

钢结构技术培训教材之一
上海市金属结构协会

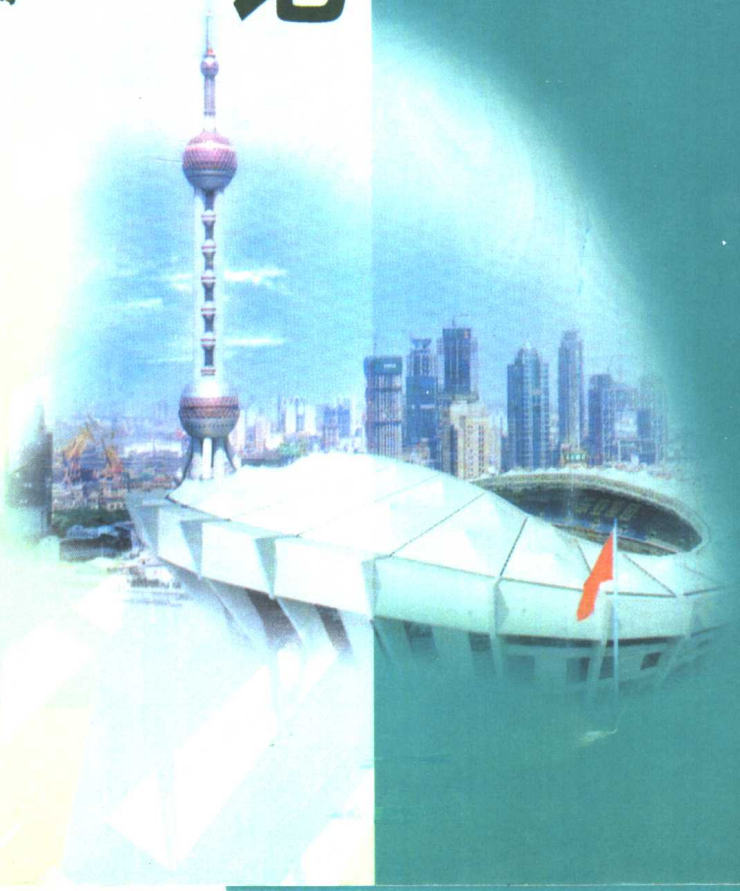
钢 结 构 构 件

和 结 构 体 系 概 论

GANGJIEGOU GOUJIAN HE

JIEGOUTIXIGAILUN

宗听聪 编



版社

钢结构技术培训教材之一
上海市金属结构协会

钢结构构件和结构体系概论

宗听聪 编

同济大学出版社

内 容 提 要

本书介绍了钢结构构件和结构体系的发展、钢结构构件的计算方法和设计步骤、钢结构体系的组成和各部件的功能以及钢结构设计的全过程。

通过本书的学习,可使读者能综合运用有关知识,解决钢结构工程项目中的质量要求、设计方法、计算理论等实际问题。

本书是根据建设部相关文件精神编写的,不仅为上海市钢结构建筑制作安装管理人员和技术人员必读书之一,同时也适合全国从事钢结构技术工程人员参考。

责任编辑 卞玉清

封面设计 陈益平

钢结构构件和结构体系概论

宗听聪 编

同济大学出版社出版

(上海市四平路 1239 号 邮编:200092)

新华书店上海发行所发行

浙江新昌印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8.75 字数:220 千字

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—6000 定价:16.00 元

ISBN7-5608-2014-X/TU·305

序

建筑钢结构是一个新事物,90年代以来,特别是近几年来发展很快。一些超高层建筑、工业厂房建筑、大桥建筑、高架立交、体育和文化场馆的网架结构、塔桅建筑等,采用钢结构的越来越多。现在,钢结构已开始进入住宅领域。随着我国钢产量的不断增长,钢结构建筑必将成为新的建筑经济增长点。

由于我国现代建筑都是以混凝土结构为主,从事建筑施工的管理人员和技术人员对混凝土结构比较熟悉,而对钢结构的制作和施工技术相对比较生疏。因此,重视对建筑钢结构的专业培训,让一大批从事建筑施工的工程技术人员和管理人员进行知识更新,这对于提高他们的技术素质,确保工程质量,发展钢结构事业,是非常必要和十分紧迫的一项任务。

上海市金属结构协会组织专家编写了一套钢结构专业培训的系列教材。这套教材既有一定的基础理论知识,又总结了施工实践过程中的一些经验,比较适应广大工程技术人员和管理人员更新知识的需要,具有一定的实用性。希望从事建筑施工,特别是从事钢结构制作和安装的广大工程技术人员和管理人员,能积极参加钢结构专业培训,取得合格证书,在建设工程中发挥更好的作用。

上海市建设委员会副主任 黄健之

目 录

绪论	(1)
第一章 钢结构的材料	(4)
第一节 钢的种类	(4)
第二节 炼钢炉(冶炼方法)种类	(4)
第三节 钢的脱氧方法	(5)
第四节 碳素钢	(5)
第五节 钢材的力学性能	(6)
第六节 钢材的品种、标号和选用	(12)
第二章 钢结构构件	(18)
第一节 受弯构件——梁	(18)
第二节 拉杆、压杆和柱	(27)
第三节 钢构件的塑性设计	(39)
第四节 组合结构	(42)
第三章 钢结构的连接	(49)
第一节 钢结构的连接方法和特点	(49)
第二节 焊接结构的特性和缺陷	(49)
第三节 对接焊缝的构造和计算原则	(53)
第四节 角焊缝的构造和计算原则	(54)
第五节 焊接连接的构造要求	(58)
第六节 普通螺栓连接的构造和计算	(59)
第七节 摩擦型高强度螺栓连接	(64)
第八节 梁与柱的连接	(66)
第九节 柱与基础的连接	(68)
第四章 结构体系概论	(70)
第一节 屋盖结构	(70)
第二节 单层钢厂房	(84)
第三节 框架结构	(99)
第四节 网架结构	(109)
第五节 悬索结构	(119)
第六节 高层建筑结构	(128)

绪 论

一、钢结构的特点

钢结构构件较小,质量较轻,便于运输和安装,特别适用于跨度大、高度高、承载重的结构以及可移动、易装拆的结构。

1. 钢材强度高:按 $\frac{\text{强度设计值}}{\text{质量密度}}$ 计算。约为 6:4:1。

2. 钢结构安全可靠:钢材质地均匀,各向同性,弹性模量大,有良好的塑性和韧性,为理想的弹性-塑性体。

3. 钢结构工业化程度高:工厂制造,工地安装,缩短工期,降低造价,提高效益。

4. 钢结构密闭性好:焊接结构可做到完全密封;压力容器、大型油库、气柜、输油管道都采用钢板结构。

5. 钢结构耐 250℃ 以下高温,但不耐火。

6. 钢结构易锈蚀,需镀锌或刷涂料,维护费用高。

二、钢结构的应用范围

钢结构广泛应用于以下结构:高度或跨度较大的结构;荷载或吊车起重量很大的结构;有较大振动的结构;有抗震要求的结构;高温车间的结构;密封要求很高的结构;经常移动或经常装拆的结构。

1. 厂房结构:冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混铁炉车间等;重型机器厂的铸钢车间、水压机车间、锻压车间等;电厂的锅炉框架钢结构;造船厂船台车间;飞机制造厂的装配车间等的屋架、托架、吊车架、柱。

2. 大跨度结构:飞机库、汽车库、火车站、大会堂、体育馆、展览厅、影剧院等处采用的框架结构、拱架结构、网架结构、悬挂结构和预应力钢结构。

3. 高层建筑:旅馆、饭店、公寓等的高层楼房钢结构。

4. 塔桅结构:无线电桅杆、微波塔、电视塔、导航塔、高压输电线路塔、旅游瞭望塔、火箭发射塔。

5. 板壳结构:要求密闭的容器,如大型储液库、煤气库;受力大且温度变化大的高炉结构;大直径高压输油管和煤气管道。

6. 移动式结构;活动房屋、水工闸门、升船机、起重运输机、装卸桥等。

7. 桥梁结构:各种中等跨度和大跨度钢桥。

8. 轻型钢结构:在中小型房屋中常用的圆钢结构、钢管结构、弯曲薄壁型钢结构。

三、钢结构设计的基本要求

钢结构设计要贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进,经济合理,安全适用,确保质量。

(一) 设计中应满足的基本要求

1. 钢结构在运输、安装和使用过程中,必须有足够的强度、刚度和稳定性,整个结构必须安全可靠。

2. 要从工程实际情况出发,合理选用材料、结构方案和构造措施,要符合建筑物的使用

要求,要有良好的耐久性。

3. 尽可能地节约钢材,减轻钢结构的质量。
4. 尽可能地缩短制造、安装时间,节约劳动工日。
5. 钢结构要便于运输及维护。
6. 在可能条件下,尽量注意美观。

(二) 节约钢材的主要措施

1. 构件和节点尺寸模数化,构件和节点类型标准化,要便于运输、安装、制造。
2. 创造和推广新的结构体系,尽量采用空间结构体系。
3. 研究和推广新的计算理论,大力运用电算,研究和推广薄壁钢结构。
4. 研究新型连接方式,尽量采用焊缝和高强度螺栓连接。
5. 开发和推广优质钢材、合金钢材和其他金属,推广薄壁型钢。
6. 推广钢与混凝土组合构件、钢管混凝土构件等。
7. 总结、创造和推广先进的制造工艺和安装技术。

四、现代钢结构的发展概况

随着工农业、国防和科学技术现代化的发展,我国钢结构的生产和应用将有很大的增长和发展。下面各点表明近年来钢结构理论研究和生产技术有了迅速提高,也提出了对钢结构进一步研究的展望。

(一) 高强度钢材的研制和应用

采用高强度钢材对跨度大、高度高、承载重的结构非常有利。结构用的高强度钢材一般都是低合金结构钢,以保证必要的塑性、韧性和可焊性。目前我国已普遍采用屈服点为 350N/mm^2 的 16 锰钢,北京首都体育馆的网架结构、上海电视塔的塔柱钢管就采用了这种材料。屈服点为 390N/mm^2 的 15 锰钒钢和 15 锰钛钢也开始应用,其中,15 锰钒钢是在冶炼 16 锰钢的基础上增添少量钒铁合金而成,已有 20 多年工程实践的经验,综合性能比较好,可较 3 号钢节约用钢量 $15\% \sim 25\%$,现在已正式为《钢结构设计规范》(GBJ17—88)所推荐。上海电视塔的斜杆用一种特别研制的 30 硅钛钢,以减少用钢量。30 硅钛钢屈服点大于等于 400N/mm^2 ,各项力学指标和可焊性均符合设计要求。另一种屈服点为 450N/mm^2 的 15 锰钒氮钢也有应用。国外高强度钢发展很快,1969 年美国规范列入屈服点为 700N/mm^2 的钢材,1975 年前苏联规范列入屈服点为 750N/mm^2 的钢材。今后,随着冶金工业的发展,研究强度更高的钢材及其合理使用将是重要的课题。

用于连接材料的高强度钢除 16 锰钢外,尚有 45 号钢和 40 硼钢,这两种材料都有比较成熟的生产工艺,所制成的高强度螺栓广泛用于厂房结构、网架结构、塔桅结构、桥梁结构等,都产生了很好的效果。40 硼钢经热处理后,其屈服点不低于 990N/mm^2 ,抗拉强度为 1100N/mm^2 。但是,40 硼钢由于发现有因腐蚀使裂纹扩展而引起的延迟断裂现象,在制造较大直径的螺栓时,其淬透性较差,所以将被逐步淘汰,现在已推荐采用 20 锰钛硼钢作为高强度螺栓专用钢,其强度级别与 40 硼钢相同。

(二) 构件和结构计算的研究和改进

现代计算技术和测试技术的发展,为深入了解构件和结构的实际性能提供了有利条件,计算方法愈能反映实际情况,就愈能合理使用材料,充分发挥材料的作用并保证结构的安全。需进行研究的问题有钢材塑性充分利用问题、动力荷载作用下结构反应问题、残余应力

对结构强度和稳定的影响问题及板件屈服后的承载能力问题等。

最近应用概率理论来考虑结构的安全度有了新的进展,这也是改进计算方法的一个重要方面。新近修订的钢结构设计规范(GBJ17—88)就是采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用可靠指标度量结构的可靠度,并以分项系数的设计表达式进行计算。

(三) 结构形式的革新和应用

新的结构形式有薄壁型钢结构、网架结构、网壳结构、悬挂结构和预应力钢结构等。这些结构适用于轻型屋盖结构、大跨度屋盖结构或其他钢结构。采用新结构对减少耗钢量有重要意义。我国应用新结构逐年有所增长,特别是网架结构发展更快。网架结构对各种平面形式的建筑物适应性很强,首都体育馆、上海体育馆、上海文化广场的平面分别为矩形、圆形和梯形,都采用了平板网架,经济效果很好。北京 1990 年亚运会用的北郊综合体育馆采用网架加斜拉索混合结构,具有更独特新颖的结构形式。

(四) 钢和混凝土组合构件的应用

钢和混凝土组合构件是一种各取所长的结构。钢宜于受拉,混凝土则宜于受压,两种材料结合能充分发挥各自的长处,是一种很合理的结构。例如钢筋混凝土板用抗剪键与钢梁连成一体而共同工作,由钢筋混凝土板作为受压翼缘,而钢梁主要承受拉力。另外,在钢管内灌混凝土用作柱肢或柱,也是一种组合构件的形式。钢管混凝土结构的塑性、抗震性都很好,比钢筋混凝土柱施工简便,最近,这方面的研究已取得重大进展。新修订的《钢结构设计规范》已列入了钢与混凝土组合梁的若干规定。

(五) 优化原理的应用

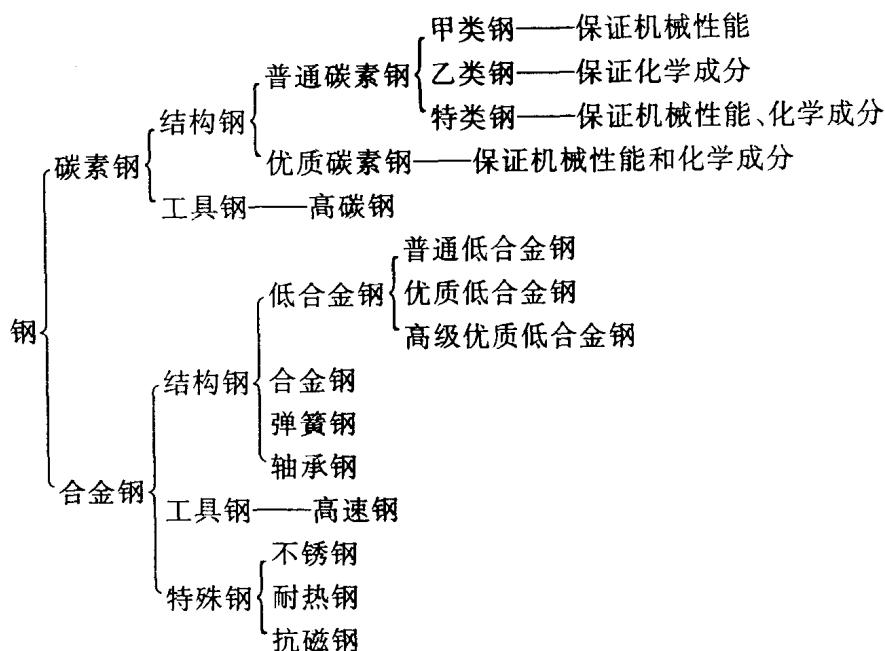
结构优化设计包括确定优化的结构形式和确定优化的截面尺寸。由于电子计算机的逐步普及,促使结构优化设计得到相应的发展。我国最近编制的钢吊车梁标准图集,就是根据耗钢量最小的条件写出目标函数,把强度、稳定度、刚度等一系列设计要求作为约束条件,用计算机解得优化的截面尺寸,比过去的标准设计节省钢材 5% ~ 10%。优化设计已逐步推广到塔桅结构、网架结构设计等方面。

此外,还有宽翼缘工字钢和钢管的研究和应用。采用宽翼缘工字钢可以减少制造过程中的焊接工作量和施工工序,加快施工进度。此外,宽翼缘工字钢用作高层建筑和多层框架中的承重柱,具有较好的经济效益。钢管作为压杆也可以得到很好的经济效果,特别是主要承受风荷载的塔桅结构中,钢管能减少风阻力,增加抗弯刚度,进一步降低钢材用量。

钢结构防锈处理的研究工作已取得了可喜的进展。最近广泛采用热喷涂(喷沙除锈、电热喷铝或锌)新工艺,喷涂层具有 20 年以上的寿命。对处在不良环境中的钢结构,采用不易锈蚀的耐候钢则更为有利。

第一章 钢结构的材料

第一节 钢的种类



钢结构所用的钢材仅为普通碳素钢和普通低合金钢两类。

第二节 炼钢炉(冶炼方法)种类

转炉钢:杂质较多,质量稍差。

空气底吹转炉钢——质量甚差,国内已不生产。

空气侧吹转炉钢——质量略差,各项性能不如氧气顶吹转炉钢。

氧气顶吹转炉钢——有害元素少、杂质少、纯洁度高;质量和加工性能都接近平炉钢;生产效率,成本低,投资省,建厂快。

平炉钢:原料广泛,容积大,产量高,冶炼工艺较简单,钢材质量优良,化学成分稳定(偏析度小),机械性能可靠,能冶炼各种用途的钢。缺点为生产成本低,建厂规模大,工期长,投资大。

应尽量采用氧气顶吹转炉钢代替平炉钢。

电炉钢:质量最好,成本最高,土建结构上极少用电炉钢。

转炉钢、平炉钢和电炉钢的性能比较见表 1-2-1。

表 1-2-1

转炉钢、平炉钢、电炉钢的性能比较

比 较 项 目	炉 种	转 炉 钢			碱性平炉钢	碱性电炉钢
		底吹酸性转炉钢	侧吹碱性转炉钢	氧气顶吹转炉钢		
有害气体 (%)	氮	0.011 ~ 0.025	0.003 ~ 0.008	0.001 ~ 0.003	0.002 ~ 0.006	0.008 ~ 0.010
	氧	0.04 ~ 0.10	0.033 ~ 0.067	0.02 ~ 0.04	0.02 ~ 0.04	0.01 ~ 0.02
	氢	0.0004 ~ 0.0007	0.00018 ~ 0.00054	0.0001 ~ 0.0003	0.0002 ~ 0.0006	0.0002 ~ 0.0006
夹杂物		较多	较多	较少	较少	最少
焊接性能		最差	较差	好	好	最好
钢的质量		差	较差	好	好	最好
疲劳性能		最低	低	较高	较高	最高
钢的用途		—	非受力构件	重要和一般结构	重要结构	特殊用途
钢的成本		低	较低	较低	较高	最高

第三节 钢的脱氧方法

钢在炼钢炉中或在盛钢罐中进行脱氧。

脱氧剂: 锰、硅、铝(钛)。

脱氧能力: 锰: 硅: 铝 = 1: 5: 90。

沸腾钢: 仅用锰脱氧, 脱氧不充分, 氧、氮和一氧化碳等气体从钢中逸出, 呈沸腾现象; 冷却快, 有害气体来不及逸出。钢的构造不均匀, 晶粒粗细不均, 质地差, 偏析度大; 生产率高, 成本低。

镇静钢: 除用锰外, 再加入硅、铝等补充脱氧。脱氧完全, 冷却较慢, 各种有害物质易于逸出, 品质较纯, 构造均匀, 晶粒组织紧密坚实; 偏析度小, 切头损耗大(约 20%), 收得率低, 成本高。

半镇静钢: 介于沸腾钢与镇静钢二者之间, 用以代替沸腾钢, 国内甚少。

第四节 碳素钢

含碳量少于 2.06% 的铁碳合金称为碳素钢。

碳素钢的主要成分是铁和碳。含碳量如下:

低碳钢: $\leq 0.25\%$

中碳钢: $0.25\% \sim 0.60\%$

高碳钢: $> 0.60\%$

钢结构用的普通碳素钢一般均属低碳钢。

杂质元素: 硅(Si)、锰(Mn)、硫(S)、磷(P)。

锰(Mn): 弱脱氧剂, 锰与铁、碳的化合物能溶解于纯铁体、渗碳体中, 起强化作用, 是有利元素, 一般含量为 $0.3\% \sim 0.8\%$, 含量过高(达 $1.0\% \sim 1.5\%$ 以上)会使钢材变脆。

硅(Si): 一般作脱氧剂加入, 含量为 $0.10\% \sim 0.30\%$, 能使纯铁体结晶均匀, 晶粒细微, 是有利元素, 它能使强度提高而塑性、韧性等不降低, 含量过高(达 $\geq 1.0\%$ 时)则会使钢材变脆。

镍(Ni)、铬(Cr)、铜(Cu)、钒(V)、钼(Mo)、铝(Al)、钛(Ti)等微量元素,一般对钢材均无不利影响。

硫(S):有害元素,使钢材“热脆”。

硫与铁化合为硫化铁(FeS),散布在纯铁体的间层中,含硫量大时,钢材的塑性、韧性、疲劳强度等降低,高温时(800~1200℃)如焊、铆、热加工等,硫化铁即熔化(熔点为985℃),造成晶界开裂,称为“热脆”,一般结构控制在不高于0.055%;焊接结构控制在不高于0.050%。

磷(P):有害元素,使钢材“冷脆”。

磷与纯铁体结成不稳定的固溶体,有增大纯铁体晶粒的害处。磷可使钢的强度提高,但大大降低塑性和韧性,使钢在低温时变得很脆,即“冷脆”,一般含量不高于0.050%,对焊接结构,不高于0.045%。

氧(O):残留杂质,作用与硫(S)相似,使钢材“热脆”。

氮(N):残留杂质,作用与磷(P)相似,使钢材“冷脆”。

硫、磷含量大,严重影响钢材质量:

普通碳素钢:硫(S)≤0.055%;磷(P)≤0.045%。

优质碳素钢:硫(S)≤0.040%~0.030%;磷(P)≤0.040%~0.035%。

高级优质碳素钢:硫(S)≤0.030%~0.020%。

磷(P)≤0.035%~0.030%。

第五节 钢材的力学性能

一、强度和破坏形式

1. 钢材均匀受拉的工作特性

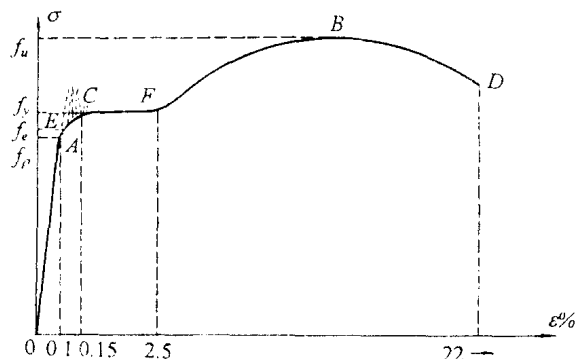


图 1-5-1 低碳钢的应力-应变曲线

(1) 弹性阶段:OAE

OA 段为直线工作阶段, f_p 为比例极限,AE 段为非直线弹性工作阶段, f_e 为弹性极限。

(2) 弹塑性阶段:EC 段

σ 与 ϵ 不呈比例,除弹性变形外还有塑性变形, f_y 为屈服强度,又叫屈服点或流限。

(3) 屈服阶段:CF 段

钢材(试件)完全屈服, σ 不增加(保持 f_y)而 ϵ 骤增。

(4) 强化阶段:FB 段

钢材内部组织滑动后,重新排列和建立了新的平衡,弹性未完全恢复,故塑性特性明显。

(5) 颈缩阶段:BD 段

应力超过 f_u 后,试件出现“颈缩”而断裂, f_u 为抗拉强度,又叫极限强度或抗拉极限。

2. 钢材的两种破坏形式

(1) 塑性破坏——构件的应力超过屈服点 f_y ,并达到 f_u 后,构件产生很大的变形和明显

的“颈缩”现象。破坏后的断口呈纤维状,色泽发暗。

特点:破坏前有明显的预兆,破坏常可以预防和避免;破坏前有很大塑性变形,导致内力重分布,对构件有利。

(2) 脆性破坏——破坏前构件变形很小,平均应力亦小(一般都小于屈服点 f_y)。破坏前没有任何预兆,破坏是突然发生的,断口平直和呈有光泽的晶粒状。

特点:在构件的缺口、裂缝处应力集中而引起破坏,后果严重,损失较大,应努力防止脆性破坏。

各种工程结构,例如厂房、桥梁、船艇、压力容器等都曾出现过重大脆性断裂事故,这是大家都不希望发生而偏又发生了的。通过对钢材性能的研究和经验的总结,逐渐加深了认识。

(3) 理想的受力材料:弹性-塑性体

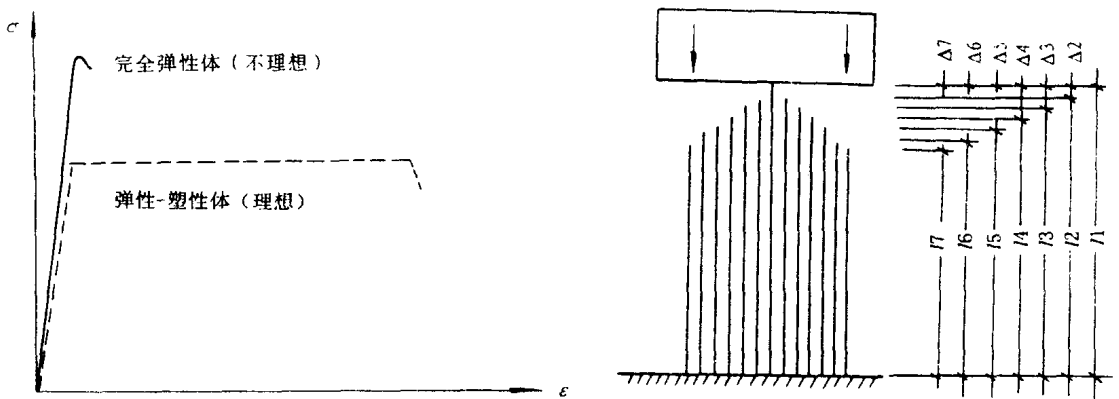


图 1-5-2 完全弹性体和弹性-塑性体的工作性能

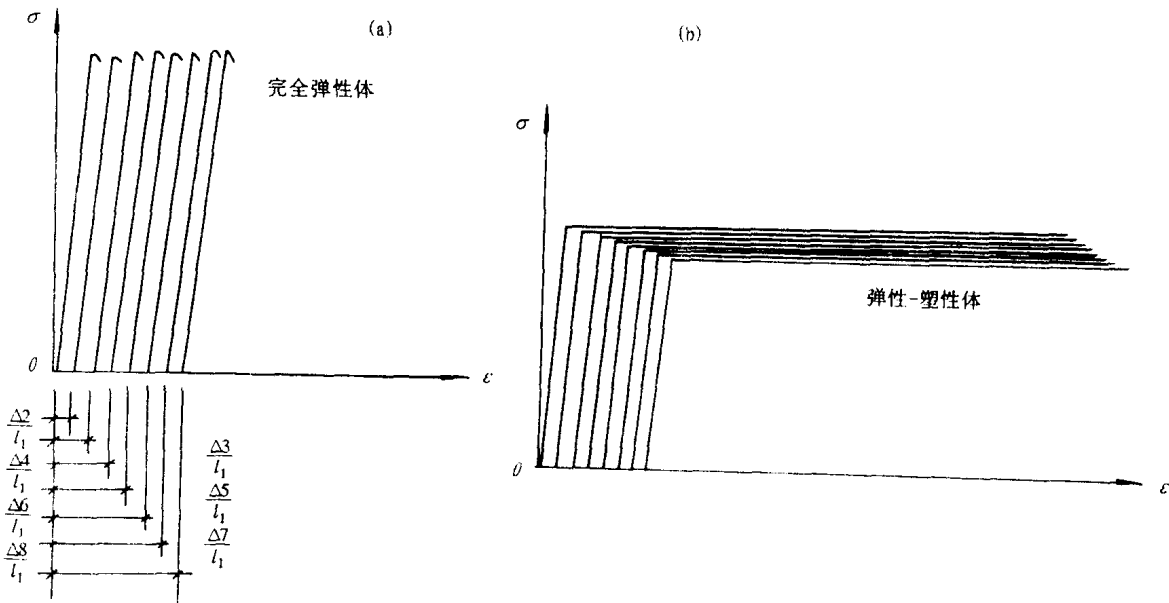


图 1-5-3 不同性能材料的多根杆件共同受力的工作情况

设计钢结构时,应注意以下几点:

- (1) 对施工误差 $\Delta 2, \Delta 3, \dots$ 等应按验收规范严格控制。
- (2) 对钢材品质提出要求,防止冶炼、加工过程的内部疵病。
- (3) 对钢材的塑性性能提出具体要求,使它接近弹性-塑性体。
- (4) 不同刚度的构件或连接不宜(不准)同时受力。

3. 重要的工作特性

(1) 强度指标 f_y, f_e, f_y 很接近,且在屈服前应变很小 $\epsilon_p \approx 0.1\%$ ($\epsilon_y \approx 0.15\%$) 可以把三点看作为一点,并以屈服点 f_y 作为代表。

(2) 构件受到的应力小于 f_y 时,钢材处于弹性阶段工作,而当应力达到 f_y 时,钢材因屈服而产生很大的残余变形,使构件失去使用价值,故 f_y 是钢材受力容许达到的最大应力,也是确定钢材强度设计值的依据。

(3) 抗拉强度 f_u 在实际构件中是不允许达到的,构件应力达到 f_y 就认为构件失效。但考虑到构件失效后的后果,当应力小于 f_u 则虽失效而不破坏,当应力大于 f_u 则不但失效,而且破坏,后果可能严重一些。故比值 f_u/f_y 可以看作是衡量钢材强度储备的一个系数。

(4) 钢材在屈服点前的性质接近理想的弹性体,而屈服点后的流幅现象又接近理想的塑性体,并且流幅的范围又是足够大($\epsilon = 0.15\% \sim 2.5\%$),故可认为钢材是最符合理想的弹性-塑性体。

(5) 常用钢材(低碳钢和低合金钢)的塑性变形很大,差不多等于弹性变形的 200 倍,破坏常常不会是脆性的,而塑性破坏又是可以避免或防止的。

注:

- ① 以上工作特性是由单向均匀受拉静力试验结果得出。对于受力情况复杂的实际构件仅供参考。
- ② 强度指标是重要依据之一,但单凭这一指标不足以完全判定结构是否安全可靠。

二、塑性

l_0 ——试件拉伸前标距长度;

l_1 ——试件拉断后原标距间长度;

A_0 ——试件截面面积;

A_1 ——拉断后颈缩区的截面面积。

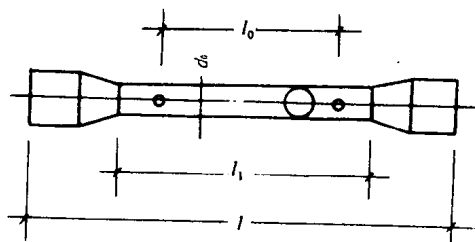


图 1-5-4 静力拉伸试验的试件

塑性:一般指钢材受力屈服后,能产生显著的残余变形(塑性变形)而不立即断裂的性质。

塑性指标:衡量钢材塑性好坏的主要指标是 δ 和 φ 。

$$\text{伸长率 } \delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\text{断面收缩率 } \varphi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

δ 是标距 l_0 范围内的平均值(包括颈缩区和非颈缩区),不完全代表颈缩区的钢材的最大塑性变形能力,但测量容易准确。

φ 是衡量钢材塑性的一个比较真实和稳定的指标,是表示复杂应力的颈缩区的最大塑性变形量,但测量误差大。

注:

① 由于实际结构承受的是复杂应力,冲击或振动应力,局部应力高峰等,都要求钢材具有良好的塑性才能进行“塑性内力重分配”和避免脆性断裂。

② 钢材塑性好坏对于承受活动荷载特别是动力荷载的结构是决定结构是否安全的主要因素之一。钢材塑性指标比强度指标更为重要。

三、韧性

韧性:钢材在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力。

韧性指标:冲击韧性

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A} \quad (\text{N} \cdot \text{m}/\text{cm}^2)$$

式中 A_k ——试验机的冲击功($\text{N} \cdot \text{m}$);

A ——缺口处净截面面积(cm^2)。

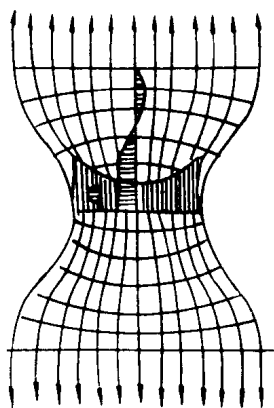


图 1-5-5 试件颈缩区的应力状态

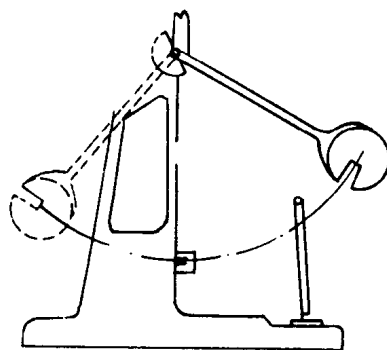
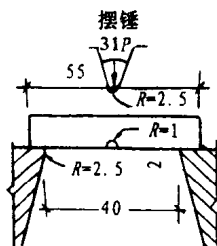


图 1-5-6 冲击试验示意图

注:

① 强度相当于静力拉伸试验曲线上的纵坐标 σ 的值。

② 塑性相当于静力拉伸试验曲线上的横坐标 ϵ 的最大值。

③ 韧性相当于静力拉伸试验曲线所覆盖的面积的对数值。

④ 韧性是反映强度与塑性的综合表现的指标。

⑤ 韧性的显著特点在于它表示钢材抵抗冲击荷载的能力,因此,在静力拉伸试验曲线上定义韧性和确定韧性数值是没有多大价值的。

⑥ 为了使韧性指标更有实用价值,除了以冲击试验代替静力试验外,试件做成有缺口的(应力集中严重)。

⑦ 目前国际上三类缺口型式:

V形、U形和U形。

钢材的韧性与温度有关;

钢材的韧性与轧制方向有关;

钢材低温变脆,冷脆转变温度应低于工作温度。

四、可焊性

可焊性:在一定的材料、工艺和结构条件下,钢材经过焊接后能够获得良好的焊接接头的性能。

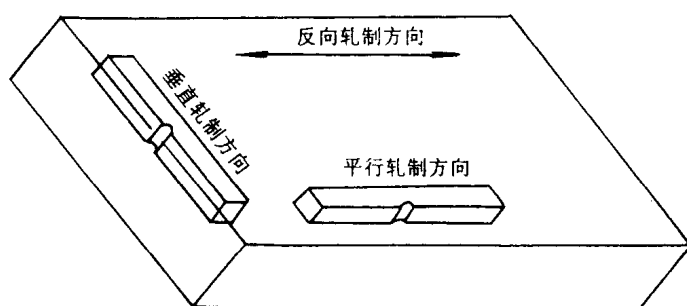


图 1-5-7 冲击试件取样方法

可焊性又分为施工上的可焊性和使用性能上的可焊性,施工上的可焊性,指(焊接接头的)焊缝金属产生裂纹的敏感性,以及由于焊接加热的影响,近缝区钢材的硬化和产生裂纹的敏感性,可焊性好就不产生裂纹。使用性能上的可焊性,指焊接接头和焊缝的缺口冲击韧性和热影响区的延伸性(塑性),要求焊接结构在施焊后的力学性能不低于母材的力学性能。

五、冷弯性能

冷弯性能:是指钢材在冷加工产生塑性变形时,对产生裂纹的抵抗能力。

冷弯性能指标:冷弯试验通过冷弯冲头加压($d = 0; 1.5a; 2a$),当试件弯曲至某一规定角度 α 时(一般, $\alpha = 180^\circ$),检查弯曲部分的外面、里面和侧面,如无裂纹、断裂、分层等即为合格。

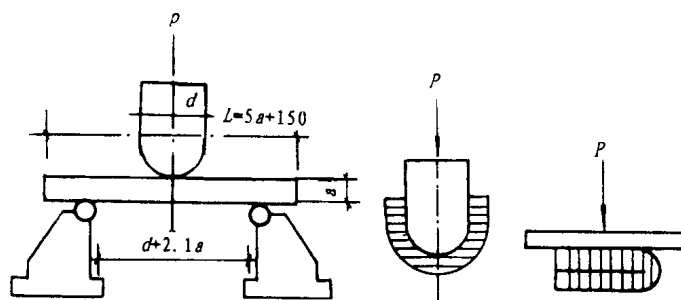


图 1-5-8 冷弯试验示意图

冷弯试验一方面是检验钢材能否适应构件制作中的冷加工工艺过程,另一方面,通过试验还能暴露出钢材的内部缺陷(颗粒组织、结晶情况和非金属夹杂物分部等缺陷),鉴定钢材的塑性和可焊性。

冷弯试验是鉴定钢材质量的一种良好方法,常作为静力拉伸试验和冲击试验的一种补充试验,是一项衡量钢材力学性能的综合指标。

六、耐久性

耐腐蚀性:钢材耐腐蚀性较差,必须采取防护措施,新建结构需要油漆,已建成的结构需定期维修,维护费用较其他结构高。

耐老化性:随着时间的增长,钢材的力学性能有所改变,出现所谓“时效”现象,即“老化”

现象。“时效”的结果是使钢材变脆,应根据使用要求选材。

耐长期高温性:在长期高温条件下工作的钢材,其破坏强度比静力拉伸试验的强度低得多,应另行测定“持久强度”。

耐疲劳性:钢结构或构件在长期连续的交变荷载或重复荷载作用下,虽应力低于 f_y 也往往会发生破坏,叫“疲劳现象”。疲劳破坏与脆性破坏相似。有关疲劳强度和疲劳计算见《钢结构设计规范 GBJ17—88》。

七、影响钢材力学性能的因素

钢结构中常用的钢材,例如3号钢(Q235钢),在一般情况下,既有较高的强度($f_y \geq 295\text{N/mm}^2$),又有很好的塑性($\delta_{10} \geq 22\%$)和韧性($\alpha_k \geq 69\text{J/cm}^2$),是比较理想的承重结构材料,但是,仍有可能出现脆性断裂。

促使钢材发生脆性断裂的因素很多,主要的因素有钢材的化学成分、钢材的冶金和轧制过程、时效、冷作硬化、工作温度、复杂应力、加荷速度、焊接影响和制作技术、应力集中和疲劳现象等。

1. 化学成分的影响

在普通碳素钢中,碳是除铁以外最主要的元素,它直接影响着钢材的强度、塑性和可焊性等。随着含碳量的增加,钢材的屈服强度和抗拉强度提高,但塑性和韧性,特别是负温冲击韧性下降。同时,钢材的耐腐蚀性能、疲劳强度和冷弯性能也都明显下降,并将恶化钢材的可焊性和增加负温脆断的危险性。

在普通碳素钢中,硫、磷、氧、氮是极为有害的物质,将严重影响钢材的塑性、韧性、负温冲击韧性、冷弯性能和可焊性等。

为了改善钢材的力学性能,可以在钢材中适当增加锰、硅的含量并适当加入一些其他合金元素,称为普通低合金钢。

2. 冶金和轧制过程的影响

镇静钢的屈服点(屈服强度)高于沸腾钢。3号镇静钢的屈服点最高达 330N/mm^2 ,波动在 $284 \sim 330\text{N/mm}^2$ 之间。在炼钢工艺相同的条件下,镇静钢的屈服点比沸腾钢约高 40N/mm^2 。镇静钢的抗拉强度和冲击韧性也较高,冷脆性和时效敏感性较小,可焊性和抗锈性能较好,这些都是它的优点,但是,由于镇静钢成本较高,成品率低(钢锭切头率约20%),钢材表面质量不如沸腾钢光洁。因此它只用在承受冲击荷载(或振动荷载)、在负温下使用的焊接结构和较重要的其他结构中。

3. 时效的影响

随着时间的增长,钢材内部的一些固溶物质,逐渐从纯铁体中析出,形成自由的碳化物和氮化物微粒,散布在晶粒的滑移面上,起着阻碍滑移的强化作用,约束纯铁体发展塑性变形,使钢材变脆,称为时效现象,时效的后果是钢材的强度(屈服点和抗拉强度)提高,但塑性(伸长率)降低,特别是冲击韧性大大降低。在交变荷载、重复荷载和温度变化等情况下,容易引起时效。

4. 冷作硬化的影响

钢结构的冷加工包括剪、冲、辊、压、折、钻、刨、铲、撑、敲等。有的使钢材产生永久变形而不破坏钢材的连续性,有的则使部分钢材脱离主体。这些都使钢材内部发生冷作硬化现象。后果是强度提高,但是降低了塑性和冲击韧性,增加了出现脆性破坏的危险性。

5. 温度的影响

当温度从常温下降时,钢材的强度略有提高而塑性和韧性降低(变脆),特别是当温度下降到某一数值时,钢材的冲击韧性急剧下降,这种现象称为低温冷脆现象。这个转变温度叫冷脆转变温度(或叫冷脆临界温度)。钢材在整个使用过程中,可能出现的最低工作温度,应高于钢材的冷脆转变温度。

6. 应力集中的影响

在钢结构构件中不可避免地存在着孔洞、槽口、凹角、裂缝、厚度变化、形状变化、内部缺陷等,此时,钢材中的应力不再保持均匀分布,而是在某些区域产生局部高峰应力,在另一些区域则应力降低,形成所谓应力集中现象。

靠近高峰应力的区域总是存在着同号平面或立体应力场,因而促使该区域钢材转变为脆性状态,而在另一些区域,则可能提早出现塑性变形。

7. 钢材疲劳的影响

在动力荷载、连续反复荷载或循环荷载作用下的构件及其连接,当应力变化的循环次数 n 等于或大于 10^5 次时,虽然应力还低于极限强度(抗拉强度),甚至还低于屈服强度,也会发生破坏,这种现象称为钢材的疲劳现象或疲劳破坏。在疲劳破坏之前并不出现明显的变形和局部收缩,它和脆性破坏一样,是一种突然发生的断裂。

有关疲劳强度的数值和疲劳计算方法详见《结构设计规范 GBJ17—88》。

第六节 钢材的品种、标号和选用

一、钢材的品种和标号

钢材的品种繁多,性能各异,在钢结构中采用的钢材,只是碳素钢和普通低合金钢中的几种。

我国生产的普通碳素钢分甲、乙、特三类。

甲类钢:主要按力学性能(机械性能)供应。冶金厂保证钢材的屈服点、抗拉强度、伸长率符合国家规定的标准,硫、磷含量符合相同钢号的规定。

乙类钢:按化学成分供应。冶金厂保证钢材的碳、硅、锰、硫、磷等元素的含量符合国家规定的标准。

特类钢:按力学性能及化学成分供应。冶金厂保证钢材的屈服点、抗拉强度、伸长率、冷弯试验等力学性能和碳、硅、锰、硫、磷等元素含量都符合国家规定的标准。

钢结构所用的钢材一般为甲类钢和特类钢。乙类钢由于没有力学性能方面的保证,不能用于承重结构。特类钢价格较高,应尽量少用。

普通碳素钢按含碳量的大小,分为1,2,3,4,5,6,7共7个钢号。钢号越大,钢中的含碳量越多,钢材的强度与硬度也就越高,塑性越低。由于普通碳素钢冶炼容易,成本低廉,并有良好的各种加工性能,所以使用较广泛。其中,3号钢(Q235钢)在使用、加工和焊接方面的性能都比较好,是一般工业与民用房屋和构筑物中最常用的,也是我国目前大量生产的钢材。其次是2号钢和5号钢,至于其他钢号,则很少应用。

普通碳素钢的标号按钢类、炉种、钢号、浇注方法,用汉字或符号来表示(见表1-6-1)。例如:乙类顶吹氧气转炉3号沸腾钢的标号为“乙顶3沸”或用代号“BY3F”,甲类平炉3号镇静钢的标号为“甲3”或代号“A3”。