

钢结构工程实用技术丛书


钢结构 连接设计手册

王凯宁 于贺 主编

新规范、新标准

技术与技巧相结合
疑难问题轻松解决

GANGJIEGOU
LIANJIIE SHEJI SHOUCHE

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



钢结构工程实用技术丛书

钢结构连接设计手册

王凯宁 于 贺 主编



机械工业出版社

本书主要依据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)及相关材料,并结合多年来在钢结构设计中的经验和实践成果编写而成。内容包括钢结构设计基础知识、钢结构的连接、平面桁架屋盖结构的节点设计、钢网架结构的连接节点设计、门式刚架结构连接节点设计、多层及高层钢结构的连接节点设计。

本书可作为从事钢结构设计与施工的工程技术人员的常备工具书,也可供高职院校相关专业的学生及教师参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构连接设计手册/王凯宁,于贺主编. —北京:机械工业出版社,2014.11

(钢结构工程实用技术丛书)

ISBN 978-7-111-48183-6

I. ①钢… II. ①王…②于… III. ①钢结构-结点(结构)-结构设计-技术手册 IV. ①TU391.04-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第230346号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:闫云霞 责任编辑:闫云霞 于伟蓉 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:鞠杨 责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.25印张·343千字

标准书号:ISBN 978-7-111-48183-6

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

《钢结构连接设计手册》编委会

主 编 王凯宁 于 贺

编 委 (按姓氏笔画排序)

白 彤 白雅君 刘 佳 刘济铭

毕婷婷 杜思宇 李大伟 单云峰

贾宏亮 郭俊成 梁力凡 梁竞涛

董克瑞 韩 笑

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。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、重型钢结构；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。由于钢结构拥有这样多的优越性能，因此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。

本书主要依据《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）及相关材料，并结合多年来在钢结构设计中的经验和实践成果编写而成。内容包括钢结构设计基础知识、钢结构的连接、平面桁架屋盖结构的节点设计、钢网架结构的连接节点设计、门式刚架结构连接节点设计、多层及高层钢结构的连接节点设计。

本书可作为从事钢结构设计与施工的工程技术人员的常备工具书，也可供高职院校相关专业的学生及教师参考使用。

本书在编写过程中参阅和借鉴了许多优秀书籍、专著和文献资料，并得到了有关领导和专家的大力支持和帮助，在此一并表示深切的感谢。限于编者的学识和经验，书中难免存在疏漏或未尽之处，敬请有关专家和读者予以批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 钢结构设计基础知识..... 1

1.1 钢结构的特点、类型和应用..... 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 钢结构的设计原则..... 6

1.2.1 概率极限状态设计方法..... 6

1.2.2 设计表达式..... 9

1.3 钢结构的材料选用..... 11

1.3.1 钢的分类..... 11

1.3.2 钢材的主要性能..... 12

1.3.3 钢材的疲劳..... 15

1.3.4 钢材的选用..... 20

1.4 钢结构的设计指标..... 21

1.4.1 钢材的强度标准值..... 21

1.4.2 钢材的强度设计值..... 21

第 2 章 钢结构的连接..... 24

2.1 焊接连接的形式..... 24

2.2 焊接连接构造设计..... 25

2.2.1 一般规定..... 25

2.2.2 焊缝坡口形式和尺寸..... 26

2.2.3 焊缝计算厚度..... 28

2.2.4 组焊构件焊接节点..... 35

2.2.5 防止板材产生层状撕裂的节点、 选材和工艺措施..... 37

2.2.6 构件制作与工地安装焊接构造 设计..... 39

2.2.7 承受动载与抗震的焊接构造 设计..... 44

2.3 普通螺栓连接构造设计..... 46

2.3.1 普通螺栓的构造要求..... 46

2.3.2 受剪螺栓连接计算..... 48

2.3.3 受拉螺栓连接计算..... 54

2.3.4 抗剪螺栓连接计算..... 58

2.4 高强度螺栓连接构造设计..... 60

2.4.1 基本规定..... 60

2.4.2 连接设计..... 62

2.4.3 连接接头设计..... 65

2.5 拼接连接构造设计..... 72

2.5.1 钢材的工厂焊接拼接..... 72

2.5.2 梁和柱现场安装拼接..... 74

第 3 章 平面桁架屋盖结构的节点

设计..... 76

3.1 平面桁架屋盖结构概述..... 76

3.2 三角形钢屋架的节点设计..... 77

3.2.1 设计的基本要求..... 77

3.2.2 节点构造与计算..... 78

3.3 T形杆件的屋架节点设计..... 82

3.3.1 设计的基本要求..... 82

3.3.2 节点构造与计算..... 85

3.4 圆钢管桁架节点设计..... 97

3.4.1 设计的基本要求..... 97

3.4.2 节点构造与计算..... 99

3.5 托架的节点连接设计..... 105

3.6 天窗架的节点构造..... 109

3.7 屋盖系统中支撑的连接节点..... 111

第 4 章 钢网架结构的连接节点设计..... 116

4.1 钢网架的类型与构造..... 116

4.1.1 钢网架的类型..... 116

4.1.2 钢网架、网壳的主要尺寸及 构造..... 118

4.1.3 钢网架的支承方式、屋面材料与 坡度的设置..... 119

4.2 焊接钢板节点的设计..... 120

4.2.1 焊接钢板节点的主要形式..... 120

4.2.2 焊接钢板节点的构造与计算..... 121

4.3 螺栓球节点的设计..... 127

4.3.1 钢球体的设计..... 128

4.3.2 高强度螺栓的设计..... 129

4.3.3 套筒的设计..... 130

4.3.4 销子和开槽圆柱端紧固螺钉的 设计..... 133

4.3.5 锥头和封板的设计..... 134

4.4	焊接空心球节点的设计	135	6.1.2	多层及高层钢结构的布置	160
4.4.1	设计的基本要求	136	6.1.3	多层及高层钢结构的连接节点	160
4.4.2	球体承载力及其与杆件的连接	138	6.2	梁与柱的连接	162
4.5	钢管圆筒节点设计	140	6.2.1	刚性连接设计	162
4.6	钢管鼓节点设计	141	6.2.2	铰接连接设计	174
4.7	网架支座节点的设计	141	6.3	柱与柱的拼接连接	178
4.7.1	平板压力支座节点的设计	141	6.3.1	柱拼接接头一般要求	178
4.7.2	单面弧形压力支座节点的设计	143	6.3.2	连接设计	182
4.7.3	双面弧形压力支座节点的设计	145	6.4	梁与梁的拼接连接	186
4.7.4	球铰压力支座节点的设计	148	6.4.1	H形(或工字形)截面梁的拼接 连接	186
4.7.5	板式橡胶支座节点的设计	149	6.4.2	箱形截面梁的拼接连接	192
第5章	门式刚架结构连接节点设计	153	6.5	次梁与主梁的连接	192
5.1	门式刚架的形式	153	6.6	梁的侧向隅撑与角撑	194
5.2	门式刚架节点设计	154	6.7	柱脚节点设计	195
5.3	门式刚架的柱脚及牛腿	156	6.7.1	刚性固定外包式柱脚的设计	196
5.3.1	门式刚架的柱脚	156	6.7.2	刚性固定露出式柱脚的设计	198
5.3.2	门式刚架的牛腿	157	6.7.3	刚性固定埋入式柱脚的设计	206
第6章	多层及高层钢结构的连接节点 设计	159	6.7.4	铰接柱脚的设计	212
6.1	概述	159	6.8	支撑与框架的连接	214
6.1.1	多层及高层钢结构的类型	159	参考文献	220	

第 1 章

钢结构设计基础知识

1.1 钢结构的特点、类型和应用

不同的工程结构,为了更好地发挥钢材的性能,有效地承受外力,所采用的结构形式也不相同,所以钢结构的结构形式较多。用于单层工业厂房的结构形式是由一系列平面承重结构用支撑构件联结而成的空间结构;大跨结构众多,常用的有平板网架、网壳、悬索结构、索膜结构等;多高层结构为适用不同高度常用的有钢架结构,钢架和抗剪桁架、剪力墙组成的结构,框筒、筒中筒、束筒等筒体结构等;桥梁和塔桅的结构形式也众多。

钢结构作为重要的以杆件体系组成的三维空间结构,主要由三种基本受力构件组成:轴心受力构件,受弯构件,拉弯或压弯构件。

1.1.1 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 $\alpha(\alpha=\rho/f)$:

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 $\alpha=18\times 10^{-4}\text{m}^{-1}$ 。

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。

2) 塑性、韧性好。塑性好:钢结构在一般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:钢结构适应在动力荷载下工作,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。在有较强腐蚀性介质的环境中不应采用钢结构。

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）下降不多。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。温度达 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。

1.1.2 钢结构的类型

在一般性构筑物中一般采用钢结构，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 1-1a）。如冶金厂房的平炉、转炉车间，混铁炉车间，轧车间；重型机械厂的铸钢车间，水压机车间，锻压车间等。

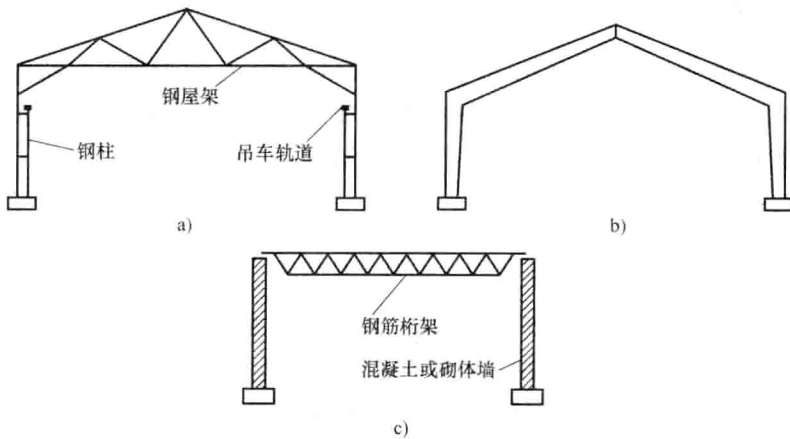


图 1-1 房屋钢结构

a) 工业厂房 b) 轻型钢架 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）。

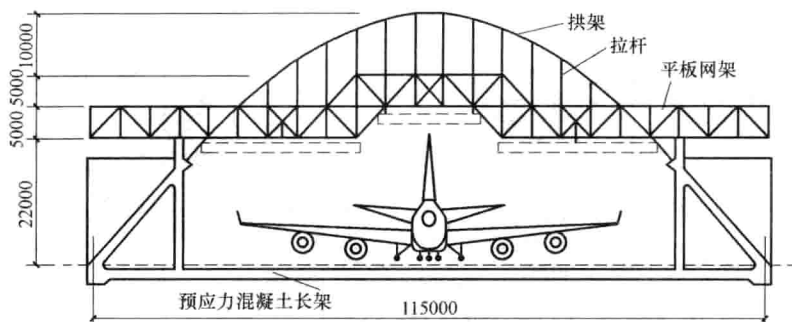


图 1-2 飞机库（拱架支承架结构网）

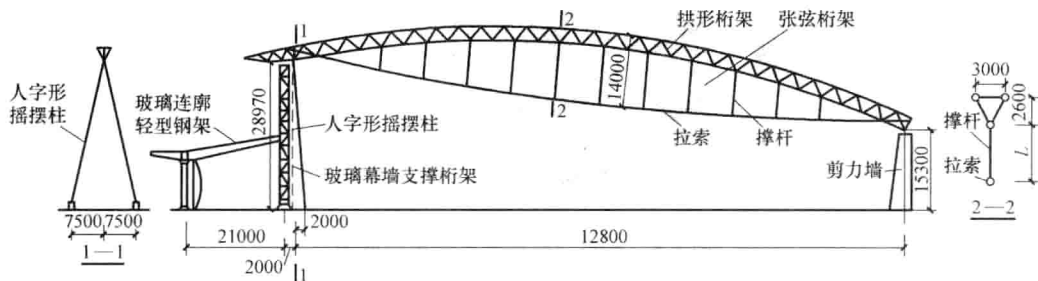


图 1-3 会展场馆（张弦桁架结构）

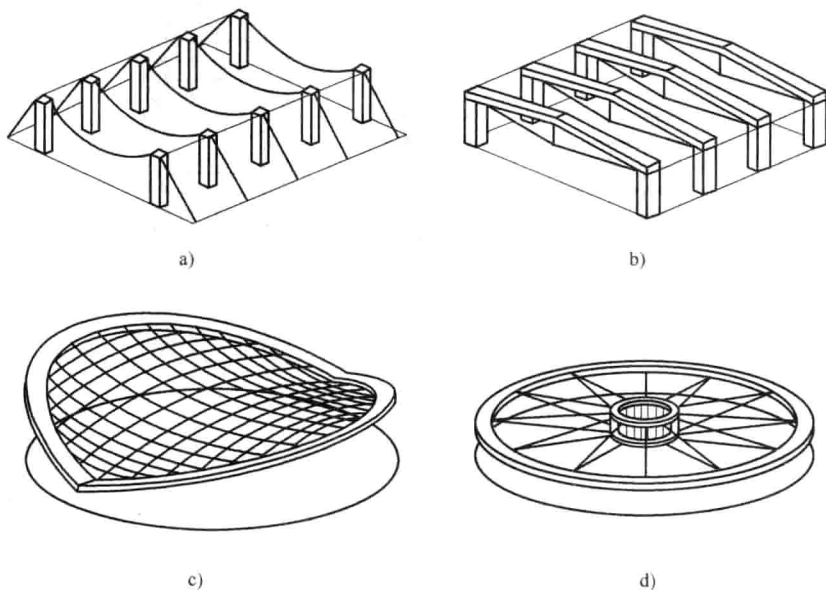


图 1-4 悬索结构形式

- 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) 放射形悬索屋顶结构

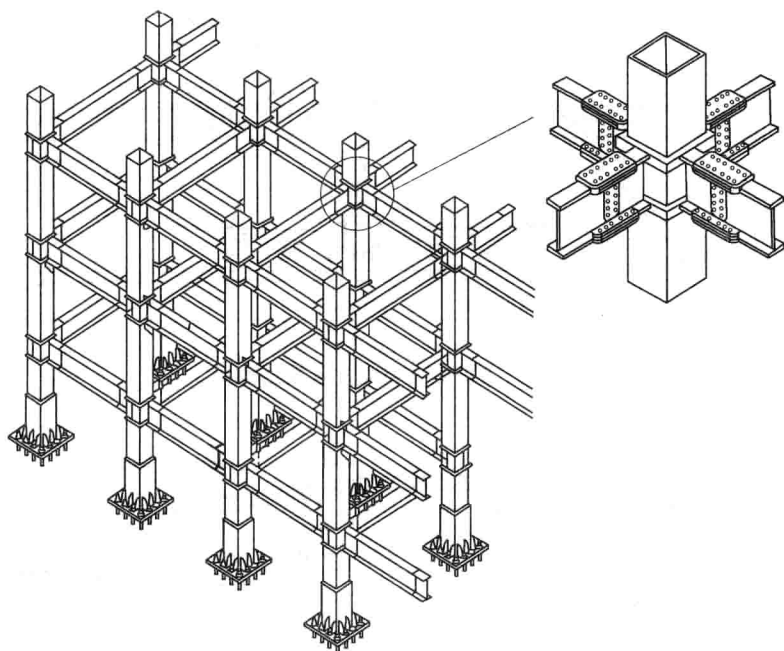


图 1-5 多层建筑钢结构的构造形式

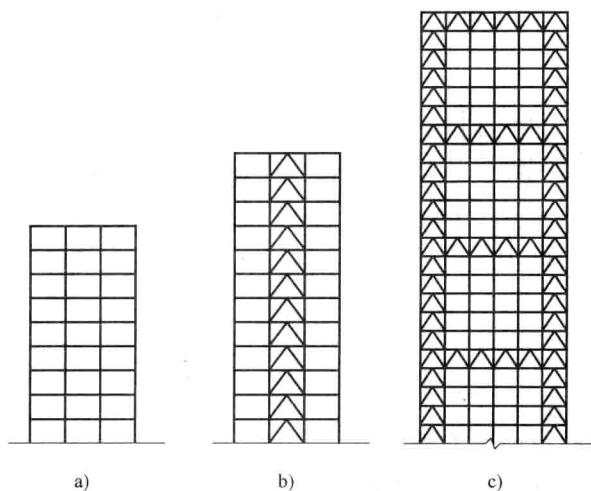


图 1-6 高层、超高层建筑钢结构体系

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,桥式起重机等;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。

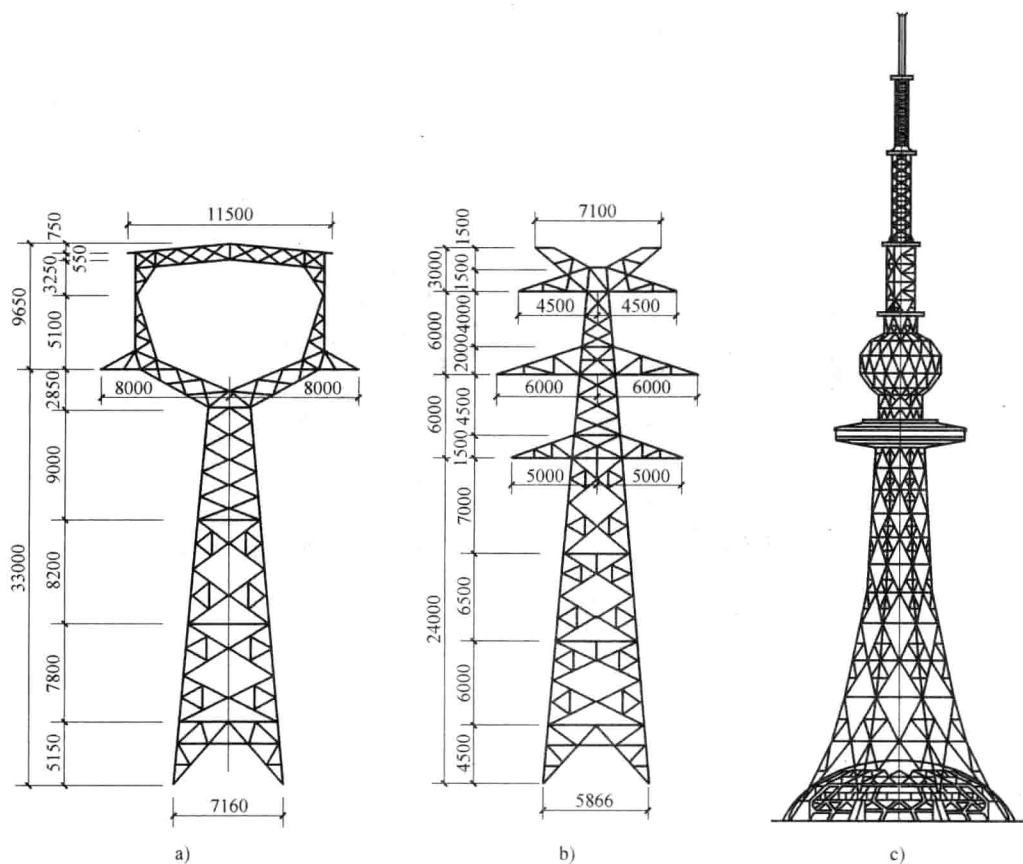


图 1-7 高耸钢结构

a) 猫头输电塔 b) 双回路鼓形铁塔 c) 电视塔

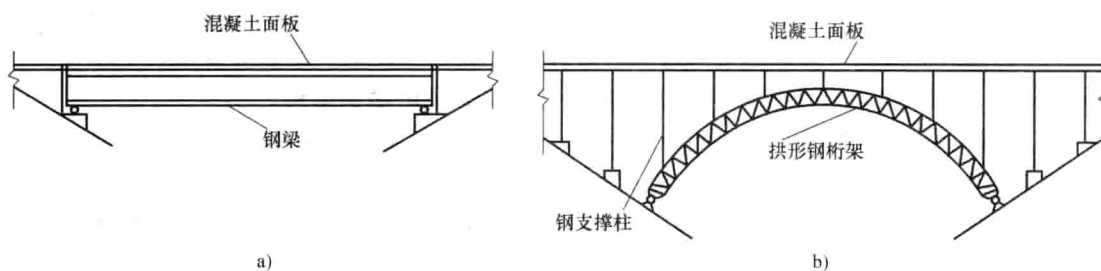


图 1-8 桥梁钢结构

a) 钢梁桥梁 b) 钢拱桥梁

1.1.3 钢结构的应用

目前，钢结构常用于大跨、超高、过重、振动、密闭、高耸、空间和轻型的工程结构中，其应用范围大致如下。

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，如炼钢车间、轧钢车间、铸钢车间、水压机车间、船体车间、热加工车间等，这类重型车间的承重骨

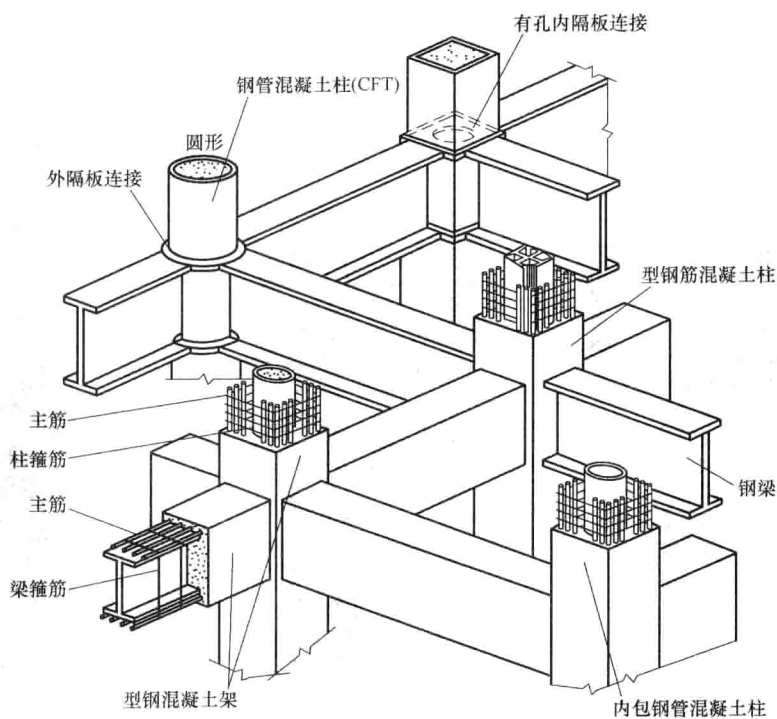


图 1-9 钢与混凝土组合结构

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、飞机库、体育馆、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、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。如高炉、热风炉、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 钢结构的设计原则

1.2.1 概率极限状态设计方法

概率极限状态设计方法的前提是必须明确结构或构件的极限状态。当结构或其组成部分

超过某一特定状态而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。结构的极限状态可以分为下列两类。

1) 承载能力极限状态。该状态对应于结构或构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形,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。该状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值,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影响正常使用的振动。

结构的工作性能可用结构的功能函数来描述。如果结构设计时需要考虑影响结构可靠度的随机变量有 n 个,即 x_1, x_2, \dots, x_n , 则在这 n 个随机变量间一般可建立函数关系,即

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

式(1-1)即称为结构的功能函数。

结构的可靠度一般受荷载、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,可以归并为两个基本变量,即荷载效应 S 和结构抗力 R , 并设这两者都服从正态分布。因此,结构的功能函数为

$$Z = R - S \quad (1-2)$$

函数 Z 也是一个随机变量,并服从正态分布。在实际工程中,可能出现下列三种情况:

- ① $Z > 0$, 结构处于可靠状态。
- ② $Z = 0$, 结构达到临界状态,即极限状态。
- ③ $Z < 0$, 结构处于失效状态。

由于基本变量具有不定性,作用于结构的荷载有出现高值的可能,材料性能也有出现低值的可能,即使设计者采用了相当保守的设计方案,但在结构投入使用后,谁也不能保证它绝对可靠,因而对所设计的结构的功能只能作出一定概率的保证。只要可靠的概率足够大,或者说,失效概率足够小,便可认为所设计的结构是安全的。

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“完成预定功能”就是对于规定的某种功能来说结构不失效 ($Z \geq 0$)。这样如果以 p_s 表示结构的可靠度,则上述定义可表达为

$$p_s = P(Z \geq 0) \quad (1-3)$$

结构的失效概率以 p_f 表示,则

$$p_f = P(Z < 0) \quad (1-4)$$

由于事件 $Z < 0$ 与事件 $Z \geq 0$ 是对立的,所以结构可靠度 p_s 与结构的失效概率 p_f 符合下式

$$p_s = 1 - p_f \quad (1-5)$$

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小到人们可以接受的程度。

为了计算结构的失效概率 p_f ,最好是求得功能函数 Z 的分布。图 1-10 中 $f_z(Z)$ 为功能函数 Z 的概率密度曲线,图中横坐标 $Z=0$ 处,结构处于极限状态;纵坐标以左 $Z < 0$,结构处于失效状态;纵坐标以右 $Z > 0$,结构处于可靠状态。图 1-10 中阴影面积表示事件 $Z < 0$

的概率，就是失效概率，可用积分求得，即

$$p_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_Z(Z) dZ \quad (1-6)$$

但一般来说， Z 的分布很难求出。因此失效概率的计算仅仅在理论上可以解决，实际上很难求出，这使得概率设计法一直不能付诸实用。20 世纪 60 年代末期，美国学者康奈尔 (C. A. Cornell) 提出比较系统的一次二阶矩的设计方法，才使得概率设计法进入了实用阶段。

一次二阶矩法不直接计算结构的失效概率 p_f ，以 μ 代表平均值，以 σ 代表标准差，将图 1-10 中 Z 的平均值 μ_Z 用 Z 的标准差 σ_Z 来度量。根据平均值和标准差的性质可知

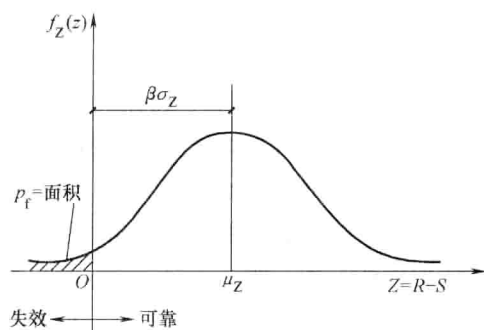


图 1-10 Z 的概率密度 $f_Z(Z)$ 曲线

$$\left. \begin{aligned} \mu_Z &= \mu_R - \mu_S \\ \sigma_Z^2 &= \sigma_R^2 - \sigma_S^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

由于标准差都取正值，式 (1-4) 可改写成

$$p_f = P\left(\frac{Z}{\sigma_Z} < 0\right)$$

和

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

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

$$p_f = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \quad (1-8)$$

式中 $\Phi(\cdot)$ ——标准正态分布函数。

令 $\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$ ，并用式 (1-7) 的值代入，则有

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_S^2}} \quad (1-9)$$

式 (1-8) 成为

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (1-10)$$

因为是正态分布，所以

$$p_s = 1 - p_f = \Phi(\beta) \quad (1-11)$$

由式 (1-10)、式 (1-11) 可见， β 和 p_f (或 p_s) 具有数值上的一一对应关系。已知 β 后即可由标准正态分布函数值的表中查得 p_f 。图 1-10 和表 1-1 都给出了 β 和 p_f 之间的对应关系。由于 β 越大 p_f 就越小，结构也就越可靠，所以称 β 为可靠指标。

表 1-1 正态分布时 β 和 p_f 的对应值

可靠指标 β	4.5	4.2	4.0	3.7	3.5	3.2	3.0	2.7	2.5	2.0
失效概率 p_f	3.4×10^{-6}	1.34×10^{-5}	3.17×10^{-5}	1.08×10^{-4}	2.33×10^{-4}	6.87×10^{-4}	1.35×10^{-3}	3.47×10^{-3}	6.21×10^{-3}	2.28×10^{-2}

以上推算均假定 R 和 S 都服从正态分布。实际上结构的荷载效应多数不服从正态分布，结构的抗力一般也不服从正态分布。然而对于非正态的随机变量可以作当量正态变换，找出它的当量正态分布的平均值和标准差，然后就可以按照正态随机变量一样对待。

为了使不同结构能够具有相同的可靠度，《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 规定了各类构件按承载能力极限状态设计时的可靠指标，即目标可靠指标(见表 1-2)。目标可靠指标的取值从理论上说应根据各种结构构件的重要性、破坏性质及失效后果，以优化方法确定。但是，实际上这些因素还难以找到合理的定量分析方法。因此，目前各个国家在确定目标可靠指标时都采用“校准法”，通过对原有规范作反演算，找出隐含在现有工程结构中相应的可靠指标值，经过综合分析后确定设计规范中相应的可靠指标值。这种方法的实质是从整体上继承原有的可靠度水准，是一种稳妥可行的办法。对钢结构各类主要构件校准的结果， β 一般在 3.16~3.62。一般的工业与民用建筑的安全等级属于二级。钢结构的强度破坏和大多数失稳破坏都具有延性破坏性质，所以钢结构构件设计的目标可靠指标一般为 3.2。但是也有少数情况，主要是某些壳体结构和圆管压杆及部分方管压杆失稳时具有脆性破坏特征。对这些构件，可靠指标按表 1-2 应取 3.7。疲劳破坏也具有脆性特征，但我国现行设计规范对疲劳计算仍然采用允许应力法。钢结构连接的承载能力极限状态经常是强度破坏而不是屈服，可靠指标应比构件高，一般推荐用 4.5。

表 1-2 目标可靠指标

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

1.2.2 设计表达式

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003) 规定，除疲劳计算外，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用分项系数的设计表达式进行计算。这是考虑到用概率法的设计式，广大设计人员不熟悉也不习惯，同时许多基本统计参数还不完善，不能列出，因此，《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 建议采用广大设计人员所熟悉的分项系数设计表达式，即

$$\frac{R_k}{\gamma_R} \geq \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} \quad (1-12)$$

式中 R_k ——抗力标准值(由材料强度标准值和截面公称尺寸计算而得)；

S_{Gk} ——按标准值计算的永久荷载(G)效应值；

S_{Qk} ——按标准值计算的可变荷载(Q)效应值；

γ_R 、 γ_G 、 γ_Q ——抗力分项系数、永久荷载分项系数和可变荷载分项系数。

三个分项系数都与目标可靠指标 β 有关，而可靠度又和所有的基本变量有关。为了方便

设计,《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)经过计算和分析规定,一般情况下荷载分项系数 $\gamma_G = 1.2$, $\gamma_Q = 1.4$;当永久荷载效应与可变荷载效应异号时,这时永久荷载对设计是有利的(如屋盖构件设计中,当风吸力作用使屋盖掀起时),应取 $\gamma_G = 1.0$, $\gamma_Q = 1.4$ 。

在荷载分项系数统一规定的条件下,现行钢结构设计规范对钢结构构件抗力分项系数进行分析,使所设计的结构构件的实际 β 值与预期的 β 值差值甚小,并结合工程经验规定,Q235钢的 $\gamma_R = 1.087$;Q345、Q390和Q420钢的 $\gamma_R = 1.111$ 。

钢结构设计用应力表达,采用钢材强度设计值。强度设计值(用 f 表示)是钢材的屈服强度 f_y 除以抗力分项系数 γ_R 的商。如Q235钢抗拉强度设计值为 $f = f_y / 1.087$;对于端面承压和连接则为抗拉强度 f_u 除以抗力分项系数 γ_{Ru} ,即 $f = f_u / \gamma_{Ru} = f_u / 1.538$ 。

施加在结构上的可变荷载往往不止一种,这些荷载不可能同时达到各自的最大值。因此,还要根据组合荷载效应的概率分布来确定荷载的组合系数。对于承载能力极限状态荷载效应的基本组合按下式确定

$$\gamma_0 \left(\gamma_G \sigma_{Gk} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \Psi_{ci} \sigma_{Qik} \right) \leq f \quad (1-13)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级或设计使用年限为100年以上的结构构件,不应小于1.1,对安全等级为二级或设计使用年限为50年的结构构件,不应小于1.0,对安全等级为三级或设计使用年限为5年的结构构件,不应小于0.9;

σ_{Gk} ——永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

σ_{Q1k} ——起控制作用的第一个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力(该值使计算结果为最大);

σ_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

γ_G ——永久荷载分项系数,当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时取1.2,但遇到以永久荷载为主的结构时则取1.35,当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时取1.0,验算结构倾覆、滑移或漂浮时取0.9;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——第1个和第 i 个可变荷载分项系数,当可变荷载效应对结构构件的承载能力不利时,取1.4(当楼面活荷载大于 4.0kN/m^2 时,取1.3),有利时取为0;

Ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数,可按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)的规定采用。

对于一般排架、框架结构,可采用简化式计算,对由可变荷载效应控制的组合,设计式为

$$\gamma_0 \left(\gamma_G \sigma_{Gk} + \Psi_c \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \sigma_{Qik} \right) \leq f \quad (1-14)$$

式中 Ψ_c ——简化式中采用的荷载组合值系数,一般情况下可采用0.9,当只有1个可变荷载时,取为1.0。

对于偶然组合,极限状态设计表达式应按下列原则确定:偶然作用的代表值不乘分项系数;与偶然作用同时出现的可变荷载,应根据观测资料和工程经验采用适当的代表值,具体