**物理化学课程中热力学基本公式的创新教学设计**

成媛媛\*

中国地质大学（北京）数理学院，北京 100083

**摘要**：围绕物理化学课程中“5个热力学状态函数U、H、S、A、G”，创新性地提出将热力学基本公式和热力学判据的推导过程相联系的教学设计思路，在找寻其内在关系和根本规律的过程中实现对学生知识-能力-素养目标的进阶式培养。

**关键词：**状态函数；热力学基本公式；创新能力；素养目标；教学设计

**中图分类号：**G64；O6

**Innovative teaching design of thermodynamics basic formula in physical chemistry course**

Yuanyuan CHENG\*

School of Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

**Abstract:** Focusing on "5 thermodynamic state functions U, H, S, A and G" in physical chemistry course, this paper innovatively proposes a teaching design idea that links the basic thermodynamic formula with the derivation process of thermodynamic criteria, and realizes the advanced training of students' knowledge, ability and accomplishment in the process of finding their internal relations and fundamental laws.

**Key Words:** State function; Fundamental thermodynamic formula; Innovation ability; Literacy goals; Instructional design

“双一流”建设是党中央和国务院实施的关于新时代高等教育发展的重大战略，也是推动我国向高等教育强国转变的重要举措。[1-3]“双一流”建设的主要任务是培养拔尖创新人才、建设一流师资队伍、传承创新优秀文化等。高校对本科生的创新培养体现在方方面面，而课堂教学是其中最重要的一环。课堂教学环节可以实现对本科生的多方位培养，如知识传授、技能提升、三观塑造等，对于创新型人才的培养至关重要。

教师在课堂教学环节扮演重要角色，精心准备的教学设计可以全方面的提升学生能力，实现对知识-能力-素养目标的培养。因此，教师在设计教学内容的过程中，应从“知识点的传授-创新能力的提升-科学素养的渗透“这三个层面用心思考，融入课堂。

热力学状态函数的知识点，涵盖了热力学第一定律和热力学第二定律，是本科物理化学课程中的重头戏。传统的授课过程仅仅是对知识点的陈述以及大量的习题训练，并没有考虑到创新能力和人文素养的培养。且这部分的知识点本身就较难理解，学生的畏难情绪严重，面对晦涩难懂、枯燥无味的公式推导、证明计算，教师往往无暇顾及能力和素养的提升。本文结合学生反馈和同行交流，给出了这部分内容的教学设计，望引起更多同行的重视和交流，旨在培养更多优秀的创新型人才。

**1 热力学基本公式的引出--知识点传授**

在人与人的交往中，我们认为第一印象很重要，决定了对他人的基本看法，甚至决定了有没有后续交往的可能性。同样地，在教学过程中也是如此，面对学生时，一定要以饱满的热情，十足的耐心，丰富的知识储备，趣味的教学手段，充足的课前准备，给学生展现出精心设计的PPT、板书，就连承上启下的话语也一定是精心设计过的，要把枯燥的课堂变得生动起来，要在生硬的公式之间奏出华丽的音符，要有广度更要有深度。[4-5]

热力学基本公式的给出，先是通过联立热力学第一定律数学式和热力学第二定律不等式，给出合并式，进而推出第一个基本公式：

d*U* = *T*d*S* – *p*d*V*

再结合焓（*H*）、亥姆霍兹函数（*A*）、吉布斯函数（*G*）的定义式：

*H* ≡ *U* + *pV*

*A* ≡ *U* – *TS*

*G* ≡ *H* – *TS*

可推出其余基本公式：

d*H* = *T*d*S* + *V*d*p*

d*A* = -*S*d*T* - *p*d*V*

d*G* = -*S*d*T* + *V*d*p*

这四个基本公式只能适用于双变量的密闭系统，即只能适用于单组分单相或多组分但组成不变的单相密闭系统，也就是无相变和无化学变的单相系统，但对这种系统的任意状态变化均适用。[6-7]

在给出这四个基本公式的时候，一定要明明白白地给学生讲清楚是怎么推导出来的，而不是一味的给出公式让学生死记硬背，而应该教会学生方法，即使有一天把公式忘掉了，依然可以通过最基本的定义式把基本公式推导出来。一定要精心设计每一步的讲解，让学生一点一点的进入，把铺垫做足了，才能达到良好的效果。其次，在物理化学的学习中，每介绍一个公式，都应该讲清楚公式的适用条件，千万不要只讲公式，不讲条件，这会让学生在公式的使用中留下隐患，进而导致不能透彻地理解本质。

**2 为什么没有熵的基本公式--能力提升**

在给出四个热力学基本公式之后，要引导学生发现其中的内在规律，一方面方便学生记忆，一方面方便学生理解其背后的含义，进而培养学生透过现象看本质的本领，提升学生追本溯源的能力。仔细观察4个热力学基本公式：

d*U* = *T*d*S* – *p*d*V*

d*H* = *T*d*S* + *V*d*p*

d*A* = -*S*d*T* - *p*d*V*

d*G* = -*S*d*T* + *V*d*p*

先观察等号左侧，分别是热力学能（*U*）、焓（*H*）、亥姆霍兹函数（*A*）和吉布斯函数（*G*），是在热力学第一定律和热力学第二定律中介绍的四个热力学函数，还有一个热力学函数熵（*S*）为什么没有呢？

再观察等号右侧，分别涉及到了热力学函数熵（*S*）和物理过程的变化量（*p*、*V*、*T*），虽然组合方式不同，但也有一定的规律，比如*T*和*S*是一起出现的，*p*和*V*是一起出现，又是为何？

另外，*T*d*S*和*V*d*p*组合出现的时候是正号，*S*d*T*和*p*d*V*组合出现的时候是负号，这又有什么深层次的含义呢？

首先，熵（*S*）出现在等号右侧，而且是和温度（*T*）以组合的形式一起出现的，这不得不从熵的物理意义谈起。简单来说，熵是系统混乱度的度量，熵可以用来判断过程的方向和限度，熵是可逆过程的热温商（d*S* ≥ *δQ*/*T*）。因而，*T*d*S*可以看成是可逆过程的热（*Q*）。- *p*d*V*可以看成是系统因体积变化而引起的体积功（*W*）。这样，第一个热力学基本公式就不难理解了，就是热力学第一定律的数学表达式（Δ*U* = *Q* + *W*）。真的是拨开云雾见天晴，其实推过来推过去还是原来的式子，还是万变不离其宗的能量守恒定律。在热功计算中，广泛使用*p* - *V*图和*T* - *S*图，其中，*p* - *V*图可以表示系统所做的功，*T* - *S*图可以表示系统所吸的热。那么，横纵坐标对换后可以画出*V* - *p*图和*S* - *T*图，任意曲线积分后在图上所包含的面积就是*V*d*p*和-*S*d*T*，他们的物理含义不再是功和热，但可变相的看成是类似功和热的能量。也就是说，焓（*H*）、亥姆霍兹函数（*A*）和吉布斯函数（*G*），仍然是符合能量守恒定律的。

**3 6个热力学判据--科学素养**

总结了记忆公式的规律之后，一定不要浮于表面，还应该带领学生深入理解公式的本质及其内在所蕴含的深层次含义和引申出来的意义。对于吉布斯函数（*G*）来说，如果始终态的温度（*T*）和压力（*p*）均相同，那么该变化过程中的吉布斯函数变化等于零（Δ*G* = 0），这是第四个热力学基本公式的物理含义。以此类推，别的热力学基本公式也具备类似的物理意义。

此外，Massieu于1869年指出，对于*U*、*H*、*S*、*A*、*G*等热力学函数，只要其独立变量选择适当，就可以从一个已知的热力学函数通过偏微商，求得其他热力学函数，从而可以把一个均匀系统的平衡性质完全确定下来。这个已知函数叫做特性函数，所选择的独立变量称为该特性函数的特征变量。[8] 那么，第四个热力学基本公式（d*G* = -*S*d*T* + *V*d*p*）就可以看成是特性函数*G* = *G* (*T*, *p*) 的微分式，*G*是以 (*T*, *p*) 为独立变量的特性函数，*T*，*p*作为特征变量，其他热力学函数也都可以以此为依据推导出以 (*T*, *p*) 为变量的函数表示式。但如果选 (*T*, *V*) 作为*G*的独立变量，就不可能通过简单微分求出其他热力学函数，也不可能都表示成 (*T*, *V*) 的函数。

以此类推，热力学基本公式（d*U* = *T*d*S* - *p*d*V*）可以看成是特性函数*U* = *U* (*S*, *V*) 的微分式，*U*是以 (*S*, *V*) 为独立变量的特性函数，*S*，*V*作为特征变量。热力学基本公式（d*H* = *T*d*S* + *V*d*p*）可以看成是特性函数*H* = *H* (*S*, *p*) 的微分式，*H*是以 (*S*, *p*) 为独立变量的特性函数，*S*，*p*作为特征变量。热力学基本公式（d*A* = -*S*d*T* - *p*d*V*）可以看成是特性函数*A* = *A* (*T*, *V*) 的微分式，*A*是以 (*T*, *V*) 为独立变量的特性函数，*T*，*V*作为特征变量。当相应的特征变量固定不变时，特性函数的变化值可以用来判断变化过程中的可逆性和变化的方向性。对于组成不变的封闭系统，不作除体积功之外的其他功，可以作为判据的有：

(d*U*) *S*, *V* ≤ 0

(d*H*) *S*, *p* ≤ 0

(d*A*) *T*, *V* ≤ 0

(d*G*) *T*, *p* ≤ 0

在化学势的不同表达式里面，特性函数和特征变量的配套使用也是相当重要的。另外，还有最重要的熵判据：

(d*S*) *U*, *V* ≥ 0

(d*S*) *H*, *p* ≥ 0

引导学生在学习基本公式之后，一定要给学生进一步介绍每个公式在不同角度的深层含义，这样不仅有利于学生更好的掌握课本知识，也可以激发学生不断探索，细心钻研的品质，培养学生正确的学习态度和科学的学习方法。

**4 结语**

围绕热力学函数的热力学基本公式知识点的教学设计，在教学实践中取得了良好的教学效果，学生的学习积极性和主观能动性都被带动起来了，激发了学生深层次的思考，课后和学生的交谈中也有多位学生表达了思路变得更加开阔，更喜欢钻研难题了。本教学设计对学生创新思维能力的培养、科学素养的提升都展现出了正向积极的促进作用，进一步推进了创新人才的培养。

**致谢：**中国地质大学（北京）2021年度本科教育质量提升计划建设项目（JG202142，JCJXZZ202108）；中国地质大学（北京）2021年课程思政教学改革项目（KCSZ202140）；中国地质大学（北京）大学生创新创业训练计划项目（202311415075）。

**作者简介：**成媛媛（1991—），女，山西，博士，副教授，主要研究方向为物理化学教学教研，yycheng@cugb.edu.cn。

**参 考 文 献**

1. 宋妍. 基于一流大学建设的拔尖研究生科研创新能力培养[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2018, 9: 68-69.
2. 刘美娜, 张兴华, 王振卫, 何慧红, 何琪. “双一流”背景下提升化工类研究生培养质量对策研究[J]. 广东化工, 2020, 47(12): 209-210.
3. 王顺善. “双一流”建设背景下研究生科研创新能力培养的路径研究[J]. 齐鲁师范学院学报, 2019, 3(34): 26-30.
4. 陈凯. 国际“物理化学”课程与教学研究评述 [J]. 化学教育(中英文), 2019, 40(24): 80-90.
5. 王琴, 张天琦, 梅涛, 戎梅竹. 以学为中心理念下多层圆筒壁热传导教学设计及实施 [J]. 化学教育(中英文), 2020, 41(4): 73-77.
6. 居学海, 周素芹. 如何理解热力学基本公式适用条件 [J]. 大学化学, 2011, 26(01): 77-78.
7. 印永嘉，奚正楷，张树永. 物理化学简明教程. 四版. [M]. 北京：高等教育出版社，2007:101-106.
8. 傅献彩，沈文霞，姚天阳，侯文华. 物理化学. 上册. 五版. [M]. 北京：高等教育出版社，2005:233-241.