



21世纪高职高专系列教材

钢结构

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社
China Machine Press

21世纪高职高专系列教材

钢 结 构

中国机械工业教育协会 组编

主 编 北京海淀走读大学 徐占发
副主编 黑龙江省佳木斯大学 王文仲
参 编 黑龙江省佳木斯大学 张 皓
北京海淀走读大学 王端华
黑龙江省佳木斯建筑设计院 杨 军
山东省苍山城乡规划设计院 李士民
北京冶金建筑研究总院 周兰君
主 审 北京清华大学 赵文蔚



机械工业出版社

本书是根据高等职业技术教育建筑工程专业及相关专业《钢结构》课程教学要求编写的。全书共7章,内容包括绪论、材料、连接、轴心受力构件、梁、拉弯和压弯构件,钢屋盖设计等内容,并简要介绍了钢与混凝土组合梁和高层建筑钢结构等新结构。内容简明扼要、浅显实用,便于自学,并附有大量例题、实例和有关图表可供参考使用。每章均附有复习思考题,方便教学。

本书可作为高等职业技术学院、高等学校专科、职工大学、业余大学、夜大学、函授大学、成人教育学院等大专层次的土建类《钢结构》课程的教材,也可作为广大自学者及工程技术与管理人員自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/中国机械工业教育协会组编. —北京:机械工业出版社, 2001.8
21世纪高职高专系列教材
ISBN 7-111-08434-9

I. 钢... I. 中... III. 钢结构-高等学校:技术学校-教材 IV.
TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第046336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:边萌 王春雨 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年9月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.5印张·1插页·337千字

0 001—4 000册

定价:21.00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) 68993821、68326677-2527

21 世纪高职高专系列教材编委会名单

编委会主任 中国机械工业教育协会 郝广发

编委会副主任 (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰
大连理工大学 唐志宏
天津大学 周志刚
甘肃工业大学 路文江
江苏理工大学 杨继昌
成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻 (常务)
沈阳工业大学 李荣德
河北工业大学 檀润华
武汉船舶职业技术学院 郭江平
金华职业技术学院 余党军

编委会委员 (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华
山东省职业技术教育师资培训中心 邹培明
上海电机技术高等专科学校 徐余法
天津中德职业技术学院 李大卫
天津理工学院职业技术学院 沙洪均
日照职业技术学院 李连业
北方交通大学职业技术学院 佟立本
辽宁工学院职业技术学院 李居参
包头职业技术学院 郑刚
北京科技大学职业技术学院 马德青
北京建设职工大学 常莲
北京海淀走读大学 成运花
江苏理工大学 吴向阳
合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章
机械工业出版社 李超群 余茂祚 (常务)
沈阳建筑工程学院 王宝金
佳木斯大学职业技术学院 王跃国
河北工业大学 范顺成
哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录
洛阳大学 吴锐
洛阳工学院职业技术学院 李德顺
南昌大学 肖玉梅
厦门大学 朱立秒
湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪
彭城职业大学 陈嘉莉
燕山大学 刘德有

序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议,作出了“关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定”的重大决策,强调教育在综合国力的形成中处于基础地位,坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此,教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议,进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务;以适应社会需要为目标;以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案;以“应用”为主旨和特征来构建课程和教学内容体系;高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要,即用人的需求;教材可以“一纲多本”,形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人,教材先行”,教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求,中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本(书目附书后)已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学。为了扩大使用面,在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的,但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量,真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材,组织编写队伍时,采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿,以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一,在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验,出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材,在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

前 言

本书根据全国高职高专院校建筑工程专业《钢结构》课程教学的要求及我国现行《钢结构规范》(GBJ17—1988)和近年来新颁布的有关标准、多年的教学体会、工程实践经验编写而成。

本书针对学生的学习特点和相关专业工程技术人员的需要,简要叙述了钢结构的原理与设计的基本内容,包括绪论、材料、连接、轴心受力构件、梁、拉弯和左弯构件、钢屋盖设计等章节,对近年来日益广泛用于工程中的钢与混凝土组合梁、高层建筑钢结构等新结构、新技术也作了简要介绍。

本书在编写时力求简明扼要、浅显实用、讲清概念、联系实际、深入浅出、便于自学;并附有大量例题、实例和有关图表供参考使用。

本书主要用作高职高专建筑工程专业教学用书,也可用作高教自考、电大函授、专业培训教材和工程建设技术与管理人员的学习参考书。

本书编写人员主要有:第1、2章徐占发、周兰君;第3章王文仲;第4章王瑞华、徐占发;第5章杨军;第6章张皓;第7章李士民。本书主编徐占发,副主编王文仲,由清华大学赵文蔚教授主审。

本书在编写过程中,参考与引用了已公开发表的《钢结构》及有关文献、资料,为此,谨对所有文献的作者和曾关心与支持本书的同志们深表谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,书中存在的缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序 前言

第 1 章 绪论 1

1.1 钢结构的特点和应用 1

1.1.1 钢结构的特点 1

1.1.2 钢结构的应用范围 1

1.2 钢结构的类型和组成 2

1.2.1 常用钢结构的类型与组成 2

1.2.2 钢结构的构件与连接 2

1.3 钢结构的设计原理与方法 2

1.3.1 结构的功能要求 2

1.3.2 结构功能的极限状态 2

1.3.3 结构的功能函数 2

1.3.4 结构极限状态方程 3

1.3.5 建筑结构的可靠度 3

1.3.6 实用设计表达式 4

1.3.7 钢结构设计的基本要求 5

1.4 钢结构的设计指标 5

1.4.1 钢结构上的作用 5

1.4.2 钢材强度标准值 9

1.4.3 钢材强度设计值 9

1.4.4 钢结构变形的规定 10

1.5 钢结构建筑工程实例 12

1.5.1 我国古代钢结构建筑 12

1.5.2 现代钢桥建筑 12

1.5.3 工业建筑 12

1.5.4 公共建筑 12

复习思考题 17

第 2 章 钢结构的材料 18

2.1 钢材的主要力学性能 18

2.1.1 钢材在单向均匀拉力作用下的性能 18

2.1.2 钢材的强度 19

2.1.3 钢材的塑性 19

2.1.4 钢材的冷弯性能 20

2.1.5 冲击韧度 20

2.1.6 焊接性能 21

2.2 钢材的疲劳 21

2.2.1 疲劳强度 21

2.2.2 疲劳计算 21

2.3 影响钢材性能的主要因素 与钢材防护 23

2.3.1 化学成分的影响 23

2.3.2 冶炼、浇注和轧制过程的影响 23

2.3.3 残余应力的影响 24

2.3.4 应力集中的影响 24

2.3.5 温度影响 24

2.3.6 钢材的冷作硬化和时效 24

2.3.7 钢材的防护 24

2.4 钢材的种类、规格与选用 25

2.4.1 钢材的种类 25

2.4.2 钢材的规格 26

2.4.3 钢材的选用和保证项目 28

复习思考题 31

第 3 章 钢结构的连接 32

3.1 钢结构的连接方法 32

3.1.1 焊接连接 32

3.1.2 铆钉连接 32

3.1.3 螺栓连接 32

3.2 焊接连接 33

3.2.1 焊接方法和焊接形式 33

3.2.2 焊缝级别和焊缝强度 35

3.2.3 对接焊缝的构造和计算 36

3.2.4 角焊缝的构造和计算 41

3.2.5 焊接残余应力和残余变形 53

3.3 普通螺栓连接 55

3.3.1 普通螺栓连接的构造 55

3.3.2 普通螺栓连接的计算 60

3.4 高强度螺栓连接 68

3.4.1 概述 68

3.4.2 摩擦型高强度螺栓连接的计算 70

3.4.3 承压型高强度螺栓的计算	73	5.3.2 梁的整体稳定系数 φ_b	108
复习思考题	75	5.3.3 保证梁整体稳定性的构造措施	109
第4章 轴心受力构件	79	5.4 钢梁的局部稳定	109
4.1 轴心受力构件的强度	79	5.4.1 保证梁局部稳定的措施	110
4.2 轴心受力构件的刚度	79	5.4.2 普通钢板梁仅有横向加劲肋 时间距 a 的简化计算公式	111
4.3 实腹式轴心受压构件的整体 稳定性	81	5.4.3 纵向加劲肋至腹板计算高度受压 边缘的距离 h_1 的确定	112
4.3.1 轴心受压构件稳定的计算	81	5.4.4 支承加劲肋的计算	112
4.3.2 轴心受压构件稳定系数 φ	82	5.4.5 当设有横向加劲肋时腹板局部 稳定计算	113
4.4 实腹式轴心受压构件的局部 稳定计算	84	5.5 梁的拼接与连接	113
4.4.1 板的临界应力 σ_{cr} 的计算	84	5.5.1 梁的拼接	113
4.4.2 板件宽厚比限值	84	5.5.2 主次梁的连接	114
4.5 实腹式轴心受压构件的截面 设计	85	5.5.3 梁的支座	115
4.5.1 截面设计原则	85	5.6 型钢梁的设计	116
4.5.2 截面选择方法	85	5.6.1 单向弯曲型钢梁	116
4.5.3 构造规定	86	5.6.2 双向弯曲型钢梁	117
4.6 格构式轴心受压构件	89	5.7 组合钢梁的设计	118
4.6.1 格构式轴心受压构件的整体 稳定承载能力	89	5.7.1 I 形组合梁的截面选择	118
4.6.2 格构式轴心受压构件的分肢 稳定性验算	90	5.7.2 组合梁的截面验算	119
4.6.3 格构式轴心受压构件的缀材 设计	90	5.7.3 组合梁截面沿长度的改变	120
4.6.4 格构式轴心受压构件的 设计步骤	91	5.8 钢与混凝土组合梁	126
4.7 柱头和柱脚	95	5.8.1 组合梁的类型与构造	126
4.7.1 梁与柱的连接	95	5.8.2 组合梁的特点	127
4.7.2 柱脚	96	5.8.3 组合梁的设计方法	128
复习思考题	101	复习思考题	129
第5章 梁	103	第6章 拉弯和压弯构件	131
5.1 梁的强度计算	103	6.1 拉弯和压弯构件的类型与 应用	131
5.1.1 梁的抗弯强度计算	103	6.1.1 拉弯构件	131
5.1.2 梁的抗剪强度计算	105	6.1.2 压弯构件	131
5.1.3 梁的局部承压强度计算	105	6.2 拉弯和压弯构件的强度与 刚度	132
5.1.4 折算应力计算	106	6.2.1 拉弯和压弯构件的强度	132
5.2 梁的刚度计算	107	6.2.2 拉弯和压弯构件的刚度	133
5.3 梁的整体稳定	107	6.3 实腹式压弯构件的整体 稳定	134
5.3.1 梁的整体稳定计算	107	6.3.1 弯矩作用平面内的稳定性	134
		6.3.2 弯矩作用平面外的稳定性	138

6.4 实腹式压弯构件的局部稳定	141	7.2.1 计算假定	160
6.4.1 受压翼缘板的局部稳定	142	7.2.2 节点荷载计算	160
6.4.2 腹板的局部稳定	142	7.2.3 屋架杆件内力计算方法	161
6.5 压弯构件的计算长度	144	7.3 屋架杆件的截面设计	162
6.5.1 在框架平面内柱的计算长度	144	7.3.1 屋架杆件的计算长度	162
6.5.2 在框架平面外柱的计算长度	146	7.3.2 屋架杆件的截面形式	162
6.6 实腹式压弯构件的截面设计	147	7.3.3 节点板和垫板	163
6.6.1 截面选择	147	7.3.4 屋架杆件的截面选择	164
6.6.2 截面验算	147	7.3.5 屋架的节点设计	164
6.7 格构式压弯构件	149	7.3.6 钢屋架的施工图	169
6.7.1 格构式压弯构件的整体稳定性	150	7.4 钢屋架的支撑	170
6.7.2 格构式压弯构件单肢的稳定性	150	7.4.1 屋盖支撑的类型和布置	170
6.7.3 缀材的计算和构造要求	151	7.4.2 支撑的截面选择和连接构造	172
6.8 压弯构件的柱头和柱脚	153	7.4.3 檩条、拉条和撑杆	173
6.8.1 压弯构件的柱头	153	7.5 普通钢屋架设计例题	174
6.8.2 压弯构件的柱脚	153	7.5.1 设计资料	174
6.9 高层建筑钢结构	155	7.5.2 支撑布置	174
6.9.1 高层建筑钢结构体系	155	7.5.3 檩条设计	174
6.9.2 高层建筑钢结构构造	156	7.5.4 屋架设计	176
6.9.3 高层建筑钢结构的计算特点	156	复习思考题	185
复习思考题	156	附录	187
第7章 钢屋盖结构设计	158	附录 A 轴心受压稳定系数	187
7.1 钢屋架的形式和尺寸	158	附录 B 柱的计算长度系数	192
7.1.1 屋架的形式	159	附录 C 各种截面回转半径的近似值	194
7.1.2 屋架的主要尺寸	159	附录 D 型钢表	195
7.2 屋架杆件的内力计算	160	附录 E 螺栓规格与有效面积	206
		参考文献	207

第 1 章 绪 论

钢结构是用钢板、型钢等轧成的钢材或通过冷加工成形的薄壁型钢,通过焊接、铆接或螺栓连接等方式制造的结构,它是建筑结构的一种主要形式。其基本构件有拉杆、压杆、梁、柱及桁架等。钢结构在土木工程中有着悠久的历史 and 广泛的应用,并有广阔的发展前景。

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构与钢筋混凝土结构、砌体结构和木结构相比有以下特点:

- (1) 钢材的材质均匀,质量稳定,可靠性高;实际受力情况与力学计算结果比较符合。
- (2) 钢材的强度高、塑性和韧性好,抗冲击和抗振动能力强;因而,钢结构自重轻,如普通钢屋架的重量仅为相同跨度和荷载的钢筋混凝土屋架重量的 $1/4 \sim 1/3$ 。
- (3) 工业化程度高,便于运输、安装和拆迁,因而,具有加工精度高,制造周期短,生产效率高和建造速度快的特点。
- (4) 密封性强,耐热性较好,可用于建造压力容器和大直径输送管道。
- (5) 耐腐蚀性和耐火性差。钢材在潮湿和有侵蚀性介质的环境中易锈蚀,应采取除锈、刷漆、镀锌等防锈措施,并需定期检修,故维修费用高。当温度超过 200°C 时,材质变软,强度降低,钢结构需采用防火和隔热措施。

1.1.2 钢结构的应用范围

目前,钢结构常用于大跨、超高、过重、振动、密闭、高耸、空间和轻型的工程结构中,其应用范围大致为

- (1) 重型厂房结构。设有起重量较大的中级和重级工作制桥式起重机的车间,如炼钢车间、轧钢车间、铸钢车间、水压车间、船体车间、热加工车间等重型车间的承重骨架和桥式起重梁。
- (2) 大跨度结构。要求大空间的公共建筑和工业建筑,多需采用重量轻、强度高的大跨度钢结构,如飞机制造厂的装配车间、飞机库、体育馆、大会堂、剧场、展览馆等,多采用钢网架、拱架、悬索以及框架等结构体系。
- (3) 高层和超高层建筑。多采用钢框架结构体系,以加快建设速度,提高抗震性能。
- (4) 高耸构筑物。主要是承受风荷载的高耸塔桅结构,如高压输电线塔架、石油化工排气塔架、电视塔、环境气象监测塔、无线电桅杆等多采用塔桅钢结构。
- (5) 容器、贮罐、管道。大型油库、气罐、囤仓、料斗和大直径煤气管、输油管等多采用板壳钢结构,以保证在压力作用下耐久与不渗漏。
- (6) 可拆装和搬迁的结构,如流动式展览馆、装配式活动房屋等多用螺栓和扣件连接的轻钢结构。
- (7) 其他构筑物,如高炉、热风炉、锅炉骨架,大跨度铁路和公路桥梁、水工闸门、起重桅杆、运输通廊、管道支架和海洋采油平台等,一般多采用钢结构。

1.2 钢结构的类型和组成

1.2.1 常用钢结构的类型与组成

常用钢结构的类型与组成如下述:

(1)梁式结构。梁常用于房屋的屋盖和楼盖以及车间的工作平台,桥梁与桥式起重机桥架。一般可按主次梁、平行或成对等方式布置梁格。

(2)桁架式结构。钢屋架结构多用平面桁架组成。桁架仅受节点荷载,各杆件基本承受轴向拉力和压力,材料可充分利用。

(3)框架式结构。框架多用于单层厂房和大跨度房屋结构,也常用作多层和高层房屋的承重骨架。平面框架应设置侧向支撑体系、系杆和檩条以保证其稳定和刚度。梁、柱刚接的刚架,其刚度可有明显提高。

(4)拱式结构。大跨度房屋的承重骨架,通常用平行放置的实腹式或格构式的拱及支撑系统、系杆和檩条等侧向联系组成。拱可做成无铰拱、两铰拱和三铰拱。拱截面一般承受较大的轴向压力,而弯矩和剪力较小。

1.2.2 钢结构的构件与连接

钢结构的基本构件有:受弯构件,轴向受力构件,拉弯和压弯构件等。钢结构的连接具有重要地位。连接方式可有焊接、铆接和螺栓连接等。

1.3 钢结构的设计原理与方法

钢结构设计的目的是在现有的技术基础上用最少的人力、物力消耗获得能够完成全部功能要求的足够可靠的结构。

1.3.1 结构的功能要求

(1)安全性 结构应能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用,不致破坏;在偶然事件发生时及发生后,能保持必要的整体稳定。

(2)适用性 结构在正常使用时具有良好的工作性能。

(3)耐久性 结构在正常维护条件下,能在预定的使用年限内具有足够的耐久性。

安全性、适用性和耐久性统称为结构的可靠性。结构的可靠性与经济性之间存在着矛盾,科学的设计方法应使结构既经济又可靠。

1.3.2 结构功能的极限状态

显然,结构能够满足某种功能要求,并能良好地工作时,称为结构“可靠”或“有效”;反之,则称为“不可靠”或“失效”。区分结构工作状态可靠或失效的标志是“极限状态”。结构功能的极限状态可分为两类。

(1)承载能力极限状态 当结构或构件达到最大承载能力、疲劳破坏或不适于继续承载的变形时,即为承载能力极限状态。

(2)正常使用极限状态 当结构或构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态,结构超过该状态时将不能正常工作。

设计中,通常先按承载能力极限状态来设计结构或构件,再按正常使用极限状态来校核。

1.3.3 结构的功能函数

如图 1-1a 所示,结构的工作状态可用结构抗力 F 和作用效应 S 的关系式来描述。这种表

达式称为结构的功能函数,以 Z 表示如下。

$$Z = F - S = f(S, F) \quad (1-1)$$

结构功能函数表达式可用来判别结构的工作状态。

当 $Z > 0$ 时,结构处于可靠状态;

当 $Z = 0$ 时,结构处于极限状态;

当 $Z < 0$ 时,结构处于失效状态。

1.3.4 结构极限状态方程

结构处于极限状态时的功能函数表达式, $Z = g(F, S) = 0$ 称为结构极限状态方程。

结构设计必须满足结构功能要求,即结构不应超过极限状态,要求满足: $S \leq F$ 。

1.3.5 建筑结构的可靠度

1. 结构设计问题的不确定性 结构功能函数表达式中,荷载效应 S 和结构抗力 F 均为随机变量,即具有不确定性;显然, $Z = F - S$ 也是随机变量。

结构设计计算要求, F 、 S 、 Z 应为确定的量值。概率论和数理统计学表明:对这类随机现象的一次观测或试验,其结果是分散的,但是大量的重复观测或试验,则其结果会呈现统计的规律性,反映这种分布主要特征的数学解析式表达的分布曲线为正态分布曲线,如图 1-1b 所示。其主要特征是:中间高,两边低,以平均值为中心,频数或频率大体呈对称分布。

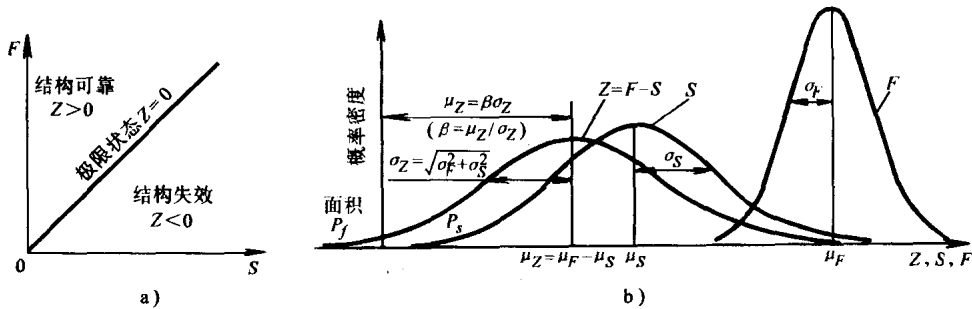


图 1-1 建筑结构设计原理

a) 结构工作状态判别图 b) 结构可靠概率与可靠指标的关系

2. 结构的可靠度 显然,结构的可靠性只能用概率来度量。度量结构可靠性的概率称为结构可靠度,具体定义为: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,即结构处于可靠状态的概率,称为结构可靠度,一般用 P_s 表示。失效概率则用 P_f 表示,两者为互补的,即:

$$P_s + P_f = 1, \text{ 或 } P_f = 1 - P_s \quad (1-2)$$

由 Z 的正态分布图图 1-1b 可知,失效概率为 $Z < 0$ 时分布曲线的尾部面积,用阴影标出。若 Z 值的平均值为 μ_z ,标准差为 σ_z ,则 μ_z 到坐标原点的距离可用 σ_z 来度量,即取

$$\mu_z = \beta \sigma_z \quad \text{或} \quad \beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_F - \mu_S}{\sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-3)$$

又知, β 与 P_f 之间存在着对应关系, β 同 P_f 一样,可以作为衡量结构可靠性的一个指标, β 被称为结构的可靠指标。为避免计算复杂,“建筑结构设计统一标准”采用 β 代替 P_f 来度量结构的可靠性。“统一标准”规定的作为设计依据的可靠指标 $[\beta]$,称为目标可靠指标。由于 S 、 F

均为随机变量,一般只能做到绝大多数情况下 $S < F$,并使失效概率低到人们可以接受的程度,“统一标准”根据结构构件破坏类型及安全等级规定了 $[\beta]$ 取值,如表 1-1 所示。

建筑结构安全等级是根据建筑结构破坏后果的严重程度划分的,如表 1-2 所示。

表 1-1 结构构件承载力极限状态设计时的 $[\beta]$ 值

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

表 1-2 建筑结构安全等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型	结构重要性系数 γ_0
一级	很严重	重要的建筑物	1.1
二级	严重	一般的建筑物	1.0
三级	不严重	次要的建筑物	0.9

对于正常使用极限状态, $[\beta]$ 应根据结构构件特点和工作经验确定。

在结构构件设计时,应满足:

$$\beta \geq [\beta] \quad (1-4)$$

该法就是以概率为理论基础,以各种功能要求的极限状态作为设计依据的概率极限状态设计法。该法基本概念合理,可以给出结构可靠度的定量概念,但计算过程复杂,还不能普遍用于实际工程。所以,“统一标准”采用以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态实用设计表达式。

1.3.6 实用设计表达式

钢结构有两种设计方法:容许应力设计法和概率极限状态设计法。

1. 容许应力设计法 容许应力设计法是一种传统的设计方法。其设计准则是,结构构件按标准荷载计算的应力 σ 应不超过设计规范规定的容许应力 $[\sigma]$,其设计表达式为

$$\sigma = \Sigma F/a \leq [\sigma] = \sigma_s/K \quad (1-5)$$

式中 ΣF ——各种荷载标准值引起的内力的总和;

a ——构件截面几何参数,包括截面面积、截面系数 W 等;

σ_s ——钢材屈服强度标准值;

K ——安全系数,主要根据统计分析和工程经验确定。

容许应力法简单方便,目前有很多国家采用,我国铁路和公路桥梁规范也采用此法。建筑钢结构中对一些不能按极限平衡状态或弹塑性理论分析的结构,如结构构件或连接的疲劳强度计算,《规范》规定仍按容许应力法计算。

2. 概率极限状态设计法 《钢结构设计规范》(GBJ 17—1988)规定,钢结构的计算(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。

钢结构按承载力极限状态设计时,采用应力计算表达式:

$$\gamma_0 \left(\sigma_{Gd} + \sigma_{Q1d} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \sigma_{Qi d} \right) \leq f_d \quad (1-6)$$

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,分别取为1.1、1.0、0.9,见表 1-2 所示;

σ_{Gd} ——永久荷载设计值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Q1d} ——第一个可变荷载的设计值在结构构件的截面或连接中产生的应力;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数,当风荷载与其他可变荷载组合时可采用 0.6;

σ_{Qid} ——第 i 个可变荷载设计值在结构构件的截面或连接中产生的应力;

f_d ——结构构件或连接的强度设计值,见表 1-8、表 1-9 及表 3-1、表 3-10 所示。

对于一般排架和框架结构,由于引起结构构件或连接的最大效应的可变荷载很难确定,可采用如下简化计算公式:

$$\gamma_0 \left(\sigma_{Gd} + \psi \sum_{i=1}^n \sigma_{Qid} \right) \leq f_d \quad (1-7)$$

式中 ψ ——组合值系数,取 0.85;

其他符号意义同前。

对于正常使用极限状态,结构或构件按荷载的短期效应组合,其设计表达式为

$$\omega = \omega_{Gik} + \omega_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \omega_{Qik} \leq [\omega] \quad (1-8)$$

式中 ω ——结构或构件中产生的变形值;

ω_{Gik} ——永久荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

ω_{Q1k} ——第一个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值,该值大于其他任意第 i 个可变荷载标准值产生的变形值;

ω_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

$[\omega]$ ——结构或构件的容许变形值,按《规范》规定采用或见表 1-11 及表 1-12 所示。

1.3.7 钢结构设计的基本要求

钢结构设计要执行有关规范规定,应做到技术先进、经济合理、安全实用和确保质量,力求达到建筑与结构的完善统一。因此,在钢结构设计中要注意以下要求。

- (1)采用合理的结构体系。
- (2)尽可能实现模数化、标准化和工厂化制造。
- (3)采用优质钢材。
- (4)采用先进可靠的连接方法。
- (5)采用计算机辅助设计。

钢结构设计应遵循合理的设计程序,确定正确的结构设计方案。结构设计程序大体为:①调查研究、收集资料;②确定结构方案;③进行结构布置;④进行结构内力分析,确定危险截面的内力;⑤进行各类构件的截面及联接的设计计算;⑥绘制施工图样;⑦施工图概算。

1.4 钢结构的设计指标

1.4.1 钢结构上的作用

结构上的作用,是指引起结构外加变形和内力的原因。直接作用通称荷载;间接作用,如地基变形、混凝土收缩、温度变化和地震等则不能称荷载。

1. 荷载标准值 荷载标准值是指在结构的使用期间,在正常情况下出现的最大值,它是

荷载的基本代表值。各类荷载标准值的取值,《荷载规范》规定:

(1)永久荷载标准值。对于变异性不大的自重可按构件的设计尺寸或单位体积(或面积)的自重平均值取值;对于变异性较大的自重,当对结构不利时,取上限,反之取下限。常用材料的构件的自重见表 1-3。

表 1-3 常用材料和构件自重

名 称	自 重	单 位	备 注
石灰砂浆、混合砂浆	17	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	
石灰炉渣	10~12		
石灰锯末	3.4		石灰:锯末=1:3(质量比)
水泥砂浆	20		
素混凝土	22~24		振捣或不振捣
加气混凝土	5.5~7.5		单块
钢筋混凝土	24~25		
膨胀珍珠岩粉料	0.8~2.5		干、松散,热导率 0.045~0.065
水泥珍珠岩制品	3.5~4		强度 0.4~0.8MPa
			热导率 0.05~0.07W/C·m
膨胀蛭石	0.8~2		热导率 0.045~0.06W/C·m
沥青蛭石制品	3.5~4.5		热导率 0.07~0.09W/C·m
水泥蛭石制品	4~6		热导率 0.8~0.12W/C·m
浆砌普通砖	13		
浆砌机砖	19		
水泥粉刷墙面	0.36	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$	20mm 厚,水泥粗砂
水磨石墙面	0.55		25mm 厚,包括打底
水刷石墙面	0.50		25mm 厚,包括打底
木屋架	0.07+0.007×跨度		按屋面水平投影面积计算,跨度以 m 计
钢屋架	0.12+0.011×跨度		无天窗,包括支撑,按屋面水平投影面积计算,跨度以 m 计
木框玻璃窗	0.2~0.3		
钢框玻璃窗	0.4~0.45		
粘土平瓦屋面	0.55		按实际面积计算(下同)
水泥平瓦屋面	0.5~0.55		
冷摊瓦屋面	0.5		
油毡防水层	0.35~0.40		八层作法,三毡四油上铺小石子
麻刀灰板条顶棚	0.45		吊木在内,平均灰厚 20mm
砂子灰板条顶棚	0.55		吊木在内,平均灰厚 25mm
水磨石地面	0.65		10mm 面层,20mm 水泥砂浆打底

(2)可变荷载标准值。《荷载规范》给出了各种可变荷载标准值的取值,可直接查用。楼面均布活荷载标准值及其准永久值系数见表 1-4,屋面均布活荷载标准值见表 1-5。

考虑到作用在楼面上的活荷载不可能同时满布在所有楼面并达到最大值,故在确定梁、墙、柱和基础的荷载标准值时,应将楼面活荷载标准值予以折减,表 1-6 为活荷载标准值的折减系数,表 1-7 为活荷载按楼层数的折减系数。

(3)可变荷载准永久值。可变荷载准永久值是指在规定的期限内经常达到或超过的荷载值,它对结构的影响在性质上仅次于永久荷载。

表 1-4 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其准永久值系数

序号	类 别		标准值 /kN·m ⁻²	准永久值系数 ψ_k
1	住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院、病房、托儿所、幼儿园		1.5	0.4
2	教室、试验室、阅览室、会议室		2.0	0.5
3	食堂、办公楼中的一般资料档案室		2.5	0.5
4	礼堂、剧场、电影院、体育场及体育馆的看台	(1)有固定座位	2.5	0.3
		(2)无固定座位	3.5	
5	展览馆		3.0	0.5
6	商店		3.5	0.5
7	车站大厅、候车室、舞台、体操室		3.5	0.5
8	藏书库、档案库		5.0	0.8
9	停车库	(1)单向板楼盖(板跨不小于 2.0m)	4.0	0.6
		(2)双向板楼盖和无梁楼盖(柱网尺寸不小于 6m×6m)	2.5	
10	厨房		2.0	0.5
11	浴室、厕所、盥洗室	(1)对第一项中的民用建筑	2.0	0.4
		(2)对其他民用建筑	2.5	0.5
12	走廊、门厅、楼梯	(1)住宅、托儿所、幼儿园	1.5	0.4
		(2)宿舍、旅馆、医院、办公楼	2.0	0.4
		(3)教室、食堂	2.5	0.5
		(4)礼堂、剧场、电影院、看台、展览馆	3.5	0.3
13	挑出阳台		2.5	0.5

- 注:1. 本表所给各项荷载适用于一般使用条件,当使用荷载较大时,应按实际情况采用。
2. 第 9 项活荷载只适用于停放轿车的车库。当单向板板跨小于 2m 时,可按《荷载规范》附录二规定,将车轮局部荷载换算为等效均布荷载,局部荷载值取 4.5kN,间隔 1.5m,分布在 0.2m×0.2m 的面积上。
3. 第 12 项楼梯活荷载,对预制楼梯踏步平板,尚应按 1.5kN 集中荷载验算。
4. 第 13 项挑出阳台荷载,当人群有可能密集时,宜按 3.5kN·m⁻²采用。
5. 本表各项荷载未包括隔墙自重。

表 1-5 屋面均布活荷载

序号	类 别		标准值/kN·m ⁻²	准永久值系数 ψ_k
1	不上人的屋面	石棉瓦、瓦楞铁等轻屋面和瓦屋面	0.3	0
		钢丝网水泥及其他水泥制品轻屋面以及由薄钢结构承重的钢筋混凝土屋面	0.5	0
		由钢结构或钢筋混凝土结构承重的钢筋混凝土屋面,包括挑檐和雨篷	0.7	0
2	上人的屋面		1.5	0.4

- 注:1. 不上人的屋面,当施工荷载较大时,应按实际情况采用。
2. 上人的屋面,当兼作其他用途时,应按相应楼面活荷载采用。
3. 屋面均布活荷载,不应与雪荷载同时考虑。

表 1-6 设计楼面梁、墙、柱及基础时,楼面活荷载标准值的折减系数

房 屋 类 别			折 减 系 数
设计 楼面梁 时	表 1-4 中的第 1 项,当从属面积超过 25m ² 时		0.9
	表 1-4 中的第 2~8 项,当从属面积超过 50m ² 时		
	表 1-4 中的第 9 项	单向板楼盖的次梁和槽形板的纵肋	0.8
		单向板楼盖的主梁	0.6
		双向板楼盖的梁	0.8
	表 1-4 中的第 10~13 项		按所属房屋类别相同的折减系数采用
设计 墙、柱 和基础 时	表 1-4 中的第 1 项		按表 1-7 规定采用
	表 1-4 中的第 2~8 项		按设计楼面梁时的折减系数采用
	表 1-4 中的第 9 项	单向板楼盖	0.6
		双向板楼盖和无梁楼盖	0.8
	表 1-4 中的第 10~13 项		按所属房屋类别相同的折减系数采用

注:楼面梁的从属面积是指向梁两侧各延伸 1/2 梁间距范围内的实际面积。

表 1-7 活荷载按楼层数的折减系数

墙、柱、基础计算截面以上的层数	1	2~3	4~5	6~8	9~20	>20
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1.00 (0.90)	0.85	0.70	0.65	0.60	0.55

注:当楼面梁的从属面积超过 25m² 时,采用括号内的系数。

可变荷载准永久值可记为 $\psi_q Q_K$, Q_K 为某种可变荷载标准值, ψ_q 为折减系数,称为可变荷载准永久值系数,它可表示为

$$\psi_q = \frac{\text{荷载准永久值}}{\text{荷载标准值}} \leq 1 \tag{1-9}$$

ψ_q 可在《荷载规范》中查到或见表 1-4 中,其他根据工程经验判断确定。

(4)可变荷载组合值。当结构承受两种或两种以上可变荷载时,应采用组合值作为可变荷载代表值,多种可变荷载同时达到预计最大值的概率显然比一种可变荷载达到预计最大值的概率要低一些,设计中,采用引入组合系数对可变荷载标准值折减的办法予以考虑。

可变荷载组合值可记为 $\psi_c Q_K$, ψ_c 为折减系数,称为荷载组合值系数,它可表示为

$$\psi_c = \frac{\text{荷载组合值}}{\text{荷载标准值}} \leq 1 \tag{1-10}$$

一般情况下,当有风荷载参加组合时,取 $\psi_c=0.6$;当没有风荷载参加时取 $\psi_c=1.0$;对于排架、框架结构,当有两个或两个以上的可变荷载参与组合,且其中包括风荷载时, $\psi_c=0.85$,在其他情况下均取 $\psi_c=1.0$ 。

2. 荷载分项系数及荷载设计值 荷载标准值是指结构在正常使用情况下可能出现的最大荷载值,一般用于正常使用极限状态或长期效应组合设计时,在偶然情况下或在非常情况下,仍然有超过荷载标准值的可能。荷载分项系数就是考虑荷载超过标准值的可能性,用以调整对结构计算可能造成的可靠度的严重差异,一般用于承载能力极限状态设计时。

对永久荷载的分项系数 γ_G ,当其效应对结构不利时,取 $\gamma_G=1.2$;当验算结构倾覆和滑移时对结构有利时,取 $\gamma_G=0.9$ 。