



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

中国土木工程学会教育工作委员会 审订

钢结构

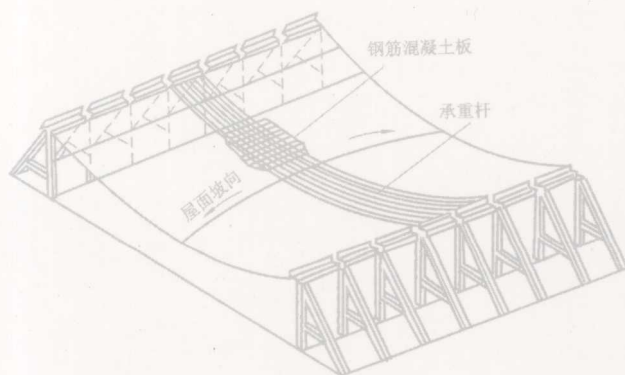
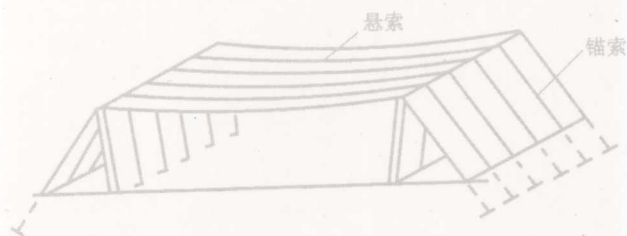
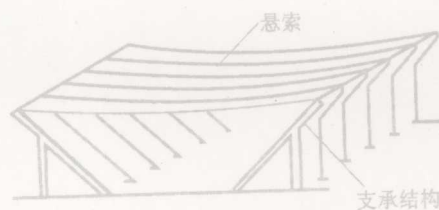
(第3版)

G

J

G

戴国欣 主编



WUTP

武汉理工大学出版社

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

钢 结 构

(第 3 版)

主 编 戴国欣

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

本书是高等院校土木工程专业的教材,分为上、下篇。上篇“钢结构原理”为土木工程专业的技术基础课,内容包括绪论(特点、概率极限状态设计方法等)、钢结构材料特性、钢结构的连接、钢结构基本构件(轴心拉杆和压杆、受弯构件、拉弯和压弯构件)的工作原理和设计方法;下篇“建筑钢结构设计”为本专业建筑工程方向的专业必修课,也可作为其他专门化方向的选修课,内容包括单层厂房结构、大跨度房屋结构 and 多、高层房屋结构。书末有附录,列出了设计需用的各种数据和系数,供查用。各章还列举了必要的设计例题,以利于有关基本理论和设计方法的学习和掌握。本书虽然是针对土木工程专业本科生编写的,但经过一定的删减后也可用做专科的教材,另外还可供有关工程技术人员参考、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/戴国欣主编. —3 版. —武汉:武汉理工大学出版社,2007. 12
ISBN 978-7-5629-2634-4

I. 钢… II. 戴… III. 钢结构-高等学校-教材 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 196229 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市武昌珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

经 销 者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:22

插 页:1

字 数:720 千字

版 次:2000 年 8 月第 1 版 2002 年 10 月第 2 版 2007 年 12 月第 3 版

印 次:2007 年 12 月第 18 次印刷

印 数:129001—132000 册

定 价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87397097 87383695

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

编 审 委 员 会

(第3版)

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 李少甫 甘绍熺

施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠

主 任:江见鲸 吕西林 雷绍锋

副主任:朱宏亮 赵均海 刘伟庆 辛克贵 袁海庆 吴培明

刘立新 赵明华 朱彦鹏 徐礼华 戴国欣

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

毛鹤琴 王天稳 王社良 邓铁军 白晓红 包世华

田道全 叶献国 卢文胜 江见鲸 吕西林 刘立新

刘长滨 刘永坚 刘伟庆 朱宏亮 朱彦鹏 孙家齐

过静君 闵小莹 李世蓉 李必瑜 李启令 吴培明

吴炜煜 辛克贵 何铭新 汤康民 陈志源 汪梦甫

张立人 张建平 邵旭东 罗福午 周 云 赵明华

赵均海 尚守平 杨 平 杨志勇 柳炳康 胡敏良

俞 晓 桂国庆 袁海庆 徐 伟 徐礼华 秦建平

蒋沧如 彭少民 覃仁辉 雷俊卿 雷绍锋 蔡德明

廖 莎 燕柳斌 戴国欣

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

(第3版)

1998年教育部颁布了新的高等学校本科专业目录,将“建筑工程专业”拓宽为“土木工程专业”。为了适应专业拓宽后教学的需要,解决教材缺乏的燃眉之急,我们于2000年率先组织编写并出版了“普通高等学校土木工程专业新编系列教材”。这套教材经中国土木工程学会教育工作委员会审订,并向全国高等学校推荐之后,已被众多高等学校选用,同时也得到了广大师生和社会的好评。其中多种教材荣获教育部全国高等学校优秀教材奖或优秀畅销书奖,多数被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。截至2006年底,单本书销量最高的已达几十万册。这充分说明了教材编审委员会关于教材的定位、内容、特色和编写宗旨符合土木工程专业的教学要求,满足了专业建设的急需,但它仍然存在缺点和不足。随着我国土木工程建设领域国家标准、规范的修订和高等工程教育教学改革的新发展,教材编审委员会于2003年及时对本套教材进行了第2次修订,并根据高等学校土木工程专业本科教学的需要,增补出版了13种教材。

教材必须及时反映我国土木工程领域科学技术的最新发展,以及高等工程教育教学改革所取得的阶段性成果。根据这些要求,教材编审委员会决定2007年对本套教材进行第3次修订,教材编审委员会的成员也将进行相应的增补和调整。

(1)在教学过程中使用本套教材的各高等学校土木工程专业的师生,积极支持我社开展的教材审读活动,并根据教学实践提出了很多中肯的意见和建议,我们尽管在教材重印时及时做了局部修改,但仍感到存在一些问题,需要做较系统的修订。

(2)第3版教材的修订将及时反映当前土木工程建设领域发展的最新成果,尤其是新材料、新技术、新工艺和新设备,使教材内容与国家和行业最新颁布的标准、规范同步。

(3)第3版教材的修订将更准确地体现高等学校土木工程专业指导委员会为土木工程专业教学制定的《土木工程专业本科(四年制)培养目标和毕业生基本规格》、《专业基础课程教学大纲》、《专业课群组核心课程教学大纲》等文件精神。教材将在宽口径土木工程专业的建设方面进行认真探索,并为高等工程教育人才培养提供新的经验。

(4)第3版教材的修订将注重教材的立体化建设,充分利用多媒体教学手段以提高教学质量。我们配合中国土木工程学会教育工作委员会举办了“首届全国高等学校土木工程专业多媒体教学课件竞赛”活动,并将从获奖作品中遴选相关课程的优秀课件正式出版。

第3版教材的修订工作仍将秉承教材编审委员会既定的宗旨,把教材的内容质量放在第一位,并力求更好地满足教学需要。我们更希望广大师生能一如既往地关注本套教材,并及时反馈各校专业建设和教学改革的意见和建议,以便我们再次修订,将本套教材打造成名副其实的精品教材。

武汉理工大学出版社

2007.5

第 3 版前言

本书第 3 版与第 2 版比较,取消了原第 4 章钢构件稳定,将其要点分列到基本构件各章节中;第 2 章钢结构的材料、附录中热轧 H 型钢和剖分 T 型钢按最新发布的(产品)国家标准进行了更新;新增了门式刚架、网架、格构式缀条柱等例题;选列了部分国家一级注册结构工程师执业资格考试题型例题;考虑到钢屋架课程设计具有综合性强的练习效果,仍予保留但作了一些调整。

第 3 版各章节编写的责任人及分工是:戴国欣(第 1、2 章),聂诗东、杨波(第 3 章及附录),崔佳、周淑容、程睿(第 4、5、6、9 章),龙莉萍、郭莹(第 7 章),陈永庆、熊刚(第 8 章)。

本书第 3 版的编写得到了重庆大学教材建设基金的资助。

燕山大学周洪彬、石家庄铁道学院张志国、河海大学朱召泉、广州大学刘坚、昆明理工大学王俊平、西南石油大学董事尔、信阳师范学院熊瑞生等同志为本书第 3 版的修订提出了宝贵意见,在此表示诚挚的谢意!

编 者

2007 年 5 月

第 2 版前言

本书第 1 版(2000 年 8 月出版)是根据有关规范的“送审稿”编写的。现在这些规范的新版本已陆续颁布出版,故编者及时将本书修改完成此第 2 版,使学生能及时熟悉新规范的内容,适应毕业后的工作。另外本书也可作为有关工程技术人员了解和使用新规范的参考资料。

第 2 版与第 1 版比较,较大的修改为梁腹板局部稳定的计算方法由完全弹性改为适应弹塑性的计算方法,并对非吊车梁改用考虑腹板屈曲后强度的设计,这些改动和计算示例涉及本书第 4、6、8 章。另外还有一些改动不一一赘述。

由于武汉理工大学出版社准备出版《钢结构课程设计及工程示例》一书,内容包括按新规范编写的钢屋架、轻型门式刚架、钢平台及组合楼盖结构、平板网架、人行天桥等的设计,故本书第 2 版将第 8 章中的屋架设计例题精减并将章末所附的“课程设计题”取消。

编 者

2002 年 8 月

第 1 版前言

土木工程专业有建筑工程、岩土工程、桥梁工程、道路工程、水工结构等专门化方向。根据教学计划,“钢结构原理”为本专业各专门化方向的技术基础课;“建筑钢结构设计”为建筑工程方向的专业必修课。本书将上述两门课合并为上、下篇,主要供建筑工程方向使用,对其他专门化方向,使用时应另加专业课的内容(如桥梁工程方向另加“钢桥”内容)。

本书上篇共 7 章,介绍了钢结构的特点、应用和计算方法、钢材和连接材料特性、钢构件的稳定理论、钢结构的连接方法及其计算构造原则以及钢结构基本构件(轴心拉杆和压杆、受弯构件、拉弯和压弯构件)的工作性能 and 设计方法。这些内容都是设计各类土木工程钢结构的基础,符合土木工程专业技术基础课的要求。

下篇共 3 章,在单层厂房结构一章中,介绍了普通钢结构单层厂房的承重框架、屋盖结构、吊车梁系统以及墙架体系等的设计方法,也介绍了我国近年来发展迅速的轻型门式刚架的设计特点,其中“屋盖结构”一节中编有简支屋架的设计例题,便于建筑工程方向学生完成课程设计,章末建议的课程设计题,可供 4 个小班使用,使每个学生的屋架形式、跨度或荷载有不同之处,便于他们独立完成设计任务。当然,各校可根据各自具体情况,采用其他结构诸如门式刚架、平台结构等作为课程设计题。在大跨度房屋结构一章中,介绍了梁式、框架式和拱式等平面大跨度结构的设计特点,并介绍了我国近年来使用较多的空间网架结构。在多、高层房屋结构一章中,介绍了多、高层结构的体系、形式以及组合楼盖、抗剪结构和梁、柱等构件的设计特点,其中,钢梁和混凝土楼板共同工作的组合结构,不仅用于高层建筑,也常用于其他建筑的屋盖、楼盖或平台结构。

本书在上篇中取消了以前教材都有的桁架一章,将这部分的主要内容放在下篇单层厂房结构的屋盖结构一节中,以便配合建筑工程方向的屋架课程设计。

本书编写时间与新千年初完成的《建筑结构可靠度设计统一标准》、《建筑结构荷载规范》和《钢结构设计规范》的修订工作同步,而且本书的主、参编人员也正是这些标准、规范修订组的成员,能及时将修订内容反映于教材中。

由于科学技术的发展,钢构件趋于薄壁轻型化,受力后的稳定问题相当突出,所以本书将“钢构件稳定”独立为一章,介绍了构件的弯曲失稳、扭转屈曲、弯扭屈曲以及薄板的屈曲,以便学生系统地掌握这方面的内容。当然,教师授课时,可根据学生对先修课程的掌握情况予以取舍。

我国现已成为世界第一产钢大国,钢结构的应用必然有较大发展趋势,因此,本书适当扩展了某些内容。当然,由于时间仓促,也有取舍不当或叙述不到之处,使用本书时,可根据具体情况对内容进行增删。

参加本书编写的有夏正中(第 1、2 章)、徐伟良(第 3 章)、魏明钟(第 4、6 章)、崔佳(第 5、7、10 章)、龙莉萍(第 8 章大部分)、戴国欣(第 8 章第 8.5 节、第 9 章)、周淑容(附录),全书由魏明钟主编。

本书的完成得到了重庆大学土木工程学院有关领导的鼓励和支持,以及武汉工业大学出版社领导和有关人员的指导,另外,教研室同仁熊刚、聂诗东以及研究生韦松、程睿、林强等协助原稿的电脑打印、制图、校对等,在此都衷心致谢。

编 者

2000 年 8 月

目 录

上篇 钢结构原理

1 绪论	(1)
1.1 钢结构的特点	(1)
1.2 钢结构的设计方法	(2)
1.2.1 概述	(2)
1.2.2 概率极限状态设计方法	(3)
1.2.3 设计表达式	(5)
1.3 钢结构的应用和发展	(7)
1.3.1 钢结构的应用	(7)
1.3.2 钢结构的发展	(8)
2 钢结构的材料	(10)
2.1 钢结构对材料的要求	(10)
2.2 钢材的破坏形式	(10)
2.3 钢材的主要性能	(11)
2.3.1 受拉、受压及受剪时的性能	(11)
2.3.2 冷弯性能	(12)
2.3.3 冲击韧性	(12)
2.4 各种因素对钢材主要性能的影响	(13)
2.4.1 化学成分	(13)
2.4.2 冶金缺陷	(13)
2.4.3 钢材硬化	(13)
2.4.4 温度影响	(14)
2.4.5 应力集中	(14)
2.4.6 反复荷载作用	(15)
2.5 复杂应力作用下钢材的屈服条件	(15)
2.6 钢材的疲劳	(16)
2.6.1 常幅疲劳	(16)
2.6.2 变幅疲劳和吊车梁的欠载效应系数	(18)
2.7 钢的种类和钢材规格	(20)
2.7.1 钢的种类	(20)
2.7.2 钢材的选择	(22)
2.7.3 钢材的规格	(23)
3 钢结构的连接	(25)
3.1 钢结构的连接方法	(25)
3.1.1 焊缝连接	(25)
3.1.2 螺栓连接	(25)

3.1.3 铆钉连接.....	(26)
3.2 焊接方法和焊缝连接形式.....	(26)
3.2.1 钢结构常用焊接方法.....	(26)
3.2.2 焊缝连接形式及焊缝形式.....	(27)
3.2.3 焊缝缺陷及焊缝质量检验.....	(28)
3.2.4 焊缝符号、螺栓及其孔眼图例	(29)
3.3 角焊缝的构造与计算.....	(30)
3.3.1 角焊缝的形式和强度.....	(30)
3.3.2 角焊缝的构造要求.....	(31)
3.3.3 直角角焊缝强度计算的基本公式.....	(32)
3.3.4 各种受力状态下直角角焊缝连接的计算.....	(34)
3.3.5 斜角角焊缝的计算.....	(43)
3.4 对接焊缝的构造与计算.....	(44)
3.4.1 对接焊缝的构造.....	(44)
3.4.2 对接焊缝的计算.....	(45)
3.5 焊接应力和焊接变形.....	(48)
3.5.1 焊接应力的分类和产生的原因.....	(48)
3.5.2 焊接应力对结构性能的影响.....	(49)
3.5.3 焊接变形.....	(50)
3.5.4 减小焊接应力和焊接变形的措施.....	(50)
3.6 螺栓连接的构造.....	(51)
3.6.1 螺栓的排列.....	(51)
3.6.2 螺栓连接的构造要求.....	(53)
3.7 普通螺栓连接的工作性能和计算.....	(54)
3.7.1 普通螺栓的抗剪连接.....	(54)
3.7.2 普通螺栓的抗拉连接.....	(57)
3.7.3 普通螺栓受剪力和拉力的联合作用.....	(61)
3.8 高强度螺栓连接的工作性能和计算.....	(62)
3.8.1 高强度螺栓连接的工作性能.....	(62)
3.8.2 高强度螺栓群的抗剪计算.....	(67)
3.8.3 高强度螺栓群的抗拉计算.....	(67)
3.9 混合连接.....	(71)
习题	(72)
4 轴心受力构件.....	(74)
4.1 概述.....	(74)
4.2 轴心受力构件的强度和刚度.....	(75)
4.2.1 强度计算.....	(75)
4.2.2 刚度计算.....	(77)
4.2.3 轴心拉杆的设计.....	(78)
4.3 轴心受压构件的稳定.....	(78)
4.3.1 整体稳定的计算.....	(78)
4.3.2 局部稳定.....	(85)

4.4 轴心受压柱的设计	(87)
4.4.1 实腹柱设计	(87)
4.4.2 格构柱设计	(92)
4.4.3 柱的横隔	(96)
4.5 柱头和柱脚	(100)
4.5.1 梁与柱的连接	(100)
4.5.2 柱脚	(101)
习题	(104)
5 受弯构件	(106)
5.1 受弯构件的形式和应用	(106)
5.1.1 实腹式受弯构件——梁	(106)
5.1.2 格构式受弯构件——桁架	(107)
5.2 梁的强度和刚度	(108)
5.2.1 梁的强度	(108)
5.2.2 梁的刚度	(111)
5.3 梁的整体稳定和支撑	(112)
5.3.1 梁整体稳定的概念	(112)
5.3.2 梁整体稳定的保证	(113)
5.3.3 梁整体稳定的计算方法	(114)
5.4 梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	(116)
5.4.1 受压翼缘的局部稳定	(116)
5.4.2 腹板的局部稳定	(117)
5.4.3 加劲肋的构造和截面尺寸	(121)
5.4.4 支承加劲肋的计算	(123)
5.5 考虑腹板屈曲后强度的梁设计	(124)
5.5.1 腹板屈曲后的抗剪承载力 V_u	(124)
5.5.2 腹板屈曲后的抗弯承载力 M_{cu}	(124)
5.5.3 考虑腹板屈曲后强度的梁的计算式	(125)
5.5.4 考虑腹板屈曲后强度的梁的加劲肋设计特点	(126)
5.6 型钢梁的设计	(126)
5.6.1 单向弯曲型钢梁	(126)
5.6.2 双向弯曲型钢梁	(127)
5.7 组合梁的设计	(130)
5.7.1 试选截面	(130)
5.7.2 截面验算	(132)
5.7.3 组合梁截面沿长度的改变	(132)
5.7.4 焊接组合梁翼缘焊缝的计算	(133)
5.8 梁的拼接、连接和支座	(134)
5.8.1 梁的拼接	(134)
5.8.2 次梁与主梁的连接	(135)
5.8.3 梁的支座	(136)
5.9 其他类型的梁	(140)

5.9.1	蜂窝梁	(140)
5.9.2	异种钢组合梁	(141)
5.9.3	预应力钢梁	(141)
5.9.4	钢与混凝土组合梁	(142)
	习题	(143)
6	拉弯和压弯构件	(144)
6.1	概述	(144)
6.2	拉弯和压弯构件的强度	(144)
6.3	压弯构件的稳定	(146)
6.3.1	弯矩作用平面内的稳定	(146)
6.3.2	弯矩作用平面外的稳定	(149)
6.3.3	双向弯曲实腹式压弯构件的整体稳定	(150)
6.3.4	压弯构件的局部稳定	(151)
6.4	压弯构件(框架柱)的设计	(152)
6.4.1	框架柱的计算长度	(152)
6.4.2	实腹式压弯构件的设计	(156)
6.4.3	格构式压弯构件的设计	(160)
6.5	框架中梁与柱的连接	(164)
6.6	框架柱的柱脚	(164)
6.6.1	整体式刚接柱脚	(165)
6.6.2	分离式柱脚	(168)
6.6.3	插入式柱脚	(168)
	习题	(169)

下篇 建筑钢结构设计

7	单层厂房结构	(170)
7.1	厂房结构的形式和布置	(170)
7.1.1	厂房结构的组成	(170)
7.1.2	厂房结构的设计步骤	(171)
7.1.3	柱网和温度伸缩缝的布置	(171)
7.2	厂房结构的框架形式	(172)
7.2.1	横向框架主要尺寸和计算简图	(172)
7.2.2	横向框架的荷载和内力	(174)
7.2.3	框架柱的类型	(175)
7.2.4	纵向框架的柱间支撑	(176)
7.3	屋盖结构	(177)
7.3.1	屋盖结构的形式	(177)
7.3.2	屋盖支撑	(181)
7.3.3	简支屋架设计	(185)
7.3.4	刚接屋架(框架横梁)设计特点	(211)
7.4	框架柱设计特点	(212)
7.4.1	柱的计算长度	(212)

7.4.2	柱的截面验算	(213)
7.4.3	肩梁的构造和计算	(214)
7.4.4	托架与柱的连接	(215)
7.5	轻型门式刚架结构	(216)
7.5.1	结构形式和布置	(216)
7.5.2	荷载计算及荷载组合	(218)
7.5.3	刚架的内力和侧移计算	(220)
7.5.4	刚架柱和梁的设计	(222)
7.5.5	节点设计	(227)
7.5.6	柱脚	(228)
7.5.7	檩条设计	(229)
7.5.8	墙架构件设计	(229)
7.5.9	支撑构件设计	(230)
7.5.10	屋面板和墙板设计	(230)
7.6	吊车梁设计特点	(240)
7.6.1	吊车梁系统结构的组成	(241)
7.6.2	吊车梁的荷载	(241)
7.6.3	吊车梁的内力计算	(242)
7.6.4	吊车梁的截面验算	(242)
7.6.5	吊车梁与柱的连接	(245)
7.6.6	吊车梁设计例题	(245)
7.7	墙架体系	(252)
7.7.1	墙体类型	(252)
7.7.2	墙架结构的布置	(252)
	习题(课程设计题)	(254)
8	大跨度房屋结构	(256)
8.1	平面承重的大跨屋盖结构	(258)
8.1.1	梁式大跨结构	(258)
8.1.2	框架结构	(259)
8.1.3	拱式结构	(261)
8.2	空间网架屋盖结构	(264)
8.2.1	空间结构的特性	(264)
8.2.2	平板式空间网架的形式	(265)
8.2.3	网架结构的设计特点	(269)
8.3	网壳结构	(277)
8.4	悬索结构	(279)
8.5	膜结构	(281)
9	多、高层房屋结构	(283)
9.1	概述	(283)
9.1.1	多、高层钢结构的特点	(283)
9.1.2	高层建筑钢结构的结构体系	(284)
9.2	高层钢结构的计算特点	(286)

9.2.1 结构荷载	(286)
9.2.2 结构设计	(289)
9.3 压型钢板组合楼(屋)盖结构	(292)
9.3.1 组合楼板的设计要求	(292)
9.3.2 组合梁的设计要求	(295)
9.4 构件及连接的设计特点	(299)
9.4.1 梁的设计	(299)
9.4.2 柱的设计	(299)
9.4.3 抗侧力结构的设计	(300)
9.4.4 连接节点的设计	(303)
习题	(306)
附录	(307)
附录 1 钢材和连接的强度设计值	(307)
附录 2 结构或构件的变形容许值	(309)
附录 3 梁的整体稳定系数	(311)
附录 4 轴心受压构件的稳定系数	(314)
附录 5 柱的计算长度系数	(317)
附录 6 疲劳计算的构件和连接分类	(319)
附录 7 型钢表	(321)
附录 8 螺栓和锚栓规格	(336)
参考文献	(337)

上篇 钢结构原理

1 绪 论

钢结构是土木工程学科中一门重要的专业课程。20 世纪 50 年代至 80 年代中期,我国人均钢材的拥有量很低,这在很大程度上制约了与钢结构学科相关的新结构体系构建、设计理论与计算方法研究以及钢结构制造水平与施工手段等方面的发展。最近十余年来,国内钢和钢材的产量、品种、规格大幅度提升,国家经济建设对钢结构专业技术人员的需求明显增多,“积极发展钢结构”作为国家新的建设技术政策,具备了比较坚实的基础。

良好、丰富的建筑艺术表现力使钢结构受到建筑师们的普遍青睐,在传统冶金工业厂房、高层和超高层以及大跨度结构的多年建设实践中,钢结构的突出优势与作用几乎无可替代。近年来,钢结构在国内更是获得超常规发展。应用更趋广泛,影响快速扩大。不仅大量的工业厂房开始普遍采用钢结构,而且一大批有影响力的公共建筑,如新建、扩建的各大中心城市机场航站楼,新建、扩建的体育文化中心场馆、大剧院、会展中心,正在建设的中央电视台新楼,2008 年奥运竞赛部分设施建筑(国家体育场(鸟巢)、国家游泳中心(水立方)等),也都选择了钢结构。国内钢结构学科的发展得到了强有力的推动,并成为结构工程最具活力的研究方向。

1.1 钢结构的特点

钢结构和其他材料的结构相比有如下特点:

(1) 建筑钢材强度高,塑性、韧性好

强度高,适用于建造跨度大、高度高、承载重的结构。但由于强度高,一般构件截面小而壁薄,在受压时容易为稳定性和刚度所限制,强度难以得到充分的利用。

塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂,只增大变形,故易于被发现。此外,尚能将局部高峰应力重分配,使应力变化趋于平缓。

韧性好,适宜在动力荷载作用下工作,因此在地震多发区采用钢结构较为有利。

(2) 钢结构的质量轻

钢材容重大,强度高,做成的结构却比较轻。结构的轻质性可以用材料的质量密度 ρ 和强度 f 的比值 α 来衡量, α 值越小,结构相对越轻。建筑钢材的 α 值为 $1.7 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-4}/\text{m}$,木材为 $5.4 \times 10^{-4}/\text{m}$,钢筋混凝土约为 $18 \times 10^{-4}/\text{m}$ 。以同样跨度承受同样的荷载,钢屋架的质量最多不过为钢筋混凝土屋架的 $1/3 \sim 1/4$,冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ 。

质量轻,可减轻基础的负荷,降低地基、基础部分的造价,同时还方便运输和吊装。

(3) 材质均匀,其实际受力情况和力学计算的假定比较符合

钢材由于冶炼和轧制过程的科学控制,其组织比较均匀,接近各向同性,为理想的弹-塑性体,其弹性模量和韧性模量皆较大,因此,钢结构实际受力情况和工程力学计算结果比较符合,在计算中采用的经验公式不多,从而计算上的不确定性较小,计算结果比较可靠。

(4) 钢结构制作简便,施工工期短

钢结构构件一般是在金属结构厂制作,施工机械化、程控化,准确度和精密度皆较高。钢结构所有材料皆已轧制成各种型材,加工简易而迅速。钢构件重量较轻、连接简单、安装方便、施工周期短。小量钢结构和轻型钢结构尚可在现场制作,吊装简易。钢结构由于连接的特性,易于加固、改建和拆迁。

(5) 钢结构密闭性较好

钢结构的钢材及其连接(如焊接)的水密性和气密性较好,适用于要求密闭的板壳结构,如高压容器、

油库、气柜、管道等。

(6) 钢结构耐腐蚀性差

钢材容易锈蚀,对钢结构必须注意防护,特别是薄壁构件更要注意,因此,处于较强腐蚀性介质内的建筑物不宜采用钢结构。钢结构在涂油漆以前应彻底除锈,油漆质量和涂层厚度均应符合要求。在设计中应避免使结构受潮、雨淋,构造上应尽量避免存在难以检查、维修的死角。

(7) 钢材耐热但不耐火

钢材受热温度在 200 °C 以内时,其主要性能(屈服点和弹性模量)下降不多;温度超过 200 °C 后,材质变化较大,不仅强度逐步降低,而且有蓝脆和徐变现象;达 600 °C 时,钢材进入塑性状态已不能承载。因此,设计规定钢材表面温度超过 150 °C 后即需加以隔热防护,对有防火要求者,更需按相应规定采取隔热保护措施。

(8) 钢结构在低温和其他条件下,可能发生脆性断裂

这点应引起设计者的特别注意。

1.2 钢结构的设计方法

1.2.1 概述

结构计算的目的在于保证所设计的结构和结构构件在施工和工作过程中均能满足预期的安全性和使用性要求。因此,结构设计准则应当这样来陈述:结构由各种荷载所产生的效应(内力和变形)不大于结构(包括连接)由材料性能和几何因素等所决定的抗力或规定限值。假如影响结构功能的各种因素,如荷载大小、材料强度的高低、截面尺寸、计算模式、施工质量等都是确定性的,则按上述准则进行结构计算,应该说是非常容易的。但是,现实中上述影响结构功能的诸因素都具有不确定性,是随机变量(或随机过程),因此,荷载效应可能大于设计抗力,结构不可能百分之百的可靠,而只能对其作出一定的概率保证。在设计中如何对待上述问题就出现了不同的设计方法。

如果将影响结构设计的诸因素取为定值,而用一个凭经验判定的安全系数来考虑设计诸因素变异的影响,衡量结构的安全度,这种方法称为定值法,包括容许应力法和最大荷载法。钢结构采用容许应力法,其设计式为:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1.1)$$

式中 σ ——由标准荷载(荷载规范所规定的荷载值)与构件截面公称尺寸(设计尺寸)所计算的应力;

$[\sigma]$ ——容许应力, $[\sigma] = f_k / K$;

f_k ——材料的标准强度,对钢材为屈服点;

K ——大于 1 的安全系数,用以考虑各种不确定性,凭工程经验取值。

容许应力法计算简单,但不能定量度量结构的可靠度,更不能使各类结构的安全度达到同一水准。一些设计人员往往从定值概念出发,将结构的安全度与安全系数等同起来。常常误认为采用了某一给定的安全系数,结构就能百分之百的可靠,或认为安全系数大结构安全度就高,没有与抗力及作用力的变异性联系起来。例如砖石结构的安全系数最大,但不能说明砖石结构比其他结构更安全。所以定值法对结构可靠度的研究是处于以经验为基础定性分析阶段。

随着工程技术的发展,建筑结构的设计方法也开始由长期采用的定值法转向概率设计法。在概率设计法的研究进程中,首先考虑荷载和材料强度的不确定性,用概率方法确定它们的取值。根据经验确定分项安全系数,仍然没有将结构可靠度与概率联系起来,故称为半概率法。1957 年前采用的前苏联的钢结构设计规范(НСТУ 121—55)和我国 1974 年修订的《钢结构设计规范》(TJ 17—74)中的设计方法都是半概率法。

材料强度和荷载的概率取值用下列公式计算:

$$f_k = \mu_f - \alpha_f \sigma_f \quad (1.2)$$

$$Q_k = \mu_Q + \alpha_Q \sigma_Q \quad (1.3)$$

式中 f_k, Q_k ——材料强度和荷载的标准值;

μ_f, μ_Q ——材料强度和荷载的平均值;

σ_f, σ_Q ——材料强度和荷载的标准差;

α_f, α_Q ——材料强度和荷载取值的保证系数。如果材料强度与荷载服从正态分布条件,当保证率为95%时, $\alpha=1.645$;当保证率为97.7%时, $\alpha=2$;当保证率为99.9%时, $\alpha=3$ 。

半概率法的设计表达式仍可采用容许应力法的设计式,我国《钢结构设计规范》(TJ 17—74)的设计式就是这样决定的,但安全系数是由多系数分析决定的,如下式所示:

$$\sigma \leq \frac{f_{yk}}{K_1 K_2 K_3} = \frac{f_{yk}}{K} = [\sigma] \quad (1.4)$$

式中 f_{yk} ——钢材屈服点的标准值;

K_1 ——荷载系数;

K_2 ——材料系数;

K_3 ——调整系数。

概率设计法的研究在20世纪60年代末期有了重大突破,这使概率设计法应用于规范成为可能。这个重大突破就是提出了一次二阶矩法,该法既有确定的极限状态,又可给出不超过该极限状态的概率(可靠度),因而是一种较为完善的概率极限状态设计方法,把结构可靠度的研究由以经验为基础的定性分析阶段推进到以概率论和数理统计为基础的定量分析阶段。

一次二阶矩法虽然已经是一种概率设计法,但由于在分析中忽略或简化了基本变量随时间变化的关系,确定基本变量的分布时有一定的近似性,且为了简化计算而将一些复杂关系进行了线性化,所以还只能算是一种近似的概率设计法。完全的、真正的全概率法有待今后继续深入和完善,还将经历一个较长的发展过程。有关理论基础可参考本教材所列参考文献[2]。

1.2.2 概率极限状态设计方法

按极限状态进行结构设计时,首先应明确极限状态的概念。当结构或其组成部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时,此特定状态就称为该功能的极限状态。

结构的极限状态可以分为下列两类:

(1) 承载能力极限状态 对应于结构或结构构件达到最大承载能力或是出现不适于继续承载的变形,包括倾覆、强度破坏、疲劳破坏、丧失稳定、结构变为机动体系或出现过度的塑性变形等。

(2) 正常使用极限状态 对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值,包括出现影响正常使用或影响外观的变形,出现影响正常使用或耐久性能的局部损坏以及影响正常使用的振动等。

结构的工作性能可用结构的功能函数来描述。若结构设计时需要考虑影响结构可靠性的随机变量有 n 个,即 $x_1, x_2, \dots, x_n$,则在这 n 个随机变量间通常可建立某种函数关系:

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.5)$$

即称为结构的功能函数。

为了简化起见,只以结构构件的荷载效应 S 和抗力 R 这两个基本随机变量来表达结构的功能函数,则:

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1.6)$$

式(1.6)中 R 和 S 是随机变量,其函数 Z 也是一个随机变量。在实际工程中,可能出现下列三种情况:

- (1) $Z > 0$ 结构处于可靠状态;
- (2) $Z = 0$ 结构达到临界状态,即极限状态;
- (3) $Z < 0$ 结构处于失效状态。

定值设计法认为 R 和 S 都是确定性的,结构只要按 $Z \geq 0$ 设计,并赋予一定的安全系数,结构就是绝对安全的。事实并不是这样,结构失效的事例仍时有所闻。这是由于基本变量的不定性,说明作用在结构的荷载有出现高值的可能,材料性能也有出现低值的可能,即使设计者采用了相当保守的设计方案,但在