

面向复杂工程问题的“项目中心模式”教学探索*

古平 张程 孙天昊 李佳 杨瑞龙

重庆大学计算机学院, 重庆, 400044

摘要 工程教育正在从科学范式向工程实践范式转变, 需要打破以学科为体系的旧有模式。在深入分析工程教育认证现状和 MIT “项目中心” 培养模式基础上, 依据成果导向理念, 提出一种以工程教育认证为目标, 以“新工科项目”为中心, 以跨学科课程体系为支撑, 以情景式教学为具体实现途径的工程教育认证新架构, 以期为国内高校在专业认证以及复杂工程问题能力培养上提供参考和借鉴。

关键字 工程教育, 复杂工程问题, 毕业要求

Exploration of "Project Center Model" for Complex Engineering Problem

Gu Ping Zhang Cheng Sun Tianhao LI Jia Yang Ruilong

College of Computer Science
Chongqing University,
Chongqing 400030, China
guping2k@cqu.edu.cn

Abstract—Engineering education is transitioning from a scientific paradigm to an engineering practice paradigm, requiring the breaking of the old model based on disciplinary systems. Through in-depth analysis of the current status of engineering education and the MIT "Project Center" model, a new framework for engineering education certification is proposed, with engineering education certification as the goal, "new engineering projects" as the center, interdisciplinary curriculum system as the support, and situational teaching as the specific implementation approach. The goal is to provide reference and inspiration for universities in engineering certification and capability cultivation.

Keywords—Engineering education, complex engineering problem, graduation requirement

1 引言

为提高工程教育的国际影响力, 我国于 2016 年正式加入了工程教育学位互认协议《华盛顿协议》。工程专业一旦通过认证协会认证, 意味着其毕业生学位得到《华盛顿协议》中其他组织的认可, 因此国内众多高校均积极申请开展工程教育认证工作。截至 2020 年, 中国工程教育专业认证协会共认证通过了 2172 个工科专业, 这些专业的学生质量也得到了用人单位的积极认可。

工程教育的主要目标就是要培养学生能够深入运用工程化原理和知识, 分析和解决复杂工程问题的能力, 因此复杂工程问题^[1]一直是工程教育认证持续关注的重点。为了实现这一目标, 工程教育认证将基于产出的教育(简称 OBE)理念^[2]引入到工程人才培养中, 引导工程教育由课程导向转向产出导向, 由以教师为

中心转向以学生为中心, 由质量监控转向持续改进, 推动专业人才培养质量不断提升。

2 现有工程教育认证体系不足

现有工程教育认证体系可视为一个“负反馈闭环控制系统”^[3](如图 1 所示)。即根据社会需求, 结合学校实际情况, 制定专业人才培养目标, 再确定满足该目标的学生毕业能力要求, 随后通过达成度评价, 对培养目标、方式等不断改进完善。

其中, 核心架构元素包括:

① 凝炼专业培养目标。专业培养目标主要内容包包括培养定位、专业领域、专业特质以及职业能力等方面, 培养目标是否达成需要在学生就业 5 年之后进行评估。

② 细化支撑培养目标的毕业要求。毕业要求主要反映毕业生完成本科阶段学习时所获得的核心能力。毕业要求应充分支撑培养目标的达成, 能覆盖工程教

* 基金资助: 本文得到重庆市高等教育教学改革研究项目(233012, 222010); 重庆大学教改项目(2022Y16, 2021sz11)

** 通讯作者: 古平。

育专业认证标准规定的 12 条基本要求,同时可被分解为若干细化的指标点。

③ 设计覆盖毕业要求的课程体系。课程是高校培养学生的主要途径,课程设置需要能支撑并覆盖全部毕业要求。

④ 以学生为中心的教学实践。将学生放在教学的“中心位置”,强调知识、能力、素质三维度的融合统一,注重教与学的密切结合。

⑤ 教学评价与持续改进。定期对培养目标、毕业要求和课程目标进行达成度评价,并根据达成度对各项目标进行优化,形成一种长效改进机制。

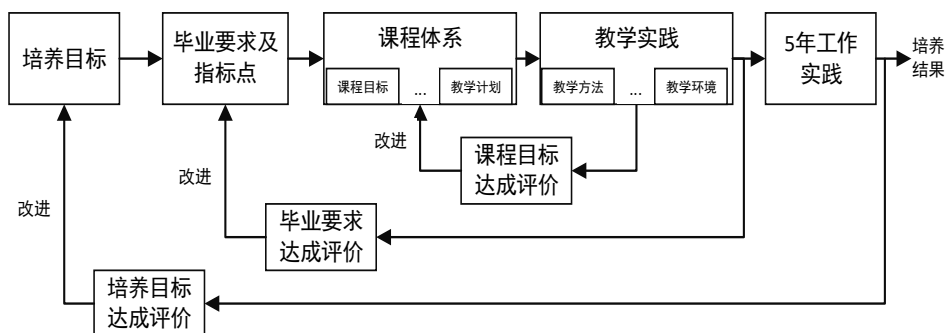


图 1 工程教育认证系统基本框架

尽管现有认证体系在我国已经应用 8 年了,但在实践中仍然暴露出一些问题。其中最大的不足在于:整个认证体系是以“课程”为核心,因此项目与工程能力被置于次要位置。

参与过工程认证的老师都应该有所体会:仅仅依靠理论课程,有些专业能力是无法进行培养的,如组织沟通能力、工程实践中的风险意识、项目管理能力等。因此,以“课程”为核心的工程教育认证体系,存在能力目标与课程目标之间的巨大鸿沟。尽管很多高校也引入了实践环节对此进行弥补^[4],但本质上,这种“附加”项目没有对原认证体系进行颠覆,只是加深理论课程的一种“手段”,因此其在工程教育中只能起到辅助作用。

3 面向复杂工程问题的“项目中心”培养模式改进

3.1 理论基础

“项目中心”人才培养模式,由美国麻省理工学院(MIT)于 2017 年在“新工程教育转型(NEET)”计划^[5]中提出,其主张工程教育应该向以项目为中心的课程转移,通过项目为载体,培养学生必备的知识、技能和素质。“项目中心”模式强调“纵向贯通、横向交叉、问题导向”^[6],打破学科专业之间的壁垒,注重以问题为导向,探索培养学生创新能力的新方式、新方法。

该模式中,“项目”是最核心的组织元素,其它活动如课程教学、学生评价等均围绕其设置和进行。学生通过沉浸式方式参与整个项目,项目的完成过程与产出成为他们学习的核心。从学习方式看,“项目中心”

培养模式是一种“做中学”的知识发现过程,而传统的“授课”形式,是一种“边做边学”的知识传播过程,从能力培养的可控性和可操作性,显然“项目中心”模式更具优势。

MIT“项目中心”模式从 2017 年开始实施,并取得了良好的效果。这一变革也给我们带来了启发:既然“项目中心”模式强调以项目导向,基于真实项目的探究活动培养学生的思维 and 创新能力,这与工程教育认证培养学生解决复杂工程问题的能力具有异曲同工之妙。因此,如果将两者融合,即可为国内工程教育认证提供了一种新的实现思路。即:以工程教育认证为目标和指导,以“项目中心”模式为具体实现途径,改进培养方式,提升学生的高阶思维 and 创新能力。

3.2 “项目中心”下的工程教育认证体系结构

新的工程教育认证体系中,最大的改变源于树立了以“项目”而非“课程”为中心的教学理念(如图 2 所示),该变化对工程教育认证体系的影响将是多方面的,具体表现为:

新增“项目中心”结构。将培养目标分解为多个项目目标,并在复杂工程问题特征的牵引下,创设项目案例、资源。

项目引导跨学科课程体系重构。围绕“项目”开发所需要的多学科知识重新规划课程体系,通过“项目”将分散的理论知识加以整合,以便向学生呈现完整、真实的问题情境和解决方案。

引入情景化学习模式。“项目”创设了真实的问题情境,强调“做中学”,通过多目标任务完成达到知识建构的目的。

新增“项目目标达成评价”模块。通过对项目完成绩效、操作技能、技术经验、创新程度等综合指标

的评价,反映学生在毕业要求中规定的专业能力,弥补传统课程评价体系中的能力评估不足。

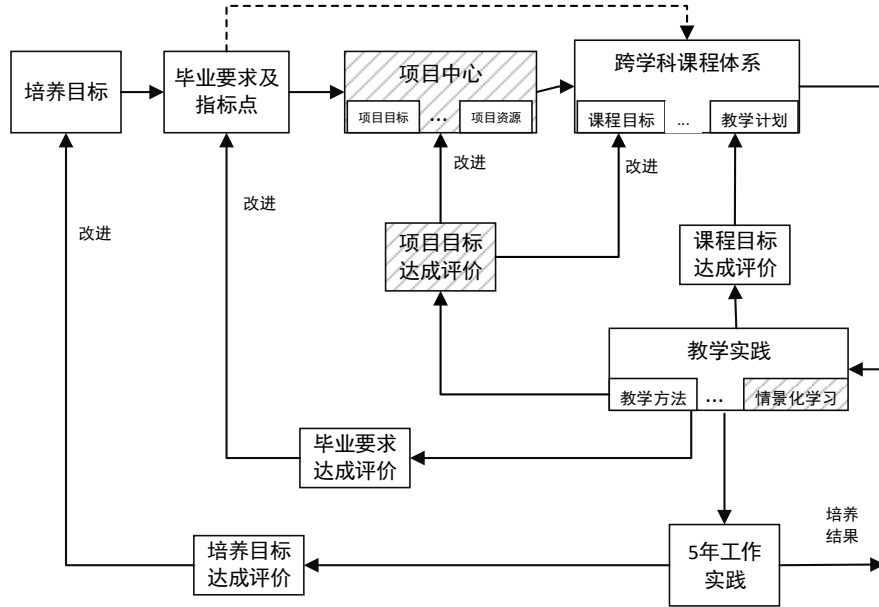


图 2 改进后的工程教育认证体系结构图

(1) 面向复杂工程问题的项目设计

“项目中心”认证体系中,项目的选择和设计尤为重要,一方面它需要通过不同项目体现不同的毕业要求,强化不同的思维能力。另一方面,它需要以项目驱动不同课程甚至不同学科,形成更多元化的课程组织模式。

工程问题的真实性^[8]、行业特征、复杂性梯度、未来发展等方面。

复杂工程问题的真实性就是要求问题能真实地反映行业、企业实际需求,体现专业、行业特质。考虑到教学环节的时空限制,可以适当对复杂问题进行必要约减,如规模调整或问题分解等。

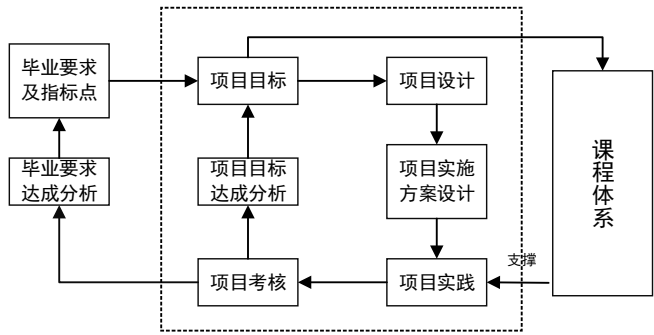


图 3 项目视角下的闭环培养体系

为确保“项目中心”培养模式质量,项目运作仍然采用“负反馈闭环控制”方式,如图 3 所示。但与图 1 不同的是:改进体系中,毕业要求及指标点不再与具体课程相对应,而是主要通过项目对学生能力达成提供支撑,如果某些毕业要求无法通过项目覆盖,再通过理论课程加以支撑(见图 2 中虚线部分)。

复杂工程问题能力的培养是一个逐渐形成、螺旋上升的过程,鉴于此,用于不同阶段的复杂工程问题也需要形成复杂性梯度,以适应复杂工程问题能力形成和提升的规律。

工程教育旨在培养既能满足当下产业需求又能面向未来挑战的工程人才,因此复杂工程问题设计不能只针对过去,还应该面向未来,包括新装备、新材料以及复杂社会所带来的挑战。

(2) 项目引导跨学科课程体系重构

课程体系是实现培养目标和毕业要求的基本途径和载体,是培养工程人才的重要体现。目前工程教育多以学科为中心进行课程组织,课程被预先映射为一系列基于学科领域的知识,课程的组织、内容均是围绕学科展开。以“项目”为中心的课程体系则打破了学科这一边界^[9],强化了总体规划和目标设计。一方面,项目作为学生能力培养的重要载体,需要覆盖所有毕业要求及指标点。同时,项目实现所需知识依托于完备的课程体系,并建立跨学科的广泛连接,如图 4 所示。

为落实上述闭环体系,教师必须重视的首要工作就是“项目设计”。作为复杂工程问题,项目必须具备《中国工程教育认证标准》中规定的特征(1)和特征(2)-(7)的部分或全部^[7],此外,项目设计还需要考虑

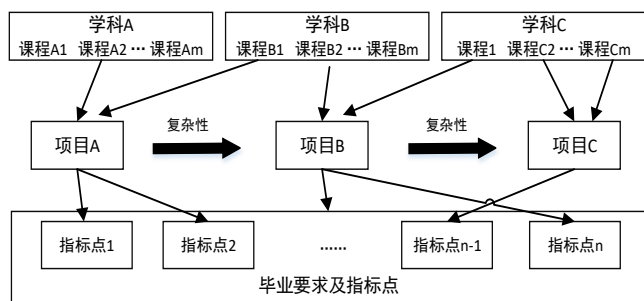


图4 项目作为桥梁, 连接课程体系与毕业要求

项目引导的课程体系重构, 意味着课程体系设置不再由毕业要求及指标点直接决定, 而是由“项目”直接决定。即“项目需要什么学科与课程就开设什么课程”, 为确保课程体系的完备性, 需要从“项目”中的待解决问题出发, 依据项目目标, 从问题表达、模型建立和方案求解三方面, 分步分层构建问题空间与解空间之间的桥梁, 理顺求解过程中的知识点及其关系, 从而构建面向不同领域学科的课程体系。

“项目”中心模式需要管理者跳出“学科”思维, 不仅在本专业构建起一系列相互支撑、相互衔接的课程, 而且要面向项目需要, 开设一系列跨学科课程, 供项目团队学生选择。只有这样, 学生才能通过项目在不同学科间进行交叉学习, 整合不同类型的知识, 养成高阶思维能力。

(3) 情景化学习

基于“项目中心”的教学过程中, 除采用常规的案例教学、自主学习、研讨式学习、翻转课堂等方式外, 还应该紧密围绕“项目”这一核心的教学元素, 构建解决复杂工程问题的情景。情景化学习就是通过设置问题产生、形成、发展、变化的场景和环境, 让学生以发现者和实践者的身份沉浸在问题空间中, 通过“做中学”的方式主动发现并构建知识体系。情景化学习带来的改变主要体现在以下几个方面。

首先, 教师的职责发生了改变。传统范式下, 教师是知识的传播者, 而在情景化学习中, 教师的职责是与学生成为“合作伙伴”, 参与学生构建和应用知识的进程。其次, 学生获取知识的方式发生了转变。即从以往的“理论到理论”^[10], 转变为“理论到实践”的新方式。最后, 实践模式发生了改变, 现有的工程教育中, 教学与实践是相互独立的两个部分, 实践只能依附于教学, 而在情景化学习中, 实践包含于教学之中, 这意味着“实践本身就是一种教学新范式”。

4 “项目中心”教学实践案例

下面通过一个“巡线无人机系统”案例, 展示“项目中心”理念在工程教育实践中的具体实施策略和路径。

4.1 项目复杂工程问题特征

巡线无人机系统的主要目标是实现对高压输电线路的自动巡检。项目需要设计无人机硬件平台、无人机图像处理系统、无人机巡线控制系统等。该项目面向企业实际需求, 能满足复杂工程问题中的多个特征要求。如:

项目中, 学生需要理解单片机的结构和原理, 根据项目选择合适的传感器类型, 如多光谱相机、GNSS传感器等。因此, 可以满足复杂工程问题特征“项目必须运用深入的工程原理, 经过分析才可能得到解决”。

由于项目涉及多学科知识, 如电路原理、项目管理技术、嵌入式开发技术等。因此可以满足复杂工程问题特征“要求项目涉及多方面技术、工程和其他因素, 并可能相互有一定冲突”。

在线路预测、自动纠偏中, 项目需要构建专用的模型和算法, 因此, 可以满足复杂工程问题特征“问题需要通过建立合适的抽象模型才能解决”。

项目中包含了硬件设计、软件设计、系统联调联试等多个关联子问题。因此, 可以满足复杂工程问题特征“要求项目具有较高的综合性, 包含多个相互关联的子问题”。

4.2 项目引导课程体系设置

“巡线无人机系统”中包括“无人机硬件平台”、“线路识别子系统”、“自动巡控子系统”三个部分, 每个部分均对学生能力和知识体系提出了不同的要求。如表1所示, 可以看出该项目涉及机械、数学、自动化、计算机等多门学科, 需要跨学科课程支持。

4.3 项目与课程共同支撑毕业要求指标点

“巡线无人机系统”以3-4人组成项目组, 在1-2个学期内, 分步骤、分阶段完成相应的综合训练。通过项目中多个复杂子问题的识别与解决, 能有效支撑下列毕业要求指标点: R1 工程知识、R2 问题分析、R3 设计/开发解决方案、R4 研究、R5 使用现代工具、R9 个人和团队、R10 沟通、R11 项目管理等。其中, R3、R5、R9、R10、R11 等毕业要求指标点主要以项目为载体, 对学生在解决方案设计、开发工具运用、团队运作协调、项目管理等方面的能力进行培养, 从而避免落入“空对空”的理论教学陷阱。而对 R1、R2、R4 等指标点的支撑, 更多可以通过理论课程, 如数字逻辑、程序设计、自动控制原理、软件工程等实现, 因为上述课程中讲授的具体原理和方法, 是学生实现问题分析、实验设计的重要理论基础, 也是学生从旧有知识体系中创造新知识的重要源泉。

表 1 项目对应跨学科课程体系

项目各子系统	支撑课程	学科
无人机硬件平台	计算机组成原理 汇编技术 数字逻辑 高级硬件设计 机械设计	机械工程 计算机
线路识别子系统	程序设计 嵌入式系统及应用 图像处理 线性代数 概率论与数理统计 机器学习	计算机 数学
自动巡控子系统	人工智能 自动控制原理 软件工程 软件项目管理	自动化 计算机

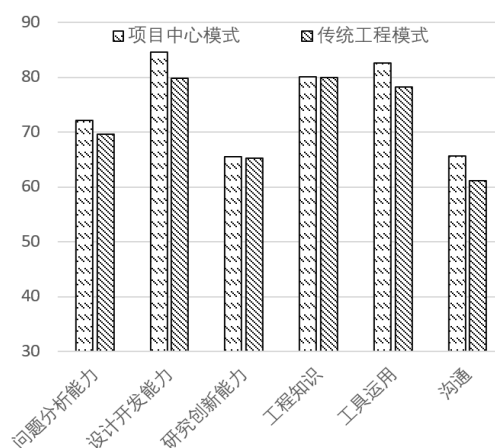


图 5 学生能力问卷调查数据

5 实践效果

通过“项目中心模式”在我院的实施，对于培养学生创新思维、复杂工程问题能力起到了明显效果。我院学生在全国大学生计算机系统能力大赛（数据库管理系统设计赛道、操作系统赛道、处理器设计赛道）中斩获多个大奖，见表 2。

通过项目中心模式培养的学生，在后续的生产实习和企业实习中（如百度、华为、腾讯等大型企业）均表现优异，尤其是学生在企业项目中所表现出来的成熟度和实践能力，均获得了用人单位的一致认可。图 5 显示了近年来对我院学生实习企业的问卷调查数据，从优良率占比数据可以看出，项目中心培养模式显著提升了学生的问题分析能力、设计开发能力、工具运用能力以及沟通协作能力。

表 2 近年我院学生获奖情况

大赛	赛道	获奖团队	获奖等级
全国大学生计算机系统能力大赛	数据库管理系统设计	UpdateMaster	全国一等奖
全国大学生计算机系统能力大赛	数据库管理系统设计	XP不队	全国二等奖
全国大学生计算机系统能力大赛	操作系统	TeamWin	全国三等奖
全国大学生计算机系统能力大赛	处理器设计	oiaiooo ooia	全国三等奖
全国大学生计算机系统能力大赛	处理器设计	退一进二	全国三等奖

此外，“项目中心模式”也得到了校外工程教育认证专家组的一致好评，我院计算机科学与技术专业不仅顺利通过了专业认证，而且该专业获评为重庆市一流本科专业。为项目提供理论支撑的多门课程，如数据库系统、计算机网络、计算机网络安全、系统安全技术、计算机的构成与运行机制虚拟仿真实验等也被评为重庆市一流本科课程。

6 结束语

现代工程教育旨在培养既能满足当下产业需求又能面向未来挑战的工程人才，解决复杂工程问题的能力已成为新工程人才的核心能力。本文以工程教育认证为目标，以“项目中心”培养模式为创新途径，提出一种改进的工程教育认证体系结构，该结构对毕业要求、项目目标、课程目标之间的关系进行了重新梳理，并以项目能力为目标引导多学科课程体系重构，通过情景化学习将项目实践引入课堂，以达到培养学生更强工程实践能力的目的。通过上述改进，为普通高校在新工科建设和工程人才培养模式上提供一些新的思路和参考。

参考文献

- [1] 林健. 运用研究性学习培养复杂工程问题解决能力[J]. 高等工程教育研究, 2017(2): 79-89.
- [2] 李佳欣, 周玲. 从 CDIO 模式到 NEET 计划-美国工程教育改革路径分析与经验启示[J]. 化工高等教育, 2022, 39(06): 22-29.
- [3] 戴先中. 工程教育专业认证中毕业要求分解指标点的利弊[J]. 高等工程教育研究, 2022(03): 60-66.
- [4] 罗定贵, 龙建友, 王筱虹等. 工程教育认证毕业要求与课程群对应关系探讨[J]. 高教学刊, 2023, 9(20): 60-64.
- [5] 刘进, 王璐瑶. 麻省理工学院新工程教育转型: 源起、框架与启示[J]. 高等工程教育研究, 2019(06): 162-171.
- [6] 朱伟文, 李亚东. MIT“项目中心课程”人才培养模式解析及启示[J]. 高等工程教育研究, 2019(01): 158-164.
- [7] 朱凯然, 仵杰, 王萍等. 工程教育认证中复杂工程问题设计、布局与实施-以西安石油大学测控技术与仪器专业为例[J]. 高教学刊, 2020(03): 91-94.
- [8] 杨毅刚, 孟斌, 王伟楠. 如何破解工程教育中有关“复杂工程问题”的难点-基于企业技术创新视角[J]. 高等工程教育研究, 2017(2): 72-78.
- [9] 廖勇, 周世杰, 汤羽等. 面向“项目中心课程模式”的进阶式挑战性跨学科项目设计与实践[J]. 高等工程教育研究, 2021(02): 47-54.
- [10] 工程教育认证+专业思政背景下人才培养方案改革与探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(4): 94-98.