



GANG JIEGOU
XUEXI ZHIDAO

“工业与民用建筑工程专业”专科（含高职、自考、成人、函授等）系列自学辅导教材

《钢结构》学习指导

刘永健 主编



华航Z0196465

WUTP

武汉工业大学出版社

“工业与民用建筑工程专业”专科(含高职、
自考、成人、函授等)系列自学辅导教材

《钢结构》学习指导

主 编 刘永健
副主编 柳 锋

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

《钢结构》学习指导/刘永健主编. —武汉:武汉工业大学出版社,2000.11
ISBN 7-5629-1573-3

I. 钢…

II. 刘…

III. 钢结构-高等学校-辅导教材

IV. TU391

武汉工业大学出版社出版发行

(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编:430070)

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:237千字

2000年11月第1版 2000年11月第1次印刷

印数:1~3000册 定价:11.50元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

“工业与民用建筑工程专业”专科(含高职、
自考、成人、函授等)系列自学辅导教材
编 委 会 名 单

主 任:赵明华 孙成林

副 主 任:关 罡 邓铁军 姜卫杰

编 委:(以姓氏笔划为序)

邓铁军 孙成林 田道全 关 罡 刘永健 李大望

刘永坚 苏 炜 汪梦甫 赵明华 姜卫杰 崔艳秋

童 桦 廖 莎 樊友景 蔡德明

秘 书 长:蔡德明

总责任编辑:田道全 刘永坚

前 言

根据房屋建筑工程专业“钢结构”课程的教学大纲和培养目标,结合相应的教科书,我们编写了这本辅导教材。编写中,在基本要求部分对本章作了简单介绍,以帮助学生较全面地理解教材,突出自学能力的培养;在重点、难点部分则根据编者多年的教学经验和体会作了简要分析。书中大部分典型示例取自书末所附参考书目,并根据编写要求作了适当修改。

本辅导教材可配合《钢结构》教材使用;也可单独作为教学参考书和工程技术人员的参考书。

本书第一、二章由山东建筑工程学院柳锋编写,第三、七章及综合训练试卷部分由长沙交通学院刘永健编写,第四、五章由湖南大学莫涛编写,第六章由株洲工学院樊海涛编写。全书由刘永健统稿,并担任主编,柳锋担任副主编。

本辅导教材是在湖南大学博士生导师周绪红教授的鼓励和关心下完成的。周教授还亲自担任该书的主审,并提出许多宝贵意见,在此表示衷心感谢!

由于编者的水平有限且时间仓促,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2000年5月

目 录

第一章 绪论	(1)
一、基本要求	(1)
二、重点、难点分析	(1)
三、典型示例分析	(6)
四、单元测试	(6)
第二章 建筑钢材	(7)
一、基本要求	(7)
二、重点、难点分析	(7)
三、典型示例分析	(11)
四、单元测试	(11)
第三章 钢结构的连接	(13)
一、基本要求	(13)
二、重点、难点分析	(22)
三、典型示例分析	(27)
四、单元测试	(45)
第四章 梁	(49)
一、基本要求	(49)
二、重点、难点分析	(60)
三、典型示例分析	(60)
四、单元测试	(67)
第五章 轴心受力构件	(69)
一、基本要求	(69)
二、重点、难点分析	(78)
三、典型示例分析	(81)
四、单元测试	(87)
第六章 拉弯构件和压弯构件	(89)
一、基本要求	(89)
二、重点、难点分析	(98)
三、典型示例分析	(102)
四、单元测试	(111)
第七章 钢桁架结构	(114)
一、基本要求	(114)
二、重点、难点分析	(114)
三、典型示例分析	(122)
四、单元测试	(132)

附录Ⅰ 综合训练试卷·····	(133)
附录Ⅱ 单元测试参考答案·····	(140)
附录Ⅲ 综合训练试卷参考答案·····	(142)
参考文献·····	(143)

第一章 绪 论

一、基本要求

掌握钢结构的特点,正确理解钢结构的合理应用范围,了解近似概率极限状态设计方法的概念,理解规范采用的基本设计表达式,了解各分项系数取值的依据和含义。

二、重点、难点分析

1. 钢结构的特点和合理应用范围

本门课是学习如何用钢材来设计结构,因此学习时应注意:

(1) 应结合钢材的特点来掌握钢结构的特点

钢材强度高,因此,在承载力相同的条件下,钢结构自重轻;钢材材质均匀,为理想的弹塑性体,符合工程力学所采用的基本假定,因此,钢结构计算结果准确可靠;钢材的塑性好,因此,钢结构在一般情况下,不会发生突然断裂破坏;钢材韧性好,因此,能很好地承受动力荷载;钢材具有不渗漏的特点,因此,钢结构可以做密闭容器;钢材易腐蚀,不耐高温,因此,钢结构防火性能差,为防腐蚀,需定期维护。

(2) 应结合钢结构的特点掌握其合理应用范围

钢结构的承载力大,因此,适用于荷载大的重型厂房高层建筑;钢结构自重轻,因此,适用于大跨度结构,可拆卸和移动式结构;钢结构对动力荷载的适应性强,因此,适用于直接承受动载的结构或对抗震性能要求高的结构;钢结构的密闭性好,因此,适用于制造容器和管道。

(3) 在选用钢结构时,应注意综合经济效益

钢结构自重轻,使下部基础结构的负担小,并且采用钢结构可缩短工期,使工程提前使用,由此产生的综合效益,可能超出土建投资。

随着我国冶金工业的发展,我国的钢产量自 1996 年开始已超过 1 亿 t,居世界首位,这是推动钢结构发展的重要物质基础。对钢材的使用已由“节约钢材”转变为“合理用钢”,积极、合理、较快速地发展钢结构并带动相关产业的发展已成为建筑业发展的重要任务。

2. 钢结构的设计方法

为加深理解,应注意掌握以下几点:

(1) 结构设计的目的

结构设计的目的使所设计的结构满足各种预定的功能要求。这预定的功能是指:

① 安全性

结构能承受正常施工和正常使用时可能出现的各种作用,包括荷载、温度变化、基础不均匀沉降以及地震作用等;在偶然事件发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性,不致倒塌。

② 适用性

结构在正常使用时,应具有良好的工作性能,满足预定的使用要求,如不发生影响正常使用的过大变形、振动等。

③ 耐久性

结构在正常维护下,随时间变化仍能满足预定功能要求,如不发生严重锈蚀而影响结构的使用寿命等。

上述三方面的功能要求又可概括称为结构的可靠性。结构的可靠性与结构的经济性是经常相互矛盾的,科学的设计方法是在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡,力求以最经济的途径,适当的可靠度达到结构设计的目的。

(2) 结构设计的主要内容

① 研究结构的受力体系,确定结构的力学模型和计算简图。

② 研究外界对结构的作用及作用效应分析。

“作用”是指使结构产生内力、变形、应力、应变的所有原因。“直接作用”是指施加在结构上的荷载,如自重、风荷载、雪荷载及活荷载;“间接作用”则指引起结构变形和约束变形从而产生内力的其他作用,如地震、基础沉降、温度变化、焊接等。“作用效应”是指结构上的作用引起的结构或其构件内力和变形(如弯矩、轴力、剪力、扭矩、挠度、转角等)。因为结构上的作用是不确定的随机变量,所以作用效应一般也是随机变量。

③ 根据外界作用及结构抗力对结构或构件及其连接等进行强度、稳定和变形验算。

“结构抗力”是指结构或构件承受作用效应的能力(如构件的承载能力、刚度等)。结构抗力是构件材料性能、几何参数及计算模式的函数,由于材料性能的变异性,构件几何特征的不定性和计算模式的不定性,结构或构件抗力也是随机变量。

(3) 应如何理解结构的两种极限状态

① 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。这里有两个极限准则:一个是最大承载力,一个是不适于继续承载的变形。对于钢结构来说,两个极限准则都采用,且第二准则主要应用于钢结构,现举例说明。如图 1-1 桁架结构中的拉杆,截面无孔削弱,按承载能力、极限状态进行计算时,需进行拉杆的强度计算和端部连接焊缝计算。

强度计算是以毛截面屈服作为极限状态,即:

$$N \leq N_y = A \cdot f_y \quad (1-1)$$

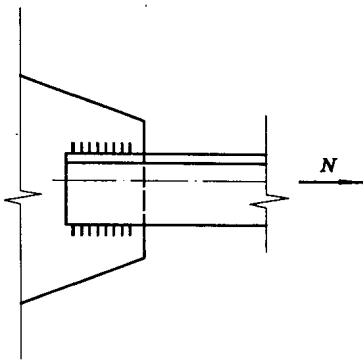


图 1-1

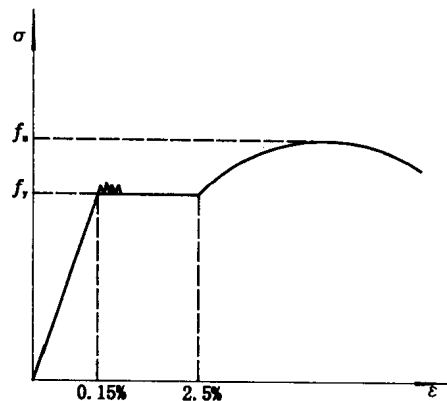


图 1-2 Q235 钢应力-应变曲线

然而截面中的应力达到 f_y 时,此拉杆并没有被拉断,也就是没有达到最大承载能力。但是,从钢材的应力-应变曲线(图 1-2)可看到,应力达 f_y 后应变可以达到 2.5% 左右,也就是材

料每米伸长 25 mm,如果此杆件长为 5 m,则总伸长可达125 mm。拉杆发生这样大的变形,将会使整体桁架下塌,受力体系改变,影响整个桁架的工作。因此,此拉杆的强度计算即属于第二极限准则。

对于端部连接焊缝的计算,是以焊缝破坏作为极限状态的,即属于第一极限准则。

应注意结合以后各章节的学习,加深理解。

② 正常使用极限状态

这种极限状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。

对钢结构来说,主要是控制构件的刚度,避免出现影响正常使用的过大变形或在动力作用下的较大振动。

(4) 钢结构的计算方法

① 容许应力计算法

钢结构的计算是以极限状态为准则进行的。设荷载效应的标准值为 S , 构件抗力的标准值为 R , 一般情况下, 荷载的标准值即荷载的最大值, 抗力的标准值即抗力的最小值, 则计算式应当写成:

$$S \leq R \quad (1-2)$$

由于 S 和 R 都是确定值, 这种计算方法是一种确定性方法。钢结构的容许应力计算法就是此基础上的一种确定性的方法。将式(1-2)两边各除以构件截面几何特性, 可得其计算表达式为:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-3)$$

式中 σ ——荷载标准值作用下的构件应力;

$[\sigma]$ ——容许应力, 等于钢材强度 f , 除以安全系数 K , K 由工程经验确定。

此方法以安全系数 K 来考虑作用效应和结构抗力的变异; 即可能荷载超过其标准值, 抗力小于其标准值的情况。计算简单方便, 缺点是安全系数 K 笼统取为定值。实际上作用效应和结构抗力的变异并不具有比例关系, 取为定值势必带来各种情况实际隐含的可靠度不一致。

② 概率极限状态设计法

如前所述, 作用效应 S 和构件抗力 R 实际为随机变量, 它们两者之间的关系存在三种情况:

$$\left. \begin{array}{l} S > R \\ S = R \\ S < R \end{array} \right\} \quad (1-4)$$

即有可能出现 $S > R$ (结构失效), 也就是说结构设计存在风险, 不能保证绝对安全。但是, 只要存在的风险很小, 或者说 $S > R$ 的概率(失效概率)很小, 小到人们可以接受的程度, 我们就说这一结构设计是应当认可的。因此, 对结构的安全保证, 只能是一定概率的保证, 而这概率当然不是百分之百, 在此基础上的计算方法叫做概率法。因此, 概率法的实质是考虑“ $Z = R - S < 0$ ”这一事件的概率。

根据实际结构的统计资料, 可假定 Z 的统计频率(概率密度)分布曲线如图 1-3 所示, 即绝大多数的 Z 值都大于 0, 也有少数的 Z 值小于 0。

图中阴影部分面积占全部面积的百分率即表示 $Z < 0$ 的失效概率 p_f , 实际计算失效概率 p_f 比较困难。由图可见, Z 的标准差 σ_Z 和平均值 μ_Z 之间存在下列关系:

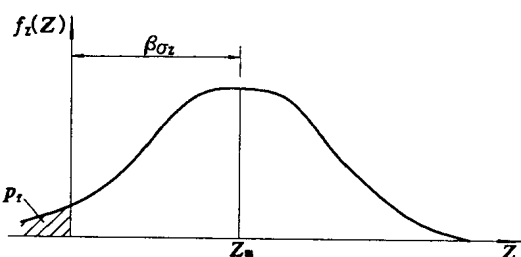


图 1-3 Z 的概率分布曲线

$$\mu_Z = \beta \sigma_Z \quad (1-5)$$

即由 $Z=0$ 到平均值 μ_Z 的距离等于 $\beta \cdot \sigma_Z$ 。只要分布一定, p_f 与 β 就有一一对应关系。 β 愈大, p_f 就愈小;反之, β 愈小, p_f 就会愈大,这就说明 β 值完全可以作为衡量结构可靠度的一个数量指标。有了结构的失效概率 p_f 或可靠指标 β 作为结构的可靠度的定量尺度后,就可以真正从数量上对结构可靠度进行对比分析。但是,如何选择

一个结构最优的失效概率或者可靠指标,以达到结构可靠与经济的最佳平衡呢?由于找不到一种合理的定量分析方法,这是一个难题。目前很多国家都从实际出发,采用“校准法”。所谓“校准法”,就是对按原有使用多年的规范设计的结构反算其隐含的可靠指标,再考虑使用经验和经济等因素来确定新的可靠指标。因为它以长期工程实践为基础,所以能为人们所接受。

我国“统一标准”规定,对于承载能力极限状态,结构构件的可靠指标应根据结构构件的破坏类型和安全等级按表 1-1 选用。

表 1-1 结构构件承载能力极限状态设计时的可靠指标 β 值

破坏类型	安全等级		
	一 级	二 级	三 级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

注:① 对民用建筑的安全等级可按有关民用建筑等级标准的规定采用;工业建筑钢结构一般取为二级。

② 当有充分根据时,采用的 β 值,可对本表规定作不超过 ± 0.25 幅度的调整。

当 R 和 S 为统计独立时,

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad (1-6)$$

$$\sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (1-7)$$

将式(1-6)、式(1-7)代入式(1-5)可得:

$$\mu_R - \mu_S = \beta \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-8)$$

由式(1-5)、式(1-8)可得:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-9)$$

令

$$\alpha_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad \alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad \delta_S = \sigma_S / \mu_S \quad \delta_R = \sigma_R / \mu_R$$

引入不等号,得

$$\mu_S(1 + \alpha_S \beta \delta_S) \leq \mu_R(1 - \alpha_R \beta \delta_R) \quad (1-10)$$

这就是概率法的设计式。因为这种设计不考虑 Z 的全分布,只考虑平均值(一次矩)和方差(二阶矩),故叫做一次二阶矩概率设计法。其主要优点是,可根据结构的重要性和破坏特征直接采用合适的可靠指标,只要掌握各随机变量的平均值和标准差,就可以进行设计。但直接使用此法进行结构设计,目前还有困难,主要是因为有些统计参数不易求得,而且此表达式与设计人员以前习用的计算方法相差甚远,不易被人接受。解决的办法是将一次二阶矩法等效地

转化为分项系数表达式。

③ 分项系数表达式法

在简单的荷载情况下,采用标准值的分项系数设计表达式可写成:

$$\gamma_G S_{GK} + \gamma_Q S_{QK} \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-11)$$

式中 R_K ——构件的标准抗力;

S_{GK}, S_{QK} ——分别为按标准值计算的永久荷载效应值和可变荷载效应值;

γ_R ——构件抗力分项系数;

γ_G, γ_Q ——相应的永久和可变荷载分项系数。

一次二阶矩法的设计表达式(1-10)可写成:

$$S^* \leq R^* \quad (1-12)$$

对于简单荷载情况,上式可写成:

$$S_G^* + S_Q^* \leq R^* \quad (1-13)$$

为使一次二阶矩法和分项系数表达式法这二种设计法等价,必须有:

$$\gamma_R = R_K / R^* \quad \gamma_G = S_G^* / S_{GK} \quad \gamma_Q = S_Q^* / S_{QK}$$

带星号“*”各值不仅与 β 有关,且与各基本变量的统计参数有关,见式(1-10)。因此,在给定 β 的情况下, γ_Q 和 γ_G 将随荷载效应比值 S_{QK}/S_{GK} 变动而为一系列的值,这对于设计显然是不方便的,为此,采用了优化的方法求得最佳的分项系数,从而使结构或构件实际的可靠指标与目标可靠指标的误差最小。

《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)规定,在一般情况下,取 $\gamma_G=1.2, \gamma_Q=1.4$ 。当永久荷载效应与可变荷载效应反号时,永久荷载对设计是有利的,应取 $\gamma_G=1.0, \gamma_Q=1.4$ 。

在荷载分项系数决定后,根据所要求的目标 β 值,再确定最佳的 γ_R 值。《钢结构设计规范》(GBJ17—88)采用的目标可靠指标 $\beta=3.2$ (安全等级为二级的结构物延性破坏时),经分析,得出Q235钢、16Mn钢和16Mnq钢的 $\gamma_R=1.087$;15MnV钢和15MnVq钢的 $\gamma_R=1.11$ 。

当结构上同时作用多种荷载时,由于这些荷载都同时以其标准值(正常情况最大值)出现的概率较小,应对有关标准值进行折减,即乘以小于1.0的组合系数。这样才能使该构件所具有的可靠指标与仅有一种可变荷载情况有最佳的一致性。这样用分项系数表达的极限状态设计表达式为:

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q_1} S_{Q_1K} + \sum_{i=2}^m \gamma_{Q_i} \psi_{C_i} S_{Q_{iK}}) \leq R_K / \gamma_R \quad (1-14)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,与安全等级相对应,即一级为1.1,二级为1.0,三级为0.9;

S_{Q_1K} ——第一个可变荷载的效应,其在结构或构件中产生的效应值最大;

ψ_{C_i} ——其他第*i*个可变荷载的组合系数,当有两种或两种以上可变荷载且其中包括风荷载时,取 $\psi_{C_i}=0.6$;其他情况取 $\psi_{C_i}=1$ 。

对于一般的排架、框架结构,由于确定能产生最大荷载效应的第*i*个可变荷载较为复杂,为简便计,可采用下列简化的设计表达式:

$$\gamma_0(\gamma_G \cdot S_{GK} + \psi \sum_{i=1}^m \gamma_{Qi} \cdot S_{QiK}) \leq R_K / \gamma_R \quad (1-15)$$

式中 ψ ——简化设计表达式采用的荷载组合系数,当参与组合的可变荷载有两种或两种以上并有风荷载时,取 $\psi=0.85$;其他情况取 $\psi=1.0$ 。

对于正常使用极限状态,应使结构或构件在荷载标准值及其组合值作用下产生的变形和裂缝等不超过相应的容许值。根据不同的情况,分别考虑荷载的短期效应组合或长期效应组合。对钢结构,只需考虑短期效应组合,其组合为:

$$S_S = S_{GK} + S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci} \cdot S_{QiK} \quad (1-16)$$

实际上,式(1-15)和式(1-16)在钢结构设计规范中也不出现,它只是告诉我们按不同荷载计算结构或构件的内力(弯矩、轴力、剪力)时,应分别乘以不同的荷载分项系数和组合系数。

三、典型示例分析

【例 1-1】 结构的安全系数和结构的可靠度有何区别?

【答】

在容许应力设计法中,为考虑非正常情况下,作用效应和结构抗力的变异,即可能荷载超过其标准值,抗力小于其标准值的情况时,为保证结构安全而引入的一个系数,称为安全系数。安全系数由工程经验确定。由于安全系数取为定值,忽视了作用效应和结构抗力的变异在实际不具有比例关系,因而采用一个确定的安全系数势必带来各种情况实际隐含的可靠度不一样,有的过分安全,有的可能又不安全。

结构的可靠度是用来度量结构可靠性的指标,它从安全性、适用性、耐久性三个方面反映了结构完成其功能要求的能力,并从概率的角度可真正从数量上对结构的可靠性进行比较科学的对比分析。因此,可靠度对结构完成其预定功能的度量比安全系数具有全面性和科学性。

四、单元测试

1. 名词解释

- (1) 结构的极限状态
- (2) 结构的基本功能要求
- (3) 结构的可靠性
- (4) 失效概率
- (5) 荷载的标准值与设计值
- (6) 强度标准值与设计值

2. 简答题

- (1) 钢结构设计的基准期是多少?当结构使用超过基准期后是否可继续使用?
- (2) 结构的可靠性与结构的安全性有何区别?

第二章 建筑钢材

一、基本要求

(1) 掌握钢材在不同条件下可能产生的两种破坏形式,理解两种破坏形式对钢材正确使用和设计意义。

(2) 通过钢材的一次单向拉伸试验、冷弯试验,掌握钢材在正常情况下的静力工作性能,了解规范对钢材机械性能指标规定的依据和意义。

(3) 通过钢材的冲击韧性试验、疲劳试验了解钢材的动力工作性能,并验算疲劳。

(4) 了解各种因素(化学成分、冶金缺陷、应力集中、加荷速度、硬化、温度等)对钢材性能的影响,特别要注意分析影响钢材脆性破坏的因素。

(5) 应根据具体条件和要求,正确选用钢材。

二、重点、难点分析

1. 掌握钢材的主要性能

(1) 钢材的静力工作性能

① 抗拉强度 f_u 这是钢材破坏前能够承受的最大应力,反映了与钢材内部组织有关的极限抗拉能力, f_u 大可增加结构的安全储备。

② 屈服强度(屈服点) f_y 作为钢材强度的标准值,是钢结构设计中钢材可以达到的最大应力。引入抗力分项系数 γ_R 后,即得到钢材抗拉、抗压和抗弯的强度设计值: $f = f_y / \gamma_R$ 。

③ 伸长率 $\epsilon_{10}(\epsilon_5)$ 反映钢材承受静力荷载时产生塑性变形而不立即断裂的能力。

④ 冷弯 180° 衡量钢材塑性变形能力的综合指标。一方面可以检验钢材能否适应构件制作中的冷加工工艺过程,另一方面可以检验钢材的内部缺陷如颗粒组织、结晶情况和非金属夹杂物分布等缺陷。

(2) 钢材的动力工作性能

① 冲击韧性 a_k 衡量钢材承受冲击荷载作用时抵抗脆性破坏能力的指标。

② 允许应力幅 取决于构件或连接的细部构造,用以衡量钢材在连续反复荷载作用下的抗疲劳的性能指标。

(3) 钢材在复杂应力作用下的工作性能

钢材在复杂应力作用下的工作性能可用折算应力 σ_{zs} 衡量。

σ_{zs} 以主应力表示时,为:

$$\sigma_{zs} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (2-1)$$

$\sigma_{zs} < f_y$, 钢材处于弹性工作状态;

$\sigma_{zs} \geq f_y$, 钢材处于塑性工作状态。

如果三个主应力同号,绝对值接近或差值不大时,即使主应力数值很大,甚至超过 f_y 时,

折算应力仍然很小,钢材不易进入塑性状态,即钢材处于同号应力场时,直到破坏也不会有明显的塑性变形发生,此时的破坏形式为脆性破坏,因此,同号应力场是脆性破坏的力学原因;相反,钢材处于异号应力场,或同号但应力差较大时,钢材就较容易进入塑性状态,最后破坏为塑性破坏。

2. 掌握形成和影响钢材性能的因素

(1) 化学成分

钢材的主要元素是铁(Fe),如普通碳素钢中铁元素占99%,其他元素如碳(C)、硅(Si)、锰(Mn)、硫(S)、磷(P)、氧(O)、氮(N)等仅占1%,但这些少量元素对钢材的性能却有决定性的影响,它们的含量都应保证在规定的限量之内,如这些元素的含量超过规定限量时,将使钢材变脆,并降低钢材的可焊性及加工工艺性能。

(2) 冶炼和轧制

冶炼过程中产生的偏析、非金属夹杂、裂纹、分层等缺陷将严重降低钢材的冷弯、冲击韧性、疲劳强度等力学性能,使得钢材抗脆性断裂的能力降低。因此,镇静钢的性能优于沸腾钢。

钢材热轧可消除冶炼过程中的部分缺陷,提高钢材的力学性能。因此,轧制压缩比大的钢材性能优于压缩比小的钢材。

(3) 钢材的硬化

钢材的硬化有冷作硬化(应变硬化)和时效硬化两种。钢材的硬化使钢材塑性减小,脆性增加。

(4) 温度

温度变化对钢材性能的影响很大。

温度在150℃以下时,钢材的强度、弹性模量变化不大,随温度升高,钢材的屈服强度降低,塑性增大,达600℃时,屈服强度接近为零。因此,对钢结构应注意做防火隔热保护。

当温度下降到负温某一区域时,其冲击韧性急剧下降,出现低温脆断。因此,在负温工作的结构,钢材还应具有负温(-20℃或-40℃)冲击韧性的合格保证,以提高抗低温脆断的能力。

(5) 应力集中

① 应力集中

在钢构件中一般常存在孔洞、缺口、凹角、以及截面的厚度或宽度变化等,由于截面的突然改变,致使应力线曲折、密集,故在孔洞边缘或缺口尖端等处,将局部出现高峰应力,而其他部位应力则较低,截面应力分布均匀,这种现象称为应力集中。

② 应力集中的原因

- 构件存在构造缺陷。如孔洞、刻槽、缺口、凹角、裂缝、厚度和宽度的突然变化。
- 在钢材中存在非金属夹杂。
- 残余应力和初应力。

③ 应力集中的后果

在应力集中处应力线发生弯曲、变密,出现高峰应力区并常使构件处于同号的双向或三向应力场的复杂应力状态,阻碍了钢材塑性变形的发展,促使钢材转入脆性状态,造成脆性破坏。

④ 改善和避免应力集中的措施

由于应力集中主要决定于构件的构造状况,因此,在设计、制造和施工时,应尽量避免截面突变,应采用圆滑过渡,尽可能防止对构件造成刻槽等缺陷。

由于钢材塑性较好,利用钢材的塑性,应力会重新分布,由不均匀趋向均匀。因此,在常温工作条件下,承受静力荷载,符合规范规定的有关构造要求时,计算中可不考虑应力集中的影响。

3. 掌握我国钢结构常用钢材的种类、牌号,能正确选用钢材

(1) 钢材的品种和牌号

适用于钢结构的钢材分为碳素结构钢和低合金结构钢两种。

① 碳素结构钢

碳素结构钢按国家标准《碳素结构钢》(GB700—88)执行。其牌号表示方法是由代表屈服点的字母、屈服点的数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成,所采用的符号分别用下列字母表示:

Q——钢材屈服点“屈”字汉语拼音首位字母;

A、B、C、D——分别为质量等级;

F——沸腾钢“沸”字汉语拼音首位字母;

b——半镇静钢“半”字汉语拼音首位字母;

Z——镇静钢“镇”字汉语拼音首位字母;

TZ——特殊镇静钢“特镇”两字汉语拼音首位字母。

在牌号组成表示方法中,“Z”与“TZ”符号予以省略。

例如 Q235-A·F,即表示屈服点为 235 N/mm²、质量等级为 A 级的沸腾钢。

适用于建筑结构的碳素钢为 Q235,它的质量等级分为 A、B、C、D 四级。其中对化学成分根据不同质量等级分别规定 C、Mn、S、P 含量;在脱氧方法上,C、D 级钢材分别为镇静钢和特殊镇静钢,而 A、B 级钢材则分为沸腾钢、半镇静钢或镇静钢;在力学性能上,A 级钢保证 f_u 、 f_y 、 ϵ_5 不要求冲击试验性能,冷弯试验也只在需方有要求时才进行,B 级钢需做常温冲击试验,C、D 级钢则分别做 0℃ 和负温冲击试验。

② 低合金结构钢

低合金结构钢按国家标准《低合金结构钢》(GB1591—88)执行。其牌号表示方法是:以平均含碳量的万分数表示前面两位数字,其后再标出所含合金元素的符号,当合金元素平均含量高于 1.5% 时,在符号后标出其百分数的整数(如 2、3 等),否则可不标出。例如:16 锰钢的牌号用 16 Mn 表示,其平均碳含量为 0.16%,主要合金元素为锰,其平均含量(1.4%)不超过 1.5%。对个别添加在钢中的少量合金元素,虽其平均含量不超过 1.5%,但因其对钢材性能有明显影响,故在牌号末尾标出,如 15 锰钒(15 MnV)钢中的 V。

建筑结构常用的低合金结构钢有:16 Mn、15 MnV、16 Mnq、15 MnVq。

(2) 钢材的选择

钢材的质量和强度可由力学性能中的抗拉强度 f_u 、屈服点 f_y 、伸长率 ϵ_5 (或 ϵ_{10})、冷弯 180° 和冲击韧性 α_k 等五项及化学成分碳、硅、锰、硫、磷的极限含量的规定以及脱氧方法等,从各个不同角度来衡量。应根据各种不同的使用条件,如:钢结构的重要性、荷载的性质(静载或动载)、连接方法、工作温度等对这些性能指标分别提出要求,以选用适宜的钢材,不论何种构件一律选用强度和等级高的钢材是不合理的。

在设计图纸和相关技术文件中,必须标明采用钢材的品种、牌号及相应的性能指标要求。

应注意选用常用的钢材规格。

4. 钢材的疲劳和脆性断裂

(1) 钢材的疲劳破坏

钢材在连续反复荷载作用下,当应力还低于钢材的抗拉强度,甚至还低于屈服点时,也会发生破坏,这种现象称为钢材的疲劳现象或疲劳破坏。

(2) 钢材疲劳破坏的特征

钢材在疲劳破坏时,无明显的塑性变形、局部收缩,和脆性破坏一样是一种突然发生的断裂。

(3) 钢材疲劳破坏的原因

造成钢材出现疲劳破坏的原因是因为在实际工程中构件截面中不可避免地存在着一些局部缺陷,如非金属夹杂、裂纹、刻槽、孔眼等,当连续反复荷载作用时,在这些缺陷截面上应力分布不均匀,引起应力集中现象,在高峰应力处将首先出现微观裂纹,由于拉应力作用裂纹逐渐开展,形成宏观裂缝,裂缝不断开展,构件有效截面减小,应力集中现象更加严重,同时在应力集中区形成双向或三向的同号拉应力场,使钢材的塑性变形受到限制,材质变脆。在反复荷载达到一定循环次数时,在截面削弱最严重的部位发生断裂。破坏时截面的断口一般具有光滑和粗糙两个区域:光滑区是因为裂纹反复扩张和闭合而形成,粗糙区则表明钢材最后突然断裂的脆性破坏性质。

(4) 钢材疲劳破坏的影响因素

① 构造缺陷

钢材中恒存在着的构造缺陷或残余应力,在其截面中引起应力集中,最终导致疲劳破坏的产生。因此,我国现行钢结构规范依据构件截面细部构造所引起的应力集中程度的不同,将构件和连接按构造情况,划分为八个类别,分别规定了它们的容许应力幅,作为疲劳强度验算的标准。

② 应力循环特征——应力比 ρ 和最大应力 $\sigma_{\max}$

构件或连接在反复荷载作用下,其截面中的应力从最大 $\sigma_{\max}$ 到最小 $\sigma_{\min}$ 重复循环。应力循环的形式有同号应力循环和异号应力循环两种类型,可用 $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ 和 $\sigma_{\max}$ 来表示, $-1 \leq \rho \leq 1$, 其中 $\rho = -1$ 时为完全对称循环, $\rho = 1$ 时相当于静力荷载作用, $\rho = 0$ 时为脉冲循环。试验资料表明,钢材的疲劳破坏与 ρ 有关, ρ 值越小,钢材疲劳破坏时的强度越低, $\rho = -1$ 时最低。

③ 应力循环特征——应力幅 $\Delta\sigma$

钢材在反复荷载作用下的应力循环也可用应力幅 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ 表示。多年来国内外的试验研究和理论分析证实:对焊接结构而言,焊接及随后的冷却,构成不均匀热循环过程,使焊接结构内部产生自相平衡的内应力,在焊缝附近出现局部的残余拉应力高峰,横截面其余部分则形成残余压应力与之平衡。焊接残余拉应力最高峰值往往可达到钢材的屈服强度 f_y , 名义上的应力循环特征 ρ 并不代表疲劳裂缝出现处的实际应力状态,此时,应力循环是从受拉屈服点 f_y 开始,变动一个应力幅 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$,再升至 f_y 的循环(即实际应力比为 $\rho = (f_y - \Delta\sigma) / f_y$)。因此,也可以说,不论哪种形式的应力循环,只要它们的应力幅 $\Delta\sigma$ 相等,不论其名义应力比 ρ 如何,对构件或连接的疲劳效应是相同的。因而,焊接连接或构件的疲劳性能直接与应力幅 $\Delta\sigma$ 有关,而与应力比 ρ 的关系不密切。

④ 应力循环次数 n

在应力循环的形式一定时(对焊接构件为 $\Delta\sigma$,对非焊接结构为最大应力),钢材的疲劳破