

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2022.05.003

欢迎按以下格式引用:王宏燕,张晓静,陈超,等.工程认证背景下复杂工程问题驱动的新工科人才培养模式探究[J].高等建筑教育,2022,31(5):15-22.

工程认证背景下复杂工程问题驱动的新工科人才培养模式探究

王宏燕,张晓静,陈超,陆瑶

(北京工业大学 城市建设学部,北京 100124)

摘要:培养具备解决复杂工程问题能力的工程师是工程教育认证的核心要求。北京工业大学建筑环境与能源应用工程专业基于“三元协同”核心理念,构建了以分模块必备知识体系、分层级多维度综合实践教学体系和全方位综合素质培养机制为核心的人才培养模式。该模式结合工程认证中以学生为中心、产出导向、持续改进的教学理念,在知识传授、能力培养和素质提升的过程中融入大数据、人工智能等新技术,实时跟踪学生学习目标达成情况,递进式培养学生解决复杂工程问题能力,构建了面向解决复杂工程问题能力的培养模式,对当前开展工程教育认证工作及推进新工科建设具有重要意义。

关键词:工程认证;新工科;复杂工程问题;培养模式

中图分类号:G642 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2022)05-0015-08

自2016年我国加入《华盛顿协议》以来,国内高校开始就培养学生解决复杂工程问题能力开展工程教育认证工作,其中认证标准中的8条毕业要求充分体现了对本科生分析、解决、评价复杂工程问题能力的培养^[1-3]。新时代新发展阶段,我国经济开始向高质量发展转型,“一带一路”国家倡议、“中国制造2025”等重大战略的实施,对复合型高级工程技术人员和创新型人才的需求大幅增加^[4]。以立德树人为引领,以迎接未来科技发展新挑战、契合高等工程教育培养目标为定位,以探索人才培养过程新方法为特征的新工科建设,已经成为国内高校工科专业的改革热点。以新工科发展理念为导向,以培养解决复杂工程问题能力为核心,对开展多学科交叉融合的人才培养模式研究具有重要意义。

相关研究表明,国内高校在贯彻新工科建设理念,开展工程认证工作的过程中,对解决复杂工

修回日期:2021-07-08

基金项目:欧盟教学合作研究项目(610258-EPP-1-2019-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP);北京工业大学城市建设学部重点教研项目(47000513102)

作者简介:王宏燕(1968—),女,北京工业大学城市建设学部副教授,博士,主要从事建筑传热过程及建筑节能方面研究,(E-mail)13910988301@163.com。

程问题能力的内涵及培养途径开展了大量研究和实践,包括课程体系建设、实践课程教学案例设计、课程设计和毕业设计的工程思维培养等^[5-8],而针对培养学生解决复杂工程问题能力培养体系的探讨尚显不足。培养学生解决复杂工程问题能力对各专业都是一项系统性、全局性的工作,提升解决复杂工程问题能力也不是一朝一夕的事,需要在人才培养过程中全方位执行相关对策。在时间维度上体现全过程,即从入校入学教育到毕业设计;在空间维度上体现全方位,即理论课、实践课、学科竞赛、社会实践等,通过多维度融合形成教学培养体系,并认真贯彻执行^[9]。

北京工业大学建环专业以培养学生解决复杂工程问题能力为办学核心目标,以“三元协同”育人模式理念与要求为办学提供教学指导(图1),结合专业培养方案制订,重点从必备知识体系、实践教学体系、综合素质培养机制三方面,开展了深入研究与改革,以期在不断提高育人质量的同时,为新工科人才的培养探寻一条适合地方大学持续发展的路径。

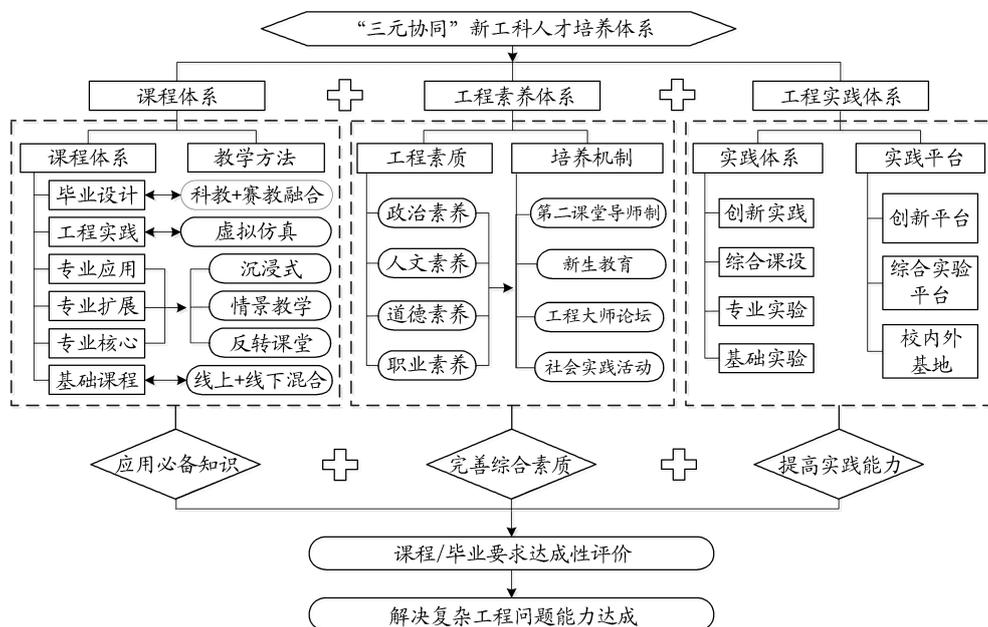


图1 “三元协同”育人模式

一、复杂工程问题的特征

对解决复杂工程问题能力的培养,首先需要明确对复杂工程问题的认识。根据工程教育认证标准要求,建筑专业复杂工程问题是定义为具备1(必备)和6特征的问题。根据笔者理解,可以概括为:

- (1)问题的复杂性:解决问题涉及多方面的知识,需要综合地、创造性地运用知识才能完成;
- (2)是工程问题而不只是技术问题:尽管大多数复杂工程问题具备复杂技术问题的内核,但工程问题还包括技术应用的环境和条件。这些条件彼此之间存在矛盾、利益冲突、复杂关联等特征。

针对复杂工程问题的以上特征,工程认证的12条毕业要求中,5条要求为技术性指标,提出了对解决复杂工程问题所需要的知识、专业能力的要求;7条为非技术性指标,提出了对综合素质、社会能力的要求。因此,以解决复杂工程问题的能力为核心的培养方案应该是一个面向工程实践的

多维度分层级的体系^[10]。

二、必备知识体系的设置

根据复杂工程问题的特征,知识学习应注重应用,而不以掌握为目的。运用工程原理解决复杂工程问题,要求基础知识面广,专业知识交叉融合,北工大建环专业在课程设置方面充分体现了上述特点。

(一)“厚基础,重应用”,夯实基础知识

解决复杂工程问题需要全面掌握工程知识,需要对其基本原理有深入的理解和掌握。在专业培养方案中,从数学和自然科学、工程基础以及专业基础课程三个方面夯实专业基础知识。基础类课程紧密结合专业特点,特别是专业基础类课程,通过提出本专业的复杂工程问题,到结合专业基础知识进行解析,再到梳理表述问题的本质和影响因素,帮助学生建立从工程问题提炼到物理模型建立,再到数学模型选用的思维过程,逐步培养学生正确分析和恰当描述建环专业复杂工程问题的能力。

(二)“分层级,强进阶”,整合专业课程模块

在打牢基础科学知识的前提下,将专业课程分为专业核心课程、专业扩展课程以及专业应用课程。学生通过三个模块课程的递进式学习,不断增强专业能力,能够创新性地研究、设计、开发、评价,并实现复杂工程系统操作,解决人工环境营造及建筑节能等领域的复杂工程问题。这一核心能力的形成是一个循序渐进的过程。首先,学生学习主干专业课程知识是为解决专业复杂工程问题,例如供热工程、空调工程、通风工程等;其次,在专业扩展课程中学习专业最新科技知识,例如可再生能源技术,大数据人工智能课程群的知识等;最后,在专业应用模块课程中,学生可初步运用专业方法解决常规的建筑室内环境营造及建筑节能问题,并运用专业知识提出解决问题方案。

(三)“促交叉,求创新”,打造知识交叉课程模块

信息技术发展使大数据、人工智能、物联网等日益走进人们的日常生活,将大数据及 AI 技术引入传统建环专业设计建造环节,已成为专业可持续发展的必由之路^[11]。引入大数据技术基本知识,促进建环专业复合和交叉人才的培养,也已成为业内人士的共识。2020 版本科培养方案中,建环专业新增了大数据人工智能课程群,该课程群由公共基础课程——Python 程序设计和新增的物联网与互联网、数据挖掘方法在建筑能源中应用的两门全新课程,以及整合原有课程后开设的建筑能耗模拟及 BIM 技术、建筑火灾控制与 CFD 技术课程,和利用信息技术的 HVAC 虚拟仿真实验等课程组成,实现了从基础到专业、从理论到实践的“互联网+建环专业”课程模块的复合交叉。通过该课程群,使学生能够掌握基本信息技术知识,提升毕业生利用信息技术分析解决基于“高效节能的绿色能源利用—人工智能的能源输配—绿色健康的末端室内环境营造”复杂工程问题的能力。同时,为学生未来职业发展打下坚实基础,提升了毕业生的就业竞争力。

三、面向工程的多维度综合实践教学体系

复杂工程问题与复杂技术问题的区别在于前者需考虑技术的适用条件和边界,需将工程问题

中用到的技术放到社会背景中进行考量,评价目标不只是技术的先进性,而需综合评估该项技术应用于具体工程时的经济效益、环境效益和社会效益。学生在面向实际工程时,要能够考虑到非技术因素对工程的影响以及普遍存在的冲突场景,学会在具体工程实践中灵活掌握技术的边界条件。而这一能力只有在面向工程的综合实践活动中才能逐步培养。因此,就需要面向工程实践教学体系,根据建环专业实践教学体系环节分层级循序渐进来培养学生解决复杂工程问题的能力。

(一) 实验教学体系

实验教学分为基础实验技能层、专业基础实验层、专业实验层和综合创新实验层四个层级。其中,本科第一学年为“基础层”、第二学年为“专业基础层”、第三学年为“专业实验层”、第四学年为“综合创新实践层”,构建了由基础到应用、由理论到实践的一整套循序渐进的实验实践教学体系。分层级培养学生应用理论知识,分析解决复杂工程问题的实验能力。

表1 分层级的实验教学体系

学年	实验类别	实验课程及内容	针对复杂工程问题特征的能力培养
大一	基础实验	物理实验,工程力学实验,电工技术实验,电子技术实验	应用理论知识的能力
大二	专业基础实验	流体力学实验,传热学实验	应用理论知识的能力
大三	专业实验	专业实验1:流体输配管网实验,建筑环境测试技术综合实验,建筑声、光环境测试实验,强制对流传质系数测试实验	应用理论知识分析解决基本专业问题
		专业实验2:热水供暖系统实验;热网水力工况实验;供热系统性能测试综合试验;空气热湿与净化处理及运行调节实验;除尘器性能实验;教室自然通风量测定	应用理论知识分析解决专业问题
		专业实验3:自动控制原理实验;制冷系统性能综合实验;锅炉房工艺与设备综合实验;HVAC虚拟仿真实验;	应用理论知识分析解决综合性专业问题
大四	创新实验	结合新技术的创新型实验课程	应用理论知识分析解决非常规的综合性专业问题

(二) 实习实践环节

建环专业实习实践体系由公共基础课程实践、工程基础类实践和专业实习组成。不同模块内容的实习实践环节,分别针对解决复杂工程问题所需要的技术性能力和非技术性素质,有所侧重地提升学生综合能力。

专业实习包括认识实习和工作实习。认识实习集中在大二年级,主要将内容分解为不同模块,分别对应冷/热源、输配、末端系统等专业知识内容,以加深学生对专业知识认知。通过利用校外资源和校内综合实验平台,以精细化过程指导和阶段性评价体系,来保障学生实习中实践能力的提升。

(三) 综合性设计环节

为体现工程项目的综合性和对非技术因素的影响,建环专业通过对部分核心课程设计进行整合,开设了专业综合设计课程。该课程通过给出建筑物所在城市、能源情况、周边环境情况等条件限制,要求学生充分考虑工程背景和非技术因素对设计方案的影响,针对具体建筑进行采暖、通风、

空调系统设计,并进行技术经济分析。为确保理论知识教学与工程实践能力培养相统一,建环专业教师通过自编教材和完善设计指导书,注重对课程教学过程、细节、节点的控制,来确保设计质量与设计特色。毕业设计是形成解决复杂工程问题核心能力的重要环节,该环节有利于培养学生的工程意识、协作精神以及综合应用所学知识解决实际问题的能力。北京工业大学建环专业毕业设计指导采用“双导师”制,由1名校内导师和1名校外设计院工程师共同指导。学生可以通过参与校外导师所在单位的工程设计项目,来作为本科毕设选题依据,使学生在毕设中直面专业复杂工程问题,并在双导师指导下独立完成设计。

表2 多能力目标的实习实践体系

环节名称	实习实践内容	针对复杂工程问题特征的能力培养
“中国特色社会主义建设”实践	社会热点问题调查	责任担当意识,团队合作能力
工程图学实践	基本工程图绘制	选择使用现代工具的能力
金工实习	基础机械加工工艺实习	从实践中学习的能力,运用知识指导动手操作的能力
电工电子基础训练Ⅱ 机械设计基础课设Ⅱ	结合理论课程的动手操作及课程设计	选择使用现代工具的能力;方案设计的能力;实验研究的能力
认识实习	分模块完成以下实习内容: 参观组合式空调机组实验平台; 参观地板供热系统实验平台; 参观空气源热泵空调系统; 参观办公楼空调楼宇自控系统; 参观大型商业综合体空调系统,通风、防排烟系统,消防系统	提高专业认知,加强对工程实践的认识
工作实习	分模块完成以下实习内容: 综合楼冷冻站生产实习; 学校锅炉房生产实习; 羽毛球场馆空调系统实习; 办公楼空调及楼宇自控系统实习; 实验+办公建筑综合供热系统实习	评价解决复杂工程问题的方案对社会、环境及可持续发展的影响的能力;责任担当能力

(四) 创新实践环节

创新实践是培养学生解决复杂工程问题能力的重要环节,学生在参与创新活动中所形成的创新能力,包括自主学习、独立思考、交流合作、责任担当、解决问题等^[12]。建环专业创新实践活动设计贯穿大学四年全过程,其中,大一、大二以“挑战杯”大学生竞赛及大学生创新创业训练计划、“互联网+”创业计划等创业设计类竞赛、北京工业大学“星火基金”学生科研项目等为实践途径,为学生提供培养创新思维的平台,激发学生的科研创新兴趣。大三、大四阶段则以专业学科竞赛(节能减排大赛、制冷大赛、CAR-ASHARE 等国内外专业竞赛)、专业创新实验课程及教师科研项目等为实践途径,进一步提升了学生的创新能力。

综上,建环专业实践教学体系是通过“基础实践层”进行基本工程实践技能训练,再到“专业实践层”针对暖通空调工程设计专业课程训练,直至“综合创新实践层”对工程设计综合能力及专业创新能力培养,构建了面向工程实际的实践教学体系(图2),进而实现了对学生解决复杂工程问题能

力的培养。

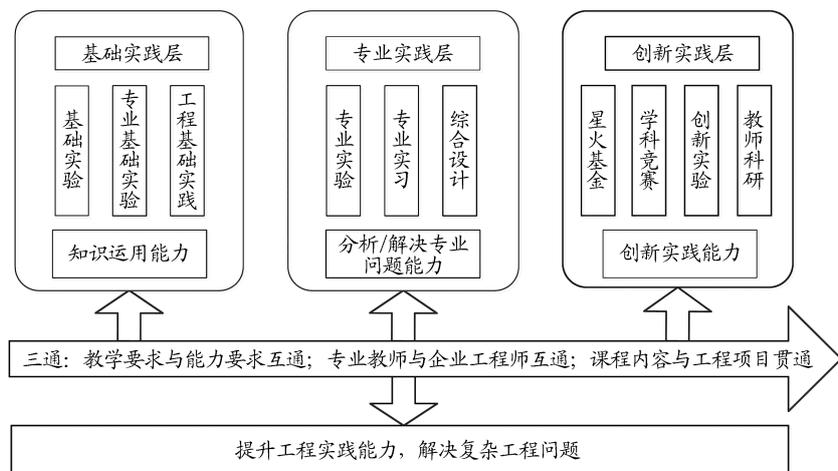


图2 面向工程实际的实践体系

四、全方位的综合素质培养机制

根据工程专业认证标准,毕业要求中有多达7条内容涉及非技术性指标点,这些要求在充分考虑现代工程问题的社会属性基础上,从不同方面对毕业生综合素质提出了要求^[13]。其中,12条毕业要求中的非技术性指标均涉及到毕业生的综合素质要求,包含学习能力、沟通能力、团队合作能力、创新能力、正确三观、优秀品格等都是毕业生在解决复杂工程问题时所必要的社会能力和素质。北京工业大学建环专业从新生入学教育、工程大师论坛、创新创业平台及社会实践等层面对学生综合素质进行了培养。

(一) 新生入学教育

建环专业实行土木类大类招生制度,大一新生入校后不分专业。通过新生研讨课介绍专业培养目标,启发学生对建环专业有初步的了解;带领新生走出校门参观建筑节能中心,激发学生对本专业的兴趣;组织新生统一晚自习,帮助学生尽快完成由中学学习到大学学习思维的转变;设立由教师党员和学生党员担任的“宿舍学导”,对新生开展学习适应能力、学习心理、学习方法、学习效率等方面的指导,有效提升了学生的学习能力。

(二) 工程大师论坛

为了使学生对行业的历史、现状及未来发展有清晰的认识,每年3—4次邀请行业知名专家到校举办“工程大师论坛”系列活动,在校本科生均要参加。通过近距离聆听大师讲座,与大师沟通交流,学生更好地了解专业的内涵,增强了与人沟通交流的能力。同时通过大师个人学习成长经历分享,使学生认识到勤奋扎实、迎难而上、砥砺创新是获得专业成就的重要素质。

(三) 社会实践

通过学校组织社会实践活动来塑造学生正确三观,加深学生对社会主义核心价值观的认同感,培养学生的团队合作能力。2017—2020年,每年均有2—3组(每组5~8人)学生通过暑期支教、走进古建筑、深入京城胡同改造、参加京郊农村节能改造项目、参加抗疫宣传等活动途径,了解国情和自身肩负的责任。

五、培养模式的实施效果

“三元协同”培养模式,使北工大建环专业形成了厚基础、重实践的课程体系,和逐层递进的实践教学体系。通过践行科教融、科研成果反哺教学,学生的创新能力得到了明显提升。近几年,建环专业学生在各级各类学科及科技竞赛中,共 32 人次获得国家级奖项,48 人次获得省部级奖项。自 2013 年开始参加 CAR-ASHRAE 学生设计竞赛以来,2019、2020 年连续两年获得三等奖。毕业生深造率不断提高,部分学生保送进入国内外知名高校就读,如加州大学伯克利分校、清华大学、同济大学等。根据第三方公司对我校 2010—2017 届毕业生情况调查结果显示:建环专业毕业生对母校满意度平均达到 98%,教学满意度为 97%。

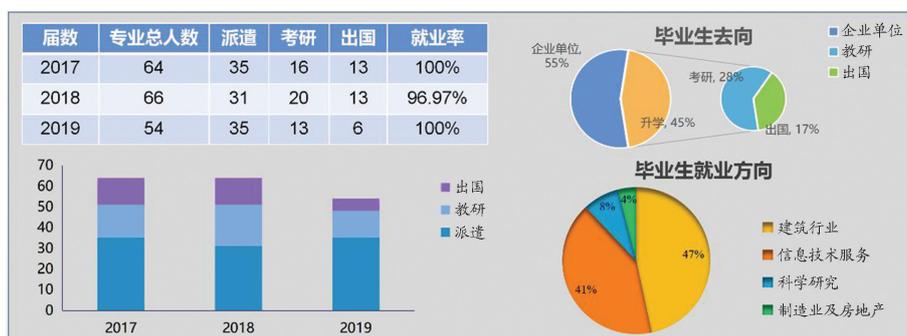


图3 2017—2019年毕业生信息反馈

“三元协同”培养模式有效提升了人才培养质量,得到了社会和用人单位的普遍认可,对专业毕业生专业基础、动手能力、工作适应、专业综合素质评价较高。建环专业毕业生一次就业率均在 97% 以上,就业与专业相关度可达到 90%。其中,就业主要分布在大型设计研究院、国内知名企业或国内科研院所等。根据问卷调查结果显示,用人单位对毕业生的综合满意度均在 93% 以上,且连续 3 年不断提高。学生毕业 5 年之后,能够胜任中级工程师、专业技术负责人的工作岗位,具有良好的专业发展前景。

建环专业作为传统的工科专业,具有明显的新工科特征,专业人才培养目标应该最终落实到毕业生具备解决复杂工程问题的能力上。这不仅仅是今天“双一流”建设对一流专业毕业生的要求,也是工程教育认证对通过认证专业整体人才培养的要求,更是新工科背景下各专业保证人才培养质量,不断创新发展的必由之路。

参考文献:

- [1]住房和城乡建设部高等教育建筑环境与能源应用工程专业评估委员会,高等学校建筑环境与能源应用工程专业评估(认证)标准. 2019年.
- [2]林健. 如何理解和解决复杂工程问题[J]. 高等工程教育研究, 2016(5): 17-23.
- [3]王彦丹. 提高工科学生解决复杂工程问题能力的研究, [M]. 西南科技大学, 2015年.
- [4]陈宝生. 坚持以本为本、推进四个回归、建设中国特色、世界水平的一流本科教育——在新时代全国高等学校本科教育工作会议上的讲话[EB/OL]. [2020-05-05]. <http://www.cqie.edu.cn/html/29/content/18/10/20695.shtml>.
- [5]王章豹,张宝. 培养新工科人才解决复杂工程问题能力的探讨[J]. 高教发展与评估, 2019, 35(6): 74-85.
- [6]杨毅刚,王伟楠,孟斌. 以提升解决“复杂工程问题”能力为目标的工程教育培养模式改进研究[J]. 高等工程教育研究, 2017(4): 63-67.

- [7] 耿俊浩,田锡天,马炳和. 工业界视角下面向专业认证的工程实践类课程教学改革[J]. 高等工程教育研究,2018(2): 136-141.
- [8] 姜海丽,孙秋华,赵言诚. 工程教育专业认证背景下工程实例教学模式的探析[J]. 黑龙江高教研究,2017(2):162-164.
- [9] 吴小舟,王树刚,王继红,等. 工程教育认证背景下建环专业创新创业人才培养探讨[J]. 高等建筑教育,2020,29(6): 61-66.
- [10] 修光利,郭宇杰,侯丽敏. 工程教育专业认证中非技术能力达成的教学研究[J]. 高等工程教育研究,2020(3):74-79.
- [11] 蔡磊,向艳蕾,管延文,等. 建筑环境与能源应用工程专业新工科人才培养体系探索[J]. 高等建筑教育,2018,27(5):9-13.
- [12] 王栋,钱付平,鲁进利,等. 工程专业认证(评估)背景下建筑环境与能源应用工程专业卓越人才培养模式的探索[J]. 高等建筑教育,2020,29(2):58-63.

Research on the training mode of qualified engineers with ability to solve complex engineering problems under the background of engineering certification

WANG Hongyan, ZHANG Xiaojing, CHEN Chao, LU Yao

(Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, P. R. China)

Abstract: The core requirement of engineering education certification is to train qualified engineers with the ability to solve complex engineering problems. Based on the core concept of “three-dimensional synergy”, the Department of Building Environment and Energy Application Engineering in Beijing University of Technology has established a talent training mode with a system of essential knowledge modules, a hierarchical multi-dimensional comprehensive practice teaching system, and a comprehensive quality training mechanism. This model combines the engineering certification concepts of student-centered, outcome-based and continuous improvement, incorporates new technologies such as big data and artificial intelligence in the process of knowledge transfer, ability training and quality cultivation, tracks the achievement of students’ learning goals in real time and develops students’ ability to solve complex engineering problems progressively. It constructs a model for cultivating the ability to solve complex engineering problems and is of great significance in the implementation of engineering education certification and promotion of the construction of emerging engineering education.

Key words: engineering certification; emerging engineering; complex engineering problems; cultivation mode

(责任编辑 崔守奎)