

(沪)新登字 204 号

责任编辑 方 芳

封面设计 陈益平

结 构 力 学 (上册)

朱伯钦 周竞欧 许哲明 主编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

常熟市文化印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张 20.5 字数: 520 千字

1993 年 6 月第 1 版 1993 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—5000 定价: 10.80 元

ISBN 7-5608-1160-4/TU·123

上册目录

第一章 绪论	1
§ 1-1 结构力学的研究对象、任务和学习方法	1
§ 1-2 结构计算简图的概念	4
§ 1-3 支座的形式与分类	8
§ 1-4 结点的形式与分类	11
§ 1-5 杆件结构的形式与分类	14
§ 1-6 荷载的性质与分类	18
第二章 平面体系的几何组成分析	20
§ 2-1 几何组成分析的目的	20
§ 2-2 平面体系的自由度和约束	21
§ 2-3 几何不变体系的组成规则	26
§ 2-4 体系的几何组成分析举例	30
§ 2-5 体系的几何特征与静力特性的关系	34
习题	38
部分习题答案	41
第三章 静定梁和静定刚架	42
§ 3-1 静定结构内力计算的一般原则	42
§ 3-2 多跨静定梁	47
§ 3-3 静定平面刚架	51
*§ 3-4 静定空间刚架	66
习题	69
部分习题答案	78
第四章 曲杆和三铰拱	80
§ 4-1 概述	80
§ 4-2 曲杆的内力计算	81
§ 4-3 三铰拱支座反力和内力的数解法	84
§ 4-4 三铰拱的内力图解法	90
§ 4-5 三铰拱的合理拱轴	92
习题	96
部分习题答案	98
第五章 静定平面桁架	99
§ 5-1 桁架及其组成	99
§ 5-2 桁架内力的数解法	101
§ 5-3 各式桁架的比较	111
§ 5-4 组合结构的内力计算	114
§ 5-5 约束代替法	117

§ 5-6 零载法判别复杂体系的几何组成属性	121
§ 5-7 静定结构特性	125
习题	128
部分习题答案	140
第六章 静定结构的影响线	141
§ 6-1 移动荷载与影响线的概念	141
§ 6-2 静力法作单跨静定梁的影响线	142
§ 6-3 间接荷载作用下的影响线	147
§ 6-4 机动法作静定梁及简单刚架的影响线	149
§ 6-5 三铰拱的影响线	154
§ 6-6 桁架内力影响线	155
§ 6-7 应用影响线计算影响量	159
§ 6-8 铁路、公路的标准荷载制和工业厂房的吊车荷载	161
§ 6-9 最不利荷载位置的确定	163
§ 6-10 换算荷载	170
§ 6-11 简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图	175
习题	179
部分习题答案	186
第七章 静定结构的位移计算	187
§ 7-1 概述	187
§ 7-2 线性变形体系的实功及变形位能	189
§ 7-3 变形体系的虚功原理	194
§ 7-4 静定结构在荷载作用下的位移计算	197
§ 7-5 图形相乘法	204
§ 7-6 静定结构由于温度变化及杆件制造误差引起的位移计算	212
§ 7-7 静定结构由于支座位移引起的位移计算	217
*§ 7-8 空间刚架在荷载作用下的位移计算	219
§ 7-9 线性弹性体系的互等定理	219
*§ 7-10 位移影响线	223
习题	225
部分习题答案	235
第八章 力法	238
§ 8-1 超静定结构的概念和超静定次数的确定	238
§ 8-2 力法原理与力法典型方程	241
§ 8-3 荷载作用下各类超静定结构的计算	244
§ 8-4 对称性的利用	251
§ 8-5 温度改变、支座移动等因素影响下的超静定结构计算	264
§ 8-6 超静定结构的位移计算	269
§ 8-7 超静定结构最终内力图的校核	277
*§ 8-8 交叉梁系的计算	279
§ 8-9 超静定拱	283
*§ 8-10 余能原理与力法	300

习题	306
部分习题答案	317

第一章 绪 论

§ 1-1 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护型态的骨架，这种骨架就称之为结构。

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(图 1-1)。

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，我国西南地区建造在各大河流上的许多悬索桥，最近几年来全国各地修建的斜拉桥(图 1-2)，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，它们都是悬吊结构。

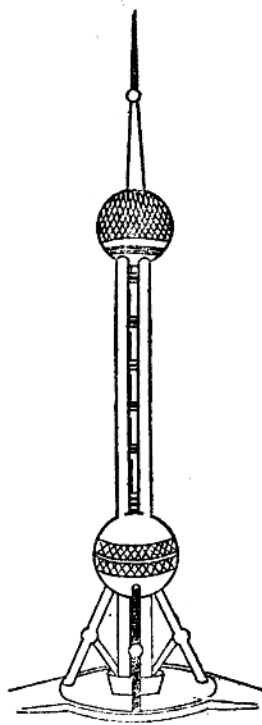


图 1-1 上海浦东东方明珠电视塔(总高 450 m)

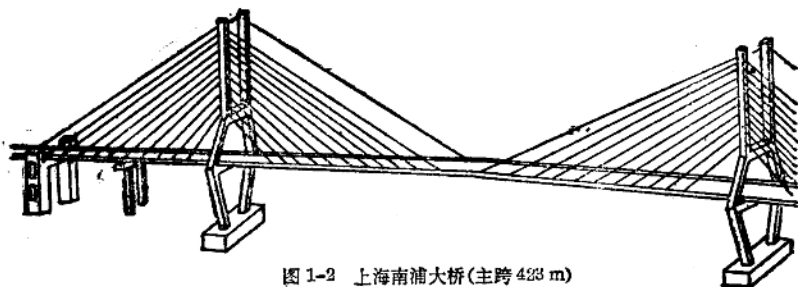


图 1-2 上海南浦大桥(主跨 423 m)

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,故也叫做薄板结构。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。

四、壳体结构

壳体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,故也叫做薄壳结构。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,故也叫做实体结构。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。凡是充气受压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,除了为人货出入和供气换气而开些孔洞外,是由充气薄膜与地面形成的封闭空间体。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些小孔外,全部是由充气的垫形成的密封空间体。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。其他如各种气球和气垫船艇等,也都是气垫式充气结构。

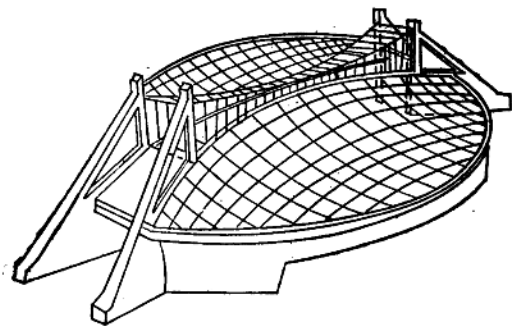


图 1-3 北京排球馆

力而开些小孔外,全部是由充气的垫形成的密封空间体。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。其他如各种气球和气垫船艇等,也都是气垫式充气结构。

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30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 $1\sim 2\text{ kg/m}^2$ 的大面积覆盖材料,覆盖跨度却可达到 100m 。所以最近 20 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。因为杆件结构也称杆件体系,所以结构力学也叫杆件体系结构力学。

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技术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。因而学好结构力学,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:不但理论概念性比较强,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,在学习本课程的过程中,不但要注意搞清基本概念,而且更为重要的是,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。

历来的结构分析都要涉及到大量的数学计算。在计算手段不发达的时代,为了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,以寻找其他的解决途径。然而,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。那种在校所学知识能够用一辈子的旧观念,已经被时代抛弃了。

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,结构力学所要解决的问题,也在不断地充实和更新。例如,自从优化设计方法创立起来,结构计算和结构设计方案的优选融合于一个整体,浑然难分。又如,历来的结构力学所要解决的问题,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。然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。

§ 1-2 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,或者叫做结构计算模型。

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,因此这里不准备作深入详细地讨论,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,称它为平面结构;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

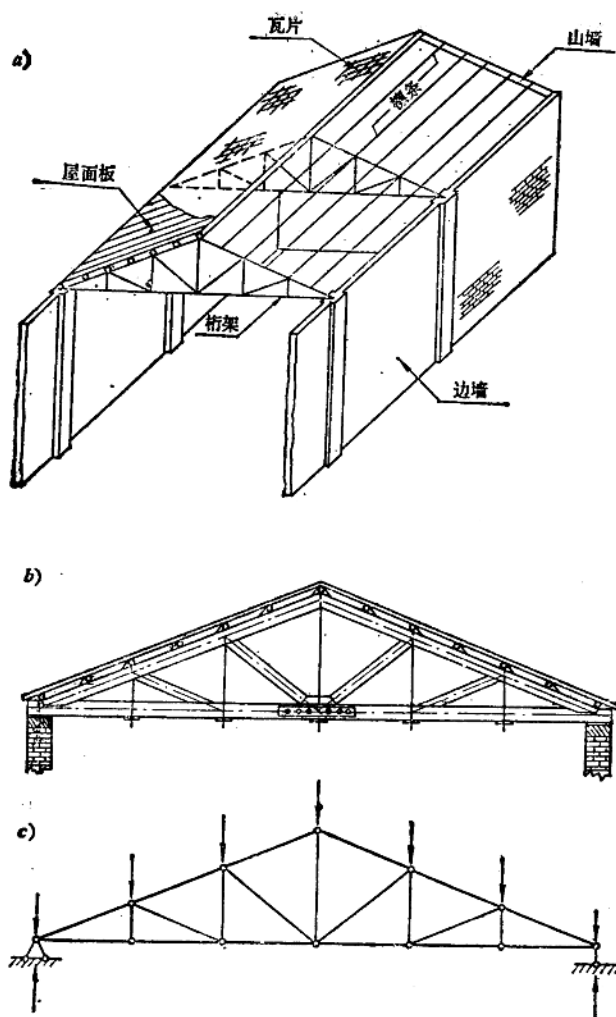


图 1-4

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。

(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。在桁架各结点之间由檩条传来的压力, 也可把它简化到其邻近的有关结点上。

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, 该厂房也是一个空间结构, 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

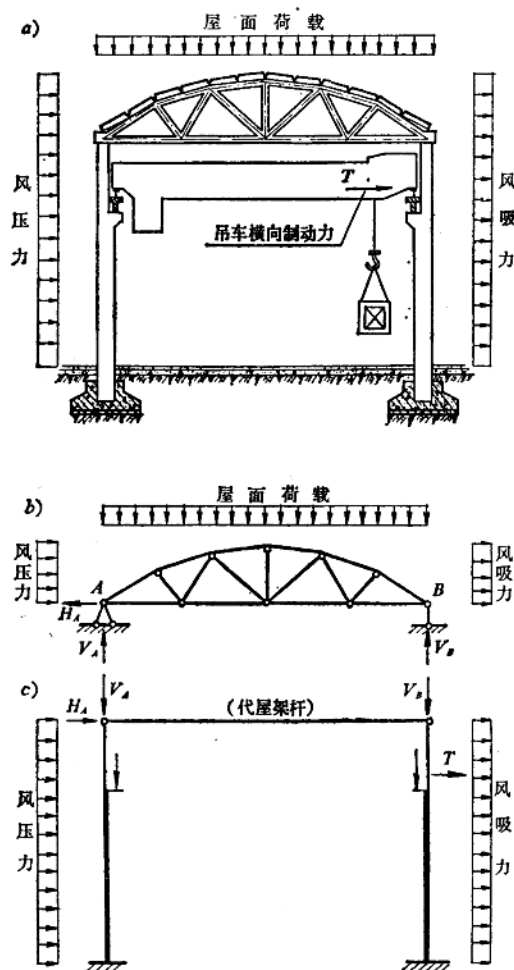


图 1-5

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,由于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去;另一方面,它又把两边柱子的顶端连接起来,从而使两边柱子能协同工作,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。

(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,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两力杆。

(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 和 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问结构。但是应当注意,并不是所有的空问结构都是可以分解为平面结构来计算的。例如,在大会议厅和体育场馆建筑中采用较多的屋顶空问网架结构、输电线路上的铁塔、电视塔、悬吊屋顶、起重机架塔等各种结构,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问性质的,故对这样的一类结构,必须按空问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,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。

§ 1-3 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曾已讨论过一些,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。

如所周知,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(V),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。

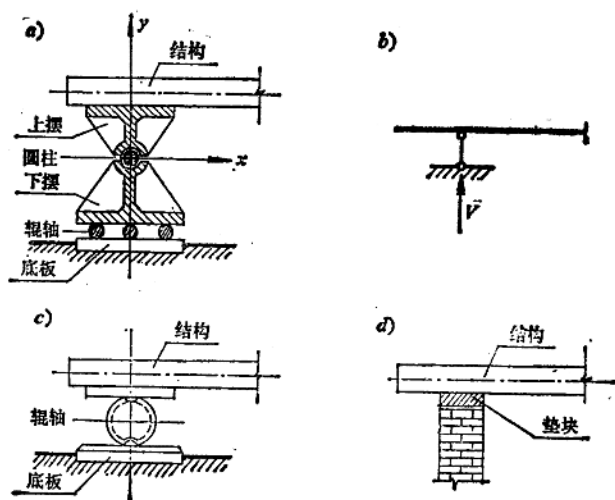


图 1-6

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(H 和 V),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)。

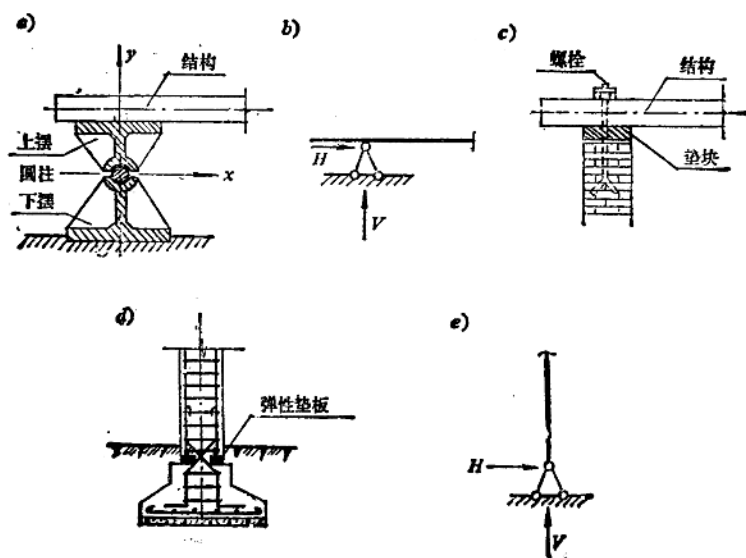


图 1-7

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(H 、 V 、 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:一种是现场浇筑一次完成;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 f 所示。

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(V 、 M),其计算简图如图 1-9b 所示。

五、伸缩弹性支座

这类支座在承受(拉力或压力)荷载的同时,它本身将产生一定的(拉伸或压缩)弹性变形。例如图 1-10a 所示的桥梁结构,它是由纵梁、横梁、主梁和桥墩等组成的,桥面板上的荷

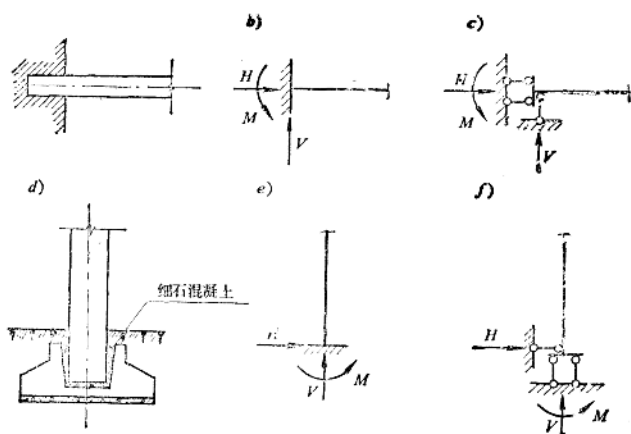


图 1-8

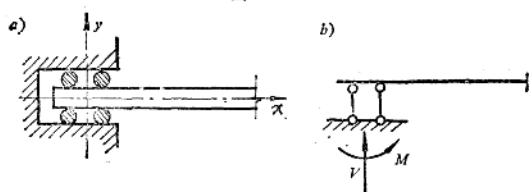


图 1-9

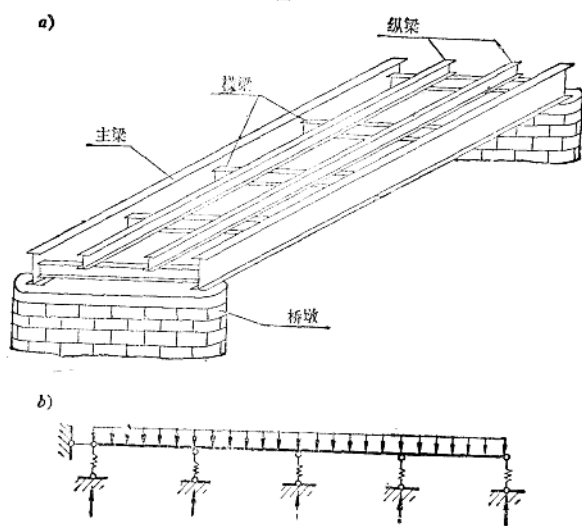


图 1-10

载通过纵梁依次传递给横梁、主梁和桥墩。对于纵梁来说,其以下部分是支座,这种支座在承受荷载的同时,它本身将产生一定的竖向位移,而且各支承点的反力与其位移是相关的。因此,在计算纵梁的内力时,可将各个支承点简化为具有一定刚度的伸缩弹性支座,如图 1-10b 所示。

六、旋转弹性支座

这类支座在承受力矩荷载的同时,它本身将产生一定的转角弹性变形。例如图 1-11a 所示的梁,当荷载作用在伸臂部分时,截面 B 在承受力矩荷载($M = Pa$)的同时,由于左边梁的变形,还将发生一个转角位移。这就是说,左边梁对于右边伸臂部分所起的作用,实际上就等同于一个旋转弹性支座。因此,可以把它简化为旋转弹性支座,如图 1-11b 或 c 所示。另外,在某些高耸建筑中,例如图 1-11d 所示的烟囱,当遇到地基土壤比较松软的情况时,为了考虑地基不均匀变形的影响,有时也需要把基础简化成为旋转弹性支座,如图 1-11e 或 f 所示。这种弹性支座具有三个反力分量。

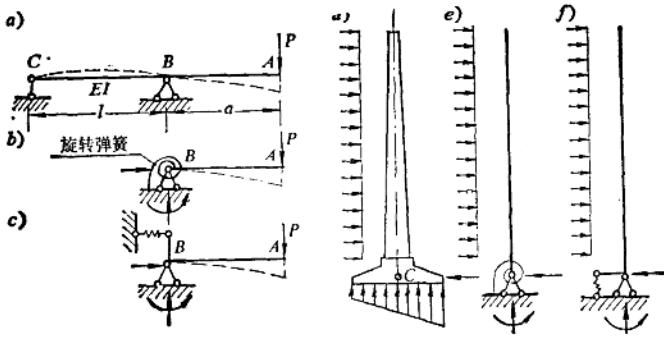


图 1-11

§ 1-4 结点的形式与分类

在杆件结构中,除某些比较简单的情形以外,一般都包含着若干杆件。为了把这些个别的杆件组成一个结构,就需要用适当的方式把它们相互连接起来。按各种连接的约束效用及其力学特性区分,平面杆件结构的结点一般可划分为以下五种类型:

一、铰结点

各杆连接起来,相互之间可以自由转动而不产生摩擦阻力的连接点,称为铰结点。图 1-12a 所示为一装配式钢筋混凝土三铰门式刚架的顶铰结点构造图,这是一种较为典型的铰结点,其计算简图如图 1-12b 所示,两杆可绕结点作相对自由转动,夹角 α 是可以改变的。这种仅连接两根杆件的铰结点,称为单铰结点。图 1-12c 所示为一木屋架的结点构造图,由于木材承受拉力时,结点连接较为困难,所以常采用圆钢作为拉杆。此种结点,一般也可看作铰结点,其计算简图如图 1-12d 所示。这种连接两根以上杆件的铰结点,称为复铰结点。图 1-12e 所示为一钢屋架的结点构造图,其各杆借助于结点板用电焊(或铆钉、螺栓等)连接起来,这种连接方式刚性较大,各杆之间不能相互转动。但由于钢屋架的杆件一般

都比较细长，它主要是承受轴向力，由于结点连接刚性引起杆件弯曲变形所产生的弯曲应力，一般说来是不大的，所以通常计算时，也可把这种结点当作铰结点来处理，其计算简图亦可取如图 1-12d 所示。

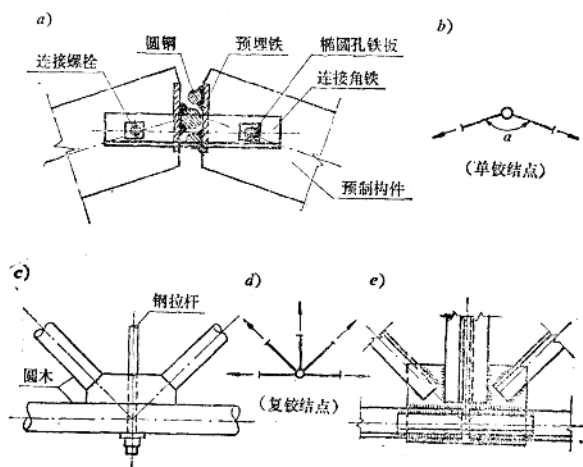


图 1-12

二、刚结点

各杆连接起来，相互之间不可能发生任何相对的移动或转动的结点，称为刚结点。图 1-13a 所示为一钢筋混凝土结构的刚结点构造图，其计算简图如图 1-13b 所示。由于两杆牢固地连接成一个整体，夹角 α 是不能改变的。这种仅连接两根杆件的刚结点，称为单刚结点。图 1-13c 所示亦为钢筋混凝土结构的刚结点构造图，其计算简图如图 1-13d 所示。这种连接两根以上杆件的刚结点，称为复刚结点。图 1-13e 所示为钢结构的刚结点构造图，柱子和横梁用电焊和螺钉牢固地连接起来，各杆之间也不能发生任何相对的移动或转动，其计算简图亦可取如图 1-13d 所示。

三、混合结点

如果在同一个结点上同时出现上述两种连接方式时，则称这种结点为混合结点或不完全铰结点。图 1-14a 所示为钢筋混凝土折线形屋架的上弦结点构造图，由于上弦杆不但要承受很大的压力，而且还要承受弯矩，所以通常做成劲性较大的偏心受压杆件，而腹杆和下弦杆则主要是承受轴向力，故做成比较细长的杆件。因此，在上述结点上，上弦杆应当看成是连续或者是刚性连接的，而腹杆则看成是铰接的，其计算简图如图 1-14b 所示。其中，上弦杆与竖腹杆之间的夹角 α 是可以改变的。图 1-14c 所示为钢结构桁架式吊车梁的上弦结点构造图，由于吊车轨道直接安置在上弦杆上，所以上弦杆通常做成劲性杆件，而腹杆和下弦杆则主要是承受轴向力，故也做成比较细长的杆件，其计算简图如图 1-14d 所示。这里，结点中心是在上弦杆的下边缘处，离开上弦杆的中心线有一偏心距，这样对于减小上弦杆所承受的正弯矩是有利的，因而是合理的。

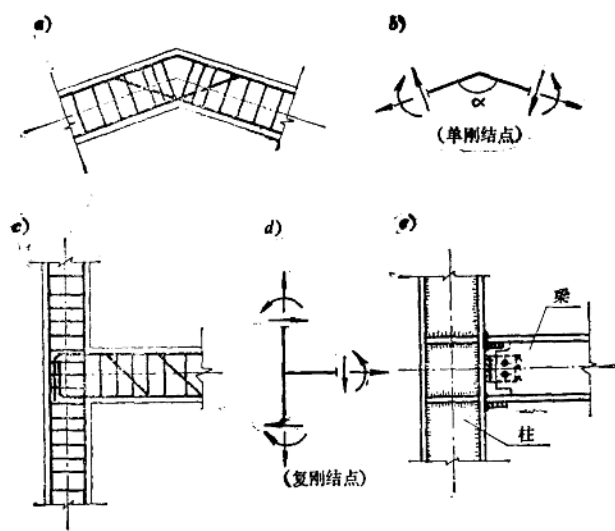


图 1-13

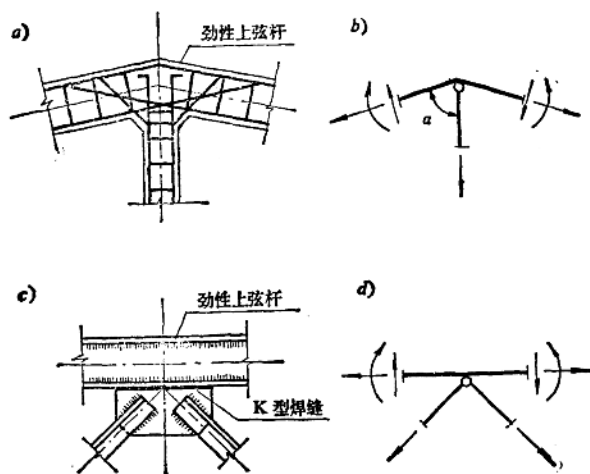


图 1-14

四、定向结点

两杆连接起来,相互之间不能发生相对转动而只能沿某一方向发生相对平移的结点,称为定向结点。图1-15a所示为允许剪切平移的定向结点,可简称为剪移定向结点。图1-15b所示为允许轴向平移的定向结点,可简称为轴移定向结点。此类结点的实例虽然少见,但在结构计算中却经常用到。

五、旋转弹性结点

前面介绍刚结点时,曾假定结构在变形前后,结点上各杆之间的夹角是保持不变的。然而,这对于装配式或装配整体式刚架的结点来说,由于钢筋焊接、锚固及接缝处混凝土不密