内气体的浓度  $c(N_2) : c(H_2) : c(NH_3) = 1 : 3 : 2$

## 探究学习(二) 化学平衡常数

已知反应  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$   $\Delta H < 0$ 。现在 698.6 K 和 798.6 K 时分别用不同起始浓度的  $H_2$ 、 $I_2(g)$ 、HI 进行反应，平衡后得到以下实验数据。

温度(K)	698.6			798.6		
序号	①	②	③	④	⑤	⑥
初始浓度 (mol/L)	$c_{\text{始}}(H_2)$	0.010 67	0.011 35	0	0.011 35	0
	$c_{\text{始}}(I_2)$	0.011 96	0.009 044	0	0.009 04	0
	$c_{\text{始}}(HI)$	0	0	0.010 69	0	0.016 55
平衡浓度 (mol/L)	$c_{\text{平}}(H_2)$	0.001 831	0.003 560	0.001 141	0.004 56	0.003 39
	$c_{\text{平}}(I_2)$	0.003 129	0.001 250	0.001 141	0.001 95	0.003 39
	$c_{\text{平}}(HI)$	0.017 67	0.015 59	0.008 410	0.008 59	0.009 77
$c_{\text{平}}(HI)$						
$c_{\text{平}}(H_2)c_{\text{平}}(I_2)$						
$c_{\text{平}}^2(HI)$						
$c_{\text{平}}(H_2)c_{\text{平}}(I_2)$						

- 请计算填写表中空格。
- 试分析上述数据，回答下列问题：
  - 相同温度，达到化学平衡状态时有某个数值是常数吗？
  - 这个常数与反应的起始浓度大小有关吗？
  - 这个常数与正向建立还是逆向建立平衡有关系吗？



3. 已知 25℃ 时卤化氢生成反应的平衡常数:

化学方程式	平衡常数 $K$
$F_2 + H_2 \rightleftharpoons 2HF$	$6.5 \times 10^{95}$
$Cl_2 + H_2 \rightleftharpoons 2HCl$	$2.57 \times 10^{33}$
$Br_2 + H_2 \rightleftharpoons 2HBr$	$1.91 \times 10^{19}$
$I_2 + H_2 \rightleftharpoons 2HI$	$8.67 \times 10^2$

请比较表中  $K$  值的相对大小,说明平衡常数的意义。

### 归纳总结

#### 化学平衡常数

##### 1. 概念

在一定温度时,当可逆反应  $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$  达到平衡状态时,  $K = \frac{c_{\text{平}}^c(C) \cdot c_{\text{平}}^d(D)}{c_{\text{平}}^a(A) \cdot c_{\text{平}}^b(B)}$ , 温度一定时,  $K$  为常数,称为化学平衡常数。化学平衡常数表达式中各物质的浓度必须是平衡时的浓度。

##### 2. 平衡常数( $K$ )与反应的过程无关

在一定温度下,可逆反应无论从正反应开始还是从逆反应开始,无论起始浓度多大,最后都能达到同一平衡状态,平衡常数不会改变。

3. 化学平衡常数的意义——据  $K$  的大小判断反应进行的程度

平衡常数的数值越大,说明反应进行得越完全。

$K$ 值	$< 10^{-5}$	$10^{-5} \sim 10^5$	$> 10^5$
反应程度	很难进行	反应可逆	进行完全

### 思维建模

浓度商与化学平衡常数——判断反应是否达到平衡或反应进行的方向:

对于可逆反应:  $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$ , 在一定温度下的任意时刻,反应物的浓度和生成物的浓度有如下关系:  $Q = \frac{c^c(C) \cdot c^d(D)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$ , 称为该反应的浓度商。

$Q = K$ , 反应处于平衡状态 ( $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ );

$Q > K$ , 反应向逆反应方向进行 ( $v_{\text{正}} < v_{\text{逆}}$ );

$Q < K$ , 反应向正反应方向进行 ( $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$ )。

### 典例解析

**【例 2】**煤化工中常需研究不同温度下的平衡常数、产率及不同投料比对反应方向的影响等问题。针对反应  $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons H_2(g) + CO_2(g)$ , 试回答下列问题:

(1) 该反应的化学平衡常数表达式为  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 已知 830℃ 时,该反应的  $K = 1$ ,则按下表中

的物质的量将各物质投入恒容反应器中发生上述反应,其中向正反应方向进行的反应有          (填字母)。

序号	A	B	C	D
$n(\text{CO}_2)/\text{mol}$	3	1	0	1
$n(\text{H}_2)/\text{mol}$	2	1	0	1
$n(\text{CO})/\text{mol}$	1	2	3	0.5
$n(\text{H}_2\text{O})/\text{mol}$	5	2	3	2

解析: (1)  $K = \frac{c_{\text{平}}(\text{CO}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2)}{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})}$

(2) 830℃ 时,  $K = 1$ 。A 项,  $Q = \frac{2 \times 3}{1 \times 5} = 1.2 > 1$ ,

反应逆向进行; B 项,  $Q = \frac{1 \times 1}{2 \times 2} = \frac{1}{4} < 1$ , 反应正向进行;

C 项,  $Q = \frac{0 \times 0}{3 \times 5} = 0 < 1$ , 反应正向进行; D 项,  $Q =$

$\frac{1 \times 1}{0.5 \times 2} = 1 = K$ , 反应处于平衡状态。

答案: (1)  $\frac{c_{\text{平}}(\text{CO}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2)}{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})}$  (2) BC

### 拓展训练

2. 在一定体积的密闭容器中,进行如下化学反应:  $\text{CO}_2(g) + \text{H}_2(g) \rightleftharpoons \text{CO}(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$ 。回答下列问题:

(1) 该反应的化学平衡常数表达式为  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 若 1 200℃ 时,  $K = 2.6$ , 在某时刻平衡体系中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  的浓度分别为  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则此时上述反应          (填“向正反应方向移动”“向逆反应方向移动”或“不移动”)。

### 探究学习 (三) 化学平衡常数表达式

1. 写出下表中各反应的平衡常数表达式。

序号	反应
(1)	$\frac{1}{2}\text{N}_2(g) + \frac{3}{2}\text{H}_2(g) \rightleftharpoons \text{NH}_3(g)$
(2)	$\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(g)$
(3)	$2\text{NH}_3(g) \rightleftharpoons \text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g)$
(4)	$\text{FeO}(s) + \text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{Fe}(s) + \text{CO}_2(g)$
(5)	$\text{Br}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}^+(aq) + \text{Br}^-(aq) + \text{HBrO}(aq)$
(6)	$\text{AgCl}(s) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$

2. 思考:

(1) 对于一个反应,其平衡常数的表达式是唯一的吗?

(2) 书写化学平衡常数表达式时应注意哪些问题?

### 归纳总结

#### 化学平衡常数表达式

化学平衡常数表达式与化学方程式的书写方式有关,对于同一化学反应,由于书写方式不同,各反应物、生成物的系数不同,化学平衡常数的表达式就不同,化学平衡常数的单位与化学方程式的表示形式一一对应。

1. 对于有纯固体或纯液体参与的反应,纯固体或纯液体不列入化学平衡常数的表达式中。

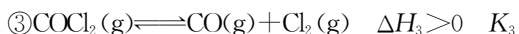
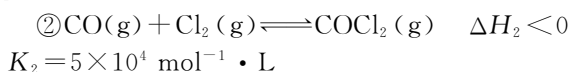
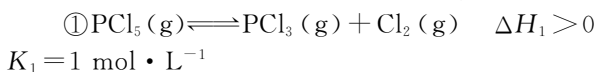
2. 对于某一化学反应, $K$ 的表达式不是唯一的,取决于化学方程式的系数。

3. 对于某一可逆反应,其正反应和逆反应的 $K$ 互为倒数。

4. 当一个反应是由两个反应相加得到的,该反应的化学平衡常数等于这两个反应的化学平衡常数的乘积;当一个反应是由两个反应相减得到的,该反应的化学平衡常数等于这两个反应的化学平衡常数的商。

### 典例解析

【例 3】下列反应在  $210^{\circ}\text{C}$  时达到平衡:



(1) 根据反应①的平衡常数 $K$ 的表达式,平衡时下列等式必定成立的是\_\_\_\_\_ (仅为数值)。

A.  $c_{\text{平}}(\text{PCl}_5) = c_{\text{平}}(\text{PCl}_3) = c_{\text{平}}(\text{Cl}_2) = 1$

B.  $c_{\text{平}}(\text{PCl}_5) = c_{\text{平}}(\text{PCl}_3) \cdot c_{\text{平}}(\text{Cl}_2) = 1$

C.  $c_{\text{平}}(\text{PCl}_5) = c_{\text{平}}(\text{PCl}_3) \cdot c_{\text{平}}(\text{Cl}_2)$

(2) 反应②和反应③的平衡常数表达式\_\_\_\_\_ (填“相同”或“不同”), $K_3 =$ \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 降低  $\text{Cl}_2$  浓度,反应③的平衡常数  $K_3$  值将\_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”)。

解析: (1) 反应①  $K_1 = \frac{c_{\text{平}}(\text{PCl}_3) \cdot c_{\text{平}}(\text{Cl}_2)}{c_{\text{平}}(\text{PCl}_5)} =$

$1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 故  $c_{\text{平}}(\text{PCl}_5) = c_{\text{平}}(\text{PCl}_3) \cdot c_{\text{平}}(\text{Cl}_2)$ , 但不一定均等于 1, 故选 C。

(2) 反应②③互为逆反应, 所以  $K_2$  与  $K_3$  不同,  
 $K_3 = \frac{1}{K_2} = 2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 平衡常数只随温度变化而变化, 故  $\text{Cl}_2$  浓度改变,  $K_3$  不变。

答案: (1) C (2) 不同  $2 \times 10^{-5}$  (3) 不变

### 拓展训练

3. 对于反应  $3\text{Fe}(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g})$  的平衡常数, 下列说法正确的是( )

A.  $K = \frac{c_{\text{平}}^4(\text{H}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{c_{\text{平}}^3(\text{Fe}) \cdot c_{\text{平}}^4(\text{H}_2\text{O})}$

B.  $K = \frac{c_{\text{平}}^4(\text{H}_2)}{c_{\text{平}}^4(\text{H}_2\text{O})}$

C. 增大  $c(\text{H}_2\text{O})$ , 会使该反应平衡常数减小

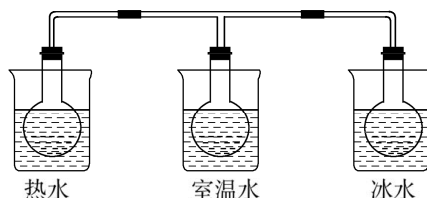
D. 减小  $c(\text{H}_2)$ , 会使该反应平衡常数减小

### 探究学习 四 化学平衡常数的影响因素

已知:  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H > 0$   
 无色 红棕色

#### 【实验探究】

取三只充有等浓度  $\text{N}_2\text{O}_4$ 、 $\text{NO}_2$  平衡混合气的平衡球, 如图所示, 将其中一只伸入盛有热水的烧杯中, 一只放于室温下, 第三只伸入盛有冰水的烧杯中, 持续一段时间直到颜色不再发生变化为止。



#### 【交流研讨】

(1) 写出该反应的平衡常数表达式: \_\_\_\_\_。  
 (2) 描述实验现象, 据现象分析  $\text{NO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}_4$  的浓度变化和  $K$  的变化。

(3) 为探究化学平衡常数的影响因素, 科学家设计并进行了严密的实验。下表中的数据分别在  $298 \text{ K}$ 、 $333 \text{ K}$  时测得的。

温度/K	初始浓度/(mol · L <sup>-1</sup> )		平衡浓度/(mol · L <sup>-1</sup> )		K
	$c_{\text{始}}(\text{N}_2\text{O}_4)$	$c_{\text{始}}(\text{NO}_2)$	$c_{\text{平}}(\text{N}_2\text{O}_4)$	$c_{\text{平}}(\text{NO}_2)$	
298	0.050	0	0.021 75	0.056 50	
333	0.050	0	0.004 88	0.090 1	

① 请计算相应温度下的平衡常数。

② 分析表中数据, 再次判断  $K$  值随温度的变化关系。

(4) 对比“探究学习二”中  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$  的平衡常数与温度的关系, 你又发现了什么规律呢?

## 归纳总结

## 化学平衡常数的影响因素

化学平衡常数( $K$ )只受温度影响,与反应物或生成物的浓度、压强以及是否使用催化剂无关,温度不变, $K$ 不变。

(1)放热反应,温度越高,平衡常数越小;温度越低,平衡常数越大。

(2)吸热反应,温度越高,平衡常数越大;温度越低,平衡常数越小。

## 典例解析

**【例4】**在一定体积的密闭容器中进行化学反应: $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。其化学平衡常数和温度的关系见下表:

$t/^\circ\text{C}$	700	800	830	1 000	1 200
$K$	0.6	0.9	1.0	1.7	2.6

回答下列问题:

(1)该反应为\_\_\_\_\_ (填“吸热”或“放热”)反应。

(2)某温度下,平衡浓度符合下式  $c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2) = c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})$ , 试判断此时的温度为\_\_\_\_\_  $^\circ\text{C}$ 。

(3)在  $800^\circ\text{C}$  时,发生上述反应,某一时刻测得容器内各物质的浓度分别为  $c(\text{CO}_2) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{H}_2) = 1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{CO}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{H}_2\text{O}) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则下一时刻,反应\_\_\_\_\_ (填“正向”或“逆向”)进行。

**解析:**(1)由表中数据可知温度升高, $K$ 增大,则正反应为吸热反应。

(2)当平衡时  $c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2) = c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})$ , 即  $K=1$ , 对应表中温度为  $830^\circ\text{C}$ 。

(3) $Q = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)} = \frac{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 1 > 0.9, Q > K$ , 反应逆向进行。

**答案:**(1)吸热 (2)830 (3)逆向

## 拓展训练

4. 对于可逆反应  $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$ , 在一定温度下,其平衡常数为  $K$ 。下列条件的变化中,能使  $K$  发生变化的是( )

- 将  $\text{C}(\text{s})$  的表面积增大
- 增大体系的压强
- 升高体系的温度
- 使用合适的催化剂

## 分层训练

## 素养提升

## 学习·理解

- 下列关于化学平衡常数的叙述正确的是( )
  - 温度一定,一个化学反应的  $K$  不是一个常数
  - 两种物质反应,不管怎样书写化学方程式,平衡常数不变
  - 温度一定时,对于给定的化学反应,正、逆反应的平衡常数互为倒数
  - 生成物浓度系数次方的乘积与反应物浓度系数次方的乘积的比值小于  $K$  时,  $v_{\text{正}} < v_{\text{逆}}$
- 可逆反应  $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{O}_2$  在恒容的密闭容器中进行,达到平衡状态的标志是( )
  - 单位时间内生成  $n \text{ mol O}_2$  的同时生成  $2n \text{ mol NO}_2$
  - 单位时间内生成  $n \text{ mol O}_2$  的同时生成  $2n \text{ mol NO}$
  - 用  $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{O}_2$  表示的反应速率之比为  $2:2:1$  的状态
  - 混合气体的颜色不再改变的状态
  - 混合气体的密度不再改变的状态
  - 混合气体的压强不再改变的状态
  - 混合气体的平均相对分子质量不再改变的状态
  - ①④⑥⑦
  - ②③⑤⑦
  - ①③④⑤
  - 全部
- 某温度下,可逆反应  $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g})$  的平衡常数为  $K$ , 下列对  $K$  的说法正确的是( )
  - $K$  值越大,表明该反应越有利于  $\text{C}$  的生成
  - 若缩小反应器的容积,则  $K$  增大
  - 温度越高, $K$  一定越大
  - 如果  $m+n=p$ , 则  $K=1$
- 在  $1\ 000 \text{ K}$  时反应  $\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g})$  的  $K$  值为  $8.28 \times 10^7$ 。当各气体物质的量浓度分别为  $\text{H}_2$   $0.7 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{CH}_4$   $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,上述反应( )
  - 正向移动
  - 逆向移动
  - 达到平衡
  - 不一定
- 某温度下反应  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$  的平衡常数  $K=57.0$ , 现向此温度下的真空容器中充入  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2(\text{g})$ 、 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ I}_2(\text{g})$  及  $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HI}(\text{g})$ , 则下列说法正确的是( )
  - 反应正好达到平衡
  - 反应向左进行
  - 反应向某方向进行一段时间后  $K < 57.0$
  - 反应向某方向进行一段时间后  $c(\text{H}_2) < 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- 某温度时,反应  $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g})$  的平

平衡常数  $K$  值为 50。在同一温度下,反应  $2\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  的平衡常数  $K_1$  值为( )

- A. 2 500                      B. 100  
C.  $4 \times 10^{-4}$                 D.  $2 \times 10^{-2}$

### 应用·实践

7. 某可逆反应  $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C}$  在某温度下的平衡常数为  $K$  ( $K \neq 1$ ), 反应热为  $\Delta H$ 。保持温度不变, 将方程式的书写做如下改变, 则  $\Delta H$  和  $K$  数值的相应变化为( )

- A. 写成  $2a\text{A} + 2b\text{B} \rightleftharpoons 2c\text{C}$ ,  $\Delta H$  值、 $K$  值均扩大了一倍  
B. 写成  $2a\text{A} + 2b\text{B} \rightleftharpoons 2c\text{C}$ ,  $\Delta H$  值扩大了一倍,  $K$  值保持不变  
C. 写成  $c\text{C} \rightleftharpoons a\text{A} + b\text{B}$ ,  $\Delta H$  值、 $K$  值变为原来的相反数  
D. 写成  $c\text{C} \rightleftharpoons a\text{A} + b\text{B}$ ,  $\Delta H$  值变为原来的相反数,  $K$  值变为原来的倒数

8. 在淀粉-KI 溶液中存在下列平衡:  $\text{I}_2(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_3^-(\text{aq})$ 。测得不同温度下该反应的平衡常数  $K$  值见下表。

$t/^\circ\text{C}$	5	15	25	35	50
$K$	1 100	841	689	533	409

下列说法正确的是( )

- A. 反应  $\text{I}_2(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_3^-(\text{aq})$  的  $\Delta H < 0$   
B. 其他条件不变, 减小溶液中的  $c(\text{I}_3^-)$ ,  $K$  不变  
C. 该反应的平衡常数表达式为  $K = \frac{c_{\text{平}}(\text{I}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{I}^-)}{c_{\text{平}}(\text{I}_3^-)}$   
D.  $25^\circ\text{C}$  时, 向溶液中加入少量 KI 固体, 平衡常数  $K$  值小于 689
9. 已知反应①:  $\text{CO}(\text{g}) + \text{CuO}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{Cu}(\text{s})$  和反应②:  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CuO}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$  在相同的某温度下的平衡常数分别为  $K_1$  和  $K_2$ , 该温度下反应③:  $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$  的平衡常数为  $K$ , 则下列说法正确的是( )

A. 反应①的平衡常数  $K_1 = \frac{c_{\text{平}}(\text{CO}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{Cu})}{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}(\text{CuO})}$

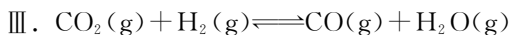
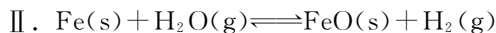
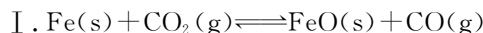
B. 反应③的平衡常数  $K = \frac{K_1}{K_2}$

C. 对于反应③, 恒容时, 温度升高,  $K$  值若减小, 则  $\Delta H > 0$

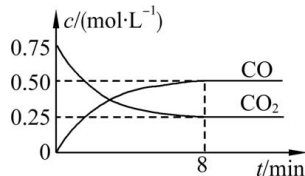
D. 对于反应③, 恒温恒容下, 增大压强,  $K$  值增大

### 迁移·创新

10. 科学家积极探索新技术对  $\text{CO}_2$  进行综合利用, 其中存在以下反应:



(1) 某温度下, 在一密闭容器中充入一定量  $\text{CO}_2$ , 并加入足量铁粉, 发生反应 I, 测得  $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$  浓度随时间的变化如图所示:



下列措施中, 能够改变平衡时  $c(\text{CO})/c(\text{CO}_2)$  的比值的是(填字母)。

- A. 温度                      B. 铁粉的量(足量)  
C. 压强                      D. CO 的量

(2) 已知: 反应 I 的平衡常数为  $K_1$ ; 反应 II 的平衡常数为  $K_2$ 。不同温度时  $K_1$ 、 $K_2$  的值如下:

温度/K	$K_1$	$K_2$
973	1.47	2.38
1 173	2.15	1.67

①根据表中数据, 计算反应 III 的  $K_3$ 。

温度为 973 K 时:  $K_3 =$  \_\_\_\_\_;

温度为 1 173 K 时:  $K_3 =$  \_\_\_\_\_。

②反应 III 是 \_\_\_\_\_ (填“吸热”或“放热”) 反应。

## 第 2 课时 平衡转化率

### 走进新知 素养初探

#### 预习导读

用平衡常数表示反应的限度有时不够直观, 因此在实际应用中常用平衡转化率来表示一定条件下的反应限度。

1. 平衡转化率的表达式为 \_\_\_\_\_。

2. 温度一定时, 某一已标明化学方程式的反应, 平衡转化率是否为定值?

#### 自主检测

1.  $1\ 200^\circ\text{C}$  时, 对于反应  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ , 当  $c_{\text{始}}(\text{CO}_2) = 0.010\ 0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c_{\text{始}}(\text{H}_2) = 0.0120\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,  $c_{\text{平}}(\text{CO}_2) = 0.003\ 5\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 分别求  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  的转化率。

2.  $1\ 200^\circ\text{C}$  时, 对于反应  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g})$



+H<sub>2</sub>O(g), 当  $c_{\text{始}}(\text{CO}_2) = 0.0100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c_{\text{始}}(\text{H}_2) = 0.0080 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,  $c_{\text{平}}(\text{CO}_2) = 0.0047 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 分别求 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 的转化率。

## 学习体验 素养形成

### 探究学习(一) 平衡转化率、平衡常数的求算

某温度下将 H<sub>2</sub> 和 I<sub>2</sub> 各 0.1 mol 的气态混合物充入 10 L 密闭容器中充分反应, 达到平衡后, 测得 H<sub>2</sub> 的浓度为 0.008 mol · L<sup>-1</sup>。

(1) 求该温度下的平衡常数。

(2) 求 H<sub>2</sub> 的转化率。

### 归纳总结

#### 转化率表达式

对于化学反应  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ , 反应物 A 的平衡转化率可以表示为  $\alpha(A) = \frac{c_{\text{始}}(A) - c_{\text{平}}(A)}{c_{\text{始}}(A)} \times 100\%$ , 其中  $c_{\text{始}}(A)$  和  $c_{\text{平}}(A)$  分别表示 A 的初始浓度和 A 的平衡浓度。

### 思维建模

#### “三段式”解题法

1. 分析三个量, 即起始量、转化量、平衡量。
2. 明确三个关系

(1) 对于同一反应物: 起始量 - 转化量 = 平衡量。

(2) 对于同一生成物, 起始量 + 转化量 = 平衡量。

(3) 各转化量之比等于各物质的系数之比。

3. 计算方法: 三段式法。

可按下列模式进行计算: 如  $mA(g) + nB(g) \rightleftharpoons pC(g) + qD(g)$ , 令 A、B 起始物质的量浓度分别为  $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 达到平衡后消耗 A 的物质的量浓度为  $mx \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

	$mA(g)$	$+ nB(g)$	$\rightleftharpoons$	$pC(g)$	$+ qD(g)$
起始/(mol · L <sup>-1</sup> )	$a$	$b$		$0$	$0$
转化/(mol · L <sup>-1</sup> )	$mx$	$nx$		$px$	$qx$
平衡/(mol · L <sup>-1</sup> )	$a - mx$	$b - nx$		$px$	$qx$

(1) 求平衡常数:  $K = \frac{(px)^p \cdot (qx)^q}{(a - mx)^m \cdot (b - nx)^n}$

(2) 求转化率:

转化率 =  $\frac{\text{某反应物的转化量}}{\text{某反应物的起始量}} \times 100\%$ , 如  $\alpha_{\text{平}}(A)$

$$= \frac{mx}{a} \times 100\%$$

### 典例解析

【例 1】在 1 L 密闭容器中, 把 1 mol A 和 1 mol B 混合发生反应:  $3A(g) + B(g) \rightleftharpoons xC(g) + 2D(g)$ 。当反应达到平衡时, 生成 0.4 mol D, 并测得 C 的平衡浓度为 0.4 mol · L<sup>-1</sup>。下列叙述错误的是( )

- A.  $x$  的值为 2
- B. A 的转化率为 60%
- C. B 的平衡浓度为 0.8 mol · L<sup>-1</sup>
- D. D 的体积分数为 25%

解析:  $3A(g) + B(g) \rightleftharpoons xC(g) + 2D(g)$

起始量/mol	1	1	0	0
变化量/mol	0.6	0.2	0.2x	0.4
平衡量/mol	0.4	0.8	0.2x	0.4

根据平衡时 C 的浓度可知,  $x=2$ , A 项正确; 由转化率的定义得, A 的转化率为 60%, B 项正确; 根据三段式可知平衡时, B 的平衡浓度为 0.8 mol · L<sup>-1</sup>, C 项正确; D 的体积分数为

$$\frac{0.4 \text{ mol}}{0.4 \text{ mol} + 0.8 \text{ mol} + 0.4 \text{ mol} + 0.4 \text{ mol}} \times 100\% = 20\%, \text{D 项错误。}$$

答案: D

### 拓展训练

1. 已知反应  $\text{SO}_2(g) + \text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{SO}_3(g) + \text{NO}(g)$ 。若在一定温度下, 将物质的量浓度均为 2 mol · L<sup>-1</sup> 的 SO<sub>2</sub>(g) 和 NO<sub>2</sub>(g) 注入一密闭容器中, 当达到平衡状态时, 测得容器中 SO<sub>2</sub>(g) 的转化率为 50%, 求在该温度下此反应的平衡常数。

### 探究学习(二) 已知平衡常数求转化率

在一定温度下, 反应  $\frac{1}{2}\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{X}_2(g) \rightleftharpoons \text{HX}(g)$  的平衡常数为 10。若将 1.0 mol 的 HX(g) 通入体积为 1.0 L 的密闭容器中, 在该温度时 HX(g) 的最大分解率接近于( )

- A. 5%
- B. 17%
- C. 25%
- D. 33%

### 方法导引

#### 平衡浓度的求算

在有关化学平衡的计算中, 平衡浓度的求算是非常关键的环节。通常将反应物转化的量设为  $x$ , 利用已知条件找到关于  $x$  的等量关系, 然后列方程求解。解题思路为: ①设反应物转化的量为  $x$ ; ②用含  $x$  的式子表示出各物质的平衡浓度; ③通过平衡常数表达式列出方程式; ④求解所列方程式。

## 典例解析

**【例 2】**在密闭容器中,给 CO 和 H<sub>2</sub>O(g) 的混合物加热时,达到下列平衡:CO(g) + H<sub>2</sub>O(g) ⇌ CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g)。在 800℃ 时,该反应的平衡常数等于 1。若用 2 mol CO 和 10 mol 的水蒸气相互混合,并加热到 800℃,求 CO 的转化率。

**解析:**设参加反应的 CO 的物质的量为  $x$ , 容器容积为  $V$  L, 则:

	CO	H <sub>2</sub> O(g)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
起始时物质的量/mol	2	10	0	0
转化的物质的量/mol	$x$	$x$	$x$	$x$
平衡时物质的量/mol	$2-x$	$10-x$	$x$	$x$

$$\text{据题意 } K = \frac{\frac{x}{V} \times \frac{x}{V}}{\frac{2-x}{V} \times \frac{10-x}{V}} = 1, \text{ 解得 } x = \frac{5}{3} \text{ mol.}$$

$$\text{所以 CO 的转化率为 } \alpha(\text{CO}) = \frac{\frac{5}{3} \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \times 100\% = 83.3\%.$$

答案:83.3%

## 拓展训练

2. X、Y、Z 三种气体,取 X 和 Y 按 1:1 的物质的量之比混合,放入密闭容器中发生如下反应:X + 2Y ⇌ 2Z。达到平衡后,测得混合气体中反应物的总物质的量与生成物的总物质的量之比为 3:2,则 Y 的转化率最接近于( )

- A. 33%                      B. 40%  
C. 50%                      D. 67%

## 探究学习 (三) 转化率的影响因素

一定温度下,2SO<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) ⇌ 2SO<sub>3</sub>(g):

初始浓度/(mol · L <sup>-1</sup> )		平衡转化率/%	
c <sub>0</sub> (SO <sub>2</sub> )	c <sub>0</sub> (O <sub>2</sub> )	α(SO <sub>2</sub> )	α(O <sub>2</sub> )
0.050	0.030	88	73
0.050	0.025	84	84

1 200℃ 时,CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g) ⇌ CO(g) + H<sub>2</sub>O(g):

初始浓度/(mol · L <sup>-1</sup> )		平衡转化率/%	
c <sub>0</sub> (CO <sub>2</sub> )	c <sub>0</sub> (H <sub>2</sub> )	α(CO <sub>2</sub> )	α(H <sub>2</sub> )
0.010 0	0.012 0	65	54
0.010 0	0.010 0	60	60
0.010 0	0.008 0	53	66

思考:

1. 对同一反应,  $T$  相同时各反应物的转化率是否相同? 什么时候相同,为什么?

2. 增加一种反应物的浓度,对反应物的转化率

有何影响?

3. 影响平衡常数的因素是什么? 影响转化率的因素有哪些?

## 归纳总结

## 转化率的影响因素

1. 初始浓度、平衡浓度以及能使平衡移动的因素都有可能影响转化率。

2. 多种反应物参加反应时,提高一种反应物的浓度,可以提高其他反应物的平衡转化率,而该物质本身的平衡转化率降低。

## 典例解析

**【例 3】**(不定项选择)700℃ 时,向容积为 2 L 的密闭容器中充入一定量的 CO 和 H<sub>2</sub>O,发生反应:CO(g) + H<sub>2</sub>O(g) ⇌ CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g)。反应过程中测定的部分数据见下表(表中  $t_2 > t_1$ ):

反应时间/min	$n(\text{CO})/\text{mol}$	$n(\text{H}_2\text{O})/\text{mol}$
0	1.20	0.60
$t_1$	0.80	
$t_2$		0.20

下列说法正确的是( )

- A. 700℃ 时  $K = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$   
B. 保持其他条件不变,起始时向容器中充入 0.60 mol CO 和 1.20 mol H<sub>2</sub>O(g),达到平衡时  $n(\text{CO}_2) = 0.40 \text{ mol}$   
C. 保持其他条件不变,向平衡体系中再通入 0.20 mol H<sub>2</sub>O,与原平衡相比,达到新平衡时 CO 的转化率和 H<sub>2</sub>O 的体积分数均增大  
D. 温度升至 800℃,上述反应的平衡常数为 0.64,则正反应为吸热反应

**审题要点:**表格内数据的填写可帮助解题。

反应时间/min	$n(\text{CO})/\text{mol}$	$n(\text{H}_2\text{O})/\text{mol}$
0	1.20	0.60
$t_1$	0.80	0.20
$t_2$		0.20

→ 已平衡

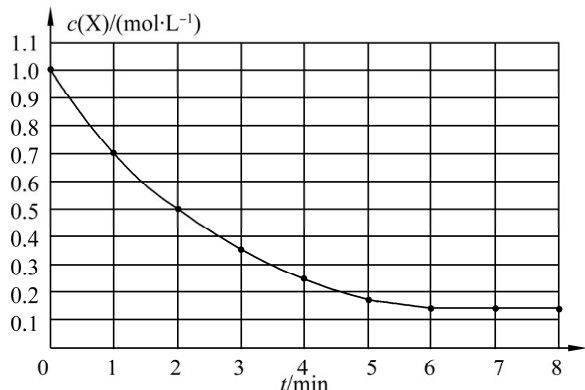
**解析:**对比表中反应时间为 0、 $t_1$ 、 $t_2$  的数据:0 →  $t_1$ ,CO 减少 0.40 mol,根据方程式计算 H<sub>2</sub>O(g) 也应减少 0.40 mol,则  $t_1$  时 H<sub>2</sub>O(g) 的量为 0.20 mol,而到  $t_2$  时 H<sub>2</sub>O(g) 的量仍然为 0.20 mol,说明  $t_1$  时已经达到平衡,则反应  $K = \frac{0.4 \times 0.4}{0.8 \times 0.2} = 1$ ,A 项错误;B 项,由方程式可知 CO 和 H<sub>2</sub>O(g) 的量对该反应的影响相同,所以“起始时向容器中充入 0.60 mol CO 和 1.20 mol H<sub>2</sub>O(g)”与“起始时向容器中充入

1. 20 mol CO 和 0.60 mol H<sub>2</sub>O(g) 将达到相同的平衡状态, 根据 t<sub>1</sub> 时的数据可求得 n(CO<sub>2</sub>) = 0.40 mol, B 项正确; C 项, 增大反应物水蒸气的浓度, CO 的转化率增大, 水蒸气的转化率降低, 水蒸气的体积分数增大, C 项正确; D 项, t<sub>1</sub> 时为平衡状态, 平衡常数为 1, 温度升高, 平衡常数减小, 说明正反应为放热反应, D 项错误。

答案: BC

### 拓展训练

3. 已知反应 X(g) + Y(g) ⇌ 4Z(g) ΔH < 0, 在某温度时 X 的浓度随时间变化的曲线如图所示。



下列有关该反应的描述正确的是( )

- A. 第 6 min 后, 反应就终止了  
 B. X 的平衡转化率为 85%  
 C. 若增加 X 的浓度, X 的平衡转化率将大于 85%  
 D. 若降低温度, 该反应的平衡常数将减小

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

1. 在 25℃ 时, 密闭容器中 X、Y、Z 三种气体的初始浓度和平衡浓度如表所示:

物质	X	Y	Z
初始浓度/(mol·L <sup>-1</sup> )	0.1	0.2	0
平衡浓度/(mol·L <sup>-1</sup> )	0.05	0.05	0.1

下列说法错误的是( )

- A. 反应达到平衡时, X 的转化率为 50%  
 B. 反应可表示为 X + 3Y ⇌ 2Z, 其平衡常数为 1 600  
 C. 增大压强, 平衡常数增大  
 D. 改变温度可以改变此反应的平衡常数
2. 将 4 mol SO<sub>2</sub> 与 2 mol O<sub>2</sub> 放入 4 L 的密闭容器中, 在一定条件下反应达到平衡: 2SO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> ⇌

2SO<sub>3</sub>, 测得平衡时 SO<sub>3</sub> 的浓度为 0.5 mol·L<sup>-1</sup>. 则此条件下的平衡常数 K 为( )

- A. 4      B. 0.25      C. 0.4      D. 0.2

3. 某温度下, 向容积为 1 L 的密闭反应器中充入 0.10 mol SO<sub>3</sub>, 当反应器中的气体压强不再变化时测得 SO<sub>3</sub> 的转化率为 20%, 则该温度下反应 2SO<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) ⇌ 2SO<sub>3</sub>(g) 的平衡常数为( )

- A. 8.0 × 10<sup>2</sup>      B. 1.6 × 10<sup>3</sup>  
 C. 3.2 × 10<sup>3</sup>      D. 4.0 × 10<sup>2</sup>

4. 设反应 ① Fe(s) + CO<sub>2</sub>(g) ⇌ FeO(s) + CO(g) 的平衡常数为 K<sub>1</sub>; 反应 ② Fe(s) + H<sub>2</sub>O(g) ⇌ FeO(s) + H<sub>2</sub>(g) 的平衡常数为 K<sub>2</sub>.

测得在不同温度下, K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 值如下:

温度/℃	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
500	1.00	3.15
700	1.47	2.26
900	2.40	1.60

根据以上信息判断下列说法不正确的是( )

- A. 若 500℃ 时进行反应 ①, 则 CO<sub>2</sub> 的转化率为 50%  
 B. 900℃ 进行反应 ③ H<sub>2</sub>(g) + CO<sub>2</sub>(g) ⇌ H<sub>2</sub>O(g) + CO(g), 其平衡常数 K<sub>3</sub> = 1.50  
 C. 反应 ① 的焓变 ΔH > 0, 反应 ② 的焓变 ΔH < 0  
 D. 反应 ③ 平衡体系中通入 CO<sub>2</sub>, 在温度不变的条件下, 达到新平衡时 CO<sub>2</sub> 的转化率比原平衡大
5. 在一个容积为 500 mL 的密闭容器中, 充入 5 mol H<sub>2</sub> 和 2 mol CO. 在一定温度和一定压强下, 发生如下反应: 2H<sub>2</sub>(g) + CO(g) ⇌ CH<sub>3</sub>OH(g), 经过 5 min 后达到平衡状态. 若此时测得 CH<sub>3</sub>OH 蒸气的浓度为 2 mol·L<sup>-1</sup>, 求:

(1) 达到平衡时 CO 的转化率.

(2) 该温度下的 K.

6. 在 830 K 时, 在密闭容器中发生下列可逆反应: CO(g) + H<sub>2</sub>O(g) ⇌ CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g) ΔH < 0 试回答下列问题:

(1) 若起始时 c(CO) = 2 mol·L<sup>-1</sup>, c(H<sub>2</sub>O) = 3 mol·L<sup>-1</sup>, 4 s 后达到平衡, 此时 CO 的转化率为 60%, 则在该温度下, 该反应的平衡常数 K = \_\_\_\_\_.

(2) 在相同温度下, 若起始时 c(CO) = 1 mol·L<sup>-1</sup>, c(H<sub>2</sub>O) = 2 mol·L<sup>-1</sup>, 反应进行一段时间后, 测得 H<sub>2</sub> 的浓度为 0.5 mol·L<sup>-1</sup>, 则此时该反应是否达到平衡状态? \_\_\_\_\_ (填“是”或“否”), 此时 v<sub>正</sub> \_\_\_\_\_ v<sub>逆</sub> (填“大于”“小于”或“等于”).

(3) 若降低温度, 该反应的 K 值将 \_\_\_\_\_.

## 应用·实践

7. 在 5 L 的密闭容器中充入 2 mol A 气体和 1 mol B 气体,在一定条件下发生反应:  $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ 。达到平衡时,在相同温度下测得容器内混合气体的压强是反应前的  $\frac{5}{6}$ ,则 A 的转化率为( )  
A. 67% B. 50% C. 25% D. 5%
8. 可逆反应  $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$  在密闭容器中建立了平衡。当温度为 749 K 时,  $K = \frac{9}{4}$ ,则:  
(1) 当 CO 和  $H_2O$  的起始浓度均为  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,CO 的转化率为\_\_\_\_\_。  
(2) 当 CO 的起始浓度仍为  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $H_2O$  的起始浓度为  $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,CO 的转化率为\_\_\_\_\_。
9. 在某温度下,将  $H_2$  和  $I_2$  各 0.10 mol 的气态混合物充入 10 L 的密闭容器中,发生反应  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ ,达到平衡后,测得  $c(H_2) = 0.008 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在上述温度下,该容器中若通入  $H_2$

和  $I_2$  各 0.20 mol 的气态混合物,则达到化学平衡状态时 HI 的物质的量浓度为\_\_\_\_\_,  $H_2$  的转化率为\_\_\_\_\_。

## 迁移·创新

10. 羰基硫(COS)可作为一种粮食熏蒸剂,能防止某些昆虫、线虫和真菌的危害。在恒容密闭容器中,将 CO 和  $H_2S$  混合加热并达到下列平衡:  $CO(g) + H_2S(g) \rightleftharpoons COS(g) + H_2(g)$ 。  
(1) 在某温度下,反应物的起始浓度分别为:  $c(CO) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(H_2S) = 2.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 达到平衡后,CO 的转化率为 60%,此时  $H_2S$  的转化率为\_\_\_\_\_。  
(2) 若反应温度不变,反应物的起始浓度分别为  $c(CO) = 4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(H_2S) = a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 达到平衡后,  $c(COS) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $a =$ \_\_\_\_\_。  
(3) 若反应温度不变,反应物的起始浓度为  $c(CO) = c(H_2S) = b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 达到平衡后,CO 的转化率为\_\_\_\_\_。

## 第 3 课时 反应条件对化学平衡的影响

## 走进新知

## 素养初探

## 预习导读

阅读教材,思考以下问题:

1. 影响化学平衡的因素有哪些? 分别是如何影响的?

2. 试用 Q 与 K 的相对大小分别解释增大反应物浓度或减小生成物浓度对化学平衡的影响。

## 自主检测

1. (不定项选择) 在一定条件下的溶液中,反应  $FeCl_3 + 3KSCN \rightleftharpoons Fe(SCN)_3 + 3KCl$  达到平衡后,在其他条件不变的情况下,改变下列条件,能使平衡正向移动的是 ( )  
A. 加入浓 KSCN  
B. 加入少量  $FeCl_3$  固体  
C. 加入少量 KCl 溶液  
D. 加入少量氢氧化钠固体
2. 在体积一定的密闭容器中,反应  $Fe(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons FeO(s) + CO(g)$  达到平衡。该反应的平衡常

数 K 与温度的关系见下表:

温度/ $^{\circ}C$	500	700	900
K	1.00	1.47	2.40

- (1) 该反应的化学平衡常数表达式是\_\_\_\_\_。  
(2) 该反应是\_\_\_\_\_ (填“吸热”或“放热”)反应。  
(3) 若升高温度,  $CO_2$  转化率的变化是\_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”)。

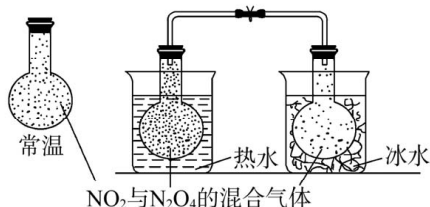
## 学习体验

## 素养形成

## 探究学习(一) 温度的影响

已知:  $2NO_2(\text{红棕色}) \rightleftharpoons N_2O_4(\text{无色}) \quad \Delta H = -57.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

【实验探究】将充有  $NO_2$  的平衡球的两端分别浸入盛有冷水和热水的烧杯中,持续一段时间直到颜色不再发生变化为止。请填写下表。





实验内容	实验现象	NO <sub>2</sub> 的浓度变化	实验结论(平衡移动方向)
①将充有 NO <sub>2</sub> 的烧瓶放入冷水中			
②将充有 NO <sub>2</sub> 的烧瓶放入热水中			

回答下列问题:

(1)通过  $2\text{NO}_2(\text{红棕色}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{无色})$   $\Delta H = -57.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 分析改变温度化学平衡常数如何改变。

(2)从  $Q$  与  $K$  的角度, 分析温度发生变化化学平衡为什么会发生移动, 移动的规律是什么。

### 归纳总结

#### 温度对平衡的影响

##### 1. 温度对化学平衡移动的影响规律

其他条件不变时, 温度升高, 平衡向吸热反应方向移动; 温度降低, 平衡向放热反应方向移动。

##### 2. 温度对化学平衡影响的解释

温度对化学平衡的影响是通过改变平衡常数  $K$  实现的。

反应类型	温度变化	$K$ 值变化	$Q$ 与 $K$ 关系	平衡移动方向
放热反应	升温	减小	$Q > K$	逆向移动
	降温	增大	$Q < K$	正向移动
吸热反应	升温	增大	$Q < K$	正向移动
	降温	减小	$Q > K$	逆向移动

### 思维建模

#### 1. 化学平衡移动

(1)概念: 化学平衡是在一定条件下建立起来的, 由于温度、浓度、压强的变化而使可逆反应由一个平衡状态变为另一个平衡状态的过程, 称为化学平衡移动。

(2)改变条件后, ① $Q \neq K$ , ②各组分的百分含量发生改变。

#### 2. 化学平衡移动方向的判断

##### (1) 根据化学平衡常数判断

改变条件  $\left\{ \begin{array}{l} \text{若 } Q > K, \text{ 则平衡向逆反方向移动} \\ \text{若 } Q = K, \text{ 则平衡不移动} \\ \text{若 } Q < K, \text{ 则平衡向正反应方向移动} \end{array} \right.$

##### (2) 根据反应速率判断

条件改变  $\left\{ \begin{array}{l} \text{若 } v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}, \text{ 平衡不移动} \\ \text{若 } v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}, \text{ 平衡向右或正向移动} \\ \text{若 } v_{\text{正}} < v_{\text{逆}}, \text{ 平衡向左或逆向移动} \end{array} \right.$

### 典例解析

【例 1】在某温度下, 反应  $\text{ClF}(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightleftharpoons$

$\text{ClF}_3(\text{g})$   $\Delta H = 268 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 在密闭容器中达到平衡, 下列说法正确的是( )

A. 升高温度, 平衡常数不变, 平衡向正反应方向移动

B. 升高温度, 平衡常数减小

C. 升高温度, 平衡向正反应方向移动,  $\text{F}_2$  的转化率增大

D. 降低温度,  $\text{ClF}_3$  的产率增大

解析: 因为  $\Delta H > 0$ , 升高温度, 平衡常数增大, 平衡向正反应方向移动, 降低温度平衡向逆反应方向移动。

答案: C

### 拓展训练

1. 在一定条件下, 发生反应  $\text{CO}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$ , 达到化学平衡后, 降低温度, 混合物的颜色变浅。下列有关该反应的说法正确的是( )

A. 正反应为吸热反应

B. 正反应为放热反应

C. 降温后  $\text{CO}$  的浓度增大

D. 降温后各物质的浓度不变

### 探究学习(二) 浓度的影响

【理论预测】以  $a\text{A}(\text{g}) + b\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons c\text{C}(\text{g}) + d\text{D}(\text{g})$  为例分析浓度对平衡的影响。

预测: 反应物或生成物浓度的改变	$K$ 和 $Q$ 大小关系	平衡移动方向
	$Q < K$	
	$Q > K$	

【实验探究】根据所给试剂:  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{FeCl}_3$  溶液、 $0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{KSCN}$  溶液、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{FeCl}_3$  溶液、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{KSCN}$  溶液和  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液, 小组合作完成实验。

结合反应  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$  (红色) 设计实验方案。

实验	实验方案设计	实验现象	实验结论
1			
2			
3			
...			

### 归纳总结

#### 浓度对平衡的影响

##### 1. 浓度对化学平衡移动的影响规律

在其他条件不变的情况下, 增大反应物的浓度或减小生成物的浓度, 都可以使化学平衡向正反应方向移动; 增大生成物的浓度或减小反应物的浓度, 都可以使化学平衡向逆反应方向移动。

##### 2. 浓度对化学平衡影响的解释

改变浓度可以改变  $Q$ , 使  $Q \neq K$ 。

浓度变化	Q 值变化	Q 与 K 关系	平衡移动方向
反应物浓度增大 生成物浓度减小	减小	$Q < K$	正向移动
反应物浓度减小 生成物浓度增大	增大	$Q > K$	逆向移动

### 典例解析

**【例 2】** (不定项选择) 利用反应:  $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -746.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 可净化汽车尾气。如果要提高该反应 NO 的转化率, 采取的措施是( )

- A. 降低温度      B. 充入 CO  
C. 升高温度      D. 充入 NO

**解析:** 降温, 平衡右移, NO 的转化率提高, A 正确; 充入 CO, 平衡右移, NO 的转化率提高, B 正确; 升温, 平衡左移, NO 的转化率降低, C 错误; 充入 NO, 平衡右移, 但 NO 的转化率降低, D 错误。

**答案:** AB

**易错点拨:** 充入 NO, 使平衡正向移动, 但 NO 的转化率却是降低的。应注意平衡移动方向和平衡移动结果(转化率)的不一致。

### 拓展训练

2. 向盛有 5 mL  $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$  溶液的试管中加入 5 mL  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KSCN}$  溶液, 充分混匀, 溶液颜色深浅不再变化后建立化学平衡  $\text{FeCl}_3 + 3\text{KSCN} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3 + 3\text{KCl}$ 。下列叙述不正确的是( )

- A. 加水至溶液的体积加倍, 溶液红色变浅, 但化学平衡不移动  
B. 再滴加少量  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KSCN}$  溶液, 溶液红色变深, 化学平衡右移  
C. 再滴加少量  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液, 会有红褐色沉淀产生, 上部溶液红色变浅, 化学平衡左移  
D. 再滴加少量  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$  溶液, 溶液红色变深, 化学平衡右移

### 探究学习 (三) 压强的影响

#### 【实验探究】

实验目的: 探究压强对化学平衡的影响

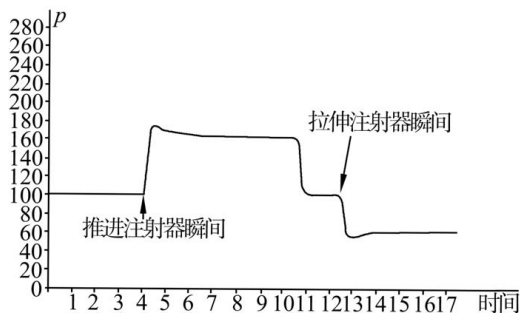
研究对象:  $2\text{NO}_2(\text{g})$  (红棕色)  $\rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  (无色)  $\Delta H < 0$

实验步骤	实验现象	平衡移动方向	结论与解释
在一支注射器中装有 $\text{NO}_2$ 和 $\text{N}_2\text{O}_4$ 的混合气体, 采用压强传感器采集该体系在下列操作下的压强数据: 1. 迅速将注射器活塞推进到 10 cm 处, 保持活塞位置不动, 观察曲线走向			

(续表)

实验步骤	实验现象	平衡移动方向	结论与解释
2. 恢复到大气压后, 迅速将注射器活塞拉伸到 25 cm 处, 保持活塞位置不动, 观察曲线走向, 并记录实验现象			

采集数据, 得到如下图像:



回答下列问题:

(1) 分析曲线, “将注射器活塞推进到 10 cm 处”后, 体系的总压强有什么变化? 你能得到什么结论? “将注射器活塞拉伸到 25 cm 处”后, 体系的总压强有什么变化? 你又能得到什么结论?

(2) 利用 Q 与 K 的关系解释增大压强后平衡的移动方向。

### 归纳总结

#### 压强对平衡的影响

1. 压强对化学平衡移动的影响规律

- (1)  $\Delta v_g = 0$  时, 改变压强, 化学平衡状态不变。  
(2)  $\Delta v_g \neq 0$  时, 增大压强, 化学平衡向方程式中气态物质化学式前系数减小的方向移动; 减小压强, 化学平衡向方程式中气态物质化学式前系数增大的方向移动。

(3) 压强改变只影响有气体参加或生成的可逆反应, 对于只涉及固体或液体的反应, 压强的影响不予考虑。

2. 压强对化学平衡影响的解释

方程式中气态物质系数变化	压强变化	Q 值变化	Q 与 K 关系	平衡移动方向
增大	增大	增大	$Q > K$	逆向移动
	减小	减小	$Q < K$	正向移动
减小	增大	减小	$Q < K$	正向移动
	减小	增大	$Q > K$	逆向移动
不变	增大	不变	$Q = K$	不移动
	减小	不变	$Q = K$	不移动



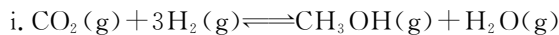


- D. 平衡时,如果压缩容器体积,则可提高  $N_2O_4$  的转化率
8. 现有反应  $mA(g) + nB(g) \rightleftharpoons pC(g)$ , 达到平衡后,当升高温度时,B的转化率变大;当减小压强时,混合体系中C的质量分数减小。则:
- (1) 该反应的逆反应为\_\_\_\_\_反应(填“吸热”或“放热”),且  $m+n$  \_\_\_\_\_  $p$  (填“>”“=”或“<”)。
  - (2) 减压使容器体积增大时,A的质量分数\_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”,下同)。
  - (3) 若加入 B(维持体积不变),则 A 的转化率\_\_\_\_\_。
  - (4) 若升高温度,则平衡时 B、C 的浓度之比将\_\_\_\_\_。
  - (5) 若加入催化剂,平衡时气体混合物的总物质的量\_\_\_\_\_。
  - (6) 若 B 是有色物质,A、C 均无色,则加入 C(体积不变)时混合物颜色\_\_\_\_\_ (填“变深”“变浅”或“不变”,下同);而维持容器内压强不变,充入氖气后,再次建立平衡时与原平衡相比,气体混合物颜色\_\_\_\_\_。
9. 在压强为 0.1 MPa、温度为  $300^\circ\text{C}$  条件下, $a$  mol CO 与  $3a$  mol  $H_2$  的混合气体在催化剂作用下发生反应生成甲醇: $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$   $\Delta H < 0$ 。
- (1) 平衡后将容器的容积压缩到原来的一半,其他条件不变,对平衡体系产生的影响是\_\_\_\_\_ (填字母)。
    - A.  $c(H_2)$  减小
    - B. 正反应速率加快,逆反应速率减慢
    - C. 反应物的转化率增大
    - D. 重新平衡  $\frac{c(H_2)}{c(CH_3OH)}$  减小
  - (2) 若容器容积不变,下列措施可增大甲醇产率的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

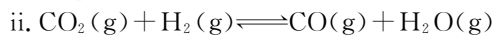
- A. 升高温度
- B. 将  $CH_3OH$  从体系中分离
- C. 充入 He,使体系总压强增大

### 迁移·创新

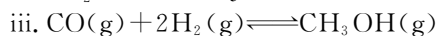
10.  $CO_2$  催化加氢制甲醇是极具前景的资源化研究领域,主要反应有:



$$\Delta H_1 = -49.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H_2 = +41.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H_3 = -90.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

完成下列问题:

- (1) 反应 i 的化学平衡常数表达式为  $K =$ \_\_\_\_\_。
- (2) 反应 ii 为\_\_\_\_\_ (填“吸热”或“放热”)反应。
- (3) 在一定体积的密闭容器中,进行反应 ii,其化学平衡常数  $K$  值和温度  $T$  的关系如下:

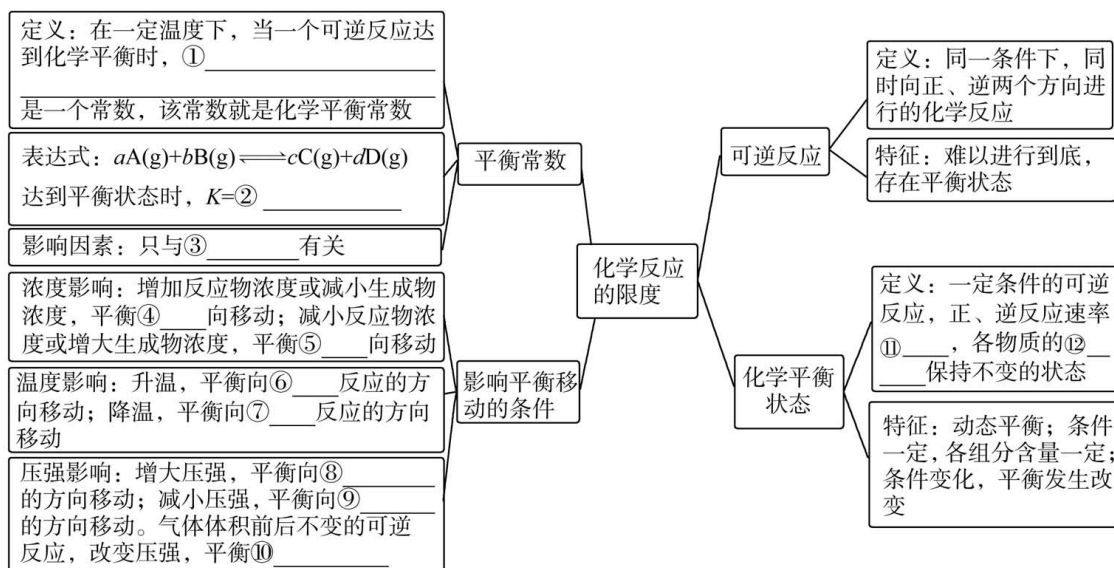
$T/^\circ\text{C}$	700	800	830	1 000	1 200
$K$	0.6	0.9	1.0	1.7	2.6

① 温度下,各物质的平衡浓度符合下式: $3c(CO_2) \cdot c(H_2) = 5c(CO) \cdot c(H_2O)$ ,试判断此时的温度为\_\_\_\_\_。

② 若  $830^\circ\text{C}$  时,向容器中充入 1 mol CO、5 mol  $H_2O$ ,反应达到平衡后,反应 ii 的化学平衡常数  $K$  值 \_\_\_\_\_ 1.0 (填“大于”“小于”或“等于”)。

- (4) 假设  $830^\circ\text{C}$  时发生反应 iii,且容器中的反应已达到平衡。在其他条件不变的情况下,扩大容器的体积,反应 iii \_\_\_\_\_ (填“向正反应方向”“向逆反应方向”或“不”)移动。

### 本书建构整合





## 教材习题答案

1. ABD 因为“反应中各组分浓度不随反应时间改变而改变”“ $Q=K$ ”“正逆反应速率相等”都可以作为反应是否达到平衡状态的依据
2. (1)  $K = \frac{c_{\text{平}}(\text{CH}_4)}{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}^3(\text{H}_2)}$  (2) 增大压强, 各物质浓度变为原来的 2 倍, 根据表达式可知, 压强增大后,  $Q < K$ , 平衡向正反应方向移动
3. (1) 变深 (2) 向左
4. (1) 放热 (2)  $<$  (3) 可以采取的措施有: 降低反应

- 温度、降低压强、及时将 C 或 D 从反应体系中移走、向反应体系中充入 B 等。
5.  $K=1.0$ , CO 的平衡转化率是 60%,  $\text{H}_2\text{O}$  的平衡转化率是 40%。
  6. (1) 初始状态不是化学平衡状态。  
(2) 反应向逆反应方向进行。
  7. A
  8. 因为温度控制在  $850^\circ\text{C}$  左右时, 温度高于钾的沸点, 低于钠的沸点, 有利于钾转化成蒸气从反应体系中分离出来, 使生成物浓度减小, 有利于平衡正向移动。

## 第3节 化学反应的速率

## 瞄准课标 靶向学习

课标内容要求	课标学业要求
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 知道化学反应速率的表示方法, 了解测定化学反应速率的简单方法。</li> <li>2. 通过实验探究, 了解温度、浓度、压强和催化剂对化学反应速率的影响。</li> <li>3. 知道化学反应是有历程的, 认识基元反应活化能对化学反应速率的影响。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 能进行化学反应速率的简单计算, 能通过实验探究分析不同组分浓度改变对化学反应速率的影响, 能用一定的理论模型说明外界条件改变对化学反应速率的影响。</li> <li>2. 能运用温度、浓度、压强和催化剂对化学反应速率的影响规律解释生产、生活、实验室中的实际问题, 能讨论化学反应条件的选择和优化。</li> </ol>

## 第 1 课时 化学反应速率

## 走进新知 素养初探

## 预习导读

阅读教材, 思考以下问题:

1. 化学反应的历程是怎样的?
2. 化学反应为什么会有快慢?
3. 怎样定量地表示化学反应的速率?
4. 化学反应速率的物理测定方法有哪些?

## 自主检测

1. 氨分解反应在容积为 2 L 的密闭容器内进行。已知起始时氨气的物质的量为 4 mol, 5 s 末为 2.4 mol, 则用氨气表示该反应的速率为( )  
A.  $0.32 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  B.  $0.16 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$   
C.  $1.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  D.  $0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
2. 下列有关化学反应速率的说法正确的是( )  
A. 对任何化学反应来说, 反应速率越大, 反应现象就越明显  
B. 化学反应速率通常用单位时间内任何一种反应物浓度的减少或任何一种生成物浓度的增加来表示  
C. 某化学反应的反应速率为  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 就是指在该时间内反应物和生成物的浓度变化都为  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
D. 化学反应速率是用来衡量化学反应进行快慢的物理量

## 学习体验

## 素养形成

## 探究学习(一) 化学反应的历程

阅读教材相关内容,回答下列问题:

1. 你对“化学反应是有历程的”这一说法有哪些认识?

2. 造成化学反应速率千差万别的原因是什么?

## 归纳总结

## 化学反应的历程

## 1. 基元反应

能够一步完成的反应叫基元反应。大多数化学反应都是由几个基元反应组成的。

## 2. 反应历程

(1) 含义:基元反应构成的反应序列。

(2) 特点:

① 反应不同,反应历程不同。

② 同一反应在不同条件下的反应历程也可能不同。

(3) 决定因素:反应历程由反应物的结构和反应条件决定。

(4) 作用:反应历程的差别造成了化学反应速率的不同。

## 典例解析

**【例1】**(不定项选择)采用  $\text{N}_2\text{O}_5$  为硝化剂是一种新型的绿色硝化技术,在含能材料、医药等工业中得到广泛应用。对于反应  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \longrightarrow 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ ,有科学家提出如下反应历程:

第一步:  $\text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{NO}_3$  快速平衡

第二步:  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 \longrightarrow \text{NO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$  慢反应

第三步:  $\text{NO} + \text{NO}_3 \longrightarrow 2\text{NO}_2$  快反应

其中可近似认为第二步反应不影响第一步的平衡。下列表述正确的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- A.  $v$ (第一步的逆反应)  $>$   $v$ (第二步反应)  
 B. 反应的中间产物只有  $\text{NO}_3$   
 C. 第二步中  $\text{NO}_2$  与  $\text{NO}_3$  的碰撞仅部分有效  
 D. 第三步反应活化能较高

审题要点:

第一步  $\text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{NO}_3$  快速平衡

第二步  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 \longrightarrow \text{NO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$  慢反应

第三步  $\text{NO} + \text{NO}_3 \longrightarrow 2\text{NO}_2$  快反应

由“        ”部分可知  $\text{NO}$  和  $\text{NO}_3$  均为中间产物。因活化能低时反应速率较快,由“        ”部分可知此三

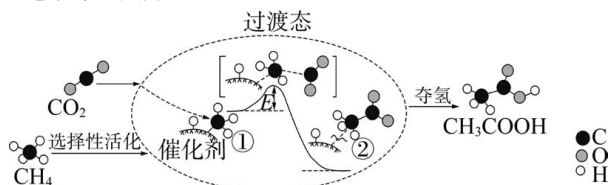
步反应中第一、三步快,反应活化能低;第二步慢,反应活化能高。

**解析:** 第一步反应快速平衡,说明正、逆反应速率很大,极短时间内即可达到平衡,A项正确;由题给三步反应可知,反应的中间产物有  $\text{NO}_3$  和  $\text{NO}$ ,B项错误;第二步反应慢,说明有效碰撞次数少,C项正确;反应快,说明反应的活化能较低,D项错误。

答案:AC

## 拓展训练

1. 我国科研人员提出了由  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  转化为高附加值产品  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的催化反应历程,该历程示意图如下所示。



下列说法不正确的是( )

- A. 生成  $\text{CH}_3\text{COOH}$  总反应的原子利用率为 100%  
 B.  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$  过程中,有 C—H 键发生断裂  
 C. ①  $\rightarrow$  ② 放出能量并形成了 C—C 键  
 D. 该催化剂可有效提高反应物的平衡转化率

## 探究学习(二) 化学反应速率的表示方法

**【实验探究】** 截取三根镁条,称重,再让它们分别与 20 mL 浓度不同的过量盐酸反应,记录镁条完全消失所用的时间  $t$ ,所得结果见下表。

$c(\text{HCl})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	2.0	1.5	1.0
$m(\text{Mg})/\text{g}$	0.03	0.03	0.03
$n(\text{Mg})/\text{mol}$	0.001 25	0.001 25	0.001 25
$t/\text{min}$	0.27	0.67	1.3
反应速率 $v$			

**【交流研讨】**

(1) 实验中的反应本质是  $\text{Mg} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$ ,其化学反应速率可用哪些方法表示?

(2) 若用单位时间内盐酸浓度的减小或氯化镁浓度的增大来表示该化学反应的速率,需要哪些数据?二者在数值上相等吗?为什么?

## 归纳总结

## 化学反应速率

1. 表示方法

(1) 对于反应体系体积不变的化学反应,常用单

位时间内反应物浓度(或质量、物质的量等)的减少或者生成物浓度(或质量、物质的量等)的增加来表示。

由于在反应中固体和纯液体的浓度是恒定不变的,因此对于有纯液体或固体参加的反应一般不用纯液体或固体来表示化学反应速率。

$$(2) \text{表达式: } v(A) = \frac{|\Delta c(A)|}{\Delta t}.$$

2. 常用单位

$$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \text{ 或 } \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

3. 化学反应速率的特点

(1) 在某一个化学反应中无论是用反应物还是用生成物表示化学反应速率,其值均为正值。

(2) 化学反应速率表示的均是某一段时间内的化学反应的平均速率,而不是某一时刻的瞬时速率。

(3) 一个确定的化学反应涉及反应物、生成物多种物质,因而定量表示一个化学反应的反应速率时,必须指明是用哪一种物质来表示的。

(4) 在同一反应中,用不同的物质表示的化学反应速率,数值可能相同,也可能不同,但表示的实际意义却完全相同,即一种物质的化学反应速率代表了整个化学反应的反应快慢。各物质表示的化学反应速率的数值之比等于该反应方程式中各物质的系数之比。

### 典例解析

**【例 2】** 反应  $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  在 10 L 密闭容器中进行,半分钟后,水蒸气的物质的量增加了 0.45 mol。

(1) 某同学计算此反应的平均速率  $v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.45}{30} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 0.015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 判断该同学的计算结果是否正确: \_\_\_\_\_。若不正确请改正: \_\_\_\_\_。

(2) 计算用  $\text{NH}_3$  表示的反应速率  $v(\text{NH}_3) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

$$\text{解析: (1)} \Delta c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.45 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0.045 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.045 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{30 \text{ s}} = 0.0015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$(2) v(\text{NH}_3) = \frac{2}{3} v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2}{3} \times 0.0015$$

$$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

答案: (1) 不正确

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.45 \text{ mol}}{10 \text{ L} \times 30 \text{ s}} = 0.0015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$(2) 0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

### 拓展训练

2. 将 4 mol A 气体和 2 mol B 气体在 2 L 的容器中混合并在一定条件下发生如下反应:  $2\text{A}(\text{g}) +$

$\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ 。若经 2 s 后测得 C 的浓度为  $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 现有下列几种说法:

① 用物质 A 表示的平均速率为  $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

② 用物质 B 表示的平均速率为  $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

③ 2 s 末时物质 B 的浓度为  $0.7 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

④ 2 s 末时物质 A 的转化率为 70%

其中正确的是( )

A. ①④ B. ①③ C. ②④ D. ③④

### 探究学习 (三) 化学反应速率的大小比较

反应  $\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}) + 2\text{D}(\text{g})$  在四种不同情况下的反应速率分别为: ①  $v(\text{A}) = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ; ②  $v(\text{B}) = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ; ③  $v(\text{C}) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ; ④  $v(\text{D}) = 0.45 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。该反应进行的快慢顺序为 \_\_\_\_\_。

### 归纳总结

为了统一起见,将化学反应速率定义为:对于任一反应  $m\text{A} + n\text{B} \rightleftharpoons p\text{C} + q\text{D}$

$$v = \frac{1}{m} \times \frac{\Delta c(\text{A})}{\Delta t} = \frac{1}{n} \times \frac{\Delta c(\text{B})}{\Delta t} = \frac{1}{p} \times \frac{\Delta c(\text{C})}{\Delta t} = \frac{1}{q} \times \frac{\Delta c(\text{D})}{\Delta t}$$

这样,无论用哪一种物质表示,化学反应速率都是相同的。

### 思维建模

#### 化学反应速率大小的比较方法

1. 定性比较

通过明显的实验现象(如反应的剧烈程度、产生气泡或沉淀的快慢等)来定性判断化学反应的快慢。

2. 定量比较

对同一化学反应,用不同物质表示化学反应速率时,数值可能不同。比较时应统一单位。

(1) 归一法:根据化学反应速率之比等于化学计量数之比,将用不同物质表示的化学反应速率换算为用同一种物质表示的化学反应速率,最后依据数值大小进行比较。

(2) 比值法:可通过化学反应速率与其对应的化学计量数的比值进行比较,比值大的化学反应速率大。

### 典例解析

**【例 3】** 对于反应  $\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ , 下列各数据表示不同条件下的反应速率,其中反应进行得最快的是( )

A.  $v(\text{A}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

B.  $v(\text{B}) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

C.  $v(\text{B}) = 0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

D.  $v(\text{C}) = 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

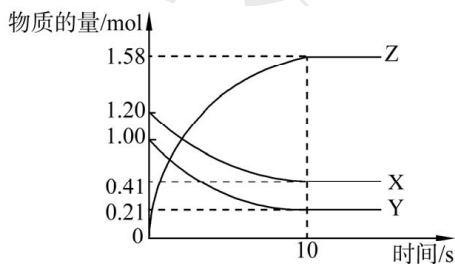
解析:对于同一反应在不同条件下的反应速率进行比较时,必须选定同一种速率单位和同一种物

质,这样比较才有意义。如选择 B 物质和单位  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,并依据“各物质的速率之比等于化学方程式中计量数之比”进行相应的换算,然后进行对比。A 项,  $v(\text{B}) = 3v(\text{A}) = 3 \times 60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1} \times 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 1.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ; B 项,  $v(\text{B}) = 60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1} \times 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ; D 项,  $v(\text{B}) = \frac{3}{2}v(\text{C}) = 1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,经过比较可知 A 项反应进行得最快。

答案:A

### 拓展训练

3. 一定温度下,某 2 L 的密闭容器中, X、Y、Z 三种气体的物质的量随时间变化的曲线如图所示,请回答下列问题:



- (1) 该反应的反应物是\_\_\_\_\_。
- (2) 0 ~ 10 s 时, 平均反应速率  $v(\text{Z}) =$ \_\_\_\_\_。
- (3) 0 ~ 10 s 时, 平均反应速率  $v(\text{X})$  \_\_\_\_\_  $v(\text{Y})$  (填“>”“<”或“=”)。
- (4) 该反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

- 一定条件下反应  $\text{A}(\text{s}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$  在 10 L 的密闭容器中进行,测得 2 min 内 A 的物质的量由 20 mol (560 g) 减小到 8 mol (224 g),则下列说法正确的是( )
  - 用反应物 A 表示该反应的反应速率为  $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
  - 用反应物 B 表示该反应的反应速率为  $2.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
  - $\frac{2}{3}v(\text{B}) = v(\text{C})$
  - 用反应物 C 表示该反应的反应速率为  $3.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- 某温度下,浓度都是  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的两种气体  $\text{X}_2$  和  $\text{Y}_2$ ,在密闭容器中反应生成气体 Z,经过  $t \text{ min}$  后,测得各物质的浓度分别为  $c(\text{X}_2) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{Y}_2) = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{Z}) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,则该反应的化学方程式可表示为( )
  - $2\text{X}_2 + 3\text{Y}_2 \rightleftharpoons 2\text{X}_2\text{Y}_3$
  - $3\text{X}_2 + 2\text{Y}_2 \rightleftharpoons 2\text{X}_3\text{Y}_2$
  - $\text{X}_2 + 2\text{Y}_2 \rightleftharpoons 2\text{XY}_2$
  - $2\text{X}_2 + \text{Y}_2 \rightleftharpoons 2\text{X}_2\text{Y}$
- 在  $2\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 3\text{C} + 5\text{D}$  反应中,表示该反应速率最快的是( )
  - $v(\text{A}) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $v(\text{B}) = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $v(\text{C}) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $v(\text{D}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- 对于化学反应  $3\text{W}(\text{g}) + 2\text{X}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{Y}(\text{g}) + 3\text{Z}(\text{g})$ ,下列反应速率关系正确的是( )
  - $v(\text{W}) = 3v(\text{Z})$
  - $2v(\text{X}) = 3v(\text{Z})$
  - $2v(\text{X}) = v(\text{Y})$
  - $3v(\text{W}) = 2v(\text{X})$
- 在 2 L 密闭容器内,某气体反应物在 2 s 内由 8 mol 变为 7.2 mol,则用该气体表示该反应的平均反应速率为( )
  - $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- 用  $\text{O}_2$  将 HCl 转化为  $\text{Cl}_2$ ,可提高效益,减少污染。一定条件下测得反应过程中  $n(\text{Cl}_2)$  的数据如下:
 

$t/\text{min}$	0	2.0	4.0	6.0	8.0
$n(\text{Cl}_2)/10^{-3} \text{ mol}$	0	1.8	3.7	5.4	7.2

 计算 2.0 ~ 6.0 min 内以 HCl 的物质的量变化表示的反应速率(以  $\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$  为单位,写出计算过程)。

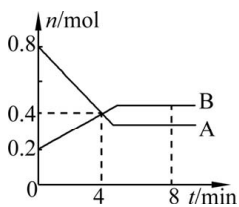
#### 应用·实践

- 在可逆反应  $2\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons x\text{C}(\text{g}) + \text{D}(\text{g})$  中,已知:反应开始加入的物质只有 A、B,起始浓度 A 为  $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , B 为  $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,前 2 min C 的平均反应速率为  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。且 2 min 时 D 的浓度为  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。关于此反应的下列说法正确的是( )
  - 2 min 末时 A 和 B 的浓度之比为 5 : 3
  - $x = 1$
  - 2 min 末时 B 的浓度为  $1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
  - 2 min 末时 A 的消耗浓度为  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- $25^\circ\text{C}$  时,向 100 mL 含 HCl 14.6 g 的盐酸中放入 5.6 g 纯铁粉(不考虑反应前后溶液体积的变化),反应开始至 2 min 末,共收集到 1.12 L (标准状况)氢气,然后又经过 4 min,铁粉完全溶解。
  - 前 2 min 内用  $\text{FeCl}_2$  表示的平均反应速率是\_\_\_\_\_。
  - 后 4 min 内用 HCl 表示的平均反应速率是\_\_\_\_\_。
  - 前 2 min 与后 4 min 相比,反应速率较快的是\_\_\_\_\_。
- 某温度时,在 2 L 密闭容器中,某一化学反应中



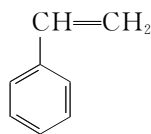
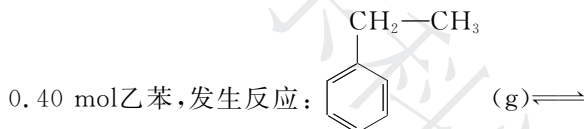
A、B 的物质的量随时间变化的曲线如图所示,由图中数据分析得:

- (1)在 4 min 末时,A、B 的物质的量浓度  $c(A)$  \_\_\_\_\_  $c(B)$ ;0~4 min 内 A、B 的物质的量浓度变化量  $\Delta c(A)$  \_\_\_\_\_  $\Delta c(B)$ 。(均填“>”“<”或“=”)
- (2)从反应开始至 4 min 时,A 的平均反应速率为 \_\_\_\_\_。
- (3)该反应的化学方程式为 \_\_\_\_\_。



### 迁移·创新

10. 乙苯是芳香族有机化合物,主要用途是在石油化学工业中作为生产苯乙烯的中间体,所制成的苯乙烯一般被用来制备常用的塑料制品——聚苯乙烯。900℃时,向 2.0 L 恒容密闭容器中充入



经一段时间后达到平衡,反应过程中测定的部分数据见下表。

时间/min	0	10	20	30	40
$n(\text{乙苯})/\text{mol}$	0.40	0.30	0.24	$n_2$	$n_3$
$n(\text{苯乙烯})/\text{mol}$	0.00	0.10	$n_1$	0.20	0.20

下列说法不正确的是( )

- A. 保持其他条件不变,向容器中充入不参与反应的水蒸气作为稀释剂,则平衡不移动
- B. 反应在前 20 min 内的平均速率为  $v(\text{H}_2) = 0.004 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- C. 保持其他条件不变,升高温度,平衡时  $c(\text{乙苯}) = 0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,则  $a < 0$
- D. 30 min 后反应达到平衡状态

## 第 2 课时 反应条件对化学反应速率的影响

### 走进新知

### 素养初探

#### 预习导读

阅读教材,思考以下问题:

- 哪些条件可以影响化学反应速率?是如何影响的?
- 基元反应活化能对化学反应速率是如何影响的?谈谈你的看法。

#### 自主检测

- 下列说法正确的是( )
  - 参加反应的物质的性质是影响化学反应速率的主要因素
  - 光是影响某些化学反应速率的外界条件之一
  - 决定化学反应速率的主要因素是浓度
  - 不管什么反应,增大浓度或加热或加压或使用催化剂,都可以加快反应速率

A. ①②    B. ②③    C. ③④    D. ①④
- 对于工业合成氨反应:  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\text{高温、高压}]{\text{催化剂}} 2\text{NH}_3(\text{g})$ , 下列说法错误的是( )

- 使用合适的催化剂可以增大反应速率
- 升高温度可以增大反应速率
- 增大  $\text{N}_2$  浓度可以增大反应速率
- 增大  $\text{N}_2$  浓度可以使  $\text{H}_2$  的转化率达到 100%

### 学习体验

### 素养形成

#### 探究学习(一) 浓度对化学反应速率的影响

在 298 K 时,实验测得溶液中的反应  $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{HI} = 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$  在不同浓度时的化学反应速率。

实验编号	1	2	3	4	5
$c(\text{HI})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	0.100	0.200	0.300	0.100	0.100
$c(\text{H}_2\text{O}_2)/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	0.100	0.100	0.100	0.200	0.300
$v/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	0.007 60	0.015 3	0.022 7	0.015 1	0.022 8

请找出化学反应速率与反应物  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{HI}$  的浓度之间的关系,并尝试写出相应的数学表达式。

#### 归纳总结

浓度对化学反应速率的影响:一般在其他条件相同的情况下,增大反应物的浓度,可以增大反应速率;减小反应物的浓度,可以减小反应速率。

**特别提醒** ①对于固体或纯液体,其浓度可视为常数,因而其物质的量改变时不影响化学反应速率。②固体物质的反应速率与接触面积有关,颗粒越细,表面积越大,反应速率就越快。块状固体可以通过研细来增大表面积,从而加快化学反应速率。③对于离子反应,只有实际参加反应的各离子浓度发生变化,才会引起化学反应速率的改变。

## 思维建模

### 一、反应速率方程

#### 1. 意义

反应速率方程可定量地表示化学反应速率与参与反应的反应物浓度的关系。

#### 2. 实例

对于反应  $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{HI} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$  其反应速率方程为  $v = kc(\text{H}_2\text{O}_2) \cdot c(\text{HI})$ , 其表示该反应的反应速率与反应物  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{HI}$  的浓度成正比。

#### 3. 反应速率常数( $k$ )

(1)意义:通常反应速率常数  $k$  越大,反应进行得越快。

(2)影响因素:与浓度无关,但受催化剂、温度、固体表面积等因素的影响。

4. 一个反应的化学反应速率与参与反应的物质的浓度的关系是由实验测定的,不能根据化学方程式直接写出。

### 二、浓度影响化学反应速率的微观解释

#### 1. 有效碰撞理论

##### (1)有效碰撞:

**有效碰撞**

- 概念:能够发生化学反应的碰撞
- 条件:
  - 具有足够的能量
  - 具有合适的取向
- 与反应速率的关系:碰撞的频率越高,则反应速率越快

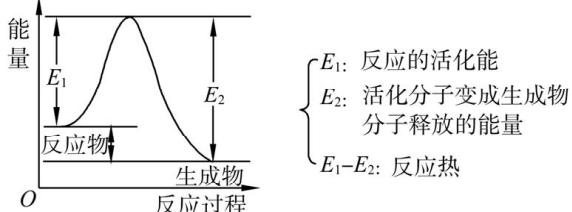
##### (2)活化能和活化分子:

①活化分子:能够发生有效碰撞的分子。

②活化能:常态分子转化成活化分子所需要的能量。

(3)化学反应速率与活化分子、有效碰撞的关系:活化分子的百分数越大,单位体积内活化分子数越多,单位时间内有效碰撞的次数越多,化学反应速率越快。

##### (4)反应物、生成物的能量与活化能的关系图:



### 2. 基元反应的过渡态理论

过渡态是指一种旧键没有完全断裂、新键没有完全形成的高能量的中间状态。而过渡态理论中的活化能指过渡态的能量与反应物的平均能量之差。

### 3. 浓度影响化学反应速率的微观解释

反应物浓度增大  $\rightarrow$  单位体积内活化分子数增多  $\rightarrow$  单位时间内有效碰撞多  $\rightarrow$  反应速率加快;反之,反应速率减慢。

## 典例解析

**【例1】**下列情况下,反应速率相同的是( )

A. 等体积的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  溶液和  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$  溶液分别与等质量的铜片反应

B. 等质量的锌粒和锌粉分别与等体积的  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  溶液反应

C. 等体积的  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$  溶液和  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  溶液分别与等质量、相同形状的石灰石反应

D. 等体积的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$  溶液和  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$  溶液分别与等质量的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粉末反应

**解析:**  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  溶液为稀硫酸,与铜片不反应,A错误;等质量的锌粒和锌粉与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的接触面积不等,反应速率不等,B错误; $\text{H}_2\text{SO}_4$  与石灰石反应生成微溶于水的硫酸钙,反应速率较慢,C错误;等体积的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$  溶液和  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$  溶液中  $c(\text{H}^+)$  相等,分别与等质量的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粉末反应,速率相等,D正确。

**答案:**D

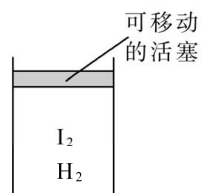
## 拓展训练

1. 把下列4种X溶液分别加入4个盛有10 mL  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸的烧杯中,并加水稀释到50 mL,此时X与盐酸缓缓地进行反应,其中反应速率最大的是( )

- A. 20 mL,  $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$     B. 20 mL,  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 C. 10 mL,  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$     D. 10 mL,  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

## 探究学习(二) 压强对化学反应速率的影响

在一密闭容器中充入  $1 \text{ mol H}_2$  和  $1 \text{ mol I}_2$ , 压强为  $p(\text{Pa})$ , 并在一定温度下使其发生反应:  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ 。速率公式为  $v = kc(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)$ 。该密闭容器有一个可移动的活塞(如图)。



**思考:**

1. 向下压缩活塞,使容器的压强增大,反应速率如何变化?

2. 保持容器的容积不变,向其中充入氦气(He),反应速率如何变化?

3. 保持容器内气体压强不变,向其中充入氦气(He),反应速率如何变化?

### 归纳总结

#### 压强对化学反应速率的影响

##### 1. 影响规律

对于气体反应,其他条件不变时,增大压强,浓度增大,化学反应速率增大,减小压强,浓度减小,化学反应速率减小。

2. 对于只有固体和液体参加的反应,压强的变化对于反应速率的影响可以忽略不计。

**特别提醒** 压强是否影响化学反应速率,取决于是否影响各气态物质的浓度。①恒容下充入稀有气体,气体压强增大,但各气态物质的浓度不变,故反应速率不变。②恒压下充入稀有气体,气体压强不变,但体积增大,各气态物质的浓度减小,反应速率减小。

### 思维建模

#### 压强影响化学反应速率的微观解释

增大压强→气体体积缩小→反应物浓度增大→单位体积内活化分子数增多→单位时间内有效碰撞多→反应速率加快;反之,反应速率减慢。

### 典例解析

**【例 2】**反应  $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$  在一可变容积的密闭容器中进行,下列条件的改变对其反应速率几乎无影响的是( )

- 增加 C 的量
- 将容器的体积缩小一半
- 保持体积不变,充入  $H_2O(g)$
- 保持压强不变,充入  $N_2$

**审题要点:**注意题目中画“        ”的内容。

**解析:**C 为固态反应物,增加其用量对反应速率几乎没有影响;容器体积缩小一半相当于压强增大一倍,浓度增大,反应速率增大;体积不变,充入  $H_2O(g)$ ,反应物的浓度增大,反应速率加快;保持压强不变,充入  $N_2$ ,使容器体积增大,总压强不变,反应混合物的浓度变小,反应速率减小。

**答案:**A

### 拓展训练

2. 对于反应:  $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ ,在密闭容器中进行,下列条件能加快反应速率的是( )

- 缩小体积使压强增大
- 体积增大使压强减小
- 体积不变充入 He 使气体压强增大
- 使总压强不变,充入 Ne

### 探究学习 温度对化学反应速率的影响

温度会影响反应速率常数,从而影响化学反应速率。因此,可以通过研究温度对反应速率常数的影响来了解温度对化学反应速率的影响。下表列出了一些反应在 308 K 和 298 K 时的反应速率常数之比。

化学反应	$\frac{k(308\text{ K})}{k(298\text{ K})}$
$NO + O_3 \rightleftharpoons NO_2 + O_2$	1.15
$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ (气体反应)	8.99
$NH_4CNO \rightleftharpoons CO(NH_2)_2$	3.58

**思考:**

1. 温度对化学反应速率有怎样的影响?

2. 升高相同温度,对不同化学反应的反应速率的影响程度一样吗?

### 归纳总结

#### 温度对化学反应速率的影响

##### 1. 影响规律

当其他条件不变时,升高温度, $k$  增大,化学反应速率增大,降低温度, $k$  减小,化学反应速率减小。由于反应的活化能不同,所以温度对不同反应的反应速率的影响不同。

##### 2. 经验规律

范托夫近似规律:对于在溶液中发生的反应,温度每升高 10 K,反应速率增加到原来的 2~4 倍。利用此经验规律可以对一些反应的化学反应速率做粗略估计。

**特别提醒** ①温度对反应速率的影响规律,对吸热反应、放热反应都适用,且不受反应物状态的限制。升温时,化学反应速率增大;降温时,化学反应速率减小。②一般而言,温度对化学反应速率的影响比浓度、压强等对化学反应速率的影响要大,也更容易控制。

### 思维建模

#### 温度影响化学反应速率的微观解释

升高温度→活化分子的百分数增大→单位时间内有效碰撞多→反应速率加快;反之,反应速率减慢。

### 典例解析

**【例 3】**已知硫代硫酸钠溶液与稀硫酸反应可析

出单质硫沉淀： $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{S} \downarrow + \text{SO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。某同学按下表进行实验，请你判断哪一组先出现浑浊。

编号	加 3% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液/mL	加 1:5 的 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液/滴	温度/ $^{\circ}\text{C}$
1	5	25	25
2	5	15	35
3	5	25	45

**解析：**反应物的浓度越大，反应温度越高，反应速率越快。由编号 1 和 3 可以看出，两种反应物的浓度相同，但编号 3 的温度高于 1，故编号 3 先出现浑浊。再将编号 3 和 2 比较，3 的浓度、温度均比 2 高，故最先出现浑浊的应为第 3 组。

**答案：**第 3 组实验先出现浑浊。

### 拓展训练

3. 已知  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2 \uparrow + \text{S} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ，下列各组实验中，反应速率最快的是( )

组号	反应温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液		$\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液		$\text{H}_2\text{O}$ 体积/mL
		体积/mL	浓度/ $(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	体积/mL	浓度/ $(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	
A	10	5	0.2	5	0.1	10
B	10	5	0.1	5	0.1	10
C	30	5	0.1	5	0.1	10
D	30	5	0.2	5	0.2	10

### 探究学习 ④ 催化剂对化学反应速率的影响

分析教材表 2-3-6，思考以下问题：

1. 催化剂对反应速率有怎样的影响？
2. 与其他因素相比催化剂的影响程度如何？为什么？

### 归纳总结

#### 催化剂对化学反应速率的影响

##### 1. 催化剂的概念

催化剂是能改变化学反应速率而在反应前后本身的质量和化学性质不变的物质。

##### 2. 催化剂的催化原理

催化剂通过参与化学反应改变反应历程、降低反应的活化能，进而使  $k$  增大，提高化学反应速率。

**特别提醒** ①使用催化剂可以同时降低正、逆反应的活化能，正、逆反应速率改变倍数相同。②加入催化剂“四不变”：不改变平衡常数、平衡转化率、反应焓变及本身化学性质。③催化剂可以较大幅度地降低反应的活化能，从而非常有效地提高反应速率，较之提高温度的方法更有效率，对设备的要求较低。④催化剂具有选择性，某种催化剂对某一反应可能是活性很强的催化剂，但对其他反应就不一定具有催化作用。

### 思维建模

#### 催化剂影响化学反应速率的微观解释

使用催化剂 → 改变了反应的路径，反应的活化能降低 → 活化分子的百分数增大 → 单位时间内有效碰撞多 → 反应速率加快。

### 典例解析

**【例 4】**向四个容积相同的密闭容器中分别充入一定量的  $\text{SO}_2$  和  $\text{O}_2$ ，反应开始时，按正反应速率由大到小排列正确的是( )

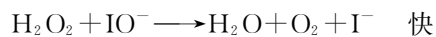
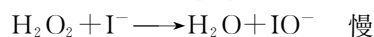
- 甲：在  $500^{\circ}\text{C}$  时，10 mol  $\text{SO}_2$  和 5 mol  $\text{O}_2$  的反应  
乙：在  $500^{\circ}\text{C}$  时，用  $\text{V}_2\text{O}_5$  做催化剂，10 mol  $\text{SO}_2$  和 5 mol  $\text{O}_2$  的反应  
丙：在  $450^{\circ}\text{C}$  时，8 mol  $\text{SO}_2$  和 5 mol  $\text{O}_2$  的反应  
丁：在  $500^{\circ}\text{C}$  时，8 mol  $\text{SO}_2$  和 5 mol  $\text{O}_2$  的反应
- A. 甲 > 乙 > 丙 > 丁  
B. 乙 > 甲 > 丙 > 丁  
C. 乙 > 甲 > 丁 > 丙  
D. 丁 > 丙 > 乙 > 甲

**解析：**比较同一个化学反应在不同条件下的反应速率大小时，催化剂、温度对反应的影响程度较大，温度相同时，反应物的浓度越大，反应速率就越大。

**答案：**C

### 拓展训练

4. 已知分解 1 mol  $\text{H}_2\text{O}_2$  放出热量 98 kJ，在含少量  $\text{I}^-$  的溶液中， $\text{H}_2\text{O}_2$  分解的机理为：



下列有关该反应的说法正确的是( )

- A. 反应速率与  $\text{I}^-$  的浓度有关  
B.  $\text{IO}^-$  也是该反应的催化剂  
C. 反应活化能等于  $98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
D.  $v(\text{H}_2\text{O}_2) = v(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{O}_2)$

### 探究学习 ⑤ 控制变量法分析化学反应速率的影响因素

1. 某同学设计如下实验方案探究影响锌与稀硫酸



酸反应速率的因素,有关数据见下表。

实验序号	纯锌粉/g	$2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液/mL	温度/ $^{\circ}\text{C}$	硫酸铜 固体/g	加入蒸 馏水/mL
①	2.0	50.0	25	0	0
②	2.0	40.0	25	0	10.0
③	2.0	50.0	25	0.2	0
④	2.0	50.0	25	4.0	0

(1)本实验待测数据可以是\_\_\_\_\_；  
实验①和实验②可以探究\_\_\_\_\_对锌与稀硫酸反应速率的影响。

(2)实验③和实验④的目的是\_\_\_\_\_，  
写出有关反应的离子方程式：\_\_\_\_\_。

2. 为探究反应物浓度对化学反应速率的影响,设计的实验方案见下表。

实验序号	体积 V/mL				
	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液	水	KI 溶液	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液	淀粉溶液
①	10.0	0.0	4.0	4.0	2.0
②	9.0	1.0	4.0	4.0	2.0
③	8.0	$V_x$	4.0	4.0	2.0

表中  $V_x =$  \_\_\_\_\_ mL,理由是\_\_\_\_\_。

### 思维建模

#### 控制变量法分析化学反应速率的影响因素

1. 先分析确定变量,即要理清影响其实验探究结果(化学反应速率)的因素有哪些。

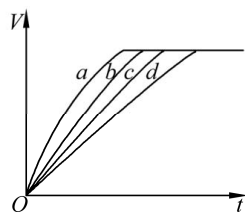
2. 采取“定多变一”法,即控制其他因素不变,只改变一种因素,看这种因素与探究的问题存在怎样的关系,这样确定一种以后,再确定另一种。

3. 通过分析每种因素与所探究问题之间的关系,得出所有因素与探究问题之间的关系。

### 典例解析

**【例5】**等质量的铁与过量的盐酸在不同的实验条件下进行反应,测得在不同时间( $t$ )内产生气体体积( $V$ )的数据如图所示,根据图示分析实验条件,下列说法一定不正确的是( )

组别	对应曲线	$c(\text{HCl})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	反应温度/ $^{\circ}\text{C}$	铁的状态
1	a		30	粉末状
2	b		30	粉末状
3	c	2.5		块状
4	d	2.5	30	块状



- A. 第4组实验的反应速率最慢  
B. 第1组实验中盐酸的浓度大于  $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
C. 第2组实验中盐酸的浓度等于  $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
D. 第3组实验的反应温度低于  $30^{\circ}\text{C}$

**解析:**由图像可知,1、2、3、4组实验产生的氢气一样多,只是反应速率有快慢之分。第4组实验,反应所用时间最长,故反应速率最慢,A正确;第1组实验,反应所用时间最短,故反应速率最快,根据控制变量法原则知盐酸浓度应大于  $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,B正确;第2组实验,铁是粉末状,与3、4组块状铁相区别,根据控制变量法原则知盐酸的浓度应等于  $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,C正确;由3、4组实验并结合图像知第3组实验中反应温度应高于  $30^{\circ}\text{C}$ ,D错误。

**答案:**D

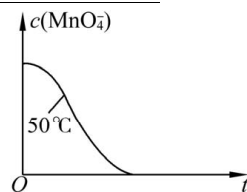
### 拓展训练

5. 某小组利用  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液和酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液反应来探究“外界条件对化学反应速率的影响”。实验时,先分别量取两种溶液,然后倒入试管中迅速振荡混合均匀,开始计时,通过测定褪色所需时间来判断反应的快慢。该小组设计了如下方案。

编号	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液		酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液		温度/ $^{\circ}\text{C}$
	浓度/ $(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	体积/mL	浓度/ $(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	体积/mL	
①	0.10	2.0	0.010	4.0	25
②	0.20	2.0	0.010	4.0	25
③	0.20	2.0	0.010	4.0	50

(1)探究温度对化学反应速率影响的实验编号是\_\_\_\_\_ (填编号,下同),可探究反应物浓度对化学反应速率影响的实验编号是\_\_\_\_\_。

(2)  $50^{\circ}\text{C}$  时  $c(\text{MnO}_4^-)$  一反应时间  $t$  的变化曲线如图所示。若保持其他条件不变,请在坐标图中,画出  $25^{\circ}\text{C}$  时  $c(\text{MnO}_4^-) - t$  的变化曲线示意图。



### 分层训练 素养提升

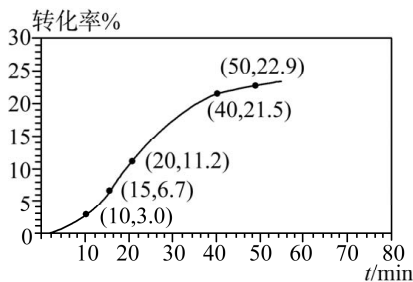
#### 学习·理解

1. 下列有关化学反应速率的说法正确的是( )  
A. 用铁片和稀硫酸反应制取氢气时,改用 98% 的

- 浓硫酸可加快产生氢气的速率
- B. 100 mL  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸跟锌片反应, 加入适量的氯化钠溶液, 反应速率不变
- C.  $\text{SO}_2$  的催化氧化是一个放热的反应, 所以升高温度, 反应速率减慢
- D. 汽车尾气中的  $\text{NO}$  和  $\text{CO}$  可以缓慢反应生成  $\text{N}_2$  和  $\text{CO}_2$ , 减小压强反应速率减慢
2. 在生产、生活中为增大反应速率而采取的措施合理的是( )
- A. 食物放在冰箱中
- B. 在食品中添加适量防腐剂
- C. 在糕点包装内放置小包除氧剂
- D. 工业上燃烧硫铁矿制取  $\text{SO}_2$  时, 先将矿石粉碎
3. 对于反应  $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g})$ , 下列条件不能改变化学反应速率的是( )
- A. 升高温度      B. 加入催化剂
- C. 扩大容器体积      D. 再加入一定量的 Y
4. 等质量的铁与过量盐酸在不同的实验条件下进行反应(实验数据见下),  $c$  为盐酸的浓度 ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 测定反应相同时间后产生氢气的体积  $V$ , 则  $V$  值最大的是( )

选项	$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	铁的状态
A	2.0	25	块状
B	2.5	30	粉末状
C	2.5	50	块状
D	2.5	50	粉末状

5. 一定条件下, 通过下列反应可实现燃煤烟气中硫的回收:  $\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{l})$   $\Delta H < 0$ 。若反应在恒容的密闭容器中进行, 下列有关说法正确的是( )
- A. 平衡前, 随着反应的进行, 容器内压强始终不变
- B. 平衡时, 其他条件不变, 分离出硫, 正反应速率加快
- C. 平衡时, 其他条件不变, 升高温度可提高  $\text{SO}_2$  的转化率
- D. 其他条件不变, 使用不同的催化剂, 该反应的平衡常数不变
6. 某恒容密闭容器中进行的反应:  $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$   $\Delta H = a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。某科研小组通过实验测出  $\text{SO}_2$  的转化率 ( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}$  起始量一定) 随条件 P 的变化情况如图所示, 下列说法正确的是( )



- A. 10~15 min 内反应速率小于 15~20 min 的反应速率, P 为升高温度
- B. 10~20 min 内反应速率小于 20~40 min 的反应速率, P 为减小  $\text{SO}_3$  的浓度
- C. 10~15 min 内反应速率大于 40~50 min 的反应速率, P 为减小压强
- D. 该反应中, 随着反应物浓度的减小, 反应速率一直减小

### 应用·实践

7. 已知反应:  $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ , 生成  $\text{N}_2$  的初始速率与  $\text{NO}$ 、 $\text{H}_2$  的初始浓度的关系为  $v = kc^x(\text{NO}) \cdot c^y(\text{H}_2)$ ,  $k$  是速率常数。在  $800^{\circ}\text{C}$  时测得的相关数据见下表。

实验编号	初始浓度		生成 $\text{N}_2$ 的初始速率/ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )
	$c(\text{NO})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$c(\text{H}_2)/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	
1	$2.00 \times 10^{-3}$	$6.00 \times 10^{-3}$	$1.92 \times 10^{-3}$
2	$1.00 \times 10^{-3}$	$6.00 \times 10^{-3}$	$4.80 \times 10^{-4}$
3	$2.00 \times 10^{-3}$	$3.00 \times 10^{-3}$	$9.60 \times 10^{-4}$

下列说法不正确的是( )

- A. 关系式中  $x=1, y=2$
- B.  $800^{\circ}\text{C}$  时,  $k$  的值为  $8 \times 10^4$
- C. 若  $800^{\circ}\text{C}$  时, 初始浓度  $c(\text{NO}) = c(\text{H}_2) = 4.00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则生成  $\text{N}_2$  的初始速率为  $5.12 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- D. 当其他条件不变时, 升高温度, 速率常数将增大
8. 室温下, 向圆底烧瓶中加入 1 mol  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  和含 1 mol  $\text{HBr}$  的氢溴酸, 溶液中发生反应:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{HBr} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{Br} + \text{H}_2\text{O}$ , 充分反应后达到平衡。已知常压下,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$  和  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  的沸点分别为  $38.4^{\circ}\text{C}$  和  $78.5^{\circ}\text{C}$ 。下列有关叙述错误的是( )
- A. 加入  $\text{NaOH}$ , 可增大乙醇的物质的量
- B. 增大  $\text{HBr}$  浓度, 有利于提高  $\text{HBr}$  的转化率
- C. 若反应物均增大至 2 mol, 则两种反应物的平衡转化率之比不变
- D. 若起始温度提高至  $60^{\circ}\text{C}$ , 可缩短反应达到平衡的时间
9. 臭氧( $\text{O}_3$ )在水中易分解, 一定条件下,  $\text{O}_3$  的浓度减少一半所需的时间( $t$ )见下表。(已知:  $\text{O}_3$  的起始浓度为  $0.0216 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$t/\text{min}$	pH			
	3.0	4.0	5.0	6.0
$T/^{\circ}\text{C}$				
20	301	231	169	58
30	158	108	48	15
50	31	26	15	7

- (1) pH 增大能加速  $\text{O}_3$  分解, 表明对  $\text{O}_3$  分解起催

化作用的是\_\_\_\_\_。

- (2) 在  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}=4.0$  条件下,  $\text{O}_3$  的分解速率为 \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。
- (3) 据表中的递变规律, 推测  $\text{O}_3$  在下列条件下分解速率依次增大的顺序为 \_\_\_\_\_ (填字母)。
- $40^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}=3.0$
  - $10^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}=4.0$
  - $30^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}=7.0$

### 迁移·创新

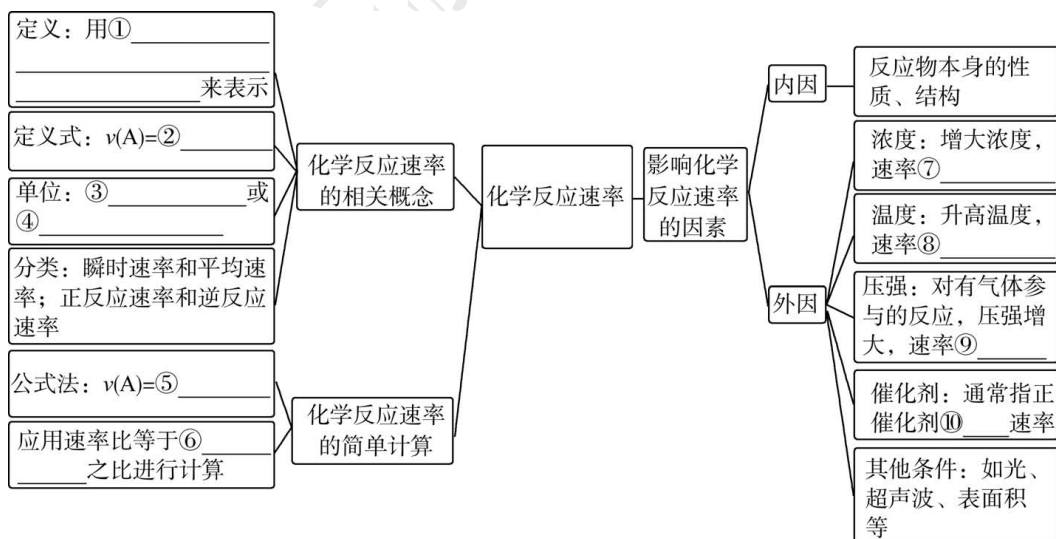
10. 通过实验探究反应速率的影响因素, 可指导我们选择适宜的反应条件。某实验小组为探究 KI 溶液在酸性条件下与氧气的反应, 进行了以下实验, 实验记录如下:

实验编号	①	②	③	④	⑤
温度/ $^{\circ}\text{C}$	30	40	50	60	70
显色时间/s	160	80	40	20	10

回答下列问题:

- (1) 该反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。
- (2) 该实验的目的是 \_\_\_\_\_。
- (3) 实验试剂除了  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KI 溶液、 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液外, 还需要加入的显色试剂是 \_\_\_\_\_, 实验现象为 \_\_\_\_\_。
- (4) 上述实验操作中除了需要(3)的条件外, 还必须控制不变的是 \_\_\_\_\_ (填字母)。
- A. 温度 B. 试剂的浓度 C. 试剂的用量(体积)
- (5) 若要进行酸性对反应速率的影响的探究实验, 你会采取的措施是 \_\_\_\_\_。

### 本书建构整合



### 教材习题答案

1. (1) A 的减小速率为  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 或 B 的减小速率为  $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 或 C 的增大速率为  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。
- (2) ① 温度升高, 提高了反应物分子的能量, 增大反应物间的碰撞频率, 增大反应物分子形成过渡态的比例, 因此升高温度, 反应速率提高。
- ② 催化剂参与反应, 改变了反应历程, 降低了反应的活化能, 反应速率提高。
2. (1) 低温将使反应速率降低, 延长药品的保质期。
- (2) 向篝火鼓风机会增加氧气的浓度, 加快化学反应速率。
- (3) 二氧化锰做催化剂。

3. 都会加快化学反应速率。理由: 依据影响化学反应速率的因素, 升高温度、加入催化剂、充入更多的氢气都会提高化学反应速率。

4. (1) 在  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度一定时, HI 浓度每增加一倍, 速率就增加一倍; 在 HI 浓度一定时,  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度每增加一倍, 速率也增加一倍; 或用反应速率方程表示:  $v = kc(\text{H}_2\text{O}_2) \cdot c(\text{HI})$ 。

(2)  $0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

(3) ① 未观察到棕黄色, 说明没有碘单质生成, 过氧化氢没有与碘化钾发生氧化还原反应; 有无色气体产生, 说明发生了过氧化氢分解反应, 而没有加入碘化钾前, 没有观察到无色气体产生。

② 取两支试管, 加入 5%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液, 向其中一支试管中加入少量 KI 固体, 若观察到加入 KI 的试

管中无色气体产生,则证明 KI 能提高过氧化氢分解反应的速率。

5. 对比温度和催化剂对化学反应速率的影响程度。

## 第4节 化学反应条件的优化——工业合成氨

### → 瞄准课标 靶向学习 →

课标内容要求	课标学业要求
1. 认识化学反应速率和化学平衡的综合调控在生产、生活和科学研究中的重要作用。 2. 知道催化剂可以改变反应历程,对调控化学反应速率具有重要意义。	1. 能运用浓度、压强、温度对化学平衡的影响规律,推测平衡移动方向及浓度、转化率等相关物理量的变化,能讨论化学反应条件的选择和优化。 2. 能运用温度、浓度、压强和催化剂对化学反应速率的影响规律解释生产、生活、实验室中的实际问题,能讨论化学反应条件的选择和优化。 3. 针对典型案例,能从限度、速率等角度对化学反应和化工生产条件进行综合分析。

### 走进新知

### 素养初探

#### 预习导读

1. 合成氨工厂为什么需要庞大而复杂的生产设备和特殊的生产条件?

2. 假如你是合成氨工厂的厂长,根据所学知识,讨论从哪些方面可提高合成氨的产率?

#### 自主检测

下列有关合成氨工业的叙述,可用平衡移动原理解释的是( )

- A. 使用铁触媒,使  $N_2$  和  $H_2$  混合气体有利于合成氨  
 B. 高压比常压条件更有利于合成氨的反应  
 C.  $500^\circ\text{C}$  左右比室温更有利于合成氨的反应  
 D. 合成氨时采用循环操作,可提高原料的利用率

### 学习体验

### 素养形成

#### 探究学习(一) 合成氨反应的限度

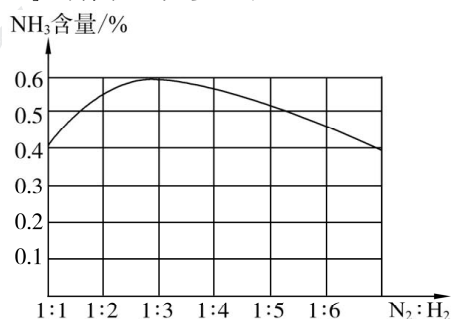
工业合成氨的反应为  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 。

1. 已知在  $298\text{ K}$  时:  $\Delta H = -92.2\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\Delta S = -198.2\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。根据反应的焓变和熵变分析在  $298\text{ K}$  时合成氨反应能否正向自发

进行。

2. 利用化学平衡移动的知识分析什么条件有利于氨的合成。

3. 从图像中分析要使平衡混合物中氨的含量最高,  $N_2$ 、 $H_2$  的体积比是多少?



#### 归纳总结

##### 有利于氨生成的措施

1. 降低温度、增大压强有利于化学平衡向生成氨的方向移动。  
 2. 在一定的温度和压强下,反应物中  $N_2$  和  $H_2$  的体积比为 1:3 时平衡混合物中氨的含量最高。

#### 典例解析

【例1】可逆反应  $3H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$   $\Delta H < 0$ , 达到平衡后,为了使  $H_2$  的转化率增大,下列选项中采用的三种方法都正确的是( )

- A. 升高温度,减小压强,增加氮气  
 B. 降低温度,增大压强,加入催化剂  
 C. 升高温度,增大压强,增加氮气



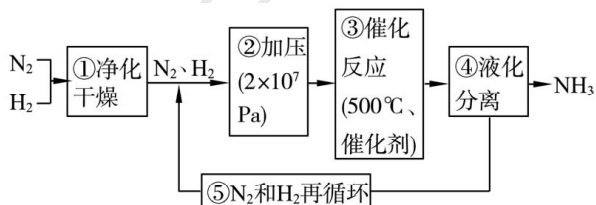
D. 降低温度,增大压强,分离出部分氨

**解析:**要使氢气的转化率增大,需使平衡向正反应方向移动,根据合成氨反应的特点,由于正反应为放热反应,需降低温度;正反应为气体总体积减小的反应,需增大压强;另外还可通过及时分离出部分氨气,减小生成物浓度的方法,促使平衡右移,故D项正确。

**答案:**D

### 拓展训练

1. 化学家哈伯发明了以低成本制造大量氨的方法,从而大大满足了当时日益增长的人口对粮食的需求。下列所示是哈伯法的流程图,其中为提高原料转化率而采取的措施是( )



A. ①②③ B. ②④⑤ C. ①③⑤ D. ②③④

### 探究学习(二) 合成氨反应的速率

1. 你认为可以通过控制哪些反应条件来提高合成氨反应的速率?

2. 研究表明,在特定条件下,合成氨反应的速率与物质浓度的关系为  $v = k c(\text{N}_2) \cdot c^{1.5}(\text{H}_2) \cdot c^{-1}(\text{NH}_3)$ 。请你根据关系式分析:各物质的浓度对反应速率有哪些影响?可以采取哪些措施来提高反应速率?

3. 请你根据下表所给的数据分析催化剂对合成氨反应速率的影响。

催化剂对合成氨反应速率的影响条件	$\Delta E/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$k(\text{催})/k(\text{无})$
无催化剂	335	$3.4 \times 10^{12}$ (700 K)
使用 Fe 催化剂	167	

### 归纳总结

#### 速率、平衡综合影响

外界条件	使 $\text{NH}_3$ 生产得快	使 $\text{NH}_3$ 生产得多
	速率分析	平衡分析
压强	增大	增大
温度	升温	降温
催化剂	加入催化剂	不影响
反应物的浓度	增大	增大
生成物氨的浓度	减小	减小

### 典例解析

**【例2】**利用反应:  $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \quad \Delta H = 746.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,可净化汽车尾气。如果要同时提高该反应的速率和NO的转化率,采取的措施是( )

- A. 降低温度  
B. 增大压强同时加催化剂  
C. 升高温度同时充入  $\text{N}_2$   
D. 及时将  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2$  从反应体系中移走

**解析:**降低温度,反应速率减慢,且平衡左移,NO的转化率降低;由平衡移动原理知,增大压强平衡右移,NO的转化率增大,反应速率加快,加催化剂反应速率也加快;升高温度平衡右移,但是同时充入  $\text{N}_2$  平衡左移,无法确定最终平衡向哪个方向移动;及时将  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2$  从反应体系中移走,平衡右移,NO的转化率增大,但是反应的速率减小。

**答案:**B

### 拓展训练

2. 对于合成氨的反应来说,使用催化剂和施以高压,下列叙述正确的是( )

- A. 都能提高反应速率,都对化学平衡状态无影响  
B. 都对化学平衡状态有影响,都不影响达到平衡状态所用的时间  
C. 都能缩短达到平衡状态所用的时间,只有压强对化学平衡状态有影响  
D. 催化剂能缩短反应达到平衡状态所用的时间,而压强无此作用

### 探究学习(三) 合成氨生产的适宜条件

研讨的内容	研讨的问题	研讨的结果
1. 既然增大压强既可提高反应速率,又可提高氨的产量,那么在合成氨工业中压强是否越大越好?	压强怎么定?	
2. 既然降低温度有利于平衡向生成氨的方向移动,那么生产中是否温度越低越好?	温度怎么选择?	
3. 催化剂对化学平衡的移动没有影响,在合成氨工业中要不要使用催化剂?为什么?	要不要使用催化剂?	

### 归纳总结

#### 工业合成氨的适宜条件

温度:700 K(速率较快,转化率适中,催化剂活性最大)

压强:  $2 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$  Pa (200~500 atm) (具体压强的选择取决于反应器钢材质量及综合指标)

催化剂: 铁触媒(以铁为主体的多成分催化剂)

浓度: 将生成的氨及时从混合气中分离出来, 且向循环气中不断补充  $N_2$ 、 $H_2$  (1: 2.8)。

其他: 及时将气态氨冷却液化分离出去; 及时将氮气和氢气循环利用, 使其保持一定的浓度。

### 思维建模

#### 对化学反应和化工生产条件进行综合分析

既要考虑化学反应速率和化学平衡, 还要考虑催化剂活性、副反应、动力、材料、设备、原料的价格、未转化的反应物的循环使用、反应热的综合利用等问题。

(1) 一般要使用催化剂: 这样可以大大加快化学反应速率, 提高生产效率, 也提高了经济效益。

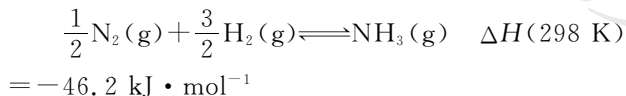
(2) 选择合适的温度: 该温度是催化剂活性最大的温度。

(3) 选择合适的压强: 既要考虑化学反应速率和化学平衡, 还要考虑动力、材料、设备等。

### 典例解析

**【例 3】** 合成氨工艺是人工固氮最重要的途径。

$N_2$  和  $H_2$  生成  $NH_3$  的反应:



在 Fe 催化剂作用下的反应历程为 (\* 表示吸附态):

化学吸附:  $N_2(g) \rightarrow 2N^*$ ;  $H_2(g) \rightleftharpoons 2H^*$

表面反应:  $N^* + H^* \rightleftharpoons NH^*$ ;  $NH^* + H^* \rightleftharpoons NH_2^*$ ;  $NH_2^* + H^* \rightleftharpoons NH_3^*$

脱附:  $NH_3^* \rightleftharpoons NH_3(g)$

其中,  $N_2$  的吸附分解反应活化能高、速率慢, 决定了合成氨的整体反应速率。

请回答:

(1) 有利于提高合成氨平衡产率的条件有\_\_\_\_\_。

- A. 低温    B. 高温    C. 低压  
D. 高压    E. 催化剂

(2) 实际生产中, 常用工艺条件: Fe 做催化剂, 控制温度 773 K、压强  $3.0 \times 10^7$  Pa, 原料气中  $N_2$  和  $H_2$  物质的量之比为 1: 2.8。

① 分析说明原料气中  $N_2$  过量的理由: \_\_\_\_\_。

② 下列关于合成氨工艺的理解正确的是\_\_\_\_\_。

A. 合成氨反应在不同温度下的  $\Delta H$  和  $\Delta S$  都小于零

B. 控制温度 (773 K) 远高于室温, 是为了保证尽可能高的平衡转化率和快的反应速率

C. 当温度、压强一定时, 在原料气 ( $N_2$  和  $H_2$  的比例不变) 中添加少量惰性气体, 有利于提高平衡转化率

D. 基于  $NH_3$  有较强的分子间作用力可将其液化, 不断将液氨移去, 有利于反应正向进行

E. 分离空气可得  $N_2$ , 通过天然气和水蒸气转化可得  $H_2$ , 原料气须经过净化处理, 以防止催化剂中毒和事故发生

**解析:** (1) 合成氨反应是气体分子数减小的放热反应, 所以低温、高压有利于提高合成氨的平衡产率, A、D 正确。

(2) 原料气中  $N_2$  相对易得, 适度过量有利于提高  $H_2$  的转化率;  $N_2$  在 Fe 催化剂上的吸附是决速步骤, 适度过量有利于提高整体反应速率。

**答案:** (1) AD

(2) ① 原料气中  $N_2$  相对易得, 适度过量有利于提高  $H_2$  的转化率;  $N_2$  在 Fe 催化剂上的吸附是决速步骤, 适度过量有利于提高整体反应速率 ② ADE

**易错点拨:** 催化剂只改变反应速率, 而不使平衡移动, 无法改变产率。实际工业生产中的投料比不仅取决于反应方程式中反应物的计量数, 还取决于其在催化剂表面的吸附能力。

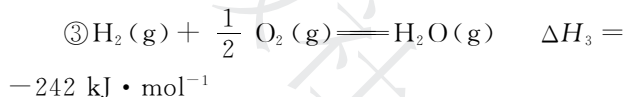
### 拓展训练

3. 丁烯是一种重要的化工原料, 可由丁烷催化脱氢制备。回答下列问题:

(1) 正丁烷 ( $C_4H_{10}$ ) 脱氢制 1-丁烯 ( $C_4H_8$ ) 的热化学方程式如下:



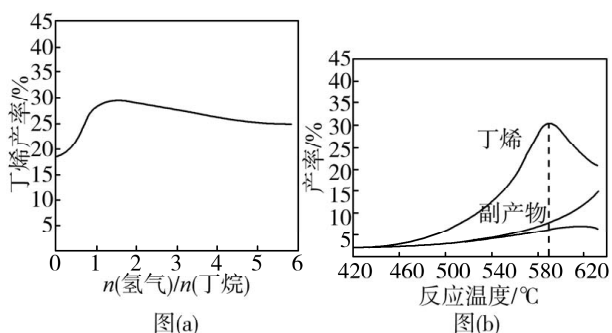
已知:  $\textcircled{2} C_4H_{10}(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightleftharpoons C_4H_8(g) + H_2O(g) \quad \Delta H_2 = -119\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$



反应①的  $\Delta H_1$  为\_\_\_\_\_  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。欲使丁烯的平衡产率提高, 应采取的措施是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- A. 升高温度    B. 降低温度  
C. 增大压强    D. 降低压强

(2) 丁烷和氢气的混合气体以一定流速通过填充有催化剂的反应器 (氢气的作用是活化催化剂), 出口气中含有丁烯、丁烷、氢气等。图 (a) 为丁烯产率与进料气中  $n(\text{氢气})/n(\text{丁烷})$  的关系曲线。图中曲线呈现先升高后降低的变化趋势, 其降低的原因是\_\_\_\_\_。



图(a)

图(b)

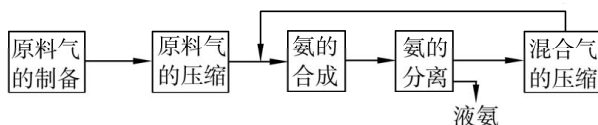
(3)图(b)为反应产率和反应温度的关系曲线,副产物主要是高温裂解生成的短碳链烃类化合物。丁烯产率在 590°C 之前随温度升高而增大的原因可能是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_;590°C 之后,丁烯产率快速降低的主要原因可能是\_\_\_\_\_。

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

1. 合成氨反应的正反应是气体体积减小的放热反应。合成氨工业的生产流程如下:



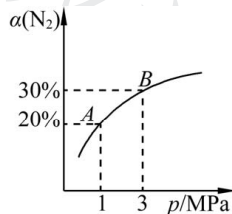
- 下列关于合成氨工业的说法不正确的是 ( )
- 混合气进行循环利用遵循绿色化学思想
  - 合成氨反应须在低温下进行
  - 对原料气进行压缩是为了增大原料气的转化率
  - 使用催化剂可以提高反应的速率,但是不能使平衡向正反应方向移动
2. 接触法制硫酸工艺中,其主要反应  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$   $\Delta H < 0$ ,在 450°C 并有催化剂存在条件下建立平衡,为使该反应的反应速率增大,且平衡向正反应方向移动的是 ( )
- 及时分离出  $\text{SO}_3$  气体
  - 选择高效的催化剂
  - 适当升高温度
  - 增大  $\text{O}_2$  的浓度
3. 工业上用接触法合成硫酸。采用下列措施:①硫铁矿粉碎后,加入沸腾炉;②沸腾炉空气入口在下部,硫铁矿入口在上部;③进入接触室的炉气先要进行净化和干燥处理;④在接触室里,催化剂分上、下两层;⑤在接触室里使用热交换器;⑥吸收塔里,三氧化硫从下部通入,浓硫酸从上部喷淋。其中,为了提高固体与气体接触面的措施是

( )

- ③⑤⑥
  - ②④⑥
  - ①②④
  - ①②⑤⑥
4. 合成氨工业中,常加热至 500°C,下列有关叙述正确的是 ( )
- 为加快反应速率,缩短达到平衡所需要的时间
  - 加快正反应速率,减小逆反应速率
  - 使平衡向合成氨的方向移动
  - 提高原料转化率
5. 在合成氨时,要使氨的产率增大,又要使化学反应速率增大,可以采取的措施有 ( )
- ①增大体积使压强减小
  - ②减小体积使压强增大
  - ③升高温度
  - ④降低温度
  - ⑤恒温恒容,再充入  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$
  - ⑥恒温恒压,再充入  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$
  - ⑦及时分离产生的  $\text{NH}_3$
  - ⑧使用催化剂
- ①②④⑤⑦
  - ②③④⑤⑦⑧
  - ②⑤⑦
  - ②③⑤⑥⑧
6. 据报道,在 300°C、70 MPa 下使用 Cu-Zn-Fe 做催化剂由二氧化碳和氢气合成乙醇已成为现实:  $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。下列叙述错误的是 ( )
- 使用 Cu-Zn-Fe 催化剂可大大提高生产效率
  - 反应须在 300°C 下进行可推测该反应是吸热反应
  - 充入大量  $\text{CO}_2$  气体可提高  $\text{H}_2$  的转化率
  - 从平衡混合气体中分离出  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  和  $\text{H}_2\text{O}$  可提高  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  的利用率

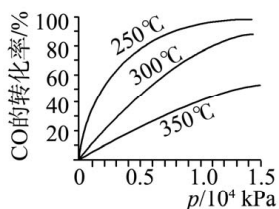
#### 应用·实践

7. 某温度下,对于反应  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$   $\Delta H = -92.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。 $\text{N}_2$  的平衡转化率( $\alpha$ )与体系总压强( $p$ )的关系如图所示。下列说法正确的是 ( )

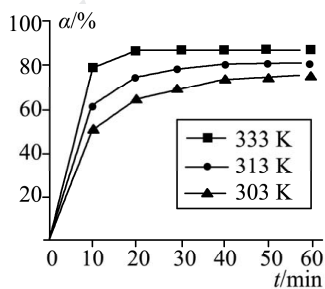


- 将 1 mol 氮气、3 mol 氢气置于 1 L 密闭容器中发生反应,放出的热量为 92.4 kJ
  - 平衡状态由 A 变为 B 时,平衡常数  $K(A) < K(B)$
  - 上述反应在达到平衡后,增大压强,  $\text{H}_2$  的转化率增大
  - 升高温度,平衡常数  $K$  增大
8. I. CO 可用于合成甲醇,化学方程式为  $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 。CO 在不同温度下的平衡转化率与压强的关系如图所示。该反应的  $\Delta H$

\_\_\_\_\_0(填“>”或“<”)。实际生产条件控制在 250℃、 $1.3 \times 10^4$  kPa 左右,选择此压强的理由是\_\_\_\_\_。



II. 在其他条件相同时,反应  $\text{H}_3\text{BO}_3 + 3\text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{B}(\text{OCH}_3)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  中,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  的转化率( $\alpha$ )在不同温度下随反应时间( $t$ )的变化如图所示。



由此图可得出:

(1) 温度对该反应的反应速率和平衡移动的影响是\_\_\_\_\_。

(2) 该反应  $\Delta H$  的\_\_\_\_\_0(填“<”或“>”)。

9. 反应  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H < 0$  的实验数据见下表。

温度	不同压强下 $\text{SO}_2$ 的转化率/%				
	$1 \times 10^5$ Pa	$5 \times 10^5$ Pa	$1 \times 10^6$ Pa	$5 \times 10^6$ Pa	$1 \times 10^7$ Pa
450℃	97.5	98.9	99.2	99.6	99.7
550℃	85.6	92.9	94.9	97.7	98.3

(1) 应选择的温度是\_\_\_\_\_,理由是\_\_\_\_\_。

(2) 应采用的压强是\_\_\_\_\_,理由是\_\_\_\_\_。

(3) 在合成  $\text{SO}_3$  的过程中,不需要分离出  $\text{SO}_3$  的原因是\_\_\_\_\_。

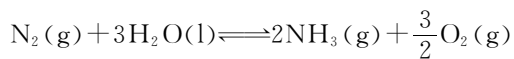
(4) 生产中通入过量空气的目的是\_\_\_\_\_。

迁移·创新

10. 科学家一直致力于研究常温、常压下“人工固氮”的新方法。曾有实验报道:在常温、常压、光照条件下,  $\text{N}_2$  在催化剂(掺有少量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的  $\text{TiO}_2$ ) 表面与水发生反应,生成的主要产物为  $\text{NH}_3$ 。进一步研究  $\text{NH}_3$  生成量与温度的关系,部分实验数据见下表(光照、 $\text{N}_2$ 、压强  $1.0 \times 10^5$  Pa、反应时间 3 h)。

T/K	303	313	323	353
$\text{NH}_3$ 生成量/ $10^{-6}$ mol	4.8	5.9	6.0	2.0

相应的热化学方程式如下:



$$\Delta H = 765.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

回答下列问题:

(1) 与目前广泛使用的工业合成氨方法相比,该方法中固氮反应速率慢。请提出可提高其反应速率且增大  $\text{NH}_3$  生成量的建议:\_\_\_\_\_。

(2) 工业合成氨的反应为  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\text{高温、高压}]{\text{催化剂}} 2\text{NH}_3(\text{g})$ 。设在容积为 2.0 L 的密闭容器中充入 0.60 mol  $\text{N}_2(\text{g})$  和 1.60 mol  $\text{H}_2(\text{g})$ , 反应在一定条件下达到平衡时,  $\text{NH}_3$  的物质的量分数( $\text{NH}_3$  的物质的量与反应体系中总的物质的量之比)为  $\frac{4}{7}$ 。计算:

① 该条件下  $\text{N}_2$  的平衡转化率为\_\_\_\_\_。

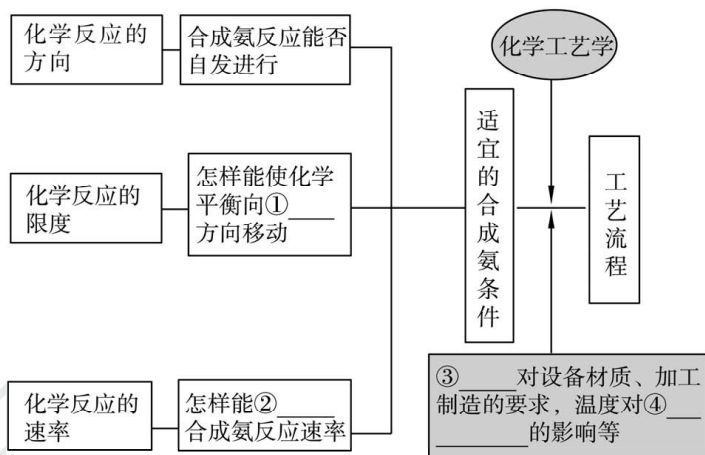
② 该条件下反应  $2\text{NH}_3(\text{g}) \xrightleftharpoons[\text{高温、高压}]{\text{催化剂}} \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$  的平衡常数为\_\_\_\_\_。

③ 根据合成氨反应的特点分析,当前最有前途的研究发展方向是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- a. 研制耐高压的合成塔
- b. 采用超大规模的工业生产
- c. 研制耐低温复合催化剂
- d. 探索不用  $\text{H}_2$  和  $\text{N}_2$  合成氨的新途径



## 本书建构整合



## 教材习题答案

1. 选择铁做催化剂、控制反应温度在 700 K 左右、较高压强、氮气与氢气的投料比(物质的量之比)为 1 : 2.8 等条件来提高原料利用率。
2. 从反应限度、快慢、生产实际(如高压对设备材质、加工制造的要求和所需能耗的多少,温度对催化剂活性的影响等)等角度考虑问题。
3. 由温度与平衡常数的关系可知,降低温度有利于反应向生成三氧化硫的方向进行;由反应后气态

- 物质的物质的量减小可推知,增大压强有利于反应向生成三氧化硫的方向进行;增大氧气浓度有利于提高化学反应速率。所以,理论上低温、高压、使用催化剂并适度提高氧气在原料气中的比例将有利于二氧化硫催化氧化反应的进行。
4. 应采取的措施:适宜的反应温度,因为高温不利于反应正向进行,但温度过低又会降低反应速率,同时还要考虑催化剂的活化温度;在设备允许的条件下尽可能增大压强;使用催化剂;及时将产物乙醇和水液化使其脱离反应体系。

## 微项目 探讨如何利用工业废气中的二氧化碳合成甲醇

### ——化学反应选择与反应条件优化

## 项目拆解

本项目包含两个项目活动,需要同学们从化学平衡和速率的知识本体出发,从理论预测和实验数据两类依据中提取有效信息,并综合主反应和副反应的情况,进行适宜条件的选择,并进而反思从哪些角度还可以进行优化和探索。

## 项目活动一:选择合适的化学反应

本活动任务比较清晰,即选择合适的氢源设计反应后,通过相应反应的焓变值和熵变值从定性、定量两个角度探讨反应在一定条件下自发的可能性。

由于目标产物是甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ ),反应物之一是二氧化碳( $\text{CO}_2$ ),那么还需要寻找一个提供氢元素的物质。教材中以氢气和水作为提供氢源的简单物质,给出常温(298 K)、标准状态(100 kPa)下两个反应的焓变和熵变值,用以计算该条件下的吉布斯自由能,判断反应的自发方向及自发有利条件。经计

算,虽然  $\Delta G^\ominus(298\text{ K}) = +3.82\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} > 0$ ,但在 276 K、也就是温度小于 3.27℃ 时,该反应向右自发,且温度越低约有利于反应向右自发。

对于反应  $\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g})$ ,可以用相同的方式计算,也可以通过焓变、熵变值的正负进行定性分析。由于该反应的焓变值为正、熵变值为负,作为吸热的熵减小反应,该反应在任何温度下均不自发。

## 项目活动二:选择适宜的反应条件

本活动可以分为理论预测和实验数据分析两个层次。

(1) 根据反应特点,初步从平衡、速率和实际生产条件的角度对反应的适宜条件进行预测。

(2) 将以上分析结果与实验数据进行对比,分析理论预测结果和实验数据之间的共性和差异性,进一步对条件进行选择和优化。

项目达标

1. 常压下碳化法精炼镍的原理为  $\text{Ni(s)} + 4\text{CO(g)} \rightleftharpoons \text{Ni(CO)}_4\text{(g)}$ 。230℃时,该反应的平衡常数  $K = 2 \times 10^{-5}$ 。已知:  $\text{Ni(CO)}_4$  的沸点为 42.2℃, 固体杂质不参与反应。

第一阶段: 将粗镍与 CO 反应转化成气态  $\text{Ni(CO)}_4$ ;

第二阶段: 将第一阶段反应后的气体分离出来, 加热至 230℃ 制得高纯镍。

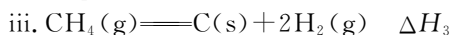
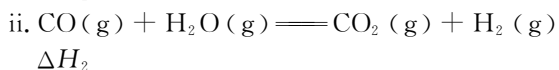
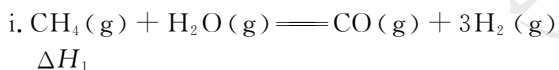
下列判断正确的是( )

- A. 增加  $c(\text{CO})$ , 平衡向正向移动, 反应的平衡常数增大
- B. 第一阶段, 在 30℃ 和 50℃ 两者之间选择反应温度, 选 50℃
- C. 第二阶段,  $\text{Ni(CO)}_4$  的分解率较低
- D. 该反应达到平衡时,  $v_{\text{生成}}[\text{Ni(CO)}_4] = 4v_{\text{生成}}(\text{CO})$

2. 氢能源是最具应用前景的能源之一, 高纯氢的制备是目前的研究热点。甲烷水蒸气催化重整是制高纯氢的方法之一。

(1) 反应器中初始反应的生成物为  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}_2$ , 其物质的量之比为 4 : 1, 甲烷和水蒸气反应的化学方程式是\_\_\_\_\_。

(2) 已知反应器中还存在如下反应:



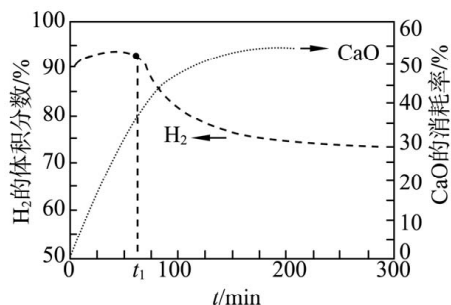
.....

iii 为积炭反应, 利用  $\Delta H_1$  和  $\Delta H_2$  计算  $\Delta H_3$  时, 还需要利用反应\_\_\_\_\_ (写化学方程式) 的  $\Delta H$ 。

(3) 反应物投料比采用  $n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{CH}_4) = 4 : 1$ , 大于初始反应的化学计量数之比, 目的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

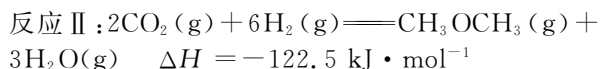
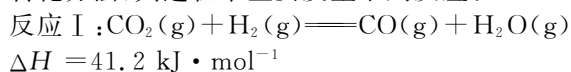
- a. 促进  $\text{CH}_4$  转化
- b. 促进 CO 转化为  $\text{CO}_2$
- c. 减少积炭生成

(4) 用 CaO 可以去除  $\text{CO}_2$ 。  $\text{H}_2$  的体积分数和 CaO 的消耗率随时间的变化关系如图所示。

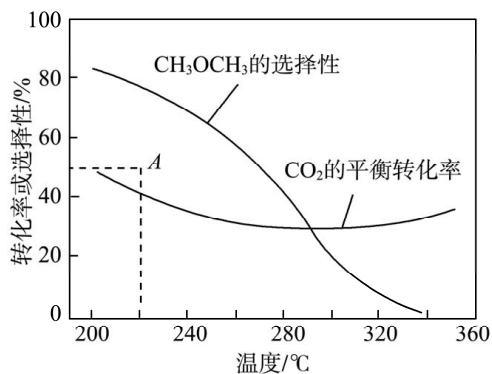


从  $t_1$  时开始,  $\text{H}_2$  的体积分数显著降低, 单位时间内 CaO 的消耗率\_\_\_\_\_ (填“升高”“降低”或“不变”)。此时 CaO 的消耗率约为 35%, 但已失效, 结合化学方程式解释原因:\_\_\_\_\_。

3.  $\text{CO}_2$  的资源化利用能有效减少  $\text{CO}_2$  排放, 充分利用碳资源。  $\text{CO}_2$  催化加氢合成二甲醚是一种  $\text{CO}_2$  转化方法, 其过程中主要发生下列反应:



在恒压、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  的起始量一定的条件下,  $\text{CO}_2$  的平衡转化率和平衡时  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  的选择性随温度的变化如图所示。



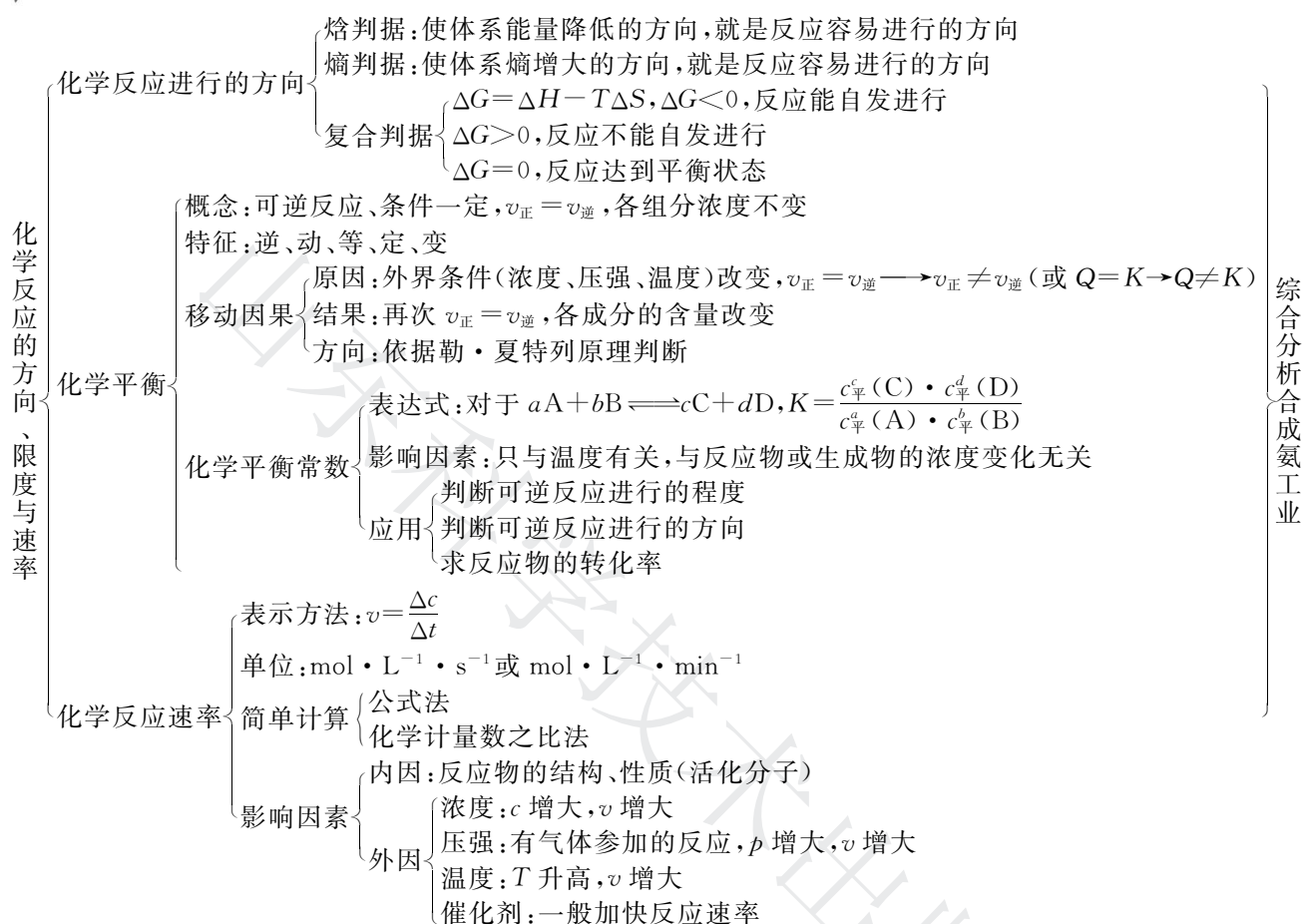
其中:  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  的选择性 =  $\frac{2 \times \text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的物质的量}}{\text{反应的 CO}_2 \text{ 的物质的量}} \times 100\%$

(1) 温度高于 300℃,  $\text{CO}_2$  的平衡转化率随温度升高而上升的原因是\_\_\_\_\_。

(2) 220℃ 时, 在催化剂作用下  $\text{CO}_2$  与  $\text{H}_2$  反应一段时间后, 测得  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  的选择性为 48% (图中 A 点)。不改变反应时间和温度, 一定能提高  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  选择性的措施有\_\_\_\_\_。

# 本章总结

## 本章建构整合



## 教材习题答案

- 略
- 正向移动,增大;正向移动,增大;正向移动,增大;不移动,增大。
- BC
- (1)熵减小 (2)熵增加 (3)熵减小 (4)熵减小 (5)减小
- (1)正向移动 (2)逆向移动 (3)正向移动 (4)正向移动
- (1)放热反应 (2)降低温度,增大水蒸气浓度,减

- 小二氧化碳或氢气浓度。  
 7.  $0.066 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  30%  
 8. (1)0.8 mol (2)不变 (3)1 (4)②中反应物浓度大于① (5)= 在两恒温恒容容器中,起始时反应物浓度②是①的两倍,②相当于将①增大压强,该反应平衡不移动,所以放热量为①的两倍  
 9. (1)研究  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  浓度对该反应速率的影响  
 (2)保持其他反应物浓度不变,只改变  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  浓度,进行对比实验  
 (3)1.0 1.0 1.0  $\text{MnSO}_4$  溶液褪至无色时所需时间  $t < 3.7 \text{ min}$

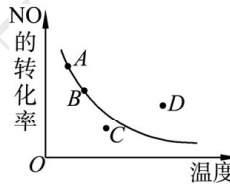
# 本章自我检测

(时间:45分钟,满分:100分)

一、选择题(本题包括12小题,每小题4分,共48分。每小题只有一个选项符合题意)

- 下列有关说法正确的是( )
  - $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 在室温下不能自发进行,说明该反应的  $\Delta H < 0$
  - 焓变和熵变是判断反应方向的两个主要因素
  - $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ ,其他条件不变时升高温度,反应速率  $v(\text{H}_2)$ 和  $\text{H}_2$ 的平衡转化率均增大
  - 任何情况下,温度都不可能对反应的方向起决定性作用
- 对于可逆反应: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ,下列措施能使反应物中活化分子百分数、化学反应速率和化学平衡常数都变化的是( )
  - 增大压强
  - 升高温度
  - 使用催化剂
  - 多充入  $\text{O}_2$
- 在恒温、体积为2 L的密闭容器中进行反应: $2\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{B}(\text{g}) + \text{C}(\text{g})$ 。若反应物在前20 s由3 mol降为1.8 mol,则前20 s的平均反应速率为( )
  - $v(\text{B}) = 0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $v(\text{B}) = 0.045 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $v(\text{C}) = 0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $v(\text{C}) = 0.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- 下列叙述中一定能判断某化学平衡发生移动的是( )
  - 混合物中各组分的浓度改变
  - 正、逆反应速率改变
  - 混合物中各组分的含量改变
  - 混合体系的压强发生改变
- 将等物质的量的X、Y气体充入一个密闭容器中,在一定条件下发生如下反应并达到平衡: $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。当改变某个条件并达到新平衡后,下列叙述正确的是( )
  - 升高温度,X的体积分数减小
  - 增大压强(缩小容器体积),Z的浓度不变
  - 保持容器体积不变,充入一定量的惰性气体,Y的浓度不变
  - 保持容器体积不变,充入一定量的Z,X的体积分数增大
- 下列可逆反应一定处于平衡状态的是( )
  - $2\text{HBr}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Br}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ ,气体物质的量

保持不变

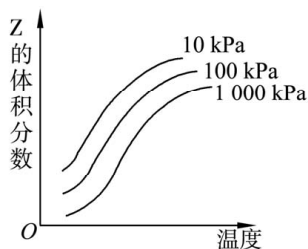
- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ ,测得正反应速率  $v(\text{N}_2) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,逆反应速率  $v(\text{NH}_3) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
  - $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ,在3 min后  $\text{SO}_2$ 的转化率一直为49%
  - $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})$ ,混合物中  $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 的物质的量之比为2:1:2
- 可逆反应  $2\text{A}(\text{s}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{g}) + 2\text{D}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ ,在一定条件下达到平衡,下列有关叙述正确的是( )
    - 增加A的量,平衡向正反应方向移动
    - 升高温度,平衡向逆反应方向移动,  $v(\text{正})$ 减小
    - 压强增大一倍,平衡不移动,  $v(\text{正})$ 、 $v(\text{逆})$ 不变
    - 增大B的浓度,  $v(\text{正}) > v(\text{逆})$
    - 加入催化剂,B的转化率提高
    - ①②
    - ④
    - ③
    - ④⑤
  - 下列不同条件下的化学反应: $\text{A}(\text{aq}) + \text{B}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{aq}) + \text{D}(\text{aq})$ ,反应速率由大到小的顺序正确的是( )
    - 常温下20 mL溶液含A和B各0.001 mol
    - 常温下100 mL溶液含A和B各0.01 mol
    - 常温下  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  A、B溶液各10 mL混合后,再加水20 mL
    - 常温下将100 mL含A 0.001 mol和20 mL含B 0.001 mol混合溶液混合
    - ①②③④
    - ②③④①
    - ②①③④
    - ②④①③
  - 图中的曲线是表示其他条件一定时, $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ 反应中NO的转化率与温度的关系曲线,图中标有A、B、C、D四点,其中表示未达到平衡状态且  $v(\text{正}) > v(\text{逆})$ 的点是( )
 
    - A点
    - B点
    - C点
    - D点
  - 一定条件下,体积为10 L的密闭容器中,1 mol X和1 mol Y进行反应: $2\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Z}(\text{g})$ ,经60 s达到平衡,生成0.3 mol Z。下列说法正确的是( )
    - 以X浓度变化表示的反应速率为  $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
    - 将容器体积变为20 L,Z的平衡浓度变为原来



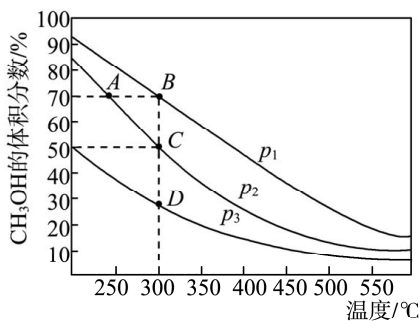
的  $\frac{1}{2}$

- C. 若增大压强,则物质 Y 的转化率减小  
D. 若升高温度, X 的体积分数增大,则该反应的  $\Delta H > 0$

11. 如图是温度和压强对反应  $X + Y \rightleftharpoons 2Z$  影响的示意图。图中横坐标表示温度,纵坐标表示平衡时混合气体中 Z 的体积分数。下列叙述正确的是( )



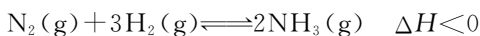
- A. 上述可逆反应的正反应为放热反应  
B. X、Y、Z 均为气态  
C. X 和 Y 中最多只有一种为气态,Z 为气态  
D. 上述反应的逆反应的  $\Delta H > 0$
12. 用 CO 和  $H_2$  在催化剂的作用下合成甲醇,发生的反应如下: $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$ 。在体积一定的密闭容器中按物质的量之比 1:2 充入 CO 和  $H_2$ ,测得平衡混合物中  $CH_3OH$  的体积分数在不同压强下随温度的变化如图所示。下列说法正确的是( )



- A. 该反应的  $\Delta H < 0$ ,且  $p_1 < p_2$   
B. 反应速率: $v_{\text{逆}}$ (状态 A)  $>$   $v_{\text{逆}}$ (状态 B)  
C. 在 C 点时,CO 的转化率为 75%  
D. 在恒温恒压条件下,向密闭容器中充入不同量的  $CH_3OH$ ,达平衡时  $CH_3OH$  的体积分数不同

## 二、非选择题(本题包括 4 小题,共 52 分)

13. (14 分)在密闭容器中,使 2 mol  $N_2$  和 6 mol  $H_2$  混合发生下列反应:

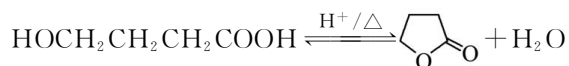


- (1) 当反应达到平衡时, $N_2$  和  $H_2$  的浓度比是 \_\_\_\_\_,  $N_2$  和  $H_2$  的转化率比是 \_\_\_\_\_。  
(2) 升高平衡体系的温度(保持体积不变),混合气体的平均相对分子质量 \_\_\_\_\_,密度

\_\_\_\_\_。(均填“变大”“变小”或“不变”)

- (3) 当达到平衡时,充入氩气,并保持压强不变,平衡将 \_\_\_\_\_(填“正向”“逆向”或“不”)移动。  
(4) 若容器恒容、绝热,加热使容器内温度迅速升至原来的 2 倍,平衡将 \_\_\_\_\_(填“向左移动”“向右移动”或“不移动”)。达到新平衡后,容器内温度 \_\_\_\_\_(填“大于”“小于”或“等于”)原来的 2 倍。

14. (14 分)由  $\gamma$ -羟基丁酸生成  $\gamma$ -丁内酯的反应如下:



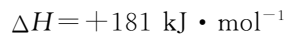
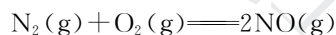
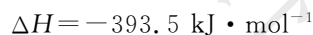
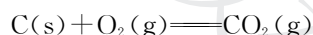
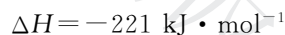
在 298 K 下, $\gamma$ -羟基丁酸水溶液的初始浓度为  $0.180 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,测得  $\gamma$ -丁内酯的浓度随时间变化的数据见下表。

$t/\text{min}$	21	50	80	100	120	160	220	$\infty$
$c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	0.024	0.050	0.071	0.081	0.090	0.104	0.116	0.132

回答下列问题:

- (1) 该反应在 50~80 min 内的平均反应速率为 \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。  
(2) 120 min 时  $\gamma$ -羟基丁酸的转化率为 \_\_\_\_\_。  
(3) 298 K 时该反应的平衡常数  $K =$  \_\_\_\_\_。  
(4) 为提高  $\gamma$ -羟基丁酸的平衡转化率,除适当控制反应温度外,还可采取的措施是 \_\_\_\_\_。

15. (14 分)氮氧化物是大气污染物之一,用活性炭或一氧化碳还原氮氧化物,可防止空气污染。回答下列问题:



- (1) 若某反应的平衡常数表达式为  $K = \frac{c_{\text{平}}(N_2) \cdot c_{\text{平}}^2(CO_2)}{c_{\text{平}}^2(CO) \cdot c_{\text{平}}^2(NO)}$ ,请写出此反应的热化学方程式: \_\_\_\_\_; 下列措施能够增大此反应中 NO 的转化率的是 \_\_\_\_\_(填字母)。

- a. 增大容器压强  
b. 升高温度  
c. 使用优质催化剂  
d. 增大 CO 的浓度

- (2) 向容积为 2 L 的密闭容器中加入活性炭(足量)和 NO,发生反应  $C(s) + 2NO(g) \rightleftharpoons$

$\text{N}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ ,  $\text{NO}$  和  $\text{N}_2$  的物质的量变化见下表。

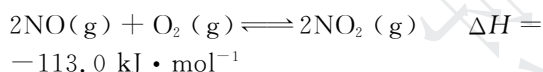
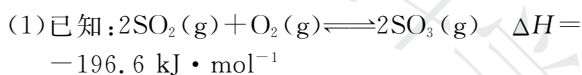
物质的量/mol	$T_1/^\circ\text{C}$				$T_2/^\circ\text{C}$		
	0	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
NO	2.0	1.16	0.80	0.80	0.50	0.40	0.40
$\text{N}_2$	0	0.42	0.60	0.60	0.75	0.80	0.80

①0~5 min 内,以  $\text{CO}_2$  表示的该反应速率  $v(\text{CO}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ ,该条件下的平衡常数  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

②第 15 min 后,温度调整到  $T_2$ ,数据变化如上表所示,则  $T_1 \underline{\hspace{1cm}} T_2$  (填“>”“<”或“=”)。

③若 30 min 时,保持  $T_2$  不变,向该容器中再加入该四种反应混合物各 2 mol,则此时反应  $\underline{\hspace{2cm}}$  (填“正向”“逆向”或“不”)移动;最终达到平衡时  $\text{NO}$  的转化率  $\alpha$  为  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

16. (10 分) 研究  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$  等大气污染气体的处理具有重要意义。



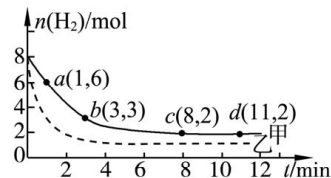
则反应  $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$  的  $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

一定条件下,将  $\text{NO}_2$  与  $\text{SO}_2$  以体积比 1:2 置于密闭容器中发生上述反应,下列能说明反应达到平衡状态的是  $\underline{\hspace{2cm}}$  (填字母)。

- a. 体系的压强保持不变
  - b. 混合气体的颜色保持不变
  - c.  $\text{SO}_3$  和  $\text{NO}$  的体积比保持不变
  - d. 每消耗 1 mol  $\text{SO}_3$  的同时生成 1 mol  $\text{NO}_2$
- 测得上述反应平衡时  $\text{NO}_2$  与  $\text{SO}_2$  体积比为 1:6,则平衡常数  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 工业上有一种用  $\text{CO}_2$  生产甲醇燃料的方法:  
 $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
 $\Delta H = -49.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

某实验中将 6 mol  $\text{CO}_2$  和 8 mol  $\text{H}_2$  充入 2 L 的密闭容器中,测得  $\text{H}_2$  的物质的量随时间的变化如图中实线甲所示。



请完成下列问题:

①a 点正反应速率  $\underline{\hspace{1cm}}$  逆反应速率 (填“>”“<”或“=”)。

②若仅改变某一实验条件再进行一次实验,测得  $\text{H}_2$  的物质的量随时间的变化如图中虚线乙所示,曲线乙对应改变的实验条件可以是  $\underline{\hspace{2cm}}$  (填字母)。

- a. 加催化剂
- b. 增大压强
- c. 升高温度
- d. 增大  $\text{CO}_2$  的浓度

## 第3章

# 物质在水溶液中的行为

在地球演变与生物进化过程中,水溶液的作用无可替代。本章就以物质在水溶液中的电离、反应和平衡过程为主要研究内容,进一步丰富对水溶液的认识维度。本章对水的电离、弱电解质的电离平衡、盐类水解和沉淀溶解平衡进行具体分析和认识,既是对前一章化学反应方向、限度和速率知识的再运用,又是用化学反应原理知识解决实际问题的真实情境。本章学习体现了从简单到复杂、从模型到实际的科学研究过程,持续发展“科学探究与创新意识”“科学态度与社会责任”化学学科核心素养,重点发展“宏观辨识与微观探析”“变化观念与平衡思想”“证据推理与模型认知”化学学科核心素养。

## 第1节 水与水溶液

### → 瞄准课标 靶向学习 →

课标内容要求	课标学业要求
1. 从电离、离子反应、化学平衡的角度认识电解质水溶液的组成、性质和反应。 2. 认识水的电离,了解水的离子积常数,认识溶液的酸碱性及pH,掌握检测溶液pH的方法。	1. 能从电离、离子反应、化学平衡的角度分析溶液的性质,如酸性、导电性等。 2. 能进行溶液pH的简单计算,能正确测定溶液pH,能调控溶液的酸性。能选择实例说明溶液pH的调控在工农业生产和科学研究中的重要作用。

### 第1课时 水的电离 溶液中的电解质

#### 走进新知 素养初探

##### 预习导读

1. 阅读教材,思考并填空:

(1) 化合物按照其在\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_状态下能否\_\_\_\_\_分为电解质和非电解质。

(2) 强电解质:\_\_\_\_\_电离,在写电离方程式时用\_\_\_\_\_。

弱电解质:\_\_\_\_\_电离,在写电离方程式时用\_\_\_\_\_。

(3) 写出下列电离方程式:

$K_2SO_4$ : \_\_\_\_\_;

$Ba(OH)_2$ : \_\_\_\_\_;

$CH_3COOH$ : \_\_\_\_\_;

$NH_3 \cdot H_2O$ : \_\_\_\_\_。

2. 溶剂化作用:\_\_\_\_\_。例如,氢离子在水溶液中就是以  $H_3O^+$  的水合离子形态存在的。谈一谈硝酸铵固体溶于水吸热过程、氢氧化钠溶于水放热过程的原因。

##### 自主检测

判断正误:

(1) 稀硫酸能导电,所以稀硫酸是电解质。( )

(2) Fe 能导电,故 Fe 是电解质。( )

(3) 固态 NaCl 不导电,但 NaCl 属于电解质。( )

(4) HCl 是强电解质,其水溶液一定比醋酸溶液导电性强。( )

(5)  $BaSO_4$  难溶于水,故  $BaSO_4$  是非电解质。( )

## 学习体验

## 素养形成

## 探究学习 一 水的电离

## 【任务 1】认识水的离子积常数

(1) 溶液导电性由什么决定? 纯水的导电性很微弱, 这意味着什么?

(2) 写出水的电离方程式和该反应的电离平衡常数  $K_w$ 。

(3) 根据电离平衡常数表达式, 推导并写出水的离子积常数  $K_w$ 。

(4) 分析教材表 3-1-1 中数据, 水的电离是吸热过程。计算 25℃ 和 80℃ 时水电离产生的  $c(\text{H}^+)$ , 判断水的电离程度变化。

## 【任务 2】探究影响水的电离平衡的因素

(1) 分析下列条件对水的电离平衡的影响, 填写下表。

水的电离平衡: $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^- \quad \Delta H > 0$				
影响因素	移动方向	$c(\text{H}^+)$	$c(\text{OH}^-)$	$K_w$
升高温度				
加 HCl(g)				
加 NaOH(s)				
加活泼金属(如 Na)				

(2) 25℃ 时, 计算下列溶液中的相关数据, 并分析计算过程和数据, 能得到哪些结论?

溶液	$c(\text{H}^+)/$ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$c(\text{OH}^-)/$ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$c_*(\text{H}^+)/$ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$c_*(\text{OH}^-)/$ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )
0.1 mol · L <sup>-1</sup> HCl 溶液				
0.1 mol · L <sup>-1</sup> NaOH 溶液				

## 归纳总结

## 1. 水的离子积常数

(1) 水是极弱电解质, 水的电离方程式为  $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ , 简写为  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ 。

(2) 水的离子积常数表达式:  $K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-)$ 。25℃ 时,  $K_w = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

(3) 水的离子积  $K_w$  只受温度的影响, 温度升高, 水的电离程度增大,  $K_w$  增大。

## 2. 影响水的电离平衡的因素

(1) 水的离子积  $K_w$  与温度有关, 所以使用水的离子积时, 必须指明温度, 如不指明, 则认为是 25℃。

(2) 向水中加入酸时, 不是中和  $\text{OH}^-$  促进水的电离, 而是增大了  $\text{H}^+$  的浓度抑制水的电离, 原因是水中的  $\text{OH}^-$  的浓度非常小; 同样, 加入碱时, 是增大了  $\text{OH}^-$  的浓度而抑制水的电离。

(3)  $K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-)$  不仅适用于中性溶液, 也同样适用于稀的酸溶液和稀的碱溶液。在任何时候、在任何溶液中, 都同时存在  $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ , 其乘积也为一常数。在不同的溶液中,  $c(\text{H}^+)$  和  $c(\text{OH}^-)$  虽然不一定相等, 但是由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  和  $c(\text{OH}^-)$  却总是相等的。

## 典例解析

【例 1】25℃ 时, 水的电离达到平衡:  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^- \quad \Delta H > 0$ , 下列叙述正确的是( )

A. 向水中加入稀氨水, 平衡逆向移动,  $c(\text{OH}^-)$  降低

B. 向水中加入少量固体硫酸氢钠,  $c(\text{H}^+)$  增大,  $K_w$  不变

C. 向水中加入少量  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $c(\text{H}^+)$  增大, 水的电离被促进

D. 将水加热,  $K_w$  增大,  $c(\text{H}^+)$  不变

解析: 向水中加入稀氨水,  $c(\text{OH}^-)$  增大, 平衡逆向移动,  $c(\text{H}^+)$  减小, A 项不正确; 向水中加入少量固体  $\text{NaHSO}_4$ :  $\text{NaHSO}_4 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ,  $c(\text{H}^+)$  增大, 但  $K_w$  不变, B 项正确; 向水中加入少量  $\text{CH}_3\text{COOH}$  后, 使水的电离平衡逆向移动, 水的电离被抑制,  $c(\text{OH}^-)$  减小,  $c(\text{H}^+)$  增大, C 项不正确; 将水加热, 水的电离平衡正向移动,  $c(\text{H}^+)$ 、 $c(\text{OH}^-)$  均增大,  $K_w$  增大, D 项不正确。

答案: B

易错点拨: 改变温度, 通过改变  $K_w$ , 带来水的电离平衡的移动。一定温度下, 外加酸、碱或能消耗  $\text{H}^+$  或  $\text{OH}^-$  的物质, 可以导致水的电离平衡的移动, 但  $K_w$  不变。

## 拓展训练

1. 水的电离过程为  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ , 在 25℃ 和 35℃ 温度下其离子积常数为  $K_w(25^\circ\text{C}) = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $K_w(35^\circ\text{C}) = 2.1 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。下列叙述正确的是( )

A.  $c(\text{H}^+)$  随着温度的升高而降低

B. 在 35℃ 时,  $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$

C. 水的电离百分数  $\alpha(25^\circ\text{C}) > \alpha(35^\circ\text{C})$

D. 水的电离是吸热的

## 探究学习 二 电解质在水溶液中的存在形态

## 【任务】认识强、弱电解质

(1) 观察教材第 101 页电解质溶液的导电能力实验图片, 分别指出实验的宏观现象与微观原因是



什么? 实验的结论是什么?

(2) 从分类、成键等角度, 列举强电解质, 尝试区分强、弱电解质。

(3) 比较表格中的条件和导电性, 分析其中的微观原因, 能得到什么结论?

电解质	固体	熔融状态	水溶液
NaCl	不导电	导电良好	导电良好
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	——	微弱导电	导电良好

(4) 用电离方程式表示以下物质在水溶液中的变化:

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> \_\_\_\_\_

HF \_\_\_\_\_

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> \_\_\_\_\_

Fe(OH)<sub>3</sub> \_\_\_\_\_

BaSO<sub>4</sub> \_\_\_\_\_

NaHCO<sub>3</sub> \_\_\_\_\_

NaHSO<sub>4</sub> \_\_\_\_\_

### 归纳总结

1. 多元弱酸是分步电离的, 电离程度逐步减弱, 可分步书写电离方程式。

2. 多元弱碱的电离也是分步进行的, 但是一般按一步电离的形式书写。

3. 弱酸的酸式盐先完全电离, 用“——”表示, 生成的酸式酸根再部分电离, 用“ $\rightleftharpoons$ ”表示。

4. NaHSO<sub>4</sub> 在水溶液中完全电离, 电离方程式为  $\text{NaHSO}_4 = \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ; NaHSO<sub>4</sub> 在熔融状态下只破坏离子键, 其电离方程式为  $\text{NaHSO}_4 = \text{Na}^+ + \text{HSO}_4^-$ 。

### 方法导引

#### 1. 强电解质与弱电解质的比较

	强电解质	弱电解质
概念	溶于水后能完全电离的电解质	溶于水后只有部分电离的电解质
化合物类型	离子化合物、共价化合物	共价化合物
电离程度	完全电离	部分电离
电解质的存在形态	只有电解质电离出的阴、阳离子, 不存在电解质分子	既有电解质电离出的阴、阳离子, 又有电解质分子
电离方程式	用“——”号, 一步完成	用“ $\rightleftharpoons$ ”号, 多元弱酸要分步电离
实例	①多数盐(包括难溶性盐); ②强酸: HNO <sub>3</sub> 、HCl、HClO <sub>4</sub> 、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 等; ③强碱: KOH、NaOH、Ba(OH) <sub>2</sub> 、Ca(OH) <sub>2</sub> 等	①弱酸: H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 、CH <sub>3</sub> COOH、HClO等; ②弱碱: NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O、Cu(OH) <sub>2</sub> 、Fe(OH) <sub>3</sub> 等; ③极少量的盐; ④水

#### 2. 正确理解强电解质和弱电解质

(1) 区分电解质强弱的依据是电解质在水溶液中能否完全电离, 即电离程度。

(2) 电解质的强弱与溶液导电性的强弱无必然联系。只要溶液中离子的浓度大, 其导电性就强。

(3) 电解质的强弱与物质的溶解性无必然联系。即使溶解度很小, 只要溶于水的部分完全电离就是强电解质, 所以不能根据溶液溶解度大小直接判断电解质的强弱。

(4) 在强、弱电解质的判断中还要特别注意其概念的研究范畴——化合物, 溶液、单质即使能导电也不是电解质。

#### 3. 强电解质和弱电解质的判断

(1) 判断依据: 根据电解质在水溶液中能否完全电离判断。

(2) 常见的强、弱电解质

① 强电解质	强酸: HCl、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、HNO <sub>3</sub> 、HI、HBr、HClO <sub>4</sub> 等
	强碱: KOH、NaOH、Ba(OH) <sub>2</sub> 等
	多数盐: NaCl、Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、BaSO <sub>4</sub> 、CaCO <sub>3</sub> 等
② 弱电解质	弱酸: H <sub>2</sub> S、HF、H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 、CH <sub>3</sub> COOH、HClO、H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 等
	弱碱: NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O、Mg(OH) <sub>2</sub> 等
	少数盐: HgCl <sub>2</sub> 、(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Pb 等
	水

(3) 电解质判断时注意的问题:

① 必须是自身电离出离子的化合物才是电解质。

② 电解质的强弱与溶解度、导电性大小无直接关系。如难溶盐 BaSO<sub>4</sub> 的水溶液导电性差, 但属于强电解质; HF 易溶于水, 但属于弱电解质。

③ 活泼金属氧化物是电解质, 是因为其在熔融状态下能发生电离。

### 典例解析

【例 2】判断正误:

(1) 强电解质溶液的导电能力比弱电解质的强。( )

(2) 乙醇和乙酸都能溶于水, 都是电解质。( )

(3) 盐酸能导电, 盐酸是电解质。( )

(4) SO<sub>3</sub> 溶于水后得到的水溶液能导电, 但 SO<sub>3</sub> 是非电解质。( )

(5) 碳酸钙难溶于水, 放入水中溶液不导电, 故 CaCO<sub>3</sub> 是非电解质。( )

解析: 依据电解质、非电解质以及强、弱电解质的概念进行分析判断。

答案: (1)× (2)× (3)× (4)√ (5)×

### 拓展训练

2. 有下列电解质: ①氯化铵 ②氢氧化钠

③硫化氢 ④碳酸氢钠 ⑤磷酸 ⑥硫酸

(1) 属于强电解质的有 \_\_\_\_\_ (填序号, 下同)。

(2)属于弱电解质的有\_\_\_\_\_。

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

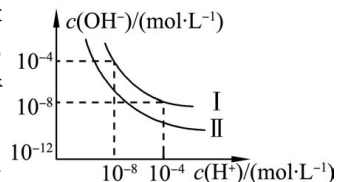
- 下列叙述正确的是( )
  - 碳酸钙难溶于水,放入水中溶液不导电,且碳酸钙在 960℃时分解,不存在熔融状态导电的性质,故  $\text{CaCO}_3$  是非电解质
  - $\text{SO}_3$  溶于水后得到的水溶液能导电,所以  $\text{SO}_3$  是电解质
  - $\text{BaSO}_4$  难溶于水,但溶于水的那一部分能够完全电离,故  $\text{BaSO}_4$  是强电解质
  - 盐酸能导电,盐酸是电解质
- 下列溶液导电性最强的是( )
  - 1 L 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 醋酸
  - 0.1 L 0.1 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液
  - 0.5 L 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸
  - 2 L 0.1 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_3$  溶液
- 下列电离方程式书写正确的是( )
  - $\text{NaHSO}_4$  溶于水:  $\text{NaHSO}_4 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
  - 次氯酸电离:  $\text{HClO} \rightleftharpoons \text{ClO}^- + \text{H}^+$
  - $\text{HF}$  溶于水:  $\text{HF} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{F}^-$
  - $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶于水:  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$
- 25℃时,水的电离达到平衡:  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$   $\Delta H > 0$ 。下列叙述正确的是( )
  - 向水中加入稀氨水,平衡逆向移动,  $c(\text{OH}^-)$  降低
  - 向水中加入少量固体硫酸氢钠,  $c(\text{H}^+)$  增大,  $K_w$  不变
  - 向水中加入少量  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 平衡逆向移动,  $c(\text{H}^+)$  降低
  - 将水加热,  $K_w$  增大,  $c(\text{H}^+)$  不变
- 常温下,0.1 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{NaOH}$  溶液中由水电离的  $\text{OH}^-$  的物质的量浓度为( )
  - 0.1 mol·L<sup>-1</sup>
  - $1.0 \times 10^{-13}$  mol·L<sup>-1</sup>
  - $1.0 \times 10^{-7}$  mol·L<sup>-1</sup>
  - 无法确定
- 常温下,下列三种溶液中,由水电离出的氢离子浓度之比为( )
  - 1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸
  - 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸
  - 0.01 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{NaOH}$  溶液
  - 1 : 10 : 100
  - 0 : 1 : 12
  - 14 : 13 : 12
  - 14 : 13 : 2

#### 应用·实践

- 某温度下,向  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-6}$  mol·L<sup>-1</sup> 的蒸馏

水中加入  $\text{NaHSO}_4$  晶体,保持温度不变,测得溶液中  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-3}$  mol·L<sup>-1</sup>。下列对该溶液的叙述不正确的是( )

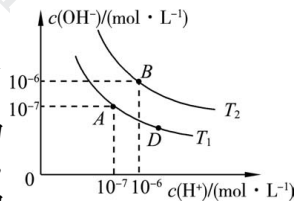
- 该温度高于 25℃
  - 由水电离出来的  $\text{H}^+$  的浓度为  $1 \times 10^{-11}$  mol·L<sup>-1</sup>
  - 加入  $\text{NaHSO}_4$  晶体抑制水的电离
  - 取该溶液加水稀释 100 倍,溶液中的  $c(\text{OH}^-)$  减小
- 在不同温度下的水溶液中  $c(\text{H}^+)$  与  $c(\text{OH}^-)$  的关系如图所示。请回答下列问题:
    - 曲线 I 代表的温度下,水的离子积为\_\_\_\_\_,曲线 I 所代表的温度\_\_\_\_\_(填“高于”“低于”或“等于”)曲线 II 所代表的温度。你判断的依据是\_\_\_\_\_。
    - 曲线 I 所代表的温度下,0.01 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{NaOH}$  溶液的  $c(\text{H}^+)$  为\_\_\_\_\_ mol·L<sup>-1</sup>。



- 在下列空格中填“>”“<”或“=”。
  - 25℃时,0.5 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ 0.5 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$ 。
  - 25℃时,0.5 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ 0.5 mol·L<sup>-1</sup> 硫酸中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$ 。
  - 25℃时,0.5 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ 0.5 mol·L<sup>-1</sup>  $\text{NaOH}$  溶液中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$ 。
- 现有四种溶液: ①  $\text{NaOH}$ , ②  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ③  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , ④  $\text{HCl}$ 。当由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  相同时,以上四种溶液物质的量浓度由大到小的顺序是\_\_\_\_\_。

#### 迁移·创新

- 在水的电离平衡中,  $c(\text{H}^+)$  和  $c(\text{OH}^-)$  的关系如图所示:
  - A 点水的离子积为  $1.0 \times 10^{-14}$  mol<sup>2</sup>·L<sup>-2</sup>, B 点水的离子积为\_\_\_\_\_。造成水的离子积变化的原因是\_\_\_\_\_。
  - 下列说法正确的是\_\_\_\_\_ (填字母)。
    - 图中 A、B、D 三点处  $K_w$  的大小关系:  $B > A > D$
    - AB 线上任意点的溶液均显中性



- c. B点溶液显酸性  
d. 图中温度  $T_1 > T_2$   
(3)  $T_2$  时,若向溶液中滴加盐酸,能否使体系处于 B 点位置? 为什么? \_\_\_\_\_。  
(4)  $T_2$  时,若盐酸中  $c(\text{H}^+) = 5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,

- 则由水电离产生的  $c(\text{H}^+) =$  \_\_\_\_\_。  
(5)若从 A 点到 D 点,可采用的措施是 \_\_\_\_\_ (填字母)。  
a. 升温      b. 加入少量的盐酸  
c. 降温      d. 加入少量的 NaOH

## 第2课时 溶液的酸碱性与 pH

### 走进新知 素养初探

#### 预习导读

阅读教材,思考以下问题:

1. 水溶液的酸碱性与  $c_{\text{平}}(\text{H}^+)$  和  $c_{\text{平}}(\text{OH}^-)$  的相对大小有何关系?
2. 如何定量比较溶液的酸性(或碱性)强弱?
3. 测定溶液的酸碱性的有哪些方法?

#### 自主检测

1. 下列溶液一定显酸性的是( )  
A. 溶液中  $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$   
B. 滴加紫色石蕊溶液后变红色的溶液  
C. 溶液中  $c(\text{H}^+) = 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
D. 常温时,溶液中由水电离的  $c(\text{H}^+) = 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
2. 判断正误。  
(1)用 pH 试纸测定某碱溶液的 pH 数值为 8.2。( )  
(2)测新制氯水的 pH 宜选用 pH 计。( )  
(3)用湿润的 pH 试纸测定溶液的 pH 数值一定会产生误差。( )  
(4)滴加酚酞溶液未变红的溶液为非碱性溶液。( )  
(5)常温下,  $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  稀硫酸的 pH = 2。( )

### 学习体验 素养形成

#### 探究学习 一 强酸、强碱溶液 pH 的计算

1.  $25^\circ\text{C}$  时,甲为  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  溶液,乙为  $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液。分别计算甲和乙的 pH。

2.  $25^\circ\text{C}$  时,将下列溶液加水稀释,计算稀释后

的 pH。

溶液	稀释 100 倍	再稀释 100 倍	再稀释 100 倍	稀释 $10^n$ 倍
pH=2 的 HCl 溶液				
pH=12 的 NaOH 溶液				

3.  $25^\circ\text{C}$  时,计算混合后溶液的 pH。(已知:  $\lg 2 = 0.3$ )

溶液甲	溶液乙	$V_{\text{甲}}:V_{\text{乙}}$	混合后 pH
pH=2 的 HCl 溶液	pH=5 的 HCl 溶液	1:1	
pH=2 的 HCl 溶液	pH=6 的 HCl 溶液	1:1	
pH=8 的 KOH 溶液	pH=12 的 KOH 溶液	1:1	
pH=9 的 KOH 溶液	pH=13 的 KOH 溶液	1:1	

#### 方法导引

1. 计算  $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_n\text{A}$  强酸溶液的 pH  
(1)  $c(\text{H}^+) = nc \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
(2)  $\text{pH} = -\lg nc$
2. 计算  $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{B}(\text{OH})_n$  强碱溶液的 pH ( $25^\circ\text{C}$ )  
(1)  $c(\text{H}^+) = \frac{10^{-14}}{nc} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
(2)  $\text{pH} = 14 + \lg nc$
3. 强酸与强酸混合  
 $c_{\text{混}}(\text{H}^+) = \frac{c_1(\text{H}^+) \cdot V_1 + c_2(\text{H}^+) \cdot V_2}{V_1 + V_2}$ , 然后再求 pH。
4. 强碱与强碱混合  
先计算  $c_{\text{混}}(\text{OH}^-) = \frac{c_1(\text{OH}^-) \cdot V_1 + c_2(\text{OH}^-) \cdot V_2}{V_1 + V_2}$ ,  
再求  $c_{\text{混}}(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c_{\text{混}}(\text{OH}^-)}$ , 最后求 pH。
5. 酸碱溶液稀释后的 pH 变化规律  
强酸溶液:  $\text{pH} = a$ , 加水稀释  $10^n$  倍, 则  $\text{pH} = a + n$ 。  
强碱溶液:  $\text{pH} = b$ , 加水稀释  $10^n$  倍, 则  $\text{pH} = b - n$ 。  
弱酸溶液:  $\text{pH} = a$ , 加水稀释  $10^n$  倍, 则  $a < \text{pH} < a + n$ 。

弱碱溶液:  $\text{pH} = b$ , 加水稀释  $10^n$  倍, 则  $b - n < \text{pH} < b$ 。

酸碱溶液无限稀释,  $\text{pH}$  只能接近于 7, 酸溶液的  $\text{pH}$  不可能大于 7, 碱溶液的  $\text{pH}$  不可能小于 7。

### 典例解析

【例 1】常温下, 下列关于溶液稀释的说法正确的是( )

A. 将 1 L  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液加水稀释为 2 L,  $\text{pH} = 13$

B.  $\text{pH} = 3$  的醋酸溶液加水稀释 100 倍,  $\text{pH} = 5$

C.  $\text{pH} = 4$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液加水稀释 100 倍, 溶液中由水电离产生的  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

D.  $\text{pH} = 8$  的  $\text{NaOH}$  溶液加水稀释 100 倍, 其  $\text{pH} = 6$

解析: A 项,  $c(\text{OH}^-) = \frac{1 \times 0.1 \times 2}{2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-13} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 故  $\text{pH} = 13$ ; B 项, 醋酸溶液稀释 100 倍,  $\text{pH} < 3 + 2 = 5$ ; C 项,  $c_*(\text{H}^+) = 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; D 项,  $\text{NaOH}$  溶液的  $\text{pH} > 7$ , 不可能为 6。

答案: A

易错点拨: 易错选项是 D, 注意: 酸或碱稀释过程中, 溶液逐渐接近中性, 此时水电离的  $\text{H}^+$  或  $\text{OH}^-$  不能忽略。

### 拓展训练

1. 有  $\text{pH} = 12$  的  $\text{NaOH}$  溶液 100 mL, 欲使溶液  $\text{pH}$  降为 11:

(1) 如果加入蒸馏水, 应加入 \_\_\_\_\_ mL。

(2) 如果加入  $\text{pH} = 10$  的  $\text{NaOH}$  溶液, 应加入 \_\_\_\_\_ mL。

(3) 如果加入  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$  溶液, 应加入 \_\_\_\_\_ mL。

### 探究学习 (二) 酸、碱溶液混合后 $\text{pH}$ 的计算

1.  $25^\circ\text{C}$  时, 将某强酸和某强碱溶液按 10 : 1 的体积比混合溶液恰好呈中性, 则混合前此强酸与强碱溶液的  $\text{pH}$  之和是多少?

2. 室温下,  $\text{pH} = 13$  的强碱溶液与  $\text{pH} = 2$  的强酸溶液混合, 所得混合液的  $\text{pH} = 11$ , 则强碱与强酸的体积比是( )

A. 11 : 1    B. 9 : 1    C. 1 : 11    D. 1 : 9

### 方法导引

#### 强酸与强碱混合后 $\text{pH}$ 的计算

1. 恰好完全反应

溶液呈中性,  $\text{pH} = 7$ 。 ( $25^\circ\text{C}$ )

2. 酸过量

$$\text{先求 } c_{\text{余}}(\text{H}^+) = \frac{c(\text{H}^+) \cdot V(\text{酸}) - c(\text{OH}^-) \cdot V(\text{碱})}{V(\text{酸}) + V(\text{碱})},$$

再求  $\text{pH}$ 。

3. 碱过量

$$\text{先求 } c_{\text{余}}(\text{OH}^-) = \frac{c(\text{OH}^-) \cdot V(\text{碱}) - c(\text{H}^+) \cdot V(\text{酸})}{V(\text{酸}) + V(\text{碱})},$$

$$\text{再求 } c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c_{\text{余}}(\text{OH}^-)}, \text{ 然后求 } \text{pH}。$$

### 归纳总结

1. 凡是单一酸溶液、酸酸混合溶液、酸碱混合溶液酸过量时, 均直接求  $c(\text{H}^+)$ , 再求  $\text{pH}$ 。

2. 单一碱溶液、碱碱混合溶液、酸碱混合溶液碱过量时, 必须先求  $c(\text{OH}^-)$ , 再求  $c(\text{H}^+)$ , 最后求  $\text{pH}$ 。

### 典例解析

【例 2】室温下, 将  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$  溶液和  $0.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液等体积混合后, 则该溶液的  $\text{pH}$  是( )

A. 1.7    B. 12.3    C. 12    D. 1

审题要点: 混合溶液的酸碱性问题。注意题目中画“    ”的内容, 该题为强酸和强碱混合, 而且强碱为二元强碱, 要先判断混合液发生中和反应之后的酸碱性。

解析: 酸中  $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

碱中  $c(\text{OH}^-) = 0.12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

等体积混合碱过量

$$c(\text{OH}^-) = \frac{c(\text{OH}^-) \cdot V(\text{碱}) - c(\text{H}^+) \cdot V(\text{酸})}{V(\text{酸}) + V(\text{碱})} = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = 1 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = 12$$

答案: C

### 拓展训练

2. 在室温下, 等体积的酸和碱的溶液混合后,  $\text{pH}$  一定小于 7 的是( )。

A.  $\text{pH} = 3$  的硝酸和  $\text{pH} = 11$  的  $\text{KOH}$  溶液  
B.  $\text{pH} = 3$  的盐酸和  $\text{pH} = 11$  的氨水  
C.  $\text{pH} = 3$  的硫酸和  $\text{pH} = 11$  的  $\text{NaOH}$  溶液  
D.  $\text{pH} = 3$  的醋酸和  $\text{pH} = 11$  的  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液

### 分层训练

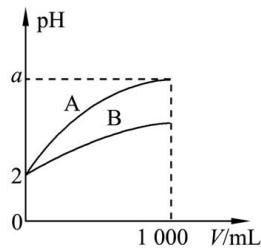
### 素养提升

#### 学习·理解

1. 纯水在  $25^\circ\text{C}$  和  $80^\circ\text{C}$  时,  $\text{pH}$  前后大小关系及酸碱性分别是( )



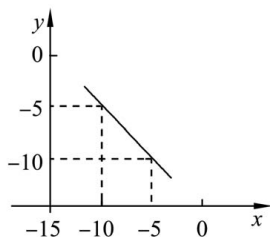
- A.  $\text{pH}_{\text{前}} > \text{pH}_{\text{后}}$  弱酸性  
 B.  $\text{pH}_{\text{前}} > \text{pH}_{\text{后}}$  都显中性  
 C.  $\text{pH}_{\text{前}} < \text{pH}_{\text{后}}$  弱酸性  
 D.  $\text{pH}_{\text{前}} < \text{pH}_{\text{后}}$  都显中性
2. 室温下,在  $\text{pH} = 11$  的某溶液中,由水电离的  $c(\text{OH}^-)$  可能为( )  
 ①  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ②  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 ③  $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ④  $1.0 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 A. ③ B. ④ C. ①③ D. ③④
3. 下列溶液一定呈中性的是( )  
 A.  $\text{pH} = 7$  的溶液  
 B.  $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液  
 C.  $c_{\text{水}}(\text{H}^+) = c_{\text{水}}(\text{OH}^-)$  的溶液  
 D. 酸与碱恰好完全反应生成正盐的溶液
4. 用  $\text{pH}$  试纸测定溶液  $\text{pH}$  的正确操作是( )  
 A. 将一小块试纸放在表面皿上,用玻璃棒蘸取少量待测液点在试纸中央,再与标准比色卡对照  
 B. 将一小块试纸用蒸馏水润湿后放在表面皿上,用玻璃棒蘸取少量待测液点在试纸中央,再与标准比色卡对照  
 C. 将一小块试纸在待测液中蘸一下,取出后放在表面皿上,与标准比色卡对照  
 D. 将一小块试纸先用蒸馏水润湿后,在待测液中蘸一下,取出后与标准比色卡对照
5.  $25^\circ\text{C}$  时,将  $\text{pH} = 3$  的盐酸和  $\text{pH} = 12$  的  $\text{NaOH}$  溶液混合,当混合后溶液的  $\text{pH} = 11$  时,盐酸和  $\text{NaOH}$  溶液的体积比是( )  
 A. 9 : 2 B. 9 : 1  
 C. 1 : 10 D. 2 : 5
6.  $\text{pH} = 2$  的 A、B 两种酸溶液各 1 mL,分别加水稀释到 1 000 mL,其中  $\text{pH}$  与溶液体积  $V$  的关系如图



- 所示,下列说法正确的是( )  
 A. A、B 两酸溶液的物质  
 的量浓度一定相等  
 B. 稀释后,A 酸溶液的酸性比 B 酸溶液的酸性强  
 C.  $a = 5$  时,A 是强酸,B 是弱酸  
 D. 一定有关系: $5 > a > 2$

## 应用·实践

7. 某温度下的水溶液中,  
 $c(\text{H}^+) = 10^x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  
 $c(\text{OH}^-) = 10^y \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  
 $x$  与  $y$  的关系如图所示。



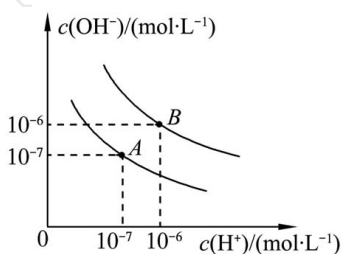
- (1) 该温度下,水的离子  
 积常数为\_\_\_\_\_。

- (2) 该温度下, $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$  溶液的  $\text{pH}$  为\_\_\_\_\_。
- (3)  $\text{pH} = 7$  的溶液呈\_\_\_\_\_性。
- (4) 若测得某溶液中,水电离出来的  $c(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,且溶液为强碱溶液,则该溶液的  $\text{pH} =$ \_\_\_\_\_;中和 100 mL 该溶液需消耗  $\text{HCl}$  的物质的量为\_\_\_\_\_。
8. 某温度( $t^\circ\text{C}$ )时,水的离子积常数  $K_w = 1 \times 10^{-12} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。请完成下列问题:  
 (1) 将此温度下  $\text{pH} = 11$  的  $\text{NaOH}$  溶液与  $\text{pH} = 1$  的  $\text{HCl}$  溶液等体积混合,混合后溶液的  $\text{pH} =$ \_\_\_\_\_。  
 (2) 将此温度下  $\text{pH} = 11$  的  $\text{NaOH}$  溶液  $a \text{ L}$  与  $\text{pH} = 1$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液  $b \text{ L}$  混合:  
 ① 若所得混合溶液呈中性,则  $a : b =$ \_\_\_\_\_;  
 ② 若所得混合溶液的  $\text{pH} = 2$ ,则  $a : b =$ \_\_\_\_\_。
9. 常温下,①  $\text{pH} = 2$  的  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液;②  $\text{pH} = 2$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液;③  $\text{pH} = 12$  的氨水;④  $\text{pH} = 12$  的  $\text{NaOH}$  溶液。相同条件下,有关上述溶液的下列比较中,用序号表示由大到小的顺序:  
 (1) 水电离的  $c(\text{H}^+)$ : \_\_\_\_\_。  
 (2) 将②④溶液混合后,  $\text{pH} = 7$ ,消耗溶液的体积: \_\_\_\_\_。  
 (3) 等体积的①②溶液分别与足量铝粉反应,生成  $\text{H}_2$  的量: \_\_\_\_\_。  
 (4) 向 10 mL 上述四溶液中各加入 90 mL 水后,溶液的  $\text{pH}$ : \_\_\_\_\_。

## 迁移·创新

10. 已知水在  $25^\circ\text{C}$  和  $95^\circ\text{C}$  时,其电离平衡曲线如图

- 所示。  
 (1)  $25^\circ\text{C}$  时水的电  
 离平衡曲线应  
 为\_\_\_\_\_



- (填“ A ”或  
 “ B ”),请说明  
 理由:\_\_\_\_\_。

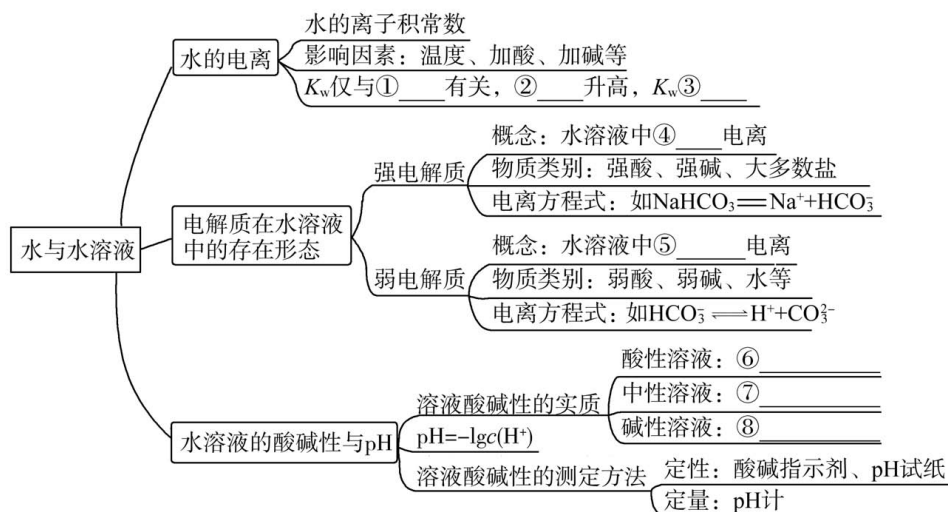
- (2)  $25^\circ\text{C}$  时,将  $\text{pH} = 9$  的  $\text{NaOH}$  溶液与  $\text{pH} = 4$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液混合,若所得混合溶液的  $\text{pH} = 7$ ,则  $\text{NaOH}$  溶液与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的体积比为\_\_\_\_\_。
- (3)  $95^\circ\text{C}$  时,若 100 体积  $\text{pH} = a$  的某强酸溶液与 1 体积  $\text{pH} = b$  的某强碱溶液混合后溶液呈中性,则  $a$  与  $b$  之间应满足的关系是\_\_\_\_\_。
- (4) 曲线 A 所对应的温度下,  $\text{pH} = 2$  的  $\text{HCl}$  溶液和  $\text{pH} = 11$  的某  $\text{NaOH}$  溶液中,若水的电离程度分别用  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  表示,则  $\alpha_1$  \_\_\_\_\_  $\alpha_2$  (填

“大于”“小于”“等于”或“无法确定”。

- (5) 在曲线 B 所对应的温度下, 将  $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液与等物质的量浓度的  $\text{NaHSO}_4$

溶液等体积混合, 所得混合液的  $\text{pH} =$  \_\_\_\_\_。

## 本书建构整合



## 教材习题答案

- BC
- (1)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中存在  $\text{CH}_3\text{COOH}$  和  $\text{H}_2\text{O}$  分子, 以及  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ 、 $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  离子。  
(2) B  
(3) 常温下  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液的  $\text{pH} = 2$ ,  $c(\text{H}^+) = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 说明醋酸部分电离
- (1) ①④ ②③  
(2)  $\text{NaOH} = \text{Na}^+ + \text{OH}^-$   
 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$   
 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$   
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 2\text{Al}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$
- (1)  $\text{pH} = 2$  (2)  $\text{pH} = 11$
- $\text{pOH} = 3$
- $4.2 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  酸性

## 第2节 弱电解质的电离 盐类的水解

### → 瞄准课标 靶向学习 >

课标内容要求	课标学业要求
<ol style="list-style-type: none"> <li>认识电解质在水溶液中存在电离平衡, 了解电离平衡常数的含义。</li> <li>认识盐类水解的原理和影响盐类水解的主要因素。</li> <li>了解水溶液中的离子反应与平衡在物质检测、化学反应规律研究、物质转化中的应用。了解溶液 pH 的调控在工农业生产和科学研究中的应用。</li> <li>学生必做实验: 盐类水解的应用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>能用化学用语正确表示水溶液中的离子反应与平衡, 能通过实验证明水溶液中存在的离子平衡, 能举例说明离子反应与平衡在生产、生活中的应用。</li> <li>能综合运用离子反应、化学平衡原理, 分析和解决生产、生活中有关电解质溶液的实际问题。</li> </ol>

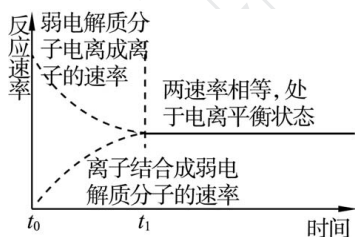
## 第1课时 弱电解质的电离平衡

## 走进新知 素养初探

## 预习导读

阅读教材,结合化学平衡相关知识,回答下列问题:

1. 弱电解质在水溶液中的电离是可逆过程,存在电离平衡。醋酸的电离平衡可表示为\_\_\_\_\_。一定条件(如温度、浓度)下,当醋酸分子\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_相等时,电离过程就达到了电离平衡状态。

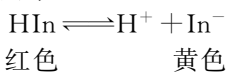


2. 运用勒·夏特列原理给出几种促进醋酸电离的可行途径。

## 自主检测

1. 用简单的实验证明,在氨水中存在着电离平衡  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 。(要求写出简单操作、现象及实验能说明的问题)

2. 化合物  $\text{HIn}$  在水溶液中因存在以下电离平衡,故可用作酸碱指示剂:



浓度为  $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的下列各溶液:①盐酸,②生石灰,③  $\text{NaCl}$  溶液,④  $\text{NaHSO}_4$  溶液,⑤  $\text{NaHCO}_3$  溶液,⑥氨水。其中能使指示剂显红色的是( )

A. ①④⑤    B. ②⑤⑥    C. ①④    D. ②③⑥

## 学习体验 素养形成

## 探究学习 ① 电离平衡常数

1. 写出  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{HF}$  的电离方程式和电离平衡常数的表达式。

2. 查阅教材附录1中  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{HF}$  的电离平衡常数数值,讨论  $K_a$  数值的含义。

3. 多元酸的电离是分步进行的。查阅教材附录1中碳酸、草酸、磷酸的逐级电离常数,能发现怎样的规律? 规律产生的原因是什么?

4. 如何比较等浓度的多元酸的酸性强弱?

## 归纳总结

1. 电离平衡常数表示弱电解质的电离能力。一定温度下,  $K$  值越大,弱电解质的电离程度越大,酸(或碱)性越强。

2. 电离常数的大小由弱电解质本身的性质决定,同一温度下,不同弱电解质的电离常数不同,  $K$  值越大,电离程度越大。

3. 同一弱电解质,电离常数  $K$  的大小只与温度有关,温度升高时,电离常数增大。

4. 多元弱酸的电离常数:  $K_1 \gg K_2 \gg K_3$ ,其酸性主要由  $K_1$  大小决定。

## 方法导引

## 电离平衡常数的应用

1. 根据电离平衡常数可以判断弱酸(或弱碱)的相对强弱,电离平衡常数越大,酸性(或碱性)越强。

2. 根据电离平衡常数判断电离平衡的移动方向。如在一定浓度的  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中  $K = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ ; 稀释一倍后,假设平衡不移动,则  $Q = \frac{\frac{1}{2} \cdot c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot \frac{1}{2} c(\text{H}^+)}{\frac{1}{2} c(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{1}{2} K$ ,

$Q < K$ ,平衡向电离方向移动。

3. 根据电离平衡常数判断溶液中微粒浓度比值的变化情况。

弱电解质加水稀释时,能促进弱电解质的电离,溶液中离子和分子的浓度会发生相应的变化,但电离平衡常数不变,考题中经常利用电离平衡常数来判断溶液中微粒浓度比值的变化情况。

例如:  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液加水稀释,  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{H}^+)} = \frac{K_a}{c(\text{H}^+)}$ ,加水稀释时,  $c(\text{H}^+)$  减小,  $K_a$  值不变,则  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$  增大。

## 典例解析

【例 1】下列说法正确的是( )

- A. 电离平衡常数受溶液浓度的影响  
 B. 电离平衡常数可以表示弱电解质的相对强弱  
 C.  $K_a$  大的酸溶液中  $c(\text{H}^+)$  一定比  $K_a$  小的酸溶液中的  $c(\text{H}^+)$  大

D.  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的电离常数表达式:  $K = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)}$

解析: 电离平衡常数是温度有关的函数, 与溶液浓度无关, 故 A 项错误; 酸中  $c(\text{H}^+)$  既跟酸的电离常数有关, 也跟酸的浓度有关, 故 C 项错误; 碳酸是分步电离的, 第一步电离常数表达式为  $K_1 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ , 第二步电离常数表达式为  $K_2 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)}$ , 故 D 项错误。

答案: B

【例 2】由表格中的电离常数判断可以发生的反应是( )

化学式	电离常数
HClO	$K = 3 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$K_{a1} = 4.4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
	$K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- A.  $\text{NaClO} + \text{NaHCO}_3 \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{Na}_2\text{CO}_3$   
 B.  $2\text{HClO} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2\text{NaClO} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$   
 C.  $2\text{NaClO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{HClO} + \text{Na}_2\text{CO}_3$   
 D.  $\text{NaClO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{NaHCO}_3$

解析: 依据电离常数分析可知酸性由强至弱的顺序为  $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HClO} > \text{HCO}_3^-$ , 根据强酸可以制取弱酸分析, A 项与  $\text{HClO} > \text{HCO}_3^-$  矛盾, 错误; B 项与  $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HClO}$  矛盾, 错误; C 项与  $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HClO} > \text{HCO}_3^-$  矛盾, 反应应该生成碳酸氢钠, 错误; D 项, 与  $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HClO} > \text{HCO}_3^-$  吻合, 正确。

答案: D

## 拓展训练

1. 已知相同条件下, HClO 的电离常数小于  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的第一级电离常数。为了提高氯水中 HClO 的浓度, 可加入( )

- A. HCl                      B.  $\text{CaCO}_3(\text{s})$   
 C.  $\text{H}_2\text{O}$                     D.  $\text{NaOH}(\text{s})$

## 探究学习 二 影响电离平衡的因素

1. 阅读教材第 108 页“拓展视野”, 根据电离度概念, 计算  $25^\circ\text{C}$ 、 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中醋酸的电离度。与  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中醋酸的电离度 1.3% 进行比较, 有何结论? 原因

是什么?

2. 分析教材表 3-2-2 中的数据规律, 并结合化学平衡影响因素, 以  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液为例, 填写下表。

条件改变	平衡移动方向	$c(\text{H}^+)$	$n(\text{H}^+)$	电离程度	导电能力
升高温度					
加 $\text{H}_2\text{O}$					
通 HCl					
加少量 $\text{NaOH}(\text{s})$					
加少量 $\text{CH}_3\text{COONa}(\text{s})$					
加少量 $\text{CH}_3\text{COOH}$					

## 归纳总结

1. 温度

由于弱电解质的电离过程一般是吸热的, 升高温度, 电离平衡将向电离方向移动, 其电离程度将增大。

2. 浓度

对于同一弱电解质, 增大溶液浓度, 电离平衡将向电离方向移动, 但电解质的电离程度减小; 稀释溶液时, 电离平衡将向电离方向移动, 电解质的电离程度增大, 但往往会使离子的浓度降低。

3. 相同离子

在弱电解质溶液中加入与弱电解质有相同离子的强电解质时, 电离平衡向逆电离方向移动。

4. 反应离子

加入能与电解质电离出的离子反应的离子时, 电离平衡向电离方向移动。

## 典例解析

【例 3】在  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中, 要促进醋酸电离且使  $\text{H}^+$  浓度增大, 应采取的措施是( )

- A. 升温                      B. 加水  
 C. 加入 NaOH 溶液      D. 加入稀盐酸

解析: 醋酸的电离是吸热过程, 升高温度能促进醋酸的电离, 且  $\text{H}^+$  浓度增大, 故 A 正确; 加水促进醋酸的电离, 但  $c(\text{H}^+)$  减小, 故 B 错误; 加入 NaOH 溶液,  $\text{OH}^-$  和  $\text{H}^+$  反应生成水, 能促进醋酸的电离, 但  $\text{H}^+$  浓度减小, 故 C 错误; 加入稀盐酸,  $\text{H}^+$  浓度增大, 但抑制醋酸的电离, 故 D 错误。

答案: A

易错点拨: 促进醋酸电离平衡的因素有升温、稀释、加入能消耗  $\text{H}^+$  或  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  的物质。要同时满足  $\text{H}^+$  浓度增加, 就只能选择升高温度。



## 拓展训练

2. 已知  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  醋酸溶液中存在电离平衡:  $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ 。要使溶液中的  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$  值增大, 可以采取的措施是( )

- ①加少量烧碱固体 ②升高温度 ③加少量冰醋酸 ④加水 ⑤加少量醋酸钠固体  
A. ①② B. ②③⑤ C. ③④⑤ D. ②④

## 分层训练

## 素养提升

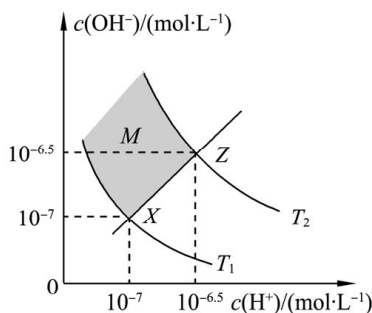
## 学习·理解

1. 下列实验事实不能证明醋酸是弱电解质的是( )  
A. 相同 pH 的醋酸溶液和盐酸分别与同样颗粒大小的锌反应时, 产生  $\text{H}_2$  的起始速率相等  
B. 常温下, 测得  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  醋酸溶液的  $\text{pH}=4$   
C. 常温下, 将  $\text{pH}=1$  的醋酸溶液稀释 1 000 倍, 测得  $\text{pH}<4$   
D. 在相同条件下, 醋酸溶液的导电性比盐酸的弱
2. 稀氨水中存在着下列平衡:  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 。若要使平衡向逆方向移动, 同时使  $c(\text{OH}^-)$  增大, 应采取的措施是( )  
①加入少量  $\text{NH}_4\text{Cl}$  固体 ②加入少量硫酸  
③加入少量  $\text{NaOH}$  固体 ④加入少量水 ⑤加热 ⑥加入少量  $\text{MgSO}_4$  固体  
A. ①②③⑤ B. ③  
C. ③④⑥ D. ③⑤
3. 一定量的盐酸跟过量的铁粉反应时, 为了减缓反应速率, 且不影响生成氢气的总量, 可向盐酸中加入适量的( )  
A.  $\text{NaOH}$  固体 B.  $\text{NaHCO}_3$  固体  
C.  $\text{NaHSO}_4$  固体 D.  $\text{CH}_3\text{COONa}$  固体
4. 将浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{HF}$  溶液加水不断稀释, 下列各量始终保持增大的是( )  
A.  $c(\text{H}^+)$  B.  $K_a(\text{HF})$  C.  $\frac{c(\text{F}^-)}{c(\text{H}^+)}$  D.  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{HF})}$
5. 常温下有体积相同的四种溶液: ①  $\text{pH}=3$  的  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液, ②  $\text{pH}=3$  的盐酸, ③  $\text{pH}=11$  的氨水, ④  $\text{pH}=11$  的  $\text{NaOH}$  溶液。下列说法正确的是( )  
A. 若将四种溶液稀释 100 倍, 溶液  $\text{pH}$  大小顺序: ③>④>①>②  
B. ③和④分别用等浓度的硫酸溶液中和, 消耗硫酸溶液的体积: ③=④  
C. ①与②分别与足量镁粉反应, 生成  $\text{H}_2$  的量: ①<②

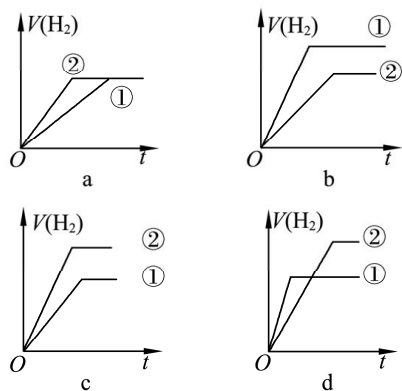
- D. ②和③混合, 所得混合溶液的  $\text{pH}$  大于 7
6. 室温下向  $10 \text{ mL}$   $\text{pH}=3$  的醋酸溶液中加水稀释后, 下列说法正确的是( )  
A. 溶液中导电粒子的数目减少  
B. 溶液中  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{OH}^-)}$  不变  
C. 醋酸的电离程度增大,  $c(\text{H}^+)$  亦增大  
D. 再加入  $10 \text{ mL}$   $\text{pH}=11$  的  $\text{NaOH}$  溶液, 混合液的  $\text{pH}=7$

## 应用·实践

7. 下图表示溶液中  $c(\text{H}^+)$  和  $c(\text{OH}^-)$  的关系, 下列判断错误的是( )



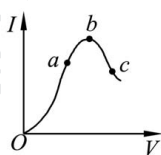
- A. 两条曲线间任意点均有  $c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = K_w$   
B.  $M$  区域内任意点均有  $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$   
C. 图中  $T_1 > T_2$   
D.  $XZ$  线上任意点均有  $\text{pH}=7$
8. (1) 某浓度的氨水中存在平衡:  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 。若想增大  $\text{NH}_4^+$  的浓度而不增大  $\text{OH}^-$  的浓度, 应采取的措施是\_\_\_\_\_ (填字母)。  
a. 适当升高温度 b. 加入  $\text{NH}_4\text{Cl}$  固体  
c. 通入  $\text{NH}_3$  d. 加入少量浓盐酸
- (2) 常温下, 有  $c(\text{H}^+)$  相同、体积相同的醋酸和盐酸两种溶液, 采取以下措施:  
①加适量醋酸钠晶体后, 两溶液中的  $c(\text{H}^+)$  变化情况是醋酸溶液中的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”), 盐酸中的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”).  
②加水稀释 10 倍后, 醋酸溶液中的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ (填“>”“=”或“<”) 盐酸溶液中的  $c(\text{H}^+)$ .  
③加等浓度的  $\text{NaOH}$  溶液至恰好中和, 所需  $\text{NaOH}$  溶液的体积: 醋酸 \_\_\_\_\_ (填“>”“=”或“<”) 盐酸。  
④使温度都升高  $20^\circ\text{C}$ , 溶液中的  $c(\text{H}^+)$ : 醋酸 \_\_\_\_\_ (填“>”“=”或“<”) 盐酸。  
⑤分别与足量的锌粉发生反应, 下列关于氢气体积 ( $V$ ) 随时间 ( $t$ ) 变化的示意图正确的是 \_\_\_\_\_ (填字母)。(①表示盐酸, ②表示醋酸)



(3) 将  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  加水稀释, 下列有关稀释后醋酸溶液的说法中, 正确的是 \_\_\_\_\_ (填字母)。

- a. 电离程度增大
- b. 溶液中的离子总数增多
- c. 溶液的导电性增强
- d. 溶液中的醋酸分子增多

9. 在一定温度下, 纯醋酸加水稀释过程中, 溶液的导电能力  $I$  随加入水的体积  $V$  变化的曲线如图所示。请回答:

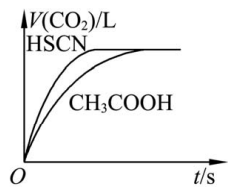


- (1)  $O$  点导电能力为 0 的理由是 \_\_\_\_\_。
- (2)  $a, b, c$  三点处, 溶液中的  $c(\text{H}^+)$  由小到大的顺序为 \_\_\_\_\_。
- (3)  $a, b, c$  三点处, 电离程度最大的是 \_\_\_\_\_。
- (4) 若使  $c$  点溶液中  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  增大,  $c(\text{H}^+)$  减小, 可采取的措施是: ① \_\_\_\_\_; ② \_\_\_\_\_; ③ \_\_\_\_\_。

迁移·创新

10. (1) 已知  $25^\circ\text{C}$  时弱电解质的电离平衡常数:  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_a(\text{HSCN}) = 0.13 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。使  $20 \text{ mL } 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液和  $20 \text{ mL } 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HSCN}$  溶液分别与  $20 \text{ mL}$

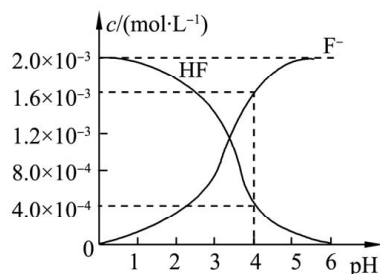
$0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$  溶液反应, 实验测得产生的  $\text{CO}_2$  气体体积 ( $V$ ) 与时间 ( $t$ ) 的关系如图



所示。① 反应开始时, 两种溶液产生  $\text{CO}_2$  的速率明显不同的原因是 \_\_\_\_\_。

② 反应结束后, 所得溶液  $c(\text{SCN}^-)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  (填“>”“=”或“<”)。

(2) 现有  $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  氢氟酸溶液, 调节溶液的 pH (忽略调节时体积变化), 测得  $25^\circ\text{C}$  时平衡体系中  $c(\text{F}^-)$ 、 $c(\text{HF})$  与溶液 pH 的关系如图所示。



$25^\circ\text{C}$  时,  $\text{HF}$  的电离平衡常数  $K_a(\text{HF}) =$  \_\_\_\_\_ (列式求值)。

(3) 已知:  $25^\circ\text{C}$  时,  $\text{HCOOH}$  的电离平衡常数  $K = 1.77 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的电离平衡常数  $K_1 = 4.4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_2 = 4.7 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。下列说法正确的是 \_\_\_\_\_ (填字母)。

- A. 向  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中加入甲酸溶液无明显现象产生
- B.  $25^\circ\text{C}$  时, 向甲酸溶液中加入  $\text{NaOH}$  溶液, 甲酸的电离程度和  $K$  均增大
- C. 向  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  甲酸溶液中加入蒸馏水,  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{HCOOH})}$  增大
- D. 向碳酸溶液中加入  $\text{NaHCO}_3$  固体, 溶液的 pH、溶液中的  $c(\text{HCO}_3^-)$  均增大

第 2 课时 盐类水解的原理

走进新知

素养初探

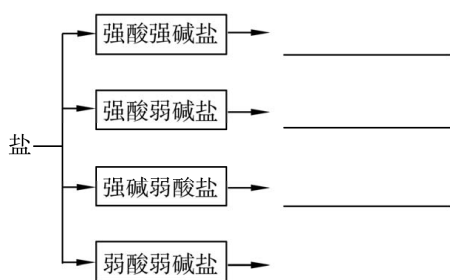
预习导读

1. 水的电离与溶液的酸碱性
- (1) 在水中加入酸 (或碱), 溶液中  $c(\text{H}^+)$  [或

$c(\text{OH}^-)$ ] 增大, 水的电离平衡向 \_\_\_\_\_ 方向移动。

(2) 溶液呈酸碱性的根本原因是 \_\_\_\_\_。溶液呈中性是因为 \_\_\_\_\_, 呈酸性是因为 \_\_\_\_\_, 呈碱性是因为 \_\_\_\_\_。

2. 将下列 8 种盐:  $\text{NaCl}$ 、 $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{COONa}$ 、 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  按生成盐的酸、碱的强弱分类, 填入下列空白处。



## 自主检测

写出下列中和反应的离子方程式：

- 醋酸与氢氧化钠溶液 \_\_\_\_\_。
- 盐酸与氨水恰好完全反应 \_\_\_\_\_。
- $H_2S$  与足量氢氧化钠溶液 \_\_\_\_\_。

## 学习体验 素养形成

## 探究学习 ① 盐类水解的实质

1. 常温下用 pH 试纸测定了下列盐溶液的 pH, 请填写下表并思考盐的分类与溶液的酸碱性之间有没有规律。

盐溶液	$AlCl_3$	$NH_4Cl$	$NaCl$	$CH_3COONa$	$Na_2CO_3$
分类			强酸强碱盐		
pH	4	5	7	9	10
酸碱性					

2. 以  $Na_2CO_3$  溶液为例：

(1)  $Na_2CO_3$  本身不能电离出  $H^+$  或  $OH^-$ , 它是如何改变水溶液中的  $c(H^+)$ 、 $c(OH^-)$  等量关系而呈碱性的？

(2)  $Na_2CO_3$  产生的  $Na^+$  对水的电离平衡有无影响？

(3)  $Na_2CO_3$  的水解对水的电离有什么影响？

3. 参照上述思路, 分析  $NH_4Cl$  溶液呈酸性、 $NaCl$  溶液呈中性的原因。能得出什么规律？

4. 盐类水解与中和反应是什么关系？由此可推知盐类水解有何特征？

5. 写出  $CO_3^{2-}$  水解的离子方程式。书写时应注意什么问题？

## 归纳总结

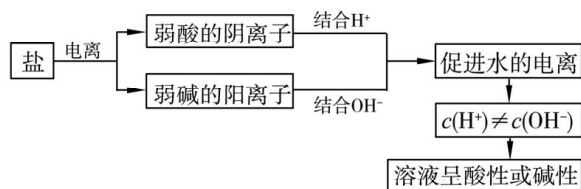
## 盐类水解的原理

## 1. 概念

在溶液中盐电离出的离子与水电离出的  $H^+$  或

$OH^-$  结合生成弱电解质的反应。

## 2. 实质



## 3. 特点

可逆 → 水解反应是可逆反应

吸热 → 水解反应是中和反应的逆反应, 是吸热反应

微弱 → 水解反应程度很微弱

## 4. 常见的“弱”离子

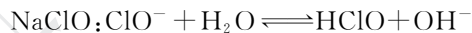
(1) 弱碱阳离子:  $NH_4^+$ , 金属活动性顺序表 Na 之后的金属阳离子, 如  $Mg^{2+}$ 、 $Al^{3+}$ 、 $Fe^{3+}$  等。

(2) 弱酸阴离子:  $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $SO_3^{2-}$ 、 $HSO_3^-$ 、 $S^{2-}$ 、 $HS^-$ 、 $ClO^-$ 、 $SiO_3^{2-}$ 、 $CH_3COO^-$ 、 $F^-$ 、 $[Al(OH)_4]^-$  等。

## 方法导引

## 水解方程式的书写要求

1. 盐类水解程度一般很小, 水解时通常不生成沉淀和气体, 书写水解的离子方程式时, 一般用“ $\rightleftharpoons$ ”连接, 产物不标“ $\uparrow$ ”或“ $\downarrow$ ”。例如:



$(NH_4)_2SO_4: NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + H^+$

2. 多元弱酸根离子的水解分步进行, 水解以第一步为主。例如:



3. 多元弱碱阳离子水解反应过程复杂, 只要求一步写到底。例如:



## 典例解析

【例 1】在水中加入下列物质, 可使水的电离平衡正向移动, 且所得溶液呈酸性的是( )

A.  $NaCl$  B.  $NaHSO_4$  C.  $Na_2CO_3$  D.  $NH_4Cl$

解析: A 项,  $NaCl$  对水的电离平衡无影响, 溶液呈中性; B 项,  $NaHSO_4$  中的  $H^+$  抑制水的电离, 且溶液呈酸性; C 项,  $CO_3^{2-}$  水解促进水的电离, 溶液呈碱性; D 项,  $NH_4^+$  水解促进水的电离, 溶液呈酸性。

答案: D

【例 2】有下列盐溶液: ①  $KNO_3$ , ②  $AgNO_3$ , ③  $K_2CO_3$ , ④  $FeCl_3$ , ⑤  $K_2SO_4$ , ⑥  $NaClO$ , ⑦  $NH_4Cl$ 。

呈酸性的是 \_\_\_\_\_, 呈碱性的是 \_\_\_\_\_, 呈中性的是 \_\_\_\_\_。

解析:  $AgNO_3$ 、 $FeCl_3$ 、 $NH_4Cl$  属于强酸弱碱盐, 溶

液呈酸性; $K_2CO_3$ 、 $NaClO$  属于强碱弱酸盐,溶液呈碱性; $KNO_3$ 、 $K_2SO_4$  属于强酸强碱盐,溶液呈中性。

答案:②④⑦ ③⑥ ①⑤

### 拓展训练

1. 等物质的量浓度的下列物质的溶液,其 pH 由小到大的顺序排列正确的是( )

① $CH_3COONa$  ② $NaOH$  ③ $NaNO_3$  ④ $HCl$   
⑤ $Al_2(SO_4)_3$

A. ①②③④⑤ B. ⑤④③②①  
C. ④⑤③①② D. ④⑤②①③

2. 写出下列物质发生水解反应的离子方程式,并指明水溶液的酸碱性:

(1) $Na_2S$ : \_\_\_\_\_。

(2) $CuSO_4$ : \_\_\_\_\_。

(3) $NH_4NO_3$ : \_\_\_\_\_。

(4) $NaF$ : \_\_\_\_\_。

### 探究学习 二 盐类水解的规律

阅读教材第 113 页“拓展视野”,回答下列问题:

1. 等浓度的  $CH_3COONa$  溶液、 $NaClO$  溶液均呈碱性,pH 较大的是哪种溶液? 判断的依据是什么?

2. (1) $CH_3COONH_4$  溶液为什么呈中性?

(2)相同条件下, $CH_3COONH_4$  溶液和  $NaCl$  溶液均为中性,水的电离程度相同吗?

3. (1) $NaHCO_3$  是强碱弱酸的酸式盐,溶液中存在着三种平衡(写出离子方程式):

水的电离平衡: \_\_\_\_\_;

$HCO_3^-$  的电离平衡: \_\_\_\_\_;

$HCO_3^-$  的水解平衡: \_\_\_\_\_。

(2)常温下, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $NaHCO_3$  溶液的 pH 为 8.4,说明  $HCO_3^-$  的电离程度和水解程度中相对较强的是\_\_\_\_\_。

(3)已知:碳酸的电离常数  $K_{a1} = 4.2 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,通过比较  $HCO_3^-$  的电离平衡常数和水解平衡常数  $K_h$ ,能得出(2)中相应结论吗? 写出推导计算过程。

### 归纳总结

#### 盐类的水解规律

可溶性盐溶液中:有弱才水解,无弱不水解,越弱越水解,都弱都水解,谁强显谁性。

### 方法导引

弱酸的酸式根离子在水溶液中存在电离平衡和水解平衡,弱酸酸式盐溶液的酸碱性取决于其电离程度和水解程度的相对大小。

(1)水解程度大于电离程度:如呈碱性的  $NaHCO_3$ 、 $NaHS$ 、 $Na_2HPO_4$  溶液。

(2)电离程度大于水解程度:如呈酸性的  $NaHSO_3$ 、 $KHC_2O_4$ 、 $NaH_2PO_4$  溶液。

### 典例解析

【例 3】下列有关盐类水解的说法不正确的是( )

- A. 盐类的水解过程破坏了纯水的电离平衡  
B. 盐类的水解是酸碱中和反应的逆过程  
C. 盐类水解的结果使溶液不一定呈中性  
D.  $Na_2CO_3$  水解的实质是  $Na^+$  与  $H_2O$  电离出的  $OH^-$  结合生成了  $NaOH$

解析: $Na_2CO_3$  水解的实质是  $CO_3^{2-}$  与  $H_2O$  电离出的  $H^+$  结合生成  $HCO_3^-$  和  $H_2CO_3$ ,使溶液中  $c(H^+) < c(OH^-)$ 。

答案:D

【例 4】下列各式中属于正确的水解反应离子方程式的是( )

- A.  $NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + H^+$   
B.  $S^{2-} + 2H_2O \rightleftharpoons H_2S + 2OH^-$   
C.  $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$   
D.  $CH_3COOH + OH^- \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_2O$

答案:A

### 拓展训练

3.  $A^+$ 、 $B^+$ 、 $C^-$ 、 $D^-$  四种离子两两组成四种可溶性盐,其中:AC 和 BD 盐溶液的 pH=7,BC 盐溶液的 pH>7,则下列说法不正确的是( )

- A. AD 盐溶液的 pH<7  
B. 在 AC 盐溶液中: $c(A^+) + c(AOH) = c(C^-) + c(HC)$   
C. 碱的电离程度一定是  $AOH > BOH$   
D. 酸的电离程度一定是  $HD > HC$

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

- pH=4 的醋酸和氯化铵溶液中,水的电离程度前者与后者比较为( )  
A. 大于 B. 小于 C. 等于 D. 无法确定
- 下列有关盐类水解的叙述正确的是( )  
A. 溶液呈中性的盐一定是强酸、强碱反应生成的盐  
B. 含有弱酸根离子的盐的水溶液一定呈碱性  
C. 盐溶液的酸碱性主要取决于形成盐的酸和碱的相对强弱  
D. 强酸强碱盐的水溶液一定呈中性
- 下列离子方程式属于盐的水解且书写正确的是( )



- A.  $\text{MgCl}_2$  溶液:  $\text{Mg}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{H}^+$   
 B.  $\text{NaHCO}_3$  溶液:  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$   
 C.  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液:  $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 + 2\text{OH}^-$   
 D.  $\text{KCN}$  溶液:  $\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{OH}^-$
4. 物质的量浓度相同的下列各物质的溶液, 由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  由大到小的顺序是( )  
 ①  $\text{NaHSO}_4$  ②  $\text{NaHCO}_3$  ③  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   
 ④  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   
 A. ④③②① B. ①②③④  
 C. ③②④① D. ③④②①
5. 物质的量相等的下列物质形成的等体积溶液中, 所含微粒种类最多的是( )  
 A.  $\text{CaCl}_2$  B.  $\text{CH}_3\text{COONa}$   
 C.  $\text{NH}_3$  D.  $\text{K}_2\text{S}$
6. 物质的量浓度相同的下列溶液中, 按 pH 由小到大的顺序排列的是( )  
 A.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$   
 B.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NaCl}$   
 C.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{S}$   
 D.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{NaNO}_3$

## 应用·实践

7. 在室温下, 有下列五种溶液:  
 ①  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{Cl}$  ②  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COONH}_4$   
 ③  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{HSO}_4$  ④  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  和  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{Cl}$  混合液  
 ⑤  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
 请根据要求填写下列空白:
- (1) 溶液①呈\_\_\_\_\_性(填“酸”“碱”或“中”), 其原因是\_\_\_\_\_ (用离子方程式表示)。  
 (2) 比较溶液②③中  $c(\text{NH}_4^+)$  的大小关系是②\_\_\_\_\_③(填“>”“<”或“=”)。  
 (3) 溶液④中, \_\_\_\_\_离子的浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。  
 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  和\_\_\_\_\_离子的物质的量浓度之和为  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。  
 (4) 室温下, 测得溶液②的  $\text{pH} = 7$ , 则说明  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  的水解程度\_\_\_\_\_  $\text{NH}_4^+$  的水解程度(填“>”“<”或“=”, 下同),  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  与  $\text{NH}_4^+$  浓度的大小关系是  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ \_\_\_\_\_  $c(\text{NH}_4^+)$ 。
8. (1) 有浓度均为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 8 种溶液: ①  $\text{HNO}_3$ , ②  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ③  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , ④  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , ⑤  $\text{NaOH}$ , ⑥  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , ⑦  $\text{KCl}$ , ⑧  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 。其溶液的 pH 由小到大的顺序是\_\_\_\_\_ (填序号)。  
 (2) 室温时,  $\text{pH} = 6$  的盐酸和  $\text{pH} = 8$  的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中, 水电离出的  $c(\text{OH}^-)$  分别为  $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $y \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 两者的关系正确的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- a.  $x = 10^{-2}y$  b.  $x = 10^2y$   
 c.  $x = y$  d.  $x > y$

(3) 常温下,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HA}$  溶液中  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{OH}^-)} =$

$10^8$ 。现取  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HA}$  溶液与  $\text{pH} = 13$  的  $\text{NaOH}$  溶液等体积混合(忽略混合后溶液体积的变化)。试回答下列问题:

① 混合溶液呈\_\_\_\_\_性(填“酸”“中”或“碱”), 理由是\_\_\_\_\_ (用离子方程式表示)。

② 混合溶液中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$  \_\_\_\_\_ (填“大于”“小于”或“等于”)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液中由水电离出的  $c(\text{H}^+)$ 。

9. 常温下, 有四种溶液:

- ①  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液 ②  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COONa}$  溶液  
 ③  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHSO}_3$  溶液 ④  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$  溶液

(1) 溶液①的  $\text{pH}$  \_\_\_\_\_ 7 (填“>”“<”或“=”), 溶液中离子的电荷守恒关系式是\_\_\_\_\_。

(2) 溶液②呈\_\_\_\_\_性(填“酸”“碱”或“中”)。其原因是\_\_\_\_\_ (用离子方程式和适当的文字说明)。

(3) 下列有关①和②两种溶液的说法正确的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- a. 两种溶液中的  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  都等于  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 b. 两种溶液中的  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  都小于  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 c.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中的  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  小于  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液中的  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$

(4)  $\text{NaHSO}_3$  溶液的  $\text{pH} < 7$ ,  $\text{NaHCO}_3$  溶液的  $\text{pH} > 7$ , 则  $\text{NaHSO}_3$  溶液中  $c(\text{H}_2\text{SO}_3)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{SO}_3^{2-})$  (填“>”“<”或“=”, 下同),  $\text{NaHCO}_3$  溶液中  $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{CO}_3^{2-})$ 。

## 迁移·创新

10.  $25^\circ\text{C}$  时, 用 pH 试纸测得  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaNO}_2$  溶液的  $\text{pH} > 7$ 。

(1)  $\text{NaNO}_2$  溶液  $\text{pH} > 7$  的原因是\_\_\_\_\_ (用离子方程式表示)。

(2) 常温下, 将  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_2$  溶液和  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液等体积混合, 溶液的成分是\_\_\_\_\_。所得溶液的  $\text{pH} < 7$ , 说明  $\text{HNO}_2$  的电离程度\_\_\_\_\_ (填“大于”或“小于”)  $\text{NaNO}_2$  的水解程度。

(3) 常温下  $\text{pH} = 3$  的  $\text{HNO}_2$  溶液和  $\text{pH} = 11$  的  $\text{NaOH}$  溶液等体积混合后溶液的  $\text{pH}$  \_\_\_\_\_ 7 (填“大于”或“小于”, 下同),  $c(\text{Na}^+)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{NO}_2^-)$ 。

## 第3课时 水解平衡的移动

## 走进新知 素养初探

## 预习导读

阅读教材第114页“活动探究”，以  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$  为例，填写下表。

	平衡移动方向	$c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$	$c(\text{CH}_3\text{COOH})$	$c(\text{OH}^-)$	pH	水解程度
加热						
加水						
加冰醋酸固体						
加 $\text{CH}_3\text{COONa}$ 固体						
加 $\text{NaOH}$ 固体						
加 $\text{HCl}$						

思考：其中运用勒·夏特列原理不易判断的情况，还可以运用什么方法进行判定？

## 自主检测

向纯碱溶液中滴入酚酞溶液：

(1) 观察到的现象是\_\_\_\_\_，原因是\_\_\_\_\_（用离子方程式表示）。

(2) 若微热溶液，观察到溶液红色加深，原因是\_\_\_\_\_。

(3) 以上实验说明水解反应是\_\_\_\_\_热反应。

## 学习体验 素养形成

## 探究学习(一) 影响盐类水解的主要因素

1. 已知  $25^\circ\text{C}$  时电离常数： $K_a(\text{HClO}) = 4.7 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

则  $25^\circ\text{C}$  时溶液的 pH： $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaClO}$  溶液\_\_\_\_\_  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CH}_3\text{COONa}$  溶液。

2. 已知  $25^\circ\text{C}$  时  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的电离常数： $K_{a1} = 4.2 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

则  $25^\circ\text{C}$  时溶液的 pH： $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{CO}_3$  溶液\_\_\_\_\_  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$  溶液。

## 归纳总结

1. 相同条件下，组成盐的酸根离子对应的酸越弱或阳离子对应的碱越弱，水解程度越大。

例如，若知酸性： $\text{HF} > \text{CH}_3\text{COOH}$ ，则相同温度、相同物质的量浓度的  $\text{NaF}$  溶液的碱性小于  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液的碱性，即水解程度： $\text{NaF} < \text{CH}_3\text{COONa}$ 。

多元弱酸正盐的水解，水解反应第一步远远大于第二步，原因是第一步水解产生的  $\text{OH}^-$  对第二步水解有抑制作用，并且正盐阴离子与  $\text{H}^+$  结合能力比酸式盐阴离子结合能力强。

例如， $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中：



2. 相同条件下，比较水解平衡常数大小可以判断水解程度， $K_h$  越大，水解程度越大。

3. 盐自身的性质是影响盐类水解程度的主要因素。

## 典例解析

【例1】已知某温度下， $K_a(\text{HCN}) = 6.2 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $K_a(\text{HF}) = 6.8 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $K_a(\text{HNO}_2) = 7.1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。物质的量浓度均为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的下列溶液中，pH 由大到小的顺序是( )

- A.  $\text{NaCN} > \text{NaNO}_2 > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{NaF}$   
 B.  $\text{NaF} > \text{NaNO}_2 > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{NaCN}$   
 C.  $\text{NaCN} > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{NaNO}_2 > \text{NaF}$   
 D.  $\text{NaCN} > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{NaF} > \text{NaNO}_2$

审题要点：关注题目中画“      ”的  $K_a$  值大小，比较酸性强弱及对应弱离子的水解程度。

解析：由  $K_a(\text{HNO}_2) > K_a(\text{HF}) > K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) > K_a(\text{HCN})$  可知，酸性： $\text{HNO}_2 > \text{HF} > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCN}$ ，水解能力： $\text{CN}^- > \text{CH}_3\text{COO}^- > \text{F}^- > \text{NO}_2^-$ ，水解能力越强，溶液的碱性越强，pH 越大。

答案：D

## 拓展训练

1. 物质的量浓度相同的三种盐  $\text{NaX}$ 、 $\text{NaY}$  和  $\text{NaZ}$  的溶液，其 pH 分别为 8、9、10，则  $\text{HX}$ 、 $\text{HY}$ 、 $\text{HZ}$  的酸性由强到弱的顺序是( )

- A.  $\text{HX}、\text{HZ}、\text{HY}$     B.  $\text{HX}、\text{HY}、\text{HZ}$   
 C.  $\text{HZ}、\text{HY}、\text{HX}$     D.  $\text{HY}、\text{HZ}、\text{HX}$

## 探究学习(二) 外界因素对盐类水解的影响

1. 观察以下实验,说明外界因素对盐类水解的影响:

(1)向盛有  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COONa}$  溶液中滴加一滴酚酞溶液,溶液显\_\_\_\_\_,微热,溶液颜色\_\_\_\_\_,说明升高温度, $\text{CH}_3\text{COO}^-$  水解平衡向\_\_\_\_\_移动。

(2)向试管中加入少量  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  固体,注入适量蒸馏水,待溶液中产生白色沉淀后,加入一定量的盐酸,振荡试管,观察到的现象是\_\_\_\_\_。说明加入盐酸,水解平衡向\_\_\_\_\_移动。

2. (1)以  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$  为例,分析外界因素对  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液水解平衡的影响。

	平衡移动方向	$c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$	$c(\text{CH}_3\text{COOH})$	$c(\text{OH}^-)$	pH	水解程度
加热						
加水						
加冰醋酸固体						
加 $\text{CH}_3\text{COONa}$ 固体						
加 NaOH 固体						
加 HCl						

(2)用  $Q$  与  $K_h$  的关系判断加水稀释  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液,水解平衡的移动方向。

3. 实验室模拟泡沫灭火器的作用原理,分析气体和沉淀产生的原因,判断水解平衡的移动方向和水解程度,写出离子方程式。

### 归纳总结

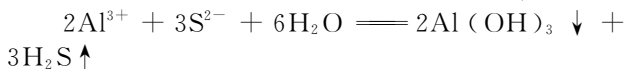
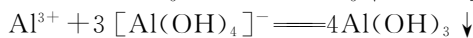
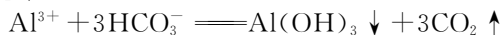
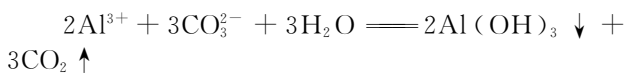
1. 外界因素对水解平衡的影响

(1)温度:盐的水解是吸热反应,因此升高温度,水解平衡向水解方向移动,水解程度增大。

(2)浓度:稀释盐溶液可使水解平衡向水解方向移动,水解程度增大,若增大盐的浓度,水解平衡向水解方向移动,但水解程度减小。

(3)外加酸碱:向盐溶液中加入酸,可抑制弱碱阳离子水解,促进弱酸根离子水解;加碱可抑制弱酸根离子水解,促进弱碱阳离子水解。

2. (1)  $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  或  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{HS}^-$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  等组成的盐水解相互促进非常彻底,生成气体和沉淀,标明“↓”或“↑”,书写时用“ $\rightleftharpoons$ ”表示。例如:



(2)  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$  等组成的盐虽然水解相互促进,但水解程度较小,仍是部分水解,书写时仍用“ $\rightleftharpoons$ ”表示。

### 典例解析

**【例2】**已知室温时, $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离常数为  $1.75 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  的电离常数为  $1.75 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。0.1 mol · L<sup>-1</sup> 的下列溶液:①  $\text{CH}_3\text{COONa}$ 、②  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、③  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 、④  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , pH 由小到大排列正确的是( )

- A. ① < ② < ④ < ③    B. ① < ③ < ② < ④  
C. ① < ② < ③ < ④    D. ④ < ② < ③ < ①

**解析:**  $\text{NH}_4^+$  水解使溶液的  $\text{pH} < 7$ ;  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  水解使溶液的  $\text{pH} > 7$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液中的  $\text{NH}_4^+$  浓度大于  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中的  $\text{NH}_4^+$  浓度,即  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液中  $\text{NH}_4^+$  水解出的  $c(\text{H}^+)$  大于  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中  $\text{NH}_4^+$  水解出的  $c(\text{H}^+)$ , 故  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液的  $\text{pH}$  小于  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液;  $\text{CH}_3\text{COOH}$  与  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  电离常数相等,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  溶液的  $\text{pH} = 7$ 。

**答案:** D

### 拓展训练

2. 在一定条件下,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中存在  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$  平衡。下列说法不正确的是( )

- A. 稀释溶液,  $\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{CO}_3^{2-})}$  增大  
B. 通入  $\text{CO}_2$ , 溶液的  $\text{pH}$  减小  
C. 升高温度, 平衡常数增大  
D. 加入 NaOH 固体,  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_3^{2-})}$  减小

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

1. 下列关于  $\text{FeCl}_3$  水解的说法错误的是( )
- A. 在  $\text{FeCl}_3$  稀溶液中, 水解达到平衡时, 无论加饱和  $\text{FeCl}_3$  溶液还是加水稀释, 平衡均向右移动  
B. 浓度为  $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的两种  $\text{FeCl}_3$  溶液, 其他条件相同时,  $\text{Fe}^{3+}$  的水解程度前者小于后者  
C. 其他条件相同时, 同浓度的  $\text{FeCl}_3$  溶液在  $50^\circ\text{C}$

和 20℃ 时发生水解, 50℃ 时  $\text{Fe}^{3+}$  的水解程度比 20℃ 时的小

- D. 为抑制  $\text{Fe}^{3+}$  的水解, 更好地保存  $\text{FeCl}_3$  溶液, 应加少量盐酸
2. 为了配制  $\text{NH}_4^+$  的浓度与  $\text{Cl}^-$  的浓度比为 1:1 的溶液, 可在  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中加入( )  
 ①适量的 HCl ②适量的 NaCl ③适量的氨水 ④适量的 NaOH  
 A. ①② B. ③ C. ③④ D. ④
3. 常温下,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的下列溶液中  $c(\text{NH}_4^+)$  最大的是( )  
 A.  $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  B.  $\text{NH}_4\text{Cl}$   
 C.  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  D.  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$
4. 下列离子因相互促进的水解而不能大量共存的是( )  
 A.  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$   
 B.  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$   
 C.  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{K}^+$   
 D.  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$
5. 有关下列两种溶液的说法中, 正确的是( )  
 ①  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液  
 ②  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液  
 A. 相同温度下, 溶液中水的电离程度: 溶液① > 溶液②  
 B. 等体积混合溶液①和溶液②, 所得溶液中  $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$   
 C. 加水稀释溶液①, 溶液中  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{Na}^+)}$  不变  
 D. 向溶液①中加少量的  $\text{CH}_3\text{COONa}$  固体, 则  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{Na}^+)}$  减小
6. 下列有关电解质溶液的说法正确的是( )  
 A. 水解相互促进的离子也可能大量共存于同一溶液中  
 B. 保存氯化亚铁溶液时, 在溶液中放少量铁粉, 以防止  $\text{Fe}^{2+}$  水解  
 C. 室温下, 向  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中加入少量水溶液显碱性的物质,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离程度一定增大  
 D. 等 pH 的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液和  $\text{NaOH}$  溶液, 两溶液中水的电离程度相同

应用·实践

7. 碳酸:  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 草酸:  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $K_{a1} = 5.9 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_{a2} = 6.4 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 (1)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的 pH \_\_\_\_\_  
 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液的 pH (填“大于”“小于”或“等于”).  
 (2) 等浓度草酸溶液和碳酸溶液中, 氢离子浓度较大的是\_\_\_\_\_。

8.  $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  是食品加工中最为快捷的食品添加剂, 用于焙烤食品;  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  在分析试剂、医药、电子工业中用途广泛。请回答下列问题:

- (1)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  溶液中的  $c(\text{NH}_4^+)$  \_\_\_\_\_  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  溶液中的  $c(\text{NH}_4^+)$  (填“等于”“大于”或“小于”).  
 (2) 图 1 是  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  电解质溶液的 pH 随温度变化的图像。

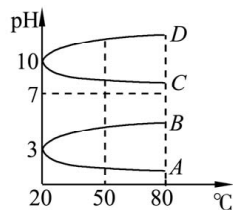


图1

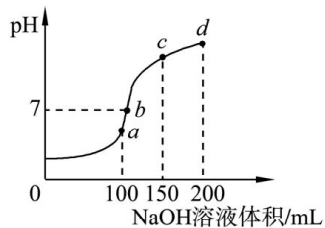
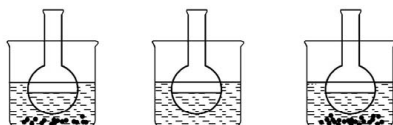


图2

- ①其中符合  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  溶液的 pH 随温度变化的曲线是\_\_\_\_\_ (填字母).  
 ②20℃ 时,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  溶液中  $2c(\text{SO}_4^{2-}) - c(\text{NH}_4^+) - 3c(\text{Al}^{3+}) =$  \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .  
 (3) 室温时, 向 100 mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  溶液中滴加  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液, 得到的溶液 pH 与  $\text{NaOH}$  溶液体积的关系曲线如图 2 所示。试分析图中 a、b、c、d 四个点, 水的电离程度最大的是\_\_\_\_\_; 在 b 点, 溶液中各离子浓度由大到小的排列顺序是\_\_\_\_\_。  
 9. 如图所示三个烧瓶中分别装入含酚酞的  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液, 并分别放置在盛有水的烧杯中, 然后向烧杯①中加入生石灰, 向烧杯③中加入  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  晶体, 烧杯②中不加任何物质。



①加入生石灰 ②室温 ③加入  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  晶体

- (1) 含酚酞的  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液显浅红色的原因为\_\_\_\_\_。  
 (2) 实验过程中发现烧杯①中溶液红色变深, 烧杯③中溶液红色变浅, 则下列叙述正确的是\_\_\_\_\_。  
 A. 水解反应为放热反应  
 B. 水解反应为吸热反应  
 C.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  溶于水时放出热量  
 D.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  溶于水时吸收热量  
 (3) 向  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液中分别加入少量浓盐酸、 $\text{NaOH}$  固体、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  固体、 $\text{FeSO}_4$  固体, 使  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  水解平衡移动的方向分别为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ (均填“左”“右”或“不移动”)。



## 迁移·创新

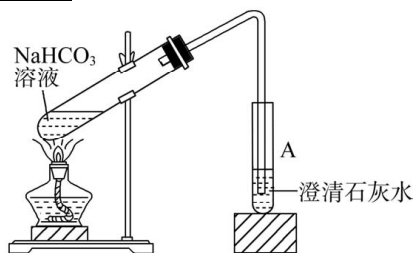
10. 10℃时,在烧杯中加入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$  溶液 400 mL,加热,测得该溶液的 pH 发生如下变化:

温度/℃	10	20	30	50	70
pH	8.3	8.4	8.5	8.9	9.4

- 甲同学认为,该溶液的 pH 升高的原因是  $\text{HCO}_3^-$  的水解程度增大,故碱性增强,该反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。
- 乙同学认为,溶液 pH 升高的原因是  $\text{NaHCO}_3$  受热分解生成了  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,并推断水解程度  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  \_\_\_\_\_  $\text{NaHCO}_3$  (填“大于”或“小于”)。
- 丙同学认为,要确定上述哪种说法合理,只要

把加热后的溶液冷却到 10℃ 后再测定溶液的 pH,若 pH \_\_\_\_\_ 8.3 (填“>”“<”或“=”,下同),说明甲同学正确;若 pH \_\_\_\_\_ 8.3,说明乙同学正确。

- 丁同学设计如下实验方案对甲、乙同学的解释进行判断:实验装置如图所示,加热煮沸  $\text{NaHCO}_3$  溶液,发现试管 A 中产生沉淀,说明\_\_\_\_\_ (填“甲”或“乙”)同学推测正确。



## 第4课时 盐类水解的应用

## 走进新知

## 素养初探

## 预习导读

## 1. 用作净水剂

铝盐、铁盐等部分盐类水解生成胶体,有较强的吸附性,常用作净水剂。如明矾水解的离子方程式为\_\_\_\_\_。

## 2. 热碱水去油污

加热\_\_\_\_\_  $\text{CO}_3^{2-}$  的水解,溶液碱性\_\_\_\_\_,去污能力增强。

纯碱水解的离子方程式为\_\_\_\_\_。

## 3. 盐溶液的配制和保存

配制、保存  $\text{SnCl}_2$  或  $\text{FeCl}_3$  等易水解的盐溶液时,加入少量盐酸的目的是\_\_\_\_\_。

## 4. 制备胶体

向沸水中滴加饱和  $\text{FeCl}_3$  溶液,并加热至沸腾以\_\_\_\_\_  $\text{Fe}^{3+}$  水解程度,从而制备  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体。

## 5. 泡沫灭火器的原理

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液与小苏打溶液发生水解相互促进反应,产生  $\text{CO}_2$  气体和  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀,将燃烧物质与空气隔离开来,离子方程式为\_\_\_\_\_。

## 6. 铵态氮肥不能与草木灰混合使用

$\text{NH}_4^+$  与  $\text{CO}_3^{2-}$  水解相互促进放出\_\_\_\_\_而降低铵态氮肥的肥效。

## 7. 工业制备物质

工业制备某些无水盐时,不能用蒸发结晶的方法,如由  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  制无水  $\text{MgCl}_2$  要在\_\_\_\_\_气流中加热,否则:  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta}$



## 自主检测

下列事实:

- $\text{NaHSO}_4$  溶液呈酸性;
- 长期使用化肥  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  会使土壤酸性增强,发生板结;
- 配制  $\text{CuCl}_2$  溶液,用稀盐酸溶解  $\text{CuCl}_2$  固体;
- $\text{NaHS}$  溶液中  $c(\text{H}_2\text{S}) > c(\text{S}^{2-})$ ;
- 氯化铵溶液可去除金属制品表面的锈斑;
- 加热  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  晶体,往往得不到  $\text{FeCl}_3$  固体。

其中与盐类的水解有关的叙述有( )

- A. 6 项 B. 5 项 C. 3 项 D. 4 项

## 学习体验

## 素养形成

## 探究学习(一) 盐类水解在定性和半定量判断方面的综合应用

1. 相同物质的量浓度的下列溶液  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ , pH 由大到小的顺序为\_\_\_\_\_。判断的依据是什么?

2. 室温条件下,判断下列情况:

(1) 如用氨水与盐酸反应至  $\text{pH} = 7$  时,\_\_\_\_\_过量;醋酸与氢氧化钠反应至中性时,\_\_\_\_\_过量。

(2) 等物质的量浓度的氨水与盐酸等体积混合,溶液呈\_\_\_\_\_性。等物质的量浓度的氢氧化钠与

醋酸等体积混合,溶液呈\_\_\_\_\_性。

(3) pH=4 的盐酸与 pH=10 的氨水等体积混合,溶液呈\_\_\_\_\_性。pH=4 的醋酸与 pH=10 的 NaOH 溶液等体积混合,溶液呈\_\_\_\_\_性。

3. 分析  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中存在的平衡,比较溶液中各离子浓度大小。

4. 已知物质的量浓度相同的两种盐溶液 NaA 和 NaB,其溶液的 pH 前者大于后者,则酸 HA 和 HB 的酸性强弱为\_\_\_\_\_。

### 归纳总结

#### 盐类水解用于定性判断的注意事项

1. “谁弱谁水解,越弱越水解”。如酸性:  $\text{HCN} < \text{CH}_3\text{COOH}$ , 则相同条件下碱性:  $\text{NaCN} > \text{CH}_3\text{COONa}$ 。

2. 相同条件下的水解程度

(1) 正盐  $>$  相应酸式盐,如  $\text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^-$ 。

(2) 相互促进水解的盐  $>$  单独水解的盐  $>$  相互抑制水解的盐。如  $\text{NH}_4^+$  的水解:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 。

3. 利用盐的水解规律时一定把盐与酸的对应关系找准确,尤其是二元弱酸,如  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对应的酸是  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NaHCO}_3$  对应的酸是  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 。

### 典例解析

【例 1】下列事实一定能证明  $\text{HNO}_2$  是弱电解质的是( )

- ① 常温下  $\text{NaNO}_2$  溶液的 pH 大于 7
- ② 用  $\text{HNO}_2$  溶液做导电实验,灯泡很暗
- ③  $\text{HNO}_2$  和 NaCl 不能发生反应
- ④ 相同条件下,  $\text{NaNO}_2$  溶液比醋酸钠溶液的 pH 小
- ⑤  $\text{NaNO}_2$  和  $\text{H}_3\text{PO}_4$  反应,生成  $\text{HNO}_2$
- ⑥ 0.1 mol  $\cdot$  L<sup>-1</sup>  $\text{HNO}_2$  溶液稀释至 100 倍, pH 约为 3.9

A. ①④⑥ B. ①②③④ C. ①⑤⑥ D. 全部

解析:①中证明  $\text{NO}_2^-$  能水解,证明  $\text{HNO}_2$  为弱酸。②中未指明浓度,也没有参照物,不能说明问题。③中  $\text{HNO}_2$  无论是强酸还是弱酸都不与 NaCl 反应。④中说明  $\text{HNO}_2$  的酸性比醋酸的强,但不能说明是弱酸。⑤中的  $\text{H}_3\text{PO}_4$  为中强酸,而被中强酸制备的酸必定酸性更弱,即为弱电解质。⑥中  $\text{HNO}_2$  溶液被稀释,  $c(\text{H}^+)$  变化与  $c(\text{HNO}_2)$  变化不同步,证明存在电离平衡移动,即为弱电解质。

答案:C

易错点拨:通过溶液导电性实验间接证明

$\text{HNO}_2$  的不完全电离,必须要取等浓度的一元强酸溶液形成对比实验才能说明问题。

【例 2】相同物质的量浓度的  $\text{NaCN}$ 、 $\text{NaClO}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  相比,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的 pH 最大,  $\text{NaClO}$  溶液的 pH 最小,则下列说法正确的是( )

A. 同温、同浓度时,酸的强弱:  $\text{HClO} > \text{HCN} > \text{H}_2\text{CO}_3$

B. 同温、同浓度时,酸溶液的 pH:  $\text{HClO} > \text{HCN} > \text{H}_2\text{CO}_3$

C. 同体积、同浓度的  $\text{HCN}$  和  $\text{HClO}$  与 NaOH 恰好完全反应时,消耗 NaOH 的物质的量:  $\text{HClO} > \text{HCN}$

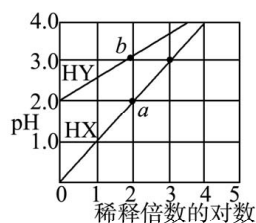
D. 同体积、同浓度的  $\text{HCN}$  和  $\text{HClO}$  的溶液中酸根离子浓度:  $c(\text{CN}^-) < c(\text{ClO}^-)$

解析:在相同浓度条件下,酸越弱,对应盐溶液的碱性越强,即 pH 较大。可以确定酸性:  $\text{HCO}_3^- < \text{HCN} < \text{HClO}$ , pH:  $\text{HCN} > \text{HClO}$ , 由于是同体积、同浓度的  $\text{HCN}$  和  $\text{HClO}$  与 NaOH 恰好反应,故消耗 NaOH 的量相同,所以 A、B、C 均错误;由于酸性越强电离程度越大,故  $c(\text{CN}^-) < c(\text{ClO}^-)$ , D 正确。

答案:D

### 拓展训练

1. 常温下,体积相同、浓度均为 1.0 mol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> 的 HX 溶液、HY 溶液,分别加水稀释,稀释后溶液的 pH 随稀释倍数的对数的变化如图所示,下列叙述正确的是( )



A. HX 是强酸,溶液每稀释 10 倍, pH 始终增大 1

B. 常温下 HY 的电离常数约为  $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

C. 溶液中水的电离程度: a 点大于 b 点

D. 消耗同浓度的 NaOH 溶液体积: a 点大于 b 点

### 探究学习(二) 判断加热蒸发盐溶液析出的固体成分

1. 列举加热促进盐类水解的应用实例。

2. 加热蒸干 NaCl 溶液、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液,得到的固体是什么?

3. 加热蒸干  $\text{AlCl}_3$  溶液,得到的固体成分是什么? 灼烧所得固体,成分发生变化吗?

4. 加热蒸干  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  溶液能得到  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  固体吗? 如果是  $\text{FeSO}_4$  溶液或是  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液呢?

### 方法导引

分析蒸干盐溶液所得物质成分时应注意的问题

1. 盐水解后的酸能否挥发

盐水解生成难挥发性酸时, 蒸干后一般得该盐, 如  $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  等。

盐水解生成易挥发性酸时, 蒸干后一般得对应弱碱, 如  $\text{AlCl}_3$ 、 $\text{FeCl}_3$  等。

2. 盐是否分解

如  $\text{Cu}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{KMnO}_4$  等受热易分解。

3. 盐能否发生氧化反应

如  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  易被  $\text{O}_2$  氧化为  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 。

### 归纳总结

1. 盐溶液蒸干后产物的判断

常见类型	溶液蒸干所得物质
金属阳离子易水解的易挥发性强酸盐	蒸干时得到氢氧化物, 灼烧时得到氧化物, 如 $\text{AlCl}_3$ (或 $\text{FeCl}_3$ ) 溶液蒸干时得到 $\text{Al}(\text{OH})_3$ [或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ], 灼烧产物为 $\text{Al}_2\text{O}_3$ (或 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
金属阳离子易水解的难挥发性强酸盐	蒸干得原溶质, 如 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液蒸干仍得 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 固体
酸根离子易水解的强碱盐	蒸干得原溶质, 如 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液蒸干得 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 固体
阴、阳离子均易水解, 且水解产物易挥发的盐	蒸干后得不到任何物质, 如 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 等蒸干后得不到任何物质
不稳定的化合物的水溶液	加热时在溶液中就能分解, 得不到原物质, 如 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液蒸干后得 $\text{CaCO}_3$ , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液蒸干后得 $\text{Mg}(\text{OH})_2$
易被氧化的盐	蒸干时会被 $\text{O}_2$ 氧化, 蒸干后得不到原物质, 如 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 溶液蒸干后得 $\text{Na}_2\text{SO}_4$

2. 溶液蒸干产物的判断还需从多方面考虑, 例如, 蒸干  $\text{NaClO}$  溶液时, 既要考虑  $\text{ClO}^-$  的水解还需考虑  $\text{HClO}$  的受热分解, 所以蒸干  $\text{NaClO}$  溶液所得固体为  $\text{NaCl}$ 。

### 典例解析

【例 3】在蒸发皿中加热蒸干并灼烧(低于  $400^\circ\text{C}$ ) 下列物质的溶液, 可以得到该固体物质的是( )

- A. 氯化铝                      B. 碳酸氢钠  
C. 硫酸铁                      D. 高锰酸钾

解析:  $\text{AlCl}_3$  发生水解反应:  $\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$ , 加热时生成的  $\text{HCl}$  挥发而使水解平衡向右移动, 生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀, 它被灼烧得  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{KMnO}_4$  受热后分解得到  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{K}_2\text{MnO}_4$  和  $\text{MnO}_2$ , 只有  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  蒸干后得到原物质。

答案: C

### 拓展训练

2. 将下列固体物质溶于水, 再将其溶液加热, 蒸发结晶、再灼烧, 得到化学组成与原固体物质相同的是( )

- ①胆矾    ②氯化铝    ③硫酸铝    ④氯化铜  
A. ③      B. ①④      C. ①②③      D. 全部

## 分层训练 素养提升

### 学习·理解

1. 下列与盐的水解有关的是( )

- ①  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液与  $\text{ZnCl}_2$  溶液均可做焊接金属中的除锈剂    ②  $\text{NaHCO}_3$  溶液与  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液可做泡沫灭火剂    ③ 草木灰与铵态氮肥不能混合施用    ④ 实验室盛放碳酸钠溶液的试剂瓶不能用磨口玻璃塞    ⑤ 加热蒸干  $\text{AlCl}_3$  溶液得到  $\text{Al}(\text{OH})_3$  固体  
A. 只有①②③                      B. 只有②③④  
C. 只有①④⑤                      D. ①②③④⑤

2. 为了得到比较纯净的物质, 使用的方法恰当的是( )

- A. 向饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中通入过量的  $\text{CO}_2$  后, 在加压、加热的条件下, 蒸发得到  $\text{NaHCO}_3$  晶体  
B. 加热蒸发饱和  $\text{AlCl}_3$  溶液可得到纯净的  $\text{AlCl}_3$  晶体  
C. 向  $\text{FeBr}_2$  溶液中加入过量的氯水, 加热蒸发得  $\text{FeCl}_3$  晶体  
D. 向  $\text{FeCl}_3$  溶液中加入足量的  $\text{NaOH}$  溶液, 经过滤、洗涤沉淀, 再充分灼烧沉淀得到  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

3. 下列事实能证明  $\text{HCOOH}$  为弱酸的是( )

- A. 可与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  反应生成  $\text{CO}_2$   
B. 常温时  $\text{HCOONa}$  溶液的 pH 大于 7

- C. HCOOH 溶液的导电能力低于同浓度的硫酸  
 D.  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  HCOOH 溶液可以使甲基橙变红

4. 相同温度下, 三种酸的电离常数见下表, 下列判断正确的是( )

酸	HX	HY	HZ
电离常数 $K$	$9 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$9 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- A. 三种酸的酸性强弱关系:  $\text{HX} > \text{HY} > \text{HZ}$   
 B. 反应  $\text{HZ} + \text{Y}^- \rightleftharpoons \text{HY} + \text{Z}^-$  能够发生  
 C. 相同温度下,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 NaX、NaY、NaZ 溶液, NaZ 溶液的 pH 最大  
 D. 相同温度下,  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  HX 溶液的电离常数大于  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  HX 溶液的电离常数
5. 下列说法正确的是( )
- A.  $\text{AlCl}_3$  溶液和  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液加热、蒸发、浓缩、结晶、灼烧, 所得固体的成分相同  
 B. 配制  $\text{FeCl}_3$  溶液时, 将  $\text{FeCl}_3$  固体溶解在硫酸中, 然后再用水稀释到所需的浓度  
 C. 向  $\text{CuCl}_2$  溶液中加入  $\text{CuO}$ , 调节 pH 可除去溶液中混有的  $\text{Fe}^{3+}$   
 D. 泡沫灭火器中常使用的原料是碳酸钠和硫酸铝
6.  $25^\circ\text{C}$  时,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  下列溶液的 pH 见下表, 有关比较正确的是( )

序号	①	②	③	④	⑤
溶液	NaCl	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	NaClO	$\text{NaHCO}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
pH	7.0	7.0	10.3	8.3	11.6

- A. 酸性的相对强弱:  $\text{HClO} < \text{HCO}_3^-$   
 B. 由水电离产生的  $c(\text{H}^+)$ : ① = ②  
 C. 溶液 ③ ④ 中酸根离子浓度:  $c(\text{ClO}^-) > c(\text{HCO}_3^-)$   
 D. 在 ④ ⑤ 溶液等体积混合的溶液中:  $c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

### 应用·实践

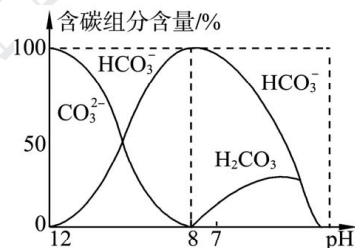
7. (1) 明矾可用于净水, 原因是(用离子方程式表示): \_\_\_\_\_。  
 把  $\text{FeCl}_3$  溶液蒸干, 灼烧, 最后得到的主要固体产物是 \_\_\_\_\_。  
 (2) 用离子方程式表示泡沫灭火器的灭火原理: \_\_\_\_\_。  
 (3) 为了除去  $\text{MgCl}_2$  酸性溶液中的  $\text{Fe}^{3+}$ , 可在加热搅拌的条件下加入  $\text{MgCO}_3$  固体, 过滤后再加入足量盐酸。  $\text{MgCO}_3$  固体能除去  $\text{Fe}^{3+}$  的

原因是 \_\_\_\_\_。

8. (1) 常温下,  $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液的 pH \_\_\_\_\_ 7 (填“>”“=”或“<”)。  
 (2) 相同物质的量浓度的  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液与  $\text{NaHS}$  溶液, pH 大小:  $\text{Na}_2\text{S}$  \_\_\_\_\_  $\text{NaHS}$  (填“>”“=”或“<”)。  
 (3) 已知在  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaHSO}_3$  溶液中有关微粒浓度由大到小的顺序为  $c(\text{Na}^+) > c(\text{HSO}_3^-) > c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{H}_2\text{SO}_3)$ 。该溶液中  $c(\text{H}^+) \text{ _____ } c(\text{OH}^-)$  (填“>”“=”或“<”), 简述理由: \_\_\_\_\_。  
 9.  $\text{BiCl}_3$  水解生成  $\text{BiOCl}$  沉淀。  
 (1) 写出水解反应的离子方程式: \_\_\_\_\_。  
 (2) 医药上把  $\text{BiOCl}$  称为次氯酸铋, 该名称 \_\_\_\_\_ (填“合理”或“不合理”), 其理由是 \_\_\_\_\_。  
 (3) 配制  $\text{BiCl}_3$  溶液时, 其方法是 \_\_\_\_\_。  
 (4) 把适量固体  $\text{BiCl}_3$  置于  $\text{NaCl}$  浓溶液可得到澄清溶液, 其原因是 \_\_\_\_\_。

### 迁移·创新

10. 常温下在  $20 \text{ mL } 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中逐滴加入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{HCl}$  溶液  $40 \text{ mL}$ , 溶液中含碳元素的各种微粒 ( $\text{CO}_2$  因逸出未画出) 物质的量分数 (纵轴) 随溶液 pH 变化的部分情况如图所示。

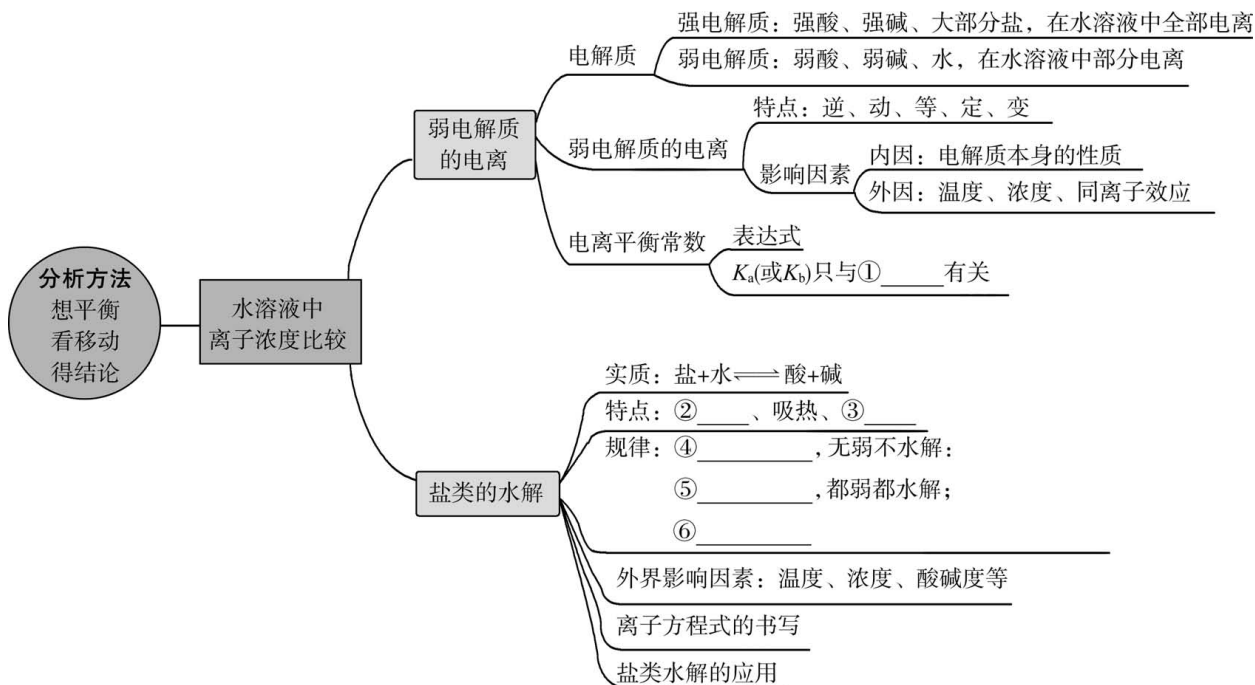


回答下列问题:

- (1) 在同一溶液中,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  \_\_\_\_\_ (填“能”或“不能”) 大量共存。  
 (2) 当  $\text{pH} = 7$  时, 溶液中含碳元素的主要微粒为 \_\_\_\_\_, 溶液中各种离子的物质的量浓度的大小关系为 \_\_\_\_\_。  
 (3) 已知在  $25^\circ\text{C}$  时,  $\text{CO}_3^{2-}$  水解反应的平衡常数即水解常数  $K_h = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{CO}_3^{2-})} = 2.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 当溶液中  $c(\text{HCO}_3^-) : c(\text{CO}_3^{2-}) = 2 : 1$  时, 溶液的  $\text{pH} = \text{_____}$ 。



## 本书建构整合



## 教材习题答案

1.

变化条件	醋酸的电离平衡	CH <sub>3</sub> COOH 浓度	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> 浓度	H <sup>+</sup> 浓度
加入水	正向移动	减小	减小	减小
加入少量醋酸钠固体	逆向移动	增大	增大	减小
通入少量氯化氢气体	逆向移动	增大	减小	增大
滴加少量NaOH溶液	正向移动	减小	增大	减小

2. (1) CH<sub>3</sub>COOK 溶液：碱性，因为 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> 水解生成 CH<sub>3</sub>COOH 和 OH<sup>-</sup>，溶液中  $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。  
 (2) NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 溶液：酸性，因为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 水解生成 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 和 H<sup>+</sup>， $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。  
 (3) KCl 溶液：中性，不存在离子的水解， $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$ 。

3. 方案 1：室温下，取一定浓度的氨水少许，测定其 pH，再向氨水中加入少量醋酸铵固体，完全溶解后，再测定其 pH，若 pH 减小说明 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 存在电离平衡。

方案 2：用 pH 试纸测定氯化铵溶液呈酸性，能间接说明 NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 是弱电解质，存在电离平衡。

4. ②①⑤④③
5. (1) 草木灰中有碳酸钾之类的强碱弱酸盐，因此溶液为碱性，易与铵类碱反应，生成氨气，导致氮的流失。  
 (2)  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ ；加入盐酸后，增加了 H<sup>+</sup>，使平衡向左移动，抑制 Fe<sup>3+</sup> 的水解。
6. 醋酸的电离为吸热反应，温度升高，平衡向电离方向移动，H<sup>+</sup> 浓度增大，酸性增强，pH 减小。
7. (1) 海水中含有一定量的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>，因发生水解而使海水呈现弱碱性  
 (2) 升高 夏天气温升高，导致表层海水中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 水解平衡被促进，生成的  $c(\text{OH}^-)$  增大，海水的 pH 会有所升高（忽略水的离子积随温度的变化）

## 第3节 沉淀溶解平衡

### → 瞄准课标 靶向学习 →

课标内容要求	课标学业要求
1. 认识难溶电解质在水溶液中存在沉淀溶解平衡,了解沉淀的生成、溶解与转化。 2. 了解水溶液中的离子反应与平衡在物质检测、化学反应规律研究、物质转化中的应用。了解溶液 pH 的调控在工农业生产和科学研究中的应用。	1. 能用化学用语正确表示水溶液中的离子反应与平衡,能通过实验证明水溶液中存在的离子平衡,能举例说明离子反应与平衡在生产、生活中的应用。 2. 能综合运用离子反应、化学平衡原理,分析和解决生产、生活中有关电解质溶液的实际问题。

### 第 1 课时 沉淀溶解平衡与溶度积

#### 走进新知

#### 素养初探

#### 预习导读

关于沉淀溶解平衡:

(1) 概念:在一定温度下,当沉淀\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的速率相等时,即达到溶解平衡状态。

(2) 实例:AgCl 沉淀体系中的溶解平衡可表示为\_\_\_\_\_。

由于沉淀、溶解之间的这种动态平衡的存在,决定了  $\text{Ag}^+$  与  $\text{Cl}^-$  的反应不能完全进行到底。

(3) 特征:

- ①——动态平衡,溶解速率和沉淀速率不等于0。
- ②——溶解速率和沉淀速率相等。
- ③——平衡状态时,溶液中的离子浓度保持不变。
- ④——当改变外界条件时,溶解平衡发生移动。

(4) 在一定温度下,沉淀达溶解平衡后的溶液为饱和溶液,其离子浓度不再发生变化,溶液中各离子浓度幂之积为常数,叫作溶度积常数(简称溶度积),用  $K_{sp}$  表示。

#### 自主检测

1. 判断正误:

(1) 只有易溶电解质在溶液中才存在溶解平衡。( )

(2) 难溶电解质在溶液中只存在溶解平衡,不存在电离平衡。( )

(3) 沉淀溶解平衡只能在电解质溶解于水时建立。( )

(4) 电解质表面上的离子或分子脱离电解质的速率与溶液中的离子或分子沉积到电解质表面的速率相等,即达到沉淀溶解平衡。( )

(5) 向 AgCl 沉淀体系中加少量水,AgCl 沉淀溶解的更多, $c(\text{Ag}^+)$  增大。( )

2. 下列有关 AgCl 的沉淀溶解平衡的说法中,不正确的是( )

- A. AgCl 的沉淀生成和溶解不断进行,但速率相等
- B. AgCl 难溶于水,溶液中没有  $\text{Ag}^+$  和  $\text{Cl}^-$
- C. 升高温度,AgCl 沉淀的溶解度增大
- D. 向 AgCl 的饱和溶液中加入 NaCl 固体, $c(\text{Ag}^+)$  减小

#### 学习体验

#### 素养形成

#### 探究学习(一) 影响沉淀溶解平衡的因素

观察  $\text{PbI}_2$  的沉淀溶解平衡实验,思考并回答下列问题:

(1) 在上层清液中滴加浓的 KI 溶液,观察到的现象是\_\_\_\_\_。

(2) 由上述实验得出的结论是\_\_\_\_\_。

(3)  $\text{PbI}_2$  溶于水的平衡方程式是\_\_\_\_\_。

## 归纳总结

## 影响沉淀溶解平衡的因素

内因		电解质本身的性质
外因	温度	温度升高,多数溶解平衡向溶解的方向移动
	稀释	向溶解的方向移动
	同离子效应	加入相同离子,向生成沉淀的方向移动

## 典例解析

**【例1】**把氢氧化钙放入蒸馏水中,一段时间后达到如下平衡:  $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$ 。加入以下溶液,可使  $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$  减少的是( )

- A.  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液      B.  $\text{AlCl}_3$  溶液  
C.  $\text{NaOH}$  溶液      D.  $\text{CaCl}_2$  溶液

**解析:**  $\text{Na}_2\text{S}$  水解显碱性,增大了溶液中  $\text{OH}^{-}$  的浓度;  $\text{NaOH}$  会提供大量  $\text{OH}^{-}$ ;  $\text{CaCl}_2$  会增大  $\text{Ca}^{2+}$  的浓度,所以 A、C、D 选项都使平衡向左移动使  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  增多。  $\text{AlCl}_3$  中的  $\text{Al}^{3+}$  可以与  $\text{OH}^{-}$  发生反应生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀,使平衡向右移动,促进  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的溶解。

答案: B

## 拓展训练

1. 含有足量  $\text{AgCl}$  固体的饱和溶液,存在沉淀溶解平衡:  $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$ 。  $25^{\circ}\text{C}$  时,氯化银的  $K_{\text{sp}} = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。现将足量氯化银分别放入:① 100 mL 蒸馏水中;② 100 mL  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ AgNO}_3$  溶液中;③ 100 mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ AlCl}_3$  溶液中;④ 100 mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸溶液中充分搅拌后,相同温度下银离子浓度由大到小的顺序是\_\_\_\_\_ (填序号)。

探究学习  溶度积常数

1. 用方程式表示下列沉淀溶解平衡,并写出溶度积常数  $K_{\text{sp}}$  的表达式:

$\text{CuS}$  \_\_\_\_\_  
 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  \_\_\_\_\_  
 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  \_\_\_\_\_  
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  \_\_\_\_\_

2. 不同难溶物的  $K_{\text{sp}}$  数值不同,比较  $\text{CuS}$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  的溶度积常数大小。通过教材附录 2 中提供的数据,计算  $\text{CuS}$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  的溶解度(以金属离子的浓度表示)。思考  $K_{\text{sp}}$  数值大小表示什么含义。

3. 同一难溶物的  $K_{\text{sp}}$  数值受什么因素影响?

4. 从离子积与溶度积相对大小角度分析,  $\text{PbI}_2$  饱和溶液中加入浓  $\text{KI}$  溶液出现沉淀的原因。沉淀产生和溶解的判断依据是什么?

## 归纳总结

## 溶度积的应用

1. 比较难溶电解质在水中的溶解能力

(1) 对于相同类型的难溶电解质,  $K_{\text{sp}}$  越大,在水中的溶解能力越强。例如,相同条件下,  $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgI}$  的  $K_{\text{sp}}$  依次减小,溶液中的  $c(\text{Ag}^{+})$  依次减小。

(2) 对于不同类型的难溶电解质,  $K_{\text{sp}}$  差距不大时  $K_{\text{sp}}$  不能直接作为比较依据。例如,  $25^{\circ}\text{C}$  时,  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 1.8 \times 10^{-11} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ , 虽然  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  的  $K_{\text{sp}}$  较小,但不能认为  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  比  $\text{AgCl}$  更难溶。

2. 计算饱和溶液中某种离子的浓度

例如,已知  $25^{\circ}\text{C}$  时,  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ , 可根据  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^{+}) \cdot c(\text{Cl}^{-}) = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$  计算  $\text{AgCl}$  饱和溶液中的  $c(\text{Ag}^{+})$  或  $c(\text{Cl}^{-})$ 。

3. 判断给定条件下沉淀能否生成或溶解

比较溶度积  $K_{\text{sp}}$  与溶液中有关离子的浓度商  $Q$  的相对大小。

(1)  $Q > K_{\text{sp}}$ , 溶液过饱和,有沉淀析出;

(2)  $Q = K_{\text{sp}}$ , 溶液饱和,沉淀与溶解处于平衡状态;

(3)  $Q < K_{\text{sp}}$ , 溶液未饱和。

**特别提醒** ① 浓度商  $Q$  与溶度积  $K_{\text{sp}}$  的表达式相同,但意义不同。  $Q$  表达式中离子浓度是任意时刻的,所以其数值不定;但对某一难溶电解质,在一定温度下,  $K_{\text{sp}}$  为定值。 ②  $K_{\text{sp}}$  与物质的量浓度无关,与温度有关。

## 典例解析

**【例2】** 已知  $25^{\circ}\text{C}$  时,  $\text{AgCl}$  的溶度积  $K_{\text{sp}} = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ , 则下列说法正确的是( )

A. 向  $\text{AgCl}$  饱和溶液中加入盐酸,  $K_{\text{sp}}$  值变大

B.  $\text{AgNO}_3$  溶液与  $\text{NaCl}$  溶液混合后的溶液中,一定有  $c(\text{Ag}^{+}) = c(\text{Cl}^{-})$

C. 温度一定时,当溶液中  $c(\text{Ag}^{+}) \cdot c(\text{Cl}^{-}) = K_{\text{sp}}$  时,此溶液中必有  $\text{AgCl}$  的沉淀析出

D.  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ , 所以  $S(\text{AgI}) < S(\text{AgCl})$

**解析:**  $K_{sp}$  只与温度有关, A 项不正确。B 项混合后可能  $Ag^+$  或  $Cl^-$  有剩余, 但不一定有  $c(Ag^+) = c(Cl^-)$ 。C 项  $Q = K_{sp}$  时达到溶解平衡, 没有  $AgCl$  沉淀析出。D 项比较物质的溶解度大小时, 要注意物质的类型相同且化学式中阴、阳离子的个数比相同, 溶度积越小, 其溶解度也越小; 如果不同, 则不能直接利用溶度积的大小来比较其溶解性, 需转化为溶解度进行比较, 否则容易误判。

**答案:** D

拓展训练

2. 向含有  $AgI$  的饱和溶液中:

- (1) 加入  $AgCl$  固体, 则  $c(I^-)$  \_\_\_\_\_ (填“变大”“变小”或“不变”, 下同)。
- (2) 若改加更多的  $AgI$ , 则  $c(Ag^+)$  将 \_\_\_\_\_。
- (3) 若改加  $AgBr$  固体, 则  $c(I^-)$  \_\_\_\_\_, 而  $c(Ag^+)$  \_\_\_\_\_。

分层训练

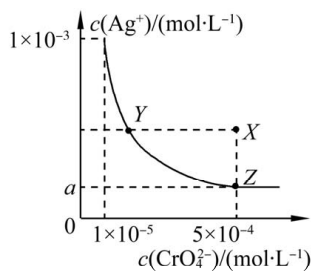
素养提升

学习·理解

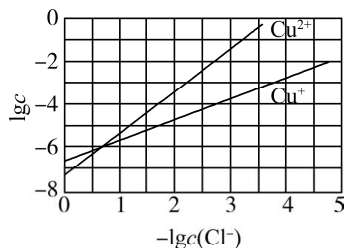
1. 下列关于沉淀溶解平衡的说法正确的是( )
  - A. 只有难溶电解质才存在沉淀溶解平衡过程
  - B. 沉淀溶解平衡过程是可逆的
  - C. 在平衡状态时,  $v(\text{溶解}) = v(\text{沉淀}) = 0$
  - D. 达到沉淀溶解平衡的溶液不一定是饱和溶液
2. 已知  $AgCl$  的溶解平衡:  $AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$ , 下列说法不正确的是( )
  - A. 除去溶液中的  $Ag^+$  加盐酸盐比硫酸盐好
  - B. 加入  $H_2O$ , 溶解平衡不移动
  - C. 用  $NaCl$  溶液代替蒸馏水洗涤  $AgCl$ , 可以减少沉淀损失
  - D. 反应  $2AgCl(s) + Na_2S \rightleftharpoons Ag_2S(s) + 2NaCl$  说明溶解度:  $AgCl > Ag_2S$
3. 下列说法正确的是( )
  - A. 难溶电解质在水中达到沉淀溶解平衡时, 沉淀和溶解立即停止
  - B.  $K_{sp}$  越小, 难溶电解质在水中的溶解能力一定越弱
  - C.  $K_{sp}$  的大小与离子浓度无关, 只与难溶电解质的性质和温度有关
  - D. 相同温度下,  $AgCl$  在水中的溶解能力与在  $NaCl$  溶液中的溶解能力相同
4. 在  $t^\circ C$  时,  $Ag_2CrO_4$  (橘红色) 在水溶液中的沉淀溶解平衡曲线如图所示。又知  $AgCl$  的  $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-10}$

$mol^2 \cdot L^{-2}$ 。下列说法不正确的是( )

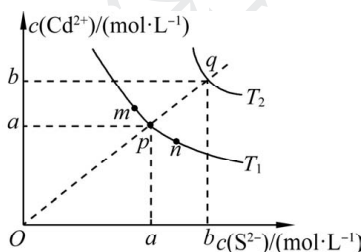
- A.  $t^\circ C$  时,  $Ag_2CrO_4$  的  $K_{sp}$  为  $1 \times 10^{-8} mol^3 \cdot L^{-3}$
- B.  $Ag_2CrO_4$  饱和溶液中加入  $K_2CrO_4$  不能使溶液由 Y 点变为 X 点
- C.  $t^\circ C$  时, Y 点和 Z 点时  $Ag_2CrO_4$  的  $K_{sp}$  相等
- D.  $t^\circ C$  时, 将  $0.01 mol \cdot L^{-1} AgNO_3$  溶液滴入  $20 mL 0.01 mol \cdot L^{-1} KCl$  和  $0.01 mol \cdot L^{-1} K_2CrO_4$  的混合溶液中,  $Cl^-$  先沉淀



5. 在湿法炼锌的电解循环溶液中, 较高浓度的  $Cl^-$  会腐蚀阳极板而增大电解能耗。可向溶液中同时加入  $Cu$  和  $CuSO_4$ , 生成  $CuCl$  沉淀从而除去  $Cl^-$ 。根据溶液中平衡时相关离子浓度的关系图, 下列说法错误的是( )



- A.  $K_{sp}(CuCl)$  的数量级为  $10^{-7}$
  - B. 除  $Cl^-$  反应为  $Cu + Cu^{2+} + 2Cl^- \rightleftharpoons 2CuCl$
  - C. 加入  $Cu$  越多,  $Cu^+$  浓度越高, 除  $Cl^-$  效果越好
  - D.  $2Cu^+ \rightleftharpoons Cu^{2+} + Cu$  平衡常数很大, 反应趋于完全
6. 绚丽多彩的无机颜料的应用曾创造了古代绘画和彩陶的辉煌。硫化镉( $CdS$ ) 是一种难溶于水的黄色颜料, 其在水中的沉淀溶解平衡曲线如图所示。下列说法错误的是( )



- A. 图中  $a$  和  $b$  分别为  $T_1$ 、 $T_2$  温度下  $CdS$  在水中的溶解度
- B. 图中各点对应的  $K_{sp}$  的关系为  $K_{sp}(m) = K_{sp}(n) < K_{sp}(p) < K_{sp}(q)$
- C. 向  $m$  点的溶液中加入少量  $Na_2S$  固体, 溶液组成由  $m$  沿  $mpn$  线向  $p$  方向移动
- D. 温度降低时,  $q$  点的饱和溶液的组成由  $q$  沿  $qp$  线向  $p$  方向移动



## 应用·实践

7. 已知:  $\text{FePO}_4$ 、 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  的  $K_{\text{sp}}$  分别为  $1.3 \times 10^{-22} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 、 $1.0 \times 10^{-24} \text{ mol}^5 \cdot \text{L}^{-5}$ 。若溶液中  $c(\text{Mg}^{2+}) = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 加入双氧水和磷酸(设溶液体积增加1倍), 使  $\text{Fe}^{3+}$  恰好沉淀完全即溶液中  $c(\text{Fe}^{3+}) = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 此时是否有  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  沉淀生成? \_\_\_\_\_

(列式计算说明)。

8. 根据题目提供的溶度积数据进行计算并回答下列问题:

(1) 在  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  溶液中加入  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液后过滤, 若测得滤液中  $c(\text{CO}_3^{2-}) = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则  $\text{Ca}^{2+}$  是否沉淀完全? \_\_\_\_\_ (填“是”或“否”)。

[已知  $c(\text{Ca}^{2+}) \leq 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时可视为沉淀完全;  $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 4.96 \times 10^{-9} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ]

(2) 25℃时,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  饱和溶液 \_\_\_\_\_ (填“能”或“不能”) 使石蕊溶液变蓝色。(已知  $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 4.0 \times 10^{-12} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ ,  $\lg 5 = 0.7$ )

(3) 大量的碘富集在海藻中, 用水浸取后浓缩, 该浓缩液中主要含有  $\text{I}^-$ 、 $\text{Cl}^-$  等离子。取一定量的浓缩液, 向其中滴加  $\text{AgNO}_3$  溶液, 当  $\text{AgCl}$  开始沉淀时, 溶液中  $\frac{c(\text{I}^-)}{c(\text{Cl}^-)}$  为 \_\_\_\_\_。[已知  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) = 8.5 \times 10^{-17} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ]

9. 室温下用废电池的锌皮制备  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  的过程中, 需除去锌皮中的少量杂质铁, 其方法是加稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶解, 铁变为 \_\_\_\_\_, 加碱调节至 pH 为 \_\_\_\_\_ 时, 铁离子刚好沉淀完全(离子浓度小于  $1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 即可认为该离子沉淀完全); 继续加碱至 pH 为 \_\_\_\_\_ 时, 锌开始沉淀(假定  $\text{Zn}^{2+}$  浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )。若上述过程不加  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 则后果是 \_\_\_\_\_

原因是 \_\_\_\_\_。

已知:

化合物	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
$K_{\text{sp}}$ 的近似值 (单位略)	$10^{-17}$	$10^{-17}$	$10^{-39}$

## 迁移·创新

10. 已知: 25℃时  $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 9.0 \times 10^{-12} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

(1) 25℃,  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  的溶解度 \_\_\_\_\_  $\text{AgCl}$  的溶解度(填“大于”“小于”或“等于”)。

(2) 在  $\text{Cl}^-$  和  $\text{CrO}_4^{2-}$  浓度都是  $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的混合溶液中逐滴加入  $\text{AgNO}_3$  溶液(忽略体积改变)时,  $\text{AgCl}$  和  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  中 \_\_\_\_\_ 先沉淀; 当  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  开始沉淀时, 溶液中  $c(\text{Cl}^-)$  是 \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

## 第2课时 沉淀溶解平衡的应用

## 走进新知

## 素养初探

## 预习导读

阅读教材第125页“身边的化学”, 回答下列问题:

(1) 煮沸天然水, 除了具有杀菌效果, 还可使水中的  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  发生分解, 写出化学方程式。

(2) 从沉淀溶解平衡角度, 分析水垢中含镁成分是  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  而不是  $\text{MgCO}_3$  的原因。

(3) 用离子方程式表示家庭可用食醋除水垢。

## 自主检测

1. 酸碱指示剂百里酚蓝变色的 pH 范围见下表。

pH	<8.0	8.0~9.6	>9.6
颜色	黄色	绿色	蓝色

25℃时, 向  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  的饱和溶液中滴加 2 滴百里酚蓝指示剂, 溶液所呈现的颜色为 \_\_\_\_\_。

(25℃时,  $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 5.6 \times 10^{-12} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ )

2. 向含有  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  的悬浊液中, 加入  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液, 沉淀能否溶解? 为什么?(用离子方程式表示)

## 学习体验

## 素养形成

## 探究学习(一) 沉淀的生成和溶解

1. 食用可溶性钡盐会造成钡中毒。中毒患者常用 5.0% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液(浓度约为  $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 洗胃的原因是什么?

2.  $\text{BaCO}_3$  和  $\text{BaSO}_4$  都难溶于水,在医学上常用  $\text{BaSO}_4$  做钡餐透视,而不能用  $\text{BaCO}_3$  的原因是什么?

3. 浓度均为  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  混合溶液,要分离两种离子。

(1) 根据教材附录 2 中数据,计算说明若以氢氧化物沉淀形式从溶液中除去,先沉淀的是哪种离子? 何时沉淀完全? (离子浓度小于  $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  视为沉淀完全)

(2) 可以加入哪些试剂进行 pH 调节?

(3) 若是  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  混合溶液,又应该如何除去呢?

## 归纳总结

## 沉淀反应的应用

1. 沉淀的生成和溶解这两个方向相反的过程,控制离子浓度,可以向我们需要的方向转化。

2. 利用生成沉淀除去某种离子,首先要使生成沉淀的反应能够发生,其次沉淀生成的反应进行得越完全越好。一般认为离子浓度低于  $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  就是沉淀完全了。

3. 根据平衡移动原理,对于在水中难溶的电解质,如果能设法不断地移去溶解平衡体系中的相应离子,使平衡向沉淀溶解的方向移动,就可以使沉淀溶解。如常用强酸溶解  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{FeS}$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$  等难溶电解质。

## 典例解析

【例 1】为除去  $\text{MgCl}_2$  酸性溶液中的  $\text{Fe}^{3+}$ ,可在加热搅拌的条件下加入的一种试剂是( )

- A.  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$     B.  $\text{NaOH}$   
C.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$         D.  $\text{MgCO}_3$

解析:  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ , 调节 pH, 可使  $\text{Fe}^{3+}$  转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀后除去。在不引入新杂质,  $\text{Mg}^{2+}$  不沉淀的条件下,选用  $\text{MgCO}_3$ ,

过量的  $\text{MgCO}_3$  可一起过滤除去。也可选用  $\text{MgO}$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  等试剂。

答案:D

## 拓展训练

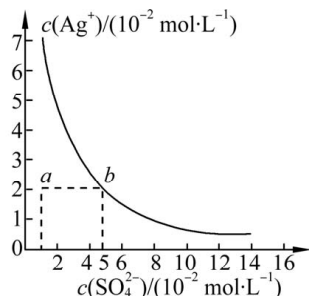
1. 某温度时,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  在水中的沉淀溶解平衡曲线如图所示。该温度下,下列说法正确的是( )

A. 含有大量  $\text{SO}_4^{2-}$  的溶液中肯定不存在  $\text{Ag}^+$

B.  $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ AgNO}_3$  溶液与  $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4$  溶液等体积混合不会生成沉淀

C.  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  的  $K_{\text{sp}}$  为  $1 \times 10^{-3} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$

D.  $a$  点表示  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  的不饱和溶液,蒸发可以使溶液由  $a$  点变到  $b$  点



## 探究学习(二) 沉淀的转化

1. 分析  $\text{ZnS}$  到  $\text{CuS}$  转化的原因,得到什么结论?

2. 根据教材附录 2 中数据,写出处理污水时用  $\text{FeS}$  固体除去  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  等金属离子的离子方程式,并说明这一操作的优势。

3. 重晶石(主要成分  $\text{BaSO}_4$ )是工业制备氢氧化钡、可溶性钡盐的重要原料。但是  $\text{BaSO}_4$  难溶于水,也难溶于酸。加工过程中首先将难溶的硫酸钡用饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液浸泡,转化为碳酸钡再进行后续加工。运用平衡原理和数据计算论证其可行性。

## 归纳总结

## 沉淀的转化

- 沉淀转化的实质就是沉淀溶解平衡的移动。
- 一般说来,溶解度小的沉淀转化为溶解度更小的沉淀容易实现;两者差别越大,沉淀转化越容易。
- 组成类型相同的难溶电解质,  $K_{\text{sp}}$  较大的难溶电解质能转化为  $K_{\text{sp}}$  较小的难溶电解质。
- $K_{\text{sp}}$  相差不大的难溶电解质,  $K_{\text{sp}}$  较小的难溶电解质在一定条件下可以转化为  $K_{\text{sp}}$  较大的难溶电解质。

## 典例解析

【例2】已知  $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $K_{sp}(\text{AgI}) = 1.0 \times 10^{-16} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。下列说法错误的是( )

- A. AgCl 不溶于水,不能转化为 AgI  
 B. 在含有浓度均为  $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  的溶液中缓慢加入  $\text{AgNO}_3$  稀溶液,首先析出 AgI 沉淀  
 C. AgI 比 AgCl 更难溶于水,所以 AgCl 可以转化为 AgI  
 D. 常温下,AgCl 若要在 NaI 溶液中开始转化为 AgI,则 NaI 的浓度必须不低于  $\frac{1}{\sqrt{1.8}} \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

解析:组成结构相似的物质,溶度积越小,其溶解度越小,越易先形成沉淀,B项正确;溶解度小的沉淀转化成溶解度更小的沉淀容易实现,所以A项错、C项正确;AgCl 溶液中  $c(\text{Ag}^+) = \sqrt{1.8 \times 10^{-10}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,要使 AgI 形成沉淀,则  $c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{I}^-) \geq 1.0 \times 10^{-16} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,即  $c(\text{I}^-) \geq \frac{1.0 \times 10^{-16}}{\sqrt{1.8 \times 10^{-10}}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{1.8}} \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,D 正确。

答案:A

易错点拨:组成结构相似的难溶物,溶度积越小越容易析出沉淀。若组成结构不同的,溶度积大小与溶解度没有相关性。

## 拓展训练

2. 下列结论正确的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

- ①向 AgCl 悬浊液中加入 NaI 溶液时出现黄色沉淀,证明  $K_{sp}(\text{AgCl}) < K_{sp}(\text{AgI})$   
 ②向浓度均为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 和 NaI 混合溶液中滴加  $\text{AgNO}_3$  溶液,首先产生黄色沉淀,可推断  $K_{sp}(\text{AgCl}) > K_{sp}(\text{AgI})$   
 ③由于  $K_{sp}(\text{BaSO}_4) = 1.08 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $K_{sp}(\text{BaCO}_3) = 8.1 \times 10^{-9} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,因此  $\text{BaSO}_4$  沉淀不可能转化为  $\text{BaCO}_3$  沉淀  
 ④将  $\text{FeCl}_3$  溶液加入  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  悬浊液中,振荡,可观察到沉淀由白色变为红褐色,验证  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  的溶解度小于  $\text{Mg}(\text{OH})_2$   
 ⑤向  $\text{BaSO}_4$  饱和溶液中加入饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液有白色沉淀生成,说明  $K_{sp}(\text{BaSO}_4) > K_{sp}(\text{BaCO}_3)$   
 ⑥ZnS 沉淀中滴加  $\text{CuSO}_4$  溶液可以得到 CuS 沉淀的原因是溶解度小的沉淀易向溶解度更小的沉淀转化  
 ⑦将  $\text{H}_2\text{S}$  气体通入  $\text{AgNO}_3$  与 AgCl 的悬浊液

中产生黑色沉淀,说明  $K_{sp}(\text{AgCl}) > K_{sp}(\text{Ag}_2\text{S})$

## 分层训练 素养提升

## 学习·理解

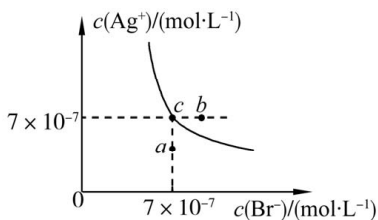
1. 在一定温度下,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  固体在水溶液中达到下列平衡:  $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ 。若使固体  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  的量减少,而且  $c(\text{Mg}^{2+})$  不变,可采取的措施是( )  
 A. 加  $\text{MgCl}_2$                       B. 加  $\text{H}_2\text{O}$   
 C. 加 NaOH                         D. 加 HCl
2. 下列现象不能用沉淀溶解平衡移动原理解释的是( )  
 A. 相同温度下,AgCl 在水中的溶解度大于在氯化钠溶液中的溶解度  
 B. 浓  $\text{FeCl}_3$  溶液滴入沸水中继续加热形成红褐色透明液体  
 C. 自然界地表层原生铜矿变成  $\text{CuSO}_4$  溶液向下层渗透,遇到难溶的 ZnS 或 PbS,慢慢转变为铜蓝(CuS)  
 D. 加入少量 AgCl 固体可以除去氯化钠溶液中的少量硫化钠杂质
3.  $25^\circ\text{C}$  时有关物质的颜色和溶度积( $K_{sp}$ )见下表:

物质	AgCl	AgBr	AgI	$\text{Ag}_2\text{S}$
颜色	白	淡黄	黄	黑
$K_{sp}$	$1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$	$7.7 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$	$1.5 \times 10^{-16} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$	$1.8 \times 10^{-50} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-3}$

下列叙述不正确的是( )

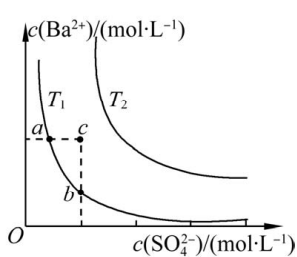
- A. 向 AgCl 的白色悬浊液中加入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KI 溶液,有黄色沉淀产生  
 B.  $25^\circ\text{C}$  时,AgCl、AgBr、AgI、 $\text{Ag}_2\text{S}$  饱和水溶液中  $\text{Ag}^+$  的浓度相同  
 C.  $25^\circ\text{C}$  时,AgCl 固体在等物质的量浓度的 NaCl、 $\text{CaCl}_2$  溶液中的溶度积相同  
 D. 在  $5 \text{ mL } 1.8 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 溶液中加入 1 滴(20 滴约为  $1 \text{ mL}$ )  $1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$  溶液,不能产生白色沉淀
4. 工业生产中常用 MnS 作为沉淀剂除去工业废水中的  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{MnS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuS}(\text{s}) + \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ 。下列说法错误的是( )  
 A. 该反应平衡时  $c(\text{Mn}^{2+}) = c(\text{Cu}^{2+})$   
 B. MnS 的  $K_{sp}$  大于 CuS 的  $K_{sp}$   
 C. 向平衡体系中加入少量  $\text{CuSO}_4$  固体后,  $c(\text{Mn}^{2+})$  增大  
 D. 该反应的平衡常数  $K = \frac{K_{sp}(\text{MnS})}{K_{sp}(\text{CuS})}$

5. 已知  $t^{\circ}\text{C}$  时,  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 4 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ , 该温度下  $\text{AgBr}$  在水中的沉淀溶解平衡曲线



- 如图所示。下列说法不正确的是( )
- 图中  $a$  点对应的是  $t^{\circ}\text{C}$  时  $\text{AgBr}$  的不饱和溶液
  - 向  $\text{AgBr}$  饱和溶液中加入  $\text{NaBr}$  固体, 可使溶液由  $c$  点变为  $b$  点
  - $t^{\circ}\text{C}$  时,  $\text{AgBr}$  的  $K_{\text{sp}}$  为  $4.9 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$
  - $t^{\circ}\text{C}$  时,  $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Br}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgBr}(\text{s}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$  的平衡常数  $K \approx 816$

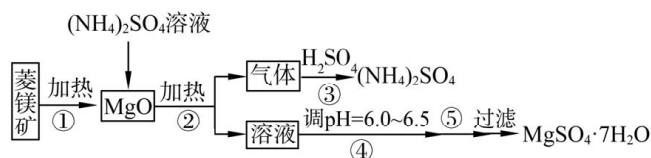
6. 不同温度 ( $T_1$  和  $T_2$ ) 时, 硫酸钡在水中的沉淀溶解平衡曲线如图所示, 已知硫酸钡在水中溶解时吸收热量。下列说法正确的是( )



- $T_1 > T_2$
- 加入  $\text{BaCl}_2$  固体, 可使溶液由  $a$  点变到  $c$  点
- $c$  点时, 在  $T_1$ 、 $T_2$  两个温度下均有固体析出
- $a$  点和  $b$  点的  $K_{\text{sp}}$  相等

### 应用·实践

7. 硫酸镁在医疗上具有镇静、抗挛等功效。以菱镁矿(主要成分是  $\text{MgCO}_3$ ) 为主要原料制备硫酸镁的方法如下:



- 步骤②中发生反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。
- 步骤④中调节  $\text{pH} = 6.0 \sim 6.5$  的目的是 \_\_\_\_\_。
- 步骤⑤的操作为 \_\_\_\_\_。

8. 已知常温下,  $\text{AgBr}$  的  $K_{\text{sp}} = 4.9 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $\text{AgI}$  的  $K_{\text{sp}} = 8.3 \times 10^{-17} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

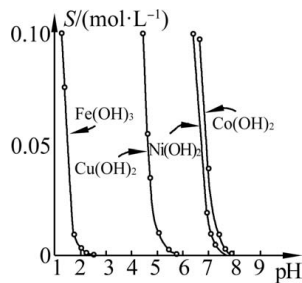
- 现向含有  $\text{AgI}$  的饱和溶液中:
  - 加入固体  $\text{AgNO}_3$ , 则  $c(\text{I}^{-})$  \_\_\_\_\_ (填“变大”“变小”或“不变”, 下同);
  - 若改加更多的  $\text{AgI}$  固体, 则  $c(\text{Ag}^{+})$  \_\_\_\_\_。
- 现向含有  $\text{NaBr}$ 、 $\text{KI}$  均为  $0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液中加入等体积浓度为  $4 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{AgNO}_3$  溶液, 则产生的沉淀是 \_\_\_\_\_ (填化学式); 若向其中再加入适量的  $\text{NaI}$  固体, 则最

终可发生沉淀转化的总反应式表示为 \_\_\_\_\_。

- 对于  $\text{Ag}_2\text{S}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{S}^{2-}(\text{aq})$ , 其  $K_{\text{sp}}$  的表达式为 \_\_\_\_\_。
- 下列说法不正确的是 \_\_\_\_\_。
  - 用稀盐酸洗涤  $\text{AgCl}$  沉淀比用水洗涤损耗  $\text{AgCl}$  少
  - 一般地, 物质的溶解度随温度的升高而增加, 故物质的溶解大多是吸热的
  - 对于  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^{-}(\text{aq})$  和  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^{-}$ , 前者为溶解平衡, 后者为电离平衡
  - 除去溶液中的  $\text{Mg}^{2+}$ , 用  $\text{OH}^{-}$  沉淀比用  $\text{CO}_3^{2-}$  好, 说明  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  的溶解度比  $\text{MgCO}_3$  的大
  - 沉淀反应中常加过量的沉淀剂, 其目的是使沉淀更完全
- 如何除去  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  中混有的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ? \_\_\_\_\_。

### 迁移·创新

10. 金属氢氧化物在酸中溶解度不同, 因此可以利用这一性质, 控制溶液的  $\text{pH}$ , 以达到分离金属离子的目的。难溶金属的氢氧化物在不同  $\text{pH}$  下的溶解度如图所示。



- $\text{pH} = 3$  时溶液中铜元素的主要存在形式是 \_\_\_\_\_。
- 若要除去  $\text{CuCl}_2$  溶液中的少量  $\text{Fe}^{3+}$ , 应该控制溶液的  $\text{pH}$  为 \_\_\_\_\_ (填字母)。
  - $< 1$
  - 4 左右
  - $> 6$
- 在  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  溶液中含有少量的  $\text{Co}^{2+}$  杂质, \_\_\_\_\_ (填“能”或“不能”) 通过调节溶液  $\text{pH}$  的方法来除去, 理由是 \_\_\_\_\_。
- 要使氢氧化铜沉淀溶解, 除了加入酸之外, 还可以加入氨水, 生成  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , 写出反应的离子方程式: \_\_\_\_\_。
- 一些难溶物的溶度积常数(单位省略)见下表。

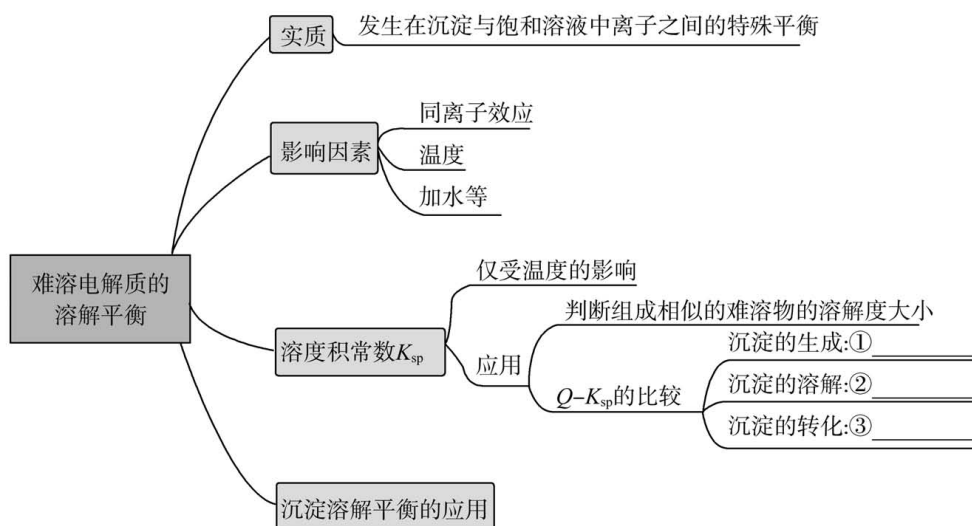
物质	$\text{FeS}$	$\text{MnS}$	$\text{CuS}$	$\text{PbS}$	$\text{HgS}$	$\text{ZnS}$
$K_{\text{sp}}$	$6.3 \times 10^{-18}$	$2.5 \times 10^{-13}$	$1.3 \times 10^{-36}$	$3.4 \times 10^{-28}$	$6.4 \times 10^{-53}$	$1.6 \times 10^{-24}$

某工业废水中含有  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ , 最适宜向此工业废水中加入过量的 \_\_\_\_\_ (填字母) 除去它们。

- $\text{NaOH}$
- $\text{FeS}$
- $\text{Na}_2\text{S}$



## 本书建构整合



## 教材习题答案

1. 方案 1: 向  $\text{PbI}_2$  的上层清液中, 滴加浓  $\text{KI}$  或者  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液, 由于同离子效应能够再生成  $\text{PbI}_2$  黄色固体, 说明存在  $\text{PbI}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq})$  的沉淀溶解平衡。

方案 2: 向  $\text{PbI}_2$  的悬浊液中, 滴加少许  $\text{Na}_2\text{S}$  溶液, 生成更难溶的黑色  $\text{PbS}$  沉淀, 溶液中  $\text{Pb}^{2+}$  浓度减小, 而  $\text{PbI}_2$  黄色固体消失, 说明  $\text{PbI}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq})$  的沉淀溶解平衡向右移动了。

2. 略 3. D

4. 依次滴加等浓度、等体积的  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaBr}$ 、 $\text{KI}$  溶液, 会依次产生白色沉淀、浅黄色沉淀、黄色沉淀。

5. 影响:  $\text{H}^{+}$  与牙釉质溶解得到的  $\text{OH}^{-}$  结合成水, 平衡向正向进行,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  溶解, 牙釉质溶解造成龋齿。

措施: 在牙膏中添加适量的  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{PO}_4^{3-}$ , 使平衡逆向移动, 保护牙釉质。少吃糖或吃完食物要漱口。

## 第4节 离子反应

## → 瞄准课标 靶向学习 &gt;

课标内容要求	课标学业要求
1. 从电离、离子反应、化学平衡的角度认识电解质水溶液的组成、性质和反应。 2. 了解水溶液中的离子反应与平衡在物质检测、化学反应规律研究、物质转化中的应用。了解溶液 pH 的调控在工农业生产和科学研究中的应用。 3. 学生必做实验: 强酸与强碱的中和滴定。	1. 能从电离、离子反应、化学平衡的角度分析溶液的性质, 如酸性、导电性等。 2. 能综合运用离子反应、化学平衡原理, 分析和解决生产、生活中有关电解质溶液的实际问题。

## 第1课时 离子反应发生的条件

## 走进新知 素养初探

## 预习导读

1. 阅读教材,书写下列反应的离子方程式:

(1) 盐酸与锌粒\_\_\_\_\_。

(2) 石灰乳 $[\text{Ca}(\text{OH})_2$  浊液]与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液\_\_\_\_\_。

(3)  $\text{CaCO}_3$  溶液与盐酸\_\_\_\_\_。

(4)  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液与盐酸\_\_\_\_\_。

(5)  $\text{Fe}^{3+}$  的检验\_\_\_\_\_。

(6) 硫酸铝溶液与碳酸氢钠溶液混合\_\_\_\_\_。

(7)  $\text{KI}$  溶液与溴水\_\_\_\_\_。

2. 离子之间能结合生成\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_或参与\_\_\_\_\_, 使溶液中某种或某些\_\_\_\_\_, 离子反应就会发生。

3. 列举你所知道的符合下列条件的离子组:

(1) 因水解互相促进,而不能大量共存的离子。

(2) 因氧化还原不能大量共存的离子。

4. 阅读教材第130页“拓展视野”,用平衡常数判据说明反应  $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{CuS} \downarrow + 2\text{H}^+$  能发生而反应  $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{FeS} \downarrow + 2\text{H}^+$  难以发生的原因。

已知:  $K_{\text{sp}}(\text{CuS}) = 6.3 \times 10^{-36} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{FeS}) = 6.3 \times 10^{-18} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  的电离常数  $K_{\text{a1}} = 9.1 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_{\text{a2}} = 1.1 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

## 自主检测

1. 下列离子组中,因发生氧化还原反应而不能大量共存的是( )

A.  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$ 、 $\text{Cl}^-$

B.  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$

C.  $\text{H}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$

D.  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$

2. 常温下,下列各组离子一定能在指定溶液中大量共存的是( )

A. 使酚酞变红色的溶液中:  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$

B.  $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-13} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液中:  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$

C. 与  $\text{Al}$  反应能放出  $\text{H}_2$  的溶液中:  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$

D. 水电离的  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液中:  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$

## 学习体验 素养形成

## 探究学习(一) 定量型离子方程式的书写

1. 向碳酸氢钠溶液中逐滴加入氢氧化钡溶液,直至过量。写出该过程中的离子方程式。

2. 体会定量型离子方程式书写的要领,并判断下列离子方程式书写是否正确,并说明理由:

(1) 氢氧化钠溶液中通入少量二氧化硫:  $\text{SO}_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HSO}_3^-$ 。( )

(2) 碳酸氢钠溶液与足量氢氧化钙溶液混合:  $\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ 。( )

(3)  $\text{NaHSO}_4$  溶液与  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液反应至中性:  $\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ 。( )

(4) 四羟基合铝酸钠溶液中通入过量二氧化碳:  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$ 。( )

## 方法导引

以少定多,突破定量型离子方程式的书写

以“ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  溶液与过量  $\text{NaOH}$  溶液反应”为例,书写的步骤是:

(1) 按照 1 mol 写出反应中相对少量的物质参加反应的离子,即  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{HCO}_3^-$  的比例为组成比 1:2。

(2) 过量物质的离子满足少量离子需要,令其充分反应,即  $\text{OH}^-$  的系数为 2,满足  $2\text{HCO}_3^-$ 。因此可得离子反应方程式为  $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

(3) 若用此法配平出现系数为分数的情况,最后统一扩大相同倍数,调整为最简整数比。

## 拓展训练

1. 写出下列反应的离子方程式。

(1) 用过量氨水吸收工业尾气中的  $\text{SO}_2$ : \_\_\_\_\_。

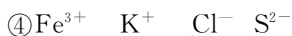
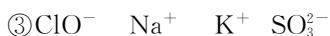
(续表)

(2) 等体积、等浓度的  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  溶液和  $\text{NaOH}$  溶液混合: \_\_\_\_\_。

(3) 明矾溶液中加入过量  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液: \_\_\_\_\_。

## 探究学习(二) 氧化还原离子反应

1. 回顾氧化还原相关知识,判断下列离子是否能够大量共存,并指出支持判断的实验现象:



2. 水溶液中的常见离子,哪些具有氧化性? 哪些具有还原性? 氧化性、还原性的顺序如何?

3. 向  $\text{FeBr}_2$  溶液中通入少量氯气、过量氯气,发生的离子反应一样吗?  $\text{FeBr}_2$  与  $\text{Cl}_2$  按物质的量 1:1 混合,反应实质又是怎样的? 用离子方程式表示。

4. 原电池和电解池的电极反应也是离子反应。写出铜锌原电池和氯碱工业原理的电极名称、电极反应和总反应离子方程式。

### 归纳总结

#### 警惕题干中的常见“陷阱”

条件类型	题目中的常见表述	误点点悟
常见的限制条件	“无色”	有色离子不能大量存在
	“pH=1”或“pH试纸变红”或“石蕊溶液变红”	溶液显酸性
	“pH=13”或“pH试纸变蓝”或“酚酞溶液变红”的溶液	溶液显碱性
常见的易错点	“因发生氧化还原反应而不能大量共存”	只能是氧化性离子和还原性离子不能大量共存,不包括其他类型反应的离子
	“透明”	“透明”也可“有色”
	“不大量共存”	易看成大量“共存”

条件类型	题目中的常见表述	误点点悟
常见的隐含条件	“水电离出的 $c(\text{H}^+) = 10^{-a}$ ( $a > 7$ ) $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ”或“与 $\text{Al}$ 反应放出 $\text{H}_2$ ”或“与 $\text{HCO}_3^-$ 反应”	溶液既可能显酸性也可能显碱性,与 $\text{Al}$ 反应放 $\text{H}_2$ 的酸性溶液中不能有 $\text{NO}_3^-$
	“水电离出的 $c(\text{OH}^-) = 10^{-a}$ ( $a > 7$ ) $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ”	溶液既可能显酸性也可能显碱性
	“通入足量的 $\text{NH}_3$ ”	与 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 反应的离子不能大量存在
常见题干要求	$\text{NO}_3^-$	在酸性条件下具有强氧化性
	(1)“一定大量共存” (2)“可能大量共存” (3)“不能大量共存”	审清关键字

### 方法导引

#### 离子方程式的正误判断

1. 看是否符合实验事实。如  $\text{Fe}$  和稀硫酸反应写成  $2\text{Fe} + 6\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2 \uparrow$  就不符合实际。

2. 看表示各物质的化学式是否正确。如  $\text{HCO}_3^-$  不能写成“ $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$ ”,而  $\text{HSO}_4^-$  应写成“ $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$ ”, $\text{HCOO}^-$  不可写成“ $\text{COOH}$ ”等。

3. 看反应能否用离子方程式表示。非离子反应、不是在溶液中进行的离子反应,不能用离子方程式表示。

4. 看质量和电荷是否守恒,同时反应前后各原子数也应相等。

5. 看物质的溶解性。如药剂软化暂时硬水中的一步反应为  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应,若写成  $\text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{MgCO}_3 \downarrow + \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$  就错了,因为  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  比  $\text{MgCO}_3$  更难溶,应写为  $\text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{Ca}^{2+} + 4\text{OH}^- = 2\text{CaCO}_3 \downarrow + \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

6. 看反应的可能性。书写前要看清有无多种离子参加多种不同的反应,谨防遗漏。如  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液中滴加  $\text{NaOH}$  溶液,如果写成  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,或写成  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ,都是错误的。应在考虑用量的情况下写为  $\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + 2\text{OH}^- = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 。

7. 看反应的题设条件及要求。注意“过量”“少量”“等物质的量”“适量”“任意量”以及滴加顺序等对反应方程式的影响。例如,往  $\text{FeBr}_2$  溶液中通少量  $\text{Cl}_2$  的反应为  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^-$ ;通过

量  $\text{Cl}_2$  则为  $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{Br}^- + 3\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Br}_2 + 6\text{Cl}^-$ 。

## 典例解析

【例 1】下列实验设计及其对应的离子方程式均正确的是( )

- A. 用  $\text{FeCl}_3$  溶液腐蚀铜线路板:  $\text{Cu} + 2\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{Fe}^{2+}$
- B.  $\text{Na}_2\text{O}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}$  反应制备  $\text{O}_2$ :  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Na}^+ + 2\text{OH}^- + \text{O}_2 \uparrow$
- C. 将氯气溶于水制备次氯酸:  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{ClO}^-$
- D. 用浓盐酸酸化的  $\text{KMnO}_4$  溶液与  $\text{H}_2\text{O}_2$  反应, 证明  $\text{H}_2\text{O}_2$  具有还原性:  $2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ + 5\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{O}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$

解析: B 不正确, 该离子方程式原子不守恒; C 不正确,  $\text{HClO}$  是弱酸, 应写成分子式形式且要用“ $\rightleftharpoons$ ”; D 不正确, 常温下,  $\text{KMnO}_4$  溶液能与浓盐酸反应生成  $\text{Cl}_2$ 。

答案: A

## 拓展训练

2. 下表中评价合理的是( )

选项	化学反应及其离子方程式	评价
A	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ 与稀硝酸反应: $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 18\text{H}^+ \rightleftharpoons 6\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$	正确
B	向碳酸镁中加入稀盐酸: $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$	错误, 碳酸镁不应写成离子形式
C	向硫酸铵溶液中加入氢氧化钡溶液: $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow$	正确
D	$\text{FeBr}_2$ 溶液与等物质的量的 $\text{Cl}_2$ 反应: $2\text{Fe}^{2+} + 2\text{Br}^- + 2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 4\text{Cl}^- + \text{Br}_2$	错误, $\text{Fe}^{2+}$ 与 $\text{Br}^-$ 的系数之比应为 1:2

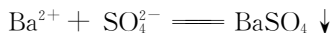
## 分层训练

## 素养提升

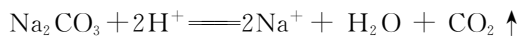
## 学习·理解

1. 下列反应的现象描述与离子方程式都正确的是( )
- A. 金属镁与稀盐酸反应, 有氢气产生:  
 $\text{Mg} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{MgCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$

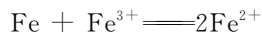
B.  $\text{BaCl}_2$  溶液与硫酸反应, 有白色沉淀产生:



C.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液与盐酸反应, 有气泡逸出:



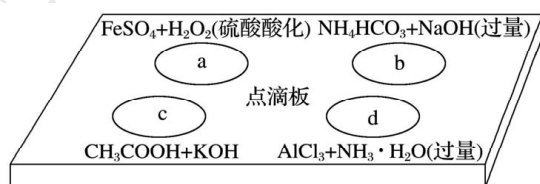
D. 过量铁粉与  $\text{FeCl}_3$  溶液反应, 溶液变浅绿色:



2. 在下列溶液中一定能大量共存的离子组是( )

- A.  $\text{pH}=2$  的溶液:  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$
- B. 能使  $\text{pH}$  试纸变深蓝色的溶液:  $\text{Na}^+$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$
- C. 含有大量  $\text{Fe}^{3+}$  的溶液:  $\text{SCN}^-$ 、 $\text{I}^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Br}^-$
- D. 澄清透明的无色溶液:  $\text{ClO}^-$ 、 $\text{MnO}_4^-$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$
3. 在下列溶液中, 能大量共存的离子组是( )
- A. 常温下  $c(\text{H}^+) = 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液:  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$
- B. 常温下  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{OH}^-)} = 10^{12}$  的溶液中:  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$
- C.  $c(\text{Fe}^{2+}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液中:  $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{MnO}_4^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$
- D. 能使石蕊溶液显红色的溶液中:  $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$

4. 在如图所示点滴板上进行四种溶液间反应的小实验, 其对应反应的离子方程式书写正确的是( )



- A. a 反应:  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$
- B. b 反应:  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- C. c 反应:  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$
- D. d 反应:  $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$
5. 常温下, 下列各组离子在指定溶液中能大量共存的是( )
- A. 无色透明的溶液中:  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SCN}^-$ 、 $\text{Cl}^-$
- B.  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{OH}^-)} = 1 \times 10^{-12}$  的溶液中:  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$
- C. 无色透明溶液中:  $\text{K}^+$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$
- D. 能使甲基橙变红的溶液中:  $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$
6. 某白色粉末由两种物质组成, 为鉴别其成分进行如下实验:
- ①取少量样品加入足量水仍有部分固体未溶解; 再加入足量稀盐酸, 有气泡产生, 固体全部溶解;



②取少量样品加入足量稀硫酸有气泡产生,振荡后仍有固体存在。

该白色粉末可能为( )

- A.  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$     B.  $\text{AgCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$   
C.  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{BaCO}_3$     D.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{CuSO}_4$

### 应用·实践

7. 已知:  $\text{SO}_3^{2-} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+$ 。  
某无色溶液中可能含有  $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{I}^-$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ , 且所有离子物质的量浓度相等。向该溶液中滴加少量溴水, 溶液仍呈无色。下列关于该溶液的判断正确的是( )

- A. 肯定不含  $\text{I}^-$     B. 肯定含有  $\text{SO}_3^{2-}$   
C. 可能含有  $\text{SO}_3^{2-}$     D. 肯定含有  $\text{NH}_4^+$

8. 写出下列反应的离子方程式。

- (1)  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  溶液与足量的  $\text{NaOH}$  溶液混合加热:  
\_\_\_\_\_  
(2) 向澄清石灰水中滴加少量  $\text{NaHCO}_3$  溶液, 出现白色沉淀:  
\_\_\_\_\_  
(3) 向明矾溶液中滴加  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液, 恰好使  $\text{SO}_4^{2-}$  沉淀完全:  
\_\_\_\_\_  
(4)  $\text{NaHSO}_4$  溶液与  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液反应至中性:  
\_\_\_\_\_

9. (1) 实验室中不能用硫化钠溶液和氯化铝溶液混合来制取硫化铝, 原因是\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (用化学方程式表示)。

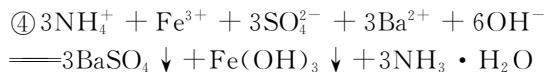
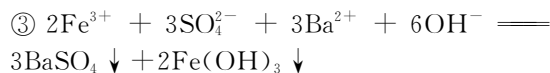
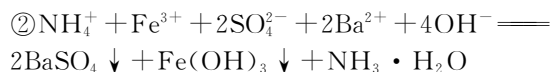
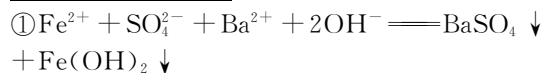
(2) 溶液中  $\text{SO}_3^{2-}$  与  $\text{H}^+$  不能大量共存, 是因为发生了\_\_\_\_\_ (填反应类型, 下同) 反应, 酸性条件下  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{Fe}^{2+}$  不能大量共存, 是因为发生了\_\_\_\_\_ 反应。

(3) 只选用一种试剂就能把浓度均为  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{BaCl}_2$  溶液加以区别, 这种试剂是\_\_\_\_\_ (填字母)。

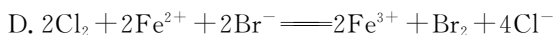
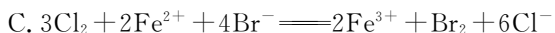
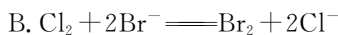
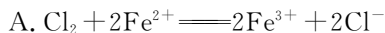
- A.  $\text{CaCl}_2$     B.  $\text{AgNO}_3$     C.  $\text{H}_2\text{SO}_4$     D.  $\text{NaOH}$

(4) 在复盐  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  溶液中逐滴加入  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液, 可能发生反应的离子方程式为

\_\_\_\_\_ (填序号)。



(5) 将  $0.5 \text{ mol Cl}_2$  通入含  $0.5 \text{ mol FeBr}_2$  的溶液中, 所发生反应的离子方程式为\_\_\_\_\_ (填字母)。



### 迁移·创新

10. 有一瓶澄清的溶液, 其中可能含有  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{I}^-$ 。取该溶液进行以下实验:

- (1) 用 pH 试纸检验, 表明溶液呈强酸性;  
(2) 取部分溶液, 加入少量  $\text{CCl}_4$  及数滴新制的氯水, 经振荡后,  $\text{CCl}_4$  呈紫红色;  
(3) 另取部分溶液, 逐滴加入稀  $\text{NaOH}$  溶液, 使溶液从酸性逐渐转变为碱性, 在滴加过程中, 溶液中均无沉淀生成;  
(4) 取部分上述碱性溶液加热, 加  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液, 有白色沉淀生成;  
(5) 将(3)得到的碱性溶液加热, 有气体放出, 该气体能使湿润的红色石蕊试纸变蓝。

根据上述实验事实确定: 在该溶液中肯定存在的离子是\_\_\_\_\_, 肯定不存在的离子是\_\_\_\_\_, 还不能确定是否存在的离子是\_\_\_\_\_。如何检验不能确定的离子是否存在? \_\_\_\_\_。

## 第2课时 离子反应的应用

### 走进新知 素养初探

#### 预习导读

阅读教材中的“物质制备与纯化”相关内容, 回答下列问题:

1. 用离子方程式表示下列物质制备与纯化涉及

的离子反应:

(1) 氯碱工业生产烧碱和氯气: \_\_\_\_\_。

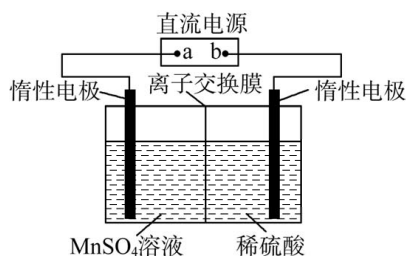
(2) 实验室制取  $\text{CO}_2$  发生的离子反应: \_\_\_\_\_。

(3) 制高纯度的氯化钠: 除去其中少量的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ , 需要的试剂及加入的正确顺序是\_\_\_\_\_。

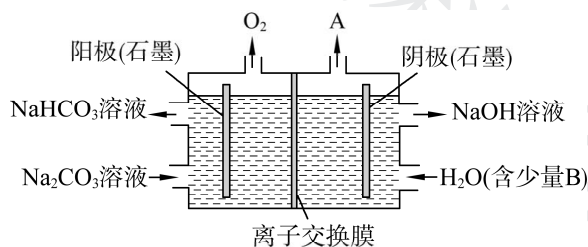
(4) 除去污水中的  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  等重金属离子: 可用沉淀剂\_\_\_\_\_将其转化为沉淀而除去, 达到净水的目的。

2. 完成第 136 页“交流研讨”问题, 体会离子交换膜如何完成离子的选择性功能, 指出下列装置中应采用 a. 阳离子交换膜、b. 阴离子交换膜、c. 质子交换膜中的哪种? (填字母)

电解法制备  $\text{MnO}_2$  的装置:



电解  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液制取  $\text{NaHCO}_3$  溶液和  $\text{NaOH}$  溶液的装置:



3. 实验室中, 可利用离子的\_\_\_\_\_来检验一些常见离子。列举几种常见离子的检验方法:

检验离子	试剂	现象	离子反应
$\text{Cl}^-$	$\text{AgNO}_3$ 溶液, 稀硝酸		$\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ \rightleftharpoons \text{AgCl} \downarrow$
$\text{Br}^-$			$\text{Br}^- + \text{Ag}^+ \rightleftharpoons \text{AgBr} \downarrow$
$\text{I}^-$			$\text{I}^- + \text{Ag}^+ \rightleftharpoons \text{AgI} \downarrow$
$\text{SO}_4^{2-}$			
$\text{Fe}^{3+}$	KSCN 溶液		$\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$
$\text{NH}_4^+$			

### 自主检测

下列根据实验现象所得出的结论中, 一定正确的是 ( )

- A. 某无色溶液能使红色石蕊试纸变蓝。结论: 该溶液一定是碱溶液
- B. 某无色溶液加稀硝酸酸化的  $\text{BaCl}_2$  产生白色沉淀。结论: 该溶液中一定含有  $\text{SO}_4^{2-}$
- C. 某无色溶液焰色反应呈黄色。结论: 该溶液中一定含有  $\text{Na}^+$
- D. 某无色溶液加入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液产生白色沉淀。结论: 该溶液中一定含有  $\text{Ca}^{2+}$

## 学习体验

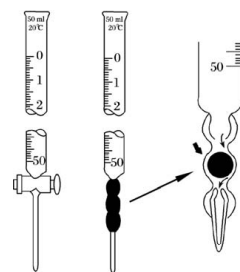
## 素养形成

### 探究学习(一) 物质含量测定

1. 实验室的  $\text{NaOH}$  固体样品中含有少量  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  杂质, 如何测定  $\text{NaOH}$  的纯度?

2. 结合酸碱中和滴定实验, 思考以下问题:

(1) 如果用  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{HCl}$  标准溶液, 如何测定  $\text{NaOH}$  溶液的浓度? 实验依据的原理和关键点有哪些?



(2) 如何准确测定溶液的体积?

(3) 如何判断酸碱恰好中和?

3. 分组实验: 用  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{HCl}$  标准溶液滴定  $20.00 \text{ mL}$   $\text{NaOH}$  待测溶液的浓度。思考以下操作会对测定结果有怎样的影响。

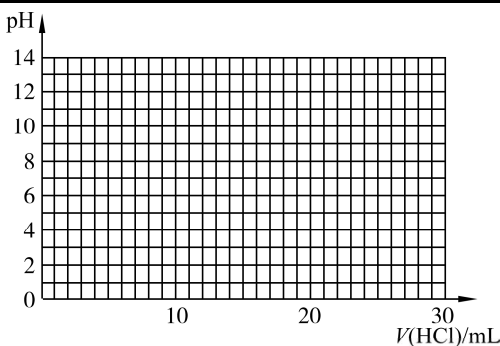
步骤	操作	$c(\text{NaOH})$
洗涤	未用标准溶液润洗滴定管	
	锥形瓶用待测溶液润洗	
	未用待测溶液润洗取用待测液的滴定管 锥形瓶洗净后瓶内还残留有少量蒸馏水	
读数	滴定前仰视读数或滴定后俯视读数	
	滴定前俯视读数或滴定后仰视读数	
滴定	滴定完毕后立即读数, 半分钟后颜色又褪去	
	滴定前滴定管尖嘴部分有气泡, 滴定后气泡消失	
	滴定过程中振荡时有液滴溅出 滴定过程中, 锥形瓶内加少量蒸馏水	

4. (1) 根据以下数据在坐标图中绘制滴定曲线。目前尚未找到恰好在中性变色的指示剂, 对滴定结果影响大吗?

$V(\text{HCl})/\text{mL}$	pH
0.00	13.1
12.00	12.6
18.00	12.2
22.00	11.7
23.00	11.4
23.96	9.9
24.00	7.0

(续表)

V(HCl)/mL	pH
24.04	4.0
25.00	2.7
26.00	2.4
30.00	1.9



(2)如果是强碱滴定弱酸、强酸滴定弱碱,曲线会有怎样的变化?说说理由。

## 归纳总结

### 酸碱中和滴定的概念和原理

#### 1. 概念

是利用中和反应,用已知浓度的酸(或碱)来测定未知浓度的碱(或酸)的实验方法。

#### 2. 原理

在中和反应中,酸提供的  $H^+$  与碱提供的  $OH^-$  之间的物质的量相等。即:  $c(H^+) \cdot V_{酸} = c(OH^-) \cdot V_{碱}$ , 则  $c(H^+) = \frac{c(OH^-) \cdot V_{碱}}{V_{酸}}$  或  $c(OH^-) = \frac{c(H^+) \cdot V_{酸}}{V_{碱}}$ 。

#### 3. 实验关键

- (1)准确测定参加反应酸、碱的体积。
- (2)准确判断滴定终点。

#### 4. 所用仪器

酸式滴定管、碱式滴定管和锥形瓶。

## 方法导引

### 1. 酸碱中和滴定的实验操作

以标准盐酸滴定待测氢氧化钠溶液为例:

(1)洗涤:洗涤仪器并进行检漏、润洗。

(2)取液:向碱式滴定管中注入待测液氢氧化钠溶液,取一定体积注入锥形瓶中,并加入 2~3 滴酚酞指示剂;向酸式滴定管中注入标准液盐酸。

(3)滴定:在锥形瓶下垫一张白纸,左手控制滴定管的活塞,向锥形瓶中先快后慢地加入标准液(后

面逐滴加入),右手摇动锥形瓶,眼睛观察锥形瓶内溶液的颜色变化。

(4)读数:至指示剂发生明显的颜色变化(浅红色变为无色)且半分钟内不变时,停止滴定。平视滴定管中凹液面的最低点,读取溶液体积。

(5)记录:记录滴定前和滴定终点时滴定管中标准液的刻度,重复滴定 2~3 次。

(6)计算:以  $(V_{终} - V_{始})$  为消耗的标准液的体积,取 2~3 次实验结果的平均值,依据  $c_{待} = \frac{c_{标} \cdot V_{标}}{V_{待}}$  计算待测液的物质的量浓度。

### 2. 合理选择指示剂

选择指示剂时,一般要求变色明显,指示剂的变色范围与恰好中和时的 pH 要吻合。

(1)在酸碱中和滴定的实验中,不用石蕊做指示剂,主要原因是石蕊的“红色→紫色”“紫色→蓝色”的颜色变化不够明显,不利于及时、准确地作出酸碱是否恰好完全中和的判断。

(2)指示剂的选择情况:

滴定种类	指示剂
强酸——强碱	酚酞或甲基橙
强酸——弱碱	甲基橙
强碱——弱酸	酚酞

## 思维建模

### 1. 误差分析依据(一元酸、碱的中和滴定)

中和滴定实验中,产生误差的途径主要有操作不当、读数不准等,分析误差要根据计算式分析,  $c_{待} = \frac{c_{标} \cdot V_{标}}{V_{待}}$ , 当用标准酸溶液滴定待测碱溶液时,  $c_{标}$ 、 $V_{待}$  均为定值,  $c_{待}$  的大小取决于  $V_{标}$  的大小。

### 2. 滴定管读数误差分析

滴定管正确的读数方法是视线、刻度线、凹液面的最低点在同一水平线上。试分析下列图示读数对滴定结果的影响。

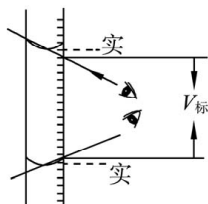


图 I

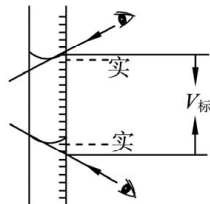


图 II

(1)如图 I,开始仰视读数,滴定完毕俯视读数,滴定结果会偏小。

(2)如图 II,开始俯视读数,滴定完毕仰视读数,滴定结果会偏大。

## 3. 误差分析总结

分析酸碱中和滴定实验误差时,可把影响因素归结到标准液用量的多少上来判断。若标准液用量偏多,则测定结果偏高;若标准液用量偏少,则测定结果偏低;若不影响标准液用量,则对测定结果无影响。

## 典例解析

【例 1】用中和滴定法测定某烧碱样品的纯度,试根据实验回答下列问题:

(1)准确称量 8.2 g 含有少量中性易溶杂质的样品,配成 500 mL 待测溶液。称量时,样品可放在\_\_\_\_\_ (填字母)称量。

A. 小烧杯中 B. 洁净纸片上 C. 托盘上

(2)滴定时,用  $0.2000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸来滴定待测溶液,不可选用\_\_\_\_\_ (填字母)做指示剂。

A. 甲基橙 B. 石蕊 C. 酚酞

(3)滴定过程中,眼睛应注视\_\_\_\_\_;在铁架台上垫一张白纸,其目的是\_\_\_\_\_。

(4)根据下表数据,计算被测烧碱溶液的物质的量浓度是\_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,烧碱样品的纯度是\_\_\_\_\_。

滴定次数	待测溶液体积/mL	标准酸体积	
		滴定前的刻度/mL	滴定后的刻度/mL
第一次	10.00	0.40	20.50
第二次	10.00	4.10	24.00

解析:(1)称量氢氧化钠等易潮解、腐蚀性强的试剂时,样品应放在小烧杯中。(2)酸碱中和滴定时,一般选甲基橙、酚酞等颜色变化较明显的指示剂,石蕊在酸或碱溶液中颜色变化不明显,易造成误差。(4)分别求第一、二次的  $V(\text{HCl})$  值,再求平均值,根据  $c(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{NaOH})}$ ,解得  $c(\text{NaOH}) = 0.4000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $w(\text{NaOH}) = \frac{0.4000 \times 0.500 \times 40}{8.2} \times 100\% \approx 97.56\%$ 。

答案:(1)A (2)B

(3)锥形瓶内溶液颜色的变化 便于观察锥形瓶内液体颜色的变化,减小滴定误差

(4)0.4000 97.56%

## 拓展训练

1. 用 NaOH 标准溶液滴定未知浓度的盐酸,用酚酞做指示剂,造成测定结果偏高的原因可能是( )

A. 配制标准溶液的 NaOH 中混有  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  杂质

B. 盛装待测液的锥形瓶用蒸馏水洗过,没有用待测液洗

C. 滴定到终点读数时,俯视刻度线

D. 滴定到终点读数时,滴定管尖嘴处有气泡

## 探究学习(二) 氧化还原滴定

与酸碱中和反应类似,众多氧化还原反应进行彻底,计量关系明确,也常被用来进行定量测定物质含量。

1. 写出下列氧化还原滴定的原理、指示剂、滴定终点的现象。

实验	反应原理	指示剂	滴定终点现象
标准 $\text{KMnO}_4$ 溶液滴定未知浓度的 $\text{FeSO}_4$ 溶液			
标准 $\text{KMnO}_4$ 溶液滴定未知浓度的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液			
标准 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定溶液中的 $\text{I}_2$			

2. 指出盛装下列溶液的滴定管类型。

a. 酸式滴定管 b. 碱式滴定管

①  $\text{KMnO}_4$  溶液( ) ②  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液( )

③ 有机碘溶液( ) ④ 草酸溶液( )

⑤  $\text{AgNO}_3$  溶液( ) ⑥ 溴水溶液( )

⑦  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液( )

3. 误差分析中要注意哪些问题?

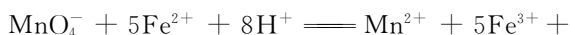
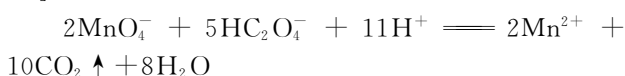
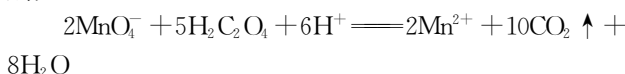
## 归纳总结

## 氧化还原滴定的原理及应用

## 1. 原理

与酸碱中和滴定的原理相似,氧化还原滴定的原理是以氧化剂(或还原剂)为滴定剂,直接滴定一些具有还原性(或氧化性)的物质。

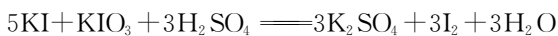
例如:酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液做氧化剂常用于滴定含  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 $\text{HC}_2\text{O}_4^-$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  的溶液,其反应原理分别是:





4H<sub>2</sub>O

又如,测定碘盐中碘含量的反应原理是:



## 2. 指示剂的选择

氧化还原滴定的指示剂有三类。①氧化还原指示剂;②专用指示剂,用 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 溶液滴定含 I<sub>2</sub> 的溶液时,以淀粉溶液为指示剂;③自身指示剂,用 KMnO<sub>4</sub> 溶液滴定 H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 溶液或含 Fe<sup>2+</sup> 的溶液时,不需另加指示剂。

## 3. 计算

依据化学方程式、离子方程式或关系式列比例式,或运用原子守恒、电荷守恒、得失电子守恒等列式进行计算。

## 4. 应用

氧化还原滴定广泛地应用于溶液浓度的测定、物质纯度的测定、食品和药品成分的检测等定量分析。

## 思维建模

### 1. 溶液中离子的定性检验

根据离子性质不同而在实验中所表现出的现象不同,可把检验离子的方法归纳为三种类型:①生成沉淀;②生成气体;③显现特殊颜色。

	离子	试剂	现象	注意
沉淀法	Cl <sup>-</sup> 、 Br <sup>-</sup> 、 I <sup>-</sup>	AgNO <sub>3</sub> 溶液 和稀硝酸	AgCl(白色)、 AgBr(淡黄色)、 AgI(黄色)	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	稀盐酸和 BaCl <sub>2</sub> 溶液	白色沉淀	先用稀盐酸酸化
	Fe <sup>2+</sup>	NaOH 溶液	白色沉淀 → 灰 绿色沉淀 → 红 褐色沉淀	
	Fe <sup>3+</sup>	NaOH 溶液	红褐色沉淀	
	Al <sup>3+</sup>	NaOH 溶液	白色沉淀 → 溶液	不一定是 Al <sup>3+</sup>

(其中 Cl<sup>-</sup> 的检验,要先加硝酸,无明显现象,再加硝酸银,出现白色沉淀,说明含有 Cl<sup>-</sup>。Al<sup>3+</sup> 的检验,还要加氨水,出现白色沉淀,氨水过量沉淀不溶解,则说明含有 Al<sup>3+</sup>;最简便的是加铝试剂检验。)

	离子	试剂	现象	注意
气体法	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	浓 NaOH 溶液 和湿润的红色 石蕊试纸	产生有刺激性 气味的气体,且 气体能使湿润 的红色石蕊试 纸变蓝	要加热

(续表)

	离子	试剂	现象	注意
气体法	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	稀盐酸和石 灰水	石灰水变浑浊	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 有干扰
	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	稀硫酸和品红 溶液	产生有刺激性 气味的气体,且 气体能使品红 溶液褪色	

(其中 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的检验,有 HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的干扰;理论上,CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 或 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的检验是没有意义的。)

	离子	试剂	现象	注意
显色法	I <sup>-</sup>	氯水(少 量),CCl <sub>4</sub>	下层为紫色	
	Fe <sup>2+</sup>	KSCN 溶液和 氯水	先是无变化,滴 加氯水后变 红色	先加 KSCN 溶液,无 变化,再 加氯水
	Fe <sup>3+</sup>	KSCN 溶液	红色	
		苯酚溶液	紫色	
Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup>	Pt(Fe)丝和 稀盐酸	火焰分别呈黄 色、紫色	K <sup>+</sup> 要透 过蓝色 钴玻璃 片观察 焰色	

(其中 Fe<sup>2+</sup> 的检验,氯水不能加过量,否则会将 SCN<sup>-</sup> 氧化褪色;在已知是含铁的溶液中,检验 Fe<sup>2+</sup> 和 Fe<sup>3+</sup> 的混合液,Fe<sup>3+</sup> 的检验同上,Fe<sup>2+</sup> 可以直接用酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液检验。)

### 2. 溶液中离子的定量测定

(1)沉淀法:如溶液中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,用 Ba<sup>2+</sup> 将其转化为 BaSO<sub>4</sub> 沉淀,然后称量沉淀的质量就可求得 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的物质的量及其浓度。

(2)酸碱中和滴定:强酸中的 H<sup>+</sup> 浓度可以用已知准确物质的量浓度的强碱溶液滴定的方法求得。

(3)氧化还原滴定法:如溶液中 MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> 的浓度可用已知准确浓度的 Fe<sup>2+</sup> 溶液滴定求得。

## 典例解析

**【例2】**实验室用标准 KMnO<sub>4</sub> 溶液滴定未知浓度的 FeSO<sub>4</sub> 溶液,下列说法或操作正确的是( )

A. 盛 FeSO<sub>4</sub> 溶液的锥形瓶滴定前用 FeSO<sub>4</sub> 溶液润洗 2~3 次

B. 选碱式滴定管量取标准 KMnO<sub>4</sub> 溶液,并用

碘化钾淀粉溶液做指示剂

C. 滴定前仰视读数, 滴定后俯视读数会导致滴定结果偏低

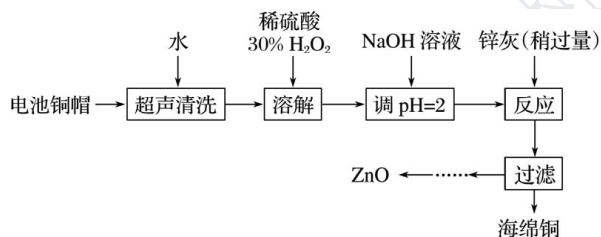
D. 锥形瓶内溶液颜色变化由浅绿色变为紫红色, 立即记下滴定管液面所在刻度

**解析:** 滴定操作时锥形瓶只需水洗干净即可, 不能用待测液润洗, A 项错误; 标准  $\text{KMnO}_4$  溶液应用酸式滴定管量取, 不用添加任何指示剂, B 项错误; 实验时, 读数前仰后俯, 导致读数体积小于实际消耗的标准溶液体积, 所测溶液浓度将偏低, C 项正确; 确定滴定终点时, 需溶液由浅绿色变为紫红色, 且 30 s 内溶液颜色不再发生变化, 才可以确定滴定终点, D 项错误。

答案: C

### 拓展训练

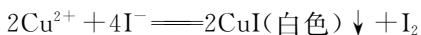
2. 废弃物的综合利用既有利于节约资源, 又有利于保护环境。实验室利用废旧电池的铜帽 ( $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$  总含量约为 99%) 回收  $\text{Cu}$  并制备  $\text{ZnO}$  的部分实验过程如图所示:



(1) ①铜帽溶解时加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  的目的是 \_\_\_\_\_ (用化学方程式表示)。

②铜帽溶解完全后, 需将溶液中过量的  $\text{H}_2\text{O}_2$  除去。除去  $\text{H}_2\text{O}_2$  的简便方法是 \_\_\_\_\_。

(2) 为确定加入锌灰(主要成分为  $\text{Zn}$ 、 $\text{ZnO}$ , 杂质为铁及其氧化物) 的量, 实验中需测定除去  $\text{H}_2\text{O}_2$  后溶液中  $\text{Cu}^{2+}$  的含量。实验操作: 准确量取一定体积的含有  $\text{Cu}^{2+}$  的溶液于带塞锥形瓶中, 加适量水稀释, 调节溶液  $\text{pH} = 3 \sim 4$ , 加入过量的  $\text{KI}$ , 用  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  标准溶液滴定至终点。上述过程中反应的离子方程式如下:



①滴定选用的指示剂为 \_\_\_\_\_, 滴定终点观察到的现象为 \_\_\_\_\_。

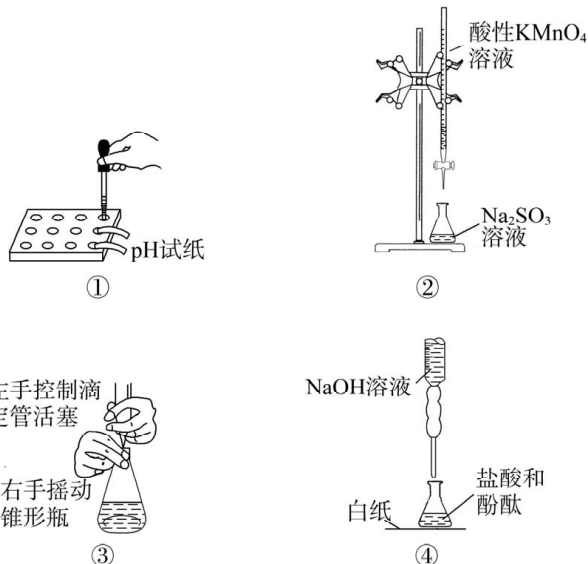
②若滴定前溶液中的  $\text{H}_2\text{O}_2$  没有除尽, 所测定的  $\text{Cu}^{2+}$  含量将会 \_\_\_\_\_ (填“偏高”“偏低”或“不变”)。

### 分层训练

### 素养提升

#### 学习·理解

1. 关于下列各实验或装置的叙述中, 不正确的是( )

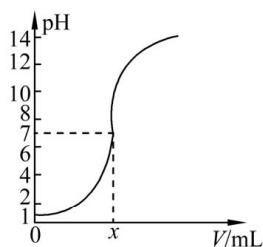


- A. ①可用于测溶液的 pH  
 B. ②是用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液滴定  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液  
 C. ③是滴定操作时手的操作  
 D. ④中最后一滴  $\text{NaOH}$  标准液使溶液由无色变为红色, 即达到滴定终点
2. 用标准浓度的  $\text{NaOH}$  溶液滴定未知浓度的盐酸时, 下列情况会使盐酸物质的量浓度偏低的是( )
- A. 碱式滴定管用蒸馏水洗净后, 直接注入标准浓度的  $\text{NaOH}$  溶液  
 B. 碱式滴定管尖端有气泡, 滴定后气泡消失  
 C. 记录消耗的碱液, 滴定前平视, 滴定后俯视凹液面  
 D. 锥形瓶用蒸馏水洗净后, 直接装入未知浓度的盐酸

3. 在一支 25 mL 的酸式滴定管中加入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸, 其液面恰好在 5 mL 刻度处, 若把滴定管中的溶液全部转移到烧杯中, 然后用  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液进行中和, 则消耗  $\text{NaOH}$  溶液的体积( )

- A. 大于 20 mL    B. 小于 20 mL  
 C. 等于 20 mL    D. 等于 5 mL

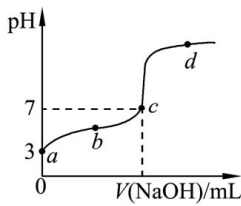
4. 如图是常温下向 20.0 mL 的盐酸中逐滴加入  $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液时, 溶液的 pH 随  $\text{NaOH}$  溶液的体积  $V$  (mL) 变化的曲线, 根据图



像所得的下列结论中正确的是( )

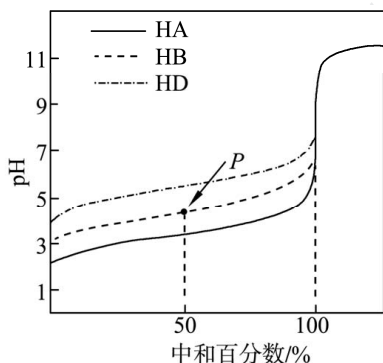
- A. 原盐酸的浓度为  $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 B.  $x$  的值为 2.0  
 C.  $\text{pH}=12$  时,  $V$  的值为 20.4  
 D. 原盐酸的浓度为  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

5. 已知常温时  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离平衡常数为  $K$ 。该温度下向 20 mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中逐滴加入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液, 其  $\text{pH}$  变化曲线如图所示(忽略温度变化)。下列说法错误的是( )



- A.  $a$  点表示的溶液中  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  略小于  $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
 B.  $b$  点表示的溶液中  $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{Na}^+)$   
 C.  $c$  点表示  $\text{CH}_3\text{COOH}$  和  $\text{NaOH}$  恰好反应完全  
 D.  $b$ 、 $d$  点表示的溶液中  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$  均等于  $K$

6. 室温下, 用相同浓度的  $\text{NaOH}$  溶液, 分别滴定浓度均为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的三种酸( $\text{HA}$ 、 $\text{HB}$  和  $\text{HD}$ ) 溶液, 滴定曲线如图所示。下列判断错误的是( )



- A. 三种酸的电离常数关系:  $K_{\text{HA}} > K_{\text{HB}} > K_{\text{HD}}$   
 B. 滴定至  $P$  点时, 溶液中:  $c(\text{B}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{HB}) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$   
 C.  $\text{pH} = 7$  时, 三种溶液中:  $c(\text{A}^-) = c(\text{B}^-) = c(\text{D}^-)$   
 D. 当中和百分数达 100% 时, 将三种溶液混合后:  $c(\text{HA}) + c(\text{HB}) + c(\text{HD}) = c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+)$

### 应用·实践

7. 下面 a~e 是中学化学实验中常见的几种定量仪器:

a. 量筒 b. 容量瓶 c. 滴定管 d. 托盘天平  
 e. 温度计

(1) 无“0”刻度的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

(2) 下列操作合理的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

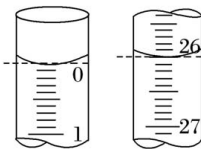
- A. 用 25 mL 碱式滴定管量取 20.00 mL  $\text{NaHCO}_3$  溶液

B. 用托盘天平准确称量 10.20 g 碳酸钠固体

C. 用 100 mL 量筒量取 3.2 mL 浓硫酸

D. 用 500 mL 容量瓶配制  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  氢氧化钠溶液 495.5 mL

- (3) 某学生欲用已知物质的量浓度的盐酸来测定未知物质的量浓度的氢氧化钠溶液, 若滴定开始和结束时, 酸式滴定管中的液面如图所示, 则所用盐酸的体积为\_\_\_\_\_ mL。



- (4) 某学生根据三次实验分别记录的有关数据见下表。

滴定次数	待测氢氧化钠溶液的体积/mL	0.100 0 mol · L <sup>-1</sup> 盐酸的体积/mL		
		滴定前刻度	滴定后刻度	溶液体积
第一次	25.00	0.00	26.11	26.11
第二次	25.00	1.56	30.30	28.74
第三次	25.00	0.22	26.31	26.09

请选用其中合理数据计算出该氢氧化钠溶液物质的量浓度:  $c(\text{NaOH}) =$  \_\_\_\_\_ (计算结果保留 4 位有效数字)。

- (5) 由于错误操作, 使得上述所测氢氧化钠溶液的浓度偏高的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- A. 中和滴定达终点时俯视滴定管内液面读数  
 B. 碱式滴定管用蒸馏水洗净后立即取用 25.00 mL 待测碱溶液注入锥形瓶进行滴定  
 C. 酸式滴定管用蒸馏水洗净后立即装标准溶液来滴定  
 D. 把配好的标准溶液倒入刚用蒸馏水洗净的试剂瓶中然后用来滴定

8. 乙二酸俗名草酸, 下面是化学学习小组的同学对草酸晶体 ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) 进行的探究性学习过程, 请你参与并协助他们完成相关学习任务。该组同学的研究课题是测定草酸晶体 ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) 中的  $x$  值。通过查阅资料和查寻网络得知, 草酸易溶于水, 其水溶液可以用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液进行滴定:  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 6\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 10\text{CO}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ 。学习小组的同学设计了如下实验步骤测定  $x$  值:

① 称取 1.260 g 纯草酸晶体, 将其配成 100.00 mL 溶液作为待测液;

② 取 25.00 mL 待测液放入锥形瓶中, 再加入适量的稀硫酸;

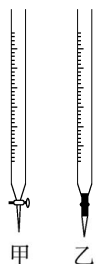
③ 用浓度为  $0.100 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液进行滴定, 达到终点时消耗标准液 10.00 mL。

请回答下列问题：

(1)滴定时,将酸性  $\text{KMnO}_4$  标准液装在图中的 \_\_\_\_\_ (填“甲”或“乙”)滴定管中。

(2)本实验滴定达到终点的标志是 \_\_\_\_\_。

(3)通过上述数据,求得  $x =$  \_\_\_\_\_。



讨论：

①若滴定至终点时俯视滴定管读数,则由此测得的  $x$  值会 \_\_\_\_\_ (填“偏大”“偏小”或“不变”,下同)。

②若滴定时所用的酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液因久置而导致浓度变小,则由此测得的  $x$  值会 \_\_\_\_\_。

9. 某校化学兴趣小组的同学对一含有少量  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  的  $\text{NaOH}$  样品中  $\text{NaOH}$  的含量进行测定。回答下列问题：

(1)甲同学运用沉淀法测定样品中  $\text{NaOH}$  的含量。甲同学选用的药品除样品外,还应用 \_\_\_\_\_; 实验中应测定的数据有 \_\_\_\_\_。

(2)乙同学运用滴定法测定样品中  $\text{NaOH}$  的含量。

①用分析天平准确称取该样品  $5.0000\text{ g}$ , 全部溶于水配制成  $1000.0\text{ mL}$  的溶液。用碱式滴定管取其中  $20.00\text{ mL}$  放在锥形瓶中, 滴加几滴指示剂, 待测。滴定管在使用前除洗涤外, 还应 \_\_\_\_\_。

②用浓度为  $0.1000\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的盐酸标准溶液进行滴定。

③滴定过程中用  $\text{pH}$  计测定锥形瓶中溶液的  $\text{pH}$ , 临近滴定终点时测定  $\text{pH}$  应每滴一滴测一次。

④滴定过程中, 消耗  $24.00\text{ mL}$  盐酸标准溶液。

⑤下表是几种酸碱指示剂的变色范围, 根据你作出的中和滴定曲线分析, 上述中和滴定中应选用的指示剂是 \_\_\_\_\_。

指示剂	变色范围 ( $\text{pH}$ )	颜色	
		酸性	碱性
甲基橙	3.1~4.4	红	黄
石蕊	5.0~8.0	红	蓝
酚酞	8.2~10.0	无	红

⑥样品中,  $\text{NaOH}$  的质量百分含量为 \_\_\_\_\_。

### 迁移·创新

10. 水中的溶解氧是水生生物生存不可缺少的条件。某课外小组采用碘量法测定学校周边河水中的溶解氧。实验步骤及测定原理如下：

#### I. 取样、氧的固定

用溶解氧瓶采集水样。记录大气压及水体温度。将水样与  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  碱性悬浊液(含有  $\text{KI}$ )混合, 反应生成  $\text{MnO}(\text{OH})_2$ , 实现氧的固定。

#### II. 酸化、滴定

将固氧后的水样酸化,  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  被  $\text{I}^-$  还原为  $\text{Mn}^{2+}$ , 在暗处静置  $5\text{ min}$ , 然后用标准  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液滴定生成的  $\text{I}_2$  ( $2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{I}_2 = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ )。

回答下列问题：

(1)取水样时应尽量避免搅动水体表面, 这样操作的主要目的是 \_\_\_\_\_。

(2)“氧的固定”中发生反应的化学方程式为 \_\_\_\_\_。

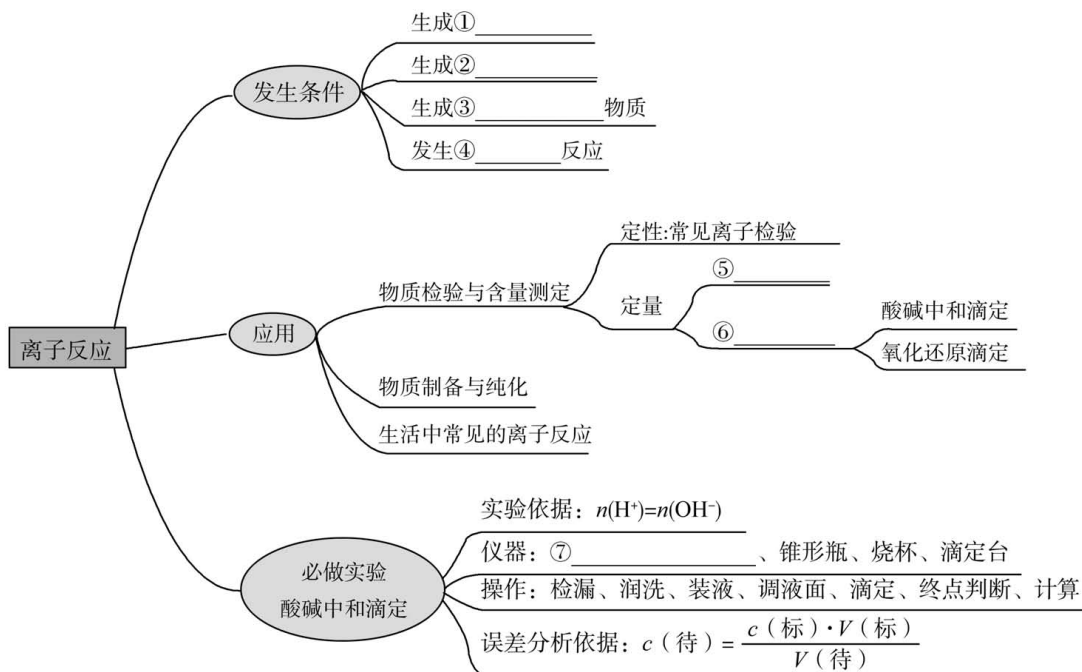
(3) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液不稳定, 使用前需标定。配制该溶液时需要的玻璃仪器有烧杯、玻璃棒、试剂瓶和 \_\_\_\_\_; 蒸馏水必须经过煮沸、冷却后才能使用, 其目的是杀菌、除 \_\_\_\_\_ 及二氧化碳。

(4)取  $100.00\text{ mL}$  水样经固氧、酸化后, 用  $a\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液滴定, 以淀粉溶液做指示剂, 终点现象为 \_\_\_\_\_; 若消耗  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液的体积为  $b\text{ mL}$ , 则水样中溶解氧的含量为 \_\_\_\_\_  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(5)上述滴定完成时, 若滴定管尖嘴处留有气泡会导致测定结果偏 \_\_\_\_\_ (填“高”或“低”)。



## 本书建构整合



## 教材习题答案

- 否。 $\text{OH}^-$  分别与  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{HCO}_3^-$  反应生成  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  而不能大量共存。
  - 否。 $\text{Fe}^{3+}$  能将  $\text{I}^-$  氧化而不能大量共存。
  - 否。 $\text{HNO}_3$  能将  $\text{HSO}_3^-$  氧化而不能大量共存。
  - 否。 $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{CO}_3^{2-}$  因生成碳酸钙沉淀而不能大量共存。
- 正确
  - 错误, 正确写法为  $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$
  - 错误, 正确写法为  $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Ag}$
  - 错误, 正确写法为  $\text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^- \longrightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$
  - 错误, 正确写法为  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
- 溶液②中除了水分子, 还有  $\text{H}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 。(图略)
  - 测定溶液的 pH, 若呈酸性, 证明  $\text{H}^+$  的存在。
    - 取少量溶液②于试管中, 滴加硝酸银溶液, 若出现白色沉淀, 证明  $\text{Cl}^-$  的存在。
    - 取少量溶液②于试管中, 滴加硫化钠溶液, 若出现黄色浑浊, 证明  $\text{NO}_3^-$  的存在。
    - 用洁净的铂丝蘸取溶液②在酒精灯火焰上灼烧, 透过蓝色钴玻璃看到淡紫色火焰, 证明  $\text{K}^+$  的

存在。

(3) 溶液②中相当于有硝酸, 可将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化生成  $\text{Fe}^{3+}$ , 而使溶液呈现黄色。

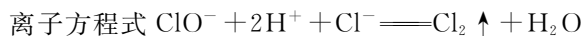
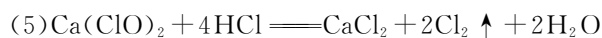
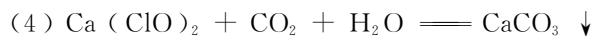
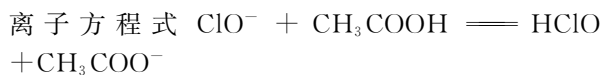
- 样品中氢氧化钠的质量  $m = 0.0205 \text{ L} \times 0.040 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 25 \times 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.82 \text{ g}$ , 样品中苛性钠的质量分数  $= \frac{\text{氢氧化钠的质量}}{\text{样品的质量}} \times 100\% =$

$$\frac{0.82}{0.86} \times 100\% \approx 95.3\%$$

(2) 未用盐酸润洗滴定管, 相当于用的盐酸的浓度偏小, 所以消耗的盐酸的体积偏大, 计算出的氢氧化钠质量偏高, 样品中的含量偏高。

(3) 盛装待测液的锥形瓶不需要润洗, 锥形瓶是否干燥不影响待测液的溶质的物质的量, 不需要干燥。

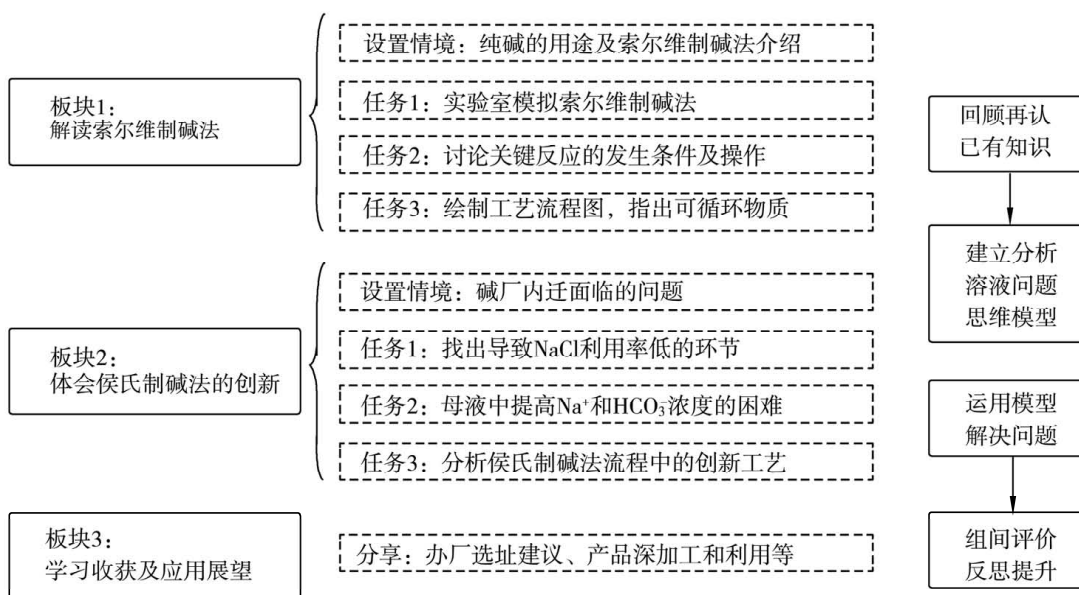
- $2\text{Cl}_2 + 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{ClO})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
  - $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{HClO} + \text{Ca}(\text{OH})_2$   
离子方程式  $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{OH}^-$
  - $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$   
离子方程式  $\text{OH}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O}$   
离子方程式  $\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COO}^-$   
 $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{HClO}$   
离子方程式  $\text{ClO}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{HClO}$



## 微项目 揭秘索尔维制碱法和侯氏制碱法

——化学平衡思想的创造性应用

### 项目拆解

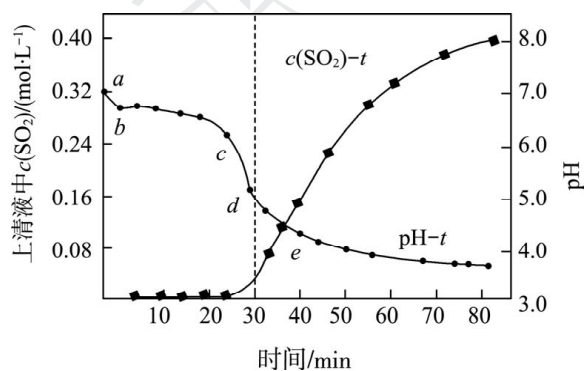


### 项目达标

某冶炼厂利用含 ZnO 的烟灰脱除工业废气中的 SO<sub>2</sub>, 最终得到锌盐。该厂所用烟灰的主要成分见下表。

主要成分	ZnO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	其他
质量分数/%	81	0.098	1.14	0.5	—

在一定条件下, 将含 SO<sub>2</sub> 的工业废气通入烟灰浆液(烟灰和水的混合物)进行脱硫, 过程中测得 pH 和上清液中溶解的 SO<sub>2</sub> 物质的量浓度 c(SO<sub>2</sub>) 随时间的变化如图所示。



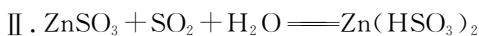
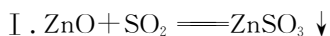
(1) 纯 ZnO 浆液的 pH 为 6.8, 但上述烟灰浆液的初始 pH 为 7.2。在开始脱硫后 3min 内 (a~b 段), pH 迅速降至 6.8, 引起 pH 迅速变化的原因是 \_\_\_\_\_ (结合化学用语解释)。

(2) 生产中脱除 SO<sub>2</sub> 效果最佳的时间范围是 \_\_\_\_\_ (填字母)。

- A. 20~30min      B. 30~40min

C. 50~60min D. 70~80min

(3)在脱硫过程中涉及的主要反应原理:



①在 30~40 min 时,主要发生反应 II,生成可溶性的  $\text{Zn}(\text{HSO}_3)_2$ 。上清液中  $c(\text{SO}_2)$  上升的原因

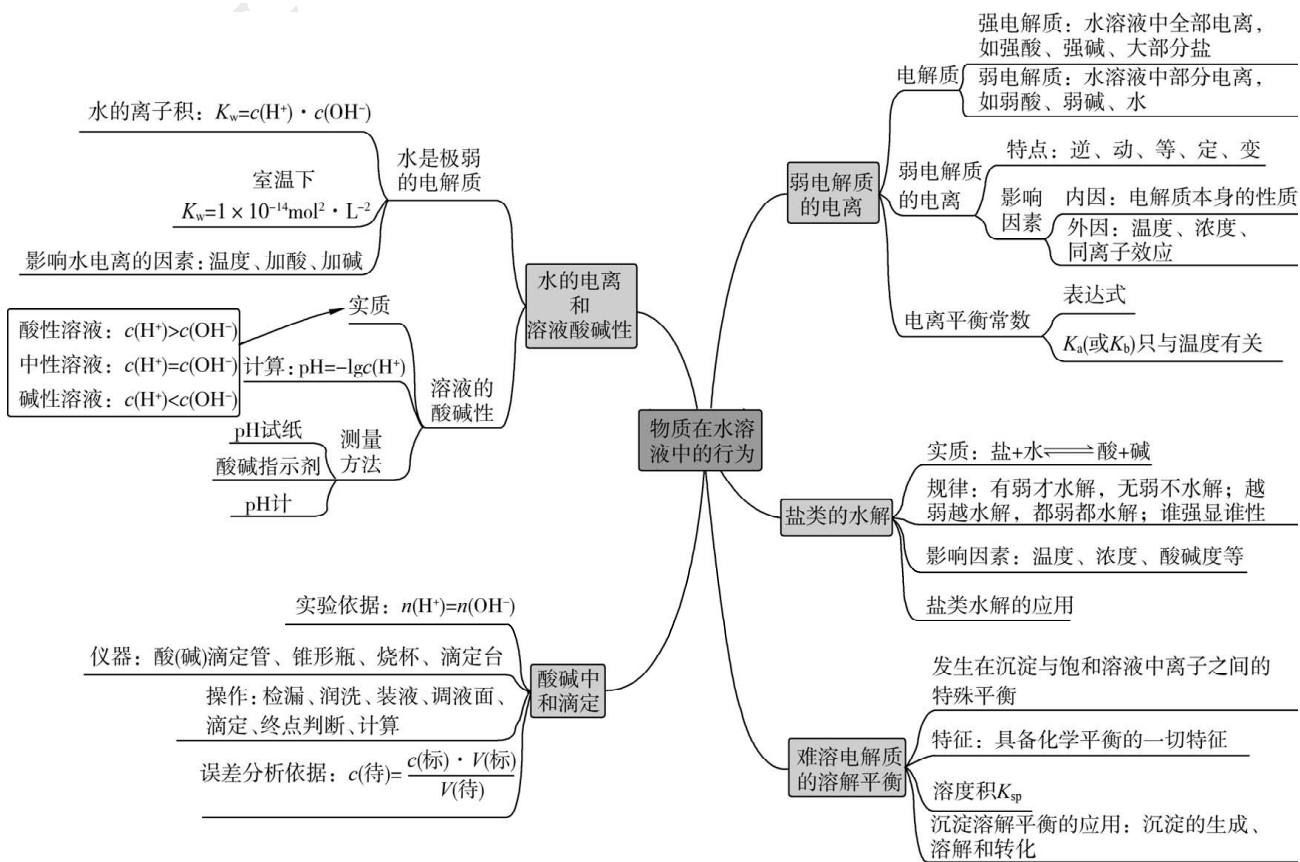
可能是\_\_\_\_\_。

②在 30~80 min 时,pH 降低的原因可能是\_\_\_\_\_ (写出两点)。

③将脱硫后的混合物利用空气氧化技术处理,该过程中发生反应: $2\text{ZnSO}_3 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{ZnSO}_4$  和\_\_\_\_\_。

## 本章总结

### 本章建构整合



### 教材习题答案

- 略
- (2)(4)(5)(6)
- 在平衡体系  $\text{HIn}(\text{红色}) \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{In}^-(\text{蓝色})$  中,当加入酸时,体系中  $\text{H}^+$  浓度增大使平衡左移动,溶液呈红色;当加入碱时,体系中  $\text{H}^+$  与  $\text{OH}^-$  发生中和反应, $\text{H}^+$  浓度减小,使平衡右移,溶液呈蓝色。
- (1)  $\text{HF} > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{HClO}$   
(2)  $\text{CH}_3\text{COONa} > \text{NaF} > \text{NaCl}$

(3)  $\text{NaF}$  溶液存在的微粒:  $\text{Na}^+$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 。

各微粒浓度大小:  $c(\text{Na}^+) > c(\text{F}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{HF}) > c(\text{H}^+)$ 。

(4)  $c(\text{F}^-)$ 、 $c(\text{OH}^-)$  减小;  $c(\text{HF})$ 、 $c(\text{H}^+)$  增大。

(5) 加热促进  $\text{NaF}$  水解,使  $\text{HF}$ 、 $\text{OH}^-$  浓度增大,  $\text{H}^+$ 、 $\text{F}^-$  浓度相应减小。

5. 不能制得  $\text{Al}_2\text{S}_3$ , 因为发生反应:  $2\text{Al}^{3+} + 3\text{S}^{2-} + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{H}_2\text{S} \uparrow$ 。

要制得  $\text{Al}_2\text{S}_3$  固体,可由相应的单质直接化合而成。

6.

$\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$	平衡移动	$c(\text{Ca}^{2+})$	$c(\text{CO}_3^{2-})$	$c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})$
(1) 加少量氯化钙固体	左移	增大	减小	不变
(2) 加少量 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 固体	左移	减小	增大	不变

7. (1) A (2) C

8. (1) 不正确, 不符合实际, 应改为  $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{Br}^- + 3\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Br}_2 + 6\text{Cl}^-$ 

(2) 正确

(3) 不正确, 应改为  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 

(4) 正确

(5) 不正确, 应改为  $\text{Zn} + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2 \uparrow$ 9. (1)  $\text{pH}=7$  (2)  $\text{pH}=2.3$ (3)  $\text{pH}=12.3$  (4)  $\text{pH}=12.7$ 10. (1) ①  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  ②  $\text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{AsO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$  ③ A(2) 通过(1)(2)中的图示可知, 随着  $\text{pH}$  的增大含砷(III)的阴离子所占物质的量分数增大。处理废水的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶粒表面带有正电荷, 易吸附阴离子, 所以去除率随  $\text{pH}$  的升高而增大11. (1)  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$ (2) 由表中数据可知, 溶液中主要是  $\text{SO}_3^{2-}$  时, 溶液  $\text{pH}$  为 8.2; 溶液中主要是  $\text{HSO}_3^-$  时, 溶液  $\text{pH}$  为 6.2。所以, 吸收液在电解槽中反应时, 随着  $\text{H}^+$  在阴极放电生成氢气, 吸收液中的  $\text{HSO}_3^-$  不断电离产生  $\text{H}^+$  和  $\text{SO}_3^{2-}$ , 当测知  $\text{pH}$  升至 8 左右时, 即溶液中主要是  $\text{SO}_3^{2-}$  了, 吸收液再生完毕。(3) 吸收液显中性必然是  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  的混合液, 溶液中电荷守恒的关系为  $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{OH}^-)$ , 由此可判断  $c(\text{Na}^+) > c(\text{HSO}_3^-) > c(\text{SO}_3^{2-})$ 。

## 本章自我检测

(时间: 45 分钟, 满分: 100 分)

一、选择题(本题包括 12 小题, 每小题 4 分, 共 48 分。每小题只有一个选项符合题意)

1. 硼酸( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )溶液中存在反应:  $\text{H}_3\text{BO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons [\text{B}(\text{OH})_4]^- (\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$ 。已知硼酸、碳酸、醋酸的电离常数如表所示。下列说法正确的是( )

弱酸	电离常数(298 K)
硼酸	$K = 5.7 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
碳酸	$K_1 = 4.4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $K_2 = 4.7 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
醋酸	$K = 1.75 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- A. 将一滴碳酸钠溶液滴入硼酸溶液中一定能观察到有气泡产生
- B. 将一滴醋酸溶液滴入碳酸钠溶液中一定能观察到有气泡产生
- C. 等物质的量浓度的碳酸溶液和硼酸溶液比较,  $\text{pH}$ : 前者 > 后者
- D. 等物质的量浓度的碳酸溶液和醋酸溶液比较,  $\text{pH}$ : 前者 > 后者

2. 下列有关电解质溶液的说法正确的是( )

- A. 将  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{FeCl}_3$  溶液蒸干均得不到原溶液
- B. 保存氯化亚铁溶液时, 在溶液中放少量铁粉, 以防止  $\text{Fe}^{2+}$  水解
- C. 室温下, 向  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中加入

少量水溶液显碱性的物质,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离程度一定增大D.  $\text{NaCl}$  溶液和  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  溶液均显中性, 两溶液中水的电离程度相同

3. 下列实验操作能达到实验目的的是( )

选项	实验目的	实验操作
A	制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体	将 $\text{NaOH}$ 浓溶液滴加到饱和 $\text{FeCl}_3$ 溶液中
B	由 $\text{MgCl}_2$ 溶液制备无水 $\text{MgCl}_2$	将 $\text{MgCl}_2$ 溶液加热蒸干
C	取 20.00 mL 盐酸	在 50 mL 酸式滴定管中装入盐酸, 调整初始读数为 30.00 mL 后, 将剩余盐酸放入锥形瓶中
D	测定醋酸钠溶液的 $\text{pH}$	用洁净的玻璃棒蘸取溶液, 点在 $\text{pH}$ 试纸上, 对照标准比色卡读数

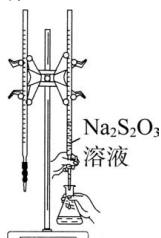
4. 下列指定反应的离子方程式正确的是( )

- A. 钠与水反应:  $\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow$
- B. 用  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶解  $\text{CaCO}_3$ :  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
- C.  $\text{FeCl}_3$  溶液中加入少量  $\text{KSCN}$  溶液:  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$
- D.  $\text{NaHSO}_4$  溶液与  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液反应至中性:  $\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$



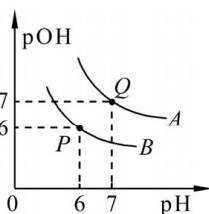
5. 设  $N_A$  为阿伏加德罗常数值。关于常温下  $\text{pH}=2$  的  $\text{H}_3\text{PO}_4$  溶液, 下列说法正确的是( )
- A. 每升溶液中的  $\text{H}^+$  数目为  $0.02N_A$
- B.  $c(\text{H}^+) = c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + 2c(\text{HPO}_4^{2-}) + 3c(\text{PO}_4^{3-}) + c(\text{OH}^-)$
- C. 加水稀释使电离度增大, 溶液的  $\text{pH}$  减小
- D. 加入  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  固体, 溶液的酸性增强

6.  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$  是一种弱酸, 实验室欲用  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液滴定  $\text{I}_2$  溶液, 发生的反应为  $\text{I}_2 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 2\text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ , 下列说法合理的是( )
- A. 该实验可用甲基橙做指示剂
- B.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  是该反应的还原剂
- C. 该滴定可选用如图所示装置
- D. 该反应中每消耗  $2 \text{ mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 转移电子为  $4 \text{ mol}$



7. 下列有关电解质溶液的说法正确的是( )
- A. 向  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中加入少量水, 溶液中  $\frac{c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$  减小
- B. 将  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液从  $20^\circ\text{C}$  升温至  $30^\circ\text{C}$ , 溶液中  $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{OH}^-)}$  增大
- C. 向盐酸中加入氨水至中性, 溶液中  $\frac{c(\text{NH}_4^+)}{c(\text{Cl}^-)} > 1$
- D. 向  $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgBr}$  的饱和溶液中加入少量  $\text{AgNO}_3$ , 溶液中  $\frac{c(\text{Cl}^-)}{c(\text{Br}^-)}$  不变

8.  $\text{pOH}$  指的是溶液的碱度, 以溶液中  $\text{OH}^-$  浓度来表示, 与  $\text{pH}$  所表示的溶液酸度相对应,  $\text{pOH}$  等于  $\text{OH}^-$  的浓度的负常用对数。如图分别表示的是在  $25^\circ\text{C}$  和  $100^\circ\text{C}$  下水的电离平衡曲线。下列说法正确的是( )



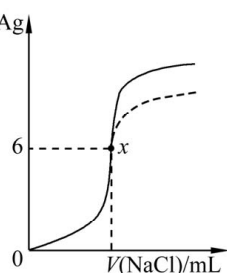
- A. 曲线  $B$  表示的是  $25^\circ\text{C}$  时水的电离平衡曲线
- B.  $25^\circ\text{C}$  时, 向  $\text{pH}=1$  的稀硫酸中逐滴滴入  $\text{pH}=11$  的稀氨水至过量, 反应过程中水的电离先促进后抑制
- C.  $Q$  点对应的溶液中, 可同时大量存在  $\text{K}^+$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$
- D.  $100^\circ\text{C}$  时, 将  $\text{pH}=2$  的硫酸与  $\text{pH}=12$  的氢氧化钠溶液等体积混合, 溶液显中性
9. 已知:  $\text{pAg} = -\lg c(\text{Ag}^+)$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1 \times 10^{-12} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。如图是向  $10 \text{ mL AgNO}_3$  溶液中逐滴加入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl}$  溶液时, 溶液的  $\text{pAg}$  随着加入  $\text{NaCl}$  溶液的体积变化的图像(实线)。根据图像所得下列结论正确的是[提示:  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ ]( )

A. 原  $\text{AgNO}_3$  溶液的物质的量浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- B. 图中  $x$  点的坐标为  $(100, \text{pAg} 6)$

C. 图中  $x$  点表示溶液中  $\text{Ag}^+$  被恰好完全沉淀

D. 把  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl}$  溶液换成  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaI}$  溶液, 则图像在终点后变为虚线部分



10. 草酸是二元中强酸, 草酸氢钠溶液显酸性。常温下, 向  $10 \text{ mL } 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHC}_2\text{O}_4$  溶液中滴加  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液, 随着  $\text{NaOH}$  溶液体积的增加, 溶液中离子浓度关系正确的是( )

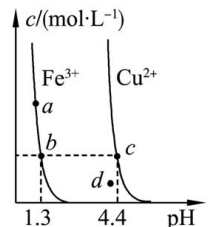
A.  $V(\text{NaOH})=0$  时,  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

B.  $V(\text{NaOH}) < 10 \text{ mL}$  时, 不可能存在  $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$

C.  $V(\text{NaOH})=10 \text{ mL}$  时,  $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

D.  $V(\text{NaOH}) > 10 \text{ mL}$  时,  $c(\text{Na}^+) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$

11. 某温度下,  $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$  分别在溶液中进行沉淀溶解平衡后, 改变溶液  $\text{pH}$ , 金属阳离子浓度的变化如图所示。下列判断错误的是( )



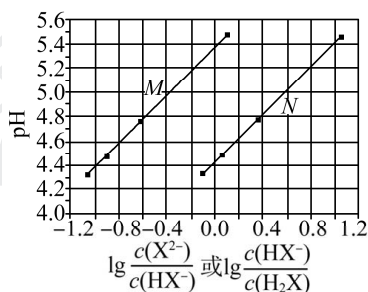
A.  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] < K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2]$

B. 加适量  $\text{NH}_4\text{Cl}$  固体可使溶液由  $a$  点变到  $b$  点

C.  $c$ 、 $d$  两点代表的溶液中  $c(\text{H}^+)$  与  $c(\text{OH}^-)$  乘积相等

D.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$  分别在  $b$ 、 $c$  两点代表的溶液中达到饱和

12. 常温下将  $\text{NaOH}$  溶液滴加到己二酸 ( $\text{H}_2\text{X}$ ) 溶液中, 混合溶液的  $\text{pH}$  与离子浓度的变化关系如图所示。下列叙述错误的是( )



A.  $K_{a2}(\text{H}_2\text{X})$  的数量级为  $10^{-6}$

B. 曲线  $N$  表示  $\text{pH}$  与  $\lg \frac{c(\text{HX}^-)}{c(\text{H}_2\text{X})}$  的变化关系

C.  $\text{NaHX}$  溶液中  $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$

D. 当混合溶液呈中性时,  $c(\text{Na}^+) > c(\text{HX}^-) > c(\text{X}^{2-}) > c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$

## 二、非选择题(本题包括 4 小题, 共 52 分)

13. (12 分)

- (1) 已知  $25^\circ\text{C}$  时,  $\text{HCN}$  的电离常数  $K_a = 4.9 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则  $25^\circ\text{C}$  时  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCN}$  溶液中  $c(\text{H}^+) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。  
 $\text{NaCN}$  溶液中加入盐酸至恰好完全反应, 溶

液中所有离子浓度的关系为\_\_\_\_\_。

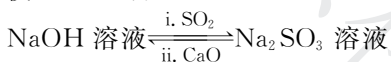
(2) 在 25℃ 下, 向浓度均为 0.1 mol · L<sup>-1</sup> 的 MgCl<sub>2</sub> 和 CuCl<sub>2</sub> 混合溶液中逐滴加入氨水, 先生成\_\_\_\_\_沉淀(填化学式), 生成该沉淀的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(已知 25℃ 时  $K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 1.8 \times 10^{-11} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ ,  $K_{sp}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 2.2 \times 10^{-20} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$ )

(3) 在 25℃ 下, 将 a mol · L<sup>-1</sup> 的氨水与 0.01 mol · L<sup>-1</sup> 的盐酸等体积混合, 反应平衡时溶液中  $c(\text{NH}_4^+) = c(\text{Cl}^-)$ , 则溶液显\_\_\_\_\_ (填“酸”“碱”或“中”)性; 用含 a 的代数式表示 NH<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O 的电离常数  $K_b =$ \_\_\_\_\_。

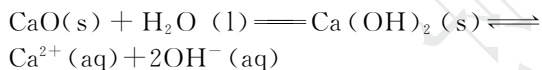
14. (12 分) SO<sub>2</sub> 会对环境和人体健康带来极大的危害, 工业上采取多种方法减少 SO<sub>2</sub> 的排放, 回答下列方法中的问题。

方法 1(双碱法): 用 NaOH 吸收 SO<sub>2</sub>, 并用 CaO 使 NaOH 再生。



(1) 写出过程 i 的离子方程式:\_\_\_\_\_。

(2) CaO 在水中存在如下转化:



从平衡移动的角度, 简述过程 ii 中 NaOH 再生的原理:\_\_\_\_\_。

方法 2: 用氨水除去 SO<sub>2</sub>。

(3) 已知 25℃, NH<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O 的  $K_b = 1.8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 的  $K_{a1} = 1.3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_{a2} = 6.2 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。若氨水的浓度为 2.0 mol · L<sup>-1</sup>, 溶液中的  $c(\text{OH}^-) =$ \_\_\_\_\_ mol · L<sup>-1</sup>。将 SO<sub>2</sub> 通入该氨水中, 当  $c(\text{OH}^-)$  降至  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 溶液中的  $c(\text{SO}_3^{2-})/c(\text{HSO}_3^-) =$ \_\_\_\_\_。

15. (14 分) 常温下, 根据表中的几种物质的电离平衡常数回答下列问题:

NH <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	$2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
CH <sub>3</sub> COOH	$1.8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
HNO <sub>2</sub>	$7 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
HClO	$3 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$K_{a1} = 4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $K_{a2} = 4 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(1) 常温下, 等浓度的 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 和 NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub> 两份溶液, 测得 NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub> 溶液中  $c(\text{NH}_4^+)$  较小, 试分析原因:\_\_\_\_\_。

0.1 mol · L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub> 溶液中离子浓度由大到小的顺序是\_\_\_\_\_, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 水解反应的平衡常数  $K_h =$ \_\_\_\_\_ (保留两位有效数字)。

(2) 常温下, 用氨水吸收 CO<sub>2</sub> 可得到 NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>

溶液, 其中 pH \_\_\_\_\_ 7 (填“>”“<”或“=”); 反应  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$  的平衡常数  $K =$ \_\_\_\_\_。

(3) 少量 CO<sub>2</sub> 通入过量的 NaClO 溶液中发生反应的离子方程式为\_\_\_\_\_。

(4) pH 相同的 NaClO 和 CH<sub>3</sub>COOK 溶液, 其溶液的物质的量浓度的大小关系是 CH<sub>3</sub>COOK \_\_\_\_\_ NaClO, 两溶液中:  $c(\text{Na}^+) - c(\text{ClO}^-)$  \_\_\_\_\_  $c(\text{K}^+) - c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  (填“>”“<”或“=”)。

(5) 向 0.1 mol · L<sup>-1</sup> CH<sub>3</sub>COOH 溶液中滴加 NaOH 溶液至  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) : c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 5 : 9$ , 此时溶液的 pH = \_\_\_\_\_。

16. (14 分) 食品药品中钙元素含量的测定方法之一是利用 Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 将处理后的样品中的 Ca<sup>2+</sup> 沉淀, 再过滤洗涤, 然后将所得 CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 固体溶于过量的强酸, 最后使用已知浓度的 KMnO<sub>4</sub> 溶液通过滴定来测定溶液中 Ca<sup>2+</sup> 的含量。针对该实验中的滴定过程, 回答以下问题:

(1) KMnO<sub>4</sub> 溶液应该用\_\_\_\_\_ (填“酸性”或“碱性”) 滴定管盛装, 除滴定管外, 还需要的玻璃仪器有\_\_\_\_\_。

(2) 试写出滴定过程中发生反应的离子方程式:\_\_\_\_\_。

(3) 滴定终点的颜色变化为溶液由\_\_\_\_\_ 色变为\_\_\_\_\_ 色。

(4) 以下操作会导致测定的结果偏高的是\_\_\_\_\_ (填字母)。

- 装入 KMnO<sub>4</sub> 溶液前未润洗滴定管
- 滴定结束后俯视读数
- 滴定结束后, 滴定管尖端悬有一滴溶液
- 滴定过程中, 振荡时将待测液洒出

(5) 某同学对上述实验方法进行了改进并用于测定某品牌的钙片中的钙元素(主要为 CaCO<sub>3</sub>) 含量, 其实验过程如下: 取 2.00 g 样品加入锥形瓶中, 用酸式滴定管向锥形瓶内加入 20.00 mL 浓度为 0.10 mol · L<sup>-1</sup> 的盐酸(盐酸过量), 充分反应一段时间, 用酒精灯将锥形瓶内液体加热至沸腾, 数分钟后, 冷却至室温, 加入 2~3 滴酸碱指示剂, 用浓度为 0.10 mol · L<sup>-1</sup> 的 NaOH 溶液滴定至终点, 消耗 NaOH 溶液 8.00 mL。[提示: Ca(OH)<sub>2</sub> 微溶于水, pH 较低时不会产生沉淀]

据此回答:

① 为使现象明显、结果准确, 滴定过程中的酸碱指示剂应选择\_\_\_\_\_ (填“石蕊”“甲基橙”或“酚酞”) 溶液。

② 实验过程中将锥形瓶内液体煮沸的目的是\_\_\_\_\_。

③ 则此 2.00 g 钙片中 CaCO<sub>3</sub> 的质量为\_\_\_\_\_ g。

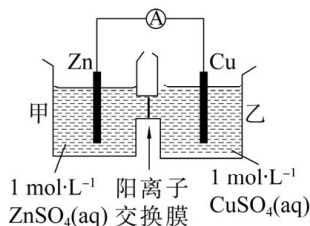
# 期末检测(一)

——等级考水平测试  
(时间:90分钟 分值:100分)

一、选择题(本题共10小题,每小题2分,共20分。  
每小题只有一个选项符合题意)

- 下列说法不正确的是( )
  - 化石燃料在任何条件下都能充分燃烧
  - 化石燃料在燃烧过程中能产生污染环境的CO、SO<sub>2</sub>等有害气体
  - 直接燃烧煤不如将煤进行深加工后再燃烧的效果好
  - 固体煤变为气体燃料后,燃烧效率将提高
- 在恒温恒容条件下,能使A(g)+B(g)⇌C(g)+D(s)反应速率加快的是( )
  - 减少C或D的物质的量
  - 增大D的物质的量
  - 减少B的物质的量
  - 增大A或B的物质的量

- 锌铜原电池装置如图所示,其中阳离子交换膜只允许阳离子和水分子通过,下列有关叙述正确的是( )



- 铜电极上发生氧化反应
- 电池工作一段时间后,甲池的c(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)减小
- 电池工作一段时间后,乙池溶液的总质量增加
- 电子流向为Zn→导线→Cu→溶液→Zn,形成闭合回路

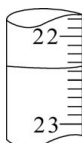
- 有三种一元酸HA、HB、HC的钠盐分别为NaA、NaB、NaC,它们的物质的量浓度相同时,溶液的pH依次为9、10、8。则这三种弱酸的酸性由强到弱的顺序是( )

- HA>HB>HC
- HB>HA>HC
- HC>HB>HA
- HC>HA>HB

- 在一定条件下,Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液存在水解平衡:CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>+H<sub>2</sub>O⇌HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+OH<sup>-</sup>。下列说法正确的是( )

- 稀释溶液,水解平衡常数增大
- 加入少量NH<sub>4</sub>Cl固体,平衡朝正反应方向移动
- 升高温度, $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_3^{2-})}$ 减小
- 加入NaOH固体,溶液的pH减小

- 用0.6 mol·L<sup>-1</sup>盐酸滴定25.00 mL未知浓度的氢氧化钠溶液,滴定达终点时,滴定管中的液面如图所示,正确的读数为( )



- 22.30 mL
- 23.65 mL
- 22.35 mL
- 23.70 mL

- 下列叙述正确的是( )

- CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>均为酸性氧化物,CaO、Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>均为碱性氧化物
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>不可与水反应得到Fe(OH)<sub>3</sub>,但能通过化合反应和复分解反应来制取Fe(OH)<sub>3</sub>
- 灼热的炭与CO<sub>2</sub>的反应、Ba(OH)<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O与NH<sub>4</sub>Cl的反应均可设计成原电池
- 电解、电泳、电离、电镀、电化学腐蚀过程均需要通电才能发生

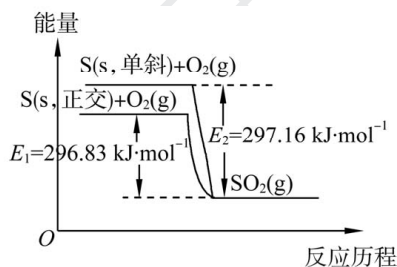
- 在甲、乙、丙三个不同密闭容器中,按不同方式投料,起始浓度和起始容积相同,一定条件下发生反应:N<sub>2</sub>(g)+3H<sub>2</sub>(g)⇌2NH<sub>3</sub>(g) ΔH<0。

容器	甲	乙	丙
相关条件	恒温恒容	绝热恒容	恒温恒压
反应物投料	1 mol N <sub>2</sub> 、 3 mol H <sub>2</sub>	2 mol NH <sub>3</sub>	2 mol NH <sub>3</sub>
平衡时容器体积	V <sub>甲</sub>	V <sub>乙</sub>	V <sub>丙</sub>
反应的平衡常数	K <sub>甲</sub>	K <sub>乙</sub>	K <sub>丙</sub>
平衡时NH <sub>3</sub> 的浓度/(mol·L <sup>-1</sup> )	c <sub>甲</sub>	c <sub>乙</sub>	c <sub>丙</sub>
平衡时NH <sub>3</sub> 的反应速率/(mol·L <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	v <sub>甲</sub>	v <sub>乙</sub>	v <sub>丙</sub>

- 下列说法正确的是( )

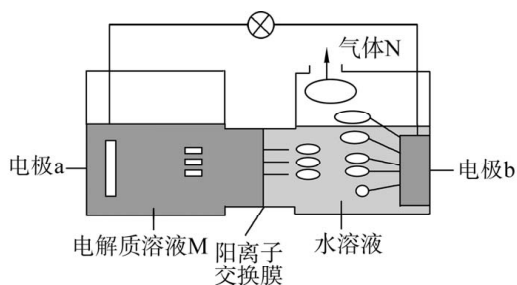
- V<sub>甲</sub><V<sub>乙</sub>
- K<sub>丙</sub>>K<sub>乙</sub>
- v<sub>甲</sub>=v<sub>丙</sub>
- c<sub>乙</sub>>c<sub>甲</sub>

- 单斜硫和正交硫转化为二氧化硫的能量变化如图所示,下列说法不正确的是( )



- 单斜硫和正交硫互为同素异形体
  - 单斜硫比正交硫稳定
  - 两种硫的燃烧反应均为放热反应
  - S(s,单斜)⇌S(s,正交) ΔH=-0.33 kJ·mol<sup>-1</sup>
- 科学家发明了一种锂水电池,工作原理如图所示。下列有关说法不正确的是( )

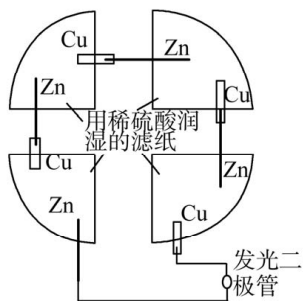




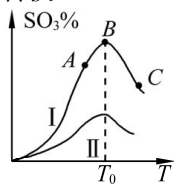
- A. 电极 a 的材料是 Li
- B. 电极 b 上发生还原反应, 气体 N 是氢气
- C. 消耗锂的质量为 14 g 时, 产生 22.4 L 气体 N
- D. 该装置是一次电池

二、选择题(本题共 5 小题, 每小题 4 分, 共 20 分。每小题有一个或两个选项符合题意, 全部选对得 4 分, 选对但不全的得 2 分, 有选错的得 0 分)

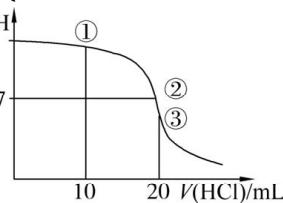
11. 将一张滤纸剪成四等份, 用铜片、锌片、发光二极管、导线在玻璃片上连接成如图所示的装置, 在四张滤纸上滴入稀硫酸直至全部润湿。下列叙述正确的是( )



- A. 锌片为正极
  - B. 锌片上有气泡, 铜片溶解
  - C. 电流都是从铜片经外电路流向锌片
  - D. 该装置至少有两种形式的能量转换
12. 硫酸生产中炉气转化反应为  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ 。研究发现,  $\text{SO}_3$  的体积分数 ( $\text{SO}_3\%$ ) 随温度 ( $T$ ) 的变化如曲线 I 所示。下列判断正确的是( )

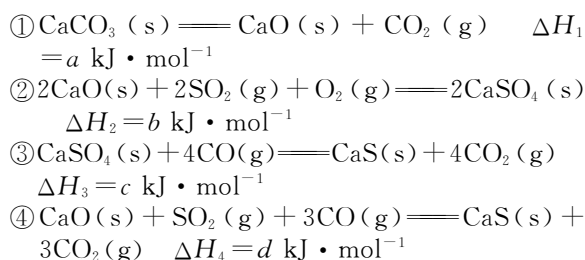


- A. 该反应的正反应为放热反应
  - B. 曲线 I 上 A、C 两点反应速率的关系是  $v_A > v_C$
  - C. 反应达到 B 点时,  $2v_{\text{正}}(\text{O}_2) = v_{\text{逆}}(\text{SO}_3)$
  - D. 已知  $\text{V}_2\text{O}_5$  的催化效果比  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  好, 若 I 表示用  $\text{V}_2\text{O}_5$  做催化剂的曲线, 则 II 可表示为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  做催化剂的曲线
13. 常温下, 用  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  HCl 溶液滴定  $20.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  溶液, 滴定曲线如图所示。下列说法正确的是( )



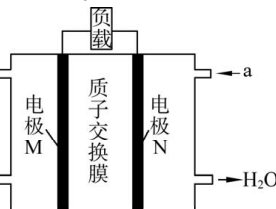
- A. ①溶液:  $c(\text{Cl}^-) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$
- B. ②溶液:  $c(\text{NH}_4^+) = c(\text{Cl}^-) > c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$
- C. ③溶液:  $c(\text{H}^+) > c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) + c(\text{OH}^-)$
- D. 滴定过程中可能出现:  $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{OH}^-) > c(\text{Cl}^-) > c(\text{H}^+)$

14. 用石灰石流化床法对燃料脱硫时的部分反应如下:



- 下列说法错误的是( )
- A. 反应①为吸热反应
  - B. 反应②在常温下可自发进行, 则该反应的  $\Delta H < 0, \Delta S < 0$
  - C. 反应  $2\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CaSO}_4(\text{s}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$  的  $\Delta H = (a + b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
  - D. 反应  $3\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CaS}(\text{s}) \rightleftharpoons 4\text{CaO}(\text{s}) + 4\text{SO}_2(\text{g})$  的  $\Delta H = (3c - 4d) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

15. 甲醇燃料电池的总反应为  $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ , 该电池的示意图如图所示。下列说法正确的是( )



- A. a 是氧气, b 是甲醇
- B. 质子从 N 电极区穿过质子交换膜移向 M 电极区
- C. 正极反应为  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$
- D. 当电路中有  $3 \text{ mol e}^-$  转移时, 电池中  $n(\text{H}^+)$  变化为  $3 \text{ mol}$

三、非选择题(本题共 5 小题, 共 60 分)

16. (12 分)  $\text{SO}_2$  是危害最为严重的大气污染物之一,  $\text{SO}_2$  的含量是衡量大气污染的一个重要指标。工业上常采用催化还原法或吸收法处理  $\text{SO}_2$ 。催化还原  $\text{SO}_2$  不仅可以消除  $\text{SO}_2$  污染, 而且可得到有价值的单质 S。

- (1) 用  $\text{H}_2$  还原  $\text{SO}_2$  生成 S 的反应分两步完成, 如图 1 所示, 该过程中相关物质的物质的量浓度随时间的变化关系如图 2 所示。

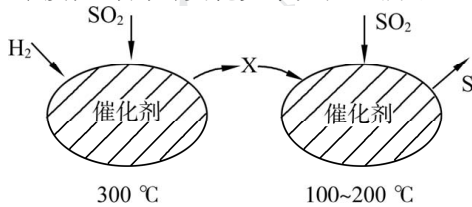


图1

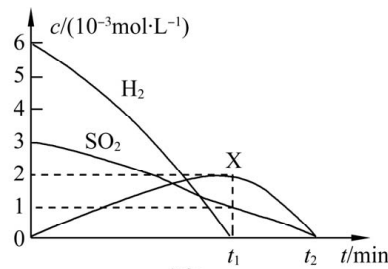


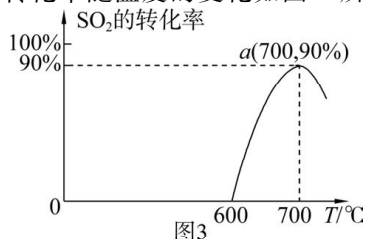
图2



①分析可知 X 为 \_\_\_\_\_ (写化学式);  $0 \sim t_1$  时间段的反应温度为 \_\_\_\_\_;  $0 \sim t_1$  时间段用  $\text{SO}_2$  表示的化学反应速率为 \_\_\_\_\_。

②总反应的化学方程式为 \_\_\_\_\_。

(2) 焦炭催化还原  $\text{SO}_2$  生成  $\text{S}_2$  的化学方程式为  $2\text{C}(\text{s}) + 2\text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}_2(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$ , 恒容容器中,  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{SO}_2$  与足量的焦炭反应,  $\text{SO}_2$  的转化率随温度的变化如图 3 所示。



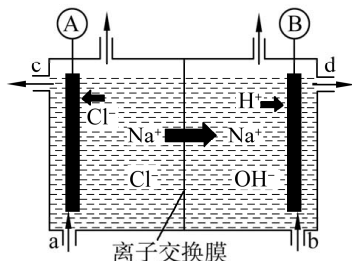
①该反应的  $\Delta H$  \_\_\_\_\_  $0$  (填“>”或“<”)。

②  $700^\circ\text{C}$  的平衡常数为 \_\_\_\_\_。

(3) 工业上可用  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液吸收  $\text{SO}_2$ , 该反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。  
 $25^\circ\text{C}$  时用  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液吸收  $\text{SO}_2$ , 当溶液  $\text{pH}=7$  时, 溶液中各离子浓度的大小关系为 \_\_\_\_\_。(已知:  $\text{H}_2\text{SO}_3$  的电离常数  $K_1 = 1.3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_2 = 6.2 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

17. (12分)

(1) 氯碱工业是以惰性电极电解饱和食盐水, 制取氯气、氢气、烧碱和氯的含氧酸盐等系列化工产品。如图是离子交换膜法电解食盐水的示意图, 图中的离子交换膜只允许阳离子通过。



完成下列填空:

①离子交换膜的作用为 \_\_\_\_\_。

②写出电解饱和食盐水的离子方程式: \_\_\_\_\_。

③氢氧化钠溶液从图中 \_\_\_\_\_ (选填 a、b、c 或 d) 位置流出。

(2) 电化学在日常生活中用途广泛。图 1 是镁一次氯酸钠燃料电池, 电池总反应为  $\text{Mg} + \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{Cl}^- + \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$ 。图 2 是含  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  的工业废水的处理示意图。下列说法正确的是 ( )

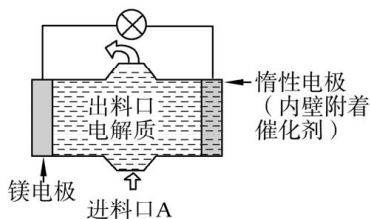


图1

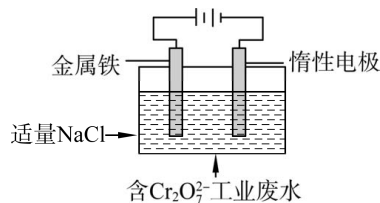
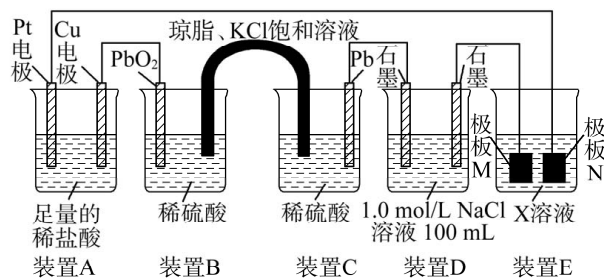


图2

- A. 图 2 中  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  向惰性电极移动, 与该极附近的  $\text{OH}^-$  结合转化成  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  除去
- B. 图 2 的电解池中, 有  $0.084 \text{ g}$  阳极材料参与反应, 阴极会有  $33.6 \text{ mL}$  的气体产生
- C. 图 1 中发生的还原反应是  $\text{Mg}^{2+} + \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{Cl}^- + \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$
- D. 若图 1 中  $3.6 \text{ g}$  镁溶解产生的电量用于图 2 废水处理, 理论上可产生  $10.7 \text{ g}$  氢氧化铁沉淀

(3) 观察下列装置, 回答下列问题:

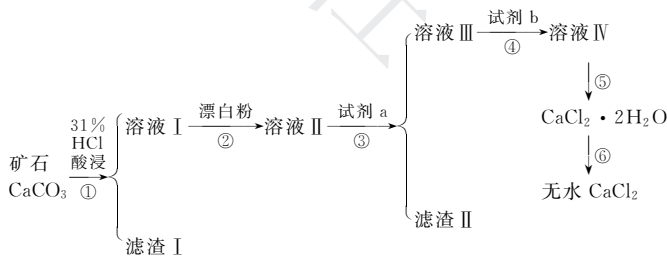


①装置 B 中  $\text{PbO}_2$  上发生的电极反应方程式为 \_\_\_\_\_。

②装置 A 中总反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。

③当装置 A 中 Cu 电极质量改变  $6.4 \text{ g}$  时, 装置 D 中产生的气体体积为 \_\_\_\_\_ L (标准状况下, 不考虑气体的溶解)。

18. (12分) 无水  $\text{CaCl}_2$  具有强烈的吸湿性, 在空气中易潮解, 可用作干燥剂、脱水剂、混凝防冻剂等。以工业碳酸钙矿石 (含有少量  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeCO}_3$  等杂质) 生产无水氯化钙的主要流程如下:



- (1) 为了提高步骤①的反应速率, 可以采取的措施是 \_\_\_\_\_。
- (2) 加入试剂 b 的目的是使溶液酸化, 试剂 b 可以选择下列试剂中的 \_\_\_\_\_ (填字母)。
  - A. 硫酸 B. 硝酸 C. 氢硫酸 D. 盐酸
- (3) 写出步骤②的离子方程式: \_\_\_\_\_。
- (4) 步骤⑤用到的操作方法有蒸发浓缩、\_\_\_\_\_。

(5) 已知  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  生成氢氧化物沉淀的 pH 如下:

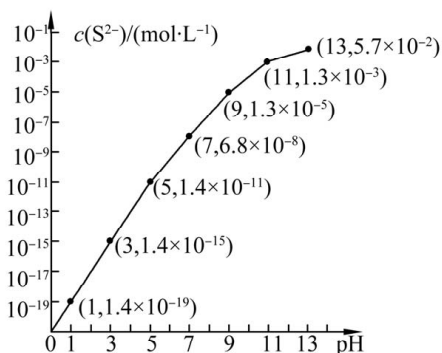
物质	$\text{Al}(\text{OH})_3$		$\text{Fe}(\text{OH})_2$		$\text{Fe}(\text{OH})_3$
开始沉淀	3.7	开始溶解	7.8	6.5	1.5
沉淀完全	5.3	完全溶解	10.0	9.7	3.3

加入试剂 a 的目的是调节溶液的 pH, 调节 pH 的范围为\_\_\_\_\_。

(6) 已知某一温度时  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 8.0 \times 10^{-38} \text{ mol}^4 \cdot \text{L}^{-4}$ , 向  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$  溶液中加入 NaOH 固体, 假设溶液的体积不变, 要生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀, 应使溶液中的  $c(\text{OH}^-)$  最小为\_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $\text{Fe}^{3+}$  沉淀完全时, 溶液中的  $c(\text{OH}^-)$  最小为\_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(7) 测定样品中  $\text{Cl}^-$  含量的方法是: a. 称取  $0.7500 \text{ g}$  样品, 溶解, 在  $250 \text{ mL}$  容量瓶中定容; b. 量取  $25.00 \text{ mL}$  待测液于锥形瓶中; c. 用  $0.05000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$  溶液滴定至终点, 消耗  $\text{AgNO}_3$  溶液体积的平均值为  $25.00 \text{ mL}$ 。计算上述样品中  $\text{CaCl}_2$  的质量分数为\_\_\_\_\_。

19. (12分)  $25^\circ\text{C}$ , 在  $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{S}$  溶液中, 通入 HCl 气体或加入 NaOH 固体以调节溶液的 pH, 溶液的 pH 与  $c(\text{S}^{2-})$  的关系如图所示 (忽略溶液体积的变化、 $\text{H}_2\text{S}$  的挥发)。



(1) ① pH = 13 时, 溶液中的  $c(\text{H}_2\text{S}) + c(\text{HS}^-) =$ \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

② 某溶液含  $0.020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Mn}^{2+}$ 、 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{S}$ , 当溶液 pH = \_\_\_\_\_ 时,  $\text{Mn}^{2+}$  开始沉淀。[已知:  $K_{\text{sp}}(\text{MnS}) = 2.8 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ]

(2)  $25^\circ\text{C}$ , 两种酸的电离平衡常数 (单位省略) 如下:

$\text{H}_2\text{SO}_3$	$K_{a1} = 1.3 \times 10^{-2}$	$K_{a2} = 6.3 \times 10^{-8}$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$K_{a1} = 4.2 \times 10^{-7}$	$K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}$

①  $\text{HSO}_3^-$  的电离平衡常数表达式为\_\_\_\_\_。

②  $\text{H}_2\text{SO}_3$  溶液和  $\text{NaHCO}_3$  溶液反应的主要离子方程式为\_\_\_\_\_。

20. (12分) 据报道, 我国在南海进行的可燃冰 (甲烷的水合物) 试采获得成功。甲烷是一种重要的化工原料。

(1) 甲烷重整是提高甲烷利用率的重要方式, 有

以下三种。

部分氧化:  $\text{CH}_4(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) +$

$2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -35.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  ①

水蒸气重整:  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) +$

$3\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 = 205.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  ②

$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$

$\Delta H_3 = -41.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  ③

二氧化碳重整:  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons$

$2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_4$  ④

则: 反应②自发进行的条件是\_\_\_\_\_,  $\Delta H_4 =$ \_\_\_\_\_  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 水蒸气重整是较为传统的甲烷制氢途径。在  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Ni-gel}$  催化下,  $\text{CH}_4$  和  $\text{H}_2\text{O}$  的混合气体进行反应, 测得气体的成分随温度、压强、S/C (水蒸气和甲烷的体积比) 的变化分别如图 1、图 2、图 3 所示。

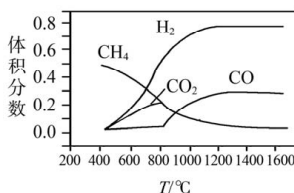


图1 气体成分随温度的变化

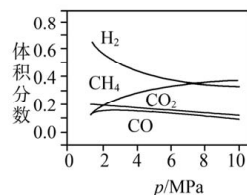


图2 气体成分随压强的变化

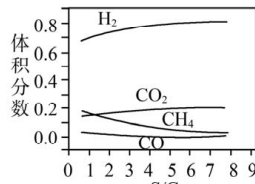


图3 气体成分随S/C的变化

① 下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

A.  $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  的体积分数减小, 原因是温度升高抑制了反应③

B. 温度升高对氢气的生成有促进作用, 温度越高, 氢气的产率也越大

C. 随着压强的增大,  $\text{CH}_4$  的平衡转化率增大

D. 其他条件相同时, 将 S/C 由 1 增加至 3, 可提高  $\text{CH}_4$  的平衡转化率及  $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$  的体积分数

② 综合考虑, 甲烷水蒸气重整制氢合适的温度是\_\_\_\_\_, 压强是\_\_\_\_\_。

(3) 对于气相反应, 用某

组分 (B) 的平衡压强

( $p_B$ ) 代替物质的量

浓度 ( $c_B$ ) 也可表示

平衡常数 (记作

$K_p$ )。请在图中画

出反应①的  $K_p$  随温

度变化的趋势曲线。

(4) 以多孔石墨为阳极, 以 NaCl 和 NaOH 的混合溶液做电解液, 用电解法由甲烷制取甲醇。写出阳极的电极反应式:\_\_\_\_\_。

# 期末检测(二)

——等级考水平测试  
(时间:90分钟 分值:100分)

一、选择题(本题共10小题,每小题2分,共20分。每小题只有一个选项符合题意)

1. 化学与人类的生产、生活、科技、航天等方面密切相关。下列说法正确的是( )

- A. 汝窑瓷器的天青色来自氧化铁
- B. “傍晚红女绩丝麻”所描述的丝、麻主要成分是蛋白质
- C. 中国歼-20战机上用到的氮化镓材料是作为金属合金材料使用
- D. 诗句“煮豆燃豆其”中涉及的能量变化主要是化学能转化为热能和光能

2. 已知:① $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{Cl}\cdot(\text{g}) \longrightarrow \cdot\text{CH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$   
 $\Delta H = +7.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   $E_a = 16.7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

② $\cdot\text{CH}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{ClCH}_3(\text{g}) + \text{Cl}\cdot(\text{g})$   
 $\Delta H = -112.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   $E_a = 8.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

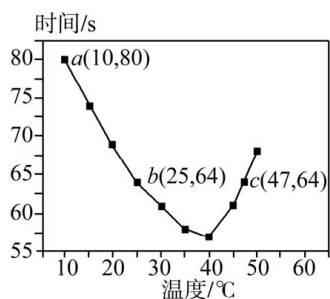
下列说法错误的是( )

- A. 总反应速率由反应①决定
- B. 升高温度,  $\Delta H$  和  $E_a$  基本不变
- C.  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{ClCH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$   
 $\Delta H = -105.4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   $E_a = 25 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- D.  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{ClCH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$   
 $\Delta H = -105.4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

3. 四位同学同时进行反应:  $\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}) + 2\text{D}(\text{g})$  的速率测定实验, 分别测得反应速率如下: ①  $v(\text{A}) = 0.15 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ , ②  $v(\text{B}) = 0.6 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ , ③  $v(\text{C}) = 0.4 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ , ④  $v(\text{D}) = 0.45 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ 。其中, 反应进行得最快的是( )

- A. ① B. ② C. ③ D. ④

4.  $\text{NaHSO}_3$  溶液在不同温度下均可被过量  $\text{KIO}_3$  氧化, 当  $\text{NaHSO}_3$  完全消耗即有  $\text{I}_2$  析出, 依据  $\text{I}_2$  析出所需时间可以求得  $\text{NaHSO}_3$  的反应速率。将浓度均为  $0.020 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$



的  $\text{NaHSO}_3$  溶液(含少量淀粉)  $10.0 \text{ mL}$ ,  $\text{KIO}_3$  (过量) 酸性溶液  $40.0 \text{ mL}$  混合, 记录  $10\sim 55^\circ\text{C}$  间溶液变蓝的时间,  $55^\circ\text{C}$  时未观察到溶液变蓝, 实验结果如图。据图分析, 下列判断正确的是( )

- A.  $40^\circ\text{C}$  之前, 温度升高反应速率减慢, 变蓝的时间变长

B.  $40^\circ\text{C}$  之后溶液变蓝的时间随温度的升高变短

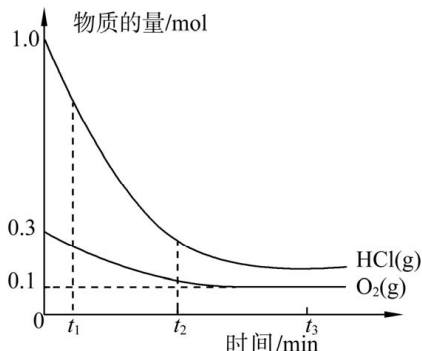
C. 图中  $b$ 、 $c$  两点对应的  $\text{NaHSO}_3$  的反应速率相等

D. 图中  $a$  点对应的  $\text{NaHSO}_3$  的反应速率为  $5.0 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

5. 下列有关说法不正确的是( )

- A. 其他条件一定时, 平衡常数发生变化, 化学平衡必定发生移动
- B. 某特定反应的平衡常数仅是温度的函数
- C. 通常情况下, 一个放热且熵增的反应也有可能非自发进行
- D. 需要加热或点燃才能进行的反应不一定是非自发反应

6. 在  $2.0 \text{ L}$  恒温恒容密闭容器中充入  $1.0 \text{ mol HCl}$  和  $0.3 \text{ mol O}_2$ , 加入催化剂发生反应:  $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ,  $\text{HCl}$ 、 $\text{O}_2$  的物质的量随时间的变化如图所示。下列说法正确的是( )

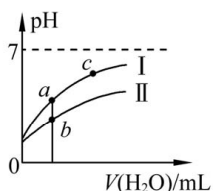


- A.  $t_2$  时,  $v(\text{正}) = v(\text{逆})$
- B. 加入催化剂反应速率不变
- C.  $t_1$  时容器内气体的总压强比  $t_2$  时的大
- D.  $t_3$  时, 容器中  $c(\text{Cl}_2) = c(\text{H}_2\text{O}) = 0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

7. 已知: 下表为  $25^\circ\text{C}$  时某些弱酸的电离平衡常数(单位省略)。

$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{HClO}$	$\text{H}_2\text{CO}_3$
$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$	$K_a = 3.0 \times 10^{-8}$	$K_{a1} = 4.4 \times 10^{-7}$ $K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11}$

如图表示常温下, 稀释  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{HClO}$  两种酸的稀溶液时, 溶液 pH 随加水量的变化。下列说法正确的是( )

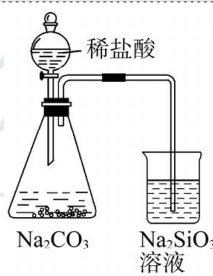


- A. 相同浓度的  $\text{CH}_3\text{COONa}$  和

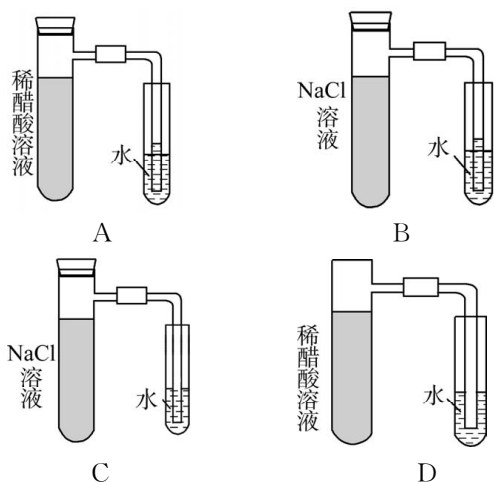
NaClO 的混合溶液中,各离子浓度的大小关系是  $c(\text{Na}^+) > c(\text{ClO}^-) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$

- B. 向 NaClO 溶液中通入少量二氧化碳的离子方程式为  $\text{ClO}^- + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{CO}_3^{2-}$   
 C. 图像中 a 点的酸的总浓度大于 b 点酸的总浓度  
 D. 图像中 a、c 两点处的溶液中  $\frac{c(\text{R}^-)}{c(\text{HR}) \cdot c(\text{OH}^-)}$  相等(HR 代表  $\text{CH}_3\text{COOH}$  或  $\text{HClO}$ )

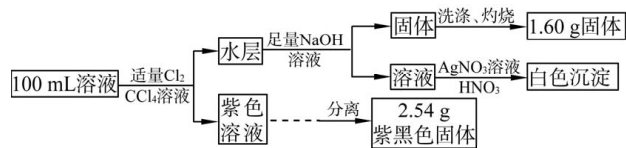
8. 以下实验设计能达到实验目的的是( )

选项	实验目的	实验设计
A	证明非金属性强弱: $\text{Cl} > \text{C} > \text{Si}$	
B	鉴别 NaBr 和 KI 溶液	分别加新制氯水后,用 $\text{CCl}_4$ 萃取
C	除去 $\text{NaHCO}_3$ 固体中的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$	将固体加热至恒重
D	证明相同温度下: $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{S}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$	向 2 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸银溶液中加入 1 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液,出现白色沉淀,再加入几滴 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液,有黑色沉淀生成

9. 将炭粉和铁粉均匀混合,撒入内壁分别用氯化钠溶液和稀醋酸溶液润湿过的具支试管中,并按下图装置好仪器。观察下图,示意正确的是( )



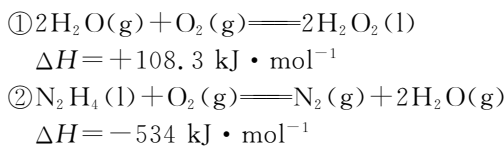
10. 常温下,在  $\text{pH} = 1$  的某溶液中可能有  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{I}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  中的几种,现取 100 mL 该溶液进行如下实验。根据实验结果,下列判断正确的是( )



- A.  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{I}^-$ 、 $\text{Cl}^-$  三种离子都存在  
 B.  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$  一定不存在,不能确定  $\text{Cl}^-$  是否存在  
 C.  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  都可能存在  
 D. 该溶液中  $c(\text{Cl}^-)$  至少为  $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

二、选择题(本题共 5 小题,每小题 4 分,共 20 分。每小题有一个或两个选项符合题意,全部选对得 4 分,选对但不全的得 2 分,有选错的得 0 分)

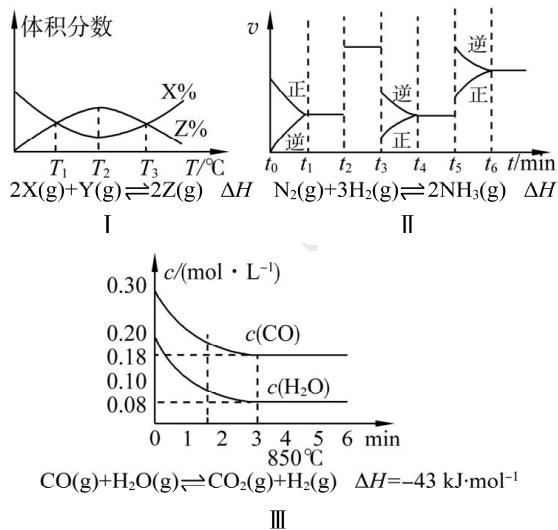
11. 肼( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) 是一种用于火箭或燃料电池的原料,已知:



下列说法正确的是( )

- A. 反应①中反应物所具有的总能量大于生成物所具有的总能量  
 B.  $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + 2\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $\Delta H = -642.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 C. 铂做电极,硫酸溶液做电解质溶液,由反应②设计的燃料电池其负极反应式为  $\text{N}_2\text{H}_4 - 4\text{e}^- \rightleftharpoons \text{N}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$   
 D. 铂做电极,氢氧化钾溶液做电解质溶液,由反应②设计的燃料电池工作一段时间,氢氧化钾溶液的 pH 将增大

12. 根据下列有关图像,说法正确的是( )

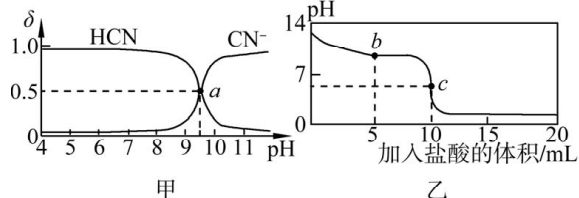


- A. 由图 I 知,反应在  $T_1$ 、 $T_3$  处达到平衡,且该反应的  $\Delta H < 0$   
 B. 由图 II 知,自第一次达到平衡开始,反应在  $t_6$  时刻  $\text{NH}_3$  的体积分数最小  
 C. 由图 II 知, $t_3$  时采取增大反应体系压强的措施



D. 图Ⅲ表示在 10 L 容器、850℃ 时从左至右开始的反应,由图知,到 4 min 时,反应放出 51.6 kJ 的热量

13. 25℃ 时,NaCN 溶液中 CN<sup>-</sup>、HCN 浓度所占分数(δ)随 pH 变化的关系如图甲所示。向 10 mL 0.01 mol·L<sup>-1</sup> NaCN 溶液中逐滴加入 0.01 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸,其 pH 变化曲线如图乙所示。



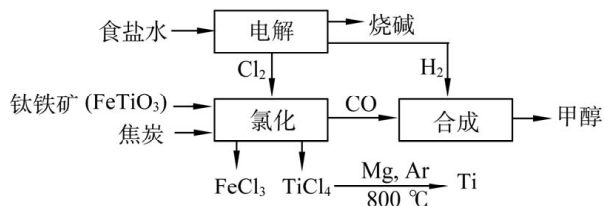
下列溶液中微粒的物质的量浓度关系一定正确的是( )

- A. 图甲中 pH=7 的溶液:  $c(\text{Cl}^-) = c(\text{HCN})$   
 B. 图甲中 a 点的溶液:  $c(\text{CN}^-) < c(\text{Cl}^-)$   
 C. 图乙中 b 点的溶液:  $c(\text{CN}^-) > c(\text{Cl}^-) > c(\text{HCN}) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$   
 D. 图乙中 c 点的溶液:  $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{HCN}) + c(\text{OH}^-) + 2c(\text{CN}^-)$
14. 下列说法正确的是( )
- A. 向稀醋酸溶液中加入少量醋酸钠固体,醋酸的电离程度增大  
 B. 电镀时,通常把待镀金属制品做阴极,镀层金属做阳极  
 C. 常温下,  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  不能自发进行,则该反应的  $\Delta H > 0$   
 D. 工业通过反应“ $\text{Na}(\text{l}) + \text{KCl}(\text{l}) \xrightarrow{850^\circ\text{C}} \text{NaCl}(\text{l}) + \text{K}(\text{g})$ ”冶炼钾,说明钠的金属性强于钾

15. 用标准盐酸溶液滴定未知浓度的氢氧化钠溶液,使得所测氢氧化钠溶液的浓度偏高的错误操作是( )
- A. 酸碱中和滴定开始平视,到达终点时俯视酸式滴定管内液面读数  
 B. 碱式滴定管用蒸馏水洗净后立即装待测溶液来滴定  
 C. 酸式滴定管用蒸馏水洗净后立即装标准溶液来滴定  
 D. 酸式滴定管开始滴定前有气泡,滴定完后无气泡

三、非选择题(本题共 5 小题,共 60 分)

16. (12 分)某经济开发区将钛冶炼厂与氯碱厂、甲醇厂组成了一个产业链(如图所示),大大地提高了资源利用率,减少了环境污染。



请填写下列空白:

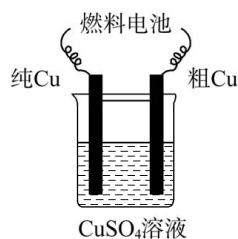
(1) 写出钛铁矿经氯化得到四氯化钛的化学方程式: \_\_\_\_\_。

(2) 由 CO 和 H<sub>2</sub> 合成甲醇的方程式是  $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 。

① 已知该反应在 300℃ 时的化学平衡常数为 0.27, 该温度下将 2 mol CO、3 mol H<sub>2</sub> 和 2 mol CH<sub>3</sub>OH 充入容积为 2 L 的密闭容器中, 此时反应将 \_\_\_\_\_ (填“向正反应方向进行”“向逆反应方向进行”或“处于平衡状态”)。

② 若不考虑生产过程中物质的任何损失, 该产业链中每合成 19.2 t 甲醇, 至少需额外补充 H<sub>2</sub> \_\_\_\_\_ t。

(3) 用甲醇-空气碱性(KOH)燃料电池做电源电解精炼粗铜(右图), 在接通电路一段时间后纯 Cu 质量增加 6.4 g。

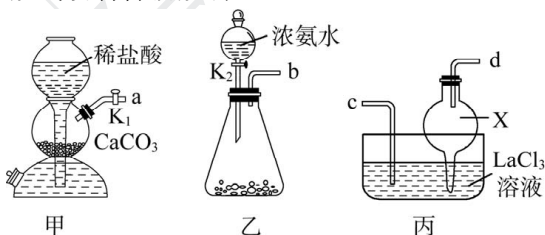


① 请写出燃料电池中的负极反应式: \_\_\_\_\_。

② 燃料电池正极消耗空气的体积是 \_\_\_\_\_ (标准状况, 空气中 O<sub>2</sub> 体积分数以 20% 计算)。

17. (12 分) 碳酸镧咀嚼片是一种不含钙和铝的磷酸盐结合剂, 用于慢性肾衰患者高磷血症的治疗。碳酸镧可由 LaCl<sub>3</sub> 为原料来制备, 整个反应在较低的 pH 条件下进行, 避免生成碱式碳酸镧[La(OH)CO<sub>3</sub>]。

(1) 化学兴趣小组利用下列装置在实验室中用碳酸氢铵制备碳酸镧。



① 仪器 X 的名称为 \_\_\_\_\_; 检验装置甲气密性良好的方法是 \_\_\_\_\_。

② 实验中 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 打开的先后顺序为 \_\_\_\_\_; 为保证碳酸镧的纯度, 实验过程中需要注意的问题有 \_\_\_\_\_。

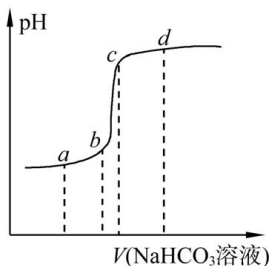
(2) 碳酸钠或碳酸氢钠与氯化镧反应均可生成碳酸镧。

① 为了高磷血症患者的安全, 通常选用碳酸氢钠溶液, 过程中会发生两个平行反应, 其离子方程式为 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。

② 选择碳酸氢钠溶液制备碳酸镧的优点是 \_\_\_\_\_ (任写一条)。

③  $T^{\circ}\text{C}$ 时,碳酸镧的溶解度可表示为  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  的电离平衡常数为  $6.0 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。请计算反应  $2\text{LaCl}_3 + 3\text{NaHCO}_3 \rightleftharpoons \text{La}_2(\text{CO}_3)_3 \downarrow + 3\text{NaCl} + 3\text{HCl}$  的平衡常数  $K =$  \_\_\_\_\_ (单位略)。

④ 利用手持技术测定溶液的 pH 从而监控反应过程,得到如图曲线。请说明 bc 段变化的原因:



(3) 碳酸镧(相对分子质量为 458)质量分数的测定:称取 15.0 g 产品试样,溶于 10.0 mL 稀盐酸中,加入 10 mL  $\text{NH}_3 - \text{NH}_4\text{Cl}$  缓冲溶液,加入 0.2 g 紫脲酸铵混合指示剂,用  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  EDTA( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ ) 标准溶液滴定至呈蓝紫色( $\text{La}^{3+} + \text{H}_2\text{Y}^{2-} \rightleftharpoons \text{LaY}^- + 2\text{H}^+$ ),消耗 EDTA 溶液 60.00 mL。则产品中碳酸镧的质量分数  $w =$  \_\_\_\_\_。

18. (12 分) 请完成下列各题:

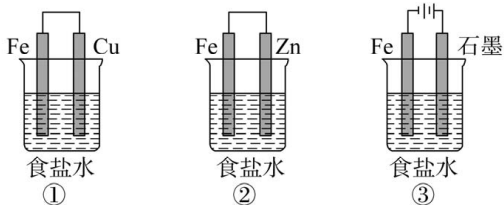
(1)  $25^{\circ}\text{C}$ 时将  $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  氨水与  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸等体积混合,反应达平衡时溶液中  $c(\text{NH}_4^+) = c(\text{Cl}^-)$ ,则溶液显 \_\_\_\_\_ (填“酸”“碱”或“中”)性;用含  $a$  的代数式表示  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  的电离常数  $K_b =$  \_\_\_\_\_。

(2) 已知  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的第二级电离常数  $K_2 = 5.6 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{HClO}$  的电离常数  $K = 3.0 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,写出下列条件下所发生反应的离子方程式:

- ① 少量  $\text{Cl}_2$  通入过量  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中: \_\_\_\_\_。
- ②  $\text{Cl}_2$  与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  按物质的量之比 1 : 1 恰好反应: \_\_\_\_\_。
- ③ 少量  $\text{CO}_2$  通入过量  $\text{NaClO}$  溶液中: \_\_\_\_\_。

19. (12 分) 铁、铝及其化合物在生产和生活中有着广泛的应用。

(1) 某研究性学习小组设计了如图所示装置探究钢铁的腐蚀与防护。

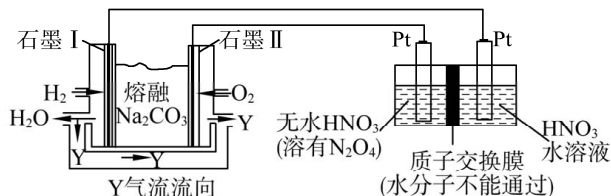


为防止金属 Fe 被腐蚀,可以采用上述 \_\_\_\_\_ (填装置序号) 装置原理进行防护;装置②中正极反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。

(2) 用有机物、 $\text{O}_2$  为原料可设计成燃料电池,以

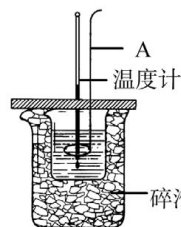
葡萄糖、 $\text{O}_2$  为原料,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液为电解质设计成燃料电池,则负极的电极反应式为 \_\_\_\_\_。

(3)  $\text{N}_2\text{O}_5$  是一种新型硝化剂,其性质和制备受人们关注。现以  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、熔融盐  $\text{Z}(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  组成的燃料电池电解制备  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,装置如图所示,其中 Y 为  $\text{CO}_2$ 。



- ① 石墨 I 电极上发生反应的电极反应式为 \_\_\_\_\_;
- ② 在电解池中生成  $\text{N}_2\text{O}_5$  的电极反应式为 \_\_\_\_\_。

20. (12 分) 用图所示装置进行中和热测定实验,请回答下列问题:



- (1) 仪器 A 的名称为 \_\_\_\_\_。
- (2) 大小烧杯之间填满碎泡沫塑料的作用是 \_\_\_\_\_。
- (3) 实验中若用  $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  溶液跟  $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液进行中和热测定,写出表示该反应中和热的热化学方程式(中和热为  $57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ): \_\_\_\_\_。
- (4) 将  $100 \text{ mL } 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$  溶液与  $100 \text{ mL } 0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液混合,温度升高平均值为  $2.7 \text{ K}$ 。已知量热计的热容常数(量热计各部件每升高  $1 \text{ K}$  所需要的热量)是  $150.5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ,溶液密度均为  $1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,生成溶液的比热容  $c = 4.184 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,则中和热  $\Delta H =$  \_\_\_\_\_。
- (5) 上述实验数值结果与  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的中和热的文献值  $56.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  有偏差,产生此偏差的原因可能是 \_\_\_\_\_ (填字母)。
  - a. 实验装置保温、隔热效果差
  - b. 用温度计测定  $\text{NaOH}$  溶液起始温度后直接测定醋酸溶液的温度
  - c. 一次性把  $\text{NaOH}$  溶液倒入盛有醋酸的小烧杯中
- (6) 你认为  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的中和热与  $\text{HCl}$  的中和热数值相比, \_\_\_\_\_ 较大,其原因是 \_\_\_\_\_。

# 参考答案

## 第1章 化学反应与能量转化

### 第1节 化学反应的热效应

#### 第1课时 化学反应的反应热、内能变化与焓变

##### 自主检测

1. C 2. A

##### 探究学习

一、交流研讨：(1)因为浓酸溶液和浓碱溶液在稀释时会放热，所以要用稀酸。(2)碱液(或酸液)稍过量，以确保酸(或碱)完全反应。(3)参加反应的不同强酸、强碱，它们在水中完全电离，中和反应的离子方程式都是  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ，反应都在室温下进行，且参加反应的  $n(\text{H}^+)$  和  $n(\text{OH}^-)$  都相同，所以反应热也相同。

二、1、2、3 参考“归纳总结”。

4. (1)热化学方程式中不用标明反应条件(如“加热”“高温”“催化剂”等)。热化学方程式中不用“↑”“↓”来标记气体生成物和难溶生成物。(2)同素异形体在反应中除标状态外，还要注明名称，如  $\text{C}(\text{s}, \text{石墨})$ 。(3)热化学方程式中一般用“ $\rightleftharpoons$ ”(可逆反应中用“ $\rightleftharpoons$ ”)。有机反应的热化学方程式中也不用“ $\rightarrow$ ”。(4)热化学方程式中化学式前面的化学计量数必须与  $\Delta H$  相对应，若化学计量数加倍，则  $\Delta H$  的数值也要加倍。(5)  $\Delta H$  单位中  $\text{mol}^{-1}$  即“每摩尔”，不是指每摩尔反应物或生成物，而是指每摩尔反应。

##### 拓展训练

1. A 2. A

3. (1)  $\text{C}(\text{s}, \text{石墨}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$

$$\Delta H = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2)  $\text{NH}_3(\text{g}) + \frac{5}{4}\text{O}_2(\text{g}) = \text{NO}(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

$$\Delta H = -226.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(3)  $\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$

$$\Delta H = +46.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(4)  $\text{CH}_4(\text{g}) + 4\text{F}_2(\text{g}) = \text{CF}_4(\text{g}) + 4\text{HF}(\text{g})$

$$\Delta H = -1940 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

##### 【分层训练 素养提升】

1. A 2. D 3. C 4. C 5. A 6. D 7. A

8. (1)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g})$

$$\Delta H = -184.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2)  $\text{HCl}(\text{aq}) + \text{AgNO}_3(\text{aq}) = \text{AgCl}(\text{s}) + \text{HNO}_3(\text{aq})$

$$\Delta H = -10a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(3)  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{NO}_2(\text{g})$

$$\Delta H = -113 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(4)  $2\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) = 4\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -2600 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(5)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g})$

$$\Delta H = -92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

9. (1)  $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

$$\Delta H = -115.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (2) 31.9 \text{ 强}$$

10. (1)  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -726.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (2) > \quad (3) -93$$

#### 第2课时 反应焓变的计算

##### 自主检测

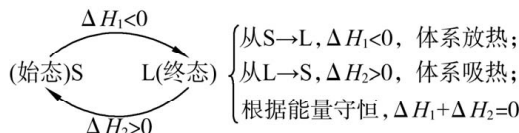
1. A 2. B

##### 探究学习

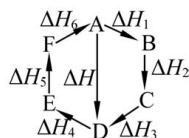
一、1. 根据焓变表达式： $\Delta H = H(\text{反应产物}) - H(\text{反应物})$ 可知，反应物不管分几步转变为反应产物，在确定条件下，反应物与反应产物所具有的总焓是确定的，其差值也就是确定的，与反应过程无关。可从以下三个角度认识盖斯定律。

①从反应途径角度：如同山的高度与上山途径无关一样，化学反应的反应热与反应的始态和终态有关，而与反应过程无关。

②从能量守恒角度：



③对于如图所示的过程，从反应途径角度， $\text{A} \rightarrow \text{D}$ ： $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = -(\Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6)$ ；从能量守恒角度： $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 = 0$ 。



2. 参考“思维建模”。

有些反应进行得很慢  
3. 有些反应不容易直接发生  
有些反应的产品不纯

这给反应热的测定造成了困难，若应用盖斯定律，可以间接把它们的反应热计算出来

二、1. ①煤直接燃烧时产生的  $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$  等有毒气体及烟尘，对环境造成严重污染。②煤作为固体燃料，燃烧反应速率小，热利用率低且运输不方便。③可以通过清洁煤技术，如煤的液化和气化以及烟气净化脱硫等，大大减轻燃煤对环境的污染，提高煤的利用率。

2. 热化学方程式为  $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$   
 $\Delta H_1 = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

##### 拓展训练

1. C 2. C

##### 【分层训练 素养提升】

1. A 2. A 3. D 4. A 5. B 6. C 7. A 8. C

9. (1)  $\text{Cu}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) = \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -319.68 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) -77.6

10. (1) ①非金属元素氢化物越稳定， $\Delta H$  越小

②  $\text{H}_2\text{Se}(\text{g}) = \text{Se}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$

$$\Delta H = -81 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2)  $\text{SiH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{SiO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -1520.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(3)  $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$

$$\Delta H = -91 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(4) ① -80  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  ②防止高温下  $\text{Mg}$ 、 $\text{Ti}$  与空气中的  $\text{O}_2$  (或  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ ) 作用

## 第2节 化学能转化为电能——电池

## 第1课时 原电池的工作原理

## 自主检测

1. D 2. C

## 探究学习

一、答案参考“思维建模”。

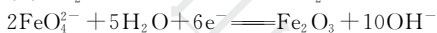
二、(1)还原 氧化 2. 电解质溶液 定向移动 3. 阴离子 阳离子

## 拓展训练

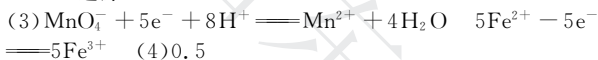
1. C 2. B

## 【分层训练 素养提升】

1. D 2. D 3. B 4. C 5. B 6. B 7. AC

8. (1)  $2\text{Cu} - 4\text{e}^- = 2\text{Cu}^{2+}$ 

9. (1)a 还原 (2)乙

10. (1)氧化  $2\text{I}^- - 2\text{e}^- = \text{I}_2$  还原  $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{e}^- = 2\text{Fe}^{2+}$  (2)正  $\text{I}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{I}^-$ 

## 第2课时 化学电源

## 自主检测

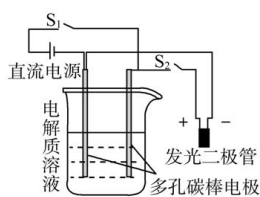
1. B 2.  $\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 2\text{H}^+$ 

## 探究学习

一、酸性锌锰干电池: 锌皮制成的锌筒做负极, 中央插一根碳棒做正极, 氯化锌、氯化铵和淀粉等糊状物做电解质溶液。负极反应式为  $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ , 正极反应式为  $2\text{NH}_4^+ + 2\text{e}^- = 2\text{NH}_3 + \text{H}_2 \uparrow$ 。碱性锌锰干电池: 相对于酸性锌锰干电池, 用氢氧化钾代替氯化铵做电解质。总反应式为  $\text{Zn} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{ZnO}$ , 则负极反应式为  $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$ , 正极反应式为  $\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$ 。银锌纽扣电池: 电极分别是  $\text{Ag}_2\text{O}$  和  $\text{Zn}$ , 电解质溶液为  $\text{KOH}$  溶液。负极反应式为  $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$ , 正极反应式为  $\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$ , 总反应为  $\text{Ag}_2\text{O} + \text{Zn} = \text{ZnO} + 2\text{Ag}$ 。

二、答案参考“思维建模”。

三、提示: 装置参考右图。酸性介

质中, 负极反应为  $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+$ , 正极反应为  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ ;中性介质中, 负极反应为  $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+$ , 正极反应为  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ ;碱性介质中, 负极反应为  $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = 4\text{H}_2\text{O}$ , 正极反应为  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ 。

## 拓展训练

1. B 2. C 3. C

## 【分层训练 素养提升】

1. B 2. B 3. B 4. D 5. C 6. C 7. CD 8. D

9. (1)太阳 电  $\text{Ni}(\text{OH})_2 - \text{e}^- + \text{OH}^- = \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O}$  减小10. (1)①正 ②  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$  ③负 正④ 22.4 L (2)①  $\text{CO} + \text{O}^{2-} - 2\text{e}^- = \text{CO}_2$  ② b a ③ a b

## 【本节建构整合】

①氧化 ②还原 ③化学 ④电 ⑤电解质溶液 ⑥两个活泼性不同的电极 ⑦形成闭合回路 ⑧自发地进行氧化还原反应 ⑨一次 ⑩二次 ⑪燃料

## 第3节 电能转化为化学能——电解

## 第1课时 电解的原理

## 自主检测

1. C

2. 电极反应式: 阳极  $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ ; 阴极  $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Mg}$ 。电解方程式:  $\text{MgCl}_2 \xrightarrow[\text{熔融}]{\text{通电}} \text{Mg} + \text{Cl}_2 \uparrow$ 。

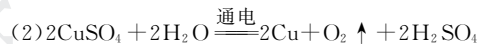
## 探究学习

一、答案参考“归纳总结”。

二、第一组:  $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$   $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2 \uparrow$  减小 增大 不变  $\text{H}_2\text{O}$ 第二组:  $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$   $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$  增大  $\text{HCl}$   $\text{CuCl}_2$ 第三组:  $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$   $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$   $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$   $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{e}^- = 2\text{Cu}$  增大 减小  $\text{HCl}$   $\text{CuO}$  或  $\text{CuCO}_3$ 思考: 1. 略 2. 欲使电解后的溶液恢复原状, 可遵循“出什么加什么”的原则。如电解  $\text{NaCl}$  溶液时, 发生反应为  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ , 出的是“ $\text{H}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ ”, 加入相当量的  $\text{HCl}$  即可。

## 拓展训练

1. B

2. (1)负  $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ (3)能, 因为  $\text{CuSO}_4$  溶液已转变为  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液, 反应变为电解水的反应

(4)向丙烧杯中加入一定量水

## 【分层训练 素养提升】

1. C 2. B 3. C 4. D 5. D 6. D 7. AC

8. (1)  $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$  阴(2)  $\text{SO}_4^{2-}$  或  $\text{NO}_3^-$  取少量待测液于试管中, 滴加盐酸无明显现象, 继续滴入氯化钡溶液, 若有白色沉淀产生, 则证明含有硫酸根离子(或取少量待测液于试管中, 滴加浓硫酸, 再加入铜粉, 若有红棕色气体产生, 则证明含有硝酸根离子)9. (1)  $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4$  0.4 mol  $\text{Cu} - 2\text{e}^- = \text{Cu}^{2+}$ (2)①  $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$  ②C ③C10. (1)  $\text{CO}_2 + \text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{HCOO}^-$  或  $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + 2\text{e}^- = \text{HCOO}^- + \text{CO}_3^{2-}$  (2)阳极产生  $\text{O}_2$ , pH 减小,  $\text{HCO}_3^-$  浓度降低;  $\text{K}^+$  部分迁移至阴极区

## 第2课时 电解的应用

## 自主检测

1. A 2. C

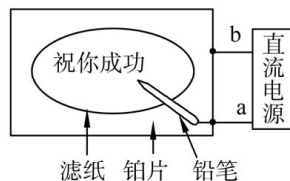
## 探究学习

一、[任务设计] 滤纸先用氯化钠、无色酚酞的混合液浸湿, 然后平铺在一块铂片上, 接通电源后, 用铅笔在滤纸上写字, 会出现红色字迹。

[实验探究][合作交流]

参考“归纳总结”。

二、答案参考“归纳总结”。





**拓展训练**

1. (1) B (2)  $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$   $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 3\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{N}_2 + \text{CO}_2 + 6\text{HCl}$  (3) 不变 7.2  
2. A

**【分层训练 素养提升】**

1. A 2. B 3. B 4. C 5. B 6. D 7. BC 8. D  
9. (1)  $\text{K}_1$   $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$  (3) 连接  $\text{K}_1$  或  $\text{K}_2$  时, 电极 3 分别作为阳极材料和阴极材料, 并且  $\text{NiOOH}$  和  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  相互转化提供电子转移  
10. (1) ①  $\text{Fe} + 8\text{OH}^- - 6\text{e}^- = \text{FeO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$  ②  $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^-$  a b (2) ① 正  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3^- - \text{e}^- = \text{N}_2\text{O}_5$  ② 石墨 I 1:4 ③  $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$  ④ 0.12

**【本节建构整合】**

- ①电 ②化学 ③负 ④正 ⑤电子 ⑥熔融氯化钠  
⑦熔融氧化铝

## 第4节 金属的腐蚀与防护

**自主检测**

1. (1) B (2) D (3) A (4) C  
2. (1)  $\checkmark$  (2)  $\checkmark$  (3)  $\times$  (4)  $\checkmark$  (5)  $\times$

**探究学习**

一、[实验 1] 几分钟后导管内的液面上升了, 因为发生了吸氧腐蚀。[实验 2] 观察到开始时导管内液面下降, 一段时间后导管内液面回升, 略高于小试管内液面。原因分析: 雨水酸性较强, 开始时铁片发生化学腐蚀和析氢腐蚀, 产生氢气, 导管内液面下降, 一段时间后铁片发生吸氧腐蚀, 吸收氧气, 导管内液面回升。

二、[交流研讨] 覆盖保护层; 电化学防护; 改变内部结构等。  
[实验探究 1] 装置 I 中铁钉处于盐酸的蒸气中, 被浸蚀而释放出  $\text{H}_2$ , 使左侧液面下降, 右侧液面上升; 装置 II 中悬挂铁钉的金属丝由铁丝换成了铜丝, 由于 Fe 比 Cu 活泼, 构成的原电池也会加速铁钉的腐蚀而放出更多的  $\text{H}_2$ ; 装置 III 中由于浓硫酸有吸水性而无挥发性, 使铁钉处于一种较为干燥的空气中, 因而在短时间内几乎没有被浸蚀。  
[实验探究 2] 实验现象是可以看到电压表指针发生偏转, Fe 电极上有气泡产生, 往 Fe 电极附近滴入  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  溶液, 没有蓝色沉淀生成, 说明溶液中不含  $\text{Fe}^{2+}$ , 证明 Fe 未被腐蚀。反应机理是 Zn、Fe、NaCl 溶液(酸化)构成原电池, 发生下列电极反应: 负极为  $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ , 正极为  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$ 。

**拓展训练**

1. (1) ①中性或弱酸性 吸氧 ②较强酸性 析氢  
(2) ①铁钉、碳棒、食盐水构成了原电池, 外电路产生了电流 ②有蓝色沉淀生成 发生了反应:  $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$  ③溶液变红 溶液呈碱性, 发生了反应:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$   
2. (1)  $2\text{FeCl}_3 + \text{Fe} = 3\text{FeCl}_2$  (2) ①N ②牺牲阳极的阴极保护法(或牺牲阳极保护法)

**【分层训练 素养提升】**

1. D 2. C 3. B 4. D 5. A 6. A 7. AB  
8. (1) ①  $\text{Fe} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$  ②  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$

增大 ③  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$   $\text{B} > \text{A} > \text{C}$   
(2) ①负极:  $2\text{Fe} - 4\text{e}^- = 2\text{Fe}^{2+}$ , 正极:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$  ②C ③负

9. (1)  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$

(2) 甲  $>$  丙  $>$  乙  
(3)  $\text{I}_2 + 5\text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{HIO}_3 + 10\text{HCl}$

0.1 mol  $\cdot$  L $^{-1}$

10. (1) 电化学腐蚀 负极:  $2\text{Fe} - 4\text{e}^- = 2\text{Fe}^{2+}$ , 正极:  $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$  (2) 球形干燥管 碱石灰(或无水  $\text{CaCl}_2$ ) 干燥  $\text{O}_2$  (3) 与  $\text{O}_2$  和水接触 氧气浓度

**【本节建构整合】**

- ①电化腐蚀 ②  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$  ③  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$  ④  $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$  ⑤  $\text{Fe} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$  ⑥  $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_2$   
⑦  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$   $2\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + (3-n)\text{H}_2\text{O}$  ⑧ 牺牲阳极的阴极 ⑨ 外加电源的阴极 ⑩ 电解原理 ⑪ 原电池原理 ⑫ 化学 ⑬ 防腐措施

## 微项目 设计载人航天器用化学电池与氧气再生方案

1. C 2. B  
3.  $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$ ,  $4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$   
5. 6

## 本章自我检测

1. B 2. A 3. B 4. B 5. D 6. A 7. C 8. C  
9. A 10. D 11. C 12. D

13. (1)  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) = \text{S}(\text{s}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$   
 $\Delta H = -270 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  (2) 0.3  $\frac{3(2a+b)}{80}$

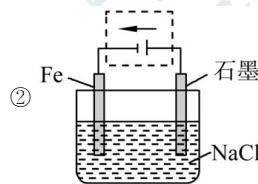
(3)  $-1160 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

14. (1) ① 锌不断溶解  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$  ② 锌极镀上一层红色的铜 (2) ③  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$   
④ 0.175a

15. (1) ①  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$  ② ③  $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{OH}^- + \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$

(2) 正  $\text{FePO}_4 + \text{Li}^+ + \text{e}^- = \text{LiFePO}_4$

(3) ①  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$



③  $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$

16. (1) A (2)  $\text{Fe} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2$   
(3) 从右向左 有红褐色斑点产生  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$  (4) 增大  
(5) 0.28  
(6)  $2\text{FeO}_4^{2-} + 6\text{e}^- + 5\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 10\text{OH}^-$

## 第2章 化学反应的方向、限度与速率

### 第1节 化学反应的方向

**自主检测**

1. D 2. C

**探究学习**

一、二答案参考“归纳总结”; 三答案参考“方法导引”。

**拓展训练**

1. D 2. D 3. B

**【分层训练 素养提升】**

1. C 2. C 3. B 4. C 5. D 6. A 7. B 8. AD  
9. C B 77 A -161.6 D

10. (1) 高温 (2) 不能自发进行 (3) 927.8~1 709.4 K (4) C

**【本节建构整合】**

- ① 温度和压强 ② 自动进行 ③ 降低 ④ 放热 ⑤ 增大  
⑥ 熵增 ⑦ 自发 ⑧ 不能自发 ⑨ 达到平衡

## 第2节 化学反应的限度

## 第1课时 化学平衡常数

## 自主检测

$$1. (1) K = \frac{c_{\text{平}}^2(\text{CrO}_4^{2-}) \cdot c_{\text{平}}^2(\text{H}^+)}{c_{\text{平}}(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})}$$

$$(2) K = \frac{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2)}{c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})}$$

$$(3) K = \frac{c_{\text{平}}(\text{CO}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2)}{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})}$$

2. A

## 探究学习

一、1. 在一定条件下的可逆反应里,当正、逆两个方向反应速率相等时,反应体系中所有参加反应的物质的质量或浓度保持恒定的状态,称为化学平衡状态,简称化学平衡。

2. 化学平衡的特征可以概括为逆、等、动、定、变,即:

- (1)逆:研究的对象是可逆反应。
- (2)等:化学平衡的条件是  $v_{\text{正}}$  和  $v_{\text{逆}}$  相等。
- (3)动:化学平衡是一种动态平衡,此时反应并未停止。
- (4)定:当可逆反应达到平衡时,各组分的质量(或浓度)为一定值。
- (5)变:若外界条件改变,平衡可能发生改变,并在新条件下建立新的平衡。

3. (3)(5)(6)(9)

二、答案参考“归纳总结”“思维建模”。

三、答案参考“归纳总结”。

四、[交流研讨](1)  $K = \frac{c_{\text{平}}^2(\text{NO}_2)}{c_{\text{平}}(\text{N}_2\text{O}_4)}$

(2)热水中气体颜色变深,  $c_{\text{平}}(\text{NO}_2)$  增大,  $c_{\text{平}}(\text{N}_2\text{O}_4)$  减小,  $K$  增大。

(3) ①  $K(298) = 0.147 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 

$K(333) = 1.664 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ②温度升高,  $K$  增大。

(4)温度升高,  $K$  减小。

## 拓展训练

1. A 2. (1)  $\frac{c_{\text{平}}(\text{CO}) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})}{c_{\text{平}}(\text{CO}_2) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2)}$  (2)向逆反应方向移动

3. B 4. C

## 【分层训练 素养提升】

1. C 2. A 3. A 4. A 5. D 6. C 7. D 8. AB 9. B

10. (1)A (2)①0.62 1.29 ②吸热

## 第2课时 平衡转化率

## 自主检测

1. 65% 54% 2. 53% 66%

## 探究学习

一、(1)0.25 (2)20%

二、B

三、1. 对同一反应,  $T$  相同时各反应物的转化率有时相同。当反应物的初始浓度与方程式中反应物的系数比相同时,转化率相同。

2. 多种反应物参加反应时,提高一种反应物的浓度,可以提高其他反应物的平衡转化率,而该物质本身平衡转化率降低。

3. 平衡常数只受温度影响,而转化率还受其他因素的影响,比如初始浓度。

## 拓展训练

1. 1 2. D 3. B

## 【分层训练 素养提升】

1. C 2. A 3. B 4. D

5. (1)  $\alpha(\text{CO}) = 50\%$  (2)  $K = 0.028$ 

6. (1)1 (2)否 大于 (3)增大 7. B

8. (1)60% (2)85% 9.  $0.0080 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  20%

10. (1)25% (2)6 (3)41%

## 第3课时 反应条件对化学平衡的影响

## 自主检测

1. AB

2. (1)  $K = \frac{c_{\text{平}}(\text{CO})}{c_{\text{平}}(\text{CO}_2)}$  (2)吸热 (3)增大

## 探究学习

一、[实验探究]①红棕色变浅 减小 温度降低,平衡向正反应方向移动 ②红棕色变深 增大 温度升高,平衡向逆反应方向移动

问题答案参考“归纳总结”。

二、[理论预测] 增大反应物(A或B)浓度或减少生成物(C或D)浓度 平衡正向移动 减少反应物(A或B)浓度或增大生成物(C或D)浓度 平衡逆向移动

[实验探究]实验1:取1 mL  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{FeCl}_3$  溶液加入1 mL  $0.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{KSCN}$  溶液,将溶液平均分为4份,分别标记为①~④;溶液变为红色;生成  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$  为红色。实验2:向①中加入三滴  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{FeCl}_3$  溶液;红色加深;平衡正向移动。实验3:向②中加入三滴  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{KSCN}$  溶液;红色加深;平衡正向移动。实验4:向③中加入三滴  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液;红色变浅;平衡逆向移动。实验5:④做对照实验。

三、实验现象:1. 气体颜色变深,曲线突然上升,然后下降。

2. 气体颜色变浅,曲线突然下降,然后上升。

平衡移动方向:1. 正向。2. 逆向。

结论与解释:加压,平衡向方程式中气态物质化学式前系数减小的方向移动;减压,平衡向方程式中气态物质化学式前系数增大的方向移动。

问题:(1)压强先增大,后减小,说明平衡正向移动;压强先减小,后增大,说明平衡逆向移动。

(2)对  $\Delta v_g$  减小的反应,压强增大,  $Q < K$ ,平衡正向移动。

## 拓展训练

1. B 2. A 3. B

## 【分层训练 素养提升】

1. C 2. A 3. D 4. A 5. D 6. A 7. B

8. (1)放热 &gt; (2)增大 (3)增大 (4)减小 (5)不变 (6)变深 变浅

9. (1)CD (2)B

10. (1)  $\frac{c_{\text{平}}(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})}{c_{\text{平}}(\text{CO}_2) \cdot c_{\text{平}}^3(\text{H}_2)}$  (2)吸热 (3)①  $700^\circ\text{C}$

②等于 (4)向逆反应方向

## 【本节建构整合】

①生成物浓度的系数次方的乘积与反应物浓度的系数次方

的乘积的比值 ②  $\frac{c_{\text{平}}^c(\text{C}) \cdot c_{\text{平}}^d(\text{D})}{c_{\text{平}}^a(\text{A}) \cdot c_{\text{平}}^b(\text{B})}$  ③温度 ④正 ⑤逆

⑥吸热 ⑦放热 ⑧气体体积减小 ⑨气体体积增大

⑩不移动 ⑪相等 ⑫浓度

## 第3节 化学反应的速率

## 第1课时 化学反应速率

## 自主检测

1. B 2. D

## 探究学习

一、答案参考“归纳总结”。

二、[交流研讨](1)单位时间内盐酸溶液或氯化镁的浓度变化;单位时间内镁的质量变化;单位时间内的氢气物质的量的变化。

(2)需要准确量取盐酸的体积,并利用关系式计算出反应中消耗的氯化氢或生成的氯化镁的物质的量。二者不相等。

三、④ &gt; ③ = ② &gt; ①



## 第3章 物质在水溶液中的行为

## 第1节 水与水溶液

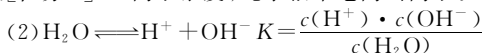
## 第1课时 水的电离 溶液中的电解质

## 自主检测

(1)× (2)× (3)√ (4)× (5)×

## 探究学习

一、[任务1](1)离子浓度;纯水很难电离出离子。



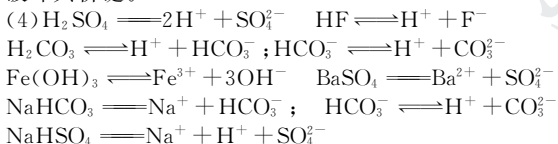
(4) 25 °C 时,  $c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 80 °C 时,  $c(\text{H}^+) = 5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。温度升高, 水的电离程度增大。

[任务2](1) 升高温度: 向右移动、增大、增大、增大; 加 HCl(g): 向左移动、增大、减小、不变; 加 NaOH(s): 向左移动、减小、增大、不变; 加活泼金属(如 Na): 向右移动、减小、增大、不变。(2)  $0.1 \times 10^{-13}$   $10^{-13}$   $10^{-13}$ ;  $10^{-13}$   $0.1 \times 10^{-13}$   $10^{-13}$

二、[任务](1) 小电珠的亮度不同, 明亮的说明电流大, 溶液离子浓度大; 亮度小的说明电流小, 溶液离子浓度小。由于是等物质的量浓度的盐酸、氨水、醋酸、氯化钠溶液, 说明电解质在溶液中有的是完全电离, 有的是部分电离。

(2) ①从物质类别角度, 强酸、强碱、大多数盐属于强电解质, 弱酸、弱碱、水和极少数盐属于弱电解质。②从成键角度, 组成中存在离子键的化合物多为强电解质。

(3) 熔融状态可以断裂离子键, 难以断裂共价键; 水溶液中, 水分子作用下发生溶剂化作用, 既能破坏离子键也能破坏共价键。



## 拓展训练

1. D 2. (1)①②④⑥ (2)③⑤

## 【分层训练 素养提升】

1. C 2. B 3. C 4. B 5. B 6. A 7. BD

8. (1)  $1 \times 10^{-12} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$  高于 曲线 II 所代表的水的离子积比曲线 I 的小, 由于水的电离过程是吸热过程, 温度越高, 离子积越大, 故曲线 II 代表的温度低 (2)  $10^{-10}$

9. (1) ①&gt; ②&gt; ③= (2) ③&gt;①=④&gt;②

10. (1)  $1 \times 10^{-12} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$  水的电离要吸热, 温度升高, 水的电离程度增大, 即离子积增大 (2) b

(3) 否, 在盐酸中  $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ , 所以不可能处于 B 点位置 (4)  $2 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  (5) b

## 第2课时 溶液的酸碱性 with pH

## 自主检测

1. B

2. (1)× (2)√ (3)× (4)× (5)√

## 探究学习

一、1. 甲的 pH=1, 乙的 pH=11。

2. 4 6 7  $2+n \leq 7$ ; 10 8 7  $7 \leq 9-n$ 

3. 2.3 2.3 11.7 12.7

二、1. 15 2. D

## 拓展训练

1. (1) 900 (2) 1 000 (3)  $\frac{900}{11}$  2. D

## 【分层训练 素养提升】

1. B 2. D 3. B 4. A 5. A 6. C

7. (1)  $1 \times 10^{-15} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$  (2) 1. 7 (3) 酸 (4) 12 $1 \times 10^{-4}$ 

8. (1) 6 (2) ①1:1 ②9:11

9. (1) ①=②=③=④ (2) ②=④ (3) ①&gt;② (4) ③&gt;④&gt;②&gt;①

10. (1) A 水电离需要吸热, 温度越高  $K_w$  越大 (2) 10:1 (3)  $a+b=14$  (4) 小于 (5) 10

## 【本节建构整合】

①温度 ②温度 ③增大 ④完全 ⑤部分 ⑥  $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$  ⑦  $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$  ⑧  $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$ 

## 第2节 弱电解质的电离 盐类的水解

## 第1课时 弱电解质的电离平衡

## 自主检测

1. 例如: 向氨水中加入中性盐醋酸铵固体, 通过测定前后 pH 变化, 说明氨水中电离平衡的存在。

2. C

## 探究学习

一、1. 略

2.  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.7 \times 10^{-5}$ ,  $K_a(\text{HCN}) = 6.2 \times 10^{-10}$ ,  $K_a(\text{HF}) = 6.8 \times 10^{-4}$ 。一元弱酸的  $K_a$  值大小, 可表示等物质的量浓度时一元弱酸的电离程度, 即酸性强弱。

3.  $K_{a1} > K_{a2} > \dots$  第一步电离产生的氢离子抑制了第二步电离。

4. 主要比较第一步电离产生的氢离子浓度, 即比较  $K_{a1}$  大小即可。

二、1. 根据三段式求解, 25 °C,  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中醋酸的电离度约为 4%。比较可知, 弱电解质的电离随着溶液的稀释, 电离程度增大。

2. 升高温度: 向右移动、增大、增大、增大、增强; 加  $\text{H}_2\text{O}$ : 向右移动、减小、增大、增大、减弱; 通 HCl: 向左移动、增大、增大、减小、增强; 加少量 NaOH(s): 向右移动、减小、减小、增大、增强; 加少量  $\text{CH}_3\text{COONa}$ (s): 向左移动、减小、减小、减小、增强; 加少量  $\text{CH}_3\text{COOH}$ : 向右移动、增大、增大、减小、增强。

## 拓展训练

1. B 2. D

## 【分层训练 素养提升】

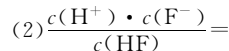
1. A 2. B 3. D 4. D 5. D 6. B 7. CD

8. (1) bd (2) ①减小 减小 ②&gt; ③&gt; ④&gt; ⑤c (3) ab

9. (1) 在 O 点处醋酸未电离, 无自由移动的离子存在

(2)  $c < a < b$  (3) c (4) ①加少量 NaOH 固体 ②加少量  $\text{CH}_3\text{COONa}$  固体 ③加入 Zn、Mg 等活泼金属(合理即可)

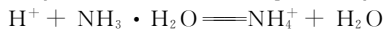
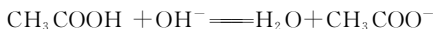
10. (1) ①  $K_a(\text{HSCN}) > K_a(\text{CH}_3\text{COOH})$ , 溶液中  $c(\text{H}^+)$ :  $\text{HSCN} > \text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $c(\text{H}^+)$  越大反应速率越快 ②>



$$\frac{1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 4 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad (3) \text{CD}$$

## 第2课时 盐类水解的原理

## 自主检测



## 探究学习

一、1. 分类: 强酸弱碱盐、强酸弱碱盐、弱酸强碱盐、弱酸强碱盐; 酸碱性: 酸性、酸性、中性、碱性、碱性。

2. (1)  $\text{CO}_3^{2-}$  能逐步结合水电离产生的  $\text{H}^+$ , 生成难电离



的  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，使得水溶液中的  $c(\text{H}^+)$  小于  $c(\text{OH}^-)$ ，呈现碱性。(2)  $\text{Na}^+$  对水的电离平衡无影响。(3) 促进了水的电离。

3.  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中  $\text{NH}_4^+$  能与水电离产生的  $\text{OH}^-$  结合，生成难电离的  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，使得水溶液中的  $c(\text{H}^+)$  大于  $c(\text{OH}^-)$ ，呈现酸性。 $\text{NaCl}$  溶液中， $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  不与  $\text{OH}^-$  或  $\text{H}^+$  结合，不影响水的电离，溶液中  $c(\text{H}^+)$  等于  $c(\text{OH}^-)$ ，呈中性。规律：有弱才水解，无弱不水解，谁强显谁性。

4. 盐类水解是中和反应的逆反应，具有可逆、微弱、吸热的特征。

5.  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ ； $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ 。书写应注意：可逆符号、多元弱酸根水解要分步书写，产物不标“↑”或“↓”。

二、1. 因为  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH})$  大于  $K_a(\text{HClO})$ ，所以  $K_b(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  小于  $K_b(\text{ClO}^-)$ 。因此， $\text{NaClO}$  水解程度大于  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ，产生的  $\text{OH}^-$  浓度更大，pH 较大。

2. (1) 由于 (25 °C 时)  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $K_b(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{CH}_3\text{COO}^-$  与  $\text{NH}_4^+$  水解的程度相同，溶液呈中性。弱酸弱碱盐，溶液的酸碱性取决于二者水解程度的相对大小。(2) 不相同。 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  溶液中水的电离因  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  与  $\text{NH}_4^+$  水解而被促进。

3. (1) ①  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$  ②  $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$  ③  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$

(2) 水解程度  
(3)  $\text{HCO}_3^-$  的电离平衡常数即碳酸的  $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 $\text{HCO}_3^-$  的水解平衡常数  $K_b = K_w / K_{a1} = 2.4 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。比较两个  $K$  值可知，水解程度大于电离程度，溶液呈碱性。

拓展训练

1. C  
2. (1)  $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{HS}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + \text{OH}^-$ ；碱性  
(2)  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$ ；酸性  
(3)  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ ；酸性  
(4)  $\text{F}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HF} + \text{OH}^-$ ；碱性  
3. C

【分层训练 素养提升】

1. B 2. C 3. B 4. C 5. D 6. C  
7. (1) 酸  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$   
(2) < (3)  $\text{Cl}^-$   $\text{NH}_4^+$  (4) = =  
8. (1) ②①③⑧⑦⑥⑤④ (2) a (3) ①碱  $\text{A}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HA} + \text{OH}^-$  ②大于  
9. (1) <  $c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$   
(2) 碱  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$ ， $\text{CH}_3\text{COO}^-$  水解显碱性  
(3) bc (4) < >  
10. (1)  $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{OH}^-$  (2)  $\text{HNO}_2$  和  $\text{NaNO}_2$  大于 (3) 小于 小于

第 3 课时 水解平衡的移动

自主检测

- (1) 溶液变红色  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$   
(2) 加热水解程度变大，溶液碱性增强  
(3) 吸

探究学习

- 一、1. 大于 2. 大于  
二、1. (1) 浅红色 变深 右 (2) 白色沉淀溶解 左  
2. (1)

平衡移动方向	$c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$	$c(\text{CH}_3\text{COOH})$	$c(\text{OH}^-)$	pH	水解程度
加热	减小	增大	增大	增大	增大
加水	减小	减小	减小	减小	增大

(续表)

平衡移动方向	$c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$	$c(\text{CH}_3\text{COOH})$	$c(\text{OH}^-)$	pH	水解程度
加冰醋酸固体	左	增大	增大	减小	减小
加 $\text{CH}_3\text{COONa}$ 固体	右	增大	增大	增大	减小
加 $\text{NaOH}$ 固体	左	增大	减小	增大	减小
加 $\text{HCl}$	右	减小	增大	减小	增大

(2) 稀释使  $Q < K_b$ ，水解平衡向正反应方向移动，水解程度增大。

3. 答案参考“归纳总结”。

拓展训练

1. B 2. A

【分层训练 素养提升】

1. C 2. B 3. A 4. A 5. A 6. A  
7. (1) 大于 (2) 草酸  
8. (1) 小于 (2) ①A ②  $10^{-3}$  (3) a  $c(\text{Na}^+) > c(\text{SO}_4^{2-}) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$   
9. (1)  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$ ，使溶液显碱性 (2) BD (3) 右 左 左右  
10. (1)  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$  (2) 大于 (3) = > (4) 乙

第 4 课时 盐类水解的应用

自主检测

B

探究学习

- 一、1.  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{NaHSO}_4$   
2. (1) 氨水 醋酸 (2) 酸 碱 (3) 碱 酸  
3.  $c(\text{Na}^+) > c(\text{CO}_3^{2-}) > c(\text{OH}^-) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{H}^+)$   
4.  $\text{HB} > \text{HA}$   
二、1. 制备胶体、纯碱去油污等。  
2~4 答案参考“方法导引”“归纳总结”。

拓展训练

1. B 2. A

【分层训练 素养提升】

1. D 2. D 3. B 4. B 5. C 6. D  
7. (1)  $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3(\text{胶体}) + 3\text{H}^+$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
(2)  $\text{Al}^{3+} + 3\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{CO}_2 \uparrow$   
(3)  $\text{MgCO}_3$  与  $\text{Fe}^{3+}$  水解产生的  $\text{H}^+$  反应，促进了  $\text{Fe}^{3+}$  的水解，使  $\text{Fe}^{3+}$  转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀而被除去  
8. (1) < (2) > (3) > 由溶液中微粒浓度关系可知  $\text{NaHSO}_3$  的电离大于水解，故  $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$   
9. (1)  $\text{BiCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BiOCl} \downarrow + 2\text{HCl}$   
(2) 不合理  $\text{BiOCl}$  中  $\text{Cl}$  呈 -1 价而非 +1 价  
(3) 将  $\text{BiCl}_3$  溶于含适量  $\text{HCl}$  的蒸馏水中  
(4)  $\text{BiCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BiOCl} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$ ， $c(\text{Cl}^-)$  增大时，抑制了  $\text{BiCl}_3$  水解  
10. (1) 不能 (2)  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3$   $c(\text{Na}^+) > c(\text{Cl}^-) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$  (3) 10

【本节建构整合】

- ① 温度 ② 可逆 ③ 微弱 ④ 有弱才水解 ⑤ 越弱越水解 ⑥ 谁强显谁性

第 3 节 沉淀溶解平衡

第 1 课时 沉淀溶解平衡与溶度积

自主检测

1. (1) × (2) × (3) × (4) √ (5) ×  
2. B

## 探究学习

一、(1)上层清液中出现黄色沉淀

(2)原上层清液中含有溶解的  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{PbI}_2$  在水中存在溶解平衡 (3)  $\text{PbI}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq})$

二、1. 略

2. 答案参考“归纳总结”。

3. 仅受温度的影响。

4. 答案参考“归纳总结”。

## 拓展训练

1. ②①④③ 2. (1)变小 (2)不变 (3)变小 变大

## 【分层训练 素养提升】

1. B 2. B 3. C 4. A 5. C 6. B

7.  $\text{Fe}^{3+}$  恰好沉淀完全时,  $c(\text{PO}_4^{3-}) = \frac{1.3 \times 10^{-22}}{1 \times 10^{-5}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.3 \times 10^{-17} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $Q[\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2] = \left(\frac{0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{2}\right)^3 \times (1.3 \times 10^{-17} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2 = 1.69 \times 10^{-40} \text{ mol}^5 \cdot \text{L}^{-5} < K_{\text{sp}} = 1.0 \times 10^{-24} \text{ mol}^5 \cdot \text{L}^{-5}$ , 因此不会生成  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  沉淀

8. (1)是 (2)能 (3)  $4.7 \times 10^{-7}$

9.  $\text{Fe}^{3+}$  2.7 6  $\text{Zn}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  不能分离

$\text{Fe}(\text{OH})_2$  和  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  的  $K_{\text{sp}}$  相近

10. (1)大于 (2)  $\text{AgCl}$   $1.89 \times 10^{-5}$

## 第2课时 沉淀溶解平衡的应用

## 自主检测

1. 蓝色

2. 能溶解。  $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{NH}_4^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$

## 探究学习

一、1. 略 2. 略

3. (1)根据  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = c(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^{-})$  可知, 开始沉淀时,  $c(\text{OH}^{-}) = \sqrt[3]{\frac{2.6 \times 10^{-39}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 6.4 \times 10^{-13} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。根据  $K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^{-})$  可知, 开始沉淀时,  $c(\text{OH}^{-}) = \sqrt{\frac{2.2 \times 10^{-20}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 1.5 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。因此,  $\text{Fe}^{3+}$  先沉淀。  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀完全时,  $c(\text{OH}^{-}) = \sqrt[3]{\frac{2.6 \times 10^{-39}}{10^{-5}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 6.4 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 此时  $c(\text{H}^{+}) = K_{\text{w}}/c(\text{OH}^{-}) = 1.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 即 pH 为 2.8。

(2)  $\text{CuO}$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$  或  $\text{CuCO}_3$  均可以。

(3)加入过氧化氢氧化  $\text{Fe}^{2+}$ , 再调节 pH, 使  $\text{Fe}^{3+}$  以氢氧化铁的形式沉淀分离。

二、1. 溶解度小的难溶物可以转化为溶解度更小的难溶物, 溶解度差异越大越容易实现沉淀的转化。

2.  $\text{FeS} + \text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{CuS} + \text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{FeS} + \text{Hg}^{2+} \rightleftharpoons \text{HgS} + \text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{FeS} + \text{Pb}^{2+} \rightleftharpoons \text{PbS} + \text{Fe}^{2+}$ 。操作简便, 容易分离, 生成的  $\text{Fe}^{2+}$  容易后续除去。

3. 反应  $\text{BaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}$  的  $K = \frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)} = 0.022$ , 反复用饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液浸泡, 可逐渐将硫酸钡溶解转化成碳酸钡。

## 拓展训练

1. B 2. ②④⑥

## 【分层训练 素养提升】

1. B 2. B 3. B 4. A 5. B 6. D

7. (1)  $2\text{NH}_4^+ + \text{MgO} \xrightarrow{\Delta} \text{Mg}^{2+} + 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

(2)抑制  $\text{Mg}^{2+}$  水解, 以便得到更多更纯的产品

(3)蒸发浓缩, 冷却结晶

8. (1)①变小 ②不变 (2)  $\text{AgI}$ 、 $\text{AgBr}$   $\text{AgBr}(\text{s}) + \text{I}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgI}(\text{s}) + \text{Br}^{-}(\text{aq})$

9. (1)  $K_{\text{sp}} = c^2(\text{Ag}^{+}) \cdot c(\text{S}^{2-})$  (2)D (3)加足量  $\text{MgCl}_2$  溶液, 充分搅拌, 过滤, 洗涤即得纯净的  $\text{Mg}(\text{OH})_2$

10. (1)  $\text{Cu}^{2+}$  (2)B (3)不能  $\text{Co}^{2+}$  和  $\text{Ni}^{2+}$  沉淀的 pH 范围相

差太小 (4)  $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^{-} + 4\text{H}_2\text{O}$  (5)B

## 【本节建构整合】

①  $Q > K_{\text{sp}}$  ②  $Q < K_{\text{sp}}$  ③常向生成  $K_{\text{sp}}$  更小的方向进行

## 第4节 离子反应

## 第1课时 离子反应发生的条件

## 自主检测

1. C 2. B

## 探究学习

一、1. 氢氧化钡少量:  $2\text{HCO}_3^{-} + \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

氢氧化钡过量:  $\text{HCO}_3^{-} + \text{Ba}^{2+} + \text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

2. (1)× (2)× (3)× (4)√

二、1. ①  $\text{MnO}_4^{-}$ 、 $\text{H}^{+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  不能大量共存, 溶液紫红色变浅或消失。②  $\text{NO}_3^{-}$ 、 $\text{H}^{+}$  与  $\text{I}^{-}$  不能大量共存, 溶液颜色由无色变黄色。③  $\text{ClO}^{-}$  与  $\text{SO}_3^{2-}$  不能大量共存, 溶液无明显现象。④  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{S}^{2-}$  不能大量共存, 溶液中产生黄色浑浊。 2. 略

3. 通少量  $\text{Cl}_2$  的反应为  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^{-}$ ; 通过量  $\text{Cl}_2$  则为  $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{Br}^{-} + 3\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Br}_2 + 6\text{Cl}^{-}$ 。  $\text{FeBr}_2$  与  $\text{Cl}_2$  按物质的量 1:1 混合应为  $2\text{Fe}^{2+} + 2\text{Br}^{-} + 2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + \text{Br}_2 + 4\text{Cl}^{-}$ 。 4. 略

## 拓展训练

1. (1)  $2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_4^+ + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

(2)  $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^{-} + \text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

(3)  $\text{Al}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{Ba}^{2+} + 4\text{OH}^{-} \rightleftharpoons 2\text{BaSO}_4 \downarrow + [\text{Al}(\text{OH})_4]^{-}$

2. B

## 【分层训练 素养提升】

1. B 2. B 3. A 4. D 5. B 6. C 7. B

8. (1)  $\text{NH}_4^+ + \text{HSO}_3^{-} + 2\text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \uparrow + \text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

(2)  $\text{HCO}_3^{-} + \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

(3)  $\text{Al}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{Ba}^{2+} + 4\text{OH}^{-} \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_4]^{-} + 2\text{BaSO}_4 \downarrow$

(4)  $2\text{H}^{+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$

9. (1)  $3\text{Na}_2\text{S} + 2\text{AlCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 6\text{NaCl} + 3\text{H}_2\text{S} \uparrow$

(2)复分解 氧化还原 (3)C (4)②③ (5)D

10.  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{I}^{-}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$ 、 $\text{K}^{+}$  做焰色反应, 透过蓝色钴玻璃观察火焰颜色, 若火焰呈紫色, 则有  $\text{K}^{+}$ , 否则无  $\text{K}^{+}$

## 第2课时 离子反应的应用

## 自主检测

C

## 探究学习

一、1. 略

2. 答案参考“归纳总结”“方法导引”。

3. 偏高 偏高 偏低 无影响 偏低 偏高 偏低

偏高 偏低 无影响

4. (1)见右图。

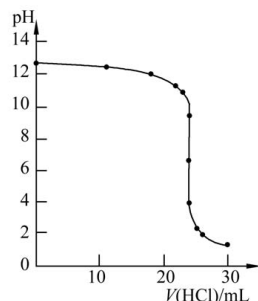
(2)滴定突跃会变窄。这是由于弱酸(或弱碱)的不完全电离使滴定起点向 pH=7 靠拢, 生成的盐发生水解导致滴定终点也向 pH=7 靠拢。

二、1. 答案参考“归纳总结”。

2. ①a ②b ③a ④a ⑤a

⑥a ⑦b

3. 氧化性、还原性杂质对滴定结果的影响。



拓展训练

1. A  
2. (1)①  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  ②加热(至沸腾) (2)①淀粉溶液 蓝色褪去,且半分钟内不恢复原色 ②偏高

【分层训练 素养提升】

1. D 2. C 3. A 4. A 5. C 6. C  
7. (1)ab (2)A (3)26.00 (4)0.104 4 mol · L<sup>-1</sup> (5)CD  
8. (1)甲 (2)当滴入最后一滴酸性  $\text{KMnO}_4$  标准溶液时,溶液由无色变为紫红色,且半分钟内不褪色 (3)2 ①偏大 ②偏小  
9. (1)氯化钡溶液 样品质量和沉淀的质量 (2)①检漏、润洗 ⑤甲基橙或酚酞 ⑥96%  
10. (1)使测定值与水体中的实际值保持一致,避免产生误差 (2) $2\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{MnO}(\text{OH})_2$  (3)容量瓶 氧气 (4)当最后一滴标准液滴入时,溶液由蓝色变为无色,且半分钟内无变化 80ab (5)低

【本节建构整合】

- ①沉淀 ②弱电解质 ③气体或挥发性 ④氧化还原  
⑤沉淀法 ⑥滴定法 ⑦酸(碱)式滴定管

微项目 揭秘索尔维制碱法和侯氏制碱法

- (1) $\text{Ca}(\text{OH})_2$  优先与  $\text{SO}_2$  发生反应,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{CaSO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ , 由于  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的量太少,很快消耗完,所以浆液的 pH 迅速下降至 6.8  
(2)A  
(3)①上清液中溶解的  $\text{SO}_2$  存在平衡:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$ 。30~40 min 时,溶液中的  $\text{SO}_2$  发

生反应 II, 由于反应 II 生成可溶性的  $\text{Zn}(\text{HSO}_3)_2$ ,  $c(\text{HSO}_3^-)$  增大[或  $c(\text{H}^+)$  增大], 上述平衡逆向移动, 所以上清液中  $c(\text{SO}_2)$  升高  
②  $\text{HSO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$ ,  $2\text{HSO}_3^- + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{SO}_4^{2-}$  (写出其中的 2 个即可)  
③  $\text{Zn}(\text{HSO}_3)_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 。

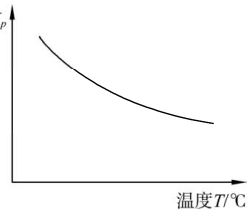
本章自我检测

1. D 2. A 3. D 4. C 5. B 6. B 7. D 8. B  
9. B 10. D 11. B 12. D  
13. (1)  $7 \times 10^{-6}$   $c(\text{Na}^+) = c(\text{Cl}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{CN}^-) > c(\text{OH}^-)$   
(2)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$   $2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NH}_4^+$   
(3) 中  $\frac{10^{-9}}{a-0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
14. (1)  $2\text{OH}^- + \text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$  (2)  $\text{SO}_3^{2-}$  与  $\text{Ca}^{2+}$  生成  $\text{CaSO}_3$  沉淀, 平衡正向移动, 有  $\text{NaOH}$  生成 (3)  $6.0 \times 10^{-3}$  0.62  
15. (1)  $\text{NO}_2^-$  水解呈碱性, 对  $\text{NH}_4^+$  的水解起促进作用  $c(\text{NO}_2^-) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$   $1.4 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  (2)  $>$  800 (3)  $\text{ClO}^- + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{HClO}$  (4)  $>$  = (5) 5  
16. (1)酸式 烧杯、锥形瓶  
(2)  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 16\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Mn}^{2+} + 10\text{CO}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$  (3)无 浅紫 (4)ac (5)①甲基橙 ②将溶解在溶液中的  $\text{CO}_2$  气体赶出 ③0.06

期末检测(一)

1. A 2. D 3. C 4. D 5. B 6. C 7. B 8. D  
9. B 10. C 11. CD 12. AC 13. BD 14. C 15. A  
16. (1)①  $\text{H}_2\text{S}$  300℃  
 $2 \times 10^{-3} / t_1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$   
②  $2\text{H}_2 + \text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$  (2)①  $<$  ② 36.45 mol · L<sup>-1</sup>  
(3)  $\text{SO}_3^{2-} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{HSO}_3^-$   
 $c(\text{Na}^+) > c(\text{HSO}_3^-) > c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$   
17. (1)①阻止  $\text{OH}^-$  进入阳极室, 与  $\text{Cl}_2$  发生副反应; 阻止阳极产生的  $\text{Cl}_2$  和阴极产生的  $\text{H}_2$  混合发生爆炸  
②  $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$  ③d (2)C  
(3)①  $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$   
②  $\text{Cu} + 2\text{H}^+ \xrightarrow{\text{通电}} \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$  ③3.92

18. (1)把矿石研成粉末 (2)D (3)  $2\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{ClO}^- \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$  (4)冷却结晶、过滤 (5)  $5.3 \leq \text{pH} < 7.8$  (6)  $2.0 \times 10^{-12}$   $2.0 \times 10^{-11}$  (7)0.9250 (92.50%)  
19. (1)①0.043 ②5 (2)①  $\frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)}$   
②  $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$   
20. (1)高温 247.1 (2)①AB  $K_p \uparrow$   
②800℃左右(800~1000℃都可以) 常压或 1 MPa  
(3)如图, 趋势正确即可。  
(4)  $\text{CH}_4 + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$



期末检测(二)

1. D 2. C 3. D 4. D 5. C 6. C 7. D 8. B  
9. B 10. D 11. C 12. BD 13. AD 14. BC 15. CD  
16. (1)  $2\text{FeTiO}_3 + 6\text{C} + 7\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{FeCl}_3 + 2\text{TiCl}_4 + 6\text{CO}$   
(2)①向逆反应方向进行 ②1.0  
(3)①  $\text{CH}_3\text{OH} - 6\text{e}^- + 8\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$   
②5.6 L  
17. (1)①球形干燥管 关闭活塞  $K_1$ , 向球形漏斗中加水至漏斗内外形成液面差, 一段时间后, 液面差保持不变, 说明气密性良好 ②先打开  $K_2$  再打开  $K_1$  控制氨气(或  $\text{CO}_2$ ) 通入量  
(2)①  $2\text{La}^{3+} + 3\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{La}_2(\text{CO}_3)_3 + 3\text{H}^+$   
 $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$  ②碳酸氢钠溶液碱性相对较弱, 可防止生成碱式碳酸镧 [ $\text{La}(\text{OH})\text{CO}_3$ ]  
③200 ④  $\text{La}^{3+}$  完全沉淀, 再滴入碳酸氢钠, 水解使溶液的碱性增强, pH 发生突变  
(3)91.6%  
18. (1) 中  $\frac{10^{-9}}{a-0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- (2)①  $\text{Cl}_2 + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{ClO}^-$   
②  $\text{Cl}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{HClO}$   
③  $\text{ClO}^- + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{HClO}$   
19. (1)②③  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$   
(2)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 - 24\text{e}^- + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 6\text{CO}_2 \uparrow + 24\text{H}^+$   
(3)①  $\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
②  $\text{N}_2\text{O}_4 + 2\text{HNO}_3 - 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{N}_2\text{O}_5 + 2\text{H}^+$   
20. (1)环形玻璃搅拌棒 (2)保温、隔热、减少实验过程中的热量损失  $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   $\Delta H = -57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
(4)  $-53.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  (5)ab (6)HCl  $\text{CH}_3\text{COOH}$  是弱酸, 电离时要吸热, 中和时放热较少