

应用型本科院校**土木工程**专业系列教材
YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

钢结构原理与设计

赵风华 齐永胜 □ 主 编
王新武 □ 副主编
崔 佳 □ 主 审

上册



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

应用型本科院校**土木工程**专业系列教材
YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

钢结构原理与设计

赵风华 齐永胜 ■ 主 编

王新武 ■ 副主编

厉见芬 张 猛 李凤霞 ■ 参 编

崔 佳 ■ 主 审

上册

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书主要讲述钢结构的基本原理和基本构件。全书共分6章,内容包括:绪论(发展、特点、设计方法等)、钢结构材料的力学性能、钢结构的连接、钢结构基本构件(受弯构件、轴心受力构件、拉弯和压弯构件)的工作原理和设计方法等。

书末有附录,列出了设计需用的各种数据和系数供查用。各章还列出了本章导读和章后提示,以及必要的设计例题和习题,以便于对重点内容的学习和掌握。

本教材除作为应用型本科院校土木工程专业教材外,也可用作相关专业本科、专科以及函授学生的教材,另外还可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构原理与设计.上册/赵风华,齐永胜主编.

—重庆:重庆大学出版社,2010.6

(应用型本科院校土木工程专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-5180-8

I. ①钢… II. ①赵…②齐… III. ①钢结构—理论

—高等学校—教材②钢结构—结构设计—高等学校—教材

IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 005918 号

应用型本科院校土木工程专业系列教材

钢结构原理与设计(上册)

赵风华 齐永胜 主 编

王新武 副主编

崔 佳 主 审

责任编辑:刘颖果 郭一之 版式设计:林青山

责任校对:邹 忌 责任印制:赵 晨

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:449千

2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-5180-8 定价:30.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

本教材为应用型本科院校土木工程专业系列教材之一,以“高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”为宗旨,结合课程内容、体系改革,将钢结构课程的专业基础及专业教学内容,即钢结构基本原理、钢结构设计几大部分统一考虑,分为上、下两册。上册为钢结构原理部分,属专业基础课内容,主要讲述钢结构的基本原理和基本构件;下册为钢结构设计部分,属专业课内容,主要讲述单层厂房钢结构、大跨房屋钢结构、多高层房屋钢结构及钢结构的制造及防护。另配有《钢结构实践性教学》,作为钢结构课程设计、毕业设计等的指导与示例,以便实践性教学的开展与实施。

本教材共分6章,内容包括:绪论(发展、特点、设计方法等)、钢结构材料的力学性能、钢结构的连接、钢结构基本构件(受弯构件、轴心受力构件、拉弯和压弯构件)的工作原理和设计方法等。

本教材注重实际应用能力的培养,以建立基本概念、阐述基本理论、解决工程实际问题为重点,尽可能采用通俗易懂的方式阐述钢结构基本原理与常用钢结构的设计方法;同时,本教材加强对基本概念的阐述,不拘于计算公式的推导,对常用钢结构的设计则紧密结合现行规范、规程,列举大量的计算实例,使读者能够学以致用,触类旁通,达到理论与设计应用的融会贯通。

本教材除作为应用型本科院校土木工程专业基础课教材外,还可作为相关专业的本科、专科以及函授学生的教材,同时也可作为从事钢结构设计、制造和施工工程技术人员的参考书籍。另外,教材中习题、例题充分考虑了历年国家一、二级注册结构师考试中的题型、考试重点和易设陷阱,可作为注册结构师考试的先期培训教材使用。

赵风华、齐永胜任上册主编,王新武任副主编。参加本书编写的有:常州工学院赵风华(第1、3章及附录部分)、常州工学院齐永胜(第5章)、常州工学院厉见芬(第4、6章)、郑州



大学张猛(第2章),洛阳理工学院王新武和李凤霞参加了第3章的部分编写工作。重庆大学崔佳教授审阅了全稿,并提出许多宝贵的建议和意见,在此表示衷心的感谢。

本书编写过程中得到了重庆大学出版社的大力支持和帮助,书中部分内容还引用了同行专家论著中的成果,在此表示衷心的感谢!另外,常州工学院郭荣华、杨俊等参加了部分文字校稿工作,在此谨致谢意。

限于编者的水平,教材中难免还有不妥之处,恳请同行专家及读者的不吝指正。

编者

2009年12月

言 前

随着科学技术的飞速发展,我国已进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化建设的新阶段。在这一历史时期,我国高等教育肩负着培养高素质人才、提高国民素质、促进社会进步的重要使命。作为高等教育的重要组成部分,教材建设始终是出版界的一项基础性、全局性工作。教材的质量直接关系到人才培养的质量和国家的未来。

本书是在广泛调研和征求意见的基础上,由多位长期从事该课程教学的一线教师共同编写而成的。在编写过程中,我们力求做到概念清晰、重点突出、循序渐进、由浅入深,力求做到科学性、先进性和适用性的统一。本书可作为高等院校相关专业教材,也可供从事该行业工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中,参考了国内外许多优秀的教材和有关文献,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者在使用过程中提出宝贵意见和建议,我们将不胜感激。

目 录

1 绪 论	1
本章导读	1
1.1 钢结构的发展	1
1.2 钢结构的特点及应用	2
1.3 钢结构的设计方法	6
章后提示	16
思考题	16
2 钢结构的材料	17
本章导读	17
2.1 钢材的主要性能	17
2.2 钢材的破坏形式	24
2.3 各种因素对钢材主要性能的影响	25
2.4 钢和钢材的种类及选用	32
章后提示	37
习题与思考题	37
3 钢结构的连接	39
本章导读	39
3.1 钢结构的连接	39
3.2 焊接方法、焊缝形式及质量检验	41
3.3 对接焊缝	48
3.4 直角角焊缝的构造和计算	53



3.5	斜角角焊缝的构造和计算	62
3.6	焊接应力和焊接变形	63
3.7	螺栓的连接构造	67
3.8	普通螺栓连接的工作性能和计算	70
3.9	高强度螺栓连接的工作性能和计算	81
3.10	轻钢结构紧固件连接的构造和计算	90
	章后提示	93
	思考题	93
	习题	94
4	受弯构件	97
	本章导读	97
4.1	概述	97
4.2	受弯构件的强度和刚度	99
4.3	受弯构件的整体稳定	105
4.4	受弯构件的局部稳定和腹板加劲肋的设计	110
4.5	焊接组合梁腹板考虑屈曲后强度的设计	124
4.6	受弯构件的截面设计	127
	章后提示	136
	习题与思考题	136
5	轴心受力构件	139
	本章导读	139
5.1	概述	139
5.2	轴心受力构件的强度及刚度	141
5.3	轴心受压构件的稳定	149
5.4	轴心受压构件的设计	170
5.5	柱头和柱脚设计	188
	章后提示	196
	习题与思考题	197
6	拉弯构件和压弯构件	200
	本章导读	200
6.1	概述	200
6.2	拉弯和压弯构件的强度和刚度	202
6.3	压弯构件的稳定	205
6.4	压弯构件(框架柱)的设计	214
6.5	框架柱的柱头与柱脚设计	230
	章后提示	234
	习题与思考题	234
	附录	236

附录 1	钢材和连接的强度设计值	236
附录 2	结构和构件的变形容许值	239
附录 3	梁的整体稳定系数	240
附录 4	轴心受压构件的稳定系数	245
附录 5	各种截面回转半径的近似值	249
附录 6	柱的计算长度系数	250
附录 7	疲劳计算的构件和连接分类	254
附录 8	常用型钢规格及截面特性	257
附录 9	螺栓和锚栓规格	275
参考文献		276

1

绪 论

【本章导读】

1. 掌握钢结构的特点和应用范围。
2. 了解钢结构的发展状况。
3. 熟练掌握钢结构的极限状态设计方法,特别是概率极限状态设计法的基本概念和原理,以及用分项系数的设计表达式进行计算的方法。
4. 了解钢材的疲劳破坏现象,掌握影响疲劳的因素和疲劳计算方法。

1.1 钢结构的发展

钢结构是由铁结构逐步发展起来的,中国是最早用铁制造承重结构的国家。远在秦始皇时代(公元前二百多年),就有用铁建造的桥墩。以后又在深山峡谷上建造铁链悬桥、铁塔等。公元65年(汉明帝时代),已成功地用锻铁(wrought iron)为环,相扣成链,建成世界上最早的铁链悬桥——兰津桥。现存的最早铁链桥之一为云南省永平与保山之间跨越澜沧江的霁虹桥,始建于明朝成化年间(1465—1487年),后几经重修。著名的中国红军长征经过的四川省泸定大渡河上的泸定桥,建成于1706年(清朝康熙45年),该桥比美洲1801年建造的跨长23 m的铁索桥早近百年,比号称世界最早的英格兰30 m跨铸铁(cast iron)拱桥也早74年。

中国古代的钢铁结构除铁链桥外,尚有许多纪念性建筑。如公元694年(周武氏十一年)在洛阳建成的“天枢”,高35 m,直径4 m,顶有直径为11.3 m的“腾云承露盘”,底部有直径约16.7 m用来保持天枢稳定的“铁山”,相当符合力学原理。目前仍然存在的,建于967年(五



代南汉)的广州光孝寺东铁塔以及公元1061年(宋代)在湖北荆州玉泉寺建成的13层铁塔等。

中国古代在金属结构方面虽有卓越的成就,但由于受到内部的束缚和外部的侵略,相当一段时间内发展较为缓慢。我国在1907年才建成了汉阳钢铁厂,年产钢量只有0.85万吨。即使这样,我国工程师和工人仍有不少优秀设计和创造,如1927年建成的沈阳黄姑屯机车厂钢结构厂房,1928—1931年建成的广州中山纪念堂钢结构屋顶,1934—1937年建成的杭州钱塘江大桥等。

20世纪50年代后,钢结构的设计、制造、安装水平有了很大提高,建成了大量钢结构工程,有些在规模和技术上已达到世界先进水平。如采用大跨度网架结构的首都体育馆、上海体育馆、深圳体育馆,大跨度三角拱形式的西安秦始皇陵兵马俑陈列馆,悬索结构的北京工人体育馆、浙江体育馆,高耸结构中的200m高广州广播电视塔、210m高上海广播电视塔、194m高南京跨江线路塔、325m高北京气象桅杆等,板壳结构中有效容积达54000m³的湿式储气柜等。

特别是1978年我国实行改革开放政策以来,经济建设获得飞速发展,钢产量逐年增加。1996年我国钢产量超过1亿吨,位列世界钢产量的首位,2003年更达到创纪录的2.2亿吨,逐步改变着钢材供不应求的局面。我国的钢结构技术政策,也从“限制使用”改为积极合理地推广应用。钢结构产量2006年达到1738万吨,2007年达到2000万吨,2008年达到2180万吨,2009年约2294万吨,按目前经济发展速度2010年钢结构产量达到2600万吨的预测将会被突破。随着钢结构设计理论、制造、安装等方面技术的迅猛发展,各地建成了大量的高层钢结构建筑、轻钢结构、高耸结构、市政设施等。例如上海88层的金茂大厦、深圳69层的地王大厦、上海101层的环球金融中心,以及总建筑面积达20万m²的上海浦东国际机场,主体建筑东西跨度288.4m、南北跨度274.7m、建筑高度70.6m,可容纳8万名观众的上海体育场,建于哈尔滨的黑龙江广播电视塔以及横跨黄浦江的南浦大桥、杨浦大桥等。2008年北京奥运会及2010年上海世界博览会等众多的标志性钢结构建筑,则更显得绚丽多彩。

另外,本世纪以来我国又相继修订了《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)、《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)等国家标准。建设部组织36项钢结构住宅建筑体系及关键技术研究课题,开展试点工程,并组织编制了《钢结构住宅设计规程》和《低层轻钢装配式住宅技术要点》等。这些条件都极大地促进了我国钢结构建筑的快速健康发展,目前北京、天津、山东、安徽、上海、广东、浙江等地已建了大量低层、多层、高层钢结构住宅试点示范工程,体现了钢结构住宅发展的良好势头。

由此可见,我国钢结构在规范的制定、工程上的应用,以及设计、制造、安装等方面,都已具备较高水平,并步入一个新的历史时期。

1.2 钢结构的特点及应用

▶ 1.2.1 钢结构的特点

钢结构是土木工程的主要结构形式之一,它在房屋建筑、地下建筑、桥梁、塔桅、海洋平

台、港口建筑、矿山建筑、水工建筑、筒仓及容器管道中得到了广泛应用和迅速发展。钢结构与其他结构相比具有下列特点:

①钢材的强度高,结构质量轻。钢与混凝土、木材相比,虽然密度较大,但其强度要高得多,即密度与强度的比值比混凝土和木材小,在承载力相同的条件下,钢结构构件截面小、质量较轻,便于运输和安装。屋盖结构的质量轻,对抵抗地震作用有利。但另一方面,质轻的屋盖结构对可变荷载的变动比较敏感,荷载超额的不利影响比较大。受有积灰荷载的结构如不注意及时清灰,可能会造成事故。风吸力可能造成钢屋架的拉、压杆反号,设计时不能忽视。设计沿海地区的房屋结构,如果对飓风作用下的风吸力估计不足,则屋面系统有被掀起的危险。

②材质均匀,塑性、韧性好。钢材的弹性模量为 $206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$,同时,钢材由钢厂生产,质量控制严格,材质均匀性好,因此钢结构在工程中的实际受力情况和力学计算结果最相符合,工作可靠性高。其次,钢结构的塑性、韧性能好。塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂;韧性好,结构对动力荷载的适应性强。

③钢结构制安工业化程度高,施工周期短。尽管制造钢结构需要复杂的机械设备和严格的工艺要求,但与其他建筑结构比较,钢结构工业化程度最高,具有良好的装配性,具备成批大件生产和成品精度高等特点。采用工厂制造,工地安装的施工方法,可缩短施工周期,进而为降低造价、提高效益创造条件。

④钢材具有可焊性及不渗漏性,便于做成密闭结构。钢材本身组织致密,且具有良好的焊接性能,当采用焊接连接的钢板结构时,易做到水密气密不渗漏,因此,是制造压力容器、管道,甚至载人太空结构物等的良好材料。

⑤钢材的可重复使用性。钢材被称为绿色建筑材料或可持续发展的材料,因为采用钢结构可大大减少砂、石、灰的用量,减轻对不可再生资源的破坏。另外,钢结构拆除后可回炉再生循环利用,有的还可以搬迁复用,可大大减少灰色建筑垃圾。

⑥抗震性能好。钢结构自重轻、结构体系较柔,又具有较高的强度和较好的塑性、韧性,抗震能力强。因此在国内外的历次地震中,钢结构损坏最轻,是抗震设防地区特别是强震区的最合适结构。

⑦钢材耐热但不耐火。钢材长期经受 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 辐射热时强度无多大变化,具有一定的耐热性能。但随着温度的升高,强度降低。当温度超过 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,会发生蓝脆现象;当温度达到 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上时,钢材进入热塑性状态,将丧失承载能力。因此,有防火要求的钢结构必须采取防火措施或喷涂防火涂料等。

⑧钢材耐腐蚀性差。钢材在潮湿环境中,特别是处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀,必须除锈、油漆或镀锌加以保护,也可采用耐候钢或不锈钢提高其抗锈蚀性能。钢结构在使用期间还应定期维护,这使得钢结构的维护费用较砖石和钢筋混凝土结构为高。

⑨钢结构的低温冷脆倾向。由厚钢板焊接而成的承受拉、弯的构件及其连接节点,在低温下可能发生脆性断裂,在设计时应特别注意。

由于钢结构具有强度高、质量轻、抗震性能好等诸多优点,钢结构更适应于高层建筑、重型厂房的承重骨架和受动力荷载影响的结构,如有较大锻锤或产生动力作用或其他设备的厂房等。



► 1.2.2 钢结构的应用

从建国到 20 世纪 90 年代中期,钢结构的应用经历了一个“节约钢材”阶段,即在土建工程中钢结构只用在钢筋混凝土不能代替的地方。进入 21 世纪后,钢结构的应用日益扩展,例如房屋建筑中,有钢结构厂房、高层钢结构建筑、大跨度钢网架网壳结构、悬索结构等;在公路及铁路上有各种形式的钢桥,如板梁桥、桁架桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥等;桅杆及塔架结构则广泛用作输电线塔、电视广播发射塔。此外,还有海上采油平台钢结构、卫星发射钢塔架等。钢结构的应用范围大致有:

(1) 大跨度钢结构

大跨度结构对减轻横梁自重有明显的经济效果,轻质高强的钢结构能达到此目的。大跨度钢结构主要用于飞机库、汽车库、火车站、大会堂、体育馆、展览馆、影剧院等,其结构体系主要采用框架结构、网架结构、网壳结构、悬索结构、充气结构、张拉整体结构、膜结构、杂交结构及预应力钢结构等。

我国最早建成的广州中山纪念堂(1928—1931 年),其屋顶就是钢结构;规模宏大的北京人民大会堂为钢屋架;首都体育馆、上海体育馆、上海文化广场等均采用了大跨度钢网架结构;西安秦始皇陵兵马俑陈列馆采用了跨度为 70 m 的三铰拱钢结构;北京工人体育馆、浙江杭州体育馆分别采用圆形和马鞍形的悬索结构。

近年来大跨度结构发展很快,首都机场和上海浦东机场都建有大跨度网架机库,遍布各地的体育馆几乎都是各种结构形式的大跨度钢结构。北京 2008 年奥运会体育场馆,如国家体育场,即“鸟巢”是由门式刚桁架围绕碗状看台旋转而成的预应力双向张弦桁架结构,如图 1.1 所示。天津奥林匹克中心体育场的屋顶,为悬挑钢管桁架结构的空体系,如图 1.2 所示。上海光源工程主体建筑屋盖钢结构,由 8 片异形双向弯曲的“花瓣”旋转而成,造型别致,整体结构宛如“鹦鹉螺”状,如图 1.3 所示。

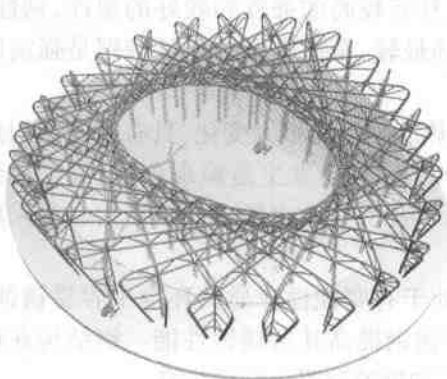


图 1.1 国家体育场——鸟巢

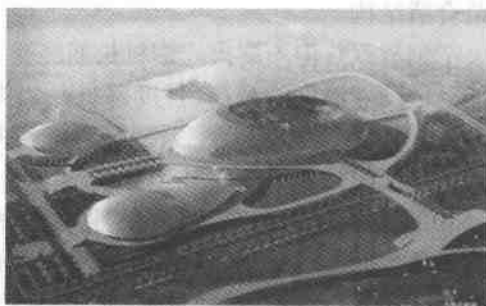


图 1.2 天津奥林匹克中心体育场

(2) 多、高层建筑钢结构

旅馆、饭店、公寓、办公大楼等多层及高层建筑采用钢结构也越来越多,如北京京伦饭店、上海锦江宾馆、深圳地王大厦等都是著名的高层钢结构建筑。上海环球金融中心(见图 1.4) 101 层、高 492 m,成为我国大陆目前最高的民用建筑。



图 1.3 上海光源工程主体建筑



图 1.4 上海环球金融中心

不仅高层、超高层建筑采用钢结构,甚至 12~16 层小高层建筑,6~8 层多层建筑,也有采用钢结构或薄壁钢管混凝土结构的趋势,钢结构房屋建筑已成为发展方向。

(3) 高耸钢结构

高耸结构包括电视塔、微波塔、通讯塔、高压输电线路塔、石油化工塔、大气监测塔、火箭发射塔、旅游瞭望塔、钻井塔、排气塔、水塔、烟囱等,而大多数高耸结构均采用钢结构。336 m 高的黑龙江电视塔是我国目前最高的钢结构多功能电视塔,同一类型 200~300 m 的钢塔还有很多。我国在 20 世纪 60—70 年代建成的大型钢塔桅结构有 200 m 广州电视塔、210 m 上海电视塔、194 m 南京跨越长江输电线路塔、325 m 北京环境气象桅杆。1990 年落成的 212 m 汕头电视塔、260 m 大庆电视塔等也都是钢结构。量大而面广的高耸结构是通讯塔和输电塔,随着信息和电力开发,这种 50 m 左右的钢塔将遍布神州大地。

(4) 板壳钢结构

要求密闭的容器,如大型储油库、煤气库、炉壳等要求能承受很大内力及温度急剧变化的高炉结构、大直径高压输油管道都是板壳钢结构,还有一些大型水工结构的船闸闸门也是板壳结构。

(5) 工业厂房钢结构

钢结构一般用于重型车间的承重骨架,例如冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混铁炉车间,重型机器厂的铸钢车间、水压机车间、锻压车间,造船厂的船台车间,飞机制造厂的装配车间,以及其他工厂跨度较大车间的屋盖、吊车梁等。我国鞍钢、武钢、包钢和上海宝钢等几个著名的冶金联合企业的许多车间都采用了各种规模的钢结构厂房,上海重型机器厂水压机车间、上海江南造船厂中也都有高大的钢结构厂房。

(6) 轻型钢结构

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。轻型钢结构的优点是自重轻、造价低、生产制作工厂化程度高、现场安装工作量小、建设速度快,同时外型美观、内部空旷、建筑面积及空间利用率高,因此在建筑市场极具竞争力。近几年来轻型钢结构在我国发展迅速,其应用范围已从工业厂房、中小型房屋建筑、体育场看台雨篷、小型仓库等向住宅、别墅发展。

(7) 桥梁钢结构

由于钢桥建造简便、迅速、易于修复,因此桥梁钢结构越来越多,特别是中等跨度和大跨度的斜拉桥。我国著名的杭州钱塘江大桥(1934—1937 年)是最早自己设计的钢桥,在这之后的武汉长江大桥(1957 年)、南京长江大桥(1968 年)均为钢结构桥梁,其规模和难度都是



举世闻名的。上海的南浦大桥、杨浦大桥(主跨 602 m),长江下游的江阴大桥(采用悬索结构,跨长 1 385 m),近年建成的铁路公路两用双层九江大桥,中国第一大跨径悬索桥润扬长江公路大桥(见图 1.5)等,都标志着我国桥梁事业已进入世界先进的技术行列。



图 1.5 润扬长江公路大桥

(8) 移动钢结构

装配式活动房屋、水工闸门、升船机、桥式吊车和各种塔式起重机、龙门起重机、缆索起重机等,这类移动式钢结构随处可见。

1.3 钢结构的设计方法

1.3.1 概述

钢结构设计的目的是保证结构和结构构件在充分满足功能要求的基础上安全可靠地工作,即在施工和规定的设计使用年限内能满足预期的安全性、适用性和耐久性的要求,并做到技术先进、经济合理。

最早我国钢结构采用容许应力设计法。直到 1988 年颁布的《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)以及我国现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)(简称《规范》,下同),则采用以概率理论为基础,用分项系数表达的极限状态设计法。有关极限状态设计的几点说明如下:

1) 设计基准期、设计使用年限

设计基准期是为确定可变作用及与时间有关材料性能而选用的时间参数。目前所考虑的荷载统计参数,都是按设计基准期 $T=50$ 年确定的。如设计时需采用其他设计基准期,就必须另行确定在设计基准期内最大荷载的概率分布及相应的统计参数。但必须指出,设计基准期与结构物的寿命虽有一定联系,但不等同。因为当使用年限达到或超过基准期时,并不意味着结构物的报废,只是它的可靠度水平将逐渐降低,即失效概率将逐渐增大。

设计使用年限是在规定的时期内(见表 1.1),房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所达到的使用年限,即地基基础工程和主体结构工程“合理使用年限”的具体化。

表 1.1 设计使用年限分类

类 别	设计使用年限	示 例	结构重要性系数 γ_0
1	5	临时性结构	≥ 0.9
2	25	易于替换的结构构件	视情况取值
3	50	普通房屋和构筑物	≥ 1.0
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构	≥ 1.1

2) 建筑结构的安全等级

建筑结构设计时,应根据其破坏可能产生的后果的严重性,采用不同的安全等级。民用建筑钢结构的安全等级(见表 1.2)可按现行《民用建筑等级标准》划分。一般情况下,重要的工业与民用建筑物(如影剧院、体育馆、高层建筑等)划分为一级,一般的工业与民用建筑物划分为二级,次要的建筑物则划分为三级。

表 1.2 建筑结构的安全等级

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	重要的房屋	≥ 1.1
二 级	严 重	一般的房屋	≥ 1.0
三 级	不严重	次要的房屋	≥ 0.9

▶ 1.3.2 概率极限状态设计法

以概率理论为基础的极限状态设计方法,简称概率极限状态设计法。

1) 结构的可靠性

结构的可靠性是指结构在规定时间(基准期)内,在规定条件下(即以正常设计、正常施工、正常使用为条件,不考虑人为过失的影响)完成预定功能的能力。《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)(简称《统一标准》,下同)规定建筑结构应满足的功能有:

①安全性:即建筑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,包括荷载和温度变化、基础不均匀沉降以及振动作用等。此外,还应具有在设计规定的偶然事件(如地震、火灾、爆炸、撞击等)发生时及发生后,仍能保持整体稳定的能力。

②适用性:指建筑结构在正常使用条件下具有良好的工作性能。例如,不应有过大的变形和出现影响正常使用的振动等。

③耐久性:指建筑结构在正常维护条件下应具有足够的耐久性能。例如,在基准期内,结构材料的锈蚀或其他腐蚀均不应超过一定限度等。

上述“各种作用”是指凡使结构产生内力和变形的各种原因,如施加在结构上的集中荷载或分布荷载,以及引起结构外加变形或约束变形的原因,例如地震、地基沉降、混凝土收缩、温度变化及焊接等。

建筑结构在规定的正常使用条件下,在预定的基准使用期限内,若其安全性、适用性、耐



久性都得到了保证,就是可靠的。建筑结构的这一特性称为结构的可靠性,显然,结构可靠性的定义比安全性更全面。

2) 结构的可靠度

设结构的极限状态采用下列极限状态方程描述:

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

式中, x_1, x_2, \dots, x_n 为影响结构或构件可靠度的基本变量,系指结构上的各种作用和材料性能、几何参数等。进行结构可靠度分析时,也可采用作用效应和结构抗力作为综合的基本变量,基本变量均可考虑为相互独立的随机变量。

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_r 表示结构的可靠度,则上述定义可表达为:

$$P_r = P(Z \geq 0) \quad (1.2)$$

结构或构件的失效概率记为 P_f ,则有:

$$P_f = P(Z < 0) \quad (1.3)$$

并且

$$P_r = 1 - P_f \quad (1.4)$$

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 P_f 小到可以接受的程度,但并不意味着结构绝对可靠。可见,结构可靠度是用结构可靠性的概率来度量。

对结构可靠度的要求与结构的设计基准期长短有关,设计基准期长,可靠度要求就高,反之则低。一般建筑物的设计基准期为 50 年。

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,此特定状态就称为该功能的极限状态,简言之,由可靠转变为失效的临界状态称为结构的极限状态。结构的极限状态可以分为两类:

(1) 承载能力极限状态

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时的状态,即称为承载能力极限状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时,则认为超过了承载能力极限状态:

① 结构构件或连接因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏),或因过度变形而不适于继续承载。

② 整个结构或结构构件的一部分作为刚体失去平衡,如倾覆等。

③ 结构转变为机动体系。

④ 结构或结构构件丧失稳定或屈曲。

⑤ 地基丧失承载能力而破坏。

(2) 正常使用极限状态

对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值时的状态,即称为正常使用极限状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时,则认为超过了正常使用极限状态:

- ①影响正常使用或影响外观的变形。
- ②影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括组合结构中混凝土的裂缝)。
- ③影响正常使用的振动。
- ④影响正常的其他特定状态。

4) 概率极限状态设计的基本原理

(1) 结构的功能函数

以 R 代表结构的抗力,与构件的截面尺寸、材料强度有关。 S 代表荷载对结构的综合效应。那么,当仅有作用效应 S 和结构的抗力 R 两个基本变量时,结构的功能函数可表示为:

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1.5)$$

这一函数为正值时结构可以满足功能要求,为负值时则不能,也就是说:

$$Z = R - S \begin{cases} > 0 \text{ 结构处于可靠状态} \\ = 0 \text{ 结构达到极限状态} \\ < 0 \text{ 结构处于失效状态} \end{cases}$$

传统的定值设计法认为 R 和 S 都是确定性的变量。因此,结构只要按式(1.5)的条件设计,并赋予一定的安全系数,结构就是绝对安全的。但事实并非如此,由于 Z 的随机性,结构失效事故仍时有所闻。

(2) 结构或构件的可靠指标

结构或构件的可靠度通常受各种荷载、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,可以归并为上面所说的两个基本变量,即荷载效应 S 和结构抗力 R ,并设 S 和 R 的概率统计值均服从正态分布,这样功能函数 $Z = R - S$ 也服从正态分布(就是正态随机变量)。以 μ 代表平均值,以 σ 代表标准差,则根据平均值和标准差的性质可知:

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad (1.6)$$

$$\sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (1.7)$$

已知结构的失效概率表达为:

$$P_f = P(Z < 0)$$

由于标准差都取正值,上式可改写成:

$$P_f = P\left(\frac{Z}{\sigma_Z} < 0\right) \quad (1.8)$$

和

$$P_f = P\left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} < \frac{-\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \quad (1.9)$$

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

$$P_f = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \quad (1.10)$$

令

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

并用式(1.6)和式(1.7)的值代入,则有: