

中专电机类专业适用教材

工程力学

(修订第2版)

虞同书 主编

航空工业出版社

中专电机类专业适用教材

工 程 力 学

(修订第2版)

虞同书 主编

航空工业出版社

1994

(京)新登字161号

内 容 提 要

全书内容共分3篇21章。第1篇为理论力学部分：共有7章，内容有静力学基本概念和公理、平面汇交力系、力矩、平面力偶系、平面任意力系和摩擦（选学），运动学，动力学等。共占38学时。第2篇为材料力学部分：共有6章，内容有拉伸和压缩、剪切和挤压、圆轴扭转、直梁弯曲、组合变形，交变应力和压杆稳定（选学）。共占36学时。第3篇为机械原理和机械零件部分：共分8章，内容有常用机构、螺纹联接、带传动、齿轮传动和蜗杆传动、轮系、轴承、轴与键、联轴器与回转件的平衡等。共占46学时。全书共120学时，其中选学部分为6学时。

本书将理论力学、材料力学、机械原理和机械零件三部分内容编于一书，使全书内容连贯、结构紧凑，以适应一些专业课时少的特点。

本书可作为工科中等专业学校电机类专业工程力学教材，也可作为技工学校机械类和职工中专培训用教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/虞同书主编. —2版(修订本). —北京: 航空工业出版社, 1994.10

工科中等专业学校电机专业用教材

ISBN 7-80046-827-5

I.工… II.虞… III.工程力学-中等专业学校-教材
IV.TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第05544号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

1988年5月第1版

1988年5月第1次印刷

1994年10月修订第2版

1994年10月第2次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 381 千字

印数: 1—2500

定价: 9.00元

修 订 第 2 版 前 言

本书主要是为中专电机类专业编写的，为了适应其它非机械类专业的不同教学要求，还编写了一些选学内容。

本书结构特点是将理论力学、材料力学、机械原理和机械零件三部分的内容编于一书，使全书内容连贯、结构紧凑，以适应这些专业课时少的特点。在编写中，着重基本概念的阐述，以及常用机构的特点和具体应用。一方面为了满足这些专业后继课程的需要；另一方面使学生学会对通用零件标准的选用和掌握一些简单零件的设计方法。

本书文字简练，通俗易懂。全书插图均按新国标绘制，各种物理量都采用我国法定计量单位。

本书由西安航空技术高等专科学校、大庸航空工业学校、上海航空工业学校三校合作编写。编者有上海航校黄锦常(绪论，第1、2、3、4、5章)；西安航专宋秀英(第6、7章)，杨素洁(绪论，第8、9、10章)；大庸航校毛冬玉(第11、12、13章)；上海航校虞同书(绪论，第14、15、16、18、19章)；大庸航校周承华(第17、20、21章)。这次修订版由虞同书同志任主编。全书在陆贵兴同志统编的基础上进行修订，在此表示衷心感谢。

本书承华北航天工业学院郭淦同志初审理论力学部分；上海航校虞同书同志初审材料力学部分；西安航专丘季清同志初审机械原理和机械零件部分。审稿期间这些同志提出了许多宝贵的意见，编者按这些意见作了修改。

全书由北京航空航天大学罗寿南同志主审，在此深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免有缺点错误，敬请读者批评指正。

编 者

1993年10月

符 号 表

符 号	符 号 意 义	常 用 单 位
$F(P, Q)$	集中力	N, kN
q	分布力	N/m
W, G	重力	N, kN
v	速度, 线速度	m/s
a	加速度; 中心距	m/s ² ; mm
ω	角速度	rad/s
α	角加速度; 压力角	rad/s ² ; (°)
T	转矩, 外力偶矩	N·m
I	转动惯量	kg·m ²
P	功率	kW
n	转速	r/min
N	轴力	N, kN
Q	剪力	N, kN
T_n	扭矩	N·m
M	力矩, 力偶矩, 弯矩	N·m
σ	正应力	MPa
τ	剪应力	MPa
σ_{jy}	挤压应力	MPa
σ_{lj}	临界应力	MPa
σ_p	比例极限	MPa
σ_s	屈服极限	MPa
σ_d	相当应力	MPa
$[\sigma]$	许用正应力	MPa
$[\tau]$	许用剪应力	MPa
σ_r	持久极限	MPa
A	功; 面积	N·m; cm ² , mm ²
I_p	极惯性矩	m ⁴ , mm ⁴
I_x, I_y, I_z	对 x, y, z 轴的惯性矩	m ⁴ , mm ⁴
W_n	抗扭截面模量	m ³ , mm ³
W_z	抗弯截面模量	m ³ , mm ³
E	弹性模量	GPa
G	剪切弹性模量	GPa
μ	泊松比; 长度系数	无量纲

ε	线应变; 重叠系数	无量纲
γ	剪应变	无量纲
δ	延伸率; 锥角	无量纲; ($^{\circ}$)
ψ	截面收缩率	无量纲
γ	挠度	mm
λ	压杆柔度; 螺旋导程角	无量纲; ($^{\circ}$)
θ	扭转角, 转角	$^{\circ}/m, (^{\circ})$
P_{tj}	临界力	N, kN
P_z	导程	cm, mm
d	直径, 分度圆直径	mm
f	螺矩	mm
Z	齿数, 头数, 根数	无量纲
h	升程, 高度, 全齿高	mm
i	传动比	无量纲
L	长度	mm
m	模数	mm
m_n	法向模数	mm
m_t	端面模数	mm
s	齿厚	mm
e	齿槽宽, 偏心距	mm
p	齿矩, 周节	mm
β	螺旋角	($^{\circ}$)
h_a	齿顶高	mm
h_f	齿根高	mm
h_a^*	齿顶高系数	无量纲
h_f^*	齿根高系数	无量纲
c^*	径向间隙系数	无量纲
Δ'	齿顶角	($^{\circ}$)
Δ''	齿根角	($^{\circ}$)

目 录

第1篇 理 论 力 学

绪论	(1)
1. 理论力学的任务和内容	(1)
2. 力学在现代工程技术中的地位	(1)
3. 理论力学的研究方法和学习方法	(1)
第1章 静力学的基本概念和受力图	(3)
1.1 静力学的内容与基本概念	(3)
1.2 静力学公理	(4)
1.3 约束与约束反力	(6)
1.4 受力图	(8)
习题	(10)
第2章 平面汇交力系	(13)
2.1 平面汇交力系合成的几何法	(13)
2.2 平面汇交力系平衡的几何条件	(14)
2.3 平面汇交力系合成的解析法	(15)
2.4 平面汇交力系平衡的解析条件	(17)
习题	(20)
第3章 平面力偶系	(22)
3.1 力对点之矩	(22)
3.2 合力矩定理	(23)
3.3 力偶与力偶矩	(24)
3.4 力偶的性质	(24)
3.5 平面力偶系的合成与平衡条件	(26)
习题	(27)
第4章 平面任意力系	(29)
4.1 力的平移定理	(29)
4.2 平面任意力系的简化	(30)
4.3 平面任意力系简化结果的分析	(31)
4.4 平面任意力系的平衡方程	(32)
4.5 平面平行力系的平衡方程	(35)
习题	(36)
*第5章 摩擦	(38)
5.1 滑动摩擦	(38)

5.2 考虑摩擦时物体的平衡问题	(39)
5.3 摩擦角和自锁	(41)
习题	(43)
第6章 运动学	(44)
6.1 运动学的任务与基本概念	(44)
6.2 点的运动	(44)
6.3 刚体的基本运动	(52)
习题	(57)
第7章 动力学	(59)
7.1 动力学的任务与基本概念	(59)
7.2 动力学基本方程	(59)
7.3 刚体绕定轴转动的动力学方程	(64)
7.4 刚体绕定轴转动的动力学基本方程的应用	(68)
7.5 转矩、转速与功率之间的关系	(70)
7.6 动静法	(71)
习题	(73)

第2篇 材料力学

绪论	(76)
1. 材料力学的任务	(76)
2. 变形固体的概念及其基本假设	(76)
3. 材料力学的研究对象	(77)
第8章 拉伸和压缩	(79)
8.1 轴向拉伸和压缩的概念	(79)
8.2 轴向拉伸和压缩时的内力——轴力	(79)
8.3 轴向拉伸和压缩时横截面上的正应力	(81)
8.4 轴向拉伸和压缩时的变形	(83)
8.5 材料拉伸、压缩时的力学性能	(85)
8.6 许用应力和安全系数	(89)
8.7 拉伸(压缩)时的强度计算	(89)
习题	(92)
第9章 剪切和挤压	(94)
9.1 剪切的观念和实用计算	(94)
9.2 剪切时的变形和剪切虎克定律	(96)
9.3 挤压和挤压的实用计算	(96)
习题	(99)
第10章 圆轴的扭转	(100)
10.1 圆轴扭转的概念	(100)
10.2 外力偶矩、扭矩和扭矩图	(100)

10.3	圆轴扭转时横截面上的应力	(102)
10.4	极惯性矩和抗扭截面模量	(104)
10.5	圆轴扭转时的变形	(105)
10.6	圆轴扭转时的强度和刚度计算	(106)
	习题	(108)
第11章	直梁的弯曲	(111)
11.1	概述	(111)
11.2	梁弯曲的内力——剪力和弯矩	(112)
11.3	剪力图和弯矩图	(114)
11.4	弯曲时的正应力	(117)
11.5	弯曲正应力强度计算	(120)
11.6	梁的合理截面形状	(122)
11.7	梁变形的概念	(123)
	习题	(124)
第12章	组合变形	(126)
12.1	概述	(126)
12.2	弯曲与扭转组合变形的强度计算	(126)
	习题	(129)
第13章	交变应力和压杆稳定	(130)
13.1	交变应力	(130)
*13.2	压杆稳定	(134)
	习题	(140)

第3篇 机械原理与机械零件

	绪论	(141)
第14章	常用机构	(145)
14.1	平面连杆机构	(145)
14.2	凸轮机构	(151)
14.3	间歇运动机构	(155)
	习题	(157)
第15章	螺纹联接	(160)
15.1	螺纹及其主要参数	(160)
15.2	螺纹联接的基本类型和螺纹联接件	(165)
15.3	螺栓联接的防松装置	(166)
15.4	螺栓联接的强度计算	(166)
	习题	(172)
第16章	带传动	(173)
16.1	概述	(173)
16.2	三角带的构造、标准及三角带轮结构	(175)

16.3	三角带传动的设计计算	(175)
16.4	带传动的张紧装置、安装与维护	(182)
	习题	(183)
第17章	齿轮传动及蜗杆传动简介	(185)
17.1	齿轮传动的特点和分类	(185)
17.2	齿廓啮合的基本定律	(185)
17.3	渐开线的形成及其特性	(187)
17.4	渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及其基本尺寸	(188)
17.5	渐开线直齿圆柱齿轮传动	(190)
17.6	渐开线齿轮的根切现象和最少齿数	(191)
17.7	斜齿圆柱齿轮传动	(194)
17.8	直齿圆锥齿轮传动	(197)
17.9	蜗杆传动	(200)
	习题	(204)
第18章	轮系	(206)
18.1	轮系的分类和功用	(206)
18.2	定轴轮系传动比的计算	(207)
18.3	周转轮系传动比的计算	(209)
	习题	(212)
第19章	轴承	(214)
19.1	滚动轴承的构造和基本类型	(214)
19.2	滚动轴承的代号	(215)
19.3	滚动轴承基本类型的特性及选择	(217)
19.4	滚动轴承的润滑与密封	(219)
19.5	滑动轴承	(221)
	习题	(224)
第20章	轴与键	(225)
20.1	轴的功用与类型	(225)
20.2	轴的结构和材料	(225)
20.3	轴的强度计算	(228)
20.4	提高轴疲劳强度的措施	(229)
20.5	键联接	(230)
	习题	(234)
第21章	联轴器、离合器与回转件的平衡	(235)
21.1	联轴器与离合器	(235)
21.2	回转件的平衡	(238)
	习题	(241)
	参考文献	(241)

第1篇 理论力学

绪 论

1. 理论力学的任务和内容

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（包括物体相对于其他物体的相对静止）。例如机器的运转，飞机的航行，以及房屋、桥梁相对于地面的静止等等，都是机械运动的例子。我们知道，宇宙中的一切物质都是处在不断的运动中，而物质运动的形式是多种多样的，除机械运动外，还有物理变化，化学变化，以致人的思维活动等。机械运动是物质运动中的一种最简单的形式。物体的平衡是机械运动的特殊情况，所以理论力学也研究物体平衡的规律。

由于机械运动的规律比较简单，而且在生产实践中经常遇到，所以理论力学的产生、形成和发展先于其他自然科学。同时，任何较复杂较高级的物质运动形式，总是伴随有位置的变动，即与机械运动有一定的联系。所以理论力学的规律和研究方法也在一定程度上渗透到其他自然科学的领域中去。但是，理论力学又不能包罗和代替其他自然科学。

理论力学包括静力学、运动学和动力学三部分。静力学研究物体平衡时作用力之间的关系；运动学只研究物体运动的几何性质，而不涉及力的作用；动力学则研究物体的运动和作用力之间的关系。

2. 力学在现代工程技术中的地位

力学从诞生开始就和生产技术相结合。生产技术经常向力学提出各种新问题，这些问题的解决不仅推动了生产，而且也促进了力学的发展。在今天，现代生产的日益发展和科学技术的日益进步，对力学提出了更多更新的要求。例如工程结构的受力平衡问题，机器运动规律与受力分析问题，飞机、火箭的静、动力计算问题等都涉及到理论力学的基本概念。因此，理论力学是现代工程技术的重要基础之一。它与其他有关专业知识结合在一起，可以帮助我们解决实际的工程技术问题。理论力学是一门技术基础课。学习本课程的目的使学生了解物体机械运动的基本规律及其研究方法，初步学会运用这些规律解决简单的力学问题，并为学习后继课程，如材料力学、机械零件及其他与力学有关的专业课程打下基础。此外，理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性，有助于培养学生分析问题和解决问题的能力，使学生逐步形成正确的逻辑思维和对实际具有抽象、简化和正确地进行理论分析的能力。

3. 理论力学的研究方法和学习方法

力学是最古老的科学之一。它的产生和发展过程就是人类对于物体机械运动认识的深化过程，而这种认识是通过长期的生产实践和无数次科学实验而形成的。任何科学的研究方法都不能违背“实践——理论——实践”的规律。

理论力学的研究方法，简单地说，就是从观察、实验出发，经过抽象化和归纳，建立

概念和公理，应用数学推演的方法导出其他定理和结论，再回到实践中去，解决实际问题并验证理论。

所谓抽象化，就是从具体事物的复杂现象中，找出主要因素，略去次要因素，从而可以用一个较简单的模型来代替原来的具体事物。例如课程中所提到的质点和刚体都是把真实物体在一定情况下加以抽象化的结果。

要学好理论力学，必须首先抓住理论力学中的基本概念和基本定律的实质，深刻地理解从基本概念和基本定律导出的基本定理和结论的物理意义，并掌握由这些基本定理和结果引出的基本方法以及它们的最典型的应用；其次还要把理论与实践联系起来，反复应用基本方法求解力学问题。此外，掌握抽象化的方法，也是学好理论力学的一个重要环节。

第1章 静力学的基本概念和受力图

1.1 静力学的内容与基本概念

1.1.1 静力学的内容

静力学是工程力学的基础部分，在工程技术中有着广泛的应用。静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件，并应用这些条件解决工程实际问题。在研究物体的平衡条件时，需将一些比较复杂的力系进行简化，用一个与原力系作用效果相同的简单力系来代替。因此，在静力学中主要研究以下两个问题：

- (1) 力系的简化；
- (2) 物体在力系作用下的平衡条件。

1.1.2 静力学的基本概念

(1) 平衡的概念 所谓平衡，是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。例如建筑物相对地球的静止，匀速直线行驶的车辆等。物体机械运动的这种特殊情况称为平衡。但是在宇宙中没有绝对的平衡，一切平衡都是相对的、暂时的。在静力学中所讨论的平衡一般都是指物体相对于地球的平衡。

(2) 刚体的概念 所谓刚体，是指在力的作用下不产生变形的物体。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，实际上并不存在真正的刚体。在力的作用下，物体总要产生或大或小的变形。但在正常情况下，工程中的构件在力作用下发生的变形是很微小的，这种微小的变形对于研究力对物体的外效应影响不大，可以略去不计，以简化对问题的研究。因此，可以用刚体的概念来代替真实的物体。

(3) 力的概念 力是物体间的相互作用，这种作用使物体的运动状态发生变化，或使物体产生变形。由此可知，力对物体的作用产生两种效应：力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应；而力使物体产生变形的效应称为力的内效应。理论力学只研究力的外效应。

力对物体的效应，决定三个要素：(1) 力的大小，(2) 力的方向，(3) 力的作用点。

为了度量力的大小，首先必须确定力的单位。在法定计量单位中，力的单位是牛 (N)。

力是有大小和方向的量，所以是矢量 (或向量)。我们通常用一带有箭头的线段来表示 (图1-1)。线段的长度 (按一定比例) 表示力的大小，箭头的指向表示力的方向，线段的起点 (或终点) 表示力的作用点。通过力作用点沿力方向的直线称为力的作用线。本书中，力矢量用黑体字母 (例如 $\mathbf{F}$) 表示，而力的大小则用普通字母 F 表示。

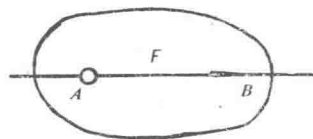


图 1-1

- (4) 力系的概念 为了后面叙述的方便，这里介绍有关力系的概念：

1) 力系 同时作用在物体上的若干个力或力群称为力系。

2) 平衡力系 如果物体在某一力系作用下处于平衡状态, 则这个力系称为平衡力系。

3) 等效力系 若作用在物体上的力系可以用另一力系来代替而不改变原力系对物体的作用效应, 则这两个力系称为等效力系。

1.2 静力学公理

静力学公理, 揭示了关于力的最基本的规律, 是静力学的基础。

公理一(二力平衡公理) 受两个力作用的刚体处于平衡状态的必要与充分的条件是: 两力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上(图 1-2)。简称两力等值、反向、共线。

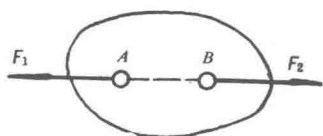


图 1-2

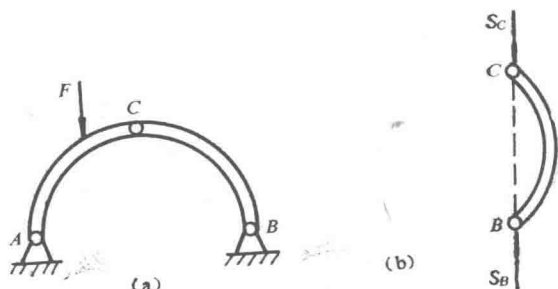


图 1-3

二力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件。对刚体来说, 这个条件是必要和充分的; 对于变形物体来说, 这个条件是不充分的, 例如绳索受到等值、反向、共线的两个拉力时可以平衡, 但若受到等值、反向、共线的两个压力时, 就不能平衡了。

仅在两个力作用下处于平衡的物体称为二力体。如果物体是个杆件, 也称为二力杆件。工程中经常遇到的二力杆件是本身重量不计而两端用铰链联接的杆件。二力杆件并不限于直杆, 也可以是曲杆。图 1-3(b)所示的半拱 BC, 在 B 点受到支座所给的力 S_B , 在 C 点受到半拱 AC 所给的力 S_C , 半拱 BC 自重不计, 所以半拱 BC 是二力杆件。根据二力平衡公理, S_B 和 S_C 必须等值、反向、共线, 亦即 S_B 、 S_C 的作用线一定沿 B、C 两点的连线。由此可知, 二力杆件的受力特点是: 作用在二力杆件上的两个力的作用线必沿此两个力的作用点的连线。它们可以是拉力, 也可以是压力。结构中的拉杆、撑杆等, 在略去其自重的情况下, 都可视为二力杆件。

公理二(加减平衡力系公理) 在已知力系上加上或减去一个平衡力系, 并不改变原力系对物体的作用效应。

这个公理是显而易见的, 因为平衡力系对物体的平衡或运动状态是没有任何影响的。

推论(力的可传性原理) 作用在刚体上的力, 可沿其作用线移到该刚体上任意一点, 并不改变此力对刚体的作用效应。

证明: 设力 F 作用于刚体 A 点(图 1-4(a))。在这个力的作用线上任取一点 B, 在 B 点加上一对平衡力 F_1 和 F_2 , 并令 $-F_1 = F_2 = F$ (图 1-4(b))。由公理二可知, 并不改变原力 F 对刚体的作用效应。于是, 三个力组成的力系 F_1 、 F_2 、 F 与原力 F 等效。由于 F_1 与 F 也是一对平衡力, 根据公理二, 可以去掉。这样刚体上只剩下一个作用在 B 点上的力 F_2

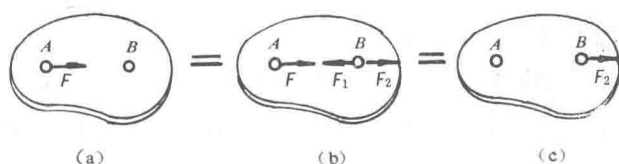


图 1-4

(图 1-4(c)), 它的大小和方向与力 F 相同, 相当于力 F 自 A 点沿其作用线移到 B 点。由此可知, 作用于刚体上的力的三要素是力的大小、方向和作用线。

力的可传性原理只适用于刚体, 而不适用于变形体。

公理三(力的平行四边形公理) 作用于物体上同一点的两个力, 可以合成为一个合力, 合力的作用点仍为原来两力的交点, 合力的大小和方向可以用这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示 (图 1-5(a))。

此公理也称为平行四边形法则。图中 R 为 F_1 和 F_2 的合力, A 点为其作用点。用矢量式表示为

$$R = F_1 + F_2$$

力的平行四边形公理表明, 求两个力的合力时, 不能简单地用代数相加, 而必须用矢量相加。只有两个力共线时, 其合力才等于两个力的代数和。

由于力的平行四边形 $ABCD$ 是两个全等三角形, 故在用矢量加法求合力时, 为了求解方便, 可以不必将整个平行四边形画出, 只需画出一半就可以了。为此, 在力矢 F_1 的末端画出力矢 F_2 , 再将 F_1 的起点和 F_2 的终点连接起来, 即得合力矢 R (图 1-5(b))。这样得到的三角形 ABC 称为力三角形。用力三角形求合力的方法称为力三角形法则。用力三角形法则求力的大小和方向时, 也可应用数学中的三角公式来计算。

推论(三力平衡定理) 如果一刚体在三个共面的互不平行的力作用下处于平衡状态, 则这三个力的作用线必定汇交于一点。

证明: 设有共面的互不平行的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 分别作用于刚体 A 、 B 、 C 三点 (图 1-6), 并保持平衡。由力的可传性原理, 将力 F_1 和 F_2 分别沿其作用线移至它们的相交点 O , 并求出它们的合力 R 。而合力 R 应与力 F_3 平衡。根据二力平衡条件, R 必与 F_3 共线, 亦即力 F_3 的作用线必通过 O 点, 所以这三个力的作用线汇交于一点。

由此可知, 物体受三个力作用而平衡时, 只要知道其中两个力的方向, 则第三个力的

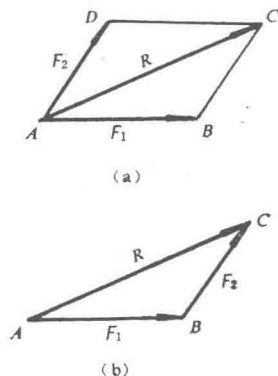


图 1-5

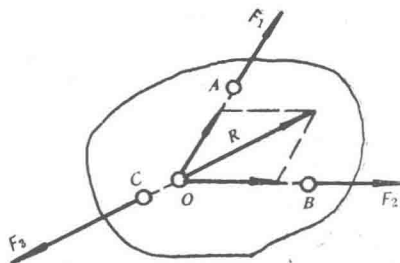


图 1-6

方向便可由三力平衡定理确定。

公理四（作用与反作用公理） 一物体对另一物体有作用力时，另一物体对此物体必有反作用力。这两个力大小相等，方向相反，作用线相同，分别作用在两个相互作用的物体上。

例如车刀在切削工件时，车刀作用在工件上的切削力 F ，同时工件必有反作用力 F' 作用于车刀（图 1-7）。 F 与 F' 总是等值、反向、共线。

应该强调指出，公理一与公理四是有根本区别的。公理一所指的一对平衡力是作用在同一个物体上，而公理四所指的作用力与反作用力是分别作用在两个相互作用的物体上。因此，对于一个物体来说，不能把作用力与反作用力说成是一对平衡力。

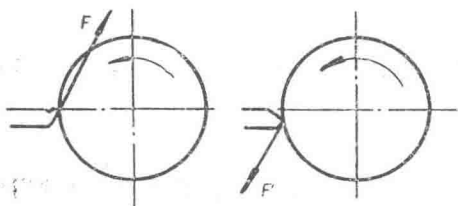


图 1-7

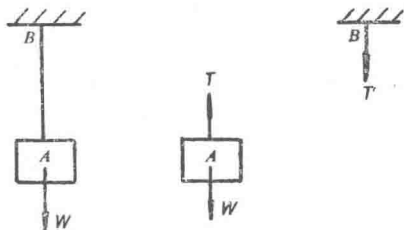


图 1-8

例如一物体用绳子吊在天花板上（图 1-8）。 W 为物体所受的重力， T 为绳子给物体的拉力，由于这两个力都作用在物体上而使物体保持平衡，所以它们是一对平衡力。由于向上的拉力 T 是绳子对物体的拉力，物体必以大小相等、方向相反的力 T' 拉绳子，所以 T 与 T' 是作用力与反作用力，分别作用于物体与绳子两个物体上。 W 是地球吸引物体的力，所以 W 的反作用力应是物体吸引地球的力 W' ，此力作用在地球上，它的大小与 W 相等，方向向上（图上未画出）。

1.3 约束与约束反力

1.3.1 约束和约束反力

能在空间任意运动的物体，称为**自由体**。如在空中飞行的飞机、气球，能在空中任何方向运动，故飞机、气球为自由体。凡受周围物体限制而不能沿某些方向运动的物体，称为**非自由体**。如火车受到钢轨的限制，只能沿轨道纵向行驶。用绳子吊在天花板上的电灯，受绳子的限制不能向下运动。火车和电灯都是非自由体。机器或结构物中的每一个构件都与它周围的构件互相联系互相制约，使物体的运动受到限制。对某一物体的运动起限制作用的其它物体，称为**约束**。如上述中钢轨是火车的约束，绳子是电灯的约束。

非自由体受到的力一般分为两类：一类是主动力；另一类是约束反力。能使物体运动或有运动趋势的力，称为**主动力**。如物体的重力、风力，人们作用于物体上的拉力、推力等等。一个非自由体由于受主动力的作用，将对其所有的约束产生力的作用。各个约束将以大小相等，方向相反的力作用于这个非自由体。因此，约束给被约束物体的作用力，称为**约束反力**。约束反力的方向总是与约束所限制物体运动的方向相反。一般情况下，主动力的方向和大小是已知的，而约束反力的方向和大小是未知的，需要根据约束的性质和平

衡条件求出。因此，约束反力的求解是力学中一个非常重要的基本问题。

1.3.2 约束的基本类型

约束的种类很多，现将工程中常见的几种基本约束类型分述如下：

(1) 柔性约束 由绳索、链条、胶带等柔软物体所形成的约束，称为柔性约束。这类约束只能限制物体沿柔软物体伸长的方向运动。因此，这种约束产生的反力，只能沿柔软物体中心线方向，而且只能是拉力。如图 1-9 所示，重锤被钢丝绳吊起，钢丝绳给重锤的约束反力 T 是拉力，方向沿钢丝绳。

当胶带绕过轮子时，作用于轮子的约束反力沿轮缘的切线方向，如图 1-10 所示。

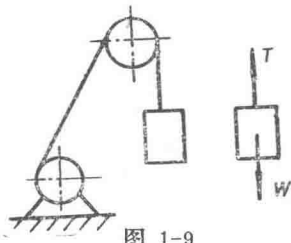


图 1-9

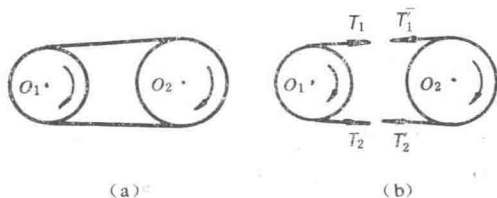


图 1-10

(2) 光滑面约束 由光滑的接触表面所形成的约束，称为光滑面约束。当物体相互接触面间的摩擦力很小，与其他作用力相比可以略去不计时，接触面就可以认为是光滑的。光滑面约束只能限制物体沿光滑面接触点公法线方向而趋向支承面的运动，但不能限制物体离开支承面和沿其切线方向的运动。因此，光滑面约束反力的方向必通过接触点沿光滑面的公法线，并指向物体。图 1-11 所示为各种不同情况下光滑面约束反力的方向。

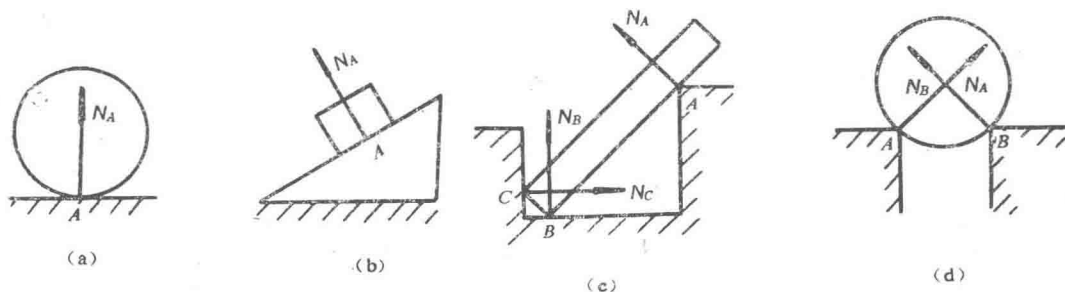


图 1-11

(3) 铰链约束 这类约束在工程中有多种具体形式，现将主要的几种介绍如下：

1) 圆柱形铰链 两个构件互相联接时，在它们联接处开圆孔，用圆柱形销钉联接起来，这样形成的结构，称为圆柱形铰链，简称铰链。如图 1-12(a)、(b) 所示。这里销钉就是两个构件的约束。销钉只限制两个构件的相对移动（在垂直于销钉平面内沿 x 或 y 方向的移动），而不能限制两构件绕销钉的转动。凡具有这种特点的约束，称为铰链约束。任意两个构件用铰链联接时，其简图可用图 1-12(c) 来表示。

销钉与构件孔壁的接触面，一般可认为是两个光滑的圆柱接触面，故铰链约束是属于光滑面约束的类型。销钉给构件的约束反力 R 应沿着圆柱面在接触点 K 处的公法线方向，并通过销钉中心（图 1-13(a)）。但由于构件可以绕销钉转动，接触点 K 的位置将随着构件上所受主动力的方向而改变。因此，约束反力的方向不能预先确定。通常用通过铰链中