



应用型本科规划教材

PRINCIPLES OF STEEL STRUCTURES

钢结构原理

◆ 主 编 郑 悦
副主编 许瑞萍
主 审 许钧陶



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

应用型本科规划教材

钢 结 构 原 理

主 编 郑 悦
副主编 许瑞萍
主 审 许钧陶



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 简 介

本书为应用型本科院校土木工程专业的专业课教材。全书共分7章,包括:绪论、钢结构的材料、轴心受力构件、受弯构件(梁)、拉弯构件和压弯构件、钢结构的焊缝连接、钢结构的紧固件连接。书中列举了较完整的计算例题,每章附有学习要点、思考题和习题,书末附有必要的表格和计算公式。本书按《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写,除用作应用型本科土木工程专业教材外,也可作为高职院校相关专业的指定教材,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构原理 / 郑悦主编. —杭州:浙江大学出版社,
2009.7
应用型本科规划教材
ISBN 978-7-308-06881-9

I. 钢… II. 郑… III. 钢结构—高等学校—教材 IV.
TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 112927 号

钢结构原理

郑 悦 主编

丛书策划	樊晓燕 王 波
责任编辑	邹小宁
封面设计	刘依群
出版发行	浙江大学出版社 (杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028) (网址: http://www.zjupress.com)
排 版	杭州中大图文设计有限公司
印 刷	杭州杭新印务有限公司
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	13.25
字 数	348 千
版 次	2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000
书 号	ISBN 978-7-308-06881-9
定 价	22.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

应用型本科院校土木工程专业规划教材

编 委 会

主 任 陈云敏

副主任 王娟娣 许钧陶 魏新江

委 员 (以姓氏笔画为序)

马海龙 王建新 李 强

李立新 李剑敏 李国柱

林贤根 杨云芳 杨迎晓

陈江瑛 周赵凤 郭鼎康

廖 娟

前 言

近年来,钢结构以其材料强度高、结构自重轻、有良好的延性、抗震性能好、工业化程度高等优点,在我国发挥着日益重要的作用,被广泛应用于各类厂房、体育馆、高层建筑和桥梁等工程。国家的产业政策已明确对建筑钢结构给予支持,为我国建筑钢结构发展提供了广阔的前景和巨大的发展空间。

目前,钢结构的各类专业人才相对缺乏,为了适应当前应用型本科学校的迅速发展,根据应用型本科学校的特点和教学要求,结合学生的学习能力和社会需求,特编写了该教材。该教材在消化吸收已有教材优点的基础上,博采众长,形成以下特色及创新点。

1. 体系上:

钢结构学习的难点之一是复杂的构造。一般教材都是先讲连接后讲构件,本教材把构造较为简单的三大基本构件放到前面讲述,把涉及较复杂的节点构造的连接放到后面讲述,这样对初学者来说容易接受和掌握。

2. 内容上:

(1) 突出“实用性”特点,重基本概念和基本原理,轻繁琐公式推导;

(2) 语言叙述简明易懂、层次分明,并配有丰富直观的图形;

(3) 每章附有学习要点、思考题及习题,帮助学者掌握重点、强化概念、融会贯通;

(4) 密切结合现行规范,基本知识体系完整,理论联系实际,学以致用。

按我国土木工程专业指导委员会制定的新的土木工程专业教学计划,将钢结构课程分为“钢结构原理”和“钢结构设计”两大部分。本书主要供建筑工程专业方向使用,并可与《钢结构设计》配套使用。文中如无特别指明,其中的“规范”均指《钢结构设计规范》(GBJ 5001—2003)。

参加本书编写的人员有:浙江大学宁波理工学院的许瑞萍(第1章、第3章),浙江大学城市学院的郑悦(第2章、第4章、第5章、附录),浙江树人大学的邢丽(第6章)和赵伟(第7章),全书由郑悦作最后的修改和统稿,许钧陶教授担

任主审。在编写过程中,我们参考和引用了书中所列的文献资料,在此谨向有关单位和作者致以衷心的感谢!

由于时间仓促且编者水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 1 月

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重要的意义。

应用型本科院校以培养应用型人才为主要目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对土木工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。土木工程专业是以培养注册工程师为目标,国家土木工程专业教育评估委员会对土木工程专业教育有具体的指导意见。针对这些情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校土木工程类专业的教师共同开展了“应用型本科土木工程专业教材建设”项目的研究,探讨如何编写既能满足注册工程师知识结构要求、又能真正做到应用型本科院校“因材施教”、适

合应用型本科层次土木工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校土木工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以注册工程师知识结构为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到相关院校的认可,对于应用型本科院校土木工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任
浙江大学建筑工程学院常务副院长
教育部长江学者特聘教授
陈云敏
2007年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的发展	1
1.2 钢结构的特点和应用	5
1.3 钢结构的设计方法	6
1.4 钢结构课程的内容和学习要求	10
第 2 章 钢结构的材料	11
2.1 钢结构材料的力学性能	11
2.2 影响钢材性能的主要因素	15
2.3 复杂应力状态下钢材的屈服条件	20
2.4 钢材的疲劳	21
2.5 钢材的种类和选用	24
第 3 章 轴心受力构件	28
3.1 轴心受力构件的应用和类型	28
3.2 轴心受力构件的强度和刚度	29
3.3 轴心受压构件的受力性能	30
3.4 实腹式轴心受压构件的整体稳定性计算	35
3.5 轴心受压构件的局部稳定性	38
3.6 格构式轴心受压构件的计算	43
第 4 章 受弯构件(梁)	53
4.1 受弯构件的应用和类型	53
4.2 受弯构件的强度和刚度	55
4.3 梁的整体稳定性	64
4.4 板梁的局部稳定性	70
4.5 工字形板梁腹板屈曲后承载力的计算	83

第 5 章 拉弯构件和压弯构件	90
5.1 拉弯构件和压弯构件的应用和类型	90
5.2 拉弯构件和压弯构件的强度和刚度	91
5.3 实腹式压弯构件的稳定计算	93
5.4 格构式压弯构件的稳定计算	102
5.5 压弯构件的计算长度	107
第 6 章 钢结构的焊缝连接	112
6.1 焊接方法和焊接结构的特性	112
6.2 焊缝连接形式和焊缝表示方法	116
6.3 对接焊缝的构造和计算	120
6.4 角焊缝的受力性能和构造要求	125
6.5 角焊缝连接的计算	129
6.6 焊接残余应力和残余变形	139
第 7 章 钢结构的紧固件连接	144
7.1 螺栓的分类和螺栓连接结构的特性	144
7.2 螺栓的排列与构造	146
7.3 普通螺栓连接的工作性能和计算	147
7.4 高强度螺栓连接的工作性能和计算	158
附录	165
附录 1 钢材的性能	165
附录 2 构件和连接的强度设计值	170
附录 3 构件的容许长细比和容许挠度	172
附录 4 轴心受压构件的稳定系数	174
附录 5 截面塑性发展系数	179
附录 6 受弯构件的整体稳定系数	180
附录 7 柱的计算长度系数	181
附录 8 型钢规格及螺栓规格	183
主要参考文献	201

第1章 绪论

【学习要点】

本章主要讲述钢结构的发展、钢结构的特点和应用范围;介绍现行钢结构设计规范的设计原理和计算方法;明确钢结构课程的学习任务和要求。

1.1 钢结构的发展

钢结构是指用 H 型钢、工字钢、槽钢、角钢等热轧型钢和钢板组成的以及用冷弯薄壁型钢制成的承重构件或承重结构。

早期的钢结构仅是部分构件、配件用铸铁、熟铁制成。成功的范例有:1772 年英国利物浦的圣安妮教堂,最早采用铸铁制作结构构件。图 1-1 所示为 1851 年伦敦国际博览会建造的水晶宫(Crystal Palace),充分展示了铸铁结构和预制装配技术的潜力。

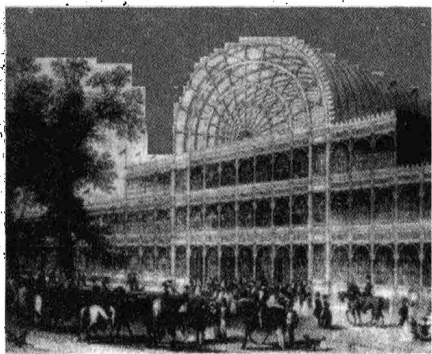


图 1-1 英国伦敦水晶宫示意图

18 世纪西方兴起工业革命后,冶炼出了抗拉性能好于生铁的熟铁;在 19 世纪初发明了铆钉,出现了生熟铁的组合结构。1856 年转炉炼钢的出现,以及随后出现的电炉炼钢及 20 世纪 40 年代焊接连接方法的采用,为钢结构的应用与发展带来了巨大的变革。

工业革命以后,钢结构在欧洲各国的应用逐渐增多,范围也不断扩大。例如 1883 年美国在芝加哥建造的 11 层保险大楼,是最先使用铁框架承重的建筑物,被认为是高层建筑的开始。图 1-2 是 1889 年建成的位于巴黎塞纳河畔的埃菲尔铁塔,高 300m,是 19 世纪世界上最高的钢结构构筑物,这个纪录保持了 40 年。

图 1-3 为位于美国芝加哥的西尔斯大厦,全钢结构。高 442m,共 110 层,建筑面积 41.38 万平方米,建于 1974 年。

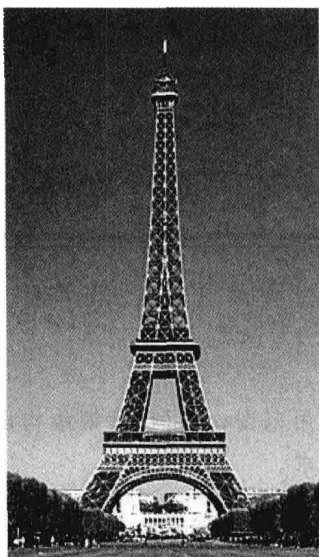


图 1-2 埃菲尔铁塔

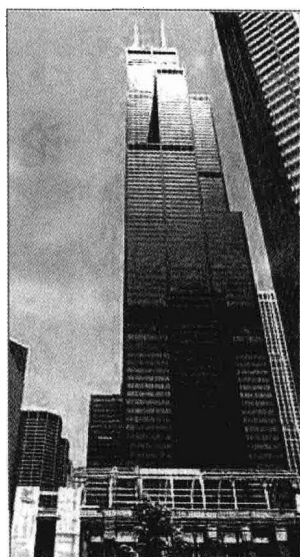


图 1-3 西尔斯大厦

图 1-4 是法国巴黎蓬皮杜文化艺术中心,建于 1977 年。这是一座包括图书馆、现代艺术博物馆和工艺美术中心的艺术与文化中心。主体为 6 层的钢结构建筑,长 166m,宽 60m。

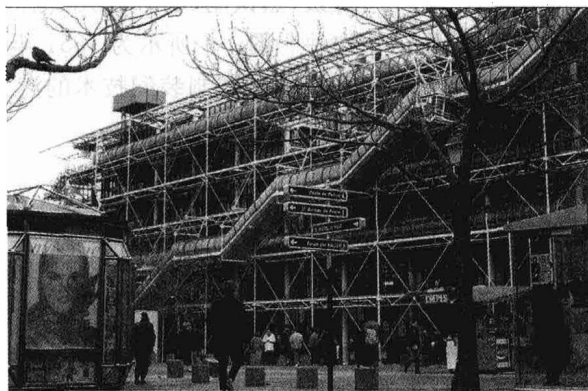


图 1-4 蓬皮杜文化艺术中心

钢结构在我国有着悠久的历史。如 967 年建于南汉朝的广州光孝塔东铁塔,塔高 6.35m,共 7 层;1061 年建于宋朝的湖北荆州玉泉寺塔,高 17.9m,共 13 层;1105 年建于宋朝的铁塔寺,高 13m,共 9 层。

1949 年新中国成立以后,随着经济建设的发展,钢结构得到一定程度的应用。但由于受到钢产量的制约,钢结构仅在重型厂房、大跨度公共建筑、铁路桥梁以及塔桅结构中采用。如鞍钢、包头等钢厂的炼钢、轧钢车间等都采用了钢结构。在公共建筑中主要以平板网架为主。如 1962 年建成的北京工人体育馆采用圆形双层辐射式悬索结构,直径为 94m。武汉和南京长江大桥都采用了铁路公路两用双层钢桁架桥。

1978 年改革开放以后,随着经济建设的突飞猛进,钢结构有了前所未有的发展,应用领

域有了较大扩展。高层建筑、超高层建筑、单层轻型房屋、体育场馆等都已采用了钢结构。如上海金茂大厦,地上 88 层,地下 3 层,高 365m,标志着我国的超高层钢结构已进入世界前列。位于北京奥林匹克公园内的“鸟巢”(图 1-5),长 333m,宽 298m,总用钢量约为 4.2 万吨,焊缝长度近 320km,标志着我国的大跨度空间钢结构已进入世界前列。图 1-6 为国家大剧院,该工程外部围护结构为钢结构网壳,呈半椭圆球形,东西长轴 212.2m,南北短轴 143.64m,总高度 46.285m,整体结构用钢量达 6750t($195\text{kg}/\text{m}^2$)。

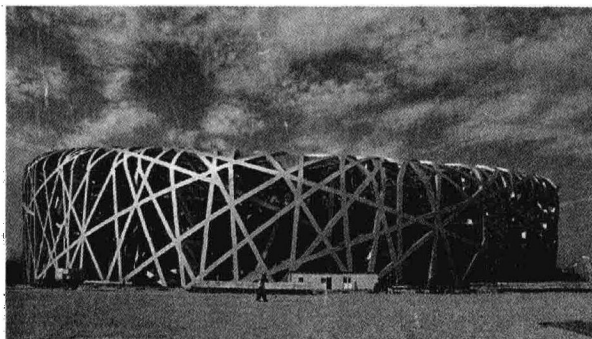


图 1-5 北京鸟巢体育馆

图 1-7 所示为台北 101 大楼,2003 年建成,101 层,屋顶高度 448m,到塔桅顶高 508m,是目前世界上最高的建筑。周边设置 8 根大箱形钢柱(截面由 $2.4\text{m} \times 3.0\text{m}$ 缩小到 $1.6\text{m} \times 2.0\text{m}$,钢板厚度由 70mm 减至 50mm)和 12 根小箱形钢柱。26 层以上只剩下 8 根大箱形钢柱直到 90 层,为了提高柱的刚度,在 62 层以下箱形钢柱内灌注 68.9MPa 的混凝土。

钢结构住宅建筑是以钢结构为承重结构并与轻质墙板体系相配套的一种新型的住宅建筑体系。我国住宅钢结构是从 20 世纪 80 年代引进国外的轻钢住宅开始研究的。由于生态建筑的要求和建材改革的需要,钢结构住宅有着广阔的前景。

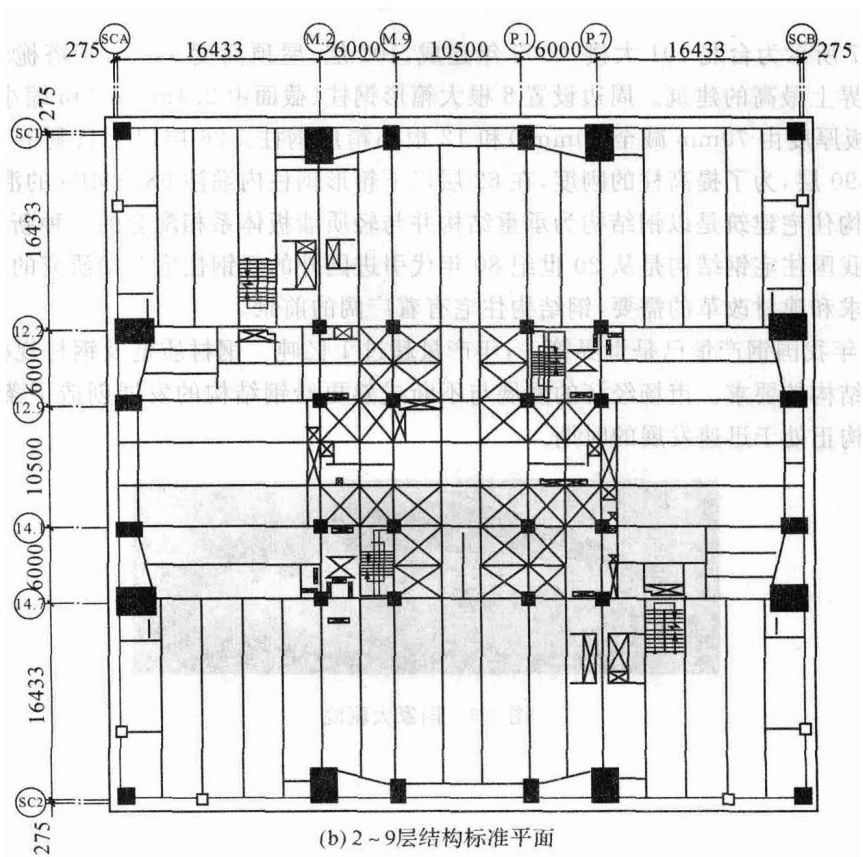
1996 年我国钢产量已是世界第一,年产量超过 1 亿吨。钢材质量及钢材规格也己能满足建筑钢结构的要求。市场经济的发展与不断成熟更给钢结构的发展创造了条件。因此,我国钢结构正处于迅速发展的时期。



图 1-6 国家大剧院



(a) 照片



(b) 2~9层结构标准平面

图 1-7 台北 101 大楼

1.2 钢结构的特点和应用

1.2.1 钢结构的特点

与应用最为广泛的混凝土结构相比,钢结构具有如下一些主要特点:

(1)强度高,重量轻。由于钢材的强密比(强度与质量密度之比值)较钢筋混凝土大7倍左右,因此在相同承载力条件下,以钢构件的截面为小,重量为轻。例如,在跨度和荷载相同的条件下,钢屋架的重量约为钢筋混凝土屋架的 $1/3 \sim 1/4$ 。由此带来的优点是:便于构件的运输和吊装,基础和地基处理的费用与工程量可大大减少。

(2)良好的力学性能。钢材质地均匀、各向同性的性质符合结构计算时通常所作的假定,因而钢结构的计算结果与实际情况最为相符,计算可靠;钢材的弹性模量较大,结构在荷载作用下的变形就较小;钢材有良好的塑性性能,可调节构件中可能出现的局部应力高峰,且结构在破坏前一般都会产生显著的变形,事故有预告,可及时防患;钢材还具有良好的韧性,对承受动力荷载适应性强,故抗震性能好。

(3)施工质量好,且工期短。钢结构一般都在专业工厂由机械化生产制造,而后运至工地现场安装,工业化生产程度高,质量容易监控和保证。工地占地面积少,环境污染也少,适用于都市市区建造。构件制造好后安装速度快,工期短,效益好。

(4)用螺栓连接的钢结构,可装拆,适用于移动性结构。

(5)钢材具可重复使用性。钢结构加工制造过程中产生的余料、碎屑,以及废弃和败坏了的钢结构构件,均可回炉重新冶炼成钢材重复使用。

(6)密闭性能好。做成容器不透气、不渗漏,可用于储油罐、有毒气体密闭罐等。

(7)钢材耐腐蚀性差,因而需采取防腐措施。

(8)钢结构有一定的耐热性,但不耐火。对有防火要求者,需按相应规定采取隔热保护措施。

(9)钢结构在低温、二向或三向受拉应力作用以及较大应力集中等条件下,可能发生脆性断裂,此时表现出钢结构材料没有塑性。

(10)由于钢材强度大、构件截面小、厚度薄,因而在压力和弯矩等作用下带来了构件甚至整个结构的稳定问题。在设计中考虑如何防止结构或构件失稳,是钢结构设计的一个重要特点。

由于以上特点,钢结构的应用范围很广,有些情况下无法用其他建筑材料的结构代替,但同时也要采取比较特殊的措施,以防止问题的发生。

1.2.2 钢结构的应用

钢结构的应用范围除须根据钢结构的特点作出合理选择外,还须结合我国国情针对具体情况进行综合考虑。目前我国在工业与民用建筑中钢结构的应用,大致有如下几个范围:

(1)重型厂房结构。设有起重量较大的吊车或吊车运转繁重的车间,如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间,重型机械厂的铸钢车间、水压车间,造船厂的船体车间等。

(2)受动力荷载作用的厂房结构。设有较大锻锤或其他动力设备的厂房,以及对抗震性

能要求较高的结构。

(3)大跨结构。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,宜采用网架、拱架、悬索以及框架等结构体系,其主要承重构件可以采用钢结构。

(4)多层、高层和超高层建筑。工业建筑中的多层框架和旅馆、饭店等高层或超高层建筑,宜采用框架结构体系、框架支撑体系、框架剪力墙体系,其主要承重构件也可以采用钢结构。

(5)塔桅结构。电视塔、环境气象监测塔、无线电天线桅杆、卫星发射塔、输电线塔、钻井塔等,宜采用塔架和桅杆结构,其承重构件常常采用钢结构。

(6)可拆卸、装配式房屋。商业、旅游业和建筑工地用活动房屋,多采用轻型钢结构。

1.3 钢结构的设计方法

除疲劳计算外,钢结构采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数设计表达式进行计算。关于钢结构的疲劳计算,由于疲劳极限状态的概念还不够明确,对各种有关因素研究不够,只能沿用过去传统的容许应力设计法,详见第2章第2.4节。下面主要叙述极限状态设计方法。

1.3.1 结构的功能要求

工程结构的设计要满足实际使用的要求,应使结构在设计基准期内,经济合理地满足下列功能要求。

1. 安全性

①在正常设计和正常使用时,能承受可能出现的各种作用。

②在设计规定的偶然事件发生时及发生后,结构仍能保持必需的整体稳定性,不应发生倒塌或连续破坏而造成生命财产的严重损失。

2. 适用性

结构在正常使用期间应具有良好的工作性能。如不发生影响正常使用的过大变形或振幅,不产生过宽的裂缝等。

3. 耐久性

结构在正常使用和正常维护条件下,应具有足够的耐久性。所谓足够的耐久性,系指结构在规定的工作环境中,在预定时期内,其材料性能的恶化(如混凝土风化、钢材锈蚀等)不导致结构出现不可接受的失效概率。换句话说,足够的耐久性就是指在正常维护条件下结构能正常使用到规定的设计使用年限。

1.3.2 结构可靠度的概念

结构的可靠性是结构安全性、适用性和耐久性的总称。

由于实际结构中存在着多种不确定性,因此无论如何设计结构,都会有失效的可能性存在,只是可能性大小不同而已。为了科学地定量表示结构可靠性的 大小,采用概率方法来定义结构的可靠性较为合理。

结构可靠度是结构可靠性的概率量度。其更明确、更科学的定义是:结构在规定的时

内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。

规定的时间,指的是结构设计基准期。规定的条件,指正常设计、正常施工、正常使用条件,不考虑人为错误或过失因素。人为错误或过失所造成的结构失效为结构事故,应通过质量监督和加强管理予以克服。预定功能即安全性、适用性和耐久性。

1.3.3 结构的可靠概率和失效概率

设 R 为结构抗力, S 为作用效应,令

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

式中, R 和 S 均为随机变量,因此 Z 也是一个随机变量。 Z 可能出现下列三种情况:

$Z > 0$ 结构可靠

$Z < 0$ 结构失效

$Z = 0$ 结构处于极限状态

由于根据 Z 值的大小,可以判断结构是否满足某一确定功能要求,因此称 Z 为结构的功能函数。

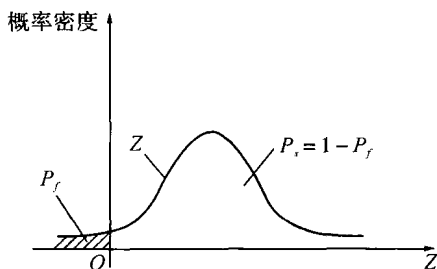


图 1-8 Z 的概率密度分布曲线

设功能函数 Z 的分布曲线如图 1-8 所示。若将结构处于失效状态的概率称为失效概率,以 P_f 表示,则

$$P_f = \int_{-\infty}^0 f(Z) dZ \quad (1-2)$$

而结构的可靠度(可靠概率)可按下列式计算

$$P_s = \int_0^{+\infty} f(Z) dZ \quad (1-3)$$

由公式(1-2)和(1-3)可知,结构失效概率和结构可靠概率的关系为

$$P_s + P_f = 1 \quad (1-4a)$$

$$\text{或} \quad P_s = 1 - P_f \quad (1-4b)$$

即由结构失效概率 P_f 可确定结构可靠度 P_s 。当失效概率 P_f 小于某个限值时,人们因结构失效的可能性很小而不再担心,即可认为结构设计是可靠的。从概率的观点来讲,结构设计的目标就是保障结构可靠度 P_s 足够大或失效概率 P_f 足够小,达到人们可以接受的程度。

我国《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)在大量统计的基础上,对于一般性工业与民用建筑的失效概率规定不得超过以下限值:

延性破坏的结构 $[P_f] = 6.9 \times 10^{-4}$

脆性破坏的结构 $[P_f] = 1.1 \times 10^{-4}$