

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.04.015

欢迎按以下格式引用:刘学春,白正仙,朱涛,等. 钢结构原理教学内容和教学方法的探讨与实践[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(4):101-108.

钢结构原理教学内容和教学方法的探讨与实践

刘学春,白正仙,朱涛,王玥

(北京工业大学 建筑工程学院,北京 100124)

摘要: 钢结构原理作为土木工程专业(含结构工程、桥梁工程、地下工程、轨道工程方向)的必修课,其重要性不言而喻。为适应钢结构的应用和发展,结合钢结构的学科研究,探讨钢结构原理课程的内容设置、学时分配、课堂教学和实践教学比例,结合多媒体、结构试验技术等手段探讨课堂和实验教学的方法,以提高学生听课积极性,调动学生情绪,增加师生互动。同时,结合教师的科研内容,实现理论教学、工程实践应用及科研的有效结合,激发学生的创新思维能力。

关键词: 钢结构原理;教学实验;工程案例;创新思维

中图分类号: G642.0; TU391

文献标志码: A

文章编号: 1005-2909(2020)04-0101-08

目前,中国在建造中所产生的建筑能耗占社会总能耗的1/3,并不包括生产建筑材料所产生的能耗。中国每年城乡新建房屋面积80%以上、既有建筑95%以上为高能耗建筑。中国每年产生建筑垃圾近15亿t,主要有渣土、碎砖瓦、碎砂石、碎混凝土等,建筑垃圾资源化率不到5%,建筑施工和建筑垃圾运送是城市主要污染源之一,对空气污染的贡献率达20%。发展全寿命过程绿色建筑是解决上述问题的重要途径,而钢结构建筑具有绿色建筑的优点^[1-8]。

2016年中国粗钢产量占全球粗钢总产量的49.6%,产能严重过剩,钢结构的应用可提高钢铁的利用率,缓解产能过剩的问题,实现钢铁的战略储备。在美国、日本等发达国家,钢结构工程建筑面积占总建筑面积的40%以上,而在中国,这一比例仅5%左右。钢结构属于绿色建筑,可减少施工污染,建筑物超过使用年限拆除时也可最大限度减少建筑垃圾,实现建筑材料的重复利用。钢结构在各个领域的应用和发展具有广阔的前景,得到了国家的大力支持和企事业单位的高度关注^[9]。2016年2月6日,《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》指出,要发展新型建造方

修回日期:2019-09-27

基金项目:国家自然科学基金(51678010)

作者简介:刘学春(1974—),男,北京工业大学建筑工程学院教授,博士,主要从事钢结构研究,(E-mail)liuxuechun@bjut.edu.cn;(通讯作者)白正仙(1968—),女,北京工业大学建筑工程学院副教授,博士,主要从事钢结构研究,(E-mail)zxbai@bjut.edu.cn。

式,大力发展钢结构建筑。2016年9月14日,国务院总理李克强主持召开国务院常务会议,会议认为,按照推进供给侧结构性改革和新型城镇化发展的要求,大力发展钢结构等装配式建筑,对推动化解过剩产能有一举多得之效。北京工业大学、湖南远大可建、北新集团、杭萧钢构、山东莱钢、上海宝钢等企事业单位通过产学研合作、自主研发等形式大力推行装配式钢结构建筑,并已初见成效。2011年7月28日,由宝钢发起,国内23家行业知名企业、高等院校和科研机构参与的国内首个装配式钢结构民用建筑产业技术创新联盟在上海宣告成立。2011年长沙远大可建科技有限公司在湖南用15天时间建造了一幢30层的高楼T30^[10-12],应用该项技术已在湖南、上海、湖北、山东、福建、山西等地建成近30栋可建工程示范项目,总建筑面积约30万m²。杭萧钢构研发钢结构产业化住宅,建设包头万郡大都城住宅项目,项目总建筑面积约100万m²。

钢结构建筑的发展方兴未艾,应用领域已从大跨度、超高层结构到普通中低层住宅、办公、商业建筑以及低层别墅建筑。在这种形式下,作为培养人才的高等学校必须更加重视钢结构教学和人才培养。

一、教学内容与教学大纲的调整

(一) 教学目的和任务

钢结构原理为土木工程专业的学科基础必修课之一。课程的目的是为学生后续相关专业课学习、毕业设计及今后从事钢结构相关的设计、施工及科研工作打基础。课程的任务是使学生全面掌握钢结构材料、构件、连接及其设计的基本概念、基本理论、基本方法、基本技能,理解钢结构的体系组成、构造要求,了解钢结构新材料、新体系、新技术及新工程的发展动态。

(二) 教材的选择

钢结构建筑在20世纪应用较少,主要应用于特别重要的建筑,尤其是混凝土结构难以实现的建筑。进入21世纪,随着中国钢产量的不断增大,钢结构造价越来越低,钢结构建筑应用得到迅速发展,特别在大跨度大空间领域应用广泛,基本取代了混凝土结构大跨度屋盖体系。钢结构教学也越来越受到重视,许多设有土木工程学科的学校,特别是建筑老八校,都根据自身教学科研的优势编写了钢结构原理或钢结构基础的教材。这些教材是普通高等教育“十一五”“十二五”国家级规划教材,编制内容丰富,除了材料、基本构件、连接的计算方法,还涉及疲劳、防腐、防火,有些教材还包含一些柱脚等特殊节点的设计扩展,包括一些钢结构的加工制作方法,有些教材也在原理阶段拓展了体系的设计分析方法,如单层厂房、多高层房屋结构、大跨度房屋结构等^[13-18]。综合考虑后,北京工业大学选用了西安建筑科技大学编写的《钢结构基础》教材^[19],该书包括概述、钢结构材料、构件截面承载力-强度、构件截面承载力-稳定性、整体结构中的压杆和压弯构件、钢结构正常使用极限状态、钢结构的连接和节点构造、钢结构的脆性断裂和疲劳、简单钢结构设计示例、钢结构的防腐和防火共10章,内容涵盖了教学大纲的内容,还有一些拓展内容。

(三) 课时分配

在学时分配方面,调研了国内高校特别是985、211学校的学时设置,如,清华大学钢结构原理课程为48学时,同济大学、哈尔滨工业大学钢结构原理课程为56学时,湖南大学48学时,东南大学40~48学时,重庆大学40学时,华南理工大学40学时,西安建筑科技大学48学时,北京交通大学48学时,大连理工大学32学时,北京建筑大学32学时。在整个学时压缩的大环境下,大多数学校钢结

构原理课程学时是比较合理的,但许多高校也表示近年钢结构原理的学时将调整增多,说明钢结构的教学越来越受到重视。北京工业大学钢结构原理课程为32学时,但基本每年都会和五一劳动节、端午节假期冲突而去掉2学时,实际上基本为30学时。在调研中发现,一些学校还设置了实验课、习题课、讨论课。目前,北京工业大学钢结构原理课程只有30学时,学时数明显小于国内高校普遍的学时水平。但在本科课程总学时下调的大背景下,增加学时基本没有可能,只有充分利用这30个学时,结合课上讲解和课下自学,使学生掌握后续钢结构设计课程和工作中钢结构设计所需的基础知识。同时,可缩减讲课学时,增加实验、讨论、习题课、工程参观等,以丰富课堂形式,活跃课堂气氛,激发学生的学习热情。

(四) 教学内容调整

根据教学学时,对原教学内容进行了调整(表1)。通过缩减授课内容使重点更加突出,难点问题讲解时间增加,教学形式更活泼,学生掌握程度更好。对于缩减的次要内容,采用课后自学的形式,或讲课与自学相结合的形式,再通过课堂前5min的提问检验。通过2015/2016两级土木工程专业建筑工程方向的教学实践,取得了较好的教学效果。

表1 教学内容调整

章节	内容(调整前)	内容(调整后)	调整后学时
第一章 绪论	钢结构的特点 ^① 、目前钢结构的应用领域 ^① 、钢结构的破坏形式 ^① 、钢结构体系组成 ^② 、钢结构的设计方法 ^① 、钢结构最新工程应用及发展动态 ^③	钢结构的特点 ^① 、目前钢结构的应用领域 ^① 、钢结构最新工程应用及发展动态 ^③	1
第二章 钢结构的材料	钢材分类 ^② 、钢结构用材的要求 ^① 、钢材的主要性能 ^② 、影响钢材性能的因素 ^① 、建筑钢材的类别及选用 ^① 、钢结构新材料应用 ^③ 通过本章学习要求学生根据结构的具体设计条件、工作环境和不同种类钢材的性能,正确选用钢材,并提出相应的性能指标要求	钢材分类 ^② 、钢结构用材的要求 ^① 、钢材的主要性能 ^② 、影响钢材性能的因素 ^① 、建筑钢材的类别及选用 ^① 通过本章学习要求学生根据结构的具体设计条件、工作环境和不同种类钢材的性能,正确选用钢材,并提出相应的性能指标要求(本章以自学为主)	1
第三章 轴心受力构件	轴心受力构件应用及强度计算 ^① 和刚度计算 ^② 、轴心受压构件失稳特点与分析方法 ^② 、整体稳定及局部稳定分析计算 ^① 、实腹式和格构式轴心受力构件的截面设计方法 ^① 通过本章学习要求学生掌握钢结构轴心受力构件的计算理论、设计方法和构造要求	轴心受力构件应用及强度计算 ^① 和刚度计算 ^② 、轴心受压构件失稳特点与分析方法 ^② 、整体稳定概念及计算 ^① 、构件局部稳定概念及构造 通过本章学习要求学生掌握钢结构轴心受力构件的计算理论、设计方法和构造要求	6
第四章 受弯构件—梁	梁的类型 ^① 、梁的强度计算 ^① 与刚度计算 ^② 、梁的整体稳定及局部稳定分析计算 ^① 、影响梁的整体稳定的因素 ^② 、加劲肋的设计 ^③ 、梁的截面设计方法 ^① 通过本章学习要求学生掌握钢结构受弯构件的计算理论、设计方法和构造要求	梁的类型 ^① 、梁的强度计算 ^① 与刚度计算 ^② 、梁的整体稳定分析计算 ^① 、局部稳定概念和构造 ^① 、影响梁的整体稳定的因素 ^② 通过本章学习要求学生掌握钢结构受弯构件的计算理论、设计方法和构造要求	4
第五章 拉弯和压弯构件	拉弯和压弯构件应用与强度计算 ^① 、压弯构件的面内和面外整体稳定与局部稳定分析计算 ^① 、拉弯及压弯构件的截面设计方法 ^① 通过本章学习要求学生掌握钢结构拉弯和压弯构件的计算理论、设计方法和构造要求	拉弯和压弯构件应用与强度计算 ^① 、压弯构件的面内和面外整体稳定分析计算 ^① 、局部稳定概念与构造、拉弯及压弯构件的截面设计方法 ^① 通过本章学习要求学生掌握钢结构拉弯和压弯构件的计算理论、设计方法和构造要求	4

续表

章节	内容(调整前)	内容(调整后)	调整后学时
第六章 钢结构的连接	钢结构对连接的要求及连接方法 ^① 、焊缝连接的特性 ^② 、对接焊缝连接的构造和计算 ^① 、角焊缝的构造和计算 ^① 、焊接残余应力和焊接残余变形 ^① 、焊接残余应力和残余变形的原因及减少焊接残余应力和残余变形的措施 ^② 、普通螺栓及高强螺栓连接的工作性能 ^② 、构造和计算 ^① 、栓焊连接的构造和计算 ^② 通过本章学习要求学生掌握焊缝、普通螺栓、高强螺栓摩擦型、高强螺栓承压型及螺栓群受拉、受剪、受压的计算理论、设计方法和构造要求	钢结构对连接的要求及连接方法 ^① 、焊缝连接的特性 ^② 、对接焊缝连接的构造和计算 ^① 、角焊缝的构造和计算 ^① 、焊接残余应力和焊接残余变形概念 ^① 、焊接残余应力和残余变形的原因及减少焊接残余应力和残余变形的措施 ^② 、普通螺栓及高强螺栓连接的工作性能 ^② 、构造和计算 ^① 通过本章学习要求学生掌握焊缝、普通螺栓、高强螺栓摩擦型、高强螺栓承压型及螺栓群受拉、受剪、受压的计算理论、设计方法和构造要求	12
工程实践	无	校内钢结构的计算、设计和施工方法现场讲解	2

注:表中上角标表示学习程度,①为掌握,②为理解,③为了解

通过钢结构原理课程教学,培养学生以下基本能力:

(1)使学生掌握钢结构的设计原则及设计思路,培养学生解决实际钢结构工程问题的工程意识和基本能力。

(2)培养学生根据钢结构基本理论和设计方法,应用工程分析设计软件分析实际钢结构的受力及连接特点,解决相应工程问题的基本能力。

(3)使学生了解和理解预应力钢结构相关规范、规程和标准,培养学生依据现行规范解决实际工程问题的基本能力。

二、教学形式和气氛

(一) 教学动画应用

在钢结构原理学习中,有些概念较为简练抽象,为激发学生的学习兴趣,应加深学生对基础原理、基本概念的理解,充分发挥多媒体课堂的教学优势。例如,在讲授轴心受压杆件扭转屈曲、弯曲屈曲和弯扭屈曲时,采取有限元软件以动画形式给学生演示,让学生能清楚地辨别不同种类屈曲变形的区别,如图1所示。动画形象生动描述了轴心受力压杆屈曲的3种形式:扭转屈曲(部分双轴对称截面,如十字形截面),各杆件截面(除支撑端)均绕纵轴扭转;弯曲屈曲(双轴对称截面),杆件只发生弯曲变形,截面只绕一个主轴旋转,杆的纵轴变为曲线;弯扭屈曲(单轴对称截面,如T字形截面),杆件失稳时,同时发生弯曲和扭转变形。通过动画演示,在相对枯燥的基本原理学习中加深学生的理解和记忆,便于学生对知识的巩固和掌握。

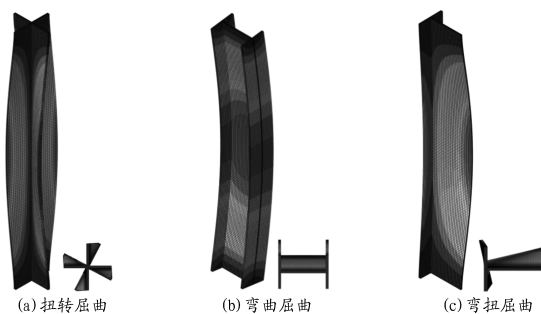


图1 轴心受压构件屈曲变形形式

(二) 设置教学实验

钢结构的构件整体稳定问题是教学的难点和重点,但教材中微分方程的推导过程非常难懂,且很不形象,学生不容易掌握。制作教学实验的录像,使学生能直观观察钢结构构件失稳的全过程。通过实验,学生很容易掌握失稳的外在表现特征,掌握失稳的特点,然后再结合实验现象,分析失稳的本质。如图 2(a)所示,在梁的整体失稳试验中,梁两端铰接,中间三分点处两点加载,上翼缘侧向位移未受到约束,发生弯扭失稳,与理论分析结果一致。如图 2(b)所示,进行了轴心受压构件失稳试验。试件两端铰接,施加竖向轴心压力,试件发生绕弱轴的弯曲失稳,与理论分析一致。结合荷载位移曲线,讲解弯曲失稳的现象和内因及截面应力分布规律。如图 2(c)和(d)所示,进行了压弯构件失稳试验,通过调整偏心大小,得到了平面外和平面内失稳的实验现象。

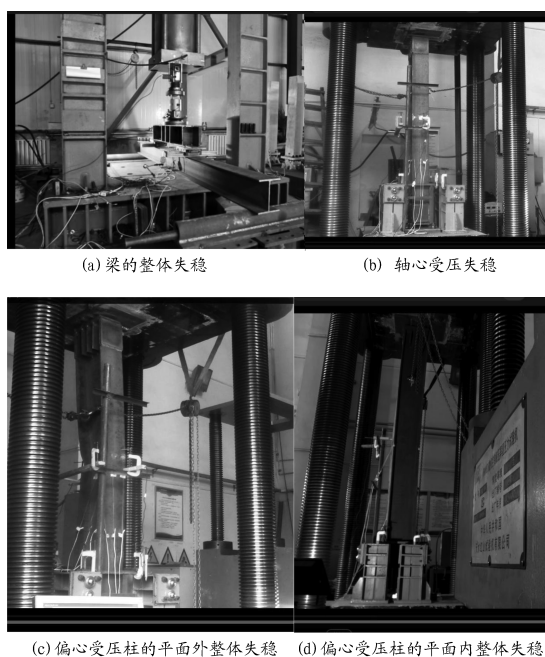


图 2 教学实验录像

(三) 学生座谈与调查问卷

在教学前给全体学生发放调查问卷,了解学生对这门课的需求,包括学生想通过这门课学到什么,希望采用什么样的讲解形式,以及学生的职业规划。在讲课中,根据学生的需求调整讲课的形式和内容。在考试结束后,找几位有代表性的学生,请他们对整个课程的设置、讲解的方法、讲解的内容等提出意见和建议,这样可以对下一届的授课进行必要的调整。

(四) 教具的制作和使用

聚氨酯是一种高弹性的材料,可以发生很大的弹性变形,荷载去除后,能很快恢复原来的形状。笔者制作和购买了聚氨酯棒和聚氨酯板材,制作了教具。用长的聚氨酯圆棒可以模拟轴心受压构件的稳定。学生可以在课下用自制教具实验(图 3),模拟失稳的全过程,结合失稳过程的外在表现,理解轴心受压构件失稳的内因。自制教具实验既能清楚演示构件失稳的形式,也能丰富课堂,激发学生的学习兴趣。同时,利用聚氨酯板,剪裁、粘接,制作了 H 型钢、方钢管等,模拟钢构件的压弯构件平面外、平面内失稳,轴心受力构件弯曲失稳。通过长构件与短构件对比实验,理解失稳破坏和强度破坏的区别和产生的原因。调整板材的宽厚比,演示整体失稳、局部失稳及二者的耦

合失稳。通过聚氨酯教具的使用,直观演示复杂的失稳问题。学生亲自动手实验,活跃了课堂气氛,提高了学生学习兴趣,加深了对稳定概念的理解。

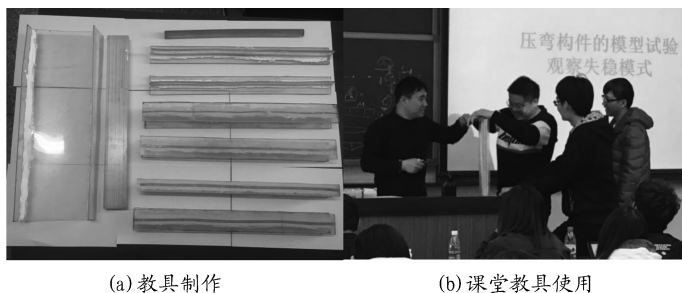


图3 教具的制作与使用

(五) 校园内工程参观教学

钢结构原理是钢结构设计的基础。学生掌握了钢结构原理的计算,但如果不结合实际工程,学生不知道如何将原理应用到实际中。校内有很多钢结构的工程和构件,在课程的最后带领学生参观校内的钢结构工程,讲解工程中构件的分类(轴心、拉压弯、弯曲构件)及计算方法,帮助学生将所学知识应用于实际。校内工程有输电塔架,构件以轴心受力构件为主,连接采用普通螺栓,如图4(a)所示。图4(b)所示的廊道,斜支撑为轴心受力构件,水平构件既承担楼板或屋面竖向荷载又承受轴力,为拉压弯构件,竖向构件以轴力为主,为轴心受力构件。图4(c)奥运会羽毛球馆——弦支穹顶结构。上层单层网壳为拉压弯构件,周边立体三角形桁架主要由轴心受力构件组成,撑杆为轴心受压构件,下层为环向拉索和径向拉杆。结合这个工程可以讲解拉压弯构件、轴心受力构件的计算内容和方法,构件连接的计算,构件的计算长度,索的计算方法。此外,参观了校内的游泳馆——焊接球网架,体育场看台——螺栓球网架、雨棚等。校内还有许多钢结构设施,可能叫不出体系的名字,在这种情况下,给学生讲解如何区分三大类构件,如何针对构件确定计算分析内容,如何计算分析。这种形式使学生直接面对实际工程,而且在校园内十分方便。



图4 校内工程参观

(六) 科研与教学结合

笔者近年对新型装配式钢结构节点、异形钢构件及组合构件、新型装配式钢结构、预应力钢结构等方面进行了研究^[20-28]。在钢结构原理课程教学中适当引入一些研究项目的研究背景、研究内容、研究手段及研究成果,特别是遇到的问题及解决过程,让学生兴趣盎然,激发学生研究兴趣,部

分学生积极主动参与项目研究,培养了研究创新能力。

三、结语

通过两年的教学改革和实践,取得了一些成效,提出以下意见供读者参考:

(1)在课时很少又不能增加课时的情况下,可以缩减教学内容、重点讲解,重点内容学生掌握之后,其他内容可以结合课下自学、课上提问的形式,让学生掌握。一方面节约上课时间,另一方面锻炼学生自学能力。

(2)可以使用 SolidWork, AutoCad, 3DMax 等软件制作教学动画,演示构件的加工制作、安装及受力变形过程。结合 Abaqus、Ansys 等有限元分析软件,对轴心受力构件、压弯构件、受弯构件进行模拟分析演示,使学生清晰直观地看到构件强度破坏、失稳破坏的整个过程,加深对概念的理解。

(3)制作轴心受力构件、压弯构件、受弯构件进行实验,演示构件的失稳全过程,可以丰富课堂形式,活跃气氛,激发学生兴趣,加深对失稳破坏现场和内因的理解。

(4)聚氨酯教具可以演示轴心受力构件、压弯构件、受弯构件整体失稳、局部失稳破坏过程,使学生直观理解钢结构构件的破坏过程、受力特点,激发学生学习兴趣,活跃课堂气氛。

(5)结合校内工程的参观和实践教学,让学生直接面对工程,使钢结构原理的基础知识能在钢结构工程的设计实践中得到应用,学生对这种形式也非常感兴趣。

参考文献:

- [1] CAI W G, WU Y, ZHONG Y, et al. Corrigendum to “China building energy consumption: Situation, challenges and corresponding measures” [J]. Energy Policy, 2009, 37(6): 2054–2059.
- [2] ZHANG Y, HE C Q, TANG B J, et al. China’s energy consumption in the building sector: A life cycle approach [J]. Energy & Buildings, 2015, 94: 240–251.
- [3] LI B, YAO R M. Urbanisation and its impact on building energy consumption and efficiency in China [J]. Renewable Energy, 2009, 34(9): 1994–1998.
- [4] 张爱林. 工业化装配式多高层钢结构住宅产业化关键问题和发展趋势 [J]. 住宅产业, 2016(1): 10–14.
- [5] 张爱林. 工业化装配式高层钢结构体系创新、标准规范编制及产业化关键问题 [J]. 工业建筑, 2014, 44(8): 1–6.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 绿色建筑评价标准: GB/T50378—2014 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [7] Liu X, Zhang Y, Zhang A, et al. Model test for the tensioning construction process of a large-span prestressed suspended dome [J]. Advances in Structural Engineering, 2016, 20(4): 504–518.
- [8] Liu X C, Cui F Y, Zhan X X, et al. Seismic performance of bolted connection of H-beam to HSS-column with web end-plate [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2019, 156: 167–181.
- [9] ZHANG A L, LIU X C. The new development of industrial assembly high-rise steel structure system in China [C] // Proceedings of the 10th Pacific Structural Steel Conference. Singapore: Research Publishing Services, 2013: 976–981.
- [10] 刘学春, 徐阿新, 孙超, 等. 高层装配式斜支撑钢框架结构设计研究 [J]. 建筑结构学报, 2015, 36(5): 157–165.
- [11] Liu X C, Zhou X J, Zhang A L, et al. Design and compilation of specifications for a modular prefabricated high-rise steel frame structure with diagonal braces. Part I: Integral structural design [J]. Structural Design of Tall and Special Buildings, 2018: e1415.
- [12] Liu X C, He X N, Zhang A L, et al. Design and specification compilation of a modular prefabricated high-rise steel frame structure with diagonal braces part II: Elastic-plastic time-history analysis and joint design [J]. Structural Design of Tall and Special Buildings, 2017: e1414.
- [13] 王国周, 瞿履谦. 钢结构: 原理与设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

- [14] 沈祖炎, 陈以一, 陈扬骥. 房屋钢结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [15] 赵根田, 孙德发. 钢结构[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [16] 张耀春. 钢结构设计原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [17] 何若全. 钢结构基本原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [18] 张艳霞, 刘学春, 吴宝瀛. 钢结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [19] 陈绍蕃, 顾强. 钢结构-上册-钢结构基础[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [20] Liu X C, Cui F Y, Jiang Z Q, et al. Tension-bend-shear capacity of bolted-flange connection for square steel tube column [J]. *Engineering Structures*, 2019, 201: 439-460.
- [21] Liu X C, He X N, Wang H X, et al. Compression-bend-shearing performance of column-to-column bolted-flange connections in prefabricated multi-high-rise steel structures[J]. *Engineering Structures*, 2018, 160: 439-460.
- [22] Liu X C, He X N, Wang H X, et al. Bending-shear performance of column-to-column bolted-flange connections in prefabricated multi-high-rise steel structures[J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2018, 145: 28-48.
- [23] Liu X C, Zhan X X, Pu S H, et al. Seismic performance study on slipping bolted truss-to-column connections in modularized prefabricated steel structures[J]. *Engineering Structures*, 2018, 163: 241-254.
- [24] Liu X C, Yang Z W, Wang H X, et al. Seismic performance of H-section beam to HSS column connection in prefabricated structures[J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2017, 138: 1-16.
- [25] Liu X C, Pu S H, Zhang A L, et al. Performance analysis and design of bolted connections in modularized prefabricated steel structures[J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2017, 133: 360-373.
- [26] Liu X C, Zhan X X, Zhang A L, et al. Random imperfection method for stability analysis of suspended dome[J]. *International Journal of Steel Structures*, 2017, 17(1): 91-103.
- [27] Liu X C, Pu S H, Zhang A L, et al. Static and seismic experiment for bolted-welded joint in modularized prefabricated steel structure[J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2015, 115(8): 417-433.
- [28] Liu X C, Xu A X, Zhang A L, et al. Static and seismic experiment for welded joints in modularized prefabricated steel structure[J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2015, 112(5): 183-195.

Discussion and practice on teaching content and method of steel structure principle

LIU Xuechun, BAI Zhengxian, ZHU Tao, WANG Yue

(*College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, P. R. China*)

Abstract: As a compulsory course for civil engineering specialty including structural engineering bridge engineering underground engineering track engineering the importance of steel structure principle is self-evident. In order to adapt to the application and development of steel structure, setting and adjustment of the teaching content, allocation of teaching hours and proportion of classroom teaching and practical teaching are studied combined with the teaching and scientific research of steel structure. Methods of classroom and experiment teaching are discussed combined with multimedia and structural test technology the contents forms and methods of experiment teaching are provided. This paper explores how to improve students' enthusiasm in classes, how to arouse students' study emotions and how to strengthen interaction between teachers and students. At the same time, it discusses how to combine teachers' scientific research content realize the effective combination of theoretical teaching, engineering practice application and scientific research, and stimulate students' innovative thinking ability.

Key words: the principle of steel structure; teaching experiment; engineering cases; innovative thinking

(责任编辑 周沫)