



高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高校土木工程专业规划教材

# 钢结构—原理与设计 (第二版)

STEEL STRUCTURES  
BEHAVIOR AND DESIGN

姚 谏 夏志斌 编著

中国建筑工业出版社

高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高校土木工程专业规划教材

# 钢结构—原理与设计

(第二版)

姚 谏 夏志斌 编著



中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

钢结构—原理与设计/姚谏, 夏志斌编著. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011.5

高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-13048-1

I. ①钢… II. ①姚…②夏… 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 (2011) 第 043599 号

高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高校土木工程专业规划教材

**钢结构—原理与设计**

(第二版)

姚 谏 夏志斌 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 36 字数: 878 千字

2011 年 8 月第二版 2011 年 8 月第十三次印刷

定价: 69.00 元

ISBN 978-7-112-13048-1

(20478)

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

本书的第一版于2004年7月出版以来,得到同行和读者的欢迎与好评,被全国众多高校用作钢结构课程的教材或主要参考书,至今已印刷12次,三万余册;2008年7月获浙江大学优秀教学成果二等奖。

为适应社会发展的需要,在出版社的提议下,编著者于2009年5月开始对第一版进行增订。新增订的第二版主要是在第一版内容的基础上,新增加了应用日益广泛的“钢管结构”一章。新增章节着重介绍圆钢管与矩形(方)管结构节点的受力性能、连接与承载力计算方法。同时,对第一版作了仔细校对,纠正了其中的一些错、漏处。

需要特别说明的是,增订版中采用的钢材力学性能指标符号,与现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003相同,没有采用现行钢材国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—2006和《低合金高强度结构钢》GB/T 1951—2008中的新符号,如屈服强度符号仍采用 $f_y$ 而没有采用 $R_{eH}$ 或 $R_{eL}$ ,与目前的应用习惯一致。

增订工作由姚谏负责策划、完成,浙江大学建筑工程学院研究生卢哲刚等协助参加了增订内容的编写和文稿打印等工作。

限于水平,书中难免会有错、漏处,敬请读者批评指正,以利于今后修订,使之更臻完善。

姚 谏

2011年2月于西子湖畔

本书为高等教育土建学科专业“十二五”规划教材。由住房和城乡建设部 2011 年 3 月 24 日批准。是 2004 年第一版之后的修订第二版。新增了第 12 章钢管结构。全书共分 12 章，包括：绪论、钢结构的材料及其性能、钢结构的设计方法、钢结构的焊缝连接、钢结构的紧固件连接、轴心受力构件、受弯构件（梁）、拉弯构件和压弯构件、桁架及屋盖、疲劳计算和吊车梁设计、门式刚架的塑性设计、钢管结构等。书末附录列出计算和设计需用表格供查用。书中还列举较多的计算和设计例题，章末附有复习思考题和习题等。全书按现行的规范编写，除介绍设计规范有关规定外，更着重介绍钢结构的基本知识和基本理论，理论和实际并重。本书供高等院校土木工程专业本科用作《钢结构》课程的教材，经过一定的取舍，也可用作大学专科的教材，还可供相关工程技术人员参考阅读。

\* \* \*

责任编辑：赵梦梅

责任设计：张虹

责任校对：赵颖 王雪竹

# 第一版前言

本书是对作者编著的《钢结构》（浙江大学出版社 1996 年 5 月出版）作全面修订而成。为突出书中的内容，更名为《钢结构—原理与设计》。全书按新近颁布的国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 编写，以适应教学的需要，供高等院校土木工程专业作教材使用。

本书内容除第 1 章绪论外，共有 10 章。其中第 2 章至第 8 章共 7 章分别讲述钢结构所用钢材的力学性能、钢结构的设计原则及设计方法，焊缝连接和螺栓连接以及钢结构的三大基本构件（轴心受力构件、受弯构件和拉弯、压弯构件）的性能和计算。详细介绍了有关的基本知识和基本理论。钢材一章中主要介绍钢结构的材性要求及影响钢材性能的主要因素，从而使能正确选用钢材牌号以达到安全、经济和适用，特别是防止在某些情况下构件出现脆性破坏的危险。设计方法这章中简单介绍我国采用的极限状态算法，由于高校中课程《混凝土结构》常先于《钢结构》讲授，此章内容如何讲授可根据各校的具体情况确定。在连接计算的章节内，着重介绍各种连接的传力方式和构造要求。在构件计算各章内，特别着重介绍影响构件承载能力的稳定问题，包括如何计算整体稳定和局部稳定，这是钢结构设计中必须予以重视的问题。总之，本书第 2 章至第 8 章是土木工程专业各个方向的学生都必须学习的基本内容。本书第 9 章至第 11 章分别叙述了桁架及屋盖、吊车梁和山形门式刚架三种结构（或扩大构件）的设计，介绍如何利用以前各章的基本内容于具体结构设计，学习简单钢结构设计的基本方法，为以后工作中具备设计较复杂结构和复杂结构工作能力打好基础。为此，屋架和门式刚架两章中所选例题，规模均较小，主要以说清楚设计内容为主。吊车梁一章中为了介绍有纵向加劲肋时的腹板局部稳定性计算和进行疲劳计算，特选用了具有较大起重量的重级工作制吊车的吊车梁。关于钢结构中应用较多的高层建筑钢结构和大跨度钢结构等，由于较为复杂，绝非几个学时能在课程中讲述清楚的（这些内容在高校中如需讲授，以开设选修课为宜），因而本书未列入此等内容。最后还需一提的有：有关结构的疲劳计算，它应属于基本知识和基本理论范畴，许多教材中将其放在钢材一章中讲授，而本书则为了与具体应用紧密联系，将其放入吊车梁一章内。各校教学时，可将疲劳计算的内容提前讲授。钢结构的塑性设计是区别于弹性设计的一种方法，在本书前面各章中均未涉及，因此特在门式刚架一章中予以介绍。上面是对本书内容及其重点的简要介绍，下面将对作者在编著本书时的一些想法作简单说明。

为了适应各类学校对本课程的不同教学要求和同一班级各类学生的不同学习要求，本书内容取材较广，可供选择。例如在理论部分对大多数公式都加以推导，在连接计算中对同一连接常介绍不同的计算方法，对有别于我国设计规范规定的主要国外规范的规定加以探讨和说明等等，目的是为了使学生加深理解和扩大思路，把知识学活。在使用本教材时，教师可以根据不同要求对讲授内容加以取舍，并对学生提出最低要求，以便学生复习。

书中例题是使学生运用已学理论和方法解决工程实际问题的最好练习，因而本书中列举了较多的例题。例题内容偏重设计，少量为验算。设计题一题可有几种解答，但有优劣之分，从比较中得到满意的结果，而验算只能有一种结果。例题主要供学生自学之用，不宜在课堂上讲授。学生阅读例题的解答之前，最好能先思考一下解题思路而后与书中的解答比较，效果可能更好。例题中各物理量的单位，对由公式计算而得的数量，其单位用圆括弧表示；对直接给出的物理量，其单位不加括弧，以示区别，如  $(\text{kN} \cdot \text{m})$  或  $\text{kN} \cdot \text{m}$  等。

各章末设复习思考题和习题。思考题供总结一章主要内容用，而习题则用以练习解题方法和进行各种计算及构造布置。两者并用，可收到较好的学习效果。本书除可用作大学本科土木工程专业《钢结构》教材外，也可供大学专科的相同专业使用，但对内容需适当精简。同时本书也可供工程技术人员参考。

书中第 1、2、3、6、7 章由夏志斌编写，其余各章由姚谏编写。编著者对书中引用的参考资料尽量注明其来源以供读者深入学习时查阅。这里谨向被本书引用的参考资料的作者致以衷心的感谢。最后，对浙江大学建筑工程学院硕士研究生周延阳、张兆宇和王韬为本书电脑打字和绘图也表示衷心谢意。

夏志斌 姚 谏

2004 年元月于浙江大学

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 钢结构的特点和应用 .....	1
1.2 钢结构设计和设计规范 .....	4
1.3 钢结构课程的内容和要求 .....	6
复习思考题 .....	7
<b>第 2 章 钢结构的材料及其性能</b> .....	8
2.1 钢结构所用钢材的力学性能 .....	8
2.2 影响钢材性能的主要因素 .....	12
2.3 复杂应力状态下钢材的屈服条件 .....	18
2.4 钢材的脆性断裂（冷脆） .....	19
2.5 钢材的层状撕裂 .....	21
2.6 钢材的牌号和选用 .....	22
2.7 型钢及钢板 .....	25
2.8 美、日等国常用的结构钢牌号简介 .....	28
复习思考题 .....	30
<b>第 3 章 钢结构的设计方法</b> .....	31
3.1 结构设计的目的 .....	31
3.2 容许应力设计法 .....	31
3.3 概率设计法——一次二阶矩法 .....	33
3.4 我国建筑钢结构设计中目前采用的方法 .....	37
3.5 国外钢结构设计规范中采用的设计方法 .....	41
复习思考题 .....	42
<b>第 4 章 钢结构的焊缝连接</b> .....	43
4.1 钢结构的连接方法 .....	43
4.2 钢结构中所使用的焊接方法简介 .....	43
4.3 焊接结构的特性和焊缝连接 .....	46
4.4 焊缝代号（或焊缝符号） .....	51
4.5 对接焊缝的计算和构造 .....	54
4.6 直角角焊缝的受力性能 .....	60
4.7 直角角焊缝的强度计算 .....	62
4.8 角焊缝的尺寸限制和构造要求 .....	66
4.9 直角角焊缝连接的计算 .....	69
4.10 斜角角焊缝连接的计算 .....	89
4.11 部分焊透的对接焊缝连接的计算 .....	90
4.12 焊缝的质量等级 .....	91
4.13 焊接残余应力和残余变形 .....	92



4.14	国外设计规范中的某些规定 .....	96
	复习思考题 .....	98
	习题 .....	99
<b>第5章</b>	<b>钢结构的紧固件连接 .....</b>	<b>101</b>
5.1	概述 .....	101
5.2	螺栓的排列 .....	104
5.3	普通螺栓连接和高强度螺栓承压型连接的工作性能 .....	107
5.4	普通螺栓连接和高强度螺栓承压型连接的计算 .....	109
5.5	高强度螺栓摩擦型连接的计算 .....	131
5.6	国外设计规范对螺栓连接计算的某些规定 .....	138
	复习思考题 .....	140
	习题 .....	141
<b>第6章</b>	<b>轴心受力构件 .....</b>	<b>143</b>
6.1	概述 .....	143
6.2	轴心受拉构件的受力性能和计算 .....	145
6.3	轴心受压构件的受力性能 .....	149
6.4	理想轴心受压构件的整体稳定性 .....	151
6.5	初弯曲和初偏心对轴心受压构件弹性稳定的影响 .....	157
6.6	残余应力对受压构件稳定的影响 .....	159
6.7	GB 50017—2003 中关于实腹式轴心受压构件弯曲屈曲时的整体稳定性计算 .....	166
6.8	实腹式轴心受压构件弯扭屈曲时的整体稳定性计算 .....	171
6.9	轴心受压构件的局部稳定性 .....	176
6.10	实腹式轴心受压构件的截面设计 .....	183
6.11	格构式轴心受压构件的计算 .....	193
6.12	轴心压杆支撑杆件的计算 .....	210
6.13	柱头的构造与计算 .....	212
6.14	轴心受压柱柱脚的构造与计算 .....	214
	复习思考题 .....	223
	习题 .....	223
<b>第7章</b>	<b>受弯构件(梁) .....</b>	<b>225</b>
7.1	受弯构件的应用及类型 .....	225
7.2	受弯构件的计算内容 .....	226
7.3	受弯构件的强度 .....	227
7.4	梁的扭转 .....	233
7.5	梁的整体稳定性 .....	238
7.6	我国设计规范 GB 50017 中关于钢梁整体稳定性验算的一些规定 .....	244
7.7	型钢梁的截面设计 .....	260
7.8	实腹式檩条的设计 .....	265
7.9	钢板梁的截面设计 .....	272
7.10	板梁截面沿跨度方向的改变 .....	279
7.11	板梁的翼缘板与腹板的连接 .....	285
7.12	板梁的局部稳定性 .....	287

7.13	梁腹板加劲肋的设计 .....	297
7.14	工字形组合梁腹板考虑屈曲后强度的设计 .....	305
7.15	梁的拼接 .....	318
7.16	次梁与主梁的连接 .....	324
7.17	梁的支座 .....	329
	复习思考题 .....	332
	习题 .....	333
<b>第 8 章</b>	<b>拉弯构件和压弯构件 .....</b>	<b>335</b>
8.1	概述 .....	335
8.2	拉弯构件和压弯构件的强度计算 .....	336
8.3	实腹式单向压弯构件在弯矩作用平面内的稳定计算 .....	338
8.4	实腹式单向压弯构件在弯矩作用平面外的稳定计算 .....	348
8.5	实腹式双向压弯构件的稳定计算 .....	350
8.6	实腹式压弯构件的局部稳定计算 .....	351
8.7	实腹式压弯构件的截面设计 .....	353
8.8	框架内力的二阶弹性分析 .....	357
8.9	格构式压弯构件的稳定计算 .....	363
8.10	格构式压弯构件的截面设计 .....	365
8.11	压弯构件和框架柱的计算长度 .....	368
8.12	多层框架柱的拼接 .....	375
8.13	框架中梁和柱的连接 .....	377
8.14	框架柱的柱脚设计 .....	386
	复习思考题 .....	391
	习题 .....	392
<b>第 9 章</b>	<b>桁架及屋盖 .....</b>	<b>394</b>
9.1	桁架的外形、主要尺寸和腹杆体系 .....	394
9.2	屋盖的组成及主要平面尺寸 .....	396
9.3	屋架的支撑系统 .....	398
9.4	屋盖设计的内容和屋架的内力计算 .....	403
9.5	桁架杆件的截面形式和节点板厚度 .....	409
9.6	桁架杆件的计算长度和容许长细比 .....	414
9.7	桁架杆件的截面设计 .....	416
9.8	桁架的节点设计和角钢间的填板 .....	427
9.9	支撑系统与屋架的连接节点 .....	437
9.10	屋架的施工详图 .....	438
	复习思考题 .....	440
<b>第 10 章</b>	<b>疲劳计算和吊车梁设计 .....</b>	<b>442</b>
10.1	关于疲劳计算的基本概念 .....	442
10.2	常幅疲劳计算及容许应力幅 .....	444
10.3	变幅疲劳的计算 .....	446
10.4	设计规范 GB 50017—2003 中关于疲劳计算的其他规定 .....	447
10.5	吊车梁的设计要点 .....	451

<b>第 11 章 门式刚架的塑性设计</b> .....	469
11.1 门式刚架 .....	469
11.2 塑性设计 .....	471
11.3 门式刚架的建筑尺寸及结构布置 .....	472
11.4 门式刚架的荷载和机构分析 .....	473
11.5 截面设计和构件的强度、稳定性验算 .....	480
11.6 位移计算 .....	487
11.7 节点设计 .....	488
复习思考题 .....	492
习题 .....	493
<b>第 12 章 钢管结构</b> .....	494
12.1 前言 .....	494
12.2 杆件与节点形式 .....	495
12.3 钢管桁架结构的内力分析和截面设计 .....	498
12.4 构造要求 .....	499
12.5 节点焊缝连接计算 .....	500
12.6 圆管结构的节点承载力 .....	504
12.7 矩形管结构的节点承载力 .....	511
复习思考题 .....	522
习题 .....	522
<b>附录 1 规范 GB 50017—2003 中有关表格摘录</b> .....	523
附表 1.1 钢材的强度设计值 ( $N/mm^2$ ) .....	523
附表 1.2 焊缝的强度设计值 ( $N/mm^2$ ) .....	523
附表 1.3 螺栓连接的强度设计值 ( $N/mm^2$ ) .....	524
附表 1.4 螺栓的有效面积 .....	525
附表 1.5 结构构件和连接的强度设计值折减系数 .....	525
附表 1.6 钢材和钢铸件的物理性能指标 .....	525
附表 1.7 受弯构件挠度容许值 .....	526
附表 1.8 H 型钢或等截面工字形简支梁不需计算整体稳定性的最大 $l_1/b_1$ 值 .....	526
附表 1.9 H 型钢和等截面工字形简支梁的等效临界弯矩系数 $\beta_b$ .....	527
附表 1.10 轧制普通工字钢简支梁的整体稳定系数 $\varphi_b$ .....	527
附表 1.11 双轴对称工字形等截面 (含 H 型钢) 悬臂梁的等效临界弯矩系数 $\beta_b$ .....	528
附表 1.12 轴心受压构件的截面分类 (板厚 $t < 40mm$ ) .....	528
附表 1.13 轴心受压构件的截面分类 (板厚 $t \geq 40mm$ ) .....	529
附表 1.14 截面塑性发展系数 $\gamma_x$ 、 $\gamma_y$ .....	530
附表 1.15 桁架弦杆和单系腹杆的计算长度 $l_0$ .....	531
附表 1.16 受压构件的容许长细比 .....	531
附表 1.17 受拉构件的容许长细比 .....	531
附表 1.18 塑性设计时板件宽厚比 .....	532
附表 1.19 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 $\varphi$ .....	532
附表 1.20 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 $\varphi$ .....	533
附表 1.21 c 类截面轴心受压构件的稳定系数 $\varphi$ .....	534

附表 1.22	d 类截面轴心受压构件的稳定系数 $\varphi$ .....	534
附表 1.23	附表 1.22 注中公式的系数 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ .....	535
附表 1.24	无侧移框架柱的计算长度系数 $\mu$ .....	535
附表 1.25	有侧移框架柱的计算长度系数 $\mu$ .....	536
附表 1.26	疲劳计算时构件和连接分类 .....	536
<b>附录 2</b>	<b>型钢规格及截面特性</b> .....	<b>540</b>
附表 2.1	热轧等边角钢的规格及截面特性 (按 GB 9787—88 计算) .....	540
附表 2.2	热轧不等边角钢的规格及截面特性 (按 GB 9788—88 计算) .....	543
附表 2.3	两个热轧不等边角钢的组合截面特性 (按 GB 9788—88 计算) .....	546
附表 2.4	热轧普通工字钢的规格及截面特性 (按 GB 706—88 计算) .....	549
附表 2.5	热轧普通槽钢的规格及截面特性 (按 GB 707—88 计算) .....	551
附表 2.6	宽、中、窄翼缘 H 型钢截面尺寸和截面特性 (摘自 GB/T 11263—1998) .....	553
附表 2.7	剖分 T 型钢截面尺寸和截面特性 (摘自 GB/T 11263—1998) .....	555
附表 2.8	卷边 Z 型钢 (摘自 GB 50018—2002) .....	557
附表 2.9	几种常用截面的回转半径近似值 .....	558
<b>主要参考资料</b>	.....	<b>559</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 钢结构的特点和应用

用 H 型钢、工字钢、槽钢、角钢等热轧型钢和钢板组成的以及用冷弯薄壁型钢制成的承重构件或承重结构统称为钢结构，如钢梁、钢屋架、钢框架、钢塔架等都是最常见的钢结构。

与应用最为广泛的混凝土结构相比，钢结构具有如下一些主要特点：

(1) 强度高，重量轻。钢材的质量密度虽是钢筋混凝土的 3 倍多，但一般说来其抗压强度却较钢筋混凝土大近 20 倍（其抗拉强度较钢筋混凝土则大得更多）。因此在相同承载力下，以钢构件的截面为小，重量为轻。例如，在跨度和荷载相同的条件下，钢屋架的重量约为钢筋混凝土屋架的  $1/4 \sim 1/3$ 。由此带来的优点是：便于构件的运输和吊装，基础和地基处理的费用与工程量也可大大减少。

(2) 质地均匀，各向同性。钢材的这个性质符合结构计算时通常所作的假定，因而钢结构的计算结果与实际情况最为相符，计算可靠；钢材的弹性模量较大，结构在荷载作用下的变形就较小；钢材有良好的塑性性能，可自动调节构件中可能出现的局部应力高峰，且结构在破坏前一般都会产生显著的变形，事先有预告，可及时防患；钢材还具有良好的韧性，对承受动力荷载适应性强。钢结构抗震性能好。

(3) 施工质量好，且工期短。钢结构一般都在专业工厂由机械化生产制造，而后运至工地现场安装，工业化生产程度高，质量容易监控和保证。工地占地面积少和环境污染少，适于都市市区建造。工期短，效益好。

(4) 密闭性好。

(5) 用螺栓连接的钢结构，可装拆，适用于移动性结构。

(6) 绿色环保。施工现场占地面积少，环境污染少，无现场湿作业，材料可回收再生，适于都市市区建造。

由于以上特点，钢结构的应用范围极广，有些情况下无法用其他建筑材料的结构代替。在建筑结构领域中钢结构主要用于：

(1) 重型工业厂房。例如大型冶金企业、火力发电厂和重型机械制造厂等的一些车间，由于厂房跨度和柱距大、高度高、车间内设有工作繁忙和起重重量大的起重运输设备和有强大振动的生产设备，因而常必须采用由钢屋架、钢柱和钢吊车梁等组成的全钢结构。

(2) 高层房屋钢结构。房屋高度愈大，所受侧向水平荷载如风荷载及地震作用的影响也愈大，所需柱截面也大大加大。采用钢结构可减小柱截面而增大建筑物的使用面积和提

高房屋抗震性能。根据 1990 年 11 月第四届国际高层建筑会议资料<sup>①</sup>，当时已建成的世界最高 90 幢高层建筑中，采用钢结构的有 51 幢，采用钢-钢筋混凝土结构的 25 幢，采用钢筋混凝土结构的 14 幢；其中 80 层以上（含 80 层）的共 6 幢，全是钢结构。我国改革开放以来，在北京、上海和深圳等地也建造了一批高层建筑。例如 1998 年建成的上海金茂大厦，88 层，高 420.5m；深圳市的地王大厦，标准层 68 层，楼顶面高 325m，塔尖处高 384m。这些都是为国人所知的。但我国目前已建成的高层建筑中，由于全钢结构造价偏高，虽说它有许多优越性，但应用还不是最多。随着科技的进展，相信全钢结构的高层建筑在我国也必然会越来越多。

(3) 大跨度结构。由于受弯构件在均布荷载下的弯矩  $M$  与跨度  $L$  的平方成正比，当跨度增大到一定程度时，为了减轻结构的自重，也就需采用自重较轻的钢结构。一般情况下，跨度等于或大于 60m 的结构就称为大跨度结构。在我国主要应用于体育场馆、会展中心、演出场馆、飞机库、航空站和火力发电厂的大煤库等。结构形式包含网架、网壳、悬索结构和索膜结构等空间结构和桁架、刚架、拱等平面结构。新中国成立以来，特别是改革开放以来，国内这种建筑已建造很多，而且随着时间的进展，结构的规模、形式和技术要求等都愈来愈大和复杂。例如最近建造的广州国际会议展览中心，其中心展览大厅钢结构屋盖就由 30 榀跨度为 126.6m 的钢桁架组成，东西长 448m，建筑高度达 40m，规模之大可想而知<sup>②</sup>。

(4) 高耸结构。塔桅、电视塔和烟囱等高耸结构同样由于风荷载和地震作用随高度的加大而加大，需要采用钢结构。同时，建造在软土地基上的高耸结构，为了减少地基处理费用，在一定高度时也宜采用钢结构。建于 1977 年的北京市环境气象塔为由钢管组成的三三角形格构式桅杆，高 325m，为当时国内最高的构筑物。

(5) 因运输条件不利，或施工期要求尽量缩短，或施工现场场地受到限制等原因也常需采用钢结构，如电力工业中的高压输电塔等。

(6) 密闭性要求较高的板壳结构，如高压容器、煤气柜、贮油罐、高炉和高压输水管等。

(7) 需经常装拆和移动的各类起重运输设备和钻探设备，如塔式起重机和采油井架等。

此外，如交通运输业中的大跨桥梁结构、水工结构中的闸门、各种工业设备的支架如锅炉支架等，也都需采用钢结构。

综上所述，可见钢结构在建筑业和其他各行各业都有广泛的应用。但在上世纪中叶新中国建立以后，由于当时钢材缺乏，一直采用限制使用钢结构的政策，我国建筑钢结构业一直未得到发展，直到改革开放以后才得到改观，其中以大跨度空间钢结构<sup>③</sup>和轻钢结构<sup>④</sup>发展为最快，其他各类钢结构的应用也得到了重视。轻钢结构是区别于传统的建筑钢结构的一种新型结构。改革开放以来，国外一些新的钢结构理念传入我国，镀锌薄板和彩

① 胡世德据 1990 年 11 月的第四届国际高层建筑会议资料节译：目前世界上最高的 90 幢高层建筑。钢结构。1992，3：68~69。

② 王幼松、曾瑞眉。广州国际会议展览中心大厅钢结构施工管理的研究。钢结构与建筑业。第 3 卷第 1 期，2003。

③ 严慧。我国大跨度空间钢结构应用发展的主要特点。钢结构与建筑业。第 2 卷第 4 期，2002 年 9 月。

④ 王元清等。现代轻钢结构建筑及其在我国的应用。建筑结构学报，第 23 卷第 1 期，2002 年 2 月。

色钢板等轻型屋面材料的生产工艺和生产流水线的引进,我国钢材产量的快速增长,国家实施合理利用钢材和积极采用钢结构政策的实施,高效的热轧 H 型钢在我国的投产,以及社会主义市场经济要求加快各类房屋的建造周期等因素,促进了轻钢结构在我国的发展。轻钢结构主要是指使用轻质屋面和轻质墙体、采用新的结构形式和高效钢材,导致单位面积用钢量相对较轻、施工建造期短的钢结构,主要用于荷载不是很重的单层和多层房屋。轻质屋面常采用冷弯 C 型钢或 Z 型钢檩条、压型钢板或轻质复合板材屋面;轻质墙体采用冷弯薄壁型钢做墙梁以彩色钢板等薄板做墙面。结构用材采用热轧 H 型钢、冷弯薄壁型钢和低合金高强度结构钢等高效钢材。目前我国应用最广的轻钢结构是门式刚架,今后将多发展多层房屋轻钢结构,使可用于住宅建筑、学生宿舍和办公楼等民用建筑,发展空间很大。轻钢结构的蓬勃发展,大大扩展了钢结构的应用范围,也改变了过去一直认为钢结构只适用于重型结构的设计理念。

上面主要介绍了钢结构的特点及钢结构的应用。下面将再介绍在选用钢结构后要注意的几个方面:

(1) 钢材的耐腐蚀性较差,因而需采取防腐措施,在有腐蚀性环境中使用的钢结构还必须对其作定期检查,维护费用大于钢筋混凝土结构。我国钢结构设计规范<sup>[4]</sup>对钢结构的防护作了如下规定:“钢结构除必须采取防锈措施(除锈后涂以油漆或金属镀层等)外,尚应在构造上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或凹槽。闭口截面构件应沿全长和端部焊接封闭”。“钢结构防锈和防腐蚀采用的涂料、钢材表面的除锈等级以及防腐蚀对钢结构的构造要求等应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和《涂装前钢材表面锈蚀和除锈等级》GB 8923 的规定。在设计文件中应注明所要求的钢材除锈等级和涂料(或镀层)及涂(镀)层厚度。”

(2) 钢结构有一定的耐热性但不防火,当其温度到达 450~650℃时,强度下降极快,在 600℃时已不能承重,只有在 200℃以下时钢材的性质变化不大。因此钢结构当表面长期受辐射热 $\geq 150^\circ\text{C}$ 或在短期内可能受到火焰作用时,应采取有效的防护措施。我国钢结构设计规范中对钢结构的防火作了如下规定:“钢结构的防火应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GBJ 16 和《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045 的要求,结构构件的防火保护层应根据建筑物的防火等级对各不同的构件所要求的耐火极限进行设计。防火涂料的性能、涂层厚度及质量要求应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 和《钢结构防火涂料应用技术规范》CECS 24 的规定。”

(3) 由于钢材强度大、构件截面小、厚度薄,因而在压力和弯矩等作用下带来了构件甚至整个结构的稳定问题。在设计中考虑如何防止结构或构件失稳,是钢结构设计的一个重要特点。在下面各章节介绍各基本构件的受力性能时,对构件稳定性的验算要给予足够的重视。

(4) 前面介绍钢结构的特点中曾言及钢材具有良好的塑性性能,但要注意这只是一个方面。当钢材处于复杂受力状态且为承受三向或二向同号应力时,当钢材处于低温工作条件下或受有较大应力集中时,钢材均会由塑性转变为脆性,产生突然的脆性破坏,这是很危险的。因此设计钢结构时如何防止钢材的脆性破坏又是一个必须重视的问题。在下一章

① [4] 是指本书书末所附主要参考资料的第 4 本,以后均同。

叙述钢材的性能时，对这问题作了专门介绍并提出了防止钢材脆断的一些措施。

提出上面的4点，主要是为了引起重视。引起重视后采取必要的措施，问题就不会发生。

## 1.2 钢结构设计和设计规范

一个具体的钢结构，首先应安全地承受结构所承受的各种荷载，并把所受荷载以明确和直接的传递线路传给结构的基础，最后传至支承基础的地基，同时应满足建成后的各项使用要求。

结构设计是在建筑物的方案设计之后进行的。方案设计中根据建筑物的使用要求和具体条件等确定建筑物的形状、平面尺寸、层次、高度、建筑面积、室内交通运输设备（如车间内的吊车、民用房屋中的楼梯和电梯等设备）、采光和通风措施以及选用的结构形式等。在确定了选用钢结构后，结构设计主要包括下列内容：

(1) 根据建筑物的使用要求、具体条件和方案设计中已确定的内容，进行结构选型和结构布置，做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。

今以图 1.1 所示单层单跨工业厂房为例作些说明。(a) 图为某柱网布置，(b) 图和 (c) 图为可供选用的横向承重刚架形式。当厂房内无吊车等起重设备或有轻量级的桥式吊车时可选用 (b) 图所示山形门式刚架，无桥式吊车时柱脚可用不动铰支，有桥式吊车时柱脚宜为固定端并在柱身上设置牛腿以支承吊车梁。当厂房内有起重重量级较大的桥式吊车时宜选用 (c) 图所示桁架与柱刚接的横向承重刚架，柱脚应为固定端。屋面坡度应根据采用的屋面材料和排水要求确定。当选用 (c) 图所示形式时，应根据屋架跨度和室内净空要求选用屋架下弦杆为直线的梯形屋架或下弦杆为折线的平行弦屋架，并根据屋面材料尺寸划分屋架节间长度和布置腹杆。屋架下弦的标高和柱的高度按吊车需要净空确定。这些内容都是在结构设计前应初步确定的。

在结构布置时，特别要注意平面图上的柱网布置。车间的跨度及长度在方案设计时已经根据使用要求确定，但纵向柱距应多大则需在结构布置时确定。柱距也就是吊车梁、檩条等纵向构件的跨度。柱距加大，这些纵向构件的截面就将相应加大，但在一定的车间长度下，所需横向框架数就可减少，因而柱及柱基础的数目也就可减少。这里就涉及一个总的造价问题。此外，还应考虑工字钢、槽钢或角钢等型钢的交货定尺长度，使纵向构件的钢材损耗为最小等。

在结构布置中，对支撑系统的布置又是另一个重要问题。图 1.1 所示横向刚架在刚架平面内具有良好的稳定性和刚度，但在刚架平面外的稳定性则要靠纵向构件和各种支撑来保证。此外厂房所受纵向荷载如作用在厂房山墙面上的风力和吊车行走时的纵向水平力，也要依靠各种支撑来传递。支撑布置不当将影响整个车间的质量（如刚度不足等）。

总之，结构选型和布置是一个影响整个结构设计是否经济合理的问题，需运用材料力学、结构力学和钢结构等知识及过去积累的设计经验，才能作出一个好的决定，必要时对重要结构还需进行比较方案设计或优化选择。

(2) 确定选用的钢材牌号（参阅第 2 章）。

(3) 建立结构的计算简图，确定其所受的各类荷载。荷载的取值及组合应根据国家标



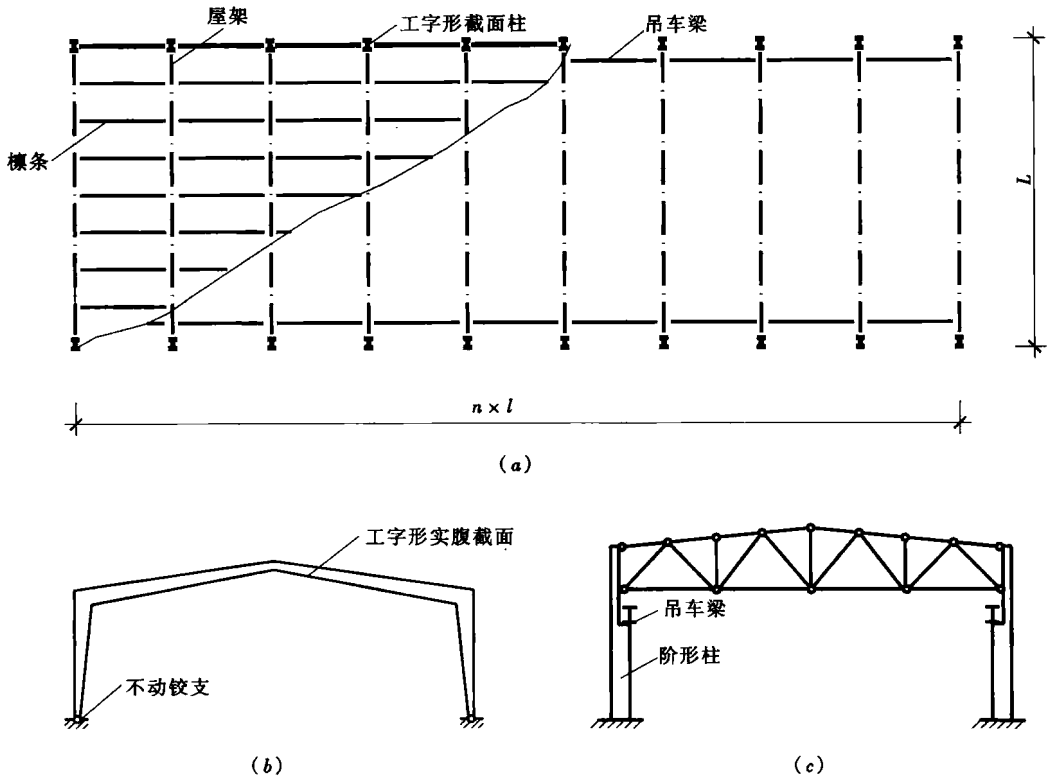


图 1.1 单层单跨厂房平面及横向承重刚架图

(a) 屋面檩条及柱网布置; (b) 山形门式刚架 (轻型刚架); (c) 屋架与柱刚接的横向刚架

准《建筑结构荷载规范》<sup>[3]</sup>及建设单位的具体要求确定。

(4) 按不同荷载分别进行结构内力分析, 进行内力组合, 确定各构件在最不利组合下产生的最大内力 (当刚架内力采用二阶弹性分析时和采用塑性设计时, 均应先进行荷载组合而后按各荷载组合进行内力分析, 见第 11 章)。

- (5) 进行各构件的截面设计。
- (6) 进行构件相互间的连接设计。
- (7) 绘制施工详图, 编制材料表。

为作好结构设计, 必须有一个设计的依据, 这个依据就是《设计规范》。我国的设计规范都是由政府主管部门 (中华人民共和国建设部) 颁布。关于建筑钢结构设计方面的规范主要有两册。其一是《钢结构设计规范》GB 50017—2003<sup>[4]</sup>, 是我国进行房屋建筑和一般构筑物钢结构设计必须遵循的现行国家标准, 适用于采用热轧钢材建造的钢结构。规范中对钢结构的设计原则、采用的钢材要求、各种设计指标、三大基本构件的计算内容和要求、连接计算方法、构造要求以及疲劳计算等都作了明确的规定, 供设计人员遵照执行。但必须指出的是: 因钢结构类型繁多, 设计规范中的有关规定只能是对各种结构共同适用的, 对某些特殊情况不可能面面俱到。因而为了正确使用设计规范, 设计人员首先应对其规定的背景材料和各种构件及连接的工作性能等有所了解。本书以后各章的内容主要是介绍钢结构设计的基本原理和基本方法, 继而才是介绍规范中的有关规定, 就是为此目