

结构力学

上册

(第二版)

■ 朱伯钦 周竞欧 许哲明 编著

同济大学出版社

土
木
工
程
系
列
丛



土木工程系列丛书

结构力学

上册(第二版)

朱伯钦 周竞欧 许哲明 编著

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/朱伯钦,周竞欧,许哲明编著.—2版.

上海:同济大学出版社,2004.3

ISBN 7-5608-2636-9

I. 结… II. ①朱… ②周… ③许… III. 结构力学 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 116077 号

结构力学 上册 (第二版)

朱伯钦 周竞欧 许哲明 编著

责任编辑 钱忠麒 责任校对 郁 峰 封面设计 龙 樱

出 版 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏启东印刷厂印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 21.75

字 数 556000

印 数 1—3100

版 次 2004 年 3 月第 2 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2636-9/O·249

定 价 31.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

第二版前言

本书是同济大学土木工程专业系列教材之一,第一版出版至今已九年有余。现在的第二版是根据原国家教委批准试行的《高等工业学校结构力学教学基本要求》、同济大学土木工程学院制订的《结构力学》课程教学大纲和同济大学土木工程学院的系列教材规划修订的。它可作为土木工程、水利工程、交通工程等专业的结构力学教材,也可供其他非结构类专业的师生和工程技术人员参考。

本书分上、下两册出版。上册包括绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析及位移计算、静定结构影响线、力法等;下册包括位移法、矩阵位移法、结构静力分析的电算程序、弯矩分配法和剪力分配法,超静定结构影响线、结构动力学、结构弹性稳定、结构的极限荷载等。书中冠有*号的内容可根据不同专业的需要和不同层次学生的要求选用。每章后附有较丰富的习题和部分习题答案。

本书在第一版的使用过程中,得到广大读者的支持、肯定和鼓励,提供了不少宝贵的意见和建议,值此再版之际,编者深表谢意。在本版修订过程中,我们认真、全面地考虑了读者的意见和建议,继续保持第一版的特色,紧扣《课程教学基本要求》和《课程教学大纲》的要求,体现学科上的科学性、系统性和内容上的先进性,恰当掌握内容的深、广度,注意培养学生分析问题、解决问题的能力及便于教学等。在具体内容上,重新编写了矩阵位移法并改用C语言编写了结构静力分析电算程序代替第一版中的FORTRAN电算程序,在力法和位移法中增加了子结构应用的概念,调整和修改了有些章节的一些例题和习题,并对有些习题的答案作了校正,对超静定拱的内力计算和超静定结构影响线作了适当精简;删去了一些相对次要的内容,如三铰拱的内力图解法,用位移法分析变截面结构,多层刚架内力计算的迭代法和D值法等。力求使教材质量更符合当前高等学校本科教学的要求。

本版教材由朱伯钦、周竞欧、许哲明、郑有畛、冯虹参加修订,由朱伯钦、周竞欧、许哲明主编。恳请读者继续对书中不足之处提出批评指正。

编 者

2002年10月于同济大学

上册目录

第一章 绪论	(1)
第一节 结构力学的研究对象、任务和学习方法	(1)
第二节 结构计算简图的概念	(4)
第三节 支座的形式与分类	(8)
第四节 结点的形式与分类	(12)
第五节 杆件结构的形式与分类	(15)
第六节 荷载的性质与分类	(19)
第二章 平面体系的几何组成分析	(20)
第一节 几何组成分析的目的	(20)
第二节 平面体系的自由度和约束	(21)
第三节 几何不变体系的组成规则	(26)
第四节 体系的几何组成分析举例	(30)
第五节 体系的几何特征与静力特性的关系	(35)
习题	(39)
部分习题答案	(42)
第三章 静定梁和静定刚架	(43)
第一节 静定结构内力计算的一般原则	(43)
第二节 多跨静定梁	(50)
第三节 静定平面刚架	(54)
* 第四节 静定空间刚架	(70)
习题	(73)
部分习题答案	(81)
第四章 曲杆和三铰拱	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 曲杆的内力计算	(84)
第三节 三铰拱支座反力和内力的数解法	(87)
第四节 三铰拱的合理拱轴	(94)
习题	(99)
部分习题答案	(101)

第五章 静定平面桁架	(102)
第一节 桁架及其组成	(102)
第二节 桁架内力的数解法	(104)
第三节 各式桁架的比较	(115)
第四节 组合结构的内力计算	(118)
* 第五节 约束替代法	(121)
第六节 零载法判别复杂体系的几何组成属性	(125)
第七节 静定结构特性	(129)
习题	(132)
部分习题答案	(143)
第六章 静定结构的影响线	(144)
第一节 移动荷载与影响线的概念	(144)
第二节 静力法作单跨静定梁的影响线	(145)
第三节 间接荷载作用下的影响线	(151)
第四节 机动法作静定梁及简单刚架的影响线	(153)
第五节 三铰拱的影响线	(158)
第六节 桁架内力影响线	(159)
第七节 应用影响线计算影响量	(164)
第八节 铁路、公路的标准荷载制和工业厂房的吊车荷载	(166)
第九节 最不利荷载位置的确定	(169)
第十节 换算荷载	(177)
第十一节 简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图	(182)
习题	(187)
部分习题答案	(195)
第七章 静定结构的位移计算	(197)
第一节 概述	(197)
第二节 线性变形体系的实功及变形位能	(199)
第三节 变形体系的虚功原理	(206)
第四节 静定结构在荷载作用下的位移计算	(209)
第五节 图形相乘法	(217)
第六节 静定结构由于温度变化及杆件制造误差引起的位移计算	(227)
第七节 静定结构由于支座位移引起的位移计算	(232)
* 第八节 空间刚架在荷载作用下的位移计算	(234)
第九节 线性弹性体系的互等定理	(235)
* 第十节 位移影响线	(239)
习题	(241)

部分习题答案	(251)
第八章 力法	(253)
第一节 超静定结构的概念和超静定次数的确定	(253)
第二节 力法原理与力法典型方程	(256)
第三节 荷载作用下各类超静定结构的计算	(259)
第四节 对称性的利用	(267)
第五节 温度改变、支座位移等因素作用下的超静定结构计算	(281)
第六节 超静定结构的位移计算	(287)
第七节 子结构的应用	(293)
第八节 超静定结构最终内力图 _的 校核	(296)
* 第九节 交叉梁系的计算	(299)
第十节 超静定拱	(302)
第十一节 余能原理与力法	(318)
第十二节 超静定结构的特性	(323)
习题	(325)
部分习题答案	(337)

第一章 绪 论

第一节 结构力学的研究对象、任务和学习方法

什么叫做结构？凡用建筑材料建造的各种建筑物，如工业厂房、民用房屋、桥梁、隧道、水坝、闸门、输电塔及电视塔等，它们都有用来支承荷载和维持形态的骨架，这种骨架就称为结构。

在建筑工程领域内，常见的结构形式主要有以下六种：

一、杆件结构

众所周知，杆件的几何特征是长条形的，横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆长小得多。杆件结构是由杆件按照一定的方式连接起来组合而成的体系，故也称为杆件体系。

例如，高层房屋的钢筋混凝土框架或钢框架、南京长江大桥等大跨度钢桁架桥以及各地崛起的钢或钢筋混凝土电视塔等都是杆件结构。图 1-1a) 所示为上海东方明珠电视塔（总高 450m），图 1-1b) 所示为 21 世纪初建成通车的上海卢浦大桥（钢拱主跨 550m）。就当前而言，前者是亚洲第一、世界第二高塔；后者是世界最大跨度的钢拱桥，其科技含量亦属世界一流水平。

二、悬吊结构

悬吊结构的几何特征与杆件结构相类似，但悬吊结构主要由仅能承受拉力的细长线材如钢索、铁索或其他缆索等柔性构件组成。这种结构的优点是节省材料，自重很轻，可以做成很大的跨度，缺点是刚度比较小。因此，它适用于大跨度的轻型屋盖，大跨度的公路桥，跨越大山谷或大河流的轻便人行索桥，以及用作山间交通运输的架空索道等。例如，20 世纪末建成的江阴长江公路悬索桥（图 1-2），全国各地修建的斜拉桥，以及北京、上海等各大城市建成的一些大型体育场馆建筑的顶盖（图 1-3）等都是悬吊结构。

三、平板结构

平板结构的几何特征是平面形的，厚度要比长、宽两个方向的尺寸小得多。由于大多数平板的厚度都比较小，故也称为薄板结构。如一般工业与民用建筑中现浇或预制装配整体式的钢筋混凝土楼板是薄板结构。当平板的厚度比较大时，则称为厚板结构。

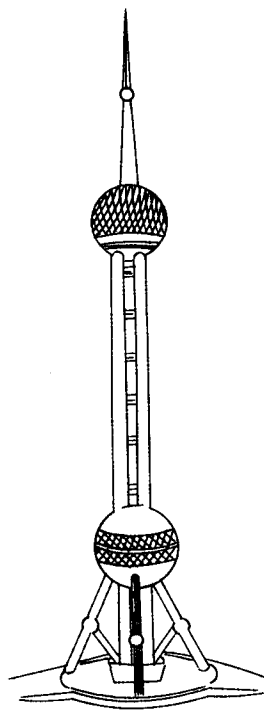


图 1-1a) 上海东方明珠电视塔



图 1-1b) 上海卢浦大桥(主跨 500m)

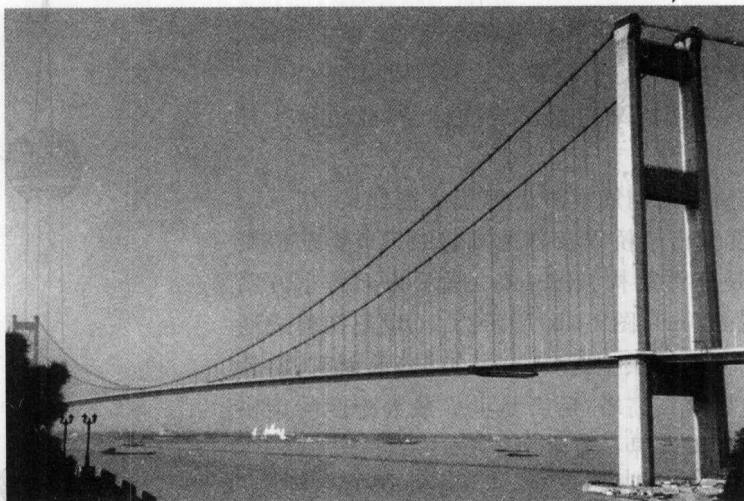


图 1-2 江阴长江大桥(主跨 1385m)

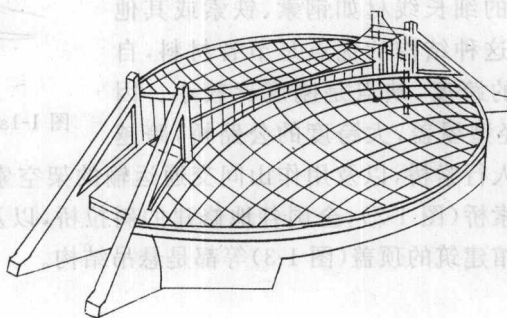


图 1-3 北京排球馆

四、壳体结构

壳体的结构的几何特征是曲面形的,其厚度也比长、宽两个方向的尺寸要小得多。由于大多数壳体的厚度比较小,故也称为薄壳结构。当壳体的厚度比较大时,则称为厚壳结构。

五、块体结构

块体结构的几何特征是呈块状的,长、宽、高三个方向的尺寸大体相近,且内部大多为实体,故也称为实体结构。如大型发电机和钢铁冶炼高炉的底座或基础,都是块体结构。此外,如重力式堤坝和港口码头边坡等处修筑的挡土墙等,就其几何特征看,有时也形似杆件,比较长,但其横截面的尺寸相当大,它的受力特性与块体结构基本相同,所以也把它作为块体结构。

六、薄膜充气结构

众所周知,薄膜是只能承受张拉力的面片材料。如果薄膜两侧受到的气体压力不同,即产生压差,它将朝着气体密度小的方向鼓出,而呈现出充气状态,直到它的位置和形状都稳定时为止。凡是充气的薄膜都能承受一定的外力,人们利用这种规律,可使薄膜和加压的气体介质变成能承受荷载的结构物件。用这样的方法做成的结构,就称为薄膜充气结构,或简称为充气结构。

按几何特征区分,若外形是敞开式的,如风筝、扬帆和降落伞等,称为敞开式充气结构。如果外形是封闭的,则称为封闭式充气结构。封闭式充气结构又有两种形式:一种是用单层薄膜做成的气承式充气结构,即除了为人、货出入和供气换气而开的孔洞外,由加压充气薄膜与地面形成封闭空间体。另一种是用双层薄膜做成的气垫式充气结构,除了为调节内部压力而开的小孔外,全部是由充气气垫形成密封空间体。例如,日本东京市内的体育竞技场,其顶盖是一气垫式充气结构,四边长各为 180m,顶高 60m,可同时容纳 5 万人。

人类利用充气加压稳定薄膜的原理,已有几千年的历史,但它被运用到建筑技术中,却还只有 40 多年的时间。据目前所知,充气建筑是最为轻巧的一种建筑物,例如,重量仅 $10 \sim 20\text{N/m}^2$ 的大面积覆盖材料,覆盖跨度却可达到 100m。所以最近 30 多年来,国外充气建筑的发展速度非常迅速。例如,1963~1974 年在美国纽约和 1970 年在日本大阪举行的世界博览会上,都大量地采用了各种形式的充气建筑。在其他场所,如展览馆、会议厅、剧场、餐厅、仓库、暖房等的顶盖,又如高空探测气球、充气帐篷、充气扶梯、充气桥梁、气垫船艇等,也都相当普遍地采用充气技术。最近十几年来,国内也已开始从事这方面的试验研究和实际应用。

以上分别介绍了六种形式的结构。但实际的建筑物,则往往是由多种结构形式组合而成的。

根据目前国内学科的划分方法,本课程的主要研究对象是杆件结构。因而通常所说的结构力学,指的就是杆件结构力学,或称杆件体系结构力学。

在建筑工程领域内,杆件结构是应用最多、使用最为广泛的一种结构形式。在所有工程的结构设计中,几乎都包含杆件结构设计。结构力学的主要任务是:

- (1) 研究杆件结构的组成规律,使结构具有可靠的几何组成和合理的组成方式;

- (2) 研究杆件结构在静力荷载作用下,结构内力和位移的计算原理与方法;
- (3) 研究杆件结构在动力荷载作用下,结构的动力性态和动力响应的计算原理与方法;
- (4) 研究杆件结构在静力荷载作用下,结构稳定性的计算原理与方法;
- (5) 研究杆件结构在静力荷载作用下,结构极限承载能力的计算原理与方法。

理论力学主要研究物体机械运动的基本规律和力学一般原理。材料力学主要研究单个杆件的强度、刚度和稳定性。结构力学则以理论力学和材料力学的知识为基础,主要研究杆件结构的强度、刚度和稳定性,从而为钢、木结构和钢筋混凝土结构等后续专业课程及以后的结构设计提供一般的计算原理与分析方法。因此,结构力学是介于基础课与专业课之间的专业基础课,或者叫做技术基础课。

结构分析是结构设计中非常关键的一个重要环节。学好结构力学,掌握杆件结构的计算原理与方法,是学好工程结构课的重要条件,同时也是作为一个结构工程师所必须具备的基础知识。因而,读者在学习本门课程时,务必要充分重视和加倍努力,树立信心,以顽强的毅力克服学习中可能遇到的各种困难,一定要学好它,也一定能学好它。

结构力学的特点是:理论概念性比较强,而且方法技巧性要求高。理论概念需要通过练习来加深理解,方法技巧则需要通过多做来熟练掌握。因此,在学习本门课程的过程中,不但要注意搞清基本概念,而且要认真做好练习题和多做练习题,要强化对解题和运算能力的基本训练,培养分析问题和解决问题的能力,从而达到弄懂概念、掌握理论和熟练方法技巧的目的。

结构分析要涉及到大量的数学计算。在计算手段不发达的时代,为了在超静定问题中避免求解联立线性方程组这一繁琐的数学计算,工程师和学者们常在物理概念十分明瞭的经典方法之外,引入各种力学概念和公式,以寻找其他便于手算的解决途径。自从电子计算机诞生以后,结构分析进入了一个崭新的历史阶段。在人类已经掌握先进计算技术的今天,历史赋予力学研究者的主要任务,不再是计算手段,而是要开拓新领域,研究新问题,探求新的机理。因此,结构力学也和其他学科一样,发展进程日益加速。这就要求学生在校学习期间,注意培养自学和独立思考能力,以便在毕业走上工作岗位后,能通过自学不断地吸收新知识,研究新问题,充分发挥自己的才能。并适应时代进步脉搏,不断更新知识充实自己,树立终生学习的新理念。

结构力学原本是作为验算结构设计方案的工具而起作用的,计算对象是某一已被选定的结构。随着科学技术的发展,结构力学所面对的问题,也在不断地充实和更新。例如,自从创立了优化设计方法,结构计算和结构设计方案的优选融合为一个整体,浑然难分。又如,历来的结构力学所面对的问题,通常是已知结构本身的几何与物理参数,以及结构所受的外部作用,待求的是结构的反应。而现在提出了相反的问题,这就是:根据外因和反应,寻求结构自身的几何与物理性质。除此之外,还有其他许多新的问题。因此,当前正面临着科学技术迅速发展的历史新阶段,要求人们用发展的观点来学习结构力学。

第二节 结构计算简图的概念

实际的结构一般都很复杂,想要完全按照结构的真实情况去进行分析,往往很难办到,对于少数问题也许有可能,但从实用观点看是没有必要的。因此,对实际结构进行力学分析时,总是需要作出一些简化和假设,略去某些次要因素,保留其主要受力特性,从而使计算切

实可行。这种把实际结构作适当简化,用作力学分析的结构图形,就称为结构计算简图,或称为结构计算模型。

对实际结构作力学分析,是通过结构计算简图来进行的,而结构计算简图的力学分析结果,则又是实际结构杆件截面的设计依据。因此,合理选取结构计算简图,是结构设计中非常重要的一项工作,同时也是力学分析时必须首先解决的一个问题。一般说来,选取结构计算简图时,应当符合以下两点原则:

(1) 结构计算简图必须能够反映实际结构的主要受力特性,确保计算结果可靠。

(2) 在满足计算精度要求的条件下,结构计算简图应当尽量简单,使得计算方便可行。

由于选取结构计算简图,不但需要有比较丰富的专业知识,而且还要具有一定的结构设计实践经验,因此,这里不准作深入详细的讨论,而只就一般性的问题,初步作一些介绍。

在杆件结构中,根据杆件轴线和荷载作用线在空间所处的位置,可划分为平面结构和空间结构。当结构所有杆件的轴线和荷载作用线都处在同一平面内时,称为平面结构;否则,就称为空间结构。严格说来,实际的结构都是空间结构。然而,对于绝大多数的空间结构来说,它的主要承重结构和力的传递路线,大多是由若干平面组合形成的。由于平面力系的计算要比空间力系简单得多,所以,通常总是尽可能地把它简化为平面结构来计算。

对于杆件结构来说,选取结构计算简图所要涉及的内容,主要有五个方面:①结构各部分联系的简化;②支座的简化;③结点的简化;④杆件的简化;⑤荷载的简化。为了具体说明结构计算简图选取的方法,下面举两个例子。

第一个例子如图 1-4a) 所示,这是一座比较典型的砖木结构民用房屋,现在单就顶盖结构的简化方法说明如下。

(1) 结构各部联系的简化

首先我们看到,这个房屋顶盖是一空间结构,它的主要承重结构是由以下三个部分组成的:①平面的三角形屋(桁)架;②檩条;③铺设在檩条上的屋面板等。屋面的重量(荷载)通过屋面板传给檩条;檩条两端搁置在桁架的上弦杆上面,它把荷载传给桁架;再由桁架把荷载传到两边柱子或砖墙顶部的垫块上面。由此可见,该房屋顶盖结构虽是一个空间结构,但它的主要承重结构及力的传递路线,是由桁架、檩条和屋面板等三个竖直平面组成的。因此,可以把它分解为三个平面结构来处理,其中平面桁架的构造如图 1-4b) 所示。

(2) 支座的简化

事实上,在屋面板与檩条之间、檩条与桁架上弦杆之间及桁架与支承垫块之间等各个相互接触的地方,都占有一定的接触面积,而且在这些面积上的压力也并不是均匀分布的。为了简化计算,通常可以假定每个接触面上的压力是均匀分布的,并且可由作用于该面积形心上的合力来代替。例如图 1-4b) 中,桁架两端垫块上的反力可分别用一个竖向合力来表示。

(3) 结点的简化

在结构中的每个连接点上,各杆轴线相交的几何中心称为结点。由图 1-4b) 可以看到,桁架的上、下两弦是分别由两根杆件组成的。其中,上弦的两根杆件在顶端相连,而下弦的两根杆件,则在跨度中点用铁板和螺栓对头拼接起来。在每个结点上的各根杆件,并不是用铰相连的,但在计算时,可把所有结点近似地当作铰来处理。

(4) 杆件的简化

桁架中的每根杆件可用其轴线来代替,并且把上、下弦杆在每个结点上都看作不是连续的。

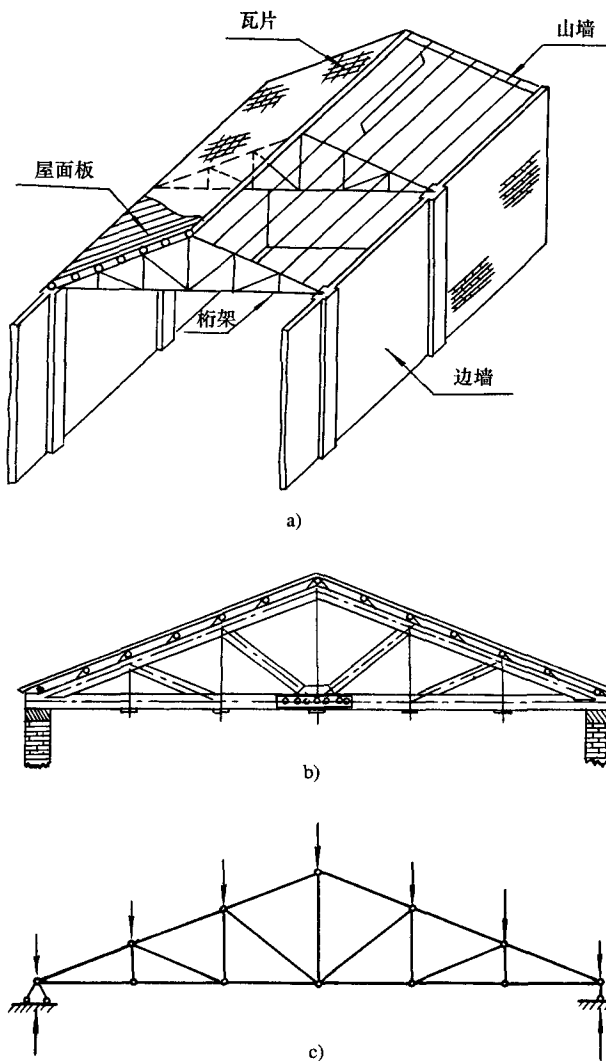


图 1-4

(5) 荷载的简化

屋面板上的重量可以认为是均匀分布,并按梁的计算理论可求出屋面板的反力,这样就得到每根檩条承受的荷载;再求出檩条两端的反力,便得到桁架所承受的荷载。在桁架各结点之间的檩条传来的压力,也可把它转化到其邻近的有关结点上去。

经过上述简化以后,就可得到屋(桁)架的计算简图及其所承受的荷载,如图 1-4c)所示。实践证明,按照这样的计算简图进行计算,不仅计算起来不太复杂,而且计算结果能够反映桁架的主要工作特性,因而是可靠的,其计算精度一般能满足实际需要。

第二个例子是比较典型的钢筋混凝土的单层工业厂房,图 1-5a)所示是它的横剖面图。现就该厂房的主要承重结构的简化方法说明如下。

(1) 结构各部分联系的简化

从整体上看,该厂房是一个纵、横向的空间结构,它的主要承重结构包括四个部分,即大型屋面板、预应力钢筋混凝土折线形屋架、阶形变截面柱和杯形基础等。其中,大型屋面板的两端搁置(焊牢)在屋架的上弦杆上面,屋面荷载通过大型屋面板传给屋架;屋架两端分别与两边柱子的顶端相连(焊牢或用螺栓连接),柱子下端则插入基础杯口内且被固定。这样,大型屋面板及其所承受的荷载形成沿厂房纵向的(水平或竖直)平面,而屋架、柱子、基础和它们所承受的荷载则形成横向平面。因此,该厂房的主要承重结构,可把它分解为沿纵向(水平或竖直)和沿横向的平面结构来处理。在横向平面结构中,屋架实际上起着双重作用:一方面,它把大型屋面板传来的荷载传递到两边柱子的顶端结点上;另一方面,它又把两边柱子的顶端连接起来而协同工作,把柱子顶端和柱子上所承受的荷载传到基础上去。因此,为了计算方便,常把这两部分分开计算,其计算简图如图 1-5b)和 c)所示。

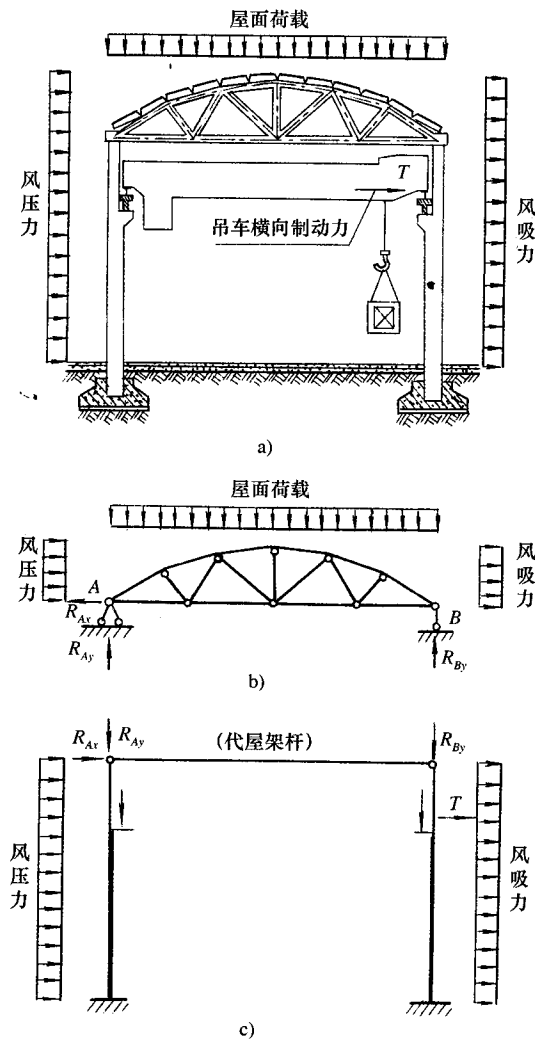


图 1-5

(2) 支座的简化

由于柱子下端插入基础杯口内,周围缝隙用细石混凝土填实,因而被嵌固在基础上,可作为固定支座处理。

(3) 结点的简化

由于折线形屋架上弦杆所受的压力一般都比较大,因而用的截面也比较大。这对于钢筋混凝土材料来说,上弦杆通常是浇制成一个整体的,不但抗弯刚度大,而且结点刚性也很强。在这种情况下,上弦杆各个杆段的端部,就不能再把它们当作是铰结的,而应当把它们看成是相互刚性连接或者是连续的。然而对于其他一些杆件,一般说来仍比较细长,抗弯刚度较小,由变形引起的弯曲应力不大,故腹杆和下弦杆各个杆段的两端均可把它们当作是铰接来处理。

(4) 杆件的简化

如同上例所说,屋架中的每根杆件均可用其轴线来代替。考虑到上弦杆的抗弯刚度比较大,结点连接刚性比较强,故应把它看作为连成一体的折线形杆(梁),然而腹杆和下弦杆的各个杆段,则仍把它们看作为两端铰接的链杆。

(5) 荷载的简化

每榀屋架所承受的荷载,应当包括从该榀屋架的左侧轴距中线到右侧轴距中线范围内的全部屋面荷载和屋盖自重。为了计算方便,屋盖自重可以作为均匀分布荷载处理。

根据以上几点简化,得出的结构计算简图如图 1-5b)、c)所示。

上面所举的两个例子,都是可以分解为平面结构的空間结构。但是应当注意,并不是所有的空間结构都是可以分解为平面结构来计算的。例如,在大会堂和体育场馆建筑中采用较多的屋顶空間网架结构、输电线路上的铁塔、电视塔、悬吊屋顶、起重机塔架等各种结构,它们或者根本不是由平面结构组成的;或者虽是由平面结构组成,但它的工作状况主要是空間性质的,故对这样的一类结构,必须按空間结构的特点进行计算。

由此可见,在选取结构计算简图时,必须从实际情况出发,并以实践经验为基础,作出合理的假定。但须指出,在选取一个新型结构的计算简图时,必须通过实验来验证,而决不容许单凭自己的主观臆断轻易作出决定。否则,若与结构的实际工作情况不符,将会导致严重后果。

最后,应当指出,一个结构的计算简图并非是永远不变的。一方面,它将随着人们认识的发展和计算技术的进步,可以不断放宽对简化的要求,从而使计算简图更趋近于结构的实际工作情况。例如,自从电子计算机出现之后,对结构的简化要求就可大为放宽,计算结果更为精确。另一方面,也可因需要不同而异。例如,在结构初步设计中,为了粗略估算杆件的截面,可选用比较简单的计算简图,而在正式设计时,则又采用比较复杂的计算简图作精确计算。此外,有时也因荷载情况不同而选取不同的计算简图。例如,在多层和高层刚架计算中,在竖直荷载作用下,一般假定刚架没有侧移,而只有在水平荷载作用下,才考虑刚架侧移的影响,两种情况的计算简图差别很大。

第三节 支座的形式与分类

有关支座问题,在理论力学和材料力学课程中已讨论过一些,这里将进一步介绍平面结构的支座形式及其计算简图的分类。

众所周知,支座是支承结构物的各种装置,它的作用是限制结构沿某一个或几个方向的运动,并因此产生相应的反作用力,所以,支座是限制结构运动的外部约束。按约束效用区分,平面结构的支座主要有以下六种类型:

一、活动铰支座

这类支座仅能限制结构沿某一个方向移动,比较理想的构造形式如图 1-6a)所示。其中,上摆与结构连成一体,圆柱嵌于上、下摆之间的弧形槽内,结构可绕圆柱中心轴自由转动;而在下摆与底板之间,则又安置若干与圆柱平行的辊轴,结构可以沿垂直于圆柱轴线且与底板平面平行的(x 轴)方向自由移动。因此,它只能产生通过圆柱中心轴而垂直于底板平面的一个反力(R_y),其计算简图可用一根支杆表示,如图 1-6b)所示。另一种构造较为简单的辊轴支座,如图 1-6c)所示,它的约束效用与上述支座是相同的,因而也只能产生一个竖向反力。以上两种形式的支座,在大型钢桥中应用比较普遍。在中、小型结构中,大都采用比较简便的垫块式支座(图 1-6d)),这种形式的支座与结构的接触面积,虽比以上两种情形要大一些,但与整个结构相比仍然是很小的,故在计算时可将其简化为点支座。由于结构可绕该支座转动,并在水平方向沿垫块接触面滑移,所以也只能产生一个垂直于垫块接触面的竖向反力。

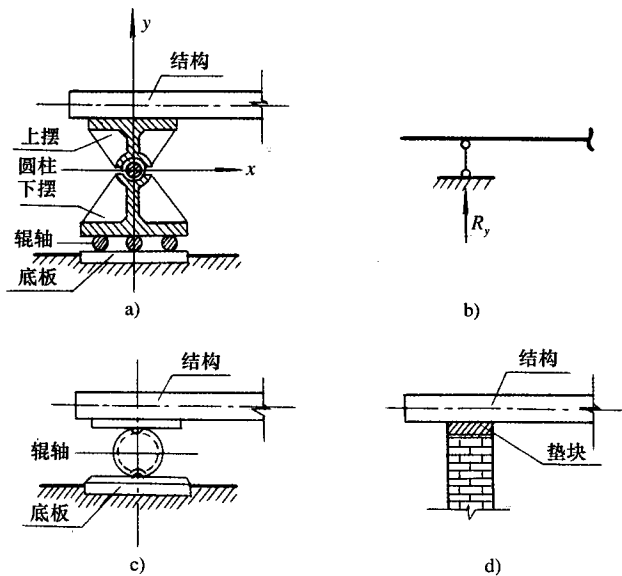


图 1-6

二、固定铰支座

这类支座能限制结构沿两个方向的运动,比较理想的构造形式如图 1-7a)所示。其中,下摆完全固定在基础上,结构只能绕圆柱中心轴转动,但不能(沿 x 或 y 轴方向)有任何移动。因此,它能产生通过并垂直于圆柱中心轴的两个反力(R_x 和 R_y),其计算简图可用两根支杆表示,如图 1-7b)所示。在垫块式支座中,若用螺栓把结构锚在支座上(图 1-7c)),则结构除可绕支座转动外,也不能有任何移动,所以,这种支座也能产生(水平和竖向)两个反力。

在钢筋混凝土结构中,如果地基土壤较为松软,在柱子与基础的连接处,常采用交叉布筋的方法做成固定铰支座,如图 1-7d)所示。在这种情况下,由于柱子下端不能移动而只可转动,故亦只能产生两个反力(图 1-7e))。

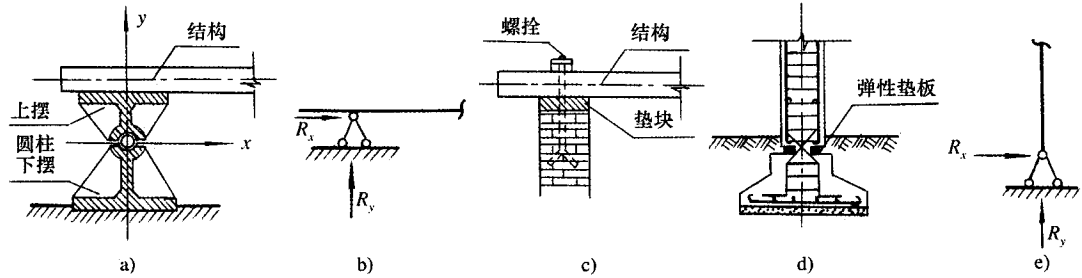


图 1-7

三、固定支座

这类支座不容许结构发生任何的移动或转动,如图 1-8a)所示。因此,它可能产生三个反力(R_x 、 R_y 、 M),其计算简图可用固定端(图 1-8b))或不交于一点的三根支杆表示(图 1-8c))。在钢筋混凝土结构中,柱子与基础的连接常采用固定支座,习惯的做法有两种:一种是现场浇捣一次完成;另一种是柱子和基础先分别预制,然后装配,将预制柱插入基础预留的杯口内,并在缝隙中灌以细石混凝土充实(图 1-8d))。其计算简图如图 1-8e)或图 1-8f)所示。

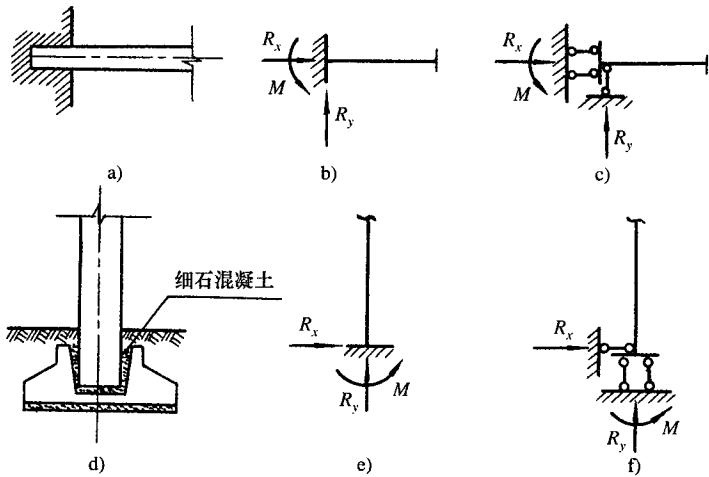


图 1-8

四、定向支座

这类支座只能限制结构转动和沿一个(y 轴)方向移动,但可沿另一个(x 轴)方向自由移动,如图 1-9a)所示。因此,它可产生两个反力(R_y 、 M),其计算简图如图 1-9b)所示。