

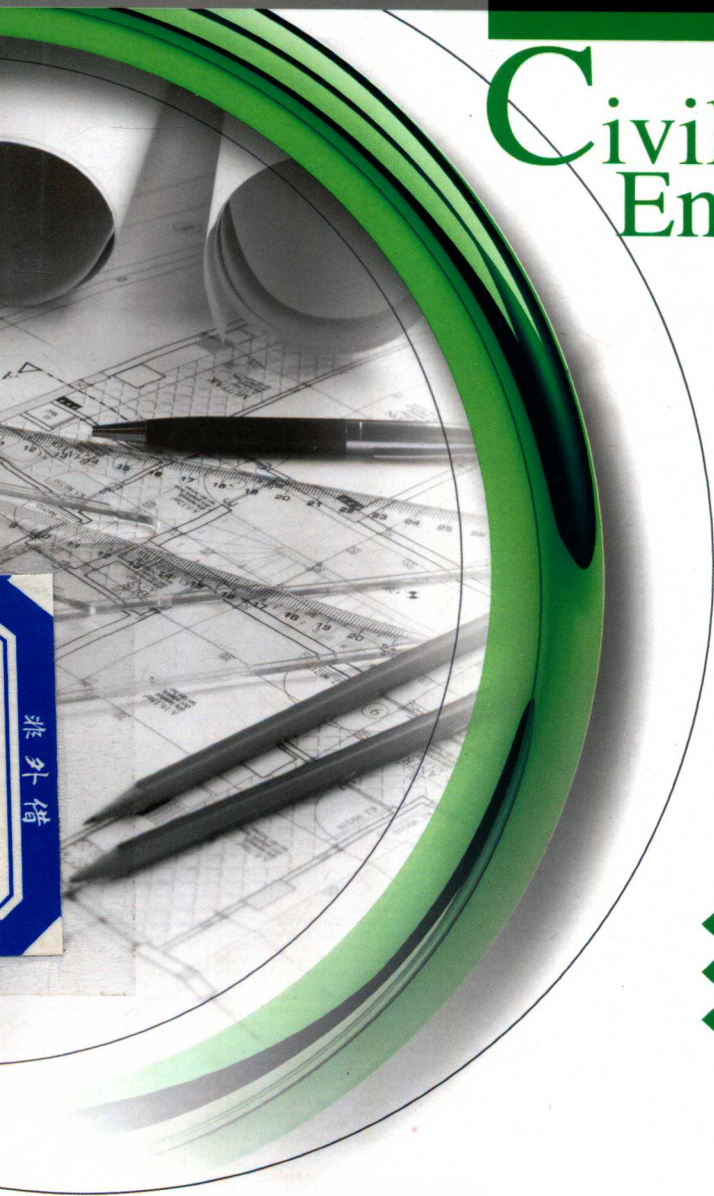


应用型本科土木工程系列规划教材

钢结构

Civil Engineering

◎ 陈晓霞 张玲 主编



- ◆ 与职业资格考试相衔接
- ◆ 与新材料、新技术、新规范同步
- ◆ 提供电子课件和课后习题参考答案

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

应用型本科土木工程系列规划教材

钢 结 构

主 编	陈晓霞	张 玲	
副主编	王立波	田春竹	连彩霞
参 编	尹 涛	黄雪芳	王军芳
主 审	崔秀琴		

机 械 工 业 出 版 社

本书为高等学校工程应用型土建类系列教材之一,根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》、教育部“卓越工程师教育培养计划”及现行设计规范、有关政策法规与技术标准编写而成。

本书主要内容分为上、中、下三篇,上篇为钢结构原理,中篇为建筑钢结构设计,下篇为建筑钢结构施工。

本书内容翔实、图表丰富。每章给出了大量的例题,方便大家对基本理论和基本原理的掌握和学习。书末附录部分列出了常用的数据,方便查阅使用。本书可作为土木工程专业及相关专业本专科教材,也可供土木工程技术人员学习参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/陈晓霞,张玲主编. —北京:机械工业出版社,2017.3

应用型本科土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-56301-3

I. ①钢… II. ①陈… ②张… III. ①钢结构-高等学校-教材

IV. ①TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第050434号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李宣敏 责任编辑:李宣敏 臧程程 责任校对:刘雅娜

封面设计:张静 责任印制:李昂

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2017年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20印张·528千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56301-3

定价:50.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》、教育部“卓越工程师教育培养计划”及现行设计规范、有关政策法规与技术标准编写而成。

本书分为上、中、下三篇和附录，共 13 章。上篇为钢结构原理，内容包括：绪论、钢结构的材料、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件；中篇为建筑钢结构设计，内容包括：单层厂房钢结构、轻型门式刚架结构、大跨度房屋结构；下篇为建筑钢结构施工，内容包括：钢结构连接施工、钢结构安装施工、钢结构涂装施工和钢结构工程施工质量验收。

本书具体分工如下：安阳工学院陈晓霞、安阳工学院张玲编写第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 10 章；三明学院王军芳编写第 4 章、第 8 章；安阳工学院王立波编写第 5 章；哈尔滨理工大学黄雪芳编写第 6 章、第 9 章；黑龙江大学田春竹编写第 7 章；安阳工学院尹涛编写第 11 章、第 12 章；河南智博建筑设计集团有限公司连彩霞编写第 13 章和附录。本书由陈晓霞教授、张玲教授主编并统稿，由三明学院崔秀琴教授主审。

在编写过程中参阅了最新的建筑规范及国内外同行的著作，并得到了有关业内人士的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏或不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正！

编 者

目 录

前言

上篇 钢结构原理

第 1 章 绪论	2	4.2 轴心受力构件的强度和刚度	77
1.1 钢结构的特点	2	4.3 轴心受压构件的稳定	79
1.2 钢结构的设计方法	3	4.4 轴心受压柱的设计	92
1.3 钢结构的现状、应用和发展	5	4.5 轴心受压柱与梁的连接和 柱脚	104
1.4 课程特点与学习方法	7	习题	107
第 2 章 钢结构的材料	9	第 5 章 受弯构件	109
2.1 钢结构对材料的要求	9	5.1 概述	109
2.2 钢材的破坏形式	9	5.2 受弯构件（梁）的强度和 刚度	110
2.3 钢材的种类、规格及选用	9	5.3 受弯构件（梁）的整体稳定	115
2.4 钢材的主要性能	16	5.4 受弯构件（梁）的局部稳定	119
2.5 影响钢材性能的因素	19	5.5 型钢梁的设计	129
2.6 钢材的疲劳	23	5.6 组合梁的设计	131
第 3 章 钢结构的连接	26	习题	135
3.1 钢结构连接方法和特点	26	第 6 章 拉弯和压弯构件	137
3.2 焊接方法、焊缝连接的形式和 焊缝质量等级	27	6.1 拉弯、压弯构件的应用和截面 形式	137
3.3 对接焊缝连接的构造要求和 计算	32	6.2 拉弯、压弯构件的强度和 刚度	138
3.4 角焊缝连接的构造要求和计算	37	6.3 实腹式压弯构件在弯矩作用 平面内的稳定计算	140
3.5 焊接残余应力和残余变形	50	6.4 实腹式压弯构件在弯矩作用 平面外的稳定计算	143
3.6 螺栓连接的排列和构造要求	54	6.5 实腹式压弯构件的局部稳定	145
3.7 普通螺栓连接的工作性能和 计算	56	6.6 实腹式压弯构件的截面设计	147
3.8 高强度螺栓连接的工作性能和 计算	67	6.7 格构式压弯构件的计算	150
习题	74	习题	152
第 4 章 轴心受力构件	76		
4.1 概述	76		

中篇 建筑钢结构设计

第 7 章 单层厂房钢结构	155	主要尺寸	158
7.1 概述	155	7.3 屋盖结构	162
7.2 单层厂房钢结构的框架形式及		7.4 框架柱的设计特点	176

7.5 起重机梁的设计特点	181	8.5 设计例题	211
7.6 墙架体系	186	课程设计	227
7.7 设计例题	187	第9章 大跨度房屋结构	228
第8章 轻型门式刚架结构	194	9.1 概述	228
8.1 概述	194	9.2 大跨房屋结构的形式及特点	228
8.2 轻型门式刚架结构的形式和 布置	195	9.3 网格结构	230
8.3 刚架设计	196	9.4 悬索结构	237
8.4 压型钢板设计	207	9.5 膜结构	241

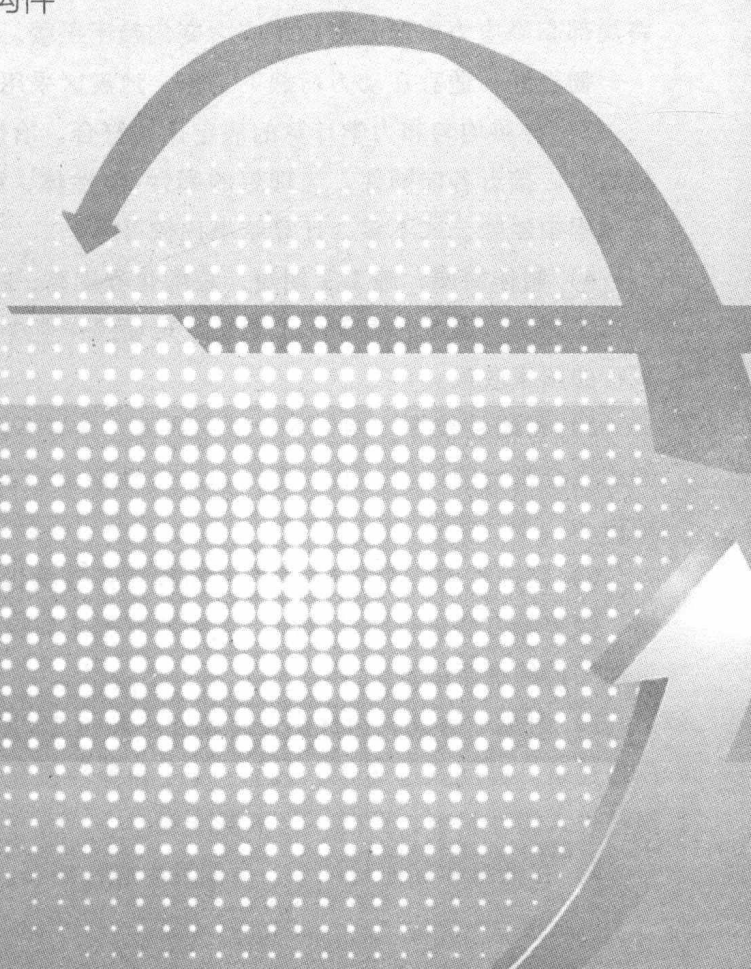
下篇 建筑钢结构施工

第10章 钢结构连接施工	245	13.3 钢结构工程施工质量验收 要求	283
10.1 概述	245	13.4 钢结构工程施工质量验收 程序及程序关系	285
10.2 钢结构焊接施工	245	13.5 质量控制资料	286
10.3 钢结构螺栓连接施工	251	附录	288
第11章 钢结构安装施工	254	附录1 钢材、焊缝和螺栓连接的 强度设计值	288
11.1 概述	254	附录2 结构或构件的变形容许值 ...	289
11.2 轻型门式刚架房屋钢结构 安装	262	附录3 梁的整体稳定系数	291
11.3 多、高层钢结构安装	265	附录4 轴心受压构件的稳定系数 ...	294
11.4 大跨度网架钢结构安装	268	附录5 框架柱的计算长度系数	296
第12章 钢结构涂装施工	272	附录6 各种截面回转半径的 近似值	299
12.1 概述	272	附录7 型钢规格表	300
12.2 钢结构涂装工程常用机具	274	附录8 螺栓和铆栓规格	312
12.3 钢结构涂装工程施工	275	参考文献	313
第13章 钢结构工程施工质量验收 ...	282		
13.1 概述	282		
13.2 钢结构工程施工质量验收的 划分	282		

上 篇

钢结构原理

- 第1章 绪论
- 第2章 钢结构的材料
- 第3章 钢结构的连接
- 第4章 轴心受力构件
- 第5章 受弯构件
- 第6章 拉弯和压弯构件



第1章 绪 论

钢结构 (steel structures) 是以钢材为主制作的 结构。其中由带钢或钢板经冷加工形成的 型材所制作的 结构称为冷弯薄壁型钢结构。

钢结构是土木工程的主要结构形式之一。钢结构与混凝土结构、砌体结构等都属于按材料划分的工程结构的不同分支, 钢结构是土木工程专业中一门重要的专业课程。

1.1 钢结构的特点

与其他结构相比, 钢结构具有如下特点:

1) 强度高, 质量轻 (轻质高强)。强度高适合于建造大跨、高层 (耸)、重力荷载的 结构, 结构需要的构件截面小; 自重轻, 一般以轻质性系数 (材料的质量密度与强度的比值) 来衡量, 轻质性系数越小, 结构相对越轻。以 Q235 钢和 C30 混凝土为例, 其轻质性系数分别为: 钢材 $1.7 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-4} / \text{m}$; 混凝土 $17 \times 10^{-4} / \text{m}$ 。由此可见, 钢材的轻质性系数比混凝土的轻质性系数明显低得多。

2) 塑性、韧性好。塑性好, 结构一般不会突然断裂, 变形增大时易于被发现。此外, 能将局部高峰应力重新分配, 使应力变化趋于平缓。

韧性好, 适宜在动力荷载下工作, 地震区采用钢结构较为有利。

3) 材质均匀和力学计算的假定比较符合。冶炼和轧制过程经过科学控制, 结构的组织比较均匀, 接近各向同性, 为理想的弹性-塑性体, 弹性模量 ($E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$) 较大。计算过程中经验公式不多, 计算结果比较可靠。

4) 制作简便, 施工工期短。装配化程度高, 一般采用工厂加工制造后运至施工现场安装的 施工方法, 因此具有施工工期短、现场湿作业少、生产效率高、不受气候影响的特点, 符合现行的国家政策。

5) 密闭性较好。钢材本身组织致密, 具有不渗漏性和焊接性好的特点, 可采用焊接方法制成完全密封的结构, 如气密性和水密性要求较高的高压容器、大型油库和大型管道等板壳结构。

6) 耐蚀性差, 维护费用大。因钢材容易锈蚀, 故新建钢结构一般都需要采用油漆、喷铝、镀锌等方法进行防锈涂装, 在涂装前需认真除锈, 以后定期涂装, 所以维修费用较高, 这是钢结构的主要缺点。

7) 耐热不耐火。钢材在表面温度不超过 200°C 时, 其性能变化很小, 因此适合于热车间厂房建筑。温度超过 200°C 以后, 强度和弹性模量显著下降。到达 600°C 时, 强度急剧降低, 钢材进入塑性状态, 此时, 已不能承载。

8) 在低温和其他条件下, 可能发生脆性断裂。

1.2 钢结构的设计方法

1.2.1 设计目的和设计准则

1. 设计目的

结构设计的目的使设计的结构和结构构件在施工和工作过程中均能满足各种预定功能的要求。

建筑结构功能包括：

- 1) 安全性。
- 2) 适用性。
- 3) 耐久性。

2. 设计准则

钢结构设计准则为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。

1.2.2 《钢结构设计规范》的变迁

《钢结构设计规范》的发展历史如下：

解放初期：Н ИТУ 1—1946。

1955年：Н ИТУ 121—1955。

1974年：ТJ 17—1974。

1988年：GBJ 17—1988。

2003年：GB 50017—2003。

1.2.3 设计方法

(1) 容许应力方法

$$\sigma \leq \frac{f_k}{K} = [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 σ ——由标准荷载与构件截面公称尺寸所计算的应力；

f_k ——构件截面几何特征；

K ——大于1的安全系数；

$[\sigma]$ ——钢材的容许应力。

(2) 概率极限状态设计方法 根据应用概率分析程度的不同，可分为三种水准：半概率极限状态设计方法、近似概率极限状态设计方法和全概率极限状态设计方法。

1) 半概率极限状态设计方法：

$$\sigma \leq \frac{f_{yk}}{K_1 K_2 K_3} = \frac{f_{yk}}{K} = [\sigma] \quad (1-2)$$

式中 K_1 ——荷载系数；

K_2 ——材料系数；

K_3 ——调整系数；

f_{yk} ——钢材的屈服强度标准值。

- 2) 近似概率极限状态设计方法。现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003) 采用该法。
- 3) 全概率极限状态设计方法。对结构的各种基本变量均采用随机变量或随机过程来描述, 对结构进行精确的概率分析, 求得结构最优失效概率作为结构可靠度的直接度量。

1.2.4 概率极限状态设计方法

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, 此特定状态就称为极限状态。极限状态分为两类, 即承载能力极限状态和正常使用极限状态。

- 1) 承载能力极限状态, 包括构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载, 结构和构件丧失稳定, 结构转变为机动体系和结构倾覆。
- 2) 正常使用极限状态, 包括影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形, 影响正常使用的振动, 影响正常使用或耐久性能的局部破坏。

1.2.5 设计表达式

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

1. 结构的可靠度

结构的可靠度用可靠度指标来度量, 并以分项系数的形式考虑。

$$\frac{R_k}{\gamma_0 \gamma_R} \geq \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} \tag{1-3}$$

式中 R_k 、 S_{Gk} 、 S_{Qk} ——抗力、永久荷载效应、可变荷载效应标准值;
 γ_R ——抗力分项系数; 对 Q235 钢, $\gamma_R = 1.087$; 对 Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢, $\gamma_R = 1.111$;
 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, 不应小于 0.9;
 γ_G 、 γ_Q ——永久荷载、可变荷载分项系数; 按下列规定取值。

- 1) 永久荷载分项系数 γ_G 。当其效应对结构不利时, 对由可变荷载效应控制的组合应取 1.2, 对由永久荷载效应控制的组合应取 1.35; 当其效应对结构有利时, 不应大于 1.0。
- 2) 可变荷载分项系数 γ_Q 。对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载, 应取 1.3; 其他情况, 应取 1.4。
- 3) 可变荷载考虑设计使用年限的调整系数 γ_L 应按表 1-1 选用。

表 1-1 楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整系数 γ_L

结构设计使用年限/年	5	50	100
γ_L	0.9	1.0	1.1

我国规范分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态给出设计表达式。

2. 承载能力极限状态

对于承载能力极限状态, 结构构件应采用荷载效应的基本组合和偶然组合进行设计。

(1) 基本组合

- 1) 由可变荷载效应控制的组合:

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

2) 由永久荷载效应控制的组合:

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

式中 σ_{Gk} ——永久荷载效应标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Q1k} 、 σ_{Qik} ——第一个和第 i 个可变荷载效应标准值在结构构件截面或连接中产生的应力, 设计时把荷载效应最大的可变荷载产生的应力取为 σ_{Q1k} ;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数, 按荷载规范取值;

f ——钢材强度设计值, $f=f_y/\gamma_R$;

f_y ——钢材的屈服强度。

(2) 偶然组合 对于偶然组合, 极限状态设计表达式宜按下列原则确定: 偶然作用的代表值不乘以分项系数; 与偶然作用同时出现的可变荷载, 应根据观测资料和工作经验采用适当的代表值。

3. 正常使用极限状态

对于正常使用极限状态, 要求分别采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计, 并使变形等设计值不超过相应的规定限值。对于钢结构只考虑荷载的标准组合。

$$v = v_{Gk} + v_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci}v_{Qik} \leq [v] \quad (1-6)$$

式中 v_{Gk} ——永久荷载效应标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

v_{Q1k} ——起控制作用的第一个可变荷载标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

v_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

$[v]$ ——结构或结构构件的容许变形值。

1.3 钢结构的现状、应用和发展

1.3.1 钢结构的现状

根据前瞻产业研究院发布的《2014—2018 年中国钢结构行业市场需求预测与投资战略规划分析报告》, 2012 年, 我国建筑钢结构年产量达到 3600 万 t, 占钢产量的比重仅为 9% 左右。这一数据与发达国家相差甚远。钢结构发展的前景、市场空间和潜力巨大。

2012 年, 全国房屋建筑施工面积达到 57 亿 m^2 , 而钢结构建筑仅占约 6%。未来我国房屋建筑中的钢结构建筑至少可以达到 20%。按照 $100kg/m^2$ 的平均用钢量, 其中多高层钢结构住宅用钢量按 $50\sim 80kg/m^2$ 计算, 每年仅房屋建筑钢结构用钢量就可达到 1 亿 t。

截至 2008 年年底, 全国公路 59 万座桥梁中, 钢结构桥梁不足 1%。而美国钢结构桥梁占 33%, 日本钢结构桥梁占 41%。

1.3.2 钢结构的应用

钢结构的应用取决于钢结构的产量。1949 年我国年产钢材只有十几万吨, 1998 年突破 1 亿 t。目前, 我国钢结构的产量、产业规模、市场开发应用都位居世界第一, 装备制造和安装技术达到世界领先水平。

目前，我国使用钢结构的主要产业包括：结构体系（房屋建筑、机车、船舶的主体结构）、构筑物（塔桅、采油平台、闸门、支架等）和机械装备（工程机械、塔式起重机、容器、高炉、锅炉、传输设备）等。纵观整个钢结构下游产业，房屋建筑钢结构的用量占到一半以上；各类非标构筑物和机械装备用钢结构合计占到将近一半。据钢结构协会 2009 年对钢结构重点企业的调查统计：建筑钢结构（厂房、多高层、公共建筑）为 581.5 万 t，占比为 54%。以下依次为非标钢结构 246.8 万 t、桥梁 95.7 万 t、其他 80 万 t、塔桅 72.1 万 t。其中，建筑钢结构中厂房应用量居首，为 290.2 万 t，占 49%，应用情况依次为公共建筑、高层钢结构、多层钢结构，所占比例分别是：21%、17%、13%。钢结构主要应用于以下领域。

(1) 工业厂房 钢结构工业厂房按所生产产品分为轻工业厂房和重工业厂房两类。轻工业厂房可采用轻型钢结构（轻型门式刚架、冷弯薄壁型钢以及钢管结构等）；重工业厂房一般承受振动荷载影响及地震作用，多采用钢结构骨架，如首钢、宝钢等的生产车间。钢结构厂房如图 1-1 所示。

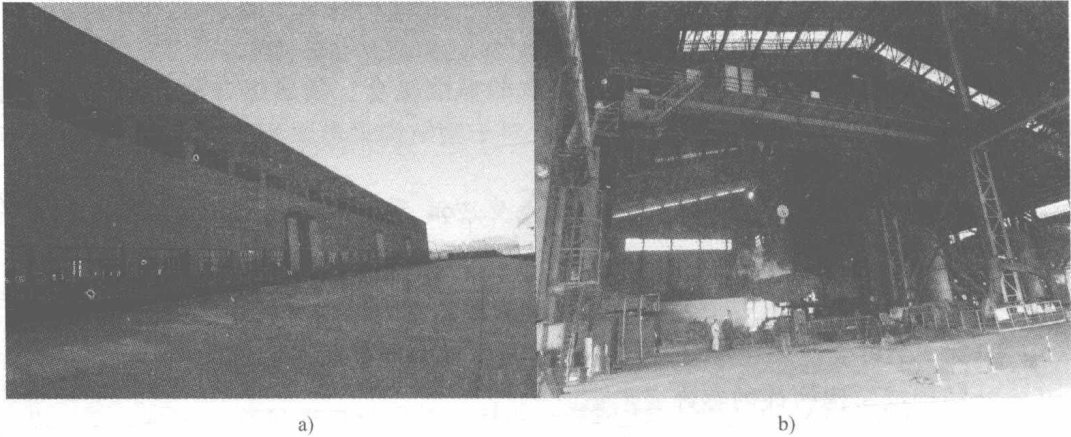


图 1-1 钢结构厂房
a) 外观 b) 内部

(2) 大跨度结构 大跨度钢结构主要为公共建筑，如大会堂、影剧院、展览馆、音乐厅、体育馆、加盖体育场、航空港、车站和桥梁等。如跨度为 57m 两铰拱形式的北京体育馆、钢屋架跨度为 60.9m 的人民大会堂、全长 1670m 的武汉长江大桥及跨度达 2737m 的金门大桥（图 1-2）等。一些大型的火车站、高铁站也都采用了钢结构形式（图 1-3）。

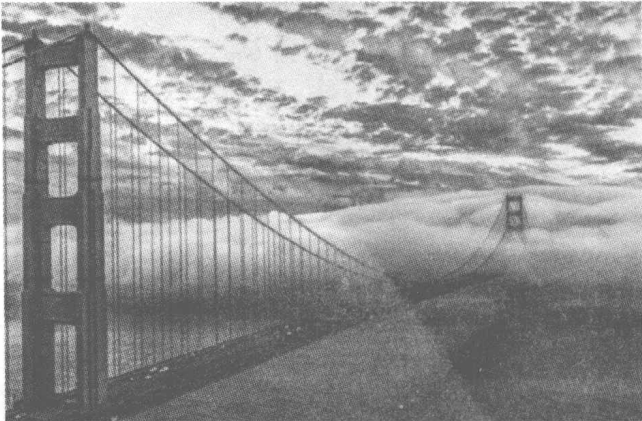


图 1-2 金门大桥



图 1-3 某火车站

(3) 高层和高耸结构 高层钢结构一般是指六层(或30m)以上,主要采用型钢、钢板连接或焊接成构件,再经连接而成的结构体系。高层钢结构常用钢框架结构、钢框架-混凝土核心筒结构形式。后者在现代高层、超高层钢结构中应用较为广泛,如上海环球金融中心(图1-4a)等。

高耸钢结构属于体型较为细长的构筑物,其结构及受力特点是高度较高、横截面面积较小、横向风荷载起主要作用。电视塔属于高耸结构形式,如广州电视塔(图1-4b)。

(4) 多层结构 随着我国钢产量的逐年提升,目前越来越多的多层建筑开始采用钢结构形式。

(5) 板壳结构和其他特种结构 板壳结构如油库、烟囱、水塔等,其他特种结构如栈桥、管道支架、井架和海上采油平台等。

(6) 可拆卸或移动的结构 工地生产、生活附属用房、临时展览馆等属可拆卸结构,可移动结构如塔式起重机、龙门起重机等。

(7) 组合结构 主要指钢结构和混凝土组成的组合结构,如钢管混凝土柱等。

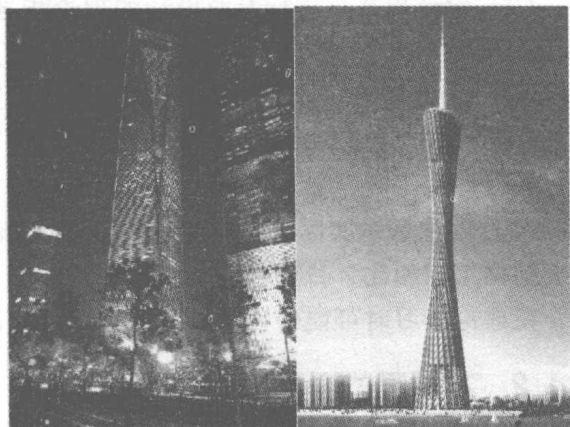


图 1-4 高层和高耸结构

a) 上海环球金融中心 b) 广州电视塔

1.3.3 钢结构的发展

从结构形式上看,先是应用于桥梁结构、塔结构,然后是工业与民用建筑、水工结构。

目前我国发展钢结构的政策是:“积极、合理、快速地发展钢结构”。与世界先进水平相比,我国钢结构制造业仍然大而不强,在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面还有差距,转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

今后的主要任务是:①发展建筑钢材,积极增加新钢种和型材;②发展建筑钢结构,重点发展钢和混凝土的组合结构体系,积极发展钢结构体系;在建立现代化住宅产业工业体系中,重点开发轻钢结构体系。③发展钢结构施工工艺。

钢结构行业“十三五”整体发展规划目标是:2020年,全国钢结构用钢量比2014年翻一番,达到8000万~1亿t,占粗钢产量的比例超过10%;钢结构出口量比2014年翻两番,达到1000万t,占钢结构总量的10%以上;钢结构用钢材从目前的“Q345+Q235”为主,过渡到“Q345+Q390”为主;钢结构设计、施工、检测监测等关键技术总体上达到国际先进水平。

1.4 课程特点与学习方法

1.4.1 本课程的特点

(1) 《材料力学》是本课程的重要专业基础课程 《材料力学》中的一些公式(如正应力、剪应力等)和材料截面几何性质(如惯性矩、静矩、形心等)在《钢结构》课程学习中都会用到。因此,在学习《钢结构》相关内容之前,复习《材料力学》中的部分知识是很有必要的。

(2) 设计规范是进行专业设计的理论指导 本课程涉及的规范较多,如《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2016年版)及《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)等。除了上述国家标准,还有一些地方或行业标准,在进行设计和施工时,要遵照相关规范、规程等进行设计、施工和监理。

(3) 理论联系实际 土木工程专业是实践性较强的一个专业。与砌体结构工程和钢筋混凝土结构工程相比,目前钢结构工程相对较少。《钢结构》作为土木工程专业的一门重要专业课,在理论学习时可能会比较抽象,可结合实际工程加深理论知识的理解和吸收。

1.4.2 本课程的学习方法

1) 掌握基本理论,学好基本概念。理论、概念要清晰,不能似是而非。

2) 善于归纳分析,不断加深理解。每学完一个章节,要善于归纳总结。

3) 吸取感性知识,联系工程实际。学习钢结构首先要了解本课程的目的和特点,注意理论联系实际。要将力学和工程制图等课程的知识熟练、灵活地应用于本课程,还要通过各种途径了解、熟悉工程实践知识。

4) 解题条理清晰,单位取用得当。做习题是加深概念理解的重要途径,做题时各参数一定要采用正确的单位。

第2章 钢结构的材料

2.1 钢结构对材料的要求

用作钢结构的钢材，必须符合下列要求：

(1) 较高的抗拉强度和屈服强度 屈服强度是衡量结构承载能力的指标，屈服强度高可减轻结构自重，节约钢材和降低造价。抗拉强度是衡量钢材经过较大变形后的抗拉能力，它直接反映钢材内部组织的优劣，同时，抗拉强度高可以增加结构的安全保障。

(2) 较好的塑性和韧性 材料的塑性好，结构一般不会突然断裂，变形增大时容易被发现。此外，能将局部高峰应力重新分配，使应力变化趋于平缓。

韧性好，适宜在动力荷载下工作，在地震区采用钢结构比较有利。

(3) 良好的工艺性能（包括冷加工、热加工和焊接性） 良好的工艺性能不但要易于加工成各种形式的结构，而且不致因加工而对结构的强度、塑性和韧性等造成较大的不利影响。

《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）规定：承重结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证，对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证；对某些承受动力荷载的结构以及重要的受拉或受弯的焊接结构尚应具有常温或负温冲击韧度的合格保证。

《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）推荐承重结构用钢宜采用：碳素结构钢中的 Q235 钢及低合金高强度结构钢中的 Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢四种钢材。

2.2 钢材的破坏形式

钢材有两种完全不同的破坏形式，即塑性破坏和脆性破坏。

塑性破坏是构件应力超过屈服强度，并且达到抗拉强度后，构件产生明显的变形并发生断裂的性质。断裂时断口与作用力方向呈 45° ，构件产生很大的变形和明显的缩颈现象。破坏后的断口呈纤维状，色泽发暗。其特点为破坏前有明显的变形，并有较长的变形持续时间，便于发现和采取补救措施。

脆性破坏为构件在破坏前无明显变形，平均应力也小（一般均小于屈服强度），没有任何预兆。断口平直并呈有光泽的晶粒状。脆性破坏的特点是在构件的缺口、裂缝处引起破坏，破坏是突然发生的，危险性大，应尽量避免。其破坏后果较严重。

2.3 钢材的种类、规格及选用

2.3.1 钢材的种类

1. 钢材的分类

(1) 按用途分类 钢材按用途分类分为结构钢、工具钢和特殊钢（如不锈钢等）。结构钢

分为建筑用钢和机械用钢两类。建筑用钢用于建造建筑物、桥梁等，机械用钢用于制造机器及机械零件等。

(2) 按冶炼方法分类 按冶炼方法钢材分为平炉钢、转炉钢和电炉钢。平炉钢分为酸性平炉钢和碱性平炉钢；转炉钢分为底吹转炉钢、侧吹转炉钢和顶吹转炉钢；电炉钢分为电弧炉钢、电渣炉钢、感应炉钢、真空自耗炉钢和电子束炉钢。

(3) 按脱氧程度分类 钢材按脱氧程度分为沸腾钢 (F)、镇静钢 (Z) 和特殊镇静钢 (TZ)。镇静钢 (Z) 和特殊镇静钢 (TZ) 的代号可省去。

(4) 按成形方法分类 钢材按成形方法分为轧制 (热轧、冷轧) 钢、锻钢和铸钢。

(5) 按化学成分分类 我国建筑钢结构根据《钢分类 第1部分：按化学成分分类》(GB/T 13304.1—2008) 按化学成分分类分为非合金钢、低合金钢和合金钢。根据《钢分类 第2部分：按主要质量等级和主要性能或使用特性的分类》(GB/T 13304.2—2008) 按主要质量等级分类，非合金钢分为普通质量非合金钢、优质非合金钢和特殊质量非合金钢，低合金钢分为普通质量低合金钢、优质低合金钢和特殊质量低合金钢，合金钢分为优质合金钢和特殊质量合金钢。

目前，我国建筑工程中所用钢材以碳素结构钢和低合金高强度结构钢为主。

2. 碳素结构钢

碳素结构钢是建筑钢结构中最普遍的工程用钢。

按其含碳量的多少，碳素结构钢分为低碳钢、中碳钢和高碳钢三种。

碳的质量分数在 0.03% ~ 0.25% 范围内的钢材称为低碳钢，碳的质量分数在 0.25% ~ 0.60% 之间的钢材称为中碳钢，碳的质量分数在 0.60% ~ 2.0% 的钢材称为高碳钢。建筑钢结构主要使用低碳钢。

按照现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006) 规定，碳素结构钢分为 4 个牌号，即 Q195 钢、Q215 钢、Q235 和 Q275 钢。牌号由代表屈服强度的汉语拼音字母、屈服强度数值、质量等级、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。符号为：Q——钢材屈服强度“屈”字汉语拼音首位字母；A、B、C、D——质量等级，D 级最高。

以 Q235 钢为例，有 A、B、C、D 共 4 个质量等级，A、B 级脱氧方法为沸腾钢 (F)、镇静钢 (Z)，C 级脱氧方法为镇静钢 (Z)，D 级为特殊镇静钢 (TZ)。其字母含义为：

F——沸腾钢“沸”字汉语拼音首位字母；

Z——镇静钢“镇”字汉语拼音首位字母；

TZ——特殊镇静钢“特镇”两字汉语拼音首位字母。

例如：Q235A 表示屈服强度为 235N/mm^2 的 A 级镇静钢。

Q235AF 表示屈服强度为 235N/mm^2 的 A 级沸腾钢。

Q235B 表示屈服强度为 235N/mm^2 的 B 级镇静钢。

Q235C 表示屈服强度为 235N/mm^2 的 C 级镇静钢。

Q235D 表示屈服强度为 235N/mm^2 的 D 级特殊镇静钢。

不同牌号、不同等级的钢材其化学成分和力学性能指标要求不同，分别见表 2-1 和表 2-2。

3. 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢是指在冶炼过程中增添一些合金元素，其总量不超过质量分数 5% 的钢材。加入合金元素后钢材强度可明显提高，使钢结构构件的强度、刚度、稳定三个主要控制指标都能有充分发挥，尤其在大跨度或重负载结构中优点更为突出，一般可比碳素结构钢节约 20% 左右的用钢量。

表 2-1 碳素结构钢的牌号和化学成分（熔炼分析）

牌 号	统一数字 代号 ^①	等 级	厚度 (或直径) /mm	脱氧方法	化学成分(质量分数)(%),不大于				
					C	Si	Mn	P	S
Q195	U11952	—	—	F、Z	0.12	0.30	0.50	0.035	0.040
Q215	U12152	A	—	F、Z	0.15	0.35	1.20	0.045	0.050
	U12155	B							0.045
Q235	U12352	A	—	F、Z	0.22	0.35	1.40	0.045	0.050
	U12355	B			0.20 ^②				0.045
	U12358	C		Z	0.17			0.040	0.040
	U12359	D		TZ				0.035	0.035
Q275 ^③	U12752	A	—	F、Z	0.24	0.35	1.50	0.045	0.050
	U12755	B	≤40	Z	0.21			0.045	0.045
			>40		0.22				
	U12758	C	—	Z	0.20			0.040	0.040
	U12759	D		TZ				0.035	0.035

① 表中为镇静钢、特殊镇静钢牌号的统一数字，沸腾钢牌号的统一数字代号如下：
Q195F——U11950；
Q215AF——U12150，Q215BF——U12153；
Q235AF——U12350，Q235BF——U12353；
Q275AF——U12750。
② 经需方同意，Q235B 的碳的质量分数可不大于 0.22%。
③ Q275 牌号在 GB/T 700—2006 中已取消。

表 2-2 碳素结构钢的牌号和力学性能

牌号	等级	屈服强度 ^① $R_{eH}/(N/mm^2)$, 不小于						抗拉强度 ^② $R_m/$ (N/mm^2)	断后伸长率 $A(\%)$, 不小于					冲击试验 (V 型缺口)	
		厚度(或直径)/mm							厚度(或直径)/mm					温度 /℃	冲击吸收能量 (纵向)/J, 不小于
		≤16	16~40	40~60	60~100	100~150	150~200		≤40	40~60	60~100	100~150	150~200		
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315~430	33	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~450	31	30	29	27	26	—	—
	B													+20	27
Q235	A	235	225	215	215	195	185	370~500	26	25	24	22	21	—	—
	B													+20	27 ^③
	C													0	
	D													-20	
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410~540	22	21	20	18	17	—	—
	B													+20	27
	C													0	
	D													-20	

① Q195 的屈服强度值仅供参考，不作交货条件。
② 厚度大于 100mm 的钢材，抗拉强度下限允许降低 20N/mm²。宽带钢（包括剪切钢板）抗拉强度上限不作交货条件。
③ 厚度小于 25mm 的 Q235B 级钢材，如供方能保证冲击吸收能量值合格，经需方同意，可不做检验。

按照《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591—2008）中规定，低合金高强度结构钢的牌号表示方法与碳素结构钢类似，由代表屈服强度的汉语拼音字母（Q）、屈服强度数值、质量等级符号（A、B、C、D、E）三个部分按顺序排列表示，其中 E 级要求-40℃的冲击韧度。低合金高强度结构钢采用的脱氧方法均为镇静钢或特殊镇静钢，其中 A、B 级为镇静钢，C、D、E 级为特殊镇静钢，故可不加脱氧方法的符号。钢的牌号共有 Q345 钢、Q390 钢、Q420 钢、Q460 钢、Q500 钢、Q550 钢、Q620 钢和 Q690 钢等八种，其中 Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢材都有较高的强度和较好的塑性、韧性和焊接性，是钢结构设计规范推