

全国高等院校**土木工程类**应用型系列规划教材

钢结构设计原理

张秀华 王秋萍 主 编
南振江 副主编

 科学出版社
www.sciencep.com



全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材



钢结构设计原理

张秀华 王秋萍 主 编
南振江 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据我国新修订的《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018—2002)编写,着重讲述了钢结构基本原理,包括:钢结构的特点、应用范围和发展方向,钢结构的材料及连接,轴心受力构件、受弯构件和偏心受力构件的设计方法,以及单层厂房钢结构的结构设计与应用。书中附有适量的例题、思考题及习题。

本书内容丰富、实用、密切联系实际,可作为普通高等学校土木工程专业教学用书,也可作为从事土木工程设计、施工和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理/张秀华,王秋萍主编. —北京:科学出版社,2009
(全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材)

ISBN 978-7-03-025595-2

I. 钢… II. ①张…②王… III. 钢结构-结构设计-高等学校-教材
IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 166466 号

责任编辑:王晶晶 陈迅 / 责任校对:赵燕

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年9月第一版 开本:787×1092 1/16

2009年9月第一次印刷 印张:22 1/4 插页:1

印数:1—3 000 字数:514 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书为全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材之一，紧密结合人才培养模式改革，为适应“厚基础、宽口径、强能力和高素质”的复合型人才的需要而编写。

本书以钢结构基本设计原理为基础，密切结合新修订的《钢结构设计规范》(GB50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018—2002)，重点介绍了钢结构的材料及连接，轴心受力构件、受弯构件和偏心受力构件的设计方法，以及单层厂房的钢结构设计与应用。

本书内容既丰富又突出了实用性，并且拓宽了理论基础，注重联系实际。考虑到轻型钢结构快速发展的需要，扭转和局部变形的影响在设计中显得越来越重要，在受弯构件一章中较为全面地讲述了扭转的效应。

参加本书编写的人员有：黑龙江建筑职业技术学院南振江、李楠（第一、二章），东北农业大学王秋萍（第三章），哈尔滨工程学院王薇薇（第四章），东北林业大学张秀华（第五章），山西大学吴海英（第六章），东北林业大学武胜（第七章）；附录由南振江、李楠、王秋萍、王薇薇、张秀华、吴海英共同编写。全书由张秀华统稿。

对本书在编写过程中引用参考文献的作者，对所有给予本书支持、关心的人员，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，本书难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 钢结构的特点及应用	1
1.2 钢结构的设计方法	7
1.3 钢结构的发展趋势.....	14
第二章 钢结构的材料	18
2.1 概述.....	18
2.2 钢材的主要性能.....	19
2.3 钢材在多单轴应力作用下的力学性能.....	24
2.4 钢材的疲劳.....	25
2.5 各种因素对钢材性能的影响.....	32
2.6 钢材的种类、规格及选用.....	40
思考题	46
第三章 钢结构的连接	47
3.1 钢结构常用的连接方法.....	47
3.2 焊接方法和焊缝连接形式.....	51
3.3 对接焊缝的构造和计算.....	55
3.4 角焊缝的构造和计算.....	61
3.5 焊接残余应力和焊接残余变形.....	74
3.6 普通螺栓连接的构造和计算.....	80
3.7 高强度螺栓连接的性能和计算.....	92
思考题.....	100
习题.....	101
第四章 轴心受力构件	107
4.1 轴心受力构件的应用和截面形式	107
4.2 轴心受力构件的强度和刚度	108
4.3 实腹式轴心受压构件的整体稳定	112
4.4 实腹式轴心受力构件的局部稳定	128
4.5 实腹式轴心受力构件的截面设计	133
4.6 格构式轴心受压构件的整体稳定计算	137
4.7 轴心受压构件的柱头和柱脚设计	149

思考题.....	157
习题.....	157
第五章 受弯构件	158
5.1 受弯构件的类型	158
5.2 受弯构件的强度	159
5.3 受弯构件的刚度	166
5.4 受弯构件的扭转	168
5.5 受弯构件(梁)的整体稳定	172
5.6 受弯构件的局部稳定	179
5.7 受弯构件的设计	193
思考题.....	203
习题.....	203
第六章 拉弯和压弯构件	205
6.1 拉弯和压弯构件的应用和截面形式	205
6.2 拉弯和压弯构件的强度及刚度	206
6.3 实腹式压弯构件的整体稳定	209
6.4 实腹式压弯构件的局部稳定	218
6.5 压弯构件的计算长度	222
6.6 实腹式压弯构件的截面设计	228
6.7 格构式压弯构件的计算	231
思考题.....	237
习题.....	238
第七章 单层厂房钢结构	240
7.1 概述	240
7.2 单层厂房钢结构的整体布置	243
7.3 单层厂房钢结构的支撑体系	246
7.4 檩条及压型钢板设计	255
7.5 屋架的形式和截面设计	265
7.6 桁架的节点设计	276
思考题.....	297
附录 钢结构的有关常用资料	298
1 常见型钢规格及截面特征表	298
2 钢材和连接的强度设计值	326
3 钢材的化学成分和机械性能	328
4 疲劳计算的构件和连接分类	330
5 结构或构件的变形允许值	332
6 螺栓和锚栓规格	334

7 型钢螺栓线距表	335
8 轴心受压构件的稳定系数	338
9 梁的整体稳定系数	340
10 各种截面的回转半径的近似值	342
11 柱的计算长度系数	343
主要参考文献	347

第一章 绪 论

1.1 钢结构的特点及应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是指由钢材加工制作的建筑结构,通常是由钢板、型钢、钢索等材料加工,采用焊接、螺栓连接等连接方式而形成不同的结构形式。钢结构是一种重要的工程结构类型,在建筑工程、桥梁工程及其他各类工程中有广泛的应用和发展前景。与其他结构相比,钢结构有以下特点。

1. 钢材的强度高,钢结构的重量轻

钢材的强度较高,适合于建造跨度大、高度高、承载重的结构。

与其他结构材料相比,钢材虽然密度较大,但其密度与强度的比值较小。建筑钢材的质量密度 ρ 和强度 f 的比值 α 等于 $(1.7 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-4})/\text{m}$,木材的 α 值为 $5.4 \times 10^{-4}/\text{m}$,钢筋混凝土的 α 值约为 $18 \times 10^{-4}/\text{m}$ 。 α 值越小,结构相对越轻。承受同样荷载时,钢结构要比其他结构轻。以同样跨度承受同样荷载的屋架为例,普通钢屋架的重量仅为钢筋混凝土屋架重量的 $1/3 \sim 1/4$;而冷弯薄壁钢屋架的重量甚至接近钢筋混凝土屋架重量的 $1/10$ 。

结构的重量轻,可以减轻下部结构的负荷,降低基础部分的造价,同时还为结构的运输和吊装提供方便。

但是,对于受压构件,由于材料的强度高,构件所需的截面较小而壁薄,构件截面往往受稳定计算或刚度计算所控制,强度难以得到充分利用。

2. 钢材的塑性和韧性好

钢材的塑性好,在破坏之前要经受很大的塑性变形,能吸收和消耗很大的能量,破坏易于被发现,可及时采取补救措施。因此,一般情况下不会因偶然局部超载而突然断裂。此外,钢材能将局部高峰应力重新分布,使应力变化趋于平缓。

钢材的韧性好,适宜在动力荷载下工作,抗震性能好,因此在地震区采用钢结构较为有利。

3. 钢材的材质均匀,工作可靠性高

与砖石和混凝土相比,钢材属于单一材料。由于钢材在冶炼和轧制过程的科学控制,其组织比较均匀,且接近各向同性。钢材的弹性模量很高,弹性工作范围较大,因此钢材

的实际工作情况最符合一般工程力学对材料的基本假定,在计算中采用的经验公式不多,从而计算上的不确定性较小,因此计算结果比较可靠。

4. 钢材具有良好的加工性能,钢结构制作简单且适用于机械化加工

钢结构所用材料均为各种型材,同时钢材具有良好的冷热加工性能和焊接性能,使钢结构制作比较简单。钢结构的各个部件一般在专业化的金属结构加工厂批量生产,然后运到现场用焊接或螺栓进行拼接和吊装,施工的机械化程度、准确度和精密度都较高,生产效率也高,因而钢结构的施工周期也短。

5. 钢结构密闭性好

采用焊接连接的钢板结构,具有较好的水密性和气密性,适用于做要求密闭的板壳结构,如高压容器、油库、气柜和管道,甚至载人太空结构等。

6. 采用钢结构有利于保护环境、节约资源

采用钢结构可大大减少沙、石、灰等材料的用量,减轻对不可再生资源的破坏。钢结构加工制造过程中产生的余料和碎屑,以及废弃和破坏了的钢结构或构件,均可回炉重新冶炼成钢材重复使用,可大大减少建筑垃圾。因此,钢材也被称为绿色建筑材料或可持续发展的材料。

7. 钢材耐热但不耐火

钢材受热时,当温度在 100°C 以内时,其主要性能(屈服点和弹性模量)下降不多,钢材具有一定的耐热性能。但当温度超过 200°C 以后,随着温度的增加,钢材的性能变化较大,不仅强度总趋势逐步降低,还有蓝脆和徐变现象。达到 600°C 时,钢材将进入热塑性状态,将完全丧失承载能力。加之钢材的导热性好,局部受热(如发生火灾)也会迅速引起整个结构升温,危及结构安全,因此钢结构的耐火性差。当钢结构表面长期受高温辐射达 150°C 以上,或短时间内可能受到火焰作用,或可能受到炽热的熔化金属飞溅等,以及可能遭受火灾袭击时,都会危及结构安全,因此必须采取有效的防护措施,如用耐火材料做隔热层等。在“9.11事件”中,美国世贸中心钢结构大厦倒塌的主要原因就是由次生火灾造成的。

8. 钢结构耐腐蚀性较差

钢结构的最大缺点是易于锈蚀。钢材在潮湿的环境中易于锈蚀,处于有侵蚀性介质的环境中更易生锈。钢材锈蚀严重时会影响结构的使用寿命,特别是薄壳构件更要注意。处于较强腐蚀性介质内的建筑物不宜采用钢结构。钢结构必须采取防锈措施,彻底除锈并涂以油漆或镀锌等。设计中尽量避免使结构受潮、漏雨,构造上应尽量避免存在难以检查、维修的死角。平时应加强维护,及时进行清灰、除污等工作,视涂装情况每隔数年应重新油漆一次,因此钢结构的维护费用较高。对处于湿度大、有侵蚀性介质环境中的结构,

可采用耐候钢或不锈钢等提高其抗锈蚀能力。

9. 钢结构的低温冷脆倾向

由厚钢板焊接而成的承受拉力和弯矩的构件,以及连接节点,在低温下有脆性破坏的倾向,应引起足够的重视。

1.1.2 钢结构的应用

除建筑行业以外,其他很多行业也都需要大量的钢材。钢结构的合理应用范围与钢结构的特点及钢材供应情况密切相关。过去由于我国钢产量较低,钢材产量不能满足国民经济各部门的需要,钢材供应短缺,致使钢结构的应用范围受到很大限制。近年来,我国钢产量逐年提高,钢材品种不断增加,加以钢结构结构形式的改进,使钢结构的应用范围也在不断扩大,目前我国钢结构在建筑工程中的应用范围大致如下。

1. 大跨度结构

结构跨度越大,自重所占比例就越大,减轻自重、提高经济效益就显得越重要。钢材强度高、结构重量轻的优势正好适合于大跨度结构。因此钢结构在大跨度空间结构和大跨度桥梁结构中得到了广泛应用,如体育场馆、大会堂、影剧院、展览馆、飞机库等大跨度结构一般采用结构。北京国家大剧院(图 1.1)和成功举办了 2008 年北京奥运会的国家体育场——鸟巢(图 1.2)都是采用钢结构。鸟巢采用马鞍形钢桁架结构,最大跨度 343m,用钢量达 4.2 万 t。

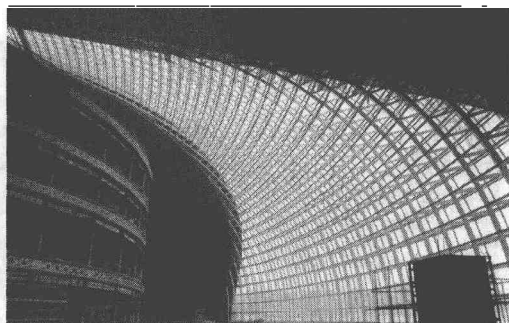


图 1.1 国家大剧院内景

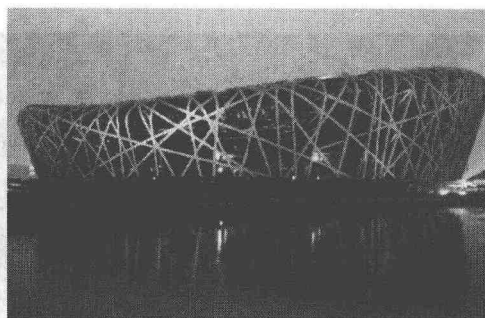


图 1.2 国家体育场

图 1.3 为目前世界上最长的跨海大桥——苏通大桥,于 2008 年 5 月建成通车,总桥长 8206m,双塔双索面钢箱梁斜拉桥。斜拉桥主孔跨度 1088m,列世界第一;主塔高度 306m,列世界第一;斜拉索的长度 580m,列世界第一;群桩基础平面尺寸 113.75m×48.1m,列世界第一;专用航道桥采用 140m+268m+140m=548m 的 T 形刚构梁桥,为同类桥梁工程世界第二。



图 1.3 苏通大桥

2. 工业厂房

由于重型工业厂房往往需要较大的作业空间,并且吊车起重量较大或其工作较繁重,其骨架主要采用钢结构,如冶金工业、重型机械制造厂、造船厂、飞机制造厂的厂房等。图 1.4 为采用全钢结构的普通钢屋架重工业厂房,其结构形式为排架结构。

近年来由于网架结构的应用,一般工业厂房也常采用钢结构。随着压型钢板等轻型屋面材料的采用,结构形式为实腹式变截面门式钢架的轻钢结构工业厂房(图 1.5)也得到了迅速发展。

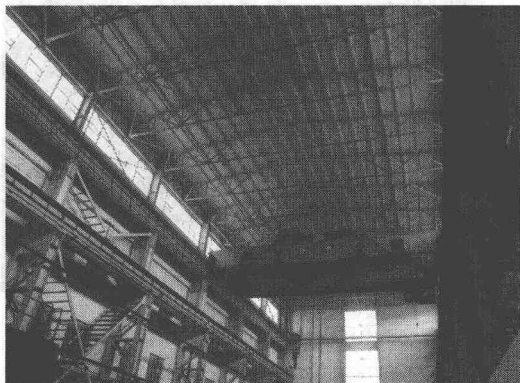


图 1.4 刚排架结构厂房



图 1.5 轻钢结构厂房门式刚架

3. 承受动力荷载影响及地震作用的结构

由于钢材具有良好的韧性,对于设有较大锻锤或产生动力作用的其他设备的厂房,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,即使屋架跨度不大,其结构往往也采用钢结构。对于抗震要求高的结构也宜采用钢结构。

4. 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构,如电视塔、微波塔、输电线路塔、火箭发射塔等,这类结构主要特点是高度大,主要承受风荷载,采用钢结构对运输及安装有利。同时还因材料强度高,所需构件截面小,可以减小风荷载,能取得较好的经济效益。图 1.6 为高 336m、号称亚洲第一高钢塔的黑龙江广播发射塔。另外,成功发射神七飞船的火箭发射塔(图 1.7)也是由钢材制造的。

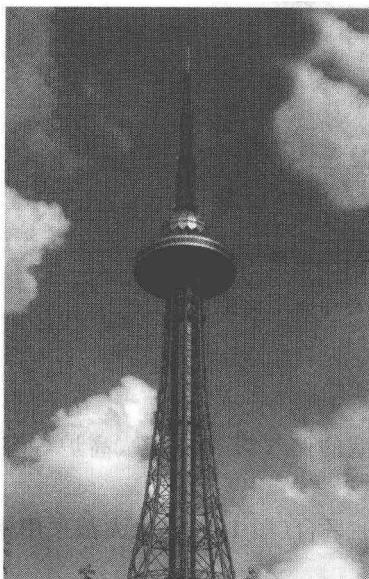


图 1.6 黑龙江广播发射塔



图 1.7 火箭发射塔

5. 多层和高层建筑

由于钢结构自重轻、强度高,结构构件截面积小,高层建筑采用钢结构时,可以获得较大的建筑空间,同时抗震性能好、工期短、施工方便。因此高层建筑尤其是超高层建筑多为钢结构。目前世界上建筑顶面最高和人可到达的最高的超高层综合大楼为坐落在上海浦东新区陆家嘴的上海国际环球金融中心(图 1.8,其右侧为金茂大厦,也是钢结构高层建筑),共 104 层,总高 492m,它的主体结构为型钢混凝土组合结构和钢结构。

6. 可拆卸结构或移动的结构

钢结构不仅重量轻,而且用螺栓连接的钢结构还具有拆装方便的优点,因此各种需要搬迁、移动的结构也常用钢结构。如临时展览馆、建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用房的骨架等。钢筋混凝土结构施工用的模板和支架及建筑施工用的脚手架等也大量采用钢材制作。移动结构如塔式起重机、履带式起重机的吊臂和龙门吊等也是用钢材制作的。

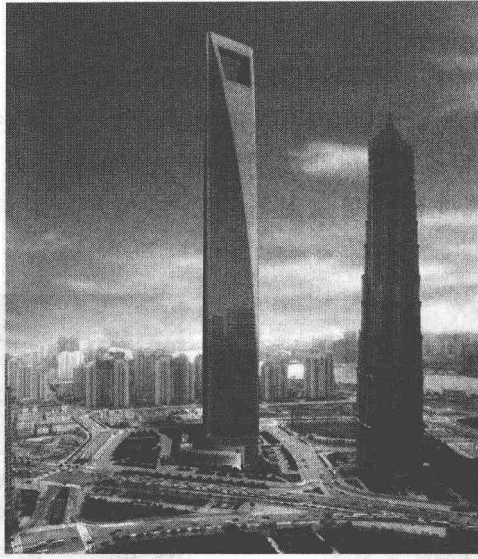


图 1.8 上海国际环球金融中心和金茂大厦

7. 板壳结构和其他特种结构

由于钢结构的气密性和水密性好,因此许多大型的储气罐、储油罐、高炉等容器和管道都是由钢材制作的板壳结构。

另外,管道支架、锅炉支架、栈桥、井架、海上采油平台(图 1.9)等也大都采用钢结构。

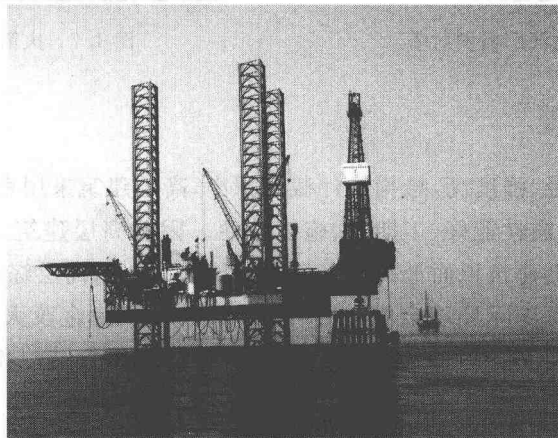


图 1.9 自升式海上钻井平台

8. 轻型钢结构

钢结构重量轻不仅对大跨度结构有利,对屋面活荷载特别小的小跨结构也有优越性,因为当屋面活荷载特别小时,小跨结构的自重也成为重要的因素。一定条件下,冷弯

薄壁型钢的屋架可比钢筋混凝土屋架的用钢量还少。

轻型钢结构通常指由圆钢、小角钢、薄壁型钢或薄钢板焊接而成的结构,近年来已广泛应用于仓库、办公室、工业厂房及体育设施,并向住宅楼和别墅发展。

9. 钢和混凝土组合结构

钢材的受拉性能好,但钢构件受压时必须满足稳定性的要求,往往不能充分发挥材料的受压性能,而混凝土恰好最适合于抗压而不适合于抗拉,如果把这两种材料组合在一起可以充分发挥材料各自的长处。目前主要采用的结构形式有钢和混凝土组合梁和钢管混凝土结构等。图 1.10 为深圳赛格广场,建成于 2000 年,曾创下 2.7 天建一层的新的“深圳速度”,是目前世界上最高的钢管混凝土结构的高层建筑。

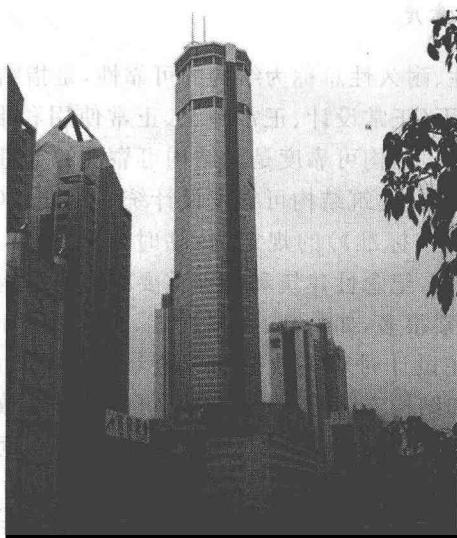


图 1.10 深圳赛格广场

1.2 钢结构的设计方法

结构设计的目的是为了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功能要求,并在此基础上做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。为实现这一目的,必须借助合理的设计方法。目前钢结构采用的设计方法为概率极限状态设计法。

1.2.1 建筑结构的的功能要求和极限状态

1. 建筑结构的的功能要求

1) 安全性

结构在正常施工和正常使用条件下,具有承受可能出现的各种作用的能力,以及在偶

然事件发生时和发生后,仍保持必要的整体稳定性的能力。

2) 适用性

结构在正常使用条件下,具有良好的工作性能,如不产生影响正常使用的过大变形等。

3) 耐久性

结构在正常维护条件下,具有足够的耐久性能,如不产生影响结构预期使用寿命的严重锈蚀等。

上述“各种作用”是指使结构产生内力或变形的各种原因,包括直接施加在结构上的各种荷载(称直接作用),或引起结构外加变形或约束变形的其他原因(称间接作用),如地震、温度变化、地基沉降等。

2. 结构的可靠性和可靠度

结构的安全性、适用性、耐久性总称为结构的可靠性,是指结构在规定的时间内(设计使用年限)、在规定的条件下(正常设计、正常施工、正常使用和维护)完成预定功能(安全性、适用性、耐久性)的能力。结构可靠度是对结构可靠性的定量描述。

结构的设计使用年限,按《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)(以下简称《建筑结构可靠度设计统一标准》)的规定为:临时建筑 5 年,易于替换的结构构件 25 年,普通房屋和构筑物 50 年,纪念性建筑和特别重要的建筑结构 100 年。

影响结构可靠性的因素很多,如荷载、材料性能、施工质量和计算方法等。而这些因素一般又都是随机变量,在设计时对其数据的取值与结构的实际状况常有一定的出入。例如,荷载采用的计算值和结构实际承受的数值不可能完全一致;钢材机械性能的取值和材料的实际数值也不会完全相同;其他还有计算截面和实际截面尺寸之间、计算所得应力和结构实际应力数值之间,以及预计的制造、安装质量和实际的工程质量之间等,都会存在一定的差异。另外,这些因素都是随机的,不能事先确定,故较科学的方法是用概率来描述。因此,结构可靠度可定义为“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”,它是对结构可靠性的概率度量,是从统计学观点出发的比较科学的定义。

3. 结构的极限状态

当整个结构或结构的一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,这个特定状态称为该功能的极限状态。极限状态实质上是结构是否具有可靠性的界限。

根据功能要求,结构的极限状态可分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两种。对于结构的各种极限状态,均应规定明确的标志和限值。

1) 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或结构构件出现下列状态之一时,即认为达到了承载能力极限状态。

(1) 结构或结构的一部分作为刚体失去平衡,如倾覆等。

(2) 结构构件或连接因应力超过材料强度的限值而破坏,包括疲劳破坏,或因过度的

塑性变形而不适于继续承载。

- (3) 结构转变为机动体系。
- (4) 结构或结构构件丧失稳定性,如屈曲等。
- (5) 地基丧失承载能力而破坏,如失稳等。

当整个结构或部分结构构件达到承载能力极限状态时,结构即将破坏。

2) 正常使用极限状态

这种状态是指结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值时的极限状态。当达到此限值时,虽然结构或构件仍具备继续承载的能力,但在正常荷载作用下产生的变形已使结构或构件不适于继续使用,故正常使用极限状态也称为变形极限状态。结构或结构构件出现下列状态之一时,即认为达到了正常使用极限状态。

- (1) 影响正常使用或外观的变形。
- (2) 影响正常使用或耐久性的局部损坏,包括裂缝。
- (3) 影响正常使用的振动。
- (4) 影响正常使用的其他特定状态。

当整个结构或部分结构构件达到承载能力极限状态时,结构即将破坏。当达到正常使用极限状态时,结构或部分结构便会不适于正常使用,但并不一定马上产生破坏。由于结构超过承载能力极限状态可能导致人员伤亡和大量的财产损失,故允许其出现的概率应当很低,而超过正常使用极限状态对生命的危害较小,故允许出现的概率可以高些,但仍应给予足够重视。

1.2.2 概率极限状态设计法

1. 结构的功能函数和极限状态方程

结构的极限状态可以采用下列极限状态方程描述,即

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (1.1)$$

式中: $g(x)$ ——结构的功能函数;

x_i ——影响结构或构件可靠度的基本变量,是指结构上的各种作用和材料性能、几何参数等。

以 S 表示荷载效应,指荷载、温度变化、基础不均匀沉降、地震等对结构和结构构件作用引起的结构或构件的内力变化、变形等。以 R 表示结构的抗力,指结构或构件承受荷载效应的能力,如承载力、刚度等。对于一般的工程结构,影响结构可靠性的因素可以归纳为荷载效应 S 和结构抗力 R 两个基本变量,结构的功能函数可表示为

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1.2)$$

由于 R 和 S 都是随机变量,故函数 Z 也是一个随机变量。当 $Z > 0$ 时,结构能满足预定功能的要求,处于可靠状态;当 $Z < 0$ 时,结构不能实现预定功能,处于失效状态;当 $Z = 0$ 时,结构处于可靠与失效的临界状态,一旦超过这一状态,结构将不再能满足设计要求,因此也称为极限状态。

影响 S 的主要因素是各种作用的取值,而各种作用并非都是确定值,大多是随机变量,有的还是与时间有关的随机过程。影响 R 的主要因素有结构材料的力学性能、结构的几何参数和抗力的计算模式等,它们也都是随机变量。例如,钢厂提供的材料,其性能

不可能没有差异;在制作和安装中,结构的尺寸也存在误差;计算抗力所采用的基本假设和方法也不可能完全精确。随机性因素的量值是不确定的,但却服从概率和统计规律,采用概率理论来处理随机变量是最适宜的方法。现行《钢结构设计规范》(GB50017—2003)(以下简称《钢结构设计规范》)是以概率理论为基础、用分项系数表达的极限状态设计方法,简称概率极限状态设计法。

2. 概率极限状态设计法

按照概率极限状态设计方法,结构的可靠度是指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($Z \geq 0$)。这样,若以 P_s 表示结构的可靠度(可靠概率),则上述定义可以表达为

$$P_s = P(Z \geq 0) \quad (1.3)$$

与其对应的结构失效概率以 P_f 表示,则

$$P_f = P(Z < 0) \quad (1.4)$$

由于事件($Z < 0$)和事件($Z \geq 0$)是对立的,所以结构的可靠概率 P_s 与结构的失效概率 P_f 符合下式,即

$$P_s + P_f = 1 \quad (1.5)$$

或

$$P_s = 1 - P_f \quad (1.6)$$

因此结构的可靠度计算可以转换为结构失效概率的计算。由于结构失效概率的计算涉及的基本变量具有不确定性,作用在结构上的荷载具有潜在地出现高值的可能性,材料性能也具有潜在地出现低值的可能性,因此绝对可靠的结构, $P_s = 1$ 即失效概率 $P_f = 0$ 的结构是没有的,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。

设结构抗力 R 和荷载效应是两个独立的随机变量,并假定其服从正态分布,根据概率理论,则功能函数 $Z = R - S$ 也是服从正态分布的随机变量。图 1.11 表示功能函数 Z 的概率密度 $f_z(Z)$ 曲线,它的平均值、标准差和变异系数分别为

$$\mu_z = \mu_R - \mu_S \quad (1.7)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1.8)$$

$$\delta_z = \frac{\sigma_z}{\mu_z} = \frac{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}{\mu_R - \mu_S} \quad (1.9)$$

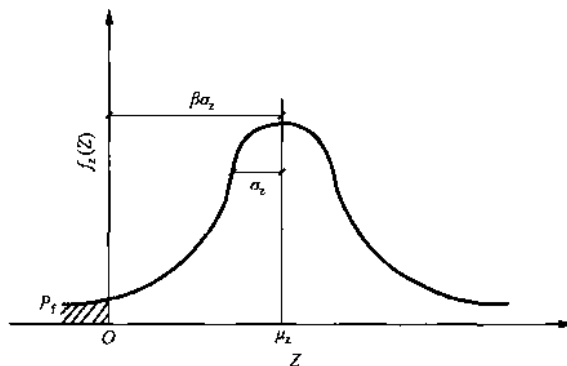


图 1.11 Z 的概率密度