

2021 年普通高等学校招生全国统一考试

理科综合能力测试

注意事项：

- 1.答卷前，考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上，并将自己的姓名、准考证号、座位号填写在本试卷上。
- 2.回答选择题时，选出每小题答案后，用 2B 铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑；如需改动，用橡皮擦干净后，再选涂其他答案标号，涂写在本试卷上无效。
- 3.作答非选择题时，将答案书写在答题卡上，书写在本试卷上无效。
- 4.考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

可能用到的相对原子质量：H 1 C 12 N 14 O 16 Na 23 Al 27 Cl 35.5 Fe 56

一、选择题

1. 我国提出争取在 2030 年前实现碳达峰，2060 年实现碳中和，这对于改善环境，实现绿色发展至关重要。碳中和是指 CO_2 的排放总量和减少总量相当。下列措施中能促进碳中和最直接有效的是

- A. 将重质油裂解为轻质油作为燃料
- B. 大规模开采可燃冰作为新能源
- C. 通过清洁煤技术减少煤燃烧污染
- D. 研发催化剂将 CO_2 还原为甲醇

【答案】D

【解析】

【分析】

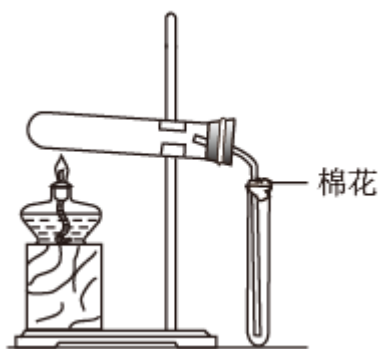
【详解】A. 将重质油裂解为轻质油并不能减少二氧化碳的排放量，达不到碳中和的目的，故 A 不符合题意；

B. 大规模开采可燃冰作为新能源，会增大二氧化碳的排放量，不符合碳中和的要求，故 B 不符合题意；

C. 通过清洁煤技术减少煤燃烧污染，不能减少二氧化碳的排放量，达不到碳中和的目的，故 C 不符合题意；

D. 研发催化剂将二氧化碳还原为甲醇，可以减少二氧化碳的排放量，达到碳中和的目的，故 D 符合题意；故选 D。

2. 在实验室采用如图装置制备气体，合理的是



	化学试剂	制备的气体
A	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$	NH_3
B	$\text{MnO}_2 + \text{HCl}(\text{浓})$	Cl_2
C	$\text{MnO}_2 + \text{KClO}_3$	O_2
D	$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓})$	HCl

A. A

B. B

C. C

D. D

【答案】C

【解析】

【分析】由实验装置图可知，制备气体的装置为固固加热装置，收集气体的装置为向上排空气法，说明该气体的密度大于空气的密度；

【详解】A. 氨气的密度比空气小，不能用向上排空气法收集，故 A 错误；

B. 二氧化锰与浓盐酸共热制备氯气为固液加热反应，需要选用固液加热装置，不能选用固固加热装置，故 B 错误；

C. 二氧化锰和氯酸钾共热制备氧气为固固加热的反应，能选用固固加热装置，氧气的密度大于空气，可选用向上排空气法收集，故 C 正确；

D. 氯化钠与浓硫酸共热制备为固液加热反应，需要选用固液加热装置，不能选用固固加热装置，故 D 错误；

故选 C。

3. 下列过程中的化学反应，相应的离子方程式正确的是

A. 用碳酸钠溶液处理水垢中的硫酸钙： $\text{CO}_3^{2-} + \text{CaSO}_4 = \text{CaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$

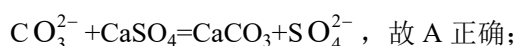
- B. 过量铁粉加入稀硝酸中： $\text{Fe} + 4\text{H}^+ + \text{NO}_3^- = \text{Fe}^{3+} + \text{NO} \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- C. 硫酸铝溶液中滴加少量氢氧化钾溶液： $\text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^- = \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$
- D. 氯化铜溶液中通入硫化氢： $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS} \downarrow$

【答案】A

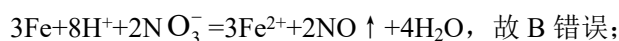
【解析】

【分析】

【详解】A. 硫酸钙微溶，用碳酸钠溶液处理水垢中的硫酸钙转化为难溶的碳酸钙，离子方程式为：



B. 过量的铁粉与稀硝酸反应生成硝酸亚铁、一氧化氮和水，离子方程式应为：



C. 硫酸铝溶液与少量氢氧化钾溶液反应生成氢氧化铝沉淀和硫酸钾，离子方程式应为：

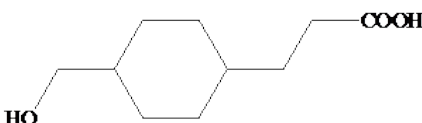


D. 硫化氢为弱电解质，书写离子方程式时不能拆，离子方程式应为： $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS} \downarrow + 2\text{H}^+$ ，故 D 错误；

答案选 A。

4. 一种活性物质的结构简式为 ，下列有关该物质的叙述正确的是

- A. 能发生取代反应，不能发生加成反应
- B. 既是乙醇的同系物也是乙酸的同系物

- C. 与  互为同分异构体

- D. 1mol 该物质与碳酸钠反应得 44g CO_2

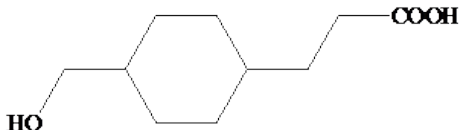
【答案】C

【解析】

【分析】

【详解】A. 该物质含有羟基、羧基、碳碳双键，能发生取代反应和加成反应，故 A 错误；

B. 同系物是结构相似，分子式相差 1 个或 n 个 CH_2 的有机物，该物质的分子式为 $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_3$ ，而且与乙醇、乙酸结构不相似，故 B 错误；

C. 该物质的分子式为 $C_{10}H_{18}O_3$ ， 的分子式为 $C_{10}H_{18}O_3$ ，所以二者的

分子式相同，结构式不同，互为同分异构体，故 C 正确；

D. 该物质只含有一个羧基，1mol 该物质与碳酸钠反应，生成 0.5mol 二氧化碳，质量为 22g，故 D 错误；
故选 C。

5. 我国嫦娥五号探测器带回 1.731kg 的月球土壤，经分析发现其构成与地球土壤类似土壤中含有的短周期元素 W、X、Y、Z，原子序数依次增大，最外层电子数之和为 15。X、Y、Z 为同周期相邻元素，且均不与 W 同族，下列结论正确的是

- A. 原子半径大小顺序为 $W > X > Y > Z$
- B. 化合物 XW 中的化学键为离子键
- C. Y 单质的导电性能弱于 Z 单质的
- D. Z 的氧化物的水化物的酸性强于碳酸

【答案】B

【解析】

【分析】由短周期元素 W、X、Y、Z，原子序数依次增大，最外层电子数之和为 15，X、Y、Z 为同周期相邻元素，可知 W 所在主族可能为第 IIIA 族或第 VIA 族元素，又因 X、Y、Z 为同周期相邻元素，且均不与 W 同族，故 W 一定不是第 IIIA 族元素，即 W 一定是第 VIA 族元素，进一步结合已知可推知 W、X、Y、Z 依次为 O、Mg、Al、Si，据此答题。

【详解】A. O 原子有两层，Mg、Al、Si 均有三层且原子序数依次增大，故原子半径大小顺序为 $Mg > Al > Si > O$ ，即 $X > Y > Z > W$ ，A 错误；

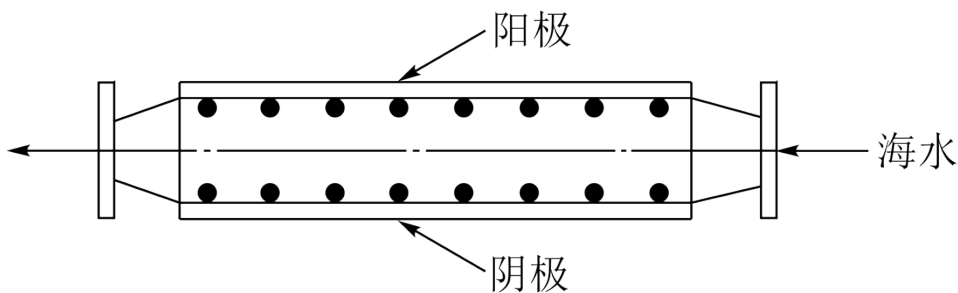
B. 化合物 XW 即 MgO 为离子化合物，其中的化学键为离子键，B 正确；

C. Y 单质为铝单质，铝属于导体，导电性很强，Z 单质为硅，为半导体，半导体导电性介于导体和绝缘体之间，故 Y 单质的导电性能强于 Z 单质的，C 错误；

D. Z 的氧化物的水化物为硅酸，硅酸酸性弱于碳酸，D 错误；

故选 B。

6. 沿海电厂采用海水为冷却水，但在排水管中生物的附着和滋生会阻碍冷却水排放并降低冷却效率，为解决这一问题，通常在管道口设置一对惰性电极(如图所示)，通入一定的电流。



下列叙述错误的是

- A. 阳极发生将海水中的 Cl^- 氧化生成 Cl_2 的反应
- B. 管道中可以生成氧化灭杀附着生物 NaClO
- C. 阴极生成的 H_2 应及时通风稀释安全地排入大气
- D. 阳极表面形成的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等积垢需要定期清理

【答案】D

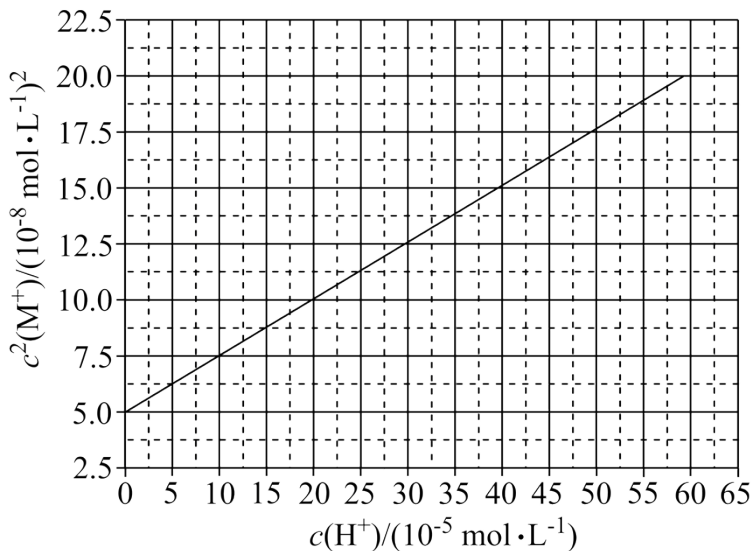
【解析】

【分析】海水中除了水，还含有大量的 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等，根据题干信息可知，装置的原理是利用惰性电极电解海水，阳极区溶液中的 Cl^- 会优先失电子生成 Cl_2 ，阴极区 H_2O 优先得电子生成 H_2 和 OH^- ，结合海水成分及电解产物分析解答。

- 【详解】A. 根据分析可知，阳极区海水中的 Cl^- 会优先失去电子生成 Cl_2 ，发生氧化反应，A 正确；
- B. 设置的装置为电解池原理，根据分析知，阳极区生成的 Cl_2 与阴极区生成的 OH^- 在管道中会发生反应生成 NaCl 、 NaClO 和 H_2O ，其中 NaClO 具有强氧化性，可氧化灭杀附着的生物，B 正确；
- C. 因为 H_2 是易燃性气体，所以阳极区生成的 H_2 需及时通风稀释，安全地排入大气，以排除安全隐患，C 正确；
- D. 阴极的电极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ ，会使海水中的 Mg^{2+} 沉淀积垢，所以阴极表面会形成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等积垢需定期清理，D 错误。

故选 D。

7. HA 是一元弱酸，难溶盐 MA 的饱和溶液中 $c(\text{M}^+)$ 随 $c(\text{H}^+)$ 而变化， M^+ 不发生水解。实验发现，298K 时 $c^2(\text{M}^+) - c(\text{H}^+)$ 为线性关系，如下图中实线所示。



下列叙述错误的是

- A. 溶液 $\text{pH} = 4$ 时, $c(\text{M}^+) < 3.0 \times 10^{-4} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- B. MA 的溶度积 $K_{\text{sp}}(\text{MA}) = 5.0 \times 10^{-8}$
- C. 溶液 $\text{pH} = 7$ 时, $c(\text{M}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{A}^-) + c(\text{OH}^-)$
- D. HA 的电离常数 $K_{\text{a}}(\text{HA}) \approx 2.0 \times 10^{-4}$

【答案】C

【解析】

【分析】本题考查水溶液中离子浓度的关系, 在解题过程中要注意电荷守恒和物料守恒的应用, 具体见详解。

【详解】A. 由图可知 $\text{pH} = 4$, 即 $c(\text{H}^+) = 10 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 时, $c^2(\text{M}^+) = 7.5 \times 10^{-8} \text{mol}^2/\text{L}^2$, $c(\text{M}^+) = \sqrt{7.5 \times 10^{-8}} \text{mol/L} = \sqrt{7.5} \times 10^{-4} \text{mol/L} < 3.0 \times 10^{-4} \text{mol/L}$, A 正确;

B. 由图可知, $c(\text{H}^+) = 0$ 时, 可看作溶液中有较大浓度的 OH^- , 此时 A 的水解极大地被抑制, 溶液中 $c(\text{M}^+) = c(\text{A}^-)$, 则 $K_{\text{sp}}(\text{MA}) = c(\text{M}^+) \times c(\text{A}^-) = c^2(\text{M}^+) = 5.0 \times 10^{-8}$, B 正确;

C. 设调 pH 所用的酸为 H_nX , 则结合电荷守恒可知

$c(\text{M}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{A}^-) + c(\text{OH}^-) + nc(\text{X}^{n-})$, 题给等式右边缺阴离子部分 $nc(\text{X}^{n-})$, C 错误;

D. $K_{\text{a}}(\text{HA}) = \frac{c(\text{H}^+) \times c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}$ 当 $c(\text{A}^-) = c(\text{HA})$ 时, 由物料守恒知 $c(\text{A}^-) + c(\text{HA}) = c(\text{M}^+)$, 则

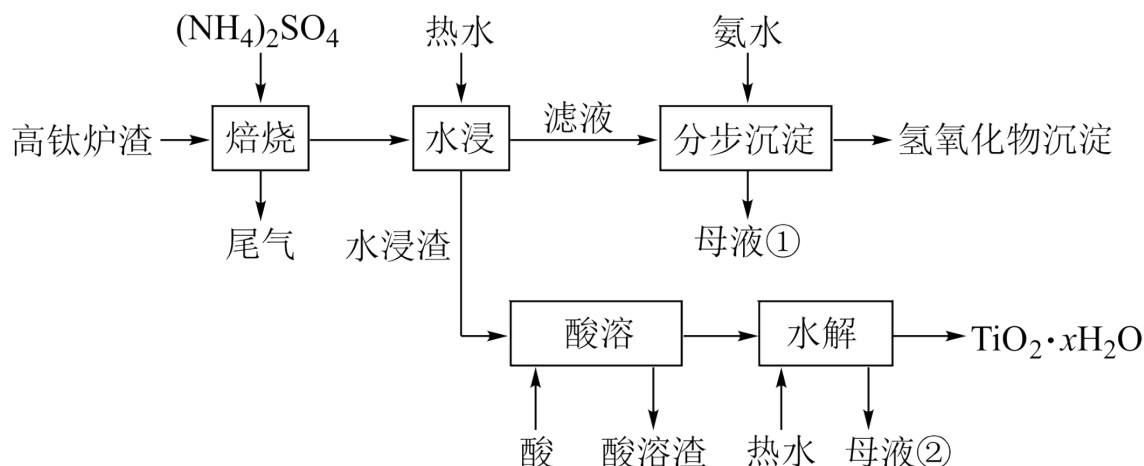
$c(\text{A}^-) = \frac{c(\text{M}^+)}{2}$, $K_{\text{sp}}(\text{MA}) = c(\text{M}^+) \times c(\text{A}^-) = \frac{c^2(\text{M}^+)}{2} = 5.0 \times 10^{-8}$, 则 $c^2(\text{M}^+) = 10 \times 10^{-8}$, 对应图得此时溶

液中 $c(\text{H}^+) = 2.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $K_a(\text{HA}) = \frac{c(\text{H}^+) \times c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})} = c(\text{H}^+) \approx 2.0 \times 10^{-4}$, D 正确;

故选 C。

二、非选择题

8. 磁选后的炼铁高钛炉渣，主要成分有 TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 以及少量的 Fe_2O_3 。为节约和充分利用资源，通过如下工艺流程回收钛、铝、镁等。



该工艺条件下，有关金属离子开始沉淀和沉淀完全的 pH 见下表

金属离子	Fe^{3+}	Al^{3+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}
开始沉淀的 pH	2.2	3.5	9.5	12.4
沉淀完全 ($c = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 的 pH	3.2	4.7	11.1	13.8

回答下列问题：

(1)“焙烧”中， TiO_2 、 SiO_2 几乎不发生反应， Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 Fe_2O_3 转化为相应的硫酸盐，写出

Al_2O_3 转化为 $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ 的化学方程式_____。

(2)“水浸”后“滤液”的 pH 约为 2.0，在“分步沉淀”时用氨水逐步调节 pH 至 11.6，依次析出的金属离子是

_____。

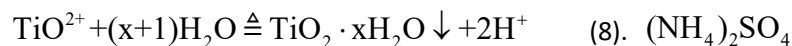
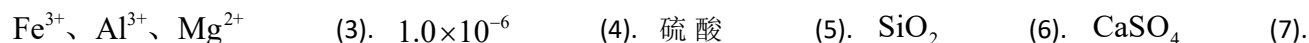
(3)“母液①”中 Mg^{2+} 浓度为_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(4)“水浸渣”在 160°C “酸溶”最适合的酸是_____。“酸溶渣”的成分是_____、_____。

(5)“酸溶”后，将溶液适当稀释并加热， TiO^{2+} 水解析出 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 沉淀，该反应的离子方程式是

_____。

(6)将“母液①”和“母液②”混合，吸收尾气，经处理得_____，循环利用。



【解析】

【分析】由题给流程可知，高钛炉渣与硫酸铵混合后焙烧时，二氧化钛和二氧化硅不反应，氧化铝、氧化镁、氧化钙、氧化铁转化为相应的硫酸盐，尾气为氨气；将焙烧后物质加入热水水浸，二氧化钛、二氧化硅不溶于水，微溶的硫酸钙部分溶于水，硫酸铁、硫酸镁和硫酸铝铵溶于水，过滤得到含有二氧化钛、二氧化硅、硫酸钙的水浸渣和含有硫酸铁、硫酸镁、硫酸铝铵和硫酸钙的滤液；向 pH 约为 2.0 的滤液中加入氨水至 11.6，溶液中铁离子、铝离子和镁离子依次沉淀，过滤得到含有硫酸铵、硫酸钙的母液①和氢氧化物沉淀；向水浸渣中加入浓硫酸加热到 160℃ 酸溶，二氧化硅和硫酸钙与浓硫酸不反应，二氧化钛与稀硫酸反应得到 TiOSO_4 ，过滤得到含有二氧化硅、硫酸钙的酸溶渣和 TiOSO_4 溶液；将 TiOSO_4 溶液加入热水稀释并适当加热，使 TiOSO_4 完全水解生成 $\text{TiO}_2 \cdot \text{xH}_2\text{O}$ 沉淀和硫酸，过滤得到含有硫酸的母液②和 $\text{TiO}_2 \cdot \text{xH}_2\text{O}$ 。

【详解】(1)氧化铝转化为硫酸铝铵发生的反应为氧化铝、硫酸铵在高温条件下反应生成硫酸铝铵、氨气和水，反应的化学方程式为 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 + 6\text{NH}_3 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$ ，故答案为：



(2)由题给开始沉淀和完全沉淀的 pH 可知，将 pH 约为 2.0 的滤液加入氨水调节溶液 pH 为 11.6 时，铁离子首先沉淀、然后是铝离子、镁离子，钙离子没有沉淀，故答案为： Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} ；

(3)由镁离子完全沉淀时，溶液 pH 为 11.1 可知，氢氧化镁的溶度积为 $1 \times 10^{-5} \times (1 \times 10^{-2.9})^2 = 1 \times 10^{-10.8}$ ，当

溶液 pH 为 11.6 时，溶液中镁离子的浓度为 $\frac{1 \times 10^{-10.8}}{(1 \times 10^{-2.4})^2} = 1 \times 10^{-6} \text{mol/L}$ ，故答案为： 1×10^{-6} ；

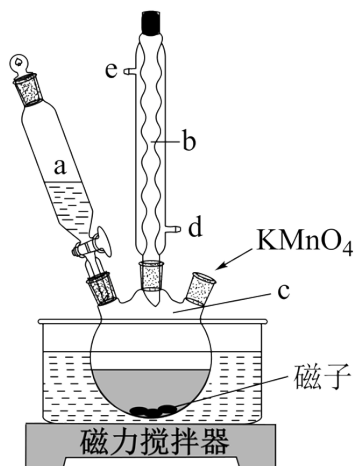
(4)增大溶液中硫酸根离子浓度，有利于使微溶的硫酸钙转化为沉淀，为了使微溶的硫酸钙完全沉淀，减少 TiOSO_4 溶液中含有硫酸钙的量，应加入浓硫酸加热到 160℃ 酸溶；由分析可知，二氧化硅和硫酸钙与浓硫酸不反应，则酸溶渣的主要成分为二氧化硅和硫酸钙，故答案为：硫酸； SiO_2 、 CaSO_4 ；

(5)酸溶后将 TiOSO_4 溶液加入热水稀释并适当加热，能使 TiOSO_4 完全水解生成 $\text{TiO}_2 \cdot \text{xH}_2\text{O}$ 沉淀和硫酸，反应的离子方程式为 $\text{TiO}^{2+} + (\text{x}+1)\text{H}_2\text{O} \triangleq \text{TiO}_2 \cdot \text{xH}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ ，故答案为：



(6)由分析可知，尾气为氨气，母液①为硫酸铵、母液②为硫酸，将母液①和母液②混合后吸收氨气得到硫酸铵溶液，可以循环使用，故答案为： $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。

9. 氧化石墨烯具有稳定的网状结构，在能源、材料等领域有着重要的应用前景，通过氧化剥离石墨制备氧化石墨烯的一种方法如下(转置如图所示)：



I. 将浓 H_2SO_4 、 NaNO_3 、石墨粉末在 c 中混合，置于冰水浴中，剧烈搅拌下，分批缓慢加入 KMnO_4 粉末，塞好瓶口。

II. 转至油浴中， 35°C 搅拌 1 小时，缓慢滴加一定量的蒸馏水。升温至 98°C 并保持 1 小时。

III. 转移至大烧杯中，静置冷却至室温。加入大量蒸馏水，而后滴加 H_2O_2 至悬浊液由紫色变为土黄色。

IV. 离心分离，稀盐酸洗涤沉淀。

V. 蒸馏水洗涤沉淀。

VI. 冷冻干燥，得到土黄色的氧化石墨烯。

回答下列问题：

(1) 装置图中，仪器 a、c 的名称分别是_____、_____，仪器 b 的进水口是_____ (填字母)。

(2) 步骤 I 中，需分批缓慢加入 KMnO_4 粉末并使用冰水浴，原因是_____。

(3) 步骤 II 中的加热方式采用油浴，不使用热水浴，原因是_____。

(4) 步骤 III 中， H_2O_2 的作用是_____ (以离子方程式表示)。

(5) 步骤 IV 中，洗涤是否完成，可通过检测洗出液中是否存在 SO_4^{2-} 来判断。检测的方法是_____。

(6) 步骤 V 可用 pH 试纸检测来判断 Cl^- 是否洗净，其理由是_____。

【答案】 (1). 滴液漏斗 (2). 三颈烧瓶 (3). d (4). 反应放热，防止反应过快 (5). 反应温度

接近水的沸点，油浴更易控温 (6). $2\text{MnO}_4^- + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2 \uparrow$ (7). 取少量

洗出液，滴加 BaCl_2 ，没有白色沉淀生成 (8). H^+ 与 Cl^- 电离平衡，洗出液接近中性时，可认为 Cl^- 洗净

【解析】

【分析】

【详解】(1)由图中仪器构造可知，a 的仪器名称为滴液漏斗，c 的仪器名称为三颈烧瓶；仪器 b 为球形冷凝管，起冷凝回流作用，为了是冷凝效果更好，冷却水要从 d 口进，a 口出，故答案为：分液漏斗；三颈烧瓶；d；

(2)反应为放热反应，为控制反应速率，避免反应过于剧烈，需分批缓慢加入 KMnO_4 粉末并使用冰水浴，故答案为：反应放热，防止反应过快；

(3)油浴和水浴相比，由于油的比热容较水小，油浴控制温度更加灵敏和精确，该实验反应温度接近水的沸点，故不采用热水浴，而采用油浴，故答案为：反应温度接近水的沸点，油浴更易控温；

(4)由滴加 H_2O_2 后发生的现象可知，加入的目的是除去过量的 KMnO_4 ，则反应的离子方程式为：

$2\text{MnO}_4^- + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{O}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ ，故答案为： $2\text{MnO}_4^- + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{O}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ ；

(5)该实验中为判断洗涤是否完成，可通过检测洗出液中是否存在 SO_4^{2-} 来判断，检测方法是：取最后一次洗涤液，滴加 BaCl_2 溶液，若没有沉淀说明洗涤完成，故答案为：取少量洗出液，滴加 BaCl_2 ，没有白色沉淀生成；

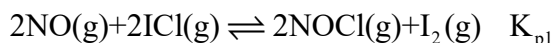
(6)步骤 IV 用稀盐酸洗涤沉淀，步骤 V 洗涤过量的盐酸， H^+ 与 Cl^- 电离平衡，洗出液接近中性时，可认为 Cl^- 洗净，故答案为： H^+ 与 Cl^- 电离平衡，洗出液接近中性时，可认为 Cl^- 洗净。

10. 一氯化碘(ICl)是一种卤素互化物，具有强氧化性，可与金属直接反应，也可用作有机合成中的碘化剂。回答下列问题：

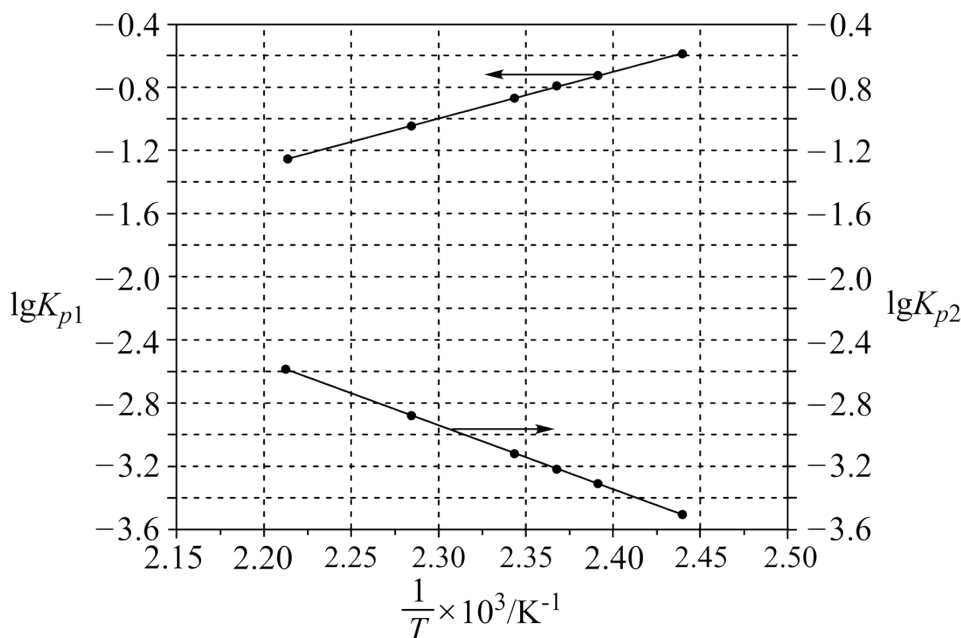
(1)历史上海藻提碘中得到一种红棕色液体，由于性质相似，Liebig 误认为是 ICl ，从而错过了一种新元素的发现，该元素是_____。

(2)氯铂酸钡(BaPtCl_6)固体加热时部分分解为 BaCl_2 、 Pt 和 Cl_2 ， 376.8°C 时平衡常数 $K'_p = 1.0 \times 10^4 \text{Pa}^2$ ，在一硬质玻璃烧瓶中加入过量 BaPtCl_6 ，抽真空后，通过一支管通入碘蒸气(然后将支管封闭)，在 376.8°C ，碘蒸气初始压强为 20.0kPa 。 376.8°C 平衡时，测得烧瓶中压强为 32.5kPa ，则 $p_{\text{ICl}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{kPa}$ ，反应 $2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ (列出计算式即可)。

(3)McMorris 测定和计算了在 136~180°C 范围内下列反应的平衡常数 K_p 。



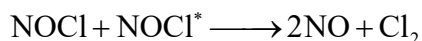
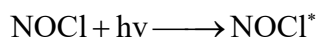
得到 $\lg K_{p1} \sim \frac{1}{T}$ 和 $\lg K_{p2} \sim \frac{1}{T}$ 均为线性关系，如下图所示：



①由图可知，NOCl 分解为 NO 和 Cl_2 反应的 ΔH _____ 0(填“大于”或“小于”)

②反应 $2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的 $K =$ _____ (用 K_{p1} 、 K_{p2} 表示)：该反应的 ΔH _____ 0(填“大于”或“小于”)，写出推理过程_____。

(4)Kistiakowsky 曾研究了 NOCl 光化学分解反应，在一定频率(ν)光的照射下机理为：



其中 $h\nu$ 表示一个光子能量， NOCl^* 表示 NOCl 的激发态。可知，分解 1mol 的 NOCl 需要吸收_____ mol 光子。

【答案】 (1). 溴(或 Br) (2). 24.8 (3). $\frac{100 \times (20 \times 10^3 - 12.4 \times 10^3)}{(24.8 \times 10^3)^2}$ (4). 大于 (5). $K_{p1} \cdot K_{p2}$

(6). 大于 (7). 设 $T' > T$ ，即 $\frac{1}{T'} < \frac{1}{T}$ ，由图可知：

$\lg K_{p2}(T') - \lg K_{p2}(T) > |\lg K_{p1}(T') - \lg K_{p1}(T)| = \lg K_{p1}(T) - \lg K_{p1}(T')$ 则 _____：

$\lg [K_{p2}(T') \cdot K_{p1}(T')] > \lg [K_{p2}(T) \cdot K_{p1}(T)]$, 即 $k(T') > k(T)$, 因此该反应正反应为吸热反应, 即 ΔH 大于

0 (8). 0.5

【解析】

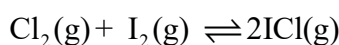
【分析】

【详解】(1) 红棕色液体, 推测为溴单质, 因此错过发现的元素是溴(或 Br);

(2) 由题意玻 376.8°C 时璃烧瓶中发生两个反应: $\text{BaPtCl}_6(\text{s}) \rightleftharpoons \text{BaCl}_2(\text{s}) + \text{Pt}(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g})$ 、

$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{ICl}(\text{g})$ 。 $\text{BaPtCl}_6(\text{s}) \rightleftharpoons \text{BaCl}_2(\text{s}) + \text{Pt}(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K'_p = 1.0 \times 10^4 \text{Pa}^2$, 则平衡时

$p^2(\text{Cl}_2) = 1.0 \times 10^4 \text{Pa}^2$, 平衡时 $p(\text{Cl}_2) = 100 \text{Pa}$, 设到达平衡时 $\text{I}_2(\text{g})$ 的分压减小 $p \text{kPa}$, 则



开始/(kPa)	20.0	0	, 376.8°C 平衡时, 测得烧瓶中压强为 32.5kPa, 则
变化/(kPa)	p	2p	
平衡/(kPa)	0.1	20.0-p	

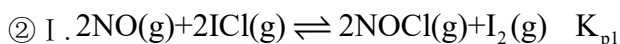
$0.1 + 20.0 + p = 32.5$, 解得 $p = 12.4$, 则平衡时 $p_{\text{ICl}} = 2p \text{kPa} = 2 \times 12.4 \text{kPa} = 24.8 \text{kPa}$; 则平衡时, $\text{I}_2(\text{g})$ 的分压为

$(20.0 - p) \text{kPa} = (20 \times 10^3 - 12.4 \times 10^3) \text{Pa}$, $p_{\text{ICl}} = 24.8 \text{kPa} = 24.8 \times 10^3 \text{Pa}$, $p(\text{Cl}_2) = 0.1 \text{kPa} = 100 \text{Pa}$, 因此反应

$$2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \text{ 的平衡常数 } K = \frac{100 \times (20 \times 10^3 - 12.4 \times 10^3)}{(24.8 \times 10^3)^2};$$

(3) ① 结合图可知, 温度越高, $\frac{1}{T}$ 越小, $\lg K_{p2}$ 越大, 即 K_{p2} 越大, 说明升高温度平衡

$2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ 正向移动, 则 NOCl 分解为 NO 和 Cl_2 反应的 $\Delta H > 0$;



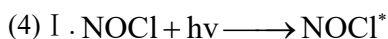
I + II 得 $2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$, 则 $2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的 $K = K_{p1} \cdot K_{p2}$; 该反应的 $\Delta H > 0$; 推

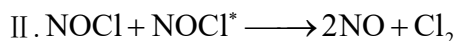
理过程如下: 设 $T' > T$, 即 $\frac{1}{T'} < \frac{1}{T}$, 由图可知:

$$\lg K_{p2}(T') - \lg K_{p2}(T) > \left| \lg K_{p1}(T') - \lg K_{p1}(T) \right| = \lg K_{p1}(T) - \lg K_{p1}(T')$$
 则:

$\lg [K_{p2}(T') \cdot K_{p1}(T')] > \lg [K_{p2}(T) \cdot K_{p1}(T)]$, 即 $k(T') > k(T)$, 因此该反应正反应为吸热反应, 即 ΔH 大于

0;





I + II 得总反应为 $2\text{NOCl} + h\nu = 2\text{NO} + \text{Cl}_2$, 因此 2mol NOCl 分解需要吸收 1mol 光子能量, 则分解 1mol 的 NOCl 需要吸收 0.5mol 光子。

11. 过渡金属元素铬 (Cr) 是不锈钢的重要成分, 在工农业生产和国防建设中有着广泛应用。回答下列问题:

(1) 对于基态 Cr 原子, 下列叙述正确的是_____ (填标号)。

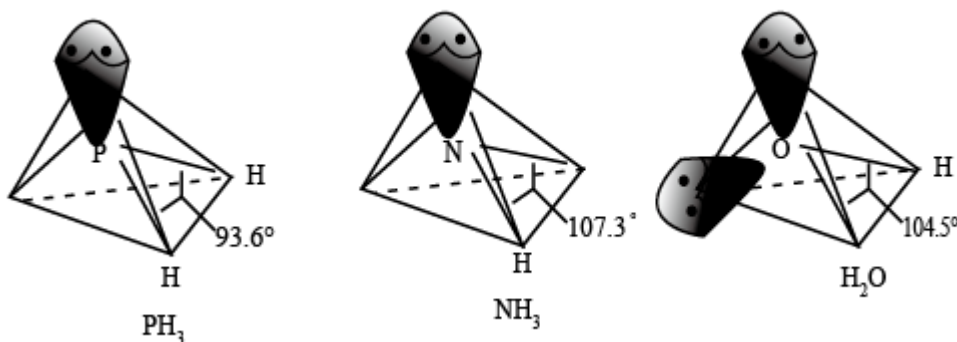
A. 轨道处于半充满时体系总能量低, 核外电子排布应为 $[\text{Ar}]3d^5 4s^1$

B. $4s$ 电子能量较高, 总是在比 $3s$ 电子离核更远的地方运动

C. 电负性比钾高, 原子对键合电子的吸引力比钾大

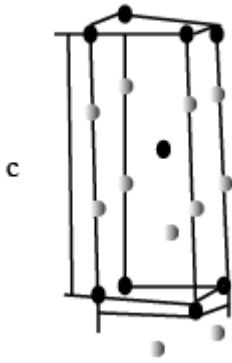
(2) 三价铬离子能形成多种配位化合物。 $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}]^{2+}$ 中提供电子对形成配位键的原子是_____, 中心离子的配位数为_____。

(3) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}]^{2+}$ 中配体分子 NH_3 、 H_2O 以及分子 PH_3 的空间结构和相应的键角如图所示。



PH_3 中 P 的杂化类型是_____。 NH_3 的沸点比 PH_3 的_____, 原因是_____, H_2O 的键角小于 NH_3 的, 分析原因_____。

(4) 在金属材料中添加 AlCr_2 颗粒, 可以增强材料的耐腐蚀性、硬度和机械性能。 AlCr_2 具有体心四方结构, 如图所示, 处于顶角位置的是_____原子。设 Cr 和 Al 原子半径分别为 r_{Cr} 和 r_{Al} , 则金属原子空间占有率为_____% (列出计算表达式)。



【答案】 (1). AC (2). N、O、Cl (3). 6 (4). sp^3 (5). 高 (6). NH_3 存在分子间氢键

(7). NH_3 含有一对孤对电子，而 H_2O 含有两对孤对电子， H_2O 中的孤对电子对成键电子对的排斥作用较

大 (8). Al (9). $\frac{8\pi(2r_{Cr}^3+r_{Al}^3)}{3a^2c} \times 100$

【解析】

【分析】

【详解】(1) A. 基态原子满足能量最低原理，Cr 有 24 个核外电子，轨道处于半充满时体系总能量低，核外电子排布应为 $[Ar]3d^5 4s^1$ ，A 正确；

B. Cr 核外电子排布为 $[Ar]3d^5 4s^1$ ，由于能级交错，3d 轨道能量高于 4s 轨道的能量，即 3d 电子能量较高，B 错误；

C. 电负性为原子对键合电子的吸引力，同周期除零族原子序数越大电负性越强，钾与铬位于同周期，铬原子序数大于钾，故铬电负性比钾高，原子对键合电子的吸引力比钾大，C 正确；

故答案为：AC；

(2) $[Cr(NH_3)_3(H_2O)_2Cl]^{2+}$ 中三价铬离子提供空轨道，N、O、Cl 提供孤对电子与三价铬离子形成配位键，中心离子的配位数为 N、O、Cl 三种原子的个数和即 $3+2+1=6$ ，故答案为：N、O、Cl；6；

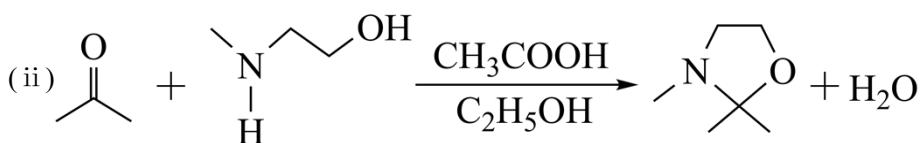
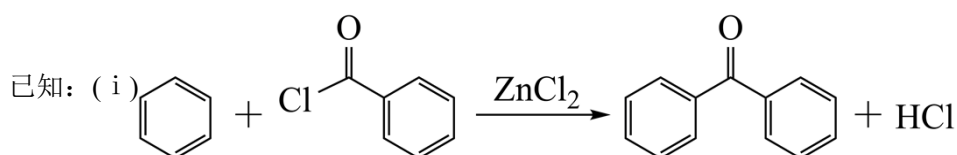
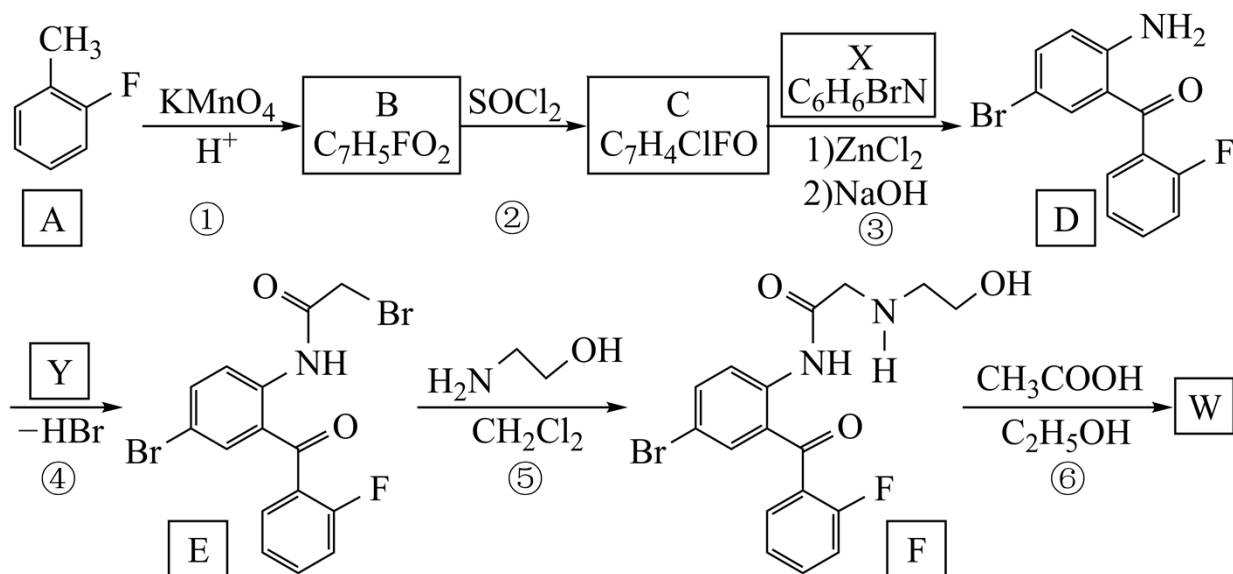
(3) PH_3 的价层电子对为 $3+1=4$ ，故 PH_3 中 P 的杂化类型是 sp^3 ；N 原子电负性较强， NH_3 分子之间存在分子间氢键，因此 NH_3 的沸点比 PH_3 的高； H_2O 的键角小于 NH_3 的，原因是： NH_3 含有一对孤对电子，而 H_2O 含有两对孤对电子， H_2O 中的孤对电子对成键电子对的排斥作用较大，故答案为： sp^3 ；高； NH_3 存在分子间氢键； NH_3 含有一对孤对电子，而 H_2O 含有两对孤对电子， H_2O 中的孤对电子对成键电子对的排斥作用较大；

(4)已知 AlCr_2 具有体心四方结构, 如图所示, 黑球个数为 $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$, 白球个数为 $8 \times \frac{1}{4} + 2 = 4$, 结合化学式 AlCr_2 可知, 白球为 Cr, 黑球为 Al, 即处于顶角位置的是 Al 原子。设 Cr 和 Al 原子半径分别为 r_{Cr} 和

r_{Al} , 则金属原子的体积为 $\frac{4\pi r_{\text{Cr}}^3}{3} \times 4 + \frac{4\pi r_{\text{Al}}^3}{3} \times 2 = \frac{8\pi(2r_{\text{Cr}}^3 + r_{\text{Al}}^3)}{3}$, 故金属原子空间占有率 =

$$\frac{\frac{8\pi(2r_{\text{Cr}}^3 + r_{\text{Al}}^3)}{3}}{a^2c} \times 100\% = \frac{8\pi(2r_{\text{Cr}}^3 + r_{\text{Al}}^3)}{3a^2c} \times 100\%, \text{ 故答案为: Al; } \frac{8\pi(2r_{\text{Cr}}^3 + r_{\text{Al}}^3)}{3a^2c} \times 100\%.$$

12. 卤沙唑仑 W 是一种抗失眠药物, 在医药工业中的一种合成方法如下:



回答下列问题:

(1)A 的化学名称是_____。

(2)写出反应③的化学方程式_____。

(3)D 具有的官能团名称是_____。(不考虑苯环)

(4)反应④中, Y 的结构简式为_____。

(5)反应⑤的反应类型是_____。

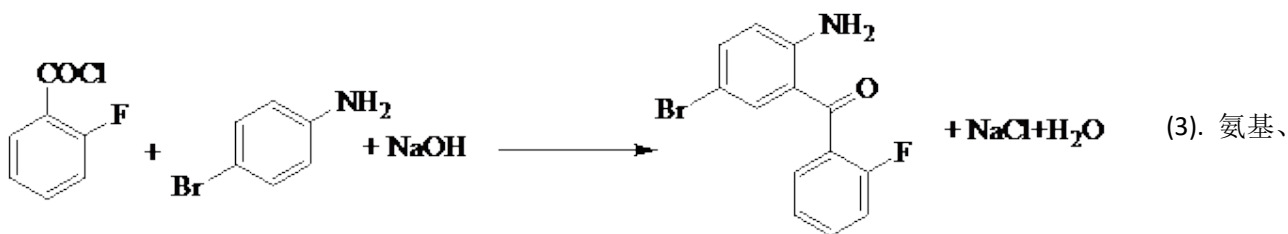
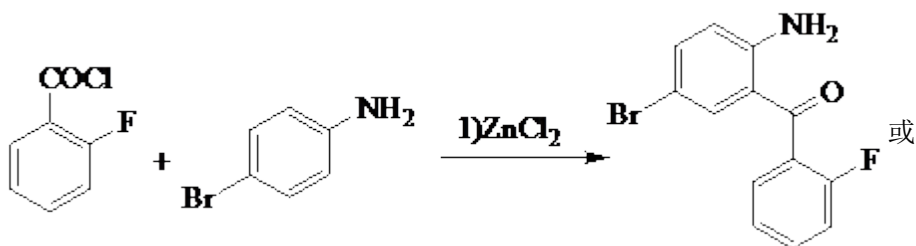
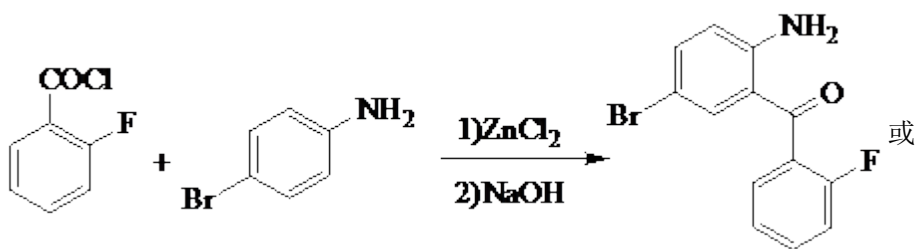
(6)C 的同分异构体中, 含有苯环并能发生银镜反应的化合物共有_____种。

(7) 写出 W 的结构简式_____。

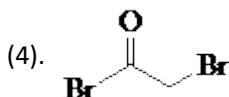
【答案】

(1). 2-氟甲苯 (或邻氟甲苯)

(2).



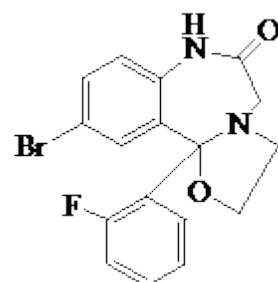
羰基、卤素原子(溴原子、氟原子)



(5). 取代反应

(6). 10

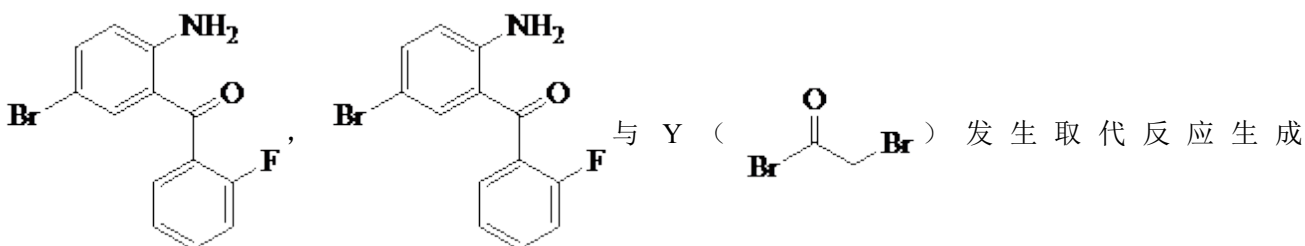
(7).

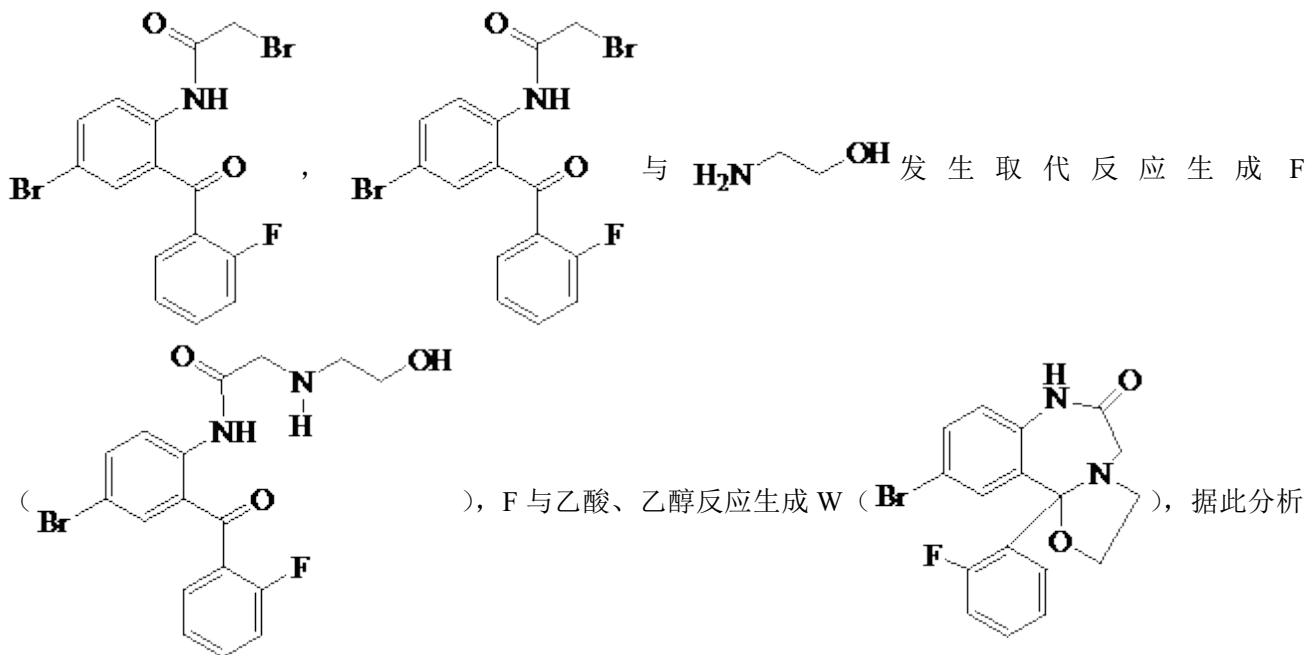


【解析】

【分析】A (Cc1ccccc1F) 在酸性高锰酸钾的氧化下生成 B (O=C(O)c1ccccc1F), O=C(O)c1ccccc1F 与 SOCl2 反应生成 C

(O=C(O)c1ccccc1F), O=C(O)c1ccccc1F 与 Nc1ccc(Br)cc1 在氯化锌和氢氧化钠的作用下, 发生取代反应生成





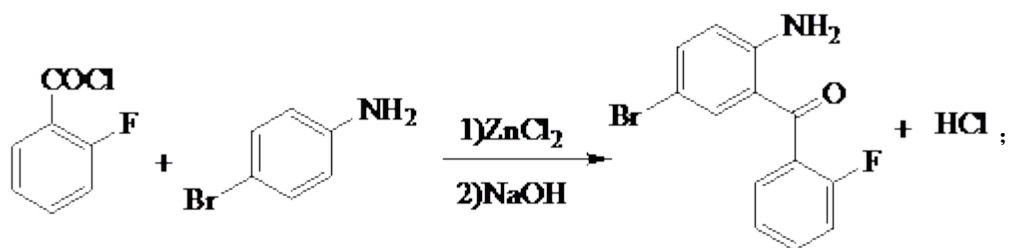
解答。

【详解】(1)由 A () 的结构可知, 名称为: 2-氟甲苯 (或邻氟甲苯), 故答案为: 2-氟甲苯

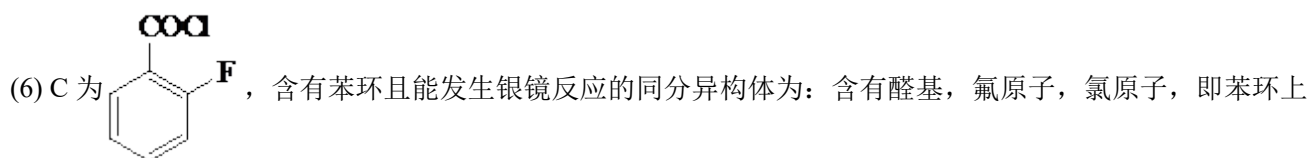
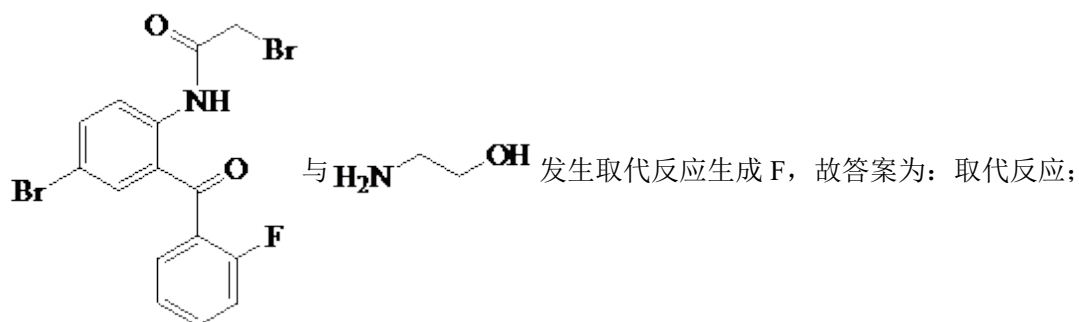
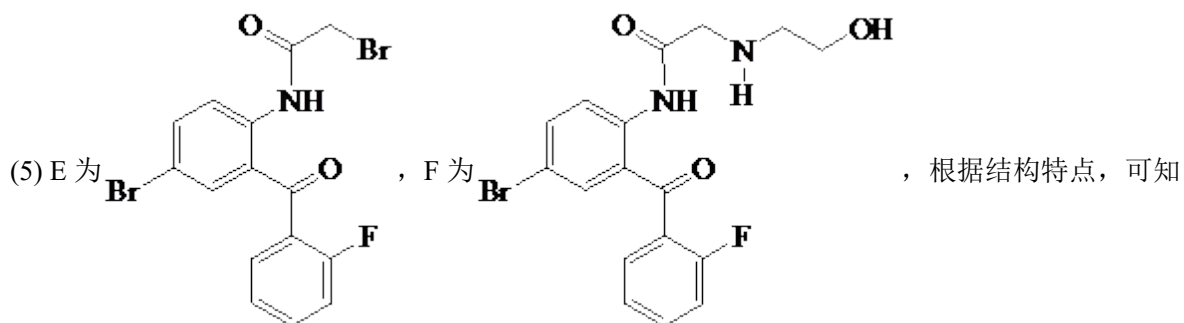
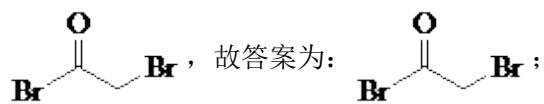
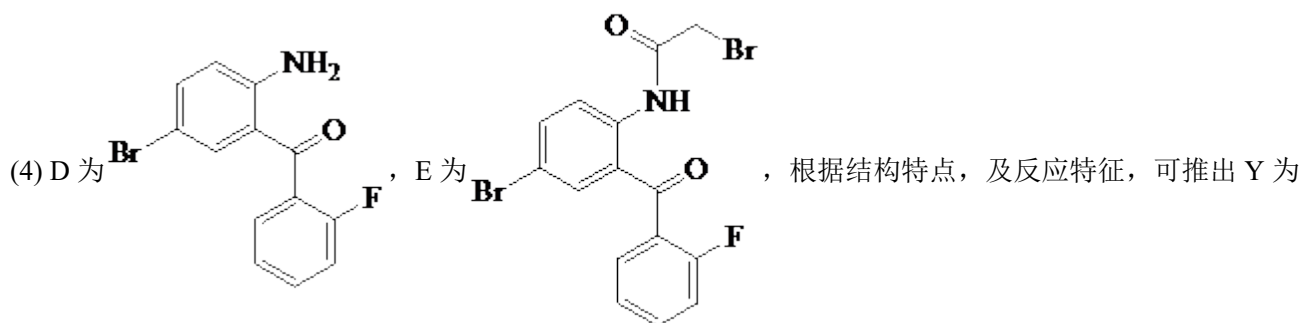
(或邻氟甲苯);

(2)反应③为 与 在氯化锌和氢氧化钠的作用下, 发生取代反应生成

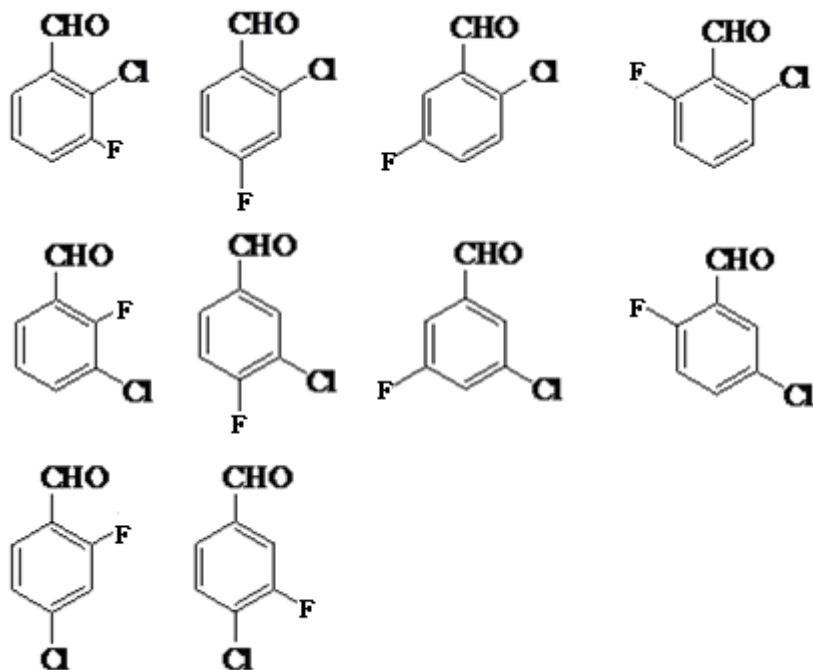
, 故答案为:



(3)含有的官能团为溴原子、氟原子、氨基、羰基, 故答案为: 氨基、羰基、卤素原子 (溴原子、氟原子);



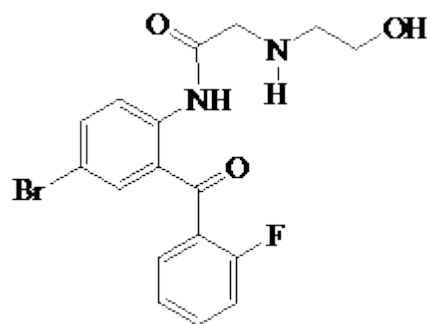
含有三个不同的取代基, 可能出现的结构有



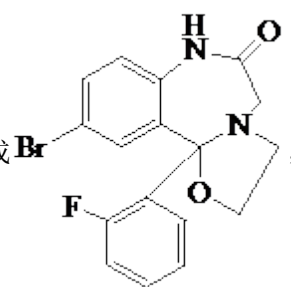
，故其同分异构体为 10 种，故

答案为：10；

(7)根据已知及分析可知，



与乙酸、乙醇反应生成



故答案为：

