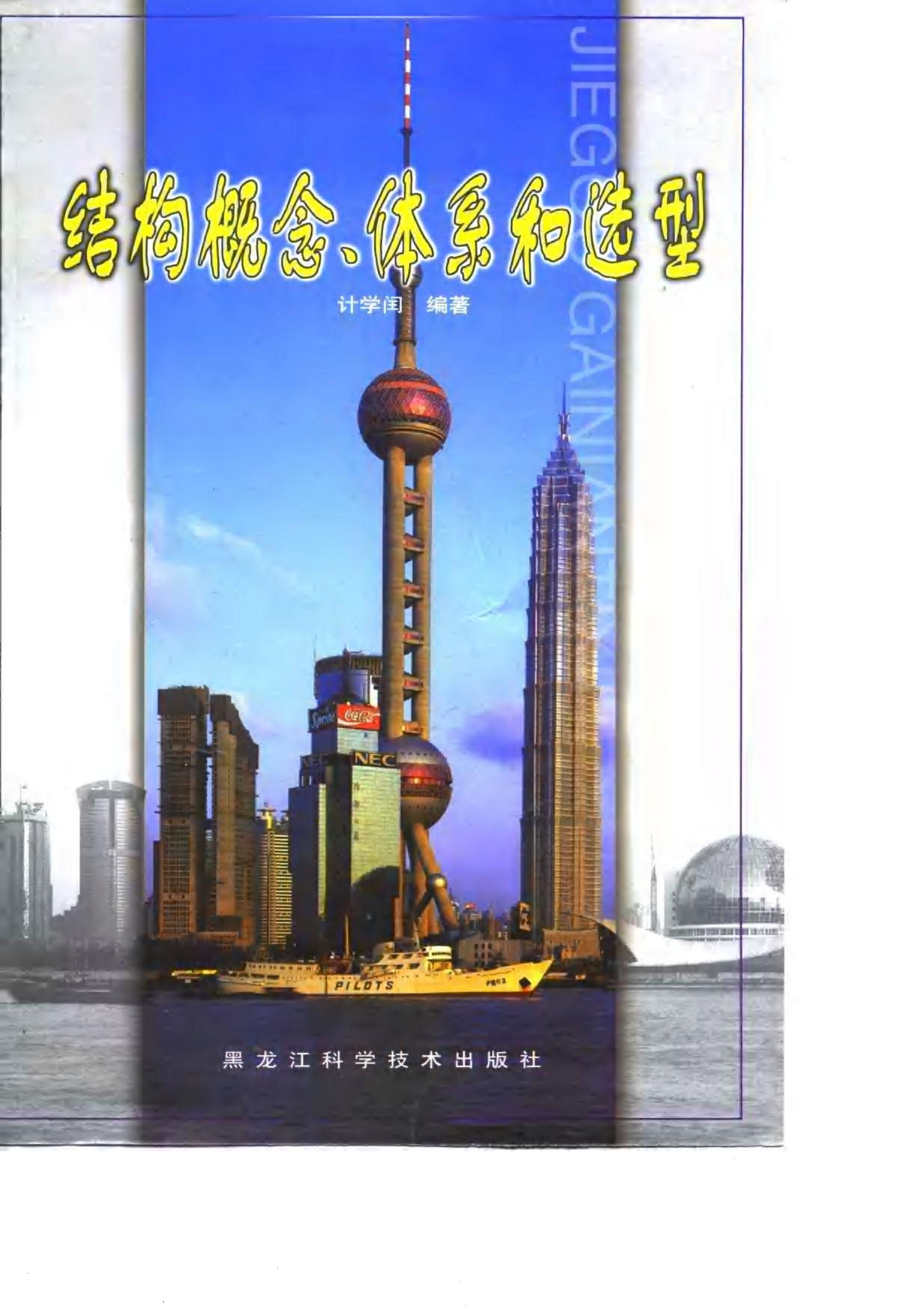


结构概念、体系和选型

计学闰 编著



黑龙江科学技术出版社

结构概念、体系和选型

计学闰 编著

722.9

北方交通大学

藏 书

图书馆

黑龙江科学技术出版社

中国 哈尔滨

责任编辑 徐晓飞
封面设计 龙 岩
版式设计 关士军

结构概念、体系和选型

JIEGOU GAINIAN TIXI HE XUANXING

计学闰 编著

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话 (0451)3642106 电传 3642143(发行部)

印 刷 黑龙江新华印刷厂

发 行 全国新华书店

开 本 787×1092 1/16

印 张 8.5

字 数 180 000

版 次 2000 年 1 月第 1 版·2000 年 1 月第 1 次印刷

印 数 1-3 000

书 号 ISBN 7-5388-3554-7/TU·280

定 价 17.00 元

前 言

随着科学技术的飞速发展,专业和学科的分工越来越来细,这对科学技术的发展是必要的。然而,本人在多年的教学工作中发现,过细的分工有时也带来一些弊病,如使专业之间的联系减少了,使学生的知识面变窄。有的学生虽能求解比较复杂的力学习题,却不会从一个很简单的工程结构或构件中抽象出计算简图;不少建筑工程专业的学生能够设计高层建筑结构,但对一些最基本的结构概念理解不深,或平时重视构件的设计计算,而对结构体系的构成及其重要性认识不足;建筑学专业学生不重视结构概念,不会分析结构体系受力状态的现象十分普遍。然而,作为一名合格的建筑师应在设计的最初阶段做出结构决定,对结构做出定性分析,并能够较快地做出近似的定量判断。一栋优秀的建筑必然是建筑、结构、设备等各专业密切配合、创造性合作的成果。这就要求建筑师、结构工程师、设备工程师能深刻理解建筑空间形式、结构体系和环境保障系统间的相互关系、研讨它们之间可能出现的矛盾,以使建筑、结构、环境达到完美统一。

本书是根据本人近年来为我校学生开设的选修课《结构概念与体系》的讲稿进行整理和补充编写而成的。第一章强调一些最最基本的结构概念,以便把它们应用到以后各章的结构分析中去;同时,用最基本的力学知识和结构概念,结合实例分析几个简单的结构形式,力求深入浅出,使读者能准确理解这些结构概念,逐步提高分析问题和解决问题的能力。第二章主要讨论在建筑设计方案阶段要首先考虑的结构总体问题,包括总荷重的估算、房屋总体高宽比和结构抗倾覆问题,以及结构总体系的构成等,目的在于确定总体结构方案的可行性。第三章和第四章分别讨论了结构水平体系和结构竖向体系的受力特点、变形性质以及它们的共性,列举了各种常见的结构形式,分析了提高高层建筑结构抗侧移能力的各种措施,以进一步加深对基本结构概念的认识和体会。第五章以工程实例分析了结构总体系的构成和在各种荷载作用下结构体系内各构件的受力状态,进一步强调结构体系的概念及其在房屋设计中的重要性。

本书可作为建筑学专业学生学习结构概念、体系和选型的教材,也可作为建筑工程、房地产、工程管理等专业学生的选修课教材或教学参考书。本书也可供建筑、结构设计人员和土建工程技术人员提高专业素质的学习参考。

哈尔滨建筑大学 计学闰

1999年5月

目 录

第一章 建筑设计中的结构概念	(1)
1-1 概述.....	(1)
1-2 建筑中的结构体系和其他体系(系统).....	(3)
1-3 一些重要的结构概念.....	(4)
一、基本受力状态	(4)
二、材料对结构的影响	(8)
三、关于构件尺度的概念.....	(12)
四、构件受力后的变形.....	(14)
五、预应力的概念.....	(15)
六、结构体系的概念.....	(18)
第二章 结构设计中的总体问题	(21)
2-1 概述	(21)
2-2 建筑结构上的作用力	(21)
一、竖向作用力的估算.....	(22)
二、水平作用力的估算.....	(24)
2-3 房屋的高宽比与抗倾覆问题	(27)
2-4 结构的刚度和变形	(30)
一、截面刚度.....	(30)
二、构件刚度.....	(31)
三、结构刚度.....	(32)
四、房屋高度对结构内力和变形的影响.....	(33)
五、关于房屋刚度的讨论.....	(34)
2-5 房屋不对称的影响	(37)
2-6 结构的总体估算	(38)
一、问题的简化.....	(39)
二、水平风荷引起柱附加轴力估算.....	(39)
三、风荷作用下房屋顶端侧移估算.....	(40)
四、讨论.....	(40)
2-7 结构总体系的构成	(41)
一、结构体系的平面结构.....	(41)
二、实例.....	(43)

第三章 结构的水平分体系	(46)
3-1 钢筋混凝土梁的受力状态分析	(46)
3-2 结构水平分体系的主要类型和特点	(48)
一、屋架、屋面板及支撑系统组成的水平结构体系	(48)
二、装配式梁板组成的楼盖或屋盖	(53)
三、装配整体式楼(屋)盖	(54)
四、现浇钢筋混凝土楼(屋)盖	(55)
五、网架体系	(59)
六、张拉索结构	(62)
七、拱	(68)
八、薄壳	(71)
九、大型水平构件——结构转换层	(78)
第四章 结构的竖向分体系	(81)
4-1 框架作用	(81)
一、竖向荷载作用下独立柱、排架和框架的比较	(81)
二、在柱顶水平荷载作用下独立柱、排架和框架的比较	(82)
4-2 关于“框架作用”的推理	(84)
一、增设框架内柱的影响	(84)
二、增设框架横梁的影响	(85)
三、增大框架梁、柱截面高度的影响	(87)
四、同时采用以上几种措施的讨论	(87)
4-3 结构竖向分体系的主要类型和特点	(89)
一、混合结构房屋的竖向分体系	(90)
二、排架体系	(90)
三、框架体系	(90)
四、结构墙(剪力墙)体系	(92)
五、框架-结构墙(框-剪)体系	(93)
六、筒体	(97)
七、巨型框架体系	(99)
八、巨型桁架体系	(101)
九、蒙皮结构体系	(102)
十、其他组合体系	(104)
4-4 提高高层结构体系整体承载力和抗侧移能力的有效措施	(105)
一、利用合理的体形	(105)
二、适当加强结构受力最大的部位	(107)
三、把竖向荷载集中在主要承重构件上	(108)
四、设置刚性横梁(或桁架)	(110)

4-5 未来超高层建筑结构·····	(111)
第五章 工程实例简介·····	(114)
5-1 著名高层建筑的结构体系·····	(114)
5-2 大跨体育馆的结构体系·····	(119)
一、北京石景山体育馆·····	(119)
二、哈尔滨工业大学体育馆·····	(119)
三、北京朝阳体育馆·····	(119)
四、哈尔滨速滑馆·····	(123)
主要参考文献·····	(125)

第一章 建筑设计中的结构概念

1-1 概 述

结构是建筑物的基本受力骨架。无论工业建筑、居住建筑、公共建筑或某些特种构筑物,都必须承受自重、外部荷载作用(活荷载、风荷载、雪荷载和地震作用等)、变形作用(温度变化引起的变形、地基沉降、结构材料的收缩和徐变变形等)以及环境作用(阳光、雷雨和大气污染作用等)。结构失效将带来生命和财产的巨大损失。因此在设计中对结构有最基本的功能要求。

对结构的基本功能要求是:可靠、适用、耐久,以及在偶然事故中,当局部结构遭到破坏后,仍能保持结构的整体稳定性。也就是说,结构在设计要求的使用期内,在各种可能出现的荷载作用下要有足够的承载能力,不产生倾覆或失稳、不产生过大的变形或裂缝,能保证结构正常使用。即使发生偶然事故,个别构件遭到破坏或结构局部受损,也不致造成结构的倾覆或倒塌,使损失控制在局部范围内。

随着科学技术的迅速发展,各类学科的分工越来越细,在土木工程专业范围内建筑力学、材料力学、建筑学、城市规划、结构、地基基础、施工组织、施工技术、房屋设备等许多学科发展都很快。各门学科都有各自的研究方向,这对学科的发展是十分重要的。然而,一栋优秀的建筑是建筑师、结构工程师、设备工程师等许多专业人员创造性合作的产物,过细的分工往往导致人们从各自的专业着眼,而不能充分地从总体方面考虑问题,有时从方案的最初阶段各专业之间就可能产生分歧。可见,各专业相互渗透、密切配合是十分重要的。

本书的目的主要是将力学、建筑和结构等方面进行一些必要的联系。建筑师应充分了解各种结构形式的基本力学特点、应用范围以及施工中必须采用的设备和技术措施,尽可能掌握一些基本的结构概念。尤其在高层建筑和大跨度建筑设计中,掌握结构概念显得尤其重要。对于结构工程师,也应具备必要的建筑设计知识,在建筑设计的方案阶段,主动考虑并建议最适宜的结构体系方案,使之与建筑功能和造型有机结合,才能使建筑结构达到完美地统一。

著名的巴黎艾菲尔铁塔(图 1-1)原设计是 1889 年巴黎博览会临时的标志性建筑,高 320 m,用钢 9 000 t,它不仅满足了展览功能,并且以其造型优美、结构合理、建筑与结构的完美统一而被世人称颂,一直保留至今。从力学方面分析,铁塔可看成是嵌固在地基上的悬臂梁,对于高耸入云的铁塔来说,风荷载将是其主要荷载。由于铁塔的总体外形与风荷引起的弯矩图十分相似,因此充分利用了塔身材料的强度和刚度,受力非常合理;塔身底部所设大拱,轻易地跨越了一个大跨度,车流、人流在塔下畅通无阻,更显铁塔的雄伟壮观。艾菲尔铁塔可谓建筑与结构完美统一的代表,人们一看到铁塔,就会想起巴黎、想

起法国；一提到法国马上会想起艾菲尔铁塔。如今，它已成为巴黎和法国的象征。可见一栋优秀的建筑在社会政治、经济和文化中所起的重大作用。

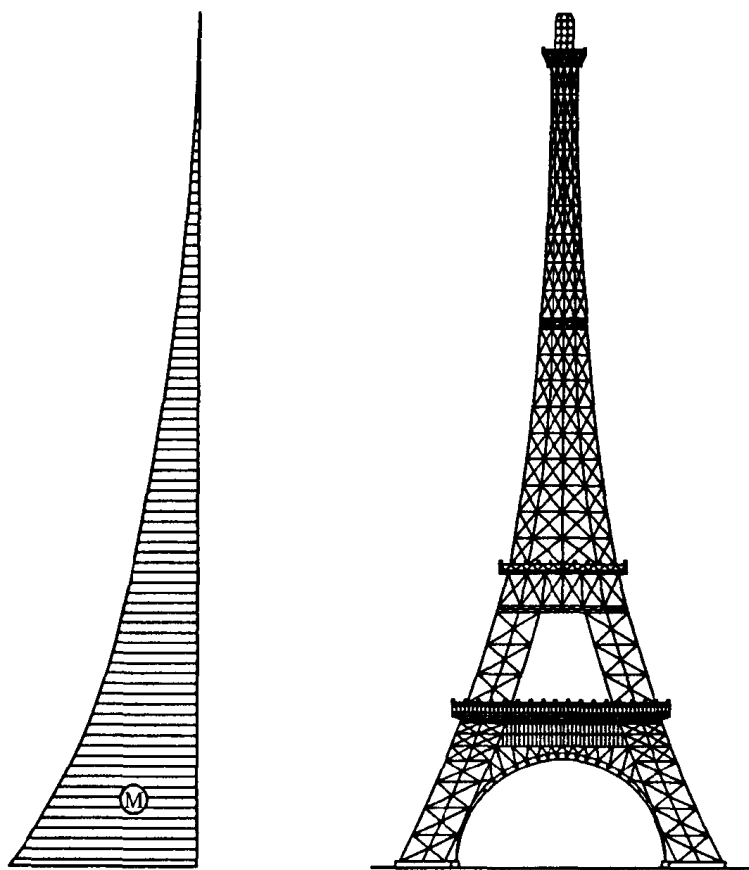


图 1-1 巴黎艾菲尔铁塔

人们在世界各地的火电厂附近常见到双曲抛物面薄壳构成的钢筋混凝土冷却塔(图 1-2),其功能是要冷却汽轮机中被加热了的冷却水。众所周知,汽轮机的效率和进汽温度与出汽温度之差有关,温差越大,效率越高,所以要用水来冷却汽轮机。冷却水被加热后,用管导送到冷却塔顶部喷洒下来,并通过滴水板尽量延长热水下落的路程,同时冷空气从冷却塔下部进入塔内,与热水进行热交换,被加热的冷空气体积膨胀,容重减轻,缓缓上升。双曲抛物面

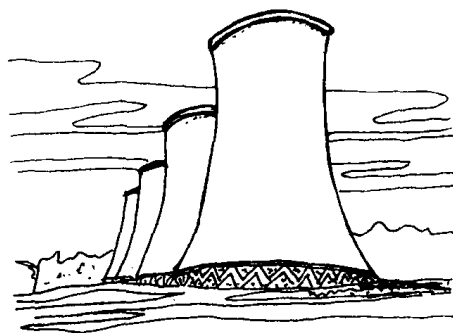


图 1-2 双曲抛物面冷却塔

冷却塔塔身中部略细,加速了空气上升速度,形成上拔力,加速空气流动。到塔身上部,上升的空气被继续加热,体积更加膨胀,此时,上部塔身略为放宽,减少了上升空气的阻力,有利于空气流动。可见,双曲抛物面薄壳冷却塔在冷却工艺上是很合理的。从结构的角度看,圆形平面与矩形平面相比风荷载可减少约 30%,塔身下部外形与风荷作用下的弯

矩图相似,逐渐加大的直径对塔身稳定性十分有利,使自上而下逐渐增大的结构自重均匀分布。采用双曲抛物面壳这种薄壁空间结构,受力合理,自重轻,不但安全可靠也经济合理。此外,双曲抛物面是一个旋转曲面,可由一根倾斜母线绕纵轴旋转而成,曲面上存在两个母线方向,即曲面上任一点都存在两根曲面上的直线,很便于施工。双曲抛物面冷却塔优美的结构形式,加上冉冉升起的水气形成地平线上一幅美丽的风景线,十分壮观。双曲抛物面冷却塔可谓建筑造型、结构形式和使用功能的完美结合,世界各地到处都可看到双曲抛物面冷却塔。可见,即使设计像冷却塔这样一种工程构筑物也要求设计者具有渊博的知识。但有时结构形式对建筑功能也会造成负面影响,例如圆形或抛物面形的屋盖结构(壳体或拱结构),若曲面的焦点位置处理不当,会形成声音聚焦。在焦点附近,强大的噪音会使人难以忍受,给使用上会带来麻烦(图1-3)。当然,改变曲率或加设吊顶,可以减少或消除这种声聚焦的现象。可见,在设计方案的阶段,应注意满足基本的建筑功能、空间形式与结构体系的协调一致性。

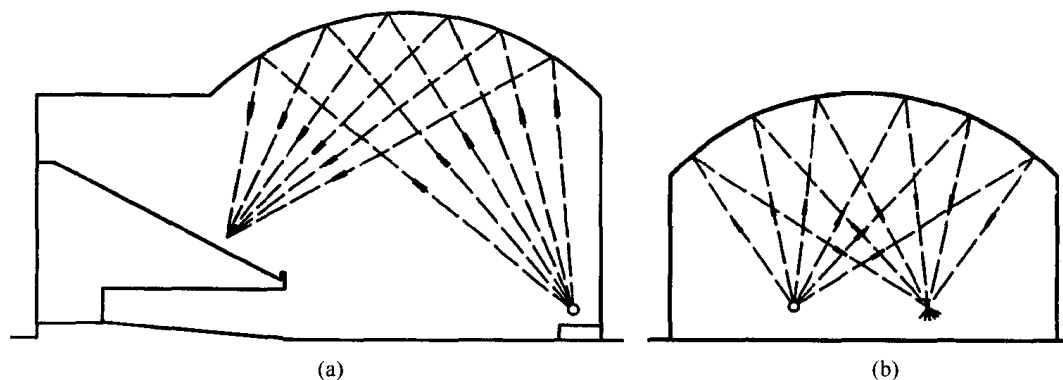


图1-3 拱形天棚的声聚焦现象

本书的目的是使读者了解作为建筑功能和形式因素的结构体系的基本类型及组成,了解和掌握建筑方案中空间形式和结构性能的相互关系,更深入地理解和体会一些重要的结构概念,学会从工程中抽象出计算简图,用近似方法快速估算和比较各种设计方案,使得在房屋设计的最初阶段就能保证建筑设计与结构设计的基本协调。

1-2 建筑中的结构体系和其他体系(系统)

建筑结构不仅是结构构件的简单组合,重要的是将各种结构构件有效地组合成结构体系,以承受各种可能的外部作用。

早期的房屋仅仅为人类提供一个挡风避雨的场所,现代建筑不仅要为人们提供有效的空间和环境,还要提供良好的设备和其他环境设施系统。通常,一幢现代建筑中的设施大致有:

水——上水系统、排水系统、消防水系统等;

暖——能源系统(煤气、燃油、蒸汽、热水)、采暖系统或空调系统等;

电——动力电系统、照明电系统、应急照明系统、电报、电传、电话、电视、信息网络系

统、信息传感系统、安全监控系统等。

这些系统既有其各自的特殊要求,又必须统一安置在房屋内部;既要保证这些设施正常有效地运行,又要满足房屋的使用功能。有时会发生一些矛盾,这就要求设计人员在建筑设计的最初阶段,协调好各个系统的基本要求。例如,设备系统往往需要竖井、通风管道,而这些竖井和通风管道难免与建筑使用功能或结构构件发生矛盾,这就需要在总体方案中给予充分考虑。一旦方案确定,已完成各专业系统的设计,再做修改就很困难了,有时会造成设计工作的大量返工。图 1-4(a)所示为锯齿形纺织厂中风道与结构构件的结合,使车间内部整齐美观。图 1-4(b)为在多层厂房中利用梁间空间作为通风和排风道,使结构系统和通风系统有机地结合在一起。

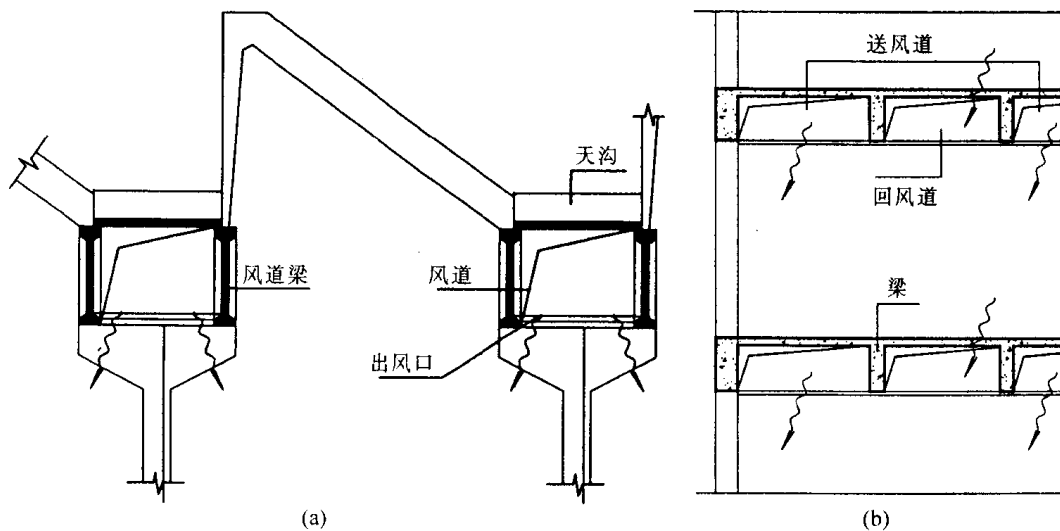


图 1-4 通风道与结构大梁的合理结合

1-3 一些重要的结构概念

“结构概念”简单地说是人们对建筑结构的一般规律及其最本质特征的认识。任何事物都有其普遍规律及其自身的特殊性,正确的结构概念使我们能深刻理解结构的受力特性,组成更有效的结构体系,使设计更加完善。

以下一些结构概念是十分重要的。

一、基本受力状态

构件的基本受力状态可以分为拉、压、弯、剪、扭 5 种,一般构件的受力状态都可分解为这几种基本受力状态;反之,由这 5 种基本受力状态,可以组合成各种复杂的受力状态。为此,加深对这 5 种基本受力状态的理解和体会是重要的(图 1-5)

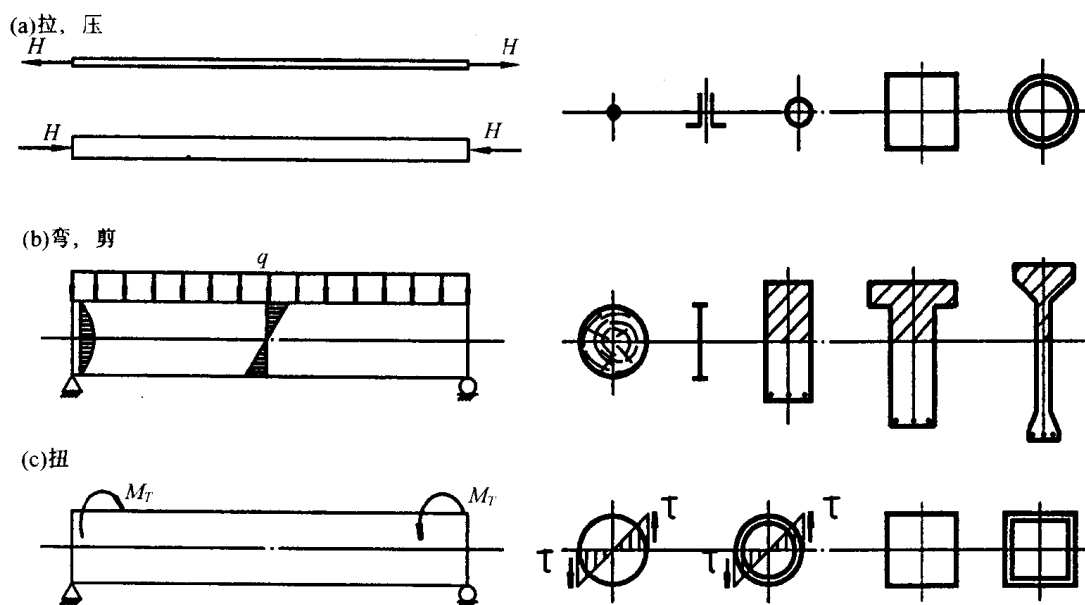


图 1-5 基本受力状态

(一)轴心受拉

轴心受拉是最简单的受力状态,不论截面形状如何,只要外力通过截面中心,截面上各点受力均匀,材料强度可以被充分利用。以有明显屈服点的钢拉杆为例,轴力作用下的应力可表达为

$$\sigma = \frac{N}{A} \leqslant f_y \quad (1-1)$$

式中 N ——轴力设计值;
 A ——拉杆截面积;
 f_y ——材料屈服强度。

上式也可写为
$$N \leqslant Af_y \quad (1-2)$$

可见,对于适合抗拉的材料(如钢材),轴心受拉是最经济合理的受力状态。

目前,我国生产的高强钢丝强度已达 1860 N/mm^2 ,1根 $7\phi 5$ 钢绞线的截面积为 139 mm^2 ,还没有手指头粗,而其最大负荷可达 259 kN 。新型碳纤维的抗拉强度更高,自重更轻。可见,在结构构件中利用受拉应力状态是合理的。

(二)轴心受压

轴心受压与轴心受拉相比截面应力状态完全相同,截面上应力分布均匀,只是拉压相反。对于适合受压的材料(如混凝土、砌体以及钢材等)也是很好的受力状态。但受压构件较细长时会有稳定问题,偶然的附加偏心会降低构件承载力,甚至引起失稳。其抗压承载力 N 可表达为

$$N \leqslant \varphi Af \quad (1-3)$$

式中 N ——压杆的压力设计值；
 A ——压杆截面积；
 f ——材料抗压强度设计值；
 φ ——随杆件长细比 λ 增大而减小的强度折减系统。

长细比 λ 为构件计算长度 H_0 与回转半径 i 的比值

即
$$\lambda = H_0/i$$

由力学知识
$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

式中 I ——截面惯性矩；
 A ——截面面积。

可见,为使系数 φ 增大,在构件截面不变情况下必须尽可能增大截面回转半径 i 。由于压杆失稳总在截面回转半径最小的方向发生,所以对于轴心受压构件,环形截面最为合理,圆形或方形截面也较为合理。工字形截面、角钢或双角钢等也可以做压杆使用,但由于两个方向的回转半径不同,往往首先在回转半径小的方向引起失稳。

现代结构构件通常以混凝土或钢材作为首先考虑使用的抗压材料,混凝土以其成本低、强度高而得到普遍采用。目前,我国已能生产 C80(或 C85)高强度商品混凝土,其立方强度标准值达 80 N/mm^2 (或 85 N/mm^2)。混凝土自重较大,限制了它的使用范围,轻质高强度混凝土的研究将有着广阔的前景。钢材以其强度高,在重型结构或超高层建筑中应用较多。

(三)弯和剪

弯和剪往往同时发生,工程中纯弯或纯剪的情况很少。以常见的简支梁为例,跨中弯矩最大,支座附近弯矩很小;而剪力是支座附近最大,跨中很小。内力 M 和 V 沿构件长度分布很不均匀。

在弯矩 M 作用下,截面正应力的分布规律可表达为

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \quad (1-4)$$

式中 σ ——截面正应力；
 M ——截面上作用的弯矩；
 I ——截面惯性矩；
 y ——所求应力点离中和轴的距离。

从上式可见,截面上、下边缘离中和轴最远处正应力最大,截面中间部分应力很小,材料强度不能充分利用。若用圆木做梁,圆截面最宽的部分应力很小,不能充分利用材料,而应力最大的截面上、下边缘,宽度反而较小,可见用圆木做梁是很不经济的。工字型截面的上、下翼缘较厚,腹板较薄,作为受弯构件就比较合理。对于钢筋混凝土受弯构件,受拉区混凝土的抗拉能力可以忽略,由钢筋来承担拉力,可见受拉区混凝土不仅强度不能被充分利用,而且由于自重较大,还成了自身的负担。所以对于较大跨度的钢筋混凝土梁,应该做成 T 型截面或工字形截面。

剪力在截面上引起的剪应力也是很不均匀的,根据材料力学知识,剪应力沿截面高度的分布规律可表达为

$$\tau = \frac{VS}{Ib} \quad (1-5)$$

式中 τ ——剪应力;

V ——截面剪力;

I ——截面惯性矩;

b ——截面宽度;

S ——所求应力点以上部分截面的静力矩。

由此可见,剪应力在截面中和轴处最大,截面上、下边缘为零。

对于矩形截面梁,无论受弯或受剪,截面上材料强度都不能充分利用。由于弯矩 M 和剪力 V 沿构件长度分布也不同,弯矩 M 跨中最大,支座处为零;而剪力支座处最大,跨中为零。所以对于等截面受弯或受剪构件,材料的利用率比压或拉杆要差得多。当然,做成 T 型或工字形截面相对要合理一些。无论从承载力或刚度考虑,适当提高截面惯性矩是合理的。

(四)扭

受扭时由截面上成对的剪应力组成力偶来抵抗扭矩,截面剪应力边缘大,中间小;截面中间部分的材料应力小,力臂也小。计算和试验研究表明,空心截面的抗扭能力和相同外形的实心截面十分接近。受扭构件以环形截面为最佳,方形、箱形截面也较好。例如,电杆在按装电线过程中拉力不对称,可能形成较大的扭矩,所以一般都采用离心法生产的钢筋混凝土管柱,环形截面对抗扭是合理的。

综上所述,可以看出轴心受拉是最合理的受力状态,尤其对高强钢丝等抗拉强度高的材料特别合理。目前悬索、悬挂结构日益广泛应用,就是应用了轴拉的合理受力状态。在悬挂式房屋建筑中,采用高强度钢绞线组成的拉索,截面很小,甚至可以隐蔽在窗框内,这样可以为人们提供十分开阔的视野;轴压虽然要考虑适当采用回转半径较大的截面形式,由于其截面材料得以较充分利用,也是很好的受力状态,尤其对像石材、混凝土、砌体等抗压强度较高而抗拉强度很差的材料。这类材料一般可就地取材,价格较低。例如石拱桥,充分利用了石材抗压的特点,使结构经济合理。弯和剪也是常见的受力状态,但对截面材料的利用不充分,这种受力状态在工程中不可避免,因此选用合理的截面形式和结构形式就很重要。对于较大跨度的梁,如果改用桁架,梁中的弯矩和剪力便改变为桁架杆件的拉、压受力状态,材料得以充分利用。桁架和梁相比,可节省材料,自重将减轻许多,因而也就可跨越更大的跨度。扭转是对截面抗力最不利的受力状态,但工程中也很难避免。例如,吊车梁是个受弯构件,主要承受弯矩和剪力,但当厂房使用多年,发生变形后,吊车荷载有可能偏离梁截面的中心,尽管偏心距 e 可能不大,但竖向荷载 D_{\max} 很大,形成的扭矩 $M_T = D_{\max} \cdot e$ 有可能使吊车梁发生受扭破坏。另外如框架边梁、旋转楼梯等,都存在较大的扭矩,设计中应引起注意。除了选用合理的截面形式外,更应注意合理的结构布置,

尽量减少构件的扭矩。

二、材料对结构的影响

图 1-6 所示为由几种不同性质材料做成的受弯构件,在相同受力状态下会产生完全不同的破坏形式。图 1-6(a)为石板或素混凝土梁,由于其抗拉强度 f_t 远小于抗压强度 f_c (即 $f_t \ll f_c$),当拉应力 σ_t 超过抗拉强度时梁就开裂破坏,破坏由 $\sigma_t > f_t$ 引起。图 1-6(b)所示为钢管受弯,钢材的拉压强度是相同的(即 $f_y = f'_y$),但由于受压时可能引起较薄的管壁局部失稳,当 $\sigma_c > \varphi f'_y$ 时受压区局部屈曲而早于受拉区破坏。图 1-6(c)为木梁,由于天然木材有弯曲,切割成矩形木梁时木纹与梁轴不平行,而木材的横纹抗拉强度远小于顺纹抗拉强度,在主拉应力 σ_{μ} 作用下,当 σ_{μ} 大于木材横纹抗拉强度 f'_t 时(即 $\sigma_{\mu} > f'_t$),就发生斜向撕裂。可见材料性质对构件的破坏有直接的影响。根据结构可靠度的知识,要保证结构安全可靠,应当使荷载对结构的作用效应 S 小于相应的结构抗力 R ,即

$$S \leq R$$

上述例子相应的表达式为应力小于强度,即分别为

$$\sigma_t \leq f_t \quad \sigma_c \leq \varphi f'_y \quad \sigma_{\mu} \leq f'_t$$

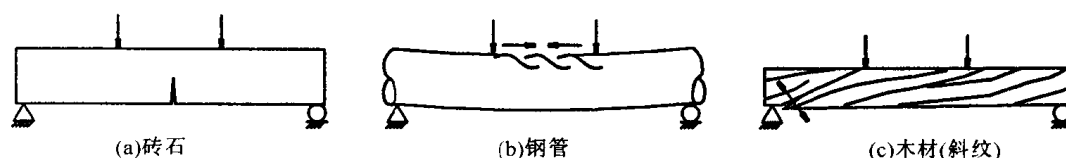


图 1-6 材料对结构破坏形式的影响

可见在结构设计中应当充分考虑各种材料的特性,做到材尽其用。以下几方面问题应在设计中给予充分考虑。

(一) 充分发挥材料特性

表 1-1 常用建筑材料的一些基本特性指标

	砌体 MU10, M5	混凝土 C20~C40	木材	钢材
强度 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	$f_c = 1.58$	$f_c = 10 \sim 19.5$	$f = 12$	$f_y = 210 \sim 1000$
单位体积重 $r(\text{kN}/\text{m}^3)$	≈ 19	24	≈ 5	78.5
f/r	≈ 83	420~810	2400	2675~12740
抗压强度比 f_t/f_c	≈ 0.1	≈ 0.1	≈ 0.62	≈ 1
价格	低	低	高	高
适宜受力状态	受压	受压	弯、压	拉、压、弯

由表 1-1 可见,砌体和混凝土价格相对较低,是很好的抗压材料,但自重较大,不宜建造高层和大跨。我国古代受当时建筑材料所限,有不少砌体建成的高塔,例如著名的

西安大雁塔(建于公元 952 年),正方形塔身底层为 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$,共 7 层,高 64 m (图 1-7)。底层墙厚达 9.15 m ,中间只剩不到 $7\text{ m} \times 7\text{ m}$ 见方的有效空间。大雁塔经历了一千三百多年的风风雨雨,保留至今,反映了当时我国砌体结构的设计水平(传说,大雁塔是由唐高僧玄奘设计的)。但从今天的眼光分析,用砌体建高塔显然不合理,巨大的自重使下部地基不堪重负。据有关部门测定,自 1985 年 6 月至 1992 年 10 月,大雁塔下沉达 585 mm ,塔顶倾斜已达 $1\ 005\text{ mm}$,有关部门正密切注意它的发展。钢材强度高, f/r 值很高,适合高层和大跨结构。木材虽然也是很好的建筑材料,但易腐烂,怕火,价格昂贵。为了保护生态环境,应当尽量减少木材的采伐。木材目前主要用于高级装修,已很少用作结构构件了。

(二) 选用合理的截面形式及结构形式

选用合理的截面形式及结构形式有着很大的经济意义。图 1-8 为几种常见的工程实例。就截面形式而言,受拉的悬索结构采用高强钢丝、钢绞线或钢丝束最为合理;天然

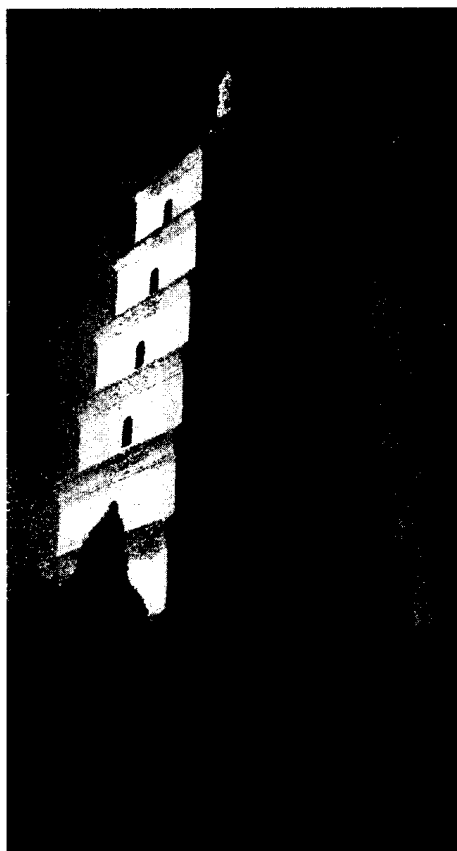


图 1-7 西安大雁塔

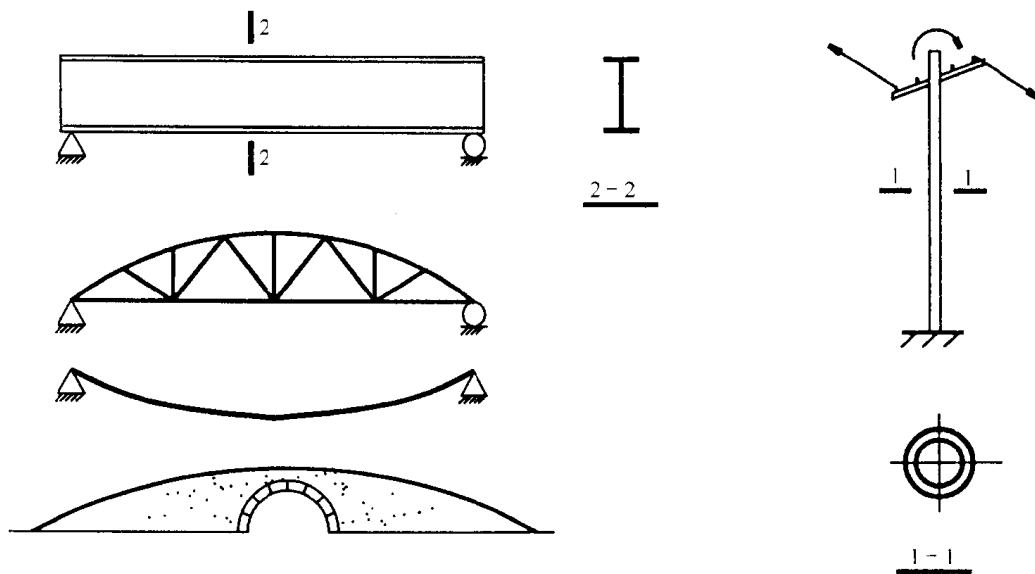


图 1-8 结构形式和截面形状的选择

石料建造实体拱也是很好的方案,我国南方有许多石拱桥,造型美观,经济耐用;现代热轧工字形型钢作为受弯构件,较厚翼缘主要承受弯曲正应力,较薄的腹板主要承受剪应力,与实体矩形截面相比,既节省了材料,也减轻了自重。又如,用离心法生产的管柱做电线杆,无论受弯、受剪或受扭都比较合理,光洁的表面既美观又耐久。大一些的构件,例如拱形桁架,由于桁架外形与弯矩图相似,可使上、下弦杆内力沿全长几乎处处相同,使用等截面的弦杆比较经济合理,在满跨荷载作用下腹杆内力几乎为零。又如平行弦桁架中内力最大的杆件是支座斜杆,如果是钢筋混凝土平行弦桁架,由于混凝土抗压很好,故应采用上斜式平行弦桁架,此时支座斜杆为压杆;反之,若采用钢结构,则应采用下斜式平行弦桁架,此时支座斜杆为拉杆(见图 3-1)。这里只用简单的几个例子说明截面形式和结构形式的重要性,工程中的例子还很多很多,读者应在日常生活中注意观察。

(三)采用组合结构,以充分发挥材料的特性(图 1-9)

早期的钢木桁架是典型的组合结构形式,木材虽然抗拉强度不低,但受拉节点比较复杂,所以木材主要用做压杆,桁架中的拉杆采用槽钢、角钢或圆钢,使钢木桁架比木屋架轻巧得多。目前,常见的用圆钢做拉杆和钢筋混凝土斜梁组成的三铰拱屋架也是很好的组合结构。

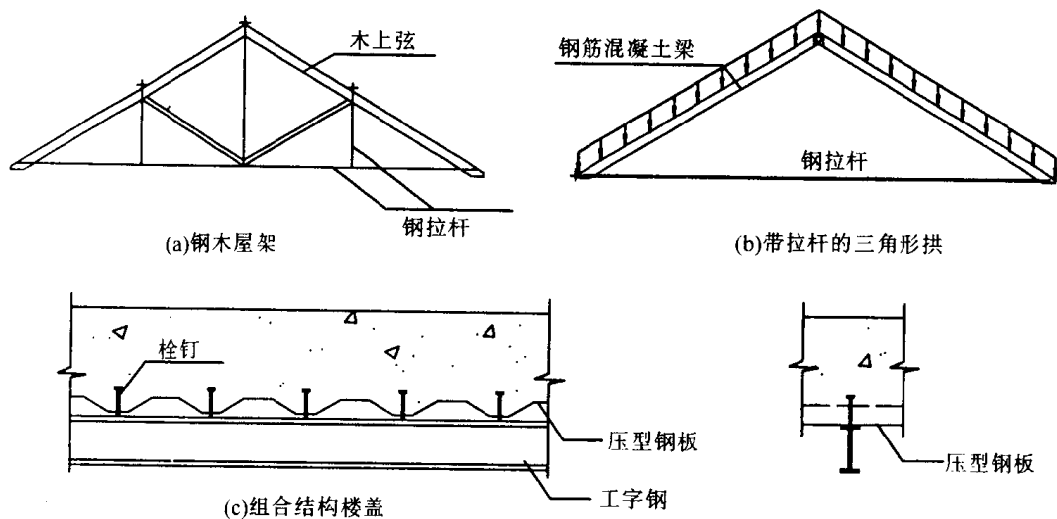


图 1-9 组合结构

其实,钢筋混凝土结构本身也是钢筋和混凝土的良好组合,也是一种组合结构。现代建筑中采用的钢梁、压型钢板和混凝土组成的楼盖系统是一种新型的组合结构,压型钢板既可作为施工时混凝土的“模板”,同时又是混凝土楼板的“钢筋”。在大型建筑结构中也可看到一些悬索结构屋面与大型钢筋混凝土拱(或框架)组成的结构形式。

结构和构件应当怎样结合,也是值得深入研究的课题。以上述三铰拱屋架为例,梁不仅是三铰拱的压杆,同时承受非节点作用的屋面荷载,因此,斜梁要承受较大的弯矩。如果在节点构造上稍作处理,做成偏心节点,则可大大减小跨中弯矩(图 1-10 所示),甚至可减小一半。这仅是一个小例子,可见在组合结构方面还有许多潜力,有待深入研究。