

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2019.03.009

欢迎按以下格式引用:陈以一,张伟平.本科工程专业要立足于培养工程师——工程教育认证的“成果导向”理念与本科专业定位[J].高等建筑教育,2019,28(3):63-69.

# 本科工程专业要立足于培养工程师

## ——工程教育认证的“成果导向”理念与本科专业定位

陈以一,张伟平

(同济大学 土木工程学院,上海 200092)

**摘要:**针对土木工程专业认证实践中发现的目标定位不清的问题,提出了坚持工程师培养的目标导向。对比了国际工程联盟关于工程问题复杂性的分类和工程教育轨道的分类,讨论了本科工程教育专业认证毕业要求与工程师任职资格能力的相互关系。分析说明,本科阶段的工程师教育必须以培养解决复杂工程问题的能力为核心,才能实现国际认证的实质等效;明确工程师能力培养的阶段性,才能科学合理地进行课程建设和课程建设。建议从成果导向的要求出发,采取措施提升教师的工程实践能力和教学能力。

**关键词:**成果导向的专业教育;工程师培养目标;复杂工程问题与活动

**中图分类号:**G642

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2019)03-0063-07

### 一、引言

本科工程专业要立足培养工程师,这看似不言而喻的共识性话题,实际仍然存在一些认知分歧。当前,土木工程专业的认证实践中,有不少表现出来的问题与之有关。对为何需要培养和如何培养学生“解决复杂工程问题的能力”,有的专业认为本科阶段能掌握一些基本专业知识,并且会应用即可,解决复杂工程问题的能力只能在日后工作实践中去培养,因而仅将日常教学活动戴个“复杂工程问题”的帽子去应付认证。例如:课程设置实际上不满足认证标准关于数学与自然科学课程的学分占比要求,为了应付认证,将若干不属于土木工程专业领域的电工学、算法语言等课程充作

修回日期:2019-03-04

基金项目:同济大学教学改革与建设项目“以工程教育认证为抓手,创新 OBE 导向专业教育的研究与实践”

作者简介:陈以一(1955—),男,同济大学土木工程学院教授,住建部高等土木工程教育评估委员会主任委员,中国工程教育专业认证协会理事,主要从事钢结构、土木工程高等教育评估研究,(E-mail) yiyichen@tongji.edu.cn;张伟平(1973—),男,同济大学土木工程学院教授,教育部高等学校土木类专业教学指导委员会土木工程专业分委员会秘书长,主要从事结构全寿命设计与维护、土木工程高等教育研究,(E-mail) weiping\_zh@tongji.edu.cn.

致谢:感谢重庆大学李正良教授对该文论点完善给予的宝贵建议。

自然科学课程,或者简单地认为专业补充标准中所列的建议性自然科学知识必不可少,生硬地将其塞入培养计划。再如,不少课程的深度达不到有效支撑毕业要求的程度。这些问题的背后,其实都关联着“培养工程师”这一专业定位问题。

中国土木工程专业于1995年首批开展专业评估(当时针对土木工程专业前身之一的建筑工程专业进行),截至2018年年底,累计已有97个专业点通过评估(认证),其中93个专业点目前在合格有效期内,约占全国土木工程专业点的17%。得益于20多年的持续评估、认证活动<sup>[1]</sup>,该百分比显著高于国内工程专业的总体统计。近年来,希望加入认证行列中的专业快速增加。2017年到2019年期间,仅申请进行首次认证的土木工程专业点依次为9个、27个和42个。但是无论对于新申请认证的专业,还是已经多次评估(认证)合格的专业,都需要坚定“培养工程师”这一定位,都需要对“工程师”的内涵要求取得共识。

从中国加入“华盛顿协议”以来,土木工程专业的评估制度已向认证制度转变。除了标准内容、认证方式和其他程序性变化外,本质的转变在于由重视条件和过程转为重视结果输出(Outcome),由重视学生学过什么转为重视学生具备怎样的能力(Ability),以及由校外评价推动转为院校自身对教育质量的自觉重视和持续改进(CQI)。指导这些转变最核心理念就是“成果导向”。

贯彻“成果导向”理念,首先要清楚专业培养目标定位。中国土木工程专业认证制度建立的初衷就是为结构工程师执业注册制度提供能够衔接的高等工程教育基础,是要向业界保证具有合格教育质量的工程师后备人才,是促进高校以培养工程界认可的工程师人才为其目标<sup>[2]</sup>。这与国际工程联盟(International Engineering Alliance,简称“IEA”)对4年制高等工程教育(相当于中国的本科教育)的要求是一致的。在IEA框架要求下,被认证专业的学生必须满足进入工程职业所应具备的学术要求,反映在华盛顿协议认可的对所有工程专业通用的毕业要求(Graduate Attributes)中。这些要求包括毕业生应具备的知识、能力和职业态度。同时,IEA框架内执业工程师资格国际互认的第一要求,即是“具有不低于与华盛顿协议实质等效的标准所认证的工程学位的综合学术水平”<sup>[3]</sup>。由此可见,华盛顿协议语境下的工程教育专业认证是指向工程师任职能力的。华盛顿协议所承认的,就是经过专业训练的学生要具备适合工程师岗位的从业能力和职业素养,因此,毕业要求的达成状况,就是华盛顿协议互认的基础。所谓国际实质等效,应该理解为对学生毕业时能够达到的工程师从业能力和职业素养的实质等效。

如果对“工程师”定位的内涵存在歧义,“成果导向”就会导致完全不同的结果,在执行认证标准时就会有各种偏差。某些专业和认证专家对专业现状的判断差异非常大,根源之一就在于此。为此,拟对国际互认框架内的“工程师”内涵进行研讨,然后说明根据该内涵对制订专业教育产出成果包括“培养目标”“毕业要求”的认识,最后讨论落实“成果导向”理念需要解决的若干问题。

## 二、本科教育定位指向的“工程师”究竟指什么?

对“工程师”的内涵,可以从不同方面予以界定。从工程活动的分工角度,从事专业技术工作的工程师区别于从事经营活动的管理者和一线操作的技术工人。从专业技术职称的层级角度,工程师(Engineer)相对于工程技师(Technologist)和工程技术人员(Technician)有岗位责任的不同。70年代高校教师曾这样教育本科生:你们要理解规范条文制定的原因然后加以运用,大专生只要按规范条文做对设计即可,中专生则配合完成画图和操作。从专业认证的角度,则根据工程技术人员面对

的工程问题复杂程度和处理这些工程问题所需具备的知识和能力要求来界定“工程师”与其他工程技术人员。基于此,国际工程联盟对工程师的内涵进行了说明。

### (一) 对工程活动复杂程度的分类

国际工程联盟依据工程活动的广度、深度和难度将其分为3类,即复杂工程活动(Complex activities)、一般工程活动(或牵涉宽泛的工程活动,Broadly-defined activities)和特定工程活动(或定义明确的工程活动,Well-defined activities)。用5个要素规定其区分特征:所涉资源类型、要素关联程度、创新性、对社会和环境的影响,以及超越既有经验的要求。

取其中复杂工程活动和一般工程活动的特征对比列于表1,从中理解何谓复杂工程。而特定工程活动不涉及多样化资源组织、相互冲突因素的综合、方法创新和经验超越,可以认为其本质是给定的技术问题。

表1 复杂工程活动和一般工程活动的特征比较<sup>[4]</sup>

要素	复杂工程活动	一般工程活动
资源多样性	包含不同或相异资源(人力、财力、设备、材料、信息和技术)的使用	包含多样化的资源(人力、财力、设备、材料、信息和技术)
要素关联性	解决方案涉及大量工程类型或互相冲突的技术,以及其他因素交织引起的显著问题	解决方案涉及技术、工程和其他因素偶尔交织引起的问题,有些因素相互间有冲突
创新性	包含工程原理的创造性应用,以及基于研究的知识和新方法	能够应用新材料、新技术和尚未标准化的新工艺
对社会和环境影响的冲击性	处理内容复杂和难以预测或避免的具有重大影响的问题	处理能够合理预测、对局部影响重大、对全局有一定影响的问题
变通性	需要超越既有经验,应用基于原理产生的方法	依靠正常操作程序和工艺经验

针对3类工程活动,国际工程联盟梳理了与解决问题相关的知识和能力特征。中国工程教育专业认证标准据此将培养学生解决复杂工程问题的特征表述为“1+6”模式,即解决“复杂工程问题”必须具备下述特征(1),同时具备下述特征(2)——(7)的部分或全部<sup>[5]</sup>:(1)必须运用工程原理,经过分析才可能得到解决;(2)涉及多方面的技术、工程和其他因素,并可能相互有一定冲突;(3)需要通过建立合适的抽象模型才能解决,在建模过程中需要体现出创造性;(4)不是仅靠常用方法就可以完全解决的;(5)问题中涉及的因素可能没有完全包含在专业工程实践的标准和规范中;(6)问题相关各方利益不完全一致;(7)具有较高的综合性,包含多个相互关联的子问题。

笔者认为,“复杂工程问题不等于复杂高深的技术难题,其具有综合性的特点,不是基于单一技术或者单一学科知识就能得到解决;复杂工程问题具有超常规的特点,往往不能从现成的规范、标准和技术手册中找到答案,也难以找到相似案例简单照搬;复杂工程还具有价值判断的特点,不单纯是某一利益方、某一单项因素能决定取舍的。因此解决复杂工程问题的能力,有赖于广泛的知识基础,有赖于创新思维、开拓精神和研究能力的综合,有赖于人文素养和思考问题的全面性,也有赖于团队的协同”<sup>[2]</sup>。

### (二) 高等工程专业教育分类

国际工程联盟跨国执业资格的认定,要求工程师、技师或技术员分别能够从事复杂工程、一般工程或特定工程活动。相应的在工程教育阶段,主要沿袭美国的工程教育专业分类,将4年制、3年制和2年制高等工程教育(高中之后的第3级教育)对应于工程师、工程技师和技术员的教育轨道

(Educational track)<sup>[6]</sup>。

不同的教育轨道,培养不同类型的工程专门人才,对应不同的知识、能力和素养。这集中体现在毕业要求上。国际工程联盟关于这三类学生毕业要求都由12要素组成,但其程度不同。对比毕业要求的不同点,有助于加深认识工程师培养定位的内涵。首先关于知识的要求。对于自然科学、数学、工程基础知识,华盛顿协议(针对工程师教育认证结论互认)要求覆盖整个学科需求,而悉尼协议(针对工程技师教育认证结论互认)则只要求针对子学科的要求,可以理解为仅需覆盖某个专业领域。对于工程设计,华盛顿协议要求针对完整的工程业务,其应包括技术、资源、信息和社会因素等,悉尼协议则只针对技术应用的工程业务。华盛顿协议要求学生能够运用从全学科的研究文献所挑选出的知识,而悉尼协议要求的则是技术类文献。对于技术、资源、现代工程和信息技术手段等,两者都要求具有选择和应用能力,但华盛顿协议增加了开发能力的要求,并放在首位。对于个人和团队的关系,华盛顿协议要求具备多学科背景下承担团队成员或领导角色的能力,悉尼协议则没有多学科背景的要求。可以看出,对工程师教育而言,其知识和能力不同于技师教育的要求,凸显在全学科、多学科的宽度和创造性、研究性的深度方面。这正对应了复杂工程问题的特征和解决复杂工程问题的需要。

### (三) 工程师任职资格能力框架与毕业要求的关系

国际职业工程师协定(International Professional Engineer Agreement, IPEA)对工程师任职资格能力的要求包含13个要素,分别是:(1)理解和应用作为工程实践基石的通用原理的最新知识;(2)理解和应用作为专业领域工程实践基础的一般原理的最新知识;(3)界定、研究和分析复杂工程问题;(4)设计和开发针对复杂工程问题的解决方案;(5)评估复杂工程活动的处理结果和影响;(6)合理预见复杂工程活动对社会、文化和环境的作用,考虑可持续发展的需要,认识保护社会是最高责任;(7)符合法律和规范,在工程活动中保护公众健康和安全;(8)遵守职业道德;(9)能够管理一项或多项复杂工程活动中的部分或整体;(10)在工程活动中能清晰地与他人沟通;(11)进行持续职业发展的活动以保持和拓展自身能力;(12)识别复杂性,在互相冲突的需求和不完整的知识条件下评估可选方案,对复杂工程活动进行合理判断;(13)对部分或整个复杂工程活动承担决策责任。

上述13个要素,解决复杂工程问题的综合能力要一直贯穿始终,要求工程师的能力聚焦在从事复杂工程活动的实践中,即能够识别、界定、分析、判断复杂工程问题,设计、开发、选择和执行解决复杂工程问题方案并承担实施、管理的决策责任,以及对复杂工程活动的成效、后果、社会影响进行评价并承担责任。

中国工程教育专业认证通用标准中,工程专业本科生的毕业要求有12项,其内容为:(1)能够将数学、自然科学、工程基础和专业用于解决复杂工程问题;(2)能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理,识别、表达、并通过文献研究分析复杂工程问题,以获得有效结论;(3)能够设计针对复杂工程问题的解决方案,设计满足特定需求的系统、单元(部件)或工艺流程,并能够在设计环节中体现创新意识,考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素;(4)能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究,包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论;(5)能够针对复杂工程问题,开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具,包括对复杂工程问题的预测与模拟,并能够理解其局限性;(6)能够基于工程相关背景知识进行合理分析,评价专业工程实践和复杂工程问题解决方案对社会、健康、安全、法律以及文化

的影响,并理解应承担的责任;(7)能够理解和评价针对复杂工程问题的工程实践对环境、社会可持续发展的影响;(8)具有人文社会科学素养、社会责任感,能够在工程实践中理解并遵守工程职业道德和规范,履行责任;(9)能够在多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色;(10)能够就复杂工程问题与业界同行及社会公众进行有效沟通和交流,包括撰写报告和设计文稿、陈述发言、清晰表达或回应指令,并具备一定的国际视野,能够在跨文化背景下进行沟通和交流;(11)理解并掌握工程管理原理与经济决策方法,并能在多学科环境中应用;(12)具有自主学习和终身学习的意识,有不断学习和适应发展的能力<sup>[5]</sup>。

比较前述对工程师任职能力的要求,可以理解本科工程教育就是为具备工程师能力的人才奠定专业基础,培养其技术能力和非技术能力,使其在毕业后的职业实践中切实担负起解决复杂工程问题的责任。

### 三、“培养工程师”的目标与“成果导向”的工程教育

第一,要解决专业培养目标的定位。首先应明确培养目标是工程师,而非科学家。虽然在某些专业领域某些技术方向上,工程研发的成果可能会导向科学发现和突破,但作为专业明确的培养目标,应是未来能够具体解决实际工程问题的工程师。同样重要的是,作为专业培养目标的工程人才,指向能够从事复杂工程活动的工程师层次的人才,而非处理一般工程问题的工程技师,更非掌握必要技能的工程技术人员。专业认证要求制定明确的“培养目标”,这既是教育“成果”的组成部分,也是“导向”的根源依据,决定了毕业要求究竟应该支撑什么。IPEA的工程能力框架应作为专业制订“培养目标”时的重要参考。

第二,要明确专业培养目标的阶段性要求,以此制定能够支撑培养目标实现的“毕业要求”。目前各院校土木工程专业大多直接搬用认证通用标准中的12条。在真正理解工程专业培养定位的基础上,结合专业实际,制订出既符合一般要求、又体现自身特色的“毕业要求”,是下一步应该完成的任务。

针对“培养工程师”这一目标,毕业要求应包含对解决复杂工程问题能力的培养。引言中提到的困惑,部分源于没有区别“培养”和“具备”这两个不同程度的要求,或者是把培养阶段的“初步具备”能力上升为“完全具备”直接处理实际复杂工程活动的能力;因此,有必要对“能力”水平给予合理的界定。国际工程联盟在说明“毕业要求”的作用时指出,毕业要求主要是考察毕业生在适当的水平上达到工程师任职资格的“潜能”(potential)<sup>[4]</sup>。从工程师任职资格能力框架和毕业要求可以看出,本科阶段是工程师能力培养和准备阶段:要建立对复杂工程问题特征的认识,要掌握解决复杂工程问题所需的宽域知识、现代工具和基本研究方法并进行应用训练,要在模拟实践或接近实践的环境中接触和逐步掌握解决复杂工程问题的方法、过程并学习如何进行评价、比较和价值判断。毕业要求是确保学生具备这样的潜能,能够在毕业后经过更长的工程实践(5年左右)具备工程师任职资格。无视对工程师的要求,不培养学生解决复杂工程问题能力,那肯定不是大家所期待的教育成果;但如果误以为学生毕业就要达到较高水平的从事复杂工程活动的实际能力,也超越了培养阶段的要求,不仅不能达成目标,反而会导向错误,追求表象而忽视内涵。

工程专业本科与专业学位硕士生培养的阶段性差别,从培养目标而言,两者都应指向工程师。

但专业学位硕士生对特定工程领域的专业知识和能力,以及支持特定专业领域的系统理论应有更高层次的把握,实践教学应更接近或参与真实的工程环境,以使其毕业后用较短的实践年限就能具备工程师任职资格;因此,本科阶段的工程教育更偏向于“奠基”性的成果。

第三,要以对知识、能力、素养发展程度的合理把握,建立符合工程师培养要求的课程体系和课程目标。以宽域知识为例,在实践中,工程师需要面对涉及全学科领域的问题,实践中往往有跨学科的问题,紧跟科技发展趋势学习并运用掌握的原理知识解决问题,这就需要有扎实、宽广和具有一定深度的知识基础。这是认证标准强调数学、自然科学和工程基础,规定这类课程最低学分比例的原因。课程设置时,仅从毕业生个体会不会碰到某类学科知识出发,或者不研究本工程领域所依托学科未来发展的可能方向,只是随意将自然科学课程作为满足学分要求的做法,从本质上讲都没有践行“成果导向”理念。在教学实施过程中,只进行单向传授,不对学生进行分析、推理、研究、比较、评价等高阶能力的训练,也是没有立足工程师培养的成果导向。有的专业提到,我们培养应用型人才,毕业生大多面向施工一线,是否就不需要这些知识基础的要求。问题的本质在于,在一些专业的目标愿景里,一提到应用型人才,就自然联想到技能型人才。事实上,按技术人员人才的目标导向,还是按工程师人才的目标向来培养学生,是各个专业首先要清楚的问题。施工工程师面对的工程活动,往往是直接涉及全学科领域、跨学科领域、多种资源条件的相互冲突、社会和环境影响等复杂工程问题。当然工程师人才也要在某种程度上学习和具备必要的技能技术,但这与对技能、技术非常熟练、专注的人才培养要求是不同的。只有成果导向的定位和程度清楚,课程体系设置和课程建设才能科学到位。

第四,要围绕“培养工程师”的目标导向进行教师队伍能力建设。按照专业认证的要求,许多院校正在进行培养目标修订、毕业要求指标点分解、课程体系重构、教学大纲编写和课程目标达成评价等工作。这些工作固然费时费力,但在有许多范本可供参考的条件下,经过一段时间突击可以在形式上完成。而真正把培养工程师任职能力的要求落实到每个教学环节、每门课程,这对教师队伍提出了相当高的能力要求。从目前情况看,院校中存在的教师精力不集中、时间不保证、教学不投入等问题,主要依靠制度和政策途径来解决,而教师“培养工程师”的能力提升,也必须摆上日程。两个突出问题需引起高度重视:一是教师自身的工程实践能力。近年来,众多青年博士加入土木工程专业师资队伍,他们长于建模、计算、实验和论文写作,但缺少工程实践经验,对设计、施工、结构构造、项目过程知之甚少,缺乏亲身体验,难以有效指导课程设计或毕业设计;二是教师的课程组织能力和教学实施能力。无论新老教师,普遍习惯于满堂灌式的单向传授,或者仅停留在低阶问答的“互动式”提问,不善于组织学生通过讨论、分析、研究、评价等进行学习,课程考核简单化,标准答案式考题居于主导地位。为了将“成果导向”的工程师培养理念贯彻到底、落实到位,应制订规划,提高青年教师的工程实践能力,通过培训提升教师的教学能力。

## 四、结语

(1)本科工程专业的“成果导向”教育应该坚持工程师人才培养的目标定位。所谓工程师,是与国际实质等效的能够解决复杂工程问题的工程专业人才。弄清楚复杂工程问题的特征,以及解决复杂工程问题的能力构成要素,是本科培养目标内涵实现国际实质等效的前提。

(2)工程师人才从事复杂工程活动的能力培养是分阶段进行的。本科阶段首先要坚持按照工

程师人才能力培养的核心要求,其次才是着眼于潜力培养。理解能力培养的阶段性和正确把握成果目标的程度要求,合理指导毕业要求的制订、课程体系设置和课程建设实施。

(3)加强教师队伍能力建设是将工程师人才培养目标落到实处的关键。当前需要积极解决青年教师工程实践能力不足和全体教师教学实施能力不足两大突出问题。

(4)中国有500多个土木工程专业点,学校定位、生源和资源条件各不相同,因校制宜,细化解决复杂工程问题能力培养的内涵和途径,是需要进一步探讨的课题,应该摆上专业建设的日程。

#### 参考文献:

- [1]高延伟.中国土建类高等教育发展现状与展望[J].高等建筑教育,2014,23(2):1-3.
- [2]陈以一,何若全.掌握新标准、贯彻新理念,持续推进土木工程专业教学改革[M]//陈以一,何若全,赵程.实践“成果导向”提升专业教学质量.上海:同济大学出版社,2019.
- [3]IEA:25 years Washington Accord[EB/OL].<http://www.ieagrements.org/>.
- [4]IEA:Graduate Attributes and Professional Competencies[EB/OL].<http://www.eagrements.org/>.
- [5]中国工程教育专业认证协会:工程教育认证标准[EB/OL].<http://mee.cmec.org/>.
- [6]吴蓝迪,张炜.国际工程联盟(IEA)工程人才质量标准比较及其经验启示[J].高等工程教育研究,2018(2):111-118.

## Undergraduate engineering program should aim at education for engineers: outcome-based engineering education certification and undergraduate professional orientation

CHEN Yiyi, ZHANG Weiping

(College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

**Abstract:** Considering the vagueness of education objective in current civil engineering programs in China, the paper emphasizes the outcome-based engineering education. The classification of engineering activities according to their complexity and corresponding education tracks defined by International Engineering Alliance are compared, and mutual relationship between graduation requirements in professional accreditation of undergraduate engineering education and engineer qualification abilities is discussed. It is suggested that the key issue of undergraduate engineering education must be the development of the ability to solve complex engineering problems, to achieve the substantial equivalence of international program accreditation. Education of the engineers' ability shall be developed step by step, thus the curriculum and course can be provided and developed rationally. It is suggested that measures should be taken to improve teachers' engineering practical ability and teaching ability according to the requirements of outcome orientation.

**Key words:** outcome-based professional education; engineer training objectives; complex engineering problems and activities

(责任编辑 梁远华)