

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2026.01.012

欢迎按以下格式引用:胡振中,朱时艺,林佳瑞.面向新时代强交叉人才培养的土木与建筑工程CAE课程建设[J].高等建筑教育,2026,35(1):106-117.

面向新时代强交叉人才培养的 土木与建筑工程CAE课程建设

胡振中¹,朱时艺¹,林佳瑞²

(1.清华大学深圳国际研究生院 海洋工程研究院,广东 深圳 518000;2.清华大学 土木水利学院,北京 100084)

摘要:在当前高速发展的经济和科技环境下,土木与建筑工程行业面临着新的挑战 and 机遇。为适应新时代的需求,培养具备交叉学科知识素养和综合能力的人才,已成为土木与建筑工程领域教育改革的重要方向。在分析新时代土木与建筑工程领域人才需求的基础上,探讨了如何通过计算机辅助工程(CAE)培养强交叉人才,并总结了新时代土木与建筑工程CAE课程建设和改革的基本经验。

关键词:新时代;强交叉人才;土木与建筑工程CAE;课程建设

中图分类号:G642

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2026)01-0106-12

计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)是传统的工程学科与新兴的计算机技术交叉融合而形成的新领域。随着社会的发展和科技的不断进步,土木与建筑工程领域涉及的工程越来越复杂,对人才的要求也越来越高。如何培养具备跨领域综合素质和能力的强交叉人才成为当前土木与建筑工程教育的重要议题和热点问题。《教育部高等教育司2019年工作要点》提出,围绕立德树人根本任务,实现高等教育内涵式发展^[1]。2023年5月,习近平总书记在中共中央政治局第五次集体学习时强调,大力加强基础学科、新兴学科、交叉学科建设,瞄准世界科技前沿和国家重大战略需求推进科研创新,不断提升原始创新能力和人才培养质量^[2]。

作为国内一流的高等学府,清华大学积极响应国家战略需求,开展了一系列具有国际竞争力的科研项目和重大工程项目,采取了多种创新型人才培养模式,培养了一批具有创新能力、实践能力和国际竞争力的高层次人才,为国家的经济发展和社会进步作出了突出贡献。此外,学校还积极推进学科交叉和融合,打破学科壁垒,促进学科创新和发展,助力国家的科技创新和产业升级。

一、文献综述和问题提出

强交叉人才培养强调多学科知识和技能深度融合,打通“理论—技术—应用—发展”的知识发展链条。目前,交叉人才培养在各高校得到了一定重视。张兴宏等^[3]结合浙江大学专业核心课程

修回日期:2023-10-11

作者简介:胡振中,男,副教授,博士,主要从事土木与海洋工程信息技术、数字孪生、建筑与城市信息模型(BIM/CIM)和数字防灾技术等研究,(E-mail)hu.zhenzhong@sz.tsinghua.edu.cn。

教学改革的案例,系统梳理了专业建设的实践经验,并就如何在学科交叉背景下培养具备专业素养的人才进行了深入讨论。徐林^[4]基于协同学的分析框架,对我国当前交叉学科人才培养现状进行了综合分析,并提出了高校培养高质量创新人才、推进一流学科建设的方法。陈天凯等^[5]基于天津大学学科交叉人才培养计划,结合调查问卷和教育经验,深入研究了推动跨学科人才培养和促进学科交叉融合的改革策略。周海涛^[6]认为人才是高校发展交叉学科的基石,应从培养目标、培养内容、培养方式、培养条件和培养主体五个维度推动交叉学科人才培养。

强交叉人才培养致力于打破学科边界,培养学生跨学科能力。对于土木与建筑工程领域而言,强交叉人才有助于满足复杂工程的需求,推动领域的创新与发展。杨帆等^[7]以同济大学CAD/CAE课程为基础,探讨了工程软件应用类课程的教学策略。郝亮亮等^[8]从应用型人才培养的角度出发,对工程领域CAE课程进行了改革探索。尹家波等^[9]以武汉大学土木水利类专业为例,建立了交叉学科融合发展的人才培养体系,并探索了适应新时期土木水利领域的杰出创新型人才培养模式。然而,以上研究集中在交叉人才培养方面,对新兴前沿技术方面关注较少,且未形成完整的脉络。

现阶段强交叉人才培养面临一系列问题。一方面,交叉学科高级专业人才的数量和质量仍然不能满足社会发展的需求。《2022年全国教育事业统计公报》显示,2022年我国研究生招生人数达到124.25万人,比上年增加了6.6万人^[10]。然而,研究生培养的质量问题日益凸显^[11],主要表现为缺乏跨学科和实践性的教育,缺乏高质量的交叉学科高级专业人才。另一方面,交叉学科高级专业人才的培养受到多方面的限制。虽然近年来我国高等教育在交叉学科领域的投入逐渐增加,但是由于课程体系、师资力量等方面的制约,交叉学科高级人才培养效果尚不理想。本文将从教学理念、教学设计、教学大纲、教学内容、科教结合、团队建设等角度,探讨面向新时代强交叉人才培养的土木与建筑工程CAE课程建设。

二、土木与建筑工程CAE课程的发展历程与定位

土木与建筑工程作为人类社会发展的基础和支撑,其发展历程一直伴随着科技的进步和技术的创新。CAE为土木与建筑工程领域带来了新的机遇和挑战,同时也对人才培养提出了更高的要求 and 标准。土木与建筑工程CAE作为一门以CAE技术为核心的课程,在土木与建筑工程领域中具有重要的地位。以清华大学开设的相关课程为例,其发展历程可以分为三个阶段。

2001—2009年,课程初设阶段。面向土木水利学院的土木工程系、建设管理系和水利工程系的全体新生,将工程计算机制图课程升级为院级平台课程,该课程主要介绍建筑和水工结构物的基本组成,并结合国家制图标准,介绍应用计算机绘图软件进行工程制图的方法;将土木工程CAD技术基础课程升级为土木工程系专业必修课,该课程首次介绍计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)技术的核心概念和支撑技术,并着重在已有的AutoCAD平台上进行二次开发教学。面向土木工程专业硕士和博士研究生,首次开设土木与建筑工程CAE课程,旨在为学生介绍土木与建筑工程领域的CAE技术,着重介绍科学计算可视化、神经网络和虚拟现实技术等内容在土木与建筑工程中的应用概况和发展前景。

2010—2020年,国家精品课建设阶段。为适应CAE技术的发展,提供更全面的教育,清华大学对工程计算机制图、土木工程CAD技术基础和土木与建筑工程CAE三门课程进行梳理和整合,形成了土木工程CAD系列课程和本研贯通的教学体系,实现了专业基础课和专业学位课的有效衔接。在该教学体系下,学生可以从大一开始学习计算机制图的基本知识和技能,从大三开始深入学习CAD软件的基本操作和应用方法,最终在研究生阶段掌握土木与建筑工程领域的先进CAE技术。课程的有效衔接,不仅提高了学生的综合素质和专业能力,而且促进了CAD和CAE两种技术在土木工程领域中的应用和发展。这一阶段,土木工程CAD系列课程先后被评为清华大学精品课程、北

京市精品课程和国家精品课程。

2021年一至今,课程综合改革创新阶段。以新时代强交叉人才培养为培养目标,以本研贯通为思路,以土木与建筑工程CAE课程为主要抓手,在原有三门课程基础上,进一步完善课程体系。面向高年级本科生,首次开设建筑信息模型(BIM)技术基础课程,培养学生智能建造场景下的工具软件应用和研发能力。在工程硕士数学课程中,强化学生工程背景下的数理基础和逻辑能力,提高学生的计算和分析能力,帮助学生更好地理解CAE技术的各种算法;在土木与建筑工程CAE课程中,将课程定位为专业学位课程,以更好地体现其在深入培养复合型人才中的重要地位。在这一阶段的改革中,形成了“强基础、重应用、探前沿”的课程体系结构,如图1所示。多学科的交叉融合,不仅可以拓宽学生的学科视野,使他们了解不同领域的理论和实践知识,更好地适应未来的工作和生活,还可以激发学生的创新能力,使他们能运用不同学科的知识和方法,创新性地解决工程问题。

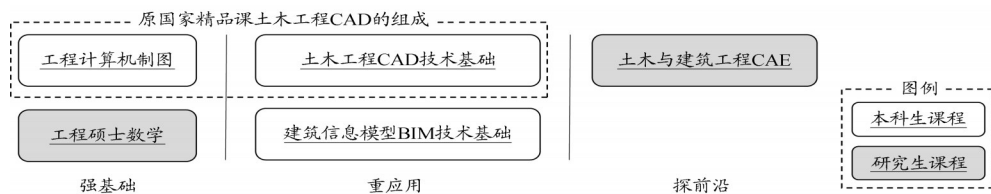


图1 土木与建筑工程CAE课程的发展与定位

课程的发展历程和定位变化,不仅是教育创新的见证,还是国内土木与建筑工程专业发展的缩影。随着计算机技术的不断进步和发展,CAE技术将在土木和建筑工程领域广泛应用。这也为土木与建筑工程专业的发展带来了更多的机遇与挑战。

三、新时代土木与建筑工程CAE课程建设的基本经验

随着时代的发展和学科的进步,课程建设已成为教育领域重要的议题^[12]。清华大学一直致力于推动教育创新和教学改革,积极探索新时代课程建设的有效路径,不断完善教学模式和教育理念。本文将探讨新时代土木与建筑工程CAE课程建设的基本经验,以期为广大教育工作者提供借鉴和启示。

(一)“三位一体、为人师表、业精于勤、因材施教”的教学理念

土木与建筑工程CAE课程的教学改革旨在贯彻“三位一体、为人师表、业精于勤、因材施教”的育人理念,为培养强交叉人才创造良好的教育环境,如图2所示。

1. 三位一体

在课程的教学过程中,强调价值塑造、能力培养和知识传授三位一体。教师要塑造学生正确的价值观和人生观^[13],鼓励学生立大志、入主流、上大舞台,培养学生的创新精神、创新思维 and 创新能力。

2. 为人师表

首先,教师应注意师德师风,恪守学术道德规范,严谨治学,营造良好的学术氛围^[14];其次,教师应用心讲解,勤于钻研,不断提高教学质量,为学生树立学术榜样;最后,教师应关心学生的成长,关注学生的需求,对学生保持耐心和热情,帮助学生解决学习和生活中遇到的问题,让学生感受到关爱和尊重。

3. 业精于勤

土木与建筑工程CAE课程的改革强调教师和学生应秉持勤奋务实的精神,共同追求卓越。教师要博览群书、博采众长,不断地提升专业素养,确保给学生讲授正确且前沿的专业知识;学生不仅要珍惜学习机会,刻苦学习,掌握基本知识,还要自觉克服困难,深入研究,勇于创新。

4. 因材施教

每个学生都有自己的特点,或勤学,或聪慧,或积极外向,或内敛稳重。教师需加强与学生的接触,关注学生的个性差异,做到因材施教,切不可一概而论,将教育过程简化为“流水线作业”。针对学生的基础水平和兴趣,教师应设置不同层次的课程内容,并给予相应的指导,即分层教学。这样既能满足学生的个性化需求,又能激发他们的学习积极性。同时,教师应引导学生自主学习,培养他们的自主探索精神。对于学习成绩较差或缺乏自信的学生,教师可采用个别辅导、心理关怀等方式,帮助他们建立自信、提高成绩。此外,教师应关注学生的需求,鼓励学生参与课程建设。例如,可以征集学生的意见和建议,进一步完善课程设置。

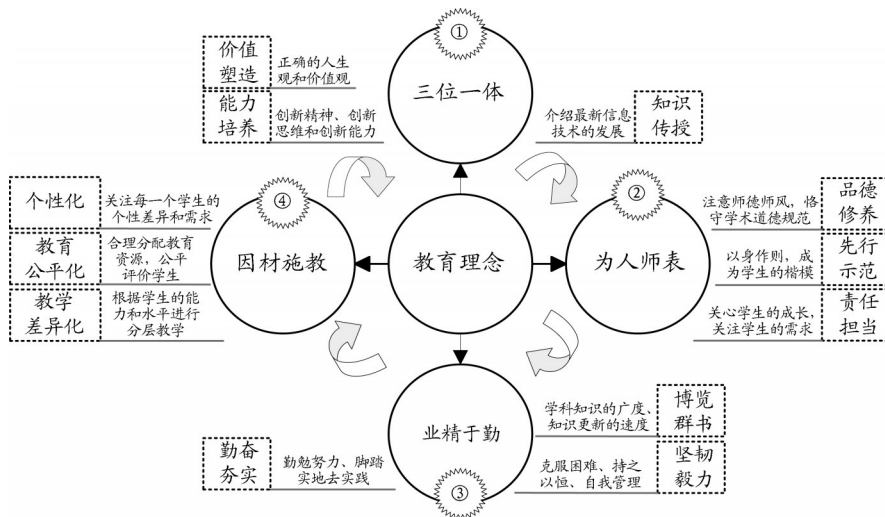


图2 土木与建筑工程CAE课程的教育理念

(二) 科学原理和应用实践双驱动的教学设计

土木与建筑工程CAE课程的教学设计注重科学原理和应用实践双驱动。深入理解科学原理能够帮助学生掌握CAE技术的基本原理和应用技巧,增强学生的领域知识和技能,又能够帮助学生形成科学的思维方式,提高学生的科学素养和科学伦理意识。应用实践是将科学原理应用于实际工程问题和场景的关键环节^[15]。通过实际操作和实验验证,学生可深化对科学原理的理解,提高工程项目的质量和效率。科学原理和应用实践相辅相成,发挥双重驱动作用,共同推动CAE技术在工程领域的应用和发展。

一方面,教师可以将多种科学原理融入教学设计,包括可视化技术中的光照模型、BIM中的信息交换标准、离散化技术中的有限元法、虚拟现实中的成像原理等。其中,光照模型借助数学和物理工具对现实世界的光照过程进行简化,其内容涵盖反射模型、折射模型、光线追踪算法等。通过计算这些模型,可模拟呈现物体表面的光照效果。虚拟现实中的成像原理主要涉及光学成像原理、图像处理技术、计算机图形学等,其基本原理是通过计算机模拟人眼视觉系统的成像过程,利用图像处理技术和计算机图形学技术生成虚拟的三维立体图像,从而让用户在虚拟现实环境中获得身临其境的体验。

另一方面,教学实践是增加教学设计应用性和实践性的重要举措。课程教学中可以引入“做”^[16],通过布置章节小作业和小组大作业,帮助学生更好地理解 and 消化所学知识。土木与建筑工程CAE课程采取小班教学,作业涵盖三维模型的可视化、BIM模型的创建、图像去噪问题、离散事件的模拟、虚拟场景的建立与浏览等。部分学生的大作业如图3所示。在《实体模型高效碰撞检测算法》中,学生利用OpenTK实现了三维物体的可视化,并在此基础上完成了三维实体的碰撞检测;在

《数字图像增强技术的研究与实现》中,学生将图像增强技术应用于土木与建筑工程领域,通过实践改善了工程图像的质量并增强了图像的特征;在《基于Python的Abaqus二次开发在岩土工程中的应用》中,学生利用Python编程实现了岩土工程计算和分析的自动化、批量化等。学生在实践教学过程中能够主动参与、积极思考和独立创新,说明教学实践成效显著。

题目	成果展示
实体模型高效碰撞检测算法 (刘毅、郭雪卿,理论算法研究)	
数字图像增强技术的研究与实现 (曹家瑞、骆博涵,图像分析应用技术)	
基于Python的Abaqus二次开发在岩土工程中的应用 (陈礼睿,综合有限元理论和应用分析)	

图3 部分大作业展示

(三) 教学大纲重塑与教材创新建设

教学大纲是教学内容、教学目标、教学方法和教学评价的基础,重塑教学大纲能够明确课程的目标,更好地设计课程内容,为教材创新建设提供方向。教材作为课程的载体,是将教学大纲落实到具体教学活动中的关键。教材创新建设需要根据教学大纲的要求,挖掘和整合优质教学资源,呈现与时俱进的教学内容,为培养强交叉人才提供支撑^[17]。

人才培养体系涉及学科体系、教学体系、教材体系、管理体系等,而贯通其中的是思想政治工作体系^[18]。其中,学科体系为教学奠定了知识分类的基础;教学体系将学科知识转化为教学内容和教学方法;教材体系是教师进行教学的主要依据和工具,好的教材体系可以为教学体系提供有力支撑;管理体系为教学提供管理保障;思政体系通过思想教育引导学生树立正确的价值观,促进学生全面发展。创新的教学大纲结构体系是高水平教学体系的重要组成部分。为了提高教学大纲的质量和教学效果,土木与建筑工程CAE课程可以从以下方面进行设计。

1. 整体架构有条不紊

根据学科发展趋势和最新的研究成果,重新构建教学大纲的整体框架。按照土木与建筑工程的CAE技术类型,教学分为可视化技术、模型化技术、离散化技术、虚拟化技术、网络化技术、自动化技术和智能化技术七个章节,各章节之间的逻辑关系如图4所示。其中,可视化技术通过图像、动画和视频等形式,直观呈现复杂的土木与建筑工程问题,以便更好地理解和分析;模型化技术将土木与建筑工程中的各种问题抽象成数学模型,以便分析和计算;离散化技术将连续的土木与建筑工程问题抽象成离散的形式,以便进行数值计算;虚拟化技术通过虚拟现实技术、增强现实技术和混合现实技术等,展示建筑物的结构、装修等细节,以便设计和施工;网络化技术通过互联网实现建筑物的设计方案、施工进度等信息的共享和交流,以便多方的参与和协作;自动化技术通过物体标识技术、感知技术、传输与控制技术等,实现对建筑物的空调、照明等系统的自动控制,提高能源利用效

率和工作效率;智能化技术通过人工智能技术处理和控制在土木与建筑工程中的各种问题。新的课程体系强调知识的基础性,重视对概念和原理的说明,并着重展现土木与建筑工程领域的最新成果和发展趋势。

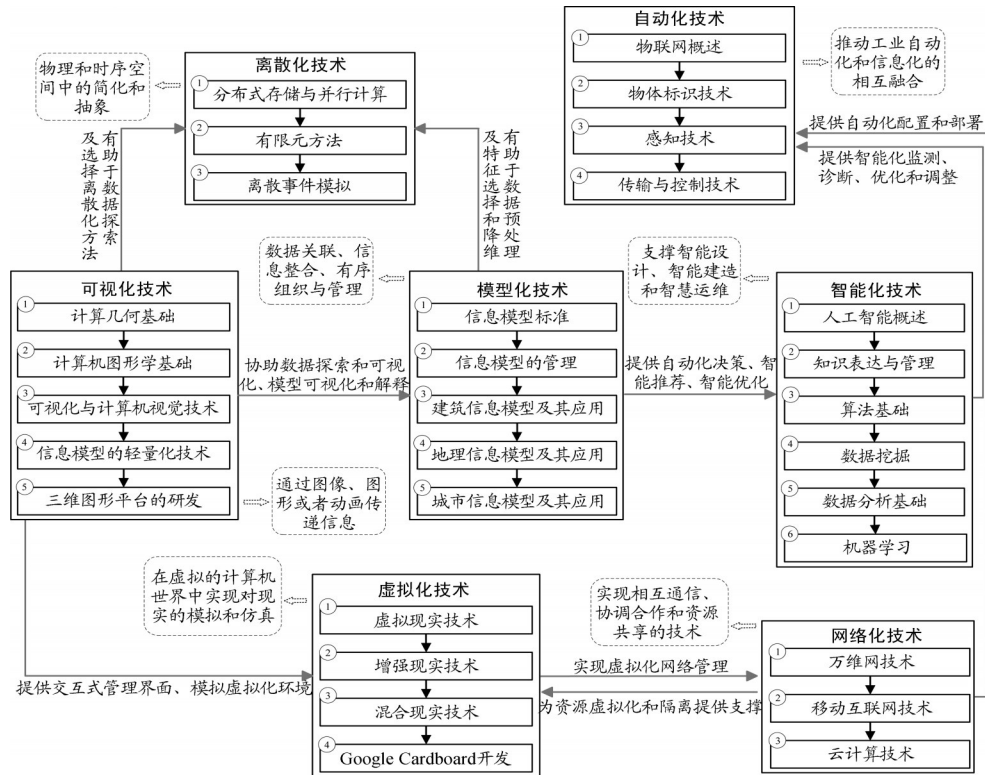


图4 土木与建筑工程CAE课程的教学大纲整体架构

2. 模块设计分而治之

每个章节可以设计一个独立的模块,涵盖概念、原理、方法、案例分析等内容。这种模块设计使教学大纲的组织结构更加清晰、灵活和高效,从而为学生提供更好的学习体验。

(1) 可视化技术: 直观显示复杂数据。在土木与建筑工程CAE课程中,可视化技术章节分为计算几何基础、计算机图形学基础、可视化与计算机视觉技术、三维几何信息的轻量化和三维图形平台的研发五个模块,各模块之间的逻辑关系如图5所示。其中,计算几何基础为CAE系统中的几何建模和计算提供了基础理论和方法支持;计算机图形学基础为CAE系统中图形可视化和计算提供了算法基础;可视化与计算机视觉技术为CAE系统中的数据可视化和图像处理提供了技术支撑;三维几何信息的轻量化技术为CAE系统中的大规模三维几何数据的处理和可视化提供了技术保障;三维图形平台的研发涉及三维图形平台的架构和实现。

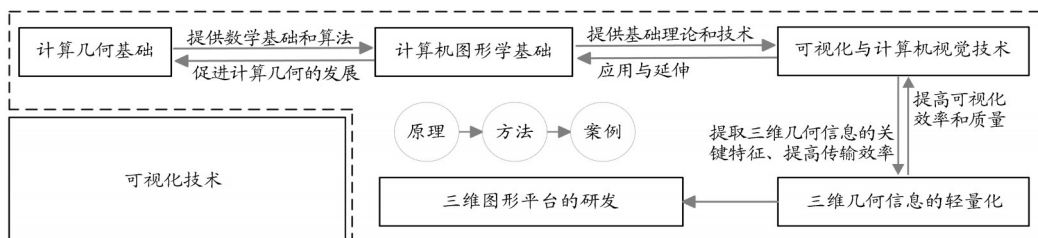


图5 可视化技术中各模块间的逻辑关系

(2)智能化技术:实现高效智能分析。教学大纲的构建应当考虑现代工程学科的交叉融合趋势,促进不同学科知识的相互渗透、相互贯通,以培养学生的创新思维和能力、团队合作和沟通协调的能力、全球化视野和国际交流能力等。智能化技术章节包含知识表达与管理、算法基础、数据挖掘、数据分析和机器学习五个模块。这些模块融合了计算机科学、数学、人工智能、统计学、土木工程、建筑工程、数据挖掘和机器学习等领域的内容和方法,如图6所示。



图6 智能化技术涉及的领域

(3)《土木与建筑工程CAE》教材建设。基于土木与建筑工程CAE课程的教学大纲,课程组教师编写了《土木与建筑工程CAE》教材。教材注重与先进技术接轨,如虚拟现实、云计算、物联网等。这些先进技术的引入,使教材具有更高的实用性和先进性,更符合现代土木与建筑工程学科对高质量教材的需求^[6]。教材建设成效如图7所示。

第一章 绪论

1.1 土木与建筑工程概述

1.1.1 土木与建筑工程的概念

第二章 CAE系统的可视化技术

2.1 计算几何基础

2.1.1 数学基础

2.1.2 坐标系

第三章 CAE系统的模型化技术

3.1 信息模型标准

第四章 CAE系统的离散化技术

4.1 分布式存储与并行计算

4.1.1 分布式存储

第五章 CAE系统的虚拟化技术

5.1 虚拟现实技术

5.1.1 虚拟现实原理

第六章 CAE系统的网络化技术

6.1 万维网技术

6.1.1 万维网概述

第七章 CAE系统的自动化技术

7.1 物联网的发展

7.1.1 物联网的概念

第八章 CAE系统的智能化技术

8.1 人工智能概述

8.1.1 智能的定义

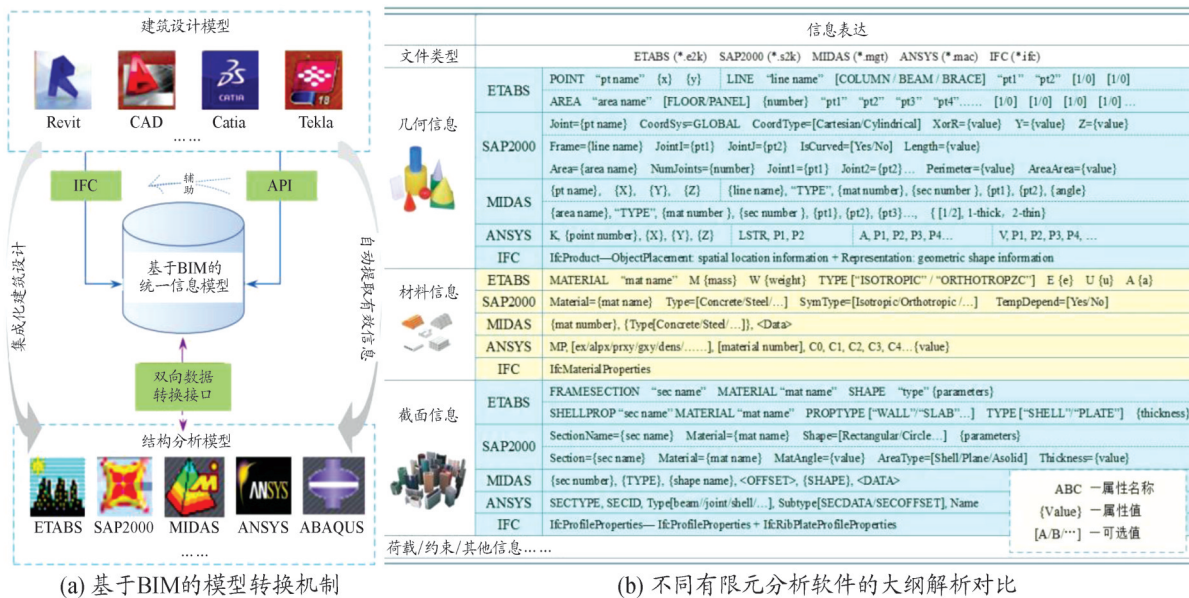
图7 土木与建筑工程CAE课程的教学大纲整体架构

(四) 教学内容注重“新”状态

在“知识爆炸”的时代,人类面临着“知识过时”的问题^[12]。随着科学技术的不断发展,土木工程领域的技术和理论持续更新和完善,因此,在课程内容的设计上,不能简单沿用以往的内容,需要根据实际情况和需求进行调整。

1. 广泛涉猎新技术

课程应以成熟的理论为主要内容^[7],并在此基础上引导学生广泛涉猎新兴技术。例如,有限元分析软件可以对复杂的结构和系统进行建模、分析和优化,是现代工程计算中的一种重要工具。教学内容应涵盖有限元分析的基本理论知识,如有限元离散化、刚度矩阵、应力分析等。同时,教学内容应注重实践应用,让学生通过真实的工程案例,学习有限元分析软件的使用方法和技巧。例如,通过分析当前建筑工程项目模型信息传递中存在的典型问题及应用需求,提出一种IFC-API建筑结构模型转换模式,并结合前期结构分析模型转换框架,形成一套完整的基于BIM的结构有限元分析模型转换体系^[19],如图8(a)所示。该过程涉及有限元分析模型的输入、输出、存储和转换方法,包括几何模型的建立、网格划分、边界条件的处理等。不同有限元分析软件在建模过程中的几何信息、材料信息、截面信息存在差异^[20],具体对比如图8(b)所示。



(a) 基于BIM的模型转换机制

(b) 不同有限元分析软件的大纲解析对比

图8 土木与建筑工程CAE课程的教学内容

2. 深入钻研前沿方向

课程应鼓励学生深入学习与探讨前沿性内容。在模型化技术章节中,注重讲解BIM相关的基础理论、标准规范、软件工具、应用案例,引导学生探讨BIM与其他技术的融合发展,从而帮助学生深刻理解BIM技术的内涵及应用发展前景。此外,课程还可探讨知识图谱、混合现实等新兴技术的原理、特点、应用场景和未来发展方向。

3. 全面提升综合能力

根据各章节的学习重点,设置大作业专题,提升学生的学术表达能力和科研创新能力,如表1所示。例如,研究地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术在机场运维管理中的应用,包括航班调度与运行监控、资源管理与维护、安全管理与应急响应、空间规划与规划决策等。再如,通过开发人工神经网络程序,解决实际问题、构建知识库等。

表1 土木与建筑工程CAE课程各章节的学习重点

章节名称	各章学习重点		大作业参考列表
	知识层面	科学方法论层面	
CAE系统的可视化技术	<ul style="list-style-type: none"> ·了解工程建模技术的发展概况 ·掌握三维图形显示的关键技术 ·掌握多维场的可视化实现方法 ·了解图像分析方法 ·了解轻量化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ·三维图形平台研发能力:使用开源库读取和显示模型;提升模型显示的真实感;提升人机交互能力; ·图形处理软件研发能力:使用开源库读取和显示图像;进行图像处理和图像分析;开发独立的图像处理软件 	<ul style="list-style-type: none"> ·实体模型拓扑关系数据结构设计和布尔运算实现 ·基于点插值技术的动画制作程序和小动画制作 ·三角形网格实体模型碰撞检测算法提出和实现 ·多光源下的阴影显示 ·贝塞尔曲线和曲面建模程序开发和实现 ·通过界面拉伸和旋转建立三维模型
CAE系统的模型化技术	<ul style="list-style-type: none"> ·了解信息标准体系 ·了解建筑信息模型 ·了解BIM技术的前沿应用 ·准确理解BIM技术的优势与发展中遇到的困难 ·了解GIS的概念及应用方向 ·了解CIM和智慧城市的发展 	<ul style="list-style-type: none"> ·BIM的鉴别和应用能力:从共享和协同理念理解BIM;了解和熟悉BIM标准;应用BIM技术解决工程问题 ·模型化技术的研发应用能力:深入理解BIM技术;应用GIS系统解决问题;掌握CIM的发展方向 	<ul style="list-style-type: none"> ·使用Revit系列软件制作建筑、结构和机电模型 ·对建筑模型进行真实感渲染和漫游效果实现 ·在结构模型中设置设计信息和工程属性,进行力学分析 ·利用结构分析软件,生成图纸和文档 ·对机电设备模型进行碰撞检测分析
CAE系统的离散化技术	<ul style="list-style-type: none"> ·理解分布式存储原理与架构,了解并行计算基本概念与常用模型 ·正确理解前处理技术,掌握有限元求解与分析的方法 ·仿真策略与SDESA算法 	<ul style="list-style-type: none"> ·离散化技术的应用能力:如何将连续转化为离散;如何将离散结果聚合;看待问题的多重视角 	<ul style="list-style-type: none"> ·编写程序,划分任意多边形网格为三角形或四边形单元 ·设计数据格式,保存有限元前处理模型信息,并开发Etabs和ANSYS接口 ·在不同软件中计算同一建筑物的地震作用,比较优缺点 ·编写程序分析简支梁受力,用云图和位移图表现内力和挠度
CAE系统的虚拟化技术	<ul style="list-style-type: none"> ·理解VR基本概念与原理,熟悉VR常用的软硬件开发技术 ·了解增强现实技术 ·了解混合现实技术 ·辨析VR/AR/MR技术 	<ul style="list-style-type: none"> ·虚拟化技术的研发应用能力:掌握3R应用的开发;了解3R技术的硬件原理,可以开发相应的软硬件模块 	无
CAE系统的网络化技术	<ul style="list-style-type: none"> ·掌握HTML页面开发技术,掌握动态网站开发技术 ·了解移动互联网的发展趋势 ·了解Android应用程序开发 ·了解云计算的基本概念,掌握云计算的三种服务模式 ·了解物联网的概念,了解物联网的四个关键技术 ·学习Arduino开发技术 	<ul style="list-style-type: none"> ·网络化技术的研发应用能力:深入思考网络化技术在土木、建筑、海洋工程领域的应用;网络化技术辅助工程管理;云计算平台的合适选型;搭建一个物联网系统;软硬件开发能力 	<ul style="list-style-type: none"> ·用ASP.NET、Java或Python开发建筑项目管理信息系统 ·基于定位技术开发移动平台APP记录和展示个人位置信息 ·针对建筑施工或运维问题,开发Android应用程序读取和显示QR Code ·基于物联网技术实现传感信息的获取、传输和显示
CAE系统的智能化技术	<ul style="list-style-type: none"> ·了解人工智能系统特征和应用场景 ·掌握知识的计算机表示方法 ·了解大数据的概念和应用,正确理解大数据的特点 ·掌握BP神经网络模型结构和算法原理 ·了解DNN结构 ·理解CNN模型结构和算法实现 ·了解RNN结构 	<ul style="list-style-type: none"> ·让计算机理解人类的能力:知识的表示;知识的处理;知识的应用 ·驾驭ANN的能力:了解生物神经元的机理;了解ANN的本质;掌握ANN模型的选择 	<ul style="list-style-type: none"> ·开发BP神经网络程序,包括训练和输出结果 ·用MATLAB神经网络工具箱解决土木工程问题 ·开发机电设备知识库,指导设备的安装和运营 ·研究面向建筑施工场景的语义识别技术,提取有效知识

4. 创新互动评价机制

制定合适的课程评估方式是增强教学设计应用性和实践性的重要手段。土木与建筑工程CAE课程采用综合评估方式,考核内容包括课堂表现、小作业、大作业选题、大作业汇报和大作业报告五部分。大作业成绩由教师打分和学生互评构成:教师从专业的角度对实验结果进行评分,并对学生在课题报告中具有创新性工作予以适当加分;学生互评依据研究过程中个人分工情况进行,对在各阶段起到主导作用的学生予以适当加分。实践表明,这种双重评估模式既能保证客观性和专业性,又能激发学生的主动性,加强学生之间的互动和交流,培养学生的综合素质和社交能力。

随着现代科技的不断发展和应用,CAE相关技术已经成为现代土木工程的重要技术手段,土木与建筑工程CAE课程内容改革是非常必要的。注重“新”状态不仅能够适应行业的需求,还有助于促进土木工程教育的发展。

(五) 科研教学相互支撑与教学团队建设

科研教学相互支撑和教学团队建设是教学改革的必要措施。科研教学相互支撑主要指科学研究与教学相互融合的过程,科研成果可以为教学提供理论依据和实验数据,教学成果可以为科研提供实践基础和人才支持。教师团队是高校最基层的教学组织^[21],其作用在于为学生提供高质量的教育教学服务,实现高质量人才培养目标。教学团队由一群拥有专业知识背景和丰富教学经验的教师组成,共同承担教学任务,开展教学活动,促进教学与科研的有机结合。

1. 科研教学相互支撑

强交叉人才需要具备多方面的知识和技能。科研教学相互支撑可以提高教学质量,引导学生深入了解科学研究的过程和方法。教学团队将CAE技术拓展应用到海洋工程领域,并以“水文气象+工程应用+力学原理+信息智能”为外延,不断拓展教学内容,实现教学过程的科研化,科研过程的教学化。面向未来,团队将以海洋工程数字孪生为切入点,探索新型的海洋结构物设计、建造及维护技术体系,以及数字防灾理论方法,为相关规范标准的编制和重大工程的实践提供科学技术支撑。同时,充分利用学校的教学育人平台,将高水平的研究成果与教学活动结合,实现教研一体。

2. 教学团队建设

通过整合跨学科和跨领域的师资力量,持续加强教学团队建设。教学团队由清华大学土木工程系马智亮、林佳瑞,以及清华大学深圳国际研究生院胡振中等人组成,其中,马智亮讲授土木工程CAD技术课程,林佳瑞讲授建筑信息模型(BIM)基础课程,胡振中讲授工程硕士数学和土木与建筑工程CAE两门课程。在此基础上,进行了海洋工程学科教学团队的建设,拓展延伸了多门海洋工程领域课程,包括李彬彬、李孙伟讲授的海洋工程与技术概论课程,陈胜利讲授的中国邻近海域水文及动力环境课程,郑向远讲授的海洋工程结构物的流体荷载课程,李彬彬讲授的船舶与海洋浮式结构物的静力学与耐波性课程,如图9所示。未来,教学团队将深入完善CAE系列课程的教学体系。

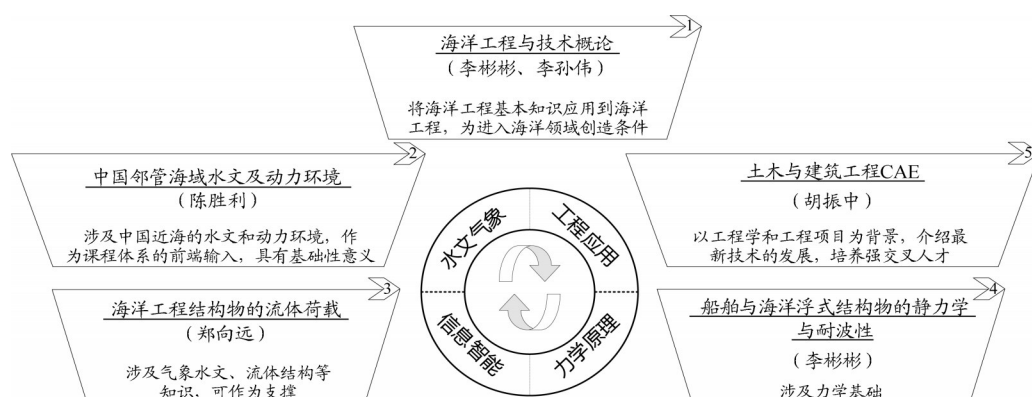


图9 海洋工程学科教学团队的建设

四、结语

新时代土木与建筑工程项目的复杂性和多样性逐步提高,传统的土木与建筑工程教育体系已难以满足社会对具备强交叉知识背景和协同创新能力的高素质人才的需求。本文以课程的发展与改革为基础,分享了课程建设的基本经验。在课程建设的过程中,教学理念的制定、教学设计的构思、教学大纲的重塑、教材建设的创新、课程内容的更新、科研教学的相互支撑,以及教学团队的建设都是必不可少的环节。在2021年秋季学期,共有15位学生修读了土木与建筑工程CAE课程,并完成了有效评价。在全校(清华大学)范围内同类型且学生规模相近的课程共计415门,该课程的评课结果位列前5%。此外,在“对未来要上这门课程的同学,我会推荐这位老师”的评价中,该课程教师进入指标得分前5名。实践证明,课程改革成效显著,学生解决复杂工程问题的能力得以提升。在后续授课中,还可通过培育大工程观^[22]、引入现代科技、建立校企合作关系^[23]等,深化教学改革。

面向新时代强交叉人才培养的土木与建筑工程CAE系列课程改革,是顺应时代发展的需要,也是教育改革的重要任务。只有不断进行改革和创新,才能够培养出更多具有交叉学科背景的高级专业人才,从而为推动土木与建筑工程学科的发展提供有力保障。

参考文献:

- [1] 教育部高等教育司. 教育部高等教育司关于印发《教育部高等教育司2019年工作要点》的通知[EB/OL]. (2019-04-19)[2023-05-10]. http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201904/t20190426_379670.html.
- [2] 习近平在中共中央政治局第五次集体学习时强调加快建设教育强国为中华民族伟大复兴提供有力支撑[J]. 共产党员, 2023(11):8-9.
- [3] 张兴宏, 虞卿磊, 张伟, 等. 学科交叉背景下的高分子材料与工程专业的教学探索与实践——以浙大高分子科学与工程学系专业核心课程《高分子化学》教学为例[J]. 高分子通报, 2023(9):1231-1236.
- [4] 徐林. 交叉学科人才培养高质量发展:逻辑脉络、关键挑战与实现策略[J]. 高校教育管理, 2023, 17(1):35-46.
- [5] 陈天凯, 李媛, 刘晓, 等. 学科交叉人才培养的实践探索与改革路径——以天津大学为例[J]. 学位与研究生教育, 2023(4):27-33.
- [6] 周海涛. 促进交叉学科人才培养的五维融合[J]. 北京社会科学, 2023(1):91-93.
- [7] 杨帆, 赵金峰, 王莉华. 浅谈理工专业工程软件应用类课程的教学方法——基于同济大学CAD/CAE课程教学实践的思考[J]. 当代教育实践与教学研究, 2018(2):76-77.
- [8] 郝亮亮, 王芳, 闫献国, 等. 基于应用型人才培养的铸造凝固CAE课程教学改革探索[J]. 铸造, 2022, 71(11):1452-1457.
- [9] 尹家波, 杨光. “新工科”背景下土木水利拔尖创新人才培养模式研究[J]. 江苏科技信息, 2022, 39(29):20-22, 40.
- [10] 教育部. 2022年全国教育事业统计公报[EB/OL]. (2023-07-05)[2023-07-06]. http://www.moe.gov.cn/jyb_sjzl/sjzl_fztjgb/202307/t20230705_1067278.html.
- [11] 叶雨婷, 刘雪琪. 研究生学制延长,“学质”如何跟上步伐[N]. 中国青年报, 2023-09-04(5).
- [12] 林健. 新工科专业课程体系和课程建设[J]. 高等工程教育研究, 2020(1):1-13, 24.
- [13] 李莉, 彭妙娟. 新工科背景下面向土木工程研究生的教学改革探索——以“高等建筑材料学”课程为例[J]. 教育教学论坛, 2023(8):92-95.
- [14] 王传毅, 辜刘建. 加强高校教师队伍建设为现代化建设提供坚实的人才支撑[J]. 中国高教研究, 2023(2):16-23.
- [15] 程文浩. 浅析案例教学在公共管理教育中的应用[J]. 公共管理评论, 2011(1):135-144.
- [16] 纪晓东, 钱稼茹, 赵作周. 清华大学高层建筑结构精品课程及教材建设[J]. 高等建筑教育, 2023, 32(1):88-95.
- [17] 李辉. 新工科教育改革视界下的教材建设思考[J]. 现代教育管理, 2019(10):102-106.
- [18] 习近平. 在北京大学师生座谈会上的讲话[N]. 人民日报, 2018-05-03(2).
- [19] 张晓洋, 胡振中. 面向结构有限元分析的模型转换方法研究[J]. 工程力学, 2017, 34(6):120-127.

- [20] Hu Z Z, Zhang X Y, Wang H W, et al. Improving interoperability between architectural and structural design models: An industry foundation classes-based approach with web-based tools[J]. *Automation in Construction*, 2016(66):29-42.
- [21] 赖绍聪. 高等学校教师教学团队建设的策略与路径[J]. *中国大学教学*, 2023(5):9-17.
- [22] 王书亭, 李昕, 张芬, 等. 面向大工程观培养的智能制造实践教学体系构建[J]. *机械工程学报*, 2022, 58(18):319-332.
- [23] 江丰光, 梁晓妮, 肖雄子彦, 等. 校企合作视域下人工智能课程开发与实践的设计研究[J]. *远程教育杂志*, 2023, 41(3):65-74.

Development of CAE courses for civil and architectural engineering to cultivate strong cross-disciplinary talents in the new era

HU Zhenzhong¹, ZHU Shiyi¹, LIN Jiarui²

(1. *Institute for Ocean Engineering, Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Shenzhen 518000, P. R. China*; 2. *School of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China*)

Abstract: In the current rapidly developing economic and technological environment, the civil and architectural engineering industry is facing new challenges and opportunities. To meet the demands of the new era, cultivating talents with interdisciplinary knowledge and comprehensive abilities has become an important direction for education reform in this industry. Based on an analysis of the demand for talents in the new era of civil engineering and architecture, this article explores how to cultivate strong cross-disciplinary talents through the construction of computer-aided engineering (CAE) courses and summarizes the basic experience of CAE course for civil and architectural engineering construction and reform.

Key words: new era; strong cross-disciplinary talents; civil and architectural engineering CAE; course construction

(责任编辑 代小进)