



毕业就当系列丛书

· 设计院系列 ·

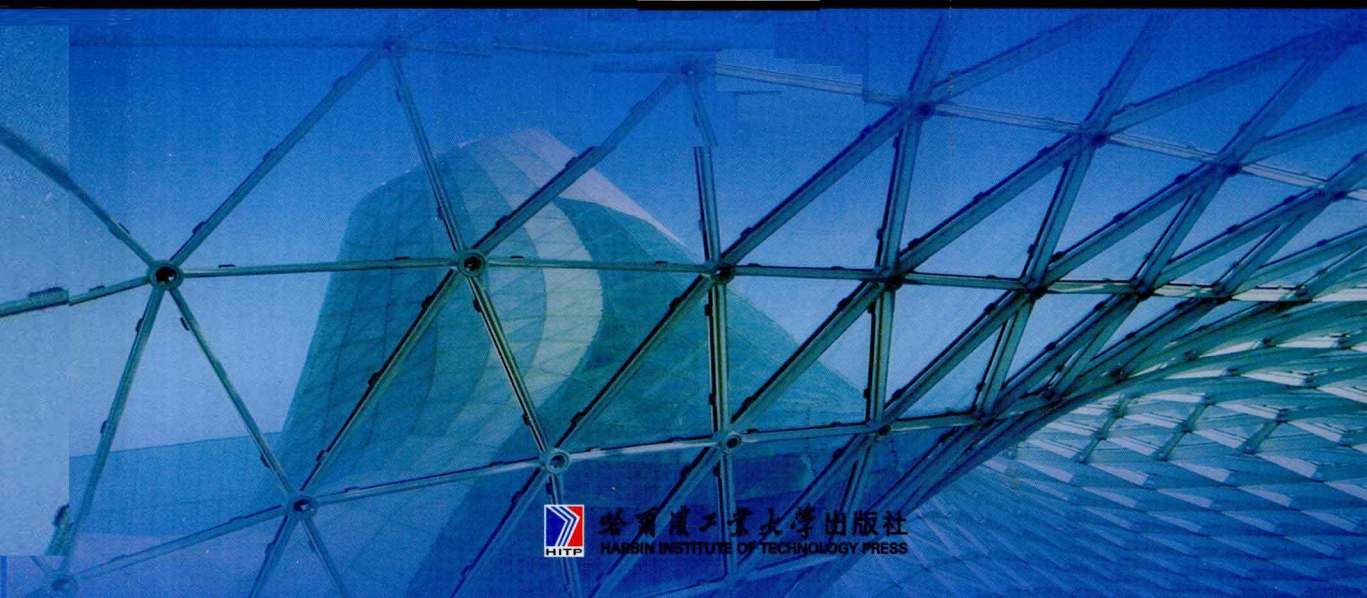
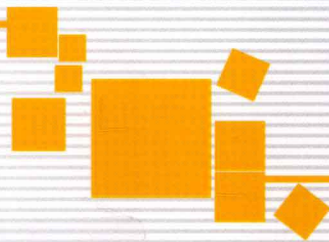
理论实际相联 · 快速适应职场的葵花宝典

理论+经验 → 基础+实务

以专家的高度 · 给您面对面的指导和帮助

毕业就进设计院 钢结构设计

主编 刘英慧



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



毕业就当系列丛书

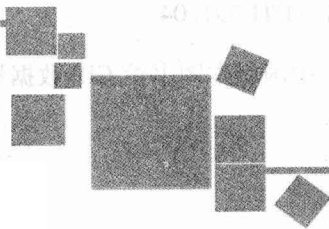
理论实际相联·快速适应职场的葵花宝典

理论+经验 → 基础+实务

以专家的高度·给您面对面的指导和帮助

毕业就进设计院 钢结构设计

主编 刘英慧



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍钢结构设计人员应掌握的各种设计基础知识、设计原则、设计方法及工程设计实例,主要包括概述、钢结构的材料、钢屋架设计、单层厂房钢结构设计、轻型门式刚架结构设计、多层钢结构设计、高层钢结构设计、钢结构防锈及抗火设计等方面的内容。

本书适用于初涉建筑钢结构设计岗位的人员,以及初涉建筑施工领域的大学毕业生。

图书在版编目(CIP)数据

毕业就进设计院:钢结构设计/刘英慧主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2011.5

(毕业就进系列丛书·设计院系列)

ISBN 978-7-5603-3253-6

I. ①毕… II. ①刘… III. ①钢结构-结构设计
IV. ①TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 064700 号

责任编辑 郝庆多

封面设计 刘长友

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 东北林业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18.5 字数 440 千字

版 次 2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3253-6

定 价 36.00 元



(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

编 委 会

主 编 刘英慧

参 编	于 驰	王 玥	王 慧	白雅君
	冯义显	吕克顺	齐丽娜	孙庆巍
	李 生	李冬云	肖建华	远程飞
	吴善喜	段文民		
法律顾问	白雅君			

前 言

随着我国经济建设的快速发展,高层钢结构建筑近年来也开始快速发展,且向多层建筑延伸。特别是建设部近年大力推进钢结构住宅的研究与应用,对多高层钢结构的推广有很大的促进作用,可以说我国目前已进入多高层建筑钢结构大力发展的阶段。这就迫切要求提高从业人员的素质,提高初涉钢结构设计岗位人员的专业知识和业务能力。为了培养更多的钢结构设计人才,不致未来人才短缺,更应该提高在校大学生的专业能力和技术水平。为了从事钢结构设计专业的大学毕业生理论与实践不脱节,能够全面掌握钢结构设计的基础知识,本书在读者已有专业基础理论的前提下,参照国家现行的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等规范和规程,组织编写了此书。

本书共分为8章,包括概述、钢结构的材料、钢屋架设计、单层厂房钢结构设计、轻型门式刚架结构设计、多层钢结构设计、高层钢结构设计、钢结构防锈以及抗火设计等方面的内容。

本书适用于初涉建筑钢结构设计岗位的人员,以及初涉建筑施工领域的大学毕业生。

因编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者热心指点,以便作进一步修改和完善。

编 者

2011.3

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 钢结构的特点和应用范围	1
1.2 钢结构的类型	2
1.3 钢结构的设计方法	7
1.4 钢结构的设计指标	12
第 2 章 钢结构的材料	15
2.1 钢材的性能	15
2.2 钢材的疲劳	21
2.3 钢结构工程常用材料及选择	27
第 3 章 钢屋架设计	34
3.1 屋盖支撑	34
3.2 普通钢屋架设计	41
3.3 轻型钢屋架设计	65
3.4 钢管屋架设计	87
第 4 章 单层厂房钢结构设计	97
4.1 单层厂房的布置	97
4.2 厂房结构的横向框架	104
4.3 厂房柱设计	109
4.4 吊车梁设计	116
第 5 章 轻型门式刚架结构设计	129
5.1 结构形式和布置	129
5.2 内力与侧移计算	133
5.3 构件的截面设计	140
5.4 构件的节点设计	152
第 6 章 多层钢结构设计	170
6.1 多层钢结构体系	170
6.2 多层钢结构的作用效应及内力分析	175
6.3 多层钢结构梁设计	182
6.4 多层钢结构柱设计	194
6.5 多层钢结构支撑设计	202
6.6 多层钢结构的节点设计	207
第 7 章 高层钢结构设计	222

7.1	高层钢结构的体系	222
7.2	高层钢结构的布置	226
7.3	高层钢结构的荷载及组合	231
7.4	偏心支撑框架设计	236
第 8 章	钢结构防锈及抗火设计	240
8.1	钢结构的防锈设计	240
8.2	钢结构的抗火设计	247
附录		258
附录 A	钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值	258
附录 B	梁的整体稳定系数	261
附录 C	轴心受压构件的稳定系数	265
附录 D	柱的计算长度系数	270
附录 E	疲劳计算的构件和连接分类	282
参考文献		285

第1章 概述

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通过冷加工成形的薄壁型钢,通过焊接、铆焊或螺栓连接等方式制造而成的结构,它是建筑结构的一种主要形式。

1.1 钢结构的特点和应用范围

1. 钢结构的特点

钢结构由钢材建造而成,从钢结构的使用和材料特性上可归纳出钢结构的特点如下。

(1) 强度高,相对质量轻。设结构材料的质量密度为 ρ ,材料强度为 f ,以建筑钢、木材和钢筋混凝土为例,分别计算它们的密度与强度的比值 $\alpha = \rho/f$ 。

建筑钢: $\alpha = (1.7 \sim 3.7) \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$;

木材: $\alpha = 5.4 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$;

钢筋混凝土: $\alpha = 18 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$ 。

通过对比可知,钢材的 α 值最小,这说明作为承力材料,钢材的强度最高,质量最轻。因此工程结构中使用钢材可节省材料。

若采用钢筋混凝土、普通型钢和冷弯薄壁型钢这三种材料来设计一个跨度相同、承载相同的平面屋架,则钢筋混凝土屋架最重,普通型钢屋架较轻,约为钢筋混凝土屋架重量的 $1/4 \sim 1/3$,而冷弯薄壁型钢屋架最轻,仅为钢筋混凝土屋架重量的 $1/10$ 。通过屋架设计这个例子可以看出,同样采用钢材,如钢材的形式不同,所设计出的结构重量也会有很大差别。

钢结构的质量轻,基础荷载小,可降低基础工程造价,也使吊装和运输的工作量降低。

由于钢材的强度高,使得钢结构适用于大跨、高耸结构,以及承载很大的重型结构,但其材料强度常常不能得到充分发挥。这是因为在构件设计时,按照强度条件计算所需的截面较小,而按照稳定条件或刚度条件计算所需的构件截面较大。

(2) 塑性、韧性好。塑性好是指钢结构在通常条件下不会因超载而突然断裂,破坏前较明显的变形,易被发现。钢材良好的塑性可降低局部高峰应力,使应力分布变化趋缓。韧性好是指钢结构适宜在动力荷载下工作,因此在地震区采用钢结构较为有利。

(3) 材质均匀,比较符合力学计算假定。钢材由于冶炼和轧制过程的科学控制,其内部结构组织比较均匀,接近于各向同性,符合理想的弹性-塑性体。因此,计算上不定性较小,计算结果比较可靠。

(4) 制作简单、精准度较高、施工速度快。钢结构制作通常是在金属结构加工厂采用机械化施工完成的,准确度和精密度均较高。制作中常可利用各种型钢,使施工速度加快。钢构件质量轻,连接简单方便,使施工周期缩短。钢结构制作的部分工作量或全部工作量(如轻型钢结构制作)可在现场完成,施工比较灵活方便。钢结构易于连接,所以易于加固、改建和拆迁。

(5) 密闭性较好。钢材及其连接(特别是焊接)的水密性和气密性均较好,适用于制作高压容器、油罐、气柜和管道等要求密闭性的板壳结构。

(6) 钢材易锈蚀。因为钢材易锈蚀,所以对钢结构必须采用防锈蚀措施,特别是对于薄壁构件。钢结构常采用涂油漆防锈处理,在涂油漆前应彻底除锈,油漆质量和涂层厚度均应符合设计要求。在设计中,应考虑避免结构受潮、漏雨,尽量避免构造上出现难于检修的死角,在有较强腐蚀性介质的环境中不宜采用钢结构。

(7) 钢材耐热但不耐火。温度在 200℃ 以内时,钢材的主要性能(屈服点和弹性模量)下降不明显。当温度超过 200℃ 后,材质变化较大,此时强度开始逐步降低,还伴随有蓝脆和徐变现象。当温度达到 600℃ 时,钢材强度几乎为零。设计规定:钢材表面温度超过 150℃ 时需要采取隔热防护,对有防火要求的,必须按照相关规定采取隔热保护措施。

(8) 在低温或其他条件下易发生脆性断裂。钢结构在低温或其他条件下,容易发生脆性断裂,设计时应特别注意这一点。

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度增加,新型结构形式不断推出,使得钢结构的应用迅速发展。根据实践经验和技术要求,钢结构的合理应用范围如下。

(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,如铸钢车间、水压机车间、炼钢车间、轧钢车间、船体车间和热加工车间等重型车间的承重骨架和桥式起重机梁。

(2) 大跨度结构。要求有大空间的公共建筑和工业建筑,多采用重量轻、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、剧场和展览馆等,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、环境气象监测塔和无线电桅杆等多采用塔桅钢结构。

(5) 容器、贮罐和管道。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且不渗漏。

(6) 可拆装和搬迁的结构。如流动式展览馆和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。如大跨度铁路和公路桥梁、水工闸门、起重桅杆、高炉、热风炉、锅炉骨架,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

在一般性构筑物中通常采用钢结构,但由于构筑物使用功能的差别而形成了各种钢结构类型。本节主要介绍单层钢结构厂房、轻型钢结构、大跨空间钢结构、多高层以及超高层建筑钢结构、高耸钢结构、桥梁钢结构、钢与混凝土组合结构等。

1. 单层钢结构厂房

单层钢结构厂房如图 1.1 所示。典型的单层钢结构厂房有冶金厂房的平炉、转炉车间,混铁炉车间和轧钢车间;重型机械厂的铸钢车间、水压机车间和锻压车间等。

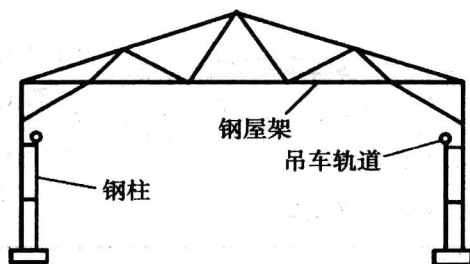
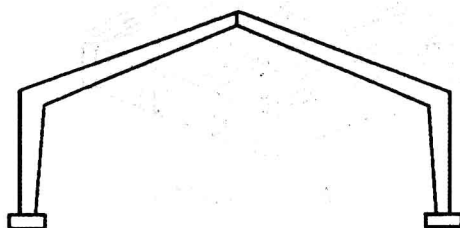


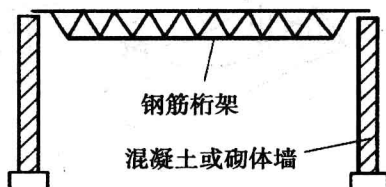
图 1.1 单层钢结构厂房

2. 轻型钢结构

轻型钢结构房屋如图 1.2 所示。典型的轻型钢结构有轻型门式刚架、冷弯薄壁型钢结构和轻型钢管结构等。主要用于仓库、办公室、轻型工业厂房、体育设施、低层住宅楼及别墅等。



(a) 轻型钢架



(b) 轻型厂房

图 1.2 轻型钢结构房屋

3. 大跨空间钢结构

大跨空间钢结构如图 1.3 ~ 1.5 所示。大跨空间钢结构常用于飞机装配车间、飞机库、大型储煤库、体育场馆和展览馆等,其结构体系常为平面网架、圆柱面网壳、球面网壳、悬索结构、斜拉索结构和预应力结构等。

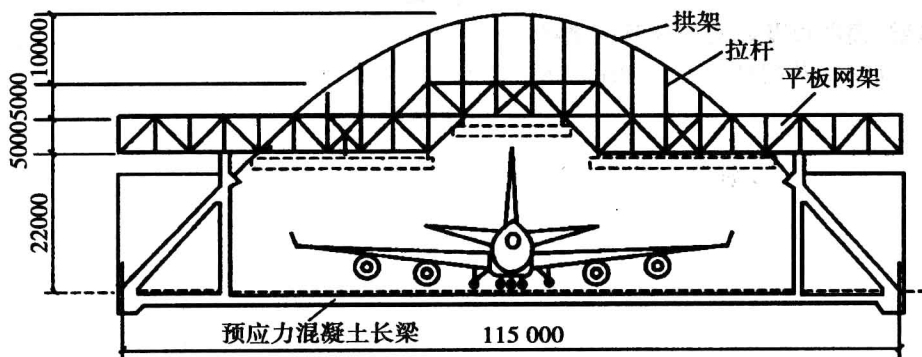
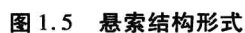


图 1.3 飞机库(拱架支承架结构网)



多层、高层以及超高层建筑钢结构如图 1.6 和图 1.7 所示。

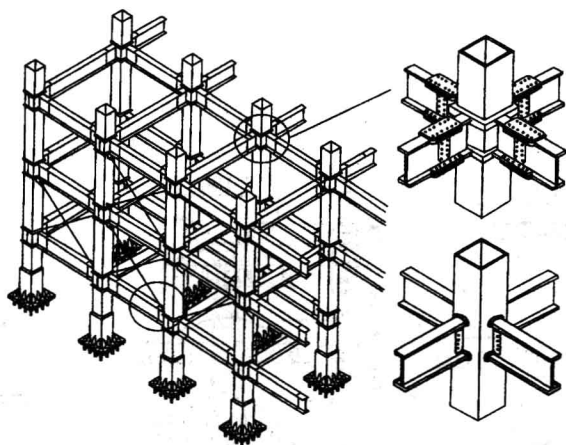
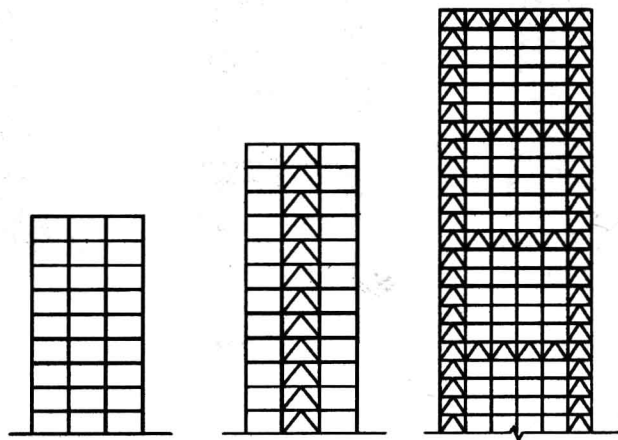


图 1.6 多层建筑钢结构的构造形式



(a)多跨框结构 (b)框架-支撑结构 (c)巨型框架结构

图 1.7 高层、超高层建筑钢结构体系

5. 高耸钢结构

高耸钢结构如图 1.8 所示。典型的高耸钢结构有钻井塔、输电塔、电视塔、微波塔和环境大气监测塔,还有带拉线的无线电天线桅杆和广播发射桅杆等。

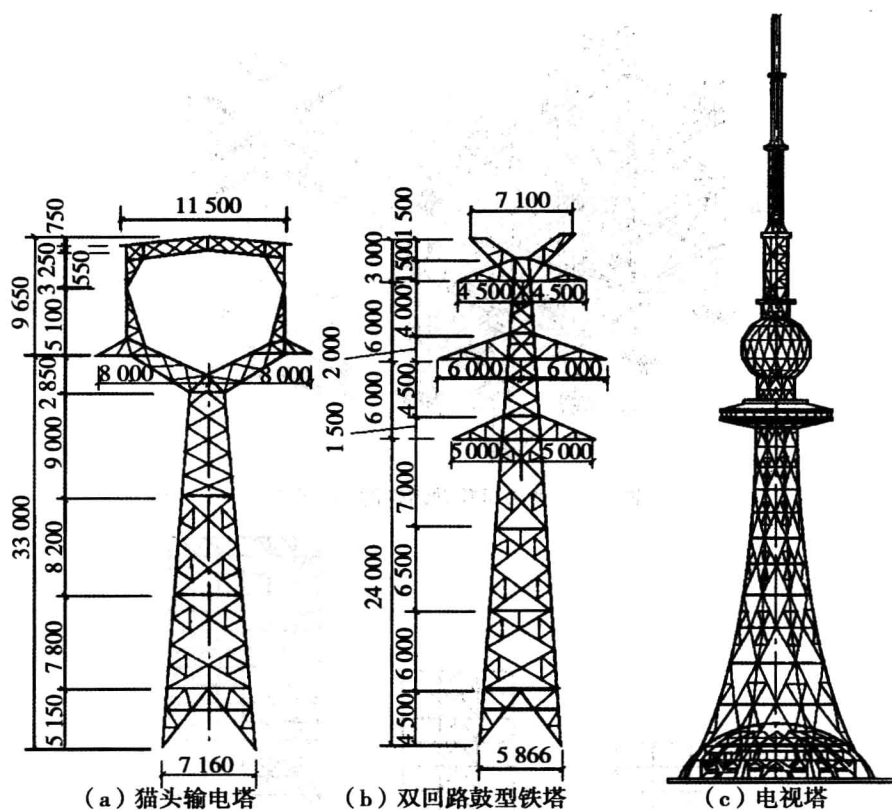


图 1.8 高耸钢结构

6. 桥梁钢结构

桥梁钢结构如图 1.9 所示。

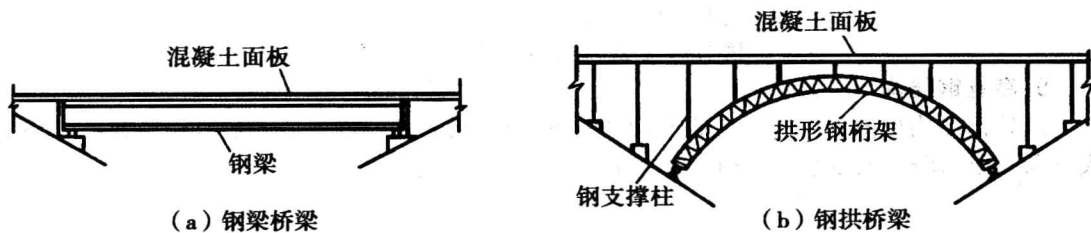


图 1.9 桥梁钢结构

7. 钢与混凝土组合结构

钢与混凝土组合结构如图 1.10 所示。典型的钢与混凝土组合结构有钢管混凝土结构和型钢混凝土结构等。

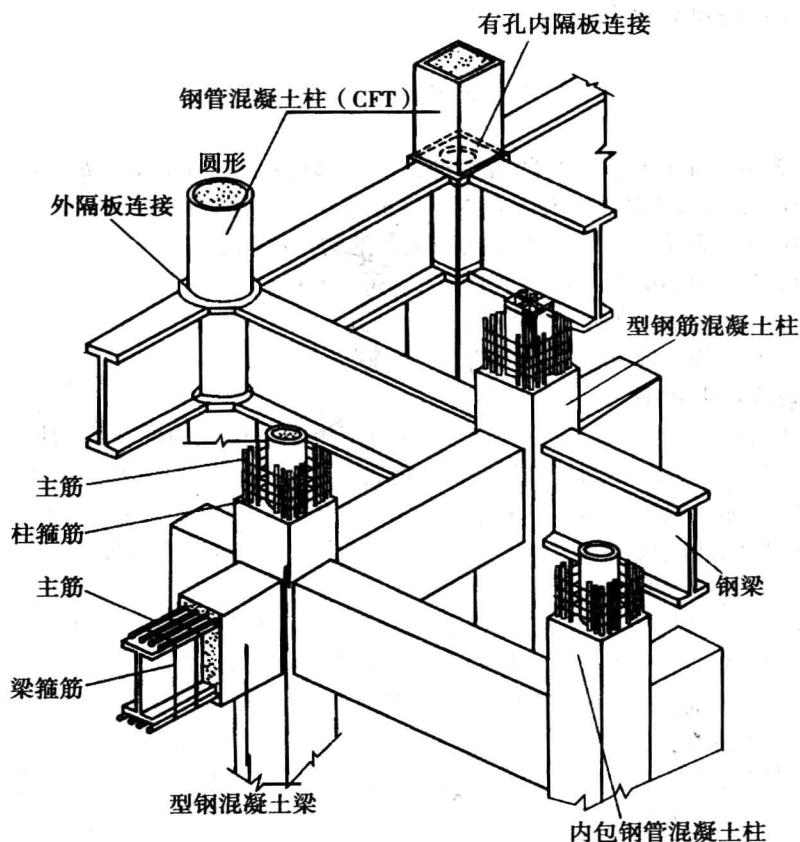


图 1.10 钢与混凝土组合结构

8. 可拆卸或拆迁的结构

典型的可拆卸或拆迁的结构有塔式起重机、履带式起重机的吊臂、龙门起重机和桥式吊车等,还有建筑施工的临时生产、生活用房,临时展览及演出的场馆等。

9. 板壳结构

典型的板壳结构有高炉、热风炉、油库、油罐、煤气库、漏斗、烟囱、水塔以及各种管道等。

1.3 钢结构的设计方法

1. 结构功能函数

设决定结构可靠性(或安全性)的参数有 n 个: $x_1, x_2, \dots, x_n$ 。构件为满足某一功能规定要求(如应力不超过材料强度或变形不超过规定限值等),按照设计准则可建立起包含这 n 个参数的函数关系式,即

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

式(1.1)称为结构功能函数。

为说明概念,设功能函数中只包含结构(或构件)抗力 R 和荷载效应 S 这两个基本随机

变量,所以式(1.1)可简化为:

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

在式(1.2)中,由于 R 和 S 是随机变量,所以函数也是随机变量。在实际工程中, R 和 S 的实际取值存在着不确定性,具有一定的概率分布。所以,随机变量 Z 的取值可能大于 0、等于 0 或小于 0,这三种情况分别代表结构功能所处的不同状态。

当 $Z > 0$ 时,结构功能处于可靠状态。

当 $Z = 0$ 时,结构功能处于临界状态。

当 $Z < 0$ 时,结构功能处于失效状态。

2. 结构功能极限状态

为了保证结构的安全性和正常使用,设计规范规定结构或构件在不同情况下(如施工阶段和使用阶段等工况)要有效地完成特定功能,并规定一个特定临界状态指标,当结构或构件超过这个特定临界状态指标时,即认为结构功能失效。由此所确定的结构功能临界状态就称为结构或构件的功能极限状态。设计规范规定了结构或构件的多种特定功能,所以结构功能极限状态可分为以下两类。

(1) 承载能力极限状态。承载能力极限状态主要是指结构或构件达到最大承载能力或出现不再适于继续加载的变形。承载能力极限状态破坏包括倾覆、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。正常使用极限状态主要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。正常使用极限状态破坏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,以及出现影响正常使用的振动。

3. 结构可靠度

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和条件下,完成预定功能的概率,即 $Z \geq 0$ 的概率。

结构可靠度的数学表达式如下:

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

结构失效概率的数学表达式如下:

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

事件($Z < 0$)与事件($Z \geq 0$)是功能函数取值完整空间,且二者相互独立。所以有

$$P_s + P_f = P(Z \geq 0) + P(Z < 0) = 1 \quad (1.5)$$

由式(1.5)得

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

式(1.6)说明,结构可靠度的计算可通过间接计算结构失效概率来获得。

假若已知功能函数 Z 的概率密度 $f_z(Z)$ 曲线(图 1.11),则结构失效概率 P_f (图 1.11 的阴影部分)可由下面积分求得:

$$P_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_z(Z) d_z \quad (1.7)$$

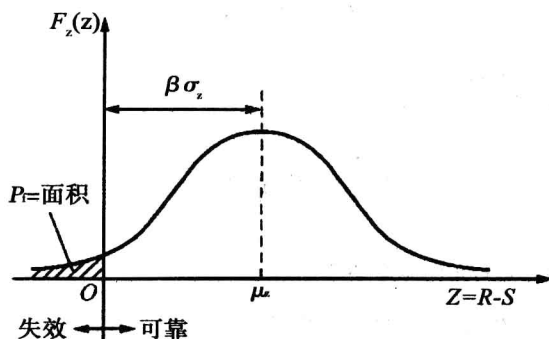


图 1.11 Z 的概率密度 $F_z(Z)$ 曲线

但实际上, Z 的分布一般很难求出,由式(1.7)计算失效概率的方法也仅是停留在理论上。20 世纪 60 年代末,美国学者康奈尔(C. A. Cornell)提出了“RF 一次二阶矩方法”,概率设计法在实际中获得应用。

一次二阶矩法不是由图 1.11 中 Z 的分布直接计算结构的失效概率 P_f ,而是将功能函数 Z 的均值 μ_z 用 Z 的标准差 σ_z 来度量(图 1.11),即

$$\mu_z = \beta \sigma_z \quad (1.8)$$

由上式得

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} \quad (1.9)$$

式中 β ——结构的可靠度指标或安全指标。

显然,只要确定了分布, β 与 P_f 就存在一一对应关系。如 Z 为正态分布,则 β 与 P_f 的关系式为

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (1.10)$$

式中 $\Phi(\cdot)$ ——标准正态分布函数。

如 Z 为非正态分布,可用当量正态化方法将其转化为正态分布。

由式(1.10)可知: β 增大,则 P_f 减小;反之亦然。 Z 为正态分布, β 与 P_f 的对应关系见表 1.1。

表 1.1 Z 为正态分布时 β 与 p_f 的对应值

可靠度指标 β	2.7	3.2	3.5	4.0	4.5
失效概率 P_f	3.47×10^{-3}	6.87×10^{-4}	2.33×10^{-4}	3.17×10^{-5}	3.4×10^{-6}

对于任何分布 Z 的 μ_Z 和 $\sigma \frac{2}{Z}$ 均可按下式求得, 即

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad (1.11)$$

对于 R 与 S 统计独立情况:

$$\sigma \frac{2}{Z} = \sigma \frac{2}{R} + \sigma \frac{2}{S} \quad (1.12)$$

式中 μ_R, μ_S ——抗力 R 和荷载效应 S 的均值;

$\sigma \frac{2}{R}, \sigma \frac{2}{S}$ ——抗力 R 和荷载效应 S 的方差。

若 Z 为设计参数的非线性函数, 则应展开为泰勒级数并取其线性项, 然后再计算其均值和方差。

$$\mu_Z \approx g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}) \quad (1.13)$$

$$\sigma \frac{2}{Z} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \bigg|_{\mu} \right)^2 \mu_{x_i}^2 \quad (1.14)$$

式中 μ_{x_i} ——随机变量 x_i 的均值;

$(\cdot | \mu)$ ——计算偏导数时变量均用各自的均值赋值。

4. 设计表达式

(1) 承载能力极限状态表达式。对于承载能力极限状态设计, 应采用荷载效应的基本组合或偶然组合。荷载效应的基本组合应由组合式的最不利值来确定。

可变荷载效应控制的组合为

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{QiK}) \leq R \quad (1.15)$$

永久荷载效应控制的组合为

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{GK} + \sum_{i=1}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{QiK}) \leq R \quad (1.16)$$