

高等职业教育系列教材

机械基础

南景富 主编

哈尔滨工业大学出版社

711-43

V17

机 械 基 础

主 编 南景富
副主编 李 梅 冯 江 卢铁钢
主 审 王明海 陈铁鸣



A1052155

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨

内 容 简 介

本书系根据高职高专人才培养目标和教育部“高职高专机械基础教学基本要求”编写而成。全书把理论力学、材料力学、机械原理、机械零件的内容融合到一起,主要阐述静力学基础、平面汇交力系、力矩和平面力偶系、平面一般力系,刚体的基本运动,平面连杆、凸轮、间歇运动机构,带传动、链传动、齿轮传动,齿轮系、联接、支承零部件、润滑和密封装置、机械的调整和平衡、课程设计概论等。

本书为高等职业学校机械类和近机类专业教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/南景富主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.8

ISBN 7-5603-1709-X

I.机… II.南… III.机械学—高等学校:技术学校—教材. IV.TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 040604 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451—6414749
印 刷 地矿部黑龙江测绘印制中心印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 27.5 字数 497 千字
版 次 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1709-X/TH·94
印 数 1~3 000
定 价 32.00 元

前 言

随着科学技术的飞速发展,机械工程学科发生了广泛深刻的变化;高等职业教育的发展,促进了课程体系和内容的变革。因此,机械工程学科课程的改革势在必行。

本书是根据高等职业教育培养生产、建设、服务、管理第一线的高级技术应用型人才的目标,参照教育部最新组织制定的“高职高专教育机械基础课程教学基本要求”编写而成的。

“机械基础”是一门融静力学、材料力学、机械原理、机械零件、材料及热处理等有关内容为一体的综合性课程。本教材的编写意在探索建立一个适合职业教育的新的课程体系,因此编写本教材时,突出了以下两点:

1.本教材打破了传统课程的学科性体系,以职业教育的岗位能力确定“课程主线”,以“课程主线”为纲,有机地融合了相关课程的内容。本课程以常用机构的结构分析和通用零件的合理选用以及课程设计为“课程主线”,从中引出受力分析、力系平衡和构件强度等基本概念及计算方法,并在其中直接得到应用,让学生学习基础知识时目标明确,针对性强,使所学的基础知识直接与实践相结合,体现本课程体系的特点。

2.减少理论推导,注意实例的介绍,对学生加强了实用图表、手册应用能力的培养,体现了本课程实用性的特点。

由于各校教学安排可能不同,在进行本课程教学时,教师可根据实际情况,调整教材内容、顺序,根据需要选讲。

参加本书编写的有黑龙江农业工程职业学院南景富(绪论、第八、十、十五、十七、十九章)、李梅(第十一、十四、十六章)、东北农业大学冯江(第一、二、三章)、黑龙江农业工程职业学院卢铁钢(第十三章)、齐齐哈尔大学王世刚(第六、十八章)、黑龙江农业工程职业学院山颖(第九、十二章)、王明海(第七章)、辛连学(第四、五章)。由南景富担任本书主编,李梅、冯江、卢铁钢担任副主编。

黑龙江农业工程职业学院王明海和哈尔滨工业大学陈铁鸣任本书主审,并对书稿进行了细致、认真的审阅,提出了许多宝贵意见。

由于我们水平有限,疏漏与不妥之处在所难免,敬请各位教师和广大读者批评指正。

作 者

2002.3

目 录

绪 论	(1)
第一章 静力学基础	(4)
第一节 静力学基本概念	(4)
第二节 静力学公理	(6)
第三节 约束与约束力	(9)
第四节 受力分析与受力图	(13)
思考题	(16)
习 题	(16)
第二章 平面汇交力系	(19)
第一节 概 述	(19)
第二节 力的投影	(19)
第三节 用解析法求平面汇交力系的合力	(21)
第四节 平面汇交力系的平衡方程和解题步骤	(23)
思考题	(26)
习 题	(26)
第三章 力矩和平面力偶系	(29)
第一节 力矩及其计算	(29)
第二节 力偶及其性质	(31)
第三节 平面力偶系的合成与平衡	(34)
思考题	(35)
习 题	(36)
第四章 平面一般力系	(37)
第一节 引 言	(37)
第二节 平面一般力系向一点简化	(38)
第三节 平面一般力系的平衡条件与平衡方程	(43)
第四节 物系平衡和机械的静力计算	(47)
思考题	(51)
习 题	(52)

第五章 刚体的基本运动	(56)
第一节 刚体的平动	(57)
第二节 刚体的定轴转动	(58)
第三节 转动刚体内各点的速度和加速度	(60)
思考题	(63)
习 题	(65)
第六章 平面机构的结构分析	(67)
第一节 运动副 作用与分类	(67)
第二节 平面机构的运动简图	(69)
第三节 平面机构的自由度	(73)
习 题	(79)
第七章 平面连杆机构	(82)
第一节 平面四杆机构及其应用	(82)
第二节 平面四杆机构的基本特性	(91)
第三节 平面四杆机构的尺度综合	(95)
第四节 机构创新方法	(99)
第五节 构件和运动副的结构	(104)
思考题	(108)
习 题	(108)
第八章 凸轮机构	(111)
第一节 概 述	(111)
第二节 凸轮机构特性分析	(115)
第三节 凸轮机构的尺度综合	(120)
思考题	(124)
习 题	(125)
第九章 间歇运动机构	(127)
第一节 棘轮机构	(127)
第二节 槽轮机构	(130)
思考题	(133)
习 题	(134)
第十章 机械设计概述	(135)
第一节 材料力学概述	(135)

第二节	机械零件的失效形式和设计计算准则	(144)
第三节	机械零件的强度	(146)
第四节	材料的选择及结构工艺性	(149)
思考题		(153)
习 题		(153)
第十一章	带传动	(155)
第一节	带传动概述	(155)
第二节	V带和V带轮	(157)
第三节	拉伸(压缩)变形和弯曲变形	(160)
第四节	V带传动的工作能力分析	(169)
第五节	V带传动的设计	(174)
第六节	V带传动的使用与维护	(181)
思考题		(183)
习 题		(184)
第十二章	链传动	(186)
第一节	链传动的类型和特点	(186)
第二节	滚子链	(187)
第三节	链传动的运动特性	(191)
第四节	滚子链传动的计算	(193)
第五节	链传动的布置、张紧和润滑	(197)
思考题		(200)
习 题		(201)
第十三章	齿轮传动	(202)
第一节	齿轮传动的类型、特点和齿廓啮合基本定律	(202)
第二节	渐开线直齿圆柱齿轮	(204)
第三节	渐开线齿轮各部分的名称和几何尺寸	(208)
第四节	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(212)
第五节	渐开线齿轮的加工原理	(215)
第六节	渐开线变位直齿圆柱齿轮传动	(220)
第七节	圆柱齿轮的结构和精度	(227)
第八节	齿轮的失效形式及材料选择	(235)
第九节	直齿圆柱齿轮的强度计算	(239)

第十节 斜齿圆柱齿轮传动·····	(249)
第十一节 直齿圆锥齿轮传动·····	(259)
第十二节 齿轮传动的维护和修复·····	(263)
第十三节 蜗杆传动·····	(267)
思考题·····	(272)
习 题·····	(275)
第十四章 齿轮系 ·····	(280)
第一节 概 述·····	(280)
第二节 定轴轮系的传动比·····	(280)
第三节 行星轮系的传动比·····	(283)
第四节 复合齿轮系传动比·····	(285)
第五节 齿轮系的应用·····	(287)
思考题·····	(290)
习 题·····	(291)
第十五章 联 接 ·····	(294)
第一节 键联接、花键联接和销联接·····	(294)
第二节 螺纹联接及螺旋传动·····	(306)
第三节 联轴器和离合器·····	(327)
思考题·····	(335)
习 题·····	(337)
第十六章 支承零部件 ·····	(341)
第一节 轴的功用、结构和材料·····	(341)
第二节 滑动轴承·····	(344)
第三节 滚动轴承的类型及选择·····	(350)
第四节 轴系的结构设计·····	(357)
第五节 圆轴扭转·····	(365)
第六节 轴的强度计算·····	(369)
第七节 滚动轴承的动载荷计算和静强度计算·····	(376)
第八节 轴系的维护·····	(383)
思考题·····	(385)
习 题·····	(386)
附 表·····	(388)

第十七章 润滑和密封装置	(394)
第一节 摩擦、磨损和润滑	(394)
第二节 润滑剂及其选择	(400)
第三节 润滑方法和润滑装置	(405)
第四节 密封装置	(409)
思考题	(411)
习 题	(412)
第十八章 机械的调整和平衡	(413)
第一节 机械运转速度波动的调节	(413)
第二节 机械的平衡	(416)
思考题	(419)
第十九章 课程设计概论	(421)
第一节 减速器简介	(421)
第二节 课程设计方法和步骤	(426)
参考文献	(429)

绪 论

一、课程研究对象和内容

随着生产的不断发展,各种各样的机械越来越多地进入社会的各个领域,减轻了人们的劳动强度,提高了生产率。

如图 0.1 所示的搅面机,当曲柄转动时,搅面棒上的 E 点处便能模仿人手搅面,同时容器绕 z 轴转动,将面粉搅拌均匀。这种搅面机的动作是由曲柄 2、搅面棒 3、摇杆 4、机架 1 组成的曲柄摇杆机构来实现的。

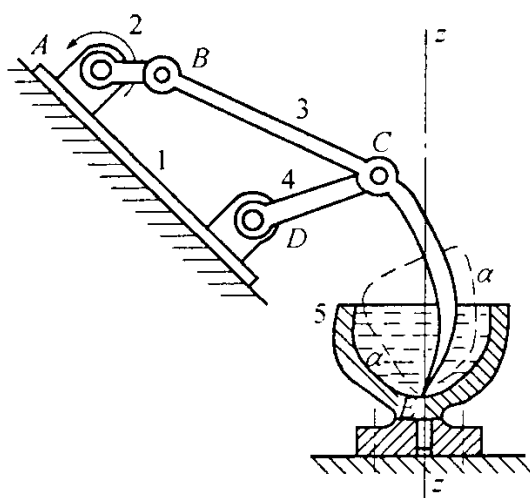


图 0.1 搅面机

1—机架;2—曲柄;3—搅面棒;
4—摇杆;5—容器

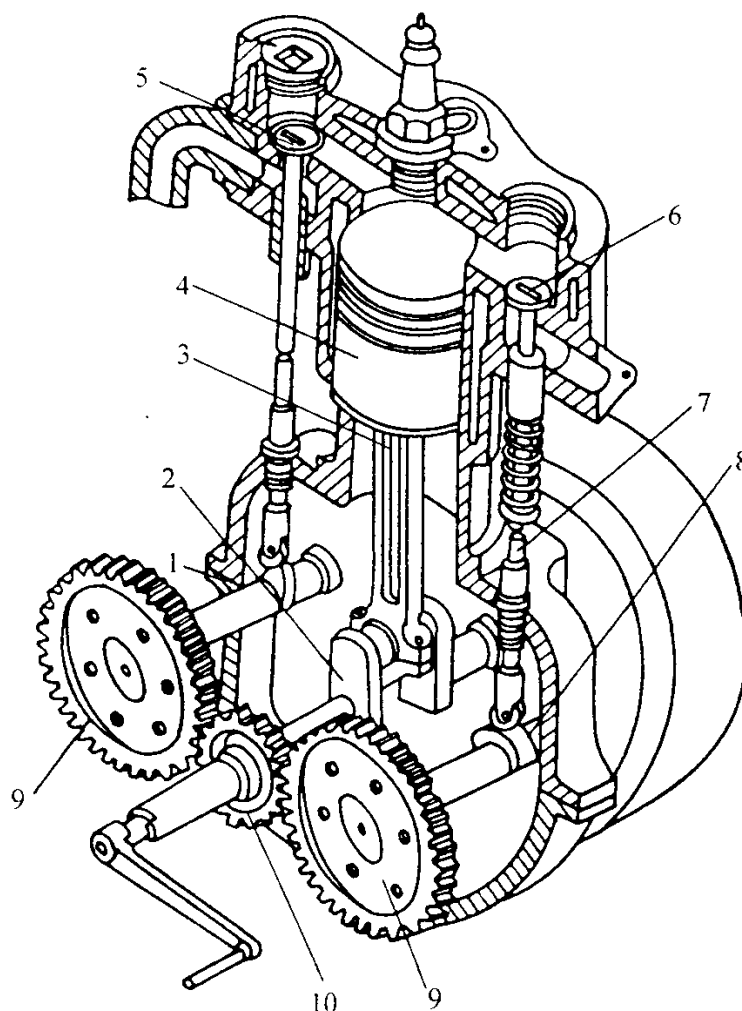


图 0.2 单缸内燃机

1—机架;2—曲柄;3—连杆;4—活塞;5—进气阀;
6—排气阀;7—推杆;8—凸轮;9、10—齿轮

如图 0.2 所示的单缸内燃机,它由气缸体(机架)1、曲柄 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 组成,当燃气推动活塞作往复移动时,通过连杆使曲柄作连续转动,从而将燃气的热能转换为曲柄的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律启闭阀门,以吸入燃气和排出废气。这种内燃机能量的转换主要由活塞 4、连杆 3、曲柄 2 和机架 1 构成的曲柄滑块机构,齿轮 9、10 和机架 1 组成的齿轮机构,凸轮 8、推杆 7 和机架 1 组成的凸轮机构等三种不同的机构来实现的。

图 0.3 为装配机器人的机械手部分。手腕的升降、回转和手爪的松夹均由电动控制。这种机器人的动作由四杆机构、齿轮机构和减速器等实现。

本课程是高等职业学校机电一体化专业的一门综合性课程,它主要研究各种机械为完成运动的传递、能量的转换等功能而具有的共同属性,学习常用机构和有关通用零件的基本知识。

本课程的内容主要包括:

1. 静力平衡分析和常用机构的结构应用
主要介绍用静力平衡方法求机构的支反力、运动副中或构件上的受力;平面四杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等各种常用机构的结构和应用;四杆机构各运动副之间几何尺寸的确定;用作图法确定凸轮轮廓曲线的方法。

2. 机械设计概述

主要介绍材料力学基本知识,机械零件的强度;常用工程材料的性能、牌号和钢的常用热处理方法;载荷、应力及零件的失效等概念。

3. 联接零件的结构和应用

主要介绍螺纹联接、键联接和销联接的结构和应用,零件受剪切时剪切强度计算方法;联轴器和离合器的结构和应用。

4. 传动零件的结构和应用

主要介绍齿轮传动、带传动和链传动;轮系的传动比计算和减速器的结构;机电一体化设备中应用较广的几种传动装置。

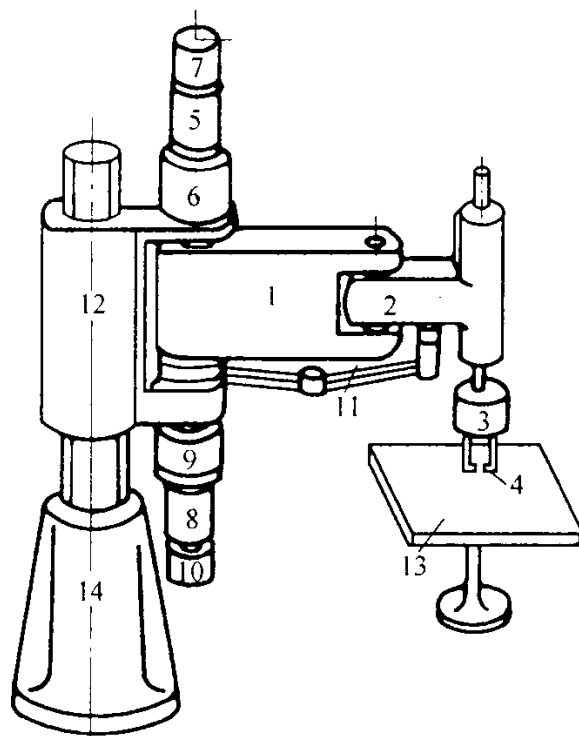


图 0.3 机械手结构图

1—大臂;2—小臂;3—手腕;4—手爪;5—步进电动机(驱动大臂);6、9—谐波减速器;7、10—位置反馈用光电编码器;8—步进电动机(驱动小臂);11—平行四杆机构;12—支架和立柱;13—工作台;14—基座

5. 支承零件的结构和应用

主要介绍滑动轴承和滚动轴承的结构与应用,选择轴承型号的方法;轴的结构和应用,轴受载后扭转和弯曲强度计算的方法。

6. 课程设计概述

主要介绍课程设计的内容、方法和步骤。

二、本课程的性质和要求

本课程是融材料及热处理、静力学、材料力学、机械原理和机械零件等有关内容为一体的综合性课程。通过本课程的学习,应达到如下基本要求:

1. 熟悉常用机构的工作原理、特点和应用场合。了解常用机构结构尺寸的确定方法。
2. 掌握对常用机构进行静力分析的基本知识。
3. 熟悉通用零件的工作原理、特点、结构及标准。掌握选用通用零件的基本方法。
4. 掌握零件材料及热处理方法的选择。了解构件强度和刚度计算的基本方法。
5. 学会使用标准、规范、手册和图册等有关技术资料的方法。

第一章 静力学基础

第一节 静力学基本概念

在学习过程和工程实际中,常常要接触到一些十分重要的概念。本节首先介绍几个最常用又十分重要的静力学基本概念,包括它们的名称定义、主要特征、表达方式、计算方法、单位等。而涉及这些概念的基本性质,将在后面的有关章节详细讨论。

一、刚体的概念

刚体指在力的作用下其大小和形状都保持不变的物体。事实上,任何物体在力的作用下都会产生或多或少的变形,因此绝对的刚体并不存在,刚体只是种抽象化的力学模型。建立这种模型的依据,主要是因为许多物体受力后,其变形非常小,这对研究其平衡或运动的结果,影响微乎其微,可以忽略。

静力学研究的物体只限于刚体,或由若干个刚体组成的刚体系统。也就是说,静力学研究刚体或刚体系统的平衡问题,所以也称为刚体静力学。

若在研究的问题中,刚体的尺寸对问题的研究不起主要作用,则可以将其抽象化为质点。质点定义为只计质量不计尺寸的几何点,也是一种抽象化的力学模型。

二、力的概念

力是物体间相互的机械作用。其作用效应是使物体的运动状态发生改变和使物体产生变形。力使物体运动状态发生改变的效应称为外效应或运动效应;力使物体产生变形的效应称为力的内效应或变形效应。因为静力学中只限于研究刚体,不考虑物体的变形,所以只涉及力的外效应,力的内效应将在后续的章节中研究。

物体间因各种各样的机械作用形式而产生的力,一般可分为两类:一类是由于两个物体相互接触而产生的,如拉力、压力、摩擦力等;另一类是由于物体和场之间相互作用产生的,如重力、电磁力等。

力对物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点,通常称为力的三要素。需要特别指出的是:力的方向包括方位和指向两个因素。由于力的大小和方向具有矢量的特征,力的合成又服从矢量合成规则,所以力是一种矢量。

在力学分析中,力矢量一般用几何图形和字符两种方式表达。力矢量的几何图形表达用有向线段,如图 1.1 所示。线段 AB 的长度可以按一定比例尺表示力的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向,线段的起点 A 表示力的作用点。沿力的作用方位并通过力的作用点 A 画的直线 mn 称为力的作用线。力矢量的字符表达一般用粗斜体英文字母 F 、 P 、 T 等表示(作业中书写时,由于字母的粗体和普通体不便区别表达,所以要求在所用字符的顶上加一小箭头如 \vec{F} 或加一小横如 \bar{F} 来表示一个力矢量),当只表达力矢量的大小时,通常用同一字母的普通斜体如 F 、 P 、 T 表示(作业中书写时,用不加任何顶标的字母表示)。表示力矢量与仅表示力的大小是不同的,这点初学者很容易混淆,需要特别注意。

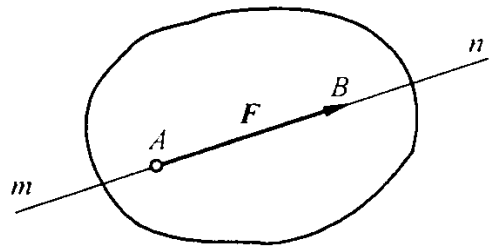


图 1.1

力的单位在国际单位(SI)中是个有专门名称的导出单位,用 N(牛顿)或 kN(千牛顿)表示, $1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$ 。

同时作用于物体上的若干个力称为力系。若两个力系分别作用于同一物体且效果相同,则称这两个力系为等效力系或互等力系。如果一个力与一个力系等效,则称该力为此力系的合力,而此力系中的各力称为合力的分力。求力系的合力,称为力的合成;将一个力分解成两个或两个以上的分力,称为力的分解。力的分解部分的详细内容将在第二章介绍。

三、平衡的概念

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。工程上,将物体相对地面保持静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。例如,静止在地面上的房屋、桥梁等建筑物,在直线轨道上作匀速运动的火车车箱等都处于平衡状态。宇宙间任何物体都处于永恒的运动中,所以平衡是个相对概念,说某个物体平衡只有相对于所选作参考的物体而言才有意义。如上面提到的物体,它们静止或做匀速直线运动都是相对地面而言的。对绝大多数工程问题,取地球为参考物体,把坐标系固定在地球表面来研究平衡问题,所得结果能很好地与实际情况吻合。

平衡只是物体机械运动的一种特殊情况,物体并不是在任何力系作用下都能处于平衡状态,只有当作用于物体上的力系满足一定条件时,物体才能平衡。若物体在某力系的作用下处于平衡,则该力系称为平衡力系,作为平衡力系必须满足的条件就是力系的平衡条件。力系的平衡条件是设计构件、结构和机械零件时进行静力计算的基础。

四、力矩和力偶的概念

力对物体作用的外效应可分为平移和转动两种。平移效应由力的大小和方向决定,转动效应则取决于力矩。力矩是力使物体转动效应的度量。物体的转动效应可分为物体绕点转动和绕轴转动两种,分别称为力对点之矩和力对轴之矩。力矩的内容将在第三章第一节做详细论述,至于空间力对点之矩和力对轴之矩部分内容,本教材就不介绍了。

五、国际单位制

国际单位制(Système International d'Units)是1960年国际计量大会制定的单位制,简称SI。已为全世界的国际组织和绝大多数国家所采用。SI单位包括基本单位、辅助单位和导出单位。

在SI单位制中,与力学有关的基本单位是长度、时间和质量。长度的单位是m(米),时间的单位是s(秒),质量的单位是kg(千克)。力的单位N(牛顿)是SI制中具有专门名称的导出单位,力偶和力矩的单位是没有专门名称的导出单位。目前我国使用的力学量法定计量单位是SI制。

第二节 静力学公理

理论力学的研究方法,其特点之一就是将在观察和实验等实践过程中经反复验证的正确结果,提炼成具有普遍意义的公理。所谓公理就是指符合客观实际,不能用更简单的原理去代替,也无需证明而为大家所公认的普遍规律。下面将要介绍的静力学公理,是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们构成了静力学的全部理论基础,静力学的所有定理都是借助数学工具,从这些公理中推导出来的。学习中不要求去重复理解这些公理的形成过程,但是理解、掌握和熟练应用这些公理,对于学好静力学却是十分重要的。

公理一 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要且充分条件是:这两力大小相等,方向相反,作用在同一直线上(即两力等值、反向、共线),这称为二力平衡条件。显然,这样两个力的合力为零。

只受两个力的作用而保持平衡的刚体称为二力体。如图1.2中,若略去拉杆的自重和伸长,则该拉杆就是一个二力体。杆两端所受的一对拉力的大小相等,方向相反,作用线与杆轴重合。

二力平衡条件只适用于刚体。对于变形体,这一条件并不充分。如一段绳索,在两端受到一对等值、反向、共线的压力作用时,并不能保持平衡。

公理二 加减平衡力系公理

在已知力系中加上或减去任意一个平衡力系,并不会改变原力系对刚体的作用效果。



图 1.2

由前所述,由于平衡力系中的各力对刚体的作用效应相互抵消,使物体保持平衡或运动状态不变,显然可知公理二的正确性。这个公理是力系简化的重要理论依据。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变此力对刚体的作用效果。力的这一性质称为力的可传性原理。

证明 设力 F 作用于小车的 A 点(图 1.3(a)),在其作用线上取一点 B ,并在 B 点加上等值、反向、共线的一对力 F_1 和 F_2 ,且令 $F_1 = -F_2 = F$ (图 1.3(b)),由公理二知,这并不影响原来的力 F 对于小车的外效应,因此力 F 与力系 F 、 F_1 、 F_2 等效。从另一角度看, F 与 F_2 也是一对平衡力,再根据公理二把它们去掉,于是只剩下作用于 B 点的力 F_1 (图 1.3(c)),显然它与原来作用于 A 点的力 F 等效。经验又告诉我们,在水平路面上用同样大小的水平力推车与拉车,可以产生同样的外效应。如果受力体不是小车,而是任一刚体,上述推论也是成立的。可见,力对于刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关,换言之,即力可以沿其作用线在刚体内任意移动而不改变它对刚体的作用效应。

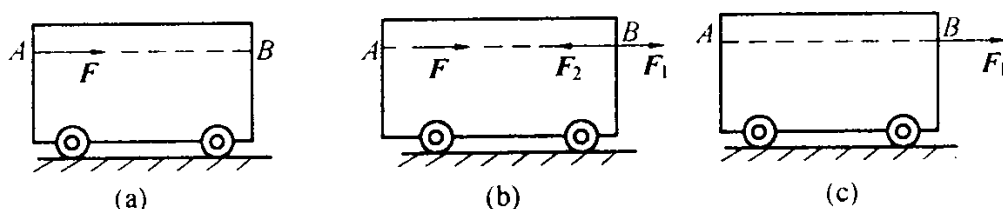


图 1.3 力的可传性原理的证明

必须注意,力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。例如,直杆 AB 两端受到两个等值、反向、共线的拉力 F_1 和 F_2 而保持平衡(图 1.4(a))。若将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端(图 1.4(b)),虽然直杆仍然平衡,但它的变形情况却由拉伸变为压缩。可见力的作用点沿其作用线移动改变了它的内效应。

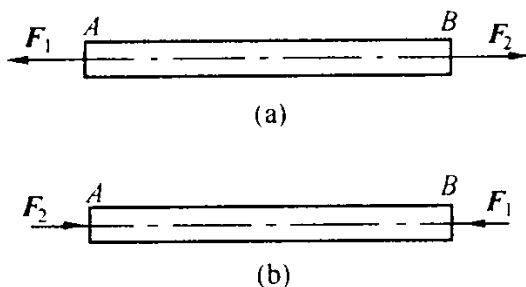


图 1.4 直杆的平衡

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,合力也作用于该点,合力的大小和方向由以这两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

设在刚体上 A 点作用有力 F_1 和 F_2 (图 1.5(a)),如以 R 表示它们的合力,则可以写成矢量表达式为

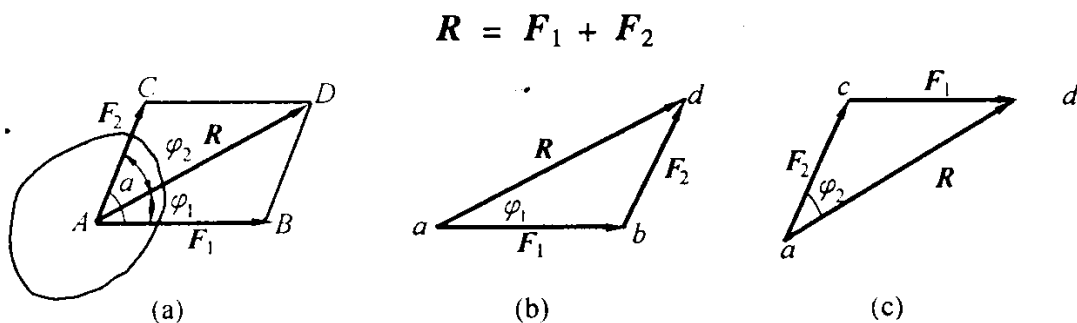


图 1.5 力的平行四边形法则

即合力 R 等于两分力 F_1 与 F_2 的矢量和(或称几何和)。公理三反映了力是矢量这一特征,而矢量相加与数量相加不同,必须用平行四边形的关系确定,它是力系简化的重要基础。

因为合力 R 的作用点也通过 A 点,当用几何作图法求合力的大小和方向时,往往无需作出整个平行四边形,可改用下述简单的方法:即先选取恰当的比例尺,用线段 ab 及 bd 分别表示力 F_1 及 F_2 的大小。从任选点 a 为起点,作 \overline{ab} 表示力矢 F_1 ,在其末端 b 作 \overline{bd} 代表力矢 F_2 ,则 \overline{ad} 即表示合力 R (图 1.5(b))。由此三个只表示力的大小和方向的分力矢和合力矢所构成的三角形 abd 称为力三角形,这种求合力矢的作图规则称为力的三角形法则。若先作 \overline{ac} 表示 F_2 ,再作 \overline{cd} 表示 F_1 ,同样可得表示 R 的 \overline{ad} (图 1.5(c)),这说明合力矢与两分力矢作图时首尾连接的先后次序无关。

反之,利用平行四边形法则,又可将一个已知力分解为作用在同一点上的两个分力。由于同一对角线可以作出无穷多个平行四边形,因此,若无附加条件,一个力分解为两个分力并不是惟一解。工程上常把一个力沿两个给定的方向进行分解,用得最多的是将力沿两个相互垂直的方向分解,这种分解称为正交分解。如图 1.6 所示,车刀 1 对工件 2 的切削力 F 可分解为切向力 F_t 和径向力 F_r 。

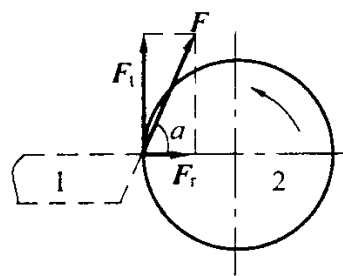


图 1.6 车刀的切削力
1—车刀;2—工件

推论 三不平行力平衡汇交定理

当刚体受共面三个互不平行的力作用而平衡时,若其中两个力的作用线相交于一点,则另外一个力的作用线也必然汇交于同一点。

证明 设在同一平面内有三个互不平行的力 F_1 、 F_2 和 F_3 分别作用于刚体上 A_1 、 A_2 和 A_3 三点,使刚体处于平衡(图 1.7)。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于 B 点,由刚体上力的可传性,可将力 F_1 和 F_2 移至交点 B ,并用公理三求其合力 R_{12} 。根据已知条件,则刚体在力 R_{12} 和 F_3 作用下平衡。由公理一知,力 F_3 和 R_{12} 必等值、反向、共线,因此 F_3 的作用线也必然通过力 F_1 与力 F_2 的交点 B 。