

2014 普通高等学校招生全国统一考试（重庆卷）

理科综合能力测试化学试题卷

（共 100 分）

相对原子质量（原子量）：H—1 C—12 N—14 O—16 Na—23 S—32

一、选择题（本大题共 7 小题，每小题 6 分，共 42 分。在每小题给出的四个备选项中，只有一项符合题目要求）

1. 下列物质的使用不涉及化学变化的是

- A. 明矾用作净水剂
- B. 液氨用作制冷剂
- C. 氢氟酸刻蚀玻璃
- D. 生石灰作干燥剂

【答案】B

【解析】有新物质生成的变化是化学变化，没有新物质形成的是物理变化。则 A、明矾溶于水电离出的铝离子水解生成氢氧化铝胶体，胶体具有吸附性，可用作净水剂，属于化学变化；B、液氨气化时吸热，使周围环境温度急剧降低，因此可用作制冷剂，物质的三态变化属于物理变化；C、氢氟酸能与玻璃中的二氧化硅反应生成四氟化硅和水，因此可用于刻蚀玻璃，属于化学变化；D、生石灰极易吸水，与水反应生成氢氧化钙，可用作干燥剂，属于化学变化，答案选 B。

【命题意图】本题主要是通过常见物质的性质与用途考查化学变化与物理变化的区别与判断，意在考查学生对基础知识的熟悉了解掌握程度，题目难度不大，平时注意相关基础知识的积累即可解答。

2. 下列实验可实现鉴别目的的是

- A. 用 KOH 溶液鉴别 $\text{SO}_3(\text{g})$ 和 SO_2
- B. 用湿润碘化钾淀粉试纸鉴别 $\text{Br}_2(\text{g})$ 和 NO_2
- C. 用 CO_2 鉴别 NaAlO_2 溶液和 CH_3COONa 溶液
- D. 用 BaCl_2 溶液鉴别 AgNO_3 溶液和 K_2SO_4 溶液

【答案】C

【解析】进行物质的检验时，要依据物质的特殊性质和特征反应，选择适当的试剂和方法，准确观察反应中的明显现象，如颜色的变化、沉淀的生成和溶解、气体的产生和气味、火焰的颜色等，进行判断、推理、验证即可。A、二氧化硫和三氧化硫均是酸性氧化物，都能与氢氧化钾溶液反应，不能鉴别，应该用品红溶液鉴别，A 不正确；B、单质溴与 NO_2 气体均具有氧化性，都能把碘化钾氧化生成单质碘，碘遇淀粉显蓝色，不能鉴别，应该用硝酸银溶液鉴别，B 不正确；C、偏铝酸的酸性弱于碳酸，根据较强酸制备较弱酸可知， CO_2 通入到偏铝酸钠溶液中生成氢氧化铝白色沉淀，醋酸的酸性强于碳酸，因此

CO_2 通入到醋酸钠溶液中不反应，可以鉴别，C 正确；D、氯化钡与硝酸银溶液反应生成氯化银白色沉淀，与硫酸钾溶液反应生成硫酸钡白色沉淀，不能鉴别，应该用硝酸钡溶液鉴别，D 不正确，答案选 C。

【命题意图】 本题主要是考查常见物质的鉴别，侧重对学生实验基础知识的考查，明确常见物质的性质差异是解答该题的关键。化学实验是高考中的重点考查内容，加强实验考查，有利于引导学生重视实验操作和实验探究能力，有利于提升学生的学科素养。

3. 下列叙述正确的是

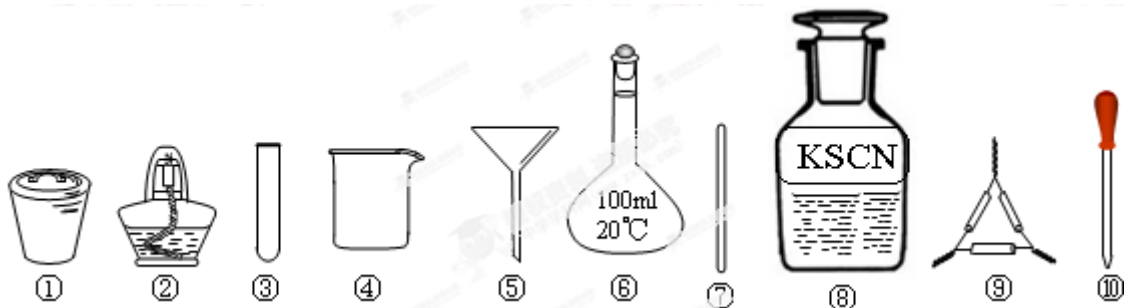
- A. 浓氨水中滴加 FeCl_3 饱和溶液可制得 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体
- B. CH_3COONa 溶液中滴加少量浓盐酸后 $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 增大
- C. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 溶液与过量 NaOH 溶液反应可得到 $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- D. 25°C 时 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 在水中的溶解度大于其在 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溶液中的溶解度

【答案】 D

【解析】 A、浓氨水与氯化铁饱和溶液反应生成氢氧化铁红褐色沉淀，要制备氢氧化铁胶体应该将饱和氯化铁溶液逐滴滴入到沸腾的蒸馏水中，A 不正确；B、盐酸是强酸，醋酸是弱酸，根据较强酸制备较弱酸可知，向醋酸钠溶液中滴加少量浓盐酸生成醋酸， $c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ 降低，B 不正确；C、碳酸氢钙溶液与过量的氢氧化钠溶液反应生成碳酸钙沉淀、碳酸钠和水，反应的离子方程式为 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \downarrow$ ，得不到氢氧化钙，C 不正确；D、氢氧化铜在溶液中存在溶解平衡 $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) \xrightleftharpoons[\text{结晶}]{\text{溶解}} \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ ，硝酸铜溶液中铜离子浓度大，抑制氢氧化铜的溶解，因此在硝酸铜溶液中的溶解度小于在水中的溶解度，D 正确，答案选 D。

【命题意图】 本题主要是考查氢氧化铁胶体制备、溶解平衡和溶解度判断、离子反应以及溶液中离子浓度变化等有关判断，侧重对学生灵活应用基础知识解决实际问题的能力培养。意在考查学生分析问题、解决问题的能力，属于中等难度试题的考查。

4. 茶叶中铁元素的检验可经过以下四个步骤完成，各步骤中选用的实验用品不能都用到的是



- A. 将茶叶灼烧灰化，选用①、②和⑨
- B. 用浓硝酸溶解茶叶并加蒸馏水稀释，选用④、⑥和⑦

- C. 过滤得到滤液，选用④、⑤和⑦
 D. 检验中滤液中的 Fe^{3+} ，选用③、⑧和⑩

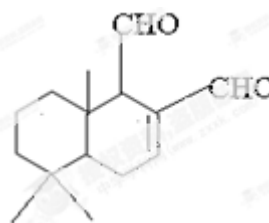
【答案】 B

【解析】 A、茶叶灼烧需要酒精灯、坩埚、三脚架和泥三角等，A 正确；B、容量瓶是用来配制一定物质的量浓度溶液的，不能用来稀释溶液或溶解固体，B 不正确；C、过滤需要烧杯、漏斗和玻璃棒，C 正确；D、检验铁离子一般用 KSCN 溶液，因此需要试管、胶头滴管和 KSCN 溶液，D 正确，答案选 B。

【命题意图】 本题主要是考查化学实验基本操作、常见仪器的选择和铁离子的检验方法，题目难度不大，旨在考查学生对常见化学实验仪器构造特点和使用的了解掌握情况，有利于培养学生的学科素养。

5. 某天然拒食素具有防御非洲大群蚯蚓的作用，其结构简式如图所示（未表示出原子或原子团的空间排列）。该拒食素与下列某试剂充分反应，所得有机物分子的官能团数目增加，则该试剂是

- A. Br_2 的 CCl_4 溶液
 B. $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{OH}$ 溶液
 C. HBr
 D. H_2



【答案】 A

【解析】 A、根据结构简式可知，分子中含有碳碳双键，与溴水发生加成反应，引入 2 个溴原子，因此官能团数目增加 1 个，A 正确；B、分子中含有醛基，可发生银镜反应，醛基变为羧基，但官能团数目不变，B 不正确；C、碳碳双键与溴化氢发生加成反应，引入 1 个溴原子，官能团数目不变，C 不正确；D、碳碳双键、醛基均能与氢气发生加成反应，官能团数目减少 1 个，D 不正确，答案选 A。

【命题意图】 本题主要是考查有机物结构与性质，旨在考查学生灵活应用基础知识解决实际问题的能力，有利于培养学生的知识迁移能力和对信息的获取能力。

6. 已知： $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = a \text{ kJ/mol}$



$\text{H}-\text{H}$ 、 $\text{O}=\text{O}$ 和 $\text{O}-\text{H}$ 键的键能分别为 436、496 和 462 kJ/mol ，则 a 为

- A. -332 B. -118 C. +350 D. +130

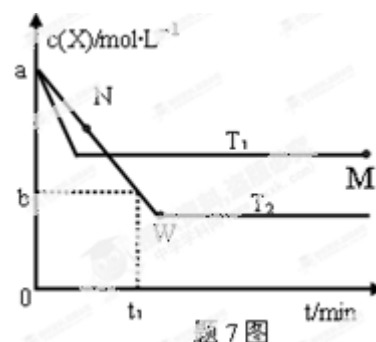
【答案】D

【解析】已知热化学方程式① $C(s)+H_2O(g)=CO(g)+H_2(g)$ $\Delta H=a$ kJ/mol, ② $2C(s)+O_2(g)=2CO(g)$ $\Delta H=-220$ kJ/mol, 则根据盖斯定律可知②-① $\times 2$ 即得到热化学方程式 $O_2(g)+2H_2(g)=2H_2O(g)$ $\Delta H=-(220+2a)$ kJ/mol。由于反应热等于断键吸收的能量与形成新化学键所放出的能量的差值, 则 496 kJ/mol $+2\times 436$ kJ/mol $-2\times 2\times 462$ kJ/mol $=-(220+2a)$ kJ/mol, 解得 $a=+130$, 答案选 D。

【命题意图】本题主要是考查盖斯定律的应用和反应热计算, 题目设计比较新颖, 侧重考查学生综合运用所学化学知识解决相关化学问题的能力。

7. 在恒容密闭容器中通入 X 并发生反应: $2X(g)\rightleftharpoons Y(g)$, 温度 T_1 、 T_2 下 X 的物质的量浓度 $c(x)$ 随时间 t 变化的曲线如图所示, 下列叙述正确的是

- A. 该反应进行到 M 点放出的热量大于进行到 W 点放出的热量
- B. T_2 下, 在 $0\sim t_1$ 时间内, $v(Y)=\frac{a-b}{t_1}$ mol/(L·min)
- C. M 点的正反应速率 $v_{正}$ 大于 N 点的逆反应速率 $v_{逆}$
- D. M 点时再加入一定量的 X, 平衡后 X 的转化率减小



【答案】C

【解析】A、根据图像可知 W 点消耗的 X 的物质的量大于 M 点消耗 X 的物质的量, 因此根据热化学方程式可知 W 点放出的热量多, A 不正确; B、 T_2 下, 在 $0\sim t_1$ 时间内 X 的浓度减少了 $(a-b)$ mol/L, 则根据方程式可知 Y 的浓度增加了 $\frac{(a-b)}{2}$ mol。反应速率通常用单位时间内浓度的变化量来表示, 所以 Y 表示的反应速率为 $\frac{(a-b)}{2t_1}$ mol/(L·min), B 不正确; C、根据图像可知, 温度为 T_1 时反应首先达到平衡状态。温度高反应速率快, 到达平衡的时间少, 则温度是 $T_1>T_2$ 。M 点温度高于 N 点温度, 且 N 点反应没有达到平衡状态, 此时反应向正反应方向进行, 即 N 点的逆反应速率小于 N 点的正反应速率, 因此 M 点的正反应速率大于 N 点的逆反应速率, C 正确; D、由于反应前后均是一种物质, 因此 M 点时再加入一定量的 X, 则相当于是增大压强, 正反应是体积减小的可逆反应, 因此平衡向正反应方向移动, 所以 X 的转化率升高, D 不正确, 答案选 C。

【命题意图】本题主要是考查化学反应速率和平衡平衡状态的有关判断与计算、图像识别等, 题目难度较大, 对学生的思维能力要求较高, 意在考查学生严谨的逻辑思维能力和分析问题、解决问题的能力。

二、非选择题 (本大题共 4 小题, 共 58 分)

8. (15 分) 月球含有 H、He、N、Na、Mg、Si 等元素, 是人类未来的资源宝库。

(1) ^3He 是高效核能原料, 其原子核内中子数为_____。

(2) Na 的原子结构示意图为_____, Na 在氧气中完全燃烧所得产物的电子式为_____。

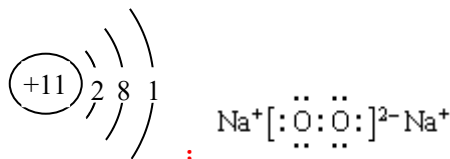
(3) MgCl_2 在工业上应用广泛，可由 MgO 制备。

① MgO 的熔点比 BeO 的熔点_____ (填“高”或“低”)

② 月球上某矿石经处理得到的 MgO 中含有少量 SiO_2 ，除去 SiO_2 的离子方程式为_____； SiO_2 的晶体类型为_____。

③ MgO 与炭粉和氯气在一定条件下反应可制备 MgCl_2 。若尾气可用足量 NaOH 溶液完全吸收，则生成的盐为_____ (写化学式)。

(4) 月壤中含有丰富的 ^3He ，从月壤中提炼 $1\text{ kg}^3\text{He}$ 同时可得 6000 kgH_2 和 700 kgN_2 ，若以所得 H_2 和 N_2 为原料经一系列反应最多可制得碳酸氢铵___kg。

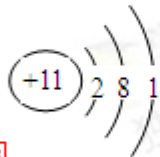


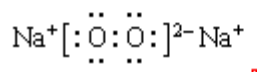
【答案】(1) 1 (2)

(3) ①高 ② $2\text{OH}^- + \text{SiO}_2 = \text{SiO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ；原子晶体 ③ NaCl 、 NaClO 、 Na_2CO_3 (4) 3950

【解析】(1) 在表示原子组成时元素符号的左下角表示质子数，左上角表示质量数。因为质子数和中子数之和是质量数，因此该核素的原子核内中子数 = $3 - 2 = 1$ 。

(2) 原子结构示意图是表示原子核电荷数和电子层排布的图示形式。小圈和圈内的数字表示原子核和核内质子数，弧线表示电子层，弧线上的数字表示该层的电子数。由于钠的原子序数是 11，位于

元素周期表的第三周期第 IA 族，因此钠的原子结构示意图为 ；钠在氧气中完全燃烧生成过氧化钠，过氧化钠是含有离子键和非极性键的离子化合物，电子式可表示为

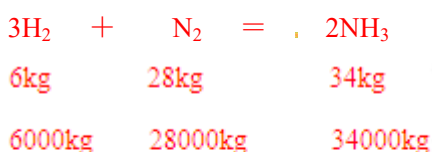


(3) ①氧化镁和氧化钡形成的晶体均是离子晶体，离子晶体的熔点与晶格能有关系。晶格能越大，熔点越高。形成离子键的离子半径越小，离子的电荷数越多离子键越强，晶格能越大。由于镁离子半径小于钡离子半径，因此氧化镁中晶格能大于氧化钡中晶格能，则氧化镁的熔点高于氧化钡的熔点。

②氧化镁是碱性氧化物，二氧化硅是酸性氧化物，能与氢氧化钠溶液反应，而氧化镁与氢氧化钠溶液不反应，因此除去氧化镁中的二氧化硅可以用氢氧化钠溶液，反应的离子方程式为 $2\text{OH}^- + \text{SiO}_2 = \text{SiO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ；二氧化硅是由硅原子和氧原子通过共价键形成的空间网状结构的晶体属于原子晶体。

③氧化镁、炭粉和氯气在一定条件下反应制备氯化镁，另一种生成物可以被氢氧化钠溶液完全吸收，则气体应该是二氧化碳，二氧化碳与足量的氢氧化钠溶液反应生成碳酸钠。另外过量的氯气有毒也需要尾气处理，氯气与氢氧化钠溶液反应生成氯化钠、次氯酸钠，则盐的化学式为 NaCl 、 NaClO 、 Na_2CO_3 。

(4) 根据反应的方程式可知

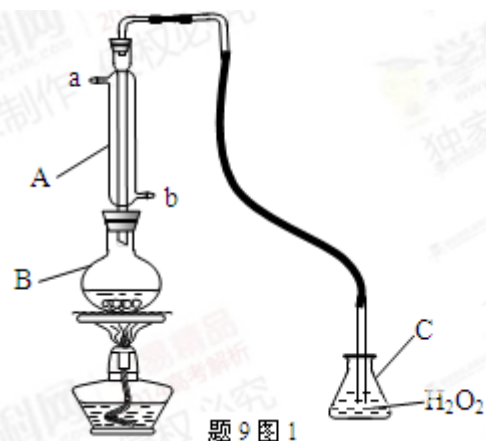


因此氮气不足，则实际生成的氨气的物质的量为 $\frac{700000\text{g}}{28\text{g/mol}} \times 2$ ，根据氮原子守恒可知，最终生成碳酸氢

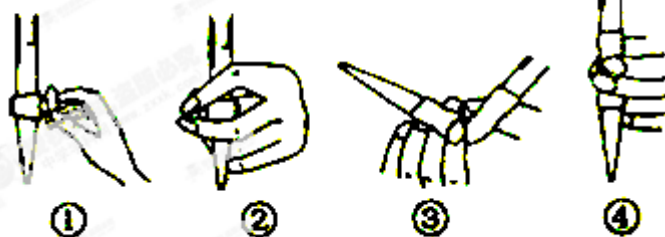
铵的质量为 $\frac{700000\text{g}}{28\text{g/mol}} \times 2 \times 79\text{g/mol} = 3950000\text{g} = 3950\text{kg}$ 。

【命题意图】 本题主要是考查原子结构、晶体类型和熔点比较、电子式、物质除杂、产物判断以及有关计算等，题目难易适中，知识点覆盖全面，综合性较强，侧重对学生能力的考查，充分体现了“源于教材又不拘泥于教材”的命题指导思想，在一定程度上考查了学生的创新思维能力。

9. (15分) 中华人民共和国国家标准 (GB2760-2011) 规定葡萄酒中 SO_2 最大使用量为 0.25g/L 。某兴趣小组用题 9 图 1 装置 (夹持装置略) 收集某葡萄酒中 SO_2 ，并对含量碱性测定。



题9图1



题9图2

- (1) 仪器 A 的名称是_____，水通入 A 的进口为_____。
- (2) B 中加入 300.00ml 葡萄酒和适量盐酸，加热使 SO_2 全部逸出并与 C 中 H_2O_2 完全反应，其化学方程式为_____。
- (3) 除去 C 中过量的 H_2O_2 ，然后用 0.0900mol/L NaOH 标准溶液进行滴定，滴定前排气泡时，应选择题 9 中图 2 中的_____；若滴定终点时溶液的 $\text{pH}=8.8$ ，则选择的指示剂为_____；若用 50ml 滴定管进行实验，当滴定管中的液面在“10”处，则管内液体的体积（填序号）_____（①=10ml，②=40ml，③<10ml，④>40ml）
- (4) 滴定至终点时，消耗 NaOH 溶液 25.00ml，该葡萄酒中 SO_2 含量为：___g/L。
- (5) 该测定结果比实际值偏高，分析原因并利用现有装置提出改进措施_____。

【答案】 (1) 冷凝管或冷凝器；b (2) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$ (3) ③；酚酞；④ (4) 0.24

(5) 原因：盐酸的挥发；改进措施：用不挥发的强酸例如硫酸代替盐酸，或用蒸馏水代替葡萄酒进行对比实验，扣除盐酸挥发的影响。

【解析】 (1) 根据仪器的构造特点可知，仪器 A 是冷凝管或冷凝器。冷凝时冷却水的流向应该是下口进，上口出，即水通入 A 的进口是 b。

(2) SO_2 具有还原性，双氧水具有氧化性，二者混合发生氧化还原反应生成硫酸，反应的化学方程式为 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$ 。

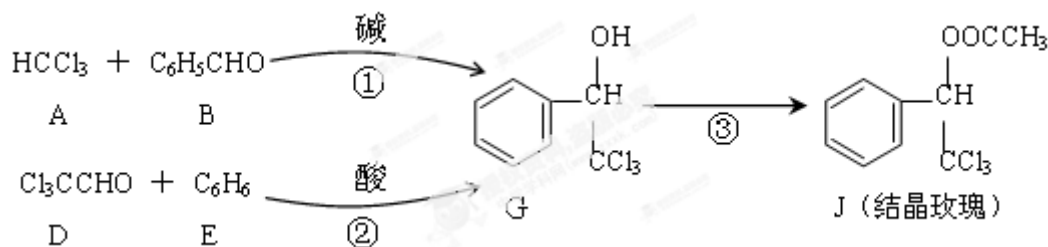
(3) 氢氧化钠是碱，应该用碱式滴定管盛放。排液时将乳管向上弯曲，同时拇指和食指捏住玻璃珠附近的橡皮管且用力挤捏，使溶液迅速排出，赶走气泡，即选择③。滴定终点时的 $\text{pH} = 8.8$ ，说明溶液显碱性，则指示剂的变色范围在碱性条件下，甲基橙的变色范围是 $3.1 \sim 4.4$ ，酚酞的变色范围是 $8.2 \sim 10.0$ ，所以选择的指示剂是酚酞。由于滴定管的刻度自上而下逐渐增大，且最下面一段没有刻度线，因此该滴定管中实际溶液的体积是 $> 50\text{ml} - 10\text{ml} = 40\text{ml}$ 。

(4) 根据方程式可知 $2\text{NaOH} \sim \text{H}_2\text{SO}_4 \sim \text{SO}_2$ ，则 SO_2 的质量是 $\frac{0.0900\text{mol/L} \times 0.025\text{L}}{2} \times 64\text{g/mol} = 0.072\text{g}$ ，则该葡萄酒中 SO_2 的含量为 $\frac{0.072\text{g}}{0.3\text{L}} = 0.24\text{g/L}$ 。

(5) 由于盐酸是挥发性酸，进入 C 装置的气体除了 SO_2 外还有氯化氢，氯化氢也与氢氧化钠反应，从而使得消耗氢氧化钠溶液的体积增加，导致测定结果偏高。因此改进的措施为用不挥发的强酸，例如硫酸代替盐酸，或用蒸馏水代替葡萄酒进行对比实验，扣除盐酸挥发的影响。

【命题意图】本题主要是考查化学实验方案设计与评价、涉及仪器识别、氧化还原反应方程式书写、滴定管和指示剂选择、物质含量计算以及误差分析与实验改进等，题目综合性强，考查了学生对化学实验基本操作的掌握，对常见仪器或试剂的主要用途和使用方法的掌握情况。考察了应用所学知识进行必要的分析、类推或计算一些具体的化学问题的能力。高考化学试题中对考生设计简单实验能力的考查赋予较多的关注，它要求学生能够通过题给实验情境中适当迁移，准确把化学实验基础知识和基本操作技能运用到某些类似的实验中去，解决一些原理和操作较简单的问题。

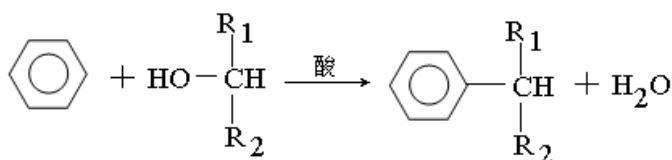
10. 结晶玫瑰是具有强烈玫瑰香气的香料，可由下列反应路线合成（部分反应条件略去）：



(1) A 的类别是_____，能与 Cl_2 反应生成 A 的烷烃是_____。B 中的官能团是_____。

(2) 反应③的化学方程式为_____。

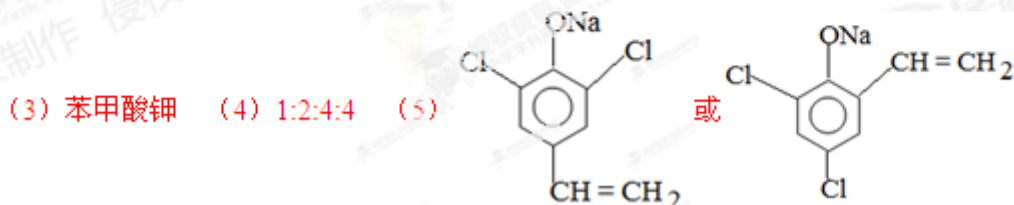
(3) 已知： $\text{B} \xrightarrow{\text{KOH}}$ 苯甲醇 + 苯甲酸钾，则经反应路线①得到的产物加水萃取、分液，能除去的副产物是_____。



(4) 已知: _____, 则经反应路线②得到的一种副产物, 其核磁共振氢谱有 4 组峰, 各组吸收峰的面积之比为_____。

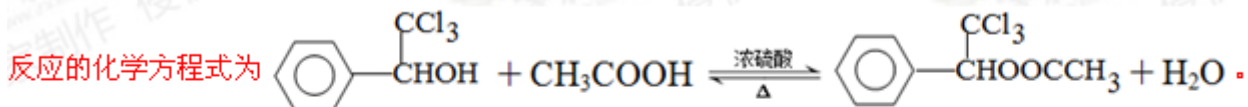
(5) G 的同分异构体 L 遇 FeCl_3 溶液显色, 与足量饱和溴水反应未见白色沉淀产生, 则 L 与 NaOH 的乙醇溶液共热, 所得有机物的结构简式为_____。(任写一种)

【答案】(1) 卤代烃; CH_4 或甲烷; $-\text{CHO}$ 或醛基



【解析】(1) A 是三氯甲烷, 属于卤代烃, 甲烷与氯气在光照条件下即可产生三氯甲烷。B 是苯甲醛, 官能团是醛基。

(2) J 中含有酯基, 乙醇根据反应③中前后结构简式的变化可知, 该反应是 G 与乙酸的酯化反应, 则



(3) 苯甲醛在氢氧化钾的作用下可以发生自身的氧化还原反应生成苯甲醇和苯甲酸钾。苯甲酸钾是盐, 易溶于水, 因此加水萃取、分液能除去的副产物是苯甲酸钾。

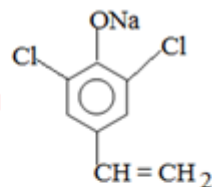
(4) 根据已知信息可知, 醇中的羟基可被苯环取代, 因此 G 分子中的羟基可以被苯环继续取代, 因此



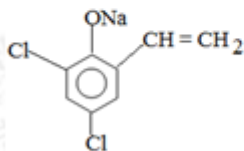
所连接的所有甲基上的氢原子是相同的, 再就是具有对称性结构的 (类似于平面镜成像中物体和像的关系), 因此根据结构简式可知其峰面积之比为 1:2:4:4。

(5) 遇氯化铁溶液显紫色, 说明含有酚羟基。与浓溴水反应未见沉淀产生, 说明酚羟基的邻位和对位上含有取代基。其中能与氢氧化钠的乙醇溶液共热, 说明发生的是消去反应, 因此与氯原子相连的碳

原子的邻位碳原子上含有氢原子，所以符合条件的有机物的结构简式为



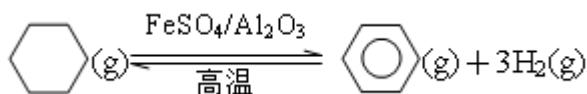
或



【命题意图】 本题主要是考查有机物推断、官能团、同分异构体判断、物质的分离与提纯以及化学反应方程式书写等，属于中等难度试题的考查，难度不是很大，侧重考查学生对信息的获取能力以及灵活运用已知信息解决实际问题的能力和知识的迁移能力。该题设计命题背景新颖，设问角度合理、巧妙，符合考纲要求。突出了对学生基本知识和基本技能的考查，能较准确的反映出学生的知识掌握水平和化学思维能力。

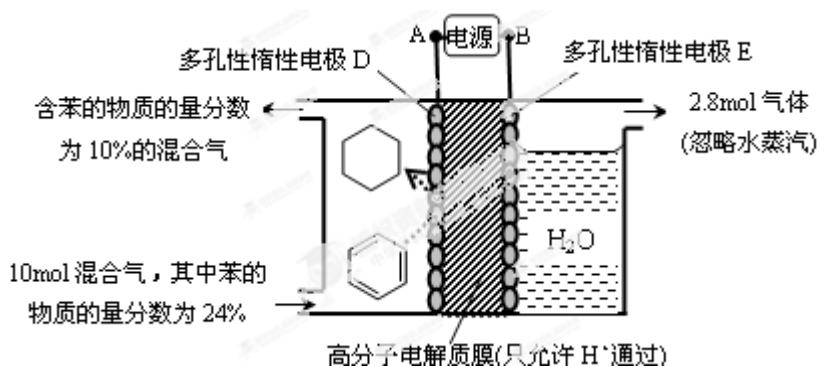
11. (14分) 氢能是重要的新能源。储氢作为氢能利用的关键技术，是当前关注的热点之一。

- (1) 氢气是清洁能源，其燃烧产物为_____。
- (2) NaBH_4 是一种重要的储氢载体，能与水反应达到 NaBO_2 ，且反应前后 B 的化合价不变，该反应的化学方程式为_____，反应消耗 1mol NaBH_4 时转移的电子数目为_____。
- (3) 储氢还可借助有机物，如利用环己烷和苯之间的可逆反应来实现脱氢和加氢：



。某温度下，向恒容密闭容器中加入环己烷，起始浓度为 $a\text{ mol/L}$ ，平衡时苯的浓度为 $b\text{ mol/L}$ ，该反应的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

- (4) 一定条件下，题 11 图示装置可实现有机物的电化学储氢（忽略其它有机物）。



- ① 导线中电子移动方向为_____。
- ② 生成目标产物的电极反应式为_____。
- ③ 该储氢装置的电流效率 $\eta = \underline{\hspace{2cm}}$ ($\eta = \frac{\text{生成目标产物消耗的电子数}}{\text{转移的电子总数}} \times 100\%$, 计算结果保留小数点后 1 位)

【答案】(1) 水或 H_2O (2) $\text{NaBH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NaBO}_2 + 4\text{H}_2 \uparrow$; $4N_A$ 或 2.408×10^{24}

(3) $\frac{27b^4}{a-b} \text{mol}^3/\text{L}^3$ (4) ① $\text{A} \rightarrow \text{D}$ ② $\text{C}_6\text{H}_6 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{C}_6\text{H}_{12}$ ③ 64.3%

【解析】(1) 氢气的燃烧产物是水。

(2) 反应前后 B 元素的化合价不变, 则反应前后 B 元素的化合价均是 +3 价, 因此反应前 NaBH_4 中氢元素的化合价是 -1 价。水中氢元素的化合价是 +1 价, 因此反应中还有氢气生成, 则反应的化学方程式为 $\text{NaBH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NaBO}_2 + 4\text{H}_2 \uparrow$ 。 NaBH_4 中氢元素的化合价从 -1 价升高到 0 价, 因此 1mol NaBH_4 在反应中失去 4mol 电子, 其数目是 $4N_A$ 或 2.408×10^{24} 。

(3) 平衡时苯的浓度是 $b \text{ mol/L}$, 则根据反应的方程式可知消耗环戊烷的浓度是 $b \text{ mol/L}$, 生成氢气的浓度是 $3b \text{ mol/L}$, 平衡时环戊烷的浓度为 $(a-b) \text{ mol/L}$ 。由于化学平衡常数是在一定条件下, 当可逆反应达到平衡状态时, 生成物浓度的幂之积和反应物浓度的幂之积的比值, 则该温度下反应的平衡常

数为 $\frac{(3b)^3 \cdot b}{a-b} = \frac{27b^4}{a-b} \text{mol}^3/\text{L}^3$ 。

(4) ① 苯生成环戊烷属于得氢反应, 因此是还原反应, 即电极 D 是阴极, 电极 E 是阳极, 因此导线中电子的流动方向是 $\text{A} \rightarrow \text{D}$ 。

② 苯得到电子生成环戊烷是目标产物, 由于存在质子交换膜, 所以氢离子向阴极移动, 则电极反应式为 $\text{C}_6\text{H}_6 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{C}_6\text{H}_{12}$ 。

③ 阳极生成 2.8mol 气体, 该气体应该是阳极 OH^- 放电生成的氧气, 则转移电子的物质的量 $= 2.8\text{mol} \times 4 = 11.2\text{mol}$ 。设阴极消耗苯的物质的量是 $x\text{mol}$, 则同时生成 $x\text{mol}$ 环戊烷, 根据电极反应式 $\text{C}_6\text{H}_6 +$

$6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{C}_6\text{H}_{12}$ 可知得到电子是 $6x\text{mol}$, 根据电子守恒可知, 阴极生成氢气是 $\frac{11.2\text{mol} - 6x\text{mol}}{2} = 5.6\text{mol}$

$- 3x\text{mol}$, 所以 $\frac{2.4 - x}{10 + 5.6 - 3x} = 0.1$, 解得 $x = 1.2$, 因此储氢装置的电流效率 $= \frac{6x\text{mol}}{11.2\text{mol}} \times 100\% = 64.3\%$ 。

【命题意图】本题主要是考查氧化还原方程式的配平和计算、平衡常数计算以及电化学原理的应用与计算, 属于中等难度试题的考查, 意在考查学生对信息的获取能力, 侧重考查学生灵活应用基础知识解决实际问题的能力。