

部分参考答案及解析

第一章 化学反应的热效应

第一节 反应热

第1课时 反应热 焓变

典型例题

【例1】D **【解析】**图甲中反应物总能量大于生成物总能量,表示的是放热反应,A正确;图乙表示的是吸热反应,故反应物的化学键断裂吸收的总能量高于生成物的化学键形成释放的总能量,B正确;氯化铵固体与氢氧化钡晶体反应是吸热反应,C正确;放热反应、吸热反应与反应是否需要加热无关,D错误。

【例2】A **【解析】**用铜丝代替玻璃搅拌器时,由于铜丝具有良好的导热性,导致热量的散失,使测得的 $|\Delta H|$ 偏小,但 ΔH 偏大,A正确;中和热是指强酸和强碱的稀溶液反应生成1 mol水时所放出的热量,是一个定值,其大小与中和反应生成水的多少无关,B错误;强酸与强碱反应生成沉淀和水的中和反应,如稀硫酸和稀氢氧化钡溶液的中和反应,生成1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 时的 ΔH 不为 $-57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,C错误;中和热的测定实验中,读取混合溶液的最高温度,记为终止温度,D错误。

自主学习

1.(1)等温 释放或从环境吸收

(2)1 mol

2.(1)内能

(2)体系内物质的各种能量 温度、压强和物质的聚集状态

(3) H 等压 焓变 ΔH kJ/mol $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(4)减小 负 增大 正

基础夯实

3.C **【解析】**A项,焓变不是指1 mol物质参加反应时的能量变化;B项,放热反应 $\Delta H < 0$,吸热反应 $\Delta H > 0$;D项,一个确定的化学反应关系中,反应物总焓可能高于或低于生成物总焓。

4.A **【解析】**烧炭取暖是化学能转化成热能,A正确;光合作用是太阳能转化为化学能,B错误;风力发电是风能转化为电能,C错误;电解冶炼是电能转化为化学能,D错误。

5.C **【解析】**所有的燃烧都是放热反应,A错误;葡萄糖是人体的供能物质,在人体内氧化是放热反应,B错误; $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 与 NH_4Cl 反应是吸热反应,C正确;活泼金属与酸的反应为放热反应,D错误。

6.D **【解析】**氯酸钾分解制氧气为吸热反应, $\Delta H > 0$,A错误;氯化铵加热制备氨气为分解反应,需要吸热, $\Delta H > 0$,B错误;碳与二氧化碳高温生成一氧化碳是吸热反应, $\Delta H > 0$,C错误;实验室制备氢气用活泼金属与酸反应,为放热反应, $\Delta H < 0$,D正确。

7.C **【解析】**反应物的总能量大于生成物的总能量,X的能量与M的能量关系无法确定,A错误;同理,B错

误;该反应为放热反应,所以反应物的总能量大于生成物的总能量,即X和Y的总能量一定高于M和N的总能量,C正确;反应的放热、吸热与反应条件(如加热)无关,某些放热反应也需要加热才能反应,如氢气和氧气的反应,D错误。

8.C 【解析】反应物的能量高于生成物的能量,反应放出能量,该反应是放热反应,A正确;该反应是放热反应,反应后体系的能量降低,B正确;使用催化剂,反应物和生成物能量没有变化,C错误;在不同温度下进行反应,反应物的能量不同,化学反应的能量变化值不同,D正确。

9.C 【解析】含1 mol H_2SO_4 的稀硫酸与足量NaOH溶液反应会生成2 mol水,放出热量114.6 kJ,A错误;一水合氨是弱碱,电离过程为断开化学键,需要吸热,稀盐酸与氨水反应生成1 mol H_2O 放出的热量会小于57.3 kJ,B错误;稀盐酸与稀 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液反应生成1 mol水的实质是 $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$,放出的热量是57.3 kJ,C正确;浓硫酸的溶解过程释放热量,所以稀NaOH溶液与95%浓硫酸生成1 mol水放出的热量大于57.3 kJ,D错误。

10.A 【解析】反应物的总能量小于生成物的总能量,反应为吸热反应,符合题意,A正确;反应物的总能量大于生成物的总能量,反应为放热反应,与题意不符,B错误;浓硫酸稀释放出热量,与题意不符,C错误;锌与稀盐酸的反应为放热反应,与题意不符,D错误。

能力提升

11.D 【解析】A项, H_2 、 Cl_2 与HCl含有的化学键均为共价键,该反应只涉及共价键的断裂与形成,A错误;B项,该反应的化学能可以转化为热能,也可以转化为光能等其他形式的能量,B错误;C项,该反应为放热反应,所以断开1 mol $\text{H}-\text{H}$ 键和1 mol $\text{Cl}-\text{Cl}$ 键所吸收的总能量小于形成2 mol $\text{H}-\text{Cl}$ 键所放出的能量,C错误;D项,因为反应为放热反应,所以反应物所具有的总能量高于生成物所具有的总能量,D正确。

12.D 【解析】能量越低越稳定,根据示意图可知等质量时红磷的能量低,红磷稳定,故 $4\text{P}(\text{s}) \longrightarrow \text{P}_4(\text{s})$ 为吸热反应,故选D。

13.B 【解析】当往试管中加入试剂Y时,看到U形管中甲处液面下降,乙处液面上升,说明该反应为放热反应,放出的热量使得集气瓶中气压升高而出现该现象,①正确;在放热过程中,反应物的总能量高于生成物的总能量,②错误;由于该反应为放热反应,可看成“贮存”于X、Y内部的部分能量转化为热量而释放出来,③正确。综上分析可知B正确。

14.A 【解析】由图可知,将 V_1 mL $1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl溶液和 V_2 mL未知浓度的NaOH溶液混合均匀后反应温度升高,表明反应中化学能可以转化为热能,A正确;反应的起始温度即为实验时环境温度,由题给图像知,起始温度低于 22°C ,B错误;反应温度最高点即为完全反应点,由图可知,完全反应时参加反应的盐酸的体积 V_1 是30,由 $V_1 + V_2 = 50$ 可知,反应消耗的氢氧化钠溶液的体积 V_2 为20,完全反应时HCl和NaOH的物质的量相等,则有 $1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.03 \text{ L} = c(\text{NaOH}) \times 0.02 \text{ L}$,解得 $c(\text{NaOH}) = 1.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,C错误;该反应为有水生成的放热反应,其他有水生成的反应不一定放热,如氯化铵和氢氧化钡晶体的反应有水生成,但属于吸热反应,D错误。

15.A 【解析】根据 $\Delta H = -123 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = \text{反应物键能总和} - \text{生成物键能总和}$,代入数据,即 $4 \times 431 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 497 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 2a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 4 \times 465 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -123 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,解得 $a = 242$,A正确。

16.C 【解析】反应热 $\Delta H = \text{反应物总键能} - \text{生成物总键能}$,所以对于 $\text{S}(\text{s}) + 3\text{F}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SF}_6(\text{g})$,其反应热 $\Delta H = 280 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 3 \times 160 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 6 \times 330 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -1220 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

17.A **【解析】**根据图示可知:金刚石的能量比石墨高,所以 $C(s, \text{石墨})=C(s, \text{金刚石})$ 的 $\Delta H=+1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 正确;石墨和金刚石是不同的物质,二者的转化是化学变化,错误;根据图示可知:金刚石的能量比石墨高,物质所含有的能量越高,物质的稳定性就越弱,所以金刚石的稳定性弱于石墨,错误;1 mol 石墨的总键能比 1 mol 金刚石的总键能大 1.9 kJ,错误。

18.B **【解析】**拆开 1 mol $H_2(g)$ 中的 $H-H$ 键需要消耗 436 kJ 能量,图中断裂化学键吸收能量为 2 249 kJ,则断开 1 mol $N_2(g)$ 中的 $N \equiv N$ 键要吸收能量为 $2\,249 \text{ kJ} - 436 \text{ kJ} \times 3 = 941 \text{ kJ}$, A 正确;图中生成 2 mol $NH_3(g)$ 时形成化学键释放的能量为 2 346 kJ,而断裂化学键吸收能量, B 错误;由图可知 $\Delta H = (2\,249 - 2\,346) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -97 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 即热化学方程式为 $3H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad \Delta H = -97 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, C 正确;互为逆反应时焓变的数值相同、符号相反,且物质的量与热量成正比,由 $3H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad \Delta H = -97 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 可知, $NH_3(g) \rightleftharpoons \frac{3}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}N_2(g) \quad \Delta H = +48.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, D 正确。

19.(1)玻璃搅拌器

(2)减少实验过程中的热量损失

(3)偏大

(4)不相等 相等 中和热是指在稀溶液中,强酸与强碱发生中和反应生成 1 mol $H_2O(l)$ 时所释放的热量,与酸碱的用量无关

【解析】在测定中和热时,需使用玻璃搅拌器搅拌,加快酸与碱的反应。实验中要尽可能减少热量损失,否则会使测得的 ΔH 偏大。实验中反应的酸和碱增多,放出的热量也增多,但测得的中和热不变,因为中和热是指生成 1 mol $H_2O(l)$ 时放出的热量,与反应中酸碱的用量无关。

20.(1)a

(2)b

(3)A

(4)偏大

【解析】(1)测定中和热需要烧杯内液体温度上下一致,所以玻璃搅拌器的运动方向是上下运动,选 a。

(2)装置保温、隔热效果差,热量损失大,测得的热量偏小,中和热的数值偏小, a 错误;用量筒量取 NaOH 溶液的体积时仰视读数,氢氧化钠的物质的量偏多,生成水偏多,放出的热量多, b 正确;分多次把 NaOH 溶液倒入盛有硫酸的小烧杯中,热量损失大,测得的热量偏小,中和热的数值偏小, c 错误;用温度计测定 NaOH 溶液起始温度后直接测定硫酸溶液的温度,硫酸溶液的起始温度偏高,测得的热量偏小,中和热的数值偏小, d 错误。

(3)使用玻璃搅拌器是为了加快反应速率,使溶液内温度均一,减小实验误差, A 正确;测量溶液温度,温度计水银球不能与小烧杯壁接触, B 错误;醋酸是弱酸,电离吸热,相同条件下,用 NaOH 溶液与醋酸溶液反应,测得的中和热数值偏小, C 错误;在测定中和热实验中需要使用的仪器有量筒、烧杯、温度计,用不到天平、滴定管, D 错误。

(4)一水合氨是弱碱,电离吸热,用相同浓度和体积的氨水代替 NaOH 溶液进行上述实验,测得的中和热 ΔH 会偏大。

第 2 课时 热化学方程式 燃烧热

典型例题

【例 1】B 【解析】A 项,没有标出各物质的状态,错误;C 项, ΔH 的单位应为 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 错误;D 项, C(石墨),

s)的燃烧反应为放热反应,即 ΔH 为负值,D 错误。

【例2】D 【解析】解答本题的关键:

一注意条件	→101 kPa→A、B、C 均不明确
二注意物质的量	→可燃物 1 mol→A 符合
三注意产物	→指定产物→A、B 没有交代,C 不符合

自主学习

1.这种表明反应所释放或吸收的热量的 物质 能量 25 101 1 $\frac{1}{2}$ 1 mol 液态 放出

2.(1)物质的量

(2)温度 压强

(3)聚集状态 g l s aq

(4)－ ＋

(5) $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

3.(1)101 kPa 1 mol 完全 指定产物 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2)①稀溶液 氢离子和氢氧根离子反应生成水的 ②复分解反应 ③氢离子和氢氧根离子反应生成 1 mol水所释放的热量

基础夯实

4.C 【解析】反应热与物质的聚集状态及物质的量有关,物质状态不同、物质的量不同,反应热不同,A、B 错误; $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 表示 1 mol 固态碳和 1 mol 水蒸气反应生成 1 mol 一氧化碳气体和 1 mol 氢气并吸收 131.3 kJ 热量,C 正确;热化学方程式的化学计量数只表示物质的量,不表示分子个数,D 错误。

5.C 【解析】热化学方程式: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g}) \quad \Delta H = -183 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的意义是 298 K、101 kPa 时,1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 和 1 mol $\text{Cl}_2(\text{g})$ 反应生成 2 mol $\text{HCl}(\text{g})$ 放出 183 kJ 的热量。缺少温度和压强,无法确定一定体积气体的物质的量,无法确定 2 L 氯化氢气体分解成 1 L 的氢气和 1 L 的氯气,吸收的热量,A 错误;气态氯化氢转化为液态氯化氢放出热量,故 1 mol 氢气与 1 mol 氯气反应生成 2 mol 液态氯化氢放出的热量大于 183 kJ,B 错误;在相同条件下,1 mol 氢气与 1 mol 氯气的能量总和大于 2 mol 氯化氢气体的能量,C 正确;反应热表示每摩尔反应吸收或者放出的热量,不能表示单个分子之间的反应吸收或放出的热量,D 错误。

6.C 【解析】结合图像可写出热化学方程式为 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +41 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, C 正确。

7.A 【解析】A 项 CO 化学计量数为 1,且 CO_2 为稳定氧化物, ΔH 代表燃烧热,A 正确;B 项生成的 CO 不是稳定的氧化物, ΔH 不代表燃烧热,B 错误;C 项生成物 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 不是稳定的氧化物, ΔH 不代表燃烧热,C 错误;D 项 C_8H_{18} 的化学计量数为 2,产物是稳定氧化物,但 ΔH 不代表燃烧热,D 错误。

8.B 【解析】标准状况是指 0 °C、101 kPa,而热化学方程式中如果没有注明温度和压强,则指的是 25 °C、101 kPa。

9.D 【解析】根据题中键焓信息可计算 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = (436 \times 2 + 495 - 463 \times 4) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -485 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,D 正确,而 $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +242.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

10.C 【解析】③生成液态水,要比①生成气态水放出热量多,即 $c < a < 0$, A 错误;同理,④生成液态水比②中生成气态水放出热量多,即 $d < b < 0$, B 错误; H_2 燃烧为放热反应,由化学计量数关系可知 $b = 2a < 0$, C 正确;同理, $d = 2c < 0$, D 错误。

11.D 【解析】已知该反应的焓变小于零,则正反应是放热反应,逆反应为吸热反应, A 错误;反应为放热反应,则反应物总能量大于生成物总能量, B 错误;反应中生成标准状况下的 22.4 L $\text{H}_2(\text{g})$, 放出 41 kJ 热量, C 错误;反应中消耗 1 mol $\text{CO}(\text{g})$, 则有 1 mol $\text{CO}_2(\text{g})$ 、1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 生成, 则放出 41 kJ 热量, D 正确。

能力提升

12.A 【解析】反应物的状态相同,生成物状态不同, $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 具有的能量大于 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 即后者放出热量更多, 但 ΔH_1 、 ΔH_2 均为负值, 即 $\Delta H_1 > \Delta H_2$, A 正确。

13.D 【解析】氢气的燃烧热为 $285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 燃烧热是 1 mol 可燃物完全燃烧生成指定产物放出的热量, 则水分解的热化学方程式为 $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, A 错误;燃烧热是 1 mol 可燃物完全燃烧生成指定产物放出的热量, 已知 $2\text{C}(\text{石墨}, \text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -221 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, CO 不是指定产物, 则石墨的燃烧热不是 $110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, B 错误;已知 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 是可逆反应, 则在一定条件下将 1 mol N_2 和 3 mol H_2 置于一密闭容器中充分反应后, 放出热量小于 92.4 kJ, C 错误;乙炔的燃烧热为 $1299.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则 1 mol $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 完全燃烧生成液态水和二氧化碳放出 1299.6 kJ 的热量, 热化学方程式表示正确, D 正确。

14.D 【解析】A 项中 $\text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{S}(\text{g})$ 需要吸热, A 错误。B 项中 $\Delta H > 0$, 石墨稳定, 因为能量越高越不稳定, B 错误。

C 项中 2 g H_2 为 1 mol H_2 , 热化学方程式应为 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

D 项中浓硫酸溶解过程要放出热量, 所以大于 57.3 kJ, D 正确。

15.D 【解析】 $\text{N}_2(\text{g})$ 转化为氮原子, 断裂 $\text{N} \equiv \text{N}$, 吸收热量, A 错误;由图中数据可知, 断键吸收能量为 $(946 + 498) \text{ kJ} = 1444 \text{ kJ}$, 反应放出能量为 $2 \times 632 \text{ kJ} = 1264 \text{ kJ}$, 吸收能量多于放出能量, 所以该反应为吸热反应, 则 1 mol N_2 和 1 mol O_2 的总能量比 2 mol NO 的总能量低, B 错误;1 mol NO(g) 分子中的化学键断裂时需要吸收 632 kJ 能量, C 错误;由上述分析可知, $2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 的反应热 $\Delta H = -180 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, D 正确。

16.A 【解析】根据题目所给热化学反应方程式, 工业上由 CO_2 和 H_2 合成气态甲醇和气态水的反应为放热反应, 即反应物的总能量高于生成物的总能量, 因此排除 C、D, 由气态水到液态水的过程是液化的过程, 会向外放热, 因此液态产物的能量比气态产物的能量更低, 因此选 A。

17.B 【解析】1 g 火箭燃料肼(N_2H_4) 气体燃烧生成 N_2 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 时, 放出 16.7 kJ 的热量, 则 1 mol 即 32 g 肼(N_2H_4) 气体燃烧生成 N_2 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 时, 放出 534.4 kJ 的热量, 热化学方程式为 $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -534.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, B 正确。

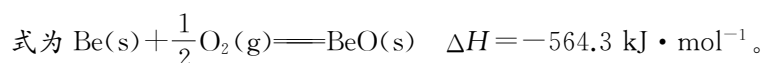
18.B 【解析】因化学反应所吸收或放出的能量即为反应热, 反应热等于反应中断裂旧化学键消耗的能量之和与反应中形成新化学键放出的能量之和的差, 甲烷燃烧的化学反应: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, 旧化学键断裂吸收的能量为 $414 \text{ kJ} \times 4 + 497 \text{ kJ} \times 2 = 2650 \text{ kJ}$, 新键形成释放的能量为 $803 \text{ kJ} \times 2 + 463 \text{ kJ} \times 4 = 3458 \text{ kJ}$, 所以化学反应是放热反应, 放出的热量为 $3458 \text{ kJ} - 2650 \text{ kJ} = 808 \text{ kJ}$, 即 $\Delta H = -808 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

19.D 【解析】根据③, 则②-①=③, 所以 $\Delta H_2 - \Delta H_1 = \Delta H_3 > 0$, 所以 $\Delta H_1 < \Delta H_2$, A 错误;根据③锡在常

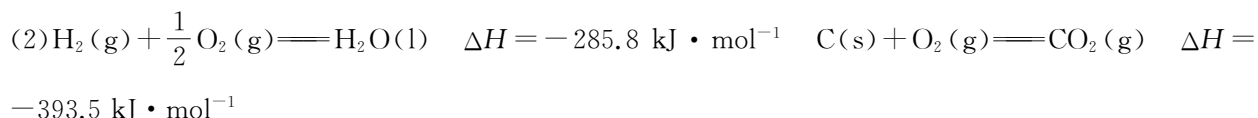
温下以白锡状态存在,B 错误;根据 $\Delta H_3 = +2.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 焓变大于 0, 所以灰锡转化为白锡的反应是吸热反应,C 错误。常用的应该是白锡, 低于 13.2°C 白锡会变成灰锡, 以粉末状存在,D 正确。

20.A 【解析】由题图可以看出, $\frac{1}{2} \text{ mol N}_2(\text{g})$ 和 $\frac{3}{2} \text{ mol H}_2(\text{g})$ 的化学键断裂需吸收的总能量为 $a \text{ kJ}$, 1 mol N 和 3 mol H 形成 $1 \text{ mol NH}_3(\text{g})$ 放出的能量为 $b \text{ kJ}$, 所以有 $\frac{1}{2} \text{ N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2} \text{ H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H = (a-b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 而 $1 \text{ mol NH}_3(\text{g})$ 转化为 $1 \text{ mol NH}_3(\text{l})$ 放出 $c \text{ kJ}$ 的能量, 所以有 $\frac{1}{2} \text{ N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2} \text{ H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{l}) \quad \Delta H = (a-b-c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 即 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{l}) \quad \Delta H = 2(a-b-c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

21.C 【解析】 1 kg Be 的物质的量为 $\frac{1\,000 \text{ g}}{9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = \frac{1\,000}{9} \text{ mol}$, 又因为 1 kg Be 完全燃烧放出的热量为 $62\,700 \text{ kJ}$, 则 1 mol Be 完全燃烧放出的热量为 $\frac{62\,700}{\frac{1\,000}{9}} \text{ kJ} = 564.3 \text{ kJ}$, Be 与 O_2 反应生成 BeO 固体, 则其热化学方程



22.(1)①②③④



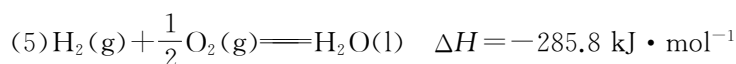
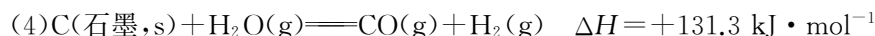
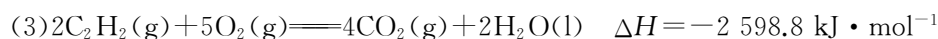
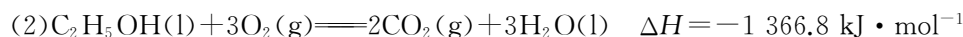
(3) $1\,429.0 \text{ kJ}$

【解析】(1) $\Delta H < 0$ 的反应为放热反应, $\Delta H > 0$ 的反应为吸热反应。据此可判断①②③④四个反应均为放热反应。

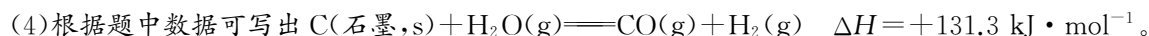
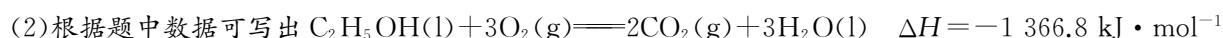
(2) 根据燃烧热的概念可知①能表示 H_2 的燃烧热, ④能表示 C 的燃烧热。

(3) 10 g H_2 的物质的量为 5 mol , 由①可知生成液态水时放出热量 $Q = 5 \text{ mol} \times 285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 1\,429.0 \text{ kJ}$ 。

23.(1) $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -92.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$



【解析】(1) 根据正比关系可知 $\text{N}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2(\text{g})$ 反应生成 $2 \text{ mol NH}_3(\text{g})$, 放出 92.2 kJ 热量, 即热化学方程式为 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -92.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



(5) 2 g H_2 即为 1 mol , 则 H_2 的燃烧热为 $285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 表示燃烧热的热化学方程式为 $\text{H}_2(\text{g}) +$



第二节 反应热的计算

第1课时 盖斯定律

典型例题

【例1】A **【解析】**A项, 化学反应的反应热只与反应体系的始态和终态有关, 而与反应的途径无关, A 错误; B项, 反应物和生成物能量一定, 变化过程中的能量变化是依据能量守恒的分析体现, 盖斯定律是能量守恒定律的具体体现, B 正确; C项, 盖斯定律实际上是“内能和焓是状态函数”这一结论的进一步体现。利用这一定律可以从已经精确测定的反应热效应来计算难于测量或不能测量的反应的热效应, C 正确; D项, 利用盖斯定律可以从已经精确测定的反应热效应来计算副反应发生的反应的反应热, D 正确; 故选 A。

【例2】-41.8

【解析】根据盖斯定律, 由① $\times \frac{1}{2}$ -② $\times \frac{1}{2}$ 可得: $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$, 则 $\Delta H = \frac{1}{2}\Delta H_1 - \frac{1}{2}\Delta H_2 = \frac{1}{2} \times (-196.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - \frac{1}{2} \times (-113.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -41.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}。$

自主学习

1. 相同

2. (1) 始态 终态 途径

(2) $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

3. $\Delta H_1 - \Delta H_2 = -110.5$

基础夯实

4. D **【解析】**A \rightarrow B、B \rightarrow C、C \rightarrow D、A \rightarrow D四个反应的反应热不可能完全相同, A 错误; $\Delta H_3 + \Delta H_4$ 是 B \rightarrow D 的反应热, 用 B \rightarrow A \rightarrow D 的反应热表示应为 $\Delta H_1 - \Delta H_2$, B 错误; 从反应方向分析, $\Delta H_4 = \Delta H_1 - \Delta H_2 - \Delta H_3$, C 错误; 根据反应方向和盖斯定律可知 A \rightarrow D 的反应热就是 A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D 的反应热的和, 即 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4。$

5. D **【解析】**石墨转化为金刚石要吸收能量, 说明石墨的能量低, 石墨比金刚石稳定, A 错误; 石墨的能量低于金刚石的能量, 故石墨燃烧放出的能量比金刚石低, 放热反应的 $\Delta H < 0$, $\Delta H_1 < \Delta H_2$, B 错误; 将3个反应依次编号为①、②、③, 根据盖斯定律, ③=②-①, 故 $\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_1$, C 错误; 石墨转化为金刚石的 $\Delta H_3 = +1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 为吸热反应, D 正确。

6. C **【解析】**A项, 水分解为吸热反应, 且气态水的能量高, 则 $\Delta H_1 < \Delta H_2$, A 错误; B项, 水分解为吸热反应, 气态水转化为液体水放热, 则 $\Delta H_2 > \Delta H_3$, B 错误; C项, 由盖斯定律可知, 反应一步完成与分步完成的热效应相同, 可知 $\Delta H_1 - \Delta H_2 = \Delta H_3$, C 正确; D项, 由盖斯定律可知 $\Delta H_1 - \Delta H_2 = \Delta H_3$, 即 $\Delta H_1 - \Delta H_3 = \Delta H_2$, 且 $\Delta H_3 < 0$, 则 $\Delta H_1 + \Delta H_3 < \Delta H_2$, D 错误; 故选 C。

7. A **【解析】**A项, 由盖斯定律可知, $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_5 = \Delta H_2 + \Delta H_3$, 即 $\Delta H_3 = \Delta H_5 - \Delta H_2$, A 错误; B项, 由盖斯定律可知, $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = \Delta H_2 +$

$\Delta H_3 + \Delta H_4$, B 正确; C 项, 由盖斯定律可知, $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = \Delta H_5 + \Delta H_4$, 但 $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_4 > 0$, 所以 $\Delta H_1 > \Delta H_5$, C 正确; D 项, $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 吸热, 所以 $\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 吸热过程, 即 $\Delta H_4 > 0$, D 正确; 故选 A。

8.A 【解析】A 项, 由盖斯定律可知: $-\text{①} - \text{②} = \text{③} \times 2$, 则 $2\Delta H_3 = -\Delta H_1 - \Delta H_2$, A 正确; B 项, 假设反应热均小于 0, 根据 $2\Delta H_3 = -\Delta H_1 - \Delta H_2$ 可知 $\Delta H_2 = -\Delta H_1 - 2\Delta H_3$, 若 $\Delta H_1 < 0, \Delta H_3 < 0$, 则 $\Delta H_2 > 0$, 与假设矛盾, B 错误; C 项, 焓变与反应的始态和终态有关, 则在不同油耗汽车中发生反应③, ΔH_3 相同, C 错误; D 项, 植物的光合作用利用太阳能, 将太阳能转化成化学能, D 错误。故选 A。

9.A 【解析】 Fe_3O_4 分解生成 FeO 和 O_2 , FeO 与 CO_2 反应生成 Fe_3O_4 和 C , 两个反应不互为逆反应, 所以 $\Delta H_1 + \Delta H_2 \neq 0$, B 错误; 在 CO_2 转化为 C 的过程中 Fe 元素的化合价升高, 则 FeO 失电子作还原剂, C 错误; 该工艺将太阳能转化为化学能, D 错误。

10.B 【解析】A 项, 金属钠由固态变为气态的过程中需要吸收热量, 因此 $\Delta H_2 > 0$, A 正确; B 项, 由盖斯定律可知, 过程 1 为 2、3、4、5、6、7 的过程之和, 则 $\Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + \Delta H_7 = \Delta H_1$, B 错误; C 项, 由钾原子原子核外有 4 个电子层, 其失去最外层一个电子所需的能量较小, 因此 $2\text{K}(\text{g}) \rightarrow 2\text{K}^+(\text{g})$ 的 $\Delta H < \Delta H_3$, C 正确; D 项, 由盖斯定律可知 $\Delta H_6 + \Delta H_7 = \Delta H_8$, D 正确。故选 B。

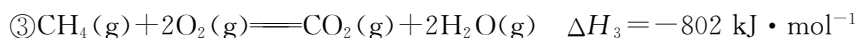
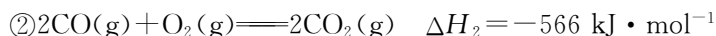
11.D 【解析】A 项, 依据题目所给信息可知, 浓硫酸溶于水存在物理变化和化学变化, A 错误; B 项, 硫酸分子分散在水里吸收热量 $\Delta H_1 > 0$, 硫酸分子与水作用形成硫酸水化物分子释放热量, $\Delta H_2 < 0$, 故 $\Delta H_1 - \Delta H_2 > 0$, B 错误; C 项, ③为电离过程, 吸收热量 $\Delta H_5 > 0$, C 错误; D 项, ①+②+③为硫酸分子与水作用形成硫酸水化物释放热量, 热效应为 ΔH_2 , 故 $\Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$, D 正确, 故选 D。

能力提升

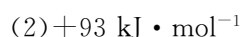
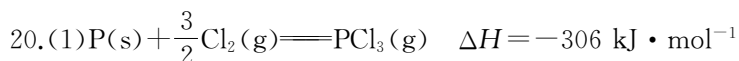
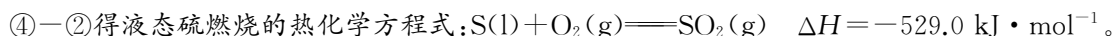
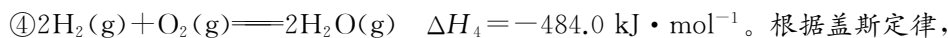
12.C 【解析】A 项, ①、②都是燃烧反应, 一定是放热反应, A 错误; B 项, 反应②的作用, 既可为反应③提供还原剂, 又可为反应体系提供热量, B 错误; C 项, 将反应 $\frac{\text{①} + \text{②}}{2} + \text{③}$ 可得 $\text{ZnS}(\text{s}) + \text{C}(\text{s}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H = (\frac{a+b}{2} + c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, C 正确; D 项, 碳完全燃烧生成 CO_2 时, 放出的热量才是燃烧热, 故②不是碳的燃烧热的热化学方程式, 故碳的燃烧热不是 $\frac{b}{2} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, D 错误。故选 C。

13.B 【解析】A 项, 物质的燃烧均为放热反应, 而放热反应的反应热均为负值, A 错误; B 项, 铝热反应为放热反应, 故 $\Delta H_5 < 0$; 而 $\text{③} 2\text{Fe}(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H_3$, $\text{④} 2\text{Al}(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H_4$, 将④-③可得: $2\text{Al}(\text{s}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{Fe}(\text{s}) \quad \Delta H_5 = \Delta H_4 - \Delta H_3 < 0$ 时, 故 $\Delta H_4 < \Delta H_3$, B 正确; C 项, 已知: $\text{②} 3\text{H}_2(\text{g}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_2$, $\text{③} 2\text{Fe}(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H_3$, 将 $(\text{②} + \text{③}) \times \frac{2}{3}$ 可得: $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = \frac{2}{3}(\Delta H_2 + \Delta H_3)$, C 错误; D 项, 已知: $\text{③} 2\text{Fe}(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H_3$, $\text{④} 2\text{Al}(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H_4$, 将④-③可得: $2\text{Al}(\text{s}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{Fe}(\text{s})$, 故有 $\Delta H_5 = \Delta H_4 - \Delta H_3$, 即 $\Delta H_3 = \Delta H_4 - \Delta H_5$, D 错误; 故选 B。

- 14.C 【解析】A项,断裂化学键吸收能量,氧气断裂化学键变为氧原子过程中吸收热, $\Delta H_3 > 0$,A错误;B项,盖斯定律分析可知:反应一步完成与分步完成的热效应相同, $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = \Delta H_6$,B错误;C项,能量转化关系和盖斯定律的计算可知,反应一步完成与分步完成的热效应相同, $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = \Delta H_6$, $\Delta H_6 > \Delta H_5$,C正确;D项,盖斯定律计算得到,反应过程中的焓变关系为: $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = \Delta H_6$,D错误;故选C。
- 15.D 【解析】A项,反应①②③均为吸热反应 $\Delta H > 0$,①②③气体的物质的量都增大 $\Delta S > 0$,反应能自发进行, $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S < 0$,不一定需在高温下反应进行,只要满足 $\Delta H < T \cdot \Delta S$,A错误;B项,根据 $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 = +571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 可知, $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_4 = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,2 mol H_2 完全燃烧生成液态水时,放出的热量为571.6 kJ,B错误;C项,反应热与物质的总能量有关,催化剂不改变反应热,C错误;D项, $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = +185.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta H_1 > 0$,正反应为吸热,反应物总能量低于生成物的总能量,即1 mol $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{s})$ 的总能量低于1 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ 、1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 与1 mol $\text{CO}_2(\text{g})$ 的总能量,D正确;故选D。
- 16.A 【解析】根据燃烧热的数据可以写出相应的热化学方程式:① $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_1 = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,② $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,③ $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_3 = -870.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,① $\times 2 + \text{②} \times 2 - \text{③}$ 可得反应 $2\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}(\text{l})$,其反应热为 $2(-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + 2(-393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + 870.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -488.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。
- 17.B 【解析】由信息可知,① $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;② $\text{S}(\text{s}) + 2\text{K}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{K}_2\text{S}(\text{s}) \quad \Delta H_2 = b \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;③ $2\text{K}(\text{s}) + \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{KNO}_3(\text{s}) \quad \Delta H_3 = c \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,结合盖斯定律可知,② $+ \text{①} \times 3 - \text{③}$ 得到 $\text{S}(\text{s}) + 2\text{KNO}_3(\text{s}) + 3\text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{K}_2\text{S}(\text{s}) + \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$,则 $\Delta H = 3a + b - c$,故选B。
- 18.A 【解析】A项,物质的能量越低越稳定,根据图像数据分析,化合物的热稳定性由强到弱的顺序为 $\text{MgF}_2 > \text{MgCl}_2 > \text{MgBr}_2 > \text{MgI}_2$,正确;B项,没有说明是否在标准状况下,22.4 L $\text{F}_2(\text{g})$ 不一定为1 mol,错误;C项,工业上用电解熔融 MgCl_2 的方法冶炼金属Mg,而不是电解 MgCl_2 溶液,错误;D项,① $\text{Mg}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{MgCl}_2(\text{s}) \quad \Delta H_1 = -641 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,② $\text{Mg}(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{MgBr}_2(\text{s}) \quad \Delta H_2 = -524 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,由① $- \text{②}$ 得 $\text{MgBr}_2(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{MgCl}_2(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -117 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,而 $\text{Br}_2(\text{g})$ 变成 $\text{Br}_2(\text{l})$ 会放出热量,则 $\text{MgBr}_2(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{MgCl}_2(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{l})$ 的 $\Delta H < -117 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,错误。
- 19.(1) $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -163 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 (2) $2\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -70 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 (3) $(2a + 2b + c)$
 (4) $\text{S}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -529.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 【解析】(1)已知:① $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = +247 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,
 ② $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2 = +205 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,根据盖斯定律,
 ① $- \text{②} \times 2$ 得 $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -163 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。
 (2)① $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -484 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$



(3) 反应 I $\times 2$ + 反应 II $\times 2$ + 反应 III, 得出目标热化学方程式的 $\Delta H = (2a + 2b + c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



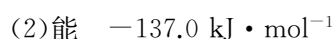
【解析】(1) 由图可知, $\text{P}(\text{s}) + \frac{3}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g})$ 中反应物的总能量大于生成物的总能量, 该反应是放热

反应, $\Delta H = -306 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则热化学方程式为 $\text{P}(\text{s}) + \frac{3}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -306 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

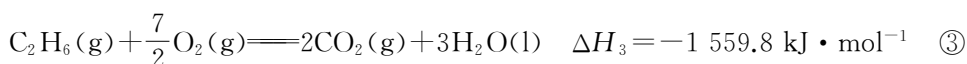
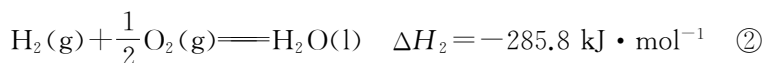
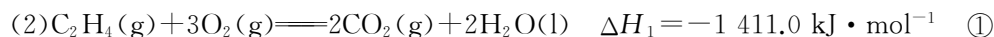
(2) 由图可知, $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g})$ 中反应物的总能量大于生成物的总能量, 该反应是放热反应, $\Delta H = -93 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以 $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +93 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 设 $\text{P}(\text{s})$ 和 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 经两步反应生成 1 mol $\text{PCl}_5(\text{g})$ 的热化学方程式分别为 $\textcircled{1} \text{P}(\text{s}) + \frac{3}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -306 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\textcircled{2} \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g}) \quad \Delta H_2 = -93 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; 根据盖斯定律, 由 $\textcircled{1} + \textcircled{2}$ 得 $\text{P}(\text{s}) + \frac{5}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g}) \quad \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = -399 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

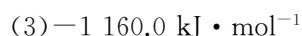
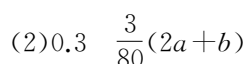
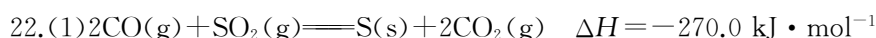
21. (1) $\textcircled{1} \text{C}(\text{s})$ $\textcircled{2}$ 烃中氢元素的质量分数越大, 烃的热值越大



【解析】(1) $\textcircled{1}$ 假设均产生 2 219.9 kJ 的热量, 则需要 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 1 mol, 能产生 3 mol CO_2 ; 而需要 $\text{C}(\text{s})$ 的物质的量为 $\frac{2 \ 219.9 \text{ kJ}}{393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}} \approx 5.64 \text{ mol}$, 能产生 5.64 mol CO_2 。故 $\text{C}(\text{s})$ 产生的温室气体多。 $\textcircled{2}$ 由表格中各烃的燃烧热可知, 烃分子中氢元素的含量越高, 则单位质量烃完全燃烧放出的热量越多。



由 $\textcircled{1} + \textcircled{2} - \textcircled{3}$ 可得 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$, 则 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 = -1 \ 411.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-1 \ 559.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -137.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$



【解析】(1) 根据盖斯定律, 由 $\textcircled{1} \times 2 - \textcircled{2}$ 得 $2\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}(\text{s}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -270.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2)由①②两个方程式可知,CO的氧化产物均为 CO_2 ,碳元素的化合价从+2升至+4,标准状况下3.36 L CO为0.15 mol,根据得失电子守恒可知转移电子的物质的量为0.3 mol。根据盖斯定律,由① \times 2+②得 $4\text{CO}(\text{g})+2\text{NO}_2(\text{g})=\text{N}_2(\text{g})+4\text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H=-(2a+b)\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,则过程中放出的热量为 $0.15\times\frac{(2a+b)}{4}\text{ kJ}=\frac{3}{80}(2a+b)\text{ kJ}$ 。

(3) CH_4 将 NO_2 还原至 N_2 的热化学方程式为 $\text{CH}_4(\text{g})+2\text{NO}_2(\text{g})=\text{N}_2(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H=-867.0\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,根据盖斯定律可知, $\Delta H=\frac{(\Delta H_1+\Delta H_2)}{2}$,解得 $\Delta H_2=-867.0\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\times 2-(-574.0\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})=-1\ 160.0\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

第2课时 反应热的计算

典型例题

【例1】A 【解析】①两个反应都为放热反应, $\Delta H<0$,前者完全反应,放出的热量多,则 $\Delta H_1<\Delta H_2$,故①错误;②都为放热反应,其 $\Delta H<0$,前者S为固态,则前者放出的热量少,则 $\Delta H_3>\Delta H_4$,故②正确;③都是放热反应,前者反应物系数较小,则前者放出热量较少,则 $\Delta H_5>\Delta H_6$,故③正确;④前者为吸热反应, $\Delta H_7>0$,后者为放热反应, $\Delta H_8<0$,则 $\Delta H_7>\Delta H_8$,故④正确;根据分析可知,反应的 ΔH 前者大于后者的是②③④,故选A。

【例2】C 【解析】根据目标方程,把方程③反写,计量数乘以2;把方程②乘以 $\frac{2}{3}$;把方程①乘以 $\frac{2}{3}$,然后三者

相加可得: $2\text{S}(\text{g})=\text{S}_2(\text{g})$ $\Delta H_4=-\Delta H_3\times 2+\Delta H_2\times\frac{2}{3}+\Delta H_1\times\frac{2}{3}=\frac{2}{3}(\Delta H_1+\Delta H_2-3\Delta H_3)$,故选C。

自主学习

1.盖斯定律

2.(1)正 ΔH $-411.01\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

(2)燃烧热 $6.834\times 10^4\text{ kJ}$

(3) $\Delta H_1-\Delta H_2$

基础夯实

3.A 【解析】如图关系中物质起始状态为2 mol $\text{N}_2(\text{g})$ 、6 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 、5 mol $\text{O}_2(\text{g})$,最终生成物为4 mol $\text{NO}(\text{g})$ 、6 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$,根据盖斯定律: $\Delta H_3=\Delta H_1+\Delta H_2$ 。故选A。

4.A 【解析】在一定条件下,CO和 CH_4 的燃烧热分别为 $\Delta H_1=-283\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 $\Delta H_2=-890\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,则它们的热化学反应方程式分别为:① $\text{CO}(\text{g})+\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})=\text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H_1=-283\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;② $\text{CH}_4(\text{g})+2\text{O}_2(\text{g})=\text{CO}_2(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H_2=-890\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,由能量守恒: $n(\text{CO})\times 283\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}+n(\text{CH}_4)\times 890\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}=738.25\text{ kJ}$; $n(\text{CO})+n(\text{CH}_4)=1\text{ mol}$ 。 $n(\text{CO}):n(\text{CH}_4)=1:3$ 。A正确。

5.D 【解析】酒精液体完全燃烧,最后恢复到室温,热化学方程式为 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})+3\text{O}_2(\text{g})=2\text{CO}_2(\text{g})+3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$,反应焓变为 ΔH 。依据热化学方程式① $\text{H}_2\text{O}(\text{g})=\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H_1=-Q_1\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;② $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})=\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ $\Delta H_2=-Q_2\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;③ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})+3\text{O}_2(\text{g})=2\text{CO}_2(\text{g})+3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H=-Q_3\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,③-②+3 \times ①得到 $\Delta H=-(Q_3-Q_2+3Q_1)$,23 g即物质的量是0.5 mol

的酒精液体完全燃烧放热 $(1.5Q_1 - 0.5Q_2 + 0.5Q_3)$ kJ, 故选 D。

6.B 【解析】依据两式: ① $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H_1 = +241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; ② $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H_2 = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 将①+②得 $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = +241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + (-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -44 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以每 1 g 液态水变成水蒸气需要吸收的热量为 $\frac{44}{18} \text{ kJ} = 2.44 \text{ kJ}$, 故选 B。

7.B 【解析】根据盖斯定律, 将 $\frac{(\text{①}+\text{②})}{2}$ 得到如下热化学方程式: $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) = \text{N}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -867 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 标准状况下 4.48 L CH_4 的物质的量为 0.2 mol, 放出的热量为 $0.2 \text{ mol} \times 867 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 173.4 \text{ kJ}$, A 正确; 由于液态水变为气态水需要吸收热量, 所以生成液态水的反应放出的热量多, 放热越多, 则 ΔH 越小, 即 $\Delta H < -574 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, B 错误; ①②中 C 的化合价均有一 4 上升到 +4, 故两式中得失电子数目相等, C 正确; 反应②中每 1 mol CH_4 反应完全时转移的电子总数为 8 mol, 0.2 mol CH_4 完全反应时转移的电子总数为 $1.6N_A$, D 正确。

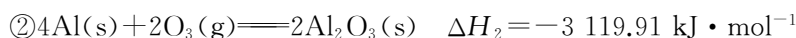
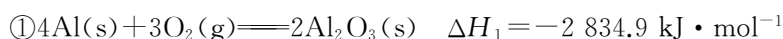
8.C 【解析】反应热等于反应物的键能之和一生成物的键能之和, 则工业上制取高纯硅的反应热 $\Delta H = 4 \times 360 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 2 \times 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (2 \times 176 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 4 \times 431 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = +236 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

9.A 【解析】葡萄糖燃烧的热化学方程式是 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g}) = 6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = -2840 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

建立关系式: $6\text{H}_2\text{O} \sim \Delta H$
 $6 \times 18 \text{ g} \quad 2840 \text{ kJ}$
 $1 \text{ g} \quad x \text{ kJ}$

解得 $x = \frac{2840 \text{ kJ} \times 1 \text{ g}}{6 \times 18 \text{ g}} \approx 26.3 \text{ kJ}$, A 选项符合题意。

10.D 【解析】根据盖斯定律以及能量越低物质越稳定来解。



①-②得 $3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{O}_3$ $\Delta H = +285.01 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 该反应吸热, 等质量的 O_2 比 O_3 能量低, 所以 O_2 比 O_3 稳定, 由 O_2 变 O_3 为吸热反应, 故选 D。

能力提升

11.C 【解析】物质由固态变为液态要吸热, 由气态变为液态要放热, 故 A、B 错误。从化学键的角度来理解所给反应的焓变, 可理解为生成 1 mol SO_2 时, 形成化学键所放出的能量比破坏 1 mol 硫和 1 mol O_2 的化学键所吸收的能量大。C 正确, D 错误。

12.B 【解析】A 项, 反应中的热量变化等于反应物的总键能减去生成物的总键能, 则 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 反应放出的反应热为 $\Delta H = (436 + 243 - 2 \times 431) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -183 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 和 $\text{Br}_2(\text{g})$ 应放出的反应热为 $\Delta H = (436 + 193 - 2 \times 356) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 和 $\text{I}_2(\text{g})$ 应放出的反应热为 $\Delta H = (436 + 151 - 2 \times 299) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -11 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则与氯气反应放出的热量最多, A 错误; B 项, 由表中 $\text{H}-\text{Cl}$ 、 $\text{H}-\text{Br}$ 、 $\text{H}-\text{I}$ 的键能逐渐变小, 则同主族从上到下非金属性减弱, 气态氢化物越不稳定, 则键能越小, 故 $\text{H}-\text{F}$ 键的键能大于 $431 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, B 正确; C 项, 反应中的热量变化等于反应物的总键能减去生

成物的总键能,则 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g})$ $\Delta H = (436 + 243 - 2 \times 431) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -183 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, C 错误;D 项,键能越大,键越稳定,则 H—H 键最稳定,D 错误。故选 B。

13.A 【解析】A 项,根据能量图中单斜硫和正交硫的能量关系,可得: $\text{S}(\text{s}, \text{单斜}) = \text{S}(\text{s}, \text{正交})$ $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -297.16 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-296.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -0.33 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,描述正确,符合题意;B 项,能量越低,物质越稳定,所以正交硫属于更稳定结构,不符题意;C 项,正交硫因为能量低而稳定,所以,描述错误,不符题意;D 项,①应表示 1 mol 单斜硫和 1 mol O_2 中共价键断键所吸收能量比形成 1 mol SO_2 中共价键所放出能量少 297.16 kJ,所以不符题意;综上,本题选 A。

14.B 【解析】A 项,反应 II,硝酸根离子中 N 元素被还原,A 错误;B 项,反应 I,氧气中氧元素化合价由 0 降低为 -2,反应 I 中消耗 22.4 L O_2 (标准状况)转移的电子数为 $4N_A$,B 正确;C 项,根据 $5\text{NH}_4^+(\text{aq}) + 3\text{NO}_3^-(\text{aq}) = 4\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 9\text{H}_2\text{O}(\text{l})$,当好氧菌池和厌氧菌池投放废液的体积比为 3 : 5 时,理论上 NH_4^+ 能完全转化为 N_2 ,C 错误;D 项,根据盖斯定律:反应 I $\times \frac{3}{2}$ + 反应 II $\times \frac{1}{2}$ 得, $4\text{NH}_4^+(\text{aq}) + 3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = \frac{(3a+b)}{2} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,D 错误;选 B。

15.D 【解析】A 项,过程①是 N_2H_4 分解生成 N_2 和 NH_3 ,已知反应 I 中 ΔH 为负值,所以图示过程①为放热反应,过程②是 NH_3 的催化剂作用下分解生成 N_2 和 H_2 ,根据盖斯定律:反应 I - $3 \times$ 反应 II 得 $2\text{NH}_3(\text{g}) = \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H = -32.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 3 \times (-41.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = +92.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} > 0$ 为吸热反应,A 正确;B 项,反应 II 的 $\Delta H_2 < 0$,为放热反应,反应物能量高于生成物,B 正确;C 项,反应 I 焓变小于 0,为放热反应,所以断开 3 mol $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$ 中的化学键吸收的能量小于形成 1 mol $\text{N}_2(\text{g})$ 和 4 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ 中的化学键释放的能量,C 正确;D 项,根据盖斯定律:反应 I - $2 \times$ 反应 II 得 $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) = \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ $\Delta H = -32.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 2 \times (-41.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = +50.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,D 错误。故选 D。

16.D 【解析】A 项,水由液态至气态需吸收热量,故 $\Delta H_1 > 0$,A 错误;B 项,由图可知, O_2 的键能应为 ΔH_4 的两倍,B 错误;C 项,由盖斯定律可知, $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = 0$,C 错误;D 项, ΔH_3 为 1 mol 氢气的键能, ΔH_4 为 0.5 mol 氧气的键能, ΔH_2 为断裂 2 mol O—H 键吸收的能量与合成 1 mol H—H 键和 0.5 mol O=O 键放出的能量的代数和,所以 $\Delta H_3 + \Delta H_4 > \Delta H_2$,D 正确;故选 D。

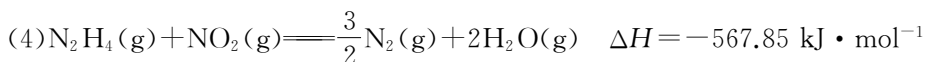
17.A 【解析】A 项,1 mol N_4 转变成 N_2 时断裂 6 mol N—N 键吸收热量为 $6 \times 167 \text{ kJ} = 1\,002 \text{ kJ}$,形成 2 mol $\text{N} \equiv \text{N}$ 放出热量为 $2 \times 942 \text{ kJ} = 1\,884 \text{ kJ}$,故反应过程中放出热量 $Q = 1\,884 \text{ kJ} - 1\,002 \text{ kJ} = 882 \text{ kJ}$,A 正确;B 项, N_4 中仅有 N 一种元素,因此 N_4 属于单质,B 错误;C 项,1 mol N_4 反应转化为 2 mol N_2 时放出 882 kJ 的热量,说明 1 mol N_4 比 2 mol N_2 的总能量高,C 错误;D 项, N_4 中的 N—N 键是同一元素的原子形成的共价键,属于非极性键,由于该分子空间排列对称,因此 N_4 是由非极性键结合而成的非极性分子,D 错误;故合理选项是 A。

18.D 【解析】胆矾溶于水会使溶液温度降低,即 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s}) = \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H_1 > 0$; $\text{CuSO}_4(\text{s})$ 溶于水会使溶液温度升高,即 $\text{CuSO}_4(\text{s}) = \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ $\Delta H_2 < 0$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{CuSO}_4(\text{s}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ΔH_3 ;依据盖斯定律,可知 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$,由于 $\Delta H_1 > 0$, $\Delta H_2 < 0$,所以 $\Delta H_3 > 0$,故可推知 $\Delta H_2 < \Delta H_3$, $\Delta H_1 < \Delta H_3$, $\Delta H_1 - \Delta H_3 = \Delta H_2$, $\Delta H_1 + \Delta H_2 < \Delta H_3$,故 A、B、C 正确,D 错误;故选 D。

19.(1) $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + 2\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) = \text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -641.63 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) 408.815

(3) 产物不会造成环境污染



【解析】(1) 0.4 mol N_2H_4 反应放热 256.652 kJ, 则 1 mol N_2H_4 反应放热为 $256.652 \text{ kJ} \times \frac{1}{0.4} = 641.63 \text{ kJ}$,

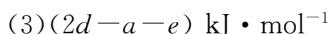
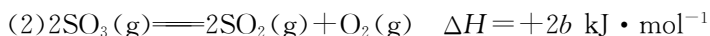
因此反应的热化学方程式为 $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + 2\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -641.63 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 16 g N_2H_4 的物质的量 $n(\text{N}_2\text{H}_4) = 0.5 \text{ mol}$, 由方程式知生成 $n(\text{H}_2\text{O}) = 0.5 \text{ mol} \times 4 = 2 \text{ mol}$, 则 16 g N_2H_4 与 H_2O_2 生成 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 放热为 $641.63 \text{ kJ} \times 0.5 \text{ mol} + 2 \text{ mol} \times 44 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 408.815 \text{ kJ}$ 。

(3) 根据方程式可知其优点还有产物为 $\text{N}_2(\text{g})$ 和 H_2O , 无污染。

(4) 已知: ① $\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +67.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; ② $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -534 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 根据盖斯定律可知 ② - ① $\times \frac{1}{2}$ 即得到肼和二氧化氮反应的热化学方

程式为 $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{3}{2}\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -567.85 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



【解析】(1) 燃烧热指的是 1 mol 燃料完全燃烧生成指定产物时放出的热量, 因此根据定义先写出反应的化学方程式: $\text{S}_8(\text{s}) + 8\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 8\text{SO}_2(\text{g})$, 又由于题干中给出的焓变是指生成 1 mol 产物的数据, 因此该反应的热化学方程式为 $\text{S}_8(\text{s}) + 8\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 8\text{SO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -8a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 设 S_8 分子中硫硫键的键能为 $x \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 反应热等于反应物的键能之和减去生成物的键能之和, 结合(1)可得 $8x + 8e - 16d = -8a$, 解得 $x = 2d - a - e$ 。

第二章 化学反应速率与化学平衡

第一节 化学反应速率

第1课时 化学反应速率

典型例题

【例1】C 【解析】化学反应速率用单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加来表示; 化学反应速率是表示某一段时间内的平均速率而不是瞬时速率。

【例2】B 【解析】固体 A 不具有浓度概念, 该物质的反应不能用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 的单位来表示。

自主学习

1. 单位时间、单位体积中反应物或生成物的物质的量变化 反应物浓度的减小 生成物浓度的增加

2. $m : n : p : q$

3. (1) 浓度

(2) ① 颜色深浅 显色物质浓度

基础夯实

4.A 【解析】反应速率不是瞬时速率,要计算反应速率,关键要抓住 Δt 时间段对应的 Δc 的量。

5.C 【解析】A 项,2 min 末该反应达到平衡,测得生成 0.8 mol D 和 0.4 mol C,根据变化量之比等于化学计量数之比,得知 $x=1$,A 正确;B 项,根据题意可知:

	3A(g)	+	B(g)	\rightleftharpoons	C(g)	+	2D(g)
起始量/mol	3		1		0		0
变化量/mol	1.2		0.4		0.4		0.8
平衡量/mol	1.8		0.6		0.4		0.8

2 min 时,A 的浓度为 $1.8 \text{ mol} \div 2 \text{ L} = 0.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,B 正确;C 项,B 的转化率为 $0.4 \text{ mol} \div 1 \text{ mol} \times 100\% = 40\%$,C 错误;D 项,2 min 内 A 的反应速率为 $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \div 2 \text{ min} = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,D 正确。故选 C。

6.C 【解析】A 的起始量为 2 mol,转化 50%即转化 1 mol,根据反应关系知 B 转化 1.5 mol,C 生成 1 mol,又因为 $v(\text{D}) = 0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,可计算出 2 s 时 D 的生成量为 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \times 2 \text{ L} \times 2 \text{ s} = 1 \text{ mol}$,故知 $z=2$,B 错; $v(\text{C}) = v(\text{D}) = v(\text{A}) = 0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,故 A 错;B 的转化率为 $\frac{1.5}{2} \times 100\% = 75\%$,C 正确;反应达 2s 时,容器内总物质的量为 $n_{\text{A}} + n_{\text{B}} + n_{\text{C}} + n_{\text{D}} = 1 \text{ mol} + 0.5 \text{ mol} + 1 \text{ mol} + 1 \text{ mol} = 3.5 \text{ mol}$ 。故反应前后的容器中气体总物质的量之比为 4 : 3.5,压强比为 4 : 3.5,D 错。

7.D

8.D 【解析】 NH_3 的浓度增加了 $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, H_2 的浓度减少了 $0.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,根据 $v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$, $v(\text{H}_2) = \frac{\Delta c(\text{H}_2)}{\Delta t}$, $\Delta t = \frac{\Delta c(\text{H}_2)}{v(\text{H}_2)} = \frac{0.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{0.45 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}} = 2 \text{ s}$ 。

9.C 【解析】A、B、C 的物质的量变化分别是 0.2 mol,0.6 mol,0.4 mol,故系数比为 1 : 3 : 2。

10.C 【解析】 $v(\text{NO}) = \frac{0.3 \text{ mol}}{5 \text{ L} \times 30 \text{ s}} = 0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,B 项错;则 $v(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{NO}) \times \frac{6}{4} = 0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \times \frac{6}{4} = 0.003 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,C 正确; $v(\text{NH}_3) = v(\text{NO}) = 0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,D 错误; $v(\text{O}_2) = v(\text{NO}) \times \frac{5}{4} = 0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \times \frac{5}{4} = 0.0025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,A 错误。

11.D 【解析】 $v(\text{I}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $\Delta t = 5 \text{ min}$, $V = 2 \text{ L}$,

则 $n(\text{I}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 2 \text{ L} \times 5 \text{ min} = 0.1 \text{ mol}$,

$n(\text{W}) = 0.2 \text{ mol}$,故 $n(\text{I}) : n(\text{W}) = n : 2$, $n = 1$ 。

能力提升

12.D 【解析】比较:必须统一标准。换算成同一物质进行比较是关键,本题首先需要统一单位。

13.C 【解析】3 min 后压强是起始时的 0.9 倍,则气体总物质的量是起始时的 0.9 倍,则反应后的混合物的物质的量为 $(1 \text{ mol} + 3 \text{ mol}) \times 0.9 = 3.6 \text{ mol}$, $\Delta n = 0.4 \text{ mol}$,根据反应式知生成 NH_3 0.4 mol,推算出消耗

H_2 0.6 mol,故 $v(\text{H}_2) = \frac{0.6 \text{ mol}}{2 \text{ L} \times 3 \text{ min}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

14.C 【解析】分析图像,关键是看变化量和走势,从走势分析 X、Y 是反应物,Z 是生成物,初步分析它们的

变化量分别为 $\Delta n(X) = 1.20 \text{ mol} - 0.41 \text{ mol} = 0.79 \text{ mol}$, $\Delta n(Y) = 1.0 \text{ mol} - 0.21 \text{ mol} = 0.79 \text{ mol}$, $\Delta n(Z) = 1.58 \text{ mol}$, 首先确定该反应的化学方程式为 $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$ 。据选项要求分别计算出 $v(Z) = \frac{1.58 \text{ mol}}{2 \text{ L} \times 10 \text{ s}} = 0.079 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta c(X) = \frac{0.79 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.395 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\alpha(Y) = \frac{0.79 \text{ mol}}{1.00 \text{ mol}} \times 100\% = 79\%$, 只有 C 选正确。

15.(1) $4A + 2B \rightleftharpoons 3C$

$$(2) v(C) = \frac{6}{V \cdot t_1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

【解析】观察图像中曲线的走势确定反应物、生成物, 根据量变确定各物质的计量数之比, 再根据时间变化和容器的体积可计算各物质的反应速率。

16.(1) 化学反应的快慢既可以用反应物的消耗速率来表示, 又可以用生成物的生成速率来表示, 所以金属的腐蚀速率可以用其氧化物的生成速率来表示

(2) 直线 抛物线

(3) Ni 据(2)可知 y' 随时间 t 的增加比 y 随时间 t 的增加缓慢, 故 Ni 的耐腐蚀性比 Mg 好

17.C 【解析】A 项, 由图可知, 反应达到平衡时, A 物质增加了 1.2 mol, D 物质增加了 0.4 mol, B 物质减少了 0.6 mol, C 物质减少了 0.8 mol, 所以 A、D 为生成物, B、C 为反应物, A、B、C、D 变化的物质的量之比为反应系数之比, 且反应为可逆反应, 反应的化学方程式为 $3B + 4C \rightleftharpoons 6A + 2D$, A 错误; B 项, 从反应开始

$$\text{到 } 1 \text{ s 时}, v(A) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\frac{0.6 \text{ mol}}{2 \text{ L}}}{1 \text{ s}} = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, v(C) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\frac{0.4 \text{ mol}}{2 \text{ L}}}{1 \text{ s}} = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$v(A) \neq v(C), \text{B 错误; C 项, 反应进行到 } 6 \text{ s 时}, v(B) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\frac{0.6 \text{ mol}}{2 \text{ L}}}{6 \text{ s}} = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \text{C 正确; D}$$

项, 各物质的化学反应速率之比等于化学计量数之比, D 错误; 故选 C。

18.D 【解析】A 项, 据图可知 X 的物质的量增大, 应为生成物, Y 的物质的量减小, 应为反应物, t_3 时刻之后 X 和 Y 的物质的量不再发生改变, 且二者共存, 说明该反应为可逆反应, 相同时间内 $\Delta n(X) : \Delta n(Y) = 1 : 4$, 所以该反应的化学方程式为 $4Y \rightleftharpoons X$, A 错误; B 项, 据图可知反应进行到 t_1 时, Y 的物质的量减少了 $(10 - 6) \text{ mol} = 4 \text{ mol}$, 容器体积为 2 L, 则 Y 的浓度减少了 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, B 错误; C 项, t_2 时刻之后 Y 和 X 的物质的量还在发生变化, 所以此时未达到平衡, C 错误; D 项, t_3 时刻之后 X 和 Y 的物质的量不再发生改变, 说明此时反应到达平衡, 正逆反应速率相等, 即每生成 4 mol Y 的同时生成 1 mol X, D 正确; 故选 D。

19. 0.75 0.05 2

【解析】(1) 将等物质的量的 A、B 混合于 2 L 的密闭容器中, 经 5 min 后, 测得 D 的浓度为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 生成的 D 为 $2 \text{ L} \times 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \text{ mol}$, 则:

	3A	+	B	\rightleftharpoons	x C	+	2D
起始量/mol	n		n		0		0
转化量/mol	1.5		0.5		$0.5x$		1
平衡量/mol	$n - 1.5$		$n - 0.5$		$0.5x$		1

由于 5 min 时 $c(\text{A}) : c(\text{B}) = 3 : 5$, 则 $(n-1.5) : (n-0.5) = 3 : 5$, 解得 $n=3$, 此时 A 的浓度 $c(\text{A}) = \frac{(3-1.5) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(2) 消耗 B 的浓度是 $\frac{0.5 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $v(\text{B}) = \frac{0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{5 \text{ min}} = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(3) C 的平均反应速率为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则 $\frac{0.5x \text{ mol}}{2 \text{ L} \times 5 \text{ min}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则 $x=2$ 。

20. (1) Y

(2) $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

(3) ①②③

(4) ABE

【解析】(1) 根据反应: $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$, 从反应开始到反应达到平衡, N_2 和 H_2 的浓度逐渐减小, NH_3 的浓度逐渐增大, 结合图中曲线变化可知, 曲线 Y 表示 NH_3 的物质的量浓度随时间的变化曲线。

(2) 0~4 min 内, Z 的浓度变化量 $= 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 以 Z 的浓度变化表示的平均反应速率 $= \frac{\Delta c(\text{Z})}{\Delta t} = \frac{0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{4 \text{ min}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(3) ①通入 H_2 , 反应体系中 H_2 的浓度增大, 反应速率增大; ②减小容器的容积相当于增大反应体系的各组分的浓度, 反应速率增大; ③升高温度, 反应速率增大; ④通入 Ar 使压强增大, 容器的体积不变, 反应体系中各组分的浓度不变, 反应速率不变; 能增大反应速率的有 ①②③。

(4) A 项, 相同时间内消耗 $n \text{ mol}$ 的 N_2 的同时生成 $3n \text{ mol}$ 的 H_2 , 说明此时正逆反应速率相等, 能说明反应达到平衡状态, 故 A 符合题意; B 项, 反应 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 为正反应气体分子数减小的平衡体系, 未达到平衡状态时压强不断发生变化, 当容器内压强不再发生变化时, 说明正逆反应速率相等, 能说明反应达到平衡状态, 故 B 符合题意; C 项, 该反应体系全部为气体, 且反应遵循物料守恒, 反应体系中气体的原子数目始终保持不变, 则容器内混合气体原子总数不变, 不能说明反应达到平衡状态, 故 C 不符合题意; D 项, 当反应达到平衡状态时, $2v_{\text{正}}(\text{N}_2) = v_{\text{逆}}(\text{NH}_3)$, 选项中, N_2 和 NH_3 的反应速率未指明正反应还是逆反应速率, 不能说明反应达到平衡状态, 故 D 不符合题意; E. 当反应达到平衡状态时, 反应体系各组分的含量保持不变, 当 H_2 的体积分数不再发生变化时, 能说明反应达到平衡状态, 故 E 符合题意; 故选 ABE。

第 2 课时 影响化学反应速率的因素 活化能

典型例题

【例1】D 【解析】活化分子间的碰撞并不都是有效碰撞, 只有发生化学反应的碰撞才是有效碰撞, 活化分子具有的平均能量与普通分子具有的平均能量之差才叫活化能; 单位体积内活化分子总数越多, 有效碰撞机会越多, 反应速率才越快, A、B、C 三项均错。

【例2】D 【解析】增大浓度加快反应速率, 而增加反应物用量不等于增大反应物浓度。D 项加入 KMnO_4 晶体后, KMnO_4 晶体被溶解, 溶液的浓度一定比原 KMnO_4 溶液浓度大。

自主学习

1. (1) 能够发生化学反应的碰撞

- (2)能够发生有效碰撞的分子
 (3)活化分子高出反应物分子平均能量的部分
 (4)反应的活化能 活化分子变成生成物分子放出的能量 反应热
- 2.(1)增大 减小
 (2)活化分子数 有效碰撞 增大 减小
- 3.(1)增大 减小
 (2)反应物浓度 增大 减小
- 4.(1)增大 减小
 (2)百分数 碰撞频率 有效碰撞 增大
- 5.(1)增大
 (2)路径 活化能 百分数 有效碰撞 增大

基础夯实

- 6.D 【解析】影响化学反应速率的外界因素有温度、浓度、表面积以及催化剂等。A项,将易腐败的食物储存在冰箱里,温度降低,化学反应速率减小,故A不选;B项,用铁作催化剂合成氨,化学反应速率增大,故B不选;C项,将煤块粉碎后燃烧,固体的表面积增大,化学反应速率增大,故C不选;D项,用浓硝酸和铜反应制备 NO_2 气体与反应物的性质有关,与反应速率无关,故D选;故选D。
- 7.D 【解析】金属越活泼,反应速率越大,而且反应物的性质是决定因素;温度越高,反应速率越大,固体的接触面积越大,反应速率越大。故选D。
- 8.A 【解析】A项,根据方程式可知炭为固体,增加固体的量不能增大反应速率,故A符合题意;B项,升高温度活化分子数增多,反应速率加快,故B不符合题意;C项,氧气为气体,增大氧气的浓度可以加快反应速率,故C不符合题意;D项,将炭块粉碎可以增大接触面积,增大反应速率,故D不符合题意;故选A。
- 9.A 【解析】A项,图中的曲线表明,在第一个2 min内产生了0.1 mol,第二个2 min内产生了0.2 mol,第三个2 min内产生了0.05 mol,反应速率先增大后减小,A错误;B项,反应速率先增大后减小,B正确;C项,反应过程中温度和反应物浓度对反应速率均有影响,反应放热,使溶液温度升高,2~4 min内温度对反应速率的影响大,导致反应速率增大,C正确;D项,4 min后速率下降主要是由于反应物浓度降低,D正确。
- 10.A 【解析】a、b中的Zn的质量相同,稀硫酸是过量的,所以Zn无剩余;又a中加入硫酸铜溶液,与Zn反应生成Cu和硫酸锌,消耗Zn,使Zn与稀硫酸反应产生的氢气的体积减小,同时形成铜、锌原电池使反应速率加快,所以a曲线先反应完全,所需时间较少,但生成的氢气的体积少于b。故选A。
- 11.C 【解析】A项,焓变=正反应活化能-逆反应活化能,图中 ΔE_1 为正反应活化能, ΔE_2 为逆反应活化能,所以 $\Delta H = \Delta E_1 - \Delta E_2$,A错误;B项,据图可知 Pt_2O^+ 为催化剂,不影响反应的焓变,B错误;C项, ΔE_1 为正反应活化能, ΔE_2 为逆反应活化能,所以正反应的活化能小于逆反应的活化能,C正确;D项,该反应的反应物能量高于生成物,为放热反应,所以物质的量相等的 N_2O 、CO的键能总和小于 CO_2 、 N_2 的键能总和,D错误;故选C。
- 12.C 【解析】A项,据图可知 $\text{CeO}_{2-\delta}$ 可以做水分解反应的催化剂,A错误;B项,由反应②可知,温度低于1 050 $^\circ\text{C}$ 时, $\text{CeO}_{2-\delta}$ 转化为 CeO_2 ,说明温度低于1050 $^\circ\text{C}$ 时, CeO_2 比 $\text{CeO}_{2-\delta}$ 更稳定,B错误;C项,若 $\delta =$

0.2, 则 $\text{CeO}_{2-\delta}$ 为 $\text{CeO}_{1.8}$, 设 Ce^{3+} 为 x 个, Ce^{4+} 为 y 个, 则有 $\begin{cases} x+y=1, \\ 3x+4y=3.6 \end{cases}$, 联立解得 $x=0.4, y=0.6$, 所以有 $\text{Ce}^{3+} : \text{Ce}^{4+} = 2 : 3$, C 正确; D 项, 催化剂不能降低反应的焓变, 只能加快反应速率, D 错误; 故选 C。

- 13.A 【解析】A 项, 反应的化学方程式为 $2\text{KMnO}_4 + 5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 10\text{CO}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$, 实验 3 中, $n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) : n(\text{KMnO}_4) = 8 \times 0.2 : 4 \times 0.01 = 40 : 1 > 5 : 2$, 则 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 过量, 用 KMnO_4 表示该反应速率 $v(\text{KMnO}_4) = \frac{0.004 \text{ L} \times 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{0.012 \text{ L} \times 6.7 \text{ min}} \approx 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, A 错误; B 项, 温度越高反应速率越快, 催化剂可加快反应速率, 则 $a < 12.7, b > 6.7$, B 正确; C 项, 1、3 比较只有高锰酸钾的浓度不同, 且实验 1 中浓度大, 则反应速率: $v(\text{实验 1}) > v(\text{实验 3})$, C 正确; D 项, 判断反应速率快慢的方法: 单位时间内产物的物质的量的变化量的多少或比较收集相同体积 CO_2 所消耗的时间长短或单位时间内物质浓度的变化量等, 所以比较收集相同体积 CO_2 所消耗的时间, 可判断反应速率快慢, D 正确; 故选 A。

能力提升

- 14.B 【解析】在酸性条件下, Fe^{2+} 和氧气、氢离子反应生成 Fe^{3+} 和 H_2O , 反应的离子方程式为 $4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, 由图像可知, 当 pH 相同温度不同时, 温度越高 Fe^{2+} 的氧化率越大; 当温度相同 pH 不同时, pH 越大, Fe^{2+} 的氧化率越小。A 项, 由图像可知, Fe^{2+} 的氧化率随时间延长而逐渐增大, A 正确; B 项, 由②和③可知, 当温度相同 pH 不同时, pH 越大, Fe^{2+} 的氧化速率越小, B 错误; C 项, 由①和③可知, 当 pH 相同温度不同时, 温度越高 Fe^{2+} 的氧化速率越大, C 正确; D 项, 在酸性条件下, Fe^{2+} 和氧气、氢离子反应生成 Fe^{3+} 和 H_2O , 反应的离子方程式为 $4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ = 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, D 正确; 故选 B。

- 15.C 【解析】A 项, 由表中数据可知 $v(\text{A}) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{(0.80 - 0.67) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{(20 - 10) \text{ min}} = 0.013 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 由

$2\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{B}(\text{g}) + \text{D}(\text{g})$ 可知 $v(\text{B}) = \frac{1}{2} v(\text{A}) = \frac{1}{2} \times 0.013 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = 0.0065 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, A

正确; B 项, 根据实验 1、2 数据分析, 温度相同, 达平衡后 A 的物质的量浓度相同, 且两组实验中 A 的起始浓度相同为 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 但达平衡时 2 组的时间较短, 说明实验 2 使用了催化剂, B 正确; C 项, 实验 1 中起始时生成物的浓度为 0, 则起始时逆反应速率为 0, 随着反应的进行, 逆反应速率逐渐增大, 则 40 min 时的逆反应速率比 10 min 时的逆反应速率快, C 错误; D 项, 对比实验 3 与实验 1, 温度升高, 达平衡时 A 的平衡浓度减小; 温度升高, 化学平衡向吸热方向移动, 所以正反应是吸热反应, D 正确; 故选 C。

- 16.A 【解析】A 项, 据图可知 b 为水合 CH_3OH 分子, c 为水合 SO_3 分子, c 的能量更低, 所以水合 SO_3 分子更稳定, A 错误; B 项, 据图可知反应历程中最大能垒(活化能)为 $3.66 \text{ eV} - (-2.96 \text{ eV}) = 6.62 \text{ eV}$, B 正确; C 项, 据图可知 d 到 f 的过程中甲醇中的氢原子转移到水分子中, 水分子中的氢原子转移到 $\text{CH}_3\text{OSO}_3\text{H}$ 分子中, 实质为质子转移, C 正确; D 项, 反应前后水未发生变化, 形成的水合分子降低了能垒, 为该反应的催化剂, D 正确; 故选 A。

- 17.C 【解析】A 项, 催化剂能降低反应的活化能, 增大活化分子百分数, 从而加快反应速率, A 正确; B 项, 由反应过程片段知, 反应物 HI 需首先离解为 H 和 I 自由基, 为过程 $\text{H}^+ \text{OCO} \rightarrow \text{HOCO}$ 提供原料, 由过程片段知, HOCO 生成后继续转化为 HO 和 CO, 故为中间产物, B 正确; C 项, HOCO 经过 1 000 fs 转化为 HO 自由基和 CO, 只能说明这个历程快, 不能说明整个过程反应速率一定快, C 错误; D 项, 飞秒化学展

现的反应历程中 HI 解离为 H 和 I 自由基以及过程片段涉及反应物中旧键的断裂和新键的形成, D 正确; 故选 C。

18.D 【分析】本题由表格分析反应速率问题, 由图像分析反应热问题。

【解析】A 项, 由表中数据可知 0~6 min 内生成 O_2 的物质的量为 $\frac{44.8 \times 10^{-3}}{22.4} \text{ mol} = 0.002 \text{ mol}$, 则消耗

H_2O_2 为 0.004 mol, $v(H_2O_2) = \frac{0.004 \text{ mol}}{\frac{0.02 \text{ L}}{6 \text{ min}}} \approx 3.33 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 但是 A 给的单位是错的, A

错误; B 项, $E_1 - E_2$ 无特殊物理意义, B 错误; C 项, 分析两步反应可知, Fe^{3+} 作催化剂, 而催化剂只能改变活化能, 不能改变反应热; C 错误; D 项, 由图像可以看出反应①是吸热反应、反应②是放热反应; D 正确。故选 D。

19. (1) $Zn + CuSO_4 = Cu + ZnSO_4$, $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2 \uparrow$

(2) Zn 与硫酸铜溶液反应生成的铜与锌在硫酸中构成原电池, 加快氢气的生成速率

(3) 30 mL 10 mL 17.5 mL

【解析】根据物质的性质, 写出发生反应的化学方程式; 根据 Zn 为活泼金属, 可置换出硫酸铜中的 Cu, 与硫酸溶液共同构成原电池, 加快反应速率; 根据要对比试验效果, 那么除了反应的物质的量不一样以外, 要保证其他条件相同, 而且是探究硫酸铜量的影响, 那么每组硫酸的量要保持相同, 六组反应的总体积也应该相同; 据此解答。

(1) 稀硫酸与锌发生置换反应, 生成硫酸锌和氢气, 即 $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2 \uparrow$, Zn 和 $CuSO_4$ 溶液发生置换反应, 生成硫酸锌和 Cu, 即 $Zn + CuSO_4 = Cu + ZnSO_4$ 。

(2) Zn 和硫酸的反应中加入少量的 $CuSO_4$ 溶液, Zn 能置换出一定量 Cu, 在溶液中形成 Cu—Zn 原电池, 从而加快化学反应速率。

(3) 要对比试验效果, 那么除了反应的物质的量不一样以外, 要保证其他条件相同, 而且是探究硫酸铜量的影响, 那么每组硫酸的量要保持相同, 六组反应的总体积也应该相同, A 组中硫酸为 30 mL, 那么其他组硫酸量也都为 30 mL, 而硫酸铜溶液和水的总量应相同, F 组中硫酸铜 20 mL, 水为 0, $V_5 = 30 \text{ mL}$, 那么总量为 50 mL, 所以 $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = 30 \text{ mL}$, $V_6 = 10 \text{ mL}$, $V_9 = 50 \text{ mL} - 30 \text{ mL} - 2.5 \text{ mL} = 17.5 \text{ mL}$ 。

20. (1) $O_2 + 4I^- + 4H^+ = 2H_2O + 2I_2$

(2) 秒表(或计时器)、温度计

(3) 淀粉溶液

(4) ①> ②60 s

(5) 2 mL 保持溶液总体积不变

(6) 其他条件不变时, 升高温度或者增大反应物的浓度, 反应速率均增大

【解析】(1) 酸性 KI 溶液在空气中被氧化成碘单质, 氧气被还原为 H_2O , 反应的离子方程式: $O_2 + 4I^- + 4H^+ = 2H_2O + 2I_2$ 。

(2) 为了记录时间和测定准确的温度, 实验中用到的计量仪器除量筒外, 还需要秒表(或计时器)、温度计。

(3) 反应产生碘单质, 淀粉遇碘变蓝, 可用来指示反应, 则滴加的指示剂名称是淀粉溶液。

(4) ①已知温度每升高 10°C , 反应速率增大为原来的 2 倍, 则 40°C 的时间为 30°C 的一半, 则 t_1 应为

120 s, 而 $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KI 溶液反应, 80 s 就显色, 则 $c > 0.5$ 。

② 50 °C 的时间为 30 °C 的 $\frac{1}{4}$, 上表中 $t_2 = 240 \text{ s} \times \frac{1}{4} = 60 \text{ s}$ 。

(5) 控制溶液的总容积相同, 则实验 I 和实验 III 的溶液体积相同, $V_2 = 2$, 实验中加入蒸馏水的目的是保持溶液总容积不变。

(6) 通过实验 I、II, 本小组得出的实验结论为: 其他条件不变时, 升高温度或者增大反应物的浓度, 反应速率均增大。

第二节 化学平衡

第 1 课时 化学平衡状态

典型例题

【例 1】A **【解析】**可逆反应中, 反应体系中各物质一定共存, 如果 B、C 选项中的数据存在, 则 Z 的浓度为 0, 这是不可能的, A 选项符合题意; 又因为该反应是总体积不变的反应, 达到平衡时, 不论 X_2 、 Y_2 、Z 怎么变化, 总物质的量不会改变, 总浓度也不会改变, 即: $c(X_2) + c(Y_2) + c(Z) = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

【例 2】C

自主学习

1. 一定条件 正反应 逆反应

2. (1) 同时发生、同时存在

(2) 不能 不能

(3) 同时存在于同一反应体系中

(4) 仍在进行, 没有停止

3. 正、逆两个方向的反应速率 质量或浓度 恒定

4. ①可逆反应 ② $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ ③ 物质恒定 [或反应混合物中各组分的浓度 (或百分含量) 保持一定] ④ 动态平衡, 反应没停止 ⑤ 条件改变, 平衡移动

基础夯实

5. D **【解析】**断裂反应物的化学键和形成生成物的化学键都表示正反应, 断裂生成物的化学键和形成反应物的化学键都表示逆反应, 只要抓住反应方向相反和物质的生成和消耗量符合反应方程式, 问题便可解决。

6. C **【解析】**该反应为体积不变的反应, 总分子数不变、压强不变不证明平衡已建立, H_2 、 I_2 都是生成物且计量数相等, 二者浓度相等也不能证明平衡已建立。

7. D **【解析】**该反应为物质的量改变的反应, 在定容容器中, 建立平衡的过程会有压强的改变、总分子数的改变、颜色的改变, 一旦这些可变量不变了, 则证明平衡建立了, 而总质量在任何情况下都不发生变化。

8. B **【解析】**平衡建立时, 反应速率不为 0。

9. D **【解析】**该反应是可逆反应, 正反应、逆反应同时存在; 化学平衡是动态平衡, 正反应发生时, ^{18}O 存在于 SO_3 中, 逆反应发生时, SO_3 中的 ^{18}O 又可以转化到 SO_2 中。

10. A **【解析】**可逆反应不可能进行到底。当生成 2 mol NH_3 时, N_2 和 H_2 的物质的量均为 0, 这种情况不

可能出现。

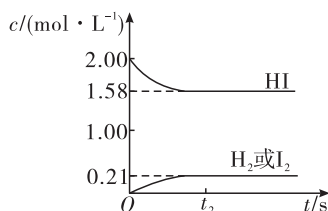
- 11.B **【解析】**化学平衡建立时, $v_{\text{正}}=v_{\text{逆}}$,对于不同物质而言,要符合物质的反应速率之比等于化学计量数之比的要求。同时必须使反应方向不同,A、C选项方向都是正反应;B选项方向相反且符合 $v_{\text{正}}(\text{A}):v_{\text{逆}}(\text{B})=a:b$,符合题意,D选错误。

- 12.A **【解析】**反应体系中A是固体,随反应的进行,气体的总质量增加,因为 $\rho=\frac{m}{V}$,当体积不变时,密度逐渐变大,但达到平衡后, m 不再变化, ρ 也就不再变化,A选项符合题意。其他选项均不符合。如将A的状态改为气态,则选项变为B、C。

能力提升

- 13.B **【解析】**2 mol A和1 mol B如果完全反应,则一定能转化成3 mol C和1 mol D,或者说3 mol C和1 mol D与2 mol A和1 mol B对于建立该平衡来说是等同的,量多、量少均不符合此条件。

- 14.(1)如图所示。



- (2)①动态平衡;② $v_{\text{正}}=v_{\text{逆}}\neq 0$;③平衡时各组分浓度保持不变;④一定条件下平衡的建立与途径无关

- 15.(1) $\frac{a}{V} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\frac{b}{V} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 0 $v_{\text{正}}$ $v_{\text{逆}}$

- (2)减小 减小 增大 减小 增大

- (3)相等 保持不变

- 16.0.5 mol

【解析】根据反应的化学方程式知, $v(\text{A}):v(\text{B}):v(\text{C})=1:2:2$,则 $c(\text{A}):c(\text{B}):c(\text{C})=1:2:2$,此时可判断 $c(\text{B})=c(\text{C})$,因为此反应中B的消耗量等于C的生成量,又等于B的剩余量,则B消耗了原来的一半,即1 mol,同时A消耗了0.5 mol。

- 17.C **【分析】**可逆反应达到平衡状态时,正逆反应速率相等,且反应体系中各物质的物质的量不变、物质的量浓度不变、百分含量不变以及由此引起的一系列物理量不变,据此分析解答。

【解析】①C的生成速率与C的分解速率相等,说明反应达平衡状态,故正确;②单位时间内生成a mol A,同时生成3a mol B,均表示逆反应速率,不能据此判断平衡状态,故错误;③A的浓度不再变化,说明反应达平衡状态,故正确;④A、B、C的分子数之比为1:3:1,该反应不一定达到平衡状态,与反应初始浓度及转化率有关,所以不能据此判断平衡状态,故错误;⑤正反应体积减小,混合气体的总压强不再变化,说明气体的物质的量不变,反应达平衡状态,故正确;⑥反应前后都是气体,恒容密闭容器中,混合气体的密度一直不变化,不能据此判断平衡状态,故错误;故选C。

- 18.B **【解析】**A项,C生成的速率与C分解的速率相等说明正、逆反应速率相等,反应已达到平衡,故A不符合题意;B项,单位时间内消耗a mol A和生成3a mol C都代表正反应速率,不能说明正、逆反应速率相等,无法判断反应是否已达到平衡,故B符合题意;C项,该反应是一个气体体积增大的反应,反应中气体压强增大,则容器内的压强不再变化说明正、逆反应速率相等,反应已达到平衡,故C不符合题意;D

项,该反应是一个气体质量增大的反应,固定的容积中,混合气体的密度增大,则混合气体的密度不再变化说明正、逆反应速率相等,反应已达到平衡,故D不符合题意;故选B。

- 19.C **【解析】**A项, N_2 和 H_2 反应生成氨气是可逆反应,则1 mol N_2 和3 mol H_2 不可能生成2 mol NH_3 ,A错误;B项,可逆反应达到平衡后,体系中化学反应处于动态状态,只是正逆反应速率相等,但不等于0,B错误;C项,随着反应的进行,起始时的氮气浓度是不断减小的,当氮气浓度不再发生变化,即反应达到了限度,则反应达到了平衡状态,C正确;D项,反应达到平衡时,只是正逆反应速率相等,有氨气生也有氨气分解,D错误;

本题答案C。

- 20.(1) $3\text{X}+\text{Y}\rightleftharpoons 2\text{Z}$

(2) $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

(3)A

(4)在此条件下,该反应已达到反应限度(或化学平衡)

【分析】根据图像,反应物的物质的量减小,生成物的物质的量增大,且反应的物质的量之比等于化学计量数之比,X、Y、Z反应的量分别为0.6 mol、0.2 mol、0.4 mol,方程式为 $3\text{X}+\text{Y}\rightleftharpoons 2\text{Z}$ 。

【解析】(1)分析可知,该反应的化学方程式为 $3\text{X}+\text{Y}\rightleftharpoons 2\text{Z}$ 。

(2)反应开始至2 min时,Z的物质的量变化为0.2 mol,则平均反应速率 $=\frac{0.2\text{ mol}}{2\text{ L}\times 2\text{ min}}=0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

(3)A项,反应限度是一种平衡状态,此时反应同一物种的正逆反应速率相等,反应并未停止,A错误;B项,达到平衡状态时,同一物种的正反应速率和逆反应速率相等,B正确;C项,达到平衡状态时,反应物和生成物的物质的量不再改变,则浓度都不再改变,C正确;D项,化学反应速率理论是改变外界条件加快反应速率,即研究怎样在一定时间内快出产品,D正确;E项,化学平衡理论是使反应平衡状态发生一定方向的移动,即研究怎样使用有限原料多出产品,E正确;故选A。

(4)5 min后各物质的物质的量不再改变,即反应达到平衡状态。

第2课时 化学平衡常数

典型例题

【例1】D 【解析】平衡常数是生成物浓度幂之积与反应物浓度幂之积的比值,但固体浓度视为1,不写入平衡常数计算式中。

【例2】A 【解析】 $Q=\frac{0.2}{(0.7)^2}=0.408$ $Q<K$,说明该反应没达到平衡, $v_{\text{正}}>v_{\text{逆}}$ 。

自主学习

1.一定温度 化学平衡 浓度幂之积 浓度幂之积 平衡常数 K

$$2.K=\frac{c^p(\text{C})\cdot c^q(\text{D})}{c^m(\text{A})\cdot c^n(\text{B})}$$

3.(1)正反应 越大 越大 越小 越小

(2)温度 浓度

基础夯实

5.A **【解析】**大量实验证明,化学平衡常数是表明化学反应限度的一个特征值,通常只受温度影响,与起始浓度等其他外界条件没有任何关系。

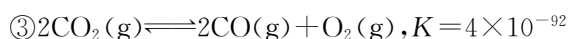
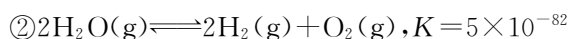
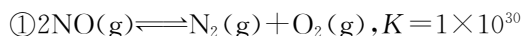
6.C 【解析】升高温度,该平衡左移, $c_2(\text{CO}) > c_1(\text{CO})$, $K_1 > K_2$,因为 K 只与温度有关,与浓度无关,则增大 CO 浓度不会影响 K_1 、 K_2 。 CO 与 H_2O 总是 1:1 消耗与生成。

7.C 【解析】平衡常数与化学方程式的写法有关,对于以上两个反应: $K = \frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c^{\frac{1}{2}}(\text{O}_2)}$, $K' = \frac{c^2(\text{CO}) \cdot c(\text{O}_2)}{c^2(\text{CO}_2)}$,所以 $K' = \frac{1}{K^2}$ 。

8.A 【解析】温度升高时,对于放热反应, K 将减小,对于吸热反应, K 才增大,因为 K 只与温度有关,而平衡移动的方向还与其他多种因素有关,也就是说当平衡右移时, K 值不一定增大。

9.B 【解析】气体体积缩小到原来的 $\frac{1}{2}$,相当于加压,若平衡不移动,各物质的浓度应为原来的 2 倍。现在 C 的浓度为原来的 1.9 倍,说明平衡向逆反应方向移动,A 的转化率减小,C 的体积分数减小。根据勒夏特列原理, $m+n < p$ 。

10.A 【解析】要判断 NO 、 H_2O 、 CO_2 这三个化合物分解放氧的倾向,则必须求出各个分解放氧反应的平衡常数,然后比较大小即可。由计算可知:



平衡常数越大,表示反应进行得越彻底,因此反应①即 NO 分解放氧的倾向最大。

$$11.(1) K = \frac{c^2(\text{CrO}_4^{2-}) \cdot c^2(\text{H}^+)}{c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})}$$

$$(2) K = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2)}{c(\text{H}_2\text{O})}$$

$$(3) K = \frac{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}$$

$$12.(1) 7.3 \times 10^{-3}。$$

$$(2) c(\text{N}_2) = 5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, c(\text{H}_2) = 15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}。$$

$$\text{【解析】} K = \frac{c^2(\text{NH}_3)}{c(\text{N}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)} = \frac{4^2}{3 \times 9^3} \approx 7.3 \times 10^{-3}。$$

	N_2	+	3H_2	\rightleftharpoons	2NH_3
起始量	x		y		0
平衡量	$3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		$9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		$4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
Δc	$x - 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		$y - 9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		$4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
	$\frac{x-3}{4} = \frac{1}{2}$		$x = 5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		
	$\frac{y-9}{4} = \frac{3}{2}$		$y = 15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		

能力提升

13.(1) 小于

(2) ①逆反应 ② $x < 3.0$

【解析】(1)对于放热反应,升高温度,平衡左移, K 值变小。

$$(2) Q = \frac{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{5.0}{V} \times \frac{1.0}{V}}{\frac{1.0}{V} \times \frac{3.0}{V}} = \frac{5.0}{3.0} > 1, \text{此时}, v_{\text{逆}} > v_{\text{正}}, \text{平衡向逆反应方向移动}, Q < K \text{ 时}, v_{\text{正}} >$$

$v_{\text{逆}}$, 根据上式, 当 $x < 3.0$ 时, $Q < K$ 。

14. (1) $0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(2) $\alpha(\text{CO}) = 50\%$ 。

(3) $K = \frac{1}{36}$ 。

【解析】 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$

$c(\text{始})$ $10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 0

Δc $2x$ x x

$c(\text{平})$ $10 - 2x$ $4 - x$ x

$x = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $\Delta c(\text{H}_2) = 4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

则 $v(\text{H}_2) = \frac{\Delta c(\text{H}_2)}{\Delta t} = \frac{4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{5 \text{ min}} = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

$\alpha(\text{CO}) = \frac{2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 50\%$

$K = \frac{2}{6^2 \times 2} = \frac{1}{36}$ 。

15. (1) $K = \frac{c^2(\text{NH}_3)}{c(\text{N}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)}$ 增大 减小 增大

(2) ① $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ② A ③ 20~25 min 35~40 min $\frac{(0.15)^2}{0.125 \times (0.075)^3}$ 45.5% ④ 移走

0.1 mol NH_3 等于

16. A

17. (1) 正反应

(2) E

(3) 850°C 向正反应方向进行中

【解析】(1)由表格数据可得,随着温度升高,平衡常数增大,说明化学平衡向正反应方向移动。

(2)A项,达到平衡时 $c(\text{CO}_2)$ 不一定等于 $c(\text{CO})$,反之相等时也不一定处于平衡状态;B项,温度不变 K 不变;C项,此反应不论是否平衡,压强均不改变;D项, $v_{\text{正}}(\text{CO}_2)$ 与 $v_{\text{正}}(\text{H}_2)$ 表示的反应方向一致,故不能判断是否达到平衡;E项,达到平衡时,各种反应物、生成物的浓度保持不变。

(3)由 $c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2) = c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})$, 则计算出 $K = 1.0$, 即此时温度为 850°C ; 此温度下 =

$\frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)} = \frac{0.75 \times 1.5}{1 \times 1.2} \approx 0.94 < 1.0$, 故反应向正反应方向进行中。

18. (1) 20%

(2) 2

(3) 5 : 6

$$(4) \frac{1}{16}$$

【解析】把 7 mol A 气体和 5 mol B 气体混合放入 2 L 密闭容器中,在一定条件下发生反应: $3A(g)+B(g)\rightleftharpoons 2C(s)+xD(g)$,经 5 min 达到平衡,此时生成 2 mol C,测得 D 的平均反应速率为 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,则生成 D 的物质的量为 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 2 \text{ L} \times 5 \text{ min} = 2 \text{ mol}$,则可列出三段式(单位为 mol):

	$3A(g)$	$+$	$B(g)$	\rightleftharpoons	$2C(s)$	$+$	$xD(g)$
起始量/mol	7		5		0		0
转化量/mol	3		1		2		2
平衡量/mol	4		4		2		2

$$(1) B \text{ 的转化率} = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%。$$

(2)根据化学计量数之比等于各物质的物质的量的变化量之比,可知 x 的值为 2。

$$(3) \text{恒温恒容时,压强之比等于物质的量之比,则平衡时压强与初始时压强之比为} \frac{4+4+2}{7+5} = \frac{5}{6}。$$

$$(4) \text{物质 C 为固体,平衡时,其余气体物质的浓度} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \text{ 为}$$

$\frac{3A(g)}{2}$	$+$	$\frac{B(g)}{2}$	\rightleftharpoons	$\frac{2C(s)}{1}$	$+$	$\frac{2D(g)}{1}$
-------------------	-----	------------------	----------------------	-------------------	-----	-------------------

$$\text{, 则该温}$$

$$\text{度下此反应的平衡常数 } K = \frac{1^2}{2^3 \times 2} = \frac{1}{16}。$$

19.(1)19.6

$$(2) 0.225 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

(3)cd

(4)d

$$(5) \frac{c(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)} = \frac{16}{3}$$

【解析】(1)根据化学方程式 $\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(g) + \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = -49.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 可知:每有 1 mol 完全反应,会放出 49.0 kJ 的热量,现向体积为 1 L 的密闭容器中,充入 1 mol CO_2 和 3 mol H_2 ,若 CO_2 的转化率为 40%时,则反应的 CO_2 的物质的量是 0.4 mol,反应放出的热量为 $Q = 0.4 \text{ mol} \times 49.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 19.6 \text{ kJ}$ 。

$$(2) \text{根据图像可知:从反应开始到平衡 } v(\text{CO}_2) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{(1.00 - 0.25) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{10 \text{ min}} = 0.075 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}, \text{根}$$

$$\text{据方程式可知 } v(\text{H}_2) = 3v(\text{CO}_2) = 0.075 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \times 3 = 0.225 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}。$$

(3)a 项, $v_{\text{生成}}(\text{CH}_3\text{OH}) = v_{\text{消耗}}(\text{CO}_2)$ 表示的都是反应正向进行,不能据此判断反应是否处于平衡状态,a 错误;b 项,反应在恒容密闭容器中进行,气体的体积不变,反应混合物都是气体,气体的质量不变,因此反应混合气体的密度始终不变,因此不能根据密度不变来判断反应是否处于平衡状态,b 错误;c 项,该反应是反应前后气体的物质的量改变的反应,气体的质量不变,若混合气体的平均相对分子质量不再改变,说明反应达到平衡状态,c 正确;d 项, CO_2 、 H_2 、 CH_3OH 、 H_2O 的浓度均不再变化,说明反应达到了平衡状态,d 正确;故选 cd。

$$(4) \text{a 项, } v(\text{H}_2) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}, \text{则 } v(\text{CO}_2) = \frac{1}{3} v(\text{H}_2) = \frac{2}{3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}; \text{b 项, } v(\text{CO}_2) =$$

4.5 mol · L⁻¹ · min⁻¹; c 项, $v(\text{CH}_3\text{OH}) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则 $v(\text{CO}_2) = v(\text{CH}_3\text{OH}) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; d 项, $v(\text{H}_2\text{O}) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 则 $v(\text{CO}_2) = v(\text{H}_2\text{O}) = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 可见上述反应中表示该反应速率最快的是 $v(\text{CO}_2) = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 故选 d。

(5) 根据化学平衡常数的含义可知反应 $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的平衡常数表达式是 $K = \frac{c(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)}$; 在反应开始时 $c(\text{CO}_2) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}_2) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 达到平衡时 $c(\text{CO}_2) = 0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 改变浓度是 $0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则共有物质转化关系可知平衡时 $c(\text{H}_2) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 3 \times 0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 带入平衡常数表达式可得 $K = \frac{c(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)} = \frac{0.75 \times 0.75}{0.25 \times (0.75)^3} = \frac{16}{3}$ 。

20. (1) 25%

(2) 增大

(3) 6

(4) 41%

【解析】(1)

	M(g)	+	N(g)	\rightleftharpoons	P(g)	+	Q(g)
始态量/(mol · L ⁻¹)	1		2.4		0		0
变化量/(mol · L ⁻¹)	1 × 60%		1 × 60%				

因此 N 的转化率为 $\frac{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 60\%}{2.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 25\%$ 。

因此 N 的转化率为 $\frac{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 60\%}{2.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \times 100\% = 25\%$ 。

(2) 由于该反应的 $\Delta H > 0$, 即该反应为吸热反应, 因此升高温度, 平衡右移, M 的转化率增大。

(3) 根据(1)可求出各平衡浓度:

$c(\text{M}) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{N}) = 1.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{P}) = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Q}) = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

因此化学平衡常数 $K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})} = \frac{0.6 \times 0.6}{0.4 \times 1.8} = \frac{1}{2}$ 。

由于温度不变, 因此 K 不变, 新状态达到平衡后:

$c(\text{P}) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Q}) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{M}) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{N}) = (a - 2) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})} = \frac{2 \times 2}{2 \times (a - 2)} = \frac{1}{2}$, 解得 $a = 6$ 。

(4) 设 M 的转化率为 x , 则达到平衡后各物质的平衡浓度分别为 $c(\text{M}) = b(1 - x) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{N}) = b(1 - x) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,

$c(\text{P}) = bx \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Q}) = bx \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})} = \frac{bx \cdot bx}{b(1 - x) \cdot b(1 - x)} = \frac{1}{2}$, 解得 $x \approx 41\%$ 。

第 3 课时 影响化学平衡的因素

典型例题

【例 1】C 【解析】碳酸的酸性弱于盐酸而强于次氯酸, 向氯水中投入少量碳酸钙粉末后, 它与盐酸反应, 而不与次氯酸反应。又由于 H^+ 浓度减小, 平衡 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HClO}$ 向正反应方向移动, 故 HClO 浓度增大。

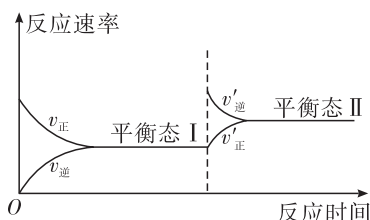
【例 2】B

自主学习

- 1.(1)正反应
(2)正反应
(3)逆反应
(4)逆反应
- 2.气体体积缩小 气体体积增大
- 3.吸热反应 放热反应
- 4.同等程度地 不能
- 5.浓度 能够减弱这种改变

基础夯实

- 6.B 【解析】题意中明确指出“尤其是在寒冷季节易诱发关节疼痛”,说明温度降低,反应② $\text{Ur}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{NaUr}(\text{s})$ 的平衡向正反应方向移动,可知其正反应为放热反应。
- 7.A 【解析】两反应的温度不同,后者为绝热条件,相对于前者相当于升高了温度, Br_2 的转化率减小。
- 8.C 【解析】Y 是固体,增加 Y 不影响平衡。
- 9.B
- 10.C 【解析】减小压强,体系中各组分浓度都减小,所以正、逆反应速率都减小,平衡向气体体积增大的方向移动。
- 11.B 【解析】在平衡体系中,增大某一反应物的浓度,该反应物的转化率降低,对于有气体参加的反应,只要增大压强,各组分浓度同时增大,而减小压强,各组分浓度同时减小。
- 12.C 【解析】C 项达到平衡态 I 后,减小反应物浓度,正反应速率减小,逆反应速率在那一瞬间不变,图像应为:



- 13.B 【解析】要提高 COCl_2 的转化率,平衡需正向移动。已知可逆反应的正反应是一个气体化学计量数之和增大、吸热的反应。故①升温符合。②恒容通入惰性气体平衡不移动,不符合要求。③增加 CO 的浓度,平衡逆向移动。④减压平衡正向移动。⑤催化剂不影响化学平衡。⑥恒压下通入惰性气体相当于减压,平衡正移,故选 B。

能力提升

- 14.C 【解析】升温, $c(\text{Y})$ 增大,平衡右移,所以, $Q > 0$, B、D 错误;气体体积增大,若平衡不动, $c(\text{Y})$ 应减小为一半,现 $c(\text{Y})$ 比一半大,即减压平衡向右移动, $m < n$, A 错误, C 正确。
- 15.A 【解析】升温,无论是正反应,还是逆反应,速率均加快, A 错误;催化剂可以加快化学反应速率, B 正确;达到平衡后,各组分的速率保持不变, C 正确;由于 CO 和 CO_2 的计量系数相等,故当两者同时消耗的量相等时,反应即达到平衡, D 正确。
- 16.C 【解析】在相同体积和温度的条件下,甲、乙两容器是等效体系,平衡时两容器中各组分的浓度相同;若

提高相同的温度,甲、乙两体系平衡移动的情况相同;若向甲中加入一定量的 He,平衡不移动;若向甲中加 0.1 mol H_2 和向乙中加 0.1 mol I_2 ,甲、乙两体系平衡移动的效果相同;而降低甲的温度会使平衡向正向移动, $c(HI)$ 提高。

17.D 【解析】此题可采用一般规范解法或巧解法。

①常规解法:

因为反应开始和达到平衡状态时,温度和体积不变,所以气体物质的量浓度可当作它的物质的量或体积(升)来进行计算。

	$4X(\text{气})$	$+ 3Y(\text{气})$	\rightleftharpoons	$2Q(\text{气})$	$+ nR(\text{气})$
起始量/mol	3	2		0	0
变化量/mol	$3 \times \frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$		$\frac{1}{2}$	$\frac{n}{4}$
平衡量/mol	2	1.25		0.5	$0.25n$

根据阿伏加德罗定律,压强增加为原来的 1.05 倍(即比原来增加 5%),气体的物质的量也增加为原来的 1.05 倍。则有: $2+1.25+0.5+0.25n=(3+2) \times 1.05$ 解得: $n=6$ 。

②巧解法:

依题意,反应开始和达到平衡时,容器的体积和温度不变,混合气体的压强增大了,这说明平衡状态时,混合气体的总物质的量较反应前增大了,因此在上述方程式中,各生成物系数之和应大于各反应物系数之和。即 $(2+n) > (4+3)$, $n > 5$,从题中选项看,只有 D 符合上述关系。

18.(1)放 $>$

(2)增大

(3)增大 减小

(4)减小

(5)不变

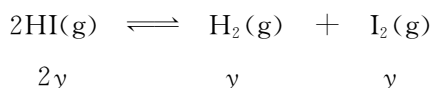
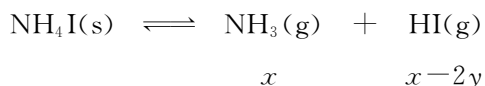
(6)变深 变浅

【解析】升高温度,B 的转化率增大,说明正反应吸热,则逆反应放热;减小压强,C 的质量分数减小,则说明平衡左移,则 $m+n > p$ 。据此可对诸问题作出分析。

19.(1) $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(2)减小 增大

【解析】(1)列式并设如下:平衡时 NH_3 的浓度为 x , I_2 的浓度为 y 。



则有: $y=0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}=c(H_2)=c(I_2)$

$x-2y=c(HI)=4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

得 $x=5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(2)增大压强,平衡向化学计量数小的方向移动,反应①平衡向逆反应方向移动使得反应②平衡也向逆反

应方向移动,故 $n(\text{I}_2)$ 减小, $n(\text{NH}_4\text{I})$ 增大。

20.(1)①24.46% ②a

(2)①是 $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ②0.067 5 ③d

【解析】(1)①向合成塔中按物质的量之比 1:4 充入 N_2 、 H_2 进行氨的合成,设起始时 $n(\text{N}_2)=a \text{ mol}$,则 $n(\text{H}_2)=4a \text{ mol}$ 。设转化的 N_2 为 $x \text{ mol}$,根据三段式计算:

	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3\text{H}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2\text{NH}_3(\text{g})$
起始量/mol	a		$4a$		0
转化量/mol	x		$3x$		$2x$
平衡量/mol	$a-x$		$4a-3x$		$2x$

氨的体积分数为 $\frac{2x}{5a-2x} = 15\%$, 解得 $x = \frac{0.75a}{2.3}$; 氢气的转化率为 $\frac{3x}{4a} \times 100\% = \frac{3 \times \frac{0.75a}{2.3}}{4a} \times 100\% \approx 24.46\%$;

②氨的合成反应是放热反应,温度升高,平衡逆向移动,氨的体积分数减小,故 500°C 对应的曲线为 a。

(2)①根据反应 $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$, 结合 5 min 时的表格数据列三段式:

	$\text{CH}_4(\text{g})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{CO}(\text{g})$	+	$3\text{H}_2(\text{g})$
起始量/mol	0.4		1		0		0
转化量/mol	0.2		0.2		0.2		0.6
平衡量/mol	0.2		0.8		0.2		0.6

由三段式可知:5 min 时 $x_1 = x_2 = 0.20$, $y_1 = 0.8$, $y_2 = 0.6$, 7 min 时 CH_4 的量没有改变,说明 5 min 时已达到平衡状态;前 5 min, $v(\text{CH}_4) = \frac{0.20 \text{ mol}}{2 \text{ L} \times 5 \text{ min}} = 0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;

②根据①中分析,5 min 时已达到平衡状态,则该温度下,上述反应的平衡常数 $K = \frac{c_{\text{平}}(\text{CO}) \times c_{\text{平}}^3(\text{H}_2)}{c_{\text{平}}(\text{CH}_4) \times c_{\text{平}}(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times (0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^3}{0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.067 5 \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$;

③根据①中三段式分析,结合表格数据,7~10 min,氢气浓度增大,CO 浓度减小, CH_4 、 H_2O 浓度增大,平衡逆向移动,故原因为充入氢气,故选 d。

21.(1)> <

(2) $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

(3)80% 160

(4)b

【分析】根据表格数据,甲容器中达到平衡时间短,反应的温度高,结合温度对平衡的影响和 $v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$,利用三段式分析解答。

【解析】(1) $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2 + 2\text{CO}_2(\text{g})$, 向甲、乙两个体积都为 2.0 L 的恒容密闭容器中分别充入 2 mol CO 和 2 mol NO, 分别在 T_1 、 T_2 温度下, 经过一段时间后达到平衡, 甲容器达到平衡需要的时间短, 则反应速率快, 说明反应温度 $T_1 > T_2$; 达到平衡状态时, 乙中 CO_2 的物质的量大于甲中 CO_2 的物质的量, 说明降低温度, 平衡正向进行, 则正反应为放热反应, $\Delta H < 0$ 。

(2) 乙容器中, 2~4 s 内 N_2 的平均反应速率 $v(\text{N}_2) = \frac{1}{2}v(\text{CO}_2) = \frac{1}{2} \times \frac{\frac{0.4 \text{ mol}}{2 \text{ L}}}{2 \text{ s}} = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3) 甲容器中,

	$2\text{NO}(\text{g})$	$+ 2\text{CO}(\text{g})$	\rightleftharpoons	N_2	$+ 2\text{CO}_2(\text{g})$
起始量/mol	2	2		0	0
反应量/mol	1.6	1.6		0.8	1.6
平衡量/mol	0.4	0.4		0.8	1.6

NO 的平衡转化率 $= \frac{1.6 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \times 100\% = 80\%$; 容器的体积为 2 L, 则平衡常数 $K = \frac{0.4 \times 0.8^2}{0.2^2 \times 0.2^2} = 160$ 。

(4) a 项, 增大 NO 浓度, NO 的转化率降低, 故 a 不选; b 项, 压缩容器体积, 压强增大, 反应速率加快, 平衡正向移动, NO 的转化率增大, 故 b 选; c 项, 移去部分 N_2 , 反应速率减慢, 故 c 不选; d 项, 改用高效催化剂, 平衡不移动, NO 的转化率不变, 故 d 不选; 故选 b。

第 4 课时 化学平衡图像

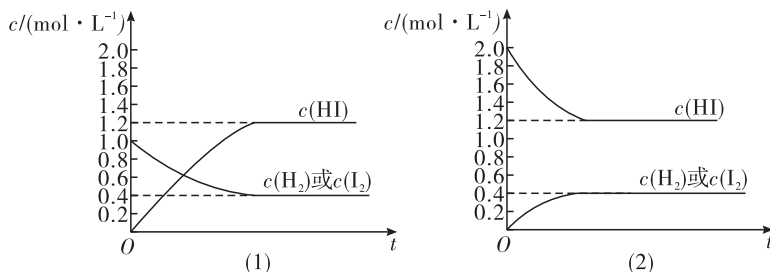
典型例题

【例 1】C 【解析】找准平衡点, 即两曲线交叉点, 然后条件改变后, 根据 $v_{\text{正}}$ 与 $v_{\text{逆}}$ 的关系确定平衡移动的方向, 得出结论。

【例 2】A

自主学习

2.



3. (1) 正反应 增加反应物浓度

(2) 可能是升高温度引起的平衡移动, 如果是升高温度, 则该反应的正反应是吸热反应; 也可能是增大压强引起的平衡移动, 如果是增大压强, 则该反应的正反应是气体体积减小的反应

(3) D

4. 增大 p_1 时反应达到平衡所用时间短, 故 $p_1 > p_2$, 从 p_1 、 p_2 的关系又看出当压强大时, 反应物的转化率 α 小, 故知该反应的正反应是气体体积增大的反应

基础夯实

5. B

6. D 【解析】由图像知: $c(\text{I}_3^-)$ 随温度升高而减小, 故该可逆反应的正反应为放热反应 $\Delta H < 0$, A 正确; 升高温度, 可逆反应逆向移动, 反应的化学平衡常数减小, 即 $K_1 > K_2$, B 正确; 反应进行到状态 D 时, $c(\text{I}_3^-) < c_{\text{平}}(\text{I}_3^-)$, 故可逆反应正向进行的程度大, 即 $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$, C 正确; 状态 A → 状态 B, $c(\text{I}_3^-)$ 减小, 化学平衡逆向移动, $c(\text{I}_2)$ 增大, 即状态 B 的 $c(\text{I}_2)$ 大, D 错误。

7. D 【解析】在恒容状态下, 在五个相同的容器中同时通入等量的 NO_2 , 反应相同的时间。那么则有两种可

能,一是已达到平衡状态,二是还没有达到平衡状态,仍然在向正反应方向进行。假若,5个容器在反应相同的时间下,均已达到平衡,因为该反应是放热反应,温度升高,平衡向逆反应方向移动, NO_2 的百分含量随温度升高而升高,所以②正确;假若,5个容器中有未达到平衡状态的,那么温度越高,反应速率越大,会出现温度高的 NO_2 转化得快,导致 NO_2 的百分含量少的情况。在④中,图中的转折点为平衡状态,转折点左侧为未平衡状态,右侧为平衡状态,④正确。

8.C 【解析】对于放热反应,升高温度,平衡向逆反应方向移动, K 值减小, CO 的转化率降低,A、B错误;温度不变, K 值不变,C正确;增加 N_2 的量,平衡向逆反应方向移动, NO 的转化率降低,D错误。

9.A 【解析】降温后 $v'_{\text{正}} > v'_{\text{逆}}$,平衡向正反应方向移动,证明正反应放热,加压后 $v''_{\text{正}} > v''_{\text{逆}}$,平衡向正反应方向移动,正反应体积减小,D不可能是气体。

10.C 【解析】根据图像,在压强不变的情况下,例如1 000 kPa时,随着温度的升高,Z的体积分数增大,即随着温度的升高,平衡向正反应方向移动,所以,正反应为吸热反应, $\Delta H > 0$,逆反应为放热反应, $\Delta H < 0$,所以A、D错误;同样,在温度不变的情况下,从1 000 kPa \rightarrow 100 kPa \rightarrow 10 kPa,随着压强的减小,Z的体积分数增大,即随着压强的减小,平衡向正反应方向移动,正反应为气体体积增大的反应,所以C正确。

11.A 【解析】此题是两个条件同时对化学平衡产生影响的图像。先固定一个条件不变,分析另一个条件变化对平衡的影响,得出一个结论,然后再固定这个条件不变,分析另一条件变化对平衡的影响。温度不变,压强越大,A的转化率越高,得出: $m+n > p+q$;压强不变,温度越高,A的转化率越大,得出:正反应吸热。

12.B 【解析】由图像可知M的体积分数随着温度升高而减小,因此正反应是吸热反应。催化剂只能改变反应达到平衡所需的时间,而对化学平衡移动无影响。升高温度平衡正向移动,因此Q的体积分数增加。比较两图可知同温时增加压强,化学平衡逆向移动,Q的体积分数减小。同温同压时增加 z ,平衡时Q的体积分数不一定减小,因为N的物质的量增加不定,因此A、C、D错误,只有B正确。

能力提升

13.D 【解析】建立平衡之前,正反应速率逐渐减小,逆反应速率逐渐增大,该图平衡点并不是两曲线的交点;温度升高平衡向逆反应方向移动, $n(\text{H}_2)$ 增多。

14.C 【解析】A、C两点温度相同而压强不同,增压平衡逆向移动, NO_2 的体积分数减小,但增压也会增大浓度,反应速率: $A < C$,颜色还是C深(浓度大);由于平衡逆向移动,气体分子数减少,根据 $M = \frac{m}{n}$,气体的平均相对分子质量 $A < C$;故A、B、D均错。

15.A 【解析】图二是在几种不同情况下的化学平衡,而影响平衡的因素有:浓度、温度、压强、催化剂, t_3-t_4 和 t_4-t_5 这两段平衡是不移动的,则只能是压强和催化剂影响的,因此应该推断该反应为等体积变化的反应。再结合图一可知,A浓度的变化为 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,C浓度的变化量为 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,由化学反应的速率之比等于化学方程式前的计量系数之比,可写出该反应的方程式为 $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{C}(\text{g})$,A错误; t_3-t_4 的平衡比原平衡的速率要快,而 t_4-t_5 的速率又变慢,前者题目已给出是使用催化剂,所以后者为减压,因为条件只能用一次,B正确;B的平衡浓度是 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则起始时应为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;起始时2 mol A所对应的浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,所以容器体积应是2 L;所以B的起始物质的量为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 2 \text{ L} = 1 \text{ mol}$,C正确;D项考查的是等效平衡,要最终为相同平衡,则必须折算后与原平衡相等。

16.(1) $\frac{c(\text{CH}_3\text{OH})}{c(\text{CO}) \cdot c^2(\text{H}_2)}$ 减小

$$(2) \frac{2n_b}{3t_b} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

(3) bc



【解析】本题主要考查平衡常数、化学反应速率、化学平衡移动的影响因素等知识,着重考查分析问题,尤其是利用所给图像数据进行综合分析、推理归纳得出结论的能力。

(1) 根据反应式和平衡常数的定义可得该反应的平衡常数表达式 $K = \frac{c(\text{CH}_3\text{OH})}{c(\text{CO}) \cdot c^2(\text{H}_2)}$, 从题给图像可以看出平衡后 500 °C 时的甲醇的物质的量小于 300 °C 时的物质的量, 说明该反应的正反应是放热反应, 升高温度平衡逆向移动, K 值将减小。

(2) 500 °C 时反应达到平衡, 生成甲醇的物质的量为 n_b , 则消耗 H_2 的物质的量为 $2n_b$, 因此 $v(\text{H}_2) = \frac{\frac{2n_b \text{ mol}}{3 \text{ L}}}{\frac{t_b \text{ min}}{3t_b}} = \frac{2n_b}{3t_b} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

(3) 在其他条件不变的情况下, 将处于 E 点的体系体积压缩到原来的 $\frac{1}{2}$, 根据反应特点推知, 增大压强, 正、逆反应速率都增加, 且平衡向正反应方向移动, 甲醇的物质的量将增加, 即选 b、c。

(4) 因 Cu_2O 能被 CO 还原为 Cu, 所以通入 CO_2 可抑制此反应, 化学方程式为 $\text{Cu}_2\text{O} + \text{CO} \rightleftharpoons 2\text{Cu} + \text{CO}_2$ 。

17. (1) n

(2) > >

(3) ①增大 ②不变

【解析】(1) 反应过程中体系中各物质的变化量与方程式中各物质的化学计量数成正比。若使 A、B 的转化率相同, 则需要按化学方程式中 A、B 的计量数之比投料, 故当加入 $m \text{ mol}$ A 时, 应加入 $n \text{ mol}$ B。

(2) 根据“先拐先平”, $T_1 > T_2$, T_1 时 C% 大于 T_2 时 C%, 即升高温度, 平衡向正反应方向移动, 即正反应为吸热反应, $\Delta H > 0$ 。

(3) 由图乙可知, 随着反应的进行, 混合气体平均相对分子质量增大, 由于反应体系中各物质均为气体, 故 $m+n > p+q$ 。

①在恒温恒容时再加入 A、B、C、D 各 1 mol, 同时将体系中各物质的浓度同时增加一倍, 即相当于增大压强, 平衡向正反应方向移动, \bar{M} 增大。

②在恒温恒压时, 再加入 A、B、C、D 各 1 mol, 气体体积增加一倍, 压强不变, 平衡不移动, ρ 不变。

18. (1) ① $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ② BD

(2) $\frac{K_1}{K_2}$ 吸热

【解析】(1) ①设平衡时氨气的转化量为 $x \text{ mol}$, 列三段式得:

	$4\text{NH}_3(\text{g})$	$+5\text{O}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$4\text{NO}(\text{g})$	$+$	$6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
起始量/mol	2	3		0		0
转化量/mol	x	$\frac{5}{4}x$		x		$\frac{3}{2}x$
平衡量/mol	$2-x$	$3-\frac{5}{4}x$		x		$\frac{3}{2}x$

平衡时 $c(\text{NH}_3) : c(\text{O}_2) = 4 : 7$, 即 $\frac{2-x}{3-\frac{5}{4}x} = \frac{4}{7}$, 解得: $x=1$, 则 NO 的变化量为 1 mol , $v(\text{NO}) = \frac{1 \text{ mol}}{\frac{2 \text{ L}}{5 \text{ min}}} =$

$0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

②A 项, 水为液态, 浓度为定值, 不能据此判定反应是否达到平衡状态, A 错误; B 项, 反应前后气体分子数减小, 随反应的进行压强改变, 当气体的压强保持不变时反应达到平衡状态, B 正确; C 项, 平衡时正反应速率等于逆反应, 且速率之比满足化学计量数之比, 即 $5v_{\text{正}}(\text{NH}_3) = 4v_{\text{逆}}(\text{O}_2)$ 时反应达到平衡, C 错误; D 项, 方程式中氨气和氧气按照 $4 : 5$ 进行反应, 而投料没有按照系数比进行, 所以当 NH_3 与 O_2 浓度之比保持不变时, 可以判定反应达到平衡状态, D 正确; 故选 BD。

(2) 反应 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 可由反应 1 - 反应 2 得到, 则 $K = \frac{K_1}{K_2}$, 700°C 时 $K(700^\circ\text{C}) = \frac{1.47}{2.38} \approx 0.6$, 800°C 时 $K(800^\circ\text{C}) = \frac{2.15}{1.67} \approx 1.3$, 可知温度升高 K 增大, 升温平衡正向移动, 正向为吸热反应。

19. (1) A、B

(2) 放热

(3) AC 段: 反应开始 $v_{\text{正}} > v_{\text{逆}}$, 反应向右进行生成 NH_3 ; CE 段: 反应已达平衡, 升温使平衡左移, NH_3 的体积分数变小

第三节 化学反应的方向

典型例题

【例】(1) 任何温度下都能自发进行

(2) 任何温度下都不能自发进行

(3) 低温下能自发进行

(4) 高温下能自发进行

自主学习

1. (1) 自发进行

(2) 自发进行

(3) 方向性

2. (1) 降低

(2) < 0

3. (1) 混乱程度 越大

(2) $> >$

基础夯实

5. D 【解析】A 项, 水由高处向低处流, 是自发进行的过程, 故 A 不选; B 项, 氯气的氧化性比溴强, 氯气能够与 KBr 溶液发生置换反应, 属于自发进行的过程, 故 B 不选; C 项, 铁生锈为自发进行的氧化还原反应, 反

应放热,常温下可自发进行,故 C 不选;D 项,室温下冰会自发的融化,室温下水结成冰不是自发进行的过程,故 D 选;故选 D。

6.B 【解析】A 项, $\text{CH}_4(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 物质的量相同,且均为气态, $\text{CH}_4(\text{g})$ 含有的原子总数多, $\text{CH}_4(\text{g})$ 的摩尔质量大,所以熵值 $1\text{ mol CH}_4(\text{g}) > 1\text{ mol H}_2(\text{g})$,A 错误;B 项,相同状态的相同物质,物质的量越大,熵值越大,所以熵值 $1\text{ mol H}_2\text{O}(\text{g}) < 2\text{ mol H}_2\text{O}(\text{g})$,B 正确;C 项,等量的同物质,熵值关系为: $S(\text{g}) > S(\text{l}) > S(\text{s})$,所以熵值 $1\text{ mol H}_2\text{O}(\text{s}) < 1\text{ mol H}_2\text{O}(\text{l})$,C 错误;D 项,从金刚石和石墨的结构组成上来看,金刚石的微观结构更有序,熵值更低,所以熵值 $1\text{ mol C}(\text{s}, \text{金刚石}) < 1\text{ mol C}(\text{s}, \text{石墨})$,D 错误。

7.C 【解析】A 项,反应 $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$ 的气体分子数减少,该反应的 $\Delta S < 0$,选项 A 错误;B 项,同一物质在固态时的熵值小于气态时的熵值,选项 B 错误;C 项,反应 $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) = 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 的气体分子数增加, $\Delta S > 0$,又因为 $\Delta H > 0$, $\Delta H - T\Delta S < 0$ 时,反应能自发进行,因此选项所给反应能否自发进行与温度有关,选项 C 正确;D 项, $\Delta H < 0$ 且 $\Delta S > 0$ 的反应一定能自发进行,选项 D 错误。

8.D 【解析】A 项,根据反应方程式,该反应为熵增,根据 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 进行分析,该反应不能自发进行, $\Delta G > 0$,因此可以说明该反应为 $\Delta H > 0$,A 正确;B 项,放热反应,推出 $\Delta H < 0$,熵增,推出 $\Delta S > 0$,根据复合判据,任何温度下,该反应都能自发进行,B 正确;C 项,该反应是熵增,推出 $\Delta S > 0$,该反应 $\Delta H > 0$,根据复合判据,高温下能够自发进行,低温下非自发进行,C 正确;D 项,过程的自发性只能用于判断过程的方向,不能确定过程是否一定会发生和过程发生的概率,D 错误。

9.C 【解析】A 项,反应能否自发进行取决于焓变和熵变的复合判据,对于吸热反应,在一定温度下也能进行,A 错误;B 项,反应是否自发进行,由熵变、焓变、温度共同决定,B 错误;C 项, $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S < 0$ 时,反应能自发进行,适合于所有的过程,所以由能量判据和熵判据组合而成的复合判据,将更适合于所有的过程,C 正确;D 项,熵值表示混乱度的大小,混乱度越大,熵值越大,同一物质的固态、液态、气态混乱度依次增大,D 错误。

10.(1)错误

(2)错误

(3)正确

(4)正确

(5)正确

【解析】(1)焓变是影响反应能否自发进行的一个因素,但不是唯一因素,大多数放热反应($\Delta H < 0$)能自发进行。

(2)部分吸热反应($\Delta H > 0$)也能自发进行。

(3)中的反应为吸热反应,但常温下可自发进行。

(4)中的反应为放热反应,常温下可自发进行。

(5)反应的焓变是影响反应能否自发进行的一个因素。

11.(1)C

(2)B

(3)77 A -161.6 D

【解析】(1)自发反应需满足 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$,若 $\Delta H < 0$ 且 $\Delta S > 0$,则 ΔG 一定小于0,反应在任何温度下都能自发进行,故填 C。

(2)若 $\Delta H > 0$ 且 $\Delta S < 0$, 则 ΔG 一定大于 0, 反应在任何温度下都不能自发进行, 故填 B。

(3)将反应 A 对应数据代入 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 计算, 得反应自发进行的温度要求为: $T > 350 \text{ K}$, 即 $350 - 273 = 77 \text{ }^\circ\text{C}$; 将反应 D 对应数据代入 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 计算, 得反应自发进行的温度要求为: $T < 111.4 \text{ K}$, 即 $111.4 - 273 = -161.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

能力提升

12.B 【解析】A 项, 吸热反应在一定条件下能发生反应, 例如加热时碳和二氧化碳可以反应生成 CO, A 错误; B 项, 某吸热反应能自发进行, 即 $\Delta H > 0$, 根据 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 可知该反应一定是熵增反应, B 正确; C 项, 需要加热才能发生的反应, 不一定是吸热反应, 例如碳燃烧等, C 错误; D 项, 催化剂可以改变反应速率, 不能改变反应进行的方向, D 错误。

13.A 【解析】A 项, 在高温下 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 反应能进行, $\Delta H > 0$, 该反应常温下不能自发, A 正确; B 项, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 反应能进行, 由于 $\Delta H < 0$, 则该反应在常温就能自发进行, B 错误; C 项, 自发进行的反应熵值不一定增大, 化学反应的方向由焓变和熵变共同决定, 非自发反应的熵不一定减小, C 错误; D 项, 不能根据焓变判断反应的自发性, 放热反应不一定是自发进行的, 吸热反应也可能是自发进行, 如碳酸氢铵的分解, D 错误。

14.D 【解析】A 项, 非自发过程在一定条件下可能变成自发过程, 如铜和稀硫酸在电解条件下可发生, A 正确; B 项, 若 $\Delta H > 0$, $\Delta S < 0$, 则 $\Delta H - T\Delta S > 0$ 任何温度下都不能自发进行, B 正确; C 项, 若 $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$, 则 $\Delta H - T\Delta S < 0$ 任何温度下都能自发进行, C 正确; D 项, 需要加热才能够进行的过程可能是自发过程, 如碳酸钙高温分解, D 错误。

15.B 【解析】A 项, 物质聚集状态不同熵值不同, 气体 $S >$ 液体 $S >$ 固体 S , 1 mol SO_3 在不同状态时的熵值: $S[\text{SO}_3(\text{s})] < S[\text{SO}_3(\text{l})] < S[\text{SO}_3(\text{g})]$, A 错误; B 项, 反应的自发性由焓变和熵变共同决定, 该反应为 $\Delta S > 0$, 常温不能自发, 说明高温时 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$, 说明则该反应的 $\Delta H > 0$, B 正确; C 项, 反应的自发性由焓变和熵变共同决定, 当 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 时反应能自发进行, $\Delta G > 0$ 时反应不能自发进行, 焓变小于零的反应, $\Delta H < 0$, 若 $\Delta S < 0$, 高温下可以 $\Delta G > 0$, 反应不能自发进行, 焓变大于零的反应, $\Delta S > 0$, 若 $\Delta H > 0$, 高温下可以 $\Delta G < 0$, 反应可自发进行, C 错误; D 项, $\Delta H > 0$ 、 $\Delta S > 0$, 由 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 的反应可自发进行, 可知能否自发进行与温度有关, D 错误。

16.B 【解析】A 项, 由题中热化学反应方程式可知, 反应①②均为熵减反应, 即 $\Delta S < 0$, A 错误; B 项, 由题可知, 反应① $\Delta H > 0$, $\Delta S < 0$, 则 $\Delta H - T\Delta S > 0$, 所有温度下反应都不能自发进行, B 正确; C 项, 由 B 项可知, 反应①在所有温度下都不能自发进行; 反应②的 $\Delta H < 0$, $\Delta S < 0$, 则在低温条件下, $\Delta H - T\Delta S < 0$, 即反应②低温时, 可自发进行, C 错误; D 项, 由题可知, 反应② $\Delta H < 0$, $\Delta S < 0$, 则在低温条件下, $\Delta H - T\Delta S < 0$, 即反应②低温时, 可自发进行, D 错误。

17.A 【解析】要防止反应发生, $\Delta H - T\Delta S > 0$, 则 $-4\,500 + 11T > 0$, 解得 $T > 409$

18.C 【分析】由图像分析可知: 反应①随温度的升高, ΔG 逐渐减小; 反应②随温度的升高 ΔG 逐渐增大, 结合 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 分析解答。

【解析】A 项, 反应①随温度的升高, ΔG 逐渐减小, 则 $\Delta S > 0$, A 错误; B 项, 该题我们可以推测自发反应时的温度, 但无法推测什么温度的反应快慢, B 错误; C 项, 因 $\Delta G < 0$ 时, 反应能自发进行, 反应①在温度大于 $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ 时 $\Delta G < 0$, 故此时反应①能自发进行, C 正确; D 项, 根据数学知识可知, ΔH 为该图像的截距, 而反应①的截距小于 0, 故 $\Delta H < 0$, D 错误。

19.(1) > > 不能

(2) <

(3) ①不能 ②能

(4) 高温

(5) >

【解析】(1) 由于 CO 在 O_2 中燃烧生成 CO_2 为放热反应, 则二氧化碳分解生成 CO 和氧气的反应为吸热反应, $\Delta H > 0$, 根据化学方程式可知, 反应后气体的化学计量数之和增加, $\Delta S > 0$, 故低温下 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$, 反应不能自发进行。

(2) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 时反应自发进行, 通过化学方程式可知常温下 $\Delta S < 0$, 常温下反应能够自发进行, 则 $\Delta H < 0$ 。

(3) ①根据 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ 时反应自发进行, 已知 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$, 则常温下不能自发进行; ②该反应的 $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$, 高温条件下能使 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$, 而常温条件下 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S > 0$, 则该反应中温度能成为决定反应进行方向的因素。

(4) 该反应的 $\Delta S > 0$, $\Delta H > 0$, 则高温时 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$, 反应能自发进行。

(5) 已知某吸热反应能自发进行, 即 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$, $\Delta H > 0$, 则 $\Delta S > 0$ 。

第四节 化学反应的调控

典型例题

【例1】B **【解析】**把氨分离出来是减小生成物浓度, 有利于平衡右移; 合成氨反应是放热反应, 较低温度利于反应向右进行, 同时该反应是气体物质的量减小的反应, 尽可能采取高压利于正反应, A、C、D 都符合平衡移动原理, 而使用催化剂仅是为增大反应速率, 与平衡无关。

【例2】(1) NH_3

(2) BC

(3) c a

【解析】(1) 原料气 N_2 和 H_2 经一定条件下的反应, 生成的 NH_3 (X) 冷却后从设备中分离出来, 同时尾气中含有的 N_2 (Y) 和 H_2 (Y) 进行循环利用。

(2) 温度选择在 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 并不是从化学平衡的影响分析的, 而是因为催化剂在此温度时活性大, 而且还可以适当提高化学反应速率, 压强选择 $20\sim 50\text{ MPa}$ 是从化学平衡理论分析的, 压强越大, 平衡向生成 NH_3 的方向移动, 但不能过大, 因为压强过大, 对设备、材料的要求高, 投资大, 这样就不经济。

(3) 考查压强、温度对化学平衡的影响。

自主学习

1.

对合成氨反应的影响	影响因素			
	浓度	温度	压强	催化剂
增大合成氨的反应速率	增大	升高	增大	有
提高平衡混合物中氨的含量	增大	降低	增大	无影响

2.升温导致的变化不一致,加压导致的变化一致,考虑生产实际选用 400~500 °C 和 10 MPa~30 MPa。

3.(1)转化率

(2)反应速率

4.(1)压强越大,对设备的要求越高、成本越高。

(2)①合成氨反应为放热反应,升高温度,转化率降低。②400~500 °C 催化剂活性最大,升高温度,催化剂活性减弱甚至失活。

基础夯实

5.B 【解析】A 项,从合成塔出来的气体中,氮气一般仅占 15%,但由于氮气和氢气的再循环,使得生产氨的工业效率也能达到相当高的水平,故 A 不选;B 项,由 A 项可知 B 正确,故选 B;C 项,合成氨工业的反应温度控制在 400~500 °C,是为使催化剂的活性达到最佳状态,故 C 不选;D 项,合成氨工业采用 10 MPa~30 MPa,是因为再增大压强,平衡转化率不会提高太多,且增大压强对设备的要求更高,不能达到更好的经济效益,故 D 不选。故选 B。

6.B 【解析】A 项,使用催化剂,能加快反应速率,但对平衡移动没有影响,不能用勒夏特列原理来解释,A 不符合题意;B 项,成氨反应是反应前后气体总物质的量减小的反应,加压可使平衡正向移动,有利于合成氨气,可用勒夏特列原理来解释,B 符合题意;C 项,合成氨反应为放热反应,高温不利于合成氨气,温度控制在 700 K 左右是考虑催化剂的活性和加快反应速率,不能用勒夏特列原理来解释,C 不符合题意;D 项,循环操作可提高原料的利用率,不能用勒夏特列原理来解释,D 不符合题意。故选 B。

7.D 【解析】A 项,牛奶放在冰箱中冷藏,降低了温度,反应速率降低,A 正确;B 项,使用加酶洗衣粉洗涤衣物,相当于使用了催化剂,加快反应速率,B 正确;C 项,汽车的橡胶轮胎中要添加抑制剂是为了防止橡胶老化,延长寿命,降低了反应速率,C 正确;D 项,工业合成氨时,及时将氨气液化分离,是降低生成物浓度,使平衡正向进行,与速率无关,D 错误;故选 D。

8.D 【解析】A 项,催化剂可降低反应的活化能,增大活化分子百分数,可增大反应速率,A 正确;B 项,增大压强,气体浓度增大,单位体积活化分子数目增多,反应速率增大,B 正确;C 项, $v_{\text{正}}=v_{\text{逆}}$ 说明各物质的浓度、质量等不变,说明达到反应限度,为平衡状态,C 正确;D 项,该反应为可逆反应,可逆反应不可能完全进行,转化率不可能达到 100%,D 错误;故选 D。

9.D 【解析】A 项,为加快反应速率,合成氨生产中常用铁触媒作催化剂,A 正确;B 项,为提高原料利用率,合成氨生产中 N_2 、 H_2 循环使用,B 正确;C 项, NH_3 液化分离降低生成物浓度有利于平衡正向进行,C 正确;D 项,合成氨反应在常压下不能进行,D 错误;故选 D。

10.A 【解析】当氮气和氢气投料比为 1:3 时, $v(\text{N}_2):v(\text{H}_2)=1:3$,两种原料的转化率相同,故达到平衡时氨的体积分数最大,A 正确;增加铁触媒的接触面积,加快反应速率,可以提高合成氨工厂的年产量,B 错误;平衡时,物质的浓度关系取决起始量和转化率,所以到平衡时, H_2 和 NH_3 的浓度比不一定为 3:2,C 错误;反应速率之比等于化学计量数之比,因化学计量数不同,则反应速率的数值不同,D 错误。

11.C 【解析】A 项,由图可以得到单位时间内一氧化碳浓度的变化量,反应速率是单位时间内物质的浓度变化计算得到,则从 A、B 两点坐标可求得从 A 到 B 时间间隔内该化学反应的平均速率,A 正确;B 项,C 点处的切线的斜率是此时刻物质浓度除以此时刻时间,为一氧化碳的瞬时速率,B 正确;C 项,维持温度、容积不变,若减少反应物 N_2 的物质的量进行反应,平衡向逆反应方向进行,达到新的平衡状态,平衡状态与原来的平衡状态不同,曲线甲不会变为曲线乙,C 错误;D 项,该反应为气体体积增大的反应,反应 ΔS

>0 , 该反应在高温下自发, 则反应 $\Delta H - T\Delta S < 0$, 反应 $\Delta H > 0$, 升高温度, 平衡向正反应方向进行, 反应物 Al_2O_3 的平衡转化率将增大, D 正确; 故选 C。

12.C 【分析】若反应向正反应方向进行达到平衡, X、Y 的浓度最大, Z 的浓度最小, 假定完全反应, 则

	$\text{X(g)} + 3\text{Y(g)} \rightleftharpoons 2\text{Z(g)}$		
起始量/(mol · L ⁻¹)	c_1	c_2	c_3
变化量/(mol · L ⁻¹)	0.04	0.12	0.08
平衡量/(mol · L ⁻¹)	0.1	0.3	0.08

$c_1 = 0.14, c_2 = 0.42, c_3 = 0$; 若反应向逆反应进行达到平衡, X、Y 的浓度最小, Z 的浓度最大, 假定完全反应, 则

	$\text{X(g)} + 3\text{Y(g)} \rightleftharpoons 2\text{Z(g)}$		
起始量/(mol · L ⁻¹)	c_1	c_2	c_3
变化量/(mol · L ⁻¹)	0.1	0.3	0.2
平衡量/(mol · L ⁻¹)	0.1	0.3	0.08

$c_1 = 0, c_2 = 0, c_3 = 0.28$ 。

【解析】A 项, 达平衡时 X、Y 的浓度分别为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 是 1 : 3; 反应中无论是消耗它们还是生成它们, 肯定也是 1 : 3, 未加消耗, 所以, $c_1 : c_2 = 1 : 3$, A 正确; B 项, Y 的生成速率是 $V_{\text{逆}}$, Z 的生成速率是 $V_{\text{正}}$, 同一个反应速率用不同的物质表示时, 数值与它们的系数成正比, 所以为 3 : 2, 表示 $V_{\text{正}} = V_{\text{逆}}$, B 正确; C 项, 如上所述, X、Y 的起始浓度之比是 1 : 3, 消耗浓度之比一定是 1 : 3, 所以它们的转化率相等, C 错误; D 项, 大于 0 是已知条件, 小于 0.14 是这样来的: 如果起始时 $c_3 = 0$, 则平衡时 Z 的浓度为 $0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 就是反应生成的, 这需要 $0.04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 X, 平衡时, X、Y、Z 的浓度为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 所以起始时就应该为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} + 0.04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.14 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 但是题目已知起始时 Z 的浓度不等于 0, 所以就是小于 0.14, D 正确; 故选 C。

能力提升

13.D 【解析】A 项, $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H < 0$, 正反应放热, 升高温度, 平衡逆向移动, 氢气平衡转化率降低, 与图像不符, 故不选 A; B 项, 根据图示, $p_1 > p_2$, 增大压强, $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ 平衡正向移动, 混合体系中 NH_3 体积分数增大, 与图像不符, 故不选 B; C 项, 恒容容器中发生反应 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$, 混合气体密度不变, 与图像不符, 故不选 C; D 项, t_1 时刻增大 $c(\text{N}_2)$, 反应物浓度增大, 正反应速率瞬间增大, 逆反应速率不变, 反应正向进行, 正反应速率逐渐减小、逆反应速率逐渐增大, 正逆反应速率相等时, 重新达到平衡时, 与图像相符, 故选 D。

14.D 【解析】A 项, 在 25°C 和 101 kPa 时, 1 mol 纯物质完全燃烧生成指定产物时所放出的热量, 叫作该物质的燃烧热, ①中生成的水是气态, 所以此反应的焓变不是 CH_4 的燃烧热, A 错误; B 项, 根据盖斯定律可知 $② \times 4 + ③ \times 2 - ①$ 得到 $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 则 $\Delta H = -165.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, B 错误; C 项, CO_2 加氢的反应是可逆反应, 使用催化剂只是改变达到平衡的时间, 并不能提高原料的平衡转化率, C 错误; D 项, 反应②是个吸热反应, 根据 $\Delta H - T\Delta S < 0$, 反应能自发进行, 则 $\Delta S > 0$, D 正确; 故选 D。

15.(1) 逆反应 放热

(2) C

(3)41.77%

(4)加入过量 N_2 (或 H_2) (或及时从平衡体系中移走 NH_3)

【解析】(1)表中数据表明:恒压时,升高温度, NH_3 的含量减小,说明平衡向逆反应方向移动,则正反应为放热反应。

(2)由反应 $N_2(g)+3H_2(g)\rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H<0$ 知,合成氨的适宜条件是低温、高压,在低温、高压的条件下平衡向右移动,反应物的转化率增大,故 C 符合题意。

(3)假设 N_2 的用量为 1 mol, H_2 的用量为 3 mol, N_2 的消耗量为 x mol, 则:

	$N_2(g)$	+	$3H_2(g)$	\rightleftharpoons	$2NH_3(g)$
起始量/mol	1		3		0
变化量/mol	x		$3x$		$2x$
平衡量/mol	$1-x$		$3-3x$		$2x$

平衡时 NH_3 的含量为 $\frac{2x}{2x+(1-x)+(3-3x)} \times 100\% = 26.4\%$, 得 $x \approx 0.4177$, 则 $\alpha(N_2) = \frac{0.4177 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times 100\% = 41.77\%$ 。

(4)实际工业合成氨时,考虑浓度对化学平衡的影响,还可以向体系中加入稍过量的 N_2 或及时从平衡混合物中分离出 NH_3 。

16.(1) $4NH_3(g)+6NO(g)\rightleftharpoons 5N_2(g)+6H_2O(g)$ $\Delta H=(e-d-5a+5b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ $\frac{K_2}{(K_1)^5}$ 该反应

$\Delta H<0, \Delta S>0$, 所以 $\Delta G<0$, 可以自发进行

(2)① $<$ $a=b<80\%$ ②ABC ③不移动

【解析】(1)依题意可得: $\begin{cases} N_2(g)+O_2(g)\rightleftharpoons 2NO(g) & \Delta H=(a-b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ ①} \\ 4NH_3(g)+5O_2(g)\rightleftharpoons 4NO(g)+6H_2O(g) & \Delta H=(e-d) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ ②} \end{cases}$

利用盖斯定律,将反应②-① $\times 5$,即得 $t^\circ\text{C}$ 时 NH_3 被 NO 氧化生成无毒气体的热化学方程式为 $4NH_3(g)+6NO(g)\rightleftharpoons 5N_2(g)+6H_2O(g)$ $\Delta H=(e-d-5a+5b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。 $t^\circ\text{C}$ 该反应的平衡常数为 $\frac{c^5(N_2) \cdot c^6(H_2O)}{c^4(NH_3) \cdot c^6(NO)} = \frac{K_2}{(K_1)^5}$ 。因为 $a>b, e<d$, 所以 $\Delta H=(e-d-5a+5b)<0$, 反应物的气体分子数小于生成物的气体分子数,该反应能自发进行,原因是该反应 $\Delta H<0, \Delta S>0$, 所以 $\Delta G<0$, 可以自发进行。

(2)①因为相同时间内, T_2 时反应物的转化率大,则反应速率快,温度高,所以上表中 $T_1<T_2$; 由于正反应为放热反应,温度高时反应物的转化率低,所以 $a, b, 80\%$ 三者的大小关系是 $a=b<80\%$ 。

②A 项,升高温度,反应速率加快,则 v 增大,所以 k 值增大, A 正确; B 项,合成氨反应中混合气的总质量不变,混合气体的平均相对分子质量不变,则物质的量不变,气体的分子数不变,所以反应达到平衡状态, B 正确; C 项,将原容器中的 NH_3 及时分离出来,则 $c(NH_3)$ 减小,所以 v 增大, C 正确; D 项,合成氨达到平衡后,增大 $c(N_2)$ 瞬间,正反应速率增大,随着平衡的移动,正反应速率减小, D 不正确; 故选 ABC。

③已知某温度下该反应达平衡时各物质均为 1 mol, 容器容积为 1 L, 则 $K=1$; 保持温度和压强不变, 又

充入 3 mol N_2 后, 此时容器的体积为 2 L, $Q = \frac{(\frac{1}{2})^2}{(\frac{1}{2})^3 \times \frac{4}{2}} = 1$, 则平衡不移动。

17.D 【分析】由图得:初始投料量相同时,在不同温度下均反应相同时间,甲醇的产率先升高后降低,说明该反应为放热反应。

【解析】A 项,已知随着温度的升高,反应达到平衡时时间会缩短,故最高点左边,反应均未达到平衡,最高点右边,反应均处于平衡状态,X 点 $v_{\text{正}}=v_{\text{逆}}$,A 错误;B 项,P 点所示的条件下,反应还未达到平衡状态,延长时间可以提高甲醇的产率,B 错误;C 项,由分析得,该反应为放热反应,C 错误;D 项,X 点所对应得反应处于平衡状态,根据题给信息可列出三段式:

	CO_2	+	3H_2	\rightleftharpoons	CH_3OH	+	H_2O
起始量/(mol · L ⁻¹)	1		3		0		0
转化量/(mol · L ⁻¹)	0.5		1.5		0.5		0.5
平衡量/(mol · L ⁻¹)	0.5		1.5		0.5		0.5

容器体积为 1 L,故平衡常数 $K = \frac{0.5 \times 0.5}{0.5 \times 1.5^3} = \frac{4}{27}$,D 正确;故选 D。

18.(1)吸热

$$(2) \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}$$

$$(3) K_3 = \frac{K_1}{K_2} \quad \text{吸热}$$

(4) ①增大压强(或使用催化剂) ②降低温度(或设法分离出 H_2)

【解析】(1)由表中数据可知,温度升高,①的平衡常数增大,说明平衡向正反应方向移动,则正反应吸热。

(2)根据平衡常数的定义可知该反应的平衡常数表达式为 $K_3 = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)}$ 。

(3)反应①-反应②=反应③,所以 $K_3 = \frac{K_1}{K_2}$;由图表可知,温度升高 K_1 增大, K_2 减小,所以 K_3 增大,即温度升高,平衡向正反应方向移动,升高温度平衡吸热方向移动,所以反应③为吸热反应。

(4) ① t_2 时刻改变条件后正逆反应速率均增大,但依然相等,即平衡不移动,所以可能是使用了催化剂,由于该反应前后气体系数之和相等,所以压强不会影响平衡,则也可能是增大压强;

② t_2 时刻改变条件后 CO_2 的浓度增大,CO 的浓度减小,平衡逆向移动,且不是移走 CO_2 或增加 CO 使平衡逆向移动,该反应为吸热反应,降低温度可以使平衡逆向移动,出现图中变化,或者设法分离出 H_2 ,也可以使平衡逆向移动, CO_2 的浓度增大,CO 的浓度减小。

第三章 水溶液中的离子反应与平衡

第一节 电离平衡

第 1 课时 强电解质和弱电解质 弱电解质的电离平衡

典型例题

【例 1】C 【解析】在 A 组中 Cl_2 是单质,不在电解质与非电解质之列;B 组中 BaSO_4 虽难溶,但溶解的部分完全电离,是强电解质; CaCO_3 、 HNO_3 都是强电解质, HClO 、 CH_3COOH 、 H_2CO_3 都是弱电解质, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

是非电解质

【例2】D 【解析】该题考查了电离平衡的判断及其特点。溶液中除电解质电离出的离子外,还存在电解质分子,能证明该电解质是弱电解质,但不能说明达到电离平衡状态,A 错误;根据 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ 知,即使 CH_3COOH 未达到平衡状态, CH_3COO^- 和 H^+ 的浓度也相等,B 错误; $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 达到电离平衡时,溶液中各粒子的浓度不变,而不是相等, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离程度是很小的,绝大多数以 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的形式存在,C 错误; H_2CO_3 是二元弱酸,分步电离且电离程度依次减小,D 正确。

自主学习

- 1.水溶液中或熔融状态下 化合物 水溶液 熔融状态下 化合物 全部 只有一部分
- 2.强酸、强碱、大多数盐、活泼金属氧化物 弱酸、弱碱、极少数盐、水 非金属氧化物,大部分有机物
- 3.电离成离子 离子结合成分子 逆 动 等 定 变
- 4.浓度 温度

正向	减小	减小	减小	减弱
正向	增大	增大	增大	增强
逆向	增大	减小	增大	增强
正向	减小	增大	减小	增强
正向	减小	增大	减小	增强
正向	增大	增大	减小	增强
逆向	减小	增大	增大	增强

基础夯实

- 5.D **【解析】** BaSO_4 溶于水的部分完全电离, BaSO_4 是强电解质,A 错误; KNO_3 溶液为混合物,不属于电解质,B 错误; CO_2 是非电解质,C 错误;石墨为单质,既不是电解质,也不是非电解质,D 正确。
- 6.C **【解析】** BaSO_4 溶于水的部分完全电离, BaSO_4 是强电解质,A 错误; KNO_3 溶液为混合物,不属于电解质,B 错误; CO_2 是非电解质,C 错误;石墨为单质,既不是电解质,也不是非电解质,D 正确。
- 7.B **【解析】**熔融的 HgCl_2 不导电,则 HgCl_2 属于共价化合物,只存在共价键; HgCl_2 的稀溶液导电能力弱,则水溶液中 HgCl_2 能微弱电离,属于弱电解质。
- 8.C **【解析】**熔融状态下 NaHSO_4 的电离方程式为 $\text{NaHSO}_4 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{HSO}_4^-$,水溶液中 NaHSO_4 的电离方程式为 $\text{NaHSO}_4 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$,A、D 错误; H_2CO_3 作为二元弱酸,不能完全电离,且多元弱酸的电离分步进行,以第一步为主,B 错误; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 是多元弱碱,通常以一步电离表示,C 正确。
- 9.B **【解析】**相同浓度的 NaOH 溶液和氨水,氨水部分电离,A 错误;由反应方程式可知 B 正确;氨水在稀释过程中平衡向电离方向移动,但仍不能完全电离,C 错误;氨水部分电离,溶液中的离子浓度较小,导电能力较弱,D 错误。
- 10.C **【解析】**本题易错之处是不清楚溶液导电性的强弱与电解质强弱的区别。A 项中发生的反应为 $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$,生成了两种强电解质,溶液的导电能力增强,故灯泡变亮;B 项中发生的反应为 $\text{AgNO}_3 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{AgCl} \downarrow + \text{HNO}_3$,溶液的导电能力没有明显变化;C 项中发生的反应为 $4\text{HI} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{I}_2$,溶液的导电能力下降,故灯泡变暗;D 项中发生的反应为 $2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}$,溶液的导电能力没有明显变化,故灯泡的亮度没有明显变化。
- 11.B **【解析】**电解质溶液导电性强弱与离子浓度成正比,与电荷成正比,把 0.05 mol NaOH 固体分别加入

相应液体中,溶液导电能力变化最小,说明离子浓度变化最小。加入 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸中,二者恰好完全反应生成强电解质 NaCl , HCl 、 NaCl 都是强电解质,离子浓度变化不大,则溶液导电能力变化不大,故选 B。

12.③

【解析】根据稀氨水中存在平衡: $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 进行分析: ①若向氨水中加入 NH_4Cl 固体,则 $c(\text{NH}_4^+)$ 增大,平衡向逆反应方向移动, $c(\text{OH}^-)$ 减小,故①不符合题意; ②加入硫酸 H^+ 与 OH^- 反应,使 $c(\text{OH}^-)$ 减小,平衡向正反应方向移动,故②不符合题意; ③向氨水中加入 NaOH 固体后, $c(\text{OH}^-)$ 增大,平衡向逆反应方向移动,故③符合题意; ④若向氨水中加入水,稀释溶液,则平衡向正反应方向移动,但 $c(\text{OH}^-)$ 减小,故④不符合题意; ⑤电离属于吸热过程,加热平衡向正反应方向移动, $c(\text{OH}^-)$ 增大,故⑤不符合题意; ⑥加入 MgSO_4 固体,发生反应: $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$, 使平衡向正反应方向移动,且溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 减小,故⑥不符合题意。

能力提升

13.D 【解析】①亚硝酸溶液中存在 HNO_2 分子,说明亚硝酸溶液中存在电离平衡,亚硝酸没有完全电离,是弱电解质,故①符合题意; ②溶液的导电能力与离子浓度有关,用 HNO_2 溶液做导电性实验,灯泡很暗,不能说明亚硝酸部分电离,所以不能说明亚硝酸是弱电解质,故②不符合题意; ③ HNO_2 溶液不与 Na_2SO_4 溶液反应,只能说明不符合复分解反应的条件,不能说明 HNO_2 是弱电解质,故③不符合题意; ④ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HNO_2 溶液的 $c(\text{H}^+) = 0.015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,氢离子浓度小于 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,说明亚硝酸没有完全电离,为弱电解质,故④符合题意。

14.C 【解析】氨水是弱电解质的水溶液,其导电能力较弱,随着醋酸的加入,发生反应: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COONH}_4 + \text{H}_2\text{O}$,生成了强电解质 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$,导电能力增强,恰好反应完全时,溶液的导电能力最强,故 A 错误;继续加入醋酸,随着溶液体积的增大,离子浓度减小,溶液的导电能力减弱,但溶液中存在离子,导电能力不可能为 0,所以 B、D 错误。

15.B 【解析】盐酸(甲)和醋酸(乙),两种溶液中氢离子浓度相等,所以反应开始时的速率相等, A 错误;若最后锌全部溶解且放出的气体一样多,可能是盐酸恰好反应而醋酸过量,也可能是盐酸和醋酸都过量,如果盐酸恰好反应而醋酸过量,则反应后溶液的 $c(\text{H}^+)$ 大小为乙 > 甲, B 正确; $c(\text{H}^+)$ 相等的盐酸(甲)和醋酸(乙),醋酸是弱电解质,氯化氢是强电解质,所以 $c(\text{HCl}) < c(\text{CH}_3\text{COOH})$, C 错误;反应过程中,醋酸不断电离,导致醋酸中氢离子浓度减小的速率小于盐酸中氢离子浓度减小的速率,盐酸中的氢离子浓度小于醋酸中的氢离子浓度,盐酸的反应速率小于醋酸,所以反应所需时间长短为甲大于乙, D 错误。

16.② ①③ ④

【解析】反应①的离子方程式为 $\text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$,离子的浓度先是减小,当二者恰好完全反应时,就变为水,导电能力接近 0,再加入 H_2SO_4 ,溶液中离子的浓度逐渐增大,从而使溶液的导电能力逐渐增强。反应②的离子方程式为 $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$,离子的浓度逐渐增大,溶液的导电能力逐渐增强,当二者恰好完全反应时,再滴加氨水,离子数量的变化不大,但是溶液的体积逐渐增大,所以溶液的导电能力逐渐减小。反应③的相关反应的离子方程式为 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$, CO_2 过量后: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$,故离子浓度先减小后增大。反应④的离子方程式为 $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,溶液中减少的 NH_4^+ 和增加的 Na^+ 的量相等,由于加入的是固体 NaOH ,溶液的体积变化不大,故溶液的离子

浓度变化不大。

- 17.C 【解析】在O点时,冰醋酸中不存在自由移动的离子,所以不导电,A正确;溶液的导电能力越大,溶液中存在的离子浓度越大,A、B、C三点,A点溶液导电能力最小,所以A点时醋酸溶液中 H^+ 浓度最小,B正确;醋酸的浓度越小,其电离程度越大,A、B、C三点,C点溶液的体积最大,则C点醋酸的浓度最小,电离程度最大,C错误;醋酸的电离是吸热反应,升高温度,促进醋酸电离,所以可以通过微热的方法使C点溶液中 $c(CH_3COO^-)$ 增大,D正确。

- 18.C 【解析】由于加水稀释, CH_3COOH 的电离程度增大,故而 $c(CH_3COOH)$ 应小于原来的 $\frac{1}{10}$, $c(H^+)$ 应大于原来的 $\frac{1}{10}$, $\frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)} = \frac{n(CH_3COO^-)}{n(CH_3COOH)}$,而 $n(CH_3COO^-)$ 增大, $n(CH_3COOH)$ 减小,故 $\frac{c(CH_3COO^-)}{c(CH_3COOH)}$ 的比值增大。

- 19.C 【解析】B点时, H_2S 和 SO_2 恰好完全反应,消耗 $n(SO_2) = \frac{0.112\text{ L}}{22.4\text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.005\text{ mol}$,根据反应 $2H_2S + SO_2 = 3S \downarrow + 2H_2O$ 可知,溶液中 $n(H_2S) = 0.005\text{ mol} \times 2 = 0.01\text{ mol}$,则原 H_2S 饱和溶液的物质的量浓度为 $0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,A错误;根据上述分析可知,A点对应溶液为 $0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} H_2S$ 溶液,D点对应溶液为 $0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} H_2SO_3$ 溶液, H_2S 和 H_2SO_3 均为二元弱酸,又D点的pH比A点的pH小,则亚硫酸的酸性比氢硫酸的酸性强,B错误;D点对应溶液为 H_2SO_3 溶液,加入 $Ba(NO_3)_2$ 溶液后,在酸性条件下 NO_3^- 将 H_2SO_3 氧化为 SO_4^{2-} : $3H_2SO_3 + 2NO_3^- = 3SO_4^{2-} + 2NO \uparrow + 4H^+ + H_2O$, SO_4^{2-} 与 Ba^{2+} 结合形成 $BaSO_4$ 白色沉淀,C正确;D点的pH比A点的pH小,则D点对应溶液中离子浓度较大,溶液导电性强,D错误。

20.(1)bd

(2)①减小 减小 ②> ③> ④> ⑤ C

(3)AB

【解析】(1)a项,升高温度,平衡右移, $c(NH_4^+)$ 和 $c(OH^-)$ 均增大,不符合题意;b项,加入 NH_4Cl 固体, $c(NH_4^+)$ 增大,平衡左移, $c(OH^-)$ 减小,符合题意;c项,通入 NH_3 , $c(NH_3 \cdot H_2O)$ 增大,平衡右移, $c(NH_4^+)$ 和 $c(OH^-)$ 均增大,不符合题意;d项,加入少量浓盐酸, $c(OH^-)$ 减小,平衡右移, $c(NH_4^+)$ 增大,符合题意。

(2)①加入适量 CH_3COONa 晶体后, CH_3COOH 溶液中: $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$ 平衡向左移动, $c(H^+)$ 减小,盐酸中发生反应: $CH_3COO^- + H^+ = CH_3COOH$, $c(H^+)$ 减小。②加水稀释10倍, CH_3COOH 电离平衡向右移动, $n(H^+)$ 增多,HCl不存在电离平衡,HCl电离出的 $n(H^+)$ 不变。③加入NaOH溶液, $CH_3COOH + NaOH = CH_3COONa + H_2O$, $HCl + NaOH = NaCl + H_2O$,由于 CH_3COOH 是部分电离的,反应过程中 CH_3COOH 的电离平衡向电离方向移动且反应前 $c(CH_3COOH) > c(HCl)$,故中和时 CH_3COOH 所需NaOH的体积多。④升高温度, CH_3COOH 电离平衡向电离方向移动, $c(H^+)$ 增大,HCl已全部电离。⑤反应开始时两种溶液的pH相同,即 $c(H^+)$ 相同,所以开始时与Zn反应的速率相同,随着反应的进行, CH_3COOH 电离平衡向电离方向移动,故反应速率: $v(CH_3COOH) > v(HCl)$,又因为反应开始时 $c(CH_3COOH) > c(HCl)$,所以与足量锌反应, CH_3COOH 生成 H_2 的量多。

(3) CH_3COOH 在溶液中存在电离平衡: $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$,将 $0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的

CH_3COOH 加水稀释, 溶液浓度减小, 体积增大, 醋酸的电离平衡正向移动。A 项, 加水后, 醋酸的电离平衡正向移动, 导致醋酸的电离程度增大, A 正确; B 项, 加水后, 醋酸的电离平衡正向移动, 使溶液中离子总数增多, B 正确; C 项, 加水后, 虽然电离出的离子的物质的量增多, 但稀释使离子浓度减小的趋势大于平衡正向移动使离子浓度增大的趋势, 因此溶液中离子浓度减小, 溶液导电性减弱, C 错误; D 项, 加水稀释后, 醋酸的电离平衡正向移动, 使得溶液中醋酸分子数减少, D 不符合题意。故合理选项是 AB。

21.(1)B

(2)①A ②D

【解析】(1)若 HA 是弱酸, 与相同质量的锌粒反应的速率会比盐酸的反应速率慢, 故 B 正确。

(2)①使 HA 的电离程度和 $c(\text{H}^+)$ 都减小, 且 $c(\text{A}^-)$ 增大, 可以加入 NaA 固体, A 正确。②使 HA 的电离程度减小, $c(\text{H}^+)$ 和 $c(\text{A}^-)$ 都增大, 只能加入 HA, D 正确。

第 2 课时 电离平衡常数

典型例题

【例1】D 【解析】电离常数只受温度影响, 与弱电解质的浓度无关, A 错误, D 正确; B 项, CH_3COOH 的电离

常数表达式为 $K_a = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$, B 错误; C 项, CH_3COOH 溶液中加入少量 CH_3COONa 固

体, 温度不变, 电离常数不变, C 错误。故选 D。

【例2】B 【解析】A 项, 加水稀释促进醋酸电离, 但酸的电离程度小于溶液体积增大程度, 所以溶液中氢离子浓度逐渐减少, OH^- 的物质的量浓度逐渐增大, A 错误; B 项, 醋酸是弱电解质, 加水稀释促进醋酸电离, 但酸的电离程度小于溶液体积增大程度, 所以溶液中氢离子、醋酸根离子浓度逐渐减少, 溶液的导电能力逐渐减小, B 正确; C 项, 因温度不变, 则 K_a 不变, 且 $K_a = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})} \times c(\text{H}^+)$, 因 $c(\text{H}^+)$ 浓度减小, 则 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ 增大, C 错误; D 项, 加水稀释, 促进电离, 醋酸的电离程度增大, D 错误。

自主学习

1. 幂之积 电离平衡常数

2.(1) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \quad K_a = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

$$K_b = \frac{c(\text{NH}_4^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})}$$

$$(2) \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} \quad \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)} \quad \frac{c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-)}{c[\text{Cu}(\text{OH})_2]}$$

3. 易 >

4.(1) 弱电解质的性质

(2) 温度

(3) 吸热 增大

(4) 第一步

基础夯实

5.C 【解析】电离常数只与温度有关, 与浓度、压强等无关, 电离属于吸热过程, 升高温度, 促进电离, K 值增大, A、B 错误; 电离常数可衡量弱电解质的电离能力, K 值越大, 电离程度越大, 则同温下电离常数越小,

表示弱电解质的电离能力越弱,C正确;多元弱酸分步电离,且以第一步电离为主,每一步电离对下一步电离起抑制作用,则各步电离常数大小关系为 $K_{a_1} \gg K_{a_2} \gg K_{a_3}$,D错误。

6.B 【解析】A项,电离常数只受温度的影响,与溶液浓度无关,错误;B项,电离常数可以表示弱电解质的相对强弱,正确;C项,酸中 $c(H^+)$ 既跟酸的电离常数有关,又跟酸的浓度有关,错误;D项,碳酸是分步电离的,以第一步电离为主,第一步电离常数表达式为 $K_{a_1} = \frac{c(H^+) \cdot c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$,D错误。

7.B 【解析】电离平衡常数越大,酸性越强,三种酸的酸性强弱关系: $HX < HY < HZ$,A错误;根据强酸制弱酸原理,反应 $HZ + Y^- \rightleftharpoons HY + Z^-$ 能够发生,B正确;由电离平衡常数可以判断,HZ、HX、HY都属于弱酸,C错误;电离平衡常数只与温度有关,与酸的浓度无关,D错误。

8.D 【解析】A项,在 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HF 溶液中存在电离平衡: $\text{HF} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-$,加水稀释,平衡向右移动,但 $c(H^+)$ 减小;B项,电离常数与浓度无关,其数值在稀释过程中不变;C项,随着稀释的不断进行, $c(F^-)$ 不断减小, $c(H^+)$ 虽不断减小但不会低于 $10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,故最终 $\frac{c(F^-)}{c(H^+)}$ 减小;D项, $\frac{c(H^+)}{c(\text{HF})} = \frac{c(H^+) \cdot c(F^-)}{c(\text{HF}) \cdot c(F^-)} = \frac{K_a(\text{HF})}{c(F^-)}$,稀释过程中, $c(F^-)$ 逐渐减小, $K_a(\text{HF})$ 保持不变,故 $\frac{c(H^+)}{c(\text{HF})}$ 始终保持增大。

9.D 【解析】加入的氯化铵属于易溶强电解质,固体溶解后,电离平衡中生成物的浓度增大,电离平衡将逆向移动,溶液中 $c(OH^-)$ 将减小,A错误;加水稀释,溶液中 $c(OH^-)$ 将减小,溶液的碱性将减弱,B错误;平衡常数 K 只与温度有关,温度不变,平衡常数 K 不变,C错误;加入的 NaOH 属于易溶强电解质,固体溶解后,电离平衡中生成物的浓度增大,电离平衡将逆向移动,D正确。

10.D 【解析】根据 25°C 和 35°C 的电离平衡常数可知,AB的电离是吸热过程,即随温度升高, $c(A^+)$ 逐渐增大,A错误,D正确;由电离方程式可知, 35°C 时溶液中 $c(A^+) = c(B^-)$,B错误;电离程度: $25^\circ\text{C} < 35^\circ\text{C}$,C错误。

11.C 【解析】A项, $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$, 则 $\frac{c^2}{0.1-c} = K = 1 \times 10^{-7}$,因 c 很小,故 $0.1-c$ 可看作 0.1 ,解得 $c = 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,A正确;B项,HA有 $\frac{1 \times 10^{-4}}{0.1} \times 100\% = 0.1\%$ 发生电离,B正确;C项,电离平衡常数只与温度有关,温度不变,电离平衡常数不变,C错误;D项,加水和升高温度都可以促进电离,故HA的电离程度均增大,D正确,故选C。

12.(1) $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^- \quad \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(\text{HA})}$

(2)抑制 增大 不变

(3) $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

【解析】(1)HA是一元弱酸,电离时分子与离子共存,则电离方程式为 $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$; $K = \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(\text{HA})}$ 。

(2) 25°C 时,向 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HA溶液中加入 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸,导致溶液中的氢离子浓度增大,则平衡向氢离子浓度减小的方向移动,即抑制HA的电离,但 $c(H^+)$ 增大;温度未变,则 K 不变。

(3) $K = \frac{c(H^+) \cdot c(A^-)}{c(\text{HA})}$, $c(\text{HA}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(H^+) = c(A^-)$,则 $c^2(H^+) = K \cdot c(\text{HA}) = 4.0 \times 10^{-10}$, $c(H^+) = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

能力提升

13.C 【解析】C项,由 H_2SO_4 的 K_a 可知, H_2SO_4 在冰醋酸中不能全部电离, C 错误。

14.B 【解析】根据较强的酸制备较弱酸的原理判断, 三种酸的酸性强弱顺序是 $\text{HF} > \text{HNO}_2 > \text{HCN}$ 。酸性越强电离常数越大, 因此亚硝酸的电离常数应是 4.6×10^{-4} , B 错误。

15.C 【解析】由 $K_1(\text{H}_2\text{SO}_3) > K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) \approx K_2(\text{H}_2\text{SO}_3) > K_2(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 可知, 酸性: $\text{H}_2\text{SO}_3 > \text{H}_2\text{CO}_3 \approx \text{HSO}_3^- > \text{HCO}_3^-$ 。由强酸制弱酸的原理可知, A 项, SO_3^{2-} 与 HCO_3^- 不反应, 能大量共存; B 项, HSO_3^- 与 HCO_3^- 不反应, 能大量共存; C 项, 由于酸性 $\text{HSO}_3^- > \text{HCO}_3^-$, 则 HSO_3^- 与 CO_3^{2-} 能反应生成 HCO_3^- , 不能大量共存; D 项, SO_3^{2-} 与 CO_3^{2-} 不反应, 能大量共存。

16.(1) $>$ $<$

$$(2) K_a = \frac{c(\text{SO}_3^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HSO}_3^-)}$$



17.B 【解析】根据酸的电离平衡常数 $\text{HCOOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCN}$ 可知, 酸性强弱顺序为: $\text{HCOOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCN}$, A 错误; H_2CO_3 的酸性大于 HCN , 故不可能产生二氧化碳气体, B 正确; HCOOH 的电离平衡常数表达式为 $K = \frac{c(\text{HCOO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HCOOH})}$, C 错误; 根据酸的电离平衡常数 $\text{HCOOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCN} > \text{HCO}_3^-$ 可知, 酸性强弱顺序为: $\text{HCOOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCN} > \text{HCO}_3^-$, 所以 H_2CO_3 溶液和 NaCN 溶液反应的离子方程式为: $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CN}^- = \text{HCN} + \text{HCO}_3^-$, D 错误。

18.B 【解析】 $K_{a_2}(\text{H}_2\text{CO}_3) < K_{a_1}(\text{H}_2\text{S})$, 即 A 项反应不能发生; $K_{a_1}(\text{H}_2\text{CO}_3) > K_{a_2}(\text{H}_2\text{S})$, 即 B 项反应可能发生; C 项可能发生: $\text{H}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{NaHS} + \text{NaHCO}_3$; D 项 H_2S 不可能生成 H_2CO_3 。

19.C 【解析】由表格中电离常数数据可知, $K_a(\text{HClO}) > K_a(\text{HCO}_3^-)$, 故 CO_2 通入 NaClO 溶液中生成 HCO_3^- , A 错误; HClO 具有强氧化性, CaSO_3 具有还原性, 二者发生氧化还原反应, B 错误; $K_a(\text{HSO}_3^-) > K_a(\text{HCO}_3^-)$, 故少量 SO_2 通入 Na_2CO_3 溶液中生成 HCO_3^- , C 正确; H_2SO_3 为弱酸, 故 NaHSO_3 在水溶液中主要电离出 HSO_3^- , 而不是 SO_3^{2-} 和 H^+ , D 错误。

20.A 【解析】根据电离常数可知, 酸性: $\text{HCOOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCN} > \text{HCO}_3^-$ 。A 项, 不能得到 CO_3^{2-} , 只能得到 HCO_3^- , 错误; B 项, 正确; 等体积、等 pH 的 HCOOH 和 HCN 溶液中, 所含溶质的物质的量: $n(\text{HCN}) > n(\text{HCOOH})$, 则中和时 HCN 消耗的 NaOH 的量, C 正确; HCN 溶液加水稀释, 电离程度增大, 溶液中 H^+ 和 CN^- 的数目均增多, D 正确。

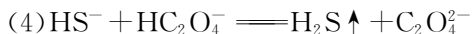
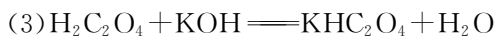
21.(1) ①右 AB ②氨水浓度减小, 会使 $c(\text{OH}^-)$ 减小, 而温度升高, 会使 $c(\text{OH}^-)$ 增大, 双重作用使 $c(\text{OH}^-)$ 基本不变

$$(2) 4.2 \times 10^{-7}$$

【解析】(1) 根据表中电离常数和电离度随温度的变化情况可以判断, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离过程吸收热量, 所以升温会使 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离平衡向右移动。

(2) 根据反应 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, $c(\text{HCO}_3^-) = c(\text{H}^+) = 2.5 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则平衡常数 $K_{a_1} = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{(2.5 \times 10^{-6})^2}{1.5 \times 10^{-5}} \approx 4.2 \times 10^{-7}$ 。

$$22.(1) \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S})}$$



(5) ③④

【解析】(1) H_2S 为弱电解质, 不能完全电离, 其一级电离方程式为 $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{H}^+$, 则一级电离平衡常数表达式为 $K_{a1} = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S})}$ 。

(2) 多元弱酸的酸性主要由第一步电离决定, 故多元弱酸的一级电离平衡常数越大, 酸性越强, 则 CH_3COOH 、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 H_2S 的酸性由强到弱的顺序为 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{S}$ 。

(3) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 与少量的 KOH 溶液反应生成 KHC_2O_4 , 化学方程式为 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{KOH} \rightleftharpoons \text{KHC}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 。

(4) HC_2O_4^- 的酸性强于 H_2S , 则 NaHS 溶液与 NaHC_2O_4 溶液反应的离子方程式为 $\text{HS}^- + \text{HC}_2\text{O}_4^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} \uparrow + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 。

(5) H^+ 浓度相同的等体积的两份溶液 A 和 B, A 为盐酸, B 为醋酸, 由于醋酸是弱酸, 在溶液中存在电离平衡, 含有未电离的电解质分子, 因此二者分别和锌反应, 若最后仅有一份溶液中存在锌, 且放出氢气的体积相等, 则盐酸反应完全, 醋酸有剩余。①由于反应过程中醋酸溶液中 $c(\text{H}^+)$ 比盐酸的大, 所以平均速率 $B > A$, 反应所需要的时间 $B < A$, 错误; ②反应开始反应时由于 $c(\text{H}^+)$ 相同, 所以反应的速率 $A = B$, 错误; ③由于反应产生的氢气相同, 因此参加反应的锌的物质的量 $A = B$, 正确; ④由于反应过程中醋酸溶液中 $c(\text{H}^+)$ 比盐酸的大, 所以平均速率 $B > A$, 正确; ⑤由于醋酸是弱酸, 部分电离, 当溶液中 $c(\text{H}^+)$ 相同时, 醋酸的浓度大于盐酸的浓度, 溶液的体积相等, 因此醋酸的物质的量比盐酸多, 最后盐酸中有锌剩余, 错误。可见正确的是 ③④。

第二节 水的电离和溶液的 pH

第 1 课时 水的电离 溶液的酸碱性 with pH

典型例题

【例 1】B **【解析】**A 项, $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 的溶液显碱性, A 错误; B 项, $c(\text{H}^+) = \sqrt{K_w}$, 则 $K_w = c(\text{OH}^-) \cdot c(\text{H}^+) = c(\text{H}^+)^2$, $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$, 溶液一定显中性, B 正确; C 项, 常温下 $c(\text{H}^+) = 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液显中性, 未指明温度不能确定溶液酸碱性, C 错误; D 项, 常温下, $\text{pH} < 7$ 的溶液显酸性, 温度较高时 pH 小于 7 可能显中性, 如 100°C 时, 纯水的 $\text{pH} = 6$, 为中性, D 错误。

【例 2】C **【解析】** $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为弱电解质, NaOH 为强电解质, 均稀释 100 倍, pH 变化较大的曲线 I 表示 NaOH 溶液, 曲线 II 为氨水, 氨水的 pH 变化小于 2, 即 a 一定大于 9, A 正确; 曲线 II 表示稀释过程中氨水的 pH 变化曲线, B 正确; 结合稀释后两溶液的 pH , 可知稀释后氨水中水的电离程度比 NaOH 溶液中水的电离程度小, C 错误; 原溶液的 pH 相同, 但溶质的物质的量浓度: 氨水 $>$ NaOH , 即完全中和等体积的两溶液时, 消耗相同浓度的硫酸溶液体积: $V(\text{NaOH}) < V(\text{氨水})$, D 正确。

自主学习



3. 1.0×10^{-14} 1.0×10^{-14} 正向移动 增大 增大 吸 1.0×10^{-12} 逆向移动 减小 不变

4. 1.0×10^{-14} $>$ $>$ $=$ $=$ $<$ $<$

5. $-\lg c(\text{H}^+)$ 干燥

基础夯实

6.D 【解析】pH 试纸不能直接插入待测溶液中,应用玻璃棒蘸取待测液,然后滴到 pH 试纸上。

7.B 【解析】由于氢离子浓度大于常温下的氢离子浓度,故温度高于 25 度,A 正确; $K_w=1 \times 10^{-12}$,故水电离出的氢离子浓度=水电离出的氢氧根浓度= $\frac{1 \times 10^{-12}}{1 \times 10^{-3}}=1 \times 10^{-9}$,故 B 错。故选 B。

8.D 【解析】A 项,氢离子浓度随着温度的升高而升高,水中的氢离子浓度等于水中的氢氧根浓度,B 错误;水的电离是吸热过程,温度越高,电离程度越大。故选 D。

9.C 【解析】分析三种物质可知②、③抑制水的电离,①不影响水的电离平衡,在②、③中 H_2SO_4 为二元强酸,产生的 $c(\text{H}^+)$ 大于 NaOH 产生的 $c(\text{OH}^-)$,抑制程度更大,故顺序为① $>$ ② $>$ ③。故选 C。

10.B 【解析】pH=2 的醋酸溶液中 $c(\text{H}^+)=10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,溶液中水电离出的 $c(\text{OH}^-)=10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,由于水电离产生等量的 H^+ 和 OH^- ,即水电离产生的 $c(\text{H}^+)=10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,A 错误;加水稀释,溶液中 $c(\text{H}^+)$ 减小,由 $K=\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ 可知 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}=\frac{K_a}{c(\text{H}^+)}$,即 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ 增大,B 正确;pH=2 的醋酸与 pH=12 的 NaOH 溶液等体积混合后,醋酸继续电离,溶液呈酸性,C 错误;pH=2 的盐酸和醋酸溶液中 $c(\text{H}^+)$ 均为 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,D 错误。故选 B。

11.D 【解析】pH 试纸在使用前用蒸馏水润湿,相当于稀释溶液,对测定结果会产生误差,A 错误;广泛 PH 试纸是粗略测定溶液酸碱性,测定数值为整数,B 错误;酸碱指示剂只能测定溶液酸碱性和溶液 pH 范围,不能测定溶液 pH,C 错误;pH 计是精确测定溶液 pH 的仪器,用于测定溶液 pH,D 正确。故选 D。

12.C 【解析】反应中 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 过量混合溶液中 $c(\text{OH}^-)=\frac{(0.06 \times 2 \times V - 0.1 \times V)}{2V \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}=0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,根据

$$K_w \text{ 可知溶液中 } c(\text{H}^+)=\frac{1 \times 10^{-14}}{0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}=10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{ 即该溶液的 pH}=12。$$

13.(1)① $1.0 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ②2 ③4

(2)①12 ②10

【解析】(1)① $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HCl}$ 溶液中 $c(\text{H}^+)=0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,溶液中 OH^- 来自水的电离,即 $c(\text{OH}^-)=\frac{1.0 \times 10^{-14} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}=1.0 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,由于水电离出的 H^+ 和 OH^- 浓度相等,即水电离出的 $c(\text{H}^+)=1.0 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ②根据溶液中 $c(\text{H}^+)=0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,可知 $\text{pH}=-\lg c(\text{H}^+)=2$ 。③加水稀释 100 倍后,溶液中 $c(\text{H}^+)=1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH}=4$ 。

(2)①常温下 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶液, $c(\text{OH}^-)=1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,由 $c(\text{H}^+)=\frac{1 \times 10^{-14}}{0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}=1.0 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,可知溶液的 $\text{pH}=12$ 。②加水稀释 100 倍, $c(\text{OH}^-)=1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,溶液中 $c(\text{H}^+)=1.0 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH}=10$ 。

能力提升

14.A 【解析】A、B、C、D 中水电离出的氢离子浓度分别为 1×10^{-14} 、 1×10^{-13} 、 1×10^{-7} 、 1×10^{-7} 。故选 A。

15.B 【解析】由题意可知,溶液显酸性或碱性,由此作答。

16.B 【解析】 SO_2 是非电解质,溶于水得到亚硫酸溶液,呈酸性,A 错误; $c(\text{H}^+)$ 、 $c(\text{OH}^-)$ 均为 $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液, $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$,所以溶液呈中性,B 正确;等物质的量的硫酸与氢氧化钠反应得到的溶液呈酸性,C 错误;将 $c(\text{OH}^-) = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的烧碱溶液稀释至原来的 100 倍所得到的溶液仍呈碱性,D 错误。

17.(1)>

(2)1 000 : 1

(3) $1 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(4)BD

【解析】(1)升温, K 变大。

(2) $c(\text{SO}_4^{2-}) = 5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则 $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{SO}_4^{2-}) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,稀释至原来的 10 倍,则 $c(\text{Na}^+) = 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。25 °C 时, Na_2SO_4 溶液中 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,稀释至原来的 10 倍后仍然为 $1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则 $c(\text{Na}^+) : c(\text{OH}^-) = 10^3 : 1$ 。

(3)在 t_2 °C 时,pH=10 的 NaOH 溶液中 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,NaOH 溶液中, H^+ 来自水的电离,水电离出 H^+ 的同时也电离出等量的 OH^- 。

(4)在 t_2 °C 时,水电离的 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则此时水电离的 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, t_2 °C 时 $K_w = (1 \times 10^{-6}) \times (1 \times 10^{-6}) = 10^{-12}$ 。某溶液的 pH=7, $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,该溶液中 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} > c(\text{H}^+)$,溶液呈碱性;此时 $\frac{c(\text{OH}^-)}{c(\text{H}^+)} = \frac{1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 100$,即 $c(\text{OH}^-) = 100c(\text{H}^+)$ 。

18.A 【解析】A 项,醋酸中 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 中 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,两者反应后醋酸过量,在室温下等体积混合后,pH<7,A 正确;B 项,反应后氨水过量,继续电离,溶液呈碱性,常温下 pH 大于 7,B 错误;C 项,硫酸中 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,NaOH 中 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,两者等体积混合,恰好完全反应,溶液呈中性,常温下 pH=7,C 错误;D 项, HNO_3 中 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,KOH 中 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,两者等体积混合,恰好完全反应,溶液呈中性,常温下 pH=7,D 错误。

19.B 【解析】pH 相同的两溶液稀释相同倍数,pH 变化大的为盐酸,即 I 为盐酸,II 为醋酸,A 正确;pH 相同的盐酸和醋酸,醋酸的浓度大于盐酸的浓度,即使稀释相同倍数,仍是醋酸的浓度大于盐酸的浓度,即 B 点酸的浓度小于 A 点酸的浓度 B 错误;溶液导电性取决于离子浓度,pH 小时 H^+ 浓度大,导电性强,则溶液的导电性 $A > B > C$,C 正确;温度相同,则 A、B、C 三点 K_w 数值相同,D 正确。故选 B。

20.A 【解析】由 $\text{HCl} + \text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 知,当 Cl^- 和 Na^+ 的物质的量相等时,HCl 和 NaOH 完全反应,即盐酸中的 $n(\text{H}^+)$ 等于 NaOH 中的 $n(\text{OH}^-)$,则 $10^{-a} \cdot V = 10^{-14+b} \cdot 10V$,则 $a+b=13$ 。故选 A。

21.(1)①7 ②3.3

(2)①碱 ②11 ③10

【解析】(1)①常温下,pH=3 的盐酸中 $c(\text{H}^+) = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,pH=11 的氢氧化钡溶液中 $c(\text{OH}^-) = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,等体积混合,恰好反应,溶液呈中性,pH=7;②常温下 pH=3 的盐酸和 pH=6 的盐酸等体积混合,混合后溶液中 $c(\text{H}^+) = \frac{10^{-3}V + 10^{-6}V}{2V} \approx \frac{10^{-3}}{2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,溶液的 $\text{pH} = -\lg \frac{10^{-3}}{2} = 3.3$ 。

(2)①某溶液中的 H^+ 浓度为 $1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, H_2O 的离子积常数为 1×10^{-13} , $c(\text{OH}^-) = 10^{-6}$, $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$, 则该溶液呈碱性; ② $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液中 $c(\text{H}^+) = \frac{10^{-13}}{0.01} = 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 11$; ③ $\text{pH} = 1$ 的 H_2SO_4 溶液中 $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 12$ 的 KOH 溶液中 $c(\text{OH}^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $99 \text{ mL pH} = 1$ 的 H_2SO_4 溶液与 $101 \text{ mL pH} = 12$ 的 KOH 溶液混合后, 氢氧化钠有剩余, $c(\text{OH}^-) = \frac{101 \times 0.1 - 99 \times 0.1}{101 + 99} = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}^+) = \frac{10^{-13}}{10^{-3}} = 10^{-10}$, 溶液的 $\text{pH} = 10$ 。

22. (1) $1.0 \times 10^{-12} >$

(2) $4 \quad 1.0 \times 10^{-7}$

(3) ①中 ② $\text{Ba}^{2+} + \text{OH}^- + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ③ 11

【解析】(1) $K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-(x+y)}$, 根据图像可知, $x=0$ 时, $y=12$, $y=0$ 时, $x=12$, $x+y=12$, 故 $K_w = 1.0 \times 10^{-12}$ 。根据温度越高, H_2O 的电离程度越大, K_w 也越大可知, 此时 $T > 25^\circ\text{C}$ 。

(2) 此条件下, $\text{pH} = 6$ 时溶液呈中性。根据表中实验①的数据可得 $c(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 根据表中实验③的数据有 $22.00 \times 10^{-3} \text{ L} \times 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 22.00 \times 10^{-3} \text{ L} \times 1.0 \times 10^{-a} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 可得 $a=4$, 即 $\text{pH} = 4$ 。实验②中, 所得溶液 $\text{pH} = 7$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 过量, 溶液呈碱性, 由 H_2O 电离产生的 $c(\text{OH}^-)$ 等于由水电离产生的 $c(\text{H}^+)$, 即由水电离产生的 $c(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) ①按丁方式混合时, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 提供的 OH^- 与 NaHSO_4 提供的 H^+ 相等, 混合后溶液呈中性。②按乙方式混合时, 反应前: $n(\text{Ba}^{2+}) = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, $n(\text{OH}^-) = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, $n(\text{H}^+) = n(\text{SO}_4^{2-}) = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 实际反应的 Ba^{2+} 、 OH^- 、 H^+ 、 SO_4^{2-} 均为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 故反应的离子方程式为 $\text{Ba}^{2+} + \text{OH}^- + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ 。③按甲方式混合时, OH^- 过量, 反应后溶液中 $c(\text{OH}^-) = \frac{2 \times 0.1 \times 10 - 0.1 \times 5}{15} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 11$ 。

23. I. (1) 错误 该学生测得的 pH 是稀释后溶液的 pH

(2) 该学生操作错误, 但不一定产生误差。因为原溶液不是中性时, 稀释后溶液 pH 发生了变化, 只是弱酸或弱碱溶液变化程度小些, 若是中性溶液, 稀释不会产生误差(合理即可)

(3) 氢氧化钠溶液 稀释过程中, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 继续电离出 OH^- , 减弱了因稀释 OH^- 浓度减小的程度, 所以测得氢氧化钠溶液误差较大

(4) 能 用玻璃棒分别蘸取两种溶液滴在两张 pH 试纸上, 其显示的颜色与标准比色卡对照, pH 较大的是 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸溶液

II. (1) 强 弱 $<$

(2) $2 < a < 5$

【解析】I. (1) 用 pH 试纸测定 pH 的方法是用干燥的玻璃棒蘸取(或胶头滴管吸取)少量的待测溶液, 滴在放在干燥的表面皿或白瓷板上的干燥的 pH 试纸上, 再把试纸显示的颜色与标准比色卡比较, 即可得出待测溶液的 pH ; 题中 pH 试纸用水润湿, 相当于将原溶液稀释, 将使所得 pH 出现误差。

(2) 食盐水溶液显中性, 用水稀释后 pH 不变; 酸性溶液稀释后, 溶液酸性减弱, pH 变大; 碱性溶液稀释后, 碱性变小, pH 值将变小; 所以测定的结果不一定有误差, 若是中性溶液则不变。

(3) 用水润湿相当于稀释碱液, 则所测的 pH 偏小, 由于稀释会促进弱电解质的电离, 故氨水的 pH 误差小, 因为在稀释过程中氨水继续电离出氢氧根离子, 使得溶液中氢氧根离子浓度变化比氢氧化钠小, 误

差小。

(4)硫酸为强酸,完全电离, $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸和 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸电离出的氢离子浓度分别为 $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.02\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{pH}=-\lg c(\text{H}^+)$,氢离子浓度越大,pH 越小,所以 pH 较大的为 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸,操作为用干燥的玻璃棒分别蘸取两种溶液,滴在两张 pH 试纸上,与标准比色卡比较其 pH,pH 较大的为 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸。

II.(1)pH=2 的 A、B 两种酸溶液各 1 mL,分别加水稀释到 1 000 mL,pH 值改变 3 个单位的为强酸,pH 改变值小于 3 个单位的为弱酸,根据图知,稀释 1 000 倍时,A 的 pH=5、B 的 pH<5,则 A 是强酸、B 是弱酸,因为在稀释过程中 B 继续电离出 H^+ 而使溶液的 pH 小于 A,将 A 再稀释 100 倍,酸稀释后仍显酸性,故 $\text{pH}<7$ 。

(2)若 A、B 都是弱酸,稀释后其 pH 应小于 5,故 $2<a<5$ 。

第 2 课时 酸碱中和滴定

典型例题

【例1】C 【解析】中和滴定按照检漏、洗涤、润洗、装液、调整、取待测液、加指示剂、滴定、记录等顺序操作,故其正确顺序为②①③④⑦⑤⑥⑧,C 正确。故选 C。

【例2】D 【解析】A 项,用标准氢氧化钠溶液滴定盐酸时,开始滴定时碱式滴定管尖嘴部分有气泡,在滴定过程中气泡消失,消耗氢氧化钠溶液体积偏大,所测定盐酸的浓度偏高,A 错误;B 项,用标准盐酸滴定氢氧化钠溶液时,滴定前平视读数,达到滴定终点仰视读数,读数偏大,所测出的氢氧化钠溶液的浓度偏高,B 错误;C 项,配制一定物质的量浓度的氢氧化钠溶液,溶解后未冷却使加入水的体积偏小,所配溶液的物质的量浓度偏高,C 错误;D 项,配制一定物质的量浓度的氯化钠溶液,定容时仰视容量瓶使加入水的体积偏大,所配溶液的物质的量浓度偏低,D 正确。

自主学习

1.中和反应 已知浓度 未知浓度

$$2. \frac{c(\text{OH}^-) \cdot V_{\text{碱}}}{V_{\text{酸}}} = \frac{c(\text{H}^+) \cdot V_{\text{酸}}}{V_{\text{碱}}}$$

3.酸式 碱式 上方 大于 0.01 mL

4.查漏 润洗 排气 蒸馏水 2~3 滴 滴定管活塞 锥形瓶 锥形瓶内溶液颜色的变化 30 s 内不再恢复原来的颜色 平均值

5.甲基橙 酚酞

6.突变

基础夯实

7.B 【解析】滴定管加入待装液前需要润洗,A 错误;锥形瓶中有蒸馏水,直接加入待测 NaOH 溶液,不影响结果,B 正确;下端气泡没有排除,导致实验中盐酸读数大于实际体积,会使结果偏高 C 错误;滴定时,眼睛应注视锥形瓶内颜色的变化,D 错误。

8.B 【解析】A 项,未予调整就开始滴定,导致 $V_{\text{标}}$ 偏小,根据 $c_{\text{待}} = \frac{c_{\text{标}} \cdot V_{\text{标}}}{V_{\text{待}}}$ 可知, $c_{\text{待}}$ 偏小,A 错误;B 项,导致标准液浓度偏小,消耗 NaOH 标准液体积偏大,测定结果偏高,B 正确;C 项,滴定管仰视读数偏大,俯视读数偏小,读数中消耗 NaOH 溶液的体积偏小,即测得结果偏低,C 错误;D 项,没等到半分钟,说明反应还

没有完全,测定结果偏低,D错误。故选B。

9.C 【解析】A项,蒸馏水洗净酸式滴定管后,必须润洗2~3次,否则导致消耗盐酸体积偏大,导致测定结果偏大,A错误;B项,锥形瓶不需要润洗,否则消耗盐酸体积偏大,导致测定结果偏大,B错误;C项,锥形瓶内加入适量蒸馏水,待测液的物质的量没有变化,对测定结果无影响,C正确;D项,当溶液由红色刚变无色时,不能立即读数,必须等到溶液颜色半分钟不再变化,否则可能导致加入盐酸体积偏小,测定结果偏小,D错误。故选C。

10.C 【解析】甲基橙的变色范围是3.1~4.4,NaOH溶液遇甲基橙呈黄色,用盐酸滴定,达到滴定终点时溶液由黄色变为橙色,C正确。故选C。

11.A 【解析】结合图示可知该同学读取NaOH溶液的体积为11.00 mL-1.00 mL=10.00 mL,而实际取出液体体积要大于10.0 mL,A正确。故选A。

12.C 【解析】NaOH呈碱性,随着盐酸的逐滴滴入,溶液的碱性逐渐减弱,即溶液的pH逐渐减小,几乎完全反应时pH发生突变,即C正确。故选C。

13.D 【解析】解:A项,容量瓶和酸式滴定管带有瓶塞或旋塞,实验前都需要检查是否漏液,A正确;B项,甲基橙的变色范围为3.1~4.4,滴定终点呈酸性,NaOH和 Na_2CO_3 都转化成NaCl,消耗标准液的体积不变,不影响测定结果,B正确;C项,若配制盐酸标准溶液定容时俯视刻度线,配制的标准液体积浓度偏大,滴定终点消耗标准液体积偏小,则所测定NaOH溶液的浓度偏小,C正确;D项,当滴定至溶液由黄色变为橙色时,且半分钟不恢复颜色,即为滴定终点,D错误。

14.(1)0.144 8 溶液由无色变为浅红色,且30 s内不变色

【解析】(1)第一、二次消耗的NaOH溶液的体积分别为 $(18.60-0.10)$ mL=18.50 mL、 $(18.00-0.30)$ mL=17.70 mL,两次消耗NaOH溶液的平均体积为18.10 mL,根据 $\text{HCl}+\text{NaOH}=\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$ 可知 $\text{HCl}\sim\text{NaOH}$,则 $n(\text{HCl})=n(\text{NaOH})$,即 $c(\text{HCl})\times 25.00\text{ mL}\times 10^{-3}\text{ L}\cdot\text{mL}^{-1}=0.2000\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\times 18.10\text{ mL}\times 10^{-3}\text{ L}\cdot\text{mL}^{-1}$,解得: $c(\text{HCl})=0.1448\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(2)用NaOH溶液滴定知浓度的盐酸,以酚酞试液作指示剂,滴定结束前溶液为无色,滴定结束时溶液变为浅红色,则达到滴定终点时,溶液的颜色由无色变为浅红色,且30 s内不变色。

能力提升

15.B 【解析】根据曲线a可知,滴定前盐酸的 $\text{pH}=1$, $c(\text{HCl})=0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$,A错误;P点表示盐酸与氢氧化钠恰好完全中和,溶液呈中性,B正确;曲线a是氢氧化钠溶液滴定盐酸的曲线,曲线b是盐酸滴定氢氧化钠的曲线,C错误;强酸与强碱相互滴定,可用酚酞作指示剂,D错误。故选B。

16.D 【解析】滴定管的零刻度在上面,50 mL的刻度在下面,但刻度线以下仍有一部分容积,因此液体体积一定是大于 $(50-a)$ mL。故选D。

17.D 【解析】A项,NaOH溶液不能盛装于酸式滴定管中,A错误;B项,用盐酸滴定氢氧化钠溶液,当恰好中和时溶液的 $\text{pH}=7$,酸碱中和在接近终点时,pH会发生突变,题中图像变化与实际不相符,B错误;C项,图3所示的读数为11.80 mL,C错误;D项,溶液的导电能力与离子浓度成正比, CH_3COOH 是弱电解质,溶液中离子浓度较小,随着KOH溶液的加入,溶液中离子浓度增大,溶液导电性增强,D正确。

18.(1)酸式 碱式

(2)锥形瓶

(3)滴入最后半滴HCl溶液,溶液红色褪去且半分钟内不恢复

(4)偏高 偏低

(5)0.128 8

【解析】(1)甲滴定管的下端是玻璃活塞,酸式滴定管,乙滴定管的下方是橡胶管,为碱式滴定管。

(2)实验中酸式滴定管和碱式滴定管均要润洗,但锥形瓶不用润洗。

(3)NaOH 溶液中滴加无色的酚酞指示剂,溶液变成红色,达到滴定终点时酚酞的红色褪去且半分钟不再出现红色。

(4)取标准液的滴定管,滴定前滴定管尖端有气泡,滴定后气泡消失,导致标准液的体积偏大,可知测得结果偏高;标准液读数时,若滴定前仰视,滴定后正确读数,导致标准液体积偏小,导致测定结果偏低。

(5)结合表格中数据可知, $V_{\text{标}} = \frac{(24.41+24.39+24.40)}{3} = 24.40 \text{ mL}$, $c_{\text{待}} = \frac{24.40 \text{ mL} \times 0.132 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{25.00 \text{ mL}} \approx 0.128 8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

19.B **【解析】**A 项,由图示可知,滴定达终点时,酸 2 消耗 KOH 的体积大,说明 $c(\text{酸 } 2) > c(\text{酸 } 1)$,而起始时的 pH:酸 2 > 酸 1,则“酸 1”比“酸 2”的酸性强,A 正确;B 项,“酸 2”为弱酸, $c(\text{H}^+) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则酸 2 的起始浓度大于 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,B 错误;C 项,“酸 2”滴定一半时, $c(\text{酸 } 2) \approx c(\text{酸 } 2 \text{ 的酸根离子})$,此时溶液 pH 介于 4 至 5 之间,则“酸 2”的 $K_a \approx c(\text{H}^+)$,其数量级约为 10^{-5} ,C 正确;D 项,滴定终点时,“酸 1”和“酸 2”的 pH 与酚酞的变色范围接近或重叠,所以二者均可用酚酞作指示剂,D 正确。

20.C **【解析】**A 项,步骤①中用 NaOH 溶液滴定甲酸,滴定终点时生成甲酸钠,溶液呈碱性,酚酞的变色范围为 8~10,所以指示剂可以选用酚酞试液,A 正确;B 项,步骤②中静置 1 分钟的目的是为了使 NH_4^+ 和 HCHO 完全反应,从而减小实验误差,B 正确;C 项,步骤②若不静置, NH_4^+ 没有完全反应,导致消耗标准液体积偏小,测定结果偏低,C 错误;D 项,反应 $4\text{NH}_4^+ + 6\text{HCHO} \rightleftharpoons (\text{CH}_2)_6\text{N}_4\text{H}^+ (\text{一元酸}) + 3\text{H}^+ + 6\text{H}_2\text{O}$ 中产生的 H^+ 消耗 NaOH 溶液的体积为 $(V_3 - V_2) \text{ mL}$,则饱和食盐水中的 $c(\text{NH}_4^+) = \frac{b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times (V_3 - V_2) \times 10^{-3} \text{ L}}{c \times 10^{-3} \text{ L}} = \frac{b(V_3 - V_2)}{c} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,D 正确。

21.D **【解析】**A 项,碱式滴定管中排气泡的方法:把滴定管的胶头部分稍微向上弯曲,轻轻挤压玻璃球使尖嘴部分充满碱液,排出气泡,操作正确,A 正确;B 项,甲基橙加入稀硫酸,溶液呈酸性,呈现红色,滴入氢氧化钠,酸性减弱,红色逐渐变为橙色,当滴入最后一滴,颜色从红色突变到橙色,且半分钟不恢复颜色,即可判断达到终点,B 正确;C 项,碱式滴定管用蒸馏水洗涤后,即装入标准浓度的稀 NaOH 溶液滴定,导致标准液被稀释,则消耗标准液体积偏大,依据 $c_{\text{待}} = \frac{c_{\text{标}} \times V_{\text{标}}}{V_{\text{待}}}$ 可知会导致测定的 H_2SO_4 溶液浓度偏大,C 正确;D 项,依据三组数据可知第二组数据误差较大,应舍弃,消耗标准液体积平均为: $\frac{25.04 + 24.96}{2} =$

25.00 mL,则待测液中氢离子浓度为: $\frac{0.200 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 25.00 \text{ mL}}{20.00 \text{ mL}} = 0.250 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,硫酸为二元强

酸,所以其物质的量浓度为: $\frac{1}{2} \times 0.250 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.125 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,D 错误。

22.(1)ab

(2)A

(3)26.10

(4)0.104 0

(5)CD

【解析】(1)上述仪器中只有量筒和容量瓶没有“0”刻度,其余容器均有“0”刻度。

(2) NaHCO_3 溶液呈碱性,可用 25 mL 碱式滴定管量取 20.00 mL,A 正确;托盘天平的精确度为 0.1 g,无法精确称量 10.20 g 碳酸钠固体,B 错误;100 mL 量筒量程过大,应选择 10 mL 筒量取 3.2 mL 浓硫酸,C 错误;没有 240 mL 容量瓶,应选择 250 mL 的容量瓶配制 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液,D 错误。

(3)图乙和图甲数据相减即得溶液的体积 $= 26.10 \text{ mL} - 0.00 \text{ mL} = 26.10 \text{ mL}$ 。

(4)根据表格中数据可知第二次实验误差较大,无意义应舍去,盐酸的体积的平均值为 $\frac{(26.05 + 25.95) \text{ mL}}{2} = 26.00 \text{ mL}$,即 $c(\text{NaOH}) = \frac{(0.100 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 26.00 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{mL}^{-1})}{(25.00 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{mL}^{-1})} = 0.104 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(5)滴定终点时俯视液面读数,读得体积偏小,所测氢氧化钠溶液浓度偏小,A 错误;碱式滴定管水洗后未用待测碱液润洗,实验消耗碱溶液较多,所测溶液的浓度偏小,B 错误;锥形瓶用待测碱液润洗,增加了碱液的物质的量,所测氢氧化钠溶液浓度偏大,C 正确;滴定时酸式滴定管中盐酸洒落在锥形瓶外,读得盐酸体积偏大,所测氢氧化钠溶液的浓度偏大,D 正确。

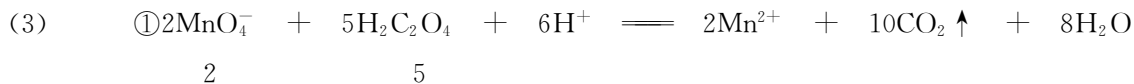
23.(1)甲

(2)当滴入最后一滴 KMnO_4 溶液时,溶液由无色变为紫色,且半分钟内不褪色,即达滴定终点。

(3)2 ①偏大 ②偏小

【解析】(1)因为 KMnO_4 具有强氧化性,会腐蚀橡胶管,故应用酸式滴定管盛装。

(2)可利用 KMnO_4 溶液自身的颜色作为指示剂判断滴定终点时,再滴加 KMnO_4 溶液时,溶液将由无色变为紫色



$0.100 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.01 \text{ L} = 0.002 5 \text{ mol}$

25.00 mL 待测液中含有 0.002 5 mol $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 100.00 mL 待测液中含有 0.01 mol $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 0.01 mol $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的质量为 $0.01 \text{ mol} \times 90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.9 \text{ g}$, 所以 1.260 g 纯草酸晶体中水的物质的量为 $1.260 \text{ g} - 0.9 \text{ g} = 0.36 \text{ g}$, 其物质的量为 0.02 mol, 则 $x = 2$ 。②若滴定终点时俯视滴定管读数, 则所得消耗酸性 KMnO_4 溶液的体积偏小, 由此所得 $n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 偏小, 则 $n(\text{H}_2\text{O})$ 偏大, x 偏大。③若酸性 KMnO_4 溶液因久置而导致浓度变小, 则消耗其体积偏大, 所得 x 值偏小。

第三节 盐类的水解

第 1 课时 盐类的水解

典型例题

【例 1】C 【解析】A 项, 盐的水解是盐和水反应生成对应的酸和碱的过程, 是中和反应的逆反应, A 正确; B 项, 盐类水解是中和反应的逆反应, 中和反应放热, 盐的水解是吸热的, B 正确; C 项, 水解的盐显示的酸碱性取决于阴阳弱离子水解程度的大小, 如醋酸铵是一种含有弱酸根离子的盐, 但是该溶液显中性, C 错误; D 项, 水解的盐显示的酸碱性取决于形成盐的阴阳弱离子水解程度的大小, 阳离子水解程度大, 溶液显示酸性, 阴离子水解程度大, 溶液显示碱性, D 正确。

【例2】B 【解析】水解反应的概念:在溶液中盐电离出的离子与水电离出的氢离子或氢氧根离子结合生成弱电解质的反应;A项, $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ 属于碳酸氢根的电离方程式,A错误;B项, Fe^{3+} 水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$,溶液显示酸性,所以其水解方程为: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$,B正确;C项, $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{OH}^-$ 是水解反应,但是溶液显碱性,不符合题意,C错误;D项, $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ 是硫化氢的电离方程式,而不是水解反应,D错误。

自主学习

1.水电离出的 H^+ 或 OH^- 弱电解质

2. H^+ OH^- 水的电离平衡 增大

3.(1)可逆

(2)吸

4.(1)碱 $>$ CH_3COO^- H^+ CH_3COOH $>$ 碱

(2)酸 $<$ NH_4^+ OH^- $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $<$ 酸

(3)中 $=$

5. $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$ $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{OH}^-$
 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ $\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$ $\text{Al}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{H}_2\text{S} \uparrow$

基础夯实

6.C **【解析】** HCO_3^- 既能发生电离又能发生水解; $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$,A错误; NaNO_3 不发生水解,B错误; A^{3+} 一定水解,C正确;弱酸盐对应的钠盐(如 Na_2CO_3)溶液可发生水解反应,D错误。故选C。

7.B **【解析】**醋酸电离出的 H^+ 抑制水的电离,使水的电离程度减小; NH_4Cl 电离出的 NH_4^+ 结合水电离出的 OH^- 生成弱电解质 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,促进水的电离,使水的电离程度增大。故选B。

8.C **【解析】** NaHCO_3 的溶液水解呈碱性,但盐类的水解比较微弱,因此 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 溶液的碱性不会太强。

9.C **【解析】**A项, $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 \downarrow$ 、 $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,属于离子直接结合的反应;B项, $8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- + 6\text{I}^- \rightleftharpoons 3\text{I}_2 + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$,属于氧化还原反应;C项, $\text{Al}^{3+} + 3\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{CO}_2 \uparrow$,双水解反应;D项, $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow$,同A项。故选C。

10.B **【解析】** NaOH 抑制水的电离,所以由水电离出的 $c(\text{OH}^-)$ 等于溶液中的 $c(\text{H}^+)$ 等于 $10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

CH_3COONa 水解,促进了水的电离,所以由水电离出的 $c(\text{OH}^-) = \frac{10^{-14}}{10^{-9}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,故

$\frac{a}{b} = \frac{10^{-9}}{10^{-5}} = 10^{-4}$,即 $a = 10^{-4}b$ 。故选B。

11.C **【解析】** NaHCO_3 溶液中存在 HCO_3^- 的水解: $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$, HCO_3^- 的电离: $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$,因 NaHCO_3 溶液呈碱性,故其水解程度大于电离程度。故选C。

12.D **【解析】** NaCN 和 NaClO 都为强碱弱酸盐,相同物质的量浓度时 NaCN 溶液的pH较大,说明 CN^- 水解的程度大,因此HCN比HClO的酸性更弱,电离程度: $\text{HCN} < \text{HClO}$,A错误。pH: $\text{HClO} < \text{HCN}$,B错误。由于都是一元酸,与 NaOH 完全反应时,消耗HClO和HCN的物质的量相同,C错误。同浓度的

HCN 和 HClO, 酸性 $\text{HCN} < \text{HClO}$, $c(\text{CN}^-) < c(\text{ClO}^-)$, D 正确。故选 D。

13. (1) 酸 $\text{KHSO}_4 \rightleftharpoons \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

(2) 碱 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$

(3) $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

(4) 产生白色沉淀, 溶液红色变浅 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$, $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow$, Ba^{2+} 消耗 CO_3^{2-} , 使水解平衡逆移, 碱性减弱, 红色变浅

【解析】(1) KHSO_4 在水溶液中能完全电离: $\text{KHSO}_4 \rightleftharpoons \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$, 溶液显酸性。

(2) KHCO_3 溶液中 HCO_3^- 水解: $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$, 显碱性。

(3) $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

(4) Na_2CO_3 溶液中 CO_3^{2-} 水解: $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ (主要), 显碱性。加入 BaCl_2 , $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3 \downarrow$, 水解平衡逆移, 碱性减弱, 故红色变浅。

能力提升

14. D 【解析】本题主要考查对强弱电解质及电离与水解主次矛盾的掌握情况, 由于电解质在水中以电离为主, 水解是极其微弱的, 所以四种物质中 Na_2CO_3 电离的阳离子数必为最多, HF 为弱电解质, 电离出的 H^+ 必为最少, 先排除 B、C 项, 再观察 KCl 和 FeCl_3 , 如果只考虑电离, 二者电离的阳离子数应相等, 但 Fe^{3+} 存在水解且一个 Fe^{3+} 可水解生成三个 H^+ , 导致其溶液中阳离子数增多, D 正确。故选 D。

15. A 【解析】由 AD 溶液的 $\text{pH} > 7$, 可知 AOH 的电离程度大于 HD。由 BC 溶液的 $\text{pH} < 7$, 可知 BOH 的电离程度小于 HC。同理由 AC、BD 溶液的 $\text{pH} = 7$, 可知 AOH 与 HC、BOH 与 HD 的电离程度相同。故有电离程度: $\text{HC} = \text{AOH} > \text{HD} = \text{BOH}$, 即 HC 的酸性大于 HD, AOH 的碱性大于 BOH。故选 A。

16. C 【解析】根据题意可知: A 为 NaHSO_4 溶液, B 为 NH_4Cl 溶液, C 为 BaCl_2 溶液, D 为 CH_3COONa 溶液。A 项, D 的溶液水解显碱性, $\text{pH} > 7$, A 错误; B 项, C 为 BaCl_2 溶液, B 错误; C 项, A 滴入 NaHCO_3 溶液中, 发生反应: $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, C 正确; D 项, 溶液 B 进行焰色反应没有颜色, D 错误。故选 C。

17. D 【解析】常温下, 由纯水电离出的 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 因为 $10^{-4} > 10^{-7}$, 所以该溶液中的溶质能促进水的电离。我们知道盐类的水解能促进水的电离, 而酸、碱无论强弱都会抑制水的电离, 故排除②③, 选①④。

18. C 【解析】A 项, AlO_2^- 能与 H^+ 反应生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$, 能与 NH_4^+ 发生相互促进的水解反应, 不能大量共存; B 项, 溶液呈碱性, NH_4^+ 不能大量存在; D 项, 溶液呈酸性, 该条件下 NO_3^- 与 I^- 不能大量共存。故选 C。

19. B 【解析】①应为 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$, $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ (只写第一步也可以); ④应为 $\text{F}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HF} + \text{OH}^-$ 。故选 B。

20. D 【解析】酸的电离平衡常数越大, 酸根离子结合氢离子的能力越小, 所以酸根离子结合氢离子能力的大小顺序是 $\text{CO}_3^{2-} > \text{CN}^- > \text{HCO}_3^- > \text{HCOO}^-$, A 正确; HCOOH 的电离平衡常数大于 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 则 NH_4^+ 的水解程度大于 HCOO^- , 所以 HCOONH_4 溶液呈酸性, 则 $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, 根据电荷守恒得 $c(\text{HCOO}^-) > c(\text{NH}_4^+)$, 所以离子浓度大小顺序是 $c(\text{HCOO}^-) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, B 正确; $\text{pH} = 3$ 的盐酸与 $\text{pH} = 11$ 的氨水混合, 若溶液呈中性, 则 $V(\text{盐酸}) > V(\text{氨水})$, C 正确; 水解程度 $\text{CN}^- > \text{HCOO}^-$, 所以 HCOONa 中离子总数大于 NaCN 中离子总数, D 错误。

21. (1) $c(\text{Na}^+) > c(\text{X}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$

(2) 1

 (3) $\text{HZ} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{Z}^- \quad 10^{-5}$

 (4) $<$

【解析】(1) 若 HX 为弱酸, 则 NaX 为强碱弱酸盐, 其水溶液呈碱性。X⁻ 水解程度小, 溶液中离子的浓度大小顺序为 $c(\text{Na}^+) > c(\text{X}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。

(2) HY 为强酸, NaY 溶液呈中性, 则 HY 溶液的浓度与氢氧化钠溶液的浓度相等, $c_1 = 0.1$, $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 1$ 。

(3) NaZ 溶液 $\text{pH} = 9$, 溶液中 OH⁻ 来自水的电离, $c(\text{OH}^-) = \frac{K_w}{c(\text{H}^+)} = \frac{10^{-14}}{10^{-9}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(4) HZ 为弱酸, $\text{pH} = 2$ 的 HZ 溶液中 $c(\text{H}^+) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 氢氧化钠溶液中 $c(\text{H}^+) = 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{OH}^-) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, HZ 溶液中有大量的 HZ 分子, 继续电离出 H⁺, 反应后的溶液为 HZ 和 NaZ 的混合溶液, 溶液呈酸性。

 22. (1) $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$

(2) 大于

 (3) $= >$

(4) 乙

 (5) 乙 溶液冷却至室温后 pH 大于 9.8, 说明此实验过程中有新物质生成

【解析】(1) HCO_3^- 水解的离子方程式为 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ 。

(2) 乙同学根据 NaHCO_3 受热易分解的性质, 认为受热时 $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$, 这样溶质成为 Na_2CO_3 , 而 pH 增大, 也说明 Na_2CO_3 的水解程度大于 NaHCO_3 的水解程度。

(3) 若甲同学的观点正确, 则当温度再恢复至 10°C 时, pH 应为 8.3; 若乙同学的观点正确, 则当温度降回至 10°C 时, pH 应大于 8.3, 而第(5)小题实验也利用该原理从而证明乙同学的观点是正确的。

(4) 根据 A 中澄清石灰水变浑浊, 说明 NaHCO_3 在加热煮沸时分解生成了 Na_2CO_3 与 CO_2 , 证明乙同学观点正确。

第 2 课时 影响盐类水解的主要因素

典型例题

【例1】

条件	$c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$	$c(\text{CH}_3\text{COOH})$	$c(\text{OH}^-)$	$c(\text{H}^+)$	pH	水解程度
升温	减小	增大	增大	减小	增大	增大
加 H_2O	减小	减小	减小	增大	减小	增大
加 CH_3COOH	增大	增大	减小	增大	减小	减小
加 $\text{CH}_3\text{COONa(s)}$	增大	增大	增大	减小	增大	减小
加 HCl	减小	增大	减小	增大	减小	增大
加 NaOH(s)	增大	减小	增大	减小	增大	减小

【例2】C 【解析】根据水解平衡: $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$, 升温, 水解平衡正向移动, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 减小; 加水稀释水解平衡正向移动, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 减小; 加少量的 KOH 固体, 增大了

$c(\text{OH}^-)$, 水解平衡逆向移动, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 增大; 加少量固体 Na_2CO_3 , 水解平衡逆向移动, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 增大, 但 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 增大的倍数远小于 $c(\text{Na}^+)$ 增大的倍数, 故 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{Na}^+)}$ 减小。

自主学习

1. 盐(反应物)的性质 反应条件

2. 盐的性质 越大 越大 水解

3. 温度 浓度

(1) 中和 吸 越大 水解

(2) 水解反应方向(右) 增大 水解

(3) 水解反应方向(右)

(4) 促进 抑制 抑制 促进

$$4. \text{A}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HA} + \text{OH}^- \quad \frac{c(\text{HA}) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{A}^-)} \quad K_h = \frac{K_w}{K_a} \quad K_h = \frac{K_w}{K_b}$$

基础夯实

5.C 【解析】增大 FeCl_3 的浓度, 水解平衡向右移动, 但 Fe^{3+} 水解程度减小, 加水稀释, 水解平衡向右移动, Fe^{3+} 水解程度增大, A、B 项均正确; 盐类水解是吸热过程, 温度升高, 水解程度增大, C 错误; Fe^{3+} 水解后溶液呈酸性, 增大 H^+ 的浓度可抑制 Fe^{3+} 的水解, D 正确。

6.B 【解析】 NH_4Cl 溶液中存在 $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$, 为增大 NH_4^+ 浓度, 应加入酸或 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ①加入 HCl 虽然增大了 H^+ 的浓度, 但也增大了 Cl^- 的浓度, 不符合题目要求。

7.D 【解析】在 NH_4Cl 饱和溶液中, 由于 NH_4^+ 水解使该溶液呈酸性。① Mg 与溶液中 H^+ 反应, 促进 NH_4Cl 的水解, 溶液的 pH 增大; ②加入 NH_4Cl 固体, NH_4Cl 的浓度不变, 溶液的 pH 不变; ③加入 NH_4HCO_3 , 其溶液中水解生成的碳酸酸性比盐酸的弱, 因此等浓度的 NH_4HCO_3 溶液的 pH 较 NH_4Cl 溶液的大, 故往 NH_4Cl 饱和溶液中加入 NH_4HCO_3 会使该溶液的 pH 增大; ④加入 H_2O 虽促进 NH_4^+ 的水解, 但溶液中 $c(\text{H}^+)$ 减小, pH 增大; ⑤久置氯水显酸性, 且酸性强于 NH_4Cl 溶液, 所以加入后溶液的 pH 减小; ⑥ Cu 对 NH_4Cl 的水解无影响, 溶液的 pH 不变。

8.A 【解析】醋酸钠溶液中醋酸根离子水解促进水的电离, 醋酸是酸, 抑制水的电离; 等浓度等体积混合后, 溶液中醋酸电离程度大于醋酸根离子水解程度, 溶液显酸性, 醋酸根浓度最大。

9.C 【解析】 Na_2S 溶液中存在水解平衡: $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{HS}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + \text{OH}^-$; ①盐酸电离的 H^+ 消耗 OH^- , 水解平衡正向移动, 硫离子浓度减小, 比值增大, 故错误; ②适量的 NaOH 溶液, 水解平衡逆向移动, 但钠离子增大比硫离子增大得多, 比值增大, 故错误; ③适量的 KOH 溶液, 水解平衡逆向移动, 比值减小, 故正确; ④适量的 K_2S 固体, 硫离子浓度增大, 比值减小, 故正确; 综上所述, ③④符合题意。故选 C。

10.D 【解析】对于水解平衡: $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$, 升温, 平衡右移, $c(\text{CO}_3^{2-})$ 减小, 水的电离程度增大, K_w 变大, 溶液的碱性增强。故选 D。

11.A 【解析】 $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$ 。加入 NH_4NO_3 , NH_4^+ 水解: $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$, H^+ 和 OH^- 反应, 使平衡右移, CH_3COO^- 浓度减小, 促进水解; 加入 Na_2SO_3 , $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_3^- + \text{OH}^-$, 水解产生 OH^- , 使平衡左移, CH_3COO^- 浓度增大, 抑制水解; 加入 FeCl_3 固体,

Fe^{3+} 水解: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$, 影响同 NH_4^+ , 使 CH_3COO^- 浓度减小, 促进水解。故选 A。

12. $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ 吸热

- (1) 右
- (2) 增大 减小
- (3) 增大 左
- (4) 右
- (5) 左

【解析】 FeCl_3 为强酸弱碱盐, Fe^{3+} 水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 H^+ ; 盐类的水解均为吸热反应。

(1) 升温促进水解, 平衡向右移动。

(2) 加水稀释能促进水解, H^+ 的物质的量增大, 但 H^+ 浓度减小。

(3) 加入盐酸, 增大 H^+ 浓度, 平衡向左移动。

(4) Na_2CO_3 能消耗溶液中的 H^+ , 促使平衡向右移动。

(5) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 为强酸弱碱盐, 水解, 溶液呈酸性, 而 FeCl_3 水解, 溶液也呈酸性, 即加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 抑制 FeCl_3 的水解, 平衡向左移动。

能力提升

13. C **【解析】**溶液中含有硝酸根离子和氢离子, 所以含有硝酸, 硝酸具有强氧化性能把亚铁离子氧化成铁离子, 铁离子显棕黄色。

14. C **【解析】**酸根离子越弱越水解, 因此三种溶液 pH 的大小顺序应是③>①>②; 若将三种溶液稀释相同倍数, 由于 Na_2CO_3 溶液和 CH_3COONa 溶液中存在水解平衡, 随着水的加入弱酸根离子会水解, 产生少量的 OH^- , 因此 pH 变化最大的应是③; D 项, 要使 3 种溶液的 pH 均为 9, 需要浓度最大的是产生氢氧根离子最难的, 也就是水解程度最小的, 因为醋酸酸性大于碳酸, 所以醋酸钠水解程度最小, D 错误; 正确的顺序应为②>①>③; C 正确, 是因为加盐酸之前①②③均显碱性, 而加入盐酸后由于②有 CH_3COOH 生成而显酸性, ①生成 NaHCO_3 和 NaCl , 溶液呈碱性, ③恰好完全反应生成 NaCl 溶液呈中性, 所以 pH 最大的是①。

15. A **【解析】**溶液中存在碳酸根的水解平衡 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$ 和水的电离平衡 $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$; 图中显示温度升高, 溶液的碱性先增强后减弱, 水的电离是吸热过程, 纯水中温度升高 pH 会降低, 碳酸钠溶液中温度升高 pH 有增大的过程, 说明水解受到促进, 即水解为吸热过程; 后 pH 下降, 说明温度升高水电离出更多的氢氧根抑制了碳酸根的水解, 据此分析作答。根据分析可知水解是吸热过程, 温度越高, 水解程度越大, A 错误; 随温度升高, 此时促进盐类水解, 对水的电离也起到促进作用, 水电离出的氢氧根离子浓度抑制水解平衡, 导致溶液 pH 减小, 因此水的电离平衡也对 pH 产生影响, B 正确; a→b 段说明升温促进水解, 氢氧根离子浓度增大, 碱性增大, 溶液 pH 增大, 图像符合, C 正确; 根据分析可知水解是吸热过程, D 正确。

16. 10 **【解析】** $K_h = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{CO}_3^{2-})} = 2 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 又 $c(\text{HCO}_3^-) : c(\text{CO}_3^{2-}) = 2 : 1$, 则

$c(\text{OH}^-) = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 结合 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$, 可得 $c(\text{H}^+) = 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 故溶液的 pH 为 10。

17. D **【解析】**A 项, H^+ 与 HSO_3^- 不共存; B 项, NO_3^- 在酸性条件下具有强氧化性, 可氧化 I^- , 不共存; C 项,

Fe^{3+} 与 AlO_2^- 相互促进强烈水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 不共存;D 项,为碱性,可共存。

18.C 【解析】将 1 mol SO_2 通入水中,溶液中存在二氧化硫和水化合为亚硫酸的化学平衡和亚硫酸的两级电离平衡,由物料守恒可知, H_2SO_3 、 HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 粒子数之和小于 N_A ,A 不正确;标准状况下,HF 是液体,故无法计算 22.4 L HF 的物质的量,也无法计算溶液中 HF 与 F^- 数目之和,B 不正确;将 1 mol NH_4NO_3 溶于稀氨水中使溶液呈中性,由电荷守恒可知,溶液中 NH_4^+ 数目为 N_A ,C 正确;25 °C 时,溶液的体积不确定,无法计算 $\text{pH}=13$ 的 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液中含有的氢氧根离子数目,D 不正确。

19.B 【解析】在 CH_3COONa 溶液中存在水解平衡 $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$ 。①加入少量 NaOH 固体, $c(\text{Na}^+)$ 增大, $c(\text{OH}^-)$ 增大,平衡左移, $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 也增大,但 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 增大的倍数比 $c(\text{Na}^+)$ 增大的倍数小,因此 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{Na}^+)}$ 减小;②加入 KOH 固体, $c(\text{OH}^-)$ 增大,平衡左移,所以 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{Na}^+)}$ 增大;③加入 CH_3COONa 固体,则相当于 CH_3COONa 稀溶液变为浓溶液,而根据“稀释促进水解”可知在浓溶液中, $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{Na}^+)}$ 增大;④加入 NaHSO_4 固体促进了水解,使 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 减小, $c(\text{Na}^+)$ 增大,则 $\frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{Na}^+)}$ 减小。

20.D 【解析】由于 CH_3COONa 的 pH 小于 NaClO 的 pH ,说明 ClO^- 的水解程度大,等浓度的 CH_3COOH 和 HClO , HClO 的酸性弱, pH 大,A 错误;碳酸根离子分两步水解: $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$,碳酸氢根离子既电离又水解: $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$, Na_2CO_3 和 NaHCO_3 溶液中离子种类相同,B 错误;盐中弱离子水解程度越大,水的电离程度越大,①<②<④<③,C 错误; NaHCO_3 溶液中,根据物料守恒, $c(\text{Na}^+) = c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)$,D 正确。

21.(1) $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH}$

(2)BC

(3)CD

(4)7.2 0.35

(5)9

【解析】(1)醋酸钠水解生成醋酸和氢氧化钠,化学方程式为 $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH}$ 。

(2)A 项,钠离子不水解,所以其浓度始终不变,错误;B 项,醋酸根离子开始时水解速率最大,后逐渐减小,平衡时不再变化,正确;C 项,随着水解的逐渐进行, pH 逐渐增大,平衡时不再发生变化,正确;D 项, K_w 是温度常数,温度不变, K_w 不变,错误。

(3)A 项,加入冰醋酸,溶液中醋酸浓度增大,平衡左移,错误;B 项,加入纯碱固体,由于 CO_3^{2-} 的水解会产生 OH^- ,抑制 CH_3COO^- 的水解,平衡左移,错误;C 项,加入醋酸钙固体,溶液的醋酸根离子浓度增大,平衡右移,正确;D 项,加入氯化铵固体,铵根离子与水解生成的氢氧根离子结合成一水合氨,使溶液中氢氧根离子浓度减小,平衡右移,正确。

(4)由 $m=nM$ 得醋酸钠的质量为 7.175 g,由托盘天平的精确度知托盘天平称量的质量为 7.2 g;醋酸与氢氧化钠溶液等浓度等体积混合,混合后的溶液浓度减半为 $0.175 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,所以原来的浓度为 $0.35 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$(5) \text{醋酸根离子的水解反应的平衡常数 } K_h = \frac{K_w}{K_a(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{c^2(\text{OH}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}, \text{ 则 } \frac{10^{-14}}{1.75 \times 10^{-5}} = \frac{c^2(\text{OH}^-)}{0.175}, \text{ 得 } c(\text{OH}^-) = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{ pH} = 9.$$

22.(1)氯化铵与碳酸钾发生相互促进的水解反应生成氨气,会降低肥效

$$(2) \frac{a}{a-b} \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(3)①溶液的 pH ②30 探究温度对氯化铵水解平衡的影响 ③>

【解析】(1)氯化铵水解显酸性, K_2CO_3 水解显碱性,二者相互促进水解的反应,使铵态氮肥反应放出氨气,会降低肥效。

(2)混合液为中性,则 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$,在常温下 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;根据电荷守恒 $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{Cl}^-)$ 可知: $c(\text{NH}_4^+) = c(\text{Cl}^-)$,混合后溶液体积增大一倍,则溶液中 $c(\text{Cl}^-) = c(\text{NH}_4^+) = 0.5b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,所以混合液中 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 0.5a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - c(\text{NH}_4^+) = 0.5a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 0.5b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,所以常温下 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离常数 $K_b = \frac{a}{a-b} \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3)①由提供的药品和仪器可知, pH 计用于准确的测定溶液的 pH,所以待测物理量是溶液的 pH;②探究浓度对氯化铵水解平衡的影响,则温度必须相同,所以实验 II 的温度与实验 I 相同,即为 30°C ;实验 I 与实验 III 浓度相同,温度不同,所以实验 III 是探究温度对氯化铵水解平衡的影响;③水解反应属于吸热反应,温度越高促进水解,氢离子浓度增大,浓度越高,水解生成的氢离子浓度越大,则溶液的酸性越强,已知实验 IV 的浓度大、温度高,所以 IV 的 pH 小,即 $y > m$ 。

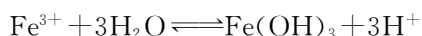
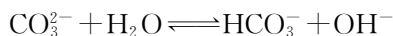
第3课时 盐类水解的应用

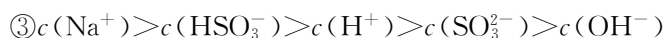
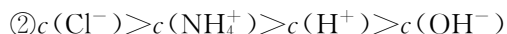
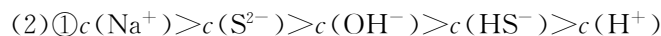
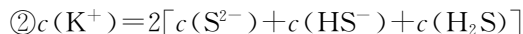
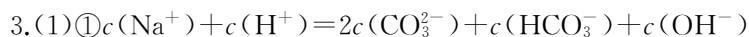
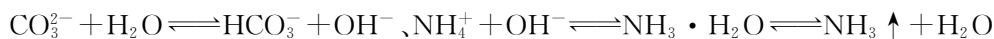
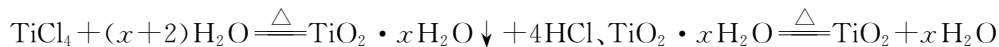
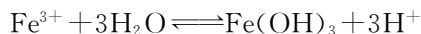
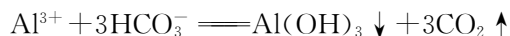
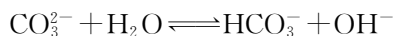
典型例题

【例1】D 【解析】① NH_4Cl 与 ZnCl_2 溶液水解显酸性,可作焊接金属过程中的除锈剂,符合题意;② NaHCO_3 与 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 两种溶液能发生相互促进的水解反应,产生二氧化碳,可作泡沫灭火剂,符合题意;③草木灰与铵态氮肥能发生相互促进的水解反应,不能混合施用,符合题意;④ Na_2CO_3 溶液水解显碱性,与玻璃中的 SiO_2 反应可生成 Na_2SiO_3 ,则盛放 Na_2CO_3 溶液的试剂瓶不能用磨口玻璃塞,符合题意;⑤强碱弱酸盐水解显碱性,强酸弱碱盐水解显酸性,比较 NH_4Cl 和 Na_2S 等盐溶液的酸碱性,与水解有关,符合题意。故选 D。

【例2】C 【解析】 NaHC_2O_4 溶液中同时存在 HC_2O_4^- 的电离平衡和水解平衡,由于溶液显酸性,即 HC_2O_4^- 的电离程度大于水解程度,溶液中 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$, A 正确;根据元素质量守恒可知 NaHC_2O_4 溶液中 Na^+ 的总量等于与草酸相关物质的总量, B 正确;等式左边全是阳离子,右边全是阴离子,根据电荷守恒存在 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-)$, C 错误;根据质子守恒可写出 $c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-)$,或结合电荷守恒和元素质量守恒均可得到 $c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-)$, D 正确。故选 C。

自主学习





基础夯实

4.D 【解析】A项,不恰当,因为 NaHCO_3 加热易分解;B、C项,也不恰当,因为 AlCl_3 与 FeCl_3 在加热蒸发的情况下,分别发生反应 $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ 、 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$,由于 HCl 挥发,水解趋于完全,最终得到的是 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。故选 D。

5.C 【解析】A项,纵坐标数值越高净水剂净水效果越好,根据图知在 $\text{pH}=7.5$ 左右时纵坐标数值即浊度去除率最大,所以三种净水剂在 pH 为 7.5 左右净水效果最佳,A 正确;B项,净水剂浊度去除率越高其 pH 值的范围越大越好,根据图知,明矾浊度去除率较好时 pH 值范围较小,所以三种净水剂中明矾的适用 pH 范围最窄,B 正确;C项,三种净水剂净水效果下降的原因也可能是酸性增强,胶体粒子与酸发生反应,使净水效果下降,碱性过强时, Fe^{3+} 、 Al^{3+} 直接和 OH^- 反应生成沉淀而不是胶体发生沉降,C 错误;D项, Fe^{3+} 、 Al^{3+} 都是带 3 个单位正电荷的离子,但 pH 值相同时, Fe^{3+} 比 Al^{3+} 浊度去除率高,可能是 Fe^{3+} 比 Al^{3+} 生成的胶粒数目多或吸附效果好,D 正确。

6.D 【解析】 CH_3COOH 是弱酸,浓度不同时其电离程度不同,所以浓度是 2 倍关系的两种醋酸溶液中 $c(\text{H}^+)$ 之比不是 2:1,A 项错误; H_2CO_3 是二元弱酸,分步电离且只发生部分电离,故 $c(\text{H}^+) : c(\text{CO}_3^{2-}) \neq 2:1$,B 项错误;因 CO_3^{2-} 发生水解被消耗,故 $c(\text{Na}^+) : c(\text{CO}_3^{2-}) > 2:1$,C 项错误;不管 CO_3^{2-} 、 CH_3COO^- 的水解程度如何,溶液中 $c(\text{Na}^+)$ 是一定的,前者 $c(\text{Na}^+) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,后者 $c(\text{Na}^+) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,故 D 正确。

7.C 【解析】常温下, CH_3COONa 与 CH_3COOH 的混合溶液的 $\text{pH} > 7$,说明溶液中 $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$,根据电荷守恒 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$,得: $c(\text{Na}^+) > c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$,只有 C 正确。

8.A 【解析】A项,①→③的升温过程中,红色略加深,说明溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 略有增大,但升高温度促进水的电离,水的离子积常数增加,使得溶液 pH 略微下降,A 错误,符合题意;B项, NaHCO_3 溶液显碱性,是溶液中 HCO_3^- 发生水解反应的缘故,其水解反应方程式为 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$,B 正确,不选;C项,⑤和①的温度相同,但⑤比① pH 大,可能是由于 NaHCO_3 分解生成 Na_2CO_3 , Na_2CO_3 的水解程度大于 NaHCO_3 的水解程度的缘故,C 正确,不选;D项,①→③的过程中,溶液温度升高,促进 HCO_3^- 水解,溶液的碱性增强,D 正确,不选。

9.C 【解析】在溶液中 Al^{3+} 与 S^{2-} 反应生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 H_2S ;加热蒸发 K_2SO_3 溶液时, K_2SO_3 易被氧化为

K_2SO_4 ;直接加热 $MgCl_2$ 溶液会生成 $Mg(OH)_2$ 和 HCl , HCl 挥发,得到的固体为 $Mg(OH)_2$ 。

10.D 【解析】由 $NaHY$ 在水溶液中, HY^- 的电离程度小于 HY^- 的水解程度可判断 H_2Y 为二元弱酸,其电离应分步进行,A 错误;虽然 HY^- 以水解为主,但毕竟水解是微弱的,即溶液中 $c(HY^-) > c(Y^{2-})$,B 错误; HY^- 的水解离子方程式应为 $HY^- + H_2O \rightleftharpoons H_2Y + OH^-$,C 错误;该溶液因水解显碱性,即 $c(OH^-) > c(H^+)$,且溶液中 $c(Na^+) > c(HY^-)$,D 正确。故选 D。

11.D 【解析】 Na_2SO_3 溶液中 SO_3^{2-} 水解,且以第一步水解为主,则溶液中存在: $c(Na^+) > c(SO_3^{2-}) > c(HSO_3^-) > c(H_2SO_3)$,A 错误;已知 $NaHSO_3$ 溶液 $pH < 7$,说明 HSO_3^- 的电离程度大于水解程度,则该溶液中: $c(Na^+) > c(HSO_3^-) > c(SO_3^{2-}) > c(H_2SO_3)$,B 错误;当吸收液呈酸性时所得溶液不一定恰好是 $NaHSO_3$,因此溶液中 $c(Na^+) = c(SO_3^{2-}) + c(HSO_3^-) + c(H_2SO_3)$ 不一定满足,C 错误;当吸收液呈中性时, $c(H^+) = c(OH^-)$,根据电荷守恒 $c(Na^+) + c(H^+) = c(OH^-) + 2c(SO_3^{2-}) + c(HSO_3^-)$ 可知溶液中: $c(Na^+) = 2c(SO_3^{2-}) + c(HSO_3^-)$,D 正确。

12.(1) <

(2) =

(3) >

(4) >

【解析】(1)将 $0.2 \text{ mol} \cdot L^{-1} HA$ 溶液与 $0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1} NaOH$ 溶液等体积混合时,溶质为等物质的量的 HA 和 NaA ,由于 $c(Na^+) > c(A^-)$,说明 A^- 的水解能力大于 HA 的电离能力,使得 $c(HA) > c(A^-)$ 。

(2)由元素质量守恒及等体积混合后浓度减半可知, $c(HA) + c(A^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 。

(3)混合溶液中由于 NaA 的存在,促进水的电离,而 $0.2 \text{ mol} \cdot L^{-1} HA$ 溶液中水的电离受到抑制,因此前者由水电离产生的 $c(OH^-)$ 大于后者由水电离产生的 $c(H^+)$ 。

(4)如果取 $0.2 \text{ mol} \cdot L^{-1} HA$ 溶液与 $1 \text{ mol} \cdot L^{-1} NaOH$ 溶液等体积混合,溶质为等浓度的 HA 和 NaA ,混合溶液的 $pH < 7$,溶液呈酸性,说明 HA 的电离程度大于 NaA 的水解程度。

能力提升

13.B 【解析】B 实验①反应后溶液 $pH=9$,即 $c(OH^-) > c(H^+)$,溶质应是强碱弱酸盐 KA (HA 为弱酸),根据电荷守恒: $c(K^+) + c(H^+) = c(OH^-) + c(A^-)$ 可知,溶液中存在 $c(K^+) > c(A^-) > c(OH^-) > c(H^+)$,A 正确;根据溶液的 $pH=9$,由电荷守恒得 $c(OH^-) = c(K^+) + c(H^+) - c(A^-) = \frac{K_w}{1 \times 10^{-9}} \text{ mol} \cdot L^{-1}$,B 错误;实验②若两者等物质的量反应,溶液呈碱性,要使溶液呈中性,则 $x > 0.2$,由元素质量守恒得 $c(A^-) + c(HA) > \frac{0.2}{2} \text{ mol} \cdot L^{-1} = 0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$,C 正确;根据电荷守恒: $c(K^+) + c(H^+) = c(OH^-) + c(A^-)$,由于溶液显中性,即 $c(H^+) = c(OH^-)$,则 $c(K^+) = c(A^-)$,离子浓度大小顺序是 $c(K^+) = c(A^-) > c(H^+) = c(OH^-)$,D 正确。

14.B 【解析】根据电荷守恒,混合溶液中一定存在 $c(H^+) + c(M^+) = c(OH^-) + c(A^-)$,A 正确; pH 相等的 CH_3COONa 、 $NaOH$ 和 Na_2CO_3 三种溶液, $NaOH$ 呈碱性,浓度最小,根据越弱越水解,可知 $c(CH_3COONa) > c(Na_2CO_3)$,即三种溶液浓度: $c(CH_3COONa) > c(Na_2CO_3) > c(NaOH)$,B 错误;根据混合溶液的 $pH=4$,说明溶液中 CH_3COOH 的电离大于 CH_3COO^- 的水解,即溶液中 $c(CH_3COO^-) > c(Na^+) > c(H^+) > c(OH^-)$,C 正确; $NaHA$ 溶液 $pH=4$,说明溶液中 HA^- 的电离程度大于水解程度,

即 $c(\text{HA}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{A}^{2-}) > c(\text{H}_2\text{A})$, D 正确。

- 15.B 【解析】曲线上任意一点都应符合电荷守恒即 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$, A 正确; B 点溶液 $\text{pH}=7$, 若 $a=12.5$, 则两者恰好完全反应, 溶液的 pH 应大于 7, 要使溶液呈中性, a 应略大于 12.5, B 错误; 根据 C 点加入 25 mL CH_3COOH 溶液, 可知 $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2n(\text{NaOH})$, 根据元素质量守恒可知 C 点存在 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2c(\text{Na}^+) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, C 正确; 根据电离常数 $K_a = \frac{c(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$, 且 C 点 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) : c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 3 : 2$, 再结合 $\text{pH}=5$, $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 可求得 $K_a = 1.5 \times 10^{-5}$, D 正确。

- 16.(1) NH_4Cl 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ >

(2) = 不是 若盐酸体积为 25 mL 时, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 与 HCl 恰好完全反应, 生成 NH_4Cl 溶液呈酸性, 故盐酸体积略少于 25 mL

(3) 不会 溶液中离子所带电荷不守恒

(4) > <

【解析】(1) $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$, 盐酸不足时, 反应后溶液中的溶质为 NH_4Cl 和过量的 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 使溶液呈碱性。

(2) 溶液中的离子种类为: Cl^- 、 NH_4^+ 、 OH^- 、 H^+ , 若 $c(\text{Cl}^-) = c(\text{NH}_4^+)$ 时, 据电荷守恒可知: $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-)$ 推出 $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$ 。

(3) $c(\text{Cl}^-) > c(\text{NH}_4^+)$ 时, $c(\text{H}^+)$ 一定小于 $c(\text{OH}^-)$ 否则电荷不守恒。

(4) 盐酸过量时, 溶液呈酸性。

- 17.D 【解析】对于图像题目, 首先根据题目弄清图像的含义, 该图像中不存在 Na^+ 的浓度, 从图像上可看出各粒子的浓度的大小关系, 然后再结合题目所给信息对溶液中的粒子浓度大致排序, 与图像中的粒子对照, 结合选项进行分析判断。尤其是单选题目, 取向相同的 2 个答案肯定不是本题的答案, 如本题中 A 与 B 选项, HA 是强酸, 则溶液的 pH 一定等于 7, 单选题目不可能存在 2 个答案, 所以答案一定在 C、D 中。A 项, $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 一元酸 HA 与等浓度的 NaOH 溶液等体积混合后, 得到的溶液为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaA 溶液, 若 HA 为强酸, 则溶液为中性, 且 $c(\text{A}^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 与图不符, 所以 HA 为弱酸, A 错误; B 项, 根据 A 的分析, 可知该溶液的 $\text{pH} > 7$, B 错误; C 项, A^- 水解使溶液显碱性, 所以溶液中的粒子浓度的大小关系是 $c(\text{Na}^+) > c(\text{A}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{HA}) > c(\text{H}^+)$, 所以 X 是 OH^- , Y 是 HA, Z 表示 H^+ , C 错误; D 项, 根据元素守恒, 有 $c(\text{A}^-) + c(\text{HA}) = c(\text{Na}^+)$, D 正确。故选 D。

- 18.B 【解析】根据溶液中的电荷守恒, 由于 $\text{pH}=7$, 呈中性, 即 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$; 根据电荷守恒 $c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})$, D 错误; 将前两个等式融合得 $c(\text{NH}_4^+) = 2c(\text{SO}_4^{2-})$, A 错误, B 正确, C 错误。故选 B。

- 19.C 【解析】根据物料守恒, A 点到 C 点的过程中, $c(\text{HA}) + c(\text{A}^-) = c(\text{Na}^+)$, A 点 $c(\text{Na}^+) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 而 C 点 $c(\text{Na}^+) = 0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, A 错误; B 点时, 溶液中含有等物质的量的 HA、NaA 和 NaCl, 溶液的 pH 大于 7, 显碱性, 说明 HA 为弱酸, 则溶液中微粒浓度大小的关系: $c(\text{HA}) > c(\text{A}^-)$, B 错误; C 点溶液含有等物质的量的 HA 和 NaCl, 溶液显酸性, 根据电荷守恒: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{A}^-) + c(\text{Cl}^-)$, 根据物料守恒: $c(\text{Cl}^-) = c(\text{HA}) + c(\text{A}^-) = c(\text{Na}^+)$, 因此 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{HA}) + c(\text{OH}^-) + 2c(\text{A}^-)$, C 正确; 由图可知, B 点为等浓度的 HA、NaA 混合溶液, 溶液显碱性, 说明 HA 的电

离程度小于 A^- 的水解程度, D 错误。

20. D 【解析】A 项, 任何溶液中均存在电荷守恒, 则在 $pH=10.3$ 时, 溶液中存在 $c(Na^+) + c(H^+) = c(HCO_3^-) + 2c(CO_3^{2-}) + c(OH^-) + c(Cl^-)$, A 正确; B 项, 由图可知, 在 $pH=8.3$ 时, 该溶液为 $NaHCO_3$ 和 $NaCl$ 的混合溶液, 根据物料守恒可得 $c(HCO_3^-) + c(CO_3^{2-}) + c(H_2CO_3) = \frac{0.1000}{V} < 0.1000 \text{ mol} \cdot L^{-1}$, B 正确; C 项, 在 $pH=6.3$ 时, 溶液中存在 $NaHCO_3$ 、 $NaCl$ 和碳酸, 该溶液显酸性, 则 $c(H^+) > c(OH^-)$, 根据化学反应: $Na_2CO_3 + HCl = NaCl + NaHCO_3$ 、 $NaHCO_3 + HCl = NaCl + H_2CO_3$, 所以离子浓度大小关系为 $c(Na^+) > c(Cl^-) > c(HCO_3^-) > c(H^+) > c(OH^-)$, C 正确; D 项, $V_1 : V_2 = 1 : 2$ 时, 混合后的溶液是等物质的量浓度的 Na_2CO_3 、 $NaHCO_3$ 、 $NaCl$ 的混合溶液, Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 是强碱弱酸盐, 水解导致溶液显碱性, CO_3^{2-} 的水解程度大于 HCO_3^- 的水解程度, 则溶液中 $c(HCO_3^-) > c(CO_3^{2-})$, 由于水解程度是微弱的, 所以 $c(HCO_3^-) > c(CO_3^{2-}) > c(OH^-) > c(H^+)$, D 错误。

21. (1) ①先增大后减小 ② CH_3COONa 、 CH_3COOH $pH=7$ $c(Na^+) > c(CH_3COO^-) > c(OH^-) > c(H^+)$ CH_3COONa 、 $NaOH$

(2) ①强于 ② $>$

(3) ①取少量 CH_3COONa 晶体, 加蒸馏水溶解, 测得溶液 $pH > 7$ 或滴入酚酞试液, 溶液变红色(其他方法只要合理均可)

② $K_h(CH_3COO^-) = \frac{K_w}{K_a} \approx 5.56 \times 10^{-10} < K_a = 1.8 \times 10^{-5}$, 溶液显酸性

【解析】(1) ①在滴加 $NaOH$ 溶液的过程中, 酸溶液逐渐变成含有弱酸根离子的盐溶液, 促进水的电离, 当 $NaOH$ 过量时, 碱又抑制水的电离, 所以水的电离程度先增大后减小。② A 项, 根据离子浓度关系 $c(CH_3COO^-) > c(Na^+) > c(H^+) > c(OH^-)$ 和 $pH < 7$ 知, 溶液显酸性, 因此溶液为 CH_3COONa 、 CH_3COOH 的混合物; B 项, 因 CH_3COONa 、 CH_3COOH 的混合溶液中 $c(Na^+) = c(CH_3COO^-)$, 根据电荷守恒知, $c(H^+) = c(OH^-)$, 所以 $pH=7$; C 项, CH_3COONa 溶液中因 $CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$, 所以离子浓度大小关系为 $c(Na^+) > c(CH_3COO^-) > c(OH^-) > c(H^+)$; D 项, $c(Na^+) > c(OH^-) > c(CH_3COO^-) > c(H^+)$ 且 $pH > 7$, 可知溶质为 CH_3COONa 和 $NaOH$ 。

(2) ①已知, 滴定前 $0.100 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 的醋酸溶液的 pH 大于 1, 所以 $pH=1$ 的曲线为 HA , HA 为强酸, 其酸性比醋酸强; ② $V(NaOH)=20.00 \text{ mL}$ 时恰好生成醋酸钠, 溶液呈碱性, 若 $pH=7$, 则加入 $NaOH$ 溶液的体积稍小于 20.00 mL , 两份溶液中 $c(A^-) > c(CH_3COO^-)$ 。

(3) ①证明醋酸是弱酸的实验: 取少量 CH_3COONa 晶体, 加蒸馏水溶解, 测得溶液 $pH > 7$ 或滴入酚酞试液, 溶液变红色; ②根据 $CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$, $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$, $K_w = 1 \times 10^{-14}$ 得,

$K_h(CH_3COO^-) = \frac{K_w}{K_a} \approx 5.56 \times 10^{-10} < K_a = 1.8 \times 10^{-5}$, CH_3COO^- 的水解程度小于 CH_3COOH 的电离程度, 溶液显酸性。

22. (1) ④ ②

(2) $>$ $c(Na^+) = c(CH_3COO^-) > c(H^+) = c(OH^-)$

(3) $<$ $NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + H^+$

(4) ② $>$ ① $>$ ③ ② $>$ ① = ③

(5) $<$

(6) <

【解析】(1)酸和碱会抑制水的电离, (H^+) 或 $c(\text{OH}^-)$ 越大, 水的电离程度越小。能水解的盐可促进水的电离, 故④中水的电离程度最大, ②中水的电离程度最小。

(2)若③和⑥等体积反应, 则恰好生成 CH_3COONa , 水解呈碱性, 现反应后呈中性, 则醋酸过量。由于溶液中 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$, 根据电荷守恒得 $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$, 由此可得溶液中离子浓度的大小关系。

(3)等体积的①、⑤混合, 恰好完全反应生成 NH_4Cl , NH_4^+ 水解呈酸性。

(4)由于起始时 $c(\text{H}^+)_{\text{②}} > c(\text{H}^+)_{\text{①}} > c(\text{H}^+)_{\text{③}}$, $c(\text{H}^+)$ 越大, 反应速率越快。由于酸提供的 H^+ 总量 $n(\text{H}^+)_{\text{②}} > n(\text{H}^+)_{\text{①}} = n(\text{H}^+)_{\text{③}}$, 由此可知产生 H_2 的总量关系为② > ① = ③。

(5)向相同体积的①、③溶液中分别加入相同浓度、相同体积的 CH_3COONa 溶液, 混合后, 溶液可以看成“分别向醋酸中加入等体积的①氯化钠和③醋酸钠”, 由于氯化钠溶液显中性, 而醋酸钠溶液显碱性, 所以充分混合后, 混合液的 pH 大小关系为① < ③。

(6)虽然加热能促使氨水的电离, 但仍不可能完全电离, 而且由于温度升高, NH_3 会挥发, 因此溶液的 pH: ⑤ < ⑥。

第四节 沉淀溶解平衡

第 1 课时 难溶电解质的沉淀溶解平衡

典型例题

【例1】B 【解析】A 项, 反应开始时, 各离子的浓度没有必然的关系; C 项, 沉淀溶解达到平衡时, 溶液中溶质的离子浓度保持不变, 但不一定相等; D 项, 沉淀溶解达到平衡时, 如果再加入难溶性的该沉淀物, 由于固体的浓度视为常数, 且溶液已达饱和, 故平衡不发生移动。

【例2】C 【解析】A 项, 由②可知, 电离出 S^{2-} 的能力: $\text{FeS} > \text{H}_2\text{S}$, 则 $\text{FeS} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} \uparrow + \text{Fe}^{2+}$, A 正确; B 项, 由②可知, Cu^{2+} 易结合 S^{2-} , 则 $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{CuS} \downarrow + 2\text{H}^+$, B 正确; C 项, 因溶解度 $\text{Zn}(\text{OH})_2 > \text{ZnS}$, 则 $\text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2\text{S} \uparrow$ 不能发生, 且 ZnS 不溶于水, C 错误; D 项, 由①可知, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 更难溶, 则碳酸氢镁与足量 NaOH 溶液反应生成碳酸钠、氢氧化镁、水, 离子反应为 $\text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$, D 正确。故选 C。

自主学习

1. 沉淀溶解 沉淀生成 逆、动、等、定、变

2.

正	不变	不变
正	增大	增大
逆	增大	减小
正	增大	减小
逆	减小	增大

3. 饱和 不再发生变化 溶度积常数 溶度积 $K_{\text{sp}} \quad c^m(\text{A}^{n+}) \cdot c^n(\text{B}^{m-})$

4. 温度 $Q \quad Q > K_{\text{sp}} \quad Q = K_{\text{sp}} \quad Q < K_{\text{sp}}$

基础夯实

- 5.B 【解析】 CaCO_3 溶于水达饱和,其物质的量浓度为 $5.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, CaCO_3 饱和溶液中 $c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{CO}_3^{2-}) = 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $K_{\text{sp}} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 2.5 \times 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
- 6.A 【解析】B、C、D 三项中的物质溶解度均随 pH 的减小而增大。
- 7.A 【解析】含 MgCO_3 固体的溶液中存在沉淀溶解平衡: $\text{MgCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ 。滴加少许浓盐酸, H^+ 与 CO_3^{2-} 反应,使平衡向右移动,则 $c(\text{Mg}^{2+})$ 和 $c(\text{H}^+)$ 增大, $c(\text{CO}_3^{2-})$ 减小,温度不变, $K_{\text{sp}}(\text{MgCO}_3)$ 不变, A 正确。
- 8.B 【解析】 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解度比较特殊,随温度的升高而减小,其他绝大多数物质都随温度升高溶解度增大(气体除外)。
- 9.C 【解析】析出沉淀时, AgCl 溶液中 $c(\text{Ag}^+) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{AgCl})}{c(\text{Cl}^-)} = \frac{1.56 \times 10^{-10}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.56 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
 AgBr 溶液中 $\frac{K_{\text{sp}}(\text{AgBr})}{c(\text{Br}^-)} = \frac{7.7 \times 10^{-13}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 7.7 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; Ag_2CrO_4 溶液中, $c(\text{Ag}^+) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)}{c(\text{CrO}_4^{2-})}} = \sqrt{\frac{9 \times 10^{-11}}{0.01}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 3 \times 10^{-4.5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Ag}^+)$ 越小越先生成沉淀,所以三种阴离子产生沉淀的先后顺序为 Br^- 、 Cl^- 、 CrO_4^{2-} 。
- 10.D 【解析】等体积混合后 $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 即溶液中 $c(\text{CO}_3^{2-}) = 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 根据 $K_{\text{sp}} = c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{Ca}^{2+}) = 2.8 \times 10^{-9}$ 可知, $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{2.8 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-4}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则原溶液中 CaCl_2 的最小浓度为混合溶液中 $c(\text{Ca}^{2+})$ 的 2 倍, 为 $2 \times 2.8 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 5.6 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。
- 11.A 【解析】弱酸、弱碱的电离过程是吸热过程,温度升高促进电离,则 K_a 、 K_b 均变大, A 正确; HCN 和 CH_3OOH 均为一元弱酸,电离常数越大,溶液的中 H^+ 越大,酸性越强,即浓度相同时,酸性: $\text{HCN} < \text{CH}_3\text{COOH}$, B 错误;溶解度越小越先沉淀,由于 BaSO_4 、 BaCO_3 结构相似,即溶解度越小,则溶度积越小,即 $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) < K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)$, C 错误;水解常数的大小只与温度有关, D 错误。故选 A。
- 12.(1) $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq})$ $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = c(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)$
 (2) 2.8×10^{-6}
 (3) $\frac{b^3}{a^2}$

【解析】(1) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 达到沉淀溶解平衡时,溶解与沉淀是可逆的过程,可表示为 $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq})$, 其中 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的溶度积可表示为 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = c(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)$ 。

(2) pH=3 时,溶液中 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 溶液中 $c(\text{Fe}^{3+}) = \frac{2.8 \times 10^{-39}}{(1 \times 10^{-11})^3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 2.8 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) $K = \frac{c^3(\text{Mg}^{2+})}{c^2(\text{Fe}^{3+})} = \frac{c^3(\text{Mg}^{2+}) \cdot c^6(\text{OH}^-)}{c^2(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^6(\text{OH}^-)} = \frac{b^3}{a^2}$ 。

能力提升

- 13.C 【解析】A 项,温度不变,硫化汞的 K_{sp} 不变,错误;B 项, A 点在沉淀溶解平衡曲线的下方,未达到饱和,错误;C 项, C 点对应溶液为饱和溶液,加入 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, Hg^{2+} 浓度增大, S^{2-} 浓度减小,正确;D 项,升高温度, $c(\text{S}^{2-})$ 与 $c(\text{Hg}^{2+})$ 的浓度应同时增大或者减小,错误。

14.C 【解析】向 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 浊液中加入少量 $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$, $c(\text{OH}^-)$ 减小, 平衡正向移动, 促进氢氧化镁的溶解, $c(\text{Mg}^{2+})$ 会增大, A 正确; 向 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 浊液中滴加 CuSO_4 溶液, 由于 $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]=1.8\times 10^{-11}>K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2]=2.2\times 10^{-20}$, 则沉淀将由白色氢氧化镁逐渐变为蓝色的氢氧化铜沉淀, B 正确; 加入少量水, K_{sp} 保持不变, $c(\text{Mg}^{2+})$ 、 $c(\text{OH}^-)$ 减小, 平衡正向移动, 促进氢氧化镁的溶解, C 错误; 向 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 浊液中加入少量 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$, 由于碳酸根水解呈碱性, 所以 $c(\text{OH}^-)$ 增大, 平衡逆向移动, 有固体析出, 则固体质量将增大, D 正确。

15.B 【解析】加入 NaCl 之前, $\text{pAg}=0$, 所以 $c(\text{AgNO}_3)=1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, A 错误; 由于 $c(\text{Ag}^+)=10^{-6}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 所以 Ag^+ 沉淀完全, $n(\text{NaCl})=n(\text{AgNO}_3)=0.01\text{ L}\times 1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}=0.01\text{ mol}$, 所以 $V(\text{NaCl})=100\text{ mL}$, B 正确, C 错误; 若把 NaCl 换成 NaI , 由于 $K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ 更小, 所以 $c(\text{Ag}^+)$ 更小, pAg 更大, D 错误。

16.(1)不饱和

(2)=

(3) $b>a>c$

【解析】(1)A 点没有达到平衡状态。

(2) K_{sp} 只与温度有关。

(3) $c(\text{SO}_4^{2-})$ 越大, 难溶电解质的溶解平衡逆向移动程度越大, Ag_2SO_4 的溶解程度越小。

17.B 【解析】B、C 两点金属阳离子的浓度相等, 设都为 x , $c(\text{OH}^-)_C=10^{-9.6}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{OH}^-)_B=10^{-12.7}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 则 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=x\cdot(10^{-12.7})^3$, $K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2]=x\cdot(10^{-9.6})^2$, 故 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]<K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2]$, A 正确; A 点到 B 点溶液的 pH 增大, 碱性增强, 而 NH_4Cl 溶解于水后溶液显酸性, B 错; 只要温度一定, K_{w} 就一定, C 正确; 溶度积曲线上的点代表的溶液都已饱和, 曲线左下方的点都不饱和, 曲线右上方的点都过饱和, $Q>K_{\text{sp}}$, 都会析出沉淀, D 正确。

18.B 【解析】 BaCO_3 与 BaSO_4 组成形式相似, 且 $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)>K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)$, 故 BaSO_4 比 BaCO_3 溶解度更小, A 正确; 钡餐为硫酸钡的悬浊液, 水中溶解的 BaSO_4 达到饱和, 此时 $c(\text{Ba}^{2+})=1.0\times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 饮用钡餐不会引起中毒, 故若误饮 $c(\text{Ba}^{2+})=1.0\times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液, 不会引起钡离子中毒, B 错误; 向同浓度的 Na_2SO_4 和 Na_2CO_3 混合溶液中滴加 BaCl_2 溶液, 由于 BaCO_3 与 BaSO_4 组成形式相似, 且 $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)>K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)$, 故 BaSO_4 开始沉淀时所需 Ba^{2+} 浓度更小, BaSO_4 先析出, C 正确; 在将 BaSO_4 固体溶于水所得的饱和溶液中, $Q=K_{\text{sp}}$, 则 $c(\text{SO}_4^{2-})=c(\text{Ba}^{2+})=\sqrt{K_{\text{sp}}}=\sqrt{1\times 10^{-10}}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}=1.0\times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, D 正确。

19.B 【解析】酚酞显红色的溶液呈碱性, 说明 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 在水中有一定的溶解度, 电离使溶液呈碱性, A 正确; 同浓度 NH_4Cl 溶液酸性比盐酸弱, 沉淀溶解的速率慢, B 错误; NH_4^+ 结合 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 溶液中的 OH^- , 促使 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀溶解, C 正确; 盐酸能够与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 电离出的 OH^- 发生中和反应, 促使 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的溶解, D 正确。

20.B 【解析】温度一定时, $K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4)$ 不变, A 错误; 由图可知, 313 K 时 $c_{\text{平}}(\text{Sr}^{2+})\cdot c_{\text{平}}(\text{SO}_4^{2-})$ 最大, 即 K_{sp} 最大, B 正确; 283 K 时, A 点溶液的 $c_{\text{平}}(\text{Sr}^{2+})$ 小于平衡时的 $c_{\text{平}}(\text{Sr}^{2+})$, 故溶液未达到饱和, C 错误; 283 K 时的饱和 SrSO_4 溶液升温到 363 K 时, 有固体析出, 溶液仍为饱和溶液, D 错误。

21.(1)① $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ②B

(2)① 3.57×10^{-4} ② $2.8\times 10^{-12}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

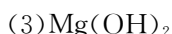
(3)不含有

【解析】(1)①因为 $K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2] > K_{sp}[\text{Cu}(\text{OH})_2]$, 生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 所需要的 $c(\text{OH}^-)$ 小于生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 所需要的 $c(\text{OH}^-)$, 因此先生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉淀。②若要使 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 同时生成沉淀, 则应先加入氨水。

$$(2) \textcircled{1} K = \frac{c^3(\text{H}^+)}{c(\text{Fe}^{3+})} = \frac{c^3(\text{H}^+) \cdot c^3(\text{OH}^-)}{c(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)} = \frac{K_w^3}{K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]} = \frac{(1.0 \times 10^{-14})^3}{2.8 \times 10^{-39}} \approx 3.57 \times 10^{-4}。 \textcircled{2} \text{pH}=5 \text{ 时}, c(\text{Fe}^{3+}) = \frac{2.8 \times 10^{-39}}{(10^{-9})^3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 2.8 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}。$$

$$(3) \text{Fe}^{3+} \text{ 恰好完全沉淀时}, c^3(\text{OH}^-) = \frac{2.8 \times 10^{-39}}{1.0 \times 10^{-5}} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3} = 2.8 \times 10^{-34} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}, c(\text{Al}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-) = 0.2 \times 2.8 \times 10^{-34} \text{ mol}^4 \cdot \text{L}^{-4} = 5.6 \times 10^{-35} < K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3], \text{ 所以没有生成 } \text{Al}(\text{OH})_3 \text{ 沉淀}。$$

22.(1) SiO_2



(4)加热浓缩 过滤



(6)24.1

【解析】(1)钡矿粉中 SiO_2 与盐酸不反应, 故滤渣 A 为 SiO_2 。

(2)滤液 1 加 H_2O_2 的作用是将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 反应的离子方程式为 $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

(3)根据已知信息及流程图可知, 加 H_2O_2 、调 pH, 得到的滤渣 B 为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 加 20% NaOH 溶液调节 pH=12.5, 得到的滤渣 C 为 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。

(4)滤液 3 加盐酸酸化后得到 BaCl_2 和 HCl 的混合溶液, 由该溶液得到 $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的实验操作为加热浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、真空干燥等。

$$(5) \text{根据 } K_{sp}(\text{BaF}_2) = c(\text{Ba}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-), \text{ 当 } \text{Ba}^{2+} \text{ 完全沉淀时, 至少需要的 } c(\text{F}^-) = \sqrt{\frac{K_{sp}(\text{BaF}_2)}{c(\text{Ba}^{2+})}} = \sqrt{\frac{1.84 \times 10^{-7}}{10^{-5}}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.136 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}。$$

$$(6) K_{sp}(\text{BaSO}_4) < K_{sp}(\text{BaCO}_3), \text{ 则加入氯化钡溶液时, } \text{SO}_4^{2-} \text{ 先沉淀, 当 } \text{BaCO}_3 \text{ 开始沉淀时, 溶液中 } \frac{c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{K_{sp}(\text{BaCO}_3)}{K_{sp}(\text{BaSO}_4)} = \frac{2.58 \times 10^{-9}}{1.07 \times 10^{-10}} \approx 24.1。$$

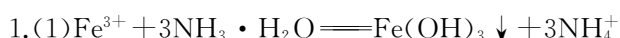
第 2 课时 沉淀溶解平衡的应用

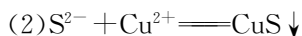
典型例题

【例1】A 【解析】①⑤是水解平衡原理, 不涉及沉淀溶解平衡的问题; ②产生 BaSO_4 沉淀, ③是沉淀的生成和溶解, ④是 BaCO_3 沉淀的溶解。

【例2】B 【解析】 ZnS 和 CuS 阴阳离子个数比为 1:1, 且 $K_{sp}(\text{ZnS}) > K_{sp}(\text{CuS})$, 可得 ZnS 溶解度大于 CuS , 因此在 ZnS 饱和溶液中加 CuSO_4 会使 ZnS 沉淀转化生成黑色 CuS 。

自主学习





2. 移去 沉淀溶解 不溶解 溶解 溶解

3. 移动 溶解度小 溶解度更小 越大 白色 浅黄色 黄色 黑色

基础夯实

4. B 【解析】组成结构相似的难溶电解质, K_{sp} 越小越易形成沉淀。硫化铜的溶度积最小, Cu^{2+} 最先沉淀, 然后是 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 。

5. C 【解析】本题考查了沉淀的转化, MnS 与 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 生成溶解度更小的硫化物。故选 C。

6. B 【解析】加入的物质应该能消耗溶液中的 H^+ 而促使 Fe^{3+} 成为沉淀, 过滤除去, 但同时要注意不能引入新的杂质离子, 故选 B。

7. D 【解析】在同浓度的 $NaCl$ 和 NaI 溶液中 $c(Cl^-) = c(I^-)$, 但滴入几滴 $AgNO_3$ 溶液后, 由于 $K_{sp}(AgI) < K_{sp}(AgCl)$, 所以生成的沉淀以 AgI 为主, 且先生成沉淀 AgI 。故选 D。

8. C 【解析】 K_{sp} 只与温度有关, A 错误; 若溶液中 $c(Ag^+) \cdot c(I^-) < K_{sp}(AgI)$ 时, 则不会产生 AgI 沉淀, B 错误; 因 $K_{sp}(AgCl) > K_{sp}(AgI)$, 故向 $AgCl$ 的悬浊液中加入 KI 溶液时, 白色沉淀 $AgCl$ 将转化为黄色沉淀 AgI , C 正确; 向 $AgCl$ 的饱和溶液中加入 $NaCl$ 晶体时有 $AgCl$ 析出, 使溶液中 $c(Ag^+) < c(Cl^-)$, D 错误。

9. C 【解析】就溶解度而言, 反应向着生成溶解度更小的方向进行; 就电离而言, 反应向着难电离的方向进行。故选 C。

10. B 【解析】注意“ $0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1} AgNO_3$ 溶液和 $0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1} NaCl$ 溶液等体积混合”, 即二者恰好完全反应, 是分析、解答本题的关键。A 项, 向二者恰好反应后的滤液 b 中滴加 $0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1} KI$ 溶液出现碘化银沉淀, 则说明浊液 a 中存在沉淀溶解平衡, 正确。B 项, 向滤液 b 中加入 $0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1} KI$ 溶液, 出现浑浊, 则说明 b 中含有 Ag^+ , 错误。C 项, ③中颜色变化是沉淀进行了转化, 即 $AgCl$ 转化为 AgI , 正确。D 项, 因 $AgCl$ 沉淀能转化为 AgI 沉淀, 所以 $K_{sp}(AgI) < K_{sp}(AgCl)$, AgI 更难溶, 正确。

11. C 【解析】由表中数据可知, AgI 饱和溶液中 $c(Ag^+) = \sqrt{8.5 \times 10^{-17}} = 9.2 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot L^{-1}$, Ag_2CrO_4 饱和溶液中: $c(Ag^+) = \sqrt[3]{2 \times 2 \times 10^{-12}} = 1.59 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot L^{-1} > 9.2 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot L^{-1}$, 即 Ag_2CrO_4 和 AgI 饱和溶液中, $c(Ag^+)$ 前者大于后者, A 错误; 浓度均为 $2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 的 $NaCl$ 和 $AgNO_3$ 溶液等体积混合时瞬间 $c(Ag^+) = c(Cl^-) = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1} = 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1}$, 此时 $Q = 10^{-5} \times 10^{-5} = 10^{-10} < 1.8 \times 10^{-10} = K_{sp}(AgCl)$, 所以不能产生白色沉淀, B 错误; AgI 溶度积小于 $AgCl$, 溶解度小的沉淀转化为溶解度更小的沉淀容易实现, 所以向 $AgCl$ 悬浊液中加入 KI 溶液, 沉淀将由白色转化为黄色 AgI , C 正确; 向浓度均为 $0.01 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 的 KCl 与 K_2CrO_4 混合溶液中慢慢滴入 $AgNO_3$ 溶液, 产生 $AgCl$ 时最小的 $c(Ag^+) = \frac{K_{sp}(AgCl)}{c(Cl^-)} = \frac{1.8 \times 10^{-10}}{0.01} \text{ mol} \cdot L^{-1} = 1.8 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot L^{-1}$, 产生 Ag_2CrO_4 时最小的 $c(Ag^+) = \sqrt{\frac{K_{sp}(Ag_2CrO_4)}{c(CrO_4^{2-})}} = \sqrt{\frac{2.0 \times 10^{-12}}{0.01}} \text{ mol} \cdot L^{-1} = 1.41 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1} > 1.8 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot L^{-1}$, 所以随着 $AgNO_3$ 溶液的慢慢滴入, 先生成白色 $AgCl$ 沉淀, D 错误。

12. (1) CuO [或 $Cu(OH)_2$ 或 $Cu_2(OH)_2CO_3$] $2.6 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot L^{-1}$

(2) 蒸发浓缩 冷却结晶

【解析】(1)加入 CuO 、 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 或 $\text{Cu}(\text{OH})_2$, 与 Fe^{3+} 水解产生的 H^+ 反应, 使 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀。当 $\text{pH}=4$ 时, 由 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的 K_{sp} 计算 $c(\text{Fe}^{3+})$ 。

能力提升

13.C 【解析】A 项, $\text{pH}=13$ 的溶液中, $c(\text{H}^+)=10^{-13} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, A 正确; B 项, 加入 Na_2CO_3 固体, 当 $c(\text{Mg}^{2+}) \times c(\text{CO}_3^{2-}) > K_{\text{sp}}(\text{MgCO}_3)$ 时, 生成沉淀, B 正确; C 项, 因为向 MgCl_2 溶液中加入 NaOH 溶液后混合溶液的 $\text{pH}=13$, 所以所加 NaOH 溶液 $\text{pH} > 13$, C 错误; D 项, 溶液中的 $c(\text{Mg}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}}{c^2(\text{OH}^-)} = \frac{5.6 \times 10^{-12}}{10^{-2}} = 5.6 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, D 正确。

14.A 【解析】由题图可知, $O \sim A$ 段生成的蓝色沉淀为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$, $A \sim B$ 段生成的沉淀为 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $V_2 = 3V_1$, 说明 $n[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 2n[\text{Cu}(\text{OH})_2]$, 故原溶液中 MgCl_2 和 CuCl_2 的物质的量浓度不相等, A 正确; CuCl_2 的物质的量浓度小且 Cu^{2+} 先沉淀, 说明 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 的 K_{sp} 比 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的 K_{sp} 小, B 错误; A 点溶液中溶质为 NaCl 和 MgCl_2 , B 点溶液中溶质为 NaCl , C 点溶液中溶质为 NaCl 和 NaOH , 镁离子水解促进水的电离, NaOH 抑制水的电离, NaCl 对水的电离无影响, 故水的电离程度: $A > B > C$, C 错误; 若要生成沉淀, 则必须满足 $Q > K_{\text{sp}}$, 题中未给出相关离子的浓度, 故无法判断是否生成沉淀, D 错误。

15.A 【解析】A 项, 一定温度下, BaSO_4 在水中存在溶解平衡: $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, 加入 BaCl_2 固体, $c(\text{Ba}^{2+})$ 增加, BaSO_4 的溶解平衡逆向移动, 使 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 减小, 但 B、D 两点的 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 相等, 所以不可能由 D 点变到 B 点, A 正确; B 项, 蒸发后溶液仍然为饱和溶液, $c(\text{Ba}^{2+})$ 和 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 不变, 而 A 点变到 C 点时, $c(\text{Ba}^{2+})$ 减小、 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 增大, B 错误; C 项, 沉淀溶解为吸热, 降低温度, 平衡逆向进行, 离子浓度降低, K_{sp} 减小, 使溶液由 E 点沿 EO 向 O 点方向移动, C 错误; D 项, A、C 点是相同温度下的饱和溶液, 其对应的溶度积 K_{sp} 相同, D 错误。

16.(1) Cu^{2+}

(2) B

(3) 不能 Co^{2+} 和 Ni^{2+} 沉淀的 pH 范围相差太小

(4) $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^- + 4\text{H}_2\text{O}$

【解析】(1) 据图知 $\text{pH}=4 \sim 5$ 时, Cu^{2+} 开始沉淀为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 因此 $\text{pH}=3$ 时, 铜元素主要以 Cu^{2+} 形式存在。

(2) 若要除去 CuCl_2 溶液中的 Fe^{3+} , 即要保证 Fe^{3+} 完全沉淀, 而 Cu^{2+} 还未沉淀, 据图知 pH 应为 4 左右。

(3) 据图知, Co^{2+} 和 Ni^{2+} 沉淀的 pH 范围相差太小, 无法通过调节溶液 pH 的方法除去 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 溶液中的 Co^{2+} 。

(4) 据已知条件结合原子守恒即可写出离子方程式: $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^- + 4\text{H}_2\text{O}$

17.C 【解析】A 项, 根据图像可知, $c(\text{Ag}^+) = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{CrO}_4^{2-}) = 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 那么 $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [c(\text{Ag}^+)]^2 \cdot c(\text{CrO}_4^{2-}) = 10^{-12}$ A 错误; B 项, 在饱和 Ag_2CrO_4 溶液中加入 K_2CrO_4 , 点依然在曲线上, 无影响, B 错误; C 项, 根据溶度积计算, $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [c(\text{Ag}^+)]^2 \cdot c(\text{CrO}_4^{2-}) = 10^{-12}$, $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = 2 \times 10^{-10}$, 滴定 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 K_2CrO_4 时, $c(\text{CrO}_4^{2-}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Ag}^+) = \sqrt{\frac{10^{-12}}{10^{-2}}} = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 滴定 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 时, $c(\text{Cl}^-) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Ag}^+) =$

$\frac{2 \times 10^{-10}}{0.01} = 2 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算出的银离子浓度越小, 越容易沉淀, 故 AgCl 先析出, C 正确; D 项,

$$S(\text{AgCl}) = \sqrt{K_{\text{sp}}} = \sqrt{2 \times 10^{-10}} = 1.41 \times 10^{-5}, \text{ 而 } S(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = \sqrt[3]{\frac{10^{-12}}{4}} = 1.259 \ 9 \times 10^{-4}, S(\text{AgCl}) >$$

$S(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$, D 错误, 故选 C。

- 18.D 【解析】CuCl 的饱和溶液中存在溶解平衡: $\text{CuCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$, 加入少量 NaCl, $c(\text{Cl}^-)$ 增大, 平衡逆向移动, $c(\text{Cu}^+)$ 减小, 但 $c(\text{Cl}^-)$ 增大, A 错误; 图中横纵坐标之和 $\text{pCu} + \text{pX} = [-\lg c(\text{Cu}^+)] + [-\lg c(\text{X}^-)] = -\lg[c(\text{Cu}^+) \cdot c(\text{X}^-)] = -\lg K_{\text{sp}}(\text{CuX})$, 故横纵坐标之和越小, K_{sp} 越大, 因此 x 代表溶解度最大的 CuCl 曲线, P 点 $c(\text{Cu}^+) = c(\text{Cl}^-)$ 或根据 P 点横纵坐标均为 3, $c(\text{Cu}^+) = c(\text{X}^-) = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算出 $K_{\text{sp}}(\text{CuX}) = 10^{-6}$, B 错误; y 代表 CuBr 曲线, 增大 M 点的 $c(\text{Br}^-)$, $\text{CuBr}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq})$, 平衡逆向移动, $c(\text{Cu}^+)$ 减小, 但 $c(\text{Br}^-)$ 增大, 而 M 点向 N 点移动, pCu 减小, pBr 增大, 则 $c(\text{Cu}^+)$ 增大, $c(\text{Br}^-)$ 减小, C 错误; 该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{Br}^-)}{c(\text{I}^-)} = \frac{c(\text{Cu}^+) \cdot c(\text{Br}^-)}{c(\text{Cu}^+) \cdot c(\text{I}^-)} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CuBr})}{K_{\text{sp}}(\text{CuI})} = \frac{b \times 10^{-9}}{c \times 10^{-12}} = \frac{b}{c} \times 10^3$, 故平衡常数的数量级为 10^3 或 10^2 , D 正确。

- 19.D 【解析】根据信息, 白色沉淀是 AgSCN, 存在溶解平衡: $\text{AgSCN}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{SCN}^-(\text{aq})$, A 正确; 取上层清液, 加入 Fe^{3+} 出现红色溶液, 说明生成 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$, 则溶液中含有 SCN^- , B 正确; AgI 是黄色沉淀, 现象是黄色沉淀说明有 AgI 产生, C 正确; ①中反应 Ag^+ 有剩余, 加入 KI 溶液, 使 $c(\text{I}^-) \cdot c(\text{Ag}^+) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ 而有黄色沉淀, 并不是沉淀 AgSCN 转化为 AgI, 因此不能说明 AgI 比 AgSCN 更难溶, D 错误。
- 20.(1) ① $c^3(\text{Cd}^{2+})c^2(\text{PO}_4^{3-})$ ② $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ③ $1.0 \times 10^{-19} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 是
(2) Tl^{3+} 1.68×10^{-26}

【解析】(1) ①磷酸镉沉淀溶解平衡方程式为: $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) \rightleftharpoons 3\text{Cd}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-}$, 则其沉淀溶解平衡常数表达式为 $K_{\text{sp}} = c^3(\text{Cd}^{2+}) \cdot c^2(\text{PO}_4^{3-})$; ②当 CdCO_3 达到沉淀溶解平衡时有 $\text{CdCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$, 则其平衡时摩尔溶解度为 $S = \sqrt{K_{\text{sp}}(\text{CdCO}_3)} = 2 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 当 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 达到沉淀溶解平衡时有 $\text{Cd}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^-$, 则其平衡时摩尔溶解度为 $S = \sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Cd}(\text{OH})_2]}{4}} = 2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 可见两种物质中溶解度更大的是 $\text{Cd}(\text{OH})_2$; ③向含镉废水中加入 Na_2S , 当 S^{2-} 浓度达到 $7.9 \times 10^{-8} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 溶液中 $c(\text{Cd}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CdS})}{c(\text{S}^{2-})} = 1.0 \times 10^{-19} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 即水体中的 Cd^{2+} 质量摩尔浓度为 $1.0 \times 10^{-19} \times 112 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} = 1.12 \times 10^{-14} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} < 0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 因此符合标准;

(2) 在 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的含 Cd^{2+} 溶液中, 加入饱和石灰水产生 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 时所需最小的 OH^- 浓度为 $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Cd}(\text{OH})_2]}{c(\text{Cd}^{2+})}} = 5.66 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 在 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的含 Tl^{3+} 溶液中, 加入饱和石灰水产生 $\text{Tl}(\text{OH})_3$ 时所需最小的 OH^- 浓度为 $c(\text{OH}^-) = \sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Tl}(\text{OH})_3]}{c(\text{Tl}^{3+})}} = 5.52 \times 10^{-15} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 因此沉淀 Tl^{3+} 所需的 OH^- 浓度更小, 优先产生 $\text{Tl}(\text{OH})_3$ 沉淀, 当溶液 $\text{pH} = 8$ 时, 此时溶液中 $c(\text{Tl}^{3+}) = \frac{K_{\text{sp}}[\text{Tl}(\text{OH})_3]}{c^3(\text{OH}^-)} = 1.68 \times 10^{-26} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

- 21.(1) 7 否

(2) Fe^{3+} 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 过量会导致生成 BaC_2O_4 沉淀,产品的产量减少

【解析】(1) Cu^{2+} 完全沉淀时, $K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 2.2 \times 10^{-20} = c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) = 2.2 \times 10^{-6} \cdot c^2(\text{OH}^-)$, 则 $c(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}^+) = \frac{K_{\text{w}}}{c(\text{OH}^-)} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $\text{pH} = 7$; 此时 $c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) = 0.01 \times (1.0 \times 10^{-7})^2 = 1.0 \times 10^{-16} < K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$, 故不会出现 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀。

(2) 根据流程图和表中数据, 加入 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 调 pH 为 8, 只有 Fe^{3+} 完全沉淀, 故可除去 Fe^{3+} ; 加入 NaOH 调 $\text{pH} = 12.5$, Mg^{2+} 完全沉淀, Ca^{2+} 部分沉淀, 所以滤渣 II 中含 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 根据 $K_{\text{sp}}(\text{BaC}_2\text{O}_4) = 1.6 \times 10^{-7}$ 可知, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 过量时 Ba^{2+} 转化为 BaC_2O_4 沉淀, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 产品的产量会减少。

第四章 化学反应与电能

第一节 原电池

第1课时 原电池的工作原理

典型例题

【例1】C **【解析】**A 中两电极都是 Fe, 活动性相同, 不能形成原电池, 错误; B 中 Zn 电极没有深入到电解质溶液中, 断路, 不能形成原电池, 错误; C 中具备原电池形成的条件, 可形成 Zn、Fe 原电池, 正确; D 中烧杯中盛放的是酒精, 不是电解质溶液, 不能形成原电池, 错误。

【例2】C **【解析】**金属活动性 $\text{Zn} > \text{Cu}$, Zn 作为负极, 失去电子, $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$, 电子经外电路流向铜电极, C 错误。因 Zn 失电子生成 Zn^{2+} , 为使 ZnSO_4 溶液保持电中性, 盐桥中的 Cl^- 移向 ZnSO_4 溶液; 正极反应为 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$, 溶液中铜离子减小, 为使 CuSO_4 溶液保持电中性, 盐桥中的 K^+ 移向 CuSO_4 溶液, A、B、D 正确。

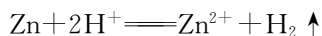
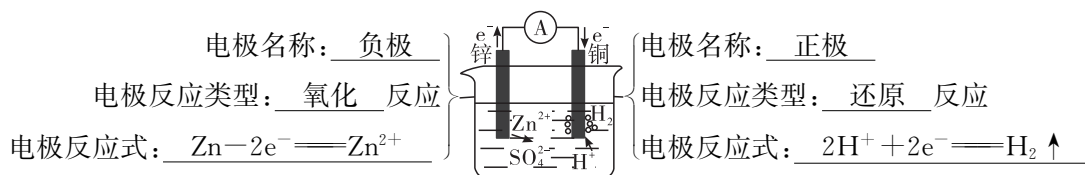
自主学习

1. (1) 失 升高 氧化 氧化

(2) 得 降低 还原 还原

2. 化学能 电能 氧化还原反应

(1)



(2) ① Zn 铜 ② 阳离子 阴离子

3. (1) 氧化还原

(2) 活动性

(3)电解质

(4)闭合

4.(1)KCl 饱和溶液

(2)负 正

(3)闭合 电中

5.

活动性较强的金属	活动性较弱的金属或能导电的非金属
发生氧化反应	发生还原反应
电子流出极	电子流入极
阴离子移向的电极	阳离子移向的电极
电流流入极	电流流出极
能自发发生氧化还原反应的金属	不能自发发生氧化还原反应的金属(非金属)
电极溶解	电极增重或有气泡放出
pH 降低	pH 升高

6.速率 金属的活动性 方向 化学电源 金属

基础夯实

7.C 【解析】在原电池中,发生氧化反应的电极为负极,发生还原反应的电极为正极,A 正确;原电池工作时,其外电路中电子流出的一极为负极,电子流入的一极为正极,B 正确;相对活泼的金属为负极,不活泼的金属或导电非金属为正极,C 错误;电流的方向与电子流动的方向相反,D 正确。故选 C。

8.A 【解析】电流的方向与电子的移动方向相反,由已知条件知电子由 Y 电极流向 X 电极,因此 Y 电极的金属活动性强于铁,故 Y 电极只能为选项中的锌。

9.D 【解析】 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})_2$ 不是氧化还原反应,A 错误; KCl 和 AgNO_3 反应生成 AgCl 沉淀,B 错误;作电极的不一定是金属,如石墨棒也可作电极,C 错误;从理论上讲,任何能自发进行的氧化还原反应都可设计成原电池,故选 D。

10.D 【解析】选用金属活泼性比锌弱的金属作正极,而石墨虽可作正极材料,但为非金属材料,不符合题意,D 项符合题意。

11.A 【解析】在铜锌原电池中,锌的活动性大于铜,锌为负极、铜为正极。负极锌失去电子不断溶解,在外电路中电子由锌电极流向铜电极;溶液中的氢离子,在正极铜表面得到电子被还原,有氢气产生,铜电极保持不变,溶液中不存在铜离子,不能使溶液成蓝色。故选 A。

12.C 【解析】放电时负极反应物为 Zn ,失电子被氧化,正极反应物为 Br_2 ,得电子被还原,故选 C。

13.C 【解析】电流计指针发生偏转,该装置为原电池;质量减少的 A 极为负极,有气泡产生的 B 极为正极;电解质溶液中含有氢离子;原电池工作时负极上发生氧化反应,正极上发生还原反应,电解质溶液中的阳离子向正极移动,阴离子向负极移动。故选 C。

14.B 【解析】电池的正极得电子,A 选错误;结合该电池的装置图可知,该过程中的氧化还原反应为 $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$,B 选正确;外电路中,电子从负极流向正极,C 选错误;左烧杯中由于 Zn 失去电子形成 Zn^{2+} ,使得该烧杯中正电荷的离子增加,为维持电中性, K^+ 应该通过盐桥流向 CuSO_4 所在的右烧杯中,D 选错误。

能力提升

- 15.C 【解析】由第一个装置 a 极溶解,可知 a 极是负极,金属活动性: $a > b$;对于第二个装置,依据还原性规律知,金属活动性: $b > c$;第三个装置的金属活动性: $d > c$;由第四个装置电流从 $a \rightarrow d$,则电子从 $d \rightarrow a$,故金属活动性: $d > a$ 。故选 C。
- 16.A 【解析】由①知,金属活动性 $M > N$;M、P 用导线连接放入硫酸氢钠溶液中,M 表面产生气泡,M 做原电池正极,活动性 $P > M$;N、E 构成的原电池 N 做负极,活动性 $N > E$ 。故选 A。
- 17.C 【解析】本题通过电极变化来确定原电池的正负电极,N 棒变细,即 N 极上发生氧化反应,N 棒金属较活泼,排除 A、D,由 M 棒变粗,可知 B 不正确。故选 C。
- 18.A 【解析】向 a 中加入少许胆矾晶体,则有 $Zn + Cu^{2+} \rightleftharpoons Cu + Zn^{2+}$,消耗一部分 Zn,所以产生 H_2 的量较少,但生成的 Cu 附于 Zn 上又组成铜锌原电池,加快反应速率,因此曲线 a 的斜率大于曲线 b 的斜率。故选 A。
- 19.B 【解析】电流计指针发生偏转,有电流形成,形成原电池反应,碘离子具有还原性, C_1 作负极,电极反应为 $2I^- - 2e^- \rightleftharpoons I_2$,B 正确; C_2 作正极,溶液中汞离子得电子, $Hg^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Hg$,发生还原反应,电流方向是从正极(C_2)流向负极(C_1),A 错误;为保持硝酸汞溶液电荷守恒,盐桥中阳离子移向硝酸汞溶液(C_2 电极),C 错误;原电池反应为氧化还原反应,D 中反应是非氧化还原反应,D 错误。
- 20.C 【解析】由硅、铁、NaOH 溶液组成原电池时,存在反应为 $Si + 2NaOH + H_2O \rightleftharpoons Na_2SiO_3 + 2H_2 \uparrow$,所以 Si 为负极: $Si - 4e^- + 6OH^- \rightleftharpoons SiO_3^{2-} + 3H_2O$;铁为正极: $4H_2O + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^- + 2H_2 \uparrow$,C 正确。
- 21.C 【解析】金属铝、硫化银和 NaOH 溶液构成了原电池,金属铝、硫化银分别充当了负极和正极,电极反应分别是在银表面上: $Ag_2S + 2e^- \rightleftharpoons 2Ag + S^{2-}$,在铝表面: $Al - 3e^- \rightleftharpoons Al^{3+}$,在碱性条件下, Al^{3+} 又会与过量的 OH^- 反应生成 AlO_2^- ,所以在铝表面的实际反应为 $Al + 4OH^- - 3e^- \rightleftharpoons AlO_2^- + 2H_2O$,溶液中的 OH^- 向负极移动,A、B、D 均正确。
- 22.A 【解析】由图中“+”“-”标志可知,左侧原电池的负极反应: $Cd - 2e^- \rightleftharpoons Cd^{2+}$,正极反应 $Co^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Co$,金属性 $Cd > Co$;右侧原电池负极反应: $Co - 2e^- \rightleftharpoons Co^{2+}$,正极反应: $Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$,金属性 $Co > Ag$;综合可得金属性强弱顺序为 $Cd > Co > Ag$,氧化还原反应中金属性强的金属能置换出金属性弱的金属,A 不能发生,错误。
- 23.(1)a 还原
(2)乙
(3) $MnO_4^- + 5e^- + 8H^+ \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$ $Fe^{2+} - e^- \rightleftharpoons Fe^{3+}$
(4)0.5
【解析】(1)根据题目提供的总反应方程式可知, $KMnO_4$ 作氧化剂,发生还原反应,故石墨 a 是正极。
(2)电池工作时, SO_4^{2-} 向负极移动,即向乙烧杯移动。
(3)甲烧杯中的电极反应式为 $MnO_4^- + 5e^- + 8H^+ \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$ 乙烧杯中的电极反应式为 $Fe^{2+} - e^- \rightleftharpoons Fe^{3+}$ 。
(4)溶液中的 $MnSO_4$ 浓度由 $1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 变为 $1.5 \text{ mol} \cdot L^{-1}$,由于溶液的体积未变,则反应过程中生成的 $MnSO_4$ 的物质的量为 $0.5 \text{ mol} \cdot L^{-1} \times 0.2 L = 0.1 \text{ mol}$,转移的电子为 $0.1 \text{ mol} \times 5 = 0.5 \text{ mol}$ 。
- 24.(1) $Zn - 2e^- \rightleftharpoons Zn^{2+}$ $2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2 \uparrow$
(2)由 Cu 极经导线流向 Zn 极

(3) 4.875 9.03×10²² 0.75 mol·L⁻¹。

【解析】产生 0.075 mol H₂, 通过 0.075 mol × 2 = 0.15 mol 电子, 消耗 0.075 mol Zn 和 0.075 mol H₂SO₄。所以 $m(\text{Zn}) = 0.075 \text{ mol} \times 65 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 4.875 \text{ g}$, $N(\text{e}^-) = 0.15 \text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 9.03 \times 10^{22}$, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

25. (1) 负 $\text{Al} - 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}$ $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$

(2) 负 $\text{Al} + 4\text{OH}^- - 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$

(3) Al 片 $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 正(或 Cu 片) Cu 片 $\text{Cu} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}$

(4) 正 $\text{NO}_3^- + 3\text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NO} \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

【解析】(1) Cu—Al—盐酸构成的原电池, Al 作负极, 电极反应式为 $\text{Al} - 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}$; Cu 作正极, 电极反应式为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$ 。

(2) Al—Cu—NaOH 溶液构成的原电池, Al 作负极, 电极反应式为 $\text{Al} - 3\text{e}^- + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$, Cu 作正极, 电极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$ 。

(3) Al—Cu—浓硝酸构成的原电池, 在 0~ t_1 时, Al 片作负极, 正极 NO_3^- 在酸性条件下得电子生成 NO_2 和 H_2O , 在原电池中, 阳离子向正极移动, 即 H^+ 向正极移动。由于 Al 在浓硝酸中发生了钝化, 生成的氧化膜阻止了反应的进行, 此时 Cu 与浓硝酸反应而导致 Cu 作负极, 电子流动方向发生改变。

(4) Al—Cu—稀 HNO_3 构成的原电池中 Al 片作负极, Cu 片作正极, 该电极上 NO_3^- 在酸性条件下得电子生成 NO 和 H_2O 。

第 2 课时 化学电源

典型例题

【例 1】C 【解析】A 项, 锌筒为负极, 石墨作正极, A 正确; B 项, 电池中锌失去电子, 发生氧化反应, B 正确; C 项, 电池中电子从负极流向正极即从锌经导线流向石墨, C 错误; D 项, 正极得电子发生还原反应, 所以正极的电极反应为 $\text{NH}_4^+ + \text{MnO}_2 + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{MnO}(\text{OH}) + \text{NH}_3$, D 正确; 故选 C。

【例 2】D 【解析】A 项, 由总方程式可知, 为原电池时, Pb 为负极, PbO_2 为正极, 发生还原反应, 电极方程式为 $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + \text{PbSO}_4$, 正极附近 pH 增大, A 错误; B 项, 充电时, 该装置是电解池, 电池的负极和外加电源的负极相连, 为阴极, 发生还原反应, B 错误; C 项, 由总方程式可知, 为原电池时, Pb 为负极, 发生氧化反应, 电极方程式为 $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4$, C 错误; D 项, 在充电时, 该装置是电解池, 阴极发生的还原反应: $\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$, D 正确。故选 D。

自主学习

1. 一次电池 二次电池 燃料电池 ①单位质量 单位体积 ②单位质量 单位体积

2. 不可再充电 胶状 流动 干电池 $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_2$ $2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{MnO}(\text{OH}) + 2\text{OH}^-$ KOH $\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{MnO}(\text{OH}) + \text{Zn}(\text{OH})_2$

3. 可充电电池 蓄电池 可以再充电 $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4$ $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ 稀硫酸 $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

4. 燃料 氧化剂 电能 $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{H}^+$ $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

基础夯实

- 5.C 【解析】判断电池的正负极不仅与电极材料有关,还与电解质溶液有关。故选C。
- 6.B 【解析】A项,锌锰电池,Zn是负极, MnO_2 为正极,所以正极放电的物质是二氧化锰;B项,氢氧燃料电池中,通入氢气的一极为电源的负极,发生氧化反应,通入氧气的一极为原电池的正极;C项,铅蓄电池负极为Pb,正极为 PbO_2 放电;D项,镍镉电池负极为Cd,正极为 $\text{NiO}(\text{OH})$ 放电。故选B。
- 7.D 【解析】A项,锌锰干电池不能充电,属于一次电池,不是二次电池,A错误;B项,工业酒精中含有甲醛,甲醛是有毒的,B错误;C项,夏天温度高,面粉发酵的速度快,C错误;D项,煤油来自石油的分馏,可用作航空燃料,也可用于保存Na,D正确;故选D。
- 8.D 【解析】根据原电池原理:负极失去电子发生氧化反应,正极得到电子发生还原反应,可以判断该原电池中Zn为负极, Ag_2O 为正极;根据电极反应可以得知负极区溶液的pH减小,故A、C错误;电子是从负极沿导线流向正极,B错误。
- 9.D 【解析】根据电池反应式知,Zn易失电子作负极,则石墨作正极,A错误;放电时,铵根离子得电子发生还原反应,被还原,B错误;该装置是原电池,将化学能转化为电能,C错误;放电时,电子从负极Zn沿导线流向正极石墨,D正确。
- 10.C 【解析】A项,氧碱性燃料电池中,通入 O_2 的电极是正极,通入 H_2 的电极是负极,A错误;B项,通入 H_2 的电极是负极,负极发生失去电子的氧化反应生成 H_2O ,负极反应为: $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$,B错误;C项,原电池工作时,阳离子移向正极,阴离子移向负极,即工作时溶液中 OH^- 移向负极,C正确;D项,氢氧碱性燃料电池是原电池,能量转化主要是化学能转化为电能,D错误;故选C。
- 11.A 【解析】A项,通入氧气的一极为正极,电解质溶液为碱性,所以氧气得电子生成氢氧根,电极方程式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$,A错误;B项,原电池中电子由负极经导线流向正极,根据分析可知电极1为负极,电极2为正极,所以电子的流向为电极1→负载→电极2,B正确;C项,原电池中阳离子流向正极,所以钠离子自左向右移动,C正确;D项,据图可知 NH_3 在电极1上转化为 N_2 和 H_2O ,失电子发生氧化反应,D正确;故选A。
- 12.D 【解析】A项,在燃料电池中,通入燃料甲烷的电极是负极,失去电子,发生氧化反应,通入氧气的电极是正极,正极上氧气得到电子,发生还原反应,A正确;B项,在甲烷燃料电池中,负极电极反应式为 $\text{CH}_4 - 8\text{e}^- + 10\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$,正极的电极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$,总反应方程式为 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$,可见在放电过程中,反应消耗KOH,产生 H_2O ,使溶液中溶质的物质的量浓度减小,因而溶液的碱性减弱,B正确;C项,反应产生 H_2O ,无污染,因此电池属于环境友好型电池,C正确;D项,电池在工作时,除转化为电能外,还产生了热量,有热能产生,因此化学能不可能100%转化为电能,D错误;故选D。

能力提升

- 13.C 【解析】A项,锌极发生氧化反应,A错误;B项,电子从锌极经导线流向充空气的电极,B错误;C项,锌失电子不断消耗,所以锌极需定期更换,C正确;D项,原电池化学能转化为电能,D错误;故选C。
- 14.C 【解析】A项,该原电池中,Li电极为负极,发生失电子的氧化反应,A正确;B项,原电池工作时,阳离子移向正极,即溶液中 Li^+ 向 MnO_2 电极移动,B正确;C项,金属Li是活泼金属,能与水反应,所以不能用水代替电池中的有机物,C错误;D项, MnO_2 电极为正极,正极上Mn元素得到电子,电极反应式为 $\text{Li}^+ + \text{e}^- + \text{MnO}_2 = \text{LiMnO}_2$,D正确;故选C。

- 15.B 【解析】A项,该原电池中,Mg为负极、空气电极为正极,则Mg电极电势低于空气电极的电势,A正确;B项,原电池工作时,电子流向:Mg电极→导线→空气电极,阴离子:空气电极→Mg电极,形成闭合回路,但电子不能进入电解质溶液中,B错误;C项,负极反应为 $\text{Mg}-2\text{e}^-+2\text{OH}^-=\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、正极反应为 $\text{O}_2+4\text{e}^-+2\text{H}_2\text{O}=4\text{OH}^-$,原电池总反应式为 $2\text{Mg}+\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}=2\text{Mg}(\text{OH})_2$,C正确;D项, $\text{Mg}(\text{OH})_2\rightarrow\text{MgCl}_2\rightarrow\text{熔融 MgCl}_2\overset{\text{电解}}{\rightarrow}\text{Mg}$,即回收后的氢氧化镁经一系列转化,可重新制成镁锭循环利用,D正确;故选B。
- 16.D 【解析】A项,铅蓄电池工作时,硫酸参加反应生成硫酸铅同时生成水,导致硫酸浓度降低,A正确;B项,原电池放电时阴离子向负极移动,阳离子向正极移动,即电解质溶液中 H^+ 向正极移动,B正确;C项,蓄电池中,负极上金属Pb失电子,发生氧化反应 $\text{Pb}+\text{SO}_4^{2-}-2\text{e}^-=\text{PbSO}_4$,每当有2 mol电子通过电路时,负极材料增重96 g,C正确;D项,铅蓄电池正极上 PbO_2 得电子发生还原反应 $\text{PbO}_2+4\text{H}^++\text{SO}_4^{2-}+2\text{e}^-=\text{PbSO}_4+2\text{H}_2\text{O}$,D错误。故选D。
- 17.A 【解析】充电过程是电能转化为化学能的过程,B错误;放电时负极反应式为 $\text{Cd}-2\text{e}^-+2\text{OH}^-=\text{Cd}(\text{OH})_2$,附近溶液的碱性减弱,因 Cd^{2+} 结合了溶液中的 OH^- ,同时溶液中的 OH^- 向负极移动,C、D错误。故选A。
- 18.C 【解析】在原电池中,电解质溶液中的阳离子应向正极移动,A错;每消耗1 mol O_2 ,转移4 mol电子,若有0.4 mol电子转移,则在标准状况下消耗2.24 L O_2 ,B错;根据题意,电解质溶液呈酸性,正极的电极反应为 $\text{O}_2+4\text{H}^++4\text{e}^-=2\text{H}_2\text{O}$,D错。故选C。
- 19.B 【解析】A项,原电池中b电极为负极,a电极为正极,A错误;B项,充电时, $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2/\text{LiCoO}_2$ 电极反应为: $\text{LiCoO}_2-x\text{e}^-=\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2+x\text{Li}^+$,电极发生 Li^+ 脱嵌,而放电时发生: $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2+x\text{Li}^++x\text{e}^-=\text{LiCoO}_2$, Li^+ 嵌入,B正确;C项,放电时负极反应式为 $\text{Li}_x\text{C}_6-x\text{e}^-=\text{C}_6+x\text{Li}^+$,充电时阴极反应式为 $\text{C}_6+x\text{Li}^++x\text{e}^-=\text{Li}_x\text{C}_6$,所以充电时若转移0.3 mol电子,石墨电极将增重 $0.3\text{ mol}\times 7\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}=2.1\text{ g}$,C错误;D项,放电时,阳离子移向正极、阴离子移向负极,即 Li^+ 在电解质中由b极向a极迁移,D错误;故选B。
- 20.D 【解析】A项,由化合价变化可知,每消耗1 mol CH_4 转移6 mol电子;B项,电极A为负极,电极反应式为 $\text{H}_2+\text{CO}_3^{2-}-2\text{e}^-=\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$;C项,电池工作时, CO_3^{2-} 向电极A移动;D项,电极B是正极,电极反应式为 $\text{O}_2+2\text{CO}_2+4\text{e}^-=2\text{CO}_3^{2-}$ 。故选D。
- 21.(1)①氢气 负 ② $\text{H}_2-2\text{e}^-+2\text{OH}^-=2\text{H}_2\text{O}$
(2)①B ②3.2
- 【解析】(1)①燃料电池中,负极上失电子发生氧化反应,通入燃料氢气的电极是负极,据图示可知a电极是负极,故a极通入的物质为氢气;原电池中阴离子移向负极,故 OH^- 移向负极;②电解质溶液为NaOH溶液,为碱性环境,故此氢氧燃料电池工作时,负极的电极反应式: $\text{H}_2-2\text{e}^-+2\text{OH}^-=2\text{H}_2\text{O}$ 。
- (2)①A项,燃料电池为原电池原理,应为将化学能转变为电能,A错误;B项,电解质溶液为NaOH溶液,为碱性环境,故负极的电极反应式为 $\text{CH}_4+10\text{OH}^- - 8\text{e}^- = \text{CO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$,B正确;C项,碱性环境中正极的电极反应式应为:为 $\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}+4\text{e}^-=4\text{OH}^-$,C错误;D项,通入甲烷的电极失电子发生氧化反应,D错误;故选B;②据电池的总反应 $\text{CH}_4+2\text{O}_2+2\text{OH}^-=\text{CO}_3^{2-}+3\text{H}_2\text{O}$ 可知:消耗甲烷22.4 L(标准状况下)时,假设电池的能量转化效率为100%,则导线中转移的电子的物质的量为8 mol,则当消

耗甲烷 11.2 L(标准状况下)时,假设电池的能量转化效率为 100%,则导线中转移的电子的物质的量为 4 mol,故电池的能量转化效率为 80%时,导线中转移的电子的物质的量为 $4 \times 0.8 = 3.2$ mol。

22.(1)氢气 氧气 $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+$ $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$ 变大

(2) $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ 变小

(3)C

(4)① $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_2$ ②1 ③还原 $\text{FeO}_4^{2-} + 3\text{e}^- + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$

④正

【解析】(1)在酸性氢氧燃料电池中,石墨作电极,在负极上氢气失电子生成氢离子,电极反应为 $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+$;在正极由氧气得电子生成水,电极反应为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$,由于正负极消耗与生成的氢离子等量,所以氢离子的总量不变,而总电极反应式为 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$,水的总量增加,故 pH 变大。

(2)在碱式介质中,氢气在负极失去电子生成氢离子,氢离子结合氢氧根离子生成水,电极反应式为 $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = 4\text{H}_2\text{O}$;氧气在正极得电子生成氢氧根离子,电极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$,由于正负极消耗与生成的氢氧根离子等量,所以氢氧根离子的总量不变,而总电极反应式为 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$,水的总量增加,故 pH 变小。

(3)A 项,电解获得 H_2 消耗较多的能量,而在催化剂作用下利用太阳能来分解 H_2O 获得 H_2 更为科学, A 正确;B 项,氢氧燃料电池产物 H_2O 无污染,能有效保护环境,所以氢氧燃料电池作为汽车动力更能保护环境, B 正确;C 项,以稀 H_2SO_4 、KOH 为介质的氢氧燃料电池的负极电极反应式分别为: $\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 4\text{H}^+$, $\text{H}_2 - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = 2\text{H}_2\text{O}$,不相同, C 错误;D 项,以稀 H_2SO_4 、KOH 为介质的氢氧燃料电池的总反应式均为 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$, D 正确,故选 C。

(4)①放电时,负极上锌失电子发生氧化反应,电极反应式为: $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_2$;②放电时,正极上 1 mol K_2FeO_4 得 3 mol 电子发生还原反应生成 1 mol $\text{Fe}(\text{OH})_3$,所以每转移 3 mol 电子,正极有 1 mol K_2FeO_4 被还原;③放电时,正极上 K_2FeO_4 得电子,发生还原反应,正极的电极方程式为 $\text{FeO}_4^{2-} + 3\text{e}^- + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$;④负极电极方程式电极反应式为: $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_2$,正极的电极方程式为 $\text{FeO}_4^{2-} + 3\text{e}^- + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$,所以正极附近溶液的碱性增强。

23.(1) $\text{CH}_4 + 10\text{OH}^- - 8\text{e}^- = \text{CO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$ $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ 减小

(2)c

(3)①正极 ② $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} - 24\text{e}^- = 6\text{CO}_2 \uparrow + 24\text{H}^+$ ③负 正

④22.4 ⑤不能

(4)① $\text{CO} + \text{O}^{2-} - 2\text{e}^- = \text{CO}_2$ ②b a a b

【解析】(1)负极为 CH_4 失电子被氧化,在碱性条件下转化为 CO_3^{2-} ,故负极电极反应式为 $\text{CH}_4 + 10\text{OH}^- - 8\text{e}^- = \text{CO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$;正极 O_2 得电子在碱性条件下生成 OH^- ,电极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$,电池总反应式为 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$ 。随着放电反应的进行, OH^- 不断消耗, pH 减小。

(2)先分析进出电极物质的化合价,判断电池正负极, $\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2$, N 元素化合价升高,故电极 1 为原电池负极,电极 2 为原电池正极,电池工作时, Na^+ 向正极移动,电子由电极 1 经外电路流向 2,电极 2 电极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ 。电极 1 电极反应式为 $2\text{NH}_3 + 6\text{OH}^- - 6\text{e}^- = \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ 。

- (3)① $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ 发生还原反应,故 A 为燃料电池的正极,B 为燃料电池的负极。②由于电解质中含有 H^+ ,故正极电极反应为 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$,负极电极反应为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} - 24\text{e}^- = 6\text{CO}_2 \uparrow + 24\text{H}^+$ 。③放电过程中, H^+ 由负极区向正极区移动。④葡萄糖燃料电池的总反应为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 = 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$,即 $1 \text{ mol O}_2 \sim 1 \text{ mol CO}_2$,每消耗 1 mol O_2 ,理论上生成标准状况下 CO_2 气体 22.4 L 。⑤由于微生物是蛋白质,高温下会发生变性,故该电池不能在高温下工作。
- (4)根据元素价态变化可知,a 电极为负极,电极反应式为 $\text{CO} + \text{O}^{2-} - 2\text{e}^- = \text{CO}_2$,b 电极为正极,电极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$,总反应式为 $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ 。工作时电子由电极 a 通过传感器流向电极 b, O^{2-} 由电极 b 向电极 a 移动。

第二节 电解池

第 1 课时 电解原理

典型例题

【例1】D 【解析】如果阳极是活泼电极,电极本身失去电子,发生氧化反应。故选 D。

【例2】A 【解析】可利用电解质溶液中离子的移动方向判断出电源的正负极,并写出电极反应式和反应现象。A 项,铜离子应移向阴极,则 a 为负极。B 项, CuCl_2 发生电离是在水分子的作用下完成的,并非通电才能发生。C 项,反应 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ 应在阴极上发生,阳极上发生的反应式为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ 。D 项,通电一段时间后,应在阳极附近观察到黄绿色气体。故选 A。

自主学习

1. 负极 铜 正极 气泡 蓝 氯气 Cl^- OH^- Cu^{2+} H^+ $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$
 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^- \xrightarrow{\text{电解}} \text{Cu} + \text{Cl}_2 \uparrow$
2. 电解质溶液 熔融电解质 阳 阴 氧化还原 电能 化学能 ①直流 ②电解质 ③电极 ④闭合回路
3. 失去 升高 氧化 还原 活泼电极 $\text{S}^{2-} > \text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^- > \text{含氧酸根}$ 得到 降低 还原
 氧化 $\text{Ag}^+ > \text{Hg}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{H}^+(\text{酸}) > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{H}^+(\text{水})$

基础夯实

4. C 【解析】根据原电池原理可知,原电池中相对活泼的一极为负极。故选 C。
5. A 【解析】B 项,C 项属于电化学反应,一定有电子转移,一定发生氧化还原反应;D 项营养物质葡萄糖为人类提供能量的过程,是被 O_2 氧化的过程,发生了氧化还原反应;A 项光能转化成电能的过程没有新物质生成,没有发生化学反应,故选 A。
6. B 【解析】该装置既可构成原电池,又可构成电解池。当构成原电池时,a 极材料可以是活动性比铁差的金属或石墨,b 极为铁,电解质溶液含 Cu^{2+} ;当构成电解池时,a 极作阴极,b 极作阳极且必须是铁电极,电解液中含 Cu^{2+} 。故选 B。
7. B 【解析】由题意可知,M 极溶解,发生氧化反应,为阳极,N 极质量增加,故有金属单质在 N 极上析出,发生还原反应,为阴极,电解质溶液应为金属盐溶液,M 应为金属电极。故选 B。
8. C 【解析】该反应为不能自发进行的氧化还原反应,必须设计为电解池才能发生。阳极为 Cu 放电,阴极为 H^+ 放电,即用 Cu 作阳极,电解质溶液中为 H_2O 放电,选项 C 符合要求。

9.B 【解析】①中有外加电源为电解池,②为原电池,A 错误;①中电解水,硫酸浓度增大,②中负极材料消耗硫酸,硫酸浓度减小,B 正确;②中正极反应为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$,C 错误;②中 H^+ 向正极移动,D 错误。故选 B。

10.A 【解析】电解总反应: $2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} = \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \uparrow$,金属铜失电子,说明金属铜一定作阳极,石墨做阴极,在阴极上是溶液中的氢离子得电子,产生氢气,A 正确;铜电极本身失电子,发生氧化反应,B 错误;铜电极是电解池的阳极,接直流电源的正极,C 错误;反应 $2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} = \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \uparrow$ 属于非自发性的氧化还原反应,不能设计成原电池,D 错误。

11.C 【解析】电解盐酸的化学方程式为 $2\text{HCl} \xrightarrow{\text{电解}} \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$,电解 CuCl_2 的化学方程式为 $\text{CuCl}_2 \xrightarrow{\text{电解}} \text{Cu} + \text{Cl}_2 \uparrow$,A 选项错;电解 CuSO_4 溶液的化学方程式为 $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 \uparrow$,B 选项错;电解 NaBr 溶液的化学方程式为 $2\text{NaBr} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Br}_2$,D 选项错。

能力提升

12.A 【解析】电解池的阳极发生失电子氧化反应、阴极发生得电子还原反应。电解熔融的 Al_2O_3 制 Al 时,若用 Fe 作阳极,会发生 $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$, Fe^{2+} 移动到阴极上发生 $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$,使得到的 Al 不纯。故选 A。

13.C 【解析】A 项,根据题意“铝表面形成致密、耐腐蚀的氧化膜”,即铝失去电子发生氧化反应变为氧化铝,因此待加工铝质工件为阳极,A 正确;B 项,阴极上电极材料本身不反应,只传导电流,可以选用不锈钢网作为阴极,B 正确;阴极的电极反应式为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$,C 错误;D 项,电解过程中阴离子移向阳极,即 SO_4^{2-} 向阳极移动,D 正确。

14.C 【解析】A 项, $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$,应加入 HCl 复原;B 项, $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 \uparrow + 4\text{HNO}_3$,应加入 CuO 或 CuCO_3 复原;D 项, AgNO_3 浓度保持不变。

15.C 【解析】b 电极附近溶液呈红色,说明 b 电极处氢离子放电。电解氯化钠溶液时,阳极发生氧化反应产生氯气,阴极发生还原反应产生氢气,同时生成氢氧化钠,因此 b 电极是阴极,与电源的负极相连,则 Y 为负极,X 为正极;铂电极与电源的正极相连,作阳极,铜电极作阴极;电解硫酸铜溶液时,阳极上氢氧根离子放电, CuSO_4 溶液的 pH 减小。故选 C。

16.A 【解析】溶液中存在的阴离子有: Cl^- 、 Br^- 、 SO_4^{2-} 、 OH^- ,阳离子有: K^+ 、 Cu^{2+} 、 Na^+ 、 H^+ 。因用 Pt 电极电解足够长的时间,阴离子首先放电的是 Br^- ,其次是 Cl^- ,最后是 OH^- , SO_4^{2-} 在溶液中不放电;阳离子先放电的是 Cu^{2+} ,其次是 H^+ 。所以先电解 CuBr_2 ,阳极逸出 Br_2 ,阴极析出 Cu,当 CuBr_2 电解完毕时,相当于继续电解 HCl(H^+ 来自水),当 Cl^- 被消耗尽时,则继续电解水。由于 Cu^{2+} 转化为单质铜,电解液变为无色; Cl^- 在阳极放电时,水电离出的 H^+ 在阴极放电,使溶液中的 $c(\text{OH}^-)$ 增大;由于最终水被消耗, $c(\text{K}^+)$ 、 $c(\text{Na}^+)$ 和 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 会增大。故选 A。

17.B 【解析】分析题图知,甲是燃料电池,乙是电解池,甲池中电解质溶液为氢氧化钾溶液,则负极不可能生成 H^+ ,应该是 $\text{N}_2\text{H}_4 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$,A 错误。乙池中石墨电极是阳极,发生氧化反应,B 正确。根据甲池总反应式知反应中生成了水,则氢氧化钾溶液的浓度变小,pH 减小;乙池中阴极析出铜,阳极 OH^- 放电,乙池的溶液 pH 减小,C 错误。根据各个电极通过的电量相等知 $\text{N}_2\text{H}_4 \sim 2\text{Cu}$,则甲池中消耗 0.1 mol N_2H_4 时乙池电极上会析出 12.8 g 铜,D 错误。

18.D 【解析】电解分为三个阶段。第一阶段(电解 CuCl_2 溶液):阳极反应式为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$, 阴极反应式为 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$, 因 Cu^{2+} 浓度减小, 水解产生的 H^+ 浓度减小, 溶液 pH 增大; 第二阶段(电解 CuSO_4 溶液):阳极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2 \uparrow$, 阴极反应式为 $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{e}^- = 2\text{Cu}$, 溶液中 H^+ 浓度增大, 溶液 pH 减小; 第三阶段(相当于电解水):阳极反应式为 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$, 阴极反应式为 $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2 \uparrow$, 因为水被消耗, 使混合溶液酸性增强, 溶液 pH 减小。故选 D。

19.D 【解析】A 项, K 闭合后, Zn 作原电池的负极, Cu 作原电池的正极, Cu 电极上发生还原反应; B 项, 电子流向为 $\text{Zn} \rightarrow \text{a}, \text{b} \rightarrow \text{Cu}$, a、b 之间无电子流动; C 项, 甲池中 SO_4^{2-} 浓度基本保持不变, 只是盐桥中的 Cl^- 和 K^+ 分别向甲、乙两烧杯中移动; D 项, 滤纸 a 点附近的电极是阴极, H^+ 放电, 溶液中 OH^- 浓度增大, 显碱性, 故滤纸 a 点处变红色。故选 D。

20.(1) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ $\text{CuCl}_2 \xrightarrow{\text{电解}} \text{Cu} + \text{Cl}_2 \uparrow$ $4\text{Ag}^+ + 4\text{e}^- = 4\text{Ag}$ $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$ $4\text{AgNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 4\text{Ag} + 4\text{HNO}_3 + \text{O}_2 \uparrow$
(2) 2 : 2 : 4 : 1

【解析】A、B、C、D 分别发生如下反应: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$, $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$, $4\text{Ag}^+ + 4\text{e}^- = 4\text{Ag}$, $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$; 由电子守恒可知, 在四个电极依次析出物质的物质的量之比为 $n(\text{Cu}) : n(\text{Cl}_2) : n(\text{Ag}) : n(\text{O}_2) = 2 : 2 : 4 : 1$ 。

21.(1) 正 氧化

(2) 阳 氧气 阴 氢气

(3) $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2 \uparrow$

(4) 不变

(5) $64 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

【解析】(1) 接通电源, X 沉积于 B 极, 说明 B 为阴极, 则 A 为阳极, 故 q 为负极, p 为正极, A 上发生氧化反应。

(2) 右侧电解池中, C 为阳极, C 试管内得 O_2 , D 为阴极, D 试管内得 H_2 。

(4) A 极: $\text{X} - 2\text{e}^- = \text{X}^{2+}$, B 极: $\text{X}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{X}$, 两极附近溶液 pH 不变。

(5) 设 X 的摩尔质量为 $M \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则 $\text{X}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{X}$

$$\begin{array}{cc} 2 \text{ mol} & M \text{ g} \\ 0.004 \text{ mol} & 0.128 \text{ g} \end{array}$$

得 $M = 64$ 。

22.(1) 阳极产生无色气体, 溶液由黄色逐渐变为橙色 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ (或 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$)

(2) 2 : 1 0.1 mol

【解析】(1) 阳极发生氧化反应, 溶液中氢氧根离子失去电子生成氧气和水。

(2) 直接设 K_2CrO_4 和 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 物质的量分别为 x 、 y , 则钾原子的物质的量为 $2x + 2y$, 铬原子物质的量为 $x + 2y$, 依据两原子个数比为 3 : 2, 可求出两物质的物质的量之比为 2 : 1; 根据铬酸钾的质量可求出铬原子总物质的量为 0.2 mol, 又 $t \text{ min}$ 后两物质的物质的量之比为 2 : 1, 则铬酸钾的物质的量为 0.1 mol, 重铬酸钾的物质的量为 0.05 mol, 根据化学方程式可知, 生成 0.05 mol 的重铬酸钾, 反应中转移

电子的物质的量为 $0.05 \times 2 \text{ mol}$ 。

第2课时 电解原理的应用

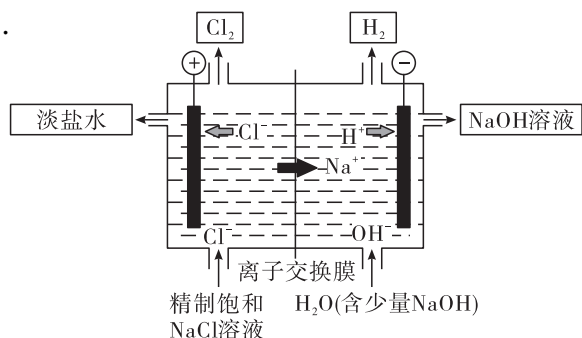
典型例题

【例1】C 【解析】由图看出①处为电解池阳极产生氯气,②处为电解池阴极产生氢气,A正确;该离子交换膜只能让阳离子通过,不能让阴离子通过,能防止氯气与碱反应,且在阴极区得到浓度较高的烧碱溶液,B正确;电解饱和食盐水有烧碱生成且 H_2O 应写化学式,C错误;电解装置是将电能转化为化学能的装置,D正确。

【例2】C 【解析】铜牌上镀银,银片为阳极, Ag^+ 向阴极移动,阴极反应为 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$ 。由于实验中镀层不可能非常均匀致密,所以将电源反接,阳极上Cu、Ag均会溶解,铜牌不可能恢复如初。故选C。

自主学习

1.



$2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ 阳离子交换膜 阴极 减小 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow$ 增大 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ 或 $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ ①阳离子 平衡 ② Cl_2 和 NaOH 反应生成 NaClO

2. 电解原理 金属或合金 镀层金属 待镀的金属 镀层金属离子 粗铜 纯铜 铜离子

3. 较活泼的金属(如钾、钠、镁、铝等) 熔融 钠 氯气

基础夯实

4. C 【解析】电解 MgCl_2 获取金属镁,也就是说镁离子需要得电子,如果在水溶液中,水电离的氢离子会先得电子,因此只能在熔融状态下进行。在阴极发生的是镁离子得到电子的反应,对电极材料没有要求,在阳极上发生失电子的反应,如果使用活性电极时会优先失电子,所以阳极必须用惰性电极。故选C。

5. A 【解析】Cu、Fe 用热还原法获取,Au 用富集获取; $2\text{NaCl}(\text{熔融}) \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{Na} + \text{Cl}_2 \uparrow$ 。故选A。

6. B 【解析】电解食盐水时发生的反应:阳极: $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$,阴极: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$,总反应: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ 对照分析选项,C错误;阳极附近的溶液中会溶有少量的 Cl_2 ,滴加KI溶液后发生反应: $\text{Cl}_2 + 2\text{I}^- = \text{I}_2 + 2\text{Cl}^-$,溶液呈棕黄色,B正确;阴极附近产生大量的 OH^- ,滴加酚酞后变红色,A错误;电解后生成NaOH,溶液呈碱性,D错误。故选B。

7. D 【解析】左池为原电池,右池为电解池。A项,电子不能通过电解质溶液,即不能实现电极Ⅳ→电极Ⅲ;B项,电极Ⅰ发生氧化反应: $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$;C项,电极Ⅳ: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ 。故选D。

8. D 【解析】本题为“电解精炼铜”的迁移应用,A项,阳极应发生氧化反应。C项,溶液中的阳离子主要为 Ni^{2+} ,根据金属原子的还原性和金属阳离子的氧化顺序,阳极反应为 $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$, $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$, $\text{Ni} - 2\text{e}^- = \text{Ni}^{2+}$,Cu、Pt 在该条件下不失电子,阴极反应为 $\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Ni}$, Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 在该条件

下不得电子。比较两电极反应,因Zn、Fe、Ni的相对原子质量不等,当两极通过相同的电量时,阳极减少的质量与阴极增加的质量不等。故选D。

9.C 【解析】 C_2 极附近溶液呈碱性,使酚酞显红色。故选C。

10.D 【解析】解答本题时应特别注意,金属Cu在电解池和原电池中作何种电极。当断开 K_2 ,闭合 K_1 时为电解池,由于两极都有气泡冒出,故相当于惰性电极电解饱和食盐水,故铜作阴极而石墨作阳极,阳极反应为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$,电池总反应的离子方程式为 $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$,A、B都错;当断开 K_1 ,闭合 K_2 时组成原电池,铜作负极而石墨作正极,故C错而D正确。故选D。

11.A 【解析】题给电解池的阴极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$,阳极反应式为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$,A正确;题给燃料电池为氢氧燃料电池,通入空气的电极为正极,B错误;由整个电路中得失电子守恒可知,电解池中产生2 mol Cl_2 ,理论上转移4 mol e^- ,则燃料电池中消耗1 mol O_2 ,C错误;题给燃料电池的负极反应式为 $2\text{H}_2 - 4\text{e}^- + 4\text{OH}^- = 4\text{H}_2\text{O}$,正极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$,所以a、b、c的大小关系为 $c > a > b$,D错误。故选A。

能力提升

12.D 【解析】溶液中有 Cu^{2+} 、 H^+ 及 SO_4^{2-} 、 OH^- 四种离子,得电子能力 $\text{Cu}^{2+} > \text{H}^+$,失电子能力 $\text{OH}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。则阴极反应为 $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{e}^- = 2\text{Cu}$,阳极反应为 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$,总反应为 $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 \uparrow$ 。 $n(\text{Cu}) = \frac{12.8 \text{ g}}{64 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.2 \text{ mol}$, $n(\text{O}_2) = 0.1 \text{ mol}$,在标准状况下体积为2.24 L,D正确。

13.D 【解析】根据图像和电解原理, $O \sim P$ 段电解反应的化学方程式为: $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4$, $P \sim Q$ 段电解反应的化学方程式为: $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$,所以溶液中应加入 CuO : $\frac{0.2 \text{ mol}}{2} = 0.1 \text{ mol}$, H_2O : $\frac{(0.3 - 0.2) \text{ mol}}{2} = 0.05 \text{ mol}$,分析四个选项,加入0.05 mol $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 合适。故选D。

14.D 【解析】阴极反应的先后顺序为 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$ 、 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$,根据题意阳极生成0.2 mol银、0.3 mol Cu,转移电子0.8 mol;阳极反应的先后顺序为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$ 、 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$,生成氯气0.3 mol,转移电子0.6 mol,所以 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ 反应转移电子0.2 mol,生成氧气0.05 mol;阳极生成气体的总量为0.35 mol,体积为(标准状况)7.84 L。故选D。

15.D 【解析】本题的解题信息在图像中,开始通电就有固体析出,且通过0.2 mol电子后,就再没有固体析出了,说明是 Cu^{2+} 放电的结果, X^{3+} 不放电。故选D。

16.B 【解析】A项,正极区发生的反应为 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$,由于生成 H^+ ,正极区溶液中阳离子增多,故中间隔室的 SO_4^{2-} 向正极迁移,正极区溶液的pH减小。B项,负极区发生的反应为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$,阴离子增多,中间隔室的 Na^+ 向负极迁移,故负极区产生NaOH,正极区产生 H_2SO_4 。C项,由B项分析可知,负极区产生 OH^- ,负极区溶液的pH升高。D项,正极区发生的反应为 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+$,当电路中通过1 mol电子的电量时,生成0.25 mol O_2 。故选B。

17.D 【解析】A项,若铁作阳极,则铁失电子生成 Fe^{2+} ,则 CN^- 无法除去,故铁只能作阴极,A正确;B项,阳极 Cl^- 放电生成 ClO^- ,Cl的化合价升高,故在阳极发生氧化反应,又已知该溶液呈碱性,B正确;C项,阳离子在电解池的阴极得电子发生还原反应,在碱性条件下, H_2O 提供阳离子(H^+),C正确;D项,由于溶

液呈碱性,故除去 CN^- ,发生的反应为 $2\text{CN}^- + 5\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2 \uparrow + 2\text{CO}_2 \uparrow + 5\text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$,D 错误。故选 D。

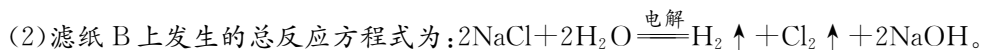
18.A 【解析】根据题设条件,两极上电极反应式为阴极:首先 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$,然后 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$;阳极: $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ 。既然阴极上收集到 H_2 ,说明 Cu^{2+} 已完全放电,根据电子守恒,阴极上 Cu^{2+} 、 H^+ 得电子总数应等于 OH^- 失电子总数。析出 0.1 mol H_2 获得 0.2 mol 电子,析出 0.1 mol O_2 失去 0.4 mol 电子,所以有 0.1 mol Cu^{2+} 放电,获得 0.2 mol 电子, $c(\text{Cu}^{2+}) = \frac{0.1 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。故选 A。

19.C 【解析】 CuSO_4 和 NaCl 的物质的量均是 0.1 mol,电解分 3 个阶段:AB 段:阳极:0.1 mol 氯离子失 0.1 mol 电子,阴极:0.05 mol 铜离子得 0.1 mol 电子,由于铜离子水解使溶液酸性减弱,铜离子浓度逐渐减小,溶液 pH 值逐渐增大;BC 段:阳极:0.1 mol 氢氧根离子失 0.1 mol 电子(来源于水的电离),阴极:0.05 mol 铜离子再得 0.1 mol 电子,由于氢氧根离子消耗,溶液中氢离子浓度增大,溶液的 pH 值迅速减小;CD 段:阳极:氢氧根离子失去电子,阴极:氢离子得到电子,开始电解水,溶液中氢离子浓度逐渐增大,pH 值减小。根据以上分析可知 AB 段 pH 增大是因为电解氯化铜,铜离子水解使溶液酸性减弱,铜离子浓度逐渐减小,溶液 pH 值逐渐增大,A 错误;BC 段在阴极上析出铜的质量是 $0.05 \text{ mol} \times 64 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 3.2 \text{ g}$,B 错误;阳极先发生 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$,后发生 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$,C 正确;根据以上分析可知至 C 点阴极上只有铜生成,没有气体放出,D 错误。故选 C。

20.(1)正



【解析】(1)根据 c 点酚酞变红,则该极的反应为: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$,即该极为阴极,与电源的负极相连,所以 a 是正极。

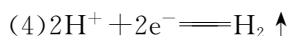


(3)c、d 两点短路后,e 为阳极,反应为: $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$,阴极上镀锌,则阴极反应为 $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$,电解液用含镀层离子的电解质溶液,所以可用 ZnSO_4 溶液或 $\text{Zn(NO}_3)_2$ 溶液等。

21.(1)负 正

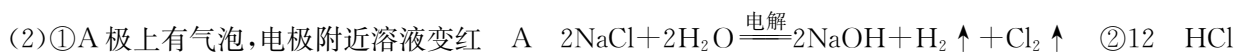


(3)铜片溶解,石墨电极上有气体生成,溶液中有蓝色沉淀生成



【解析】本题实质上是三个电解装置串联,首先判断电源的正、负极,E 为负极,F 为正极。A 中是以 Pt 为阳极、Fe 为阴极电解 AgNO_3 溶液。B 中 Cu 为阳极,发生的反应为: $\text{Cu} - 2\text{e}^- = \text{Cu}^{2+}$,石墨为阴极,发生的电极反应为: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$,由于水电离出的 H^+ 放电,所以溶液中的 $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$,故溶液中有氢氧化铜蓝色沉淀生成。D 端为阴极,发生电极反应为: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$ 。

22.(1)负 $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$



(3)纯铜 减小

【解析】(1)打开 K_2 , 闭合 K_1 , 该装置为原电池, A 极的 Zn 易失电子作负极、B 极的 C 作正极, B 电极上铜离子得电子发生还原反应, 电极反应式为 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$; 若所盛溶液为 KCl 溶液, B 电极上氧气得电子发生还原反应, 电极发生有为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$; 电解质溶液中阴离子向负极移动, 阳离子向正极移动, 所以钾离子向正极 B 移动。

(2)打开 K_1 , 闭合 K_2 , 该装置是电解池, A 为阴极、B 为阳极, 若所盛溶液为滴有酚酞的 NaCl 溶液, ①A 电极上水得电子生成氢气, 同时溶液中还生成 OH^- , 导致 A 极附近溶液碱性增强, 溶液变红色, 所以 A 电极上看到的现象是产生无色气泡, 溶液变红色, B 电极上氯离子放电生成氯气, 电池反应式为 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$; ②反应一段时间后打开 K_2 , 若忽略溶液的体积变化和气体的溶解, B 极产生气体的体积(标准状况)为 11.2 mL, 根据 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$ 得 $c(\text{NaOH}) = \frac{(\frac{0.0112 \text{ L}}{22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}}) \times 2}{0.1 \text{ L}} = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则溶液的 $\text{pH} = 12$, 电解过程中阳极上析出氯气、阴极上析出氢气, 所以相当于析出 HCl, 若要使电解质溶液恢复到原状态, 根据“析出什么加入什么”原则加入物质应该是 HCl。

(3)如要用电解方法精炼粗铜, 打开 K_1 , 闭合 K_2 , 电解液选用 CuSO_4 溶液, 粗铜作阳极、纯铜作阴极, 所以 A 应该是纯铜、B 为粗铜, 溶解的 Cu 小于析出的 Cu, 所以溶液中铜离子浓度减小。

第三节 金属的腐蚀与防护

典型例题

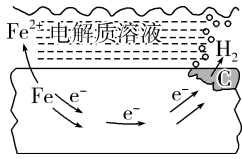
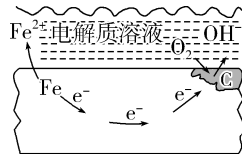
【例1】D 【解析】本题考查了原电池和电解池原理, 为高频考点, 注意当活泼电极作电解池阳极时, 阳极上金属材料失电子而不是电解质溶液中阴离子失电子, 为易错点。A 项, 若 X 为碳棒, 当开关 K 置于 M 处时则形成原电池, 在此原电池中, 铁作负极被腐蚀, 腐蚀速率加快, A 错误; B 项, 若 X 为铜棒, 开关置于 N 处, 则形成电解池, 其中铁作阴极被保护, 能减缓铁的腐蚀, B 错误; C 项, 若 X 为碳棒, 当开关 K 置于 M 处时则形成原电池, 在此原电池中, 铁作负极被腐蚀, 腐蚀速率加快, 不是牺牲阳极的阴极保护法, C 错误; D 项, 若 X 为碳棒, 开关置于 N 处, 则形成电解池, 其中铁作阴极被保护, 能减缓铁的腐蚀, 此方法是外加电流的阴极保护法, D 正确。故选 D。

【例2】D 【解析】本题考查了金属的腐蚀与防护, 明确原电池原理即可解答, 作原电池负极或电解池阳极的金属加速被腐蚀, 难度不大。A 项, 弱碱性条件下, 钢铁发生吸氧腐蚀, 正极上氧气得电子发生还原反应, 电极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$, A 正确; B 项, 锌、铁和电解质溶液可形成原电池, 锌作负极, 铁作正极, 加快了锌的腐蚀, 对铁制品起保护作用, B 正确; C 项, 铁、锌、海水形成原电池, 锌失去电子作负极, 铁作正极被保护, 该方法是采用了牺牲阳极的阴极保护法, C 正确; D 项, 采用外加电流的阴极保护法时, 被保护金属与直流电源的负极相连, 若与外加直流电源的正极相连, 则输油管作阳极, 更易被腐蚀, D 错误。

自主学习

1. 气体或液体 氧化还原 失去 氧化 气体或液体 (1) 化学 加快 (2) 电化学 不纯 电解质 原电池 活泼 同时 电化学

2.

类别	析氢腐蚀	吸氧腐蚀
项目		
图形描述		
条件	水膜酸性较强	水膜酸性很弱或呈中性
负极	$\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$	
正极	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$	$\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$
总反应	$\text{Fe} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$	$2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_2$
后续反应	最终生成铁锈(主要成分为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), 反应如下: $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$, $2\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} + (3-x)\text{H}_2\text{O}$	
联系	通常两种腐蚀同时存在, 但后者更普遍	

3.(1)金属材料的组成 合金 镍、铬 钛

(2)覆盖保护层 喷油漆 涂矿物性油脂 覆盖搪瓷 电镀 离子注入 表面渗镀

(3)电化学保护 负极 正极 阴极 牺牲阳极法 外加电流法

基础夯实

4.D 【解析】钢管被原油中的含硫化合物腐蚀是金属与非电解质直接发生化学反应,属于化学腐蚀,A 错误;粗锌与稀硫酸反应制氢气比纯锌快,是因为粗锌与稀硫酸构成原电池加快了反应的进行,B 错误;电镀属于在金属表面覆盖保护层,不是电化学防护,C 错误;生铁浸泡在食盐水中发生吸氧腐蚀,D 正确。

5.D 【解析】A 项,铁锅中含有的 Fe、C 和电解质溶液构成原电池,活泼金属作负极,Fe 易失电子,故腐蚀过程中,负极是 Fe,A 错误;B 项,原电池中电子由负极 Fe 经外电路向正极 C 流动,在电解质溶液中依靠离子的移动导电,B 错误;C 项,该原电池中,C 作正极,正极上氧气得电子发生还原反应,电极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$,C 错误;D 项,C 是正极, O_2 在 C 表面上发生还原反应,D 正确。

6.B 【解析】当铁棒作为原电池的正极或作为电解池的阴极时不被腐蚀。故选 B。

7.D 【解析】金属丝一边溶液出现粉红色,说明金属丝附近产生 OH^- ,即正极反应式: $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$,因此金属丝的活泼性比 Fe 差,铜符合题目要求。故选 D。

8.C 【解析】A 项,锡青铜为合金,合金的熔点低于它的各成分金属的熔点,A 错误;B 项,由于锡比铜活泼,在发生电化学腐蚀时,锡失电子保护铜,B 错误;C 项,潮湿环境更易发生电化学腐蚀,加快金属的腐蚀,C 正确;D 项,电化学腐蚀过程的实质是氧化还原反应,为化学过程,D 错误。

9.B 【解析】脱氧保鲜剂的脱氧原理与铁的吸氧腐蚀类似。铁锈的形成过程主要是 Fe-C 原电池发生吸氧腐蚀的过程:负极反应为 $2\text{Fe} - 4\text{e}^- = 2\text{Fe}^{2+}$,正极反应为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$, Fe^{2+} 和 OH^- 结合: $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 被空气氧化: $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 缓慢分解: $2\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} + (3-x)\text{H}_2\text{O}$ 。铁锈的主要成分是 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$,也可含有未分解的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。故选 B。

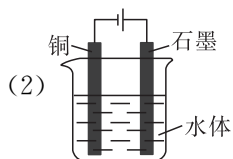
10.C 【解析】A 项,图甲中铁钉处于干燥环境,不易被腐蚀;B 项,负极反应式为 $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$, Fe^{2+} 与

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 反应生成 $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ 蓝色沉淀;D 项为牺牲阳极的阴极保护法,镁块相当于原电池的负极。故选 C。

- 11.A 【解析】A 项, $\text{pH} > 14$ 的溶液为碱性,正极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$,故 A 符合题意;B 项, $\text{pH} < 4$ 溶液为酸性溶液,碳钢主要发生析氢腐蚀,正极反应式为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$,故 B 不符合题意;C 项, $\text{pH} > 6$ 溶液中,碳钢主要发生吸氧腐蚀,正极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$,故 C 不符合题意;D 项,在碱性溶液中碳钢发生吸氧腐蚀,煮沸除氧气后,腐蚀速率会减慢,故 D 不符合题意。故选 A。

能力提升

- 12.C 【解析】由图可知,该电化学腐蚀中, SO_4^{2-} 在正极上得电子发生还原反应,生成 HS^- ,电极反应式为 $\text{SO}_4^{2-} + 9\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightleftharpoons \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$,A 正确;输送暖气的管道温度较高,不适宜硫酸盐还原菌的生长,故不易发生此类腐蚀,B 正确;由图可知,铁腐蚀的最终产物中含有的是 Fe^{2+} ,故不可能为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$,C 错误;管道上刷富锌油漆,锌比铁活泼,作负极保护铁不被腐蚀,所以管道上刷富锌油漆可以延缓管道的腐蚀,D 正确。
- 13.D 【解析】如果加热左边的试管则管内气体受热膨胀,不能更快更清晰地观察到液柱上升,A 错误;铁作负极,B 错误;负极反应式为 $\text{Al} - 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}$,正极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$,总反应式为 $4\text{Al} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3$,生成的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 进一步脱水形成白斑,C 错误,D 正确。
- 14.D 【解析】生铁片边缘处为红色,说明生成了 OH^- , $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$,生铁片发生吸氧腐蚀,故 A、C 两项合理;根据实验现象,中心区域为蓝色,说明生成了 Fe^{2+} , $\text{Fe} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$,故 B 项合理;在两色环交界处出现铁锈,是因为生成的氢氧化亚铁被氧气氧化成了氢氧化铁,不是 $4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 10\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{H}^+$,故 D 项不合理。
- 15.B 【解析】若 X 为锌棒,开关 K 置于 M 处时,锌作负极,铁作正极被保护,A 正确、B 错误;若 X 为碳棒,开关 K 置于 N 处,铁连接电源负极作阴极被保护,C 正确;X 连接电源正极作阳极被氧化,D 正确。
- 16.C 【解析】钢管桩接电源的负极,高硅铸铁接电源的正极,通电后,外电路中的电子从高硅铸铁(阳极)流向正极,从负极流向钢管桩(阴极),A、B 正确;C 项,题给信息高硅铸铁为“惰性辅助阳极”不损耗,C 错误。
- 17.C 【解析】A 项,硫酸溶液显酸性,阳极反应式为 $2\text{Al} - 6\text{e}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+$;B 项,阴极反应式为 $6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 3\text{H}_2 \uparrow$,电解过程中 H_2O 减少, pH 减小;D 项,电解过程中 H^+ 移向阴极(石墨极)。故选 C。
- 18.C 【解析】锌环与电源的正极相连,为阳极,A 正确;断电时,Zn 比铁活泼,作负极,电极反应为 $\text{Zn} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}$,C 错误。故选 C。
- 19.C 【解析】由压强变化图像可知 $\text{pH} = 2$ 时,压强增大,说明生成氢气,发生析氢腐蚀,同理 $\text{pH} = 4$ 时,压强减小,说明消耗氧气,发生吸氧腐蚀,两溶液中负极反应均为: $\text{Fe} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$,A、B、D 选正确;由斜率可知消耗氧气的速率比生成氢气的速率快,且消耗 1 mol 氧气转移 4 mol 电子,而生成 1 mol 氢气转移 2 mol 电子,所以吸氧腐蚀的速率大于析氢腐蚀速率,C 选错误。故选 C。
- 20.(1)①吸氧腐蚀 ②B ③C



(3) ④ > ② > ① > ③

(4) B

【解析】(1) ①金属在中性或较弱的酸性条件下发生的是吸氧腐蚀。②发生吸氧腐蚀,越靠近液面接触到的 O_2 越多,腐蚀得越严重。③锌块应固定在腐蚀最严重的 C 处形成原电池,锌作负极,铁闸作正极,得到保护。

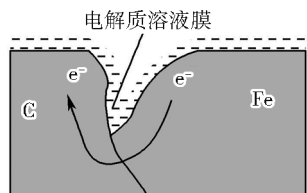
(2)要用石墨通过电化学腐蚀保护铜,只能用电解池原理,碳接电源正极,铜接电源负极。

(3)当电解质溶液相同时,同一金属腐蚀的快慢是电解池的阳极 > 原电池的负极 > 化学腐蚀 > 原电池的正极 > 电解池的阴极。故本小题中,铁腐蚀由快到慢的顺序为 ④ > ② > ① > ③。

(4) A 项, K_1 闭合时,该装置构成了 Fe-C-NaCl 溶液原电池,铁作负极,发生氧化反应,电极反应式是 $Fe - 2e^- = Fe^{2+}$; B 项,石墨棒作正极,发生的电极反应式是 $2H_2O + O_2 + 4e^- = 4OH^-$,故石墨棒周围溶液 pH 逐渐升高; C 项, K_2 闭合时,该装置构成了 Fe-C-外加电源的电解池,石墨棒作阳极,Fe 作阴极而不被腐蚀,该方法称为外加电流的阴极保护法; D 项, K_2 闭合时,阳极的电极反应式是 $2Cl^- - 2e^- = Cl_2 \uparrow$,阴极的电极反应式是 $2H^+ + 2e^- = H_2 \uparrow$,所以当电路中通过 $0.002N_A$ 个即 0.002 mol 电子时,生成 H_2 和 Cl_2 的物质的量均为 0.001 mol ,则两极共产生 0.002 mol 气体。

21. (1) ② 2.0 ③炭粉含量的影响

(2) 吸氧



还原 $2H_2O + O_2 + 4e^- = 4OH^-$

【解析】(1) 本题采用“控制变量法”进行研究,即保持其他条件相同,只考虑其中一个因素对实验的影响。探究醋酸浓度对电化学腐蚀的影响时,应保证碳粉和铁粉的质量与参照实验相同,因此实验②中铁粉为 2.0 g ; 对比实验①和③可知,铁粉的质量及醋酸的浓度相同,而碳粉的质量不同,显然探究的是碳粉的含量对铁的电化学腐蚀的影响。

(2) 当铁发生析氢腐蚀时,由于生成 H_2 ,容器的压强不断增大,而发生吸氧腐蚀时,由于消耗 O_2 ,容器的压强不断减小, t_2 时容器的压强明显小于起始压强,说明铁发生了吸氧腐蚀,此时 Fe 作负极,失去电子发生氧化反应;炭粉作正极, O_2 在其表面得到电子发生还原反应,电极反应式为 $O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$ 。

第一章测试卷

1. C **【解析】**在 101 kPa 时, 1 mol 纯物质完全燃烧生成指定产物时所放出的热量,叫作该物质的燃烧热。选项 A、B、C、D 均满足“ 1 mol ”的要求,但选项 A 中生成的 H_2O 是气态,选项 B 中生成的 CO 可继续燃烧生成 CO_2 ,选项 D 中生成的 S 也可继续燃烧生成 SO_2 。

2. A **【解析】**代入公式 $\Delta H = -\frac{0.418(t_2 - t_1)}{0.025} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \approx -55.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

- 3.C 【解析】含 1 mol H_2SO_4 的稀硫酸与足量 NaOH 溶液反应会生成 2 mol H_2O , 放出热量 114.6 kJ, A 错误; 一水合氨是弱碱, 电离过程为断开化学键, 需要吸热, 稀盐酸与氨水反应生成 1 mol H_2O 放出的热量会小于 57.3 kJ, B 错误; 稀盐酸与稀 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液反应生成 1 mol 水的实质是 $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$, 放出的热量是 57.3 kJ, C 正确; 浓硫酸的溶解过程释放热量, 所以稀 NaOH 溶液与 95% 浓硫酸生成 1 mol 水放出的热量大于 57.3 kJ, D 错误。
- 4.A 【解析】气态水转化为液态水放出热量, 故 $|\Delta H_2| > |\Delta H_1|$, 且这两个反应均为放热反应, ΔH 为负值, 所以 $\Delta H_1 > \Delta H_2$, A 正确; 气态 P 比固态 P 的能量高, 气态 P 燃烧放出的热量更多, 故 $|\Delta H_2| < |\Delta H_1|$, 且这两个反应均为放热反应, 所以 $\Delta H_2 > \Delta H_1$, B 错误; 第一个反应为放热反应, 第二个反应为吸热反应, 故 $\Delta H_2 > \Delta H_1$, C 错误; 金刚石的能量高, 燃烧放出的热量多, 故 $|\Delta H_2| < |\Delta H_1|$, 且这两个反应均为放热反应, 所以 $\Delta H_1 < \Delta H_2$, D 错误。
- 5.B 【解析】由图知, 反应 $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H = -534 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 可设断裂 1 mol N—H 所需的能量为 x , 则 $154 \text{ kJ} + 4x + 500 \text{ kJ} - 2752 \text{ kJ} = -534 \text{ kJ}$, 可求得 $x = 391 \text{ kJ}$ 。
- 6.D 【解析】 H_2 和 I_2 在一定条件下能发生反应: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g}) \quad \Delta H = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 该反应是放热反应, 反应物总焓高于生成物总焓, A 正确; 断裂化学键吸收能量, 形成化学键放出能量, 该反应是放热反应, 所以形成化学键放出的能量大于断裂化学键吸收的能量, 断开 1 mol H—H 和 1 mol I—I 所需能量小于断开 2 mol H—I 所需能量, B 错误; $\Delta H = \text{反应物断裂化学键需要的能量} - \text{生成物形成化学键放出的能量} = (b+c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 2E(\text{H—I}) = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 得到断开 2 mol H—I 所需能量约为 $(a+b+c) \text{ kJ}$, C 正确; 该反应是可逆反应, 不能进行彻底, 依据焓变意义分析, 向密闭容器中加入 2 mol H_2 和 2 mol I_2 , 充分反应后放出的热量小于 $2a \text{ kJ}$, D 错误。
- 7.D 【解析】根据题中键焓信息可计算 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H = (436 \times 2 + 495 - 463 \times 4) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -485 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, D 正确, 而 $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +242.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。
- 8.C 【解析】A 项, 放热反应的 $\Delta H < 0$, 错误; B 项, 12 g 石墨中碳原子的物质的量为 1 mol, 则 2 mol 石墨反应的 $\Delta H = -221.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 错误; C 项, 已知反应为放热反应, 则其逆反应为吸热反应, ΔH 为“+”, ΔH 的绝对值与化学计量数成正比, 正确; D 项, 所给反应是可逆反应, 0.5 mol N_2 和 1.5 mol H_2 不能完全反应, 错误。
- 9.D 【解析】0.9 mol 普通汽油完全燃烧放出的热量为: $Q \text{ kJ} - 1366.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ mol} = (Q - 136.68) \text{ kJ}$, 所以 1 mol 普通汽油完全燃烧放出的热量为 $\frac{1}{0.9}(Q - 136.68) \text{ kJ} = (\frac{10Q}{9} - 151.9) \text{ kJ}$ 。
- 10.B 【解析】根据盖斯定律可知, 反应热只与反应体系的始态和终态有关, $\text{A} \rightarrow \text{F}$ 的反应热与 $\text{F} \rightarrow \text{A}$ 的反应热互为相反数, A 正确; $\text{F} \rightarrow \text{B}$ 的反应热为 $\Delta H_1 + \Delta H_6 = -\Delta H_2 - \Delta H_3 - \Delta H_4 - \Delta H_5$, B 错误。完成整个循环, 又回到初始状态, 反应热之和为 0, C 正确; $\text{A} \rightarrow \text{D}$ 的反应热等于 $\text{A} \rightarrow \text{B}$ 、 $\text{B} \rightarrow \text{C}$ 、 $\text{C} \rightarrow \text{D}$ 的反应热之和, D 正确。
- 11.A 【解析】将前三个方程式依次编号为①②③, 由盖斯定律可知 $\frac{2}{3} \times \text{①} + \frac{2}{3} \times \text{②} - 2 \times \text{③}$ 得 $2\text{S}(\text{g}) = \text{S}_2(\text{g})$, 则 $\Delta H_4 = \frac{2}{3} \times \Delta H_1 + \frac{2}{3} \Delta H_2 - 2\Delta H_3 = \frac{2}{3}(\Delta H_1 + \Delta H_2 - 3\Delta H_3)$ 。
- 12.C 【解析】 $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g})$ 和 $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g})$ 都是放热反应, 因此 $\Delta H_1 < 0$,

$\Delta H_3 < 0$, A 错误; $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$ 为吸热反应, 则 $\Delta H_2 > 0$; $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$ 是放热反应, 则 $\Delta H_3 < 0$, B 错误; 由盖斯定律可知 ① = ② + ③, 因此 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$, C 正确; 由盖斯定律可知 ③ = $\frac{2}{3} \times (\frac{1}{2} \text{④} + \text{⑤})$, 因此 $\Delta H_3 = \frac{1}{3} \Delta H_4 + \frac{2}{3} \Delta H_5$, D 错误。

13.B 【解析】碳燃烧的热化学方程式为 ① $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 将另外两个热化学方程式进行编号, ② $\text{S}(\text{s}) + 2\text{K}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{K}_2\text{S}(\text{s}) \quad \Delta H_2 = b \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, ③ $2\text{K}(\text{s}) + \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{KNO}_3(\text{s}) \quad \Delta H_3 = c \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 运用盖斯定律, ① $\times 3 + \text{②} - \text{③}$ 得 $\text{S}(\text{s}) + 2\text{KNO}_3(\text{s}) + 3\text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{K}_2\text{S}(\text{s}) + \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = (3a + b - c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则 $x = 3a + b - c$, B 正确。

14.D 【解析】 ΔH = 断裂化学键所吸收的总能量 - 形成化学键所释放的总能量, 在 1 mol $\text{P}_4(\text{g})$ 与 5 mL $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 1 mol $\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{g})$ 的过程中, 要断裂 6 mol P—P 键、5 mol 氧氧键, 同时会形成 4 mol P=O 键、12 mol P—O 键, 故 $\Delta H = 6a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 5d \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 4c \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 12b \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = (6a + 5d - 4c - 12b) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

15.C 【解析】设燃烧后共生成 CO_2 的物质的量为 x , 混合气体中 CH_4 、 CO 的物质的量分别为 a 、 b 。石灰水过量时只生成碳酸钙, 据 $\text{CaCO}_3 \sim \text{CO}_2$ 得 $x = 0.5 \text{ mol}$, 则
$$\begin{cases} a + b = 0.5 \text{ mol}, \\ 890.31 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times a + 283 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times b = 262.96 \text{ kJ}, \end{cases} \quad \text{解}$$
 得 $a \approx 0.2 \text{ mol}$, $b \approx 0.3 \text{ mol}$, $a : b = 2 : 3$ 。

16.(1) $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -49.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) 44 mol 2 178

(3) 46.75 kJ

【解析】(1) 已知 4.4g CO_2 气体与 H_2 经催化加氢生成 CH_3OH 气体和水蒸气时放出 4.95 kJ 的能量, 则 1 mol 二氧化碳全部反应放热 49.5 kJ, 由焓变及状态可知热化学方程式为 $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -49.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 在 270 $^{\circ}\text{C}$ 、8 MPa 和适当催化剂的条件下, 物质为气体, 反应的热化学方程式为: $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -49.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, CO_2 的转化率达到 22%, 则 4.48 m^3 (已折合为标准状况) 的 CO_2 在合成 CH_3OH 气体过程中转化的物质的量为 $\frac{4.48 \times 10^3}{22.4} \text{ mol} = 44 \text{ mol} = 44 \text{ mol}$, 反应能放出热量 $44 \text{ mol} \times 49.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 2 178 \text{ kJ}$ 。

(3) 由 ① $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -49.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; ② $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -44 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; 结合盖斯定律可知 ① + ② 得到: $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -93.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; 22 g CO_2 气体与 H_2 反应生成 CH_3OH 气体和液态水时放出热量为 $\frac{22}{44} \text{ mol} \times 93.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 46.75 \text{ kJ}$ 。

17.(1) D

(2) $-51.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(3) ① 偏小 ② 偏小 ③ 偏小 用醋酸溶液代替盐酸, 醋酸电离要吸收能量, 造成测得的中和热偏小

【解析】(1) 使盐酸与 NaOH 溶液混合均匀的正确操作是: 用套在温度计上的玻璃搅拌器轻轻地搅动。

(2) 取三次实验的平均值代入公式计算即可。即 $t_1 = \frac{\frac{20.1 + 20.0}{2} + \frac{20.2 + 20.4}{2} + \frac{20.6 + 20.5}{2}}{3} = 20.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$,

$$t_2 = \frac{23.2 + 23.4 + 23.6}{3} = 23.4 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\text{所以 } \Delta H = -\frac{100 \text{ mL} \times 1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \times 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{J}^{-1} \times (23.4 - 20.3) ^\circ\text{C}}{0.025 \text{ mol}} \approx -51.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

(3) ①若因为放热现象导致少量 HCl 在反应中挥发,减少了 HCl 的量,则测得的中和热会偏小。②在中和热测定实验中存在用水洗涤温度计上的盐酸的步骤,其目的是防止温度计上面的盐酸残液与氢氧化钠反应,若无此操作步骤,会使测量结果偏小。③用醋酸溶液代替盐酸,醋酸电离要吸收能量,造成测得的中和热偏小。

18. (1) 小试管中固体变成乳状,同时有大量水蒸气产生,温度计温度上升

(2) 导管口有气泡产生 U 形管左侧水柱下降,右侧水柱上升

(3) 无水硫酸铜粉末变蓝 水与生石灰反应放出热量,使水蒸发,无水硫酸铜遇水变蓝

【解析】(1) CaO 与 H_2O 反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 反应放出大量的热,小试管内有水蒸气产生,温度计温度上升。

(2) 由于 CaO 与 H_2O 反应放热,使小试管内温度升高,压强增大,故接①时,导管口有气泡冒出;接②时,U 形管左侧水柱下降,右侧水柱上升。

(3) CaO 与 H_2O 反应放热,使小试管内水分蒸发,无水 CuSO_4 吸水后生成蓝色的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。

19. (1) $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -572 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) <

(3) 3 : 1 3 : 2

(4) 等物质的量时燃烧产生的热量多, CO_2 排放量少,有利于保护环境(合理即可)

【解析】(1) 注意反应物、生成物的状态, ΔH 要与写出的化学方程式的化学计量数相对应。

(2) 液态水变为水蒸气需吸收热量,故放出的热量小于 890 kJ。

(3) 忽略水煤气中的其他成分,1 mol 水煤气中含有 0.5 mol CO 和 0.5 mol H_2 , 完全燃烧时放出的热量为 $283 \times 0.5 \text{ kJ} + 286 \times 0.5 \text{ kJ} = 284.5 \text{ kJ}$, 而 1 mol CH_4 气体完全燃烧放出 890 kJ 热要得到相等的热量,水煤气与甲烷的体积比为 $890 : 284.5 \approx 3 : 1$ 。

20. (1) +123

(2) $2\Delta H_1 - 3\Delta H_2 - \Delta H_3$

(3) $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \text{H}_2\text{S}(\text{g}) = \text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \quad \Delta H = +20 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 系统(Ⅱ)

【解析】(1) 根据盖斯定律,②式-③式可得①式,因此 $\Delta H_1 = \Delta H_2 - \Delta H_3 = -119 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 242 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = +123 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 将题给热化学方程式依次编号为①、②、③,根据盖斯定律,① \times 2-② \times 3-③可得目标热化学方程式,则 $\Delta H = 2\Delta H_1 - 3\Delta H_2 - \Delta H_3$ 。

(3) 热化学方程式的书写应注意标明各物质的聚集状态和 ΔH 的单位。将题中热化学方程式依次编号为

①②③④,依据盖斯定律,①+②+③可得: $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +286 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,

②+③+④可得: $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) = \text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \quad \Delta H = +20 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,由两个热化学方程式比较可知:制得等量 H_2 系统(Ⅱ)所需热量较少。

第二章测试卷

- 1.A 【解析】在恒温恒压下充入 1 mol $\text{NH}_3(\text{g})$,将氨气折算成氮气和氢气,它们的物质的量之比为 1:3,与原平衡相同,所以它与原平衡为等效平衡,所以氨气的浓度也与原平衡相同,A 正确;保持温度和体积不变,充入 1 mol $\text{NH}_3(\text{g})$,相当于增大压强,平衡正向进行,氨气浓度增大,B 错误;保持温度和容器压强不变,充入 1 mol $\text{N}_2(\text{g})$,平衡正向移动,氨气的浓度增大,但比原平衡小,C 错误;保持温度和容器体积不变,充入 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$,总压增大,平衡正向移动,所以氨气的浓度增大,D 错误;故选 A。
- 2.A 【解析】对于该可逆反应,欲增大正反应速率,可采取的措施:①升高温度;②增大压强;③使用催化剂;④通入反应物(容器体积不变)。B 减压,D 降温,C 移走生成物,均减小正反应速率,A 正确。
- 3.D 【解析】增加固体用量,对平衡无影响,①错;对于多种物质参加的可逆反应,增大某一反应物的浓度,平衡右移,其他反应物的转化率增大,而此物质的转化率降低,②错;对于有气体参加的可逆反应,缩小容器体积,压强增大,平衡向气体分子数减小的方向移动,③错;在恒压容器中,充入稀有气体,不保证恒压,唯有增大体积,效果等同于直接减小压强,气体分子数不等可逆反应建立平衡发生移动,气体分子数相等可逆反应平衡不移动,④错。
- 4.C 【解析】 $a\text{A}+b\text{B}\rightleftharpoons c\text{C}+d\text{D}$, $K=\frac{c^c(\text{C})\cdot c^d(\text{D})}{c^a(\text{A})\cdot c^b(\text{B})}$,它只与反应本身和温度有关,温度不变, K 不变,A 错误;两种物质反应,方程式的书写形式不同, K 的表达式不同, $\text{N}_2+3\text{H}_2\rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ $K=\frac{c^2(\text{NH}_3)}{c^2(\text{N}_2)\cdot c^2(\text{H}_2)}$,反应 $\frac{3}{2}\text{H}_2+\frac{1}{2}\text{N}_2\rightleftharpoons \text{NH}_3$ $K'=\frac{c(\text{NH}_3)}{c^{\frac{1}{2}}(\text{N}_2)\cdot c^{\frac{1}{2}}(\text{H}_2)}$,B 错误;如 $\text{H}_2(\text{g})+\text{I}_2(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$, $K_{\text{正}}=\frac{c^2(\text{HI})}{c(\text{H}_2)\cdot c(\text{I}_2)}$, $K_{\text{逆}}=\frac{c(\text{H}_2)\cdot c(\text{I}_2)}{c^2(\text{HI})}$, $K_{\text{正}}=\frac{1}{K_{\text{逆}}}$,C 正确;生成物浓度幂的乘积与反应物浓度幂的乘积的比值,即 $Q_c<K$,向正反应方向进行, $v_{\text{正}}>v_{\text{逆}}$,D 错误。
- 5.B 【解析】由题意知反应是放热反应,反应后气体体积减小;加催化剂同时升高温度,催化剂加快反应速率,升温平衡逆向移动,NO 转化率减小,A 错误;加催化剂同时增大压强,催化剂加快反应速率,增大压强平衡正向移动,NO 转化率增大,B 正确;升高温度同时充入 N_2 ,升温速率增大,平衡逆向移动,加氮气平衡逆向移动,NO 转化率减小,C 错误;降低温度反应速率减小,加压反应速率增大,无法确定反应速率的变化情况,D 错误;故选 B。
- 6.A 【解析】通入 Z,平衡逆向移动,Z 的体积分数增大,B 项错;W 为固体,改变其用量,平衡不移动,C 错误; ΔH 只与化学方程式中的化学计量数及状态有关,与实际参加反应的反应物的量无关,D 错误。
- 7.C 【解析】 $m\text{A}+n\text{B}\rightleftharpoons p\text{C}+q\text{D}$, $K=\frac{c^p(\text{C})\cdot c^q(\text{D})}{c^m(\text{A})\cdot c^n(\text{B})}$, K 只与反应本身和温度有关,温度不变, K 不变,它的大小可反映了化学反应进行程度。平衡常数越大,说明反应可以进行得越完全,只有 C 错误。
- 8.A 【解析】向左侧容器中通入 H_2 ,增大 H_2 的浓度,平衡右移,但总压强增大,隔板右移,增大右侧压强,使该平衡右移。
- 9.B 【解析】反应前后气体物质的量不发生改变,气体质量守恒,容积不变,A、C 错误;D 项均为正反应速率,D 错误。故选 B。
- 10.D 【解析】由图像知该反应中 M 为生成物,A 错误; t_2 时刻 M、N 的物质的量相等,M 的物质的量在增加,而 N 的物质的量在减少,说明反应在正向进行, $v_{\text{正}}>v_{\text{逆}}$,B 错误; t_3 时刻处于平衡状态, $v_{\text{正}}=v_{\text{逆}}$,C

错误; t_1 时 N 的物质的量是 M 物质的量的 2 倍,D 正确。

11.D 【解析】其他条件不变时,升高温度,正逆反应速率不同程度加快,平衡向吸热方向移动,尽可能削弱这种改变,反之亦然。正反应是放热反应,升高温度平衡逆向移动,Z 的质量分数减小,反应物的转化率降低,但反应物的含量增大,D 正确,其余选错误。

12.B 【解析】①纯锌粒,与酸反应,不能形成原电池,速率较慢,故①错误;②粗锌粒,含有的杂质可以形成原电池,加快了反应速率,故②正确;③ $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸,与④相比,盐酸溶液中氢离子浓度较小,反应速率较慢,故③错误;④ $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸,与③相比,溶液中含有的氢离子浓度较大,反应速率较快,故④正确;⑤98%硫酸,由于浓硫酸与锌反应生成的是二氧化硫,不能生成氢气,故⑤错误;⑥加热,温度较高,反应速率加快,故⑥正确;⑦用冰水冷却,温度降低,反应速率减小,故⑦错误;以上符合题意的有②④⑥,故选 B。

13.B 【解析】加热、增大固体反应物的有效表面积,都能加快反应速率,A、D 错误;浓硫酸能使铁发生钝化,阻止了进一步的反应,浓 H_2SO_4 与 Fe 反应也不生成 H_2 ,B 正确;C 项中增大了 H^+ 浓度,加快化学反应速率,C 正确。

14.D 【解析】将各物质看作气体,增大压强,在地壳区域高压条件下平衡将向着化学计量数小的方向移动,即有利于生成(钙镁)石榴子石,D 正确。

15.D 【解析】比较温度或压强的大小,就是要比较达到平衡所用的时间,时间越短,则温度或压强越高。比较 T_2 、 p_1 和 T_1 、 p_1 可知 $T_1 > T_2$,由 $T_1 \rightarrow T_2$, T 降低, $\varphi(\text{B})$ 增大,平衡左移,则正反应为吸热反应, $\Delta H > 0$;比较 T_1 、 p_1 和 T_1 、 p_2 可知 $p_2 > p_1$,由 $p_1 \rightarrow p_2$, p 升高, $\varphi(\text{B})$ 增大,平衡左移,则 $m+n < q$ 。

16.(1)正向

(2)不

(3)逆向 Fe^{3+} 与 OH^- 生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀,导致 Fe^{3+} 的浓度降低

【解析】改变物质的浓度,平衡向着减小这种改变的方向进行:增大反应物粒子浓度或减小生成物粒子浓度,都可以使平衡正移;反之,平衡逆移。此反应实质: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$ 。

(1)加入 KSCN 固体, $c(\text{SCN}^-)$ 增大,平衡正移。

(2)加入 KCl 固体,溶液中 Fe^{3+} 、 SCN^- 浓度不变, K^+ 和 Cl^- 不参加反应,平衡不移动。

(3)加入 NaOH 固体, Fe^{3+} 和 OH^- 生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 红褐色沉淀, $c(\text{Fe}^{3+})$ 减小,平衡逆移。

17.(1)0.045 mol

(2) $0.009 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

【解析】(1) $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$, $v(\text{A}) = \frac{\Delta c(\text{A})}{\Delta t}$ 。

设溶液体积为 V ,由图和表中数据,可知 10 min~15 min 平均反应速率关系式:

$$7.4 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = \frac{0.045 \text{ mol}}{V \text{ L} \times 5 \text{ min}}, \text{解得 } V = 1 \text{ L}。$$

从 15 min 到 20 min,甲酸甲酯转化率由 6.7% 增加到 11.2%,减少量为 $1.00 \text{ mol} \times (11.2\% - 6.7\%) =$

$$0.045 \text{ mol}, v(\text{甲酸甲酯}) = \frac{0.045 \text{ mol}}{1 \text{ L} \times 5 \text{ min}} = 0.009 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}。$$

18.(1) $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

(2)200

【解析】设达到平衡时, N_2 反应了 $x \text{ mol}$ 。

则在 2 L 密闭容器中, 2 min 内各物质的物质的量发生的变化如下:

	N_2	+	3H_2	\rightleftharpoons	2NH_3
起始量/mol	0.60		1.60		0
转化量/mol	x		$3x$		$2x$
平衡量/mol	$0.60-x$		$1.60-3x$		$2x$

则平衡时 NH_3 的物质的量分数为 $\frac{2x}{(0.60-x)+(1.60-3x)+2x} = \frac{4}{7}$, 解得 $x=0.40 \text{ mol}$ 。

$$(1) 2 \text{ min 内 } \text{N}_2 \text{ 的平均速率为 } \frac{\frac{0.40 \text{ mol}}{2.0 \text{ L}}}{2 \text{ min}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}。$$

$$(2) K = \frac{c^2(\text{NH}_3)}{c(\text{N}_2) \cdot c^3(\text{H}_2)} = \frac{\left(\frac{0.8 \text{ mol}}{2 \text{ L}}\right)^2}{\left(\frac{0.2 \text{ mol}}{2 \text{ L}}\right) \cdot \left(\frac{0.4 \text{ mol}}{2 \text{ L}}\right)^3} = \frac{(0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2}{(0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}) \cdot (0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^3} = 200.00 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2},$$

此温度下该反应的平衡常数为 200。

19.(1)0.5

(2) a 值为 6

(3) M 的转化率为 41.4%

【解析】(1) $\text{M(g)} + \text{N(g)} \rightleftharpoons \text{P(g)} + \text{Q(g)}$ $K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})}$,

	M(g)	+	N(g)	\rightleftharpoons	P(g)	+	Q(g)
起始量/(mol · L ⁻¹)	1		2.4		0		0
变化量/(mol · L ⁻¹)	0.6		0.6		0.6		0.6
平衡量/(mol · L ⁻¹)	0.4		1.8		0.6		0.6

$$K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})} = \frac{0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.5。$$

(2) 温度不变 K 不变, $K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})}$,

	M(g)	+	N(g)	\rightleftharpoons	P(g)	+	Q(g)
起始量/(mol · L ⁻¹)	4		a		0		0
变化量/(mol · L ⁻¹)	2		2		2		2
平衡量/(mol · L ⁻¹)	2		$a-2$		2		2

$$K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})} = \frac{2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times (a-2) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = \frac{1}{2}, a=6。$$

(3) 温度不变 K 不变, $K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})}$; 设 M 的转化率为 x 。

	M(g)	+	N(g)	\rightleftharpoons	P(g)	+	Q(g)
起始量/(mol · L ⁻¹)	b		b		0		0
变化量/(mol · L ⁻¹)	xb		xb		xb		xb
平衡量/(mol · L ⁻¹)	$b-bx$		$b-bx$		xb		xb

$$K = \frac{c(\text{P}) \cdot c(\text{Q})}{c(\text{M}) \cdot c(\text{N})} = \frac{bx \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times bx \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{b(1-x) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times b(1-x) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.5, x \approx 0.414.$$

第三章测试卷

- 1.A 【解析】氢硫酸的还原性强于亚硫酸,不能用于比较二者酸性的强弱,A 错误;相同条件下,氢硫酸的导电能力弱于亚硫酸,说明亚硫酸的电离程度大,则亚硫酸的酸性强于氢硫酸,B 正确; $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的亚硫酸和氢硫酸溶液的 pH 分别为 2.1 和 4.5,说明亚硫酸的电离程度大,酸性较强,C 正确;氢硫酸不能与碳酸氢钠溶液反应,而亚硫酸可以,说明亚硫酸的酸性比氢硫酸的酸性强,D 正确。
- 2.C 【解析】高锰酸钾溶液具有强氧化性,应选用酸式滴定管盛装,题图中 B 为碱式滴定管,用于盛装碱性溶液,A 错误;滴定过程中,为了及时判断滴定终点,眼睛要时刻注视锥形瓶中溶液颜色的变化,B 错误;为了避免待装液被稀释,滴定管装入液体前需用待装液润洗,C 正确;滴定前平视,滴定结束后仰视读数,读出的标准液体积偏大,会使测定结果偏大,D 错误。
- 3.D 【解析】题中 K 为醋酸的电离常数,由于电离常数不随浓度的变化而变化,只随温度的变化而变化,所以 A、B 错误。醋酸的电离是吸热过程,所以升高温度, K 增大,降低温度, K 减小,标准状况下(0°C),温度低于 25°C , K 小于 1.75×10^{-5} ,C 错误。
- 4.C 【解析】 100°C 时, $K_w = c(\text{H}^+) \times c(\text{OH}^-) = 10^{-12}$,该温度下 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HCl 溶液中 $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液中 $c(\text{OH}^-) = 0.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 2 = 0.12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,二者等体积混合后,混合溶液中 $c(\text{OH}^-) = \frac{0.12 - 0.1}{2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-12}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = 10$ 。
- 5.D 【解析】A 项,氢硫酸是弱酸,是水中微弱电离,硫化钠是强电解质,在水中完全电离,故 25°C 时, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫化氢溶液比等浓度的硫化钠溶液的导电能力弱,A 正确;B 项, 25°C 时, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液中 $c(\text{OH}^-) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,加水稀释至原来的 100 倍,溶液中的 $c(\text{OH}^-) = 0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则溶液中的 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,所以溶液的 $\text{pH} = 11$,B 正确;C 项, 25°C 时,将 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HA 溶液加水稀释至 $\text{pH} = 4$,溶液中 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,所以溶液 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,C 正确;D 项,由水电离出的 $c(\text{H}^+) = 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液中水的电离受到了抑制,可能是向水中加入了酸,也可能是加入了碱。若溶液呈酸性,则 CO_3^{2-} 不能大量存在;若溶液呈碱性,则 NH_4^+ 不能大量存在,D 错误。
- 6.A 【解析】相同浓度时,酸中氢离子浓度越大其 pH 越小,①是一元弱酸,②是一元强酸,⑥是强酸弱碱盐,其溶液呈酸性,pH 由小到大的顺序是②<①<⑥;③是一元强碱,④是强碱弱酸盐,其溶液呈碱性,⑤是强酸强碱盐,其溶液呈中性,则 pH 由大到小的排列顺序为③④⑤⑥①②。
- 7.B 【解析】①中 NaHSO_4 为强酸的酸式盐,溶液显酸性是因为 NaHSO_4 电离出 H^+ ;②中 NH_4^+ 水解使土壤酸性增强;③中 HCl 电离产生的 H^+ 会抑制 Cu^{2+} 水解;④中是因为 HS^- 水解的程度大于其电离的程度;⑤中 NH_4^+ 水解产生的 H^+ 与锈斑中的 Fe_2O_3 反应;⑥加热会促进 FeCl_3 水解。
- 8.D 【解析】加入少量金属 Na,钠消耗氢离子,平衡②右移,溶液中 $c(\text{HSO}_3^-)$ 减小,A 错误;加入少量 Na_2SO_3 固体,根据电荷守恒, $c(\text{H}^+) + c(\text{Na}^+) = c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{OH}^-) + 2c(\text{SO}_3^{2-})$,B 错误;加入氨水至中性,根据元素质量守恒, $c(\text{Na}^+) = c(\text{SO}_3^{2-}) + c(\text{HSO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{SO}_3)$,所以 $2c(\text{Na}^+)$ 不可能等于

$c(\text{SO}_3^{2-})$, C 错误;加入少量 NaOH 溶液, $c(\text{OH}^-)$ 增大、 $c(\text{H}^+)$ 减小, $K_{a_2} = \frac{c(\text{SO}_3^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HSO}_3^-)}$ 不变, 所以

$\frac{c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)}$ 、 $\frac{c(\text{OH}^-)}{c(\text{H}^+)}$ 的值均增大, D 正确。

9.A 【解析】由题图可知, $V(\text{HCl 溶液}) = 20.00 \text{ mL}$ 时, $\text{pH} = 7$, HCl 与 NaOH 恰好完全反应, 由 $c(\text{HCl}) \cdot$

$V(\text{HCl 溶液}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH 溶液})$ 知, $c(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl 溶液})}{V(\text{NaOH 溶液})} = \frac{0.125 \times 0.020}{0.025} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} =$

$0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由 $K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-)$ 知, 25°C 时, $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液中 $c(\text{H}^+) = 10^{-13} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 即其 $\text{pH} = 13$ 。

10.D 【解析】由于 CO_3^{2-} 的水解, 纯碱溶液呈碱性, 水解过程吸热, 故热的纯碱溶液水解程度增大, 溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 增大, 清洗油污能力增强, A 正确; 明矾溶于水, 电离出 Al^{3+} , Al^{3+} 发生水解生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体, 胶体能够吸附水中的悬浮物, B 正确; 利用水解原理制得 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 加热脱水即可制备 TiO_2 纳米粉, C 正确; 配制氯化亚锡溶液时加入 NaOH , 水解平衡正向移动, D 不正确。

11.A 【解析】 HCOONa 和 NaF 的浓度相同, HCOONa 溶液的 pH 较大, 说明 HCOO^- 的水解程度较大, 根据“越弱越水解”可知, 甲酸的电离平衡常数较小, 即 $K_a(\text{HCOOH}) < K_a(\text{HF})$, A 错误; 相同浓度的 CH_3COOH 和 CH_3COONa 两种溶液等体积混合后 pH 约为 4.7, 此时溶液呈酸性, H^+ 浓度大于 OH^- 浓度, 说明溶液中醋酸的电离程度大于 CH_3COO^- 的水解程度, 则 CH_3COO^- 浓度大于 Na^+ 浓度, 则溶液中 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, B 正确; CuS 的溶解度较小, 将 CuS 投入稀硫酸溶液中, CuS 溶解电离出的 S^{2-} 不足以与 H^+ 发生反应, 而将 FeS 投入稀硫酸后溶解, 说明 $K_{sp}(\text{FeS}) > K_{sp}(\text{CuS})$, C 正确; 根据溶液中的元素质量守恒, $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}$ 溶液中所有含 S 元素的微粒的总物质的量浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 即 $c(\text{S}^{2-}) + c(\text{HS}^-) + c(\text{H}_2\text{S}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, D 正确。

12.B 【解析】A 项, $\text{pH} = 2$ 的溶液显酸性, Fe^{2+} 和 I^- 均能被 NO_3^- 氧化, 不能大量共存, A 错误; B 项, $c(\text{NaAlO}_2) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液中 K^+ 、 OH^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 均能大量存在, 且离子组间不发生离子反应, B 正确; C 项, $\frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液呈酸性, H^+ 与 ClO^- 反应生成弱酸而不能大量共存, C 错误; D 项, $c(\text{Fe}^{3+}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液中, Fe^{3+} 与 SCN^- 生成配合离子, 不能大量共存, D 错误。

13.C 【解析】通过添加过量难溶电解质 MnS , 使溶液中含有的 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 等金属离子形成硫化物沉淀, 属于沉淀的转化, 由难溶的物质转化为更难溶的物质, MnS 的 K_{sp} 大于 CuS 、 PbS 、 CdS 等硫化物的 K_{sp} , A 错误; 除杂试剂 MnS 如用 FeS 代替, 会引入新的杂质, B 错误; MnS 与 Cu^{2+} 反应的离子方程式为 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{MnS}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CuS}(\text{s}) + \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$, C 正确; 工业上以 MnO_2 制 MnCl_2 , 锰元素的化合价发生变化, 属于氧化还原反应, 沉淀的转化属于复分解反应, D 错误。

14.B 【解析】A 项, HCOO^- 在溶液中存在水解平衡: $\text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCOOH} + \text{OH}^-$, 则水解常数

$K_h = \frac{c(\text{HCOOH}) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{HCOO}^-)} = \frac{K_w}{K_a(\text{HCOOH})} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-4}} = 5.6 \times 10^{-11}$, A 正确; B 项, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 溶于

水形成的饱和溶液中, $K_{sp}[\text{Zn}(\text{OH})_2] = c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) = 4c^3(\text{Zn}^{2+}) = 1.2 \times 10^{-17}$, 则有 $c(\text{Zn}^{2+}) \approx 1.4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, B 错误; C 项, 向 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 悬浊液中加入 HCOOH , 发生中和反应消耗 OH^- , $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 溶解平衡正向移动, 溶液中 $c(\text{Zn}^{2+})$ 增大, C 正确; D 项, 该反应的平衡常数为

$K = \frac{c^2(\text{HCOO}^-) \cdot c(\text{Zn}^{2+})}{c^2(\text{HCOOH})} = \frac{K_a^2(\text{HCOOH}) \cdot K_{sp}[\text{Zn}(\text{OH})_2]}{K_w^2} = \frac{(1.8 \times 10^{-4})^2 \times 1.2 \times 10^{-17}}{(1.0 \times 10^{-14})^2} = 3.888$, D

正确。

- 15.D 【解析】 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 溶液中 NH_4^+ 、 Fe^{2+} 发生水解反应, SO_4^{2-} 不发生水解反应, 则离子浓度关系为 $c(\text{SO}_4^{2-}) > c(\text{NH}_4^+) > c(\text{Fe}^{2+}) > c(\text{H}^+)$, A 正确。将 10 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液逐滴滴入 10 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸中, 得到 NaCl 和 Na_2CO_3 的混合液, Na^+ 、 Cl^- 不水解, CO_3^{2-} 部分水解, 则离子浓度关系为 $c(\text{Na}^+) > c(\text{Cl}^-) > c(\text{CO}_3^{2-}) > c(\text{HCO}_3^-)$, B 正确。0.01 mol $\cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液与等体积 pH=2 的醋酸溶液混合, 充分反应后醋酸剩余, 混合液呈酸性, 则有 $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$; 结合电荷守恒关系式推知 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{Na}^+)$, C 正确。0.1 mol $\cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 溶液中, 根据电荷守恒可得 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-)$; 根据元素质量守恒可得 $c(\text{Na}^+) = c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)$, 综合上述两式可得 $c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) = c(\text{OH}^-) + c(\text{CO}_3^{2-})$, D 错误。

16.(1)11

(2) $1 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(3)氯化铵

(4)13

(5)2

【解析】(1) $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液的 $c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 溶液的 pH=11。

(2) 0.01 mol $\cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ 溶液中, 水电离受到抑制, 水电离出的 H^+ 的物质的量的浓度 $c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-14}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 某溶液由水电离出 H^+ 的物质的量的浓度 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 根据 $K_w = c(\text{H}^+)c(\text{OH}^-)$ 则 $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 氢离子浓度大于氢氧根离子浓度, 显示酸性, 可以是氯化铵溶液。

(4) 将 0.39 g 即 0.005 mol 过氧化钠溶于足量水中, 得到 0.01 mol 的氢氧化钠, 配成 100 mL 溶液, 则 $c(\text{NaOH}) = \frac{0.01 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH=13。

(5) 0.12 mol $\cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$ 溶液与 0.1 mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液等体积混合, 则酸会剩余, 剩余的氢离子浓度 = $\frac{0.12-0.1}{2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 所以 pH=2。

17.(1)a 由 CH_3COOH 、 HCN 的电离平衡常数可知, HCN 的酸性弱于 CH_3COOH 的, 浓度相同的两种酸, HCN 的 pH 高于 CH_3COOH 的 pH

(2) $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$

(3)=

(4)④③②

【解析】由二者的电离平衡常数可知, 酸性: $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCN}$ 。

(1) 浓度相同的两种酸, HCN 的 pH 高于 CH_3COOH 的 pH, 故 a 为 NaOH 溶液滴定 HCN 溶液的 pH 变化的曲线。

(2) 点③存在电荷守恒: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$, 因此时溶液呈中性, 故 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$, 可得 $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$, 因 Na^+ 、 CH_3COO^- 相较于 H^+ 、 OH^- 多很多, 由此可知溶液中

离子浓度大小关系为 $c(\text{Na}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) > c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$ 。

(3)因起始两种酸的物质的量相等,故 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{CH}_3\text{COOH}) = c(\text{CN}^-) + c(\text{HCN})$,由此可知 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-) - c(\text{CN}^-) = c(\text{HCN}) - c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。

(4)②~④过程中,溶液中一直在发生酸碱中和反应,酸对于水电离的抑制程度逐渐减小,故水的电离程度由大到小的顺序是④③②。

18.(1) $<$ $c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$

(2)碱 $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$, CH_3COO^- 水解显碱性

(3)bc

(4) $<$ $>$

【解析】(1)醋酸属于弱酸,所以溶液①的 pH 小于 7,满足电荷守恒,即 $c(\text{H}^+) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + c(\text{OH}^-)$ 。

(2) CH_3COONa 为强碱弱酸盐,水解呈碱性,离子方程式为 $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$ 。

(3)醋酸是弱电解质,部分电离;醋酸钠溶液中存在 CH_3COO^- 的水解,两种溶液中 CH_3COO^- 的浓度都小于 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,故 a 错误,b 正确;醋酸为弱电解质,部分电离出 CH_3COO^- ,醋酸钠为强电解质,完全电离出 CH_3COO^- ,存在 CH_3COO^- 的水解,但 CH_3COO^- 的水解程度很小,所以两种溶液中 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 都小于 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, CH_3COOH 溶液中 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 小于 CH_3COONa 溶液中 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$,故 c 正确。

(4) NaHSO_3 溶液的 $\text{pH} < 7$,则 HSO_3^- 的电离程度大于水解程度,故 $c(\text{SO}_3^{2-}) > c(\text{H}_2\text{SO}_3)$; NaHCO_3 溶液的 $\text{pH} > 7$,则 HCO_3^- 的水解程度大于电离程度,故 $c(\text{CO}_3^{2-}) < c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 。

19.(1)①B ②CD

(2)4 3 可行

【解析】(1)①四个选项中的物质均能将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ,但只有 H_2O_2 的还原产物为 H_2O ,不引入新的杂质。②加入 CuO 或 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 时不引入新的杂质,同时能消耗 Fe^{3+} 水解生成的 H^+ ,从而促进 Fe^{3+} 完全水解为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而除去。

(2) $K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] = c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-)$,则 $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{3.0 \times 10^{-20}}{3.0}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则

$c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 4$ 。 Fe^{3+} 恰好完全沉淀时: $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = c(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)$,则

$c(\text{OH}^-) = \sqrt[3]{\frac{1.0 \times 10^{-38}}{1.0 \times 10^{-5}}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.0 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,此时 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 3$,因

此上述方案可行。

20.(1)酸式 烧杯、锥形瓶(答案合理即可)

(2) $2\text{MnO}_4^- + 5\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 16\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Mn}^{2+} + 10\text{CO}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$

(3)无 浅紫

(4)ac

(5)①甲基橙 ②将溶解在溶液中的 CO_2 气体赶出 ③0.06

【解析】(1)高锰酸钾具有强氧化性,会腐蚀橡胶,应放在酸式滴定管中,滴定前需要进行赶气泡、调零等操作,用烧杯盛液体,滴定中用锥形瓶盛待测液,故所需玻璃仪器有酸式滴定管、锥形瓶、烧杯。

(2)高锰酸钾具有强氧化性,在酸性条件下将 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 氧化为 CO_2 ,自身被还原为 Mn^{2+} ,离子方程式为



(3)高锰酸钾溶液本身为紫色,在开始滴入 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 中时被还原,颜色消失,当达到滴定终点时,加入最后半滴高锰酸钾溶液,溶液由无色变为浅紫色,且半分钟内不褪色。

(4)a.滴定时,滴定管经水洗、蒸馏水洗后直接加入滴定剂高锰酸钾溶液,标准液被稀释,浓度变稀,造成 $V(\text{标准})$ 偏大,由此计算结果偏大;b.滴定前平视,滴定后俯视,则所用标准液读数偏小,由此计算结果偏小;c.滴定结束后,滴定管尖端悬有一滴溶液,造成 $V(\text{标准})$ 偏大,由此计算结果偏大;d.滴定过程中,振荡时将待测液洒出,所用标准液偏小,由此计算结果偏小。

(5)实验过程中将锥形瓶内液体煮沸的目的是将溶解的 CO_2 气体赶出;若用酚酞作指示剂,因为其变色范围为 $8.2 \sim 10.0$,则 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 可能会形成沉淀析出,造成较大误差,因此选择甲基橙作指示剂。实验过程中发生的反应为 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightleftharpoons \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 。 CaCO_3 消耗 HCl 的物质的量为 $20.00 \times 10^{-3} \text{ L} \times 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - 8.00 \times 10^{-3} \text{ L} \times 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ mol}$,

$$m(\text{CaCO}_3) = \frac{1.2 \times 10^{-3} \text{ mol}}{2} \times 100 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.06 \text{ g}。$$

第四章测试卷

- 1.C 【解析】在自行车钢圈上镀上一层金属铬,摩擦部位加上机油或黄油,阻止了铁与氧气和水接触,能防止铁被腐蚀,A 不符合;铁、锌和海水构成原电池,锌作负极被消耗,铁为正极,阻止了铁的腐蚀,但需定期补充负极金属,B 不符合;破损后均构成原电池,马口铁中的铁作原电池负极,加快铁腐蚀,白铁中的铁作原电池正极,铁被保护,所以白铁更为耐用,C 符合;将不锈钢制成刀具和餐具,有的刀具还进行烤蓝处理,阻止了铁与氧气和水接触,能防止铁被腐蚀,D 不符合。
- 2.C 【解析】由图知,甲、丙为原电池,甲中 Zn 为负极,负极反应式为 $\text{Zn} - 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}$,A 错;丙中 Fe 为负极,C 为正极, H^+ 向正极移动,C 正确;乙、丁为电解池,乙中 Ag 作阳极,本身失电子,B 错;丁中放电顺序: $\text{I}^- > \text{Cl}^-$,开始产生 I_2 ,D 错。
- 3.B 【解析】①电解池是将电能转变成化学能的装置;②原电池是将化学能转变成电能的装置;⑤ $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{Ag}$,属于自发进行的氧化还原反应,既可设计在原电池中进行,也可设计在电解池中进行,但后者速率更快。①②⑤错误,其余正确,B 符合题意。
- 4.C 【解析】A 项,系统中存在光能 \rightarrow 电能,电能 \rightarrow 化学能、化学能 \rightarrow 电能、电能 \rightarrow 机械能等多种能量转化形式;B 项,装置 Y 中负极的电极反应式为 $\text{H}_2 - 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}^+$;C 项,装置 X 可电解水生成 H_2 和 O_2 ;D 项,无论是原电池还是电解池都不可能实现化学能与电能的完全转化,故只有 C 正确。
- 5.D 【解析】锌的活泼性比铜强, Zn 为原电池负极,失去电子被氧化,A 错误。 Cu 为原电池的正极,电流流向与电子流向相反,电子经导线流向正极(Cu 极),溶液中的氢离子在正极得到电子而被还原为 H_2 ,B、C 错误,D 正确。
- 6.B 【解析】该电池反应时,氮元素化合价由 -3 价变为 0 价,被氧化,生成氮气的电极 a 是阳极,H 元素化合价由 $+1$ 价变为 0 价,被还原,生成氢气的电极 b 是阴极,A 正确;电解时,电解质溶液中阴离子向阳极(a 极)移动,B 错误;阴极反应: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$,C 正确;根据电池反应式知, OH^- 参加反应,浓度减小,所以溶液的 pH 减小,D 正确。
- 7.D 【解析】由图中变化可知,一开始通电,阴极就有固体析出,且通过 0.2 mol 电子后,质量不再增加,根据

得失电子守恒: $3\text{Cu}^{2+} \sim 6\text{e}^- \sim 2\text{X}^{3+}$, 若 0.1 mol Cu^{2+} 完全放电正好得 0.2 mol 电子, 若 0.1 mol X^{3+} 完全放电正好得 0.3 mol 电子, 而 H^+ 放电生成气体, 据此离子放电顺序是 Cu^{2+} 先放电, 再是 H^+ 放电, X^{3+} 在溶液中不放电, 选 D。

8.A 【解析】电解饱和食盐水阳极上电极反应为 $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$, A 正确; 酸性氢氧燃料电池的正极反应式为 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$, B 错误; 粗铜精炼时粗铜接电源正极, C 错误; 钢铁发生吸氧腐蚀的正极反应式为 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$, 负极反应式为 $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$, D 错误。

9.C 【解析】A、B 中形成的原电池, 铁都是作负极, 加速钢铁腐蚀, A、B 错误; 锌比铁活泼, 铁作正极, 起到保护作用, C 正确; 铸铁管上接直流电源的正极, 铸铁管作阳极, 加速腐蚀, D 错误。

10.B 【解析】根据图中信息, 熔融液中 O^{2-} 失电子被氧化为氧气, 电极反应为 $2\text{O}^{2-} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow$, 阴极: $2\text{Ca}^{2+} + 4\text{e}^- = 2\text{Ca}$, 总反应式: $\text{TiO}_2 + 2\text{Ca} = \text{Ti} + 2\text{CaO}$, B 正确; 制得 1 mol Ti , 外电路应转移 4 mol e^- , A 错误; 制备钛前后, CaO 的总量保持不变, C 错误; 阳极周围产生的氧气, 在电解池高温环境下易被氧化为 CO_2 , 因此需要定期更换, D 错误。

11.D 【解析】A 项, 电镀时镀件作阴极; B 项, 电解精炼铜时电解液成分改变; C 项, 电解精炼铜时, 杂质若有比铜活泼的金属(如锌), 则还会发生 $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ 的反应。

12.C 【解析】A 项, 原电池中阳离子向正极移动, 铜是正极, 所以 K^+ 移向 CuSO_4 溶液, 错误; B 项, 装置②工作一段时间后, a 极与电源的负极相连是阴极, 水中的氢离子放电, 产生氢氧根离子, 所以溶液的 pH 值增大, 错误; C 项, 精炼铜时, 纯铜为阴极, 所以 c 为阴极, c 极为纯铜, 正确; D 项, 活泼金属锌是负极, 所以产生锌离子, 而不是亚铁离子, 错误; 故选 C。

13.C 【解析】右池两电极相同, 且逸出气体, 可知左池为原电池, 右池为电解池。当 K 闭合时, 根据 SO_4^{2-} 的移向, 可判断 M 极为负极, N 极为正极, 则 Y 为阳极, X 为阴极, 电极反应式分别为负极: $\text{M} - 2\text{e}^- = \text{M}^{2+}$, $c(\text{M}^{2+})$ 增大, A 错误; 正极: $\text{N}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{N}$, B 错误; 阳极(Y): $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 \uparrow$, 发生氧化反应, 阴极(X): $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$ (或 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + 2\text{OH}^-$), 发生还原反应, C 正确; 在 X 极(阴极)附近 $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$, D 错误。

14.D 【解析】甲池为原电池, 作为电源, 将化学能转化为电能, A 错误; 根据原电池的形成条件, 通入 CH_3OH 的一极为负极, 通入 O_2 的一极为正极, 在碱性介质中, 负极反应: $\text{CH}_3\text{OH} - 6\text{e}^- + 8\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$, B 错误; 乙池总反应: $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Cu} \downarrow + \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ 应加入 CuO , C 错误; 丙池中: $\text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow$, 消耗 0.0125 mol O_2 , 转移 0.05 mol 电子, 生成 $0.025 \text{ mol Mg}(\text{OH})_2$, 其质量为 1.45 g 。

15.A 【解析】由“电子从电极 Y 流向电极 X”知 Y 为负极, 失去电子, 发生氧化反应, 较活泼, 排在铅之前, A 正确, B 和 D 错误。X 极得到电子, 发生还原反应, C 错误。

16.(1)不相同

(2)负 $2\text{Al} - 6\text{e}^- = 2\text{Al}^{3+}$ 正 $6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = 3\text{H}_2 \uparrow$ $2\text{Al} + 6\text{H}^+ = 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2 \uparrow$

(3)负极 铝与氢氧化钠溶液反应, 镁与氢氧化钠溶液不反应

$\text{Al} - 3\text{e}^- + 4\text{OH}^- = \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$

(4)另一个电极材料的活泼性和电解质溶液的氧化性

【解析】实验①中镁比铝活泼, 镁作原电池的负极, 铝作原电池的正极, 电流计指针偏向铝; 实验②中铝比

铜活泼,铝作原电池的负极,铜作原电池的正极,电流计指针偏向铜;实验③中铝失去电子,发生氧化反应,③为负极,石墨为正极,电流计指针偏向石墨。

17.(2)铁钉或铁条 铜钉(其他的惰性电极如铅笔芯、铂等都正确) 烧杯 导线

(4)①电能 电能 ②负 $\text{Fe}-2\text{e}^{-}=\text{Fe}^{2+}$ 氧化 ③正 $2\text{H}^{+}+2\text{e}^{-}=\text{H}_2\uparrow$ 还原

【解析】原电池是将化学能转变为电能的装置,活泼金属作负极,发生氧化反应,不活泼材料作正极,发生还原反应。电流表正极应接原电池正极,电流表负极应接原电池负极。

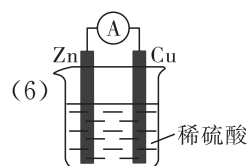
18.(1)电流计指针不偏转

(2)锌片上有气泡产生

(3)铜片上无气泡

(4)铜片上有大量气泡,锌片上没有气泡或有少量气泡

(5)有电子从锌片经导线向铜片移动



【解析】原电池的形成条件:①有活动性不同的两个电极;②两电极插入电解质溶液中;③两极用导线相连形成闭合回路;④相对活泼的金属与电解质溶液发生自发的氧化还原反应。

19.(1) $2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{熔融})\xrightarrow{\text{通电}}4\text{Al}+3\text{O}_2\uparrow$

(2) $2\text{Al}+2\text{OH}^{-}+2\text{H}_2\text{O}=2\text{AlO}_2^{-}+3\text{H}_2\uparrow$

(3)① $4\text{OH}^{-}-4\text{e}^{-}=2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2\uparrow$ 或 $2\text{H}_2\text{O}-4\text{e}^{-}=4\text{H}^{+}+\text{O}_2\uparrow$ ② H^{+} 放电,促进水的电离, OH^{-} 浓度增大 ③B

【解析】(1)

(2)主要考查教材的基础知识,属于易得分题目。

(3)中,根据电解原理,阳极应是 OH^{-} 失电子,电极反应式为 $4\text{OH}^{-}-4\text{e}^{-}=2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2\uparrow$ 或 $2\text{H}_2\text{O}-4\text{e}^{-}=4\text{H}^{+}+\text{O}_2\uparrow$,阴极 H^{+} 放电,促进水的电离,使 OH^{-} 浓度增大,pH增大,根据阳离子交换膜的特点, K^{+} 可从阳极区进入阴极区和 OH^{-} 组成 KOH ,从而可在阴极区得到纯的 KOH 溶液,液体应从B口导出。

20.(1) $\text{Zn}-2\text{e}^{-}+2\text{OH}^{-}=\text{Zn}(\text{OH})_2$

(2)氧化

(3)负 正

(4) 1.806×10^{24}

【解析】放电时锌在负极发生氧化反应,因为电解质是碱,故负极反应是 $\text{Zn}-2\text{e}^{-}+2\text{OH}^{-}=\text{Zn}(\text{OH})_2$;电子由负极流出,通过外电路流向正极,每1 mol K_2FeO_4 发生反应,转移电子是3 mol,数目是 1.806×10^{24} ,充电时 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 失去电子发生氧化反应。