

空心砖砌体

工业与民用建筑专业系列教材

面砖

钢结构

● 主编 宋 群



中国矿业大学出版社

工业与民用建筑专业系列教材

钢 结 构

主编 宋 群

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是工业与民用建筑专业系列教材之一。

本书内容包括:绪论,钢结构的材料 and 设计方法,钢结构的连接,受弯构件的计算,轴心受力构件和拉弯、压弯构件,钢屋盖等章节。本书依照《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)编写。

本书是专科学校、高等职业技术学校和中等专业学校工业与民用建筑专业、村镇建设专业、建筑施工专业的教材,也可作为土建类其他专业的教学用书,同时可供建筑企事业单位工程技术人员参考。

工业与民用建筑专业系列教材

钢 结 构

主编 宋 群

责任编辑 白海新 张乃新

中国矿业大学出版社 出版发行

新华书店经销 北京市兆成印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 280 千字

1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~6 000

ISBN 7-81040-945-X/TU·12

定价:15.80 元

工业与民用建筑专业系列教材

编 审 委 员 会

主 任:牛维麟

副主任(按姓氏笔画排列):

王以功	王作兴	刘社育	刘建平
陈连城	张乃新	袁 文	

委 员(按姓氏笔画排列):

王 平	王寅仓	王 强	马文来
邓瑞新	田新奎	吕大英	齐文海
孙世奎	仲兆金	刘伍诚	刘禄生
李万江	李士禄	李永怀	杨文选
杨平均	何绍人	初明祥	邹绍明
邹金钟	宋 群	张文轩	张亚英
张德琦	陈年和	陈俊玉	杜蜀宾
罗达新	赵 杰	侯印浩	徐 卓
高 瞻	曹长春	常跃军	梁珠擎
韩应军	游普元	蔡先治	蔡建国
魏焕成			

前 言

本书是根据职业技术教育的要求和工业与民用建筑专业《钢结构》教学大纲,以及《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)编写而成的.本书适用教学时数为60~70学时.

本书在编写过程中力求做到内容浅而宽,少而精,理论联系实际.根据职业技术教育的要求和工业与民用建筑专业的培养目标,除在阐述基本设计计算方法中插入一些例题外,还列有三角形屋架设计实例,并在附录中给出了钢屋架设计任务书,以满足教学需要.由于目前轻型钢屋架和网架结构在我国应用较多,本书增设了轻型钢屋架和网架结构的内容,使学生了解轻型钢屋架和网架结构的计算特点和常用节点构造.每章之后都附有习题,通过练习,使学生理解和掌握规范的基本内容,熟悉钢结构一般构件的设计程序和方法.

本书由宋群任主编,方建邦、陈连城任副主编.具体编写分工如下:宋群(绪论、第五章)、陈连城(第四章)、杨帆(第一章)、郭清燕(第二章)、方建邦(第三章).张绍增高级讲师审阅了全书,在此表示衷心的感谢.

由于编者水平有限,书中难免会有缺点和错误,恳请读者批评指正.

编 者

1998年9月

目 录

绪 论	(1)
✓第一节 钢结构的特点和应用范围	(1)
第二节 钢结构的发展概况	(2)
第一章 钢结构的材料 and 设计方法	(5)
第一节 钢结构的材料	(5)
✓第二节 影响钢材力学性能的主要因素	(8)
✓第三节 钢材的选用及规格	(11)
第四节 钢材的应力集中	(13)
第五节 钢结构的计算方法和设计指标	(14)
习 题	(17)
第二章 钢结构的连接	(19)
第一节 钢结构的连接方法	(19)
第二节 焊接方法和焊接类型	(20)
第三节 角焊缝的构造和计算	(26)
第四节 对接焊缝的构造和计算	(34)
第五节 焊接变形和焊接应力	(40)
第六节 普通螺栓连接	(42)
第七节 高强度螺栓连接	(49)
习 题	(53)
第三章 受弯构件的计算	(55)
第一节 梁的类型及其应用	(55)
第二节 梁的强度和刚度计算	(56)
第三节 梁的整体稳定	(62)
第四节 型钢梁的设计	(66)
第五节 梁的局部稳定	(68)
习 题	(72)
第四章 轴心受力构件和拉弯、压弯构件	(74)
第一节 轴心受力构件	(74)
第二节 实腹式轴心受压柱	(82)
第三节 格构式轴心受压柱	(87)
第四节 偏心受力构件	(90)
第五节 柱头与柱脚	(96)
习 题	(101)
第五章 钢屋盖	(103)
第一节 钢屋盖结构的组成形式和尺寸	(103)
第二节 支撑	(106)

第三节	屋架杆件内力计算	(109)
第四节	屋架杆件截面设计	(110)
第五节	屋架节点设计	(115)
第六节	钢屋架施工图	(122)
第七节	轻型钢屋架	(123)
第八节	网架结构	(132)
第九节	钢屋架设计实例	(137)
习 题		(152)
附 录		(154)
附录一	热轧普通型钢规格及截面特性	(154)
附录二	组合截面特性	(166)
附录三	碳钢焊条的药皮类型和焊接电源	(182)
附录四	钢屋架课程设计任务书	(183)
主要参考文献		(184)

绪 论

第一节 钢结构的特点和应用范围

✓一、钢结构的特点

由型钢和钢板等制成梁、柱等基本构件,再用焊缝、螺栓或铆钉将其连接成可承受各种荷载作用的几何不变体系称为钢结构。钢结构与钢筋混凝土结构、木结构、砖石结构等相比,具有以下特点:

(1) 材料强度高,结构重量轻。钢材的强度较高,弹性模量也高,与混凝土、砖石以及木材相比,其密度与屈服强度的比值相对较低。因此,在同样受力条件下,钢结构的构件截面小、自重轻、便于运输和安装,特别适用于大跨度或承受荷载很大的结构。

(2) 材质均匀,安全可靠。钢材在钢厂生产,检验控制严格,质量较稳定。钢材的内部组织比较接近匀质和各向同性,而且其实际工作性能比较符合目前采用的计算理论。因此,钢结构计算准确,可靠度高。

(3) 钢材塑性、韧性好,抗冲击和抗振动能力强。钢材一般都具有良好的塑性和韧性,是较理想的弹塑性体。故钢结构在一般条件下不易因超载而发生突然断裂破坏,而且对冲击荷载、振动荷载具有较强的承受能力。

(4) 钢结构制造安装机械化程度高。钢结构构件便于在工厂制造、工地拼装。工厂机械化制造的构件成品精度高,生产效率高,且工地拼装速度快、工期短,为降低造价、提高效益创造了条件。

(5) 钢结构密封性好。钢材材质较密实,而且焊接结构可以做到完全密封,可以做成气密性、水密性均很好的高压容器、大型油罐、压力管道等。

(6) 钢结构耐热不耐火。钢材在常温至 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内的强度和弹性模量变化很小,因此钢结构适用于热车间。但结构表面长期受 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的辐射,或短时间内受到很高温度作用时,要采用耐火材料予以保护。当钢材温度超过 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其强度和弹性模量均显著下降,达到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,钢材强度趋于零,完全丧失承载能力。因此,对于可能遭受大火侵袭的钢结构,必须采取相应的防火措施,使结构在着火后一段时间内仍能正常工作。

(7) 钢结构的耐腐蚀性差。钢结构,特别是在潮湿和有侵蚀性介质环境中的钢结构,很容易锈蚀。因此,新建的钢结构一般都要除锈,并在其表面镀锌或刷涂料加以保护;使用过程中,要定期维护,以防锈蚀。目前有一种喷涂新工艺,即在严格清洗、除锈的基础上喷铝,其防锈寿命可长达 $20\text{ a}\sim 30\text{ a}$ 。

✓二、钢结构的应用范围

钢材是国民经济各部门不可缺少的材料,必须最大限度地节约钢材。因此,在工程建设中应当按照合理使用,充分发挥其优点的原则来利用钢材。按照我国国情,钢结构的应用范

围大致如下:

(1) 重工业厂房结构. 用于重工业厂房的屋架、柱和吊车梁等承重构件. 如: 冶金企业的炼钢车间和轧钢车间; 重型机械厂的铸钢车间、水压机车间和锻压车间; 飞机制造厂的装配车间; 造船厂的船台车间. 这些车间的高度和跨度都较大, 有重级工作制大吨位吊车或有振动设备, 一般宜采用钢结构.

(2) 大跨度结构. 用于飞机库、火车站、体育馆、大会堂、影剧院和展览厅等要求空间较大的重要性建筑. **跨度 > 36 m, 用钢结构屋架 24~36 m 钢混屋架**

(3) 多层和高层建筑结构. 用于工业建筑中的多层框架, 如炼油厂的塔架、锅炉框架. 用于民用建筑中跨度较大的多层和高层框架, 如宾馆、饭店、公寓、综合办公楼等.

(4) 塔桅结构、容器管道. 用于高压输电线路铁塔, 无线电发射桅杆, 电视发射塔, 石油钻井塔架, 化工排气塔, 火箭发射塔架等. 也常用于石油化工企业中要求密闭的容器管道, 如油罐, 大型储液库, 煤气柜, 大直径的输油、输气管道, 以及冶金企业的高炉结构.

(5) 桥梁结构. 用于大跨度的铁路、公路桥梁, 如梁式桥梁、拱形桁架和悬索桥梁等.

(6) 轻钢结构. 对于跨度较小, 屋面较轻的工业、民用以及商业用房, 常采用小角钢、圆钢或冷弯薄壁型钢组成的轻型钢屋盖结构.

(7) 移动式结构. 用于装配式活动房屋, 水工闸门, 升船机, 桥式吊车, 各种塔式起重机, 移动式采油平台等.

以上是我国建筑钢结构应用范围的一般情况. 在确定是否采用钢结构时, 应从建筑物或构筑物使用要求和具体条件出发, 综合考虑经济效益来确定. 在考虑建筑结构方案的经济效益时, 不但要从选用方案的经济指标考虑, 还应考虑工期长短问题. 当采用钢结构时, 常可缩短工期, 使企业提前投产所获得的经济效益有时可能超出其土建投资. 这是合理采用钢结构的一个重要指标, 应予以重视.

第二节 钢结构的发展概况

钢结构是由生铁结构逐步发展起来的. 我国是最早利用生铁建造承重结构的国家. 远在秦朝初期(公元前 200 多年), 就已经有了铁制桥墩. 汉明帝时(公元 60 年前后), 汉朝为与西域各国进行宗教、文化交流, 在深山峡谷中建造了世界公认的、最早的铁链悬桥. 以后我国建造了十多座这种形式的悬桥, 其中最为出名的当数明朝的沅江桥、清朝的泸定桥. 泸定桥建于康熙四十五年(1706 年), 其净跨 100 m, 宽 2.7 m, 共有 13 根铁链, 每根重 1.6 t, 铁链系于直径 20 cm 长 4 m 的铸铁锚桩上. 在当时的生产力条件下, 在峡谷中建造这样长的铁链桥, 表明我国古代劳动人民的勤劳和智慧.

中国古代生铁结构除用于铁链桥外, 还建造了众多的铁塔. 至今尚存的有宋代(1061 年)建造的湖北荆州玉泉寺铁塔, 塔身高 17.9 m, 共 13 层; 还有山东济宁铁塔寺铁塔和江苏镇江甘露寺铁塔等.

几个世纪以后的 779 年, 英国用生铁建造了科尔布鲁克代尔(Coalbrookdal)肋拱桥, 跨度为 30.5 m. 随着冶炼技术的发展, 出现了熟铁铆钉连接结构. 1850 年英国威尔士建造了麦奈海峡(Menaistraits)四跨连续箱形截面铁路桥, 1889 年法国建成巴黎埃菲尔(Eifel)铁塔, 高 321 m. 19 世纪中叶, 发明了平炉炼钢后, 才有了用钢建造桥梁和高层建筑的历史. 1931

年美国建造了帝国大厦,高 381 m,共 102 层.1974 年在芝加哥建造了西尔斯(Cears)大厦,高 440 m,共 110 层,是目前世界上最高的高层建筑.1974 年在波兰华沙建成的长波发射桅杆,高 645 m,是目前最高的结构物.1998 年 4 月在丹麦建成的目前世界最长的吊桥,主跨 1 400 m;主钢缆长 8 000 m,由 18 000 根钢绳组成,重 18 000 t.

中国古代在钢铁结构方面虽有卓越成就,但在封建制度的束缚下,发展极其缓慢.在解放前近百年的半封建半殖民地统治下,更是发展艰难.在此期间,西方发达国家在桥梁、铁路、厂房、高层建筑等方面对钢结构的运用越来越广泛.而我国此时还没有一个具有规模的钢结构设计单位和营造企业,一些为数不多的钢结构,如铁路桥、公路桥也几乎全是外国人承揽设计和施工的.我国钢结构的研究和运用已远远落后于西方发达国家.

新中国成立以来,随着国民经济的飞速发展,在钢结构的设计理论、制造、安装等方面都有了空前的发展.钢结构在桥梁、大跨度工业厂房、大型公共建筑、高耸结构和高层建筑等方面得到了广泛应用,有些工程的规模和技术已达到或超过世界先进水平.

在桥梁方面,自 1957 年建成武汉长江大桥以后,又建造了多座大桥.如:1968 年建成的南京长江大桥,其结构设计、制造、安装都充分运用了当时最新的科学成就,规模和难度也是世界少有的;1993 年建成的九江长江大桥,正桥长 1 808.8 m,为柔性拱加肋的桁架桥,最大跨度为 216 m,钢材为 15MnVq 钢;1991 年建成的上海黄浦大桥,总长为 8 346 m,主桥为双塔双索面斜拉桥,主桥长 846 m,主跨长 423 m.

在工业建筑方面,鞍钢、武钢、包钢等冶金联合企业的许多车间都采用了规模巨大的钢结构厂房;在机械制造厂、造船厂和汽车制造厂中都有高大的钢结构车间.如:1977 年建成的上海锅炉厂的重型容器车间,主跨 36 m,高 40 m,采用双层桥式吊车,上层为两台 400/80 t 吊车;第一汽车制造厂,高尔夫轿车总装厂厂房屋盖采用了近 8 000 m² 的钢网架结构.

在公共建筑方面,钢结构多用于大跨度房屋的屋盖结构,其主要采用拱架结构、网架结构、悬索结构等.如:首都体育馆、上海文化广场都采用了大跨度网架结构;西安秦始皇陵兵马俑陈列馆采用了跨度为 70 m 的三铰拱钢结构;北京工人体育馆,屋盖采用了圆形双层辐射式悬索结构,其直径为 94 m,中央钢环直径 16 m,高 11 m,上下两层各有 144 束钢索,是目前我国跨度最大的悬索屋盖(见图 0—1).

近年来,在北京、上海、广州、深圳等地建成了几十栋钢结构高层建筑,如:1989 年在北京建成的京广大厦,高 208 m,地上 53 层,地下 3 层,是我国第一幢突破 200 m 的高层钢结构建筑;将要竣工的上海金茂大厦,高 420.5 m,共 88 层,其高度为亚洲第一,世界第三.

钢结构还被广泛应用于高耸结构中.如:1956 年建成的广州电视塔,高 200 m(见图 0—2);1972 年建成的上海电视塔,高 210 m;1977 年建成的北京环境气象桅杆,高 325 m;1989 年建成的大庆电视塔,高 260 m.

在石油开发和城市建设中,兴建了不少大型油气储罐及筒仓.早在 1958 年就在上海建成了容积为 54 000 m³ 的湿式贮气柜;1987 年在秦皇岛建成两座 100 000 m³ 的储油罐;在北京建造的利浦钢板筒式粮仓,高 20 m,直径 10 m.

新中国成立近 50 年来,我国钢结构在各方面都取得了巨大成就,已建成的许多著名钢结构工程,都标志着我国在这些方面的科研、设计和施工已达到了相当高的水平.随着国民经济的发展与科技进步,我国将建造更多的大跨度、高层钢结构建筑.预应力结构,型钢混凝土结构应用范围日益扩大.薄壁型钢,尤其是压型钢板组合结构,近年来发展很快.随着钢

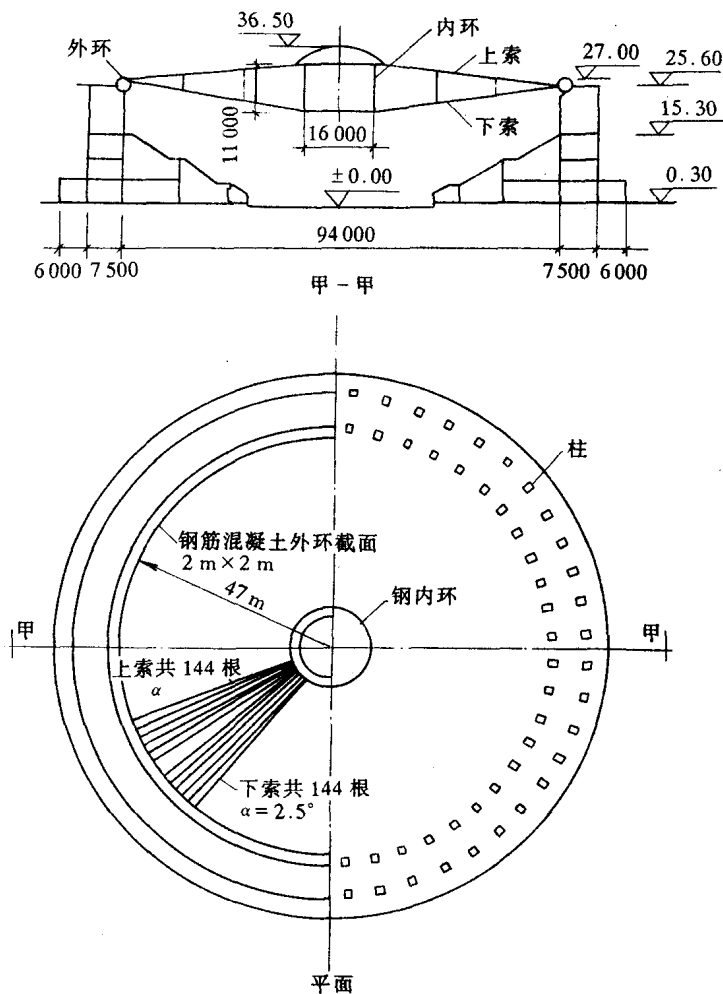


图 0—1 北京工人体育馆

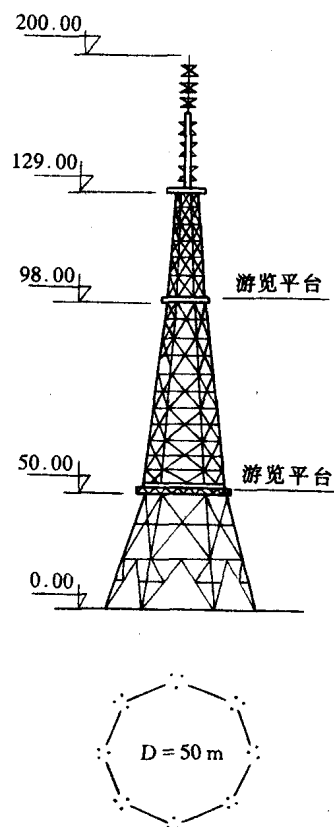


图 0—2 广州电视塔

结构计算理论的研究和发展,对钢结构的塑性设计、优化设计、空间结构的稳定性分析及可靠性评估等将进一步完善.在不远的将来,我国钢结构的科学技术水平将达到或超过世界先进水平.

第一章 钢结构的材料和设计方法

第一节 钢结构的材料

一、钢材的品种及牌号

钢材的品种繁多,结构用钢材则主要采用碳素结构钢、低合金结构钢以及专用结构钢。

(一) 碳素结构钢

根据 GB 700—88,碳素结构钢按照钢材的屈服强度分为 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275 五种。Q 表示屈服强度的汉语拼音首位字母,数字代表屈服强度下限值(N/mm^2)。钢结构用钢主要是 Q235,其质量等级分为 A、B、C、D 四级,各级的化学成分和机械性能都有所不同。其中 A 级质量最差,D 级最好。

碳素结构钢出厂时,应有化学成分和机械性能的合格证书。化学成分根据不同的质量等级分别规定了 C、Mn、Si、S、P 等含量;机械性能则要求屈服强度 f_y 、抗拉强度 f_u 、伸长率 δ 、和冷弯试验等合格。其中 A 级钢不要求 C、Mn 含量和冷弯试验,B、C、D 级钢分别附加要求 20℃、0℃、-20℃ 的 V 型缺口试件冲击韧性合格。

在脱氧方法上,A、B 级按脱氧程度分为沸腾钢(F)、半镇静钢(b),C 级为镇静钢(Z),D 级为特殊镇静钢(TZ)。

碳素结构钢的牌号表示方法为 Q235— $\times\times$, $\times\times$ 表示质量等级和浇注方法,如 Q235—A·F、Q235—D·Z 等。

(二) 低合金结构钢

低合金结构钢是在碳素结构钢冶炼过程中添加少量的一种或几种合金元素(总含量不超过 5%)而炼成的钢。由于添加了适量的合金元素,从而使钢的强度、耐腐蚀性、低温冲击韧性等都得到了进一步提高。

根据 GB 1591—88,低合金结构钢牌号的表示方法是:从左到右依次列出其平均含碳量的万分数和添加合金元素的符号(或名称)及其含量的百分数整数。如果添加合金元素平均含量 $< 1.5\%$,其含量不予标出;当平均含量 $\geq 1.5\%$ 、 2.5% 等时则在该元素符号后标出 2、3 等数字。例如 16Mn,表示这种低合金结构钢平均含碳量为 0.16%,合金元素 Mn 的含量少于 1.5%。

(三) 专用结构钢

桥梁、船舶、压力容器、锅炉等结构用钢都有其专用性。这些专用钢材都是在碳素结构钢或低合金结构钢的基础上,对钢材提出了更高的质量要求,以保证适应各种不同结构的需要。

根据 GB 168—88,专用结构钢的表示方法是在原来钢牌号的最后加上相应的字母(或汉字):q(桥)、C(船)、R(容)、g(锅)等。例如 16Mnq(16 锰桥)钢、Q235C 钢等。

二、钢材的机械性能

钢材的机械性能是衡量钢材质量的重要指标。而结构用钢主要机械性能包括：强度（屈服强度 f_y 、抗拉强度 f_u ）、伸长率 δ_s 、冷弯性能及冲击韧性。

（一）钢材在单向均匀拉力作用下的机械性能

钢材的拉伸试验是用规定形式和尺寸的标准试件，在常温 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下，按规定的加载速度在拉力试验机上进行。其所体现的机械性能可由图 1—1 说明。

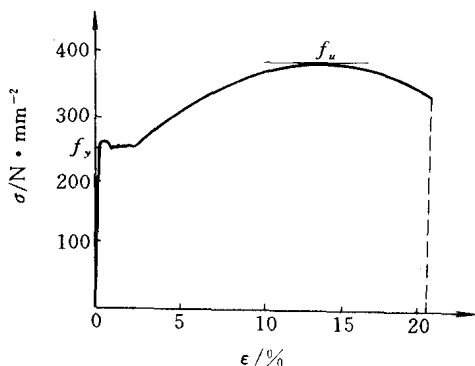


图 1—1 钢材的应力—应变图

1. 屈服点

如图 1—1 所示，钢材的屈服点 f_y 是衡量结构承载能力和确定强度设计值的指标。虽然钢材的应力在达到抗拉强度 f_u 时才出现颈缩直至很快断裂，但在结构设计时却以钢材的屈服强度 f_y 作为静力强度的承载力极限。这是因为钢材的应力达到 f_y 后应变将急剧增长，从而使钢材在使用上产生了不容许的残余变形，以致不能正常使用。

2. 抗拉强度

钢材的抗拉强度 f_u 是应力—应变图图 1—1 中的最大应力值。它是钢材机械性能中非常重要的保证项目。它反映了钢材承受静力荷载的极限能力。虽然其在强度计算中不直接采用，但却表达了钢材达到屈服点后仍有多少安全储备，是抵抗塑性破坏的重要指标。

3. 伸长率

伸长率是指图 1—2 中试件被拉断后，其断裂处一定标距长度部分所增加的长度 ΔL 与原标距长度 L_0 的百分比值，即

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 δ ——伸长率；

ΔL ——试件拉断后标距增长值，mm；

L_1 ——试件拉断后原标距间长度，mm；

L_0 ——试件原标距长度，mm。

试件进行拉伸试验时，标距一般为 $10d$ 及 $5d$ 两种（ d 为试件直径），此时伸长率分别用 δ_{10} 及 δ_5 表示。伸长率是衡量钢材塑性性质即塑性变形发展能力的一项主要指标。

（二）钢材的冷弯性能

钢材的冷弯性能是钢材在常温下冷加工弯曲产生塑性变形时，抵抗裂纹产生的一种能力。冷弯试验的方法是：在材料试验机上，通过具有一定弯心直径 d 的冲头，对标准试件中部施加荷载使之弯曲，以试件在冷弯 180° 后其外侧不出现裂纹为合格（见图 1—3）。

冷弯试验不仅可检查钢材的冷加工能力，而且还能显示钢材内部缺陷（如分层、夹渣等）状况，冷弯性能是检验钢材在复杂应力状态下塑性变形能力的一项综合指标。

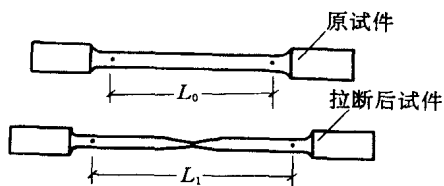


图 1—2 钢材的受拉试件

(三) 钢材的冲击韧性

冲击韧性是衡量钢材抵抗脆性断裂能力的一项机械性能指标。通常是用有特定缺口的标准试件(根据 GB 700—88, 冲击试件用 V 型缺口), 在材料冲击试验机上进行冲击荷载试验使试件断裂, 并测定此时冲击值 α_k 来作为衡量冲击韧性的指标。

具体的试验方法是采用标准带槽试件, 在摆式试验机上将试件两端支在支座上, 然后通过摆锤的冲击使试件断裂, 而此时试件刻槽处单位面积所耗的功, 就是冲击值 α_k , 单位: J/mm^2 ($\text{N}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$) 或 $\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}^2$ 。钢材的冲击韧性试验示意图见图 1—4。

一般情况下, 只有经常承受较大动力荷载的结构, 特别是焊接结构, 才需要有冲击韧性的保证。

钢结构常用的钢材机械性能见表 1—1、表 1—2 和表 1—3。

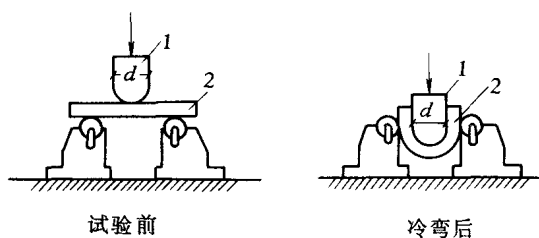


图 1—3 钢材冷弯试验

1—冲头; 2—冷弯试件

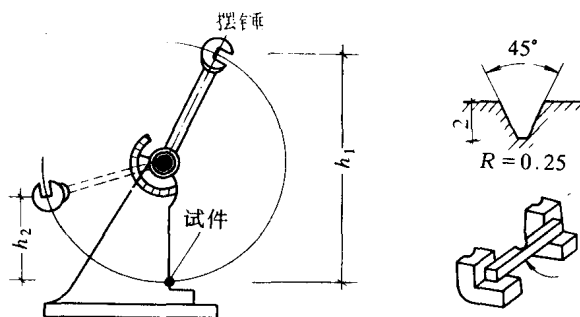


图 1—4 钢材的冲击韧性试验示意及 V 型缺口形式

表 1—1 碳素结构钢钢材的机械性能(按 GB 700—88)

牌 号	等 级	拉 伸 试 验													冲击试验	
		屈服点 $\sigma_s/\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$						抗拉强度 σ_b $/\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	伸长率 $\delta_5/\%$						温度 $/^{\circ}\text{C}$	V 型 冲击功 (纵向) /J
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm							
		≤ 16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>100 ~ 150	>150		≤ 16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>100 ~ 150	>150		
		不小于							不小于							
Q195	—	(195)	(185)	—	—	—	—	315~390	33	32	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~410	31	30	29	28	27	26	—	—
	B														20	27
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375~460	26	25	24	23	22	21	—	—
	B														20	27
	C														0	
	D														-20	—
Q255	A	255	245	235	225	215	205	410~510	24	23	22	21	20	19	—	27
	B														20	—
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490~610	20	19	18	17	16	15	—	

表 1-2 碳素结构钢钢材的冷弯试验和试样方向(按 GB 700—88)

牌 号	试样方向	冷弯试验 $B=2a$ 180°		
		钢材厚度(直径)/mm		
		60	$>60\sim100$	$>100\sim200$
		弯心直径 d		
Q195	纵 横	0 $0.5a$	—	—
Q215	纵 横	$0.5a$ a	$1.5a$ $2a$	$2a$ $2.5a$
Q235	纵 横	a $1.5a$	$2a$ $2.5a$	$2.5a$ $3a$
Q255	—	$2a$	$3a$	$3.5a$
Q275	—	$3a$	$4a$	$4.5a$

注: B 为试样宽度; a 为钢材厚度(直径)。

表 1-3 低合金结构钢钢材的机械性能(按 GB 1591—88)

牌 号	钢材厚度或直径 /mm	抗拉强度 σ_b /N·mm ⁻²	屈服点	伸长率	180°弯曲试验 d = 弯心直径 a = 试样厚度	冲击试验	
			σ_s /N·mm ⁻²	δ_5 /%		温度 /℃	V 型冲击功(纵向)/J
			不小于				不小于
16Mn	≤16	510~660	345	22	$d = 2a$	20	27
	>16~25	490~610	325	21	$d = 3a$		
	>25~36	470~620	315	21	$d = 3a$		
	>36~50	470~620	295	21	$d = 3a$		
	>50~100 方、圆钢	470~620	275	20	$d = 3a$		
15MnV	≤4	550~700	410	19	$d = 2a$	20	27
	>4~16	530~680	390	18	$d = 3a$		
	>16~25	510~660	375	18	$d = 3a$		
	>25~36	490~640	355	18	$d = 3a$		
	>36~50	490~640	335	18	$d = 3a$		

第二节 影响钢材力学性能的主要因素

影响钢材力学性能的主要因素是钢材的化学成分以及钢结构荷载情况和环境条件等。

一、化学成分的影响

钢材的化学成分直接影响钢的组成构造,并与钢材的力学性能有密切关系。钢材的主要成分是铁(Fe),碳(C)和其他元素在钢材中的含量不大(仅占 1 % 左右),但对钢材的力学性

能却有着决定性的影响.因此,在选用钢材时要特别注意钢的化学成分.

碳是碳素结构钢中除铁以外的主要元素,其含量决定着钢材的强度、塑性、韧性和可焊性等.一般随着含碳量增加,钢材的屈服点和抗拉强度虽可提高,但塑性、韧性、冷弯性能,特别是低温冲击韧性下降.因此钢结构中钢材含碳量不能过高,通常不超过 0.22 %.

硅一般作为脱氧剂加入碳素结构钢中,用以制成质量较高的镇静钢.适量的硅可使钢材强度大为提高,并对塑性、冲击韧性、冷弯性能及可焊性均无显著的不良影响,但过量的硅(1 %左右)却能降低钢材的塑性、冲击韧性,并恶化钢材的可焊性.一般镇静钢的含硅量为 0.1 % ~ 0.3 %.

锰是一种弱脱氧剂,其可改善钢材的冷脆性能,并能有效地提高钢材的屈服点、抗拉强度,又不过分地降低钢材的塑性和冲击韧性.但当锰含量过高时(1.0 % ~ 1.5 % 以上),也会造成钢材变脆变硬,并降低钢材的抗锈性和可焊性.

钒是低合金结构钢中特意添加的一种合金元素,它可提高钢材的强度,细化钢的晶粒.另外,钒的化合物具有高温稳定性,可提高钢的高温硬度.

硫、磷是碳素结构钢中极为有害的两种元素,它们将造成钢材发生“热脆”及“冷脆”现象,并都能使钢材的塑性、韧性降低.因此应严格控制钢材中硫、磷的含量.一般硫不应超过 0.050 %,磷不应超过 0.045 %.

氧、氮和氢也是钢中的有害元素,其中氧的有害作用近似于硫,氮的作用与磷相似,而氢在低温时也会使钢材呈脆性破坏,产生所谓的“氢脆”现象.因此,在钢熔炼过程中应尽量减少与空气及水分的接触.

钢结构常用的各种钢材的化学成分的规定见表 1—4、表 1—5.

表 1—4 碳素结构钢钢材的化学成分

牌 号	等 级	化 学 成 分 /%					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q195	—	0.06~0.12	0.25~0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		0.045		
	C	≤0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注:Q235A、B级沸腾钢锰含量上限为 0.60 %.

表 1—5 低合金结构钢的化学成分

牌 号	化 学 成 分 / %					
	C	Mn	Si	V	S	P
					不大于	
16Mn	0.12~0.20	1.20~1.60	0.20~0.55	—	0.045	0.045
15MnV	0.12~0.18	1.20~1.60	0.20~0.55	0.04~0.12	0.045	0.045

二、时效的影响

钢材随时间推移屈服强度和抗拉强度提高,塑性、冲击韧性降低的现象,称为时效.产生时效的原因是纯铁体中残存的少量氮的固溶物质,随时间增长,从纯铁体中逐渐析出,形成自由的氮化物微粒,散布在晶粒间的滑移面上,阻碍了纯铁体晶粒间的滑移.

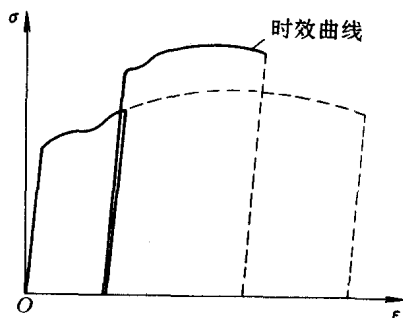


图 1—5 钢材的时效现象

也称应变硬化。

热轧钢材堆放在仓库中,经过一段时间,其强度提高,但塑性、冲击韧性降低的现象称为自然时效.其属于一种不利因素,发生的过程可以从几天到几十年.为测定时效后钢材的冲击韧性是否满足机械性能要求,常采用人工时效的方法,先使钢材产生 10 % 的塑性变形,再加热到 250 ℃ 左右,保温 1 h 冷却到室温,做成构件测定其应变时效后的冲击韧性.图 1—5 为人工时效后钢材试件的拉伸实验图.从图中可看出,钢材强度大为提高,但塑性显著降低.

三、冷作硬化的影响

荷载的间断重复作用在弹性工作阶段基本上不影响钢材的工作性能.但在弹—塑性或塑性变化范围内重复加卸载将明显改变钢材的性能.即钢材的屈服点提高,弹性范围增加,塑性降低(见图 1—6).钢材的这种性质叫冷作硬化,或称应变硬化.

由于冷作硬化降低了钢材的塑性和冲击韧性,增加了出现脆性破坏的危险程度,因此对钢结构是有害的.对于特殊钢结构(高压容器、锅炉的汽包等),为消除冷作硬化对钢材造成的不利影响,常应进行热处理使钢材的力学性能恢复正常.

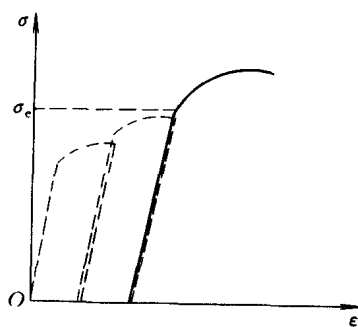


图 1—6 钢材的冷作硬化

四、温度的影响

前面所讨论的,都是钢材在常温时的工作性能.当温度偏高、偏低时,钢材性能将有所改变.

当温度升高时,开始是钢材的强度和弹性模量基本不变,塑性变化也不大(见图 1—7).但升至 250 ℃ 左右时,其抗拉强度提高,塑性和冲击韧性下降.当温度升至 300 ℃ 以后,屈服