

美国的本科材料教育与 ABET 鉴认

李 强 黄向东 郑旦亮

【摘 要】 ABET 鉴认旨在保证工程教育质量,并促进对工程教育质量追求系统性的改进,在动态和竞争性的环境中满足社会各界用人单位的需要。本文综合介绍美国材料科学与工程教育概况、工程与技术鉴认委员会(ABET)对材料类专业的鉴认以及对材料教育发展的影响,同时也给出了适用于 2005—2006 鉴认期评估的“工程专业鉴认标准”,以期对我国正在发展的高等材料工程教育评估工作有所借鉴。

【关键词】 美国 材料教育 ABET 鉴认 标准

【收稿日期】 2005 年 9 月

【作者简介】 李强,福州大学材料科学与工程学院副院长、教授、博士生导师;黄向东,福州大学材料科学与工程学院副教授、博士;郑旦亮,福州大学材料科学与工程学院副教授。

材料教育是高等工程教育中的主要组成部分。本文将综合介绍美国材料科学与工程教育概况、工程与技术鉴认委员会(ABET)对材料类专业的鉴认及其对材料教育发展的影响,同时也介绍了 ABET 的最新鉴认标准,以供国内高校材料教育改革和发展借鉴。

一、美国的材料教育

1. 材料教育概况。

1997 年,美国金属学会(ASM)冶金/材料教育年鉴收录了总共 95 个“冶金/材料”系和专业,另外有 9 个系涉及金属之外的具体材料,如“陶瓷科学与工程”、“聚合物科学与工程”,总计 104 个冶金/材料系和材料专业(表 1)。其中 41 个系的名称中具有“材料”一词,例如,名称中包括“材料科学与工程”或“冶金与材料工程”,提供从学士学位到博士专业的专业,没有和其它学科联合,这些系是“核心 MSE”系。其余详见表 1。41 个核心 MSE 系进行规范和广泛的材料教育的任务,对其它学科没有特别的偏向,因此这些系在学术界内界定了材料科学与工程领域的角色。在美国,核心 MSE 系给大学生提供了最大最好的材料学位份额。ASM“冶金材料教育年鉴”数据表明,在 1997 年,这些系授予了 955 个学士学位,约 2600 名研究生在读,据估计有 619 名全日制教师。

在工程与技术教育范畴,2002 年,美国有 65 所大学的设有本科材料教育,授予材料科学与工程(MSE)、材料工程、冶金与材料工程、陶瓷

工程、冶金工程、高分子科学与工程以及复合材料工程领域的理学士(B.S.)学位。其中 59 所大学的本科材料专业得到工程与技术鉴认委员会(ABET)的鉴认,其毕业生占 65 校所授材料相关 B.S. 学位的 96%(前 12 所学校 B.S. 学位授予数合计为 329)。

表 1 1997 年美国的材料系和专业

	数量
核心 MSE 系,授予从学士到博士学位的独立的材料系	41
不授予博士学位的独立材料系	2
仅授予研究生学位的独立材料系	6
与材料领域边缘学科联合的材料系	14
包括在其它系或学院中的材料专业	27
涉及具体材料的系(如金属、陶瓷、聚合物)	14
合计	104

2. 本科材料教育的共性与多样性。

材料专业的名称,既有包括材料类型宽广、涉及从科学到工程宽广范围的“材料科学与工程”,也有范围很窄、专门于金属或陶瓷工程的“冶金工程”或“陶瓷工程”。近 50% 的材料专业使用的名称是 MSE,25% 称其为材料工程,8% 为陶瓷工程,8% 为冶金或冶金与材料工程,其余 9% 的名称涉足高分子、玻璃或复合材料工程。大部分 MSE 专业是从冶金工程或陶瓷工程专业演变而来的。

几乎所有的材料相关专业的共同点是包括美国科学院 1989 年材料研究中确定的相关联的四个核心要素——结构与成分、合成与加工、性能以及使用效能。具体教育内容因其专业方向如冶金

工程、陶瓷工程而各具特色。

在各专业之间,与“工程”相比,对“科学”的侧重程度也各不相同,或许和专业的名称没有密切的关联,如许多 MSE 专业包括的“科学”并没有增多,“工程”也没有减少。获得 B. S. 学位的材料本科毕业生,既有攻读材料专业研究生学位的,也有直接进入劳动力市场(就业)的,这两类学生的比例在各个大学之间各不相同,并且影响着各自专业的教育目标和课程设置。

根据教师和学生数而言,大多数的材料专业规模不大,因此,并非每个材料专业都能包括整个材料领域。为了满足学生的兴趣和社会的需求,既需要特色专业,如陶瓷工程、冶金工程,也需要更宽地强调材料现象与材料类型的 MSE 专业。MSE 或材料工程涵盖陶瓷、金属、高分子、复合材料等不同类型的材料,但陶瓷和冶金的专业无需包括宽广的材料范围。

不管怎样,ABET 的鉴认标准和程序允许材料专业在设置其目标、效果以及课程方面具有很宽的回旋余地,这保证了在不同的专业和大学之间形成有利于满足社会需求的多样性。

二、ABET 与材料工程教育鉴认

1. ABET 及其鉴认概况。

在 ABET 内,负责评估工程专业的是工程鉴认委员会(Engineering Accreditation Commission, EAC),该委员会的代表来自 21 个专业工程学会,矿业、金属与材料学会(TMS)是材料和冶金工程专业鉴认的牵头学会;全国陶瓷工程师学会(National Institute of Ceramics Engineers, NICE)是负责陶瓷工程专业鉴认的牵头学会。材料研究学会(Materials Research Society, MRS)也加入了 ABET,而且在鉴认活动中与 TMS 和 NICE 合作。除了参加 ABET 董事会和工程鉴认委员会外,TMS、NICE 以及 MRS 成员担任 ABET 的专业评委,访问和评估申请获得或者正式给予 ABET 鉴认的各学校的材料相关专业。

从 20 世纪 40 年代到 60 年代,材料的鉴认标准促进了重点材料专业的本科课程从研究材料加工与性能、使用的定性方法向更重视定量方法的转变。

随着鉴认标准越来越细,越来越规范,在工程教育界,特别是工程系的系主任、关心工程教育的工业界领袖、专业工程学会的代表以及 ABET 内部管理鉴认过程的人员中,形成的感觉是,为了将

鉴认过程重新集中于教育目标、专业的教育效果以及持续不断的改进过程上,鉴认标准必须进行重大的改变。20 世纪 90 年代末期,在专业工程学会、工程系的系主任以及工业界领袖代表的积极参与下,ABET 改写了本科工程专业的鉴认标准。该标准是以效果为根据的鉴认创新,称为“工程标准 2000 (EC2000, Engineering Criteria 2000)”,现已成为所有工程专业进行 ABET 鉴认的基础。

EC2000 关键点是,每个工程专业必须制定和公布教育目标,即学生毕业后的几年内要达到的成就目标。这些目标必须与包括工业顾问委员会、学生雇主、学生和教师本人在内的专业的涉众(stakeholder)协商后制定。教师必须时常收集是否达到该目标的有关佐证,并且必须采纳这些信息以改进该专业。EC2000 另一个关键的要求是制定专业的效果,即学生毕业前要达到的成就目标。ABET 鉴认标准载明了对所有的工程专业所要求的一组最少 11 项的教育效果。

EC2000 要求每个专业都要经过评估,以检验是否达到其专业的效果,并用来进一步发展和改进该专业。该通用标准也具体规定了数学、基础科学以及工程专题的最少课程数,并要求每个学生经历包括工程标准应用和实际约束条件下的重要设计训练。该通用标准中还涉及对学生的咨询和指导、师资数量和专业知识保障,以及充分的教学设施与学校的其它支持。

对大多数工程学科,有学科具体的专业标准。材料相关的专业“必须证明毕业生能够把先进的科学(如化学和物理)和工程原理应用于具体名称的工程专业所指的材料体系,如陶瓷、金属、高分子、复合材料等等;整体理解该领域四个主要要素的科学和工程原理,即与适用于该领域的材料体系有关的结构、性能、加工和使用效能;能够应用和综合上述四要素中每个要素的知识来解决材料选择和设计问题;能够应用与专业目标相一致的实验、统计和计算方法”。该专业的标准也要求“教师对专业领域的专业知识必须包括该领域的四个主要要素”。

2. ABET 鉴认的利与弊。

Lehigh University 材料科学与工程系的系主任 Slade Cargill,兼任矿物、金属与材料学会(TMS)鉴认委员会主席和 TMS 委任的工程与技术鉴认委员会所属的工程鉴认委员会(Accreditation Board for Engineering and Technology's Engineering Accredi-

tation Commission) 委员。他根据其所在系的 MSE 专业的 ABET EC2000 评估准备过程、担任其它的材料专业的 ABET 专业评委的经历以及与其它材料系的系主任和教师就 ABET 鉴认的讨论,指出了这个新标准的长处与弱点以及整个 ABET 鉴认过程的利与弊。

有利的方面体现在,在讨论和确定教育目标和教育效果时得到更为广泛的咨询,包括校外顾问委员会、校友、在校学生以及材料系教师。越来越多的教师在考虑用更好的办法来评估课程、实验以及设计项目的有效性。本科专业具有明确的目标(即教育目标和效果)有助于集中讨论课程的变化和课程改革。ABET EC2000 通用标准要求的程序与文件已经激励和促进了一些长期要求的变化。材料的专业标准已迫使相关的材料系考虑,是否其教育目标、教育效果、课程以及教师的专业知识与称其为“材料”而不是“冶金”或“陶瓷”的专业相一致,是否其专业包括了四个主要要素——结构、性能、加工工艺以及使用效能。与此同时,ABET EC2000 之通用和专业标准允许材料专业之间具有极大的不同,这能够通过各自的教育目标、教育效果以及课程计划中的重中之重(particular focus)和重点反映出来。即使没有改革过时的课程体系也不再因为必须满足规定性的 ABET 标准而受到责难。

新的 ABET 标准并非没有弊端。在需要什么样的评价和评审过程以证明教育目标和教育效果是否达到,获得的信息如何用于改进专业等方面的问题存在异议。过去,大多数系独立于 ABET 要求,经常但不正式地评价和改进其专业。现在,ABET 鉴认要求系统化、注重过程、举证以及在学生教育方面的成功。ABET EC2000 标准要求的规范、文件和自查报告以及为此付出的劳动不能看作是专业改进的理由,专业的改进要得到 ABET 鉴认活动承认。另外,EC2000 标准在解释上存在一些含糊,甚至异议。因此,为了不增加标准的细节和内容,ABET 的工作人员和兼职领导准备了培训材料,目的在于帮助系主任和部门负责人了解需要准备什么,帮助来自 ABET 各成员学会有关专业的评委了解要求什么。尽管在评价过程中存在主观性问题,但随着评委获得更多的经验以及专业进入第二轮 ABET EC2000 评价,对要求正在形成越来越多的共识,而且,该标准本身也做了微调。例如,近来已提出将“教育目标(educational

objective)”和“教育效果(program outcomes)”的定义加入到该标准中。

鉴认的另一个重要方面是由“ABET 应用科学鉴认委员会”制定“应用科学”专业的鉴认标准和程序。该委员会的作用类似于工程鉴认委员会,但只是负责应用科学,而不是工程专业。应用科学鉴认对于设在物理、化学系的本科材料专业或者系际交叉的专业是有吸引力的。迄今,还没有制定出本科材料科学专业(不包括 MSE)的鉴认标准。但是,如果既想获得鉴认的益处,同时又要保持将重点放在材料科学上的专业对此有足够兴趣,ABET 应用科学鉴认委员会很可能会制定出鉴认标准。对此感兴趣的专业主要致力于培养面向研究生层次学习材料的学生,而不是本科 B. S. 毕业后从事专业应用的学生。

除工程领域的鉴认外,取得应用科学鉴认可以进一步强化美国材料教育的多样化。这些年来,ABET 鉴认过程一直影响美国的本科材料教育,并且今后仍将如此。

三、ABET 工程专业鉴认标准

鉴认标准包括各专业适用的通用标准和针对具体专业的专业标准两大部分,通用标准分为基本层次专业项目和高层次专业项目两部分,专业标准针对具体的一类专业制定。下面是适用于 2005 ~ 2006 鉴认期评估的 ABET“工程专业鉴认标准”,其中,在专业标准部分,只给出与本文相关的包括材料、材料加工、冶金、陶瓷、玻璃、高分子等材料相关专业共享的鉴认标准。

1. 基本层次专业项目的通用标准(GENERAL CRITERIA FOR BASIC LEVEL PROGRAMS)。

(1) 学生。

工程专业评估主要考虑学生和毕业生的质量和表现。学校必须对其学生的表现进行评价,在课程和职业生涯方面进行指导,对学生的成长给予监督,以促进他们成功取得专业教育效果。

学校必须制定和执行接受其它学校学生转学并承认所修课程学分政策,也必须制定并执行规章程序以保证全体学生达到所有的专业要求。

(2) 专业的教育目标。

对于标准 2,各学校可以使用不同的术语,专业教育目标是描述本专业培养的毕业生将取得职业和专业成就的声明。

期望鉴认或重新鉴认的每个工程专业必须准备下列材料: 与学校的教育目标和评估鉴认标

准一致的、详细公开的教育目标。基于专业的各用人单位需要,制定并定期评估教育目标的过程。培养计划,即为达到专业教育效果并促进毕业生实现与教育目标一致的成就而给学生制定的所有课程安排。教育目标达到程度的递进评估过程,评价结果用来发展和改进专业教育效果,从而更好地培养学生以达到教育目标。

(3) 专业教育效果与评价。

对于标准3,各学校可以使用不同的术语。教育效果是描述学生毕业时应该掌握的知识和具备的动手能力的声明。这些教学效果指学生录取进入大学通过专业学习所获得的技能、知识和举止行为品质。

每个专业必须确切阐述能够有利于实现标准2表述的教育目标的专业教育效果。必须具有制定教育效果的程序和评估过程的文件资料,以证明这些教育效果正在得到考量,并表明教育效果达到的程度。必须有证据表明该评估结果被应用来推进了专业的发展。

工程专业必须证明其毕业生具有下述核心能力:应用数学、科学和工程知识的能力。设计并进行实验以及分析和解释实验数据的能力。

在实际约束条件下,例如经济、环境、社会、政治、道德、健康与安全、工艺性、可持续性,按要求设计系统、单元或工艺过程的能力。在多学科组成的团队中发挥作用的能力。发现、确切分析表达以及解决工程问题的能力。理解专业伦理和社会责任。有效沟通的能力。必须具有宽广的知识面,以了解工程问题的解决方案在全球、经济、环境和社会范围内产生的影响。认识到终身学习的必要性,以及从事终身学习的能力。了解当代时事问题。使用工程实践中必需的技术、技能和现代工程工具的能力。

此外,工程专业必须证明其学生获得专业所表述且有助于实现教育目标的附加效果。

(4) 专业课程组成。

专业的课程组成要求具体指明适合工程的课程范围,但不规定具体的课程。工程专业的教师必须确保专业课程计划对每门课程有足够的重视,并提供充分的时间,与本专业和学校的教育效果和教育目标相符。

专业的课程组成必须包括:一年的与本学科相适应的大学数学和基础科学课程(有些具有实验课程)。一年半的工程专业课程,包括与

学生的学习领域相适应的工程科学和工程设计。工程学的基础是数学和基础科学,但包含有创新性应用的知识。这些课程的学习一方面在数学和基础科学、另一方面在数学和工程实践之间架起桥梁。工程设计是按设定的要求设计一个系统、系统的一个单元或工艺过程的训练过程,是一个决策过程(常常是重复的),通过该过程,应用基础科学、数学以及工程学知识使资源以最佳的方式满足所提出的设计要求。通识教育课程组成是专业课程计划中技术内容的补充,要与专业教育目标和学校的教育目标一致。

必须根据学生在前期课程中所获得的知识 and 技能并合并考虑工程标准和多重实际约束条件后,为学生设置旨在重要的专业设计经历的综合工程实践课程。

(5) 师资队伍。

教师数量必须足够,能够教授涵盖该专业所有的课程。必须有足够的教师为学生—教师互动、学生咨询和辅导、学校的服务活动、职业发展以及与工业界、专业界人士和学生顾主互动提供合适的平台。专业教师必须具有合适的资格,必须具有并且表现出足够的权威以确保对专业的适合指导,制定和执行对专业及其教育目标和教育效果进行评估、评价和不断改进的措施和办法。教师队伍的整体能力可根据诸如教育水平、背景的多样性、工程经历、教学经历、沟通能力、建设更有效的专业的热情、学术研究水平、参与专业协会的情况以及是否持有专业工程师(Professional Engineers)执业资格等因素来评价。

(6) 教学设施。

为了实现专业目标,并且营造有益于学习的氛围,必须具有足够的教室、实验室以及相关设备。必须具备合适的设施以促进教师—学生之间的互动,营造鼓励专业发展和专业活动的环境。专业必须提供学生学习使用现代工程工具的机会。计算和信息基础设施必须到位以支持学生和教师的学术活动以及专业和学校的教育目标。

(7) 学校行政支持与经费。

为保障工程专业的质量和连续性,学校必须提供足够的行政支持、经费以及建设性的领导。必须具有充足的资金资源以吸引、留住优秀资质的教师并提供不断的专业发展。也必须具有足够的经费来购置、维护和运行工程专业需要的设施与设备。此外,必须具有足够的支持人员和学校

行政服务部门以满足专业的需要。

(8) 专业标准。

专业标准 (Program Criteria)。提供了解释适用于具体学科的基本标准所要求的专一规范。专业标准中规定的要求限于课程体系的主题范围和教师资格。如果一个专业因为名称上属于两个或多个专业标准,那么,该专业必须满足每个专业标准。但共同要求只需满足一次。

2. 高层次专业项目的通用标准 (GENERAL CRITERIA FOR ADVANCED LEVEL PROGRAMS)。

高层次专业项目标准是完成达到基本层次工程专业项目通用标准要求的学习计划后,在基本层次的基础上完成一学年的学习,并完成一个工程设计项目或研究活动并写出报告,既要证明掌握学科内容,同时也证明具有高水平的交流能力。

3. 材料、冶金与类似工程专业标准 (PROGRAM CRITERIA)。

牵头学会 (Lead Society): 矿物、金属与材料学会 (TMS)。材料工程专业合作学会 (Cooperating Societies for Materials Engineering Programs): 美国陶瓷工程师协会 (National Institute of Ceramics Engineers); 美国化学工程师协会 (American Institute of Chemical Engineers); 美国机械工程师协会 (American Society of Mechanical Engineers)。冶金工程专业合作学会 (Cooperating Society for Metallurgical Engineering Programs): 采矿、冶金与勘探学会 (Society for Mining, Metallurgy and Exploration)。该标准适用于包括“材料”、“冶金”、“高分子”及类似的专业。材料相关领域的所有专业,包括材料、材料加工、陶瓷、玻璃、高分子、冶金以及名称类似的专业共享这些标准。

(1) 课程体系。

本专业必须证明毕业生能够把先进的科学(如化学和物理)和工程原理应用于专业名称所指的材料体系,如陶瓷、金属、高分子、复合材料等等;整体理解该领域四个主要要素的科学与工程原理,即与适用于该领域的材料体系有关的结构、性能、加工和使用效能;能够应用和综合上述四要素中每个要素的知识来解决材料选择和设计问

题;能够应用与本专业目标相一致的实验、统计和计算方法。

(2) 专任教师。

教师对专业领域的专业知识必须涵盖该领域的四个主要要素。

四、对我国材料教育改革的启示

我国是一个发展中国家,正在走新型工业化道路。美国材料教育与鉴认对我国材料工程教育发展具有以下启示:

1. 招生总量和层次结构必须进行合理的宏观调控,研究社会需求规模与材料科学与工程学科专业结构、人才素质、层次结构之间的相互关系。

2. 建立符合我国国情、与国际材料教育接轨的专业规范和鉴认体系,强调材料教育的共性,突出材料教育的多样性,遏制目前出现的专业趋同化趋势,促进各学校的合理定位。

3. 构建新型的材料教育课程体系和教学模式,一方面课程设置应以结构—工艺—性能—使用效能四要素为主线,整体阐述该四要素的科学原理。另一方面,要回归工程,加强实验、实践教学环节,建立起与企业的合作机制。

参 考 文 献

1. M. C. Flemings, R. W. Cahn. Organization and trends in materials science and engineering education in the US and Europe. *Acta mater*, 2000, 48: 371 - 383.
2. Slade Cargill. Undergraduate Materials Education and ABET. *IUMRS Facets*, 2004, 3(1): 1 - 5.
3. ABET Engineering Accreditation Commission. Criteria for Accrediting Engineering Programs, Effective for Evaluations During the 2005 ~ 2006 Accreditation Cycle. <http://www.abet.org>
4. 柯常青:《对美国高等教育鉴认制度的探析与思考》,《中国高等教育》2004年第1期。
5. 朱高峰:《关于中国工程教育的改革与发展问题》,《高等工程教育研究》2005年第2期。
6. 李义春:《中国高校材料教育现状与面临的挑战》,《材料导报》2005年第2期。
7. 李强、陈文哲:《美国和欧洲的材料科学与工程教育》,《高等理科教育》2002年第6期。