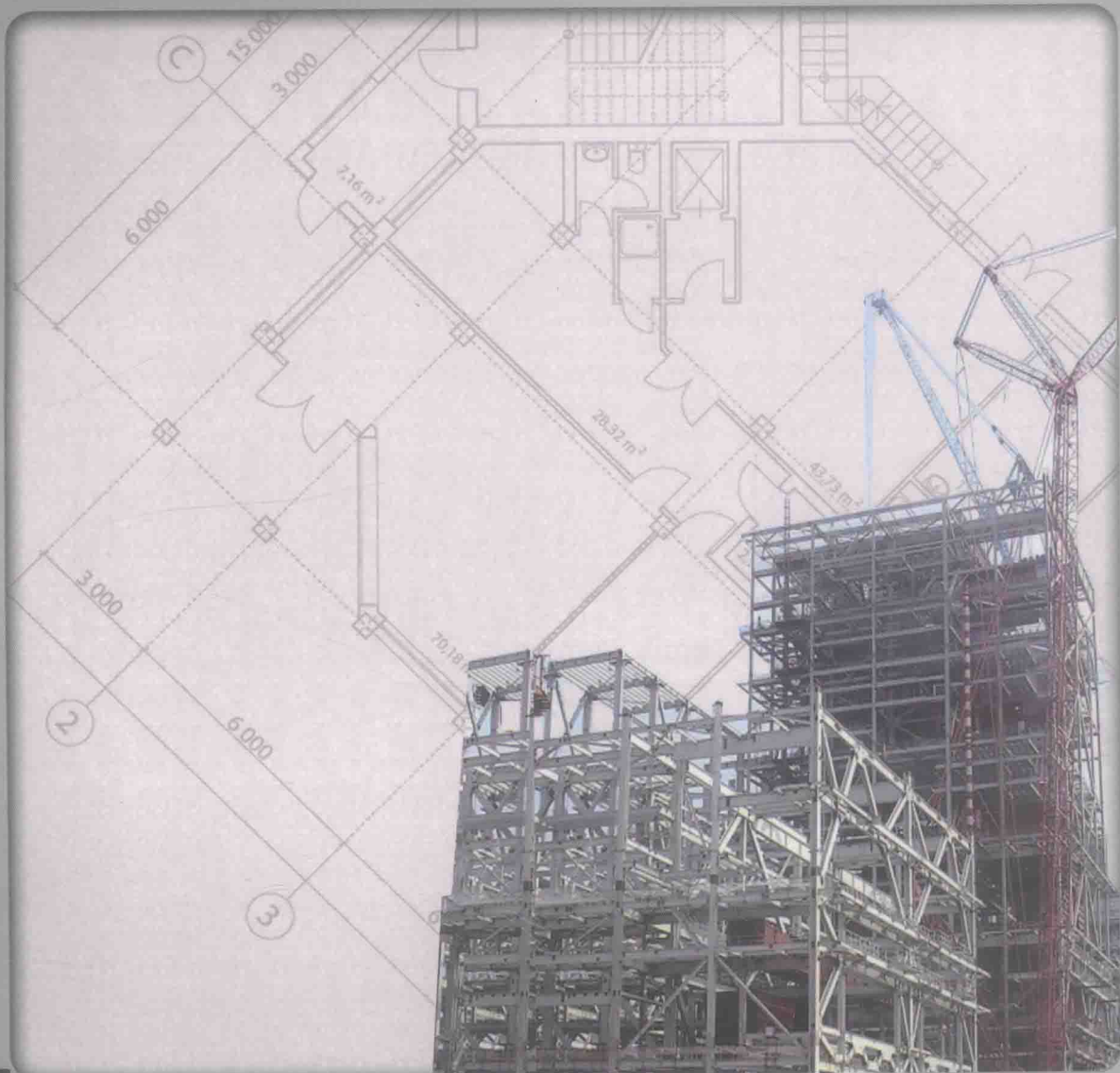




钢结构工程施工

GANGJIEGOU GONGCHENG SHIGONG

主编 / 高福聚 申成军

主审 / 牟培超

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

钢结构工程施工

主 编 高福聚 申成军
副主编 王永新 王士奇
参 编 文朝辉 李鹏举
主 审 牟培超

内 容 提 要

本书是按照高等院校土建类专业的教学要求,根据现行规范、规程、标准编写而成。

全书共11个教学单元,主要内容包括钢结构初步认识、钢结构材料及材料选用、轴心受力构件、受弯构件计算、拉弯和压弯构件计算、钢结构连接计算、钢结构施工图识读、钢结构工厂制作、钢结构安装施工、网架结构的制作与安装、压型金属板工程。

本书可作为高等院校土建类专业及相关专业的教材,也可作为建筑工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

钢结构工程施工/高福聚,申成军主编. —北京:北京理工大学出版社,2015.2

ISBN 978-7-5682-0306-7

I. ①钢… II. ①高… ②申… III. ①钢结构—建筑工程—工程施工—高等学校—教材
IV. ①TU758.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第036113号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 524千字

版 次 / 2015年2月第1版 2015年2月第1次印刷

定 价 / 58.00元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

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。

本书前半部分讲解了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

目 录 CONTENTS

单元1 钢结构初步认识	1
1.1 我国钢结构发展概况	1
1.2 钢结构的特点	3
1.3 钢结构的应用	4
习题	5
单元2 钢结构材料及材料选用	6
2.1 钢材的力学性能	6
2.2 影响钢材性能的因素	7
2.3 钢结构对材料性能的要求	10
2.4 钢材的种类、选用及规格	12
习题	15
单元3 轴心受力构件	16
3.1 轴心受力构件概述	16
3.2 轴心受力构件的强度及刚度	17
3.3 轴心受压实腹构件的整体稳定验算	21
3.4 轴心受压实腹构件的局部稳定验算	24
习题	26

单元4 受弯构件计算	28
4.1 梁的类型和应用	28
4.2 梁的强度和刚度	29
4.3 受弯构件的整体稳定性验算	34
4.4 受弯构件的局部稳定性	37
4.5 型钢梁的截面设计	41
4.6 焊接梁的截面设计	42
习题.....	45
 单元5 拉弯和压弯构件计算	 47
5.1 抗弯和压弯构件概述	47
5.2 拉弯、压弯构件的强度和刚度	48
5.3 实腹式压弯构件的整体稳定性	51
5.4 实腹式压弯构件的局部稳定性	53
习题.....	56
 单元6 钢结构连接计算	 58
6.1 钢结构的连接方法	58
6.2 焊缝连接	58
6.3 对接焊缝的构造与计算	61
6.4 角焊缝的构造与计算	64
6.5 普通螺栓的构造与计算	72
6.6 高强度螺栓的构造与计算	79
习题.....	85
 单元7 钢结构施工图识读	 88
7.1 识图基本知识	88
7.2 门式刚架构造及施工图识读	101

7.3 多层钢框架构造及施工图识读	112
7.4 平面网架构造及施工图识读	119
习题	128
 单元8 钢结构工厂制作	129
8.1 钢结构设计图与施工详图	129
8.2 钢结构制作前的准备工作	130
8.3 钢结构零部件的加工	135
8.4 钢结构焊接	146
8.5 钢构件的组装及预拼装	159
8.6 钢结构涂装	169
8.7 钢构件成品检验、管理和包装	179
8.8 钢结构制作方案实例	184
习题	188
 单元9 钢结构安装施工	189
9.1 钢结构安装常用机具设备简介	189
9.2 钢结构安装准备	203
9.3 钢柱安装	210
9.4 钢吊车梁与钢屋架安装	215
9.5 钢结构工程安装方案	222
9.6 多层及高层钢结构安装	229
9.7 钢结构安装质量控制及质量通病防治	233
9.8 轻型钢结构安装	246
9.9 钢结构安装工程安全技术	248
9.10 钢结构安装方案实例	251
习题	261

单元10 网架结构的制作与安装	262
10.1 网架结构概述.....	262
10.2 网架结构的制作.....	266
10.3 网架结构的拼装.....	267
10.4 网架结构的安装.....	268
习题.....	276
 单元11 压型金属板工程	277
11.1 压型金属板的类型和组成材料.....	277
11.2 压型金属板围护结构构造.....	282
11.3 夹芯板保温围护结构构造.....	288
11.4 压型金属板围护结构施工.....	292
11.5 组合楼板施工.....	301
习题.....	303
 附录	304
附录1 《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)中有关表格摘录	304
附录2 型钢规格表	315
 参考文献	328

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。公元 65 年（汉明帝永平八年），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。1705 年（清康熙四十四年）建成的四川泸定大渡河桥，桥宽 2.8 m，跨长 100 m，由 9 根桥面铁链和 4 根桥栏铁链构成，两端系于直径 20 cm、长 4 m 的生铁铸成的锚桩上。该桥比美洲 1801 年（清嘉庆六年）才建造的跨长 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 1061 年（宋仁宗嘉祐六年）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，我们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，自 1890 年以后成为金属结构的主要材料。20 世纪初焊接技术以及 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 年才建成了汉阳钢铁厂，年产钢只有 8 500 吨。1943 年是我国历史上钢铁产量最高的一年，生产生铁 180 万吨、钢 90 万吨，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。

新中国成立后，随着经济建设的发展，钢结构曾起过重要作用，但由于受到钢产量的制约，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，一定程度上影响了钢结构的发展。

20 世纪 50 年代后，我国钢结构的设计、制造、安装水平有了很大提高，建成了大量钢结构工程，有些在规模上和技术上已达到世界先进水平。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 $54\,000\text{ m}^3$ 的湿式储气柜等。

中国的钢产量自 1996 年突破 1 亿吨以来，逐步改变了钢材供不应求的局面，到 2010 年全国钢产量达 6.27 亿吨，钢结构产量约 2 600 万吨，产业规模名列世界第一位。钢结构技术政策，也从“限制使用”改为积极合理地推广应用发展到鼓励使用钢结构。《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102—2002)(2012 年版)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)等系列规范规程的发布实施，为钢结构在我国快速发展创造了条件。预计到“十二五”期末，我国钢结构产量将达 5 000 万~6 500 万吨，整个产业前景乐观。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“鸟巢”“水立方”为代表的大中城市体育项目(图 1-1)；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、上海中心大厦为代表的高层钢结构(图 1-2)；以上海“东方明珠”电视塔、广州电视塔为代表的高耸钢结构；等等，展示出了我国钢结构发展的水平。

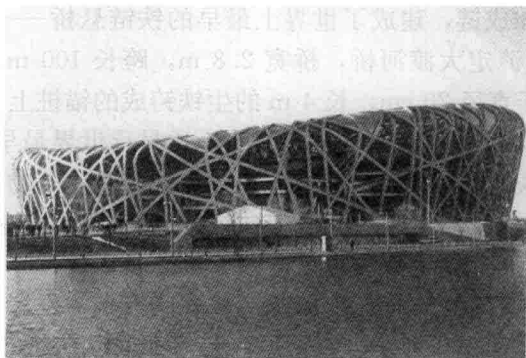


图 1-1 国家体育场“鸟巢”



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，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，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，它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。强度高是指钢与混凝土、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。

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。此外，还能将局部高峰应力重分配，使应力变化趋于平缓。

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，但做成的结构却相对较轻。结构的轻质性可用材料的密度 ρ 和强度 f 的比值 α 来衡量， α 值越小，结构相对越轻。建筑钢材的 α 值为 $(1.7\sim 3.7)\times 10^{-4}/\text{m}$ ；木材的 α 值为 $5.4\times 10^{-4}/\text{m}$ ；钢筋混凝土的 α 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，和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。因构件较轻，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，能够满足一些要求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相对较柔，所以受到的地震作用较小，钢材又具有较高的抗拉和抗压强度以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。温度在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内，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； $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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，钢结构必须采取保护措施。

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刷涂料加以保护，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。钢结构耐火性较差,在火灾中,未加防护的钢结构一般只能维持 20 分钟左右。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,自重占在荷载中所占的比例就越大,减轻结构的自重会带来明显的经济效益。钢材强度高、结构重量轻的优势正好适合于大跨结构,因此钢结构在大跨空间结构和大跨桥梁结构中得到了广泛的应用(图 1-3)。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。

1.3.2 工业厂房

吊车起重量较大或者其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。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采用,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(图 1-4)。

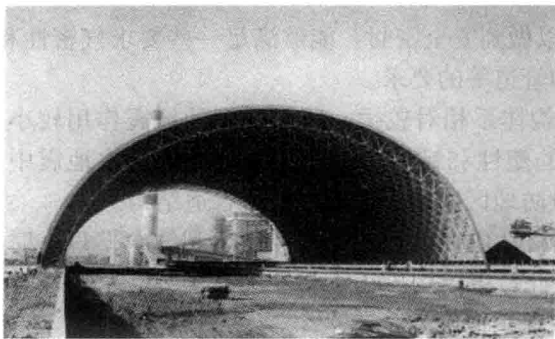


图 1-3 大跨度干燥棚

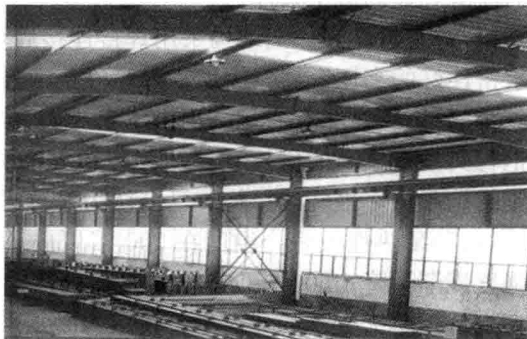


图 1-4 钢结构厂房

1.3.3 受动力荷载影响的结构

由于钢材具有良好的韧性,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,故其近年来在多层、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

钢结构不仅重量轻,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用的模板和支架,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。此外,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,海上采油平台也大都采用钢结构。

1.3.8 轻型钢结构

钢结构重量轻不仅对大跨结构有利,对屋面活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)以及钢管结构等。

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,而混凝土则最适于受压,不适于受拉,将钢材和混凝土并用,使两种材料都充分发挥它的长处,是一种很合理的结构。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和钢管混凝土柱等。

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我们身边,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

1. 根据你所知道的钢结构工程,试述其特点。
2. 钢结构有哪些特点?结合这些特点,你认为应怎样合理选择其应用范围?

单元 2 钢结构材料及材料选用

识点

钢材的力学性能，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-应变曲线见图 2-1，共分为四个阶段：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。

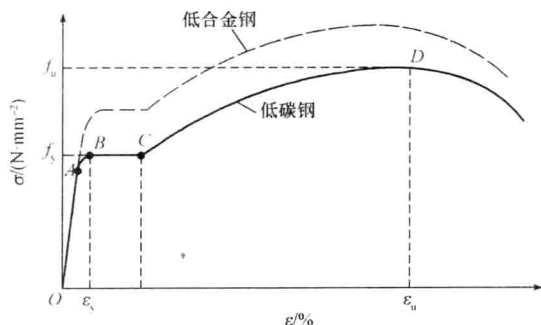


图 2-1 钢材的单向拉伸应力-应变曲线

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，也称机械性能。

1. 屈服强度

图 2-1 中屈服平台 BC 段所对应的强度称为屈服强度，用符号 f_y 表示，也称屈服点，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 中 D 点所对应的强度,称为抗拉强度,用符号 f_u 表示,它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 δ_5 、 δ_{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° ,见图 2-2,其表面无裂纹和分层即为冷弯合格。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,另一方面也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有良好的冷、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,它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。

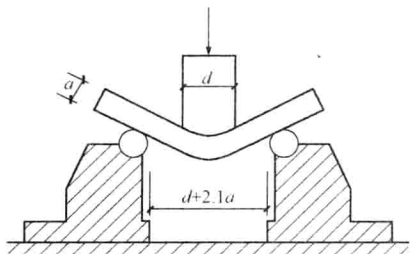


图 2-2 冷弯试验

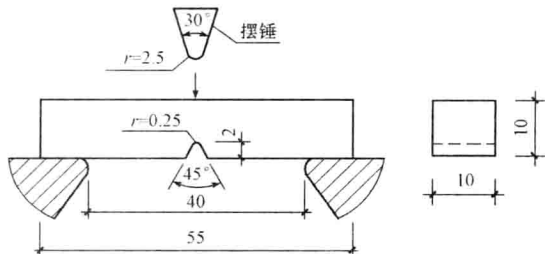


图 2-3 冲击试验

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%。低合金结构钢中,还加入合金元素,但总量通常不超过 5%。钢材的化学成分对其性能有着重要的影响。

碳(C)是形成钢材强度的主要成分。纯铁较软,而化合物渗碳体(Fe_3C)及渗碳体与纯铁的混合物珠光体则十分坚硬,钢的强度来自渗碳体和珠光体。碳含量提高,钢材强度提高,

但塑性、韧性、冷弯性能、可焊性及抗锈蚀性能下降，因此不能采用碳含量高的钢材。含碳量低于 0.25% 时为低碳钢、0.25%~0.6% 时为中碳钢、高于 0.6% 时为高碳钢，结构用钢材的含碳量一般不高于 0.22%，对于焊接结构，以不大于 0.2% 为好。

锰(Mn)是有益元素，能显著提高钢材强度但又不过多降低塑性和韧性。锰是弱脱氧剂，且还能消除硫对钢的热脆影响。在低合金钢中，锰是合金元素，含量为 1.0%~1.7%，因锰过多时会降低可焊性，故对其含量有所限制。

硅(Si)是有益元素，有较强的脱氧作用，同时可使钢材颗粒变细，控制适量时可以提高强度而不显著影响塑性、韧性、冷弯性能及可焊性，过量则会恶化可焊性和抗锈蚀性能，碳素镇静钢中一般为 0.12%~0.3%，低合金钢中一般为 0.2%~0.55%。

钒(V)、铌(Nb)、钛(Ti)的作用都是使钢材晶粒细化。我国低合金钢都含有这三种元素，作为锰以外的合金元素，既可以提高钢材的强度，又可以保持良好的塑性、韧性。

铝(Al)、铬(Cr)、镍(Ni)，铝不但是强脱氧剂，而且能细化晶粒，低合金钢的 C、D、E 级都规定铝含量不低于 0.015%，以保证必要的低温韧性。铬和镍是提高钢材强度的合金元素，用于 Q390 钢和 Q420 钢。

硫(S)、磷(P)、氧(O)、氮(N)都是有害元素。硫容易使钢材在高温时出现裂纹(称为热脆)，还会降低钢材的韧性、抗疲劳性能和抗腐蚀性能，必须严格控制含量。磷在低温下会使钢材变脆(称为冷脆)，但也有有益的一面，其可以提高钢的强度和抗锈蚀能力，有时也作为合金元素。氧能使钢材热脆，其作用比硫剧烈。氮能使钢材冷脆，也必须严格控制。

2.2.2 生产过程的影响

钢生产过程的影响包括冶炼时的炉种、浇铸前的脱氧和热轧等的影响。

(1)钢的炉种。炼钢主要是将生铁或铁水中的碳和其他杂质如锰、硅、硫、磷等元素氧化成炉气和炉渣后而得到符合要求的钢液的过程。炼钢时采用的炉种有电炉、平炉和转炉等。电炉钢质量最佳，但耗电量很大，费用较贵，建筑用钢材不大采用电炉钢。平炉钢是利用平炉拱形炉顶的反射原理由燃烧煤气供给热能，使炉中含碳量少的废钢和含碳量高的生铁(或铁水)炼成含碳量适中的钢液，其在氧化过程中还可以把杂质除去。平炉钢的冶炼工艺容易控制，钢产量高，质量均匀，过去都认为是建筑结构用钢中质量最好的钢，多用于各种重要的结构。转炉钢的钢液含杂质较多，质量较差，因而在过去也只能用于次要构件中。氧气转炉钢所含有害元素及夹杂物少，钢材的质量和加工性能都不低于平炉钢，某些性能如含氮量低和冲击韧性较高等还优于平炉钢，且生产效率高、成本低，可用于制造各种结构。氧气转炉可用于生产低碳钢，也可生产普通低合金钢。

(2)钢的脱氧。钢液中残留氧，将使钢材晶粒粗细不均并发生热脆。因此浇铸钢锭时在炉中或盛钢桶中加入脱氧剂以消除氧，可大大改善钢材的质量。因脱氧程度不同，钢可分成沸腾钢、镇静钢和特殊镇静钢三类。

沸腾钢生产周期短，消耗脱氧剂少，冷却凝固后钢锭顶面无缩孔，轧制钢材时钢锭的切头率小，成本较低，但钢内形成许多小气泡，组织不够致密，有较多的氧化铁夹杂，化学成分不够均匀(称为偏析)。通过轧制，沸腾钢的强度和塑性并不比镇静钢低多少，但冲击韧性较低和脆性转变温度较高，抵抗冷脆性能差，抗疲劳性能也较镇静钢差。

镇静钢的化学成分较均匀，晶粒细而均匀，组织密实，含气泡和有害氧化物等夹杂少，冲击韧性较高，特别是低温时的韧性大大高于沸腾钢，抗低温冷脆能力和抗疲劳性能都较

强，它是质量较好的钢材。普通低合金钢则大多为镇静钢。

如用硅脱氧后再用更强的脱氧剂铝补充脱氧，则可得特殊镇静钢，冲击韧性特别是低温冲击韧性都较高。

(3)钢的轧制。我国的钢材大都是热轧型钢和热轧钢板。将钢锭加热至塑性状态通过轧钢机将其轧成钢坯，然后再令其通过一系列不同形状和孔径的轧机，最后轧成所需形状和尺寸的钢材，称为热轧。钢材热轧成型，同时也可细化钢的晶粒使其组织紧密，原存在于钢锭内的一些微观缺陷如小气泡和裂纹等经过多次辊轧而弥合，改进了钢的质量。辊轧次数较多的薄型材和薄钢板，轧制后的压缩比大于辊轧次数较小的厚材。因而薄型材和薄钢板的屈服点和伸长率等就大于厚材。

(4)热处理。一般钢材以热轧状态交货，某些高强度钢材则在轧制后经热处理才出厂。热处理的目的在于取得高强度的同时能够保持良好的塑性和韧性。轧制后的钢材若再经过热处理可得到调质钢。热处理常采用下列方式。

淬火：把钢材加热到 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，放入水或油中快速冷却，硬度和强度提高，但塑性和韧性降低。

正火：把钢材加热至 $850\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并保持一段时间，在空气中缓慢冷却。可改善组织，细化晶粒，相当于热轧状态。

回火：把淬火后的钢材加热至 $500\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在空气中缓慢冷却，可降低脆性，提高综合性能。我国结构用钢按照热轧状态交付使用，高强度螺栓要热处理，轨道表面要热处理。

2.2.3 影响钢材性能的其他因素

1. 冷加工硬化

钢结构在弹性阶段卸载后，不产生残余变形，也不影响工作性能，但是在弹塑性阶段或塑性阶段卸载再重复加载时，其屈服点将提高，而塑性和韧性降低，这种现象称为冷加工硬化。

钢结构在加工过程中一般要经过辊压、冲孔、剪切、冷弯等工序，这些工序通常会使钢材产生很大的塑性变形，对强度而言，提高了钢材的屈服点，甚至抗拉强度，但是降低了塑性和韧性，增加了脆性破坏的危险，对直接承受动力荷载的构件尤其不利。

2. 时效硬化

冶炼时留在纯铁体中少量的氮和碳的固溶体，随着时间的增长将逐渐析出，并形成自由的氮化物或碳化物微粒，约束纯铁体的塑性变形，从而使钢材的强度提高，塑性和韧性下降，这种现象称为时效硬化。

时效硬化的时间有长有短，可从几天到几十年，但在材料经过塑性变形(约 10%)后加热到 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，可使时效硬化加速发展，只需几个小时即可完成，称为人工时效。对特别重要的结构，为了评定时效对钢材性能的影响，可经人工时效后测定其冲击韧性。

3. 温度的影响

钢材在常温下工作性能变化不大，当温度升高至约 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，钢材的强度降低，塑性增大，但数值不大。当温度达到 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近时，钢材的抗拉强度略有提高，而塑性和韧性均下降，此时加工有可能产生裂缝，因钢材表面氧化膜呈蓝色，称为“蓝脆现象”。当温度