

“合成氨”多点串联无机化学混合式教学探索与实践

宁静¹, 惠妮¹, 宋祖伟^{1,*}, 钱备¹, 梁爱琴¹, 蔡斌², 王杰¹

¹ 青岛农业大学化学与药学院, 山东 青岛 266109

² 青岛农业大学马克思主义学院, 山东 青岛 266109

摘要: 无机化学作为大学化学的基础课程, 涉及知识点较多, 同时知识点之间独立性强, 学生往往难以形成系统全面的知识架构。为了实现各章节知识点之间更深入的逻辑关联, 本文以“合成氨”及其衍生反应为线设计多点串联的系列教学案例, 精编综合例题, 从气相反应、溶液行为和微观结构三个层面分别串联化学反应原理、水溶液中四大平衡及原子和分子结构等知识点, 辅以思维导图, 将无机化学的重要知识点融会贯通, 融合课程思政, 使学生达成思维训练, 完成知识内化的同时实现专业课程对学生的价值引领作用。教学实践显示, 该教学设计不仅有利于引导学生理解知识点之间的关联, 便于进行复习和记忆, 更有助于提高学生知识迁移能力, 掌握深度学习的方法。

关键词: 无机化学; 多点串联; 混合式教学; 合成氨; 思维导图

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of Multi-Point Connected Blended Teaching of Inorganic Chemistry Centered on “Ammonia Synthesis”

Jing Ning¹, Ni Hui¹, Zuwei Song^{1,*}, Bei Qian¹, Aiqin Liang¹, Wu Cai², Jie Wang¹

¹ College of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China.

² School of Marxism, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China.

Abstract: As a fundamental course in university-level chemistry, Inorganic Chemistry encompasses numerous discrete knowledge points, which can often make it difficult for students to develop a cohesive understanding of the subject. To foster deeper connections between chapters, this study uses “ammonia synthesis” and its related reactions as a thematic thread, designing a series of interconnected teaching cases. Comprehensive examples are carefully crafted to integrate key concepts such as chemical reaction principles, equilibria in aqueous solutions, and atomic and molecular structures across three levels: gas-phase reactions, solution behavior, and microscopic structures. Mind maps are also employed to aid in connecting these key concepts, enhancing students' cognitive processing. By blending course content with ideological education, this approach trains students' thinking skills and fosters knowledge internalization while guiding them towards value-based learning. Teaching practice has shown that this multi-point connection approach improves students' understanding of the relationships between key concepts, facilitates review and memorization, enhances knowledge transfer, and promotes deep learning.

Key Words: Inorganic chemistry; Multi-point connection; Blended teaching; Ammonia synthesis; Mind map

收稿: 2024-05-17; 录用: 2024-08-12; 网络发表: 2024-11-28

*通讯作者, Email: szwlxy@qau.edu.cn

基金资助: 山东省本科教学改革研究重点项目(Z2023276); 山东省本科教学改革研究面上项目(M2023314); 山东省课程思政示范课程建设项目(鲁教高函[2022] 36号); 中华农业科教基金课程教材建设研究项目(NKJ202102015); 青岛农业大学教改项目(XJY2022048, XJY2022128, ZCJG202308, XJY2024059, XJY2024061, XJY2024067)

无机化学课程内容通常分为物质结构、物质的状态、化学反应原理、水溶液中的化学反应、元素化学等模块，各模块之间相对独立，每一章的内容也各成体系，元素部分某些性质递变规律源于基础理论知识，但多为少量的知识点穿插与单线呼应，难以使学生在思维上产生整体的概念，进而在知识应用阶段显现出知识迁移能力缺乏、灵活性差等问题^[1]。

随着教育信息化的发展，大规模在线开放课程为学习者提供了大量丰富的学习资源，学生自主选择性提高的同时也带来了“知识分散、碎片化”等显著问题。因此，在教学环节中注重知识的深度串联，引导学生进行思维的整合很有必要^[2,3]。目前，知识图谱作为人工智能的基础，现已开始直接服务于信息化智慧教学^[4]。教学实践中发现，具体的案例、例题更容易给学生留下牢固的印象，因此，将知识图谱和思维导图的思路嵌入具象化的案例应用于教学，有望结合图谱以及案例教学的优势，达到宏观上知识点整合、细节上深入理解的效果^[5]。

本文设计了系列大学无机化学综合知识点串联的教学案例，以学生在中学阶段已经熟悉的经典“合成氨”反应作为主线整合知识点，引导学生形成发散性思维，掌握知识点深挖和关联的方法，提升学习的自主性和灵活性^[6]。

1 “多点串联混合式教学策略”设计

以合成氨反应作为具象化知识图谱的主要载体，从宏观气体、溶液行为、微观结构等几个层面展开知识点链接，层层递进，帮助学生形成自己的知识点脉络，并深化对知识点关联的理解。具体的教学案例思路如图1所示。

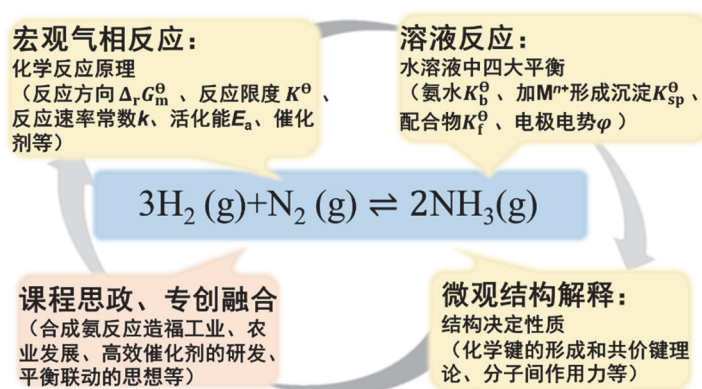


图1 多点串联的案例教学设计思路

从“合成氨”反应 $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ 出发可以延伸出很多相关联的知识点，同时又能有机的整合在同一个反应体系中。可以利用这个可逆反应及其后续衍生反应作为引线，通过综合题目的设计，让知识点更加具体化，并相互关联，引导学生灵活地看待一种物质可能发生的多种平衡反应转化路径，并更深层次地掌握这几种平衡的反应本质。此外，“合成氨”反应作为固氮的基本反应，在农业发展、工业生产等方面有重要的应用，具有很多课程思政切入点，在深化知识点的同时，同步进行思政教育的升华。

基于以上教学思路，我们设计在每一模块教学结束时进行多点串联阶段性复习总结，做好课前、课中、课后的教学设计(图2)。教学中实施分步和综合练习的教学策略，如课前学习任务单推送帮助学生知识点有整体印象、课中的翻转课堂提升学生思考的主动性、课后的分组任务进行思维导图绘制等，更充分发挥多点串联的案例教学效果^[7,8]。混合式教学的具体过程如下：在复习串讲某一部分之前，线上推送“复习任务单”，让学生做好充分的知识点复习，然后在课上由教师先进行知识点串讲，再进一步通过分组任务由学生解答综合例题，教师点评，辅以随堂练习，最后在当堂或课

下由学生完成该模块的思维导图绘制，线上推送专业知识延伸内容，结合教学反馈进行总结完善，完成整个教学过程。

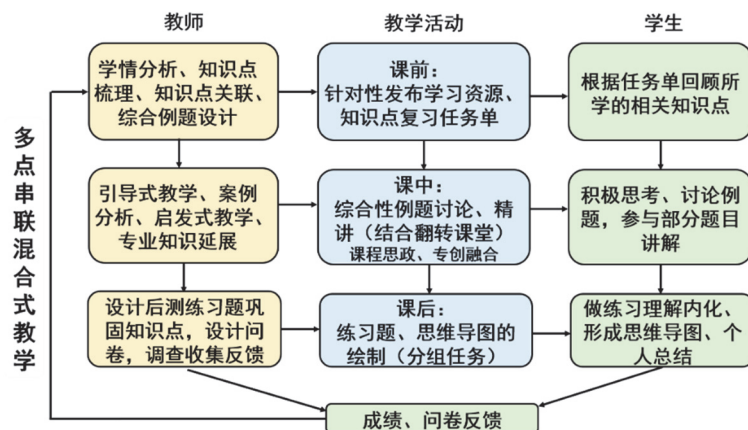


图2 多点串联的混合式教学模式设计

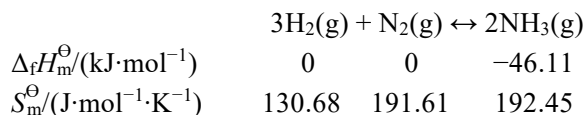
2 多点串联综合案例设计及教学实践

2.1 宏观气体层面

由宏观气相出发，针对合成氨反应这一气体混合体系，启发学生学习讨论“分压、分压定律”和“反应进度”的概念；重点讨论合成氨反应的条件，如“不同温度下反应的方向如何”，引导学生一步步思考，反应进行的方向需要结合反应商 Q 与标准平衡常数 K^\ominus 的大小关系判断，将热力学和化学平衡整合到一起；进一步通过改变反应条件，如加催化剂等，可以讨论反应速率的变化，关联化学动力学，并引入活化能的概念。为了更清晰直观地展现知识点的串联，在课前线上知识点自主复习和知识点拓展学习的基础上，设计了如下具有一定难度的综合题目，采用翻转课堂模式，结合分组任务开展教学，分组任务和知识点拓展如图3所示，其中图3c为学生课堂汇报实拍。

【例题1】298.15 K，某混合气体中含有0.15 g的 H_2 ，0.70 g的 N_2 及0.34 g NH_3 ，试计算：(1) 在100 kPa的压力下，按反应 $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ 进行，当反应进度为0.01 mol时，各种气体的分压力；(2) 判断此刻反应的进行方向，并判断若为高温下(如瞬间升到698.15 K)反应方向又如何；(3) 合成氨反应通常在773.15 K下进行，没有催化剂时反应的活化能约为 $326 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，使用还原铁粉作催化剂时，活化能降低至 $175 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。试计算加入催化剂后，反应速率增加到原来的多少倍？

已知：



解：(1) 首先计算各气体的物质的量：

$$n(\text{H}_2) = \frac{0.15 \text{ g}}{2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.075 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{0.7 \text{ g}}{28 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.025 \text{ mol}$$

$$n(\text{NH}_3) = \frac{0.34 \text{ g}}{17 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.020 \text{ mol}$$

当反应进度为0.01 mol时，按反应式 $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ ，氢气减少0.03 mol，氮气减少0.01 mol，氨气增加0.02 mol，因此各气体的物质的量分别变为0.045 mol，0.015 mol和0.04 mol，总物质的量为 $n_{\text{总}} = 0.045 + 0.015 + 0.04 = 0.10 \text{ mol}$ ，则各物质的分压：

$$p(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2)}{n} p = \frac{0.045}{0.1} \times 100 \text{ kPa} = 45 \text{ kPa}$$

$$p(\text{N}_2) = \frac{n(\text{N}_2)}{n} p = \frac{0.015}{0.1} \times 100 \text{ kPa} = 15 \text{ kPa}$$

$$p(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{n} p = \frac{0.04}{0.1} \times 100 \text{ kPa} = 40 \text{ kPa}$$

(2) 判断此时反应方向, 即判断 $\Delta_r G_m$ 的符号, 可借助化学反应等温式($\Delta_r G_m = RT \ln \frac{Q}{K^\ominus}$), 通过比较反应商 Q 与平衡常数 K^\ominus 的关系作出解答。

Q 由反应商的定义式求出:

$$Q = \frac{\left\{ \frac{p(\text{NH}_3)}{100 \text{ kPa}} \right\}^2}{\left\{ \frac{p(\text{H}_2)}{100 \text{ kPa}} \right\}^3 \left\{ \frac{p(\text{N}_2)}{100 \text{ kPa}} \right\}} = 11.71$$

K^\ominus 借助公式 $\Delta_r G_m^\ominus = -RT \ln K^\ominus$ 求出。

由热力学数据计算得到:

$$\Delta_r H_m^\ominus = 2\Delta_f H_m^\ominus(\text{NH}_3) - 0 - 0 = -92.22 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta_r S_m^\ominus = 2S_m^\ominus(\text{NH}_3) - 3S_m^\ominus(\text{H}_2) - S_m^\ominus(\text{N}_2) = -198.762 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$298.15 \text{ K时}, \Delta_r G_m^\ominus = \Delta_r H_m^\ominus - T\Delta_r S_m^\ominus = -92.22 - 298.15 \times (-198.762 \times 10^{-3}) = -32.96 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

由 $\Delta_r G_m^\ominus = -RT \ln K^\ominus$, $K^\ominus(298.15 \text{ K}) = 1.01 < Q$, 反应逆向进行。

升高温度 $T = 698.15 \text{ K}$,

$$\Delta_r G_m^\ominus = \Delta_r H_m^\ominus - T\Delta_r S_m^\ominus = -92.22 - 698.15 \times (-198.762 \times 10^{-3}) = 46.55 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

同理, $K^\ominus(698.15 \text{ K}) = 3.3 \times 10^{-4} < Q$, 反应逆向进行。

此处可引导学生思考高温不利于反应进行, 为什么实际生产中要用高温? 高温下如何使得正反应发生? 让学生思考实际生产中的权衡设计, 理解“通过增大反应物分压的方式减小反应商 Q , 而从经济性出发又应更多增大 N_2 的分压, 提高 H_2 的利用率等”问题。

(3) 该题涉及到反应速率与活化能 E_a 的关系, 用到阿伦尼乌斯公式($k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$)。

$$\frac{k'}{k} = e^{\frac{E_a - E_a'}{RT}} = e^{\frac{(326 - 175) \times 1000}{8.314 \times 773.15}} = 1.6 \times 10^{10}$$

其中, k 、 E_a 以及 k' 、 E_a' 分别为加入催化剂前后的反应速率常数和活化能。

计算发现反应速率常数增大了10个数量级, 令学生直观地感受到催化剂降低反应活化能的巨大影响。

由此引导学生思考: 在实际生产中, 每一个工艺条件的选择都将影响到一个反应的进行程度和反应速率, 从而很大程度上影响到生产成本, 化学上的一小步, 可能是整个生产线的一大步。顺势开展课程思政与专创融合教育, 点出合成氨反应对人类生存发展所需粮食具有重要意义, 除了做好粮食消费的“节流”, 更要保障粮食生产“开源”。趁热打铁, 课后进行知识延伸, 引导学生进一步思考, 去查阅文献探讨催化剂方面的前沿研究, 尝试探寻新的氮活化途径^[9]。

2.2 溶液行为

“合成氨”反应在化工领域有很重要的地位, 主要是由于其生成物氨分子本身也具有很广泛的应用, 在这一模块, 我们将进一步讨论氨分子的后续反应。将生成物氨气溶于水, 得到常见的一元弱碱氨水溶液, 自然开启酸碱平衡的内容, 串联共轭酸碱对、一元酸碱体系中pH的计算、同离子效应、缓冲溶液配制等知识点。在该弱碱体系中若引入一定浓度的沉淀剂金属离子(如 Mg^{2+}), 可否形成金属氢氧化物沉淀? 若有沉淀生成, 加多少铵盐能将其溶解? 同时总结更广义的同离子效应, 有效串联起沉淀溶解平衡。在该体系中融合 Ag^+/Ag 电极, 则又引入了氧化还原反应和配位反应, 深化

(a) 分组任务 合成氨——化肥——粮食——人口

作品展示

导出数据

再次发放

截止时间: 2023-11-09 14:51 已结束 编辑

中学阶段我们已经了解合成氨反应的发展历史, 知晓合成氨反应对人类生存发展所需粮食的重要意义。10月16日是第43个世界粮食日, 需要大家携手践行大食物观, 除了做好粮食消费的“节流”, 保障粮食安全重中之重是抓好粮食生产“开源”。大学阶段, 我们不妨聊一聊合成氨反应的热力学、动力学知识, “纸上谈兵”之余, 尝试解决以下问题。

1. 进行热力学计算, 初步确定合成氨反应进行的条件。
2. 在热力学计算基础上, 进行动力学分析, 优化合成氨的工艺条件。
3. 影响平衡氨含量的因素有哪些? 工业生产上采取何种措施解决合成氨平衡与速率的矛盾?
4. 如何实现合成氨工业的可持续发展? (综合考虑生产中动力、设备、材料、管理等因素)
5. 查阅文献, 提供国内外合成氨的产量、化肥产量、粮食产量、养活人口数量的关联性数据 (列表或图形, 附上文献来源信息)。
6. 你还了解哪些新兴的合成氨工艺?
7. 简要给出“碳化法合成氨流程制碳酸氢铵化肥”的工艺流程图, 致敬侯德榜。

[背景资料]

疫情、蝗灾、洪水等因素, 极大影响粮食生产、储运、加工、交易等各个环节, 世界粮食安全问题日益突出。联合国最新报告显示, 世界濒临至少50年来最严重的粮食危机。

执行过程要求:

1. 组长合理分工, 组员服从组长安排、协调合作。

2. 研究报告以小组为单位提供, 提交材料:

(1) word或pdf格式: 微软雅黑字体、上标下标、格式准确、排版美观等; 有成员之间互动环节的支撑材料 (图片可插入word文档; 音频、视频等材料, 以附件上传)。

(2) 制作PPT, 并对PPT进行录屏讲解, 提交视频: 使用提供的ppt模板 (可于1.1节下载); 微软雅黑字体、上标下标、格式准确、排版美观等; 首页交代清楚自己所承担任务分工情况 (问题、ppt制作、配音讲解等, 确保ppt无错误再行讲解录制); 有终页, 不能戛然而止。

评价指标:

1. 研究报告: 结论正确, 无错别字、字体、段落、排版合理; 是否含有图片、模型、音频、视频等素材。
2. 与研究报告相对应, 有配音讲解、或视频讲解, 10-15分钟。
3. 有充足的过程互动、体现团队协作的支撑材料: 图片、有效讨论次数、资料共享与利用有效、有成果编辑记录。
4. 自评谢绝满分。

(b) 2 实际应用层次——工业合成氨工艺

三次诺贝尔化学奖

- 1 弗雷德·哈伯 1918: 1909年发明了利用氮气与氢气直接合成氨的方法。
- 2 卡尔·博施 1931: 2500多个配方, 6500多次试验, 找到了催化剂 (Fe₃O₄、K₂O及Al₂O₃的混合物), 发明了高压气淬反应器, 1913年建立了世界上第一座工业合成氨工厂。
- 3 格哈德·埃特林 2007: 利用多种现代表面科学研究手段, 研究了合成氨反应的机理。

3 科学研究层次——寻求新的氮化途径

哈伯-博施工艺: 运行已百余年; 氮气单程转化率率只15%左右; 氢气来自水煤气; 需大量燃煤并产生大量CO₂。

绿色节能的氮化途径: 1 热化学法; 2 电化学法; 3 光化学法; 4 仿生固氮 (向自然学习); 5 有机金属配合物模拟固氮酶。

(c) 翻转课堂中学生课堂汇报讲解实拍

某混合气体中含有0.15 g的H₂, 0.7 g的N₂, 及0.34 g NH₃, 试计算:

- (1) 在100 kPa的压力下, 若按反应3H₂(g)+N₂(g)⇌2NH₃(g)进行, 当反应进度为0.01 mol时, 各种气体的分压力;
- (2) 判断此反应的进行方向;
- (3) 计算并判断698.15 K下反应方向又如何;
- (4) 合成氨反应通常在773 K下进行, 没有催化剂时反应的活化能约为326 kJ·mol⁻¹, 使用还原铁粉作催化剂时, 活化能降低至175 kJ·mol⁻¹, 试计算加入催化剂后, 反应速率增加到原来的多少倍? (已知: 3H₂(g)+N₂(g)⇌2NH₃(g) Δ_rH_m[⊖](kJ·mol⁻¹) 0 0 -46.11 S_m[⊖](J·K⁻¹·mol⁻¹) 130.684 191.61 192.45)

图3 “气相反应”部分的混合式教学活动展示

(a) 分组任务教学活动; (b) “合成氨”知识拓展内容; (c) 翻转课堂中学生课堂汇报讲解实拍。

学生对于复杂电极的电极电势的认识, 帮助学生熟练运用能斯特方程, 同时复习配位平衡的知识。在教学实践中, 与气体模块类似, 在线上引导学生自主复习知识点的基础上, 课堂教学设计如例题2, 随题目中每一个操作进行, 重点引导学生理清体系组成的变化与相应体系的分析计算思路。

【例题2】烧杯中有5 mL 0.30 mol·L⁻¹的NH₃(aq), (1) 计算该溶液pH; (2) 该溶液与5 mL的0.10 mol·L⁻¹的HCl(aq)混合后, 溶液的pH为多少? (3) 再加入10 mL 0.10 mol·L⁻¹ MgSO₄溶液后, 是否有Mg(OH)₂沉淀生成? 若会有沉淀生成, 则为防止出现沉淀, 至少需同时加入多少摩尔氯化铵? (4) 溶液中加入20 mL 0.02 mol·L⁻¹的AgNO₃溶液, 插入Ag电极, 则形成的新电极的电极电势为多少?

(已知: $K_b^{\ominus}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.78 \times 10^{-5}$, $K_{sp}^{\ominus}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 5.61 \times 10^{-12}$, $K_{sp}^{\ominus}(\text{AgCl}) = 1.10 \times 10^{-10}$ (小于AgOH), $\varphi^{\ominus}(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0.7996 \text{ V}$, $K_f^{\ominus}[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] = 1.67 \times 10^7$)

解: (1) 氨水体系为一元弱碱体系, 因为 $c_0/K_b^{\ominus} > 400$, 则用最简式 $c(\text{OH}^-) = (c_0 K_b^{\ominus})^{1/2} = 2.30 \times 10^{-3}$

mol·L⁻¹, pH = 11.36。

(2) NH₃(aq)和HCl(aq)混合后发生中和反应, 反应过剩的NH₃(aq)与生成的NH₄Cl(aq)组成缓冲溶液。在该体系中:

$$c(\text{NH}_3) = \frac{0.005 \times 0.3 - 0.005 \times 0.1}{0.005 + 0.005} = 0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c(\text{NH}_4^+) = \frac{0.005 \times 0.1}{0.005 + 0.005} = 0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a^\ominus(\text{NH}_4^+) - \lg \frac{c(\text{NH}_4^+)}{c(\text{NH}_3)}$$

$$= 14 - \text{p}K_b^\ominus(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) - \lg \frac{c(\text{NH}_4^+)}{c(\text{NH}_3)} = 9.25 - \lg \frac{0.05}{0.1} = 9.55$$

由pH = 9.55得出pOH = 4.45, $c(\text{OH}^-) = 3.50 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

(3) 由于等体积混合, 所以各物质的浓度均减小一半, 即

$$c(\text{Mg}^{2+}) = \frac{1}{2} \times 0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c(\text{OH}^-) = \frac{1}{2} \times 3.50 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 1.75 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$Q = c(\text{Mg}^{2+})c(\text{OH}^-)^2/(c^\ominus)^3 = 0.05 \times (1.75 \times 10^{-5})^2 = 1.53 \times 10^{-11} > K_{\text{sp}}^\ominus(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 5.61 \times 10^{-12}$
 所以有Mg(OH)₂沉淀生成。

要防止沉淀生成, 则OH⁻离子的最高浓度为 $\sqrt{\frac{K_{\text{sp}}^\ominus(\text{Mg}(\text{OH})_2)}{c(\text{Mg}^{2+})}} = 1.06 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 相当于消耗掉原来的OH⁻离子和NH₄⁺分子各 $(1.75 - 1.06) \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 0.69 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 同时生成等量氨分子, 即 $c(\text{NH}_3) = \frac{1}{2} \times 0.1 + 0.69 \times 10^{-5} \approx 0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

此时由 $K_b^\ominus(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}) = c(\text{NH}_4^+)c(\text{OH}^-)/c(\text{NH}_3)$ 求出体系中铵根离子的平衡浓度, 即 $c(\text{NH}_4^+) = 0.05 \times 1.78 \times 10^{-5}/1.06 \times 10^{-5} = 0.084 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 加上消耗掉的NH₄⁺仍约为0.084 mol·L⁻¹, 体系中已有 $1/2 \times 0.05 = 0.025 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 还需要加入的NH₄⁺量为 $0.020 \text{ L} \times (0.084 - 0.025) \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 。

此处, 注意引导学生加深理解维持平衡所需浓度与反应所需浓度两部分加和才是总浓度。

(4) 在溶液中加入Ag⁺, 由于体系中同时含有NH₃和Cl⁻ (分别通过前面加入HCl和NH₄Cl, 两次加入Cl⁻), 则可能形成Ag(NH₃)₂⁺配离子或AgCl沉淀, 需要通过比较, 确定是何种存在形式, 同时Ag⁺浓度的降低使电极电势降低, 不再是标准电极电势, 通过能斯特方程求出实际电极电势。

再一次等体积混合, 浓度减半,

$$c(\text{Cl}^-) = (0.005 \times 0.1 + 0.0012)/0.04 = 0.0425 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c(\text{Ag}^+) = 0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c(\text{NH}_3) = 0.05/2 = 0.025 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

设完全生成配合物或沉淀, 则体系中的Ag⁺浓度分别为x和y,

$$K_f^\ominus[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = 1.67 \times 10^7 = \frac{c[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{c(\text{Ag}^+)c(\text{NH}_3)^2} = \frac{0.01}{0.005^2 x}$$

解得:

$$x = 2.4 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$K_{\text{sp}}^\ominus(\text{AgCl}) = 1.1 \times 10^{-10} = (c(\text{Cl}^-) - c(\text{Ag}^+))y$$

解得:

$$y = 3.38 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$y < x$, 证明生成AgCl沉淀的趋势更大, 则新形成的电极为银离子浓度大大降低的Ag⁺/Ag电极, 或者称为AgCl/Ag电极。由能斯特方程可求出新的电极电势。

$$\varphi(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = \varphi^\ominus(\text{Ag}^+/\text{Ag}) + 0.0592 \text{ V} \cdot \lg(3.38 \times 10^{-9}) = 0.7996 - 0.5015 = 0.2981 \text{ V}$$

例题2中每一步离子的加入, 导致体系依次发生变化, 通过层层递进, 学生能够更整体地感受到水溶液中四大平衡之间的本质是相同的, 学会去分析综合问题, 而非简单地套用公式, 引导思路如表1所示。

表1 “溶液行为”部分综合例题教学分析引导思路

题目	操作	体系	分析方法
1	一定浓度氨水	一元弱碱	直接用一元弱碱计算公式
2	加入少量HCl	酸碱反应后, 形成NH ₄ ⁺ -NH ₃ 缓冲溶液体系, 体系中还有一部分Cl ⁻	酸碱反应为快反应, 用反应后的共轭酸NH ₄ ⁺ 和共轭碱NH ₃ 浓度代入缓冲溶液公式
3	加入Mg ²⁺ 离子	可能形成Mg(OH) ₂	溶度积规则, 比较Q和K _{sp} 大小
	加入NH ₄ Cl	降低了OH ⁻ 浓度, 仍为缓冲溶液体系, 体系中另有Cl ⁻ 存在	酸碱平衡的移动(注意维持平衡的浓度和参加反应的浓度加和才是总浓度)
4	再加入Ag ⁺	Ag ⁺ 可能与两次加入的Cl ⁻ 形成沉淀, 或与NH ₃ 形成配合物(AgCl比AgOH更易形成, 不考虑AgOH)	形成沉淀和配合物的竞争反应, 计算哪个体系平衡时所需要的Ag ⁺ 浓度最小则优先反应
	插入金属Ag电极	形成Ag ⁺ 浓度显著降低的非标准态电极	求实际Ag ⁺ 浓度, 再通过能斯特方程求φ

2.3 微观结构

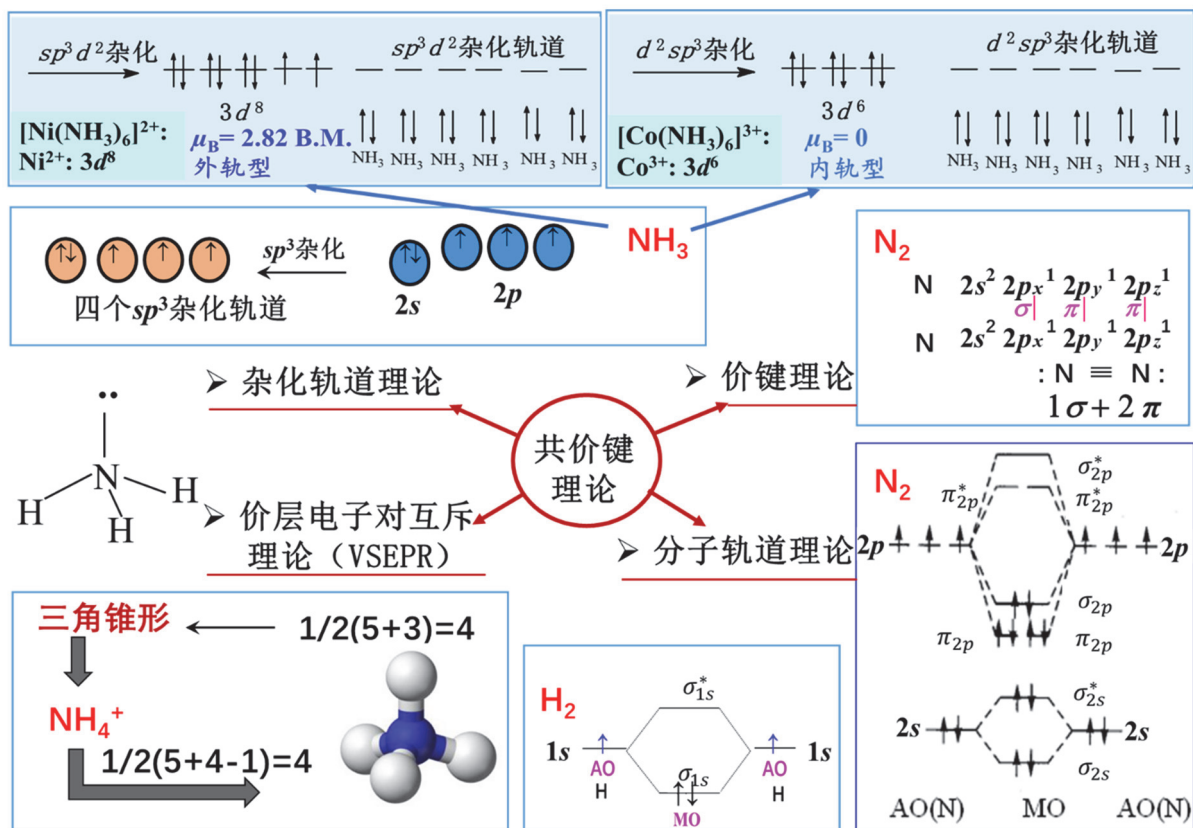
进而引入简单的分子结构和更复杂的分子间作用原理部分, 助力学生厘清物质的宏观化学反应行为是如何最终缘于其微观的本质结构的。原子结构和分子结构部分涉及到很多化学理论, 如价键理论、杂化轨道理论、价层电子对互斥理论、分子轨道理论等, 学生掌握单一理论的应用方法相对容易, 而在面对一个随机分子进行分析时, 往往无从入手。因此, 这部分教学设计将合成氨反应以及后续与氨相关的反应作为实体案例, 通过课前线上推送问题提纲、课堂串讲结构部分知识点、综合例题解答和随堂练习的模式, 串联各种理论, 帮助学生进行深入理解和巩固, 部分教学活动和内容如图4所示。

结构部分的综合例题在2.1和2.2的基础上进行设计, 重点在于分析结构与性能的关系, 引导学生思考实际问题, 理论联系实际。

【例题3】 根据例题1和例题2中合成氨的气相反应和氨水溶液中的系列反应情况, 从微观结构角度分析: (1) 利用共价键理论分析合成氨反应中各物质的分子结构; (2) 合成氨反应为什么需要高温、高压、催化剂等苛刻条件? (3) 氨气在水中溶解度很高, 这个过程中NH₃在结构上有什么变化? (4) NH₃分子作为配位体有什么特点?

题目分析: (1) 针对H₂、N₂、NH₃, 用价键理论解释N₂分子的结构, 用杂化轨道理论和价层电子对互斥理论解释NH₃分子的空间构型, 用分子轨道理论写出H₂和N₂的分子轨道式等; (2) 从反应物和产物的结构来看, N₂形成的三键非常稳固, 断开难度大, 反应活性低; (3) 分析氨分子和水分子的结构特点发现, 二者之间可以形成氢键, 有较强的相互作用, 有利于溶解, 溶解后形成氨水分子又会发生解离, 水分子中一个氢离子与氨分子配位, 形成配位键; (4) 氨分子中N有一对孤电子对, 配位原子是氮原子, 其给电子能力居中, 因此在光谱化学序列中处于中间位置, 在不同条件下可形成内轨型或外轨型配键。如与银离子反应时, Ag⁺的价电子构型为4d¹⁰, 不存在空的d轨道, 则形成外轨配

键。外轨配合物的稳定性通常低于同样条件的内轨配合物，从另一个角度说明，与例题2中形成沉淀的趋势大于形成配合物趋势的结论吻合。



复习任务单-结构部分

姓名:	班级:	日期:
回顾所学结构知识，总结但不限于以下问题：		
1) 氢气分子如何形成？		
2) 共价键如何分类，各有什么特点？		
3) 价键理论有哪些要点？		
4) 描述杂化轨道理论的要点。		
5) 价层电子对互斥理论判断分子空间构型的步骤。		
6) 分子轨道理论与杂化轨道理论有什么区别？		
7) 分子间力如何改变物质的性质？		

随堂练习

截止时间: 2023-12-14 14:24 | 已结束 编辑

3. 必答[单选题] NF_3 分子的空间构型为 () 形。

正确答案: A

- A. 三角锥 103人 97.2%
- B. 三角形 3人 2.8%
- C. 正方形 0人 0%
- D. 直线形 0人 0%

图4 “结构”知识的课堂串讲思路及线上教学活动展示

结构部分中用化学键理论进行分子结构解释是重点和难点，通过以合成氨及后续反应所涉及的常见物质为具体案例进行集中总结，有助于学生更清晰地比较并理解各化学键理论所常用、适用的体系，较串联前的单点理论知识而言，更容易形成系统的知识网络。

2.4 自主总结

通过以上具体例题的知识点串联和巩固，让学生对整体的学习思路更加清晰，可进一步通过分

组讨论，借合成氨反应作为主线，串成课程整体内容的思维导图，并鼓励学生采用多样化的形式和多点串联的角度，发散思维，整合知识。图5展示了思维导图分组任务，以及采用多点串联教学前后的代表性学生思维导图对比。可以看出，采用多点串联教学前，学生的导图基本上为目录式或笔记式的(图5a)，而经过多点串联讲解后，学生能够较好地进行知识点扩展，形成有一定关联的知识点网络(图5b)。依托合成氨这一具体反应，学生循着每一个箭头，可以定位到具体知识模块，可以在公式通式的基础上更加具体化，如图5b中各种平衡常数表达式、反应速率方程等，提升学生运用公式的灵活性。

分组任务 **终极思维导图大比拼** 作品展示 导出数据 再次发放
 截止时间: 2023-12-13 10:16 | 已结束 编辑

同学们，一学期的无机化学学习已经告一段落，请大家分组完成全部内容的思维导图，对所学内容进行创意总结，要求：**1**杜绝雷同（组间的、网络上的）；**2**一律**手写**后拍照，不超过**一张A4纸**大小（防止电子版字体过小，手写好掌握大小）；**3**避免文字过多，尽可能采用符号公式；**4**请各组认真布局，各章内容根据重难点均衡分布，不要有明显偏重，**尽可能体现各章节之间知识点的关联**。**鼓励配讲解**，或者以突出重点内容为目的的其他形式。期末在即，请各位全力以赴，且学且进步~

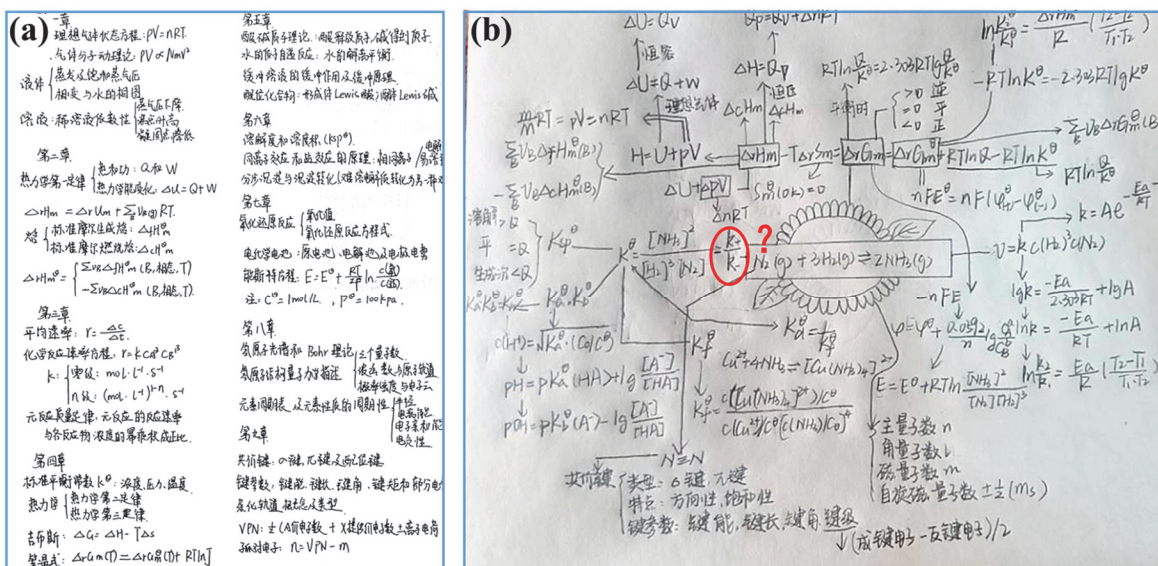


图5 串联教学前(a)、后(b)学生的思维导图对比

3 多点串联混合式教学实践效果和教学反思

通过以上基于合成氨反应的具体教学案例的设计和教学实践，更好地帮助学生打开思路，理解知识点之间的深层关联，并学会更有效地利用思维导图展开深入的知识点整理。如图6所示，问卷调查中学生对于串联式教学设计的接受度较高，92.5%的学生认为对于课程复习有帮助，对于线上线下一体化教学模式，学生满意度为100%，其中非常满意的比例超过65%。

教学实践中发现，课堂讲授高阶综合题目时，学生的专注度更好地被调动起来，与纯粹的知识讲授相比，更容易引发学生的主动性思考，反映出学生对于能激发思维的新题目、新思路引导有强烈的需求。同时，此类思维整合训练，对于学生的学习创新性的提升也有积极作用。横向对比2023级各专业的课程达成度情况发现，采用了多点串联教学的制药工程专业总达成度为84.1%，高于其他平行专业以及年级平均值78.6% (如表2所示)。与2022级制药工程(总达成度73.9%)纵向对比，高出10.2%，一定程度上体现出多点串联教学方式的教学效果。

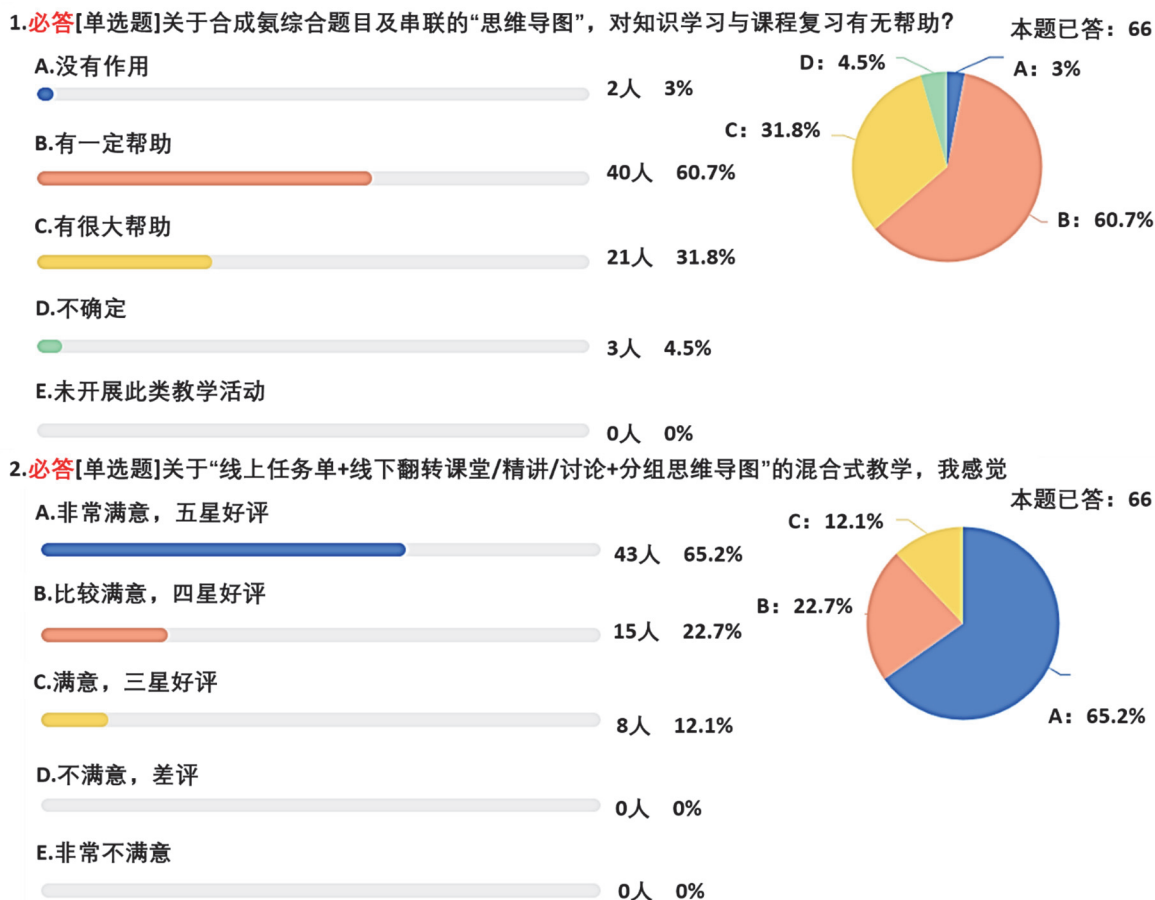


图6 多点串联的混合式教学反馈

表2 不同专业的课程目标达成度

年级	专业	目标1	目标2	总达成度
2023级	功能材料	77%	73.4%	75.3%
	应用化学	82%	77.9%	80%
	材料化学	84.3%	80.8%	82.6%
	化学工程与工艺	72.9%	68.8%	70.8%
	制药工程	85.8%	82.4%	84.1%
	平均	80.4%	76.7%	78.6%
2022级	制药工程	77.3%	76.4%	73.9%

在教学实践之初，发现学生对于自主完成串联式总结还不太适应，在课堂教学中尚能跟上教师的思路，课下进行自主总结时，一部分学生仍倾向于按部就班地笔记式总结知识点，因此，在教学中应鼓励学生进行常态化总结、串联，如每一节课前都由教师引导或学生尝试完成知识点串讲，逐渐加深知识点网络的印象，形成多角度看问题的思维习惯，从而更全面地掌握知识点。在教学中也挖掘过以其他可逆反应为主线的串联案例，如在化学反应原理部分也尝试过用可逆反应“ $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ ”进行串讲，作为工业制硫酸的重要步骤，在结合具体例题讲解时也可以起到知识点串联和理论联系实际的综合教学效果，表明该教学方法还有更多可以挖掘、提升的空间。

4 结语

根据无机化学教学内容的特点,以“合成氨及衍生反应”为线,设计了层次化、多元化的案例,实施“分步练习+综合研讨”的混合式教学策略。实践结果表明,该教学设计有助于学生掌握核心知识,自觉串点成链、组线成面,进而构建知识体系,增强系统性学习能力;同时能够促进学生反思、调整学习策略和方法,提升深度学习能力。

参 考 文 献

- [1] 梁成露,刘洋. 教育教学论坛, **2022**, No. 18, 53.
- [2] 张卫,宰建陶,马荔,陈虹锦,郭洪燃,魏霄. 化学教育(中英文), **2024**, *45* (4), 34.
- [3] 吴陈滨,孟桥. 电气电子教学学报, **2020**, *42* (5), 1.
- [4] 李银环,李欣慰,何洪宇,张志成. 大学化学, **2018**, *33* (11), 98.
- [5] 陈咏梅,周云山,王桂荣,金鑫. 大学化学, **2019**, *34* (5), 15.
- [6] 张址欣,黄萍,王晓瑜,李华,倩冉鸣. 化学教育(中英文), **2019**, *40* (15), 62.
- [7] 马骁飞,马亚鲁,田昀,秦学,高洪苓,刘华姬,鲁凡丽. 大学化学, **2018**, *33* (11), 15.
- [8] 宋祖伟,钱备,宁静,梁爱琴,惠妮. 大学化学, **2022**, *37* (11), 2206087.
- [9] 钱伯章. 大氮肥, **2016**, *39* (6), 404.