



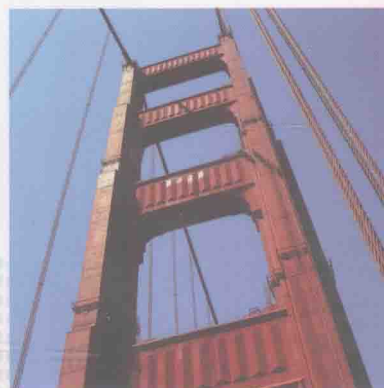
远程教育“十二五”规划教材

钢结构

GANG JIE GOU

主 编 张曰果 韩 卓 许 峰 金 路

主 审 贾连光



010101010101010101 010101010101010101
010101010101010101 010101010101010101
010101010101010101 010101010101010101
010101010101010101 010101010101010101



东北大学出版社
Northeastern University Press

远程教育“十二五”规划教材

钢 结 构

主编 张曰果 韩 卓 许 峰 金 路

主审 贾连光

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 张曰果 韩 卓 许 峰 金 路 2013

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构 / 张曰果等主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-5517-0263-8

I. ①钢… II. ①张… III. ①钢结构 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 305755 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress. com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 16.5

字 数: 422 千字

出版时间: 2013 年 1 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 潘佳宁

封面设计: 刘江旻

责任校对: 一 方

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-0263-8

定 价: 37.50 元

远程教育“十二五”规划教材建设指导委员会

主 任 姜茂发

常务副主任 卢俊杰 刘常升

委 员 (以姓氏笔画为序)

于天彪 马 明 吕文慧 孙新波

巩亚东 宋叔尼 李鸿儒 李 晶

杜宝贵 陈国秋 周成利 赵 文

徐文清 栗 志 黄卫祖 蒋 敏

总 序

2010年，党中央、国务院召开了新世纪第一次全国教育工作会议，发布了《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》。纲要中明确指出：“加快发展继续教育。更新继续教育观念，加大投入力度，加快各类学习型组织建设，基本形成全民学习、终身学习的学习型社会。”“大力发展现代远程教育……为学习者提供方便、灵活、个性化的学习条件。”指明了教育事业科学发展的方向，描绘了教育改革发展的宏伟蓝图。

2012年6月，教育部颁布《国家教育事业第十二个五年规划》，对我国未来五年继续教育体系建设做出了科学规划。强调要发挥现代信息技术在继续教育中的作用，把发展现代远程教育作为建设学习型社会的重要战略举措。

自教育部1999年3月批准现代远程教育第一批试点高校以来，全国已有68所高校开展了远程教育的试点工作。到2010年年底，远程教育在校本、专科学生数达到453万人，占当年全国继续教育人数的35%（数据来源：教育部网站）。远程教育已经成为继续教育体系中的重要组成部分。

教材是与远程学习者关系最为密切的一个要素，是资源建设的一个重要组成部分。随着试点工作的不断深入，各高校在人才培养模式、资源建设、学习支持服务等方面开展了积极的探索与实践，远程教育教材建设工作越来越为各试点高校所重视。开发建设适合远程教育学习的教材，直接影响学习者的学习成效，关系到远程教育的质量。

在十几年来远程教育试点工作经验基础上，针对远程教育的特点及学生的实际情况，我们开发了“远程教育‘十二五’规划教材”。在教材开发过程中，从教材建设指导委员会到每一位编著者，都对远程教育的现状与特点做了认真研究；教材编著者都是远程教育的课程主讲教师，熟悉远程教育教学模式，了解学生实际情况及

需求,保证了教材具有较强的先进性、针对性和实用性。

教材是远程教育资源的重要组成部分,教材建设工作是一项长期而艰巨的任务。符合远程教育实际、能够满足学生实际需求的教材,对于提高学生学习效率,构建学生自主学习环境具有重要意义。我们希望通过“远程教育‘十二五’规划教材”的建设工作,探索出一条教材建设工作的新思路、新方法,为我国远程教育事业的发展起到积极的推动作用。

(东北大学) 远程教育“十二五”规划教材建设指导委员会

2012年11月18日

目 录

1 绪 论	1
1.1 钢结构的发展现状	1
1.2 钢结构的特点及应用范围	1
1.3 钢结构的设计方法	3
1.4 钢结构的发展及展望	8
2 钢结构的材料	9
2.1 钢材单向拉伸性能	9
2.2 钢材的破坏形式	10
2.3 钢结构对钢材性能的要求	11
2.4 钢材机械性能的主要影响因素	13
2.5 钢材的疲劳	17
2.6 建筑钢材的种类及其选择	22
3 钢结构的连接	28
3.1 钢结构的连接方法	28
3.2 焊接方法和焊接连接形式	29
3.3 对接焊缝的构造和计算	35
3.4 角焊缝的构造和计算	38
3.5 焊接应力与焊接变形	51
3.6 普通螺栓连接的构造和计算	55
3.7 高强度螺栓连接的构造和计算	65
4 轴心受力构件	73
4.1 轴心受力构件的特点和截面形式	73
4.2 轴心受力构件的强度和刚度	74
4.3 轴心受压构件的整体稳定	76
4.4 轴心受压构件的局部稳定	86
4.5 实腹式轴心受压构件设计	89
4.6 格构式轴心受压构件设计	93
4.7 柱头和柱脚	99

5 受弯构件	107
5.1 受弯构件的种类和截面形式	107
5.2 受弯构件的强度和刚度	109
5.3 受弯构件的整体稳定	114
5.4 受弯构件的局部稳定	120
5.5 型钢梁的设计	131
5.6 组合梁的设计	137
5.7 梁的拼接、连接	148
6 拉弯和压弯构件	153
6.1 拉弯和压弯构件概述	153
6.2 拉弯及压弯构件的强度和刚度	154
6.3 压弯构件的整体稳定	157
6.4 实腹式压弯构件的局部稳定	166
6.5 拉弯构件设计	169
6.6 实腹式压弯构件设计	171
6.7 格构式压弯构件设计	177
6.8 梁与柱连接	181
6.9 柱 脚	183
7 普通钢结构厂房	190
7.1 单层钢结构厂房体系	190
7.2 钢结构厂房的结构分析	198
7.3 钢屋架设计	201
7.4 吊车梁设计	215
参考文献	222
附 录	223
附录1	223
附录2 受弯构件的容许挠度	225
附录3 梁的整体稳定系数	226
附录4 轴心受压构件的稳定系数	228
附录5 柱的计算长度系数	231
附录6 疲劳计算的构件和连接分类	235
附录7 型 钢 表	238
附录8 螺栓和锚栓规格	250
附录9 各种截面回转半径的近似值	251

1 绪 论

1.1 钢结构的发展现状

建筑业是我国国民经济建设中的重要产业之一,近年来,我国建筑业发展十分迅速,年房屋施工面积在 15 亿 m^2 以上。建筑钢结构在我国发展的历史虽然较短,但却具有巨大的发展潜力和理想的发展前景,钢结构越来越得到人们的认同。其中,北京奥运会、上海世博会、西部大开发以及振兴大东北等相关工程的开展,有力地推动了钢结构的发展。

钢结构现今已是发达国家主导建筑结构,被广泛应用于高层、超高层建筑,大跨度、大空间建筑,量大面广的中小型工业、商业等建筑,以及大部分的低层非居住型建筑中。

钢结构体系具有自重轻、易安装、施工快、抗震性能好、节能环保等优势。最近,在我国建筑工程领域中钢结构以其自身的优越性引起业内的关注,已经在工程中得到合理、迅速的应用。如上海的卢浦大桥,是世界上最大的钢结构拱桥,该桥主跨 550m,系杆设计长度达 758m,其长度和刚度在世界同类项目中均处于前列;万洲长江大桥为目前我国铁路大桥跨度最大的钢桥;还有上海的金茂大厦、东方明珠电视塔、北京国贸三期等超高、超大型钢结构。最近在大连兴建的高度 200m 的远洋大厦钢结构,设计、制造、安装和材料全部是由国内承担和供应的,这说明完全由我国自己来建造超高层钢结构建筑物是可以做到的。

近年来,尽管我国在建筑钢结构产业有了较大的进步,但与发达国家相比还具有较大的差距。2011 年,我国粗钢产量达到了 6.83 亿 t,但据不完全统计,钢结构用钢量仅约为 2500 万 t,这主要是由于人们对钢结构还不很熟悉,对钢结构建筑的优越性认识不够,一些工程还不能采用最优的钢结构体系,存在着转变观念的问题。此外,对于业主和设计单位,钢结构正逐步改变着传统建筑设计理念,这需要设计人员不断充实钢结构设计思维,学习先进的设计经验,突破传统结构约束,不断适应新形势的要求。

我国 2015 年建筑钢结构的发展目标是,争取建筑钢结构的用钢量达到钢材总量的 6%。由此可见,尽管目前还存在着种种不尽如人意或有待提高的方面,但钢结构的发展潜力巨大、前景广阔。

1.2 钢结构的特点及应用范围

1.2.1 钢结构的特点

钢结构是以钢材为主要承重结构材料的建筑结构体系,通常由型钢和钢板等制成的

梁、桁架、柱、板等构件组成,各部分之间用焊缝、螺栓或铆钉连接,有些钢结构还部分采用钢丝绳或钢丝束等。与其他材料的结构体系相比,钢结构有如下特点。

(1) 钢结构自重轻、强度高

一般来讲,钢结构比钢筋混凝土结构要轻 30% ~ 50%。此外,钢结构柱比钢筋混凝土柱断面小,相应增加建筑有效面积 8% 左右。因此,钢结构被广泛应用于重型厂房结构、大跨度结构、高层和超高层结构等。

(2) 钢材具有良好的塑性和韧性

塑性好:钢结构在一般条件下不会因超载而突然断裂;韧性好:钢材的吸能和耗能能力强并且有良好的延性,使得结构对动力荷载的适应性强,因此钢结构最适合建造承受动力荷载桥梁和动荷载作用频繁的厂房结构,以及在地震高发区的建筑结构。

(3) 钢材材质均匀,更接近于匀质材料

钢材的内部组织非常接近于匀质体,而且其各个方向上的物理力学性能基本相同(常用钢材的抗压和抗拉强度相同),比较接近各向同性体。钢材的这些性能与力学计算中的假定很接近,使得钢结构的实际受力情况和力学计算符合程度最好。

同时,钢材在冶炼和轧制过程中质量可以得到很好的控制,材质波动的范围比混凝土小得多。

(4) 钢材具有不渗漏性,便于做成密闭结构

钢材组织非常致密,在采用焊接连接,甚至采用铆钉或螺栓连接时,都易做到密不渗漏。因此是制造容器,特别是高压容器的良好材料。

(5) 钢结构制造简便,施工周期短,装配安装容易

钢结构的加工比较简便,采用机械操作,而且钢结构所用的材料是各种型材。钢结构一般在专业化的金属结构厂制造,所以制作精度较高。构件现场拼装,可以采用普通螺栓连接或高强度螺栓连接,然后现场吊装,施工周期短。此外,对于已建成的钢结构也很容易进行加固和改建,对于采用螺栓连接的结构还可以拆除后重复利用。

(6) 钢材耐腐蚀性差

耐腐蚀性差是钢结构的一大弱点,尤其是处于有腐蚀介质的环境中,构件必须镀锌或涂防锈油漆,且应注意在使用期间定期维护。为提高钢材的耐腐蚀性,可以采用电镀或喷镀的方法。对于一些耐腐蚀性要求较高的结构还可以采用耐候钢,其质量要求应符合现行国家标准《焊接结构用耐候钢》(GB/T 4172—2000)的规定。

(7) 钢材耐热但不耐火

钢结构的耐热性能好,但耐火性能差。随着温度的升高,钢材的强度将会降低,当周围环境的辐射温度达到 150℃ 以上时,须采用遮挡措施加以保护。钢材不耐火,若发生火灾,很可能在温度达到 500℃ 以上时结构骤然崩溃,所以重要的结构构件必须采取防火措施。钢结构的防护会使其造价提高,研究开发耐火性能好的钢材是解决这一问题的关键。

1.2.2 钢结构的应用范围

过去,由于钢材的短缺,导致钢产量不能满足国民经济各部门的需求,限制了钢结构的发展和应用。近年来,由于我国钢产量有了很大的提高,由 1949 年的十几万吨达到 2011 年的 6.83 亿 t,钢结构在土建工程中得到了很大的发展。

根据钢结构的特点以及实践经验,其合理应用范围如下。

(1) 大跨空间结构

结构的跨度越大,全部载荷中自重所占的比例就越大,减轻结构的自重可以取得明显的经济效益,由于钢结构具有“轻质高强”的特点,特别适合大跨桥梁和大跨建筑结构。例如: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 361.582m,以及国家大剧院、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。

(2) 重型工业厂房结构

重型厂房中的重级或中级工作制吊车均达到 100t 以上,甚至可达到 440t,所以这些厂房的主要承重结构构件常全部或部分采用钢结构。此外,工作中有强烈辐射的车间也经常采用钢结构。

(3) 受动力荷载作用的结构

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

(4) 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,对于流动式展览馆和活动房屋来说,采用钢结构最适宜。而大部分机械设备则必须采用钢结构。

(5) 高耸结构和高层建筑

高耸结构包括塔架以及桅杆等结构,例如: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载荷,由于钢结构的构件截面小,从而大大减小了风荷载,因而能够取得更大的经济效益。

(6) 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盖结构与钢筋混凝土相比,在钢指标接近的情况下,结构自重可以减轻 70% ~ 80%,用钢量比普通钢结构降低 25% ~ 50%,自重减少 20% ~ 50%。

(7) 容器及其他构筑物

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

1.3 钢结构的设计方法

1.3.1 钢结构设计方法的发展

钢结构设计的目的是在现有的技术基础上用最少的人力、财力消耗获得能够完成全部建筑功能要求的、足够可靠的结构。由于影响结构可靠性的荷载效应和结构构件抗力都具有不定性,所以对于结构功能的设计最好采用统计数学来处理。但限于数学的进展和人们认识的局限,长期以来,结构设计的不定性问题是用定值(确定性)方法来处理的。

容许应力设计法是定值法的一种。在 1957 年以前,我国钢结构设计一直采用传统的

容许应力设计法。其中的安全系数为定值且全部凭经验选定,因而设计的结构和不同构件的安全度不可能相等,这种设计方法具有明显的不合理性。

20 世纪 50 年代,出现了一种新的设计方法——极限状态设计法。极限状态一般分为两种:第一种是结构承载能力极限状态,主要包括:构件和连接的强度破坏,疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载,结构和构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆等;第二种是结构的正常使用极限状态。达到此极限状态时,将影响结构、构件和非结构构件正常使用或产生外观的变形、影响正常使用的振动、影响正常使用或耐久性能的局部破坏。各种承重结构都应按照上述两种极限状态进行设计。

极限状态设计法根据应用概率分析的程度可分 3 种水准,即半概率极限状态设计法、近似概率极限状态设计法和全概率极限状态设计法。

50 年代末,我国采用的极限状态设计法属于水准一,即半概率极限状态设计法。此种方法考虑荷载和材料强度的不定性,用概率方法确定它们的取值,根据经验确定分项安全系数,但仍然没有将结构可靠度与概率联系起来。

60 年代末,C. A. Cornell 等提出了一次二阶矩法,即水准二,主要引入了可靠性设计理论。可靠性包括安全性、适用性和耐久性。把影响结构或构件可靠性的各种因素都视为独立的随机变量,根据统计分析确定的失效概率来度量结构或构件的可靠性。该法既有确定的极限状态,又可给出不超过该极限状态的概率(可靠度),因而是一种较为完善的概率极限状态设计方法,把结构可靠度的研究由以经验为基础的定性分析阶段推进到以概率论和数理统计为基础的定量分析阶段。

一次二阶矩法虽然已经是一种概率设计法,但由于在分析中忽略或简化了基本变量随时间变化的关系,确定基本变量的分布时有一定的近似性,且为了简化计算而将一些复杂关系进行了线性化,所以还只能算是一种近似的概率设计法。完全的、真正的全概率法,即水准三,有待于今后继续深入和完善,还将经历一个较长的发展过程。

1.3.2 概率极限状态设计方法

结构的功能要求可用结构的功能函数来描述。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 $x_1, x_2, \dots, x_n$,则在这 n 个随机变量间通常可建立函数关系

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

即称为结构的功能函数。

为了简化起见,将各因素概括为两个综合随机变量,即结构或构件的抗力 R 和各种作用对结构或构件产生的效应 S ,功能函数可写为:

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1-2)$$

式(1-2)中, R 和 S 是正态随机变量,显然函数 Z 也是一个正态随机变量。功能函数 Z 可能出现下列 3 种情况:

$Z > 0$, 结构处于可靠状态;

$Z = 0$, 结构达到极限状态,即临界状态;

$Z < 0$, 结构处于失效状态。

按照概率极限状态设计方法,结构的可靠度定义为:结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。所说的“完成预定功能”就是对于规定的某种功能来说结构不失效,即 $Z \geq 0$ 。这样若以 P_s 表示结构的可靠度,则上述定义可表达为

$$P_s = P(Z \geq 0)$$

结构的失效概率以 P_f 表示, 则

$$P_f = P(Z < 0)$$

由于结构可靠和失效是独立事件, 因此

$$P_s + P_f = 1$$

因此, 可以用 P_s 或 P_f 来度量结构的可靠性, 习惯上常用后者。所设计的结构是否可靠是指失效概率是否小到可以接受的预定程度。

只要求得功能函数的分布, 即可计算结构的失效概率 P_f 。图 1.1 所示为 Z 的概率密度 $f_z(Z)$ 曲线, 图中的纵坐标处 $Z=0$, 结构处于极限状态; 纵坐标以左 $Z<0$, 结构处于失效状态; 纵坐标以右 $Z>0$, 结构处于可靠状态。图中阴影部分表示事件 $Z<0$ 的概率, 可用积分求得

$$P_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_z(Z) dZ \quad (1-3)$$

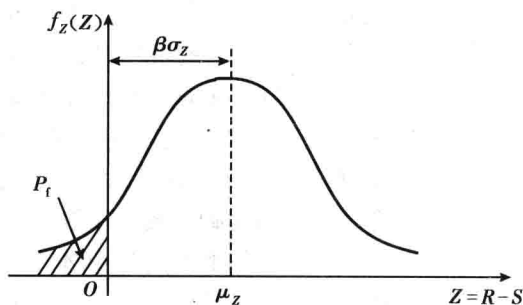


图 1.1 失效概率与可靠指标的关系

若 Z 的分布已知, 则失效概率可求。但当极限状态方程与多个随机变量有关时, 计算 P_f 比较复杂, 并且随机变量的实际概率分布曲线的数据也难以全都得到。现在, 通常采用可靠指标代替 P_f 来具体度量结构可靠性, 可通过换算由可靠指标得到失效概率。

设 R, S 为互相独立的基本变量, 且假设 R, S 均为正态分布, 则由概率理论可知, $Z = R - S$ 也必为正态分布, 其平均值和标准差为:

$$\mu_z = \mu_R - \mu_S \quad (1-4)$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (1-5)$$

在图 1.1 中, 若用 σ_z 来表示 μ_z , 可得

$$\mu_z = \beta \sigma_z \quad (1-6)$$

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-7)$$

式中, β 称为可靠指标。显然, β 与 P_f 存在着对应关系

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad (1-8)$$

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (1-9)$$

式中, $\Phi(\cdot)$ ——标准正态分布函数;

$\Phi^{-1}(\cdot)$ ——标准正态分布函数的反函数。

在正态分布时, β 与 P_f 的对应关系如表 1.1 所示。

表 1.1

可靠指标 β 与失效概率 P_f 的对应关系

可靠指标 β	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
失效概率 P_f	3.4×10^{-6}	3.17×10^{-5}	2.33×10^{-4}	1.35×10^{-3}	6.21×10^{-3}	2.28×10^{-2}	6.68×10^{-2}	1.59×10^{-1}

由式(1-7)变化, 并写成设计式

$$\mu_R \geq \mu_S + \beta \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = \mu_S + \beta \frac{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-10)$$

令

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}, \quad \alpha_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-11)$$

可得

$$\mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R \geq \mu_S + \alpha_S \beta \sigma_S \quad (1-12)$$

式(1-12)就是仅有两个基本变量的简单情况时二阶矩设计法的设计式, 该式左边为结构抗力, 右边为荷载效应(内力), 包括了基本变量 R 和 S 的平均值和标准差以及可靠指标 β 。如果规定可靠指标 β 值, 并获得有关数据, 就可用式(1-12)设计和验算结构构件截面。 R 和 S 的实际分布十分复杂; 当基本变量较多时, 其设计式将比式(1-12)复杂。

因为这种方法不考虑功能函数 Z 的全分布, 只求得一阶原点矩(即平均值)和二阶中心矩(即方差或标准差的平方), 也就是最高只考虑到二阶矩, 故称二阶矩法。当函数 Z 中的基本变量不是线性关系时, 可将其展开为泰勒级数, 仅取其一次幂项而线性化。当函数 Z 中基本变量不是正态分布(例如可变荷载的概率分布基本上都不是正态分布)时, 可将其化为当量正态来解决。所以这种方法的全称是: 考虑基本变量概率分布类型的一次二阶矩概率极限状态设计法, 简称二阶矩设计法。

这种方法对荷载效应 R 和结构构件抗力 S 的联合分布进行了考查, 综合考虑了 R 和 S 的变异性对结构可靠度的影响, 因此比半概率设计法前进了一步。但在结构可靠度分析中还存在一定的近似性, 故有时也称近似概率极限状态设计法, 简称近似概率设计法。

1.3.3 设计表达式

一次二阶矩设计法把构件的抗力(承载力)和作用效应的概率分布联系在一起, 以可靠指标作为度量结构构件安全性的尺度, 可以较合理地对各类构件的安全性作定量分析, 以达到设计要求。但是, 对于用概率极限状态设计法的表达式, 广大设计人员不熟悉也不习惯, 同时许多基本统计参数还不完善, 不能列出。《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)给出了以概率极限状态设计法为基础的实用设计表达式, 也就是分项系数设计表达式。

(1) 承载力极限状态设计表达式

采用荷载效应的基本组合进行设计时, 承载能力极限状态设计准则是: 按各种荷载设计值产生的荷载效应组合设计值 S 应不超过按材料强度设计值算得的结构构件抗力设计值 R 。当采用荷载效应的基本组合时, 设计表达式取下列各式的最不利者。

① 由可变荷载控制的组合。

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{QiK}) \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-13)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数, 对安全等级为一、二、三级的结构构件分别取 1.1, 1.0 和 0.9;

γ_G ——永久荷载分项系数, 一般情况取 1.2, 当其效应对结构有利时取 1.0, 对抗倾覆和滑移有利的可取 0.9;

γ_{Q1}, γ_{Qi} ——按第一个和其他任意第 i 个可变荷载计算的分项系数;

S_{GK} ——按永久荷载标准值 G_K 计算的永久荷载效应(内力)值;

S_{Q1K}, S_{QiK} ——按第一个和其他任意第 i 个可变荷载标准值(Q_{1K} 和 Q_{iK}) 计算的可变荷载效应(内力)值, 其中 S_{Q1K} 为诸可变荷载效应中起控制作用者;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数;

n ——参与组合的可变荷载数;

R_K ——按截面几何参数和材料强度标准值计算的结构构件抗力;

γ_R ——结构构件抗力分项系数。

② 由永久荷载效应控制的组合。

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{QiK}) \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-14)$$

为避免当永久荷载控制时, 如只按式(1-13)进行计算, 可能导致可靠性指标偏低情况的出现, 增补了式(1-14), 式中 γ_G 取 1.35。当考虑以竖向的永久荷载效应控制的组合时, 参与组合的可变荷载可仅限于竖向荷载。

对一般排架、框架结构, 也可采用下列简化的极限状态设计表达式。

① 由可变荷载控制的组合。

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K}) \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-15)$$

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{QiK}) \leq \frac{R_K}{\gamma_R} \quad (1-16)$$

② 由永久荷载控制的组合仍按式(1-14)计算。

式(1-13)和式(1-14)都表示结构荷载效应(内力)组合设计值总和不大于结构抗力设计值; 考虑到钢结构主要为单一材料制成, 并且传统上采用应力形式表达和计算, 可以将以上两式改写成应力形式表达, 得

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{GK} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-17)$$

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{GK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-18)$$

(2) 正常使用极限状态的组合表达式

对于正常使用极限状态, 按《建筑结构可靠度设计统一标准》的规定要求分别采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计, 并使变形等设计不超过相应的规定限制。

钢结构只考虑荷载的标准组合, 其设计式为

$$v_{GK} + v_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} v_{QiK} \leq [v] \quad (1-19)$$

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} ——起控制作用的第一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 个可变荷载的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。

1.4 钢结构的发展及展望

目前,钢结构市场前景广阔,且符合国家节能环保的方针政策。我国钢铁产品总量居世界第一,为大力发展钢结构提供了物质基础。钢结构在建筑工程中将会发挥独特且日益重要的作用,钢结构的应用也将引发一系列设计和施工的革命。钢结构的发展趋势主要体现在以下几个方面。

(1) 高性能钢材的发展

高性能钢材具有强度高的重要特性,从钢结构用钢品种不断更新发展的趋势来看,品种更新及强度更高的结构钢将会陆续出现。

改进钢材的耐火和耐腐蚀性能也是开发高性能钢材的一个关键点。国外非常重视研究开发耐腐蚀及耐火性能好的钢材,并大量应用于工程实践中,今后我国也应注意对这方面的研究。

(2) 结构形式的发展

钢和混凝土的组合结构是一种合理的结构形式,如钢管混凝土柱构件,它的特点是:在压应力作用下,钢管由于有混凝土的支持,提高了稳定性,从而使钢材强度得到最大发挥;混凝土受到钢管的紧箍力作用,处于三向受压的应力状态,抗压强度大大提高。作为一个整体,钢管混凝土具有很好的塑性和韧性,抗震性能也得到了提高。钢和混凝土组合结构还有许多其他形式,如压型钢板组合楼板、钢梁和钢筋混凝土组成的组合梁等。前者广泛应用于多层和高层建筑中,后者则较多地应用于桥梁结构中。

在采用了计算机分析之后,近年来网架结构得到了迅速发展。网架结构相比于平面结构来说可以节约钢材,特别是跨度较大时,经济效果更加明显。如首都体育馆、广州会展中心等工程,标志着网架结构在我国的工程实践中得到了广泛的应用。

推广高强度钢索也是促进钢结构形式改革的一个方向。它可以用作悬索桥的主要承重构件,钢索在施加一定的预应力之后,可以配合桁架、环、拱等刚性构件使用。所以对预应力钢结构的研究可以达到节约钢材和减轻结构质量的作用。

(3) 钢结构制造和施工技术的改善

钢结构制造的工业化程度随着新技术的发展而不断提高。目前,钢结构制造业已趋向机电一体化,而且施工技术也在进一步提高。

(4) 结构设计计算和检测技术不断改进

现代钢结构已广泛采用新的计算技术和检测技术,为了解结构和构件的实际工作性能提供了有利条件,为进一步保证结构的安全奠定了基础。

2 钢结构材料

2.1 钢材单向拉伸性能

钢材的单向抗拉工作性能，通常以标准试件静力拉伸试验的应力-应变曲线来表示，如图 2.1 所示。从图中可以看出，钢材的工作性能可分成如下几个阶段。

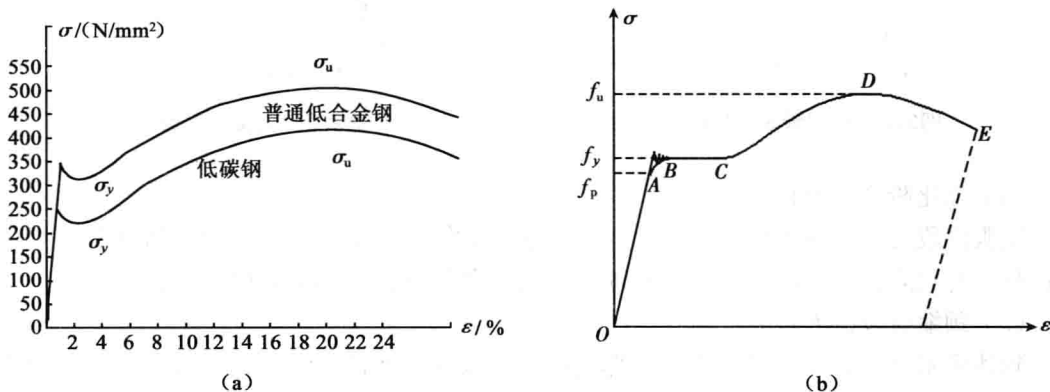


图 2.1 钢材一次拉伸应力-应变曲线

(1) 弹性阶段(OA 段)

在此阶段，钢材表现出弹性，当荷载降为零时，变形也降为零。应力-应变呈线性关系，符合胡克定律，直线的斜率为钢材的弹性模量。曲线 A 点应力称为比例极限 f_p 。Q235 钢的比例极限 $f_p \approx 200 \text{ N/mm}^2$ ，对应的应变 $\varepsilon_p \approx 0.1\%$ 。

(2) 弹塑性阶段(AB 段)

当应力超过比例极限后，应力与应变不再成正比，应变比应力增加的速度快，材料进入弹塑性阶段。应力由比例极限到屈服强度 f_y ，弹性模量逐渐降低，直到降为零。在此阶段，应力也呈锯齿形波动，应力波动的最高点和最低点分别称为上屈服点和下屈服点。上屈服点受试验条件，如加荷速度、试件形状、试件对中的准确性等的影响较大，而下屈服点较稳定，因此，一般采用下屈服点作为钢材屈服点或屈服强度 f_y 。Q235 钢的屈服点 $f_y \approx 235 \text{ N/mm}^2$ ，对应的应变 $\varepsilon_y \approx 0.15\%$ 。

(3) 塑性阶段(BC 段)

应力基本保持屈服强度不变，而应变快速增加，卸载后变形不能完全恢复，这个阶段称为屈服阶段，也叫流幅段。卸载后可恢复的变形称为弹性变形，而不能恢复的变形称为