

MATHS PHYSICS & CHEMISTRY FOR MIDDLE SCHOOL STUDENTS (SENIOR HIGH SCHOOL EDITION)

# 中学 生数理化

全面配合教材，注重求实、创新、博学  
精准对焦高考，指点方法、技巧、思路  
本期刊蝉联全国优秀科技期刊  
河南省一级期刊  
中国基础教育知识仓库来源期刊  
中国邮政校园核心报刊



扫码关注本刊微信  
加入我们的俱乐部



高中版

绿色印刷

2022年

第46期 · 总第949期

12月



# 喜报



2022年高考结束后，经认真比对发现，《中学生数理化（高中版）》上与全国乙卷的撞题情况如下：

数学共计150分，杂志上类似题目占105分，占比约70%

理综物理共计110分，杂志上类似题目占98分，占比约89%

理综化学共计100分，杂志上类似题目占71分，占比约71%

## 《中学生数理化（高中版）》

### 2021年9期—2022年8期与2022年高考全国乙卷对照表（部分）

2022年高考全国乙卷	中学生数理化（高中版）	分值	相似度
数学第1题	高考数学2021年9期5页例2 高考数学2022年7-8期15页第1题、30页第2题、36页第1题	5	类似
数学第5题	高考数学2021年12期39页第30题，高考数学2022年7-8期31页第6题	5	类似
数学第11题	高考数学2022年4期26页例4，高考数学2022年7-8期24页第11题	5	类似
数学第15题	高考数学2022年7-8期31页第11题	5	类似
数学第19题	高考数学2022年3期14页例2	12	类似
数学第21题	高考数学2022年5期42页第9、11题，高考数学2022年7-8期30页第21题	12	类似
理综第14题	高考理化2022年1期38页例3，高一使用2021年12期36页例2	6	相似
理综第19题	高考理化2021年11期15页例7、26页8题，高考理化2022年3期21页4题	6	一样
理综第22题	高考理化2021年9期27页11题，高一使用2021年10期35页例题	5	一样
理综第23题	高考理化2021年11期10页例3，高考理化2022年3期4页例2	10	一样
理综第34（1）题	高考理化2022年5期24页14（1）题	5	相似
理综第34（2）题	高考理化2022年5期15页例5	10	一样
理综第8题	高考理化2021年12期18页2题	6	类似
理综第12题	高考理化2022年6期15页6题	6	雷同
理综第13题	高考理化2022年6期15页7题	6	类似
理综第27题	高考理化2021年10期26页27题	8	部分类似

2022年12月  
第46期·总第949期  
1981年10月创刊

Zhongxuesheng Shulihua

# 中学生数理化

(高中版) 高考理化

国际标准连续出版物号:  
ISSN 1001-6953  
国内统一连续出版物号:  
CN 41-1099/O  
定 价:6.00元

主管单位:河南教育报刊社  
主办单位:河南教育报刊社  
出版单位:河南教育报刊社  
社 长:唐泽仓  
总编辑:张保健

编辑:《中学生数理化》(高中版)编辑部  
地址:(450044)郑州市惠济区月湖南路  
17号1号楼

主 编:赵 平  
副 主 编:刘钟华  
首席编辑:徐利杰  
责任编辑:谢启刚(0371-66310491)  
E-mail:282200380@qq.com  
张 巧(0371-66370630)  
E-mail:120003292@qq.com  
王琼霞(0371-66370630)  
E-mail:371157227@qq.com

执行美编:张 衡  
投稿-答疑信箱:zxsslh\_gegs@163.com  
电话:0371-66370701  
网址:www.shuren100.com  
智慧支持:河南省教育学会创新教育专业委员会

发行单位:中国邮政集团有限公司河南省  
省报刊发行局  
发行范围:国内外公开发行  
国内订阅:全国各地邮局  
国内发行代号:36-59  
国际订阅:中国国际图书贸易集团有限公司  
国际发行代号:C1068  
自办订阅:河南教育读物发行总社  
订阅热线:0371-67129573  
发行服务:河南教育报刊社发行部  
服务热线:400-659-7019  
淘宝网购:



扫描二维码,订阅方便实惠

出版日期:12月16日  
印 制:河南文达印刷公司  
(450008 郑州市黄河路124号)  
(如有印装问题,请寄该公司调换,  
反馈电话13838080644)  
广告发布登记证:郑惠济市监广发登字  
[2019]002号  
广告中心(郑州市教之喻文化传播有限  
公司):0371-66327883

## 目次 Contents

### 知识篇

#### 知识结构与拓展

- 3 分子结构与性质考点解读 侯晨鹤
- 7 离域  $\pi$  键的判断方法 梁国顺
- 8 物质结构中电子体的确定 杨 超

#### 创新题追根溯源

- 10 追本溯源,构建结构式到元素推断的桥梁 赵锦花

### 演练篇

#### 核心考点 AB 卷

- 13 元素周期律及周期表知识测试题  
马亚楼 杨明锋 宋保柱
- 15 物质结构与性质知识能力测试  
王 娇

#### 本 刊 承 诺

##### 一、提高刊物质量:

1. 努力提高作者层次,坚决杜绝平庸稿。
2. 坚持稿件评审操作流程,严把稿件质量关。
3. 强化编校质量管理,精编细校,不出差错。

##### 二、坚持办刊思路:

1. 高一注重核心考点剖析,强化核心考点训练。
2. 高二注重核心考点剖析,强化核心考点训练。
3. 高三突出专题,强化命题分析和演练。

##### 三、强化服务意识:

1. 与作者密切联系,及时反馈稿件使用情况。
2. 对读者贴心交流,凡有疑难,及时回复。
3. 对杂志订阅周到服务,及时邮寄,方便快捷。

## 解题篇

### 经典题突破方法

20 物质结构与性质“原因解释”型填空题解答策略

黄颖

23 例析离子晶体中重点与考点

苟晓村

### 高考命题新动向

27 原子结构和元素周期律相关试题类型总结

刘善超 王逢云

31 山东省 2022 年普通高中学业水平等级考试化学  
试题解析及主观题参考评分标准

张思佩 孟凡盛

### 参考答案与提示

45 元素周期律及周期表知识测试题参考答案

46 物质结构与性质知识能力测试参考答案



### 封面人物

侯晨鹤, 中小学高级(特级)教师, 1997 年大学毕业后一直在汝阳一高任教。现担任班主任和高三年级主任工作, 兼任洛阳市教研室化学兼职教研员、河南省特级教师协会理事。先后获得了河南省特级教师、河南省名师、河南省骨干教师、河南省教育厅学术技术带头人、洛阳市优秀专家、洛阳市高端人才、洛阳市优秀名师、洛阳市优秀教师、洛阳市教育专家、洛阳市优秀班主任、洛阳市文明教师等荣誉称号。多次获市优质课一等奖, 在各级报刊发表文章百余篇。

### 版权声明

本刊所有文字和图片作品, 未经许可, 不得转载、摘编。凡投稿本刊, 或允许本刊登载的作品, 均视为已授权本刊在刊物、增刊、图书上使用, 以及许可本刊授权合作网站(中国知网、万方数据库或维普资讯网等)以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬, 已包含授权费用。作者投稿给本刊即意味着同意上述约定, 如有异议请与本刊签订书面协议。

本社广告中心根据《中华人民共和国广告法》等国家有关法律法规审查及刊登广告, 若广告主有超过广告内容的后续行为, 均与本刊及广告中心无关。

封面刊名题字: 华罗庚

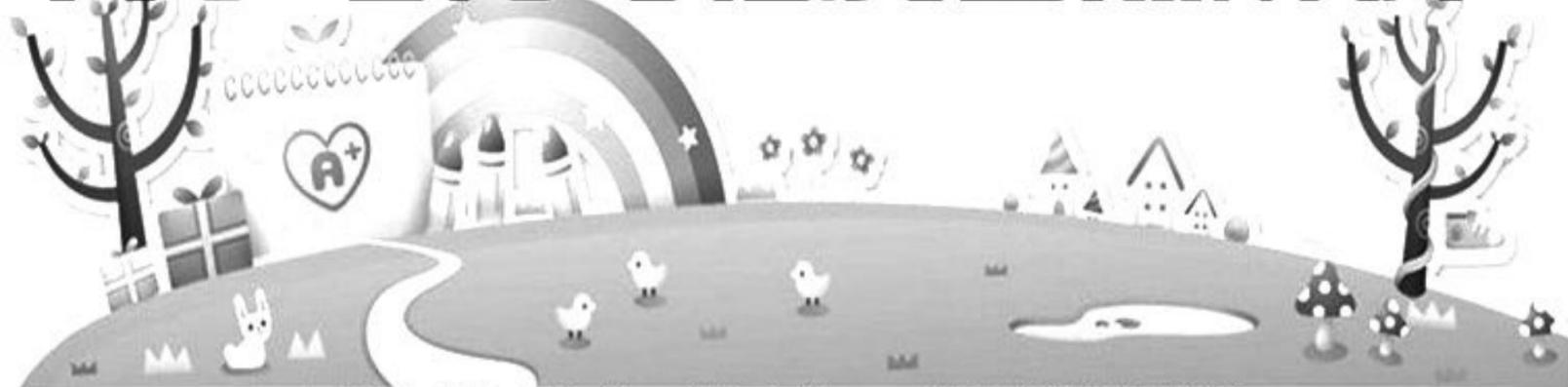
顾问单位: 中国数学会 中国物理学会 中国化学会

学术顾问: 任子朝 韩家勋 李勇

委员: (按拼音排序)

陈进前 戴儒京 狄振山 高慧明 郭统福 何万龄 黄干生 蒋天林  
李伟 李胜荣 李树祥 刘大鸣 孟卫东 施建昌 隋俊礼 王国平  
王后雄 王星元 徐汉屏 余永安 袁竞成 张向东 张援 张北春

# 分子结构与性质考点解读



■河南省汝阳县第一高级中学 侯晨鹤(特级教师)

## 考点 1: 共价键的特征及类型

### 1. 共价键的特征。

(1) 共价键的饱和性: ①按照共价键的共用电子对理论, 一个原子有几个未成对电子, 便可和几个自旋相反的电子配对成键, 这就是共价键的饱和性。H 原子、Cl 原子都只有一个未成对电子, 因而只能形成  $H_2$ 、 $HCl$ 、 $Cl_2$  分子, 不能形成  $H_3$ 、 $H_2Cl$ 、 $Cl_3$  等分子。②共价键的饱和性决定了共价分子的组成。

(2) 共价键的方向性: ①共价键形成时, 两个参与成键的原子轨道总是尽可能沿着电子出现概率最大的方向重叠, 而且原子轨道重叠越多, 电子在两核间出现概率越大, 形成的共价键就越牢固。电子所在的原子轨道都有一定的形状, 所以要取得最大重叠, 共价键必然有方向性。多原子分子的键角一定, 也表明了共价键具有方向性。②共价键的方向性影响着共价分子的立体结构。

### 2. 共价键的类型。

(1) 按成键原子间共用电子对的数目分为单键、双键、三(叁)键。

(2) 按共用电子对是否偏移分为极性键、非极性键。

(3) 按原子轨道的重叠方式分为  $\sigma$  键(头碰头重叠)、 $\pi$  键(肩并肩重叠)和  $\delta$  键(四重交盖面对面重叠)。 $\sigma$  键的电子云具有轴对称性, 主要有  $s-s$   $\sigma$  键、 $s-p$   $\sigma$  键、 $p-p$   $\sigma$  键;  $\pi$  键的电子云具有镜像对称性;  $\delta$  键的电子云具有面对称性(不作要求)。

(4) 按成键过程分为一般共价键(有时也

叫正常共价键)和配位共价键(简称配位键)。一般共价键指成键时两个原子各自提供相同数目的未成对电子形成的共价键; 配位键是指两原子的成键电子全部由一个原子提供所形成的共价键, 形成配位键的条件是成键原子一方(A)能够提供孤电子对, 另一方(B)具有能够接受电子对的空轨道, 可表示为  $A \rightarrow B$ 。

### 3. 键参数。

(1) 键能: 气态基态原子形成 1 mol 化学键释放的最低能量。键能越大, 共价键越牢固。键能的大小决定分子的稳定性强弱。

(2) 键长: 形成共价键的两原子之间的核间距。键长越短, 共价键越牢固。

(3) 键角: 在原子数超过 2 的分子中, 两个共价键之间的夹角。

键能和键长决定共价键的稳定性, 键长和键角决定分子的空间构型。

**例 1** 下列说法中正确的是( )。

A. 分子中键能越大, 键长越长, 则分子越稳定

B. 元素周期表中的第 I A 族(除 H 外)和第 VII A 族元素的原子间可能形成共价键

C. 水分子可表示为  $H-O-H$ , 分子中键角为  $180^\circ$

D.  $H-O$  键键能为  $463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 即 18 g  $H_2O$  分解成  $H_2$  和  $O_2$  时, 消耗能量为  $2 \times 463 \text{ kJ}$

**解析:** D 项中  $H-O$  键键能为  $463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 指的是气态基态氢原子和氧

原子形成 1 mol H—O 键时释放的最低能量,则拆开 1 mol H—O 键形成气态氢原子和氧原子所需吸收的能量也为 463 kJ,18 g H<sub>2</sub>O 即 1 mol H<sub>2</sub>O 中含 2 mol H—O 键,断开时需吸收 2×463 kJ 的能量形成气态氢原子和氧原子,再进一步形成 H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 时,还需释放出一部分能量,故 D 项错误。Li 的电负性为 1.0,I 的电负性为 2.5,其差值为 1.5 < 1.7,所以 LiI 以共价键成分为主,B 项正确。

答案:B

点评:本题主要考查共价键的三个键参数,要理解它们的概念及相互关系,掌握它们对键强弱的影响。

### 考点 2:分子的立体结构

#### 1. 价层电子对互斥模型。

价层电子对互斥模型是一种预测分子的立体结构的理论,其基本观点是分子中的价电子对(包括成键电子对和孤电子对)由于相互排斥作用,尽可能趋向彼此远离。

依据价层电子对互斥模型,可以把分子分成以下两大类:

一类是中心原子上的价电子都用于形成共价键,即中心原子价层电子对全是成键电子时,为使价电子对的斥力最小,就要求尽可能采取对称结构。如 AB<sub>n</sub> 型分子 CO<sub>2</sub>、BF<sub>3</sub>、CH<sub>4</sub> 中的中心原子的最外层电子全部用于形成共价键,它们的立体结构分别是直线形、平面三角形、正四面体形对称结构。

另一类是中心原子上有孤电子对(未用于形成共价键的电子对)的分子,中心原子上的孤电子对也要占据中心原子周围的空间,并参与互相排斥,最终形成的分子构型符合孤电子对与成键电子对斥力最小的稳定构型。如 H<sub>2</sub>O 呈 V 形,NH<sub>3</sub> 呈三角锥形等。

注:中心原子上的孤电子对数 =  $\frac{a - xb}{2}$ 。

其中:a 为中心原子的价电子数,x 为与中心原子结合的原子数,b 为与中心原子结合的原子最多能接受的电子数。

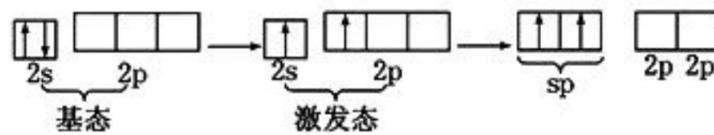
#### 2. 杂化轨道的形成和类型。

(1)概念:在形成分子时,若干不同类型、

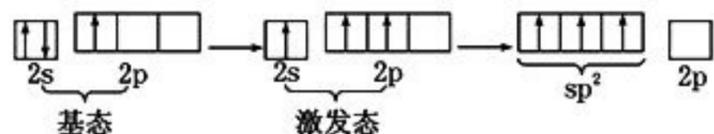
数量相近的原子轨道混合起来,在外界条件影响下,重新组合成一组新的原子轨道。这种轨道重新组合的过程叫做原子轨道杂化,所形成的新轨道就称为杂化轨道。

(2)杂化过程:基态  $\xrightarrow{\text{电子跃迁}}$  激发态  $\xrightarrow{\text{杂化}}$  杂化轨道。如:

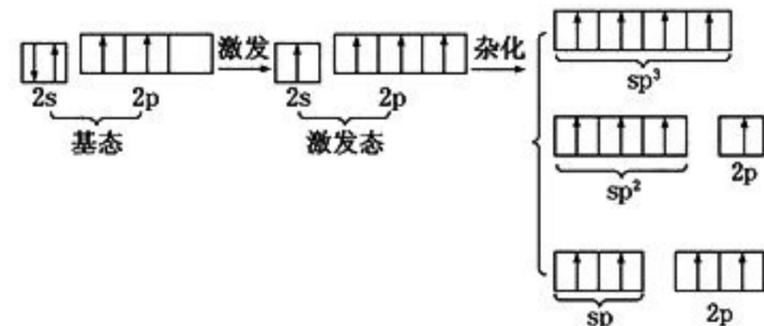
#### ①Be 原子的 sp 杂化。



#### ②B 原子的 sp<sup>2</sup> 杂化。



#### ③C 原子的 sp<sup>3</sup>、sp<sup>2</sup>、sp 杂化。



④N、O 原子均可采取 sp<sup>3</sup> 杂化,N 原子的 sp<sup>3</sup> 杂化轨道有 1 个由孤对电子占据,O 原子的 sp<sup>3</sup> 杂化轨道有 2 个由孤对电子占据。

注:杂化轨道只用于形成 σ 键或用来容纳未参与成键的孤对电子。以 sp<sup>3</sup> 杂化形成的都是 σ 键,若碳原子采取 sp<sup>2</sup> 或 sp 杂化,则还有未参与杂化的 p 轨道,可用于形成 π 键。

#### 3. 价层电子对互斥模型、杂化轨道理论与分子空间构型的关系(见表 1)。

表 1

杂化类型	sp		sp <sup>2</sup>		sp <sup>3</sup>	
	轨道组成	一个 ns 和一个 np		一个 ns 和两个 np		一个 ns 和三个 np
杂化轨道数目	2		3		4	
轨道夹角	180°		120°		109°28'	
杂化轨道示意图						
空间构型	直线形		平面三角形		正四面体形	
实例	BeCl <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、HCN		BF <sub>3</sub> 、CH <sub>2</sub> O		SO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、NH <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> O	
价层电子对数	2		3		4	
成键对数	2		3		4	
孤对电子数	0		0		0	
电子对立体构型	直线形		平面三角形		正四面体形	
分子立体构型	直线形		V 形		V 形	
实例	BeCl <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、HCN		BF <sub>3</sub> 、CH <sub>2</sub> O		SO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、NH <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> O	
分子结构示意图						

**例2** 用价层电子对互斥理论预测  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{BF}_3$  的立体结构,两个结论都正确的是( )。

- A. 直线形;三角锥形
- B. V形;三角锥形
- C. 直线形;平面三角形
- D. V形;平面三角形

**解析:**在  $\text{H}_2\text{S}$  中,价电子对数为4,若无孤电子对存在,则其应为正四面体构形。但中心原子S上有两对孤电子对,而且孤电子对也要占据中心原子周围的空间,它们相互排斥,因此  $\text{H}_2\text{S}$  为V形结构。在  $\text{BF}_3$  中,价电子对数为3,其中心原子B上无孤电子对,因此  $\text{BF}_3$  应为平面三角形。

**答案:**D

**点评:**价层电子对互斥理论的基本要点是分子中的价电子对由于相互排斥作用,尽可能趋向彼此远离。关键是不可忽视孤对电子对成键电子的影响。

**考点3:键的极性和分子的极性的关系**

**1. 键的极性的判断。**

(1)电负性差法:两原子电负性差为零,则为非极性键,两原子电负性差大于零,则为极性键。

(2)组成元素法: $\text{A}-\text{A}$  为非极性键, $\text{A}-\text{B}$  为极性键。

**2. 分子极性的判断。**

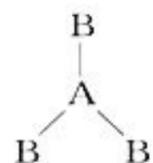
(1)根据所含共价键类型及分子的空间构型判断:

①由非极性键形成的  $\text{A}-\text{A}$  型分子一定是非极性分子,如  $\text{H}_2$ 。

②由极性键形成的  $\text{A}-\text{B}$  型分子一定是极性分子,如  $\text{HCl}$ 。

③由极性键形成的  $\text{AB}_2$  型分子,除直线形结构  $\text{B}-\text{A}-\text{B}$ (如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CS}_2$ 、 $\text{BaCl}_2$  等)为非极性分子外,其他均为极性分子

④由极性键形成的  $\text{AB}_3$  型分子,除平面

正三角形结构  (如  $\text{BCl}_3$ 、 $\text{SO}_3$  等)为

非极性分子外,其他均为极性分子。

⑤由极性键形成的  $\text{AB}_4$  型分子,除正四面体形(如  $\text{CH}_4$ )及平面正四边形结构为非极

性分子外,其他均为极性分子。

(2)据中心原子最外层电子是否全部成键判断(适用范围: $\text{AB}_n$  型分子)。

分子中的A原子最外层电子若全部成键,此分子一定为非极性分子,如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{BF}_3$ 、 $\text{CH}_4$  等;分子中的A原子最外层电子若未全部成键,此分子一般为极性分子,如  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$  等(或中心原子化合价的绝对值等于最外层电子数,则该分子为非极性分子,否则为极性分子)。

**例3** 下列叙述中正确的是( )。

- A. 以非极性键结合起来的二原子分子一定是非极性分子
- B. 以极性键结合起来的分子一定是极性分子
- C. 非极性分子只能是双原子单质分子
- D. 非极性分子中,一定含有非极性共价键

**解析:**A项正确,如  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$  等;B项错误,以极性键结合起来的分子不一定是极性分子,若分子构型对称、正负电荷中心重合,就是非极性分子,如  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{CS}_2$  等。C项错误,非极性分子也可能是某些由极性键构成的结构对称的化合物,如  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  等。D项错误,非极性分子中不一定含有非极性键,如  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  等。

**答案:**A

**点评:**本题主要考查键的极性与分子极性的关系,要求全面、准确理解二者的区别和相互关系。当抽象的判断题中出现“一定”“可能”“不一定”“不可能”等时,可用例证法来判断正误。

**考点4:范德华力、氢键及共价键的比较(见表2)**

表2

	范德华力	氢键	共价键
概念	分子之间普遍存在的一种相互作用力	由已经与电负性很强的原子形成共价键的氢原子与另一电负性很强的原子之间形成的作用力	原子间通过共用电子对所形成的强烈的相互作用

续表

分类		分子内氢键、分子间氢键	极性共价键、非极性共价键
作用微粒	分子	与氮、氧、氟所连的氢原子和氮、氧、氟原子之间	原子
特征	无方向性、无饱和性	有方向性、有饱和性	有方向性、有饱和性
强度比较	共价键 > 氢键 > 范德华力		
影响强度的因素	①随着分子极性和相对分子质量的增大而增大 ②组成和结构相似的物质,相对分子质量越大,分子间作用力越大	对于 A—H...B—, A、B 的电负性越大, B 原子的半径越小, 氢键“键能”越大	成键原子半径越小, 键长越短, 键能越大, 共价键越稳定
对物质性质的影响	①影响物质的熔沸点、溶解度等物理性质 ②组成和结构相似的物质, 随相对分子质量的增大, 物质的熔沸点升高, 如 $F_2 < Cl_2 < Br_2 < I_2$ , $CF_4 < CCl_4 < CBr_4$	分子间氢键的存在, 使物质的熔沸点升高, 在水中的溶解度增大, 如熔沸点: $H_2O > H_2S$ , $HF > HCl$ , $NH_3 > PH_3$	①影响分子的稳定性 ②共价键键能越大, 分子稳定性越强

特别提示:

①有氢键的物质分子间也有范德华力, 但有范德华力的分子间不一定有氢键。

②一个氢原子只能形成一个氢键, 这是氢键的饱和性。

③分子内氢键基本上不影响物质的物理性质。

**例 4** 氧族元素的氢化物的沸点如表 3 所示。

表 3

$H_2O$	$H_2S$	$H_2Se$	$H_2Te$
100 °C	-60.75 °C	-41.5 °C	-1.8 °C

下列关于氧族元素氢化物的沸点高低的分析和推断中, 正确的是( )。

A. 氧族元素氢化物沸点高低与范德华力的大小无关

B. 范德华力一定随相对分子质量的增大而减小

C. 水分子间存在氢键这一特殊的分子间作用力

D. 水分子间存在共价键, 加热时较难断裂

**解析:** 氢键是由电负性比较强的 O、N、F 等与 H 之间形成的一种介于范德华力与化学键之间的一种作用力, 一些物质(如  $H_2O$ 、 $HF$ 、 $NH_3$ ), 由于分子间存在氢键使得它们的熔沸点高于同系列的氢化物。

**答案:** C

**点评:** 范德华力和氢键是两种常见的分子间作用力, 它们都比化学键弱。范德华力的存在较为普遍。

**考点 5: 配合物理论**

(1) 配合物的组成。

①配体: 含有孤电子对的分子或离子, 如  $NH_3$ 、 $H_2O$ 、 $Cl^-$ 、 $Br^-$ 、 $I^-$ 、 $SCN^-$  等。

②中心离子: 一般是金属离子, 特别是过渡金属离子, 如  $Cu^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 。

③配位数: 直接同中心原子(或离子)配位的含有孤电子对的分子(或离子)的数目。

(2) 常见的配合物: 如  $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$ 、 $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ 、 $[Ag(NH_3)_2]OH$ 、 $Fe(SCN)_3$ 、 $[Fe(SCN)_6]^{3-}$  等。

**例 5** 下列化合物都含有配位键, 其中属于配位化合物的是( )。

- A.  $NH_4Cl$       B.  $K_3[Fe(SCN)_6]$   
C.  $CO$           D.  $H_2SO_4$

**解析:** 只有 B 项中的  $K_3[Fe(SCN)_6]$  中既有配体( $SCN^-$ )又有中心离子( $Fe^{3+}$ ), 而其他的化合物中虽然有配位键, 但却不是配位化合物。

**答案:** B

(责任编辑 谢启刚)

# 离域 $\pi$ 键的判断方法

■ 郑州外国语学校 梁国顺

2017年新课标试卷Ⅱ第36题的第(3)问、2022年高考全国乙卷第36题的第(2)问都考查了离域  $\pi$  键。

欲明白何谓离域  $\pi$  键,必须明白何谓  $\pi$  键,何谓离域,才能知晓何谓离域  $\pi$  键。

## 一、 $\pi$ 键的形成

### 1. $\pi$ 键的存在形式。

①当分子内相邻两个原子之间不只有一对电子时,这样形成的共价键称为重键。重键分为双键和三键。

②重键可以由一个  $\sigma$  键和一个 p-p  $\pi$  键或数个 p-p  $\pi$  键组成,也可以由一个  $\sigma$  键和一个 p-p 大  $\pi$  键或数个 p-p 大  $\pi$  键组成。所以, $\pi$  键不能独立存在,总是和  $\sigma$  键一起形成双键或叁键或大  $\pi$  键。

### 2. $\pi$ 键的形成原因。

$\pi$  键是成键原子的 p 轨道电子云“肩并肩”进行重叠而形成的共价键。是 p 轨道,并且是互相平行的 p 轨道与 p 轨道电子云的重叠。也就是说 s 轨道、sp 轨道、 $sp^2$  杂化轨道、 $sp^3$  杂化轨道都不参与形成  $\pi$  键。

### 3. $\pi$ 键的类型。

有分子内相邻两个原子根据 8 电子规则形成的  $\pi$  键,也有不符合 8 电子规则形成的多中心多电子离域  $\pi$  键,常常叫做大  $\pi$  键。

### 4. $\pi$ 键的特点。

$\pi$  键是重叠的电子云分布在两核连线的两方,受原子核束缚力小,电子云重叠程度要比  $\sigma$  键小得多,所以  $\pi$  键不如  $\sigma$  键牢固。 $\pi$  键不能旋转,因为旋转后会发生破裂。

## 二、离域 $\pi$ 键

### 1. 定义。

在多原子(至少三个原子)分子中,如果有相互平行的 p 轨道,它们连贯重叠在一起构成一个整体,p 电子在多个原子间运动形成  $\pi$  型化学键,这种不局限在两个原子之间的  $\pi$  键称为离域  $\pi$  键或共轭大  $\pi$  键。

### 2. 形成大 $\pi$ 键的条件。

①参与形成大  $\pi$  键的这些原子都在同一平面上。

②中心原子是  $sp$  杂化或  $sp^2$  杂化,配原子和中心原子有相互平行的 p 轨道,且每个参与形成大  $\pi$  键的原子分别提供一个 p 轨道。

③p 轨道上的电子可以是未成对电子也可以是孤电子对。

④参与形成大  $\pi$  键的这些 p 电子总数小于 p 轨道数目的 2 倍。

⑤原子的半径组合要适宜,如原子间半径相差不能过大。

### 3. 大 $\pi$ 键的表示方法。

用符号  $\Pi_m^n$  表示,其中  $m$  代表参与形成大  $\pi$  键的 p 轨道数,也就是原子数, $n$  代表参与形成大  $\pi$  键的电子数。

### 4. 大 $\pi$ 键中的电子数的计算方法及步骤。

第 1 步:先计算粒子的总价电子数( $a$ )。

第 2 步:计算原子之间的  $\sigma$  键,一对  $\sigma$  键存在 2 个电子( $b$ )。

第 3 步:中心原子的孤对电子数( $c$ )。

第 4 步:外围原子的价层电子中的孤对电子数,如 O 原子为 2s、2p 中各有 1 对,共 4 个电子( $d$ )。

第 5 步:参与形成大  $\pi$  键的电子共有:  
 $n = a - b - c - d$ 。

第 6 步:如果共有  $m$  个原子参加,则大  $\pi$  键表示为  $\Pi_m^n$ 。

### 【典例分析】

#### 1. 课本中的离域 $\pi$ 键。

**例 1** 苯分子中的离域  $\pi$  键可表示为\_\_\_\_\_。

**解析:**中心原子是 C,全部采用  $sp^2$  杂化。每个 C 的三个  $sp^2$  杂化轨道分别形成三个  $\sigma$  键,还有一个未成对电子和一个  $2p_z$  轨道,6 个 C 原子提供 6 个  $2p_z$  电子形成  $\Pi_6^6$  离域  $\pi$  键。

**答案:** $\Pi_6^6$

# 物质结构中等电子体的确定



■ 华中师范大学琼中附属中学 杨超

纵观近几年的高考试题,对物质结构知识命题时,往往采用拼凑法。给出一个命题情境,根据情境中涉及的元素结合已有知识设计填空题。由于涉及的问题较多,有时某些问题需要考生有较强的迁移能力,考生想拿全分很难。等电子体的确定,就是一个不好拿分的问题,有必要总结方法,助力高考。

具有相同价电子数和相同原子数的分子或离子具有相同的结构特征,这一原理称为等电子原理。如果仅从概念字面出发,判断与 A 粒子互为等电子体的 B 粒子的化学式,往往感觉无从下手,或东拼西凑地试写,试写也往往只注意“价电子数”或“原子数”某一方面相同而错答。如写  $\text{CH}_4$  分子的等电子体时许多考生写成  $\text{NH}_3$  (原子数不同)、 $\text{CCl}_4$  (价电子数不同)等,至于再复杂一些的,错的

更多,实际体现为问题解决方法的欠缺。等电子体的判断一般可采取以下几种方法。

## 一、同族元素互换法

即将既定粒子中的某元素换成它的同族元素。如:

(1)  $\text{CCl}_4$  的等电子体确定:换 IV A 族元素有  $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{GeCl}_4$  等;换 VII A 族元素有  $\text{CF}_4$ 、 $\text{CBr}_4$ 、 $\text{Cl}_4$ 、 $\text{CFCl}_3$  等;同时换可有  $\text{SiF}_4$ 、 $\text{SiFCl}_3$  等。

(2)  $\text{CO}_2$  的等电子体确定:可将 O 原子换为 S 原子得  $\text{COS}$ 、 $\text{CS}_2$ ,注意不能将 C 原子换为 Si 原子,因为  $\text{CO}_2$  和  $\text{SiO}_2$  的结构不同(前者为分子晶体,后者为共价晶体)。同理,不能将  $\text{BeCl}_2$  的等电子体确定为  $\text{MgCl}_2$  或  $\text{BeF}_2$  (后两种为离子晶体)。

(3)  $\text{SO}_4^{2-}$  的等电子体确定:将一个 O 原

## 2. 高考试题中的离域 $\pi$ 键。

**例 2** 我国科学家成功合成了世界上首个五氮阴离子盐  $(\text{N}_5)_6(\text{H}_3\text{O})_3(\text{NH}_4)_4\text{Cl}$  (用 R 代表)。经 X 射线衍射测得化合物 R 的晶体结构,其局部结构如图 1 所示。回答下列问题:

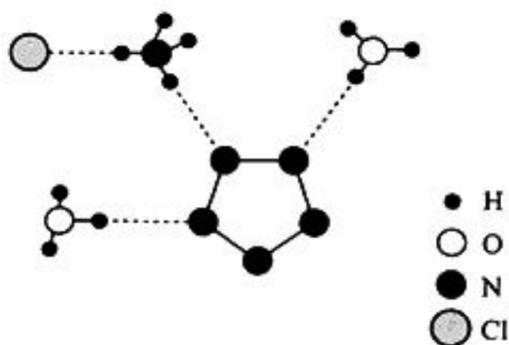
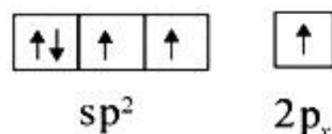


图 1

1 mol  $\text{N}_5^-$  中的  $\sigma$  键总数为 \_\_\_\_\_ 个。分子中的大  $\pi$  键可用符号  $\Pi_m^n$  表示,其中  $m$  代表

参与形成大  $\pi$  键的原子数, $n$  代表参与形成大  $\pi$  键的电子数(如苯分子中的大  $\pi$  键可表示为  $\Pi_6^6$ ),则  $\text{N}_5^-$  中的大  $\pi$  键应表示为 \_\_\_\_\_。

**解析:** N 原子的价电子数为 5,  $\text{N}_5^-$  中 N 为  $\text{sp}^2$  杂化,杂化后的 N 原子的 5 个价电子排布为:



由于  $\text{sp}^2$  杂化轨道中的未成对电子都形成  $\sigma$  键,  $2\text{p}_x$  中的一个电子参与形成  $\pi$  键,所以 5 个 N 原子有 5 个电子参与形成大  $\pi$  键,又由于  $\text{N}_5^-$  带一个单位的负电荷,说明 N 原子又得到一个电子,所以参与形成大  $\pi$  键的电子有 6 个,故答案为  $\Pi_5^6$ 。

**答案:**  $5N_A$   $\Pi_5^6$

(责任编辑 谢启刚)

子换为 S 原子得  $S_2O_3^{2-}$ ;  $NO_3^-$  的等电子体可确定为  $PO_3^-$ 。

(4)对于共价晶体也可作类似推导:金刚石  $C_n$  与晶体硅  $Si_n$  互为等电子体。

## 二、价电子迁移法

即将既定粒子中的某元素原子的价电子逐一转移给组成中的另一种元素的原子,相应原子的质子数也随之减少或增加,变换为具有相应质子数的元素。

一般来说,讨论的元素为 s 区或 p 区元素,即主族元素居多,通常相关元素的族序数满足  $A+B=C+D$ (或  $A+B=2C$ )关系的,可考虑将 A、B 等个数换为 C、D(或 1A、1B 换为 2C)。如:

(1) $CO_2$  的等电子体确定,除上述结果以外,还可以采用价电子迁移法:C、O 原子的价电子数分别为 4、6,从周期表中的位置看,中间夹着 N 元素,N 原子价电子数为 5,一个 O 原子拿一个电子给 C 原子,在电性不变条件下质子数同时变为 7(价电子数同时变为 5),则可换为两个 N 原子(由此也可以看出  $N_2$  与 CO 互为等电子体)得  $N_2O$ ;如果将 C 原子的两个价电子转移给两个 O 原子,元素原子分别转换为 1 个 Be、2 个 Cl,就可以得到  $CO_2$  的另一个等电子体  $BeCl_2$ 。

同样可以判断:金刚石  $C_{2n}$  与晶体硅  $Si_{2n}$  的等电子体还可以为金刚砂  $(SiC)_n$ 、GaAs、AlP 等;石墨  $C_{2n}$  与白石墨  $(BN)_n$  互为等电子体;无机苯  $B_3N_3H_6$  与有机苯  $C_6H_6$  互为等电子体。

(2)离子之间的等电子体也可以推导:如  $N_3^-$  的等电子体查找方法,可将 2 个 N 原子换为 1 个 C 原子和一个 O 原子可得  $CNO^-$ 。

## 三、电子—电荷互换法

即将既定粒子中的某元素原子的价电子转化为粒子所带的电荷。这种方法可实现分子与离子的互判。如:

$CN^-$  的等电子体查找可用 N 原子 1 个电子换作 1 个负电荷,则 N 原子换为 C 原子,离子带 2 个负电荷,其等电子体即为  $C_2^{2-}$ ;反之,将  $CN^-$  的电荷转化为 1 个电子,

该电子给 C 原子,即得  $N_2$ ,若给 N 原子即得 CO。同样可判断  $HNO_3$  的等电子体为  $HCO_3^-$ ;  $ICl_4^-$  与  $XeCl_4$  互为等电子体。

在分析具体问题时,通常几种方法同时联想,灵活使用,方可快速准确地回答问题。

**例 1** 与  $CNO^-$  互为等电子体的分子、离子化学式依次为\_\_\_\_、\_\_\_\_(各写一种)。

分析:就与  $CNO^-$  互为等电子体的分子而言,首先需将这 1 个电荷转化为 1 个价电子,这个价电子给 C 变为 N 得  $N_2O$ ,给 N 变为 O 则得  $CO_2$ ,也可直接看作将  $N_2O$  中 2 个 N 原子进行价电子转移换为 C、O 从而得  $CO_2$ ,再由  $CO_2$  进行价电子转移或同族元素互换可得  $COS$ 、 $CS_2$ 、 $BeCl_2$  等。若进行离子查找,除前面判断出的  $N_3^-$  外,利用同族元素互换可得  $CNS^-$ ;利用电子—电荷互换可得  $NO_2^+$  和  $CN_2^{2-}$ 。

答案: $N_2O$  或  $CO_2$  或  $COS$  或  $CS_2$  或  $BeCl_2$   $N_3^-$  或  $CNS^-$  或  $NO_2^+$  或  $CN_2^{2-}$

**例 2** 根据等电子原理,写出 CO 分子的结构式:\_\_\_\_;写出  $NO_2^+$  离子的电子式:\_\_\_\_\_。

分析:CO 分子的结构式、 $NO_2^+$  离子的电子式书写在中学中并不作要求,直接作答难度大,但在题给信息提示下,可以利用等电子原理,先找出我们熟知结构的等电子体:CO 与  $N_2$  互为等电子体, $NO_2^+$  与  $CO_2$  互为等电子体,等电子体的结构相同,参照熟悉的  $N_2$  的结构式、 $CO_2$  的电子式便可轻松作答。

答案: $C \equiv O$   $[\ddot{O}::N::\ddot{O}]^+$

练习:

1. 写出与  $NH_4^+$  互为等电子体的一种分子:\_\_\_\_(填化学式)。

2. 与  $NH_3BH_3$  原子总数相等的等电子体是\_\_\_\_(填化学式)。

3. 与  $PO_4^{3-}$  电子总数相等的等电子体的分子式为\_\_\_\_\_。

答案:1.  $CH_4$  或  $SiH_4$  2.  $CH_3CH_3$   
3.  $SiF_4$  或  $POF_3$

(责任编辑 谢启刚)

# 追本溯源,构建结构式到元素推断的桥梁

■山西省忻州市第一中学校 赵锦花

元素推断类题目是高考选择题的必考题型,考查形式灵活多变,常考常新。近几年来高考此类题目常以结构式为载体考查元素推断及元素周期律,题目新颖,要求考生对元素的成键方式有深入理解。要解决此类题目,必须通过典型物质来了解元素成键方式的多样性和规律性,追本溯源,挖掘本质。只要推断出元素,考生一般可顺利解答。这就要求考生对前20号元素的电子排布及相关物质的物理、化学性质了然于心,真正建立元素周期表中位、构、性之间的关系。

表1 常见元素的成键规律

原子	H、卤素原子	O、S	B、N、P	C、Si、B	N、P	S
成键数目	1	2	3	4	5	6

表2 常见物质的结构式举例

物质化学式	对应结构式
H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub>	
HNO <sub>3</sub>	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Al <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	
NH <sub>3</sub> BH <sub>3</sub>	

值得一提的是,无机化合物成键方式复杂多样,以上只是高中化学中常见的情况,并不能囊括全部成键类型。若要全面解析,还要在大学的无机化学、结构化学部分或者在化学竞赛中进一步学习。现将高考中此类题目常见的两种类型归纳如下。

## 一、共价化合物

对于共价化合物,只需根据元素成键规律,结合题目信息推断即可。

**例1** 如图1所示的两种化合物可用于阻燃材料和生物材料的合成。其中W、X、Y、Z为原子序数依次增大的短周期元素,X和Z同主族,Y原子序数为W原子价电子数的3倍。下列说法正确的是( )。

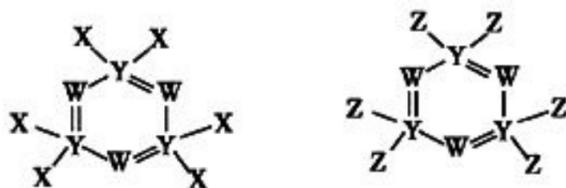


图1

- A. X和Z的最高化合价均为+7价
- B. HX和HZ在水中均为强酸
- C. 四种元素中,Y原子半径最小,X原子半径最大
- D. Z、W和氢三种元素可形成同时含有离子键和共价键的化合物

**解析:**由图可知,W均形成3根共价键,X、Z均形成一根共价键,且同主族,结合W、X、Z原子序数依次增大,可知W、X、Z分别为N、F、Cl。Y原子序数是W价电子数的3倍,故Y为P。F没有正化合价,A项错误。HF是弱酸,B项错误。原子半径P>Cl>N>F,C项错误。Z、W和氢可组成氯化铵,氯化铵同时含共价键和离子键,D项正确。

**答案:**D

**积累:**P在此化合物中形成五个共价键。

**基础必备:**(1)F、O没有最高正价。

(2)常见的六大强酸:硝酸、盐酸、硫酸、高氯酸(HClO<sub>4</sub>)、氢溴酸(HBr)、HI。

(3)比较微粒半径时,先看层数:一般,层数越多,半径越大,例如r(Na)>r(Li)、r(S<sup>2-</sup>)>r(O<sup>2-</sup>) (特例见下页表3,Li位于第二周期,但原子半径大于第三周期的Al、Si、P、S、Cl。高中范围的考题一般不会考查特殊情况微粒半径的比较;稀有气体元素的原子半径测定与相邻非金属元素的测定依据不同,没有可比性,也不做比较)。层数相同时,再看核电荷数:核电荷数越大,微粒半径越小。以上方法适用于各种微粒间的比较。如

$r(\text{O}^{2-}) > r(\text{F}^-) > r(\text{Na}^+) > r(\text{Mg}^{2+})$ 。

表3 元素原子半径特殊情况举例

元素符号	Li	Al	Si	P	S	Cl
原子半径/nm	0.152	0.143	0.117	0.110	0.102	0.099

(4)化学键类型判断方法:一般,活泼金属(I A、II A 族元素)与活泼非金属(VI、VII 族元素)形成的化合物含离子键,是离子化合物(注意:AlCl<sub>3</sub>、BeCl<sub>2</sub> 是共价化合物);非金属元素间形成的化合物一般是共价化合物,含共价键(注意:铵盐如NH<sub>4</sub>Cl、NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 等由非金属组成,但是是离子化合物)。

**例2** 一种测乳制品中脂肪酸含量的试剂结构如图2所示。W、X、Y、Z、M为原子序数依次增大的短周期主族非金属元素,其中原子的核电荷数存在关系:Y+Z=X+M=14。下列说法正确的是( )。

A. 最高价氧化物对应水化物的酸性: X>Y

B. 该化合物中所有原子均满足最外层8e<sup>-</sup>稳定结构

C. 常温下,M的单质能够从Z的简单氢化物中置换出Z的单质

D. Y<sub>2</sub>W<sub>6</sub>和W<sub>2</sub>Z<sub>2</sub>均能使酸性高锰酸钾溶液褪色

**解析:**由W、X、Y、Z、M为原子序数依次增大的短周期主族非金属元素,核电荷数X+M=14,结合图中X、M分别形成4个、1个共价键,可知M为F,则X为硼。由Y形成四个共价键,可知Y为C,结合核电荷数Y+Z=14可知Z为O。W原子序数最小且形成一个共价键,则W为氢。由元素周期律可知非金属性硼<碳,则酸性H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub><H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,A项错误。化合物中H最外层只有2e<sup>-</sup>,B项错误。Z的简单氢化物是H<sub>2</sub>O,2F<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>O=4HF+O<sub>2</sub>,C项正确。C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>为乙烷,不能使酸性高锰酸钾溶液褪色;H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>具有还原性,可以使酸性高锰酸钾溶液褪色,D项错误。

答案:C

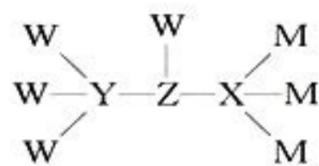


图2

点评:该题中多数考生结合成键规律能判断出W是H,M是F。定式思维在于:发现X、Y均形成四个共价键,则认为二者分别是C、Si;Z形成三个共价键则认为Z是N;但发现结论与题目所给信息“核电荷数为Y+Z=X+M=14”存在矛盾后,从而陷入了自我怀疑,进而无法准确推断。因此要特别注意B、Al元素形成配位键的情况。

**基础必备:**(1)H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>是一元弱酸,水溶液中存在:H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O⇌B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>+H<sup>+</sup>。

(2)2F<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>O=4HF+O<sub>2</sub>,2Na+2H<sub>2</sub>O=2NaOH+H<sub>2</sub>。

## 二、离子化合物

离子化合物中阳离子一般考虑是活泼金属形成的,阴离子需要考虑是哪个元素得电子,再结合题目信息推断。

**例3** 某化合物的结构如图3,其中X、Y、Z、W四种元素分布在三个短周期,原子序数依次增大,且Y、Z、W的简单离子具有相同的电子层结构。下列叙述不正确的是( )。

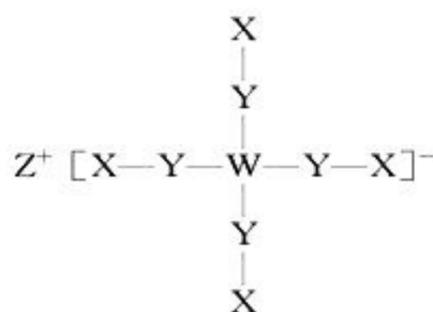


图3

- A. 简单离子半径:Y>Z>W  
B. 最高价氧化物对应水化物的碱性:Z>W  
C. 该化合物的水溶液呈中性  
D. X与Y形成的化合物可与X与Z形成的化合物发生反应

**解析:**由X、Y、Z、W分别在三个短周期,原子序数依次增大,可知X为H,Z形成Z<sup>+</sup>故Z为Na。Y形成两个共价键,是O。由图可知W得了一个电子形成四个键,结合Y、Z、W的简单离子具有相同的电子层结构,可知W是Al。X、Y、Z、W分别是H、O、Na、Al。离子半径大小顺序为O<sup>2-</sup>>Na<sup>+</sup>>Al<sup>3+</sup>,故A项正确。金属性Na强于Al,所以碱性NaOH>Al(OH)<sub>3</sub>,故B项正确。该化

合物是  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ , 水溶液呈碱性, 故 C 项错误。  $\text{H}_2\text{O} + \text{NaH} = \text{NaOH} + \text{H}_2$ , 故 D 项正确。

答案: C

积累: 该题中的化合物是  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ , W 是 Al, 形成四个共价键。

点评: 该题考查了盐类的水解, 将水溶液中的离子平衡和元素推断有机结合在了一起。还考查了 NaH 与水的反应。

基础必备: 金属性判断依据: 单质与水或酸反应置换出  $\text{H}_2$  的难易程度; 最高价氧化物对应水化物的碱性强弱; 置换反应(注意: Na 能与水剧烈反应, 不能从水溶液中置换出其他金属); 对应阳离子的氧化性。

例 4 M、W、X、Y、Z 是同周期主族元素, X 原子的最外层电子数是 W 原子次外层电子数的 3 倍。它们形成的化合物可用作新型电池的电极材料, 结构如图 4 所示。下列说法正确的是( )。

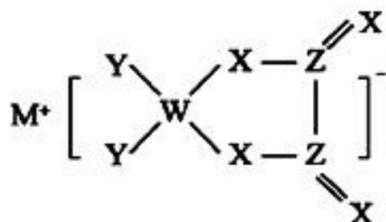


图 4

- A. M 的单质通常保存在煤油中
- B. 图中阴离子中所有原子均满足 8 电子稳定结构
- C. Z 的氢化物的沸点一定低于 X 氢化物的沸点
- D. Y 是其同周期元素中第一电离能最大的元素

解析: X 原子的最外层电子数是 W 原子次外层电子数的 3 倍, 说明 W 原子次外层电子数为 2, 则 M、W、X、Y、Z 都是第二周期主族元素且 X 为 O。由 M 形成  $\text{M}^+$ , 可知 M 为 Li。Y、Z 分别形成一根、四根共价键, 则分别为 F、C。据此判断是一个 W 得到一个电子, 则 W 为 B。则 M、W、X、Y、Z 分别为 Li、B、O、F、C。Li 密度比煤油小, 应保存在石蜡油中, A 项错误。阴离子中, F、B、O、C 均满足 8 电子稳定结构, B 项正确。碳的氢化物即烃,

随碳数的增加可能为气态、液态、固态, 沸点不一定低于  $\text{H}_2\text{O}$  或  $\text{H}_2\text{O}_2$ , C 项错误。第二周期电离能最大的是 Ne, D 项错误。

答案: B

积累: 该化合物中 W 是硼, 形成四根共价键。

基础必备: (1) 熟记常见物质的保存方法, 如碱金属中 Li 密度小, 保存在石蜡油中, 其余碱金属可保存在煤油中; 液溴保存时要用水封, 防止挥发; 白磷放置在冷水中保存。

(2) 注意碳的氢化物是烃, 不要固定思维认为是  $\text{CH}_4$ 。

(3) 同一周期中, 稀有气体元素电离能最大; F 是周期表中电负性最大的元素(高中课本未列出稀有气体电负性数值, 无特殊信息时无须考虑)。

(4) 共价化合物 8 电子稳定结构的判断: H 元素肯定不满足 8 电子; 其他原子若最外层电子数 + 共价键数 = 8, 则满足 8 电子。

例 5 短周期元素 A、B、C、D 原子序数依次增大, A、D 同主族, 且其中三种元素组成的某种离子液体的结构式如图 5, 下列说法正确的是( )。

- A. C 元素位于 VIA 族
- B. D 的单质具有漂白性
- C. 含氧酸的酸性:  $\text{D} > \text{C}$
- D. A、B、C 与氧元素形成的化合物中, 氧元素的化合价可能均不相同

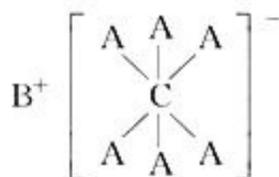


图 5

解析: 由 A、B、C、D 原子序数依次增大且 A 都形成一根共价键可知, A 可能是 H 或 F, B 可能是 Li 或 Na。因此是 C 得到一个电子形成六根键, 是 N 或者 P。D 原子序数最大, 且与 A 同主族, 可能是 Na 或 Cl, 整体推断可知 A、B、C、D 分别是 F、Na、P、Cl, 该结构代表  $\text{NaPF}_6$ 。氟位于 VII A 族, A 项错误。  $\text{Cl}_2$  本身没有漂白性, 氯水中是含有 HClO 而有漂白性, B 项错误。非金属性  $\text{D} > \text{C}$ , 最高价氧化物对应水化物的酸性  $\text{HClO}_4 > \text{H}_3\text{PO}_4$ , 但是该题未指明是最高价含氧酸, 而 Cl、P 均有多种含氧酸, 无法比较, C 项错误。  $\text{OF}_2$  中 O 为 +2 价,  $\text{P}_2\text{O}_5$  中 O 为 -2 价,

# 元素周期律及周期表知识测试题

■陕西省永寿县中学 马亚楼 杨明锋 宋保柱

## 一、选择题

1. 下列各组中两种微粒所含电子数不相等的是( )。

- A.  $\text{H}_3\text{O}^+$  和  $\text{OH}^-$       B.  $\text{CO}$  和  $\text{N}_2$   
 C.  $\text{HNO}_2$  和  $\text{NO}_2^-$       D.  $\text{CH}_3^+$  和  $\text{NH}_4^+$

2. 已知短周期元素的离子  ${}_a\text{W}^{3+}$ 、 ${}_b\text{X}^+$ 、 ${}_c\text{Y}^{2-}$ 、 ${}_d\text{Z}^-$  都具有相同的电子层结构, 下列关系正确的是( )。

- A. 质子数  $c > b$   
 B. 离子还原性  $\text{Y}^{2-} > \text{Z}^-$   
 C. 氢化物稳定性  $\text{H}_2\text{Y} > \text{HZ}$   
 D. 原子半径  $\text{X} < \text{W}$

3. 下列排列顺序正确的是( )。

- A. 热稳定性强弱:  $\text{HCl} > \text{HBr} > \text{HI}$   
 B. 微粒半径:  $\text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Fe}(\text{OH})_3$

胶粒

- C. 晶体熔点:  $\text{SiO}_2 > \text{NaCl} > \text{CF}_4 > \text{CCl}_4$   
 D. 氢化物的沸点:  $\text{H}_2\text{Se} > \text{H}_2\text{S} > \text{H}_2\text{O}$

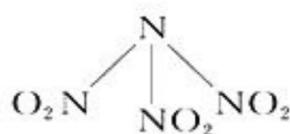
4. 已知 W、X、Y、Z 为短周期元素, 原子序数依次增大。W、Z 同主族, X、Y、Z 同周期, 其中只有 X 为金属元素。下列说法一定正确的是( )。

- A. 原子半径:  $\text{X} > \text{Y} > \text{Z} > \text{W}$   
 B. W 的含氧酸的酸性比 Z 的含氧酸的酸性强  
 C. W 的气态氢化物的稳定性小于 Y 的气态氢化物的稳定性  
 D. 若 W 与 X 原子序数差为 5, 则形成化合物的化学式为  $\text{X}_3\text{W}_2$

5. a、b、c、d 为短周期元素, a 的原子中只有 1 个电子,  $\text{b}^{2-}$  和  $\text{C}^+$  离子的电子层结构相同, d 与 b 同族。下列叙述错误的是( )。

- A. a 与其他三种元素形成的二元化合物中其化合价均为 +1  
 B. b 与其他三种元素均可形成至少两种二元化合物  
 C. c 的原子半径是这些元素中最大的  
 D. d 和 a 形成的化合物的溶液呈弱酸性

6. 科学家研制出了可望成为高效火箭推进剂的  $\text{N}(\text{NO}_2)_3$  (结构如下所示)。已知该分子中 N—



N—N 键角都是  $108.1^\circ$ , 下列有关  $\text{N}(\text{NO}_2)_3$  的说法正确的是( )。

- A. 分子中 N、O 间形成的共价键是非极性键  
 B. 分子中四个氮原子共平面  
 C. 该物质既有氧化性又有还原性  
 D. 15.2 g 该物质含有  $6.02 \times 10^{22}$  个原子

7. 下列推论正确的( )。

- A.  $\text{SiH}_4$  的沸点高于  $\text{CH}_4$ , 可推测  $\text{PH}_3$  的沸点高于  $\text{NH}_3$   
 B.  $\text{NH}_4^+$  为正四面体结构, 可推测出  $\text{PH}_4^+$  也为正四面体结构  
 C.  $\text{CO}_2$  晶体是分子晶体, 可推测  $\text{SiO}_2$  晶体也是分子晶体  
 D.  $\text{C}_2\text{H}_6$  是碳链为直线形的非极性分子, 可推测  $\text{C}_3\text{H}_8$  也是碳链为直线形的非极性分子

$\text{Na}_2\text{O}_2$  中 O 为 -1 价, 均不相同, D 项正确。

答案: D

积累: 该化合物中 P 得到一个电子形成六根键。

基础必备: (1) 常见的漂白性物质: 氯水、 $\text{Na}_2\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$  (氧化性漂白)、 $\text{SO}_2$  (化合漂白)、活性炭 (吸附漂白)。

(2) 非金属性强弱判断依据: 最高价氧化物对应水化物的酸性强弱 (如 Cl、S 元素分别

对应  $\text{HClO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 由  $\text{HClO}_4$  是最强的含氧酸可知非金属性  $\text{Cl} > \text{S}$ ); 单质与  $\text{H}_2$  化合的剧烈程度以及对应气态氢化物的稳定性 (如非金属性按 F、Cl、Br、I 的顺序依次减小, 则稳定性也是按  $\text{HF}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HBr}$ 、 $\text{HI}$  依次减小); 对应阴离子的还原性; 置换反应 (注意:  $\text{F}_2$  能与水剧烈反应, 不能置换更弱的非金属性单质如  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$  等)。

(责任编辑 谢启刚)

二、填空题

8. 4 种相邻主族短周期元素在周期表中的相对位置如下,元素 x 的原子核外电子数是 m 的 2 倍,y 的氧化物具有两性。回答下列问题:

		m	n
x	y		

(1)元素 x 在周期表中的位置是第\_\_\_\_周期第\_\_\_\_族,其单质可采用电解熔融\_\_\_\_的方法制备。

(2)m、n、y 三种元素最高价氧化物的水化物中,酸性最强的是\_\_\_\_,碱性最强的是\_\_\_\_(填化学式)。

(3)气体分子(mn)<sub>2</sub>的电子式为\_\_\_\_,(mn)<sub>2</sub>称为拟卤素,性质与卤素相似,其与氢氧化钠溶液反应的化学方程式为\_\_\_\_。

9. A、B、D、E、F 为短周期元素,非金属元素 A 最外层电子数与其周期数相同,B 的最外层电子数是其所在周期数的 2 倍。B 在 D 中充分燃烧能生成其最高价化合物 BD<sub>2</sub>。E<sup>+</sup>与 D<sup>2-</sup>具有相同的电子数。A 在 F 中燃烧,产物溶于水得到一种强酸。回答下列问题:

(1)A 在周期表中的位置是\_\_\_\_,写出一种工业制备单质 F 的离子方程式:\_\_\_\_。

(2)B、D、E 组成的一种盐中,E 的质量分数为 43%,其俗名为\_\_\_\_,其水溶液与 F 单质反应的化学方程式为\_\_\_\_;在产物中加入少量 KI,反应后加入 CCl<sub>4</sub>并振荡,有机层显\_\_\_\_色。

(3)由这些元素组成的物质,其组成和结构信息如表 1 所示:

表 1

物质	组成和结构信息
a	含有 A 的二元离子化合物
b	含有非极性共价键的二元离子化合物,且原子数之比为 1:1
c	化学组成为 BDF <sub>2</sub>
d	只存在一种类型作用力且可导电的单质晶体

a 的化学式为\_\_\_\_,b 的化学式为\_\_\_\_,c 的电子式为\_\_\_\_,d 的晶体类型是\_\_\_\_。

(4)由 A 和 B、D 元素组成的两种二元化合物形成一类新能源物质。一种化合物分子

通过\_\_\_\_键构成具有空腔的固体;另一种化合物(沼气的主要成分)分子进入该空腔,其分子的空间结构为\_\_\_\_。

10. X、Y 和 Z 均为短周期元素,原子序数依次增大,X 的单质为密度最小的气体,Y 原子最外层电子数是其周期数的三倍,Z 与 X 原子最外层电子数相同。回答下列问题:

(1)X、Y 和 Z 的元素符号分别为\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_。

(2)由上述元素组成的化合物中,既含有共价键又含有离子键的有\_\_\_\_、\_\_\_\_。

(3)X 和 Y 组成的化合物中,既含有极性共价键又含有非极性共价键的是\_\_\_\_。此化合物在酸性条件下与高锰酸钾反应的离子方程式为\_\_\_\_;此化合物还可将碱性工业废水中的 CN<sup>-</sup>氧化为碳酸盐和氨,相应的离子方程式为\_\_\_\_。

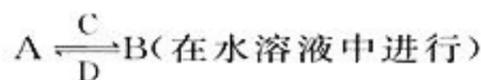
11. X、Y、Z、Q、R 是五种短周期元素,原子序数依次增大。X、Y 两元素最高正价与最低负价之和均为 0;Q 与 X 同主族;Z、R 分别是地壳中含量最高的非金属元素和金属元素。

请回答下列问题:

(1)五种元素原子半径由大到小的顺序是\_\_\_\_(写元素符号)。

(2)X 与 Y 能形成多种化合物,其中既含极性键又含非极性键,且相对分子质量最小的物质是\_\_\_\_(写分子式)。

(3)由以上某些元素组成的化合物 A、B、C、D 有如下转化关系:



其中 C 是溶于水显酸性的气体,D 是淡黄色固体。则 C 的结构式为\_\_\_\_,D 的电子式为\_\_\_\_。

①如果 A、B 均由三种元素组成,B 为两性不溶物,则 A 的化学式为\_\_\_\_。由 A 转化为 B 的离子方程式是\_\_\_\_。

②如果 A 由三种元素组成,B 由四种元素组成,A、B 溶液均显碱性。用离子方程式表示 A 溶液显碱性的原因:\_\_\_\_。A、B 浓度均为 0.1 mol · L<sup>-1</sup> 的混合溶液中,离子浓度由大到小的顺序是\_\_\_\_。(责任编辑 谢启刚)

# 物质结构与性质知识能力测试

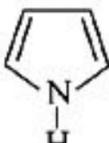
■河北省武邑宏达学校 王 娇

可能用到的相对原子质量: H 1 C 12

O 16 Na 23 Cl 35.5 Fe 56

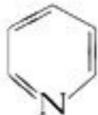
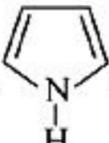
一、选择题: 本题共 14 小题, 每小题 3 分, 共 42 分。每小题只有一个选项符合题目要求。

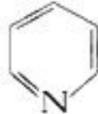
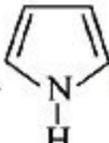
1. 元素 H、C、N 可组成多种杂环化合物,

例如  (吡啶)、 (吡咯), 下列说法错误的是( )。

A. 电负性:  $H < C < N$

B.  中, N 为  $sp^2$  杂化

C. 、 都难溶于水

D. 、 都含有  $\pi$  键

2. 三价铬离子能形成多种配位化合物,  $[Cr(NH_3)_3(H_2O)_2Cl]Cl_2$  是其中的一种。下列说法正确的是( )。

A. 该配合物中的配离子存在多种异构体

B. 对该配合物进行加热时, 配体  $H_2O$  比  $NH_3$  更容易失去

C. 提供电子对形成配位键的原子在基态时核外电子具有相同数目的空间运动状态

D. 常温下, 向含 1 mol 该配合物的溶液中滴加  $AgNO_3$  溶液, 滴定结束后生成 3 mol

$AgCl$  沉淀

3. 前 4 周期主族元素 X、Y、Z、W 的原子序数依次增大。X 与 Z 同主族, 且基态 X 原子中 p 能级和 s 能级上的电子数相同。Y、Z 同周期, Y 位于 III A 族, W 最外层有 2 个电子。下列说法正确的是( )。

A. 原子半径:  $r(X) < r(Y) < r(Z) < r(W)$

B. 最高价氧化物对应水化物的碱性:  $W < Y$

C. 第一电离能:  $I_1(Z) < I_1(X)$

D. 基态 W 原子内层原子轨道均已充满电子

4. X、Y、Z、W、R 为原子序数依次增大的短周期主族元素。X、Z 原子中分别有 1 个、7 个运动状态完全不同的电子, Y 原子中各能级电子数相等, W 原子最外层电子数是内层的 3 倍, R 的原子半径是该周期主族元素中最大的。下列说法正确的是( )。

A. 气态氢化物热稳定性:  $Y > Z > W$

B. 简单离子半径:  $r(W) > r(R)$

C. 第一电离能:  $I_1(W) > I_1(Z) > I_1(Y)$

D. X、Z、W 形成的化合物一定不含离子键

5. 部分短周期元素的原子半径及主要化合价见表 1。

表 1

元素	X	Y	Z	W	T
原子半径/nm	0.160	0.143	0.102	0.071	0.099
主要化合价	+2	+3	+6、-2	-1	-1

下列有关说法正确的是( )。

- A. 元素 X 的第一电离能比 Y 的大
- B. 元素 Z 的电负性比 W 的大
- C. 元素 W 的气态氢化物沸点比 T 的低
- D. 元素 T 的氧化物对应水化物的酸性一定比 Z 的强

6. 某种由六种元素形成的抗癌药物的结构简式如图 1 所示, 其中 W、X、Y、Z 是原子序数依次增大的短周期主族元素, W、Y 同主族, Y、Z 的最外层电子数之和是 X 的最外层电子数的 2 倍。下列叙述不正确的是( )。

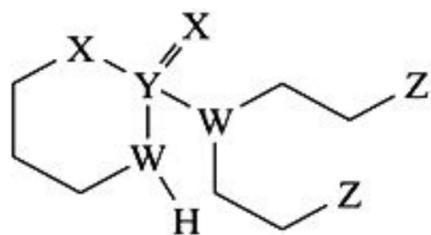


图 1

- A. W 的最简单氢化物与 Z 的单质混合后可产生白烟
- B. X 与 W 的第一电离能:  $X < W$
- C.  $WZ_3$  和  $YZ_3$  键角前者小于后者
- D. X 的一种单质和化合物  $ZX_2$  均可用于自来水消毒

7. 我国“祝融号”火星车成功着陆火星, 其矿脉中含有原子序数依次增大的短周期主族元素 W、X、Y、Z。已知 W、Z 同主族, 且 Z 的原子序数是 W 的 2 倍, X 的氢化物可用于蚀刻玻璃, Y 与 Z 最外层电子数之和等于 8。下列说法正确的是( )。

- A. 原子半径:  $Z > Y > W > X$
- B. 简单氢化物的稳定性:  $X > W > Z$
- C. X 与 Z 可形成离子化合物  $ZX_6$
- D. 同周期第一电离能小于 Z 的元素有 5 种

8. 某电池材料的结构如图 2 所示, M、W、X、Y、Z 是原子序数依次增大的同周期主族元素, Y 元素原子的价电子数是 W 的两倍。下列说法正确的是( )。

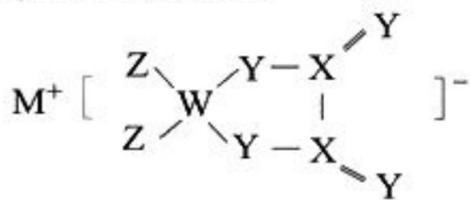


图 2

- A. 氢化物沸点:  $X > Y$
- B. 第一电离能:  $M < W < Y < X < Z$
- C. 元素 X 与 Y 原子轨道中含有的未成对电子数相同
- D. 阴离子中不存在配位键

9. X、Y、Z、Q、R 为原子序数依次增大的前四周期元素, X 和 Y 可以形成一种红棕色气体, Z 是同周期元素中原子半径最大的元素, Q 是地壳中含量最高的金属元素, R 的基态原子中有 6 个未成对电子。下列说法正确的是( )。

- A. 原子半径:  $r(Q) > r(Y) > r(X)$
- B. 电负性:  $X > Y > Z$
- C. R 位于元素周期表中第四周期第 IVB 族
- D. Z 的最高价氧化物对应水化物的碱性比 Q 的强

10. 一种用于合成治疗免疫疾病药的物质, 其结构如图 3 所示, 其中 X、Y、Z、Q、W 为 1~20 号元素且原子序数依次增大, Z 与 Q 同主族, Q 和 W 的简单离子具有相同的电子层结构。下列叙述正确的是( )。

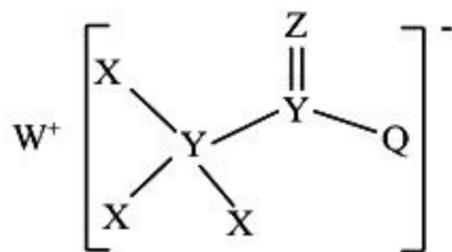


图 3

- A. 第一电离能:  $Q > Z > W$
- B. 电负性:  $X > Y > Z$
- C.  $WZX$  与  $WXQ$  均是强电解质, 水溶液之间可以发生复分解反应
- D.  $W_2Q_2Z_3$  与  $X_2QZ_4$  溶液反应生成黄色浑浊和无色气体属于非氧化还原反应

11. 某种净水剂由原子序数依次增大的 R、W、X、Y、Z 五种元素组成。五种元素分处三个短周期, 包含地壳中含量前三的元素。基态 Z 原子的成对电子占据的轨道数与未成对电子占据的轨道数之比为 7:2。下列说法不正确的是( )。

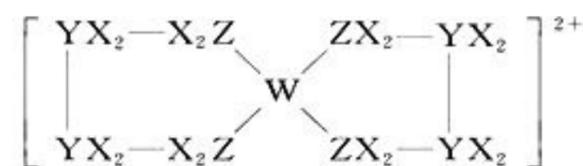
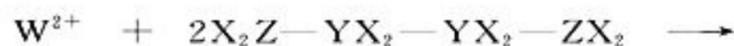
- A. 简单离子半径:  $Z > X > W$

B. 简单氢化物稳定性:  $W > Z > Y$

C. X 与 Z 形成的化合物在水中会生成沉淀和气体

D. 第一电离能:  $Z > Y > X$

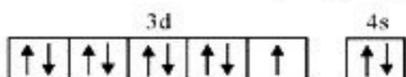
12. 某深蓝色溶液是纤维素的优良溶剂, 其制备反应如下所示。X、Y、Z 三种元素原子序数依次增大, 基态 Y 原子的电子填充了 3 个能级, 其中有 2 个未成对电子, Y、Z 均位于 X 的下一周期, W 的焰色为绿色。下列说法错误的是( )。



A. Y 元素的最高价氧化物分子中化学键的极性的向量和等于零

B. 最简单氢化物的稳定性:  $Y < Z$

C. W 的价层电子排布图为



D. 1 个生成物离子中含有 4 条配位键

13. 氮化钛(TiN)为金黄色晶体, 由于具有令人满意的仿金效果, 越来越多地成为黄金的替代品。TiN 晶体的晶胞结构如图 4 所示。下列说法错误的是( )。

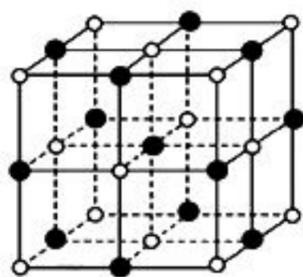


图 4

A. Ti 元素位于元素周期表第四周期第 II B 族

B. 该晶胞中含有 4 个 Ti 原子和 4 个 N 原子

C. Ti 均位于 N 构成的八面体空隙中

D. Ti 的第一电离能小于 Mn

14. F、K 和 Ni 三种元素组成的一种化合物的晶胞如图 5 所示。下列说法错误的是( )。

A. Ni 位于元素周期表 d 区

B. 该物质的化学式为  $K_2NiF_4$

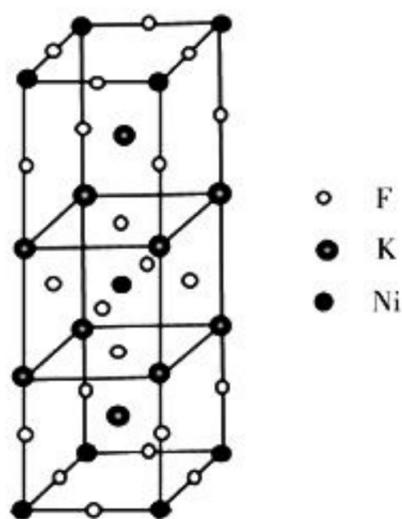


图 5

C. Ni 的配位数为 6

D. 该晶体属于分子晶体

二、非选择题: 共 58 分。

15. (14 分) 主族元素 N、F、Si、As、Se、Cl 等的某些化合物对工农业生产意义重大, 回答下列问题:

(1)  $Si_3N_4$  陶瓷是世界上最坚硬的物质之一, 具有高强度、低密度、耐高温等性质, 其属于\_\_\_晶体;  $SiCl_4$  中 Si 采取的杂化类型为\_\_\_。

(2) O、F、Cl 电负性由大到小的顺序为\_\_\_;  $OF_2$  分子的空间构型为\_\_\_;  $OF_2$  的熔、沸点低于  $Cl_2O$ , 原因是\_\_\_。

(3) Se 元素基态原子的原子核外电子排布式为\_\_\_; As 的第一电离能比 Se 的第一电离能大的原因为\_\_\_。

(4)  $XeF_2$  晶体属四方晶系, 晶胞参数如图 6 所示, 晶胞棱边夹角均为  $90^\circ$ , 该晶胞中有\_\_\_个  $XeF_2$  分子。以晶胞参数为单位长度建立的坐标系可以表示晶胞中各原子的位置, 称为原子的分数坐标, 如 A 点原子的分数坐标为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ 。已知 Xe—F 键长为  $r$  pm, 则 B 点原子的分数坐标为\_\_\_; 晶胞中 A、B 间距离  $d =$  \_\_\_ pm。

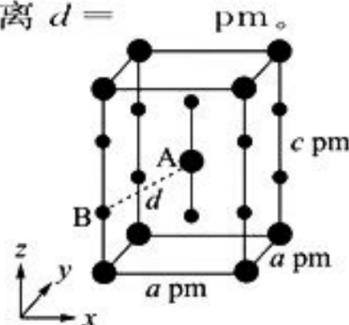


图 6

16. (15 分) 我国科学家制备的 NiO/  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pt 催化剂能实现氨硼烷(H<sub>3</sub>NBH<sub>3</sub>)高  
效制备氢气的目的, 制氢原理: H<sub>3</sub>NBH<sub>3</sub> +  
4CH<sub>3</sub>OH  $\xrightarrow{\text{催化剂}}$  NH<sub>4</sub>B(OCH<sub>3</sub>)<sub>4</sub> + 3H<sub>2</sub> ↑。

请回答下列问题:

(1) 基态 Al 原子核外电子云轮廓图呈球  
形、哑铃形的能级上电子数之比为\_\_\_\_\_。

(2) 已知几种元素的电负性如表 2 所示。

表 2

元素	H	B	C	N	O
电负性	2.1	2.0	2.5	3.0	3.5

①上述制氢反应中, 有\_\_\_\_\_种元素的原子  
采取 sp<sup>3</sup> 杂化。

②NH<sub>3</sub> 中键角 ∠HNH \_\_\_\_\_ (填“大于”  
“小于”或“等于”) H<sub>3</sub>NBH<sub>3</sub> 中键角 ∠HNH。

③B、C、N、O 的电负性依次增大, 其主要  
原因是\_\_\_\_\_。

④在氨硼烷中, H—B 键中 H 带部分  
\_\_\_\_\_ (填“正”或“负”) 电荷。

(3) 某有机硼化合物的结构简式如图 7  
所示, 1 mol 该有机物中含\_\_\_\_\_ mol σ 键。组  
成该有机物的第二周期元素第一电离能由大  
到小的顺序为\_\_\_\_\_ (填元素符号)。

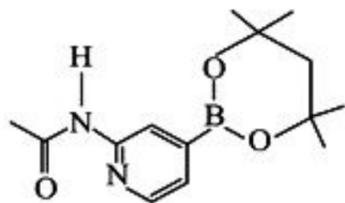


图 7

(4) 磷化硼是一种新型无机非金属材料,  
晶胞结构如图 8 所示。以晶胞参数为单位长  
度建立坐标系, 表示晶胞中各原子的位置, 称  
为原子坐标。a 点磷原子的坐标为(0, 0, 0),  
b 点磷原子的坐标为(1, 1, 0), 则 c 点硼原子的  
坐标为\_\_\_\_\_。

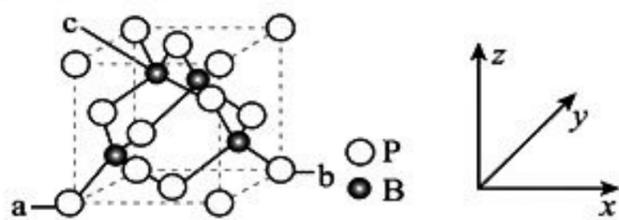


图 8

(5) 四氢铝钠(NaAlH<sub>4</sub>)是有机合成中重

要的还原剂, 晶胞结构如图 9 所示。

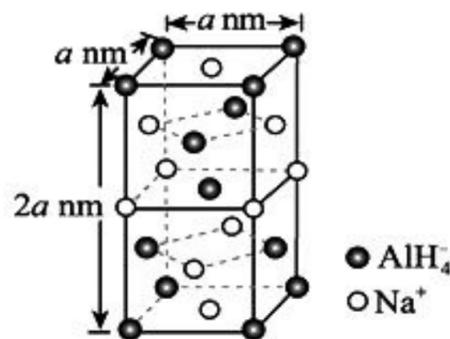


图 9

①AlH<sub>4</sub><sup>-</sup> 的空间构型为\_\_\_\_\_, AlH<sub>4</sub><sup>-</sup> 的配  
位数为\_\_\_\_\_。

②已知 N<sub>A</sub> 为阿伏加德罗常数的值, 晶  
体的密度为\_\_\_\_\_ g · cm<sup>-3</sup> (用含 a、N<sub>A</sub> 的代  
数式表示)。

17. (14 分) 制造国产大飞机 C919 使用  
了较多含硼材料(如硼纤维、氮化硼等), 多项  
技术打破了外国垄断。

(1) 原子的能量由核电荷数、电子数、  
\_\_\_\_\_ 三个因素共同决定; 基态 B 原子的核外  
电子填充在\_\_\_\_\_ 个轨道中。

(2) 耐高温材料立方 BN 制备流程中用  
到 NH<sub>3</sub>、BCl<sub>3</sub> 和触媒剂 Ca<sub>3</sub>B<sub>2</sub>N<sub>4</sub>。

①Ca、B、N 三种元素电负性从大到小的  
顺序为\_\_\_\_\_。

②BCl<sub>3</sub> 中 B 原子的\_\_\_\_\_ 轨道与 Cl 原子  
的\_\_\_\_\_ 轨道形成 σ 键; 形成 BCl<sub>3</sub> 过程中基态  
B 原子价电子层电子先激发, 再杂化, 激发后  
B 原子的价电子排布图为\_\_\_\_\_。

③BCl<sub>3</sub> 在四氯化碳中的溶解度远大于  
NH<sub>3</sub>, 原因是\_\_\_\_\_。

(3) 硼砂是非常重要的含硼矿物。一种  
硼砂阴离子的结构如图 10 所示, 则 1 mol 该  
阴离子存在的配位键物质的量为\_\_\_\_\_, n =  
\_\_\_\_\_。

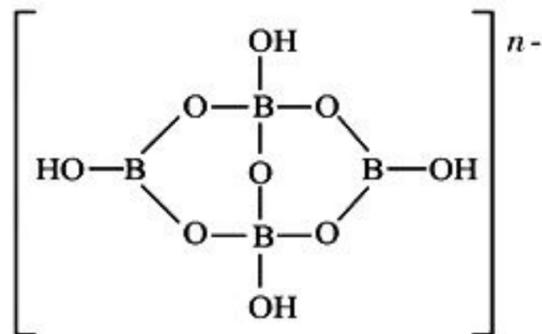


图 10

(4) 制造硼合金的原料硼化钙( $\text{CaB}_6$ ) 晶胞结构如图 11 所示, 硼原子全部组成  $\text{B}_6$  正八面体, 各个顶点通过 B—B 键互相连接成三维骨架。已知该晶体晶胞参数为  $a$  pm,  $\text{B}_6$  八面体中 B—B 键的键长为  $d$  pm, M 点原子的坐标参数为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ , 则 N 点原子的坐标参数为(\_\_\_\_, 1, 0)。

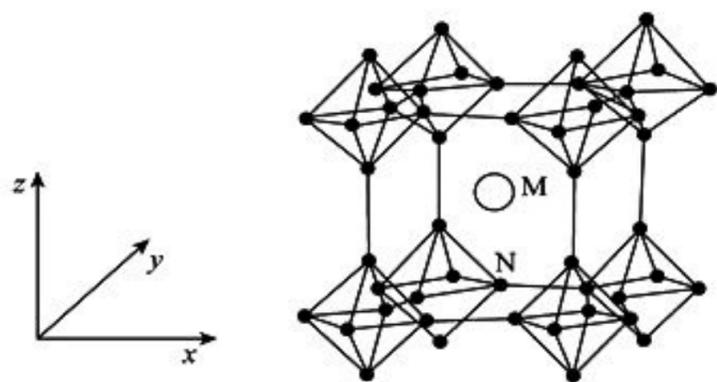


图 11

18. (15 分) I.  $\text{TiO}_2$  和  $\text{MnO}_2$  均可以催化降解甲醛、苯等有害物质, 具有去除效率高, 且无二次污染等优点, 广泛应用于家居装潢等领域, 其中一种催化机理如图 12 所示。

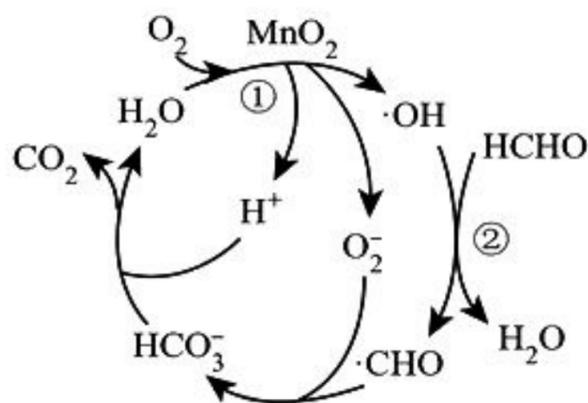


图 12

回答下列问题:

- (1) 基态 Ti 和 Mn 原子中未成对电子数之比为\_\_\_\_\_。
- (2)  $\text{CO}_2$  和  $\cdot\text{CHO}$  中碳原子的杂化形式分别为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
- (3)  $\text{HCHO}$  的空间构型为\_\_\_\_\_。
- (4) 金属钛和锰可导电、导热, 有金属光泽和延展性, 这些性质都可以用理论解释。已知金属锰有多种晶型,  $y$  型锰的面心立方晶胞俯视图符合下列\_\_\_\_\_ (填图 13 中的编号)。

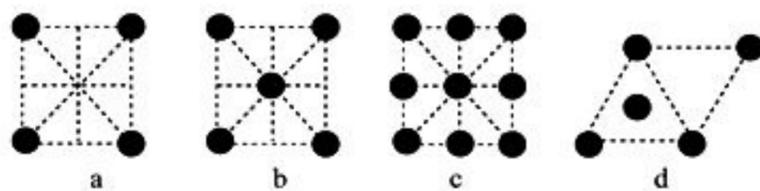


图 13

II.  $\text{LiFePO}_4$ 、聚乙二醇、 $\text{LiPF}_6$ 、 $\text{LiAsF}_6$  和  $\text{LiCl}$  等可作锂离子聚合物电池的材料。

回答下列问题:

- (5) Fe 的基态原子的价电子排布式为\_\_\_\_\_。
- (6) 乙二醇( $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ) 的相对分子质量与丙醇( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ) 相近, 但沸点高出  $100^\circ\text{C}$ , 原因是\_\_\_\_\_。

III. 以晶胞参数为单位长度建立的坐标系可以表示晶胞中各原子的位置, 称作原子分数坐标。 $\text{LiCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  属正交晶系(长方体形)。晶胞参数为  $0.72$  nm、 $1.0$  nm、 $0.56$  nm。如图 14 所示为沿  $x$  轴投影的晶胞中所有 Cl 原子的分布图和原子分数坐标。 $\text{LiCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  的摩尔质量为  $M$   $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 设  $N_A$  为阿伏加德罗常数的值。

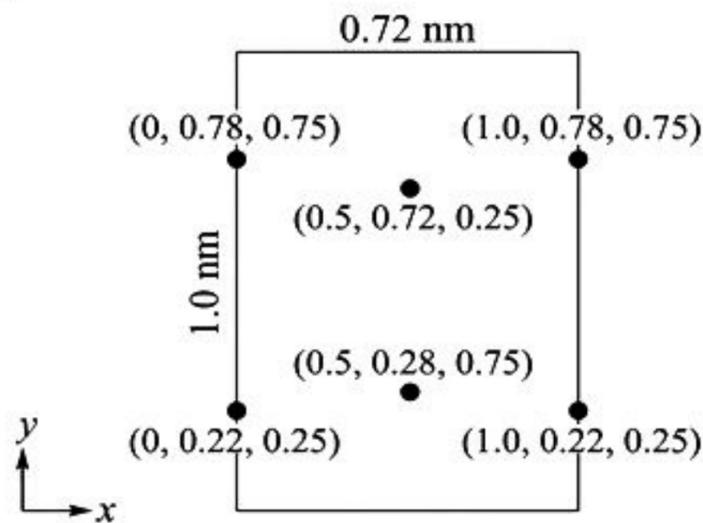


图 14

- (7) 该晶胞中 Cl 原子的数目为\_\_\_\_\_,  $\text{LiCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  晶体的密度为\_\_\_\_\_  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  (列出计算表达式)。

(责任编辑 谢启刚)



# 物质结构与性质“原因解释”型填空题解答策略

■广西柳州市第二中学 黄颖

近年来,高考化学有关物质结构与性质方面的试题中频频出现简答类填空,很多考生的回答都似是而非,离命题人要求有距离。本文就常考的熔沸点、电离能、分子结构这些热点问题探讨,希望对考生有指导价值。

## 一、熔沸点比较

### 1. 物质的熔沸点规律。

(1)根据物质在相同条件下的状态不同,一般熔沸点:固体>液体>气体,如  $I_2 > Hg > CO_2$ 。

(2)从晶体类型看熔沸点:共价晶体>离子晶体>分子晶体,如晶体硅>氯化钠>苯。

(3)晶体类型相同时,三种晶体类型的物质熔沸点判断方法:

①共价晶体中键长(两原子半径之和)越短的键能越大,则熔点越高。键长:金刚石(C—C)<碳化硅(Si—C)<晶体硅(Si—Si)。熔点:金刚石>碳化硅>晶体硅。

②离子晶体阴阳离子半径之和越小,所带电荷数越多,离子键越强,熔沸点越高。熔点:KF>KCl>KBr>KI, CaO>KCl。

③分子晶体的熔沸点由分子间作用力决定,分子晶体分子间作用力越大,物质的熔沸点越高。

分子间有氢键的分子晶体,熔沸点反常的高。氢键可分为分子内氢键和分子间氢键。分子间形成氢键时,化合物的熔沸点显著升高。因此,像  $NH_3$ 、 $H_2O$ 、 $HF$  等氢化物,由于其分子间氢键的存在,要使其固体熔化或液体气化,必须给予额外的能量破坏分子间氢键,所以它们的熔沸点比同主族其他元素的氢化物要高。值得注意的是,能够形成分子内氢键的物质,其分子间氢键将被削弱,因此它们的熔沸点比只形成分子间氢键的物质低。沸点:  $H_2O > H_2Te > H_2Se > H_2S$ ,  $C_2H_5OH > CH_3-O-CH_3$ 。  $HF$ 、 $H_2O$ 、 $NH_3$ 、乙醇、乙酸都含有分子间氢键。

组成和结构相似的分子晶体,相对分子质量越大,物质的熔沸点越高。沸点:  $CH_4 <$

$SiH_4 < GeH_4 < SnH_4$ 。

### 2. 应用示范。

(1) $GaF_3$  的熔点高于  $1\ 000\ ^\circ C$ ,  $GaCl_3$  的熔点为  $77.9\ ^\circ C$ , 其原因是  $GaF_3$  为离子晶体,  $GaCl_3$  为分子晶体, 离子晶体  $GaF_3$  的熔沸点高。

(2)比较表 1 中锗卤化物的熔点和沸点, 分析其变化规律及原因:  $GeCl_4$ 、 $GeBr_4$ 、 $GeI_4$  熔沸点依次增高; 原因是分子结构相似, 相对分子质量依次增大, 分子间相互作用力逐渐增强。

表 1

	$GeCl_4$	$GeBr_4$	$GeI_4$
熔点/ $^\circ C$	-49.5	26	146
沸点/ $^\circ C$	83.1	186	约 400

(3)K 和 Cr 属于同一周期, 且核外最外层电子构型相同, 但金属 K 的熔点、沸点等都比金属 Cr 低, 原因是 K 的原子半径较大且价电子数较少, 金属键较弱。

(4)乙醇的沸点高于丙酮, 这是因为乙醇分子间存在氢键。

### 3. 真题检测。

(1)苯胺()的晶体类型是分子晶体。苯胺与甲苯()的相对分子质量相近, 但苯胺的熔点( $-5.9\ ^\circ C$ )、沸点( $184.4\ ^\circ C$ )分别高于甲苯的熔点( $-95.0\ ^\circ C$ )、沸点( $110.6\ ^\circ C$ ), 原因是\_\_\_\_\_。

(2)甲醇的沸点( $64.7\ ^\circ C$ )介于水( $100\ ^\circ C$ )和甲硫醇( $CH_3SH, 7.6\ ^\circ C$ )之间, 其原因是\_\_\_\_\_。

(3)硅和卤素单质反应可以得到  $SiX_4$ ,  $SiX_4$  的熔沸点如表 2。

表 2

	$SiF_4$	$SiCl_4$	$SiBr_4$	$SiI_4$
熔点/K	183.0	203.2	278.6	393.7
沸点/K	187.2	330.8	427.2	560.7

$0\ ^\circ C$  时,  $SiF_4$ 、 $SiCl_4$ 、 $SiBr_4$ 、 $SiI_4$  呈液态的

是\_\_\_\_(填化学式),沸点依次升高的原因是\_\_\_\_\_。

(4)有一类组成最简单的有机硅化合物叫硅烷。硅烷的沸点与相对分子质量的关系如图1所示,呈现这种变化的原因是\_\_\_\_\_。

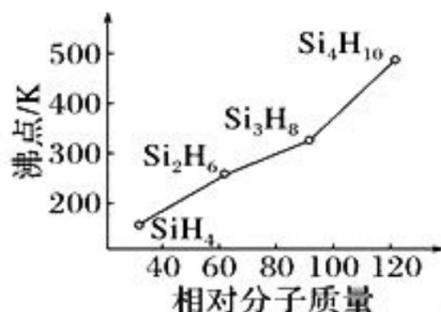


图1

答案:(1)苯胺分子之间存在氢键

(2)甲硫醇不能形成分子间氢键,而水和甲醇均能,且水比甲醇的氢键多

(3)SiCl<sub>4</sub>、SiX<sub>4</sub>都是结构相似的分子晶体,相对分子质量依次增大,分子间作用力依次增大

(4)硅烷为分子晶体,随相对分子质量增大,分子间作用力增强,熔沸点升高

## 二、电离能

### 1. 元素第一电离能的递变性。

第一电离能是基态的气态原子失去最外层的一个电子所需能量。第一电离能数值越小,原子越容易失去一个电子;第一电离能数值越大,原子越难失去一个电子。

第一电离能同周期从左到右呈现增大趋势(注意ⅡA、VA的特殊性);同主族(自上而下)依次减小。

ⅡA族元素的第一电离能大于ⅢA族元素的第一电离能,VA族元素的第一电离能大于ⅥA族元素的第一电离能。

特例:当原子核外电子排布在能量相等的轨道上形成全空(p<sup>0</sup>、d<sup>0</sup>)、半充满(p<sup>3</sup>、d<sup>5</sup>)和全充满(p<sup>6</sup>、d<sup>10</sup>)的结构时,原子的能量较低,为稳定状态,该元素具有较大的第一电离能,如第一电离能,Be>B, Mg>Al, N>O, P>S。

应用:①判断元素金属性的强弱。电离能越小,金属越容易失去电子,金属性越强;反之越弱。②判断元素的化合价。如果某元素的 I<sub>n+1</sub> ≫ I<sub>n</sub>, 则该元素的常见化合价为 +n, 如铝元素 I<sub>4</sub> ≫ I<sub>3</sub>, 所以铝元素的化合价

为+3价。而过渡元素的价电子数较多,且各级电离能之间相差不大,所以常表现多种化合价,如锰元素有+2价~+7价。

### 2. 应用示范。

(1)黄铜是人类最早使用的合金之一,主要由Zn和Cu组成。第一电离能 I<sub>1</sub>(Zn) 大于 I<sub>1</sub>(Cu)。原因是Zn核外电子排布为全满稳定结构,较难失电子。

(2)元素铜与镍的第二电离能分别为 I(Cu) = 1 958 kJ · mol<sup>-1</sup>, I(Ni) = 1 753 kJ · mol<sup>-1</sup>, I(Cu) > I(Ni)的原因是铜失去的是全充满的 3d<sup>10</sup> 电子,镍失去的是 4s<sup>1</sup> 电子。

(3)Li及其周期表中相邻元素的第一电离能(I<sub>1</sub>)如表3所示。I<sub>1</sub>(Li) > I<sub>1</sub>(Na),原因是Na与Li同主族,Na的电子层数更多,原子半径更大,易失电子。I<sub>1</sub>(Be) > I<sub>1</sub>(B) > I<sub>1</sub>(Li),原因是Li、Be、B为同周期,核电荷数依次增加。Be为 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup> 全满稳定结构,第一电离能最大。与Li相比,B核电荷数大,原子半径小,较难失去电子,第一电离能较大。

表3

I <sub>1</sub> / (kJ · mol <sup>-1</sup> )		
Li	Be	B
520	900	801
Na	Mg	Al
496	738	578

(4)第一电离能 Ga < As。元素 Mn 与 O 中,第一电离能较大的是 O。

### 3. 真题检测。

(1)元素的基态气态原子得到一个电子形成气态负一价离子时所放出的能量称作第一电子亲和能(E<sub>1</sub>)。第二周期部分元素的 E<sub>1</sub> 变化趋势如图2所示,其中除氮元素外,其他元素的 E<sub>1</sub> 自左而右依次增大的原因是\_\_\_\_\_;氮元素的 E<sub>1</sub> 呈现异常的原因是\_\_\_\_\_。

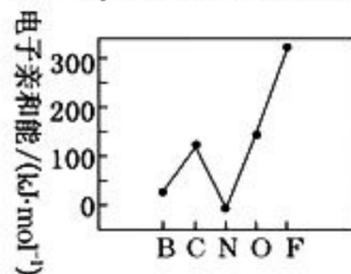


图2

(2) N、O、S 的第一电离能 ( $I_1$ ) 大小为  $I_1(\text{N}) > I_1(\text{O}) > I_1(\text{S})$ , 原因是\_\_\_\_\_。

(3) 元素 X 的各级电离能数据如表 4 所示。

表 4

	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
$I/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	578	1 817	2 745	11 578	14 831	18 378

则元素 X 的常见价态是\_\_\_\_\_。

(4) Mn、Fe 两元素的部分电离能数据列于表 5。

表 5

	元素	Mn	Fe
电离能( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )			
	$I_1$	717	759
	$I_2$	1 509	1 561
	$I_3$	3 248	2 957

比较两元素的  $I_2$ 、 $I_3$  可知, 气态  $\text{Mn}^{2+}$  再失去一个电子比气态  $\text{Fe}^{2+}$  再失去一个电子难。对此, 你认为原因可能是\_\_\_\_\_。

**答案:** (1) 同周期元素随核电荷数依次增大, 原子半径逐渐变小, 故结合一个电子释放出的能量依次增大

N 原子的 2p 轨道为半充满状态, 具有额外稳定性, 故不易结合一个电子

(2) N 原子 2p 轨道半充满, 比相邻的 O 原子更稳定, 更难失电子; O、S 同主族, S 原子半径大于 O 原子, 更易失去电子

(3) +3

(4)  $\text{Mn}^{2+}$  的 3d 能级电子排布为半满状态, 比较稳定

### 三、分子结构

#### 1. 知识储备。

(1) 键角大小判断。

如果在价层电子对中出现孤对电子对时, 价层电子对空间构型还与下列斥力顺序相关: 孤对—孤对 > 孤对—键对 > 键对—键对。因此价层电子对空间构型为正三角形和正四面体时, 孤对电子对对成键电子对斥力较大, 使成键电子对夹角变小, 所以  $\text{SnBr}_2$  的键角应小于  $120^\circ$ ,  $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  分子的键角应小于  $109^\circ 28'$ 。

对于分子中有双键、三键等多重键时, 使

用价层电子对理论判断其分子构型时, 双键的两对电子和三键的三对电子只能作为一对电子来处理, 或者说在确定中心原子的价电子层电子对总数时, 不包括  $\pi$  键电子。

(2) 稳定性和键能。

稳定性不是熔沸点而是是否容易分解的性质。化学键的键能越高, 总能量就越大, 化学键的键能越低, 总能量就越小。化学键的键能决定于键的键长和成键原子的半径及所带的电荷数。化学键的断裂和形成是化学反应中能量变化的主要原因——化学键的断裂要吸收能量, 化学键的形成要放出能量。

#### 2. 应用示范。

(1)  $\text{CH}_4$  的键角大于  $\text{NH}_3$  的原因为  $\text{CH}_4$ 、 $\text{NH}_3$  的中心原子均为  $\text{sp}^3$  杂化,  $\text{NH}_3$  分子中有未成键的孤电子对, 对成键电子对斥力较大, 键角较小。

(2)  $\text{H}_3\text{O}^+$  中 H—O—H 键角比  $\text{H}_2\text{O}$  中 H—O—H 键角大, 原因为  $\text{H}_2\text{O}$  中 O 原子有 2 对孤对电子,  $\text{H}_3\text{O}^+$  中 O 原子只有 1 对孤对电子, 排斥力较小。

(3) Ge 与 C 是同族元素, C 原子之间可以形成双键、三键, 但 Ge 原子之间难以形成双键或三键。从原子结构角度分析, 原因是锗的原子半径大, 原子之间形成的  $\sigma$  单键较长, p-p 轨道“肩并肩”重叠程度很小或几乎不能重叠, 难以形成  $\pi$  键。

(4) 气态氢化物热稳定性 HF 大于 HCl 的主要原因是原子半径  $\text{F} < \text{Cl}$ , 键能  $\text{F—H} > \text{Cl—H}$ 。

#### 3. 真题检测。

(1) 高温陶瓷材料  $\text{Si}_3\text{N}_4$  晶体中键角 N—Si—N \_\_\_\_\_ Si—N—Si (填“>”“<”或“=”), 原因是\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{NF}_3$  的键角 \_\_\_\_\_  $\text{NH}_3$  的键角 (填“>”“<”或“=”), 理由是\_\_\_\_\_。

(3) 已知有关氮、磷的单键和三键的键能 ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) 如表 6。

表 6

N—N	N≡N	P—P	P≡P
193	946	197	489

## 例析离子晶体中重点与考点

■宁夏固原市第一中学 苟晓村

在近年的高考试题中,对四大晶体内容主要从两方面考查:①有关晶胞的计算;②晶体微粒间的相互作用力以及物理性质的比较。问题主要涉及常见晶体的构型及对常见晶体的构型的类推迁移,晶胞中粒子数、晶体密度、 $N_A$ 、 $M$ 、晶体体积、微粒间距离、微粒半径等的计算,这里就离子晶体方面的重点与考点进行归纳总结。

### 一、离子晶体概念、类别判断及特性的考查

1. 离子晶体:阴离子和阳离子通过离子键结合,在空间呈现有规律的排列所形成的晶体。

(1)构成晶体的粒子:阴离子、阳离子。

(2)粒子间的作用力:离子键。

注意:①上述(1)(2)可作为判断晶体的理论依据;②离子晶体中并无单个分子存在;如NaCl不表示分子式,而表示化学式或最简式;③离子晶体中同时存在阴离子和阳离子。

2. 常见的离子晶体:强碱(NaOH、KOH等)、大部分的盐类、活泼金属氧化物(如 $K_2O$ 、 $Na_2O_2$ 等)。

3. 离子晶体的物理性质。

(1)熔沸点较高(常在数百至一千摄氏度以上),硬度较大(或略硬而脆)。

(2)水溶性:离子晶体一般易溶于水,难

溶于非极性溶剂。

(3)导电性:固态不导电,水溶液或者熔融状态下能导电。

注意:(1)离子晶体熔化时,破坏离子键,离子电荷越多,离子半径越小,则离子键就越强,离子晶体的熔沸点就越高。

(2)离子晶体内无自由移动的离子,当熔融或溶于水后,离子键断裂,阴、阳离子能自由移动,所以固态不导电,水溶液或者熔融状态下可导电。

(3)注意水溶液或者熔融状态下导电与金属导电的本质区别。电解质导电:导电时的状态为水溶液或熔融状态,导电粒子为自由移动的离子,变化实质为化学变化(电解)。金属导电:导电时的状态为晶体,导电粒子为自由移动的电子,变化实质为物理变化。

**例1** 试根据已学的知识,判断KCl、NaCl、CaO、BaO四种晶体熔点的高低顺序可能是( )。

A.  $KCl > NaCl > BaO > CaO$

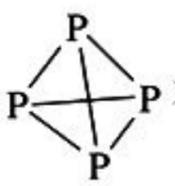
B.  $NaCl > KCl > CaO > BaO$

C.  $CaO > BaO > NaCl > KCl$

D.  $CaO > BaO > KCl > NaCl$

**解析:**KCl、NaCl、CaO、BaO均为离子晶体,KCl、NaCl阴离子相同,电荷数相同,阳离子

从能量角度看,氮以 $N_2$ ,而白磷以 $P_4$ (结

构式可表示为)形式存在的原因是\_\_\_\_\_。

**答案:**(1) $>$  N原子上有孤电子对,由于孤电子对与成键电子对的排斥力更大,使得Si—N—Si键角较小

(2) $<$  F的电负性比H大, $NF_3$ 中N周围电子云密度减小,成键电子对之间的排斥力较小

(3)在原子数目相同的条件下, $N_2$ 比 $N_4$

具有更低的能量,而 $P_4$ 比 $P_2$ 具有更低的能量,能量越低越稳定

### 【答题模型】

提取要解释的性质

联系与该性质相关的因素

解答

熔 沸点	晶体类型、氢键、相对分子质量、键能大小等
电离能	对应原子或离子的最外层电子排布(全空、半充满、全充满)
分子结构	键角大小判断、 $\pi$ 键和键长、稳定性和键能

分析关键因素所造成的影响

(责任编辑 谢启刚)

子的半径越小,晶格能越大,熔点越高,因阳离子半径  $K^+ > Na^+$ ,所以熔点  $NaCl > KCl$ ,而  $BaO$ 、 $CaO$  阴离子相同,电荷数相同,而阳离子半径  $Ba^{2+} > Ca^{2+}$ ,则熔点  $CaO > BaO$ ;又因阴、阳离子所带电荷越多,晶体的熔点越高,一般来说电荷的影响大于半径的影响,所以四种化合物熔点的高低顺序为  $CaO > BaO > NaCl > KCl$ 。

答案:C

#### 4. 晶体的晶格能。

(1)定义:气态离子形成 1 mol 离子晶体释放的能量,通常取正值,单位:  $kJ \cdot mol^{-1}$ 。

(2)影响因素:①离子所带电荷数:离子所带电荷数越多,晶格能越大。②离子的半径:离子的半径越小,晶格能越大。

(3)与离子晶体性质的关系:晶格能越大,形成的离子晶体越稳定,则熔点越高,硬度越大。

**例 2** 根据表 1 中的相关数据,下列说法正确的是( )。

表 1

离子化合物	离子电荷数	键长/pm	晶格能/ ( $kJ \cdot mol^{-1}$ )	熔点/ $^{\circ}C$	摩氏硬度
NaF	1	231	923	993	3.2
NaCl	1	282	786	801	2.5
MgO	2	210	3 791	2 852	6.5
CaO	2	240	3 401	2 614	4.5

A. 晶格能的大小与正负离子电荷数和距离成正比

B. 晶格能越大,即正负离子间的静电引力越强,晶体的熔点就越高,硬度就越大

C. 表中物质  $CaO$  的晶体最稳定

D.  $NaF$  晶体比  $NaCl$  晶体稳定

**解析:**根据表中的数据可知:①晶格能的大小与正负离子之间的距离成反比;②离子键本质是阴、阳离子间的静电作用,不只是引力,还有斥力等,晶格能越大,即正负离子间的静电作用力越强,晶体的熔点就越高,硬度就越大;③晶格能越大,晶体越稳定,表中所列物质中  $MgO$  的晶体最稳定。④晶格能  $NaF > NaCl$ ,故  $NaF$  晶体比  $NaCl$  晶体稳定。

答案:D

## 二、常见典型离子晶体结构及特点的

### 考查

#### 1. $NaCl$ 型晶体结构(如图 1)。

结构特点:

(1)两离子在晶胞中的位置:一种占顶点、面心,另一种占棱边、体心。

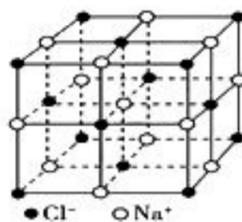


图 1

(2)每个  $Na^+$  ( $Cl^-$ ) 周围紧邻的  $Cl^-$  ( $Na^+$ ) 有 6 个,即配位数为 6,构成正八面体;其

距离为  $\frac{a}{2}$  ( $a$  为晶胞边长)。

(3)每个  $Na^+$  ( $Cl^-$ ) 周围紧邻的  $Na^+$  ( $Cl^-$ ) 有 12 个,其距离为面对角线的一半,即  $\frac{\sqrt{2}}{2}a$  ( $a$  为晶胞边长)。

(4)每个晶胞中含 4 个  $Na^+$  和 4 个  $Cl^-$ ,相当于 4 个  $NaCl$ 。

(5)晶胞的棱长与两离子的半径有关,晶胞边长  $a$  与阴阳离子半径  $r$  的关系为  $a = 2r(Na^+) + 2r(Cl^-)$ 。

#### 例 3 $MgO$ 具有

$NaCl$  型结构(如图 2),其中阴离子采用面心立方最密堆积方式,X 射线衍射实验测得  $MgO$  的晶胞参数为

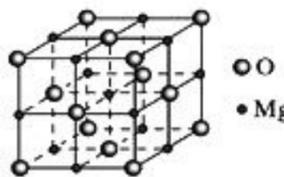


图 2

$a = 0.420 \text{ nm}$ ,则  $r(O^{2-})$  为 \_\_\_\_\_  $\text{nm}$ 。 $MnO$  也属于  $NaCl$  型结构,晶胞参数为  $a' = 0.448 \text{ nm}$ ,则  $r(Mn^{2+})$  为 \_\_\_\_\_  $\text{nm}$ 。

**解析:**依晶胞结构图及题意知,在  $MgO$  中,阴离子  $O^{2-}$  作面心立方堆积, $O^{2-}$  沿晶胞的面对角线方向接触,则有  $\frac{\sqrt{2}}{2}a = 2r(O^{2-})$ , $r(O^{2-}) \approx 0.148 \text{ nm}$ ;  $MnO$  的晶胞参数比  $MgO$  更大,推及阴离子之间并不再接触,而阴、阳离子沿坐标轴方向接触,则  $2[r(Mn^{2+}) + r(O^{2-})] = a'$ ,由前面计算得知  $r(O^{2-}) \approx 0.148 \text{ nm}$ ,则  $r(Mn^{2+}) = 0.076 \text{ nm}$ 。

答案:0.148 0.076

#### 2. $CsCl$ 型晶体结构(如图 3)。

结构特点:

(1)两种离子在晶胞中的位置:一种占 8

个顶点,另一种占体心。

(2)每个  $\text{Cs}^+$  ( $\text{Cl}^-$ ) 周围紧邻的  $\text{Cl}^-$  ( $\text{Cs}^+$ ) 有 8 个,即配位数为 8。

(3)每个  $\text{Cs}^+$  ( $\text{Cl}^-$ ) 周围紧邻的  $\text{Cs}^+$  ( $\text{Cl}^-$ ) 有 6 个,构成正八面体。

(4)每个晶胞中含 1 个  $\text{Cs}^+$  和 1 个  $\text{Cl}^-$ ,相当于 1 个  $\text{CsCl}$ 。

(5)晶胞的体对角线与两离子半径有关,晶胞边长  $a$  与阴阳离子半径  $r$  的关系为  $\sqrt{3}a = 2r(\text{Cs}^+) + 2r(\text{Cl}^-)$ 。

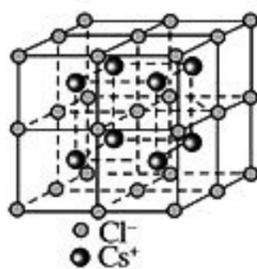


图 3

### 3. $\text{CaF}_2$ 型晶体结构(如图 4)。

结构特点:

(1)两离子在晶胞中的位置: $\text{Ca}^{2+}$  占顶点、面心, $\text{F}^-$  体内。

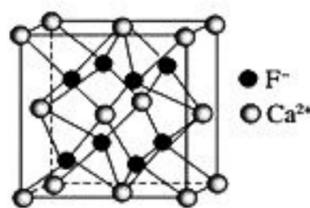


图 4

(2)每个  $\text{Ca}^{2+}$  周围紧邻的  $\text{F}^-$  有 8 个,即配位数为 8。

(3)每个  $\text{F}^-$  周围紧邻的  $\text{Ca}^{2+}$  有 4 个,即配位数为 4。

(4)每个晶胞中含 8 个  $\text{F}^-$  和 4 个  $\text{Ca}^{2+}$ ,相当于 2 个  $\text{CaF}_2$ 。

(5)晶胞的体对角线与两离子半径有关,晶胞边长  $a$  与阴阳离子半径  $r$  的关系为  $a = 2\{[2r(\text{Ca}^{2+}) + 2r(\text{F}^-)]/\sqrt{3}\}$ 。

**例 4** (1)从  $\text{NaCl}$  或  $\text{CsCl}$  晶体结构中分割出来的部分结构如图 5 所示,其中属于从  $\text{NaCl}$  晶体中分割出来的结构图为\_\_\_\_\_。

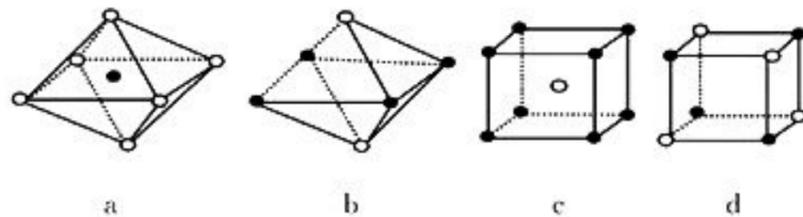


图 5

- A. 图 a 和图 c      B. 图 b 和图 c  
C. 图 a 和图 d      D. 只有图 d

(2)在冰晶石( $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ )晶胞中, $[\text{AlF}_6]^{3-}$  占据的位置相当于  $\text{NaCl}$  晶胞中  $\text{Cl}^-$  占据的位置,则冰晶石晶胞中含  $\text{Na}^+$  个数为\_\_\_\_\_。

- A. 12      B. 4      C. 8      D. 3

**解析:**(1)本题考查了离子晶体的代表物质  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CsCl}$  晶体结构,由于  $\text{NaCl}$  晶体是简单立方体结构,每个  $\text{Na}^+$  周围有 6 个  $\text{Cl}^-$ ,每个  $\text{Cl}^-$  周围有 6 个  $\text{Na}^+$ ;与每个  $\text{Na}^+$  紧邻的  $\text{Cl}^-$  有 6 个,且构成正八面体,同理,与每个  $\text{Cl}^-$  紧邻的 6 个  $\text{Na}^+$  也构成正八面体,即配位数为 6,从配位数上去分析,可知图 a 和图 d 是属于  $\text{NaCl}$  晶体的。

(2)一个  $\text{NaCl}$  晶胞中所含  $\text{Cl}^-$  个数为  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ ,由题意知,冰晶石晶胞中  $[\text{AlF}_6]^{3-}$  也应为 4,又因为化学式  $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$  中  $\text{Na}^+$  和  $[\text{AlF}_6]^{3-}$  的个数比为 3:1,所以冰晶石晶胞中含  $\text{Na}^+$  个数为  $4 \times 3 = 12$ 。

**答案:**B A

### 三、晶体结构计算的考查

晶胞计算是考查晶体的重要知识点之一,也是考查考生分析问题、解决问题的能力。晶体结构的计算中常涉及如下数据:晶体密度、 $N_A$ 、 $M$ 、晶体体积、微粒间距离、微粒半径等。解决这类题,既要熟悉常见晶体的结构特征,又要有扎实的立体几何知识,同时还要掌握晶体“均摊法”的原理,常见晶胞模型的均摊法归纳如下:

#### 1. 晶体化学式的求法——均摊法。

(1)平行六面体或立方体晶胞中:①处于顶点上的粒子被 8 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{8}$ ;②处于棱上的粒子被 4 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{4}$ ;③处于面心上的粒子被 2 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{2}$ ;④处于晶胞内部的粒子,晶胞完全占有该粒子。

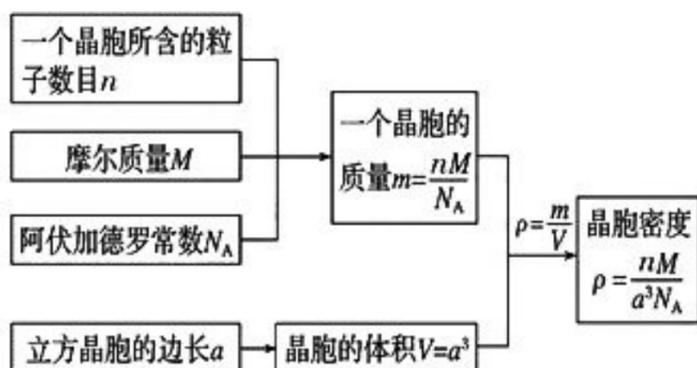
(2)直六棱柱晶胞中:①处于顶点上的粒子被 6 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{6}$ ;②处于水平棱上的粒子被 4 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{4}$ ;③处于竖直棱上的粒子被 3 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{3}$ ;④处

于面心上的粒子被 2 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{2}$ ;⑤处于晶胞内部的粒子,晶胞完全占有该粒子。

(3)直三棱柱晶胞中:①处于顶点上的粒子被 12 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{12}$ ;②处于水平棱上的粒子被 4 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{4}$ ;③处于竖直棱上的粒子被 6 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{6}$ ;④处于面心上的粒子被 2 个晶胞共用,晶胞占有该粒子的  $\frac{1}{2}$ ;⑤处于晶胞内部的粒子,晶胞完全占有该粒子。

2. 寻找有关晶胞各物理量的关系并计算。

对于立方晶胞,晶体密度、 $N_A$ 、 $M$ 、晶体体积、微粒间距离、微粒半径等,通常可用下面的公式进行各物理量的计算: $a^3 \times \rho \times N_A = n \times M$ , $a$  表示晶胞的棱长, $\rho$  表示密度, $N_A$  表示阿伏加德罗常数, $n$  表示 1 mol 晶胞中所含晶体的物质的量, $M$  表示相对分子质量, $a^3 \times \rho \times N_A$  表示 1 mol 晶胞的质量,其相互转化关系如下:



**例 5** 图 6 是氯化铯晶体的晶胞,已知晶体中两个最近的  $\text{Cs}^+$  离子核间距离为  $a$  cm,氯化铯的相对分子质量为  $M$ , $N_A$  为阿伏加德罗常数,则氯化铯晶体密度是( )。

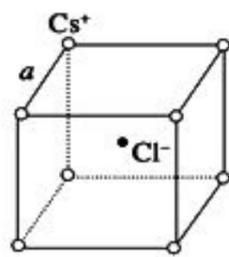


图 6

- A.  $\frac{M}{N_A a^3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$       B.  $\frac{Ma^3}{8N_A} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$   
C.  $\frac{8M}{N_A a^3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$       D.  $\frac{Ma^3}{N_A} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

解析:处于顶角的离子同时为 8 个晶胞

所共有,每个离子有  $\frac{1}{8}$  属于该晶胞,处于晶胞体内的离子,全部属于晶胞,可知 1 个氯化铯晶胞拥有 1 个  $\text{Cs}^+$  和 1 个  $\text{Cl}^-$ 。则 1 mol 氯化铯的体积为  $N_A a^3 \text{ cm}^3$ ,故氯化铯晶体的密度为  $\frac{M}{N_A a^3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

答案:A

3. 确定原子坐标参数。

确定原子坐标参数,即表示晶胞内部各原子的相对位置。

**例 6** 钴的一种化合物的晶胞结构如图 7 所示,已知 A 点的原子坐标参数为  $(0, 0, 0)$ ,B 点为  $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ ,下列说法中错误的是( )。

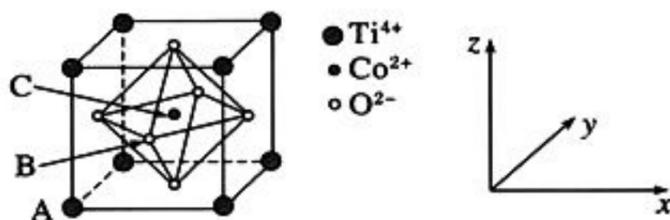


图 7

- A. 配合物中  $\text{Co}^{2+}$  价电子排布式为  $3d^7$   
B. 距离  $\text{Co}^{2+}$  最近且等距的  $\text{O}^{2-}$  的数目为 6

C. C 点的原子坐标参数为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$

D. 该物质的化学式为  $\text{TiCoO}_3$

解析:由于钴原子的价电子排布式为  $3d^7 4s^2$ ,所以  $\text{Co}^{2+}$  离子的价电子排布式为  $3d^7$ ,A 项正确。由晶胞结构知, $\text{Co}^{2+}$  紧邻的  $\text{O}^{2-}$  构成正八面体,其数目为 6,B 项正确。由于 A 点的原子坐标参数为  $(0, 0, 0)$ ,B 点为  $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$  可知,晶胞的边长为 1,C 点则位于体心,其原子坐标参数为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ ,C 项错误。由晶胞结构可知,晶胞中顶点的  $\text{Ti}^{4+}$  离子的个数为  $8 \times \frac{1}{8} = 1$ ,体心上的  $\text{Co}^{2+}$  离子的个数为 1,面心上的  $\text{O}^{2-}$  离子的个数为  $6 \times \frac{1}{2} = 3$ ,则该物质的化学式为  $\text{TiCoO}_3$ ,D 项正确。

答案:C

(责任编辑 谢启刚)

## 原子结构和元素周期律相关试题类型总结

■河南省郑州市第一中学 刘善超 王逢云

原子结构、元素周期律等知识是高考考查的热点,主要以选择题的形式呈现。笔者对近几年高考中的相关试题进行了归纳和整合,以便给同学们提供一个做题的方法和思路,希望能对广大考生的复习备考有所帮助。

### 第一类:常规型

**例1** 原子序数依次增大的元素 a、b、c、d,它们的最外层电子数分别为 1、6、7、1。 $a^-$  的电子层结构与氦相同,b 和 c 的次外层有 8 个电子, $c^-$  和  $d^+$  的电子层结构相同。下列叙述错误的是( )。

- A. 元素的非金属性次序为  $c > b > a$
- B. a 和其他 3 种元素均能形成共价化合物
- C. d 和其他 3 种元素均能形成离子化合物
- D. 元素 a、b、c 各自最高和最低化合价的代数和分别为 0、4、6

答案:B

点拨:本题属于这部分内容的常规题型,其中元素的推断是基础,可以说推出元素才是做出此类试题的第一环节,推出元素后还要根据选项逐一分析,各个击破。本题难度适中,但是在审题的过程中,同学们要注意到“b 和 c 的次外层有 8 个电子”,说明 b 和 c 为第 3 周期的元素。

### 第二类:有机型

**例2** 短周期元素 W、X、Y、Z 的原子序数依次增加。m、p、r 是由这些元素组成的二元化合物。n 是元素 Z 的单质,通常为黄绿色气体,q 的水溶液具有漂白性, $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  r 溶液的 pH 为 2,s 通常是难溶于水的混合物。上述物质的转化关系如图 1 所示。下列说法正确的是( )。



图 1

- A. 原子半径的大小  $W < X < Y$
- B. 元素的非金属性  $Z > X > Y$
- C. Y 的氢化物常温常压下为液态
- D. X 的最高价氧化物的水化物为强酸

解析:短周期元素 W、X、Y、Z 的原子序数依次增加,经推导,元素分别为 H、C、O、Cl。这里需要注意的是,物质 p 为烃,不一定为  $\text{CH}_4$ 。在 W、X、Y 中,X 原子的半径最大,选项 A 错误。在 X、Y、Z 中,Y 的非金属性最强,选项 B 错误。Y 为氧元素,Y 的氢化物为  $\text{H}_2\text{O}$  或  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,常温常压下为液态,选项 C 正确。X 为 C 元素,其最高价氧化物对应的水化物碳酸为弱酸,选项 D 错误。

答案:C

点拨:本题是把有机化学内容渗透到元素周期律里面的试题,出题的方向值得同学们关注。

### 第三类:核化学型

理解原子结构中质子数和质量数的含义,掌握核反应方程式的意义及反应过程中各种微粒的数量关系,准确推断出元素。在核反应方程式中,要保证方程式前元素的质量数之和等于方程式后的质量数之和,方程式前元素的质子数之和等于方程式后的质子数之和。

**例3** 自门捷列夫发现元素周期律以来,人类对自然的认识程度逐步加深,元素周期表中的成员数目不断增加。

回答问题:2016 年 IUPAC 确认了四种新元素,其中一种为 Mc,中文名为“镆”。元素 Mc 可由反应  ${}_{95}^{243}\text{Am} + {}_{20}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}_{115}^{288}\text{Mc} + 3{}_0^1\text{n}$  得到。该元素的质子数为\_\_\_\_,  ${}^{287}\text{Mc}$  与  ${}^{288}\text{Mc}$  互为\_\_\_\_\_。

答案:115 同位素

点拨:2019 年开始考查到了核化学反应的内容,难度不是很大,做题时认真细心即可得分。

**例4** 1934 年约里奥-居里夫妇在核反应中用  $\alpha$  粒子(即氦核  ${}_2^4\text{He}$ )轰击金属原子  ${}_Z^W\text{X}$ ,得到核素  ${}_{Z+2}^{30}\text{Y}$ ,开创了人造放射性核素的先河:  ${}_Z^W\text{X} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{Z+2}^{30}\text{Y} + {}_0^1\text{n}$ 。其中元

素 X、Y 的最外层电子数之和为 8。下列叙述正确的是( )。

- A.  ${}^W_ZX$  的相对原子质量为 26
- B. X、Y 均可形成三氯化物
- C. X 的原子半径小于 Y 的
- D. Y 仅有一种含氧酸

**解析:** 根据题目分析,元素 X 的质量数 W 为 27,关于这一点,若是考生能记住 Al 的原子量为 27,问题就迎刃而解;若是考生没有记住 Al 的原子量,还有一种方法可以预判,一般情况下,大部分短周期元素原子的质量数约为其原子序数的 2 倍,因此可以  $\frac{27}{2} = 13.5$ ,推知元素 X 为 13 号元素或 14 号元素,而通过题中信息“其中元素 X、Y 的最外层电子数之和为 8”,可以推出元素 X 就是 Al。 ${}_{13}^{27}\text{Al}$  的相对原子质量为 27,故 A 项错误。X(Al)、Y(P) 均可形成三氯化物,分别为  $\text{AlCl}_3$ 、 $\text{PCl}_3$ ,故 B 项正确。根据同一周期元素从左到右原子半径依次减小推知,X(Al) 的原子半径大于 Y(P) 的,故 C 项错误。Y(P) 有多种含氧酸,如  $\text{H}_3\text{PO}_2$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_3$  和  $\text{H}_3\text{PO}_4$  等,故 D 项错误。

**答案:**B

**例 5** 用中子轰击  ${}^N_ZX$  原子产生  $\alpha$  粒子(即氦核  ${}^4_2\text{He}$ ) 的核反应为  ${}^N_ZX + {}^1_0n \rightarrow {}^7_pY + {}^4_2\text{He}$ 。已知元素 Y 在化合物中呈 +1 价。下列说法正确的是( )。

- A.  $\text{H}_3\text{XO}_3$  可用于中和溅在皮肤上的 NaOH 溶液
- B. Y 单质在空气中燃烧的产物是  $\text{Y}_2\text{O}_2$
- C. X 和氢元素形成离子化合物
- D.  ${}^6Y$  和  ${}^7Y$  互为同素异形体

**解析:** 根据核反应  ${}^N_ZX + {}^1_0n \rightarrow {}^7_pY + {}^4_2\text{He}$  可知,X 的质量数 N 为  $4+7-1=10$ ,又根据大部分元素原子的质量数是其原子序数的 2 倍,可以推知 X 可能为 5 号元素 B;若 X 为 B 元素,则 Y 为元素 Li,又知元素 Y 在化合物中呈 +1 价,进一步证实 Y 就是元素 Li,其质子数  $p=3$ 。 $\text{H}_3\text{BO}_3$  为弱酸,氢氧化钠溶液具有腐蚀性,若不慎将 NaOH 溶液溅到皮肤上,则需先用大量水冲洗,同时涂抹  $\text{H}_3\text{BO}_3$

中和碱液,故选项 A 正确。Y 为元素 Li,在空气中燃烧的产物只有  $\text{Li}_2\text{O}$ ,故 B 选项错误。X 为元素 B,与氢元素可以形成  $\text{B}_2\text{H}_6$ ,B 元素与 H 元素之间以共价键相结合,属于共价化合物,故选项 C 错误。 ${}^6\text{Li}$  和  ${}^7\text{Li}$  两者的质子数均为 3,中子数不同,所以两者互为同位素,故选项 D 错误。

**答案:**A

#### 第四类:结构式型

**例 6** 科学家合成出了一种新化合物(如图 2 所示),其中 W、X、Y、Z 为同一短周期元素,Z 核外最外层电子数是 X 核外电子数的一半,下列叙述正确的是( )。

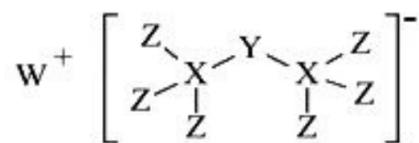


图 2

- A. WZ 的水溶液呈碱性
- B. 元素非金属性的顺序为  $X > Y > Z$
- C. Y 的最高价氧化物的水化物是中强酸
- D. 该新化合物中 Y 不满足 8 电子稳定结构

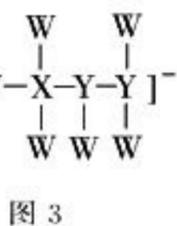
**解析:** W、X、Y、Z 为同一短周期元素,根据图示分析,W 为第 I A 族元素,失去一个电子显示 +1 价,因此 W 可能为 H、Li 或 Na,需要注意的是,离子化合物才能形成图示的结构,因此 W 元素排除了是 H 元素的可能性。在阴离子结构中,有 6 个 Z,并且 Z 原子只形成一个共价键,因此元素 Z 可能为 H、F、Cl 元素,其中 W、X、Y、Z 为同一短周期元素,因此也排除了 Z 是 H 元素的可能性。在阴离子结构中,有 2 个 X,并且每个 X 原子只形成四个共价键,因此 X 为第 IV A 族元素,可能为 C 或 Si 元素。本题最容易推错的是 Y 元素,因为 Y 元素原子连 2 个共价键,很多同学会误认为 Y 元素为第 VI A 族元素,可能为 O 或 S,其实不然,W 元素在失去一个电子后形成的为  $W^+$ ,这个电子只能被 Y 元素得到,这是因为结构中 Y 原子只有 1 个,X 原子有 2 个,Z 原子有 6 个,一般而言,要是得到电子的话,同种元素原子均应该得到电子,即 X 原子需要得到 2 个电子,Z 原子需

要得到6个电子,因此一定是元素Y得到了电子。Y得电子以后形成稳定的8电子结构,并且Y形成了2个共价键,说明Y最外层有5个电子,其中有3个单电子,则Y一定是第VA元素,可能为N或P元素。再根据“Z核外最外层电子数是X核外电子数的一半”,可以推知元素X为Si元素。至此,所有元素全部推出,W、X、Y、Z分别为Na、Si、P、Cl。

**答案:C**

**点拨:**(1)Y为P元素,其最高价氧化物的水化物是 $H_3PO_4$ , $H_3PO_4$ 属于弱酸的范畴,并且是弱酸中酸性较强的一种酸,因此也称为中强酸。(2)关注P元素的其他含氧酸,比如说次磷酸 $H_3PO_2$ 分子中虽然有3个H原子,但是次磷酸为一元弱酸。

**例7** 一种由短周期主族元素组成的化合物(如图3所示),具有良好的储氢性能,其中元素W、X、Y、Z的原子序数依次增大,且总和为24。下列有关叙述错误的是( )。



- A. 该化合物中,W、X、Y之间均为共价键
- B. Z的单质既能与水反应,也可与甲醇反应
- C. Y的最高化合价氧化物的水化物为强酸
- D. X的氟化物 $XF_3$ 中原子均为8电子稳定结构

**解析:**题干主要呈现了两个信息:①短周期主族元素W、X、Y、Z的原子序数依次增大,且总和为24;②物质的结构式图。后者是主要的突破口,W只能形成一个共价单键,Z可形成+1价阳离子,结合原子序数的信息,可推断W为氢元素,Z为钠元素,X有四条单键,两个Y原子均为三条单键,而阴离子团只带一个负电荷,可推断Y形成三条共价键达到稳定结构,为氮元素,根据原子序数和及成键数目,推断X为5号元素硼。根据上述推断,该化合物中,H、B、N之间均以共用电子对形成共价键,A选项正确。Na单质既能与水反应生成氢氧化钠和氢气,也能

与甲醇反应生成甲醇钠和氢气,B选项正确。N的最高价氧化物的水化物 $HNO_3$ 为强酸,C选项正确。 $BF_3$ 中B原子最外层只有6个电子,未达到8电子稳定结构,D选项错误。

**答案:D**

**点拨:**这一类型的题目,化合物的结构式图是重要的突破口,利用结构式图可以判断化学键类型及化合物类型,同时可以判断元素间的共价键数目或离子所带的电荷数,从而推断出元素的最外层电子数。因此同学们要熟练掌握短周期主族元素的电子排布特点和成键特点,熟练掌握化合物的电子式书写规则,能根据陌生物质的结构式,推断元素成键数目或最外层电子数目,达到确定元素的目的。

**例8** 一种麻醉剂的分子结构式如图4所示。其中,X的原子核只有1个质子;元素Y、Z、W原子序数依次增大,且均位于X的下一周期;元素E的原子比W原子多8个电子。下列说法不正确的是( )。

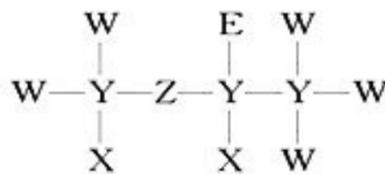


图4

- A.  $XEZ_4$ 是一种强酸
- B. 非金属性: $W > Z > Y$
- C. 原子半径: $Y > W > E$
- D.  $ZW_2$ 中,Z的化合价为+2价

**解析:**题干信息显示,X的原子核只有1个质子,可知X为H元素。“元素Y、Z、W原子序数依次增大,且均位于X的下一周期”,结合题中所给结构式,Y形成4条共价键,可推知Y是C元素。Z形成两条共价键,可推知Z是O元素。W只能形成1条共价键,则W为F元素,而“元素E的原子比W原子多8个电子”,可推知E为Cl元素。根据上述推断,可知 $XEZ_4$ 是 $HClO_4$ ,是一种强酸,A项正确。同一周期主族元素从左至右非金属性逐渐增强,所以非金属性 $F > O > C$ ,B项正确。同一主族元素从上至下原子半径逐渐增大,原子半径 $Cl > F$ ,C项错误。在 $OF_2$ 中,F为-1价,则O的化合价为+2价,D项正确。

答案:C

### 第五类:半衰期型

半衰期:放射性元素衰变到原来一半数量所需的时间,天然存在的放射性元素具有一定的半衰期。

**例9** 放射性同位素 $^{14}\text{C}$ 可用来推算文物的“年龄”。 $^{14}\text{C}$ 的含量每减少一半要经过约5 730年。某考古小组挖掘到一块动物骨骼,经测定 $^{14}\text{C}$ 还剩余 $\frac{1}{8}$ ,推测该动物生存年代距今约为( )。

- A.  $5\ 730 \times 3$ 年      B.  $5\ 730 \times 4$ 年  
C.  $5\ 730 \times 6$ 年      D.  $5\ 730 \times 8$ 年

答案:A

点拨:本题是2007年高考题,虽然这种题型在目前高考真题中出现的频率低些,但是同学们可以关注一下这类题型,近几年高考考到的几率还是有的。

### 第六类:其他类型

**例10** X、Y为第三周期元素,Y最高正价与最低负价的代数和为6,二者形成的一种化合物能以 $[\text{XY}_4]^+[\text{XY}_6]^-$ 的形式存在。下列说法错误的是( )。

- A. 原子半径: $X > Y$   
B. 简单氢化物的还原性: $X > Y$   
C. 同周期元素形成的单质中Y氧化性最强  
D. 同周期中第一电离能小于X的元素有4种

答案:D

点拨:利用题中所给的信息可以推导出Y是Cl元素,然后根据 $[\text{XCl}_4]^+$ 或者 $[\text{XCl}_6]^-$ 均可以推出X为+5价的P元素,因此本题难度并不大。本题是由一道全国高中生化学竞赛试题改编而成的。通过这道试题可以看出,同学们要适当拓展知识面,若是平时学习的过程中已经了解过这些信息,一旦在考试中出现此类试题,就能够轻松推出相应的元素,达到事半功倍的效果。

**【反馈练习】**(关于月球土壤方面的内容)

1. 人类探测月球发现,在月球的土壤中含有较丰富的质量数为3的氦,它可以作为

未来核聚变的重要原料之一。氦的该种同位素应表示为( )。

- A.  $^4_2\text{He}$     B.  $^3_2\text{He}$     C.  $^4_3\text{He}$     D.  $^3_3\text{He}$

2. 我国的“神舟五号”载人飞船已发射成功,“嫦娥”探月工程也已正式启动。据科学家预测,月球的土壤中吸附着数百万吨的 $^3_2\text{He}$ ,每百吨 $^3_2\text{He}$ 核聚变所释放出的能量相当于目前人类一年消耗的能量。在地球上,氦元素主要以 $^4_2\text{He}$ 的形式存在。下列说法正确的是( )。

- A.  $^4_2\text{He}$ 原子核内含有4个质子  
B.  $^3_2\text{He}$ 和 $^4_2\text{He}$ 互为同位素  
C.  $^3_2\text{He}$ 原子核内含有3个中子  
D.  $^4_2\text{He}$ 的最外层电子数为2,所以 $^4_2\text{He}$ 具有较强的金属性

3. 据报道,月球上有大量 $^3\text{He}$ 存在,以下关于 $^3\text{He}$ 的说法正确的是( )。

- A.  $^3\text{He}$ 是 $^4\text{He}$ 的同分异构体  
B.  $^3\text{He}$ 比 $^4\text{He}$ 多一个中子  
C.  $^3\text{He}$ 是 $^4\text{He}$ 的同位素  
D.  $^3\text{He}$ 比 $^4\text{He}$ 少一个质子

4. 地球上氦元素主要以 $^4\text{He}$ 形式存在,而月球土壤中吸附着数百万吨 $^3\text{He}$ ,据估算 $^3\text{He}$ 核聚变所释放的能量可供人类使用上万年。下列说法正确的是( )。

- ① $^3\text{He}$ 、 $^4\text{He}$ 的化学性质基本相同  
② $^3\text{He}$ 、 $^4\text{He}$ 具有相同的中子数  
③ $^3\text{He}$ 核聚变是化学变化  
④ $^3\text{He}$ 液化是物理变化

- A. ①②    B. ①④    C. ②③    D. ③④

5. 我国嫦娥五号探测器带回1.731 kg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:1. B    2. B    3. C    4. B    5. B

(责任编辑 谢启刚)

# 山东省2022年普通高中学业水平等级考试

## 化学试题解析及主观题参考评分标准

■湖北省教育考试院

张思佩

■湖北省武汉外国语学校

孟凡盛(特级教师)

总体评价:本套化学试题很好地落实了“评价学生化学学科核心素养的发展状况和学业质量标准的达成程度”的考试目的,体现了新课程改革的理念。试题设计恰到好处地融合了必修模块和选择性必修模块的内容,考查的知识综合性强、信息丰富、形式多样、考查能力层次分明。试卷难度符合赋分制新高考背景要求,区分度高。

### 【试题部分】

可能用到的相对原子质量:H 1 C 12  
O 16 S 32 Cl 35.5 Ti 48 Co 59

一、选择题:本题共 10 小题,每小题 2 分。每小题只有一个选项符合题目要求。

1. 古医典富载化学知识,下述之物见其氧化性者为( )。

- A. 金(Au):“虽被火亦未熟”
- B. 石灰(CaO):“以水沃之,即热蒸而解”
- C. 石硫黄(S):“能化……银、铜、铁,奇物”
- D. 石钟乳(CaCO<sub>3</sub>):“色黄,以苦酒(醋)洗刷则白”

2. 下列试剂实验室保存方法错误的是( )。

- A. 浓硝酸保存在棕色细口瓶中
- B. 氢氧化钠固体保存在广口塑料瓶中
- C. 四氯化碳保存在广口塑料瓶中
- D. 高锰酸钾固体保存在棕色广口瓶中

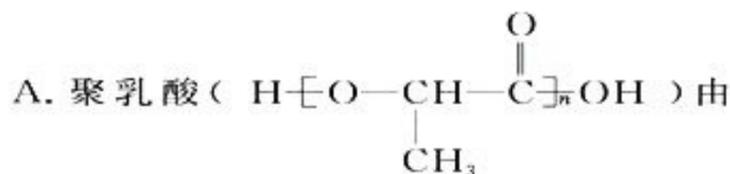
3. <sup>13</sup><sub>8</sub>O、<sup>15</sup><sub>8</sub>O 的半衰期很短,自然界中不能稳定存在。人工合成反应如下:<sup>16</sup><sub>8</sub>O + <sup>3</sup><sub>2</sub>He → <sup>13</sup><sub>8</sub>O + <sup>a</sup><sub>b</sub>X; <sup>16</sup><sub>8</sub>O + <sup>3</sup><sub>2</sub>He → <sup>15</sup><sub>8</sub>O + <sup>m</sup><sub>n</sub>Y。下列说法正确的是( )。

- A. X 的中子数为 2
- B. X、Y 互为同位素
- C. <sup>13</sup><sub>8</sub>O、<sup>15</sup><sub>8</sub>O 可用作示踪原子研究化学反

应历程

D. 自然界不存在 <sup>13</sup><sub>8</sub>O<sub>2</sub>、<sup>15</sup><sub>8</sub>O<sub>2</sub> 分子是因其化学键不稳定

4. 下列高分子材料制备方法正确的是( )。



乳酸经加聚反应制备

B. 聚四氟乙烯( $[\text{CF}_2-\text{CF}_2]_n$ )由四氟乙烯经加聚反应制备

C. 尼龙-66( $\text{H}[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-(\text{CH}_2)_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}]_n\text{OH}$ )由己胺和己酸经缩聚反应制备

D. 聚乙烯醇( $[\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}]_n$ )由聚乙酸乙烯酯( $[\text{CH}_2-\underset{\text{OOCCH}_3}{\text{CH}}]_n$ )经消去反应制备

5. AlN、GaN 属于第三代半导体材料,二者成键结构与金刚石相似,晶体中只存在 N—Al 键、N—Ga 键。下列说法错误的是( )。

- A. GaN 的熔点高于 AlN
- B. 晶体中所有化学键均为极性键
- C. 晶体中所有原子均采取 sp<sup>3</sup> 杂化
- D. 晶体中所有原子的配位数均相同

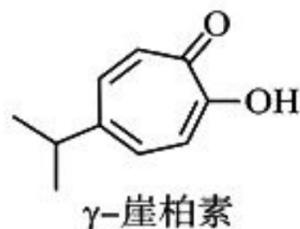
6. 实验室用基准 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 配制标准溶液并标定盐酸浓度,应选甲基橙为指示剂,并以盐酸滴定 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 标准溶液。下列说法错误的是( )。

- A. 可用量筒量取 25.00 mL Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 标准溶液置于锥形瓶中
- B. 应选用配带塑料塞的容量瓶配制

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 标准溶液

- C. 应选用烧杯而非称量纸称量 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 固体  
D. 达到滴定终点时溶液显橙色

7.  $\gamma$ -崖柏素具天然活性,有酚的通性,结构如下。关于  $\gamma$ -崖柏素的说法错误的是( )。

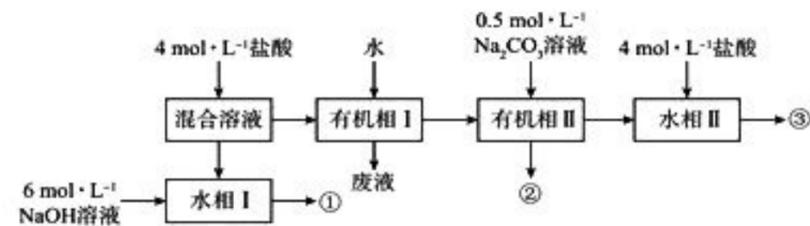


- A. 可与溴水发生取代反应  
B. 可与 NaHCO<sub>3</sub> 溶液反应  
C. 分子中的碳原子不可能全部共平面  
D. 与足量 H<sub>2</sub> 加成后,产物分子中含手性碳原子

8. 实验室制备 KMnO<sub>4</sub> 过程为:①高温下在熔融强碱性介质中用 KClO<sub>3</sub> 氧化 MnO<sub>2</sub> 制备 K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>;②水溶后冷却,调溶液 pH 至弱碱性, K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub> 歧化生成 KMnO<sub>4</sub> 和 MnO<sub>2</sub>;③减压过滤,将滤液蒸发浓缩、冷却结晶,再减压过滤得 KMnO<sub>4</sub>。下列说法正确的是( )。

- A. ①中用瓷坩埚作反应器  
B. ①中用 NaOH 作强碱性介质  
C. ②中 K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub> 只体现氧化性  
D. MnO<sub>2</sub> 转化为 KMnO<sub>4</sub> 的理论转化率约为 66.7%

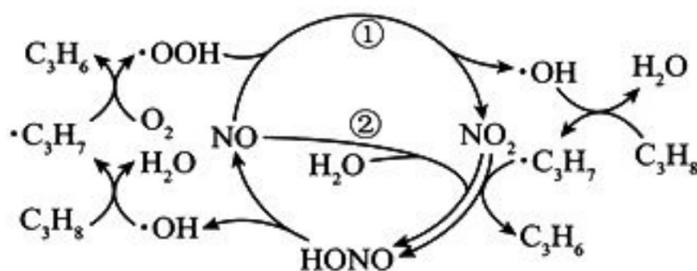
9. 已知苯胺(液体)、苯甲酸(固体)微溶于水,苯胺盐酸盐易溶于水。实验室初步分离甲苯、苯胺、苯甲酸混合溶液的流程如下。下列说法正确的是( )。



- A. 苯胺既可与盐酸也可与 NaOH 溶液反应  
B. 由①③分别获取相应粗品时可采用相同的操作方法  
C. 苯胺、甲苯、苯甲酸粗品依次由①②③获得

D. ①②③均为两相混合体系

10. 在 NO 催化下,丙烷与氧气反应制备丙烯的部分反应机理如下所示。下列说法错误的是( )。



- A. 含 N 分子参与的反应一定有电子转移  
B. 由 NO 生成 HONO 的反应历程有 2 种  
C. 增大 NO 的量, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 的平衡转化率不变  
D. 当主要发生包含②的历程时,最终生成的水减少

二、选择题:本题共 5 小题,每小题 4 分。每小题有一个或两个选项符合题目要求,全部选对得 4 分,选对但不全的得 2 分,有选错的得 0 分。

11. 某同学按图 1 所示装置进行实验,欲使瓶中少量固体粉末最终消失并得到澄清溶液。下列物质组合不符合要求的是( )。

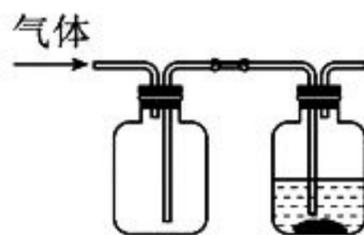
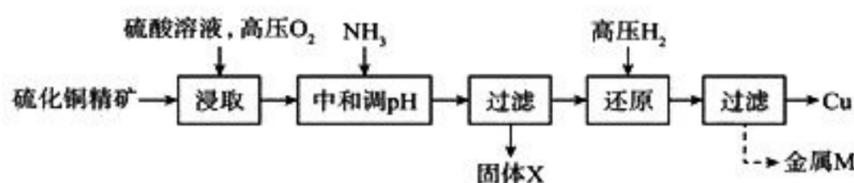


图 1

	气体	液体	固体粉末
A	CO <sub>2</sub>	饱和 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 溶液	CaCO <sub>3</sub>
B	Cl <sub>2</sub>	FeCl <sub>2</sub> 溶液	Fe
C	HCl	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 溶液	Cu
D	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	AgCl

12. 高压氢还原法可直接从溶液中提取金属粉。以硫化铜精矿(含 Zn、Fe 元素的杂质)为主要原料制备 Cu 粉的工艺流程如下。



可能用到的数据见表 1。

表 1

	Fe(OH) <sub>3</sub>	Cu(OH) <sub>2</sub>	Zn(OH) <sub>2</sub>
开始沉淀 pH	1.9	4.2	6.2
沉淀完全 pH	3.2	6.7	8.2

下列说法错误的是( )。

- A. 固体 X 主要成分是 Fe(OH)<sub>3</sub> 和 S, 金属 M 为 Zn  
 B. 浸取时, 增大 O<sub>2</sub> 压强可促进金属离子浸出  
 C. 中和调 pH 的范围为 3.2~4.2  
 D. 还原时, 增大溶液酸度有利于 Cu 的生成

13. 设计如图 2 所示装置回收金属钴。保持细菌所在环境 pH 稳定, 借助其降解乙酸盐生成 CO<sub>2</sub>, 将废旧锂离子电池的正极材料 LiCoO<sub>2</sub> 转化为 Co<sup>2+</sup>, 工作时保持厌氧环境, 并定时将乙室溶液转移至甲室。已知电极材料均为石墨材质, 右侧装置为原电池。下列说法正确的是( )。

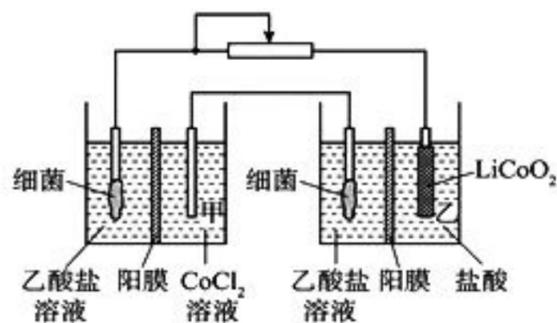


图 2

- A. 装置工作时, 甲室溶液 pH 逐渐增大  
 B. 装置工作一段时间后, 乙室应补充盐酸  
 C. 乙室电极反应式为  $\text{LiCoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Li}^+ + \text{Co}^{2+} + 4\text{OH}^-$   
 D. 若甲室 Co<sup>2+</sup> 减少 200 mg, 乙室 Co<sup>2+</sup> 增加 300 mg, 则此时已进行过溶液转移

14. 工业上以 SrSO<sub>4</sub>(s) 为原料生产 SrCO<sub>3</sub>(s), 对其工艺条件进行研究。现有含 SrCO<sub>3</sub>(s) 的 0.1 mol · L<sup>-1</sup>、1.0 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液, 含 SrSO<sub>4</sub>(s) 的 0.1 mol · L<sup>-1</sup>、1.0 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液。在一定 pH 范围内, 四种溶液中 lg[c(Sr<sup>2+</sup>)/mol · L<sup>-1</sup>] 随 pH 的变化关系如图 3 所示。下列说法错误的是( )。

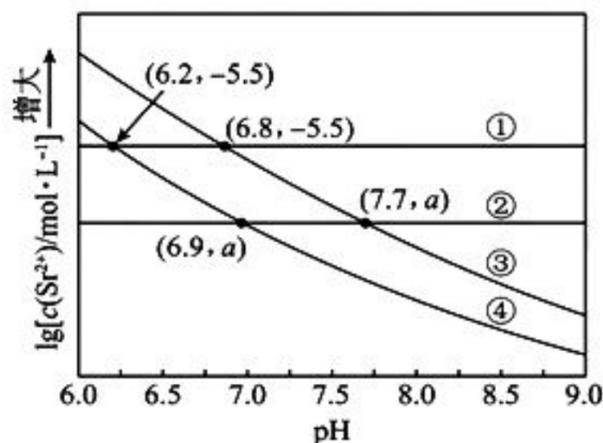


图 3

- A. 反应  $\text{SrSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{SrCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}$  的平衡常数  $K = \frac{K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{SrCO}_3)}$   
 B.  $a = -6.5$   
 C. 曲线④代表含 SrCO<sub>3</sub>(s) 的 1.0 mol · L<sup>-1</sup> 溶液的变化曲线  
 D. 对含 SrSO<sub>4</sub>(s) 且 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 初始浓度均为 1.0 mol · L<sup>-1</sup> 的混合溶液, pH ≥ 7.7 时才发生沉淀转化

15. Cu<sub>2-x</sub>Se 是一种钠离子电池正极材料, 充放电过程中正极材料立方晶胞(示意图)的组成变化如图 4 所示, 晶胞内未标出因放电产生的 0 价 Cu 原子。下列说法正确的是( )。

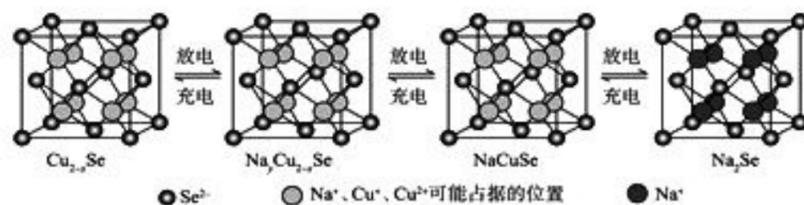


图 4

- A. 每个 Cu<sub>2-x</sub>Se 晶胞中 Cu<sup>2+</sup> 个数为 x  
 B. 每个 Na<sub>2</sub>Se 晶胞完全转化为 Cu<sub>2-x</sub>Se 晶胞, 转移电子数为 8  
 C. 每个 NaCuSe 晶胞中 0 价 Cu 原子个数为 1-x  
 D. 当 Na<sub>y</sub>Cu<sub>2-x</sub>Se 转化为 NaCuSe 时, 每转移(1-y) mol 电子, 产生(1-x) mol Cu 原子

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 60 分。

16. (12 分) 研究笼形包合物结构和性质具有重要意义。化学式为 Ni(CN)<sub>x</sub> · Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>y</sub> · zC<sub>6</sub>H<sub>6</sub> 的笼形包合物四方晶胞结构如图 5 所示(H 原子未画出), 每个苯环只有一半属于该晶胞。晶胞参

数为  $a=b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。回答下列问题:

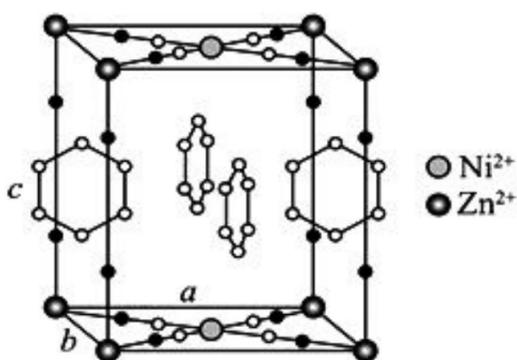
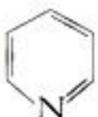


图5

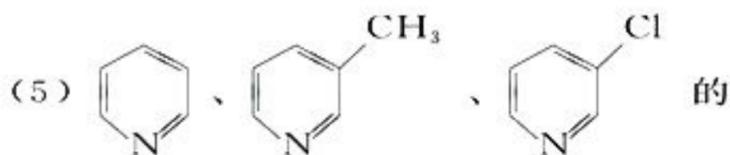
(1) 基态 Ni 原子的价电子排布式为\_\_\_\_, 在元素周期表中位置为\_\_\_\_。

(2) 晶胞中 N 原子均参与形成配位键,  $\text{Ni}^{2+}$  与  $\text{Zn}^{2+}$  的配位数之比为\_\_\_\_;  $x:y:z = \_\_\_\_;$  晶胞中有 d 轨道参与杂化的金属离子是\_\_\_\_。

(3) 吡啶(  ) 替代苯也可形成类似的笼形包合物。已知吡啶中含有与苯类似的  $\pi_6^6$  大  $\pi$  键, 则吡啶中 N 原子的价层孤电子对占据\_\_\_\_(填标号)。

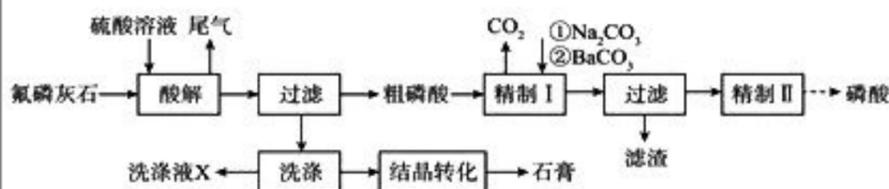
- A. 2s 轨道      B. 2p 轨道  
C. sp 杂化轨道      D.  $sp^2$  杂化轨道

(4) 在水中的溶解度, 吡啶远大于苯, 主要原因是①\_\_\_\_, ②\_\_\_\_。



碱性随 N 原子电子云密度的增大而增强, 其中碱性最弱的是\_\_\_\_。

17. (13 分) 工业上以氟磷灰石  $[\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3]$ , 含  $\text{SiO}_2$  等杂质] 为原料生产磷酸和石膏, 工艺流程如下。



回答下列问题:

(1) 酸解时有 HF 产生。氢氟酸与  $\text{SiO}_2$  反应生成二元强酸  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , 离子方程式为\_\_\_\_。

(2) 部分盐的溶度积常数见表 2。精制 I 中,

按物质的量之比  $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) : n(\text{SiF}_6^{2-}) = 1 : 1$  加入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  脱氟, 充分反应后,  $c(\text{Na}^+) = \_\_\_\_ \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 再分批加入一定量的  $\text{BaCO}_3$ , 首先转化为沉淀的离子是\_\_\_\_。

表 2

	$\text{BaSiF}_6$	$\text{Na}_2\text{SiF}_6$	$\text{CaSO}_4$	$\text{BaSO}_4$
$K_{sp}$	$1.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$9.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-10}$

(3)  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度(以  $\text{SO}_3\%$  计)在一定范围时, 石膏存在形式与温度、 $\text{H}_3\text{PO}_4$  浓度(以  $\text{P}_2\text{O}_5\%$  计)的关系如图 6 所示。酸解后, 在所得  $100^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%$  为 45 的混合体系中, 石膏存在形式为\_\_\_\_(填化学式); 洗涤时使用一定浓度的硫酸溶液而不使用水, 原因是\_\_\_\_, 回收利用洗涤液 X 的操作单元是\_\_\_\_; 一定温度下, 石膏存在形式与溶液中  $\text{P}_2\text{O}_5\%$  和  $\text{SO}_3\%$  的关系如图 7 所示, 下列条件能实现酸解所得石膏结晶转化的是\_\_\_\_(填标号)。

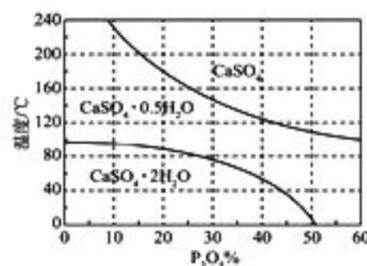


图 6

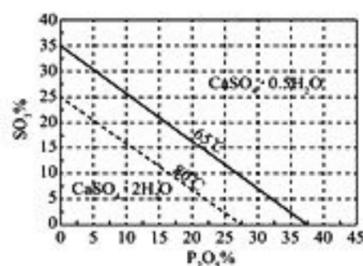


图 7

- A.  $65^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\% = 15$ 、 $\text{SO}_3\% = 15$   
B.  $80^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\% = 10$ 、 $\text{SO}_3\% = 20$   
C.  $65^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\% = 10$ 、 $\text{SO}_3\% = 30$   
D.  $80^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\% = 10$ 、 $\text{SO}_3\% = 10$

18. (12 分) 实验室利用  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  和亚硫酰氯( $\text{SOCl}_2$ ) 制备无水  $\text{FeCl}_2$  的装置如下页图 8 所示(加热及夹持装置略)。已知  $\text{SOCl}_2$  沸点为  $76^\circ\text{C}$ , 遇水极易反应生成两种酸性气体。回答下列问题:

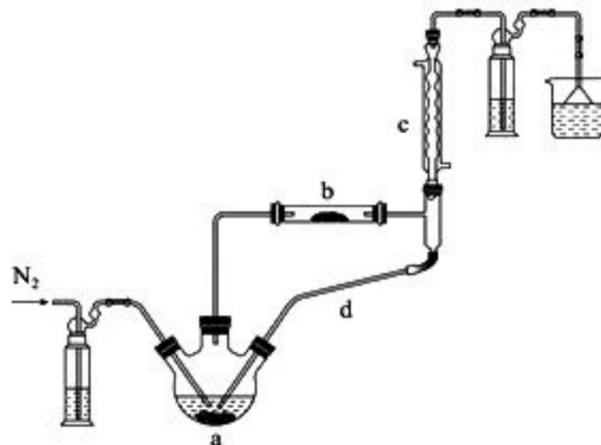


图 8

(1)实验开始先通  $N_2$ 。一段时间后,先加热装置\_\_\_\_(填“a”或“b”)。装置 b 内发生反应的化学方程式为\_\_\_\_。装置 c、d 共同起到的作用是\_\_\_\_\_。

(2)现有含少量杂质的  $FeCl_2 \cdot nH_2O$ , 为测定  $n$  值进行如下实验:

实验 I:称取  $m_1$  g 样品,用足量稀硫酸溶解后,用  $c \text{ mol} \cdot L^{-1}$   $K_2Cr_2O_7$  标准溶液滴定  $Fe^{2+}$  达终点时消耗  $V$  mL(滴定过程中  $Cr_2O_7^{2-}$  转化为  $Cr^{3+}$ ,  $Cl^-$  不反应)。

实验 II:另取  $m_1$  g 样品,利用上述装置与足量  $SOCl_2$  反应后,固体质量为  $m_2$  g。

则  $n =$ \_\_\_\_;下列情况会导致  $n$  测量值偏小的是\_\_\_\_(填标号)。

- A. 样品中含少量  $FeO$  杂质
- B. 样品与  $SOCl_2$  反应时失水不充分
- C. 实验 I 中,称重后样品发生了潮解
- D. 滴定达终点时发现滴定管尖嘴内有气泡生成

(3)用上述装置、根据反应  $TiO_2 + CCl_4 \xrightarrow{\Delta} TiCl_4 + CO_2$  制备  $TiCl_4$ 。已知  $TiCl_4$  与  $CCl_4$  分子结构相似,与  $CCl_4$  互溶,但极易水解。选择合适仪器(如图 9)并组装蒸馏装置对  $TiCl_4$ 、 $CCl_4$  混合物进行蒸馏提纯(加热及夹持装置略),安装顺序为①⑨⑧\_\_\_\_(填序号),先馏出的物质为\_\_\_\_\_。

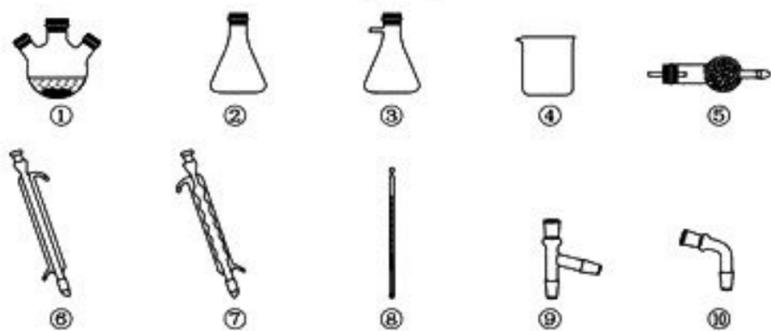
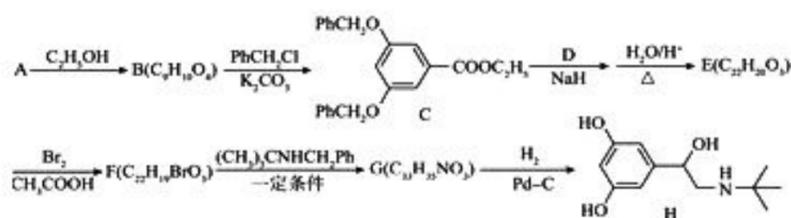
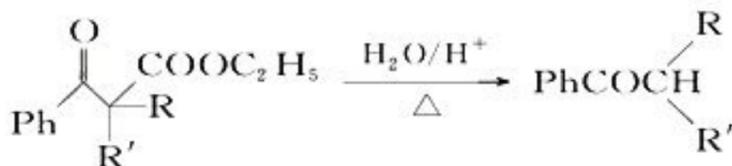
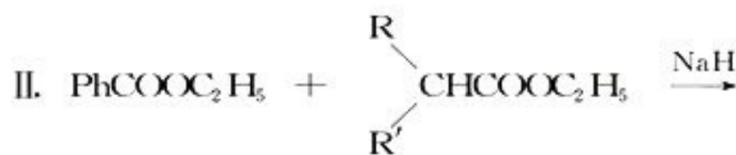
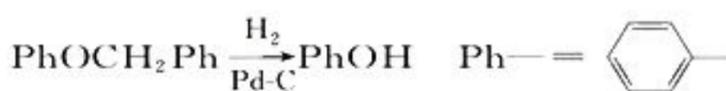


图 9

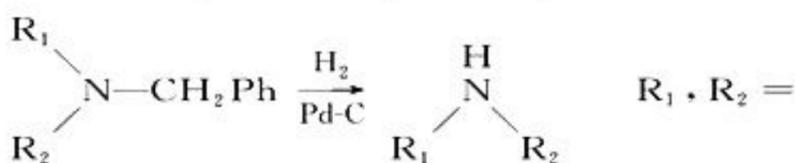
19. (12 分)支气管扩张药物特布他林(H)的一种合成路线如下:



已知:



$R, R' = H, \text{烷基, 酰基}$



烷基

回答下列问题:

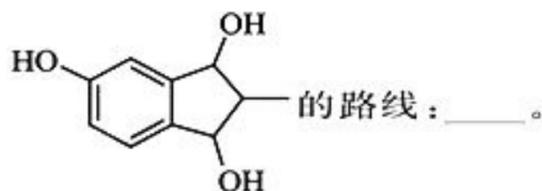
(1)  $A \rightarrow B$  反应条件为\_\_\_\_; B 中含氧官能团有\_\_\_\_种。

(2)  $B \rightarrow C$  反应类型为\_\_\_\_, 该反应的目的是\_\_\_\_\_。

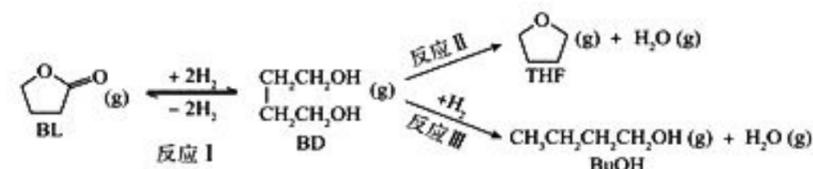
(3) D 结构简式为\_\_\_\_;  $E \rightarrow F$  的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(4) H 的同分异构体中, 仅含有一  $OCH_2CH_3$ 、一  $NH_2$  和苯环结构的有\_\_\_\_种。

(5)根据上述信息, 写出以 4-羟基邻苯二甲酸二乙酯为主要原料制备合成



20. (11 分)利用  $\gamma$ -丁内酯(BL)制备 1,4-丁二醇(BD), 反应过程中伴有生成四氢呋喃(THF)和 1-丁醇(BuOH)的副反应, 涉及反应如下:



已知:①反应 I 为快速平衡, 可认为不受慢反应 II、III 的影响;②因反应 I 在高压  $H_2$  氛围下进行, 故  $H_2$  压强近似等于总压。回答下列问题:

(1)以  $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$  BL 或 BD 为初始

原料,在 493 K、 $3.0 \times 10^3$  kPa 的高压  $H_2$  氛围下,分别在恒压容器中进行反应。达平衡时,以 BL 为原料,体系向环境放热  $X$  kJ;以 BD 为原料,体系从环境吸热  $Y$  kJ。忽略副反应热效应,反应 I 焓变  $\Delta H(493 \text{ K}, 3.0 \times 10^3 \text{ kPa}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2)初始条件同上。 $x_i$  表示某物种  $i$  的物质的量与除  $H_2$  外其他各物种总物质的量之比, $x_{BL}$  和  $x_{BD}$  随时间  $t$  变化关系如图 10 所示。实验测得  $X < Y$ ,则图中表示  $x_{BL}$  变化的曲线是     ;反应 I 平衡常数  $K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}^{-2}$  (保留两位有效数字)。以 BL 为原料时, $t_1$  时刻  $x_{H_2O} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,BD 产率 =      (保留两位有效数字)。

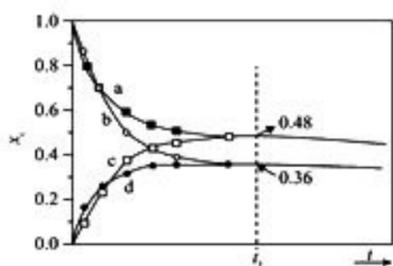


图 10

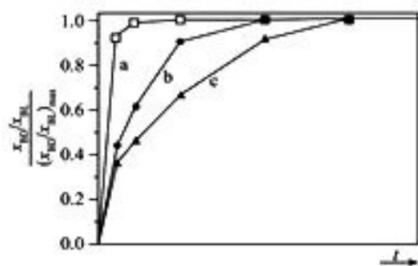


图 11

(3) $(x_{BD}/x_{BL})_{\max}$  为达平衡时  $x_{BD}$  与  $x_{BL}$  的比值。(493 K、 $2.5 \times 10^3$  kPa)、(493 K、 $3.5 \times 10^3$  kPa)、(513 K、 $2.5 \times 10^3$  kPa) 三种条件下,以  $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$  BL 为初始原料,在相同体积的刚性容器中发生反应, $\frac{x_{BD}/x_{BL}}{(x_{BD}/x_{BL})_{\max}}$  随时间  $t$  变化关系如图 11 所示。因反应在高压  $H_2$  氛围下进行,可忽略压强对反应速率的影响。曲线 a、b、c 中, $(x_{BD}/x_{BL})_{\max}$  最大的是      (填代号);与曲线 b 相比,曲线 c 达到  $\frac{x_{BD}/x_{BL}}{(x_{BD}/x_{BL})_{\max}} = 1.0$  所需时间更长,原因是     。

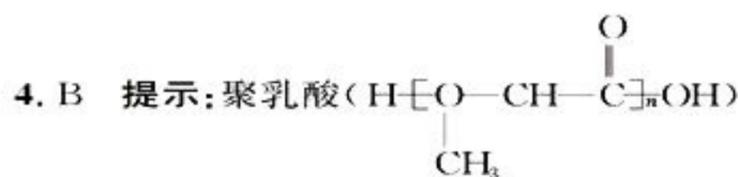
【参考答案及评分标准】

1. C 提示:金(Au)“虽被火亦未熟”,是指金单质在空气中被火灼烧也不反应,即“真金不怕火炼”,说明金的化学性质很稳定,与其氧化性无关,A 项错误。石灰(CaO)“以水沃之,即热蒸而解”,是指  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ,反应放热产生大量的水蒸气,CaO 由块状变为粉末状,未发生氧化还原反应,与

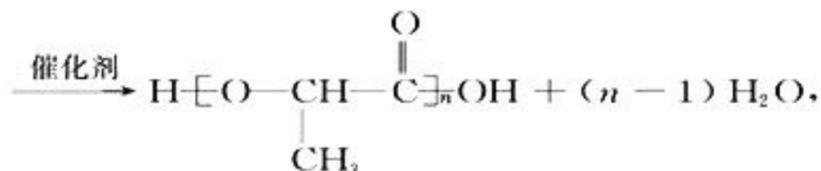
其氧化性无关,B 项错误。石硫黄(S)“能化……银、铜、铁,奇物”,是指  $2\text{Ag} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \text{Ag}_2\text{S}$ , $\text{Fe} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \text{FeS}$ , $2\text{Cu} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \text{Cu}_2\text{S}$ ,反应中 S 作氧化剂,与其氧化性有关,C 项正确。石钟乳( $\text{CaCO}_3$ )“色黄,以苦酒(醋)洗刷则白”,是指  $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} = (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ,未发生氧化还原反应,与其氧化性无关,D 项错误。

2. C 提示:浓硝酸见光或受热易分解( $4\text{HNO}_3 \xrightarrow[\text{或光照}]{\Delta} 4\text{NO}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ),浓硝酸需保存在棕色细口瓶中并存放在阴凉处,A 项正确。氢氧化钠固体为强碱,能与玻璃中的  $\text{SiO}_2$  反应,故保存在广口塑料瓶中,B 项正确。四氯化碳是一种有机溶剂,易挥发,且能够腐蚀塑料,不能保存在广口塑料瓶中,应该保存在细口玻璃瓶中,C 项错误。高锰酸钾固体受热后易分解,需密封保存在棕色广口瓶中,放置在阴冷处,D 项正确。

3. B 提示:根据核反应前后质子数之和相等、质量数之和相等计算: $a = 6, b = 2, m = 4, n = 2$ ,即 X 微粒为  ${}^6_2\text{He}$ ,Y 微粒为  ${}^4_2\text{He}$ 。根据质量数等于质子数加中子数可知,X 微粒( ${}^6_2\text{He}$ )的中子数为 4,A 项错误。X 微粒为  ${}^6_2\text{He}$ ,Y 微粒为  ${}^4_2\text{He}$ ,二者质子数相同,中子数不同,故互为同位素,B 项正确。由题干信息“ ${}^{13}_8\text{O}$  与  ${}^{15}_8\text{O}$  的半衰期很短”,不宜用作示踪原子研究化学反应历程,C 项错误。自然界中不存在  ${}^{13}_8\text{O}_2$  与  ${}^{15}_8\text{O}_2$  是因为  ${}^{13}_8\text{O}$  与  ${}^{15}_8\text{O}$  的半衰期很短,很容易发生核变化,转化为其他原子,D 项错误。



是由乳酸[ $\text{HOCH}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ]分子间脱水发生缩聚反应制备: $n \text{ HOCH}(\text{CH}_3)\text{COOH}$



A 项错误。聚四氟乙烯( $[\text{CF}_2-\text{CF}_2]_n$ )是由四氟乙烯( $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ )经加聚反应制备,

$n\text{CF}_2=\text{CF}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{[-CF}_2-\text{CF}_2\text{]}_n$ , B项正确。

尼龙-66( $\text{H[-NH(CH}_2\text{)}_6\text{)NH-C(=O)(CH}_2\text{)}_4\text{C(=O)-}]_n\text{OH}$ )是由己二胺 [ $\text{H}_2\text{N(CH}_2\text{)}_6\text{NH}_2$ ] 和己二酸 [ $\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COOH}$ ] 经缩聚反应制得,

$n\text{H}_2\text{N(CH}_2\text{)}_6\text{NH}_2 + n \text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COOH} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{H[-NH(CH}_2\text{)}_6\text{)NH-C(=O)(CH}_2\text{)}_4\text{C(=O)-}]_n\text{OH} + (2n-1)\text{H}_2\text{O}$ , 己胺 [ $\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{)}_5\text{NH}_2$ ] 和己酸 [ $\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{)}_4\text{COOH}$ ] 不能发生缩聚反应, C项错误。聚乙烯醇( $\text{[-CH}_2-\text{CH(OH)-}]_n$ )由聚

乙酸乙烯酯( $\text{[-CH}_2-\text{CH(OOCCH}_3\text{)-}]_n$ )与甲醇

( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 发生酯交换反应制得,  
 $\text{[-CH}_2-\text{CH(OOCCH}_3\text{)-}]_n + n\text{CH}_3\text{OH} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{[-CH}_2-\text{CH(OH)-}]_n + n\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ , D项错误。

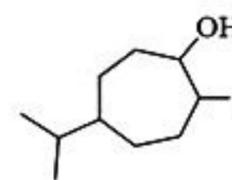
5. A 提示:  $\text{AlN}$ 、 $\text{GaN}$  为与金刚石结构相似的共价晶体,  $\text{Al}$  和  $\text{Ga}$  均为第 III A 元素,  $\text{Al}$  原子的半径小于  $\text{Ga}$ ,  $\text{N-Al}$  的键长小于  $\text{N-Ga}$  的键长, 则  $\text{N-Al}$  的键能较大, 键能越大则其对应的共价晶体的熔点越高, 故  $\text{GaN}$  的熔点低于  $\text{AlN}$ , A 项错误。不同种元素的原子之间形成的共价键为极性键, 故  $\text{AlN}$ 、 $\text{CaN}$  两种晶体中所有化学键均为极性键, B 项正确。 $\text{AlN}$ 、 $\text{GaN}$  晶体中,  $\text{N}$  原子与其相邻的 4 个  $\text{Al}$  原子或 4 个  $\text{Ga}$  原子形成 3 个普通共价键和 1 个配位键, 则其晶体中所有原子均采取  $\text{sp}^3$  杂化, C 项正确。 $\text{AlN}$ 、 $\text{GaN}$  晶体中,  $\text{N}$  原子与其相邻的 4 个  $\text{Al}$  原子或 4 个  $\text{Ga}$  原子形成 4 个  $\sigma$  键,  $\text{Al}$  原子或  $\text{Ga}$  原子与其相邻的 4 个  $\text{N}$  原子形成 4 个  $\sigma$  键, 则其晶体中所有原子的配位数均为 4, D 项正确。

6. A 提示: 量筒准确度较低, 无法量取 25.00 mL 溶液, 应该用碱式滴定管或移液管量取 25.00 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  标准溶液置于锥形瓶中, A 项错误。 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  水解有  $\text{NaOH}$  生成, 溶液显碱性, 盛放  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的玻璃容

器不能用玻璃塞, 以防  $\text{NaOH}$  腐蚀玻璃, 产生有黏性的硅酸钠溶液, 将瓶塞粘住, 故应选用配带塑料塞的容量瓶配制  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  标准溶液, B 项正确。 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  有吸水性且有一定的腐蚀性, 故应选用烧杯而非称量纸称量  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  固体, C 项正确。 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液显碱性, 甲基橙滴入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中显黄色, 当滴入最后半滴盐酸时, 溶液由黄色突变为橙色且半分钟之内不变色即为滴定终点, 故达到滴定终点时溶液显橙色, D 项正确。

【易错提醒】甲基橙为指示剂, 以盐酸滴定  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  标准溶液, 滴定终点时溶液中的溶质是  $\text{NaCl}$  和过量的  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (或溶解的  $\text{CO}_2$ ), 终点时溶液的  $\text{pH}$  约为 4, 所以终点时的现象是溶液由黄色变为橙色。

7. B 提示: 根据题中信息可知,  $\gamma$ -崖柏素有酚的通性, 具有类似的酚羟基的性质。酚可与溴水发生取代反应,  $\gamma$ -崖柏素有酚的通性, 且  $\gamma$ -崖柏素的环上有可以被取代的  $\text{H}$ , 故  $\gamma$ -崖柏素可与溴水发生取代反应, A 项正确。酚类物质不与  $\text{NaHCO}_3$  溶液反应,  $\gamma$ -崖柏素分子中没有可与  $\text{NaHCO}_3$  溶液反应的官能团, 故其不可与  $\text{NaHCO}_3$  溶液反应, B 项错误。 $\gamma$ -崖柏素分子中有一个异丙基, 异丙基中的次甲基( $\text{-CH-}$ )的碳原子是  $\text{sp}^3$  杂化, 该碳原子与其相连的 3 个碳原子不共面, C 项正确。 $\gamma$ -崖柏素与足量  $\text{H}_2$  加成后转化为

 , 产物分子中含手性碳原子(与羟基相连的 C 原子是手性碳原子), D 项正确。

8. D 提示: 根据题意, 高温下在熔融强碱性介质中用  $\text{KClO}_3$  氧化  $\text{MnO}_2$  制备  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ , 再水溶后冷却调溶液  $\text{pH}$  至弱碱性, 使  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  歧化生成  $\text{KMnO}_4$  和  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}$  元素的化合价由 +6 变为 +7 和 +4。①中高温下熔融强碱性介质会腐蚀瓷坩埚, 故不能用瓷坩埚作反应器, A 项不正确。制备  $\text{KMnO}_4$  时为防止引入杂质离子, ①中用  $\text{KOH}$  作强碱性介质, 不能用  $\text{NaOH}$ , B 项不正确。②中  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  歧化生成  $\text{KMnO}_4$  和

$\text{MnO}_2$ ,故其既体现氧化性又体现还原性,C项不正确。根据化合价的变化分析, $\text{K}_2\text{MnO}_4$ 歧化生成 $\text{KMnO}_4$ 和 $\text{MnO}_2$ 的物质的量之比为2:1,由Mn元素守恒知, $\text{MnO}_2$ 中的Mn元素只有 $\frac{2}{3}$ 转化为 $\text{KMnO}_4$ ,因此, $\text{MnO}_2$ 转化为 $\text{KMnO}_4$ 的理论转化率约为66.7%,D项正确。

**【创根问底】**①的化学方程式为 $\text{KClO}_3 + 3\text{MnO}_2 + 6\text{KOH} \xrightarrow{\text{高温}} 3\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$ ;②中通常是通入 $\text{CO}_2$ 调溶液pH至弱碱性,化学方程式为 $3\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{CO}_2 = 2\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{K}_2\text{CO}_3$ ,若 $\text{CO}_2$ 过量,体系呈中性或弱酸性,化学方程式为 $3\text{K}_2\text{MnO}_4 + 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 \downarrow + 4\text{KHCO}_3$ 。

**9. C 提示:**根据题给流程可知,向甲苯、苯胺、苯甲酸的混合溶液中加入盐酸,盐酸将微溶于水的苯胺转化为易溶于水的苯胺盐酸盐,分液得到水相I和有机相I;向水相中加入氢氧化钠溶液将苯胺盐酸盐转化为苯胺,分液得到苯胺粗品①;向有机相中加入水洗除去混有的盐酸,分液得到废液和有机相II,向有机相II中加入碳酸钠溶液将微溶于水的苯甲酸转化为易溶于水的苯甲酸钠,分液得到甲苯粗品②和水相II;向水相II中加入盐酸,将苯甲酸钠转化为苯甲酸,经结晶或重结晶、过滤、洗涤得到苯甲酸粗品③。

氨基的孤电子对能以配位键结合 $\text{H}^+$ 而显碱性,故苯胺能与盐酸反应但不能与氢氧化钠溶液反应,苯胺与盐酸反应生成盐酸苯胺: $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+\text{Cl}^-$ ,A项错误。水相I中的盐酸苯胺与 $\text{NaOH}$ 反应生成液态的苯胺: $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+\text{Cl}^- + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ,得到苯胺粗品①的分离方法为分液,水相II中苯甲酸钠与盐酸反应生成微溶于水的苯甲酸固体: $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa} + \text{HCl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} \downarrow + \text{NaCl}$ ,得到苯甲酸粗品③的分离方法为过滤、洗涤,获取两者的操作方法不同,B项错误。苯胺粗品、甲苯粗品、苯甲酸粗品依次由①②③获得,C项正确。①是液态苯胺与氯化钠

水溶液的两相混合体系,②为液态甲苯的有机相,不是两相混合体系,③为苯甲酸的悬浊液与氯化钠溶液的两相混合体系,D项错误。

**10. D 提示:**根据反应机理图知,含N分子发生的反应有 $\text{NO} + \cdot\text{OOH} \rightarrow \text{NO}_2 + \cdot\text{OH}$ , $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HONO}$ , $\text{NO}_2 + \cdot\text{C}_3\text{H}_7 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6 + \text{HONO}$ , $\text{HONO} \rightarrow \text{NO} + \cdot\text{OH}$ ,含N分子 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{HONO}$ (亚硝酸)中N元素的化合价依次为+2价、+4价、+3价,上述反应中均有元素化合价的升降,都为氧化还原反应,一定有电子转移,A项正确。读反应机理图知,由 $\text{NO}$ 生成 $\text{HONO}$ 的反应历程有①和②2种,B项正确。 $\text{NO}$ 是催化剂,增大 $\text{NO}$ 的量可以加快反应速率,但不能使平衡发生移动,故 $\text{C}_3\text{H}_8$ 的平衡转化率不变,C项正确。无论反应历程如何,在 $\text{NO}$ 催化下丙烷与 $\text{O}_2$ 反应制备丙烯的总反应都为 $2\text{C}_3\text{H}_8 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{NO}} 2\text{C}_3\text{H}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$ ,最终生成的水不变,D项错误。

**11. A 提示:**饱和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液通入 $\text{CO}_2$ 气体依次发生反应 $\text{CO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3 \downarrow$ , $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,相同温度下 $\text{NaHCO}_3$ 的溶解度小于 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,最终瓶中仍有 $\text{NaHCO}_3$ 白色晶体析出,不会得到澄清溶液,A项不符合要求。 $\text{FeCl}_2$ 溶液通入 $\text{Cl}_2$ ,发生反应 $\text{Cl}_2 + 2\text{FeCl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$ , $2\text{FeCl}_3 + \text{Fe} \rightarrow 3\text{FeCl}_2$ ,最终Fe消失,得到澄清溶液,B项符合要求。 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溶液通入 $\text{HCl}$ , $\text{NO}_3^-$ 在酸性条件下会表现强氧化性,发生离子反应 $3\text{Cu} + 8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- \rightarrow 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ ,最终Cu完全溶解得到澄清溶液,C项符合要求。 $\text{AgCl}$ 在水中存在溶解平衡 $\text{AgCl}(s) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ ,通入 $\text{NH}_3$ 后, $\text{Ag}^+$ 与 $\text{NH}_3$ 结合成 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,使 $\text{AgCl}$ 的溶解平衡正向移动,最终 $\text{AgCl}$ 完全溶解得到澄清溶液,D项符合要求。

**【易错提醒】**由于常温时碳酸氢钠的溶解度小于碳酸钠、氢氧化钠、氯化钠,且三者完全转化为碳酸氢钠时溶质的质量增加,所以,分别向饱和碳酸钠溶液、饱和烧碱溶液、氯化饱和食盐水中通入过量 $\text{CO}_2$ 均有碳酸氢钠

晶体析出。

**12. D 提示:**工艺流程分析如下: CuS 精矿(含有杂质 Zn、Fe 元素)在高压 O<sub>2</sub> 作用下,用硫酸溶液浸取, CuS 反应产生为 CuSO<sub>4</sub>、S、H<sub>2</sub>O, Fe<sup>2+</sup> 被氧化为 Fe<sup>3+</sup>, 然后加入 NH<sub>3</sub> 调节溶液 pH, 使 Fe<sup>3+</sup> 形成 Fe(OH)<sub>3</sub> 沉淀, 而 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 仍以离子形式存在于溶液中, 过滤得到的滤渣固体 X 中含有 S、Fe(OH)<sub>3</sub>; 滤液中含有 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>; 然后向滤液中通入高压 H<sub>2</sub>, 根据元素活动性: Zn > H > Cu, Cu<sup>2+</sup> 被还原为 Cu 单质, 通过过滤分离出来; 而 Zn<sup>2+</sup> 仍然以离子形式存在于溶液中, 再经一系列处理可得到 Zn 单质。

由上述分析知, 固体 X 主要成分是 S、Fe(OH)<sub>3</sub>, 金属 M 为 Zn, A 项正确。CuS 难溶于硫酸, 在溶液中存在沉淀溶解平衡 CuS(s) ⇌ Cu<sup>2+</sup>(aq) + S<sup>2-</sup>(aq), 增大 O<sub>2</sub> 压强实质是增大 O<sub>2</sub> 的浓度, 可以氧化 S<sup>2-</sup> 使之转化为 S, 从而使沉淀溶解平衡正向移动, 促进金属离子的浸取, B 项正确。根据流程图可知, 用 NH<sub>3</sub> 调节溶液 pH 时, 要使 Fe<sup>3+</sup> 转化为沉淀, 而 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 仍以离子形式存在于溶液中, 结合表 1 中离子沉淀的 pH, 可知中和时应该调节溶液 pH 范围为 3.2~4.2, C 项正确。在用 H<sub>2</sub> 还原 Cu<sup>2+</sup> 变为 Cu 单质时, H<sub>2</sub> 失去电子被氧化为 H<sup>+</sup>, 若还原时增大溶液的酸度, c(H<sup>+</sup>) 增大, 抑制 H<sub>2</sub> 失去电子还原 Cu 单质, 因此不利于 Cu 的生成, D 项错误。

**13. BD 提示:**电化学原理图分析如下: (1)池的判断。依据题干中“右侧装置为原电池”和“设计如图装置回收金属钴”可判断左侧装置为电解池。(2)电极名称的判断和电极反应的书写。由题干中“降解乙酸盐生成 CO<sub>2</sub>”知, 乙酸根失去电子发生氧化反应, 故左侧电解池的左边电极为阳极, 右侧原电池左边电极为负极, 这两个电极的反应均为 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> - 8e<sup>-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = 2CO<sub>2</sub> ↑ + 7H<sup>+</sup>, 结合“回收金属钴”和“LiCoO<sub>2</sub> 转化为 Co<sup>2+</sup>”知, 左侧电解池右边阴极反应式为 Co<sup>2+</sup> + 2e<sup>-</sup> = Co, 右侧原电池右边正极(乙室)反应式为 LiCoO<sub>2</sub> + e<sup>-</sup> + 4H<sup>+</sup> = Li<sup>+</sup> + Co<sup>2+</sup> + 2H<sub>2</sub>O。

根据题干中“保持细菌所在环境 pH 稳定”知, 装置工作时, 左侧电解池左边阳极产生的 H<sup>+</sup> 通过阳膜进入到阴极甲室溶液中, c(H<sup>+</sup>) 逐渐增大, pH 逐渐减小, A 项错误。装置工作时为“保持细菌所在环境 pH 稳定”, 右侧的负极室产生的 H<sup>+</sup> 穿过阳膜进入到乙室(正极), 由正极反应(LiCoO<sub>2</sub> + e<sup>-</sup> + 4H<sup>+</sup> = Li<sup>+</sup> + Co<sup>2+</sup> + 2H<sub>2</sub>O)知, 正极消耗的 H<sup>+</sup> 大于通过阳膜移入的 H<sup>+</sup>, 故装置工作一段时间后, 乙室应补充盐酸, B 项正确。电解质溶液为酸性, 乙室电极反应不可能生成 OH<sup>-</sup> 而是生成 H<sub>2</sub>O: LiCoO<sub>2</sub> + e<sup>-</sup> + 4H<sup>+</sup> = Li<sup>+</sup> + Co<sup>2+</sup> + 2H<sub>2</sub>O, C 项错误。若甲室 Co<sup>2+</sup> 减少 200 mg, 电子转移物质的量为 n(e<sup>-</sup>) =  $\frac{0.2 \text{ g}}{59 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 2 = 0.0068 \text{ mol}$ , 乙室 Co<sup>2+</sup> 增加 300 mg, 转移电子的物质的量为 n(e<sup>-</sup>) =  $\frac{0.3 \text{ g}}{59 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 1 = 0.0051 \text{ mol}$ , 转移电子的物质的量不相等, 说明此时已进行过溶液转移, D 项正确。

**【解法提醒】**“三标明”: 在电化学装置中标明电极名称, 外电路上标明电子移动方向, 电解质溶液中标明阴离子和阳离子移动的方向, 有利于准确快速解题。

**14. D 提示:**图像中隐藏的化学信息分析如下: 硫酸是强酸, pH 变化溶液中 c(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 几乎不变, 则含 SrSO<sub>4</sub>(s) 的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中 c(Sr<sup>2+</sup>) 几乎不变, pH 相同时, 溶液中 c(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 越大, c(Sr<sup>2+</sup>) 越小, 所以曲线①代表含 SrSO<sub>4</sub>(s) 的 0.1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液的变化曲线, 曲线②代表含 SrSO<sub>4</sub>(s) 的 1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液的变化曲线; 碳酸是弱酸, 溶液 pH 减小, 溶液中 c(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 越小, c(Sr<sup>2+</sup>) 越大, pH 相同时, 1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液中 c(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 大于 0.1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液, 则曲线③表示含 SrCO<sub>3</sub>(s) 的 0.1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液的变化曲线, 曲线④表示含 SrCO<sub>3</sub>(s) 的 1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液的变化曲线。

反应 SrSO<sub>4</sub>(s) + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(aq) ⇌ SrCO<sub>3</sub>(s) +

$\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  的平衡常数  $K = \frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} =$

$\frac{c(\text{SO}_4^{2-}) \cdot c(\text{Sr}^{2+})}{c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{Sr}^{2+})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{SrCO}_3)}$ , A 项正确。

曲线①代表含  $\text{SrSO}_4(\text{s})$  的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液的变化曲线, 则  $\text{SrSO}_4$  的溶度积  $K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4) = 10^{-5.5} \times 0.1 = 10^{-6.5}$ , 温度不变, 溶度积不变, 溶液 pH 为 7.7 时,  $c(\text{Sr}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{10^{-6.5}}{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 10^{-6.5}$ , 则  $a$

为 -6.5, B 项正确。曲线④表示含  $\text{SrCO}_3(\text{s})$  的  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的变化曲线, C 项正确。硫酸是强酸, pH 变化溶液中  $c(\text{SO}_4^{2-})$  几乎不变, 则含  $\text{SrSO}_4(\text{s})$  的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液中  $c(\text{Sr}^{2+})$  几乎不变, 所以  $\text{SrSO}_4$  的生成与溶液 pH 无关, D 项错误。

**15. BD 提示:** 由  $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  晶胞结构知, 位于顶点和面心的  $\text{Se}^{2-}$  个数为  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ , 位于体内的铜离子和亚铜离子的个数之和为 8, 设晶胞中的  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Cu}^+$  的个数分别为  $a$  和  $b$ , 则  $a + b = 8 - 4x$ , 根据化合价代数和为 0 有  $2a + b = 4 \times 2$ , 解得  $a = 4x$ , A 项错误。  $\text{Na}_2\text{Se}$  转化为  $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  的电极反应式为  $\text{Na}_2\text{Se} - 2e^- + (2-x)\text{Cu} = \text{Cu}_{2-x}\text{Se} + 2\text{Na}^+$ , 由  $\text{Na}_2\text{Se}$  晶胞结构知, 位于顶点和面心的  $\text{Se}^{2-}$  个数为  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ , 则每个晶胞中含有 4 个  $\text{Na}_2\text{Se}$ , 转移电子数为 8, B 项正确。由  $\text{NaCuSe}$  晶胞结构知, 位于顶点和面心的硒离子个数为  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ , 则每个晶胞中含有 4 个  $\text{NaCuSe}$ , 晶胞中 0 价铜原子个数为  $(4 - 4x)$ , C 项错误。  $\text{Na}_y\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  转化为  $\text{NaCuSe}$  的电极反应式为  $\text{Na}_y\text{Cu}_{2-x}\text{Se} + (1-y)e^- + (1-y)\text{Na}^+ = \text{NaCuSe} + (1-x)\text{Cu}$ , 所以每转移  $(1-y)$  mol 电子, 产生  $(1-x)$  mol Cu 原子, D 项正确。

**16. (1)**  $3d^8 4s^2$  (1分) 第 4 周期第 VIII 族 (1分)

**参考评分细则:** VIII 不能写成 V I I I, 单写周期或族不给分, 写 VIII B 不给分。

(2)  $2:3$  (或  $4:6$  或  $\frac{2}{3}$  或  $\frac{4}{6}$ ) (2分)  $2:$

$1:1$  (或  $4:2:2$ ) (2分)  $\text{Ni}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$  (2分)

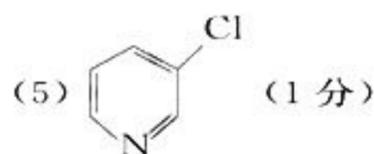
**参考评分细则:** 第 3 空答对一种给 1 分, 汉字写镍离子、锌离子正确; 汉字本身写错不给分, 写原子不给分。上标的大小不做要求, 但必须是对的, 如 +2 或仅 2 按错处理。

(3) D (1分)

(4) 吡啶与水分子间形成氢键 (1分)

吡啶是极性分子, 比非极性分子苯更易溶于水 (1分)

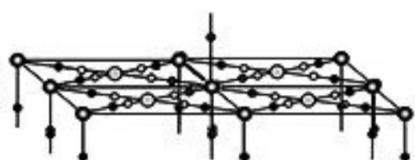
**参考评分细则:** 写相似相溶或极性分子易溶于水 (极性溶剂) 也可以; 两个答案不分先后。



**解析:** (1) Ni 是 28 号元素, 基态 Ni 原子的价电子排布式为  $3d^8 4s^2$ , 在周期表中第四横行第 10 纵列即位于第 4 周期第 VIII 族。

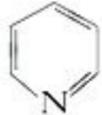
(2) 由图 5 可知,   $\text{Ni}^{2+}$

周围连接四个  $\text{CN}^-$  (小黑球 N、小白球 C), 一个  $\text{Ni}^{2+}$  与周围四个氢氰酸根 ( $\text{CN}^-$ ) 中的四个碳原子形成四个配位键, 空间结构为平面正方形; 四个图 5 所示的晶胞构成的结构部

分如图 , 能直观看到

$\text{Zn}^{2+}$  与周围六个氮原子形成六个配位键, VESPR 模型为正八面体, 所以  $\text{Ni}^{2+}$  与  $\text{Zn}^{2+}$  的配位数之比为  $4:6=2:3$ 。

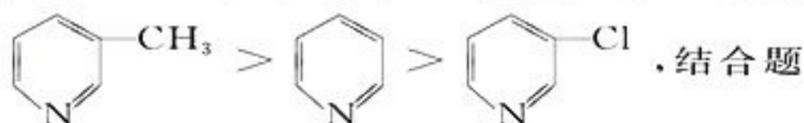
观察晶胞示意图, 利用均摊法计算如下: 一个晶胞中含有  $\text{Ni}^{2+}$  个数为  $2 \times \frac{1}{2} = 1$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  个数为  $8 \times \frac{1}{8} = 1$ , 含有  $\text{CN}^-$  个数为  $8 \times \frac{1}{2} = 4$ ,  $\text{NH}_3$  个数为  $8 \times \frac{1}{4} = 2$ , 苯环个数为  $4 \times \frac{1}{2} = 2$ , 该晶胞的化学式为  $\text{Ni}(\text{CN})_4 \cdot \text{Zn}(\text{NH}_3)_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $x:y:z=4:2:2=2:1:1$ ;  $\text{Ni}^{2+}$  的配位数为 4 且为平面正方形,  $\text{Ni}^{2+}$  采用  $\text{dsp}^2$  杂化 (若  $\text{Ni}^{2+}$  采用  $\text{sp}^3$  杂化应为四面体, 不可能为平面四边形),  $\text{Zn}^{2+}$  的配位数为 6 且为正八面体,  $\text{Zn}^{2+}$  采用  $\text{sp}^3\text{d}^2$  杂化, 即晶胞中有 d 轨道参与杂化的金属离子是  $\text{Ni}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$ 。

(3)根据“吡啶()中含有与苯类似的

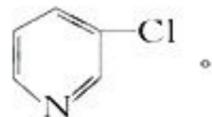
$\pi_6^6$ 大 $\pi$ 键”,判断吡啶中N原子采用 $sp^2$ 杂化,杂化轨道只用于形成 $\sigma$ 键和存在孤电子对,则吡啶中N原子的价层孤电子对占据 $sp^2$ 杂化轨道,D项正确。

(4)苯分子为非极性分子,吡啶分子是极性分子, $H_2O$ 分子为极性分子,且吡啶中N原子上的孤电子对能与 $H_2O$ 分子形成分子间氢键,从而导致吡啶在水中的溶解度远大于苯。

(5) $-CH_3$ 为推电子基团, $-Cl$ 是吸电子基团,N原子电子云密度大小顺序为



干信息“碱性随N原子电子云密度的增大而增强”推断,碱性最弱的为



17. (1)  $SiO_2 + 6HF \rightleftharpoons 2H^+ + SiF_6^{2-} + 2H_2O$  (2分)

参考评分细则:等号写成箭头、单线不扣分,写错不给分,非离子方程式不给分,未配平不给分。

(2)  $2.0 \times 10^{-2}$  (2分)  $SO_4^{2-}$  (2分)

参考评分细则:第1空以下均可:0.020、0.02、 $2 \times 10^{-2}$ 。第2空写成硫酸根(离子)或者硫酸根、钡离子也给分。

(3)  $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$  (2分) 抑制  $CaSO_4$  溶解(2分) 酸解(1分) AD(2分)

参考评分细则:第1空正确答案唯一。

第2空,答出抑制和溶解两个关键点即可得2分;抑制的同义词均可,如降低、减少、阻碍等; $CaSO_4$ 写为石膏、沉淀、溶质、晶体、产品也可;对在水中和硫酸中的溶解度做了比较也可,如在硫酸中溶解度更小等;用同离子效应作解释逻辑通顺可给分;防止硫酸钙溶于水可给分;硫酸钙微溶于水(单写不给分)后加解释,比如会溶解或者减少产品,造成产品的损失,可给分;降低硫酸钙或者固体溶解度可给分;防止固体溶解造成的产品损耗可给分;单独写防止产品损耗不给分;逻辑不通不给分,有错误信息不给分;减少产物损

失不给分。

第3空写成酸解单元或酸解操作均可给分。

第4空,漏选给1分,错选不给分。

解析:考查考生理解工艺流程中的陌生化学反应,“酸解”和“精制I中加入 $Na_2CO_3$ 脱氟”都运用了强酸生成弱酸的原理。“酸解”的主要反应是  $Ca_5F(PO_4)_3 + 5H_2SO_4 \rightleftharpoons 5CaSO_4 + 3H_3PO_4 + HF \uparrow$ 、 $SiO_2 + 6HF \rightleftharpoons H_2SiF_6 + 2H_2O$ ;精制I中加入 $Na_2CO_3$ 脱氟反应方程式为  $H_2SiF_6 + Na_2CO_3 \rightleftharpoons Na_2SiF_6 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O$ 。

(1)氢氟酸(弱酸)与 $SiO_2$ 反应生成二元强酸 $H_2SiF_6$ (氟硅酸),根据质量守恒和离子方程式的书写规则推知还有水生成,且强酸氟硅酸拆成 $H^+$ 和 $SiF_6^{2-}$ ,该反应的离子方程式为  $SiO_2 + 6HF \rightleftharpoons 2H^+ + SiF_6^{2-} + 2H_2O$ 。

(2)精制I中,按物质的量之比  $n(Na_2CO_3) : n(SiF_6^{2-}) = 1 : 1$  加入 $Na_2CO_3$ 脱氟,依据强酸制弱酸的反应写出该反应的化学方程式为  $H_2SiF_6 + Na_2CO_3 \rightleftharpoons Na_2SiF_6 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O$ ,充分反应后得到沉淀 $Na_2SiF_6$ 和饱和的 $Na_2SiF_6$ 溶液,且  $c(Na^+) = 2c(SiF_6^{2-})$ ,由 $Na_2SiF_6$ 的溶度积计算:  $K_{sp} = c^2(Na^+) \cdot c(SiF_6^{2-}) = 4c^3(SiF_6^{2-})$ ,  $c(SiF_6^{2-}) = \sqrt[3]{\frac{4.0 \times 10^{-6}}{4}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(Na^+) = 2c(SiF_6^{2-}) = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。粗磷酸中还有硫酸、氟硅酸、硫酸钙等,根据  $K_{sp}(BaSiF_6) = 1.0 \times 10^{-6} > K_{sp}(BaSO_4) = 1.0 \times 10^{-10}$ ,可以快速判断出首先转化为沉淀的离子是 $SO_4^{2-}$ 。

(3)由坐标图的信息知:酸解后,在所得 $100^\circ\text{C}$ 、 $P_2O_5\%$ 为45的混合体系中,石膏存在形式为 $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$ ;根据同离子效应,硫酸电离出的硫酸根离子可以抑制 $CaSO_4$ 的溶解;洗涤液X中含有硫酸,酸解时使用的也是硫酸,故回收利用洗涤液X的操作单元是酸解。“结晶转化”是指生成 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (石膏); $65^\circ\text{C}$ 、 $P_2O_5\% = 15$ ,  $SO_3\% = 15$ ,晶体以 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 形式存在,能实现酸解所得石膏结晶转化,A项正确。 $80^\circ\text{C}$ 、 $P_2O_5\% = 10$ ,  $SO_3\% = 20$ ,晶体以

$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$  形式存在,不能实现酸解所得石膏结晶转化, B项错误。 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%$  = 10、 $\text{SO}_3\%$  = 30,晶体以  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$  形式存在,不能实现酸解所得石膏结晶转化, C项错误。 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%$  = 10、 $\text{SO}_3\%$  = 10,晶体以  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  形式存在,能实现酸解所得石膏结晶转化, D项正确。

18. (1) a (1分)  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{SOCl}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{FeCl}_2 + 4\text{SO}_2 + 8\text{HCl}$  (2分) 冷凝并回收利用  $\text{SOCl}_2$  (冷凝回流) (2分)

参考评分细则: 化学方程式的书写只看物质和系数,可逆号,单箭头,不带加热符号也不扣分,系数加倍也对,注意配平。第3空答提高利用率给分,答冷凝回流气体不给分,要体现①冷凝回流,②原料利用,③ $\text{SOCl}_2$ 。

(2)  $\frac{m_1 - m_2}{0.108cV}$  (2分) AB (2分)

参考评分细则:  $\frac{9.26(m_1 - m_2)}{cV}$  (也对) 没有进一步化简的也对。第2空错选不得分,单选 A 或 B 得1分。

(3) ⑥⑩③⑤ (2分)  $\text{CCl}_4$  (1分)

参考评分细则: 第1空顺序必须对。第2空写名称“四氯化碳”也给分。

解析:  $\text{SOCl}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成两种酸性气体,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  与  $\text{SOCl}_2$  制备无水  $\text{FeCl}_2$  的反应原理为  $\text{SOCl}_2$  与  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  受热失去的结晶水反应生成  $\text{SO}_2$  和  $\text{HCl}$ ,  $\text{HCl}$  可抑制  $\text{FeCl}_2$  的水解,从而制得无水  $\text{FeCl}_2$ 。

(1) 先加热装置 a,使  $\text{SOCl}_2$  在  $76\text{ }^\circ\text{C}$  沸腾转化为气体充满装置,然后再加热装置 b; b 内  $\text{SOCl}_2$  与  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  受热失去的结晶水反应生成  $\text{SO}_2$  和  $\text{HCl}$ ,  $\text{HCl}$  可抑制  $\text{FeCl}_2$  的水解,从而制得无水  $\text{FeCl}_2$ :  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{SOCl}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{FeCl}_2 + 4\text{SO}_2 + 8\text{HCl}$ 。装置 c、d 的共同作用是冷凝并回收利用  $\text{SOCl}_2$ 。

(2) 滴定过程中  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ ,自身被还原成  $\text{Cr}^{3+}$ ,反应的离子方程式为  $6\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ = 6\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ ,则  $m_1\text{ g}$  样品中  $n(\text{FeCl}_2) = 6n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 6cV \times 10^{-3}\text{ mol}$ ;  $m_1\text{ g}$  样品中结晶水的质量为  $(m_1 - m_2)\text{ g}$ ,结晶水物质的量

为  $\frac{m_1 - m_2}{18}\text{ mol}$ ,  $n(\text{FeCl}_2) : n(\text{H}_2\text{O}) = 1 : n$

$= (6cV \times 10^{-3}\text{ mol}) : \frac{m_1 - m_2}{18}\text{ mol}$ ,解得  $n =$

$\frac{m_1 - m_2}{0.108cV}$ 。样品中含少量  $\text{FeO}$  杂质,溶于稀

硫酸后生成  $\text{Fe}^{2+}$ ,导致消耗的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液的体积  $V$  偏大,使  $n$  的测量值偏小, A项正确;样品与  $\text{SOCl}_2$  反应时失水不充分,则  $m_2$  偏大,使  $n$  的测量值偏小, B项正确;实验 I 称重后,样品发生了潮解,样品的质量不变,消耗的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液的体积  $V$  不变,使  $n$  的测量值不变, C项不符合题意;滴定达到终点时发现滴定管尖嘴内有气泡生成,导致消耗的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液的体积  $V$  偏小,使  $n$  的测量值偏大, D项不符合题意。

(3) 组装蒸馏装置对  $\text{TiCl}_4$ 、 $\text{CCl}_4$  混合物进行蒸馏提纯,按由下而上、从左到右的顺序组装,安装顺序为①⑨⑧,然后连接冷凝管,蒸馏装置中应选择直形冷凝管⑥,不选用球形冷凝管⑦,接着连接尾接管⑩,  $\text{TiCl}_4$  极易水解,为防止外界水蒸气进入,③后连接⑤,安装顺序为①⑨⑧⑥⑩③⑤;由于  $\text{TiCl}_4$ 、 $\text{CCl}_4$  分子结构相似,  $\text{TiCl}_4$  的相对分子质量大于  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{TiCl}_4$  分子间的范德华力较大,  $\text{TiCl}_4$  的沸点高于  $\text{CCl}_4$ ,先馏出的物质为  $\text{CCl}_4$ 。

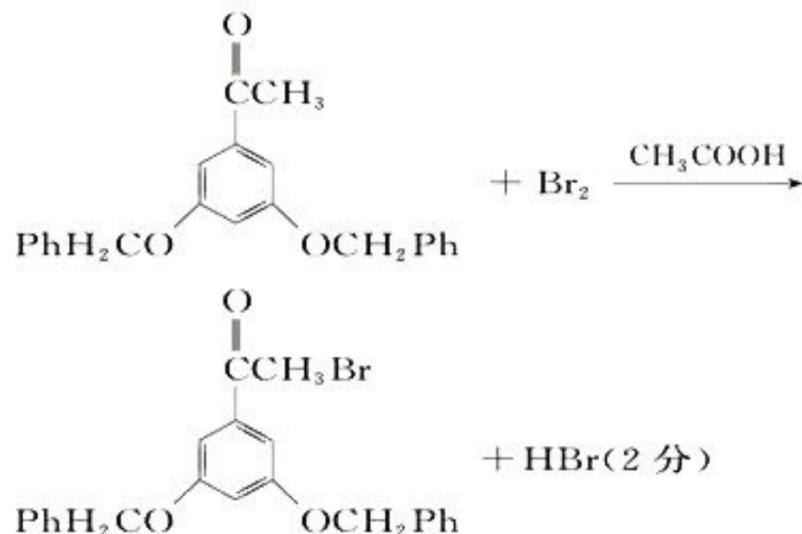
19. (1) 浓硫酸,加热 (1分) 2 (1分)

参考评分细则: 浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /硫酸/  $\text{H}_2\text{SO}_4$  均可;稀硫酸不给分;加热可以写加热符号。

(2) 取代反应 (1分) 保护酚羟基 (1分)

参考评分细则: 答案超过一个 0 分,只写取代,给分。保护羟基/防止反应物被氧化/防止羟基被氧化,均给分;保护反应物不给分

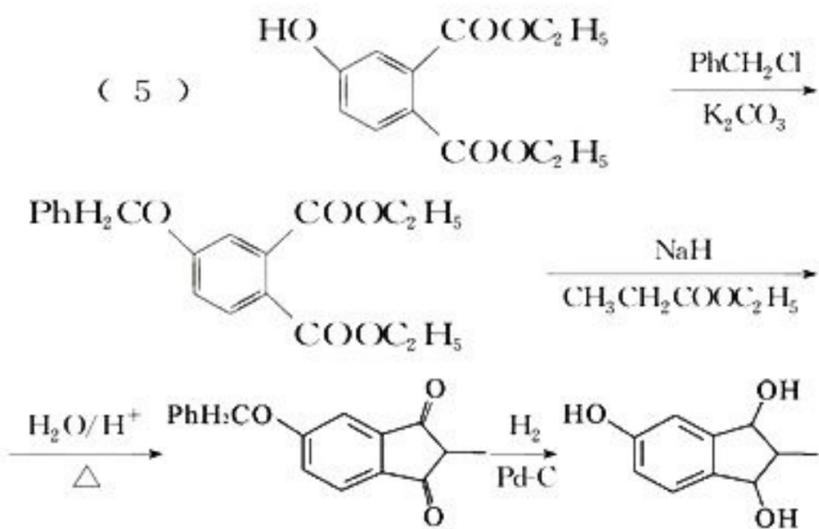
(3)  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$  (2分)



参考评分细则:出现  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$  或  $\text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7$  或  $\text{CH}_3\text{COOPh}$  等其他酯均对。

反应物、产物只写分子式不得分;反应条件写可逆号得分、写等号不得分; $\text{CH}_3\text{COOH}$  写在反应物中 0 分; $\text{CH}_3\text{COOH}$  写成  $\text{HAc}$  得分。

(4) 6(1 分)



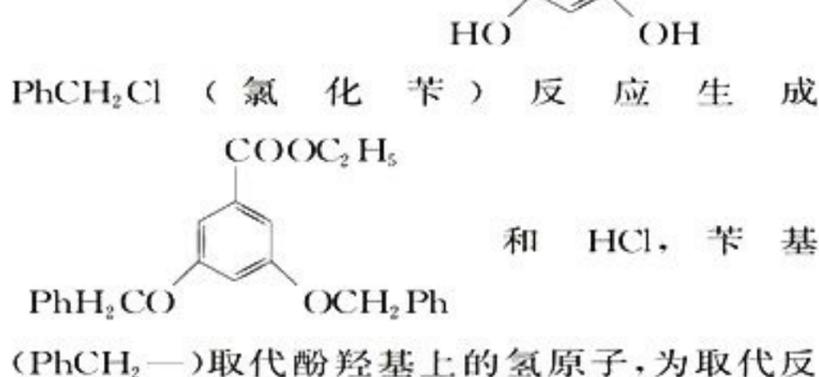
(3 分)

参考评分细则:共 3 步,每步 1 分;中间产物写错 0 分;条件错、产物正确 0 分;后两步并一步均 0 分。

解析:(1)  $\text{A} \rightarrow \text{B}$  为酯化反应:

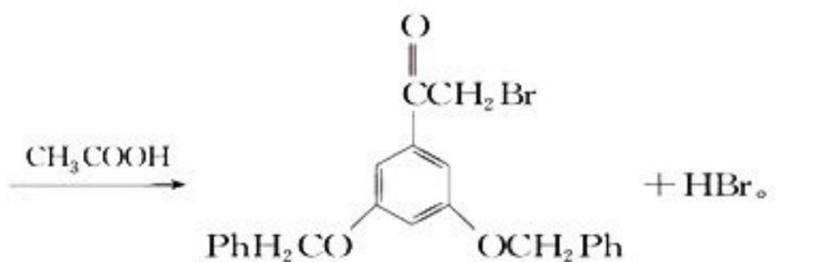
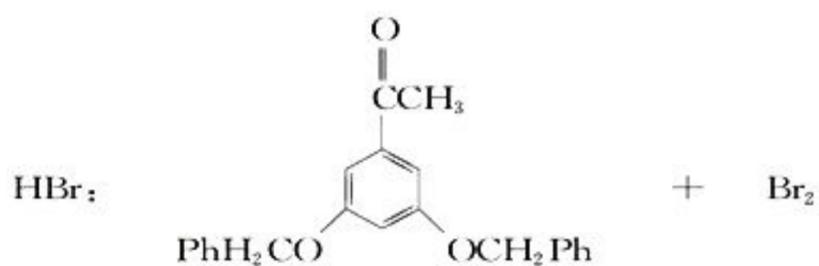
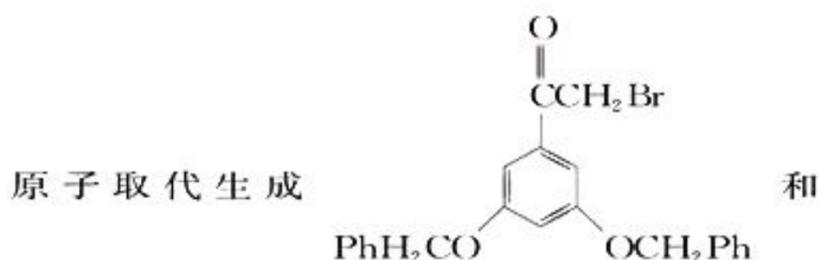
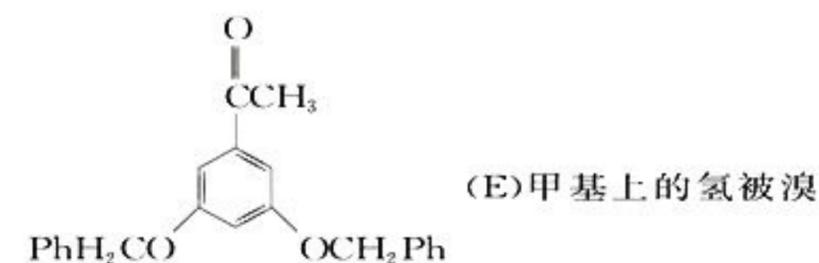


(2)  $\text{B} \rightarrow \text{C}$  是

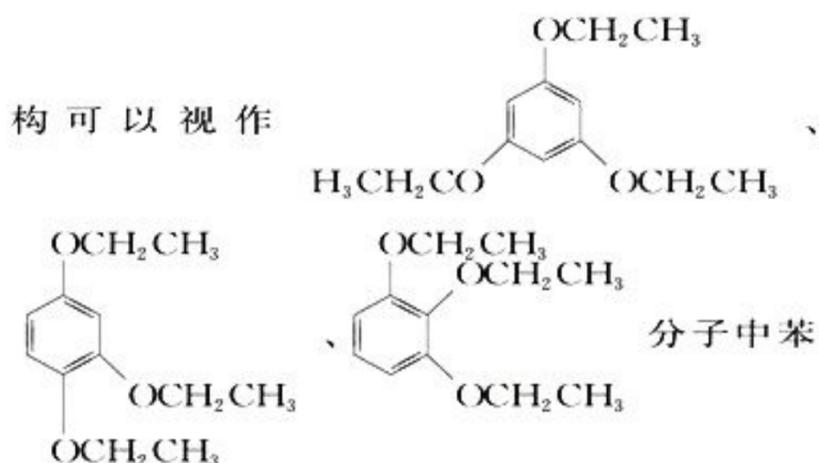


应;由 B 和 H 都含有酚羟基判断, $\text{B} \rightarrow \text{C}$  的目的是保护酚羟基。

(3) 根据反应条件知 C 与 D 反应生成 E 是利用“已知 II”,根据“已知 II”推断 E 的结构简式

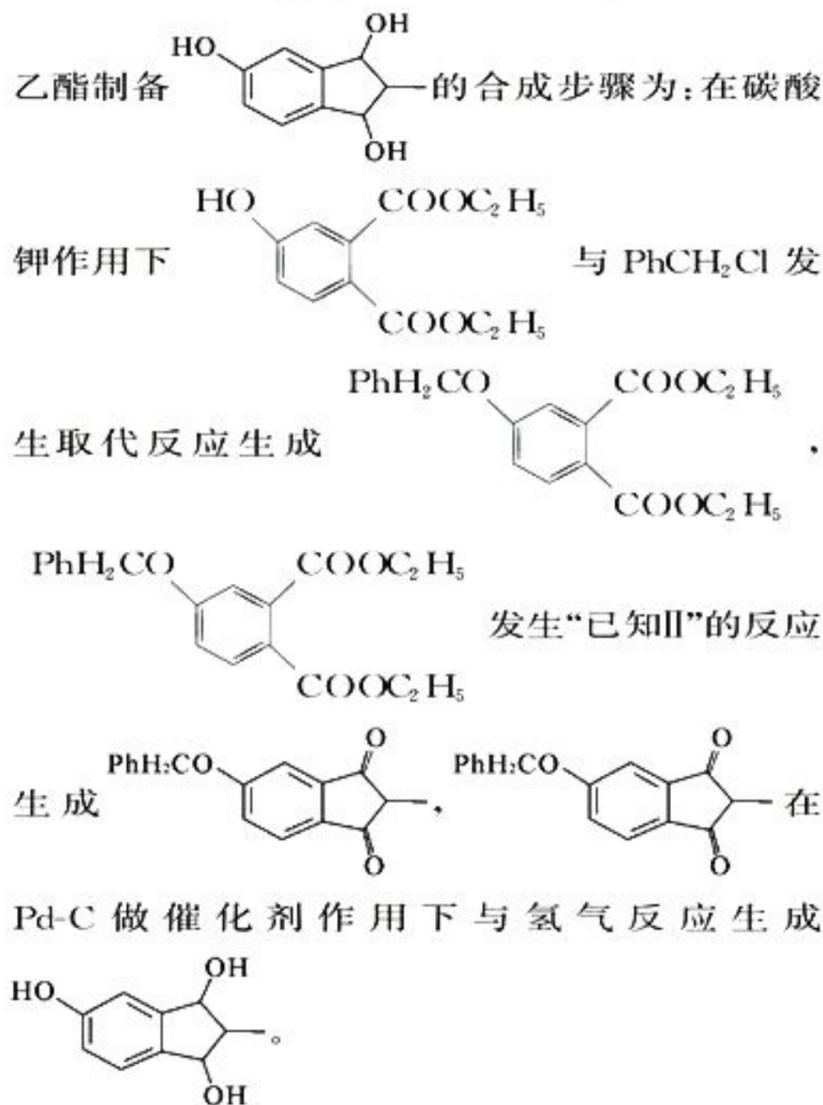


(4) 由 H 的同分异构体仅含有一  $\text{OCH}_2\text{CH}_3$  和一  $\text{NH}_2$  可知,同分异构体的结



环上的氢原子被  $\text{—NH}_2$  取代,所得结构分别有 1、3、2,共有 6 种。

(5)由题给信息知,以4-羟基邻苯二甲酸二



20. (1)  $-200(X+Y)$  (2分)

(2) ac (2分)  $8.3 \times 10^{-8}$  (2分) 0.08 (1分) 39% (1分)

参考评分细则:只写 a 或者 c 得 1 分,写错不给分。 $8.3 \times 10^{-8}$  写成分数不给分。

(3) c (2分) c 与 b 温度一致,但 c 氢气压强更大, BL 平衡转化率较大,需时更长。(1分)

参考评分细则:只看 BL 平衡转化率较大这一部分,可以替换为平衡正向移动,反应正向进行,反应的限度更大,转化得更多等,不影响得分。

解析:(1)根据题意,在同温同压下,以等物质的量的 BL 或 BD 为初始原料,达到平衡时的状态为等效平衡状态。则以  $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$  BL 为起始原料达到平衡时放出 X kJ 热量,与以  $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$  BD 为起始原料达到平衡时吸收 Y kJ 热量,二者能量差值为  $(X+Y) \text{ kJ}$ ,则 1 mol 时二者能量差值为  $200(X+Y) \text{ kJ}$ ,反应 I 为放热反应,因此焓变  $\Delta H = -200(X+Y) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) BL 为初始原料的可逆反应为  $\text{BL}(\text{g}) +$

$2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{BD}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ , BD 为初始原料的可逆反应为  $\text{BD}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{BL}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H > 0$ ,实验测定  $X < Y$ ,则上述两个反应达到平衡时 BL 转化量小于 BD 转化量,平衡状态 BL 物质的量大于 BD;读图 10 可知,曲线 a、d 分别表示 BL 为初始原料时  $x_{\text{BL}}$ 、 $x_{\text{BD}}$  变化的曲线,曲线 b、c 分别表示 BD 为初始原料时  $x_{\text{BD}}$ 、 $x_{\text{BL}}$  变化的曲线,所以表示  $x_{\text{BL}}$  变化的曲线是 a、c。该平衡状态下 BL 的分压是  $0.48 \times 3.0 \times 10^3 \text{ kPa}$ ,BD 的分压是  $0.36 \times 3.0 \times 10^3 \text{ kPa}$ ,  $\text{H}_2$  的压强近似等于总压,故反应 I 平衡常数  $K_p = \frac{p(\text{BD})}{p(\text{BL}) \cdot p^2(\text{H}_2)}$

$$= \frac{0.36 \times 3 \times 10^3}{0.48 \times 3 \times 10^3 \times (3 \times 10^3)^2} \text{ kPa}^{-2} = 8.3 \times 10^{-8} \text{ kPa}^{-2}。$$

以 BL 为原料时,根据题给反应 I、II、III 可知,体系总物质的量的增加量 = BD 参与反应 II、III 的量 = 生成  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  的物质的量,设  $t_1$  时 BL 转化了 a mol, BD 转化了 b mol,则体系总物质的量为  $(5.0 \times 10^{-3} + b) \text{ mol}$ ,得到  $\frac{5.0 \times 10^{-3} - a}{5.0 \times 10^{-3} + b} = 0.48$ ,  $\frac{a - b}{5.0 \times 10^{-3} + b} = 0.36$ ,求得  $a = \frac{55}{23} \times 10^{-3}$ ,  $b = \frac{1}{2.3} \times 10^{-3}$ ,则

$t_1$  时刻  $x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{b}{5 \times 10^{-3} + b} = 0.08$ ;此时 BD

的产率为  $\frac{a - b}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% \approx 39\%$ 。

(3)依题意,反应 I 是正向放热过程,以 BL 为初始原料,温度升高则平衡逆向移动,温度越高,反应速率越快,达到平衡时的时间越短,  $(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}$  越小,  $\frac{x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}}}{(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}}$  的值越大;相同温度时,压强增大, BD 的比重增大,  $(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}$  增大,又可忽略压强对反应速率的影响,则  $(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}$  最大即  $\frac{x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}}}{(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}}$  最小,对应曲线 c。

c 与 b 温度一致,但 c 氢气压强更大,题干中“可忽略压强对反应速率的影响”,压强增大反应 I 的平衡向气体分子数减少的正向移动, BL 平衡转化率更大,故达到平衡需时更长。  
(责任编辑 谢启刚)

## 元素周期律及周期表知识测试题参考答案

1. D 2. B 3. A

4. A 提示:由于原子序数按 W、X、Y、Z 依次增大,W 与 Z 是同一主族的元素,而 X、Y、Z 是同一周期的元素,且只有 X 是金属元素,则这四种元素分别是 N、Al、Si、P。同一周期的元素原子序数越大,原子半径越小;同一主族的元素,原子核外电子层数越多,原子半径越大。所以原子半径  $X > Y > Z > W$ , A 项正确。W 的含氧酸可能是  $\text{HNO}_2$ 、 $\text{HNO}_3$ , Z 的含氧酸是  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,酸性  $\text{HNO}_2 < \text{H}_3\text{PO}_4$ , B 项错误。元素的非金属性  $W > Y$ ,所以气态氢化物的稳定性  $W > Y$ , C 项错误。若 W、X 原子序数相差 5,则二者形成的化合物的化学式是 XW, D 项错误。

5. A 提示:由 a 的原子中只有 1 个电子,可知 a 为氢元素,a、b、c、d 为短周期元素, $b^{2-}$  和  $C^+$  离子的电子层结构相同,则 b 为氧元素,C 为 Na 元素,d 与 b 同族,则 d 为硫元素。H 与 O、S 形成的化合物为  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_2\text{S}$ ,氢元素的化合价为 +1,而 NaH 中氢元素的化合价为 -1 价, A 项错误。氧元素与其他元素能形成  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_2$ , B 项正确。同周期元素,从左到右原子半径逐渐减小,电子层数越多,原子半径越大,可知原子半径  $\text{Na} > \text{S} > \text{O} > \text{H}$ , C 项正确。d 和 a 形成的化合物为  $\text{H}_2\text{S}$ ,硫化氢的溶液呈弱酸性, D 项正确。

6. C 7. B

8. (1) 三 II A  $\text{MgCl}_2$

(2)  $\text{HNO}_3$   $\text{Al}(\text{OH})_3$

(3)  $:\text{N}:::\text{C}::\text{C}:::\text{N}:$   $2\text{NaOH} + (\text{CN})_2 \longrightarrow \text{NaCN} + \text{NaCNO} + \text{H}_2\text{O}$

提示:根据四种元素(相邻主族短周期元素)的位置关系,可知 m、n 在第二周期,x、y 在第三周期,由 y 的氧化物具有两性,可推知 x 是 Mg,y 是 Al,m 是 C,n 是 N。

9. (1) 第一周期第 I A 族  $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{电解}} 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow$  (或  $2\text{NaCl}$  (熔融)  $\xrightarrow{\text{电解}} 2\text{Na} + \text{Cl}_2 \uparrow$ )

(2) 纯碱(或苏打)  $2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Cl}_2 +$

$\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaClO} + 2\text{NaHCO}_3$  紫

(3)  $\text{NaH}$   $\text{Na}_2\text{O}_2$  或  $\text{Na}_2\text{C}_2$

: O :

$:\ddot{\text{Cl}}::\ddot{\text{C}}::\ddot{\text{Cl}}:$  金属晶体

(4) 氢 正四面体

10. (1) H O Na

(2)  $\text{NaOH}$   $\text{Na}_2\text{O}_2$  (3)  $\text{H}_2\text{O}_2$   $5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2 \uparrow$

$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{CN}^- + \text{OH}^- \longrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{NH}_3 \uparrow$

11. (1)  $\text{Na} > \text{Al} > \text{C} > \text{O} > \text{H}$  (2)  $\text{C}_2\text{H}_2$

(3)  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$   $\text{Na}^+ [:\ddot{\text{O}}::\ddot{\text{O}}:]^{2-} \text{Na}^+$

①  $\text{NaAlO}_2$   $\text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$  (或  $2\text{AlO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-}$ )

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

$c(\text{Na}^+) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{CO}_3^{2-}) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$

提示:(1)根据短周期元素 X、Y 最高正价与最低负价之和均为 0,推知 X、Y 元素分别为 H 和 C。由 Q 与 X 同主族推知 Q 为 Na 元素。由 Z、R 分别是地壳中含量最高的非金属元素和金属元素,推知 Z 为 O 元素,R 为 Al 元素。故原子半径大小顺序为  $\text{Na} > \text{Al} > \text{C} > \text{O} > \text{H}$ 。

(2) C 和 H 形成的物质是有机化合物,含极性键又含非极性键,分子质量最小的只能是  $\text{C}_2\text{H}_2$ 。

(3) C 溶于水显酸性的气体只能是  $\text{CO}_2$ , D 是淡黄色固体,只能是过氧化钠。① B 为两性不溶物,A、B 均由三种元素组成,根据转化关系可知 A 为  $\text{NaAlO}_2$ , B 为  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。② A 由三种元素组成,B 由四种元素组成,A、B 溶液均显碱性,则 A 是  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , B 是  $\text{NaHCO}_3$ 。A 显碱性的原因是  $\text{CO}_3^{2-}$  的水解。水解的离子方程式为  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ ,二者等浓度的混合溶液中,离子浓度的大小顺序为  $c(\text{Na}^+) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{CO}_3^{2-}) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$ 。

(责任编辑 谢启刚)

## 物质结构与性质知识能力测试参考答案

1. C
2. B
3. C 提示: X 为 O, Z 为 S, Y 为 Al, W 为 Ca。
4. B 提示: X、Y、Z、W、R 分别为 H、C、N、O、Na。
5. A 提示: X、Y、Z、W、T 分别为 Mg、Al、S、F、Cl。
6. C 提示: W、X、Y、Z 分别为 N、O、P、Cl。
7. B 提示: W、X、Y、Z 分别为 O、F、Mg、S。
8. C 提示: M、W、X、Y、Z 分别为 Li、B、C、O、F。
9. D 提示: X 为 N, Y 为 O, Z 为 Na, Q 为 Al, R 为 Cr。
10. C 提示: X、Y、Z、Q、W 分别为 H、C、O、S、K。
11. A 提示: 五种元素分处三个短周期, 则 R 为 H; 基态 Z 原子的成对电子占据的轨道数与未成对电子占据的轨道数之比为 7 : 2, 则 Z 的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ , Z 为 S; 五种元素包含地壳中含量前三的元素 O、Si、Al, 则 W 为 O, X 为 Al, Y 为 Si。
12. C 提示: 基态 Y 原子的电子填充了 3 个能级, 其中有 2 个未成对电子, 则其核外电子排布为  $1s^2 2s^2 2p^2$  或  $1s^2 2s^2 2p^4$ , 结合所给物质中 Y 的成键特点可知, Y 为 C 元素; Y、Z 均位于 X 的下一周期, 所以 X 位于第一周期, 为 H 元素, Z 可以形成 3 个共价键, 则应为 N 元素; W 的焰色为绿色, 所以为 Cu 元素。
13. A 提示: Ti 元素为 24 号元素, 位于第四周期 IV B 族, A 项错误。据图可知黑球的个数为  $12 \times \frac{1}{4} + 1 = 4$  个, 化学式为 TiN, 则白球个数与黑球个数相等, 即该晶胞中含有 4 个 Ti 原子和 4 个 N 原子, B 项正确。Ti 原子半径大于 N 原子的, 所以黑球为 Ti 原

子, 白球为 N 原子, 以体心 Ti 原子为例, 距离其最近且相等的 N 原子可构成一个正八面体, 即 Ti 均位于 N 构成的八面体空隙中, C 项正确。Ti 原子的半径大于 Mn, 更容易失去电子, 所以 Ti 的第一电离能小于 Mn, D 项正确。

14. D 提示: Ni 是 28 号元素, 电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$ , 位于元素周期表 d 区, A 项正确。晶胞中含有 K 为  $8 \times \frac{1}{4} + 2 = 4$ , F 为  $16 \times \frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{2} + 2 = 8$ , Ni 为  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ , 则 K、Ni、F 原子个数之比为 4 : 2 : 8 = 2 : 1 : 4, 化学式为  $K_2NiF_4$ , B 项正确。由图像可知, 每个 Ni 周围距离最近的 F 有 6 个, 故 Ni 的配位数为 6, C 项正确。该晶胞由阳离子和阴离子构成, 属于离子晶体, D 项错误。

15. (1) 原子(1分)  $sp^3$ (1分)

(2)  $F > O > Cl$ (1分) V形(1分)

$OF_2$  和  $Cl_2O$  是结构相似的分子晶体,  $Cl_2O$  的相对分子量大于  $OF_2$ , 分子间作用力大于  $OF_2$ (2分)

(3)  $[Ar]3d^{10}4s^24p^4$ (1分) As 原子的 4p 轨道为稳定的半充满结构, 元素的第一电离能大于相邻元素(2分)

(4) 2(1分)  $(0, 0, \frac{r}{c})$ (2分)

$\sqrt{\frac{a^2}{2} + (\frac{c}{2} - r)^2}$  (2分)

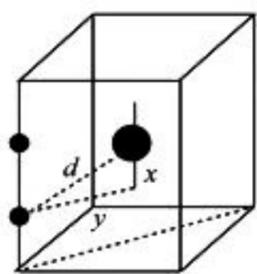
提示: (1) 由物理性质可知, 四氯化三硅为熔沸点高、硬度大的共价晶体; 四氯化硅中硅原子的价层电子对数为 4, 硅原子的杂化方式为  $sp^3$  杂化。

(2) 元素的非金属性越强, 电负性越大, 氟、氧、氯三种元素的非金属性强弱顺序为  $F > O > Cl$ , 则电负性的大小顺序为  $F > O > Cl$ ;  $OF_2$  分子中氧原子的价层电子对数为 4, 孤对电子对数为 2, 则分子的空间构型为 V 形; 结构相似的分子晶体, 相对分子量越大, 分子间作用力越大, 熔沸点越高,  $OF_2$  和  $Cl_2O$  是结构相似的分子晶体,  $Cl_2O$  的相对分子量大于  $OF_2$ , 分子间作用力大于  $OF_2$ , 所

以  $\text{OF}_2$  的熔、沸点低于  $\text{Cl}_2\text{O}$ 。

(3) 硒元素的原子序数为 34, 位于元素周期表第四周期第 VI A 族, 基态原子的原子核外电子排布式为  $[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^4$ ; 砷原子的 4p 轨道为稳定的半充满结构, 元素的第一电离能大于相邻元素, 所以砷的第一电离能比硒的第一电离能大。

(4) 由晶胞结构可知, 晶胞中原子半径大的氙原子位于顶点和体心, 原子个数为  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ , 原子半径小的氟原子位于棱上和体内, 原子个数为  $8 \times \frac{1}{4} + 2 = 4$ , 所以晶胞中有 2 个  $\text{XeF}_2$  分子; 由晶胞中体心 A 点原子的分数坐标为  $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  可知, 晶胞的边长为 1, 则位于棱的  $\frac{r}{c}$  处 B 点原子的分数坐标为  $(0, 0, \frac{r}{c})$ ; 由晶胞结构可得如下示意图:



图中  $y$  为面对角线的  $\frac{1}{2}$ , 则

$y$  为  $\frac{\sqrt{2}a}{2}$ ,  $x$  为  $(\frac{c}{2} - r)$ , 即 A、B 间距离  $d$  为

$$\sqrt{\frac{a^2}{2} + (\frac{c}{2} - r)^2}.$$

16. (1) 6 : 7 (1 分)

(2) ① 4 (1 分) ② 小于 (1 分) ③ 原子半径依次减小, 得电子能力依次增强 (1 分)

④ 负 (1 分)

(3) 42 (2 分)  $\text{N} > \text{O} > \text{C} > \text{B}$  (2 分)

(4)  $(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4})$  (2 分)

(5) ① 正四面体形 (1 分) 8 (1 分)

②  $\frac{108 \times 10^{21}}{N_A \times a^3}$  (2 分)

提示: (1) 铝元素的原子序数为 13, 基态原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ , 则原子中球形的 s 能级与哑铃形的 p 能级上电子数之比为 6 : 7。

(2) ① 由方程式可知, 制氢反应的化合物

中硼、碳、氮、氧四种元素的原子的价层电子对数都为 4, 杂化方式均为  $sp^3$  杂化。

② 氨分子中氮原子含有 1 对孤对电子,  $\text{H}_3\text{NBH}_3$  中氮分子的孤对电子与硼原子形成配位键, 孤电子对对成键电子对的排斥力大, 所以氨分子中键角  $\angle\text{HNB}$  小于  $\text{H}_3\text{NBH}_3$  中键角  $\angle\text{HNB}$ 。

③ 同周期元素, 从左到右原子半径依次减小, 得电子能力依次增强, 元素的非金属性依次增强, 元素的电负性依次增大, 则硼、碳、氮、氧四种元素的电负性依次增大。

④ 由电负性的大小可知, 氢元素的电负性大于硼元素, 则在氨硼烷中, H—B 键中共用电子对偏向氢原子, 氢原子带部分负电荷。

(3) 有机物分子中单键为  $\sigma$  键, 双键中含有 1 个  $\sigma$  键和 1 个  $\pi$  键, 由有机硼化合物的结构简式可知, 1 mol 有机物中含有 42 mol  $\sigma$  键; 同周期元素, 从左到右第一电离能呈增大趋势, 氮原子的 2p 轨道为稳定的半充满结构, 第一电离能大于相邻元素, 则硼、碳、氮、氧四种元素的第一电离能由大到小的顺序为  $\text{N} > \text{O} > \text{C} > \text{B}$ 。

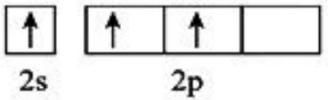
(4) 由位于顶点的 a 点磷原子的坐标为  $(0, 0, 0)$ 、位于顶点的 b 点磷原子的坐标为  $(1, 1, 0)$  可知, 晶胞的边长为 1, 则位于体对角线  $\frac{1}{4}$  处的 c 点硼原子的坐标为  $(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4})$ 。

(5) ①  $\text{AlH}_4^-$  中铝原子的价层电子对数为 4, 孤对电子对数为 0, 则离子的空间构型为正四面体形; 由晶胞结构可知, 位于体心的  $\text{AlH}_4^-$  与位于棱上和面心的  $\text{Na}^+$  距离最近, 则  $\text{AlH}_4^-$  的配位数为 8。

② 由晶胞结构可知, 位于体心、顶点和面上的  $\text{AlH}_4^-$  的个数为  $1 + 8 \times \frac{1}{8} + 4 \times \frac{1}{2} = 4$ , 位于棱上、面上的  $\text{Na}^+$  个数为  $4 \times \frac{1}{4} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ , 设晶体的密度为  $d \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 由晶胞的质量公式可得:  $\frac{4 \times 54}{N_A} = (a \times 10^{-7})^2 \times 2a \times 10^{-7} \times d$ , 解得  $d = \frac{108 \times 10^{21}}{N_A \times a^3}$ 。

17. (1)电子(运动)状态(1分) 3(1分)

(2)① $N > B > Ca$ (1分) ② $sp^2$ 杂化(1

分)  $3p$ (1分)  (1分)

③ $BCl_3$ 和四氯化碳均为非极性分子,而氨气属于极性分子,相似相溶(2分)

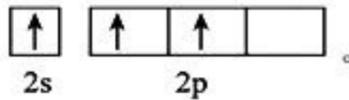
(3)2 mol(2分) 2(2分)

(4) $\frac{\sqrt{2}d}{2a}$ (2分)

提示:(1)整个原子的能量由核电荷数、电子数和电子(运动)状态三个因素共同决定;基态B原子的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^1$ ,故其核外电子填充在 $1s, 2s, 2p$ 三个轨道中。

(2)①金属的电负性较小,另外,同周期元素电负性从左向右在增大,故Ca、B、N三种元素电负性从大到小的顺序为 $N > B > Ca$ 。

② $BCl_3$ 中B原子的价层电子对数为3,其杂化方式为 $sp^2$ ,故 $BCl_3$ 中B原子的 $sp^2$ 杂化轨道与Cl原子的 $3p$ 轨道形成 $\sigma$ 键;基态B原子价电子层上的电子先进行激发,再进行杂化,说明B原子激发后的三个轨道能量相同,故激发时B原子的价电子排布图为



③极性相似的物质溶解度较大, $BCl_3$ 和四氯化碳为非极性分子,氨气为极性分子。

(3)图中连上下羟基的B原子含有配位键,故1 mol该阴离子存在的配位键物质的量为2 mol,在该阴离子中B显+3价,O显-2价,H显+1价,根据化合价的关系可知, $n=2$ 。

(4)将8个正八面体的中心连接呈晶胞的立方晶系图,由M点坐标知该原子位于晶胞的中心,且每个坐标系的单位长度都记为1,已知 $B_6$ 八面体中B—B键的键长为 $d$  pm,晶胞参数为 $a$  pm,则八面体中心到顶点的距离为 $\frac{\sqrt{2}}{2}d$ ,则N点在棱的 $\frac{\sqrt{2}d}{2a}$ 处,其坐标为 $(\frac{\sqrt{2}d}{2a}, 1, 0)$ 。

18. (1)2:5(2分)

(2) $sp$ (1分)  $sp^2$ (1分)

(3)平面三角形(2分)

(4)c(1分)

(5) $3d^6 4s^2$ (2分)

(6)乙二醇分子中羟基比丙醇的多,分子间的氢键比丙醇多,分子间作用力较大(2分)

(7)4(2分)  $\frac{4M \times 10^{21}}{1.0 \times 0.72 \times 0.56 \times N_A}$ (2分)

分)

提示:(1)Ti为22号元素,钛有2个未成对电子,Mn为25号元素,锰有5个未成对电子,所以基态Ti和Mn原子中未成对电子数之比为2:5。

(2)二氧化碳为直线型,结构式为 $O=C=O$ ,没有孤电子对,碳原子采取 $sp$ 杂化, $-CHO$ 中碳原子形成3个 $\sigma$ 键,没有孤电子对,杂化轨道数目为3,碳原子采取 $sp^2$ 杂化。

(3) $HCHO$ 中碳原子含有3个 $\sigma$ 键,碳原子采取 $sp^2$ 杂化,不含孤电子对,所以其空间构型是平面三角形。

(4)面心立方晶胞中原子位于顶点和面心,俯视时上下底面的面心原子位于俯视图正方形中心,顶点原子位于正方形顶点,其他侧面的原子位于正方形四边中点,故俯视图为c。

(5)铁是26号元素,其原子核外有26个电子,Fe原子的 $3d, 4s$ 电子为其价电子,其价电子排布为 $3d^6 4s^2$ 。

(6)乙二醇分子中羟基比丙醇分子中的羟基多,分子间的氢键比丙醇的多,分子间的作用力较大,故其沸点较高。

(7)由图可知,2个Cl原子在晶胞内部,4个Cl原子在晶胞的边上,则该晶胞中Cl原子数目为 $2 + 4 \times \frac{1}{2} = 4$ ,则晶胞的质量 $m =$

$$nM = \frac{4M}{N_A} \text{ g, 晶胞体积 } V = abc \times 10^{-21} \text{ cm}^3 = 0.72 \times 1.0 \times 0.56 \times 10^{-21} \text{ cm}^3, \text{ 晶体密度 } \rho = \frac{m}{V} = \frac{4M \times 10^{21}}{1.0 \times 0.72 \times 0.56 \times N_A} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

(责任编辑 谢启刚)

# 2023年高考

## 《中学生数理化（高中版）》高考理化与您同行

考场如战场，每一道试题都是一个战略高地，拦在您面前，阻挡您通往心仪的大学。2023年高考，中学生数理化（高中版）高考理化与您同行，助您攻克难题，做高考赢家！

中学生数理化（高中版）高考理化从2022年第9期至2023年第8期为一个学年，全面配合2023年高考物理、化学学科的复习，主要栏目有高考命题新动向，高考新考向分析，科学应试与策略，实验探究与展望，创新题追根溯源，易错题归类剖析，经典题突破方法，核心考点AB卷等。单月为物理专题复习，双月为化学专题复习，为密切配合高考，2023年第5、6期于2023年3月中旬提前出版，第7、8期于2023年4月中旬提前出版。

### 《中学生数理化（高中版）》高考理化2022—2023学年编辑计划一览表

月份	进度配合	重点内容
9	物理第一轮复习	必修1（运动的描述、直线运动、牛顿运动定律）、必修2（曲线运动、动能定理、机械能守恒定律、能量守恒定律）、选修3—5（动量定理、动量守恒定律、波粒二象性、原子结构、原子核）
10	化学第一轮复习	化学反应原理专题，包括化学反应的热效应、化学反应速率与化学平衡、水溶液中的离子反应与平衡、化学反应与电能
11	物理第一轮复习	选修3—1（静电场、恒定电流、磁场）、选修3—2（电磁感应、交变电流、传感器）
12	化学第一轮复习	物质结构与性质：①原子结构与性质，②分子结构与性质，③晶体结构与性质；物质结构 元素周期律
1	物理第二轮复习	选择题、力学实验题，高考物理模拟试题（一）（二）
2	化学第二轮复习	有机化学专题，包括有机化合物的结构特点与研究方法，烃，烃的衍生物，生物大分子，合成高分子
3	物理第二轮复习	电学实验题、解答题，高考物理模拟试题（三）（四）
4	化学第二轮复习	元素化合物和化学实验专题
5	物理第二轮复习	选做题，高考物理模拟试题（五）（六）
6	化学第二轮复习	高考热点专题：化学与生活、科技、环境、诺贝尔奖，科学应考，审题要领，选择题解题技巧，填空题答题规范等
7-8	物理、化学考前冲刺	考前备考建议，“强基计划”政策解读，高考物理模拟试题（七）（八）；高考化学模拟测试

