

新版

全国海船船员适任考试培训教材

# 轮机工程基础

(下册)

 中国海事服务中心组织编审



大连海事大学出版社  
Dalian Maritime University Press



人民交通出版社  
China Communications Press

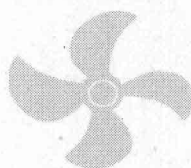
**新版**

全国海船船员适任考试培训教材

# 轮机工程基础

(下册)

中国海事服务中心组织编审



大连海事大学出版社

人民交通出版社

© 任福安,王名涌 2008

图书在版编目(CIP)数据

轮机工程基础.下册 / 任福安,王名涌主编. —大连:大连海事大学出版社;北京:人民交通出版社,2008.5

全国海船船员适任考试培训教材  
ISBN 978-7-5632-2155-4

I. 轮… II. ①任…②王… III. 轮机—技术培训—教材 IV. U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 065912 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连天正华延彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:17.5

字数:440千 印数:1~5000册

责任编辑:苏炳魁 版式设计:诚峰

封面设计:王艳 责任校对:书严

ISBN 978-7-5632-2155-4 定价:45.00元

# 前 言

《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》(简称 04 规则)已于 2004 年 8 月 1 日生效,新的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》也自 2006 年 2 月 1 日实施。为了更好地帮助、指导船员进行适任考前培训和进一步提高船员适任水平,在交通部海事局的领导下,中国海事服务中心组织全国有丰富教学、培训经验和航海实际经验的专家共同编写了与《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》相适应的培训教材。本教材的编写将改变长期以来船员适任培训使用本、专科教材的现状,消除由于教材版本众多所造成知识内容上存在的混淆和分歧,对今后的船员适任培训具有重要的指导意义。

本套教材知识点紧扣考试大纲,具有权威、准确、系统、实用的特点,重点突出船员适任考前培训和航海实践需掌握的知识,旨在培养船员在实践中应用知识的能力,并可作为工具书为船员上船工作使用。本套教材在着重于航海实践的同时,紧密结合现代船舶的特点,考虑到将来有关船舶技术的发展,教材内容涉及到最新的航海技术,与时俱进,进一步拓展船员的知识层次。

本套教材由航海学、船舶值班与避碰、航海气象与海洋学、船舶操纵、海上货物运输、船舶结构与设备、船舶管理(驾驶)、船长业务、航海英语、轮机英语、轮机长业务、轮机工程基础、主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理(轮机)组成。

本套教材在编写、出版工作中得到中华人民共和国海事局、各航海院校、海员培训机构、航运企业、人民交通出版社、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

中国海事服务中心  
2008 年 2 月

## 编者的话

《轮机工程基础》是根据中华人民共和国海事局制定的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》而编写的,其内容符合 STCW 公约,全面覆盖中华人民共和国海事局新修订的考试大纲内容。

《轮机工程基础》内容贯彻理论联系实际和少而精的原则,既参考了以往各类考证教材,又注重最新知识的补充,做到由浅入深,具有系统性、实用性的特点,便于自学。

《轮机工程基础》分上、下两册。上册作为参加管理级轮机员适任考试用书,内容包括:工程热力学、传热学、理论力学、机械振动、材料力学、流体力学和金属材料及其工艺等基本知识。下册作为参加操作级轮机员适任考试用书,内容包括:力学基础、金属材料及其工艺、机械制图基础、机械制图、仪表与量具、单位及单位换算和机构与机械传动等基本知识。

本书由大连海事大学任福安教授、青岛远洋船员学院王名涌副教授主编,任福安教授统稿。参加编写的还有杨华、严春吉、金蓉、李香琪、王守旭、陈爱玲等(排名不分先后)。中国海事服务中心考试中心黄党和、上海远洋运输公司海事培训中心龚卫清参与了主要审定工作。

编者在编写过程中参阅了大量的相关教材、教辅参考书及技术手册、图片等资料、文献,在此向原作者致以衷心的感谢。如有不敬之处,恳请见谅。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,欢迎使用者批评指正。

编者

2008年2月

# 目 录

第一章 力学基础	1
第一节 理论力学的基本概念	1
第二节 机械振动的基本概念	12
第三节 材料力学的基本概念	15
第二章 金属材料及其工艺	24
第一节 金属材料的性能	24
第二节 钢的热处理	32
第三节 常用材料	62
第四节 轮机主要零件的材料	86
第五节 船体结构和设备的材料	93
第三章 机械制图基础	96
第一节 投影的基本知识	96
第二节 物体的三视图	100
第三节 面与线的投影	101
第四节 基本体的投影、截切和相交	107
第五节 组合体的视图	117
第六节 视图的尺寸标注	124
第七节 物体的表达方法	129
第四章 机械制图	140
第一节 标准件和常用件	140
第二节 零件图	152
第三节 装配图	163
第五章 仪表与量具	169
第一节 温度计	169
第二节 压力表的种类、工作原理及应用	172
第三节 转速表的种类、工作原理及应用	175
第四节 流量计的种类、工作原理、特点及应用	177
第五节 比重计的工作原理、特点及应用	179
第六节 湿度计的种类、工作原理、特点及应用	180
第七节 盐度计的工作原理及应用	181
第八节 游标卡尺的原理、读法及使用	182
第九节 千分尺的原理、读法及使用	185
第六章 单位及单位换算	187
第一节 国际单位制中的常见单位、法定计量单位	187
第二节 轮机工程中常用的国际单位与工程单位、英制单位的换算	188

第七章 机构与机械传动.....	193
第一节 平面连杆机构.....	193
第二节 凸轮机构.....	198
第三节 间歇运动机构的组成、应用及特点 .....	204
第四节 摩擦轮传动.....	208
第五节 带传动.....	212
第六节 链传动.....	219
第七节 齿轮传动.....	222
第八节 蜗轮蜗杆传动.....	233
第九节 液力传动.....	237
练习题 .....	244
参考文献.....	269

88 .....	林林林林林林林林 第四卷
89 .....	林林林林林林林林 第五卷
90 .....	林林林林林林林林 第三卷
91 .....	林林林林林林林林 第一卷
100 .....	林林林林林林林林 第二卷
101 .....	林林林林林林林林 第三卷
102 .....	林林林林林林林林 第四卷
111 .....	林林林林林林林林 第五卷
121 .....	林林林林林林林林 第六卷
129 .....	林林林林林林林林 第七卷
140 .....	林林林林林林林林 第四卷
141 .....	林林林林林林林林 第一卷
152 .....	林林林林林林林林 第二卷
153 .....	林林林林林林林林 第三卷
160 .....	林林林林林林林林 第五卷
169 .....	林林林林林林林林 第一卷
172 .....	林林林林林林林林 第二卷
173 .....	林林林林林林林林 第三卷
177 .....	林林林林林林林林 第四卷
179 .....	林林林林林林林林 第五卷
180 .....	林林林林林林林林 第六卷
181 .....	林林林林林林林林 第七卷
182 .....	林林林林林林林林 第八卷
183 .....	林林林林林林林林 第九卷
184 .....	林林林林林林林林 第十卷
187 .....	林林林林林林林林 第六卷
188 .....	林林林林林林林林 第七卷
188 .....	林林林林林林林林 第八卷



# 第一章 力学基础

## 第一节 理论力学的基本概念

世界上一切物质都在运动,运动是物质的固有属性,是物质的存在形式。虽然运动的形式多种多样,但最简单的运动形式是物体只有位置变化的机械运动。理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科,主要内容通常分为三部分,即静力学(研究力的性质、力系的简化及平衡规律)、运动学(研究物体的机械运动规律但不涉及物体运动的原因)和动力学(研究物体机械运动的变化与所受的力之间的关系)。

本节介绍静力学的基本概念、静力学公理、约束和约束反力及物体的受力分析等内容。

### 一、静力学的基本概念

#### 1. 刚体及平衡与运动

##### 1) 刚体

理论力学所研究的物体仅限于刚体。

所谓刚体是指无论受到什么样的力作用绝对不发生变形的物体。换句话说,刚体是指在任何情况下,其体内任意两点间距离都不会改变的物体。

严格地说,绝对不变形的刚体在客观上是不存在的,即使是坚硬的钢铁,在力的作用下也总要或多或少发生不同程度的变形。但是,这种微小的变形对平衡问题的研究影响不大,可以忽略不计;同时,把受力物体假定为刚体,就能使理论力学所研究的问题大为简化。

##### 2) 平衡与运动

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡问题。

所谓物体的平衡,是指物体相对于周围物体保持静止或做匀速直线运动。

世界上一切物质都在运动,运动是物质的固有属性。刚体的运动有两种基本的运动形式,即刚体的平动和定轴转动。

刚体在运动过程中,若刚体上任一直线始终与原来的位置保持平行,则刚体的这种运动称为刚体的平行移动,简称平动。

刚体在运动过程中,若刚体内(或延伸部分)某一直线始终保持不动,则刚体的这种运动称为刚体的定轴转动。那条保持不动的直线称为固定转轴。

虽然刚体的运动形式是多种多样的,但无论刚体的运动形式怎样复杂,都可以看成是这两个基本运动形式的组合。

平衡是物体运动的一种特殊情况。对于某一物体的平衡状态,必须指明它是相对于周围哪一物体而言的。目前,我们所讨论的平衡,一般都是指相对于地球的平衡。

#### 2. 力的概念

##### 1) 力的含义

力是力学中的一个基本量。





力的概念是人们通过长期的生产实践和观察、分析、总结,逐步形成和建立的科学概念。自然界的物体并非各自孤立,而是相互联系和影响的。物体与物体之间的相互作用表现出力的现象。

所谓力有如下的含义:

(1)力是物体间的相互作用

力不能脱离物体而存在,没有物体也就没有力。“相互作用”意味着至少存在两个以上的物体。分析物体间的作用力时,必须分清哪一个是受力的物体,哪一个是施力物体。

(2)力是物体运动状态发生变化的原因

物体由静止到运动,由运动到静止;或物体的运动方向发生变化;或物体速度的大小和方向都发生变化,这些都称为运动状态发生变化。在运动状态发生变化的过程中,物体必定受到力的作用。

(3)力是物体形状发生变化的原因

任何物体受到力作用都要发生变形。比如用力拉或压弹簧,弹簧就会伸长或缩短。这是因为物体受力后,其内部任意两点之间的距离将发生变化而使物体形状发生变化。

2)力的效应

力使物体的运动状态发生改变以及力使物体发生变形,称为力的效应。其中,力使物体的运动状态发生改变的效应,称为力的外效应;而力使物体发生变形的效应,则称为力的内效应。

3)力的三要素

实践表明,力对物体的作用效应,取决于三个因素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点,通常称为力的三要素。

在力的三要素中,只要其中任何一个要素发生改变,都能改变力对物体的作用效果。例如推开门,力的大小不同,或力的方向不同,或力的作用点不同,其作用效果都是不一样的。

力的等效条件是力的三要素均相同。

力是一个既有大小又有方向和作用点的物理量,因此,力是矢量(或称向量),是定位矢量。在力学中,矢量可用一条具有方向的线段表示,如图 1.1-1 所示。用线段的起点或终点表示力的作用点,用线段的方位和箭头指向表示力的方向,用线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小。通过作用点沿力方向的直线,称为力的作用线。力的矢量可用粗体字母(如  $\mathbf{F}$ )表示,或用带箭头的字母(如  $\vec{F}$ )表示,而力的大小则用普通字母(如  $F$ )表示。力在国际单位制中的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

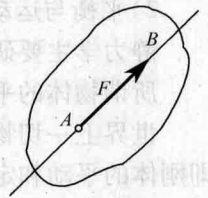


图 1.1-1 力矢量

如果力的作用范围在一定条件下可简化为一个点,这种力就称为集中力。若力的作用面积较大,力就不能看成是作用在某一点上,不能用集中力来表示,这种力称为分布力。

4)工程上常见的力

物体之间的相互作用形式是多种多样的,因此力也有很多种。自然界中存在着由各种不同物理原因所产生的力,如万有引力、带电体间的吸引力和排斥力、气体和液体的压力等等。工程上常见的力主要有以下三种:

(1)重力

重力是万有引力的一种,是地球吸引物体而产生的力。物体所受重力的大小就是物体的重量,其方向竖直向下,指向地心。重力的作用点就是物体的重心。



## (2) 弹力

两个物体相互接触并发生弹性变形时,将会产生一种恢复原来形状的作用力,这种作用力称为弹力。弹力的方向总是与使物体发生变形的的外力方向相反;在弹性限度内,变形越大,弹力越大;变形越小,弹力越小;变形消失,弹力就消失。

## (3) 摩擦力

相互接触的物体之间,有相对运动或有相对运动的趋势时,则接触面上就有摩擦力。摩擦力的方向,永远沿着接触面的切线方向,跟物体运动方向或相对运动趋势相反,阻碍物体间的相对运动。

## 5) 力系

同时作用在物体上的一群力,称为力系。

在力系中,所有力的作用线汇交于一点的力系,称为汇交力系;所有力的作用线相互平行的力系,称为平行力系;所有力的作用线既不汇交于一点,也不全部相互平行的力系,称为一般力系(或称任意力系)。

在力系中,所有力的作用线均在同一平面内的力系,称为平面力系;所有力的作用线不全部在同一平面内的力系,称为空间力系。空间力系是最一般的力系。

如果某一力系作用在物体上,使物体处于平衡状态,则这个力系称为平衡力系。若一个力系对物体的作用可用另一个力系代替,而不改变原力系对物体的作用效果,则这两个力系称为等效力系。

如果一个力与一个力系等效,则这个力称作这个力系的合力。力系中的各力叫做这个力的分力。

## 3. 力矩的概念

### 1) 力矩的定义

如图 1.1-2 所示,用扳手转动螺母时,作用于扳手一端的力  $F$  使扳手绕  $O$  点转动,其转动效果不仅与力  $F$  的大小有关,而且还与  $O$  点到力  $F$  作用线的垂直距离  $d$  有关。因此,在力学中以乘积  $F \cdot d$  作为量度力  $F$  使物体绕  $O$  点转动效应的物理量,这个量称为力  $F$  对  $O$  点之矩,简称力矩,以符号  $M_o(F)$  表示,即

$$M_o(F) = \pm Fd$$

式中, $O$  点称为力矩中心(简称矩心); $O$  点到力  $F$  作用线的垂直距离  $d$  称为力臂。

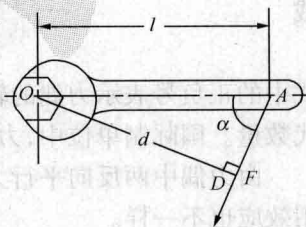


图 1.1-2 力矩

平面内,力对点之矩,只取决于力矩的大小及旋转方向,由此可得平面力系中力对点之矩的定义如下:力对于一点之矩是一个代数量,其大小等于力的大小与该点到力作用线的垂直距离的乘积。其正负号规定为:力使物体绕矩心逆时针转动为正;反之为负。力矩的国际制单位是牛顿·米( $N \cdot m$ )或千牛顿·米( $kN \cdot m$ )。

### 2) 力矩的性质

从力矩的定义可知:

- (1) 力  $F$  对  $O$  点之矩不仅取决于力  $F$  的大小,同时还与矩心的位置有关;
- (2) 力  $F$  对任一点之矩,不会因该力沿其作用线移动而改变,因为此时力和力臂的大小均未改变;
- (3) 力  $F$  的作用线通过矩心时,力矩等于零;



(4) 互成平衡的一对力对同一点之矩的代数和等于零。

#### 4. 力偶的概念

力偶也是力学中的一个基本量。

##### 1) 力偶的定义

由大小相等、方向相反、作用线平行但不共线的两个力所组成的力系,称为力偶。例如,拧水龙头时,人手作用在其上的两个力  $F$ 、 $F'$  就是力偶,如图 1.1-3 所示;汽车司机用双手操纵方向盘时,作用于方向盘上的两个力  $F$ 、 $F'$  也是力偶,如图 1.1-4 所示。

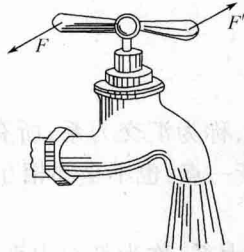


图 1.1-3 水龙头

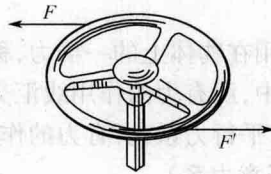


图 1.1-4 方向盘

##### 2) 力偶的三要素

在力偶的作用面内,力偶使物体产生纯转动的效应,转动效果取决于力偶的转向与力偶两反向平行力的大小和它们之间的距离。两力作用线间的距离称为力偶臂。因此,在力学中以力的大小  $F$  与力偶臂  $d$  的乘积作为度量力偶对物体的转动效应的物理量,这个量称为力偶矩,以符号  $M(F, F')$  或  $M$  表示,即

$$M(F, F') = \pm Fd$$

或

$$M = \pm Fd$$

式中的正负号表示力偶的转向,规定逆时针为正,顺时针为负。由此可见,在平面内,力偶矩是代数量。国际制单位中,力偶矩的单位是牛顿·米( $N \cdot m$ )或千牛顿·米( $kN \cdot m$ )。

由力偶中两反向平行力的作用线所组成的平面,叫力偶作用面,如作用面不同,力偶的作用效应也不一样。

综上所述,力偶对物体的作用效应,取决于下列三要素:① 力偶矩的大小;② 力偶的转向;③ 力偶的作用平面。以上三要素称为力偶的三要素。

##### 3) 力偶的等效条件

力偶没有合力,不能用一个力来平衡,只能用另一个力偶来平衡。也就是说,力偶不能与力等效,只能与另一个力偶等效。而在同一平面内,转向相同的力偶对物体的转动效应又完全取决于力偶矩,而且与矩心的位置无关。所以,在同一平面内的两个力偶,只要它们的力偶矩大小相等,转动方向相同,则两力偶必等效,这就是平面力偶的等效定理。

如图 1.1-5(a) 所示,作用在方向盘上的力偶  $(F_1, F'_1)$  与  $(F_2, F'_2)$ ,虽然它们的作用位置不同,但如果它们的力偶矩大小相等、转向相同,则对物体的作用效应就一样。又如图 1.1-5(b) 所示,作用在攻丝扳手上的力偶  $(F_1, F'_1)$  与  $(F_2, F'_2)$ ,虽然  $F_1$  不等于  $F_2$ ,  $d_1$  不等于  $d_2$ ,但若两个力偶矩相等,  $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$ ,则它们对物体的作用效应就相同。

总之,力偶的等效条件为:力偶的三要素均相同。

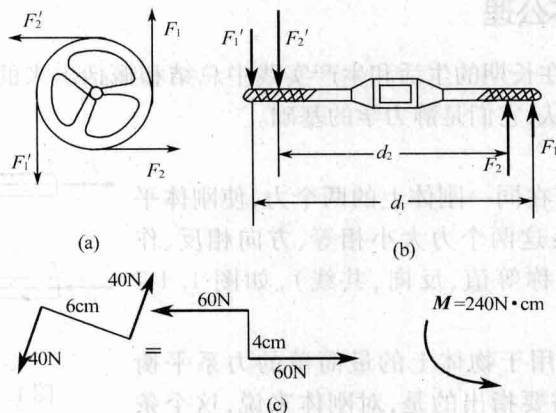


图 1.1-5 力偶

#### 4) 力偶的基本性质

力偶有如下基本性质:

(1) 力偶无合力, 即力偶不能与一个力等效, 力偶只能与力偶等效, 力偶对物体只有单纯改变旋转运动的作用, 而无平移作用。

(2) 力偶对物体的作用效应仅仅取决于力偶的三要素, 而与力偶的作用位置无关, 即力偶可在作用平面内任意移动。

(3) 在力偶三要素不改变的条件下, 可以任意选定组成力偶的两个等值、反向、平行力的大小或力偶臂的长短, 如图 1.1-5(c) 所示。

#### 5) 力偶矩矢

对于空间力偶问题, 由于各力偶作用面在空间的方位不同, 力偶矩就不能用代数数量而必须用矢量来表示, 称为力偶矩矢。力偶矩矢垂直于力偶作用面即沿力偶作用面的法线方向, 指向按右手螺旋法则确定: 以蜷曲的四指表示力偶在其作用面内的转向, 伸直的拇指为力偶矩矢的指向, 它的模等于力偶矩的大小。用  $M$  表示力偶矩矢, 如图 1.1-6 所示, 它等于由  $B$  点指向  $A$  点的  $r_{AB}$  与  $F$  力的叉积, 即

$$M = r_{AB} \times F$$

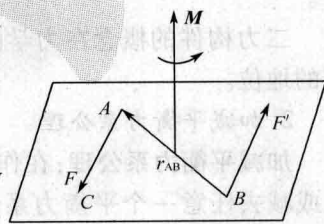


图 1.1-6 力偶与力偶矩矢

#### 6) 力偶系

同时作用在物体上的一群力偶, 称为力偶系。

在力偶系中, 所有力偶的作用面均在同一平面内的力偶系, 称为平面力偶系; 所有力偶的作用面不全部在同一平面内的力偶系, 称为空间力偶系。

如果某一力偶系作用在物体上, 使物体处于平衡状态, 则这个力偶系称为平衡力偶系。若一个力偶系对物体的作用可用另一个力偶系代替, 而不改变原力偶系对物体的作用效果, 则这两个力偶系称为等效力偶系。

如果一个力偶与一个力偶系等效, 则这个力偶称作这个力偶系的合力偶。

## 二、静力学的基本公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中总结和概括出来的。这些公理简单明确、无需证明而为大家所公认,它们是静力学的基础。

### 1. 二力平衡公理

**二力平衡公理:**作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的充分必要的条件是:这两个力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上(简称等值、反向、共线),如图 1.1-7 所示。

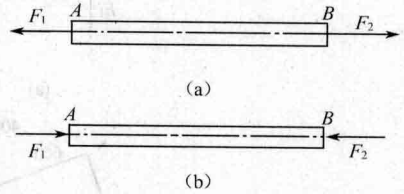


图 1.1-7 二力平衡公理

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系平衡时,必须满足的条件。需要指出的是,对刚体来说,这个条件是必要且充分的;但对于变形体来说,这个条件仅是必要条件,不是充分条件。例如图 1.1-8 所示船舶吊杆的钢丝绳,在起吊重物时,钢丝绳受两个等值反向的拉力可以平衡,当受到两个等值反向的压力时,就不能平衡了。

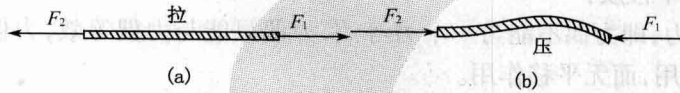


图 1.1-8 船舶吊杆的钢丝绳

**二力构件:**只在两个力作用下处于平衡的构件,称为二力构件(或二力杆)。这种情况在工程实际中经常遇到。二力构件的受力特点是,两个力必在作用点的连线上。如图 1.1-9 所示,结构中的杆件  $BC$  在不计自重的情况下,就只受力  $F_B$  和  $F_C$  的作用, $BC$  杆就称为二力构件。

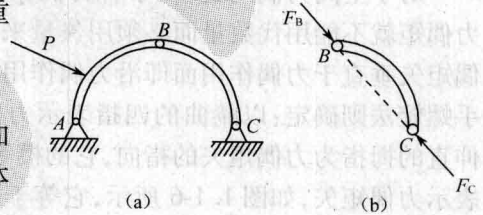


图 1.1-9 二力构件

二力构件的概念在力学的受力分析中处于相当重要的地位。

### 2. 加减平衡力系公理

**加减平衡力系公理:**在作用于刚体上的力系中,加上或减去任意一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。

因为一个平衡力系中的各力对刚体作用的总效果为零,所以它不能改变刚体的平衡或运动状态。

应用加减平衡力系公理可以得到一个重要推论——**力的可传性原理:**作用于刚体上的力,可以沿其作用线移至刚体上任意一点,而不改变它对刚体的作用效果。并由此可知:作用于刚体上的力是滑动矢量。但是,必须指出,力的可传性原理只适用于刚体,而不适用于变形体。如图 1.1-10(a)所示的变形杆  $AB$ ,受到等值、反向、共线的拉力作用,杆被拉长。如果把这两个力沿作用线分别移到杆的另一端,如图 1.1-10(b)所示,此时杆就被压短。显然,对变形体而言,力的可传性原理并不适用。

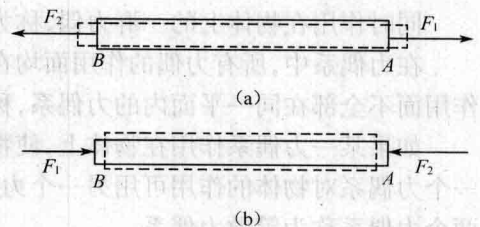


图 1.1-10 变形杆

应用加减平衡力系公理还可以得到一个重要的定理——**力的平移定理:**作用在刚体上的



力可以平行移动到刚体上的任一点,但必须同时附加一个力偶,其力偶矩等于原来的力对平移点之矩。

设有一个力  $F$  作用在刚体的  $A$  点处,如图 1.1-11(a) 所示。在刚体上任取一点  $B$ ,在  $B$  点加上大小相等、方向相反、而且与  $F$  力平行的两个力  $F'$  和  $F''$ ,并使  $F = F' = F''$ ,如图 1.1-11(b) 所示。显然,力系  $(F, F', F'')$  与力  $F$  是等效的。但力系  $(F, F', F'')$  可看做是一个作用在  $B$  点的力  $F'$  和一个力偶  $(F, F'')$ 。于是原来作用于  $A$  点的力  $F$ ,现在被一个作用于  $B$  点的力  $F'$  和一个力偶  $(F, F'')$  所代替,如图 1.1-11(c) 所示。

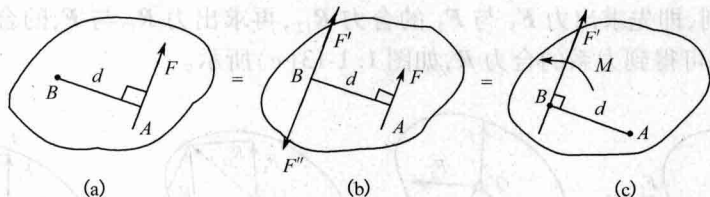


图 1.1-11 力的平移定理

也就是说,可以把作用于刚体  $A$  点上的力  $F$  平移到  $B$  点,但必须同时附加一力偶,此附加力偶的力偶矩为

$$M = Fd$$

而乘积  $Fd$  又是原力  $F$  对  $B$  点之矩,即

$$M_B(F) = Fd$$

因此得

$$M = M_B(F)$$

即力向一点平移时,所得附加力偶矩等于原力对平移点之矩。

力的平移定理是一般力系的简化基础。但需要注意,力的平移定理只适用于刚体,不适用于变形体。

### 3. 力的平行四边形法则

**力的平行四边形法则:**作用在物体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点一个合力,合力的大小和方向是以这两个力矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

力的平行四边形法则是力系简化的重要基础。平行四边形法则是力的合成法则,也是力的分解法则。应用力的平行四边形法则也可以将一个力分解为两个力。

如图 1.1-12(a) 所示,设物体上有两个力  $F_1$  和  $F_2$  作用于  $A$  点。根据力的平行四边形法

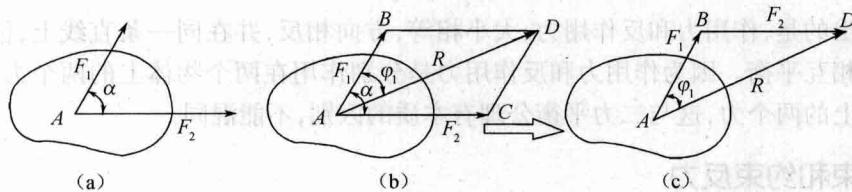


图 1.1-12 两个汇交力的合力

则得知,其合力  $R$  的大小与方向由力  $F_1$  和  $F_2$  为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 1.1-12(b) 所示,合力的矢量表达式为

$$R = F_1 + F_2$$

这里的“+”是表示按平行四边形法则相加的矢量加法。

为简便起见,图 1.1-12(b)中可省略  $AC$  和  $CD$ ,从留下的三角形  $ABD$  即可获得合力  $R$  的大小与方向,如图 1.1-12(c)所示。于是,可在  $F_1$  力末端  $B$  平行地画上  $F_2$ ,再将  $F_1$  的始端  $A$  与  $F_2$  的末端  $D$  相连, $AD$  即为合力  $R$ ,这种求合力的作图规则称为力的三角形法则。

若有多个力同时作用在物体的某一点时,可以连续应用力的平行四边形法则,以确定这多个力的合力。对于刚体,也可以连续应用力的平行四边形法则确定汇交力系的合力。

如图 1.1-13(a)所示,刚体上作用有  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  和  $F_4$  四个力组成的平面汇交力系,根据力的可传递性原理,可将各力沿其作用线移动到汇交点  $O'$  点,如图 1.1-13(b)所示,然后连续应用平行四边形法则,即先求出力  $F_1$  与  $F_2$  的合力  $R_{12}$ ,再求出力  $R_{12}$  与  $F_3$  的合力  $R_{123}$ 。最后将  $R_{123}$  与  $F_4$  合成,即可得到力系的合力  $R$ ,如图 1.1-13(c)所示。

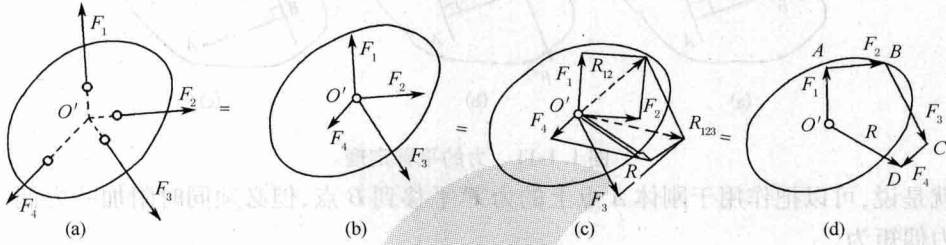


图 1.1-13 四个汇交力的合力

连续应用力的三角形法则也可得到合力  $R$ 。

从上面可以看出,在确定任意多个汇交力的合力时,可以不必作平行四边形(或三角形),只要把各力矢量首尾顺序相连,画出一个开口多边形  $O'ABCD$ ,最后将第一个力  $F_1$  的始端  $O'$  与最末一个力  $F_4$  的终端  $D$  相连,所得矢量  $O'D$  就代表该力系合力  $R$  的大小和方向,如图 1.1-13(d)所示。这个多边形  $O'ABCD$ ,称为力多边形,代表合力的矢量  $O'D$  称为力多边形的封闭边。这种以力多边形求合力的作图规则,称为力的多边形法则。显然,不论汇交力的数目有多少,都可以用这种方法求其合力。

#### 4. 作用与反作用公理

**作用与反作用公理:**两物体间的相互作用力,总是大小相等、方向相反,沿同一直线分别作用在相互作用的两个物体上。

这个公理概括了自然界中物体间相互作用力的关系,它表明一切力总是成对地出现的,有作用力就必有反作用力,它们彼此互为依存条件,是对立统一的两个方面,“失去一方,它方就不存在”。

必须指出的是,作用力和反作用力,大小相等,方向相反,并在同一条直线上,但绝不认为这两个力相互平衡。因为作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的两个力,不是作用在同一物体上的两个力,这与二力平衡公理有本质的区别,不能混同。

### 三、约束和约束反力

#### 1. 约束和约束反力的概念

机械中的构件总是与周围的物体相互联系而又相互制约的,构件的运动总是受到与它相联系的其他构件所制约。比如,转轴受到轴承的限制,滑块受到导板的限制,起吊的重物受到绳索的限制等。

一个物体的运动受到周围物体的限制时,这些周围的物体就称为约束。约束对物体的作

用力称为约束反力,简称为反力。

约束限制物体的运动,使其沿某些方向的运动被阻挡,从而使物体的运动状态发生改变。

一般来说,物体受到的力可分为两类:一类是使物体产生运动或运动趋势的力,称为主动力(或载荷),如重力、使物体运动的驱动力等等;另一类是约束对物体的运动起限制作用的约束反力。当物体受到主动力作用后,将对周围的约束产生作用力,而各个约束将以等值、反向、共线的反作用力作用于该物体,这类力既是约束力又是反作用力,故称为约束反力。

一般情况下,约束反力是由主动力的作用所引起的,它随主动力的改变而改变。由于约束限制物体在某一方向的运动,故约束反力的方向总是与该约束所能限制的运动方向相反。

在静力学中,主动力往往是给定的,而约束反力是未知的。因此对约束反力的分析,就成为受力分析的重点。由于约束使物体在某一方向不能运动,故约束反力的方向总是与该约束所限制的运动方向相反。根据这一性质,可以确定约束反力作用线的位置及指向。

## 2. 常见约束的特点及反力方向

工程中约束的种类很多,对于一些常见的约束,按其特性可以归纳为下列几种基本类型。

### 1) 柔性约束

属于这类约束的有绳索、链条和皮带等,如图 1.1-14、图 1.1-15 所示。这类约束的受力特点是只能受拉,不能受压,只能限制物体沿着它的中心线作离开的运动,而不能限制其他方向的运动。因此,绳索的约束反力方向应沿着它的中心线而背离物体,作用在柔性体与物体的联结点上,如图 1.1-14 所示。

当柔性约束为皮带或链条绕过轮子时,柔性约束的约束反力就沿轮缘的切线方向背离轮子,如图 1.1-15 所示。

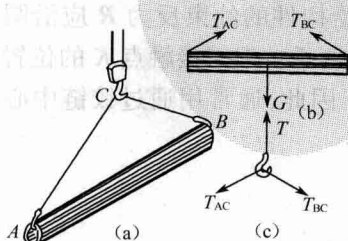


图 1.1-14 柔性约束和约束反力(绳索)

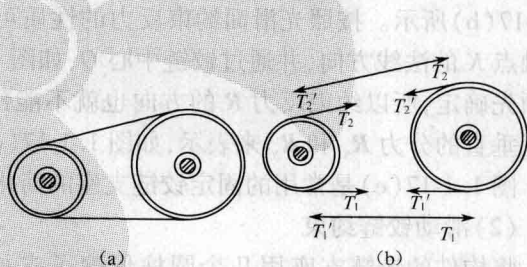


图 1.1-15 柔性约束和约束反力(皮带)

### 2) 光滑接触面约束

物体搁置在光滑支承面上,如接触面很光滑,摩擦可以忽略不计,这种类型的约束称为光滑接触面约束。此时,不论接触面是平面或曲面,都不能限制物体沿接触面切线方向运动,而只能限制物体沿接触面的内法线方向的运动,所以,光滑接触面约束的约束反力是一个沿接触面的外法线方向的力,这种约束反力也称法向反力,如图 1.1-16 所示。

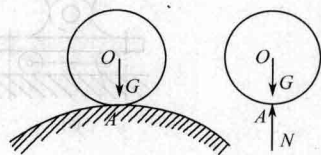


图 1.1-16 光滑接触面约束和约束反力

### 3) 铰链约束

铰链是工程中广泛应用的一种约束,铰链约束是用一圆柱形销钉将两个构件连接在一起。铰链约束使其连接的两构件间相互限制彼此的相对平移而只允许存在相对转动。

下面介绍三种常见的铰链约束。



(1) 固定铰链约束

如图 1.1-17(a) 所示,将构件和固定支座在连接处钻上圆孔,再用圆柱形销钉串连起来,使构件只能绕销钉的轴线转动,这种约束称为固定铰链约束,或称固定铰链支座。

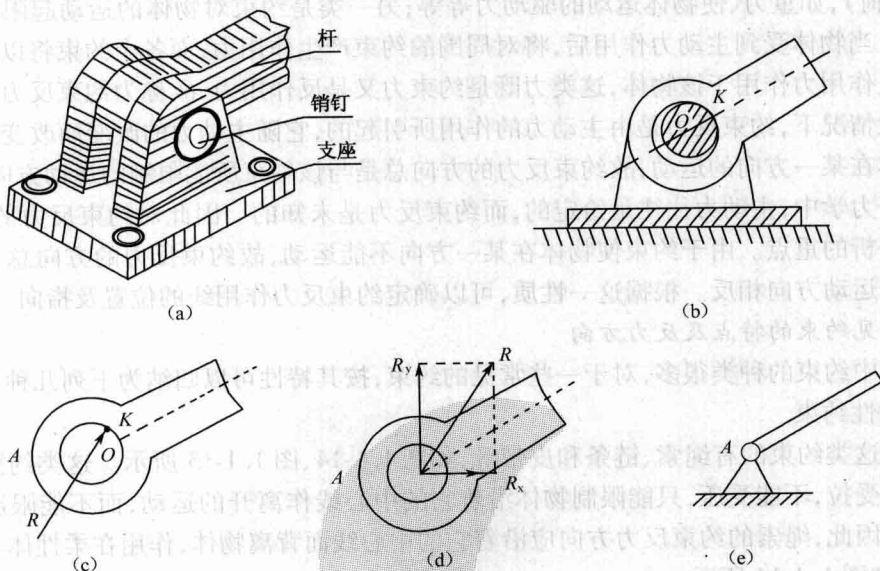


图 1.1-17 固定铰链约束和约束反力

若接触面的摩擦忽略不计,则销钉和构件圆孔间的接触是两个光滑圆柱面的接触,如图 1.1-17(b) 所示。按照光滑面约束反力的性质可知,销钉给构件的约束反力  $R$  应沿圆柱面在接触点  $K$  的法线方向,并通过铰链中心  $O$ ,如图 1.1-17(c) 所示。但因接触点  $K$  的位置往往不能预先确定,所以约束反力  $R$  的方向也就不能预先确定。因此,通常用通过铰链中心的两个相互垂直的分力  $R_x$  和  $R_y$  来表示,如图 1.1-17(d) 所示。

图 1.1-17(e) 是常用的固定铰链支座的简化表示法。

(2) 滑动铰链约束

将构件的铰链支座用几个圆柱形滚子支承在光滑平面上,就成为滑动铰链支座,如图 1.1-18(a) 所示。

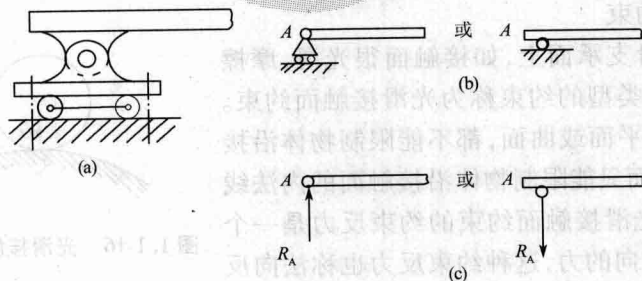


图 1.1-18 滑动铰链约束和约束反力

这种支座只能限制物体在与支座接触处向着支承面或离开支承面的运动,而不能阻止沿着支承面的运动或绕着销钉的转动。因此,滑动铰链支座的约束反力通过销钉中心,垂直于支承面。它的指向待定。