

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.06.007

欢迎按以下格式引用:马佳星,陈柯宇,沈心媛,等.工程教育认证背景下混凝土结构设计原理教学模式探索——以中国与新加坡课程对比为例[J].高等建筑教育,2020,29(6):47-53.

# 工程教育认证背景下混凝土结构设计原理教学模式探索

## ——以中国与新加坡课程对比为例

马佳星<sup>1</sup>,陈柯宇<sup>2</sup>,沈心媛<sup>1</sup>,王银辉<sup>1</sup>

(1.浙大宁波理工学院 土木建筑工程学院,浙江 宁波 315100;2.浙江理工大学 建筑工程学院,浙江 杭州 310018)

**摘要:**工程教育专业认证的实施为中国应对新一轮科技革命指明了道路,更进一步为培养专业实践人才奠定了基础,具有重要的指导意义。混凝土结构设计原理课程是土木工程专业重要的专业基础课程之一,但在实际教学过程中,存在授课形式单一、结合新技术少和涉及实践知识少等问题。基于工程教育专业认证的理念和要求,横向对比国内及新加坡高校混凝土结构设计原理课程的教学方式,并进一步总结经验,优化教学方式,提出教学改革措施,提升课程的教学质量,以期为国内高校课程改革提供参考。

**关键词:**土木工程;工程教育认证;混凝土结构设计原理

**中图分类号:**TU37-4;G642.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2020)06-0047-07

近年来,随着中国经济技术的发展,传统的工科行业面临着新一轮科技革命和技术变革的冲击,大学生的就业形势十分严峻。为进一步提高工程类毕业生的专业素质,满足社会企业的需求,教育部大力推进高等学校工程类专业的教学改革。2016年,中国成为《华盛顿协议》第18个正式成员国,标志着中国的工程认证教育改革逐步与国际接轨<sup>[1-2]</sup>。工程教育专业认证是指工程类专业教育实施的专门性认证,具有国际等效、学生中心、产出导向、持续改进等特征,旨在为相关工程技术人才进入业界从业提供预备的教育保证<sup>[3-4]</sup>。其将教师授课的关注点转向学生的需求,重点考查人才培养目标的合理性和时效性,并依据学生的接受情况建立改进机制。从1995年开始,中国对土木工程开展工程教育专业认证工作,极大提高了专业教育质量,为土建类注册工程师在国际上的流动

修回日期:2020-03-16

基金项目:浙江省教学改革研究项目(jg20180442);宁波市教育科学规划专项课题(2020YQZX138)

作者简介:马佳星(1989—),男,浙大宁波理工学院土木建筑工程学院讲师,博士,主要从事抗震工程、工程教育研究,(E-mail)majiaxing@nit.zju.edu.cn。

奠定基础<sup>[5]</sup>。国内也有众多学者基于工程认证的要求,对材料力学、土力学和钢结构等土木工程专业课程提出教学改革方案<sup>[6-8]</sup>,在授课过程中充分发挥了学生的主观能动性和实践性,取得了良好的教学效果。

混凝土结构设计原理是土木工程专业课程的主干课程之一,也是一门实践性强和涉及规范多的专业基础课程。以三大力学理论为基础,授课内容包括钢筋混凝土材料的基本性能,各类基本构件的设计方法和构造要求、变形与裂缝宽度的验算以及预应力混凝土构件的计算分析等<sup>[9-11]</sup>,从而使学生掌握受拉、受压、受剪、受扭等基本构件的设计和配筋方法,强化学生的工程实践能力,为后续专业课程的学习与毕业设计奠定基础。然而,该课程也具有概念抽象、公式复杂等特征,对学生的理解和教师的授课提出了挑战。研究者也尝试在该课程中应用各种现代教育方法,CDIO 教学模式<sup>[12]</sup>、翻转课堂<sup>[13]</sup>、引入实体模型和工程案例<sup>[14]</sup>等,旨在提高混凝土结构设计原理课程的教学质量,提升学生的创新实践能力,使其达到工程认证的要求。

但总体上,中国高等工科课程教学模式较多地借鉴了苏联模式,具有一定的局限性<sup>[15]</sup>。新加坡国家面积狭小、资源缺乏,但经济、文化和教育的发展却达到了发达国家的水平<sup>[16]</sup>。建筑业对新加坡经济和建设的发展贡献巨大,建筑业的蓬勃发展与其前瞻的人才战略和土木工程高等教育的国际化战略密不可分<sup>[17]</sup>,对中国的土木工程专业高等教育具有十分重要的参考价值。笔者曾在中国和新加坡高校(南洋理工大学)讲授混凝土结构原理课程,对新加坡的教学模式和授课内容均有一定的了解。文章基于中国工程教育专业认证的相关背景,提出混凝土结构设计原理教学现存问题,对比并讨论中新两国异同点,总结经验,优化混凝土结构设计原理课程,以期为该课程达到工程教育专业认证的要求提供指导意见。

## 一、中国混凝土结构设计原理课程现存问题

混凝土结构设计原理课程是一门理论知识与实践知识并重的课程。孙惠香<sup>[18]</sup>等将混凝土结构设计原理课程的特点概括为“四多两强”,即概念多、原理多、实验现象多、计算公式多,理论性强、实践性强。因而在中国混凝土结构设计原理教学中往往面临诸多问题,制约了学生工程实践能力的培养,难以满足工程教育专业认证的要求。

### (一) 授课内容较为单一,结合新技术较少

中国的混凝土结构设计原理通常被安排在大三第一学年讲授,占 2.5 学分,授课形式以教授理论知识为主。而在新加坡,该课程分为 24 课时讲座和 12 课时的理论课讲解,课时数目一般高于国内。在讲座课堂中,学校邀请不同的专家学者分别对设计理念、梁的强度设计要求和维护方案等工程知识进行讲解。

中国课程的主要内容按照授课顺序依次为钢筋混凝土材料的力学性能、结构设计的基本方法、受不同作用的截面承载力计算、混凝土构件变形及裂缝宽度验算和预应力构件的计算。而新加坡课程的主要内容按照授课顺序依次为钢筋混凝土材料的力学性能、结构分析(包含荷载分析)、梁各状态下的临界界面计算、钢筋的绑扎和施工方式、钢筋混凝土的维护等。前几部分授课内容相对差距较小,在后续的内容中,中国更注重对学生计算能力的考察,而新加坡则更注重知识体系的完整性。在土木工程施工课程中,中国高校教授钢筋的绑扎和配置等技术操作<sup>[19-20]</sup>,但横向比较看,中国的混凝土结构设计原理授课内容较为单一,较少结合新技术。

以结构计算分析为例,中国课程仅教授较为简单的框架结构计算方法,多基于三大力学的相关知识,并不涉及更多的课外拓展。而新加坡混凝土结构设计课程对框架结构计算给出了3种方法,按精度递增依次为弯矩和剪切系数计算、力矩分配法和计算积分计算法等。三者具有不同的工程应用条件,弯矩和剪切系数计算仅限于具有相同跨度、相同构件尺寸的连续梁。力矩分配法则可用于任何类型的加载模式和框架结构,计算结果也比前者更为精确。计算机分析法是最高效和精确的方法,适用于大型复杂的框架结构。在课堂中也对3种计算方法进行举例计算,进一步加深学生的印象。同时,在混凝土维护的章节,新加坡混凝土结构设计原理课程详细介绍了钢筋的表面特性,并介绍钢筋锚固长度的计算方法和转移钢筋受力的机制,构建了较为完整的混凝土配筋体系。而在中国课程中没有对该部分进行解释,也难以达到工程教育专业认证的相关要求。

## (二) 授课形式较为单一,学生学习兴趣较低

混凝土结构设计原理课程中有部分知识来源于工程实践,学生难以掌握其规律。此外,有些学生先修课程的学习不扎实,造成基本概念掌握不牢固,学生感觉学习乏味,进而产生畏难情绪<sup>[21]</sup>,影响学生的工程实践能力,难以达到工程认证的要求。

中国传统的混凝土结构设计原理课程模式是教师利用黑板或PPT讲解具体算例,并布置课堂作业,期末进行考核,学生被动接受,整体流程较为单一。对于教学内容中的基本概念、计算方法和计算步骤等内容的讲解,以及一些复杂图形的模拟,可以采用多媒体课件进行演示,加深学生的理解<sup>[22-23]</sup>。

而新加坡课堂,教师采用的教学模式更为丰富,采用视频、电子模型、实验等多种途径辅助教学。在授课期间将课程内容类比优化,并鼓励学生讨论汇报。图1是新加坡混凝土结构设计原理课程第五章的一页演示讲义,具体讲解了箍筋的概念与混凝土桁架的概念,其中教师将箍筋类比成马镫便于学生理解。同时假定开裂后的钢筋混凝土梁为由斜撑和横向拉杆组成腹板的平行桁架结构,且不具有抗拉能力。学生在此基础上能更好理解课程知识,契合工程教育专业认证下以学生为中心的教学理念。

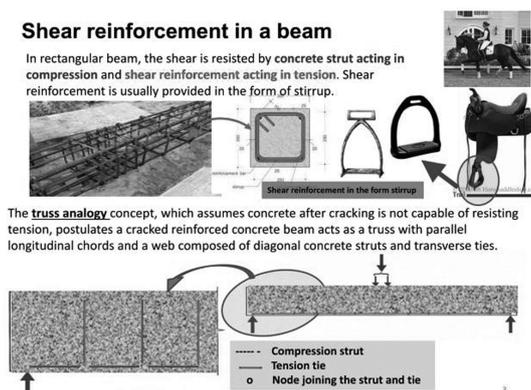


图1 新加坡混凝土结构设计原理课程第五章部分知识点

## (三) 实践知识涉及少,学生锻炼不足

工程教育专业认证强调以企业需求为导向,着重培养学生的工程实践和创新能力<sup>[24]</sup>。这也要求土木工程专业的人才培养由“知识型”转变为“实践型”。混凝土结构设计原理课程尽管以描述钢筋混凝土构件的设计方法为主,但既有理论推导又有实验研究,对实践能力的训练也格外关注。

中国的混凝土结构设计原理重视基本概念的讲解,多以讲解单纯的设计方法为主,对学生的工程实践能力培养较弱,难以达到工程教育专业认证的要求。近年来,通过不断改进,中国高校在授课过程中积极融入混凝土结构设计方法和建筑结构荷载规范等知识<sup>[25]</sup>,在一定程度上使学生提前接触专业规范。在新加坡混凝土结构设计原理教学中,教师较早带领学生解读规范,利用模型进行演示,并将其结合到课程测验中。以新加坡混凝土结构设计原理 2013—2014 学年期末考试的某设计计算题为例,该题的计算思路并不复杂,可结合极限荷载配筋的计算和设计图表的查阅对学生进行多角度考察。

图 2 显示了以一定数量的 H32 钢筋围绕 YY 轴对称加固一个圆柱截面(图 2 中所示的钢筋数量仅用于说明目的)。沿 Z-Z 轴施加极限载荷  $N=2\ 250\ \text{KN}$ 。其中  $f_{ck}=32\ \text{N/mm}^2$ ,  $f_{yk}=500\ \text{N/mm}^2$ 。弯矩与主轴线 Y-Y 有关。(a)假定圆柱部分可以承受的极限弯矩为  $304\ \text{KN}\cdot\text{m}$ ,请使用设计图表(请参阅附录)找出所需的 H32 钢筋总数( $A_s$ );(b)假设 H32 的总数为 6,则通过截面分析确定柱截面可以支撑的极限弯矩。

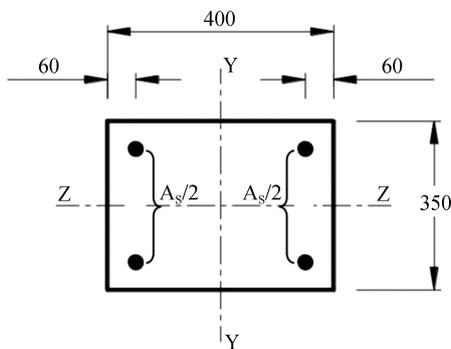


图 2 新加坡混凝土结构设计原理期末考试例题附图

## 二、混凝土结构设计原理课程改革措施

中国的混凝土结构设计原理课程存在授课内容与形式单一、实践知识结合少等问题,影响了学生学习的积极性,也难以达到工程教育专业认证的要求。笔者基于上述分析并结合多年的教学经验,对该课程提出相应的教学改革措施。

### (一) 丰富课堂教学模式

理论课堂的教学是混凝土结构设计原理课程的主体,采取更为丰富的课堂教学模式能提升教学质量。在传统教学模式的基础上,教师应运用新的教学手段进一步加深学生对基本概念的理解。在讲授混凝土梁正截面受弯承载力章节,利用 BIM 软件建立模型,使学生能观察到纵横向钢筋的分布细节,突破传统的平面展示模式,更好地结合工程新技术。

同时参考新加坡的教学模式,采用类比等方式帮助学生理解。结合混凝土结构工程案例和模型进行内容讲解,并为对这部分内容感兴趣的学生专门组织内容分享会,要求教师不能孤立地介绍具体构件或结构的基本理论与实践知识。笔者组织浙大宁波理工学院 2017 级学生在每次上课前对混凝土结构设计课程相应知识点进行案例分享汇报,引导学生在课下主动搜集资料。表 1 展示了学生的汇报内容,具体包括近期的工程案例和新技术的分享。上述举措提升了学生的创新探索能力,也使学生接触到了新技术新工艺,这与新加坡的教学理念也较为一致。

表 1 混凝土结构设计原理课程分享内容

知识点	学生汇报内容
钢筋混凝土结构经典工程	中国海南双子塔塔楼施工案例、上海中心大厦施工案例
钢筋混凝土结构工程事故案例	法国巴黎戴高乐机场屋顶坍塌事故、中国辽宁大连某学校坍塌事故
混凝土裂缝修复	中国重庆桃子沟水库大坝面板混凝土裂缝修复案例、美国洛杉矶某桥梁裂缝修复案例
预制混凝土的研究进展	预制混凝土面板接缝技术、江苏南京某小区预制预应力混凝土楼房建设案例

## (二) 加强实践环节的落实

实践性教学环节是土木工程专业教学的重要组成部分,是提高专业人才创新能力、动手能力和专业素质的关键途径与手段<sup>[26]</sup>。针对混凝土结构设计原理课程,南洋理工大学将课程内容与实验相结合。图 3 是课程第二章有关混凝土在长期荷载下的蠕变实验,在展示时间-形变曲线的同时,也对应变仪和测试图片进行展示。

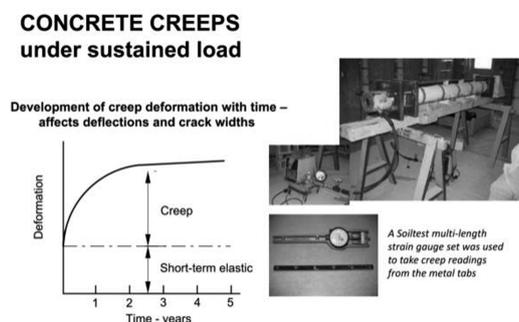


Figure 1.9: Typical increase of deformation with time for concrete

图 3 新加坡混凝土结构设计原理课程第二章部分知识点

笔者所在的浙大宁波理工学院具有一系列完整的混凝土实验设备、教学模型和实验场地。教学模型多样,包括简支梁、T型梁、矩形梁等,能对学生起到很好的教学展示作用。将实验与模型引入理论课堂的教学活动,模拟工地状况,有效结合工程教育专业认证的要求。同时专业教师应将科研创新活动引入课堂教学中,引导对混凝土类科研有兴趣的学生开展大学生科研活动,实现学生的“产学研”,达到实践人才的培养目标。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确指出,要提高人才培养质量,支持学生参与科学研究,强化实践教学环节<sup>[27]</sup>。

## (三) 课程考核方式的改进

课程的考核方式是整个教学过程中尤为关键的一环,针对其改革也需从实际出发,满足工程教育专业认证的要求。浙大宁波理工学院专业教师团队根据授课内容建立试题库,期末考试时在 AB 卷中抽取一套,剩余的一套则作为补考试卷。同时混凝土结构设计原理课程期末考试所占比重进一步降低,更加重视平时成绩和课堂表现。

后期考核环节,在混凝土结构设计原理课程中逐步引入“半开卷”的考核方式,对于基本概念采用闭卷方式,对需要查找规范的计算题则采用开卷的形式。这种做法也是与国家注册工程师考试相接轨的形式<sup>[28]</sup>。

## 三、结语

混凝土结构设计原理课程是一门重要的专业基础课,对其进行课程改革既是对课程建设的需

要,也是在工程教育专业认证背景下对学生培养的需求。合理参考新加坡南洋理工大学混凝土结构设计原理课程的教学经验能对中国的课程建设起到良性作用。通过丰富课堂教学模式、加强实践环节及内容、改进学生考核机制等手段,不断将混凝土结构设计原理课程教学与工程教育专业认证结合,从而培养具有实践创新能力的土木工程专业人才。

#### 参考文献:

- [1] 李国强,熊海贝. 土木工程专业教育评估国际互认的探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2013, 22(1):5-12.
- [2] 王志勇,刘畅荣,寇广孝. 基于工程教育专业认证的建环专业实践教学体系改革[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(6):44-47.
- [3] 蒋宗礼. 工程教育认证的特征、指标体系及与评估的比较[J]. 中国大学教学, 2009, 12(1):38-40.
- [4] 陈永琴,李团结,朱敏波,等. 工程教育认证背景下《机械设计》教学模式探讨[J]. 中国电子教育, 2015, 81(3):31-34.
- [5] 江学良,胡习兵,陈伯望,等. 专业认证背景下土木工程专业人才培养体系探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(1):29-35.
- [6] 周继磊,程相孟,张东焕,等. 以工程教育认证为导向的材料力学课程教学模式探索研究[J]. 大学教育, 2019, 106(4):86-88.
- [7] 方圆,项国圣,谢胜华,等. 基于专业认证理念的土力学课程教学改革[J]. 安徽工业大学学报(社会科学版), 2017, 137(4):92-93.
- [8] 郑夕健,谢正义,侯祥林. 基于国际工程认证要求的钢结构课程教学设计研究[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(3):51-55.
- [9] 金伟良. 混凝土结构原理[M]. 北京:中国建材工业出版社, 2014.
- [10] 沈蒲生. 混凝土结构设计原理[M]. 北京:高等教育出版社, 2007.
- [11] 夏红春. 混凝土结构设计原理课程教学改革与实践[J]. 高等建筑教育, 2019, 28(1):86-90.
- [12] 刘建平,贾致荣,师郡,等. 基于CDIO理念立体化教学模式探讨——以混凝土结构系列课程为例[J]. 高等建筑教育, 2011, 20(5):83-87.
- [13] 刘建平,贾致荣. 基于翻转课堂的混合式学习模式探讨[J]. 山东理工大学学报(社会科学版), 2016, 32(6):67-72.
- [14] 曾祥容,陈进,王平,等. 提高混凝土结构设计原理课程教学质量的实践与探索[J]. 高等建筑教育, 2013, 22(3):109-111.
- [15] 薛建阳,任瑞. 深化改革 勇于创新 稳步提高土木工程本科教育教学质量——西安建筑科技大学土木工程学院本科教育教学改革的探索与实践[C]//高等学校土木工程专业建设的研究与实践——第九届全国高校土木工程学院(系)院长(主任)工作研讨会论文集. 2008.
- [16] 何小陆,叶仁荪. 发达国家地方高校服务经济社会发展的经验与启示——以美、德、英、日、新加坡等国为例[J]. 教育学术月刊, 2015, 5(1):27-31.
- [17] 陈曦. 新加坡土木工程高等教育国际化的主要做法及启示[J]. 高等建筑教育, 2011, 20(4):11-15.
- [18] 孙惠香,许金余,杨文星,等. 《混凝土结构原理》课程“多元化”教学方法和考核方式的探索与实践[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2012, 11(14):241-243.
- [19] 戎贤,崔武文,闫西康. 基于创新能力培养的土木工程施工课程教学改革研究[J]. 河北工业大学学报(社会科学版) 2010, 2(1):10-14.
- [20] 重庆大学,同济大学,哈尔滨工业大学. 土木工程施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.
- [21] 许英,汪宏,张益多,等. 混凝土结构设计原理教学方法与教学手段探讨[J]. 高等建筑教育, 2008, 17(3):88-91.
- [22] 李喆. 混凝土结构设计原理课程教学改革研究与实践[J]. 湖南科技学院学报, 2016, 37(10):104-106.
- [23] K M Ismail, M Puteh, S Mohamed. A preliminary study on the Learning Style of civil engineering students in Malaysia [C]// Engineering Education (ICEED), 2009 International Conference on. IEEE, 2010.
- [24] 常云龙,李荣德,袁晓光,等. 强化工程实践能力与创新能力的培养——沈阳工业大学材料成型及控制工程专业改革与实践[J]. 高等工程教育研究, 2011, 35(4):107-110.

- [25] 张晓燕,李凤兰,曲福来,等. 混凝土结构设计原理课程教学方法探讨[J]. 高等建筑教育, 2011, 20(1):79-82.
- [26] 刘建勇,李友群,刘广静. 加强实践性教学培养土木工程专业学生的创新能力[J]. 高等建筑教育, 2008, 17(5):107-109.
- [27] 贾穗子,徐能雄. 土木工程专业大学生参与“大学生创新性实验计划”的模式与效果分析[J]. 中国地质教育, 2018, 27(3):27-29.
- [28] 王晓菡. 钢结构课程的教学方法分析与探讨[J]. 高等建筑教育, 2009, 18(3):118-119.

## Exploration on the teaching mode of concrete structure design principle under the background of engineering education certification:

### A case study of curriculum comparison between China and Singapore

MA Jiaying<sup>1</sup>, CHEN Keyu<sup>2</sup>, SHEN Xinyuan<sup>1</sup>, WANG Yinhui<sup>1</sup>

(1. Ningbo Tech University, Ningbo 315100, Zhejiang, P. R. China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, P. R. China)

**Abstract:** The implementation of engineering education professional certification has pointed out the way for our country to cope with the new round of scientific and technological revolution, and further laid the foundation for the training of professional practical talents, which has important guiding significance. The course of concrete structure design principle is one of the important basic courses for civil engineering specialty, but in the actual teaching process, there are some defects in our education, such as good teaching content and single form, less combination of new technology and less practical knowledge. Based on the concept and requirements of engineering education professional certification, this paper horizontally compares the teaching methods of concrete structure design principles courses in colleges and universities in China and Singapore, and further summarizes experience, optimizes teaching methods, and puts forward teaching reform measures, improves the teaching quality of the course in order to provide reference for the curriculum reform of domestic colleges and universities.

**Key words:** civil engineering; engineering education certification; concrete structure design principle

(责任编辑 周沫)