

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2019.05.013

欢迎按以下格式引用:陈鑫,毛小勇,张兄武,等.虚实结合的多层次钢结构教学模型体系建设[J].高等建筑教育,2019,28(5):80-85.

# 虚实结合的多层次钢结构 教学模型体系建设

陈鑫<sup>1</sup>,毛小勇<sup>1</sup>,张兄武<sup>2</sup>,田石柱<sup>1</sup>,朱燕清<sup>1</sup>

(苏州科技大学 a.土木工程学院;b. 教务处,苏州 215011)

**摘要:**钢结构形式多变、构造复杂、课程知识点多给土木工程专业学生的学习带来了困难。对此,建立了虚拟仿真和实物模型相结合的教学模型体系辅助学生深入理解相关知识。梳理了本科教学中所涉及的钢结构课程体系,并总结了知识广、理解难和空间感要求高三大特点,从构件、节点、结构体系和损坏形态等多个层次建立了虚实结合的钢结构教学模型体系。最后,介绍了该模型体系中四大模块的建设情况。采用虚拟仿真和实物模型相结合的教学方法,与理论教学相互融合、相互促进,全面提高学生对钢结构相关知识的掌握程度。

**关键词:**虚实结合;教学模型;土木工程;实验室建设

**中图分类号:**G642

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2019)05-0080-06

随着城市建设的不断发展,一方面,新技术、新材料的快速更新,新型结构形式不断涌现;另一方面,以绿色建造、智能建造为特点的建造工业化已成为土木行业的发展趋势。在这两个发展方向上,钢结构具有天然的优势,但是,新结构体系和建筑工业化对从业人员在结构体系和构造认知等方面的专业素养提出了更高要求,因此,钢结构教学有必要在夯实学生基础理论知识的同时,进一步强化学生对结构体系和构造的空间认知,厘清设计理论与空间构造的关系,以适应不断发展的土木工程行业新要求。

钢结构种类繁多,体系和构造十分复杂,基于平面图形的传统教学,简单地依靠学生空间想象力,难以真实、准确地理解和掌握结构体系和局部构造。教师只有把握空间想象力的层次性,并应用于教学实践,采取有针对性的教学方法和手段,才能有效提高学生的空间想象力。为此,认识实习、生产实习等认知实践课程成为土木工程培养方案的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>,其目的是帮助学生掌握

修回日期:2018-05-09

基金项目:江苏省品牌专业;江苏省青蓝工程(苏教师[2016]15号);江苏省社会科学基金项目一般项目(17JYB010);江苏省研究生教育教学改革课题(JGLX19\_145)

作者简介:陈鑫(1983—),男,苏州科技学院土木工程学院副教授,博士研究生,主要从事钢结构、结构振动控制研究,(E-mail) chenx@mail.usts.edu.cn。

复杂的体系和构造。然而这些课程教学成本高、耗时长,具体到钢结构部分,条件限制下的教学效果有时难以保证。借助缩尺实物模型的教学方法成为一类可替代方法<sup>[3]</sup>,然而缩尺的实物模型尽管能够通过直观感知,一定程度帮助学生掌握体系和构造,但缺少了对结构尺度的真实感受和真实细节的完整把握。

近年来,随着计算机技术的高速发展,虚拟仿真逐渐成为提升学生实物认知的重要手段<sup>[4-6]</sup>。陈进等<sup>[7]</sup>为强化学生空间结构概念,提出以教学实体模型库、三维数字教学模型库、工程案例库为基础的“形象化教学”方法,从而使原本枯燥、平面、理论的教学变得生动、立体、实际,提高了学习效率。黄海斌等<sup>[8]</sup>针对钢结构节点的复杂性,指出了钢结构节点设计教学中三维数字模型的优势,并利用PKPM建立了钢结构三维数字模型,取得了较好的教学效果。孙国华等<sup>[9]</sup>在钢结构设计原理课程教学中引入电子模型辅助教学,增强了学生对钢结构复杂构造及抽象概念的认知,加深学生对重要知识点的理解。可见,虚拟仿真技术应用于钢结构课程教学效果较好,且越来越受关注。

但目前的钢结构虚拟仿真模型在涉及构造细节时,描述失真,比如虚拟仿真焊缝往往没有缺陷,但真实的焊缝存在着夹杂、烧穿等缺陷。而虚拟仿真和实物教学优势互补,使得近年来虚实结合的教学方法在实践教学中逐渐引起重视<sup>[10-11]</sup>。为此,苏州科技大学土木工程学院综合虚拟仿真和实物模型,从构件、节点、结构等多个层次建立了虚实结合的多层次钢结构教学模型体系,为虚拟仿真、实物模型和理论教学相融合的教学实践奠定了基础。

## 一、虚实结合构建钢结构教学模型体系

### (一) 钢结构课程体系与特点

作为目前最主要的结构形式之一,钢结构在土木工程专业本科教学中涉及的课程主要包括钢结构设计原理、钢结构设计和钢结构课程设计,以及钢结构毕业设计。

其中钢结构设计原理课程中涉及材料、梁、柱、连接等构件的设计与构造,钢结构设计课程涉及门式轻型钢架结构,普通单层厂房,大跨度结构和多、高层结构四大类结构体系的设计与构造,钢结构课程设计主要围绕单层厂房的钢桁架屋盖结构的设计与绘图展开,钢结构毕业设计则针对某类钢结构体系完成钢结构设计全过程。这些钢结构课程的主要特点:(1)知识系统性强,材料、构件、结构层次分明,内容多;(2)知识点分布广、概念多、理解难度大;(3)结构构造复杂,对学生的空间感知要求高。

### (二) 钢结构教学模型体系构建

作为课堂理论授课的重要补充,模型教学有利于学生更加深刻地认识结构特点,从而掌握相关知识中的理论、方法和构造,因此,苏州科技大学针对钢结构课程群的知识特点,从构件、节点、结构及其损坏形态等多个层次,建立了钢结构教学模型体系。如图1所示,教学模型体系由构件、节点、结构体系和损坏形态四大模块组成。

(1) 构件模块。一方面,设置了热轧型钢、冷弯薄壁型钢等型材不同截面形式的模型;另一方面,通过结构体系模块中的构件,反映不同截面形式的构件在结构中的应用。

(2) 节点模块。一方面,从焊接连接和螺栓连接两种钢结构主要连接形式进行分类,如对接焊缝、高强螺栓等;另一方面,根据具体结构中的节点形式进行分类,如梁柱连接、螺栓球节点等。

(3) 结构体系模块。根据钢结构设计课程的教学内容,主要设置了门式轻型钢架结构、单层工

业厂房结构、大跨空间结构和框架结构等教学模型。

(4) 损坏形态模块。一方面,设置了反映焊缝缺陷、螺栓破坏形态的模型;另一方面,借助虚拟仿真手段建立了构件破坏过程的虚拟模型。

在钢结构模型体系的建设过程中,既有定向购置的缩尺实物模型,又有自行制作的虚拟仿真模型,使得学生既能够通过实物模型对钢结构各知识点有感性认识,又可通过虚拟仿真模型不断回顾知识,加深印象。模型体系的结构构造模块中,每一个对象由虚拟仿真模型和缩尺实物模型对照结合,而损坏形态模块中的对象则由虚拟仿真模型和缩尺实物模型互补结合,即焊缝缺陷等静态对象主要由缩尺实物模型反映、杆件破坏过程等动态对象主要由虚拟仿真实现,从而使得虚拟仿真技术和实物模型各自优势在钢结构教学模型体系中得到了有机融合,共同推动钢结构教学效果的提升。

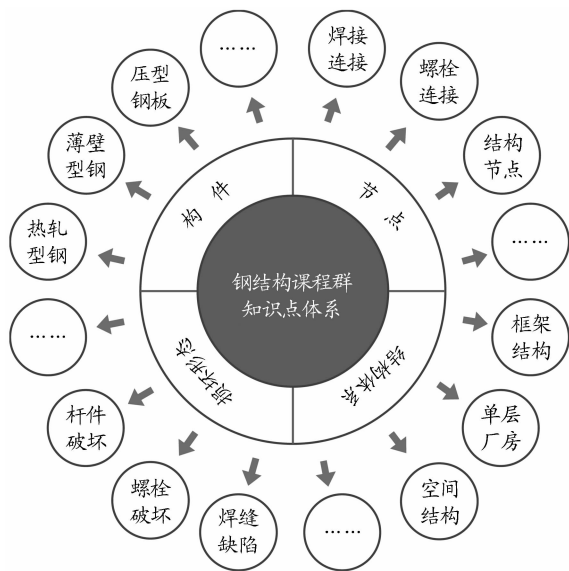


图1 钢结构教学模型体系

## 二、钢结构教学模型体系建设

### (一) 钢结构构件模块

钢结构中构件种类繁多、截面形式多样,不同结构的不同部位通常采用不同的构件形式。从功能上讲,钢结构构件可分为梁、柱、支撑、檩条等;从制作方式上有热轧型钢、冷弯薄壁型钢、焊接型钢等;从截面形式上有H形、L型、T型、圆钢管、方钢管等。构件模块基本涵盖了上述制作方式和截面形式,其中部分模型如图2所示。在教学中,面对制作方式不同,但截面形式类似的钢结构构件,很难通过平面图形和讲授使学生理解不同构件之间的差异。因此,一方面通过电子模型使学生掌握构件的截面形式和制作细节,另一方面带领学生参观实物教学模型,加深对构件形式的认知,从而为后续钢结构的长细比分类查表等相关知识的学习奠定基础。

### (二) 钢结构节点模块

与钢筋混凝土结构相比,钢结构节点构造复杂、形式多样,不同结构和构件中连接方式各不相同。从受力特性上可分为刚性连接、半刚性连接和铰接连接三大类;从连接方式上可分为焊接连接、螺栓连接、铆接等;从节点位置不同可分为梁柱连接、梁梁连接、柱脚节点等。节点模块中基本涵盖上述类型,部分模型如图3所示。钢结构节点设计一直是钢结构设计的难点和关键之一,由于形式复杂,缺乏直观认识使得学生对其中的公式假定和设计

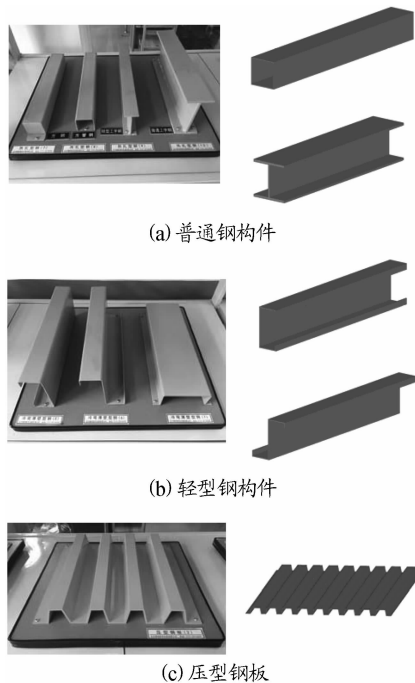


图2 钢结构构件模型

是钢结构设计的难点和关键之一,由于形式复杂,缺乏直观认识使得学生对其中的公式假定和设计

方法理解不深、掌握不牢,借助实物模型和虚拟仿真模型,学生能够从构造上理解设计方法中所反映的传力方式,从而更深层次掌握节点设计理论和方法。

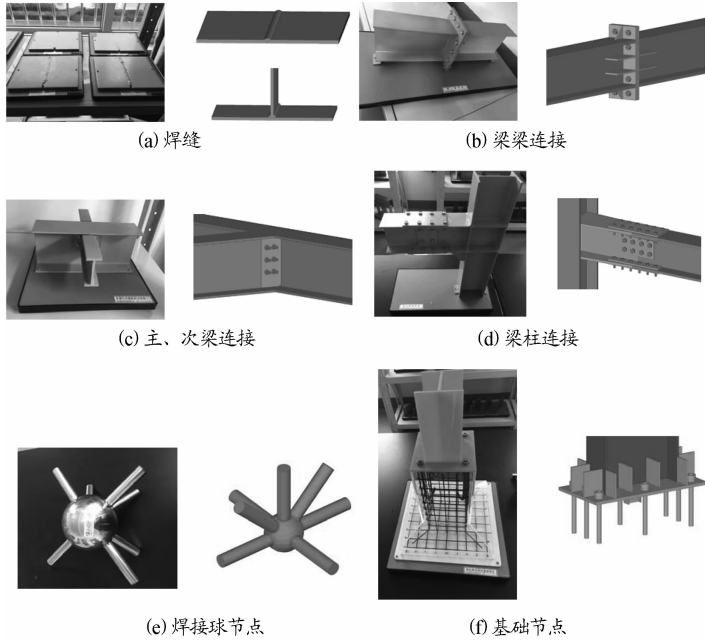


图3 钢结构节点模型

### (三) 钢结构体系模块

在本科阶段,涉及的钢结构体系主要有门式轻型钢架结构、大跨空间结构和多层结构。如图4所示,钢结构体系模块基本包含了上述结构体系。钢结构体系的教学过程中,多样的结构和繁杂的构造给学生的理解和学习带来了困难,学生通过缩尺实物能够对主要结构体系的构件布置位置、截面形式、节点连接方式等形成明确认知,进而通过更多的虚拟仿真模型学习,一方面作为缩尺实物模型的补充,展示在缩尺模型中无法体现的结构真实细节,另一方面,拓展学生对更多结构体系的认知,增长知识面。

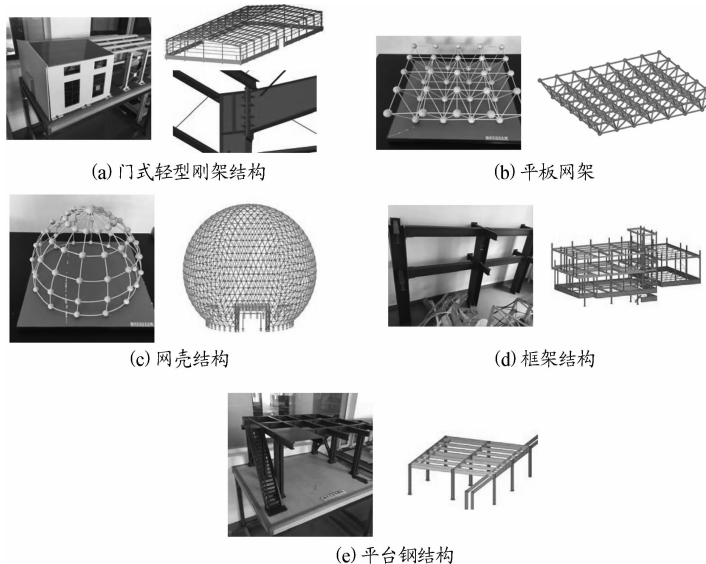


图4 钢结构体系模型

#### (四) 钢结构损坏形态模块

钢结构课程的教学过程中,对钢结构缺陷和破坏形态的深入了解是掌握钢结构设计理论和方法的基础。如图5所示,分别给出了部分钢结构破坏形态的模型:焊缝的缺陷形态、螺栓剪切破坏模式和轴力受压构件破坏全过程。对于焊缝缺陷,可以通过在实物模型中真实焊接,让学生真正了解焊缝缺陷情况。对于螺栓破坏,则直观地将破坏后的多种形态予以反映,学生结合课本知识,一目了然。而对于成本高、难以通过静态模型展示的破坏形态,基于有限元软件开展这些破坏的全过程模拟,如图5(d)所示,展示柱受压失稳的变形全过程及在失稳曲线中的对应关系,使得学生对破坏全过程有更深入的理解。

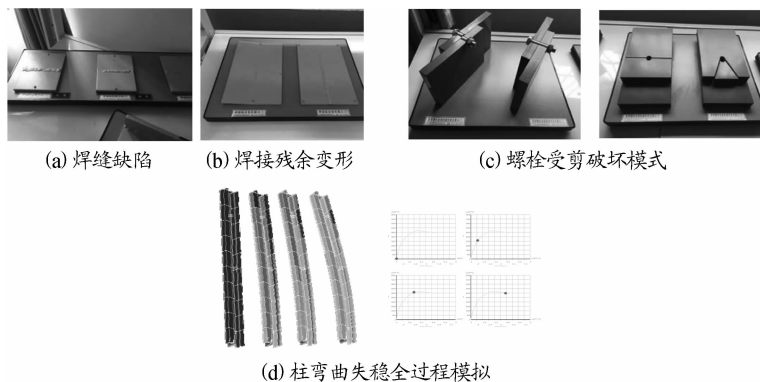


图5 钢结构破坏形态模型

### 三、结语

作为主要的结构形式之一,钢结构在建筑工业化的趋势下,越来越受到重视。如何在本科教学过程中帮助学生更好地克服结构形式复杂、构件种类繁多等学习困难,牢固掌握钢结构相关知识是土木工程专业本科教学始终关注的重点之一。通过虚拟仿真和实物模型的建设,形成了构件、节点、结构体系、损坏形态等多层次、虚实结合的教学模型体系,在钢结构课程授课过程中,充分利用该教学模型体系辅助教学,对培养学生学习兴趣、加深对知识点的掌握、提高教学效果有着积极的作用。

#### 参考文献:

- [1] 李方慧,田春竹. 钢结构设计课程实践教学方法探讨[J]. 高等建筑教育, 2011, 20(1): 135-137.
- [2] 伊廷华,王昆,李宏男. 土木工程专业人才实践能力培养研究[J]. 高等建筑教育, 2012, 21(4): 17-19.
- [3] 李军,刘秀丽,徐菁,等. 卡纸模型在“钢结构设计”课程中的应用[J]. 辽宁经济管理干部学院:辽宁经济职业技术学院学报, 2012(06): 95-96.
- [4] 徐明,熊宏齐,吴刚,等. 土木工程虚拟仿真实验教学中心建设[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(2): 139-142.
- [5] 祖强,魏永军. 国家级虚拟仿真实验教学中心建设现状探析[J]. 实验技术与管理, 2015(11): 156-158.
- [6] 徐明,刘艳,陆金钰,等. 土木工程虚拟仿真实验教学资源建设[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(12): 116-119.
- [7] 陈进,曾祥蓉,王薇,等. 土木工程专业形象化教学研究[J]. 高等建筑教育, 2012, 21(6): 36-39.
- [8] 黄海斌,王仲刚,雷运波,等. 钢结构节点三维数字模型教学实践探讨[J]. 高等建筑教育, 2013, 22(3): 71-73.
- [9] 孙国华,高晓莹,高建洪,等. 电子模型在钢结构设计原理课程教学中的应用[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(6): 174-178.
- [10] 汪成义. 虚实结合促进硬件类课程教学改革的实践与思考[J]. 湖北经济学院学报:人文社会科学版, 2016, 13

(10): 186-188.

[11] 宁方立,王琳. 虚实结合的机械设计实验教学方法[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(2): 165-167.

## Construction of the multi-layer steel structure teaching model system based on virtual-real integration

CHEN Xin<sup>a</sup>, MAO Xiaoyong<sup>a</sup>, ZHANG Xiongwu<sup>b</sup>, TIAN Shizhu<sup>a</sup>, ZHU Yanqing<sup>a</sup>

(*a. School of Civil Engineering; b. Office of Educational Administration,  
Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, P. R. China*)

**Abstract:** With the characteristics of variable structural style, complicated construction, too many knowledge points, etc., steel structure courses have brought difficulties to civil engineering undergraduates. Therefore, this paper presents a teaching model system, which combines both virtual simulation and physical model, to help the undergraduates understand relevant knowledge. The system of steel structure courses in undergraduate teaching is concluded, and its three characteristics are summarized including too wide range of knowledge to learn, too hard to understand and high requirement of space sense. Then a steel structure teaching model system is constructed based on several layers, such as components, joints, structure systems and damage states. Lastly, the construction situation of the four blocks of the system is introduced. With the proposed integration teaching method and theory teaching integrating and promoting mutually, the undergraduates' mastery of steel structure relevant knowledge is improved comprehensively.

**Key words:** virtual-real integration; teaching model; civil engineering; laboratory construction

(责任编辑 梁远华)