

结构力学

(第三版)

刘光栋 李家宝 王兰生 编

建筑结构基本知识丛书

703-6
1.2

建筑结构基本知识丛书

结 构 力 学

(第三版)

刘光栋 李家宝 王兰生 编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035号

本书是《建筑结构基本知识丛书》(第三版)之一,主要介绍建筑结构力学分析的基本原理和结构内力、位移计算的常用方法。书中从结构计算简图的分析入手,随后分章介绍了几种常见的结构,包括单跨静定梁和静定刚架、屋架、三铰拱和三铰屋架、单跨超静定梁、铰接排架、肋形楼盖等,在这次修订中还新增加了超静定刚架以及结构计算方法的总结两部分;每章末列有习题,书末附有答案。

本书可供具有初中以上文化水平的 basic 建设部门职工和青年自学参考,也可作为职工培训用书。

建筑结构基本知识丛书

结构力学

(第三版)

刘光栋 李家宝 王兰生 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 13⁷/₈ 字数: 310 千字

1991年11月第三版 1991年11月第六次印刷

印数: 226,131—230,200册 定价: 8.50元

ISBN7-112-01051-9/TU·762

(6125)

丛书第三版出版说明

为满足广大建筑职工自学的需要，我社1976年组织出版了一套《建筑结构基本知识丛书》，包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的知识，按专题分册出版，共十三分册，每册力求重点突出，并有一定独立性，读者可根据需要选读。丛书自出版以来，深受广大读者的欢迎和关怀，各分册先后重印四、五次，有的印数达30多万册。

随着经济建设和建筑技术的发展，广大建筑职工和青年学习建筑结构知识的要求进一步提高。原《建筑结构基本知识丛书》的内容，虽经1980年间修订一次，但目前已不能满足读者的需要。为此，我们组织力量对“丛书”再次修订。这次修订，一方面保持原来的编写目的和原则，另一方面根据建筑技术发展和读者要求，深度起点不变，仍以适合初中毕业文化程度的读者能读懂为基础，而对原丛书的内容加以扩展、提高和调整，使读者学完后，能基本上达到中专毕业水平。同时，丛书以1989年新颁布的各种建筑结构规范为依据，并采用国务院颁布的“法定计量单位”。为了增强便于自学的特点，并适应广大乡镇建筑职工学以致用需要，各分册中均加强概念和例题的联系，尽量补充应用实例，并注意某些带有专题性内容的介绍。这次第三版丛书新增加了“烟囱”、“水池”、“多层框架结构”、“结构动力学基础”等分册。今后将根据需要与可能，再作适当补充。

丛书的修订工作绝非尽善尽美，一定有不少缺点错误，望读者提出意见，以助不断完善。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 学习结构力学的目的	1
1.2 结构计算简图的概念	3
1.3 体系的几何组成分析	6
1.4 静定结构和超静定结构	13
习题	14
第 2 章 单跨静定梁和静定刚架	18
2.1 简支梁的计算	18
2.2 悬臂梁的计算	28
2.3 绘制单跨静定梁内力图的小结和讨论	33
2.4 伸臂梁的计算(最大最小弯矩图)	40
2.5 楼梯斜梁的计算	51
2.6 静定平面刚架的计算	58
习题	75
第 3 章 屋架	80
3.1 屋架的计算简图	80
3.2 用节点法求屋架的内力	84
3.3 用截面法求屋架的内力	95
3.4 用图解法求屋架的内力	99
3.5 各式屋架的比较及其应用范围	107
习题	109
第 4 章 三铰拱和三铰屋架	112
4.1 拱结构的特点	112
4.2 三铰拱的计算	115

4.3	拱的合理轴线	123
4.4	三铰屋架的计算	125
	习题	131
第5章 结构的位移计算		133
5.1	计算结构位移的目的	133
5.2	功和变形位能	135
5.3	实功和实功原理	137
5.4	虚功和虚功原理	142
5.5	荷载作用下静定结构的位移计算	146
5.6	图乘法	152
5.7	互等定理	167
	习题	171
第6章 单跨超静定梁		175
6.1	概述	175
6.2	一端固定、另一端铰支的等截面单跨梁	178
6.3	下端固定、上端铰支的单阶柱	184
6.4	两端固定的等截面单跨梁	188
6.5	支座移动对单跨超静定梁的影响	194
6.6	等截面梁的转角位移方程	199
	习题	206
第7章 铰接排架		208
7.1	横向排架的计算简图	208
7.2	作用在排架柱子上的吊车垂直压力 D 和横向水平力 R_T 的确定	210
7.3	单跨铰接排架的计算	222
7.4	多跨等高铰接排架的计算(剪力分配法)	231
	习题	245
第8章 肋形楼盖		247
8.1	房屋建筑中的连续梁	247

8.2	两跨连续梁的计算(力矩分配法)	250
8.3	多跨连续梁的计算	264
8.4	计算实例	268
	习题	278
第9章	超静定刚架	279
9.1	无侧移刚架与有侧移刚架	279
9.2	用力矩分配法计算无侧移刚架	282
9.3	迭代法	293
	习题	304
9.4	水平荷载作用下刚架的近似计算(D值法)	305
第10章	结构计算方法的总结	334
10.1	力法原理及其应用	334
10.2	位移法及其应用	357
10.3	用角变位移法计算超静定刚架	375
10.4	矩阵位移法	384
	附:平面刚架分析程序	405
	习题	418
	习题答案	420

第 1 章 绪 论

1.1 学习结构力学的目的

在我国宏伟的社会主义建设事业中，要兴建大量的工业厂房和民用房屋，这是基本建设战线上一项十分艰巨而光荣的任务。结构力学就是为工程建设服务的一门科学知识。

在房屋建筑中，图1-1所示的单层工业厂房，有各种梁、屋架、柱子和基础等等，它们承受着各种荷载（例如风、雪、吊车等以及其自身重量）的作用，这些承担荷载而起骨架作用的部分叫做房屋的承重骨架或叫做结构。单个构件（例如一根梁）是最简单的结构，但一般说来，房屋结构通常是由许多个构件通过各种方式互相联结而成的，例如图1-1所示的工业厂房，就是由屋架、柱子、吊车梁、支撑、基础等部分所组成。图1-2所示为厂房排架（由屋架、柱子和基础组成）所受荷载的示意图。

在设计和建造一幢房屋时，要做到精心设计，精心施工，必须从实际出发，根据结构所受的荷载以及其它外来因素的影响，进行各构件的截面设计。譬如，要设计房屋建筑中的一根钢筋混凝土梁，究竟要多粗，里面要放多少钢筋，这些钢筋要放在什么位置，才能保证这根梁既满足使用的要求（不致于断裂或者产生过大的弯曲）、而又不浪费建筑材料呢？这些都是房屋结构设计中需要解决的问题。然而，在进行构件的截面设计之前，必须知道结构在外荷载作用下各截

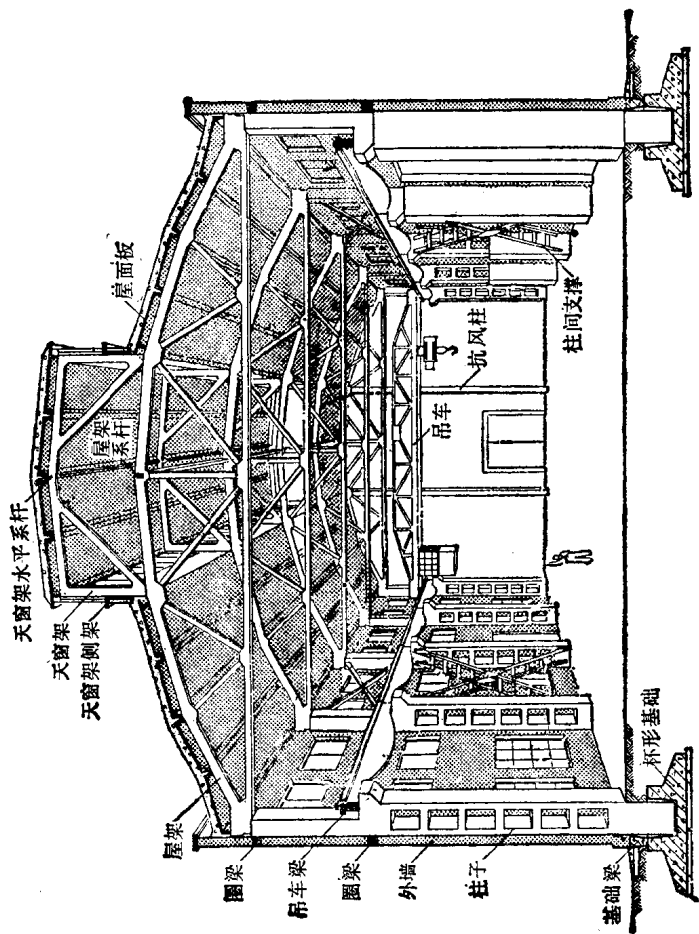


图 1-1

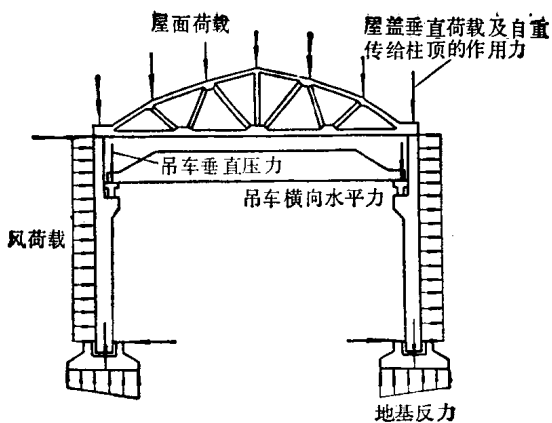


图 1-2

面所产生的内力（弯矩、剪力和轴力）。所以关于结构的内力分析，就成为结构设计中必不可少的一个内容。本书向大家介绍的结构力学知识，主要就是为了解决如何计算结构的内力和位移的问题。另外，在装配式结构的施工吊装过程中，构件常处于与正常使用期间不同的受力状态，也需要先用结构力学知识算出构件的内力，进行吊装验算，以确保安全施工。因此，掌握好结构力学知识有助于多快好省地完成基本建设中的设计和施工任务。

1.2 结构计算简图的概念

要对一个结构进行力学分析，即要算出结构在荷载作用下的支承反力和各截面的内力（弯矩、剪力和轴力），如果不作某些假定，而想完全严格地考虑结构的全部特点及其各部分之间的相互作用来进行计算，往往是不可能的，而且也

是不必要的。因此，在对结构进行力学分析之前，必须将实际结构加以简化，抓住主要矛盾，忽略一些次要因素，用一个简化图形来代替实际结构。这种在结构计算中用以代替实际结构的简化图形，叫做结构的**计算简图**。要正确地、恰当地选取实际结构的计算简图，是一个比较复杂的问题。这里先作一个简要的介绍，在以下各章中还将结合具体问题进一步讨论。下面，我们用一个最简单的例子来说明采用计算简图的必要性，并简述选取计算简图的方法和原则。

图1-3, *a* 是一根搁置在砖墙上的钢筋混凝土梁，其上受均布荷载 q （包括梁的自重）的作用。这虽然是一个最简单的结构，但是如果严格按照实际情况来计算，那也是办不到的，因为梁两端的反力沿墙宽的分布情况非常复杂，反力无法确定，因而也就难以进一步计算其内力。为了选择一个比较符合实际的计算简图，我们先分析一下梁在受力后的变形情况，它的特点是：（1）梁搁在砖墙上，其两端不可能有垂直向下的移动，但梁弯曲时两端可以发生转动；（2）整个梁不可能在水平方向发生整体移动；（3）当梁受温度变化的影响时，可以在水平方向自由伸缩。考虑到梁的这些变形特点，可以对梁的支承情况作如下处理，即在左端墙宽的中点设置固定铰支座（在结构力学中常用两根支座链杆来表示），在右端墙宽的中点设置活动铰支座（常用一根垂直支座链杆来表示），而对梁本身则以其轴线来代替，于是得到图1-3, *b* 所示的计算简图。在这个计算简图中，由于两端是铰支座，梁在两端不可能有垂直向下移动，但可以转动，这就符合了上述梁变形的第一个特点；由于左端为固定铰支座，其水平链杆限制了梁在水平方向的整体移动，这就符合了第二个特点；由于右端为活动铰支座，允许梁在水平方向

自由伸缩，这就符合了第三个特点。从受力情况来看，采用这个计算图，就是假定梁的反力沿墙宽为均匀分布，并进一步以作用于墙宽中点的合力来代替分布的反力。

利用图1-3，b所示计算简图，就可以很方便地求得梁的支座反力和内力，这种梁通常叫做简支梁。实践证明，只要墙宽比梁的长度小很多，同时梁的截面尺寸也比梁的长度小很多，则作上述简化是符合梁的实际受力情况的。

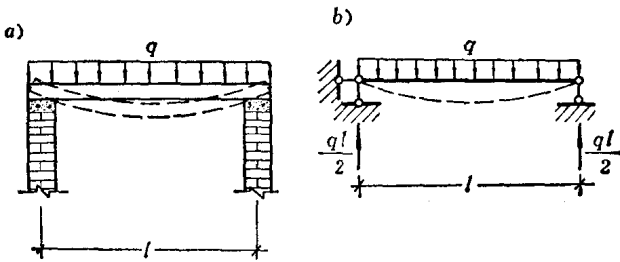


图 1-3

选取计算简图时，应该遵循如下两个原则：（1）应尽可能正确地反映结构的主要受力情况，使计算结果能保证可靠、精确；（2）必须抓住主要矛盾，忽略某些次要因素，力求计算简便。

恰当地选取计算简图，不仅要掌握选取的原则，而且需要有较多的实践经验。对于一些新的结构型式的计算简图，往往还需要通过反复试验和实践才能确定。不过，对于常用的结构形式，前人已积累了许多经验，我国广大工程技术人员在长时期的实践中也总结了许多宝贵的经验，我们可以直接采用。最后还要指出，在结构设计中，当选定了结构计算简图后，往往要采取相应的构造措施，以使实际结构的内力分布与计算简图的情况相符。

1.3 体系的几何组成分析

日常生活的实践经验告诉我们，要想钉一个正方形的木架子，只用四根木头钉成一个四边形（图1-4，a）是不行的，因为这种架子在受到力的作用后，就会歪斜变形（如图中虚线所示）。假如我们在这个方架子的对角线上再钉上一根木头（图1-4，b），使它变成为由两个三角形组成的，这个架子就稳固了。这是什么道理呢？我们先看看由三根木头（杆件）所钉成的三角形架子（图1-5，a），其中每两根杆件之间用钉子联结。这种联结相当于一个铰，是不能阻止两根杆件发生相对转动的，所以计算简图如图1-5，b所示。由

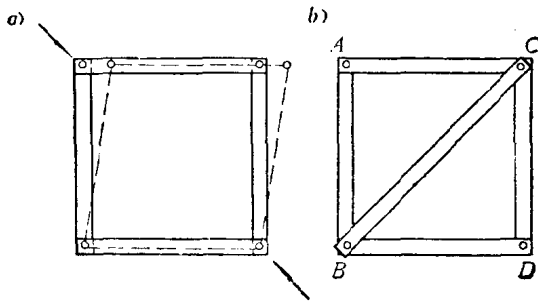


图 1-4

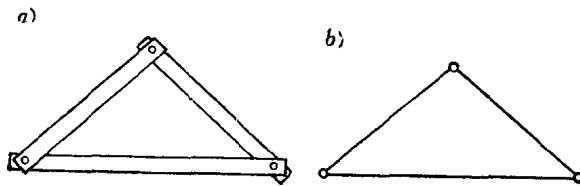


图 1-5

几何学可知，只要三角形三个边的长度不变，则三角形的形状和大小也就不会改变，所以当不考虑杆件本身的变形时，由三根杆件用铰相联而组成的三角形架子其几何形状是不变的。由此可知，在图1-4, *b*中 ABC 部分是几何不变的。再将此几何不变部分与杆件 CD 、 BD 相联，又组成了一个新的几何不变部分。因为整个木架子是几何不变的，所以是稳固的。我们通常所看到的屋架（图1-1），大多数都是由一个个三角形组成的，也就是这个道理。

再看图1-6, *a*所示的简支梁，为什么它与基础之间不会发生相对运动呢？也就是说，为什么梁与基础能组成一个几何不变的体系呢？这是因为，如果我们在梁的 A 端用一根竖向链杆和一根水平链杆（即一个固定铰支座）把梁和基础联结起来以后，梁就只能绕 A 点对基础作相对转动（图1-6, *b*），如果再在 B 端加上一根竖向链杆（活动铰支座）就可以阻止这种转动，于是梁和基础之间也就不可能发生任何相对运动了。

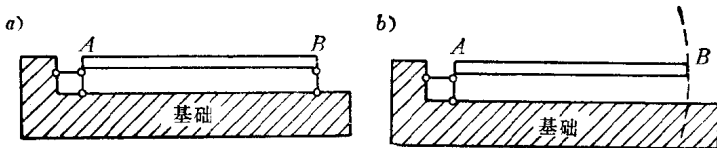


图 1-6

体系受到任意荷载作用后，在不考虑材料应变的条件下，若能保持其几何形状和位置不变者，称为几何不变体系。对于尽管只受到很小荷载作用，也将发生几何形状改变的体系，则称为几何可变体系。在上面所论述的例子中，图1-4, *b*和图1-6, *a*所示两体系都属于几何不变体系；而图1-4, *a*

所示体系则属于几何可变体系。

因为在分析体系的几何组成时，不考虑材料的应变，所以为便于分析起见，通常可以把一根杆件或体系中已经肯定为几何不变的某个部分看作是一个刚体，而称之为刚片。例如，在图1-4，*b*中可以把杆件 BC 、 BD 和 DC 看作是三个刚片，也可以把 BCD 部分看作是一个刚片；在图1-6，*a*中可以把梁 AB 和基础看作是两个刚片等等。

将上述关于体系几何组成的概念和刚片的定义结合起来，我们就可以提出平面几何不变体系的简单组成规则如下：

(1) 两个刚片用三根不全平行又不全交于一点的链杆联结，或者用一个铰（相当于两根链杆）和一根不通过该铰的链杆联结，就可组成一个几何不变体系。图1-6，*a*所示体系就是按这一规则组成的。

(2) 三个刚片用不在一直线上的三个铰两两相联，就可组成一个几何不变体系，如图1-5，*b*所示。

(3) 在一个刚片上增加一个二元体仍为一个几何不变体系。

所谓二元体是指由两根不在一直线上的链杆联结一个新结点的设置。如图1-7所示，在一个刚片上增加了一个二元体，易见这是一个几何不变体系。实质上，它与上述组成

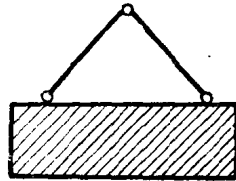


图 1-7

规则(2)相同，但由于它的应用较广，所以单独将它提出。

根据上述简单规则，就不难进一步组成更为一般的几何不变体系。例如图1-8所示体系，它是先按规则(2)将刚片 AD 、 DB 和基础用 A 、 D 、 B 三个铰两两相联，组成一个

几何不变部分；进而按规则（1）再将此几何不变部分与刚片DC用铰D和一个支座链杆相联结，便可组成一个较为复杂的几何不变体系。又如如图1-9所示的桁架，则是从一个基本铰接三角形（如123）开始，按规则（3）依次增加二元体所组成的几何不变体系。

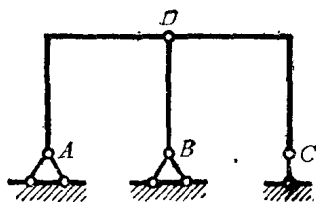


图 1-8

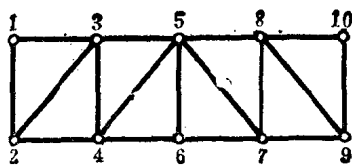


图 1-9

自然，也可以按照上述组成几何不变体系的几项基本规则来判别给定体系是否为几何不变的。此时，对于较复杂体系，为了便于分析，可先把其中能直接观察出的某些几何不变部分当作刚片，或撤除若干二元体，因为这不会影响原有体系的几何组成性质。

值得指出，在上述几项规则中，都提出了一些限制的条件，如联结两刚片的三根链杆不能全交于一点也不能全部都平行；联结三刚片的三个铰不能在同一直线上等。现在我们来研究，如果不加这些限制条件，其结果将会如何。

如图1-10, a所示的两个刚片用全交于一点O的三根链杆相联，此时，两个刚片可以绕O点作相对转动，但在发生一微小转动后，三根链杆就不再全交于一点，从而将不再继续发生相对转动。这种在某一瞬间可以产生微小运动的体系称为瞬变体系。又如如图1-10, b所示两个刚片用三根互相平行但不等长的链杆相联，此时，两个刚片可以沿着与链杆相

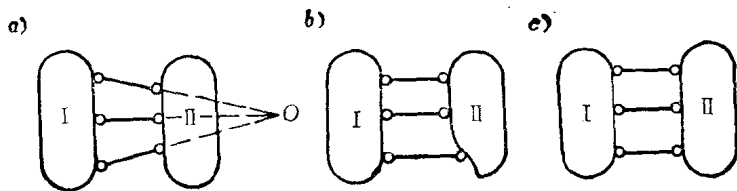


图 1-10

垂直的方向发生相对移动，但在发生一微小的相对移动后，此三根链杆就不再互相平行，故这种体系也是瞬变体系。但应该注意，若三根平行链杆为等长（图1-10，c），则在两

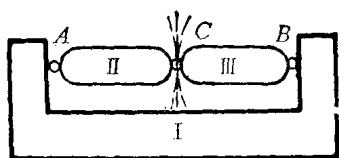


图 1-11

刚片发生一相对运动后，此三根链杆仍互相平行，故运动将继续发生，这样的体系便是几何可变的了。

现在再来看三个刚片位于一直线上的三个铰两两相联的情形（图1-11）。此时C点位于以AC和BC为半径的两个圆弧的公切线上，故在这一瞬间，C点可沿此公切线作微小的移动。不过在发生一微小的移动后，三个铰就不再位于一直线上，运动也就不再继续，故此体系也是一瞬变体系。

虽然瞬变体系看来只在某一瞬间产生微小的相对运动，随后即成为几何不变的，但是，进一步考察其受力情况则将发现，它不可能在发生一微小相对运动后即行停止。如图1-12，a所示瞬变体系，设在外力P作用下C向下发生一微小的位移而到C'的位置，由图1-12，b所示隔离体的平衡条件 $\Sigma Y = 0$ 可得

$$S = \frac{P}{2\sin\varphi}$$