

项目教学在材料化学专业物理化学教学中的应用 ——以 p - V 图的绘制为例

和芹*, 王占胜, 肖子超, 刘昕乐

唐山师范学院化学系, 唐山市绿色专用化学品实验室, 河北省可降解聚合物重点实验室, 河北 唐山 063000

摘要: 以 p - V 图的绘制为例, 在物理化学教学中展开项目式教学。设计(等温/绝热/多方)可逆过程 p - V 图和绝热可逆过程与绝热不可逆过程 p - V 图的绘制两个任务, 指导学生从不同角度分析问题、解决问题。学生在团队合作中体会抓住事物本质解决问题的必要性; 并且, 学生的团队协作精神、思维深度和分析解决问题的能力也得到进一步提升。

关键词: 项目式教学; 物理化学; 理想气体; p - V 图

中图分类号: G64; O6

Application of Project-based Teaching in Physical Chemistry for Materials Chemistry Majors: A Case Study of p - V Diagram Construction

Qin He*, Zhansheng Wang, Zichao Xiao, Xinle Liu

Tangshan Key laboratory of Green Specialty Chemicals, Hebei Key Laboratory of Degradable Polymers, Department of Chemistry, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, Hebei Province, China.

Abstract: This study implemented project-based teaching in a physical chemistry course, using the construction of p - V diagrams as a case study. Two specific tasks were designed: (1) plotting p - V diagrams for isothermal, adiabatic, and polytropic reversible processes, and (2) comparing p - V diagrams for reversible and irreversible adiabatic processes. Through these tasks, students were guided to analyze and solve problems from multiple perspectives. The collaborative nature of the project enabled students to experience the scientific research process, emphasizing the importance of understanding fundamental principles in addressing practical problems. Furthermore, this approach enhanced students' teamwork skills, depth of critical thinking, and ability to analyze and solve complex problems.

Key Words: Project-based teaching; Physical chemistry; Ideal gas; p - V diagram

“物理化学”是我校材料化学专业的核心必修课程, 在学生知识体系构建和技能培养方面起着承上启下的重要作用。但材料化学专业物理化学课程课时少, 教师很难通过有限的传统课堂时间解决教学中的一些知识难点。并且, 传统课堂采用满堂灌的模式, 缺乏学生参与的环节, 学生的积极主动性不能被充分调动, 直接降低了课堂教学效果。因此, 改变传统满堂灌的教学模式, 提升课堂教学效果, 已成为课堂教学改革的首要任务。

近年来, 项目式教学研究逐渐增多^[1-3]。通过项目式教学, 将知识点以项目的形式分配给学习小组, 通过学生课堂之外的自主探索与分析, 可有效解决课堂时间不足的问题。同时, “以项目为主

收稿: 2024-12-02; 录用: 2025-02-24; 网络发表: 2025-06-30

*通讯作者, Email: heqin0591@1261.com

基金资助: 唐山师范学院教研教改项目(2025JGYB025); 唐山师范学院课程建设项目(2025KCZD007)

线、以学生为主体、以教师为引导者”，改变“教师讲、学生听”的传统教学模式，让学生主动参与，培养学生协作、探索与创新的精神。

但目前研究主要集中在项目式学习的价值与内涵，缺乏针对具体学科、具体情境的可操作性研究。理想气体的 p - V 图是物理化学学习的重难点之一，由 p - V 图的轨迹曲线可直观得出过程的状态参数及功的特点，进而大大简化解题过程。根据学科知识的重难点及学生的认知特点，以 p - V 图的绘制为例开展项目式教学，探讨项目式教学模式是否有助于提升课堂教学效果。周素芹等^[4]推导了不同过程体积功的计算及其在 p - V 图上的表示，施翔等^[5]讨论了 p - V 图上状态线与过程线的应用，杨纯等^[6]从绝热熵增原理对绝热可逆与不可逆 p - V 图的绘制进行了一定讨论，但其推导过程略显繁琐。本研究从 p - V 曲线的斜率、体积功和绝热熵增原理等不同角度进行推导，简化推导过程，多角度、多方位启迪学生思维。

1 设计项目任务

图1为主要项目内容设计。首先，教师进行项目设计，将项目分解为2个主要任务。在该过程中，教师根据知识点的特点给出完善的项目主题设计，通过QQ群或学习平台发布项目；待项目发布后，教师应及时做好相关理论知识的指导，同时提供交流平台，以便及时和学生沟通并接收学生的疑难反馈，及时了解项目的进展情况；学生则需根据项目主题设计组建相应的项目小组并进行组内分工和组间的交流沟通，通过组内及组间交流培养学生的团队协作意识和沟通表达能力。

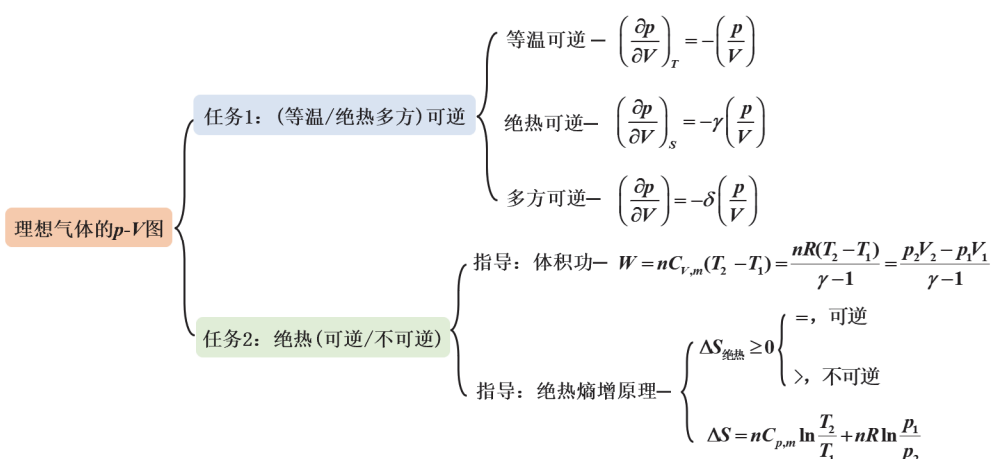


图1 理想气体的 p - V 图绘制项目设计

2 指导学生完成任务

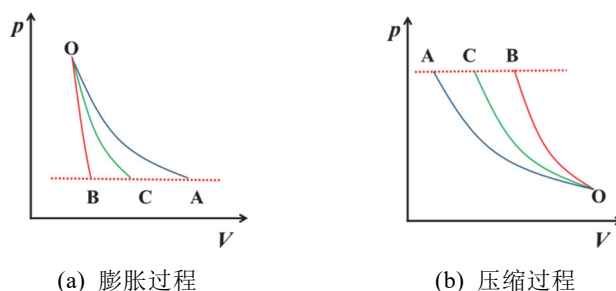
2.1 (等温/绝热/多方)可逆过程 p - V 图的绘制

《列子·说符》中九方皋相马一节指出对待事物要抓住本质特征，才能不为表象所迷惑。综合应用高数知识，进一步完善学生的知识体系构建，指导学生通过分析获得决定 p - V 图轨迹曲线坡度陡缓的内在因素——切线斜率，将结果整理到表1。如表1所示，首先，等温可逆过程 p - V 图的斜率为 $-(p/V)$ ，绝热可逆过程的斜率为 $-\gamma(p/V)$ ；因绝热可逆斜率更大，因此其轨迹曲线更陡。同理，因 $1 < \delta < \gamma$ ，学生也很容易推测多方可逆过程轨迹曲线在等温与绝热可逆之间。

理解本质属性，绘制轨迹曲线自然“若驷马驾轻车就熟路”，图2为膨胀和压缩过程的 p - V 图。当理想气体从同一始态 O 点出发，经 $O \rightarrow A$ 等温可逆膨胀、 $O \rightarrow B$ 绝热可逆膨胀和 $O \rightarrow C$ 多方可逆膨胀，至具有相同压力的终态，将过程轨迹曲线绘制于同一张 p - V 图中，如图2(a)所示。同理，学生根据斜率特征还可得到压缩过程的 p - V 图，如图2(b)所示。

表1 理想气体(等温/绝热/多方)可逆膨胀 p - V 图的切线斜率

过程特点	p - V 关系	斜率
理想气体等温可逆	$pV = K$	$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T = -\left(\frac{p}{V}\right)$
理想气体绝热可逆	$pV^\gamma = K, \gamma > 1$	$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_S = -\gamma\left(\frac{p}{V}\right)$
理想气体多方可逆	$pV^\delta = K, 1 < \delta < \gamma$	$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right) = -\delta\left(\frac{p}{V}\right)$

图2 膨胀(a)与压缩(b)过程的 p - V 图

2.2 绝热可逆过程与绝热不可逆过程的 p - V 图

为了让学生更深刻地理解知识间的逻辑关系, 指导学生应用不同方法进行分析, 提升学生的科学素养。

(1) 体积功大小。

首先, 引导学生推导一般绝热过程体积功的计算通式, 通过学生自主参与, 培养学生勤于动手、乐于探究的精神。学生经小组讨论发现, 对于理想气体绝热过程存在 $W = \Delta U = nC_{V,m}(T_2 - T_1)$, 并且 $R = C_{p,m} - C_{V,m}$, $\gamma = C_{p,m}/C_{V,m}$, 可得 $C_{V,m} = R/(\gamma - 1)$ 。因此对于绝热过程(包括绝热可逆与绝热不可逆过程), 可得体积功计算通式:

$$W = nC_{V,m}(T_2 - T_1) = \frac{nR(T_2 - T_1)}{\gamma - 1} = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{\gamma - 1}$$

因 $W = (p_2V_2 - p_1V_1)/(\gamma - 1)$ 可更直接地反映 p 与 V 的特征, 因此选择该公式判断终态压力或体积特征。

教师设计绝热可逆及反抗恒外压的绝热不可逆(膨胀/压缩)过程, 要求学生计算终态温度和体积功, 并将计算结果应用于理想气体 p - V 图的绘制, 巩固学生的基础知识, 提高学生的学科素养。图3和图4分别为绝热膨胀/压缩过程的相关计算及 p - V 图。

对于膨胀过程, 气体对外做功, 做功大小为 $|W| = -W = (p_1V_1 - p_2V_2)/(\gamma - 1)$ 。学生根据图3计算结果得到 $|W_R| > |W_{IR}|$, 则从同一始态(p_1, V_1)出发膨胀至具有相同压力 p_2 的终态, 存在 $(p_1V_1 - p_2V_{2,R})/(\gamma - 1) > (p_1V_1 - p_2V_{2,IR})/(\gamma - 1)$, 可得 $V_{2,R} < V_{2,IR}$, 即不可逆膨胀终态体积更大, 由此可知绝热不可逆轨迹曲线必然在可逆之上, 如图4(a)所示。同理, 压缩过程存在 $W_R = (p_2V_{2,R} - p_1V_1)/(\gamma - 1) < W_{IR} = (p_2V_{2,IR} - p_1V_1)/(\gamma - 1)$, 因此压缩至同一压力时存在 $V_{2,R} < V_{2,IR}$, 即不可逆压缩终态体积更大; 可得绝热不可逆压缩轨迹曲线在可逆的上方, 如图4(b)所示。学生从体积功计算到应用计算结果进行分析, 在一定程度上实现了“学以致用”。

在该过程中, 也有部分学生指出无需计算体积功, 通过终态的温度特征, 并结合理想气体状态方程也可判断终态压力特征。由温度计算结果可知, 无论膨胀还是压缩过程, 均以不可逆过程终态温度更高; 由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 可知, 终态压力相同时, 终态体积取决于终态温度; 因不可逆过程终态温度更高, 因此其终态体积必然也更大, 该结论与通过体积功分析所得结果一致, 在

逐级分析中学生的逻辑思维能力得到有效提升。学生综合分析膨胀及压缩过程获得结论：无论膨胀还是压缩过程，均是绝热不可逆轨迹曲线在上、可逆在下，与从做功大小角度分析结论一致。首先，对于不同视角的思维方式，教师应给予肯定，该方法简化了判断过程；但同时也应指出其不足，即该解题过程不涉及体积功，因此无法推导出“绝热不可逆过程曲线下面积不代表做功大小”的结论。

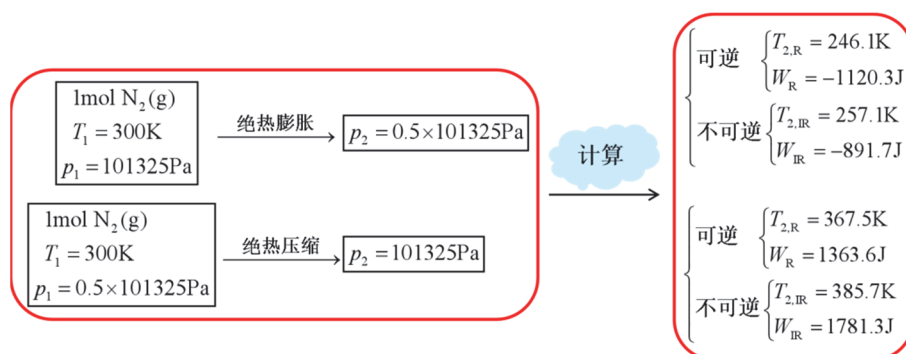


图3 绝热可逆/不可逆(膨胀/压缩)过程设计

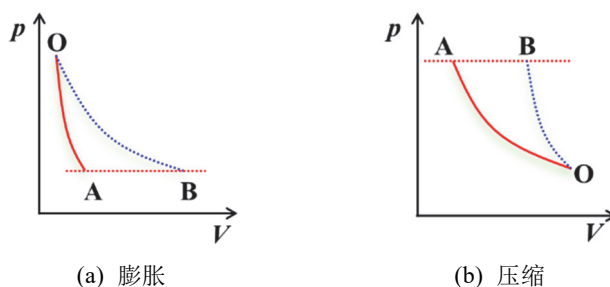


图4 绝热膨胀(a)与压缩(b)过程的 p - V 图

在教学中，着重培养学生严谨务实的科学态度，指出 p - V 图绘制的注意事项。当过程可逆时，体系始终处于平衡态，其过程轨迹曲线可在 p - V 图上表示，且曲线下面积代表做功大小(绝对值)；但不可逆过程中体系始终处于非平衡态，在图上无法表示其实际轨迹曲线，因此过程不可逆时，其轨迹曲线以虚线表示，以便与可逆过程区分开。并且，教师可进一步指导学生通过分析绝热可逆与不可逆膨胀过程体积功特点，得出不可逆过程曲线下面积并不代表做功大小。

(2) 绝热熵增原理。

从同一始态(相同的 p_1T_1)膨胀/压缩至同一压力 p_2 的终态，首先由绝热熵增原理判断末态温度 $T_{2,IR}$ 与 $T_{2,R}$ 的大小，再判断末态体积特征。学生根据理想气体简单 pVT 变化的熵变计算公式，并结合绝热熵增原理判断终态温度特征，可得：

$$\Delta S_{IR} - \Delta S_R = nC_{p,m} \ln \frac{T_{2,IR}}{T_{2,R}} > 0$$

即可获得 $T_{2,IR} > T_{2,R}$ 。然后，进一步通过理想气体状态方程可得 $V_{2,IR} > V_{2,R}$ 。学生同样得到如下结论：无论膨胀还是压缩过程，均是绝热不可逆轨迹曲线在可逆的上方。

从熵增原理进行定性判断，不涉及具体的数据计算。在任务完成过程中，学生经历了从最初领到任务时“不识庐山真面目”的迷茫，到顺利完成任务后“不畏浮云遮望眼”的清晰，通过截然不同的解题途径，使学生的发散思维得到有效提升，使学生的视野宽度得到进一步拓展。并且，在该过程中，学生从旁观者转变为任务的分析者、组织者和评估者，其求知欲和学习兴趣得到显著增强；同时团队合作模式又使他们的团队协作精神和表达能力得到提升。

3 项目的考核评价

3.1 对学生的考核评价

图5为项目完成过程示意图。如图5所示，将考核工作分为三个部分，录制讲解视频、项目组代表分析总结和线上测验，成绩占比分别为40%、30%和30%。经教师指导，学生进行组内和组间沟通交流与分工合作，学生以组为单位录制相应讲解视频，由教师组织项目验收与考核评价，通过学生完成项目的情况给与赋分。然后，进一步检验项目完成情况，由项目组代表对项目进行分析总结，并由教师对相关知识点进行总结回顾。最后，为进一步检验学生的学习效果，提高学生应用基础知识解决实际问题的能力，按照侧重基础知识的检测及侧重解决问题的能力培养两个方面选择合适测试题目，并进一步根据题目难易程度建立题库。通过学习平台发布检测题目，使学生巩固、内化所学知识，达到熟练应用的目的；同时，对学生答题结果进行在线统计，并据此进行下一步的课程改进，确保教学过程更贴近学生实际需求，真正实现“学生为主体，教师为主导”的教学理念。选择部分具有代表性的测试题，对测验结果进行统计分析。



图5 项目完成过程示意图

例如第2个选择题：一定量的理想气体从同一始态出发，分别经(1) 等温可逆压缩、(2) 绝热可逆压缩，到达具有相同压力的终态，以 H_1 和 H_2 分别表示两个终态的焓，则有()。

- (A) $H_1 > H_2$ (B) $H_1 = H_2$ (C) $H_1 < H_2$ (D) 无法判断

正确答案为C，学生的正答率达到94.8%，充分说明学生可熟练使用 p - V 图获得终态体积及温度特征，并可根据理想气体的 H 仅与温度有关的特点进行正确选择。

第4个选择设置如下：理想气体从相同的始态分别经绝热可逆膨胀和绝热不可逆膨胀到达相同的压力的终态，则终态的温度、体积和体系的焓变必定是()。

$$(A) T_R > T_{IR}, V_R > V_{IR}, |\Delta H_R| > |\Delta H_{IR}| \quad (B) T_R < T_{IR}, V_R < V_{IR}, |\Delta H_R| < |\Delta H_{IR}|$$

$$(C) T_R < T_{IR}, V_R > V_{IR}, |\Delta H_R| < |\Delta H_{IR}| \quad (D) T_R < T_{IR}, V_R < V_{IR}, |\Delta H_R| > |\Delta H_{IR}|$$

正确答案为D, 正答率为21.79%, 选B的学生占比为70.51%。经调查发现绝大部分学生可根据过程特点绘制相应的 $p-V$ 图, 也可根据轨迹曲线判断终态体积和温度的特点, 但是忽略了膨胀过程焓变为负, 因此焓变和焓变绝对值的符号恰恰相反这一特点导致失误, 说明这是题目的难点和易错点, 教师在该类知识点的讲解上需要进一步突出强调。

3.2 学生对项目式教学模式的满意度调查

为确保项目式教学模式的科学性, 提升教学效果, 并进一步了解学生对该教学模式的认可程度, 以便及时对教学模式与方法进行适当的调整与完善, 我们通过腾讯问卷开展无记名调查, 将调查结果整理到表2。由表2数据可以看出, 赞成当前教学模式的学生占比达到84.9%–86.8%, 认为效果一般的学生占比11.3%–15.1%, 说明当前教学模式对绝大多数同学而言是成功的, 这部分同学通过尝试和挑战, 使自主学习能力和沟通合作等能力得到提升; 但也有少数同学反映由于时间有限, 部分任务难以完成, 或是还不能完全适应新的教学模式, 对这部分同学教师需进一步征求意见, 以便进行后续的改革和完善。

表2 学生对教学模式的满意度调查结果统计

问题	赞成/%	一般/%	不赞成/%
有助于提升物理化学课程的学习兴趣	86.8	13.2	0
有助于基础知识的巩固和逻辑思维能力的提升	86.8	11.3	1.9
有助于完善知识体系的构建, 培养学以致用能力	86.8	13.2	0
评价方式有利于提升学习效果	84.9	15.1	0
有助于沟通表达能力的培养	86.8	13.2	0
有助于团队合作意识的培养	86.8	13.2	0
有助于学习积极主动性的提高	84.9	15.1	0

通过理想气体的 $p-V$ 图将复杂问题由难化易、由繁化简, 极大提高了学生的理解和应用能力。通过项目式教学模式, 促进教师实现从知识的灌输者到学生学习的促进者和引领者的身份转变。利用小组合作的形式使学生从被动接受知识, 转变为通过交流合作主动获取。在过程中学生既展示了对相关知识点的掌握情况, 又提升了对相关理论知识的理解与应用能力, 营造了活跃的课堂氛围; 并且, 学生尝试从不同的角度寻找解决问题的方法, 既巩固了学生的基础知识, 又拓宽了学生的视野和思维深度, 提升了学生在实践中解决问题的能力, 使学生于实践中感悟到“道虽迩, 不行不至; 事虽小, 不为不成。”

参 考 文 献

- [1] 张现峰, 吴中, 郭春燕. 大学化学, 2021, 36 (1), 2009036.
- [2] 王琪, 孔祥华, 杨真真, 谢建晖, 何建波. 安徽化工, 2023, 49 (5), 171.
- [3] 司长代, 董翊晗, 汪鹏霞, 雷新有, 龙世佳. 广州化工, 2022, 50 (22), 211.
- [4] 周素芹, 冯良东, 张立静, 刘彦芳. 广东化工, 2021, 48 (21), 207.
- [5] 施翔, 陈素萍. 连云港职业技术学院学报(综合版), 2003, 16 (2), 16.
- [6] 杨纯, 刘向荣, 李侃社, 靳恒集. 大学化学, 2009, 24 (6), 60.