

化工热力学课堂教学的有效组织^{*}

李俊英, 马 烽, 郭 宁, 杨鹏飞, 陈 振, 李 艳

(齐鲁工业大学(山东省科学院)化学与制药工程学院, 山东 济南 250353)

[摘要] 课堂教学过程是师生之间传递知识、思想和情感的过程, 在互联网普及的当下, 如何组织课堂教学值得深思。在化工热力学课堂教学中, 教师通过递进、串联的知识点讲解方式使学生掌握热力学的思维方式, 并通过思想交流、课堂练习、章节测试等方法使学生克服学习惰性, 大大提高了学生的学习热情和课堂教学效率。

[关键词] 化工热力学; 课堂组织; 教学过程

The Classroom Organization of Chemical Engineering Thermodynamics

Li Junying, Ma Feng, Guo Ning, Yang Pengfei, Chen Zhen, Li Yan

(School of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, Qilu University of Technology
(Shandong Academy of Sciences), Jinan, Shandong 250353)

Abstract: The process of teaching in classroom is a process of transferring knowledge, idea and emotion between the teacher and students. How to organize the lectures efficiently should be considered at the present of internet popularizing. In class teaching of chemical engineering thermodynamics, we deliver the way of thermodynamic thinking by the methods of progressive and in series knowledge points, and help the students overcome the sluggishness though idea communication, exercise and quiz in the class. It greatly stimulate the students' enthusiasm of study and increase the efficiency of class.

Key words: Chemical engineering thermodynamics; Class organization; Teaching process

化工热力学是化学工程与工艺专业的必修课, 其核心任务在于培养学生应用热力学基本原理分析与解决化工技术领域相关问题的能力。该

课程教学在化工类人才培养中起着承前启后的作用, 课程涉及的知识点是化工行业的工程技术人员和生产管理者必不可少的工具^[1-2]。1939年,

[作者简介] 李俊英(1970-), 女, 副教授, 博士。

[通信作者] 李俊英, E-mail: lijunying001@126.com。

^{*} 基金项目: 山东省高等教育本科教改项目(编号: Z2018X064); 齐鲁工业大学(山东省科学院)教学改革研究项目(编号: 201838; 201839; 2015-4)。

麻省理工学院的 Weber 教授编写了第一本化工热力学教科书 *Thermodynamics for Chemical Engineers*。目前,化工热力学课程的教学体系已相当完备,实现了原理、模型、应用三要素的结合,课程的理论性、逻辑性都很强^[3]。但由于化工热力学的概念抽象,公式繁多且推导过程复杂,学生普遍反映学习难度很大,授课教师面临巨大的挑战^[4]。如何在有限的时间内,将化工热力学的基本理论,特别是解决问题的思想和方法传授给学生,值得深思。

随着互联网技术和信息技术的发展,新的教学手段不断涌现,促使教学改革不断深入。只有对教学过程进行科学组织和有效整合,实现教与学的高度统一,才能取得理想的教学效果,最终达到使学生掌握知识并能解决问题的目的^[5]。多年的教学实践证明,高效利用课堂是教学的重中之重。有效的课堂组织能够达到激发学生学习兴趣,使学生克服畏难情绪的效果。因此,面对不同时代、不同阶段的学生,如何找到他们的共鸣点并有效组织课堂教学显得尤为重要。

一、课堂教学的作用

课堂教学过程是面对面传递信息的过程,是师生之间相识相知的过程。教师在教学过程中传达的价值观对学生的影响是久远的,甚至超过了课程本身。因此,教师应充分利用课前课后时间,主动为学生答疑解惑;关注学生的听课状态,随时调整课堂教学节奏,利用小问题活跃课堂气氛,在交流互动中传授知识。学生感受到老师的关注后,也会更加重视课堂学习。老师的态度决定了学生学习的态度,对学生的跟踪调查显示,学生对课堂的感受是多方面的(见图 1),不仅仅是学习知识。面对被电子产品包围、在互联网世界中成长起来的学生,教师更加需要有意识地与其进行沟通和交流,在讲授知识的过程中传递尊重、平等与关爱^[6]。

二、充分利用课堂时间,不留问题死角

化工热力学课程从 56 学时缩减至 40 学时,但知识点并未减少,这就对教学内容的设计提出

了更高的要求。另外,由于学生用于专业课学习的课外时间很少,因此,教师必须充分利用宝贵的课堂教学时间。

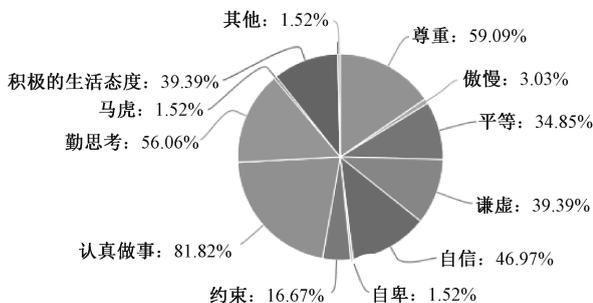


图 1 学生对课堂的感知(专业知识以外)

化工热力学课程共包含六章内容,要求掌握的重要知识点有 20 多个,如表 1 所示。在课堂教学中,我们先对知识点进行梳理,在精讲每个知识点之后或讲解过程中穿插几个小问题,让学生进行课堂练习。课堂练习时间控制在 5~10 分钟,期间教师会随机查看,并根据解答情况讲解易错知识点。如在重要概念的教学中,我们设计了以下习题:请判断热、摩尔吉氏函数、总热力学能、功、总焓、摩尔熵、温度、压力等热力学函数中,哪些是强度性质,哪些是容量性质,哪些是状态函数,哪些是过程函数,并给出经过一个过程循环后体系状态函数的变化值是多少。学生通过具体函数的练习,明确了基本概念的热力学意义,加深了记忆。再如针对“由溶液模型计算溶液性质”这一知识点,我们设计了以下问题:已知溶液的超额吉氏函数模型为 $\frac{G^E}{RT} = Ax_1x_2$, 计算对称归一化活度系数(模型与溶液性质的关系及摩尔量与偏摩尔量的关系)、溶液的组分逸度(溶液组分逸度与活度系数的关系)和溶液的总逸度(总逸度与组分逸度的关系)。通过溶液性质计算的练习,学生既深刻理解了建立溶液模型的意义,又复习了敞开系统涉及的摩尔量与偏摩尔量的关系、溶液活度系数的定义等重要知识点。

我们每节课都会在讲解完重要知识点之后让学生进行课堂练习,以使学生巩固所学知识。随堂练习活跃了课堂气氛,改变了学生懒于思考的学习惰性,有助于学生集中精力思考问题。在学

表 1 化工热力学课程的主要知识点

| 章节 | 知识点 |
|---------------------|---|
| 第一章 绪论 | 化工热力学任务及解决问题的思路;状态函数等重要基本概念 |
| 第二章 p-V-T 关系和状态方程 | 纯物质的 p-V-T 相图;立方型状态方程及常数的求解方法;多常数方程的特点 |
| 第三章 均向封闭系统热力学原理及其应用 | 封闭系统热力学基本关系式; 偏离函数的计算及应用;逸度、逸度系数与状态方程的关系;应用偏离函数和状态方程计算均相热力学性质;饱和热力学性质及热力学性质图表的制作原理 |
| 第四章 均相敞开系统热力学及相平衡准则 | 化学势与偏摩尔性质;摩尔性质和偏摩尔性质之间的关系;组分逸度和组分逸度系数的定义及计算;理想溶液模型;组分逸度与溶液活度系数(对称归一化与不对称归一化)的关系;由溶液模型计算溶液性质 |
| 第五章 非均相系统的热力学性质计算 | 混合物的气-液相图;相平衡的计算;活度系数模型参数的估算;气液平衡数据的一致性检验 |
| 第六章 流动系统的热力学原理及应用 | 流动系统的熵平衡;理想功、损失功、有效能计算;蒸汽动力循环的分析与计算;制冷与热泵的热力学过程分析 |

期结束后,我们对当期学生和结课一年的学生进行了调查,学生对课堂利用效果的反馈如图 2 所示,对课堂练习效果的反馈如图 3 所示。可见,90%以上的学生认为充分利用课堂时间能够有效理解专业知识,从而节省了课后复习时间,产生了良好的学习效果。

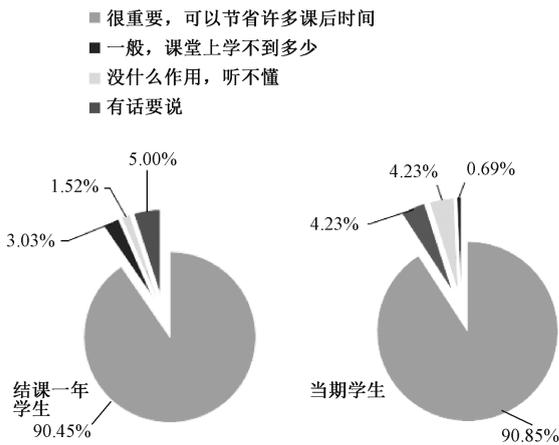


图 2 课堂利用效果的调查结果

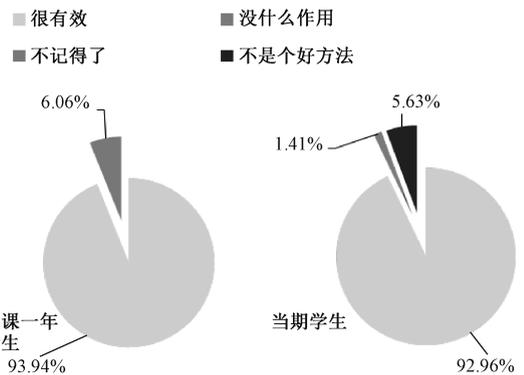


图 3 课堂练习效果的调查结果

而真实体系的多样性和复杂性决定了解决实际问题时不能仅仅运用经典热力学原理,必须引入反映体系特征的模型^[3]。因此,如何在基本理论的基础上建立接近实际体系的模型,并应用模型解决实际问题,是化工热力学教学中要解决的问题。学生只有形成正确的研究思路,才能在应用化工模拟及计算软件时,选择合适的模型解决实际问题。

化工热力学课程最大的特点是严谨,即使在日益重视应用的当下,教学中也不能忽略热力学

三、以递进的讲解方式展示化工热力学的思维方式

化工热力学的研究对象是接近实际的体系,

的本质^[7]。因此,培养和锻炼学生的推理演绎能力,使学生学会运用严密的逻辑思维方式分析实际问题,也是教学的重心。在课堂教学中,我们始终围绕“理想模型→修正→真实体系模型建立及应用”的思路,通过概念递进的方式,让学生体会热力学中理想模型加“校正”处理实际体系的思维

方式(见图4)。我们首先让学生深入理解并掌握涉及理想系统的概念和模型,如理想气体、理想溶液等;然后引入修正的概念,即在解决实际问题时需要理想模型进行修正;最终让学生掌握利用简单事物加校正的热力学方法处理复杂问题的思维方式^[8]。

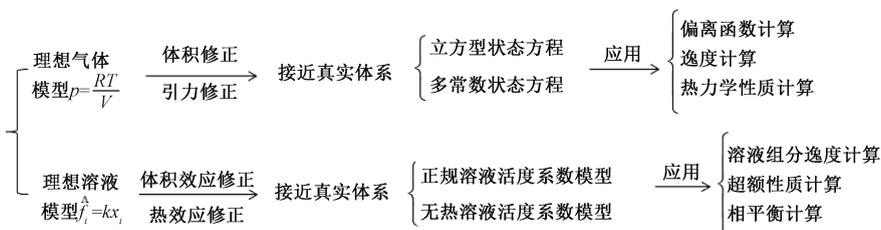


图4 化工热力学中对实际体系的递进研究方式

如在讲解“逸度”这一抽象概念时,我们从理想气体的 Gibbs 自由能 $dG^{ig} = RT \ln p$ 开始,让学生思考真实气体的 Gibbs 自由能该如何以相同的形式表达,从而引出 $dG = RT \ln f$; 然后对比理想状态,借助偏离函数得到逸度是对压力的修正,而修正因子为逸度系数,可以用状态方程计算;再进一步扩展到混合物的组分逸度,根据形似的原则给出定义 $d\bar{G}_i = RT \ln \hat{f}_i$, 引出组分逸度是对理想气体混合物分压的修正,而修正因子是组分逸度系数,可通过引入混合法则用混合物状态方程进行计算。同时,我们着重强调:热力学在描述实际状态时对理想态的修正始终有一个极限原则,即描述真实状态的参数在趋于某个极限时达到或接近于理想状态,这样的处理既简化了实际体系又不失严谨。热力学关系推导的严密性及解决实际问题的思路会潜移默化地影响学生,为其将来更好地处理工作中错综复杂的问题打下基础。

据^[9]。可见,热力学的原理、模型是为最终的应用奠定基础的,每个知识点都是用来解决问题的工具。我们在课堂教学中,围绕热力学性质计算的主线,将各个概念和原理串联起来,形成相互关联的知识体系,以便解决实际问题,这与工程教育认证中对化工热力学课程的目标要求也是相符的^[10]。

四、通过归纳串联的讲课方式突出知识的连贯性

化工热力学是为解决化工生产中的实际问题而发展起来的学科,主要为工业过程提供基础数据的测定与计算,为化工分离过程提供相平衡数据,为化学反应过程的设计提供反应平衡的计算,对伴有热效应的化工过程进行热力学分析,为有效利用能量和改进实际用能过程提供理论依

如在讲解相平衡知识时,我们围绕热力学性质的计算,分析了相平衡原理、模型求解、模型应用之间的关系(见图5),并给出如下设计例题:正丙醇(1)与水(2)的共沸点数据为 $T^{az} = 87.8^\circ\text{C}$, $p^{az} = 101.33\text{kPa}$, $x_1^{az} = y_1^{az} = 0.432$, 假设气相为理想气体,液相符合 Margules 方程,1.求解模型参数(由相平衡实验数据求解模型参数);2.计算 $T = 87.8^\circ\text{C}$, $x_1 = 0.75$ 时的泡点压力及泡点组成(由理论模型方程计算任意组成的相平衡);3.计算 $T = 87.8^\circ\text{C}$, $x_1 = 0.75$ 时的 G^E (由相平衡条件下的 T, p, x_i 计算热力学性质)。

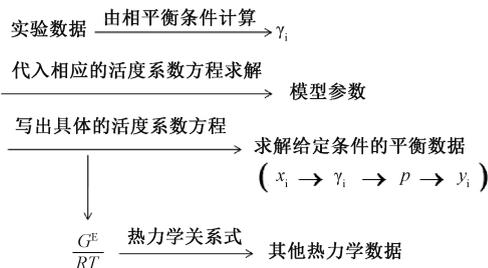


图5 热力学数据的相互推算

类似例题的讲解可以加深学生对化工热力学

原理、模型、应用三要素体系的理解,使学生形成“实验数据→理论方程→解决实际问题”的思路,突出知识点之间的相互贯通。

又如状态方程作为模型的应用知识,贯穿封闭系统、敞开系统的热力学性质计算。状态方程可用于计算逸度系数、偏离函数、组分逸度系数、相平衡,这些应用最终又归于热力学性质的计算(见图6)。我们在教学中通过状态方程的应用将热力学性质计算的思路和方法串联起来,展示知识的整体性、相关性,让学生形成以易测的 p - V - T 数据获得难测数据的思路。

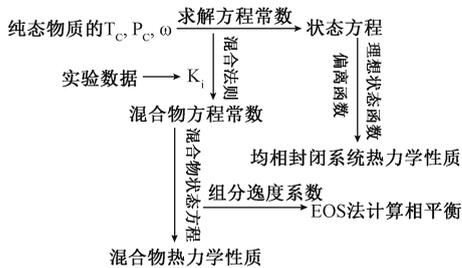


图6 状态方程计算热力学性质

五、利用课堂反馈掌控学习全过程

专业知识的学习是一个循序渐进、由易到难的过程,及时检查学习效果、随时清理疑难问题尤为重要。考试是检验教师教学质量和学生学习效果的有效途径之一,考试方式的选择对教师的教和学生的学都有极大的影响。如果仅仅通过期末考试检验学习效果,学生容易忽视平时的知识积累,往往到考前才“临时抱佛脚”。为此,我们将考核渗透在整个教学过程中,通过课堂测试及时了解学生的学习过程,发现问题并及时解决。由于课堂时间有限,教师必须认真备课,并精心设计对应的练习,让学生在课堂上就能完成知识消化。这种边学习边总结、边学习边解惑的方式使课堂高效运转起来,为教与学信息的反馈赢得了时间。每一章内容结束后,我们都会进行20~30分钟的课堂测试,以便及时掌握学生的学习情况并解决疑难问题。调查显示,90%以上的学生认为课堂测试对学习有很好的促进作用,不仅提高了课堂

学习效果,而且有助于轻松应对期末考试。

课堂是最直接的获取信息的场所,组织利用好有限的课堂教学时间可以达到事半功倍的效果。课程的结束并不意味着教学的结束,教师可以通过问卷、聊天等方式了解学生的想法和学习感受,并据此调整教学方式。教师只有重视学生的学习体验,才能使课堂教学效果更好^[11]。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 夏淑倩, 马沛生, 陈明鸣, 等. 化工热力学课程改革[J]. 化工高等教育, 2006(4): 38-41.
- [2] 童张法, 陈小鹏, 梁杰珍, 等. 面向工程应用五位一体打造“化工热力学”课程[J]. 中国大学教学, 2017(10): 77-82.
- [3] 陈新志, 蔡振云, 胡望明, 等. 化工热力学[M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2009: 1-8.
- [4] 石海信, 赖家凤, 罗祥生. 以应用型人才培养为导向的化工热力学教学探索[J]. 高教论坛, 2017(4): 40-44.
- [5] 赖绍聪. 论课堂教学内容的合理选择与有效凝练[J]. 中国大学教学, 2019(3): 54-58.
- [6] 卫建国. 以改造课堂为突破口提高人才培养质量[J]. 教育研究, 2017(6): 125-131.
- [7] 陆小华, 冯新, 吉远辉, 等. 迎接化工热力学的第二个春天[J]. 化工高等教育, 2008(3): 19-21.
- [8] 乔柯, 宋春敏, 刘熠斌, 等. 灵活运用多种教学方法, 优化化工热力学教学效果[J]. 化工高等教育, 2014(1): 50-53.
- [9] 施云海. 化工热力学课程教学改革的理念、方式和成效[J]. 化工高等教育, 2014(5): 11-13.
- [10] 黄伟莉, 谢颖, 吴世逵. 基于化工专业认证的化工热力学课程教学改革[J]. 广州化工, 2016, 44(13): 199-200.
- [11] 冯新, 陆小华. 以学生为本的化工热力学课程教学改革[J]. 化工高等教育, 2006(4): 30-34.