

高职高专建筑工程系列教材

建筑力学 [上]



●主 编 赵志平
副主编 张冬秀

重庆大学出版社

建筑力学

(上)

主 编 赵志平

副主编 张冬秀

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是高职高专建筑工程专业系列教材之一。依据教育部高等职业技术教育土建类专业力学课程的基本要求编写而成,全书精选了理论力学、材料力学和结构力学的有关内容,并进行了适当地重组、整合,使之融会贯通、理论体系明晰、通俗易懂、实用性强,力求反映高职教材特色。

全书分上、下两册,共计五篇 19 章。上册共两篇 9 章,包括绪论、第一篇、第二篇。第一篇为刚体静力分析,包括:静力学基础知识、平面汇交力系和平面力偶系、平面一般力系、空间力系;第二篇为杆件承载能力分析,包括:内力及内力图、平面图形的几何参数、杆件的应力与强度计算、杆件的变形和刚度校核、压杆稳定。下册共三篇 10 章,包括第三篇、第四篇、第五篇。第三篇为静定结构分析,包括:平面结构体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算;第四篇为超静定结构分析,包括:力法、位移法、力矩分配法与剪力分配法、近似计算方法;第五篇为专题,包括:影响线、动荷载、结构动力计算基础。

本书可作为高职高专院校、成人高校建筑工程专业的教材,其中上册也可作为工程预算与管理专业、工程造价专业、建筑装饰、园林、城市规划等土木类专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学.上册/赵志平主编.一重庆:重庆大学出版社,2004.6

(高职高专建筑工程系列教材)

ISBN 7-5624-3179-5

I. 建... II. 赵... III. 建筑力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049819 号

建筑力学

(上)

主 编 赵志平

副主编 张冬秀

责任编辑:彭 宁 何建云 版式设计:彭 宁

责任校对:任卓惠 责任印制:张立全

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:380 千

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-3179-5/TU·138

定价:21.50 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前 言

本书是按2003年10月在重庆大学出版社召开的高等职业院校建筑工程专业教材座谈会的精神,结合编者长期教学实践经验和当前高职高专学生的特点编写而成。在内容体系的组织上,本书精选了理论力学、材料力学和结构力学的有关内容,并进行了适当的重组、整合,使之融会贯通、理论体系明晰、通俗易懂、实用性强,力求反映高职教材特色。

全书分上、下两册,共计五篇19章。上册共两篇9章,包括绪论;第一篇,刚体静力分析:静力学基础知识、平面汇交力系和平面力偶系、平面一般力系、空间力系;第二篇,杆件承载能力分析:内力及内力图、平面图形的几何参数、杆件的应力与强度计算、杆件的变形和刚度校核、压杆稳定。下册共三篇10章,包括第三篇,静定结构分析:平面结构体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算;第四篇,超静定结构分析:力法、位移法、力矩分配法与剪力分配法、近似计算方法;第五篇,专题:影响线、动荷载、结构动力计算基础。

在本书编写的过程中,编者高度重视高职高专的教学特点,对内容的选取以“必需、够用”为度,以讲清概念、强化应用为重点,突出培养学生分析问题和解决问题的能力。另外,在内容的编排上,还特别注意了与后续课程的联系,为了体现出建筑工程专业系列教材的特色,我们主要做了如下工作:

1. 现行的教材在内力符号的选用上特别混乱,这也是力学教师特别头疼的一件事,例如剪力的符号有用 V 的,有用 Q 的,有用 F_s 的,也有用 F_Q 的等。我们则采用了建筑规范规定的符号,使整个专业所有课程的符号选用保持一致,这样做既有了统一的标准,也可使学生避免不必要的麻烦。

2. 在教材内容的安排上,则尽量考虑到后续课程的需要,例如,在位移法中作为例题很自然地加上了连续梁的内力应用图表,在建筑结构中可直接查用;还有在剪力分配法中,有一计算结果表明短柱上的剪力要比长柱上的大,我们则结合施工和抗震,并通过在实际地震中的结构破坏插图给以形象的解释。这样做除了加强与后续课程的联系外,对力学课本身的学习也大有帮助,能够很有效地降低学生对力学课的抽象感和空洞感,增强其学习的目的性。

具体参加本书编写工作的人员有:河北工业职业技术学院赵志平(第1、2、3、5、10、13、14、15章);重庆工程职业技术学院张冬秀(第4、6章);太原大学郑红勇(第7、8章和附录);中铁咸阳管理干部学院常丽(第9章);陕西理工学院陈维愿(第11、17、18、19章);大同职业技术学院王晨(第12、16章)。

本书由河北工业职业技术学院赵志平任主编,重庆工程职业技术学院张冬秀任副主编。

本书可作为高职高专院校、成人高校建筑工程专业的教材,其中上册也可作为工程预算与管理、工程造价、建筑装饰、园林、城市规划等土木类专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

在教材的编写过程中,得到了编者所在院系领导的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者及同行批评指正,以便再版时修订。

编 者

2004年5月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 刚体静力分析

第 1 章 静力学基础知识	3
1.1 力的基本概念和力的基本性质	4
1.2 力矩	7
1.3 力偶	9
1.4 约束 约束的基本类型	10
1.5 力学计算简图	14
1.6 受力分析和受力图	15
小结	20
习题 1	21
第 2 章 平面汇交力系和平面力偶系	23
2.1 平面汇交力系的合成	23
2.2 平面汇交力系的平衡条件和平衡方程	27
2.3 平面力偶系的合成和平衡方程	32
小结	34
习题 2	35
第 3 章 平面一般力系	37
3.1 力的平移定理	37
3.2 平面一般力系的简化	38
3.3 平面一般力系的平衡方程及其应用	41
3.4 物体系统的平衡问题	46
3.5 静定和超静定的概念	50
小结	50
习题 3	51
第 4 章 空间力系	55
4.1 力在空间直角坐标系中的分解和投影	55
4.2 空间汇交力系的合成和平衡	58
4.3 空间力偶与力偶系	61
4.4 空间力对点的矩和空间力对轴的矩	63
4.5 空间力系的简化和合成	67
4.6 空间力系的平衡条件和平衡方程	69
4.7 物体的重心	70
小结	76
习题 4	76

第二篇 杆件承载力分析

第 5 章	内力及内力图	80
5.1	概述	80
5.2	轴向拉(压)杆的内力及内力图	83
5.3	扭转轴的内力及内力图	86
5.4	平面弯曲梁的内力及内力图	90
	小结	109
	习题 5	110
第 6 章	平面图形的几何参数	114
6.1	形心位置和静矩	114
6.2	惯性矩、极惯性矩、惯性积和惯性半径	116
6.3	平行移轴公式	120
6.4	形心主惯性轴、形心主惯性矩	122
	小结	123
	习题 6	123
第 7 章	杆件的应力与强度计算	125
7.1	轴向拉(压)杆的应力与强度计算	125
7.2	扭转轴的应力与强度计算	141
7.3	平面弯曲梁的应力与强度计算	148
7.4	应力状态分析 强度理论	163
7.5	组合变形	181
	小结	191
	习题 7	191
第 8 章	杆件的变形和刚度校核	196
8.1	扭转轴的刚度校核	196
8.2	平面弯曲梁的变形计算——积分法	197
8.3	平面弯曲梁的变形计算——叠加法(查表法)	204
8.4	平面弯曲梁的刚度校核	205
	小结	206
	习题 8	207
第 9 章	压杆稳定	209
9.1	压杆稳定的概念	209
9.2	欧拉公式及临界应力总图	211
9.3	压杆的稳定性校核	214
9.4	提高压杆稳定性的措施	219
	小结	221
	习题 9	221
	参考答案	223
	附录 型钢规格表	227
	参考文献	235

绪 论

(1) 建筑力学的研究对象

建筑力学是建筑工程专业的一门重要的技术基础课,有着较强的理论性和实用性。

在建筑工程中,由建筑材料按照一定的方式构成,并能承受荷载的物体或物体系统称为工程结构,简称结构。结构在建筑物中起着承受和传递荷载的骨架作用。结构一般是由多个构件联结而成。工程上的结构类型多种多样,按其几何尺寸可分为三种:杆件结构、薄壁结构和实体结构。所谓的杆件是指其长度远大于截面的宽度和高度的构件。由若干杆件组成的结构称为杆件结构。

杆件和杆件结构是建筑力学的主要研究对象。

杆件和杆件结构均为真实的物体。但有时为了研究问题的方便,常忽略一些次要因素而建立一些力学模型,例如在建筑力学中就采用了刚体的模型。所以,准确地讲,建筑力学的研究对象包括刚体、杆件和杆件结构。

(2) 建筑力学的主要任务

为了保证结构能安全工作,每一个杆件都必须有足够的力量来担负起所承受的荷载。杆件的这种承载能力主要由以下三个方面来衡量。

1) 杆件应有足够的强度。所谓强度是指构件在荷载作用下抵抗破坏的能力。对杆件的设计应保证在规定的条件下能够正常工作而不发生破坏。

2) 杆件应有足够的刚度。所谓刚度是指杆件在荷载作用下抵抗变形的能力。任何杆件在荷载作用下都不可避免地要发生变形,但这种变形必须要限制在一定范围内,否则杆件将不能正常工作。

3) 杆件还应有足够的稳定性。所谓稳定性是指杆件在荷载作用下保持其原有平衡形态的能力。一根轴向受压的细长直杆,当压力荷载增大到某一值时,会突然从原来的直线形状变成弯曲形状,这种现象称为失稳。杆件失稳后将失去继续工作的能力,并将可能使整个结构跨塌。对于压杆来说,满足稳定性的要求是其正常工作必不可少的条件。

当支承情况一定时,决定杆件承载能力的主要因素有两个,其一是杆件的截面形状和尺寸,其二是组成杆件的材料。因此,为了满足强度、刚度和稳定性的要求可通过多用材料或选用优质材料来实现。但多用材料或选用优质材料,又会造成浪费,增加生产成本。显然,构件的安全可靠性与经济性是矛盾的。

建筑力学的主要任务就是在保证结构既安全又经济的前提下,为构件选择合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,为构件设计提供必要的理论基础和计算方法;同时,还要研究结构的组成规律和合理形式。

研究结构的组成规律其目的在于保证结构的各部分不能发生相对运动,使之可以承受荷载并维持平衡;研究结构的合理形式其目的是为了有效地利用材料,使其性能得到充分发挥。

(3) 建筑力学的课程特点及学习方法

它与其他学科的联系非常密切,在建筑力学的研究中要用到大量的数学知识,包括微积分、微分方程、线性代数、空间解析几何等,因此,有较好的数学基础是学习力学的前提。同时,通过建筑力学的学习,还会为后续课程,如钢结构、混凝土结构、砌体结构、土力学与地基基础等的学习奠定一定的基础。

建筑力学是一门计算学科,其计算结果将直接作为结构设计的依据。因此,在学习建筑力学时,必须养成细心、认真的好习惯,其计算结果必须准确;另外,建筑力学中的计算量一般都很很大,这就要求我们不仅能计算准确,而且还要求计算得快。为了达到这个目的,必须要做足够量的练习。

最后值得说明的是,建筑力学中的各部分联系非常紧密,前面的内容均为后面知识的基础,前面没学好,理解后面的内容来就会很困难。这一点请务必记住。

第一篇 刚体静力分析

本篇的研究对象为刚体。所谓刚体,就是在力的作用下,不发生变形的物体。刚体是一个理想的力学模型,实际的物体在力的作用下总要发生几何形状的改变(或称变形)。但是,如果物体的变形很小,而不影响所研究问题的实质,就可以忽略其变形,把此物体看成刚体。

刚体静力分析主要研究刚体在力作用下平衡的规律及其应用。它从基本公理出发,借助数学工具进行演绎和推理,得出力系简化和平衡的系统理论及各种计算方法。这些结论和方法是研究其他力学学科和相关工程学科(如土力学、钢结构、混凝土结构等)的重要基础和工具。

第 1 章

静力学基础知识

本章主要研究力、力矩和力偶的基本概念,静力学公理,约束的类型及其特性。最终的目的是能准确地画出物体的受力图。

1.1 力的基本概念和力的基本性质

1.1.1 力的概念

用手拉弹簧,手和弹簧之间有相互作用;用桨划船,桨和水之间也有相互作用。引起弹簧变形和船速度改变的这种作用就是力。人们经过长期的实践,逐步建立了力的科学概念:力是物体间的相互机械作用。这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。

力使物体的运动状态发生改变的效应称为外效应;而使物体的形状发生改变的效应则称为内效应。对于刚体来说,只考虑力的外效应。

实践和实验表明,力对物体的作用效应取决于力的作用点位置、力的方向和大小。三者合称为力的三要素。三要素中任何一个发生变化,力的效应就要随之发生变化。

力是一个既有大小又有方向的量,所以力是矢量。用黑斜体符号 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,而用白斜体符号 F 表示力的大小。

在国际单位制中,力的单位是 N(牛),常用的还有 kN。地球上质量为 1 kg 的物体所受重力的作用约为 9.8 N。

在研究力学问题时,为了直观地说明力的作用,通常用有向线段来表示力。线段是按一定比例画出的,它的长度表示力的大小,箭头的指向表示力的方向,箭头和箭尾表示力的作用点。这种表示力的方法称为力的图示。

图 1.1 的有向线段表示作用在物体上的 100 N 的推力(箭头表示力的作用点)。图 1.2 的有向线段表示物体所受的重力为 90 N(箭尾表示力的作用点)。

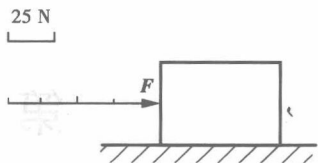


图 1.1

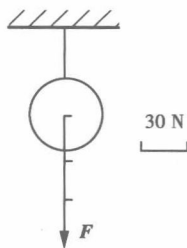


图 1.2

1.1.2 力系 合力

同时作用在物体或物体系统上的一组力称为力系。

如果刚体在某力系的作用下保持平衡,则称该力系为平衡力系。显然,平衡力系中的各个力对刚体的外效应相互抵消。因此,平衡力系是对刚体作用效果等于零的力系。

如果作用在刚体上的力系可以用另一力系代替,而不改变对刚体的作用效应,则称这两个力系互为等效力系。

如果一个力和一个力系等效,则称这个力为该力系的合力;这个等效力系中的每个力称为

该合力的分力。把各分力代替为合力的过程,称为力系的合成;把合力代替成几个力的过程,称为力的分解。力的分解是力的合成的逆运算。

1.1.3 力的基本性质

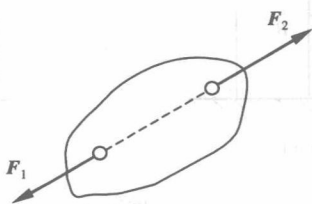
力的基本性质可以概括在下面几个已由实践证实的公理中。这几个公理是研究力系简化和平衡的基本依据。

公理一 二力平衡公理

刚体只受两个力的作用而保持平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上,或者简单地说,这两个力等值、反向、共线,如图 1.3 所示。



(a)



(b)

图 1.3

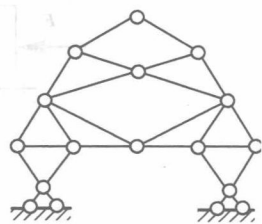


图 1.4

在实际的工程结构中,常遇到只在两点各受一个集中力而平衡的刚体。这种刚体称为二力体,在建筑结构中则称为二力构件。如以后要研究的如图 1.4 所示的结构,其中的每一根杆都是二力构件。

公理二 加减平衡力系公理

在作用于一个刚体的任意力系中,增加(或减去)一个平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效应。

推论 力的可传性

在刚体内部,力可以沿其作用线移动到任意位置,而不改变力的作用效应。

证明:设力 F 作用于刚体上的 A 点,见图 1.5(a), B 是力的作用线上且在刚体内部的任意一点。根据公理二,可在 B 处加上一对平衡力 F_1 和 F_2 ,并且使 $F_2 = F, F_1 = -F$,见图 1.5(b)。力 F_1 和 F 满足公理一的条件组成平衡力系。因此,根据公理二,又可以把这两个力减去,而不改变对刚体的作用效应,于是剩下的力 F_2 [图 1.5(c)] 仍与原来的力 F [图 1.5(b)] 等效。而此时的力 F_2 就是原来的力从 A 点顺着作用线移到 B 点后的结果。(证毕)

由力的可传性知道,力的作用点位置已不再是决定其作用效应的要素之一,而是由力的作用线取代。因此,作用于刚体上的力的三要素就成为:力的大小、方向和作用线。所以,力矢量有时也称为滑移矢量。

必须注意的是力的可传性只能用在刚体内部,力不能沿作用线移到其他刚体上。如图 1.6 所示,(a)、(b)两种情况显然是不等效的。

另外,公理二和它的推论只能用在刚体上而不能用在变形体上。对于变形体,作用力能产生内效应,当力沿作用线移动时,将改变其内效应。这也正是本篇标题取名“刚体静力分析”的原因。

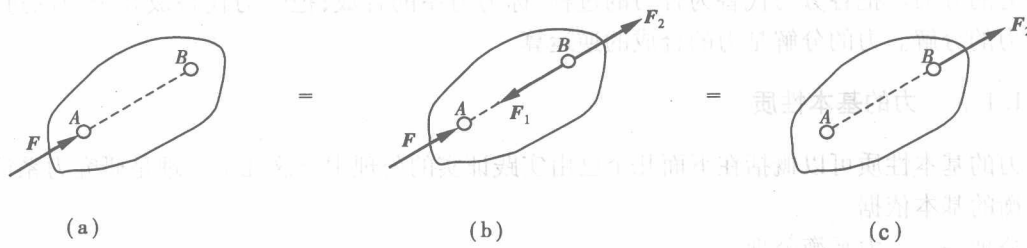


图 1.5



图 1.6

公理三 力的平行四边形法则

作用在刚体上同一点处的两个力的合力仍作用于该点。合力的大小和方向,由以该两个力矢量为邻边所组成的平行四边形的对角线所确定。如图 1.7 所示, F_R 是 F_1 和 F_2 的合力,可以表示成:

$$F_R = F_1 + F_2$$

推论 三力汇交定理

刚体只受平面内三力作用而处于平衡状态时,若此三力不互相平行,则必汇交于一点。

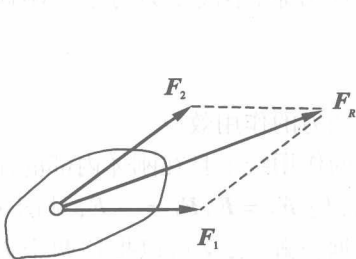


图 1.7

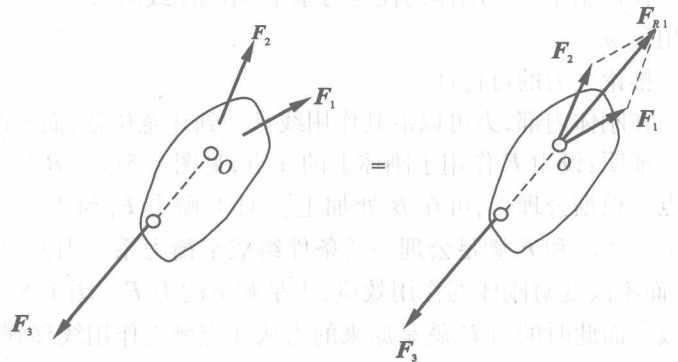


图 1.8

证明:设三力 F_1 、 F_2 、 F_3 满足命题条件。如图 1.8 所示,它们不互相平行,则必有两个力相交。不妨设力 F_1 、 F_2 的作用线相交于点 O 。现在来证明第三个力 F_3 的作用线必定也通过点 O 。为此,由力的可传性,先把力 F_1 、 F_2 移到点 O ,并求出它们的合力 F_{R1} 。由公理三可知,力 F_{R1} 也作用于点 O 。此时力 F_{R1} 可代替 F_1 、 F_2 的共同作用,因此力 F_3 和 F_{R1} 仍然组成平衡力系,由公理一,这两个力一定共线,即力 F_3 的作用线也通过点 O (证毕)。

公理四 作用力与反作用力公理

任何两个物体间相互作用的一对力总是大小相等,方向相反,作用线相同。这两个力互作用力和反作用力。

必须注意,作用力与反作用力公理中的一对力和二力平衡公理中的一对力虽然有些相似,但却截然不同。作用力与反作用力分别作用在两个物体上,它们不构成平衡力系。

公理五 刚化原理

当变形体在力系的作用下处于平衡状态时,如果把变形后的变形体换成刚体(刚化),则平衡状态保持不变。

注意,刚化要在变形体发生变形后平衡时进行,刚化后把变形也保留了下来。如图 1.9 中所示,橡胶棒在力系作用下,发生弯曲变形后处于平衡状态。根据这个公理,把此弯曲的橡胶棒换成相同形状的刚体,不会破坏平衡。



图 1.9

公理五的意义在于,可以把任何已处于平衡的变形体看成刚体,而对它应用刚体静力分析中的全部理论。

1.1.4 力的正交分解

力的分解是力的合成的逆运算,同样遵循平行四边形法则。把一个已知力作为平行四边形的对角线,那么与已知力共点的平行四边形的两个邻边,就是这个已知力的两个分力。我们知道,若无其他条件限制,对于同一条对角线,可以做出无数个不同的平行四边形,也就是说,同一个力可以分解成无数对大小、方向不同的分力。为了使解答惟一,必须附加某些条件。常见的是规定两个分力的方向。

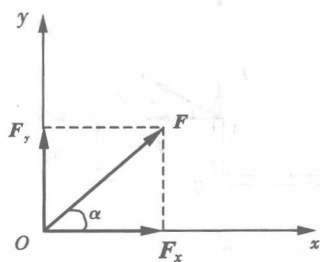


图 1.10

把一个已知力沿两个相互垂直的方向进行分解称为力的正交分解。如图 1.10 所示,把已知力 F 沿 x 和 y 方向正交分解为 F_x 、 F_y 。则

$$F_x = F \cos \alpha \quad (1.1)$$

$$F_y = F \sin \alpha \quad (1.2)$$

1.2 力 矩

1.2.1 平面内力对点的矩

和力一样,力矩也是静力分析中的基本概念之一。它在整个建筑力学中有着极其重要的意义。以后将陆续学到的扭矩、弯矩等从根本上讲都属于力矩。

如图 1.11 所示,力平面内任一点 O 到力 F 的作用线的垂直距离 d 与力的大小的乘积称为力 F 对 O 点的力矩。记为 $M_O(F)$ 。点 O 称为矩心,距离 d 称为力臂。平面内力对点的矩是一代数量。

$$M_o(F) = \pm F \cdot d \quad (1.3)$$

通常规定力矢量绕矩心逆时针转动时力矩为正;顺时针转动时为负。按此规定,图 1.11 所示的力 F 对 O 点的矩是负的。

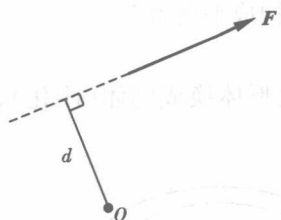


图 1.11

在国际单位制中,力矩的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$,常用的还有 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 等。

由力矩的定义可知:

- 1) 当力通过矩心时,此力对该矩心的力矩等于零;
- 2) 当力沿着作用线移动时,不改变该力对任一点的矩;
- 3) 等值、反向、共线的两个力对任一点的矩总是大小相等而正负相反,因而两者的代数和恒等于零。

物体的位置随时间的变动叫做机械运动,简称运动。最基本的运动分为平动和转动。正如力是改变物体平动状态的原因一样,力矩是改变物体转动状态的原因。

1.2.2 合力矩定理

如图 1.12(a) 所示,力 F 的大小为 100 N ,求其对 O 点的矩。

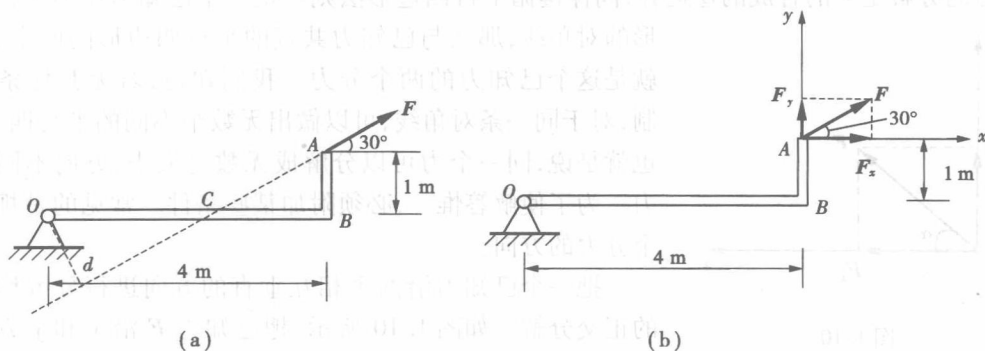


图 1.12

先求力臂 d 。为此作力作用线的延长线,交梁于 C 点。由图 1.12(a) 不难发现

$$\begin{aligned} d &= OC \cdot \sin 30^\circ = (OB - BC) \cdot \sin 30^\circ \\ &= (4 \text{ m} - 1 \text{ m} \times \cot 30^\circ) \cdot \sin 30^\circ \\ &= 1.134 \text{ m} \end{aligned}$$

$$M_o(F) = F \cdot d = 100 \text{ N} \times 1.134 \text{ m} = 113.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

由上述计算可知,直接确定力臂很麻烦。为此,提出了合力矩定理,它可以很方便地解决这个问题。

平面共点力系的合力对平面内任一点的矩等于各分力对该点的矩的代数和。这就是合力矩定理。在后面会给出它的证明。

现在应用该定理来求解上述问题。如图 1.12(b) 所示,先把 F 正交分解。则

$$\begin{aligned} M_o(F) &= M_o(F_x) + M_o(F_y) \\ &= (-100 \cos 30^\circ \times 1 + 100 \sin 30^\circ \times 4) \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$= 113.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

计算结果为正,说明力矩的转向为逆时针。

1.3 力 偶

1.3.1 力偶的概念

力偶是静力分析中的又一个重要概念。

在日常生活和生产中,人们常施加等值、反向、不共线的两个力使物体转动。例如,司机用双手操作方向盘;木工用丁字头螺丝钻孔(图 1.13)。

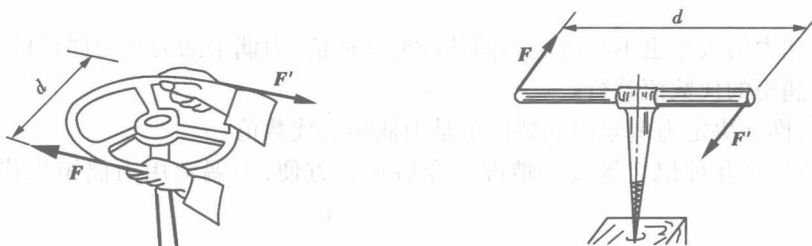


图 1.13

把这种作用在同一刚体上大小相等、方向相反、作用线不重合的两个力所组成的力系称为力偶。

值得提出的是,组成力偶的两个力既不能相互平衡,也不能合成为一个力(因为力偶可引起转动)。所以,力偶是一个最简单的力系。力偶与单个力一样是构成力系的基本元素。

力 F 和 F' 组成一个力偶,记作 (F, F') 。

1.3.2 力偶矩

力偶中两力作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂。力偶所决定的平面称为力偶的作用平面。

力偶对物体所产生的转动效应由组成力偶的力的大小与力偶臂的乘积,即力偶矩所决定。力偶矩是一代数量,正负号表示力偶的转向。其规定与力矩完全一样:逆时针转向为正;顺时针转向为负。力偶矩记作 $M(F, F')$, 或简记为 M , 则有

$$M(F, F') = M = \pm F \cdot d \quad (1.4)$$

力偶矩的单位也与力矩的单位相同,是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

1.3.3 力偶的性质

性质 1 力偶没有合力,故力偶只能由力偶去平衡。

性质 2 力偶对其作用平面内任一点的矩恒等于力偶矩,即与矩心的位置无关。

如图 1.14 所示, O 为刚体内任意一点,并且在力偶 (F, F') 的作用平面内。力偶的力偶臂

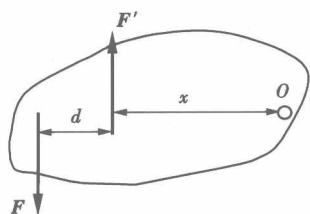


图 1.14

为 d , 所以力偶 (F, F') 的力偶矩为 $M = F \cdot d$ 。设矩心 O 到力 F' 作用线的垂直距离为 x 。

力偶 (F, F') 对 O 点的力矩记为 $M_O(F, F')$, 是力 F 和 F' 分别对 O 点力矩的代数和, 其值为

$$\begin{aligned} M_O(F, F') &= M_O(F) + M_O(F') \\ &= F(x + d) - Fx \\ &= F \cdot d \end{aligned}$$

性质 3 作用在刚体内同一平面上的两个力偶相互等效的充分必要条件是它们的力偶矩相等。

性质 3 说明:

①力偶在作用面内的位置不是决定力偶效应的特征。可以把力偶在作用面内任意移动和转动。

②力偶臂和力的大小也不是决定力偶效应的特征值, 力偶中的力和力偶臂可以同时改变, 只要不改变力偶矩的代数值就行。

也就是说, 惟一决定力偶效应的特征量是力偶矩的代数值。

图 1.15 给出了几种相互等效的情况。今后为了方便, 力偶常用力偶矩来代表[图 1.15 (c)、(d)]。

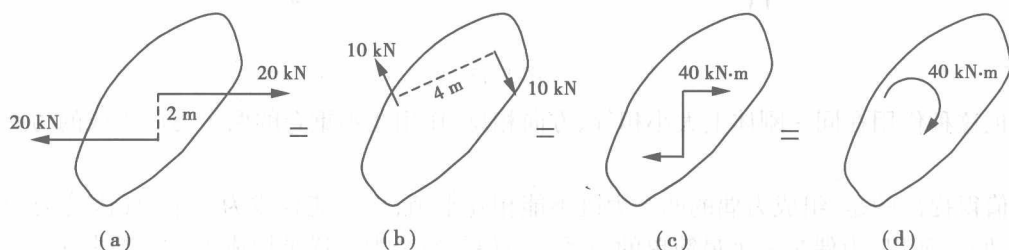


图 1.15

1.4 约束 约束的基本类型

当物体与其他物体相互接触时, 物体的运动会受到限制, 它在空间某一方向的运动成为不可能。这样的物体称为非自由体。例如地面上的建筑物、被活页固定在窗框上的窗扇以及沿轨道行驶火车都属于非自由体。而另一类物体, 例如飞行中的飞机、炮弹等的运动没有受到限制, 属于自由体。

力学中在研究非自由体的运动和受力时, 把限定其运动的其他物体称为约束。当非自由体在力的作用下沿着被限定运动的方向有运动趋势时, 约束将对该物体施加一个与运动趋势方向相反的作用力, 以阻止运动的发生。这样的力称为约束反力, 简称反力或约束力。所以约束反力的方向总是和非自由体上该约束所要阻挡的位移方向相反。

为区别起见, 约束反力以外的力统称为主动力, 工程上又称为荷载。约束反力的作用点和方向由约束本身的特点以及被约束物体的相对运动趋势所决定。约束反力的大小由施加于物

体上的主动力大小以及物体的运动状态所决定,所以约束反力是被动力。

工程中的物体大都是非自由体,而平衡问题又是静力分析的主要问题。因此,研究非自由体的平衡问题是很重要的。在这些问题中,主动力是彼此独立且常常是给定的;约束反力则往往是未知的,它受主动力的支配而需要利用平衡条件和其他物理定律来加以确定。这样,静力分析的实际问题往往表现为如何运用平衡条件,根据已知的主动力去求未知的约束反力,以作为工程的设计、校核的依据。

约束反力是由物体间的相互接触引起,因此,约束反力的作用位置一定在两物体的接触处。如果是点接触,则接触点就是约束反力的作用点。至于约束反力的方向可以通过它所阻碍物体的相对运动趋势方向来判断。为此需要弄清楚约束反力的几何物理性质。下面介绍几种简单而常见的约束类型,说明它们的特征。为了突出约束反力,并考虑到主动力的任意性,在有的图上只画出了约束反力。

1.4.1 柔体约束

由张紧的柔绳、链条等柔软物体所构成的约束称为柔体约束。柔体约束本身只能承受拉力,即只限定物体沿绳索中心线离开绳索方向的运动。其约束反力作用于柔体与物体的连接点,其方向沿绳索方向,而背离物体。柔体约束的约束反力通常用符号 F_T 来表示(图 1.16)。

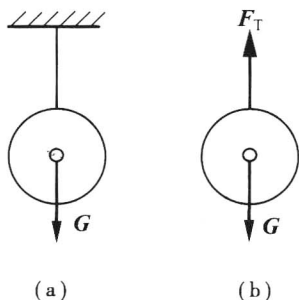


图 1.16

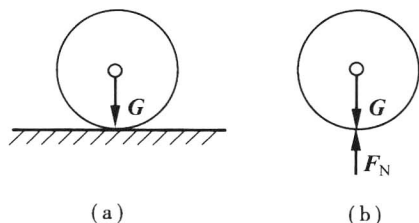


图 1.17

1.4.2 光滑面约束

若一个物体与另一物体互相接触,当接触处的摩擦力很小,可以忽略不计时,它们之间构成的约束称为光滑面约束(图 1.17)。这种约束只能限制物体沿着接触面公共法线方向指向约束内部的运动。其约束反力通过接触点,沿公共法线指向物体一侧。这种约束反力通常用符号 F_N 来表示。

1.4.3 圆柱形铰链约束

在两个构件上各钻有同样大小的圆孔,并用圆柱形销钉连接起来(图 1.18)。销钉阻止了构件彼此之间沿孔径方向的相对移动,但可以绕销钉作相对转动。这种约束称为圆柱形铰链约束,简称铰链约束,或更简单地称为铰链、铰。图 1.18(d)是它的简化示意图。

当两个构件有沿销钉径向相对移动的趋势时,销钉与构件以光滑面接触,所以,销钉给构件的约束反力 F_N 沿接触点 K 的公共法线方向,通过圆孔中心指向构件[图 1.18(e)]。由于接