



全国高等教育自学考试

钢结构自学辅导

组编 / 全国高等教育自学考试指导委员会
主编 / 钟善桐



武汉大学出版社

91

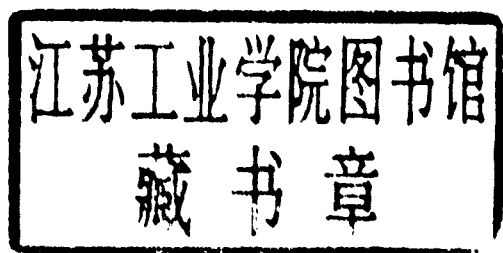
13

全国高等教育自学考试

钢结构自学辅导

全国高等教育自学考试指导委员会 组编

主编 钟善桐



武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构自学辅导/全国高等教育自学考试指导委员会组编;钟善桐主编. —武汉:武汉大学出版社,2000.12

全国高等教育自学考试

ISBN 7-307-03077-2

I. 钢… II. ①全… ②钟… III. 钢结构—高等教育—自学考试—自学参考资料 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 43673 号

责任编辑:张敬亭 责任校对:黄添生 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:涿州市星河印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:6.375 插页:1

版次:2000年12月第1版 2001年7月第1次印刷

字数:153千字 印数:1—5000

ISBN 7-307-03077-2/TU·29 定价:10.00元

版权所有,不得翻印;所购教材,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地教材供应部门联系调换。

出版前言

为了完善高等教育自学考试教育形式,促进高等教育自学考试的发展,我们组织编写了全国高等教育自学考试自学辅导书。

自学辅导书以全国考委公布的课程自学考试大纲为依据,以全国统编自考教材为蓝本,旨在帮助自学者达到学习目标,顺利通过国家考试。

自学辅导书是高等教育自学考试教育媒体的重要组成部分,我们将根据专业的开考情况和考生的实际需要,陆续组织编写、出版文字、音像等多种自学媒体,由此构成与大纲、教材相配套的、完整的自学媒体系统。

全国高等教育自学考试指导委员会

1999年10月

编者的话

钢结构课程是全国高等教育自学考试土木建筑类建筑工程专业(独立本科段)的一门专业课,是为培养、检测自学应考者在建筑钢结构方面的基本理论知识和应用能力而设置的课程。

钢结构是在工程力学和建筑材料等课程的基础上,进行学习和掌握应用的专业课。因而要求自学者在遇到和工程力学(主要是其中的材料力学)及建筑材料(主要是钢材)课程有关的内容时,应随时复习这些课程的有关部分,这样做对学习很有帮助。

在钢结构设计和工程实践中,经常遇到以下三方面的问题

1. 钢材材质

钢材性能虽然比较稳定,但化学成分和冶金缺陷对性能的影响很大。有时工程中所用的钢材来源复杂,经常发生材质不合格的情况,由此而造成重大质量事故。因此,应重视钢材基本性能的学习,了解钢材的各种特性和要求,正确地选用钢材。当遇到钢材材质出现问题时,要基本上知道问题的性质和原因,以及处理的方法。

2. 稳定问题

首先必须分清强度和稳定的区别。强度是以构件中的应力达到钢材的屈服点为极限,稳定则是以构件中的应力达到临界应力为极限。钢材的屈服点是固定不变的,而构件的临界应力却决定于长细比,也就是决定于构件截面的回转半径和计算长度。随着构件设计的不同,其临界应力是不同的。

钢材属于轻质高强材料,截面较小,且为了提高截面刚度,常设计成壁薄而开展的截面。因而钢结构和构件不但要保证整体稳定,而且还存在着构件截面组成部分的局部稳定问题。所以稳定是钢结构设计中的突出问题。在钢结构发生破坏的事故中,由于构件、部件及整个结构体系失稳而导致结构破坏的事故占很大比例,因此学习钢结构时,应特别重视稳定问题的学习。要注意掌握稳定的基本概念和如何提高各种稳定承载力的合理措施。

3. 构造问题

构造问题包括构件截面的组成、连接方法,以及构件与构件的连接节点。构造设计不能只理解为按公式计算零部件、焊缝和螺栓,它还包括零部件组成的方式和方法,以及焊缝和螺栓的布置等。如果构件不合理,就可能发生意外的破坏事故,这也是钢结构常发生事故的一个主要方面。因为在一些连接和节点处,内力分布非常复杂,而计算往往作些简化,因而是近似的。如果处理不当,可能某些地方的局部应力远远超出计算值,从而发生破坏,造成事故。在实际工

程中,也常发生由于某些零部件的设计不合理,发生局部损坏而引起整个结构破坏的事例。

希望自学者在学习过程中重视上述问题,加强理解和注意掌握。

编者

2000.5

目 录

第一章 概述	1
第一节 钢结构在我国的发展概况	1
第二节 钢结构的特点和合理应用范围	1
第三节 钢结构设计方法	3
第四节 钢结构的发展	6
第二章 结构钢材及其性能	7
第一节 结构钢材一次拉伸时的力学性能	7
第二节 结构钢材的力学性能指标	9
第三节 结构钢材的脆性破坏	13
第四节 钢材的种类和规格	15
第三章 钢结构的连接	16
第一节 钢结构连接的种类和特点	16
第二节 对接焊缝及其连接	16
第三节 角焊缝及其连接	19
第四节 焊接应力和焊接变形	25
第五节 普通螺栓连接	25
第六节 高强度螺栓连接	29
第七节 连接的疲劳计算	30
第四章 轴心受力构件	32
第一、二节 轴心受力构件的特点、截面型式与极限状态	32
第三节 实腹式轴心受压构件	34
第四节 格构式轴心受压构件	41
第五节 柱头和柱脚	48
第五章 受弯构件	50
第一节 梁的种类和梁格布置	50
第二节 梁的极限状态和强度与刚度的计算	50
第三节 梁的整体稳定	52

第四节	梁的局部稳定和加劲肋设计	56
第五节	型钢梁设计	65
第六节	焊接梁设计	66
第七节	梁的拼接、支座和主次梁的连接	70
第六章	拉弯和压弯构件	71
第一节	截面型式和特点	71
第二节	拉弯、压弯构件的强度和刚度计算	72
第三节	实腹式压弯构件的整体稳定	72
第四节	压弯构件的局部稳定	74
第五节	格构式压弯构件的计算	75
第六节	压弯构件的柱脚设计	76
第七章	屋盖结构	78
第一节	屋盖结构组成的种类、特点和用途	78
第二节	屋盖结构的支撑体系	78
第三节	檩条	79
第四节	普通钢屋架设计	80
附:综合自测题		90

第一章 概 述

第一节 钢结构在我国的发展概况

钢结构在我国的发展过程,大致可分五个阶段:

1. 我国古代在这一领域具有光辉的历史,处于世界领先地位。
2. 18 世纪后到新中国成立前,欧美在工业革命成功后,钢结构的应用和发展日新月异;而我国长期处于封建制度的统治下,日趋落后,钢结构的应用和发展,基本上处于停滞不前的状态。
3. 新中国成立后的 50 年代到 60 年代初,由于社会主义社会制度的建立,生产力获得解放,生产建设的迅速恢复和发展,促使钢结构进入了第一次大发展时期。
4. 60 年代后期到 80 年代初,由于钢产量不高,国家政策限制了钢结构的采用,钢结构的研究工作虽然仍在继续,也获得一些成果,但工程应用不多,发展缓慢。
5. 1978 年改革开放以后,由于生产建设的速度加快,加上钢产量的迅速增长,钢结构的应用和发展进入了第二次大发展时期,国家对钢结构的采用也由限制改为合理应用,估计将会一直继续下去,在某些方面即将超过世界水平,重新跃上领先地位。例如上海正在兴建的环球金融中心,高 460m,将成为世界第一超高层建筑。

第二节 钢结构的特点和合理应用范围

一、钢结构的特点

在了解钢结构特点的基础上,应建立和理解以下几个概念。

1. 轻质高强材料的概念

建筑材料是用来制造所需的建筑结构的,不能只看它们的容重谁轻谁重,而是要看它们制成承受同样荷载、在相同条件下工作的结构或构件时,谁轻谁重。

从容重看,钢材最重;但制成同样要求和相同工作条件的结构和构件时,钢结构却最轻。如果用系数 $C = \gamma/[f]$ 来表示,这里 γ 是材料的容重, $[f]$ 是材料的计算强度,钢材的系数 C 最小,木材其次,而混凝土最大。系数 C 可作为各种结构重量值的指标。由此得出结论:钢材是轻质高强材料。为了传递一定的荷载作用,以钢结构所需的尺寸为最小。

对于大跨结构和高层结构,结构自重占了结构荷载相当大的比例,跨度越大和高度越高时,自重引起的结构内力也越大,轻质高强的钢结构就显出了优越性。所以,大跨结构和高层结

构应该采用钢结构。

由于钢材的轻质高强,还给钢结构带来了一系列的优点,如:自重小减轻了地基的负担;自重小减少了地震作用的反应;承载力高使构件截面小,增大了建筑物的有效使用空间;自重小,构件轻,便利了运输和吊装等等。

2. 匀质等向体的概念

匀质是构成钢材的物质分布均匀,等向体是任取一小块钢材,其各个方向的力学性能是相同的。固体力学的研究对象就是理想的匀质等向体。钢材是非常接近于匀质等向体的材料,其他建筑材料如混凝土和木材,与匀质等向体的假设差别较大。因此,用结构力学和材料力学求解在各种荷载作用下,结构和构件的内力大小和分布,只有钢结构最为接近,计算结果最为精确。同时,钢材的塑性和韧性好也都和匀质等向体有关。

钢材在弹性范围内工作时,由于弹性模量高达 $206\,000\text{N/mm}^2$,因而变形很小($\epsilon=\sigma/E$)。在一种荷载作用下产生内力 N_1 和应力 $\sigma_1=N_1/A$ 及应变 $\epsilon_1=\sigma_1/E$,在第二种荷载作用下产生内力 N_2 ,而产生的应力应该是 $\sigma_2=N_2/(A-\Delta A)$,式中 ΔA 是第一种荷载作用时,构件伸长后使截面有一定的缩小。这是一个非线性问题,计算相当复杂。但由于钢材的弹性模量 E 很大, ΔA 很小,所以可忽略不计,以简化计算,因此,在弹性工作阶段结构或构件受有几种荷载作用时,可以分别计算,予以叠加得总内力和应力。分别计算时,认为构件的截面不变,这就是结构设计中常用的应力叠加原理。

3. 可焊性的概念

焊接技术的发明和应用,对钢结构来说是一种革命性的变化。用焊接代替了原有铆钉连接和螺栓连接,既简化和加速了钢结构的制作,又节约了钢材(截面无削弱)。

但焊接对钢材的材质有一定的要求,主要是钢材中的化学成分和一些金相构造。当钢材材质和构造不合适时,焊接时就会出现焊区的裂缝,或者施焊时未裂、焊接后冷却时发生裂缝。这样的钢材就不能采用焊接。

所以,对钢材提出了可焊性的要求。要求钢材在焊接过程中和焊接后,都能保持焊接部位不开裂,保持完整性。

凡根据国家标准生产和供应的 Q235、Q345 和 Q390 钢材,都能满足可焊性要求。但对来源不明的钢材,使用时应检验其力学性能和化学成分,对重要的结构和构件,必要时,还应做焊接试验。

4. 工厂化的概念

工厂化的含义是一切构件都在工厂中制作,现场只需进行吊装工作。目的是提高成品(钢构件)的精确度和质量,加速现场施工进度。

为了达到工厂化制作的要求,还必须在设计时做到:构件的定型化,尽可能减少构件的种类;增大构件的互换性,使几种构件可以互换使用。这样使制造厂能进行批量生产,提高质量和加工速度,降低制造成本。

5. 钢材抗腐蚀和抗高温性能

这是采用钢结构时的不足之处,增加了钢结构的造价,而且还需定期进行维护。

防腐蚀可采用普通油漆到高效防锈漆,还可以喷涂锌、铝,近年来又有采用喷涂玻璃钢的办法,一直在不断地改进。最好的办法是采用耐候钢。但无论是喷涂保护层或采用耐候钢,都将会提高结构造价。

钢材在温度为 150°C 以内时,性能变化不大,所以只限于 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 的情况。如果结构表面长期受到辐射热达 150°C 以上,或在短时间内可能受到火焰作用时,应采取防护措施。例如钢厂中的平炉炼钢车间, $L=33\text{m}$ 跨的吊车梁位于平炉上方,经常受到平炉的烘烤,温度很高,因而把吊车梁用水套包住,循环冷水,以保护吊车梁不受高温的作用。

钢结构的耐火性差,为了防止火灾发生时钢结构受毁,在民用和公共建筑中,必须采取防火保护措施。根据结构破坏时造成的危害程度,确定结构的耐火等级。再根据不同的耐火等级确定涂料层的厚度。

采用混凝土或砖做防火保护层时,造价低,但所占空间大,又增加了构件的自重。采用防火涂料时,效果好,但价格高。国内已生产出各种防火涂料,性能良好。不过,目前对这些防火涂料的耐久性还没有国家标准和规定,这是应该解决的问题,国外已成功地生产出耐高温的钢材,并已在工程中采用,我国也已开展这方面的研究和生产,这是今后努力研究的方向。

二、合理应用范围

合理应用范围的含义是:根据钢结构的特点来确定其应用范围,使钢材的优点能够得到发挥。

冶金工厂的大厂房采用钢结构,主要是因为厂房中有繁重、工作制的桥式吊车,厂房结构所受的荷载很大,厂房又较高;而钢结构自重轻,承载力高且塑性和韧性又好。

大跨度体育馆的屋盖采用钢结构,主要是因为跨度大,而钢结构的自重轻、承载力又高,可以跨越很大的空间。

高耸结构主要承受风荷载和地震作用,采用钢结构既减小了自重,又较好地承受了风荷载和地震作用。

高层和超高层建筑采用钢结构,主要是因为建筑物的荷载很大,且承受风荷载和地震作用;而钢结构自重小,承载力高,施工简便,且抗震性能好。

受动力荷载作用的结构,如吊车梁,应采用塑性和韧性都好的钢吊车梁。

可拆卸和移动的结构,应该采用自重轻并用螺栓连接便于安装和拆卸的钢结构。

压力容器和管道采用钢结构是利用它的密闭性好,且能承受高压力的能力。

轻型钢结构主要用于荷载小的情况,耗钢量并不多(和钢筋混凝土结构接近),但安装方便,且能快速施工。

总的来说,钢结构适用于高、大、重型和轻型结构等四个方面。

第三节 钢结构设计方法

这是本章的重点。要求深刻理解采用应力计算公式表达的近似概率极限状态设计方法和

设计公式,理解钢结构设计中承载能力极限状态和正常使用极限状态包括的内容和意义。

一、结构可靠度设计的概念

众所周知,结构设计与实际工程之间经常存在着差距,为了保证建成后的结构安全可靠,设计时必须考虑一个安全系数。这是过去结构设计时长期形成的概念。

现在,关于结构设计中确保安全问题有了新发展,建立了“可靠性”的新概念。

结构的可靠性是指结构在规定的时间内、规定的条件下(正常设计、正常施工、正常使用和正常维护),完成使用功能的能力。可靠性包括**安全性、适用性和耐久性**。显然,现代结构设计中提出的结构可靠性更全面,它包括了安全、适用和耐久。

可靠性的量化就是可靠度指标。可靠度指标的设计标准是结构的极限状态。而可靠度指标 β 值的确定要运用概率论的方法来分析和确定各种变量。因而这种方法称为“可靠度设计法”,也可称为“概率极限状态设计法”。

那末,可靠度指标 β 如何规定? 这要根据人们长期以来使用和设计经验定出结构的可靠概率 P_r ,结构的失效概率 P_f 和可靠概率的关系是 $P_f = 1 - P_r$ 。例如,要求 10 000 个工程中,出现问题而失效的为 6.9 个,则 10 000 个工程的可靠概率为 99.931%。这样的可靠概率是人们能够接受的。

从教材图 1.10 可以中理解到,失效概率和可靠度指标有关,列入表 1.1 中。

表 1.1 β 值与 P_f 的对应关系

β	2.0	2.5	3.0	3.2	3.5	4.0
P_f	2.28×10^{-2}	6.2×10^{-3}	1.35×10^{-3}	6.9×10^{-4}	2.33×10^{-4}	3.17×10^{-5}

失效概率 $P_f = 6.7 \times 10^{-4}$ 时,对应的可靠度指标 $\beta = 3.2$ 。

我国《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)规定了钢结构的设计应满足可靠度指标 $\beta = 3.2 \pm 0.25$ 。

采用这种先进而合理的设计方法时,必须拥有各种变量的大量统计资料,才能完全应用概率论的方法进行运算,这一点目前我国还不具备条件,难以做到。同时,这种新的设计方法,目前还很难为广大设计人员所掌握。因此,目前我们采用了“近似概率极限状态法”。

二、近似概率极限状态设计法

目前采用的设计方法中,只有部分主要变量应用概率论方法进行了分析和确定,还有一些变量由于缺乏统计资料而沿用了过去的习惯应用值,因而称为近似概率极限状态设计法。

根据结构或构件能否满足预定功能的要求,来确定结构或构件的两种极限状态,必须熟悉和理解极限状态的定义、内容和计算公式。

承载能力极限状态:达此极限状态时,结构或构件达到了最大承载能力而发生破坏,或达到了不适于继续承受荷载的巨大变形。

正常使用极限状态:达此极限状态时,结构或构件虽仍保持承载力,但在正常荷载和作用下产生的变形使结构或构件已不能满足正常使用的要求。

承载能力极限状态提出了两种标准。一种是达到了最大承载能力而(真正)破坏,另一种是发生了巨大变形(并非真正破坏)。前一种如各类稳定的临界力,钢材的疲劳破坏等,属于脆性破坏;后一种如钢材达到屈服点应力而发生很大的塑性变形。

正常使用极限状态是控制结构或构件正常使用的变形,或防止发生剧烈的振动等。有的直接控制变形,如受弯构件和框架的位移;有的通过限制构件的长细比间接控制变形或振动,如杆件的容许长细比。

钢结构设计规范把概率极限状态设计法转变为等效的分项系数设计法。

首先把极限状态方程中的荷载和作用效应 S 分为永久荷载效应 G 和可变荷载效应 Q ; 然后分别引入:材料分项系数 γ_R , 永久荷载分项系数 γ_G 和可变荷载分项系数 γ_Q 。可变荷载不只一种,因此其分项系数有 $\gamma_{Q1}, \gamma_{Q2}, \dots$

γ_R 是根据材料的标准强度的随机变化,用概率方法确定的, $\gamma_R > 1$, 其倒数 $1/\gamma_R < 1$, 即考虑到材料标准强度可能遇到比规定的标准强度低的不利情况。

各种荷载的标准值都是结构或构件符合正常使用条件时的荷载值,用它们来计算正常使用极限状态的变形大小。但计算承载能力极限状态时,应考虑到各种荷载的随机变化,也要用概率方法确定各种荷载的分项系数 γ_G 和 γ_{Qi} , 即考虑到各种荷载可能出现比标准值大的不利情况。各 γ_{Qi} 值均大于 1, 只有永久荷载有可能出现小于标准值而对设计不利的情况,这时应取 $\gamma_G = 1$ 。前面已经提到过,目前采用的设计方法只能称为近似概率极限状态设计法,因为 γ_{Qi} 中还有一些荷载并未按照概率法确定。

计算承载能力极限状态时,除永久荷载外,当同时有几种可变荷载共同作用时,每种荷载都要乘上分项系数 γ_{Qi} , 说明所有的可变荷载同时出现了比标准值大的不利情况。显然,这种情况出现的概率极小,因此应乘以小于 1 的组合系数 ψ 。此外,还从结构或构件破坏时危害程度的不同,引入一个结构重要性系数 γ_0 。对另外一些特殊情况,也都从可靠性的原则出发,分别作一些修正。

经上述引入各种分项系数,把概率设计法的设计公式转变为多项系数设计公式。所得结果,相当于所设计的结构或构件的可靠度指标 $\beta = 3.2$, 变化在 ± 0.25 之间,符合国家规定。

通用设计公式为:

$$\gamma_0 (\gamma_G C_G G_K + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci} \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{Ki}) \leq f_d A \quad (1.1)$$

式中: C_G 和 C_{Qi} —— 分别是永久荷载和可变荷载的荷载效应系数,即各单位荷载作用下引起的构件或连接中的内力;

G_K 和 Q_{Ki} —— 分别是永久荷载和可变荷载的标准值;

f_d —— 钢材的强度设计值或构件的临界应力设计值;

A —— 构件截面几何因素,如:轴心受力构件的截面面积,受弯构件的截面模量等。

对于实际的排架和框架结构,很难区分产生最大荷载效应的可变荷载 Q_{1K} , 因而常用下式计算:

$$\gamma_0 (\gamma_G C_G G_K + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{Ki}) \leq f_d A \quad (1.2)$$

这时,式中的综合荷载组合系数取 $\psi = 0.85$ 。

如果把式(1.1)或式(1.2)中的构件截面几何因素 A 移到等号前面,则等号前所有荷载引起的构件内力 N (或 M , 或 V)除以几何因素 A ,即得应力,所以

$$\sigma = \frac{N(\text{或 } M, \text{或 } V)}{A} \leq f_d \quad (1.3)$$

这样就把概率设计法的极限状态公式 $Z = R - G - Q = 0$ 转变为多项系数设计公式,最后还用截面应力来表达。

这部分内容,要求深刻理解各分项系数的意义,同时会熟练地正确使用公式(1.3)。

结构或构件的正常使用极限状态要求在正常使用条件下,结构或构件的变形不超过规定值。所谓正常使用状态,就是不考虑各种荷载的可能超载,按荷载标准值计算结构或构件的变形。

计算结构或构件的变形时,分荷载的短期效应组合和长期效应组合。它们的区别在于考虑短期效应组合时,把产生最大荷载效应的可变荷载单独计算引起的变形,不参与和其他可变荷载的组合。如前所述,在框架和排架结构中,难以区分产生最大荷载效应的可变荷载,故变形计算通常按长期效应组合的公式进行。

$$v = v_{GK} + \sum_{i=1}^n \psi_{Qi} v_{QiK} \leq [v] \quad (1.4)$$

式中: v_{GK} ——永久荷载标准值引起结构或构件的变形值;

v_{QiK} ——第 i 个可变荷载标准值引起结构或构件的变形值;

ψ_{Qi} ——第 i 个可变荷载组合值系数;

$[v]$ ——结构或构件的容许变形值。

当只有一个可变荷载时,式(1.4)中不乘组合系数 ψ_{Q1} 。

对于轴心和偏心受力构件,正常使用极限状态用构件的长细比来保证:

$$\lambda \leq [\lambda]$$

式中: $[\lambda]$ 是构件的容许长细比。

第四节 钢结构的发展

教材中提出了四个方面的问题。这些只是当前的主要问题,并不是全部问题。同时,随着科学技术的发展,问题会发生变化,还会出现新的问题。

这里应该强调的是组合结构的发展和应用。这是能够充分发挥钢材和混凝土两种材料的优点,又能弥补各自弱点的一种新型结构。工程实践也已证明,在一些工程中应用这种新结构,将胜过钢筋混凝土结构和钢结构。因而发展前途广阔,应给予足够的重视。

第二章 结构钢材及其性能

钢结构是由钢材构成的,但钢材的品种很多,不是任何钢材都适于制做建筑钢结构的;不同的钢材品种有不同的用途。那么,什么样的钢材才能用于建筑钢结构呢?

适用于建筑钢结构的钢材只能是碳素结构钢和低合金高强度结构钢中的一部分钢种,它们都属含碳量较少($\leq 0.22\%$)的低碳钢。因为它们主要适用于建筑钢结构,因而通常又称为建筑钢材。包括 Q235 钢、Q345 钢和 Q390 钢等三种。

这些钢材为什么适合于制造建筑钢结构呢?这是由它们的性能决定的。本章的中心内容就是介绍这些钢材的工作性能,目的是使学习者在深刻理解它们的工作性能的基础上,能正确地使用它,充分地发挥其作用。因为,即使是好材料,如使用不恰当,也会发生意外破坏的严重后果。这是从事钢结构的设计工作者必须牢牢记住的重要点。

第一节 结构钢材一次拉伸时的力学性能

一、标准试件(GB 228—63)

为了获得某种材料的工作性能,必须按照国标的规定,采用统一的尺寸和要求制成标准试件,进行试验。例如,混凝土测定抗压强度的标准试件是 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 的立方试块,钢材测定抗拉强度和伸长率的标准试件如教材图 2.1 所示。因为试件的尺寸和加工不同,试验结果就不同。采用标准试件进行试验获得的工作性能,能很好地代表制成结构后,结构中所用材料的性能。

二、一次拉伸时的工作性能

图 2.1 示低碳钢标准试件一次拉伸时的 σ - ϵ 关系曲线,此关系曲线在建筑材料和有关力学课程中已经学过多次。这部分内容是本章的重点,学习时应重视以下几方面。

1. 通过标准试件的拉伸试验,由 σ - ϵ 关系曲线可确定四项力学性能指标,即屈服点 f_y 、抗拉强度 f_u 、伸长率 δ_5 (δ_{10}) 和弹性模量 E 。它们是钢材的静力学性能指标。国标对各种钢材都有明确的规定。设计时按规定采用,购买钢材时应带有力学性能指标的说明,作为设计依据。缺乏证明者,应取样制成标准试件进行试验,合格后才能使用。这是确保结构安全可靠的必须保证。

2. 根据拉伸曲线确定强度设计标准

图 2.2 示混凝土立方试块受压时的 σ - ϵ 关系,和结构钢标准试件的拉伸曲线 σ - ϵ 关系(图 2.1)相比,二者无论是工作性能和破坏状态,都完全不同。结构钢的工作历经弹性、弹塑性、塑

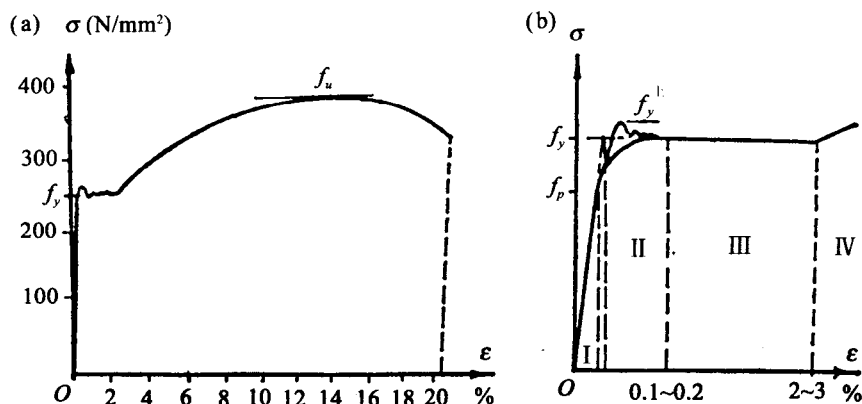


图 2.1 建筑钢材标准拉伸图

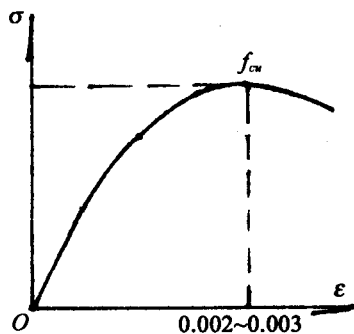


图 2.2 混凝土受压时 σ - ϵ 关系

性(屈服)和强化四个阶段,屈服时的应变约为 0.001,塑性阶段终了时,应变为 0.02~0.03,然后又恢复一定的弹性,直到应力达到抗拉强度而破坏时,最大应变可达 0.2 以上。对于混凝土来说,工作只有弹性、弹塑性到破坏,破坏时的最大应变只有 0.002~0.003。显然,混凝土破坏时,变形很微小,未经察觉就突然破坏,表现出突然性,这种破坏称为“脆性破坏”。而结构钢材的破坏却经历了约 20%以上的变形,才发生断裂破坏。这种破坏称为“塑性破坏”。破坏时产生这样大的变形,从使用角度来说,也是不容许的。

根据 GBJ68-84 建筑结构设计统一标准中对结构或构件承载力极限状态的规定:“结构或构件达此极限状态时,达到了最大承载力而发生破坏,或达到了不适于继续承受荷载的巨大变形。”这里提出了两个标准,第一个极限状态标准是“达到了最大承载能力”,是针对脆性破坏的情况,如混凝土受压、钢柱的稳定等;第二个极限状态标准是“达到了不适于继续承受荷载的巨大变形”,是针对塑性破坏的情况,如钢拉杆和钢压杆的强度破坏。据此,结构钢材的强度设计标准是屈服点 f_y ,并不采用承载力更大的抗拉强度 f_u ,只是把抗拉强度当作钢材的后备强度。

3. 理想弹性-塑性体假设

既然结构钢材以屈服点为强度设计标准,钢材屈服后应变可发展到 2%~3%,因此,在进行有关强度方面的力学分析时,为了分析简便,可以忽略弹塑性阶段,采用理想弹性-塑性体的假定(图 2.3)。

这一假定是钢结构内力分析中的一个基本假定,是塑性力学的基础,应用十分普遍。但应注意,理想弹性-塑性体的假定只能用于强度计算。

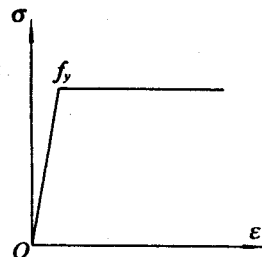


图 2.3 理想弹性塑性体

第二节 结构钢材的力学性能指标

一、结构钢材的静力力学性能指标

一共有六个指标,它们是:屈服点 f_y , 伸长率 δ_s , 抗拉强度 f_u , 弹性模量 E , 180°冷弯和 Z 向收缩率。

1. 屈服点 f_y 试验证明,结构钢材受压时的屈服点和受拉时的相同,受弯时拉、压区的屈服点也相同,因而无论受拉、受压和受弯时,强度设计值都一样。

以屈服点为结构钢材静力强度承载力设计标准的依据是:变形相当大,已达到了不适于继续承受荷载的程度(可达 2%~3%);屈服以后,还有 60% 以上的后备强度,十分安全可靠。

由于钢材的质量和钢材的厚度有关,因此钢材按厚度大小分组,厚度越大,质量越差,屈服点也就越低。设计时应根据钢材的厚度采用不同的强度设计值。不过钢材厚度对抗拉强度 f_u 基本无影响。

2. 伸长率 δ_s 伸长率是钢材拉断后的最大伸长率,反映钢材在静力荷载作用下的塑性好坏。它也 and 钢材的厚度有关。

下表列出国标规定的 f_y 、 f_u 和 δ_s 值。

表 2.1

国标规定的 f_y 、 f_u 和 δ_s 值

国 标	牌 号	f_y (N/mm ²) 不小于				f_u N/mm ²	δ_5 (%)			
		钢材厚度(直径) mm					钢材厚度(直径) mm			
		≤16	>16~40	>40~60	>60~100		≤16	>16~40	>40~60	>60~100
GB 700-88	Q235	235	225	215	205	375~455	26	25	24	23
国 标	牌 号	≤16	>16~35	>35~50	>50~100	f_u	δ_5 (%)			
GB/T 1591-94	Q345	345	325	295	275	470~630	21~22			
	Q390	390	370	350	330	490~650	19~20			

GB700-88 中对 Q235 钢按厚度分六组,这里只列出四组。

3. 抗拉强度 f_u 钢材的抗拉强度是钢结构的强度储备,但不能过高也不能过低,合适的强屈比 f_u/f_y 是 1.6~1.9,或强屈比 f_y/f_{cu} 为 0.6 左右。

4. 弹性模量 E 我们在进行结构设计时,经常按照几种不同的荷载分别计算构件的内(应)力或变形,然后把分别得到的计算结果叠加在一起,就成为这一构件在这几种荷载同时作用下,构件的最终内(应)力或变形。这就是前面已经提到的叠加原则。

这样计算所得到的结果和构件的真实内(应)力或变形是有出入的。因为在第一种荷载作用后,构件截面因受力而变小或变大了,计算以后的荷载应采用变化后的截面才正确。为什么可以不考虑构件截面的变化,而采用分别计算然后叠加起来呢?这是因为钢材的弹性模量很