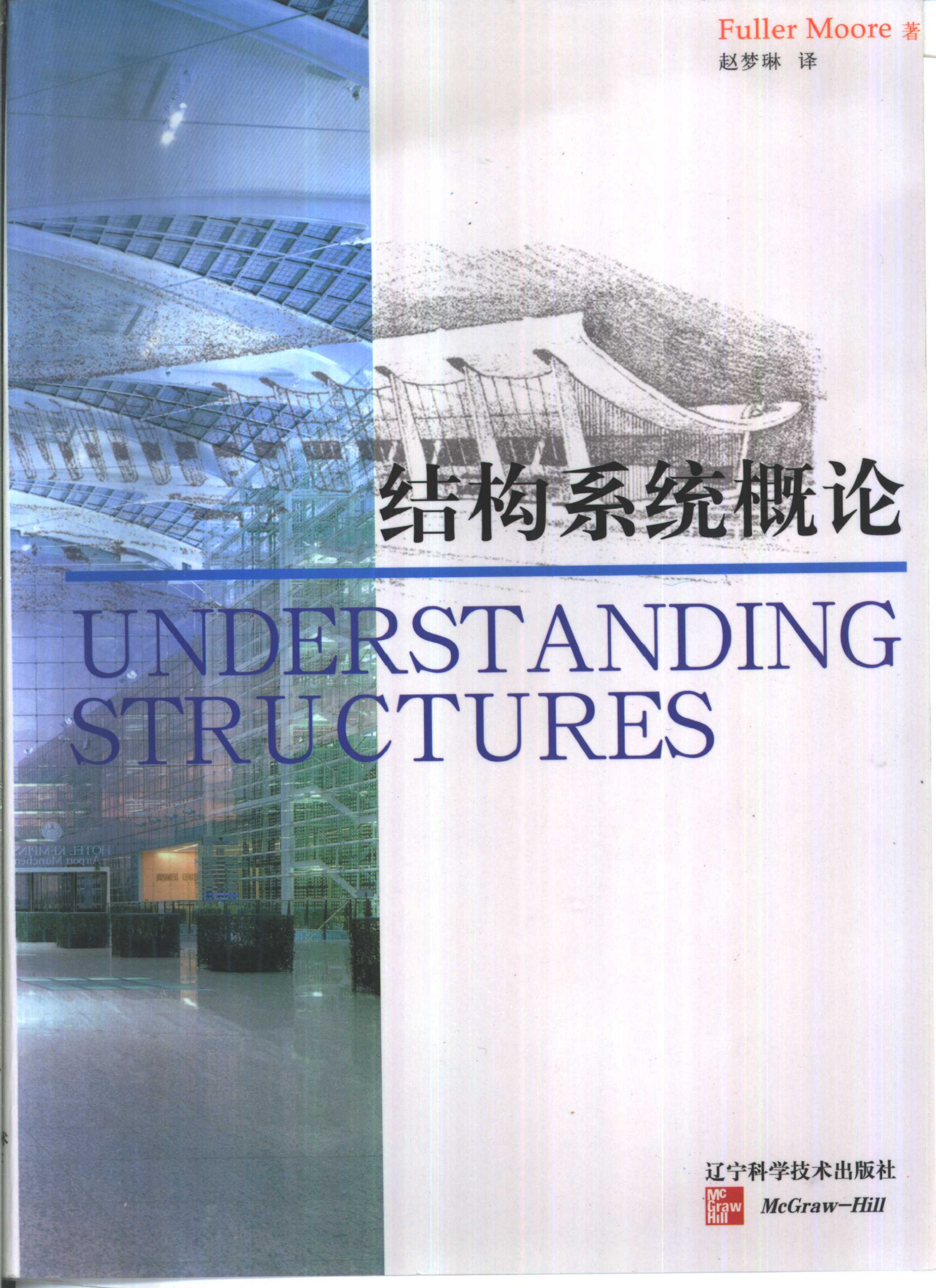


Fuller Moore 著

赵梦琳 译



结构系统概论

UNDERSTANDING STRUCTURES

辽宁科学技术出版社



McGraw-Hill

Fuller Moore 著
赵梦琳 译

结构系统概论

Understanding Structures

辽宁科学技术出版社



McGraw - Hill

Original: Understanding Structures

by Fuller Moore

ISBN: 0 - 07 - 043253 - 8

Copyright © 1999 by McGraw - Hill, Inc.

All rights reserved.

本书中文简体字版由辽宁科学技术出版社和美国麦格劳 - 希尔国际公司合作出版。
未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有, 翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

结构系统概论/(美)穆尔(Moore, F.)著; 赵梦琳
译. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001. 8
ISBN 7 - 5381 - 3460 - 3

I. 结... II. ①穆... ②赵... III. 建筑结构 - 概论
IV. TU31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 052536 号

本书合同登记号为: 辽宁省版权局著作权合同登记号 06 - 2001 - 27

出 版 者: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印 刷 者: 沈阳七二二工厂

发 行 者: 各地新华书店

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 515 千字

印 张: 23

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2001 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2001 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 陈慈良

封面设计: 耿志远

责任校对: 周 文

定 价: 36.00 元

联系电话: 024 - 23284360

邮购咨询电话: 024 - 23284502

E - mail: lkzsb@mail. lnpgc. com. cn

http://www. lnkj. com. cn

前 言

如要进入结构设计的领域，当务之急是要了解结构特性。借着这些对结构设计的基本认识，建筑系的学生在进行建筑设计时，即可决定可采用的结构系统、尺寸及跨距等。甚至可进一步列出一些初步的计算式，以解释为何用此种结构系统。

计算在结构上所占的分量常为人所误解。许多结构设计大师，常在决定结构系统之后，才进行计算，此时的计算式通常也在认证当初所选择的结构系统。而许多结构的入门教材，在一开始时即强调结构计算。

本书的作者在本书中即以基本、少量的计算，来阐述结构系统如何作用。以最简要的方式，来解释自重、风力、地震等对缆索、拱、桁架、梁、柱、楼板所造成的压力、张力等。建筑师对结构的了解，不仅限于表面，更需深入其本质。这些结构特性与构件材料亦有关，需视材料为钢构、混凝土、石材还是木材而定。作者巧妙地强调各种结构特性荷重的分布情形，使得读者无论到哪个工地，都可很快地掌握构造物的结构特性。更重要的是，借由许多著名案例的解析，本书可令读者很快地了解结构设计重点。

摩尔教授可谓本书的惟一人选。身为建筑师，他不但对建筑物的造型、空间均非常熟悉，亦擅长建筑的环境、照明、外墙和结构，对于这些项目间相互的影响牵制也相当了解。作为一位资深老师，摩尔教授素以耐心及翔实生动的授课闻名。

这些生动的讲演，经由摩尔教授细心的记录、整理、插图，配合学生的需要而编为一本教科书。

对于结构的研究，实为终生的追求，读者可由其中得到无比的乐趣。再也没有比阅读这本书更容易令人登堂入室了。

——爱德华·艾伦

序

本书的目的，在于介绍读者一些正确的建筑物结构观念，以及整体结构与建筑物设计。要能达到此境界，必须先透彻了解基本概念。在本书中，笔者即企图借用概念图及案例分析，让读者能对结构产生直觉式的了解。但这样质化的方法其实也有其限制，它应作为进一步学习计算式的先例。如马里欧·萨瓦多利(Mario Salvadori)生前所言：“必得借由计算，才能真正了解结构。”也希望能借由此书，来引发读者对结构真正的兴趣。至于案例的选择标准，则以能清楚阐述结构系统为主，因此多半为具有明显视觉或美学效果的案例。之所以选择这些案例，并不是说它们是较好的建筑，而是偏重于它们在结构上的代表性。

笔者在整理这些手稿时发现，实在需要感谢这些案例的原设计人。笔者在分析时虽已尽量详细，但仍感未能完全表达原设计的精华。

其实笔者更要感谢的，应是笔者的老师、学生、同事。与他们之间的互动，深深影响着笔者的执业、教学以及本书的内容。在这里要感谢的有克里斯·班顿，汤姆·布利尔，戴丁，克里斯·路克曼，米谢尔·浦顿，约翰·雷诺，瑟吉欧·沙门布欧，吴夫根·舒勒，麦克·幽丁杰，约翰·韦根，以及查尔斯·渥利。

以下人士的协助也是我要感谢的：菲利浦·柯吉(他将公制归入一些结构分析图中)，理查·柯罗制作的模型，魁克·印立区的资料整理。

在此还要感谢爱德华·艾伦的仔细校阅，以及对笔者不断的鼓励与支持。他的幽默与热心也感染了参与本书的每个人。

——富勒·摩尔

导 论

结构的具体化或孕育过程是一门艺术。它绝不仅是一种理性的思考，更应出于内在的经验与直觉。

——爱顿度·托雷杰(*Eduardo Torroja*)

构造技术是一门科学，实行起来却是一门艺术。

——罗得列克·梅尔(*A Roderick Males*)

结构与建筑设计是不可分的。无论这个建筑是简单的庇护所，或是高大的宗教、商业空间，它都必须能抵抗重力、风力甚至火灾。

古罗马的维多维丘(*Vitruvius*)曾为建筑定下基本要求：坚固(结构的永久性)、适用和美学。在这些原则中，又以坚固最为重要，它由结构构造所决定。

一般人会以为伟大的建筑必然有合理的结构。其实不然，许多设计者常为了美学或机能的原因，而忽略结构。许多建筑看来近似雕塑，那是隐藏了结构或构造系统。通常这些例子多半为较小的构造物，对不合理的结构不至于造成影响。

但这种情形较不适于大型建筑物，因它们的结构无论对美学或实用都影响甚大，结构往往也是造型的主要元素。

传统上建筑师应同时为主要的结构设计师，这在过去不会有什么问题。因长久以来结构系统的改变并不大，建筑师可依据经验值来决定结构尺寸。

但工业革命发生后，结构系统的进步使得建筑物愈盖愈大，愈复杂也愈大(感谢构架系统、电梯及加压水管等的发明)、愈宽(归功于钢构、混凝土梁、电灯、机械通风等)。如此一栋建筑物的结构、材料、机电设备等无法再只由一人设计，负责的建筑师应为一整个团队的统筹者。

但为了扮好统筹者的角色，建筑师对结构应有相当的了解。原因如下：第一，建筑师惟有对结构有全面的了解，才能与结构顾问做充分的沟通。第二，建筑师在具备这些知识后，方能落实结构顾问的建议，并兼顾设计及预算。第三，建筑师在初步设计阶段即可将结构纳入考量，对决定模矩或造型均会大有帮助。

目录

前言

序

导论

第一部分 结构理论/1

第一章 力学/3

第二章 材力/25

第二部分 桁架系统/39

第三章 缆索系统/41

第四章 桁架系统/49

第五章 空间桁架/63

第六章 球形空间桁架/79

第三部分 框架系统/87

第七章 柱与墙/89

第八章 梁与板/103

第九章 框架/137

第四部分 悬索系统/159

第十章 悬索/161

第十一章 帐篷/187

第十二章 充气式构造/197

第十三章 拱/215

第十四章 拱顶/237

第五部分 薄壳系统/259

第十五章 薄壳/261

第十六章 折板/293

第六部分 系统构成/305

第十七章 结构材料/307

第十八章 结构分布/325

附录 结构设计初步步骤/336

绘制图/344

参考书目/347

索引/355

第一部分 结构理论

单是学习所有的计算式或计算反力仍是不够的。设计者必须熟悉足够的细部及反复试验，直到结构应力分布、变形量等的常识已成为他直觉的一部分。

——爱顿度·托雷杰(*Eduardo Torroja*)

第 1 章

力学

精准的计算是很难达到的，但我们仍必须努力追求，以尽量避免人为所产生的错误。

——路易士·康 (Louis J. Kahn)

力学其实为物理科学的一部分，旨在分析力量的分布及物体的受力状况。它包括静力及动力学，动力学又包括速度加在受力体上的效应。但由于一般结构体很少移动，故静力学即可适用，但由于地震、风力等影响，结构的应力仍会涉及部分的动力学。

力

力的观念为结构学的基础，力会导致受力体的移动、张力或压力。

力的单位通常以重量来表达：磅 (pound force) (约等于将 1 磅的物体加速至每秒平方 32.17ft 加速度的力量)，1000 磅则称之为 1kip，此为工程上及本书一贯使用的单位。

至于国际度量衡 (International System of Units) 所规定的力学单位则为牛顿、力 (Newton)，意指将 1kg 的物体加速至每秒平方，1 米加速度的力量，1 磅 = 4.448 牛顿。

向量表示法

力兼具长度及方向性，应以向量来表示 (有的度量仅具长度而不具方向性)。向量可用箭头来表示，箭头的方向即为应力的方向，向量的长度即代表力的大小，如图 1.1 所示。

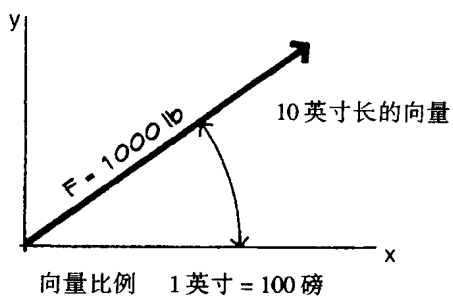


图 1.1 力的向量表示法

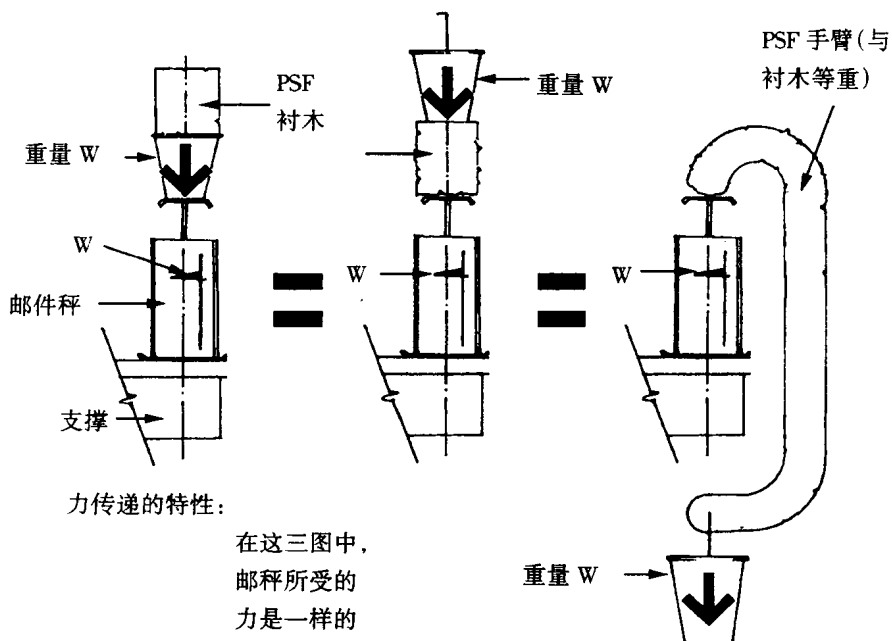


图 1.2 力传递的特性

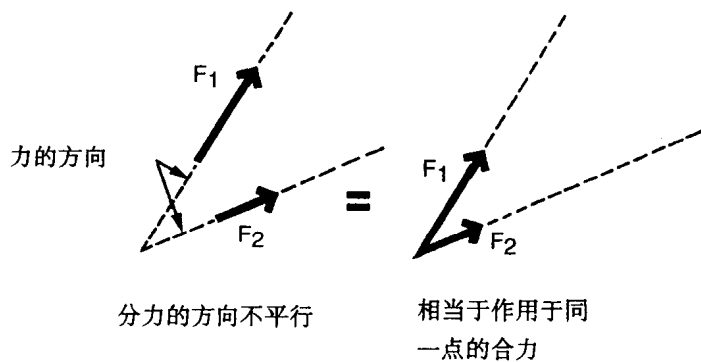


图 1.3 单独、不平行的分力相当于作用于同一点的合力

向量的长度可无限延长, 受力体的受力方向, 即由向量的方向来代表。大小由长度表示, 这些力的传递表示法如图 1.2 所示。

当两力交会时, 称之为合力。根据力学的传递原则, 不同方向, 个别的力亦以合力表达, 如图 1.3 所示, 如两力的方向为平行则视为另一种状况。

合力(resultant forces)

当两力交会时可用一合力代表。如图 1.4 所示, 合力可用平行四边形法来求出: 延长两分力的轴线, 并假设它们交会于一点。根据二轴线, 绘出平行四边形, 合力即为平行四边形的对角线。图 1.4 也包含两个以上分力、合力的求法, 此种表达方法非常清晰。

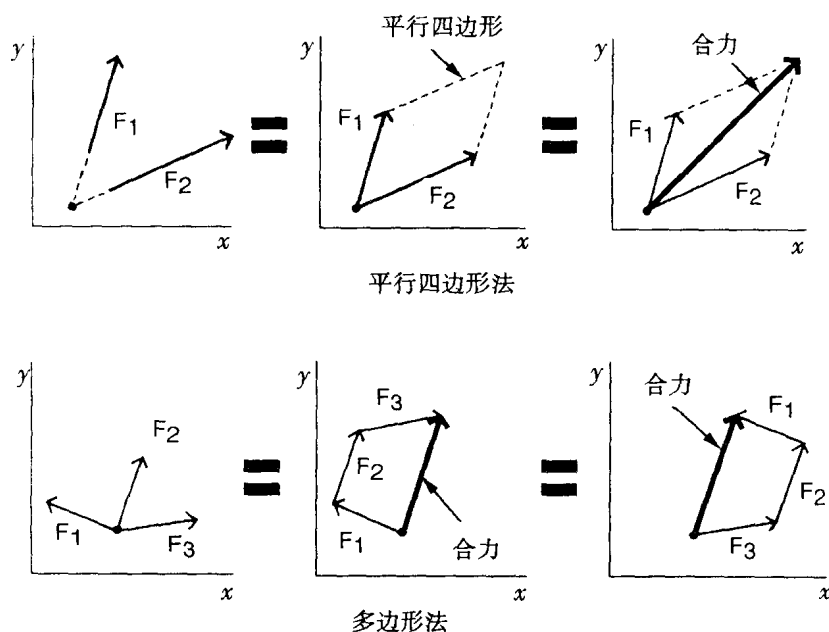
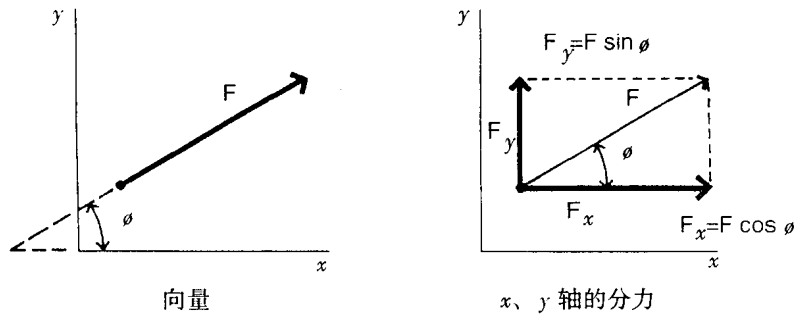


图 1.4 求合力的方法

力分解法(force components)

同样地, 力也可被分解为不同方向的分力。在结构分析上, 这样的方法很管用。如图 1.5 所示, 分解法主要为在力四周沿 x 、 y 轴画一矩形。既然力的大小可以用长度来表示, 那么就可以用三角函数来计算分力的大小: $F_x = F(\cos\theta)$ $F_y = F(\sin\theta)$ 。

图 1.5 将力分解为 x 、 y 轴的分力

当力被分解为 x 、 y 方向的分力后,即可按 x 、 y 轴方向来计算(加法即可),再按图 1.6 来算出合力 F 。也可代入公式 $\theta = \tan^{-1} (F_y/F_x)$; $F = F_y/\sin\theta$ ($F = F_x/\cos\theta$)

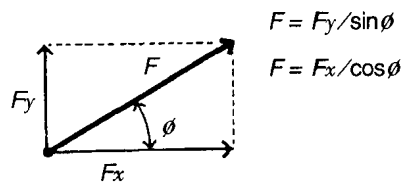


图 1.6 结合二分力,成为一合力

均布力(distributed forces)

前述的案例为作用于同一受力体且轴线有交集的。但力可能是分散的,受力点间可能有段距离。均布力的单位如下: lb/ft (磅/英尺)或是 N/m (牛顿/米)或是 lb/ft^2 (磅/英尺平方)或是 N/m^2 (牛顿/米平方)。

力的分布可能是平均的,也可能是渐变的。它的分布通常以多边形来表示:矩形表示平均分布的载重。三角形表示递增的载重。如图 1.7 所示。这些载重对受力体的作用,即等于这些均布载重的总和,作用于这些多边形的重心上。

反力与位移平衡(force reaction and translational equilibrium)

牛顿第三定律证明所有应力均有一相等及反方向的反力。当力或数个分力的合力作用于—受力体上,为维持物体的位移平衡,必有一与应力相当的反力。如无此反力,受力体必位移,如图 1.8 所示。图 1.8 为两力作用于—受力体,如图所示,必有一反力,以维持物体的位移平衡(不会产生位移)。力与反力的平衡如图 1.9 所示。

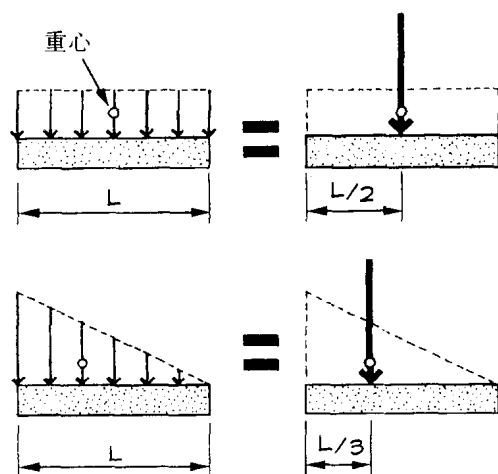


图 1.7 均布载重对受力体的作用，等于载重的总和，作用于多边形的重心上

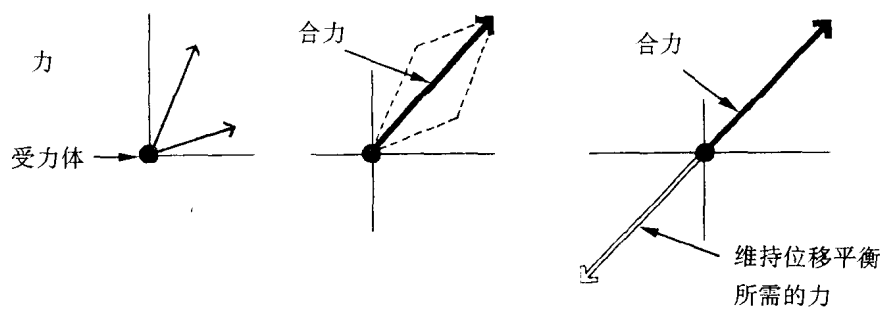


图 1.8 两力作用于一受力体，必有一反力以维持受力体的位移平衡

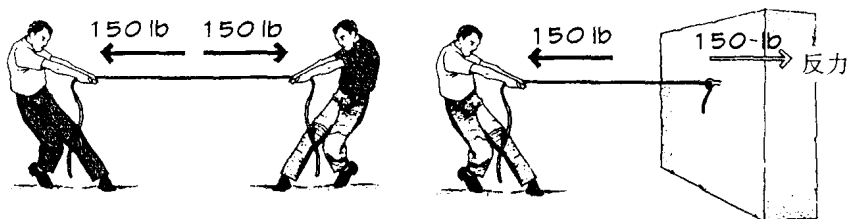


图 1.9 反方向力亦有同样的效果

虎克定律——应力产生的弹性效应

荷重在结构分析中是很重要的因素。举例来说,如果一本书掉下来,是因为这本书的自重,而且这本书并无反力支撑。(书下落的速度会一直增加,直到书本与空气产生的摩擦力与下降力相等,于是加速度不再增加。)

但如果书本下方有支撑(像是桌面),书本便会维持静止,这是因为桌面会对书本的自重产生反力。这样的过程并不明显,因为桌面原本就是静止的。其实仔细地分析,桌面是有弹性的,会因书本的轻压,像弹簧一般弹回,如图 1.10 所示,书本的自重会产生反力。

本定律为罗伯特·虎克(Robert Hooke)在 17 世纪所发现,被认为是探讨材料变形的基础科学。

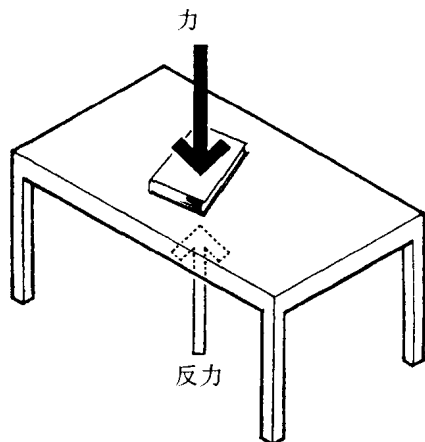


图 1.10 桌面的支撑如同弹簧一般,会对书本的自重产生相等的反力

位移平衡的分析(analyzing translational equilibrium)

位移平衡的观念为结构分析的基础,这些分析通常始于将力沿 x 、 y 、 z 轴分解,如需位移平衡,力与反力的总和则需如图 1.11 所示: $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ 及 $\sum F_z = 0$ 。相反地,如图 1.12 所示,如力已得知,即可利用代数式计算反力。

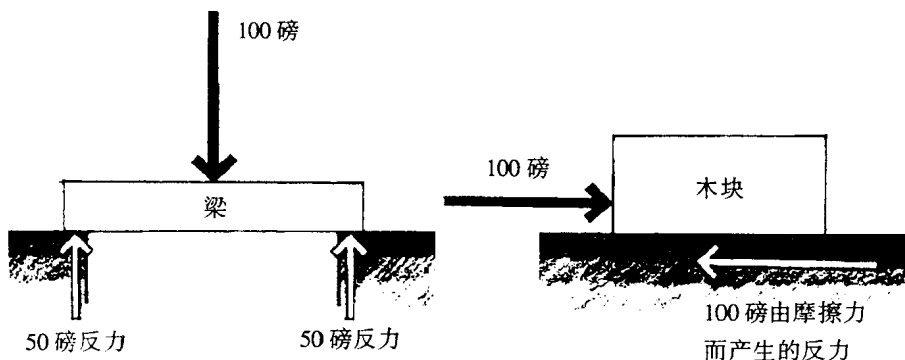


图 1.11 如需维持位移平衡,力与反力的总和为零

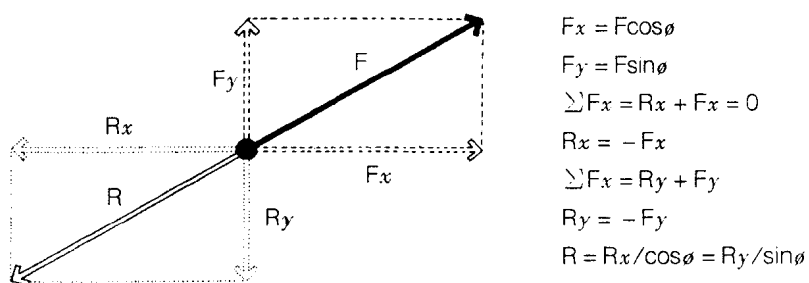


图 1.12 计算反力

力矩 (moments)

力矩为使物体旋转的力量，物体的定点力矩等于力乘以力到定点的距离(图 1.13)。(距离为力的轴线乘以轴线到定点的垂直距离。)而力矩无论作用于受力体的哪一点，对受力体的效应都是一样的，如图 1.14 所示。

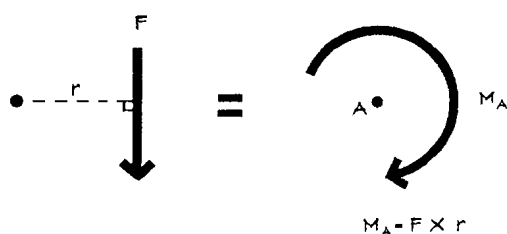
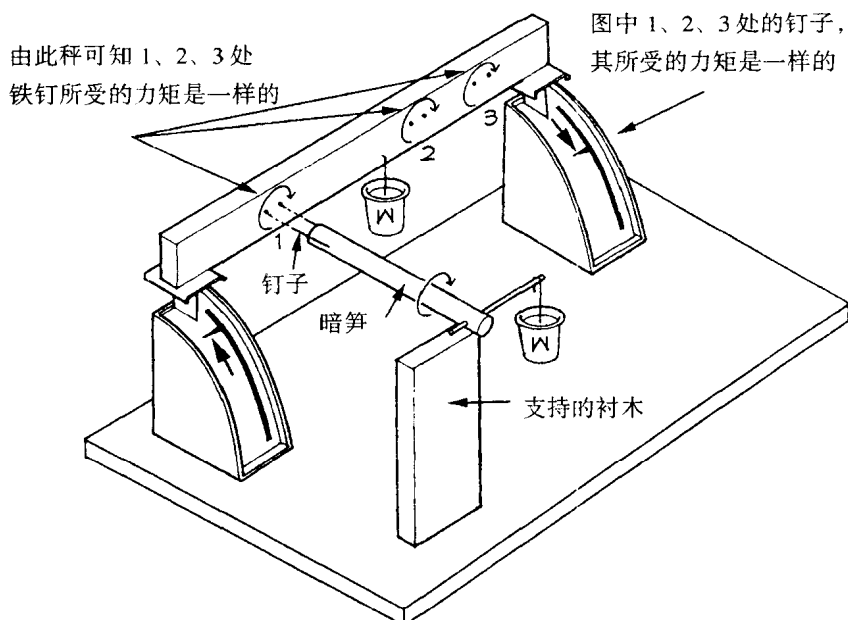
图 1.13 A 点的力矩 M_A 等于力 F 乘以 r 

图 1.14 由此实验可知，力矩的大小，与它作用于受力体的位置无关

力矩的单位为英尺—磅(ft.lb)或英尺—千磅(ft.kp); 公制则为牛顿·米(N·m)。如图 1.15 所示, 力矩若使受力体做逆时针方向转动, 则为正力矩; 若为顺时针则为负。此准则可以手掌的方向来记忆; 将右拳伸出, 大拇指朝上为正, 其余四指的方向则为力矩的方向, 反之亦然。这样的定义其实挺含糊的, 做相反的界定也没什么不可以。力矩的图形通常以旋转的箭头表示。

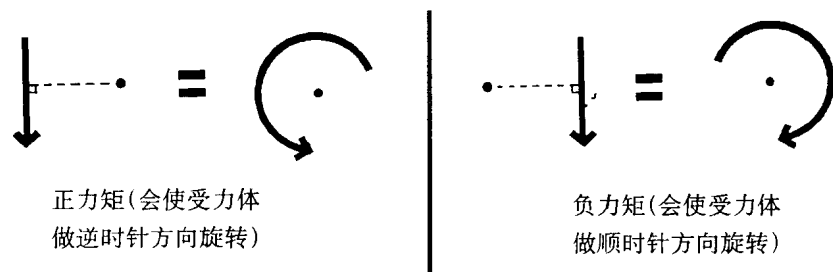


图 1.15 力矩的界定方式

力矩通常以中心点或轴代表, 举例来说, 中心点为 A 者为 M_A , 中心轴为 x 轴者为 M_x 。应力分析的过程中, 常以 x 、 y 、 z 轴作力矩分析。如图 1.16 所示, F 对 A 点的力矩, 等于 F_x 和 F_y 对 A 点力矩的总和。

如图 1.17 所示, 均布分力其实等于作用于物体重心的集中力, 力矩也一样。

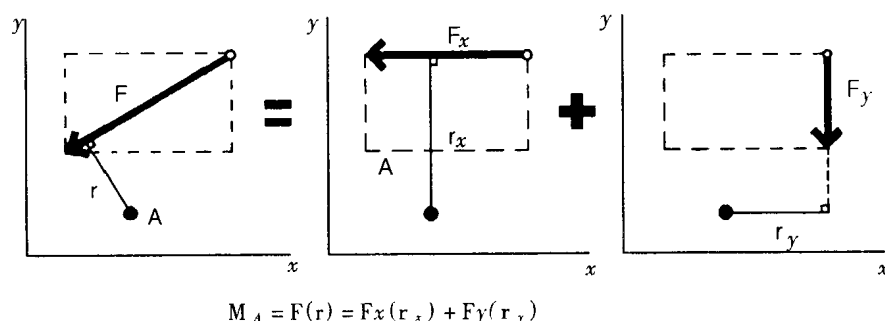


图 1.16 力对定点的力矩, 等于分力对定点力矩的总和

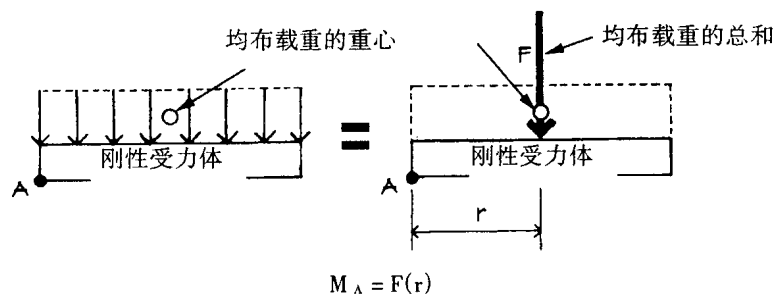


图 1.17 均布载重的力矩