教学经验交流

逻辑思维方法在物理化学概念学习中的应用*

靳　涛[1,2],张夏雨[2,3],彭若锦[2,3]

(1.山东农业工程学院 资源与环境工程学院,山东 济南 250100;2.山东科技大学 材料学院,山东 青岛 266590;3.长江师范学院 材料学院,重庆 408100)

[摘要]物理化学是材料、化工等专业的一门基础理论课程,具有概念抽象、内涵丰富的特点,学生对热力学概念的理解存在较大困难。掌握逻辑学的基本原理和特点,并运用逻辑思维的方法去体会、领悟热力学概念的内涵是一条重要途径。文章基于概念、判断、推理等思维形式,从本质、特点和相互联系上对一些热力学概念进行比较和分析,以期加深学生的理解,提高学生的实践能力和创新能力。

[关键词]热力学概念;逻辑思维;创新能力

Application of Logical Thinking in Study of Physical Chemistry Concepts

Jin Tao[1,2], Zhang Xiayu[2,3], Peng Ruojin[2,3]

(*1.School of Environmental Science and Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan, Shandong 250100; 2. College of Material Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590; 3. College of Material Science and Engineering, Yangtze Normal University, Chongqing 408100*)

Abstract: Physical chemistry is a basic theoretical course for materials, chemical engineering and other undergraduate majors. It is characterized by abstract concept and rich connotation, and students feel difficult to truly understand the concepts of thermodynamics. It is an important way to grasp the basic principles and characteristics of logic and to understand the basic concepts of thermodynamics by logical thinking. By using concepts, judgement, reasoning and other thinking forms, this paper compares and analyzes several difficult basic concepts from the aspects of essence, characteristics and interrelation, so as to deepen students' understanding on basic concepts, and improve their practical and innovative abilities.

Key words: Thermodynamics concepts; Logical thinking; Innovative ability

---

[作者简介]靳涛(1972-),男,副教授,博士。

[通信作者]靳涛,E-mail:jintaoqiao@126.com。

*基金项目:山东省名校工程建设项目(编号:10424);材料学院教改项目(编号:CLJG201704)。

物理化学是材料、化工等本科专业的一门重要基础理论课程，在教学中占有核心地位。学生在学习物理化学中抽象的热力学概念时，常常感到理解困难。辩证唯物论认为，思维是基于对感性材料的认识所做出的对客观事物的一种积极的反映活动，是人类大脑所具有的一种特殊的能力。人类通过思维活动，可以逐渐掌握事物的本质和变化规律，进一步形成对事物的概念性理解，从而做出判断和推理[1]。因此，教师可以从概念特性出发，运用研究性思维方式和思维规律帮助学生理解概念的内涵，把握概念特有的属性。

一、概念

定义通常是用来揭示概念含义的逻辑方法，用精炼简明的语言反映事物的本质属性。从概念属性上分析，学生只有把握概念的内涵和外延特征，才能掌握概念的内容。概念的内涵是指概念所指称的那类对象所具有的特有属性，即概念的含义；而概念的外延是指概念所覆盖的对象及范围，即所包括的具体方面，其反映了事物量的性质。如热容是指体系在无相变、无化学变化、非体积功 $W'=0$ 的条件下，温度每升高 1K 所吸收的热，用“C”表示。热容是物质的一种固有属性，显然 $C=\frac{\partial Q}{\partial T}$ 是热容概念的内涵；而热容概念的外延则根据条件的不同，包括 $C_p=\frac{\delta Q_p}{\mathrm{d}T}$、$C_{m,p}=\frac{\delta Q_p}{\mathrm{d}T}$、$C_v=\frac{\delta Q_v}{\mathrm{d}T}$、$C_{m,v}=\frac{\delta Q_v}{\mathrm{d}T}$ 等。

事物的属性是多方面的，从不同角度或方法去反映某个对象时，会因内涵不同而产生不同的概念。另外，由于一个概念的外延是指其反映的事物的范围，因此，有些概念在外延上可以重叠。

如可逆过程是指在系统发生变化的全过程中，不仅要求系统内部的任何瞬间都无限接近平衡态，而且要求系统与环境之间无限接近平衡态，因此无限多的平衡态可构成可逆过程的内涵；而平衡态是指系统中各种热力学性质不随时间变化的状态，其内涵是热力学性质的不变性。二者的外延存在相同点：$\mathrm{d}T\to 0$ 或 $\mathrm{d}P\to 0$，可见，可逆过程与平衡态存在着一定的交叉关系。再结合各自的外延条件来看，平衡态分为相平衡和物质平衡，它们也遵从 $\mathrm{d}T\to 0$ 或 $\mathrm{d}P\to 0$ 的条件；但是可逆过程概念的外延条件明显更多些，包括等温、等压、等容和绝热可逆等。

又如偏摩尔量是指温度、压力恒定，除组分 B 以外的其余各组分物质的量也恒定时，广度性质 X 随组分 B 物质的量 n_B 的变化率，即 $X_B=(\frac{\partial X}{\partial n_B})_{T,p,nC\neq B}$。其外延包括 $V_B=\left(\frac{\partial V}{\partial n_B}\right)_{T,p,nC\neq B}$，$U_B=\left(\frac{\partial U}{\partial n_B}\right)_{T,p,nC\neq B}$，$H_B=\left(\frac{\partial H}{\partial n_B}\right)_{T,p,nC\neq B}$，$S_B=\left(\frac{\partial S}{\partial n_B}\right)_{T,p,nC\neq B}$，$A_B=\left(\frac{\partial A}{\partial n_B}\right)_{T,p,nC\neq B}$。以吉布斯自由能定义的化学势是指温度、压力一定，除组分 B 以外的各组分也一定的条件下，系统吉布斯函数随组分 B 物质的量的变化率，即 $\mu_B=\left(\frac{\partial G}{\partial n_B}\right)_{T,p,nC\neq B}$。其他具有能量意义的热力学函数也可定义化学势，因此化学势概念的外延包括 $\left(\frac{\partial H}{\partial n_B}\right)_{p,S,nC\neq B}$、$\left(\frac{\partial A}{\partial n_B}\right)_{T,V,nC\neq B}$ 和 $\left(\frac{\partial U}{\partial n_B}\right)_{S,V,nC\neq B}$。偏摩尔量的概念基于等温等压条件的限定，这与吉布斯焓定义的化学势的概念存在交叉重合的关系，因此，G_m 又称偏吉布斯函数（偏摩尔量）或狭义的化学势。

在运用概念思维进行教学时，教师要准确把握概念的内涵和外延，避免出现逻辑上的错误。如温度差可引起热的交换，这显然是未明确外延条件而造成的概念理解错误。热是系统与环境间由于温度差而产生的能量交换形式，受系统和环境条件的限定，系统内部不平衡温度区域间引起的能量传递不能称为热的交换。又如体积功是压力乘以系统的体积变化，这是由于未正确理解概念的内涵而造成的理解错误。体积功是途径函数，强调环境压力，仅当系统与环境之间处于可逆状态时，才可以用体系压力来代替环境压力。另外，要明确一个概念，还要避免定义过宽或过窄的

现象出现[2]。如“体系中组分的化学势满足 $\mu_B=\mu_B^\ominus+RT\ln X_B$ 这一形式的混合物是理想液态混合物”，这个定义范围就过宽，因为理想稀溶液中的溶剂化学势也满足这一形式，因此体系的任意组分这一性质需要明确；而“推导焓时规定了封闭体系、等压、非体积功为零的条件，结果 $\Delta H=Q_P$，因此焓变是在等压时系统与环境间交换的等压热”，这个定义范围就过窄，因为 $H=U+PV$ 是人为引入的状态函数，不论 PVT 变化、相变化还是化学变化，焓变总是 $\Delta H=\Delta U+\Delta(PV)$。总之，要给出一个正确的定义，教师除了具有正确的观点和相关理论知识外，还要把握好语句在逻辑上的正确性。

二、判断

概念是思维过程中的最小单位，概念构成判断，进而产生推理，因此思维训练不仅要借助概念思维形式，还要凭借判断和推理等思维形式。思维形式表现为一定的语言形式，语言表达在理解上起着重要作用。思维和语言是内容与形式、被表达者与表达者的关系[2]。能否正确、有效地反映表达者的意图，取决于表达者的语言表达。因此，学生在学习热力学概念时，要注意其语句表达。通常只有实词才能表达概念，陈述句表达判断，不同的语句形式可以表达同一个判断思维形式。因此要准确掌握热力学概念，学生不仅要对概念有深刻的理解，还要确认其是否具有或不具有某种特性，即对事物情况进行断定。显然，判断就是对事物情况有所断定的思维形式，这种思维在热力学概念学习中也有着至关重要的作用。

如在学习热力学性质和状态时，学生可利用判断性思维理解以下概念：1.所有的热力学性质都反映体系的状态。2.哪一种热力学性质（热力学量、物理量）不代表体系的状态？3.没有一种热力学性质不反映体系的状态。这三句话分别用不同的语言形式表达对同一个性质的判断[1-2]：热力学性质与体系状态之间联系密切，状态是通过各种热力学量来描述的。

又如化学平衡常数和平衡移动的关系也能用相似的表述：1.平衡常数变化了说明化学平衡移动了。2.哪一种变化了的平衡常数不代表化学平衡移动？3.难道存在不反映化学平衡移动的平衡常数吗？这三句话也属于性质判断的语句，都表达化学平衡移动了，意味着至少存在一个平衡常数发生了变化。性质判断通常由主语、谓语、宾语和量词等要素构成，主语就是被断定的对象，宾语就是被断定对象所具有或不具有的某种性质，谓语是连接主语和宾语的联项，如第 1 句中的“反映”、第 2 句中的“哪一种……不代表”、第 3 句中的“没有……不反映”。量词是性质判断中表示主语数量的概念，也可称为性质判断的量，如第 1 句中的“所有”。

再如反应级数和反应分子数的关系还可以采用否定形式的判断语句，即断定某些对象不具有某种性质的判断：1.有的化学反应不是简单的基元反应，并且其反应不具有反应分子数。2.反应级数不仅适用于非基元反应，有些还可以具有简单的整数形式。这两个语句虽然分别用不同的连词构成并列、递进关系的复合句，但逻辑结构是相同的，它们都判定了简单的复杂反应中反应级数和反应分子数在数值上可以是一致的。但是基元反应中只能存在反应分子数，而复杂反应只能使用反应级数，且反应级数的形式取决于实验结果，所以有些可能具有简单的整数形式。根据性质判断量的不同，上面两句都属于特称判断[2]，这是断定某类事物具有或不具有某种性质的判断，通常含“有些”“某些”“有的”等词，但是不表示未被判断事物的情况，其隐含的含义是“至少存在”。如第 1 句意味着有些化学反应是复杂反应，且不具有反应分子数。可见，要想培养良好的逻辑思维，建立一定的语言表达形式隐含在语言中的思维结构是非常必要的[2]。

下面再结合描述热力学第二定律的不同语句结构形式，进一步明确判断的逻辑思维在概念学习中的作用。语句 1“不可以把热从低温物体传到高温物体，而不引起其他变化[3]”和语句 2“不可以从单一热源吸收热量，使之完全转变为功，而不产生其他变化”可分别表述为语句 3“热可以从低温物体传到高温物体，而引起其他变化”和语句 4“可以从单一热源吸收热量，使之完全转变为功，而产生其他变化”，也可分别表述为语句 5“热可以从高温物体自动转向低

温物体”和语句6“功可以完全转变为热，而热不可以完全转变为功”。这些不同的语句表达了同样的内容，即指出了热传递的不可逆性及功变为热的不可逆性。其中，前两句均使用了“不……不”这种特殊的肯定性质的判断形式[2]，而其他语句则借助同义词实现同样性质的判断。

三、推理

推理是间接认识事物的一种重要的思维形式。它同概念、判断一样，是根据一个或一些判断得到另一个判断的思维过程。从形式上来看，推理通常反映判断与判断的联结，常用体现为条件、因果关系的语句，如“只有具有广延性质的状态函数才具有偏摩尔量，因此强度性质的状态函数就不具有偏摩尔量”和“因为理想气体等温、无热的交换，在向真空膨胀过程中无体积功，所以整个体系 $Q=0$、$W=0$、热力学能 $\Delta U=0$[3]”。

学生在学习热力学概念时，要注意区分推理形式的正确性和推理结论的真实性[1]。推理形式的正确性包括推理形式的有效性、推理的逻辑性，或者推理的前提和结论之间联系的必然性，但是它与推理结论的真实性是两个不同的概念。只有推理的前提是真实的，推理形式正确有效，才能得到正确的推理结论。

1.根据“状态变化了热力学性质就发生变化”可以推理：熵是体系的热力学性质，所以状态变化了，熵就会发生变化[4-5]。在这个推理中，形式是有效的，但前提是虚假的。状态变化并不要求所有的物理量(热力学性质)必须发生变化，因此推导结论错误。

2.根据“化学平衡常数发生变化了，则平衡移动”可以推理：K_c 是化学平衡常数，所以平衡移动了，K_c 就变化[6]。在这个推理中，前提都是真的，但推理形式是无效的。平衡移动的原因不仅仅是 K_c 发生变化，其他因素(T、P 等)的变化也会导致平衡移动，因此推导结论错误。

3.根据“所有基元反应的反应分子数都是正整数”可以推理：某反应的反应级数是正整数，所以该反应是基元反应。这个推理的结论虽然都是正确的，但推理形式是无效的。反应级数与反应分子数是两个不同的概念，二者的内涵不同，它们之间不存在逻辑关系，因此断定该反应是基元反应是错误的，原因在于混淆了两个主语的内涵。反应级数只是针对非基元反应而言的。

4.根据“凡是反应体系的活化能大于30KJ/mol的体系，其反应速率受温度影响剧烈”可以推理：甲醛和钠离子之间的作用活化能是35KJ/mol，所以甲醛和钠离子的反应速率受温度的影响明显[7]。在这个推理过程中，前提和推理形式都是真的，结论也是正确的。

四、结论

物理化学课程的教学目的不仅包括传授知识，还包括传授学习方法。学生通过物理化学概念的学习，能够理解思维训练的重要性，学会对客观事物的发展规律进行物理模型建立、抽象归纳和推理，并为提高学习能力奠定扎实的基础，这也是培养良好科学素质的重要基础[8-9]。学习和掌握热力学基本概念和基本理论，对进一步提高学生的创新意识和创新能力具有十分重要的作用。

（文字编辑：李丽妍）

参考文献：

[1] 刘韵冀.普通逻辑学简明教程[M].北京：经济管理出版社，2013：19-23，46-50，97-99.

[2] 孙仁生，任书来，林新年，等.普通逻辑原理[M].大连：大连理工大学出版社，2004.

[3] 程兰征，章燕豪.物理化学[M]. 上海：上海科技出版社，2008：120-133.

[4] 靳涛.对一个热力学不可逆过程熵变计算问题的浅析[J].化工高等教育，2013(6)：92-94.

[5] 靳涛. “双原子模型”与表面张力的产生机制[J]. 化工高等教育，2017(2)：74-77.

[6] 靳涛.材料专业基础课物理化学试题库建设[J].化工高等教育，2014(6)：53-55.

[7] 靳涛. 一价阳离子同甲醛的弱相互作用[J]. 山东科技大学学报(自然科学版)，2013，32(1)：50-55.

[8] 靳涛，田健，孙海清.建设一流学科，培养创新型人才——统筹基础化学理论和实验教学[J].化工高等教育，2019(2)：89-92.

[9] Jin T，Kong F M，Wu Z J，et al. Phenomenology of the entropy of mixing of polymer solutions[J]. Journal of Materials Education，2020，42(1/2)：119-130.