

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2015.01.004

走出建筑结构教育的困境

——建筑学专业建筑结构课程体系的重构

陈朝晖^a, 龙灏^b, 廖旻懋^a, 文国治^a, 王达詮^a

(重庆大学 a. 土木工程学院; b. 建筑城规学院, 重庆 400045)

摘要:当代建筑实践对结构设计与建筑设计、结构形态与建筑形态的相互促进与融合提出了更高要求,而传统的面向建筑学专业的力学和结构课程体系却落后于建筑实践的发展,内容相互隔离而陈旧。针对这一局面,重新构建了面向建筑学专业本科教学的建筑结构课程体系,主要包括建筑力学、结构选型、建筑中的结构艺术等三个层次的课程,密切结合了建筑学专业的特点和需求,全面改革了课时设置、配套教材、教学方法和考核方式,极大促进了学生对结构性能、结构与建筑关系的认识,激发了学生的设计创新思维。

关键词:建筑结构;建筑力学;结构选型;建筑空间

中图分类号:G642.3

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2015)01-0013-06

一、困境与需求

建筑作为人类为自身生存和活动而建造的空间环境,从来就离不开结构的保障。结构,是建筑空间和形态得以实现与维持的首要且唯一工具,是建筑的物质保障和骨骼^[1]。勒·柯布西耶这位早期现代主义运动的旗手,是为数不多的深谙建筑与结构合作深意的人,他将建筑师与工程师之间的合作比作两只紧握的手,这两只手的交握对当代建筑实践尤为重要^[2]。虽然某些当代建筑流派将结构的暴露当作建筑创作的主要手法,但绝大多数结构仍以建筑空间背后的隐形角色而存在。结构设计本是建筑设计活动的题中应有之意,然而结构的作用似乎是从属的、甚至被认为限制了建筑师的创造性与建筑空间的发展,结构工程师只是听命于建筑师的配合人员,是以复杂、精确的计算搭建结构的技术人员。

事实只能如此吗?结构与建筑的结合、变化与创新中,其固有规则是什么^[3]?当代建筑形式由方盒子向曲线、曲面、运动、发散及非平稳的形态发展,而作为建筑的骨骼是否仍然只能以规则的框架形式、脱离于运动变化的空间形式之外、隐身于建筑之内而存在,是否仅能起支撑作用^[4]?结构的固有形式能否成为建筑空间的有机组分?人们熟知的直线型构件梁与柱、平面型构件板与墙是否可向新的建筑空间和结构形式自然演化?结构设计与建筑设计究竟是融合的还是分离的?结构工程师只能把建筑师的想象拉回“刻板的现实”还是

收稿日期:2014-10-10

基金项目:重庆市2013年高等教育教改重点项目“面向建筑学专业的建筑结构课程体系改革与重构”;重庆大学教学改革研究重点项目“建筑中的结构艺术体验与探究式教学模式研究”

作者简介:陈朝晖(1968-),女,重庆大学土木工程学院教授,博导,博士,主要从事结构耐久性与可靠性研究,(E-mail)zhaohuic@cqu.edu.cn。

能共同参与创造^[5]……事实上,当代建筑实践已对结构在建筑设计中的积极性和创新能力给出了肯定答复,而中国传统的面向建筑学专业的力学和结构课程却落后于建筑的发展,无法圆满回答甚至根本没有触及上述问题。

长期以来,中国高校面向建筑学专业的建筑结构课程主要包括建筑力学与结构选型两大部分(如图1)。建筑力学通常是土木工程专业三大力学(理论力学、材料力学和结构力学)的简写本,内容、教学时间与教材均相对独立隔离。教学以定量分析和计算技能为主,忽视了基本构件在建筑结构中的组合、变换机制及其创新的可能性,忽视了结构固有力学特性中所蕴含的独特空间形态。而结构选型很长一段时期是结构设计规范或建筑结构构造措施的简介,缺乏与建筑力学相关内容的衔接,也很少涉及对结构体系与建筑形式及功能的结合的分析。

近年来,尽管国内也有同行意识到上述缺陷,先后翻译出版了针对各类体系传力机制、空间形式等特点的结构选型参考书^[6-8],但受困于僵化刻板的教学计划、偏重计算的传统教材和来自结构专业的任课教师对当代建筑学专业教学特点的了解不足,相关课程教学中的割裂和隔离局面依然如故:一边

是对习惯形象思维的建筑学专业学生“面孔生硬”的讲授,对力学计算方法和计算技巧训练;一边是对现当代建筑结构的形式演变规律与创新可能性的教学欠缺。而在建筑设计中如何合理、灵活地应用各类结构形式以满足建筑功能和空间形态的需要,如何在结构中寻找建筑功能与空间形态创新的突破口,学生渴望了解的上述问题却普遍得不到解答。为此,重庆大学土木工程学院建筑力学研究所在建筑城规学院建筑系的大力支持和协助下,彻底摒弃了以量化计算为主要目的、内容相互隔离的传统建筑力学课程教学模式,重新构建了面向建筑学专业本科教学的建筑结构课程体系。新的课程体系由建筑力学、结构选型和建筑中的结构艺术三个层次的课程构成。该体系在课时设置、教材编写、教学方法和考核方式等方面进行了全面改革,密切结合了建筑学专业学生的建筑学知识背景与空间思维能力,将三大力学融为一体,从传统、规则的结构形式的力学特性出发,使学生在掌握结构本质的力学与功能特性、典型结构传力机制及其实现方法的基础上,了解结构所蕴含的空间形态特点及其组合变化方法,通过对现代建筑结构发展脉搏的触摸,认识结构形态创新与建筑空间创作结合的可能性。

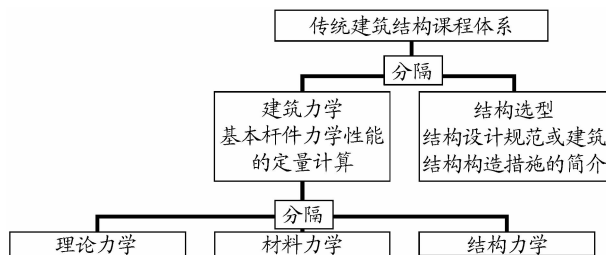


图1 传统建筑结构课程体系框架

二、体系与内容

面向建筑学专业本科教学的建筑结构课程体系总体构思为:以定量分析为辅助手段,定性综合认识为根本目的,从建立简单杆件力学性能的基本概念入手,结合材料性质,认识结构体系的力学特性以及构筑结构传力途径的基本规则,最终建立对结构固有力学逻辑所赋予的结构空间特性的认识,了解结构与建筑空间创作结合的途径。传统建筑力学教学所强调的量化分析与计算技能在此仅仅是掌握结构力学性能的手段和依据而非目的,是进入结构性能及其空间特性这一庙堂的台阶。课程体系框架如图2。上述体系中的课程相互衔接、循序渐进、各有侧重、相互衔接、要求各异,分三个层次予以实现。

第一层次——建筑力学。它是整个教学体系的基础和出发点。该部分课程本着结构的基本性能是传递荷载的思想,遵循结构整体—构件—构件截面—结构整体的教学思路,在不同尺度上认识结构的传力方式与特性。以概念为主、计算为辅,结构为主、材料为辅,力学性能为主、使用功能和形态特性为辅,以杆件为主要对象,将传统教学体系中相互隔离的三大力学知识(理论力学、材料力学和结构力学)完全融合、有机统一。该部分教学体现了量化,概念是为了使结构的力学特性明晰,计算是为了对结构性能的把握具体的目标。定量计算技能的难易程度以注册建筑师的结构计算要求为基准。此外,还注重密切结合典型建筑材料的性能,阐述各类杆

件的形态与功能特性及其相互转化关系。

第二层次——结构选型。正如线的移动和转动可以构成任意形式的面、面的组合可以形成空间形体一样,结构选型以直杆的力学特性为基础,提供了结构体系演变的认知线索,即通过直杆的组合、密排、重叠和弯折等定性认识框架、网架、板、墙以及拱、壳体、索、膜及其他空间结构的力学性能,把握结

构演化的规律与线索,认识构筑结构传力路径的基本要求与方法,了解典型结构体系如墙板结构体系、框架结构体系、框剪结构体系、筒体等的力学特性,了解基于极限状态的结构设计思想与结构生命全周期的设计理念,强调从经典的建筑案例中认识典型结构形式,初步认识结构固有形态与建筑空间要求的关系。

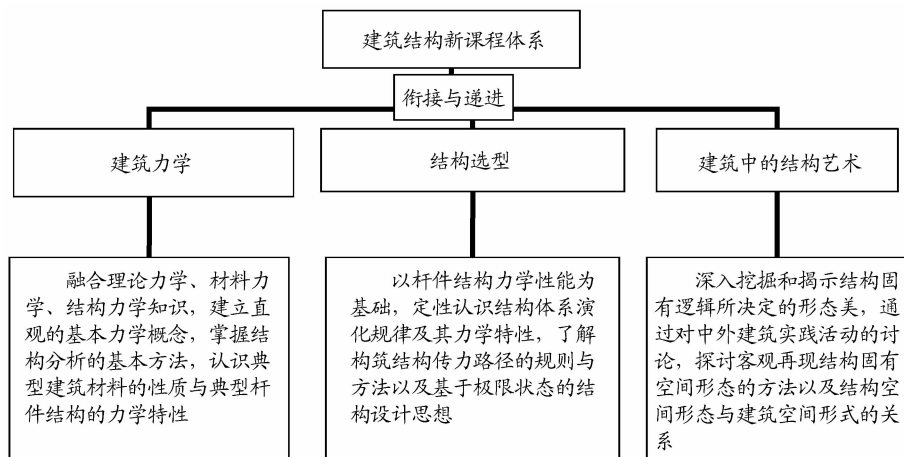


图2 建筑结构课程新体系框架

第三层次——建筑中的结构艺术。在前两个层次的基础上,该课程更深入地挖掘和揭示结构由其固有力学特性与逻辑所决定的形态美。艺术的本质是创造,结构设计的本质也是创造。通过对现代建筑作品中建筑空间形态与其结构形态相互关系的深入探讨,了解从空间形态和传力方式出发构筑合理而优美的结构的途径,认识框架、平板和“方盒子”并非结构存在的主要形式(更不是唯一形式),体会结构在满足其科学性、合理性和力学效率的基础上具有巨大的创造空间,具有再现建筑空间形态乃至创造新的空间形态的可能。

三、实践与收获

针对上述三个层次的内容和要求特点,教学实践中采取了不同的教学方法和考核方式。

建筑力学与结构选型为必修课,为此笔者编写了教材《建筑力学与结构选型》(中国建筑工业出版社,2012年出版)。教材编写及其教学实践不再停留于结构的内力图绘制和强度、刚度的计算校核上,而力求达到力学分析服务于对结构特性的认知,挖掘结构的组合和演变规律,以结构源于工程,服务于工程为宗旨。

建筑力学课程着重于结构的基本概念、基本分析方法与杆件结构的基本力学特性,以定性认识为

目的,定量计算为手段。强调结构源于工程而服务于工程,遵循感性—理性—高层次的感性认知规律,每一种结构形式的引入都从实际工程入手,并尽量以工程意义明确、形象易懂的方式介绍力学基本概念,避免生硬的数学力学概念和繁琐的演算。自始至终贯穿力的传递这一认知线索,使力这一抽象概念形象化、动态化,使不同结构的传力特性直观明确。如图3所示,从荷载在结构整体(典型如梁柱结构体系)的传递路径入手,建立对力的传递的感性认识,再由定量分析揭示杆件截面内力与应力分布特性(如梁的内力和截面应力分布),逐步深入地认识结构的传力本质,最终通过力流的概念把握不同结构的力学特性。在这一认知过程中,定量分析可将模糊的感性认识导向理性,是不可或缺的台阶和拐杖。但若缺乏对量化分析结果的总结、对比和反馈,又将使分析陷入盲目并流于数字游戏。

图4比较了桁架、索和拱的传力机制,形象地展示了桁架、拱和索的各自特点,使学生克服了对结构与力学的恐惧心理,使力变得可以触摸,力的传递变得有迹可循,使后续课程中结构的演化有规律可依。此外,还将材料特性、结构几何特性、支撑方式与节点联结方式等也融入结构传力机制中,综合全面认识结构的传力特性。

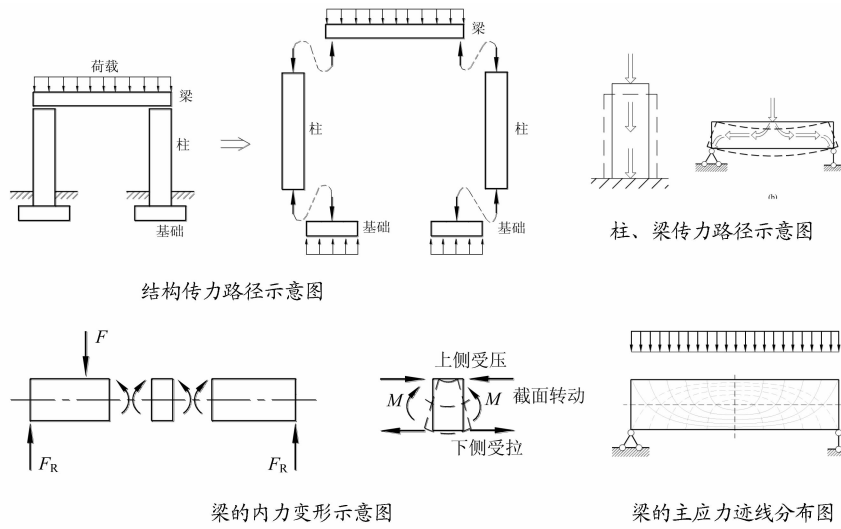


图3 荷载—内力—应力的结构传力方式示意图

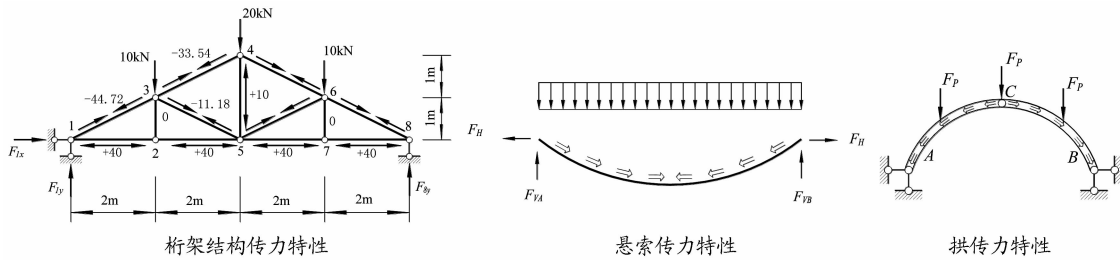


图4 几类典型结构的传力示意图

在建筑力学课程把握杆件结构力学性能与形态功能特性的基础上,结构选型课程从结构体系的几何特点、构成方式、力学特性及其空间特性等多方面定性认识结构的综合性能,将建筑力学部分通过量化分析得到的简单构件的力学概念在典型规则的结构体系中得到定性应用与拓展,使学生了解构筑结构体系的合理传力路径的规则与方法。该部分采用课堂讲授与讨论相结合的方式,遵循从结构体系的整体传力基本要求、规则结构的水平和竖向分体系的几何特点、构成方式、传力特性乃至基本构件的力学性能在分体系中的应用这一由整体而局部的认知途径,使学生对结构体系的力学及空间形态特性的认识有迹可循,并得以了解典型结构体系的组成规

则、特点和传力特性。本阶段教学强调结构的演变性,即以直杆的力学特性为出发点,定性阐述各类基本结构(墙、板、拱、索以及曲面和空间网架结构等)与直杆的关联,从而建立定性把握复杂结构力学特性的认知途径。如图5所示,从柱的密排认识墙体的性质、梁的重叠认识板的性质、墙体—柱—筒体的相互转化认识高层建筑结构的竖向和水平传力机制,并初步认识曲面和空间网格结构等的演变规律和特性。从高层建筑结构、大跨空间结构以及现代科学技术与新材料的应用等角度分别选取现代经典建筑案例,探讨结构体系的构筑与应用、结构空间形态与建筑空间形态之间的关系。

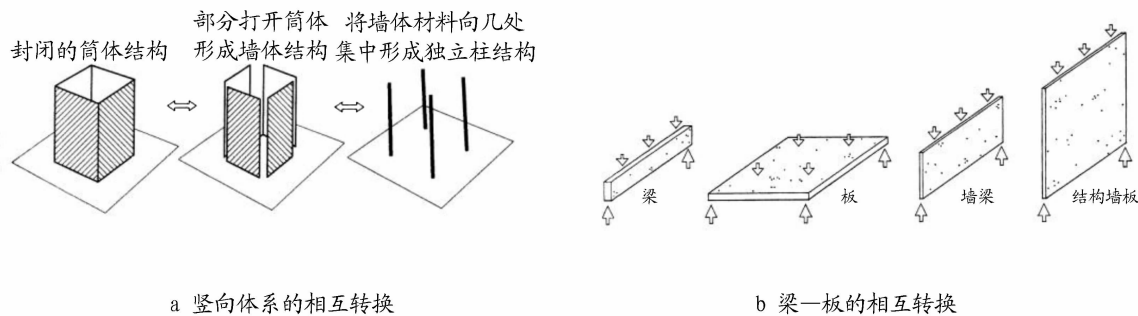


图5 基本结构的相互转换

结构选型综合学生课堂讨论参与情况、PPT讲述与综合作业情况进行考核,综合作业包括课程开

始时浅述结构形式的演变与建筑材料应用的结合、课程结束后任选具体建筑案例分析其结构形式、材

料运用与建筑功能的结合,课程进行中分组针对建筑案例进行 PPT 演讲。学生所表现出的活跃思路、生动多样的 PPT 讲述手法、对结构的浓厚兴趣以及被激发出的结构直觉令人惊喜(图 6)。

建筑中的结构艺术作为该教学体系的最后环节,为任选课,共 32 学时,采用针对主题的分组课后准备、课堂研讨的方式,引导学生思考和探究建筑结构曾经发生了什么、正在发生什么、将来会怎样,建筑结构所固有的空间形态美之所在。考核成绩以课堂参与、讲述情况以及书面讨论作业等进行综合评价。该课程教学包括两个阶段:第一阶段主要针对结构的传力特性和构件的空间形态,讨论主题包括优美的结构、杆件的变形、组合与运动、结构体系的均衡与延性、平衡或反平衡等,学生分组选取案例展开分析与讨论,在结构的合理性、整体均衡性以及平

衡稳定性的认识基础之上,总结表现结构固有逻辑所决定的形态美的方法,并认识某些当代建筑结构在形式上虽然反常规、反稳定与反平衡,而在构筑传力路径时仍严格遵循结构固有逻辑的特性。第二阶段的主题相对宏观、综合,侧重于结构与人类社会文明发展的关系,艺术、文化、经济与科学技术等对结构发展的影响,并针对目前颇受热议和关注的仿生、绿色、可持续等观点和建筑案例探究建筑结构仿生的意义和目的,引导学生挖掘结构整体与局部、规则与不规则的关系。该课程同时探索了一种全新的探讨式开放的过程教学方法,教师不再以讲台的占有者和宣讲者的姿态出现,而是扮演了引导者、参与者、旁观者和听众的角色,学生对于各种主题积极参与、活跃开放的思维达成了教学的互相激发,教与学的双方真正实现了自我发现与互相发现(图 7)。

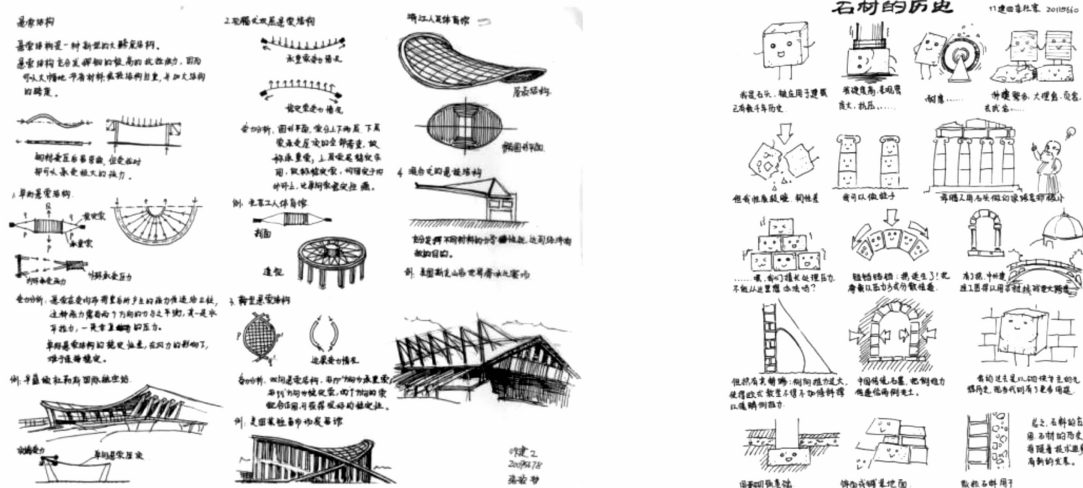


图 6 建筑力学与结构选型作业选“浅述结构形式的演变与建筑材料应用的结合”



图 7 建筑中的结构艺术作业选“建筑空间与结构形态共同生成过程的探讨”

以上构建的新的建筑结构教学体系以结构固有的特性及其本质为出发点、以量化分析为手段、以对结构体系的力学性能、结构演化的规律性与创造的可能性的认识为目的,避免了流于对现代建筑结构形式感的肤浅的讨好。已历 5 届的教学实践表明,新的建筑结构课程体系保障了内容的连贯性和整体

性,弥补了传统建筑力学中三大力学划分造成的内容和教学安排的隔离、间断与冗长。所编教材,力求使力学理论与结构认知密切衔接。学生克服了对结构力学知识及分析技巧的畏惧和抵触,认识到力之于结构的形象特性——力流,把握了基本构件和典型杆件体系的力学性能。对结构传力特性的认识不再停留于结构的表面形式,而深入其力学本质。通过上述课程的学习,学生认识到建筑形式的自由源于内在结构骨架和材料的突破,而后者以技术和理论的发展为支撑,对结构形态及其功能的认识促进了学生在后续专业课程中建筑造型设计上的创新(图 8)。正如学生的体会:“每一种结构都有着自己独特的品质,它同时会深深影响着建筑的外部形态和内部空间,甚至会给予你一些意想不到的收获,这或许也是结构最吸引人的地方。”(建筑学本科生——于思)。“建筑师提升自己的结构素养,寻求和结构师的更紧密合作,看来是未来更震撼人心的建构美学作品的必然前提。”(建筑学本科生——宋然)

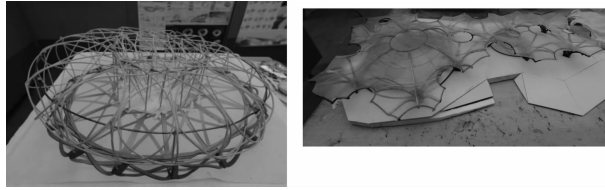


图8 学生建筑设计作业选“大空间建筑设计”

四、体会与冀望

当代建筑结构的突破和创新令人赞叹,而我们在传统教学中困守固有规则的结构形式和教学模式又让人不免遗憾。面向建筑学专业的建筑结构课程体系的改革、探索与实践,对多年从事教学与科研的结构工程专业的教师而言,是一次梳理过程,是对一味追求计算精度的偏颇的调整,是从精确计算向“不算之算”的教学突围,是对结构分析和设计的本质含义的反思,也是对力学定义、符号与公式的工程意义的挖掘。

通过建筑结构系列课程的改革探索和教学实践,已使建筑学专业的学生意识到,繁琐的计算不是结构设计的代名词,“方盒子”不是牢不可破的结构形态。结构究其根本不应成为建筑的束缚,良好的结构素养可以让建筑师体会到更深层次的空间逻辑,并予其更大的创作自由。希望这一探索也能推动结构工程教学的发展,激发结构工程专业学生的创新潜力。从教育起步,实现建筑师与工程师两手的紧密交握,希望未来震撼人心的建构美学作品出自我们自己的设计师之手。

参考文献:

- [1] 陈朝晖. 建筑力学与结构选型[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 罗小未. 外国近现代建筑史[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] 戴维·P·比林顿. 塔和桥: 结构工程的新艺[M]. 钟吉秀, 译, 北京: 科学普及出版社, 1991.
- [4] 安妮特·博格勒. 轻·远: 德国约格·施莱希和鲁道夫·贝格曼的轻型结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [5] Cecil Balmond, Jannuzzi Smith, & Christian Bensing Informal: The Informal in Architecture and Engineering [M]. Prestel Verlag GmbH & Company KG., 2002.
- [6] 海诺·恩格尔. 结构体系与建筑造型[M]. 林昌明, 罗时玮, 译. 天津: 天津大学出版社, 2002.
- [7] 马尔科姆·米莱. 建筑结构原理[M]. 童丽萍, 陈治业, 译. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [8] 陈保胜. 建筑结构选型[M]. 增订版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

Getting out of the morass of building structure education : reforming of the curriculum system of building structure

CHEN Zhaohui^a, LONG Hao^b, LIAO Minmao^a, WEN Guozhi^a, WANG Daquan^a

(a. College of Civil Engineering; b. College of Architecture and Urban Planning,
Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Nowadays, the contemporary architectural practice is asking further mutual combination between structure and architecture. But the traditional curriculum system of structural mechanics and building structure in our country has lagged behind the development of architectural practice. The contents of the courses of structure mechanics and building structure are obsolete and isolated with each other. In order to satisfy the demanding of the development of architectural practice, the curriculum system of building structure for undergraduate students major in architecture is reformed. This reformed curriculum system is composed of courses, such as building mechanics, structure lectotype and the art of building structures. The corresponding class hours, text books, teaching and assessment methodology are also renovated comprehensively. This reforming and practice of the curriculum system of building structure has greatly improved the students' understanding of the relationship between structural performance and architectural function.

Keywords: building structure; building mechanics; structural lectotype; building space