

卷 7 ▶ 2025 年普通高中学业水平等级考试(山东卷)

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
答案	A	B	B	B	C	D	B	A	C	D	AD	BC	A	CD	CD

1. A 【命题点】氧化还原反应的判断

【深度解析】侯德榜利用  $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$  和饱和  $\text{NaCl}$  溶液制碱的原理为  $\text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ , 制备过程中不涉及元素化合价的变化, **A 符合题意**; 戴维电解盐酸制  $\text{H}_2$  和  $\text{Cl}_2$  过程中,  $\text{H}$ 、 $\text{Cl}$  元素的化合价都发生变化, 属于氧化还原反应, **B 不符合题意**; 金属和  $\text{O}_2$  反应生成对应金属氧化物的反应中有元素化合价的升降, 涉及氧化还原反应, **C 不符合题意**;  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  反应生成  $\text{NH}_3$ , 反应中有元素化合价的升降, 涉及氧化还原反应, **D 不符合题意**。

2. B 【命题点】化学与生活

【深度解析】明矾在水溶液中电离出的  $\text{Al}^{3+}$  会水解生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  胶体, 胶体具有吸附性, 可以净水, **A 不符合题意**; 蚕丝的主要成分是蛋白质, 漂白粉的有效成分是  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , 漂白原理为  $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{HClO}$ , 生成的  $\text{HClO}$  属于强氧化剂, 会破坏蛋白质结构, **B 符合题意**; 水垢的主要成分为难溶的  $\text{CaCO}_3$  及  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , 食醋可以和这两种物质反应生成可溶的乙酸盐, 从而实现除垢, **C 不符合题意**; 小苏打的主要成分为  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  受热易分解产生  $\text{CO}_2$ , 故可以作烘焙糕点的膨松剂, **D 不符合题意**。

3. B 【命题点】试剂的保存方法

【深度解析】液溴易挥发, 应加水封保存在细口瓶中, **A 错误**;  $\text{AgNO}_3$  见光易分解, 故  $\text{AgNO}_3$  溶液需要保存在棕色细口瓶中, **B 正确**;  $\text{KMnO}_4$  具有强氧化性, 可以与苯酚发生氧化还原反应, 故不能放在同一药品柜中, **C 错误**; 金属锂的密度比煤油小, 故不能保存在盛有煤油的广口瓶中, **D 错误**。

【关键点拨】药品储存应注意的问题

- (1) 药品要分类存放, 按类别、性质等进行分类, 如酸性物质和碱性物质、氧化剂和还原剂不能混在一起存放;
- (2) 见光易分解的要避光保存; 容易潮解的要注意防潮;
- (3) 危险化学品的存放要特别注意, 如易燃物品要特殊保管。从药品的性质出发, 存放过程中要防止药品变质。

4. B 【命题点】用一定质量溶质配制一定物质的量浓度溶液的仪器选择

【深度解析】400 mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaOH}$  溶液中  $\text{NaOH}$  的质量为 1.6 g, 正好是题中所给的质量, 故只能配制 400 mL 溶液, 不能用 500 mL 的容量瓶, **B 符合题意**; 操作过程中用 100 mL 烧杯溶解固体, 500 mL 量筒量取一定体积水, 500 mL 带橡胶塞的细口瓶存放配制好的  $\text{NaOH}$  溶液, **A、C、D 不符合题意**。

【易错警示】

本题易忽略题中的“1.6 g”, 直接想到“实验室无 400 mL 容量瓶”, 而错误认为 500 mL 的容量瓶是必选仪器。

5. C 【命题点】离子方程式的正误判断

【深度解析】 $\text{SO}_2$  和碱溶液反应的产物与  $\text{SO}_2$  的量有关,  $\text{SO}_2$  少量时, 生成  $\text{SO}_3^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , **A 错误**; 原子不守恒, 正确的离子方程式为  $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{Na}^+ + 4\text{OH}^- + \text{O}_2 \uparrow$ , **B 错误**; 实验室制备氯气的离子方程式为  $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \xrightarrow{\Delta} \text{Mn}^{2+} + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ , **C 正确**; 铜与稀硝酸反应生成  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{NO}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 硝酸铜为可溶性盐, 在离子方程式中需要拆开, 故正确的离子方程式为  $3\text{Cu} + 8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- \rightleftharpoons 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ , **D 错误**。

6. D 【命题点】原子的表示方法、原子核外电子排布等

【深度解析】原子的表示方法为  ${}_Z^AX$ , 其中  $A$  为质量数,  $Z$  为质子数。由  ${}_{70}^{174}\text{Yb}$  可知  $\text{Yb}$  的质量数为 174, 质子数为 70, 质子数 + 中子数 = 质量数, 则  ${}_{70}^{174}\text{Yb}$  的中子数为 104, 故其中子数和质子数之差为 34, **A 错误**; 具有一定数目质子和一定数目中子的一种原子称为核素,  ${}_{70}^{174}\text{Yb}$  和  ${}_{70}^{176}\text{Yb}$  的中子数不同, 故二者为两种核素, **B 错误**; 基态  $\text{Yb}$  原子价电子排布式为  $4f^{14}6s^2$ , 则  $\text{Yb}$  原子核外 3d、4d 轨道均已填满, d 电子数大于 10,  $\text{Yb}$  为第 6 周期元素, **C 错误、D 正确**。

7. B 【命题点】盐类的水解、 $\text{N}_3^-$  的结构及成键特点

【深度解析】 $\text{HN}_3$  是一元弱酸,  $\text{NaN}_3$  为强碱弱酸盐,  $\text{N}_3^-$  水解

使溶液显碱性： $\text{NaN}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HN}_3 + \text{NaOH}$ ，**A 正确**； $\text{N}_3^-$ 与 $\text{CO}_2$ 互为等电子体， $\text{N}_3^-$ 的空间结构为直线形，**B 错误**； $\text{N}_3^-$ 中含共价键， $\text{NaN}_3$ 为含有共价键的离子化合物，**C 正确**； $\text{N}_3^-$ 可表示为 $[\text{N}::\text{N}::\text{N}]^-$ ，形成2个 $\sigma$ 键和2个 $\Pi$ 键，即中心N原子的所有价电子均参与成键，**D 正确**。

方法总结 粒子空间结构的判断方法

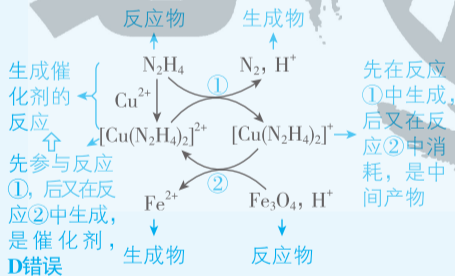
(1) $\text{N}_3^-$ 的空间结构判断可以从中心N原子的VSEPR模型或杂化类型来判断，中心N原子的 $\sigma$ 键个数为2，孤电子对数为 $\frac{5+1-3 \times 2}{2}=0$ ，价层电子对数为2， $\text{N}_3^-$ 中中心N原子为 $\text{sp}$ 杂化，空间结构为直线形。  
(2)根据等电子原理，找出与所给陌生粒子互为等电子体的常见粒子，如直线形的 $\text{CO}_2$ 、平面三角形的 $\text{SO}_3$ 、V形的 $\text{H}_2\text{O}$ 等，来判断陌生粒子的空间结构。

8. A 【命题点】物质性质与元素性质的关系，涉及物质熔、沸点，酸性，硬度比较

【深度解析】 $\text{H}_2\text{O}$ 与 $\text{H}_2\text{S}$ 均由分子构成，O电负性大，原子半径小， $\text{H}_2\text{O}$ 分子间存在氢键和范德华力，而 $\text{H}_2\text{S}$ 分子间只有范德华力，氢键强于范德华力，则沸点： $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$ ，与元素的电离能无关，**A 错误**；电负性： $\text{Cl} > \text{Br}$ ，Cl原子吸引电子能力更强， $\text{HClO}$ 中H—O极性更大，更容易电离出 $\text{H}^+$ ，则酸性： $\text{HClO} > \text{HBrO}$ ，**B 正确**；结构相似的共价晶体，键能越大，晶体硬度越大，金刚石与晶体硅都是具有空间立体网状结构的共价晶体，原子半径： $\text{Si} > \text{C}$ ，则键长： $\text{Si—Si} > \text{C—C}$ ，键能： $\text{Si—Si} < \text{C—C}$ ，硬度：金刚石 $>$ 晶体硅，**C 正确**；离子晶体中阴、阳离子半径越小，所带电荷越多，离子晶体熔点越高， $\text{MgO}$ 和 $\text{NaF}$ 都是离子晶体，离子所带电荷： $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ 、 $\text{O}^{2-} > \text{F}^-$ ，则熔点： $\text{MgO} > \text{NaF}$ ，**D 正确**。

9. C 【命题点】催化反应机理图像分析

要点图解



生成催化剂的反应： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{N}_2\text{H}_4 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{N}_2\text{H}_4)_2]^{2+}$   
反应①： $\text{N}_2\text{H}_4 + 4[\text{Cu}(\text{N}_2\text{H}_4)_2]^{2+} \rightleftharpoons \text{N}_2 \uparrow + 4[\text{Cu}(\text{N}_2\text{H}_4)_2]^+ + 4\text{H}^+$   
反应②： $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2[\text{Cu}(\text{N}_2\text{H}_4)_2]^+ + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+} + 2[\text{Cu}(\text{N}_2\text{H}_4)_2]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$   
总反应（反应①+2×反应②）： $\text{N}_2\text{H}_4 + 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 12\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{N}_2 \uparrow + 6\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$

【深度解析】 $\text{N}_2\text{H}_4$ 转化为 $\text{N}_2$ 的过程中，N元素化合价由-2升为0， $\text{N}_2\text{H}_4$ 失电子发生氧化反应生成 $\text{N}_2$ ，即 $\text{N}_2$ 是氧化反应的产物，**A 错误**；由总反应可知， $\text{N}_2\text{H}_4$ 将 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 还原为 $\text{Fe}^{2+}$ ，还原剂的还原性强于还原产物，则还原性： $\text{N}_2\text{H}_4 > \text{Fe}^{2+}$ ，**B 错误**；由总反应可知，整个过程中消耗 $\text{H}^+$ ，则处理后溶液pH增大，**C 正确**。

快解

D项，由 $\text{Cu}^{2+}$ 在整个过程中只被消耗，没有重新生成，可快速判断 $\text{Cu}^{2+}$ 不是反应的催化剂。

10. D 【命题点】 $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 热解反应图像分析，涉及反应速率、平衡移动等

要点图解

$\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 热解反应所得固相产物与气相产物均为含氟化合物，则 $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 热解生成 $\text{NaF}$ （固相产物）和 $\text{SiF}_4$ （气相产物），化学方程式为 $\text{Na}_2\text{SiF}_6 \xrightarrow{\Delta} 2\text{NaF} + \text{SiF}_4 \uparrow$ ， $T_2$ 温度时， $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 完全分解，则此时 $n(\text{Na}_2\text{SiF}_6) = 0 \text{ mol}$ ，c线表示 $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 的物质的量随温度的变化关系，由化学方程式可知， $n(\text{NaF}) : n(\text{SiF}_4) = 2 : 1$ ，则a、b线分别表示 $\text{NaF}$ 、 $\text{SiF}_4$ 的物质的量随温度的变化关系（**A 正确**）。

【深度解析】 $T_1$ 温度时， $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 未完全分解，向容器中通入 $\text{N}_2$ ， $\text{N}_2$ 不参与反应，向恒容密闭容器中通入与反应无关的气体，平衡不移动， $\text{SiF}_4$ 的物质的量不变，由 $pV = nRT$ 可知， $\text{SiF}_4$ 分压也不变，仍为 $p_1$ ，**B 正确**；该热解反应的平衡常数 $K_p = p(\text{SiF}_4)$ ， $T_2$ 温度时， $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 已分解完全， $T_3$ 温度时体系中 $\text{SiF}_4$ 的分压为 $p_3$ ，小于足量 $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 在 $T_3$ 温度下达到热解平衡时的 $\text{SiF}_4$ 分压，故 $p_3$ 小于 $T_3$ 时的 $K_p$ ，**C 正确**； $K_p = p(\text{SiF}_4)$ ， $T_1$ 温度时，向容器中加入 $\text{SiF}_4$ ，温度不变，再次平衡时 $p(\text{SiF}_4)$ 不变，则反应速率不变，**D 错误**。

11. AD 【命题点】实验仪器选择

【深度解析】灼烧海带时，需要用到坩埚，而坩埚通常需要和泥三角一起使用，**A 正确**；加热浓缩 $\text{NaCl}$ 溶液需要在蒸发皿中进行，并用玻璃棒不断搅拌，**B 错误**； $\text{NaOH}$ 固体具有腐蚀性且易潮解，不能放在称量纸上称量，应放在小烧杯等玻璃器皿中称量，**C 错误**；移液管是准确量取一定体积溶液的仪器，可用25 mL移液管准确量取25.00 mL稀 $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，然后将其转移到锥形瓶中，**D 正确**。

12. BC 【命题点】电化学原理，涉及交换膜、电极判断等

模型解读

该装置为二次电池。两电极分别为石墨电极和负载铁的石墨电极，两池电解质溶液中分别含 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ，可知放电时发生的总反应为 $\text{Fe} + 2\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+}$ ，a极为负载铁的石墨电极，发生失电子的氧化反应；b极上 $\text{Fe}^{3+}$ 得电子发生还原反应。

定位		电极名称	电极反应式
二次电池	原电池	a极（负极）（ <b>B 正确</b> ）	$\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$
		b极（正极）	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$
	电解池	a极（阴极）	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$
		b极（阳极）	$\text{Fe}^{2+} - \text{e}^- = \text{Fe}^{3+}$

【深度解析】电池工作时的总反应为 $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+}$ ，由工作原理图知，为保持电池可循环利用，两极的 $\text{Fe}^{2+}$ 与 $\text{Fe}^{3+}$ 不能互相迁移，故隔膜应为阴离子交换膜，允许阴离子通过，**A 错误**；充电时，a极连接外加电源的负极，作阴极，电极反应为 $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$ ，b极连接外加电源的正极，作阳极，电极反应为 $\text{Fe}^{2+} - \text{e}^- = \text{Fe}^{3+}$ ，隔膜两侧溶液中 $\text{Fe}^{2+}$ 浓度均减小，**C 正确**；放电过程中 $\text{Fe}^{3+}$ 减少，根据总反应， $\text{Fe}^{3+}$ 每减少1 mol， $\text{Fe}^{2+}$ 总量增加1.5 mol，**D 错误**。

13. A 【命题点】利用酸碱协同法分离钢渣中的Ca、Si、Fe元素的工艺流程分析

流程分析

酸浸： $\text{CaO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 可以与盐酸反应转化成能溶于水的可溶盐，其中金属元素在水溶液中的存在形式为 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ ， $\text{SiO}_2$ 不与盐酸反应也不溶于水；经过滤， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 进入滤液I， $\text{SiO}_2$ 进入滤渣I。

分离：“分离”的目的是实现Ca与Fe元素分离，由题目可知， $\text{Fe}^{3+}$ 与 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 反应生成可溶盐，但 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 会和



$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  反应生成  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ 、 $\text{FeC}_2\text{O}_4$  沉淀,故先加入一种氧化剂(试剂 X),将溶液中的  $\text{Fe}^{2+}$  转化为  $\text{Fe}^{3+}$ ,再加入  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,使  $\text{Ca}^{2+}$  形成  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  沉淀,所以滤渣Ⅱ为  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ,滤液Ⅱ中的主要溶质为  $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ 。…………… C 正确  
碱浸: $\text{SiO}_2$  与  $\text{NaOH}$  溶液反应转化成  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 。  
转化: $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  与酸(试剂 Y)作用转化为  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  沉淀。

【深度解析】试剂 X 为一种氧化剂,而 Fe 粉会将  $\text{Fe}^{3+}$  还原为  $\text{Fe}^{2+}$ ,A 错误; $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  可与盐酸反应生成  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  沉淀,B 正确;“酸浸”后滤液 I 的 pH 过小,即溶液中  $\text{H}^+$  的浓度太大,会抑制  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  电离,不利于  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  与  $\text{Ca}^{2+}$  结合,使滤渣Ⅱ的质量减小,D 正确。

14. CD 【命题点】有机物的结构与性质,涉及有机物命名、反应物与产物分析等

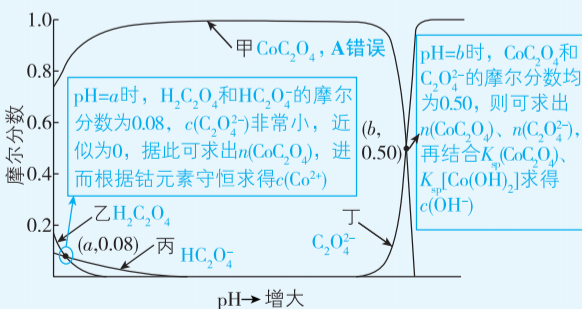
【深度解析】M 中含有醛基,应选取含醛基的最长碳链为主链,则主链上有 3 个碳原子,2 号位有 1 个甲基,因此系统命名为 2-甲基丙醛,A 正确;若  $\text{M}+\text{X} \rightarrow \text{N}$  原子利用率为 100%,则由 M 的分子式( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ )和 N 的分子式( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ )可知,X 的分子式为  $\text{CH}_2\text{O}$ ,所以 X 为甲醛, $\text{M}+\text{X} \rightarrow \text{N}$  发生了加成反应,B 正确;N 分子中有醛基和羟基,Q 分子中有碳碳双键,则 N 和 Q 都能被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化而使其褪色,所以不能用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液鉴别 N 和 Q,C 错误;P $\rightarrow$ Q 的反应可分为三步,首先酯基在碱性条件下水解,生

成  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  和  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COONa}$ ,然后  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COONa}$  经酸化得到  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ ,最后发生分子内酯化并脱羧( $-\text{COOH}$  转化为  $-\text{H}$  脱去  $\text{CO}_2$ )生成 Q,则 P $\rightarrow$ Q 过程中无  $\text{CH}_3\text{COOH}$  生成,D 错误。

15. CD 【命题点】弱电解质的电离和沉淀溶解平衡融合考查

要点图解

体系中含碳物种为  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 $\text{HC}_2\text{O}_4^-$ 、 $\text{CoC}_2\text{O}_4$  和  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ,随着 pH 增大, $c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$  减小,且最先趋于 0,则乙线表示  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  和  $\text{Co}^{2+}$  结合生成  $\text{CoC}_2\text{O}_4$  沉淀会促进  $\text{HC}_2\text{O}_4^-$  的电离,则  $\text{HC}_2\text{O}_4^-$  也会逐渐减少, $\text{CoC}_2\text{O}_4$  逐渐增多,则丙线对应  $\text{HC}_2\text{O}_4^-$ ,甲线对应  $\text{CoC}_2\text{O}_4$ ;当 pH 增大到一定程度, $\text{CoC}_2\text{O}_4$  发生沉淀的转化生成  $\text{Co}(\text{OH})_2$ ,溶液中  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  会增多,对应丁线。



【深度解析】pH=a 时,  $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) = c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ ,则  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  的电离平衡常数  $K_{a1} = \frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = c(\text{H}^+) = 10^{-a}$ ,  $K_{a2} < K_{a1}$ ,即  $K_{a2} < 10^{-a}$ ,B 错误;由要点图解可知, pH=a 时,  $n(\text{CoC}_2\text{O}_4) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1 \text{ L} \times (1 - 0.08 \times 2) = 8.4 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ,根据钴元素守恒可得  $n(\text{Co}^{2+}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1 \text{ L} - 8.4 \times$

$10^{-3} \text{ mol} = 1.6 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ,则  $c(\text{Co}^{2+}) = \frac{n(\text{Co}^{2+})}{V} = 1.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,C 正确;pH=b 时,  $n(\text{CoC}_2\text{O}_4) = n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1 \text{ L} \times 0.5 = 5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ,  $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = \frac{n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{V} = 5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{Co}^{2+}) = \frac{K_{sp}(\text{CoC}_2\text{O}_4)}{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})} = \frac{6.0 \times 10^{-8}}{5 \times 10^{-3}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{sp}[\text{Co}(\text{OH})_2]}{c(\text{Co}^{2+})}} = \sqrt{\frac{5.9 \times 10^{-15}}{1.2 \times 10^{-5}}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx \sqrt{5} \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{OH}^-) < c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ ,D 正确。

16. (12 分)

- (1) 4 VIII 4:5  
(2) ①N O ② $\text{sp}^2$  ③O  
(3) ① $\frac{\sqrt{3}}{4}a$  ②n  $\frac{\sqrt{2}}{a^2}$

【命题点】物质结构与性质,涉及元素周期表、价电子排布、第一电离能、电负性、杂化方式、配位原子、晶胞的有关计算等

【深度解析】(1) Fe 是 26 号元素,位于元素周期表中第 4 周期Ⅷ族。基态 Fe 原子的电子排布式为  $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ ,有 4 个未成对电子,基态  $\text{Fe}^{3+}$  的电子排布式为  $[\text{Ar}] 3d^5$ ,有 5 个未成对电子,因此,基态 Fe 原子与基态  $\text{Fe}^{3+}$  未成对电子数之比为 4:5。

(2) ①同周期元素从左到右第一电离能呈增大趋势,但 N 原子的 2p 轨道为较稳定的半充满结构,其第一电离能大于相邻的 C 和 O,因此元素 C、N、O 中,第一电离能最大的为 N;同周期主族元素从左到右电负性逐渐增大,则元素 C、N、O 中电负性最大的是 O。

②尿素分子( $\text{H}_2\text{NCONH}_2$ )中 C 原子形成 2 个 C—N 和 1 个 C=O,共 3 个  $\sigma$  键,无孤电子对,VSEPR 模型为平面三角形,C 原子采取  $\text{sp}^2$  杂化。③八面体配离子  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{NCONH}_2)_6]^{3+}$  中  $\text{Fe}^{2+}$  的配位数为 6,且有 6 个配体,则每个配体提供 1 个配位原子,尿素分子中的 N、O 原子均含孤电子对,若配位原子为其中一个 N 原子,则配位后该 N 原子形成的碳氮键键长会发生变化,与题给信息“碳氮键的键长均相等”不符,故配位原子为 O。

(3) ①体心立方晶胞中,体对角线上的 Fe 原子相切,体对角线长度为  $4r$ ( $r$  为原子半径)。晶胞边长为  $a \text{ pm}$ ,则体对角线长度为  $\sqrt{3}a \text{ pm}$ ,即  $4r = \sqrt{3}a \text{ pm}$ ,  $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a \text{ pm}$ 。②m 截面每个顶点原子被 4 个相邻“m 截面”共用,单位面积内的 Fe 原子为  $4 \times \frac{1}{4} \text{ 个} = 1 \text{ 个}$ 。

$\frac{4 \times \frac{1}{4} \text{ 个}}{a^2 \text{ pm}^2} = \frac{1}{a^2} \text{ 个} \cdot \text{pm}^{-2}$ ,同理可知,n 截面包含 4 个顶点原子和 1 个面心原子,单位面积内的 Fe 原子为  $\left(4 \times \frac{1}{4} + 1\right) \text{ 个} = \frac{\sqrt{2}}{a^2} \text{ 个} \cdot \text{pm}^{-2}$ ,  $\frac{1}{a^2} < \frac{\sqrt{2}}{a^2}$ ,截面单位面积含有 Fe 原子个数越多,催化活性越低,因此 n 截面的催化活性较低。

快解

(3) ②n 截面 Fe 原子个数是 m 截面的 2 倍,但是面积只有  $\sqrt{2}$  倍,由此可快速判断 n 截面单位面积含有的 Fe 原子更多。

17. (12 分)

(1)  $3\text{MnO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HSO}_4 \xrightarrow{\text{低温焙烧}} 3\text{MnSO}_4 + \text{N}_2 \uparrow + \text{NH}_3 \uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$

(2) 减小

(3)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ (4)  $4 \times 10^{-4} \quad \text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Co}^{2+} + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ 

(5) 低温焙烧

【命题点】化学工艺流程, 涉及方程式的书写、滤渣分析、试剂的选择、溶度积的相关计算、物质的循环利用等

## 流程分析

原料: 铁锰氧化矿(主要含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}_2$  及  $\text{Co}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Si}$  等元素的氧化物)目标产物:  $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{MnCO}_3$ 、 $\text{CoSO}_4$ 除杂元素:  $\text{Fe}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Si}$ 

**低温焙烧:**  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  分解生成  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  和  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  与金属氧化物反应生成硫酸盐, 故“低温焙烧”后的固体的主要成分是  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{MnSO}_4$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{CoSO}_4$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{SiO}_2$  等;

**高温焙烧:** 温度为  $650^\circ\text{C}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  完全分解为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{SO}_3$ , 其他金属硫酸盐不分解;

**水浸:**  $\text{CoSO}_4$ 、 $\text{MnSO}_4$ 、 $\text{CuSO}_4$  均可溶于水, 故三者进入溶液,  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  不溶于水,  $\text{CaSO}_4$  微溶于水, 故滤渣的主要成分为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaSO}_4$ ; …………… 第(1)问

**萃取分离:** 用  $\text{HR}$  萃取溶液中的  $\text{Cu}^{2+}$  使之进入有机相;

**反萃取:** 萃取反应为  $2\text{HR}(\text{有机相}) + \text{Cu}^{2+}(\text{水相}) \rightleftharpoons \text{CuR}_2(\text{有机相}) + 2\text{H}^+(\text{水相})$ , 反萃取需使平衡逆向移动, 加入酸增大  $c(\text{H}^+)$ , 促使  $\text{CuR}_2$  解离出  $\text{Cu}^{2+}$ , 为了不引入新的杂质, 应加入  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; …………… 第(3)问

**沉钴:** 向水相中加  $\text{Na}_2\text{S}$  调  $\text{pH} = 4$ , 使  $\text{Co}^{2+}$  完全沉淀为  $\text{CoS}$ ;

**溶解:** 向  $\text{CoS}$  中加稀硫酸和  $\text{H}_2\text{O}_2$  使  $\text{CoS}$  转化为  $\text{CoSO}_4$  和  $\text{S}$ ;

**沉锰:** 向沉钴后的滤液中加入  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  得到  $\text{MnCO}_3$  沉淀, 同时生成  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。

【深度解析】(1) 反应物为  $\text{MnO}_2$  和  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ , 生成物为  $\text{MnSO}_4$  和  $\text{N}_2$ , 同时生成的气体可以用稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  回收, 结合元素守恒可推知, 反应还有  $\text{NH}_3$  生成, 故配平得反应的化学方程式为  $3\text{MnO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HSO}_4 \xrightarrow{\text{低温焙烧}} 3\text{MnSO}_4 + \text{N}_2 \uparrow + \text{NH}_3 \uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ 。

(2) 根据已知信息, “低温焙烧”时,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  低温分解生成  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  将金属氧化物转化为可溶性硫酸盐, “高温焙烧”时,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  完全分解为气体, 若直接“高温焙烧”, 金属氧化物难以转化为硫酸盐, “水浸”时难以溶解, 故金属元素的浸出率减小。

(4)  $\text{Co}^{2+}$  完全沉淀时,  $c(\text{S}^{2-}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CoS})}{c(\text{Co}^{2+})} = \frac{4 \times 10^{-21}}{1 \times 10^{-5}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 4 \times 10^{-16} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 4$  时,  $c(\text{H}^+) = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{S}) \cdot K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S})} \times \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{S}^{2-})}{c(\text{HS}^-)} = \frac{c^2(\text{H}^+) \cdot c(\text{S}^{2-})}{c(\text{H}_2\text{S})} = 1 \times 10^{-7} \times 1 \times 10^{-13} = 1 \times 10^{-20}$ , 将  $c(\text{H}^+)$ 、 $c(\text{S}^{2-})$  代入计算得  $c(\text{H}_2\text{S}) = 4 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $\text{CoS}$  “溶解”时, 与  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  反应生成  $\text{CoSO}_4$ 、 $\text{S}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 根据得失电子守恒、原子守恒、电荷守恒配平得反应的离子方程式:  $\text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Co}^{2+} + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

(5) “沉锰”滤液含  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , “吸收”时稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  吸收  $\text{NH}_3$  后也可生成  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 该物质为“低温焙烧”的原料, 故将其导入“低温焙烧”工序循环利用。

18. (12分)

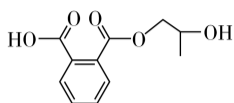
(1) 1:1:2

(2) 冷凝回流 直形冷凝管 B

(3) 2,3  $\frac{14\ 000c}{a}$  C

(4) 反应物含—COOH, 可自催化

【命题点】化学实验综合, 涉及投料比计算、装置分析、与实验相关的计算、实验操作等

【深度解析】(1) 题给聚酯的单体为  $\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{OH}$  和

, 且二者的物质的量之比为 1:1, 两种

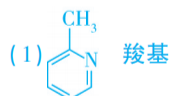
单体为两种酸酐分别与丙-1,2-二醇按物质的量之比 1:1 发生醇解反应生成, 则原料物质的量投料比  $n(\text{顺丁烯二酸酐}) : n(\text{邻苯二甲酸酐}) : n(\text{丙-1,2-二醇}) = 1:1:2$ 。

(2) 装置 B 为空气冷凝管, 主要作用为冷凝回流, 空气冷凝管通过暴露在空气中较长玻璃管壁, 利用空气的自然对流冷却蒸气, 使其冷凝为液体并回流到反应容器中, 避免反应物的挥发损失。根据仪器 C 的结构特点可知其为直形冷凝管。醇解过程中无副产物生成, 在缩聚反应中发生羟基与羧基的酯化反应, 因此会生成水, 如果将水分离出来则可使反应平衡向生成聚酯的方向移动, 则温度计 2 用于测量从 A 中蒸馏出的蒸气的温度, 为确保蒸馏出的是水蒸气, 应确保其示数略高于水的沸点, 则可保持在  $100 \sim 105^\circ\text{C}$  范围内, 故选 B。

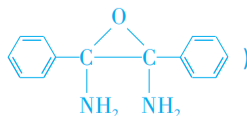
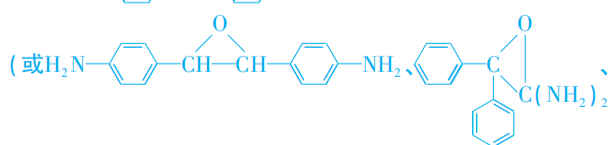
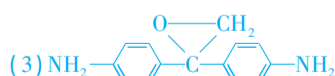
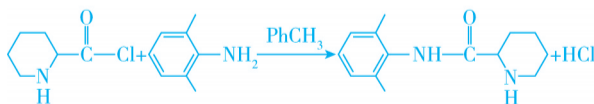
(3) 1~5 组滴定过程中消耗的标准溶液体积分别为 24.98 mL、24.80 mL、24.10 mL、25.00 mL、25.02 mL, 可见第 2、3 次实验的数值误差较大, 应舍去。其余 3 组实验消耗的标准溶液的体积平均值为 25.00 mL, 因此 25.00 mL 待测样品溶液消耗的  $n(\text{KOH}) = 0.025c \text{ mol}$ , 则中和  $a \text{ g}$  样品消耗的  $n(\text{KOH}) = 0.25c \text{ mol}$ , 相应的  $m(\text{KOH}) = 0.25c \text{ mol} \times 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 14c \text{ g} = 14\ 000c \text{ mg}$ , 根据酸值的定义, 可得该样品的酸值为  $\frac{14\ 000c}{a}$ 。样品中能与  $\text{KOH}$  反应的基团为羧基, 随着聚合反应的进行, 羧基不断与羟基缩合成酯基, 因此随着聚合度的增加, 样品的酸值降低, 酸值高于聚合度要求说明样品的聚合度偏低, 此时应尽可能将副产物  $\text{H}_2\text{O}$  从体系中分离以使平衡向生成聚酯的方向移动。若立即停止加热则反应速率减慢, 不利于聚合度增加, A 错误; 装置 D 内的水已经从体系中脱离, 排出装置 D 内的水对反应无影响, B 错误; 增大  $\text{N}_2$  的流速, 则  $\text{N}_2$  能带出更多反应生成的水, 有利于将水从体系中分离, 可使平衡向生成聚酯的方向移动, 即正移, C 正确。

(4) 反应物发生醇解反应的产物中含羧基, 显酸性, 可发生自催化, 提高反应速率。

19. (12分)

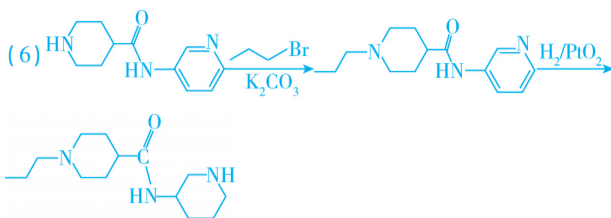


(2) 取代反应



(4) b

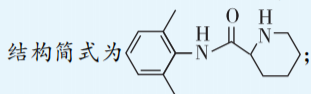
(5) A



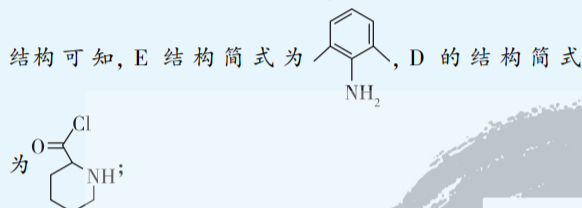
**【命题点】**有机合成与推断,涉及官能团名称及性质、同分异构体的书写、电子云密度对有机物性质的影响、合成路线设计等

### 有机速破 逆合成分析

I→H: 由已知 II 可知 H→I 过程中, —Br 所连基团取代 H 中 N 原子上所连的 H 原子, 结合 H 的代学式可推知 H 的结构简式为



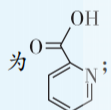
H→D: 由已知 I 可知, D→H 的过程中, E 中氨基中的 H 原子被 D 中 —Cl 所连基团取代, 结合 E 的化学式与 H 的结构可知, E 结构简式为



D→C: 由反应条件以及 C、D 化学式对比可知, C→D 少了 1 个 —OH、多了 1 个 —Cl, 发生了取代反应, 故 C 的结构简式为



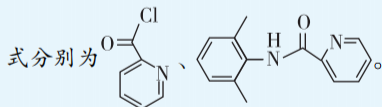
C→B: 根据条件可知 B→C 为还原加氢的反应, 对比 B、C 的化学式可知 B→C 少了三个不饱和度, 由 C 的结构简式可知三个不饱和度只能在环中, 则 B 的结构简式为



B→A: 通过条件可知 A→B 为氧化反应, 即 —CH<sub>3</sub> 被氧化

为 —COOH, 故 A 的结构简式为

B→F→G→H: 根据条件可知, 这个过程与 B→C→D→H 反应步骤的先后顺序不同, 同理可逆推出 F、G 的结构简式分别为



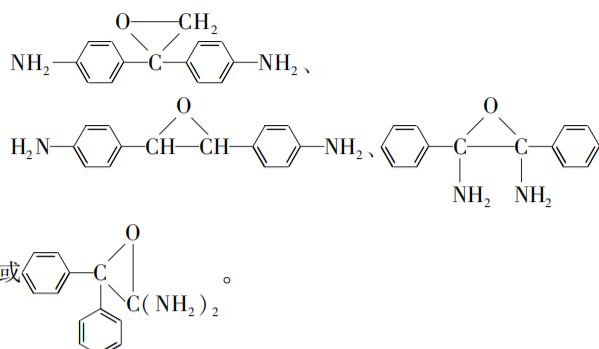
**【深度解析】**(1) 根据 B 的结构简式可知, 含氧官能团为羧基。

(2) 根据有机速破可知, D、E、H 的结构简式分别是

(3) G 结构简式为

有两个苯环, 还剩下 1 个不饱和度、2 个 C 原子、1 个 O 原子、2 个氮原子, 因含 4 种不同化学环境的 H 原子, 则分子结构高度对称, 即符合条件的分子结构中含 2 个对称苯环与 2 个等

效 —NH<sub>2</sub>, 为保证结构对称, O 原子只能形成含氧杂环, 故符合条件的同分异构体的结构简式为



(4) 苯环是吸电子基团, 烷基是给电子基团, 酰胺基 N 原子与苯环相连使电子云密度较小, 杂环 N 原子与烷基相连, 则杂环 N 原子的电子云密度较大, 故碱性较强的 N 原子是 b。

(5) 苯环和吡啶环中都有大  $\pi$  键  $\Pi_6^0$ , 都比较稳定, 由 G→H 过程知, 苯的共轭体系更稳定, 更难发生催化加氢反应, 环己-1,3-二烯中 4 个 C 原子间存在共轭结构, 有大  $\pi$  键  $\Pi_4^+$ , 不如苯和吡啶稳定, 但比不含共轭结构的环己-1,4-二烯稳定, 故最难发生催化加氢反应的为苯, 选 A。

(6) 分析目标产物结构,

分对应题目所给三种原料

据题目初始反应

结合已知 I, 可知第 1 步反应生成

观察结构可知, 只需再将

与

发生已知 II 取代反应生成

再催化加氢即可得到目标产物, 若先进行催化加氢反应则生成

再进行取代反应时, 2 个 —N— 结构均可与

反应, 会生成较多副产物, 故先取代再催化加氢, 合成路线见答案。

### 易错警示

本题 A、B 的分子式分别与常见的苯胺、硝基苯相同, 很容易“先入为主”而推导错误。在做题时熟记常见有机物分子式可辅助推导, 但若考题有意设坑, 也很容易因“定式思维”导致出现僵局, 这种情况一定以题给信息为准, 而“摒弃”常规记忆。

20. (12 分)

(1)  $\Delta H_1 + \Delta H_2$

(2)  $H_2O <$

(3)  $\frac{0.9+a}{2} \quad 150a$

(4) 增大 减小

**【命题点】**化学反应原理综合, 涉及盖斯定律、平衡常数相关计算、化学平衡图像分析等

**【深度解析】**(1) 根据题给方程式, 可得目标反应 = 反应 I + 反应 II, 根据盖斯定律,  $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$ 。



(2) 因反应 II 平衡常数  $K = 10^8$  基本不变, 所以  $K = \frac{c^4(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{H}_2)} = 10^8$ ,  $\lg \frac{c^4(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{H}_2)} = 4 \lg \frac{c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2)} = 8$ ,  $\lg \frac{c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2)} =$

关键

2, 同一体系中  $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2)} = \frac{c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2)}$ , 则  $\lg n(\text{H}_2\text{O}) - \lg n(\text{H}_2) = \lg c(\text{H}_2\text{O}) - \lg c(\text{H}_2) = 2$ , 即  $\lg n(\text{H}_2\text{O})$  与  $\lg n(\text{H}_2)$  的差值为定值。由图像中曲线的大致趋势分析可得, 乙线与丁线的间距随温度升高基本不变, 且乙线在丁线之上, 则乙线表示  $\text{H}_2\text{O}$ , 丁线表示  $\text{H}_2$ 。随温度升高,  $\lg n(\text{H}_2\text{O})$  与  $\lg n(\text{H}_2)$  均增大, 根据氢元素守恒可得,  $\lg n(\text{H}_2\text{S})$  减小, 则甲线表示  $\text{H}_2\text{S}$ , 丙线表示  $\text{SO}_2$ 。随温度升高,  $\lg n(\text{H}_2\text{S})$  减小, 说明反应 III 平衡逆向移动, 所以反应 III 为放热反应, 即  $\Delta H_3 < 0$ 。

(3) 根据反应体系的初始投料可得, 体系中  $n(\text{Ca}) = 1 \text{ mol}$ ,  $n(\text{S}) = 2 \text{ mol}$ ,  $n(\text{H}) = 0.1 \text{ mol} \times 2 = 0.2 \text{ mol}$ ,  $n(\text{O}) = 1 \text{ mol} \times 2 = 2 \text{ mol}$ 。  $T_1$  温度下,  $n(\text{H}_2) = a \text{ mol}$ ,  $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2)} = \frac{c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2)} = 10^2$ ,  $n(\text{SO}_2) = n(\text{H}_2\text{O}) = 100n(\text{H}_2) = 100a \text{ mol}$ 。根据氢元素守恒可得,  $n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{n(\text{H}) - 2n(\text{H}_2) - 2n(\text{H}_2\text{O})}{2} = \frac{0.2 - 2 \times a - 2 \times 100a}{2} \text{ mol} = (0.1 - 101a) \text{ mol}$ ; 根据氧元素守恒可

得,  $n(\text{CaSO}_4) = \frac{n(\text{O}) - 2n(\text{SO}_2) - n(\text{H}_2\text{O})}{4} = \frac{2 - 2 \times 100a - 100a}{4} \text{ mol} = \frac{1 - 150a}{2} \text{ mol}$ , 根据钙元素守恒可得,  $n(\text{CaS}) + n(\text{CaSO}_4) = n(\text{Ca}) = 1 \text{ mol}$ ,  $n(\text{CaS}) = n(\text{Ca}) - n(\text{CaSO}_4)$ , 则  $n(\text{CaS}) - n(\text{CaSO}_4) = n(\text{Ca}) - 2n(\text{CaSO}_4) = \left(1 - 2 \times \frac{1 - 150a}{2}\right) \text{ mol} = 150a \text{ mol}$ ; 根据硫元素守恒可得,  $n(\text{S}_2) = \frac{n(\text{S}) - n(\text{SO}_2) - n(\text{H}_2\text{S}) - n(\text{CaS}) - n(\text{CaSO}_4)}{2} = \frac{2 - 100a - (0.1 - 101a) - 1}{2} \text{ mol} = \frac{0.9 + a}{2} \text{ mol}$ 。

(4) 设反应 I、II、III 的平衡常数分别为  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ , 则  $\frac{c(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{H}_2)} = K_3 \sqrt{\frac{c(\text{S}_2)}{K_1 K_2}}$ , 温度不变, 平衡常数不变, 且  $c(\text{S}_2)$  增大, 则  $\frac{c(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{H}_2)}$  增大, 即  $\frac{n(\text{H}_2\text{S})}{n(\text{H}_2)}$  增大; 又因为  $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2)} = 10^2$ , 同时再结合氢元素守恒分析可知,  $n(\text{H}_2\text{O})$  和  $n(\text{H}_2)$  均减小。