



高等学校土木工程专业“十三五”规划教材  
高校土木工程专业规划教材

# 钢结构基本原理

崔佳 熊刚 主编

(第二版)

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材  
高校土木工程专业规划教材

# 钢结构基本原理 (第二版)

崔佳熊刚 主编

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构基本原理/崔佳,熊刚主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 12

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材. 高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-22911-6

I. ①钢… II. ①崔… ②熊… 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 (2018) 第 254459 号

本书是在第一版基础上,根据新修订的《钢结构设计标准》GB 50017—2017 等标准、规范以及近年来的教学改革实践修订而成。全书系统介绍了钢结构的基本原理、基本知识、计算方法、结构特点及钢构件的稳定理论。主要内容包括:绪论、钢结构的材料、钢结构的失效形式及设计计算方法、钢结构的连接、钢结构的稳定、轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件等。

本书可作为高校土木工程专业教材,也可供从事建筑钢结构设计、施工等相关工程技术人员参考。

本书作者制作了配套的教材课件,有需要的任课老师可以发送邮件至:jiangongkejian@163.com 索取。

\* \* \*

责任编辑:吉万旺 王 跃

责任校对:芦欣甜

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材

高校土木工程专业规划教材

钢结构基本原理 (第二版)

崔 佳 熊 刚 主 编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 $\frac{3}{4}$  字数: 432 千字

2019 年 3 月第二版 2019 年 3 月第九次印刷

定价: 48.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-22911-6

(33013)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 第二版前言

“钢结构基本原理”为土木工程专业的专业基础课，本书依据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017—2017 和高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写。

本次修订，除按新标准调整了相关内容外，将各基本构件中有关稳定的理论部分汇集，集中到第5章钢结构的稳定，还增加了钢结构疲劳计算的相关知识。

全书共分8章，第1章主要介绍钢结构的特点、应用和发展；第2章介绍钢结构的材料及其性能；第3章介绍钢结构的失效形式及设计计算方法；第4章介绍钢结构的连接的工作性能和设计方法；第5章介绍钢结构的稳定理论；第6章介绍轴心受力构件的工作原理和计算方法；第7章介绍受弯构件的工作原理和计算方法；第8章介绍拉弯和压弯构件的工作原理和计算方法。

本书可作为土木工程专业本科教材，也可供相关工程技术人员参考。

参加本书编写的有崔佳（第1章）、何子奇（第2章）、金声、黄浩（第3章）、聂诗东（第4章）、石宇、程睿（第5章）、熊刚、杨波（第6章）、郭莹（第7章）、周淑容（第8章）、李鹏程（附录）。全书由崔佳、熊刚主编。

由于水平所限，书中可能存在错误或不妥之处，敬请读者批评指正。

## 第一版前言

按照高等学校土木工程专业指导委员会的意见，原土木工程专业钢结构课程已被拆分为《钢结构基本原理》和《建筑钢结构设计》两门课，为了适应培养方案的变化，在过去已有钢结构教材的基础上编写了本书。

《钢结构基本原理》是土木工程专业的主要专业基础课之一，是研究建筑钢结构基本工作性能的一门工程技术型课程。本课程是建筑工程专业方向的必修课，课程教学的目的是使学生系统地学习钢结构的基本原理、基本知识、计算方法、结构特点及钢构件的稳定理论。

本书主要依据高等学校土木工程专业指导委员会编制的《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》，同时结合作者多年从事钢结构教学工作的经验编写而成。

本书共分7章。第1章阐述了钢结构的特点、钢结构的应用及发展。第2章主要讲解钢结构对材料性能的要求，包括钢材的物理性能及加工性能；同时讨论了化学成分、冶金缺陷、温度以及应力集中等各种因素对钢材性能的影响；给出了钢结构用钢材的种类和常用钢材规格。第3章介绍了钢结构及其构件可能发生的强度破坏、丧失稳定、脆性断裂等破坏形式；着重讲解了用于钢结构设计的概率极限状态设计方法以及我国钢结构设计规范常用的设计表达式。第4、5、6章是对轴心受力构件、受弯构件、拉弯压弯构件等基本构件受力特点及计算方法的介绍，由于钢构件承载能力的极限状态通常由整体稳定和局部稳定控制，故在这3章里，均穿插介绍了一些基本的结构稳定理论，如构件的弯曲失稳、扭转屈曲、弯扭屈曲、弹性薄板的屈曲以及屈曲后强度等，以便学生能系统地掌握这方面的内容，加深对钢构件设计方法的理解。第7章介绍了焊缝、普通螺栓、高强度螺栓连接的工作性能及计算方法，将连接一章放在基本构件学习完成后，是为了帮助学生更容易理解和掌握。

本书既可作为土木工程专业大学本科的教材，也可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有崔佳（第1章）、熊刚（第2章）、戴国欣（第3章）、周淑容（第4章）、陈永庆（第5章）、程睿（第6章）、聂诗东（第7章）、郭莹（附录）。全书由崔佳主编，龙莉萍副主编，负责本书大纲的制定、全书内容的统一、审校、修改和定稿。

对书中的一些疏漏和不当之处，还望读者批评指正。

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 钢结构的特点 .....	1
1.2 钢结构的应用和发展 .....	2
1.2.1 钢结构的应用 .....	2
1.2.2 钢结构的发展 .....	7
<b>2 钢结构的材料</b> .....	9
2.1 钢结构对钢材的要求 .....	9
2.2 钢材的主要性能 .....	9
2.2.1 钢材在单向均匀受拉时的工作性能 .....	9
2.2.2 钢材在复杂应力作用下的工作性能 .....	11
2.2.3 钢材在单轴反复应力作用下的工作性能 .....	12
2.2.4 钢材的冷弯性能 .....	12
2.2.5 钢材的冲击韧性 .....	13
2.3 各种因素对钢材主要性能的影响 .....	13
2.3.1 化学成分 .....	13
2.3.2 冶金缺陷 .....	14
2.3.3 钢材硬化 .....	14
2.3.4 温度影响 .....	15
2.3.5 应力集中 .....	16
2.4 钢结构用钢材的种类和钢材规格 .....	17
2.4.1 钢材的种类 .....	17
2.4.2 钢材的选择 .....	19
2.4.3 钢材的规格 .....	21
<b>3 钢结构的失效形式及设计计算方法</b> .....	23
3.1 钢材的破坏形式 .....	23
3.1.1 塑性破坏 .....	23
3.1.2 脆断 .....	23
3.2 钢结构的失效方式 .....	24
3.2.1 强度不足 .....	24
3.2.2 失稳 .....	24
3.2.3 损伤累积及疲劳 .....	24
3.2.4 刚度不足 .....	25
3.3 概率极限状态设计法及设计表达式 .....	25

3.3.1	极限状态	25
3.3.2	概率极限状态设计方法	26
3.3.3	设计表达式	29
3.4	容许应力法和疲劳计算	31
3.4.1	容许应力法	31
3.4.2	钢材疲劳的特点及其计算思路	32
3.4.3	正应力常幅疲劳的计算	35
3.4.4	剪应力常幅疲劳的计算	37
3.4.5	变幅疲劳和吊车梁的欠载效应系数	38
<b>4</b>	<b>钢结构的连接</b>	<b>41</b>
4.1	焊缝连接的基本知识	41
4.1.1	焊缝连接的特点	41
4.1.2	焊缝连接的形式	41
4.1.3	焊缝符号表示	43
4.1.4	焊缝施焊的位置	44
4.1.5	焊缝施焊的方法	44
4.1.6	焊缝缺陷及检验	45
4.2	角焊缝连接的设计	46
4.2.1	角焊缝的工作性能	46
4.2.2	直角角焊缝强度计算的基本公式	47
4.2.3	斜角角焊缝的计算	49
4.2.4	角焊缝的等级要求	50
4.2.5	角焊缝的构造要求	50
4.2.6	直角角焊缝连接计算的应用举例	52
4.3	对接焊缝连接的设计	61
4.3.1	焊透的对接焊缝连接设计	61
4.3.2	焊透的对接焊缝连接应用举例	62
4.3.3	部分焊透的对接焊缝连接设计	64
4.4	焊接残余应力和焊接变形	65
4.4.1	焊接残余应力的分类	65
4.4.2	焊接残余应力的影响	66
4.4.3	焊接变形的形式	67
4.4.4	减少焊接应力和焊接变形的的方法	68
4.5	螺栓连接的基本知识	69
4.5.1	螺栓连接的形式及特点	69
4.5.2	螺栓的排列要求	71
4.5.3	螺栓连接的构造要求	73
4.5.4	螺栓的符号表示	73
4.6	普通螺栓连接的设计	73

4.6.1	螺栓抗剪的工作性能	73
4.6.2	普通螺栓的抗剪连接	74
4.6.3	普通螺栓的抗拉连接	76
4.6.4	普通螺栓受拉剪共同作用	77
4.6.5	普通螺栓连接计算的应用举例	77
4.7	高强度螺栓连接的设计	84
4.7.1	高强度螺栓的预拉力及抗滑移系数	84
4.7.2	高强度螺栓的抗剪连接	85
4.7.3	高强度螺栓的抗拉连接	86
4.7.4	高强度螺栓受拉剪共同作用	87
4.7.5	单个螺栓连接承载力设计值公式汇总	88
4.7.6	高强度螺栓连接计算的应用举例	89
	习题	93
5	钢结构的稳定	96
5.1	受压构件的弯曲失稳	96
5.1.1	理想轴心受压构件的弯曲屈曲	96
5.1.2	初始缺陷对压杆稳定的影响	100
5.1.3	轴心压杆的极限承载力	107
5.1.4	压弯构件弯矩作用平面内的稳定	109
5.1.5	杆端约束对压杆稳定的影响——计算长度	113
5.2	构件的扭转应力	114
5.2.1	概述	114
5.2.2	等截面构件的自由扭转	116
5.2.3	构件的约束扭转	118
5.3	构件的弯扭屈曲	123
5.3.1	受弯构件(梁)的侧向弯扭屈曲	123
5.3.2	轴心压杆的扭转屈曲和弯扭屈曲	127
5.3.3	双轴对称截面压弯构件弯矩作用平面外的稳定	132
5.4	矩形薄板的屈曲	134
5.4.1	薄板屈曲的平衡方程	134
5.4.2	荷载作用于中面的薄板临界荷载	134
5.4.3	各种边缘荷载共同作用下的薄板稳定	139
5.4.4	薄板的屈曲后强度	141
	习题	145
6	轴心受力构件	147
6.1	轴心受力构件的特点和截面形式	147
6.2	轴心受力构件的强度和刚度计算	148
6.2.1	强度计算	148
6.2.2	刚度计算	152



6.2.3	轴心拉杆的计算 .....	153
6.3	实腹式轴心受压构件的整体稳定 .....	155
6.3.1	轴心受压构件的多柱子曲线 .....	155
6.3.2	实腹式轴心受压构件整体稳定的计算 .....	158
6.4	格构式轴心受压构件的整体稳定 .....	163
6.4.1	格构式轴心受压构件的组成及应用 .....	163
6.4.2	格构式轴心受压构件的整体稳定性 .....	163
6.4.3	格构柱分肢的稳定性 .....	166
6.4.4	缀材及其连接的计算 .....	166
6.5	轴心受压构件的局部稳定 .....	172
6.5.1	板件的局部稳定性 .....	172
6.5.2	轴心受压构件组成板件的容许宽厚比 .....	172
6.5.3	腹板屈曲后强度的利用 .....	174
	习题 .....	176
<b>7</b>	<b>受弯构件</b> .....	<b>178</b>
7.1	受弯构件的类型和应用 .....	178
7.1.1	实腹式受弯构件——梁 .....	178
7.1.2	格构式受弯构件——桁架 .....	180
7.2	梁的强度和刚度 .....	181
7.2.1	梁的抗弯强度 .....	181
7.2.2	梁的抗剪强度 .....	186
7.2.3	梁的局部承压强度 .....	187
7.2.4	梁在复杂应力条件下的折算应力 .....	188
7.2.5	梁的刚度 .....	190
7.3	梁的整体稳定 .....	191
7.3.1	梁整体稳定的概念 .....	191
7.3.2	梁整体稳定的保证 .....	192
7.3.3	梁整体稳定的计算方法 .....	193
7.4	梁的局部稳定 .....	196
7.4.1	受压翼缘的局部稳定 .....	197
7.4.2	腹板的局部稳定 .....	198
7.4.3	加劲肋的构造和截面尺寸 .....	204
7.4.4	支承加劲肋的计算 .....	205
7.5	考虑腹板屈曲后强度的梁设计 .....	206
7.5.1	腹板屈曲后的抗剪承载力 $V_u$ .....	206
7.5.2	腹板屈曲后的抗弯承载力 $M_{eu}$ .....	206
7.5.3	考虑腹板屈曲后强度梁的承载力 .....	207
7.5.4	考虑腹板屈曲后强度的梁的加劲肋设计 .....	208
	习题 .....	213

<b>8 拉弯和压弯构件</b> .....	215
8.1 拉弯和压弯构件简介 .....	215
8.2 拉弯和压弯构件的强度和刚度 .....	216
8.2.1 强度计算 .....	216
8.2.2 刚度计算 .....	219
8.3 实腹式压弯构件的整体稳定 .....	220
8.3.1 单向弯曲实腹式压弯构件的整体稳定 .....	220
8.3.2 双向弯曲实腹式压弯构件的整体稳定 .....	224
8.4 格构式压弯构件的整体稳定 .....	226
8.4.1 单向弯曲格构式压弯构件的整体稳定 .....	226
8.4.2 双向弯曲格构式压弯构件的整体稳定 .....	227
8.4.3 缀材的计算 .....	228
8.5 压弯构件的局部稳定和屈曲后强度 .....	233
8.5.1 翼缘和腹板的宽厚比 .....	233
8.5.2 考虑腹板屈曲后强度的构件设计 .....	233
习题 .....	235
<b>附录 1 钢材和连接的强度设计值</b> .....	236
<b>附录 2 受弯构件的挠度容许值</b> .....	239
<b>附录 3 梁的整体稳定系数</b> .....	240
附 3.1 等截面焊接工字形和轧制 H 型钢简支梁 .....	240
附 3.2 轧制普通工字钢简支梁 .....	242
附 3.3 轧制槽钢简支梁 .....	242
附 3.4 双轴对称工字形等截面悬臂梁 .....	242
附 3.5 受弯构件整体稳定系数的近似计算 .....	243
<b>附录 4 轴心受压构件的稳定系数</b> .....	244
附 4.1 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 .....	244
附 4.2 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 .....	245
附 4.3 c 类截面轴心受压构件的稳定系数 .....	246
附 4.4 d 类截面轴心受压构件的稳定系数 .....	247
附 4.5 轴心受压构件稳定系数的计算公式 .....	247
<b>附录 5 疲劳计算的构件和连接分类</b> .....	249
附 5.1 非焊接的构件和连接分类 .....	249
附 5.2 纵向传力焊缝的构件和连接分类 .....	250
附 5.3 横向传力焊缝的构件和连接分类 .....	251
附 5.4 非传力焊缝的构件和连接分类 .....	253
附 5.5 钢管截面的构件和连接分类 .....	254
附 5.6 剪应力作用下的构件和连接分类 .....	256
<b>附录 6 型钢表</b> .....	257
附 6.1 普通工字钢 .....	257

附 6.2 热轧 H 型钢 .....	258
附 6.3 部分 T 型钢 .....	261
附 6.4 普通槽钢 .....	263
附 6.5 等边角钢 .....	264
附 6.6 不等边角钢 .....	266
附 6.7 热轧无缝钢管 .....	268
附 6.8 电焊钢管 .....	271
附录 7 螺栓和锚栓规格 .....	273
参考文献 .....	274

# 1 绪 论

## 1.1 钢 结 构 的 特 点

以钢板、热轧型钢、冷弯薄壁型钢等钢材为主要承重结构材料，通过焊接或螺栓连接组成的承重构件或承重结构称为钢结构。

与其他结构如钢筋混凝土结构、砌体结构、木结构等相比，钢结构有如下一些特点：

### (1) 材料强度高、塑性韧性好

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，因此，特别适用于建造跨度大、高度高以及荷载重的结构。但由于强度高，一般所需要的构件截面小而壁厚，在受压时容易发生失稳破坏或受刚度控制，强度有时难以得到充分的利用。

钢材的塑性好，在承受静力荷载时，材料吸收变形能的能力强，因此，一般情况下结构不会由于偶然超载而突然断裂，只增大变形，故易于被发现。同时，塑性好还能将局部高峰应力重分配，使应力变化趋于平缓。

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。

### (2) 钢结构的重量轻、抗震性能好

钢材的重度虽然比混凝土大，但由于强度高，构件截面小，做成的结构比较轻且柔。结构的轻质性可以用材料的质量密度  $\rho$  和强度  $f$  的比值  $\alpha$  来衡量， $\alpha$  值越小，结构相对越轻。钢材的  $\alpha$  值在  $1.7 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-4}/\text{m}$ ；木材为  $5.4 \times 10^{-4}/\text{m}$ ；钢筋混凝土约为  $18 \times 10^{-4}/\text{m}$ 。大跨度结构体系中，在跨度及承载力相同的条件下，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  $1/10$ 。

钢结构由于自重轻，且结构比较柔，地震作用相对较小，在地震区采用钢结构较为有利。

### (3) 材质均匀、与力学计算的假定比较符合

钢结构的材料采用单一的钢材，由于冶炼和轧制过程的科学控制，钢材的组织比较均匀，其材质接近于匀质和各向同性体。而钢材的力学性能接近于理想的弹性—塑性体，其弹性模量和韧性均较大，因此，钢结构实际受力情况和工程力学计算结果比较符合，在设计中采用的经验公式不多，计算上的不确定性较小，计算结果比较可靠。

### (4) 工业化程度高、施工周期短

钢结构所有材料皆已轧制成各种型材，加工简易而迅速。钢结构构件一般在专业加工厂制作，然后再运至现场安装，装配化率比较高，因此准确度和精确度较高，质量也易于控制。由于钢构件较轻，连接简单，运输安装方便，且施工采用机械化，可以大大缩短现场的施工周期。小量钢结构和轻型钢结构还可在现场制作，简易吊装。

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) 钢结构的密闭性好

钢结构钢材及焊接连接的水密性和气密性较好，不易渗漏，适用于制作各种压力容器、油罐、气柜、管道等水密性、气密性要求较高的结构。

#### (6) 钢结构耐腐蚀性差

钢材容易锈蚀，在使用期间必须注意防护，特别是薄壁构件更应注意，如定期除锈和涂刷油漆，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物不宜采用钢结构。

钢结构的防腐蚀措施一般采用涂刷防锈油漆或镀锌、镀铝锌等方法。钢结构在涂刷油漆前应彻底除锈，油漆质量和涂层厚度均匀符合要求。

#### (7) 钢结构耐热但不耐火

钢材受热，当温度在 200℃ 以下时，其主要力学性能（屈服点和弹性模量）无太大变化。但温度超过 200℃ 后，不仅强度总趋势呈逐渐下降，还有蓝脆和徐变现象。温度达到 600℃ 时，钢材进入塑性状态，强度降为零，已不能继续承载。因此，《钢结构设计标准》GB 50017—2017 规定构件表面温度超过 100℃ 时应进行结构温度作用验算，并应根据不同情况采取隔热防护措施，对有防火要求的结构，还必须进行抗火设计或采取必要的防火保护措施。

#### (8) 钢材的脆断

钢结构在低温工作环境下和其他条件下可能发生脆性断裂，设计中应特别注意。

## 1.2 钢结构的应用和发展

### 1.2.1 钢结构的应用

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。新中国成立初期，我国年钢产量只有十几万吨，远不能满足国民经济各部门的需求，因而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，到 2017 年，我国以 8.32 亿 t 的年生产量，再次成为全球第一大粗钢生产国，钢结构在建筑、桥梁上的应用也逐年上升。

钢结构的应用领域十分广泛，主要有：

#### (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、超高层建筑领域。因为钢材的抗拉、抗压、抗剪强度高，因而钢结构构件结构断面小、自重轻。采用钢结构承重骨架，可比钢筋混凝土结构减轻自重约三分之一以上。结构自重轻，可以减少运输和吊装费用，基础的负载也相应减少，在地质条件较差地区，可以降低基础造价。此外，钢结构自重轻也可显著减少地震作用，一般情况下，地震作用可减少 40% 左右。钢材良好的弹塑性性能，还可使承重骨架及节点等在地震作用下具有良好的延性。

我国现代高层建筑钢结构自 20 世纪 80 年代中期起步，第一幢高层建筑钢结构为 43

层、165m高的深圳发展中心大厦。此后，在北京、上海、深圳、大连等地又陆续有高层建筑钢结构建成。较具代表性的如 81 层、383.95m 高的深圳地王大厦（图 1-1），北京中央电视台总部大楼（主楼高 234m，图 1-2），楼高 492m，地上 101 层的上海环球金融中心（图 1-3 右），以及目前国内最高的超高层建筑上海中心大厦，其建筑主体为 118 层，总高 632m，结构高度为 580m（图 1-3 左）等。



图 1-1 深圳地王大厦



图 1-2 北京中央电视台新楼

## （2）大跨度及大悬挑结构

公共建筑中的大会堂、影剧院、展览馆、体育馆、加盖体育场、航空港等由于建筑使用空间的要求，常常需要采用大跨度或大悬挑结构。大跨度及大悬挑结构主要是在自重荷载下工作，为了减轻结构自重，需要采用高强轻质材料，因此最适宜采用钢结构。

如为 2008 年北京奥运会修建的国家体育中心“鸟巢”（图 1-4，跨度 290m×340m）、广州大剧院（图 1-5）、可容纳 8 万人的天津奥林匹克中心体育场挑篷（图 1-6）、北京新机场候机楼（图 1-7）等就是大跨度钢结构在公共建筑领域应用的代表。



图 1-3 上海环球金融中心及上海中心大厦



图 1-4 国家体育中心“鸟巢”

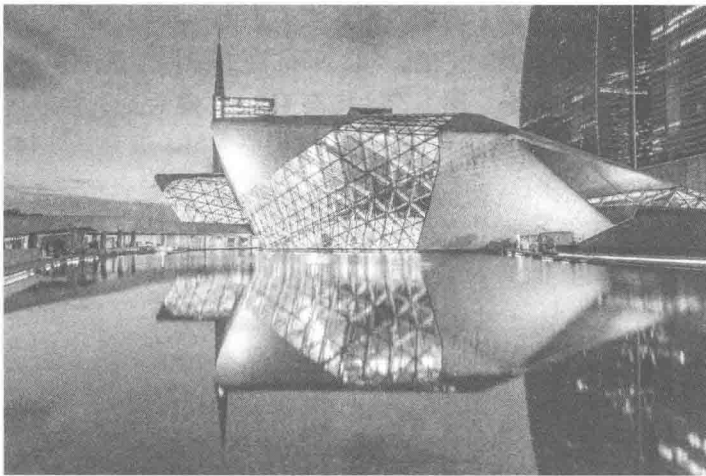


图 1-5 广州大剧院

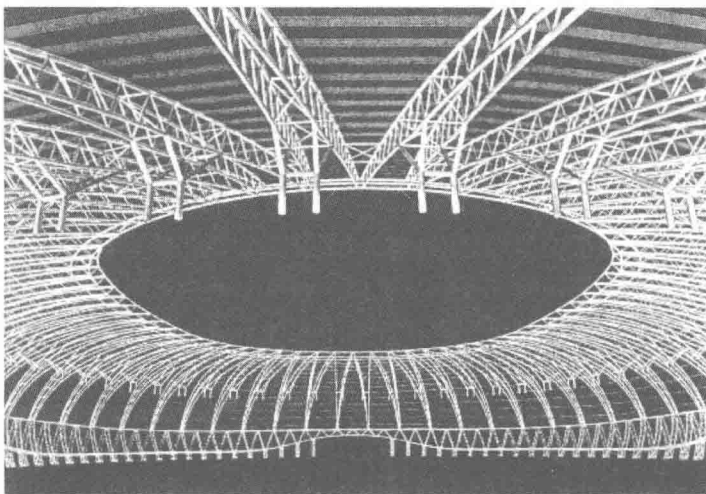


图 1-6 天津奥林匹克中心体育场

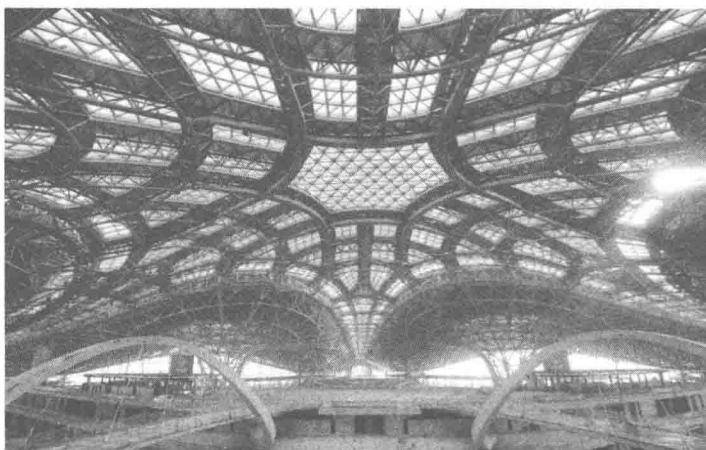


图 1-7 北京新机场候机楼

### (3) 工业厂房

吊车起重量较大或工作较繁重的车间，如冶金厂房的平炉、转炉车间，混铁炉车间，初轧车间；重型机械厂的铸钢车间、水压机车间、锻压车间等，因为承受的荷载较大，抗疲劳强度的要求较高，多采用钢骨架。此外，设有较大锻锤的车间，其骨架直接承受动力荷载，尽管不大，但间接的振动却极为强烈，也多采用钢结构。

近年网架结构及轻型门式刚架结构的大量应用，使一般空间及跨度要求较大的工业厂房也采用了钢结构。

### (4) 高耸结构

高耸结构要求具备较强的抗风及抗地震能力，同时，也希望有较轻的结构自重。高耸结构包括塔架和桅杆结构，如电视塔、微波塔、输电线塔、钻井塔、环境大气监测塔、无线电天线桅杆、广播发射桅杆等，高达 450m 的广州新电视塔观光塔（图 1-8）就是其中的代表。高耸结构有时候也用于一些城市巨型雕塑及纪念性建筑，如美国纽约的自由女神像、法国巴黎的埃菲尔铁塔（图 1-9）等。

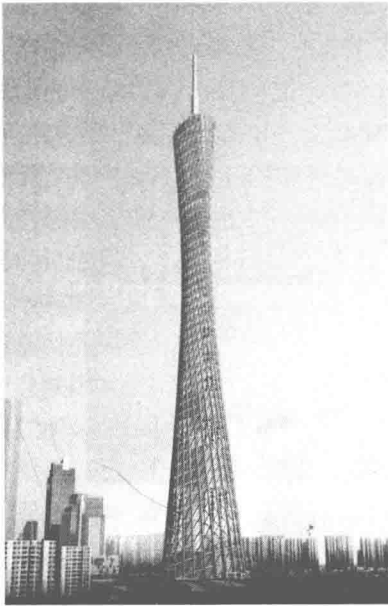


图 1-8 广州新电视塔

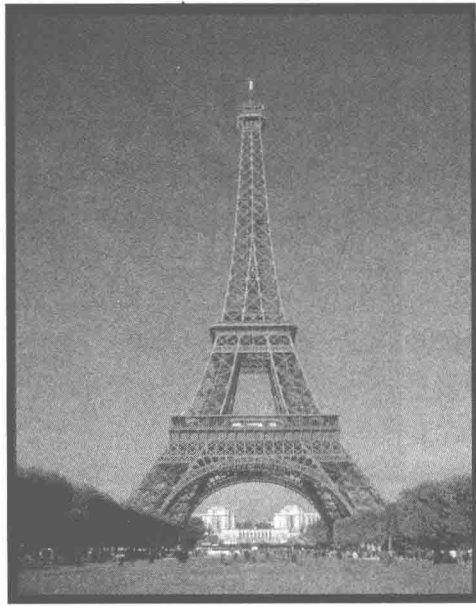


图 1-9 法国巴黎埃菲尔铁塔

### (5) 桥梁钢结构

近几年，随着城市建设的高速发展，为解决城市的交通拥堵问题，各种人行天桥、城市高架桥、跨江及跨海大桥的需求也日益增长，桥梁结构通常需要特别大的跨度，采用钢结构可以减轻自重，实现跨越道路、大江大海的功能。

图 1-10 为杭州湾跨海大桥，大桥设南、北两个航道，其中北航道桥为主跨 448m 的钻石形双塔双索面钢箱梁斜拉桥；南航道桥为主跨 318m 的 A 形单塔双索面钢箱梁斜拉桥。

图 1-11 为重庆千厮门嘉陵江大桥，主桥为单塔单索面钢桁梁斜拉桥，跨径布置为  $88\text{m} + 312\text{m}$ （主跨） $+ 240\text{m} + 80\text{m} = 720\text{m}$ 。





图 1-10 杭州湾跨海大桥



图 1-11 重庆千厮门嘉陵江大桥

#### (6) 轻型结构

包括轻型门式刚架房屋钢结构(图 1-12)、冷弯薄壁型钢结构以及钢管结构。这类结构主要用于使用荷载较轻或跨度较小的建筑,其特点是屋面及墙面均采用轻质围护材料,自重及竖向荷载较小,因而结构的用钢量很低,甚至低于钢筋混凝土结构中的钢筋用量。

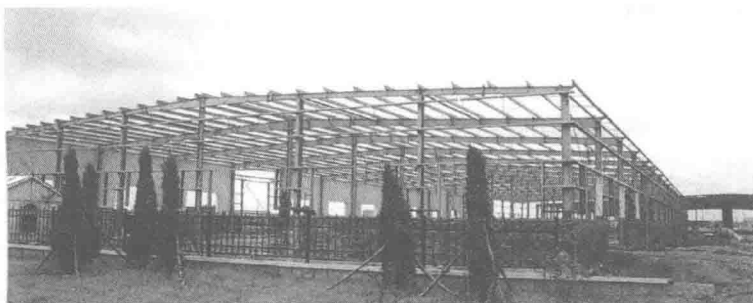


图 1-12 轻型门式刚架结构