

高等学校推荐教材



钢结构

(第二版)

西安冶金建筑学院 编
陈绍蕃 主编

● 中国建筑工业出版社



高等学校推荐教材

钢 结 构

(第 二 版)

西安冶金建筑学院 编

陈绍蕃 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书为高等学校工业与民用建筑专业的教材,经高等学校建筑工程学科专业指导委员会讨论作为推荐教材出版。书中内容根据《钢结构设计规范》(GBJ17-88)和本学科领域的新发展在1938年第一版的基础上修订而成,既着重论述钢结构的基本性能,也注意介绍有关钢结构实际设计的基本知识。

全书分为七章,其中前三章分别为概述、材料和连接,第四至六章为几类基本构件,第七章为桁架及屋盖结构,书中编入了较多例题及比较完整的吊车梁和屋架算例。

本书也可供从事土建工程的技术人员参考。

参加本教材的编写人有:陈绍蕃、永毓栋、蒋焕南、陈骥、郭在田。

高等学校推荐教材

钢 结 构

(第二版)

西安冶金建筑学院 编

陈绍蕃 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

北京市兴顺印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:19³/₄ 插页:1 字数:478千字

1994年6月第二版 1998年6月第六次印刷

印数:65,351—70,850册 定价:16.50元

ISBN7-112-02180-4

TU·1672 (7200)

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)

再 版 序 言

为了适应教育工作面向现代化，面向世界和面向未来的要求和有关国家标准修订的新情况，本书第二版在以下方面作了一些更新修改。

1. 鉴于极限状态的设计方法已经成为钢结构设计的基础，有关极限状态的论述应该注意全面性，并阐明钢结构极限状态的特点。例如，钢结构的扭转在第一版中只是作为受弯构件整体稳定的预备知识来讲，这次则加以全面论述，指出开口薄壁构件不适于抗扭。

2. 稳定问题是钢结构极其重要的极限状态。在第一版中对各类稳定问题都已作为重点来论述。这次修改主要是加强稳定设计的概念使学者能够对稳定问题完整地理解，而不是局限于稳定计算。如保证梁整体稳定的支座构造，变截面对梁整体稳定的不利效应，压弯构件计算长度系数的适用条件等，都是稳定设计的基本知识。在加强稳定概念的同时，对一些稳定计算理论加以删减，以避免教材篇幅过大，并且和《结构稳定理论》选修课的内容重复。

3. 《钢结构设计规范GBJ17-88》增加了塑性设计一章。目前这种设计方法虽然尚未普遍采用，还是有必要在教科书中写一些有关的基本知识，如采用适宜的钢材并更严格地限制板件宽厚比，以保证塑性铰能够实现并具有一定转动能力。

4. 1988年以来国家颁布了新的《碳素结构钢》和《低合金结构钢》标准和《焊缝符号表示法》标准。虽然《钢结构设计规范》有关内容还未作相应修改，教材还是应该符合新的钢材标准，由此产生的矛盾只不过是暂时的。

5. 本书第一版付印时GBJ17-88规范还未正式出版，以致书中有些内容和规范正式文本略有出入，这次都作了订正。

此外，在教学过程中还发现少量不足之处，也作了修改。

本书被选定为全国推荐教材并加以修改后，承同济大学欧阳可庆教授详细审阅，并提出不少中肯的修改意见，谨在此表示谢意。

编 者

1993年1月

前 言

为了配合钢结构设计规范的修订和学科领域的新发展，更新教学内容，我们编写了这本教材。本书着重论述钢结构的基本性能，尽可能以比较简明的方式阐明新规范主要内容的依据。同时，也注意介绍有关钢结构实际设计的基本知识。书中编入了较多的例题、习题，还有吊车梁及屋架的比较完整的算例，以期读者能够把理论和实际互相结合，通过理论学习和课程设计的实践，获得钢结构设计的初步能力。

本书适用于60~70学时数，共分为七章，即：概述、材料、连接、轴心受力构件、受弯构件、压弯构件、桁架与屋盖结构。考虑到学时数有限而没有编入厂房结构。然而，由于在第一章中加强了“钢结构组成”，第七章包括屋盖结构，读者仍然可以获得关于整个结构的一些基本知识。此外，还在第六、七章中阐述了单层和多层框架柱的计算长度及柱与横梁或与屋架的连接等内容，也使眼界由单个构件扩展到构件之间的相互关系。为了适应不同学时和不同程度、不同要求的学员学习，本书编入一部分比较深入的内容，标以※号，可以自由选读。

本书第一稿曾经由西安冶金建筑学院铅印出版并在这所学院和其它一些院校教学中使用过。湖南大学、武汉工业大学和华东交通大学等学校在使用后提出了不少改进意见。嗣后又经建筑结构类专业教材编审委员会延请同行专家审查，提出许多宝贵意见。所有这些意见都对提高本书的质量有很大帮助，谨志衷心的感谢！虽然在这次出版前做了修改，书中难免还存在不少缺点和问题。希望读者发现后能够告诉我们，以便今后改进。

参加本书编写的人员有：陈绍蕃（主编及第一章），永毓栋（第二章及第七章），蒋焕南（第三章），陈骥（第四章及第六章），郭在田（第五章）。

目 录

第一章 概述	1
第一节 钢结构的特点和应用	1
第二节 钢结构的组成	4
第三节 钢结构的计算方法	8
第四节 钢结构的发展	16
第二章 钢结构的材料	19
第一节 对钢结构所用钢材的要求	19
第二节 钢材的主要性能	19
第三节 钢材性能的成因和影响钢材性能的因素	23
第四节 钢材的疲劳	27
第五节 脆性断裂	33
第六节 钢种钢号及钢材的选择	34
第三章 钢结构的连接	39
第一节 钢结构的连接方法	39
第二节 焊缝连接的特性	40
第三节 对接焊缝的构造和计算	47
第四节 角焊缝的构造和计算	50
第五节 焊接残余应力和焊接残余变形	62
第六节 普通螺栓连接的构造和计算	67
第七节 高强度螺栓连接的性能和计算	78
第八节 连接细部的疲劳强度	86
第四章 轴心受力构件	93
第一节 轴心受力构件的应用和截面形式	93
第二节 轴心受拉构件的受力性能和计算	94
第三节 轴心受压构件的受力性能和整体稳定计算	95
第四节 轴心受压构件的局部稳定计算	112
第五节 实腹式轴心压杆的截面设计	117
第六节 格构式轴心压杆设计	121
*第七节 冷弯薄壁型钢轴心压杆计算	126
第八节 柱头的构造设计	131
第九节 柱脚设计	132
第五章 受弯构件	139
第一节 梁的类型和应用	139
第二节 梁的正应力和剪应力	141
第三节 梁的扭转	144
第四节 梁的整体稳定	148

第五节	型钢梁的设计	155
第六节	焊接梁的截面设计	160
第七节	梁截面沿长度的变化	166
第八节	焊接梁翼缘焊缝的计算	170
第九节	梁的局部稳定	172
第十节	梁腹板加劲肋的设计	179
第十一节	梁的拼接	189
第十二节	主次梁的相互连接	193
第十三节	吊车梁的设计特点	196
第六章	拉弯和压弯构件	207
第一节	拉弯和压弯构件的应用以及它们的破坏形式	207
第二节	拉弯和压弯构件的强度计算	208
第三节	压弯构件在弯矩作用平面内的稳定计算	211
第四节	压弯构件在弯矩作用平面外的稳定计算	219
第五节	压弯构件的计算长度	226
第六节	压弯构件的板件稳定	231
第七节	格构式压弯构件的计算	234
第八节	单层和多层框架的梁柱连接	237
第九节	柱脚设计	239
第七章	桁架及屋盖结构	246
第一节	桁架外形及腹杆形式	246
第二节	屋盖支撑	249
第三节	檩条及压型板的设计	254
第四节	桁架的杆件设计	260
第五节	桁架节点的设计	272
第六节	桁架的施工图	281
*第七节	轻型钢屋架设计特点	282
附录		286
附表 1	普通工字钢	286
附表 2	普通槽钢	287
附表 3	等肢角钢	288
附表 4	不等肢角钢	290
附表 5	各种截面回转半径的近似值	292
附表 6	普通螺栓规格	293
附表 7	锚栓规格	293
附表 8	角钢上螺栓或铆钉线距	293
附表 9.1~9.2	钢材的化学成分、钢材机械性能	294
附表 10	3号钢钢材分组尺寸	294
附表 11	钢材的强度设计值	295
附表 12	焊缝的强度设计值	295
附表 13	螺栓连接的强度设计值	295
附表 14	工字形截面简支梁的等效弯矩系数 β_b	296

附表15 轧制普通工字钢简支梁的 φ_b 值	297
附表16.1~16.6 轴心受压构件的稳定系数	297~300
附表17.1~17.4 框架柱的计算长度系数	300~302
附表18 疲劳计算的构件和连接分类	303
附表19 法定计量单位与非法定计量单位换算关系	304
参考文献	305

第一章 概 述

第一节 钢结构的特点和应用

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。和其它材料的结构相比，钢结构有如下一些特点：

(1) 材料的强度高，塑性和韧性好。

钢材和其它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的特点。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。

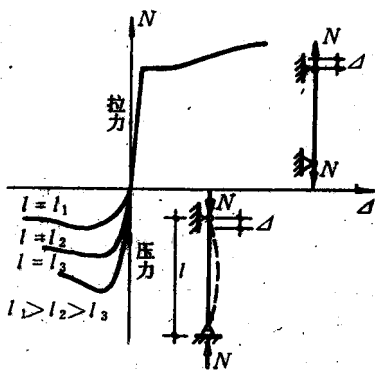


图 1-1 钢拉杆和压杆性能比较

(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，可以采用安设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。这在钢筋混凝土屋盖结构中是不会出现的。

(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。这使维护费用比钢筋混凝土结构高。不过在无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。近年来出现的耐大气腐蚀的钢材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。

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，还受到国民经济具体发展情况的制约。解放以来，我国的钢产量有很大发展，1949年全国钢产量只有十几万吨，1992年年产量已达到8000万吨。但是我国社会主义现代化建设规模宏大，用钢量与日俱增。所以，供需相比之下钢材仍然是比较短缺的。为了早日实现农业、工业、国防和科学技术的现代化，一方面要根据钢结构的特点，充分利用它为现代化建设服务，另一方面也要注意节约钢材。凡能用其它建筑材料合理进行建设的工程，就不要用钢结构。这就是说，决定是否采用钢结构时要有全局观点。

当前钢结构的适用范围，就民用建筑和工业企业范围来说，大致如下：

(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结构特别突出。我国人民大会堂的钢屋架、北京和上海等地体育馆的悬索结构和钢网架、陕西秦始皇墓陶俑陈列馆的三铰拱架（图1-2）都是大跨度屋盖的具体例子。大型体育馆屋盖结构的跨度已达110m。在工业建筑中，大跨屋盖结构不断增多，除飞机装配车间（跨度一般在60m以上）外，化肥厂有跨度50~60m的散装仓库，电机工业有跨度约50m、高度约40m的大型试验室。今后随着现代化建设的进展，将会不断出现更多的大跨度结构。

(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100吨以上，有的达到440吨），有的作业也经常繁重（24小时运转）。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。图1-3和1-4是两个厂房钢结构的例子。另外，有强烈辐射热的车间，也经常采用钢结构。

(3) 受动力荷载影响的结构。

由于钢材具有良好的韧性，设有较大锻锤或产生动力作用等其它设备的厂房，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

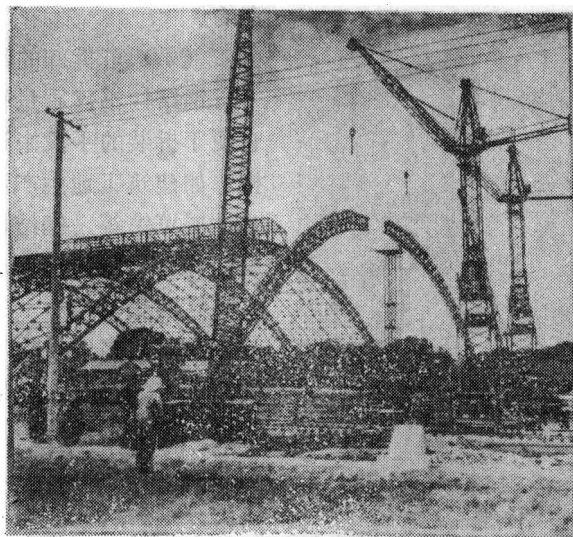


图 1-2 钢拱架

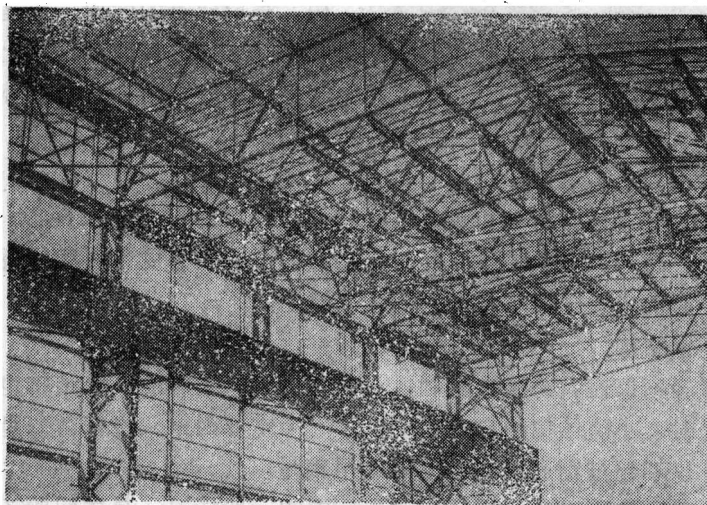


图 1-3 厂房钢结构

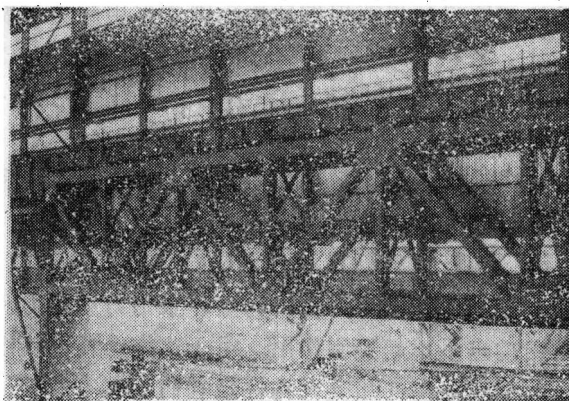


图 1-4 重型桁架式吊车梁

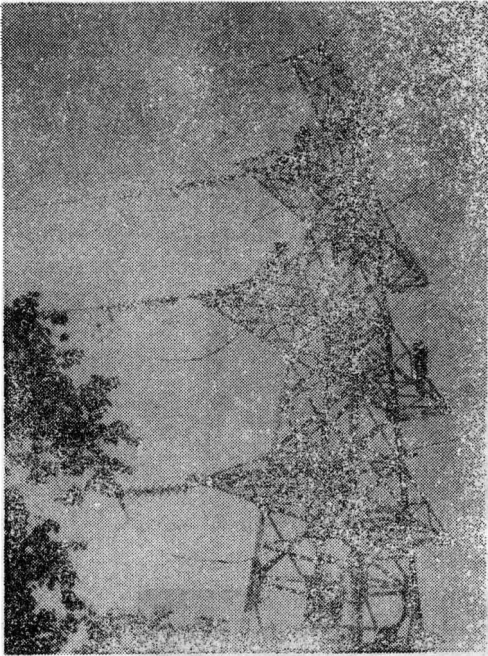


图 1-5 塔架结构

宜的。

(4) 可拆卸的结构。

钢结构不仅质量轻，还可以用螺栓或其它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。

(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（图1-5）、广播和电视发射用的塔架和桅杆等。广州和上海的电视塔高度分别为200和205米。1977年建成的北京环境气象塔高325米，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，目前北京和上海等地已在兴建30至50层的宾馆、贸易中心一类的钢结构房屋。

(6) 容器和其它构筑物。

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它钢构筑物。

(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。

以上指出的是除桥梁以外的钢结构适用范围的一般情况，具体问题还要结合具体条件分析确定。例如，急需早日交付使用的重点工程，可以适当放宽钢结构的应用范围以争取时间。在有侵蚀性介质的环境里如果要用钢结构，则应采用耐大气腐蚀的钢种。

第二节 钢结构的组成

钢结构的应用范围很广，组成形式多种多样。这里仅结合单层和多层房屋对结构组成原则作一些分析。

1. 单层房屋钢结构

单层房屋钢结构的特点是荷载以重力作用为主，水平力如风力和吊车制动力一般属于次要荷载，地震荷载对结构也多不起控制作用。对于这类结构，传统的做法是形成一系列竖向的平面承重结构，并用纵向构件和支撑构件把它们联成空间整体。这些构件也同时起承受和传递纵向水平荷载的作用。

平面承重结构为了能承受一定的横向水平荷载并具有必要的抗横向位移的刚度，往往做成框架和拱。图1-6为几种框架和拱的结构形式。框架和拱都可以作成三铰、两铰或无铰的。它们的构件可以是实腹式、格构式或实腹和格构混合式。

图1-7为平面承重结构用支撑和纵向构件联成空间整体的示意图，还表示了作用在山墙上风力的传递情况。山墙风力的上面一半先通过墙架柱传到屋架上弦平面的支撑，然后经过屋檐处的檩条或撑杆传到柱间支撑，最后传到基础。实际上在框架跨度或间距比较大，或荷载比较大的房屋结构中，还设置有一些其它支撑（参看第七章），这里从略。

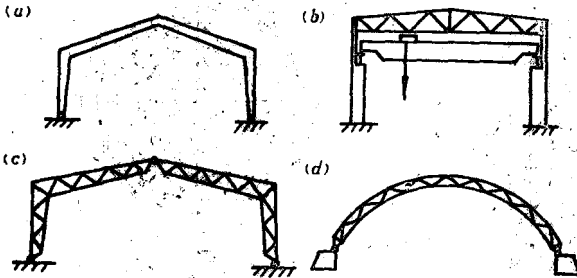


图 1-6 平面承重结构的几种形式

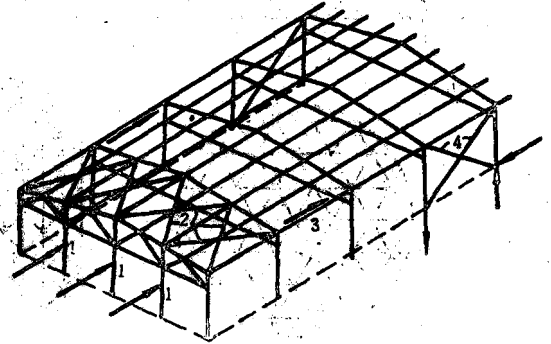


图 1-7 结构的空间整体

1—墙架柱；2—上弦支撑；3—檐口檩条；
4—柱间支撑

上图屋盖所承受的重力荷载，都通过相互平行的屋架传到两纵列柱上。当建筑物的长度和宽度比较接近，或平面呈圆形，则可把荷载传到四周柱上，形成双向或三向传力的空间结构体系。图1-8a和b表示出两种双层平板网架，其中图a由倒置四角锥组成，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b则由三个方向交叉的桁架组成，也没有支撑杆。在这些网架中，作用在上弦节点的荷载向两个或三个方向传力，构件的内力和截面都较小，从而节省材料。满足刚度要求所需要的高度也比单向传力时的桁架小，可以减少建筑物的墙体和采暖空间。图1-8c也是三向传力的空间屋盖结构，其中倾斜于房屋纵轴的杆件组成斜拱，而和纵轴平行的构件则是直的。结构可以是单层或双层的。这种结构称为网状筒拱，过去也叫联方网架。当建筑物的长度和宽度相差悬殊时，直接用网架双向传力有困难。这时，可以用梁(桁架)把建筑物的平面分割成几个接近正方形的部几，然后布置网架。平板网架是近年来发展很快的一种结构形式。跨长110m的上海体育馆和跨长91m的辽宁体育馆网架都采用了图1-8b的形式；杭州歌剧院和上海师范学院球类房的网架都采用了图1-8a的形式。

穹顶(圆屋顶)结构是适合于平面为圆形或正多边形的一种空间结构形式。穹顶结构的组成方案很多，图1-9所示属于肋环式的构造，辐射方向的构件起拱肋的作用，是主要承重构件，另外还有环形构件和斜撑。环形构件在屋盖布满荷载时会出现环拉力，因此可以对拱肋起拉条作用，使拱肋的截面减小。穹顶结构也可以作成网架式，例如平面呈图1-8b的形状。穹顶结构从受力来说比平板网架合理，但它使建筑空间增大，屋面消耗的材料也增多。

采用高强度的钢丝束或钢丝绳作成屋盖结构，是最省钢材的结构型式，因为它不仅所用材料强度高，而且主要承重构件受拉。图1-10为两种悬索屋盖结构的示意图，其中图a是

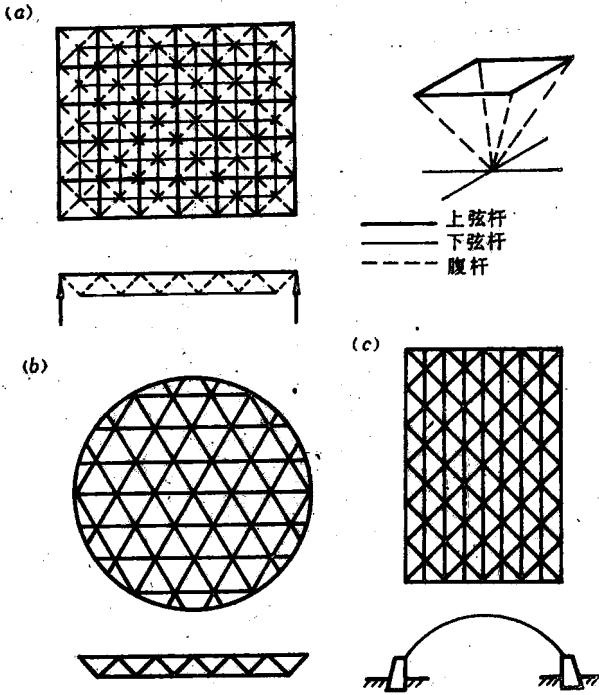


图 1-8 平板网架和网状筒拱

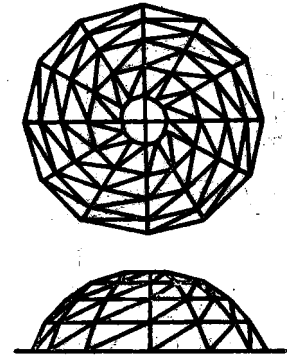


图 1-9 穹顶结构

北京工人体育馆用的双层圆形悬索屋盖结构，上下两层索都是辐射状，锚固在钢筋混凝土外环和位于屋盖中心的钢内环上。下索是主要承重索，上索除直接承受屋面荷载外，还可以承受风吸力。上索必须事先张紧，即施加一定的预拉力，以增强屋盖结构的刚度和稳定性，并避免因其垂度过大而影响排水。图 b 的悬索沿两个相互垂直的方向张拉，屋面呈马鞍形，在平面图中平行于 x 轴的索向下凹，是主要承重索；平行于 y 轴的索向上凸，称为稳定索。整个索网也要施加一点预拉力。这样，稳定索除保证屋盖结构的刚度和稳定性外，还可以起分布局部荷载的作用。钢索两端锚固在两个斜放的钢筋混凝土落地拱上。拱把钢索的拉力大部分直接传到基础，拱下面的支柱（图中未画出）承受的荷载不大。浙江人民体育馆平面为椭圆形（ $80 \times 60\text{m}$ ）的屋盖结构采用了和图 b 类似的双向交叉索网结构，不过钢索锚固在支于钢筋混凝土柱的空间曲梁上。用悬索结构作屋盖，可以适应于各种建筑平面图形，并组成多种多样的空间曲面，这是它的又一特点。

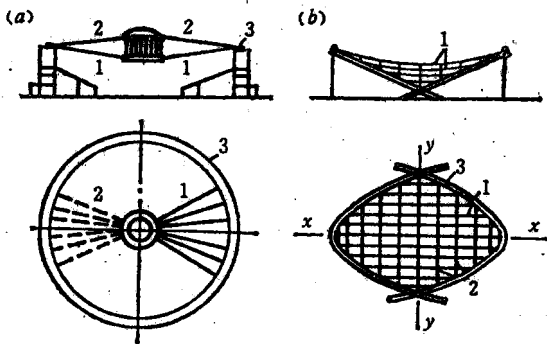


图 1-10 悬索屋盖结构

1—承重索；2—稳定索；3—锚固钢索的边缘构件

用悬索结构作屋盖，可以适应于各种建筑平面图形，并组成多种多样的空间曲面，这是它的又一特点。

2. 多层房屋钢结构

和单层房屋相反，多层房屋钢结构所承受的风荷载（和地震荷载）随房屋高度的增大而变得越来越重要。因此，对多层房屋结构来说，如何有效地承受水平力是考虑结构组成的一个重要问题。在风力作用下，不仅应该有足够的承载能力，还应该有足够的刚度，使顶上几层不至有过大的摆动，给人们以不适的感觉。

多层房屋钢结构的组成有以下几种主要体系：

（1）刚架结构 以梁和柱组成多层多跨刚架来承受水平荷载，如图1-11 a。这种结构在水平荷载作用下既有作为悬臂梁的整体侧向位移，又有层间剪力引起的位移，所以变形比较大。它的适用范围不超过20~30层。梁和柱之间应作成刚性连接。层数不超过10~15时，也可考虑用半刚性连接。

（2）带撑结构 在两列柱之间设置斜撑，形成竖向悬臂桁架，如图1-11 b，承受水平荷载的能力要比刚架结构为高。这种结构适用于20~45层，它的梁和柱之间可以作成柔性连接，半刚性连接或刚性连接。为了增强抵抗侧向变形的刚度，可以如图1-11 c 所示在一、两个层间布满支撑。这时，两边列柱也参与支撑体系一起抵抗水平力，结构的适用范围可以提高到60层。

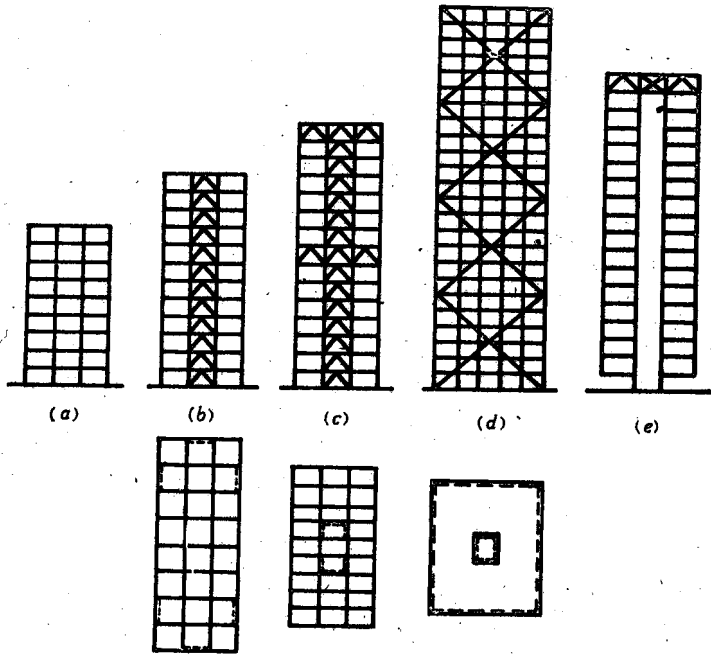


图 1-11 多层房屋钢结构

显然，支撑应该在两个互相垂直的竖平面内设置。支撑也可以有效地用钢筋混凝土剪力墙或钢剪力墙代替。

（3）筒式结构 60层以上的房屋采用筒式结构比较经济。图1-11 d 所示的结构，房屋周围四个面都组成桁架，成为刚度很大的空间桁架体系。这种结构已经有效地用于110层的高耸房屋。筒式结构也可以不设置斜撑，而在周围四个面中把柱子排列较密，形成空间刚架式筒体。它可以用到80层高度。

筒式结构内部还可以利用电梯井作成内筒，和外筒共同承受水平力，中间其它柱子则只承受竖向荷载。

(4) 悬挂结构 这种体系利用位于房屋中心的内筒承受全部重力和水平荷载，如图 1-11 e。内筒用钢筋混凝土或钢和钢筋混凝土组合结构，采用滑模施工。筒顶有悬伸的桁架，楼板都用高强钢材的拉杆挂在桁架上。内筒完工后可以用来吊装钢结构，整个工程工期较短。

通过以上对房屋钢结构组成的简要分析可以看到，结构必须形成空间整体，能够有效而经济地承受荷载，具有较高的强度、稳定性和刚度。如果主要承重构件本身已经形成空间整体，不需要附加支撑，可以得到十分有效的组成方案。结构方案的适宜性和施工及材料供应条件也有很大关系。在实际工程中要结合具体条件灵活运用上述基本型式。例如，在多层房屋结构中刚架结构和带撑结构可以配合使用。可在一个方向组成刚架体系，而在垂直于它的方向则组成带撑体系；也可以在下部设置支撑而在上部作成刚架。

第三节 钢结构的计算方法

1. 概率极限状态设计法

钢结构设计的基本原则是要做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。因此，结构设计要解决的根本问题是在结构的可靠和经济之间选择一种最佳的平衡，使由最经济的途径建成的结构能以适当的可靠度满足各种预定的功能要求。结构的可靠性理论近年来得到了迅速的发展，结构设计已经摆脱传统的定值设计方法，进入以概率理论为基础的极限状态设计方法，简称概率极限状态设计法。

在简单的设计场合，以 R 代表结构的抗力， S 代表荷载对结构的综合效应，那么

$$Z = R - S$$

就是结构的功能函数。这一函数为正值时结构可以满足功能要求，为负值时则不能。这就是说

$$Z = R - S \begin{cases} > 0 \text{ 结构处于可靠状态} & (1-1a) \\ = 0 \text{ 结构达到极限状态} & (1-1b) \\ < 0 \text{ 结构处于失效状态} & (1-1c) \end{cases}$$

传统的定值设计法认为 R 和 S 都是确定性的变量。因此，结构只要按式 (1-1a, b) 的条件设计，并赋予一定的安全系数，结构就是绝对安全的。事实并不是这样，结构失效的事例还时有所闻。因为 R 和 S 受到许多随机性因素的影响而具有不定性， $Z = R - S > 0$ 并不是必然性的事件。例如，国家标准规定 Q235 钢的屈服点不低于 235 N/mm²。实际钢材的屈服点大多高于此值，高出程度不等。不过，也确实有少量钢材没有达到国家标准的要求。因此，用概率来度量结构的可靠性，才是科学的方法。

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，若以 p_r 表示结构的可靠度，则上述定义可表达为：

$$p_r = P(Z \geq 0) \quad (1-2a)$$

结构的失效概率记为 p_f ，则有

$$p_f = P(Z < 0) \quad (1-2b)$$

并且

$$p_r = 1 - p_f$$

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 p_f 小到可以接受的程度，但并不意味着结构绝对可靠。

结构必须满足的功能有：

(1) 能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用，包括荷载和温度变化、基础不均匀沉降以及地震作用等；

(2) 在正常使用时具有良好的工作性能；

(3) 在正常维护下具有足够的耐久性能；

(4) 在偶然事件发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性。

当结构或其组成部分超过某一特定状态就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**，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。

对于钢结构来说，以上几种情况都有可能遇到。和其他材料制成的结构类似，确定构件的截面尺寸时经常要考虑强度要求，但是，由于钢材的强度高而截面积小，稳定问题对钢结构特别重要。压杆的截面尺寸一般由稳定要求而不是强度来确定。不仅构件有可能失稳、整体结构和组成构件的板件也都有可能失稳，不过板件局部失稳时构件并不总是达到承载能力的极限状态。构件丧失稳定和强度破坏有本质的区别：后者是由个别截面承载力不足造成的，而前者则取决于整个构件的刚度。

很多钢构件用来承受多次重复作用的行动荷载，设计这类构件时疲劳破坏是必须考虑的因素之一，最好能够做到使疲劳破坏不至成为确定截面尺寸的决定性因素，以免多消耗钢材。

由于钢材具有良好的塑性，超静定的钢梁和钢框架可以利用这种可贵的性能进行塑性设计，即以出现若干塑性铰后形成机动体系作为极限状态。为了实现这一目的，设计中应该保证塑性铰的转动能力和构件不至出平面失稳。充分的转动能力要求钢材具有较高的屈服后强度，并且板件不至因进入塑性而失稳。静定的简支梁在出现一个塑性铰时转变为机动体系，但不能以此作为承载能力的极限状态，因为有些简支梁具有常值的纯弯曲区段，当塑性在这一区段发展到一定程度时，梁就因出现过度的塑性变形而不能继续承载。因此，简支梁以部分塑性而不是全截面塑性作为承载能力的极限状态。

(2) **正常使用极限状态**，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，出现影响正常使用的振动以及影响正常使用或耐久性的局部破坏。

2. 结构构件的可靠指标

结构的可靠度通常受各种荷载、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，可以归并为上面所说的两个基本变量，即荷载效应 S 和结构抗力 R ，并设这二者都服从正态分布。这样 $Z = R - S$ 也是正态随机变量。以 μ 代表平均值，以 σ 代表标准差，则根据平均值和标准差的性质