

## 基于思维模型建构的高三化学复习教学<sup>\*</sup>

### ——以“平衡原理的应用”为例

袁君亚<sup>\*\*</sup>

(江苏省江阴长泾中学 江苏无锡 214400)

**摘要** 以高三复习课“平衡原理的应用”为例,通过真实情境的剖析让学生感知模型,引导学生分析归纳提炼模型,并进行针对练习运用模型,变式训练体会模型,让学生在实践以模型思维为突破,深入领悟建构模型的实质,有序解决复杂化学问题,提升科学思维能力,发展化学学科核心素养。

**关键词** 思维模型 模型建构 平衡原理的应用

**DOI:** 10.13884/j.1003-3807hxjy.2021030155

模型是对一个复杂系统的简化和抽象表示,模型建构作为有效建构性学习方式<sup>[1]</sup>,能让学生的思考外显化,思维可视化,对解决问题有着广泛的应用价值和意义,特别是在高三化学复习教学中,学生经历了建构模型、完善模型、应用模型的探究学习过程<sup>[2]</sup>,能在较短的时间内克服认识障碍,形成对化学问题的分析与解决路径的正确认识。

一直以来,建模与模型以形象直观、简洁明了、清晰准确的表达作用及解释功能,在科学教育中备受关注,研究的重点内容主要包括:模型和建模有关的概念及作用研究、利用模型和建模提升应用能力的研究、基于科学思维发展的建模教学实践与反思研究等<sup>[3]</sup>。“模型认知”是化学学科核心素养的思维核心,也是培养高中化学学科核心素养的重要路径之一,建模与模型作为化学教育研究的热点,相关的教学研究成果主要涉及建模在解题中的应用、建模思想在教学中的应用、模型认知能力的培养、教师对模型的认识与应用<sup>[4]</sup>、化学模型建构的教学设计和实践反思等方面<sup>[5-7]</sup>,联系实际教学案例、促进学生建构思维模型的实践研究仍有许多方面未涉及。

为帮助学生深化理解平衡原理的本质及应用,张址欣等研发了一款以合成氨为例的化学平衡知识学习和习题验证的教学软件<sup>[8]</sup>,从反应平衡的图像和数据中获取信息并进行推理,从而认知化学平衡的原理,宋兆爽等以“化学平衡移动原理的应用”复习课为例,探讨化学反应原理的实验探究教学策略<sup>[9]</sup>,探究形成概念理论的思路和方法。本文尝试

通过构建平衡原理的思维模型,建立化学大平衡观,强化学生对平衡原理知识的再认知。

### 1 教学设计思路

碳酸氢钠是强碱和弱酸的酸式盐,  $\text{HCO}_3^-$  在水溶液中既能电离又能水解,是溶液中离子平衡的典型素材。本复习课围绕碳酸氢盐的应用展开讨论,将情境线、活动线、知识线、思维进阶线、认知发展线等贯穿于课堂中(见图1),促进学生认知的结构化,深化学生的思维品质,有效提高高三化学复习课的效率。

### 2 教学目标

(1) 通过碳酸氢钠水溶液中的电离平衡、水解平衡的交流研讨,掌握平衡移动原理的本质,培养“变化观念和平衡思想”等化学学科核心素养。

(2) 通过碳酸钠溶液、碳酸氢钠溶液与硫酸亚铁溶液反应产物的成分的探究,从定性到定量理解化学平衡原理,提高综合分析问题和解决问题的能力。

(3) 通过合作探究解决真实问题,形成平衡原理应用的思维模型,并运用思维模型解决新情境问题,学会利用平衡原理调控反应的发生。

### 3 教学实录

#### 3.1 创设问题情境,激活已有认知

**【情境创设】**展示小苏打在日常生活中应用的图片(制作糕点、清洗茶垢、美白牙齿等)。

**【教师】**小苏打在日常生活和工业生产中有广泛的应用,人体中的碳酸氢钠能维持血液 pH 稳定。

**【问题 1】**碳酸氢钠水溶液中有哪些微粒?这

<sup>\*</sup> 2021 年江苏省中小学教学研究第 14 期课题“区域推进中学化学大单元学习的课堂教学实践研究”(课题编号:2021JY14-ZB20)

<sup>\*\*</sup> 通信联系人, E-mail: 150762408@qq.com

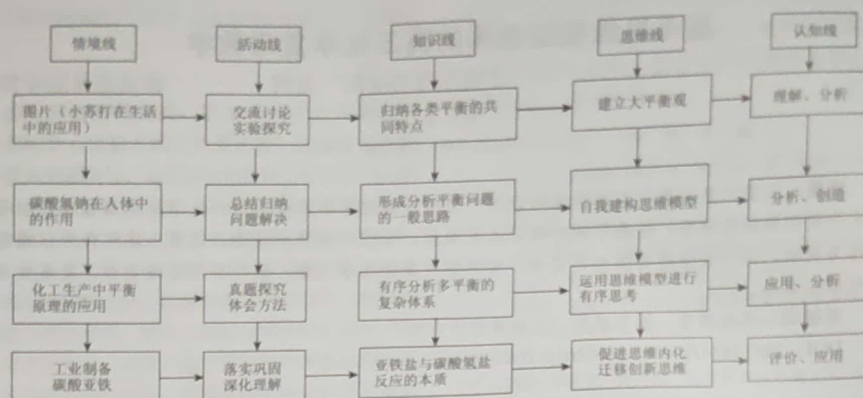


Fig. 1 Instructional design ideas

图1 教学设计思路

些微粒在水溶液中有何行为?

【学生1】碳酸氢钠水溶液中有阳离子  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ , 阴离子  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ , 还有少量分子  $\text{H}_2\text{CO}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

【学生2】碳酸氢钠在水溶液中完全电离产生  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , 水分子能发生微弱电离产生  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ;  $\text{HCO}_3^-$  在水溶液中既能电离, 又能水解。

【问题2】在碳酸氢钠水溶液中存在哪些平衡?

【学生】书写  $\text{H}_2\text{O}$  的电离平衡、 $\text{HCO}_3^-$  的电离平衡、 $\text{HCO}_3^-$  的水解平衡, 汇报展示。

### 3.2 合作解决问题, 建构思维模型

【任务】分析维持血液 pH 稳定的化学原理。

【资料卡】人体血液中含有的主要微粒有  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  等, 正常情况下, 血液的 pH 约为 7.35~7.45<sup>[10]</sup>。

【问题1】影响血液酸碱度的微粒有哪些呢? 这些微粒在溶液中有何行为?

【学生分析】 $\text{H}_2\text{CO}_3$  发生电离产生  $\text{H}^+$ , 显酸性;  $\text{HCO}_3^-$  发生水解, 显碱性。

并写出相应的方程式:  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ;  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ 。

【问题2】当血液 pH 发生改变, 对上述平衡分别有何影响?

【学生1】当血液酸性增强时, 对碳酸的电离平衡来说, 增大  $\text{H}^+$  浓度, 抑制  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的电离; 对  $\text{HCO}_3^-$  的水解平衡来说, 消耗  $\text{OH}^-$ , 促进  $\text{HCO}_3^-$  的水解平衡正向移动。

【学生2】当血液碱性增强时, 对碳酸的电离

平衡来说, 消耗  $\text{H}^+$ , 促进  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的电离平衡正向移动; 对  $\text{HCO}_3^-$  的水解平衡来说, 增大  $\text{OH}^-$  浓度, 抑制  $\text{HCO}_3^-$  的水解。

【教师追问】如何通过实验模拟生物体维持 pH 的稳定?

【实验探究】在 50 mL pH 约为 7.4 的  $\text{H}_2\text{CO}_3$ - $\text{NaHCO}_3$  缓冲液和蒸馏水 (国家实验室用水标准 GB6682—2008 三级水, 测得 pH 为 6.7) 中分别用胶头滴管滴加  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸 30 滴、 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 溶液 30 滴进行 2 组对比实验, 用朗威 pH 传感器分别测出溶液 pH 的变化 (见图 2、图 3)。

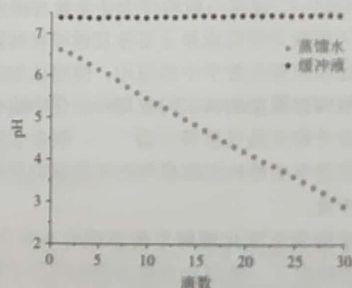


Fig. 2 Changes of pH in buffer solution and distilled water with  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  hydrochloric acid

图2 缓冲液和蒸馏水中分别滴加  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸后 pH 的变化

【获得结论】向  $\text{H}_2\text{CO}_3$ - $\text{NaHCO}_3$  缓冲液中滴加  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸 30 滴或  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 溶液 30 滴, pH 几乎无变化, 说明  $\text{H}_2\text{CO}_3$ - $\text{NaHCO}_3$  缓冲液对维持血液 pH 稳定有重要的作用。

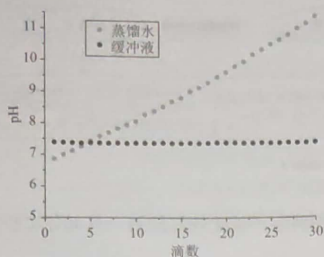


Fig. 3 Changes of pH in buffer and distilled water with  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  solution

图3 缓冲液和蒸馏水中分别滴加  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$  溶液后 pH 的变化

【学生质疑】当血液酸性或碱性增强时,  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的浓度也会发生改变, 如何维持生物体的 pH 稳定呢?

【拓展视野】血液 pH 的相对恒定有赖于血液

内的缓冲系统以及正常的肺、肾功能。当血液碱性增强, 多余的  $\text{HCO}_3^-$  由肾脏排出, 并经呼吸调节体内  $\text{CO}_2$  的分压和  $\text{H}_2\text{CO}_3$  浓度; 当血液酸性增强, 多余  $\text{CO}_2$  通过呼吸排出, 并经肾脏调节  $\text{HCO}_3^-$  浓度。血液中的缓冲物质包括  $\text{H}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3$ 、蛋白质-蛋白质钠盐、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4$  等 3 个主要的缓冲对, 其中以  $\text{H}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3$  最为重要。

【教师】根据上述分析, 你对解决平衡问题有何思路或方法呢?

【学生交流】归纳“平衡问题解决”的一般步骤: 通过物质存在的宏观状态和微观状态, 分析微粒间可能存在的相互作用, 关注微粒种类和微粒数量, 进而分析微粒的表现行为, 从而确定可能存在哪种化学平衡, 从速率和平衡等 2 方面调控化学反应, 提高主反应的转化率。这一分析思路可概括为: 找微粒  $\rightarrow$  析行为  $\rightarrow$  列平衡  $\rightarrow$  得结论 (见图 4)。

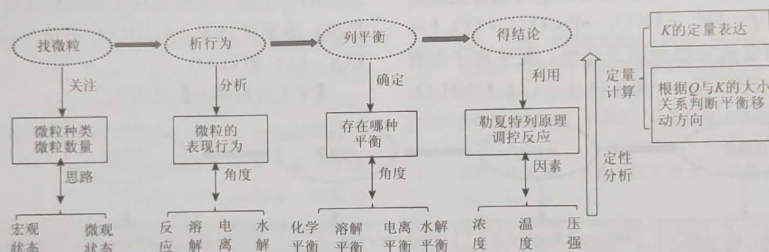


Fig. 4 Thinking model of balance problem

图4 平衡问题思维模型

【师生归纳】依据“平衡问题解决模型”, 归纳“问题解决”的一般步骤, 完成思维模型的建构, 形成“问题解决”有套路的意识<sup>[11]</sup>。

### 3.3 思维模型迁移, 解决新情境问题

【教师】在新的问题情境中, 如何运用“思维模型”解决复杂问题呢?

【学生活动】将“思维模型”作为思考的抓手, 形成有序的、有进阶的思维过程, 并展示思

考过程。

【问题情境 1】(2019·江苏·19 节选) 实验室以工业废渣 (主要含  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 还含少量  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 为原料制取轻质  $\text{CaCO}_3$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  晶体, 其实验流程见图 5。

浸取废渣时, 向  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液中加入适量浓氨水的目的是\_\_\_\_\_。

【学生分析展示】见图 6。

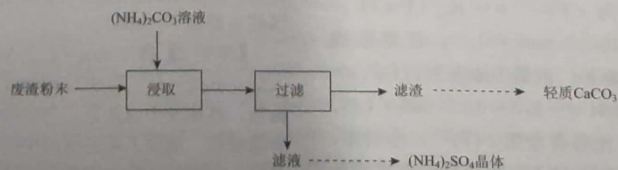


Fig. 5 Industrial preparation process of  $\text{CaCO}_3$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

图5  $\text{CaCO}_3$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  的工业制备流程



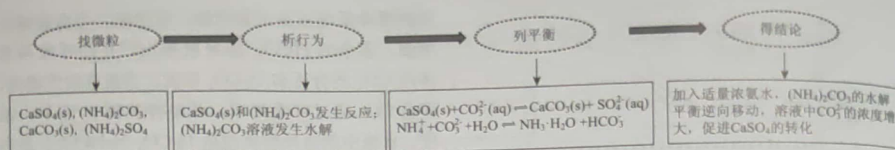


Fig. 6 Students' analysis process show 1

图6 学生分析过程展示 1

## 3.4 解决变式问题, 强化模型应用

亚铁为原料生产氧化铁红颜料, 其部分实验流程见图 7。

【问题情境 2】(2009·江苏·16 改编) 以硫酸

图 7。

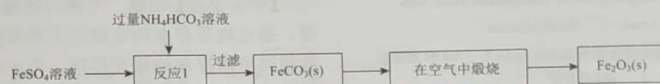


Fig. 7 Experiment preparation process of iron oxide

图7 氧化铁红实验制备流程

写出反应 1 的离子方程式\_\_\_\_\_。

【学生分析展示】依据流程信息写出参加反应和生成的离子:  $\text{Fe}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{FeCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ , 根据电荷守恒和原子守恒, 配平离子方程式:  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{FeCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。

【提出问题】为什么  $\text{FeSO}_4$  溶液和过量  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液反应生成的是  $\text{FeCO}_3$  沉淀而不是  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  沉淀? 你能否从平衡原理角度定性分析  $\text{FeSO}_4$  溶液和过量  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液反应生成  $\text{FeCO}_3$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ?

【学生分析展示】见图 8。

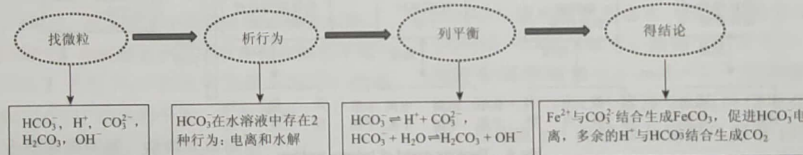


Fig. 8 Students' analysis process show 2

图8 学生分析过程展示 2

【教师追问 1】已知:  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液中,  $c(\text{CO}_3^{2-}) = 5.6 \times 10^{-4.2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{OH}^-) = 6.3 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{FeCO}_3) = 3.2 \times 10^{-11}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 8.0 \times 10^{-16}$ , 你能否从沉淀溶解平衡角度定量进行分析<sup>[12]</sup>?

【学生分析】若要形成  $\text{FeCO}_3$  沉淀, 需要  $\text{Fe}^{2+}$  的最小浓度为  $c(\text{Fe}^{2+}) = K_{\text{sp}}(\text{FeCO}_3) / c(\text{CO}_3^{2-}) = 5.7 \times 10^{-7.8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 若要形成  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  沉淀, 需要  $\text{Fe}^{2+}$  的最小浓度为  $c(\text{Fe}^{2+}) = K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] / c^2(\text{OH}^-) = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。前者所需  $c(\text{Fe}^{2+})$  比后者所需  $c(\text{Fe}^{2+})$  小得多,  $\text{FeSO}_4$  溶液和过量  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液反应生成的是  $\text{FeCO}_3$  沉淀。

【教师追问 2】 $\text{FeSO}_4$  溶液和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液反应生成的是  $\text{FeCO}_3$  沉淀还是  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  沉淀?

【实验探究】 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$  溶液和  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液相互滴加。

【教师提问】通过如何操作及观察到什么实验现象判断生成哪种沉淀?

【学生 1】将  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$  溶液缓慢加入到  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中, 产生白色沉淀, 振荡, 迅速变为灰绿色, 继而变为墨绿色, 得到的沉淀主要是  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 。

【学生 2】将  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液缓慢加入到  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeSO}_4$  溶液中, 产生白色沉淀, 振荡, 迅速变为浅茶色, 与空气接触的液面慢慢变为墨绿色, 液面下茶色沉淀中出现部分白色颗粒状沉淀, 得到的沉淀主要是  $\text{FeCO}_3$ 。

【学生 3】 $\text{FeSO}_4$  溶液和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液反应生成何种沉淀取决于溶液的酸碱性。

#### 4 教学反思

从能力培养来看,学生经历了“情境创设、问题解决、真题探究、巩固落实”的系列活动,从事实到原理,从文字到实验,从定性分析到定量计算,既避免了复习中旧知识重现的“炒冷饭”现象,又促成了学生对基础知识和基本方法的掌握,实现了从单一平衡的孤立分析到多重平衡体系的系统分析的进阶,提高了综合运用化学知识分析问题和解决问题的能力。

从思维发展来看,本课以碳酸氢钠的用途引入课题,激活了学生的认知结构,学生通过交流讨论、实验探究、总结归纳,自悟平衡的基本规律,自主编码和构建知识网络,从应用到迁移,立足于深入理解“平衡原理”的本质构建思维模型,通过 $\text{FeSO}_4$ 溶液和 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 溶液反应生成沉淀的定性和定量分析,驱动学生探究和研讨,提升了学生分析真实复杂问题的思维能力,为学生后续学习提供了有力的思维导向和支撑。

从素养形成来看,立足于真实的生活情境展开平衡原理的复习,学生走进情境,体验过程,体会方法,深化了从宏观辨识和微观探析角度对化学反应原理的理解和领悟,实践了基于证据推理和模型认知进行定性和定量推理的过程,形成了基于平衡思想的科学观念和多学科融合的认识角度,亲身经历了将现实问题抽象为化学问题,将生活原型转化为化学思维模型的过程,学生逐步形成用化学思维方法解决生活问题的习惯。

从教师的课堂教学行为分析,教师是学生学习的组织者、引导者和促进者,基于学生实际的素材、源于真实生活情境的问题有效激发了学生的前概念,层次化的问题设计,重视学生的原有认知结

构对新知识的同化作用,组织课堂讨论前学生能明确讨论主题,受时间的限制,为学生提供与其他学生分享自己的想法的机会还不多,提炼分析平衡问题的思路和方法这一环节略有些仓促。

从学生课堂活动的表现分析,学生对于真实情境下的化学问题有较浓厚的兴趣,有较好的思考与质疑的学习习惯,实验探究的能力比较强,具备一定的数据分析和提取文献中有效信息的能力,但对平衡体系的分析往往停留在单一层面,常常忽视复杂体系中微粒间的相互作用,教师要有意识地向学生渗透建模思想,引导学生自我构建认识模型,利用分析展示进一步外显思维,并结合新情境不断强化模型思维的形成,通过“思维可视化”找到问题解决的出路,以达到课堂效率最大化。

#### 参考文献

- [1] 刘儒德. 心理科学进展, 2003 (1): 49-54
- [2] 张晋, 毕华林. 化学教育(中英文), 2017, 38 (13): 27-32
- [3] 史凡, 王磊. 全球教育展望, 2019, 48 (5): 105-116
- [4] 马云秋. 高中化学模型建构教学的实践研究. 南宁: 南宁师范大学硕士学位论文, 2020: 5-6
- [5] 吴春峰, 高晓堂, 邓善银. 化学教育(中英文), 2021, 42 (1): 35
- [6] 刘洋, 胡久华, 于静. 化学教育(中英文), 2018, 39 (21): 34-39
- [7] 李豪杰. 化学教育(中英文), 2021, 42 (9): 28-34
- [8] 张址欣, 黄萍, 王晓瑜, 等. 化学教育(中英文), 2019, 40 (15): 62-66
- [9] 宋兆爽, 白建娥. 化学教育, 2013, 34 (4): 61-63
- [10] 朱正威. 普通高中教科书: 生物学选择性必修1 稳态与调节. 北京: 人民教育出版社, 2020: 2-6
- [11] 经志俊. 化学教学, 2017 (2): 53-56
- [12] 车月芬, 吴文中. 中学化学教学参考, 2016 (8): 46-48

### Chemistry Review Teaching in Senior 3 Based on Thinking Model Construction: Application of Balance Principle

YUAN Jun-Ya\*\*

(Jiangyin Changjing Middle School of Jiangsu Province, Wuxi 214400, China)

**Abstract** Taking the “application of balance principle” in the review course of senior three as an example, through the analysis of the real situation, this paper allows students to perceive the model, guides students to analyze, summarize and refine the model, and use the model for practice, variant training and experience the model, so that students can deeply understand the essence of constructing the model and solve complex chemical problems in an orderly manner, improve the ability of scientific thinking and develop the core literacy of chemistry.

**Keywords** thinking model; model construction; application of balance principle