

再论钢结构理论发展与钢结构教科书的演变*

郝际平 陈绍蕃 杨俊芬

(西安建筑科技大学土木工程学院, 西安 710055)

摘要:主要分两部分:钢结构理论发展和钢结构教科书演变。第一部分首先对钢结构的计算理论作简要介绍,包括钢结构相关屈曲理论、畸变屈曲理论、大跨空间结构理论、高强高性能钢结构理论和钢结构高等分析理论;然后对钢结构设计方法发展的四个阶段进行简单介绍。第二部分首先结合钢结构教科书 60 年来的发展变化,分析设计规范和结构性能此消彼长,指出钢结构性能应该在教科书中占主导地位;接下来讨论教材体系,指出按极限状态分章比按构件分章更适合于阐明钢结构的基本性能;最后提出,为了适应创新型人才的培养,钢结构教科书不仅是传授知识的工具,还应该是开发智力、启迪思辨能力的平台。

关键词:钢结构;教科书;结构性能;设计规范;极限状态

1 计算理论的发展

板壳理论、塑性理论、结构动力学、随机过程、离散数学、模糊数学等相关学科的发展对钢结构理论的发展都具有一定的推动作用。

随着计算机技术的发展,有限元技术的发展,以及各种计算程序的发展,使得非线性分析、动力分析、结构整体分析成为可能。

目前,结构分析已能够超越线弹性而考虑材料非线性和几何非线性;由平面分析发展到空间整体和共同作用分析;已能够脱离解析解的束缚,采用数值解对结构进行仿真;不但能作静力分析,也能作动力分析;能模拟大型复杂结构施工过程中结构局部或整体在不同阶段的变边界条件、变荷载下的受力特性。随着结构学科的进步,建筑结构在外界荷载作用下的全过程反应越来越受关注^[1]。

本节主要对钢结构相关屈曲理论、畸变屈曲理论、大跨空间结构理论、高强高性能钢结构理论和钢结构高等分析理论的发展作简要介绍。

1.1 相关屈曲理论

防止失稳是钢结构设计的重要任务。结构稳定问题具有整体性,它具体体现在构件失稳的相关性^[2]。

常见的薄壁构件屈曲有 3 种模式:构件的整体屈曲、板件的局部屈曲及局部与整体相关屈曲^[3]。

设计压杆时有两种应对局部屈曲的方式。一种是不允许在整体屈曲前出现局部屈曲,为此,板件的宽厚比必须不超过一定的限值。另一种是不设宽厚比限值,允许板件先于整体屈曲,并在设计时以板件屈曲后的承载力为依据。随着高强度钢材的推广,后一方式应用日益普遍^[4]。

文献[4]指出,宽厚比超限的薄壁压杆稳定承载力的计算,属于局部与整体相关屈曲问题。从理论上求解,需要同时考虑杆件的几何缺陷和板件的几何缺陷。在非弹性阶段还应计入残余应力的影响。文献[5]在第 2 章中对冷弯薄壁方管压杆的局部和整体相关关系作了简要的剖析,显示这一关系密切而又复杂。在当前条件下,还难于把理论分析的成果直接用于设计工作。但是,用于设计工作的实用计算公式应该着眼于局部与整体相关屈曲的概念寻求改进。作者通过分析,提出了可以用于工程

* 陕西高等教育教学改革研究项目重点项目(23ZZ031)。

第一作者:郝际平,博士,教授,主要从事钢结构教学和科研工作。

Email: haojiping@xauat.edu.cn

收稿日期:2024-09-28

设计的既不同于有效屈服强度法也不同于直接承载力法的相关屈曲法。

近年来,钢结构在地震荷载作用下的破坏机理及抗震设计对策方面的研究逐渐成为热点课题^[6]。对于钢构件在循环荷载作用下的局部与整体相关屈曲研究工作取得了一定的进展,已经认识到满足静荷载下塑性设计要求的板件宽厚比限值并不足以满足抗震设计要求,但由于此问题的复杂性,还需要作进一步的深入研究。

稳定理论与钢结构设计结合,不仅在于防止结构失稳,还在于充分挖掘潜力,避免为防止失稳而过渡设防。为此,在设计中利用屈曲的相关性应该提到日程上来^[2]。

1.2 畸变屈曲理论

冷弯薄壁型钢构件的基本屈曲模式包括:局部屈曲、整体屈曲和畸变屈曲。畸变屈曲是不同于构件整体屈曲和板件局部屈曲的一种新的屈曲模式。截面出现畸变屈曲后,板件间交角仍然保持不变,因此它仍属弹性局部屈曲范畴^[7]。

长期以来国内外学者对整体屈曲和局部屈曲,以及二者的相关作用进行了大量研究,至今也相当成熟^[8],而畸变屈曲虽然和局部屈曲、整体屈曲同期出现,但对其研究却相对较少。主要原因有两个方面:一是以前冷弯薄壁型钢构件均为低碳钢制成的简单截面,畸变屈曲并不控制构件承载力;二是畸变屈曲与截面形状和尺寸、构件长度、端部约束、受力状态等诸多因素有关,计算较局部屈曲和整体屈曲复杂。然而现今随着高强钢材的使用,构件截面越来越薄,截面形式越来越复杂,在某些条件下畸变屈曲可控制构件的极限承载力^[9]。

近年来,国内学者对轴压、偏压、受弯构件的畸变屈曲性能进行了一系列的试验和理论研究,并结合数值分析,提出了有关考虑畸变屈曲的简化计算公式。

苏明周和陈绍蕃^[10]通过对卷边槽钢梁畸变屈曲形式的分析,提出了受压翼缘屈曲系数 k_f 的计算公式,并结合我国常用卷边槽钢的截面尺寸,提出了在受压翼缘屈曲系数 $k_f \geq 4.0$ 时,板件长宽比 T 的限值以及在板件长宽比超过此限值时 k_f 的最低值。

陈绍蕃^[11]指出,畸变屈曲实质上是卷边过窄而趋于在其平面内屈曲时带动相关板件一起屈曲。通过对我国常用截面的冷弯卷边槽钢承载力进行分析,建议可把畸变屈曲看做特殊的局部屈曲处理,翼缘屈曲系数取为3,并相应地对现行规范规定的卷

边最大和最小宽厚比作适当调整。

陈骥^[12]指出,由于畸变屈曲模式对缺陷的敏感度高,因此其屈曲后强度提高的幅度远低于局部屈曲模式。但是与局部屈曲模式相比,畸变屈曲模式抵抗破坏的能力却很强。可以用有限单元法计算受弯卷边槽钢截面的畸变屈曲强度。

此外,国内学者还对高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件的畸变屈曲性能进行了研究。

何永康等^[13]对550 MPa高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件的畸变屈曲性能进行了试验研究,结果表明:由于试件局部屈曲一般发生在畸变屈曲之前,促使畸变屈曲提前出现,这种相关作用减弱了构件整体刚度,降低了构件承载力;依据试验结果提出了一种修正直接强度法的建议计算方法,该方法的计算结果与试验结果较为接近且偏安全。

李元齐等^[14-16]对550 MPa高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件的畸变屈曲性能进行了试验研究和数值分析,提出并验证了一种“在卷边间设缀板”的控制畸变屈曲的构造措施。结果表明:高强超薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件在宽厚比较大时会出现畸变屈曲模式;厚度、长度和初始缺陷模式是影响畸变屈曲轴压构件承载力的主要因素,且卷边面内屈曲是槽形截面轴压构件发生畸变屈曲的主要原因;提出的建议方法可以用于计算此类复杂截面轴压构件的畸变屈曲承载力;通过构造措施能有效地阻止翼缘的转动,试件的畸变屈曲荷载和极限承载力都有很大的提高,但随着缀板布置间距的不同,构件承载力的提高幅度也不同。

1.3 大跨空间结构理论

近年来,我国空间结构蓬勃发展,建筑造型新颖,形式和种类繁多而独特,我国已是名副其实的空间结构大国^[17]。

按组成空间结构的基本单元分类,即按板壳单元、梁单元、杆单元三种刚性单元和索单元、膜单元两种柔性单元分类,现代空间结构又可分为现代刚性空间结构、现代柔性空间结构和现代刚柔性组合空间结构三大类^[18]。

结构形式的创新和有力的理论研究支持,是大跨空间结构健康发展的两个关键因素^[19]。

沈世钊^[19]指出,结构形式的创新决不是追求外形上的新奇。它应当符合几个基本要求:1)新颖的结构形式与建筑功能要求的和谐统一;2)优美的结构形体与合理的受力性能之间的协调一致;3)与建筑技术(包括构造、材料、施工安装技术等)的发展

方向一致。符合这些基本要求的工程创造才具有生命力,才能在大跨空间结构的发展过程中起到某种典型作用。文献[19]简要介绍了作者在悬索体系解析计算理论、单层网壳结构稳定性、网壳抗震性能和振动控制、悬索和薄膜结构的风致动力响应等理论方面取得的一些研究成果。

膜结构是一种富有生命力的轻型张力结构,作为一种典型的柔性张力体系,膜结构的分析方法与刚性结构相比有许多不同之处,形成了一套独特的理论体系。我国学者不仅在膜结构的初始形态分析、荷载效应分析和裁剪分析等基本理论方面取得了一定的研究成果,而且针对当前膜结构研究中的若干热点问题,如褶皱模拟、风振分析、形态优化以及精确成形等都进行了深入研究^[20]。

在大跨空间结构理论中,结构形态学的研究对空间结构的创新发展具有重要意义。结构形态学从整体上研究结构形式与其受力性能之间的关系,研究内容较广泛,具有多学科交叉的特点。罗尧治教授团队^[21]多年来在空间结构形态学领域开展了深入研究,经过长期的积淀,已形成了较为系统的理论体系。空间结构是典型的形效结构,而且形式多样,如何实现新颖结构形式与合理结构性能之间的协调统一是空间结构设计中的关键问题。哈尔滨工业大学空间结构研究中心通过近年来的研究分析,为结构形态学提出了一个较为明确的定义,并且在张力结构、自由曲面结构、自由拓扑结构等现代空间结构方面结合结构形态学开展了相关的工作^[22]。

1.4 高强高性能钢结构理论

高强度结构钢材是指采用微合金化和热机械轧制技术生产出的具有高强度(名义屈服强度 ≥ 460 MPa且 ≤ 690 MPa^[23])、良好延性、韧性以及加工性能的结构钢材,名义屈服强度 >690 MPa的结构钢材称为超高强度钢材^[24-27]。

由于目前钢结构设计规范和钢材标准对结构钢材的力学性能指标有着严格的限值要求,文献[25]整理了大量国内外高强度钢材材性试验数据和研究进展,分析并得到了其力学性能特点,提出了适用于数值计算的材料本构模型。结果表明,新型高强度结构钢材在具有高韧性的同时也具有较高的屈强比和较低的断后伸长率,且往往超过大多数规范的限值规定,这大大限制了此类钢材钢结构的工程应用。因此,需要进一步讨论和定量研究钢材力学性能与结构安全性的关系,研究是否可以适当放松规范对

结构钢材力学性能的限值规定。

文献[24]通过总结国内外学者针对高强度钢材钢结构在材料和构件受力性能方面取得的研究成果,得出了国产高强度钢材,特别是 Q460 钢材的各项力学性能均满足我国规范的相关规定,具有良好的塑性、韧性以及耗能能力;但规范的限值规定限制了更高强度结构钢材的应用。考虑到强度越高的钢材,延性越低^[27-30],传统的对待应力集中效应和剪切滞后效应的认识,需要重新考察。一方面,高强度钢材截面的残余应力数值与钢材强度比值明显降低,尤其是热轧型钢,高强度钢材受压构件的整体稳定性能从而有所提高^[31],可酌情提高相应的设计柱子曲线类别;另一方面,屈服强度 f_y 提高而弹性模量 E 不变,对弹性范围稳定不利。

在高强钢的研究方面,如受弯构件,以及除角钢、工字钢和箱型截面以外的截面形式的受力构件,性能研究较少,有关高强钢不利因素方面的研究更少。

1.5 钢结构高等分析理论

高等分析的概念最早出现在澳大利亚的钢结构设计标准^[32]中,高等分析是基于结构极限承载力的设计方法的理论基础。

高等分析理论集稳定理论和塑性理论之大成,将强度理论、稳定理论和塑性理论统一在结构整体分析之中,能够算出刚性或柔性连接的钢框架中各构件塑性渐变的全过程,避免了常规分析中通过有效计算长度系数考虑结构构件的稳定性、通过相关方程考虑结构构件的弹塑性状态、通过规定结构构件各板件的宽厚比控制局部稳定,将它们分开考虑的弱点^[33]。

高等分析方法主张在结构分析中充分考虑影响结构性能的各种非线性因素(几何非线性、材料非线性、连接非线性等),直接计算或验算结构的整体极限承载力,以彻底摒弃构件计算长度和构件相关方程的概念,即免除构件验算的步骤,使结构可靠度更为统一,将大大简化设计过程,提高结构设计效率^[34]。

近年来,随着计算机技术的飞速发展和结构分析理论的不断深入,为研究和发展高等分析设计方法提供了现实条件和理论基础,使人们对该法的认识 and 了解更加深入。现在将高等分析技术直接用于设计几近可能^[34]。

2 设计方法的发展

结构设计理论由容许应力设计进入到基于概率

理论的可靠度设计,基于可靠度理论的结构设计法从半概率法(水准一)发展到近似概率法(水准二)。这是20世纪结构设计理论的重大进步。现在向着采用随机过程加以描述,并向着用概率理论对整个结构精确分析的全概率法(水准三)方向努力^[1]。

2.1 第一阶段——传统的容许应力法

建筑工程部于1954年颁发了《钢结构设计规范试行草案》(代号规结-4—54)采用容许应力设计法,容许应力取为钢材屈服点除以安全系数,要求构件或连接的设计应力不超过容许应力,这是一种基于经验的设计方法^[35]。

2.2 第二阶段——三系数极限状态设计法

从1957年开始,我国采用了前苏联提出的三系数极限状态设计法。它的特点是明确提出了承载能力极限状态和变形极限状态两种极限状态的概念。在荷载和材料强度的取值上初步引进了概率分析,并且采用三个分项安全系数(超载系数、匀质系数和工作条件系数)以避免用单一安全系数的缺点。

2.3 第三阶段——半概率极限状态设计法

自1975年起,我国试行TJ 17—74《钢结构设计规范》,规范中采用对承载力极限状态进行多系数(包括荷载系数、材料系数和调整系数)分析,而后用单一安全系数表达的容许应力法,表达式和传统容许应力法基本相同;但安全系数的确定是对影响结构安全的诸因素采用数理统计的方法,并结合我国工程实践的经验进行多系数分析后,综合求出的单一安全系数,实质上仍是一种基于半概率半经验的设计方法^[36]。

2.4 第四阶段——概率极限状态设计法

自1989年7月起,我国开始施行GBJ 17—88《钢结构设计规范》,其设计方法采用以一次二阶矩概率理论为基础的极限状态设计方法。

概率极限状态法是将影响结构功能的诸因素(荷载效应,材料抗力等)作为随机变量,运用概率分析法并考虑其变异性来确定设计值。这样对所设计的结构的功能也只作出了一定的概率保证,即认为任何设计都不能保证绝对安全,而是存在一定风险。但是,只要其失效概率小到人们可以接受的程度,便可认为所设计的结构是安全可靠的。结构的可靠性用“可靠度”来衡量,它的定义是:结构在规定的时间内及规定的条件下,完成预定功能的概率,称为结构的可靠度,或称为可靠概率。反之,结构不能完成预定功能的概率,称为失效概率。

采用可靠指标来衡量结构的可靠度,并将可靠

指标等效转化为各分项系数进行计算。可靠指标的数值与失效概率在进行极限状态设计时是一一对应的。

3 西建大钢结构教科书

3.1 教科书的内容

钢结构教科书内容的演变可以用一句话来概括:从围绕设计规范逐渐演变为以结构性能为中心。这一转变过程和钢结构学科的发展密切关联。

3.1.1 空白时期

20世纪三四十年代,高等学校的钢结构教学一般以设计课的形式出现。当时并没有钢结构基础理论的正规课程,原因在于对钢结构的性能还缺少理论性的认知。不仅没有教科书,国内甚至没有出版过任何有关钢结构的书籍。50年代初承担钢桥设计课的教师只能自编讲义,内容主要是按照铁路钢桥设计规范(40年代制定的,实际上是美国AREA规范的中译本,仅机车荷载不同)计算的桁架桥大例题。

3.1.2 全盘学习苏联时期

1952年以后教学工作全盘学习苏联,开钢结构课,用苏联教材(中译本)。苏联的钢结构教科书既介绍设计规范的规定,又有一些钢结构性能的理论性论述,令人耳目一新。70年代以后接触美国的钢结构教科书,发现西方的教科书和苏联一样,包含钢结构性能的论述。印象深刻的是1971年出版的Salmon和Johnson合著的教科书,书名为《钢结构:设计与性能》,明确指出了性能的重要性。

20世纪60年代初,建设部组织部分高校讨论并选编全国试用的教科书《钢结构》上下册,于1961年出版^[37-38]。这两本统编教材具有浓厚的苏联色彩,原因是当时我国钢结构设计仍然借用苏联规范,和规范条款有关的论述只能照搬苏联教科书的内容。

3.1.3 独立自主和与时俱进

我国第一本正规的TJ 17—74《钢结构设计规范》问世后,统编教材已不再适用。主管部门组织西安冶金建筑学院、重庆建筑工程学院等四院校合编《钢结构》教科书,于1980年末出版^[39]。由于学制由5年缩短为4年,教科书也由上下两册压缩为一册。这是新中国成立后的第一部《钢结构》通用教材,结束了持续近30年全国无统一教材可用的状态。

TJ 17—74中的压杆稳定系数 φ ,梁整体稳定系

数 φ_w , 压弯构件面内稳定系数 φ_p 和面外稳定系数 φ_1 都为我们自己的研究成果, 得以使教科书体现我国自己的特色。同时, 结合规范制定完成了大量理论和试验研究, 为加强教材中的钢结构基础理论提供了条件, 开启了结构性能和设计规范并重的局面。

随着改革开放的进程, 国家对教科书也实行开放政策。每门课程不再限制只出一本书。西建大单独编写的《钢结构》于 1988 年 11 月出版^[40]。其时钢结构设计规范已经更新为第二代的 GBJ 17—88。在独立自主的同时, 规范还体现兼收并蓄和择优而用的精神, 对压杆的稳定系数用 3 条曲线代替单一曲线; 对压弯构件改用国际上通行的双项相关公式。教科书的理论基础进一步得到拓宽。1993 年清华大学为 5 年制本科生编写的教材, 书名是《钢结构: 原理与设计》^[41], 直接表明原理的重要地位。

21 世纪初, 高校土木工程专业指导委员会制定了“土木工程专业本科(四年制)培养方案”和相应的课程教学大纲^[42]。在这组文献中有作为专业基础课的“钢结构基本原理”和专业核心课的“房屋钢结构设计”和“钢桥”。我们紧跟国家教学改革的步伐, 及时对《钢结构》教科书进行修订和补充, 改写成上下两册。上册《钢结构基础》和下册《房屋建筑钢结构设计》于 2003 年 2 月和 7 月先后出版^[43-44]。当时第三代规范 GB 50017—2003 已经定稿, 教科书的内容都按新规范修改。同济大学也先后推出教材的原理部分《钢结构基本原理》^[45] 和设计部分《房屋钢结构设计》^[46]。

专业指导委员会制定的“钢结构基本原理”教学大纲, 对课程的基本要求共有 4 项, 其中前两项分别是: “掌握钢结构材料的工作性能”和“掌握钢结构基本构件及连接的性能、受力分析与设计计算”, 并没有提到设计规范。从这两项要求来看, 钢结构的性能居于教材的首要地位, 而设计规范最多是第二位。但是教材编者囿于长期习惯, 一直没有认识到这一点。直到 2013 年再次修订教材, 才开始有所醒悟。我们修订上下两册出第三版, 约定在 2013 年 10 月末向出版社交稿。原来预计届时钢结构设计新规范可以定稿, 教材修订内容明确联系规范新版本。但规范实际的进展出乎预料, 使我们处于进退两难的境地。然而, 明确结构性能是书的主体后, 这事就不难处理了。只要新规范草案的内容优于 03 规范, 我们就可以从学科发展的角度把它写进教材。

3.2 教科书的体系

多年来钢结构基础理论部分有关构件的内容,

都按构件性质分章, 即对拉杆、压杆、受弯构件和压弯构件分章论述其性能和计算设计方法。由于和设计规范的分章一致, 一直被认为是无可争议的。然而, 当我们把结构性能作为教材的重点时, 情况就有所不同。剖析构件的性能, 目的在于揭示它的极限状态, 而钢结构的极限状态呈现多个方面。除了承载能力极限状态之外, 还有正常使用极限状态。承载能力极限状态又包括截面强度和构件稳定等。疲劳计算则兼有承载能力极限状态和正常使用极限状态的特点。有鉴于此, 改为按极限状态分章或许更合适些。我们在 2003 年出版的《钢结构基础》中做了初步尝试。起初有些任课教师对新体系不太习惯, 但逐渐能够适应。

过去, 有些设计人员对钢构件的强度和稳定的本质差别模糊不清。如果读按极限状态分章的书, 概念会比较清楚。各类构件的稳定问题既相通而又有差别, 合在一章中阐述更容易融会贯通。钢结构的疲劳强度的影响因素主要是构造措施和施工质量, 并不是材料强度。长期以来, 把疲劳问题集中到材料一章中, 很难讲清楚。按极限状态分章, 疲劳就可单列一章, 或者和脆性断裂并列一章, 把问题说透。

从《钢结构基础》一书 20 年来的印刷数量看, 按极限状态分章的体系已经为相当一部分同行所认可。随着钢结构学科的发展, 这一体系的优越性会日益明显。

3.3 教科书的功能

长期以来, 人们一直把教科书看做单纯传授知识的工具。现在国家强调培养创新型人才, 使我们萌生新的想法。培养创新型人才必须改灌输式教学为启发式教学, 首先要改教科书, 再改课堂教学。

我们在《钢结构(上册): 钢结构基础》第三版序中写道: “为了培养创新型人才, 教科书不仅是传授知识的工具, 还需要担负起开发智力、启迪思辨精神的任务。为此, 本书这次修订从两方面着手: 一是更新内容, 这是每次修订不可或缺的; 二是改进写法, 改定势思维为开放性思维, 避免刻板式叙述, 关注条件变化, 树立全面考察、争取最优化思想, 结合论述的内容提出讨论和思考的问题。”

话说起来很简单, 具体做却并不容易。在旧轨道上走了几十年, 旧习惯的束缚并不那么容易摆脱。不过, 只要开端良好, 坚持下去就能见成效。改变定势思维, 还有一个和设计规范的关系问题。

我们在第三版序中还写道: “以前是对规范的

每一条款都奉为圭臬,只能遵守,不能违反或置疑。这次修订,对高强度螺栓抗拉连接的分类和相关计算方法进行讨论,指出其缺点,有利于解除思想禁锢。”

设计规范是国家标准,具有法律地位。教科书对它进行评论,是否有越轨之嫌?其实,设计规范包括强制性条款和非强制性条款。后者在有充分根据时可以不遵守。这就是说,规范本身允许一定灵活性。再者,评论和遵守是两回事。强制性条款必须遵照执行,但并不排除对它进行评论。非强制性条文则更有讨论的余地。我国规范十多年才更新一次,某些条款滞后于学科发展和技术水平的提高,是常有的事。有些条款虽然不够完善,修订时却轻易放过,也有可能。美国房屋钢结构规范历史悠久,修订周期比我们短,但它的最新版本 ANSI/AISC 360-10 同样存在明显的不妥和错误之处^[47]。教科书对具有权威性的规范进行评论,其启发学生质疑精神的效果应该比一般讨论更大。

4 结束语

纵观国内外,近几十年来钢结构得到了长足发展,特别是我国改革开放以来,钢结构发展超乎寻常。理论和实践相互促进,加工制造业迅猛发展,带给钢结构以无限的发展空间。这里主要就我国钢结构理论发展成就做一简单介绍,挂一漏万。

西建大所编的钢结构(上下册)教材从 2003 年第一版发展至今已到第五版^[48-49],重印 93 次,总印数 54.805 万册。每一版都被认定为高等学校推荐教材或国家级规划教材,被国内众多高校采用,在同类教材中再版次数最多、发行量最大、使用范围最广,被评为建设部优秀教材一等奖和陕西省普通高等学校优秀教材一等奖。教材建设是课程建设之本,在教材建设的强有力支持下,课程建设也取得了显著成效:上册适用课程“钢结构设计原理”获批国家级线下一流课程和陕西省课程思政示范课程,下册适用课程“钢结构设计”获批国家级线上一流课程和陕西省中外合作办学优秀课程思政示范项目。

文中关于钢结构教科书的演变也只是提出一些管见,与同行交流,有不妥处请不吝指正。

参考文献

[1] 沈祖炎,王烨华,李元齐.论结构创新[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(1):1-11.
[2] 陈绍蕃.稳定理论和钢结构设计相结合:三十年来工作和学习

的汇报[J].建筑结构,2004(增刊):48-52,58.
[3] 范志强.冷弯复杂卷边开孔槽钢梁稳定性能分析[D].沈阳:沈阳建筑大学,2018.
[4] 陈绍蕃.柱段试验与钢压杆的局部-整体相关屈曲[J].建筑结构进展,2013,15(2):1-5.
[5] 陈绍蕃.钢结构设计原理[M].3版.北京:科学出版社,2005.
[6] 谷玲培,李谦.减震建筑钢结构框架优化设计研究[J/OL].机械设计与制造,1-12[2024-09-27].<https://doi.org/10.19356/j.cnki.1001-3997.20240511.040>.
[7] 蒋路,何安康,张伟.冷弯薄壁型钢构件畸变屈曲试验和理论研究综述及分析[J].钢结构,2006,21(5):45-49.
[8] 陈向明,李新祥,柴亚南,等.复合材料壁板后屈曲设计与分析技术研究进展[J/OL].复合材料学报,1-25[2024-09-27].<https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20240611.003>.
[9] 姚行友,李元齐,沈祖炎.冷弯薄壁型钢构件畸变屈曲研究现状[J].结构工程师,2010,26(5):148-156.
[10] 苏明周,陈绍蕃.卷边槽钢梁受压翼缘畸变屈曲时的屈曲系数[J].西安建筑科技大学学报,1997,29(2):119-124.
[11] 陈绍蕃.卷边槽钢的局部相关屈曲和畸变屈曲[J].建筑结构学报,2002,23(1):27-32.
[12] 陈骥.受弯的冷弯卷边槽钢畸变屈曲强度和其相关屈曲承载力[J].建筑结构进展,2009,11(1):9-15,27.
[13] 何安康,蒋路,姚行友,等.高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压柱畸变屈曲试验研究[J].建筑结构学报,2006,27(1):10-17.
[14] 姚行友,李元齐,沈祖炎.高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件畸变屈曲性能研究[J].建筑结构学报,2010,31(11):1-9.
[15] 李元齐,刘翔,沈祖炎,等.高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件畸变屈曲控制试验研究[J].建筑结构学报,2010,31(11):10-16.
[16] 李元齐,王树坤,沈祖炎,等.高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件试验研究及承载力分析[J].建筑结构学报,2010,31(11):17-25.
[17] 董石麟.中国空间结构的发展与展望[J].建筑结构学报,2010,31(6):38-51.
[18] 董石麟,邢栋,赵阳.中国空间结构的发展与展望[J].空间结构,2012,18(1):3-16.
[19] 沈世钊.大跨空间结构理论研究和工程实践[J].中国工程科学,2001,3(3):34-41.
[20] 武岳,杨庆山,沈世钊.膜结构分析理论研究现状与展望[J].工程力学,2014,31(2):1-14.
[21] 罗尧治.空间结构形态学[M].北京:科学出版社,2022.
[22] 沈世钊,武岳.结构形态学与现代空间结构[J].建筑结构学报,2014,35(4):1-10.
[23] 中华人民共和国住房和城乡建设部.高强钢结构设计标准:JGJ/T 483—2020[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.
[24] 施刚,班慧勇,石永久,等.高强度钢材钢结构研究进展综述[J].工程力学,2013,30(1):1-13.
[25] 班慧勇,施刚,石永久,等.建筑结构用高强度钢材力学性能研究进展[J].建筑结构,2013,43(2):88-94,67.

[26] 张佳慧, 王佳欣, 谭卓琼, 等. 超高强钢薄壁开口截面柱屈曲失稳的试验研究[J/OL]. 工程力学, 1-11 [2024-08-11]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2595.O3.20240221.1533.006>.

[27] 杨璐, 郭玉莹, 陈琳, 等. 超高强度 ($f_y > 690$ MPa) 钢材钢结构研究进展[J/OL]. 钢结构(中英文), 1-21 [2024-08-11]. <https://link.cnki.net/urlid/10.1609.TF.20240627.1548.002>.

[28] 陈爱国, 张佩云, 蔺军, 等. 基于 MMC 模型的 Q460C 高强结构钢延性断裂性能研究[J]. 工程力学, 2024, 41(9): 179-190.

[29] 戴国欣, 王飞, 施刚, 等. Q345 与 Q460 结构钢材单调和循环加载性能比较[J]. 工业建筑, 2012, 42(1): 13-17, 55.

[30] 施刚, 王飞, 戴国欣, 等. Q460D 高强度结构钢材循环加载试验研究[J]. 土木工程学报, 2012, 45(7): 48-55.

[31] 班慧勇. 高强度钢材轴心受压构件整体稳定性与设计方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2012.

[32] Standards Australia. Steel structures; AS 4100-1990 [S]. Australian; Intertek Inform, 1990.

[33] 王连坤, 郝际平, 李文岭, 等. 钢结构高等分析理论研究综述[J]. 钢结构, 2004, 19(增刊): 7-19.

[34] Chen W F, Kim S E. LRFD steel design using advanced analysis [M]. New York: CRC Press, 1997.

[35] 陈绍蕃. 钢结构设计规范的回顾与展望[J]. 工业建筑, 2009, 39(6): 1-4, 12.

[36] 沈祖炎. 中国《钢结构设计规范》的发展历程[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(6): 1-6.

[37] “工程结构”教材选编小组. 钢结构上册[M]. 北京: 中国工业出版社, 1961.

[38] “工程结构”教材选编小组. 钢结构下册[M]. 北京: 中国工业出版社, 1961.

[39] 西安冶金建筑学院, 重庆建筑工程学院, 哈尔滨建筑工程学院, 等. 钢结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980.

[40] 陈绍蕃. 钢结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.

[41] 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.

[42] 高等学校土木工程专业指导委员会. 高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

[43] 陈绍蕃, 顾强. 钢结构上册: 钢结构基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

[44] 陈绍蕃. 钢结构下册: 房屋建筑钢结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

[45] 沈祖炎, 陈扬骥, 陈以一. 钢结构基本原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.

[46] 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.

[47] 陈绍蕃. 美国房屋钢结构规范几个问题的评论[J]. 建筑钢结构进展, 2012, 14(5): 57-62.

[48] 陈绍蕃, 郝际平, 顾强. 钢结构上册: 钢结构基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.

[49] 陈绍蕃, 郝际平. 钢结构下册: 房屋建筑钢结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.

Further Discussion on the Development of Steel Structure Theory and the Evolution of Steel Structure Textbooks

Jiping Hao Shaofan Chen Junfen Yang

(College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract:

This paper was mainly divided into two parts: the development of steel structure theory and the evolution of steel structure textbooks. The first part briefly introduced the calculation theory of steel structure, including steel structure related buckling theory, distortion buckling theory, long-span spatial structure theory, high-strength and high-performance steel structure theory and advanced analysis theory of steel structure. Then the four stages of the development of steel structure design method were briefly introduced. In the second part, firstly, combined with the development and changes of steel structure textbooks in the past 60 years, this paper analyzed the changes of design specifications and structural performance, and pointed out that the performance of steel structure should play a leading role in textbooks. Next, the textbook system was discussed, and it was pointed out that it is more suitable to clarify the basic performance of steel structures by dividing chapters according to limit states than by components. Finally, in order to adapt to the cultivation of innovative talents, steel structure textbooks should not only be a tool for imparting knowledge, but also a platform for developing intelligence and enlightening critical thinking ability.

Key words: steel structure; textbooks; structural performance; design specifications; limit state