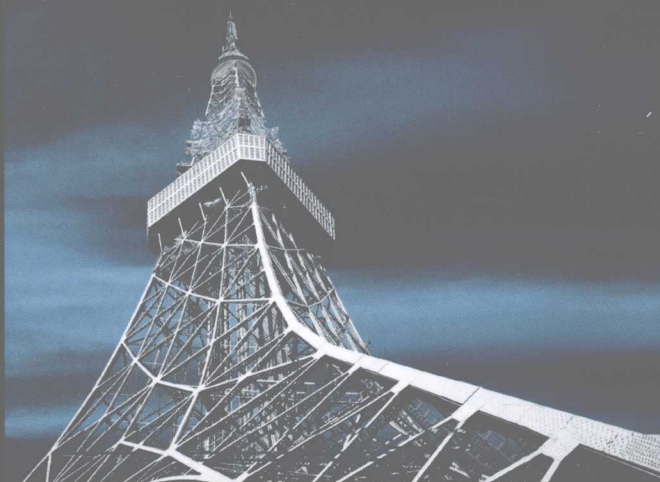


Steel Structure

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

钢 结 构

（第二版）



陈东佐 主 编
张广峻 赵 鑫 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIYIWU
GUIHUA JIAOCAI

钢结构

（第二版）

主 编 陈东佐
副主编 张广峻 赵 鑫
编 委 任晓菲 王 丽 崔志达
主 审 梁仁旺



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育），主要依据 2001 年以来发布的《建筑钢结构焊接技术规程》、《钢结构工程施工质量验收规范》、《钢结构设计规范》等一系列最新的行业标准和国家标准编写。全书共 9 章，内容包括：概述，钢结构的材料及其性能，钢结构的连接，受弯构件，轴心受力构件，拉弯、压弯构件，单层厂房钢屋盖结构，轻型门式刚架结构和钢结构制作与安装等。

本书以必需精要为度，力求针对性、适应性和实用性，兼顾系统性和完整性。基本概念清晰准确，基本理论简明扼要，设计计算步骤齐全，举例翔实符合工程要求，反映新材料、新技术、新理论、新标准和新规范，满足应用型高等专门人才培养要求的需要。

本书主要作为高职高专建筑工程技术、道路与桥梁工程等相关专业及函授、岗位培训作教材，也可作为广大土木工程技术人员的自学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构/陈东佐主编. —2 版. 北京：中国电力出版社，
2008

普通高等教育“十一五”规划教材·高职高专教育
ISBN 978-7-5083-7055-2

I. 钢… II. 陈… 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 (2008) 第 077583 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 8 月第一版

2008 年 8 月第二版 2008 年 8 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 561 千字 1 插图

定价 35.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

第二版前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

我国钢产量自从 1996 年突破 1 亿吨大关,位居世界首位成为我国钢铁工业发展史上的第一个里程碑以来,2003 年已达到 2.4119 亿吨;2005 年我国粗钢产量首次超过 3 亿吨,达 3.4936 亿吨;2006 年我国粗钢产量再次刷新纪录,达到 4.1878 亿吨。随着钢产量的增加,我国建筑钢材不仅数量大幅增长,而且品种也大大增加,这些为钢结构的发展提供了物质基础。

本书主要依据 2001 年以来发布的建筑钢结构焊接技术规程、钢结构工程施工质量验收规范、钢结构设计规范等一系列最新的行业标准和国家标准而编写。对钢结构的类型、组成、特点及应用,钢结构的设计方法,钢结构的材料及其性能,钢结构的连接,受弯构件,轴心受力构件,拉弯、压弯构件,单层厂房钢屋盖结构,轻型门式刚架,以及钢结构制作与安装作了简洁全面、深入浅出的讲述。为了强调重点和便于学生自学,在每章之后分别设计了复习思考题、习题或课程设计作业。因此,内容新颖,完整精练,实用性强是本书的特点。

本书自 2004 年 8 月第一版发行以来,受到广大读者的喜爱,曾多次重印。由于第一版发行后,国家有关部门又相继颁布了国家标准《热轧 H 型钢和剖分 T 型钢》(GB/T 11263—2005)和《碳素结构钢》(GB/T 700—2006),因此本书第二版内容均按上述新颁布的国家标准进行改写,其中“钢结构制作与安装”为本次修订新增加的一章内容。

本书由太原大学陈东佐教授任主编,邢台职业技术学院张广峻讲师和山西工程职业技术学院赵鑫副教授任副主编。参加编写的有太原大学任晓菲高级工程师、邢台职业技术学院王丽讲师和青岛理工大学琴岛学院崔志达讲师。全书内容共分九章,其中,第一、第三、第四章由陈东佐编写;第二章和附录由任晓菲编写;第五章和第六章的第一、二、三、四、五、六、七节由王丽编写,第六章的第八节由崔志达编写,第七章和第八章由张广峻编写,第九章由赵鑫编写。

本书由太原理工大学梁仁旺教授主审,梁老师审稿认真仔细,提出了许多中肯的意见,谨此表示衷心感谢。太原大学黄海波老师对书中的全部插图作了电脑修正与处理,一并在致致谢。

由于成书时间仓促和编者水平所限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请读者在使用过程中给予指正并提出宝贵意见。(联系方式:太原大学建筑工程系陈东佐,cdz6668701@163.com)

编者

2008 年 5 月

第一版前言

我国钢产量自从 1996 年突破 1 亿吨大关, 位居世界首位以来, 2003 年已达到 2.3 亿吨, 成为钢铁大国。过去长期不能生产的 H 型钢, 现在已在马钢、莱钢等钢铁公司生产了; 轻钢结构用的彩色钢板年生产能力已达百万吨; 高效的焊接工艺和焊接材料的应用, 以及防腐、防火等新工艺、新材料的开发, 也为发展钢结构工程创造了条件。

本书是高职高专“十五”规划教材之一, 主要依据 2001 年以来发布的建筑钢结构焊接技术规程、钢结构工程施工质量验收规范、钢结构设计规范等一系列最新的行业标准和国家标准而编写。对钢结构的类型、组成、特点及应用, 钢结构的设计方法, 钢结构的材料及其性能, 钢结构的连接, 受弯构件, 轴心受力构件, 拉弯、压弯构件, 单层厂房钢屋盖结构作了简洁而全面、深入而浅出的讲述。为了强调重点和便于学生自学, 在每章之后分别设计了复习思考题、习题或课程设计作业。因此, 内容新颖, 完整精练, 实用性强是本书的特点。

本教材以必需精要为度, 力求针对性、适应性和实用性, 兼顾系统性和完整性。基本概念清晰准确, 基本理论简明扼要, 设计计算步骤齐全, 举例翔实符合工程要求, 反映新材料、新技术、新理论、新标准和新规范, 满足应用型高等专门人才培养要求的需要。

本书由太原大学陈东佐教授任主编, 邢台职业技术学院郭长辉副教授任副主编。参加编写的有太原大学任晓菲高级工程师和邢台职业技术学院张广峻讲师。全书内容共分八章, 其中, 第一、第三、第四章由陈东佐编写; 第二章和附录由任晓菲编写; 第五、六章由郭长辉编写; 第七、八章由张广峻编写。

本书由太原理工大学梁仁旺教授主审, 梁老师审稿认真仔细, 提出了许多中肯的意见, 谨此表示衷心感谢。太原大学黄海波老师对书中的全部插图作了电脑修正与处理, 一并在在这里致谢。

由于成书时间仓促和编者水平所限, 因此, 对书中的缺点和不妥之处, 恳请读者在使用过程中给予指正并提出宝贵意见。

编 者

2004 年 5 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 概述	1
第一节 钢结构的类型及组成	1
第二节 钢结构的特点及应用	4
第三节 钢结构的设计方法	8
第四节 钢结构的发展	15
第五节 《钢结构》课程的任务、内容、特点及学习方法	22
思考题	23
第二章 钢结构的材料及其性能	24
第一节 钢结构对所用钢材的要求	24
第二节 建筑钢材的两种破坏形式	25
第三节 建筑钢材的主要性能及其质量控制	25
第四节 影响钢材性能的主要因素	30
第五节 钢材在多轴应力作用下的工作性能	37
第六节 钢材的疲劳	39
第七节 钢材的品种与选用	44
思考题	51
第三章 钢结构的连接	52
第一节 钢结构的连接方法	52
第二节 焊接连接的特性和焊缝质量等级	55
第三节 对接焊缝的构造和计算	62
第四节 角焊缝的构造和计算	70
第五节 焊接残余应力和残余变形	83
第六节 普通螺栓连接的构造和计算	87
第七节 高强度螺栓连接的构造和计算	100
第八节 螺栓数目的增加	109
思考题	109
习题	110
第四章 受弯构件	113
第一节 受弯构件的类型和应用	113
第二节 梁的强度	115
第三节 梁的刚度	119
第四节 梁的整体稳定	120

第五节	型钢梁的截面选择	126
第六节	组合梁截面设计	129
第七节	梁截面沿长度的改变	135
第八节	梁的局部稳定和加劲肋设计	138
第九节	组合梁腹板考虑屈曲后强度的设计	150
第十节	梁的拼接	156
第十一节	主梁与次梁的连接	160
第十二节	钢—混凝土组合梁简介	162
	思考题	164
	习题	164
第五章	轴心受力构件	166
第一节	轴心受力构件的截面形式与应用	166
第二节	轴心受力构件的强度和刚度	167
第三节	轴心受压构件的整体稳定	169
第四节	轴心受压构件的局部稳定	173
第五节	实腹式轴心受压构件的截面设计	175
第六节	格构式轴心受压构件的截面设计	179
第七节	轴心受压柱的柱头和柱脚	185
	思考题	189
	习题	190
第六章	拉弯、压弯构件	191
第一节	拉弯、压弯构件的截面形式及应用	191
第二节	拉弯、压弯构件的强度和刚度	192
第三节	实腹式压弯构件的整体稳定	196
第四节	压弯构件的计算长度	199
第五节	实腹式压弯构件的局部稳定	202
第六节	实腹式压弯构件的截面设计	204
第七节	格构式压弯构件的截面设计	207
第八节	压弯构件的柱脚设计	210
	思考题	212
	习题	212
第七章	单层厂房钢屋盖结构	214
第一节	单层厂房结构的组成与布置	214
第二节	屋盖结构的支撑体系	217
第三节	屋架的形式及尺寸	220
第四节	屋架的杆件设计	223
第五节	屋架的节点设计	230
第六节	钢屋架施工图	237
第七节	钢屋架设计实例	238

思考题.....	250
课程设计作业.....	251
第八章 轻型门式刚架结构	252
第一节 轻型门式刚架的特点及适用范围.....	252
第二节 轻型门式刚架的结构形式及有关要求.....	253
第三节 轻型门式刚架的计算模型与计算理论简介.....	256
第四节 轻型门式刚架的作用效应.....	258
第五节 轻型门式刚架设计简介.....	262
第六节 轻型门式刚架构件设计实例.....	280
思考题.....	292
第九章 钢结构制作与安装	293
第一节 钢结构制作.....	293
第二节 钢结构安装.....	305
思考题.....	325
附录	326
附录 1 钢材的化学成分和机械性能.....	326
附录 2 疲劳计算的构件和连接分类.....	327
附录 3 型钢规格表.....	330
附录 4 钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值.....	345
附录 5 螺栓及锚栓规格.....	347
附录 6 梁的整体稳定系数 φ_b 和整体稳定等效临界弯矩系数 β_b	348
附录 7 截面塑性发展系数 γ_x 、 γ_y	349
附录 8 轴心受压构件的截面分类.....	351
附录 9 轴心受压构件的稳定系数.....	353
附录 10 框架柱的计算长度系数.....	355
附录 11 各种截面回转半径的近似值.....	357
参考文献	358

第一章 概 述

提 要

本章讲述钢结构的类型及组成、特点及应用范围;简要介绍我国钢结构设计规范的历史沿革,重点介绍钢结构的极限状态和2003年颁布的新版《钢结构设计规范》的设计方法,以及当前钢结构的发展方向;并对钢结构课程的学习方法进行讨论。通过本章的学习,要求了解我国钢结构设计规范的历史沿革及钢结构的发展方向;熟悉钢结构的类型及组成;掌握钢结构的特点、应用范围以及新版《钢结构设计规范》的设计方法。

第一节 钢结构的类型及组成

在土木工程中,钢结构有着广泛的应用。由于使用功能及结构组成方式不同,钢结构种类繁多,形式各异。例如房屋建筑中,有大量的钢结构厂房、高层钢结构建筑、大跨度钢网架建筑、悬索结构建筑等。在公路及铁路上有各种形式的钢桥,如板梁桥、桁架桥、拱桥、悬索桥、斜张桥等。钢塔及钢桅杆则广泛用作输电线塔、电视广播发射塔。此外,还有海上采油平台钢结构、卫星发射钢塔架等。

所有这些钢结构尽管用途、形式各不相同,但它们都是由钢板和型钢经过加工,制成各种基本构件,如拉杆(有时还包括钢索)、压杆、梁、柱及格架等,然后将这些基本构件按一定方式通过焊接和螺栓连接组成结构。钢结构的组成形式多种多样。这里仅结合单层与多层房屋对结构组成原理做一些简要分析。

一、单层房屋钢结构

单层房屋钢结构的特点是荷载以重力作用为主,水平力如风力和吊车制动力一般属于次要荷载,地震荷载在多数情况下也不起控制作用。对于这类结构,传统的做法是形成一系列竖向的平面承重结构,并用纵向构件和支撑构件把它们连成空间整体。这些构件也同时起承受和传递纵向水平荷载的作用。

单层房屋钢结构的结构体系可分为平面结构体系和空间结构体系。

(一) 平面结构体系

平面结构体系的特点是结构由承重体系及附加构件两部分组成,其中承重体系是一系列相互平行的平面结构,结构平面内的垂直和横向水平荷载由它承担,并在该结构平面内传递到基础。附加构件(纵向构件及支撑)的作用是将各个平面结构连成整体,同时也承受结构平面外的纵向水平荷载。图1-1是一个单层房屋钢结构组成的示意图。图中屋盖桁架和柱组成一系列的平面承重结构[图1-1(a)],主要承受重力荷载和横向水平荷载。这些平面承重结构又用纵向构件和各种支撑(如图中所示的上弦横向支撑、垂直支撑及柱间支撑等)连成一个空间整体[图1-1(b)],保证整个结构在空间各个方向都成为一个几何不变体系。

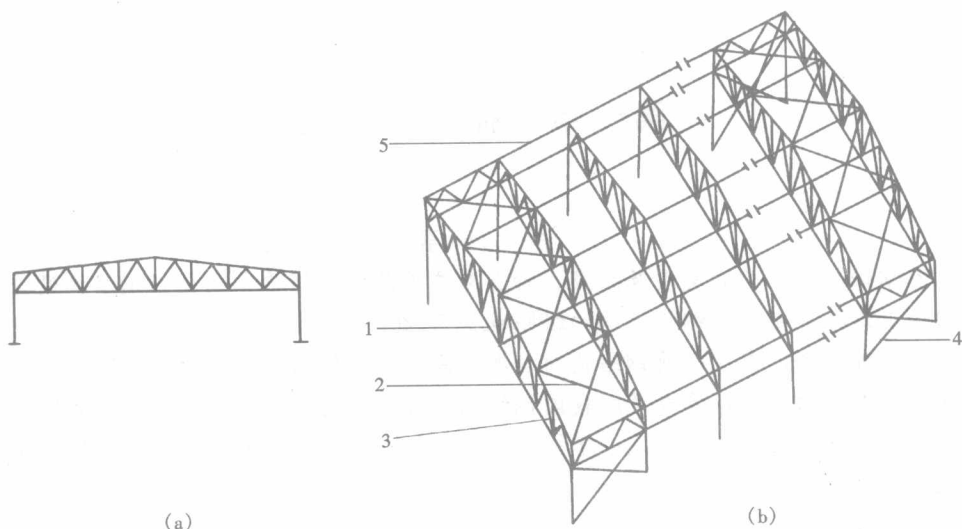


图 1-1 单层房屋钢结构组成示例

(a) 平面承重结构; (b) 空间整体结构

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

单层房屋的平面承重结构除用如图 1-1 所示由桁架和柱组成之外, 还可以由实腹的梁和柱组成框架或拱。框架和拱可以做成三铰、二铰或无铰。跨度大的还可以用桁架拱。如图 1-2 所示。

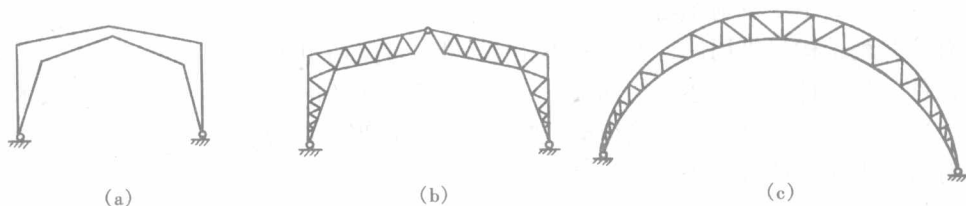


图 1-2 几种平面承重结构的形式

(a) 两铰刚架; (b) 三铰桁架; (c) 两铰桁架拱

(二) 空间结构体系

当建筑物的长度和宽度尺寸接近, 或平面呈圆形时, 如果将各个承重构件自身组成为空间几何不变体系省去附加构件, 受力就更为合理。如图 1-3 (a) 所示平板网架屋盖结构。它由倒置的四角锥体组成, 锥底的四边为网架的上弦杆, 锥棱为腹杆, 连接各锥顶的杆件为下弦杆。屋架的荷载沿两个方向传到四边的柱上, 再传至基础, 形成一种空间传力体系, 因此这种结构也称为空间结构体系。这个平板网架中, 所有的构件都是主要承重体系的部件, 没有附加构件, 因此, 内力分布合理, 能节省钢材。如图 1-3 (b) 所示另一种空间结构体系——空间网壳圆屋顶。其特点是重量轻、覆盖面积大, 适合于平面为圆形或正多边形的建筑物。

二、多层房屋钢结构

多层房屋结构的特点是随着房屋高度增加, 水平风荷载 (以及地震荷载) 所起的作用越来越大。提高结构抵抗水平荷载的能力以及控制水平位移不要过大, 是这类房屋组成的主要

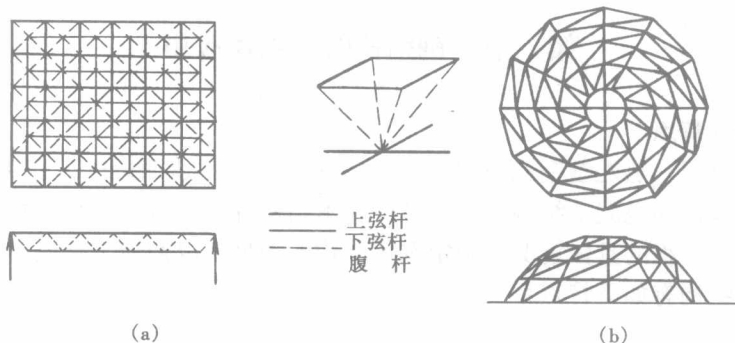


图 1-3 空间屋盖结构

(a) 平板网架屋盖结构; (b) 空间网壳圆屋顶

问题。一般多层钢结构房屋组成的体系主要有：①框架体系，即由梁和柱组成的多层多跨框架，如图 1-4 所示；②带支撑的框架体系，即在两列柱之间设置斜撑，形成竖向悬臂桁架，以便承受更大的水平荷载，如图 1-5 所示；③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 1-6 所示。

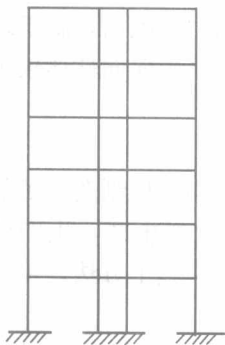


图 1-4 框架结构

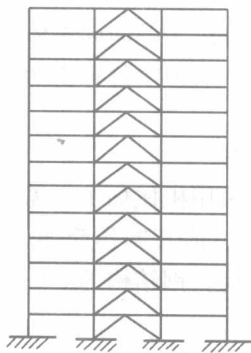


图 1-5 带支撑的框架结构

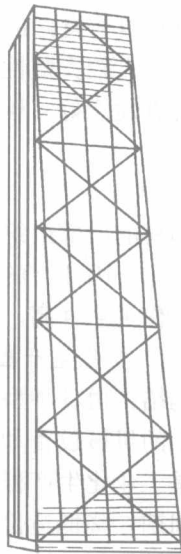


图 1-6 钢支撑筒结构

综上所述，钢结构的组成应满足结构使用功能的要求，结构应形成空间整体（几何不变体系），才能有效而经济地承受荷载，同时还要考虑材料供应条件及施工方便等因素。

本节仅对单层及多层房屋的钢结构组成作了一些简单介绍，但是其他结构如桥梁、塔架等同样也应遵循这些原则。同时，我们还应看到，随着工程技术不断发展，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。

第二节 钢结构的特点及应用

一、钢结构的特点

钢结构是用钢板、热轧型钢或冷加工成型的薄壁型钢制造而成的。在土木建筑工程中,除钢结构外,还有钢筋混凝土结构、砌体结构、木结构等。在进行工程规划时,要根据各类结构的特点,结合工程的具体情况来确定选用结构的类型,以便使工程设计经济合理。与其他结构相比,钢结构有如下特点:

1. 强度高,自重小

钢材的重度虽然比钢筋混凝土、砌体及木材大,但因其强度和弹性模量要比后者高出很多倍,因此在承载力相同的条件下,钢结构的自重比其他结构要小。例如在跨度和荷载都相同时,普通钢屋架的重量只有钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$,若采用薄壁型钢屋架则更轻,只有 $1/10$ 。由于结构自重小,就可以承担更多的外加荷载,跨越更大的跨度。自重小也便于运输和吊装,例如,交通不便、取材困难的边远山区,修建公路或输电工程时,常常考虑运输方便而选用钢材或钢制输电线塔架。强度高、自重小还会带来较好的综合效益,例如,由于自重小,钢结构的地基基础费用相对较省;由于强度高,构件的截面相对较小,可增加有效使用面积;与混凝土结构相比,采用热轧 H 型钢的钢结构有效使用面积可增加 $4\% \sim 6\%$ 。

2. 塑性、韧性好

钢材具有良好的塑性,钢结构在一般情况下不会因偶然局部超载而发生突发性破坏,而是在事先有较大塑性变形作为预兆。此外,钢材还具有良好的韧性,对动力荷载的适应性强,抗震性能好。国内外大量的地震调查表明,各类结构中钢结构在地震中所受的损害最小。

3. 材质均匀,工作可靠性高

钢材的内部组织比较均匀,非常接近于各向同性体,且在一定的应力范围内,属于理想弹性工作,因此它的实际工作情况与一般力学计算中所假定的材料为匀质各向同性体较为符合,工作可靠性高。

4. 工业化生产程度高,施工速度快

钢结构由各种型材和钢板组成,采用机械加工,需在专业化的钢结构工厂制造。虽然有较复杂的机械设备和严格的工艺要求,但其制作简便,精确度高,能批量生产,生产效率高,是工业化生产程度最高的一种结构。钢结构的工厂制作、工地安装的施工方法,可缩短施工周期,降低造价,提高经济效益。

钢结构的工地拼装常用螺栓连接,不仅施工快速、方便,对已建成的钢结构也易于拆卸、加固或改建。此外钢结构工程主要是干作业,能改善施工环境,有利于文明施工。

5. 密闭性好

钢材组织非常密实,采用焊接连接可做到完全密封,一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库、煤气罐、输送管道等板壳结构,最适宜采用钢结构。

6. 有利于保护环境、节约资源

采用钢结构可大大减少砂、石、灰的用量,减轻对不可再生资源的破坏。钢结构拆除后可回炉再生循环利用,有的还可以搬迁复用,可大大减少建筑垃圾。工程资料表明,一吨钢

结构可减少 7 吨混凝土用量, 因此采用钢结构有利于保护环境、节约资源。

7. 耐热性能好, 但耐火性能差

钢材在常温至 200°C 以内性能变化不大, 但超过 200°C , 钢材的强度及弹性模量将随温度升高而大大降低, 到 600°C 时就完全失去承载能力。另外钢材导热性很好, 局部受热 (如发生火灾) 也会迅速引起整个结构升温, 危及结构安全。因此, 钢结构的防火性较钢筋混凝土结构差, 一般用于温度不高于 250°C 的场所。

当钢结构表面长期受高温辐射达 150°C 以上, 或短时间内可能受到火焰作用, 或可能受到炽热熔化金属喷溅, 以及可能遭受火灾袭击时, 就应采取有效的防护措施, 如用耐火材料做成隔热层等。有特殊防火要求的建筑, 钢结构更需要用耐火材料围护, 对于钢结构住宅或高层建筑钢结构, 应根据建筑物的重要性等级和防火规范加以特别处理。

8. 耐腐蚀性差

钢材在潮湿的环境中易于锈蚀, 处于有腐蚀性介质的环境中更易生锈, 据有关资料估算, 约有 $10\%\sim 12\%$ 的钢材损耗是属于锈蚀损耗, 因此, 钢结构必须进行防锈处理。钢结构的防护可采用油漆、热浸锌或热喷涂铝 (锌) 复合涂层。但这种防护并非一劳永逸, 需相隔一段时间重新维修, 因而其维护费用较高。

目前国内外正发展不易锈蚀的耐候钢。实践证明, 含磷、铜的稀土钢, 其强度、耐蚀性均优于常用的 Q235 钢。此外, 长效油漆的研究也取得进展, 使用这种防护措施可延长钢结构寿命, 节省维护费用。

此外, 还应注意使结构经常处于清洁和干燥的环境中, 保持通风良好, 及时排除侵蚀性气体和湿气。设计选用的结构构件截面形式及构造方式应有利于防锈, 尽量避免出现难于检查、清刷和油漆之处, 以及能积留湿气和大量灰尘的死角和凹槽。闭口截面应沿全长和端部焊接封闭。平时应加强维护, 及时进行清灰、清污工作。

二、钢结构的应用范围

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性, 还和钢材供应情况密切相关。从建国初到 20 世纪 90 年代中期, 钢结构的应用经历了一个“节约钢材、少用钢材”阶段, 即在土建工程中钢结构只用在钢筋混凝土不能替代的地方。原因是钢材短缺, 1949 年全国钢产量只有十几万吨, 虽然大力发展钢铁工业, 钢产量一直跟不上社会主义建设宏大规模的要求。直到 1996 年钢产量突破 1 亿吨, 局面才得到根本改变, 钢结构的技术政策改成“合理使用钢材”。此后, 钢结构在土建工程中的应用日益扩展。目前钢结构在我国工程中的应用范围大致如下 (图 1-7~图 1-13):

1. 重型工业厂房结构

冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混铁炉车间, 重型机器制造厂的铸钢车间、锻压车间, 造船厂的船台车间, 飞机制造厂的装配车间等均属



图 1-7 高层钢结构建筑

重型厂房。所谓“重”，就是这类厂房的吊车起重量大（常在 100t 以上，有的达到 440t），且操作频繁，动载影响大，主要承重骨架及吊车梁大多采用钢结构。我国几个著名的钢都——首钢、鞍钢、武钢、包钢以及上海的宝钢都有各种规模的钢结构厂房。

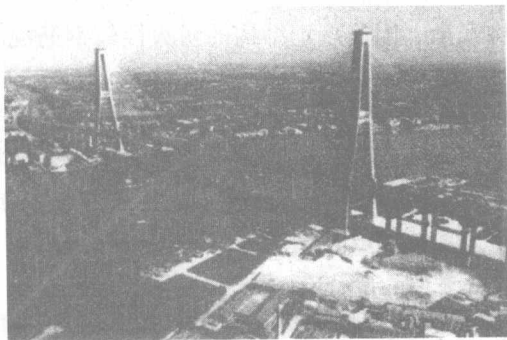


图 1-8 斜拉桥

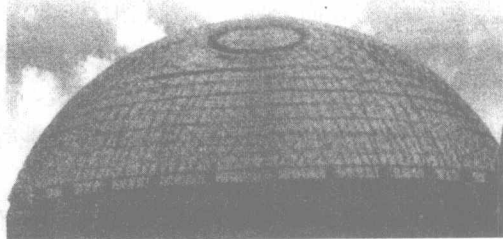


图 1-9 穹顶结构

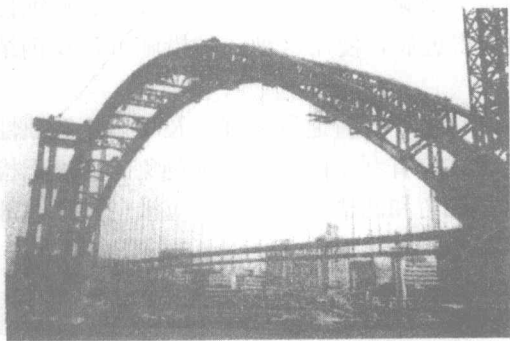


图 1-10 钢拱桥

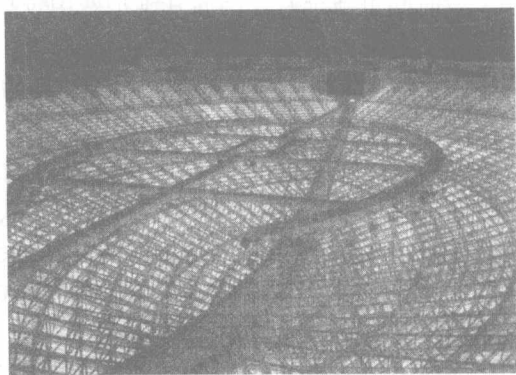


图 1-11 杂交结构

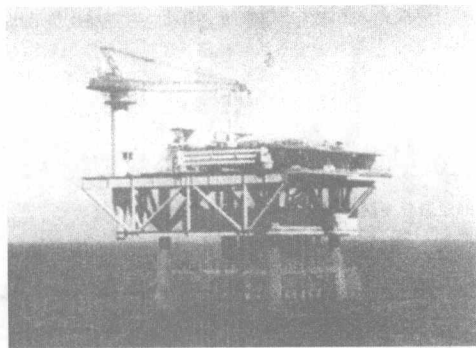


图 1-12 海上采油平台

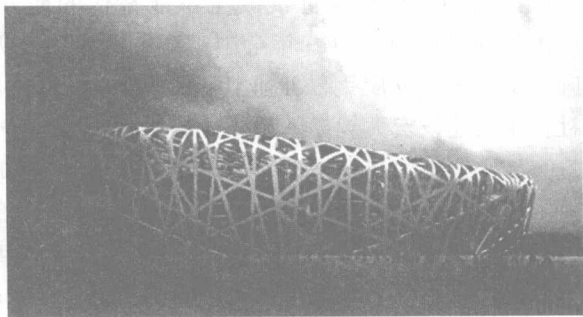


图 1-13 国家体育馆

2. 大跨度结构

大跨度结构减轻横梁自重会有明显的经济效果，轻质高强的钢结构能达到此目的。属于

大跨度结构的有飞机库、汽车库、火车站、会议厅、体育馆、展览馆、影剧院等。其结构体系主要有框架结构、拱式结构、网架结构、悬索结构、悬挂结构、预应力钢结构等。

近年来大跨度结构发展很快,首都机场和上海浦东机场都建有大跨度网架机库,遍布各地的体育馆几乎都是各种结构形式的大跨度钢结构。国家体育场工程主体钢结构形成整体的巨型空间马鞍椭圆形钢桁架编织式“鸟巢”结构,为特级体育建筑,是超大跨度的钢结构,其南北长 333m、东西宽 294m,高 69m,钢结构总用钢量为 4.2 万吨。混凝土看台分为上、中、下三层,看台混凝土结构为地下 1 层,地上 7 层的钢筋混凝土框架—剪力墙结构体系。钢结构与混凝土看台上部完全脱开,互不相连,形式上呈相互围合,基础则坐在一个相连的基础底板上。国家体育场屋顶钢结构上覆盖了双层膜结构,即固定于钢结构上弦之间的透明的上层 ETFE 膜和固定于钢结构下弦之下及内环侧壁的半透明的下层 PTFE 声学吊顶。

3. 多层和高层建筑结构

建筑物采用钢结构,由于结构自重轻、强度高,结构构件截面积小,可以获得较大的建筑空间,同时抗震性能好、工期短、施工方便,对高层建筑的修建极为有利。因此旅馆、饭店、公寓、办公大楼等多层及高层建筑采用钢结构的越来越多,如北京京伦饭店、上海锦江宾馆、深圳地王大厦等都是著名的高层钢结构建筑。上海浦东 88 层的金茂大厦其高度为 420.5m,是目前中国最高的钢结构建筑。

不仅高层、超高层建筑采用钢结构,甚至 12~16 层小高层建筑,6~8 层多层建筑,也有采用钢结构或薄壁钢管混凝土结构的趋势。如 2002 年 11 月 11 日封顶的位于北京西城区金融街的金宸公寓。金宸公寓的 3[#] 楼和 4[#] 楼为两栋 13 层钢结构体系板楼,楼宇的外墙均为 150 毫米厚板材。

4. 高耸结构

高耸结构包括电视塔、微波塔、通讯塔、输电线路塔、石油化工塔、大气监测塔、火箭发射塔、旅游瞭望塔、钻井塔、水塔、烟囱等。这类结构的特点是高度大,主要承受风荷载。采用钢结构,自重轻,对运输及安装有利。同时还因材料强度高,所需构件截面小,可以减小风荷载,能取得较好的经济效益。钢结构在塔桅结构中应用较多,如上海、广州、汕头等地的钢结构电视塔,高度均在 200m 以上。北京环境气象塔是高达 325m 的 5 层拉线钢桅杆结构。黑龙江电视塔高达 336m。上海的东方明珠电视塔是我国目前最高的钢结构多功能电视塔,高度达 468m。通讯塔和输电塔是量大而面广的高耸结构,随着信息和电力的开发,这种高度 50m 左右的钢塔将遍布神州大地。

5. 挡水结构、贮罐、容器及大直径管道

由于钢材易于制成不渗漏的密闭结构,故常用于水工建筑中的挡水闸门、大型油库、气罐、煤气柜、输油管道、煤气管道以及各种容器等。

6. 轻型钢结构

轻型钢结构通常指由圆钢、小角钢、薄壁型钢或薄钢板焊接而成的结构。中小型房屋建筑、体育场看台雨篷、小型仓库等多采用轻型钢结构。这种结构以门式刚架轻型房屋钢结构应用最多。其特点是把屋面结构和屋盖承重结构合二为一,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、墙架梁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)。轻型钢结构的优点是自重轻,造价低,生产制作工厂化程度高,现场安装工作量小,建设速度快,同时外形

美观,内部空旷,建筑面积及空间利用率高,因此在建筑市场极具竞争力。近几年来轻型钢结构在我国发展很快,其应用范围已从工业厂房、仓库、体育场馆等向住宅、别墅发展。

7. 桥梁钢结构

桥梁钢结构越来越多,特别是中等跨度和大跨度的斜拉桥。例如,上海两座著名的大桥—南浦大桥、杨浦大桥(主跨 602m),长江下游的江阴大桥(采用悬索桥,跨长 1385m),近年建成的铁路公路两用双层九江大桥等。

8. 可以拆卸和搬迁的结构

钢结构因为可以采用螺栓连接,拆卸搬迁方便,且强度高,结构自重相对较轻,韧性好,因此,升船机、桥式吊车和各种塔式起重机、龙门起重机、缆索起重机等,商业、旅游业和建筑工地的活动房屋,如流动展览馆、移动式混凝土搅拌站、施工临时用的房屋都是采用钢结构。

9. 钢—混凝土组合结构

充分利用钢材与混凝土各自材料性能的优势,将它们组合成各种构件,可以取得较好的技术经济效益。如钢—混凝土组合梁、钢管混凝土柱等,这类结构在房屋及桥梁建筑中应用很广。

第三节 钢结构的设计方法

和其他结构设计一样,在进行钢结构设计时,必须满足一般的设计准则,即:使所建造的结构在规定的设计使用年限内能充分满足各种预定的功能要求,并在此基础上做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。

一、建筑结构的函数要求和可靠度

(一) 建筑结构的函数要求

建筑结构的函数要求按《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)(简称《统一标准》)的规定为:

(1) 安全性。结构能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用(包括直接施加在结构上的各种荷载,或引起结构外加变形或约束变形的其他间接作用,如地震、温度变化等)和在设计规定的偶然事件发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性,如仅产生局部损坏而不致倒塌。

(2) 适用性。在正常使用时具有良好的工作性能,如不产生影响正常使用的过大变形等。

(3) 耐久性。结构在正常维护下具有足够的耐久性能,如不产生影响结构预期使用寿命的严重锈蚀等。

(二) 结构的可靠性和可靠度

结构函数要求规定的安全性、适用性和耐久性三者总括起来,可称为结构的可靠性。也可以说结构的可靠性是关于三者的总称,是指结构在规定的时间(即规定的设计使用年限。《统一标准》规定:临时性结构 5 年,易于替换的结构构件 25 年,普通房屋和构筑物 50 年,纪念性建筑和特别重要的建筑结构 100 年)内、在规定的条件(正常设计、正常施工、正常使用)下完成预定功能(安全性、适用性、耐久性)的能力。

用来度量结构可靠性的指标称为可靠度，它表示可靠程度的大小，是可靠性的定量描述，它直接关系到人身安全和经济效益等问题。

影响结构可靠性的因素很多，如荷载、材料性能、施工质量和计算方法等。而这些因素一般又都是随机变量，在设计时对其数据的取值与结构的实际状况常有一定的出入，例如：荷载采用的计算值和结构实际承受的数值不可能完全一致；钢材机械性能的取值和材料的实际数值也不会完全相同；其他还有计算截面和实际截面尺寸之间、计算所得应力和结构实际应力数值之间，以及预计的制造、安装质量和实际的工程质量之间等，都会存在一定的差异。而且这些因素都是随机的，不能事先确定，故较科学的方法是用概率来描述。

因此，结构可靠度可定义为“结构在规定的时间内、在规定的条件下，完成预定功能的概率”，它是对结构可靠性的概率度量，是从统计数学观点出发的比较科学的定义。

二、钢结构的极限状态

(一) 建筑结构极限状态的概念

当整个结构或结构的一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，这个特定状态称为该功能的极限状态。换言之，结构的极限状态系指结构或构件能满足设计规定的某一功能要求的临界状态。

根据功能要求，结构的极限状态可分为下列两类：一是承载能力极限状态；二是正常使用极限状态。

1. 承载能力极限状态

它是对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或结构构件出现下列状态之一时，即认为达到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) 结构构件或连接因应力超过材料强度的限值而破坏，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，如屈曲等。

当整个结构或部分结构构件达到承载能力极限状态时，结构即将破坏。

2. 正常使用极限状态

这种状态是指结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值时的极限状态。当达到此限值时，虽然结构或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。

结构或结构构件出现下列状态之一时，即认为达到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。

当达到正常使用极限状态时，结构或部分结构便会不适于正常使用，但并不一定马上产生破坏。

(二) 钢结构的极限状态

和其他建筑结构一样，钢结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两