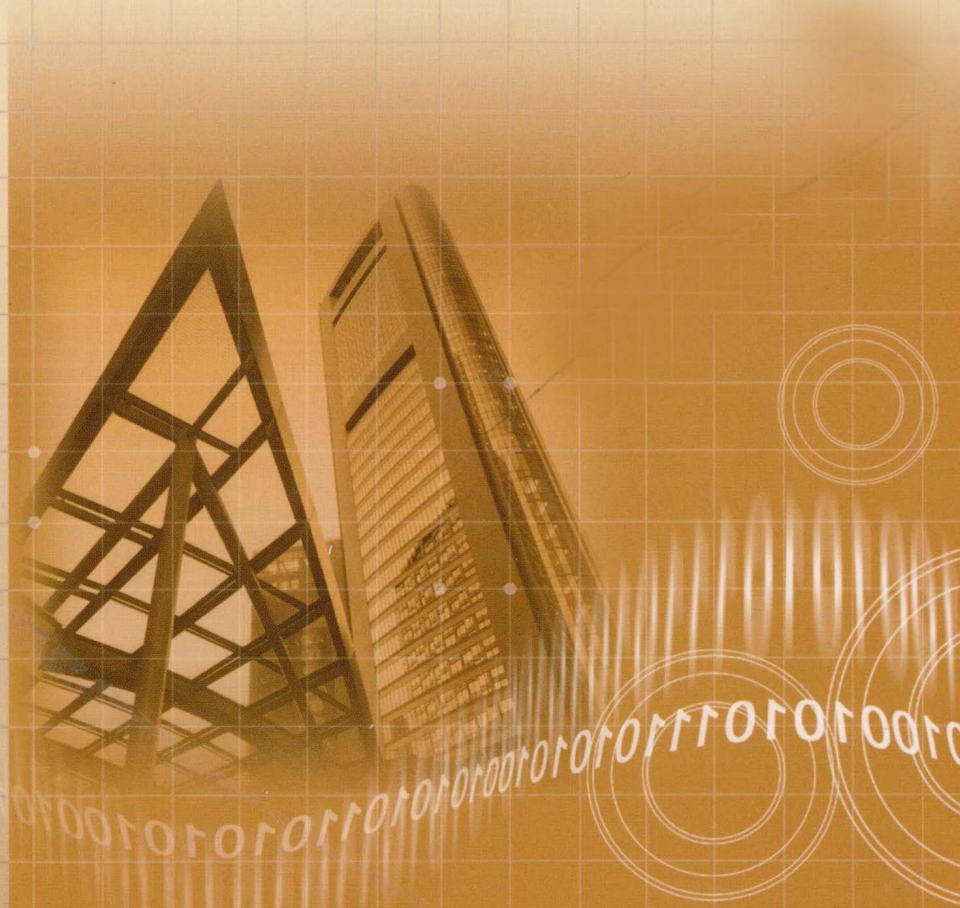


普通高等学校土建类“十二五”应用型规划教材

GANGJIEGOU JIBEN YUANLI

钢结构基本原理

傅菊根 张春玉 主编



黄河水利出版社

普通高等学校土建类“十二五”应用型规划教材

钢结构基本原理

主 编 傅菊根 张春玉
副主编 王新武 赵 超

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书主要依据国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写。全书共分七章,基本内容包括绪论、钢结构的材料、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件设计、拉弯压弯构件和钢结构最新技术。

本书可以作为高等学校土木工程专业的教材,也可作为钢结构设计、施工、科研及管理人士的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构基本原理/傅菊根,张春玉主编. —郑州:黄河水利出版社,2010.11

普通高等学校土建类“十二五”应用型规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 929 - 7

I. ①钢… II. ①傅… ②张… III. ①钢结构 - 高等学校 - 教材 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 218377 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371 - 66024331 E-mail:hongliang0013@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19.5

字数:450 千字

印数:1—4 100

版次:2011 年 1 月第 1 版

印次:2011 年 1 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

本书是按照高等学校土木工程专业指导委员会编制的《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》(修正稿)中的钢结构基本原理课程教学大纲的要求组织编写的,可作为土木工程专业教学用书,也可用于土建工程技术人员继续教育教材。

本书根据土木工程专业所确定的培养目标和基本要求,重在应用,加强针对性,突出实用性、先进性和地区性,理论部分概念清晰、简明扼要,突出并充实钢结构构造及工程应用等实用性内容,注意从工程的角度加深对钢结构基本原理的理解。

全书共分七章,主要内容有钢结构的材料、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件设计、拉弯和压弯构件、钢结构最新技术等。为了便于教学使用,本书各章除给出相应的例题外,还在各章后列出了反映相应重点概念和计算方法的思考题与习题。

本书由黄河水利出版社组织有多年丰富教学经验的教师编写,由傅菊根担任第一主编并统稿,张春玉担任第二主编,王新武、赵超担任副主编。各章编写分工如下:第一章及附录由傅菊根编写,第二章由凌利改编写,第三章由赵超编写,第四章由张春玉编写,第五章由牛海成编写,第六章由张春丽编写,第七章由王新武编写。

本书编写过程中参考了国内同行的著作、教材和论文资料,谨向这些文献的作者表示深深的谢意。由于编者水平有限,书中难免存在不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年10月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 钢结构的特点和应用	(1)
第二节 钢结构设计要求与设计方法	(3)
第三节 钢结构的发展方向	(6)
第四节 本课程的主要内容、特点和学习方法	(8)
思考题	(9)
第二章 钢结构的材料	(10)
第一节 钢结构对材料的要求	(10)
第二节 钢材的塑性破坏和脆性破坏	(10)
第三节 钢材的主要性能	(11)
第四节 影响钢材性能的因素	(15)
第五节 钢材的疲劳	(25)
第六节 钢材的种类和规格	(30)
思考题	(35)
第三章 钢结构的连接	(36)
第一节 钢结构的连接方法和特点	(36)
第二节 焊缝连接的形式和焊缝的质量检验	(38)
第三节 对接焊缝的构造要求和计算	(41)
第四节 角焊缝的构造和计算	(45)
第五节 焊接残余应力和焊接变形	(59)
第六节 普通螺栓连接设计	(64)
第七节 高强度螺栓连接设计	(77)
习 题	(83)
第四章 轴心受力构件	(87)
第一节 轴心受力构件的应用	(87)
第二节 轴心受力构件的强度和刚度	(88)
第三节 轴心受压构件的整体稳定	(92)
第四节 轴心受压构件的局部稳定	(104)
第五节 实腹式轴心受压构件的设计	(107)
第六节 格构式轴心受压构件的设计	(119)
习 题	(132)

第五章 受弯构件设计	(134)
第一节 概 述	(134)
第二节 梁的强度和刚度	(137)
第三节 梁的扭旋	(143)
第四节 梁的整体稳定	(145)
第五节 梁的局部稳定和加劲肋布置	(153)
第六节 梁腹板的屈曲后强度	(164)
第七节 梁截面设计	(168)
第八节 梁的构造设计	(175)
习 题	(184)
第六章 拉弯压弯构件	(186)
第一节 概 述	(186)
第二节 拉弯压弯构件的强度和刚度	(187)
第三节 实腹式压弯构件的稳定	(189)
第四节 实腹式压弯构件的设计	(197)
第五节 格构式压弯构件	(205)
第六节 框架梁与柱的连接、柱的拼接	(209)
习 题	(215)
第七章 钢结构最新技术	(219)
第一节 钢结构体系的发展	(219)
第二节 预应力钢结构	(247)
第三节 建筑钢结构施工新技术	(254)
附 录	(263)
附录 1 钢材和连接的强度设计值	(263)
附录 2 受弯构件的容许挠度	(266)
附录 3 截面塑性发展系数	(267)
附录 4 轴心受压构件的稳定系数	(268)
附录 5 柱的计算长度系数	(272)
附录 6 疲劳计算的构件和连接分类	(276)
附录 7 型钢表	(279)
附录 8 螺栓和锚栓的规格	(300)
附录 9 各种截面回转半径的近似值	(301)
参考文献	(303)

第一章 绪 论

第一节 钢结构的特点和应用

一、钢结构的特点

钢结构是以钢材(钢板和型钢等)为主制作的结构,与其他材料的结构相比,钢结构具有如下特点。

(一) 强度高,自重轻

钢比混凝土、砌体和木材的强度及弹性模量要高出很多倍,因此钢结构的自重常较轻。例如,在跨度和荷载都相同时,普通钢屋架的质量只有钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$,若采用冷弯薄壁型钢屋架,则只有钢筋混凝土屋架的 $1/10$ 左右,轻得更多。因为自重小、刚度大,钢结构特别适宜于建造大跨度和超高、超重型的建筑物。由于质量轻,钢结构也便于运输和吊装,且可减轻下部结构和基础的负担,降低造价。

(二) 材质均匀

钢材的内部组织均匀,非常接近于各向同性体,且在一定的应力范围内属于理想弹性工作,符合工程力学所采用的基本假定,因此可根据力学理论对钢结构进行计算,且计算结果准确、可靠。

(三) 塑性、韧性好

钢材的塑性好,钢结构破坏前一般会产生显著的变形,易于被发现,可及时采取补救措施,避免重大事故发生。钢材的韧性好,钢结构对动力荷载的适应性强,具有良好的吸能能力,抗震性能优越。

(四) 工业化程度高

钢结构构件在机械化程度高的工厂制成,能成批大量生产,生产效率高,速度快,成品精确度较高,质量易于保证,是工程结构中工业化程度最高的一种结构。采用工厂制造、工地安装的施工方法,可缩短建设周期、降低造价、提高经济效益。

(五) 建筑钢材具有可焊性

建筑钢材具有可焊性,使钢结构的连接大为简化,可满足制造各种复杂结构形状的需要。但焊接时产生很高的温度,温度分布很不均匀,结构各部位的冷却速度也不同,因此不但在高温区(焊缝附近)材料性质有变差的可能,而且会产生较高的焊接残余应力,使结构中的应力状态复杂化。

(六) 密闭性好

焊接的钢结构可以做到完全密闭,因此适宜于建造要求气密性和水密性好的气罐、油罐、管道和高压容器。

(七) 耐热性较好, 耐火性差

当辐射热温度低于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 即使长期作用, 钢材的主要性能变化也很小, 其屈服点和弹性模量均降低不多, 因此其耐热性能较好。但当温度超过 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 其材质变化较大, 当结构表面长期受辐射热达 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上或在短时间内可能受到火焰作用时, 须采用隔热和防火措施(涂装防火涂料等)。

(八) 耐腐蚀性差

一般钢材较易锈蚀, 特别是在湿度大和有侵蚀性介质的环境中更甚, 因此须采用除锈、刷油漆等防护措施, 而且须定期维修, 需要一定的维护费用。

二、钢结构的应用

应根据钢结构的特点, 注意扬长避短, 合理使用钢结构。在工业与民用工程中, 钢结构的主要应用范围如下。

(一) 大跨度结构

结构的跨度越大, 结构自重在全荷载中所占比重也就越大, 减轻自重可获得明显的经济效益。对于大跨度结构, 钢结构质量轻的优点显得特别突出。

由于钢结构强度高而质量轻, 可以跨越很大的跨度, 特别适合大跨桥梁和大跨建筑结构。如: 2009 年我国入选世界十年十大建筑的国家体育场可容纳 9.1 万人, 建筑顶面呈鞍形, 长轴为 332.3 m , 短轴为 296.4 m , 钢结构最大跨度达到 343 m ; 世界第一跨度钢结构斜拱——南京奥林匹克体育中心主体育场钢结构斜拱, 总跨度 361.582 m ; 国家大剧院、浦东国际机场、广州国际会展中心等大跨度结构, 都充分展示了钢结构在大跨度结构中的独特优势。

(二) 重型工业厂房结构

重型机器制造工业、冶金工业及大型动力设备制造工业等重工业企业的厂房大都属于重型厂房, 厂房中的重级或中级工作制吊车均达到 100 t 以上, 所以这些车间的主要承重骨架常全部和部分采用钢结构。此外, 对于有强烈辐射的车间也经常采用钢结构。

(三) 受动力荷载作用的结构

由于钢材具有良好的韧性, 对于具有较大锻锤或动力设备的厂房常采用钢结构。此外, 对于抗震性能要求高的结构也常采用钢结构。

(四) 可拆卸的移动结构

钢结构不仅质量轻, 便于搬迁, 而且可以采用螺栓连接, 非常便于装配和拆卸。对于展览馆和活动屋来说, 采用钢结构制作最适宜搬迁。

(五) 高耸结构和高层建筑

高耸结构包括塔架及桅杆等结构, 如广播、电视发射塔架和高压输电线路等。高耸结构主要承受风荷载, 由于钢结构的构件截面面积小, 从而大大减小风荷载, 因而能够取得更大的经济效益。当高层建筑的层数和高度均较大时, 应采用钢结构。

(六) 轻型钢结构

钢结构对于跨度比较小的结构也有一定的优势, 因为在这类结构中, 结构的自重是一个很重要的因素。采用轻屋面的轻钢屋结构与钢筋混凝土相比, 在用钢指标接近的情况

下,结构自重可以减轻 70% ~ 80%,用钢量相比普通钢结构会降低 25% ~ 50%,整体自重减少 20% ~ 50%。

(七) 容器及其他构筑物

对于冶金、化工、石油企业中的油罐、高炉、热风炉等,常广泛采用密封和耐高压性能好的钢板焊成的容器。另外,对于通廊栈桥、管道支架、钻井及海上采油平台等其他构筑物,也常采用钢结构。

第二节 钢结构设计要求与设计方法

一、钢结构设计要求

钢结构设计时应满足下列要求:

(1) 钢结构及其构件应安全可靠,即能安全地承受预期的各种有关荷载,因而必须具有足够的承载能力和稳定性。钢构件一般壁薄且细长,稳定问题特别突出。

(2) 要满足使用要求和耐久性。使用要求包括变形和振幅的限制,耐久性主要应注意抗腐蚀和防火。

(3) 要满足经济要求。最优的设计除安全适用外,还应做到成本最低、质量最轻、制作和安装劳动力最省、工期最短、维护最方便。

为了实现上述设计要求,应掌握各种荷载的特性和量值及它们应有的组合,具备合理选择钢材和连接的能力,能选用最优的结构方案和最先进的设计方法,使钢结构设计做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。此外,还要总结、创新和推广先进的制造工艺与安装技术,任何脱离施工的设计都是不成功的设计。

二、钢结构设计方法

钢结构目前有两种设计方法,即容许应力设计法和极限状态设计法。

(一) 容许应力设计法

容许应力设计法是一种传统的设计方法,这种方法是把影响结构的各种因素都当做定值,将材料可以使用的最大强度除以一个笼统的安全系数作为容许达到的最大应力,即容许应力。其表达式为

$$\sigma \leq \frac{f_y}{K} = [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 f_y ——钢材的屈服强度;

K ——安全系数。

这种方法的优点是表达简洁、计算比较简单,曾长期被采用。但容许应力设计法的缺点是笼统地采用了一个安全系数,使各构件的安全度各不相同,从而使整个结构的安全度一般取决于安全度最小的构件。

容许应力设计法目前还被许多国家采用。我国的铁路和桥梁规范也采用这种方法。建筑钢结构中不能按极限平衡或弹塑性分析的结构也仍然采用该方法,如对钢构件或连

接处的疲劳强度计算。

(二) 极限状态设计法

1. 极限状态

极限状态方法是将影响结构可靠性的各种参数作为随机变量,用概率论和数理统计方法进行分析,采用可靠度理论,求出结构在使用期间应满足要求的概率。

结构的极限状态是指整个结构或结构的某一部分达到某一特定状态,超过此特定状态就不能满足设计规定的某一功能的要求。结构的极限状态可以分为以下两类。

1) 承载能力极限状态

承载能力极限状态对应于结构或构件达到最大承载力或出现不适于继续承载的变形,包括倾覆、强度破坏、疲劳破坏、丧失稳定、结构变为机动体系或出现过度的塑性变形。由于钢结构构件的材料强度高而截面面积小,故稳定的问题非常突出。压杆的截面尺寸一般由稳定要求而非强度来确定,不仅构件可能失稳,而且整体结构和组成构件的板件也可能失稳,不过,板件的局部失稳并不总是达到承载能力极限状态。

2) 正常使用的极限状态

正常使用的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,包括出现影响正常使用或影响外观的变形,出现影响正常使用的振动及影响正常使用或耐久件的局部破坏。

2. 结构的极限状态方程

结构必须满足设计规定的各项功能。这些功能可用功能函数描述:若结构设计时需要考虑的影响结构可靠性的随机变量有 n 个,即 $x_1, x_2, \dots, x_n$,则通常可建立函数关系

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-2)$$

此函数称为功能函数。

在简单的设计场合,仅以结构抗力 R 和作用效应 S 两个基本随机变量来表达功能函数:

$$Z = R - S \quad (1-3)$$

式中 R ——结构抗力,指结构或构件承受内力和变形的能力,如构件的承载能力、刚度等,结构抗力是结构或构件的材料性能、几何参数和计算模式的函数;

S ——作用效应,指结构上的作用引起的结构或其构件的内力和变形,如弯矩、剪力、轴力、扭矩和应力及挠度、转角与应变等,当作用为荷载时,其效应称为荷载效应。

由于影响结构抗力 R 和作用效应 S 的各种因素都是独立的随机变量,所以结构抗力和作用效应也是随机变量。结构或构件的极限状态可以用功能函数 $Z = R - S$ 来描述:

当 $Z < 0$, 即 $R < S$ 时,结构或构件处于失效状态;

当 $Z > 0$, 即 $R > S$ 时,结构或构件处于可靠状态;

当 $Z = 0$, 即 $R = S$ 时,结构或构件处于极限状态。

3. 概率极限状态设计法

1) 失效率与可靠度

结构或构件的失效率可以用下列公式表示

$$P_f = P \quad (Z = R - S < 0) \quad (1-4)$$

只要使通过上式计算出的结构或构件的失效率 P_f 小到人们可以接受的程度,就可以认为结构设计是可靠的。

直接应用结构可靠度或失效率的方法进行计算比较复杂,目前各个国家在确定可靠性指标时都采用校准法,通过对原有的规范作反演,找出隐含在现有工程中相应的可靠性指标值。对钢结构各类主要构件校准的结果,可靠性指标 β 一般为 3.16~3.62。

《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—1984)规定的可靠性指标见表 1-1。

表 1-1 可靠性指标 β 和相应的失效率 P_f

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
塑性破坏	3.7 (1.08×10^{-4})	3.2 (6.87×10^{-4})	2.7 (3.47×10^{-3})
脆性破坏	4.2 (1.34×10^{-5})	3.7 (1.08×10^{-4})	3.2 (6.87×10^{-4})

注:表中括号外数字是可靠性指标 β ,括号内数字是相应的失效率 P_f 。

钢结构连接的承载能力极限状态经常是强度破坏,可靠性指标比构件高,推荐取 4.5。

2) 概率极限状态法设计表达式

为应用方便并符合人们长期以来的习惯,规范给出了以概率极限状态为基础的实用设计表达式。

(1) 承载能力极限状态表达式。

对承载能力极限状态,应考虑荷载效应的基本组合和在偶然情况下荷载效应的必要组合。钢结构设计用应力表达,采用钢材强度设计值,按荷载效应的基本组合进行,强度和稳定设计时,有如下极限状态表达式。

① 可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{Gk} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci} \gamma_{Qi} \sigma_{Qik}) \leq f_y / \gamma_R = f \quad (1-5a)$$

② 永久荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{Ci} \gamma_{Qi} \sigma_{Qik}) \leq f_y / \gamma_R = f \quad (1-5b)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,当安全等级为一、二、三级时分别取 1.1、1.0、0.9;

γ_G ——永久荷载分项系数,对式(1-5a)一般取 1.2,对式(1-5b)一般取 1.35,当荷载效应对结构有利时,取 1.0,对抗倾覆和滑移有利时取 0.9;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——第 1 个和第 i 个可变荷载的分项系数,一般情况下取 1.4,当楼面活荷载大于 4 kN/m^2 时取 1.3;

σ_{Q1k} 、 σ_{Qik} ——第 1 个和第 i 个可变荷载标准值计算的可变荷载效应值;

σ_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的永久荷载效应值;

ψ_{Ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数,一般情况下,当无风荷载参与组合时取 1.0,有风荷载参与组合时取 0.6;

γ_R ——结构抗力分项系数。

(2) 正常使用极限状态设计表达式。

对正常使用极限状态, 钢结构或构件仅考虑荷载效应标准组合, 其表达式为

$$v_{Gk} + v_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci} v_{Qik} \leq [v] \quad (1-6)$$

式中 v_{Gk} ——永久荷载的标准值在结构或构件中产生的变形值;

v_{Q1k} ——起控制作用的第 1 个可变荷载的标准值在结构或构件中产生的变形值(该值使计算结果为最大);

v_{Qik} ——其他第 i 个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

$[v]$ ——结构或构件的容许变形值。

对于轴心受力和偏心受力构件, 正常使用极限状态用构件的长细比 λ 来保证, 以免构件过细、易于弯曲和颤动, 对构件和连接的工作不利。验算公式为

$$\lambda = l_0 / i \leq [\lambda] \quad (1-7)$$

式中 $[\lambda]$ ——构件的容许长细比, 按规范规定采用;

l_0 ——构件的计算长度;

i ——构件的截面回转半径, $i = \sqrt{I/A}$, I 和 A 分别是截面惯性矩和截面面积。

第三节 钢结构的发展方向

随着我国现代化建设的加速发展和钢产量的持续增加, 钢结构的应用将有很大发展, 钢结构工程的科学技术水平也应该迅速提高。为此, 要在下列几个方面做好工作。

一、高效能钢材的研制和应用

高效能钢材的含义包括两个方面: 一是研制出强度较高而性能又好的钢材; 二是采用各种有效措施(如改进截面形式等), 提高钢材的有效承载力, 更好地发挥钢材的使用效果, 从而节约钢材。

我国目前已较普遍采用 Q345 钢, 北京首都体育馆的网架、上海电视塔的塔柱钢管就采用了这种材料。由于 Q345 钢强度高(屈服强度为 345 MPa), 可节约大量钢材。近几年, 一些强度更高的钢材也相继在工程中使用, 如中央电视台主楼钢结构使用了 Q390、Q420 等钢材, 国家体育馆使用的钢材为 Q460 钢材。但与国外高强度钢材相比, 当前仍然有较大的差距。如美国和苏联在 1969 年和 1975 年就已先后采用屈服点为 700 N/mm² 和 750 N/mm² 的钢材。如何开发研制高强度钢并合理应用是一个重要课题。

普通钢材的耐腐蚀性差, 需要油漆防腐, 这是钢结构尤其是薄壁钢结构的弱点。近年来, 国外研制出一种耐腐蚀钢, 价格虽比普通钢材高 20% ~ 40%, 但抗腐蚀性强, 不需油漆保护。日本和美国都已将其大量用于沿海工程中。我国也已研制并生产出耐腐蚀钢, 用于铁路货车车厢, 使车厢由过去 5 ~ 7 年需更换的大修期延长到 12 年以上, 节约了大量钢材。今后在提高钢材强度、增强抗腐蚀性方面, 应继续开展研制工作, 并将它用于建筑钢结构。

另外, 宽翼缘工字型钢(或称 H 型钢)、方钢管、压型钢板、冷弯薄壁型钢等都能较好

地发挥钢材的效能,得到较好的经济效果,有着广阔的发展前景。

二、计算理论的研究和完善

现在已广泛应用新的计算技术和测试技术,对结构和构件进行深入计算与测试,为了解结构和构件的实际性能提供了有利条件。计算和测试手段越先进,就越能反映结构和构件的实际工作情况,从而合理使用材料,发挥其经济效益,并保证结构的安全。

我国现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)采用了以概率论为基础的极限状态设计法,这是通过大量理论研究和试验分析取得的成果。从合理和经济的角度出发,采用以概率为基础的极限状态设计方法是先进的设计方法,但目前还属于近似概率设计法,应向采用更为先进合理的全概率极限状态设计法的方向努力。

稳定是钢结构设计中的突出问题,自从欧拉提出轴心受压柱的弹性稳定临界力的计算公式以来,已有 200 多年。在此期间,很多学者对各类构件都做了不少理论分析和试验研究,也取得了很多成果,但仍存在不少问题尚未解决或未很好解决,如压弯构件的弯扭屈曲、薄板屈曲后强度、各种刚架体系的稳定及空间结构的稳定等,所有这些问题需要进一步研究和完善。

三、结构形式的创新和应用

新的结构形式有薄壁型钢结构、悬索结构、悬挂结构、网架结构和预应力钢结构等。这些结构形式适用于轻型结构、大跨屋盖结构、高层建筑和高耸结构等,对减少耗钢量有重要意义。

钢和混凝土组合构件的应用是一个重要的发展方向。钢材抗拉和抗压的强度相同,但受压构件取决于稳定承载力,致使钢材强度得不到充分发挥,混凝土则只能抗压。如果把钢和混凝土组合起来,形成钢-混凝土组合结构,则可充分发挥两种材料的长处,又互相弥补对方的缺点,形成一种新的结构,如组合梁、钢管混凝土柱、型钢混凝土梁和型钢混凝土柱等(见图 1-1)。

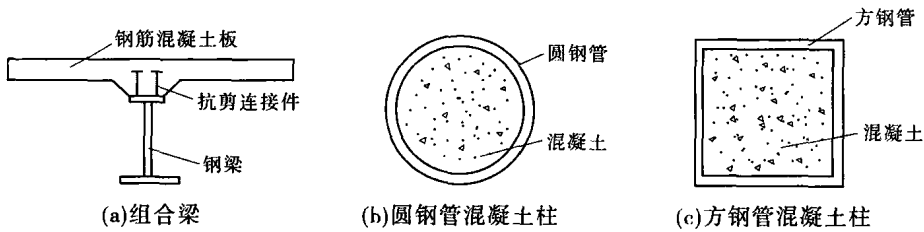


图 1-1 组合梁和柱

由钢筋混凝土板作为受压翼缘与钢梁组合可节约钢材。这种组合梁已用在高层建筑楼层中。

采用钢管里面灌混凝土作为柱或柱肢,也是组合构件的一种类型。这种构件的特点是在压力作用下,钢管和混凝土之间产生相互作用力,使混凝土在三向受压的应力状态下工作,大大提高了它的抗压强度,还改善了它的塑性,提高了抗震性能。对于薄钢管,因得到了混凝土的支持,提高了稳定性,使钢材强度得以充分发挥。这一结构已在国内推广应

用。新的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)还列入了组合结构的内容。

预应力钢结构也是一种新型结构。它的主要形式是在一般钢结构中增加一些高强度钢构件并对结构施加预应力,它的实质是以高强度钢材代替部分普通钢材,从而达到节约钢材的目的。我国从20世纪50年代就开始对预应力钢结构进行了理论和试验研究,并在一些工程中采用。

四、最优化原理的应用

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。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、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,比过去的设计标准节省钢材5%~10%。优化设计已逐步推广到塔桅结构、网架结构设计等各个方面。

五、钢结构制造和施工技术的研究

钢结构制造的工业化程度会随着新技术的发展而提高,目前,钢结构制造业已趋向机电一体化,而且施工技术正在进一步提高。

第四节 本课程的主要内容、特点和学习方法

一、钢结构基本原理课程的主要内容

钢结构基本原理课程的主要内容包括材料、连接、基本构件设计(轴心受力构件、受弯构件、压弯拉弯构件)等部分。

二、钢结构基本原理课程的特点

钢结构基本原理是全国高等教育土木工程专业的核心课程之一,是为培养学生在土木工程钢结构方面的基本理论知识和应用设计能力而设置的一门课程。

钢结构基本原理是一门理论性较强的课程,它以材料力学、结构力学和建筑材料等课程为基础。因此,在学习本课程前,应学好力学和工程材料等课程。

目前,我国正在加大基础工程建设,高层建筑钢结构、大跨度钢结构及各种轻型钢结构的发展和應用日渐广泛,更显出学习本课程的重要性。因此,从事土木建筑的工程技术人员应很好地学习和掌握这门专业课。

钢结构基本原理还是一门很有生命力的课程,随着各种高效钢材和新型结构的开发,以及计算技术和试验手段的现代化,钢结构技术在不断更新和发展,各种有关标准和规范也在不断修订充实,且钢结构设计原理的内容也在不断修订扩充。

三、钢结构基本原理课程的学习方法

对钢结构基本原理的学习首先应将基本理论和基本概念放在重要位置,要对材料合

理选用、连接计算、基本构件计算和结构设计等内容认真学习,善于归纳、分析和比较,并不断加深理解。同时,还必须联系工程实践,学习感性认识。另外,学会运用设计规范至关重要。为了贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上必要的统一化、标准化,国家制定了钢结构设计规范,对钢结构构件的设计方法和构造细节都作了具体规定。规范反映了国内外钢结构的研究成果和工程经验,是理论与实践的高度总结,体现了该学科在当前一个时期的技术水平。对于规范,特别是其规定的强制性条文,设计人员一定要遵循,并能熟练应用。因此,在本课程的学习中,要注意有关基本理论的应用最终都要落实到规范的具体规定中。本课程涉及的规范、标准主要有《建筑结构荷载规范》(GB 5009—2001)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)等。在设计和做习题时,应条理清晰、步骤分明、计量单位采用得当,以避免计算中的遗漏和失误。

思考题

1. 钢结构有哪些特点? 结合这些特点,你认为应怎样选择其合理应用范围?
2. 钢结构基本原理课程有哪些主要内容和特点?
3. 钢结构的可靠性指的是什么? 它包括哪些内容? 可靠度又是什么?
4. 结构的承载能力极限状态包括哪些计算内容? 正常使用极限状态又包括哪些内容?
5. 可靠性指标与失效率有什么关系? 钢结构的可靠性指标一般规定是多少?

第二章 钢结构的材料

第一节 钢结构对材料的要求

钢材的种类繁多、性能差别很大,适用于钢结构的钢材只是其中的一小部分,所以用做钢结构的钢材必须满足下列要求。

钢材应具有较高的强度、足够的变形能力和良好的加工性能。对于钢结构中所用到的材料,按照《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)中的要求,应用于承重结构的钢材有 Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢。选用规范中未推荐的钢材时,必须有可靠依据,以确保钢材的质量。

用做钢结构的钢材必须具有较高的抗拉强度和屈服点。钢结构设计中常把钢材应力达到屈服点作为承载能力极限状态的标志,因此其值高可以减小截面面积,从而减轻自重,节约钢材,降低造价。而抗拉强度是钢材塑性变形很大且将破坏时的强度,其值高可以增加钢结构的安全保障。

用做钢结构的钢材要求具有很好的韧性和塑性。韧性好是指结构在动荷载作用下破坏时能吸收较多的热量,降低钢材脆性破坏的概率。塑性好是指结构破坏前的变形比较明显,能减少脆性破坏的危险。所以,钢材变形能力的大小在设计中特别是采用塑性设计和考虑地震作用时更具重要意义。

加工性能包括冷、热加工和可焊性能。钢材应具有良好的加工性能,以保证其不但易于加工成各种形式的结构,而且不致因加工对强度、塑性及韧性带来较大的不利影响。

此外,根据结构的具体工作条件,在必要时还要求钢材具有适应低温和腐蚀性环境、抵抗冲击荷载及疲劳荷载作用的能力。

第二节 钢材的塑性破坏和脆性破坏

钢材有两种完全不同的破坏形式:塑性破坏和脆性破坏。钢材一般情况下是弹塑性材料,具有较高的塑性和韧性,但在特殊的条件下可以转变为脆性破坏。例如给定两个试件,一个是标准的圆棒实心试件,另一个是比标准试件粗但在中部带有小槽,两个试件的净截面面积相同。在试验机上进行标准条件下的加荷试验,其受力性能和破坏特征有明显的区别。前者表现为塑性破坏,而后者表现为脆性破坏。

这两种破坏形式的特征为:

塑性破坏——主要破坏特征是破坏前具有较大的、明显可见的塑性变形,常在钢材的表面出现明显的相互垂直交错的锈迹剥落线,而且仅在材料或结构构件中的应力达到抗拉强度后才会发生破坏。塑性破坏伴随有较长的持续时间,破坏后的断口呈纤维状,色泽

发暗。塑性破坏特征很容易及时发现并采取适当措施予以补救,破坏前的较大塑性变形能力,可以实现构件和结构小的内力重分布,使结构中原先受力不等的部分应力趋于均匀,因而提高了结构的承载能力,钢结构的塑性设计就是建立在这种足够的塑性变形能力上的。

脆性破坏——主要特征是破坏前塑性变形很小或根本没有塑性变形,危险性极大,而且突然迅速断裂,破坏时平均应力低于抗拉强度,甚至低于屈服点,断裂从应力集中处开始,破坏后的断口平直,呈有光泽的晶粒状或有人字纹。由于脆性破坏前没有任何预兆,无法及时发现,而且一旦发生,就有可能导致整个结构瞬间塌毁,极易造成人身伤亡事故和较大经济损失,所以在设计、施工和使用钢结构时,要特别注意防止脆性破坏的发生。

第三节 钢材的主要性能

一、钢材在单向拉伸时的工作性能

钢材的标准试件在常温、静载条件下一一次单向均匀拉伸试验时的荷载—变形曲线或应力—应变曲线如图 2-1 所示。其中图 2-1(a)是低碳钢和低合金钢的拉伸曲线,曲线中所表现出的钢材的性能最具有代表性,所进行的试验也比较简单,且能便于规定标准的试验方法和多项性能指标。钢材的主要强度指标和变形能力就是通过单向拉伸试验来确定的。

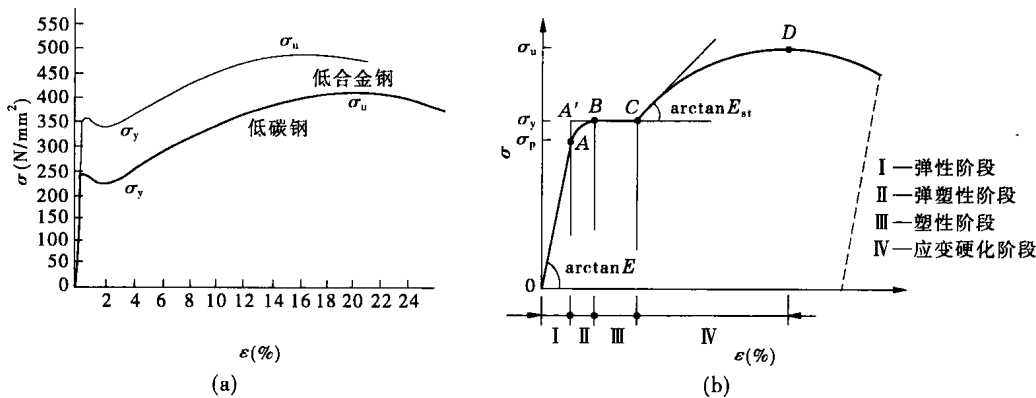


图 2-1 钢材的一次拉伸应力—应变曲线

从图 2-1 应力—应变曲线可以得到钢材的各项物理指标:

比例极限 曲线的最初阶段是直线段,直线段的最大值处用比例极限 σ_p 表示。比 σ_p 略高的还有弹性极限,直线超过 σ_p 后会出现曲线,但这两者非常接近,基本不加以区分。在这个阶段应力—应变曲线符合虎克定律,这个阶段内如果卸载,其变形能够完全恢复,所以称为弹性阶段,即图 2-1(b)中的 OA 段。

屈服点 当超过弹性阶段后,曲线进入弹塑性阶段,应变与应力不再成正比,直至屈