

建筑结构基本知识丛书

结构力学

湖南大学
《结构力学》编写组



中国工业出版社

本书是建筑结构基本知识丛书之一，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
中首先讨论结构计算简图和结构的几何不变性问题；随后分
章介绍几种最常见的结构，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、有吊车荷载的铰接
排架、肋形（连续梁）楼盖等的计算方法和例题。

本书可供从事基本建设的职工和上山下乡知识青年自学
建筑结构知识参考。

本书由刘光栋、李家宝和王兰生执笔。

建筑结构基本知识丛书

结构力学

湖南大学《结构力学》编写组

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：7 1/8 字数：150 千字

1976年12月第一版 1976年12月第一次印刷

印数：1—110,930册 定价：0.46元

统一书号：15040·3329

出版说明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，经过无产阶级文化大革命、批林批孔运动和无产阶级专政理论学习运动，我国的社会主义革命和社会主义建设取得了伟大的胜利。设计战线上的广大职工以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线，坚持独立自主、自力更生的方针，群众性的设计革命运动蓬勃开展。

为适应基本建设战线广大职工和上山下乡知识青年学习建筑结构知识的需要，我们组织编写了这套《建筑结构基本知识丛书》，为具有初中以上文化水平的读者从事建筑结构设计工作提供入门的知识。丛书包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识，将按专题分册出版。每册力求重点突出，并有一定的独立性，以便读者根据需要选读。

这套丛书的编写，力求从设计工作的实际需要出发，采取从感性到理性、先具体后抽象的方法，通过工程实例，对建筑结构的物理概念和结构分析计算的实用方法进行通俗浅显的讲解，避免繁复的数学推导，并附有计算例题。

本丛书的出版工作，得到有关单位的大力支持，我们表示衷心的感谢，并希望广大读者提出批评意见，以便再版时订正。

中国建筑工业出版社编辑部

一九七五年十一月

目 录

第一章 绪论	1
一、为什么要学习结构力学	1
二、什么是结构的计算简图	3
三、结构的几何不变性、静定结构和超静定结构	6
第二章 单跨静定梁和静定刚架	10
一、简支梁的计算	10
二、悬臂梁的计算	20
三、绘制单跨静定梁内力图的小结和讨论	26
四、伸臂梁的计算(最大最小弯矩图)	32
五、楼梯斜梁的计算	44
六、静定平面刚架的计算	50
第三章 屋架	60
一、屋架的计算简图	60
二、用结点法求屋架的内力	64
三、用截面法求屋架的内力	77
四、用图解法求屋架的内力	80
五、各式屋架的比较及其应用范围	89
第四章 三铰拱和三铰屋架	92
一、拱结构有什么特点	92
二、三铰拱的计算	96
三、什么叫做拱的合理轴线	104
四、三铰屋架的计算	106
第五章 结构的位移计算	113
一、为什么要计算结构的位移	113

二、怎样计算结构的位移.....	114
第六章 单跨超静定梁	127
一、超静定结构的特殊矛盾——多余联系的存在.....	127
二、一端固定另一端铰支的等截面单跨梁.....	130
三、下端固定、上端铰支的单阶柱.....	136
四、两端固定的等截面单跨梁.....	140
五、支座移动对单跨超静定梁的影响.....	146
第七章 铰接排架	152
一、横向排架的计算简图.....	152
二、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	154
三、单跨铰接排架的计算.....	167
四、多跨等高铰接排架的计算（剪力分配法）.....	176
第八章 肋形楼盖	190
一、房屋建筑中的连续梁.....	190
二、两跨连续梁的计算（力矩分配法）.....	193
三、多跨连续梁的计算.....	206
四、计算实例.....	210

第一章 绪 论

一、为什么要学习结构力学

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。在房屋建筑中，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、柱子和基础所组成）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，要设计工业厂房中的一根钢筋混凝土柱子，究竟要多粗，里面要放多少钢筋，这些钢筋要放在什么位置，才能保证这根柱子既满足使用的要求（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

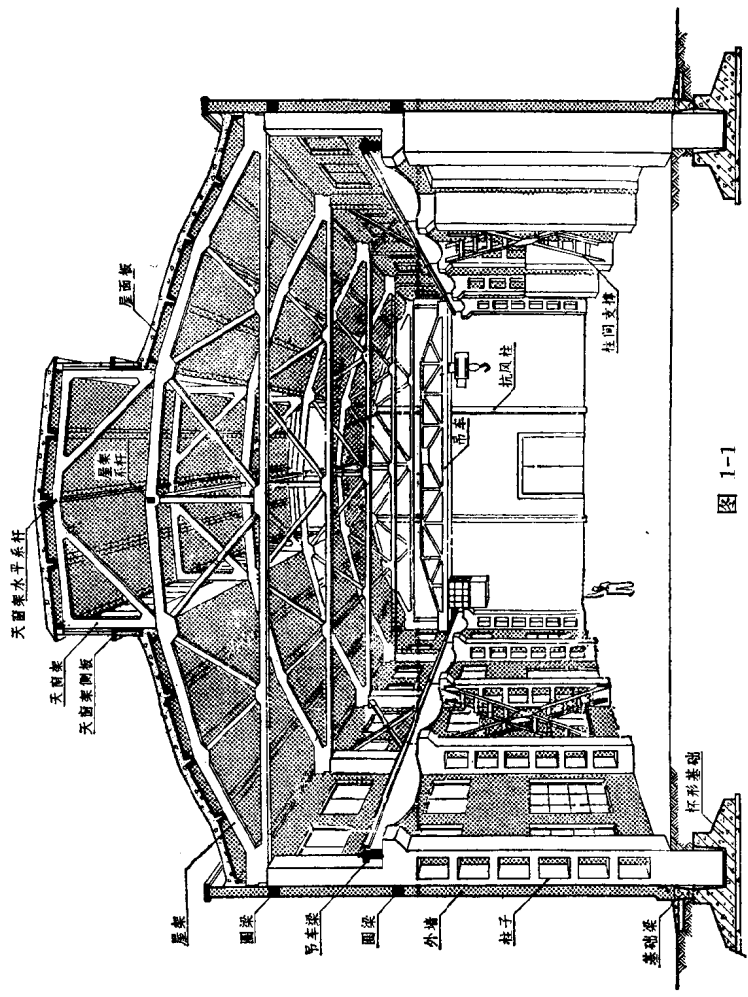


图 1-1

各截面所产生的内力（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。这本小册子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。

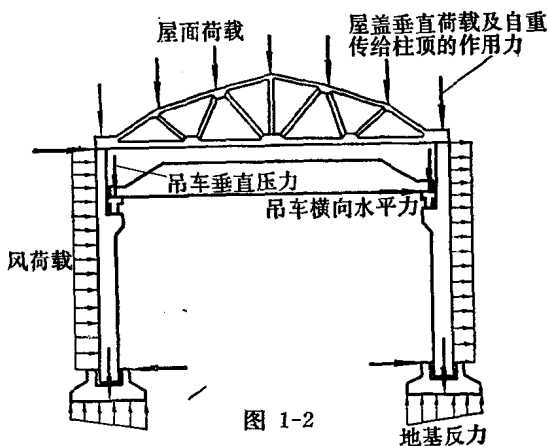


图 1-2

二、什么是结构的计算简图

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

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, α 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。这虽是一最简单的结构,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的移动,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

算简图，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。

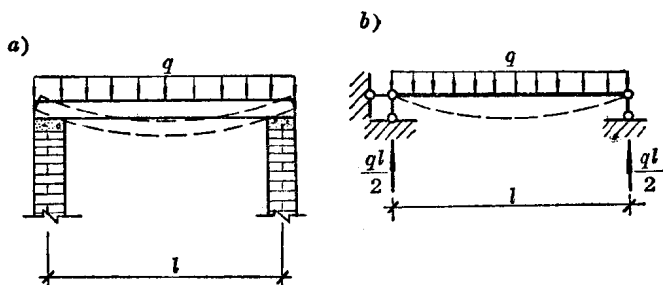


图 1-3

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。

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, 对于常用的结构型式, 前人已积累了许多经验, 我国广大土建工人和革命技术人员在三大革命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。

三、结构的几何不变性、静定结构和

超静定结构

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），使它成为由两个三角形所组成，这个

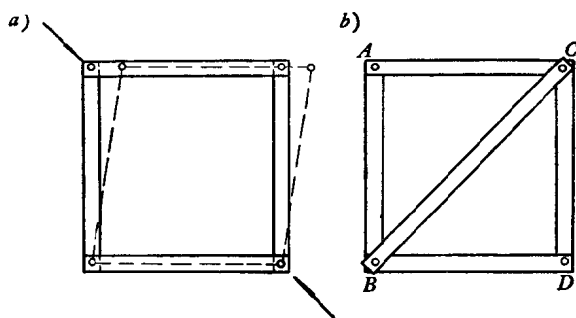


图 1-4

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，这种体系叫做几何不变体系。为了便于分析起见，通常把一个杆件或由若干个杆件所组成的几何形状不变的部分叫做刚片，

则由上述可知：凡三个刚片用三个铰联成一个三角形（换句话说，就是三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。根据这一结论便可知在图1-4, b中ABC部分是几何不变的，将它看作一个刚片后，则此刚片又与杆CD、BD组成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（见图1-1），大多数都是由一个个三角形组成的，也就是这个道理。

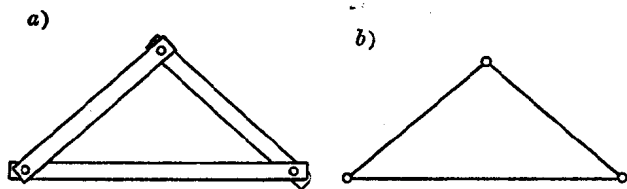


图 1-5

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（把基础看成一个大刚片）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。所以，凡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（相当于两个链杆）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。

房屋结构必须是几何不变的体系。由上述分析可知，为使结构的几何形状不改变，必须有一定数量的杆件或联系（

一个支座链杆相当于一个联系；在图1-5, *b* 中一个联结两个杆件的铰相当于两个链杆，是两个联系。一个联系与一个力相对应），而且要按照一定的规律布置。

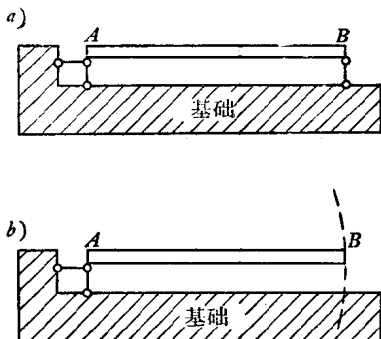


图 1-6

值得指出，上述用以联结各杆件（刚片）而组成几何不变体系的联系数目乃是必须具备的最低限度的联系数。如果联系数目不足，则所组成的体系是几何可变的，这就不能作为结构。在实际工程结构中，经常还会遇到另一类结构，它的联系数目除满足几何不变要求外，尚有多余。例如图1-7, *a* 所示的梁（连续梁），如果将 *C*、*D* 两支座链杆去掉（图1-7, *b*）仍能保持几何不变性，并且这时再无多余联系了，所以这根连续梁有两个多余联系。显然，这种具有多余联系的体系，仍是几何不变体系。所以，同是几何不变体系，又可分为具有多余联系和没有多余联系的两类。这两类体系都可用来作为结构。

对于无多余联系的几何不变体系（例如图1-8所示的简支梁），由材料力学可知，它的全部反力和内力都可由静力平衡方程（ $\sum X=0$ ， $\sum Y=0$ ， $\sum M=0$ ）求得，且为确定值，这类结构叫做静定结构。

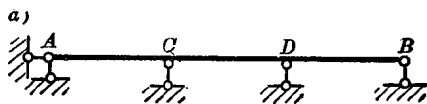


图 1-7

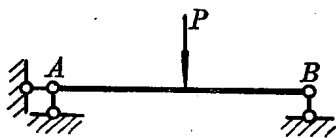


图 1-8

但是对于具有多余联系的几何不变体系，却不能由静力平衡方程求得其全部反力和内力。例如如图1-9所示的连续梁，其支座反力共有五个，而静力平衡方程只有三个，因而只利用静力平衡方程无法求得其全部反力的确定值，从而也就不能求得它的内力的确定值，这类结构叫做超静定结构。

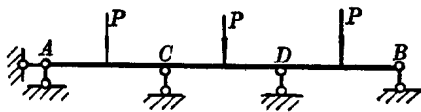


图 1-9

下面，我们将分章讨论几种最常见的静定结构和超静定结构

的计算原理和方法，其中第二、三、四、五章讨论的是静定结构，第六、七、八章是超静定结构。

第二章 单跨静定梁和静定刚架

我国当前兴建的民用房屋，主要采用钢筋混凝土与砖石混合结构（简称混合结构）。在民用房屋混合结构中，两端搁置在砖墙上的大梁，一端嵌固在墙身内的走廊或檐口挑梁，都是钢筋混凝土梁。另外，象楼板、雨篷、走道板等构件，通常也采用钢筋混凝土材料做成，这些构件的受力特点和梁一样，也是单向受力，所以叫做梁式板。本章打算先从一些典型构件入手，说明其内力的计算方法，然后将这一类构件的内力计算和内力图的作法，加以概括和提高，为今后的位移计算和超静定结构的计算作个准备。最后，以三铰门式刚架为例，简单介绍静定刚架内力图的作法。

一、简支梁的计算

本节将要讨论的典型构件，从力学的计算简图来看，叫做简支梁。

图 2-1, *a* 所示为某住宅的走廊局部空间示意图。走廊由许多块预制钢筋混凝土平板所组成。平板的一端搁在砖墙上，另一端搁在廊梁上。图 2-1, *b* 为其纵剖面图。平板的尺寸如图 2-1, *d* 所示。

在设计预制钢筋混凝土平板时，当平板的尺寸选定以后，就应该根据平板所受的荷载，先计算平板的内力，然后根据截面内力的大小选择钢筋的用量并布置钢筋。下面，着重介绍内力如何计算。

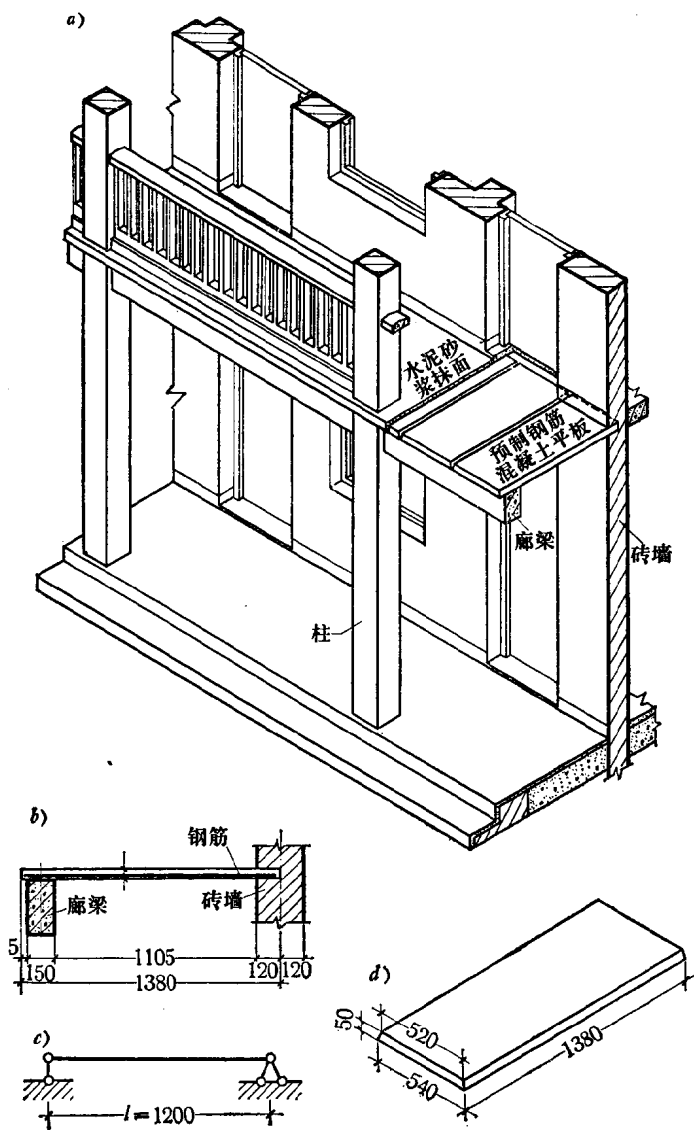


图 2-1

根据平板两端的搁置情况，每一块平板为一简支梁式板。在计算内力时，以板的轴线代替平板，右端视为固定铰支座，左端视为活动铰支座，其计算简图如图 2-1, c 所示。计算跨度 $l = \text{净跨 } l_0 + \text{板厚} = [1380 - (120 + 150 + 5)] + 50 = 1155 \text{ mm}$ ，近似地取其整数 $l = 1200 \text{ mm} = 1.2 \text{ m}$ 。

为了计算板的内力，需要知道平板在使用和施工期间所受的荷载。平板承受恒载（包括它的自重和抹面重）、楼面使用荷载或施工集中荷载的作用。但是这些荷载不会同时出现，恒载总是要考虑的，使用荷载和施工集中荷载则不需同时考虑。因此应比较两种荷载组合情况，即：1）恒载 + 使用荷载；2）恒载 + 施工集中荷载。按这两种组合情况分别计算内力，然后取内力较大的荷载组合作为设计的依据（这种组合称为荷载的最不利组合）。现分别介绍这些荷载：

恒载：1. 板的自重。已知钢筋混凝土的容重为 2500 kg/m^3 （即每立方米的钢筋混凝土重 2500 公斤），所以每米长的板重为 $2500 \times 0.05 \times 0.55 = 68.8 \text{ 公斤}$ ①，即 $g_1 = 68.8 \text{ kg/m}$ ；
2. 抹面重。已知水泥砂浆的容重为 2000 kg/m^3 ，抹面厚 20 mm ，每米长的板上抹面重为 $2000 \times 0.02 \times 0.55 = 22 \text{ 公斤}$ ，即 $g_2 = 22 \text{ kg/m}$ 。因此，恒载（均布荷载）为 $g = g_1 + g_2 = 68.8 + 22 = 90.8 \text{ kg/m}$ 。

使用荷载：由荷载规范知，住宅走廊的均布活荷载为 150 kg/m^2 。所以平板每米长度上所承受的活荷载为 $150 \times 0.55 = 82.5 \text{ 公斤}$ ，即 $p = 82.5 \text{ kg/m}$ 。

① 预制平板的横断面本来是一个梯形（图 2-1, d），但在施工时，平板与平板之间不可能完全靠紧，铺设之后，平板之间要用水泥砂浆灌缝，所以在计算平板所承受的荷载时，其断面按矩形考虑。加上缝的宽度，我们取板宽为 55 厘米。