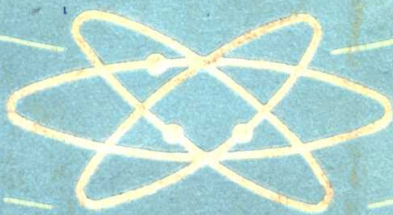


中等专业学校教材

理论力学

王裕炘 主编



西北电讯工程学院出版社

中等专业学校教材

理论力学

王裕炘 主编

西北电讯工程学院出版社

1984

内 容 简 介

本书共分三篇：第一篇是静力学。包括静力学的基本概念、公理和受力图，平面汇交力系，力对点之矩、平面力偶系，平面任意力系，摩擦，空间力系，重心；第二篇是运动学。包括点的运动，刚体的基本运动，点的合成运动，刚体的平面运动；第三篇是动力学。包括动力学基本方程，动能定理，达朗伯原理，机械振动基础。为巩固所学知识，各章均有相当数量的习题，并附有答案。带“*”的部分为选学内容，可根据不同专业和不同学制的需要选用。书中采用国际单位制。

本书系由电子工业部组织编写，是中专电子机械类专业的教科书，也可供从事该专业的工程技术人员参考。

中等专业学校教材

理 论 力 学

王裕圻 主编

西北电讯工程学院出版社出版

中国人民解放军七二二六厂印刷

陕西省新华书店发行 * 各地新华书店经售

开本787×1092 1/16 印张15 7/16 字数406千字

1984年10月第一版 1984年10月第一次印刷 印数1—10000

书号：15322·13 定价：2.15元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是通过教学实践，从师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

1982/1/13

前 言

本教材系由电子工业部中专电子机械类专业教材编审委员会基础课教材编审小组评选审定，并推荐出版。

本教材由成都无线机械学校王裕炘担任主编，无锡无线电工业学校任柏祥担任主审。编审者均依据基础课教材编审小组审定的编写大纲进行了编写和审阅。

本课程的参考教学时数为 120 学时，主要内容为：物体的受力分析和在各种力系作用下的平衡条件；点的运动、刚体的平动和转动、运动的合成与分解；动力学基本方程、动能定理及达朗伯原理。使用本教材时应注意，书中注有“*”号的章节为选学内容，可根据专业要求决定取舍。每章所附习题类型难以齐全，教师可根据有关专业的特殊需要，另加选题，或者通过题设条件和数据的变化以增加练习的多样性。本教材采用国际单位制，如有需要，教师也可自行增加工程单位制方面的训练。

本教材由王裕炘编写绪论、第一章、第三章至第八章和第十三章至第十五章，袁世民编写第十章和第十一章，程汉章编写第二章、第九章和第十二章，王裕炘统编全稿。参加审阅工作的还有张子义同志，他为本书提出许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念、公理和受力图	(4)
第一节 静力学的基本概念和基本定义	(4)
第二节 静力学公理	(5)
第三节 约束与约束反力	(8)
第四节 受力图	(11)
习题	(14)
第二章 平面汇交力系	(19)
第一节 平面汇交力系合成的几何法	(19)
第二节 平面汇交力系平衡的几何条件	(21)
第三节 平面汇交力系合成的解析法	(24)
第四节 平面汇交力系的平衡方程	(26)
习题	(29)
第三章 力对点之矩·平面力偶系	(34)
第一节 力对点之矩·合力矩定理	(34)
第二节 力矩平衡条件	(37)
第三节 力偶和力偶矩	(39)
第四节 力偶的性质	(40)
第五节 平面力偶系的合成与平衡条件	(41)
习题	(44)
第四章 平面任意力系	(50)
第一节 力的平移定理	(50)
第二节 平面任意力系向一点简化	(51)
第三节 平面任意力系简化结果的讨论	(53)
第四节 平面任意力系的平衡方程	(55)
第五节 平面平行力系的平衡方程	(59)
第六节 静定与静不定问题的概念	(61)
第七节 物系的平衡问题	(62)
习题	(66)
第五章 摩 擦	(73)
第一节 滑动摩擦	(73)
第二节 考虑摩擦时的平衡问题	(75)

第三节 自 锁.....	(79)
第四节 滚动摩擦的概念.....	(81)
习题.....	(83)
第六章 空间力系	(87)
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影.....	(87)
第二节 力对轴之矩.....	(89)
第三节 空间力系的平衡方程.....	(91)
第四节 空间力系平衡问题转化为平面力系平衡问题的解法.....	(95)
习题.....	(96)
第七章 重 心	(100)
第一节 重心的坐标公式.....	(100)
第二节 求物体重心的几种方法.....	(102)
习题.....	(105)

第二篇 运 动 学

第八章 点的运动	(108)
第一节 点的运动规律.....	(108)
第二节 点在曲线运动中的速度和加速度的自然表示法.....	(111)
第三节 点的运动的特殊情况.....	(117)
第四节 速度和加速度的直角坐标表示法.....	(119)
习题.....	(123)
第九章 刚体的基本运动	(127)
第一节 刚体的平动.....	(127)
第二节 刚体绕定轴转动.....	(128)
第三节 刚体的匀速转动和匀变速转动.....	(130)
第四节 定轴转动刚体上各点的速度和加速度.....	(131)
习题.....	(135)
第十章 点的合成运动	(138)
第一节 绝对运动、相对运动和牵连运动.....	(138)
第二节 点的绝对速度、相对速度和牵连速度·速度合成定理.....	(139)
*第三节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理.....	(143)
*第四节 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理.....	(145)
习题.....	(146)
第十一章 刚体的平面运动	(150)
第一节 刚体平面运动的概念.....	(150)
第二节 刚体平面运动方程·平面运动分解为平动和转动.....	(151)
第三节 用基点法求平面图形上各点的速度·速度投影定理.....	(152)
第四节 用瞬心法求平面图形上各点的速度.....	(155)

*第五节 用基点法求平面图形上各点的加速度·····	(159)
习题·····	(161)

第三篇 动 力 学

第十二章 动力学基本方程 ·····	(166)
第一节 动力学基本定律·····	(166)
第二节 质点运动微分方程·····	(167)
第三节 刚体绕定轴转动的动力学基本方程·····	(174)
第四节 转动惯量·····	(175)
习题·····	(182)
第十三章 动能定理 ·····	(188)
第一节 功的计算·····	(188)
第二节 质点的动能及动能定理·····	(194)
第三节 质点系的动能及动能定理·····	(196)
第四节 功率·····	(201)
第五节 机械效率·····	(202)
习题·····	(204)
第十四章 达朗伯原理 ·····	(209)
第一节 惯性力·····	(209)
第二节 质点的达朗伯原理·····	(210)
第三节 质点系的达朗伯原理·····	(214)
习题·····	(220)
*第十五章 机械振动基础 ·····	(224)
第一节 质点的自由振动·····	(225)
第二节 质点的衰减振动·····	(230)
第三节 质点的受迫振动·····	(233)
第四节 减振与隔振的概念·····	(237)
习题·····	(238)

绪 论

在学习本课程之前，必须先知道它的研究对象、大体内容和学习目的。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化。它是在日常生活和生产实践中最常见到的一种运动。在工程上，物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。平衡是机械运动的特殊情况，所以理论力学也研究物体的平衡规律。

在客观世界中，除机械运动外，还存在各种不同形式的物质运动。例如发热、发光、电磁产生等物理现象，化学变化，生物的生长以至于人脑的思维活动等。在物质运动的所有形式中，机械运动是最简单的一种。由于物质运动的各种形式都有其本身的特殊规律，其间存在着本质的差别，因此不能用机械运动来概括所有的运动形式。本书以后所说的运动，仅指机械运动，物质的其它运动形式，则是别的学科研究的对象。

理论力学的内容包括静力学、运动学和动力学三部分。

静力学是研究物体在力系作用下处于平衡的规律，同时也研究力的基本性质及其合成法则。

运动学只从几何的角度来研究物体的运动规律，而不考虑引起运动的物理原因。

动力学研究物体的运动变化与其所受力之间的关系。

在工程实际中，有许多力学问题存在。例如图 0-1 所示的钻模夹具，为了在钻孔时能使楔块始终夹紧工件而不松脱，就必须分析楔块的受力情况，从而找出其倾角 α 所应满足的条件。又如图 0-2 所示的起重绞车，为了确定合适的传动系统和合理地选择电动机，就必须

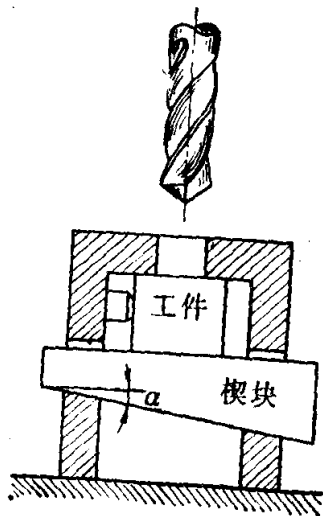


图 0-1

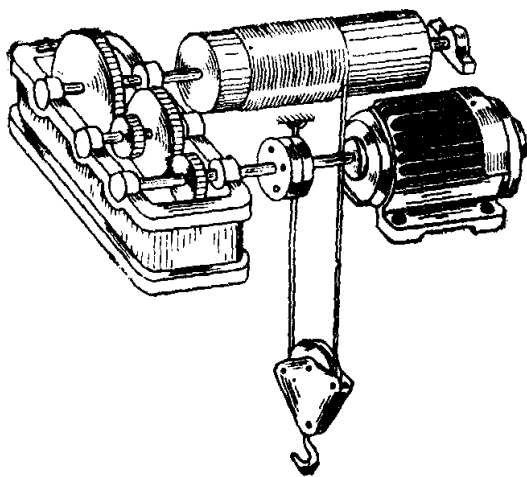


图 0-2

根据工作的要求对起重绞车进行运动和功率的计算。学习理论力学的目的就是为解决这些工程实际问题提供必要的基础知识。同时理论力学又是学习后继课程(如材料力学、机械原理、机械零件等)的重要基础。

此外，理论力学的分析和研究方法，在科学研究中具有一定的典型性。因此，通过理论

力学的学习有助于培养我们的辩证唯物主义观点以及分析问题和解决问题的能力，可以使我们在整个学习过程中，逐步形成正确的逻辑思维和对实际问题具有抽象、简化和正确地进行理论分析的能力。

第一篇 静 力 学

静力学研究物体机械运动的特殊情况，即物体处于平衡时的力学问题。在静力学中，我们将研究以下两个问题：

1. 力的基本性质和物体受力分析、运算(包括力的合成、分解与简化)的方法。
2. 物体在力的作用下处于平衡的条件及平衡条件的应用。

受力物体的平衡条件，在工程实际中应用很广。在设计结构构件或机械零件时，一般要先根据平衡条件计算出所受外力的大小和方向，然后再进行强度、刚度或稳定性的分析计算，从而确定出这些构件和零件的合理截面形状、尺寸或选用恰当的材料品种。

此外，力在物体平衡时所表现的基本性质，也同样表现于物体的一般运动中。在静力学中，关于力的合成、分解与简化等研究得出的结果，也可直接用于动力学。由此可见，静力学是理论力学和机械设计的基础。

第一章 静力学的基本概念、公理和受力图

第一节 静力学的基本概念和基本定义

一、力的概念

实践表明,物体之间的相互作用可使物体的运动状态发生变化和使物体产生变形,这种作用称为物体间的机械作用。例如用手推车时,手对车作用,可使车改变速度;锻造工件时,锻锤对工件作用,可使工件产生变形。力学中把引起物体运动状态改变(包括变形)的这种作用,概括抽象为力。因此,对力可作如下定义:力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生变化(包括变形)。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应,力使物体产生变形的效应称为力的内效应。理论力学主要研究力的外效应。

实践表明,力的大小、方向和作用点的位置是决定力对物体效应的三个要素。改变其中任何一个,都会改变力的作用效果。

要度量力的大小,须先确定力的单位。本书采用国际单位制,以牛顿(N)和千牛顿(kN)作为力的单位。目前工程上还采用工程单位制,力的工程单位是公斤力(kgf)和吨力(tf),但习惯上简写为公斤(kg)和吨(t)。

牛顿和公斤力的换算关系为

$$1\text{kgf} = 9.807\text{N}$$

力是具有大小和方向的量,所以力是矢量,可记作 $\mathbf{P}$ 。

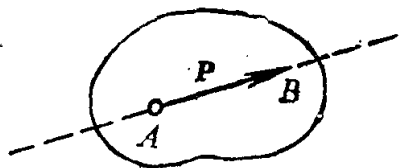


图 1-1

图 1-1 中力 $\mathbf{P}$ 的三个要素可用一个带箭头的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来

表示。此线段的长度 $\overline{AB}$ 按一定的比例尺表示力的大小;线段的方位加上末端的箭头表示力的方向;线段的起点 A(或终点 B)表示力的作用点。线段所在的直线(图中的虚线)称为力的作用线。本书用黑体字母表示矢量,而矢量的模(即大小)则用普通字母表示。例如用 $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{T}$ 、 $\mathbf{R}$ 等表示力的矢量,而以 P 、 T 、 R 等表示这些力的大小。

二、刚体的概念

我们知道,物体在力的作用下要产生变形。但是在一般情况下,工程上的结构构件和机械零件受力后产生的变形是很微小的。例如钢杆受拉时的伸长,在安全使用范围内,一般不超过原长度的几千分之一;机床主轴在自重和载荷作用下发生弯曲的最大挠度,一般不超过轴承间距的万分之五。在许多情况下,这样微小的变形对于力对物体外效应的研究影响甚微,可以忽略不计。因此,可将所研究的物体视为不变形的物体,称为刚体。更确切地说,刚体就是在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。

刚体是理论力学中对物体进行抽象简化后得到的一种理想模型。它突出了物体运动或平

衡的本质及其规律,并使研究和解决问题的方法简化,这种处理问题的方法是科学抽象所必需的。只有研究了刚体的力学问题以后,才能进一步研究比较复杂的关于变形物体(如弹性体、液体、气体)的力学问题。

三、平衡的概念

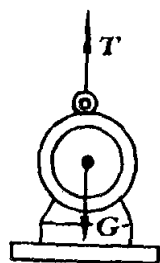


图 1-2

绪论中已经提到,在工程上,物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。必须注意,运动是绝对的,而静止或平衡则是相对的、有条件的。例如固定在基础上的机床床身,只是相对于地球处于静止状态,实际上床身随着地球自转,并绕太阳公转。再如用钢丝绳提升电机(图 1-2),电机受到绳的拉力 T 和重力 G 的作用,此二力方向相反,作用在同一直线上。显然,要使电机匀速上升、下降或静止,即处于平衡状态,必须 $T = G$ 。如果 $T > G$,则平衡的条件被破坏,电机上升的速度就要加快。

四、基本定义

为了便于以后的研究和叙述,首先明确下面一些定义:

1. 力系 同时作用在物体上的许多力称为力系。
2. 平衡力系与平衡力 如果物体受力系的作用处于平衡,则此力系称为平衡力系。图 1-2 中作用在电机上的二力,即为一最简单的平衡力系。在平衡力系中,各力的外效应相互抵消,即平衡力系不改变物体的运动状态。因此,平衡力系是对物体的外效应等于零的力系。

在平衡力系中,如果去掉一力,则其余各力不能平衡,故平衡力系中任何一力,均称为其余各力的平衡力。

3. 等效力系 如果两个力系对刚体的作用效果相同,则此两力系互称为等效力系。
4. 合力与分力 如果一力和一力系等效,则此力称为该力系的合力,而力系中的各个力均称为合力的分力。已知分力求合力称为力的合成;反之,已知合力求分力称为力的分解。

第二节 静力学公理

静力学以几个基本原理——公理为基础来研究刚体的平衡条件。这些公理是人们经过长期的经验积累和实践验证总结出来的,它反映出作用在刚体上的力的最简单、最基本的性质。

一、二力平衡公理

刚体受两力作用处于平衡的充分和必要条件是:两力大小相等、方向相反、作用在同一直线上(图 1-3),简称两力等值、反向、共线。

刚体平衡的这一充分和必要条件,对于变形体来说,只是必要条件,而不是充分条件。例如软绳的两端受等值、反向、共线的两个拉力作用可以平衡,若变拉力为压力,则不能平衡。

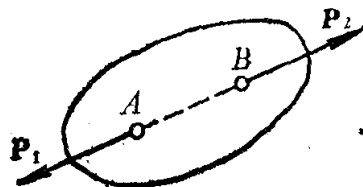


图 1-3

二、加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系中，加入或去掉一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

利用上述两个公理可得一重要推论：

作用在刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体上任意一点，而不改变力对刚体的作用效果。力的这一性质称为力的可传性。

证明：设有已知力 P 作用在刚体上的 A 点，如图 1-4(a) 所示。根据加减平衡力系公

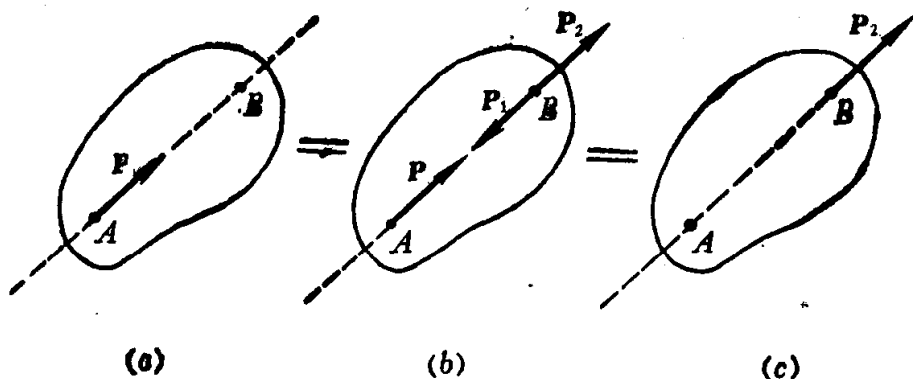


图 1-4

理，可在力 P 的作用线上任取一点 B ，在 B 点加上等值、反向、共线的一对力 P_1 和 P_2 ，并使 $P_1 = P_2 = P$ ，如图 1-4(b) 所示。由于 P_1 、 P_2 是一个平衡力系，因此力系 P 、 P_1 、 P_2 与已知力 P 等效。但是，力 P 与 P_1 也是一个平衡力系，可以去掉。这样只剩下一个力 P_2 与力系 P 、 P_1 、 P_2 等效，如图 1-4(c) 所示。于是力 P_2 与已知力 P 等效。而力 P_2 就是已知力 P ，只是作用点由 A 点移到了 B 点。

根据力的可传性，对于刚体来说，力的三要素可改为：力的大小、方向和作用线。

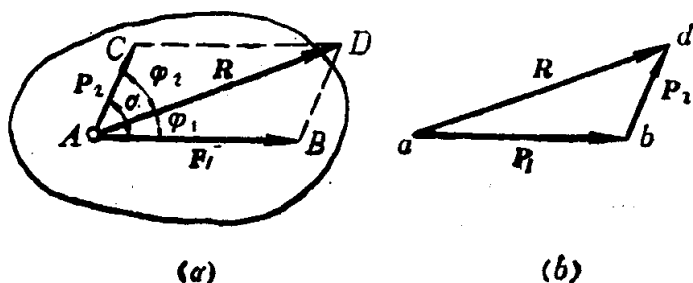


图 1-5

必须注意，当考虑物体的变形时，力的可传性不再适用。否则，将会改变物体的变形性质。

三、力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个相交力可合成为一个合力。合力的作用点也在该点，其大小和方向，由以此两分力为邻边

所构成的平行四边形的对角线确定，如图 1-5(a) 所示。图中 R 表示合力， P_1 、 P_2 表示分力。它们的关系可用矢量等式表示为

$$R = P_1 + P_2 \quad (1-1)$$

这个等式代表的意义是矢量相加，与代数相加式 $R = P_1 + P_2$ 完全不同，不能混淆。只有两分力共线时，其合力才等于两分力的代数和，即共线两分力同向时相加，反向时相减。此结论还可推广到由任意个分力组成的共线力系。

合力 R 的大小和方向可用三角公式计算。若已知分力 P_1 、 P_2 和它们的夹角 α ，则在

$\triangle ABD$ 中, 由余弦定理可得

$$R^2 = P_1^2 + P_2^2 - 2P_1P_2 \cos(180^\circ - \alpha)$$

故合力的大小为

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \alpha} \quad (1-2)$$

其次, 由正弦定理可得

$$\frac{P_1}{\sin \varphi_2} = \frac{P_2}{\sin \varphi_1} = \frac{R}{\sin(180^\circ - \alpha)}$$

所以

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_1 &= \frac{P_2}{R} \sin \alpha \\ \sin \varphi_2 &= \frac{P_1}{R} \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

由上式可确定合力 R 的方向。

由图可见, 在求合力 R 时, 实际上不必作出整个平行四边形, 只要先从任意点 a 按比例作出力 P_1 , 再从力 P_1 的终点 b 作力 P_2 , 然后将力 P_1 的起点 a 与力 P_2 的终点 d 连成矢量, 即表示合力 R 的大小和方向, 如图 1-5(b) 所示(显然, 先作力 P_2 再作力 P_1 亦可)。这个三角形 abd 称为力三角形, 上述的作图法称为力三角形法则。

利用力的平行四边形公理(或力三角形法则)也可把一个已知力 P 分解为两个相交的分力。由于以已知力 P 为对角线作出的平行四边形可以有无穷多个(图 1-6), 因此, 若不补充其它条件, 则解答将是不定的。在工程问题中, 通常遇到的是把一个力分解为方向已知的两个分力, 特别有用的是分解为方向互相垂直的两个分力。这种分解称为正交分解。例如在直齿圆柱齿轮传动中, 当不计齿面摩擦时, 小齿轮作用在大齿轮上的力 P 是沿着接触表面公法线的(图 1-7)。这个力可分解为沿两齿轮节圆切线方向的分力 P_t (称为圆周力)及沿半径方向的分力 P_r (称为径向力)。引起齿轮轮齿破坏的力往往是圆周力 P_t , 因此, 设计齿轮时需要知道这个力的大小。

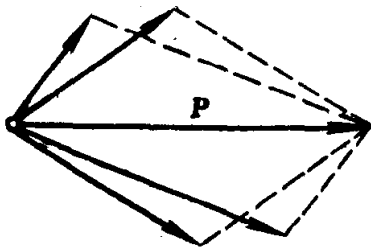


图 1-6

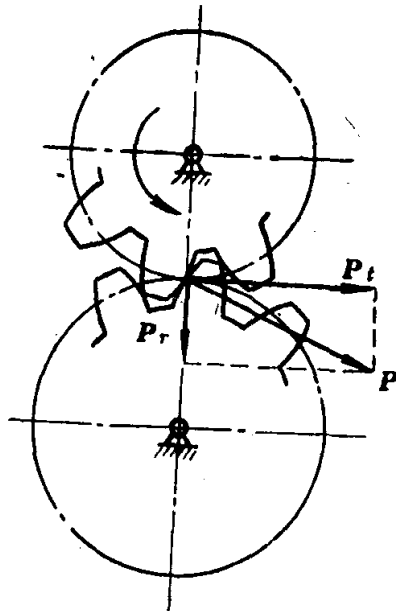


图 1-7

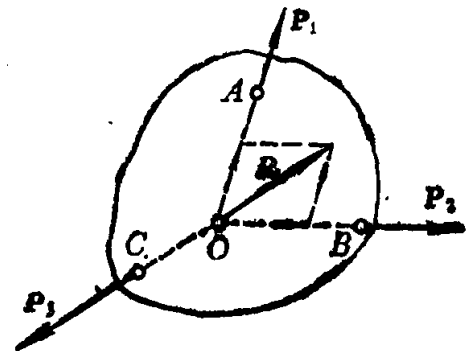


图 1-8

推论：刚体受同平面内的三个不平行力作用而平衡时，此三力的作用线必相交于一点。这个关系称为三力平衡汇交定理。

证明：设有同平面内的不平行三力 P_1 、 P_2 、 P_3 分别作用在刚体的 A 、 B 、 C 三点，使刚体处于平衡(图 1-8)。根据力的可传性，将力 P_1 和 P_2 移到相交点 O ，并按力的平行四边形公理合成为一力 R ，则力 P_3 应与 R 相平衡。由于二力平衡必然共线，故力 P_3 的作用线必通过点 O 。

由此可见，刚体受不平行三力作用而平衡时，只要知道其中两个力的方向，则第三个力的方向便可按三力平衡汇交定理确定。

应该注意，不能依此推出，凡是同平面内作用线相交于一点的三力必然平衡的结论。

四、作用与反作用公理

两个物体之间的作用力和反作用力，总是大小相等、方向相反、作用线相同，但分别作用在这两个物体上。例如车刀在工件上切槽时，车刀作用在工件上的切削力为 P ，与此同时，工件必有反作用力 P' 作用在车刀上，如图 1-9 所示。此二力 P 与 P' 总是等值、反向、共线的。

作用与反作用公理概括了自然界中物体相互作用的关系，表明作用力和反作用力总是成对出现的。机械中动力的传递，都是通过机械零件之间的作用与反作用的关系来实现的。借助于这个公理，我们就能从一个机械零件的受力分析计算，过渡到另一个机械零件的受力分析计算。

必须注意，作用与反作用公理中的二力与二力平衡公理中的二力，虽然同是等值、反向、共线，但它们却截然不同。前者的二力永远是分别作用在两个不同的物体上，而后者的二力则是作用在同一物体上的，绝不能混淆。

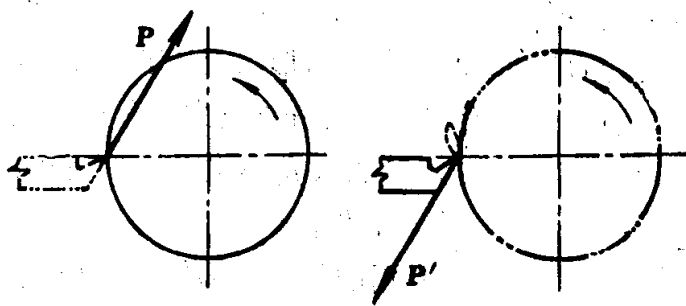


图 1-9

第三节 约束与约束反力

在力学中，通常根据物体在力的作用下的运动情况，把物体分为两大类。凡可以沿空间任何方向运动的物体称为自由体，例如航行的飞机、漂浮的气球等。凡受周围物体的限制，而不能沿某些方向运动的物体称为非自由体，例如放在桌面上的书受桌面的限制，不能向下运动；机车受轨道的限制，只能沿轨道运动；机床主轴受轴承的限制，只能在轴承中转动等。限制非自由体运动的物体称为约束。上述例子中，桌面是书的约束；轨道是机车的约束；轴承是机床主轴的约束。

非自由体受到的力，一般可分为两类：一类是促使物体运动或使它具有运动趋势的力，称为主动力，如重力、拉力或推力等；另一类是约束限制非自由体沿某些方向运动的力，称为约束反力或约束力，如桌面给书的力、轨道给机车的力、轴承给主轴的力等。显然，约束反力的方向必然与该约束所能限制的运动方向相反，这是确定各种约束类型的反力方向的基本

准则。

研究非自由体的平衡问题时,主动力的大小和方向通常是已知的,而约束反力的大小和方向则往往是未知的,且正是需要求的。在一般情况下,约束反力的方向可根据约束的类型按上述准则确定,其大小则需用平衡条件来计算。

下面介绍工程上常见的几种约束类型及其反力方向的确定方法。

一、柔性约束

由柔软的绳索、链条或皮带等所构成的约束称为柔性约束。这类约束只能限制所系物体沿绳索方向离开绳索的运动。因此,约束反力作用在接触点,其方向必沿绳索而背离所系的物体(图 1-10 和图 1-11)。或者说,柔性约束只能给所系物体以拉力。通常用 T 或 S 表示柔性约束反力。

二、刚性约束

由光滑的接触面所构成的约束称为刚性约束。实际上,当物体接触面间的摩擦力很小,与物体所受的其它作用力相比可以忽略不计时,接触面就可认为是光滑的。例如物体与光滑平面的接触(图 1-12)、圆柱工件与 V 形槽的接触(图 1-13)、一对啮合齿轮的齿面接触(图 1-14)、圆球与圆弧面的接触(图 1-15)等,这些接触面都可当作光滑接触面。

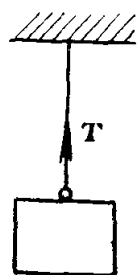


图 1-10

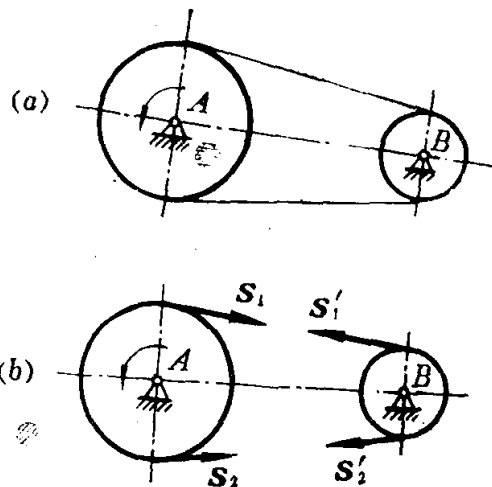


图 1-11

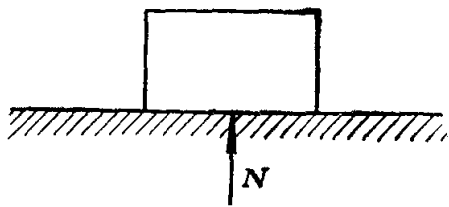


图 1-12

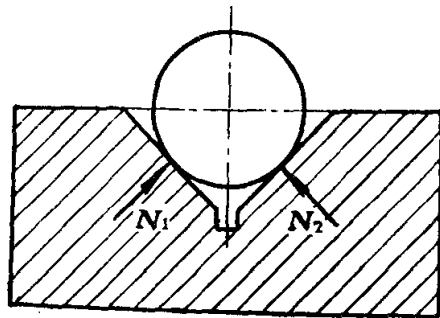


图 1-13

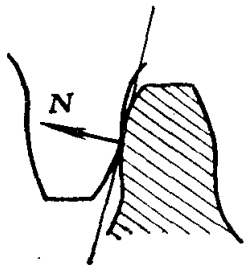


图 1-14

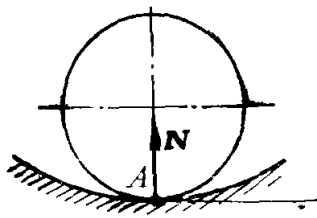


图 1-15

这类约束不论支承面的形状如何,支承面只能限制物体沿接触表面公法线朝支承面方向的运动,而不能限制物体沿接触表面切线的运动或离开支承面的运动。因此,约束反力作用在接触点,其方向必沿接触表面的公法线,并指向物体。这类约束反力称为法向反力,用 N 表示。