
全国高等教育自学考试教材

理论力学

(工业与民用建筑专业)

刘明威 主编

武汉大学出版社



全国高等教育自学考试教材

理论力学

(工业与民用建筑专业)

刘明威 主编

武汉大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学/刘明威主编. —武汉: 武汉大学出版社, 1988. 8

全国高等教育自学考试

土建类专业用

ISBN 7-307-00283-3

I 理…

Ⅱ 刘…

Ⅲ 理论力学—高等学校—自学考试—教材

Ⅳ O31

武汉大学出版社出版发行

(430072 武昌 珞珈山)

湖北省石首市第二印刷厂印刷

(434402 湖北省石首市横沟市振兴路1号)

1988年8月第1版 1998年7月第14次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.375

字数: 534千字 印数: 120301—130300

ISBN 7-307-00283-3/O·27 定价: 20.30元

本书如有印装质量问题, 请寄承印厂调换

出版前言

高等教育自学考试教材建设是高等教育自学考试工作的一项基本建设。经国家教育委员会同意，我们拟有计划、有步骤地组织编写一些高等教育自学考试教材，以满足社会自学和适应考试的需要。《理论力学》是为高等教育自学考试土建类专业组编的一套教材中的一种。这本教材根据专业考试计划，从造就和选拔人才的需要出发，按照全国颁布的《理论力学自学考试大纲》的要求，结合自学考试的特点，组织高等院校一些专家学者集体编写而成。

土建类专业《理论力学》自学考试教材是供个人自学、社会助学和国家考试使用的，无疑也适用于其他相同专业方面的学习需要，现经审定同意予以出版发行。我们相信，随着高等教育自学考试教材的陆续出版，必将对我国高等教育事业的发展，保证自学考试的质量起到积极的促进作用。

编写高等教育自学考试教材是一种新的尝试，希望得到社会各方面的关怀和支持，使它在使用中不断提高和日臻完善。

全国高等教育自学考试指导委员会
一九八七年九月

目 录

绪论.....	(1)
---------	-----

静 力 学

引言.....	(2)
第一章 静力学公理和物体的受力分析.....	(3)
§ 1-1 静力学的基本概念.....	(3)
§ 1-2 静力学公理.....	(5)
§ 1-3 约束和约束反力.....	(7)
§ 1-4 物体的受力分析.....	(11)
小结.....	(13)
思考题.....	(14)
习题.....	(15)
第二章 平面汇交力系.....	(19)
§ 2-1 平面汇交力系合成与平衡的几何法.....	(19)
§ 2-2 三力平衡定理.....	(22)
§ 2-3 力的分解·力的投影.....	(24)
§ 2-4 平面汇交力系合成与平衡的解析法.....	(26)
小结.....	(31)
思考题.....	(31)
习题.....	(32)
第三章 力对点的矩·平面力偶理论.....	(36)
§ 3-1 力对点的矩.....	(36)
§ 3-2 力偶与力偶矩.....	(38)
§ 3-3 平面力偶系的合成和平衡条件.....	(40)
小结.....	(43)
思考题.....	(43)
习题.....	(44)
第四章 平面任意力系.....	(46)
§ 4-1 工程中的平面任意力系问题.....	(46)
§ 4-2 平面任意力系向一点的简化.....	(47)
§ 4-3 平面任意力系简化结果的讨论.....	(52)
§ 4-4 平面任意力系的平衡条件·平衡方程.....	(54)
§ 4-5 平面平行力系的平衡方程.....	(59)
§ 4-6 物体系的平衡.....	(60)
§ 4-7 静定与静不定问题的概念.....	(67)

§ 4-8 静定平面桁架的内力计算	(68)
小结	(75)
思考题	(76)
习题	(77)
第五章 考虑摩擦的平衡问题	(84)
§ 5-1 引言	(84)
§ 5-2 滑动摩擦力的性质·滑动摩擦定律	(85)
§ 5-3 自锁现象和摩擦角	(88)
§ 5-4 考虑摩擦的平衡问题	(91)
§ 5-5 滚动摩阻的概念	(96)
小结	(97)
思考题	(98)
习题	(99)
第六章 空间力系	(102)
§ 6-1 空间力在直角坐标轴上的投影和沿直角坐标轴的分解	(102)
§ 6-2 空间汇交力系的合成与平衡	(104)
§ 6-3 空间力偶理论	(107)
§ 6-4 力对点的矩和力对轴的矩	(109)
§ 6-5 空间任意力系向一点的简化·主矢和主矩	(114)
§ 6-6 空间任意力系的平衡方程	(116)
§ 6-7 空间力系的平衡问题	(118)
§ 6-8 物体的重心	(123)
小结	(131)
思考题	(132)
习题	(134)
静力学自学水平测试	(138)

运 动 学

引言	(140)
第七章 点的运动学	(141)
§ 7-1 点的运动矢量法	(141)
§ 7-2 点的运动的直角坐标法	(143)
§ 7-3 点的运动的自然法	(149)
小结	(154)
思考题	(154)
习题	(155)
第八章 刚体的基本运动	(157)
§ 8-1 刚体的平行移动	(157)
§ 8-2 刚体绕固定轴的转动	(158)
§ 8-3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	(159)

小结	(164)
思考题	(164)
习题	(164)
第九章 点的合成运动.....	(167)
§ 9-1 合成运动的概念.....	(167)
§ 9-2 点的速度合成定理.....	(170)
§ 9-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理.....	(174)
小结	(177)
思考题	(178)
习题	(179)
第十章 刚体的平面运动.....	(184)
§ 10-1 刚体平面运动的概念	(184)
§ 10-2 平面图形的运动方程·平面图形运动的分解	(185)
§ 10-3 平面图形上各点的速度	(188)
§ 10-4 平面图形的瞬时速度中心	(192)
§ 10-5 平面图形上各点的加速度	(197)
小结	(199)
思考题	(200)
习题	(201)
运动学自学水平测试.....	(207)

动 力 学

引言.....	(210)
第十一章 质点运动微分方程.....	(211)
§ 11-1 动力学的基本定律	(211)
§ 11-2 单位制和惯性坐标系	(212)
§ 11-3 质点运动微分方程	(213)
§ 11-4 质点动力学的两类问题	(214)
小结	(221)
思考题	(221)
习题	(221)
第十二章 动量定理.....	(224)
§ 12-1 引言	(224)
§ 12-2 动量	(225)
§ 12-3 冲量	(228)
§ 12-4 动量定理	(229)
§ 12-5 质心运动定理	(235)
小结	(240)
思考题	(241)
习题	(242)

第十三章 动量矩定理	(246)
§ 13-1 动量矩	(246)
§ 13-2 动量矩定理	(250)
§ 13-3 刚体的转动惯量·平行移轴定理	(256)
§ 13-4 刚体绕定轴转动的微分方程	(258)
小结	(264)
思考题	(265)
习题	(266)
第十四章 动能定理	(270)
§ 14-1 功和功率	(270)
§ 14-2 几种常见力的功	(272)
§ 14-3 动能	(277)
§ 14-4 动能定理	(280)
§ 14-5 普遍定理的综合应用	(286)
小结	(292)
思考题	(293)
习题	(294)
第十五章 达朗伯原理	(299)
§ 15-1 质点的达朗伯原理·惯性力的概念	(299)
§ 15-2 质点系的达朗伯原理	(303)
§ 15-3 刚体惯性力系的简化	(306)
小结	(311)
思考题	(312)
习题	(312)
第十六章 虚位移原理	(316)
§ 16-1 引言	(316)
§ 16-2 约束与约束的分类·广义坐标与自由度	(318)
§ 16-3 虚位移	(320)
§ 16-4 理想约束	(322)
§ 16-5 虚位移原理	(324)
§ 16-6 虚位移原理的应用举例	(325)
小结	(331)
思考题	(332)
习题	(332)
动力学自学水平测试	(336)
附录	(338)
习题答案	(338)
后记	(350)

绪 论

理论力学是研究物体机械运动的一般规律的一门科学。

运动是物质的存在方式，所有物质都处在永恒不停的运动中，没有运动的物质是不存在的。但物质运动的形式却多种多样，任何物理过程（如发光、生电）、化学过程（如合成、分解）、生物过程（如细胞的分裂）甚至人的思维过程等，都是物质运动的不同形式。机械运动是物质运动形式中最简单的一种。所谓机械运动，就是物体在空间的位置随时间而发生的改变。机械运动现象是如此之普遍，可以说，宇宙万物无一不处于机械运动之中，甚至比较复杂的物质运动形式也与机械运动有着或多或少的联系。所以对机械运动的研究有着十分重要的意义。

理论力学以刚体、质点、质点系作为研究对象，以牛顿定律为理论基础，通过一系列的公理、定理、原理来揭示研究对象的机械运动的普遍规律。这些内容属于古典力学的范畴，古典力学适用于宏观、低速（与光速相比较）物体的运动。近代物理学的重大发展表明，对于微观粒子和速度接近于光速的宏观物体，它们的机械运动有特殊的规律性，不属于古典力学的研究范畴。但这并不有损于古典力学的价值，即使到科学技术高度发达的现代，生产实践中的大量力学问题，仍用古典力学的理论来解决，不仅使用方便，而且具有足够的精确度。更何况超出古典力学范围的一些机械运动问题，也需要借助于某些古典力学的知识来解决。

为了便于接受和掌握，本书先后讲述以下三部分内容：

静力学——研究物体在力系作用下的平衡规律、物体受力分析的方法，以及力系简化的理论。

运动学——研究物体机械运动的几何性质（如轨迹、速度、加速度等）。

动力学——研究物体的机械运动与所受的力之间的关系。

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习本课程的目的旨在认识机械运动的客观规律，并应用这些规律和其它专门知识解决工程实际问题。同时，为材料力学、结构力学等后继课程提供重要的理论基础。此外，掌握机械运动的规律，理解力学的研究方法，有助于培养辩证唯物主义世界观，提高分析问题和解决问题的能力，为学习其它科学技术理论和从事科学研究工作创造条件。

静 力 学

引 言

静力学是研究物体在力系作用下平衡的规律的科学。

力系是指作用在物体上的一组力。

平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线平动。在一般工程问题中，通常是指相对于地球保持静止或作匀速直线平动。显然，平衡是机械运动的一种特殊情况。所有物体的平衡都是相对于某个其它物体（参考系）而言，不存在绝对的平衡。例如，放置在运行的汽车上的物体，它相对于汽车是静止的，而相对于地面则不是静止的。相对于地面静止的物体，相对于太阳来说是运动的，因为地球本身作自转并绕太阳作公转。

静力学主要包含这样两个内容：一是力系的简化。如果两个力系对物体的作用效果相同，则说这两个力系是**等效力系**。这时，可以用其中一个力系来代替另一个力系，而不改变对物体的作用效果，这种代换称为力系的等效代换。用简单的力系等效代换复杂的力系，叫做力系的简化。**二是建立力系的平衡条件，并应用平衡条件求解工程实际问题。**力系的简化是建立力系平衡条件的理论基础。在本门课程中，力系简化的方法和结果在动力学部分也将得到应用。

静力学中所建立的基本概念、理论和方法，在后继课程和工程实践中有着广泛的应用，是重要的力学基础知识。

第一章 静力学公理和物体的受力分析

学习指导

本章讲述静力学的基本概念和公理、常见的约束及其约束反力，以及物体的受力分析。静力学的基本概念和公理是静力学的理论基础。物体的受力分析是力学课程中必须完成的第一个基本训练。

学习力与刚体的概念时，要仔细领会这些概念是如何抽象化而形成的，力求准确无误地理解概念的涵义。

对于公理，则要掌握它们的内容和适用条件，还要注意在后继章节中如何以它们为基础，建立起新的理论。

要了解各类约束是如何构成的，从而明确各类约束的约束性质（对物体的位移起何种限制作用），并根据约束的性质来分析约束反力。

学习物体的受力分析时必须明确：力的概念、公理及约束的性质等知识是进行物体受力分析的依据。并要通过物体的受力分析加深对这些知识的理解。作物体体系的受力分析是比较困难的，要特别注意区分内力与外力以及作用力与反作用力。

以上提及的内容，均要求牢固掌握。

§ 1-1 静力学的基本概念

力和刚体是静力学中重要、常用的两个基本概念。这里将介绍这两个概念的涵义，说明它们反映了客观事物的何种本质的特征，概括了客观事物的哪些共性而抽象化形成的。

一、力的概念

关于力大家都已有所了解，认识和感受到力的存在。

在生活和生产实践中，到处可以看到相互作用的物体。物体相互作用所产生的效果是多种多样的。铁板与空气接触，这种作用的效果是使铁板表面生锈；玻璃棒与丝绸摩擦，这种作用的效果是使玻璃棒带电；如此等等。两个物体相互作用，使物体的机械运动状态发生改变，这种作用效果更是我们经常、大量观察得到的。例如用手将石子抛出，手与石子相互作用的结果是使石子由静止而进入运动。被抛出的石子与地球相互吸引，又使石子沿抛物线降落。手推石子的作用，地球吸引石子的作用，它们的效果都是使石子的机械运动状态发生改变，这种机械作用就是我们所说的力。这就是说，不论何种物体相互作用，也不论物体之间

相互作用的方式如何，只要物体间相互作用的效果具有共同的、本质的特征——使物体的机械运动状态发生改变，我们就将这种作用称之为力。总之，力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生改变。

实践证明，力对物体的作用效果决定于力的大小、方向和作用点，这三者称为力的三要素。力要用矢量来表示。作用在物体上的力 F (图 1-1) 是一矢量。矢量的起点 A 表示力的作用点；矢量的长度 AB 按选定的比例尺表示力的大小；矢量的方向表示力作用的方向。

在国际单位制中，力的单位是牛顿 (N) 或千牛顿 (KN)，且 $1\text{KN} = 10^3\text{N}$ 。

有必要对力的概念作进一步的展开，这对理解和应用力的概念是有益的。

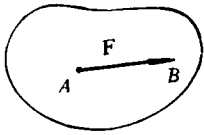


图 1-1

1. 由于力是两个物体的相互作用，每一力必有承受此力作用的物体，称为受力物体，以

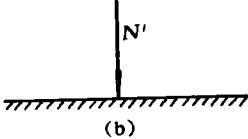
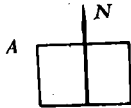
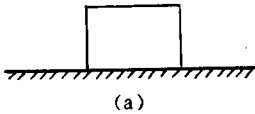


图 1-2

及施加这一作用力的物体，称为施力物体。没有受力物体和施力物体的力是不存在的。物块 A 放在地面上 (图 1-2)，受到地面的支持力 N 的作用。力 N 的受力物体是物块 A ，力 N 的施力物体是地面。与此同时，地面也受到物块 A 的压力 N' 的作用， N' 的受力物体是地面，它的施力物体是物块 A 。

2. 两个物体相互作用，同时产生两个力。力总是成对出现，第一对力中，一个力的受力物体恰是另一力的施力物体。在图 1-2 中，物块 A 与地面相互作用产生一对力 N 和 N' ，物块 A 是力 N 的受力物体，也是力 N' 的施力物体。

3. 一个力对物体的作用效果，一定是使物体的机械运动状态发生改变。有时物体受力作用而处于平衡状态，那是由于物体受到两个以上的力的作用，各力的作用效果互相抵消的结果。物体受力作用都会发生变形，物体发生变形的过程，也属于物体机械运动状态改变的过程。

二、刚体的概念

任何物体受力作用都要发生变形，即便这变形极其微小，用肉眼观察不到，我们也能用各种测试手段证明变形是不容怀疑的客观存在着。但是，在我们研究物体机械运动规律的时候，经常地、大量地遇到这种情况：物体受力作用所引起的变形很小，对我们所研究的问题影响甚微，或者物体虽有明显的变形，但变形已经结束，不再继续发生，且已发生的变形与我们所研究的问题无关。在上述情况下，为了使所研究的问题得到简化，我们可以略去物体变形这一次要因素，把所研究的物体看作为不变形的物体——刚体。所谓刚体是受力作用而不变形的物体。刚体上任意两点的距离是恒定不变的。

绝对刚硬的物体在客观世界中并不存在，刚体的概念是概括了“在所研究的机械运动问题中，物体的变形可以不予考虑”这一本质的特征，刚体是反映这一本质特征的理想化的力学模型。例如，当我们研究电车在轨道上行驶的运动规律时，车箱在运动中所发生的弯曲变形对所研究的问题影响不大，可以不予考虑，就将电车视为刚体。又如，端部挂在两面墙上的软绳，在自重作用下处于平衡状态。虽然平衡前软绳已曾发生明显的变形，但平衡时软绳的变形已经结束。在研究软绳的平衡规律时，可以把软绳看作为刚体。

需再强调指出，一个物体能否视为刚体，取决于我们所研究的问题的性质。在图 1-3 中给出一受两个力作用的钢杆，如果研究钢杆平衡时两个力所需满足的条件，则钢杆变形这一因素是不起作用的，可将钢杆作为刚体来研究。如果研究钢杆在两个力的作用下被拉长了多少，这时，无论钢杆的变形多么微小，变形这一因素是所研究的问题的决定性因素，是不可忽略的。如果把钢杆再看作为刚体，就不可能得到问题的正确答案。

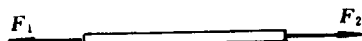


图 1-3

在理论力学的静力学部分，是以刚体作为研究对象的。在后继的力学课程中，将在此基础上进一步研究物体的变形问题。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理是人们经过无数次实践所总结出的关于力的基本规律，这些规律又在实践中得到验证，而被人们所公认。静力学公理本身所反映的规律性是极其简单的，但是，它是建立静力学理论的基础。

公理一 二力平衡条件

由两个力所组成的力系是最简单的力系。公理一给出了这种最简单力系的平衡条件。

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要与充分条件是：此二力作用在同一条直线上，且大小相等，方向相反。

按这一公理，在刚体的任意两点 A 和 B 上各施加一力 F_A 和 F_B ，欲使刚体处于平衡状态，此二力的作用线应在二力作用点 A 和 B 的连线上（图 1-4），且应有 $F_A = -F_B$ 。

我们在生活中都曾无数次地应用公理一所给出的规律性。例如，当用一只脚站立时，就要将身体向支撑脚的一侧倾斜，使重心和脚在一条铅垂线上，重力和脚所受的支持力满足公理一所规定的条件。否则就不能站稳。

作用在刚体上的两个力共线、等值、反向，是使刚体处于平衡的必要与充分条件。对于变形体来说，这个条件只是平衡的必要条件，而不是充分条件。例如，在弹簧上施加两个力，如果弹簧处于平衡状态，这两个力一定满足共线、等值、反向的条件。但是将共线、等值、反向的两个力加在弹簧上，弹簧可以发生振动，而不一定处于平衡状态。

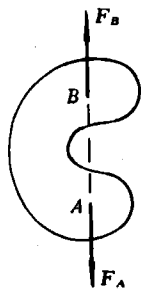


图 1-4

公理二 力的平行四边形法则

如果一个力与某一个力系等效，则此力称为该力系的合力。力的平行四边形法则给出了求作用在一点上的两个力的合力的方法。

作用在物体同一点的两个力，可以合成为作用在该点上的一合力，合力矢量的大小和方向，由以这两个分力为邻边所组成的平行四边形的对角线来确定。

由矢量代数可知，合力矢量等于二分力矢量的矢量和：

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

在图 1-5a 中，表示作用于 A 点的力 F_1 和 F_2 ，以二者为邻边作平行四边形 ABCD，对角线 AD 确定了此二力的合力 R ，即 $R = \overline{AD}$ 。用作图法求合力矢量时，可以不作图 1-5a 所示的力的平行四边形，而用作力三角形的方法来得到。作法是：选取适当的比例尺表示力的大小，按选定的比例尺作出两个分力矢量 F_1 和 F_2 ，并使二矢量首尾相连。再从一个矢量的起点向另一矢量的终点引矢量 R ，它即为按选定的比例尺表示的合力矢量，如图 1-5b 所示。

我们可以利用几何关系计算出合力 R 的大小和方向。如果给定两个分力 F_1 和 F_2 的大小及它们之间的夹角 α ，对图 a 中平行四边形的一半（或图 b 中的三角形）应用余弦定理，求得合力 R 的大小

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \alpha)$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

再用正弦定理确定合力 R 与分力 F_1 的夹角 φ_1

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2}{R}\sin(180^\circ - \alpha) = \frac{F_2}{R}\sin\alpha$$

公理三 加减平衡力系原理

物体在某力系的作用下处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。平衡力系不能引起刚体运动状态的改变，从这个意义上说，平衡力系对刚体不产生作用效果。于是，不难理解如下原理的正确性。

从给定的力系中，减去或加上任意的平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效果。或者说，作用在刚体上的力系，等效于在此力系中减去或加上任意平衡力系后所得到的新力系。

由这一公理还可引出以下推论。

推论 力的可传性

作用于刚体上的力，可沿其作用线在该刚体上移动，而不改变此力对该刚体的作用效果。

证明 设力 F 作用于刚体的 A 点（图 1-6a）。在力 F 的作用线上任取一点 B，在 B 点沿力 F 的作用线加上共线、等值、反向的二个力 F_1 和 F_2 ，并使 $-F_2 = F_1 = F$ （图 1-6b）。由于力 F_1 和 F_2 按公理一是一个平衡力系，所以，根据公理三，力系 (F, F_1, F_2) 与力 F 等效，在图 1-6 中用等号表示这种等效关系。再从三个力中去掉平衡力系 (F, F_2) ，就只剩下力 F_1

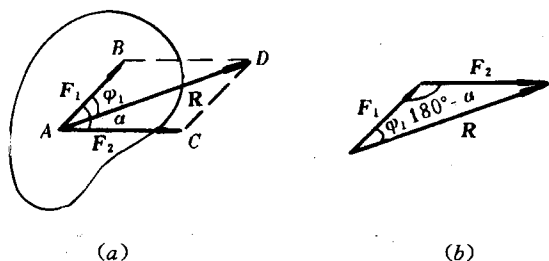


图 1-5

作用于刚体的 B 点(图 1-6c)。由同样的理由, 力 F_1 等效于力系 (F 、 F_1 、 F_2), 即等效于力 F 。这就证明了作用于刚体 A 点的力, 可沿其作用线等效地移到刚体的任意点 B 上。

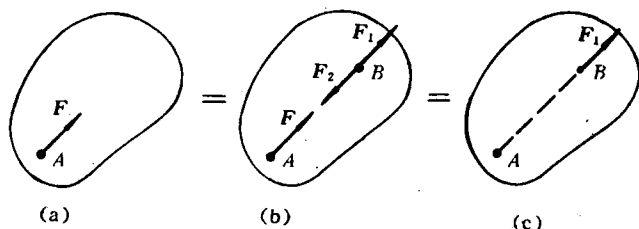


图 1-6

力的可传性表明, 作用在刚体上的力是一滑动矢量。因而, 作用在刚体上的力的三要素应是: 力的大小、力的方向和力的作用线。

公理三及其推论是力系简化的重要工具。它们都只适用于刚体, 当在所研究的问题中需要考虑物体的变形时, 其正确性就丧失了。这是因为加减平衡力系, 或力沿作用线移动, 都会使物体的变形状态与原来不同。例如, 在图 1-7a 中直杆受平衡力 F_1 和 F_2 的作用, 产生拉伸变形。如果将此二力沿作用线移动到图 b 所示的位置, 那么杆将产生压缩变形。倘若从杆上去掉平衡力系 (F_1 、 F_2), 则杆的变形将消失。这就说明, 在研究物体的变形时, 是不能应用公理三及其推论的。

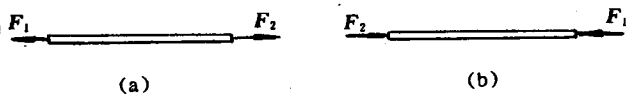


图 1-7

公理四 作用和反作用定律

两个物体相互作用, 同时产生一对力。称其中一个为作用力, 另一个为反作用力。

两个物体相互作用所产生的作用力与反作用力, 总是共线、等值、反向地分别作用在相互作用的两个物体上。

在图 1-2 中, 地面对物块 A 的作用力 N , 以及物块 A 对地面的作用力 N' , 互为作用力与反作用力, 它们的大小相等, 方向相反, 即 $N = -N'$, 且分别作用在相互作用的物块 A 和地面上。

公理四所建立的作用力与反作用力之间的关系, 以及公理一所建立的两个平衡力之间的关系, 都表达为: 两个力共线、等值、反向。但是切莫忘记两个公理本质上的差异。公理一中所指的是作用在一个刚体上的两个力; 公理四中所指的是分别作用在两个相互作用的物体上的两个力。

作用与反作用定律概括了任何两个物体间相互机械作用的关系。不论对刚体还是对变形体, 也不论对静止的物体还是对运动的物体, 公理四所给出的规律性都是适用的。

§ 1-3 约束和约束反力

我们所研究的物体可以这样分为两类。一类是自由体, 它可以自由地位移, 而不受其它物体的任何限制。如空中飞行的飞机, 它可以在任意方向移动和旋转, 属于自由体。另一类是非自由体, 它不能自由地位移, 某些方向的位移因受其它物体的限制不能实现。如用绳索悬挂的重物, 用墙支撑着的梁等都属于非自由体。限制非自由体自由位移的其它物体, 称为

非自由体的约束。例如前面所提到的绳索是重物的约束，墙是梁的约束等。约束对非自由体的机械作用称为约束反力。由于约束对非自由体的作用是阻碍非自由体的位移，所以，约束反力的方向，总是与约束所阻碍的位移的方向相反。这是确定约束反力方向的一般原则。而约束反力的大小都是未知的。

工程中的物体大多是非自由体。因此，要把力学的理论应用于解决工程实际问题，就必须掌握关于约束和约束反力的知识。在生活和生产实践中，约束的样式繁多，难于一一列举。这里仅就几种典型的、常见的约束作一介绍。需要提请注意，我们的兴趣不能只局限于了解几种常见的约束及其约束反力。还要通过所研究的几个例子，掌握由约束的构造确定约束的性质、由约束的性质分析约束反力的这种一般的方法。从而培养把工程问题简化为力学问题的能力。

1. 柔索

柔索约束由软绳、链条等构成。柔索只能承受拉力，即只能限制物体在柔索受拉方向的位移。这就是柔索约束的约束性质。被约束的物体所受的约束反力与约束所限制的位移方向相反，所以，柔索的约束反力通过接触点，沿着柔索而背离物体。

图 1-8 给出一受软绳约束的物体。软绳限制物体向下（即使软绳受拉）的位移，它作用给物体的约束反力 T 通过接触点指向上，即通过接触点背离物体。软绳所受的力 T' 是使软绳受拉。

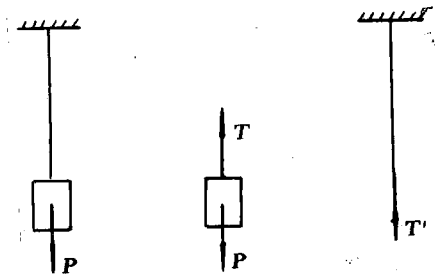


图 1-8

2. 光滑面

光滑面约束是由两个物体光滑接触所构成。两个物体可以脱离开，也可以沿光滑面相对移动，但物体沿接触面的法线且指向接触面的位移受到限制。这是光滑面约束的约束性质。光滑面对物体的约束反力作用于接触点，沿接触面的法线且指向物体。

图 1-9a 表示受光滑接触面约束的物体的约束反力。图 b 中的圆盘 O 在 A、B 两点各有一光滑接触面。反力 N_A 沿两个接触面的公法线，反力 N_B 沿圆盘表面的法线，两个反力都指向圆盘的中心 O。

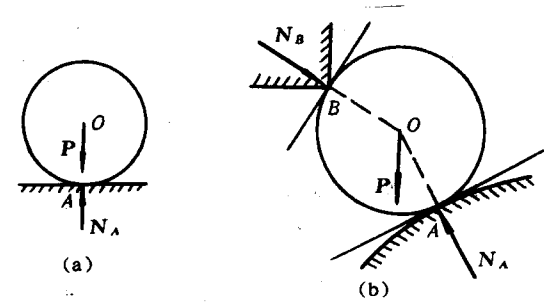


图 1-9

实际生活中理想的光滑面是不存在的。如果接触面的摩擦很小，在所研究的问题中可以忽略不计，我们就将这接触面视为光滑面。需要考虑摩擦的情况，将在第五章专门讨论。

3. 光滑圆柱铰链

铰链约束是连接两个物体（或构件）的常见的约束方式。铰链约束是这样构成的：在两个物体上各作一大小相同的光滑圆孔，用光滑圆柱销钉插入两物体的圆孔中，如图 1-10a 所

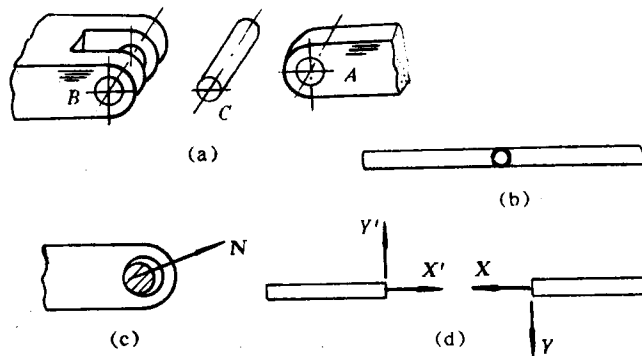


图 1-10

示。将这样构成的铰链连接，用简化图形图 1-10b 表示。因为圆柱销钉与圆孔相接触，实质上与光滑接触面约束相同，所以，约束反力应作用在销钉与圆孔的接触点，并通过销钉的中心，如图 1-10c 所示。但是，销钉与圆孔的接触点的位置因物体所受荷载的不同而改变，致使反力的方位无法预先确定。通常采用的表示方法是：将它分解为两个相互垂直的分力（图 1-10d），此二相互垂直分力的大小和指向均为未知（图中的指向是假定的）。

还可以这样分析铰链约束的约束反力。根据铰链连接的构造情况，得知它的约束性质是：在两个物体的连接处，允许有相对转动（角位移）发生，不允许有相对移动（线位移）发生。铰链约束所限制的相对线位移可分解为相互垂直的两个位移，与之对应则有两个相互垂直的约束反力。

4. 铰支座

铰支座有固定铰支座和滚动铰支座两种。把构件用铰链与地面或其它固定的物体连接，这样构成的约束称为**固定铰支座**。将构件用铰链连接在支座上，支座又用辊轴支持在光滑面上，这样构成的约束称为**滚动铰支座**。

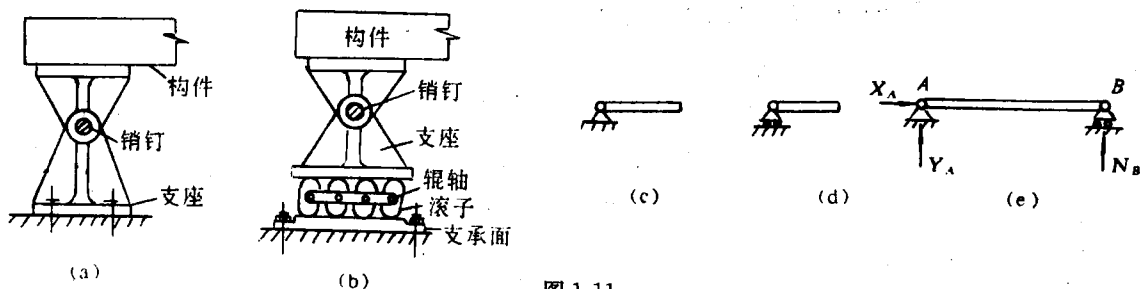


图 1-11

图 1-11a 和图 1-11b 分别是固定铰支座和滚动铰支座的构造示意图。在力学计算中，这两种支座分别以图 1-11c 和图 1-11d 表示。图 1-11e 所示的梁 AB 就是用这两种支座固定在地面上，称为简支梁。

固定铰支座就其构造和约束性质来说，与圆柱铰链约束相同。所以**固定铰支座的约束反力一般也用两个相互垂直的分力来表示**。滚动铰支座相当于光滑接触面约束，它只限制物体垂直于支撑面且指向支撑面的位移，因而**滚动铰支座的约束反力垂直于支撑面且指向物体**。两种支座的约束反力表示在图 1-11e 中，其中约束反力 X_A 和 Y_A 的指向是假定的。

5. 链杆