

对毕业要求及其制定的再认识

——工程教育专业认证视角

李志义

【摘要】《华盛顿协议》将毕业要求作为判断工程教育实质等效的基本依据。专业毕业标准的制定是专业认证的“堵点”，是因为基于经验的认识已难以指导认证实践，本文从教育目标分类学、认知理论、工程本质特征、《华盛顿协议》溯源等视角进行再认识，提出了 OBE 教学设计“金字塔”模型，明确了专业毕业要求在教学设计和教学过程中的地位和作用；提出了制定专业毕业要求需遵循“可覆盖”“可评价”和“可落实”三原则，给出了每项原则制定专业毕业要求的关键；提出了毕业要求标准结构模型并阐释了内涵及其关系；运用教育目标“动词+名词”结构分析法对毕业要求标准“要素”进行了分析。

【关键词】工程教育 毕业要求 专业认证

一、引言

2013 年《华盛顿协议》(Washington Accord) 制定的毕业要求框架(简称 WA 毕业要求)，作为评估成员专业认证具有实质等效的基本依据，要求成员和预备成员必须制定毕业要求标准，该标准与《华盛顿协议》毕业要求框架实质等效，同时要求参加工程教育认证的专业根据该标准制定专业毕业要求。

我国《工程教育认证标准(2017 年 11 月修订)》指出：专业必须有明确、公开、可衡量的毕业要求，毕业要求应能支撑培养目标的达成。专业制定的毕业要求应完全覆盖毕业要求标准。《工程教育认证通用标准解读及使用指南(2020，试行)》对专业毕业提出“明确、公开、可衡量、支撑、覆盖”的要求。“可衡量”指学生通过本科阶段学习能获得毕业要求所描述的能力和素养(可落实)，且该能力和素养可通过学生学习成果和表现判定其达成情况(可评价)。“覆盖”指专业毕业要求在广度上应能完全覆盖标准中 12 项毕业要求涉及的内容，描述的学生能力和素养程度上不低于 12 项标准的基本要求。“明确、可衡量、覆盖、支撑”要求，都可通过专业分解的毕业要求指标点来考查。

然而，专业认证实践显示，专业毕业要求的制

定在“可衡量”和“全覆盖”上很少不出问题，成为专业认证的“堵点”。目前基于经验的“实然”认识的毕业要求，已难以指导认证实践，必须进行学术“应然”分析和把握。如何正确理解和把握 WA 毕业要求、标准毕业要求及专业毕业要求的内涵及其关系？如何制定出体现 OBE 教育理念且满足“可衡量”“全覆盖”的专业毕业要求？本文试图从教育目标分类学、工程本质特征、《华盛顿协议》溯源和工程教育专业认证实践等维度，探寻这些问题的答案。

二、毕业要求的相关概念

正确理解知识层次、复杂工程活动和复杂工程问题的概念，对于正确把握毕业要求内涵、制定专业毕业要求非常重要。

(一) 知识层次(knowledge profile)。

符合《华盛顿协议》要求的认证专业提供的知识层次见表 1。^[1]层次是相对《悉尼协议》和《都柏林协议》而言的，三个协议对认证专业的知识结构提出了不同层次的要求：《华盛顿协议》主要面向修业年限 4~5 年的专业(相当于我国大学本科专业)；《悉尼协议》主要面向修业年限 3~4 年的专业(大致相当于我国高等职业教育专业)；《都柏林协议》主要面向修业年限 2~3 年的专业(大致相当于我国中等职业教育专业)。

收稿日期：2020-07-20

作者简介：李志义，大连理工大学教授、博士生导师。

表 1 《华盛顿协议》要求认证专业的知识层次

代号	涉及方面	知识层次
WK1	自然科学知识	对本(一级)学科相关自然科学有系统的、理论基础上的理解
WK2	数学与计算机知识	基于概念的数学、数值分析、统计学及计算机和信息科学方面的知识,以支持适用于本(一级)学科的分析 and 建模
WK3	工程基础知识	本(一级)工程学科所需的系统的、基于理论的工程基础知识
WK4	专业知识	工程专业知识,为本(一级)工程学科公认的实践领域提供理论框架和知识体系;许多知识处于学科前沿
WK5	工程设计知识	支持实践领域工程设计的知识
WK6	实践知识	本(一级)工程学科专业领域的工程实践(技术)知识
WK7	工程与社会知识	理解工程在社会中的作用,确定本学科工程实践的问题;工程师对公共安全的道德和职业责任;工程活动的影响:经济、社会、文化、环境和可持续发展
WK8	基于研究的知识	处理本学科研究文献所选的知识

由表 1 可见,对于 WK1-WK4、WK6,《华盛顿协议》要求的知识领域范围是一级学科;对于 WK5, WK7 和 WK8《华盛顿协议》着眼于工程层面。

(二) 复杂工程活动(complex activities)。

复杂工程活动指包括表 2 所列的几方面或全部特征的工程活动或工程项目。^[1]三个协议对工程活动提出了不同要求:《华盛顿协议》针对的是复杂工程活动,《悉尼协议》针对的是广义工程活动(broadly-defined activities)、《都柏林协议》针对的是狭义工程活动(well-defined activities)。

表 2 复杂工程活动特征

代号	涉及方面	活动特征
EA1	资源范围	涉及多种资源(人员、金钱、设备、材料、信息和技术)的使用
EA2	交互程度	需要解决因广泛或相互冲突的技术、工程或其他问题间的相互作用而产生的重大问题
EA3	创新程度	以新颖方式创造性应用工程原理和基于研究的知识
EA4	社会和环境的影响	在难以预测和难以克服为特点的环境下,取得重要成果
EA5	精通程度	应用基于原理的方法,能超越现有经验

由表 2 可见,复杂工程活动涉及多种资源的使用,需要解决既交互又冲突的重大问题,涉及应用工程原理、基于研究的知识创新,需要在难以预测和难以克服为特点的环境下取得重要成果,要能够超越现有经验。

(三) 复杂工程问题(complex engineering problems)。

复杂工程问题指包括表 3 所列 WP1 的特征及 WP2-WP7 的几方面或全部特点的工程问题。^[1]三个协议对工程问题提出了不同要求:《华盛顿协议》针对的是复杂工程问题,《悉尼协议》针对的是广义工程问题(Broadly-defined Problems)、《都柏林协议》针对的是狭义工程问题(Well-defined Problems)。

表 3 复杂工程问题特征

代号	涉及方面	工程问题特征
WP1	知识深度要求	工程知识深度未达到 WK3、WK4、WK5、WK6 或 WK8(表 1)的某一方面或多方面情况下就无法解决,这些知识需要基于基本原理的第一原则分析方法
WP2	需求冲突范围	涉及广泛或相互冲突的技术、工程和其他问题
WP3	分析深度要求	没有明确的解决方案,需要抽象的思维、独创性分析制定合适的模型
WP4	问题熟悉程度	涉及不经常遇到的问题
WP5	适用规范的范围	专业工程标准和实践规范不能涵盖的问题
WP6	对利益相关者影响程度及冲突需求	涉及不同利益相关群体及各种不同需求
WP7	相互依存性	高阶问题,包括多个组成部分或子问题

由表 3 可见,复杂工程问题强调的是知识的基础性和深度,涉及广泛或相互冲突的问题,涉及没有明确解决方案的问题,涉及不经常遇到的问题,超出了专业工程标准和实践规范涵盖的范围,涉及各种利益相关群体的不同需求,是高阶问题。

需要特别强调正确理解“解决复杂工程问题”。国际工程联盟(IEA)在《华盛顿协议》25 年庆典撰文中指出^[2]:工程师的决定性特征是需具备处理复杂性和不确定性的工作能力,因为没有真正的工程项目或工程任务与其他项目或任务完全相同(否则解决方案可简单地购买或复制)。因此,WA 毕业要求将复杂工程问题和解决复杂问题作为中心概念。据此,我们对复杂工程问题有以下理解^[3]:首先,复杂工程问题的核心问题是教育层次。《华盛顿协议》主要针对“工程师”培养的认证,《悉尼协议》则针对“工程技术专家”培养的认证。三个协议的毕业要求分别基于不同知识层次(见表 1),而不同知识层次又分别基于不同的解决工程问题的范围,即复杂工程问题、广义工程问题和狭义工程问题。解决工程问题的范围主要取决于教育层次,教育层次主要取决于修业年限与知识的深度与广度,知识的深度主要取决于是

基于自然科学(满足《华盛顿协议》的要求)还是基于技术科学(满足《悉尼协议》的要求),知识的广度主要取决于基于一级学科(满足《华盛顿协议》要求)还是基于二级学科(满足《悉尼协议》的要求)。其次,复杂工程问题不是教学内容。目前的专业认证实践中,有的专业仍然把复杂工程问题当成教学内容,甚至设置解决复杂工程问题的专门教学环节。应强调的是,要将改进教学方法(如增加问题的复杂性、强调解的不确定性等)与“增加解决复杂工程问题的教学内容”区分开来,复杂工程问题是教育背景而非教学内容,学校只能培养学生解决复杂工程问题的知识基础、意识和初步能力,解决复杂工程问题的能力需要在职业实践中不断提高与完善。

三、专业毕业标准的制定

下面主要从成果导向的教学设计、毕业要求的制定原则和标准毕业要求的要素分析三方面,来探讨如何制定一个符合标准的专业毕业要求。

(一) 成果导向的教学设计。

制定毕业要求是成果导向(OBE)教学设计的重要环节。正确把握它在教学设计和教学过程中的地位与作用,是制定毕业要求的前提。

成果导向教学设计遵循反向设计原则。^[4]反向设计是针对正向设计而言的。正向设计是传统课程遵循的教学设计原则:首先,按学科知识逻辑结构构建课程体系;然后,按该课程体系预期教学目标确定毕业要求,再根据该毕业要求确定培养目标。由课程体系决定的培养目标,对国家、社会和行业、用人单位等外部需求只能“适应”,很难完全“满足”,这是课程导向教育的弊端。反向设计是从需求开始,由需求决定培养目标,再由培养目标决定毕业要求,再由毕业要求决定课程体系。因此,成果导向教育是反向设计、正向实施,“需求”既是起点又是终点,从而最大程度保证了教育目标与教育结果的一致性。

反向设计环节及其逻辑关系可用“金字塔”模型说明(见图1)。

首先,根据内外需求确定培养目标。外部需求包括国家、社会及教育发展需要,行业、产业发展及职场需求,学生家长及校友期望等;内部需求包括学校定位及发展目标,学生发展及教职员工期望等。内外需求与培养目标的对应关系是:前者是确定后者的依据,后者与前者相适应。其次,根据培养目标确定毕业要求。培养目标与毕业要

求的关系是:前者是确定后者的依据,后者支撑前者达成。再次,根据毕业要求确定课程目标。毕业要求与课程目标的关系是:前者决定后者,后者要支撑前者达成。

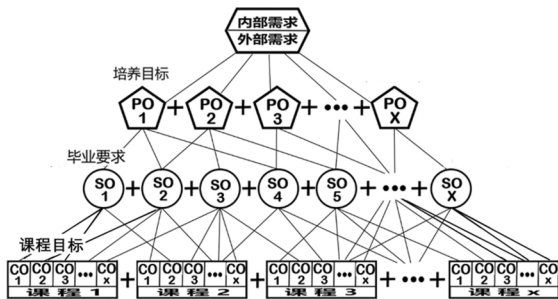


图1 成果导向教育教学设计“金字塔”模型

现阶段工程教育专业认证实践中,有的专业教学设计不是成果导向,而是“标准导向”。首先,按专业认证标准毕业要求制定专业毕业要求;然后,以专毕业要求为核心进行“双向”设计:其一是按成果导向反向设计依次确定指标点、课程体系、课程目标和教学内容;另一是按课程导向教育正向设计确定培养目标。本文关于确定毕业要求的论述都以图1所示成果导向教育教学设计“金字塔”为前提。

(二) 专业毕业要求的制定原则。

专业毕业要求的制定首先要满足成果导向教育反向设计的逻辑关系。在此前提下,专业毕业要求的制定要遵循“可覆盖”“可评价”和“可落实”原则。

1. “可覆盖”原则。

“可覆盖”指制定的专业毕业要求能覆盖专业认证的标准毕业要求。毕业要求有三个层次:《华盛顿协议》的毕业要求(WA毕业要求)、协议成员工程教育认证标准的毕业要求(标准毕业要求)和参与认证的专业的毕业要求(简称专业毕业要求)。WA毕业要求从毕业生应掌握、应展示的技能和应拥有的态度方面为其成员制定认证标准提供了参考,它本身不作为认证“国际标准”。WA毕业要求提供了标准毕业要求的制定框架,具有通用性,是广泛接受的最低要求。标准毕业要求须覆盖WA毕业要求,专业毕业要求须覆盖标准毕业要求。

关键是如何理解“覆盖”的内涵。我国《工程

教育认证通用标准解读及使用指南(2020 版,试行)》要求“覆盖”从广度和程度两方面考虑:

广度上,首先要明确 WA 毕业要求和标准毕业要求的广度。WA 毕业要求是按学生完成专业教育的认知、态度和行为三个维度构建的。^[5] 认知(应掌握什么)维度在传统工程教育中占主导地位,传授的主要是陈述性低阶知识,即关于是什么(事实性)、为什么和怎么样(原理性)的知识。^[6] 态度(如何看待)维度被冷落,培养的工程师能力倾向主要是“会不会做”,忽视了“该不该做”(取决于个人道德品质和价值取向)、“可不可做”(取决于社会、环境、文化等外部约束)和“值不值做”(取决于经济与社会效益)。行为(能做什么)维度在现代工程教育中越来越受到重视。行为可理解为个人对外部或内部刺激的行动或反应,行为被视为学生通过教育干预所学知识的表现(即应用),实质是学生具备的能力。教师容易观察学生对知识的应用。行为维度的重要性在于:知识不仅要被获得,更重要的是在相关背景下被应用。^[5] 正因如此,WA 毕业要求将认知维度要求转换为行为维度要求。要满足行为维度要求,首先要满足认知维度要求。行为维度涉及的是程序性和策略性的高阶知识。程序性知识是关于如何做的知识、关于解决问题思维过程的知识、关于如何实现从已知状态向目标状态转化的知识,是动态的知识;策略性知识是关于如何学习和如何思维的知识。^[6]

WA 毕业要求和标准毕业要求关于广度的描述较笼统,给专业毕业要求的制定留足了空间。如 WA 毕业要求 3.1“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。”其数学、自然科学包括哪些内容取决于要解决什么样的复杂工程问题;解决什么样的复杂工程问题取决于专业的内涵与特色。如我国工程教育认证《电子信息与电气工程类专业补充标准》规定数学包括离散数学,因为这类专业面对的复杂工程问题包括离散系统分析;《化工与制药类、生物工程类及相关专业补充标准》规定数学包括线性代数,因为这类专业面对的复杂工程问题包括化工/生物过程的建模与求解。也就是说,电子信息与电气工程类专业可不开设线性代数,因为他们基本不涉及化工/生物过程分析;化工与制药类、生物工程类专业可不开设离散数学,因为这他们基本不涉及离散系统分析。

WA 毕业要求和标准毕业要求关于程度未做明确要求。《华盛顿协议》指出参加认证的专业需根据标准毕业要求制定专业毕业要求,由程度性描述来支撑。^[1] 如化工与制药类、生物工程类专业线性代数要学多深,标准没有要求,取决于专业人才培养定位。如果培养研究型人才应学得足够深,如果培养应用型人才则适当了解就可以。《华盛顿协议》特别指出^[1],尽管 12 条 WA 毕业要求都重要,但每条不必等权重;其每条描述时可扩展和特别强调,但不能有实质性改变或忽视其要素。即“覆盖”主要看“有没有”(广度)而不是“深不深”(程度)。

怎样才能实现广度上的“覆盖”呢?制定专业毕业要求怎样才能做到不实质性改变 WA 毕业要求和标准毕业要求呢?关键是要把握每项毕业要求的内涵,正确识别其“要素”。^[7] 只要“要素”不被忽视,就能达到“覆盖”要求。专业毕业要求的“覆盖”,就是必须包括标准毕业要求的所有“要素”。

2. “可评价”原则。

“可评价”指确定的专业毕业要求能通过评价证明其是否达成。怎样使专业毕业要求可评价?首先,我们分析毕业要求的结构。

培养目标、毕业要求和课程目标统称为教育目标,层次上依次称宏观、中观和微观教育目标。“表述教育目标的最好方式是使用短语,该短语要表明学生需要发展的行为种类,同时表明行为在其中产生作用的内容”。^[8] 描述目标有两个关键词即行为和内容。Anderson 认为^[9],上述关键词“行为”应用“动词”表达、“内容”应用“名词”表达。即教育目标表述要包括“动词”和“名词”。“动词”表达预期的认知过程,“名词”表达学生预期获得或构建的知识。^[9] “名词”包括具有名词作用的句子或定语修饰的短语。如我国工程教育认证标准毕业要求 3.1“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”,“动词”是“应用”,“解决”在 WA 毕业要求中表述成名词(见表 5),作为目标的名词短语是“数学、自然科学、工程基础和专业用于解决复杂工程问题”,“解决复杂工程问题”是目的性修饰语,用来限定“数学、自然科学、工程基础和专业用于解决复杂工程问题”的广度与深度。不同专业面临的复杂工程问题是不同的,因而需要的“数学、自然科学、工程基础和专业用于解决复杂工程问题”也不同。过程装备与控制工程专业主要为了分析和求解过程设备或

零部件的强度,需要的数学知识主要是微积分、微分方程和数值分析等,标准毕业要求 3.1 包含的“要素”之一是“应用数学知识”,将该“要素”表述为教育目标结构(动词+名词),就构成专业毕业要求(过程装备与控制工程专业)“绩效标准”(指标点),即能将微积分、微分方程和数值分析等数学知识应用于分析和求解过程设备或零部件的强度。

指标点指把学生应具备的能力项目(专业毕业要求)转化为可观察评价的具体行为,借此反映学生的学习产出。^[10] Rogers 指出:指标点聚焦于专业毕业要求的特定预期产出,借此可拟定授课策略与评价程序;二者主要差异在于,专业毕业要求一般提供比较笼统的信息,难以评价,而指标点源自专业毕业要求,由此形成具体可评价的预期产出,即学生经历专业教育后应能表现的具体行动。^[11] 即指标点是专业毕业要求的具体化和可评价化。

要使专业毕业要求“可评价”,就要将其进一步描述成指标点。确定指标点应遵循 2 个原则:一是关联性,二是准确性。^[12]

关联性包括对应性、不可逆性及不可复制性。对应性是指指标点与专业毕业要求应有明确对应关系。一般一项专业毕业要求要描述成若干指标点。不可逆性指专业毕业要求与指标点的对应关系是不可逆的,即一项专业毕业要求可描述为若干指标点,但一个指标点不可对应多项专业毕业要求。不可复制性是指指标点不应直接复制专业毕业要求,指标点应以更具体、明确、可评价的方式表述。

准确性是指指标点呼应专业毕业要求的精准度,这很大程度取决于表述指标点所用的动词。Anderson 将 Bloom 认知分成记忆、理解、应用、分析、评价、创造等 6 个认知过程维度^[9],明确各维度的内涵及其所用的动词(见表 4)有助于准确使用动词描述指标点。

3. “可落实”原则。

可落实指确定的专业毕业要求能落实到课程体系,最终由课程教学(课程目标)支撑和实现(见图 1)。由于指标点是将专业毕业要求的具体化和可评价化,因此专业毕业要求的可落实性也体现于指标点。要使专业毕业要求指标点可落实,关键在于其描述是否恰当反映专业特色,这主要取决于描述指标点所用的“名词”。

表 4 不同认知过程维度及其所用动词示例

认知维度	内涵	推荐动词
记忆	能长时间保留和回忆相关知识	了解、认识、界定、复述、重复、描述
掌握	能概括口头、书面和图形信息的真正意义	掌握、比较、推论、解释、论证、预测
应用	能用新的方式使用信息	应用、执行、实施、开展、推动、操作
分析	能区别每个局部,找出他们之间及每个局部与整体间的联系	分析、辨别、解构、重构、整合、选择
评价	能作出判断和正确的决定	评价、检查、判断、批判、鉴赏、协调
创造	能将各种单元组合成具有特定功能的整体、创造出新产品或形成新观点	开发、建立、制定、解决、设计、规划

用“名词”准确体现专业特色,是一项非常专业化的工作。过程装备与控制工程专业将标准毕业要求 3.1 的相应专业毕业要求指标点描述为“能够将微积分、微分方程和数值分析等数学知识应用于分析和求解过程设备或零部件的强度”,是因为该专业应用数学解决的复杂工程问题是过程设备或零部件的强度,后者准确体现了专业特色。指标点体现的专业特色越准确、越具体,就越好落实。如指标点显然落实到高等数学、数值分析和压力容器设计三门课。落实到某门课,就是该门课制定的课程目标能支撑该指标点。高等数学课程目标之一可表述为:掌握微分方程解析求解和对解的性质进行分析的方法;数值分析课程目标之一可表述为:掌握微分方程数值求解方法;压力容器设计课程目标之一可表述为:应用高等数学和数值分析方法,建立过程设备或零部件应力分析数学模型,并进行解析或数值求解。

目前参与认证的专业制定毕业要求时的共同困惑是,很难反映专业自身的特点。面对标准毕业要求,专业能做的是在“复杂工程问题”前面加“某专业领域”的定语,如机械工程领域复杂工程问题、化学工程领域复杂工程问题、电气工程与自动化专业领域复杂工程问题等。这样一来,全国高校某一专业(甚至专业类)毕业要求基本相同。由于毕业要求基本相同,毕业要求支撑的培养目标也基本相同,毕业要求分解的指标点也基本相同,支撑指标点的课程也基本相同,课程目标与教学内容也基本相同,以至于不同高校用几乎相同的培养方案和教学大纲培养同一专业的学生。专业教育同质化成了必然结果!

四、标准毕业要求的“要素”分析

专业毕业要求要“覆盖”标准毕业要求,就必

表 5 标准/WA 毕业要求及其“要素”示例

代号	标准毕业要求	相应于 WA 毕业要求	毕业要求“要素”
3.1	工程知识: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。	Engineering Knowledge: <i>Apply</i> knowledge of mathematics, natural science, engineering fundamentals and an engineering specialization as specified in WK1 to WK4 respectively to the solution of complex engineering problems.	(1) 应用数学知识;(2) 应用自然科学知识;(3) 应用工程基础知识;(4) 应用专业知识。
3.2	问题分析: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。	Problem Analysis: <i>Identify, formulate, research literature and analyse</i> complex engineering problems reaching substantiated conclusions using first principles of mathematics, natural sciences and engineering sciences. (WK1 to WK4)	(1) 识别问题;(2) 定义与抽象问题;(3) 研究文献;(4) 分析问题。
3.3	设计/开发解决方案: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,能够在设计环节体现创新意识,考虑社会、健康、安全、法律、文化及环境等因素。	Design/Development of Solutions: <i>Design</i> solutions for complex engineering problems and <i>design</i> systems, components or processes that meet specified needs with appropriate consideration for public health and safety, cultural, societal, and environmental considerations. (WK5)	(1) 设计解决方案;(2) 设计系统;(3) 设计单元(部件)设计/工艺流程。
3.4	研究: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。	Investigation: <i>Conduct</i> investigations of complex problems using research-based knowledge (WK8) and research methods including <i>design</i> of experiments, <i>analysis and interpretation</i> of data, and <i>synthesis</i> of information to provide valid conclusions.	(1) 设计实验;(2) 开展实验;(3) 分析与解释数据;(4) 综合信息。
3.5	使用现代工具: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,能够对复杂工程问题的预测与模拟,能够理解其局限性。	Modern Tool Usage: <i>Create, select and apply</i> appropriate techniques, resources, and modern engineering and IT tools, including <i>prediction and modelling</i> , to complex engineering problems, with an understanding of the limitations. (WK6)	(1) 开发现代工具;(2) 选择现代工具;(3) 使用现代工具。
3.6	工程与社会: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、法律及文化的影响,理解应承担的责任。	The Engineer and Society: <i>Apply</i> reasoning informed by contextual knowledge to <i>assess</i> societal, health, safety, legal and cultural issues and the consequent responsibilities relevant to professional engineering practice and solutions to complex engineering problems. (WK7)	(1) 评价社会问题;(2) 评价健康问题;(3) 评价安全问题;(4) 评价法律问题;(5) 评价文化问题;(6) 评价相关责任。
3.7	环境和可持续发展: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。	Environment and Sustainability: <i>Understand and evaluate</i> the sustainability and impact of professional engineering work in the solution of complex engineering problems in societal and environmental contexts. (WK7)	(1) 理解可持续性及其影响;(2) 评估可持续性及其影响。
3.8	职业规范: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。	Ethics: <i>Apply</i> ethical principles and <i>commit</i> to professional ethics and responsibilities and norms of engineering practice. (WK7)	(1) 运用道德原则;(2) 遵守职业道德;(3) 履行道德责任;(4) 遵守工程规范。
3.9	个人和团队:能够在多学科背景团队中承担个体、团队成员及负责人的角色。	Individual and Teamwork: <i>Function</i> effectively as an individual, and as a member or leader in diverse teams and in multi-disciplinary settings.	(1) 作为个体发挥作用;(2) 作为成员发挥作用;(3) 作为领导者发挥作用。
3.10	沟通: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。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。	Communication: <i>Communicate</i> effectively on complex engineering activities with the engineering community and with society at large, such as being able to <i>comprehend and write</i> effective reports and <i>design</i> documentation, <i>make</i> effective presentations, and <i>give and receive</i> clear instructions.	(1) 与同行沟通;(2) 与公众沟通;(3) 撰写报告;(4) 设计文稿;(5) 陈述发言;(6) 表达或回应指令;(7) 有国际视野;(8) 跨文化交流。
3.11	项目管理:理解并掌握工程管理原理与经济决策方法,能在多学科环境中应用。	Project Management and Finance: <i>Demonstrate</i> knowledge and understanding of engineering management principles and economic decision-making and <i>apply</i> these to one's own work, as a member and leader in a team, to manage projects and in multidisciplinary environments.	(1) 理解并掌握工程管理原理;(2) 理解并掌握经济决策方法;(3) 应用于管理项目和多学科环境。
3.12	终身学习: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。	Lifelong Learning: <i>Recognize</i> the need for, and <i>have</i> the preparation and ability to engage in independent and life-long learning in the broadest context of technological change.	(1) 有终身学习意识;(2) 有终身学习准备;(3) 有终身学习能力。

须包括标准毕业要求的所有“要素”。为使专业毕业要求可评价和可落实,就要选用恰当的“动词”和反映专业特色的“名词”将“要素”表述成指标点。因此,正确识别标准毕业要求“要素”是制定专业毕业要求的关键。表 5 给出了标准/WA 毕

业要求及其“要素”示例。识别标准/WA 毕业要求“要素”,需要深入的文献研究和工程教育实践知识,表 5 所列标准/WA 毕业要求“要素”只是示例,目的不是追求示例正确性,更不是将其作为样板,而是提供识别标准毕业要求“要素”的思路。

(一) 标准毕业要求的整体结构。

标准毕业要求整体结构分析,有助于对 12 项毕业要求的内在联系及其内涵的总体把握和深刻理解。“设计是工程的^[13]心脏”。我们构建了反映标准毕业要求 3.1-3.12(表 5)各条间逻辑关系的“543”结构模型(图 2)。其中,“5”指 5 项专业技术能力,包括标准毕业要求 3.1 工程知识、3.2 问题分析、3.3 设计/开发解决方案、3.4 研究和 3.5 使用现代工具;“4”指 4 项约束处置能力,包括标准毕业要求 3.6 工程与社会、3.7 环境和可持续发展、3.8 职业规范和 3.11 项目管理;“3”指 3 项非技术能力,包括标准毕业要求 3.9 个人和团队、3.10 沟通和 3.12 终身学习。

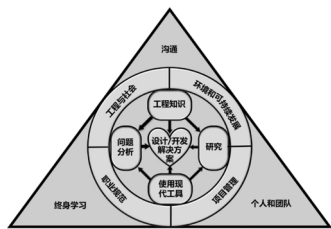


图 2 标准毕业要求“543”结构模型

图 3 给出了工程设计典型流程。^[13] 工程设计的特征是开放性,任何一个设计不可能只有一种方案,设计者须对多个方案进行比较和权衡,选出较好方案。初步设计前,须进行方案分析与比较,包括选择设计策略和收集设计信息等(见图 3),即标准毕业要求 3.2 问题分析是 3.3 设计/开发解决方案前端必要环节。原型设计和定型设计完成后,一般要通过试验研究进行设计确认(见图 3),即标准毕业要求 3.4 研究是 3.3 设计/开发解决方案后端必要环节。工程设计离不开工程知识和现代工具作支撑,因此,毕业要求 3.1 工程知识和 3.5 使用现代工具是 3.3 设计/开发解决方案的基础,同时也是 3.2 问题分析和 3.4 研究的基础。标准毕业要求 3.1-3.5 构成专业技术能力,决定了“会不会做”。标准毕业要求 3.6 工程与社会、3.7 环境和可持续发展、3.8 职业规范和 3.11 项目管理是工程设计(3.3 设计/开发解决方案)的约束条件。这些约束条件使其具有复杂工程活动特征(见表 2),决定了“该不该做”(3.8 职业规范)、“可不可做”(3.6 工程与社会和 3.7 环境和可持续发展)和“值不值做”(3.11 项目管理)。工

程活动的复杂性和挑战性就在于需处置这些广泛交互、相互冲突的工程约束。如果说标准毕业要求“543”结构模型中“5”体现的是个人的专业水平与能力,那么“4”体现的是个人的工程意识与能力。3.9 个人和团队、3.10 沟通和 3.12 终身学习被称为“非技术能力”,是开展复杂工程活动必备的个人素养。设计是人主导的复杂工程活动,这 3 项毕业要求是支撑其余 9 项毕业要求的“铁三角”(见图 2)。有学者认为标准毕业要求 3.6、3.7、3.8 和 3.11 属于非技术能力,值得商榷。事实上,对于复杂工程活动而言,这些能力不仅需要个人修养,更需要很强的技术支撑。

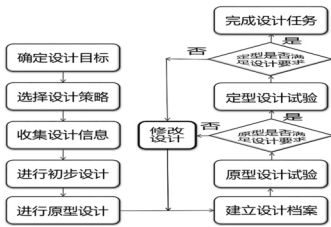


图 3 工程设计的典型流程

(二) 标准毕业要求 3.1“要素”分析。

教育目标“动词+名词”结构分析,提供了标准毕业要求“要素”分析的基本方法。首先依据表 4 找出标准毕业要求核心“动词”,然后找出相应的核心“名词”,由核心“动词+名词”构成该项标准毕业要求的“要素”。标准毕业要求 3.1 的“动词”是 apply(表 5 斜体表示,下同),与核心“动词”关联的核心“名词”为 knowledge 又细化为 mathematics、natural science、engineering fundamental 和 engineering specialization。这几方面知识层次要求见表 1 的 WK1-WK4,这些知识涉及的是基本概念、基本原理和基本方法。标准毕业要求 3.1 的“要素”应是:① 应用数学知识,② 应用自然科学知识,③ 应用工程基础知识,④ 应用专业知识。“解决复杂工程问题”是目的性修饰语,限定“数学、自然科学、工程基础和专业知识”的广度与深度。尽管标准毕业要求 3.1 在 Bloom 认知过程维度中处于“应用”维度(见表 5),但根据认知过程特征,“应用”的前提是“记忆”和“掌握”,三者密不可分,他们同属低阶认知活动。低阶认知活动获得的是低阶知识,也是 WA 毕业要求将其用主题词“工程知识”进行概括的原因所在。WA

毕业要求的每项都用一个主题词标注(见表 5), 有助于理解其内涵。

专业认证实践中, 标准毕业要求 3.1 的核心“动词”有时被解读成“解决”而不是“应用”。这样, 就将标准毕业要求 3.1 的认知过程维度从“记忆、掌握和应用”层次提升到“创造”层次(见表 4), 使其与标准毕业要求 3.3 处于同一层次。这样理解的直接后果是, 原本低阶知识不得不通过高层次认知活动来实现。

(三) 标准毕业要求 3.2 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.2 的核心“动词”是 identify、formulate、research 和 analyze, 与核心“动词”关联的核心“名词”分别为 problem 和 literature。工程分析是利用数学和自然科学原理对工程问题进行分析从而得到有效结论。^[13]就工程设计而言, 问题分析是在诸多约束条件下, 从多种设计方案中选择出最可行方案的一种工具。^[13]结合“动词+名词”结构分析和 3.2 问题分析的内涵, 标准毕业要求 3.2 的“要素”应该是: (1) 识别问题; (2) 定义与抽象问题; (3) 研究文献; (4) 分析问题。其中“应用数学、自然科学和工程科学的基本原理”“复杂工程问题”和“获得有效结论”等是修饰语。修饰语并非不重要, 更不能忽略, 只是其地位与作用与“要素”不同。标准毕业要求的“要素”决定了毕业要求的广度, 修饰语与核心“名词”一起决定了毕业要求的深度和专业特色。“应用数学、自然科学和工程科学的基本原理”层次要求见表 1 的 WK1-WK4。

与标准毕业要求 3.1 与 3.2 相反, “应用”在前者是核心“动词”, 而在后者则是修饰语的成分。正确区分这一点对于制定专业毕业要求及其指标点非常重要。

(四) 标准毕业要求 3.3 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.3 的核心“动词”是 design, 与核心“动词”关联的核心“名词”分别为 solution、system、component 或 process, 其“要素”应该是: (1) 设计解决方案; (2) 设计系统; (3) 设计单元(部件)设计/工艺流程。标准毕业要求 3.3 中“针对复杂工程问题”“满足特定需求”“能够体现创新意识”和“考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素”等是修饰语。要指出的是, 这里的设计既包括“硬”设计(系统、单元/部件或流程), 也包括“软”设计(解决方案)。就“硬”设计而言, 有些专业只涉及单元(部件)而不涉及工艺流

程, 有些专业只涉及工艺流程而不涉及单元(部件), 有些专业既涉及单元(部件)又涉及工艺流程。支撑标准毕业要求 3.3 的工程设计知识层次见表 1 的 WK5。

(五) 标准毕业要求 3.4 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.4 的核心“动词”是 design、analyze、interpret 和 synthesize, 虽然 conduct 也以动词形式出现, 由于 design、analyze、interpret 和 synthesize 是对 conduct 的细化, 故 conduct 可不作为核心“动词”。与核心“动词”关联的核心“名词”分别为 experiment、datum 和 information, 其“要素”应该是: (1) 设计实验; (2) 开展实验; (3) 分析与解释数据; (4) 综合信息。标准毕业要求 3.4 “基于科学原理并采用科学方法”“对复杂工程问题”和“得到合理有效的结论”等是修饰语, 借此可确定研究的深度和专业特色。标准毕业要求 3.4 的“基于科学原理并采用科学方法”, WA 毕业要求中的表述是“利用基于研究的知识(WK8)和研究方法”。“基于研究的知识”由表 1 中 WK8 定义为“处理本学科研究文献中所选的知识”, 而“研究方法”与“科学方法”不尽相同。

(六) 标准毕业要求 3.5 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.5 的核心“动词”是 create、select、apply、predict 和 model, 关联的核心“名词”为 tool, 包括技术、资源、现代工程和信息工具。标准毕业要求 3.5 的“要素”应该是: (1) 开发现代工具; (2) 选择现代工具; (3) 使用现代工具。“针对复杂工程问题”“技术、资源、现代工程工具和信息工具”“对复杂工程问题的预测与模拟”和“能够理解其局限性”均为修饰语。

(七) 标准毕业要求 3.6 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.6 的核心“动词”是 assess, 动词 apply 可不列入核心“动词”。与核心“动词”关联的核心“名词”为 societal、health、safety、legal、cultural 和 responsibility。标准毕业要求 3.6 的“要素”应该是: (1) 评价社会问题; (2) 评价健康问题; (3) 评价安全问题; (4) 评价法律问题; (5) 评价文化问题; (6) 评价相关责任。“基于工程相关背景知识进行合理分析”和“专业工程实践和复杂工程问题解决方案”等为修饰语。标准毕业要求 3.6 涉及的知识层次见表 1 的 WK7。

(八) 标准毕业要求 3.7 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.7 的核心“动词”是 under-

stand 和 evaluate,与核心“动词”关联的核心“名词”为 impact。标准毕业要求 3.7 的“要素”应该是:(1)理解可持续性及其影响;(2)评估可持续性及其影响。“针对复杂工程问题的工程实践”为修饰语。标准毕业要求 3.7 涉及的知识层次见表 1 的 WK7。

(九) 标准毕业要求 3.8 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.8 的核心“动词”apply 和 commit,与核心“动词”关联的核心“名词”为 principle、ethics、responsibility 和 norm。标准毕业要求 3.8 的“要素”应该是:(1)运用道德原则;(2)遵守职业道德;(3)履行道德责任;(4)遵守工程规范。“具有人文社会科学素养”为修饰语。标准毕业要求 3.8 涉及的知识层次见表 1 的 WK7。

(十) 标准毕业要求 3.9 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.9 的核心“动词”是 function,与核心“动词”相关联的核心“名词”为 individual、member 和 leader。标准毕业要求 3.9 的“要素”应该是:(1)作为个体发挥作用;(2)作为成员发挥作用;(3)作为领导者发挥作用。“能够在多学科背景下的团队中”为修饰语。WA 毕业要求相应表述是:“作为个体,作为成员或领导者,在不同的团队和多学科环境中有效地发挥作用”。与标准毕业要求 3.9 的主要区别在于,是否是“多学科背景下的团队”。事实上,本科教育阶段针对全体学生构建“多学科背景下的团队”是不太现实的,认证实践中,专业为满足“多学科背景下的团队”的要求,不得不用类似体育课等有可能让不同专业学生“混搭”的教学环节来支撑,实在是强其所难。

(十一) 标准毕业要求 3.10 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.10 的核心“动词”是 communicate、write、design、make、give 和 receive,其中后面的动词虽然是 communicate 的细化,但据上下文强调关系,将他们也列为核心“动词”。与这些核心“动词”关联的核心“名词”为 community、society、report、documentation, presentation 和 instruction。标准毕业要求 3.10 的“要素”应该是:(1)与同行沟通;(2)与公众沟通;(3)撰写报告;(4)设计文稿;(5)陈述发言;(6)表达或回应指令;(7)有国际视野;(8)跨文化交流。其中(7)和(8)是标准毕业要求是在 WA 毕业要求的基础上附加的。“复杂工程问题”为修饰语。

(十二) 标准毕业要求 3.11 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.11 的核心“动词”是 know 和 understand。尽管名义上的动词是 demonstrate,但其与 knowledge 和 understanding 组合后,形成了事实上的核心“动词”know 和 understand。与这些核心“动词”关联的核心“名词”为 principle、decision-making、project 和 environment。标准毕业要求 3.11 的“要素”应该是:(1)理解并掌握工程管理原理;(2)理解并掌握经济决策方法;(3)应用于管理项目和多学科环境。

(十三) 标准毕业要求 3.12 的“要素”分析。

标准毕业要求 3.12 的核心“动词”是 recognize 和 have。与这些核心“动词”关联的核心“名词”为 need、preparation 和 ability。标准毕业要求 3.12 的“要素”应该是:(1)有终身学习意识;(2)有终身学习准备;(3)有终身学习能力。

本文的分析及其结论,有的与基于经验的“当然”认识存在差别甚至矛盾与冲突,本文目的不是追问孰对孰错,而是试图提供一种认识视角和途径,以便更加深刻地把握;有的与我国《工程教育认证标准(2017 年 11 月修订)》及《工程教育认证通用标准解读及使用指南(2020 版,试行)》不尽相符,本文并不是为了评价标准,而是试图为标准修订提供一种思考方式。这些“不符”只是分析视角不同而致,标准修订之前须按原标准执行。

参 考 文 献

- [1] International Engineering Alliance. Graduate Attributes and Professional Competencies[EB/OL]. (2013-06-21)[2020-07-25]. <http://www.ieagrements.org>.
- [2] International Engineering Alliance. 25 Years of the Washington Accord: Celebrating international engineering education standards and recognition 1989-2014 [EB/OL]. [2020-07-25]. <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/History/25YearsWashingtonAccord-A5booklet-FINAL.pdf>.
- [3] 李志义. 对我国工程教育专业认证十年的回顾与反思之二: 我们应该防止和摒弃什么[J]. 中国大学教学, 2017(1):8-14.
- [4] 李志义. 成果导向的教学设计[J]. 中国大学教学, 2015(3): 32-39.
- [5] NICHOLS J O. The Departmental Guide and Record Book for Student Outcomes Assessment and Institutional Effectiveness[M]. New York: Agathon, 1991.
- [6] 李志义. 推进十个转变 实现大学教学改革新突破[J]. 中国高等教育, 2012(17):25-29.

- [7] BESTERFIELD-SACRE ME, HARVEY WOLFE C J A, et al. Defining the outcomes: A framework for EC2000[J]. IEEE Transactions on Engineering Education, 2000, 43(2): 100-110.
- [8] TYLER R W. Basic Principles of Curriculum and Instruction [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1949.
- [9] ANDERSON L W, KRATHWOHL D R, AIRASIAN P W, et al. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives [M]. New York: Addison Wesley Longman, Inc., 2001.
- [10] 李坤崇. 成果导向的课程发展模式[J]. 教育研究月刊, 2009, 186:36-58.
- [11] ROGERS G. Program outcomes and performance criteria[J/OL]. [2009-07-17]. http://www.abet.org/_TrainingCD/data/references/Assessment%20Links/Goals_revised_Blooms.pdf.
- [12] European Consortium for Accreditation. ABET-Annual conference-Summary of workshop on learning outcomes [EB/OL]. [2009-07-28]. <http://www.eacaconsortium.net/event/paris/doc/WG4-ABET.pdf>.
- [13] HAGEN K D. Introduction to Engineering Analysis[M]. New Jersey: Pearson Education Inc., 2014.

Recognition on Graduation Requirements and Their Formulation

—From the Perspective of Engineering Education Certification

Li Zhiyi

Abstract: The graduation requirements are equal to the basis of substantial equivalence of the engineering education certification in Washington Accord. Drafting the graduation requirements is actually a ‘blocking point’ in certificating engineering education, while it is not reasonable to direct engineering practice based on the experience-based knowledge. By rethinking the graduation requirements from the perspectives of taxonomy of educational objectives, cognitive theory, essential characteristics of engineering and Washington Agreement, A “pyramid” model of OBE teaching design is put forward in this paper, and the position and function of the graduation requirements in design and teaching process are made to be clear. Three principles with “coverable”, “evaluable” and “implementable” characteristics are purposed, and the key points to develop the graduation requirements in response to each principle is given. A standard structural model of the graduation requirements is carried out, and the connotations and their internal relations is explained. The “elements” of the standard of the graduation requirements is analyzed by applying structural analysis method of “verb plus noun” of educational objectives.

Key words: engineering education; graduation requirements; major certification (责任编辑 骆四铭)