



化学

宏微结合 从多层次复习离子检验

北京市第一零九中学 王永兴

离子检验是高三化学复习中非常重要的一部分,学透离子检验有助于更好地完成相关的一系列试题。关于离子检验的复习,一方面要夯实基础,知道一些重要离子的特征检验方法及其选择依据;另一方面要因地制宜,在分析工业生产和实验探究中的真实问题时,结合问题情境对离子检验的方法进行灵活变通处理。

离子检验过程中发生的反应,就是将微观不可见的离子转化为宏观可见的存在形式,如:沉淀、气体、可溶的

有色物质等。在某种离子的诸多性质中,往往会选择操作方便、现象明显、专一性强的反应作为该离子的检验方法。同学们应梳理、总结常见阴阳离子的检验方法,如下表所示。

对于离子检验,可以结合宏观与微观两个角度,按照四个层次进行复习,即单一离子检验方法的确立、混合物中的离子检验、特定情境下的离子检验、未知反应体系中的离子检验。下面就以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的检验为例,从这四个层次展开分析。

常见阴阳离子的检验方法

微观离子	试剂或方法	实验现象	宏观形式
H^+	紫色石蕊溶液	变红	产生可溶的有色物质
OH^-	酚酞溶液	变红	
Fe^{3+}	KSCN 溶液	溶液变红	
Fe^{2+}	NaOH 溶液	白色沉淀→灰绿色沉淀→红褐色沉淀(或氧化为 Fe^{3+} 后再检验)	产生沉淀
Fe^{3+}	NaOH 溶液	红褐色沉淀	
Cl^-	稀硝酸、 AgNO_3 溶液	白色沉淀	
SO_4^{2-}	先加入稀盐酸,再加入 BaCl_2 溶液	白色沉淀	产生气体
CO_3^{2-}	稀盐酸	产生能使澄清石灰水变浑浊的无色无味气体	
NH_4^+	NaOH 浓溶液、加热	产生能使湿润的红色石蕊试纸变蓝的气体	

单一离子检验方法的确立

在检验 Cl^- 时,需要用到稀硝酸和 AgNO_3 溶液。其中, AgNO_3 溶液中的 Ag^+ 能够将微观 Cl^- 转化为宏观的白色沉淀 AgCl 。同时, Ag^+ 还可能与 CO_3^{2-} 产生白色沉淀,因此需要用稀硝酸中的 H^+ 排除 CO_3^{2-} 的干扰。检验 Cl^- 的过程中,稀硝酸和 AgNO_3 溶液的添加顺序没有固定要求,无论是 CO_3^{2-} 还是 Ag_2CO_3 遇稀硝酸都会转化为 CO_2 气体,最终不会干扰到 Cl^- 的检验。

在检验 SO_4^{2-} 时,需要用到稀盐酸和 BaCl_2 溶液。其中, BaCl_2 溶液中的 Ba^{2+} 能够将微观 SO_4^{2-} 转化为宏观的白

色沉淀 BaSO_4 。同时, Ba^{2+} 与 CO_3^{2-} 或 SO_3^{2-} 、 Cl^- 与 Ag^+ 也会形成白色沉淀,所以要用稀盐酸进行排除。稀盐酸中的 H^+ 用于排除 CO_3^{2-} 、 SO_3^{2-} 的干扰,稀盐酸中的 Cl^- 用于排除 Ag^+ 的干扰。在检验 SO_4^{2-} 的过程中,需先加入稀盐酸,如果无现象就可以排除 CO_3^{2-} 、 SO_3^{2-} 和 Ag^+ 的可能;再加入 BaCl_2 溶液,如果有白色沉淀产生,才能证明 SO_4^{2-} 的存在。如果将顺序调换,先加入 BaCl_2 溶液再加入稀盐酸,就不能排除 Ag^+ 存在的可能。所以,稀盐酸和 BaCl_2 溶液的添加顺序不能调换。

混合物中的离子检验

在工业生产和实验室等真实环境中,常会遇到研究对象的体系中混有杂质的问题。这种情况下,可以通过离子检验进行样品纯度分析。

【例1】检验侯氏制碱法获得的纯碱样品中是否混有氯化钠杂质。

【分析】从微观粒子的视角来看,这个问题的本质是在有 CO_3^{2-} 的环境中检验 Cl^- 是否存在。我们可以先用稀硝酸将样品中的 CO_3^{2-} 完全转化为 CO_2 气体,再加入 AgNO_3 溶液。若有白色沉淀产生,则证明纯碱样品中混有氯化钠杂质。

【例2】检验亚硫酸钠样品是否部分变质。

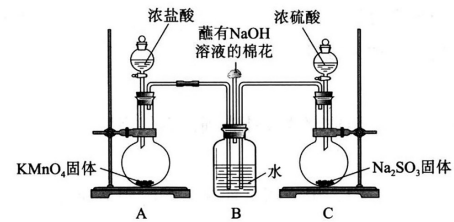
【分析】这个问题的本质是在有 SO_3^{2-} 的环境中检验 SO_4^{2-} 是否存在。同样,我们可以先用稀盐酸将样品中的 SO_3^{2-} 完全转化为 SO_2 气体,再加入 BaCl_2 溶液。若有白色沉淀产生,则证明亚硫酸钠样品中含有硫酸钠。

在这样的真实问题检验中,要考虑到体系中待检测离子的性质和体系中其他离子的影响。同学们需要注意先消除其他离子带来的影响,再进行待检测离子的检验。

特定情境下的离子检验

离子检验还常用于对化学反应的研究中。

【例3】通过下图所示的实验装置进行实验,探究 SO_2 和 Cl_2 同时通入水中能否发生反应。写出操作步骤和现象。



【分析】首先,根据氧化还原的原理判断可能出现的反应: $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$,反应发生的位置在装置B中。

其次,需要确定选择哪种微粒进行检验来证明上述反应的发生。根据离子方程式可以看出,反应生成了 H^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 这三种离子。同学们应思考,它们的检验方法彼此有无干扰?应该采用什么样的操作顺序?下面,我们来逐一分析。

检验到 H^+ 能否证明上述反应发生呢? SO_2 、 Cl_2 两种气体单独溶于水,都会与水反应产生酸,即 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HClO}$ 和 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3$,这两个反应都能产生 H^+ ,因而无法证明。

检验到 Cl^- 能否证明上述反应发生呢?装置A中浓盐酸挥发的 HCl 气体进入装置B中溶解电离也会产生 Cl^- 。但这种干扰可以通过在装置A和装置B之间加入盛有饱和 NaCl 溶液的洗气瓶解决。不能解决的难题是,无法避免在装置B中发生 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HClO}$ 的反应。

由此可知,在体系中, SO_2 和 Cl_2 反应不是 H^+ 和 Cl^- 产生的唯一途径,所以对这两个微观离子的检验就不能成为 SO_2 和 Cl_2 宏观反应的证据。

因此,只能对 SO_4^{2-} 进行检验。因为装置B中反应得到的溶液已经是酸性的,且在此实验条件下不会产生 Ag^+ 和 CO_3^{2-} 的干扰,所以这个情境下不需要加入稀盐酸进行酸化,直接加入含 Ba^{2+} 的试剂进行检验即可。根据物质的溶解性,常见含 Ba^{2+} 的试剂可选择 BaCl_2 溶液、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液和 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液,这三种溶液都可以遇 SO_4^{2-} 产生 BaSO_4 白色沉淀。那这三种溶液是否都可以用呢?我们还需考虑到 SO_4^{2-} 的来源 SO_2 。若 SO_2 和 Cl_2 不发生反应,装置B中会有溶解的 SO_2 (或 H_2SO_3)。因此,最终选择的检验试剂要能够区分溶解的 SO_2 和 SO_4^{2-} 。可以做如下梳理。

	BaCl_2 溶液	$\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液
SO_2	无明显现象(不反应)	白色沉淀($\text{BaSO}_3 \downarrow$)	白色沉淀($\text{BaSO}_4 \downarrow$)
SO_4^{2-}	白色沉淀($\text{BaSO}_4 \downarrow$)	白色沉淀($\text{BaSO}_4 \downarrow$)	白色沉淀($\text{BaSO}_4 \downarrow$)

可以看出, SO_2 和 SO_4^{2-} 只有在 BaCl_2 溶液中的宏观现象是不同的。

综上分析,可以确定实验方案:取少量装置B中的溶液于试管中,滴加少量 BaCl_2 溶液,若有白色沉淀生成,则证明 SO_2 和 Cl_2 同时通入水中可以发生反应。

未知反应体系中的离子检验

在某情境下,当不能确定产物的组成时,也可以通过离子检验对反应体系进行分析。

【例4】(2013年北京卷理综第28题节选)某学生对 SO_2 与漂粉精的反应进行实验探究:

操 作	现 象
取4 g 漂粉精固体,加入100 mL 水	部分固体溶解,溶液略有颜色
过滤,测漂粉精溶液的pH	pH试纸先变蓝(约为12),后褪色
持续通入 $\text{SO}_2 \rightarrow$  $\rightarrow$ 尾气处理	i. 液面上方出现白雾; ii. 稍后,出现浑浊,溶液变为黄绿色; iii. 稍后,产生大量白色沉淀,黄绿色褪去

(5)为了确定A瓶中白色沉淀的成分,将A瓶中混合物过滤、洗涤,得到沉淀X。向沉淀X中加入稀盐酸,无明显变化。取上层清液,加入 BaCl_2 溶液,产生白色沉淀。则沉淀X中含有的物质是_____。

【分析】“ SO_2 与漂粉精的反应”体系是未知的,通过实验操作及现象的分析,“向沉淀X中加入稀盐酸,无明显变化”说明沉淀不是 CaSO_3 。那么,会是 CaSO_4 吗?根据“取上层清液,加入 BaCl_2 溶液,产生白色沉淀”,可分析得出发生了微溶的 CaSO_4 到难溶的 BaSO_4 的转化。

即: $\text{CaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$
+
 $\text{Ba}^{2+}(\text{aq})$
 $\Downarrow$
 $\text{BaSO}_4(\text{s})$

总反应: $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) = \text{BaSO}_4(\text{s}) + \text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ 。

由上述分析可知,对问题情境中沉淀成分的确定过程,其实就是 SO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 离子的检验过程,但又没有拘泥于这两种离子的传统检验方法,而是结合了沉淀转化给离子检验带来的便利。