

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

● 全国电力工人公用类培训教材

应用力学基础(第二版)

程 宜 刘根发 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目
◎全国电力工人公用类培训教材

应用力学基础(第二版)

程 宜 刘根发 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《全国电力工人公用类培训教材（第二版）》之一，全书是以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据进行编写的。

全书共十章，第一至第六章为静力学部分，主要讲述静力学基础知识，静力学基本定理，平面力系的合成与平衡、摩擦、重心，静力学在工程中的应用等；第七至第十章为材料力学部分，主要讲述直杆的拉伸与压缩、剪切与挤压，圆轴扭转，弯曲，压杆稳定计算等。为巩固和加深对课文内容的理解，各章之后均附有复习题，书后附有习题答案。

为便于自学、培训和考核，各章后均有复习题，书末备有复习题答案。

本书适用火力发电、水力发电、供用电、火电建设、水电建设、电力机械修造和城镇（农村）工矿企业电气7大部分18个专业58个工种的初级、中级、高级工人培训考核。

图书在版编目（CIP）数据

应用力学基础/程宜主编. - 2版. - 北京：中国电力出版社，2004

全国电力工人公用类培训教材

ISBN 7-5083-2376-9

I. 应... II. 程 III. 应用力学-技术培训-教材 IV. 039

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 100224 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1994年12月第一版

2004年9月第二版 2004年9月北京第九次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 8.5印张 222千字

印数 38221—43220册 定价 17.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨
丁巳年春



出版说明

《全国电力工人公用类培训教材》自 1994 年出版以来,已用于电力行业工人培训 10 余年,得到了广大电力工人和培训教师的一致好评,为提高电力职工素质、使电力职工达到相应岗位的技术要求奠定了基础。

近年来,随着国家职业技能标准体系的完善,《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》已在电力行业正式实施。随着电力工业的高速发展,电力行业的职业技能标准水平已有明显提高,为满足职业技能鉴定规范对电力行业各有关工种鉴定内容中共性和通用部分的要求,我们对《全国电力工人公用类培训教材》重新组织了编写出版。本次编写出版的原则是:以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据,以满足电力行业对从业技术工人基本知识结构的要求为目标,兼顾提高电力从业人员的综合素质。本次编写出版的教材共 14 种,即:

电力工人职业道德与法律常识	应用机械基础(第二版)
电力生产知识(第二版)	应用力学基础(第二版)
电力安全知识(第二版)	应用水力学基础(第二版)
应用电工基础(第二版)	实用热工基础
应用电子技术基础(第二版)	应用计算机基础
电力工程识绘图	电力工程常用材料(第二版)
应用钳工基础(第二版)	电力市场营销基础

本教材此次编写出版得到了以上各册新老作者的大力支持,在此表示由衷的感谢!同时,欢迎使用本教材的广大师生和读者对其不足之处批评指正。

中国电力出版社

2004.6



前 言

全国电力工人公用类培训教材《应用力学基础》(第二版)与读者见面了。本书是在《应用力学基础》与《应用力学基础习题解答》两本书(以下简称原书)的基础上修编而成的。在修编过程中,保留了原书的结构和章节,对原书的缺陷和不足进行了精细的修改。力求使本书的叙述更深入浅出,公式、定理的应用概念更清楚、计算更简便。因此,修订后的《应用力学基础》(第二版)特色更加鲜明,主要表现在:

第一,对原书中的语言进行了提炼和加工,叙述更加确切、通俗、易懂。

第二,修改并增加了部分插图,使插图更能反映文字所叙述的内容,图中的线条更加清晰,各种线条所表达的意思更加明确。

第三,增加了附表《杆件基本变形和强度条件》,对第七章至第十章中讲述的杆件的四种基本变形进行了小结和变形对比,以便学员从中掌握杆件各种变形的特点和强度条件,以及解决力学问题的思路和一般规律。

第四,对原书中有些偏难的习题进行了修改或删除。

本书由中国超高压输变电建设公司程宜主编,刘根发参编,西北电力建设第一工程公司汤毛志主审,中国超高压输变电建设公司刘锐参审。

由于时间仓促,水平有限,书中难免有疏漏和谬误之处,请读者批评指正。

作者

2004年8月



目 录

出版说明

前言

第一章 静力学基础知识	1
第一节 力的基本概念	2
第二节 力的基本性质	4
第三节 力矩与力偶	8
第四节 约束与约束反力	13
第五节 物体的受力分析	18
复习题	20
第二章 静力学基本定理	26
第一节 力的投影和合力投影定理	26
第二节 合力矩定理	30
复习题	31
第三章 平面力系的合成与平衡	33
第一节 共线力系的合成与平衡	33
第二节 平面汇交力系合成与平衡的图解法	34
第三节 平面汇交力系平衡的数解法	38
第四节 平面平行力系的平衡	43
第五节 平面一般力系的平衡	47
第六节 物体系统的平衡	51
复习题	55
第四章 摩擦	61
第一节 摩擦力的性质	61
第二节 考虑摩擦时物体的平衡问题	65
第三节 自锁	68
复习题	71

第五章 重心	77
第一节 重心	78
第二节 形心	84
复习题	88
第六章 静力学在工程中的应用	91
第一节 吊索受力分析	91
第二节 吊鼻受力分析	94
第三节 平面桁架的内力计算	97
第四节 杆塔吊装中的受力分析	106
复习题	117
第七章 直杆的拉伸与压缩	120
第一节 拉伸与压缩的概念	120
第二节 杆件拉(压)时的内力与应力	122
第三节 拉(压)杆的变形与虎克定律	127
第四节 常用材料拉(压)时的力学性质	130
第五节 拉(压)杆的强度条件	133
第六节 剪切和挤压的实用计算	137
第七节 焊缝的强度计算	140
复习题	142
第八章 圆轴扭转	149
第一节 圆轴扭转的概念	149
第二节 圆轴扭转时的内力	150
第三节 圆轴扭转时的切应力和强度条件	153
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	158
复习题	159
第九章 弯曲	163
第一节 平面弯曲的概念	163
第二节 梁的内力	165
第三节 梁的正应力和强度条件	172
第四节 提高梁弯曲强度的主要措施	179

第五节 梁的弯曲变形简介	185
复习题	186
第十章 压杆的稳定计算	192
第一节 压杆稳定的基本概念	192
第二节 细长压杆的临界力	193
第三节 压杆的稳定条件及其应用	195
第四节 提高压杆稳定性的措施	199
复习题	200
附录	203
附录一 复习题解答	203
附录二 杆件基本变形与强度条件	259
附录三 法定计量单位与旧工程计量单位换算	260
参考文献	261

静力学基础知识

物体在空间的位置随时间的改变，称为机械运动。机械运动是最简单的一种运动形式。然而自然界还有一种特殊的机械运动，即物体的平衡。如房屋、桥梁、输电线杆等，这些物体虽然同地球一起运动，但它们相对于地球来说，仍是处于静止状态。力学上把物体相对于地球处于静止或做匀速直线运动的状态称为平衡状态。

通常，当物体处于平衡状态时，并不是只受到一个力的作用，而是受到一群力的作用，如图 1-1 中的水桶、混凝土杆和小车。因此，把作用在同一个物体上的一群力，叫做力系。要使物体在力系的作用下平衡，力系必须满足一定的条件。静力学就是研究物体处于平衡状态时作用在物体上的力系的合成、分解，以及平衡的条件，从而解决生产中有关力学的问题。

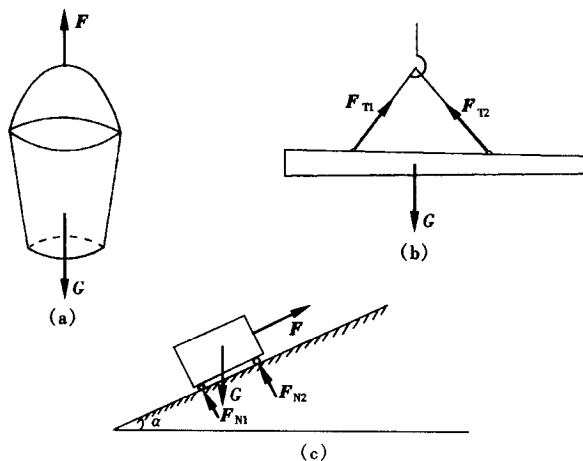


图 1-1 力系

第一节 力的基本概念

一、力

什么是力？力是怎样产生的？初学者往往会提出这些问题。

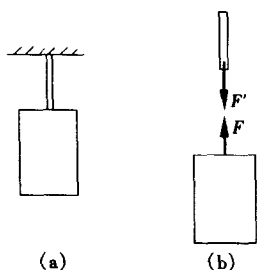


图 1-2 力是物体之间的
相互作用

最初，力这个概念是人们从日常生活和生产中感受到它的存在而产生的。如人推车前进，手提重物或拉弓箭箭，都要用力气，这些日常的推、提、拉等活动使肌肉紧张收缩，人们体会到了力的存在。后来，随着生产的发展，人们对力的认识又有所发展，认识到了物体与物体之间也同样可以产生力。如图 1-2 (a) 所示用绳子悬挂一个重物，绳子给重物一个向上的力 F ，同

时重物也给绳子一个向下的力 F' ，见图 1-2 (b)。这说明力是物体与物体之间的相互作用，当一个物体受到了力的作用时，必定有另一个物体对它施加了这种作用力。每个力都有它的受力物体与施力物体，力是不能脱离物体而独立存在的。

物体受到力的作用以后会产生什么效果？从日常生活中人们可以观察到，力可以改变物体的运动状态。如用力推小车，小车可以从静止到运动，也可以从运动到静止，还可以改变原来的速度和方向。此外，力还可以改变物体的形状。如用手拉弹簧，弹簧将被拉长（图 1-3）；将砖块推放在木板上，木板将被压弯。这种使物体运动状态发生变化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。在工程

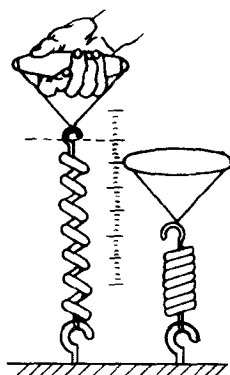


图 1-3 手拉弹簧

中，一般物体的变形是很小的，因此在研究物体的平衡问题时，暂时就认为物体受力后保持原来的几何形状和尺寸不变，即把物体看成是刚体（刚体是指在任何外力作用下都不发生变形的物体），从而使平衡问题的研究得以简化；当需要研究物体在力作用下的变形和破坏规律时，则应把物体看成是变形体。

二、力的三要素及图示法

力对物体的作用效果由哪些因素决定，现举一个用扳手拧紧螺母的例子来说明之。由图 1-4 可以看出：力 F 越大，拧紧螺母的效果越好；力 F 垂直于扳手柄作用时，效果比力 F 倾斜于扳手柄作用时要好；使用长柄的扳手比使用短柄的省力。以上三种情况说明，力是矢量，力对物体的作用

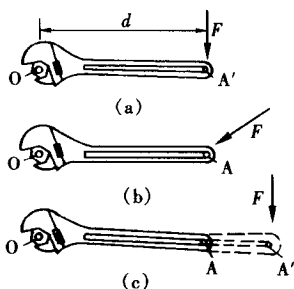


图 1-4 力的三要素

效果取决于力的大小、方向和作用点的位置，并且其中任一因素发生了改变，力对物体的作用效果也就跟着改变。这三个因素在力学上叫做力的三要素。

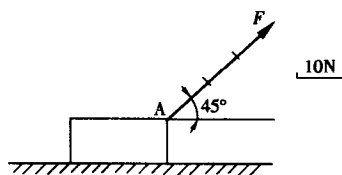


图 1-5 力的图示

为了明确而简便地把力的三要素表示出来，通常采用力的图示法，即用一根带箭头的线段来表示对物体的作用力。线段的长度按一定的比例画出，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。通过力的作用点沿力的方向所画的直线叫做力的作用线。图 1-5 是力 F 的图示。它表示力 F 的大小为 30N(牛)，作用在 A 点，方向与水平线成 45° 夹角。

在书写或印刷时，为了表示力是矢量，一般用黑体字母 F 、 G 等表示，相应非黑体字母 F 、 G 等则表示力的大小。

三、力的单位

为了度量力的大小，必须确定力的单位与数值。在法定计量

单位中，力的单位为 N（牛）或 kN（千牛）。旧工程计量单位中，力的单位为 kgf（千克力）或（t）吨力，习惯写成 kg（千克）或 t（吨）。N 与 kgf 的换算关系为

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

$$1\text{N} = 0.102\text{kgf}$$

第二节 力的基本性质

一、力的合成与分解

在力学计算中，经常会碰到求解合力和分力的问题。图 1-6 (a) 所示用两根绳子吊一重物的情况，也可用图 1-6 (b) 所示用一根绳子来代替。这里，绳 AD 对重物的作用与绳 AB、AC 共同对重物的作用是等效的。这就是说，作用在同一物体上的力系，如果用一个力来代替，可以不改变对物体的作用效果，这个力就叫做力系的合力，力系中各个力则叫做合力的分力。图 1-6 中 F_R 是 F_1 、 F_2 的合力， F_1 和 F_2 就是 F_R 的分力。由分力求解合力的过程叫做力的合成，由合力求解分力的过程叫做力的分解。

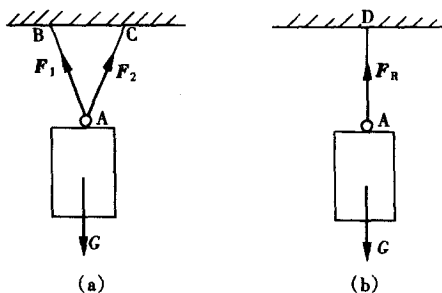


图 1-6 分力与合力

1. 力的合成

(1) 力的平行四边形法则。由于力是矢量，既有大小又有方向，因此求解合力时，决不能只是数量绝对值之间的相加减。通

过实验得知，作用在刚体上的两个力如果汇交于一点，则它们的合力与分力之间存在着平行四边形的关系，即这两个汇交力的合力的作用线通过两力交点，合力的大小和方向可以用以这两个分力为邻边的平行四边形的对角线来表示。如图 1-7 (a) 中的线段 OC 即代表 F_1 、 F_2 两力的合力 F_R 的大小和方向。这种作平行四边形求解合力的方法，叫做力的平行四边形法则。

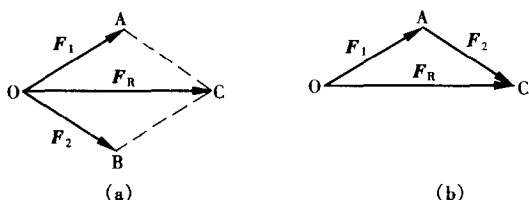


图 1-7 力的平行四边形法则和三角形法则

(2) 力的三角形法则。求合力时，可以只画平行四边形的一半，如图 1-7 (b) 所示，先从 O 点作 F_1 ，在 F_1 的终点 A 再作 F_2 ，连接 F_1 的起点 O 与 F_2 的终点 C 两点成矢量，便得合力 F_R 。由力 F_1 、 F_2 、 F_R 构成的三角形，叫做力三角形。这种求合力的作图法，叫做力三角形法则，写成公式为

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

式 (1-1) 中 F_R 是 F_1 和 F_2 的矢量和。它不仅决定于两个分矢量 F_1 和 F_2 的大小，而且与它们的方向有关。

2. 力的分解

力的分解与力的合成相反，力的分解是依据力的平行四边形法则（或三角形法则），用表示已知力的线段为平行四边形的对角线，作表示分力大小和方向的平行四边形的两邻边。由

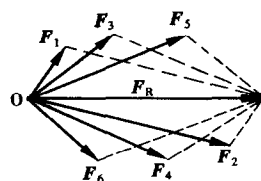
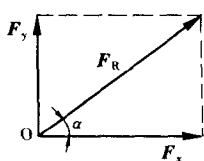


图 1-8 力的分解

此可以作出无数多个平行四边形，如图 1-8 所示。合力 F_R 可以分解为 F_1 和 F_2 ，也可以分解为 F_3 和 F_4 或 F_5 和 F_6 等等。

因此，合力分解时要得到唯一的解答，就必须给出其他限制条件，如给出两个分力的大小或方向，或一个分力的大小和方向。进行力的分解时，往往是有目的的，通常是将一个已知力沿直角



坐标轴 x 、 y 分解为两个互相垂直的分力 F_x 、 F_y (图 1-9)。 F_x 、 F_y 的大小可用三角公式求得

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_R \cos \alpha \\ F_y &= F_R \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

图 1-9 力的垂直分力

式中 α —— F_R 与 F_x 之间所成的夹角。

二、二力平衡条件

如果一个刚体受两个力的作用，且处于平衡状态，则此二力必须是大小相等 ($F_1 = F_2$)，方向相反，作用在同一直线上 (图 1-10)，这就是二力平衡的条件。

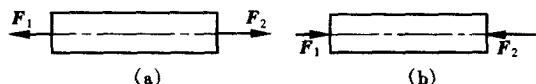


图 1-10 二力平衡条件

二力平衡条件是力系的平衡条件中最简单的一个条件，在分析实际结构的受力中有着广泛的应用。如图 1-11 (a) 所示，挂在桌面上的雨伞倾斜到一定角度时才静止不动，现用二力平衡条件来分析这个现象。雨伞挂在桌面上，共受两个力的作用。在 A 点受到桌面给它一个向上的支持力 F_N ，在雨伞本身的重心 C 点受地球对它的向下的吸引力，即重力 G ，见图 1-11 (b)，伞要维持平衡，只有 F_N 与 G 这两个力大小相等方向相反，

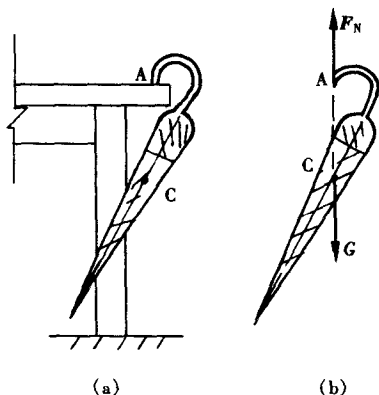


图 1-11 二力平衡实例

作用在同一直线上，所以伞要倾斜，直到力 F_N 与力 G 在同一铅垂线上为止，且 $F_N = G$ 。

工程中常见的铁塔、构架等是用一些杆件组合起来的，杆的两端用螺栓连接或焊接、铆接而成。若不考虑杆件的自重影响，那么只有两端受力。为了简化计算，往往当作二力平衡情况来处理。这种构件工程上叫做二力构件，如图 1-12 中的杆 BC、CD 和 EF 所示。

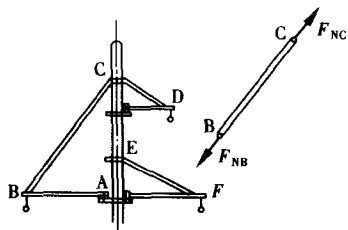


图 1-12 二力构件

三、三不平行力平衡汇交定律

如果刚体受到互不平行的三个力作用而平衡时，那么这三个力的作用线必汇交于一点。这就是三不平行力平衡汇交定律。

四、力的可传性

力的可传性就是作用在物体上某点的力，可以沿着它的作用线移动到物体内的任意一点而不改变力对物体的作用效果。如图 1-13 所示，人在车的后面用力 F 推车，与在车的前面用力 F 拉车，两者对车的作用效果是相同的。

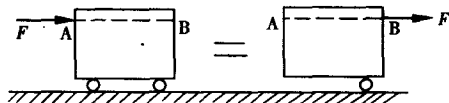


图 1-13 力的可传性

五、作用力与反作用力

力是物体间的相互作用，当甲物体对乙物体有力的作用时，

乙物体也同样对甲物体有力的作用。图 1-2 中，绳子给重物一个向上的拉力 F ，同时重物也给绳子一个向下的拉力 F' 。 F 与 F' 这一对力就叫做作用力与反作用力。作用力与反作用力总是同时存在、大小相等、方向相反，并且沿同一直线分别作用在两个物体上。如果在绳的两端分别装上两个弹簧测力计，就会测到两端的读数是相等的。

必须强调两点：第一，作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的，所以不能抵消。任何作用在同一个物体上的两个力都不是作用力与反作用力，不要与二力平衡概念混淆。第二，在分析一个物体的受力情况时，必须分清哪些是该物体所受的力，哪些不是该物体所受的力。一对作用力与反作用力中，只有一个力作用在该物体上。如图 1-14 所示，将球放在桌面上，球对桌面有一个压力 F_N ，桌面对球就有一个支持力 F'_N ，力 F_N 作用在桌面上，力 F'_N 作用在球上，大小相等、方向相反，且沿同一直线，故 F_N 与 F'_N 是一对作用力与反作用力。再分析球上的受力情况，球上受两个力的作用，即球的重力 G 与桌面对球的支持力 F'_N ，这两个力大小相等、方向相反，且沿同一直线同时作用在球上，故是一对平衡力。

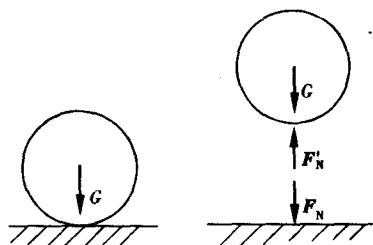


图 1-14 作用力与反作用力

第三节 力矩与力偶

在施工生产中，人们经常用到扳手、撬杠（图 1-15）、滑