

“基础学科拔尖学生培养试验计划”中的物理化学教学

郝京诚*

(山东大学化学与化工学院, 济南 250100)

摘要: 依托化学学科构建的“山东大学泰山学堂”培养模式, 是以“培养一大批拔尖创新人才, 使之成为相关基础学科领域的领军人物, 并逐步跻身国际一流科学家队伍”为主旨。针对物理化学教学, 关键是根据学生水平选择好教材, 合理取舍授课的重点和内容, 进行多元、多种、多次灵活授课; 在传授物理化学基础知识、学习方法的同时, 挖掘学生的创新能力, 使学生具有较好的物理化学素养和强劲的适应能力。同时, 注重理论和实验(课题组创新实验)结合, 引导学生感悟“理论–实验–创新–创造–再理论”的认识深化过程。

关键词: 物理化学; 基础学科; 泰山学堂; 拔尖学生培养计划

中图分类号: O6; G64

Physical Chemistry Teaching in "Excellent Students Training Program in Basic Scientific Disciplines"

HAO Jing-Cheng*

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, P. R. China)

Abstract: The "Taishan School of Shandong University" is built to cultivate top talents with creativity to lead effectively in the basic science fields and to become the first-class scientific professionals. The key in physical chemistry teaching is to select great textbook and give diversified teaching about important contents. Besides the basic knowledge and the learning method of physical chemistry, the enhancement of innovation ability is also very important, which benefits the cultivation of good physical chemistry quality and strong adaptive capacity of students. Meanwhile, we should pay attention to the combination of the theory and experiments, leading students the more profound understanding of the theory, experiments, innovation, creation and re-theorizing.

Key Words: Physical chemistry; Basic scientific disciplines; Taishan School; Excellent students training program

为落实《国家中长期教育改革和规划纲要(2010–2020)》, 为人才强国战略的实施和创新型国家的建设提供强有力的人才支撑, 教育部于2009年启动了“基础学科拔尖学生培养试验计划”, 其目的是培养一大批拔尖创新人才, 使之成为相关基础学科领域的领军人物, 并逐步跻身国际一流科学家队伍。作为入选该计划的17所研究型大学之一, 山东大学成立了“山东大学泰山学堂(邓从豪班)”(后文简称“泰山学堂”), 全面负责该计划的实施。泰山学堂在培养模式、教学方法、学生遴选等方面大胆地进行了人才培养的探索和实践, 旨在通过多元、多次及专家选才的方式, 选拔具有培养潜质

*通讯作者, Email: jhao@sdu.edu.cn

的优秀学生，从师资配备、学习条件、学术氛围等方面提供一流保障，形成独具特色的化学人才培养模式和机制，培养出基础扎实、学风朴实、有创新精神及能力的人才。

笔者十余年来一直工作在物理化学教学的第一线，先后承担了普通本科班、化学基地班、泰山学堂的教学工作。由于授课对象的不同，在教学中也获得了很多不同的体会。有关物理化学的教学方法、技巧及如何通过实验深化对所学知识的巩固，已有不少经验之谈^[1-4]。本文主要就如何在物理化学教学中根据拔尖人才的特点进行针对培养，结合本人担任泰山学堂教学任务以来的实践经验，谈一点自己的切身感受，与广大工作在教学第一线的同仁切磋。

1 筛选教材，因材施教

泰山学堂的学生是从较大基数的学生中经过层层考查选拔出来的，在筛选过程中，着重考查了学生的知识面、创造思维及思维发散能力。因此，在选择教材方面，充分考虑到这类学生的特点。以前普通班级采用的是印永嘉先生等编写的《物理化学简明教程》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)，结合傅献彩先生等编著的《物理化学》(普通高等教育“十五”国家规划教材)进行授课。针对2011级泰山学堂的学生，我选择了Atkins和de Paula编著的*Atkins' Physical Chemistry*作为英文教材，并结合印永嘉先生的《物理化学简明教程》和傅献彩先生的《物理化学》进行讲授。其中两本中文教材在山东大学已经使用多年，相关内容重点突出、概念原理的表述明确清晰、内容安排繁简得当，一直受到广大师生的欢迎。但同时，也由于这些教材主要针对普通本科生，目的是基础理论的掌握，加上这两本教材编著时间已较长，近十几年来物理化学研究领域的新进展没有得到充分体现。因此在对泰山学堂进行授课时，考虑到学生的实际情况，我选择了英文教材，并列出包括这两本教材在内的书目供学生参考，针对不同的章节，分别推荐不同的重点教材让他们课下自学。我自己则是多方搜集资料，对这两部教材进行再加工，在讲授中有针对性地加入了一些近年来的相关研究结果，基本上是自己重新组织教材。在教材组织方面，对每章所要学习的内容，都力求让学生对该方向的发展演变有一个全面系统的了解。一般来讲，在背景介绍部分，力求向学生较为全面地介绍该领域的发展历程、不同阶段的研究成果及局限、每个阶段的重要人物及其贡献；在基本概念理论部分，严格按照教材系统讲授；对于引申内容，自己搜集筛选材料，注重加入当前研究的新成果，将相关内容梳理后，自己制作教材，列出参考资料出处，鼓励学生课下自学。

2 现代手段与传统教学方法结合，理论与实践并重

目前在教学中非常强调先进技术方法的应用。对此，我非常赞同，并且在教学中也经常使用PPT、录像、卡通动画、物理化学国际顶尖大师研究成果故事会等手段，取得了相当好的课堂效果。这些手段的优点是直观、活泼，容易吸引学生的注意力，利于活跃课堂气氛。但同时，我也想强调，传统教学模式之所以能传承多年，必然有其合理的地方。我们在大胆创新的同时也要对传统的东西认真分析，进行批判性的继承。我个人的理解是，对于前沿、热点的内容，目的在于使学生了解当前的进展，需要传递的内容多、信息量大；同时，这些内容大多是在较为成熟的基础理论上的进一步发展，相对较易理解和掌握，比较适合采用直观的技术手段以画面或图片方式展示给学生。但物理化学有其本身的学科特点，即理论性强，每章都有公式，少则十几个，多则几十甚至上百个，尤为重要是，这些公式的前提假设各不相同，并且许多衍生公式需要熟练掌握其被导出的源公式才能正确运用。因此，在化学热力学、化学动力学、电化学、化学势等章节的基础理论部分，我认为最好还是沿用传统的教学方法，需要学生下硬功夫，把具体的概念、定义研读透彻，认真去啃相关公式，这是偷懒不得的。我在教学中要求学生能熟练地推导出常用公式，自己也经常带领他们一起推导，在推导过程中加深强化对概念的理解以及对所学知识的运用。而对那些带延伸性的内容，如双电层理论及Zeta

电势、电池、电极电势及极化、胶体与界面化学部分等,尽量采用多元化的教学手段以激发兴趣、开阔视野、发散思维。由于泰山学堂是小班上课,每班十几人,交流起来比较灵活,我首先让他们参考推荐的教材自学,鼓励他们自己搜集资料做成PPT讲给大家听,在课堂上互相讨论、形成互动。通过这样的交流,每个人的观点都有机会展示出来,并且可以从别人身上学到东西。很多时候,学生的观点以及获得的资料也经常让我有耳目一新的感觉,深深体会到了“教学相长”实乃至理名言。

化学是一门实验科学,理论上的知识需要在实践中巩固和提升。尤其是物理化学中所学的许多理论,听起来比较枯燥,学生掌握很难却很容易遗忘。因此,在常规的实验课程之外,我们又安排了设计实验、创新实验等项目。设计实验是在教材安排的实验结束之后,分成3-4人的小组,由教师带队指导,确定一个类似研究性质的题目,让学生查阅资料、制定出实验方案,与指导教师讨论后,独立进行实验并进行讨论,最后将自己的结果与理论验证。在整个实验结束后,要求学生一起总结思路,并按照科技论文的形式撰写出实验报告。创新实验则是从刚开始学习物理化学课程开始,就鼓励学生进入相关教师课题组体验,根据教师的研究方向确定课题,再由学院组织答辩筛选,然后予以立项资助,要求他们定期进行工作汇报,对出现的问题及时讨论解决,完成后进行结项答辩。在对学生考核评定时,我们不要求学生一定将实验做成功,而是着重于考查他们的逻辑思维能力和创造性。对于一些新颖的想法思路,即使失败了,仍然鼓励他们查找原因,改进方案后继续进行。这些教学措施实施后,学生也都反映,通过实验现象的观察对从书本上学到的东西有了感性体验,那些枯燥的理论也变得容易理解。许多学生还能活学活用,对实验过程中观察到的一些现象和问题能综合运用所学知识进行解释、解决,这也是我们培养创新型人才的目的之一。

在结束本节内容前,我想特别提及的是,课堂授课实际上就是讲故事。如何讲好所授内容,体现了一个教师对备课的认真程度以及付出的精力和时间。任课教师把授课内容,以生动、感人、有趣的形式,以讲故事的风格进行授课,效果将是非同寻常的,也会极大地刺激学生的学习兴趣和创新思维。图1是我在讲解电解质溶液(electrolytic solution)一章时,关于范特霍夫(van't Hoff)与电解质在溶液中的电离和溶液渗透压的发现之间的美丽故事。

3 基本概念理论糅合科学研究成果

在科技发展日新月异的今天,物理化学学科也在不断发展中。对拔尖人才的培养,要求他们有前瞻性的眼光,了解相关领域的发展方向及现状。我们很注重在教学过程中介绍与所学知识相关的科研成果及最新进展,力求他们在扎实掌握基础理论的同时,能切实感受到这些理论在科学研究中的运用,同时也接触到本学科的最新动向。

在学习化学热力学部分时,对于无施加外功条件下的自发等温过程,即 ΔG 为负值的过程,其决定因素是熵(S)和焓(H)协同作用的结果,即混乱度的增大、放出热量是该过程的正向推动力,然而实际过程中,这两种作用因素往往互相矛盾,因此存在一个哪种作用为主导的问题。通过公式推导,学生从理论上基本明白了这个规律,但缺乏与实际过程的联系,我结合胶体化学中表面活性剂胶束的形成,向他们介绍了由于表面活性剂分子进入水中破坏了水分子间通过氢键形成的“冰山”结构,导致熵值极大增加,而此过程中表面活性剂分子水化的热效应却较小,甚至还有因电离而产生吸热效应的情况,因而绝大多数的自发胶束化过程是熵驱动过程。结合这些内容,我将微量热技术的相关应用也作了简单介绍,鼓励学生课下进行了解。

在电化学章节学习电极双电层理论模型及Zeta电势时,我也向学生介绍了胶体、纳米材料分散体系的双电层模型,告诉学生该模型的使用范围很广泛,并引导他们了解胶束、囊泡、纳米颗粒的分散体系中聚集结构的Zeta电势与体系稳定性的关系,介绍当前科研领域中为抑制表面能很高的纳米颗粒发生团聚而广泛采用的纳米材料表面修饰及功能化技术。在电极反应式及电池反应部分,结合不



Jacobus Henricus van't Hoff
(1852–1911, 荷兰化学家)

故事一：瑞典有一位大学毕业不久的年轻人，名叫斯万特·阿伦尼乌斯(Svante August Arrhenius)。他根据自己对溶液导电性的研究，提出了关于溶液的电离假说。但这一新理论的出现立即遭到国内不少学者的强烈反对。为了寻求理解与支持，阿伦尼乌斯把自己的论文寄给范特霍夫请求指正。想不到身处异国的范特霍夫一口气读完了论文后，不仅马上领会了阿伦尼乌斯的基本观点，并且由此受到了极大启迪。他的脑子豁然开朗：电离作用！对，电离作用！这正是电解质溶液 $i \geq 1$ 的原因。范特霍夫认为，如果溶液中的电解质确实分解为离子，那么溶液中的粒子数就会增多。同样地，如果是由于粒子撞击半透膜隔层而引起的渗透压，则很容易理解测量压力为什么会高于计算压力值。他把自己的想法写成论文并写信告诉了阿伦尼乌斯，表示完全赞同电离学说。

故事二：范特霍夫关于电解质溶液的渗透压的文章在斯德哥尔摩发表后，引起了德国科学家威廉·奥斯特瓦尔德(Friedrich Wilhelm Ostwald, 1853–1942年，德国物理化学家)的极大兴趣。几个月后，他专程来到阿姆斯特丹，同范特霍夫进行了长时间的交谈。他们一致认为阿伦尼乌斯的电离学说是一种了不起的创造。奥斯特瓦尔德对范特霍夫说：“我认为，这是一个新理论的开端，它将会成为研究溶液特性的基础。而您本人的研究将会证实和发展这个理论。”他还倡议道：“事业需要大家更紧密地进行合作，把一切力量都联合起来。”当他得知阿伦尼乌斯已决定要来阿姆斯特丹同范特霍夫一起进行实验，随后还要去里加拜访他时，非常高兴。1887年8月，他们共同创办的《物理化学杂志》第一期在莱比锡问世。这标志着一门新兴的边缘学科——物理化学的诞生。范特霍夫同阿伦尼乌斯、奥斯特瓦尔德的友谊与协作，使他们突破了国界和学科的局限，共同为新学科的创立奠基、为新兴的基本理论的确立进行了顽强的战斗。故此，他们被誉为“物理化学的三剑客”。

故事三：1901年12月10日，范特霍夫来到斯德哥尔摩，在瑞典科学院举行的隆重的授奖仪式上发表了演讲。他着重讲到了关于溶液的理论方面的科学成就，成了化学领域第一位获得诺贝尔奖的人。

图1 以故事形式讲解电解质溶液理论的授课图例

同的电池反应类型，介绍了锂电池、锂离子电池、燃料电池、太阳能电池等概念，鼓励他们查阅资料，了解每一类电池的电极反应特点及应用情况，并将我国及世界能源领域的现状和发展方向(包括新能源汽车)等作了简单介绍。

胶体与界面化学是我的研究方向，并且也是与研究热点极易结合的一部分内容。该部分内容中的表(界)面张力、润湿与铺展、表面活性剂分子聚集结构等都与实际应用或当前的研究前沿紧密相关。这部分内容的讲授也结合了诸多当前的科研成果。由表(界)面张力产生的原因到超低界面张力以及其在三次采油等领域的应用，由气/液、气/固、液/固界面张力的相互关系与接触角到固体表面及材料的浸润性都引起了学生的极大兴趣。在浸润与铺展部分，向学生介绍了颗粒的表面浸润性在一定范围时在溶剂中形成的particle stabilized foams和pickering emulsion等分散体系，以及这些分散体系与表面活性剂分子形成的泡沫和乳液的差别及其在矿物浮选等领域的用途，并通过与油、水的接触角介绍了目前广泛研究的亲水、疏水、亲油、疏油等性质、影响因素及在生产生活中的应用。超亲水表面在油水分离等领域的应用和超疏水表面的自清洁功能使他们感受到了理论研究与实际应用的紧密联系。我在课堂上向他们展示了自然界的许多超疏水表面，如荷叶、芋头叶等的表面显微结构，告诉他们这些结构的共同特点：被覆表面的低表面能物质与微纳多层级结构。在此基础上，介绍了目前通过化学手段构筑此类结构并进一步灵活调控的仿生研究结果，让他们认识到如何从大自然中学习并能动地加以改进，以达到人类利用的目的。

通过这些努力，明显感到学生的兴趣和学习积极性的高涨。有不少学生在听过介绍后，对自己感兴趣的内容查阅了大量的资料，还主动与相应研究方向的教师讨论交流，不少学生从大二开始就已加入到相关教师的课题组开始了科研的初步训练，这对他们将来从事科学研究或生产研发都能打下很好的基础。图2展示了物理化学授课过程中启发学生对科研创新理解的讲授内容，获得了热烈反响，起

Physical Chemistry (物理化学)



图 2 2013–2014 学年第二学期山东大学泰山学堂物理化学的授课图片
 图片展示了美国化学会(ACS)物理化学学报 B (*The Journal of Physical Chemistry B*)
 截至 2014 年 8 月底已刊出的第 118 卷 28 期的封面论文

到了“基本概念理论糅合科学研究成果”的展示效果。

4 物理化学教学中的人文关怀与哲学思辨

我们追求科技创新的目的是为社会的发展、人类更好的生活而服务。当前,工业化的快速发展带来了一系列环境、能源、资源等复杂问题。我们在面对这些问题时,既应该立足于发展,同时也必须顾及整个社会的和谐与平衡,这就要求我们所培养的人才既具有过硬的专业知识和技能,同时也应该具有厚重的人文修养、敏锐的观察能力和开阔的视野,这样才能做到辩证地、全面地观察看待事物,既重眼前,又重长远。仅有本专业的技能充其量只能成为熟练的工匠,而人文关怀和人文高度则影响着一个人看问题的高度以及在自己领域中如何把握发展方向,如何在遇到矛盾时辨析主次,正确取舍。长期以来,我们在理工科的教学存在着明显不足,学生从小把绝大部分精力倾注在数理化的机械学习中,对人文类的学科严重轻视,这些欠缺既会无形中制约他们个人的长远发展,也满足不了国家建设对复合型人才的需求。

哲学是自然科学与社会科学的基本原理及运行规律的总括。虽然由于学科分类的日益细化,哲学研究的范围不断缩小,但其规律原理在自然科学研究中的运用随处可见。在化学类的基础课中,物理化学是理论性较强的科目,与哲学的关联也体现得更明显。因此,我在教学中有意识地引导学生在物理化学的学习中融入哲学思辨。化学热力学部分的内容理论性最强也最抽象,尤其是热力学第二定律的描述“不可能把系统的热完全转化为功而不产生其它影响”及“孤立系统的自发过程熵值增加”经常使学生感到模糊困惑。在讲授时,我指出能量的两种形式“热”和“功”分别对应“无序”和“有

序”的特征，相应地，它们之间的转化也对应着“无序”与“有序”之间的变化方向，而熵值增加则明确地是系统无序性的增大，有学生马上发散思维，类比到了社会问题的“治”和“乱”，即让一个动荡的社会结束混乱、由“乱”到“治”、整合为秩序井然的状态必须要经过极其艰苦的努力，付出极大的代价，而稍一松懈，就可能重新陷入动荡。对于该定律所揭示的“熵增加原理”衍生出来的“热寂论”的真伪之争，我也鼓励学生发表见解。有学生就认为，证明该命题正确与否的关键有两点：宇宙能否被视为孤立系统；热力学第二定律是否像牛顿运动定律一样有其限定的适用范围，即推广到宇宙中时，巨大的天体及其他物质系统之间的万有引力导致的向心性能否与该定律所研究的系统相比拟。这些问题也正是围绕“热寂说”争论中的关注点，我很高兴学生能有这么清楚严密的思维，并把化学、哲学界围绕该学说的各种观点(包括恩格斯立足于唯物主义对这种论断的批判)同他们开展讨论。这些讨论虽然目前无法获得确定的结论，但对学生逻辑思维、辩证思维的培养与锻炼却很有用处。

5 结束语

人才培养是一项艰难复杂的工程，根据社会发展的阶段也有不同的要求，而拔尖人才的培养更要满足社会的高层次需求标准，其难度自不待言。本人十几年来在教学、科研中接触了许多学生，感到学生之间在认知能力、接受能力、辨析能力、创造能力及个人能动性等方面存在着巨大差异，这是不争的事实。根据学生资质因材施教，将其塑造成为对社会有用的人才，我们作为教育工作者责无旁贷。这些年来，我在自己的专业工作中身体力行，薄有心得。一管之窥，与诸位从事教书育人的同行共勉。

参 考 文 献

- [1] 邓立志, 侯安新, 席美云. 大学化学, **2006**, 21 (4), 25.
- [2] 张树永, 李 英, 苑世领, 郝京诚. 大学化学, **2013**, 28 (2), 11.
- [3] 王 芳, 张树彪, 那立艳, 华瑞年. 教学研究, **2012**, 35 (1), 75.
- [4] 刘 建, 赵龙涛, 张 倩. 化学教育, **2014**, 24, 20.