

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

工程静力学

GONGCHENG JINGLIXUE

郑权旌

华中理工大学出版社

工程静力学

(修订版)

郑权旌

编

华中理工大学出版社

(本社有书可代售，如蒙惠顾，请向本社或各分社接洽)

华中理工大学出版社出版

开本：787×1092 1/32 印张：6.52 字数：138 000

1987年8月第3版 1988年1月第4次印刷

印数：13 501—15 500

ISBN 7-5609-1190-0/TB·37

(鄂)新登字第 10 号

008841
图书在版编目(CIP)数据

工程静力学/郑权旌编.-2版

武汉:华中理工大学出版社, 1995年8月

ISBN 7-5609-1190-0

I.工…

II.郑…

III.工程静力学-高等学校-教材

IV.TB121

工程静力学

郑权旌

责任编辑:湛柏珏

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/32 印张:6.25 字数:138 000

1995年8月第2版 1998年1月第4次印刷

印数:12 501—15 500

ISBN 7-5609-1190-0/TB·37

定价:6.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是修订版。它是在 1987 年第一版的基础上,根据 1993 年修订的《理论力学课程教学基本要求》并参考读者的意见修订而成的。

本书包括静力学的基本概念和物体受力分析,汇交力系,力矩和力偶理论,平面一般力系,考虑摩擦的平衡问题,空间一般力系等,共六章。概念清楚,理论严谨,深广度适中,重视联系工程实际。各章均附有适量的习题,书末附有习题答案。

本书可用作高等工业学校的静力学课程教材,也可以与同一编者编写的《工程运动学》和《工程动力学》一起作为多、中学时理论力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考,并可作为高等教育自学教材。

第二版序

本书是在 1987 年第一版的基础上,根据 1993 年修订的《理论力学课程教学基本要求》(100~110 学时)和读者的意见修订而成的。

在修订中,考虑到当前的教学情况和今后发展的需要,本着贯彻“打好基础,精选内容,逐步更新,以利教学”的原则,对全书的内容、例题、习题和文句作了较全面的增删和修改。本修订版保留了第一版的体系,但基本内容的深广度有所增加,而且力求在内容论述、理论推证和举例分析等各方面更为简明和严谨,以利于学生在理解静力学的基本概念和基本规律、掌握解题的方法技巧和提高科学思维能力方面更有成效。

本书在修订过程中,得到了教研室全体同志的大力支持和帮助,特此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,缺点和错误在所难免,诚恳希望广大读者,特别是使用本书作为教材的师生多予批评指正。

编 者

1994 年 7 月于华中理工大学

本书是以高等工业学校多学时类型理论力学静力学部分的基本要求为依据而编写的。理论力学作为高等工业学校一门理论性较强的技术基础课，由静力学、运动学和动力学三部分组成。其任务是使学生掌握质点、质点系和刚体机械运动（包括平衡）的基本规律和研究方法，为学习有关的后继课程打好必要的基础。就上述三部分的研究任务和学科体系而言，也可以将理论力学分设为两门或三门独立的课程，而且这对教学还有一定的好处。近几年，国内有些学校在教学改革中已经这么做了，而在日本、美国等国高等学校中，将理论力学分开设课和出版教材早已极为常见。

第一版序

静力学是理论力学的一个独立部分，其主要任务是为解决工程实际中的静力学问题服务的，并为学生学习动力学、材料力学、机械零件等后继课程提供必要的基础知识。运动学也是理论力学中的一个重要部分。而从力学的发展历史来看，在过去很长的时期内，运动学一直和动力学结合在一起，没有作为力学中的一个独立部分。实际上学好运动学除了为研究动力学打下基础外，在工程技术上也有着重要的意义。在教学中，对于那些对力学知识有较高要求的专业来说，将运动学独立出来讲授，要比分散在动力学的各部分去讲授为好，如使学科本身的系统性更强、更便于教学和联系实际等等。鉴于静力学和运动学两部分之间彼此联系不多的特点，只要在制订教学计划时注意作好有关课程的衔接，在学习顺序上，就可以视情况或者从静力学开始，或

者从运动学开始,或者两门课程并行讲授,都可收到较好的效果。由此可见,将理论力学分设为三门独立的课程不仅是可行的,而且还有助于更合理地组织教学。华中理工大学自1985年起,实行了既可仍按原理论力学课程教学,也可以分开设课的办法,实践表明,这对教学的实施是有益的。因此,笔者在总结教学经验和借鉴国内外新编教材的基础上,以高等工业学校多学时类型理论力学的基本要求为依据,按照既可作为单独设课的教材,又可用作理论力学课程教材的原则,编写了《工程静力学》、《工程运动学》和《工程动力学》三本教材,将陆续出版。

目 录

引言	(1)
第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析	(3)
§ 1-1 刚体和力的概念	(3)
§ 1-2 静力学公理	(6)
§ 1-3 约束与约束力	(11)
§ 1-4 物体的受力分析和受力图	(15)
习题	(20)
第二章 汇交力系	(23)
§ 2-1 汇交力系的合成	(23)
§ 2-2 汇交力系的平衡	(30)
习题	(38)
第三章 力矩和力偶理论	(42)
§ 3-1 力矩	(42)
§ 3-2 力偶和力偶矩	(52)
§ 3-3 力偶系的合成与平衡	(55)
习题	(61)
第四章 平面一般力系	(65)
§ 4-1 力的平移定理	(65)
§ 4-2 平面一般力系向一点简化	(67)
§ 4-3 平面一般力系简化的最后结果	(70)
§ 4-4 平面一般力系的平衡方程	(76)
§ 4-5 物体系统的平衡问题	(86)
§ 4-6 平面静定桁架内力的分析	(96)
习题	(106)

第五章 摩 擦..... (117)

§ 5-1 滑动摩擦力和摩擦定律 (117)

§ 5-2 摩擦角和自锁现象 (120)

§ 5-3 考虑滑动摩擦的平衡问题 (122)

§ 5-4 滚动摩阻 (132)

习题 (137)

第六章 空间一般力系..... (145)

§ 6-1 空间一般力系向一点简化 (145)

§ 6-2 空间力系简化的最后结果 (148)

§ 6-3 空间一般力系的平衡方程 (155)

§ 6-4 平行力系的中心与重心 (164)

习题 (179)

习题答案..... (185)

(1) 1-1-1

(2) 1-1-2

(3) 1-1-3

(4) 1-1-4

(5) 1-1-5

(6) 1-1-6

(7) 1-1-7

(8) 1-1-8

(9) 1-1-9

(10) 1-1-10

(11) 1-1-11

(12) 1-1-12

(13) 1-1-13

(14) 1-1-14

(15) 1-1-15

(16) 1-1-16

(17) 1-1-17

引言

静力学是关于物体平衡的科学,其任务是研究物体在各种力系作用下的平衡条件及其应用。静力学中的平衡是机械运动的一种特殊状态,在一般工程问题中,平衡是指物体相对于地球保持静止,而更完备的定义则是指物体处于惯性运动状态。设以地球为惯性参考系^[注],常见的平衡例子,除静止外,还有物体的匀速直线平动和物体绕固定对称轴的匀速转动。物体作惯性运动的形式可能极其复杂,但作用于平衡物体上的力系,均应该满足一定的平衡条件而组成平衡力系。

静力学着重研究以下三个问题:

(1) 物体的受力分析
物体的受力分析即分析物体共受几个力,以及每个力的作用位置、大小和方向。分析物体所受的力,画出它的受力图,是解决力学问题的一个重要步骤,是本课程的基本训练之一。

(2) 力系的简化

力系是指作用在物体上的一组力。如果一力系能用另一力系来代替,而对物体产生同样的作用效果,则这两力系互为等效力系。所谓力系的简化,就是将原力系用一个更为简单并和它等效的力系来代替。若一个力和一力系等效,则称该力是此力系的

[注] 惯性参考系是指适用牛顿运动定律的参考系,在大多数工程技术问题中,通常可以地球作为惯性参考系。

• 1 •

合力。

(3) 力系的平衡

当物体处于平衡状态时,作用在物体上的各种力系必须满足一定的条件;反之,只有满足一定条件的力系,才能够使物体平衡。求得各种力系的平衡条件,阐明物体受力和求解平衡的方法,是本课程的基本任务。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。例如,在设计各种工程结构构件或作匀速运动的机械零件时,必须先分析物体的受力情况,再应用平衡条件计算所受的未知力,然后按照材料的性能确定几何尺寸或选择适当的材料品种,以便得到既安全又经济的设计方案。对于虽非匀速,但运转速度缓慢或速度变化不大的机械零件,通常都可以简化为平衡问题来处理。此外,静力学中阐述的力的基本性质以及关于力系简化的理论,不仅能直接应用于动力学,而且动力学问题也可在形式上转化为平衡问题来求解。静力学不仅是学习动力学的基础,而且是学习材料力学、结构力学和机械零件等课程的基础。

并画这个圆又短, 这个只受共本脚得个眼得个代受由本脚
脚景, 图代受由字出画, 代由受通本脚得代。向衣脚小大, 置立用
。一△趁则本基的得景本景, 景景要重个一由脚同学代步

縣江樓臺大寺,系等參師聲靈顯赫半用古詩具系等參撰制 [書]

。承著參詳關成平縣州以而常備，中興同大封

其, 应整代由式式将左, (需平干仅材料, 不另需整替由前游互时
替是根本. 应整内由式式将左, 须变时式应由替内材料虽长量二
干至, 式式本基由式内材料分即同出相同, 应整代由式式应重
替式由替时止, 替式材料平属, 空整代由式式应重

第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析

: 素要个三不以下至央果效卧并材料将式, 即至整代

§ 1-1 刚体和力的概念

断器式应用以可, 更野硬庭由卧并材料将式素小大由式

[附] 在静力学中经常用到刚体和力这两个概念, 下面分别加以
阐述. 并本, (kg) 式式公量分单由式, 中属分单量工奇. (kN). 在工程单量

1. 刚体的概念

向衣由式 (S)

合回 本书的研究对象是刚体或由若干个刚体通过一定的方式相互
联接组成的物体系统, 所以本书所论述的内容也称为刚体静
力学. 所谓刚体, 是指受力时不变形的物体. 也就是说, 刚体在
受力作用时, 体内任何两点间的距离始终保持不变. 实际上, 任
何物体在受力时, 或多或少都要发生变形. 但是, 如果物体的变
形很小, 而且不会对研究的结果产生显著的影响, 就可略去变形
而把实际物体视为刚体[注]. 因此, 刚体是一个在研究物体运动
或平衡规律时被抽象化了的理想模型.

2. 力的概念

力是物体间的相互机械作用. 对应于任一个力, 不仅有一个
受力物体, 同时还必然有一个施力物体. 力对物体的作用效果主
要表现为两个方面: 其一是使物体改变运动状态(在诸力的作用

[注] 在本书中, 除个别地方特别说明者外, 文中的“物体”均指刚体.

相互抵消的特殊情况下,物体处于平衡),这称为力的外效应;其二是引起物体内部的应力和变形,这称为力的内效应。本课程着重研究力的外效应,同时也阐明分析杆件内力的基本方法,至于对内效应的详细研究,则属于材料力学、弹性力学和结构力学等课程的研究范围。

实践证明,力对物体的作用效果决定于以下三个要素:

(1) 力的大小

力的大小表示物体机械作用的强弱程度,可以用测力器测定。在国际单位制(SI制)中,力的单位是牛[顿](N)或千牛[顿](kN)。在工程单位制中,力的单位是公斤力(kgf)。本书采用国际单位制。牛[顿]和公斤力的换算关系是 $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ 。

(2) 力的方向

力使静止的自由质点运动的方向,称为力的方向。它包含“方位”和“指向”两个意义。例如,重力的方向是铅直朝下的,“铅直”是力的方位,“朝下”是力的指向。

(3) 力的作用点

物体上承受力作用的一点称为力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的作用线。

力的三要素表明力是一矢量,该矢量称为**力矢量**,或简称为**力矢**,通常以 F 、 P 、 T 、 N 、 S 等黑体字母表示。而以对应的白体字母 F 、 P 、 T 、 N 、 S 等表示矢量的大小,即矢量的模。若在图上表示力矢量,则可以矢量线段的起点或终点代表力的作用点;其长度(按一定的比例尺)代表力的大小;其所在的直线即为力的作用线,该线的方位即力的方位,通常以 α 、 β 、 γ 、 θ 、 φ 等角度表示之;矢端的箭头则表示力的指向。图 1-1 表示一高炉上料小车的受力情况,其中 P 为小车的重力, T 为钢索的拉力, N_A 和 N_B 为铁轨对车轮的正压力, F_A 和 F_B 为铁轨对车轮的摩擦力。以上诸

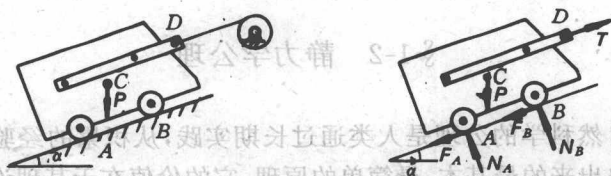


图 1-1

力分别作用于 C 、 D 、 A 、 B 各点。这样的图称为小车的受力图。

物体所受的力通常分为体积力和面积力两种。体积力是指物体的每个质点上都受到该力的作用的力，例如重力或其它场力。面积力是指物体在表面上受到其它物体作用的力，例如人对物体的推力，蒸汽对活塞的压力等。体积力和面积力都是分布力，但若物体的体积或接触面面积很小，则往往可将其略去不计而视为一点，这时便可将力作为集中力。此外，在物体的体积或接触面积不能视为一点的情况下，分布于体积或面积上的力也常常可用集中作用于某一点的一个与之等效的合力（如重力作用于物体的重心）来代替。本课程所研究的力，大多可视为集中力。

就所选择的研究对象（某一物体或物体系统）而言，可以将力区分为外力和内力两类。凡是研究对象以外的物体作用于研究对象的力都称为外力，而研究对象内部各部分之间的相互作用的力则称为内力。图 1-1 所示的力都是小车所受的外力。内力和外力的区分，完全决定于研究对象的选取，以太阳对地球的引力为例，对于地球来说它是外力，但就整个太阳系而言则是内力。就刚体而言，其运动或平衡的规律完全取决于它所受的全部外力，因此，全面、正确地分析研究对象所受外力作用的情况，对

于解决力学问题具有极为重要的意义。

§ 1-2 静力学公理

自然科学的公理是人类通过长期实践,从积累的经验中总结抽象出来的最基本、最简单的原理,它的价值在于其理论推论均与实际相符合,也可以直接用实验加以检验。静力学的全部理论,即关于力系简化和平衡的理论都是建立在下述五个公理的基础上。

公理一 二力平衡公理

受二力作用的刚体处于平衡状态的充分和必要条件是:此二力等值(大小相等)、反向(方向相反)、共线(沿着同一条作用线)。

公理一说明了最简单的力系的平衡条件,但必须注意,对于变形体来说,这个条件仅仅是必要的但不是充分的。例如一根柔绳受到二等值反向的拉力作用时可以平衡,但受到二等值反向的压力作用就不能平衡。

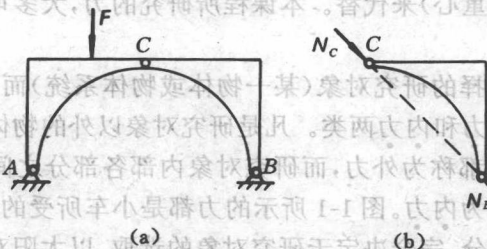


图 1-2

在本课程或工程实际中,常遇到仅受二力而处于平衡的物体,这样的物体称为二力体,在构造物中则称为二力构件。

图 1-2 所示为工程上常用的三铰拱的简图,由左、右两拱通过光滑圆柱形销钉铰接而成。设各拱自重不计,在已知力 F 的作用下,右半拱 BC 只在 B 、 C 二处分别受到圆柱形销钉所施的力 N_B 和 N_C 的作用,所以拱 BC 是二力体,根据公理一,此二力必定等值、反向且沿 B 、 C 连线,其受力图示于图 1-2(b)中。

公理二 加减平衡力系公理

在已知力系中加上或减去任何平衡力系,并不改变原力系对刚体的外效应。

公理二对于研究各种力系的简化具有重要意义。它还表明,任何平衡力系对刚体的外效应皆与零等效,亦即与无力作用的情况等效。

由公理二可以导出关于力的一个重要性质,即作用于刚体上的力,可沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的外效应。此性质称为力的可传性,证明如下:

设力 F 作用于刚体上 A 点(图 1-3(a)),根据公理二,可在力 F 的作用线上任一点 B 加上两个互成平衡的力 F' 和 F'' ,并且使 $F' = F'' = F$ (图 1-3(b))。由于力 F 和 F'' 满足公理一的条件组成平衡力系,因此,根据公理二又可将此二力除去,于是剩下的力 F' (图 1-3(c))仍和原来的力 F 等效。亦即将力 F 由其作用线

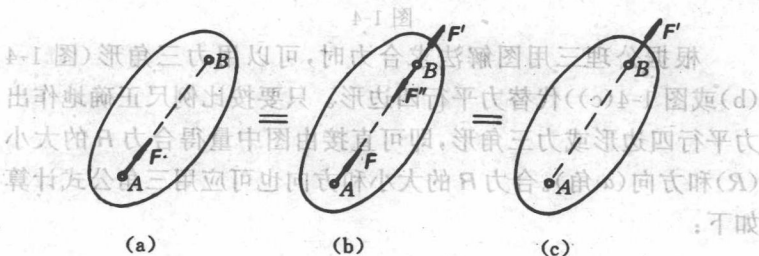


图 1-3

上 A 点移至 B 点,并不改变它对刚体的外效应。

根据上述力的可传性,可知当研究刚体的运动或平衡问题时,可将力矢量视为滑动矢量(可沿其作用线任意移动的矢量)。

必须注意,公理二和力的可传性只适用于刚体,而不适用于变形体,而且只适用于研究力的外效应。例如在求刚体的内力时,就不能将外力沿其作用线任意移动。

公理三 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的二力可合成为一合力。合力也作用于同一点,其大小和方向,由此二分力矢为边所构成的平行四边形对角线决定(即等于此二力的矢量和)。

设在物体上 A 点作用着力 F_1 和 F_2 ,以 R 表示它们的合力(图 1-4(a)),则有矢量等式

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

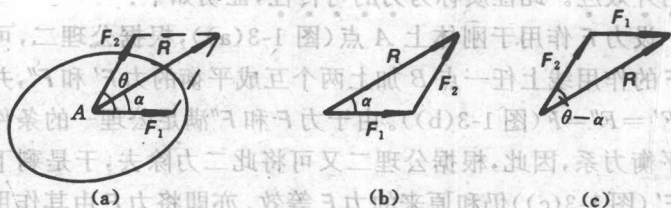


图 1-4

根据公理三用图解法求合力时,可以用力三角形(图 1-4(b)或图 1-4(c))代替力平行四边形。只要按比例尺正确地作出力平行四边形或力三角形,即可直接由图中量得合力 R 的大小(R)和方向(α 角)。合力 R 的大小和方向也可应用三角公式计算如下: