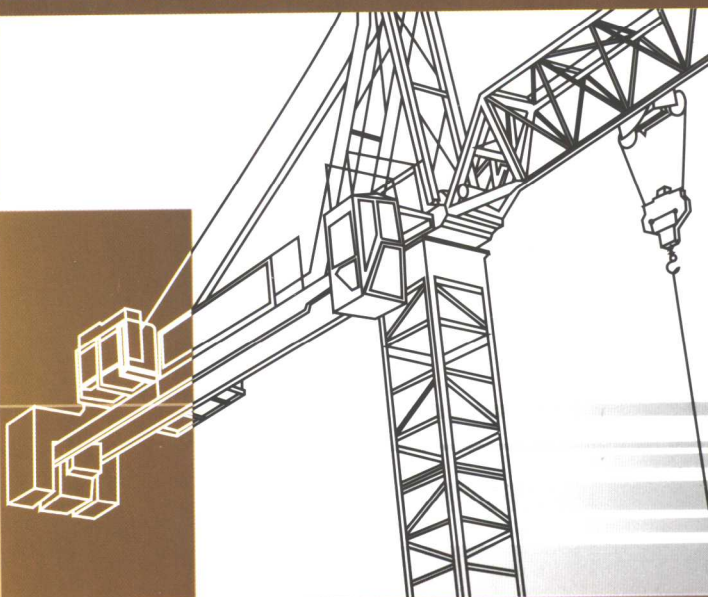




21st CENTURY  
实用规划教材

21世纪全国应用型本科 **土木建筑系列** 实用规划教材

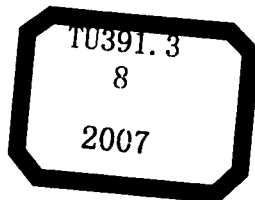


# 钢结构设计原理

主 编 石建军 姜 袁  
副主编 任森智 常积玉



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

# 钢结构设计原理

主 编	石建军	姜 袁
副主编	任森智	常积玉
参 编	陈文昭	唐 剑
	胡军安	孙 冰
	何 建	



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业学生的基本要求和审定的教学大纲以及(GB 50017—2003)《钢结构设计规范》编写。全书共分为9章,包括绪论,钢结构材料,受拉构件及索,轴心受压构件,受弯构件,压弯构件,钢结构的连接,单层厂房钢结构,钢桁架及屋盖结构。各章除附有思考题或习题外,还附有教学提示和教学目标,以利于基本理论和设计方法的学习与掌握。

本书可供大专院校土木工程专业学生、教师使用,也可作为相关专业的设计和施工技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理/石建军,姜袁主编. —北京:北京大学出版社,2007.2

(21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-10755-3

I. 钢… II. ①石… ②姜… III. 钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第057965号

书 名: 钢结构设计原理

著作责任者: 石建军 姜 袁 主编

策划编辑: 吴 迪

责任编辑: 刘 丽

标准书号: ISBN 978-7-301-10755-3/TU·0041

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 21.75印张 498千字

2007年2月第1版 2007年2月第1次印刷

定 价: 32.00元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

## 21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

### 专家编审委员会

主 任 彭少民

副主任 (按拼音顺序排名)

陈伯望 金康宁 李 忱 李 杰

罗迎社 彭 刚 许成祥 杨 勤

俞 晓 袁海庆 周先雁 张俊彦

委 员 (按拼音顺序排名)

邓寿昌 付晓灵 何放龙 何培玲

李晓目 李学罡 刘 杰 刘建军

刘文生 罗 章 石建军 许 明

严 兵 张泽平 张仲先

# 丛书总序

我国高等教育发展迅速,全日制高等学校每年招生人数至2004年已达到420万人,毛入学率19%,步入国际公认的高等教育“大众化”阶段。面临这种大规模的扩招,教育事业的发展与改革坚持以人为本的两个主体:一是学生,一是教师。教学质量的提高是在这两个主体上的反映,教材则是两个主体的媒介,属于教学的载体。

教育部曾在第三次新建本科院校教学工作研讨会上指出:“一些高校办学定位不明,盲目追求上层次、上规格,导致人才培养规格盲目拔高,培养模式趋同。高校学生中‘升本热’、‘考硕热’、‘考博热’持续升温,应试学习倾向仍然比较普遍,导致各层次人才培养目标难于全面实现,大学生知识结构不够合理,动手能力弱,实际工作能力不强。”而作为知识传承载体的教材,在高等教育的发展过程中起着至关重要的作用,但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐,许多应用型本科院校一直沿用偏重于研究型的教材,缺乏针对性强的实用教材。

近年来,我国房地产行业已经成为国民经济的支柱产业之一,随着本世纪我国城市化的大趋势,土木建筑行业对实用型人才的需求还将持续增加。为了满足相关应用型本科院校培养应用型人才的教學需求,从2004年10月北京大学出版社第六事业部就开始策划本套丛书,并派出十多位编辑分赴全国近三十个省份调研了两百多所院校的课程改革与教材建设的情况。在此基础上,规划出了涵盖“大土建”6个专业——土木工程、工程管理、建筑学、城市规划、给排水、建筑环境与设备工程的基础课程及专业主干课程的系列教材。通过2005年1月份在湖南大学的组稿会和2005年4月份在三峡大学的审纲会,在来自全国各地几十所高校的知名专家、教授共同努力下,不但成立了本丛书的编审委员会,还规划出了首批包括土木工程、工程管理及建筑环境与设备工程等专业方向的四十多个选题,再经过各位主编老师和参编老师的艰苦努力,并在北京大学出版社各级领导的关心和第六事业部的各位编辑辛勤劳动下,首批教材终于2006年春季学期前夕陆续出版发行了。

在首批教材的编写出版过程中,得到了越来越多的来自全国各地相关兄弟院校的领导和专家的大力支持。于是,在顺利运作第一批土建教材的鼓舞下,北京大学出版社联合全国七十多家开设有土木建筑相关专业的高校,于2005年11月26日在长沙中南林业科技大学召开了《21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》(第二批)组稿会,规划了①建筑学专业;②城市规划专业;③建筑环境与设备工程专业;④给排水工程专业;⑤土木工程专业中的道路、桥梁、地下、岩土、矿山课群组近六十个选题。至此,北京大学出版社规划的“大土木建筑系列教材”已经涵盖了“大土建”的6个专业,是近年来全国高等教育出版界唯一一套完全覆盖“大土建”6个专业方向的系列教材,并将于2007年全部出版发行。

我国高等学校土木建筑专业的教育,在国家教育部和建设部的指导下,经土木建筑专业指导委员会六年来的研讨,已经形成了宽口径“大土建”的专业发展模式,明确了土木建筑专业教育的培养目标、培养方案和毕业生基本规格,从宽口径的视角,要求毕业生能

从事土木工程的设计、施工与管理的工作。业务范围涉及房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程与桥梁、矿山建筑等，并且制定一整套课程教学大纲。本系列教材就是根据最新的培养方案和课程教学大纲，由一批长期在教学第一线从事教学并有多年工程经验和丰富教学经验的教师担任主编，以定位“应用型人才培养”为目标而编撰，具有以下特点：

(1) 按照宽口径土木工程专业培养方案，注重提高学生综合素质和创新能力，注重加强学生专业基础知识和优化基本理论知识结构，不刻意追求理论研究型教材深度，内容取舍少而精，向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展。

(2) 在理解土木工程相关学科的基础上，深入研究各课程之间的相互关系，各课程教材既要反映本学科发展水平，保证教材自身体系的完整性，又要尽量避免内容的重复。

(3) 培养学生，单靠专门的设计技巧训练和运用现成的方法，要取得专门实践的成功是不够的，因为这些方法随科学技术的发展经常改变。为了了解并和这些迅速发展的方法同步，教材的编撰侧重培养学生透析理解教材中的基本理论、基本特性和性能，又同时熟悉现行设计方法的理论依据和工程背景，以不变应万变，这是本系列教材力图涵盖的两个方面。

(4) 我国颁发的现行有关土木工程类的规范及规程，系1999年—2002年完成的修订，内容有较大的取舍和更新，反映了我国土木工程设计与施工技术的发展。作为应用型教材，为培养学生毕业后获得注册执业资格，在内容上涉及不少相关规范条文和算例。但并不是规范条文的释义。

(5) 当代土木工程设计，越来越多地使用计算机程序或采用通用性的商业软件，有些结构特殊要求，则由工程师自行编写程序。本系列的相关工程结构课程的教材中，在阐述真实结构、简化计算模型、数学表达式之间的关系的基础上，给出了设计方法的详细步骤，这些步骤均可容易地转换成工程结构的流程图，有助于培养学生编写计算机程序。

(6) 按照科学发展观，从可持续发展的观念，根据课程特点，反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺，以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容，尽最大可能在教材中增加了这方面的信息量。同时考虑开发音像、电子、网络等多媒体教学形式，以提高教学效果和效率。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

本系列教材配套的PPT电子教案以及习题答案在出版社相关网站上提供下载。

《21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006年1月

# 前 言

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业学生的基本要求和审定的教学大纲,并结合北京大学出版社 21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材要求编写的,是普通高等院校土木工程专业的专业课教材。本书按照国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003),并在总结编者多年从事钢结构课程教学的经验的基础上,全面、系统地介绍了钢结构设计的基本原理和概念。全书分为绪论,钢结构材料,受拉构件及索,轴心受压构件,受弯构件,压弯构件,钢结构的连接,单层厂房钢结构,钢桁架及屋盖结构,共 9 章。各章均含有大量图片及典型例题,并附有教学提示和教学目标。其内容涉及土木工程专业所覆盖的房屋建筑、地下建筑、隧道、道路、桥梁、矿井等工程领域对钢结构基础知识的要求;全书有利于学生对钢结构基本理论和设计方法的学习和掌握,并使之能灵活运用。

本书内容新颖、实用,参照引用了与钢结构设计、施工和材料等相关的最新规范、规程和标准,并给出了大量与工程应用相关的设计实例。本书既可作为土木工程专业的专业课教材,也可作为从事钢结构设计、制作和施工的工程技术人员的参考书。

本书由南华大学石建军教授和三峡大学姜袁副教授主编。第 1 章由南华大学孙冰编写,第 2 章和第 9 章由三峡大学姜袁编写,第 3 章由湖北工业大学胡军安编写,第 4 章由江西科技师范学院唐剑编写,第 5 章由南华大学何建、陈文昭编写,第 6 章由山西大学常积玉编写,第 7 章由南华大学石建军、陈文昭编写,第 8 章由中南林业科技大学任森智编写,附录由南华大学陈文昭编写。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007 年 1 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 钢结构的特点及应用.....	1
1.1.1 钢结构的特点.....	1
1.1.2 钢结构的应用.....	2
1.2 钢结构发展的历史、现状和趋势.....	3
1.3 钢结构的构件组成和主要结构形式.....	4
1.3.1 钢结构的构件组成.....	4
1.3.2 钢结构的主要结构形式.....	4
1.4 钢结构的计算方法.....	7
1.4.1 概述.....	7
1.4.2 概率极限状态设计方法.....	8
1.4.3 设计表达式.....	11
思考题.....	13
<b>第 2 章 钢结构材料</b> .....	14
2.1 钢结构对材料性能的要求.....	14
2.2 钢结构的力学性能和破坏形式.....	14
2.2.1 钢结构在单向均匀拉力 作用下的性能.....	14
2.2.2 钢材的强度.....	16
2.2.3 钢材的塑性.....	16
2.2.4 钢材的冷弯性能.....	17
2.2.5 钢材的冲击韧性.....	17
2.2.6 钢材的焊接性能.....	18
2.2.7 钢材的破坏形式.....	18
2.3 影响钢材性能的主要因素.....	18
2.3.1 化学成分的影响.....	18
2.3.2 成材过程中的影响.....	20
2.3.3 残余应力的影响.....	21
2.3.4 应力集中的影响.....	21
2.3.5 钢材的冷作硬化和时效.....	22
2.3.6 温度的影响.....	23
2.4 钢材的疲劳.....	24
2.4.1 疲劳强度.....	24
2.4.2 疲劳计算.....	25
2.5 钢结构用钢材的分类及钢材 的选用.....	26
2.5.1 建筑用钢结构的分类.....	26
2.5.2 钢材的选择.....	27
2.5.3 型钢的规格.....	28
思考题.....	30
<b>第 3 章 受拉构件及索</b> .....	31
3.1 受拉构件的可能破坏形式和 影响因素.....	31
3.2 轴心受拉构件的强度和长细比.....	31
3.2.1 轴心受拉构件的强度计算.....	31
3.2.2 轴心受拉构件的长细比.....	33
3.3 拉弯构件的强度和变形.....	34
3.3.1 拉弯构件的强度.....	34
3.3.2 拉弯构件的刚度.....	36
3.4 索的力学性质和分析方法.....	37
3.4.1 截面形式.....	37
3.4.2 单索的受力分析.....	37
3.4.3 单索的简化计算.....	42
思考题.....	43
习题.....	43
<b>第 4 章 轴心受压构件</b> .....	45
4.1 轴心受压构件的强度和长细比.....	46
4.1.1 强度计算.....	46
4.1.2 刚度计算.....	48
4.2 轴心受压构件的整体稳定.....	52
4.2.1 理想轴心受压构件 的整体稳定性.....	52
4.2.2 影响轴心受压构件稳定 承载力的主要因素.....	55
4.2.3 实际轴心受压构件 的稳定曲线.....	58



4.2.4 轴心受压构件的整体 稳定计算方法 .....	61	失稳临界应力 .....	113
4.3 轴心受压构件的局部稳定 .....	66	5.6.2 保证构件局部稳定的设计 准则及防止构件局部失稳 的途径 .....	118
4.3.1 薄板临界力 .....	66	5.6.3 受弯构件腹板的 屈曲后强度 .....	123
4.3.2 轴心受压构件局部 稳定验算 .....	69	思考题 .....	128
4.4 轴心受压构件的截面设计 .....	75	习题 .....	128
4.4.1 实腹式轴心受压构件 的截面设计 .....	75	<b>第 6 章 压弯构件</b> .....	130
4.4.2 格构式轴心受压构件 的截面设计 .....	80	6.1 压弯构件的可能破坏形式和 影响因素 .....	130
思考题 .....	88	6.2 单向压弯构件的强度和刚度 .....	131
习题 .....	89	6.2.1 单向压弯构件的强度 .....	131
<b>第 5 章 受弯构件</b> .....	91	6.2.2 单向压弯构件的刚度 .....	131
5.1 受弯构件的可能破坏形式 和影响因素 .....	91	6.3 单向压弯构件的整体失稳 .....	131
5.1.1 截面强度破坏 .....	92	6.3.1 实腹式单向压弯构件 的整体稳定 .....	132
5.1.2 整体失稳 .....	93	6.3.2 格构式压弯构件的稳定 .....	138
5.1.3 局部失稳 .....	94	6.4 双向压弯构件的强度和刚度 .....	141
5.1.4 变形破坏 .....	95	6.4.1 双向压弯构件的强度 .....	141
5.2 受弯构件的强度和变形 .....	95	6.4.2 双向压弯构件的刚度 .....	141
5.2.1 梁的强度 .....	95	6.5 双向压弯构件的整体稳定 .....	141
5.2.2 梁的刚度 .....	100	6.6 压弯构件的局部稳定 .....	142
5.3 受弯构件的扭转 .....	102	6.6.1 受压翼缘宽厚比限值 .....	142
5.3.1 受弯构件截面的剪切中心 .....	102	6.6.2 腹板的高厚比限值 .....	143
5.3.2 受弯构件的扭转 .....	103	思考题 .....	145
5.4 单向受弯梁的整体稳定 .....	107	习题 .....	145
5.4.1 梁整体稳定的概念 .....	107	<b>第 7 章 钢结构的连接</b> .....	147
5.4.2 双轴对称工字形截面 简支梁纯弯作用下的 整体稳定 .....	107	7.1 钢结构连接方法 .....	147
5.4.3 单轴对称工字形截面 梁的整体稳定 .....	110	7.2 焊接连接的特性 .....	148
5.4.4 单向受弯梁的整体 稳定实用算法 .....	111	7.2.1 钢结构焊接方法 .....	148
5.5 双向受弯构件 .....	112	7.2.2 焊缝连接形式及焊缝形式 .....	150
5.6 受弯构件的局部稳定 .....	113	7.3 对接焊缝的构造和计算 .....	151
5.6.1 受弯构件中板件的局部		7.4 角焊缝的构造和计算 .....	157
		7.4.1 角焊缝的形式和构造要求 .....	157
		7.4.2 角焊缝的受力特点及强度 .....	160
		7.4.3 不焊透对接焊缝的计算 .....	175

7.5 焊接应力和焊接变形.....	176	8.3.1 单层钢结构厂房框架梁、 柱设计.....	222
7.5.1 焊接应力的分类和 产生原因.....	176	8.3.2 屋檩、墙梁及支撑设计.....	225
7.5.2 焊接应力对结构性能 的影响.....	177	8.3.3 单层钢结构厂房吊车梁 及牛腿设计.....	226
7.5.3 焊接变形.....	178	8.3.4 单层钢结构厂房节点设计.....	232
7.5.4 减少焊接应力和焊接 变形的措施.....	179	思考题.....	238
7.6 普通螺栓连接的构造和计算.....	180	习题.....	238
7.6.1 螺栓的排列和构造要求.....	180	<b>第 9 章 钢桁架及屋盖结构.....</b>	<b>240</b>
7.6.2 普通螺栓的工作性能和 计算.....	182	9.1 桁架及屋盖结构的组成及应用.....	240
7.6.3 高强度螺栓连接的 工作性能和计算.....	196	9.2 桁架及屋盖结构的结构分析.....	243
思考题.....	204	9.2.1 计算假定.....	243
习题.....	204	9.2.2 节点荷载计算.....	243
<b>第 8 章 单层厂房钢结构.....</b>	<b>208</b>	9.2.3 屋架杆件内力计算方法.....	244
8.1 单层钢结构厂房的组成和特点.....	208	9.3 屋架杆件的截面设计.....	245
8.1.1 单层钢结构厂房的组成.....	208	9.3.1 屋架杆件的计算长度.....	245
8.1.2 单层钢结构厂房 的分类与形式.....	210	9.3.2 屋架杆件的截面形式.....	246
8.1.3 单层钢结构厂房 的结构布置.....	211	9.3.3 垫板和节点板.....	247
8.1.4 单层钢结构厂房的特点.....	215	9.3.4 屋架杆件的截面选择.....	248
8.1.5 单层钢结构厂房 的设计步骤.....	215	9.3.5 屋架的节点设计.....	248
8.2 单层钢结构厂房的受力特点 与柱的计算长度.....	215	9.4 钢屋架的支撑.....	255
8.2.1 单层钢结构厂房 的计算简图.....	215	9.4.1 屋盖支撑的类型和布置.....	255
8.2.2 单层钢结构厂房的荷载 及其荷载组合.....	216	9.4.2 支撑的截面选择 和连接构造.....	257
8.2.3 单层钢结构厂房的内力和 侧移计算.....	218	9.4.3 檩条、拉条和撑杆.....	257
8.2.4 单层钢结构厂房柱 的计算长度.....	219	9.5 普通钢屋架设计实例.....	259
8.3 单层钢结构厂房的主要构件 及节点设计.....	222	9.5.1 设计资料.....	259
		9.5.2 支撑布置.....	259
		9.5.3 檩条布置.....	260
		9.5.4 屋架设计.....	261
		思考题.....	274
		附录 1 平面图形的几何性质.....	275
		附录 2 钢结构用钢化学成分 和机械性能.....	278
		附录 3 常用钢材及型钢截面特性表.....	282
		附录 4 轴心受压构件的稳定系数.....	308
		附录 5 柱的计算长度系数.....	314
		附录 6 计算图表.....	316

---

附录 7 梁的整体稳定系数.....	320	附录 10 疲劳计算的构件和	
附录 8 受弯构件的容许挠度.....	324	连接分类 .....	328
附录 9 钢材和连接的强度设计值.....	325	参考文献 .....	331

# 第1章 绪 论

**教学提示：**本章摘要介绍了钢结构的特点、钢结构的发展、钢结构的构件组成和主要结构形式以及钢结构的计算方法。

**教学目标：**本章让学生熟练掌握钢结构的特点，了解钢结构的发展，掌握钢结构的构件组成并了解其主要结构形式，基本掌握钢结构的计算方法。

## 1.1 钢结构的特点及应用

### 1.1.1 钢结构的特点

钢结构主要是指由钢板、热轧型钢、薄壁型钢和钢管等构件组合而成的结构，它是土木工程的主要结构形式之一。目前，钢结构在房屋建筑、地下建筑、桥梁、塔桅和海洋平台中都得到广泛采用，这是由于钢结构与其他材料的结构相比，具有如下特点：

(1) 建筑钢材强度高，塑性和韧性好。强度高，钢与混凝土、木材相比，虽然密度较大，但其强度较混凝土和木材要高得多，其密度与强度的比值一般比混凝土和木材小，因此在同样受力的情况下，钢结构与钢筋混凝土结构和木结构相比，构件较小，质量较轻。适用于建造跨度大、高度高和承载重的结构。

塑性好，钢结构在一般的条件下不会因超载而突然断裂，只会增大变形，故容易被发现。此外，还能将局部高峰应力重分配，使应力变化趋于平缓。

韧性好，适宜在动力荷载下工作，因此在地震区采用钢结构较为有利。

(2) 钢结构的质量轻。钢材密度大，强度高，但做成的结构却比较轻。结构的轻质性可用材料的密度 $\rho$ 和强度 $f$ 的比值密强化 $\alpha$ 来衡量， $\alpha$ 值越小，结构相对越轻。建筑钢材的 $\alpha$ 值在 $(1.7\sim 3.7)\times 10^{-4}/\text{m}$ 之间；木材的 $\alpha$ 值为 $5.4\times 10^{-4}/\text{m}$ ；钢筋混凝土的 $\alpha$ 值约为 $18\times 10^{-4}/\text{m}$ 。以同样的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 $1/4\sim 1/3$ 。

(3) 材质均匀，和力学计算的假定比较符合。钢材内部组织比较均匀，接近各向同性，可视为理想的弹—塑性体材料，因此，钢结构的实际受力情况和工程力学的计算结果比较符合，在计算中采用的经验公式不多，从而，计算的不确定性较小，计算结果比较可靠。

(4) 工业化程度高，工期短。钢结构所用材料皆可由专业化的金属结构厂轧制成各种型材，加工制作简便，准确度和精密度都较高。制成的构件可运到现场拼装，采用焊接或螺栓连接。因构件较轻，故安装方便，施工机械化程度高，工期短，为降低造价、发挥投资的经济效益创造了条件。

(5) 密封性好。钢结构采用焊接连接后可以做到安全密封，能够满足一些要求气密性和水密性好的压力容器、大型油库、气柜油罐和管道等的要求。

(6) 抗震性能好。钢结构由于自重轻和结构体系相对较柔, 所以受到的地震作用较小, 钢材又具有较高的抗拉和抗压强度以及较好的塑性和韧性, 因此在国内外的历次地震中, 钢结构是损坏最轻的结构, 已公认为是抗震设防地区特别是强震区的最合适结构。

(7) 耐热性较好。温度在  $200^{\circ}\text{C}$  以内, 钢材性质变化很小, 当温度达到  $300^{\circ}\text{C}$  以上时, 强度逐渐下降,  $600^{\circ}\text{C}$  时, 强度几乎为零。因此, 钢结构可用于温度不高于  $200^{\circ}\text{C}$  的场合。在有特殊防火要求的建筑中, 钢结构必须采取保护措施。

钢结构的下列缺点有时会影响钢结构的应用:

(1) 耐腐蚀性差。钢材在潮湿环境中, 特别是在处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀。因此, 新建造的钢结构应定期刷涂料加以保护, 维护费用较高。

目前国内外正在发展各种高性能的涂料和不易锈蚀的耐候钢, 钢结构耐锈蚀性差的问题有望得到解决。

(2) 耐火性差。钢结构耐火性较差, 在火灾中, 未加防护的钢结构一般只能维持 20 分钟左右。因此在需要防火时, 应采取防火措施, 如在钢结构外面包混凝土或其他防火材料, 或在构件表面喷涂防火涂料等。

(3) 钢结构在低温条件下可能发生脆性断裂。

钢结构在低温和某些条件下, 可能发生脆性断裂, 还有厚板的层状撕裂等, 都应引起设计者的特别注意。

现在钢材已经被认为是可以持续发展的材料, 因此从长远发展的观点看, 钢结构将有很好的应用发展前景。

### 1.1.2 钢结构的应用

钢结构由于其自身的特点和结构形式的多样性, 随着我国国民经济的迅速发展, 应用范围越来越广。

根据我国的实践经验, 工业与民用建筑钢结构的应用范围包括以下几方面:

(1) 工业厂房。吊车起重量很大( $100\text{t}$  以上)或运行非常频繁的车间多采用钢骨架。如冶炼厂的平炉、转炉车间, 混铁炉车间和初轧车间; 重型机械厂的铸钢车间、锻压车间和液压机车间等。

(2) 大跨结构。结构的跨度越大, 自重在全荷载中所占的比例越大。由于钢结构具有强度高、自重轻的优点, 最适用于大跨度结构, 如飞机库、体育馆、展览厅、影剧院和大型交易市场等屋盖结构。

(3) 高层及多层建筑。高层建筑及超高层建筑中, 宜采用钢结构或钢结构框架。近年来, 钢结构在此领域已逐步得到发展。

(4) 轻型钢结构。轻型钢结构是由弯曲薄壁型钢、薄壁钢管或小角钢、圆钢等组成的结构。由于轻型钢结构具有建造速度快、用钢量省、综合经济效益好等优点, 所以适用于吊车吨位不大于  $20\text{t}$  的中、小跨度厂房、仓库以及中、小型体育馆等大空间民用建筑。

此外, 由于轻型钢结构装拆方便, 宜用于需要拆迁的结构。

(5) 钢-混凝土组合结构。包括钢-混凝土组合梁和钢管混凝土柱等。

除房屋结构以外, 钢结构还可用于下列结构:

(1) 塔桅结构。塔桅结构包括电视塔、微波塔、无线电桅杆、导航塔及火箭发射塔等, 一般均宜采用钢结构。

- (2) 板壳结构。板壳结构包括大型储气柜和储液库等要求密闭的容器, 以及大直径高压输油管和输气管等。另外, 还有高炉的炉壳和轮船的船体等均应采用钢结构。
- (3) 桥梁结构。钢结构一般用于跨度大于 40m 的各种形式的大、中跨度桥梁。
- (4) 移动式结构。包括桥式起重机、塔式起重机和龙门式起重机等起重运行机械。

## 1.2 钢结构发展的历史、现状和趋势

我国是最早用铁建造结构的国家之一, 比较典型的应用是铁链桥, 主要有云南省永平与保山之间跨越澜沧江的彩虹桥以及四川泸定大渡河上的泸定桥; 其次是一些纪念性建筑, 如建于 967 年的广州光孝寺的东铁塔和建于 963 年的西铁塔, 以及建于 1061 年的湖北当阳玉泉寺的 13 层铁塔。中国古代在钢结构方面虽然有所创建, 但在封建制度下, 生产力发展极其缓慢。在半封建半殖民地的百年历史中, 中国也曾建造过一些钢桥和钢结构高层建筑, 但绝大多数是外国人设计的。

新中国成立以后, 随着经济建设的发展, 钢结构在重型厂房、大跨度公共建筑、铁路桥梁以及塔桅结构中得到一定程度的发展。例如我国几个大型钢铁联合企业如鞍山、武汉和包头等钢厂的炼钢、轧钢和连铸车间等都采用钢结构; 在公共建筑方面, 1975 年建成跨度达 110m 的三向网架上海体育馆、1962 年建成直径为 94m 的圆形双层辐射式悬索结构北京工人体育馆、1967 年建成的双曲抛物面正交索网的悬索结构浙江体育馆; 桥梁方面, 1957 年建成的武汉长江大桥和 1968 年建成的南京长江大桥都采用了铁路公路两用双层钢桁架桥; 在塔桅结构方面, 广州、上海等地都建造了高度超过 200m 的多边形空间桁架钢电视塔。1977 年北京建成的环境气象塔是一个高达 325m 的 5 层纤绳三角形杆身的钢桅杆结构。

改革开放以后, 我国经济建设有了突飞猛进的发展, 钢结构也有了前所未有的发展, 应用的领域有了较大的扩展。高层和超高层房屋、多层房屋、单层轻型房屋、体育场馆、大跨度会展中心、大型客机检修库、自动化高架仓库、城市桥梁和大跨度公路桥梁、粮仓以及海上采油平台等都已采用钢结构。目前已建和在建的高层和超高层钢结构已有 30 余幢, 其中地上 88 层、地下 3 层、高 421m 的上海金茂大厦的建成, 标志着我国的超高层钢结构已进入世界前列。在大跨度建筑和单层工业厂房中, 网架和网壳等结构的广泛应用, 已受到世界各国的瞩目, 其中上海体育馆马鞍型环形大悬挑空间钢结构屋盖和上海浦东国际机场航站楼张弦梁屋盖的建成, 更标志着我国的大跨度空间钢结构已进入世界先进行列。桥梁方面, 九江长江大桥、上海市杨浦大桥和江阴长江大桥等桥梁的建成标志着我国已有能力建造任何现代化的桥梁。

2005 年我国钢产量达到 3.45 亿吨, 已连续多年高居世界各国钢铁年产量榜首。钢材质量及钢材规格也己能满足建筑钢结构的要求。市场经济的发展与不断成熟更为钢结构的发展创造了条件。因此, 我国钢结构正处于迅速发展的前期。

可以预期, 今后我国钢结构的发展方向主要在以下几个方面:

- (1) 发展高强度低合金钢材。逐步发展高强度低合金钢材, 除 Q235 钢、Q345 钢外, Q390 钢和 Q420 钢在钢结构中的应用尚有待进一步研究。
- (2) 钢结构设计方法的改进。概率极限状态设计方法还有待发展, 因为它计算的可靠度还只是构件或某一截面的可靠度, 而不是结构体系的可靠度, 同时也不适用于疲劳计算的反复荷载作用下的结构。

另外, 结构设计上考虑优化理论的应用与计算机辅助设计及绘图都得到很大的发展,

今后还应继续研究和改进。

(3) 结构形式的革新。结构形式的革新也是今后值得研究的课题，如悬索结构、网架结构和超高层结构等近年来得到了很大的发展和应用。钢-混凝土组合结构的应用也日益推广，但结构的革新仍有待进一步发展。

## 1.3 钢结构的构件组成和主要结构形式

### 1.3.1 钢结构的构件组成

从房屋建筑、桥梁、塔桅以及其他工程结构来看，除了容器(如储液罐、储气罐和囤仓等)和管道(如输油管、输气管和压力水管等)采用钢板壳体结构外，其他结构多由杆件系统和索组成。分析杆件的受力，可以归结为拉索、拉杆、压杆、受弯杆件、拉弯构件、压弯杆件、拱和刚架等。此外，钢构件还与混凝土组合在一起形成组合构件，如钢管混凝土、型钢混凝土构件等。由于这些杆件是组成各种结构形式的最基本单元，因此成为钢结构的基本构件。

### 1.3.2 钢结构的主要结构形式

钢结构的应用范围极其广泛，主要结构形式也多种多样。

#### 1. 用于房屋建筑的主要结构形式

(1) 单层工业厂房常用的结构形式。是指由一系列的平面承重结构通过支撑构件联结而成的空间整体。这种结构形式的特点是：外荷载主要由平面承重结构承担，纵向水平荷载由支撑承受和传递。而常见的平面承重结构有横梁与柱刚接的门式刚架和横梁与柱铰接的排架等。

(2) 大跨度单层房屋的结构形式。目前，大跨度结构形式主要有以下几种：

① 网架结构。有平板网架、网壳、球状网壳等，这种结构形式目前也已在单层工业房屋中被广泛应用。如图 1.1 所示为空间网架结构，采用椭圆双曲面螺栓球节点网架构成。

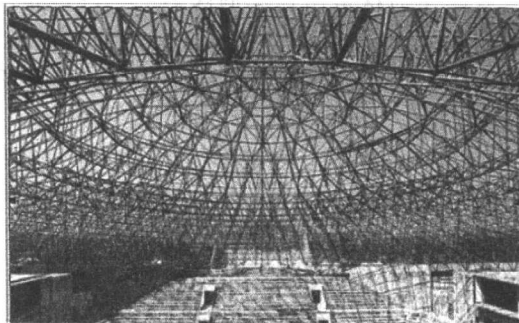


图 1.1 空间网架结构

② 空间桁架或空间刚架体系。上海浦东国际机场航站楼的屋盖就采用了这种体系。

③ 悬索结构。悬索结构形式多种多样，图 1.2 所示的预应力鞍形索网体系是悬索结构的一种。

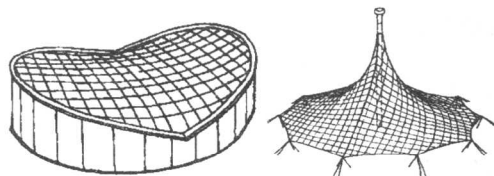


图 1.2 预应力鞍形索网体系

④ 张拉集成结构。张拉集成结构是指少数间断受压构件与一组连续的受拉单元组成的由预应力提供刚度并自支承、自平衡的空间结构体系。此种结构形式可以跨越较大空间是目前空间结构中跨度最大的结构，具有极佳的经济指标。

⑤ 索膜结构。索膜结构由索和膜组成，自重轻，体形灵活多样，多用于大跨度公共建筑。图 1.3 为深圳大梅沙海滨广场张拉索膜。

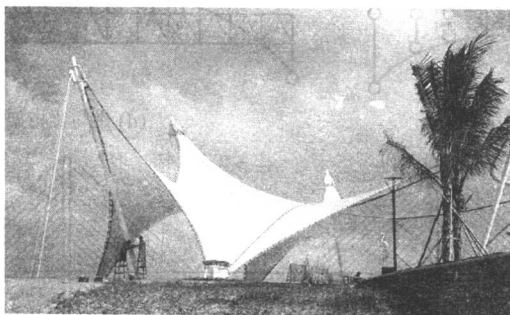


图 1.3 索膜结构

(3) 多层、高层及超高层建筑结构形式：

① 刚架结构。梁和柱刚性连接形成多层多跨刚架(图 1.4(a))，承受水平荷载。

② 刚架-支撑结构。由刚架和支撑体系(包括抗剪桁架、剪力墙和核心筒)组成。图 1.4(b)所示为一刚架-抗剪桁架结构。

③ 框筒、筒中筒、束筒等筒体结构。图 1.4(c)所示为束筒结构形式。

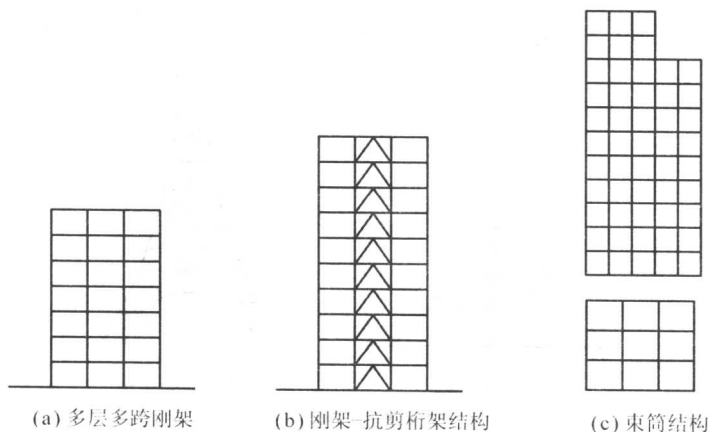


图 1.4 多层、高层及超高层建筑结构形式



## 2. 用于桥梁的主要结构形式

- (1) 实腹板梁式结构(图 1.5(a))。
- (2) 桁架式结构(图 1.5(b))。
- (3) 拱或刚架式结构(图 1.5(c))。
- (4) 拱与梁桁架的组合结构。图 1.5(d)所示是用柔性拱与梁桁架结合的形式。
- (5) 斜拉结构。图 1.5(e)所示是斜拉结构的一种形式，斜拉索采用高强度预应力钢缆。

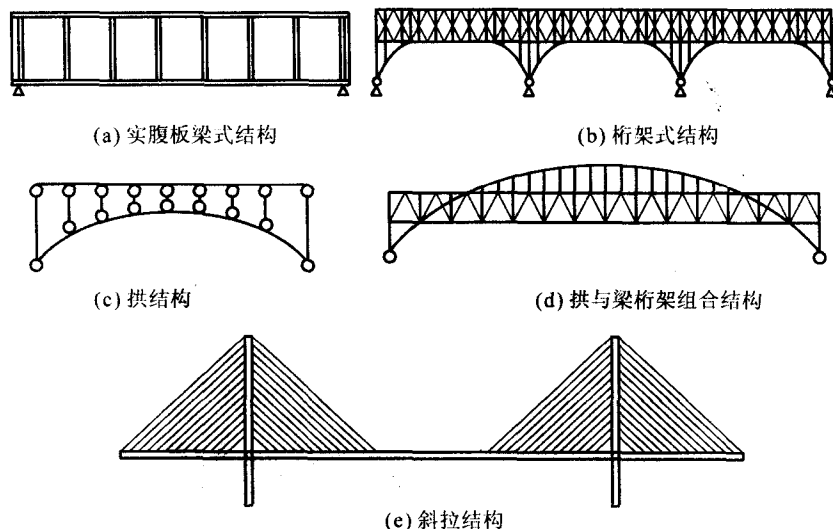


图 1.5 桥梁的主要结构形式

## 3. 用于塔桅的主要结构形式

- (1) 桅杆结构(图 1.6(a))。杆身依靠纤绳的牵拉而站立，杆身可采用圆管或三角形、四边形等结构杆件。
- (2) 塔架结构(图 1.6(b))。塔架立面轮廓线可采用直线形、单折线形、多折线形和带有拱形底座的多折线形等，平面可分为三角形、四边形、六边形和八边形等。

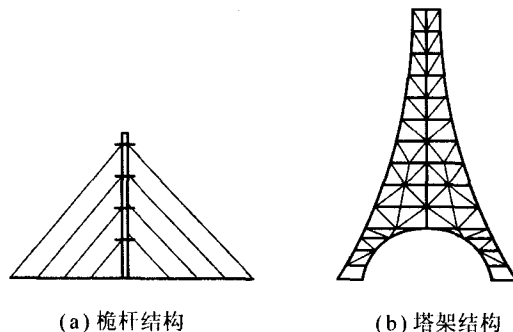


图 1.6 塔桅的主要结构形式