

# 吉布斯理论在材料科学基础教学中的应用

栾家斌 杨平

(北京科技大学, 北京 100083)

**摘 要:**以美国伟大科学家约西亚·威拉德·吉布斯(Josiah Willard Gibbs)为例,通过各个课程之间的比较,阐述他与本课程的联系。进一步的文献检索、归纳总结及研讨表明,了解相关名人典故有助于学生理解相关理论,激发学生的科研兴趣,树立奋斗目标,并引导学生学习伟人身上的优秀品质;在课堂上引入相关名人典故有助于教师构建课程主架并丰富教学内容与方式。

**关键词:**材料科学基础;吉布斯;自主学习

**基金项目:**北京科技大学教学研究资助项目(JY2011SFK05);材料学国家级教学团队建设项目资助([2010]12)

材料科学基础内容丰富,基本包含了材料科学各方面的基本概念和基本原理。由于其覆盖材料学科学的各个方面,对于刚接触专业课的本科生来说,是一门难以掌握的课程。学习材料科学基础的难度主要在于广度和深度,从宏观现象到微观机制,从金属到高分子,从晶体到非晶体<sup>[1]</sup>,这本近 800 页的教材都有涉及,不可不谓之广。同时,书中很大一部分概念对于没有实践认识的本科生来说显得过于抽象与艰深。因此,学生在学习这门课程时往往会陷于迷茫与困惑。

面对这样一门学习困难的课程,应从不同角度,有针对性地探索解决学生面临的问题。例如,在课堂上穿插一些创建基本概念和定律的名人生平轶事,不仅可提高学生对课程的兴趣,还对理解相关概念及定理大有裨益。此外,通过了解伟大科学家的生平事迹,可以激发学生的科研热情,为今后的奋斗指明方向。各校讲授材料科学基础课程中,相关人物的素材并不应该仅由教师搜集整理,作为学生也应参与相关名人素材的搜集整理,甚至是研究,从而锻炼综合能力。

本文将从学习材料科学基础课程学生的角度,以美国物理、化学家、热力学之父约西亚·威拉德·吉布斯(Josiah Willard Gibbs)为例,归纳出他和材料科

学基础课程的联系以及对学生思维的启迪。

吉布斯于 1839 年 2 月 11 日生于康涅狄格州的纽黑文,1903 年 4 月 28 日在纽黑文逝世,终年 64 岁。同许多历史上伟大的科学家一样,早年吉布斯在科学界没有什么地位,甚至在耶鲁大学的头十年里连薪酬都没有。他的一生大部分时间几乎都局限在康涅狄格州的纽黑文,足迹几乎不超过两个街区;但他的成就却深刻影响着当今社会的各个方面,从化学工业到物理化学课程,从热力学到统计力学,从三维相图到向量分析,等等。

1863 年,吉布斯以使用几何方法进行齿轮设计的论文在耶鲁学院获得美国第一个工程学博士学位。1866–1868 年,吉布斯留学法国和德国,师从卡尔·魏尔施特拉斯(Karl Theodor Wilhelm Weierstrass)、基尔霍夫(Gustav Robert Kirchhoff)、克劳修斯(Rudolf Julius Emanuel Clausius)和亥姆霍兹(Hermann von Helmholtz)等学术大师。1875–1878 年完成奠定化学热力学基础的经典之作《非均匀物质的平衡》。这一长达 300 余页的论文被认为是化学史上最重要的论文之一,其中提出了 Gibbs 自由能、化学势等概念,阐明了化学平衡、相平衡、表面吸附等现象的本质。1880 年,美国艺术与科学学院授予吉布斯拉姆福德奖(Rumford Prize)。1880–1884 年,吉布斯

创立了向量分析,用来解决彗星轨道的求解问题,得到斯威夫特彗星的轨道。1882-1889 年,吉布斯应用向量分析建立了一套新的光电磁理论。1889 年之后,吉布斯撰写了一部关于统计力学的经典教科书《统计力学的基本原理》。他于 1897 年当选为英国皇家学会会员,1901 年获得伦敦皇家学会的 Copley Medal (科普利奖章,当时科学界最高奖章)。1902 年,他把玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann)和麦克斯韦(James Clerk Maxwell)所创立的统计理论推广发展成为系统理论,从而创立了近代物理学统计理论与研究方法<sup>[2-3]</sup>。

学生对于吉布斯并不陌生,从中学化学课程学习开始就接触这个伟大的名字,但那时对吉布斯的了解充其量只是吉布斯自由能的概念而已。进入大学后,陆续地,又在无机化学中进一步从定量计算层面知道吉布斯自由能  $G$  是判定一个反应能否自发进行的判据。在物理化学中,又学习到吉布斯定义化学势以及相律应用。物理化学涉及到简单的二元相图以及相律的具体表达形式,那时所分析的相图仅仅是一些非常简化的单元系的  $P$ - $T$  相图,至多是比较简单的二元系相图,仅凭对相图的初步认识或者照着一些简单相图示例的样板,学生就可以分析习题中其它简单相图。虽然那时教师已经讲授了相律的表达式,但大多数学生并没有非常深刻的理解其真正含义,以及具体在相图分析中的应用。真正使学生理解和掌握吉布斯理论的是材料科学基础。

## 一、材料科学基础中的吉布斯理论

吉布斯提出的相关概念在材料科学基础课程中主要出现在相图一章,除此之外,在其它章节中判断某种状态能否稳定存在时,应用的都是吉布斯自由能最低原理。例如,晶体中一定数量点缺陷空位的存在是热力学稳定的,即自由能最低,因为一定量点缺陷存在产生的组态熵升高可以抵消内能的升高;而线缺陷位错和面缺陷界面的存在是热力学不稳定的,因为组态熵的提高不足以抵消内能的升高。与此类似,溶质原子在晶界上的平衡偏析定量关系,相变过程自由能变化图解法,通过化学驱动力与界面能和应变能阻力间平衡时的 Gibbs 自由能变化关系确定相变形核过程临界晶核半径及形核功,粗糙型与

光滑型界面最低自由能与晶体类型关系,合金脱溶时稳定相亚稳相析出关系等,都是基于吉布斯自由能理论的应用。这里仅以其理论应用最为集中的相图部分进行阐述。

学习材料科学基础第五章相图时,第一节就是“吉布斯相律”。可以毫不夸张的说,吉布斯相律是学习相图一章的基础。吉布斯相律是处于热力学平衡状态的系统中自由度与组元数、相的数目及温度压力之间关系的规律,简称相律。

郭可信曾说:“我为在物理化学教科书中所学到的非常简单的‘Gibbs 相律’竟能解释千变万化的合金相变而异常兴奋。”<sup>[4]</sup>吉布斯相律的高度概括性及其重要性可见一斑。

在学习材料科学基础相图一章中,相律贯穿始终,它是判断相图正确性、理解相图中各个相区间的联系以及判断相变变化关系的重要判据。教材介绍的主要是复杂的二元系相图或者说是更接近于现实工业应用的二元系相图,同时还有更为复杂的三元系相图。仅凭物理化学中对相图的一点了解无法帮助学生去了解相图里的各条线、各个相区所代表的含义。此时,需要重新拾起相律这个最基础却最有用的工具。当利用相律分析相图时,之前那些难以理解的线、区顿时就能变得柳暗花明。

以上只是相律帮助学生分析现有相图的一些例子,实际上将来如果要绘制相图,相律的作用无疑是巨大的,它是绘制相图必须遵守的基本原则。一个相图首先必须符合吉布斯相律,掌握好吉布斯相律并能够熟练地把它应用到具体的相图分析当中,或是在绘制相图时能够较好的应用吉布斯相律,都会大大提高效率以及准确性。1977 年,在相律诞生 100 年之际,德国斯图加特大学金属研究所的 Petzow 教授对相律诞生的历史环境、相律的含义、重要性、相律传播受到的障碍及相律在当代相图计算中的作用作了详细论述<sup>[5]</sup>。

相图的另一大内容与难点就是相图热力学。学习这部分内容时,学生普遍觉得内容比较抽象与难以理解,学习时无法将理论知识与实际应用联系起来。事实上,这部分恰是吉布斯理论在实际应用上的一大贡献。首先,吉布斯自由能判断某一温度下何种相能够稳定存在。其次,利用吉布斯自由能公切线可

以构造一些简单的相图。运用此种方法的核心在于在多相平衡时,同一物质在多相中的化学势是相等的。这样,只要在自由能-成分曲线上做出相应的公切线即可确定在相平衡时的成分点,这种方法非常直观,对于学生刚开始学习相图与自由能之间的关系以及了解相图间的拓扑关系是很有帮助的。类似的原理可以用来解释实际混合溶体中最低或最高共熔点、溶解度间隙、共晶反应、中间相的稳定与否等现象。

再如,在面缺陷一章中,吉布斯自由能的应用同样广泛。Wulff 定律表明平衡条件下晶体的外形是由表面张力取最小值的面构成的,而这正与吉布斯提出的自由能最低原理不谋而合。界面内容主要就是 5 个部分,即界面结构、能量、偏析或吸附、迁移及平衡形貌,共同点是这些都由吉布斯自由能所控制。相似的应用在《材料科学基础》书中还有很多,这里不再枚举。

虽然吉布斯仅是材料科学领域众多伟大科学家之一,但是他的贡献却在大部分章节中闪现,这是容易理解的。因为在现代科学尤其是材料科学的研究中,吉布斯自由能的概念已经成为判定一个过程、一个状态、一个相发生和存在与否的核心判据。

通过了解吉布斯的生平与性格,吉布斯推崇的“独立思考”也能给学生学习材料科学基础提供莫大的帮助。吉布斯研究的领域是理论物理,他比任何同时代人(包括克劳修斯和波尔兹曼)都看得更多、走得更远。他对自己研究领域的理论问题有精准的判断。他无需别人肯定,单凭直觉和常识就知道什么时候自己是对的——实际上,在 19 世纪的美国也很少有机会与其他学者经常切磋。在这种封闭的条件下,很少有理论型的科学家能信心十足地从事智慧创造。只有爱因斯坦超过了吉布斯<sup>[2]</sup>。那时世界的科学中心毫无疑问是在欧洲,但是吉布斯却在大洋彼岸做出如此巨大的贡献,这与他喜欢思考尤其是独立思考的个性是分不开的。学生在学习材料科学基础时,独立思考亦有着极其重大的作用。受学时的限制,教师无法在有限的时间里将如此之大的知识量详细阐述,作为学生仅靠课堂的时间来消化如此之多的信息几乎不可能。这就需要在课下花几倍于课堂的时间琢磨书本上的知识,独立思考显得尤其重

要。事实上,很多难以理解的地方经过自己的钻研是能够搞懂的。经过自己思考并理解的概念才是真正学习到的知识,这种学习的效果也是临时记背所无法比拟的。如果独立思考后还不得要义,通过与教师的积极讨论从而获得解答,同样也是学习材料科学基础的好方法。

## 二、吉布斯与学生

从吉布斯不平凡的一生中,学生还可以学习到许许多多的东西。专业知识和理论自然帮助学生颇多,但倘若细加研究,或许还能够学到如何为人、处事。

伟人不等于完人,虽然吉布斯对人类科学贡献巨大,但当时他的理论却鲜为人知,更不用说被社会所接纳了。不可否认,这归因于他不善于交际的性格。吉布斯最伟大的学术贡献《非均匀物质的平衡》当初只是发表在一本默默无闻的杂志《康涅狄格艺术与科学学报》上,在信息不够发达的 19 世纪,科学家根本无从知悉其存在,其传播更是无从谈起了。这篇论文开始受到欧洲大陆同行重视还得益于物理化学始祖,德国的 Ostwald 在 1892 年将其译成德文,法国金相学家 Le Chatelier 在 1899 年翻译为法语<sup>[3]</sup>。在学科高度交叉、交流日益频繁的当代,吉布斯的这种不能积极宣传自己工作的态度是必须避免的。倘若现在一味地闭门造车,两耳不闻窗外事,再想达到吉布斯的成就几乎不可能。现在的学生要学会与人交流研讨,学会与人合作,这对其今后的科研、学习是大有裨益的。讨论不仅传播自己的想法,更会激起智慧和灵感的火花,从而引领进行新的创造。

瑕不掩瑜,吉布斯的一生是充满了闪光点的,从他身上可以学习到很多东西,概括起来有三点。

### (一)独立思考的重要性

如前所述,吉布斯善于独立思考,这是他能够进行如此之多理论创造的根源。学会独立思考不仅对学习材料科学基础非常有帮助,对所有其它课程同样作用非凡。通过思考,才能把书本上的知识变成自己思维体系的一部分。独立思考后知识点也不会如一般死记硬背后的知识那么容易遗忘,很多年后或许仍能想起当初思考问题的思路 and 方向。

独立思考的作用也不仅仅局限在学习知识的过



程中,当学生走上工作岗位,面对纷繁复杂的实际问题,没有现成的教科书摆在面前,所拥有的只是以前学习的知识以及新的问题,这时独立思考则愈发显得重要。创新、灵感往往会在思考后的一瞬间迸发出来,独立思考对学生今后的学习、工作作用巨大。

## (二)教师应该是“磨刀石”

吉布斯一生都在耶鲁大学教书,对待学生严厉却又认真负责。他从不回避学校里细微的职责,也从不吝啬时间指导学生。但学生如果问他一些没有自己事先想过的问题,他常“哼”一声不作回答。他认为“老师不是用汤匙喂学生,而是像磨刀石磨练学生的思考使之更精确”,他只接受想过的问题<sup>[2]</sup>。这种教学理念对当今教学有很大的指导作用。教与学自古就是一个整体,教师在给学生传授知识的同时,如何做到让学生真正理解、接受,如何让学生积极思考一直是个难题。吉布斯指出,教师不应该机械地灌输知识。学生对照本宣科式的教学方法是无法提起兴趣的,如果自己没有思考,即使当时记住了知识,隔不了多久就会忘得一干二净。因此,教师应该是“磨刀石”,这有助于提升教师的水平,改善学生学习效果,促进教与学的完美融合。

## (三)谦逊、坚持、自信——成功三要素

性格决定命运。吉布斯性格中的谦逊、坚持与自信引领他获得了成功。

吉布斯为人谦逊。历史上,麦克斯韦受吉布斯启发用一个石膏模型来全面说明水的能量表面。他在这个水的“塑像”上标出液态、气态和固态的区域、两相共存区域以及三相共存的一个三角线区域。在这个模型表面上,他对照克劳修斯的条件,刻出等压线和等温线。麦克斯韦把这个模型的复制品寄给吉布斯,吉布斯深感荣幸和高兴。但当学生问起模型的来源时,他却保持其一贯的谦虚,只是淡淡地答道:“一个英国朋友寄来的<sup>[2-3]</sup>。”谦逊是人的必备美德之一,它可以帮助学生在人生一帆风顺时把握好方向,不至于骄傲自满忘记前行。正是吉布斯的谦逊,使他永远不满足于自己所取得的成就,保持一贯的勤勉,在科学道路上能够越走越远。

吉布斯又是坚定不移,充满自信的。除去晚年所获得的认可,在生命的大多数时间里,他的伟大成就并没有被社会认可和接受,他的一生也并不富裕。然

而,他却没有一点埋怨与放弃,他始终追寻自己的目标从不言弃。他是深思熟虑并且自信的,无论讲课还是写文章,全都条理分明地记在脑子里,无需笔记。他从不与同事或学生正规地讨论他的研究课题,甚至无需提示或检查,他的论文却极少出现重大的错误<sup>[2]</sup>。他总是信心十足地从事自己的理论研究,清楚地知道何谓对何谓错。这种自信与坚持是每一个想要获得成功的人必须拥有的。科学探索总是充满了未知与挑战,谁也无法获得所有人的肯定,在前进途中必然充满了质疑与反驳,在缜密思维、严谨推导、不断实验的前提下,必须相信自己的结论,成功或许就在再努力一下的坚持之中。

## 参考文献:

- [1]余永宁.材料科学基础[M].北京:高等教育出版社,2006:1-775.
- [2]威廉·H.克劳普尔(William H. Cropper).伟大的物理学家:从伽利略到霍金物理学泰斗们的生平和时代[M].中国科大物理系翻译组译.北京:当代世界出版社,2007:99-116.
- [3]Hastings CS.Biographical memoir of Josiah Willard Gibbs [J].National academy of sciences Biographical memoirs,1909,Volume VI:375-393.
- [4]郭可信.准晶与电子显微学:略述我的研究经历[J].电子显微学报,2007,26(4):259-269.
- [5]Petzow G,Henig ET. $f=n+2-r$  Hundred Years Phase Rule [J].Z. Metallkunde,1977,68(8):515-522.
- [6]杨平.《材料科学基础》课程的基本概念与相关名人典故——再结晶形核机制、立方织构及胡郁先生[J].金属世界,2011(4):73-77.
- [7]毛丰听,肖泓羽,曹瀚,等.材料科学名人典故对“材料科学基础”课程学习的影响[J].中国冶金教育,2010(6):82-87.
- [8]贺哲丰,杨平.名人典故在材料科学基础教学中的作用[J].中国冶金教育,2011(5):38-40.

# 吉布斯理论在材料科学基础教学中的应用

作者: [栾家斌, 杨平,](#)  
作者单位: [北京科技大学, 北京, 100083](#)  
刊名: [中国冶金教育](#)

英文刊名: [China Metallurgical Education](#)

年, 卷(期): 2013(6)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zgyjjy201306003.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgyjjy201306003.aspx)