



国家示范（骨干）高职院校建筑工程技术重点建设专业成果教材

# 钢结构工程施工

■ 主 编 张 扬



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



国家示范（骨干）高职院校建筑工程技术重点建设专业成果教材

# 钢结构工程施工

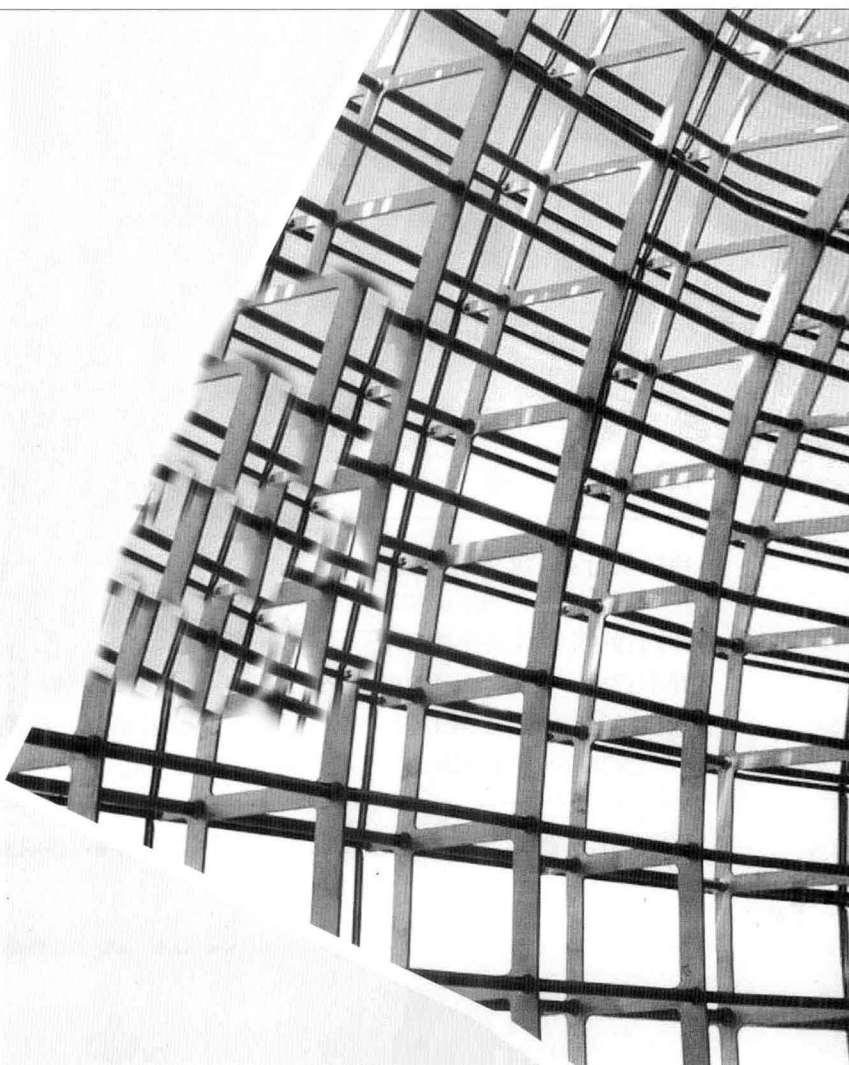
■ 主 编 张 扬

■ 副主编 程明龙 於重任 陆 恪



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



## 图书在版编目(CIP)数据

钢结构工程施工/张扬主编. —武汉:武汉大学出版社,2013.9  
国家示范(骨干)高职院校建筑工程技术重点建设专业成果教材  
ISBN 978-7-307-11529-3

I. 钢… II. 张… III. 钢结构—建筑工程—工程施工—高等职业教  
育—教材 IV. TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 206929 号

责任编辑:胡 艳      责任校对:刘 欣      版式设计:马 佳

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)  
(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中科兴业印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:227千字 插页:1

版次:2013年9月第1版      2013年9月第1次印刷

ISBN 978-7-307-11529-3      定价:23.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 前 言

我国钢结构产业近 10 余年发展迅速，已成为全球钢结构用量最大、制造施工能力最强、产业规模第一、企业规模第一的钢结构大国。但我国大多数钢结构企业面临着技术人员异常匮乏的困境，快速培养出一批面向生产一线的技术人员是目前极为紧迫的任务。

本书根据国家现行《钢结构设计规范》、《建筑抗震设计规范》、《建筑结构制图标准》、《钢结构设计制图深度和表示方法》、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》、《网架结构设计与施工规程》、《钢结构工程施工质量验收规范》、《焊缝符号表示方法》等规范、标准、图集进行编写，并引入了湖北辉创重工集团、湖北鸿路钢结构(集团)有限公司等企业的企业标准、工程案例。

本书主要面向高职高专开设有钢结构工程施工类课程的专业，也可作为企业技术人员的自学教材。针对钢结构技术人员从业的关键技能，全书按照钢结构工程施工的基本流程，讲述了钢结构的识图、深化设计、制作、运输、安装等内容。书中内容尽量采用图文并茂的方式呈现，便于读者理解，降低学习难度，提高学习效率。

全书共分 6 章，绪论及第 2、3 章由张扬编写，第 4 章由程明龙编写，第 5、6 章由於重任编写，第 1 章由陆恪编写。全书的提纲及校对工作由张扬和陆恪完成。

本书部分图片选自互联网，由于该类图片未见作者署名，故无法联系到图片作者，如果图片作者正在翻阅本书，请与本书作者联系。

由于作者水平有限、编写时间仓促，有不当之处，请读者指正。

编 者

2013 年 6 月

# 目 录

绪 论	1
0.1 钢结构的发展历史与发展趋势	1
0.2 钢结构的特点与应用	2
0.3 钢结构的主要结构类型	6
0.4 钢结构工程施工的学习方法	8
第 1 章 钢结构材料	9
1.1 建筑钢材的选用	9
1.2 钢材的品种及规格	14
1.3 焊接材料	17
第 2 章 钢结构施工图表示方法	29
2.1 构件表示方法	29
2.2 焊缝表示方法	33
2.3 螺栓表示方法	41
第 3 章 钢结构施工图识读	44
3.1 门式刚架结构施工图识读	44
3.2 多高层钢结构施工图识读	58
第 4 章 钢结构详图深化设计	70
4.1 钢结构详图深化设计的主要内容	70
4.2 钢结构施工详图表达的内容及技巧	72
第 5 章 钢结构制作	81
5.1 钢结构加工前的生产准备	81
5.2 钢结构生产的组织方式和零件加工	88
5.3 组装	100

5.4 成品的表面处理、油漆、堆放和装运 .....	104
<b>第6章 钢结构安装</b> .....	<b>107</b>
6.1 钢结构安装前准备 .....	107
6.2 钢结构安装 .....	113
附录一 钢材和连接的设计强度值 .....	129
附录二 常用热轧型钢规格表 .....	132
附录三 C型钢规格表 .....	143
<b>参考文献</b> .....	<b>146</b>

## 绪 论

建筑结构是指在建筑物(或构筑物)中,承受各种荷载或者作用,起骨架作用的空间受力体系。建筑结构因所用的建筑材料不同,可分为混凝土结构、钢结构、砌体结构、木结构以及多种材料共存的混合结构等。

### 0.1 钢结构的发展历史与发展趋势

钢结构在我国有着悠久的发展历史,早在公元 70 年,我国便在云南省景东地区澜沧江上建造了世界上最早的铁索桥——兰津桥,除此以外,我国古代还建造了许多钢结构的建筑物或构筑物,如位于贵州省关岭、晴隆二县交界处的盘江桥(图 0.1),建于公元 1631 年,跨度约 80m;又如位于在湖北省当阳县的玉泉寺铁塔(图 0.2),建于公元 1601 年,高达 13 层,总重约 50 吨。可见,即使是在古代冶金技术和生产技术不发达的情况下,我国劳动人民仍然可以凭借超凡的智慧建造出非常壮观的钢结构建筑。

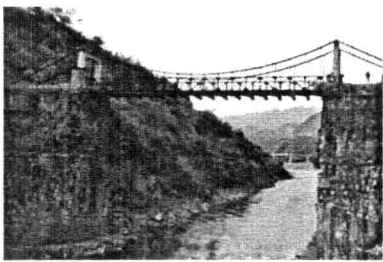


图 0.1 盘江桥

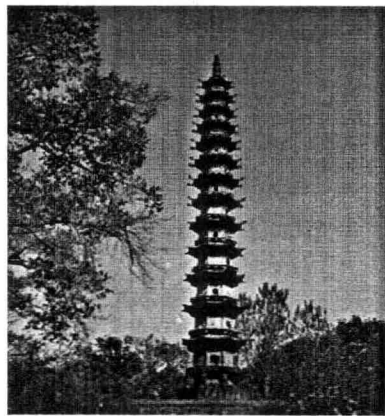


图 0.2 玉泉寺铁塔

正是因为钢结构建筑采用钢铁作为建筑结构的主要材料,钢结构建筑的发展与冶金技术发展的关系是非常密切的,所以我国古代凭借相对先进的冶炼技术使钢结构的发展处于世界领先地位,但自从 18 世纪以后,由于欧洲工业革命的兴起,欧洲的钢铁冶炼技术得到了迅速发展,钢结构在欧美地区的应用非常广泛,比如 1889 年建于法国巴黎的埃菲尔铁塔,高度达到 300m,重量超过 1 万吨,远远超过我国当时的建筑水平。

中华人民共和国成立后,特别是改革开放以来,我国在“解放生产力,发展生产力”,“科学技术是第一生产力”的理论基础上,大力发展生产力和科学技术,钢铁产量迅猛提

高, 1949 年我国的钢材产量仅为 15 万吨, 1980 年的钢产量约 3000 万吨, 2011 年的钢产量约为 7 亿吨, 约占世界钢产量的一半。钢铁产量的增长为我国钢结构的发展创造了良好的条件。

我国从改革开放到 20 世纪末, 分别在 1986 年建成高 82m 的北京香格里拉饭店, 1987 年建成高 154m 的深圳发展中心大厦, 1990 年建成高 208m 的北京京城大厦, 1998 年建成高 420m 的上海金茂大厦。虽然改革开放之后我国钢结构建筑发展很快, 但与发达国家相比还有一定的差距。美国早在 1973 年便建成了高 443m 的西尔斯大厦, 是当时的世界第一高楼, 1997 年吉隆坡建成高达 452m 的国家石油公司双塔大楼, 打破西尔斯大厦保持了 24 年的世界第一高楼纪录。进入 21 世纪之后, 世界各国的钢结构建筑都得到了长足的发展, 争建世界第一高楼在钢结构建筑中开展得热火朝天, 中国台北于 2003 年建成台北 101 大楼, 高达 508m; 阿拉伯联合酋长国迪拜于 2010 年建成高达 828m 的哈利法塔; 在中国, 正在建设的有高达 438m 的武汉中心大厦, 拟建的有高达 880m 的天空城市大厦。

当然, 钢结构建筑不仅具备建造高层建筑的优势, 也适合于建造大跨度的公用建筑、工业建筑和桥梁, 目前我国已建设完成并投入使用的著名大型钢结构公用建筑主要有中国国家大剧院(图 0.3)、中国国家体育场(又称鸟巢, 图 0.4)、中国国家游泳中心(又称水立方)、2010 年上海世博会中国馆(又称东方之冠)、广州新电视塔(又称“小蛮腰”)、中央电视台总部大楼, 等等。

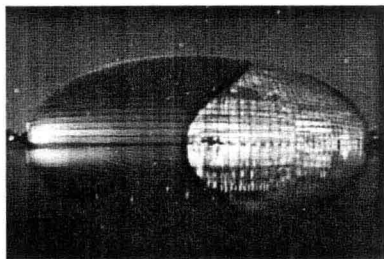


图 0.3 中国国家大剧院

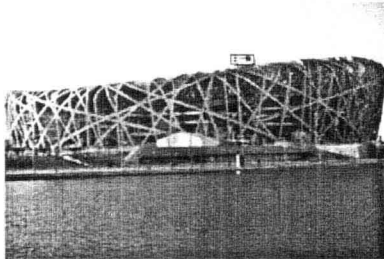


图 0.4 中国国家体育场

钢结构建筑的发展在近十年来尤为迅速, 2004 年我国钢结构建筑的年产量约 1300 万吨, 2010 年我国钢结构建筑的年产量约 2600 万吨, 根据 2010—2015 年钢结构“十二五”规划目标建议, 预计 2015 年我国钢结构建筑的年产量将达到 5000 万吨。同时, 钢结构建筑占建筑工程的比重也呈逐年上升的趋势, 钢结构建筑正向着更多、更高、更大的方向发展。

## 0.2 钢结构的特点与应用

钢结构建筑之所以在近年来取得如此快速的发展, 与其自身的特点是密不可分的。

### 0.2.1 钢结构的优点

(1) 轻质高强。相对于混凝土结构和砌体结构而言, 钢结构的强度和密度的比值是较



大的。如常用的 Q235 钢, 抗拉强度约为  $200\text{N/mm}^2$ , 密度约为  $78\text{kN/m}^3$ , 其比值约为  $2500\text{m}^{-1}$ ; 而常用的 C30 混凝土, 抗拉强度为  $1.43\text{N/mm}^2$ , 密度约为  $20\text{kN/m}^3$ , 其比值约为  $70\text{m}^{-1}$ 。由此可见, 钢结构的强度与重量的比值远远大于混凝土结构, 这就说明建造同样的钢结构建筑所需的结构自重远远小于混凝土结构。例如, 当跨度和荷载相同时, 采用钢结构屋架的重量仅为采用钢筋混凝土屋架的重量的三分之一; 对于高度大约 100m 的高层建筑, 采用钢结构时, 其重量仅为采用钢筋混凝土结构的三分之二。

(2) 材质均匀。钢结构构件全部由钢材组成, 钢材具有材质均匀、各向同性的优点, 最接近于匀质等向体, 匀质等向体是研究固体力学的基础, 其匀质、等向的性能与力学计算中的假定基本相符, 所以很多力学公式都可以直接在钢结构中采用, 而且钢结构的实际受力情况与力学计算结果吻合程度也相当高。同时, 由于钢材在出厂前和施工进场前都受到严格的检验, 其材料的质量保证率较高, 钢材当中的缺陷也相对较少, 出现工程质量事故的几率也随之减少, 这也是钢结构材质均匀的一种体现。

(3) 抗震性能好。相比混凝土和砌体材料, 钢材的塑性更好, 这就导致钢结构在发生偶然超载时不至于发生脆性破坏。一般钢材在达到屈服强度后, 还可以继续伸长  $2\% \sim 3\%$ , 此时其总应变甚至超过  $20\%$ , 才会发生破坏, 显然, 如此大的应变是一个良好的破坏先兆, 这有利于我们在钢结构发生破坏之前进行人员和财产的疏散。此外, 由于钢结构具有轻质高强的优点, 钢结构建筑的自重较轻, 建筑物所受到的地震力和建筑地基所受到的压力也相应较小, 所以, 在高烈度地震地区建造较高的房屋时, 钢结构不仅具有地震力较小、地震破坏程度小的优点, 甚至还具有造价相对较低的优点。

(4) 抗疲劳性能好。同样, 相比混凝土和砌体材料, 钢材的韧性也更好, 更适合于承受反复荷载。在冲击荷载下, 带有缺口的钢材试件可以吸收相当大的冲击功, 保证钢材有一定的抗冲击脆断的能力。这有利于用钢结构建造承受反复荷载的建筑结构构件, 如吊车梁、桥梁等。

(5) 装配性能好。钢结构主要通过螺栓连接或焊接组装, 组成工艺简单、成熟, 建筑中通常可以将一个较大的特殊形状建筑分割成多个部分, 在施工现场进行快速组装, 而不需过多地考虑施工过程中的受力问题, 从而能造出造型奇特、外形美观的建筑, 如 2010 年上海世博会西班牙馆、芬兰馆等。

(6) 施工速度快。钢结构一般是由各种钢构件通过施工现场进行螺栓连接或焊接组成的, 这些钢构件一般是在钢结构加工厂进行集中加工, 检验合格后批量运至施工现场进行组装, 组装之后即可形成结构, 这与混凝土结构需要现场搭设脚手架、制作安装模板、浇筑混凝土相比, 施工速度更快, 工程质量更有保障。例如, 位于湖南长沙的远大公司宾馆, 其地面以上 15 层钢结构主体仅用 46 个小时即安装完成。钢结构还具有现场占地小、污染小、便于拆除和搬迁等优势。

(7) 密闭性能好。钢结构的材料均匀、致密、工艺成熟, 不论是焊接、铆接或螺栓连接, 钢结构都可以做成毫不渗漏或密闭构件, 因此在工业建筑中, 常用的容器、管道等常常选择采用钢结构来制作。

### 0.2.2 钢结构的缺点

(1) 防火性能差。实验证明, 钢材从常温到  $200^\circ\text{C}$  之间, 性能变化不大; 超过  $200^\circ\text{C}$

后,强度和塑性都发生较大的变化;温度达到 $600^{\circ}\text{C}$ 时,钢材强度基本降至为零,几乎失去承载力,不再适合承受荷载。典型的例子如美国“911事件”,纽约世界贸易中心在遭受恐怖分子驾驶飞机撞击后失火,钢结构主体在高温下软化,失去承载力,仅几十分钟,两栋摩天大楼便相继倒塌。

我国《钢结构设计规范》(GB50017—2003)第8.9.5条规定:当结构的表面长期受辐射热达 $150^{\circ}\text{C}$ 以上或短时间内可能受到火焰作用时,应采取有效的防护措施(如加隔热层或水套等)。

目前,最常用的防护措施有两种:对于长期处于高温车间的钢结构,主要采取的方法是用保温砖将钢结构构件包裹起来,从而达到隔热的作用,避免钢结构构件表面温度超过 $150^{\circ}\text{C}$ ;对于钢结构构件有可能遭受火灾侵害的,主要采用防火涂层进行保护。当然,也有采用高性能耐火耐候建筑钢材进行防火隔热,或对钢结构建筑内部增加自动喷淋装置进行防火等措施。

(2)耐腐蚀性能差。钢材在湿度大或有侵蚀介质的环境中易锈蚀,钢构件锈蚀后界面不断削弱,使结构受损,影响结构使用年限,因此,为了保证钢结构的有效使用年限,必须对其进行有效的防护,并进行定期维护。目前,钢结构的防护主要采取表面涂刷高效能防锈漆或表面镀锌等措施,一般正常使用寿命达20年,相对来说,在钢结构表面涂刷高效能防锈漆价格比较低廉,受到更广泛的应用。但是无论何种防护措施,其使用寿命都无法和钢结构自身的使用年限相比,所以钢结构必须定期进行检查,并对受损的防护措施进行修复。

### 0.2.3 钢结构的应用

(1)轻型钢结构。钢结构由于具备轻质高强、材质均匀等特点,特别适合建造跨度大、荷载小的轻型钢结构建筑。目前应用最广泛的轻型钢结构建筑是门式钢架结构、网架结构和管桁架结构,该类结构具有跨度大、自重小、工期短、造价低等优点,经常用于建造轻型钢结构厂房、展览馆、体育馆等。

(2)高层或超高层建筑。在我国,一般将结构高度大于28m或层数超过十层的建筑称为高层建筑,建筑高度大于等于100m的民用建筑称为超高层建筑。钢结构由于具备轻质高强、材质均匀、抗震性能好等特点,特别适合建造高度特别大的建筑物。前面已经提到,世界上最高的建筑都是钢结构建筑,甚至高度超过200m的房屋就必须采用钢结构来建造。钢结构高层建筑具有自重小、抗震性能好、施工速度快、投资回收期短的优势。

(3)大跨度的建筑部件或构件。受弯构件的剪力一般与跨度的1次方成正比例,弯矩与跨度的2次方成正比例,挠度与跨度的4次方成正比例,与受弯构件的截面高度成反比。建筑部件或构件的跨度越大、满足强度和变形要求时所需要的截面高度就越大,当受弯构件的跨度超过一定数值时,混凝土结构就会因为自重较大,无法承受自重所造成的内力和变形,所以混凝土结构无法建造跨度太大的构件或部件。而钢结构由于具有轻质高强、装配性能好的特点,可以通过组装成空腹式桁架(图0.5)、网架结构,用较小的自重就可以组装出较大的截面高度,满足强度和变形要求。如果用钢构件组装成空间网壳结构,其能够满足的跨度将更大,如中国国家大剧院。

(4)受动力荷载的建筑结构部件。由于钢材的材质均匀、韧性好、抗疲劳性能好,大

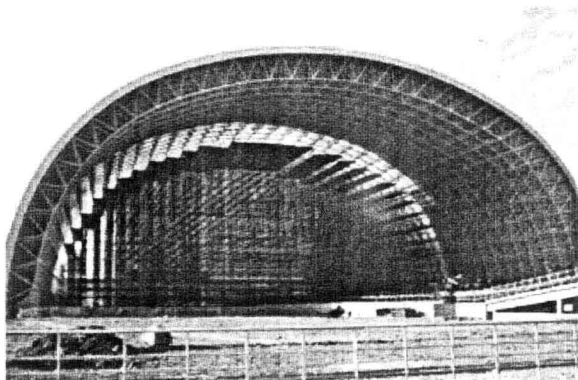


图 0.5 管桁架结构

型桥式吊车的吊车梁宜采用钢结构，一般重级工作制吊车的吊车梁，都是采用钢结构。钢结构吊车梁在受到吊车的反复荷载作用时，只要吊车梁边缘不发生屈服，且应力幅不大，吊车梁一般能承受数万次的吊车反复碾压。

(5) 重型工业厂房。对于厂房跨度较大或吊车吨位较大、吊车工作制级别较高的厂房，称为重型工业厂房。上面提到，钢结构适宜于建造跨度大和受动力荷载的房屋，针对于重型工业厂房的特点，采用钢结构进行建造无疑是最合适的，我国早期建造的许多重型工业厂房(湖北武钢一米七轧钢厂房等)。

(6) 管道和容器。因钢结构具有密闭性能好、施工速度快的优点，大多数油罐(图 0.6)、高压气罐(图 0.7)、管道、锅炉均采用钢结构建造。

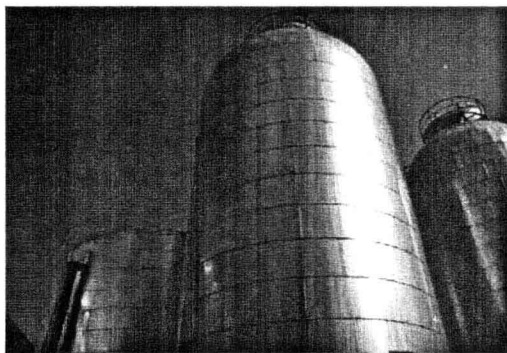


图 0.6 大型储油罐

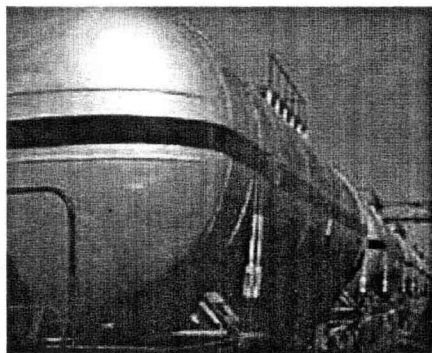


图 0.7 大型储气罐

(7) 可拆卸和移动的建筑。流动式展览馆、活动工棚(图 0.8)，临时建筑，由于其使用地点经常变化，特别适合于采用钢结构建造。此类建筑采用钢结构时，具有易于拆卸、搬迁、组装的优点，且其搬迁所产生的费用和所造成的损失也相对较小。

(8) 工期短的建筑。在建筑行业中，质量好、造价低、速度快是非常具有竞争优势的，钢结构由于具有施工速度快的优势，在很多建筑中都优先采用。如穿过公路的天桥，



图 0.8 钢结构工棚

城市中心的高楼、投资回收期较短的工业建筑，都会因为缩短工期而产生巨大的经济效益和社会效益。

### 0.3 钢结构的主要结构类型

在前文中提到，建筑结构是指在建筑物(或构筑物)中，承受各种荷载或者作用，起骨架作用的空间受力体系。在钢结构中，建筑物的骨架全部或主要由钢材制作，由于建筑结构构件之间的连接方式不同，钢结构也可分为不同的结构类型，如框架结构、门式刚架结构、网架结构、管桁架结构等。不同的结构类型有其自身的特长及适用范围，如框架结构适用于多高层小跨度房屋，门式刚架结构适用于单层大跨度房屋。下面将介绍目前钢结构建筑市场中常用的结构类型。

#### 0.3.1 框架结构

(1) 框架结构的组成。框架结构主要由楼(屋)面板、框架梁、框架柱及支撑组成(图 0.9)。框架梁与框架柱以刚接的方式进行组装，可有效减小框架梁的跨中设计弯矩，从而减小框架梁的截面，同时，框架梁与框架柱的刚接也有利于框架整体抵抗水平荷载的作用，框架结构层数较高时，可适当增加中心支撑或偏心支撑提高其抗水平荷载的能力。框架结构的楼板可采用钢筋混凝土预制板、钢筋混凝土现浇板或带肋钢板；墙体可采用轻质保温夹心钢板或轻质砌块；屋面板可采用钢筋混凝土现浇板或钢筋混凝土预制板组成的无檩屋盖，或由檩条、组成的有檩屋盖，当采用钢筋混凝土板时，应做保温层、防水层，当采用夹心钢板时，可通过夹心钢板内自带的保温层，并通过屋面起坡方式防水。

(2) 框架结构的适用范围。框架结构由于可建造高度较大，柱距、跨度较小，一般用于办公楼、住宅楼，也可用于跨度较小的展示馆、商业中心。

#### 0.3.2 门式刚架结构

(1) 门式刚架结构的组成。门式刚架结构一般主要由刚架柱、刚架梁、檩条、屋面

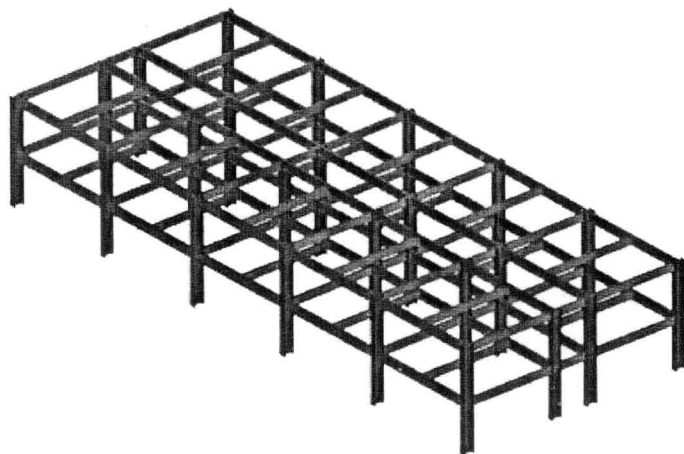


图 0.9 框架结构

板、墙面板、各种支撑、系杆、吊车梁等组成。刚架柱与刚架梁以刚接的方式进行连接，刚架柱与基础可采用刚接或铰接的方式进行连接。此种连接方式一方面具有抵抗竖向荷载和水平荷载的优势，另一方面由于刚架柱与基础铰接，使得门式刚架受地基沉降不均匀的影响较小，特别适用于大跨度建筑。

(2)门式刚架结构的适用范围。门式刚架结构由于适用跨度大，主要用于大跨度厂房、仓库、机库等，目前钢结构建筑市场中绝大部分轻型工业厂房采用的是门式刚架结构。

### 0.3.3 网架结构

(1)网架结构的组成。门式刚架结构主要由节点球、网架杆组成。节点球与多个网架杆以铰接的方式进行连接，形成空间结构，网架结构根据外形不同，可分为双层的板形网架结构(图 0.10)、单层和双层的壳形网架结构(图 0.11)。网架结构中的网架杆由于两端铰接，是典型的二力杆，只承受拉力或压力，杆内不应该出现弯矩、剪力或扭矩，故网架结构应力发挥比较充分，钢材利用率高，可建造出较大跨度的屋盖，且自重小、造价低。

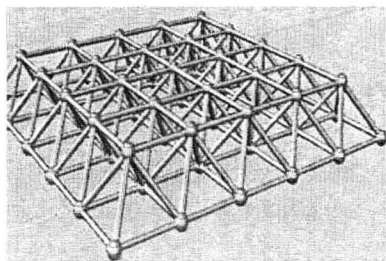


图 0.10 板形网架结构

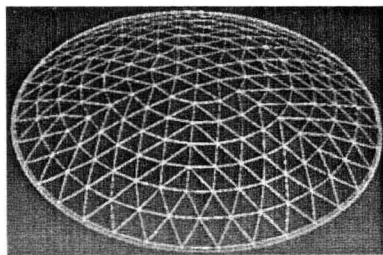


图 0.11 单层壳形网架结构

(2)网架结构的适用范围。网架结构自重小、造价低,可建造超大跨度,但能承受的外荷载较小,故网架结构适用于建造大跨度屋面系统。如20世纪初大量建造的加油站大多采用网架结构作为屋面,近年来,由于壳形网架结构技术的发展,网架结构更多用于超大跨度公用建筑,如国家大剧院。

#### 0.3.4 其他

钢结构除了以上所介绍的结构类型之外,还可以组成很多种结构类型,如桁架结构、排架结构、索膜结构等。

掌握钢结构的各种结构类型,有助于快速、正确地识读、理解图纸,更好地指导施工,除了以上提到的完全由钢材组成的钢结构,目前还有很多钢材与混凝土材料共同组成的混合结构,混合结构既具备钢结构轻质高强、抗震性能好、装配性好等优点,又避免了钢结构稳定性不足的缺点,是目前钢结构发展的一个分支方向,混合结构可以组成框架-抗震墙结构、框架-筒体结构等,此类结构适宜于建造超高层建筑,比完全由钢材组成的钢结构具有更大的刚度,在水平荷载下其水平变形更小,结构的适用性更好。

### 0.4 钢结构工程施工的学习方法

在钢结构工程施工的学习中,必须掌握正确的学习方法,从而提高学习效率。理论知识一般都是从工程实践中归纳而成的,理论知识虽然学习速度快、涉及知识面广、学习成本低,但是学生往往理解、掌握的程度较低,达不到掌握关键技能的目的,为了较好地掌握关键技能,就必须进行实践学习,但是实践学习往往学习的速度较慢,在有限的时间内不能涉及必需的知识面。所以在学习钢结构工程施工的过程中,必须理论学习和实践学习相结合,通过理论学习掌握或了解钢结构工程施工的基本流程和关键岗位,通过实践学习重点掌握一项或多项关键岗位的关键技能。

本书主要从钢结构工程的识图、详图深化设计、构件制作、构件运输、安装等方面对钢结构工程的主要施工内容进行阐述,对关键岗位的关键技能均做出了重点描述,并提出了实践教学建议。读者在学习钢结构工程施工时宜先了解钢结构工程施工的主要流程、各关键岗位的工作职能与工作职责,然后选择自己感兴趣的关键岗位的关键技能进行重点训练。当然,在关键岗位的关键技能学习时,读者如能在相关专业技术人员的指导下进行,或配合参考相关规范、图书,必能起到更好的效果。

#### ☞课后拓展

1. 利用因特网登录人才招聘网站,搜索钢结构方面的就业岗位,并说说这些岗位对应聘人员的技能要求有哪些。
2. 通过图书馆、因特网等方式查阅相关资料,解释什么叫做结构类型。
3. 通过图书馆、因特网等方式查阅相关资料,列举出3种不同结构类型的著名钢结构建筑,并谈谈自己对于钢结构建筑发展的看法。

# 第1章 钢结构材料

☞主要内容：建筑钢材的选用、钢材的品种及规格、焊接材料。

☞对应岗位：材料采购、材料保管、构件加工。

☞关键技能：材料识别、材料检测。

钢结构的材料不仅密切关系到钢结构的计算理论，同时还与钢结构的制造、安装、使用、造价、安全等均有直接联系。所以，本章主要内容是学习钢结构的基础。学习时，应全面了解钢材的性能，从而做到能正确选用钢材，并防止脆性破坏的产生。

## 1.1 建筑钢材的选用

### 1.1.1 钢材的性能

钢材的性能通常用强度、塑性及韧性、Z向性能和可焊性表述。专用钢材则另外附加其他特种性能，如耐火、耐候性能等。

#### 1. 钢材的强度

钢材的拉伸试验是用规定形式和尺寸的标准试件，在常温 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的条件下，按规定的加载速度在拉力试验机上进行，用 $x-y$ 函数记录仪记录试件的应力-应变曲线。图1.1所示为Q235钢的典型应力-应变曲线，分为5个工作阶段：

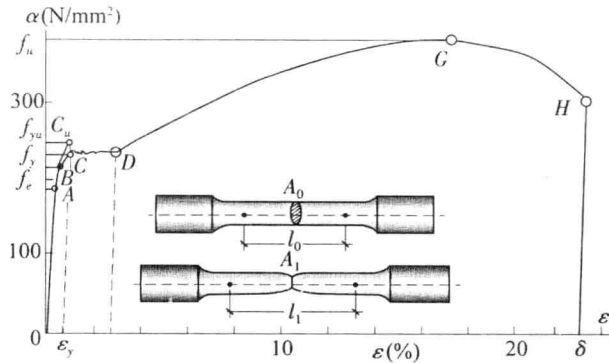
(1)弹性阶段：图1.1中 $OB$ 段，应力与应变呈线性关系， $\sigma = E\varepsilon$ 。该阶段卸荷后，变形可恢复，称弹性变形。

(2)弹塑性阶段：图1.1中 $BC$ 段，应力与应变呈曲线关系，表明应变的增长比应力快，切线模量，即曲线上任一点的切线斜率，随应变增加而降低。钢材的变形包括卸荷后可恢复的弹性变形和不可恢复的塑性变形两部分。

(3)屈服阶段：图1.1中 $CD$ 段，当应力越过 $C$ 点后，钢材呈屈服状态，应力不增大，应变却持续增长，故曲线为一屈服平台，变形模量为零，表明钢材受力进入屈服阶段。曲线上 $C_u$ 点的应力 $f_u$ 称为上屈服点，该点处于不稳定状态 $C$ 点的应力 $f_y$ 称为下屈服点，为一较稳定的数值，故通常以 $f_y$ 作为钢材的屈服点。此时若卸荷，则留有残余应变 $\varepsilon_s$ 约为0.2%。

(4)强化阶段：图1.1中 $DG$ 段，钢材经屈服阶段的较大塑性变形，内部晶粒结构重新排列后，恢复重新承载的能力，曲线呈上升趋势， $E$ 点达到最大应力值，该点应力 $f_u$ 称为钢材的抗拉强度。

(5)颈缩阶段：图1.1中 $GH$ 段，当试件应力达到 $f_u$ 时，在最薄弱的截面处，急剧收

图 1.1 有明显屈服点钢材的  $\sigma$ - $\varepsilon$  曲线

缩变细，称颈缩现象，试件伸长量  $\Delta l$  迅速增长，荷载下降，试件拉断。试件拉断时的残余应变称为伸长率  $\delta$ ，对于 Q235 钢， $\delta \geq 26\%$ 。

以上五个阶段是低碳钢单向拉伸试验  $\varepsilon$ - $\sigma$  曲线的典型特征，说明低碳钢具有理想的塑性性能。对于高强度钢材单向拉伸试验的  $\varepsilon$ - $\sigma$  曲线，则无明显的屈服阶段。

在工程中，钢材的破坏形式可表现出两种：一种呈塑性破坏；另一种则呈脆性破坏。

塑性破坏，也称延性破坏，是指构件在破坏前有较大的塑性变形，吸收较大的能量，从发生变形到最后破坏要持续较长的时间，易于发现和补救，即给人以警告。钢材塑性破坏时，断口呈纤维状，色泽发暗。前述低碳钢在常温下单向均匀拉伸作用下的破坏，属于典型的塑性破坏。

脆性破坏是指构件在破坏前变形很小，没有预兆，突然发生，断口平直，呈有光泽的晶粒状。脆性破坏比塑性破坏造成的危害和损失要大得多，故应采取适当措施，避免发生。

钢材的抗拉强度  $f_u$  是钢材抗破坏能力的极限。抗拉强度  $f_u$  是钢材塑性变形很大且将破坏时的强度，此时已无安全储备，只能作为衡量钢材强度的一个指标。

钢材的屈服点与抗拉强度之比  $f_y/f_u$  称屈强比，它是表明设计强度储备的一项重要指标， $f_y/f_u$  比值越大，强度储备越小，不够安全；反之， $f_y/f_u$  比值越小，强度储备越大，结构安全，强度利用率低且不经济。因此，设计中要选定适当的屈强比。

## 2. 钢材的塑性

塑性是指钢材破坏前产生塑性变形的能力，可由静力拉伸试验得到的力学性能指标伸长率  $\delta$  和截面收缩率  $\Psi$  来衡量。 $\delta$  和  $\Psi$  数值越大，表明钢材塑性越好。

伸长率  $\delta$  等于试件拉断后的原标距的塑性变形（即伸长值）和原标距的比值，以百分数表示，即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (1.1)$$

式中， $l_0$  为试件原标距长度； $l_1$  为试件拉断后标距的长度。

截面收缩率  $\Psi$  等于颈缩断口处截面面积的缩减值与原截面面积的比值，以百分数表示，即



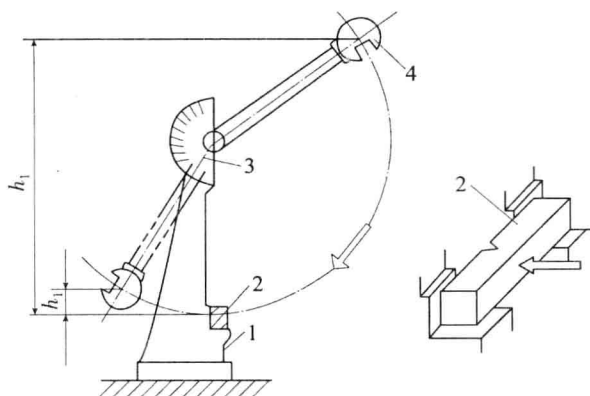
$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中,  $A_0$  为试件原截面面积;  $A_1$  为颈缩断口处截面面积。

### 3. 钢材的韧性

钢材的韧性用冲击试验确定, 它是衡量钢材在冲击荷载(动力)作用下抵抗脆性破坏的力学性能指标。

钢材的脆断常从裂纹和缺口等应力集中和三向受拉应力处产生, 故为了具有代表性, 冲击试验一般采用截面为  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、长为  $55\text{mm}$  且中间开有 V 形缺口的试件, 放在冲击试验机上用摆锤击断(图 1.2), 并得出其吸收(消耗)的冲击功  $A_{KV}$ (单位: J), 以作为冲击韧性指标。 $A_{KV}$  值越大, 则钢材的韧性越好。



1—固定支架; 2—带缺口试样; 3—指针; 4—摆锤

图 1.2 冲击试验

冲击韧性除与钢材的质量密切相关外, 还与钢材的轧制方向有关。由于顺着轧制方向(纵向)的内部组织较好, 故在这个方向切取的试件冲击韧性值较高, 横向则较低。目前钢材标准规定按纵向采用。

冲击韧性值还与温度、特别是负温有关。当达到一定负温时, 冲击韧性急剧降低。故钢材的冲击韧性根据钢材质量等级的不同, 有  $20^\circ\text{C}$  (常温)、 $0^\circ\text{C}$ 、 $-20^\circ\text{C}$  和  $-40^\circ\text{C}$  等不同指标。

### 4. Z 向性能

当钢材较厚或承受沿厚度方向的拉力时, 要求钢材具有板厚方向收缩率要求, 以防止厚度方向的分层、撕裂。

### 5. 钢材的可焊性能

钢结构的制作和安装现在几乎全部采用焊接。因此, 钢材是否具备可焊性能, 是其能否应用的重要条件。

钢材的焊接是将焊缝及其附近母材金属经升温熔化, 然后再冷却凝结成一体的过程。钢材的可焊性则是指在一定的焊接工艺条件下, 所施焊的焊缝熔敷金属和母材金属均不产生裂纹, 且焊接接头的力学性能不低于母材的力学性能。