

普通高中教科书

# 化 学

HUA XUE

## 练习部分

选择性  
必修1

化学反应原理

学校 \_\_\_\_\_

班级 \_\_\_\_\_

姓名 \_\_\_\_\_

学号 \_\_\_\_\_

上海科学技术出版社

普通高中教科书

化 学  
练习部分

选择性必修 1 化学反应原理

上海科学技术出版社

主 编：麻生明 陈 寅  
副 主 编：竺际舜 江 顺  
编写人员：（以姓氏笔画为序）  
朱 康 李启翔

责任编辑：孙 伟 王美淞

封面设计：诸梦婷

普通高中教科书 化学练习部分 选择性必修 1 化学反应原理  
上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会组织编写

---

出 版 上海世纪出版(集团)有限公司 上海科学技术出版社  
(上海市闵行区号景路 159 弄 A 座 9F~10F 邮政编码 201101)

发 行 上海新华书店  
印 刷 上海中华印刷有限公司  
版 次 2022 年 12 月第 1 版  
印 次 2025 年 1 月第 3 次  
开 本 890 毫米×1240 毫米 1/16  
印 张 5.5  
字 数 141 千字  
书 号 ISBN 978-7-5478-5931-5/G·1124  
定 价 5.60 元

---

价格依据文号 沪价费〔2017〕15 号

---

版权所有 • 未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分 • 违者必究  
如发现印装质量问题或对内容有意见建议,请与本社联系。电话: 021-64848025  
全国物价举报电话: 12315

# 目 录

<b>第 1 章 化学反应的热效应 .....</b>	<b>1</b>
1.1 化学反应与能量变化 .....	1
1.2 反应热的测量和计算 .....	3
1.3 燃料的合理利用 .....	6
本章测试 .....	8
<b>第 2 章 化学反应的方向、限度和速率 .....</b>	<b>11</b>
2.1 化学反应的方向 .....	11
2.2 化学反应的限度 .....	14
2.3 化学反应的速率 .....	18
2.4 工业合成氨 .....	24
本章测试 .....	27
<b>第 3 章 水溶液中的离子反应与平衡 .....</b>	<b>31</b>
3.1 水的电离和溶液的酸碱性 .....	31
3.2 弱电解质的电离平衡 .....	37
3.3 酸碱中和与盐类水解 .....	43
3.4 难溶电解质的沉淀溶解平衡 .....	54
本章测试 .....	60

<b>第4章 氧化还原反应和电化学 .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1 氧化还原反应 .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 原电池和化学电源 .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3 电解池 .....</b>	<b>71</b>
<b>4.4 金属的电化学腐蚀与防护 .....</b>	<b>74</b>
<b>本章测试 .....</b>	<b>77</b>

第1章 化学反应的热效应

## 1.1 化学反应与能量变化

### 系统的内能

1. 若以某物质的制备实验作为研究的系统,下列属于与该系统相关的环境部分是( )。  
(A) 密闭反应容器内的原料                   (B) 密闭反应容器内的生成物  
(C) 密闭反应容器及其周围的空气       (D) 引发密闭反应容器内反应发生的条件

2. 内能是系统内物质\_\_\_\_\_的总和,用符号\_\_\_\_\_表示。当系统处于一定状态时,系统就具有确定的\_\_\_\_\_,当系统的温度、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等发生改变,内能也\_\_\_\_\_,系统内能的变化可用符号\_\_\_\_\_表示。

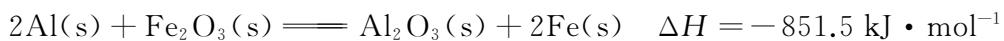
3. 若将水作为研究的系统,相同压强下,下列选项中内能最大的是( )。  
(A) 273 K 时 1.0 g 冰                   (B) 273 K 时 10.0 g 水  
(C) 373 K 时 1.0 mol 水蒸气          (D) 373 K 时 10.0 g 水蒸气

4. 在某一过程中,环境对系统做了 500 J 的功,同时系统向环境释放了 200 J 的热。求这个过程中系统内能的变化( $\Delta U$ )。

5. 25.0 g 某种合金样品被加热至 373.0 K,然后放入盛有 90.0 g,298.3 K 水的烧杯中,水的最终温度为 300.2 K。已知水的比热容为  $4.18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,请计算该合金的比热容(计算时忽略传入环境的热损失以及烧杯本身的热容)。

## 化学反应的焓变

1. 焓( $H$ )是一种与\_\_\_\_\_有关的物理量。系统状态发生变化，\_\_\_\_\_也随之改变。人们常用系统的焓的变化，即\_\_\_\_\_（填写符号）来表示在等压、只做体积功条件下的\_\_\_\_\_，单位常用\_\_\_\_\_。
2. 已知反应为： $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad \Delta H = -92.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。若断裂 1 mol H—H 键、1 mol N—H 键需要吸收的能量分别为 436 kJ、391 kJ，则断裂 1 mol N≡N 键需要吸收的能量是\_\_\_\_\_。  
(A) 1 130.4 kJ      (B) 945.6 kJ      (C) 869 kJ      (D) 649 kJ
3. 铝热焊是利用铝热反应的反应热作为热源的焊接方法，铝热焊常用于钢轨、钢筋和其他大截面工件的焊接，反应原理如下：



在图 1.1 中画出上述铝热反应的焓变示意图。

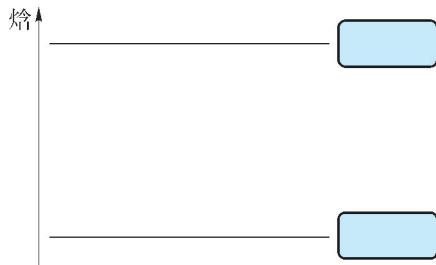


图 1.1

## 1.2 反应热的测量和计算

### 反应热的测量

1. 焓( $H$ )的绝对值\_\_\_\_\_直接测量,但焓变( $\Delta H$ )是\_\_\_\_\_测量的。

许多化学反应的反应热可以通过\_\_\_\_\_来测量。测量反应热的仪器称为\_\_\_\_\_。

2. 某学生使用如图 1.2 所示的简易热量计来测量氢氧化钠和盐酸中和反应的反应热。下列关于简易热量计的说法错误的是( )。

- (A) 仪器应无裂隙 (B) 可用温度计测温  
(C) 具备保温、隔热的性能 (D) 只能用磁子搅拌反应液



图 1.2

### 热化学方程式

1. 已知在 298 K 时,由  $N_2(g)$ 与  $H_2(g)$ 合成 1 mol  $NH_3(g)$ 释放 46 kJ 的热,请将①~③式改写为热化学方程式,并指出式③的含义。

编号	化学方程式	热化学方程式
①	$\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$	
②	$NH_3(g) \rightleftharpoons \frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g)$	
③	$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$	含义为: _____ _____。

2. 肼( $N_2H_4$ )可作为卫星发射时的燃料。已知在 298 K 和 100 kPa 时,1 g 液态肼燃烧生成氮气和液态水,释放 19.44 kJ 的热。下列选项中能正确表示该反应的热化学方程式的是( )。

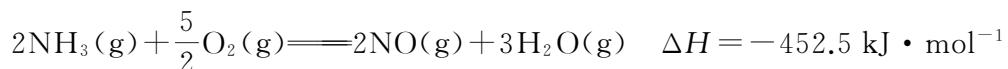
- (A)  $N_2H_4 + O_2 \rightleftharpoons N_2 + 2H_2O \quad \Delta H = -622.08 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
(B)  $N_2H_4(l) + O_2(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 2H_2O(l) \quad \Delta H = 622.08 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
(C)  $N_2H_4(l) + O_2(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 2H_2O(g) \quad \Delta H = -622.08 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
(D)  $\frac{1}{2}N_2H_4(l) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightleftharpoons \frac{1}{2}N_2(g) + H_2O(l) \quad \Delta H = -311.04 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

3. 已知断裂 1 mol H<sub>2</sub>(g) 中 H—H 键需要吸收 436 kJ 的能量, 断裂 1 mol O<sub>2</sub>(g) 中的共价键需要吸收 498 kJ 的能量, 生成 H<sub>2</sub>O(g) 中的 1 mol H—O 键会释放 464 kJ 的能量。试写出 H<sub>2</sub>(g) 和 O<sub>2</sub>(g) 反应生成 H<sub>2</sub>O(g) 的热化学方程式。

## 化学反应焓变的计算

1. 盖斯定律是指化学反应的热效应仅与反应物的\_\_\_\_\_及生成物的\_\_\_\_\_有关, 而与其\_\_\_\_\_无关。
2. 将 1 mol 气态高能燃料乙硼烷(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)在氧气中完全燃烧, 生成 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(s) 和 H<sub>2</sub>O(l), 释放出 2 033.0 kJ 的热。(B 的相对原子质量为 10.8)
- (1) 写出该反应的热化学方程式。
- (2) 计算 1.0 g 乙硼烷完全燃烧时释放的热。(单位用 kJ 表示, 计算结果保留 1 位小数)
3. 2008 年北京奥运会“祥云”火炬的燃料是丙烷(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), 1996 年亚特兰大奥运会火炬的燃料是丙烯(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)。丙烷脱氢可得到丙烯。已知:
- ① C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(g) = CH<sub>4</sub>(g) + C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g)      ΔH<sub>1</sub> = 255.7 kJ · mol<sup>-1</sup>
- ② C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(g) = CH<sub>4</sub>(g) + C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>(g)      ΔH<sub>2</sub> = 131.5 kJ · mol<sup>-1</sup>
- 请计算反应 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(g) = C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(g) + H<sub>2</sub>(g) 的焓变。

4. 已知热化学方程式：



(1) 指出上述热化学方程式的含义。

(2) 若 1 mol H<sub>2</sub>O(l) 变为 1 mol H<sub>2</sub>O(g) 时需要吸收  $a$  kJ 的热, 请计算反应



### 证据与推理

研究大气中含硫化合物(主要是 SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S)的转化具有重要意义。土壤中的微生物可将大气中的 H<sub>2</sub>S 经两步反应氧化为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 这两步反应的能量变化如图 1.3 所示, 试写出 1 mol H<sub>2</sub>S(g) 全部氧化为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq) 的热化学方程式。

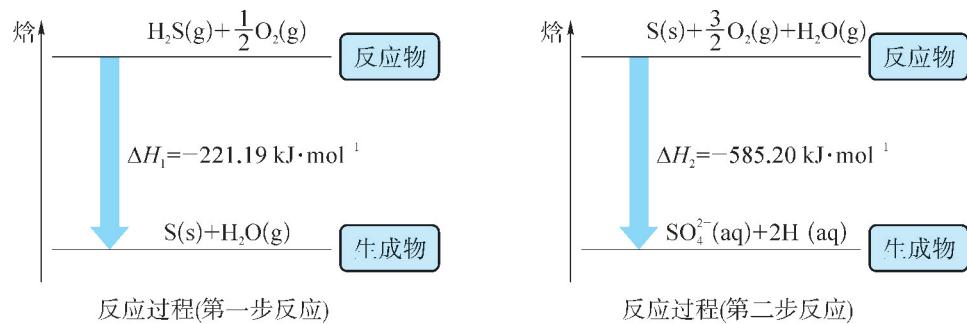


图 1.3

## 1.3 燃料的合理利用

### 燃烧热

- 物质的燃烧热是指：在指定温度和 100 kPa 时，\_\_\_\_\_完全燃烧生成稳定产物时所\_\_\_\_\_的热量。通常，物质燃烧后的稳定产物是指碳元素变为  $\text{CO}_2(\text{g})$ ，氢元素变为 \_\_\_\_\_。
- 煤是一种重要的化石燃料。下表列出一些物质的燃烧热(298 K, 100 kPa)。

物质	燃烧热/(kJ · mol <sup>-1</sup> )
C(石墨)	-394
$\text{CO}(\text{g})$	-283
$\text{H}_2(\text{g})$	-286

工业上通过煤的干馏、气化和液化等方法来实现煤的综合利用。其中，煤的气化是将煤转化为可燃性气体的过程，主要反应为： $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 。

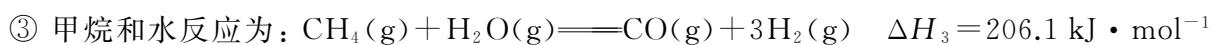
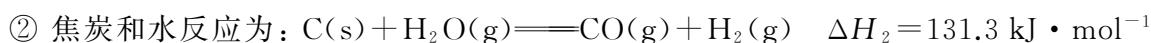
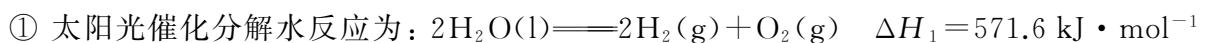
(1) 你认为煤的气化对于提高能源利用效率有哪些优点？

(2) 已知在 298 K 和 100 kPa 时，1 mol  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  变为 1 mol  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  需要释放 44.0 kJ 的热。请计算上述煤(可用石墨的燃烧热数据估算)的气化反应的焓变。

### 燃料的充分燃烧和利用

- 下列措施可以提高燃料燃烧效率的是( )。  
①降低燃料的着火点    ②提高燃料的着火点    ③将液体燃料雾化  
④将固体燃料粉碎    ⑤将煤气化处理    ⑥燃烧时通入足量的空气  
(A) ①②③④    (B) ①③④⑤    (C) ②③⑤⑥    (D) ③④⑤⑥

2. 通过下列反应均可获得氢气。



请回答下列问题。

(1) 反应①中主要的能量转化形式为化学能和光能转化为\_\_\_\_\_能。

(2) 从能量转化角度分析,反应②为\_\_\_\_\_反应;为使反应②更充分地进行,可将焦炭\_\_\_\_\_ (填序号)。

(A) 制成块状 (B) 研成细粉 (C) 与水蒸气充分接触

(3) 反应③若使用催化剂,  $\Delta H_3$  \_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”)。

(4) 反应  $\text{CH}_4(\text{g})=\text{C(s)}+2\text{H}_2(\text{g})$  的  $\Delta H=$  \_\_\_\_\_  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



## 生活与社会

氢气是一种理想的绿色能源,有科学家预言,氢能将成为人类的主要能源。试分析下列问题。

(1) 氢能被称为绿色能源的主要原因。

(2) 根据下表所提供的标准燃烧热(25℃)数据计算  $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$  和  $\text{CH}_4$  的热值,并据此说明  $\text{H}_2$  作为能源的优点。

物质的化学式	$\Delta H / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
$\text{H}_2(\text{g})$	-285.8
$\text{CO(g)}$	-283.0
$\text{CH}_4(\text{g})$	-890.3

(3) 简述用氢气作为气体燃料需解决哪些问题。

## 本章测试

### 一、选择题(每小题只有1个正确选项)

1. 下列关于  $\Delta U$  的说法正确的是( )。

- (A)  $\Delta U > 0$  时, 反应释放能量      (B)  $\Delta U < 0$  时, 反应释放能量  
(C)  $\Delta U = Q$       (D)  $\Delta U = \Delta H$

2. 已知化学反应  $A + B \rightleftharpoons C + D$  的能量变化如图 1.4 所示, 下列说法正确的是( )。

- (A) 该反应为放热反应  
(B) 该反应为吸热反应  
(C) 反应物的总能量高于生成物的总能量  
(D) 该反应只有在加热条件下才能进行

3. 氢气与碘反应的热化学方程式如下:

- ①  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g) \quad \Delta H_1 = -9.48 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
②  $H_2(g) + I_2(s) \rightleftharpoons 2HI(g) \quad \Delta H_2 = 26.48 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

下列判断中正确的是( )。

- (A) 254 g  $I_2(g)$  中通入 2 g  $H_2(g)$ , 反应放热 9.48 kJ  
(B) 1 mol  $I_2(g)$  与 1 mol  $I_2(s)$  所含的能量相差 17.00 kJ  
(C) 反应②的反应物总能量比反应①的反应物总能量低  
(D) 反应①的生成物比反应②的生成物更稳定

4. 下列说法正确的是( )。

- (A) 反应热就是化学反应中释放的能量  
(B) 任何条件下, 化学反应的焓变都等于化学反应的反应热  
(C) 常温常压下, 冰可以变为水, 故水比冰的内能低  
(D) 放热反应也可能需要加热才能发生

5. 已知热化学方程式:



现有  $H_2$  和  $CH_4$  的混合气体 112 L(标准状况), 使其完全燃烧生成  $CO_2(g)$  和  $H_2O(l)$ , 若实验测得反应放热 3 695 kJ, 则原混合气体中  $H_2$  与  $CH_4$  的物质的量之比为( )。

- (A) 1 : 1      (B) 1 : 3  
(C) 1 : 4      (D) 2 : 3

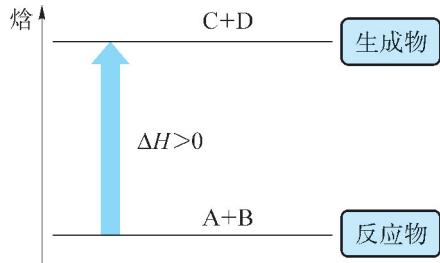


图 1.4

6. 下列有关能源叙述中正确的是( )。

- (A) 控制化石燃料的使用可以减少碳排放
- (B) 乙醇和汽油都是可再生能源,故应大力推广“乙醇汽油”
- (C) 用电解水的方法制取大量氢气可缓解能源不足的问题
- (D) 推广使用太阳能、风能、氢能,有利于修复臭氧层空洞

7. 已知  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$  和  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$  的燃烧热分别是  $-1411.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  和  $-1366.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 则

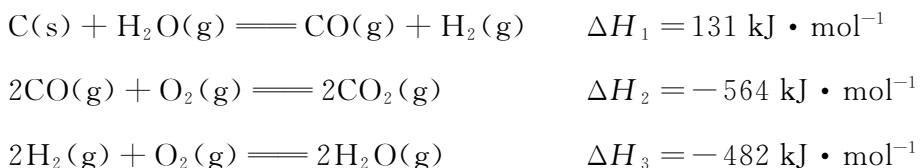
- $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$  的  $\Delta H$  为( )。
- (A)  $-44.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
  - (B)  $44.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
  - (C)  $-330.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
  - (D)  $330.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

8. 常温下,1 mol 化学键分解成气态原子所需要的能量用  $E$  表示。结合表中信息,判断下列说法错误的是( )。

共价键	H—H	F—F	H—F	H—Cl	H—I
$E/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	436	157	568	432	298

- (A)  $298 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} < E(\text{H—Br}) < 432 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- (B) 上表中最稳定的共价键是 H—F 键
- (C)  $\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}(\text{g}) \quad \Delta H = 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- (D)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HF}(\text{g}) \quad \Delta H = -25 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

9. 炽热的炉膛内有以下反应:  $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -392 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。向炉膛内通入水蒸气时,可发生如下反应:



由以上反应推断,向炽热的炉膛内通入水蒸气时( )。

- (A) 不能节约燃料,但能使炉膛火更旺
- (B) 虽不能使炉膛火更旺,但可节约燃料
- (C) 既可使炉膛火更旺,又能节约燃料
- (D) 既不能使炉膛火更旺,又不能节约燃料

## 二、综合题

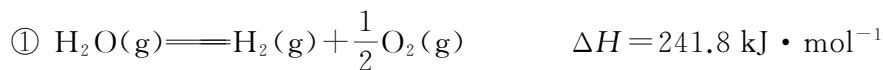
10. 在载人航天器中,科学家设计的装置将航天员排出的  $\text{CO}_2(\text{g})$  与电解水产生的  $\text{H}_2(\text{g})$  反应转化为  $\text{CH}_4(\text{g})$  和  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ , 然后再通过电解水得到  $\text{O}_2$ , 从而实现  $\text{O}_2$  的循环再生。已知:

- ①  $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_1 = -252.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- ②  $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 = 571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(1) 分别画出化学反应①和②的焓变示意图。

(2) 写出  $\text{CH}_4(\text{g})$  与  $\text{O}_2(\text{g})$  反应生成  $\text{CO}_2(\text{g})$  和  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  的热化学方程式。

11. 已知反应：



请回答下列问题。

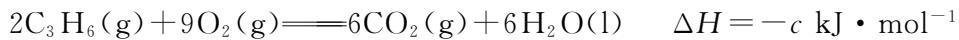
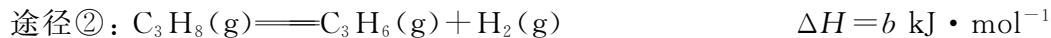
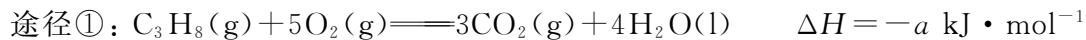
(1) 上述反应中属于吸热反应的是\_\_\_\_\_ (填序号)。

(2) 表示  $\text{C}(\text{s})$  的燃烧热的热化学方程式为\_\_\_\_\_ (填序号)。

(3) 10 g  $\text{H}_2$  完全燃烧生成水蒸气, 放出的热量为\_\_\_\_\_。

(4) 写出  $\text{CO}$  燃烧的热化学方程式：\_\_\_\_\_。

12. 对于丙烷, 我们可以通过以下两种途径来利用其化学反应的反应热：



已知  $a$ 、 $b$ 、 $c$  和  $d$  均为正值, 请回答下列问题。

(1) 等量的丙烷通过两种途径放出热量, 途径①放出的热量\_\_\_\_\_ (填“大于”“等于”或“小于”) 途径②放出的热量。

(2) 由于在反应  $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$  中, 反应物具有的总能量\_\_\_\_\_ (填“大于”“等于”或“小于”) 生成物具有的总能量, 因此在发生化学反应时, 反应物就需要\_\_\_\_\_ (填“放出”或“吸收”) 能量才能转化为生成物。

(3)  $b$  与  $a$ 、 $c$ 、 $d$  的数学关系式是\_\_\_\_\_。

## 第2章 化学反应的方向、限度和速率

### 2.1 化学反应的方向

#### 化学反应的方向

- 自然界中发生的变化会有一定的\_\_\_\_\_，化学反应也具有\_\_\_\_\_。在给定条件下，能“自己”进行的化学反应称为\_\_\_\_\_。焓变和熵变是决定反应能否自发进行的两个因素，但不能作为化学反应方向的独立判据。
- 常温下，下列变化过程不能自发进行的是( )。  
(A) 石灰石的分解  
(B) 原电池产生电流  
(C) 水从高处向低处流  
(D) NaOH与HCl反应
- 根据所学有关熵的知识，完成下列填空。
  - 对于同一物质而言，不同聚集状态的熵值是不同的，如水蒸气的熵值\_\_\_\_\_（填“大于”或“小于”，下同）液态水的熵值\_\_\_\_\_固态冰的熵值。
  - 一般来说，同系列物质的相对分子质量越大，其熵值越\_\_\_\_\_（填“大”或“小”），如CH<sub>4</sub>的熵值\_\_\_\_\_（填“大于”或“小于”）C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>的熵值。
  - 对于同一物质的熵值，温度越高其熵值越\_\_\_\_\_（填“大”或“小”）。
- 下列关于判断过程方向的说法正确的是( )。  
(A) 硝酸铵溶于水是吸热过程，因此不是自发过程  
(B) 一种物质由气态转变为固态的过程，系统的熵值增大  
(C) 不借助外力能自发进行的过程，其体系的能量趋向从高能状态转变为低能状态  
(D) 由焓和熵组合而成的复合判据，适用于所有的过程

#### 焓变与熵变对反应方向的共同影响

- 在温度和压强一定的条件下、非体积功为零时，可以用 $\Delta H - T\Delta S$ 来判断化学反应自发进行的方向。 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 时，反应能自发进行。请将下列反应的焓变、熵变情况和自

发性用短线连接起来。

- (1)  $\Delta H < 0, \Delta S > 0$  • (A) 高温下能自发进行, 低温下不能  
(2)  $\Delta H > 0, \Delta S < 0$  • (B) 低温下能自发进行, 高温下不能  
(3)  $\Delta H > 0, \Delta S > 0$  • (C) 任意温度下均不能自发进行  
(4)  $\Delta H < 0, \Delta S < 0$  • (D) 任意温度下均能自发进行

2. 已知  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = 56.76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 在 25°C 和 101 kPa 时, 该反应能自发进行。该反应能自发进行的主要原因是( )。  
(A)  $\Delta H < T \Delta S$  (B)  $\Delta H > T \Delta S$   
(C)  $\Delta H > \Delta S$  (D)  $\Delta H < \Delta S$

3. 根据所学的知识和经验, 判断下列变化在常温下的焓变、熵变及方向性。

变化过程	$\Delta H$	$\Delta S$	方向性
$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$	>0	>0	不能自发进行
$CaO(s) + SO_2(g) \rightleftharpoons CaSO_3(s)$			
$NH_4Cl(s) \rightleftharpoons HCl(g) + NH_3(g)$			
$HCl(g) + NH_3(g) \rightleftharpoons NH_4Cl(s)$			

4. 反应  $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons Z(g) + W(s)$  的能量变化如图 2.1 所示(能量单位为  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )，下列说法正确的是( )。

(A)  $\Delta H > 0, \Delta S > 0$

(B)  $\Delta H > 0, \Delta S < 0$

(C)  $\Delta H < 0, \Delta S < 0$

(D)  $\Delta H < 0, \Delta S \geq 0$

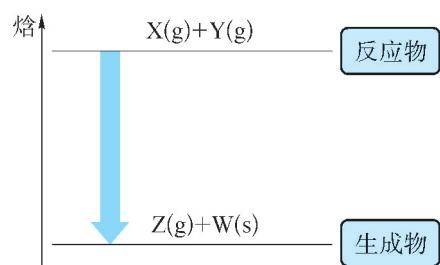
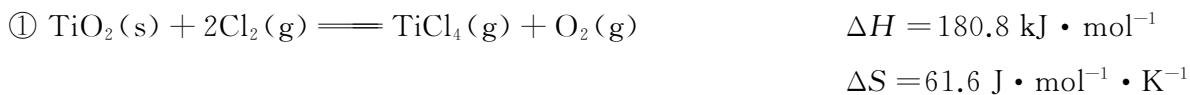


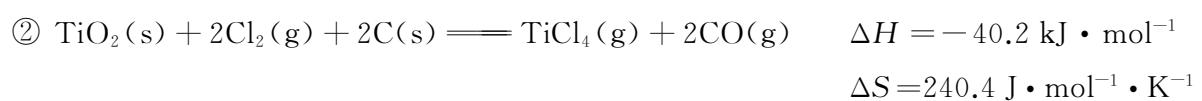
图 2.1



证据与推理

钛是银白色金属，重量轻、强度高，亦有良好的抗腐蚀能力，常用来制造火箭及太空船，因此获得“太空金属”的美誉。小型钛片及螺丝，常被用于固定眼眶骨折的断骨。 $TiCl_4$ 是由钛精矿（主要成分为 $TiO_2$ ）制备 $Ti$ 的重要中间产物。 $TiO_2$ 氯化制备 $TiCl_4$ 的过程难以直接发生，加碳才能使反应顺利进行。已知反应：



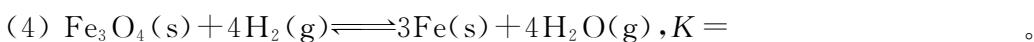
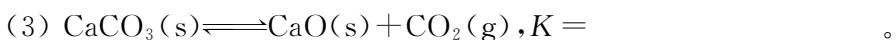
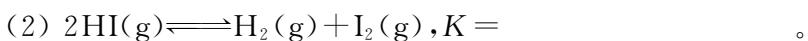
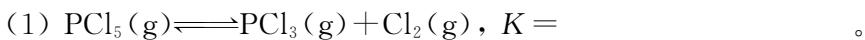


添加焦炭可使反应难度降低,根据以上数据解释反应难度降低的化学原理。

## 2.2 化学反应的限度

### 化学平衡常数

1. 写出下列反应的平衡常数的表达式：



2. 下列有关化学平衡常数  $K$  的说法正确的是( )。

(A)  $K$  的大小与反应物和生成物的起始浓度有关

(B) 温度越高,  $K$  越大

(C)  $K$  越大, 反应向正反应方向进行的程度越大

(D)  $K$  越大, 反应向逆反应方向进行的程度越大

3. 随着汽车数量的逐年增多, 汽车尾气污染已成为突出的环境问题之一。利用反应  $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$  可净化汽车尾气。已知 570 K 时反应的平衡常数为  $1 \times 10^{59}$ , 但在通常条件下该反应的速率极慢。下列说法正确的是( )。

(A) 若该反应在常温下能自发进行, 则该反应的  $\Delta H > 0$

(B) 使该反应具有良好的尾气净化效率的理想途径是研制高效催化剂

(C) 装有尾气净化装置的汽车排出的气体中不再含有 NO 和 CO

(D) 570 K 时该反应正向进行的程度很大, 因此并不需要使用催化剂

4. 在某温度下, 向 2 L 密闭容器中充入 0.02 mol  $\text{H}_2$  和 0.02 mol  $\text{I}_2$ 。已知反应  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$   $\Delta H < 0$ , 平衡时  $\text{H}_2$  浓度为  $0.004 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则:

(1) 在该温度下, 反应的平衡常数为多少?

(2) 在该温度下, 若充入 0.04 mol  $\text{H}_2$  和 0.04 mol  $\text{I}_2$ , 请计算平衡时  $\text{H}_2$  的浓度和转化率。

## 化学平衡的移动

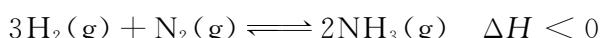
1. 对于可逆反应  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ , 在一定温度下其平衡常数为  $K$ , 下列条件的变化中, 能使  $K$  发生变化的是( )。

(A) 缩小容器体积                           (B) 降低体系温度  
(C) 保持体积不变, 充入  $\text{O}_2$                            (D) 使用高效的催化剂

2. 已知反应为:  $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ , 达到平衡时, 下列说法正确的是( )。

(A) 减小容器体积, 平衡向右移动                   (B) 加入催化剂,  $\text{Z}$  的产率增大  
(C) 增加  $c(\text{X})$ ,  $\text{X}$  的转化率增大                   (D) 降低温度,  $\text{Y}$  的转化率增大

3. 在一定温度下, 在一密闭容器中通入一定量的  $\text{H}_2$  和  $\text{N}_2$ , 发生如下反应:



反应达到平衡后改变下列条件,平衡将如何改变?(填“向正反应方向”“向逆反应方向”或“不”)

- (1) 增加更多的  $\text{H}_2$ , 平衡将 \_\_\_\_\_ 移动;  
(2) 将容器的体积缩小一半, 平衡将 \_\_\_\_\_ 移动;  
(3) 升高温度, 平衡将 \_\_\_\_\_ 移动;  
(4) 加入催化剂, 平衡将 \_\_\_\_\_ 移动。

4. 在一定温度下,反应  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$  在密闭容器中达到平衡时,测得  $[\text{I}_2] = 0.11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $[\text{H}_2] = 0.11 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $[\text{HI}] = 0.78 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在相同温度下,按下列 4 组初始浓度进行实验,反应向逆反应方向进行的是( )。

选项	$[I_2]/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$[H_2]/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$[HI]/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$
(A)	1.00	1.00	1.00
(B)	0.22	0.22	1.56
(C)	0.44	0.44	4.00
(D)	0.11	0.44	1.56

5. 对于可逆反应  $m A(g) + n B(g) \rightleftharpoons x C(g) + y D(s)$ , 在不同温度和压强的条件下, 反应物 A 的转化率如图 2.2 所示, 下列判断中正确的是( )。

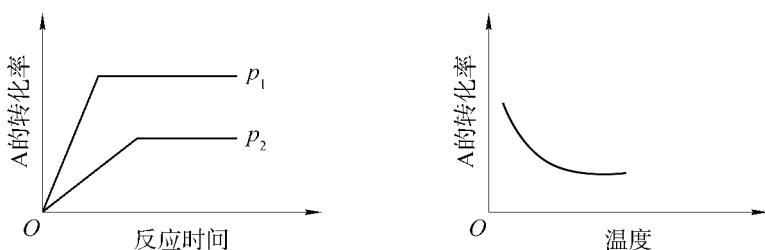


图 2.2

- (A)  $\Delta H > 0, m + n > x + y$   
 (C)  $\Delta H < 0, m + n > x$

- (B)  $\Delta H < 0, m + n > x + y$   
 (D)  $\Delta H > 0, m + n > x$



## 实践与制作

$K_2Cr_2O_7$ 溶液中存在平衡  $Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-} + 2H^+$ 。

橙色

黄色

用  $K_2Cr_2O_7$  溶液进行如图 2.3 所示实验：

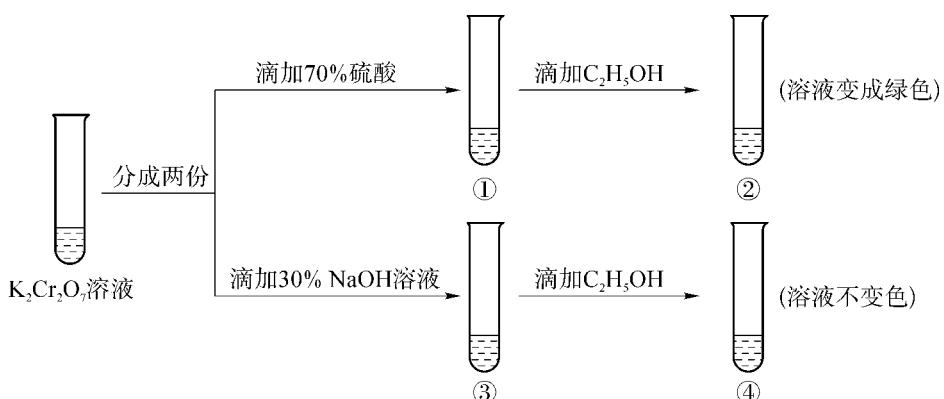


图 2.3

请回答下列问题。

(1) 写出该反应的化学平衡常数表达式：\_\_\_\_\_。

(2) 向  $K_2Cr_2O_7$  溶液中加入 30%  $NaOH$  溶液，溶液呈 \_\_\_\_ 色。若再加入过量稀硫酸，则溶液呈 \_\_\_\_ 色。

(3) 向  $K_2Cr_2O_7$  溶液中逐滴加入  $Ba(NO_3)_2$  溶液(已知  $BaCrO_4$  为黄色沉淀)，则平衡向 \_\_\_\_\_ (填“正反应”或“逆反应”) 方向移动，实验现象为 \_\_\_\_\_。

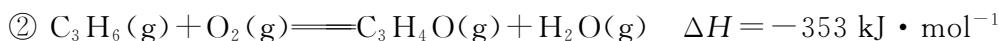
(4) 比较实验②和④，可得出的结论是 \_\_\_\_\_。



## 生活与社会

丙烯腈( $CH_2=CHCN$ )是一种重要的化工原料，工业上可用“丙烯氨氧化法”生产，主要副产物有丙烯醛( $CH_2=CHCHO$ )和乙腈( $CH_3CN$ )等，请回答下列问题。

(1) 以丙烯、氨、氧气为原料，在催化剂存在下生成丙烯腈( $C_3H_3N$ )和副产物丙烯醛( $C_3H_4O$ )的热化学方程式如下：



两个反应在热力学上正向反应的趋势均很大，其原因是 \_\_\_\_\_；有利于提高丙烯腈产率的反应条件是 \_\_\_\_\_。

(2) 图 2.4(a) 为丙烯腈产率与反应温度的关系曲线, 最高产率对应温度为 460℃。低于 460℃ 时, 丙烯腈的产率 \_\_\_\_\_ (填“是”或“不是”) 对应温度下的平衡产率, 判断理由是 \_\_\_\_\_。

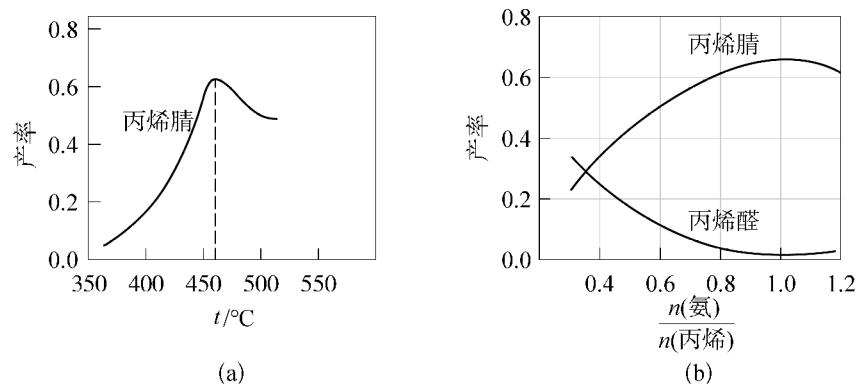


图 2.4

(3) 丙烯腈和丙烯醛的产率与  $\frac{n(\text{氨})}{n(\text{丙烯})}$  的关系如图 2.4(b) 所示。由图可知, 最佳  $\frac{n(\text{氨})}{n(\text{丙烯})}$  约为 \_\_\_\_\_, 理由是 \_\_\_\_\_。进料气氨、空气、丙烯的理论体积比约为 \_\_\_\_\_。

## 2.3 化学反应的速率

### 化学反应速率

1. 在一定温度下,向1L密闭容器中加入1mol I<sub>2</sub>(g)和1mol H<sub>2</sub>(g),发生的反应为:  
I<sub>2</sub>(g)+H<sub>2</sub>(g)→2HI(g),2s时测得生成0.1mol HI(g),若以HI的生成速率表示该时段的化学反应速率,下列选项中正确的是( )。  
(A) 0.05 mol·L<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>      (B) 0.1 mol·L<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>  
(C) 0.2 mol·L<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>      (D) 0.8 mol·L<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>
2. 将2mol化合物A的蒸气充入0.5L容器中加热,发生分解反应2A(g)→B(g)+nC(g),反应到3min时,容器中A的浓度为1.6mol·L<sup>-1</sup>。测得这段时间内,用C的浓度表示的平均反应速率v(C)=1.2mol·L<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>。求:  
(1) 化学方程式中的化学计量数n的值是多少?  
(2) 以B的浓度变化表示该反应的平均反应速率是多少?
3. 在某温度下,在2L容器中三种物质的物质的量随时间的变化曲线如图2.5所示,由图中数据分析,该反应的化学方程式和反应开始至2min末Z的平均反应速率分别为( )。  
(A) X+3Y→2Z, 0.1 mol·L<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>  
(B) 2X+Y→2Z, 0.1 mol·L<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>  
(C) X+2Y→Z, 0.05 mol·L<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>  
(D) 3X+Y→2Z, 0.05 mol·L<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>

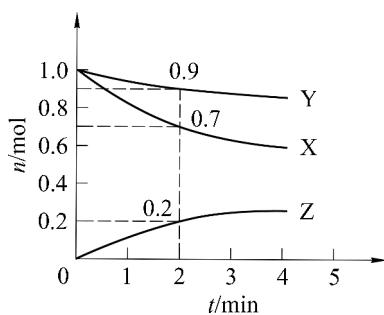


图 2.5

## 影响化学反应速率的因素

1. 在密闭容器中通入  $x$  mol  $\text{H}_2(\text{g})$  和  $y$  mol  $\text{I}_2(\text{g})$ , 发生反应  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$   $\Delta H < 0$ 。改变下列条件, 反应速率将如何改变? (填“增大”“减小”或“不变”)

  - (1) 升高温度, 反应速率将 \_\_\_\_\_;
  - (2) 加入催化剂, 反应速率将 \_\_\_\_\_;
  - (3) 充入更多  $\text{H}_2$ , 反应速率将 \_\_\_\_\_;
  - (4) 扩大容器的体积, 反应速率将 \_\_\_\_\_。

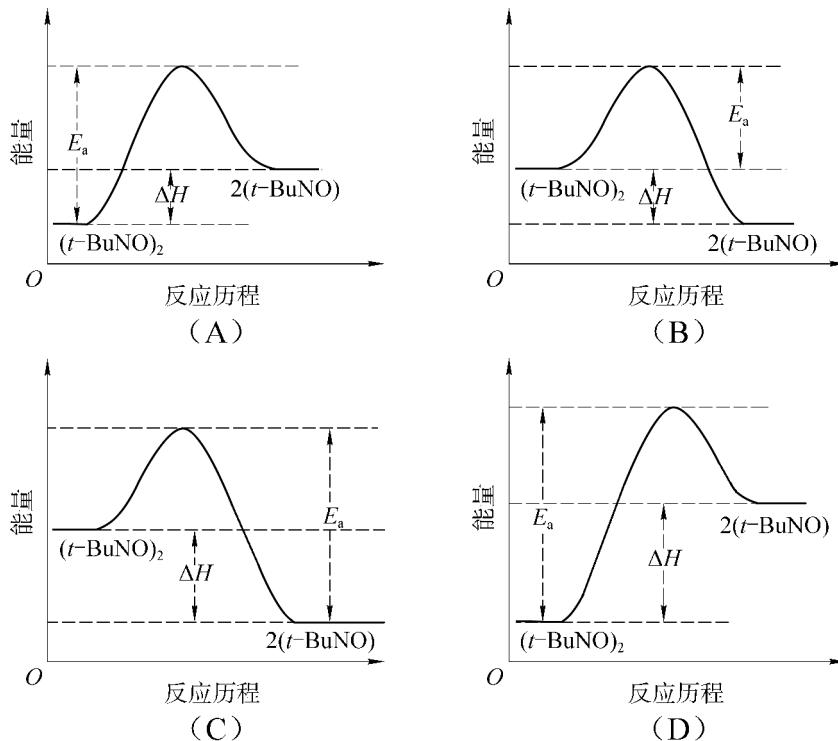
2. 下列各组实验中最先变浑浊的是( )。

  - (A)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和硫酸各  $5 \text{ mL}$ , 加水  $5 \text{ mL}$ , 反应温度  $10^\circ\text{C}$
  - (B)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和硫酸各  $5 \text{ mL}$ , 加水  $10 \text{ mL}$ , 反应温度  $10^\circ\text{C}$
  - (C)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和硫酸各  $5 \text{ mL}$ , 加水  $10 \text{ mL}$ , 反应温度  $30^\circ\text{C}$
  - (D)  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和硫酸各  $5 \text{ mL}$ , 加水  $10 \text{ mL}$ , 反应温度  $30^\circ\text{C}$

3. 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数、化学反应速率和化学平衡常数都发生变化的是( )。

  - (A) 增大压强
  - (B) 升高温度
  - (C) 使用催化剂
  - (D) 充入更多  $\text{O}_2$

4. 物质  $(t-\text{BuNO})_2$  在正庚烷溶剂中会发生反应  $(t-\text{BuNO})_2 \rightleftharpoons 2(t-\text{BuNO})$ , 测得该反应的  $\Delta H = 50.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 活化能  $E_a = 90.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 下列能量关系图合理的 是( )。



5. 将 6 mol CO<sub>2</sub> 和 8 mol H<sub>2</sub> 充入一容积为 2 L 的密闭容器中(温度保持不变)。发生反应  $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -49.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 测得 H<sub>2</sub> 的物质的量随时间变化如图 2.6 中实线所示(图中字母后的数字表示对应的坐标)。

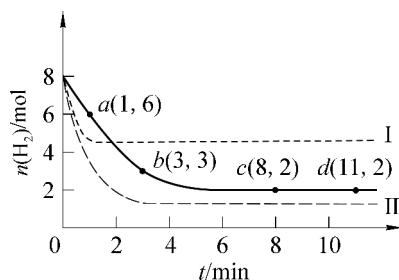


图 2.6

- (1) 在 0~1 min 内, H<sub>2</sub> 的平均反应速率为 \_\_\_\_\_; 在 1~3 min 内, H<sub>2</sub> 的平均反应速率为 \_\_\_\_\_; 在 3~8 min 内, H<sub>2</sub> 的平均反应速率为 \_\_\_\_\_。

通过上述数据可以发现, 0~8 min 内, H<sub>2</sub> 的速率变化趋势为: \_\_\_\_\_, 运用碰撞理论来解释该变化趋势: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_。

- (2) 在该温度下, 此反应的平衡常数为 \_\_\_\_\_. 当达到平衡状态时, CO<sub>2</sub> 的转化率是 \_\_\_\_\_。

- (3) 仅改变某一条件再进行实验, 测得 H<sub>2</sub> 的物质的量随时间变化如图 2.6 中虚线所示。与实线相比, 虚线 I 改变的条件可能是 \_\_\_\_\_, 虚线 II 改变的条件可能是 \_\_\_\_\_. 若实线、虚线 I、虚线 II 对应条件下的平衡常数分别为 K、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>, 则 K、K<sub>1</sub> 和 K<sub>2</sub> 的大小关系是 \_\_\_\_\_。



### 实践与制作

“大象牙膏”实验是 2009 年由某杂志公布的十个最令人惊讶的化学实验视频之一: 通过在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液中加入发泡剂, 再加入催化剂, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 瞬间分解, 产生的氧气吹出大量气泡, 宛如牙膏挤出。因其产生的现象剧烈, 泡沫数量巨多, 故被实验者称为“大象牙膏”(图 2.7)。

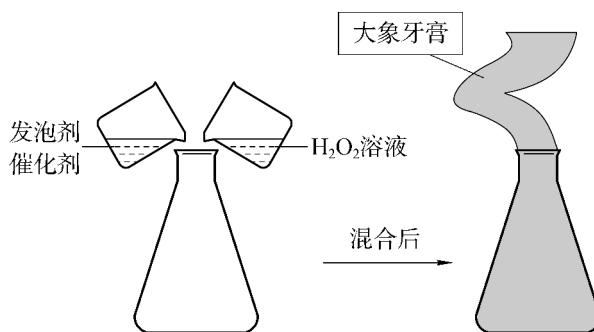


图 2.7

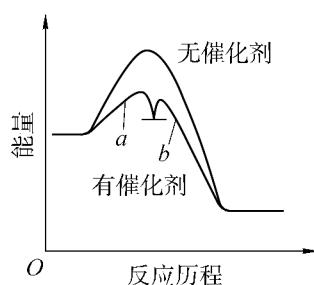
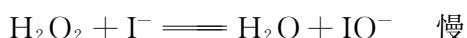


图 2.8

(1) 某同学依据文献资料发现,使用  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{KI}$  和洗洁精就可以完成“大象牙膏”实验,反应原理为:



此反应过程中无催化剂和有催化剂的能量变化关系如图 2.8 所示,表示慢反应的曲线是\_\_\_\_\_ (填“a”或“b”)。

(2) 实验中发现  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液与  $\text{KI}$  溶液混合后,产生大量气泡,溶液颜色变黄。再加入  $\text{CCl}_4$ ,振荡、静置,气泡明显变少。

① 加  $\text{CCl}_4$  并振荡,静置后可以观察到\_\_\_\_\_,说明有  $\text{I}_2$  生成。

② 气泡明显减少的原因可能是: I.  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度降低; II. \_\_\_\_\_。

通过以下对照实验可说明 I 不是主要原因。

向  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液中加入  $\text{KI}$  溶液,待溶液变黄后,将溶液分成两等份并分别置于 A、B 两试管中。在 A 试管中加入  $\text{CCl}_4$ ,B 试管中不加入  $\text{CCl}_4$ ,分别振荡、静置。观察到的现象是\_\_\_\_\_。由此可得出的结论是:\_\_\_\_\_也可催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  的分解反应。

(3) 为了探究不同催化剂对  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解的催化作用,某研究小组做了如下实验。

① 为分析  $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Cu}^{2+}$  对  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解反应的催化效果,甲同学设计了如下实验(三支试管中均盛有 10 mL 5%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液):

试管	I	II	III
滴加试剂	5 滴 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{FeCl}_3$ 溶液	5 滴 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{CuCl}_2$ 溶液	5 滴 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{NaCl}$ 溶液
实验现象	较快产生细小气泡	缓慢产生细小气泡	无气泡产生

实验结论:\_\_\_\_\_。

实验 III 的目的是:\_\_\_\_\_。

② 为分析不同微粒对  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解反应的催化效果,乙同学向四支盛有 10 mL 5%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液的试管中滴加不同溶液,实验记录如下:

试管	I	II	III	IV
滴加试剂	2 滴 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液	2 滴 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{CuSO}_4$ 溶液	2 滴 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{NaCl}$ 溶液、 2 滴 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{CuSO}_4$ 溶液	4 滴 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{NaCl}$ 溶液、 2 滴 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{CuSO}_4$ 溶液
实验现象	无气泡产生	均产生气泡,且产生的速率从 II 到 IV 依次加快		

实验结论:\_\_\_\_\_。

实验 I 的目的是:\_\_\_\_\_。



## 证据与推理

碰撞理论认为,反应物分子间的相互碰撞是反应进行的必要条件,但并不是每次碰撞都能引起反应,只有少数碰撞才能发生化学反应,能引发化学反应的碰撞称为有效碰撞。

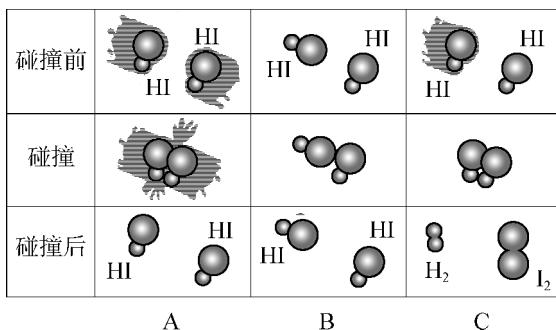


图 2.9

(1) 图 2.9 是 HI 分解反应中 HI 分子之间的几种碰撞示意图,其中属于有效碰撞的是 \_\_\_\_\_(填“A”“B”或“C”)。

(2) 过渡态理论认为,化学反应并不是通过简单的碰撞就能完成的,而是在反应物到生成物的过程中经过一个高能量的过渡态。图 2.10 是 NO<sub>2</sub> 和 CO 反应生成 CO<sub>2</sub> 和 NO 过程中的能量变化示意图,请写出 NO<sub>2</sub> 和 CO 反应的热化学方程式: \_\_\_\_\_。

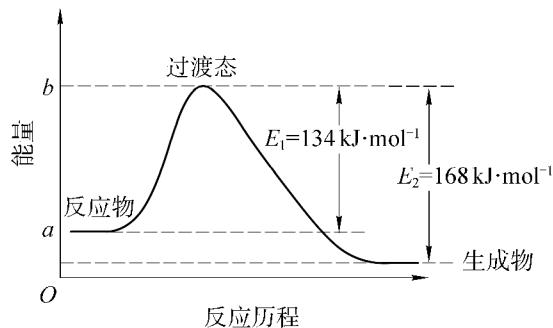


图 2.10

(3) 过渡态理论认为,催化剂改变反应速率的原因是改变了反应的途径,对大多数反应而言,主要是通过改变过渡态而导致有效碰撞所需要的能量发生变化,请在图 2.10 中作出 NO<sub>2</sub> 和 CO 反应时使用催化剂使反应速率加快的能量示意图。



## 课题与研究

酶是一类由生物体产生的具有高效和专一催化功能的蛋白质。酶催化反应的机制与其他类型的化学催化在原理上很相似。如图 2.11 所示,酶通过提供替代反应路线以及稳定中间产物的方法,减少了为达到最高能量过渡态时的能量需求。活化能的降低增加了活化分子的数量,最终达到加快反应速率的效果。

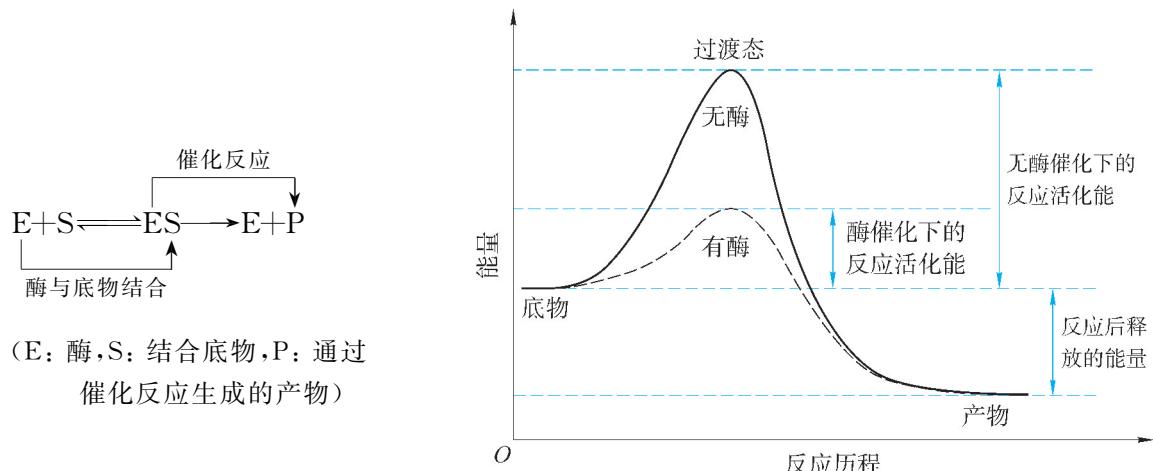


图 2.11

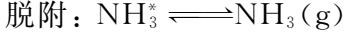
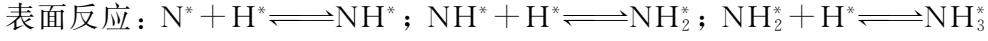
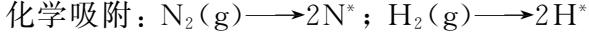
请你查阅相关资料,简述酶催化反应与无机催化剂的相同和不同点。

## 2.4 工业合成氨

### 合成氨适宜生产条件的选择

1. 目前合成氨工业公认的最适当的催化剂是( )。  
(A) 酶                   (B) 二氧化锰           (C) 含铁催化剂       (D) 五氧化二钒
2. 下列有关合成氨工业的说法错误的是( )。  
(A) 涉及催化技术                   (B) 涉及高温高压技术  
(C) 原料之一的氮气来自空气      (D) 合成塔出来的所有气体都是氨
3. 下列有关合成氨工业的说法正确的是( )。  
(A) 升温能提高氢气的转化率  
(B) 采用 20~50 MPa 压强能提高催化剂的效率  
(C) 使用催化剂能提高 NH<sub>3</sub> 的百分含量  
(D) 循环使用未反应的 N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 能节约成本

4. 合成氨工业在含铁催化剂作用下的反应历程如下：(\* 表示吸附态)



其中, N<sub>2</sub> 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。而在实际生产中, 合成氨反应过程中使用的原料气 N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 物质的量之比为 1 : 2.8, N<sub>2</sub> 过量的原因是 \_\_\_\_\_。

### 工业合成氨的生产流程

1. 合成氨工业有下列主要生产流程, 其先后顺序为 \_\_\_\_\_ (填序号)。  
① 原料气制备 ② 氨的合成 ③ 原料气的净化和压缩 ④ 氨的分离
2. 工业合成氨技术是对人类的巨大贡献之一。图 2.12 是合成氨的简要流程示意图。

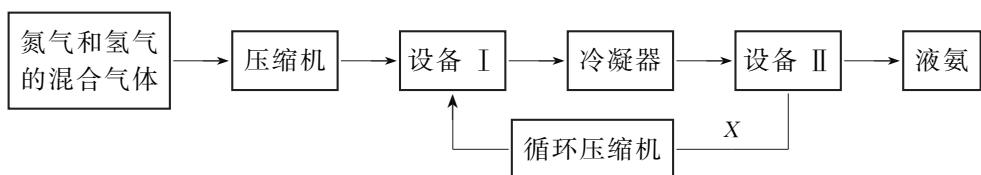


图 2.12

设备 I 的名称是\_\_\_\_\_，沿 X 路线循环的物质是\_\_\_\_\_（填化学式）。

3. 已知海水电解制得的氢气用于合成氨，某合成氨厂生产流程如图 2.13 所示。

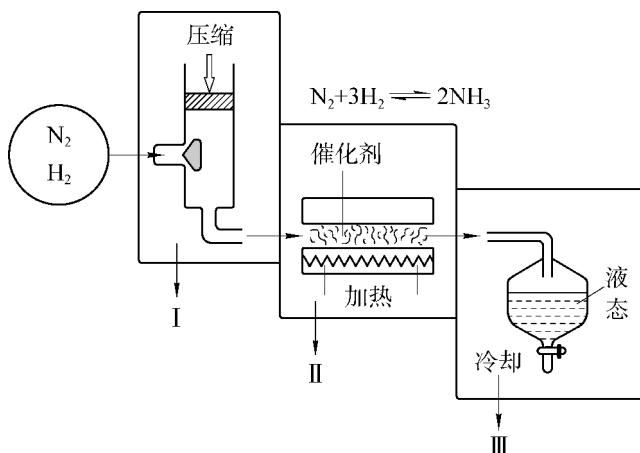


图 2.13

- (1) 在设备 I 中先把  $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$  压缩的目的是\_\_\_\_\_。  
(2) 合成出氨后，通过冷却将\_\_\_\_\_储存在设备 III 中。其目的是\_\_\_\_\_。



### 证据与推理

工业制硫酸的主要反应为二氧化硫的催化氧化：



该反应的平衡常数  $K$  随温度升高而减小，所用催化剂的主要成分为  $\text{V}_2\text{O}_5$  ( $6\% \sim 12\%$ )、 $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $17\% \sim 20\%$ )、 $\text{SiO}_2$  ( $50\% \sim 70\%$ )，能使催化剂中毒的元素有砷、硒、氟等。

请根据以上信息讨论二氧化硫催化氧化的工艺条件(如温度、压强、原料气配比等)对工业生产硫酸的影响。



## 课题与研究

合成氨反应之所以重要,是因为它使得人工固氮成为可能。人类利用合成氨,再生产尿素、铵态氮肥等含氮化肥,大大提高了粮食产量,从而缓解了因粮食不足而导致的饥饿和死亡问题。合成氨催化剂的研究产生了多位诺贝尔奖得主,如德国化学家弗里茨·哈伯因发明工业合成氨而获得1918年诺贝尔化学奖;德国化学家卡尔·博施因改进合成氨方法而获得1931年诺贝尔化学奖;德国科学家格哈德·埃特尔发现了哈伯-博施法合成氨的反应机理,并以此推进了表面化学动力学的发展,由此获得了2007年诺贝尔化学奖。

请你查阅资料并收集合成氨工业的发展历史和最新研究方向,与同学分享和交流。

## 本 章 测 试

## 一、选择题(每小题只有 1 个正确选项)

1. 对于可逆反应  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ , 在一定温度下其平衡常数为  $K$ 。下列条件的变化中,能使  $K$  发生改变的是( )。

(A) 缩小容器体积 (B) 降低体系温度  
(C) 保持体积不变,充入  $\text{O}_2$  (D) 使用催化剂

2. 下列食品添加剂中,使用目的与改变反应速率有关的是( )。

(A) 抗氧化剂 (B) 着色剂 (C) 调味剂 (D) 增稠剂

3. 对于温度和压强一定的化学反应能否自发进行,下列说法错误的是( )。

(A) 若  $\Delta H < 0, \Delta S > 0$ ,任何温度下都能自发进行  
(B) 若  $\Delta H > 0, \Delta S < 0$ ,任何温度下都不能自发进行  
(C) 只能在加热条件下进行的过程肯定不是自发过程  
(D) 非自发过程在改变条件后可能变成自发过程

4. 已知  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightleftharpoons 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ ,若反应速率分别用  $v(\text{NH}_3)$ 、 $v(\text{O}_2)$ 、 $v(\text{NO})$ 、 $v(\text{H}_2\text{O})$  表示,则正确的关系是( )。

(A)  $\frac{4}{5}v(\text{NH}_3) = v(\text{O}_2)$  (B)  $\frac{5}{6}v(\text{O}_2) = v(\text{H}_2\text{O})$   
(C)  $\frac{2}{3}v(\text{NH}_3) = v(\text{H}_2\text{O})$  (D)  $\frac{4}{5}v(\text{O}_2) = v(\text{NO})$

5. 符合目前工业合成氨生产实际的是( )。

(A)  $\text{V}_2\text{O}_5$  做催化剂 (B) 反应温度主要取决于催化剂的活性温度  
(C) 将  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  液化 (D)  $\text{NH}_3$  由吸收塔吸收

6. 下列说法正确的是( )。

(A) 增大反应物浓度,可增大单位体积内活化分子的百分数,从而使有效碰撞次数增大  
(B) 有气体参加的化学反应,若缩小反应容器的体积,可增加单位体积内活化分子百分数,从而使反应速率增大  
(C) 升高温度能使化学反应速率增大,这是因为增加了反应物分子中活化分子百分数  
(D) 催化剂不影响活化能,但能增加单位体积内活化分子的百分数,使反应速率增大

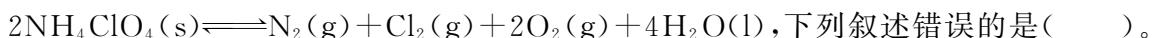
7. 深海中存在可燃冰( $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )。已知:  $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + n\text{H}_2\text{O}(\text{l})$   $\Delta H > 0$ 。之所以有可燃冰的存在,是因为深海具有以下条件中的( )。

(A) 低温高压 (B) 高温低压  
(C) 低温低压 (D) 高温高压

8. 氨是重要的工农业生产原料,为了进一步提高合成氨的生产效率,下列研究方向中最适宜的是( )。

- (A) 研制耐高温、高压的新材料      (B) 研制低温下活性较大的催化剂  
(C) 研制高温下活性较大的催化剂      (D) 寻求氮气、氢气的新来源

9. 航天飞机使用含有高氯酸铵( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ )的混合物作为固体燃料,反应的方程式为:



- (A) 该反应是熵增的反应  
(B) 该反应焓变大于0  
(C) 从能量变化角度来说,主要是从化学能转变为热能和动能  
(D) 瞬间产生的大量高温气体推动了航天飞机的飞行

10. 对绝大多数反应而言,下列条件一定能使反应速率加快的是( )。

- ① 增加反应物的物质的量      ② 升高温度      ③ 缩小反应容器的体积  
④ 加入生成物      ⑤ 加入  $\text{MnO}_2$
- (A) 全部      (B) ①②⑤      (C) ②      (D) ②③

11. 图 2.14 为工业合成氨的流程图,下列说法错误的是( )。

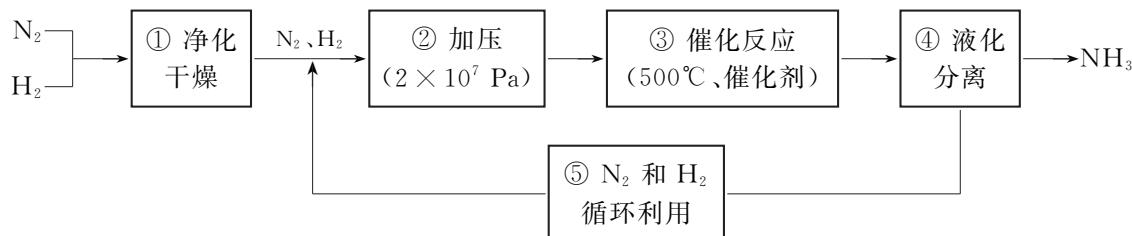


图 2.14

- (A) 步骤①中的“净化”可以防止催化剂中毒  
(B) 步骤②中的“加压”既可以提高原料的转化率,又可以加快反应速率  
(C) 步骤③、④、⑤均有利于提高原料的转化率  
(D) 产物液氨除可制造化肥外,还可用作制冷剂

12. 据报道,在300℃和70 MPa条件下由二氧化碳和氢气合成乙醇已成现实,其反应的化学方程式为:  $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ,下列叙述错误的是( )。

- (A) 使用 Cu-Zn-Fe 催化剂可大大提高生产效率  
(B) 由反应需在300℃进行可推测该反应是吸热反应  
(C) 充入大量  $\text{CO}_2$  气体可提高  $\text{H}_2$  的转化率  
(D) 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

13. 已知温度不同,  $\text{NO}_2$  和  $\text{CO}$  之间发生反应的机理不同。

- ① 673 K 时,  $\text{NO}_2$  和  $\text{CO}$  发生如下基元反应:



其过程如图 2.15 所示。

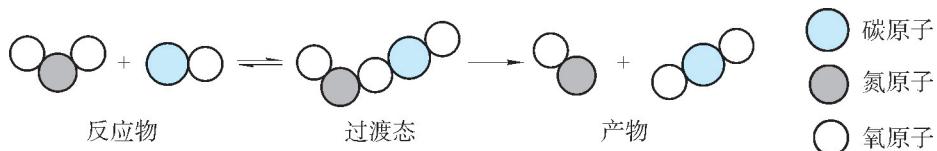
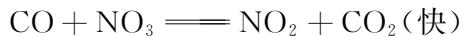


图 2.15

② 473 K 时，则需要经过两步反应，其机理如下：



下列有关说法错误的是( )。

- (A) 相同条件下，活化分子的平均能量比对应反应物分子的平均能量要高
- (B) 473 K 时，总反应速率由第一步决定
- (C) 使用催化剂可增加活化分子的百分数，提高  $\text{NO}_2$  的平衡转化率
- (D) 温度不同致使反应机理不同，但都需经历氮氧键断裂和碳氧键生成的过程

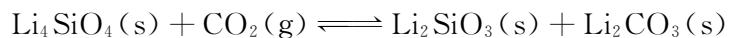
## 二、综合题

14. 处理汽车尾气的反应为： $2\text{NO}(g) + 2\text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{N}_2(g) + 2\text{CO}_2(g)$ 。已知，在 298 K 和 101 kPa 条件下，该反应  $\Delta H = -113.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\Delta S = -143.5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。试判断上述反应能否自发进行。

15. 在 1 L 密闭容器中充入 1 mol A 和 1.2 mol B，发生反应为： $\text{A}(g) + 2\text{B}(g) \rightleftharpoons \text{C}(g)$ 。反应经 1 min 后达到平衡，此时测得 A 的浓度为  $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，求：

- (1) 1 min 末 B、C 的浓度。
- (2) 以 A 表示该反应 1 min 内的反应速率。
- (3) B 的转化率。

16. 一定温度下,在 2 L 密闭容器中发生如下反应:



(1) 该反应的平衡常数表达式  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ ; 反应进行到 20 min 时, 容器内固体的质量增加了 8.8 g, 则 0~20 min 内  $\text{CO}_2$  的反应速率为  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 在  $T_1$ 、 $T_2$  温度下, 恒容密闭容器中进行的反应, 容器内  $\text{CO}_2$  浓度随时间的变化如图 2.16 所示:

- ① 该反应是  $\underline{\hspace{2cm}}$  (填“吸热”或“放热”) 反应。
- ② 在  $T_1$  温度下, 达到平衡时  $\text{CO}_2$  的浓度为  $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 通入一定量  $\text{CO}_2$ , 重新达到平衡时,  $\text{CO}_2$  的浓度为  $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 试比较  $a$  与  $b$  的大小, 并说明理由。

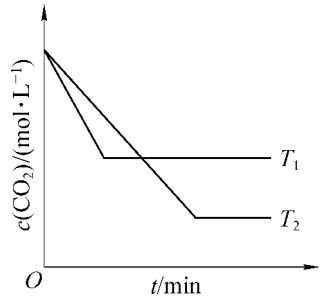
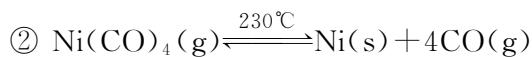
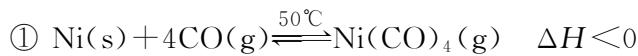


图 2.16

17. 镍具有优良的理化特性, 是许多领域尤其是高技术产业的重要原料。羰基法提纯粗镍涉及的主要反应依次为:



请回答下列问题。

(1) 在保持温度不变的情况下, 要提高反应①中  $\text{Ni(CO)}_4$  的产率, 可采取的措施有  $\underline{\hspace{2cm}}$ 、 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 一定条件下, 在 2 L 密闭容器中制备  $\text{Ni(CO)}_4$ , 已知粗镍(纯度 98.5%, 所含杂质不与 CO 反应)剩余质量与反应时间的关系如图 2.17 所示。 $\text{Ni(CO)}_4$  在 0~10 min 的平均反应速率为  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) 若反应②达到平衡后, 保持其他条件不变, 降低温度, 重新达到平衡时  $\underline{\hspace{2cm}}$  (填序号)。

- (A) 平衡常数  $K$  增大
- (B) CO 的浓度减小
- (C) Ni 的质量减小
- (D)  $v_{\text{逆}}[\text{Ni(CO)}_4]$  增大

(4) 简述羰基法提纯粗镍的实验操作过程。

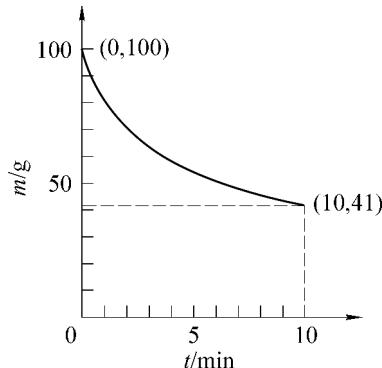


图 2.17

## 第3章 水溶液中的离子反应与平衡

### 3.1 水的电离和溶液的酸碱性

#### 水的电离和水的离子积常数

- 水是极弱的电解质,能发生微弱的电离,写出水的电离方程式: \_\_\_\_\_。在一定温度下,水的电离达到平衡时,平衡常数  $K_w = \text{_____}$ ,  $K_w$  又称为 \_\_\_\_\_。室温时  $K_w$  值为 \_\_\_\_\_, 表明 1 L 纯水中只有 \_\_\_\_\_ mol 的水分子发生电离。
- 在某温度时,测得纯水的  $[H^+] = 2.4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则纯水的  $[OH^-]$  为( )。  
(A)  $\frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.4 \times 10^{-7}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$       (B)  $0.1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
(C)  $2.4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$       (D) 无法确定
- 已知  $K_w(298 \text{ K}) = 1.0 \times 10^{-14}$  和  $K_w(308 \text{ K}) = 2.1 \times 10^{-14}$ 。下列有关纯水的叙述正确的是( )。  
(A)  $[H^+]$  随着温度的升高而降低  
(B) 在 308 K 时,  $[H^+] > [OH^-]$   
(C) 298 K 时水的电离程度比 308 K 时大  
(D) 在 308 K 时, 纯水的 pH < 7
- 下表是某些温度下水的离子积常数的数值,请分析后回答下列问题。

$t/^\circ\text{C}$	35	$t_1$	$t_2$
$K_w$	$2.1 \times 10^{-14}$	$a$	$1.0 \times 10^{-12}$

- 若  $a = 3.9 \times 10^{-14}$ , 则  $t_1$  \_\_\_\_\_ (填“<”“>”或“=”) $35^\circ\text{C}$ 。
- 试从平衡移动的角度分析温度变化对水的离子积常数是如何影响的?
- $t_2$  时测得某溶液  $\text{pH}=7$ , 该溶液呈 \_\_\_\_\_ (填“酸”“碱”或“中”) 性。



## 证据与推理

在 25℃时,浓度均为  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸、NaCl 溶液、NaOH 溶液中  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  的浓度如图 3.1 所示。阅读分析并回答下列问题。

(1) 为什么不同性质物质的水溶液中同时都存在  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$ ?

(2) 上述各种溶液的  $[\text{H}^+]$  与  $[\text{OH}^-]$  之间符合什么关系?

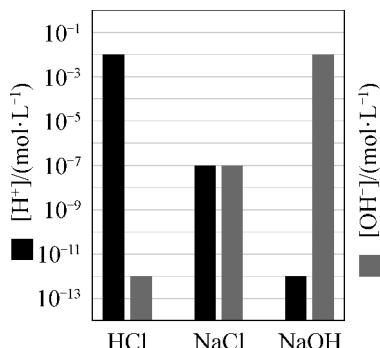


图 3.1

## 溶液的酸碱性与 pH

1. 水溶液的酸碱性与  $[\text{H}^+]$  和  $[\text{OH}^-]$  之间的相对大小有关。25℃时,测得某溶液中  $[\text{H}^+] = 5 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 该溶液呈 \_\_\_\_\_ 性, 溶液的  $\text{pH}= \dots$ 。

2. 室温时,下列溶液中碱性最强的是( )。

- (A)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的氢氧化钡溶液
- (B)  $\text{pH}=13$  的氢氧化钡溶液
- (C)  $[\text{H}^+]=1 \times 10^{-14} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液
- (D)  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的氨水

3. 在室温下,某酸的物质的量浓度为  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则该酸溶液的  $\text{pH}( \dots )$ 。

- (A) =2
- (B)  $>2$
- (C)  $<2$
- (D) 以上情况均有可能

4. 图 3.2 表示不同温度下某种电解质的稀溶液中  $[\text{H}^+]$  和  $[\text{OH}^-]$  的关系。下列说法正确的是( )。

- (A) 图中温度  $T_1 > T_2$
- (B)  $b$  点时,溶液的  $\text{pH}=6$ , 显酸性
- (C)  $ab$  线段上任意点溶液均显中性
- (D) 在水中通入适量 HCl 气体可从  $a$  点变到  $c$  点

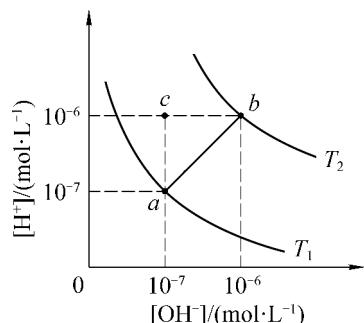


图 3.2

5. 根据常温时水的电离平衡,运用平衡移动原理分析下列问题。

(1) 填表。

系统	纯水	pH=3 的硫酸	pH=11 的 NaOH 溶液
$[H^+]$			
$[OH^-]$			
水自身电离的 $[H^+]$	—		
水自身电离的 $[OH^-]$	—		

(2) 结合上表中的数据分析：稀硫酸和稀氢氧化钠溶液中水的电离程度相比纯水的电离程度是如何变化的？为什么会引起这种变化？

(3) 下列有关 35℃ 时 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 的 NaOH 溶液的说法错误的是 (填序号)。

- (A)  $K_w > 1.0 \times 10^{-14}$       (B) 水电离出来的 $[H^+] > 1 \times 10^{-13} \text{ mol} \cdot L^{-1}$   
 (C)  $pH > 13$       (D)  $[OH^-] = [Na^+] + [H^+]$

6. 在室温下,下列五种溶液的物质的量浓度均为 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,分析并回答下列问题。

- ① 盐酸 ② 硫酸 ③ 醋酸 ④  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液 ⑤ 氨水

(1) pH 由小到大的排列顺序是 (填序号, 下同)。

(2) 为更好地表示溶液的酸碱性,科学家提出了酸度(AG)的概念:  $AG = \lg \frac{[H^+]}{[OH^-]}$ 。以

上溶液中  $\Delta G < 0$  的是

(3) 溶液④的 pH= 。

pOH也可用来表示溶液的酸碱度,其规定如下:  $pOH = -\lg[OH^-]$ 。因此,溶液④的  $pOH = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(4) 若将等体积的溶液①和④混合并充分反应,计算反应后溶液的 pH。

## pH 的测量

1. 下列方法能用于测定溶液的 pH 且精确度最高的是( )。  
(A) 酸碱指示剂 (B) pH 计  
(C) 精密 pH 试纸 (D) 广范 pH 试纸

2. 使用时预先不能用蒸馏水润湿的试纸是( )。  
(A) 蓝色石蕊试纸 (B) 红色石蕊试纸  
(C) pH 试纸 (D) 淀粉 KI 试纸

3. 常温时,某溶液中 $[H^+] = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 。分别在盛有该溶液的试管中滴入甲基橙、石蕊、酚酞试液,溶液颜色为( )。  
(A) 红、红、无色 (B) 橙、红、无色  
(C) 黄、紫、无色 (D) 黄、蓝、红色

4. 常温时,下列溶液 pH 的判断正确的是( )。  
(A) pH=2 的盐酸稀释 100 倍后,溶液 pH 变为 0  
(B) 0.01  $\text{mol} \cdot L^{-1}$  的氢氧化钡溶液稀释 100 倍,溶液 pH 变为 10  
(C) 0.01  $\text{mol} \cdot L^{-1}$  的盐酸和 0.01  $\text{mol} \cdot L^{-1}$  的氢氧化钡溶液等体积混合后,溶液 pH 变为 7  
(D) pH=2 的盐酸和 pH=12 的氢氧化钡溶液等体积混合后,溶液 pH 变为 7

5. 室温时,向 pH=2 的硫酸中加入等体积的下列试剂充分混合或反应后,滴入 2 滴甲基红试液。计算所得溶液的 pH,并判断滴入甲基红后溶液的颜色。

加入试剂	pH=12 的 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液	蒸馏水	$0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液	$0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{BaCl}_2$ 溶液
pH				
溶液颜色				



生活与社会

测试和调控溶液的 pH,对日常生活和医疗保健等具有重要意义。比如在日常生活中,人们洗发时使用的护发素具有调节头发的 pH 使之达到适宜酸碱度的功能。

(1) 使用 pH 试纸或 pH 计测定溶液的酸度, 操作时应该注意哪些事项?

(2) 测量家庭中一些常用物品(可自行增减、更换)的 pH, 填入下表。

物品	醋	酱油	酒	护发素	“84”消毒液	洗发液	洁厕灵	洗衣液	柔软剂
pH									

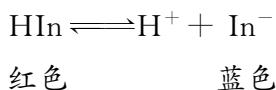


## 证据与推理

资料摘录：

### 酸碱指示剂的作用原理

通常,酸碱指示剂是一些有机弱酸或有机弱碱,在水溶液中存在电离平衡,其分子与电离出的离子呈现不同的颜色。当 pH 改变时,由于分子、离子含量的变化,会引起溶液颜色的变化。例如,石蕊是一种有机弱酸(以 HIn 表示石蕊分子),HIn 在水中存在着如下电离平衡:



(1) 试用电离平衡的知识解释石蕊试液能指示溶液酸碱性的化学原理。

(2) 查找资料或用实验手段将下表补充完整。

指示剂	颜色			变色的 pH 范围
	HIn	过渡	In <sup>-</sup>	
石蕊		紫色		
甲基橙		橙色		
甲基红		橙色		
酚酞		粉红		

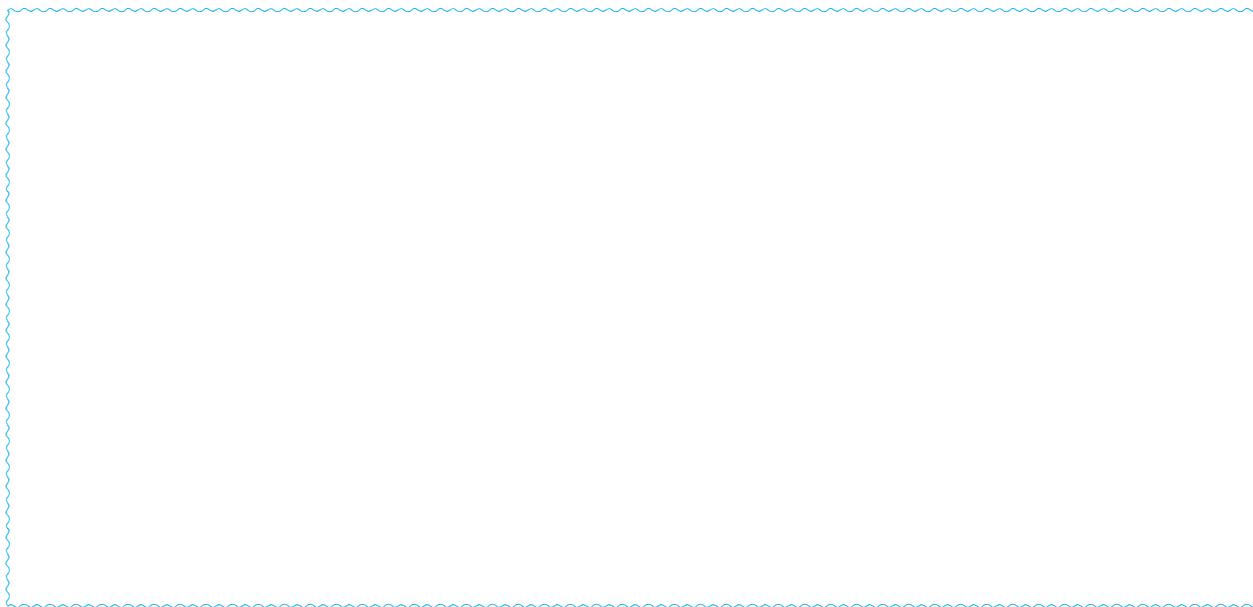


## 课题与研究

为了研究土壤样品的酸碱性,某学生做了如下实验:常温下将一定体积的蒸馏水加入一定质量的土壤中,充分搅拌后过滤,测量滤液的 pH;然后向滤液中滴加氨水,边滴加边测量溶液的 pH,实验记录如下表所示。

加入氨水的体积/mL	0	2	4	6	8	10	12	14	16
溶液的 pH	4	4	4	4	6	8	10	10	10

利用上述数据,以加入氨水的体积为横坐标、pH 为纵坐标绘制曲线。



根据绘制的曲线回答下列问题。

- (1) 所测土壤的酸碱性如何?
- (2) 当加入 14 mL 氨水时,溶液中的 $[\text{OH}^-]$ 为多少?
- (3) 为使该滤液呈中性,应加入氨水的体积约为多少毫升?

## 3.2 弱电解质的电离平衡

### 弱电解质的电离平衡

1. 在 22℃时,用 pH 传感器测得  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液的 pH 约为 3.0。

(1) 由此确定  $\text{CH}_3\text{COOH}$  是 \_\_\_\_ 电解质,判断的依据是 \_\_\_\_\_。

(2) 请分析  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液中含有的微粒: \_\_\_\_\_。

以上微粒(除水分子外)的物质的量浓度由大到小排序: \_\_\_\_\_。

(3) 实验还发现,逐渐升高温度至 29℃时,测得 pH 下降。加热过程中 pH 变化的原因是 \_\_\_\_\_。

2. 电离平衡也是动态平衡,化学平衡移动原理也适用于电离平衡的移动。

(1) 写出一水合氨的电离方程式: \_\_\_\_\_。

当 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 等条件改变时,一水合氨的电离平衡也会发生移动。

(2) 设计一个实验证明稀释氨水时电离平衡会发生移动: \_\_\_\_\_。

(3) 若在氨水中加入下表中的物质(保持温度不变),一水合氨的电离平衡、电离程度以及平衡时  $[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 、 $[\text{OH}^-]$  如何变化? 请填写下表(填“正向移动”“逆向移动”“增大”或“减小”)。

加入的物质	电离平衡 移动方向	电离程度	$[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$	$[\text{OH}^-]$
$\text{H}_2\text{O}$				
$\text{NH}_4\text{Cl(s)}$				
$\text{NaOH(s)}$				
浓盐酸				
$\text{NH}_3(\text{g})$				

3. 将  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液加水稀释或加入少量  $\text{CH}_3\text{COONa}$  晶体时,都会引起( )。

(A) 溶液的 pH 增大 (B) 溶液中  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$  减小

(C) 溶液的导电能力减弱 (D) 溶液中  $[\text{OH}^-]$  减小

4. 在常温下,下列溶液等体积混合后,所得溶液的 pH 一定大于 7 的是( )。

(A)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸和  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的氢氧化钠溶液

(B) pH=1 的硫酸和 pH=13 的氢氧化钾溶液

(C) pH=4 的醋酸溶液和 pH=10 的氢氧化钠溶液

(D) pH=4 的盐酸和 pH=10 的氨水

5. 向两个锥形瓶中各加入 0.050 g 镁条, 盖紧橡胶塞, 然后用注射器分别注入 2.0 mL  $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸、2.0 mL  $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  醋酸, 测锥形瓶内气体的压强。图 3.3 是注入盐酸的锥形瓶内气体的压强随时间的变化曲线。请在该图中绘制注入醋酸后的锥形瓶内气体的压强随时间的变化曲线。

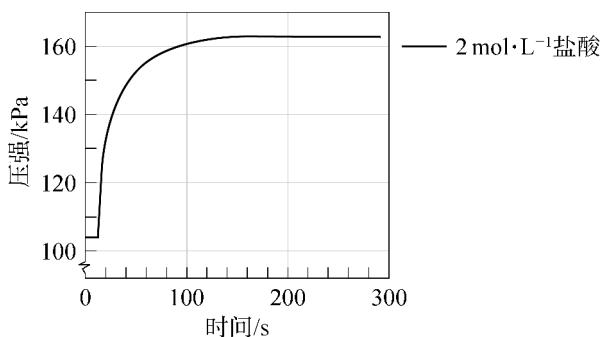


图 3.3

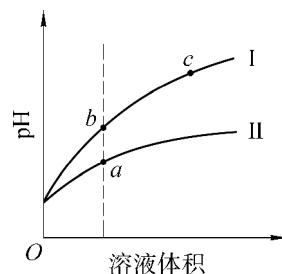


图 3.4

6. 在某温度下, 相同体积、相同 pH 的盐酸和醋酸溶液分别加水稀释, pH 随溶液体积变化的曲线如图 3.4 所示。据图判断下列问题。

- (1) \_\_\_\_\_ (填“Ⅰ”或“Ⅱ”)为醋酸稀释时 pH 变化曲线。
- (2) 比较 b、c 两点处溶液的导电性: b 点导电性 \_\_\_\_\_ (填“小于”“大于”或“等于”) c 点导电性。
- (3) 比较  $K_w$  的数值:  $K_w(a)$  \_\_\_\_\_ ( $<$ 、 $>$  或  $=$ , 下同)  $K_w(c)$ 。
- (4) 恰好中和所需 NaOH 的量:  $n(a)$  \_\_\_\_\_  $n(b)$ 。



## 实践与制作

某学习小组为了探究  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离情况, 进行了如下实验。

**【实验一】** 探究浓度对稀溶液中  $\text{CH}_3\text{COOH}$  电离程度的影响。用 pH 计测定 25℃ 时不同浓度醋酸的 pH, 结果如下表所示。

浓度/( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0.001 0	0.010 0	0.020 0	0.100 0	0.200 0
pH	3.88	3.38	3.23	2.88	2.83

根据表中数据有学生得出这一结论: 随着醋酸溶液浓度的减小,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离程度增大。你同意此观点吗? 请写出判断依据。

**【实验二】**探究冰醋酸加水稀释过程中溶液电导率的变化。用电导率传感器测得的20 mL冰醋酸加水稀释过程中溶液的电导率变化曲线如图3.5所示,发现在稀释过程中电导率出现先增大后减小的现象。(注:电导率的物理意义是表示物质导电的性能。电导率越大则导电性能越强,反之越弱)

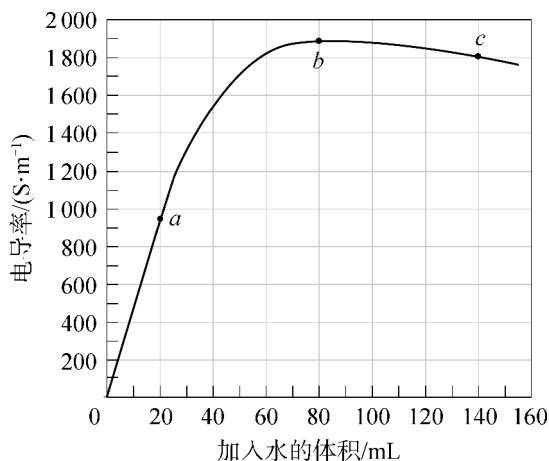


图 3.5

- (1) 解释加水前导电能力约为零的原因。
- (2) 指出a、b、c三点对应的溶液中,处于哪点时pH最大,处于哪点时 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 的电离程度最大。
- (3) 若要使b点对应的溶液中 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 和pH都增大,可采用什么方法?



### 课题与研究

某研究小组用传感器、数据采集器和计算机等(图3.6)测定食用白醋中醋酸的浓度。实验步骤如下。

- I. 量取10.00 mL食用白醋,在烧杯中用水稀释后转移到100 mL的容量瓶中定容。
- II. 移取20.00 mL上述溶液倒入烧杯中,连接好装置,向烧杯中滴加浓度为0.100 0  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氨水,计算机屏幕上显示出溶液导电能力随氨水体积变化的曲线(图3.7)。

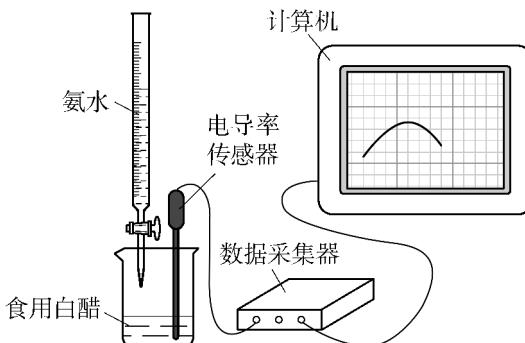


图 3.6

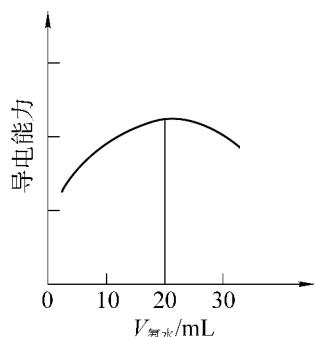


图 3.7

(1) 写出氨水与醋酸反应的离子方程式。

(2) 分析溶液导电能力随加入氨水体积如图 3.7 所示变化的原因。

(3) 计算食用白醋中醋酸的浓度(用  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  表示)。

## 电离平衡常数

1. 25℃时,甲酸( $\text{HCOOH}$ )的  $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ , 氢氟酸( $\text{HF}$ )的  $K_a = 5.6 \times 10^{-4}$ 。

(1) 写出两种酸的电离平衡常数表达式。

$\text{HCOOH}$ : \_\_\_\_\_,  $\text{HF}$ : \_\_\_\_\_。

(2) 两者比较,酸性更强的是 \_\_\_\_\_, 判断依据是 \_\_\_\_\_。

(3)  $K_a$ 越大的酸溶液中  $[\text{H}^+]$  \_\_\_\_\_ (填“一定”或“不一定”)大, 其理由为: \_\_\_\_\_。

2. 草酸( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )对生命活动有重要影响,在菠菜中就含有丰富的草酸。

(1) 草酸是一种二元弱酸。写出草酸的电离方程式: \_\_\_\_\_。

(2) 写出草酸的电离平衡常数表达式:  $K_{a1} =$  \_\_\_\_\_,  $K_{a2} =$  \_\_\_\_\_。

25℃时,已知  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  的  $K_{\text{a}1}=5.6\times 10^{-2}$ ,  $K_{\text{a}2}=5.4\times 10^{-5}$ , 这两个数值表明\_\_\_\_\_。

(3) 比较 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 草酸溶液中  $[\text{HC}_2\text{O}_4^-]$ 、 $[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$ 、 $[\text{H}^+]$  的大小。

(4) 要使溶液中  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  的电离程度增大, 可以采取什么措施? (写三条)

3. 改变下列条件, 能使  $\text{CH}_3\text{COOH}$  的电离平衡常数增大的是( )。

(A) 加入冰醋酸 (B) 加入少量  $\text{NaOH}$  溶液

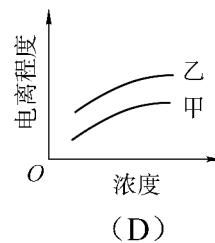
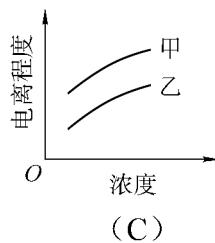
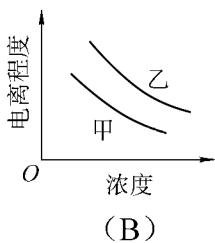
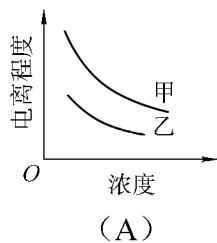
(C) 加水稀释 (D) 升高温度

4. 相同温度下, 100 mL 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 的氨水和 10 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> 的氨水相比较, 下列数值中前者大于后者的是( )。

(A) 中和时所需  $\text{HCl}$  的量 (B)  $[\text{OH}^-]$

(C) 电离平衡常数  $K_b$  (D)  $\frac{[\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]}$

5. 下列曲线中, 可以描述乙酸(甲, 25℃时  $K_a=1.8\times 10^{-5}$ )和一氯乙酸(乙, 25℃时  $K_a=1.4\times 10^{-3}$ )在水中的电离程度和浓度关系的是( )。



6. 向  $\text{ZnSO}_4$  溶液中滴加饱和  $\text{H}_2\text{S}$  溶液, 没有沉淀生成; 继续滴加一定量的氨水后, 生成  $\text{ZnS}$  沉淀。用电离平衡原理解释上述现象。



### 证据与推理

1923 年科学家提出了“酸碱质子理论”, 提高了人们对酸碱本质的认识, 对化学的发展起了很大作用。

资料摘录：

### 酸碱质子理论

“酸碱质子理论”中提到，凡能提供质子( $H^+$ )的粒子(离子或分子)都是酸(如 $HCl$ 、 $HNO_3$ 及酸式根离子 $HCO_3^-$ 等)，酸失去质子后生成的粒子则为该酸的共轭碱；凡能接受质子( $H^+$ )的粒子(离子或分子)都是碱[如 $NH_3$ 、 $NaOH$ 、 $Ca(OH)_2$ 及弱酸根离子 $CO_3^{2-}$ 等]，碱得到质子后生成的粒子则为该碱的共轭酸。物质酸性(碱性)的强弱取决于分子或离子给出(接受)质子能力的大小。酸和碱反应其实质是质子( $H^+$ )的转移。反应的方向总是朝着生成更难电离的更弱的酸碱的一方进行。

(1) 按照“酸碱质子理论”中的观点，判断下列说法是否正确(填“√”或“×”)。

- ①  $HCO_3^-$  既是酸又是碱。( )
- ②  $HCO_3^-$  的共轭碱是  $CO_3^{2-}$ 。( )
- ③  $ClO^- + H_2O \rightleftharpoons HClO + OH^-$  是酸碱反应。( )
- ④  $2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2 \uparrow$  是酸碱反应。( )

(2) 常温下，三种弱酸的电离平衡常数如下：

弱酸	$CH_3COOH$	$HClO$	$H_2CO_3$
电离平衡常数 (25°C)	$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$	$K_a = 3 \times 10^{-8}$	$K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}$ $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}$

① 写出  $CH_3COOH$ 、 $HClO$ 、 $H_2CO_3$ 、 $HCO_3^-$  给出  $H^+$  的能力由大到小的顺序。

② 写出  $CH_3COO^-$ 、 $ClO^-$ 、 $HCO_3^-$ 、 $CO_3^{2-}$  结合  $H^+$  的能力由大到小的顺序。

③ 写出向  $NaClO$  溶液中通入二氧化碳气体后溶液中发生反应的离子方程式。

(3) 有些自来水厂将氯气通入水中，起到杀菌、消毒的作用。可以采取什么措施增强新制氯水的消毒能力？

### 3.3 酸碱中和与盐类水解

## 酸碱中和滴定

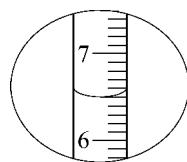
1. 在酸碱中和滴定过程中,已知准确浓度的酸或碱溶液称为\_\_\_\_\_,未知浓度的碱或酸溶液称为\_\_\_\_\_.一般来说,首先准确量取待测溶液的体积,然后用标准溶液进行滴定,当酸和碱恰好完全反应时到达\_\_\_\_\_点。选用合适的酸碱指示剂,根据\_\_\_\_\_来判断中和反应的完成,并确定它为\_\_\_\_\_.实验时可以根据滴定的\_\_\_\_\_来选择酸碱指示剂。

2. 在标有“20℃, 25 mL”的滴定管内装标准溶液至刻度“0”时, 管内液体的体积( )。



3. 图 3.8 和图 3.9 分别是量筒和滴定管的两个液面。下列有关读数正确的是( )。

- (A) 量筒读数是 6.5 mL, 滴定管读数是 15.5 mL
  - (B) 量筒读数是 7.5 mL, 滴定管读数是 16.50 mL
  - (C) 量筒读数是 6.5 mL, 滴定管读数是 15.50 mL
  - (D) 量筒读数是 6.5 mL, 滴定管读数是 16.50 mL



冬 3.8

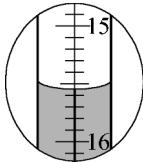


图 3.9

4. 某学生用  $0.100\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  盐酸标准溶液滴定未知浓度的氢氧化钠溶液, 其操作可分解为如下几步:

- A. 移取 20.00 mL 待测氢氧化钠溶液注入洁净的锥形瓶中,加入 2~3 滴甲基橙试液;
  - B. 用盐酸标准溶液润洗滴定管 2~3 次;
  - C. 把盛有盐酸标准溶液的滴定管固定好,调节滴定管尖嘴使之充满溶液;
  - D. 取盐酸标准溶液注入滴定管至“0”刻度以上 2~3 mL;
  - E. 调节液面至“0”或“0”刻度以下,记下读数;
  - F. 把锥形瓶放在滴定管下面,用盐酸标准溶液滴定至终点并记下滴定管的读数。

请回答下列问题。

- (1) 正确操作步骤的顺序是 \_\_\_\_\_ (填序号)。

(2) 步骤 A 中移取 20.00 mL 待测氢氧化钠溶液用到的玻璃仪器是 \_\_\_\_\_。

(3) 步骤 B 操作的目的是 \_\_\_\_\_。

(4) 步骤 A 操作之前,若先用待测溶液润洗锥形瓶,则对滴定结果的影响 \_\_\_\_\_ (填“偏大”或“偏小”)。

(5) 判断到达滴定终点的实验现象是 \_\_\_\_\_。

5. 准确称取 0.430 0 g 不纯的苛性钠样品配成 250.0 mL 溶液, 取出 10.00 mL, 用浓度为 0.020 0 mol · L<sup>-1</sup> 的硫酸进行滴定(杂质不与硫酸反应), 达到滴定终点时共消耗硫酸 10.25 mL。

(1) 整个实验过程中用到了哪些定量仪器?

(2) 计算该样品中苛性钠的质量分数。



### 证据与推理

用 0.100 0 mol · L<sup>-1</sup> 盐酸滴定 20.00 mL 0.100 0 mol · L<sup>-1</sup> 的 NaOH 溶液相关数据如下表所示。

V(盐酸)/mL	0	5.00	10.00	15.00	18.00	19.00	19.50	19.98
pH	13.00	12.78	12.52	12.16	10.88	10.40	10.10	9.70
V(盐酸)/mL	20.00	20.02	20.08	20.10	21.00	25.00	30.00	35.00
pH	7.00	4.30	3.70	3.60	2.62	1.95	1.70	1.56

请以盐酸的体积为横坐标, pH 为纵坐标, 在图 3.10 的坐标纸上绘制盐酸滴定 NaOH 溶液过程中, 溶液 pH 随盐酸体积变化的曲线图。

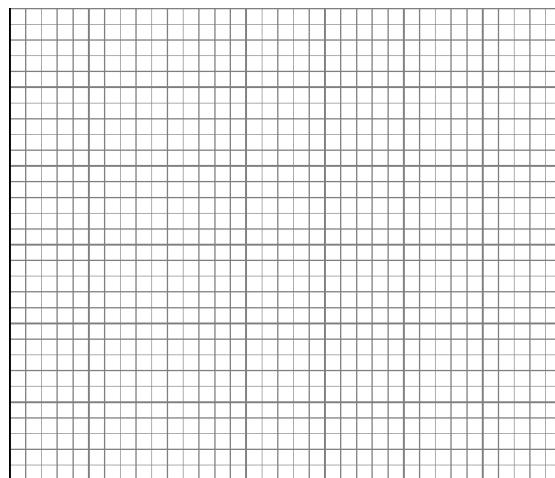


图 3.10



## 实践与制作

实验室常利用甲醛法测定 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 样品中氮的质量分数,其反应原理为:  $4\text{NH}_4^+ + 6\text{HCHO} = 3\text{H}^+ + 6\text{H}_2\text{O} + (\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ ,然后用NaOH标准溶液滴定反应生成的酸。注:滴定时,1 mol $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+$ 与1 mol $\text{H}^+$ 相当。

某兴趣小组用甲醛法进行了如下实验。

步骤Ⅰ:称取样品1.500 g。

步骤Ⅱ:将样品溶解后,完全转移到250 mL容量瓶中,定容,充分摇匀。

步骤Ⅲ:移取25.00 mL样品溶液于250 mL锥形瓶中,加入10 mL 20%的中性甲醛溶液,摇匀、静置5 min后,加入1~2滴酚酞试液,用NaOH标准溶液滴定至终点。按上述操作方法再重复2次。

滴定结果如下表所示。

实验编号	待测溶液的体积/mL	标准溶液的体积/mL	
		滴定前刻度	滴定后刻度
1	25.00	1.02	21.03
2	25.00	0.21	22.41
3	25.00	2.00	21.99

(1)下列滴定操作对样品中氮的质量分数的测定结果有何影响?试说明原因。

①滴定管用蒸馏水洗涤后,直接加入NaOH标准溶液进行滴定。

②装有标准溶液的滴定管滴定前尖嘴部分有气泡,滴定后消失。

③滴定时锥形瓶因摇动太剧烈使待测液溅出。

(2)为什么要重复平行实验?

(3) 若 NaOH 标准溶液的浓度为  $0.101\text{0 mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 计算该样品中氮的质量分数。



## 课题与研究

根据反应类型的不同,滴定分为酸碱中和滴定(利用中和反应)、氧化还原滴定(利用氧化还原反应)、沉淀滴定(利用生成沉淀的反应)和配位滴定(利用配位反应)等。

硫代硫酸钠晶体( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}, M=248\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )可用作定影剂、还原剂。某课题小组利用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  标准溶液定量测定硫代硫酸钠晶体的纯度。测定步骤如下。

I. 溶液配制: 称取 1.200 0 g 某硫代硫酸钠晶体样品, 用新煮沸并冷却的蒸馏水在烧杯中溶解, 完全溶解后, 全部转移至 100 mL 容量瓶中, 加蒸馏水至刻度线。

II. 滴定: 取 0.009 50  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  标准溶液 20.00 mL, 硫酸酸化后加入过量 KI(发生反应:  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{I}^- + 14\text{H}^+ \rightarrow 3\text{I}_2 + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ ), 加入淀粉溶液。然后用硫代硫酸钠晶体样品溶液滴定(发生反应:  $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$ )至终点。经过 3 次平行实验, 样品溶液的平均用量为 24.80 mL。

(1) 步骤 I 中溶解时用的蒸馏水为什么要事先煮沸?

(2) 指出淀粉的作用。如何判断  $\text{I}_2$  和硫代硫酸钠恰好反应完全?

(3) 计算样品纯度。

## 盐类水解

1. 根据成盐的酸或碱的强弱不同将盐进行分类,  $\text{CH}_3\text{COONa}$  是\_\_\_\_\_盐。该盐在溶液中由  $\text{CH}_3\text{COONa}$  电离出来的\_\_\_\_\_与  $\text{H}_2\text{O}$  电离出来的\_\_\_\_\_结合生成了\_\_\_\_\_ (填“强”或“弱”)电解质, 从而使溶液中的 $[\text{H}^+]$  \_\_\_\_\_  $[\text{OH}^-]$ , 使得溶液呈\_\_\_\_\_性, 此反应称为盐类的\_\_\_\_\_反应。

2. 判断下列盐溶液的酸碱性。若盐能发生水解反应,请写出水解反应的离子方程式。

- (1) 次氯酸钠溶液：\_\_\_\_\_。  
(2) 氯化铝溶液：\_\_\_\_\_。  
(3) 溴化钾溶液：\_\_\_\_\_。  
(4) 硫化钠溶液：\_\_\_\_\_。  
(5) 硝酸铜溶液：\_\_\_\_\_。

请归纳上述盐的类型与盐溶液酸碱性之间的关系。

3. 对于盐类水解的过程,正确的说法是( )。  
(A) 盐的电离平衡被破坏                           (B) 水的电离程度减小  
(C) 同时发生了中和反应                           (D) 溶液中除了水分子外不存在其他分子

4. 在医院中,为酸中毒的病人输液不应采用( )。  
(A) 0.9%氯化钠溶液                           (B) 0.9%氯化铵溶液  
(C) 0.25%碳酸氢钠溶液                       (D) 5%葡萄糖溶液

5. 下列溶液中,溶质的正离子与负离子的个数之比略小于 2 的是( )。  
(A)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$                            (B)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$                            (C)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$                            (D)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$

6. 下列操作中,能促进水的电离,并使溶液中的 $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ 的是( )。  
(A) 向水中加入  $\text{NaHSO}_4$  固体                   (B) 向水中加入  $\text{NaOH}$  固体  
(C) 向水中加入  $\text{Na}_2\text{S}$  固体                           (D) 向水中加入  $\text{NH}_4\text{Cl}$  固体

7. 物质的量浓度相等的下列溶液,pH 由大到小的顺序是( )。  
(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)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$                            (D)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NaCl}$

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

9. 将醋酸滴入氢氧化钠溶液中,当溶液  $\text{pH}=7$  时,下列叙述正确的是( )。

- (A)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  过量
- (B)  $\text{NaOH}$  过量
- (C)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  和  $\text{NaOH}$  的物质的量相等
- (D) 生成的  $\text{CH}_3\text{COONa}$  不水解

10. 实验测得  $\text{NaHCO}_3$  溶液显碱性,下列说法错误的是( )。

- (A) 同时存在电离平衡和水解平衡
- (B)  $[\text{OH}^-] < [\text{HCO}_3^-]$
- (C)  $[\text{CO}_3^{2-}] > [\text{H}_2\text{CO}_3]$
- (D) 加入  $\text{NaOH}$  固体,恢复到原温度,  $[\text{CO}_3^{2-}]$  增大

11. 在常温下,将  $a$  mL 两种一元酸分别和  $\text{NaOH}$  溶液等体积混合,实验数据如下表所示。

组别	[一元酸]	$[\text{NaOH}] / (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	混合溶液的 pH
甲	$[\text{HX}] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	0.1	$\text{pH} = 7$
乙	$[\text{HY}] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	0.1	$\text{pH} = 9$

在  $a$  mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的两种一元酸中分别滴入  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{NaOH}$  溶液,反应过程中溶液的 pH 变化曲线分别如图 3.11 和图 3.12 所示。

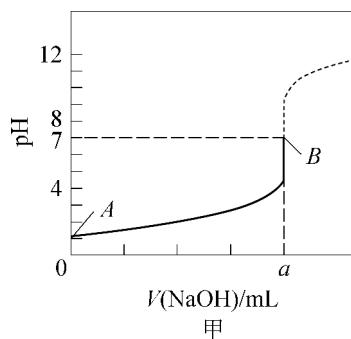


图 3.11

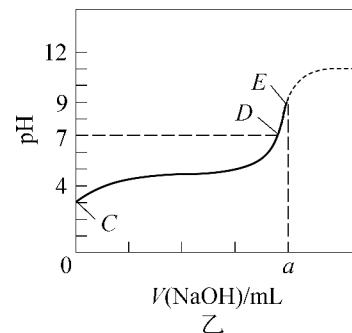


图 3.12

(1) 写出乙组实验中反应的离子方程式。

(2) 分别指出上图中表示溶液呈中性的点和表示溶液恰好完全反应的点。

(3)  $E$  点对应的离子浓度按由大到小排序。

(4) E 点溶液由水电离出来的 $[H^+]$ 是多少?



## 证据与推理

电荷守恒和物料守恒是电解质溶液中重要的守恒关系,也是计算和比较电解质溶液中各种离子浓度大小的依据。

资料摘录:

### 电解质溶液中的电荷守恒和物料守恒

电荷守恒: 电解质溶液中正离子所带的电荷总数与负离子所带的电荷总数相等, 溶液呈电中性。

物料守恒: 在电解质溶液中, 由于某些离子发生水解或电离, 离子存在的形式虽然发生变化, 但其物料在变化前后是守恒的。

(1)  $Na_2CO_3$  溶液中存在哪些离子和分子?

(2) 写出  $Na_2CO_3$  溶液中的电荷守恒关系式。

(3) 写出  $Na_2CO_3$  溶液中碳、钠元素的物料守恒关系式。

(4) 将  $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的氨水滴入  $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的盐酸中, 当溶液中 $[NH_4^+] = [Cl^-]$ 时, 溶液的酸碱性如何?

## 水解平衡的移动

1. 下列物质的用途与盐类水解无关的是( )。
- (A) 氯化铁溶液制备氢氧化铁胶体      (B) 纯碱溶液去油污  
(C) 硫酸钡用作肠胃镜的内服药剂      (D) 明矾净水
2. 在 NaCN 的水溶液中加入下列物质或加热,可使 NaCN 水解程度增大的是( )。
- ① NaOH ② NaCN ③ NH<sub>4</sub>Cl ④ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ⑤ H<sub>2</sub>O ⑥ HCN ⑦ HCl ⑧ 加热  
(A) ①②③⑤      (B) ③⑤⑥⑧      (C) ①②④⑥      (D) ③⑤⑦⑧
3. 相同温度、相同物质的量浓度的下列溶液: ① 硫酸钠溶液 ② 硫酸氢钠溶液 ③ 硫酸氢铵溶液,按 pH 由小到大的顺序排列为( )。
- (A) ③②①      (B) ②①③      (C) ②③①      (D) ①②③
4. 物质的量浓度相同的下列溶液中, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度最大的是( )。
- (A) NH<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O      (B) NH<sub>4</sub>Cl  
(C) NH<sub>4</sub> HCO<sub>3</sub>      (D) NH<sub>4</sub> Al(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>
5. 往 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 溶液中加水,在稀释过程中不断增大的是( )。
- ① [SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]    ② [HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>]    ③ [OH<sup>-</sup>]    ④ [H<sup>+</sup>]    ⑤  $\frac{[OH^-]}{[SO_3^{2-}]}$   
(A) ①⑤      (B) ②③      (C) ②④      (D) ④⑤
6. 在蒸发皿中加热蒸干并灼烧(低于 400℃)下列物质的溶液,可以得到该物质固体的是( )。
- (A) 氯化铁      (B) 硫酸铁      (C) 硝酸镁      (D) 亚硫酸钠
7. 将(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶于水得到无色溶液,为使该溶液中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 与 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的物质的量浓度之比等于 2,应当采取的正确措施是( )。
- (A) 加入适量硫酸,抑制 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 水解  
(B) 加入适量氨水,使 pH=7  
(C) 加入适量 NaOH,使溶液 pH=7  
(D) 加入适量(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
8. 在常温下,CH<sub>3</sub>COOH 与 CH<sub>3</sub>COONa 等物质的量混合配制成的稀溶液的 pH 为 4.6,则下列说法错误的是( )。
- (A) CH<sub>3</sub>COOH 的电离程度大于 CH<sub>3</sub>COONa 的水解程度  
(B) CH<sub>3</sub>COOH 的电离程度小于 CH<sub>3</sub>COONa 的水解程度  
(C) CH<sub>3</sub>COOH 的存在抑制了 CH<sub>3</sub>COONa 的水解  
(D) CH<sub>3</sub>COONa 的存在抑制了 CH<sub>3</sub>COOH 的电离
9. 0.5 mol · L<sup>-1</sup> CH<sub>3</sub>COONa 溶液和水的 pH 随温度的变化如图 3.13 所示,下列分析错误的是( )。

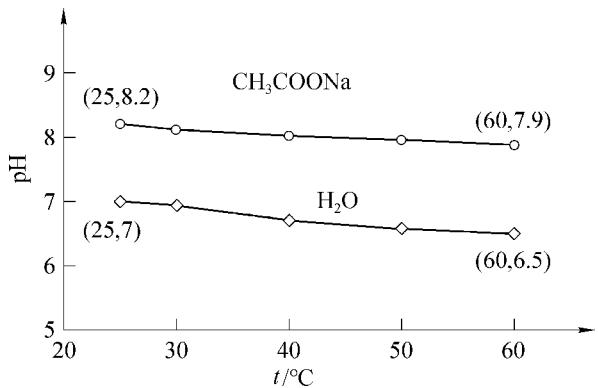


图 3.13

- (A) 25℃, CH<sub>3</sub>COONa 溶液的 pH=8.2, 显碱性
- (B) 60℃, H<sub>2</sub>O 中[H<sup>+</sup>]=1×10<sup>-6.5</sup> mol·L<sup>-1</sup>, 呈中性
- (C) 60℃, CH<sub>3</sub>COONa 溶液中[OH<sup>-</sup>]=1×10<sup>-5.1</sup> mol·L<sup>-1</sup>
- (D) 升高温度, CH<sub>3</sub>COONa 溶液水解程度和 pH 都减小



### 实践与制作

1. 在纯碱溶液中滴入 2 滴酚酞试液, 再逐滴滴加氯化钡溶液直至过量。请描述观察到的实验现象, 并从平衡移动的角度解释此现象。

2. Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 可用作白色颜料和阻燃剂等。在实验室中可利用 SbCl<sub>3</sub> 的水解反应制取 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (SbCl<sub>3</sub> 的水解分三步进行, 中间产物有 SbOCl 等), 其总反应可表示为:



(1) 请说明用 SbCl<sub>3</sub> 固体配制 SbCl<sub>3</sub> 溶液的正确方法。

(2) 为了得到较多的 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 操作时要将 SbCl<sub>3</sub> 缓慢加入大量水中, 反应后期还要加入少量氨水。试利用平衡移动原理说明这两项操作的作用。



## 生活与社会

人们利用盐类水解的原理设计出了泡沫灭火器。塑料内筒中装有  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  浓溶液，内外筒之间装有  $\text{NaHCO}_3$  浓溶液。使用时将灭火器倒置，二者混合时会发生剧烈反应产生气体和沉淀，在发泡剂的作用下迅速产生大量泡沫，用以灭火。

(1)  $\text{NaHCO}_3$  浓溶液和  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  浓溶液混合后为什么会发生剧烈反应？请运用盐类水解的相关知识进行分析。

(2) 写出  $\text{NaHCO}_3$  浓溶液和  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  浓溶液反应的离子方程式。

(3) 能否将内筒材料由塑料换成铁制品？



## 课题与研究

10℃时，对  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$  溶液加热，测得溶液 pH 与温度关系如下表所示。

温度/℃	10	20	30	50	70
pH	8.3	8.4	8.5	8.9	9.4

对于  $\text{NaHCO}_3$  溶液的 pH 随温度升高而增大的原因有以下两种假设。

假设一：温度升高， $\text{NaHCO}_3$  水解程度增大，pH 增大。

假设二：温度升高， $\text{NaHCO}_3$  不稳定而分解成  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，pH 增大。

(1) 请说明提出假设一的依据。

(2) 请设计实验验证上述两种假设,简述过程。

(3) 有教学杂志刊载某位教师的实验结果: 将一定体积的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$  溶液煮沸, 测得 pH 为 9.8; 冷却至室温, 一段时间后测得 pH 为 10.1。通过此实验现象能得出什么结论?

## 3.4 难溶电解质的沉淀溶解平衡

### 难溶电解质的溶度积常数

1. 已知碘化铅( $\text{PbI}_2$ )是一种黄色难溶于水的固体。

(1)  $\text{PbI}_2$ 在水中的沉淀溶解平衡可表示为 \_\_\_\_\_。

(2)  $\text{PbI}_2$ 的溶度积常数的表达式为 \_\_\_\_\_。

(3) 在常温下,将少量  $\text{PbI}_2$ 加入一定量的水中,充分搅拌后仍有固体存在。此时溶解过程是否停止?请说明理由。

2. 难溶电解质在水中达到沉淀溶解平衡时,下列说法正确的是( )。

(A) 难溶电解质在水中可能形成不饱和溶液

(B) 难溶电解质溶解形成的正、负离子的浓度一定相等

(C) 再加入难溶电解质,溶液中各离子的浓度一定不变

(D) 升高温度,固体的质量一定减少

3. 关于溶度积常数( $K_{\text{sp}}$ ),下列说法正确的是( )。

(A) 溶度积常数受离子浓度大小的影响,溶解度与离子浓度大小无关

(B)  $K_{\text{sp}}$ 小的物质其溶解度一定小

(C) 改变外界条件使沉淀溶解平衡向溶解方向移动, $K_{\text{sp}}$ 和溶解度都增大

(D)  $K_{\text{sp}}$ 和溶解度都随温度的改变而改变

4. 将 1.5 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液和 1.0 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{BaCl}_2$ 溶液混合后得到浊液 A,过滤得到滤液 B 和白色沉淀 C。下列分析错误的是( )。

(A) 浊液 A 中存在沉淀溶解平衡  $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$

(B) 若向滤液 B 中滴加 0.01 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{AgNO}_3$ 溶液,无明显变化

(C) 若向滤液 B 中滴加 0.01 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{BaCl}_2$ 溶液,会出现白色沉淀

(D) 若向滤液 B 中滴加 0.01 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液,无明显变化

5. 已知  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) = 8.5 \times 10^{-17}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 2.0 \times 10^{-12}$ ,则下列难溶盐的饱和溶液中,  $\text{Ag}^+$ 浓度从大到小的顺序是( )。

(A)  $\text{AgCl} < \text{AgI} < \text{Ag}_2\text{CrO}_4$

(B)  $\text{AgCl} < \text{Ag}_2\text{CrO}_4 < \text{AgI}$

(C)  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4 < \text{AgCl} < \text{AgI}$

(D)  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4 < \text{AgI} < \text{AgCl}$

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 3.14 所示。下列说法错误的是( )。

- (A) 图中  $T_1$  温度下 CdS 在水中的溶解度比  $T_2$  小  
(B) 图中各点对应的  $K_{\text{sp}}$  的关系为:  $K_{\text{sp}}(m) = K_{\text{sp}}(n) < K_{\text{sp}}(p) < K_{\text{sp}}(q)$   
(C) 向  $m$  点的溶液中加入少量  $\text{Na}_2\text{S}$  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
7. 浓度为  $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{CuSO}_4$  溶液中含有  $\text{Fe}^{3+}$  杂质,可以通过调节溶液 pH 将其除去,通常认为残留在溶液中的离子浓度小于  $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时即为除杂完全。请阅读资料回答问题。

资料摘录:

$$25^\circ\text{C} \text{ 时}, K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 2.0 \times 10^{-20}, K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 8.0 \times 10^{-38}.$$

(1) 该溶液中的  $\text{Fe}^{3+}$  沉淀完全时溶液的 pH 至少为多少?

(2) 计算该溶液中的  $\text{Cu}^{2+}$  开始形成  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  沉淀时的 pH。

(3) 若要除去  $\text{Fe}^{3+}$  杂质而不损失  $\text{Cu}^{2+}$ ,则应调节该溶液的 pH 至何范围?

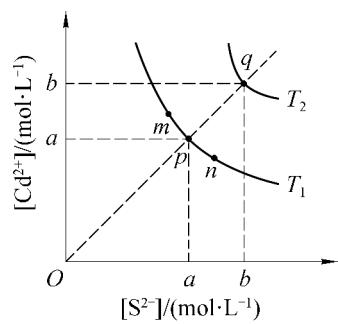


图 3.14

## 沉淀溶解平衡的移动

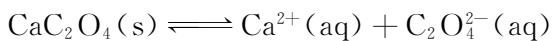
1. 难溶电解质的沉淀溶解平衡会因离子浓度的变化而发生移动。

(1) 在一定温度下,通过比较 $K_{sp}$ 的相对大小,可以判断沉淀是否生成或溶解。

(2) 难溶于水的碳酸钙沉淀加入盐酸可促进溶解,从平衡移动的角度可以解释为\_\_\_\_\_。

(3) 在白色的氯化银沉淀中加入碘化钾溶液, 沉淀变为\_\_\_\_色, 试写出此反应的离子方程式: \_\_\_\_\_, 以上沉淀转化说明\_\_\_\_\_。

2. 25℃时,在含有大量草酸钙( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ )的饱和溶液中存在如下平衡:



加入  $\text{CaCl}_2$  溶液后，下列说法错误的是（ ）。

- (A) 沉淀溶解平衡向左移动
  - (B) 溶液中  $C_2O_4^{2-}$  浓度减小
  - (C) 溶度积常数  $K_{sp}$  减小
  - (D)  $CaC_2O_4$  在  $CaCl_2$  溶液中的溶解度比在水中小

3. 已知  $\text{CaCO}_3$  的  $K_{\text{sp}} = 2.8 \times 10^{-9}$ , 现将浓度为  $2 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液与  $\text{CaCl}_2$  溶液等体积混合, 若要产生沉淀, 则所用  $\text{CaCl}_2$  溶液的浓度至少应大于( )。

- (A)  $2.8 \times 10^{-2}$  mol • L<sup>-1</sup>      (B)  $1.4 \times 10^{-5}$  mol • L<sup>-1</sup>  
 (C)  $2.8 \times 10^{-5}$  mol • L<sup>-1</sup>      (D)  $5.6 \times 10^{-5}$  mol • L<sup>-1</sup>

4. 化工生产中常用 MnS 作为沉淀剂除去工业废水中的  $\text{Cu}^{2+}$ , 原理为:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{MnS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuS}(\text{s}) + \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ , 下列说法正确的是( )。

- (A) 该反应达到平衡时,  $[Mn^{2+}] = [Cu^{2+}]$   
 (B) 相同温度时,  $MnS$  的  $K_{sp}$  比  $CuS$  的  $K_{sp}$  小  
 (C) 处理废水时可以改为用通入  $H_2S$  气体的方法除去  $Cu^{2+}$   
 (D) 该反应的平衡常数表达式为  $K = \frac{[Mn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$

5. 重金属离子会对河流及海洋造成严重污染。某化工厂废水中含有  $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  等重金属离子，其浓度各约为  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。排放前拟用沉淀法除去这两种离子，有关数据如下表所示。

化合物	AgOH	Pb(OH) <sub>2</sub>	AgI	PbI <sub>2</sub>	Ag <sub>2</sub> S	PbS	FeS
溶度积常数 (25°C)	$5.6 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-15}$	$8.5 \times 10^{-17}$	$7.1 \times 10^{-9}$	$6.3 \times 10^{-50}$	$3.4 \times 10^{-28}$	$6.3 \times 10^{-18}$

由上述数据可知,最好选用的沉淀剂为( )。

- (A) NaOH      (B) Ba(OH)<sub>2</sub>      (C) KI      (D) FeS

6. 某 pH=1 的 ZnCl<sub>2</sub> 和 HCl 的混合溶液中含有 FeCl<sub>3</sub> 杂质,为了除去 FeCl<sub>3</sub> 杂质,需将溶液 pH 调至 4。在调节溶液 pH 时,应选用的试剂是( )。

- (A) NaOH      (B) ZnO      (C) ZnSO<sub>4</sub>      (D) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

7. 一定温度下,三种碳酸盐 MCO<sub>3</sub> (M: Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>) 的沉淀溶解平衡曲线如图 3.15 所示。已知: pM = -lg[M], p(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) = -lg[CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]。下列说法正确的是( )。

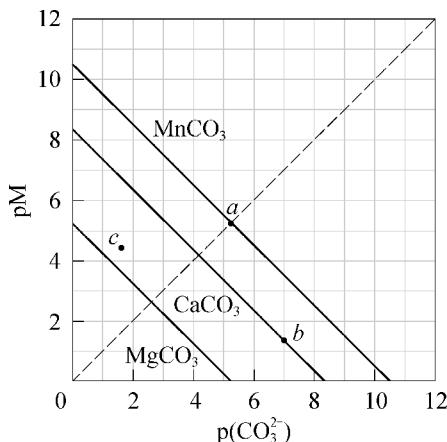


图 3.15

- (A) MgCO<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>、MnCO<sub>3</sub> 的  $K_{sp}$  依次增大  
 (B) a 点可表示 MnCO<sub>3</sub> 的饱和溶液,且  $[Mn^{2+}] = [CO_3^{2-}]$   
 (C) b 点可表示 CaCO<sub>3</sub> 的饱和溶液,且  $[Ca^{2+}] < [CO_3^{2-}]$   
 (D) c 点可表示 MgCO<sub>3</sub> 的不饱和溶液,且  $[Mg^{2+}] > [CO_3^{2-}]$



### 证据与推理

利用 X 射线对 BaSO<sub>4</sub> 的穿透能力较差的特性,医学上在进行消化系统的 X 射线透视时,常使用 BaSO<sub>4</sub> 作为内服造影剂,这种透视技术俗称钡餐透视。由于 Ba<sup>2+</sup> 有剧毒,水溶性钡盐不能用作钡餐。

(1) BaCO<sub>3</sub> 与 BaSO<sub>4</sub> 虽都难溶于水,但用作钡餐的却是 BaSO<sub>4</sub>,而非 BaCO<sub>3</sub>,这是为什么? 室温时 BaSO<sub>4</sub> 和 BaCO<sub>3</sub> 的  $K_{sp}$  如下表所示,根据数据简述理由。

资料:

室温时 BaCO<sub>3</sub> 和 BaSO<sub>4</sub> 的  $K_{sp}$

化学式	$K_{sp}$
BaCO <sub>3</sub>	$5.1 \times 10^{-9}$
BaSO <sub>4</sub>	$1.1 \times 10^{-10}$

(2) 如果误将  $\text{BaCl}_2$ 、 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  等可溶性钡盐当作食盐食用, 会造成钡中毒, 中毒者应尽快用 5% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液洗胃, 随后导泻使钡盐尽快排出。简述使用 5% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液洗胃的化学原理。(5% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液中  $\text{SO}_4^{2-}$  的物质的量浓度可近似为  $0.35 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )



## 生活与社会

珊瑚虫是海洋中的一种腔肠动物, 它们可以从周围的海水中获取  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$ , 两者经反应形成珊瑚, 反应原理为:  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。

珊瑚周围藻类植物的生长会促进碳酸钙的产生, 对珊瑚的形成贡献很大。人口增长、人类大规模砍伐森林、燃烧煤和其他化石燃料等因素, 都会干扰珊瑚的形成(图 3.16), 甚至造成珊瑚虫死亡。请分析这些因素影响珊瑚生长的原因。

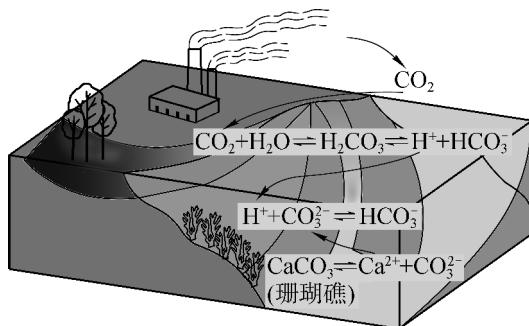


图 3.16



## 课题与研究

某科研小组设计出利用工业废酸(10% 硫酸)来堆浸某废弃的氧化铜锌矿的工艺流程, 实现废料的综合利用, 流程如图 3.17 所示。

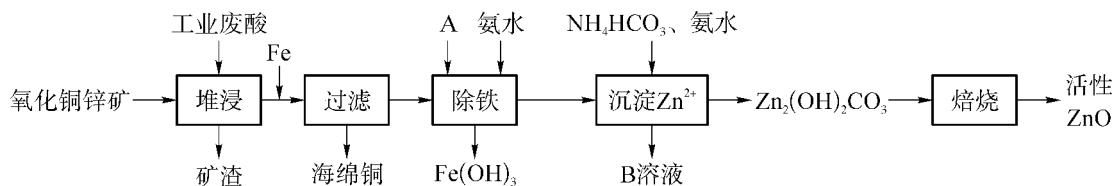


图 3.17

已知下列离子开始沉淀及完全沉淀时的 pH 如下表所示。

离子	开始沉淀时的 pH	完全沉淀时的 pH
$\text{Fe}^{2+}$	6.3	9.7
$\text{Fe}^{3+}$	1.5	3.2
$\text{Zn}^{2+}$	6.2	8.0

(1) 氧化铜锌矿中含有少量的 CuS 和 ZnS, 在硫酸的作用下, ZnS 溶解而 CuS 不溶。请查有关数据说明原因。

(2) 加入物质 A 的目的是什么? 哪些物质可以起到 A 的作用?

(3) 除铁过程中为什么加入氨水?

(4) 溶液 B 中的主要成分是什么? 试举一例该物质的用途。

## 本 章 测 试

### 一、选择题(每小题只有1个正确选项)

1. 下列物质的水溶液中,只存在一种分子的是( )。
- (A) KClO      (B) HBr      (C)  $\text{H}_3\text{PO}_4$       (D) NaHS
2. 某种植物适合在碱性土壤中生长,若将其种植在酸性土壤中,则应该添加的化肥是( )。
- (A) KCl      (B)  $\text{K}_2\text{CO}_3$       (C)  $\text{NH}_4\text{Cl}$       (D)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
3. 在一定温度下,满足下列条件的溶液一定呈酸性的是( )。
- (A) pH=6 的某物质水溶液  
(B) 加酚酞后显无色的溶液  
(C) 能与金属 Al 反应放出  $\text{H}_2$  的溶液  
(D)  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$  的水溶液
4. 某制药厂排放的废气中含少量  $\text{SO}_2$  气体,一般用 NaOH 溶液或氨水吸收,以防污染环境。若用  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 NaOH 溶液或同浓度的氨水处理相同量的废气,两种方法所需吸收液的体积关系是( )。
- (A) NaOH 溶液的体积大于氨水      (B) NaOH 溶液的体积等于氨水  
(C) NaOH 溶液的体积小于氨水      (D) 无法判断
5. 25℃时,水的电离达到平衡:  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ ,下列叙述正确的是( )。
- (A) 向水中加入稀氨水,平衡逆向移动, $[\text{OH}^-]$ 降低  
(B) 向水中加入少量固体硫酸氢钠, $[\text{H}^+]$ 增大, $K_w$ 不变  
(C) 向水中加入少量固体  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,平衡逆向移动, $[\text{H}^+]$ 降低  
(D) 将水加热, $K_w$ 增大,pH 不变
6. 下列实验方案不能证明醋酸是弱电解质的是( )。
- (A) 配制  $100 \text{ mL } 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  醋酸,然后测溶液的 pH,pH 大于 1  
(B) 把相同质量、相同表面积的锌粒分别放入相同体积、相同浓度的盐酸和醋酸中,反应速率较慢的是醋酸  
(C)  $10 \text{ mL } 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  醋酸恰好与  $10 \text{ mL } 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 溶液完全反应  
(D) 先测  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  醋酸的 pH,然后将其稀释 100 倍再测 pH,pH 变化小于 2
7. 室温时,设 pH 都等于 9 的 NaOH 和  $\text{CH}_3\text{COONa}$  两种溶液中,由水电离产生的  $\text{OH}^-$  浓度分别为  $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  与  $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,则  $a$  和  $b$  的关系为( )。
- (A)  $a > b$       (B)  $a = b$   
(C)  $b = 10^{-4}a$       (D)  $a = 10^{-4}b$

8. 将 pH=1 的盐酸平均分成 2 份, 1 份加适量水, 另 1 份加入适量的与该盐酸物质的量浓度相同的 NaOH 溶液后, pH 都升高了 1, 则加入的水与 NaOH 溶液的体积比为( )。

(A) 9 : 1 (B) 10 : 1  
(C) 11 : 1 (D) 12 : 1

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

① 加少量烧碱溶液 ② 升高温度 ③ 加少量冰醋酸 ④ 加水  
(A) ②③ (B) ②④  
(C) ①④ (D) ①③

10. 实验室用盐酸标准溶液滴定 NaOH 溶液, 下列情况不影响测定结果的是( )。

(A) 洗净的锥形瓶, 再用碱液润洗  
(B) 滴定管洗净后, 直接注入盐酸标准溶液  
(C) 在盛放碱液时, 锥形瓶中留有少量蒸馏水  
(D) 滴定至终点时, 在滴定管尖嘴部位有气泡

11. 相同条件下等物质的量浓度的下列溶液中,  $[\text{CO}_3^{2-}]$  最大的是( )。

(A)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (B)  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$   
(C)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (D)  $\text{NaHCO}_3$

12. 25℃ 时有关物质的溶度积( $K_{sp}$ )如下表所示。

物质	AgCl	AgBr	AgI	Ag <sub>2</sub> S
$K_{sp}$	$1.8 \times 10^{-10}$	$5.4 \times 10^{-13}$	$8.5 \times 10^{-17}$	$6.3 \times 10^{-50}$

下列叙述错误的是( )。

(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℃ 时, AgCl、AgBr、AgI、Ag<sub>2</sub>S 饱和水溶液中 Ag<sup>+</sup> 的浓度相同  
(C) 25℃ 时, AgCl 固体在等物质的量浓度的 NaCl、CaCl<sub>2</sub> 溶液中的溶度积相同  
(D) 在 5 mL  $1.8 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 溶液中, 加入 1 滴(约 0.05 mL)  $1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  AgNO<sub>3</sub> 溶液, 不能产生白色沉淀

13. 下列溶液中微粒的浓度关系一定正确的是( )。

(A) 氨水与氯化铵的 pH=7 的混合溶液中:  $[\text{Cl}^-] > [\text{NH}_4^+]$   
(B) pH=2 的一元酸和 pH=12 的一元强碱等体积混合:  $[\text{OH}^-] = [\text{H}^+]$   
(C)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的硫酸铵溶液中:  $[\text{NH}_4^+] > [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$   
(D)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的硫化钠溶液中:  $[\text{OH}^-] = [\text{H}^+] + [\text{HS}^-] + [\text{H}_2\text{S}]$

14. 在室温下, 向 20.00 mL 0.100 0 mol · L<sup>-1</sup> 盐酸中滴加 0.100 0 mol · L<sup>-1</sup> NaOH 溶液, 溶液的 pH 随 NaOH 溶液体积的变化如图 3.18 所示。下列说法错误的是( )。

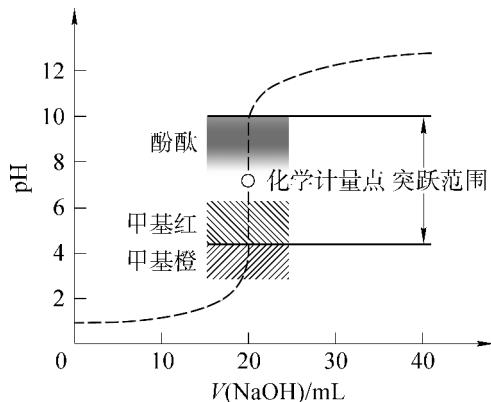


图 3.18

- (A)  $\text{NaOH}$  与盐酸恰好完全反应时,  $\text{pH}=7$   
 (B) 若用酚酞作指示剂, 滴定终点时溶液的颜色由无色变为红色  
 (C) 选择甲基红指示反应终点, 误差比甲基橙大  
 (D)  $V(\text{NaOH})=30.00 \text{ mL}$  时,  $\text{pH}=12.3$
15. 常温下, 将  $V_1 \text{ mL } c_1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的氨水滴加到  $V_2 \text{ mL } c_2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸中, 下列结论正确的是( )。  
 (A) 若混合溶液  $\text{pH}=7$ , 则一定存在  $c_1 V_1 > c_2 V_2$  关系  
 (B) 若  $V_1=V_2$ ,  $c_1=c_2$ , 则溶液中一定存在  $[\text{H}^+]=[\text{OH}^-]$ , 呈中性  
 (C) 若混合溶液的  $\text{pH}=7$ , 则溶液中  $[\text{NH}_4^+]>[\text{Cl}^-]$   
 (D) 若  $V_1=V_2$ , 且混合溶液的  $\text{pH}<7$ , 则一定是由于盐酸过量而造成的
16. 测定  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_3$  溶液先升温再降温过程中的  $\text{pH}$ , 数据如下表所示。

时刻	①	②	③	④
温度/ $^\circ\text{C}$	25	30	40	25
$\text{pH}$	9.66	9.52	9.37	9.25

- 实验过程中, 取①④时刻的溶液, 加入盐酸酸化的  $\text{BaCl}_2$  溶液做对比实验, ④产生白色沉淀多。下列说法错误的是( )。  
 (A)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液中存在水解平衡:  $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{OH}^-$   
 (B) ④的  $\text{pH}$  与①不同, 是由于  $\text{SO}_3^{2-}$  浓度减小造成的  
 (C) ①→③的过程中, 温度和浓度对水解平衡移动方向的影响一致  
 (D) ①与④的  $K_w$  值相等

## 二、综合题

17. 已知双氧水( $\text{H}_2\text{O}_2$ )和水都是极弱电解质, 但  $\text{H}_2\text{O}_2$  显弱酸性。  
 (1) 若把  $\text{H}_2\text{O}_2$  看成是二元弱酸, 请写出它在水中的电离方程式: \_\_\_\_\_。

(2) 水电离生成  $\text{H}_3\text{O}^+$  和  $\text{OH}^-$  叫做水的自偶电离。同水一样,  $\text{H}_2\text{O}_2$  也有极微弱的自偶电离, 其自偶电离方程式为: \_\_\_\_\_。

只使用酚酞、石蕊、稀氨水、氯化铵晶体、浓盐酸、熟石灰粉末、醋酸铵晶体和蒸馏水。

根据: ① 弱碱在水中存在电离平衡; ② 弱碱的正离子会破坏水的电离平衡, 这两种平衡的移动均会引起指示剂颜色的变化。分别选用上述试剂, 设计两种实验证明  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  是弱碱, 请简述实验方法及现象。

(3) 应用根据①的实验方法及现象: \_\_\_\_\_。

(4) 应用根据②的实验方法及现象: \_\_\_\_\_。

#### 18. 电离平衡、水解平衡、沉淀溶解平衡都是电解质在水中存在的行为。

(1) 25°C时, 碳酸和草酸的电离平衡常数如下表所示。

化学式	$K_a$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}$
	$K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}$
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$K_{a1} = 5.9 \times 10^{-2}$
	$K_{a2} = 6.4 \times 10^{-5}$

等浓度的草酸溶液和碳酸溶液中, 氢离子浓度较大的是 \_\_\_\_\_。

0.1 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的 pH \_\_\_\_\_ (填“大于”“小于”或“等于”) 0.1 mol · L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液的 pH。

(2) 人体血液中的碳酸和碳酸氢盐存在平衡:  $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ , 当有少量酸性或碱性物质进入血液中时, 血液的 pH 变化不大, 用平衡移动原理解释上述现象。

(3) 长期使用的锅炉需要定期除水垢, 否则会降低燃料的利用率。水垢中含有  $\text{CaSO}_4$ , 可先用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液处理, 使之转化为疏松的  $\text{CaCO}_3$ , 而后再用酸除去。

① 写出  $\text{CaSO}_4$  转化为  $\text{CaCO}_3$  的离子方程式。

② 请分析  $\text{CaSO}_4$  转化为  $\text{CaCO}_3$  的化学原理。

19. 在常温下,  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的一元弱酸 HA 与等浓度的 NaOH 溶液等体积混合后, 所得溶液中部分微粒组分及浓度如图 3.19 所示。

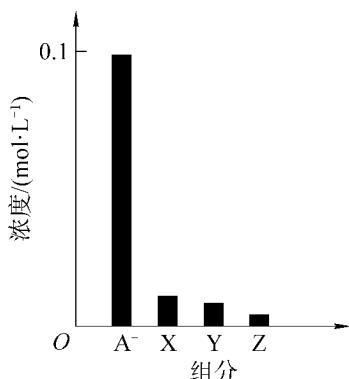


图 3.19

请回答下列问题:

- (1) 写出 HA 跟 NaOH 溶液反应的离子方程式: \_\_\_\_\_。
- (2) 反应后溶液的 pH \_\_\_\_\_ 7, 用离子方程式解释原因: \_\_\_\_\_。
- (3) 图中 X、Y、Z 分别代表的粒子是 \_\_\_\_\_ (填化学式); X、Y、Z 三者的浓度关系是 \_\_\_\_\_ (用等式表示)。
- (4) 溶液中  $[\text{Na}^+] = \underline{\quad} + \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

20. 工业上对烟气中的二氧化硫的处理有多种方法。

- (1) 采用低温臭氧氧化脱硫脱硝技术, 同时吸收  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$ , 获得  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  的稀溶液。向  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液中再加入少量  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  固体,  $\frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{SO}_4^{2-}]}$  的值将 \_\_\_\_\_ (填“变大”“不变”或“变小”)。
- (2) 在用 NaOH 溶液吸收  $\text{SO}_2$  的过程中, 往往得到  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  的混合溶液, 溶液 pH 随  $n(\text{SO}_3^{2-}) : n(\text{HSO}_3^-)$  变化如下表所示。

$n(\text{SO}_3^{2-}) : n(\text{HSO}_3^-)$	91 : 9	1 : 1	9 : 91
pH	8.2	7.2	6.2

- ① 由以上信息可推断:  $\text{NaHSO}_3$  溶液中  $[\text{H}_2\text{SO}_3^-] \underline{\quad} [\text{SO}_3^{2-}]$  (填“ $>$ ”“ $<$ ”或“ $=$ ”)。从水解和水解平衡的角度解释其原因: \_\_\_\_\_。
- ② 若向  $\text{NaHSO}_3$  溶液中加入氨水至中性, 则  $[\text{Na}^+] \underline{\quad} [\text{HSO}_3^-] + [\text{SO}_3^{2-}] + [\text{H}_2\text{SO}_3^-]$ 。

## 第4章 氧化还原反应和电化学

### 4.1 氧化还原反应

#### 氧化反应和还原反应

1. 下列物质的应用中,利用了氧化还原反应的是( )。  
(A) 用石灰乳脱除烟气中的 SO<sub>2</sub>      (B) 用明矾[KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12H<sub>2</sub>O]净水  
(C) 用盐酸去除铁锈(主要成分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)    (D) 用消毒液(有效成分 NaClO)杀灭细菌
2. 反应 MnO<sub>2</sub>+4HCl(浓) $\xrightarrow{\triangle}$ MnCl<sub>2</sub>+Cl<sub>2</sub>↑+2H<sub>2</sub>O 中,氧化产物与还原产物的物质的量之比是( )。  
(A) 1 : 2      (B) 1 : 1      (C) 2 : 1      (D) 4 : 1
3. 已知 Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>在酸性溶液中易被还原成 Co<sup>2+</sup>,Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cl<sub>2</sub>、FeCl<sub>3</sub>、I<sub>2</sub>的氧化性依次减弱。下列反应在水溶液中不可能发生的是( )。  
(A) 3Cl<sub>2</sub>+6FeI<sub>2</sub>=2FeCl<sub>3</sub>+4FeI<sub>3</sub>  
(B) Cl<sub>2</sub>+FeI<sub>2</sub>=FeCl<sub>2</sub>+I<sub>2</sub>  
(C) Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+6HCl=2CoCl<sub>2</sub>+Cl<sub>2</sub>↑+3H<sub>2</sub>O  
(D) 2Fe<sup>3+</sup>+2I<sup>-</sup>=2Fe<sup>2+</sup>+I<sub>2</sub>

#### 半反应

1. 向 SO<sub>2</sub>的水溶液中滴加几滴碘水,发生反应: SO<sub>2</sub>+I<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>O=H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+2HI。写出相关的半反应式。

2. 在酸性介质中,  $\text{MnO}_4^-$  与  $\text{Cl}^-$  发生反应生成  $\text{Mn}^{2+}$  和  $\text{Cl}_2$ , 所以高锰酸钾不宜使用盐酸酸化。根据上述事实写出相关的半反应式和总反应的离子方程式。

3. 地下水中硝酸盐造成的氮污染已成为一个世界性的环境问题。文献报道某课题组模拟地下水脱氮过程, 利用 Fe 粉和  $\text{KNO}_3$  溶液反应, 探究脱氮原理及相关因素对脱氮速率的影响。图 4.1 表示在用足量 Fe 粉还原上述  $\text{KNO}_3$  溶液过程中, 测出的溶液中相关离子浓度、pH 随时间的变化关系(部分副反应产物曲线略去)。请根据图中信息写出  $t_1$  前相关反应的半反应式和总反应的离子方程式。

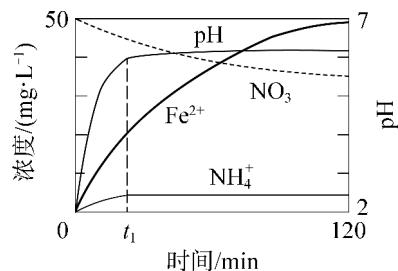
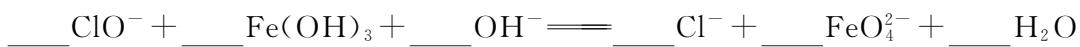


图 4.1

## 氧化还原反应化学方程式的配平

1. 24 mL 0.05 mol · L<sup>-1</sup> 的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液恰好与 20 mL 0.02 mol · L<sup>-1</sup> 的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液完全反应。已知  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  可被  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  氧化为  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 则元素 Cr 在还原产物中的化合价为 ( )。
- (A) +2                    (B) +3                    (C) +4                    (D) +5

2. 配平下列氧化还原反应方程式。



3.  $\text{NaNO}_2$  是一种食品添加剂,但食用过量可能致癌。 $\text{KMnO}_4$  的酸性溶液与  $\text{NaNO}_2$  反应的化学方程式为:  $\text{MnO}_4^- + \text{NO}_2^- + \square \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ (未配平)。下列叙述正确的是( )。

- (A) 该反应中  $\text{NO}_2^-$  被还原
- (B) 反应过程中溶液的 pH 减小
- (C) 生成 1 mol  $\text{NaNO}_3$  需消耗 0.4 mol  $\text{KMnO}_4$
- (D)  $\square$  中的粒子是  $\text{OH}^-$

4. 某离子反应涉及  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{ClO}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{Cl}^-$  等微粒,其中  $\text{N}_2$ 、 $\text{ClO}^-$  的物质的量随时间变化的曲线如图 4.2 所示,下列说法正确的是( )。

- (A) 该反应中  $\text{Cl}^-$  为氧化产物
- (B) 消耗 1 mol 还原剂,转移 6 mol 电子
- (C) 反应后溶液的酸性减弱
- (D)  $\text{NH}_4^+$  被  $\text{ClO}^-$  氧化成  $\text{N}_2$



### 证据与推理

为验证  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{SO}_2$  的氧化性依次降低,某小组用如图 4.3 所示装置进行实验(夹持仪器和 A 中加热装置已略,气密性已检验)。

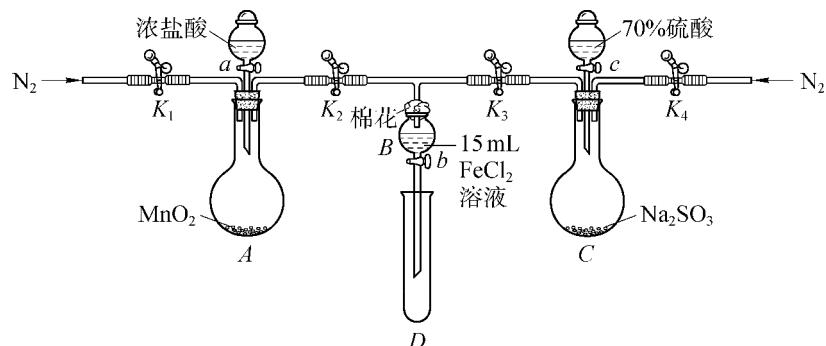


图 4.3

实验过程:

- I. 打开弹簧夹  $K_1 \sim K_4$ , 通入一段时间  $\text{N}_2$ , 再将 T 形导管插入 B 中, 继续通入  $\text{N}_2$ , 然后关闭  $K_1$ 、 $K_3$ 、 $K_4$ 。
  - II. 打开活塞  $a$ , 滴加一定量的浓盐酸, 并给 A 加热。
  - III. 当 B 中溶液变黄时, 停止加热, 关闭  $K_2$ 。
  - IV. 打开活塞  $b$ , 使约 2 mL 的溶液流入 D 试管中, 检验其中的离子。
  - V. 打开  $K_3$  和活塞  $c$ , 加入 70% 的硫酸, 一段时间后关闭  $K_3$ 。
  - VI. 更新试管 D, 重复过程 IV, 检验 B 中溶液中的离子。
- (1) 过程 I 的目的是 \_\_\_\_\_。

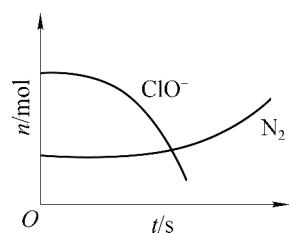


图 4.2

(2) 棉花中浸润的溶液为\_\_\_\_\_。

(3) 若将制取的  $\text{SO}_2$  通入高锰酸钾的酸性溶液可使溶液褪色, 其离子方程式为 \_\_\_\_\_。

(4) 甲、乙、丙三位同学分别完成了上述实验, 结论如下表所示, 他们的检测结果一定能够证明  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{SO}_2$  的氧化性依次降低的是 \_\_\_\_\_ (填“甲”“乙”或“丙”)。

组别	过程Ⅳ B 中溶液中含有的离子	过程Ⅵ B 中溶液中含有的离子
甲	有 $\text{Fe}^{3+}$ 无 $\text{Fe}^{2+}$	有 $\text{SO}_4^{2-}$
乙	既有 $\text{Fe}^{3+}$ 又有 $\text{Fe}^{2+}$	有 $\text{SO}_4^{2-}$
丙	有 $\text{Fe}^{3+}$ 无 $\text{Fe}^{2+}$	有 $\text{Fe}^{2+}$

## 4.2 原电池和化学电源

### 原电池的工作原理

1. 铜锌原电池(图 4.4)工作时,下列叙述正确的是( )。

- (A) 正极反应  $Zn - 2e^- \rightarrow Zn^{2+}$
- (B) 电池反应  $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$
- (C) 在外电路中,电子从铜极流向锌极
- (D) 盐桥中的  $K^+$  移向  $ZnSO_4$  溶液

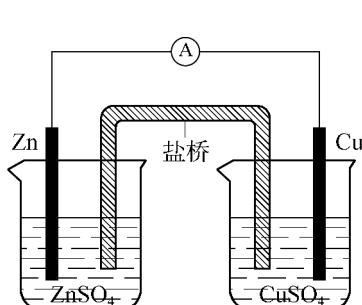


图 4.4

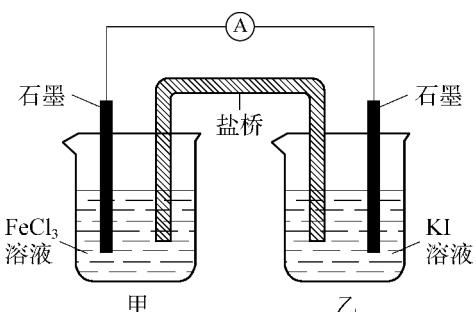


图 4.5

2. 控制合适的条件,将反应  $2Fe^{3+} + 2I^- \rightleftharpoons 2Fe^{2+} + I_2$  设计成如图 4.5 所示的原电池。下列判断错误的是( )。

- (A) 反应开始时,乙中石墨电极上发生氧化反应
- (B) 反应开始时,甲中石墨电极上  $Fe^{3+}$  被还原
- (C) 电流表读数为零时,反应达到化学平衡状态
- (D) 电流表读数为零后,向甲中加入  $FeCl_2$  固体,乙中的石墨电极为负极

3. (1) 利用反应  $Cu + 2FeCl_3 \rightarrow CuCl_2 + 2FeCl_2$  设计成如

图 4.6 所示的原电池,回答下列问题。

① 写出电极反应。

正极: \_\_\_\_\_;

负极: \_\_\_\_\_。

② 图中 X 是 \_\_\_\_\_, Y 是 \_\_\_\_\_。

③ 原电池工作时,盐桥中的 \_\_\_\_\_ (填“正”或“负”) 离子向 X 溶液方向移动。

(2) 利用反应  $2Cu + O_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2CuSO_4 + 2H_2O$  可制备  $CuSO_4$ ,若将该反应设计为原电池,其正极反应为 \_\_\_\_\_。

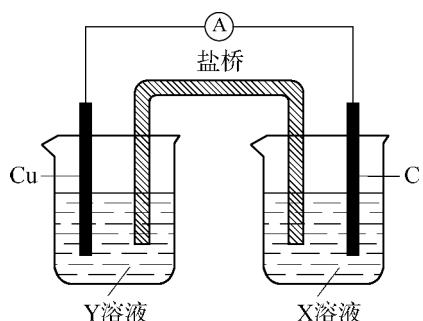


图 4.6

## 化学电源——电池

1. 碱性干电池具有容量大、放电电流大的特点,因而得到广泛应用。碱性锌锰干电池以氢氧化钾溶液为电解液,电池总反应为:  $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{MnO}(\text{OH})(\text{s})$ 。下列说法错误的是( )。

- (A) 电池工作时,锌失去电子
- (B) 电池正极的电极反应为:  $2\text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{MnO}(\text{OH})(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$
- (C) 电池工作时,电子由正极通过外电路流向负极
- (D) 外电路中每通过 0.2 mol 电子,锌的质量减少 6.5 g

2. 质子交换膜燃料电池的工作原理如图 4.7 所示,下列叙述正确的是( )。

- (A) 通入氧气的电极发生氧化反应
- (B) 通入氢气的电极为正极
- (C) 导电离子为质子,且在电池内部由正极定向移动至负极
- (D) 正极的电极反应为:  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

3. 铅酸蓄电池是典型的可充电电池,电池总反应为:



放电时,正极的电极反应是\_\_\_\_\_。电解液中硫酸的浓度将变\_\_\_\_\_,当外电路通过 1 mol 电子时,理论上负极板的质量增加\_\_\_\_g,电池中消耗的硫酸物质的量为\_\_\_\_\_。

4. 银锌纽扣电池具有比能量大、电压稳定、储存时间长等特点,如图 4.8 所示,总反应为:

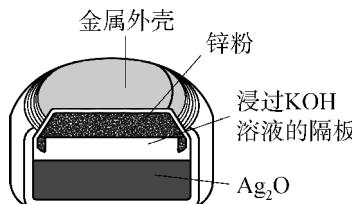


图 4.8

- (1) 负极反应物: \_\_\_\_\_; 正极反应物: \_\_\_\_\_; 电解质溶液: \_\_\_\_\_。
- (2) 负极的电极反应: \_\_\_\_\_;  
正极的电极反应: \_\_\_\_\_。

## 4.3 电 池

### 电解池的工作原理

1. 下列关于电解池工作原理的说法错误的是( )。
  - (A) 电解池是一种将电能转化成化学能的装置
  - (B) 电解池中一定会发生氧化还原反应
  - (C) 电解池工作时,阳极上发生氧化反应,阴极上发生还原反应
  - (D) 电解池工作时,电极本身一定不会参加电极反应
2. 关于用惰性电极电解水的实验,下列说法正确的是( )。
  - (A) 为了增加水的导电能力,可以加入氯化钠固体
  - (B) 阳极产生氧气
  - (C) 阴极区溶液的 pH 不断减小
  - (D) 在两极滴加酚酞,与电源正极相连的一极显红色
3. 图 4.9 是电解  $\text{CuCl}_2$  溶液的装置,其中 c、d 为石墨电极。则下列有关判断正确的是( )。

(A) a 为负极、b 为正极	(B) a 为阳极、b 为阴极
(C) 电解过程中,d 电极质量增加	(D) 电解过程中,氯离子浓度不变

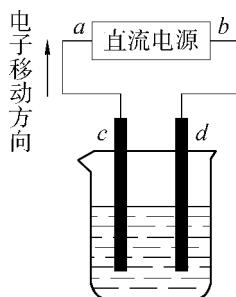


图 4.9

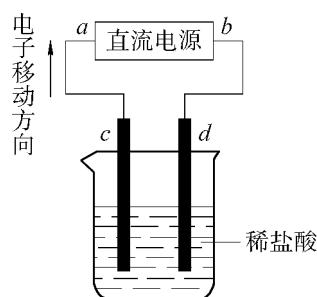


图 4.10

4. 图 4.10 是电解稀盐酸的装置,其中 c、d 为石墨电极,回答下列问题。
  - (1) a 为\_\_\_\_\_极,b 为\_\_\_\_\_极。
  - (2) c 为\_\_\_\_\_极,电极反应为\_\_\_\_\_,发生了\_\_\_\_\_ (填“氧化”或“还原”)反应。  
d 为\_\_\_\_\_极,电极反应为\_\_\_\_\_,发生了\_\_\_\_\_ (填“氧化”或“还原”)反应。

- (3) 电解过程中, 氢离子向\_\_\_\_\_ (填“阴”或“阳”, 下同) 极移动, 氯离子向\_\_\_\_\_ 极移动。电解总方程式为\_\_\_\_\_。

## 电解原理的应用

1. 图 4.11 为直流电源电解稀硫酸钠溶液的装置。通电后在石墨电极 *a* 和 *b* 附近分别滴加一滴石蕊试液。下列实验现象中描述正确的是( )。

- (A) 电极 *a* 附近呈红色, 电极 *b* 附近呈蓝色
- (B) 电极 *a* 附近呈蓝色, 电极 *b* 附近呈红色
- (C) 相同条件下, 电极 *a* 逸出的气体体积小于电极 *b*
- (D) 一电极逸出无气味气体, 另一电极逸出具有刺激性气味的气体

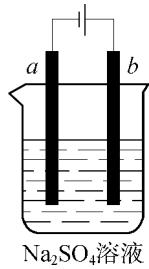


图 4.11

2. 利用如图 4.12 所示装置可以在铜牌表面电镀一层银, 下列有关说法正确的是( )。

- (A) 通电后,  $\text{Ag}^+$  向阳极移动
- (B) 银片与电源负极相连
- (C) 该电解池的阴极电极反应可表示为:  $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$
- (D) 当电镀一段时间后, 将电源持续反接, 铜牌可恢复如初

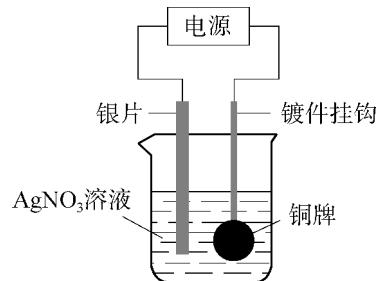


图 4.12

3. 海水提镁的最后一步是将氯化镁电解获取金属镁, 下列有关该电解过程的叙述正确的是( )。

- (A) 两个电极必须都用惰性电极
- (B) 阳极可以用金属电极, 阴极必须是惰性电极
- (C) 电解熔融状态的氯化镁
- (D) 电解氯化镁的水溶液

4. 工业电解饱和食盐水制烧碱时需阻止  $\text{OH}^-$  移向阳极, 图 4.13 采用正离子交换膜将两极溶液分开。

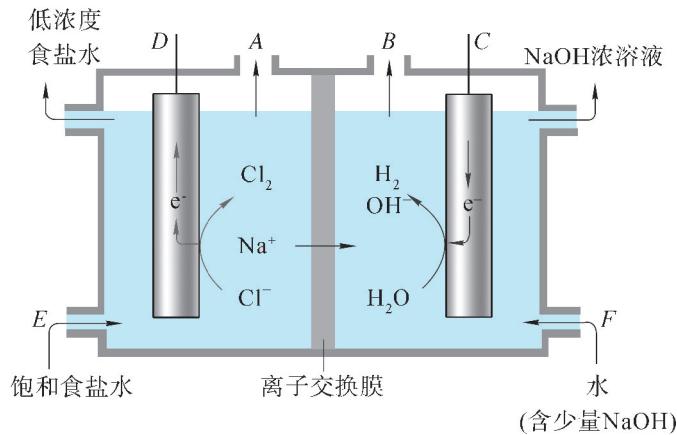


图 4.13

- (1) *C*、*D* 分别是直流电源的两电极, *C* 是电源\_\_\_\_\_极, *D* 是电源\_\_\_\_\_极。
- (2) 电解一段时间后, \_\_\_\_\_ 由 *A* 口导出, \_\_\_\_\_ 由 *B* 口导出。阴极附近碱性增强

的原因是\_\_\_\_\_（用电极反应表示）。

- (3) 若不采用正离子交换膜,  $\text{OH}^-$  向阳极移动, 发生的反应可用离子方程式表示为  
\_\_\_\_\_。

5. 图 4.14 是在直流电源的作用下电解  $\text{CuSO}_4$  溶液的装置, 其中 A、B 为石墨电极, a、b 为电源的两极。当接通电源, 通电一段时间后, 将 B 电极取出, 洗涤并干燥后称量, 其质量增加了 3.2 g, 则:

- (1) a 电极为电源的\_\_\_\_\_极。  
(2) 写出电极反应式。A 极: \_\_\_\_\_,  
B 极: \_\_\_\_\_。  
(3) 若使反应后的溶液恢复到原来状态, 则应该加入\_\_\_\_\_, 质量  
为\_\_\_\_\_g。

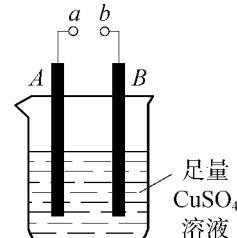


图 4.14



### 实践与制作

某同学想通过实验研究电镀原理, 设计如下实验步骤。

步骤一: 用砂纸把铁制镀件打磨干净, 放入  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液中除去油污, 然后用蒸馏水洗净。再将该铁制镀件放入 20% 盐酸中除锈, 几分钟后取出, 并用蒸馏水洗净。

步骤二: 把铁制镀件与 2~3 V 的直流电源的负极相连, 铜片与直流电源的正极相连(图 4.15)。将两极平行浸入硫酸铜溶液中, 两极间距约 5 cm, 5~10 min 后取出, 观察镀件表面发生的变化。

1. 电镀前, 如果将铜片与直流电源的负极相连, 铁制镀件与直流电源的正极相连, 通电后观察到的现象是什么? 请写出阴、阳两极发生反应的电极反应式。

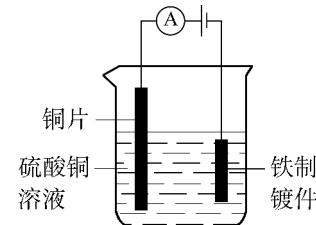


图 4.15

2. 查阅资料, 了解工业生产中影响电镀质量的因素。

## 4.4 金属的电化学腐蚀与防护

### 金属的电化学腐蚀

1. 下列关于金属腐蚀的说法正确的是( )。

- (A) 金属在潮湿空气中腐蚀的实质是:  $M+nH_2O \longrightarrow M(OH)_n + \frac{n}{2}H_2 \uparrow$
- (B) 金属的化学腐蚀的实质是:  $M-ne^- \longrightarrow M^{n+}$ , 电子直接转移给氧化剂
- (C) 金属的化学腐蚀必须在酸性条件下进行
- (D) 在潮湿的环境中, 金属的电化学腐蚀一定是析氢腐蚀

2. 铜板上铁铆钉的吸氧腐蚀原理如图 4.16 所示, 下列说法正确的是( )。

- (A) 正极反应为:  $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2 \uparrow$
- (B) 此过程中还涉及反应  $4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 4Fe(OH)_3$
- (C) 此过程中 Fe、Cu 均被腐蚀
- (D) 此过程中电流从 Fe 流向 Cu

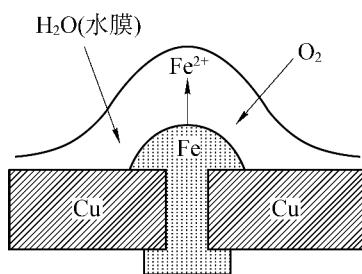


图 4.16

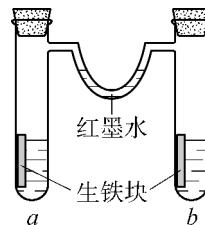


图 4.17

3. 图 4.17 的装置中, U 形管内为红墨水, a、b 试管内分别盛有食盐水和氯化铵溶液。向 a、b 试管中各加入一生铁块, 放置一段时间。下列有关描述错误的是( )。

- (A) 生铁块中的碳是原电池的正极
- (B) 红墨水水柱两边的液面变为左低右高
- (C) 两试管中相同的电极反应是:  $Fe - 2e^- \longrightarrow Fe^{2+}$
- (D) a 试管中主要发生吸氧腐蚀, b 试管中主要发生析氢腐蚀

### 金属的电化学防护

1. 下列有关金属铁的腐蚀与防护, 说法正确的是( )。

- (A) 在钢铁表面进行发蓝处理, 生成四氧化三铁薄膜保护金属
- (B) 当镀锡铁和镀锌铁的镀层破损时, 后者更易被腐蚀

- (C) 铁与电源正极连接可实现电化学保护  
(D) 阳极氧化处理铝制品生成致密的保护膜属于电化学保护法

2. 下列防护措施中属于电化学保护法的是( )。

- (A) 用氧化剂使金属表面生成致密稳定的氧化物保护膜  
(B) 在金属中加入一些铬或镍制成合金  
(C) 在轮船的船壳水线以下部分安装锌锭  
(D) 在金属表面喷漆

3. 下列选项对图 4.18 中的实验装置判断错误的是( )。

- (A) 若 X 为碳棒,开关 K 置于 A 处可减缓铁的腐蚀  
(B) 若 X 为锌棒,开关 K 置于 A 或 B 处均可减缓铁的腐蚀  
(C) 若 X 为锌棒,开关 K 置于 B 处时,为牺牲阳极的阴极保护法  
(D) 若 X 为碳棒,开关 K 置于 B 处时,铁电极上发生的反应为:  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \uparrow$

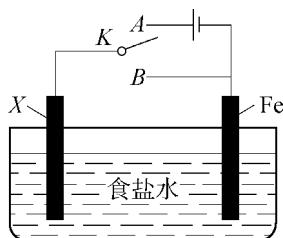


图 4.18

4. 金属腐蚀的电化学原理可用图 4.19 模拟。

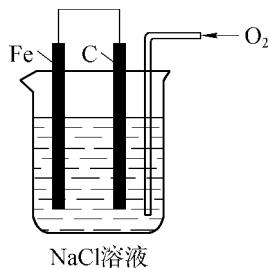


图 4.19

(1) 请写出有关电极反应。

- ① 铁棒上电极反应: \_\_\_\_\_。  
② 碳棒上电极反应: \_\_\_\_\_。

(2) 图 4.19 表示的是 \_\_\_\_\_ (填“析氢”或“吸氧”) 腐蚀。

(3) 若将 O<sub>2</sub> 撤走, 并将 NaCl 溶液改为稀硫酸, 则图 4.19 可表示 \_\_\_\_\_ (填“析氢”或“吸氧”) 腐蚀原理; 若用牺牲阳极的阴极保护法来保护铁棒不被腐蚀溶解, 则可将碳棒改为 \_\_\_\_\_ 棒。



## 生活与社会

市场上出售的“热敷袋”其主要成分是铁屑、石墨粉、木屑和少量氯化钠、水等。热敷袋启用之前用塑料袋密封，启用时，打开塑料袋轻轻揉搓就会放出热量。使用完后，会发现有大量铁锈存在。请回答下列问题。

- (1) 石墨粉的主要作用是\_\_\_\_\_。
- (2) 加入氯化钠的主要作用是\_\_\_\_\_。
- (3) 写出有关的电极反应式。负极：\_\_\_\_\_，正极：\_\_\_\_\_。
- (4) 试用化学方程式表明上述变化过程：\_\_\_\_\_。



## 课题与研究

“暖贴”是我们冬季常用的一种用品。某化学兴趣小组对暖贴中成分及发热原理展开了探究。暖贴中铁粉、活性炭、食盐、水等物质的作用实验数据如下表所示。

实验编号		实验药品及用量				反应时间 min	温度上升值 ℃
		铁粉/g	活性炭/g	食盐/g	水/g		
对照组		2	0.4	0.2	8	10	60
实验组	1	0	0.4	0.2	8	10	0
	2	2	0.4	0	8	10	30
	3	2	0.4	0.2	0	10	6.5
	4	2	<i>a</i>	<i>b</i>	8	10	3.7

- (1) 分析对照组与实验组第\_\_\_\_\_组的数据，能证明食盐能加快铁粉的锈蚀速率。
- (2) 实验组第4组数据中，*a*=\_\_\_\_\_，*b*=\_\_\_\_\_。
- (3) 下列说法正确的是\_\_\_\_\_（填序号）。
  - (A) 暖贴在使用前要密封保存
  - (B) 暖贴使用后剩余物可以回收利用
  - (C) 利用铁生锈的原理，铁粉还可用于食品保鲜

## 本章测试

### 一、选择题(每小题只有1个正确选项)

1. 氢化钙可作为生氢剂,反应的化学方程式为:  $\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2 \uparrow$ 。下列说法错误的是( )。
- (A) 氢化钙既是氧化剂又是还原剂      (B) 氢气既是氧化产物又是还原产物  
(C) 氢化钙是还原剂,水是氧化剂      (D) 氧化产物与还原产物的质量比为 1:1
2. 某同学利用氧化还原反应  $2\text{KMnO}_4 + 10\text{FeSO}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$  设计原电池,盐桥中装有饱和  $\text{K}_2\text{SO}_4$  溶液(图 4.20)。下列叙述正确的是( )。

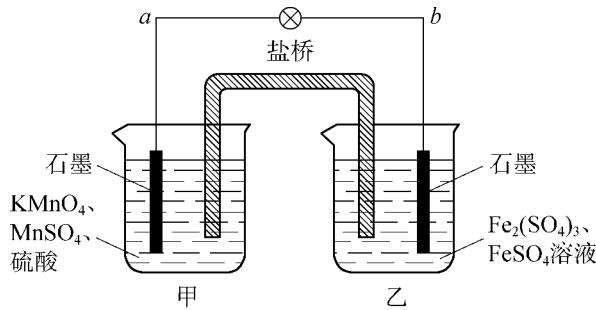


图 4.20

- (A) 甲烧杯中溶液的 pH 逐渐减小      (B) 乙烧杯中发生还原反应  
(C) 外电路的电流方向是从 a 到 b      (D) 电池工作时,盐桥中的  $\text{SO}_4^{2-}$  移向甲烧杯
3. 日常所用干电池的电极分别为碳棒(上面有铜帽)和锌皮,以糊状  $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $\text{ZnCl}_2$  作电解质(其中加入  $\text{MnO}_2$  吸收  $\text{H}_2$ ),电极反应可简化为:  $\text{Zn} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ ,  $2\text{NH}_4^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{H}_2$ 。下列结论错误的是( )。
- (A) Zn 为正极,碳为负极  
(B) Zn 发生氧化反应  
(C) 工作时电流由碳极经外电路流向 Zn 极  
(D) 长时间连续使用时,内装糊状物可能流出,从而腐蚀家用电器
4. 铅酸蓄电池的两极分别为 Pb、 $\text{PbO}_2$ ,电解质溶液为硫酸,工作时的电池反应为:  $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。下列结论正确的是( )。
- (A) Pb 为正极,被氧化      (B) 溶液的 pH 不断减小  
(C)  $\text{SO}_4^{2-}$  只向  $\text{PbO}_2$  处移动      (D) 电解质溶液的密度不断减小

5. 图 4.21 是甲醇燃料电池的结构示意图, 甲醇在催化剂作用下提供质子( $H^+$ )和电子, 电子经外电路、质子经内电路到达另一极与氧气反应, 电池总反应为:  $2CH_3OH + 3O_2 = 2CO_2 + 4H_2O$ 。下列说法错误的是( )。

- (A) 左电极为电池的负极,  $a$  处通入的物质是甲醇
- (B) 正极反应为:  $O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$
- (C) 负极反应为:  $CH_3OH + H_2O - 6e^- = CO_2 + 6H^+$
- (D) 该电池提供  $1\text{ mol } e^-$ , 消耗氧气  $0.25\text{ mol}$

6. 图 4.22 是工业电解饱和食盐水的装置示意图, 下列有关说法错误的是( )。

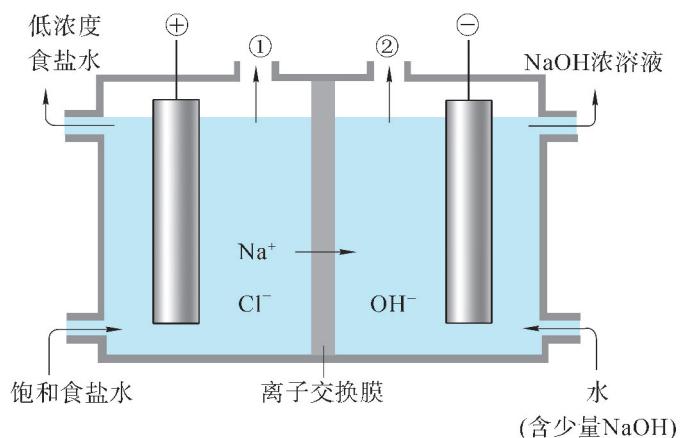


图 4.22

- (A) 装置中出口①处的物质是氯气, 出口②处的物质是氢气
- (B) 该离子交换膜只能让正离子通过, 不能让负离子通过
- (C) 装置中发生反应的离子方程式为:  $Cl^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{通直流电}} Cl_2 \uparrow + H_2 \uparrow$
- (D) 该装置是将电能转化为化学能

7. 利用电解法可将含有 Fe、Zn、Ag、Pt 等杂质的粗铜提纯, 下列叙述正确的是( )。

- (A) 电解时以纯铜作阳极
- (B) 电解时阴极发生氧化反应
- (C) 粗铜连接电源负极, 其电极反应是:  $Cu - 2e^- = Cu^{2+}$
- (D) 电解后, 电解槽底部会形成含少量 Ag、Pt 等金属的阳极泥

8. 欲在金属表面镀银, 应把镀件挂在电镀池的阴极。下列各组中, 选用的阳极金属和电镀液均正确的是( )。

- (A) Ag 和 NaCl 溶液
- (B) Ag 和  $AgNO_3$  溶液
- (C) Fe 和  $AgNO_3$  溶液
- (D) Pt 和  $Ag_2SO_4$  溶液

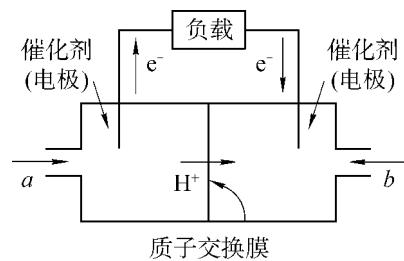


图 4.21

9. 炒过菜的铁锅未及时洗净(残液中含 NaCl),不久便会因被腐蚀而出现红褐色锈斑。腐蚀原理如图 4.23 所示,下列说法正确的是( )。

- (A) 腐蚀过程中,负极是 C  
 (B) Fe 失去电子经电解质溶液转移给 C  
 (C) 正极的电极反应为:  $4OH^- - 4e^- \rightarrow 2H_2O + O_2 \uparrow$   
 (D) C 作正极, $O_2$  在 C 表面上发生还原反应

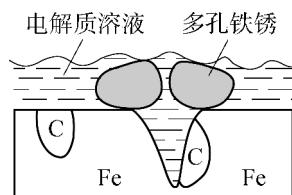


图 4.23

10. 埋在地下的钢管常用如图 4.24 所示的方法加以保护,使其免受腐蚀。下列说法正确的是( )。

- (A) 金属棒 X 的材料可能为铜  
 (B) 金属棒 X 的材料可能为钠  
 (C) 钢管附近土壤的 pH 可能会上升  
 (D) 这种方法称为外加电流阴极保护法

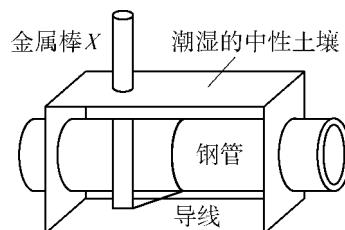
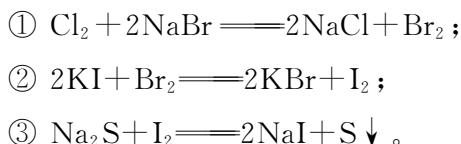


图 4.24

## 二、综合题

11. 已知下列反应:



(1)  $Cl^-$ 、 $Br^-$ 、 $I^-$ 、 $S^{2-}$  四种离子的还原性由强到弱的顺序是\_\_\_\_\_。

(2) 判断  $Cl_2$  与  $Na_2S$  能否反应?

(填“否”或书写反应的离子方程式)。

(3) 判断  $I_2$  与  $NaBr$  能否反应?

(填“否”或书写反应的离子方程式)。

(4) 已知实验室可用原理  $MnO_2 + 4HCl(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} MnCl_2 + Cl_2 \uparrow + 2H_2O$  制取氯气,由此分析:  $MnO_2$  在反应中\_\_\_\_\_电子,所含元素化合价\_\_\_\_\_,发生\_\_\_\_\_反应。

(5) 已知  $NH_3$  和  $Cl_2$  可以发生氧化还原反应,配平反应的化学方程式:



(6) 在硫酸中,  $NaClO_3$  和  $Na_2SO_3$  能按物质的量之比 1:2 完全反应,生成一种棕黄色气体 X, 同时  $Na_2SO_3$  被氧化为  $Na_2SO_4$ , 则 X 为\_\_\_\_\_。

- (A)  $Cl_2O_7$       (B)  $ClO_2$       (C)  $Cl_2O$       (D)  $Cl_2$

12. 为了避免锌片与  $\text{Cu}^{2+}$  直接接触发生反应而影响原电池的放电效率, 有人设计了如图 4.25 所示的装置, 回答下列问题。

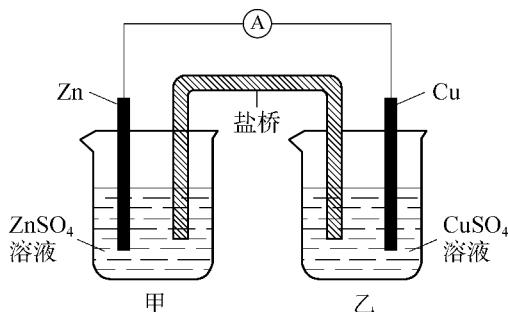


图 4.25

- (1) 此装置工作时, 可以观察到的现象是 \_\_\_\_\_, 电池总反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_。
- (2) 以上电池中, 锌为 \_\_\_\_\_ 极, 铜为 \_\_\_\_\_ 极。
- (3) 此盐桥内为饱和 KCl 溶液, 盐桥是通过 \_\_\_\_\_ 的定向移动来导电的。在工作时,  $\text{K}^+$  移向 \_\_\_\_\_。

13. 锂空气电池放电时的工作原理如图 4.26 所示。根据图示回答下列问题。

- (1) 放电时  $\text{Li}^+$  由 \_\_\_\_\_ (填“A”或“B”, 下同) 极向 \_\_\_\_\_ 极移动。
- (2) 写出电极反应式: ① 负极: \_\_\_\_\_; ② 正极: \_\_\_\_\_;  
③ 放电时电池总反应为 \_\_\_\_\_。
- (3) 电解液 a 能否是氯化锂水溶液? \_\_\_\_\_ (填“能”或“否”), 原因为 \_\_\_\_\_。

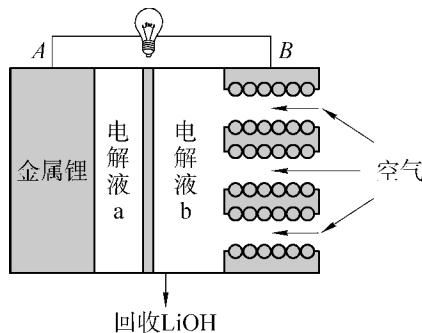


图 4.26

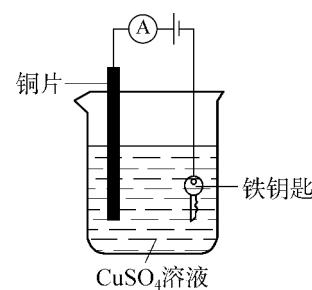


图 4.27

14. 某电镀铜实验装置(电镀池)如图 4.27 所示。回答下列问题。

- (1) 铜片为 \_\_\_\_\_ (填“镀层”“镀件”或“电镀液”, 下同) 金属, 铁钥匙为 \_\_\_\_\_ 金属, 硫酸铜溶液为 \_\_\_\_\_。
- (2) 阳极反应为 \_\_\_\_\_, 阴极反应为 \_\_\_\_\_。
- (3) 可观察到的现象是铁件表面 \_\_\_\_\_, 铜片 \_\_\_\_\_。
- (4) 硫酸铜溶液的浓度 \_\_\_\_\_ (填“明显增大”“明显减小”或“基本不变”)。

15. 含氯消毒液是一种常见的环境消毒液。某学生想制作一种家用环保型消毒液发生器,用石墨作电极电解饱和氯化钠溶液,通电时,为使  $\text{Cl}_2$  被完全吸收制得有较强杀菌能力的消毒液,设计了如图 4.28 所示的装置。 $c$ 、 $d$  都为石墨电极。回答下列问题。

- (1)  $a$  为电源的 \_\_\_\_\_ (填“正”“负”或“阴”“阳”,下同) 极, $c$  为电解池的 \_\_\_\_\_ 极。
- (2)  $d$  电极上发生的电极反应为 \_\_\_\_\_, 电解产生消毒液的总化学方程式为 \_\_\_\_\_。

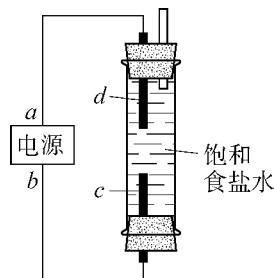


图 4.28

16. 某研究小组为探究弱酸性条件下铁发生电化学腐蚀类型的影响因素,将混合均匀的新制铁粉和碳粉置于锥形瓶底部,塞上瓶塞(图 4.29)。从胶头滴管中滴入几滴醋酸,同时测量容器中的压强变化。

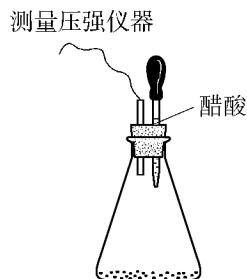


图 4.29

- (1) 请完成以下实验设计表(表中不要留空格)。

编号	实验目的	碳粉/g	铁粉/g	醋酸(%)
①	做对照实验	0.5	2.0	90.0
②	醋酸浓度的影响	0.5		36.0
③		0.2	2.0	90.0

- (2) 实验①测得容器中压强随时间变化如图 4.30 所示。 $t_2$  时,容器中压强明显小于起始压强,其原因是铁发生了 \_\_\_\_\_ 腐蚀。请在图 4.31 中用箭头标出发生该腐蚀时电子流动方向,此时,碳粉表面发生了 \_\_\_\_\_ (填“氧化”或“还原”)反应,其电极反应是 \_\_\_\_\_。

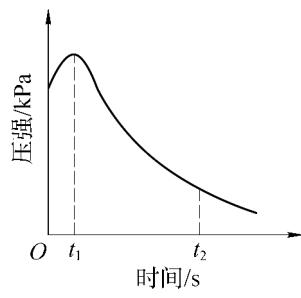


图 4.30

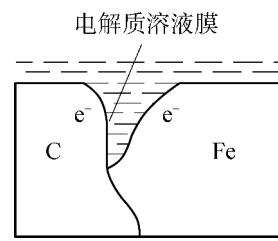


图 4.31

(3) 该小组对图 4.30 中  $0 \sim t_1$  时压强变大的原因提出了如下假设,请完成假设二。

假设一：发生析氢腐蚀产生了气体；

假设二：\_\_\_\_\_。

## 说　　明

本书根据教育部颁布的《普通高中化学课程标准(2017年版 2020年修订)》和高中化学教科书编写,经上海市中小学教材审查委员会审查准予使用。

编写过程中,上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会专家工作委员会、上海市教育委员会教学研究室、上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市化学教育教学研究基地(上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地)及基地所在单位复旦大学给予了大力支持。在此表示感谢!

欢迎广大师生来电来函指出书中的差错和不足,提出宝贵意见。出版社电话:021-64848025。

**声明** 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定,我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。



经上海市中小学教材审查委员会审查  
准予使用 淮用号 II-GB-2022002



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5931-5



9 787547 859315 >

定价：5.60元