

电力工业学校教材

工程力学

保定电力学校 张福智 主编

China Electric Power Press

中国电力出版社

电力工业学校教材

工 程 力 学

保定电力学校 张福智 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是电力工业学校“发电厂及变电站电气运行与检修专业”的通用教材。全书共分三篇。第一篇主要讨论物体的受力分析、力系的简化和平衡问题；第二篇主要讨论了四种基本变形的强度和刚度问题，并介绍了压杆稳定、动载荷和交变应力的知识；第三篇讨论了质点和定轴转动刚体的运动和动力学问题，并介绍了机械振动的基础知识。本书将中专物理的力学内容与传统的工程力学内容融为一体。

本书可作为相近专业的教学用书，还可作为职工培训教材和自学参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/张福智主编. -北京: 中国电力出版社,
1999.10

电力工业学校教材

ISBN 7-5083-0131-5

I. 工… II. 张… III. 工程力学-专业学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 43806 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>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 365 千字

印数 0001—3050 册 定价 16.50 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)

序

近年来,电力职业技术教育在结构改革过程中,创建了将中专和技校融为一体的新型办学模式——电力工业学校。与此同时,进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可缺的信息载体,其改革和建设必然是教学改革的重要部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果,推动改革持续深入发展,满足电力工业学校教学工作的急需,并促进教学质量不断提高,从1996年底开始,便着手组织力量进行教材改革的研究、探索和教材建设的安排部署,先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组,制订了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评估暂行办法》,组建了电力工业学校教材编审委员会,并于1997年末在电力职业技术教育委员会各教学研究会和网、省电力公司教育部门推荐的基础上,经过审议、遴选确定了此批电力工业学校一般教材的出版计划。

这批教材以明确的岗位和职业需要为依据,以能力培养为主线,以综合开发学生能力为目标,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,使理论同实践紧密结合,传授知识同培训技能紧密结合;精选教材内容,删繁就简,返璞归真,充实技术性、工艺性、实用性的内容,而且体现先进性和科学性的原则;注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化某些论证,减少不必要的数学推导;在内容的编排、组合上,一是最大限度地做到模块化,增强教材使用的灵活性,便于不同教学阶段,不同专业采用。二是使理论阐述同实践指导有机结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以实际训练为轴心,把讲授、实验、实习融为一体的教学方式;适应各校功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果,仍需再接再厉,继续深化教材改革,推进教材建设。预期经过几年的努力,会形成一套具有电力职业技术教育特色,以职业能力培养为主线,门类比较齐全,形式比较多样,并能与其他教育相衔接,兼顾职工培训需要的教材体系。

中国电力企业联合会教育培训部
电力职业技术教育委员会电气类专业教学研究会

2000年3月

前 言

工程力学是电力工业学校“发电厂及变电站电气运行与检修”专业的一门主要基础课程，是按照中国电力企业联合会教育培训部 1996 年 11 月颁发的教学计划（试行）和电气类专业教研会组织审定的教学大纲为依据进行编写的。

本书是电力工业学校的通用教材。编写本书时，力求贯彻电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路，力求贯彻以能力为本位的思想。本书具有如下特点：

（1）将中专物理的力学内容与传统的工程力学内容融为一体，力求贯彻“少而精”的原则，减少不必要的重复；

（2）为便于教师在教学中贯彻启发式教学原则，几乎在每节正文中都穿插有思考题；

（3）为了培养读者的分析问题和解决问题的能力，书中编写了较多的例题、思考题和习题；

（4）在不失严密性的前提下，力求文字通俗易懂、叙述清晰，便于读者自学。

总之，本书力求做到“便于教师教，便于学生学”。

本书由保定电力学校张福智主编，并编写了绪论、第一篇和第三篇；保定电力学校李军丽编写了第二篇。全书由哈尔滨电力学校李耀主审。

对于书中存在的缺点和不足之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2000 年 3 月

目 录

序

前言

绪论..... 1

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础..... 3

第一节 刚体和力 3

第二节 力的合成和分解 5

第三节 二力平衡及作用与反作用 7

第四节 三力平衡 9

第五节 约束和约束力 10

第六节 受力图的绘制 13

小结 16

思考题 17

习题 19

第二章 平面汇交力系 22

第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法 22

第二节 平面汇交力系合成的解析法 25

第三节 平面汇交力系平衡的解析条件及其应用 27

小结 30

思考题 31

习题 33

第三章 力矩和平面力偶理论 36

第一节 力矩、合力矩定理 36

第二节 力偶和力偶矩 37

第三节 平面力偶系的合成与平衡 39

小结 41

思考题 42

习题 43

第四章 平面一般力系 46

第一节 平面一般力系简化的解析法 46

第二节 平面一般力系平衡方程及其应用 49

第三节 滑动摩擦 54

第四节 考虑滑动摩擦时物体的平衡问题 57

小结	60
思考题	61
习题	62

第二篇 材 料 力 学

引言	65
第五章 轴向拉伸与压缩	68
第一节 外力、内力、截面法	68
第二节 横截面上的应力	71
第三节 变形及虎克定律	73
第四节 材料拉压时的力学性能	75
第五节 许用应力及强度条件	80
第六节 柔索	84
小结	86
思考题	87
习题	88
第六章 剪切和挤压	92
第一节 概述	92
第二节 强度计算	95
小结	97
思考题	98
习题	99
第七章 圆轴的扭转	101
第一节 外力、扭矩和扭矩图	101
第二节 横截面上的应力	104
第三节 强度计算	106
第四节 变形和刚度计算	108
小结	112
思考题	113
习题	114
第八章 直梁的平面弯曲	116
第一节 外力、剪力和弯矩	116
第二节 弯矩图	119
第三节 纯弯曲梁横截面上的应力	122
第四节 平面弯曲梁正应力的强度条件	127
第五节 梁的变形和刚度校核	130
小结	134
思考题	134
习题	135
第九章 压杆稳定	140

第一节 压杆稳定的概念及欧拉公式	140
第二节 欧拉公式的适用范围及经验公式	143
第三节 压杆的稳定校核	145
小结	149
思考题	149
习题	150
第十章 动载荷和交变应力概述	152
第一节 动载荷	152
第二节 交变应力	152
小结	156
思考题	157

第三篇 运 动 力 学

第十一章 点的直线运动	158
第一节 概述	158
第二节 速度、平均速度和瞬时速度	160
第三节 匀变速直线运动和加速度	162
第四节 匀变速直线运动三公式	164
第五节 自由落体运动	166
小结	168
思考题	169
习题	169
第十二章 点的平面曲线运动	171
第一节 自然法、运动方程、速度	171
第二节 自然法中平面曲线运动的加速度	173
小结	179
思考题	180
习题	181
第十三章 刚体的定轴转动	184
第一节 刚体定轴转动的描绘	184
第二节 转动刚体上角量与线量的关系	187
小结	191
思考题	192
习题	193
第十四章 质点动力学基础	195
第一节 牛顿三定律	195
第二节 质点动力学微分方程及其应用	198
小结	203
思考题	203
习题	204

第十五章 转动刚体动力学基础	206
第一节 定轴转动刚体动力学基本方程式、转动惯量	206
第二节 定轴转动刚体动力学基本方程式的应用	207
小结	210
思考题	211
习题	211
第十六章 功和机械能	213
第一节 功	213
第二节 功率和机械效率	217
第三节 质点的动能定理	220
第四节 重力势能、质点的机械能守恒定律	223
第五节 定轴转动刚体的动能定理	226
小结	229
思考题	231
习题	232
第十七章 机械振动基础知识	236
第一节 机械振动、简谐振动	236
第二节 单摆	239
第三节 受迫振动与共振	240
小结	242
思考题	243
习题	243
附录一 梁在简单载荷作用下的变形	245
附录二 型钢表	247
参考文献	251

绪 论

一、工程力学的任务和内容

辩证唯物主义观点认为，自然界的一切是由物质所构成的，而运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。运动形式是多种多样的，有简单的机械运动，有热、光、声、电磁等物理现象，有化学变化，有生命过程和人的思维活动等。由于物质运动的各种形式有其自己的特有规律，因此，对于这些特有规律的研究，就形成了各门不同的学科。

工程力学是结合工程实例研究物体机械运动（包括物体的变形）一般规律的科学。

所谓机械运动，就是指物体在空间的位置随时间的变化（包括构件的一部分相对另一部分的位置的变化）。车辆的行驶，机器的运转，地球绕太阳的运行，构件的变形等，都是机械运动的例子

工程力学包括以下三部分内容：

- （1）静力学，即研究作用在物体上力系的简化和平衡规律；
- （2）材料力学，即研究构件在外力作用下的变形规律；
- （3）运动力学，即研究物体运动的几何性质和物体的运动状态的变化与作用力之间的关系。

二、学好工程力学的三要素

1. “学”

工程力学是一门与工程实际密切联系的技术基础课。在现代生产的各个部门和电厂中，没有哪一项工程技术能离开工程力学。例如，汽轮机、发电机、水泵、起重机、机床等各种机械，它们都是由许多构件所组成的，当机械工作时，这些构件将受到外力的作用。因此，对机械的研究、使用和制造都是以力学理论为基础的。作为一名工程技术人员，在工作中必然会遇到许多力学问题，工程力学为解决这些工程问题提供了必要的力学基础知识和方法。专业基础课和专业课中，有许多内容涉及到力学知识，工程力学为这些内容提供了必要的力学基础。因此，要明确学习工程力学的重要性。

2. “思”

工程力学与其他科学一样，是人类认识和改造自然的结晶。力学的基本规律，是人们通过长期生产实践和无数次科学实验，经过综合、分析和归纳而总结出来的。因此，学习工程力学，必须注意理论联系实际，要善于观察和分析生活中的实例，要认真思考实验过程。

要思考和理解工程力学中的基本概念、公理、定理、定律、公式的实质和内涵。这是学好工程力学的关键。

对客观事物的假设和抽象化是工程力学的研究方法。要思考和理解假设和抽象化的本质和必要性。

3. “做”

要认真独立完成所布置的思考题和习题。回答思考题和习题的过程是复习、加深理解工程力学基本理论的过程，是工程力学理论联系实际的过程，是培养综合分析和解决问题的能力过程。因此，只有完成一定数量的思考题和习题，才能取得理想的学习效果。

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。它主要研究三类基本问题：

- (1) 物体的受力分析；
- (2) 力系的简化和合成；
- (3) 建立物体在各种力系作用下的平衡条件，并讨论这些平衡条件在工程上的应用。

平衡是物体机械运动的一种特殊状态。在一般的工程问题中，平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动时的状态。同时作用于同一物体上的一组力称为力系。能够使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。平衡力系必须满足的条件称为平衡条件。

静力学对于研究物体的运动和变形具有十分重要的意义。因为研究物体的运动和变形，都要知道物体上各种力的大小和方向，都要研究力系作用的总效果。例如，正在航行中的飞机受到推力、升力和空气阻力的作用，每个力对飞机的运动都有影响，这种影响可以用这些力的合力来代替。又如在发电机制造设计中要进行强度、刚度和稳定设计计算，也必须首先确定作用在发电机构件上力的大小和方向。因此，静力学是学习运动力学和材料力学以及其他一些专业课的基础。

第一章 静力学基础

教学目的：理解力和刚体的概念，掌握主要静力学公理和推论。掌握常见约束类型的约束力方向（或方位）的判定，熟练掌握单个物体和简单物系的受力图的绘制。

第一节 刚体和力

一、刚体的概念

所谓刚体是指在任何力系作用下，体内各点间的距离保持不变（即不变形）的物体。

自然界并无刚体存在。一切物体在力系作用下都要变形，只是变形程度的大小不同而已。在正常情况下，工程构件在力系作用下发生的变形是微小的，如发电机主轴，其最大挠度都在轴承间距的 0.5‰ 以下，最大的扭转角为每米轴长不超过 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。

当研究力的外效应时，若考虑构件的微小变形，将使问题复杂化。而略去变形，则可使问题大为简化。因此在静力学和运动力学中都把物体视为刚体。刚体是实际物体抽象化了的力学模型。

二、力的概念

在初中已经学过，力是物体对物体的作用。在自然界看到：列车受到机车的牵引，由静止开始运动，由慢到快；小球受到细绳的牵引，绕着圆心运动，运动的方向在不断地改变；弹簧在两个手的挤压下发生变形。列车、小球运动状态的改变以及弹簧的变形是因为它们分别受到机车、细绳和手的机械作用的结果。这种机械作用被称为力。因此，力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态和形状发生了改变。

每个力都有与之相关联的两个物体，一个是受到力作用的物体，称之为受力物体；另一个是施加这个力的物体，称之为施力物体。在分析物体受力时，首先应分清哪个是受力物体，哪个是施力物体。请思考：人的重力，其受力物体是谁？其施力物体是谁？

力的作用效果与哪些因素有关呢？如图 1-1 (a) 所示，一木箱放在光滑的水平面上，用一根绳子拉木箱，拉力的大小不同，显然物体的运动效果不同；如图 1-1 (b) 所示，拉力的大小相同，但方向不同，物体的运动效果也不同；如图 1-1 (c) 所示，力的大小、方向相同，而力的作用点不同，其物体的运动效果也不一样。由上述观察表明，力对物体的作用效果取决于力的大小、力的方向和力的作用点，它们被称为力的三要素。

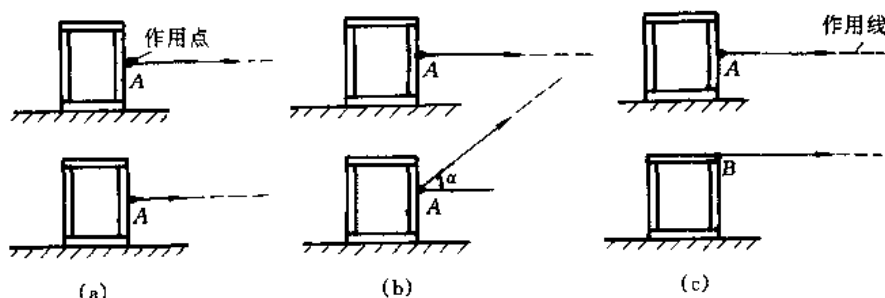


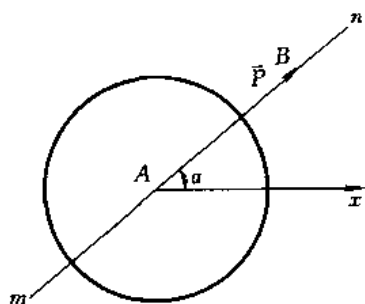
图 1-1 力的三要素讨论示意图

(a) 拉力大小不同，方向相同；(b) 拉力大小及作用点相同，方向不同；

(c) 拉力大小、方向及作用点均不同

象力这样既有大小，又有方向的物理量，通常被称为矢量。而只用数值大小就完全可以表示的物理量被称为标量。我们已学过的长度、质量和时间等物理量都是标量。

在几何图形中，力用带箭头的线段表示。如图 1-2 所示，线段 AB 的长度按一定的比例



表示力的大小，线段 AB 的起点 A (或终点 B) 表示力的作用点，由线段 AB 所确定的直线 mn 称为力的作用线，作用线与选定的 Ax 轴的夹角 α 表示作用线的方位，线段 AB 上的箭头表示力的指向，方位和指向共同表示了力的方向。在符号表示中，本书用 $\vec{P}$ 表示力， P 表示力的大小。

在我国法定计量单位中，力的单位为牛，用符号 N 表示，有时也用千牛为单位，符号为 kN 。

请思考：两个力相等的含义是什么？

图 1-2 力的三要素图示

第二节 力的合成和分解

一、二共点力的合成

物体常常受到几个力的作用。如果几个力共同作用所产生的效果可以用一个力来等效地代替，则这个力就叫做该几个力的合力，该几个力就叫做这个力的分力。

已知几个分力求其合力，叫做力的合成。本节仅讨论二共点力的合成。

先做一个橡皮筋实验，图 1-3 (a) 示出了橡皮筋 GE 在力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 的共同作用下，伸长了 EO 长度；图 1-3 (b) 示出了撤去外力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 后，用力 $\vec{R}$ 作用在橡皮筋上，使橡皮筋伸长到与图 1-3 (a) 所示相同的长度。显然，力 $\vec{R}$ 对橡皮筋产生的效果跟 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 共同作用时产生的效果相同，所以 $\vec{R}$ 是 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 的合力。

合力 $\vec{R}$ 跟 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 有什么关系呢？在 $\vec{R}$ 、 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 的方向上各作有向线段 $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 和 $\overline{OC}$ ，根据选定的标度使 $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 和 $\overline{OC}$ 的长度分别表示 $\vec{P}_1$ 、 $\vec{P}_2$ 和 $\vec{R}$ 的大小，如图 1-3 (c) 所示。将 AC 和 BC 连接起来，可以看出 $OABC$ 是一个平行四边形， OC 就是它的对角线。

根据以上结果，可以得到二共点力合成的普遍法则，即力的平行四边形法则（也称为力的平行四边形公理）：作用于物体上同一点的两个力的合力仍作用于该点，合力的大小和方向，由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线表示。

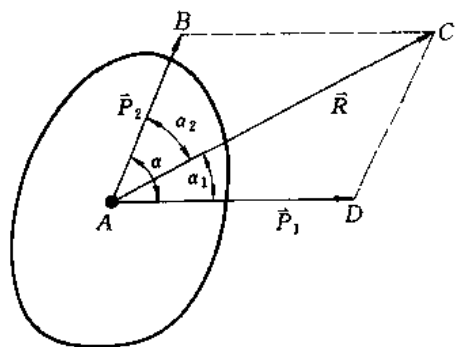


图 1-4 二共点力的合成

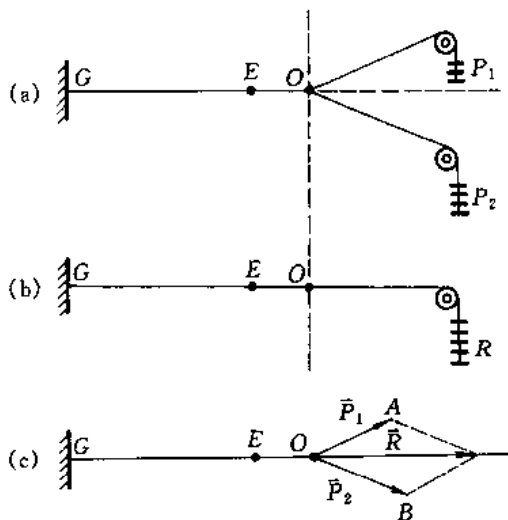


图 1-3 力的合成演示

(a) 由 P_1 、 P_2 分别作用；(b) 由 R 单独作用；

(c) 合成受力分析

这种合成方法称为矢量加法。对如图 1-4 所示的力 $\vec{P}_1$ 与 $\vec{P}_2$ 的合力 $\vec{R}$ 可用矢量式表示为

$$\vec{R} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \quad (1-1)$$

若已知 $\vec{P}_1$ 、 $\vec{P}_2$ 及其夹角 α ，可用作图法按比例作图，量出合力的大小 $\vec{R}$ 和 $\vec{R}$ 的方位角 α_1 。 $\vec{R}$ 的大小也可按余弦定理计算

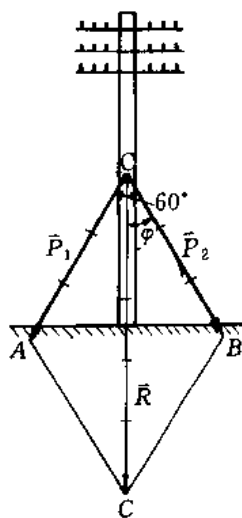
$$\begin{aligned} R &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1P_2\cos(180^\circ - \alpha)} \\ &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos\alpha} \end{aligned} \quad (1-2a)$$

合力 $\vec{R}$ 的方位角 α_1 (或 α_2) 可按正弦定理确定

$$P_1/\sin\alpha_2 = P_2/\sin\alpha_1 = R/\sin\alpha \quad (1-2b)$$

请思考：已知两分力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ ，其夹角为 0° 或 180° ，则合力 $\vec{R}$ 的大小等于多少？其方位角 α_1 又是多少？

【例 1-1】如图 1-5 所示，为了防止图示电线杆倾倒，常在它的两侧对称地拉上钢索。如果两条钢索间夹角是 60° ，每根钢索的拉力都是 300N，求这两根钢索对电线杆的合力。



解 [方法一] 作图法。取单位长度代表 100N 的力，准确作力的平行四边形，量得 $R=520\text{N}$ ， $\varphi=30^\circ$ 。

[方法二] 计算法。作力的平行四边形，由此得

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos 60^\circ} \\ &= \sqrt{300^2 + 300^2 + 2 \times 300 \times 300 \times 0.5} \\ &= 520(\text{N}) \end{aligned}$$

$$\sin\varphi = \frac{P_1\sin 60^\circ}{R} = \frac{300 \times 0.866}{520} = 0.5$$

所以 $\varphi=30^\circ$

二、力的分解

力的分解，就是将一已知力分解成两个 (或两个以上) 分力。所以力的分解是力的合成的逆运算，同样力的分解应遵守力的平行四边形法则。

显然，如果没有其他限制条件，对于同一条对角线，可以作出无数个不同的平行四边形。也就是说，同一个力可以分解为无数对大小、方向不同的分力，如图 1-6 (a) 所示。所以，要想得到确定的结果，则必须具备下列条件之一：

- (1) 已知二分力的方向，如图 1-6 (b) 所示；
- (2) 已知二分力中一个分力的大小和方向。

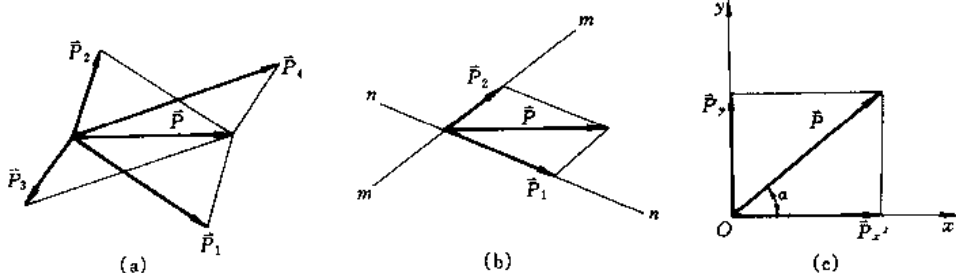


图 1-6 力的分解

在具体应用时，通常将一力沿两个互相垂直的方向分解，即所谓正交分解。其作法如图 1-6 (c) 所示，图中 $\vec{P}_x$ 和 $\vec{P}_y$ 分别是 $\vec{P}$ 的水平分力和垂直分力。因力 $\vec{P}$ 的大小和方向 (α 角和指向) 已知，所以分力的大小为

$$\left. \begin{aligned} P_x &= P \cos \alpha \\ P_y &= P \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

【例 1-2】电线的上端固定在天花板上，下端吊一盏拉力为 10N 的电灯，为了调节室内照明，用绳将灯拉至如图 1-7 (a) 所示的位置。求电线和水平绳上所受的拉力各是多少？

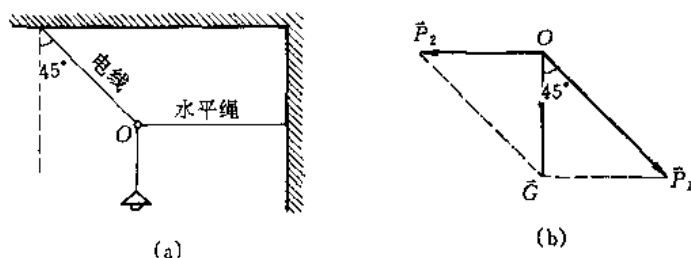


图 1-7 [例 1-2] 图
(a) 示意图；(b) 力的分解图

解 作力的平行四边形，如图 1-7 (b) 所示。由图得

$$P_2 = G = 10(\text{N})$$

$$P_1 = \sqrt{G^2 + P_2^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14.1(\text{N})$$

第三节 二力平衡及作用与反作用

一、二力平衡公理

由二共点力的合成得知，当两个大小相等、方向相反并在一直线上的力作用在同一个物体上，则其合力为零。如果物体仅受此二力作用，则物体一定处于平衡状态。当两个人用大小相等的力沿一直线水平相反方向推讲台时，讲台处于静止状态。如此反复观察，可得如下结论：作用于刚体上的二力使刚体平衡的必要和充分条件^❶ 是此二力大小相等、方向相反且作用于一直线。亦称之为二力平衡公理。如图 1-8 所示。

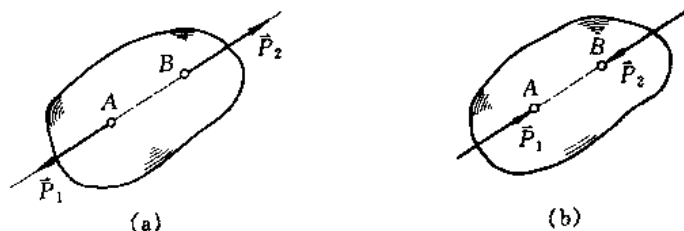


图 1-8 二力平衡
(a) 二力反向；(b) 二力同向

❶ 充分条件：甲、乙二事件，如甲成立时，乙必定成立，称甲为乙的充分条件。必要条件：甲不成立时，乙必定不成立，称甲为乙的必要条件。

对于刚体而言，上述条件既是必要的，又是充分的。而对于非刚体而言，这个条件只是必要条件而非充分条件。例如，软绳受两个等值反向的压力作用时，就不能保持平衡。

在两个力作用下处于平衡的物体，称为二力体。如果物体是杆件，被称为二力杆。

请思考：

(1) 水平地面上静置的木箱，只受重力和支持力的作用，则重力和支持力是什么关系？

(2) 如图1-9所示，曲杆在A、B二点分别受一个力的作用而平衡，请在图中画出此二力。

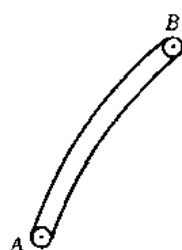


图 1-9 二力曲杆

二、作用与反作用公理

当我们用手拍桌子时，手给桌子一个作用力，而手也会感到疼痛。水杯掉在水泥地上，水杯给地面一个作用力，而杯子也会碰坏。无数事实说明，物体间的作用是相互的，若甲物体对乙物体有力的作用，则乙物体同时对甲物体也有力的作用。物体间相互作用的这一对力叫做作用力和反作用力。

下面我们做一个简单实验。A和B两个弹簧秤相互钩住，弹簧秤A的另一端固定在墙上，用手拉着弹簧秤B的另一端，如图1-10所示。我们会看到，两弹簧在同一直线上，读数会随拉力的增大而增大，而两弹簧秤的读数始终相等。

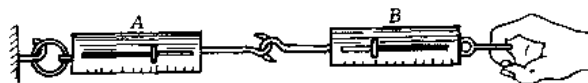


图 1-10 作用与反作用演示

以上实验说明：两物体间的作用力与反作用力，总是大小相等、方向相反、沿同一直线，且分别作用在此二物体上的。这就是作用与反作用公理。

必须注意，作用力和反作用力不是作用在同一物体上，而是分别作用在两个相互作用的物体上。因此，对于每一个物体来说，不能将作用力和反作用力看成是一对平衡力。

请思考：图1-11中分别表示了电灯、绳索和天花板的受力情况。其中 $\vec{G}$ 为电灯的重力，绳索的质量不考虑。请指出，哪两个力互为二平衡力？哪两个力互为作用力与反作用力？

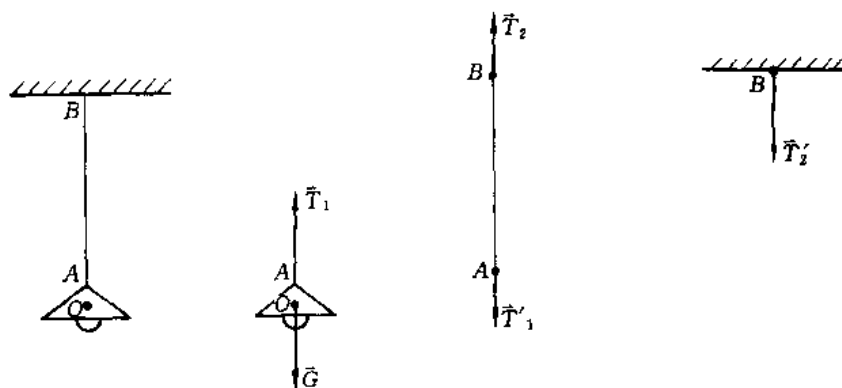


图 1-11 吊灯的受力图