

实用钢结构工程设计与施工系列图书

钢结构设计计算 实例详解

上官子昌 主编

GANGJIEGOU SHEJI JISUAN
SHILI XIANGJIE



化学工业出版社

实用钢结构工程设计与施工系列图书

钢结构设计计算 实例详解

上官子昌 主编

GANGJIEGOU SHEJI JISUAN
SHILI XIANGJIE



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要结合国家现行的《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)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)等规范和规程进行编写,主要内容包括:钢结构设计计算基础知识,构件的连接计算,轴心受力构件,受弯构件,拉弯、压弯构件,疲劳计算,屋盖结构,钢结构防锈与防火。本书从构建的设计及计算要点入手,内容丰富,实用性强。

本书可供钢结构工程设计人员、施工人员及相关专业大中院校的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计计算实例详解/上官子昌主编. —北京:化学工业出版社, 2012. 11

(实用钢结构工程设计与施工系列图书)

ISBN 978-7-122-15368-5

I. ①钢… II. ①上… III. ①钢结构-结构设计②钢结构-结构计算 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 221968 号

责任编辑:彭明兰

责任校对:周梦华

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张10 字数255千字 2013年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

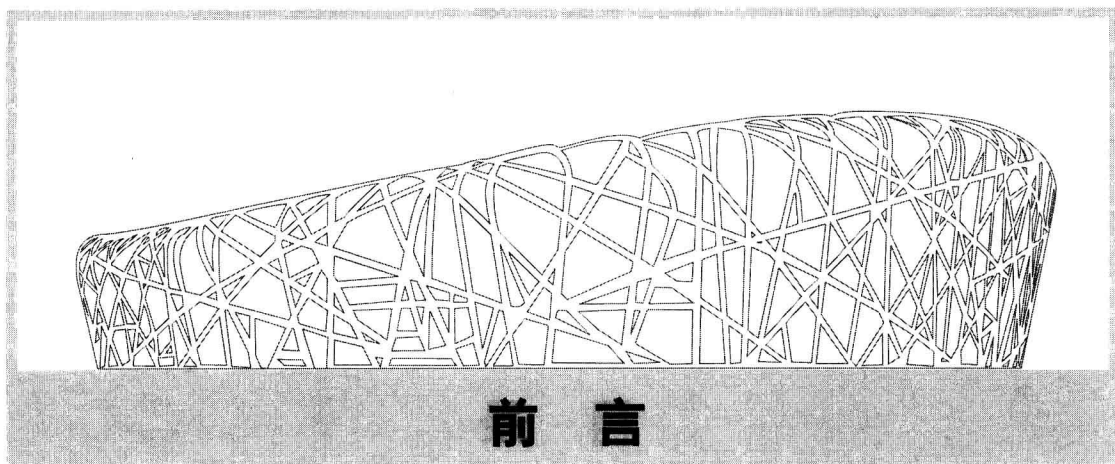
定 价:29.00元

版权所有 违者必究

本书编委会

主 编 上官子昌

编 委	高少霞	韩 旭	刘秀民	李香香
	吕克顺	隋红军	殷鸿彬	张一帆
	张文权	邹 雯	张小庆	上官子昌

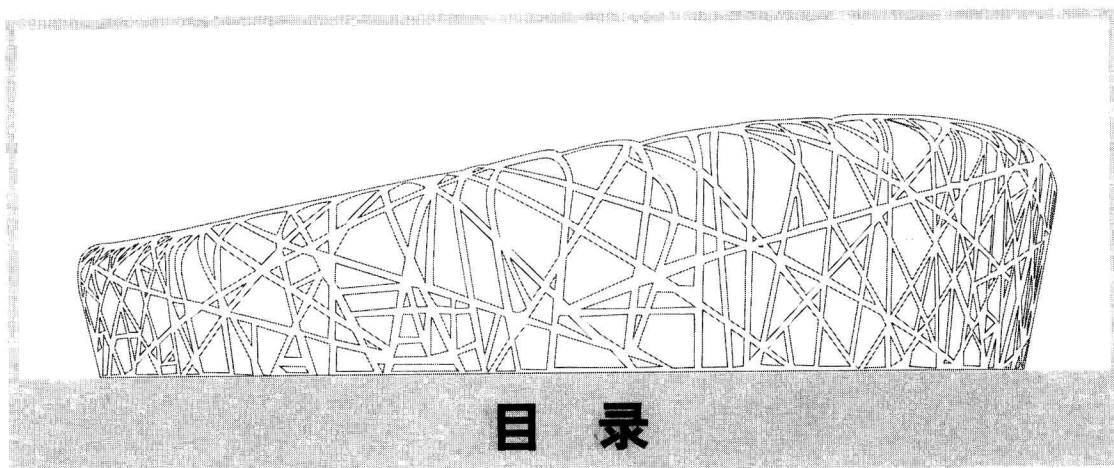


随着我国国民经济的飞速发展，钢结构在建筑结构中占有着越来越重要的位置。依靠住建部对钢结构应用的政策支持，钢结构在建筑中的规模也逐渐呈现扩大趋势，这也在一定程度上加速了钢结构技术上的升级。目前，钢结构已广泛应用在建筑领域中的各个细节，如高层建筑、工业厂房、大型场馆等。为了培养更多钢结构人才以适应国家发展钢结构的需要，提高钢结构人才的专业能力和技术水平，我们参照国家现行的《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）、《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205—2001）、《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）等规范和规程，编写了本书。

本书分为 8 章，主要包括：钢结构设计计算基础知识，构件的连接计算，轴心受力构件，受弯构件，拉弯、压弯构件，疲劳计算，屋盖结构，钢结构防锈与防火。本书有较强的操作性和实用性，适用于钢结构工程设计人员、施工人员及相关专业大中院校的师生学习参考。

因编者水平有限，尽管编写过程中尽心尽力，仍难免存在不足之处，恳请读者批评指正，以便作进一步修改和完善。

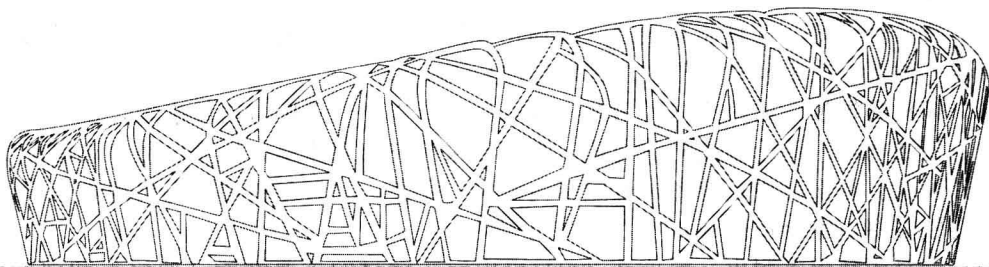
编 者
2012. 8



1 钢结构设计计算基础知识	1
1.1 钢结构概述	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的类型	2
1.1.3 钢结构的应用	5
1.2 钢结构设计概述	6
1.2.1 设计目的	6
1.2.2 设计原则	6
1.2.3 设计方法	7
1.2.4 设计指标	10
1.3 钢结构所用材料	13
1.3.1 钢材的性能	13
1.3.2 钢材的疲劳	20
1.3.3 钢材的选用	26
1.4 钢结构抗震验算	30
1.4.1 构件的抗震验算	30
1.4.2 节点的抗震验算	32
2 构件的连接计算	34
2.1 构件的连接概述	34
2.1.1 焊缝连接	34
2.1.2 螺栓连接	35
2.2 焊缝连接	35
2.2.1 焊缝连接概述	35
2.2.2 对接焊缝连接	37
2.2.3 直角角焊缝连接	40
2.3 螺栓连接	45
2.3.1 螺栓连接概述	45
2.3.2 普通螺栓连接	48
2.3.3 高强度螺栓连接	55

3 轴心受力构件	59
3.1 轴心受力构件概述	59
3.1.1 轴心受力构件的定义	59
3.1.2 轴心受力构件的截面形式及设计要求	59
3.2 轴心受力构件设计计算	60
3.2.1 强度及刚度计算	60
3.2.2 轴心受力构件的计算长度	63
3.3 轴心受压构件的稳定	65
3.3.1 实腹式轴心压杆的整体稳定计算	65
3.3.2 轴心受压构件局部稳定计算	67
3.3.3 格构式轴心压杆整体稳定计算	69
4 受弯构件	74
4.1 受弯构件概述	74
4.1.1 受弯构件的定义	74
4.1.2 受弯构件的截面形式	74
4.1.3 梁的设计内容	74
4.2 强度及刚度计算	75
4.2.1 强度计算	75
4.2.2 刚度计算	79
4.3 稳定计算	81
4.3.1 整体稳定计算	81
4.3.2 局部稳定计算	87
5 拉弯、压弯构件	93
5.1 拉弯、压弯构件概述	93
5.1.1 拉弯及压弯构件的定义	93
5.1.2 拉弯和压弯构件的截面形式及设计内容	93
5.2 强度及刚度计算	94
5.2.1 强度计算	94
5.2.2 刚度计算	95
5.3 稳定计算	96
5.3.1 压弯构件的平面内、平面外整体稳定	96
5.3.2 压弯构件的局部稳定	100
5.3.3 框架柱的计算长度	103
5.3.4 压弯构件的柱脚	104
6 疲劳计算	108
6.1 钢结构疲劳概述	108
6.1.1 疲劳计算的定义及特点	108
6.1.2 疲劳计算的适用条件	108
6.1.3 疲劳破坏的影响因素	109
6.2 疲劳计算	109
6.2.1 疲劳计算的方法	109

6.2.2	常幅疲劳计算	110
6.2.3	变幅疲劳计算	111
6.2.4	吊车梁及吊车桁架疲劳计算	112
7	屋盖结构	114
7.1	屋面结构概述	114
7.1.1	屋盖结构形式	114
7.1.2	钢屋架形式	115
7.1.3	屋盖支撑	116
7.2	屋盖结构计算	118
7.2.1	檩条计算	118
7.2.2	屋架的荷载	121
7.2.3	屋架的内力计算	121
7.2.4	屋架的杆件设计计算	121
7.2.5	屋架的节点板设计计算	123
7.2.6	屋架的填板计算	124
7.2.7	屋架的节点设计计算	125
8	钢结构防锈与防火	142
8.1	钢结构防锈	142
8.1.1	钢材锈蚀等级及表面除锈等级	142
8.1.2	除锈方法	143
8.1.3	防锈涂料及涂层厚度	144
8.1.4	钢材腐蚀速度计算	145
8.2	钢结构防火	146
8.2.1	钢结构的耐火极限	146
8.2.2	钢结构防火涂料	146
附录	轴心受压稳定系数	149
参考文献		152



1 钢结构设计计算基础知识

1.1 钢结构概述

1.1.1 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以归纳出钢结构有如下特点。

(1) **强度高，相对重量轻** 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，这表示作为承力材料，钢材的强度最高，质量最轻。因此在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，如果钢材的形式不同，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，容易被发现。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-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(比如轻型钢结构制作)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,应考虑避免结构漏雨、受潮,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°C 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°C 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°C 时,钢材强度几乎为零。设计规定:钢材表面温度大于 150°C 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。

1.1.2 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。

(1) 单层钢结构厂房 如图 1-1(a) 所示,如冶金厂房的平炉、转炉车间、轧车间、混铁炉车间,重型机械厂的铸钢车间、水压机车间、锻压车间等。



图 1-1 房屋钢结构

(2) 轻型钢结构 如图 1-1(b)、(c) 所示,如轻型门式刚架,冷弯薄壁型钢结构、轻型钢管结等。主要用于仓库、轻型工业厂房、办公室、体育设施、低层住宅楼及别墅等。

(3) 大跨空间钢结构 如图 1-2~图 1-4 所示,常用于飞机装配车间、飞机库、大型储煤库、体育场馆、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、预应力结构等。

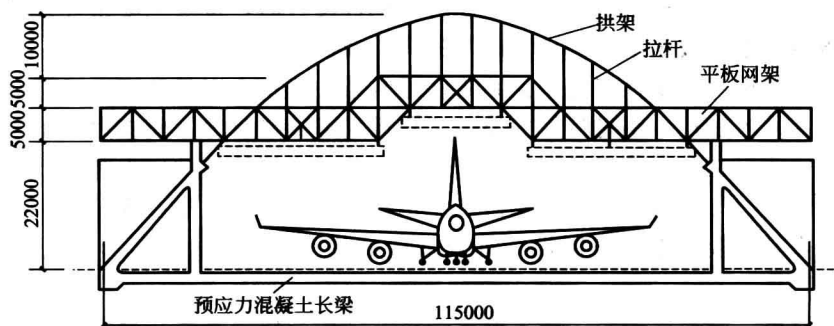


图 1-2 飞机库(拱架支承架结构网)

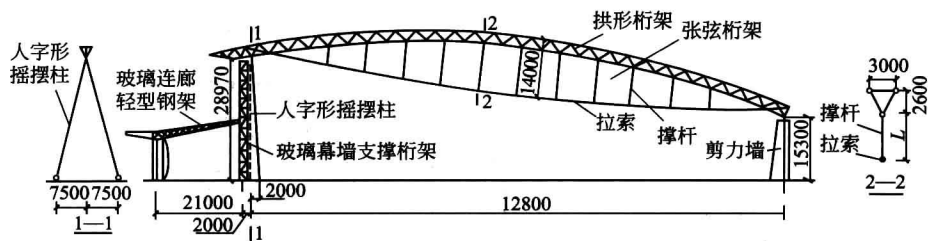


图 1-3 会展场馆（张弦桁架结构）

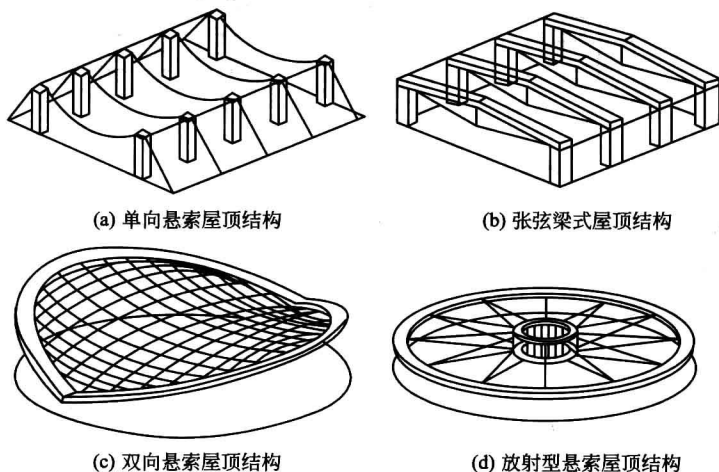


图 1-4 悬索结构形式

(4) 多层、高层以及超高层建筑钢结构 如图 1-5 和图 1-6 所示。

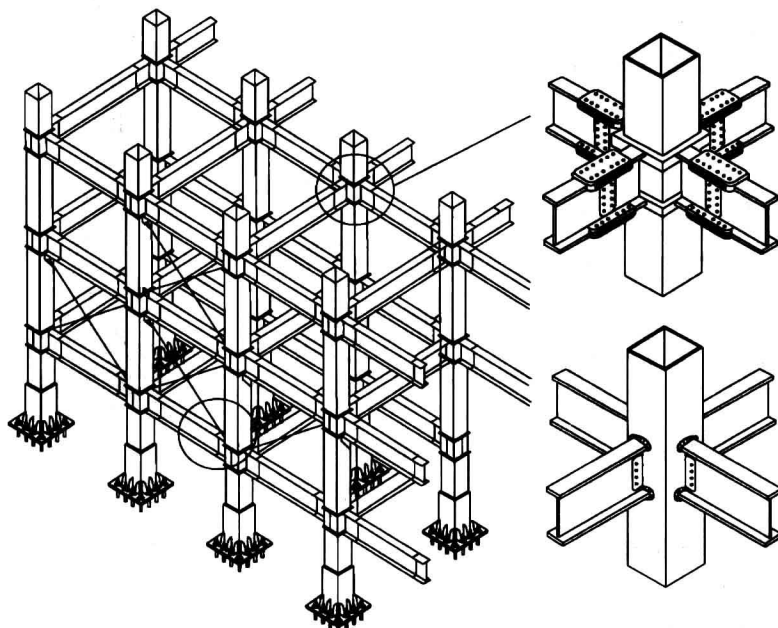


图 1-5 多层建筑钢结构的构造形式

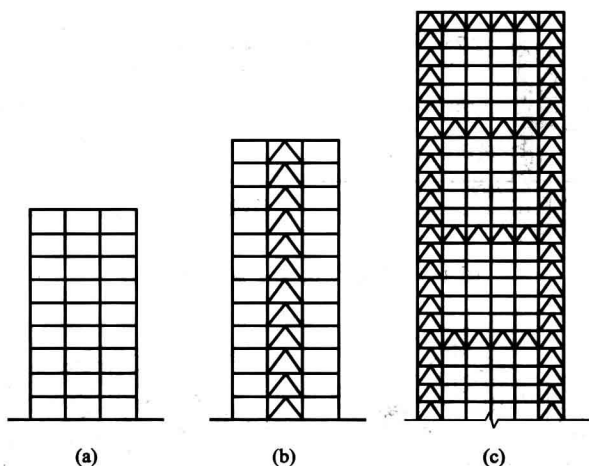


图 1-6 高层、超高层建筑钢结构体系

(5) **高耸钢结构** 如图 1-7 所示, 如钻井塔、电视塔、输电塔、微波塔、大气环境监测塔, 还有带拉线的无线电天线桅杆、广播发射桅杆等。

(6) **桥梁钢结构** 如图 1-8 所示。

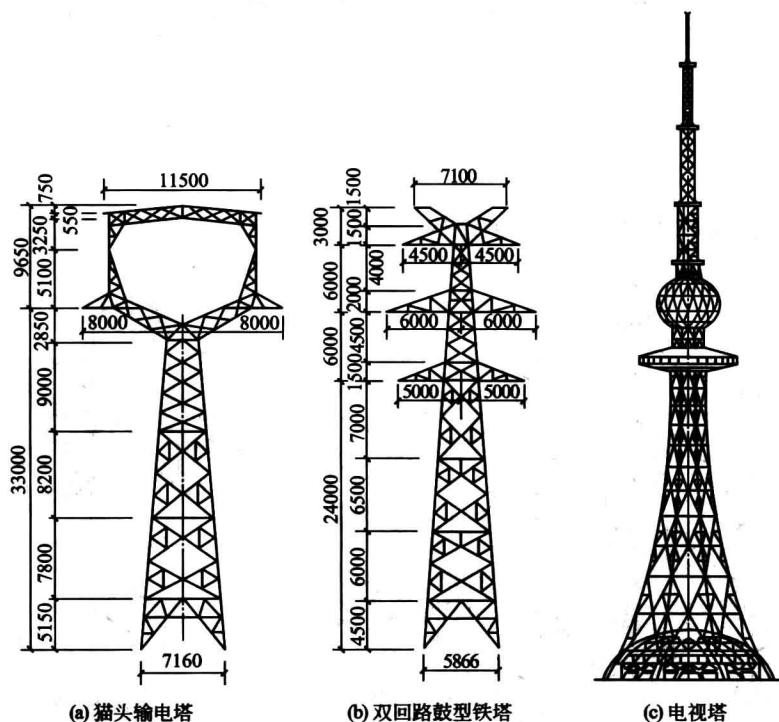


图 1-7 高耸钢结构

(7) **钢与混凝土组合结构** 如图 1-9 所示, 如钢管混凝土结构、型钢混凝土结构等。

(8) **海上采油平台、井架、栈桥和管道支架等。**

(9) **可拆卸或拆迁的结构** 如塔式起重机、履带式起重机的吊臂, 龙门起重机, 桥式吊车等; 再如建筑施工的临时生产、生活用房, 临时展览及演出的场馆等。

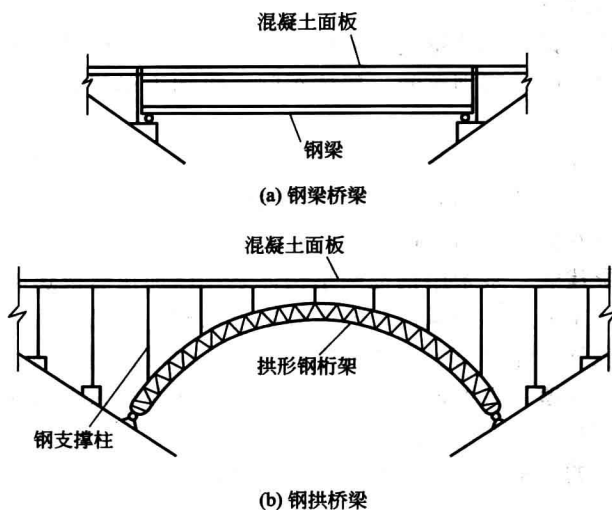


图 1-8 桥梁钢结构

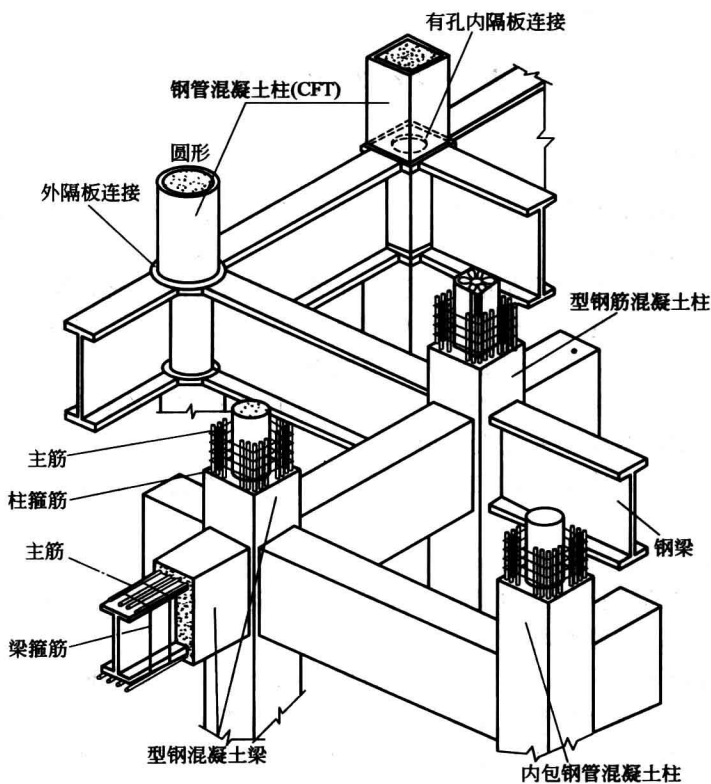


图 1-9 钢与混凝土组合结构

(10) 板壳结构 如油库、煤气库、油罐、高炉、热风炉、漏斗、烟囱、水塔以及各种管道等。

1.1.3 钢结构的应用

目前，钢结构常用于大跨、超高、过重、密闭、振动、高耸、空间和轻型的工程结构

中,其应用范围大致为以下方向。

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

(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、体育馆、飞机库、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、囤仓、气罐、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** 如热风炉、高炉、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 钢结构设计概述

1.2.1 设计目的

在经济合理的前提下所设计的结构满足各种预定的功能,这是结构设计的主要目的。建筑结构的功包括以下3项。

(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(包括各种荷载和如基础沉降、温度变化及地震等对结构的外加变形,以下按习惯均称作用为荷载);在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。

(2) **适用性** 在正常使用荷载情况下,结构具有良好的工作性能,满足正常的使用要求,例如不发生影响正常使用的过大变形等。

(3) **耐久性** 在正常维护下,结构应具有足够的耐久性能,如不发生严重的锈蚀而影响结构的使用寿命等。

上述3项功能,总称为可靠性。

经济合理指的是所设计的结构具有用料省,重量轻,易于制造、运输和安装,建造工期短,造价低和便于今后的维修与保养等。

可靠性与经济合理有时会出现矛盾,此时应在综合考虑各种情况下力求使矛盾得到妥善解决。为此,结构设计应分结构方案设计和结构物的具体设计两步进行。结构方案设计主要包含结构选型和材料选用,应进行各种方案的比较后确定。具体结构设计在方案确定后进行,包括结构布置、截面和连接设计等,最后画出施工图。这里所指钢结构设计方法即是指具体结构设计的方法。现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

1.2.2 设计原则

房屋钢结构的设计应保证结构或构件在使用荷载作用下能安全可靠地工作,既要满足使用要求,又要符合经济要求。因此房屋钢结构设计,除疲劳计算外,均采用以概率论为基础

的极限状态设计方法,用分项系数设计表达式进行计算。一切承重结构或构件均应按承载能力极限状态进行设计以确保安全,再按正常使用极限状态进行校核以保证适用性。

(1) 承载能力极限状态 当结构或构件达到最大承载力、出现疲劳破坏或达到不适于继续承载的变形状态时,该结构或构件即达到承载能力极限状态。按承载能力极限状态设计钢结构时,应考虑荷载或荷载效应的基本组合,必要时尚应考虑荷载或荷载效应的偶然组合。当结构或构件出现下列状态之一时,即认为超过了承载能力极限状态:

- ① 整个结构或结构的一部分作为刚体丧失平衡(如滑移或倾覆等);
- ② 结构构件或连接因其应力超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏),或由于过度的塑性变形而不适于继续承担荷载;
- ③ 结构转变为机动体系而丧失承载能力;
- ④ 结构或构件因达到临界荷载而丧失稳定性。

(2) 正常使用极限状态 当结构或构件达到正常使用的某项规定限值状态时,该结构或构件便达到了正常使用极限状态。按正常使用极限状态设计钢结构时,应考虑荷载或荷载效应的标准组合,对钢与混凝土组合梁尚应考虑准永久组合。当结构或构件出现下列状态之一时,即认为超过了正常使用极限状态:

- ① 影响正常使用或外观的变形;
- ② 影响正常使用的局部破坏;
- ③ 影响正常使用的振动;
- ④ 影响正常使用的其他特定状态。

1.2.3 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),根据设计准则可建立起包含这 n 个参数的函数关系式:

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-1)$$

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,因为 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,因此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、丧失稳定、疲劳

破坏、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，并且二者相互独立，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。

如果已知功能函数 Z 的概率密度 $f_Z(Z)$ 曲线（图 1-10），则结构失效概率 p_f （图 1-10 的阴影部分）可由下面积分求得：

$$p_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_Z(Z) dZ \quad (1-7)$$

但实际上， Z 的分布通常很难求出，由式(1-7)计算失效概率的方法也仅是停留在理论上。在 20 世纪 60 年代末，美国学者康奈尔（C. A. Cornell）提出了“一次二阶矩方法”，解决了概率设计法在实际中的应用。

一次二阶矩法不是由图 1-10 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 1-10），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。

可以看出，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 $\Phi(-\beta)$ ——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 σ_Z^2 均可按下式求得:

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad (1-11)$$

对于 R 与 S 统计独立情况:

$$\sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (1-12)$$

式中 μ_R 、 μ_S ——抗力 R 和荷载效应 S 的均值;

σ_R^2 、 σ_S^2 ——抗力 R 和荷载效应 S 的方差。

如果 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。

$$\mu_Z \approx g(\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{x_n}) \quad (1-13)$$

$$\sigma_Z^2 \approx \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \bigg|_{\mu} \right)^2 \mu_{xi}^2 \quad (1-14)$$

式中 μ_{xi} ——随机变量 x_i 的均值;

$\left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \right) \bigg|_{\mu}$ ——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当由组合式的最不利值来确定。

可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 \left[\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \Psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{QiK} \right] \leq R \quad (1-15)$$

永久荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 \left[\gamma_G S_{GK} + \sum_{i=1}^n \Psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{QiK} \right] \leq R \quad (1-16)$$

式中 R ——结构构件抗力的设计值, $R = R_K / \gamma_R$, 其中 R_K 是抗力的标准值, 取其概率分布的 0.05 下分位点, γ_R 是抗力分项系数;

γ_0 ——结构重要性系数;

S_{GK} ——按照永久荷载标准值计算的荷载效应值 (如构件或连接中的应力);

S_{QiK} ——按照第 i 个可变荷载标准值计算的荷载效应值;

S_{Q1K} ——所有可变荷载效应值中起控制作用的 (将该值放在特殊位置计算, 使计算结果最大);

γ_G ——永久荷载分项系数;

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载分项系数;

γ_{Q1} ——起控制作用的可变荷载分项系数;

Ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数, $\Psi_{ci} \leq 1$ 。

对于一般框架、排架结构, 可采用简化规则。由永久荷载效应控制的组合, 仍按照式 (1-16) 进行计算。当只有一个可变荷载时, 由可变效应控制的组合为:

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K}) \leq R \quad (1-17)$$

当有多个可变荷载时, 由可变效应控制的组合为:

$$\gamma_0 \left[\gamma_G S_{GK} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{QiK} \right] \leq R \quad (1-18)$$

对于偶然组合, 荷载效应组合的设计值宜根据下列规定确定: 偶然荷载的代表值不乘以