

# 钢结构工程施工

## (第2版)

主 编 申成军

副主编 王永新 王士奇

参 审 文朝晖 李鹏举

主 审 高福聚

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# FOREWORD 第2版前言

鉴于本书引用的一些技术标准和规范的更新，特别是《钢结构设计标准》（GB 50017—2017）与《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205—2020）的颁布实施，同时根据使用中遇到的问题和同行的建议，编者对本书相应章节进行了修订。

本书单元1~单元6由申成军修订，单元7~单元11由王士奇和王永新修订。全书由高福聚主审，由湖北江汉建筑工程机械有限公司文朝辉和山东电建一公司李鹏举参审，由申成军统筹定稿。

本书在编写修订过程中参阅了大量同行的书籍，并得到了李元美教授的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，恳请读者批评指正。

**编 者**

# 第1版前言

## FOREWORD

为适应高等院校课程改革的需要，原有的教材体系需要加以改革，本书就是在这种背景下编写的。“基于工作过程”的教学方法是一种适合实践教学的方法，而土建类课程的特点又注定了这类课程的实训是困难的，甚至是不现实的，本书并没有刻意用实训的架构来包装理论知识，而是保持了本课程应有的完整性和系统性。

本书前半部分讲解的钢结构基本构件和连接的计算方法，是这门课程的基础，后半部分识图及施工的内容则是这门课程的应用。全书共11个单元，参加本书编写的既有本科院校的教师，也有来自施工单位的工程师。其中单元1~单元6、单元10由高福聚教授编写，单元7由王士奇高工编写，单元8由文朝辉高工编写，单元9由王永新高工、李鹏举高工编写，单元11由申成军老师编写。全书由高福聚、申成军定稿，牟培超教授审核。

本书编写过程中参阅了同行的大量书籍，得到了牟培超教授、苏强博士的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

对于广大教师同行来说，教材不是课程，希望本书能对课程的教学带来帮助，能对知识的传播带来便利。

**编 者**

<b>单元1 钢结构初步认识</b> .....1	2.3.2 钢材的塑性.....11
1.1 我国钢结构发展概况.....1	2.3.3 钢材的韧性.....12
1.2 钢结构的特点.....2	2.3.4 钢材的可焊性.....12
1.2.1 钢结构的优点.....2	2.3.5 钢材的冷弯性能.....12
1.2.2 钢结构的缺点.....3	2.3.6 钢材的耐久性.....13
1.3 钢结构的应用.....4	2.3.7 $\lambda$ 向伸缩率.....13
1.3.1 大跨度结构.....4	2.3.8 钢材的破坏形式.....13
1.3.2 工业厂房.....4	<b>2.4 钢材的种类、选用及规格</b> .....13
1.3.3 受动力荷载影响的结构.....5	2.4.1 钢材的种类.....13
1.3.4 多层和高层建筑.....5	2.4.2 钢材的选择.....14
1.3.5 高耸结构.....5	2.4.3 钢材的规格.....15
1.3.6 可拆卸的结构.....5	<b>单元3 轴心受力构件计算</b> .....18
1.3.7 容器和其他构筑物.....5	3.1 轴心受力构件概述.....18
1.3.8 轻型钢结构.....5	3.2 轴心受力构件的强度及刚度.....19
1.3.9 钢和混凝土的组合结构.....5	3.2.1 轴心受力构件的强度计算.....19
1.3.10 景观钢结构.....6	3.2.2 轴心受力构件的刚度计算.....21
<b>单元2 钢结构材料及材料选用</b> .....7	3.3 轴心受压实腹构件的整体稳定验算.....23
2.1 钢材的力学性能.....7	3.3.1 整体稳定的概念.....23
2.1.1 钢材的单向拉伸试验.....7	3.3.2 整体稳定计算.....24
2.1.2 钢材的力学性能.....7	3.4 轴心受压实腹构件的局部
2.2 影响钢材性能的因素.....8	稳定验算.....26
2.2.1 化学成分的影响.....8	3.4.1 翼缘的宽厚比.....26
2.2.2 生产过程的影响.....9	3.4.2 腹板的高厚比.....27
2.2.3 影响钢材性能的其他因素.....10	<b>单元4 受弯构件计算</b> .....29
2.3 钢结构对材料性能的要求.....11	4.1 梁的类型和应用.....29
2.3.1 钢材的强度.....11	

# C O N T E N T S

4.2 梁的强度和刚度	30	5.3.2 单向压弯构件弯矩作用平面外的整体稳定性	51
4.2.1 梁截面上的正应力	30	5.4 实腹式压弯构件的局部稳定性	52
4.2.2 梁截面上的剪应力	32	5.4.1 实腹式压弯构件翼缘的宽厚比限值	52
4.2.3 腹板计算高度边缘的局部承压强度	33	5.4.2 实腹式压弯构件腹板的高厚比限值	53
4.2.4 折算应力	33	5.4.3 实腹式压弯构件的构造要求	53
4.2.5 梁的刚度	34		
4.3 受弯构件的整体稳定性验算	35	<b>单元6 钢结构连接计算</b>	56
4.3.1 梁的整体失稳现象	35	6.1 钢结构的连接方法	56
4.3.2 《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)关于钢梁整体稳定性验算的规定	36	6.2 焊缝连接	56
4.4 受弯构件的局部稳定性	38	6.2.1 常用焊接方法	56
4.4.1 受弯构件的局部失稳	38	6.2.2 焊缝连接的优缺点	56
4.4.2 翼缘板的局部稳定	39	6.2.3 焊缝连接形式	57
4.4.3 腹板的局部稳定	39	6.2.4 焊接残余应力和焊接残余变形	58
4.5 型钢梁的截面设计	43	6.3 对接焊缝的构造与计算	59
4.6 焊接梁的截面设计	43	6.3.1 对接焊缝的构造	59
		6.3.2 对接焊缝的计算	60
<b>单元5 拉弯和压弯构件计算</b>	46	6.4 角焊缝的构造与计算	62
5.1 抗弯和压弯构件概述	46	6.4.1 角焊缝的形式和构造要求	62
5.2 拉弯、压弯构件的强度和刚度	47	6.4.2 角焊缝的计算	63
5.2.1 拉弯、压弯构件的强度	47	6.5 普通螺栓的构造与计算	69
5.2.2 拉弯、压弯构件的刚度	49	6.5.1 螺栓的排列和构造要求	69
5.3 实腹式压弯构件的整体稳定性	50	6.5.2 普通螺栓的工作性能	71
5.3.1 压弯构件在弯矩作用平面内的稳定性	50	6.5.3 普通螺栓群的工作性能及计算	73
		6.6 高强度螺栓的构造与计算	78

# C O N T E N T S

6.6.1 高强度螺栓连接的工作性能	78	7.4.1 平面网架基本知识	115
6.6.2 高强度螺栓的承载力设计值	79	7.4.2 平面网架	115
6.6.3 高强度螺栓群的抗剪计算	80	<b>单元8 钢结构工厂制作</b>	125
6.6.4 高强度螺栓抗拉连接计算	81	8.1 钢结构设计图与施工详图	125
6.6.5 同时承受剪力和拉力的 高强度螺栓连接计算	81	8.1.1 设计图与施工详图的区别	125
<b>单元7 钢结构施工图识读</b>	85	8.1.2 施工详图的设计	125
7.1 识图基本知识	85	8.2 钢结构制作前的准备工作	126
7.1.1 图线	85	8.2.1 设计图纸的审查	126
7.1.2 定位轴线	86	8.2.2 材料的采购和代用	126
7.1.3 比例	86	8.2.3 材料复验及工艺试验	127
7.1.4 符号	86	8.2.4 其他工艺准备	129
7.1.5 尺寸标注	89	8.2.5 生产场地布置	130
7.1.6 常用型钢标注方法	90	8.3 钢结构零、部件的加工	130
7.1.7 螺栓、孔、电焊铆钉的 表示方法	92	8.3.1 放样和号料	131
7.1.8 常用焊缝的表示方法	92	8.3.2 下料切割	133
7.1.9 构件名称代号	97	8.3.3 矫正和成形	134
7.1.10 钢结构施工图的表示方法	97	8.3.4 材料边缘加工	136
7.2 门式刚架构造及施工图识读	98	8.3.5 制孔	137
7.2.1 门式刚架基本知识	98	8.3.6 组装	138
7.2.2 门式刚架识图	98	8.3.7 焊接	138
7.3 多层钢框架构造及施工图识读	108	8.3.8 表面处理	138
7.3.1 多层钢框架基本知识	108	8.3.9 涂装	139
7.3.2 多层框架识图	108	8.4 钢构件的组装及预拼装	139
7.4 平面网架构造及施工图识读	115	8.4.1 组装与预拼装的概念	139
		8.4.2 组装的一般规定	139
		8.4.3 组装条件	139

# C O N T E N T S

8.4.4	组装方法	140	9.1.1	履带式起重机	182
8.4.5	组装实例	142	9.1.2	汽车式起重机	183
8.4.6	组装工程质量验收	145	9.1.3	塔式起重机	183
8.4.7	预拼装的方法	147	9.1.4	索具设备	184
8.4.8	预拼装实例	148	9.2	钢结构安装准备	186
8.4.9	钢构件预拼装的质量验收	149	9.2.1	文件资料与技术准备	186
8.5	钢结构焊接	150	9.2.2	作业条件准备	187
8.5.1	焊接方法与设备	150	9.3	单层钢结构厂房安装	190
8.5.2	焊接工艺分析与要求	160	9.3.1	单层钢结构厂房简介	190
8.6	钢结构涂装	162	9.3.2	结构安装方案选择	191
8.6.1	防腐涂料	163	9.3.3	起重机的选择	192
8.6.2	涂装前钢材表面处理	164	9.3.4	钢柱安装	194
8.6.3	涂装施工	165	9.3.5	钢起重机梁的安装	198
8.6.4	涂料性能检验与施工检验	167	9.3.6	钢屋架安装	202
8.6.5	防火涂装工程	168	9.3.7	轻型门式刚架结构安装	204
8.6.6	防火涂料施工	169	9.3.8	轻型围护结构安装	205
8.6.7	钢结构涂装施工安全管理	170	9.4	多高层钢结构工程安装	206
8.7	钢构件成品检验、管理和包装	172	9.4.1	多高层钢结构的结构类型	206
8.7.1	钢构件成品检验	172	9.4.2	安装阶段的测量放线	206
8.7.2	钢构件成品管理和包装	175	9.4.3	流水段划分及作业流程	208
8.7.3	钢构件发运	176	9.4.4	标准节框架安装方法	210
8.8	钢结构制作方案实例	177	9.4.5	常规构件安装方法	211
8.8.1	梁柱构件的加工流程	177	9.4.6	多层高层钢结构安装要点	212
8.8.2	桁架构件的加工	179	9.5	钢结构连接施工	213
			9.5.1	普通螺栓连接施工	213
			9.5.2	高强度螺栓连接施工	213
			9.5.3	钢结构现场焊接施工工艺	216
单元9	钢结构安装施工	182			
9.1	起重设备和吊具	182			

# C O N T E N T S

9.6 钢结构安装质量控制及质量 通病防治	219	9.7.3 防物体落下伤人	232
9.6.1 基础验收	219	9.7.4 防止起重机倾翻	233
9.6.2 基础灌浆	219	9.7.5 防止安装结构失稳	233
9.6.3 垫铁垫放	220	9.7.6 防止触电	234
9.6.4 钢柱标高	221	9.8 安装方案实例	234
9.6.5 地脚螺栓(锚栓)定位	222	9.8.1 某门式刚架结构轻钢厂房安装	234
9.6.6 地脚螺栓(锚栓)纠偏	222	9.8.2 某博览中心钢结构施工技术	237
9.6.7 螺栓孔制作与布置	223	单元10 网架结构的制作与安装	241
9.6.8 地脚螺栓埋设	223	10.1 网架结构概述	241
9.6.9 地脚螺栓螺纹保护与修补	224	10.1.1 网架与网壳	241
9.6.10 钢柱垂直度	224	10.1.2 常见网架的网格形式	241
9.6.11 钢柱高度	226	10.1.3 常见网壳的网格形式	242
9.6.12 钢屋架拱度	226	10.1.4 杆件与节点	244
9.6.13 钢屋架跨度尺寸	226	10.2 网架结构的制作	245
9.6.14 钢屋架垂直度	227	10.2.1 焊接钢板节点的制作	245
9.6.15 起重机梁垂直度、水平度	227	10.2.2 焊接空心球节点的制作	245
9.6.16 起重机轨道安装	228	10.2.3 螺栓球节点的制作	246
9.6.17 水平支撑安装	229	10.2.4 杆件的制作	246
9.6.18 梁-梁、柱-梁端部节点	229	10.3 网架结构的拼装	246
9.6.19 控制网	230	10.3.1 小拼	246
9.6.20 楼层轴线	230	10.3.2 总拼	247
9.6.21 柱-柱安装	231	10.4 网架结构的安装	248
9.6.22 箱形、圆形柱-柱焊接	231	10.4.1 高空散装法	248
9.7 钢结构安装工程安全技术	232	10.4.2 分条或分块安装法	248
9.7.1 一般规定	232	10.4.3 高空滑移法	249
9.7.2 防止高空坠落	232	10.4.4 整体吊装法	251

# C O N T E N T S

10.4.5 整体提升法	252	11.2.9 外墙窗洞口构造	271
10.4.6 整体顶升法	253	11.3 夹芯板保温围护结构构造	272
10.5 空间网格结构安装实例	255	11.3.1 连接构造做法	272
10.5.1 某干煤棚网壳结构安装	255	11.3.2 夹芯板围护结构檐口构造	273
10.5.2 某市体育会展中心大跨度 钢管桁架安装技术	257	11.3.3 夹芯板围护结构屋脊构造	274
		11.3.4 墙面夹芯板底部连接构造	274
		11.3.5 夹芯板围护结构窗口构造	275
		11.3.6 现场复合板保温围护结构构造	276
<b>单元11 压型金属板工程</b>	261	11.4 压型金属板围护结构施工	276
11.1 压型金属板的类型和组成材料	261	11.4.1 安装准备	276
11.1.1 压型金属板的类型	261	11.4.2 施工组织设计	277
11.1.2 压型金属板的基本材料	262	11.4.3 压型金属板安装	279
11.1.3 夹芯板	263	11.4.4 压型金属板工程验收	282
11.1.4 保温隔热材料	264	11.5 组合楼板施工	285
11.1.5 采光材料	264	11.5.1 组合楼板构造	285
11.1.6 连接件	264	11.5.2 组合楼板施工	286
11.1.7 密封材料	265	11.5.3 压型钢板栓焊施工	286
11.2 压型金属板围护结构构造	265	<b>附录</b>	289
11.2.1 压型金属板围护结构分类	265	附录1 《钢结构设计标准》(GB 50017— 2017)有关表格摘录	289
11.2.2 非保温围护结构细部构造	266	附录2 型钢规格表	297
11.2.3 压型金属板围护结构檐口构造	268	<b>参考文献</b>	310
11.2.4 压型金属板围护结构屋脊构造	268		
11.2.5 山墙与屋面连接构造	270		
11.2.6 高低跨处的构造	270		
11.2.7 外墙底部构造	271		
11.2.8 外墙转角构造	271		

# 单元 1 钢结构初步认识

## 知识点

钢结构的特点，钢结构的应用范围。

## 1.1 我国钢结构发展概况

钢结构是由生铁结构逐步发展起来的，中国是较早发明炼铁技术的国家之一，也是最早用铁制造承重结构的国家。早在战国时期，我国的炼铁技术已经很盛行了。汉明帝永平八年（公元 65 年），我国已成功以锻铁为环，相扣成链，建成了世界上最早的铁链悬桥——兰津桥。清康熙四十四年（1705 年）建成的四川泸定大渡河桥，桥宽为 2.8 m，跨长为 100 m，由 9 根桥面铁链和 4 根桥栏铁链构成，两端系于直径为 20 cm、长为 4 m 由生铁铸成的锚桩上。该桥的出现比美洲 1801 年建造的跨长为 23 m 的铁索桥早近百年，比号称世界最早的英格兰跨长 30 m 的铸铁拱桥也早 74 年。除铁链悬桥外，我国古代还建有许多铁建筑物，如宋仁宗嘉祐六年（1061 年）在湖北荆州玉泉寺建成的 13 层铁塔，目前依然存在。所有这些都表明，中华民族对铁结构的应用，曾经居于世界领先地位。

英国直到 1840 年以前还只是采用铸铁来建造拱桥。随着铆钉连接和锻铁技术的发展，铸铁结构逐渐被锻铁结构取代。1855 年英国人发明贝氏转炉炼钢法、1865 年法国人发明平炉炼钢法，以及 1870 年成功轧制出工字钢之后，欧美各国形成了工业化大批量生产钢材的能力，强度高且韧性好的钢材才开始在建筑领域逐渐取代锻铁材料，并于 1890 年以后成为金属结构的主要材料。20 世纪初焊接技术及 1934 年高强度螺栓连接方式的出现，极大地促进了钢结构的发展，使其逐渐发展成为全世界所接受的重要结构体系。

中国古代在金属结构方面虽有卓越的成就，但在近现代铁结构方面的技术优势早已丧失殆尽。1907 年我国才建成了汉阳钢铁厂，年产钢量只有 8 500 t。1943 年是我国历史上钢铁产量最高的一年，生产生铁 180 万 t、钢 90 万 t，但这些钢铁很少用于建设，大部分被日本用于侵华战争。即使这样，我国工程师和工人仍有不少优秀设计和创造，如 1927 年建成的沈阳皇姑屯机车厂钢结构厂房、1928—1931 年建成的广州中心纪念堂圆屋顶、1934—1937 年建成的杭州钱塘江大桥等。

中华人民共和国成立后，随着经济建设的发展，钢结构曾经起到过重要的作用，但由于受到钢产量的制约，在很长一段时期内，钢结构被限制使用，在其他结构不能代替的重大工程项目中，在一定程度上影响了钢结构的发展。

进入 20 世纪 50 年代，我国钢结构的设计、制造、安装水平均有了很大提高，建成了大量钢结构工程，有些在规模和技术上已达到世界先进水平。例如，采用大跨度网架结构的首都体

育馆、上海体育馆、深圳体育馆，大跨度三角拱形式的西安秦始皇陵兵马俑陈列馆，悬索结构的北京工人体育馆、浙江体育馆，高耸结构中的 200 m 高的广州广播电视塔、210 m 高的上海广播电视塔、194 m 高的南京跨江线路塔、325 m 高的北京气象桅杆等，板壳结构中有效容积达 54 000 m<sup>3</sup> 的湿式储气柜等。

我国的钢产量自 1996 年突破 1 亿 t 以来，逐步改变了钢材供不应求的局面，到 2019 年全国钢产量达 9.96 亿 t，钢结构产量约 8 000 万 t，产业规模名列世界第一位。预计到“十三五”期末，我国钢结构产量将达到 1 亿 t，整个产业前景乐观。多年来随着钢结构设计理论、制造、安装等方面技术的迅猛发展，各地建成了大量的轻钢结构、大跨度钢结构、高层钢结构、高耸结构、市政设施等。以国家体育场“鸟巢”(图 1-1)为代表的大、中城市体育项目；以国家大剧院为代表的文化设施；以北京首都机场 T3 航站楼为代表的航站楼工程；以上海金贸大厦、上海中心大厦(图 1-2)为代表的高层钢结构；以上海“东方明珠”电视塔、广州电视塔为代表的高耸钢结构等，展示了我国钢结构发展的水平。

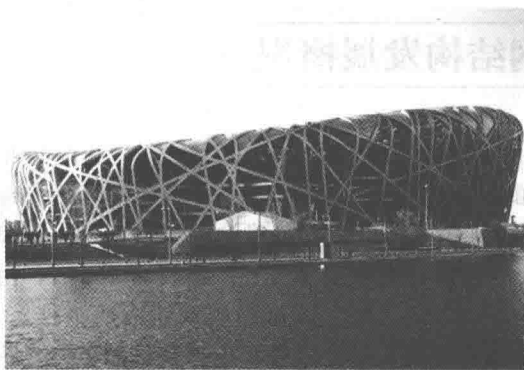


图 1-1 国家体育场“鸟巢”



图 1-2 上海中心大厦

尽管我国钢结构发展迅猛，但主要集中于工业厂房、大跨度或超高层建筑中，钢结构建筑在全部建筑中的应用比例还很低，还不到 5%，与发达国家钢结构建筑面积比例占总建筑面积的 40% 相比仍有很大差距。我国建筑用钢在钢材产量中的比例也很低，为 20%~30%，低于发达国家的 45%~55%，而且我国绝大多数建筑用钢是用于钢筋混凝土结构中的钢筋，钢结构用钢还不到建筑用钢的 2%。因此，我国钢结构还是一个很年轻的行业，其总体水平与西方发达国家相比仍有较大的差距。这个差距是钢结构发展的潜力，也是钢结构发展的空间。

就建筑结构来讲，土木工程的结构类型从最初的砖石结构、木结构，发展到钢筋混凝土结构，再到钢结构，是科学技术发展的必然，也是土木工程本身的进步。在建筑结构领域，21 世纪将是钢结构的世纪。

## 1.2 钢结构的特点

### 1.2.1 钢结构的优点

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，其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

到了广泛采用。这是由于钢结构与其他材料的结构相比，具有以下优点：

(1)建筑钢材强度高、塑性和韧性好。

1)强度高是指钢材与混凝土、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。

2)塑性好是指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。另外，还能将局部高峰应力重新分配，使应力变化趋于平缓。

3)韧性好是指钢结构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，但做成的结构较轻。钢结构的轻质性可以用材料的密度 $\rho$ 和强度 $f$ 的比值 $\alpha$ 来衡量， $\alpha$ 值越小，结构相对越轻。建筑钢材的 $\alpha$ 值为 $(1.7\sim 3.7)\times 10^{-4}/\text{m}$ ，木材的 $\alpha$ 值为 $5.4\times 10^{-4}/\text{m}$ ，钢筋混凝土的 $\alpha$ 值约为 $18\times 10^{-4}/\text{m}$ 。因而，以同样的跨度承受同样的荷载，钢屋架的质量最多为钢筋混凝土屋架的 $1/4\sim 1/3$ 。

(3)材质均匀，与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。由于构件较轻，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，能够满足一些气密性和水密性好的高压容器、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较柔，所以受到的地震作用较小，钢材又具有较高的抗拉、抗压强度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。当温度在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内时，钢材性质变化很小；当温度达到 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时，强度逐渐下降；当温度达到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，强度几乎为零。因此，钢结构可用于温度不高于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的场合。在有特殊防火要求的建筑中，必须对钢结构采取保护措施。

## 1.2.2 钢结构的缺点

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涂刷涂料加以保护，其维护费用较高。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。钢结构耐火性差，在火灾中，未加防护的钢结构一般只能维持 $20\text{ min}$ 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，这些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。

## 1.3 钢结构的应用

随着我国国民经济的不断发展和科学技术的进步，钢结构在我国的应用范围也在不断扩大。目前，钢结构的应用范围大致如下。

### 1.3.1 大跨度结构

结构跨度越大，质量在荷载中所占的比例就越大，减轻结构的质量会带来明显的经济效益。钢材强度高、结构质量轻的优势正好适用于大跨结构，因此，钢结构在大跨空间结构(图 1-3)和大跨桥梁结构中得到了广泛的应用，所采用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索(包括斜拉体系)、张弦梁、实腹或格构式拱架和框架等。

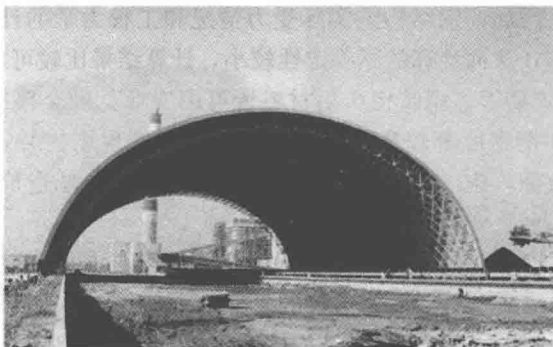


图 1-3 大跨度干煤棚

### 1.3.2 工业厂房

起重机起重量较大或者工作较繁重的车间的主要承重骨架多采用钢结构。另外，有强烈辐射热的车间也经常采用钢结构。其结构形式多为由钢屋架和阶形柱组成的门式刚架或排架，也有采用网架做屋盖的结构形式。近年来，随着压型钢板等轻型屋面材料的应用，轻钢结构工业厂房得到了迅速的发展，其结构形式主要为实腹式门式刚架，如图 1-4 所示。



图 1-4 钢结构厂房

### **1.3.3 受动力荷载影响的结构**

由于钢材具有良好的韧性，故设有较大锻锤或产生动力作用的其他设备的厂房，即使屋架跨度不大，也往往由钢制成。对于抗震能力要求高的结构，采用钢结构也是比较适宜的。

### **1.3.4 多层和高层建筑**

由于钢结构的综合效益指标优良，故近年来在多层民用建筑和高层民用建筑中也得到了广泛的应用。其结构形式主要有多层框架、框架-支承结构、框筒、悬挂、巨型框架等。

### **1.3.5 高耸结构**

高耸结构包括塔架结构和桅杆结构。如高压输电线路的塔架，广播、通信和电视发射用的塔架和桅杆，火箭(卫星)发射塔架等也常采用钢结构。

### **1.3.6 可拆卸的结构**

钢结构不仅质量轻，还可以用螺栓或其他便于拆装的手段来连接，因此非常适用于需要搬迁的结构，如建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用房的骨架等。钢筋混凝土结构施工的模板和支架，以及建筑施工用的脚手架等也大量采用钢材制作。

### **1.3.7 容器和其他构筑物**

冶金、石油、化工企业中大量采用钢板做成的容器结构包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。另外，经常使用的还有皮带通廊栈桥、管道支架、锅炉支架等其他钢构筑物，海上采油平台也大多采用钢结构。

### **1.3.8 轻型钢结构**

钢结构质量轻不仅对大跨结构有利，对屋面或荷载特别轻的小跨结构也有优越性。冷弯薄壁型钢屋架在一定条件下的用钢量可比钢筋混凝土屋架的用钢量还少。轻钢结构的结构形式有实腹变截面门式刚架、冷弯薄壁型钢结构(包括金属拱形波纹屋盖)及钢管结构等。

### **1.3.9 钢和混凝土的组合结构**

钢构件和板件受压时必须满足稳定性要求，往往不能充分发挥其强度高的优势，而混凝土则最适用于受压，不适用于受拉。因而，将钢材和混凝土并用，使两种材料都充分发挥它的长处，一种很合理的结构。近年来，这种结构在我国获得了长足的发展，广泛应用于高层建筑(如深圳的赛格广场)、大跨桥梁、工业厂房和地铁站台柱等。其主要构件形式有钢与混凝土组合梁及钢管混凝土柱等。

### 1.3.10 景观钢结构

在建筑思想观念开放、市场经济十分发达、人民生活越来越好的今天，景观钢结构建筑越来越多地出现在人们身边，如景观塔、景观桥、城市标志性钢结构雕塑、住宅小区大门、大楼入口钢雨篷、大楼顶飘架飘板等。



习

题

#### 一、单选题

(1)世界上最早的铁链桥为( )。

- A. 泸定大渡河桥      B. 兰津桥      C. 赵州桥      D. 苏州桥

(2)钢材的温度达到( ) $^{\circ}\text{C}$ 时，强度几乎为零。

- A. 100      B. 200      C. 300      D. 600

(3)钢结构需要防火时，不可以采用的防火措施是( )。

- A. 外刷防火涂料      B. 外包混凝土      C. 外刷油漆      D. 外包石膏板

#### 二、问答题

(1)钢结构有哪些特点？

(2)钢结构的应用范围有哪些？

#### 三、实践题

调查若干钢结构工程，了解工程的结构组成。

## 单元2 钢结构材料及材料选用

### 知识点

钢材的力学性能，影响钢材性能的因素，钢材的选用。

## 2.1 钢材的力学性能

### 2.1.1 钢材的单向拉伸试验

低碳钢在常温、静载条件下的单向拉伸应力-应变曲线如图 2-1 所示，共分为四个阶段，即弹性阶段(OA)、弹塑性阶段(AB)、屈服阶段(BC)和应变硬化阶段(CD)。在 A 点以前，钢材处于弹性阶段，卸载后变形完全恢复；到达 A 点后，钢材进入弹塑性阶段，变形包含弹性变形和塑性变形两个部分，卸载后塑性变形不再恢复，称为残余变形或永久变形；到达 B 点后，钢材全部屈服，荷载不再增加，但变形持续增大，形成水平线段即屈服平台，由于 A 点与 B 点比较接近，为简化计算模型，假设在 B 点以前钢材处于弹性状态；经历屈服阶段后，由于钢材内部晶粒重新排列，强度有所提高，进入硬化阶段，但变形增加非常快；到达 D 点时，钢材达到强度极限值，之后截面快速收缩，强度迅速降低，直至断裂。低合金钢的单向拉伸应力-应变曲线与低碳钢类似，只是强度提高了。

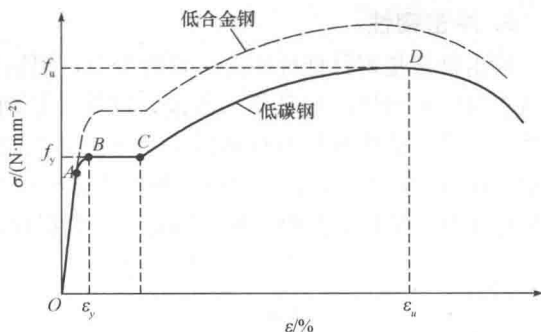


图 2-1 钢材的单向拉伸应力-应变曲线

### 2.1.2 钢材的力学性能

钢材的力学性能是指标准条件下钢材的屈服强度、抗拉强度、伸长率、冷弯性能和冲击韧性，以及厚钢板的 Z 向(厚度方向)性能等，也称为机械性能。

#### 1. 屈服强度

图 2-1 中与屈服平台 BC 段所对应的强度称为屈服强度，用符号  $f_y$  表示，也称为屈服点，它是建筑钢材的一个重要力学特征。屈服点是弹性变形的终点，而且在较大变形范围内应力不

会增加，形成理想的弹塑性模型，因此，将其作为弹性计算时强度的标准值。低碳钢和低合金钢都具有明显的屈服平台，而热处理钢材和高碳钢则没有。

## 2. 抗拉强度

单向拉伸应力-应变曲线中最高点，如图 2-1 所示与  $D$  点所对应的强度，称为抗拉强度，用符号  $f_u$  表示，其是钢材所能承受的最大应力值。由于钢材屈服后具有较大的残余变形，已超出结构正常使用范畴，因此，抗拉强度只能作为结构的安全储备。

## 3. 伸长率

伸长率是试件断裂时的永久变形与原标定长度的百分比。取圆形试件直径的 5 倍或 10 倍为标定长度，对应的伸长率分别记作  $\delta_5$ 、 $\delta_{10}$ 。伸长率代表钢材断裂前具有的塑性变形能力，这种能力使得结构制造时，钢材即使经受剪切、冲压、弯曲及锤击作用产生局部屈服也无明显破坏。伸长率越大，钢材的塑性和延性越好。

屈服强度、抗拉强度、伸长率是钢材的三个重要力学性能指标，钢结构中所有钢材都应满足规范对这三个指标的规定。

## 4. 冷弯性能

根据试样厚度，在常温条件下按照规定的弯心直径将试样弯曲  $180^\circ$ ，如图 2-2 所示。其表面无裂纹和分层即冷弯合格。冷弯性能是一项综合指标。冷弯合格一方面表示钢材的塑性变形能力符合要求，另一方面表示钢材的冶金质量(颗粒结晶及非金属夹杂等)符合要求。重要结构中需要钢材具有良好的冷加工、热加工工艺性能时，应有冷弯试验合格保证。

## 5. 冲击韧性

冲击韧性是钢材抵抗冲击荷载的能力，用钢材断裂时所吸收的总能量来衡量。单向拉伸试验所表现的钢材性能都是静力性能，韧性则是动力性能。韧性是钢材强度、塑性的综合指标，韧性低则发生脆性破坏的可能性大。冲击韧性通过带有夏比缺口的夏比试验法测量，如图 2-3 所示，用  $A_{KV}$  表示，其值为试件折断时所需要的功，单位为 J。缺口韧性值受温度影响很大，当温度低于某一值时将急剧下降，因此，应根据相应温度提出要求。

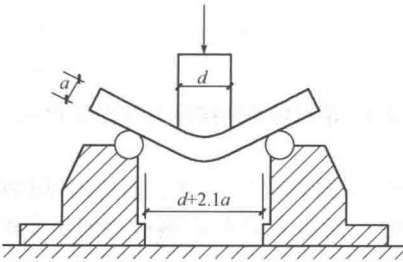


图 2-2 冷弯试验

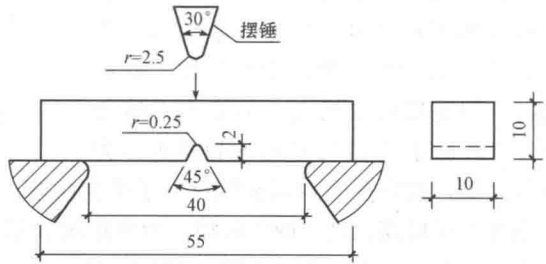


图 2-3 冲击试验

## 2.2

## 影响钢材性能的因素

### 2.2.1 化学成分的影响

碳素结构钢由纯铁、碳及多种杂质元素组成。其中，纯铁约占 99%。在低合金结构钢中，