

最新的抗震规范
详实的设计实例

工作的开始系列

工作的开始

—— 钢结构设计

贾连光 主编

START



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工作的开始系列

工作的开始——钢结构设计

主	编	贾连光		
参	编	张曰果	许	峰
		张壮南	李	兵



机械工业出版社

前 言

伴随着我国建筑业的跨越式发展,钢结构以其独特的优势在建筑结构中应用越来越多,尤其是在高层与超高层建筑、大跨度空间结构、桥梁结构等建筑物中大量采用钢结构或钢与混凝土组合结构,为钢结构的进一步发展提供了广阔的空间。我国自改革开放以来,东部沿海地区引进国外轻钢建筑,促进了国内各种钢结构厂房的建设,并在北京、上海、深圳各地相继兴建了数十幢高层钢结构建筑,特别是申奥成功以后,北京、沈阳、天津等城市修建了一大批地标式的钢结构体育场馆建筑,迎来了我国钢结构建筑发展的又一次高峰。20世纪90年代至今,我国钢产量迅猛增加,在短短的几年内,中国已成为世界产钢大国,2009年的钢产量已达5.65亿t。同时,随着我国冶金企业不断调整产业结构,钢与钢材的品种、规格日渐增多,建筑配套产品日益齐全,为在建筑工程中应用钢材提供了有利的条件。国家的建筑技术政策也由以往的限制使用钢材转变为积极推广应用钢材,从而出现了规模更大、技术更新的局面,充分展现了钢结构建筑以高技派的手法带来现代生活的新气息。现在不论是大跨度的体育场馆、会展中心、候机大厅、会堂剧场,还是超高层的办公楼、饭店、住宅,乃至大面积的工业厂房、仓库,无不见到钢结构的踪影。目前,钢结构的大量发展一方面代表了我国建筑技术水平的发展,另一方面也暴露了钢结构人才的匮乏,不论是设计或施工方面都急需有经验的技术人员。因此,在钢结构领域的教育与再教育就成为当务之急,而提供好的学习、参考用书的必要性也就不言而喻了。

在本书的编写过程中,以现行《钢结构设计规范》(GB 50017)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS102:2002)、《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ99)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等规范和规程为依据,并考虑工程技术人员的设计习惯,从构件的设计与计算要点入手,结合计算实例和工程设计实例,深入浅出、简明扼要地进行了说明。在内容上包括:钢结构简介及基本规定、单层钢结构房屋设计、多高层钢结构设计、屋面结构设计、吊车梁、钢结构防腐及防火设计、钢结构常用设计软件的应用等内容,附录中列入了常用的设计图表,以便设计计算时参考。

本书由贾连光教授任主编,张曰果、许峰、张壮南和李兵参加编写,并由中国工程设计大师林立岩教授主审。其中各章节的主要编写人员为:第一章和第二章由贾连光编写;第三章由张壮南编写;第四章由许峰编写;第五章至第八章由张曰果编写。

在本书的编写过程中,我们参考和引用了钟善桐、陈富生、邱国风、范重、周学军、罗福午、刘大海、杨翠如、张培信、宋曼华、汪一骏、赵西安、李国强等教授和专家们公开出版的书籍的部分内容,在此谨向上述作者表示感谢。

由于编者水平所限和时间紧迫,书中论述不当或错误之处在所难免,衷心希望读者们予以批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 钢结构的特点和适用范围 1

1.1.1 钢结构的特点 1

1.1.2 钢结构的适用范围 2

1.2 钢结构房屋体系 3

1.2.1 单层钢结构厂房 3

1.2.2 门式刚架轻型房屋 4

1.2.3 多高层钢结构房屋体系 4

1.2.4 大跨度房屋结构体系 5

1.3 钢结构房屋的基础选型 9

1.4 钢结构房屋设计过程 12

1.4.1 方案设计 12

1.4.2 初步设计 13

1.4.3 施工图设计 14

1.4.4 钢结构的深化设计 16

1.5 钢结构设计的相关规范 20

第2章 钢结构设计的基本规定 22

2.1 概念设计 22

2.2 设计方法和作用效应与组合 24

2.2.1 设计方法 24

2.2.2 荷载组合 25

2.2.3 作用及作用效应 26

2.2.4 疲劳计算 31

2.2.5 地震作用及结构抗震验算 34

2.3 钢结构设计的常用系数和一般规定 39

2.3.1 动力系数 39

2.3.2 吊车荷载系数 40

2.3.3 结构设计时的修正系数 41

2.3.4 钢结构构件的长细比限值 41

2.3.5 钢结构构件的计算长度系数 42

2.3.6 钢结构构件的挠度限值 46

2.3.7 钢结构螺栓连接的一般规定 47

2.4 材料及连接的设计指标 50

2.4.1 钢材的种类、牌号 50

2.4.2 钢材的规格 51

2.4.3 钢结构对材料的基本要求 53

2.4.4 钢结构的选材 54

2.4.5 钢结构材料及连接设计指标 55

第3章 单层钢结构房屋设计 58

3.1 特点及适用范围 58

3.2 平台结构设计 58

3.2.1 平台结构的组成和分类 58

3.2.2 平台结构布置 59

3.2.3 平台结构的荷载 60

3.2.4 平台结构的计算内容 61

3.2.5 平台结构的支撑 61

3.2.6 平台铺板设计 62

3.2.7 平台梁设计 66

3.2.8 平台柱设计 76

3.2.9 节点设计 81

3.2.10 平台柱的柱脚 85

3.2.11 钢楼梯设计 85

3.3 单层门式刚架设计 87

3.3.1 门式刚架结构的组成和布置 87

3.3.2 刚架设计 92

3.3.3 刚架柱和梁的设计 98

3.3.4 节点设计 105

3.3.5 柱脚设计 107

3.4 单层单跨门式刚架设计例题 111

第4章 多高层钢结构设计 124

4.1 多高层钢结构的设计内容及步骤 124

4.2 多高层钢结构体系和布置 124

4.2.1 多高层钢结构体系 124

4.2.2 结构体系的选用 137

4.2.3 结构布置	138	4.10.3 结构布置及截面初选	197
4.3 多高层钢结构构件选型	141	4.10.4 荷载汇集	198
4.4 多高层钢结构的作用计算	143	4.10.5 地震作用计算	199
4.4.1 竖向荷载	143	4.10.6 风荷载作用计算	214
4.4.2 风荷载	144	4.10.7 竖向荷载作用下框架结构 内力	218
4.4.3 地震作用	145	4.10.8 横向框架的内力组合	231
4.5 结构内力及位移分析	146	4.10.9 框架结构构件的设计	246
4.5.1 结构分析原则	147	4.10.10 节点设计	255
4.5.2 结构分析方法	147	第5章 屋面结构设计	264
4.6 构件设计及构造	148	5.1 压型钢板	264
4.6.1 一般规定	148	5.1.1 压型钢板的类型	264
4.6.2 梁	149	5.1.2 压型钢板的计算	267
4.6.3 轴心受压柱	152	5.1.3 压型钢板的构造要求	273
4.6.4 框架柱	152	5.1.4 压型钢板的计算实例	275
4.6.5 支撑	154	5.2 檩条	280
4.7 节点设计及构造	157	5.2.1 檩条的形式及特点	280
4.7.1 节点设计原则	158	5.2.2 檩条的计算	282
4.7.2 连接	159	5.2.3 檩条的布置、连接与构造 要求	285
4.7.3 梁与柱连接	160	5.2.4 檩条设计计算实例	286
4.7.4 构件的拼接	165	5.3 钢屋架	291
4.7.5 支撑的连接	169	5.3.1 钢屋架的形式与选择	291
4.7.6 钢柱脚	170	5.3.2 屋架的内力分析	294
4.7.7 钢结构抗侧力构件连接的抗震 承载力验算	177	5.3.3 杆件的计算长度	296
4.8 压型钢板组合楼板	181	5.3.4 杆件的截面形式	298
4.8.1 概述	181	5.3.5 节点设计	301
4.8.2 压型钢板与混凝土非组合 楼板	181	5.3.6 结构施工图	307
4.8.3 压型钢板与混凝土组合楼板	182	5.3.7 钢屋架设计实例	308
4.8.4 组合楼板的构造要求	185	5.4 天窗架	320
4.9 钢与混凝土组合梁	187	5.4.1 天窗的类型	320
4.9.1 组合梁的分类	187	5.4.2 天窗架的结构形式	322
4.9.2 组合梁的基本设计原则	187	5.4.3 天窗架的荷载	323
4.9.3 组合梁设计	190	5.4.4 计算简图	323
4.9.4 组合梁连接件设计	192	5.4.5 天窗架构件截面验算	325
4.10 钢框架-支撑结构设计实例	195	5.5 托架和托梁	329
4.10.1 工程设计概况	195	5.5.1 托架(梁)的结构类型与 特点	329
4.10.2 方案设计	195		



5.5.2 托梁的结构形式和特点	330	7.2.1 建筑物耐火等级与建筑构件耐火 极限	347
5.5.3 托架(梁)的设计计算要点	331	7.2.2 钢结构防火涂料的选用	349
5.5.4 托架(梁)的连接与构造 要求	332	7.2.3 钢结构的防火保护措施	351
第6章 吊车梁	334	第8章 钢结构常用设计软件的 应用	354
6.1 吊车梁概述	334	8.1 PKPM-STS 设计软件	354
6.1.1 吊车梁系统的组成	334	8.1.1 STS 设计软件简介	354
6.1.2 吊车梁的选型	334	8.1.2 STS 钢框架设计	355
6.2 一般规定和构造要求	335	8.2 ETAB9.2 钢框架设计步骤	361
6.3 吊车梁荷载和内力计算	336	8.2.1 一般设计原则	361
6.3.1 吊车梁的荷载	336	8.2.2 钢框架设计的步骤	363
6.3.2 吊车梁内力计算	337	附录	366
6.3.3 吊车梁截面验算	337	附录1 轴心受压构件的稳定系数	366
6.3.4 焊接吊车梁的连接计算和构造 要求	340	附录2 梁的整体稳定系数	369
第7章 钢结构防腐及防火设计	345	附录3 型钢表	372
7.1 钢结构防腐	345	附录4 螺栓和锚栓规格	387
7.1.1 钢结构防腐一般规定	345	附录5 各种截面回转半径的近似值	388
7.1.2 钢材表面处理	346	参考文献	391
7.1.3 防锈涂料	346		
7.2 钢结构防火	347		

第 1 章 绪 论

1.1 钢结构的特点和适用范围

20 世纪 80 年代我国改革开放之后，东部沿海地区引进国外轻钢建筑，促进了国内各种钢结构厂房的建设，并在北京、上海、深圳各地相继兴建了数十幢高层钢结构建筑和亚运村等一大批体育馆建筑，迎来了我国钢结构建筑发展的第一次高峰。目前，我国钢产量有了迅猛的提高，在短短的几年内，中国已成为世界上产钢大国，钢产量居世界第一。同时，随着我国冶金企业不断调整产业结构，钢材品种、规格日渐增多，建筑配套产品日益齐全，为结构用钢提供了有利的条件。国家的建筑技术政策也由以往的限制使用钢材转变为积极推广应用钢材，从而出现了技术日益更新的局面。现在不论是大跨度的体育场馆、会展中心、候机大厅、会堂剧场，还是超高层的办公楼、饭店、住宅，乃至大面积的工业厂房、仓库，无不见钢结构的踪影。

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是指主要承重结构构件由钢材制成的工程结构，这些构件通常是轧制的型钢或钢板焊接成组合截面，作为梁、桁架、柱等。各部分之间用焊缝、螺栓连接，有些钢结构还部分采用钢丝绳或钢丝束。和其他材料的结构相比，钢结构有如下特点：

1. 钢结构重量轻，强度高

钢材的重度虽然高于混凝土等建筑材料，其强度与重度之比却高得多，当承受的荷载和其他条件相同时，钢结构要比钢筋混凝土结构轻，用钢结构建造的住宅重量是钢筋混凝土住宅的 $1/2$ 左右。钢结构自重轻，降低了基础造价，特别是减轻了地震作用。

2. 钢材具有良好的塑性和韧性

材料的塑性好，所以结构在一般条件下不会因偶然超载或局部超载而突然断裂；材料的韧性好，因此钢结构对动荷载的适应性较强。在抗震设防烈度较高的地区，采用钢结构更为有利。

3. 钢材材质均匀，更接近于匀质同向体

钢材的内部组织非常接近于匀质体，而且其各个方向上的物理力学性能基本相同，比较接近各向同性体。钢材的这些性能与力学计算中的假定非常符合，所以钢结构的实际受力情况和工程力学计算结果最为符合。

4. 钢材具有不渗透性, 便于做成密闭结构

钢材本身组织非常致密, 当采用焊接连接, 甚至采用铆钉或螺栓连接时, 都易做到密不渗漏。因此, 钢材是制造容器, 特别是高压容器的良好材料。

5. 钢结构制造简便, 施工周期短, 装配性好

钢结构的加工比较简便, 采用机械操作, 而且钢结构所用的型材多样。钢结构一般在专业化的金属结构厂制造, 所以精确度较高。构件运到现场拼装, 可以采用普通螺栓连接或高强度螺栓连接, 还可采用地面拼装及吊装, 故缩短了施工周期。此外, 对于已建成的钢结构也容易进行加固和改建, 对于采用螺栓连接的结构还可以进行拆迁。

6. 钢材耐腐蚀性差, 应采取保护措施

耐腐蚀性差是钢结构的一大弱点, 尤其是处于有腐蚀介质的环境中, 构件必须镀锌或油漆, 而且应注意在使用期间定期维护。因此维护费用比钢筋混凝土结构高。对于一些耐腐蚀性要求较高的结构可以采用耐候钢, 其质量要求应符合现行国家标准《焊接结构用耐候钢》(GB/T 4172) 的规定。

7. 钢材耐热但不耐火

钢结构的耐热性能好, 但耐火性差。随着温度的升高, 钢材的强度会降低, 当周围环境的辐射温度达到 150°C 以上时, 须采用遮挡措施加以保护。钢材不耐火, 一旦发生火灾, 钢结构表面温度很快上升到 500°C 以上, 此时会造成结构骤然崩溃。所以, 重要的钢结构建筑必须采取防火措施, 这就增加了建筑的造价。

1.1.2 钢结构的适用范围

根据钢结构的特点以及在我国的工作经验, 其合理应用范围如下:

1. 大跨空间结构

结构的跨度越大, 全部载荷中自重所占的比例就越大, 减轻结构的自重可以取得明显的经济效益。由于钢结构强度高而重量轻, 可以跨越很大的跨度, 特别适合大跨桥梁和大跨建筑结构。如: 世界第一跨度钢结构斜拱——南京奥林匹克体育中心主体育场钢结构斜拱, 总跨度 361.582m , 以及国家大剧院、浦东国际机场、广州国际会展中心等大跨度结构, 都充分展示了钢结构在大跨度结构中的独特优势。

2. 重型工业厂房结构

重型机器制造工业、冶金工业以及大型动力设备制造工业等重工业的厂房大都属于重型工业厂房。厂房中的重级或中级工作制吊车达到 100t 以上, 甚至达到 600t 。所以, 这些车间的主要承重骨架常全部或部分采用钢结构。此外, 对于有强烈辐射热的车间也经常采用钢结构。

3. 受动力荷载作用的结构

由于钢材具有良好的韧性, 对于具有较大锻锤或动力设备的厂房常采用钢结构。此外, 对于抗震性能要求高的结构常采用钢结构。

4. 可拆卸的移动结构

钢结构不仅重量轻、便于搬迁,而且可以采用螺栓连接,便于装配和拆卸。对于流动式展览馆和活动房屋来说,采用钢结构最适宜。

5. 高耸结构和高层建筑

高耸结构包括塔架以及桅杆等结构,如:广播、电视发射塔架和高压输电线路等。高耸结构主要承受风载荷,由于钢结构的构件截面小,从而大大减小了风荷载,因而能够取得更大的经济效果。当高层建筑的层数和高度均较大时应采用钢结构。

6. 轻型钢结构

钢结构对于跨度比较小的结构也有一定的优势,因为在这类结构中,结构的自重是一个很重要的因素。对于采用轻屋面的轻钢屋盖结构与钢筋混凝土相比,在钢指标接近的情况下,结构自重可以减轻 70% ~ 80%, 用钢量相比于普通钢结构会降低 25% ~ 50%, 自重减轻 20% ~ 50%。

7. 容器及其他构筑物

对于冶金、化工、石油企业中的油罐、高炉、热风炉等,应广泛采用密封和耐高压性能好的钢板焊成的容器。另外,对于通廊栈桥、管道支架、钻井以及海上采油平台等其他构筑物常采用钢结构。

1.2 钢结构房屋体系

结构体系是指结构抵抗外部作用的结构构件的组成方式。钢结构房屋的主要结构体系有以下几种。

1.2.1 单层钢结构厂房

钢结构厂房按层数可分为单层厂房(多用于机械、冶金等工业)、多层厂房(多用于食品、电子、精密机器制造等工业)和层数混合的厂房(多用于化学工业、热电站)三类。机械制造类、冶金类厂房(如炼钢、轧钢、铸工、锻压、金工装配等车间)设有重型设备,生产的产品重、体积大,既不便于上下搬动,又增加楼面荷载,因而大多采用单层厂房,以便将这些大型设备安装在地面,方便产品加工与运输。

厂房是为工业生产服务的。厂房建设既要满足生产工艺方面的要求,又要为工作人员提供一个良好的工作环境。这就需要在设计过程中,按照生产使用要求,认真研究和分析单层厂房的特点,力求做到技术先进、经济合理、安全可靠、施工方便。

一般说来,单层厂房具有以下结构特点:

(1) 单层厂房结构的跨度大、高度大,承受的荷载大,因而构件的内力大、截面尺寸大、用料多。

(2) 单层厂房常承受动力荷载(如吊车荷载、动力机械设备荷载等),因此在进行结构

设计时须考虑动力荷载的影响。

(3) 单层厂房是空旷型结构, 室内几乎无隔墙, 仅在四周设置柱和墙。柱是承受屋盖荷载、墙体荷载、吊车荷载以及地震作用的主要构件。

(4) 单层厂房的基础受力大, 因此对工程地质勘察需提出较高的要求, 并进行深入的分析, 以确定地基承载力和基础埋置深度、形式与尺寸。

钢结构厂房的主要承重结构通常采用框架体系, 原因在于框架体系的横向刚度较大, 且能形成矩形的内部空间, 便于桥式吊车运行, 能满足使用上的要求。

厂房横向框架的柱脚一般与基础刚接, 而柱顶可分为铰接和刚接两类。柱顶铰接的框架对基础不均匀沉陷及温度影响敏感性小, 框架节点构造容易处理, 且因屋架端部不产生弯矩, 下弦杆始终受拉, 可免去一些下弦支撑的设置。但柱顶铰接时下柱的弯矩较大, 厂房横向刚度差, 因此一般用于多跨厂房或厂房高度不大而刚度容易满足的情况。当采用钢屋架、钢筋混凝土柱的混合结构时, 也常采用铰接框架形式。

反之, 在厂房较高, 吊车的起重量大, 对厂房刚度要求较高时, 钢结构的单跨厂房框架常采用柱顶刚接方案。在选择框架类型时必须根据具体条件进行分析比较。图 1-1 为不同类型的厂房框架体系。

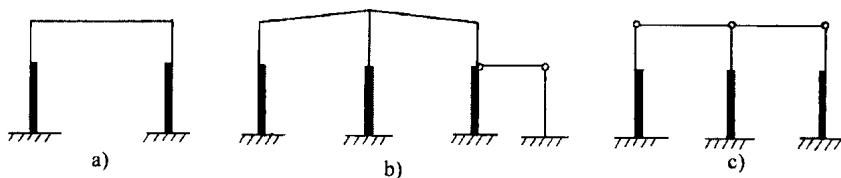


图 1-1 厂房的框架体系

a) 单跨刚接 b) 双跨刚接毗邻铰接 c) 双跨铰接（排架）

1.2.2 门式刚架轻型房屋

在工业发达国家, 门式刚架轻型房屋钢结构历经数十年的发展, 目前已非常广泛地应用于各种房屋结构中。随着钢材产量、钢结构制作安装技术的提高, 轻型门式刚架房屋结构近年来在我国得到了迅速的发展, 其中《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(下面简称《规程》) 的颁布为我国轻型钢结构的推广应用起到了促进和更加规范化的作用。

门式刚架房屋多采用轻型屋面, 可有效减小梁、柱和基础的截面尺寸。门式刚架房屋结构构件可全部在工厂制作, 工业化程度高, 安装方便快捷, 土建施工量小。门式刚架结构具有构造简单, 刚度良好, 受力合理, 使用空间大以及施工方便等优点。

1.2.3 多高层钢结构房屋体系

高层钢结构是近代经济发展和科学技术进步的产物, 至今已有百年的发展史。自 1885 年美国兴建第一幢高层钢结构建筑——芝加哥家庭保险公司大楼 (10 层高, 55m, 图 1-2) 以来,

高层钢结构建筑不断发展。特别是进入 20 世纪以后,随着钢结构设计技术的发展,高层建筑在结构与构造技术上逐渐成熟,大量的高层钢结构不断涌现。高层或超高层建筑由于抗侧移刚度要求多采用钢框架筒体结构,如马来西亚吉隆坡双子塔 88 层,高 452m (图 1-3)。在我国,高层钢结构建筑虽然起步较晚,但发展较快。自 20 世纪 80 年代中期始建高层钢结构至今,我国已建和在建的高层和超高层钢结构建筑(含钢-混凝土混合结构和组合结构)已有上百幢。

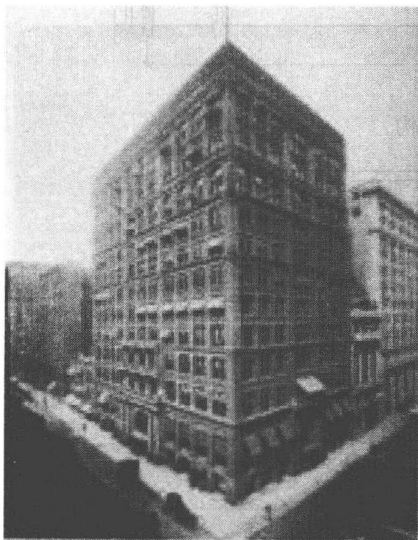


图 1-2 芝加哥家庭保险公司大楼



图 1-3 吉隆坡双子塔

高层钢结构根据其受力特性,一般可分为框架结构体系、双重抗侧力结构体系、筒体结构体系和巨型结构体系等。多高层钢结构的结构体系特点详见第 4 章多高层钢结构。

1.2.4 大跨度房屋结构体系

大跨度房屋结构常用于公共建筑,如大会堂、影剧院、展览馆、音乐厅、体育馆、加盖体育场、市场、火车站、航空港等,受使用要求和建筑造型要求的制约,具有大的跨度。它们是为了满足人类生活不断丰富需求而产生的。

大跨度房屋结构也用于工业建筑,特别是在航空工业和造船工业中,更多地采用大跨度结构,如飞机制造厂的总装配车间、飞机库,造船厂的船体结构车间等。这些建筑采用大跨度结构是受装配机器(如船舶、飞机)的大型尺寸或工艺过程要求所决定的。

大跨度建筑物的用途、使用条件以及对建筑造型方面要求的差异性,决定了采用结构方案的多样性——梁式、框架式、拱式、空间式以及悬挂—悬索式。梁式屋盖结构(图 1-4)及框架式屋盖结构(图 1-5)体系,较常用于矩形平面的大跨建筑屋盖;拱式体系具有建筑造型方面的优点,跨度在 80m 或更大时,这种体系比较经济(图 1-6);呈网格或实腹薄壳

及褶皱、平板网架结构（图 1-7）、穹顶或篷盖状的空间体系（图 1-8），用钢量最为经济，多用于圆形或矩形的房屋平面。

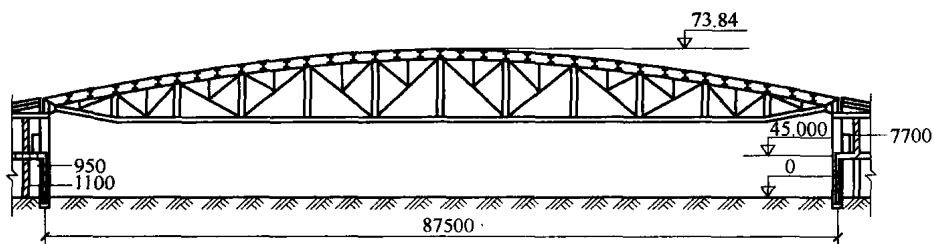


图 1-4 梁式屋盖结构

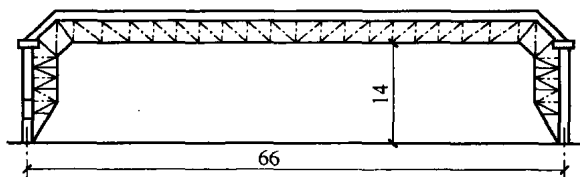


图 1-5 框架屋盖结构

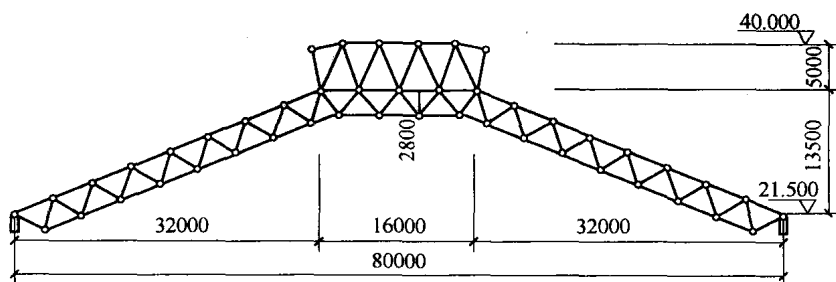


图 1-6 空间拱形屋盖结构

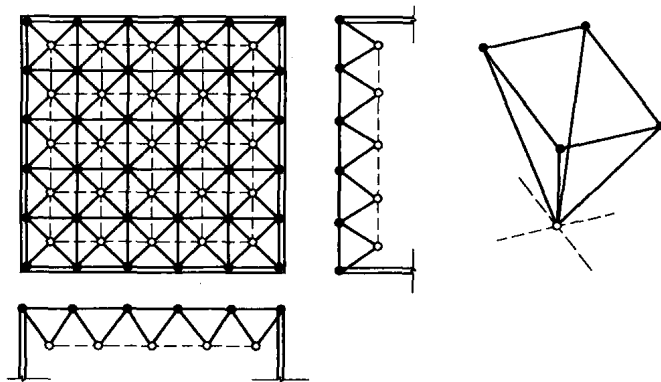


图 1-7 正放四角锥平板网架

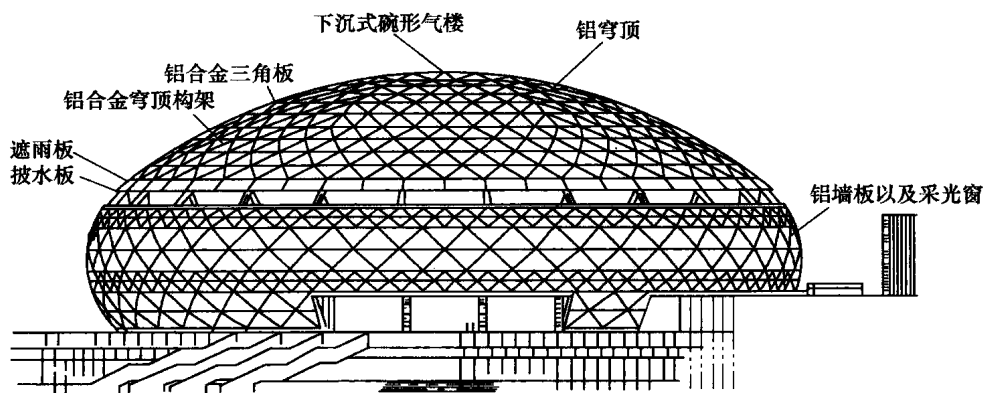


图 1-8 穹顶网壳结构

梁式体系的支座不产生推力，可支撑在墙体、砌体柱或钢结构混凝土柱上。跨度较大时，梁式体系比框架体系及拱式体系重，但制造和安装较为简单。跨度大于 35 ~ 40m 时，梁式结构的支座必须做成活动式的，以防止支座或支柱承受横向反力。

框架体系分为两铰和无铰框架。无铰框架刚度更好，用钢量省、便于安装，但此种框架需要强大的基础及密实的地基，并对温度作用比较敏感。

拱式体系及其外形多种多样。拱作为屋盖的主要承重构件，从用钢量来看比梁式体系和框架体系要经济得多。拱分两铰拱、三铰拱和无铰拱等，拱外形要选择接近于压力曲线。

空间体系具有优越的力学性能。空间结构或者是由一整块连续空间体构成的或者是由许多杆件扩展而成的，不论何种构成方式，它们都是以整个结构的形体来承受外来荷载。空间结构里每一构件均是整体结构的一部分，按照空间的几何特性分担承受荷载，没有平面结构体系中构件之间那种主次关系。空间结构不仅具有三度空间的结构形体，而且在荷载作用下为三向受力，呈空间工作状态并以面内力或轴力为主。这一鲜明特征使得空间结构的杆件截面远较平面结构小。除了优良的力学性能以外，大多数空间结构还具有良好的抗震性能。

空间体系的杆件截面较小，当结构跨度大到一定程度时，某些类型的空间结构的结构刚度会降低，这样就不能不考虑轻型结构所特有的大变形问题，即工程师必须对此类结构产生整体屈曲或共振现象的可能性给予充分重视。

空间体系具有良好的经济性、安全性与适用性。空间结构将平面结构体系的受力杆件与支撑体系有机融合在一起，整体性好，能适应各种均布荷载、局部集中荷载、非对称荷载以及悬挂吊车、地震力等动力荷载，传力路线简捷、可靠，故可节约大量建筑材料，大大减轻结构自重，提高整体经济效果。空间结构一般是高次超静定结构，良好的内力重分布能力使其具有额外的安全储备，可靠程度较高。

空间结构可以适应不同跨度、不同支承条件的各种建筑要求。

悬挂结构体系中主要承重构件是用高强材料制作的受拉索缆（钢绞线、高强钢丝束等），轻巧是它的最大优点。这种结构体系制造和安装都比较简单。悬挂结构体系为推力体

系, 为承受横向反力必须设置支座结构, 其造价所占比重较大。悬挂结构体系的突出特点是变形较大。

悬索式屋盖常用的有单层悬索体系 (图 1-9), 双层悬索体系, 金属薄壳—膜, 鞍状应力索网等, 在此论述从略。

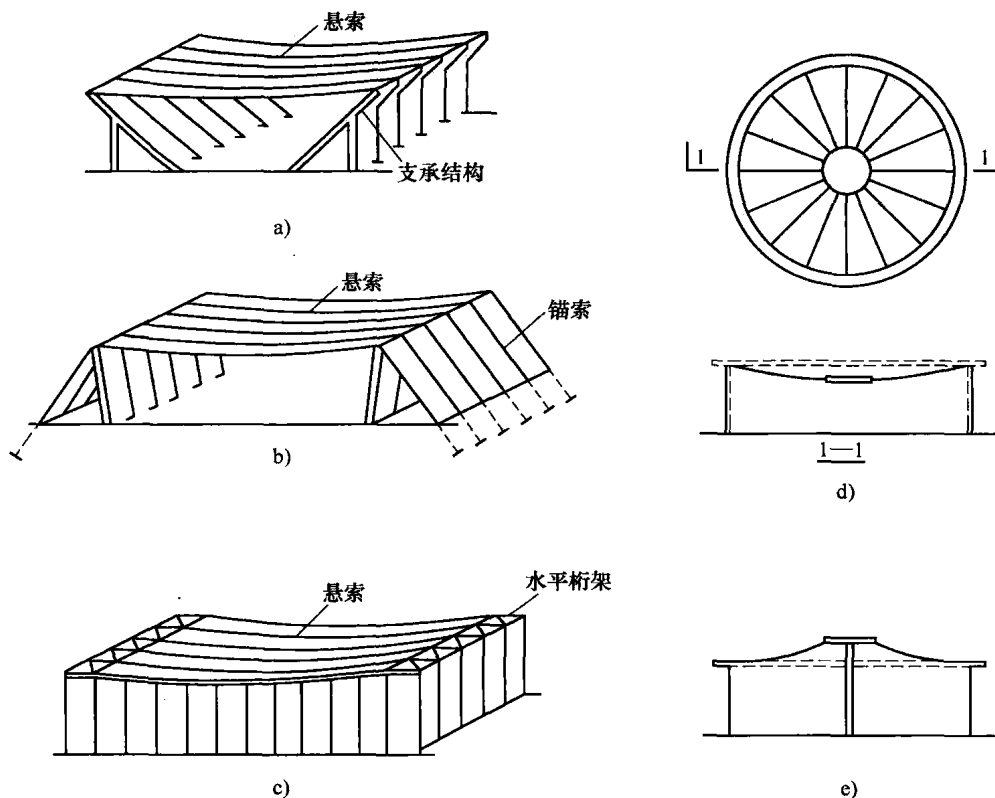


图 1-9 单层悬索体系

大跨度屋盖主要具有矩形平面, 但是公共建筑如影剧院、音乐厅、体育馆、展览馆等, 除了矩形平面, 也可能具有圆形或椭圆形平面。采用普通矩形以外的平面, 使屋盖结构的构成复杂化, 这不利于使用定型结构构件。大跨建筑物一般不属于大量建设项目, 其建筑及结构方案极具个性, 这也在一定程度上限制了结构的定型化及工业化。

大跨度结构主要是在自重荷载下工作, 因此减小结构自重自然是工程师的主要任务。从此观点考虑, 大跨度结构中宜采用高强度钢材或轻质铝合金材料。由于大跨度结构的自重大, 也常常采用预应力承重结构及悬索结构, 在这些结构中使用高强钢丝、钢绞线等施加预应力非常有效。

从节约钢材角度看, 在大跨度屋盖中应尽可能使用轻质屋面结构及轻质屋面材料。作为承重的屋面板应采用钢筋泡沫混凝土板、钢丝网水泥板, 而作为保温层应采用岩棉、纤维板

以及其他新型轻质高效材料。彩色涂层压型钢板、压型铝合金板是极轻的便于工业化制造和安装的材料,压型铝合金屋面板除了轻质、自防水、易于加工外,还具有耐久性的特点,是很有竞争力的大跨建筑屋面围护材料。近年来还出现了一种新型金属屋盖,将屋盖结构和屋面围护材料(可以含有保温层)合为一体,自重大大减轻。为了简化承重结构,大跨生产厂房多采用便于工业化、标准化生产的新型屋盖结构。

1.3 钢结构房屋的基础选型

对于钢结构房屋的基础常用的有柱下独立基础、片筏基础、箱形基础以及桩基础等。

1. 独立基础

独立基础是独立的块状形式,常用的断面形式有踏步形、锥形、杯形。适用于多层框架结构或厂房排架柱下基础,地基承载力不低于 80kPa 时,其材料通常采用钢筋混凝土、素混凝土等,见图 1-10。

独立基础的抗弯和抗剪性能良好,可在竖向荷载较大、地基承载力不高以及承受水平力和力矩荷载等情况下使用。对于钢结构房屋,当上部结构采用框架结构或单层排架及门架结构承重时,其基础常采用方形或矩形的独立基础。

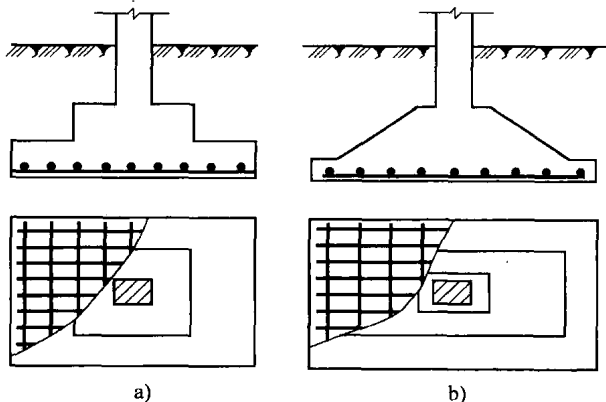


图 1-10 独立基础

a) 阶梯形基础 b) 锥形基础

2. 条形基础

当地基较为软弱、柱荷载或地基压缩性分布不均匀,以至于采用扩展基础可能产生较大的不均匀沉降时,常将同一方向(或同一轴线)上若干柱子的基础连成一体而形成柱下条形基础(图 1-11)。这种基础的抗弯刚度较大,因而具有调整不均匀沉降的能力,并能将所承受的集中柱荷载较均匀地分布到整个基底面积上。

柱下条形基础是常用于软弱地基上框架或排架结构的一种基础形式。

3. 筏形基础

建筑物的基础由整片的钢筋混凝土板组成,板直接由地基土承担,称为筏形基础。筏形基础由于其底面积大,可减小地基压力,同时可提高地基土的承载力,并能有效地增强基础的整体性,调整不均匀沉降。此外,筏形基础还具有前述各类基础所不完全具备的良好功能,例如:能跨越地下浅层小洞穴和局部软弱层;提供比较宽敞的地下使用空间;作为地下室、水池、油库等的防渗底板;增强建筑物的整体抗震性能;满足自动化程度较高的工艺设备对不允许有差异沉降的要求,以及工艺连续作业和设备重新布置的要求等。

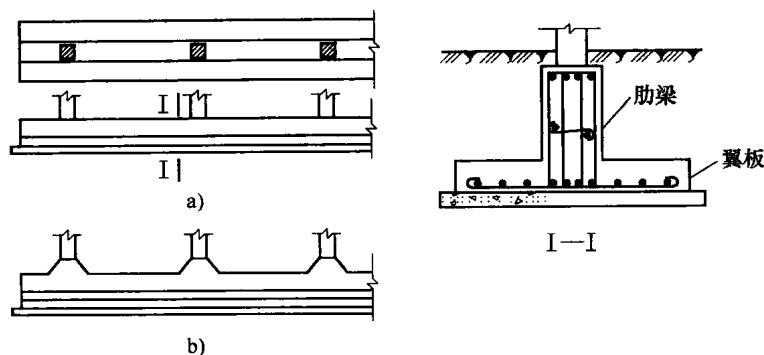


图 1-11 条形基础

a) 等截面 b) 柱位处加腋

但是,当地基有显著的软硬不均的情况时,例如地基中岩石与软土同时出现时,应首先对地基进行处理,单纯依靠筏形基础来解决这类问题是不经济的,甚至是不可行的。筏形基础的板面与板底均配置有受力钢筋,因此经济指标较高。

按所支承的上部结构类型分为墙下筏形基础和用于框架、剪力墙结构的柱下筏形基础。前者是一块厚度约 200 ~ 300mm 的钢筋混凝土平板,埋深较浅,适用于具有硬壳持力层(包括人工处理形成的)、比较均匀的软弱地基上 6 层及 6 层以下承重横墙较密的民用建筑。

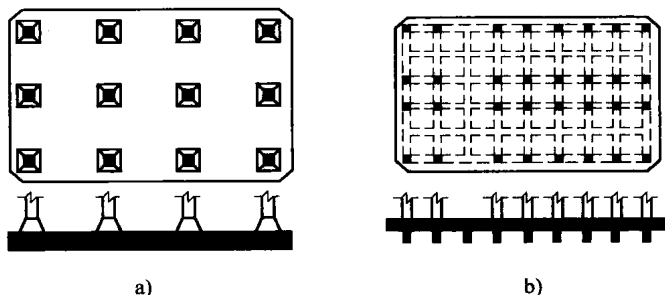


图 1-12 筏形基础

a) 平板式 b) 梁板式

柱下筏形基础分为平板式和梁板式两种类型(图 1-12)。平板式筏板基础的厚度不应小于 400mm,一般为 0.5 ~ 2.5m。其特点是施工方便、建造快,但混凝土用量大。当柱荷载较大时,可将柱下板厚局部加大或设柱墩,以防止基础发生冲切破坏。若柱距较大,为了减小板厚,可在柱轴两个方向设置肋梁,形成梁板式筏形基础。

当柱荷载较大时,可将柱下板厚局部加大或设柱墩,以防止基础发生冲切破坏。若柱距较大,为了减小板厚,可在柱轴两个方向设置肋梁,形成梁板式筏形基础。

4. 箱形基础

箱形基础是由钢筋混凝土的底板、顶板、外墙和内隔墙组成的有一定高度的整体空间结构(图 1-13),适用于软弱地基上的高层、重型或对不均匀沉降有严格要求的建筑物。与筏形基础相比,箱形基础具有更大的抗弯刚度,只能产生大致均匀的沉降或整体倾斜,从而基本上消除了因地基变形而使建筑物

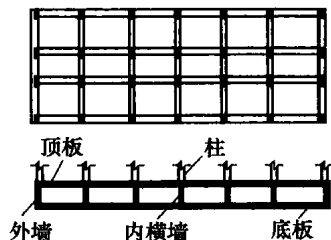


图 1-13 箱形基础

开裂的可能性。箱形基础埋深较大,基础中空,从而使开挖卸去的土重部分抵偿了上部结构传来的荷载(补偿效应)。因此,与一般实体基础相比,它能显著减小基底压力、降低基础沉降量。此外,箱形基础的抗震性能较好。

高层建筑的箱形基础往往与地下室结合考虑,其地下空间可作人防、设备间、库房、商店以及污水处理等。冷藏库和高温炉体下的箱形基础有隔断热传导的作用,以防地基土产生冻胀或干缩。但由于内墙分隔,箱形基础地下室的用途不如筏形基础地下室广泛,例如不能用做地下停车场等。

箱形基础的钢筋、水泥用量很大,工期长,造价高,施工技术比较复杂,在进行深基坑开挖时,还需考虑降低地下水位、坑壁支护及对周边环境的影响等问题。因此,箱形基础的采用与否,应在与其他可能的地基基础方案进行技术经济比较之后再确定。

5. 桩基础

桩基础是由设置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台组成的基础。当浅层地基上不能满足建筑物对地基承载力和变形的要求,而又不适宜采取地基处理措施时,就要考虑以下部坚实土层或岩层作为持力层的深基础,桩基础应用最为广泛。

根据承台与地面相对位置的高低,桩基础可分为低承台桩基础和高承台桩基础两种。低承台桩基础的承台底面位于地面以下,而高承台桩基础的承台底面则高出地面以上,见图 1-14。在工业与民用建筑中,几乎都使用低承台桩基础,而且大量采用的是竖直桩,甚少采用斜桩;但在桥梁、港湾和海洋构筑物等工程中,则常常使用高承台桩基础,且较多采用斜桩,以承受较大的水平荷载。

一般来说,下列情况可考虑采用桩基础方案:

(1) 天然地基承载力和变形不能满足要求的高重建筑物。

(2) 天然地基承载力基本满足要求,但沉降量过大,需利用桩基础减少沉降的建筑物,如软土地基上的多层住宅建筑,或在使用上、生产上对沉降限制严格的建筑物。

(3) 重型工业厂房和荷载很大的建筑物,如仓库、料仓等。

(4) 软弱地基或某些特殊性土上的各类永久性建筑物。

(5) 作用有较大水平力和力矩的高耸结构物(如烟筒、水塔等)的基础,或需以桩承受水平力或上拔力的其他情况。

(6) 需要减弱其振动影响的动力机器基础,或以桩基础作为地震区建筑物的抗震措施。

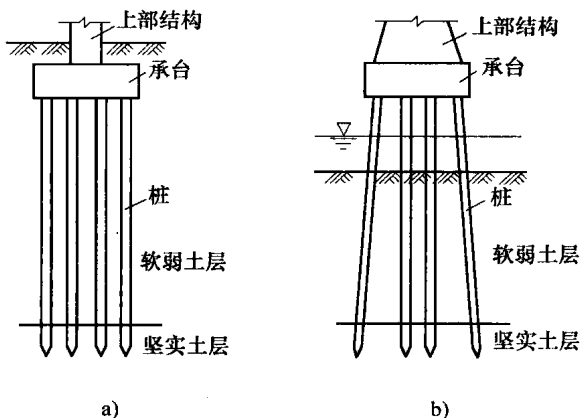


图 1-14 桩基础

a) 低承台桩基础 b) 高承台桩基础