



STEEL CONSTRUCTION

王书增 编

钢结构

数据速查手册

上册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

新编

STEEL CONSTRUCTION

钢结构

数据速查手册

上册

王书增
编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本手册根据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》及其他国家现行规范编制而成,编写过程中同时参考了与现行规范相关的资料。

本手册内容丰富、实用,包括钢结构用钢材的基本知识和选用方法,钢结构设计,钢结构构件的制作与安装以及与钢结构计算和构造有关的图表及资料等。

该书可供从事钢结构设计、施工工作的技术人员学习和查询使用,并且对大专院校相关专业的广大师生具有较大的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

新编钢结构数据速查手册/王书增编. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-7049-1

I. 新… II. 王… III. 钢结构-数据-技术手册
IV. TU391-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 056341 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 104 印张 2571 千字

印数 0001—2000 册 上、下册定价 198.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

本手册是根据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》及其他国家现行规范编制而成的，是《新编钢结构设计手册》、《新编轻钢结构设计实用手册》及《钢结构设计规范新旧对照手册》的配套用书。本手册的数据取自国家现行规范及有关行业技术规程：GB/T 50105《建筑结构制图标准》、GB 50009《建筑结构荷载规范》、GB 50017《钢结构设计规范》、GB 50011《建筑抗震设计规范》、JGJ 99《高层民用建筑钢结构技术规程》、GB 50205《钢结构工程施工质量验收规范》和 JGJ 81《建筑钢结构焊接技术规范》等。同时还涉及国家部分钢结构标准图及其他有关手册。其内容丰富全面，全手册共分为七章：建筑钢材和焊接材料；钢结构设计；钢结构设计计算图表；常用结构静力计算；钢结构标准图索引；钢结构的制作与安装；相关数据资料；附录。

手册编写过程中参考了大量的文献资料，得到了许多同志的帮助，为此对有关文献的作者和同志表示诚挚的感谢。另外王玮、王琳、尚维及郑飞华同仁参加了本手册部分内容的编写工作。

基于手册的编写工作量大，限于时间和水平，疏漏和不妥之处在所难免，敬请广大读者指正。

作者于北京

2009年1月



目 录

前言

上 册

第一章 建筑钢材和焊接材料	1
第一节 钢的材料性能	1
第二节 钢结构常用钢材的化学成分及力学性能	10
第三节 铸钢	42
第四节 国内外建筑结构钢材的对比	50
第五节 国外建筑结构用钢	52
第六节 焊接材料	82
第二章 钢结构设计	109
第一节 基本规定	109
第二节 建筑结构荷载	137
第三节 钢结构设计	205
第四节 钢结构构件设计	346
第三章 钢结构设计计算图表	474
第一节 稳定系数	474
第二节 柱的计算长度系数	494
第三节 钢材的规格及截面特性	518
第四节 组合截面特性	688
第五节 紧固件的规格、尺寸和质量	800
第六节 构件承载力	835

下 册

第四章 常用结构静力计算	1097
第一节 常用各种截面的力学特性	1097
第二节 常用立体图形的几何特性	1105
第三节 方形、矩形和圆形空心型钢截面特性	1108
第四节 桁架杆件的长度及内力计算系数	1110

第五节	横梁的固端弯矩	1135
第六节	单跨梁的内力及变形计算	1137
第七节	圆弧梁的内力计算	1190
第八节	开口薄壁杆件约束扭转时的内力计算	1195
第九节	等截面刚架的内力计算	1206
第十节	变截面门式刚架内力计算	1235
第十一节	简支吊车梁的内力计算公式	1251
第十二节	连续梁	1254
第五章	钢结构标准图索引	1284
第一节	梯形钢屋架 (05G511)	1284
第二节	轻型屋面梯形钢屋架 (05G515)	1297
第三节	12m 钢托架 (05G513)	1307
第四节	轻型屋面三角形钢屋架 (05G517)	1313
第五节	12m 实腹式钢吊车梁 (05G514-1~4)	1325
第六节	钢吊车梁 (SG520-1~2)	1339
第七节	吊车轨道联结及车挡 (05G525)	1361
第八节	门式刚架轻型房屋钢结构 (无吊车) 构件索引	1374
第九节	门式刚架轻型房屋钢结构 (有吊车) 构件索引	1389
第十节	常用钢结构门式刚架	1412
第六章	钢结构的制作与安装	1417
第一节	钢结构的加工制作工艺	1417
第二节	钢结构的制作	1419
第三节	构件运输	1466
第四节	钢结构的安装	1467
第五节	钢材力学性能试验	1509
第七章	相关数据资料	1522
第一节	起重机技术资料及排架计算时所用的吊车梁的支座反力	1522
第二节	钢结构焊接规程中规定的焊接接头基本型式及尺寸	1556
第三节	钢结构焊接规程中规定的全焊透和部分焊透的坡口形状及尺寸	1563
第四节	钢结构工程常用的材料标准名称	1578
第五节	钢结构设计及施工常用的规程规范	1585
第六节	钢结构设计及施工常用的标准图	1588
第七节	常用材料和构件的自重	1592
第八节	各类建筑构件的燃烧性能和耐火极限	1603
第九节	全国主要城市最冷月平均温度	1611
第十节	钢结构基础知识	1613
附录	1637	
参考文献	1647	

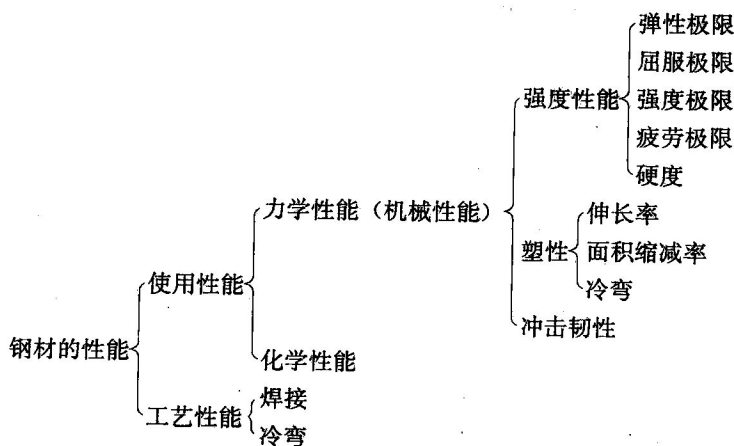


第一章

建筑钢材和焊接材料

第一节 钢的材料性能

钢材的性能如下：



一、钢材的力学性能

1. 钢材的材料性能

钢材的强度性能一般是通过拉伸实验测得的，因此钢材的强度性能可在应力—应变图上表示出来见图 1-1。钢材的强度是指钢材在外力作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。

(1) 比例极限。在弹性变形阶段，材料承受和应变保持正比的最大应力。即应力—应变图中偏离变形曲线的直线段（符合胡克定律）时的应力，即图 1-1 中的 OA 线段。

(2) 弹性极限。弹性是指材料在外力作用下产生变形，当外力取消后又恢复到原来的形状和大小的特性。弹性极限即钢材保持弹性变形而不出现残留塑性变形的最大应力。实际工作中常采用塑性变形为 0.001%、0.003%、0.005%、0.01% 或 0.03% 时的应力，称为名义弹性极限。由此可见钢材的弹

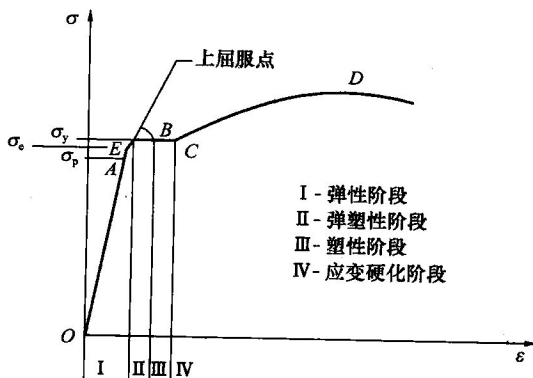


图 1-1 建筑结构钢材的拉伸应力—应变曲线

性极限表示钢对塑性变形开始或极小塑性变形的阻抗能力。

(3) 屈服极限。应力—应变图中屈服台阶的应力，此时负荷不再增加而试件的变形却继续增加，通常称为屈服点（屈服极限）。

(4) 名义屈服极限（条件屈服极限）。对于含碳量较高的钢或热处理调质钢，一般在拉伸曲线上并没有屈服台阶出现，该屈服极限通常以变形为 0.2% 时的应力。

(5) 强度极限。应力—应变图中最大负荷时的应力。

(6) 疲劳极限。构件钢材内部不可避免地存在缺陷和残余应力，因此局部的高峰应力而使构件的局部部位处于弹塑性阶段工作，因此连续反复加载的构件在某一连续反复荷载作用下，经过若干次循环后出现的破坏称疲劳破坏，其相应的最大应力称为疲劳强度，疲劳强度的大小与应力循环次数、应力循环形式和应力集中程度等因素有关。当其有关因素给定且应力循环次数为无限大时的最大应力称为在某种条件下的疲劳极限。

注 一般来说，屈服极限是强度计算的依据，设计者之所以采用屈服极限而不采用弹性极限作为计算依据，是因为弹性极限在测量上很不方便，而且不容易测得准确。设计中采用屈服极限而不采用强度极限作为计算强度的依据是因为超过屈服极限后结构将出现较大的残余变形，结构将不能正常使用。

2. 钢材的塑性能

塑性是指材料在外力作用下，产生永久变形而不致断裂的能力，塑性指标表示钢材的塑性能力的大小。

(1) 伸长率。材料拉伸实验试件被拉断后，其标距增加的长度与原标距长度的百分比。 δ_5 是标距为试件 5 倍直径时的伸长率， δ_{10} 是标距为 10 倍试件直径时的伸长率。塑性变形可以使应力集中处的应力重新分布，使之平缓，以避免个别的构件破坏而导致整个结构破坏。对于同一材料 δ_5 大于 δ_{10} ，伸长率越高表示材料的塑性越好，结构的安全性越大。

(2) 断面收缩率。材料拉伸实验试件被拉断后其缩颈处的最大缩减量与原试件横截面面积的百分比称为断面收缩率。断面收缩率更能真实地反映缩颈处的塑性变形特征，所以比伸长率能更好地表示钢材的塑性变形能力，但可操作性差，误差较大，所以工程中仍采用伸长率表示塑性。

(3) 冲击韧性。韧性是指金属材料在冲击力（动力荷载）的作用下而不破坏的能力，是钢材的一种动力性能。它用材料在断裂时单位体积所吸收的能量来表示。但是，工程中却采用冲击韧性来衡量钢材抗脆断的性能，因为实际

构件中脆性断裂并不发生在单向受拉处，而总是发生在缺口高峰应力处，最有代表性的是钢材的缺口冲击韧性，因此，冲击韧性是评定金属材料在动荷载作用下受冲击抗力的力学性能指标。钢材的冲击韧性值 (α_K) 受温度影响很大，如图 1-2 所示，存在一个由可能塑性破坏到可能脆性破坏的转变温度区 ($T_1 \sim T_2$)。 T_1 称为临界温度， T_0 称为转变温度。在 T_0 以上，只有当缺口根部产生一定数量的塑性变形后才会产生脆性裂纹；在 T_0 以下，即使塑性变形不明显，甚至没有塑性变形

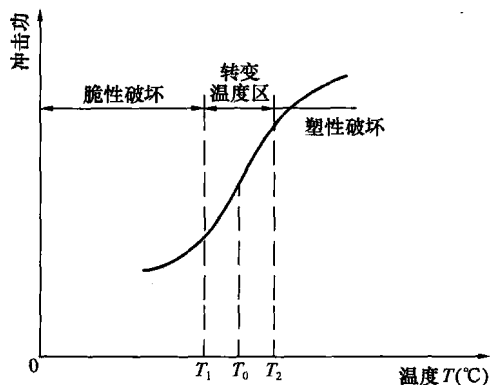


图 1-2 冲击韧性与温度的关系

也会产生脆性裂纹。

二、钢材的工艺性能

钢材的工艺性能表示钢材在各种生产加工过程中的性能。良好的钢材工艺性能便于加工制作、保证产品质量、提高成品率和降低成本。钢材的工艺性能包括冶炼性能、铸造性能、热加工性能（热轧及热顶锻）、冷加工性能（冷轧、冷拔和冷顶锻）、冷弯性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。其中冷弯性能和焊接性能（可焊性）是衡量工艺性能的重要指标。

1. 冷弯性能

钢材的冷弯性能是通过冷弯试验以钢在常温下能承受的弯曲程度来表示的，试件的弯曲程度一般采用弯曲角度及弯心直径对试件厚度的比值来衡量。

钢材的冷弯性能是钢在塑性变形时对裂纹扩展的抗力。因此，钢的冷弯性能指标比钢的塑性指标更难达到。冷弯性能是衡量钢材多种性能的综合指标，它不仅能反映钢材的塑性和在加工制作中冷加工工艺的适应性，还能暴露冶金缺陷，而且在一定程度上还反映出钢材的可焊性。所以，它是鉴定钢材质量的一种好的方法。

2. 钢材的可焊性

钢材的可焊性是指在一定材料、结构和工艺条件下，要求钢材施焊后具有良好的焊接接头性能。可焊性分为施工的可焊性和使用性能的可焊性两种。

施工可焊性是指在一定的焊接工艺条件下焊缝金属和热影响区产生裂纹的敏感性。施焊时焊缝金属和热影响区不产生热裂纹或冷裂纹，即可称为施工的可焊性好。

使用性能的可焊性是指焊接接头和焊缝金属的冲击韧性和热影响区的塑性。要求焊后的力学性能不低于母材的力学性能，若焊缝金属的冲击韧性值下降较多或热影响区的脆化倾向较大，则说明使用性能的可焊性较差。

三、钢材的化学性能

1. 化学性能

钢是含碳量小于2%的铁碳合金，碳大于2%时则为铸铁。建筑结构使用的钢材主要是碳素结构钢和低合金结构钢。碳素结构钢由纯铁、碳及杂质元素组成，其中纯铁约占99%，碳和杂质元素约占1%。低合金结构钢中，除上述元素外，还加入些合金元素，但其总量不超过3%。碳和其他元素虽然所占比重不大，但对钢材的性能却有重要的影响。

(1) 碳(C)。碳是形成钢材强度的主要因素，钢中绝大部分的铁素体呈多种晶体状态存在。渗碳体(Fe_3C)的强度及硬度很大但几乎没有什么延性。渗碳体与铁素体的混合物称为珠光体，它的强度高而且富有延性。渗碳体和珠光体形成网络夹杂于铁素体的晶体之间，就好像混凝土中的砂浆包裹着粗骨料一样。钢的强度主要来自于渗碳体和珠光体，含碳量增加，钢材的强度提高，但钢材的塑性、韧性、冷弯性能及抗锈能力下降，增加冷脆倾向使钢材的焊接性能显著下降。含碳量达0.9%以后，强度不再增加反而下降。当含碳量在0.8%以内时，每增加0.1%碳含量，热轧钢材的抗拉强度约提高40~90N/mm²。而含碳量小于0.1%的碳素钢在焊接时易产生重结晶使钢内晶粒不均，施焊时容易吸收气体，影响焊接质量。当含碳量由0.1%增加时，将使焊缝及附近区域金属的伸长率降低40%，冲击韧性降低30%。因此建筑结构用钢的含碳量一般控制在0.1%~0.25%；而对焊接结构宜控制在0.12%~0.20%。钢按其含碳量分为：含碳量小于或等

于 0.25% 的为低碳钢，大于 0.25% 或等于 0.6% 的为中碳钢，大于 0.6% 的为高碳钢。建筑结构用钢都是低碳钢。

(2) 硅 (Si)。硅是有益元素，作为脱氧剂加入钢中，一部分硅使钢脱氧形成氧化硅，而多余的硅主要溶于铁素体中，使之成为含硅的合金铁素体。适量的硅 ($<0.8\%$) 对钢的塑性、冲击韧性、冷弯性能及可焊性均无显著的不良影响。含硅量过高 ($>1\%$)，将显著降低钢材的塑性、冲击韧性、抗锈能力及可焊性，增加冷脆和时效的敏感性，在冲压加工时容易产生裂纹。

(3) 锰 (Mn)。锰是有益元素，它能在钢材的塑性和冲击韧性略有降低的情况下较显著地提高钢材的强度。溶解于铁素体和渗碳体中少量的锰 ($<0.8\%$) 使铁素体晶格扭歪，使珠光体的百分数和分散度增加，起到强化铁素体和珠光体的双重作用。锰又能增加原子间的结合力，所以能在使钢材的塑性和韧性基本不下降的情况下提高钢材的强度，锰是弱脱氧剂，与硫化合生成 MnS 以消除硫的有害作用。钢中的含锰量应有所控制，如果钢中的含锰量低于标准的下限，将引起钢的强度降低和热脆性及冷脆性增加，这是不允许的。但含锰量过高 (远远超过消除热脆性所必要的含量) 冷裂纹形成倾向将成为主导作用，使钢的焊接性能变坏，抗锈能力下降。所以我国标准规定：碳素结构钢的含锰量为 $0.3\% \sim 0.8\%$ ，低合金结构钢的含锰量为 $1.2\% \sim 1.6\%$ 。

(4) 钒 (V)。钒是有益元素，添加的合金成分之一，其含量在 0.12% 以内。钒能提高钢的强度、淬硬性和耐磨性而不影响可焊性和冲击韧性，亦不显著降低塑性。钒有时亦可作为脱氧剂起到细化晶粒的作用。如 15MnVN 钢是将钒铁和氮化锰加入 16Mn 钢而炼成的，熔点高而弥散的氮化钒和碳化钒将形成很多晶核，使钢的晶粒细化，其晶粒度常在 8 级以上。由于其强度主要来自氮化钒和碳化钒对晶体的强化和晶粒的细化，故屈服点随板厚增加而降低的情况就不大明显。

(5) 铜 (Cu)。铜是有益元素，能显著提高钢的抗锈蚀能力。铜一般属于杂质，但耐候钢则以铜作为合金元素。当铜含量在约 0.35% 以内时，随着铜含量的增加，对改善碳素钢的抗锈能力效果显著，当含量为 $0.35\% \sim 1\%$ 时，抗锈能力增加缓慢。铜亦能提高钢的强度 (包括疲劳极限) 亦能提高淬硬性且对钢的塑性、韧性和可焊性影响不大。当钢中铜含量超过 0.4% 时容易产生热脆现象，可焊性亦逐渐变坏，故焊接用碳素结构钢中的铜含量不宜大于 0.3% 。

(6) 钛 (Ti)。钛能提高钢材的强度和耐磨性，防止时效老化，有时也作为脱氧剂以细化晶粒改善可焊性。

(7) 铬 (Cr)。铬能改善钢材的强度、淬硬性、耐磨性和抗大气腐蚀的性能。在低合金钢中含有少量的铬可获得较高的强度。铬是不锈钢的主要元素，铬能降低钢的可焊性，但当碳含量较低且有硅及锰存在时，则可减轻对可焊性的不利影响。

(8) 硼 (B)。硼含量 $\leq 0.004\%$ 时可提高钢的淬硬性，若继续增加硼的含量，淬硬性就不再增加。硼主要用于热处理调质钢，我国采用热处理的 40 硼制造高强度螺栓，近来又生产了 20 锰钛硼钢，高强度螺栓的性能进一步得到了改善。硼还用来提高钢材的常温及高温强度。

(9) 铌 (Nb)。铌为钢中碳化物形成的元素之一，碳化铌的沉淀强化了铁素体，细化了晶粒 (其功效与钛及钒相近)。微量的铌能较大地提高碳素钢的屈服强度，但对抗拉强度增

加得不显著。铌对钢的塑性和韧性不利，特别是厚截面的冲击韧性下降较多，但可通过控制轧钢工艺和热处理得到改善，减少时效敏感性，并改善可焊性。

(10) 镍 (Ni)。镍是废钢中的合金元素，当钢中镍含量达到相当数量时能提高钢材的强度、淬硬性、冲击韧性和抗腐蚀能力。镍也是不锈钢的主要元素。含镍钢在低温下的冲击韧性增大，但将降低塑性和可焊性。

(11) 铝 (Al)。铝常用作脱氧剂，既能脱氧又能脱氮并使钢镇静，细化晶粒。适量的铝 ($\leq 0.20\%$) 能降低冷脆温度，提高冲击韧性并减小时效倾向性，所以重要的建筑用钢都加入适量的铝改善钢材的力学性能，但过量的铝会给轧制工艺带来困难。

(12) 钼 (Mo)。钼用来增加钢材的屈服强度、淬硬性、耐磨性和抗腐蚀性，亦能改善可焊性，但将降低冲击韧性，增加冷脆倾向。在低合金钢中加入少量的钼能提高钢的蠕变强度，适合于高温下工作的结构。

(13) 钨 (W)。钨能增加蠕变断裂强度 (持久强度)、淬硬性及耐磨性，常用于耐热钢。

(14) 硫 (S)。硫是有害元素，属于杂质，能生成易于熔化的硫化铁，当热加工或焊接使温度达到 $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 时，可能出现裂纹，称为热脆 (或热裂)。若钢中含硫较高，焊接时焊缝金属的硫将增浓，在冷凝时将出现热裂纹，此时应采用碱性焊条。在轧制过程中，硫化铁将沿加工方向呈条状伸长，形成夹杂物，不仅促使钢材起层，而且在硫化物夹杂尖端处引起应力集中，降低钢材的冲击韧性 (特别是横向的冲击韧性和塑性)，同时亦降低疲劳强度和抗腐蚀能力。硫又是钢中偏析最严重的杂质之一，偏析越大，危害越大当加入锰以后生成 MnS 的夹杂物其熔点为 1620°C ，高于热加工温度 ($1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$) 且呈颗粒状，均匀分布，故可消除热脆性。 MnS 在轧制时虽亦被轧成条状分布，但其危害性要比 FeS 小得多。因此对硫的含量仍需严加控制，一般不得超过 $0.045\%\sim 0.05\%$ ，当对层状撕裂有要求的钢应控制在 0.01% 以下。

(15) 磷 (P)。磷是有害元素，但也是可利用的合金元素，在碳素结构钢中是杂质。磷在铁素体中室温时溶解度可达 1.2% ，磷几乎全部以固体溶解于铁素体中，这种铁素体很脆 (习惯上称为冷脆)，会降低钢的塑性、韧性及可焊性。这种现象低温时更为严重。这些缺点可以采用降低含碳量来弥补，加入铝亦能改善含磷钢的韧性。磷是一种易于偏析的元素，比硫更严重。所以建筑钢中磷含量常限制在 0.05% 以内，在优质钢中更严格。而且磷和氮对钢的危害作用是互补的，如含磷量达 0.06% ，则含氮量必须低于 0.012% ，若含氮量增为 0.016% ，则磷含量必须降到 0.045% 以下，不然就会提高钢的时效和脆断倾向。但是，磷可以提高钢的强度极限、疲劳极限和淬硬性，更能提高钢的抗锈蚀能力 (加入少量铜后，效果更为显著)。经过合适的冶金工艺磷也可以作为合金元素。若降低钢的含碳量以提高其塑性，再用磷及铜来使钢强化，便可得到抗腐蚀性能好、延性亦不差的钢种。例如低合金钢中的 12 锰磷稀土钢、09 锰铜磷钛钢等，其磷含量分别在 $0.07\%\sim 0.12\%$ 和 $0.05\%\sim 0.12\%$ 。

(16) 氧 (O_2)。氧是钢中的有害气体，在冶炼过程中氧有小部分溶解于铁元素中，而大部分则与铁及其他脱氧剂形成各种脆性的氧化物夹杂，呈杂乱而零散的点状物分布，能强烈影响钢的力学性能，降低钢的塑性、冲击韧性和可焊性，并影响钢的时效。氧能使钢热脆，其作用与硫类似。焊接时氧亦容易从空气中进入焊缝金属。试验证明，用光焊条焊接时，含氧量将达 $0.15\%\sim 0.25\%$ ，用带药皮的优质焊条焊接时，含氧量为 0.085% ，而

自动焊则为 0.04%，为此工程中尽量采用自动焊或半自动焊。一般建筑用钢氧的含量控制在 0.05% 以下，并宜分析和控制氧化物的类型、数量、形状大小及分布特征。

(17) 氮 (N_2)。氮是钢中的有害气体。电炉钢中氮含量较多，平炉次之，氧气转炉钢最少。焊接时氮也能从空气中进入焊缝金属，例如：用光焊条施焊焊缝金属的含氮量可达 0.12%，而埋弧自动焊则降为 0.003%。氮的作用与碳、磷相似，随着含氮量的增加，钢的强度和硬度均显著提高，而塑性和冲击韧性却急剧下降，且增加时效倾向和冷脆性，增加热脆性，使焊接性能变坏。故钢中的氮含量必须严格控制在 0.008% 以下。

(18) 氢 (H_2)。氢是钢中的有害气体。氢能溶于铁，其溶解度随温度的降低而减少。由于氢原子的扩散，堆积在金属和夹杂物边界上的氢分子增加，产生很大的压力，把钢从内部撕开，形成近似圆圈状的断裂面，通常称为“白点”，使钢变脆，力学性能降低。一般情况下，当氢含量超过 0.0005% 后，钢材在轧制后冷却时即会出现白点和内部裂纹，对于厚度较大的钢材尤为严重（厚板中氢不易逸出）。碳素结构钢轧制过程中缓慢冷却易于让氢逸出能防止白点出现，因此氢对碳素钢影响不大，而对合金钢则比较敏感，断口有白点的钢一般不能用于建筑结构。

2. 碳及其他杂质（硅、锰、磷、硫、氧、氮）对钢材性能的综合影响

钢中所含各种化学元素的微小的变化都会影响钢材的各种性能。各种元素对钢材性能的作用亦互相制约和互相补充。因此化学元素对钢材性能的影响必须综合考虑。

(1) 强度：元素中除硫及氧降低钢的强度性能外，其他元素均可提高钢的强度，其增强作用由小到大的次序为硅、锰、碳和磷，其中磷的有害作用较大，含量受限制，所以碳是保证碳素结构钢的主要元素。

(2) 塑性：以上述及的元素都降低钢材的伸长率，其降低作用由大到小的顺序为磷、碳、硅及锰。

(3) 冲击韧性及冷脆性。这些元素的影响是可以互相抵消或加强的。其中，除锰不降低韧性且可减少冷脆外，其他元素都降低钢的韧性增加钢的冷脆性。特别是锰能抵消一部分碳引起的冷脆性，所以在提高钢中锰含量的同时应相应提高钢中的碳含量。

(4) 热脆：除锰以外，碳和其他杂质都增加钢的热脆性。其中硫、氧和氮对热脆性的影响是叠加的，加入足够的锰却可以减少钢的热脆性。为此，钢中的含锰量不得低于标准的下限。

(5) 焊接性能。钢材的焊接性能主要取决于钢的热裂倾向、冷裂倾向以及焊缝和热影响区的脆化倾向。因为任何一个元素都很难在这三个方面都起到有益于焊接的作用，所以大多数元素都使钢的焊接性能变差。其中除锰以外，其他六种元素（碳、硅、硫、磷、氧和氮）不仅增加热脆性及热裂倾向而且也增加焊缝及热影响区的冷脆性及冷裂倾向。因此这些元素的各自含量及总含量越低越好。碳是保证强度的主要元素，硅是有益元素，应保持在标准规定的范围内，而对硫、磷、氮及氧等有害杂质的个别含量及总含量必须严格控制。锰含量不多 ($<0.8\%$) 时可削弱硫化铁的有害影响，对焊接性能是有益的，但含量过高反而会增加冷裂倾向。总之，在碳素结构钢中，碳和杂质对钢的焊接性能的不利影响，除锰以外，其他元素的作用不仅是叠加的而且是互相加强的，在程度上比上述任何性能都大。因此，对焊接结构必须控制和限制碳及其他杂质的含量。

(6) 对建筑结构用钢性能的影响见表 1-1。

表 1-1

钢中主要化学元素对建筑钢性能的影响

性 能	化 学 元 素											
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Mo	Ti	Al
强度极限	++	+	+	++	-	+	+	+	+	+	+	○
屈服极限	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	○
伸长率	--	-	○	--	○	○	○	○	-	-	○	○
硬 度	++	+	+	+	-	+	+	○	+	+	+	○
冲击韧性	-	-	○	-	-	+	+	○	○	○	-	+
疲劳强度	+	○	○	○	○	○	○	○	++	○	○	○
可焊性	-	-	○	-	-	○	-	-	○	+	+	○
腐蚀稳定性	○	-	+	+	○	+	+	++	+	+	○	○
冷脆性	+	○	○	++	○	-	○	-	○	+	○	-
热脆性	+	+	○	○	++	○	○	○	○	○	○	○

注 +表示提高；++表示提高幅度较大；○表示影响不显著；-表示降低；--表示降低幅度较大。

四、钢的冶炼轧制过程对材质的影响

(1) 建筑用钢现在主要由氧气转炉和电炉生产。氧气转炉钢的综合性能略优于平炉钢，主要是氮含量和氢含量比平炉钢低，塑性和冲击韧性稍好，时效敏感性亦较低。当然，电炉是利用电热将废钢熔化，在还原性气体和渣的保护下进行冶炼，其合金成分可以控制得比较准确，除去杂质的能力最强。所以电炉钢的质量好，成分最纯，其硫、磷含量可达到0.03%以下。就生产成本来说，氧气转炉钢低，电炉钢高。

(2) 钢在冶炼过程中生成少量的FeO及其固溶体(FeO·SiO₂)等氧化物杂质，它们均会增加钢的热脆性，使钢的热加工(轧制)性能变坏。在冶炼快结束时，钢水内的含氧量较高，约为0.02%~0.07%。由于采用的脱氧方法、脱氧剂的种类和数量不同，对钢的脱氧程度影响很大，最终形成为真空处理钢、镇静钢、半镇静钢和沸腾钢。

1) 沸腾钢。沸腾钢一般用锰脱氧。锰是弱脱氧剂，脱氧作用小，但锰铁成本低。当钢液中加入锰铁时，由于脱氧不充分，钢液中FeO和C相互作用形成CO气体以及氧、氮等气体从钢中逸出，引起钢液的剧烈沸腾，故称为沸腾钢。

沸腾钢表面有一层纯铁而且含硅量极少，故沸腾钢比镇静钢塑性好而强度低，因为硅是减小塑性、增加强度的元素。由于沸腾钢中含有的氮是以有害的固溶氮的形式存在的，因此增加了钢的时效敏感性和冷脆性。另外，沸腾钢中磷的区域偏析程度大，亦会减小室温冲击韧性，并增加其冷脆性。

沸腾钢中含有较多的有害气体，并有较严重的区域偏析现象，故可焊性较差，焊接时容易形成裂纹，热影响区的塑性和韧性降低显著。重要结构采用沸腾钢焊接时宜采用碱性焊

条,以便对焊缝的熔化金属进行脱硫,防止出现裂纹。

沸腾钢冶炼时间短,消耗的脱氧剂少,钢锭头部没有集中的缩孔而切头小(切头率约为5%~8%),成品率高,成本低。

2) 镇静钢。镇静钢一般采用硅脱氧剂,对质量要求较高的钢,尚可在硅脱氧后再用铝或钛进行补充脱氧。硅的脱氧能力较强,而铝或钛则更强。硅的脱氧能力是锰的5.2倍,而铝是锰的90倍。由于脱氧还原过程中放出大量热能使钢锭冷却缓慢,保温时间长,钢中有害气体容易逸出,没有沸腾现象,浇注时钢液表面平静,故称镇静钢。

镇静钢的组织密度大,气泡少,偏析程度小,钢中非金属夹杂物亦较少;而且,氮多半以氮化物的形式存在,故镇静钢除因含硅多而塑性略低外,其他性能均比沸腾钢优越。镇静钢具有较高的常温冲击韧性,较小的时效敏感性和冷脆性。镇静钢的抗腐蚀稳定性和可焊性均高于沸腾钢,仅钢材表面质量稍差。

镇静钢在工程中主要用于承受动力荷载或在负温下使用的焊接结构以及其他重要结构中。

3) 半镇静钢。脱氧程度介于沸腾钢和镇静钢之间的钢称为半镇静钢。它是用较少的硅(0.05%~0.15%)进行脱氧的,很少用铝;脱氧剂的用量约为镇静钢的1/2~1/3,在铸锭时还有一些沸腾现象,同时在钢锭凝固过程中常盖一块铁板,使之与空气隔绝,减少氧化,提高成材率。半镇静钢的性能处于中间而接近镇静钢,优于沸腾钢。

4) 真空处理钢。将钢水置于真空中,不仅所含氧气将迅速以CO形式逸出,氢和氮等也很快逸出,而且还不像脱氧剂那样形成渣。当对钢材的夹杂限制很严时,可采用这种处理方法。

(3) 钢材的热加工(轧钢过程)不仅能改变钢的形状及尺寸,而且也改变了钢的内部组织,从而改变其性能,对钢的组织 and 性能带来某些有益影响。钢的轧制是在1200~1300℃高温下开始进行的,终轧温度宜在900~1000℃之间,使钢具有很好的塑性及锻焊(压力焊)性能。在压力作用下,钢锭中的小气泡、裂纹、疏松等缺陷会焊合起来,使金属组织更加致密。钢材的轧制,可以破坏钢锭的铸造组织,细化钢的晶粒,并消除显微组织缺陷。轧制钢材比铸造钢材具有更优越的力学性能。轧制的小型钢材强度比较高,而且塑性及冲击韧性也比较好,这是由于小型钢材的轧制压缩比大,材料厚度比较薄的原因。

轧制钢材时压缩比过小,成品厚度较大,终轧温度过高,或在高温停留时间过长,会引起奥氏体晶粒的长大,在随后冷却时,就不利于铁素体沿奥氏体晶粒内一定晶面上以叶片状(其横断面为针状)的形式析出,而在针状的铁素体之间形成珠光体。由于针状的铁素体和珠光体组成的这种组织会降低钢的冲击韧性及塑性,其强度也有所下降。因此轧制钢材的最后压缩率不能太小,终轧温度亦不能过高。

终轧温度过低,将会引起部分的不均匀的加工硬化和随后的机械时效,增加钢的冷脆倾向。另外,终轧温度低,钢中将形成带状组织,破坏了钢的各向同性的性质。为了保证钢材的质量,必要时在轧制中应控制轧制温度、压下量和冷却速度。即所谓在“控轧”状态下供货。若不易控制时,可采用正火状态供货,即待钢材冷却后再入常化炉进行正火处理以改善钢材质量。

五、低温对钢材材质的影响

(1) 钢的冲击韧性随着温度的下降而下降的这种性质称为冷脆性。

(2) 在选择衡量钢的冷脆性的标准时,必须将其与钢的使用温度和冷脆性本身的特点结

合起来考虑。

(3) 影响钢的冷脆性的主要因素。

1) 加载速度是影响钢的脆性及冷脆性的重要外因之一。随着加载速度的增加, 钢的临界脆性温度急剧升高。

2) 构件外形影响钢的脆性及冷脆性较为显著。随着构件厚度的增加, 临界脆性温度逐渐升高。对同一牌号而厚度不同的钢材, 其冲击韧性值随截面的减小而增加。因此, 在负温环境下工作的结构宜采用较小厚度的钢材。另外, 构件外形的缺陷, 如截面突变、缺口。表面腐蚀等能引起应力集中, 亦增加了钢的冷脆倾向。

3) 用硅充分脱氧的镇静钢的冷脆性要比沸腾钢的小。

4) 结构在冷加工以后的机械时效, 可以提高钢的临界脆性温度。结构在制造过程中的焊接可以增加钢在热影响区的冷脆倾向。

5) 当构件的应力状态是非线性, 亦即存在平面或空间应力时, 钢材的临界脆性温度急剧提高; 当存在异号应力场时, 钢材的临界温度下降。

6) 钢中加入合金元素, 也会影响钢的冷脆倾向, 其影响程度依所加入元素的性质和数量而异。磷、碳和硅增加钢的冷脆倾向; 而镍、铜和适量的锰则会减少冷脆倾向; 铬几乎没有影响。特别应该指出的是, 合金元素对冷脆性有相互作用。钢的合金化能对减小冷脆性起良好的作用, 可见所有合金钢的临界脆性温度都比碳素钢低一些, 因此合金化也是减小冷脆性的主要途径之一。

7) 钢的显微组织的影响。在脆性破坏时, 相当于破坏开始阶段的显微裂纹, 多半是在不同组织组成物或相的分界面上开始形成。具有复相组织的钢要比具有单相组织的钢具有较大的冷脆性。

(4) 减少钢的冷脆性的措施。

1) 对于在低温、动荷载条件下使用的结构, 应选用冷脆倾向较小的钢材。采用硅充分脱氧的镇静钢, 特别是用铝补充脱氧的镇静钢, 是减小建筑结构钢材冷脆倾向的十分有效且简单易行的途径。因此, 对在低温、动荷载作用下的结构, 不仅要尽量避免冷加工和在安装、制造时的冷塑性变形, 而且还应当采用耐时效的钢 (即用铝补充脱氧的钢)。

2) 正确的合金化, 即在钢中加入适量能减小其冷脆性的金属元素, 可减小钢的冷脆性, 特别是与正确的热处理相配合, 效果将更显著。

3) 正确的热处理可减小钢材的冷脆倾向。对已经过冷加工的钢, 采用高温回火虽会略降低钢的强度, 但减小钢的冷脆倾向。

4) 正确选择焊接结构用钢、构造合理、焊接工艺正确等是减小焊接构件冷脆倾向的有效方法。

六、建筑钢材的热处理

(1) 钢材的热处理主要有以下几种类型:

1) 退火。退火的种类很多, 大致可以分为重结晶退火和低温退火两种。重结晶退火是将钢加热到相变临界点以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$, 保温一定时间, 然后缓慢冷却。其目的是细化晶粒, 降低硬度, 提高塑性, 消除组织缺陷以及改善力学性能等。低温退火是指加热温度在相变临界点以下, 保温一定时间再缓慢冷却的热处理操作。钢结构中焊接件消除内应力的退火即属于低温退火。

2) 正火。将钢加热到上临界点 (A_{c3}) 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$, 保温一定时间, 进行完全奥氏体化, 然后在空气中冷却, 这种热处理工艺称为正火, 也叫“常化”。正火与完全退火的加热条件相同, 其区别主要在于冷却条件不同, 正火在空气中冷却速度较大, 组织中珠光体量较多, 而且片层较细, 故正火钢有较高的强度和硬度, 甚至有较大的塑性和韧性。正火只适用于碳素钢及低、中合金钢。对热轧后的钢材可以提高强度, 但主要是改善塑性和冲击韧性。

3) 淬火。将钢材加热至相变临界点以上的温度, 保温一定时间后在水或油等介质中快速冷却, 这种热处理方法称为淬火。经过淬火后再回火, 最后得到具有高的综合力学性能的钢材。

4) 回火。将淬火钢重新加热到相变临界点以下的预定温度, 保温预定时间, 然后冷却下来, 这种热处理方法称为回火。淬火钢回火的目的是: 减小淬火所造成的巨大内应力; 使淬火产生的不稳定组织得到稳定; 减小淬火钢脆性, 使钢达到所要求的力学性能。淬火钢回火后的力学性能, 取决于回火温度和时间, 要求有高硬度和高强度, 可选用 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的低温回火; 在要求有高弹性极限和高屈服强度时, 选用 $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的中温回火; 而当要求有高的综合力学性能时, 采用 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的高温回火。钢材的淬火加高温回火的综合操作称为调质。

(2) 建筑钢结构中需要进行的热处理类型:

1) 热轧钢材的正火, 在 GB/T 700—1988《碳素结构钢》中曾规定“经双方协议, 也可以正火处理状态交货”

2) 热轧钢材的调质(淬火加回火)处理, 在 GB/T 1591—1994《低合金高强度结构钢》中规定“钢一般应以热轧、控轧、正火及正火加回火状态交货。Q420、Q460 的 C、D、E 级钢也可按淬火加回火状态交货。”

3) 焊接件的消除内应力热处理, 即低温退火。

(3) 热轧钢材的调质、淬火温度一般约为 900°C , 然后在 $400\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的温度进行回火。钢材塑性的提高和强度的下降与回火温度有关, 回火温度愈高, 塑性提高与强度下降的程度亦愈大。

(4) 焊接件的热处理, 对建筑钢结构来说, 主要有两个目的:

1) 减轻应力腐蚀现象。在焊接构件中往往存在高额残余拉应力, 且分布不均, 呈现应力集中现象, 在腐蚀性介质作用下, 集中的拉应力能大大促进腐蚀的进程, 该现象称为应力腐蚀。为此, 对需要考虑应力腐蚀的焊接件(如热风炉炉顶), 应采用消除应力的热处理方法。

2) 为保持构件的几何尺寸的稳定, 焊接件在进行机械加工以前, 应消除其内部的残余焊接应力。否则, 构件在使用时将发生变形。

第二节 钢结构常用钢材的化学成分及力学性能

一、碳素结构钢

GB/T 700—1988《碳素结构钢》规定碳素钢分为五个牌号, 即 Q195、Q215、Q235、Q255 和 Q275。其中 Q235 牌号分为 A、B、C 和 D 四个质量等级。

1) 碳素结构钢牌号及化学成分 (熔炼分析) 见表 1-2。

表 1-2 碳素结构钢牌号及化学成分 (熔炼分析)

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 ^①	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	F、b、Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28～0.38	0.50～0.80	0.35	0.050	0.045	b、Z

① Q235A、B级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。

2) 碳素结构钢的力学性能。

① 弯曲试验值应符合表 1-3 的规定。

② 钢材的拉伸和冲击试验值应符合表 1-4 的规定。

表 1-3 钢材弯曲试验值

牌 号	试样方向	冷弯试验 $B=2a$ 180°		
		钢材厚度 (直径) (mm)		
		60	>60~100	>100~200
		弯心直径 d		
Q195	纵	0	—	—
	横	0.5a	—	—
Q215	纵	0.5a	1.5a	2a
	横	a	2a	2.5a
Q235	纵	a	2a	2.5a
	横	1.5a	2.5a	3.5a
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)。