

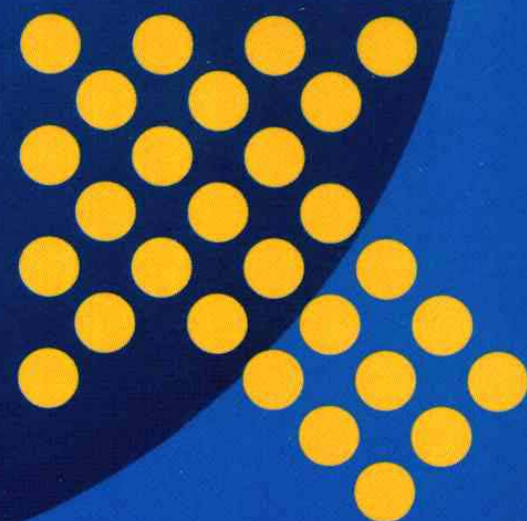
21世纪高等学校规划教材



GANGJIEGOU

钢结构

刘树堂 主 编
贾玉琢 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

21世纪高等学校规划教材

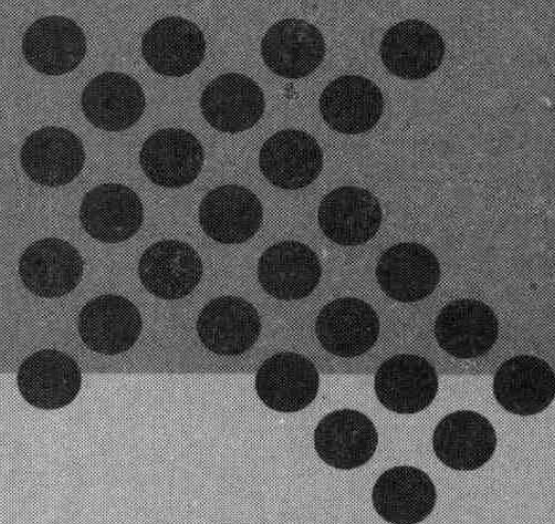


GANGJIEGOU

钢结构

主 编 刘树堂
副主编 贾玉琢
编 写 刘 坚
主 审 陈 麟
王 珊

徐忠根
龚 靖



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书共分 9 章，主要包括绪论、钢结构的材料、钢结构的连接、钢结构的疲劳计算、轴心受力构件、受弯构件——梁、拉弯和压弯构件、构件和节点的抗震性能、单层厂房结构设计、附录等。本书主要依据《钢结构设计规范》(GBJ 50017—2003) 编写，附录部分给出了常用的设计数据表和一些计算方法，便于学习和设计时查用。

本书可作为普通高等院校土木工程专业教材，也可作为相关专业的参考用书，还可作为结构工程研究生、结构工程师、建筑师，以及施工技术人员等的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构/刘树堂主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8693 - 5

I. 钢… II. 刘… 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 053509 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 [http: //jc. cepp. com. cn](http://jc.cepp.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.25 印张 569 千字 1 插页

定价 38.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

钢结构具有强度高、重量轻、抗震性能好、施工速度快、构件尺寸小、工业化程度高等优点。钢结构在设计上灵活方便,容易实现通风、采光的要求,容易实现与其他材料结构的联合应用,容易实现各种结构形式和建筑形式,实现结构与建筑、建筑与环境的和谐统一。钢结构的应用非常广泛,在民用及商用的中低层、高层及超高层的建筑中,已越来越多地采用钢结构;在工业厂房建筑中,已较为普遍地应用单跨或多跨的轻钢结构、重钢结构;在大跨度的体育场馆、影剧院、展览中心、候车(机)厅、飞机库等的屋盖结构中,以及在输电塔、通信塔这类高耸结构中,均已广泛采用钢结构。钢结构是由可重复利用的钢材建造而成,是一种绿色环保结构,具有可持续发展性,已成为国家产业发展政策中所推广的结构种类。纵观钢结构如此多的优越特性,可以预期钢结构无论是在结构形式上,还是在应用领域上均会有更大的发展。

本书共9章和1个附录。第1章为绪论,概括介绍了钢结构的发展与应用。第2章为钢结构的材料,主要介绍建筑用钢的种类、特性,以及型材的种类与规格。第3章为钢结构的连接,主要介绍焊接连接和螺栓连接的受力特性及其计算方法。第4章为钢结构的疲劳计算,主要介绍钢材及焊接材料的疲劳特性、常幅和变幅疲劳的计算。第5、6章和第7章分别介绍轴心受力构件、受弯构件和拉弯压弯构件,主要讲述钢结构基本构件的工作性能 and 设计方法。第8章为构件和节点的抗震性能,主要介绍构件和节点的抗震性能,以及抗震节点的设计方法。第9章为单层厂房设计,主要介绍横向框架设计、屋盖结构设计、钢屋架设计、吊车梁设计、墙架体系设计,以及轻型门式刚架设计。附录部分分别给出了常用的设计数据表和一些计算方法,便于学习和设计时查用。

本教材在编写中,从整体上考虑了专业的课程设置、大学工程教育的改革方向要求,全面整合了教材内容以适应教师教学、学生自学及工程技术人员等的学习需要。本书具有以下一些特点:

(1) 注重钢结构的疲劳特性和在地震区特别是高烈度地震区的应用。将疲劳计算内容单列出为一章(第4章),增设了构件和节点的抗震性能内容(第8章)。

(2) 注重学生专业能力的培养:增加例题的数量、例题叙述紧扣实际工程背景,加强例题的讲授以提高对基本理论的理解和专业能力的训练;加强结构设计内容,反映钢结构的最新发展(例如,第9章中增加了T形钢屋架的设计方法等)。

(3) 注重《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)所规定的条款与基本理论或概念的紧密联系,例如在第9.5.2屋盖支撑体系中,提出“复合屋架单元”的基本概念,明确《钢结构设计规范》中有关支撑体系与空间结构体系的关系,加强理解支撑体系设置的目的。

(4) 注重扩大学生专业知识面、教师教学和学生自学:教材内容丰富,内容编排循序渐进,便于教师实施分层次、模块化教学及学生自学。

本书由刘树堂（广州大学）主编，贾玉琢（东北电力大学）副主编。参加本书编写的人员及其任务如下：

刘树堂编写第 1、2、4、6 章、第 9.5 节及附录，贾玉琢和李曰兵（东北电力大学）编写第 3 章、第 9.7 节，刘坚（广州大学）编写第 5 章，陈麟（广州大学）编写第 7 章，徐忠根（广州大学）编写第 8 章、第 9.6 节，龚靖（东北电力大学）编写第 9.1～9.4 节、9.8 节。

全书由北方工业大学王珊主审，提出了许多宝贵意见。

本书的出版得到了广州大学教务处的资助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

2009 年 2 月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 钢结构的特点	1
1.2 钢结构的类型	2
1.3 钢结构的发展过程	6
1.4 钢结构的设计方法	7
2 钢结构的材料	13
2.1 钢的种类	13
2.2 钢材的规格	14
2.3 钢材的性能	16
2.4 钢材性能的影响因素	19
2.5 钢材的破坏形式	22
2.6 钢的选用	23
3 钢结构的连接	25
3.1 钢结构对连接的要求及连接方法	25
3.2 焊接连接的特性	27
3.3 对接焊缝的构造和计算	35
3.4 角焊缝的构造和计算	39
3.5 焊接应力和焊接变形	55
3.6 螺栓连接的构造	59
3.7 普通螺栓连接的工作性能和计算	61
3.8 高强度螺栓连接	76
习题	85
4 钢结构的疲劳计算	90
4.1 疲劳破坏的成因	90
4.2 常幅疲劳	90
4.3 变幅疲劳	95
4.4 疲劳强度计算的要求	96
习题	97
5 轴心受力构件	99
5.1 概述	99
5.2 轴心受力构件的强度计算	101

5.3	轴心受力构件的刚度计算	103
5.4	轴心受压构件的整体稳定计算	103
5.5	轴心受压构件的局部稳定计算	118
5.6	轴心受压构件设计	126
5.7	柱头和柱脚的构造设计	140
	习题.....	147
6	受弯构件——梁	150
6.1	梁的截面形式	151
6.2	梁的强度	152
6.3	梁的整体稳定	157
6.4	梁的刚度	160
6.5	型钢梁的选择	161
6.6	梁的局部稳定	164
6.7	组合梁考虑腹板屈曲后强度的设计	173
6.8	焊接组合梁的设计	177
6.9	梁的节点连接	187
6.10	其他类型的梁.....	190
	习题.....	194
7	拉弯和压弯构件	196
7.1	概述	196
7.2	拉弯和压弯构件的强度	196
7.3	压弯构件的稳定	198
7.4	格构式压弯构件	207
7.5	框架柱的计算长度	210
7.6	框架中梁与柱的连接	212
7.7	框架柱的柱脚	213
	习题.....	217
8	构件和节点的抗震性能	219
8.1	地震作用下钢结构破坏断裂的主要原因及对材质的要求	219
8.2	构件的抗震性能	220
8.3	节点的抗震性能	224
8.4	节点的设计	228
9	单层厂房结构设计	232
9.1	厂房结构的形式	232
9.2	厂房结构的横向框架	234
9.3	厂房纵向框架体系	238
9.4	框架柱设计特点	240
9.5	屋盖结构	246
9.6	吊车梁设计	287

9.7 墙架体系	305
9.8 轻型门式刚架结构	307
附录	323
附录 1 钢材和连接的强度设计值	323
附录 2 疲劳计算的构件和连接分类	325
附录 3 轴心受力构件的容许长细比	328
附录 4 轴心受压构件的截面分类及其稳定系数	328
附录 5 梁的整体稳定系数计算	334
附录 6 受弯构件的容许挠度	337
附录 7 柱的计算长度系数	337
附录 8 截面回转半径近似值	340
附录 9 型钢表	341
附录 10 螺栓规格、型钢上螺栓（或铆钉）线距表	360
参考文献	363

1 绪 论

1.1 钢 结 构 的 特 点

钢结构是由钢材建造而成,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 (C. S.) $\alpha = (1.7 \sim 3.7) \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$;

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

钢筋混凝土 (R. C.) $\alpha = 18 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$ 。

由三种材料的 α 值大小的比较可以看出,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 $1/3 \sim 1/4$,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也可以看出,同样采用钢材,如钢材的形式不同(普通型钢和冷弯薄壁型钢),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构件截面较小,而按照稳定条件或刚度条件计算则所需的构件截面较大。

(2) 塑性、韧性好。塑性好:钢结构在通常条件下不会因超载而突然断裂,破坏前有比较明显的变形,易被发现。钢材良好的塑性可降低局部高峰应力,使应力分布变化趋于平缓。韧性好: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。钢结构制作一般是在金属结构加工厂采用机械化施工完成,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,也使施工周期缩短。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,适于制作诸如高压容器、油罐、气柜、管道等要求密闭性的板壳结构。

(6) 钢材容易锈蚀。由于钢材容易锈蚀,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(dead space)。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)下降不多。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。温度达 600°C 时,钢材强度几乎为零。设计规定:钢材表面温度超过 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。

1.2 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 [图 1-1 (a)]。如冶金厂房的平炉、转炉车间,混铁炉车间,初轧车间;重型机械厂的铸钢车间,水压车间,锻压车间等。

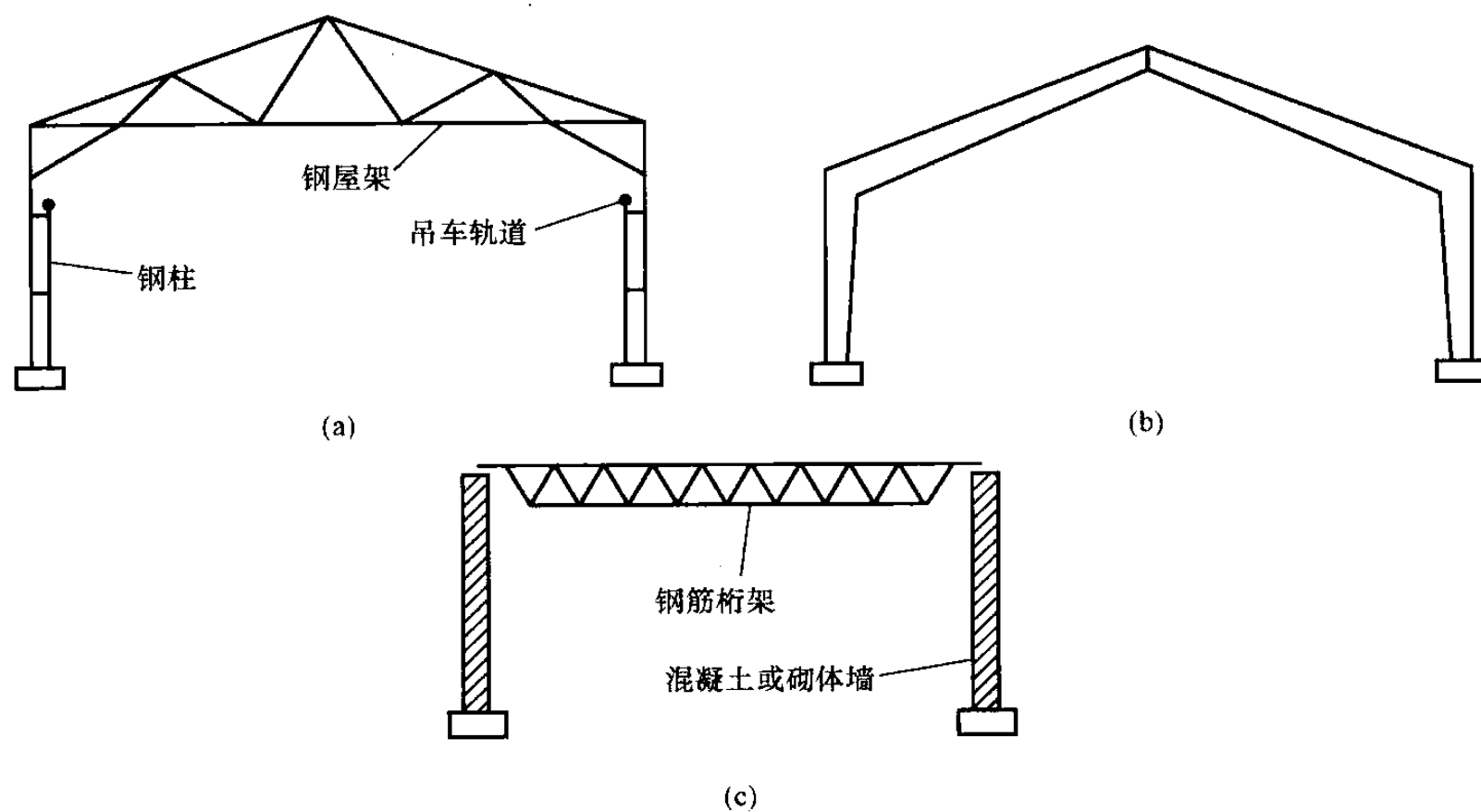


图 1-1 房屋钢结构
(a) 工业厂房; (b) 轻型刚架; (c) 轻型厂房

(2) 轻型钢结构 [图 1-1 (b)、(c)]。如轻型门式刚架,冷弯薄壁型钢结构、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。

(3) 大跨空间钢结构 (图 1-2~图 1-4)。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。

(4) 多层、高层以及超高层建筑钢结构 (图 1-5、图 1-6)。

(5) 高耸钢结构 (图 1-7)。如钻井塔、输电塔、电视塔、微波塔、环境大气监测塔,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 (图 1-8)。

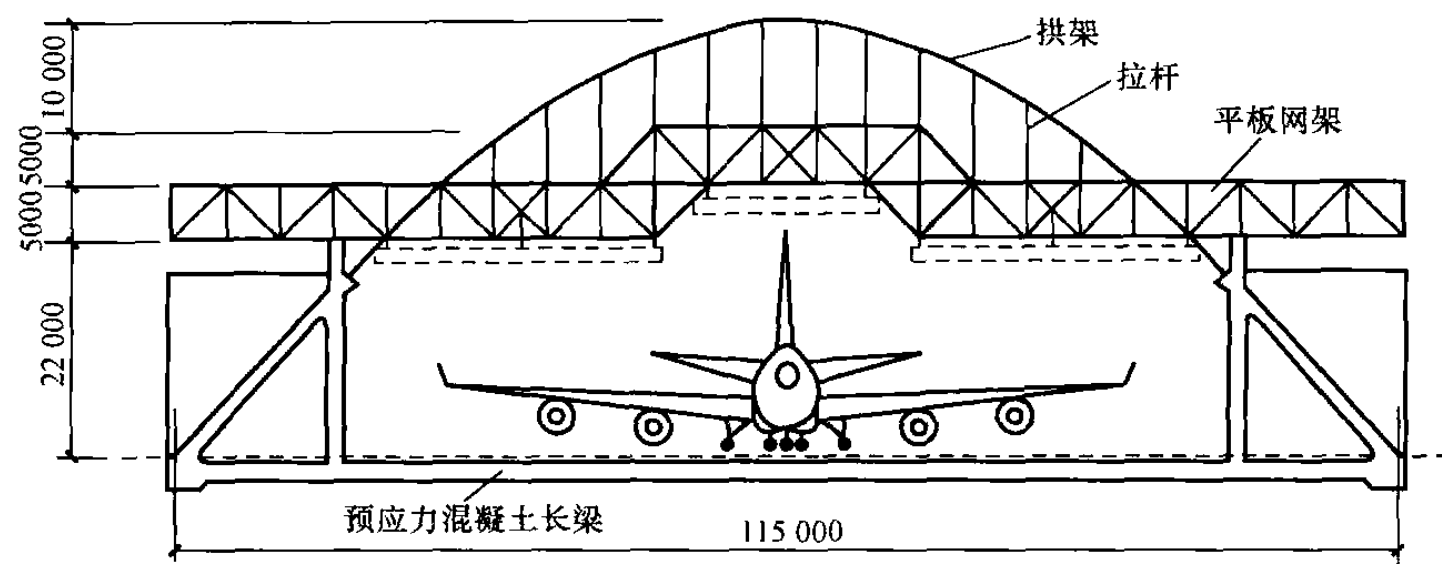


图 1-2 飞机库 (拱架支承网架结构)

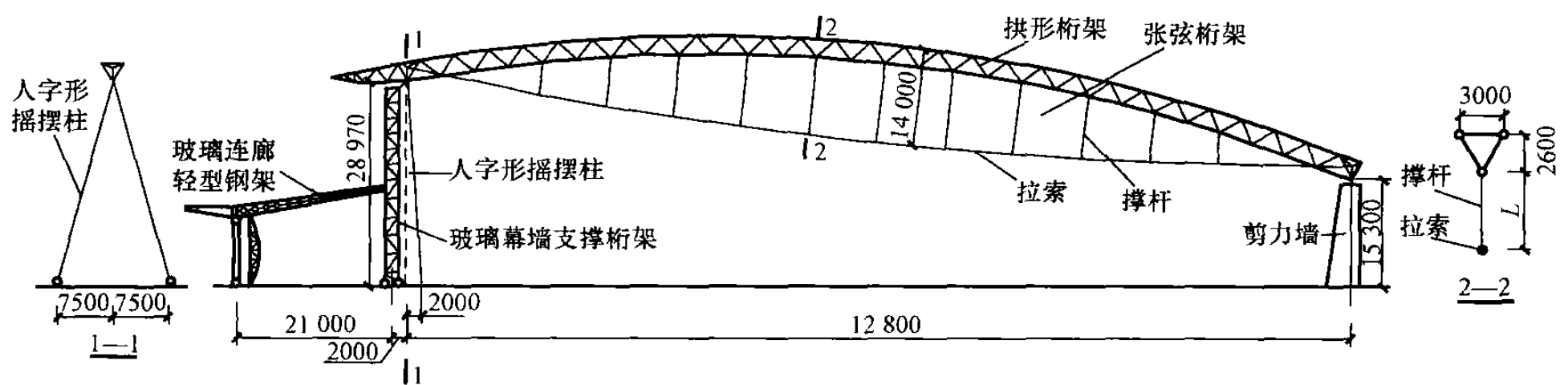


图 1-3 会展场馆 (张弦桁架结构)

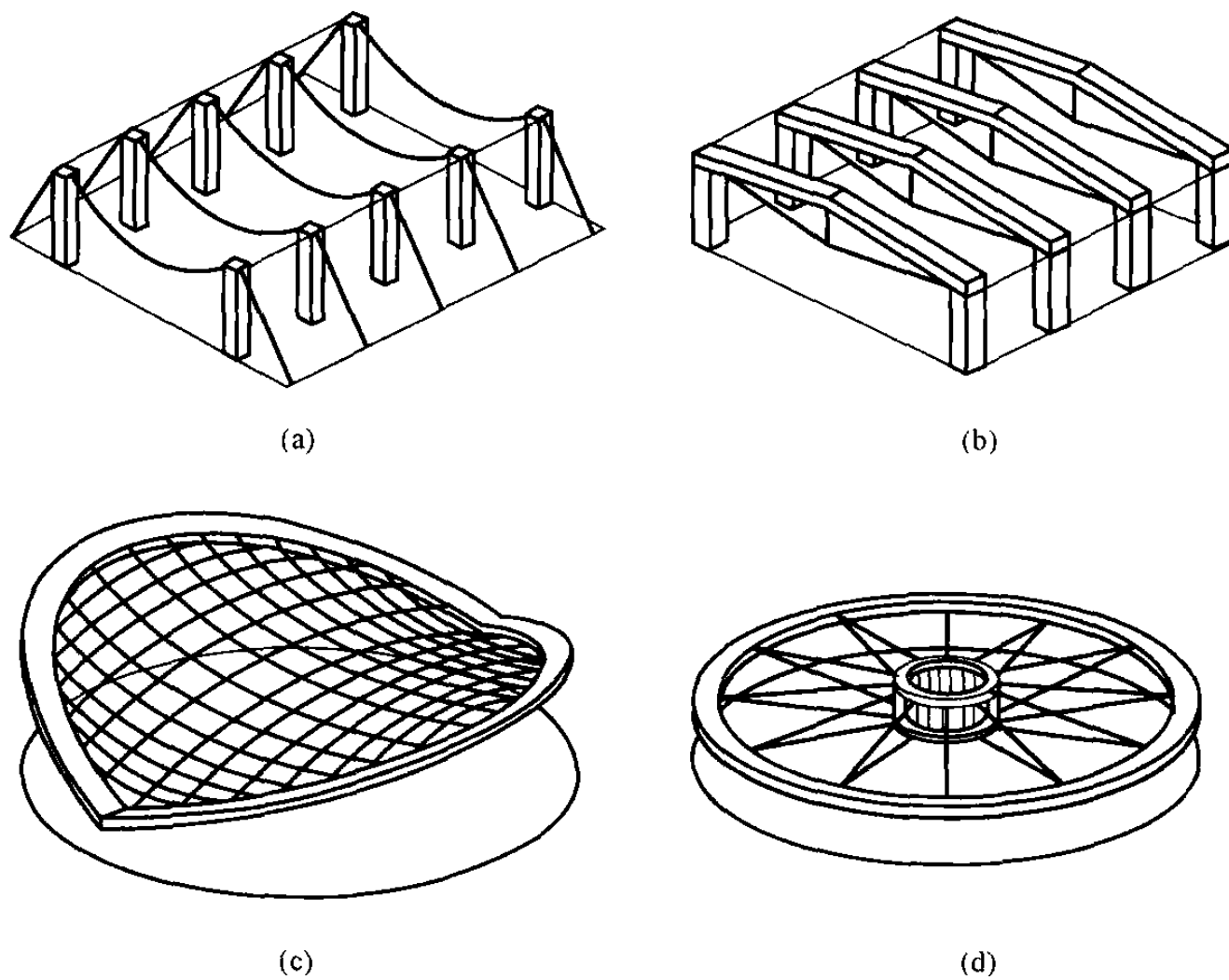


图 1-4 悬索结构形式

(a) 单向悬索屋顶结构; (b) 张弦梁式屋顶结构; (c) 双向悬索屋顶结构; (d) 放射型悬索屋顶结构

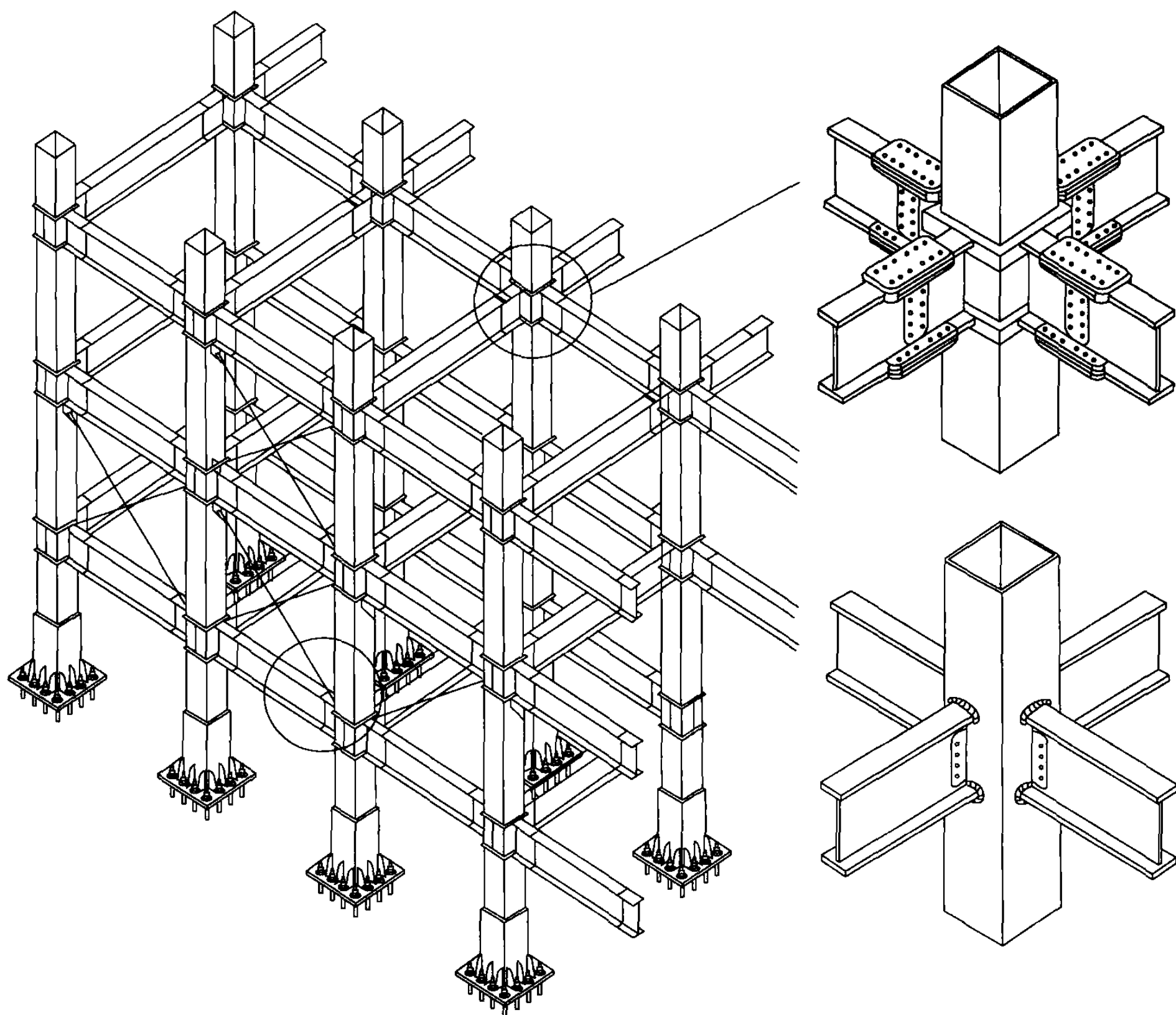


图 1-5 多层建筑钢结构的构造形式

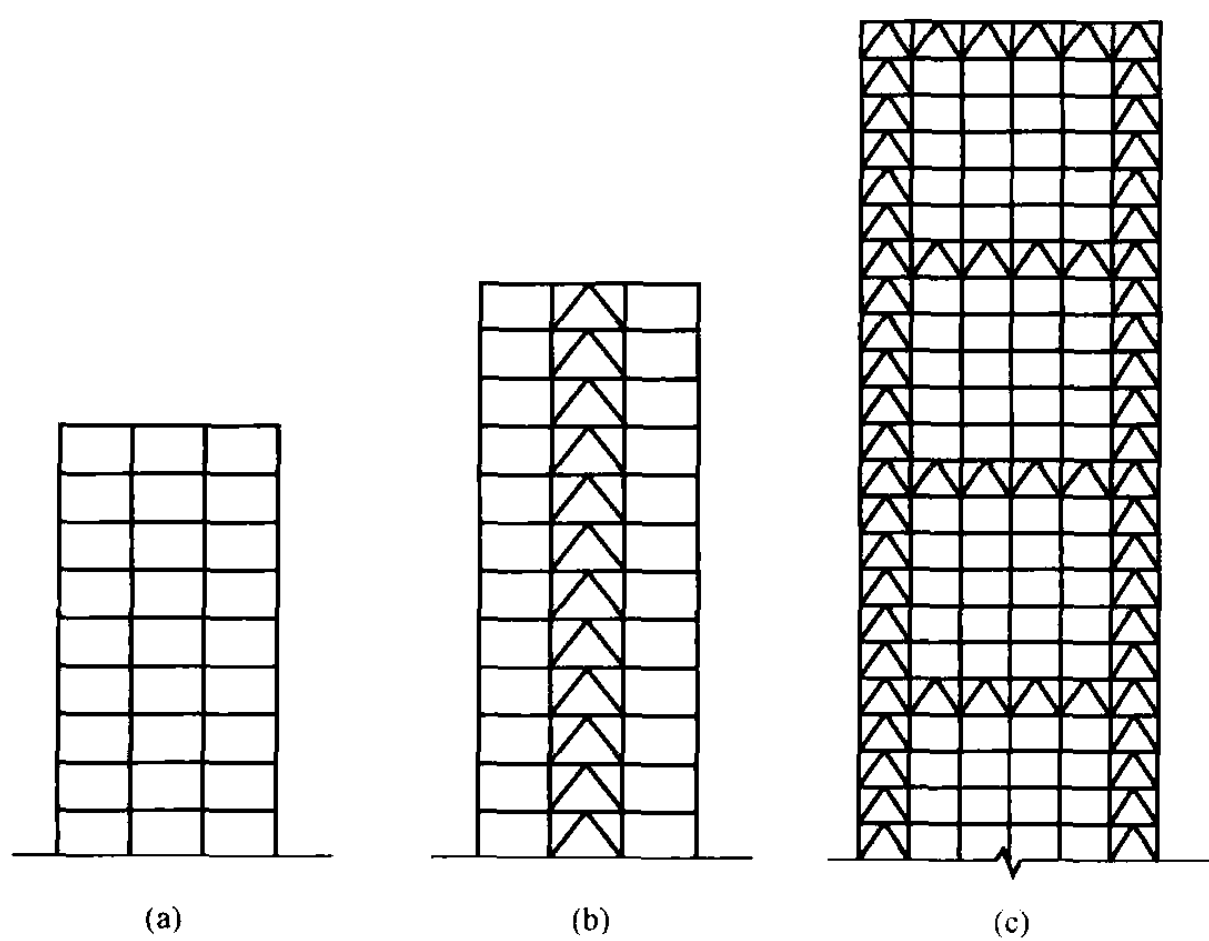


图 1-6 高层、超高层建筑钢结构体系

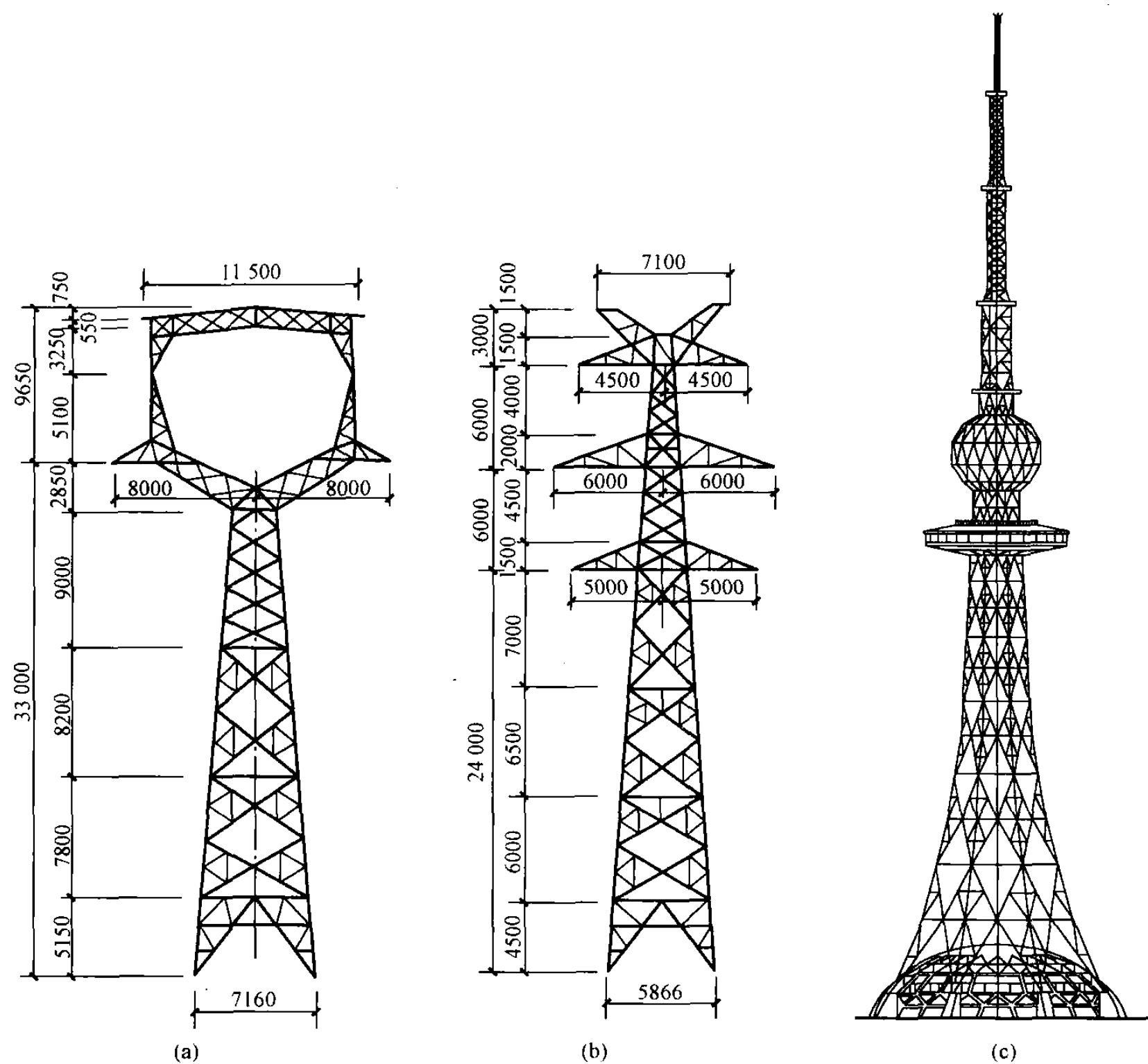


图 1-7 高耸结构

(a) 猫头输电塔；(b) 双回路鼓型铁塔；(c) 电视塔

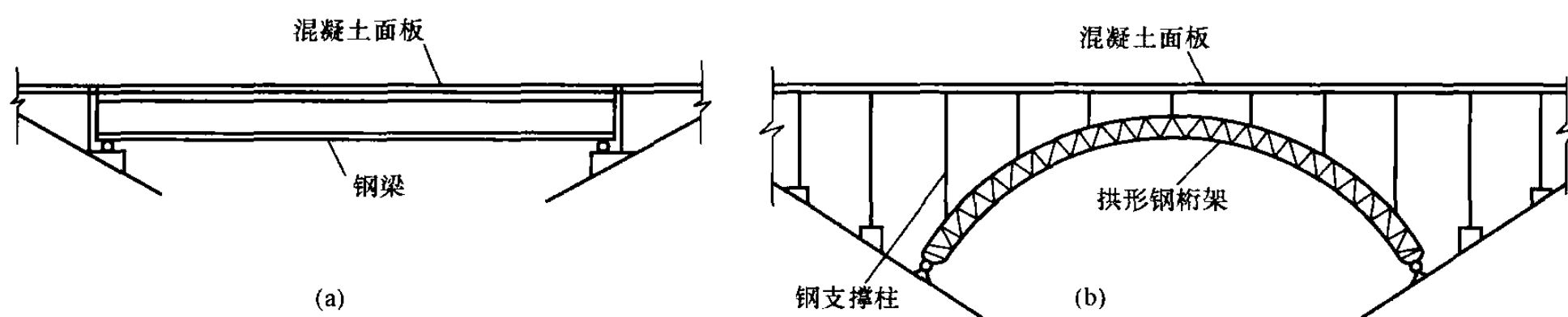


图 1-8 桥梁结构

(a) 钢梁桥梁；(b) 钢拱桥梁

(7) 钢与混凝土组合结构 (图 1-9)。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。

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

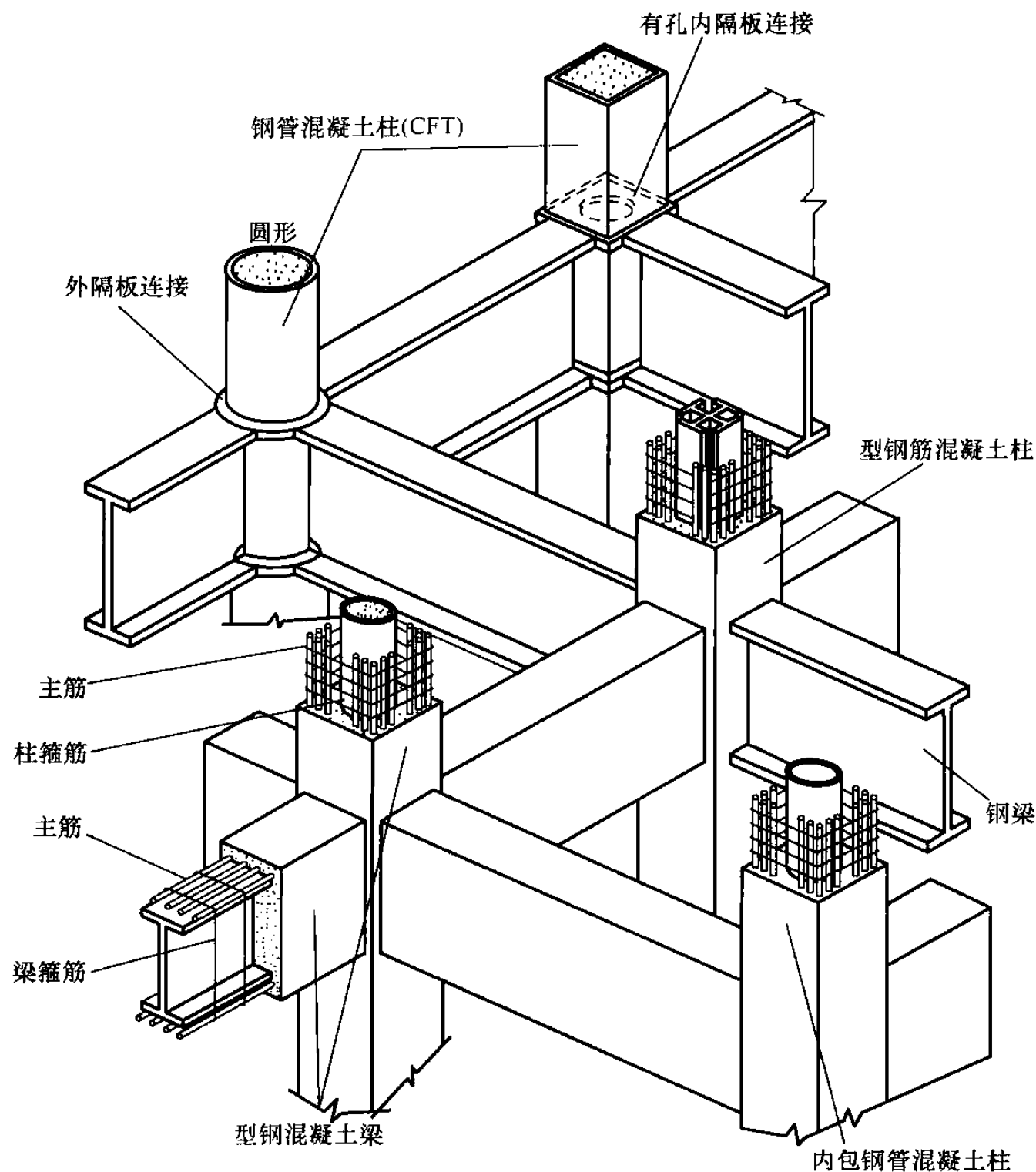


图 1-9 钢与混凝土组合结构

1.3 钢结构的发展过程

实际上，钢结构的发展过程包含着各个方面的发展变化，但可归纳为以下几个主要方面。

(1) 材料的性能不断改进。钢结构从所用的材料来看，最原始的钢结构是由铸铁、锻铁建造的，而现代钢结构则是由钢材（包括碳素钢、低合金钢等许多种类）建造而成，钢的品种和强度等级不断提高，一些性能指标不断改进，因此扩大了钢结构的应用范围。目前钢结构常用的钢材主要有 Q235、Q345、Q390、Q420。

(2) 连接形式不断变化和改进。在生铁和熟铁时代钢结构的连接是使用销钉，19 世纪初采用铆钉连接；20 世纪初出现了焊接连接，后来又发展了普通螺栓连接，现代钢结构的连接又增加了高强度螺栓连接。

(3) 钢产量大幅度提高。钢结构的应用取决于国民经济的发展情况。过去由于中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。而现在中国钢产量有了很大提高（1949 年全国钢产量只有十几万吨，1998 年已达 1 亿吨），钢结构的应用得到了很大的发展，钢结构的工程应用领域也不断扩大，应用水平也不断提高。

(4) 钢结构应用领域不断扩大、结构形式不断推陈出新。钢结构较早是应用在桥梁、塔等结构中, 现在已扩大到工业厂房、民用建筑、水工结构、体育场馆、博览中心、高炉结构、储液库、储气库、海上采油平台等。

为满足各方面的需要, 结构形式不断推陈出新。除了普通钢结构以外, 又出现了预应力钢结构、张弦钢结构、悬索钢结构、斜拉网架及斜拉网壳钢结构、索拱钢结构等许多新型结构型式。

(5) 钢结构设计规范多次更新。《钢结构设计规范》从 1974 年版本 (TJ 17—74) 到 1988 年版本 (GBJ 17—88) 以及 2002 年版本 (GB 50017—2002)。规范每次更新都增加许多新内容, 这表明钢结构研究与应用水平在不断提高。

1.4 钢结构的设计方法

1.4.1 基本概念

结构设计就是要保证所设计的结构(或构件)在施工和使用阶段达到预期的安全性和使用要求。结构设计准则确定为: 结构由各种荷载所产生的效应(如内力、变形等)不大于结构(包括连接)的抗力或规定限值(由材料性能和几何参数等所决定)。结构安全性(或结构功能性)与荷载作用大小、材料强度、截面尺寸等参数紧密相关, 而这些参数通常受到施工质量等许多因素的影响。因此, 这些参数的取值具有一定或较大的随机性, 它们为随机变量或随机过程。假如这些参数的取值都是确定的, 即没有随机性或变异性, 则按结构设计准则进行计算是比较容易的, 可采用所谓的定值法。

但在实际工程中, 决定结构功能性各参数应按照概率方法分析确定, 即概率设计法。概率设计法对结构安全性的评价比定值法更准确合理。从结构参数的随机性及概率的概念上来讲, 结构安全性不能用“结构绝对安全, 结构百分之百可靠”等结论来评价, 而只能说结构在达到预期安全性或使用要求等功能指标上具有一定保证概率。结构预期安全性或使用要求的功能指标的保证概率越大, 结构就越安全。结构概率设计法由于经历了两个发展阶段, 所以产生了两种方法, 即半概率法和近似概率设计法。

下面将具体讲述各设计方法。

(一) 定值法

将影响结构设计的各参数取为定值, 用一个以经验确定的安全系数来考虑各设计参数变异的影响, 衡量结构的安全度, 这种方法称为定值法, 包括容许应力法和最大荷载法。

容许应力法设计表达式

$$\begin{aligned}\sigma &\leq [\sigma] \\ [\sigma] &= f_k / K\end{aligned}\tag{1-1}$$

式中 σ ——由标准荷载与构件截面公称尺寸(设计尺寸)计算所得的应力;

$[\sigma]$ ——容许应力;

f_k ——材料的标准强度, 对于钢材为屈服点;

K ——大于 1 的安全系数, 用以考虑设计诸参数变异性的影响, 凭工程经验取值。

容许应力法计算简单, 但不能定量地描述结构的可靠度和安全度。

(二) 半概率法

在中国 1974 年制订的钢结构设计规范 (TJ 17—74) 中, 结构设计方法采用的是半概率法。半概率设计方法仅对少数设计参数 (如材料强度、风雪荷载等), 采用概率分析来确定其设计取值, 对于大多数荷载以及其他参数, 由于缺乏统计资料而仍采用经验值。另外, 对于构件的抗力与作用效应之间并未进行综合性的分析, 没有将结构可靠度与概率联系起来。

材料强度和荷载的概率取值用下列公式计算

$$f_k = \mu_f - \alpha_f \sigma_f \quad (1-2)$$

$$Q_k = \mu_Q + \alpha_Q \sigma_Q \quad (1-3)$$

式中 f_k 、 Q_k ——材料强度的标准值、荷载的标准值;

μ_f 、 μ_Q ——材料强度的均值、荷载的均值;

σ_f 、 σ_Q ——材料强度的标准差、荷载的标准差;

α_f 、 α_Q ——材料强度和荷载取值的保证系数。当保证率为 95% 时, $\alpha=1.645$; 当保证率为 97.7% 时, $\alpha=2$; 当保证率为 99.9% 时, $\alpha=3$ 。

半概率法的设计表达式仍采用定值法的形式, 但总安全系数是由多参数系数相乘而得到。设计表达式为

$$\sigma \leq \frac{f_{yk}}{K_1 K_2 K_3} = \frac{f_{yk}}{K} = [\sigma] \quad (1-4)$$

式中 f_{yk} ——钢材屈服点的标准值;

K_1 ——荷载系数;

K_2 ——材料系数;

K_3 ——调整系数。

(三) 近似概率设计法

我国于 1988 年和 2002 年颁布的钢结构设计规范 (GBJ 17—1988)、(GB 50017—2002) 采用的是近似概率设计法。在 20 世纪 60 年代末, 由美国学者康奈尔 (C. A. Cornell) 等提出了近似概率设计法。近似概率设计法以结构可靠度设计理论为基础, 对结构功能函数采用一次二阶矩法进行处理。

一次二阶矩法忽略或简化了基本变量随时间变化的特性, 使得所确定的基本变量分布有一定的近似性; 一次二阶矩法对于一些复杂关系式进行了线性化, 也使分析结果具有一定的近似性。因此, 目前所采用的概率设计法仍是一种近似的概率设计法, 完全的概率设计法有待今后继续深入研究。

1.4.2 概率极限状态设计方法

(一) 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

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-5)$$

式 (1-5) 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 (1-5) 就化为最简单的形式

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1-6)$$

在式 (1-6) 中, 由于 R 和 S 是随机变量, 所以函数 Z 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 的取值可能为大于 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。

$Z > 0$ 结构功能处于可靠状态。

$Z = 0$ 结构功能处于临界状态。

$Z < 0$ 结构功能处于失效状态。

(二) 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工况下 (如施工阶段、使用阶段等工况) 要有效完成特定功能, 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两大类:

第一类为承载能力极限状态, 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。

第二类为正常使用极限状态, 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。

(三) 结构可靠度与失效概率

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为

$$p_s = P(Z \geq 0) \quad (1-7)$$

结构失效概率的数学表达式为

$$p_f = P(Z < 0) \quad (1-8)$$

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

$$p_s + p_f = P(Z \geq 0) + P(Z < 0) = 1 \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 得

$$p_s = 1 - p_f \quad (1-10)$$

式 (1-10) 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 1-10), 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

$$p_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_Z(Z) dZ \quad (1-11)$$

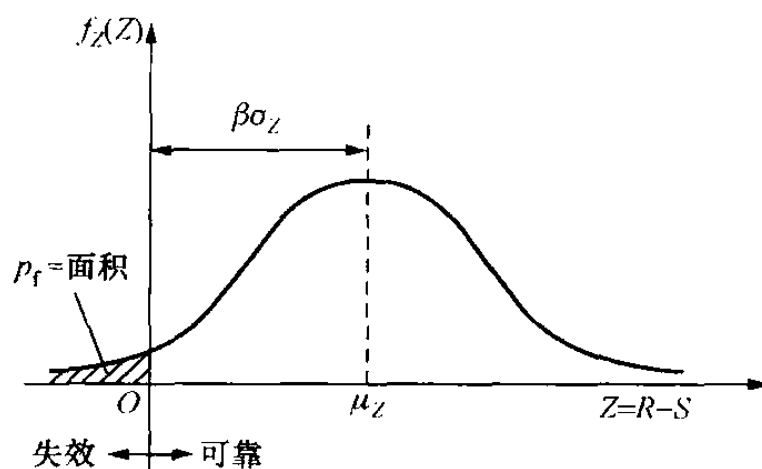


图 1-10 Z 的概率密度 $f_Z(Z)$ 曲线