doi:10. 11835/j. issn. 1005-2909. 2024. 01. 015

欢迎按以下格式引用:杨溥,杨志勇,董银峰,等. 结构抗震设计课程产学合作协同育人教学模式构建[J]. 高等建筑教育,2024,33(1):120-127.

结构抗震设计课程产学合作协同育人教学模式构建

杨　溥[1],杨志勇[2],董银峰[1],郑妮娜[1],刘立平[1],贾传果[1],韩　军[1]

(1.重庆大学 土木工程学院,重庆　400030;2.广州建研数力建筑科技有限公司北京分公司,北京　100013)

摘要:教育部产学合作协同育人教学内容和课程体系改革项目,旨在将人才培养的最新要求引入教学过程,推动高校更新教学内容、完善课程体系,建设适应行业发展需要、可共享的资源并推广应用。顺应国家战略要求,针对目前土木工程专业理论课程教学中普遍存在的问题和结构抗震设计的课程特点,基于混合式教学方法构建产学合作协同育人教学模式,探讨教学内容的调整优化、典型结构分析软件的引入、课程大作业的设计、试验项目的选取、考核方式以及教研试验平台的建立和利用等教学改革措施,描述了该教学模式的主要思路和关键实施步骤,列举了在理论知识、工程应用、创新思想和专业素质方面的收获和启发,验证了产学合作协同育人教学模式的良好效果。

关键词:教学改革;产学合作;混合式教学;抗震设计

中图分类号:G642.3　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1005-2909(2024)01-0120-08

为提升本科人才培养质量,深化产教融合、校企合作,教育部高等教育司组织有关企业与高校共同开展产学合作协同育人项目。产教融合既是创新国家教育改革和人力资源开发的路径,也是整合教育和社会资源的有效方式,优化教育和产业的配置模式,实现两者的双提升[1]。如何构建产学合作协同育人的培养模式一直是高校教学改革的重点。虽已取得了十分显著的成效,但受育人主体价值理念、育人标准和培养目标等因素的影响,我国产学合作协同育人模式的整体性设计不足,知识体系不连贯,理论和实践脱节现象仍比较突出。如何动态适应产业需求变化,培养既能满足价值链中高端和重点产业数智化转型需求,同时又能兼顾低端与传统产业数字化升级的多规格、多样化人才,成为新时代工程人才培养的一个挑战性命题[2]。

对于高校土木工程专业而言,引入产学合作协同育人理念是提升人才培育质量、解决土建行业发展潜在难题的有效举措。以人才培育为核心,以企业需求为指向,对现有课程教学体系进行合理整合,在保障专业基础和专业课程教学内容的基础上,加大对实践课程和信息化、工业化、绿色建筑等新发展方向知识的传授,让学生拥有自主学习的权利,为其就业面的拓宽提供必要支持[3]。

修回日期:2023-07-30

基金项目:教育部产学合作协同育人项目(202102202008)

作者简介:杨溥(1969—),男,重庆大学土木工程学院教授,博士,博士生导师,主要从事防灾减灾工程研究,(E-mail)yangpu@cqu.edu.cn。

结构抗震设计课程是土木工程专业核心主干课之一，汇集了动力分析理论、地震震害、抗震设计原理、结构试验等全方位知识。同时涉及复杂的动力分析、材料和几何非线性等难点问题，且与工程实践紧密结合，是多门专业基础课的扩展和综合灵活应用。本课程主要讲述内容包括地震基本知识、工程结构的抗震设防策略、地震作用及结构地震响应计算方法、抗震概念设计的内涵、两阶段抗震设计方法、结构隔/减震的基本原理及设计方法等。其任务是讲述地震的基础知识及结构的抗震设防策略，重点讲述抗震设计基本原则、地震作用计算方法和结构抗震设计方法，并结合试验教学环节，培养学生掌握结构动力分析及基本抗震设计原理，使学生具有从事建筑结构抗震设计的工作能力。因此，如何梳理本课程诸多知识点之间的联系，解决理论学习与工程实践的融合，充分利用企业的软硬件资源，满足用人单位的迫切需求，是土木工程专业核心课教学改革亟待解决的问题。

针对土木工程专业课程的特点，总结近年来本课程在教学内容、方式改革等方面的经验和研究成果，通过与广州建研数力建筑科技有限公司技术人员的深度交流，融合专注于结构分析的SAUSG系列软件，提出适宜本类课程教学的教学模式，系统地探讨教学内容、大作业、试验项目、考核方式等教学改革措施。

一、专业课程教学改革研讨

目前，土木类专业课教学存在的诸多问题，不仅源于学生对工程理论课教学的认识度和重视度不足，更与高校专业培养方案的要求、教师的教学理念、硬件条件和教学方式等因素密切相关。对于土木工程专业的结构抗震设计课程而言，主要体现为有限的专业课时和不断更新的教学内容之间的矛盾。随着“压缩课时，提高效率”的教学研究和改革工作的不断深化，专业课程的理论教学课时或多或少都被压缩和整合，如何利用有限的教学时间合理安排教学内容，让学生掌握专业课程的精髓，为将来从事该领域工作准备必要的专业知识，已成为理论课程教学改革面临的主要问题[4-9]。

荀子曰：“不闻不若闻之，闻之不若见之，见之不若知之，知之不若行之”，这充分反映了人们认识事物的自然规律和方法，因此，结构抗震设计课程遵循“闻之，见之，知之，行之”渐进式求知思想[10-11]，通过在线慕课和课堂教学来传授知识。通过基于项目学习（project-based learning，PBL）的大作业、单元测试等巩固知识，利用课堂线下主题讨论、编程分析、课程实验等增加学生的参与感、引导学生自主学习，并能运用知识解决工程项目中的问题，从而构成线上线下混合式教学模式，实现从forget、remember到learn的飞跃，从“学会”到“会学”和“会用”的转化。

二、专业课程教学模式构建

（一）慕课教学内容

根据《建筑结构抗震设计》教材主要知识点，录制了38段（合计371 min）教学视频，主要内容涵盖地震灾害及成因、抗震设防思想、地震动特性、反应谱特征、地震作用及响应分析、地震效应组合、抗震设计方法、结构隔震设计原理、结构减震技术等。

根据课程内容精心设计了对应的129道线上习题（基本概念方面），课程结束前完成一次线上集中考试（共40道题目）。专门设置了线上讨论环节，由授课教师根据课程进度实时提出思考题，学生可以在线提问，实现师生间的线上互动交流。2019年在清华大学学堂在线建课后，目前已经近2万学生参与学习。

（二）翻转课堂设计

首先，梳理课程关键知识点之间的脉络关系，编写适用于翻转课堂的教案及教学周历，为每节课的课前预习、课堂组织（包括讲解、演示和专题讨论等）以及课后作业进行了详细的设计。PBL大作业则以重庆某消防队建设项目中最简单的训练塔建筑方案为工程背景，根据建筑功能、拟建场地等条件进行分组，根据知识点多层次分解为思考、分析和设计大作业任务，贯穿课程教学过程，逐步完成分步任务，并及时进行课堂评讲和组间对比，实现理论学习与工程实践的紧密结合。

下面以课程第一讲（2学时）为例说明翻转课堂设计内容[12]，具体见表1。

表1 结构抗震设计课程第一讲翻转课堂设计

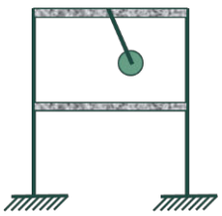
构成类别	具体内容说明
教学单元	1.1地震基础知识；1.2地震灾害与抗震防灾
教学目标	掌握地震及成因、地震类型、常见地震术语、震级和烈度、地震活动性、世界和中国的地震环境。重要知识点为地震及成因，震级及烈度，世界和中国的地震环境 在能力培养上可通过引导，要求学生查阅近年来发生的典型地震，指出其震级和震中烈度，将其归类，了解其地震活动性，找出其所处的地震带，培养学生学习能力
课前准备	线上内容，共5段视频，包括地震灾害、地震成因、地震带、地震类型、震级和烈度 资料准备：结构面临的灾害有哪些，地震灾害在哪些方面对结构产生影响；地震灾害与其他灾害相比有哪些特点；中国各地域的地震概况 教材预习：1.1地震基础知识；1.2地震灾害与抗震防灾 线上讨论区主题：如何减轻地震灾害 线上作业：Ex-ch1-1
教学知识点	本讲主要包含7个知识点，分别是：1）地震成因；2）地震类型；3）地震术语；4）震级和烈度；5）地震灾害；6）地震活动性；7）地震带
课堂活动安排	回顾知识点，小组展示学习成果并讨论（助教全程做记录并参与讨论） 专题讨论： Topic 1地震成因。断层说和板块构造说哪个正确，以汶川地震为例讲解地震成因、地震活动性、地震带等知识，完成小组汇报 Topic 2地震术语和地震类型。总结归类（分组汇报） Topic 3震级和烈度的区别和联系。汶川地震震级、重庆与成都烈度对比（提问：能量为什么是32倍关系？与震中烈度关系） Topic 4给出等烈度线图讨论（小组汇报） 课堂作业： 1）分组展示各地域地震环境； 2）酒店能抵抗8级地震，地震震级为8度，对吗？ 3）说明地震灾害特点（小组汇报） 4）地震能准确预报吗？怎么才能做到？
课后任务	教材内容：1.3建筑抗震设防策略（10~17页） 线上视频：抗震设防思想、抗震设防目标与途径、抗震设防类别及标准 PBL大作业：进行结构平面布置（柱、梁、板定位和尺寸等，具体结构布置的设计依据等提前提供参考资料）

（三）课程实验设计涵盖知识点

为了实现课堂教学与实验教学的深入融合，针对课程中结构减震控制的知识点，利用实验室的Quanser Shake II小型振动台和加速度传感器等设备，安排了结构TMD（调频质量阻尼器，Tuned Mass Damper）减震试验[13]。

结构TMD试验模型为单跨两层框架，仅考虑单向输入，采用正弦波或地震波激励。结构模型的第1层和第2层楼板质量均为5 kg，在地震输入方向每层的抗侧刚度约为400 N/m，附加在结构模型第1层和第2层的质量分别为M1+和M2+，课程实验的结构模型示意图及分组参数见表2。

表2　课程实验分组及参数表

结构模型示意图	分组号	附加质量 M1+/kg	附加质量 M2+/kg	正弦波激励频率/Hz
	1	0	0	f_1+0.05 或f_1−0.05
	2	1	0	
	3	0	1	
	4	1	1	
	5	2	1	
	6	1	2	
	7	0	2	
	8	2	2	

注：f_1为结构基本自振频率。

课程实验内容及步骤包括：

（1）白噪声扫描，识别系统的自振频率（或周期）；

（2）正弦激励试验，加深对振型的认识，观察无控结构动力响应；

（3）根据实测的自振周期，进行结构的减震设计；

（4）正弦或地震激励试验，观察有控结构动力响应；

（5）收集和整理试验数据，评价减震控制效果。

为了弥补课堂授课时间的不足，首先引导学生预先查阅TMD技术的相关文献资料，了解其应用现状，并要求学生推导单摆自振周期的理论计算公式，掌握TMD减震原理，从而确定本组的单摆最优摆长。结合结构减震试验，帮助学生更直观地了解TMD技术应用于结构的减震效果和结构动力反应的相关知识。

（四）考核方式

根据本课程混合式教学的特点，对传统单一期末集中考试方式进行了改革，即课程成绩由平时成绩和期末集中考试成绩构成，其中，平时成绩包括观看视频、线上作业、讨论区回答问题积极性、线上测试、课堂讨论、课后习题和PBL大作业、实验等。近年来，学生成绩构成如下：课堂表现5%、线上成绩20%、线下作业5%、PBL大作业5%、实验报告5%、期末考试60%。

三、产学合作协同育人教学模式的构建

对于土木工程专业课——结构抗震设计课程而言，其中重要的一章为结构减震控制，教学内容有隔震原理与方法、减震原理与方法、结构主动控制初步等，该类技术已在实际工程中得到广泛的应用，但分配的相应课时仅为1~2学时，仅靠课堂教学根本无法透彻讲述这些原理和设计方法，只

能大致列出结构控制的分类、特点及应用概况。学生毕业后碰到该类设计和施工问题，仍需重新自学，这严重制约了该门课程的特色和应用前景。如何弥补这个短板，是教师一直探索的问题之一，依靠课外引导学习和必要的实验不失为一种有效方式。实验教学是对专业理论知识的补充和验证，但学生绝大多数不重视实验课，其原因在于教师和教学管理人员仍受传统教育教学理念的束缚，不愿投入更多的时间去思考和实践，未能形成具有特色的实验教学模式。教师不转变教育思想和教育理念，就不能构建新的实验教育教学模式，学生重知识轻技能的观念也无法改变。本课程为了构建产学合作协同育人教学模式，从以下方面进行了改革探索。

（一）慕课教学内容的扩充

2022年根据教学需求，结合企业（广州建研数力建筑科技有限公司）提供的结构分析软件SAUSG，及时补充了6段（共计90 min）慕课教学视频，内容涉及地震波选择、结构非线性分析、减震/隔震设计以及算例演示，具体见表3。

表3 产学研协同录制教学视频列表

序号	视频名称	视频内容简介	时长/min
1	结构动力分析地震波选择	详细解读了规范关于结构时程分析输入地震波的选取原则、具体控制指标，对软件操作进行了详细讲解	15
2	结构非线性分析SAUSG软件	对结构非线性分析的理论知识、软件的操作方法和步骤进行了系统讲解	10
3	框架结构地震非线性分析案例	针对多层钢筋混凝土框架算例，讲述软件SAUSG的操作步骤和分析结果	15
4	隔震结构设计及验算内容	按照新版《建筑结构隔震标准》（GB/T 51408—2021），对隔震结构设计的基本规定、验算方法和隔震支座及隔震构造进行了系统讲述	14
5	隔震结构设计案例	针对多层钢筋混凝土框架算例，讲述隔震设计软件SAUSG-PI的操作步骤和分析结果	26
6	结构减震设计案例	针对多层钢筋混凝土框架算例，讲述采用防屈曲支撑对结构抗震性能的影响、设计软件SAUSG-Zata的操作步骤和分析结果	20

（二）大作业任务书的优化

以某消防队建设项目中的训练塔为对象，根据建筑功能、拟建场地等条件进行分组，具体如表4所示。

表4 大作业分组表

分组号	建筑用途	拟建地区	跨度/m	层高/m	场地类别
1	普通办公室	四川省绵竹市	6.9	3.9	IV
2	消防队值班及训练室	四川省绵竹市	7.0	3.9	III
3	国家级电力调度中心	四川省绵竹市	7.2	3.9	III
4	普通办公室	重庆市沙坪坝区	6.9	3.5	III
5	消防队值班及训练室	重庆市沙坪坝区	7.0	3.5	II
6	国家级电力调度中心	重庆市沙坪坝区	7.2	3.5	II

大作业的具体内容如下所示。

（1）工程采用钢筋混凝土框架结构体系，进行结构平面布置（第1章第1次课后）。

（2）确定结构抗震设防烈度及对应的小震、中震和大震水准取值（即多遇、设防和罕遇地震烈度取值），抗震设防类别及标准。

（3）每组计算某一条地震波的反应谱（第2章第1次课内）。

（4）根据本组题目所给设计条件（如拟建地区、场地类别等）和我国抗震设计谱（第3章第1次课内），绘制对应于小震、中震和大震水准的设计谱图（同一张图，阻尼比为5%）；绘制对应于小震水准，设计地震分组第一组，场地类别分别为I和IV的设计谱图（同一张图，阻尼比为5%）；画出阻尼比ζ为2%、5%的对应本地区小震的设计谱（同一张图）。

（5）确定结构抗震计算简图（沿2轴方向）。确定结构的每层Gi、Ki，提取结构的质量和刚度矩阵（第3章第3次课后）。试求该结构的自振频率和振型，绘制前3阶振型图，验算结构振型正交性（采用MATLAB程序）；采用振型分解反应谱法求小震下的各楼层剪力及第2层的层间位移（采用MATLAB程序）；采用底部剪力法求小震下的各楼层剪力及第2层的层间位移（第3章第4次课后，手算或采用MATLAB程序）。

（6）试讨论：判断结构是否考虑竖向地震作用？是否考虑扭转地震作用？是否考虑双向地震作用？并分别说明理由（第3章第4次课内）。

（7）定性判断该结构的平面及竖向规则性，讨论该结构的多道防线（第4章）。

（8）如何进行该结构的两阶段设计，包含哪些内容（第4章第2次课内）。

（9）采用SAUSG非线性分析软件，进行结构在罕遇地震作用下的弹塑性变形验算。

（10）采用SAUSG-PI隔震设计软件，对结构进行隔震设计和验算（第9章）。包括：在设防地震下，进行隔震层验算，计算结构底部剪力比；在罕遇地震下，对比分析隔震结构和非隔震结构的变形，绘制框架柱损伤图。

需要说明的是，以前缺乏合适的结构非线性分析软件，学生通常利用office软件和教师自编的MATLAB软件完成PBL大作业，也只能进行平面框架结构的弹性设计，无法进行空间结构的非线性分析，在引入建研数力建筑科技有限公司专业软件SAUSG非线性分析和SAUSG-PI隔震设计软件后，特意调整和增加了第9和10项的大作业任务，通过学习，学生更进一步扩展了空间结构和弹塑性损伤分析方面的知识。

四、教学启迪

产学合作协同育人教学模式充分利用翻转课堂教学方法、结合企业提供的结构分析软件，从课程教学内容选择、课前预习内容、课上讨论安排、工程应用和课程实验等环节着手，主要收获和启发反映在以下方面。

1.要提升教学效果，教学模式更新是关键

为了提升教学效果和人才素质，以往教育注重教学大纲、内容、教材的修订更新和精品课程建设等，但这些都是外因，而学习的主体——学生的学习积极性并没有被真正激发，即学生在传统教学环境下，是被动的受体，最多是参与者。而这种接受的程度和参与的程度都是不可控的。

产学合作协同育人教学模式打通了理论知识和工程应用及实验教学的分界，引入翻转课堂教学方式，结合学堂在线教学平台和结构非线性分析软件，通过PBL大作业和课程实验，从教学细节抓起，激发学生主动学习的积极性。

2.线上平台对提升教学效果有重要作用

授课教师课前布置线上慕课预习具体内容,引导学习主要的知识点,更重要的是教师要督导学生进行慕课学习,线上平台提供学习者视频观看进度、线上作业完成情况以及参与讨论的数据,授课教师随时监控和督促学生完成课程学习。线上中期测试能反映学习盲区和通病,教师及时纠正非常关键。但线上慕课提供的仅是分散的知识点,在课堂上通过串讲才能形成系统的知识体系。

3.大作业是理论知识在工程中的应用

以实际工程为背景,列举工程需要解决的问题,采用项目式学习手段和必要的工具(本课程采用的结构分析专用软件由广州建研数力建筑科技有限公司提供),对任务进行合理的分解,学生发挥各自能动性分工协作完成大作业,从而激发学生的学习积极性,培养团队合作精神。

4.课程实验是实现理论知识和实验融合的重要环节

每组学生全程参与实验,分工明确(如查阅资料、推导公式、试件设计、实验拍照、处理数据及撰写报告等),共同协作完成实验。在巩固理论知识的同时,让学生熟悉结构被动减震控制技术的重要性。

5.完善考核方式是激发学习者积极性的必要途径

为鼓励学生积极适应协同育人教学模式,对课程考核方式和内容进行了改革,尽可能覆盖课程全过程的所有环节,如线上成绩(包括观看视频、线上作业、讨论区回答问题、线上测试)、课堂讨论、课后习题和PBL大作业、实验等,采用全过程和多角度评价方法,较传统教学模式更能激发学生的学习积极性。

利用重庆大学提供的研讨室专用教室和小班教学模式,进行连续3年的混合式教学研究,利用重庆大学土木工程学院的小型振动台进行了课程实验探索(图1)。在2022年推行产学研协同育人教学模式的实施,取得了良好的教学效果(图2)。

图1 翻转课堂及实验照片

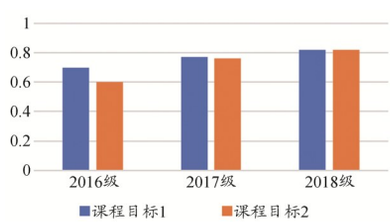


图2 课程目标达成指标分析

五、结语

工程类高校对于专业课程的教学,强调结构受力原理、基本概念和设计方法,不仅应保证课堂理论教学质量,避免满堂灌的传统教学模式,同时应加强理论教学、工程应用及实验教学的融合性和创新性,结构抗震设计课程通过线上慕课资源、以实际工程为背景的PBL大作业、必要的实验和必要的结构非线性分析软件教学等构建了适合于本课程的产学合作协同育人教学模式,引导和启发学生的主动思考意识,培养其分析和解决问题的能力,为传统工程学科的教学改革提供了参考。

需要说明的是,翻转课堂或混合式教学可作为传统课堂教学的有益补充,但不宜多门课程同期采用。

参考文献:

[1] 刘冰,徐娜. 以产学合作协同育人推动高质量人才培养[J]. 中国高等教育,2022(15):55-57.

[2] 张婷婷,李冲. 构建基于工业价值链的产学合作协同育人新模式——以“数智化人才”培养为例[J]. 高等工程教育研究,2022(6):44-51
[3] 逯云芳,洪波. 产学合作协同育人背景下土建专业人才培养路径研究与思考[J]. 辽宁科技学院学报,2022,24(1):41-44.
[4] 战德臣,王立松,王杨,等. MOOC+SPOCs+翻转课堂:大学教育教学改革新模式[M]. 北京:高等教育出版社,2018.
[5] 刘丽华,王巧玲,艾红,等. 过程控制课程教学中混合式教学模式的探索与实践[J]. 高教学刊,2021(14):111-115.
[6] 赵子昂. 基于翻转课堂的“以学生为中心”混合式教学探索[J]. 教育教学论坛,2021(21):165-168.
[7] 陈廷国,曲激婷,陈璨. 结构力学课程混合式教学探索与实践[J]. 高等建筑教育,2020,29(1):61-64.
[8] 林拥军,李彤梅,潘毅,等. 线上与线下融合的土木工程专业课混合式教学研究[J]. 高等建筑教育,2020,29(1):91-101.
[9] 李延君,史慧云,韦皓煜,等. 专业认证下的力学课程混合式教学改革研究——以长春工程学院为例[J]. 黑龙江科学,2021,12(11):32-34.
[10] 于韵杰. 以学生为中心的教与学——利用慕课资源实施翻转课堂的实践[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2017.
[11] 王婷,黎文婷,杨文越. 融合PBL的翻转课堂在城市规划原理课程中的教学实践[J]. 高等建筑教育,2021,30(2):113-119.
[12] 李英民,杨溥. 建筑结构抗震设计[M]. 重庆:重庆大学出版社,2021.
[13] 杨溥,贾传果,刘立平,等. 工程实验与理论教学的融合方法研究[J]. 高等建筑教育,2020,29(1):137-145.

Construction of teaching model of industry-university cooperation education for the course of seismic design of building structure

YANG Pu[1], YANG Zhiyong[2], DONG Yinfeng[1], ZHENG Nina[1], LIU Liping[1], JIA Chuanguo[1], HAN Jun[1]
(*1. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China*; *2. Guangzhou CABR & SC Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing 100013, P. R. China*)

Abstract: The teaching content and curriculum system reform project of university-industry cooperation for collaborative education of the Ministry of Education aims to introduce the latest requirements of talent cultivation into the teaching process, promote universities to update the teaching content, improve the curriculum system, build shareable resources that meet the development needs of the industry and promote their application. In response to the requirements of national strategy, considering the common problems in the teaching of theoretical courses in civil engineering and the characteristics of the course of seismic design of building structure, the teaching mode of industry-university cooperation and collaborative education is constructed based on the hybrid teaching method, which discusses the adjustment and optimization of teaching contents, the introduction of typical structural analysis software, the design of course assignments, the selection of test projects, the assessment method and the establishment and utilization of teaching and research test platform.

The main ideas and key implementation steps of the teaching mode are described in detail, and the gains and inspirations in terms of theoretical knowledge, engineering application, innovative ideas and professional quality are listed, thus verifying the good effect of the teaching mode of industry-university cooperation and collaborative education.

Key words: teaching reform; university-industry cooperation; blending learning; seismic design

（责任编辑　周　沫）