

化学

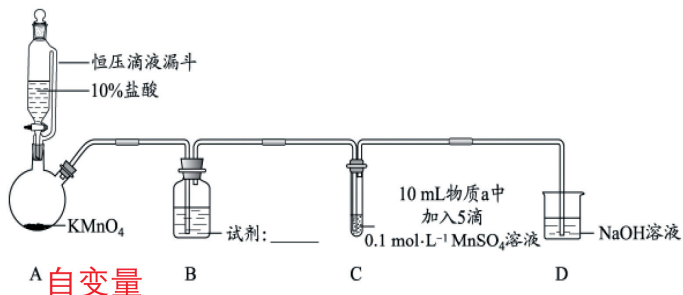
# 浅谈实验探究题中的系统分析思想

北京市八一学校教师 陈颖

实验探究题是每年北京高考的压轴题,该题充分考查了《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》中提到的“证据推理与模型认知”和“科学探究与创新意识”学科素养。近几年实验探究题呈现出一些新的特点:实验目的从单纯考查物质性质或原理,转向将物质性质与化学反应原理相结合,情境也转为多选择多反应并存的真实情境,整个题型重点考查学生系统分析的思想以及解决复杂问题的能力。本文以2022年北京高考题为例,梳理一下如何从系统分析的角度解读、解答实验探究题。

## 一、拆解实验目的,初识实验方案

**实验目的**  
某小组同学探究不同条件下氯气与二价锰化合物的反应。  
资料: i.  $Mn^{2+}$ 在一定条件下可被  $Cl_2$  或  $ClO^-$  氧化成  $MnO_2$  (棕黑色)、 $MnO_4^{2-}$  (绿色)、 $MnO_4^-$  (紫色)  
ii. 浓碱性条件下,  $MnO_4^{2-}$  可被  $OH^-$  还原为  $MnO_4^-$ 。  
iii.  $Cl_2$  的氧化性与溶液的酸碱性无关;  $NaClO$  的氧化性随碱性增强而减弱。  
实验装置如图(夹持装置略)。



序号	物质 a	C 中实验现象	
		通入 $Cl_2$ 前	通入 $Cl_2$ 后
I	水	得到无色溶液	产生棕黑色沉淀,且放置后不发生变化
II	5% NaOH 溶液	产生白色沉淀,在空气中缓慢变成棕黑色沉淀	棕黑色沉淀增多,放置后溶液变为紫色,仍有沉淀
III	40% NaOH 溶液	产生白色沉淀,在空气中缓慢变成棕黑色沉淀	棕黑色沉淀增多,放置后溶液变为紫色,仍有沉淀

图1 2022年的北京高考实验探究题(信息、实验器材)

一道实验探究题由“实验目的—提出假设—实验验证—得出结论”这几个环节构成。本题的目的是“探究不同条件下氯气与二价锰化合物的反应”,简单的一句话,却可以拆解成几个层次的问题。第1个问题:氯气与二价锰化合物反应吗?可能发生什么反应?(该问题着重考查基于物质性质的预测)第2个问题:二者反应的产物是什么?(该问题注重考查证据推理能力,里面会涉及物质制备、物质分离、物质检验的考查)第3个问题:二者为什么发生这些反应?反应之间有什么关系?如何调控这些反应?对于调控氧化还原反应时,物质的浓度、温度、溶液的酸碱性都是影响反应的条件。(该问题主要考查化学反应原理部分,会涉及化学平衡移动、化学反应速率等方面)当我们带着这样的问题,再来看这道题给的信息时(见图1)会很自然的关注二价锰有不同的产物、 $MnO_4^{2-}$ 、 $NaClO$  的氧化性随着溶液酸碱性的转化,也会关注到随溶液酸碱性、氧化剂的改变而带来的反应的不同。这也达到拆解实验目的、初识方案的目标。

## 二、透过宏观现象分析微观本质,实现小范围证据推理、系统分析

(1) B 中试剂是 **饱和 NaCl 溶液**

(2) 通入  $Cl_2$  前, II、III 中沉淀由白色变为棕黑色的化学方程式为



(3) 对比实验 I、II 通入  $Cl_2$  后的实验现象,对于二价锰化合物还原性的认识是

**二价锰化合物在中性或弱酸性条件下只能被氧化到  $MnO_2$ , 在碱性条件下可以被氧化到更高价态**

图2 2022年的北京高考实验探究题(1-3问)

在明确实验目的,我们要带着具体的问题来理解整个实验的过程。锰元素并不是高中阶段我们重点学习的元素,对于锰元素的物质的性质的转化,我们主要是从资料中获取信息,如不同价态物质的物理性质的不同、不同价态之间的转化等。如图2所示,问题(1)是考查基本的物质制备的基本常识,不难回答。问题(2)是从实验现象出发提问,我们要透过宏观现象,判断微观物质成分,推测发生的反应,体会“现象—物质—反应”的证据推理路径;在这个体系内白色物质是  $Mn(OH)_2$ , 根据信息棕黑色物质是  $MnO_2$ , 锰元素发生氧化反应,需要在体系中寻找氧化剂,题中提到“缓慢氧化”可以推测氧化剂是  $O_2$ , 于是完成了这步反应的推理  $2Mn(OH)_2 + O_2 = 2MnO_2 + 2H_2O$ 。问题(3)则从简单的证据推理,升级为系统分析,从 I、II 通入  $Cl_2$  前后的实验现象分别判断出对应的产物,得出子结论,然后再结合在一起得出二价锰化合物还原性的综合认识,这便是基于证据推理的系统分析思想。实验 I 通入氯气后生成了棕黑色沉淀 ( $MnO_2$ ), 实验 II 通入氯气后生成了紫色物质 ( $KMnO_4$ ), 二者的区别是碱性环境的不同,说明二价锰化合物在中性或弱酸性条件下只能被氧化到  $MnO_2$ , 碱性条件有利于锰元素生成更高价态的化合物。问题(2)和问题(3)很有层次,从认识一个反应出发,到几个反应的对比,确定变量、寻找规律。正好回应了一开始对题目的解读“是否反应,产物是什么,反应的关系和规律是什么”的疑问。

## 三、针对异常现象,找全反应、对比分析是关键

(4) 根据资料 ii, III 中应得到绿色溶液, 实验中得到紫色溶液, 分析现象与资料不符的原因:  
**假设1** 原因一: 可能是通入  $Cl_2$  导致溶液的碱性减弱。  
**假设2** 原因二: 可能是氧化剂过量, 氧化剂将  $MnO_4^{2-}$  氧化为  $MnO_4^-$ 。  
① 用化学方程式表示可能导致溶液碱性减弱的原因, 但通过实验测定, 溶液的碱性变化很小。  
 $2NaOH + Cl_2 = NaCl + NaClO + H_2O$   
② 取 III 中放置后的 1 mL 悬浊液, 加入 4 mL 40% NaOH 溶液, 溶液紫色迅速变为绿色, 且绿色缓慢加深。溶液紫色迅速变为绿色的离子方程式为: 溶液绿色缓慢加深, 原因是  $MnO_2$  被  $NaClO$  (填“化学式”) 氧化, 可证明 III 的悬浊液中氧化剂过量。  
 $4MnO_2 + 4OH^- = 4MnO_4^{2-} + O_2 \uparrow + 2H_2O$   
③ 取 III 中放置后的 1 mL 悬浊液, 加入 4 mL 水, 溶液紫色缓慢加深, 发生的反应是。  
 $2MnO_2 + 3ClO^- + 2OH^- = 2MnO_4^- + 3Cl^- + H_2O$

图3 2022年的北京高考实验探究题(4) ①-③

如图3所示,根据资料“ii. 浓碱性条件下,  $MnO_4^{2-}$  可被  $OH^-$  还原为  $MnO_4^-$ ”, 实验 III 却没有观察到绿色, 提出两个假设 1 碱性不够强、假设 2 生成的  $MnO_4^{2-}$  被氧化成  $MnO_4^-$ 。假设需要验证, 以下是实验验证的过程。

实验①否定了假设 1, 同时也提示了氧化剂除了体系本来的  $Cl_2$ , 还生成了新的氧化剂  $NaClO$ , 而这个角度在资料“i.  $Mn^{2+}$  在一定条件下可被  $Cl_2$  或  $ClO^-$  氧化成  $MnO_2$  (棕黑色)、 $MnO_4^{2-}$  (绿色)、 $MnO_4^-$  (紫色)”也提到了  $ClO^-$ 。

实验②提及产生绿色物质的两个路径, 一种是结合资料 ii 继续加入碱性溶液 ( $4MnO_4^{2-} + 4OH^- = 4MnO_4^{2-} + O_2 \uparrow + 2H_2O$ ), 一种是低价态的  $MnO_2$  被继续氧化成  $MnO_4^{2-}$ 。此时的氧化剂不再是  $Cl_2$ , 而是在碱性条件下生成的  $NaClO$ 。这个问题也体现了系统思考, 我们在题目中寻找氧化剂的几个途径, 除了体系中 ( $Cl_2$ )、环境中 ( $O_2$ ), 还有过程中新生成的物质 ( $NaClO$ ), 只有找全后, 再一一确认, 才能帮我们最终找到正确的氧化剂。

实验③将悬浊液 ( $MnO_2$ ) 进一步转化成  $MnO_4^-$ , 这是对①②的进一步系统分析。通过前两步实验确定了碱性环境及氧化剂, 所以可以准确根据宏观现象推出具体物质, 进而写出转化的方程 ( $2MnO_2 + 3ClO^- + 2OH^- = 2MnO_4^- + 3Cl^- + H_2O$ )。

这三个实验的验证是层层递进的关系, 实验①除了验证的功能, 还起到了重要的提示角度的作用 ( $NaClO$ ); 实验②则是根据资料和提示证据推理的过程; 实验③则是把前两步的结论系统分析的结果。

## 四、解释原因或得出结论充分体现基于证据推理的系统分析思想

如图4所示, 问题(4)④是解释“未得到绿色溶液”异常现象的原因, 这是一道综合的问题, 需要从实验②和实验③得出结论中抽提出未出现明显现象的原因, 不是没有发生或者速率慢、限度小, 而是另一种可能即生成产物 ( $4MnO_4^{2-} + 4OH^- = 4MnO_4^{2-} + O_2 \uparrow + 2H_2O$ ) 后又立刻转化成其他产物, 依据实验③推测出  $2MnO_4^{2-} + ClO^- + H_2O = 2MnO_4^- + Cl^- + 2OH^-$ 。根据没有出现绿色溶液的现象, 推测两个反应的速率大小, 从而解释异常现象的原因。这一问充分反映了近几年高考题的特点, 在实验探究题中不再单纯考查物质性质的转化, 而是从原理上去分析、解释实验现象, 尝试解释反应的机理。

图4 2022年的北京高考实验探究题(部分)

我们一起回顾整个题目的解答过程, 会发现 2022 年的这道实验探究的情境较为复杂、元素种类相对陌生, 但是如果我们能明白题目的逻辑关系, 充分挖掘信息提示、题目所给假设—验证过程, 从系统分析的角度统看全题就会迎刃而解。图4中展示了每道题和哪些信息相关联, 我们会发现(3)、(4)②、③、④的解答需要关联至少两条以上的信息或上面题目的结论, 需要综合考虑。(4)问题解答的关键是关注到反应过程中新生成的  $NaClO$ , 如果系统分析找到这个氧化剂, 后面问题都会顺利解答; 最后一问更加精彩, 从上面的两个子结论出发进一步推测出物质的转化路径, 再结合速率的角度圆满地解释了现象, 也回应了探究性质的三个层次, 预测反应、验证产物、分析解释。我们在以后的实验探究题目的解答过程中要多关注系统分析的思想方法, 多从全局来思考问题、解决问题, 不断提升“证据推理与模型认知”“科学探究与创新意识”“核心素养”。