

基于思维模型的高三化学“设计实验方案”综合题型教学研究

王新福

(江苏省锡山高级中学, 江苏无锡 214174)

摘要 以江苏高考化学试卷中第 19 题“化学实验综合题”为例, 分析了 2019 年江苏省考生得分情况和某校高三一轮复习以来参加市统考该题得分情况, 发现学生在解决此类题时最棘手的问题是“设计实验方案”。总结归纳出在复习中建构“方案设计模型”和物质结晶“钟摆思维模型”的策略, 可以将物质制备实验中孤立化、碎片化和零散的知识进行整合, 突破学生思维障碍。

关键词 实验题 方案设计 思维模型 钟摆模型

化学实验是研究和学习物质及其变化的基本方法, 是科学探究的一种重要途径^[1]。化学实验对发展学生的化学学科核心素养有着重要的作用。化学实验也是高考化学重点考查的内容, 《普通高中化学课程标准(2017 年版)》中, 要求学生“能依据探究目的设计并优化实验方案, 完成实验操作, 能对观察记录的实验信息进行加工并获得结论……进一步认识控制反应条件在生产和科学研究中的重要意义和作用, 初步掌握控制实验条件的一些方法”。^[2]因此, 本文围绕“设计实验方案”综合题型展开介绍, 重点分析学生解题情况和错误原因, 并总结归纳基于思维模型的解题策略。

1 解题情况分析

自 2010 年至今, 江苏高考实验综合题型考查中对“设计实验方案或补充实验步骤”作为一个重要的考点出现。具体总结如表 1 所示。

表 1 近年来江苏高考中设计实验方案或补充实验步骤的考点

年份	实验方案涉及的考点内容
2019	设计以水洗后的滤渣为原料, 制取 CaCl_2 溶液的实验方案
2018	补充完整由 NaHSO_3 溶液制备无水 Na_2SO_3 的实验方案
2017	设计从“过滤 II”后的溶液中获取单质 Ag 的实验方案
2016	补充完整由萃取后得到的水溶液制备 $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的实验方案
2015	设计提纯 K_2FeO_4 粗产品的实验方案
2014	补充完整检验含碘废水中是否含有 I^- 、 IO_3^- 的实验方案
2013	补充完整由硫铁矿烧渣制备 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 晶体的实验步骤
2012	补充完整由除去铜的滤液制备 ZnO 的实验步骤
2011	补充完整测定样品中 NH_4ClO_4 含量的实验步骤
2010	补充由制得的 MnSO_4 溶液制备高纯 MnCO_3 的操作步骤(第 15 题)

学生在分析和解决这类问题时所表现的水平如何呢, 笔者将 2019 年江苏省选考化学学生第 19 题得分的分布情况以及 2020 届某校选考化学学生第 19 题得分情况(市统考期中、期末和一模)分析如下, 具体见表 2 和表 3 所示。

表 2 2019 年江苏省选考化学学生第 19 题得分分析

得分	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	难度
比例 (%)	13.18	0.35	3.78	2.22	5.97	6.14	7.73	6.96	15.29	10.06	13.99	8.68	3.48	1.73	0.23	0.01	0.45

注：区分度：0.864

表 3 2020 届某校选考化学学生市统考（期中、期末、一模）第 19 题得分分析

	期中	期末	一模
满分率	1.5	22.7	1.1
零分率	9.2	39	46.9
得分率（实验方案）	0.38	0.34	0.16
难度	0.42	0.56	0.41

不难看出，此类题在试卷中属于难题，学生在分析和解决此类题时感到棘手，尤其是从 2020 届某校选考化学学生市统考（期中、期末、一模）三次数据分析对比（表 3）可知，零分率增大，实验方案设计题得分率下降，但整体难度系数变化不大。这说明学生经过一个阶段的系统复习，对化学实验基础知识和技能有所掌握，但对“实验方案设计或补充实验步骤”问题的解决能力欠缺，尤其是选择原料确定反应原理和物质的分离与提纯两个环节，学生尤为薄弱。究其原因，主要体现在学生对实验知识、物质制备、实验条件的控制等认识是孤立的、碎片化的和零散的，在解题过程中未将已有的知识经验与题示信息进行整合和结构化处理，缺乏回答此类问题的角度和思路及建立解决此类问题的思维模型，没有养成解决此类问题的能力 and 素养^[3]。

2 基于思维模型的教学设计

针对学生最薄弱的环节“设计物质制备实验方案”，本文专门进行微切口突破，以帮助学生建立系统解决问题的思维模型（如图 1 制备型实验方案设计与评价思维模型）。首先根据实验目的确定反应原理，依据原理设计实验路径和实验步骤，根据反应特点和物质性质选择实验条件，从产品纯度、产率、环境保护等方面反思实验原理，优化实验步骤，提升学生对真实实验情境下的问题解决能力，做到“精准施策”。

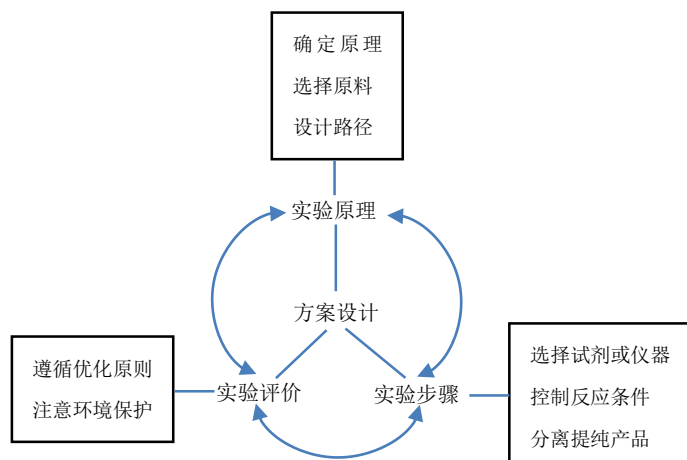


图 1 制备型实验方案设计与评价思维模型

实验方案设计是实施化学实验之前，根据化学实验原理，运用相关化学知识与技能，对实验试剂、仪器及装置的选择和使用所进行的一种规划^[4]。教师在教学过程中可以创设由浅入深的实验方案设计问题串，

通过对问题串的解决,将“知识关联结构化、认识思路结构化和核心观念结构化^[5]”,同时要超越具体知识,突破简单的思维和思维定势,构建比较全面、有序和可发展的思维模型,以期提高学生的化学核心素养。

2.1 微切口1: 明确目标、分析原理, 设计实验方案

[问题情境 1] 硫酸铜是制备其它铜化合物的重要原料。加在贮水池中可防止藻类生长。同石灰乳混合而得“波尔多液”,可用以消灭害虫。如何在实验室制取 CuSO_4 。

[任务 1: 设计方案] 结合物质性质特点,明确反应原理,选择相关试剂,设计合成方案,并写出反应化学方程式(或离子方程式)。

[学生方案①] 利用铜粉与足量浓硫酸加热,产生的 SO_2 气体用 NaOH 溶液吸收。

[学生方案②] 将适量浓硝酸分多次加入到铜粉与稀硫酸的混合物中,加热使之反应完全制取硫酸铜,产生的 NO_x 气体和空气一起通入 NaOH 溶液吸收。

[学生方案③] 向铜粉和稀硫酸的混合物中加入 H_2O_2 得到硫酸铜。

[任务 2: 比较方案] 引导学生从反应原理、试剂的选择、控制条件、原料利用率、环境保护等工业生产角度,比较三种制备方案的优劣,见表 4。

表 4 制备 CuSO_4 的方案比较

	方案①	方案②	方案③
反应原理	$\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	$3\text{Cu} + 8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- \xrightarrow{\Delta} 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
反应物	铜粉、浓硫酸	铜粉、浓硝酸、稀硫酸	铜粉、 H_2O_2 溶液、稀硫酸
反应条件	加热	加热	常温
优势	原料来源广泛,价格低(400 元/吨), 产物单一	原料来源广泛, S 原子利用率高	反应条件温和, 原子利用率高; 无污染大气的气体产生
劣势	S 原子利用率低, 产生 SO_2 气体	产物中混有杂质 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, 且不易分离, 产生 NO_x , HNO_3 价格高(1330 元/吨)	H_2O_2 的价格略高(1000 元/吨)

[问题情境 2] (2010 江苏高考 15 题改编)高纯 MnCO_3 是制备高性能磁性材料的主要原料。已知 MnCO_3 难溶于水、乙醇, 100°C 开始分解; $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 开始沉淀时 $\text{pH}=7.7$ 。请补充由 MnSO_4 溶液制备 MnCO_3 的操作步骤:_____。(实验中须使用到的试剂和仪器: NaHCO_3 溶液、 BaCl_2 溶液、蒸馏水、无水乙醇; pH 计)。

[任务 3: 设计方案] 综合分析题示信息,使用题给试剂,设计科学合理的实验方案。

[学生方案③] 边搅拌边向 MnSO_4 溶液中加入 BaCl_2 溶液,至向上层清液中继续滴加无沉淀生成,过滤,在不断搅拌下向滤液中加入 NaHCO_3 溶液,用 pH 计测得溶液 pH 略小于 7.7,过滤,用蒸馏水洗涤沉淀 2~3 次,再用乙醇洗涤 2~3 次,低于 100°C 干燥。

[学生方案④] 边搅拌边向 MnSO_4 溶液中加入 NaHCO_3 溶液,至用 pH 计测得溶液略小于 7.7,过滤,取滤渣,先用蒸馏水洗涤 2~3 次至取最后一次洗涤液用 BaCl_2 溶液检验不出 SO_4^{2-} 离子,再用乙醇洗涤 2~3 次,低于 100°C 干燥。

[任务 4: 比较方案] 当题目提供较多试剂供选用时,学生在设计方案时依然要从物质性质特点,明确反应原理,选择相关试剂,设计合成方案。然而,从方案③不能看出,学生对制备 MnCO_3 的反应原理不够清晰,将 BaCl_2 溶液用作主要反应物去除 MnSO_4 溶液中的 SO_4^{2-} ,再用 NaHCO_3 溶液沉锰。其实,根据反应制备原理: $\text{Mn}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{MnCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$, SO_4^{2-} 离子存在于溶液中不影响反应的进行,只需将过滤后的沉淀物进行洗涤以获得高纯 MnCO_3 。

[反思建模] 运用思维模型解题过程中,学生要缜密地分析题示信息和题给试剂和仪器,设计实验方案

时要提高逻辑思维的严密性，避免原理错误，竹篮打水一场空。以方案④为例呈现的解题思维模型如图2。

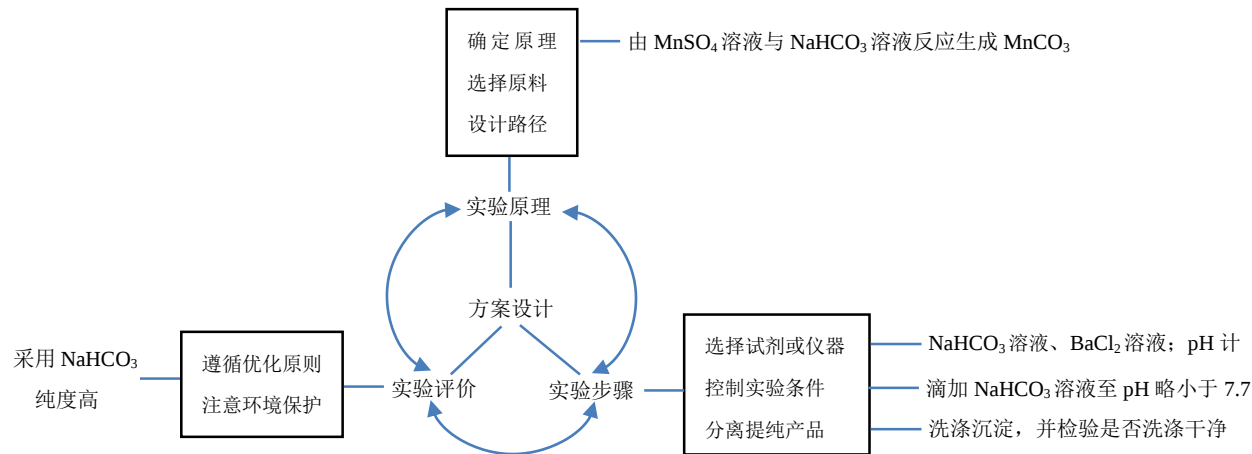


图2 方案④解题思维模型图

2.2 微切口2：根据溶解度曲线，结晶、分离与提纯产品

物质溶解度是设计实验方案的一个重要知识点，因为物质溶解度与物质制备的原理、分离与提纯、沉淀的生成与转化、过滤与洗涤、晶体的溶解与结晶等密切相关。所以，在物质制备实验方案设计中往往会涉及控制物质溶解度，分离提纯物质。微切口 2 “根据溶解度曲线，结晶、分离与提纯物质”主要是从温度对物质溶解度的影响出发，建构“物质结晶钟摆思维模型”(如图 3 所示)，根据实验需要控制体系温度，结晶，过滤，洗涤，干燥，获得产品。

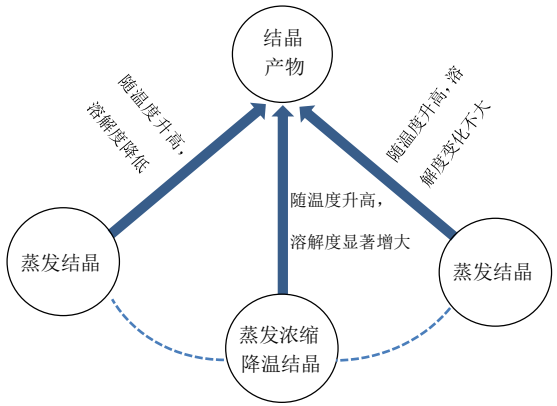


图3 物质结晶“钟摆思维模型”

笔者通过改编高考题，设置系列问题串，层层递进，帮助学生建立温度观，并规范表述控制条件和分离方法，以提升思维的深刻性。

[问题情境 3] (2015 江苏 18 题改编) 碳酸锰 (MnCO_3) 在一定条件下可制得硫酸锰溶液，试根据图 4 $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 随温度变化的溶解度曲线，现有硫酸锰溶液制备 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的实验方案为：_____。(须用到的试剂：乙醇)

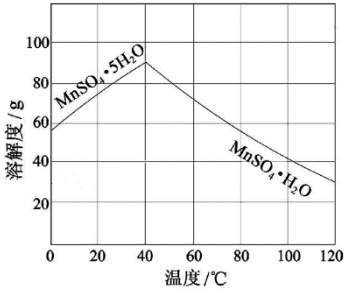


图4 $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 随温度变化的溶解度曲线

设计目的：蒸发结晶，获得产品。

答案：将硫酸锰溶液加热浓缩至有大量晶体析出，在高于 40℃ 条件下趁热过滤，用乙醇洗涤 2~3 次。

[问题情境 4] 试根据图 3 $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 随温度变化的溶解度曲线，现有硫酸锰溶液制备 $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的实验方案为：_____。（须用到的试剂：冰水）

设计目的：蒸发浓缩，降温结晶，获得产品。

答案：将硫酸锰溶液蒸发结晶，得到 40℃ 的饱和溶液，降温至 0℃ 结晶，过滤，用冰水洗涤 2~3 次，低温干燥。

[问题情境 5] 试根据图 5 所示， $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 随温度变化的溶解度曲线，请设计由 MnSO_4 和 MgSO_4 混合溶液制备 $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体的实验方案：_____。

（须用到的试剂：饱和 MgSO_4 溶液，乙醇）

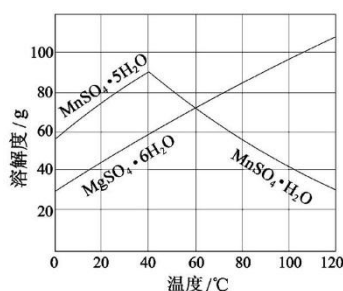


图 5 $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 随温度变化的溶解度曲线

设计目的：既有蒸发结晶，分离杂质，又有降温结晶，获得产品。

答案：将 MnSO_4 和 MgSO_4 混合溶液加热浓缩至有大量晶体析出，在高于 60℃ 的条件下趁热过滤，将滤液降温结晶，过滤，用饱和 MgSO_4 溶液洗涤 2~3 次，再用乙醇洗涤 2~3 次，低温干燥。

[问题情境 6] （2018 江苏 19 题改编）已知： Na_2SO_3 溶液中 H_2SO_3 、 HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 随 pH 的分布如下图 6 所示， Na_2SO_3 的溶解度曲线如图 7 所示。请补充完整由 NaHSO_3 溶液制备无水 Na_2SO_3 的实验方案：_____，密封包装。（实验中可供选用的试剂有：NaOH 溶液，KOH 溶液，无水乙醇）

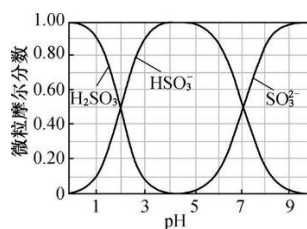


图 6

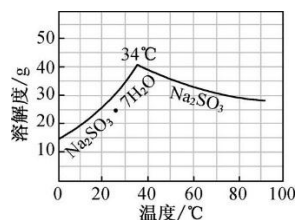


图 7

设计目的：引导学生用模巩固，学生通过综合运用“方案设计模型”和“钟摆思维模型”，先根据原理确定制备方案，再根据溶解度曲线选择结晶方法，获得产品。

答案：边搅拌边向 NaHSO_3 溶液中滴加 NaOH 溶液，测量溶液 pH，pH 约为 10 时，停止滴加 NaOH 溶液，加热浓缩至有大量晶体析出，在高于 34℃ 的条件下趁热过滤。

3 教学策略

高三化学实验专题的复习涉及的知识容量和思维容量较大，内容的层次性和关联性也更强，仅仅靠重复、机械的习题训练只能提高学生对熟悉的问题解题的速度，无法提升高阶思维能力和化学学科核心素养。基于设问建构实验方案设计模型，有利于学生快速整合和信息加工，根据已有知识推测解决问题的可能途

径,形成解决问题的认知模型,并在对模型的修正和完善过程中找到快速解决问题的方法和突破口^[6]。但认知模型的构建、核心素养的提升并非一蹴而就,需要在复习中反复强化,逐步内化。

3.1 设计问题串,构建思维模型

设问建模的过程是“问题→模型→解决”,即结合实验中的常见设问方式构建认知模型,并根据认知模型解决新问题。在复习中将孤立的、零散的知识点进行有序的整合,精心选择、改编和设计有思维深广度的问题,引导学生在问题的解决过程中逐渐构建解决同类问题的思维模型,形成有系统、有层次的认知结构,以提升学生对知识的深度理解,促进学生高阶思维的发展,使其对学科的理解从知识层面发展到观念层面^[7]。

3.2 设计实验微切口专题,走进实验室体验探究

化学实验探究的学习,不仅要掌握物质的分离、提纯、检验、制备等基本实验原理和操作,还要重视真实实验情境下的问题解决。学生在综合实验题型中得分率较低,其主要原因是学生远离实验探究有一段时间了,甚至有些学生的“实验能力”是通过观看视频和刷题获得的,如是这样,这是可悲的,这是我们化学人的责任!实验是化学学科的灵魂,化学教师在构建解题模型的基础上,可以通过设计实验微切口专题,创造条件让学生走进实验室按专题做实验,在实验中体验探究、深度思考,总结模型的适用范围,进一步强化对模型内涵的认识与理解,形成运用模型认识陌生情境实验试题的内心自觉^[8]。

3.3 探究不同类试题设问规律,在应用中内化思维模型

教师在复习中要辩证地认识思维模型,“建模”是为了“用模”,“用模”是为了“不用模”(模型已经根植于学生的思维深处)。教师在复习中要引导学生不断总结提炼,形成结构化的认识思路,带领学生在新情境问题解决中内化思维模型,并不断探究不同类试题问题设置的相似性和问题解决的规律性,提升模型的应用广度。当学生在解决实际问题过程中能自觉地运用思维模型去尝试和探究未知,相信教师的努力是值得的。

参 考 文 献

- [1][2] 普通高中化学课程标准(2017年版) [M]. 1版. 北京:人民教育出版社,2018:12、6
- [3] 李晓明. 基于思维模型建构的高三化学复习——以“核心反应的条件控制”为例 [J]. 中学化学教学参考,2019(8):32-35
- [4][8] 鲁名峰,申燕等. 2019年高考化学复习备考研究 [J]. 中学化学教学参考,2019,(2):56
- [5] 韦新平. 基于“模型认知”的高三化学实验“主题串联式”复习研究 [J]. 化学教学,2020,(1):37-42
- [6] 申燕,解慕宗,林建芬. “模型认知”视域下高三化学实验复习策略研究 [J]. 中学化学教学参考,2018,(1/2):62-64
- [7] 王斌权. 实验类试题中“控制物质溶解度”内容的复习 [J]. 中学化学教学参考,2020,(4):64-66

Based on the thinking model, a comprehensive teaching research on "design experiment scheme" of chemistry in senior three

Abstract Taking item 19 "comprehensive chemical experiment" in the chemistry test paper of jiangsu college entrance examination as an example, This paper analyzes the scores of the examinees in jiangsu province in 2019 and the scores of the examinees who have participated in the municipal unified examination since the first round of review in the third year of high school, It was found that the most difficult problem for the students to solve was "designing the experimental scheme". The strategies of constructing "scheme design model" and "pendulum thinking model" in the review are summarized. It can integrate the isolated, fragmented and scattered knowledge in the material preparation experiment and break through the thinking barrier of students.

Keyword experimental subject the project design the model of thinking the pendulum model