

以化学热力学为例的物理化学课程对创造性思维的培养

林洁丽* 李杰森 刘弋潞

佛山科学技术学院 环境与化学工程学院 广东 佛山 528000

【摘要】对物理化学课程的教学设计进行改革,主要分成创造情境、提出目标问题、等待顿悟这三部分。本文通过化学热力学内容为例介绍改革的实践应用,突出学生顿悟的学习过程,提高学生的创造性思维,显示出良好的学习效果。

【关键词】化学热力学;创造性思维;物理化学

高校化工类专业的《物理化学》课程是一门基础专业课,专业先修的基础理论是无机及分析化学,同时开设专业基础课程为有机化学,后继专业理论课主要有:化工原理、化工热力学、反应工程、生物化学等课程,应注重基本概念、基本定理公式、基本能力的培养,学习时要注意掌握公式的物理意义和使用条件^[1]。物理化学对学生在学习专业课程中起着举足轻重的作用,因为它是四大化学的灵魂^[2],机械式的教学和传统的教学方法已经不能有效激发大学生的学习热情。我们课题组2017年提出“以学生为本”的教学模式^[3],能够更有效提高学生的积极性,提高了学习成绩。在2018年,我们结合熏陶式主动型教学模式^[4],课堂上引入熏陶元素,影响更多学生进入有效的学习状态,不但能使原本自觉的学生保持良好学习习惯又能使不够自觉的学生改变不好的学习习惯。目前为了培养具有强烈的创新意识和良好的创造性思维的新时代大学生人才,在高校的课堂教学中还要注入新的教学理念,达到培养大学生创造性思维的目的。

1 培养创造性思维的重要性

中国著名数学家华罗庚说:“‘人’之可贵在于能创造性地思维”。思维就是沿着一定方向的思考。思维按照过程和结果可分为常规思维和创造性思维。狭义来说,创造性思维是指创造者在思维角度和思维过程的某个或某些方面富有独创性而产生创造性成果的思维。随着科学技术的不断发展,国家陆续推出一系列支持大学生创新创业的鼓励政策,高校和企业越来越重视大学生的创造能力。但是中国学生领受的初等教育往往比较注重包含机械学习和背诵学习的重复性教学,常常只会导致机械操作和简单理解而不能导致创造性思维。格式塔心理学家一致认为依靠顿悟的方法能够很好地让学生拥有创造性思维^[5]。当领会到自己的动作和情境与自己要达成的目标之间产生某种联系时,顿悟就产生了。创造性思维和顿悟能力是互为促进的,形成良性循环。创造性思维能对各种情景因素的互动产生灵活处置,从而带来顿悟和深刻理解,而顿悟的产生会加强对知识的掌握继而形成再生性思维,为培养创造性思维提供极大可能性。因此创造性思维应该被看成是重要的高等教育目标,高等院校在教学课堂和科研训练中应重视培养大学生的创造性思维,将其渗透于不断的教学改革中。

2 物理化学课堂教学中创造性思维的培养

物理化学课程的公式和定律内容特别多,跨越的学科至少有五个领域,包括热力学、电化学、化学动力学、表面学、胶体化学,涉及的学习对象包括单组分和多组分系统,要学习的平衡状态包括单纯 pVT 变化的平衡、相平衡和化学平衡,内容错综复杂,短时间内很难分辨各种定律和公式的适用条件和应用方法。没有科学的思维方法很难掌握好公式的物理意义和使用条件。早在2015年,杨光^[6]指出在物理化学的教学中需要强化学生思维能力的训练。

2.1 物理化学的课堂改革

教学活动是施教者和受教者的双边活动。我们将学生定格为知识的主动建构者,而不是被动的信息接受者。学生先通过听课堂授课和自学方式直接感知知识,再通过完成作业和听评解来体验知识,达到清晰阐明知识结构的目标。在其中我们需不断给予提示并指明实际存在的差距,引导其用合理的创造性方式解决学习任务,实现学生创造性思维的培养。为此,改革后的课堂教学设计主要分为三部分:创造情境、提出目标问题、等待顿悟。

美国教育家布鲁姆提出“教师创设一定的情境,使学生在这个情境中产生求知的欲望”是发现学习的第一步^[7]。创造情境,主要是给学生提供已学过的或者正学习的概念和公式。例如表1展示了热力学章节内容的情境。目标问题可以是多样化,如生活案例、课后习题、教材例题。在课堂中创设情境和提出问题很容易激发学生兴趣,在复习旧知识的同时引入新知识。然后就是等待学生的顿悟。学生把情境和问题相结合,找出解决问题所需要的情境内容。找出过程和结果就是等待顿悟,这种顿悟可以在完成作业的训练过程中实现,也可以在展示学生自身的做题思路过程中发生,也可以在教师讲解习题例题中产生。能力较强的学生在第一种情形中就发生顿悟,能力一般的学生容易在第二种情形中获取顿悟,能力不足的学生可能是在第三种情形中出现顿悟。

2.2 以热力学的习题为例说明顿悟的发生

化学热力学内容主要包括三大热力学定律和三种判据,要求学生掌握五个状态函数的关系,以及灵活计算系统在单纯 pVT 变化或相变化或化学变化过程中的热效应 Q 、功 W 、热力学能变 ΔU 、焓变 ΔH 、熵变 ΔS 、亥姆赫兹函数变 ΔA 、

表1 热力学第一定律内容部分相关公式及其适用条件的情境内容

序号	内容	适用条件
1	$pV = nRT, C_{p,m} - C_{v,m} = R$	理想气体
2	$pV^\gamma = \text{常数}, \gamma = C_{p,m}/C_{v,m}$	理想气体, 绝热可逆过程, 且 $C_{v,m}$ 是常数。
3	$\Delta U = Q + W, dU = \delta Q + \delta W$ $\delta W = -p_{amb}dV + \delta W'$	封闭系统的单纯 pVT 变化或相变化或化学变化
4	$\delta W = -p_{amb}\Delta V$	可逆过程和不可逆过程, 非体积功为零 $\delta W' = 0$
5	$W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV$	可逆过程, $\delta W' = 0$
6	$Q_V = \Delta U$	等容、 $\delta W' = 0$ 的单纯 pVT 变化或相变化或化学变化
7	$Q_p = \Delta H$	等压、 $\delta W' = 0$ 的单纯 pVT 变化或相变化或化学变化
8	$\Delta U = n \int_{T_1}^{T_2} C_{v,m} dT, \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} C_{p,m} dT$	理想气体或近似适用于凝聚态物质

表2 热力学第二定律内容部分相关公式及其适用条件的情境内容

序号	内容	适用条件
1	$dS = \frac{\delta Q_r}{T}$	熵的定义式, Q_r 指可逆过程的热效应
2	$\Delta_1^2 S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$	= 对应可逆过程, > 对应不可逆过程
3	$\Delta S = nC_{v,m} \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1}$ $\Delta S = nC_{p,m} \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{p_1}{p_2}$ $\Delta S = nC_{p,m} \ln \frac{V_2}{V_1} + nC_{v,m} \ln \frac{p_2}{p_1}$	理想气体, 可逆和不可逆过程, 且 $C_{v,m}$ 是常数

表3 状态函数和过程函数的计算部分错误过程

过程	W	ΔS
(1)	$W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{p_2}{p_1}$	$\Delta U = 0, \Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{-W}{T} = -nR \ln \frac{p_2}{p_1}$
(2)	$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{v,m}} = 1.4, W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{\text{常数}}{V^{1.4}} dV$ $= \text{常数} \frac{1}{0.4} (V_2^{-0.4} - V_1^{-0.4})$	$Q = 0, \Delta S = \frac{Q}{T} = 0$
(3)	$W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -p_{amb}\Delta V = -p_{amb} \left(\frac{nRT}{p_2} - \frac{nRT}{p_1} \right)$	$Q_p = \Delta H = nC_{p,m}\Delta T = 0, \Delta S = \frac{Q_p}{T} = 0$
(4)	$W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -p_{amb}\Delta V = -p_{amb} \left(\frac{nRT_2}{p_2} - \frac{nRT_1}{p_1} \right)$	$Q = 0, \Delta S = \frac{Q}{T} = 0$

吉布斯函数变 ΔG 。涉及的计算公式繁多, 适用条件也不尽相同, 有的是只能满足于可逆过程, 有的是只能适用于理想气体。让学生在短时间内靠看、推导和背等形式来理解, 是比较困难的。我们教师提供情境、提出问题, 采纳比较恰当的教学手段, 等待学生顿悟, 使其留下深刻印象, 培养学生的创造性思维。

2.2.1 抽象的焓概念的引出

想通过旧知识引出较抽象的概念焓, 可以设计一个熟悉的生活问题: 在绝热容器中投入同等质量的水和冰, 温度分别为 50°C 和 -20°C , 求末态温度。

许多学生采用高中知识, 利用热量守恒, 则有关系式: $nC_{p,m}(50 - T) = nC_{p,m}(T + 20)$, 从而很快给出答案是 15°C 。但是学生并不能肯定其正确。此时教师提示这里不是水和水的混合, 也不是冰和冰的混合, 而是水和冰, 是 H_2O 的两种不同相态, 定压热容不一样, 这样可以引出热容的涵义。同时提示温度变化过程, 水和冰至少有一种要经过 0°C 这个温度点, 出现相变。所以应该考虑相变时会出现的热效应, 从而引出焓和相变焓概念。

2.2.2 状态函数和过程函数与过程的可逆性的关系

情境如表 1 和表 2 所示^[8], 通过抛出一些计算

表4 状态函数和过程函数的正确计算过程

过程	W	ΔS
(3)	$W = -p_{amb}\Delta V = -p_{amb}\left(\frac{nRT_2}{p_2} - \frac{nRT_1}{p_1}\right)$	$\Delta S = nC_{p,m}\ln\frac{T_2}{T_1} + nR\ln\frac{p_1}{p_2} = nR\ln\frac{p_1}{p_2}$
(4)	$W = -p_{amb}\Delta V = -p_{amb}\left(\frac{nRT_2}{p_2} - \frac{nRT_1}{p_1}\right)$ $\Delta U = Q + W = W; \Delta U = nC_{V,m}(T_2 - T_1)$	$\Delta S = nC_{p,m}\ln\frac{T_2}{T_1} + nR\ln\frac{p_1}{p_2}$

问题可以让学生理解热力学公式的适用条件。例如功是过程量，其计算值与过程有关，而熵是状态函数，熵变只与初末态有关。可提出的问题是：某双原子理想气体 1 mol 从始态 300K、100kPa 经过如下四个不同过程：(1) 恒温可逆膨胀到 50kPa；(2) 绝热可逆膨胀到 50kPa；(3) 恒温反抗 50kPa 恒外压的不可逆膨胀过程；(4) 绝热反抗 50kPa 恒外压的不可逆膨胀过程；分别达到平衡态，求各过程的功 W 和熵变 ΔS 。

学生根据表 1 的情境 1、2、3、4 求 W。表 3 是有些学生的计算结果。过程 (1)、(2) 都是可逆过程，计算思路正确，只是过程 (2) 计算功还要求出常数和初末态体积，初态体积可求，求末态体积需先求末态温度。绝热可逆过程有： $T_2 = T_1 (P_2/P_1)^{\gamma-1/\gamma}$ ，求末态温度后通过 $W = \Delta U = nC_{V,m}(T_2 - T_1)$ 可得 W。没有考虑到这两个公式的学生说明其不掌握表 1 的情境 3、8。经分析可以巩固学生对热力学第一定律的灵活应用，培养再生性思维。表 3 过程 (3)、(4) 的计算表明学生没有掌握公式的适用条件。表 1 的情境 5 指出 $W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV$ 是计算可逆过程的体积功公式，表 2 的情境 1、2 指出用热效应计算熵变时必须要求是可逆过程。但学生把这些公式都用在不可逆过程 (3)、(4) 了，表 4 列出其正确过程。表 3 计算过程 (3)、(4) 的功结果虽正确，但与表 4 比较时，他们会顿悟功的定义式（见表 1 的情境 4）的物理意义。表 3 计算过程 (3) 熵变时，不仅把过程 (3) 当成可逆过程，且把恒温抗恒外压条件理解成系统恒温恒压变化，所以计算热效应用了表 1 的情境 7，显然是把恒外压等同于体系恒压。过程 (3)、(4) 的熵变应用表 2 的情境 3。将表 4 与表 3 进行对比后，绝大多数学生都能对可逆过程、体积功和熵变的计算公式产生了顿悟，并且发现热力学第一定律的魅力，培养了创造性思维。再把具体数据代进去计算，学生便能轻松掌握功是过程量和熵是状态量的结论。

最后为了检验学生是否真正掌握这些公式的应用方法，给出两道练习题：1) n mol 的理想气体从始态 T_0, V_0 ，先恒容加热到 T_1 ，再恒压加热使体积增到 V_2 ，求整个过程的 Q、W、 ΔU 、 ΔH 、 ΔS ；2) 已知水的比定压热容 $c_p = 4.184 J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$ ，常压下将等质量 100g 的 27℃ 水与 72℃ 的水在绝热容器中混合，求过程熵变 ΔS 。

3 结论

物理化学课程学时有限、内容错综复杂，易造成学生在解题过程常遇到思维受阻的现象。本文通过以热力学定律公式的应用为例介绍了物理化学课堂教学中如何通过创造情

境、提出问题、等待顿悟的过程来培养学生的创造性思维，效果是满意的，不仅能够提高学生的学习积极性和解题觉悟能力，而且能够激发培养学生创造性思维能力，更好掌握相关知识。

参考文献：

- [1]戴国梁,刘家辉,钱蕙.地方性应用型本科高校物理化学课程定位与改革[J].课程教育研究,2019(36): 35.
- [2]张谱,张英.提高物理化学教学成效的方法与分析[J].广东化工,2019,46(15):207,230.
- [3]林洁丽,蔡河山.物理化学课程“以学生为本”教学模式的应用实践[J].新教育时代,2017(13):15-16.
- [4]林洁丽,周子凡,李杰森.本科教学熏陶式主动型新模式的探讨[J].学园,2018,11(32):73-74.
- [5]李维译,库尔特·考夫卡著.格式塔心理学原理[M].北京:北京大学出版社,2010.
- [6]杨光.浅谈物理化学教学中学生思维能力的培养[J].高教学刊,2015(20):88-89.
- [7]赵利民,倪俊杰,贾正锋.以“胶体化学”为例的物理化学说课探讨[J].高教学刊,2016(14):63-64.
- [8]天津大学物理化学教研室.物理化学(第六版上册)[M].北京:高等教育出版社,2017.

* 通讯作者：

林洁丽 (1974.02-), 女, 广西, 副教授, 博士, 从事物理化学、心理学等交叉学科的相结合技术的教学与研究。