

高等学校试用教材

钢 结 构

李继华 魏明钟

编著

夏正中 卢铁鹰

四川科学技术出版社

高等学校土建类试用教材

钢 结 构

李继华 魏明钟

编著

夏正中 卢铁鹰

江苏工业学院图书馆
藏书章

四川科学技术出版社

一九八七年二月

责任编辑：孙 特

封面设计：孙元元

钢 结 构

GANG JIE GOU

李继华 魏明钟 夏正中 卢铁鹰 编著

四川科学技术出版社出版发行

(成都市盐道街三号)

成都市前进印刷厂印刷

中国标准书号： ISBN 7—5364—0570—7
TU·33

全国统一书号：15298·312

1988年2月第一版 开本787×1092毫米1/16

1988年2月第一次印刷 字数354千

印数1—9,500册 印张16 插页1

定 价：3.45元

前 言

本书作为工业与民用建筑专业的《钢结构》教材，是以《建筑设计统一标准》(GBJ68—84)和《钢结构设计规范》(GBJ17—87) (报批稿)为依据进行编写的。全书有绪论、材料、连接、受弯构件、轴心受力构件、压弯构件、桁架、厂房钢结构等八章。鉴于目前各院校的教学计划对《钢结构》课程的教学时数不统一，编写时考虑了此一情况。前七章(不包括厂房钢结构)约需48学时(3学分)；全书约需56学时(3.5学分)。另安排钢屋盖课程设计一周，到钢结构已成建筑或金属结构厂参观半天。

对工业与民用建筑专业本科宜配合《钢构件稳定》(李开禧、魏明钟编，四川科技出版社出版)一书选择其有关部分进行讲授，以加强基本理论，则总计约需72学时(4.5学分)。也可将《钢构件稳定》作为限选课或选修课安排。

本书及与其配套的《钢构件稳定》一书，可根据学时数选择教材内容。在另有指示书或面授讲解的情况下，也适用于函授、夜大、职大等成人教育，也可供有关设计、施工人员参考。读后对本书如有意见或发现错误，请提出，以便下次印刷时修改。

参加本书编写的有：第一、二章李继华，第三章卢铁鹰，第四、五、六章魏明钟，第七章夏正中、许唯佳，第八章夏正中。由魏明钟、夏正中对全书进行了审校。

编 者

1986年8月

目 录

第一章	绪 论	(1)
第一节	钢结构设计.....	(1)
第二节	钢结构的特点和应用范围.....	(1)
第三节	钢结构的计算方法.....	(3)
第四节	钢结构的发展.....	(8)
第二章	材 料	(10)
第一节	引言.....	(10)
第二节	钢材的物理性能.....	(10)
第三节	钢材的化学性能.....	(14)
第四节	钢材的工艺性能.....	(14)
第五节	钢材的疲劳.....	(16)
第六节	钢的种类和钢材规格.....	(21)
第三章	连 接	(24)
第一节	钢结构的连接方法.....	(24)
第二节	角焊缝的构造和计算.....	(29)
第三节	对接焊缝的构造和计算.....	(41)
第四节	焊接应力和焊接变形.....	(45)
第五节	普通螺栓、铆钉连接的构造和计算.....	(48)
第六节	高强度螺栓连接的计算.....	(56)
习 题		(59)
第四章	受弯构件——梁	(61)
第一节	梁的类型和梁格布置.....	(61)
第二节	梁的设计要点.....	(62)
第三节	型钢梁的截面选择.....	(76)
第四节	焊接组合梁的截面计算.....	(78)
第五节	腹板加劲肋的布置和设计.....	(87)
第六节	梁的拼接.....	(94)
第七节	梁的支座和连接.....	(96)
习 题		(98)
第五章	轴心受拉、轴心受压构件	(99)
第一节	概述.....	(99)
第二节	轴心受拉构件.....	(99)

第三节	轴心受压构件的整体稳定	(101)
第四节	轴心受压构件的局部稳定和刚度	(107)
第五节	轴心受压实腹柱设计	(109)
第六节	轴心受压格构柱设计	(112)
第七节	梁与柱的连接	(119)
第八节	轴心受压柱脚	(120)
习 题		(124)
第六章	拉弯构件和压弯构件	(127)
第一节	概述	(127)
第二节	拉弯构件和压弯构件的强度	(128)
第三节	实腹式压弯构件的整体稳定	(130)
第四节	格构式压弯构件稳定的计算	(138)
第五节	压弯构件的局部稳定	(142)
第六节	框架柱的设计	(146)
习 题		(151)
第七章	桁架和屋盖结构	(153)
第一节	桁架的应用和形式	(153)
第二节	屋盖支撑	(155)
第三节	檩条	(159)
第四节	桁架杆件的设计	(163)
第五节	钢桁架的节点设计	(169)
第六节	特种钢屋架设计特点	(175)
第七节	钢屋盖的施工图	(182)
第八节	普通型钢屋架设计例题	(183)
习题	(课程设计题)	(192)
第八章	厂房钢结构	(194)
第一节	厂房结构的组成和规划原则	(194)
第二节	柱网和温度缝的布置	(196)
第三节	厂房结构的横向框架	(197)
第四节	屋盖结构	(199)
第五节	支撑体系	(200)
第六节	横向框架的计算	(201)
第七节	吊车梁	(211)
第八节	墙 架	(224)
附录一	设计强度和材料的性能	(226)
附录二	受弯构件的容许挠度	(230)
附录三	梁的整体稳定系数	(231)

附录四	轴心受压构件的稳定系数.....	(234)
附录五	柱的计算长度系数.....	(235)
附录六	疲劳计算的构件和连接分类.....	(237)
附录七	型钢表.....	(239)
附录八	螺栓规格和线距表.....	(245)
附录九	各种截面回转半径的近似值.....	(246)
主要参考文献		(247)

第一章 绪 论

第一节 钢结构设计

钢结构的设计原则主要有：

(1) 钢结构及其构件应能安全地承受预期的各种有关作用（或称荷载）和便于使用，因而必须具有足够的强度、刚度和稳定性。钢构件一般是壁薄而较细长，稳定问题特别突出，尤需注意。

(2) 要满足经济要求。最优的设计除安全可靠外，还应当做到成本最低，重量最轻，制作和安装时间最短，劳动力最省，运输和维护最方便等。其中要强调的是重量轻，因为一般说来，最少的材料将使成本最低。

(3) 要尽量适合其他性能的要求，这是指使用性和耐久性以及建筑上的美观等。使用性能包括变形和振幅的限制，足够的工作和生活空间，必要的通风与采光，以及其他特殊要求。耐久性能应考虑抗腐蚀和防火。有时结构还要对美观上予以一定的重视。

为了实现上述设计原则，设计人员应该具备有关钢材性能的知识，其中特别是钢的屈服点和弹性模量；掌握各种荷载的特性和量值，以及它们应有的组合；熟悉各种法规、规范和标准，如《建筑结构设计统一标准》，现行荷载规范，现行钢结构设计规范；钢结构设计手册，以及有关的各种标准设计和定型设计。

钢结构的设计程序一般包括下列步骤：

(1) 结构方案的比较。应采用既能满足性能要求又是最经济的结构方案，这包括材料的选择，结构型式的确定，以及制作、架设和运输的条件等。

(2) 确定结构所承受的荷载。

(3) 构件截面试选。使所选构件符合重量轻和成本低的要求。

(4) 结构受力分析。这包括杆件和连接的分析，对于杆件一般应进行强度、刚度和稳定性的验算。基本分析方法，一般采用弹性的，也可以采用塑性的。

(5) 步骤(3)和(4)有时需反复进行才能得到较好的结果。

第二节 钢结构的特点和应用范围

一、钢结构的特点

钢结构和其他材料结构都有各自的特性，因而孰优孰劣不能一概而论，这要根据具体条件和国家技术经济政策来决定。钢为国民经济各部门所需要的材料，钢材价格较高，又非随处可取得，为此，在作结构方案比较时，要尽量节约钢材，并注意钢和钢结构的如下一些

特点。

1. 钢结构的材料是单一的人工材料——钢材，这和其他的结构材料不同；木结构的木材是天然材料，具有一些难以避免的天然缺陷；钢筋混凝土结构是钢、砂、石等多种材料组成的，质地不很均匀；砌体结构是砌块（包括砖、石）和砂浆两种材料（有时还配钢筋）组成，其强度主要为砂浆所控制。

2. 钢材由于冶炼和轧制过程的科学控制，其组织比较均匀，接近各向同性，为理想的弹性—塑性体，其弹性模量和韧性模量皆较大，符合工程力学的基本假设，因此钢结构的计算主要是根据力学原则，采用的试验和经验公式不多，从而计算上的不定性较小，计算较可靠。

3. 建筑用钢材具有良好的塑性，当结构超载时，在一定条件下，将只增大变形，不会突然破坏。钢材韧性好，适宜在动态荷载下工作，因此在地震区采用钢结构较为有利。钢材强度高，适用于大空间结构。但由于强度高，一般的构件截面小而壁薄，在受压时容易为稳定和刚度计算所控制，强度难以得到充分的利用。钢材容重较大，但由于强度高，强度与容重之比较大，因而钢结构反而较轻。

4. 钢结构构件一般是在金属结构厂制作，施工机械化，准确度和精密度皆较高。钢结构所有材料皆已轧制成各种型材，加工简易而迅速。钢构件较轻，运输安装皆较方便，施工周期短。小量钢结构和轻型钢结构尚可在现场制作，简易吊装。钢结构由于连接的特性，易于加固、改建和拆迁。

5. 钢结构的钢材和连接（如焊接）的水密性和气密性较好，适宜于做成板壳结构，如高压容器、油库、气柜、管道等。

6. 钢材容易锈蚀，对钢结构必须注意防护，需一定的维护费用。因此腐蚀性较强的厂房不宜采用钢结构。钢结构应彻底除锈并涂上合格的油漆，并在构造中尽量避免难于检查、清刷、油漆，以及易于积留湿气或大量灰尘的死角或凹槽等。

7. 钢材耐火性能差。钢材可耐热，但不耐火。当温度在 200°C 以内，钢材主要性能变化不大，即屈服点、弹性模量降低不多；当温度超过此限后，材质变化较大，必须根据防火要求采取防护措施。

8. 钢结构在低温和其他条件下，可能发生脆性断裂，应引起设计者的特别注意。

二、钢结构的应用范围

根据上述钢结构的特点和长期实践的经验，可知钢结构适用于如下的一些建筑或结构：

1. 工业厂房——吊车起重量较大或其工作较繁重的车间，多采用钢骨架。如冶金厂房的平炉、转炉车间，混铁炉车间，初轧车间；重型机械厂的铸钢车间，水压机车间，锻压车间等。

2. 大跨结构——如飞机装配车间，飞机库，大煤库，大会堂，体育馆，展览馆等皆需大跨结构。结构体系可为网架、悬索、拱架，以及框架等。

3. 高耸结构——这包括塔架和桅杆结构，如电视塔，微波塔，输电线塔，钻井塔，环境大气监测塔，无线电天线桅杆，广播发射桅杆等。

4. 多层和高层建筑——多层和高层建筑的骨架可采用钢结构。我国当前由于钢材短缺，仍多采用钢筋混凝土结构。但钢结构在此领域有逐步发展趋势。

5. 承受振动荷载影响及地震作用的结构 设有较大锻锤的车间, 其骨架直接承受的动力尽管不大, 但间接的振动却极为强烈, 可采用钢结构。对于抗地震作用要求高的结构也宜采用钢结构。

6. 板壳结构 如油库, 油罐, 煤气库, 高炉, 热风炉, 以及输油管, 煤气管道等。

7. 可拆卸或移动的结构 建筑工地的生产、生活附属用房, 临时展览馆等, 这些结构是可拆迁的。移动结构如塔式起重机, 坦克式起重机的吊臂, 龙门起重机等。

8. 轻型钢结构 这包括小角钢、小圆钢的结构, 冷弯薄壁型钢结构, 以及钢管结构。这些结构都用于使用荷载较轻或跨度较小的建筑。

第三节 钢结构的计算方法

结构计算的目的在于保证所设计的结构和结构构件在施工和工作过程中能满足预期的安全性和使用性的要求。因此, 结构设计准则应当这样来陈述: 结构由各种荷载所产生的效应(内力或变形)不大于结构(包括连接)由材料性能和几何因素等所决定的抗力或规定限值。假如影响结构功能的各种因素, 如荷载大小, 材料强弱, 截面尺寸, 计算模式, 施工质量等等都是确定性的, 则按上述准则进行结构计算, 应该说是非常容易的。但是, 不幸的是上述影响结构功能的诸因素都具有不定性, 应是随机变量(或随机过程), 荷载效应可能大于设计抗力, 因而对所设计的结构的功能只能作出一定概率的保证。这和进行其他有风险的工作一样, 只要可靠的概率足够大, 或者说, 失效概率足够小, 便可认为所设计的结构是安全的。

这种思想早已存在, 但问题处理起来却有不少困难, 因而结构承载能力的计算方法曾经历一个长期发展的过程, 直到今日才算取得了一个比较理想的方法。

1. 容许应力法 这是从19世纪后期就开始使用的方法, 它将各种不定性用一个笼统的安全系数 K 来表示, 其设计式为

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

式中, σ 为由标准荷载(荷载规范所规定的荷载值)与构件截面公称尺寸所计算的应力; $[\sigma]$ 为容许应力, $[\sigma] = f_k / K$; f_k = 材料的标准强度, 在钢材为屈服点; K 为大于1的安全系数, 用以考虑各种不定性, 凭工程经验取值。

2. 最大荷载法 本世纪30年代发展的一种方法。因为传统的容许应力法视钢材为理想的弹性——塑性体, 而以屈服点作为弹性极限, 故只考虑了材料的弹性性质; 若挖掘材料的潜在能力, 利用材料的塑性性质, 而得破坏抗力 R_b , 则设计式可写成

$$KS_k \leq R_b \quad (1-2)$$

这种方法也叫极限(强度)设计法。 S_k 为由标准荷载所计算的荷载效应; 安全系数 K 的取值也由工程经验判定。

这里必须着重指出: 一般地说, 容许应力法适用于弹性设计; 特别地说, 容许应力法却历来就包括了极限设计, 如拉杆、压杆和连接设计。尽管在使用规范时未必能认识到这一点。

3. 半概率法 这是本世纪50年代发展的一种方法, 其设计式为

$$\gamma S_k \leq \phi R_k \quad (1-3)$$

它有两个特点：一是对标准抗力 R_k 和标准荷载效应 S 采用概率取值，即 R_k 等于抗力 R 平均值（ R ）减若干倍标准差（ σ_R ），即 $\bar{R} - \alpha_R \sigma_R$ ； S_k 等于荷载效应 S 平均值（ S ）加若干倍标准差（ σ_S ），即 $S + \alpha_S \sigma_S$ 。二是将安全系数分为荷载效应系数 γ 和抗力系数 ϕ ，叫做分项安全系数；并且进一步将 γ 和 ϕ 再加以分解，即 $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$ ， $\phi = \phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \phi_3$ ，考虑荷载朝不利方向偏离标准值的可能性； γ_2 ，考虑荷载都以其标准值出现的组合的降低概率，因而它是一个组合系数，不是安全系数； γ_3 ，考虑荷载效应计算误差和构件截面制作误差。 ϕ_1 ，考虑材料或构件强度不利地偏离其标准值的可能性； ϕ_2 ，考虑结构中材料或构件强度与试件强度之间的差异。钢结构设计规范（TJ 17—74）所采用的方法，从表面看是容许应力法，而其实质则是半概率法，因为它的设计分析式采用了分项系数：

$$K_3 K_1 N \leq \frac{1}{K_2} g(f_k, S) \quad (1-4)$$

即安全系数 $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ ， K_1 为荷载效应系数， K_2 为抗力系数， K_3 为调整系数；又， $f = f - 2\sigma_f$ ， f 为材料强度； S 为截面几何特征； g 为函数符号； N 为综合标准荷载效应，各荷载标准值也可理解为概率取值。

半概率法计算的失效概率，是不准确的。我们在设计时可以假设 $\bar{R} > S$ ，并使抗力设计值与荷载效应设计值相等，即 $R_d = S_d$ ，如图1—1所示。

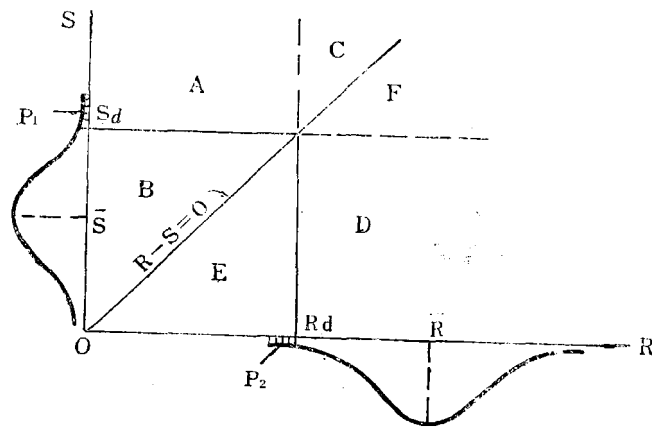


图1—1

图中等分角斜线表示极限状态方程 $R - S = 0$ ；在此线上方为失效区， $R - S < 0$ ；在此线下方为安全区， $R - S > 0$ 。失效区分A、B、C三部分，安全区也可相应地分为D、E、F三部分。现只研究失效区。图1—1表明：一个大于 $S_d (= \gamma S)$ 的相应荷载作用于一个小于 $R_d (= \phi R_k)$ 的构件，即 $S > S_d$ ， $R < R_d$ ，其失效概率为 $P_f = P_1 \cdot P_2$ ，此概率仅由区域A代表，而失效区域还有B（ $S < S_d$ ， $R < R_d$ ，而 $S > R$ ）和C（ $R > R_d$ ， $S > S_d$ ，而 $R < S$ ），故低估了失效概率，或从另一方面说，此法多估了安全概率 P_s ，因为 $P_s = 1 - P_f$ ，此概率大于整个安全区域D + E + F所代表的概率。

我国在试行钢结构设计规范（TJ 17—74）以前，曾采用过苏联学者提出的三系数法（当时称为计算极限状态法），其设计表达式为：

$$\sum \alpha p_i N p_i + C \sum \alpha q_i N q_i \leq m g(f_k, k, S) \quad (1-5)$$

式中：N为标准荷载效应，p为永久荷载，q为可变荷载，C为荷载组合系数， α 为超载系数，m为工作条数，k为材料匀质系数（三系数即指 α 、k和m），g为函数符号， f_k 为材料标准强度，S为截面几何特征。

材料匀质系数k为材料计算强度 $\bar{f}$ 与材料标准强度 f_k 之比值，材料计算强度定为小概率取值，即 $f = \bar{f} - 3\sigma_f$

这个方法也可叫做半概率法，但是此法有明显的缺点：取强度标准值低于其平均值，已考虑了材料的“匀质”性，而计算强度又为标准强度乘以“匀质”系数，显然概念重复；而且，其标准强度为钢生产上的废品限值，并非明确的概率取值。苏联于70年代初取消了匀质系数，代以大于1的材料安全系数，并认为 $f_k = \bar{f} - \alpha_f \sigma_f$ 而 α_f 为1.645或2。

4. 二阶矩法

这是从60年代末起才逐步趋于完善的一种概率方法。如果以设计方法发展的水平来衡量，则将半概率法列为水准I，二阶矩法列为水准II，并把再高一级的目前尚未能普遍应用的全分布概率法列为水准III。

结构的失效概率不是 $R < R_d$ 和 $S > S_d$ 两者概率的乘积，这小估了失效概率，而是事件 $(Z = R - S < 0)$ 的概率，即失效概率应写成：

$$P_f = P(Z = R - S < 0) \quad (1-6)$$

为计算 $Z < 0$ 的概率，最好是求得函数Z的分布，但一般来说，这是比较困难的。为此，可避开Z的全分布的推求，只采用分布的特征值，即一阶原点矩（均值） μ_z 和二阶中心矩（方差） σ_z^2 ，而这两者对于任何分布皆可按下式求得：

$$\left. \begin{aligned} \mu_z &= \mu_R - \mu_S \\ \sigma_z^2 &= \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \text{ (设R和S是统计独立的)} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

只要经过测试取得足够的的数据，便可由统计分析求得R和S的均值 μ 和方差 σ^2 ，如果Z为非线性函数，可将此函数展为泰勒级数而取其线性项，由下式计算均值和方差：

$$\left. \begin{aligned} Z &= g(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ \mu_z &\approx g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}) \\ \sigma_z^2 &\approx \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_{x_i} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式中偏导数可在平均值处或设计验算点处赋值。

图1—2为Z的概率密度 $f_z(Z)$ 曲线，图中阴影面积表示事件 $(Z < 0)$ 的概率，称为失效概率P，曲线与横坐标所夹的非阴影面积称为可靠概率，亦即可靠度 P_s ，显然 $P_f = 1 - P_s$ 。

用Z的标准差 σ_z 去度量 μ_z 得值 β ，则有

$$\mu_z = \beta \sigma_z$$

由此得

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \sqrt{\frac{K_0 - 1}{K_0^2 \delta_R^2 + \delta_S^2}} \quad (1-9)$$

式中 β 称为可靠指标或安全指标，显然，只要分布一定， β 与 P_f 就有一一对应的关系。而

且, β 增大, P_f 减小; β 减小, P_f 增大。 $K_0 = \mu_R / \mu_S$ 为中心安全系数, 它对 β 值有影响, 但对 β 值起影响的还有变异系数 δ_R 和 δ_S 。当 K_0 随 μ_R 和 μ_S 的比值而一定时, δ 变动将使 β 增减, 故安全系数不能度量结构的安全度。

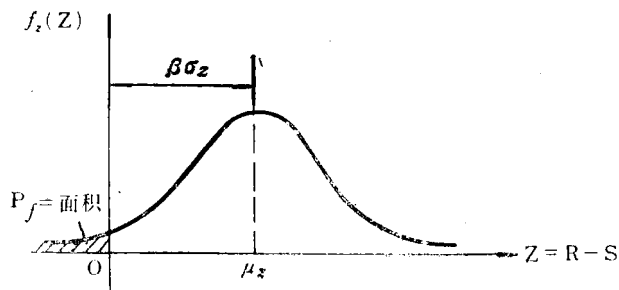


图1—2

如 Z 的分布为正态, 则 β 与 P_f 的关系式为

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \Phi^{-1}(1 - P_f) \\ P_f &= \Phi(-\beta) \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式中, $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数, $\Phi^{-1}(\cdot)$ 为标准正态分布的反函数。如为非正态分布, 可用当量正态化方法转化为正态。

将式1—9稍加变换, 并写成设计式:

$$\mu_R \geq \mu_S + \beta \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-11)$$

由于

$$\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = \sqrt{\frac{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

故得

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

式中

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}, \quad \alpha_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-13)$$

而式 (1—12) 左、右分别为 R 和 S 的设计验算点坐标 R^* 和 S^* 。

$$R^* \geq S^* \quad (1-14)$$

这就是二阶矩设计式。

式 (1—12) 中可靠指标 β 的取值, 可用校准法求得, 所谓“校准法”, 就是对现有结构构件进行反演计算和综合分析求得其平均可靠指标来确定今后设计时应采用的目标可靠指标。我国《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84) 按破坏类型(延性或脆性破坏)和安全等级(根据破坏后果和建筑物类型分为一、二、三级, 级数越高, 破坏后果越不严重)分别规定了结构构件按承载能力极限状态设计时采用的不同的 β 值。钢结构的各种构件, 按 TJ 17—74 规范设计, 经校准分析, 其 β 值在 3.2 左右, 即 $\beta = 3.2 \pm 0.25$, 属延性破坏, 安全等级为二级的 β 值。

由于考虑到设计人员采用标准荷载、材料标准强度与分项系数进行结构构件设计的长期习惯和应用上的简便,可将式(1—12)或(1—14)转化为等效的以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态设计式。

现以简单的荷载情况为例,分项系数设计式可写成:

$$\frac{R_k}{\gamma_R} \geq \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} \quad (1-15)$$

式中, R_k 为标准抗力(由材料标准强度与截面公称尺寸计算而得); S_{Gk} 和 S_{Qk} 分别为按标准值计算的永久荷载(G)效应值和可变荷载(Q)效应值; γ 为分项系数。

相应地,式(1—14)可写成

$$R^* \geq S_G^* + S_Q^* \quad (1-16)$$

为使式(1—15)与式(1—16)等价,必须有

$$\left. \begin{aligned} \gamma_R &= R_k / R^* \\ \gamma_G &= S_G^* / S_{Gk} \\ \gamma_Q &= S_Q^* / S_{Qk} \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

由式(1—12)可知, R^* 、 S_G^* 、 S_Q^* 不仅与可靠指标 β 有关,而且与各基本变量的统计参数(平均值、标准差)有关。因此,对每一种构件,在给定 β 的情况下, γ 值将随荷载效应比值 $\rho = \frac{S_{Qk}}{S_{Gk}}$ 变动而为一系列的值,这对于设计显然不方便;如分别取 γ_G 、 γ_Q 为定值, γ_R 亦按各种构件取不同的定值,则所设计的结构构件的实际可靠指标就不可能与给定的可靠指标完全一致。为此,可用优化法求最佳的分项系数值,使两者 β 的差值最小。

《统一标准》规定,在一般情况下荷载分项系数统一取

$$\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.4$$

当永久荷载效应与可变荷载效应异号时,这时永久荷载对设计是有利的(如屋盖当风的作用而掀起时)应取

$$\gamma_G = 1.0, \gamma_Q = 1.4$$

在荷载分项系数统一规定的条件下,对钢结构构件抗力系数进行分析,使所设计的结构构件的实际 β 值与预期的 β 值差值甚小。由此得3号钢、16Mn钢和16Mnq钢的 $\gamma_R = 1.087$,对15MnV钢和15MnVq钢的 $\gamma_R = 1.111$ 。

钢结构设计用应力表达,采用设计强度。所谓“设计强度”(用 f 表示),是钢的屈服点(f_y)除以抗力系数 γ_R 的商,如3号钢和16Mn钢抗拉设计强度为 $f = f_y / 1.087$ 。对于端面承压和连接,则为钢的极限强度(f_u)除以抗力系数 γ_R ,即 $f = f_u / \gamma_R$,如端面承压: $f = f_u / 1.538$ 。现以单轴受弯的实腹杆件为例,其抗弯强度应按下列式计算(弹性设计):

$$\frac{M}{W_n} \leq f$$

式中, M 为所受的计算弯矩, W_n 为净截面抵抗矩。

各种设计强度见附录一。

一般是多种荷载同时作用于结构上,但不可能皆以其最大值(标准值)同时出现,应进行概率折减,即乘以小于1的组合系数。经过分析,当风荷载与其他可变荷载组合时,可采用组

合系数 ψ_{ci} (第*i*个可变荷载的组合值系数) = 0.6, 而普遍设计式为

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}) \leq R \quad (1-18)$$

式中, γ_0 为重要性系数, 与安全等级相对应, 即一级为1.1, 二级为1.0, 三级为0.9。
 $R = R_k / \gamma_R$

对于正常使用极限状态, 其验算式(如变形验算)皆用荷载标准值, 不考虑荷载系数, 结构构件应分别采用荷载的短期效应组合和长期效应组合。钢结构只考虑短期效应组合, 其组合式为

$$S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-19)$$

第四节 钢结构的发展

钢结构的发展, 从所用材料看, 先是铸铁、锻铁, 后是钢, 最近是铝合金, 所以有人主张改称金属结构。

从钢结构连接方式的发展看, 在生铁和熟铁时代是销钉连接, 19世纪初采用铆钉连接, 20世纪初有了焊接连接, 最近则发展了高强度螺栓连接。

从结构的形式看, 先是桥梁、塔, 后是工业及民用房屋和水工结构, 以及板结构如高炉、储液库、储气库等。我国在公元前200多年秦始皇时代就曾用铁造桥墩。公元60年左右汉明帝时代建造了铁链悬桥兰津桥。山东济宁铁塔和江苏镇江甘露寺铁塔也是很古的建筑, 1927年建成沈阳皇姑屯电机厂钢结构厂房, 1931年建成广州中山纪念堂钢结构圆屋顶, 1937年建成钱塘江大铁桥。新中国成立后, 钢结构的应用日益扩大, 如1957年建成武汉长江大桥, 1968年建成南京长江大桥。在房屋建筑中, 有首都体育馆和上海体育馆等大跨度网架结构, 有210米高的上海电视塔和325米高的北京环境气象塔等。还有1958年建成的上海大型湿式贮气柜。

新修订钢结构设计规范(GBJ 17—88)与1974年规范(TJ 17—74)比较, 除对一些问题的处理有合理改进外, 并增加了新的内容, 这些改进和新增内容也表明了钢结构今后的发展方向。

逐步发展高强度低合金钢材。除3号钢、16锰钢和16锰桥钢外, 这次增加了15锰钒钢和15锰钒桥钢, 15锰钢的屈服点为345N/mm², 已在我国广泛使用, 著名的北京首都体育馆的屋顶网架就是用的这种钢材。新增的15锰钒钢的屈服点为390N/mm²。

改进钢结构的设计方法。采用考虑分布类型的二阶矩概率法计算结构可靠度, 从而制订了以概率理论为基础的极限状态设计法(简称概率极限状态设计法)。这个方法的特点主要表现在不是用经验的安全系数而是用根据各种不定性分析所得的失效概率去度量结构可靠性, 这就能更合理地计算结构的可靠度, 并使所计算的结构构件的可靠度达到预期的一致性和可比性。但是这个方法还有待发展, 因为它计算的可靠度还只是构件或某一截面的可靠度, 而不是结构体系的可靠度, 也不适用于疲劳计算的反复荷载或动态荷载作用下的结构。

钢轴心受压构件, 原采用单一柱子曲线, 现改用三条柱子曲线, 这三条曲线是根据上

百条曲线归纳整理出来的,可分别代表不同的截面型式、加工条件,并考虑了残余应力的影响,因而在计算中必然减少了系统误差。

对压弯杆件稳定的计算推导了双项式以代替以前的单项式。单项式在理论上当然是有根据的,但在直观上看不出弯矩的影响,而双项式则轴力和弯矩皆表现出来,且对轴压、压弯和受弯杆件的计算能做到协调一致和彼此衔接。

疲劳计算一直是采用容许应力法。但是,规范GBJ 17—88的疲劳计算不是采用最大应力或应力比,而是采用应力幅,这对于焊接连接结构来说,更符合实际。

规范GBJ 17—87较TJ 17—74增加了三章,即塑性设计、钢管结构和钢与混凝土组合梁。

对于考虑钢材塑性问题,规范TJ 17—74只考虑截面部分发展塑性,关于弯矩重分配,只对超静定梁作了简单的规定。规范GBJ 17—88专设塑性设计一章,内容较为广泛,它包括超静定梁,单层和两层框架(超过两层的框架研究还不够)。塑性设计则利用弯矩重分配所带来的效应,而不利用截面塑性变形发展所引起的承载能力的提高,将后者的有利影响用以抵消采用塑性设计时所带来的不利因素。

钢管结构用材经济,性能良好,在我国已逐渐得到广泛的应用,如平板网架和大跨空间桁架皆采用钢管结构。还有塔桅结构,如北京325米高的环境气象塔,也采用钢管结构。皆收到较好的经济效益。

钢和混凝土组合构件的应用,也日益推广。因为钢构件受压的稳定问题较突出,常不能发挥高强度钢的作用,而混凝土受压性能良好,两者结合,各尽所长,必然是一种理想的结构。规范GBJ 17—88只对钢与混凝土组合梁作了若干规定,根据理论研究和工程实践的发展,今后还可能正式推荐钢管混凝土结构的应用。

钢结构有待研究和发展的尚不少,如预应力钢结构,薄壁构件钢结构,大跨和高层、超高层钢结构,以及在结构设计上考虑优化理论的应用与计算机辅助设计和制作工艺上采用现代机械化和自动化设备等。

第二章 材 料

第一节 引 言

钢结构的原材料是钢，钢之种类甚多，适用于钢结构的钢只是钢中的一小部分。为了便于结构使用，须将钢首先加工成各种形状的元素。加工的方法有锻造、铸造和轧制，前两者可制成某些特殊构件，如支承和固定件，后者则制成钢板和各种型材，如工字钢、槽钢、角钢等。加工方法还有冷弯，其制成的型材有Z形，帽型等，这属于冷弯薄壁型钢范围。本章所指的“钢材”，是指钢结构所用的材料和由它制成的型材等。

按钢结构设计规范的要求，承重结构的钢材应保证抗拉强度、伸长率、屈服点、冷弯合格、冲击韧性和硫、磷极限含量，对焊接结构尚应保证碳的极限含量。这些要求涉及到钢的物理性能、化学性能和工艺性能。现分述如下。

第二节 钢材的物理性能

钢材的物理性能，主要是指力学性能，而力学性能中，最重要的是在静载、常温条件下，钢材标准试件一次单向均匀拉伸时的性能。

一、受 拉 性 能

钢材标准试件在单向受拉试验时的荷载—变形 ($F-\Delta L$) 曲线或应力—应变 ($\sigma-\epsilon$) 曲线，示于图2—1。由此曲线可获得许多有关钢材性能的信息。

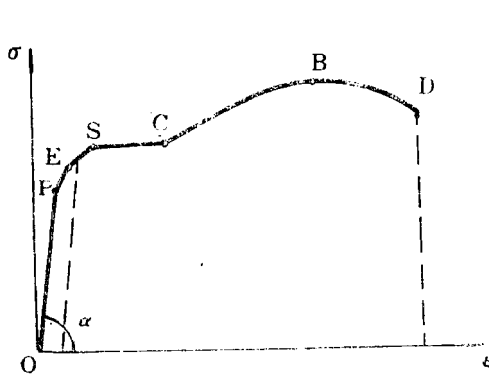


图2—1 普通建筑钢材的应力—应变曲线

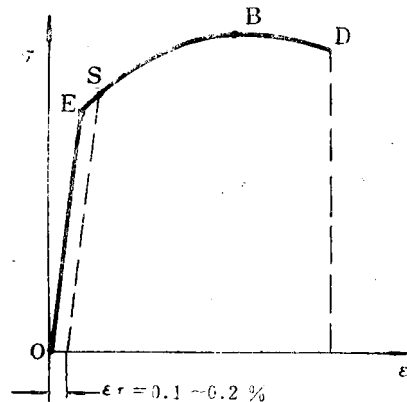


图2—2 高强度钢的应力—应变曲线

图中 $\sigma-\epsilon$ 曲线的OP段为直线，具有完全弹性性质，这时应力可由弹性模量 E 定义，