



高职高专 **土木与建筑** 规划教材

钢结构

高文安 史天录 主 编
苏俊华 张晓琴 门殿良 副主编



清华大学出版社

高职高专土木与建筑规划教材

钢 结 构

	高文安	史天录	主 编
苏俊华	张晓琴	门殿良	副主编

清华大学出版社

北 京

3。
全

精通

多媒
互联
印刷
书店
其他
参加
100
网站
不满

那
处

内 容 简 介

本书是根据教育部高等职业技术教育土木工程类专业人才培养文案和“钢结构”课程教学大纲,结合高职高专的教学实际和教育目标编写的。

本书概念准确、内容新颖、深入浅出、语言流畅、可读性强,即注重基本理论和基本概念的讲解,又突出工程上的实用性,尽可能做到理论和实践相结合;重点突出职业实践能力的培养和职业素质的提高,力求反映职业教育的特点。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校土木工程类专业学生的教学用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/高文安,史天录主编;苏俊华,张晓琴,门殿良副主编.—北京:清华大学出版社,2007.3
(高职高专土木与建筑规划教材)
ISBN 978-7-302-14749-7

I. 钢… II. ①高… ②史… ③苏… ④张… ⑤门… III. 钢结构—高等学校:技术学校—教材
IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 024274 号

责任编辑:刘建龙 杨作梅

封面设计:章嘉琦

责任校对:李凤茹

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.25

字 数:483 千字

版 次:2007 年 3 月第 1 版

印 次:2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。

联系电话:010-62770177 转 3103

产品编号:023252-01

前 言

为适应建筑业的飞速发展和高职高专教育教学改革,迫切需要一套适应高职高专人才培养目标,适合高职高专教学规律,体现职业教育特色的实用性教材。本书就是为了适应这一需求,满足高职高专土木建筑类专业人才培养方案和培养目标编写的。本书注重了职业实践能力的培养和职业素养的提高,符合高等职业教育人才培养要求。本书根据现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写,所有内容均采用最新的标准、规范和规程。

本书的编写力求反映高职高专教育的特点,从培养技能型、应用型人才的目标出发,对基本理论的讲授以应用为目的,教学内容以必需和够用为度。在编写过程中,力求做到语言精炼、概念准确、体系完整、内容新颖、重点突出。全书以钢结构设计的基本要领和基本构件为重点,取消和弱化了部分偏难的公式推导,侧重讲述常见工程结构。本书每章均附有本章学习目标、本章小结、思考题与习题,便于学生学习。本书系统地介绍了钢结构的特点、应用和设计方法;钢结构的材料、连接和基本构件的设计;钢结构在土木工程中常用的三种形式,即轻型刚架结构、钢屋架和网架结构;为增加学生的实践能力介绍了钢结构的制造;为保证钢结构的正常工作介绍了钢结构的防腐和防火。

全书共有 10 章,各章主要内容介绍如下。

第 1 章介绍了钢结构的发展概况,钢结构的特点、应用范围和设计方法。第 2 章介绍钢结构材料的性能及影响性能的主要因素,钢材的种类、规格及选择。第 3 章介绍钢结构连接的种类和特点,焊接连接的方法、连接形式、连接缺陷和焊缝符号,对接焊缝和角焊的构造和计算,焊接应力和焊接变形,普通螺栓和高强度螺栓连接。第 4 章介绍梁的类型和应用,梁的强度、刚度和稳定性,梁的截面设计、梁的拼接和支座。第 5 章介绍轴心受力构件的截面形式、强度和刚度,实腹式和格构式轴心受力构件的整体稳定、局部稳定和截面设计,变截面轴心受力构件、柱头和柱脚。第 6 章介绍拉弯和压弯构件的特点、强度和刚度计算。第 7 章介绍轻型门式刚架结构形式、平面布置、荷载计算和内力组合,钢架柱、梁、檩条和墙梁设计,连接和节点设计。第 8 章介绍网架结构的特点、分类、形式与选择,网架结构的内力计算、杆件设计和节点设计,网架结构的制作与安装。第 9 章介绍、檩条和墙梁设计,连接和节点设计。第 10 章介绍钢结构的制作、防腐和防火。

参加本书编写的有山西建筑职业技术学院高文安(第 1、2、3、4 章),山西建筑职业技术学院张晓琴(第 5 章),五邑大学史天录(第 6、7、8 章),五邑大学苏俊华(第 9、10 章)。山西建筑职业技术学院梁桐兵绘了部分插图。本书由高文安和史天录任主编。全书由高文安和门殿良统稿。

由于时间和作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者和同行专家批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1	思考题与习题	25
1.1 钢结构的发展概况	1	第 3 章 钢结构的连接	26
1.1.1 概述	1	3.1 连接的种类和特点	26
1.1.2 钢结构的发展趋势	2	3.1.1 焊接	26
1.2 钢结构的特点和应用范围	3	3.1.2 铆接	27
1.2.1 钢结构的特点	3	3.1.3 螺栓连接	27
1.2.2 钢结构的应用范围	4	3.1.4 高强度螺栓	27
1.2.3 钢结构的基本要求	5	3.2 焊接连接	27
1.3 钢结构的设计方法	5	3.2.1 焊接方法	27
1.3.1 概述	5	3.2.2 焊缝及其连接形式	29
1.3.2 设计表达式	7	3.2.3 焊缝符号	31
本章小结	9	3.2.4 焊缝连接的缺陷、质量检验 和焊缝质量级别	31
思考题与习题	9	3.3 对接焊缝的构造和计算	32
第 2 章 钢结构的材料	10	3.3.1 对接焊缝的构造	32
2.1 钢材的主要性能	10	3.3.2 对接焊缝的计算	33
2.1.1 钢材在单轴应力 作用下的性能	10	3.4 角焊缝的构造和计算	36
2.1.2 冷弯性能	11	3.4.1 角焊缝的形式	36
2.1.3 冲击韧性	11	3.4.2 角焊缝的构造要求	38
2.1.4 钢材在复杂应力 作用下的性能	12	3.4.3 角焊缝的计算	40
2.1.5 钢材的疲劳	13	3.4.4 轴心力、弯矩和扭矩单独 作用时的角焊缝计算	41
2.2 影响钢材性能的主要因素	16	3.5 焊接残余应力和焊接变形	51
2.2.1 化学成分	16	3.5.1 焊接残余应力产生 的原因	51
2.2.2 冶金缺陷	16	3.5.2 焊接变形	52
2.2.3 热处理	17	3.5.3 减少焊接残余应力和 变形的办法	53
2.2.4 钢材的硬化	17	3.6 普通螺栓连接	54
2.2.5 温度的影响	17	3.6.1 螺栓的排列和构造要求	54
2.2.6 应力集中的影响	18	3.6.2 普通螺栓连接的 受力性能和计算	56
2.3 钢材的种类、规格及选择	19	3.7 高强度螺栓连接	66
2.3.1 钢材的种类与牌号	19	3.7.1 高强度螺栓的材料	66
2.3.2 钢材的规格	22		
2.3.3 钢材的选择	23		
本章小结	24		

3.7.2 高强度螺栓的紧固 方法和预拉力计算.....	66	5.3.3 设计规范对轴心受压 构件稳定计算的规定.....	110
3.7.3 摩擦型高强度螺栓 承受剪力的计算.....	67	5.4 实腹式轴心受压构件的局部稳定.....	111
3.7.4 摩擦型高强度螺栓 受拉力计算.....	68	5.5 实腹式轴心受压构件的截面设计.....	114
3.7.5 承压型高强度螺栓.....	69	5.5.1 设计原则.....	114
本章小结.....	71	5.5.2 截面设计.....	115
思考题与习题.....	71	5.6 格构式轴心受压构件的设计.....	119
第4章 梁	74	5.6.1 格构式轴心受压构件 的组成形式.....	119
4.1 梁的类型和应用.....	74	5.6.2 格构式轴心受压构件 的整体稳定.....	119
4.2 梁的强度、刚度和稳定性.....	75	5.6.3 分肢的稳定性.....	122
4.2.1 梁的强度.....	75	5.6.4 缀件(缀条、缀板)的计算.....	122
4.2.2 梁的刚度.....	77	5.6.5 连接节点和构造规定.....	125
4.2.3 梁的整体稳定性.....	78	5.6.6 格构式轴心受压构件 的设计方法.....	125
4.2.4 梁的局部稳定.....	83	5.7 变截面轴心受压构件.....	130
4.3 梁的截面设计.....	87	5.8 柱头和柱脚.....	132
4.3.1 型钢梁的截面设计.....	87	5.8.1 柱头.....	132
4.3.2 组合梁的截面设计.....	89	5.8.2 柱脚.....	135
4.4 梁的拼接、连接和支座.....	96	本章小结.....	140
4.4.1 型钢梁的拼接.....	96	思考题与习题.....	141
4.4.2 组合梁的拼接.....	97	第6章 拉弯和压弯构件	142
4.4.3 梁的支座.....	99	6.1 拉弯和压弯构件的特点.....	142
4.4.4 次梁与主梁的连接.....	100	6.2 拉弯和压弯构件的强度 及刚度计算.....	144
本章小结.....	101	6.2.1 拉弯和压弯构件 的强度计算.....	144
思考题与习题.....	101	6.2.2 拉弯和压弯构件 的刚度计算.....	145
第5章 轴心受力构件	103	6.3 实腹式压弯构件的稳定计算.....	147
5.1 轴心受力构件的截面形式.....	104	6.3.1 实腹式压弯构件在 弯矩作用平面内的稳定性.....	147
5.2 轴心受力构件的强度和刚度.....	105	6.3.2 实腹式压弯构件在 弯矩作用平面外的稳定性.....	150
5.2.1 轴心受力构件的强度.....	105	6.3.3 双向弯曲实腹式压 弯构件的整体稳定.....	151
5.2.2 轴心受力构件的刚度.....	105	6.3.4 压弯构件的计算长度.....	152
5.2.3 轴心拉杆的设计.....	106		
5.3 实腹式轴心受压构件的整体稳定.....	107		
5.3.1 理想轴心受压构件的 临界力.....	107		
5.3.2 缺陷对理想轴心压杆 临界力的影响.....	109		

6.3.5 实腹式压弯构件的 局部稳定	157	本章小结	185
6.4 格构式压弯构件的稳定计算	159	思考题与习题	185
6.4.1 格构式压弯构件的 组成形式	159	第 8 章 网架结构	186
6.4.2 弯矩绕实轴作用时 的稳定计算	159	8.1 空间结构的特点和分类	186
6.4.3 弯矩绕虚轴作用时 的稳定计算	160	8.1.1 空间结构的特点	186
6.4.4 连接节点和构造规定	161	8.1.2 空间结构的分类	187
6.5 压弯构件的柱头和柱脚设计	164	8.2 网架结构的形式与选择	190
6.5.1 梁与柱的连接	164	8.2.1 网架结构的形式	190
6.5.2 柱脚	166	8.2.2 网架结构的选择	197
本章小结	168	8.3 网架结构的内力计算	198
思考题与习题	169	8.3.1 一般计算原则	198
第 7 章 轻型门式刚架结构	171	8.3.2 计算方法	198
7.1 结构选择与布置	171	8.4 网架结构的杆件设计	199
7.1.1 结构形式	172	8.4.1 选型	199
7.1.2 建筑尺寸	172	8.4.2 网架尺寸和网架高度	199
7.1.3 结构平面布置	173	8.4.3 杆件截面	200
7.1.4 檩条和墙梁布置	173	8.4.4 杆件的计算长度及 长细比限值	200
7.1.5 支撑布置	174	8.5 网架结构的节点设计	200
7.2 荷载计算和内力组合	174	8.5.1 网架结构的节点形式	200
7.2.1 荷载计算	174	8.5.2 节点承载力的计算及 节点球直径的确定	201
7.2.2 荷载组合效应	176	8.6 网架结构的制作与安装	203
7.2.3 内力计算	176	本章小结	207
7.2.4 变形计算	177	思考题与习题	207
7.3 刚架柱和梁设计	177	第 9 章 屋盖结构	209
7.3.1 变截面刚架柱和梁的设计	177	9.1 屋盖结构的组成与形式	209
7.3.2 等截面刚架柱和梁的设计	180	9.1.1 屋盖结构体系	209
7.4 檩条和墙梁设计	180	9.1.2 檩条、拉条和撑杆	210
7.4.1 檩条设计	180	9.2 屋盖结构的支撑体系	212
7.4.2 墙梁设计	181	9.2.1 屋盖支撑的作用	212
7.4.3 支撑构件设计	181	9.2.2 屋盖支撑的布置	213
7.4.4 屋面板和墙板设计	182	9.2.3 屋盖支撑的计算与构造	216
7.5 焊接和节点设计	182	9.3 屋架的杆件设计	217
7.5.1 焊接	182	9.3.1 屋架的形式和选型原则	217
7.5.2 节点设计	183	9.3.2 屋架的特征及使用范围	218
		9.3.3 屋架的主要尺寸	220

9.3.4 屋架的荷载和荷载组合	221	10.2.1 钢结构的大气腐蚀	260
9.3.5 屋架杆件的内力计算	222	10.2.2 钢结构的防腐	264
9.3.6 杆件的计算长度和 容许长细比	223	10.3 钢结构的防火	268
9.3.7 杆件的截面选择	226	10.3.1 截流法	269
9.4 屋架的节点设计	229	10.3.2 疏导法	270
9.4.1 节点设计基本要求	229	10.3.3 防火涂料的防火作用	270
9.4.2 节点的计算与构造	230	本章小结	271
9.5 钢屋架施工图	236	思考题与习题	271
9.6 普通钢屋架设计实例	238	附录 A 疲劳计算的构件和连接分类	272
本章小结	254	附录 B 轴心受压构件的截面分类	275
思考题与习题	254	附录 C 轴心受压构件的稳定系数	277
课程设计作业	254	附录 D 型钢表	281
第 10 章 钢结构的制作、 防腐与防火	255	附录 E 螺栓和锚栓规格	307
10.1 钢结构的制作	255	附录 F 框架柱的计算长度系数	308
10.2 钢结构的大气腐蚀与防腐	260	参考书目	310

第1章 绪 论

本章学习目标

- 了解钢结构的发展状况。
- 掌握钢结构的特点和应用范围。
- 熟悉钢结构的基本要求。
- 掌握钢结构的设计方法。
- 熟悉现行《钢结构设计规范》的极限状态和设计表达式。

由钢材轧制的型材和板材作为基本构件，采用焊接、铆接或螺栓连接等方法，按照一定的结构组成规则连接起来，能承受荷载的结构物叫做钢结构。例如：钢屋架、钢桥、钢梁、钢柱、钢桁架、钢网架、起重机臂架、桅杆和容器等。

1.1 钢结构的发展概况

1.1.1 概述

在钢结构的应用和发展方面，我们的祖先具有光辉的历史。世界上建造得最早的一座铁链桥是我国的兰津桥。它建于公元 58—75 年，比欧洲最早的铁链桥要早 70 多年。云南的源江桥(建于 400 多年以前)、贵州的盘江桥(建于 300 多年前)以及四川的大渡河桥等，无论在建设规模上还是在建造技术上，在当时都处于世界领先地位。另外，在全国各地还建造了不少铁塔，如荆州的玉泉寺铁塔、济宁铁塔寺铁塔以及镇江甘露寺铁塔等，一直保存到现在。

18 世纪欧洲工业革命兴起以后，由于钢铁冶炼技术的发展，钢结构在欧美的应用增长很快，不断出现采用钢结构的工业和民用建筑物。

新中国成立后，在第一个五年计划期间，我国很快地出现了自己的冶金工业、重型机器制造工业、汽车制造工业以及动力设备制造工业等。在社会主义建设事业中，钢结构的采用起到了很大作用。在短短的五、六年內我国就建造了大批钢结构厂房，其中有：鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司、大连造船厂、太原重型机器制造厂、富拉尔基重型机器制造厂、长春第一汽车制造厂、洛阳拖拉机厂以及一些飞机制造厂等。这一时期是我国钢结构迅速发展的时期。但钢产量还不高，远不能满足大规模建设的需要。只有在必须采用钢结构的重要建筑物中才能得到应用。例如：1959 年在北京建成的人民大会堂，采用了跨度 60.9m、高 7m 的钢屋架和分别挑出 15.5m 和 16.4m 的看台钢梁。1961 年建成的北京工人体育馆采用了直径为 94m 的车辐式悬索屋盖结构。1967 年建成的首都体育馆，屋盖采用了平板网架结构，跨度达 99m。1965 年在广州建成了第一座高达 200m 的电视塔。1973 年建成的上海体育馆，屋盖采用了圆形平板网架结构，直径达 110m。1968 年建成的南京

长江大桥和 1978 年建成的武汉钢铁公司 1.7m 轧钢厂房。1991 年建成的天津广播电视塔, 高度 415m。1992 年建成的上海国贸中心大厦, 高度 146m。1999 年建成的江阴长江大桥, 主跨采用悬索桥, 跨长 1385m, 都采用了钢结构。

发达国家, 例如美国和日本, 在 20 世纪 80 年代修建的工业建筑物中, 采用钢结构的占 70% 左右。随着我国四化建设的迅速发展, 我国的钢产量也迅速增长, 钢结构在我国的应用已日渐广泛, 并在应用过程中进入新的更高的发展阶段。

1.1.2 钢结构的发展趋势

近年来, 国内外对钢结构进行了大量的研究, 出现了许多新的结构形式, 使用了新的设计方法, 创造了先进的制造工艺。使钢结构的设计和制造取得很大成就。但是, 钢结构的设计和制造仍有不完善之处, 应做进一步研究, 其研究的重点及发展方向有以下几个方面。

1. 研究并广泛运用、推广新的设计理论和设计方法

以前, 我国在钢结构中一直使用许用应力法。随着生产发展的要求, 试验研究工作的开展, 国内外出现许多新的设计理论和计算方法。主要的设计方法有: 钢结构的优化设计法、钢结构极限状态设计法、钢结构预应力设计法、钢结构有限元计算法等。

上述设计方法有的已被采用, 如《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)规定: “除疲劳计算外, 工业与民用房屋和一般构筑物的钢结构设计, 用极限状态设计法”。有的尚未应用。极限状态法正确地考虑了荷载作用的性质、钢材性能及结构工作特点等因素, 使计算准确, 能够充分地利用材料, 有待于在其他领域中推广。若用预应力法设计起重机, 钢结构部分可节省材料 30%。若用结构优化设计, 能确保结构具有最优的形式和尺寸。若采用有限元法, 能计算复杂的结构, 且可使计算达到所需的精度, 简化了设计过程, 缩短了设计时间。

2. 部件标准化、统一化和结构定型系列化

钢结构零部件标准化和统一化是结构定型系列化的基础。采用一定规格尺寸的标准零部件组装成定型系列产品, 首先能减少结构的方案数和设计计算量, 大大减轻了设计工作量。结构定型系列化能促进标准零部件的大批生产, 零件生产工艺过程也易于程序化, 便于使用定型设备组织流水生产, 提高生产率, 降低成本; 又能改进安装方法, 提高安装速度, 保证安装质量。在我国, 有些结构部分已经定型系列化, 如轻型钢结构厂房、起重机、桁架、塔架等均有系列产品。

3. 改进钢结构的结构形式

改进钢结构的结构形式是生产发展的需要, 也是有效地减轻钢结构自重的方法之一。创造新的结构形式, 不仅能节省钢材、降低成本, 更主要的是能改善性能, 满足工作要求。结构合理选型是设计中十分重要的问题。

4. 研究使用新型材料

继续使用和研究具有较高经济指标的合金钢和轻金属, 采用和生产各种新型热轧薄壁

型钢和冷弯模压型材以及其他新型材料。特别是高强度钢材的应用。如采用高强度低合金结构钢或轻金属铝合金。既能保证性能,又能节省材料减轻自重。国外已制造铝合金结构的桥式起重机和龙门起重机的桥架,使自重减轻 30%~60%。德国制造的铝合金箱形单梁桥式起重机桥架的自重比双梁桥架减轻 70%左右,从而减轻了厂房结构和基础的荷载,降低了投资。我国生产的低合金结构钢 Q345 在金属结构中早已采用。由于其材质好,强度高,产品坚固耐用,约可减轻重量达 20%左右。另外,热轧薄壁型材和冷弯压型钢材是很有发展前途的材料。它可设计成任意截面形状,以满足受力要求。此外,钢和混凝土组合构件的应用也可以看成是材料引起的结构革新。

5. 广泛使用焊接结构,研究新的连接方法

焊接连接构造简单,加工方便,易于采用自动化操作。对简化结构形式和减少制造劳动量等方面具有独特的优点。焊接结构的应用越来越广泛。高强度螺栓连接是近年来新出现的一种连接方法,这种连接是由于螺栓有很大初拉力,使钢板之间产生很高的摩擦力来传递外力的。由于螺栓强度高(经热处理后的抗拉强度不小于 900MPa),连接牢固,工作性能好,安装迅速,施工方便,所以是一种很有发展前途的连接方法。另外,胶合连接是构件连接的新动向。英国曾以工程塑料为原料,用胶合方法制造出起重机结构,它大大简化了制造工艺,减轻了自重。

6. 钢结构大型化

随着国民经济的发展,机械设备逐渐向大型化、专业化和高效率的方向发展。各种工业与民用大跨度建筑物以及一些高层建筑物的需求正在不断增长,网架结构和大跨度悬索结构深受欢迎。由于结构尺寸的增大,给设计和制造工作提出了许多新的研究课题。例如,怎样保证结构的空間刚度和局部稳定性;高大的空间结构在外荷载作用下进行精确内力分析和动力性能研究;怎样保证结构焊接、组装质量以及探讨科学运输方案和快速安装方法等均需在今后的研究和生产实践中进一步解决。

1.2 钢结构的特点和应用范围

1.2.1 钢结构的特点

钢结构的特点有以下几个方面。

(1) 钢结构自重轻、强度高、塑性和韧性好、抗震性好。钢材和其他建筑材料如混凝土、砖石和木材相比强度高得多。其密度与强度的比值一般比混凝土和木材小得多。机械性能稳定,使得钢构件截面小,自重轻,运输和架设也较方便。钢结构一般不会因超载而突然断裂,适宜在动力荷载下工作。

(2) 钢结构计算准确,安全可靠。钢材更接近于均质等向体。弹性模量大,质地优良,结构计算与实际较符合,计算结果精确,保证了结构的安全。

(3) 钢结构制造简单,施工方便,具有良好的装配性。由于钢结构的制造是在设备完善、生产率高的专门车间进行,具备成批生产和精度高的特点,提高了工业化的程度。采用钢结构施工,工期短,可提前竣工投产。钢结构是由一些独立部件、梁、柱等组成。这

些构件在安装现场可直接用焊接或螺栓连接起来，安装迅速，更换和修配也很方便。

(4) 钢结构的密闭性好，便于做成密闭容器。钢材本身组织非常致密，采用焊接连接容易做到紧密不渗漏，可制作压力容器。

(5) 钢结构建筑在使用过程中易于改造。如加固、接高、扩大楼面、内部分割、外部装饰比较容易灵活。钢结构建筑还是环保型建筑，可以重复利用，减少垃圾的产生和矿产资源的开采。

(6) 钢结构可以作成大跨度和大空间的建筑。管线布置方便，维修方便。

(7) 钢结构耐锈蚀性差。钢材容易腐蚀，隔一定时间需重新刷涂料，保养维修费用较高。

(8) 钢结构耐热性好、耐火性差。在火灾中，未加防护的钢结构一般只能维持 20 分钟。因此需要防火时，应采取防护措施。在钢结构的表面包混凝土或其他防火材料，或在表面喷涂防火涂料。

1.2.2 钢结构的应用范围

选用钢结构时要根据上述特点，综合考虑结构物的使用要求、结构安全、节省材料和使用寿命等因素，目前钢结构在我国应用范围大致如下：

1. 重型厂房结构

重型工业厂房中用作车间的承重骨架，例如冶金厂房的平炉车间、转炉车间和轧钢车间，重型机器制造厂的铸钢车间和锻压车间等厂房结构。

2. 大跨度结构

例如飞机库、火车站、剧场、体育馆和大会堂等。

3. 多层框架结构

例如高层或超高层建筑物的骨架，炼油设备构架等。

4. 机器的骨架

例如桥式起重机的桥架部分，塔式起重机的金属塔架，石油钻机的井架等结构。

5. 板壳结构

例如高炉、大型储油库、油罐、烟囱、水塔和煤气柜等。

6. 塔桅结构

例如输电塔、电视塔、排气筒和起重桅杆等结构。

7. 桥梁

例如南京长江大桥等。

8. 水工建筑物

如闸门和管道等。

9. 其他构筑物

如栈桥、管道支架、井架和海上采油平台等。

10. 可拆卸或移动结构

商业、旅游业和建筑业用活动房屋，多采用轻型钢结构。

综上所述，钢结构应用很广，结构形式多种多样，在国家经济建设中起着重要的作用。

1.2.3 钢结构的基本要求

钢结构承受的荷载大，有时承受频繁的交变荷载。为保证其正常使用，对钢结构提出如下要求：

(1) 坚固耐用。钢结构必须保证有足够的承载能力，也就是应保证有足够的强度(静强度和疲劳强度)、刚度(静刚度和动态刚度)和稳定(整体稳定和局部稳定)性的要求。

(2) 工作性能好，使用方便，满足工作要求。

(3) 结构自重小，省材料。

(4) 制造工艺性好，成本低，经济性好。

(5) 安装迅速，便于运输，维修简便。

(6) 结构合理，外形美观。

上述要求既互相联系又互相制约。在设计时应辩证地处理这些要求。

1.3 钢结构的设计方法

1.3.1 概述

结构计算是根据所拟定的结构方案和构造措施，按照所承受的荷载进行内力计算，确定出各杆件的内力，再根据所用材料的特性，对整个结构和构件及其连接进行核算，看它是否符合经济、可靠和适用等方面的要求。

结构计算中所采用的标准荷载与实际荷载之间，计算所得应力值和实际应力值之间，钢材的力学性能取值和材料性能的实际数值之间，计算截面和钢材实际尺寸之间，都存在着一定的差异。也就是说，在结构计算中所采用的荷载、材料性能、截面特性和施工质量等都不是固定不变的定值。在设计时如何恰当地考虑这些因素的变动规律，人们曾进行过多方面的探讨，形成结构设计方法的几个阶段。

建国初期，用一个总的系数来考虑上述因素的变动规律。即把钢材可以使用的最大强度，除以安全系数作为结构计算时构件容许达到的最大应力，即容许应力。这种计算方法称为容许应力算法。其设计表达式为：

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

式中： σ ——由标准荷载与构件截面公称尺寸所计算的应力；

$[\sigma]$ ——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。

容许应力法计算简单,但不能从定量上度量结构的可靠度。它的缺点是由于笼统地采用一个定值的安全系数(常数),使各构件的可靠度各不相同,而整个结构的可靠度一般取决于可靠度最小的构件。

1974年我国正式编制了《钢结构设计规范(TJ 17—74)》,规范采用了容许应力的计算表达式,但在确定可靠度方面与建国初期的容许应力算法有所不同。它是以结构的极限状态为依据,对影响结构可靠度的各种因素用数理统计的方法,进行多系数分析,求出单一的设计安全系数,以简单的容许应力形式表达。实际上是半概率和半经验的极限状态算法。它的承载能力的一般表达式为:

$$\sigma = \frac{N_k}{S} \leq \frac{f_k}{K_1 K_2 K_3} = \frac{f_y}{K} = [\sigma] \quad (1-2)$$

式中: N_k ——根据标准荷载求得的内力;

f_y ——国标(GB)规定的钢材的屈服强度;

$[\sigma]$ ——钢材的容许应力;

S ——构件的几何特性;

K_1 ——荷载系数;

K_2 ——材料系数;

K_3 ——调整系数;

K ——定值的安全系数, $K=K_1 K_2 K_3$ 。

上式中安全系数没有考虑到荷载和材料性能的随机变异性而视为固定不变的定值,故称为“定值法”。这种方法常易使人误认为只要设计中采用了某一给定的安全系数,结构就百分之百的可靠,误认为安全系数就相当于结构的可靠度。实际上,定值的安全系数只能从工程经验上和常识上给以某种解释,不能真正从定量上度量结构的可靠度。因此,定值理论对结构可靠度的研究是处于以经验为基础的定性分析阶段。

实际上,各种荷载所引起的结构内力(称为荷载效应 S)与结构的承载力和抵抗变形能力(称为结构抗力 R),均受各种偶然因素的影响,都是随时间和空间变动的随机变量。从概率论的观点出发,在结构设计中应考虑上述变量的随机性。首先,在建筑结构的使用荷载中不仅可变荷载具有随机性,就是构件的自重等永久荷载也具有随机性。此外,结构材料的力学性能和构件的几何形状和尺寸等也具有随机性。进一步采用以时间和空间有关的随机过程来描述这些基本变量,这就是概率设计理论。它建立了明确的和科学的“结构可靠度”概念,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。

《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)采用以概率论为基础的一次二阶矩极限状态设计法,虽然是一种概率设计法,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,确定基本变量分布时有相当程度的近似性,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法。完全的和真正的概率设计法,有待今后继续深入和完善。

在结构设计中,常用到安全系数和安全度的术语,但其含义不够确切。长期以来所说

的结构安全性(以安全度为度量)是指结构对使用结构的人来说是否安全。目前国际上已普遍采用“结构可靠性”这一术语,而结构可靠度则为结构可靠性的概率度量。结构可靠性是指结构安全性、适用性和耐久性的统称。即满足4项基本功能的要求:①能承受在正常使用和施工时可能出现的各种作用;②在正常使用时具有良好的工作性能;③具有足够的耐久性;④在偶然事件发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性。第①和④两项是结构安全性的要求,第②项是结构适用性的要求,第③项是结构耐久性的要求。

在结构设计中采用概率设计法时,从结构构件的整体性出发,运用概率论的观点,对结构可靠度提出了明确的和科学的定义。即结构在规定时间内,在规定条件下,完成预定功能的概率,称为结构可靠度。常用可靠指标 β 和失效概率 P_f 表示。

因可靠指标 β 是由极限状态函数的一阶原点矩和二阶中心矩确定的,故将此法称为一次二阶矩概率法。

1.3.2 设计表达式

现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)的设计表达式仍采用《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)的形式,考虑传统习惯和使用上的方便,结构设计时不直接使用可靠指标,而是根据极限状态的设计要求,采用以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态设计公式:

$$\gamma_G S_{GK} + \gamma_Q S_{QK} \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-3)$$

式中: S_{GK} 、 S_{QK} ——分别为按荷载标准值计算的永久荷载效应和可变荷载效应;

R_K ——结构抗力标准值;

γ_G 、 γ_Q 、 γ_R ——分别为永久荷载分项系数、可变荷载分项系数和抗力分项系数,与可靠指标 β 有关。

钢结构设计公式采用应力形式表达,如受弯构件的弯曲应力为:

$$\gamma_0(\gamma_G M_{GK} + \gamma_Q M_{QK})/W_n \leq f_y / \gamma_R = f \quad (1-4)$$

式中: M_{GK} ——永久荷载标准值作用在受弯构件上产生的永久荷载的弯矩标准值;

M_{QK} ——可变荷载标准值作用在受弯构件上产生的可变荷载的弯矩标准值;

γ_0 ——结构重要性系数;

W_n ——构件净截面抵抗矩;

f_y ——钢材的屈服强度;

f ——钢材的强度设计值。

各种承重结构均应按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

承载能力极限状态可理解为结构或构件发挥允许的最大承载功能的状态。结构或构件由于塑性变形而使其几何形状发生显著改变,虽未达到最大承载能力,但已彻底不能使用,也属于达到这种极限状态。

正常使用极限状态可理解为结构或构件达到使用功能上允许的某个限值的状态。例如,某些结构必须控制变形、裂缝才能满足使用要求。因为过大的变形会造成房屋内部粉刷层剥落,填充墙和隔断墙开裂,以及屋面积水等后果,过大的裂缝会影响结构的耐久性,同时过大的变形或裂缝也会使人们在心理上产生不安全感。

对于承载能力极限状态,按荷载效应基本组合进行强度和稳定性设计时,采用式(1-5)和式(1-6)极限状态设计表达式。

可变荷载效应控制的组合

$$\gamma_0(\gamma_G\sigma_{GK} + \gamma_{Q1}\sigma_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi}\psi_{Ci}\sigma_{Qik}) \leq f \quad (1-5)$$

永久荷载效应控制的组合

$$\gamma_0(\gamma_G\sigma_{GK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi}\psi_{Ci}\sigma_{Qik}) \leq f \quad (1-6)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,对于安全等级为一级或使用年限为 100 年及以上的结构构件,不应小于 1.1;对于安全等级为二级或使用年限为 50 年的结构构件,不应小于 1.0;对于安全等级为三级或使用年限为 5 年的结构构件,不应小于 0.9;

σ_{GK} ——永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Q1k} ——第一个可变荷载(所有可变荷载中最大的一个)标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Qik} ——其他第 i 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

γ_G 、 γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——分别为永久荷载分项系数、第一个可变荷载分项系数和第 i 个可变荷载分项系数,当永久荷载效应对结构构件的承载力不利时 γ_G 取 1.2,当永久荷载效应对结构构件的承载力有利时取 1.0,验算结构倾覆、滑移或漂浮时取 0.9。当可变荷载效应对结构构件的承载力不利时 γ_Q 取 1.4,有利时取 1.0;

ψ_{Ci} ——可变荷载组合系数,其值不大于 1;

f ——强度设计值,是钢材屈服点 f_y 除以抗力分项系数 γ_R 的商。对 Q235 钢取 $\gamma_R=1.087$,对 Q345、Q390 和 Q420 钢取 $\gamma_R=1.111$ 。

对于一般排架和框架结构可采用简化式计算:

$$\gamma_0(\gamma_G\sigma_{GK} + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi}\sigma_{Qik}) \leq f \quad (1-7)$$

式中: ψ ——可变荷载组合系数,一般情况下取 0.9;当只有一个可变荷载时取 1.0。

对于正常使用极限状态,结构或构件应按荷载的标准组合,用下式进行计算:

$$\nu_{GK} + \nu_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci}\nu_{Qik} \leq [\nu] \quad (1-8)$$

式中: $[\nu]$ ——结构或构件的容许变形值;

ν_{GK} 、 ν_{Q1k} 、 ν_{Qik} ——分别为永久荷载、第 1 个可变荷载和其他第 i 个可变荷载的标准值在结构或构件中产生的变形值;

ψ_{Ci} ——可变荷载组合系数。

在本教材中,为简化计算采用荷载设计值。荷载设计值等于荷载标准值乘以荷载分项系数。

本章小结

本章阐述了钢结构的发展状况；钢结构的特点、应用范围和基本要求；钢结构的设计方法。本章的主要知识点如下：

- 我国钢结构的发展历史；
- 钢结构的发展趋势；
- 钢结构的特点；
- 钢结构的应用范围；
- 钢结构的基本要求；
- 容许应力计算法的设计表达式；
- 采用以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态设计公式；
- 承载能力极限状态设计表达式；
- 正常使用极限状态设计表达式；
- 结构可靠性；
- 结构满足的4项基本功能。

思考题与习题

1. 什么叫钢结构？
2. 钢结构有什么特点？
3. 钢结构主要应用在哪些方面？
4. 对钢结构有哪些基本要求？
5. 钢结构的发展方向是什么？
6. 结构应满足哪些功能要求？什么是结构可靠度？
7. 什么是承载能力极限状态？什么是正常使用极限状态？