

# 电子模型在钢结构设计原理课程教学中的应用

孙国华<sup>a</sup>,高晓莹<sup>a</sup>,高建洪<sup>b</sup>,毛小勇<sup>a</sup>

(苏州科技学院 a. 土木工程学院; b. 机械工程学院, 江苏 苏州 215009)

**摘要:**土木工程专业学生在钢结构设计原理课程学习中,对钢结构的复杂构造及抽象概念常常感到难以理解,文章建议引入电子模型技术辅助传统教学来解决这一难题。在课程教学中,可采用电子模型辅助教学方式增强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,以达到最终掌握钢结构设计原理的目的。

**关键词:**土木工程专业;钢结构设计原理;电子模型;教学方法;教学研究

**中图分类号:**G642.0;TU3-4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2015)06-0174-05

钢结构设计原理课程是土木工程专业的主要专业课程之一,对建筑工程领域应用型人才培养起着重要作用<sup>[1]</sup>。钢结构设计原理课程具有理论性强、难度大、内容较抽象等特点<sup>[2]</sup>,以致学生在学习过程中感到有一定难度。为此,许多教师对钢结构设计原理课程教学进行了改革探讨。西安建筑科技大学郭成喜教授<sup>[3]</sup>针对钢结构设计原理课程教学环节的迫切需要,从教学管理及授课教师角度出发,研制了系列钢结构设计原理课程教学软件,包括“钢结构题苑”、“高等钢结构题苑”、“钢结构毕业设计专用软件 WGL”及“标准教学成绩单制作系统”,以提高钢结构设计原理课程的授课质量。同济大学罗烈等<sup>[4]</sup>编制了钢结构设计原理课程习题库教学软件,方便学生课后学习。邓海<sup>[5]</sup>建议在钢结构设计原理课程的授课过程中结合现场教学方式提高教学质量。此外,还有部分高校购买了大量钢结构实物模型用于辅助钢结构设计原理课程课堂授课。北京工业大学李永梅等<sup>[6]</sup>提出搭建数字化土木工程结构教学平台的教改思路,利用数字化模型辅助传统课堂教学。随着虚拟技术及计算机技术的快速发展,出现了大量虚拟仿真软件。应用这些可视化软件可将钢结构所涉及的构件、节点构造及主要受力构件在荷载作用下的失稳等现象制作成电子模型或视频,课堂上通过对电子模型及视频的演示可形象地再现构件及节点的加工制作流程、构件的失稳过程,加深学生对钢结构设计原理课程重点、难点知识的理解。付涛等<sup>[7]</sup>在课堂教学中结合钢梁的虚拟模型演示其面外失稳的全过程,取得了较好的课堂教学效果。同济大学罗晓群等<sup>[8]</sup>采用数字仿真技术开发了单层钢结构厂房动

收稿日期:2015-06-03

基金项目:教育部“土木工程卓越工程师教育培养计划”项目

作者简介:孙国华(1978-),男,苏州科技学院土木工程学院副教授,博士,主要从事钢结构及组合结构的抗震研究及教学工作,(E-mail)sg@mail.usts.edu.cn。

画课件,并将其应用于课堂教学。综上所述,虚拟技术在钢结构设计原理课程教学领域的应用也越来越广泛。电子模型在钢结构设计原理课程教学过程的应用,这种将传统教学方式同现代技术相结合的教学改革,已成为提高钢结构设计原理课程教学质量切实可行的有效途径。

### 一、电子模型

电子模型,又称虚拟模型,是通过计算机将实物模型采用虚拟仿真软件实现的一种非实物模型。电子模型技术具有可视化的特点,能将不可见的、不能表达的或抽象的一些东西转变为可看到的或者可想见的图片、图像和视频等。目前,有很多软件可用于制作钢结构设计原理课程教学的电子模型,如3Dmax、Sketchup、Solidword、AutoCad、Xsteel、BS Contact VRML/X3D等软件,甚至一些著名的商业有限元软件也可制作钢结构设计原理课程教学电子模型,如Ansys、Abaqus、Nastran、Adina等,这些软件还可以制作构件失稳的全过程视频。

### 二、电子模型技术辅助教学的优势

钢结构设计原理课程是土木工程专业中较难学的一门专业课程,该课程理论性强,且内容比较抽象,某些复杂问题教师不易讲透,学生也难以完全理解。因此,对该课程中的难点、重点,教师可将其提炼并制作成电子模型,在教学过程中辅以电子模型演示,学生则更易理解。电子模型在钢结构设计原理课程教学中的优势可总结如下:

第一,形式新颖,突破传统。将现代虚拟技术引入课堂教学,打破了传统教学采用板书或多媒体教学的单一方式。在课堂教学过程中,教师采用虚拟仿真软件演示电子模型,丰富了教学手段,同时也使课堂教学更生动,容易调动学生的热情和兴趣。

第二,表现手法形象、生动。通过将钢结构设计原理课程涉及的复杂问题(如复杂的节点构造、构件失稳现象等)以动态的电子模型方式表现出来,通过视觉输入即可加强学生对复杂问题的认知。电子模型教学具有形象化、多样化、生动化的特点,有利于增强学生对复杂知识点的深入理解。实践证明动画比文字更有助于学生的理解与记忆,特别是学生自己动手操控动画的演示时,效果更为明显。

第三,携带、保存方便,制作成本低。传统教学为增强学生对钢结构中主要构件或体系的理解,通常也会购买一些由木材、钢材或塑料制作的钢梁、钢柱、各种类型的梁柱连接、柱脚、屋架等,并组织学生课后参观,期望学生对其深入理解。但传统实物模型不仅造价昂贵,且保存占用大量空间,需要定期维修,使用期间仍会产生一定的维护成本。因此,许多教师并不喜欢实物教学方式。电子模型则不同,属于一次性投入。一旦电子模型制作完成,后期不需任何维护,不占用任何空间,可无限次重复使用。教师可非常方便地在课堂教学中展示电子模型。此外,教师还可将电子模型拷贝给学生,学生还可利用课后时间独立演示,便于课后自学或复习。

第四,降低教师工作强度。在钢结构设计原理课程的教学过程中,对复杂知识点单纯依靠板书或多媒体授课,要完全面面俱到地将其讲解透彻需要耗费教师大量时间和精力。引入电子模型后,教师可结合电子模型轻易将复杂问题讲透彻,学生也更容易接受复杂知识。

第五,易于实现网络教学。21世纪是信息时代,是网络时代。随着网络技术的日臻成熟,基于Web的虚拟教室或虚拟校园逐渐成为未来教育的一种全新教学方式。目前基于Web的虚拟教室、网上学校已陆续出现。钢结构电子模型非常适合学习者通过网络自学、复习,可不受时间、空间影响。计算机网络辅助教学已成为教育技术的重要组成部分,电子模型技术必将在钢结构设计原理课程教学中发挥越来越重要的作用。

### 三、电子模型在钢结构设计原理课程教学中的应用

目前,国内已有一些高校的教学团队将电子模型技术应用于钢结构设计原理课程教学中,并已制作了部分钢结构电子模型,在钢结构课程教学改革方面取得了一定的成绩。苏州科技学院钢结构课程教学团队对已有的电子模型进行了收集、整理,同时基于BS Contact VRML/X3D软件对尚未涉及的一些典型节点进行了开发、制作,进一步丰富了钢结构课程电子模型库。总体上,已有的钢结构课程电子模型可大致分为五类,见表1。

表1 钢结构电子模型的种类

类型	典型节点构造	典型试验	构件失稳	复杂构件构造	钢结构体系
示例	如主次梁铰接节点、钢柱拼接节点、梁柱连接节点、柱脚、格构式钢柱柱头等	如钢材力学性能的拉伸试验、冲击韧性试验、冷弯试验等	如典型截面钢柱轴心受压时的弯曲失稳、弯扭失稳、扭转失稳,以及板件的局部失稳等	如缀条式钢柱、缀板式钢柱、桁架梁、钢屋架等	如钢平台、轻型钢结构厂房、重型钢结构厂房、典型的钢框架结构等

钢结构设计原理课程主要涉及钢材力学性能的相关试验、格构式钢柱的细部构造、主次梁拼接节点、梁柱连接节点、柱脚、构件的失稳类型等相关电子模型,针对钢平台、轻钢厂房、重钢厂房、网架等结构体系的电子模型主要在《钢结构设计》下册应用。因此,本文重点介绍苏州科技学院钢结构课程教学团队在钢结构设计原理课程建设过程中所完成的部分电子模型。

### (一) 梁柱连接节点

在钢框架结构中,梁柱连接节点至关重要,是确保实现钢框架结构良好延性的重要部件。常用的梁柱连接节点形式主要有栓焊混合连接、狗骨式连接、加强盖板式连接。但1994年美国Northridge地震、1995年日本阪神地震均暴露出传统栓焊混合连接节点的塑性转动能力不足的问题。为此也提出了一系列半刚性连接节点,包括顶底角钢腹板双角钢节点、外伸端板节点、齐平式端板节点。通常情况下,可根据节点的转动刚度及抗弯承载力将其分为三类,分别为刚接节点、半刚接节点、铰接节点。在这些常用节点中仍存在许多构造复杂的节点,对初次接触节点概念的学生来讲,不易掌握。基于此,教学团队采用BS Contact VRML/X3D软件将部分典型三类节点制作成电子模型,学生可利用BS Contact VRML/X3D软件将其打开,通过旋转、移动、拆解等操作,细致观察节点的做法,明晰节点的部件组成。同时,学生还可根据电子模型节点组成部件的运行轨迹来了解复杂节点的施工安装顺序。

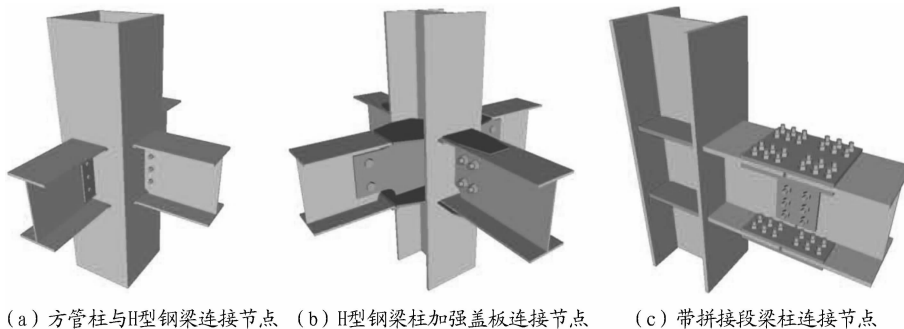


图1 刚性连接节点

### (2) 梁柱半刚接节点

为增强节点的转动能力,提出了半刚性连接节点。目前工程中较为常见的是四角钢节点、顶底角钢节点以及齐平式端板节点。虽然这三种节点在实际工程中尚未广泛应用,但为拓展土木工程专业本科学生的知识面,可在授课过程中补充介绍。图2

### (1) 梁柱刚接节点

在钢框架结构工程中,刚性连接节点用量最大。图1给出了典型梁柱刚性连接节点的电子模型。其中,图1(a)是传统的栓焊混合连接节点,通常在工厂中将连接板焊接于钢柱上,在现场将钢梁吊装至预定位置,并利用高强螺栓将钢梁腹板与钢柱连接板可靠连接,随后对钢梁翼缘与柱翼缘现场焊接。已有的震害表明这种传统节点的塑性转动能力无法充分发挥。随后,一些学者为改进传统栓焊混合连接节点的抗震性能,通过在钢梁翼缘位置增设加强盖板的方式大幅度提高了节点的塑性转动能力,从而实现了增加钢框架结构极限变形能力的最终目的,图1(b)即为所提出的加强盖板连接节点。在钢结构课程教学过程中,通过对加强盖板连接节点的分解、组装,使得学生了解此类节点的构造,同时也让学生掌握加强盖板连接节点的由来。

造成传统栓焊混合连接节点在地震作用下脆性破坏的另一主要原因是钢梁翼缘同钢柱之间的对接焊缝采用了现场焊接,致使焊缝质量一般,导致节点提早破坏。为此,还有一些学者提出了带拼接段的梁柱连接节点形式。通过将拼接段在工厂内焊接来提高相应焊缝的焊接质量,这种节点形式已纳入我国GB50011-2010《建筑结构抗震设计规范》,其具体构造见图1(c)。拼接段采用高强螺栓连接可降低工地现场的焊接工作量,避免由于工地焊缝质量不佳导致的脆性断裂。

给出了三种常见的半刚性连接节点。通过对图2中节点组成部件的拆解,学生可进一步了解四角钢节点、顶底角钢节点、齐平式端板节点的构成。学生如对此类节点的力学性能感兴趣,即可查阅相关文献了解其受力机理。

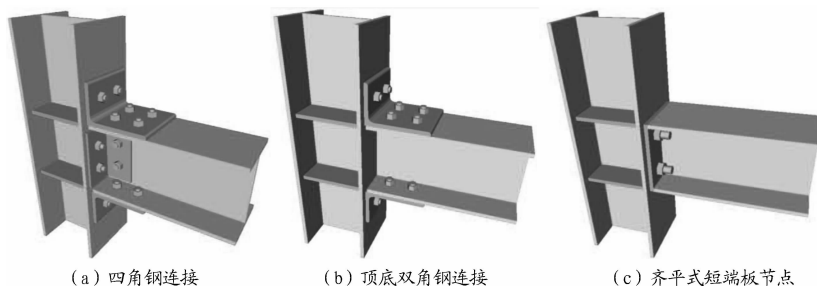


图2 半刚性连接节点

### (3) 梁柱铰接节点

针对钢支撑框架、偏心支撑钢框架、钢框架结构体系,美国或欧洲国家通常将结构中的非抗侧力部分按承担竖向荷载设计,这部分框架的梁柱连接往往采用铰接节点。相对来说,铰接节点在梁柱连接中构造最为简单,不论传递弯矩,还是传递竖向剪力,其构造都是将钢梁的腹板同钢柱翼缘连接实现。图3给出了钢结构中的常规铰接节点。图3(a)梁柱铰接节点中,仅通过高强螺栓将钢梁腹板与钢柱预先焊接好钢板连接,即能可靠传递剪力。钢梁翼缘同钢柱翼缘之间尚未连接,避免了钢梁端部弯矩的传递。图3(b)采用高强螺栓及角钢将钢柱翼缘与钢梁腹板之间可靠连接,有效地减少了工地现场的焊接工作量,更便于施工。

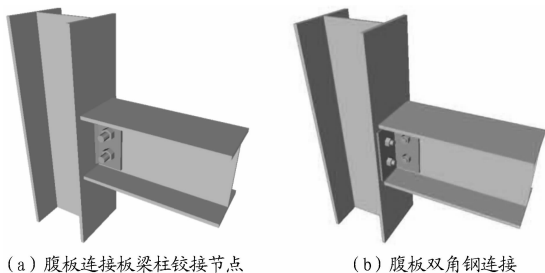


图3 铰接梁柱连接节点

### (二) 主、次梁拼接节点

在常用钢结构体系的楼盖系统中,由于主梁、次梁截面高度的不同导致其连接节点构造略为复杂,学生首次接触时不易理解。图4给出了两种常见的

主、次梁拼接节点的构造。当主、次梁之间采用铰接方式时,两者之间仅传递剪力,通常可将次梁翼缘切除,并通过高强螺栓将次梁腹板同主梁对应部位的加劲肋连接。同样,相比主、次梁的刚性连接节点,主梁上的加劲肋布置略显复杂,需确保次梁翼缘能与主梁腹板上的加劲板可靠连接,并能保证两者之间可靠传递弯矩。学生通过三维电子模型的旋转即可轻易理解主次梁拼接节点的具体构造。

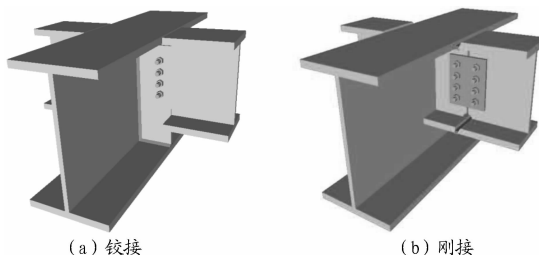


图4 主、次梁的拼接节点

### (三) 柱脚节点

在钢框架结构中,钢柱柱脚是整个钢结构体系中较为重要的部位,承担着可靠传递钢柱内力的作用。在钢结构设计原理课程教学过程中,由于柱脚内容课时安排较少,往往导致学生对此理解不深,重视程度不够。即使学过后,针对钢柱柱脚的相关知识仍较为生疏,在后期毕业设计环节就能反映这一点。为增强学生对柱脚知识的重视,加深学生对柱脚相关知识的理解,图5给出了已制作完成的3种常见平板式柱脚。

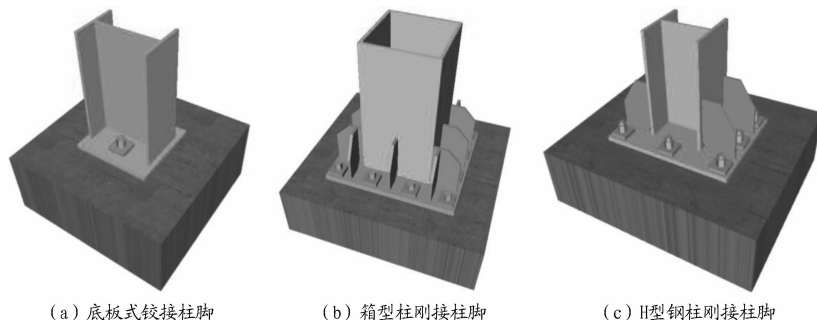


图5 柱脚节点

以图 5(c) 的 H 型钢柱刚接柱脚为例, 在 BS Contact VRML/X3D 软件中给出了节点电子模型的简化安装过程, 见图 6。通过对 H 型刚接柱脚电子

模型的观察和操作能显著提高学生对此柱脚节点构造做法及安装过程的理解。

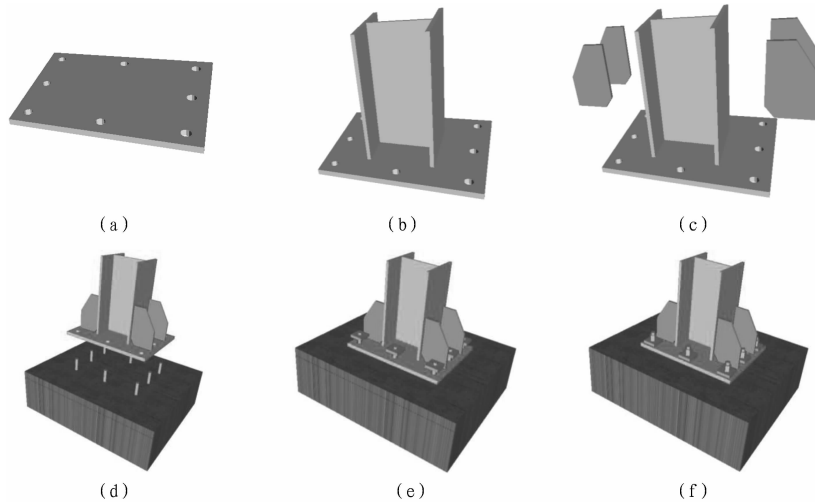


图 6 H 型钢柱刚接柱脚的安装过程

#### 四、结语

为帮助土木工程专业学生学习钢结构设计原理课程的重点、难点知识, 可结合现代虚拟仿真技术构建钢结构常见的拼接节点的电子模型。提倡授课教师在钢结构设计原理课程教学过程中, 采用电子模型辅助教学的方式, 以培养学生对该课程的学习兴趣, 加深学生对课程中重点、难点的理解, 提高课堂教学效果, 帮助学生牢固掌握钢结构设计原理课程的专业知识。

#### 参考文献:

[1] 李兵, 贾连光, 李恒昌. 改变教学方式提高钢结构教学质量[J]. 钢结构工程研究(十)——中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会第十四届(ISSF-2014)学术交流会暨

教学研讨会论文集, 2014.

- [2] 方恬. 钢结构教学法浅论[J]. 苏州城市建设保护学院学报, 2002, 4(2): 72-75.
- [3] 郭成喜. 钢结构教学和教学管理环节的创新性实践[J]. 西安建筑科技大学学报: 社会科学版, 2006, 25(3): 32-36.
- [4] 罗烈, 何敏娟, 徐荣璞. 钢结构习题库 SSEL 教学软件的开发和应用[J]. 高等建筑教育, 1998, 7(2): 35-36.
- [5] 邓海. 针对钢结构教学具体问题的探讨与实践[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(1): 72-74.
- [6] 李永梅, 孙国富. 构建数字化土木工程结构教学平台的研究与实践[J]. 北京工业大学学报: 社会科学版, 2013, 13(1): 78-84.
- [7] 付涛, 严钧. 虚拟模型实验在钢结构教学中的应用[J]. 高等建筑教育, 2006, 15(4): 94-96.
- [8] 罗晓群, 张其林, 杨彬, 等. 建筑钢结构设计动画课件开发研究[J]. 高等建筑教育, 2012, 21(1): 77-80.

## Application of electronic model in steel structural design principle course

SUN Guohua<sup>a</sup>, GAO Xiaoying<sup>a</sup>, GAO Jianhong<sup>b</sup>, MAO Xiaoyong<sup>a</sup>

(a. School of Civil Engineering, b. School of Mechanical Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, P. R. China)

**Abstract:** To solve the problem that civil engineering majors feel difficult to master the complex connection details and abstract concepts of steel structure in the steel structure design principle course, a series of electronic models of steel structure were constructed using the simulation software. In the classroom teaching process, the electronic model was suggested to use for students to enhance the understanding and cognition of complex details and abstract concepts of steel structure, which can make them better understand the keystone knowledge of steel structure design principle course.

**Keywords:** civil engineering specialty; steel structural design principle; electronic model; teaching method; teaching research