



普通高等教育土建类专业“十五”规划教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

钢结构

上册

钢结构基础

西安建筑科技大学 编
陈绍蕃 顾强 主编



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢 结 构

上册 钢结构基础

西安建筑科技大学 编
陈绍蕃 顾 强 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构. 上册, 钢结构基础/陈绍蕃, 顾强主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2003

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材. 高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-05625-X

I. 钢... II. ①陈... ②顾... III. 钢结构-高等学校-
教材 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 001066 号

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢 结 构

上册 钢结构基础

西安建筑科技大学 编

陈绍蕃 顾 强 主编

*

中国建筑工业出版社 出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 22 字数: 442 千字

2003 年 2 月第一版 2003 年 2 月第一次印刷

印数: 1—5,000 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-112-05625-X

TU·4952 (11264)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书对1994年问世的第二版做了较大的更新和充实，以适当当前钢结构的发展和高等学校本科土木工程专业的教学需要。全书分上、下册。上册《钢结构基础》着重阐述钢结构的基本性能，包括材料、构件、连接和节点的性能和承载能力计算原理和方法。体系上改变过去按构件类型分章为按极限状态分章。截面强度、单个构件稳定、整体结构中构件稳定、脆性断裂和疲劳属于承载能力极限状态的不同侧面和层次，分列四章论述。正常使用极限状态也单列一章。

本书内容密切结合新修订的《钢结构设计规范》GB 50017—2002，除用作教材外，也可供工程设计和施工人员在工作中参考。

第三版序

鉴于钢结构的应用范围迅速扩展，高等学校土木工程专业的调整和《钢结构设计规范》的修订，本书第二版已经不能适应当前的需要。新的版本和第二版的差别主要有以下几个方面。

1. 扩充内容。把全书分为《钢结构基础》和《房屋建筑钢结构设计》两部分，分册出版。上册阐述钢结构的基本性能及设计原理；下册阐述各类房屋钢结构的设计要领和方法。

2. 改变教材体系。除划分为基础和设计两大部分外，基础部分采用了新的体系，改变过去的按构件类型分章为按极限状态分章。各类构件的强度计算属于截面承载能力问题，稳定计算则属于整个构件的承载能力问题，二者的性质截然不同。对这两个问题分章论述，概念较为清晰。构件只是整体结构的一个组成部分，由于构件之间相互制约，失稳实质上涉及整个结构。这种整体性目前由构件的计算长度系数来解决，集中写在第五章中。正常使用极限状态单列一章。此外，把节点构造集中起来和连接合为一章，便于读者掌握构造设计的原理。

3. 更新内容。新钢结构设计规范 GB50017—2002 在原 GBJ17—88 规范的基础上做了很多更新和充实。本书除全面吸收这些内容外，还适当更新一些其他内容。例如，对牛腿连接焊缝的计算和高强度螺栓抗拉连接的计算都提出了新的、更为经济合理的观点。配合近年来钢结构应用范围的扩展，下册列入了轻型门式钢架设计和多层和高层房屋结构的设计。

4. 拓宽理论基础，密切联系实际。在基础部分注意用发展的观点处理问题。例如随着轻型钢结构的推广应用，扭转和局部变形的影响在设计中愈来愈显得重要。为此，在强度一章中较全面地阐述了扭转的效应；同时还在第七章专门写了一节《节点构造对构件承载力的影响》。在基础部分还注意密切联系实际，在第二章中除对结构用钢的质量分级和选用做了较全面的阐述外，还写了有关钢材性能鉴定的内容以适应从事实际工作的需要。

参与第三版编写工作的有：陈绍蕃（第一主编和上册第1章），顾强（第二主编，上册3、7章，下册3章），于安林（上册2、5、6章，下册1章），郭成喜（上册4、8章，下册2、4章）。李峰参加了习题编选工作。本书的第一版和第二版原编写人员为陈绍蕃、永毓栋、蒋焕南、陈骥和郭在田。

第三版变动很大，内容取舍、论述和前后衔接难免存在不妥之处。敬希读者发现后予以指正！

编者

2002年7月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.2 钢结构的建造过程和内在缺陷	6
1.3 钢结构的组成原理	7
1.4 钢结构的极限状态和概率极限状态法	11
1.5 钢结构的发展	20
第 2 章 钢结构的材料	23
2.1 对钢结构用材的要求	23
2.2 钢材的主要性能及其鉴定	24
2.3 影响钢材性能的因素	29
2.4 钢材的延性破坏和非延性破坏、循环加载和快速加载的效应	34
2.5 建筑钢材的类别及钢材的选用	40
习题	45
第 3 章 构件的截面承载能力——强度	47
3.1 轴心受力构件的强度及截面选择	47
3.2 梁的类型和强度	50
3.3 梁的局部压应力和组合应力	61
3.4 按强度条件选择梁截面	63
3.5 梁的内力重分布和塑性设计	73
3.6 拉弯、压弯构件的应用和强度计算	76
习题	81
第 4 章 单个构件的承载能力——稳定性	83
4.1 稳定问题的一般特点	83
4.2 轴心受压构件的整体稳定性	87
4.3 实腹式柱和格构式柱的截面选择计算	103
4.4 受弯构件的弯扭失稳	113
4.5 压弯构件的面内和面外稳定性及截面选择计算	120
4.6 板件的稳定和屈曲后强度的利用	137
习题	164
第 5 章 整体结构中的压杆和压弯构件	169
5.1 桁架中压杆的计算长度	169
5.2 框架稳定和框架柱计算长度	172
习题	181

第6章 钢结构的正常使用极限状态	183
6.1 正常使用极限状态的特点	183
6.2 拉杆、压杆的刚度要求	183
6.3 梁和桁架的变形限制	184
6.4 钢框架的变形限制	186
6.5 振动的限制	186
习题	187
第7章 钢结构的连接和节点构造	188
7.1 钢结构对连接的要求及连接方法	188
7.2 焊接连接的特性	190
7.3 对接焊缝的构造和计算	197
7.4 角焊缝的构造和计算	202
7.5 焊接残余应力和焊接残余变形	222
7.6 普通螺栓连接的构造和计算	228
7.7 高强度螺栓连接的性能和计算	240
7.8 焊接梁翼缘焊缝的计算	250
7.9 构件的拼接	252
7.10 梁与梁的连接	260
7.11 梁与柱的连接	263
7.12 柱脚设计	270
7.13 桁架节点设计	279
7.14 节点构造对构件承载力的影响	295
习题	296
第8章 钢结构的脆性断裂和疲劳	301
8.1 钢结构脆性断裂及其防止	301
8.2 钢结构抗疲劳设计	306
习题	316
附录	318
附录1 型钢规格表	318
附录2 螺栓和锚栓规格	331
附录3 钢材的化学成分和机械性能	332
附录4 钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值	333
附录5 各种截面回转半径的近似值	336
附录6 工字形截面简支梁等级弯矩系数和轧制工字钢梁的稳定系数	337
附录7 轴心受压构件的稳定系数	338
附录8 框架柱计算长度系数	341
参考文献	345

第1章 概述

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是用钢板、热轧型钢或冷加工成型的薄壁型钢制造而成的。和其他材料的结构相比，钢结构有如下一些特点：

(1) 材料的强度高，塑性和韧性好。

钢材和其他建筑材料诸如混凝土、砖石和木材相比，强度要高得多。因此，特别适用于跨度大或荷载很大的构件和结构。钢材还具有塑性和韧性好。塑性好，结构在一般条件下不会因超载而突然断裂；韧性好，结构对动力荷载的适应性强。良好的吸能能力和延性还使钢结构具有优越的抗震性能。另一方面，由于钢材的强度高，做成的构件截面小而壁薄，受压时需要满足稳定的要求，强度有时不能充分发挥。图 1-1 给出同样断面的拉杆和压杆受力性能的比较：拉杆的极限承载能力高于压杆。这和混凝土抗压强度远远高于抗拉强度形成鲜明的对比。

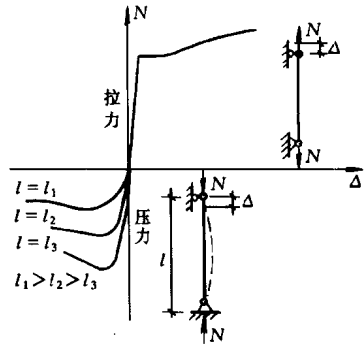


图 1-1 钢拉杆和压杆性能比较

(2) 材质均匀，和力学计算的假定比较符合。

钢材内部组织比较接近于匀质和各向同性体，而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的。因此，钢结构的实际受力情况和工程力学计算结果比较符合。钢材在冶炼和轧制过程中质量可以严格控制，材质波动的范围小。

(3) 钢结构制造简便，施工周期短。

钢结构所用的材料单纯而且是成材，加工比较简便，并能使用机械操作。因此，大量的钢结构一般在专业化的金属结构厂做成构件，精确度较高。构件在工地拼装，可以采用安装简便的普通螺栓和高强度螺栓，有时还可以在地面拼装和焊接成较大的单元再行吊装，以缩短施工周期。小量的钢结构和轻钢屋架，也可以在现场就地制造，随即用简便机具吊装。此外，对已建成的钢结构也比较容易进行改建和加固，用螺栓连接的结构还可以根据需要进行拆迁。

(4) 钢结构的质量轻。

钢材的密度虽比混凝土等建筑材料大，但钢结构却比钢筋混凝土结构轻，原因是钢材的强度与密度之比要比混凝土大得多。以同样的跨度承受同样荷载，钢屋架的质量最多不过钢筋混凝土屋架的 $1/3$ 至 $1/4$ ，冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ ，为吊装提供了方便条件。对于需要远距离运输的结构，如建造在交通不便的山区和边远地区的工程，质量轻也是一个重要的有利条件。屋盖结构的质量轻，对抵抗地震作用有利。另一方面，质轻的屋盖结构对可变荷载的变动比较敏感，荷载超额的不利影响比较大。受有积灰荷载的结构如不注意及时清灰，可能会造成事故。风吸力可能造成钢屋架的拉、压杆反号，设计时不能忽视。设计沿海地区的房屋结构，如果对飓风作用下的风吸力估计不足，则屋面系统有被掀起的危险。

(5) 钢材耐腐蚀性差。

钢材耐腐蚀的性能比较差，必须对结构注意防护。尤其是暴露在大气中的结构如桥梁，更应特别注意。这使维护费用比钢筋混凝土结构高。不过在有侵蚀性介质的一般厂房中，构件经过彻底除锈并涂上合格的油漆，锈蚀问题并不严重。近年来出现的耐候钢具有较好的抗锈性能，已经逐步推广应用。

(6) 钢材耐热但不耐火。

钢材长期经受 100°C 辐射热时，强度没有多大变化，具有一定的耐热性能；但温度达 150°C 以上时，就须用隔热层加以保护。钢材不耐火，重要的结构必须注意采取防火措施。例如，利用蛭石板、蛭石喷涂层或石膏板等加以防护。防护使钢结构造价提高。目前已经开始生产具有一定耐火性能的钢材，是解决问题的一个方向。

1.1.2 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，还受到国民经济发展情况的制约。从建国到20世纪90年代中期，钢结构的应用经历了一个“节约钢材”阶段，即在土建工程中钢结构只用在钢筋混凝土不能代替的地方。原因是钢材短缺：1949年全国钢产量只有十几万吨，虽然大力发展钢铁工业，钢产量一直跟不上社会主义建设宏大规模的要求。直至1996年钢产量达到一亿吨，局面才得到根本改变，钢结构的技术政策改成“合理使用钢材”。此后，钢结构在土建工程中的应用日益扩展。

从技术角度看，钢结构的合理应用范围包括以下几个方面（图1-2~1-7）。

(1) 大跨度结构。

结构跨度越大，自重在全荷载中所占比重也就越大，减轻自重可以获得明显的经济效果。因此，钢结构强度高而质量轻的优点对于大跨桥梁和大跨建筑结构特别突出。我国人民大会堂的钢屋架、各地体育馆的悬索结构、钢网架和网

壳, 陕西秦始皇墓陶俑陈列馆的三铰拱架都是大跨度屋盖的具体例子。很多大型体育馆屋盖结构的跨度都已超过 100m。1968 年在长江上建成的第一座铁路公路两用的南京桥, 最大跨度 160m, 其后在九江和芜湖建成的, 跨度分别增大到 216m 和 312m。长江上的公路桥跨度更大, 有: 628m 的南京斜拉桥, 900m 的西陵峡悬索桥和 1385m 的江阴悬索桥。

(2) 重型厂房结构。

钢铁联合企业和重型机械制造业有许多车间属于重型厂房。所谓“重”, 就是车间里吊车的起重质量大 (常在 100t 以上, 有的达到 440t), 其中有些作业也十分繁重 (24h 运转)。这些车间的主要承重骨架往往全部或部分采用钢结构。新建的宝山钢铁公司, 主要厂房都是钢结构的。另外, 有强烈辐射热的车间, 也经常采用钢结构。



图 1-2 高层钢结构建筑



图 1-3 斜拉桥

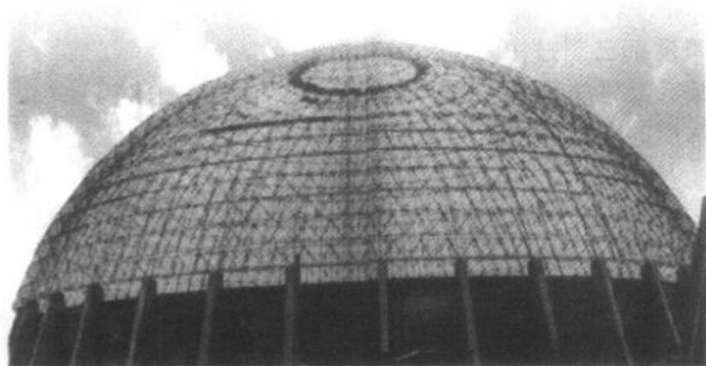


图 1-4 穹顶结构



图 1-5 钢拱桥

(3) 受动力荷载影响的结构。

由于钢材具有良好的韧性，设有较大锻锤或其他产生动力作用设备的厂房，即使屋架跨度不很大，也往往用钢制成。对于抗震能力要求高的结构，用钢来做也是比较适宜的。

(4) 可拆卸的结构。

钢结构不仅质量轻，还可以用螺栓或其他便于拆装的手段来连接。需要搬迁的结构，如建筑工地生产和生活用房的骨架，临时性展览馆等，钢结构最为适宜。钢筋混凝土结构施工用的模板支架，现在也趋向于用工具式的钢桁架。

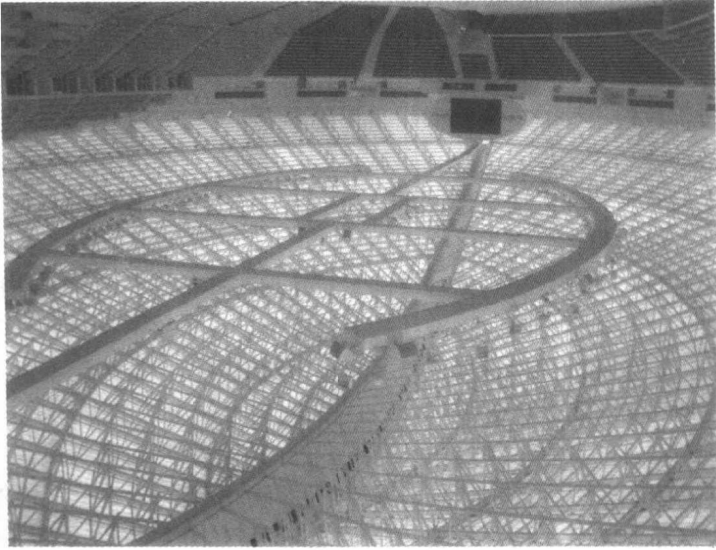


图 1-6 杂交结构

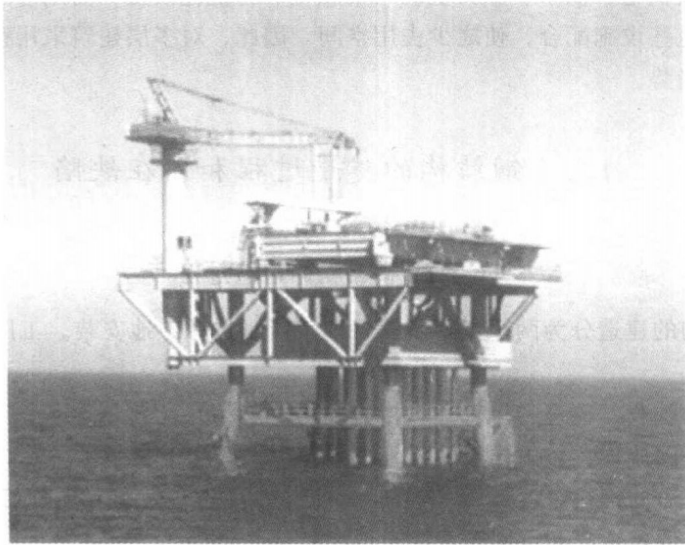


图 1-7 海上采油平台

(5) 高耸结构和高层建筑。

高耸结构包括塔架和桅杆结构，如高压输电线路的塔架、广播和电视发射用的塔架和桅杆等。上海的东方明珠电视塔高度达 468m。1977 年建成的北京环境气象塔高 325m，是五层拉线的桅杆结构。高层建筑的骨架，也是钢结构应用范

围的一个方面，目前最高的是地上 88 层地下 3 层的上海金茂大厦，高度为 365m。

(6) 容器和其他构筑物。

用钢板焊成的容器具有密封和耐高压的特点，广泛用于冶金、石油、化工企业中，包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外，经常使用的还有皮带通廊栈桥、管道支架、钻井和采油塔架，以及海上采油平台等其他钢构筑物。

(7) 轻型钢结构。

钢结构质量轻不仅对大跨结构有利，对使用荷载特别轻的小跨结构也有优越性。因为使用荷载特别轻时，小跨结构的自重也就成了一个重要因素。冷弯薄壁型钢屋架在一定条件下的用钢量可以不超过钢筋混凝土屋架的用钢量。轻型门式刚架因其轻便和安装迅速，近 20 年来如雨后春笋大量出现。

从全面经济观点看，钢结构还具有更多的优越性。在地基条件差的场地，多层房屋即使高度不是很大，钢结构因其质轻而降低基础工程造价，仍然可能是首选。在地价高昂的区域，钢结构则以占用土地面积小而显示它的优越性。工期短，投资及早得到回报，是有利于选用钢结构的又一重要因素。施工现场可利用的面积狭小，也是需要借重钢结构的一个条件。此外，现代化的建筑物中各类服务设施包括供电、供水、中央空调和信息化、智能化设备，需用管线很多。钢结构易于和这些设施配合，使之少占用空间。因此，对多层建筑采用钢结构也逐渐成为一种趋势。

1.2 钢结构的建造过程和内在缺陷

1.2.1 钢结构的建造过程

钢结构的建造分为两个主要步骤，即工厂制造和工地安装。工厂制造包括下列工序：

钢材的验收、整理和保管，包括必要的矫正；

按施工图放样，做出样板、样杆，并据以划线和下料；

对划线后的钢材进行剪切（焰割）、冲（钻）孔和刨边等项加工，非平直的零件则需要通过煨弯和辊圆等工序来成型；

对加工过程中造成变形的零件进行整平（辊平、顶平）；

把零件按图装配成构件，并加以焊接（铆接）；

对焊接造成的变形加以矫正；

除锈和涂漆。

工地安装工作包括：

现场的扩大拼装；

把扩大拼装后的构件（子结构）一一吊装就位，相互连接，加以临时固定；调整各部分的相对位置，使符合安装精度的要求，并做最后固定。

建造过程，尤其是加工阶段，不可避免地要对钢结构的性能产生影响，如冷工硬化和焊接热效应等。

1.2.2 钢结构的初始缺陷

在力学分析中，一般都把结构和构件理想化，如：直杆的轴线都是几何学的直线；垂直于地面的柱子不仅是挺直的，而且其铅直位置没有丝毫偏斜；构件的长度完全符合设计图的尺寸，不存在误差等。实际工程中的构件，显然不可能完全符合这些理想化的条件。钢结构的施工和验收规范对构件出厂时的初弯曲、柱子安装时的倾斜率等都规定有允许偏差值。

分析和设计钢结构时，必须考虑初始几何缺陷的效应。直杆的初弯曲，对受拉构件和受压构件就有所不同。微弯的杆受拉时，矢度逐渐减小直至消失；受压时则正好相反，压力愈大则弯曲愈甚，杆件的弯矩随之愈大。静定的杆系结构，当杆件长度有偏差时，组装后只是形状略有偏离，超静定结构则将产生初始内力。如图 1-8 所示的铰接桁架的一个节间，其斜杆 AD 略偏短，装配在一起时 BC 两点的距离将比原定的数值增大，使正方形变为菱形。如果这个节间设计为具有交叉斜杆，而且两根斜杆都偏短，那么采取措施强行组装后，两根斜杆将承受一定拉力，而周边四根杆则产生与之平衡的压力。这些残余内力会对结构性能产生不利的影响。因此，提高施工精度十分必要。

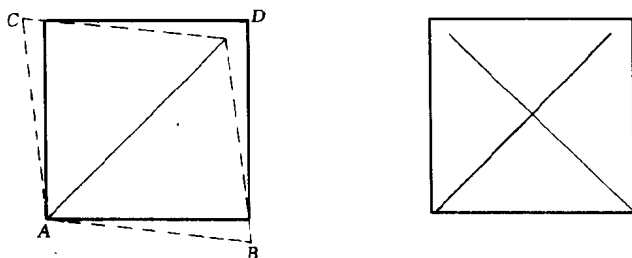


图 1-8 杆件长度偏差的影响

除了几何缺陷外，钢结构还有材料缺陷。钢材的匀质性和等向虽然优于混凝土和木材，但并不是理想的匀质体和各向同性体。这方面的问题可以称为力学缺陷，也对钢结构有不可忽视的影响，将在以后的章节中论述。

1.3 钢结构的组成原理

任何结构都必须几何不可变的空间整体，并且在各类作用的效应之下保持

稳定性能、必要的承载力和刚度。当结构的承重主体是桁架、刚架等平面体系时，需要设置一些辅助构件如支撑、横隔等把它们连成空间整体。

第1.1节所述的各类结构，除了容器类结构外，可以划分成两类，即跨越结构和高耸结构。前者是跨越地面上一定空间的结构，包括桥梁和单层房屋结构；后者则是从地面向上发展的结构，包括高层房屋、塔架和桅杆结构。层数不多的房屋则介于两者之间。

1.3.1 跨越结构

早期的跨越结构都是由平面体系加支撑组成。最典型的当属支在钢筋混凝土土桥墩上的桁架桥。桁架桥的承重主体是两榀相互平行的桁架，称为主桁。两主桁的上弦之间组成水平支撑桁架，称为纵向联结系。下弦之间也是如此。图1-9示出穿式铁路桁架桥的简图。此图略去桁架的斜杆，以免线条过多而看不清楚。

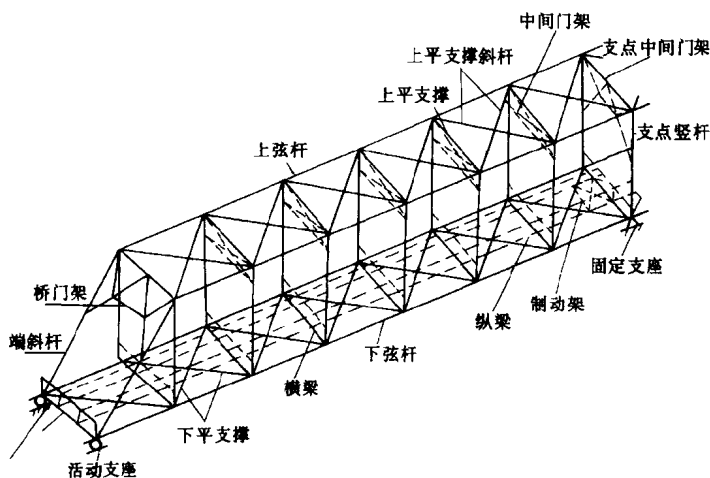


图 1-9 穿式桁架桥

除了水平支撑架外，在桁架两端斜杆（或端竖杆）之间组成桥门架，形成一个几何不可变的六面体。还在若干竖杆平面组成竖向支撑架以增强整个结构的抗横向摇摆的刚度。

穿式桁架桥的下弦平面还应有承受钢轨（或桥面板）的桥面系结构。它包括横梁和纵梁。横梁同时是下弦支撑桁架的横杆。

支撑系统虽属辅助结构，却起着多方面的作用：上、下水平支撑都承受风荷载。图中主桁的支座在下弦端部。上弦支撑承受的风力要经桥门架传下来。下弦支撑还承受车辆摇摆力等。此外，水平支撑还使主桁受压杆件在平面外的计算长度减小。

单层房屋的屋盖结构也常用平面屋架（或和钢柱组成平面框架）和支撑体系组成，和桁架桥十分相似。不过屋盖结构中桁架榀数多，水平支撑架只需设在一部分桁架之间，未设支撑的开间则用纵向构件相联系。图 1-10 给出单层房屋结构组成的示意图。纵向构件包括有设置在两侧的纵向支撑架，使在屋架上弦平面内形成刚性片体，以加强空间作用。如图所示，框架柱列也要适当布置支撑，以保证纵向稳定性和刚度要求。结构的横向性能则由框架的抗侧移刚度提供。

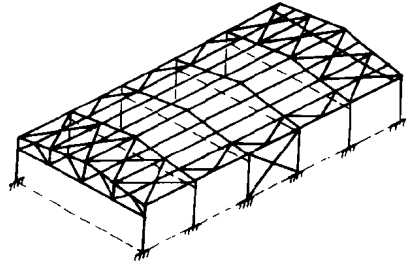


图 1-10 单层房屋结构的组成

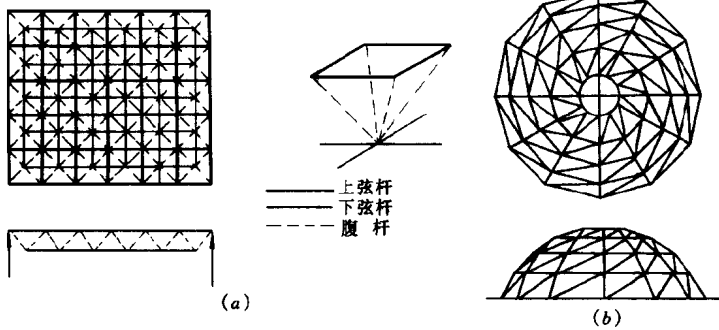


图 1-11 空间屋盖结构

在平面体系继续应用的同时，空间体系已在大跨度房中蓬勃发展。平板网架是我国用得较早而又较多的空间屋盖结构体系。它的特点是把屋面荷载双向或三向传递，减少甚至省去辅助性的支撑结构，从而使钢材利用得更为有效。图 1-11 (a) 的平板网架由许多倒置的四角锥组成，所有构件都是主要承重体系的部件，完全没有附加的支撑。图 1-11 (b) 穹顶结构是另一种空间结构形式，适合于平面为圆形或正多边形的建筑物。悬索屋盖结构则可以适应各种不同的建筑平面。

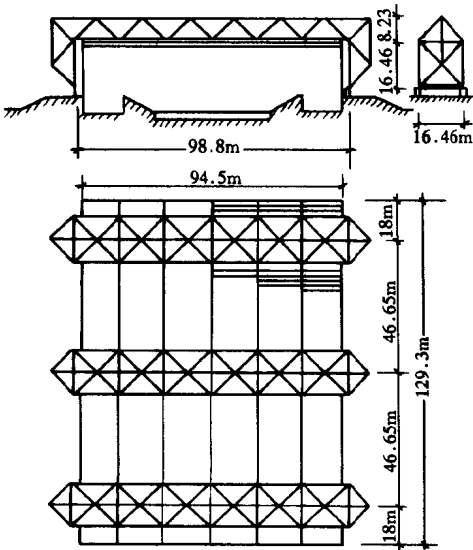


图 1-12 空间框架体系

大跨度的框架也可做成空间体系。如图 1-12 所示的一座体育馆，采用了三个大型空间框架。每个框架都是几何不可变体系，不需要设置支

撑。屋面结构悬吊在三榀框架的下弦之间。

1.3.2 高耸结构

高层房屋结构当两个方向的梁都和柱刚性连接而形成空间刚架，可以无需设置支撑（图 1-13a）。但是，高耸结构不同于跨越结构的一个重要特点是，水平荷载（风力、地震的水平作用）可能居于主导地位。刚架以其构件的抗弯和抗剪来抵抗水平荷载，侧移变形比较大，对 20 层以上的楼房就显得刚度不足，需要借助于支撑或剪力墙（图 1-13b、c）。如果房屋平面为狭长形，则可以仅在窄的一边设置支撑。高度很大而两个方向都需要支撑或剪力墙时可以做成竖筒。图 1-13（d）是重型支撑组成的外筒，适合于 100 层左右的房屋。这种结构方案已经像是一座塔架了。

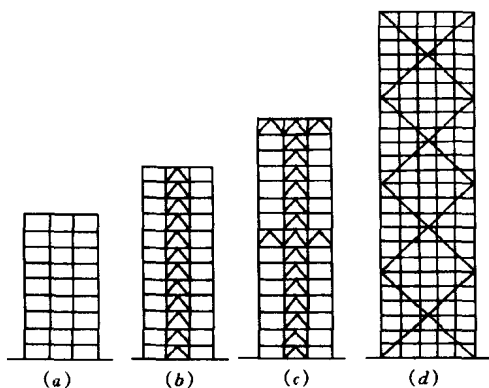


图 1-13 高层房屋结构

图 1-14 给出一个横截面为正六边形的塔架，它本身就是一座空间桁架。为了保证横截面的几何不变性，需要适当设置横隔。除了顶面和塔柱倾角改变处必须设置外，每隔一定高度还应设置。

桅杆属于用纤绳抵抗水平作用和保持稳定的结构，见图 1-15。纤绳层数随桅杆高度而定，矮者 2-3 层，高者 5-6 层。纤绳是柔性构件，安装时必须赋予一定的预拉力。预拉力的大小根据整体稳定和刚度要求计算确定。

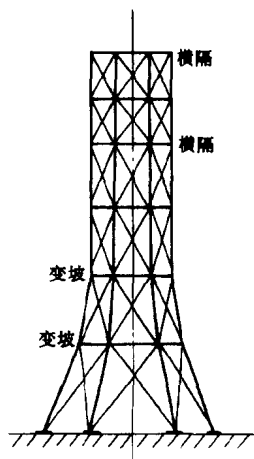


图 1-14 塔架结构

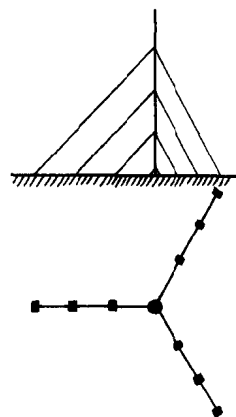


图 1-15 桅杆结构