



世纪高等教育土木工程系列规划教材

钢结构

赵根田 孙德发 主编
徐国彬 主审

Tumu Gongcheng Xilie Guihua Jiaocai



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

钢 结 构

主 编	赵根田	孙德发
参 编	王 姗	万 馨
	柳长江	姜 宏
主 审	徐国彬	



机 械 工 业 出 版 社

本书是按《钢结构设计规范》(GB50017—2003)等现行国家标准,以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则,专为培养工程应用型和技术管理型人才的高等院校土木工程专业编写的教材,主要包括钢结构原理和钢结构设计。钢结构原理为土木工程专业的技术基础课,内容包括钢结构的特点、应用,钢结构材料性能,钢结构的连接设计方法以及钢结构基本构件(轴心受拉和受压构件、受弯构件、拉弯和压弯构件)的工作原理和设计方法;钢结构设计为土木工程专业建筑工程方向的专业必修课,内容包括单层厂房结构、多层和高层房屋结构以及大跨度房屋结构。本书末有附录,列出了供设计查用的各种数据。各章还列举了必要的设计例题,以利于有关基本理论和设计方法的学习和掌握。鉴于本书特色工程应用性和工程实践性突出,故还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/赵根田等主编. —北京:机械工业出版社,
2005.8
(21世纪高等教育土木工程系列规划教材)
ISBN 7-111-17385-6

I. 钢… II. 赵… III. 钢结构-高等学校-教材
IV. TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第105215号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:马军平 版式设计:霍永明 责任校对:姚培新
封面设计:张静 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2005年10月第1版·第1次印刷
1000mm×1400mm B5·14.125印张·1插页·551千字
定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294
封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业已包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式,使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

- 1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。
- 2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上,挑选

出最基本的内容、方法及典型应用实例；“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容；“广”指在保证本学科教学基本要求前提下，引入与相邻及交叉学科的有关基础知识；“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通，特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点，合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点，做好实践教材的同步建设，做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养，必将产生积极作用，为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

工見鯨

前 言

根据高校土木工程专业指导委员会制订的教学计划，钢结构原理为土木工程专业的技术基础课，钢结构设计为土木工程专业建筑工程方向的专业必修课。本书是按《钢结构设计规范》（GB50017—2003）等现行国家标准，以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，专为培养工程应用型和技术管理型人才的高等院校土木工程专业编写的教材。本书将钢结构原理和钢结构设计合编为一册，主要供土木工程专业建筑工程方向使用。

本书共9章，第1~6章为钢结构原理部分。第1章主要介绍了钢结构的特点、应用和钢结构采用的设计原则；第2章介绍了钢结构所用的材料及其性能；第3章介绍了钢结构连接的工作原理和设计方法；第4~6章分别介绍了轴心受拉和受压构件、受弯构件、拉弯和压弯构件的工作原理和设计方法。第7~9章为钢结构设计部分，主要包括单层厂房结构、多层和高层房屋结构以及大跨度房屋结构。第7章介绍了普通单层厂房及轻型门式刚架的承重框架、屋盖结构、起重机梁系统以及墙架体系的工作特点和设计方法；第8章介绍了多、高层房屋结构的体系、形式以及组合楼盖，抗侧力结构、梁、柱、节点的设计特点和方法；第9章介绍了各种大跨度结构的形式及设计特点。

参加本书编写的有赵根田（第1、2章及附录）、王姗（第3章）、柳长江（第4、6章）、姜宏（第5章）、孙德发（第7、9章）、万馨（第8章），全书由赵根田、孙德发主编。徐国彬教授在百忙之中对本书的编写大纲及全书进行了审阅，在此表示衷心的感谢。

曹芙波、李奉阁及任利民等协助部分原稿的打印、制图等，在此深表感谢。

书中不当之处，谨请使用本书的师生及其他读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的特点和应用范围	1
1.2 钢结构的设计原则	3
1.3 钢结构的发展	9
第 2 章 钢结构的材料	11
2.1 钢材的主要性能	11
2.2 影响钢材性能的主要因素	15
2.3 钢材的疲劳	18
2.4 建筑钢材的规格和选用	24
习题	29
第 3 章 钢结构的连接	30
3.1 焊接方法和焊接连接形式	31
3.2 角焊缝的构造和计算	36
3.3 对接焊缝的构造和计算	49
3.4 焊接残余应力和焊接残余变形	54
3.5 螺栓连接的构造	58
3.6 C 级普通螺栓连接的工作性能和计算	61
3.7 高强度螺栓连接的工作性能和计算	71
习题	78
第 4 章 轴心受力构件	80
4.1 轴心受力构件的强度和刚度	81
4.2 轴心受压构件的整体稳定	84
4.3 轴心受压构件的局部稳定	98
4.4 实腹式轴心受压柱的设计	104
4.5 格构式轴心受压构件的截面设计	109
4.6 轴心受压柱的柱头和柱脚	116
习题	127
第 5 章 受弯构件	129
5.1 梁的强度和刚度计算	131
5.2 梁的整体稳定	136

5.3 梁的局部稳定和腹板加劲肋	141
5.4 型钢梁的设计	148
5.5 组合梁的设计	153
5.6 梁的拼接、连接和支座	164
习题	170
第 6 章 拉弯和压弯构件	172
6.1 拉弯和压弯构件的强度计算	173
6.2 压弯构件在弯矩作用平面内的稳定计算	175
6.3 压弯构件在弯矩作用平面外的稳定计算	182
6.4 压弯构件的计算长度	187
6.5 压弯构件的板件稳定	193
6.6 实腹式压弯构件的设计	196
6.7 格构式压弯构件的设计	200
6.8 柱脚设计	205
习题	210
第 7 章 单层厂房结构	213
7.1 厂房结构的形式和布置	213
7.2 屋盖结构	224
7.3 厂房柱的设计	261
7.4 轻型门式刚架结构	265
7.5 起重机梁的设计	283
7.6 墙架体系	298
习题 (课程设计题)	301
第 8 章 多、高层房屋结构	305
8.1 多、高层房屋的结构体系	305
8.2 多、高层结构的计算特点	315
8.3 压型钢板组合楼(屋)盖设计	329
8.4 钢构件及连接的设计特点	348
习题	376
第 9 章 大跨度房屋结构	377
9.1 平面承重的大跨屋盖结构	377
9.2 空间网架屋盖结构	385
9.3 索膜结构简介	403
习题	406
附录	407
附录 1 钢材和连接的强度设计值	407
附录 2 受弯构件的挠度容许值	409
附录 3 梁的整体稳定系数	410

附录 4 轴心受压构件的稳定系数·····	413
附录 5 柱的计算长度系数·····	417
附录 6 疲劳计算的构件和连接分类·····	420
附录 7 型钢表·····	424
附录 8 螺栓和锚栓规格·····	441
附录 9 各种截面回转半径的近似值·····	443
参考文献 ·····	444

第1章

绪论

1.1 钢结构的特点和应用范围

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是用钢板、角钢、工字钢、槽钢、H型钢、钢管和圆钢等热轧钢材或冷加工成形的薄壁型钢制造而成的结构。它和其他材料的结构相比有如下特点:

(1) 建筑钢材强度高, 塑性、韧性好 较高的强度适用于建造跨度大、高度高、承载重的构件或结构。一般钢结构构件截面小而壁薄, 在受压时有时不能充分发挥钢材强度高的特点, 需要满足稳定性要求。

良好的塑性可使结构或构件破坏前变形比较明显且易于被发现, 在一般条件下不会因超载而突然断裂。此外, 良好的塑性可调整结构或构件局部的高峰应力, 使应力变化趋于平缓。

良好的韧性可使结构或构件在动荷载作用下破坏时要吸收比较多的能量。良好的吸能能力和延性使钢结构具有优越的抗震抗风性能, 适宜在动力荷载下工作。

(2) 材质均匀, 与力学计算的假定比较符合 钢材由于冶炼和轧制过程的科学控制, 材质比较稳定, 其内部组织比较均匀, 接近各向同性, 为理想的弹-塑性体, 因此, 钢结构实际受力情况和工程力学计算结果比较符合。

(3) 钢结构的质量轻 钢材密度大, 强度高, 做成的结构却比较轻。结构的轻质性可以用材料的强度 f 和质量密度 ρ 的比值来衡量, 比值越大, 结构相对越轻。显然, 建筑钢材的 f/ρ 值要比钢筋混凝土大得多。以同样跨度承受同样的荷载, 钢屋架的质量最多不过为钢筋混凝土屋架的 $1/3 \sim 1/4$, 冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ 。

质量轻, 可减轻基础的负荷, 降低地基、基础部分的造价, 同时还方便运输

和吊装。轻质的屋盖结构可减小地震作用，但对可变荷载的变化比较敏感。如风吸力可造成钢屋架的拉、压杆反号。

(4) 钢结构制造简便，施工工期短 钢结构或构件所用材料单一且为轧制成的各种型材，一般是在金属结构厂制作，加工简易而迅速，准确度和精密度较高。钢构件较轻，连接简单，安装方便，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。钢结构因连接简单，故易于加固、改建和拆迁。

(5) 钢结构耐腐蚀性差 钢材容易锈蚀，对钢结构必须注意防护，特别是薄壁构件更要注意，因此，处于较强腐蚀介质内的建筑物不宜采用钢结构。钢结构在涂装前应彻底除锈，油漆质量和涂层厚度均应符合要求。在使用中应避免使结构受潮，设计上应尽量避免出现难于检查、维修的死角。

(6) 钢材耐热但不耐火 钢材长期经受辐射热，当温度在 100°C 以内时，其主要性能（屈服强度和弹性模量）几乎没有变化，具有一定的耐热性能。温度超过 200°C 后，材质变化较大，强度逐步降低。达 600°C 时，钢材进入塑性状态，已不能承载。因此，设计规定钢材表面温度超过 150°C 后即需加以隔热防护，对有防火要求者，更需按相应规定采取隔热保护措施。

(7) 钢结构密闭性较好 钢结构的钢材和连接（如焊接）的水密性和气密性较好，适宜于做要求密闭的板壳结构，如高压容器、油库、气柜、管道等。

1.1.2 钢结构的应用范围

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性，还受到钢材品种、产量和经济水平的制约。过去由于我国钢产量不能满足国民经济各部门的需要，钢结构的应用受到一定的限制。近几年来我国钢材产量大幅增加，新型结构形式不断推出，使得钢结构的应用得到了很大的发展。

根据实践经验和技术要求，钢结构的合理应用范围大致如下：

(1) 工业厂房 钢铁企业和重型机械制造企业中，起重机起重量较大或其工作较繁重的车间多采用钢骨架，如冶金厂房的转炉炼钢车间、连铸连轧车间；重型机械厂的铸钢车间、水压车间、锻压车间等。

(2) 大跨结构 大跨结构最能体现钢结构强度高而质量轻的特点，如飞机装配车间、飞机库、大会堂、体育馆、展览馆、大跨桥梁等，其结构体系可为平板网架、网壳、空间桁架、斜拉、悬索和拱架等。

(3) 高耸结构 高耸结构主要包括塔架和桅杆结构，如广播或电视的发射塔、发射桅杆、高压输电线塔、环境大气监测塔等。

(4) 多层和高层建筑 由于钢结构具有优越的抗震抗风性能，多层和高层建筑的骨架可采用钢结构或钢和混凝土组合成的组合结构，如刚架-支撑结构、筒体结构、钢管混凝土结构、型钢混凝土组合结构等。

(5) 承受振动荷载影响及地震作用的结构 钢材具有良好的韧性, 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, 所以对于承受振动荷载影响及抵抗地震作用要求高的结构宜采用钢结构。

(6) 板壳结构 如油罐、煤气柜、高炉炉壳、热风炉、漏斗、烟囱、水塔以及各种管道等。

(7) 其他特种结构 如栈桥、管道支架、井架和海上采油平台等。

(8) 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、履带式起重机的吊臂、龙门起重机等。

(9) 轻型钢结构 轻型钢结构包括轻型门式刚架房屋钢结构, 冷弯薄壁型钢结构以及钢管结构。这些结构可用于使用荷载较轻或跨度较小的建筑。

随着我国钢材品种和产量的进一步增加, 新型钢结构研究的不断深入, 钢结构的应用范围将更加广泛。

1.2 钢结构的设计原则

结构设计的目的是既要保证所设计的结构和构件在施工和使用过程中能满足预期的安全性和使用性要求, 还要保证其经济的合理性。因此, 钢结构的设计原则要求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。为确保安全适用, 结构由各种作用所产生的效应(内力和变形)不应大于结构(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。然而, 影响结构功能的各种因素(如作用、材料性能、几何尺寸、计算模式、施工质量等)都具有不确定性, 作用和抗力的变异可能使作用效应大于结构抗力, 结构不可能百分之百地可靠, 而只能对其作出一定的概率保证。这种以概率论和数理统计为基础, 对作用和抗力进行定量分析的方法, 称为概率极限状态设计法。

1.2.1 概率极限状态设计方法

概率极限状态设计方法的前提是必须明确结构或构件的极限状态。当结构或其组成部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时, 此特定状态就称为该功能的极限状态。结构的极限状态可以分为下列两类:

(1) 承载能力极限状态 对应于结构或构件达到最大承载能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。

(2) 正常使用极限状态 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, 出现影响正常使用或耐久

性能的局部损坏以及影响正常使用的振动。

结构的工作性能可用结构的功能函数来描述。若结构设计时需要考虑影响结构可靠度的随机变量有 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

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

式 (1-1) 即称为结构的功能函数。

结构的可靠度通常受荷载、材料性能、几何参数和计算公式精确性等因素的影响。这些具有随机性的因素称为“基本变量”。对于一般建筑结构, 可以归并为两个基本变量, 即荷载效应 S 和结构抗力 R , 并设这两者都服从正态分布。因此, 结构的功能函数为

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

函数 Z 也是一个随机变量, 并服从正态分布。在实际工程中, 可能出现下列三种情况:

- 1) $Z > 0$, 结构处于可靠状态。
- 2) $Z = 0$, 结构达到临界状态, 即极限状态。
- 3) $Z < 0$, 结构处于失效状态。

由于基本变量具有不定性, 作用于结构的荷载有出现高值的可能, 材料性能也有出现低值的可能, 即使设计者采用了相当保守的设计方案, 但在结构投入使用后, 谁也不能保证它绝对可靠, 因而对所设计的结构的功能只能作出一定概率的保证。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。

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。这里所说“完成预定功能”就是对于规定的某种功能来说结构不失效 ($Z \geq 0$)。这样若以 p_s 表示结构的可靠度, 则上述定义可表达为

$$p_s = P(Z \geq 0) \quad (1-3)$$

结构的失效概率以 p_f 表示, 则

$$p_f = P(Z < 0) \quad (1-4)$$

由于事件 ($Z < 0$) 与事件 ($Z \geq 0$) 是对立的, 所以结构可靠度 p_s 与结构的失效概率 p_f 符合下式

$$p_s = 1 - p_f \quad (1-5)$$

因此, 结构可靠度的计算可以转换为结构失效概率的计算。可靠的结构设计指的是使失效概率小到人们可以接受的程度。

为了计算结构的失效概率 p_f , 最好是求得功能函数 Z 的分布。图 1-1 中

$f_Z(Z)$ 为功能函数 Z 的概率密度曲线, 图中横坐标 $Z=0$ 处, 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1-1 中阴影面积表示事件 ($Z<0$) 的概率, 就是失效概率, 可用积分求得

$$p_f = P(Z < 0) \\ = \int_{-\infty}^0 f_Z(Z) dZ \quad (1-6)$$

但一般来说, Z 的分布很难求出。因此失效概率的计算仅仅在理论上可以解决, 实际上很难求出, 这使得概率设计法一直不能付诸实用。20 世纪

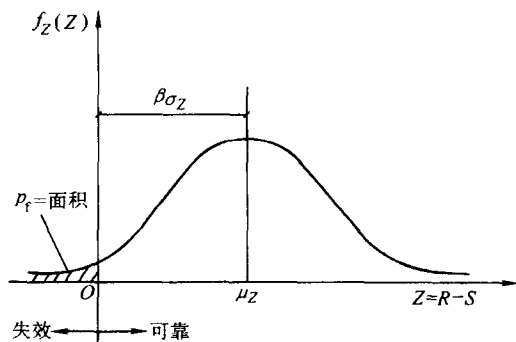


图 1-1 Z 的概率密度 $f_Z(Z)$ 曲线

60 年代末期, 美国学者康奈尔 (Cornell C.A) 提出比较系统的一次二阶矩的设计方法, 才使得概率设计法进入了实用阶段。

一次二阶矩法不直接计算结构的失效概率 p_f , 以 μ 代表平均值, 以 σ 代表标准差, 将图 1-1 中 Z 的平均值 μ_Z 用 Z 的标准差 σ_Z 来度量。根据平均值和标准差的性质可知

$$\left. \begin{aligned} \mu_Z &= \mu_R - \mu_S \\ \sigma_Z^2 &= \sigma_R^2 - \sigma_S^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

已知结构的失效概率表达为

$$p_f = P(Z < 0) \quad (1-8)$$

由于标准差都取正值, 式 (1-8) 可改写成

$$p_f = P\left(\frac{Z}{\sigma_Z} < 0\right)$$

和

$$p_f = P\left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} < \frac{-\mu_Z}{\sigma_Z}\right)$$

因为 $\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z}$ 服从标准正态分布, 所以又可写成

$$p_f = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \quad (1-9)$$

$\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数。

命

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$$

并用式 (1-7) 的值代入, 则有

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

式 (1-9) 成为

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (1-9a)$$

因为是正态分布, 所以

$$p_s = 1 - p_f = \Phi(\beta) \quad (1-11)$$

由式 (1-9a)、式 (1-11) 可见, β 和 p_f (或 p_s) 具有数值上的一一对应关系。已知 β 后即可由标准正态分布函数值的表中查得 p_f 。图 1-1 和表 1-1 都给出了 β 和 p_f 之间的对应关系。图 1-1 中 $f_Z(Z)$ 是 Z 的概率密度函数, 阴影面积的大小就是 p_f 。由于 β 越大 p_f 就越小, 结构也就越可靠, 所以称 β 为可靠指标。

表 1-1 正态分布时 β 与 p_f 的对应值

可靠指标 β	4.5	4.2	4.0	3.7	3.5	3.2	3.0	2.7	2.5	2.0
失效概率	3.4	1.34	3.17	1.08	2.33	6.87	1.35	3.47	6.21	2.28
p_f	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-2}$

以上推算均假定 R 和 S 都服从正态分布。实际上结构的荷载效应多数不服从正态分布, 结构的抗力一般也不服从正态分布。然而对于非正态的随机变量可以作当量正态变换, 找出它的当量正态分布的平均值和标准差, 然后就可以按照正态随机变量一样对待。

为了使不同结构能够具有相同的可靠度, 《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001) 规定出了各类构件按承载能力极限状态设计时的可靠指标, 即目标可靠指标 (见表 1-2)。目标可靠指标的取值从理论上说应根据各种结构构件的重要性、破坏性质及失效后果, 以优化方法确定。但是, 实际上这些因素还难以找到合理的定量分析方法。因此, 目前各个国家在确定目标可靠指标时都采用“校准法”, 通过对原有规范作反演算, 找出隐含在现有工程结构中相应的可靠指标值, 经过综合分析后确定设计规范中相应的可靠指标值。这种方法的实质是从整体上继承原有的可靠度水准, 是一种稳妥可行的办法。对钢结构各类主要构件校准的结果, β 一般在 3.16~3.62 之间。一般的工业与民用建筑的安全等级属于二级。钢结构的强度破坏和大多数失稳破坏都具有延性破坏性质, 所以钢结构构件设计的目标可靠指标一般为 3.2。但是也有少数情况, 主要是某些壳体结构和圆管压杆及一部分方管压杆失稳时具有脆性破坏特征。对这些构件, 可靠指标按

表 1-2 应取 3.7。疲劳破坏也具有脆性特征,但我国现行设计规范对疲劳计算仍然采用容许应力法。钢结构连接的承载能力极限状态经常是强度破坏而不是屈服,可靠指标应比构件为高,一般推荐用 4.5。

表 1-2 目标可靠指标

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

1.2.2 设计表达式

现行《钢结构设计规范》(GB50017—2003)规定,除疲劳计算外,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数的设计表达式进行计算。这是考虑到用概率法的设计式,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,因此,《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)建议采用广大设计人员所熟悉的分项系数设计表达式

$$\frac{R_k}{\gamma_R} \geq \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} \quad (1-12)$$

式中 R_k ——抗力标准值(由材料强度标准值和截面公称尺寸计算而得);

S_{Gk} ——按标准值计算的永久荷载(G)效应值;

S_{Qk} ——按标准值计算的可变荷载(Q)效应值;

γ_R 、 γ_G 、 γ_Q ——抗力分项系数、永久荷载分项系数和可变荷载分项系数。

三个分项系数都与目标可靠指标 β 有关,而可靠度又和所有的基本变量有关。为了方便设计,《建筑结构可靠度设计统一标准》经过计算和分析,规定出一般情况下荷载分项系数

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

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(如屋盖构件设计中,当风吸力作用使屋盖掀起时),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,现行钢结构设计规范对钢结构构件抗力分项系数进行分析,使所设计的结构构件的实际 β 值与预期的 β 值差值甚小,并结合工程经验规定出 Q235 钢的 $\gamma_R = 1.087$;对 Q345、Q390 和 Q420 钢的 $\gamma_R = 1.111$ 。

钢结构设计用应力表达,采用钢材强度设计值。强度设计值(用 f 表示)是钢材的屈服强度(f_y)除以抗力分项系数 γ_R 的商。如 Q235 钢抗拉强度设计值为 $f = f_y/1.087$;对于端面承压和连接则为极限强度(f_u)除以抗力分项系数 γ_{Ru} ,即 $f = f_u/\gamma_{Ru} = f_u/1.538$ 。

施加在结构上的可变荷载往往不止一种, 这些荷载不可能同时达到各自的最大值。因此, 还要根据组合荷载效应的概率分布来确定荷载的组合系数。对于承载能力极限状态荷载效应的基本组合按式 (1-13) 确定

$$\gamma_0 \left(\gamma_G \sigma_{Gk} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \Psi_{ci} \sigma_{Qik} \right) \leq f \quad (1-13)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数, 对安全等级为一级或设计使用年限为 100 年以上的结构构件, 不应小于 1.1, 对安全等级为二级或设计使用年限为 50 年的结构构件, 不应小于 1.0, 对安全等级为三级或设计使用年限为 5 年的结构构件, 不应小于 0.9;

σ_{Gk} ——永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Q1k} ——起控制作用的第一个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力 (该值使计算结果为最大);

σ_{Qik} ——其他第 i 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

γ_G ——永久荷载分项系数, 当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时取 1.2, 但遇到以永久荷载为主的结构时则取 1.35, 当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时取 1.0, 验算结构倾覆、滑移或漂浮时取 0.9;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——第 1 个和其他第 i 个可变荷载分项系数, 当可变荷载效应对结构构件的承载能力不利时, 取 1.4 (当楼面活荷载大于 4.0kN/m^2 时, 取 1.3); 有利时, 取为 0;

Ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数, 可按《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001) 的规定采用。

对于一般排架、框架结构, 可采用简化式计算, 对由可变荷载效应控制的组合, 设计式为

$$\gamma_0 \left(\gamma_G \sigma_{Gk} + \Psi_c \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \sigma_{Qik} \right) \leq f \quad (1-14)$$

式中 Ψ_c ——简化式中采用的荷载组合值系数, 一般情况下可采用 0.9; 当只有 1 个可变荷载时, 取为 1.0。

对于偶然组合, 极限状态设计表达式宜按下列原则确定: 偶然作用的代表值不乘分项系数; 与偶然作用同时出现的可变荷载, 应根据观测资料和工程经验采用适当的代表值, 具体的设计表达式及各种系数, 应符合专门规范的规定。

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, 并使变形等设计值不超过相应的规定限值。

钢结构只考虑荷载的标准组合, 其设计式为