

# 钢结构稳定教学的探索与研究

徐勋倩

(南通大学 建筑工程学院,江苏 南通 226019)

**摘要:**通过分析钢结构课程稳定设计部分的难点及教学中存在的问题,就如何使学生既能掌握钢结构稳定性设计的基本原理和知识,又能综合运用所学知识进行整个钢结构的设计与施工进行探索与研究。

**关键词:**钢结构;稳定性;教学

**中图分类号:**G 642

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2008)04-0075-04

由于钢结构材料强度高、重量轻,构件截面往往很小,因此稳定问题是钢结构设计主要考虑的问题,也是钢结构的薄弱环节。钢结构教学中基本构件的计算与设计也主要围绕稳定问题这条主线展开。但是,钢结构课程稳定性内容丰富、理论问题复杂,仅仅采用传统课堂教学方式很难取得理想的教学效果,学生的学习积极性不高,学习效果较差。

在钢结构稳定性部分的教学过程中,从以下几方面的进行引导和教学,可有效调动学生的学习积极性和主动性,增强钢结构稳定性部分的学习效果,并提高学生处理问题的实际工作能力。

## 一、强调稳定性设计在钢结构中的重要作用

钢结构设计中稳定性是一个突出问题。在各种类型的钢结构中,都会遇到稳定问题<sup>[1-2]</sup>。对于这个问题处理不好,将会造成不应有的损失,现代工程中不乏因失稳而造成的钢结构事故。美国工程院院士、工程历史专家派超斯基(Petroski)教授认为:工程事故在工程的发展过程中起到了非常重要的作用。因此,结合钢结构课程的学科特点,选取典型钢结构工程事故进行分析与处理,不仅丰富了课堂授课内容,使学生从失败中正确吸取教训,了解如何避免重蹈覆辙,又增强了学生的事业心、责任心和工程意识。

为强调稳定性设计在钢结构设计中的重要作用,可以引用一些破坏实例。比如:1907年加拿大魁北克一座大桥在施工中破坏,9000吨钢结构全部坠入河中,桥上施工的人员75人遇难,破坏是由于悬臂的受压下弦失稳造成的;1988年加拿大一停车场的屋盖结构塌落,这次事故的原因是没有设置适当的支撑;在中国1988年也曾发生13.2×17.99m网架因腹杆稳定不足而在施工过程中塌落事故。从这些工程事故的真实案例可以让学生明白,钢结构中的稳定问题是设计中主要解决的问题,一旦出现了钢结构的失稳事故,不但对经济造成严

收稿日期:2008-06-13

基金项目:江苏省高校自然科学基金资助项目(07KJB580093);南通大学教学研究基金资助项目(07A13)

作者简介:徐勋倩(1973-),女,南通大学建筑工程学院副教授,博士,主要从事钢结构稳定研究,(E-mail)chendak@163.com

欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

重的损失,而且会造成人员的伤亡。同时,就这些工程案例进行分析,讲述影响钢构件稳定的一些主要因素,能初步让学生对钢结构稳定性设计问题有一些感性认识。

## 二、分析钢结构稳定性问题的难点

准确分析和把握学生学习钢结构稳定性问题的难点,可有助于在有限的学时内很好地提高教学效果,帮助学生建立钢结构稳定性设计的概念。在历届土木工程专业学生的钢结构课程教学中,学生较难掌握和容易出错的环节主要有以下几点。

一是尽管结构构件的稳定在材料力学中已经学习过,但理论知识应用于实际工程还需考虑诸多因素,学生对钢结构的稳定概念相对模糊,尤其是强度和稳定概念的区分。

二是在轴心受压构件的稳定承载力计算中,构件沿两个主轴方向的计算长度的确定是求解问题的首要步骤,杆件沿某主轴方向的计算长度取决于杆端支承方式及其沿该轴的中间支座情况,而这一问题在具体解题时往往容易使学生发生混淆。

三是在钢梁的整体稳定问题中,梁在其最大刚度主平面外发生侧向失稳和扭转变形称为梁整体失稳,而发生整体失稳的控制因素之一为梁受压翼缘的侧向自由长度,最大刚度主平面和侧向自由长度的概念学生往往也难于理解。

四是在压弯构件的整体稳定问题中,根据失稳方向的不同分为弯矩作用平面内和弯矩作用平面外失稳。其中,弯矩作用平面内失稳可视作偏心受压构件,弯矩作用平面外失稳则类似于梁的弯扭失稳。因此,明确压弯构件失稳方向是进行压弯构件设计的首要条件,但学生对两个不同方向失稳的概念常常模糊不清。多年的教学经验和对学生学习过程的观察也证实了这一点,每当讲到压弯构件的“作用平面内”、“作用平面外”等概念时,多数学生感觉不理解,从而给理解和掌握稳定理论造成负面影响。

五是组合梁、柱结构中翼缘和腹板在受到压应力作用时,板件平面尺寸较宽大、厚度较薄时,钢结构构件还将出现局部失稳的问题。如何判别局部失稳问题并采取相应措施,学生很难有较清楚的认识。

## 三、建立钢结构稳定设计的总体概念

在教学中针对钢结构稳定中的难点,对学生进行引导学习,可帮助学生建立钢结构稳定设计的总体概念。

### (一)区分和比较强度与稳定的概念

钢筋混凝土课程学习中主要考虑构件的强度控制因素,学生对强度设计概念相对较为熟悉。教学中从强度概念入手,通过区分和比较强度和稳定问题帮助学生逐渐建立稳定设计的概念。如,强度问题是指结构或者单个构件在稳定平衡状态下由荷载所引起的最大应力(或内力)是否超过建筑材料的极限强度,因此是一个应力问题。极限强度的取值取决于材料的特性,对混凝土等脆性材料,可取它的最大强度,对钢材则常取它的屈服点。稳定问题则与强度问题不同,它主要是找出外荷载与结构内部抵抗力间的不稳定平衡状态,即变形开始急剧增长的状态,从而设法避免进入该状态,因此,它是一个变形问题。如轴压柱由于失稳,侧向挠度使柱中增加数量很大的弯矩,因而柱子的破坏荷载可以远远低于它的轴压强度。显然,轴压强度不是柱子破坏的主要原因。

### (二)构件整体失稳物理现象的直观描述

钢结构稳定理论中,构件失稳的物理现象是需要学生掌握的,然而如果没有对实体的直观观察,仅凭平面图形想象是较困难的。现代教育手段包括投影、幻灯、录像、电影以及CAI多媒体教学,这些手段既有视听优势,又能够将学生难以理解的复杂构造形象化,因此可以更加有效地调动学生的学习兴趣。

例如,轴心受压钢柱的弯曲屈曲、弯扭屈曲、扭转屈曲、受弯梁的整体屈曲等失稳过程用动画演示,使学生更易理解钢结构失稳的概念。

正如图形的直观性明显优于文字的叙述一样,三维图形给人的直观感受也明显地比二维图形优越。如绘制三维图形描述梁受压翼缘的侧向自由长度,能帮助学生很好地建立最大刚度主平面和侧向自由长度的概念

由于钢结构的材性均匀稳定,构件非线性稳定的理论计算与实际结果吻合良好,因此,在数值模拟技术方面是相对简单和较容易实现的。对压弯构件的弯矩平面内、平面外失稳采用常规数值模拟技术和数值模拟程序均可以有效实现重点、难点的讲解。

然后,再对具体的设计问题作较细讲解,从而提高他们对这部分内容的理解,学生在具体的钢构件稳定性设计中思路明确,教学效果较好。

例如,杆件沿某主轴方向的计算长度取决于杆

端支承方式及其沿该轴的中间支座情况,面对这一使学生发生混淆的问题时,引入结构的支座的细部构造,即设计结构的细部构造和构件的稳定计算必须相互配合,使二者有一致性。再如,简支梁就抗弯强度来说,对不动铰支座的要求仅仅是阻止位移,同时允许在平面内转动。然而在处理梁整体稳定时上述要求就不够了。支座还需能够阻止梁绕纵轴扭转,同时允许梁在水平平面内转动和梁端截面自由翘曲,以符合稳定分析所采取的边界条件。

### (三) 钢构件整体稳定设计注意事项的对比

由于钢结构材料强度高、重量轻,构件截面往往很小,因此稳定问题是钢结构设计主要考虑的问题。教材中钢结构的设计就是紧紧围绕稳定这条主线来展开的,讲课时重点讲解失稳现象及影响钢构件稳定的因素,然后讲清《钢结构设计规范》(GB50017-2003)<sup>[3]</sup>中有关稳定计算公式的适用范围及应用,一般可不必把主要精力放在公式推导上面,但需让学生对公式的每一项物理概念和应用有清楚的认识并能灵活应用。

例如,讲解轴心受压构件整体稳定时,应注意讲清理想轴心受压构件的3种失稳形式(弯曲屈曲、扭转屈曲、弯扭屈曲),还应讲清实际轴心受压构件与理想轴心受压构件的区别,以及几何缺陷、残余应力对实际轴心受压构件的影响。针对《钢结构设计规范》(GB50017-2003)关于轴心受压构件整体稳定的计算公式,重点讲清整体稳定系数时所用到的 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 这4类截面与轴心受压构件整体稳定基本概念之间的联系, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 这4条柱子曲线与残余应力、几何缺陷之间的关系,从而使学生加深对轴心压杆整体稳定公式及应用的理

解。关于梁的整体稳定,首先应讲清梁丧失整体稳定的物理现象,分析梁的失稳机理。其次,讲清梁整体稳定的临界弯矩与哪些因素有关,至于临界弯矩计算公式推导,重点放在建立公式的边界条件及公式的适用范围。由于梁的整体稳定计算较为烦琐,而且对于不同约束条件的梁整体稳定计算还有待进一步研究,所以,应告诉学生梁的设计首先应考虑采取哪些构造措施可以防止梁的整体失稳。

目前的教材多数都是按基本构件的类型,逐一去讲解强度、稳定和刚度的计算,这种讲述方法不利于建立各种构件之间的区别和联系,缺乏系统性<sup>[4]</sup>。可以按强度、稳定、刚度分别论述各种构件的

求解方法,分析各种构件的区别与联系,省去繁杂的公式推导,使学生有一个比较清晰的思路,并结合工程实际说明各种构件的实际应用。针对不同构件稳定性设计的内容也有所不同,教学时根据具体情况列出详细表格,便于学生学习时进行比较和理解,便于学生建立一个总体和系统的稳定性设计概念和思路<sup>[5]</sup>。

### (四) 突出局部稳定的特点和设计思想

为加深学生对局部失稳问题的理解,将钢结构与其他结构进行比较对照,强调钢结构的特点。例如,简支梁是最常用的基本构件之一,在该构件端部梁轴线附近区域内,由于弯矩和剪力的共同作用,将产生与梁轴线成大约 $45^\circ$ 角且相互垂直的主拉应力和主压应力。对钢筋混凝土梁来说,由于混凝土是抗压强度较高而抗拉强度较低各向异性材料,所以此处起控制作用的将是主拉应力,它可能导致构件出现过大的斜裂缝,为防止构件斜截面破坏,一般应在此处配置腹筋(箍筋、弯起钢筋)。但是对钢梁来说,由于钢材是抗拉、抗压强度相等的各向同性材料,梁腹板在主拉应力作用下,通常具有足够的强度,在此处起控制作用的将是主压应力,在腹板过薄的情况下它可能导致梁腹板沿斜向被压屈。为防止梁腹板发生局部失稳,当腹板高厚比较大时,一般要在此处设置横向加劲肋。

钢结构局部稳定设计有一个基本理念是:局部失稳不先于整体失稳而发生。在教学中可采用人的寿命和牙的寿命比喻来说明这种理念。人是整体,牙是局部。为保证人的正常生活,牙的寿命应该和人的寿命相等或长于人的寿命。因此,在钢结构设计时规定,局部稳定的强度至少应该大于或等于整体稳定的强度。

### (五) 培养钢结构稳定设计的工程应用能力

如果大多时间用于对基本理论的掌握,没有足够的时间把理论知识应用于实践,没有应用的过程,学生也就不能很好理解基本理论,更谈不上在工程实际中应用了。因此,钢结构的课程教学过程对学生的知识结构、专业能力、创造性及综合应用素质的培养也是一个重要的方面。

鉴于学生的工程经验欠缺及安排有效的实践性教学环节的种种困难,在钢结构的教学中,如能恰当地将基本构件稳定性设计引入实际工程结构的稳定性设计中,将有利于学生掌握钢结构稳定设计

的原则和钢结构稳定设计特点。

比如:学习受弯构件扭转失稳时介绍闭口截面较开口截面能大大提高构件截面扭转刚度时,可适当引入苏通大桥箱形桥梁的封闭式的纵向加劲肋设计;学习梁腹板屈后强度的利用和意义时,可介绍08北京奥运体育馆“鸟巢”(梁断面 $1200 \times 1200 \times 20 \times 20$ ,宽厚比60)和大跨度门式轻钢厂房(梁腹板宽厚比150~220)工程,设计充分利用板件屈后强度;学习杆件失稳后变形的影响时,可介绍学校附近的南通市奥体中心大跨度空间网架结构体系的设计和施工的技术成就。同时,根据课程进度,适时安排学生去参观实物等,以此来激发学生对钢结构的学习兴趣,培养创新意识和解决实际问题的能力。

#### 四、结语

针对钢结构稳定性部分教学中的存在的一些问题,就如何使学生既能掌握钢结构稳定性设计的基

本原理和知识,又能综合运用所学知识进行整个钢结构的设计与施工进行探索与实践,希能对同行有一定的启发作用。

#### 参考文献:

- [1] 陈禄如. 中国钢结构行业现状和发展趋势[J]. 钢结构, 2004, (2): 56-59.
- [2] 陈骥. 美国国家标准建筑钢结构规范中轴心受压柱、受弯和压弯构件的稳定设计[J]. 建筑钢结构进展, 2007 (9): 35-37.
- [3] 中华人民共和国建设部. 钢结构设计规范(GB50017-2003) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [4] 张耀春. 钢结构设计原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [5] 陈绍蕃等. 钢结构(上、下册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

## Exploration and Research on Teaching in Steel Structure Stability

XU Xun-qian

(Architecture Department of Nantong University, Nantong 226019, China)

**Abstract:** Research is conducted on the problems existed in the steel structure stability teaching at presents. Exploration and research are introduced to help students master knowledge about steel structure stability design and apply them to actual project.

**Key words:** steel structure; stability; teaching

(编辑 周虹冰)