

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

机械基础

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

谭敬辉 编



“工学结合”新理念
“校企合作”新模式
赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

机械基础

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会 组编

机电专业委员会

谭敬辉 编

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本教材是为适应“工学结合、校企合作”培养模式的要求,根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制订的中等职业教育教学计划大纲编写的。本教材主要内容包括:工程力学基础、常用机构、机械传动、常用零件、液压传动和气压传动等内容。其中工程力学部分包括静力学的基本概念和刚体的受力分析、平面力系、构件的基本变形;机构部分包括平面连杆机构、凸轮机构、棘轮与槽轮机构等;机械传动部分包括带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系和螺旋传动等;常用零件包括螺纹联接轴、键联结、销联接、轴承和离合器等;液压与气压传动部分包括液压与气压传动的基本知识、常用元件和基本回路等。

本套教材公共课、专业基础课、专业课、技能课、企业生产实践课配套,教学计划大纲、教材、电子教案(或课件)齐全,大部分教材还有配套的习题和习题解答。

本教材可供中等职业技术学校、技工学校、职业高中使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/谭敬辉编. —北京:机械工业出版社, 2008.7

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-24304-5

I. 机… II. 谭… III. 机械学—专业学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 092692 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:荆宏智 王晓洁 责任编辑:王晓洁 版式设计:霍永明

责任校对:申春香 封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11 印张·268 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24304-5

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379080

封面无防伪标均为盗版

序

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神,落实文件中提出的中等职业学校实行“工学结合、校企合作”的新教学模式,满足中等职业学校、技工学校和职业高中技能型人才培养的要求,更好地适应企业的需要,为振兴装备制造业提供服务,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会共同聘请有关行业专家制订了中等职业学校6个专业10个工种新的教学计划大纲,并据此组织编写了这6个专业的“十一五”规划教材。

这套新模式的教材共近70个品种。为体现行业领先的策略,编出特色,扩大本套教材的影响,方便教师和学生使用,并逐步形成品牌效应,我们在进行了充分调研后,才会同行业专家制定了这6个专业的教学计划,提出了教材的编写思路和要求。共有22个省(市、自治区)的近40所学校的专家参加了教学计划大纲的制定和教材的编写工作。

本套教材的编写贯彻了“以学生为根本,以就业为导向,以标准为尺度,以技能为核心”的理念,以及“实用、够用、好用”的原则。本套教材具有以下特点:

1. 教学计划大纲、教材、电子教案(或课件)齐全,大部分教材还有配套的习题集和习题解答。

2. 从公共基础课、专业基础课,到专业课、技能课全面规划,配套进行编写。

3. 按“工学结合、校企合作”的新教学模式重新制定了教学计划大纲,在专业技能课教材的编写时也进行了充分考虑,还编写了第三学年使用的《企业生产实习指导》。

4. 为满足不同地区、不同模式的教学需求,本套教材的部分科目采用了“任务驱动”形式和传统编写方式分别进行编写,以方便大家选择使用;考虑到不同学校对软件的不同要求,对于《模具CAD/CAM》课程,我们选用三种常用软件各编写了一本教材,以供大家选择使用。

5. 贯彻了“实用、够用、好用”的原则,突出“实用”,满足“够用”,一切为了“好用”。教材每单元中均有教学目标、本章小结、复习思考题或技能练习题,对内容不做过高的难度要求,关键是使学生学到干活的真本领。

本套教材的编写工作得到了许多学校领导的重视和大力支持以及各位老师的热烈响应,许多学校对教学计划大纲提出了很多建设性的意见和建议,并主动推荐教学骨干承担教材的编写任务,为编好教材提供了良好的技术保证,在此对各个学校的支持表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在某些缺点或不足,敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材 编审委员会

主 任 郝广发 季连海

副主任 刘亚琴 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 李晓庆

徐 彤 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 (按姓氏笔画排序)

于 平 王 军 王兆山 王沪均 王德意 方院生

付志达 许炳鑫 杜德胜 李 涛 杨柳青 (常务)

杨耀双 何秉戌 谷希成 张 莉 张正明 周庆礼

孟广斌 赵杰士 郝晶卉 荆宏智 (常务) 姜方辉

贾恒旦 奚 蒙 徐卫东 章振周 梁文侠 喻勋良

曾燕燕 蒙俊健 戴成增

策划组 荆宏智 徐 彤 何月秋 王英杰

《机械基础》编审人员

编 者 谭敬辉

主 审 杨 良

参 审 赵全磐

前 言

本课程是中等职业学校机电专业的一门专业基础课,通过此门课的学习将为后续专业课打下良好的基础。

本教材按照中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制订的中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材中的《机械基础》教学大纲要求编写,贯彻理论联系实际的原则,围绕常用机械的使用、维修,将有关的工程力学、材料力学理论与机械知识有机地组合,注意了知识的科学性、完整性,突出重点,深入浅出,循序渐进,有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。本教材共分 11 章,有工程力学基础、常用机构、机械传动、常用零件、液压传动和气压传动等内容。

本书由谭敬辉编写,由杨良主审、赵全磐参审。由于水平和经验所限,时间紧迫,教材的编审工作难免存在缺点和不足,希望广大读者指正,以便今后修正完善。

编 者

目 录

序	本章小结	71
前言	复习思考题	72
第一章 绪论	6 第一章 齿轮传动和蜗杆传动	73
第二章 工程力学基础	7 第一节 齿轮传动的类型和特点	73
第一节 力的概念和基本性质	7 第二节 渐开线齿廓	74
第二节 力矩和力偶	7 第三节 直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	76
第三节 约束和约束反力	7 第四节 其他常用齿轮传动简介	80
第四节 构件的受力分析与受力图	7 第五节 齿轮轮齿的失效形式	82
第五节 平面汇交力系	7 第六节 蜗杆传动	85
第六节 平面任意力系	本章小结	87
第七节 拉伸与压缩	复习思考题	87
第八节 剪切和挤压	6 第七章 轮系	89
第九节 圆轴扭转	7 第一节 轮系的应用与分类	89
第十节 直梁的平面弯曲	7 第二节 定轴轮系的传动比	90
本章小结	本章小结	93
复习思考题	复习思考题	93
第三章 平面连杆机构	6 第八章 螺旋传动	95
第一节 平面连杆机构概述	7 第一节 螺纹的基本知识	95
第二节 铰链四杆机构	7 第二节 螺旋传动的特点及应用	98
第三节 平面四杆机构的基本性质	本章小结	101
第四节 平面四杆机构的演化	复习思考题	101
本章小结	6 第九章 常用零(部)件	102
复习思考题	7 第一节 螺纹联接	102
第四章 凸轮机构和间歇运动机构	7 第二节 轴	106
第一节 凸轮机构概述	7 第三节 键联结与销联接	109
第二节 凸轮机构的运动特性和常用运动规律	7 第四节 轴承	113
第三节 间歇运动机构	7 第五节 联轴器、离合器和制动器	122
本章小结	本章小结	127
复习思考题	复习思考题	128
第五章 带传动和链传动	6 第十章 液压传动	129
第一节 带传动概述	7 第一节 液压传动的基本知识	129
第二节 V带传动	7 第二节 常用液压元件	132
第三节 链传动的主要类型和特点	7 第三节 液压基本回路	148
	7 第四节 液压传动的应用与发展	153

本章小结	154	第二节 气压传动的应用与发展	163
复习思考题	155	本章小结	164
第十一章 气压传动简介	156	复习思考题	165
第一节 气压传动系统	156	参考文献	166

第一章 绪 论

机械制造工业的规模和水平是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志。随着国民经济的发展,生产自动化程度越来越高,日益增多的数控机床加工中心、柔性制造单元的出现,都要求具备有一定科技知识的人去操作、维修。

《机械基础》是以研究机构及机器为主要内容的课程,是中等职业学校机电专业的一门专业课。本课程为学习后续专业课,解决生产实际问题和进行技术革新打下良好的基础。

机械是机器和机构的统称。机器的种类繁多,其构造、性能和用途也各不相同。一般的机器都由动力部分、传动部分、工作部分和控制部分组成。动力部分是机器动力的来源,如电动机、内燃机、空气压缩机等。传动部分是将动力和运动传递给执行部分的中间装置,介于动力部分和执行部分之间起桥梁作用,如卷扬机中的变速箱,洗衣机中的带传动,车床中的带传动、齿轮传动和滚珠丝杠传动等。工作部分是实现某些作业提供所需的机械动作,以完成一定的能量转换和做有用功的工作部分,如汽车的车轮、机床的主轴和刀架等。控制部分是控制和协调机器各组成部分之间的装置,在现代机器中控制部分起着重要的作用。

从机器的组成部分、运动的确定性及机器功能关系来分析,机器具有以下三个共同特征:

1) 机器是由许多人为实体组合而成的。如图 1-1 所示的单缸内燃机,它由缸体(机架)1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8 及齿轮 9、10 等组成。

2) 机器的各个部分之间具有确定的相对运动。如图 1-1 中活塞相对于气缸做直线往复运动;曲轴相对于两端的轴承做连续转动。

3) 机器可以用来代替人的劳动,完成有用的机械功或者实现能量转换。如金属切削机床能改变工件的尺寸、形状;运输机械可以改变物体的空间位置。

凡是具备这三个特征的实体系统的组合就可称为机器,而仅具备前两个特征的则称为机构。如图 1-1 的单缸内燃机中的主要机构就是曲柄滑块机构,它可以将活塞的往复运动转换成曲柄的回转运动。

机构与机器都是由许多构件组合而成

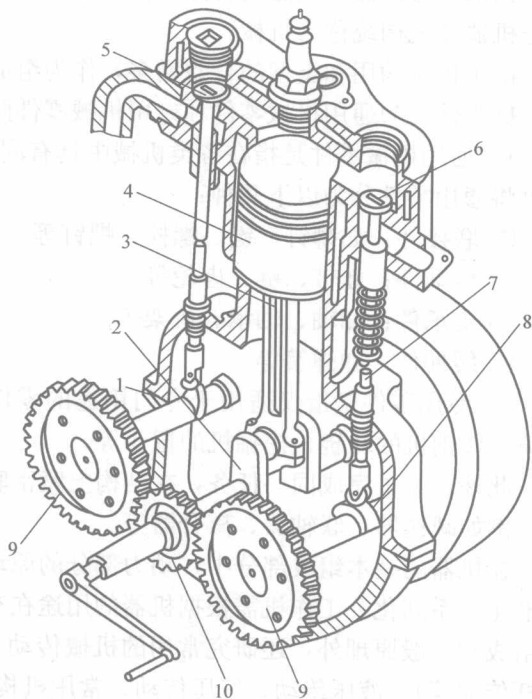


图 1-1 单缸内燃机结构原理图

1—缸体(机架) 2—曲轴 3—连杆 4—活塞 5—进气阀
6—排气阀 7—推杆 8—凸轮 9、10—齿轮

的。组成机构且相互间能作相对运动的部分称为构件，构件是具有独立运动的单元体。构件可以是一个零件，也可能是由几个零件组成。

如果构件之间直接接触且能产生一定形式的相对运动，这种可动连接称为运动副。如图1-1中的内燃机里的活塞与连杆之间，曲轴与缸体之间以及活塞与缸体之间都构成运动副。

根据运动副中两构件接触形式的不同，运动副可以分为低副和高副两种。

(1) 低副 两构件之间以面接触的运动副称为低副。根据两构件之间的相对运动情况，低副又可分为：

- 1) 转动副：两构件在接触处只能做相对转动。
- 2) 移动副：两构件在接触处只能做相对移动。
- 3) 螺旋副：两构件在接触处既做相对转动又沿轴线做一定移动（螺旋运动）。

(2) 高副 两构件之间以点或线接触的运动副称为高副。

低副和高副由于接触处的形式不同，因此具有不同的特点。低副的接触面是平面或圆柱面，因此制造维修容易，承受载荷时单位面积上的压力较小。但低副是滑动摩擦，摩擦力较大，因此效率低。高副接触面是点或线，在承受载荷时单位面积上的压力较大，制造维护都比较困难，构件容易磨损，但高副可以传递较复杂的运动。

从上可知，机器和机构的主要区别就是机器能完成有用的机械功和进行能量转换，而机构则主要用于运动的变换。

如果不考虑做功和能量转换，仅从运动的观点来看，机器和机构并无本质的区别，因此常把机器和机构统称为机械。

由于机械功用和类型的日益增多，作为组成机械最基本单元的零件更是多种多样，通常把机械零件分为通用机械零件和专用机械零件两大类。

1) 通用机械零件是指在各类机械中具有同一功用和性能，并经常使用的零件，按照用途可将通用零件分为以下几种：

- ① 联接件：如铆钉、键、螺栓、螺钉等。
- ② 传动件：如带、链、齿轮等。
- ③ 支承件：如轴、轴承、机架等。
- ④ 缓冲件：如弹簧等。

2) 专用零件是指仅适用于专门用途的零件，如内燃机的曲轴、活塞；起重机的吊钩、卷筒；轧钢机的轧辊；挖掘机的掘斗等。

此外，为了完成同一任务，在结构上紧密联系在一起的一套协同工作的零件组合称为部件，例如减速器、联轴器、离合器等。

在机器的基本组成部分中，动力部分的原动机是由专门工厂生产的定型产品，大多已经标准化、系列化。工作机需根据机器的用途在有关的专业课中去学习。本课程除了阐述机械的组成和一般原理外，还研究常用的机械传动（如带传动、链传动、螺旋传动、齿轮传动、蜗杆传动等）、液压传动、气压传动、常用机构（如平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等）和常用零件等。

作为机电行业的工程技术人员和生产技术工人，必然会遇到机械设备的制造、管理、使用、维修，以及如何充分发挥其效能和技术革新的问题。因此，他们必须具备一定的机械方面的基本知识和技能。

在本课程的学习过程中将要综合运用机械制图、金属材料及热处理等方面的知识。通过本课程的学习使学生达到以下基本要求：

- 1) 掌握构件受力分析的基本方法。
- 2) 熟悉机械传动和通用机械零件的工作原理、特点、应用和标准，掌握通用机械零件选用的标准和计算。
- 3) 初步具有分析一般机械功能和动作的能力。
- 4) 初步具有使用和维护一般机械的能力。
- 5) 了解与本课程相关的技术政策和法规、国家标准和规范，培养严谨的工作作风和创新精神。

首先由于本课程涉及面较广，内容丰富，不仅涉及机械原理及零件的问题，还涉及工程力学理论问题。所以在学习过程中，要着重理解和准确掌握基本概念及其在实际中的应用。其次由于本课程实践性较强，不少内容来自生产实际，所以要反复多看模型和实物，增加感性知识，更好地理解 and 掌握基本知识，努力遵循实践——认识——再实践——再认识的学习规律，为以后学习专业课打下坚实的基础。

第二章 工程力学基础

- 教 学 目 标**
1. 熟悉和掌握一些常用的基本概念。
 2. 掌握约束类型及约束反力的表达方法。
 3. 掌握物体的受力分析及受力图的画法。
 4. 掌握力系的简化和力系的平衡条件。
 5. 掌握杆件的基本变形及其特点。
 6. 掌握杆件内力的计算,并能运用平衡方程和强度条件求解物体的平衡与强度问题。

- 教学重点和难点**
1. 约束及约束反力。
 2. 物体的受力分析与受力图。
 3. 力矩和力偶,力偶的等效。
 4. 合力投影定理、平面汇交力系的平衡条件。
 5. 平面任意力系的平衡条件。
 6. 截面法求杆件内力。
 7. 杆件基本变形的变形特点和强度条件。

本章主要介绍工程力学中静力学和材料力学两部分的基础知识。

第一节 力的概念和基本性质

一、力的相关概念

1. 力的概念

力的初步概念是与我们的肌肉张紧相联系的。从最初在推、拉东西时身体肌肉的紧张和疲劳到后来人们通过长期、反复的观察、实验和分析,逐步认识到物体的机械运动状态发生改变或物体发生变形都是物体之间机械作用的结果。例如火车从站里开出,从静止状态到加速运动状态是由于机车牵引施加了力的结果。同样,用两手压弹簧,弹簧就缩短;用手拉弹簧,弹簧就伸长;用双手弯曲细木棍时,木棍就会变弯曲。从上面的例子可以知道,物体的伸长、缩短、弯曲等变形都是由于物体受到了力的作用。由此可见,力使得物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应或运动效应;而力使得物体的形状发生改变的效应称为力的内效应或变形效应。静力学只研究力的外效应。

力对物体的作用效应取决于三个方面:力的大小、力的方向和力的作用点,这些统称为力的三要素。这三个要素中任何一个发生改变,则力的作用效应就会发生变化。

力是一个既有大小,又有方向的量,因此力是矢量。和其他矢量一样,力可以用一个带有箭头的有向线段来表示。如图 2-1 所示,线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点,线段箭头所指的方向代表力的方向,而线段长度代表力的大小。在本书中,力的矢量用黑体字表示。力的单位是牛顿,用 N 表示,工程中还常使用 kN , $1kN=1000N$ 。

2. 刚体的概念

在静力学中，常把所研究的物体看成是刚体。所谓刚体，就是在力的作用下其大小和形状都保持不变的物体。事实上，任何物体在受到力的作用时，都要发生一定的变形。因此绝对意义上的刚体是不存在的。那么为什么还要把所研究的物体看成是刚体呢？这是因为工程实际中的构件在受力后产生的变形都非常小，这对于所研究的结果的影响可以忽略不计。因此，可以把这些物体看成是刚体，从而使问题大为简化。

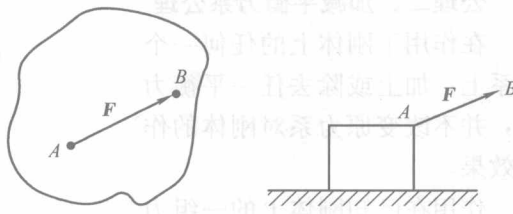


图 2-1 力

将物体抽象成刚体是有条件的，这与所研究问题的性质有关。如果在所研究的问题里物体变形成为主要因素时，就不能把物体看成是刚体，而要看成变形体。

由于静力学的研究对象是刚体或由若干刚体组成的刚体系统，所以静力学又称作刚体静力学。

3. 平衡的概念

平衡是物体机械运动的一种特殊形式，所谓平衡是指物体的状态不发生改变。这有两种情形：一种是物体静止不动，速度等于零，例如地面上的房屋、安装在基座上的机床床身；而另一种是物体做匀速直线运动或绕一对称轴做匀速转动，例如沿着平直公路匀速前行的汽车、空中匀速飞行的飞机、匀速转动的机床主轴等也都处于平衡状态。事实上，一切物体都处于永恒的运动之中，运动是绝对的，真正的平衡、真正的运动状态不变是不存在的。一切的平衡和不变只是一种暂时和相对的概念，是相对于地面而言的。那么为什么还要来研究平衡问题呢？这是因为在机械中的多数构件是近似平衡的，同时平衡是有条件的，把近似平衡的构件当作平衡来处理，就可由平衡条件来找出作用在它上面的力系中的各个力之间的关系，根据已知条件求出未知的力，从而解决实际问题。如果一个物体处于平衡状态，那么作用在它之上的力系就称为平衡力系，而该力系之中的各个力之间就应该满足一定的条件，这就是力系的平衡条件。

静力学主要研究的是物体在受力时处于平衡状态的平衡条件，同时也研究力的基本性质、力系的简化及平衡条件和物体受力分析的方法。

二、静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中关于力的基本性质的概括和总结。它们是静力学的基础，掌握好这些公理对学好静力学十分重要。

公理一：二力平衡公理

作用于刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，并作用在同一直线上。

这个公理揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时，所必须满足的条件。二力平衡公理只适于刚体，对刚体来说是必要且充分的条件，如图 2-2a 所示。但是对于非刚体，这个条件就只是必要条件而非充分条件，如图 2-2b 所示，一段绳索在受到两个等值、反向的拉力作用时可以保持平衡，而当受到两个等值、反向、共线的压力时，就不能保持平衡。

只受两个力作用并保持平衡的物体，称为二力构件。如果该构件是杆状的，则称为二力

杆。二力杆在工程中经常遇到，二力构件的受力特点是：所受的两个力的方向必沿其两作用点的连线。

公理二：加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任何一个力系上，加上或除去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

作用在已知刚体上的一组力称为力系。如果刚体在这一已知力系的作用下保持平衡，则此力系称为平衡力系。平衡力系中的任一力对于其他的力为平衡力。

如果作用于已知刚体上的力系可以用另一个力系来代替，此时并不改变其运动状态，即不破坏其静止状态（如在原力系作用

下该刚体处于静止状态）或不影响它的运动，则这两个力系相互等效。

因为平衡力系对于刚体的平衡或运动状态没有影响，所以公理二常用来简化已知力系。

推论：力的可传性原理

作用在刚体上的力，可沿着其作用线移至刚体上任意一点，而不改变力对这个刚体的作用效果。

证明：如图 2-3 所示，设已知小车在 A 点受到推力 F 的作用，现沿其作用线在 B 点增加一对平衡力 F_1 和 F_2 ，且 $F_1 = F_2$ 。由公理二可知，新增加的这对平衡力 F_1 和 F_2 并不会影响原力 F 对小车的效果，因此力系 F 、 F_1 、 F_2 和力 F 等效。又因为 F_2 和 F 也是一对平衡力，所以再根据公理二将它们同时去除，这样就只剩下 B 点的力 F_1 ，而 F_1 的大小、方向与力 F 是相同的，这就将原来作用在 A 点的力 F 沿作用线移到了 B 点。

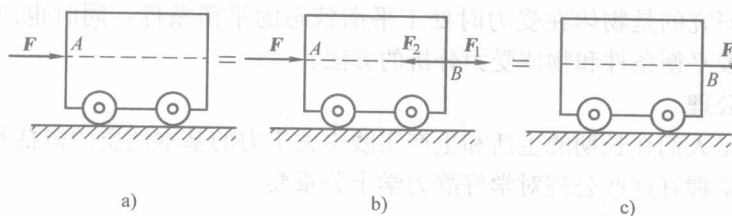


图 2-3 力的可传性

如果受力物体不是小车而是任一刚体，推论也同样适用。由此可知，作用在刚体上的力的三要素也可以说成是力的大小、方向和作用线。应当注意的是，力的可传性原理只适用于刚体，而不适用于变形体。

公理三：力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力的作用点仍在该点，

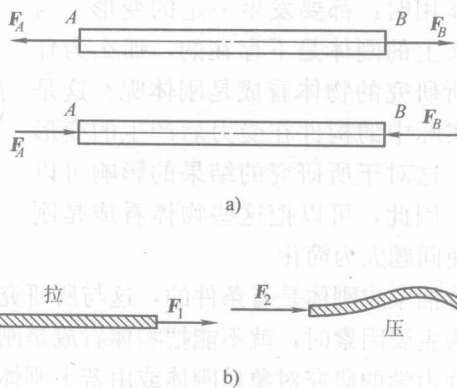


图 2-2 二力平衡

a) 刚体 b) 非刚体

合力的大小和方向以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 2-4a 所示。

这种合成力的方法,称为向量加法。合力称为这两个力的向量和或几何和。如果以 $\mathbf{F}_R$ 表示这两个力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的合力,则根据公理可得

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (2-1)$$

式中“+”号表示力的几何加法,即向量 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 根

据平行四边形法则相加的运算符号,式 (2-1) 与代数等式 $\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$ 的意义完全不同,切不可混淆。

由图 2-4b 可知,在求两个力的合力时,并不需要作出一个完整的平行四边形。只要让这两个力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 首尾相接,这样从第一个力 $\mathbf{F}_1$ 的起点指向 $\mathbf{F}_2$ 的终点的矢量就代表合力 $\mathbf{F}_R$ 。合力与分力所构成的三角形称为力的三角形,这种求合力的方法称为力的三角形法则。应当注意的是,力的三角形只表示力的大小和方向,它不表示力的作用点和作用线,如图 2-4b 中的力 $\mathbf{F}_2$ 并不作用于 B 点。

应用力的平行四边形法则,还可以将一个已知力分解为两个作用在同一点的分力。由于同一条对角线可以作出无穷多个平行四边形,因此如果不附加条件,一个力可以分解出无穷多对分力。在工程上用得最多的是将一个力分解为一对相互垂直的分力,这种分解称为正交分解。

推论:三力平衡汇交定理

当物体受共面的三个互不平行的力作用而平衡时,则三个力的作用线必然汇交于同一点。

证明:

如图 2-5 所示,设物体 A、B、C 三点分别作用有共面且互不平行的三个力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 和 $\mathbf{F}_3$,此时物体平衡。由刚体上力的可传性,可将两力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 沿其作用线移动至交点 O,并用力的平行四边形法则求得合力 $\mathbf{F}_R$,则刚体在 $\mathbf{F}_R$ 与 $\mathbf{F}_3$ 的作用下仍然保持平衡。由公理一可知, $\mathbf{F}_R$ 和 $\mathbf{F}_3$ 必然共线且反向。所以 $\mathbf{F}_1$ 必定过 O 点,故 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ 均汇交于 O 点。

若物体受三个共面且互不平行力的作用而平衡,利用这一定理,在已知两个力和第三个力作用点的情况下,可以确定第三个未知力的方向。

公理四:作用与反作用公理

两个物体相互作用时,作用力与反作用力总是同时存在的,且大小相等、方向相反、沿同一直线,分别作用在两个物体上。

这个定律首先是由牛顿建立的,称为作用与反作用相等定律。这个定律概括了自然界中物体间相互作用力的关系,表明这些力总是成对同时出现和同时消失的。有作用力就必然有反作用力,它们彼此依存,失去一方,另一方也就不会存在。

应当注意的是,作用力与反作用力虽然大小相等、方向相反、沿同一作用线,但不是一对平衡力。因为它们是分别作用在两个不同的物体上,不能彼此平衡。这和公理一有本质的

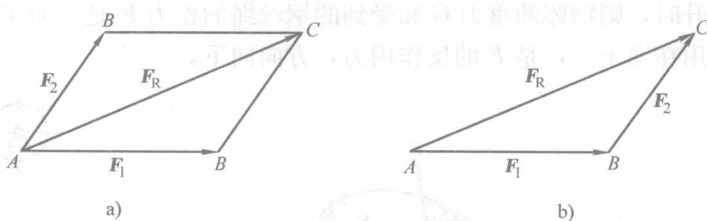


图 2-4 力的平行四边形法则

不同，不能混淆。

例如图 2-6 所示的提升装置，一重量为 G 的物体由钢丝绳吊在鼓轮上。当重物被匀速提升时，则物体的重力 G 和受到的钢丝绳的拉力 F 是一对平衡力，而物体拉绳子的拉力 F' 作用在绳子上，是 F 的反作用力，方向向下。

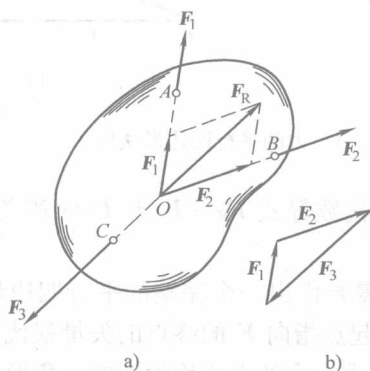


图 2-5 三力平衡汇交定理

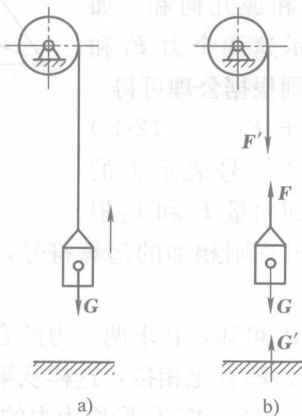


图 2-6 作用力与反作用力

第二节 力矩和力偶

一、力矩

1. 力矩的概念

我们从经验知道，力可以使物体转动。用手推门，门就会绕门轴转动。如图 2-7 所示用扳手拧螺母，螺母就会绕螺母柱转动，力越大，力使物体转动的作用也越大。但是力对物体的转动作用不仅与力的大小有关，还和力与转轴之间的距离有关。例如：在离门轴远的地方推门，用比较小的力就可把门推开；而要在离门很近的地方推门，那就得用比较大的力才行。

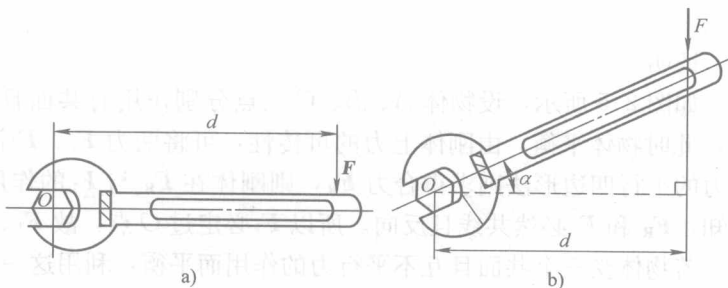


图 2-7 力对点的矩

用扳手拧螺母，如果螺母很紧拧不动，这时要是在扳手上套上一节管子（相当于加大了扳手的长度），就容易拧动了。可见力越大、力和转动轴间的距离越大，力对物体的转动的作用就越大。

力和转动轴线之间的距离，即在同一平面上转动轴线到力的作用线的垂直距离，称为力臂。用 F 表示力，用 d 表示力臂，那么力和力臂的乘积 Fd 为量度力 F 使物体绕 O 点转动效应的物理量，称为力 F 对 O 点之矩，简称力矩，用符号 $M_O(F)$ 表示，即

$$M_O(\mathbf{F}) = \pm Fd \quad (2-2)$$

O 点称为矩心。正负号规定：如果力使物体绕矩心做逆时针方向转动，取正号；做顺时针方向转动时，取负号。可见，平面力矩可以用一个带正负号的数值表示，所以力矩是代数数量。

力对物体的转动作用取决于力矩的大小。力等于零，则力矩等于零，对物体当然不会有转动作用；力不等于零，但力臂等于零，因而力矩也为零，同样对物体没有转动作用。

在国际单位制中，力矩的单位是牛顿·米（ $\text{N} \cdot \text{m}$ ）或千牛顿·米（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。应当注意的是：讲一个力的力矩一定要指出是这个力相当于哪个位置（矩心）的矩，撇开矩心来讲力矩是没有意义的。取不同的位置作矩心时，力臂和转动方向都可能改变，故同一个力对不同矩心的力矩一般不会相等。因此必须是对同一个矩心的力矩，才可以相加，不同矩心的力矩相加是没有意义的。

例 2-1 在图 2-7b 中，已知扳手受到图 2-7b 所示方向的力 $F = 100\text{N}$ ，扳手长为 20cm ， $\alpha = 30^\circ$ ，试求力 $\mathbf{F}$ 对 O 点的矩。

解 首先计算力臂 d （见图 2-7）

力臂 $d = 0.2\text{m} \times \cos\alpha$ ，根据式（2-2）可得

$$M_O(\mathbf{F}) = -Fd = -100\text{N} \times 0.2\text{m} \times \cos 30^\circ = -17.32\text{N} \cdot \text{m}$$

负号表示 $\mathbf{F}$ 使扳手绕 O 点顺时针转动。

根据力矩的定义可知，如果刚体受到一个平面力系的作用，其合力为 $\mathbf{F}_R$ ，则合力 $\mathbf{F}_R$ 对于平面上某一点的矩等于其各分力对同一点的力矩的代数和，这称为合力矩定理。

在计算力矩时，有时可能会遇到直接求某个力 $\mathbf{F}$ 的力臂比较困难的情况。这时运用合力矩定理，对这个力进行适当分解，转而计算这个力的各分力的力矩往往会更加方便。

2. 力矩的平衡条件

力矩体现的是力对物体上某转动中心的转动效果，因此力矩必须用力矩来平衡。绕定点转动物体的平衡条件是：作用在物体上的各力对物体转动中心 O 的力矩之和为零。即

$$\sum M_O(\mathbf{F}_i) = 0 \quad (2-3)$$

式中 $\mathbf{F}_i$ ——作用在物体上的各个力（ $i=1, \dots, n$ ）。

式（2-3）称为力矩平衡方程。

如图 2-8 所示杆秤，在 A 点作用的是要秤的物体，设重为 G 。 B 点作用的是秤砣，设重为 G_1 。不计杆秤的自重，则当杆秤平衡时，重力 G 和 G_1 对 O 点的矩必然大小相等，方向相反。即

$$Gl_1 = G_1l_2 \quad (\text{或 } Gl_1 - G_1l_2 = 0)$$

从而可求得要秤的物体重量 G 。

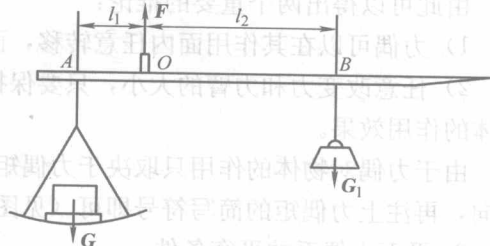


图 2-8 杆秤

二、力偶

1. 力偶的概念

在生产实践中，常看到物体同时受到大小相等、方向相反、作用线彼此平行的两个力作用而转动的情况。例如，汽车司机双手转动转向盘（见图 2-9a）、用手旋开水龙头开关（见图 2-9b）都是这种情况。那么这两个力能不能自行平衡呢？实践经验表明，它们不能自行