

慎铁刚
编著

建 筑 师

结构学

天津大学出版社

建筑师

结构学

慎铁刚 编著

天津大学出版社

内容提要

本书力求满足我国“高等学校建筑学专业教育评估标准”和“一级注册建筑师考试大纲”中对建筑结构学科知识的要求而编写。内容涵盖了建筑师所需的建筑结构学。书的体系、内容和写法上有大量作者个人的心得和实践经验,针对性强、简明扼要、便于自学。可供高等学校建筑学类专业作为教材,也可供建筑师参加注册考试复习建筑结构的用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑师结构学/慎铁刚编著. —天津:天津大学出版社,2000.4

ISBN 7-5618-1296-5

I. 建... II. 慎... III. 建筑结构-高等学校-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 17034 号

出版 天津大学出版社
出版人 杨风和
地址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印刷 天津大学印刷厂
发行 新华书店天津发行所
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 27.25
字数 720 千
版次 2000 年 4 月第 1 版
印次 2000 年 4 月第 1 次
印数 1-4 000
定价 30.00 元

前 言

60年代后期，我从建筑学专业本科毕业后，分配到基层设计单位工作。当时的特定环境，在相当长的一段时间里，从事了建筑学和建筑结构两个专业的民用、工业建筑设计，任务饱和，夜以继日，不但要搞出方案、扩初和施工图等几个阶段的设计图纸，还要经常跑工地，指导施工，直到将自己的设计图纸全部盖成房子。论建筑面积，抛去重复使用图纸，怕也有12万平方米之多。这样一种工作经历，使我较深刻地体会到了建筑学和建筑结构这两个专业之间的鱼和水的关系。这里有两层意思：一是建筑结构知识对于建筑学专业来说不是可有可无，而是至关重要的；二是建筑学需要的建筑结构知识有别于土木工程专业（以前曾称之为建筑学专业或工民建专业），它有自己特殊的要求。

这种认识，并没有随着时间的推移而淡化，反而更加深刻。比如，在比较复杂的建筑设计方案过程中，建筑结构知识往往能使人产生既新颖大方，又切实可行的设计构思，此时凭实力中标的希望也就比较大，在评标会上，你对评委们的提问会应付自如，充满说服力。又如，古今中外很多著名建筑大师的设计作品，都是建筑学与建筑学两者巧妙结合，不仅具有建筑形式美，而且结构合理，充满力度，能经受住时代变迁的考验。

80年代初期，我从建筑学研究生毕业后留校，基于上述的一种工作经历背景，我有幸承担了天津大学建筑学专业的《力学与结构》课的教学改革实践。1985年秋，我在天津大学建筑系开设《力学与结构》这门课，对原教学计划中的有关《理论力学》、《材料力学》、《结构力学》、《钢筋混凝土结构》、《砖石结构》和《钢木结构》等课程的教学进行了改革。与此同时，由我写出了配套教材《力学与结构》油印讲义，2年之后，天津大学、天津大学建筑系曾分别组织校内有关专家对讲义进行了评议，并于1987年在南京的“全国建筑教育讨论会”上进行了交流。该讲义经过3年试用并修改、补充后，《力学与结构》于1988年由天津大学出版社正式出版。该书出版后，受到了一些单位的欢迎，先后有十多所院校参考和使用。1989年，经全国高等学校建筑学学科专业指导委员会主任委员会提议，建设部人才司发文，委托我写出一本供高等学校建筑学类专业使用的《建筑力学与结构》，由中国建筑工业出版社于1992年正式出版。上述过程，至今已经过了14个年头的教学循环，我从中积累了一些有益的经验。

1990年，建设部制订了我国“高等学校建筑学专业教育评估标准”；1993年，建设部颁发了我国“一级注册建筑师考试大纲”。这两个文件对建筑学专业和建筑师所需的建筑结构知识提出了明确的要求。我曾惊喜地被几位朋友告知：“我通过了一级注册建筑师考试，其中建筑结构科目复习时用的是你写的书。”考试的成功，主要地还是应试者的功力所决定。但从中我体会到：我在建设部的两个文件颁发之前写的那两套书，其内容基本上符合了国家对建筑学专业和建筑师所需的建筑结构知识的要求，可谓不谋而合。

在这样一种形势下，天津大学出版社约我撰写一本《建筑师结构学》，以适应目前建筑学的教学和建筑师注册考试的需要。

关于这本书应该如何写？我考虑了如下几点：

1. 结合自己 30 余年从事建筑学和建筑结构两个专业的设计、教学实践，使本书少而精、学以致用，符合建筑学专业的学生和建筑师的思维特点。

2. 试图以建筑学专业学生所具备的相关知识（比如数学、物理学）为起点，来解决对建筑结构学科知识中基本概念的掌握和运用，叙述力求交待清楚，便于自学。

3. 以建设部颁发的两个文件（见上文）中对建筑结构学科知识的要求为纲，力求使本书的内容满足文件的要求。

4. 充分吸收自己以前所编写的《力学与结构》、《建筑力学与结构》等书的特点，进一步精简篇幅，并在每章的开头写出内容提要，结尾对每章作一个小结。这些内容完全是我个人的心得体会，实践证明是很有用的。

天津大学宋秉泽教授审阅了全部书稿。宋秉泽教授对建筑结构和建筑学两个专业精深、渊博的学识给了我极大的影响。他高尚、宽厚的长者风范是我做人的楷模。

天津大学出版社田素珍老师是本书的责任编辑。我的一本曾获国家级优秀教材奖的书《力学与结构》就是由田老师出任责编的。

天津大学的慎小巖参加了本书第三、九、十二、十四、十九章的编写，设计并绘制了部分插图。

下列同志参加了本书的有关工作：插图绘制由江声、王亦春、李哲完成。例题校对由毛慧、易志成、石立、贾树人完成。全书的资料校核、文字加工由朱燕林完成。

限于我的学识水平和实践经验，我期待着读者对本书的缺点、错误提出批评意见。

慎铁刚 谨识
于天津大学建筑学院
1999 年 9 月

目 录

前言

第一章 静力平衡	1
内容提要.....	1
第一节 力和物体的支座反力.....	1
第二节 力矩与力偶.....	5
第三节 力系的平衡.....	8
第四节 重心.....	16
第五节 小结.....	18
习题.....	20
第二章 静定结构的内力	23
内容提要.....	23
第一节 结构的内力综述.....	23
第二节 轴力、剪力和弯矩.....	27
第三节 内力图——轴力图、剪力图和弯矩图.....	47
第四节 常用静定梁的内力图.....	63
第五节 小结.....	64
习题.....	65
第三章 应力和强度	68
内容提要.....	68
第一节 应力和强度计算概念.....	69
第二节 弯曲时的正应力.....	69
第三节 截面的几何特征.....	73
第四节 梁的正应力强度计算及举例.....	77
第五节 提高梁抗弯能力的措施.....	80
第六节 梁的剪应力强度计算及举例.....	84
第七节 扭转时的应力.....	88
第八节 构件在组合变形时的应力和强度计算及举例.....	92
第九节 小结.....	95
习题.....	96
第四章 压杆的稳定	99
内容提要.....	99
第一节 压杆的三种平衡状态.....	99
第二节 临界应力及举例.....	101
第三节 压杆的实用算法及举例.....	104
第四节 提高压杆稳定性的措施.....	106

第五节 小结	108
习题	108
第五章 结构变形的概念	109
内容提要	109
第一节 内力与变形的关系	109
第二节 梁在弯曲时的挠度、挠曲线方程及举例	112
第三节 定性分析及举例	116
第四节 提高梁的刚度的措施	117
第五节 变形校核及举例	118
第六节 超静定梁	119
第七节 力法概述	121
第八节 小结	128
习题	128
第六章 结构计算简图	129
内容提要	129
第一节 支座、节点和杆件的计算简图	129
第二节 荷载的分类	133
第三节 结构体系的简化	134
第四节 计算简图小结	138
第五节 平面体系的几何稳定分析及举例	138
第七章 结构的刚度	142
内容提要	142
第一节 刚度定义	142
第二节 杆件的刚度概念	143
第三节 截面的弯曲刚度	144
第四节 杆件的线刚度	147
第八章 超静定结构与弯矩分配法	150
内容提要	150
第一节 超静定结构和静定结构的差别	150
第二节 超静定结构的优缺点	151
第三节 超静定结构的计算方法概述	153
第四节 弯矩分配法计算连续梁和刚架及举例	153
第五节 弯矩分配法与电算结果的比较	172
第六节 等跨连续梁的内力查表计算及举例	173
第七节 小结	177
习题	178
第九章 近似计算	180
内容提要	180
第一节 单层框架在竖向荷载作用下的近似计算及举例	180

第二节	多层框架在竖向荷载作用下的近似计算及举例	184
第三节	多层框架在水平荷载作用下的近似计算及举例	191
第四节	近似计算的综合运用	197
第五节	近似算法与电算结果的比较	203
第六节	小结	204
第十章	结构构件的强度计算	205
	内容提要	205
第一节	将结构分解为基本构件	205
第二节	内力与截面的对应	210
第三节	截面强度设计方程的数学实质	211
第四节	建筑结构构件设计准则概述	211
第五节	小结	215
第十一章	钢筋混凝土受弯构件的强度计算	216
	内容提要	216
第一节	钢筋混凝土结构强度计算中的几个常用表格	216
第二节	单筋矩形梁正截面强度计算及例题	219
第三节	双筋矩形梁正截面强度计算及例题	225
第四节	单筋 T 形梁正截面强度计算及例题	230
第五节	正截面强度计算小结	235
第六节	钢筋混凝土梁斜截面强度计算及例题	240
第七节	钢筋混凝土梁斜截面抗剪强度计算小结	246
	习题	247
第十二章	钢筋混凝土梁、板的构造措施	251
	内容提要	251
第一节	梁、板的一般构造措施	251
第二节	板的构造要求	252
第三节	梁的构造要求	255
第十三章	钢筋混凝土柱的强度计算及构造措施	260
	内容提要	260
第一节	钢筋混凝土轴心受压柱的强度计算	261
第二节	钢筋混凝土偏心受压柱的强度计算方法	266
第三节	矩形截面对称配筋偏心受压柱的强度计算步骤和例题	272
第四节	钢筋混凝土柱的构造经验	275
第五节	钢筋混凝土结构的伸缩缝	277
	习题	278
第十四章	钢筋混凝土平面楼盖	279
	内容提要	279
第一节	现浇单向板交梁楼盖	280
第二节	现浇双向板交梁楼盖	283

第三节	楼盖荷载的因素	285
第四节	双重井式楼盖的特点及计算	286
第五节	现浇无梁楼盖的受力与构造特点	288
第六节	装配铺板式楼盖	289
第七节	现浇交梁楼盖的设计及举例	294
第八节	小结	307
第十五章	楼梯、过梁及雨篷	308
内容提要		308
第一节	楼梯	308
第二节	过梁	318
第三节	雨篷	320
第四节	过梁和雨篷设计参考表	322
第十六章	砌体房屋	325
内容提要		325
第一节	墙、柱高厚比的验算	325
第二节	墙、柱等砌体构件的强度计算	329
第三节	构造措施和常用经验	336
第四节	房屋的变形缝	343
第十七章	钢屋盖	346
内容提要		346
第一节	概述	346
第二节	钢屋架的设计	349
第三节	轻型钢屋架概述	355
第十八章	木屋盖	357
内容提要		357
第一节	概述	357
第二节	设计概况	359
第三节	木屋盖的选用	361
第十九章	高层房屋结构	366
内容提要		366
第一节	概述	366
第二节	作用在高层房屋上的侧向荷载(或称水平荷载)	368
第三节	高层房屋结构总体布置	371
第四节	高层房屋的结构方案	375
第五节	高层或多层框架的近似计算方法	384
第二十章	基础	396
内容提要		396
第一节	地基土的承载力	396
第二节	基础的类型	397

第三节	基础底面尺寸的确定	401
第四节	多层与高层房屋的基础	405
第二十一章	钢筋混凝土单层厂房结构	408
内容提要		408
第一节	概述	408
第二节	单层厂房的结构组成	409
第三节	单层厂房平、剖面尺寸的确定	410
附录一	钢筋和混凝土的种类和力学性能介绍	414
附录二	块材、砂浆和砌体的种类及力学性能介绍	419
附录三	组合截面的回转半径 (i) 近似值	423
附录四	本书采用的计量单位	424
参考书目		425
后记		426

第一章 静力平衡

内 容 提 要

本章重点是研究物体在受到各种已知外力的条件下，物体的支座（或称约束）反力与已知外力处于静力平衡状态的有关问题：

(1) 把比较复杂的已知外力变换成比较简单的、易于计算的形式。这种变换必须保证不改变原来已知外力的性质和大小。

(2) 把被研究物体的支座代之以相应的支座反力（或称约束反力）。这种代换必须符合支座的实际状态。支座反力一般是未知和待求的。

(3) 根据画出被研究物体的受力图，将步骤 1 和 2 的已知外力和未知的支座反力列出相应的静力平衡方程，从而求出未知的支座反力。

综上所述，求出被研究物体（比如梁、桁架）的支座反力是我们本章的主要内容。而求出支座反力的目的则是为第二章探求物体的内力创造已知条件。

第一节 力和物体的支座反力

一、力和力系概念

(一) 力的概念

力是物体间的相互作用，其效果是使物体改变运动状态或发生变形。

物体间的作用总是相互的。用手击球，球受到手的作用力，同时也给手一个反作用力。用锤敲石头，石头受到锤的打击力，同时也给锤一个反作用力。作用力与反作用力，总是同时存在，它们的大小相等、方向相反、沿同一直线分别作用在两个物体上。这就是作用与反作用定律。或称为牛顿第三运动定律。

例如，物体搁在支座上，它对支座有作用力，显然支座也给物体一个反作用力，我们称这种支座对物体的反作用力为支座反力。

(二) 力系概念

在很多实际问题中，我们遇到的物体，其受力不止一个。将物体所受的一群力称做力系。

分析力系对物体的作用，不能单看其中某一力的作用效果，要看所有力的共同作用效果。

为了研究力系对物体总的的作用效果，常需要把各力合成，求出它们的合力或合力偶，或者用一个较简单的力系代替原有力系，而不改变它对物体的作用效果。这类问题叫做力系的简化。

力系经过简化后，如果它的合力或合力偶等于零，说明力系中各力的作用效果相互抵消，此时物体的运动状态应该保持不变，原来静止的物体仍保持静止，原来以一定速度作直

2 建筑师结构学

线运动的物体，仍以原速度作匀速直线运动。这种运动状态不变的情况，称为平衡状态。例如，站在地面上的人，它的重力和地面给它的向上支持力大小相等、方向相反，其合力为零，人就在原处静止不动。

平衡状态是物体运动状态的一种特殊情况，只有当物体上所受各力满足一定的条件时，物体才会处于平衡状态。这些条件，称为力系的平衡条件。以后我们将着重讨论平衡条件。

二、力的平行四边形法则

(1) 实验证明，用相交两力为邻边作一平行四边形，从两力交点作该平行四边形的对角线，即为合力。这就是著名的力的平行四边形法则。

如图 1-1 所示， N_1 、 N_2 为作用于 A 点的两力，以这两力为邻边作出平行四边形 ABCD，则从 A 点作出的对角线 AC，就是 N_1 与 N_2 的合力 N 。

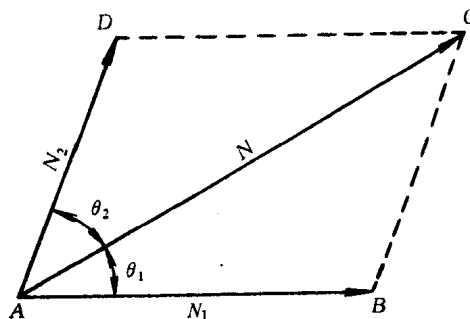


图 1-1 力的平行四边形法则

(2) 用力的平行四边形法则反过来也可以将任意一个力分解为两个分力。如图 1-1 中的 N_1 和 N_2 可以看作是 N 分解而成。当角 θ_1 、 θ_2 取值不同时将有不同的分力 N_1 和 N_2 。

特殊情况，将一个力分解为互相垂直的两个分力，称为正交分解。研究建筑结构时经常用到这一概念。图 1-1 中 $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$ 时为正交分解。

将力 N 看成是分力 N_1 与 N_2 的合力本身就是平行四边形法则，这一过程也叫做力的合成。

(3) 多个共点力合成时，可以先由两个力开始，用平行四边形法则求出它们的合力再与第三个力合成，如此重复运用平行四边形法则，最后可求出一个合力。

(4) 平行四边形法则用作图法最为方便，当然亦可数解，数解方法请参阅有关书籍，此处不予赘述。

三、支座和支座反力

(一) 约束

约束是物体之间的相互限制，或者可以理解为一个物体对另一个物体的支持作用。

显然，约束就是一种力的作用，它是通过约束物体对被约束物体所施加的力来体现的。研究对象受到约束，对它施加的力称为约束反力，约束反力的方向通常与所限制的位移方向相反。

(二) 支座

建筑工程中，约束总是通过支座来实现的。因此我们所说的约束，一般可理解为支座，而约束反力即指支座反力。为了叙述问题的方便，本节下面的叙述将只使用支座和支座反力这两个名词。

(三) 工程中几种常见的支座及其支座反力的特征

1. 柔性支座 (图 1-2)

由拉紧的绳索、链条、皮带等柔软物体构成的支座称柔性支座。其支座反力的作用线沿柔体中心线，方向背离被张拉的物体。柔性支座的作用可由被张拉的物体上作用一个拉力来表示。如图 1-2 为柔性绳子张拉重物，显然绳子的张力 N_1 、 N_2 的合力应与重物 W_2 大小

相等，方向相反；类似地， N 与 W_1 应大小相等，方向相反。

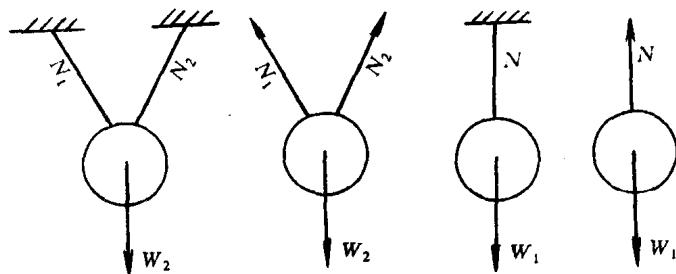


图 1-2 柔性支座

2. 光滑表面支座 (图 1-3)

由光滑表面的刚性物体构成的支座为光滑表面支座。由于不存在沿光滑面滑动的摩擦阻力，解除支座后以垂直于光滑面的单个力来表示光滑面的作用。此时支座反力的方向已知但大小待求。

3. 滚轴支座 (图 1-4)

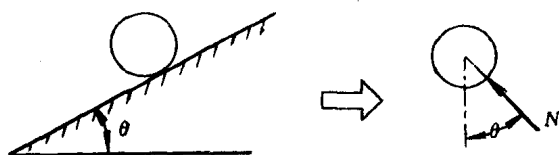


图 1-3 光滑表面支座

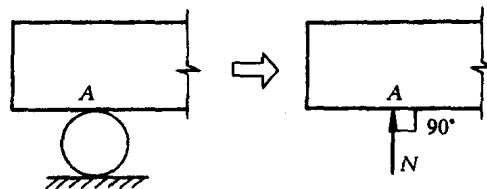


图 1-4 滚轴支座

由一个可以左右滚动的滚轴对物体构成的支座。滚轴对物体的作用与光滑面相似，解除支座后以滚轴所在处的一个垂直于表面的力来代表。其指向和大小待求。

滚轴支座与光滑面支座的相同之处在于，滚轴支座只允许物体滚动移动而不允许离开滚轴移动；而光滑面支座不但允许物体沿光滑面移动，而且物体还可以脱离光滑面“飞”走。

4. 铰支座 (图 1-5)

由一个可以转动的销子铰对物体所构成的支座为铰支座。光滑销施加于物体的力是通过销子，以某个未知角度出现的。解除支座后通常将此力表示为两个互相垂直的分力，其指向和大小待求。

铰支座只允许物体围绕支座中心转动，不允许直线移动。

5. 固定支座 (图 1-6)

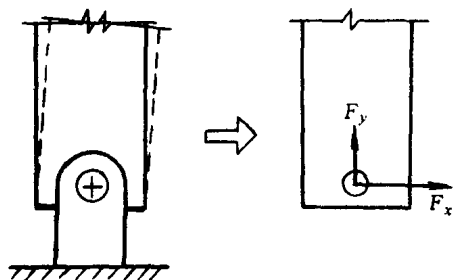


图 1-5 铰支座

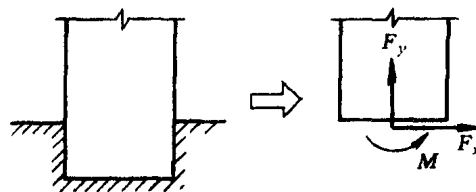


图 1-6 固定支座

通常在物体被嵌固时发生，解除支座后通常表示为两个互相垂直的分力和一个力偶。其分力和力偶的指向和大小待求 (力偶概念详见本章第二节)。

四、画受力图

适当地选择研究对象并正确地画出它的受力图，是求解物体的支座反力和对物体进行力学分析的重要环节。

一张正确的受力图应该画出研究对象所受的全部外力。它们既包括那些已知外力，也包括所受外界物体支持处的支座反力。因为支座的作用已经用相应的支座反力表示出来了。所以受力图上就不再把支座画上去，去掉支座而用相应的支座反力来代替它，这一分析方法常称为“解除支座原理”。画受力图时，要求解除所有的外界支座并代之以相应的支座反力。这样就好像把研究对象从它周围的物体中“脱离”出来，所以研究对象又叫脱离体，它的受力图又叫“脱离体图”，或者叫“受力图”。

在画受力图时常易发生的错误之一，就是解除支座不彻底，因此受力图上的力就是不完全的，即缺少某些支座反力。用这样的图进行分析计算，会导致不正确的结果。必须特别注意。

在画受力图时，有许多力的大小还是未知的，所以受力图上代表各力的箭头，只要求明确表示出它们的作用点和方向，而不必按比例尺画出它们的大小。一般来说，箭头应画在它的实际作用点处，不要应用力的可传性移到作用线上其它地方，以免混淆不清。某些箭头的指向如果暂时无法确定，可以先行假定，等计算后，再根据计算结果的正负号进行修正。铰链支座的反力的方向不能确定时，可用本节前面介绍的力的分解方法表示出来。

现将画受力图的基本步骤叙述如下：

(1) 根据研究问题的性质、范围选取一定的研究对象，它可以是一个物体，也可以是若干物体组成的一个系统。在某些问题中，也可以选定几个研究对象，它们的受力图应分别画出。

(2) 画出研究对象的大概形状，标出各力作用点的位置及代表字母。

(3) 画出代表已知外力的箭头。

(4) 逐个解除支座，画出相应的支座反力。每一支座反力应根据该支座的类型和性质来确定。

(5) 全面检查一遍，看有没有遗漏的力，有没有重复的力，有没有实际不存在（无施力体）而虚加上去的力。另外，还应注意受力图上只画所选定研究对象的外力，而不要画出其内力。

例 1-1 图 1-7 是几个建筑结构解除支座后的受力图。

例 1-2 图 1-8 (a) 中的横梁重 W ，重心在其中点 C 。其左端 A 点处为铰支座，右端 B 点处用一个二力杆 BD 与竖墙相连，梁在水平位置上处于平衡，尺寸及角度如图，画出梁的受力图。

解 以横梁为研究对象，先单独画出横梁的简图 1-8 (b)，由题意知横梁共受三个力：重力 W 和 A 、 B 处的支座反力。先画出已知力 W 。但怎样确定 A 、 B 两点处铰链的支座反力呢？由题知 BD 为二力杆，若以 BD 杆为研究对象，则其 B 、 D 两端所受之力应满足二力平衡条件。所以 S_D 、 S_B 的作用线均沿 B 、 D 连线。从图示构造可以看出 BD 杆受拉伸，这样就可定出 BD 杆上两端所受力的方向。又根据作用与反作用定律知， BD 杆与横梁在铰链 B 处互相作用的力是等值、反向、共线的，因此横梁上 B 点所受支座反力 S'_B 应与 BD 杆上 B 端所受之力 S_B 大小相等、方向相反、作用在一条直线上，这样横梁上 B 点所受支座反力 S'_B 的方向就确定了。

横梁上 A 点的支座反力，单从它的支座类型（铰支座）还不能确定其方向，一般而言，

可以用力的分解法表示为两个互相垂直的分力 N_1 和 N_2 , N 是它们的合力, 见图 1-8(b)。

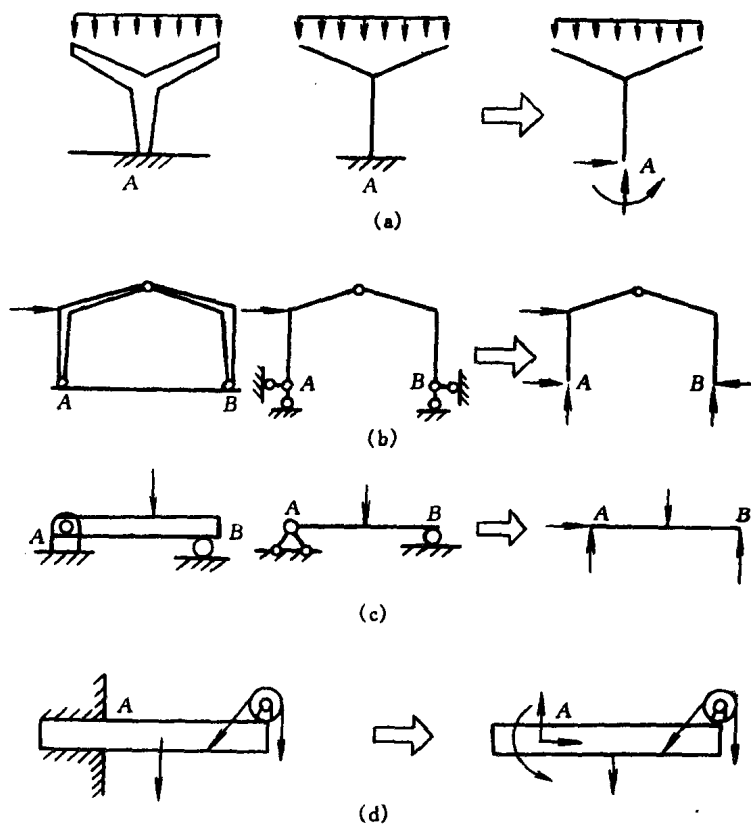


图 1-7 受力图

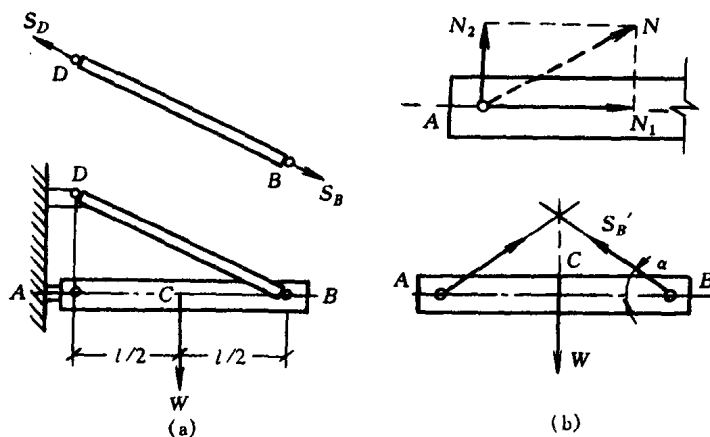


图 1-8 例题

第二节 力矩与力偶

一、力矩

(一) 力臂与力矩

经验告诉我们, 要使物体绕某一点 (或轴) 发生转动, 必须使所用力的作用线与该点 (或轴) 之间有一定的垂直距离, 称为力臂。如图 1-9 的虚线所示, 力 F 欲使物体转动,

必定 AC 不为零。或者说, F 不能过 A 点。

由实验知, 力使物体转动的效果, 既与力的大小成正比, 又与力臂的大小成正比。所以用力与力臂的乘积来度量力使物体转动的效果, 这个乘积称为力矩。力矩一般针对外力而言。

我们常选定某一点来讨论力使物体绕该点转动的可能性, 这就需要计算力对选定点的力矩。这一点可以是转动中心, 也可以是其它的点。被选定计算力矩的参考点叫做矩心。这时力臂就是力作用线到矩心的垂直距离。

因为同一个力对于不同矩心的力臂可能不同, 其力矩也就不同, 所以在谈到力矩时应该同时指明矩心的位置, 称为力对某点之矩。

矩心和力作用线所决定的平面, 称为力矩作用面。过矩心而与此平面垂直的直线, 就是该力矩使物体转动的轴线 (图 1-10)。

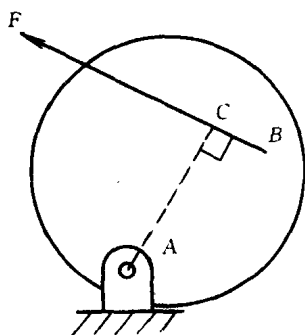


图 1-9 力矩

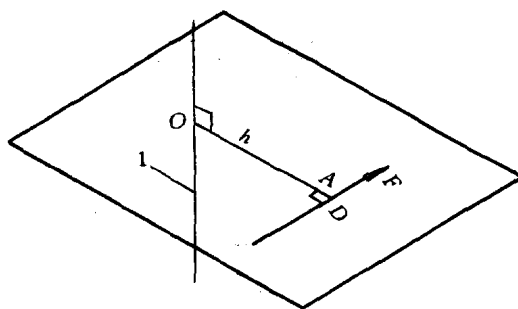


图 1-10 力矩作用面

1—过矩心与平面垂直的直线; h —力臂; FD —力的作用线; O —矩心

顺着力矩的转动轴线看力矩所在的平面, 如图 1-10 中从上往下看, 物体绕矩心转动的方向有逆时针和顺时针两种, 所以力矩的转向也有这两种。因此在同一平面内几个力矩相加是求代数和, 称为求它们的合力矩。应该指出, 力矩的符号采用顺正逆负或顺负逆正的规定都可以, 只要在同一问题中统一即可, 本书的例题采用了这一方法。

(二) 力矩的平衡

位于同一平面内的各力 F 作用于某一物体上, 如果这些力对该平面内某一点 O 的力矩代数和为零, 记作:

$$\sum M_O = 0 \quad (1-1)$$

则该平面力系使某一物体绕 O 点转动的作用效果为零。在此情况下, 若 O 点正是物体的转动中心 (物体的固定转轴与力系平面的交点), 则物体不会转动, 所以式 (1-1) 称为力矩平衡条件或力矩平衡方程。中学课本的杠杆原理, 就是力矩平衡条件的一个例子。

二、力偶

平面内一对等值反向且不在同一直线上的平行力称为力偶, 它是一个不能再简化的基本力系。它对物体作用的运动效果是使物体产生单纯的转动。这里的“偶”字是指一对。

注意力偶与力矩的区别, 力偶是一个基本力系, 其要素有三: 即力是成对出现, 它们大小相等而方向相反, 平行但不在同一直线上; 力矩是用来度量某一个力对某一点产生转动作用的大小的物理量, 其要素有三: 即力的大小, 力的方向, 力与作用点的距离。力偶与力矩

的相同之处是它们均使物体产生转动。

我们用手拧开水龙头、用钥匙开锁、用螺丝刀上紧螺丝、两手转动方向盘等等，往往就是利用力偶工作。图 1-11 中两人推动绞盘横杆的力 F 与 F' 如果平行且相等，就构成一个力偶。

为了衡量力偶作用于物体的转动效果，可计算一下该力偶的两力对任一点的合力矩。设 $F = F'$ 是作用在物体上的一个力偶（图 1-12），如果我们选定某一点 O 为矩心，从 O 点向这两力作用线作公垂线，其垂足分别为 C 、 D ，则力偶两力对 O 点的合力矩为

$$M_{O,F} + M_{O,F'} = F \cdot OC - F' \cdot OD = F (OC - OD) = F \cdot CD,$$

CD 为两力作用线间的垂直距离，记作 d ，则上式可写作

$$M_{O,F} + M_{O,F'} = F \cdot d.$$

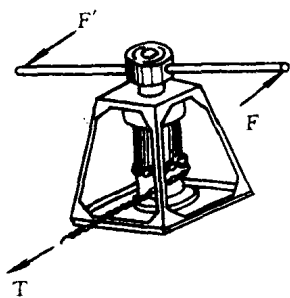


图 1-11 力偶实例

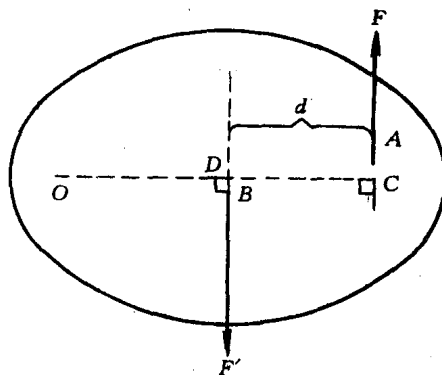


图 1-12 力偶矩

从上式可以看出，这个计算结果与 O 点的具体位置无关。也就是说，无论矩心在何处，此力偶矩之和为一常数 $F \cdot d$ 。因此我们可以用乘积 $F \cdot d$ 来度量力偶作用于物体的转动效果，称为力偶的力偶矩，两力作用线间的垂直距离称为力偶臂，两力作用线所决定的平面称为力偶的作用面。显然，力偶矩也是一种力矩，只不过它是特指力偶所产生的力矩。

在同一作用面内的几个力偶，称为共面力偶系。它们在作用面内的转向，也有逆时针和顺时针两种，所以在共面力偶系中，各力偶矩可以看作代数量，其正负号规定与力矩统一。

由以上叙述可知，力偶有如下的重要性质：

只要保持力偶矩的大小、转向不变，力偶在其作用面内的位置可以任意旋转或平移。在受力图中常用一个带箭头的圆弧线 \curvearrowright 或 \curvearrowleft 来表示力偶矩。

三、力和力偶的合成

图 1-13 (a) 表示建筑结构计算中某一柱的横截面上受到一个力 N 和力偶矩 M 的作用。图 1-13 (b) 表示在原来力和力偶作用的平面内加上两个合力偶矩为零的力偶，其一为 M' ，另一个用一对等值的反向的力 N' 组成（注意设 $N' = N$ ）。显然图 1-13 (b) 并不改变图 1-13 (a) 的受力状况。图 1-13 (c) 是在图 1-13 (b) 的基础上得出的。在图 1-13 (b) 中， M' 与 M 抵消，向上的虚线力 N' 与向下的 N 抵消，故有图 1-13 (c) 的形式。也就是说，图 1-13 (a) 与图 1-13 (c) 可以互相转化。

在以后进行建筑结构的力学分析中我们得出的结果往往呈现图 1-13 (a) 的形式，而在对柱的横截面进行强度设计时，往往使用图 1-13 (c) 的形式。显然，它们本质上是相同的。