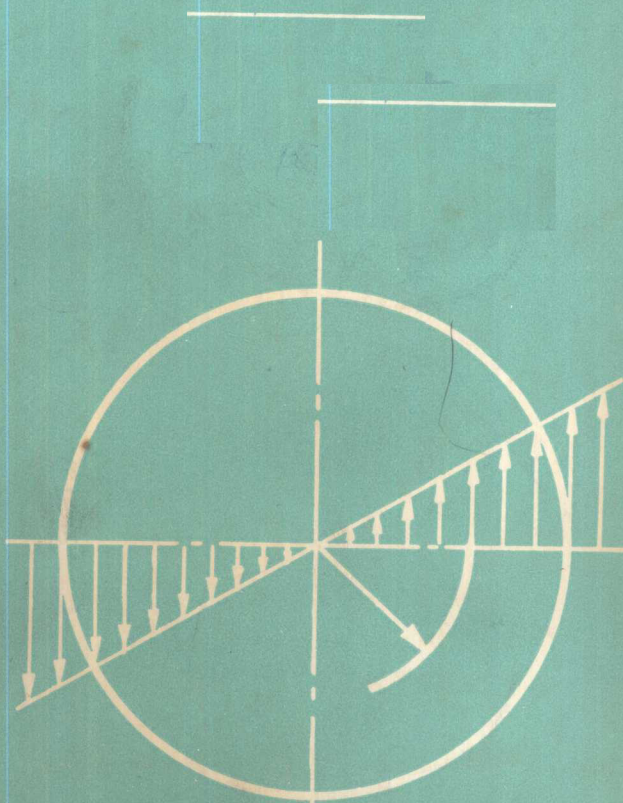


煤矿技工学校试用教材

工程力学



煤炭工业出版社

煤矿技工学校试用教材

工 程 力 学

铜川煤矿技工学校 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本教材简要地介绍了理论力学、材料力学、常用机构及零件的基本知识和基本概念。书中所选例题注重了理论与生产实际相结合，采用的计算方法是生产中常用的简单易行的算法。主要供煤矿技工学校教学使用，也可供煤矿在职技工培训和具有初中以上文化程度的煤矿技工自学使用。

责任编辑：肖 国 志

煤 矿 技 工 学 校 试 用 教 材 工 程 力 学

铜川煤矿技工学校 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路19号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092¹/₁₆

印张18³/₄

字数 441 千字

印数1—22,150

1982年7月第1版

1982年7月第1次印刷

书号15035·2486 定价1.95元

出版说明

为了加强煤矿技工学校的教学管理，提高教学质量，培养出适应煤炭工业现代化建设需要的技术工人，煤炭部劳动工资司组织全国煤炭系统有关技工学校的校长、教务科长、经验丰富的任课教师和现场工程技术人员研究制定了煤矿技工学校主要工种专业统一的教学计划和教学大纲，并根据教学计划和教学大纲的要求，编写了一套技工学校统一教材。这套教材包括：《综采工作面采运机械》、《综采工作面电气设备》、《液压支架与泵站》、《综采概论》、《煤矿开采方法》、《井巷施工基础》、《井巷施工》、《煤矿流体机械》、《煤矿提升与运输设备》、《井巷掘进机械》、《矿山电工》、《煤矿电子技术》、《煤矿地质》、《矿山测量》、《采煤机械液压传动》、《机械制图》、《机械制图习题集》、《工程力学》等共二十五册。这套教材主要是供煤矿技工学校教学使用，也供煤矿在职技工培训和具有初中以上文化程度的煤矿技工自学使用。《工程力学》是这套教材中的一册，由铜川煤矿技工学校杜岁长、宁阿寿、姜伯熙同志执笔编写，并经阜新、大同、抚顺、淮北、淄博等技工学校有教学经验的任课教师讨论修改后定稿的。

由于编审时间仓促，缺乏经验，教材中难免有错误与不妥之处，请各煤矿技工学校和读者提出批评指正。

一九八一年十一月

编者的话

工程力学课程的内容包括理论力学，材料力学以及常用机构及零件三部分。

理论力学是研究物体机械运动规律的科学。

材料力学是研究构件的强度和刚度以及稳定性计算原理的科学。

常用机构及零件是研究常用机构的结构及其运动特点以及机械中通用零件的类型、标准、用途和选择方法等基本知识的科学。

工程力学课程的任务是一门研究各种类型的结构和构件的设计、计算原理和计算方法的科学，是一门技术基础课，对做一个中级技术工人来说是很重要的，在采煤机械化生产中，常会遇到需要了解机械的运动规律，分析其受力情况，判定其坚固程度和工作能力等问题。

学习工程力学可以帮助我们解决这些问题。此外，通过工程力学的学习，还有助于我们提高分析和解决问题的能力，并为学习专业课程奠定理论基础。

工程力学课程是一门理论性较强的技术基础课，在学习时应弄清每一个基本概念并注意它们在实际中的应用。为了熟练系统地掌握基础理论，必须多作习题。

目 录

第一部分 理论力学

概述	1
一、理论力学的内容和任务	1
二、力和力系	1
三、刚体和质点	3
第一篇 静 力 学	
第一章 静力学的基本概念及公理	4
§ 1-1 静力学公理	4
§ 1-2 约束与约束反力	6
§ 1-3 受力图	10
习题	13
第二章 平面汇交力系	15
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法	15
§ 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	18
§ 2-3 力在直角坐标轴上的投影	19
§ 2-4 平面汇交力系合成的解析法	21
§ 2-5 平面汇交力系平衡的解析条件	22
习题	25
第三章 平面力偶系	27
§ 3-1 力偶和力偶矩	27
§ 3-2 平面力偶系的合成和平衡条件	28
习题	30
第四章 平面任意力系	30
§ 4-1 力对点之矩	31
§ 4-2 力的平移	34
§ 4-3 平面任意力系的简化和合成	35
§ 4-4 平面任意力系的平衡条件	37
§ 4-5 平面平行力系的合成和平衡条件	39
习题	43
第五章 空间力系、重心	45
§ 5-1 力沿空间直角坐标轴的分解	45
§ 5-2 力对轴之矩	46
§ 5-3 空间任意力系的平衡方程式	48
§ 5-4 空间力系的平衡问题转化为平面力系的解法	49
§ 5-5 重 心	50
习题	55
第六章 摩擦	56
§ 6-1 滑动摩擦	56

§ 6-2 考虑滑动摩擦力时的平衡问题	58
§ 6-3 滚动摩擦阻	62
习题	64

第二篇 运 动 学

第七章 点的直线运动	66
§ 7-1 路程和位移	66
§ 7-2 速度	67
§ 7-3 加速度	68
§ 7-4 匀变速直线运动方程	69
习题	72
第八章 点的圆周运动	73
§ 8-1 圆周运动的速度	73
§ 8-2 匀速圆周运动的加速度	74
§ 8-3 匀变速圆周运动的加速度	75
§ 8-4 匀变速圆周运动的运动方程	77
习题	79
第九章 刚体的定轴转动	79
§ 9-1 转角和角速度	80
§ 9-2 角加速度	81
§ 9-3 匀变速转动的转动方程	82
§ 9-4 转动刚体上各点的速度和加速度	84
习题	85

第三篇 动 力 学

第十章 质点动力学基础	87
§ 10-1 动力学基本定律	87
§ 10-2 质点动力学基本方程的投影形式	90
§ 10-3 惯性力	95
§ 10-4 动静法	96
习题	98
第十一章 刚体定轴转动动力学基础	99
§ 11-1 刚体定轴转动的动力学基本方程	99
§ 11-2 转动惯量	100
§ 11-3 刚体定轴转动动力学基本方程的应用	102
习题	105
第十二章 功和能	107
§ 12-1 功	107
§ 12-2 功率	113
§ 12-3 机械效率	115
§ 12-4 动能和动能定理	116
习题	122

第二部分 材 料 力 学

概述	125
一、材料力学的任务	125
二、杆件变形的基本形式	125
第十三章 轴向拉伸与压缩	126
§ 13-1 轴向拉伸与压缩的概念	126
§ 13-2 轴向拉伸(压缩)时横截面上的内力—轴力	127
§ 13-3 轴向拉伸(压缩)时横截面上的应力	129
§ 13-4 轴向拉伸(压缩)时的纵向变形 虎克定律	131
§ 13-5 材料在拉伸和压缩时的机械性质	132
§ 13-6 许用应力及安全系数	134
§ 13-7 杆件在拉伸或压缩时的强度计算	136
习题	138
第十四章 剪 切	139
§ 14-1 剪切的观念	139
§ 14-2 剪切的实用计算	141
§ 14-3 挤压的实用计算	142
习题	144
第十五章 圆轴的扭转	146
§ 15-1 扭转的概念	146
§ 15-2 扭转时横截面的内力—扭矩、扭矩图	146
§ 15-3 圆轴扭转时横截面上的应力	149
§ 15-4 圆轴扭转时的变形	152
§ 15-5 圆轴扭转时的强度、刚度条件	153
习题	156
第十六章 直梁的弯曲	157
§ 16-1 平面弯曲的概念	157
§ 16-2 梁弯曲时的内力—剪力、弯矩	160
§ 16-3 剪力图、弯矩图	162
§ 16-4 梁在纯弯曲时横截面上的正应力	168
§ 16-5 梁弯曲时的强度计算	172
§ 16-6 梁弯曲变形的概念	174
习题	175
第十七章 组合变形	178
§ 17-1 概述	178
§ 17-2 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	179
§ 17-3 弯曲与扭转的组合变形	181
习题	185
第十八章 压杆稳定	187
§ 18-1 压杆稳定性的概念	187
§ 18-2 临界力和临界应力的确定	188
§ 18-3 压杆的稳定计算	190

习题	192
----------	-----

第三部分 常用机构及零件

概述	193
一、常用机构及零件研究的对象和基本任务	193
二、机器和机构, 构件和零件	193
三、运动副及机构运动简图简介	193
复习题	194
第十九章 平面连杆机构	194
§ 19-1 平面连杆机构概述	194
§ 19-2 铰链四杆机构	194
§ 19-3 四杆机构的演化	196
复习题	198
第二十章 凸轮机构	198
§ 20-1 凸轮机构的应用和分类	198
§ 20-2 由推杆的运动图作盘形凸轮的轮廓曲线	200
复习题	202
第二十一章 螺纹联接和键联接	202
§ 21-1 螺纹种类、标准和应用	202
§ 21-2 螺纹联接的主要形式及防松装置	204
§ 21-3 偏心载荷对螺栓受力的影响	207
§ 21-4 螺栓直径的确定	208
§ 21-5 键的种类	212
§ 21-6 平键的选择	214
复习题	216
习题	216
第二十二章 三角带传动和链传动	217
§ 22-1 三角带传动	217
§ 22-2 三角带传动计算	221
§ 22-3 链传动概述	227
§ 22-4 套筒滚子链和链轮	227
§ 22-5 链传动的运动分析及其优缺点	230
§ 22-6 链传动的计算	231
复习题	235
习题	235
第二十三章 齿轮传动	235
§ 23-1 齿轮传动的概述	235
§ 23-2 齿轮传动的几何要素	236
§ 23-3 渐开线齿廓和啮合原理	238
§ 23-4 正齿轮传动的传动比	239
§ 23-5 变位齿轮简介	240
§ 23-6 直齿圆柱齿轮传动	241

§ 23-7 斜齿圆柱齿轮传动	246
§ 23-8 圆锥齿轮传动	250
§ 23-9 蜗杆传动	253
§ 23-10 齿轮系	261
复习题	266
习题	267
第二十四章 轴	268
§ 24-1 轴的用途和分类	268
§ 24-2 轴的常用材料	269
§ 24-3 轴径尺寸的简易计算	269
§ 24-4 轴的结构及简单转轴的工作草图	270
复习题	271
习题	272
第二十五章 轴承	272
§ 25-1 概述	272
§ 25-2 滑动轴承简介	272
§ 25-3 滚动轴承简介	274
复习题	279
第二十六章 联轴器与离合器	279
§ 26-1 联轴器	279
§ 26-2 离合器	281
复习题	282
附录 I 习题答案	283
附录 II 型钢表	288

第一部分 理论力学

概 述

一、理论力学的内容和任务

客观存在的自然界是由各种各样的物质组成的，这些物质总是不断地进行各种变化。例如，水沸腾了变为水蒸气、冷了结冰，这是物态的变化；铁在潮湿的空气中放久了要生锈，这是化学变化；生物的生长、发育和死亡，这是生物的变化；汽车的行驶、卫星的上天、刮板溜子链条的运动，这些是物体之间或物体一部分对另一部分之间空间位置随时间的变化，等等。总之，自然界的任何物质都是随时间而变化的。也就是说，一切物质总是运动着的。

人们把一物体相对于另一物体，或者物体的一部分相对于另一部分的空间位置随时间的变化，称之为机械运动。机械运动是在日常生活和工程实际中最常见、最简单的一种物质运动形式。

机械运动也和其他形式的运动一样，有着一定的运动规律。理论力学就是研究物体机械运动一般规律的科学。

物体相对的、暂时的平衡状态——保持静止或者匀速直线运动，是物体机械运动的一种特殊情况。所以，理论力学也要研究物体的平衡规律。

理论力学的内容包括静力学、运动学和动力学三个部分。静力学研究物体受力时保持平衡应满足的条件——平衡条件；运动学撇开引起物体运动变化的原因，而只从几何角度来研究物体的运动；动力学研究物体的运动变化与所受作用力之间的关系。

理论力学所研究的内容属于以牛顿所归纳的基本定律为基础的经典力学范围。随着现代科学的发展，已表明经典力学的适用范围是有限制的。但是，在一般工程技术中，物体的运动速度远小于光速，经典力学中的理论和定律仍具有足够的精确度。所以以经典力学为基础的理论力学是现代工程技术科学的理论基础之一。

作为煤矿技工学校的学生，为了以后在工作中正确使用和维修各种采煤、掘进、运输提升、通风、排水和压气等矿山机械设备；也为了学习后续课程准备下必要的理论基础，应当学好理论力学的基础理论。

二、力和力系

力的概念是人们在长期的生产实践中总结而建立起来的。恩格斯曾经指出：“人类对于力的概念，是从观察物体间的作用和运动的改变中得来的，而把力理解为离开物质而单独存在，或离开运动而潜在静止着，都是错误的观念”。

要改变一个物体的运动状态（静止的使之运动，或者运动着的使之静止或更快的运动）必须有外部的作用去推动它。例如，停在轨道上的矿车没有外部的干扰它将停在轨道上不动；直线运动的物体没有外部作用不会自行拐弯，等等。这种物体间能使运动状态发

生变化的相互作用，就是力。因此，力就是物体之间相互的机械作用，其效果使它们的运动状态发生改变和几何形状发生改变。

力使物体运动状态发生改变的效果称为力的外效应，而物体形状发生改变的效果称为力的内效应。理论力学只研究力的外效应，而力的内效应则将在材料力学中加以研究。

人们经过长期的观察、试验和理论概括揭示出力对物体作用的效应，决定于如下三个要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。

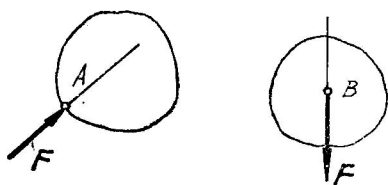
举个例子来说，例如推动一辆矿车。首先所加推力的大小表明对矿车作用的强弱，决定了能不能推动矿车和矿车运动状态改变的快慢程度；其次，所加的推力如果与矿车的运动方向一致，效果必然最好。如果推力是指向地面的方向，当然不管所加的推力有多大，只能是白费力气，对矿车的运动状态都没有影响。如果所加的推力与矿车的运动方向相反，那只能是引起与目标相反的运动。所以，力的方向是力的一个重要特征；此外，如果推力加的地方合适，矿车将顺利地前进。如果推的不是地方，比如车顶或靠近两帮，就有可能将矿车推掉道。可见，力的作用点也是力的一个重要特征。

所以，在表示一个力对物体作用的时候，必须同时把力的大小、方向和作用点一一表示清楚。

为了表示力的大小，必须选择一个标准的度量单位。本书中采用国际单位制（SI），以牛顿（N）或千牛顿（kN）为力的单位。1牛顿的力等于 10^5 达因。在工程技术中，长期以来采用一种工程单位制。在工程单位制中，力的单位用公斤。这两种单位制之间力的单位换算关系是

$$1 \text{ 牛} \cdot \text{顿} = \frac{1}{9.8} \text{ 公斤力}$$

因为力对物体的作用是有方向的，所以力是矢量，可以用带箭头的线段来表示。如图，线段的长短（按比例尺，每单位长度代表多少牛顿或千牛顿的力）表示力的大小；箭头所指表示力的指向；线段的起点（或终点）表示力的作用点；而过作用点沿力方向的直线则称为力的作用线。



力矢量图

在力学中，有一些量不仅有大小而且有方向，称为矢量。如力、速度和加速度等；也有一些量只有大小而无方向，称为标量。如质量、时间和路程等。在本书中为了区别矢量和标量，矢量都用黑体

字母表示，而同一字母的普通字体则表示这个矢量的数值大小（称为该矢量的模）。例如用 \mathbf{F} 表示某个力，则 F 只表示这个力的大小。

作用在同一物体上的一组力称为力系。如果一个力系对物体的作用效果和另一个力系对该物体的作用效果相同，那么这两个力系彼此称为等效力系。在理论力学中，等效力系是可以互相代换的。

如果一个力 \mathbf{R} 对物体的作用效果和一个力系的作用效果相同，则这个力 \mathbf{R} 称为该力系的合力；而力系中的每一个力都称为合力 \mathbf{R} 的分力。由已知力系求其合力的过程称为力系的合成。反之，用一个力系代替一个力，即由合力求分力的过程称为力的分解。

单个力作用在物体上，会使物体的运动状态发生变化。但受力系作用的物体，既有可

能运动状态发生变化，也有可能运动状态不发生变化。这是因为力系中诸力的作用有可能相互抵销。物体受力系作用其运动状态仍然不变时，则称该物体处于平衡状态。使物体仍处于平衡状态的力系称为平衡力系。

静止或匀速直线运动的物体，其运动状态都未改变，所以都处于平衡状态。作用在静止或匀速直线运动物体上各力组成的力系都是平衡力系。

三、刚体和质点

大家都知道，物体受到力作用后形状或多或少都要发生一些变化。如果要在研究物体机械运动的时候，考虑这些微小的变形，将会使问题变得非常复杂。鉴于常用的固体工程材料；如钢铁、木、石、砖和混凝土等等变形都很小，忽略变形的影响对研究物体机械运动所得结果出入并不大。为了抓主要矛盾，在理论力学中将实际的物体抽象化为刚体。所谓刚体就是在任何力的作用下都不会变形的物体。

应当指出，刚体的假设只适用于研究物体的外效应，即用在理论力学中。而当研究物体的内效应时，变形尽管很小也绝对不能忽略。也就是说，在材料力学中刚体的概念是不适用的。

本书的理论力学部分所说的“物体”，通常都是指刚体。

此外，物体总是具有几何尺寸的。但有时物体的大小比之其机械运动的范围来说小很多，忽略物体本身尺寸的影响，对所得的研究结果没有什么显著作用（例如，在研究飞机航行的时候，飞机的大小对研究其航程来说没有什么影响）。因此，为使研究物体外效应的过程进一步简化，将物体当作质点来处理。所谓质点就是各个方向尺寸都极微小，但却具有质量的物体。

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念及公理

§ 1-1 静力学公理

所谓公理，就是符合实际的客观真理。它为无数实践所证实，被人们所公认，是有关定理和推论的出发点。静力学公理就是静力学全部理论的出发点和基础。

公理一（两力平衡公理）

若一物体在两个力作用下处于平衡状态，则这两个力必须是大小相等、方向相反、作用在同一直线上。

如图1-1表示吊挂在空中的电灯。电灯受到地球的引力 G （即重量）和吊挂绳的拉力 T 作用处于平衡状态。则 G 力和 T 力必须满足的平衡条件是（1）大小相等；（2）方向相反；（3）作用在同一直线上。这三个条件缺一不可。

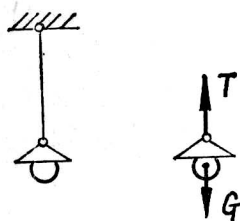


图 1-1

应当强调一下，两力平衡公理所谈到的两个力是作用在同一物体上的。如果一个物体上受到了两个大小相等、方向相反、作用在同一直线的力作用时，物体必然处于平衡状态。

公理二（加减平衡力系公理）

一个力系对物体的作用效果，并不因为加入或减去一个平衡力系而有所改变。

本公理可以由图1-2来说明。如a图，物体在原有力系（ F_1 和 F_2 ）作用的基础上，再加上平衡力系（ F_3 和 F_4 ）后，对物体作用的效果仍与原力系相同。又如b图，物体在原有力系（ F_1 、 F_2 和 F_3 、 F_4 ）作用的基础上，减去平衡力系（ F_3 、 F_4 ）以后，对物体的作用效果仍与原力系相同。

利用上述两个公理可以得到下面一个重要的推论——一个力可沿其作用线在刚体内任意移动，而不改变它对物体的作用。这个性质称为力在刚体上的可传性原理。

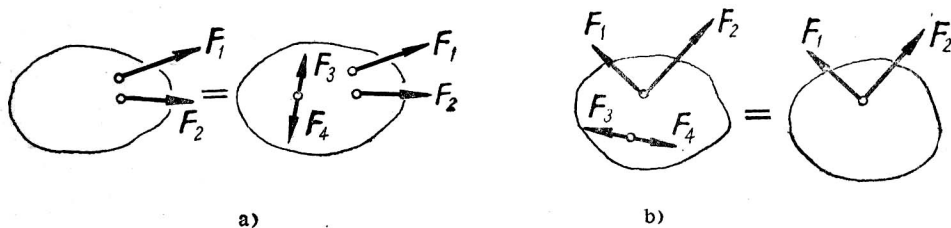


图 1-2

证明：如图1-3所示，设推车的力 F 作用于A点，在这个推力作用线上的矿车的前端取

一点B，并在A、B两点分别加上大小相等、方向相反、作用在同一直线上的两平衡力 F_1 和 F_2 ，且令 $F_1 = F_2 = F$ 。按照公理二可知，力系 (F, F_1, F_2) 与 F 力等效。但是由于 F 与 F_2 也是一个平衡力系，故力系 (F, F_1, F_2) 又与 F_1 等效。由此可见，力 F 是与力 F_1 等效的。即用拉力 F_1 代替推力 F ，并不改变对物体的作用效果。于是就证明了本推论。

应当强调，力的可传性原理只适用于刚体。根据这个原理，对于刚体上的力来说，力的作用点这个要素已为力的作用线所代替。

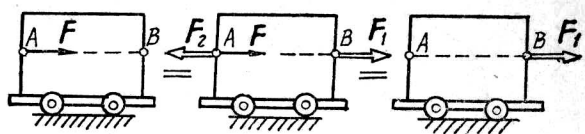


图 1-3

公理三 (力的平行四边形公理)

作用于物体上某一点的两个力的合力，也必通过该点，其大小和方向可以由此两力为边所作平行四边形的对角线来表示。

这个平行四边形称为力的平行四边形。

如图1-4 a，在物体上A点作用有两个力 F_1 和 F_2 ，以 F_1 和 F_2 为邻边作出力的平行四边形，过A点的对角线就是合力 R 。

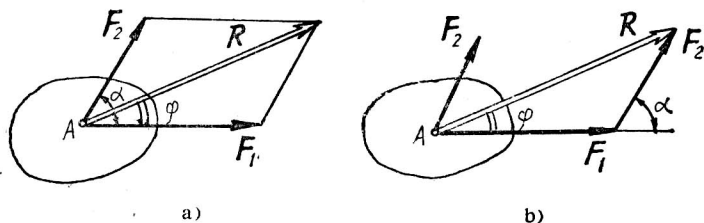


图 1-4

此外，合力 R 和分力 F_1 和 F_2 的关系还可以用1-4b图来表示。图中以矢量 F_1 的末端为起点作矢量 F_2 ，联结作用点与矢量 F_2 的末端，所得的矢量就是合力 R 。

此外，合力 R 和分力 F_1 和 F_2 的关系还可以用1-4b图来表示。图中以矢量 F_1 的末端为起点作矢量 F_2 ，联结作用点与矢量 F_2 的末端，所得的矢量就是合力 R 。

这个由合力和其两分力为边组成的三角形称为力的三角形，合力与两分力的这种三角关系称为力的三角形定理。

合力的大小和方向还可以根据力三角形的三角关系求出。由余弦定律

$$\begin{aligned} R^2 &= F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \alpha) \\ &= F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha \end{aligned}$$

得出合力的大小

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-1)$$

再由正弦定律

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

得出合力的方向

$$\varphi = \arcsin \frac{F_2 \sin\alpha}{R} \quad (1-2)$$

如果 F_1 和 F_2 是共线的（即两力作用线相重合—— α 角为零或 180° ），则合力等于两分力的代数和。两分力同向时相加；反向时相减。

力的平行四边形公理是力系简化的基础。根据这个公理可以推出三力平衡定理：如物体受不平行的三个共平面的力作用而处于平衡状态，则这三个力的作用线必汇交于一点。

证明：如图1-5，刚体上A、B、C三点分别受共平面的三力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用而平衡。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于O点。根据刚体上力的可传性原理，将 F_1 力及 F_2 力移至交点O，

且接力的平行四边形公理求出其合力 R 。这样力系 (R, F_3) 必与原力系 (F_1, F_2, F_3) 等效，仍为平衡力系。按两力平衡公理，合力 R 与力 F_3 必须是共线的。所以 F_3 也必然过 F_1 和 F_2 的交点 O ，即三个力的作用线汇交于一点。

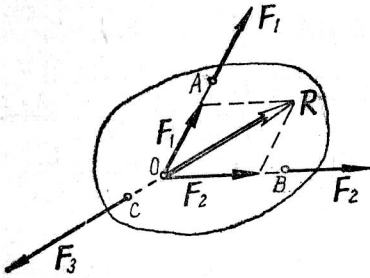


图 1-5

公理四（作用反作用公理）

一物体给另一物体一个作用力时，另一物体必然给此物体一个反作用力。作用力与反作用力大小相等、方向相反、沿着一条直线分别作用在两个物体上。

这个公理也就是牛顿所归纳的力学基本定律中的第三定律——作用与反作用定律。

作用与反作用公理表明一切力都是成对出现的，即有作用力就必然有反作用力。但必须注意作用力与反作用力虽然同时存在，却是分别作用在两个物体上的，因而决不能互相平衡抵消。这与两力平衡公理中所讲的，一个物体受两个力的平衡条件是不相同的，决不能混淆。

例如图1-6，放置在基础上的电动机，由于电动机的重量 G 引起压到基础上的压力 R' ，与此同时基础必然给电动机一个支反力 R 。对电动机来说，同时受到重力 G 和支反力 R 两个力作用（见图 b），构成平衡力系。按两力平衡公理 $G = R$ ；另外， R' 是电动机对基础的作用力（见图 c）， R 是基础对电动机的反作用力，按作用与反作用公理 $R' = R$ 。但是力 R' 与力 R 虽然也是大小相等、方向相反、作用在一条直线上，但因为是分别作用在基础和电动机两个物体上的，不能构成平衡力系。

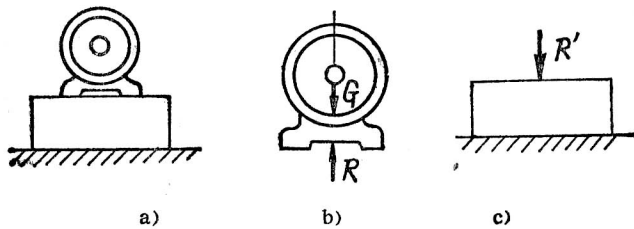


图 1-6

§ 1-2 约束与约束反力

本节主要讲述在物体相互联结（或接触）处作用力的性质。

若一物体能向一切方向不受限制地自由运动，则称此物体为自由体。当物体受到其他物体限制，不能向某些方向自由运动时，称为非自由体。对于某一物体的运动起限制作用的其他物体，称为约束。例如图1-7悬挂在天花板上的电灯就是一个非自由体。在其他外力的作用下，它可以向上，向前、后、左、右运动，但它不能向下运动，因为绳子限制了它。绳子就是灯的约束。

电灯的重力 G 是使其下落的原因。这种能主动地改变物体运动状态的力称为主动力，如重力、各种机械的驱动力等等都是。物体在主动力的作用下产生运动或运动的趋势。而约束却阻止物体的运动，这

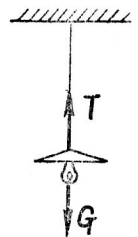


图 1-7

种由约束给予被约束物体阻止运动的力称为约束反作用力，简称约束反力。由此可见，约束反力的方向总是与约束所能阻碍物体运动的方向相反的。如图1-7中，绳子给电灯向上的拉力 T 就是绳子对电灯的约束反力。

应当注意，虽然约束反力往往是与主动力大小相等、方向相反，作用在一条直线上的（如图1-7中的重力 G 和绳子的拉力 T ），但它们决不是作用力与反作用力的关系，因为这两个力都是作用在同一物体上的。

在静力学中，经常要求出约束反力。这些约束反力的确定，一方面取决于所加的主动动力，另一方面也决定于约束的类型。

下面介绍几种常见的约束，并根据它们的特点分析约束反力的方向和作用线的位置。

一、柔性约束

由柔软的绳索、链条或胶带等所形成的约束本身只能受拉而不能受压，因而它们只能限制物体沿柔性约束伸长方向的运动。所以柔性约束的约束反力必沿着柔体本身而指向是背离被约束物体的。

如图1-8，绳索对重物的约束反力为 T_A 和 T_B 。

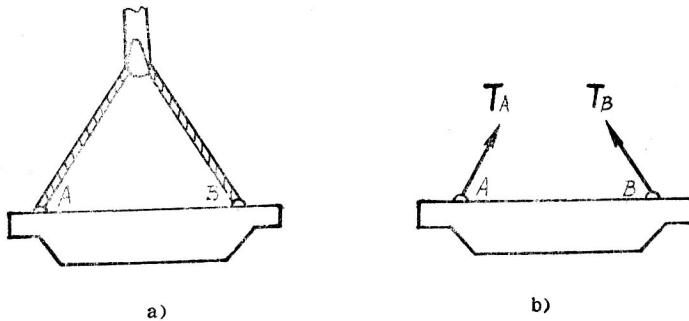


图 1-8

当绳索、胶带或链条等柔体绕过滑轮、滚筒或链轮时，约束反力沿轮缘接触点的切线方向。例如图1-9所示的皮带传动，皮带对带轮属于柔性约束，对I轮的约束反力为 T_2 和 T_1 ；对II轮为 T_2' 和 T_1' ；带轮对上股和下股带的拉力根据作用与反作用公理，对上股为 T_2 和 T_2' ，对下股为 T_1 和 T_1' 。所有这些力都是张力。

二、光滑面约束

当物体与支承面之间摩擦力很小、为了使问题简化，常将摩擦力略而不计。这种类型支承面的约束称为光滑面约束。物体支承在光滑面上，不论支承面的形状如何，只能限制物体在接触点处沿接触表面公法线向支承面的运动，而不能限制物体离开支承面或沿接触表面的切线方向运动。所以，光滑面约束的约束反力总是通过接触点，沿接触表面的公法线而指向物

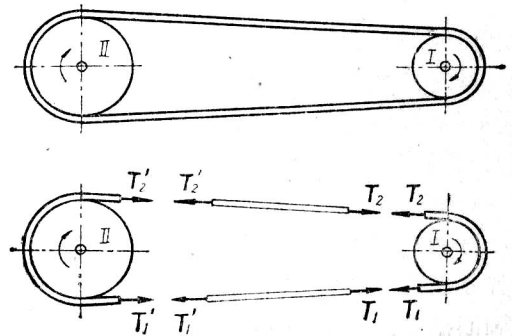


图 1-9