

高等学校适用教材

理论力学

主编 李焕然

LILUNLIXUE LILUNLIXUE

辽宁大学出版社

号 8 字 登 录 (五)

高等学校适用教材

理 论 力 学

主 编 李焕然
副主编 吕国环
赵 军

辽宁大学出版社

(辽) 新登字 9 号

高等学校适用教材

学 力 学

李焕然 主编
吕国平 主审

高等学校适用教材

理 论 力 学

李焕然 主编

辽宁大学出版社出版发行 (沈阳市崇山中路 66 号)
中国航天工业总公司六〇六所印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 35.625 字数 800 千字

1994 年 7 月第 1 版 1994 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—1000 册

责任编辑:卞云阁

封面设计:邹本忠

责任校对:彭 阳

ISBN 7-5610-2877-6

T·016 定价:19.50 元

前 言

本书是根据国家教委制定的高等学校工科本科理论力学课程基本要求编写的。本书分为静力学、运动学和动力学三篇。包括静力学的基本概念和公理、汇交力系、平面一般力系、摩擦、空间一般力系、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、动力学基本定理、动量定理、动量矩定理、动能定理、动静法、虚位移原理、机械振动基础,共十七章。

为了培养学生更好地掌握基本概念、基本原理和分析与解决理论力学问题的基本方法与技巧,又能指导广大读者自学,本书在编写过程中,博采国内外高等学校理论力学各种版本之所长,力求内容简炼、重点突出、论述严谨、份量适中,符合循序渐进的教学规律。每章都写有“答疑”、“提要”与“学习指导”。“答疑”是根据学生在学习本课程过程中经常容易产生的疑惑不解的问题而安排的;“提要”是为了配合解题而写的,其中包括基本概念、基本原理、有关定理与公式,力求简单明了;“学习指导”中,除了叙述解题的一般步骤外,还着重说明了解题特点及注意事项。每章约选4—6个例题,选题注意了典型性与代表性,并侧重于工程实际的应用。在例题中较详细地阐明了解题的思路与方法,并附有讨论和分析,以便起到举一反三的作用。为了启发读者灵活应用理论与定理,有的例题还给出了多种解法。

本书可作为高等学校机械、土木等类专业(110左右学时)适用教材,也可供有关工程技术人员和自学者参考。

本书由沈阳大学李焕然教授主编,吕国环副教授、赵军同志担任副主编,程无畏、冯克等同志参加了编写工作。本书由东北大学王明恕教授主审,他对教材初稿的修订工作提出了许多宝贵的意见,使编者受益匪浅。沈阳大学徐明教授、蔡胜民和郭凯同志作了大量有益的工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、经验不足,本书的缺点在所难免,恳请专家、同行赐教,希望广大读者提出批评与指教。

编 者
一九九四年四月

内 容 提 要

本书是根据国家教委制定的高等学校工科本科理论力学课程基本要求编写的。全书分为静力学、运动学和动力学三篇,共十七章,内容包括静力学的基本概念和公理、汇交力系、平面一般力系、摩擦、空间一般力系、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、动力学基本定理、动量定理、动量矩定理、动能定理、动静法、虚位移原理、机械振动基础等。书末附有习题与答案。

本书内容简炼、重点突出、论述严谨、份量适中。书中精选了例题,选题注意了典型性和代表性,并侧重于工程实际的应用。例题中详细地阐述了解题的思路与方法,并附有讨论和分析,以便起到举一反三的作用。为了启发读者灵活应用理论与定理,有的例题还给出了多种解法。本书每章都写有“答疑”、“提要”与“学习指导”,便于指导广大读者自学。本书可作为高等学校机械、土木等类专业110左右学时理论力学适用教材,也可供有关工程技术人员和自学者参考。

绪 言

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

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。机械运动是人们在日常生活和生产实践中最常见、最普遍的一种运动。平衡则是机械运动的一种特殊形式。宇宙间的一切物质都在不停地运动。在客观世界中，存在着各种各样的物质运动。除机械运动外，物质还有表现为发热、发光、发生电磁现象，化学过程，以至于人的思维活动等各种不同形式的运动。在多种多样的运动形式中，机械运动是最简单的一种。而任何比较复杂的物质运动形式总是与机械运动存在着或多或少的联系。

物体的机械运动都服从某些一般规律。这些一般规律就是理论力学的研究对象。

理论力学属于以牛顿定律为基础的经典力学的范畴。近代物理学的发展说明了经典力学的局限性；经典力学仅适用于低速、宏观物体的运动。当物体的速度接近于光速时，其运动应当用相对论力学来研究；当物体的大小接近于微观粒子时，其运动应当用量子力学来研究。而对于速度远低于光速的宏观物体，由经典力学推得的结果具有足够的精确度。工程技术中所处理的对象一般都是宏观物体，而且其速度也远低于光速，所以其力学问题仍以经典力学的定律为依据。因而经典力学至今仍有很大的实用意义，并且还在不断发展着。

力学的发展历史表明，与任何一门科学一样，理论力学的研究方法也遵循认识过程的客观规律。概括地说，理论力学的研究方法是从观察、实践和科学实验出发，经过分析、综合和归纳，总结出力学的最基本的概念和规律；在对事物观察和实验的基础上，经过抽象化建立起力学模型；并在建立力学模型的基础上，从基本规律出发，利用数学工具推理演绎，得出正确的具有物理意义和实用意义的结论和定理，从而将通过实践得来的大量感性认识上升为理性认识，构成力学理论。然后再回到实践中去验证理论的正确性，并在更高的水平上指导实践，同时从这个过程中获得新的材料，这些材料的积累又为力学理论的完善和发展准备了基础。

理论力学是现代工程技术的基础理论，它的定律和结论被广泛应用于各种工程技术中。各种机械、设备和结构的设计，机器的自动调节，机器和结构振动的研究，航天技术，等等，都要以理论力学的理论为基础。为了正确理解工程技术中出现的各种力学现象，并在必要时加以利用，或者予以防止和消除，也需要理论力学的知识。

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。通过本课程的学习，我们要掌握物体机械运动的基本规律，初步学会运用这些基本规律去分析生产实际中的力学问题，并为学习材料力学、机械原理、机械零件等有关的后继课程准备条件。学习理论力学，也有助于学习其它的基础理论，掌握新的科学技术；有助于建立辩证唯物主义的世界观，培养正确的分析问题和解决问题的能力，为以后参加实际生产和从事科学研究打下基础。

本书将分为以下三篇进行叙述：

静力学——研究物体在力系作用下的平衡规律；同时也研究力的一般性质以及力系的简化方法等；

运动学——研究物体机械运动的几何性质，而不涉及引起物体运动的物理原因；

动力学——研究物体的机械运动与所受的力之间的关系。

绪言	1
第一篇 静力学	1
第一章 静力学的基本概念和公理	1
§ 1.1 静力学基本概念	1
§ 1.2 静力学公理	2
§ 1.3 约束和约束反作用力	5
§ 1.4 分离体和受力图	10
§ 1.5 本章答疑、提要和学习指导	15
第二章 汇交力系	21
§ 2.1 汇交力系合成的几何法	21
§ 2.2 汇交力系平衡的几何条件	23
§ 2.3 汇交力系合成的解析法	24
§ 2.4 汇交力系平衡的解析条件	27
§ 2.5 本章答疑、提要和学习指导	35
第三章 平面一般力系	41
§ 3.1 力偶理论	41
§ 3.2 力对点的矩	46
§ 3.3 力线的平移	47
§ 3.4 平面一般力系向一点的简化	47
§ 3.5 平面一般力系的合成结果·合力之矩定理	49
§ 3.6 平面一般力系的平衡条件	51
§ 3.7 静定与静不定问题的概念	55
§ 3.8 刚体系统的平衡	56
§ 3.9 本章答疑、提要和学习指导	60
第四章 摩擦	72
§ 4.1 概述	72
§ 4.2 滑动摩擦	72
§ 4.3 摩擦角和自锁现象	74
§ 4.4 考虑摩擦时物体的平衡问题	76
§ 4.5 滚阻	83
§ 4.6 本章答疑、提要和学习指导	86
第五章 空间一般力系	95
§ 5.1 空间力偶的等效、力偶矩矢	95
§ 5.2 空间力偶系的合成和平衡条件	97
§ 5.3 力对轴的矩	99
§ 5.4 力对点的矩矢	100
§ 5.5 空间一般力系向一点的简化	102
§ 5.6 空间一般力系的平衡条件	105

§ 5.7 平行力系中心·重心	115
§ 5.8 本章答疑、提要与学习指导	120
第二篇 运动学	131
第六章 点的运动	131
§ 6.1 运动学基本概念	131
§ 6.2 点的运动方程、速度和加速度的矢量表示	132
§ 6.3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	133
§ 6.4 点的速度和加速度在自然轴系上的投影	135
§ 6.5 本章答疑、提要与学习指导	141
第七章 刚体的基本运动	147
§ 7.1 刚体的平行移动	147
§ 7.2 刚体的定轴转动	148
§ 7.3 转动刚体上各点的速度和加速度	149
§ 7.4 轮系的传动比	151
§ 7.5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表示点的速度和加速度	153
§ 7.6 本章答疑、提要与学习指导	160
第八章 点的合成运动	167
§ 8.1 合成运动的基本概念	167
§ 8.2 速度合成定理	168
§ 8.3 牵连运动为平动时的加速度合成定理	169
§ 8.4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	171
§ 8.5 本章答疑、提要与学习指导	187
第九章 刚体的平面运动	202
§ 9.1 平面运动的基本概念	202
§ 9.2 平面运动分解为平动和转动	203
§ 9.3 平面图形内各点的速度	204
§ 9.4 平面图形的瞬时速度中心	205
§ 9.5 平面图形内各点的加速度	207
§ 9.6 刚体绕平行轴转动的合成	208
§ 9.7 本章答疑、提要与学习指导	221
第三篇 动力学	237
第十章 动力学基本定律	237
§ 10.1 质点和质点系	237
§ 10.2 动力学基本定律	237
§ 10.3 质点运动的微分方程	239
§ 10.4 质点动力学的两类基本问题	240
§ 10.5 质点系运动的微分方程	241
§ 10.6 本章答疑、提要与学习指导	248
第十一章 动量定理	254
§ 11.1 动量和冲量	254
§ 11.2 质点的动量定理	255

§ 11·3 质点系的动量定理	256
§ 11·4 质心运动定理	259
§ 11·5 本章答疑、提要与学习指导	268
第十二章 动量矩定理	280
§ 12·1 动量矩	280
§ 12·2 质点的动量矩定理	281
§ 12·3 质点系的动量矩定理	283
§ 12·4 质点系相对于质心的动量矩定理	284
§ 12·5 定轴转动刚体对转轴的动量矩·转动惯量	286
§ 12·6 刚体定轴转动的微分方程	290
§ 12·7 本章答疑、提要与学习指导	300
第十三章 动能定理	315
§ 13·1 功	315
§ 13·2 一些常见情况下功的计算	316
§ 13·3 动能	320
§ 13·4 质点的动能定理	321
§ 13·5 质点系的动能定理	322
§ 13·6 势力场 势能、机械能守恒定律	323
§ 13·7 功率、功率方程、机械效率	327
§ 13·8 本章答疑、提要与学习指导	335
第十四章 动力学普遍定理的综合应用	353
提要	353
解题步骤	354
例题	355
第十五章 动静法	367
§ 15·1 惯性力的概念	367
§ 15·2 质点的动静法	368
§ 15·3 质点系的动静法	370
§ 15·4 刚体惯性力系的简化	371
§ 15·5 刚体定轴转动时轴承的动反力	379
§ 15·6 转子的静平衡和动平衡的概念	385
§ 15·7 本章答疑、提要与学习指导	386
第十六章 虚位移原理	397
§ 16·1 问题的提出	397
§ 16·2 系统的约束及其分类	397
§ 16·3 虚位移的概念和计算	399
§ 16·4 理想约束	401
§ 16·5 虚位移原理	402
§ 16·6 自由度 广义坐标 广义虚位移	404
§ 16·7 以广义坐标表示的系统的平衡条件	406
§ 16·8 系统在有势力作用下平衡稳定性判据	407

目 录

§ 16·9 本章答疑、提要与学习指导	416
第十七章 机械振动基础	421
§ 17·1 概述	421
§ 17·2 单自由度系统的自由振动	423
§ 17·3 计算固有频率的能量法	428
§ 17·4 单自由度系统的有阻尼自由振动	429
§ 17·5 单自由度系统的无阻尼受迫振动	434
§ 17·6 单自由度系统的有阻尼受迫振动	437
§ 17·7 转子的临界转速	440
§ 17·8 隔振	442
§ 17·9 本章答疑、提要与学习指导	451
附录:习题与答案	470

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理

本章将讨论静力学的基本概念、静力学公理和物体的受力分析。静力学公理是静力学的基础。物体的受力分析是力学中的重要基本技能。

§ 1. 1 静力学基本概念

静力学研究物体在力系作用下处于平衡的规律。

1、平衡的概念

所谓**平衡**，是指物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线运动的状态。显然，平衡是机械运动的特殊形式。在工程实际中，一般可取固连于地球的参考系作为惯性参考系。这样，平衡是指物体相对于地球静止或作匀速直线运动。运用静力学理论来研究物体相对于地球的平衡问题，其分析计算的结果具有足够的精确度。

2、刚体的概念

实践表明，任何物体受力时多少总要产生一些变形。但是，工程实际中的机械零件结构构件在正常工作情况下的变形，一般是很微小的，甚至只有用专门的仪器才能测量出来。例如一般机械中的轴，其允许的最大挠度都在轴承间距的万分之五以下，最大扭转角每米轴长不超过 $0.5 \sim 1^\circ$ 。在许多情况下，这样微小的变形对物体的机械运动影响甚微，可以略去不计，从而使问题的研究得以简化。这样，通过对实际物体进行抽象简化，在理论力学中提出了物体的一种理想模型——**刚体**。刚体是在任何情况下保持其大小和形状不变的物体。静力学中所研究的物体只限于刚体，所以又称**刚体静力学**，它是研究变形体力学的基础。

3、力的概念

力的概念是从劳动中产生的。人们在长期的生活和生产中，当推、拉、提、掷物体时，从肌肉的紧张收缩中，感觉到人对物体施加了作用，影响了物体的运动。进一步的观察发现，物体与物体之间也有这样的相互作用。这种作用就是**力**。通过长期的生产实践和科学实验，人们建立起力的概念：**力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生变化（包括变形）**。例如，人用力拉车可使车的速度增大；地球对月球的引力使月球不断改变运动方向而环绕地球运转；锻锤作用于锻件的冲击力使锻件变形，等等。早在两千多年前，墨翟（公元前468~376年）在他的著作《墨经》中就提出了：“力，形之所以奋也。”这是世界上关于力的概念的最早记载。

力对物体的效应表现在物体运动状态的改变和变形。我们把力使物体的整体运动状

态发生变化的效应称为**外效应**，而把力使物体变形的效应称为**内效应**。若将物体看作是刚体，就意味着不考虑力的内效应。

力对物体的效应取决于以下三个要素：(1) **力的作用点**；(2) **力的方向**；(3) **力的大小**。在国际单位制中，力的大小的单位为牛顿 (N)。本书采用国际单位制。目前工程中实际采用的工程单位制，其力的单位为公斤力 (kgf)。两者的换算关系为

$$1\text{kgf} = 9.80665\text{N}.$$

力的三要素可用有向线段来表示。通过力的作用点 A、沿着力的方向引出的直线，称为**力的作用线**，它表示力的方位。在作用线上截取有向线段 AB，线段的始端表示力的作用点。在线段末端所画的箭头应符合力的指向。线段的长度按一定比例代表力的大小，如图 1.1 所示。力是有大小和方向的量，而且力的相加服从矢量加法规则（参看 §1.2），因此**力是矢量**。本书中用黑体字母（如 $\mathbf{F}$ ）来标记矢量。矢量的大小称为它的模，矢量的模用对应的普通字母（如 F ）来表示。

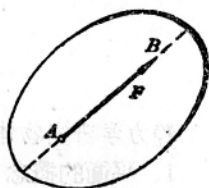


图 1.1

作用在物体上的一群力，称为**力系**。

在一定条件下，刚体受到力系作用时可以保持运动状态不变，即处于平衡状态。作用于刚体上使刚体处于平衡状态的力系称为**平衡力系**；平衡力系应满足的条件称为**平衡条件**。静力学中研究刚体的平衡规律，就是研究作用于刚体的力系的平衡条件。

为了弄清已知力系对刚体的效应，静力学中还研究力系的**简化**。所谓**简化就是将作用于刚体的力系代换为与它等效的比较简单力系**。通过力系的简化，就可进一步探求力系的平衡条件。

综上所述，静力学研究的基本问题为 (1) **力系的简化**；(2) **力系的平衡**。在这一篇中，将按照力系中各力作用线在空间的分布情况，由特殊到一般，逐步深入地讨论这两个基本问题。

静力学在工程实际中有广泛的应用。许多机械零件和结构构件如机床主轴和梁、屋架等，它们在工作时都处于或近似处于平衡状态。设计这些零件、构件时，需要运用静力学的知识进行受力分析，并根据平衡条件来确定其上所受的某些未知力。力系简化的理论不仅是推导平衡条件的依据，而且在动力学和其它力学学科中也有应用。

§1.2 静力学公理

人们通过长期的观察和实验，根据大量的客观事实，对力的基本性质进行了概括的总结，得出了静力学公理。这些公理是静力学的基本规律，它们构成了静力学理论的基础。静力学公理的正确性为大量的实践所证实。

公理一（二力平衡公理）

作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡的必要与充分条件是：此两力大小相等、指

向相反且沿同一作用线。

公理一阐明了作用于刚体上的最简单力系的平衡条件。它是推证平衡条件的基础。必须注意，这里说的是刚体的平衡；对于变形体来说，以上所述只是必要条件而不是充分条件。例如，软绳的两端受到等值、反向、共线的两力拉伸时处于平衡；但如改为受压，则即使两力仍等值、反向、共线，软绳也将蜷曲而不能平衡。

只受两个力作用并处于平衡的物体称为**二力体**（二力杆）。根据公理一，我们能够立刻确定这两个力的方位：必定沿着两力作用点的连线，如图 1.2 所示。

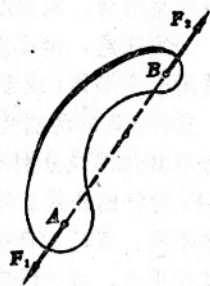


图 1.2

公理二（加减平衡力系公理）

在作用于刚体的已知力系中加上或减去一个平衡力系，并不改变力系对刚体的效应。作用于刚体上的力系如果可以用另一适当的力系来代替，而对刚体产生相同的效应，则该两力系互称**等效力系**。

公理二指出，作用于刚体的已知力系与加上（或减去）任一平衡力系后的力系等效。必须注意，此公理也仅适用于刚体而不适用于变形体。对于实际物体，在它所受的已知力系中加减任一平衡力系后，力系对物体的外效应不变，但内效应一般将有所不同。

由公理一和公理二可以导出如下重要推论：

推论（力的可传性）

作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体的任一点，而不改变此力对刚体的效应。

证明：设力 F 作用于刚体上的 A 点，如图 1.3a 所示。在其作用线上任取一点 B ，在 B 点加上等值、反向、共线的一对力 F_1 、 F_2 ，并使 $F_1 = -F_2 = F$ ，如图 1.3b 所示。显然， (F_1, F_2) 是平衡力系。根据公理二，添加这一对力并不影响力 F 的效应，即力 F 与力系 (F, F_1, F_2) 等效。但从另一角度看， (F, F_2) 也是一对平衡力，可将它们减去而不改变其效应，如图 1.3c 所示。即力系 (F, F_1, F_2) 又与力 F_1 等效。这样，力 F 与力 F_1 等效。图 1.3a 和 c 说明，力 F 可沿其作用线等效地移至任意点 B ，这就证明了力的可传性。

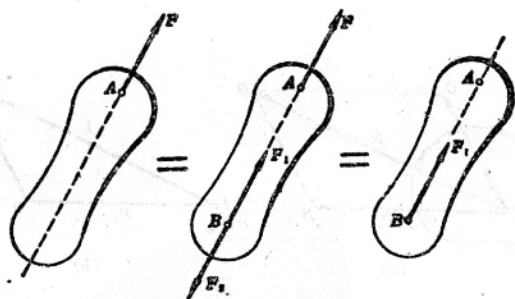


图 1.3

力的可传性指出，力对刚体的效应与力的作用点在作用线上的位置无关。因此，对于刚体来说，力的三要素之一的作用点可代之以作用线。在这种情况下，力矢可沿其作

用线任意滑动，成为**滑动矢量**。

必须注意，推证力的可传性时引用了公理一、二，因此力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体，或者说只适用于力对物体的外效应，而不适用于力对物体的内效应。例如：直杆 AB 的两端受到一对平衡力 F_1 、 F_2 作用而处于平衡，如图 1.4a 所示。现将这两个力沿其作用线分别滑动至杆的另一端，如图 1.4b 所示。显然，直杆仍处于平衡，即力 F_1 、 F_2 对杆的外效应不变。但是，经过力矢的滑动，力 F_1 、 F_2 对杆的内效应却变得性质截然不同：直杆由产生拉伸变形转为压缩变形。因此，在考虑物体变形时，力矢不得离开其作用点，成为**固定矢量**。

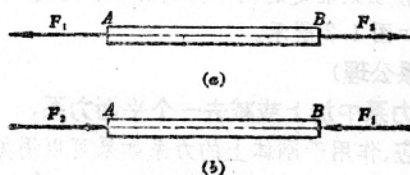


图 1.4

顺便指出，为了使表示物体受力情况的图画得清晰，如图 1.4b 那样，也可将力矢的末端取在力的作用点。

若已知力系与单个力等效，则此等效力称为该力系的**合力**。

公理三（力的平行四边形定律）

作用于物体上同一点的两个力可合成为一个力，此合力也作用于该点，合力的大小和方向由以原两力矢为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

图 1.5a 中，力 R 为力 F_1 、 F_2 的合力；力 F_1 、 F_2 为力 R 的分力。合力矢和分力矢间的关系可用如下的矢量等式表示：

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

显然，当分力 F_1 、 F_2 已知时，合力 R 的大小和方向不难根据力的平行四边形应用三角公式算出，或通过几何作图直接量得。根据公理三求合力的几何方法称为**力的平行四边形法则**。

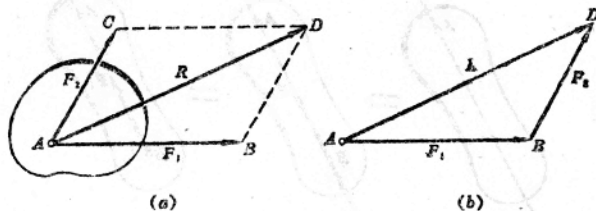


图 1.5

由图 1.5b 可见，在求合力矢 R 时，实际上不必作出整个平行四边形，只要以力矢 F_1 的末端 B 作为力矢 F_2 的始端而画出 F_2 ，即两分力矢的首尾相连，则矢量 $\overrightarrow{AD}$ 就代表合

力矢 $\mathbf{R}$ 。这样画成的三角形 ABD 称为**力三角形**。这一求合力的几何法称为**力三角形法则**。

利用力的平行四边形法则或力三角形法则，也可以把一个力分解为与它共作用点的两个分力。在工程实际中，通常遇到的是在平面内把一个力分解为方向已知的两个分力，特别是分解为方向相互垂直的两个分力。

公理二和公理三是进行力系简化的依据。

公理四（作用与反作用定律）

两物体间的相互作用力，总是大小相等、指向相反、沿同一直线分别作用于这两个物体上。

公理四指出，力总是成对出现的。甲物体给乙物体一作用力时，乙物体必给甲物体一反作用力，且两者等值、反向、共线。应当注意，作用力和反作用力并非作用于同一物体上，而是分别作用于不同的两物体上。因此，对于每一物体来说，不能把作用力和反作用力看成是一对平衡力。在分析若干个物体所组成的系统的受力情况时，借助于公理四，我们能从一个物体的受力分析过渡到相邻物体的受力分析。

公理三和公理四的适用范围不限于刚体，它们对变形体也是成立的。

公理五（刚化公理）

若变形体在某个力系作用下处于平衡状态，则将此物体变成刚体（刚化）时其平衡不受影响。

公理五指出了刚体静力学的平衡理论能应用于变形体的条件：若变形体处于平衡状态，则作用于其上的力系一定满足刚体静力学的平衡条件。也就是说，对已知处于平衡状态的变形体，可以应用刚体静力学的平衡理论。然而，刚体平衡的充分与必要条件，对于变形体的平衡，只是必要条件而不是充分条件。关于这点，前面已就二力平衡的简单情形以软绳平衡为例作了说明。

§ 1.3 约束和约束反作用力

可以在空间任意运动的物体，例如航行中的飞机，称为**自由体**。工程实际中的大多数物体，往往受到一定限制而使其某些方向的运动不能发生，这样的物体称为**非自由体**。例如，在钢轨上行驶的火车、安装在轴承中的电机转子，等等，都是非自由体。**限制物体自由运动的条件称为约束**。这些限制条件总是由被约束物体周围的其它物体构成的。为了方便起见，构成约束的物体也常称为约束。在上述的例子中，钢轨是对火车的约束，轴承是对电机转子的约束，等等。

物体受到约束时，物体与约束之间相互作用着力。约束对被约束物体的作用力称为**约束反作用力**，简称**约束反力**或**反力**。约束反力的方向总是与非自由体被约束所限制的运动方向相反，因为约束对被约束物体运动的限制，正是借助于约束反力才得以实现。约束反力的特点是，它们的大小不能预先独立地确定。约束反力的大小与被约束物体的运动状态和作用于其上的其它力有关，应当通过力学规律（包括平衡条件）才能确定。与约束反力不同，约束反力以外的力，如重力、电磁力、流体阻力等，它们的特点是其大小可以预先独立地测定，这类力称为**主动力**。在一般情况下，约束反力是由主动力引起

的，所以它是一种被动力。

下面介绍几种常见的约束类型，并分析其约束反力的特点。

1、柔软的绳索

柔软的绳索只能承受拉力，而不能抵抗压力和弯曲。当物体受到柔索的约束时，柔索只能限制物体沿柔索伸长方向的运动。因此，柔索的约束反力的方向一定沿着柔索，且只能是拉力。工程实际中的胶带、钢丝绳、链条等可以承受很大的拉力，但不能承受压力和弯曲；因此，可以把它们简化为柔索这一理想模型。图 1. 6 所示为两根绳索悬吊一

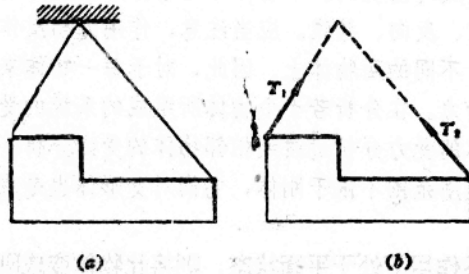


图 1. 6

重物。根据柔索反力的特点，可知绳索作用于重物的力是沿绳索的拉力 T_1 、 T_2 （图 1. 6 至 1. 15 中均未画出主动力）。同理，可以确定在机械的带传动中胶带作用于带轮的力都是沿胶带方向的拉力，如图 1. 7 所示。

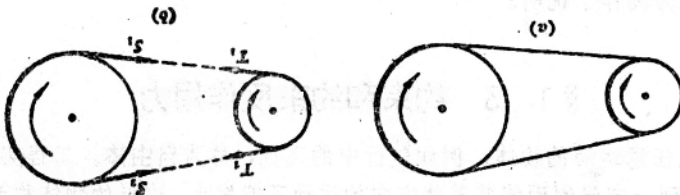


图 1. 7

2、光滑接触面

若两物体间的接触面是光滑的，则接触面对被约束物体在接触点切面内任一方向的运动不加阻碍，接触面也不限制物体沿接触点的公法线方向脱离接触，但不允许物体沿该方向进入接触面。因此，光滑接触面的约束反力必通过接触点，方向沿着接触面在该点的公法线，指向被约束物体内部，亦即必为压力。在工程实际中，物体接触面之间总存在着或大或小的摩擦力。但若摩擦力远小于物体所受其它各力而可以略去时，就可把接触面简化为光滑面。这也是一种理想模型。图 1. 8 所示为光滑接触的几个例子。当略去摩擦时，齿轮传动中一对齿的齿廓曲面间的接触也是光滑接触。因而两齿轮的相互作用力 P_n 、 P_n' 一定沿着齿廓曲面在啮合点 K 的公法线方向，如图 1. 9 所示。