

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2021.01.006

欢迎按以下格式引用:方成,王伟,杨欣悦.基于土木工程智能结构微课程的复合型人才培养模式探索[J].高等建筑教育,2021,30(1):43-48.

# 基于土木工程智能结构微课程的 复合型人才培养模式探索

方成,王伟,杨欣悦

(同济大学 土木工程学院,上海 200092)

**摘要:**为主动应对工科产业多元化发展需求,顺应“中国制造2025”“工业4.0”等国家战略,基于同济大学“共性基础+个性培养”的人才培养总体框架,深入阐述了土木工程智能结构微课程的培养内涵以及实施的迫切性和必要性,以复合型、国际化培养为导向,深化教学改革,探索基于多学科交叉培养理念的课程体系、教学方法以及课程考核机制,以期为智能结构课程知识体系的建立和讲授新模式、新方法的提出提供借鉴。

**关键词:**土木工程;智能结构;微课程;人才培养;教学改革

**中图分类号:**G642.0

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2021)01-0043-06

新一轮世界范围的科技革命和产业变革扑面而来,为主动应对工科产业发展需求,支撑以科技创新为出发点的“中国制造2025”等一系列国家战略,在传统工科培养模式的基础上推进多学科交叉融合,培养适应产业变革的高素质复合型人才,已成为“新工科”发展大环境下最关键的内涵与目标之一<sup>[1]</sup>。同济大学土木工程学院在“共性基础+个性培养”的人才培养总体框架下,面对新工科建设的迅速推进和土木工程行业转型的紧迫形势,着力启动了“土木工程+微专业/微课程群”建设,以弥补传统培养模式下学生实践能力欠缺、毕业生能力与行业发展需求脱节的不足。智能结构是新时代土木工程发展最迫切需要吸纳的知识体系之一,对于提升土木工程学科毕业生的国际竞争力意义重大。为此,针对土木工程智能结构微课程的开设背景、课程体系、教学模式、国际化人才培养思路,以及多元化考核机制展开讨论。

## 一、智能结构微课程建设的必要性与迫切性

### (一) 符合国家战略发展

传统制造业面临转型,智能建造专业是顺应工业4.0和“中国制造2025”战略的必然产物。从

修回日期:2020-11-12

基金项目:同济大学教学改革研究与建设项目“面向复合人才培养的土木工程+‘智能结构’微课程内涵与资源建设”

作者简介:方成(1985—),男,同济大学土木工程学院副教授、院长助理,主要从事钢结构与抗震韧性结构研究,(Email)chengfang@tongji.edu.cn。

培养方案看,智能结构是土木工程与智能建造专业的一个重要新兴分支,是新工科知识体系建设中的重要一环。

智能结构是多方向高度交叉的新兴前沿学科方向,其发展潜力巨大,应用前景广阔,现已成为国内外科研与教学的热点方向之一。智能结构课程以土木工程专业课程为基础,面向国家战略需求和建筑业转型升级需要,融合了机械设计制造及其自动化、电子信息及其自动化、工程管理等专业的课程内容。目前,部分高校已经开始逐步建构智能建造专业培养框架,智能结构的相关教学实践在传统土木工程专业中并不完善,为此,需紧跟国家战略发展需求,结合传统土木行业培养的优势与新兴产业的创新点,进行相应的土木工程智能结构微课程培养模式探索和课程体系设计,以顺应国家智能化基础设施发展的需求。

## (二)符合“新工科”人才培养的趋势

作为建筑行业人才培养改革的推动者和探索者,同济大学于2018年获教育部批准开设国内首个智能建造本科专业,目前很多高校也相继开设或正筹划开设相关专业。智能结构课程体系作为智能建造专业的关键组成部分,应顺应建筑行业发展的主流趋势,科学设置,有效提升学生的工程技术能力和学科交叉能力,增强学生的学科前沿意识。如何有效地在同济大学现有土木工程人才培养体系的基础上完善智能结构的课程构架,进一步推进土木工程+课程改革,对同济大学乃至全国相关高校的复合型人才培养具有重要意义<sup>[2]</sup>。

## 二、土木工程智能结构微课程改革思路探索

### (一)“土木工程+智能结构”微课程教学内容规划与课程体系建设

结合同济大学土木工程专业智能结构微课程的培养理念,制定智能结构课程教学大纲,服务于本专业以及其他相关专业的在校学生及毕业生,形成明确的知识体系。以智能结构体系概述、智能材料、智能监测与检测、智能施工与管理、建筑3D打印、机器人工业化建造、机器学习入门等为主要教学模块,构建每个教学模块的知识点,收集案例库,建立习题库,完成全套“土木工程+智能结构”微课程教学多媒体课件制作,形成全面、实用、前沿的智能结构课程知识体系。每个教学模块3个课时,具体课程内容安排如下。

#### 1. 智能结构体系概述模块

智能结构是一门多方向高度交叉的新兴前沿学科方向,其发展潜力巨大,应用前景广阔,但内容繁多、涉及面广。该教学模块作为课程第一课,将首先梳理土木工程智能结构体系的基本概念与发展历程、结构智能化历程的层次划分,包括自感知智能结构,自诊断智能结构、智能材料、智能控制、智能设计、智能管理等不同分支的特点、内涵,阐述不同的结构智能化目标,最后结合实例介绍智能结构体系在高层建筑、桥梁、基础设施等工程领域中的前沿应用,使学生初步建立智能结构概念。

#### 2. 智能材料教学模块

科技的创新往往伴随材料的发展,与材料科学的齐头并进无疑将成为未来几十年内引领土木工程学科发展的重要手段。智能材料中最具有代表性的当属形状记忆合金(SMA),SMA主要有两

种显著特性:奥氏体状态下的超弹性(伪弹性)效应和马氏体状态下的形状记忆效应<sup>[3]</sup>。该教学模块首先讨论 SMA 两种效应的机理与触发方式,使学生掌握材料微观晶体相变的基本知识,随后讨论 SMA 在土木工程中的应用现状,聚焦主动控制、半主动控制、被动控制三个方面的创新应用以及力学原理,展现 SMA 工程应用的经典案例,包括意大利 S. Giorgio 教堂、St. Francis Basilica 教堂,以及美国密西根 Sherman 路大桥等,最后简要介绍 SMA 的数值模型与仿真模拟方法。

### 3. 智能监测与检测教学模块

借助智能监测与检测系统对结构进行全寿命健康诊断能有效避免及解决结构在服役过程中产生的多种安全隐患,对于土木工程结构的维护具有重大意义。该教学模块首先讨论不同参数(应变、加速度、速度、位移、温度、频率等)的测量原理及特征信息的提取方法,简要介绍 HHT、ICA、小波分析等经典方法<sup>[4]</sup>。随后讨论智能传感器的基本构成,介绍微处理机控制下传感器的采集、处理和交换信息的基本原理,最后介绍新型智能传感元件,包括形状记忆合金、压电材料(压电陶瓷)、磁致伸缩材料、光导纤维等。

### 4. 智能施工与管理教学模块

现代化的智能施工与管理离不开建筑信息模型(BIM)。BIM 不仅包含空间信息,而且还包含进度信息(4D)、成本信息(5D)、质量信息(6D)、安全信息(7D)等,通过对相关数据进行结构化管理,不仅使建筑本身数字化,而且使建筑过程数字化<sup>[5]</sup>。该教学模块首先介绍 BIM 的基本概念和应用技术,阐述基于 BIM 的人员管理、物料管理、质量管理、安全管理、成本管理、施工综合管理、机电安装、施工过程监测等基本概念,最后介绍 BIM 的基本建模知识,利用 REVIT 软件建立建筑三维模型进行房屋建筑设计的基本步骤,以及结合 Navisworks 软件进行施工组织设计并建立建筑施工 4D 模拟动画的基本流程。

### 5. 建筑 3D 打印教学模块

3D 打印依托新兴的增材制造技术给建筑行业带来革命性的变化,对于具有复杂几何构型的结构与构件而言,3D 打印可提高建造效率、优化结构受力、减少材料消耗和浪费,加快设计建造过程,这是未来智能结构领域的重要技术之一。该教学模块将着重讨论混凝土 3D 打印、复材 3D 打印和金属 3D 打印技术,阐明立体光固化成型法、熔融层积成型法、SLS 选区激光烧结法、分层实体制造法等打印方式及其基本原理,分析现有建筑 3D 打印经典工程案例(包括 Winsun houses、Castilla-La Mancha 3D 桥、Gemert 自行车桥、MX3D 人行桥等),最后对 3D 打印的应用限制、3D 打印与传统建造技术混合应用策略,以及 3D 打印在结构加固方面的应用前景进行探讨。

### 6. 机器人工业化建造教学模块

工业机器人是集机械学和微电子学于一身的机电一体化技术,是支撑智能建造的重要装备与技术。如今 5G 通信技术、工业互联网的应用将为工业机器人产业带来更大的机遇。该教学模块首先介绍工业机器人的背景及发展历史,随后重点介绍工业机器人在建造行业的典型应用案例,包括挪威 nLink 移动机器人、澳大利亚 3D 建筑机器人 HadrianX、美国砌砖机器人山姆 100、日本清水建设的喷涂和焊接机器人等,随后介绍现有建造装备的遥控化、半自主化智能升级方案,最后利用编程模拟软件进行训练,基于简单的预设目标培养学生基本的机器人编程思维。

## 7. 机器学习入门教学模块

机器学习是一门多领域交叉学科,致力于研究计算机怎样模拟或实现人类的学习行为,以获取新的知识或技能,达到重新组织已有的知识结构和不断改善自身性能的目的,该学科对土木工程迈向人工智能时代具有重要意义。该教学模块首先介绍机器学习的基本原理、发展历程和分类方法,重点介绍机器学习在结构损伤图像识别领域的发展,随后讲述基于 MATLAB 的机器学习的基本入门知识,建立简单的模型执行分类任务、从多个文件导入数据、根据原始信号计算特征、训练并使用机器学习模型进行预测。最后讨论几类监督学习模型,包括线性分类器(LR)、朴素贝叶斯(NB)、集成模型、回归相关模型的优缺点、数学假设、评测指标及计算方法。

### (二)“土木工程+智能结构”课程的教学模式

对于本校的本科生和研究生以选修课的形式开展课堂教学和辅助机房教学,主要教学手段包括课堂授课、随堂练习、情景演练、方案辩论等。针对每一教学模块设计符合各自特点的小专题,学生可选择感兴趣的专题,提交个人学习报告,或者通过团队协作解决问题,提交团队研习报告;按照不同的培养等级和需求,明确不同阶段学生的培养目标并合理有效分配课后教学拓展资源,提交拓展学习日志。同时可采用校企合作培养产学研相结合的教学模式,根据学生就业发展以及企业的实际需求开展工程案例分析。

为了使智能结构微课程的教学内容更加全面、系统,增强学生对课程知识融会贯通和灵活应用的能力,适应校内外教学需求,有必要在微课程课堂教学的基础上,进一步丰富教学手段,依托多媒体、移动互联网等技术,提高教学效率与覆盖面,通过在线问答、短视频教学、远程讲座等教学方式,进一步促进学生与教师、业界的频繁互动,激发学生的学习兴趣,提高创新能力。

### (三)“土木工程+智能结构”课程的国际化人才培养

经济全球化需要国际化的人才和全球化的工程教育。为满足“新工科”对国际化高素质复合型人才的需求,课程改革也将随之适应国际化竞争需求,适当增加英文教学元素,引入最新的国际前沿研究,提供相关英文文献及英文教辅资料,促进与国外合作院校的课程学分互认与衔接,制定统一的学分标准,构建院校间学分互认平台,充分利用和共享国际优质教育资源,实现微课程教学国际化、开放式发展;了解国外高校师生线上线下的互动、授课模式及学生学习情况反馈机制,及时与国际优质教学课堂接轨;紧跟国际智能结构工程的前沿发展,适时邀请合作单位中具有国际工程实践经验的海内外专家以微讲座的形式与学生开展线上线下交流。

微课程的开设应该兼顾国际工程教育专业认证的需求。同济大学土木工程学院将培养“全球意识、跨文化交流、具有国际视野、通晓国际规则、参与国际合作与竞争能力”的卓越人才作为人才培养的重要目标,建立了与欧美工程教育专业认证相融合的培养体系。这是同济大学培养国际化人才的重要途径,也是大力发展智能建造本科专业以及智能结构微专业的关键。目前,智能建造本科专业刚刚起步,培养理念与英国土木工程师学会(ICE)、英国结构工程师学会(IStructE)、美国土木工程师学会(ASCE)等国际重要学会专业认证所必须达到的核心目标群(Core objective)的协同性尚有待明确。目前,“土木工程+智能结构”课程可以国际工程师执业资格核心目标群为导向,提出符合新阶段智能建造专业国际工程教育认证要求的培养目标、教学要求和训练方案,形成面向国际

工程教育专业认证的微课程教学培养计划。

#### (四)“土木工程+智能结构”微课程的多元化考核机制

微课程考核不采用单一考试模式,更关注学生的职业素养、专业技术能力、洞察力、多学科协调组织能力,以及沟通能力、团队意识等。加入个人专题学习、团队研习报告、日志记录存档、产品制作等多元化的考核方式,综合评判学生在整个学习过程中的活跃度,包括学习记录、团队讨论情况、任务分配与管理记录、方案分析记录、文献考察分析及个人见解等。此外,还需要进一步完善微专业证书发放要求、微专业培训证明与学分认证体系。

值得一提的是,对于微课程的考核中要避免“一刀切”,可借鉴英国执业资格核心目标要求,建立最低知识掌握要求分级体系(即A-K-E-B体系),完善本科生课外学分认证体系。以英国结构工程师学会(IStructE)为例,强调13个强制性核心目标,概述了候选人所需的各方面的基本能力,涉及所有类型的结构工程技术、相关学科知识,以及其他与管理、法律、沟通等相关的能力。每一个核心目标都需满足相应的最低要求。英国执业资格认证普遍采用四级要求指标,从低到高分别为A、K、E、B。A即Appreciation:有一定的了解,清楚该内容与其他内容的相互关联。K即Knowledge:掌握基本内容,具备基础应用能力。E即Experience:可在指导下完成任务,并且有一定的创新能力。B即Ability:可以独立完成或组织团队完成任务,并展现较强的能力。这样的知识分级体系值得“土木工程+智能结构”微课程以及其他相关课程借鉴,以完善评价和考核体系。针对智能结构微课程,对7个模块中的每个关键知识点及关键任务进行最低要求分级,明确学生需要达到的目标。以建筑3D教学模块为例,需要考核的学生能力包括打印方式及其基本原理(最低要求:K);经典工程案例分析(最低要求:E);传统施工方法与3D建筑打印优缺点分析(最低要求:E);相关文献查阅、梳理与分析能力(最低要求:B);团队合作能力(最低要求:B);研习报告撰写能力等(最低要求:B)。同样,这些能力可以通过多种方式进行量化与考核,包括测试、报告分析、口头汇报等。

### 三、结语

在新工科建设的迅速推进和土木工程行业转型的新形势下,土木工程智能结构微课程改革以学生为中心,以新工科教育为导向,系统、全面地梳理了同济大学现阶段土木工程智能结构方向的相关教学资源,以现有的教学经验为基础,推进新型教学方法的研究与应用,促进高校内各学科间的融合和特色课程体系的交汇,在传统土木工程教学框架的基础上开展特色鲜明的“土木工程+智能结构”微课程内涵建设,建立了涵盖材料、结构、建造、监测、检测等多方面的专业课程群,形成了新工科多元化培养链,改革创新教学模式,形成了国际化人才培养教学理念和多元化考核机制,对于推进高素质复合型新工科人才培养具有重要的借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 范圣刚,刘美景. “新工科”背景下土木工程专业建设与改革探讨[J]. 高等建筑教育, 2019,28(4): 16-20.
- [2] 罗素蓉,吴恺云,李旭红. 新形势下“大土木”专业课程建设及复合型人才培养模式[J]. 高等建筑教育, 2019,28(6):13-19.

- [3] 方成, 王伟, 陈以一. 基于超弹性形状记忆合金的钢结构抗震研究进展[J]. 建筑结构学报, 2016, 40(7):1-12.
- [4] 周智, 欧进萍. 土木工程智能健康监测与诊断系统[J]. 传感器技术, 2001, 20(11):1-4.
- [5] 马智亮, 蔡诗瑶. 基于 BIM 的建筑施工智能化[J]. 施工技术, 2018, 47(6):70-72.

## Exploration of multidisciplinary talent training mode based on civil engineering mini-curriculum of intelligent structures

FANG Cheng, WANG Wei, YANG Xinyue

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

**Abstract:** In order to actively meet the demands of diversified development of the engineering industry, and to cater to the “Made in China 2025”, “Industry 4.0” and other national strategic plans, this paper deeply explores the training connotation of civil engineering intelligent structures mini-curriculum and explains the urgency and necessity of the implementation of such courses. The teaching reform should be carried out with the objectives of internationalization and diversification and build a multi-disciplinary cross training curriculum system, teaching methods, and curriculum assessment system. This study forms the basis for the new teaching model and method and for the establishment of the knowledge system of intelligent structure mini curriculum

**Key words:** civil engineering; intelligent structures; mini-curriculum; talent training; teaching reform

(责任编辑 梁远华)