

高职高专规划教材

钢结构

燕 兰 主编



化学工业出版社

高职高专规划教材

钢结构

燕 兰 主编 武建东 张永生 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要包括钢结构的特点及发展概况, 钢结构的材料及其性能, 钢结构施工图识读, 钢结构的连接, 轴心受力构件, 受弯构件, 拉弯和压弯构件, 钢屋盖结构, 钢结构制作、安装以及钢结构工程事故分析与处理等内容。

本教材的编写尽量做到图文并茂, 条理清晰, 深入浅出, 便于教学与自学。特别值得一提的是, 由于目前掌握钢结构技术的技术人员严重匮乏, 本教材的编写注重理论与实践相结合, 着重学生实践技能的培养, 并特别增加了钢结构施工图识读以及钢结构制作、加工等内容, 帮助学生快速理解钢结构施工图的设计意图, 以期培养学生提高处理施工问题的能力。

本教材可以用作高职高专土建类建筑工程技术专业及相关专业的教材, 也可作为成人教育土建类及相关专业的教材, 还可供土建类设计、制造、施工、管理和研究等方面的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构/燕兰主编. —北京: 化学工业出版社, 2009.9

高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-05474-6

I. 钢… II. 燕… III. 钢结构-高等学校: 技术学院-教材 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 121540 号

责任编辑: 李仙华 卓 丽 王文峡

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 郑 捷

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 插页 1 字数 464 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

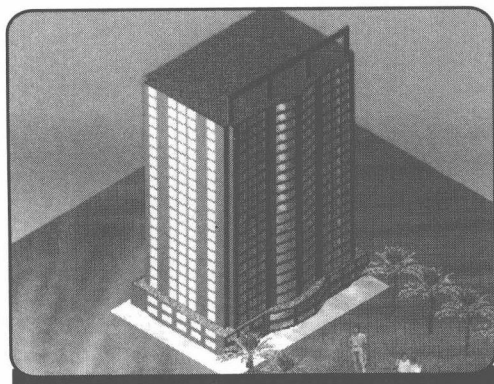
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究



高职高专土建类专业教材编审委员会

主任委员 陈安生 毛桂平

副主任委员 汪 绯 蒋红焰 陈东佐 李 达 金 文

委 员 (按姓名汉语拼音排序)

蔡红新	常保光	陈安生	陈东佐	窦嘉纲	冯 斌
冯秀军	龚小兰	顾期斌	何慧荣	洪军明	胡建琴
黄利涛	黄敏敏	蒋红焰	金 文	李春燕	李 达
李棕京	李 伟	李小敏	李自林	刘昌云	刘冬梅
刘国华	刘玉清	刘志红	毛桂平	孟胜国	潘炳玉
邵英秀	石云志	史 华	宋小壮	汤玉文	唐 新
汪 绯	汪 葵	汪 洋	王 波	王崇革	王 刚
王庆春	王锁荣	吴继峰	夏占国	肖凯成	谢延友
徐广舒	徐秀香	燕 兰	杨国立	杨建华	余 斌
曾学礼	张苏俊	张宪江	张小平	张宜松	张轶群
赵 磊	赵建军	赵中极	郑惠虹	郑建华	钟汉华

前 言

随着我国经济建设的飞速发展,钢结构建筑以其强度高、抗震性能好、施工周期短、工业化程度高且材料可回收利用等优点,在我国大中型工程建设中得到广泛应用。但目前掌握钢结构技术的技术人员严重匮乏,在此背景下,为适应我国高职高专土建类专业教育的发展和变化,以教育部提出的“以综合素质培养为基础,以能力培养为主线”为指导思想,结合高等职业教育的教学培养目标,依据国家现行标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑结构荷载规范》(GB 5009—2001)、《钢结构工程质量验收规范》(GB 50205—2001)等编写了本教材。

本书共分十章,主要包括以下几方面的内容:钢结构的特点及发展概况,钢结构的材料及其性能,钢结构施工图识读,钢结构的连接,轴心受力构件,受弯构件,拉弯和压弯构件,钢屋盖结构,钢结构制作、安装以及钢结构工程事故分析与处理等内容。

本教材主要针对高职高专学生,全书在编写过程中,全面贯彻职业素质教育思想,注重理论与实践相结合,在保持经典理论的基础上,突出工程应用能力的培养。在内容的构建上结合专业岗位群对职业能力的需要而确定教材的知识点、技能点和素质要求点,对公式的来源与推导不作过多的叙述,着重介绍各理论公式的意义与应用以及如何利用公式解决实际问题。并特别增加了钢结构施工图识读,帮助学生快速理解钢结构施工图的设计意图,以及钢结构制作、加工及钢结构工程事故分析处理等内容,培养学生提高处理施工问题的能力。本教材在理论体系、组织结构等方面作了新的调整,在内容编写上尽量做到图文并茂,条理清晰,深入浅出,便于教学与自学。为便于学生更好地理解所学知识、能够学以致用,本教材结合工程实际编写例题,且每章后都有能力训练习题。本书提供有电子教案,可发信到 ci-pedu@163.com 邮箱免费获取。

本书由燕兰主编,张永生、武建东副主编。参加编写的人员及分工如下:呼和浩特职业学院武玉梅编写第一章,呼和浩特职业学院燕兰编写第二、七、十章和附录,内蒙古东达集团武建东编写第三、九章,阳泉职业技术学院张永生编写第四章,内蒙古大学南雪兰编写第五、六章,呼和浩特职业学院谢凤华编写第八章。全书由燕兰统稿,内蒙古工业大学曹玉生教授主审。曹教授在审阅过程中,对全书文稿进行了细致的修改,并提出许多宝贵意见,在此表示衷心感谢!

同时,在本书编写过程中得到了化学工业出版社的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本教材可以用作高职高专土建类建筑工程技术专业及相关专业的教材,也可作为成人教育土建类及相关专业的教材,还可供土建类设计、制造、施工、管理和研究等方面的工程技术人员参考使用。

限于编者水平,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2009年5月

目 录

第一章 绪论	1	三、钢结构常用构件代号	36
第一节 钢结构的类型及组成	1	第二节 钢结构连接的表示方法	37
第二节 钢结构的特点和应用范围	3	一、常用焊缝表示方法	37
一、钢结构的特点	3	二、螺栓、栓孔、电焊铆钉的表示方法	41
二、钢结构的应用范围	4	第三节 钢结构节点详图的识读	42
三、钢结构在我国的发展概况	6	一、柱拼接连接	42
第三节 钢结构的基本设计原理	7	二、梁拼接连接	43
一、概述	7	三、主次梁侧向连接	43
二、钢结构的设计方法	8	四、梁柱连接	43
第四节 钢结构课程的主要内容、特点和 学习方法	11	第四节 钢结构施工详图编制内容	45
小结	11	小结	45
能力训练习题	12	能力训练习题	46
第二章 建筑钢材	13	第四章 钢结构的连接	47
第一节 钢结构对所用钢材的要求	13	第一节 钢结构的连接方法和特点	47
第二节 建筑钢材的两种破坏形式	13	第二节 焊接连接的特性和焊缝质量等级	48
第三节 建筑钢材的主要性能	14	一、钢结构焊接方法	48
一、钢材的强度和塑性	14	二、焊缝连接形式及焊缝形式	49
二、冷弯性能	16	三、焊缝缺陷和质量检验	50
三、钢材的韧性	16	四、焊缝代号图例	51
四、焊接性能	17	第三节 对接焊缝的构造和计算	51
五、钢材的硬度	17	一、对接焊缝的构造	51
第四节 影响钢材性能的主要因素	18	二、对接焊缝的计算	52
一、化学成分、冶金缺陷及浇筑过程的 影响	18	第四节 角焊缝的构造和计算	54
二、钢材的冷作硬化及时效硬化的影响	19	一、角焊缝的形式和构造要求	54
三、复杂应力、应力集中及残余应力的 影响	20	二、角焊缝的受力特点及强度	56
四、温度的影响	22	第五节 焊接残余应力和残余变形	63
五、反复荷载作用的影响	22	一、焊接残余应力和变形的概念	63
第五节 钢材的种类、规格及选择	22	二、焊接应力和变形对结构工作性能的 影响	63
一、钢材的种类与牌号	22	三、减少焊接应力和变形的措施	64
二、钢材的规格	24	第六节 螺栓连接的排列和构造要求	65
三、钢材的选择	27	一、螺栓的排列	65
小结	28	二、螺栓连接的其他构造要求	66
能力训练习题	29	第七节 普通螺栓连接的计算	67
第三章 钢结构施工图识读	30	一、普通螺栓的抗剪连接	67
第一节 钢结构施工图的基本知识	30	二、普通螺栓的抗拉连接	68
一、钢结构施工图两阶段设计	30	三、普通螺栓受剪力和拉力的联合作用	71
二、施工详图编制的基本规定	30	第八节 高强度螺栓连接的计算	73
		一、高强度螺栓连接的构造要求	73
		二、单个高强度螺栓的承载力	74

三、高强度螺栓群的计算	75	二、梁的支座	128
小结	79	三、主、次梁的连接	129
能力训练习题	79	小结	130
第五章 轴心受力构件计算与构造要求 ..	82	能力训练习题	130
第一节 轴心受力构件的特点和截面形式 ..	82	第七章 拉弯和压弯构件计算与构造	
第二节 轴心受力构件正常工作的基本		要求	132
要求	83	第一节 概述	132
一、轴心受力构件的强度	83	一、拉弯和压弯构件的定义	132
二、轴心受力构件的刚度	83	二、拉弯和压弯构件的截面形式	133
三、轴心受压构件的整体稳定	85	三、拉弯和压弯构件的破坏形式	133
四、轴心受压构件的局部稳定	88	第二节 拉弯和压弯构件的强度和刚度	
第三节 实腹式轴心受压构件的设计	90	计算	133
一、设计原则	90	一、拉弯和压弯构件的强度	133
二、截面设计	90	二、拉弯和压弯构件的刚度	134
三、构造要求	91	第三节 实腹式压弯构件的整体稳定	135
第四节 格构式轴心受压构件设计	94	一、实腹式压弯构件在弯矩作用平面内的	
一、格构式轴心受压构件的截面形式	94	整体稳定验算	135
二、格构式受压构件的稳定性计算	94	二、实腹式压弯构件在弯矩作用平面外的	
三、格构式轴心受压构件的缀件设计	96	整体稳定验算	138
四、格构式轴心受压构件的构造要求	97	第四节 实腹式压弯构件的局部稳定	139
五、格构式轴心受压构件的截面设计	98	一、翼缘的局部稳定	139
第五节 柱头和柱脚	100	二、腹板的局部稳定	140
一、柱头	100	第五节 实腹式压弯构件的截面设计	141
二、柱脚	101	一、设计原则	141
小结	104	二、截面设计步骤	141
能力训练习题	104	三、对初选截面验算的内容	142
第六章 受弯构件(梁)的计算与构造		四、构造要求	142
要求	106	第六节 实腹式压弯构件的柱脚	144
第一节 受弯构件的类型和应用	106	一、压弯构件柱脚概述	144
第二节 梁的强度及刚度	107	二、构造要求	145
一、梁的强度	108	三、整体式柱脚计算方法	145
二、刚度	111	四、分离式刚接柱脚	147
第三节 梁的整体稳定、局部稳定及加劲		五、插入式刚接柱脚	147
肋设计	113	小结	148
一、梁的整体稳定	113	能力训练习题	148
二、梁的局部稳定及加劲肋设计	116	第八章 钢屋盖结构	151
三、腹板加劲肋的截面选择及构造		第一节 概述	151
要求	118	第二节 钢屋盖的结构形式、组成及	
第四节 型钢梁的设计	120	布置	152
第五节 钢板组合梁的截面设计	122	一、钢屋盖结构的形式及组成	152
一、钢板组合梁的设计内容	122	二、钢屋盖的结构布置	153
二、选择截面	122	第三节 钢屋盖的支撑	153
三、截面验算	124	一、屋盖支撑的作用	153
四、组合梁翼缘焊缝的计算	124	二、屋盖支撑布置	154
第六节 梁的拼接、支座和主、次梁的		三、支撑的构造要求	155
连接	127	第四节 钢檩条设计	156
一、梁的拼接	127	一、檩条的形式	156

二、檩条的计算	157	五、钢结构腐蚀破坏	210
第五节 钢屋架设计	157	第三节 钢结构质量事故实例分析	211
一、钢屋架形式及特点	157	一、钢屋架结构事故	211
二、钢屋架杆件设计及内力计算	159	二、钢网架事故	212
三、钢屋架节点设计	164	三、钢桥结构事故	213
四、钢屋架施工图	171	四、其他事故	214
五、普通钢屋架设计实例	171	第四节 钢结构的加固	215
小结	182	一、钢结构的加固原则	215
能力训练习题	183	二、钢结构的一般加固方法	215
第九章 钢结构的制作加工及安装	186	三、钢结构加固施工中应注意的问题	216
第一节 钢结构的制作加工	186	小结	216
一、加工前的准备工作	186	能力训练习题	217
二、钢结构的制作加工	187	附录	218
三、钢结构构件的验收、运输、堆放	193	附表 1 钢材和连接的强度设计值	218
第二节 钢结构安装	194	附表 2 轴心受压构件的稳定系数	220
一、钢结构构件成品检验	194	附表 3 柱的计算长度系数	222
二、钢结构安装常用机具设备	194	附表 4 各种截面回转半径的近似值	223
三、单层钢结构安装工艺	195	附表 5 热轧等边角钢截面特性是	224
四、钢结构安装应注意的问题	199	附表 6 热轧不等边角钢	228
小结	201	附表 7 热轧普通工字钢的规格及截面特性	235
能力训练习题	202	附表 8 热轧普通槽钢的规格及截面特性	237
第十章 钢结构工程事故分析与处理	203	附表 9 热轧 H 型钢和剖分 T 型钢的规格及截面特性	239
第一节 钢结构缺陷	203	附表 10 锚栓规格	241
一、钢结构缺陷的类型	203	附表 11 螺栓的有效面积	241
二、钢结构缺陷的处理和预防	206	附图 某钢结构精加工车间施工图	242
第二节 钢结构事故及其影响因素	206	参考文献	268
一、钢结构承载力和刚度失效	206		
二、钢结构失稳	207		
三、钢结构脆性断裂	209		
四、钢结构疲劳破坏	209		

第一章 绪 论

【知识目标】

- 掌握钢结构的特点及应用范围
- 了解钢结构在我国的发展概况
- 理解钢结构按极限状态的设计方法

【能力目标】

- 能正确应用结构按极限状态的设计方法公式

第一节 钢结构的类型及组成

钢结构是钢材制成的工程结构，通常由型钢和钢板等制成梁、柱、板、桁架、拉杆（还包括钢索）、压杆等基本构件，各部分之间再用焊缝、螺栓或铆钉将其连接成可承受各种荷载作用的几何不变体系。

在土木工程中，钢结构应用非常广泛，由于使用功能不同，采用的结构形式及组成也不同。钢结构类型主要有：用于厂房的排架结构，用于民用建筑中多层、高层建筑的框架结构、框架-剪力墙结构、框-筒结构，用于大跨度空间的网架结构、穹顶网壳结构和幕墙钢结构等。钢结构除了在高层建筑、大型厂房、大跨度空间结构、轻钢住宅建筑中大量采用外，其他行业中也大量采用钢结构，如广泛用于公路和铁路桥梁、火电主厂房、输变电铁塔、广播电视通讯塔、地下基础钢板桩、石油海洋平台、水利建设等结构中。由于钢材可以回收冶炼而重复利用，所以钢结构是一种节能环保并能循环使用的建筑结构。

所有这些钢结构尽管使用功能、结构形式各不相同，但他们都是由钢板和型钢经过加工制成各种基本构件，如梁、柱、桁架、拉杆（还包括钢索）、压杆等。这些构件或杆件按一定方式通过焊接和螺栓等连接起来组成结构。

下面就常见的单层、多高层房屋的钢结构组成作一些简单介绍。

钢结构中较多是以杆件体系为主的结构，其中以梁、桁架和框架类比较常见。图 1-1 为一单层房屋钢结构组成示意图。其主要承重结构为由柱和横梁（常用桁架）组成的平面承重结构 [图 1-1 (a)]。作用于屋盖的垂直荷载由横梁传到柱，为了传递水平力，保证平面承重结构的稳定和使用房屋有较好的整体刚性，在平面承重结构之间以及柱之间设置纵向构件和各种支撑，如图图 1-1 (b) 所示的上弦横向支撑、垂直支撑及柱间支撑等，这样就保证了整个结构在空间各个方向都成为一个几何不变体系。

单层房屋的平面承重结构除由桁架和柱组成之外，还可以由实腹梁和柱组成框架或拱。框架和拱可以做成三铰、两铰或无铰。跨度大的还可以用框架拱，如图 1-2 所示。

如图 1-3 所示为一多层房屋框架结构，由梁和柱组成多层多跨框架，共同抵抗竖向及水平荷载作用。框架中的梁主要是受弯构件，轴力较小，柱则是压力和弯矩都可能很大的压弯构件。

在高层建筑钢结构中，由于水平风荷载的作用，需设置抗侧力构件，以减小侧向位移。

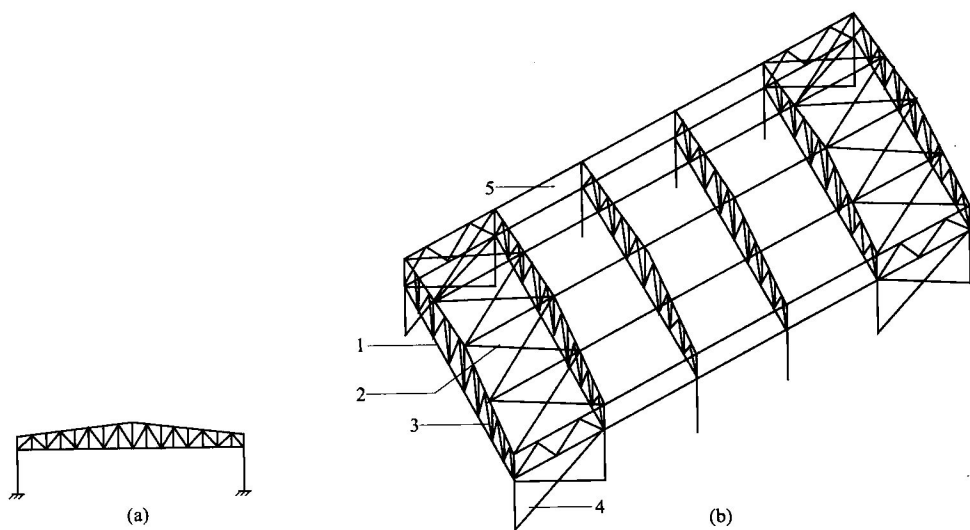


图 1-1 单层房屋钢结构组成

1—屋架；2—上弦横向支撑；3—垂直支撑；4—柱间支撑；5—纵向构件

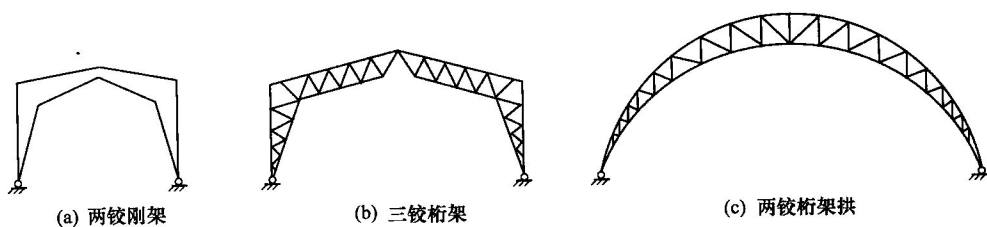


图 1-2 几种平面承重结构的形式

图 1-4 为带支撑的框架体系，即在框架中设置垂直支撑桁架作为抗侧力结构，以增大侧向刚度。其组成的构件有梁、柱和支撑桁架。

在高层建筑结构中，还常采用筒式结构体系，即沿框架四周用密集排列的柱形成空间刚架式的筒体，它能更有效地抵抗水平荷载。如果不用密集排列的柱，也可以在建筑表面附加斜支撑。斜撑与梁、柱组成桁架，这样房屋四周就形成了刚度很大的空间桁架——支撑筒，这也是一种筒式结构体系，如图 1-5 所示。

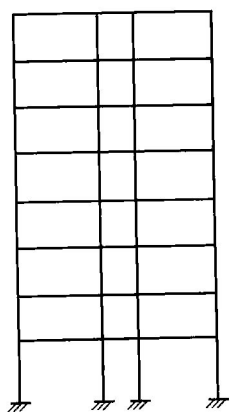


图 1-3 框架结构

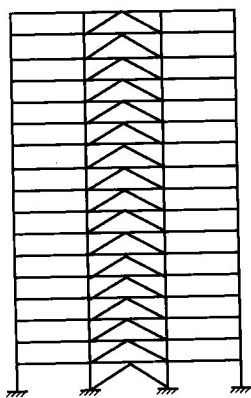


图 1-4 带支撑的框架结构

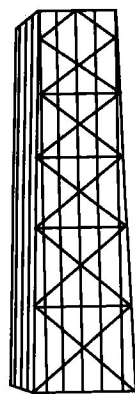


图 1-5 钢支撑筒结构

图 1-6 北京长富宫饭店, 为纯框架结构; 图 1-7 北京京广大厦, 为框架-剪力墙结构。随着工程技术的不断发展以及对结构组成规律不断深入的研究, 将会创造和开发出更多的新型结构体系。



图 1-6 北京长富宫饭店

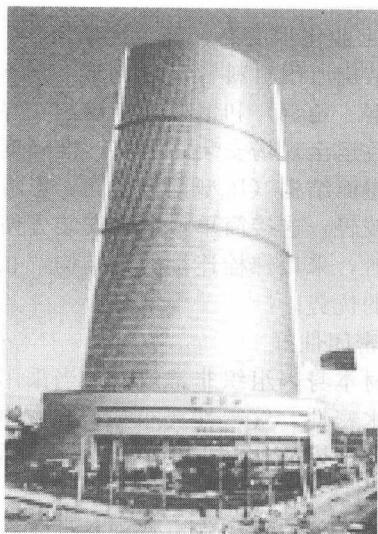


图 1-7 北京京广大厦

第二节 钢结构的特点和应用范围

钢结构在土木工程中得到广泛应用和发展, 不仅是由于钢结构可再次利用, 是环保型材料, 而且与其他钢筋混凝土结构、砌体结构、木结构等相比, 它还有如下一些特点。

一、钢结构的特点

1. 强度高, 重量轻

与混凝土、砖石、木材及铝合金材料等相比, 钢材具有很高的强度。钢材的密度比混凝土大, 但由于强度高, 做成的结构却比较轻。结构的轻质性可以用材料的密度 ρ 和强度 f 的比值 α 来衡量, α 值越小, 结构相对越轻。钢材的 α 值约在 $(1.7 \sim 3.7) \times 10^{-4}/\text{m}$; 木材为 $5.4 \times 10^{-4}/\text{m}$; 钢筋混凝土结构约为 $18 \times 10^{-4}/\text{m}$ 。在跨度及承载力相同的条件下, 普通钢屋架的重量仅是钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$, 冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ 。由于强度高、重量轻、刚度大、便于运输和安装, 因此, 钢结构特别适用于跨度大、高度高、荷载大的结构, 也适用于可移动、有装拆要求的结构。此外, 由于钢结构重量轻, 还可减轻下部结构和基础的负担, 降低地基、基础部分的造价。

2. 塑性、韧性好

钢材质地均匀, 有较好的塑性和韧性。由于钢材塑性好, 在承受静力荷载时, 能吸收和消耗很大的能量, 因此, 钢结构在一般情况下不会因偶然超载或局部超载而突然断裂, 而是在事先有较大变形, 易于被发现。

钢材的韧性反映了承受动力荷载时材料吸收能量的多少, 韧性好, 说明材料具有良好的动力工作性能, 适宜在动力荷载下工作, 因此在地震区采用钢结构较为有利。

3. 材质均匀, 物理力学性能可靠

钢材的内部组织比较均匀,其材质接近于匀质体和各向同性体。而钢材的力学性能在一定的应力范围内接近于理想的弹性体,因此,钢结构在设计中采用的经验公式不多,计算上的不确定性较小,计算结构准确可靠。钢结构在实际工程中的受力情况和力学计算结果比较符合。

4. 工业化程度高,施工周期短

钢结构所用材料皆已轧制成各种型材,钢结构是用各种型材(H型钢、T型钢、工字钢、槽钢、角钢)和钢板,经切割、焊接等工序制造成钢构件,钢构件一般在专业加工厂制作,然后运至现场安装,因此,准确度和精确度较高,质量也易于控制,制造周期短。对一些轻型屋面结构(压型钢板屋面、彩板拱形波纹屋面等),甚至可在工地现场边压制边安装。钢构件较轻,连接简单,运输安装方便,效率高,施工周期短,发挥投资效益快。

同时,采用螺栓连接的钢结构,在结构加固、改建和可拆卸结构中,也具有其他结构不可替代的优势。

5. 密闭性好

钢材本身因组织非常致密,当采用焊接连接时,钢结构可以做到完全密闭,不易渗漏,适用于水密性、气密性要求较高的结构。因此,钢材是制造各种压力容器,特别是高压容器、大型油库、油罐、气柜、输油管道的良好材料。

6. 耐腐蚀性差,应采取防护措施

钢材在潮湿环境中,特别是处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀,必须采取定期除锈和刷油漆或镀锌等方法加以保护,以提高其耐久性,这也造成了钢结构的维护费用较高,因此,处于强腐蚀性介质内的建筑不宜采用钢结构。

7. 耐热但不耐火

钢结构耐热而不耐火,当辐射热温度低于 100°C 时,即使长期作用,钢材主要的性质(屈服点和弹性模量无太大变化)均降低不多,因此其耐热性能较好。但当温度达到 300°C 以后,强度逐渐下降;达到 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 时,钢材进入塑性状态,强度降为零,已不能继续承载。因此,《钢结构设计规范》规定,当结构表面温度超过 150°C 以上时,必须进行隔热防护,采取遮挡措施。

8. 钢材的脆断

钢结构在低温工作环境和条件下可能发生脆性断裂,设计中应特别注意。

二、钢结构的应用范围

钢结构的合理应用范围不仅取决于材料及结构本身的特性,还与国家经济发展水平紧密相连。过去由于我国钢产量少,钢结构的应用受到一定的限制。近几年来我国钢产量有了很大发展,钢产量由1978年3000万吨到2007年的4.89亿吨,成为世界钢产量大国,钢结构的应用得到了很大的发展。钢结构在工业与民用建筑领域的应用范围大致如下。

1. 多层和高层建筑

我国过去钢材比较短缺,多层和高层建筑的骨架大多采用钢筋混凝土结构。近年来,钢结构在此领域已逐步得到发展,特别是在高层建筑领域。如深圳地王大厦(图1-8,69层,高383.95m),上海环球金融中心(图1-9,101层,高492m)。

此外,钢结构自重轻,可显著减少地震作用,降低震害损失。又由于钢材具有良好的弹塑性性能,使结构在地震作用下具有良好的延性。

2. 大跨度及大悬挑结构

用于公共建筑中的影剧院、体育馆、大会堂、展览馆、飞机库等要求空间较大的重要性建筑,常需要采用大跨度或大悬挑钢结构。

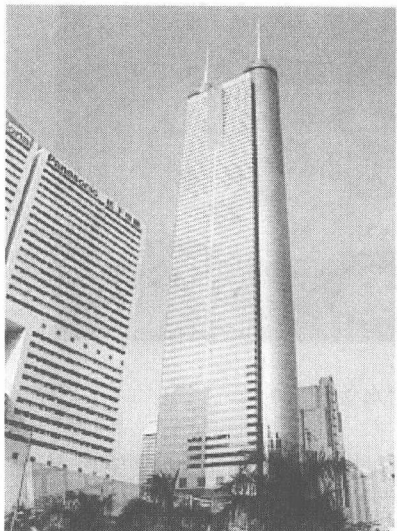


图 1-8 深圳地王大厦

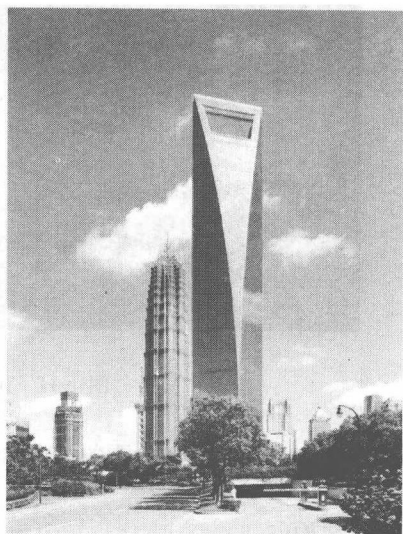


图 1-9 上海环球金融中心



图 1-10 国家体育场“鸟巢”

如 2008 年北京奥运会修建的国家体育场“鸟巢”(图 1-10, 跨度 $290\text{m} \times 340\text{m}$), 国家游泳中心“水立方”(图 1-11, 最大跨度 125m); 而天津奥林匹克中心体育场挑棚则采用了大悬挑结构。

3. 工业厂房

吊车起重量较大或其工作较繁重的车间, 如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间、重型机械厂的铸钢车间、水压机车间等。这类厂房的主要承重骨架及吊车梁大多采用刚结构。

近年来, 一般的工业厂房也越来越多地采用网架结构及轻型门式刚架结构。

4. 高耸结构

包括塔架和桅杆结构, 如电视塔、微波塔、钻井塔、输电线塔、环境大气监测塔、无线电天线桅杆、广播发射桅杆等, 如上海东方明珠电视塔(高 468m), 广州新电视塔(高 610m)。这些结构除了自重轻, 便于安装外, 还因构件截面小而大大减小了风荷载。高耸结构有时候也用于一些城市巨型雕塑及纪念性建筑, 如法国巴黎的埃菲尔铁塔等。

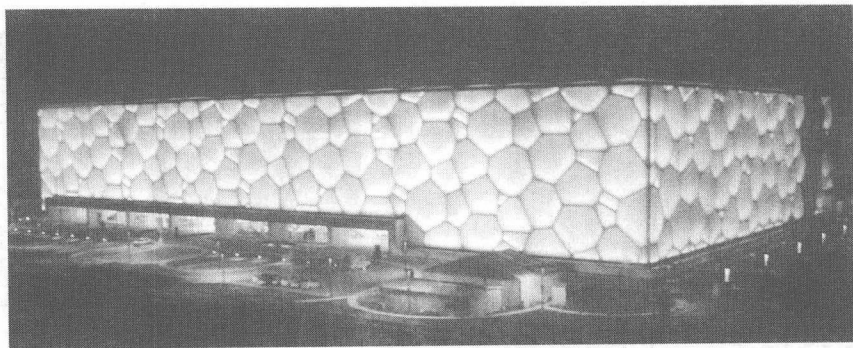


图 1-11 国家游泳中心“水立方”

对于高耸结构来说，除了应具备较强的抗风及抗震能力外，同时也希望有较轻的结构自重。

5. 轻型结构

轻型结构通常指由圆钢、小角钢、薄壁型钢或薄钢板焊接而成的结构。其特点是：主要承重结构为单跨或多跨单层门式刚架，刚架由实腹工字形变截面的横梁和立柱组成，其余支撑、檩条、墙架等均采用冷弯薄壁型钢，并采用轻型屋面和轻型墙体（一般用彩色压型钢板制成）。这类结构主要用于荷载较轻或跨度较小的建筑。近年来轻型钢结构已广泛应用于工业厂房、仓库、体育场雨篷、办公室、住宅等。

6. 板壳结构

由于钢材本身具有良好的密闭性能，因此常用于制作各种板壳结构，如高炉、热风炉、大型油库、燃气库、烟囱、水塔以及各种管道等。

7. 可拆卸或移动的结构

通常采用螺栓连接的钢结构拆卸方便。如商业、旅游业和建筑工地的生产、生活附属用房、临时展览馆等。

8. 桥梁结构

大跨度桥梁，尤其是铁路桥和公路铁路两用桥。

9. 其他特种结构

如栈桥、管道支架、井架、海上石油平台等。

三、钢结构在我国的发展概况

我国是最早用钢铁建造承重结构的少数几个国家之一。从结构的形势看，早期的钢结构主要用于桥梁和铁塔等。据历史记载，公元 60 年前后（汉明帝时）开始在高山峡谷地区建造铁链桥。其中以明代云南的沅江桥，清代贵州的盘江桥及四川泸定桥最为著名。除铁链桥外，我国古代还建造了许多纪念性建筑，如建于公元 1061 年（宋代）湖北荆州的 13 层玉泉寺铁塔，山东济宁的铁塔寺铁塔和江苏镇江的甘露寺铁塔等。

近百年来，钢结构在欧洲各国的应用逐渐增多和不断扩大，而我国在新中国成立前发展却极其缓慢。1949 年新中国成立以后，随着国家经济的飞速发展，钢结构在桥梁、较大跨度的重型厂房、大型公共建筑、高耸结构和高层建筑等方面得到了较多的应用，如 1957 年建成的武汉长江大桥。在公共建筑方面，有 1954 年建成的北京体育馆，跨度为 57m 的两铰拱结构；1956 年建成的天津体育馆，52m 跨，圆柱面联方网壳；1959 年建成的北京人民大会堂钢屋架，跨度为 60.9m，高 7m 等。所有这些，都标志着我国钢结构的设计理论、学术

水平、结构制造和安装水平都迈入了一个新的发展阶段。

进入 20 世纪 80 年代后,随着改革开放的政策实施,钢的产量和品种大大增加,这些为钢结构发展提供了物质基础。过去长期以来的钢材短缺以及节约钢材作为我国的基本国策,已经变为“积极、合理、快速地发展钢结构”的政策。钢结构进入了一个突飞猛进,蓬勃发展时期,逐步发展到工业与民用建筑、水工结构以及板壳结构,如高炉、储液库等。在房屋建筑方面,在北京、上海、深圳等地,陆续兴建了一批高层和超高层建筑,如中央电视台新台址(斜楼,图 1-12)以其独特的造型和超高的施工难度成为钢结构的代表作之一,上海环球金融中心成为世界第二高楼。另外,在大跨度建筑方面也取得了很大成绩,如图 1-13 所示国家大剧院网壳(212.24m × 143.64m)。

上述工程结构的建成表明了我国钢结构发展的新趋势。

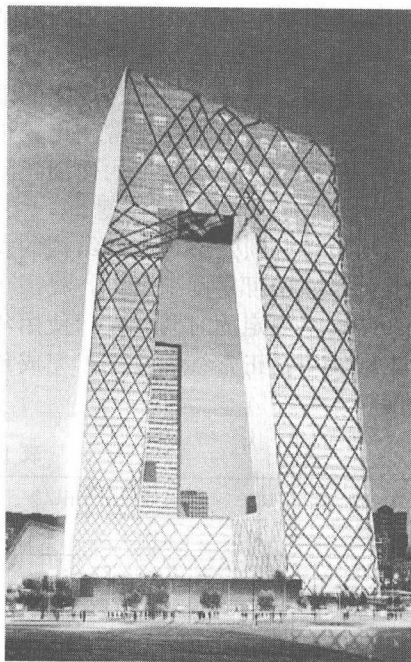


图 1-12 中央电视台新台址

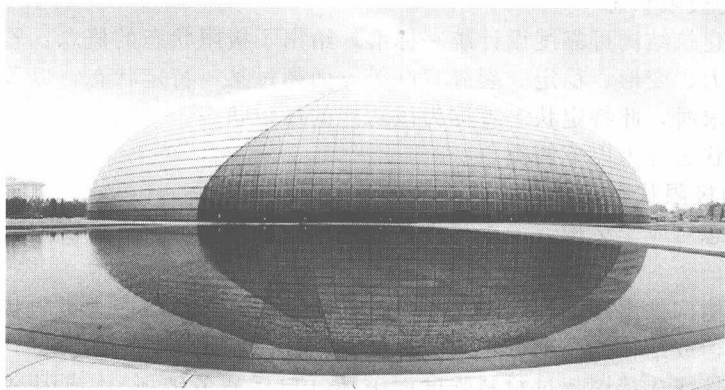


图 1-13 国家大剧院

第三节 钢结构的基本设计原理

一、概述

结构设计的基本目的是使结构和结构构件在施工期间以及建成后的使用过程中能满足预期的安全性、适用性、耐久性要求,并做到技术先进、经济合理。

1. 结构的功能要求

按《建筑结构可靠度设计统一标准》的规定,结构的功能应符合下列要求。

(1) 安全性 结构在正常设计、正常施工和正常使用条件下,应该能够承受可能出现的各种作用(包括直接作用和间接作用)。在偶然荷载作用下,或偶然事件发生时或发生后,

结构应能保持必要的整体性（如建筑结构仅产生局部的损坏而不是发生连续倒塌）。

（2）适用性 结构在正常使用时，应能满足预定的使用要求，具有良好的工作性能，其变形、裂缝或振动等均不超过规定的限度。

（3）耐久性 结构在正常使用、正常维护的情况下，应有足够的耐久性能，不致因材料变化或外界侵蚀而影响预期的使用年限。

2. 结构的可靠性和可靠度

结构设计必须足够可靠。结构的安全性、适用性和耐久性的功能总称为结构的可靠性。结构的可靠性用可靠度来度量，我国《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）规定：结构在规定的时间内（设计使用年限，见表 1-1）内，规定的条件（正常设计、正常施工、正常使用、正常维护）下，完成预定功能（安全性、适用性、耐久性）的概率，称结构可靠度。

表 1-1 设计使用年限分类

类 别	设计使用年限/年	示 例
1	5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

二、钢结构的设计方法

（一）结构的极限状态

我国现行《建筑结构可靠度设计统一标准》给出了极限状态的概念：若整个结构或结构的一部分在承载力、变形、稳定、裂缝宽度等方面超过某一特定状态，以致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。

结构的极限状态分为以下两类。

1. 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件（包括连接）达到最大承载能力或达到不适于继续承载的过大变形。

当结构或结构构件出现下列状态之一时，即认为超过了承载能力极限状态。

（1）整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如倾覆等）。

（2）结构构件或连接因超过材料强度而破坏（包括疲劳破坏），或因过度的塑性变形而不适于继续承载。

（3）结构转变为机动体系。

（4）结构或结构构件丧失稳定（如压屈等）。

（5）地基丧失承载力而破坏（如失稳等）。

2. 正常使用极限状态

这种极限状态对应于结构和结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的情况。

当结构或结构构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态。

（1）影响正常使用或外观的变形。

（2）影响正常使用或耐久性能的局部损坏（包括裂缝）。

（3）影响正常使用的振动。

（4）影响正常使用的其他特定状态。

当达到此限值时，虽然结构或结构构件仍具备继续承载的能力，但在正常荷载作用下产生的变形已使结构或结构构件不适于继续使用，故正常使用极限状态也称为变形极限状态。

(二) 概率极限状态设计方法

结构或构件的工作状态可由该结构构件所承受的荷载作用效应 S 和结构抗力 R 的关系来表示。

$$Z = R - S = g(R, S) \quad (1-1)$$

上式称为结构功能函数。

结构抗力 R ——结构或结构构件本身所具有的总的承受荷载作用的能力，如承载力、刚度、抗裂度等。它取决于材料性能，结构构件的几何特征（构件截面尺寸等）、计算模式（计算简图、公式等）等多因素影响。

作用效应 S ——作用对结构或结构构件产生的荷载效应，如内力的总和、变形等。

组成结构抗力 R 的各种因素和产生作用效应 S 的各种作用，都是独立的随机变量，当然，结构抗力 R 和作用效应 S 也是独立的随机变量。

结构满足功能要求为可靠或有效，反之为不可靠或失效。可靠与失效状态的区分标志为极限状态。随着条件的变化，结构的工作状态有下列三种可能。

$Z > 0$ ，即 $R > S$ ，结构能完成预定功能，结构处于可靠状态；

$Z < 0$ ，即 $R < S$ ，结构不能完成预定功能，结构处于失效状态；

$Z = 0$ ，即 $R = S$ ，结构处于极限状态。

因此，结构能够完成预定功能的概率，称为可靠概率 P_s ；反之，称为失效概率 P_f 。显然， $P_s + P_f = 1$ 。

结构或构件的失效概率 P_f ，可用下列公式表示。

$$P_f = P(Z < 0) = P(R - S < 0) \quad (1-2)$$

因此，结构可靠度的计算可以转换为结构失效概率的计算。而可靠的结构设计则是指设计控制目标要使结构的失效概率“足够小”，小到人们普遍可以接受的程度。实际上，绝对安全可靠的结构，即可靠概率 $P_s = 1$ 或失效概率 $P_f = 0$ 的结构是没有的。

(三) 设计表达式

现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用分项系数的设计表达式进行计算。

荷载效应 S 可用下列公式表示：

$$S = \gamma_0 (S_G + S_{Q1} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qi}) \quad (1-3)$$

式中 S_G ， S_{Q1} ， S_{Qi} ——永久荷载、第 1 个可变荷载和其他第 i 个可变荷载的荷载效应。

结构抗力 R 可用下列公式表示：

$$R = f_k / \gamma_R$$

按照《建筑结构可靠度设计统一标准》、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 的规定：对于承载能力极限状态，荷载效应基本组合应按下列应力设计表达式中的最不利值确定。

(1) 由可变荷载效应控制的组合

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{Gk} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{Qik}) \leqslant f \quad (1-4)$$

(2) 由永久荷载效应控制的组合

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{Qik}) \leqslant f \quad (1-5)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数。对安全等级为一级或设计使用年限为 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设计使用年限为 50 年的结构构件，不应小于 1.0；对安全等级为三级或设计使用年限为 5 年的结构构件，不应小