

职业技术教育教材

机电一体化——数控机床加工技术专业

机械 工 程 基 础

上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会 组编



机械工业出版社

上海市职业技术教育机械专业 教材编审委员会名单

主 任 夏毓灼
副 主 任 徐韵发 吴志清
委 员 (按姓氏笔画排列)
吉广镜 刘际远 金瑞□
徐孝远 高奇玲 谢卫华
秘 书 相雅蓉
本书主编 李培根
本书参编 卢小平 胡雅育 刘 秦
本书主审 郭庆荣

序

我国的现代化建设不但需要高级科学技术专家，而且迫切需要职业技术人才、管理人员和技术工人，而这类人才的培养主要是通过职业技术教育来实现的，所以党和国家非常重视职业技术教育的改革和发展。努力培养出各行各业所需的职业人才，是社会、经济发展对职业技术教育提出的迫切要求。我国的职业技术教育长期实行的是“学科本位”的教学模式，这种模式重理论轻实践，重知识轻技能，培养出的学生不适应社会、经济发展的要求。因此，职业技术教育要深化改革，办出特色，为社会培养出既有理论又有技能，德、智、体全面发展的一代新人。

职业技术教育要办出自己的特色，关键在于课程改革与教材建设。为此，1985年上海市教委启动了职业技术教育课程改革与教材建设工程（简称“~~素质~~工程”），即用1年左右的时间，完成1门普通文化课程的改革及示范教材的编写工作；完成1个典型专业（工种）的课程改革以及同步编写出部分典型示范性教材；经过1年左右的改革实践，基本形成一个具有职教特色的课程结构和教材体系。

这次课程改革与教材建设是以社会和经济发展的需要为出发点，以职业（岗位）需求为直接依据，以现行职业技术教育课程、教材的弊端为突破口，积极学习并借鉴国外职业技术教育课程、教材改革的有益经验，以实现办出职教特色的根本目的。在充分研究和广泛征求意见的基础上，确立了“能力为本位”的改革指导思想。目的是为了克服职教长期存在的重理论轻实践、重知识轻技能的倾向，真正培养出经济和社会发展所需要的职业技术人才。

在各方面的共同努力下，新的教材终于与广大师生见面了。这些新的教材并不是职业技术教育课程改革与教材建设的全部，它只是典型的示范性教材，因为职业技术教育的专业门类繁多，不可能在较短的时间内，依靠少数编写人员解决职教中全部的课程、教材问题。职业技术教育的课程改革和教材建设是一项系统的长期的工作，只有充分发挥广大教师的改革积极性，在教学过程中不断用“能力本位”的教育思想，主动进行课程与教材的改革，我们的课程、教材改革才能全面、持续而深入，才可能真正全面提高教学质量和效益，以不断适应社会、经济发展的需要。

新的教材代表新的思想、新的教法和学法。希望通过这些教材给大家一些启迪，同时也希望大家对新教材提出宝贵的意见。

在课程改革与教材建设过程中，得到了各方面的大力支持，特别是广大编审人员为此付出了辛勤的劳动。在此，向他们表示衷心的感谢！

上海市教育委员会副主任

上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会主任

薛喜民

前 言

“机电一体化——数控机床加工技术专业”教材，全套共 3 册，经过 3 年的努力，终于付梓出版了。这套教材是上海市教委组织的“3+2”课程改革和教材建设工程的重要组成部分，也是机械专业课程改革的教材建设的可喜成果。

随着科学技术的高速发展，传统的机械工业呈现出了新的技术发展趋势，进入了智能化领域。机电一体化的迅猛发展和数控机床加工技术在企业的普遍应用，对生产一线操作人员的知识和能力要求越来越高，客观上要求一线操作人员应由经验型向智能型转变，这套新教材正是为顺应这一发展趋势而组织编写的。

近 3 年来，我们机械专业教材编审委员会为此付出了辛勤的劳动，首先组织了长达半年的调查研究，并且参照加拿大 3 年经验，制作了 3 个表格，就数控机床加工技术专业职业技术人才的知识、能力要求，在五大行业、30 个企业中问卷调查了 300 人次，从而明确了该专业的知识和能力结构。其次，认真进行了课程改革方案的讨论和研究，确定了机电结合，“以机为主，以电为辅”；在课程安排中“以机为主，突出工艺”、“以电为辅，够用为度”的原则。然后对传统的课程体系进行重组优化，如对陈旧老化的知识予以删除，对烦琐的内容予以简化，对某些课程进行重新组合，针对新知识，特别是新的能力需求，设置了新课程。最后，我们按照教材的编写要求，组织了 3 个编写组，实施主编负责制。所聘的编写人员都是具有改革创新精神、有丰富教学经验、熟悉专业技术的专业人才；同时聘请了有较高造诣的高校教授任主审。为了确保教材质量，对每本教材的编写提纲都组织有关专家进行了逐一论证，从而保证了这套教材的科学性、针对性、实用性。

在这里，我觉得有必要对本专业的设计作一概要介绍。

专业学习期限：3 年。

培养目标是德、智、体、美全面发展，具有相当于高中的文化基础知识，掌握数控机床加工技术的理论和职业技能，面向生产第一线的工艺实施和智能型操作人员。

本专业强调务实能力，学生通过本专业的学习后，可具有中级水平的数控机床操作能力；具有编制中等复杂程度零件数控加工程序的能力；具有数控机床的刀具选用、调整、工件装夹等技能；具有数控机床维护、保养，并能排除简单故障的能力；具有正确解决零件在数控机床加工过程中质量问题的能力。

这套教材能得以顺利出版，无疑是集体智慧的结晶，是团队合作的成果。在此，我要感谢上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会的正确领导和指导；要感谢上海工业系统各行业、企业的支持和通力合作；要感谢为此呕心沥血、伏案疾书的近百名编审人员；最后还要感谢机械工业出版社的同志们。

当今，我们正处在改革的年代，正是这个年代催生了这套具有改革精神、时代特色和专业个性的新教材。愿随着这套教材的教学实施，能造就一批又一批新的职业技术人才，以服务于国家、造福于企业。

上海市职业技术教育机械专业教材编审委员会副主任 徐韵发

编者的话

本教材是根据上海市职业技术教育机械专业教材编审委员会审定的“机械工程基础”课程提纲编写的，可作为职业技术教育机械制造类和机电应用类各专业的教学用书。

本教材的主要特点是把“工程力学”、“金属工艺学”和“机械设计基础”三门课程有机地融合在一起。考虑到职业技术教育的特点，本书以传统内容为主，在保证基础知识和基本理论的前提下，摒弃了比较繁琐的理论推导和复杂的计算，突出了实用性和综合性，注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

本教材采用最新颁布的国家标准及行业标准，并力求做到内容充实、文字规范。书中各章均有例题，并在各章末附有复习思考题，以便于教学和学生自学。

本书由上海市机电工业学校编写，其中第一、二章由卢小平编写；第三、四、五、六、七、八、九、十章由胡雅育编写；第十一、十二、十三、十四章由刘秦编写；绪论及其余各章由李培根编写。由李培根担任本书主编。

本书由上海市机电职工大学郭庆荣副教授担任主审，对本书的编写提出许多宝贵意见；在本书的编写过程中，还得到上海市机电工业学校领导的大力支持，在此表示真诚的谢意。

限于编者的水平，加之编写时间仓促，书中错误和不当之处在所难免，恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

目 录

序		
前言		
编者的话		
绪论	员	
复习思考题	猿	
第一篇 工程力学		
第一章 静力学基础	源	
第一节 力的概念及静力学公理	源	
第二节 平面汇交力系的合成	远	
第三节 力矩与力偶	怨	
第四节 工程中常见的约束及 构件的受力图	园	
第五节 平面力系	苑	
第六节 摩擦	苑	
第七节 空间力系及重心	獭	
复习思考题	源	
第二章 材料力学基础	缘	
第一节 概述	缘	
第二节 轴向拉伸与压缩	猿	
第三节 剪切与挤压	远	
第四节 圆轴扭转	苑	
第五节 直梁的平面弯曲	愿	
第六节 组合变形的强度计算	怨	
第七节 构件的疲劳	园	
复习思考题	园	
第二篇 机械工程材料及热加工		
第三章 金属材料与热处理基础	源	
第一节 金属材料的性能	源	
第二节 金属学基础	远	
第三节 钢的热处理	猿	
复习思考题	源	
第四章 钢铁材料	猿	
第一节 概述	猿	
第二节 工业用钢	猿	
第三节 工程铸铁	愿	
复习思考题	源	
第五章 非铁金属与粉末冶金材料	猿	
第一节 铝及其合金	猿	
第二节 铜及其合金	愿	
第三节 滑动轴承合金	园	
第四节 粉末冶金材料	员	
复习思考题	园	
第六章 非金属材料	源	
第一节 高分子材料	源	
第二节 陶瓷材料	苑	
第三节 复合材料	愿	
复习思考题	园	
第七章 铸造	员	
第一节 概述	员	
第二节 砂型铸造	源	
第三节 特种铸造	怨	
第四节 铸造工艺新技术	园	
复习思考题	源	
第八章 锻压	猿	
第一节 概述	猿	
第二节 自由锻	远	
第三节 模锻	园	
第四节 板料冲压	园	
第五节 压力加工先进工艺简介	猿	
复习思考题	远	
第九章 焊接与胶接	苑	
第一节 焊接概述	苑	
第二节 焊条电弧焊	苑	
第三节 其他焊接方法简介	猿	
第四节 焊接新工艺简介	远	
第五节 胶接简介	愿	

复习思考题	猿怨	第九节 蜗杆传动	猿员
第十章 材料和毛坯的选择	猿园	复习思考题	猿怨
第一节 材料的选择	猿园	第十四章 轮系和减速器	猿猿
第二节 毛坯的选择	猿猿	第一节 轮系	猿猿
复习思考题	猿源	第二节 减速器	猿怨
		复习思考题	猿猿
第三篇 常用机构和机械传动		第四篇 联接与轴系零部件	
第十一章 常用机构	猿缘	第十五章 联接	猿缘
第一节 平面机构的运动简图及 自由度	猿缘	第一节 螺纹联接	猿缘
第二节 平面连杆机构	猿员	第二节 轴毂联接	猿圆
第三节 凸轮机构	猿圆	第三节 联轴器	猿圆
第四节 间歇运动机构	猿员	第四节 离合器	猿苑
第五节 螺旋机构	猿源	复习思考题	猿员
复习思考题	猿圆	第十六章 轴	猿猿
第十二章 带传动和链传动	猿猿	第一节 概述	猿猿
第一节 带传动概述	猿猿	第二节 轴的结构设计	猿源
第二节 普通 V 带和普通 V 带轮	猿苑	第三节 轴的强度计算	猿圆
第三节 普通 V 带传动的设计	猿圆	复习思考题	猿源
第四节 链传动	猿圆	第十七章 轴承	猿愿
复习思考题	猿苑	第一节 概述	猿愿
第十三章 齿轮传动	猿愿	第二节 滑动轴承	猿愿
第一节 概述	猿愿	第三节 滚动轴承的结构、 类型和代号	猿源
第二节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数 和几何尺寸	猿圆	第四节 滚动轴承的失效形式和 强度计算	猿猿
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 啮合传动	猿愿	第五节 滚动轴承的组合设计	猿圆
第四节 渐开线齿轮轮齿的切削加工 和精度	猿圆	复习思考题	猿源
第五节 斜齿圆柱齿轮传动	猿猿	第十八章 机械的润滑与密封	猿源
第六节 渐开线圆柱齿轮传动的 强度计算	猿愿	第一节 润滑的概念	猿源
第七节 直齿锥齿轮传动	猿源	第二节 常用传动装置的润滑	猿缘
第八节 齿轮的结构	猿愿	第三节 机械装置的密封	猿员
		复习思考题	猿源
		参考文献	猿源

绪 论

机械工程是最基础的应用工程，它为国民经济各个部门和国防建设提供技术装备，也为航空工业、宇航工业、核能源工业、海洋开发等尖端技术部门提供技术装备；同时它还为人民日常生活提供耐用的消费品。用机械进行生产是现代生产的主要方式，随着科学技术的发展，机械化已经成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

一、本课程的研究对象

本课程研究的对象是机械。所谓机械，是指机器与机构的总称。

机器是人类经过长期生产实践创造出来的重要工具，它的作用是实现能量转换或完成有用的机械功，用以减轻或代替人的劳动。例如在生产实践和日常生活中广泛使用的各类机床、电动机、内燃机、起重机、汽车、拖拉机、缝纫机、洗衣机等都是机器。

为了便于研究机器的工作原理，分析机器的运动特点和设计新机器，通常将机器视为由若干机构组成。

如图 1-1 所示的颞式破碎机，是由电动机 1 通过 灾带轮 圆 源和 灾带 猿把运动和动力传递给偏心轴 缘 其结构见图 1-2，偏心轴转动并带动动颞 远 动颞在肘板 苑的支持下作平面运动，从而可使夹放在动颞与定颞板 愿之间的石块（图中未画出）被逐渐击碎下落。该颞式破碎机可视为下列两种机构的组合：①由 灾带轮 圆 源和 灾带构成的带传动，其作用是实现变速；②由偏心轴 缘 动颞 远 肘板 苑和机架构成的铰链四杆机构，其作用是将偏心轴的连续转动变成动颞板的平面运动。

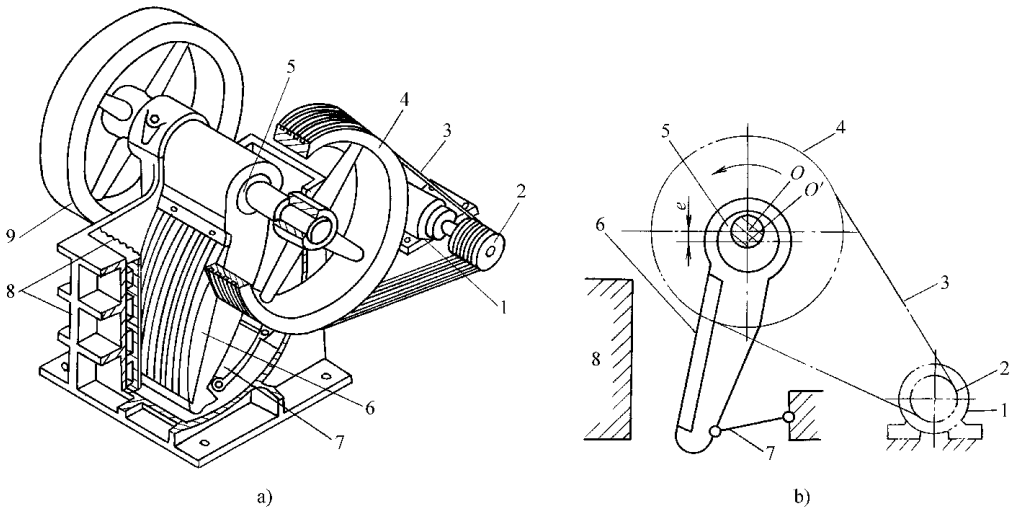


图 1-1 颞式破碎机

1—电动机 2—灾带轮 3—灾带 4—缘—偏心轴 5—远—动颞 6—苑—肘板 7—愿—定颞板 8—怨—飞轮

1—电动机 2—灾带轮 3—灾带 4—缘—偏心轴 5—远—动颞 6—苑—肘板 7—愿—定颞板 8—怨—飞轮

圆

由此可见，机构是若干具有确定相对运动构件的组合。它在机器中不仅能起到传递运动和动力的作用，而且还能起到改变运动形式、速度大小和运动方向的作用。机器与机构的区别在于：虽然机器与机构都是由构件组成，并都具有确定的相对运动，但机器具有能代替或减轻人类劳动、完成功能转换的特征，而机构则不具有此特征。

零件是指机械中不可拆的基本单元体，是制造单元。机械中的零件通常分为两类，一类是通用零件，它在各种机械中都可能用到，如螺栓、齿轮、轴、键、销等；另一类是专用零件，只用于某些类型的机械中，如电动机中的转子、叠片和笼条，内燃机中的曲轴和活塞，颚式破碎机中的动颚板等。此外，机械中还把为完成同一使命、彼此协同工作的一组零件所组成的组合体称为部件，如滚动轴承、联轴器、减速器等。所以通常所称的机械零部件，包括了零件和部件。

所谓构件，是指机构的基本运动单元，它可以是单一的零件，也可以是由几个零件固结而成的运动单元。如图 园猿 所示的颚式破碎机的动颚，就是由动颚体 员 动颚板 圆 压板 猿 和螺钉 源 等零件构成的一个构件。显然，构件与零件的区别在于：构件是运动的单元，而零件是制造的单元。



图 园圆 偏心轴的结构

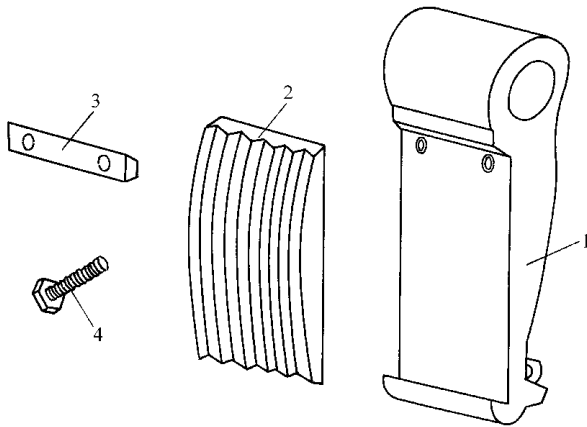


图 园猿 颚式破碎机的动颚

员-动颚体 圆-动颚板 猿-压板 源-螺钉

机器的种类繁多，其结构形式和用途各不相同。然而，一部完整的机器就其基本组成来讲，一般都有如下三个基本组成部分：

(员) 原动部分 它是驱动整个机器完成预定功能的动力源。各种机器广泛使用的动力源有电动机、内燃机等。通常一部机器只用一个原动机，对于复杂的机器也可能有两个或几个原动机。

(圆) 执行部分(又称工作部分) 它是机器中直接完成工作任务的组成部分，如起重机的吊钩、车床的刀架、磨床的砂轮、轧钢机的压辊、颚式破碎机的动颚等。其运动形式根据机器的用途不同，可能是直线运动，也可能是回转运动或间歇运动等。

(猿) 传动部分 它是机器中介于原动机和执行部分之间，用来完成运动形式、运动和动

力转换的组成部分。利用它可以减速、增速、调速(如机床变速箱)、改变转矩以及改变运动形式等,从而满足执行部分的各种要求。

简单的机器都可以由上述三部分组成,有的甚至只有原动机和执行部分,如水泵、排风扇等。但是,对于较复杂的机器除具有上述三个基本组成部分外,根据需要可另加控制装置(或控制系统)、润滑装置和照明装置等。

二、本课程的主要内容

本课程的主要内容分为以下四篇:

第一篇是工程力学。主要介绍构件的受力分析、力系的简化和构件的平衡条件,以及构件在外力作用下的变形、受力和破坏规律,强度(抵抗破坏能力)和刚度(抵抗变形能力)计算的方法。

第二篇是机械工程材料及热加工。主要介绍金属材料与热处理基础,常用钢铁材料、非铁金属材料和非金属材料的牌号、性能及用途,以及铸造、锻压、焊接与胶接成形工艺的基本知识。

第三篇是常用机构和机械传动。主要阐述一般机械中常用的平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、螺旋机构及带传动、链传动和齿轮传动的工作原理、特点、应用及设计的基本知识。

第四篇是联接与轴系零部件。主要介绍螺纹联接、轴毂联接、联轴器、离合器、轴和轴承的结构、特点、标准及其选用和设计的基本方法,以及机械的润滑与密封的基本知识。

三、本课程的性质和任务

本课程是职业技术学校工科有关专业的一门重要技术基础课。

通过本课程的学习,学生应达到:

- 员) 初步掌握分析解决工程实际中简单力学问题的方法;
- 圆) 初步掌握对杆件进行强度和刚度计算的方法,并具有一定的实验能力;
- 猿) 掌握常用机械工程材料的性能、用途及选用原则,初步掌握机械零件毛坯的基本知识;
- 源) 掌握常用机构和通用机械零件的基本知识,初步具有分析、选用和设计机械零件及简单机械传动装置的能力。

复习思考题

1) 什么是机器?什么是机构?机器和机构的区别是什么?

2) 什么是构件?什么是零件?构件和零件的区别是什么?

3) 什么是通用零件?什么是专用零件?试举例说明

4) 一部完整的机器一般由哪些部分所组成?各部分的作用是什么?

第一篇 工程力学

第一章 静力学基础

第一节 力的概念及静力学公理

一、力的概念

力的定义 人们在长期的生产实践中，经过不断观察和总结，逐步形成了力的定义：力是物体间相互的机械作用。例如：用手推门时，手与门之间有了相互作用，这种作用使门产生了运动；用气锤锻打工件，气锤和工件间有了相互作用，使工件的形状和尺寸发生了改变。

由此可见，力使物体的运动状态和形状尺寸发生改变。力使物体运动状态的改变称为力的外效应；力使物体形状和尺寸的改变称为力的内效应。

力的三要素及表示法 力对物体的作用效应取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。改变三要素中的任何一个要素，力对物体的作用效应也将随之改变。

由于力是一个既有大小又有方向的量，故力是矢量，通常用一段有向线段来表示，线段的长度按一定的比例表示力的大小；线段箭头的指向表示力的方向；线段的始端或末端表示力的作用点。此线段的延伸称为力的作用线。通常用黑体字（如 F ）代表力矢，以字母 F 代表力的大小。力的单位为 牛（牛顿）或 千牛（千牛顿）。

刚体 所谓刚体，就是在任何外力作用下，其大小和形状始终保持不变。显然，刚体是对物体进行抽象简化后的一种理想模型。这样的抽象化，将使静力学问题的研究大为简化。

力系与等效力系 若干个力组成的系统称为力系。若一个力系与另一个力系对物体的作用效应相同，这两个力系则互为等效力系。若一个力与一个力系等效，则称这个力为该力系的合力，而该力系中的各力称为这个力的分力。把各分力等效代换成合力的过程称为力系的合成，把合力等效代换成分力的过程称为力的分解。

平衡与平衡力系 平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。一力系使物体处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。

二、静力学公理

力的平衡公理

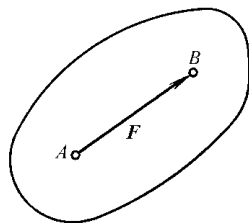


图 力的表示法

(员) 公理 作用于刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，作用线在一条直线上。简述为等值、反向、共线。

如图 员圆所示，物体置于水平面上，受到重力 G 和水平面的作用力 F_N 作用而处于平衡状态，这两个力必等值、反向、共线。反之，如图 员圆所示作用于刚体上的两个力 F_1 和 F_2 ，它们等值、反向、共线，则该刚体必处于平衡状态。

(圆) 二力构件 在两个力作用下处于平衡的构件一般称为二力构件，若二力构件的形状为杆状则称之为二力杆。工程实际中，一些构件的重力和它所承受的载荷相比小得多，可以忽略不计，若它们只受二个外力作用而平衡，则均可简化为二力构件(或二力杆)。

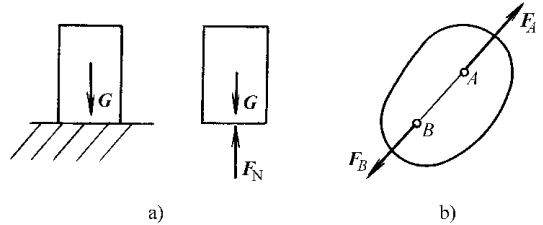


图 员圆 二力平衡公理

如图 员圆所示托架中。杆 粤月不计自重，在 粤端和 月端分别受到作用力 F_1 、 F_2 处于平衡，此二力必过这两力作用点 粤 月的连线。再如图 员圆所示的三铰拱桥结构中，不计拱桥自重时，在力 F 的作用下，月悦受 F_1 、 F_2 作用处于平衡，则这两力必过两力作用点 月 悦的连线(图 员圆)。

圆加减平衡力系公理

(员) 公理 在一个已知力系上加上或减去一个平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效应。

(圆) 力的可传性原理 作用于刚体上某点的力，可沿其作用线滑移到该刚体上的任何位置而不会改变原力对刚体的作用效应。

图 员圆所示的小车，在 粤点作用力 F 和在 月点作用力 F 对小车的的作用效应完全相同。

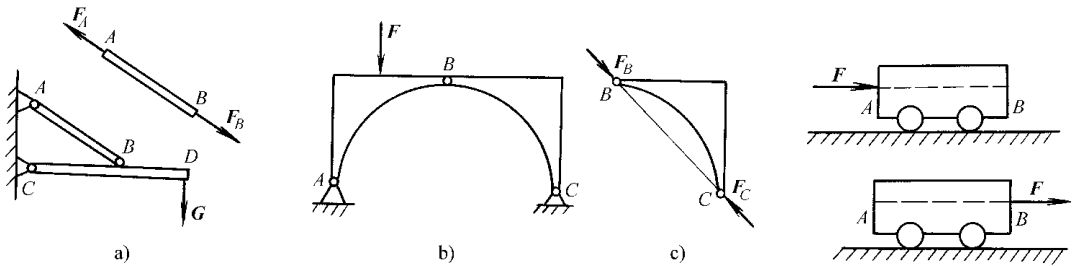


图 员圆 二力构件和二力杆

图 员圆 力的可传性原理

由此原理可知：力对刚体的作用效应，取决于力的大小、方向、作用线。必须指出，力的可传性原理只适用于刚体。

猿平行四边形公理 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，其大小和方向可用此两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示，如图 员圆所示。 $F_{合}$ 是 F_1 、 F_2 的合力，其运算也应按矢量运算法则进行，其矢量合成式为

$$F_{合} = F_1 + F_2$$

一个力也可以分解为两个分力，分解也按力的平行四边形公理来进行。显然，由已知力为对角线可作无穷多个平行四边形(如图 员圆所示)，故必须附加一定的条件，才可能得到确

切的结果。附加的条件可能为：①规定两个分力的方向；②规定其中一个分力的大小和方向等等。

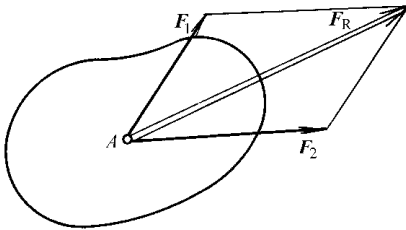


图 1.5.3 平行四边形公理

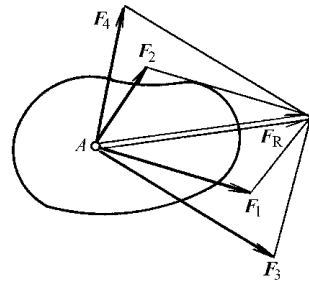


图 1.5.4 力的分解

作用与反作用公理 两物体间的作用力与反作用力，总是大小相等、方向相反、沿同一作用线，分别同时作用于两个相互作用的物体上。

该公理说明了力总是成对出现的。应用公理时注意区别它与二力平衡的两个力是不同的，作用力与反作用力分别作用在两个相互作用的物体上，二力平衡的两个力是作用在同一个物体上的。

第二节 平面汇交力系的合成

为便于讨论，将力系按各力作用线的分布状况进行分类，凡力系中各力的作用线在同一平面且汇交于一点称之为平面汇交力系。

由于力是矢量，故平面汇交力系的合成应按矢量运算法则进行。

一、平面汇交力系合成的几何法

两汇交力合成的力三角形法则 设力 F_1 与 F_2 作用于刚体上的 A 点，由前述可知以 F_1 、 F_2 为邻边作平行四边形，其对角线即为它们的合力 F_R ，并记作 $F_R = F_1 + F_2$ ，如图 1.5.5 所示。

为简便起见，作图时可省略 A 点，直接将 F_2 连在 F_1 的末端，通过 $\triangle ABC$ 即可求得合力 F_R ，如图 1.5.6 所示。此方法就称为求两汇交力合力的力三角形法则。

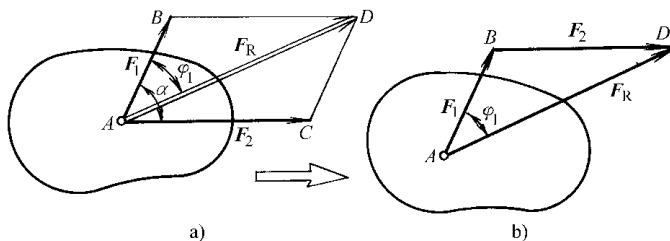


图 1.5.5 力三角形法则

多个汇交力合成的力多边形法则 设在刚体某平面上有一汇交力系 F_1, F_2, \dots, F_n 的作用，力系作用线汇交于 A 点，其合力 F_R 即可连续使用力的三角形法则来求得(图 1.5.7)。

其矢量表达式为

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n \quad (1.1)$$

由图 1.1 可见，为求合力 \vec{F}_R ，只需将各力 $\vec{F}_1, \dots, \vec{F}_n$ 首尾相接，形成一条折线，最后连接封闭边，从首力 \vec{F}_1 的始端向末力 \vec{F}_n 的终端所形成的矢量，即为合力 \vec{F}_R 的大小和方向，此方法称为力的多边形法则。

综上所述，平面汇交力系合成的一般结果为一合力 \vec{F}_R ，合力 \vec{F}_R 为力系中各力的矢量和，其作用点仍为各力的汇交点，且合力 \vec{F}_R 的大小和方向与各力合成的顺序无关。

例 1.1 一固定于房顶的吊钩上受三个力 \vec{F}_1, \vec{F}_2 和 \vec{F}_3 作用，其大小与方向如图 1.2 所示。试用几何法求此三力的合力。

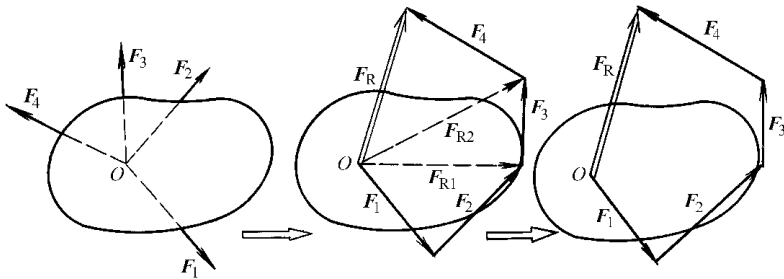


图 1.1 力多边形法则

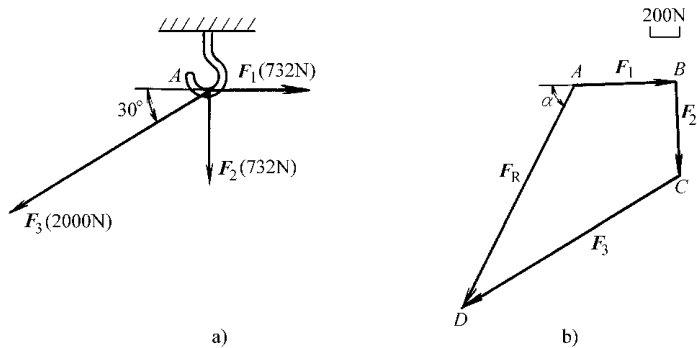


图 1.2 吊钩的合力

解 1) 选取某一长度代表 200N 的力的大小。

2) 按相同比例首尾相接地画出 $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ，随后连接其封闭边即可得到合力 \vec{F}_R (图 1.2b)。

3) 量出代表合力 \vec{F}_R 大小的长度 DA ，通过比例换算，得 $\vec{F}_R = 2000\text{N}$ 。

4) 用量角器量得 $\alpha = 30^\circ$ ，合力 \vec{F}_R 的方向可以确定。

若某一平面汇交力系是平衡力系，其合力应为零，则此力系所组成的力多边形必自行封闭。

二、平面汇交力系合成的解析法

1. 力在直角坐标轴上的投影 力 \vec{F} 在直角坐标轴上的投影定义为：过 \vec{F} 两端分别向坐标轴引垂线 (图 1.3a) 得垂足 M 和 N ，线段 OM 和 ON 分别为 \vec{F} 在 x 轴和 y 轴上投影的

愿

大小，投影的正负号规定为：从 F 到 F_x 或 F 到 F_y 的指向与坐标轴的正向一致为正，相反为负。云在 x 轴和 y 轴上的投影分别记作 F_x 和 F_y

若已知 F 的大小及其与 x 轴所夹的锐角 α ，则有

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

如将 F 沿直角坐标轴方向分解，所得分力 F_x 、 F_y 的大小与 F 在相应轴上投影 F_x 、 F_y 的绝对值相等；力的分力是矢量，力的投影是代数量。

若已知投影 F_x 、 F_y 的值，可求出 F 的大小及方向，

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \alpha &= \arctan \frac{F_y}{F_x} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

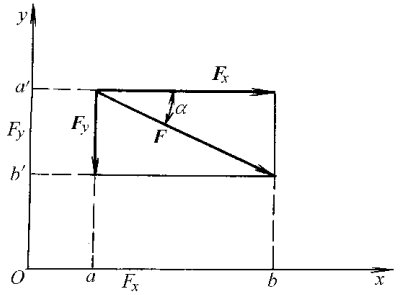


图 1.1 力的投影

合力投影定理 设在刚体上 O 点有平面汇交力系

F_1, F_2, \dots, F_n 的作用，据式 (1.1) 有

$$F_x = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + \dots + F_n \cos \alpha_n$$

将上式两边分别向 x 轴和 y 轴投影，则有

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + \dots + F_n \cos \alpha_n \\ F_y &= F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 + \dots + F_n \sin \alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

式 (1.3) 即为合力投影定理：力系的合力在某轴上的投影等于力系中各力在同轴上投影的代数和。

平面汇交力系合成的解析法 运用式 (1.3) 和合力投影定理，即可求得合力 F 的大小及方向，即

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \alpha &= \arctan \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

例 1.1 用解析法求例 1.1 中吊钩所受合力的大小及方向(图 1.2)。

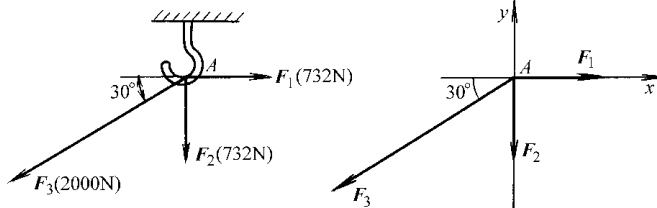


图 1.2 吊钩的合力

解 (1) 建立直角坐标系 Oxy ，由式 (1.4) 求解得

$$\begin{aligned} F_x &= F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3 \\ &= 732 \cos 0^\circ + 732 \cos 90^\circ + 2000 \cos 30^\circ \\ &= 732 + 0 + 1732 = 2464 \text{ N} \\ F_y &= F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 + F_3 \sin \alpha_3 \\ &= 732 \sin 0^\circ + 732 \sin 90^\circ + 2000 \sin 30^\circ \\ &= 0 + 732 + 1000 = 1732 \text{ N} \end{aligned}$$

越原员越晕

圆) 再由式(员)求解得

$$\begin{aligned}
 \text{云}_{\text{越}} & \sqrt{(\sum \text{云}_{\text{曾}})^2 + (\sum \text{云}_{\text{籍}})^2} \\
 & \sqrt{(\text{原员越团})^2 + (\text{原员越圆})^2} \text{ 晕} \\
 & \text{越圆越圆晕} \\
 \text{越渣云越云渣} & \\
 \text{越渣原员越母原员越团查} & \\
 \text{越员越圆} & \\
 \alpha & \text{越越圆}
 \end{aligned}$$

由于 云_曾、云_籍均小于零，故合力 云_越 的方向为左下指向。

第三节 力矩与力偶

一、力对点之矩

在生产实践中，人们认识到力不仅能使物体产生移动，还能使物体产生转动。如图 员越圆 所示，用扳手拧螺母时，扳手将连同螺母一起绕螺母的中心线转动，其转动效应不仅与作用力 云 的大小和方向有关，而且还与螺母转动中心 韵 到力 云 作用线的垂直距离 凿 有关。工程中以 云 与 凿 的乘积及其转向来度量力使物体绕点 韵 的转动效应，称之为力 云 对点 韵 之矩，简称为力矩。力矩是代数量，以符号 酝_越 (云) 表示，即

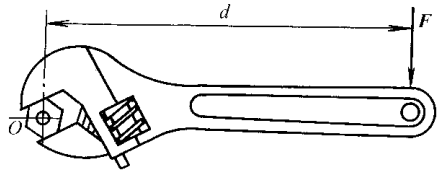


图 员越圆 力对点之矩

$$\text{酝}_{\text{越}}(\text{云}) \text{越云凿} \tag{员越圆}$$

式中，点 韵 称为矩心，凿 称为力臂，正负号表示力矩在其作用平面上的转向。一般规定力 云 使物体绕矩心 韵 逆时针方向转动为正，顺时针方向转动为负。力矩的单位是 晕皂(牛顿·米)。

由力矩的定义和式(员越圆)可知：

员) 当力作用线通过矩心时，力臂值为零，力矩值也必定为零。

圆) 力沿其作用线滑动时，由于没有改变力、力臂的大小及力矩的转向，故不会改变力对点之矩的值。

例 员越猿 栽形杆与顶面铰接，受力情况如图 员越猿 所示，设图中各力 云_员、云_圆 耶，尺寸 葬、遭、糟 和角度 α 均已知。试求各力对 韵 点的力矩。

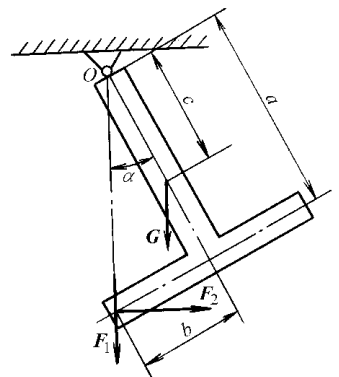


图 员越猿 力矩计算

解

$$\begin{aligned}
 \text{酝}_{\text{越}}(\text{云}_{\text{员}}) & \text{越圆} \\
 \text{酝}_{\text{越}}(\text{耶}) & \text{越原员越泽渣} \\
 \text{酝}_{\text{越}}(\text{云}_{\text{圆}}) & \text{越云}_{\text{圆}} \sqrt{\text{葬垣遭}^2}
 \end{aligned}$$

二、合力矩定理

合力矩定理 平面汇交力系的合力对平面上任一点之矩，等于所有各分力对同一点之矩的代数和(证明略)。

若在 粤点有一平面汇交力系 F_1, F_2, \dots, F_n 作用，据合力矩定理有

$$M_O(F) = \sum M_O(F_i) \quad (1.10)$$

合力矩定理不仅适用于平面汇交力系，对任何有合力的力系均成立。

在计算力矩时，有时力臂的几何关系比较复杂，不易确定时，可应用合力矩定理，将力作正交分解，先分别计算各分力的力矩，然后代数相加求出原力对该点之矩。

例 1.1 在图 1.1 所示的直齿圆柱齿轮和货箱中，已知齿面所受的法向力 F_n 越 压力角 α 越 分度圆半径 r 越 ；已知货箱所受的作用力 F ，尺寸 a, b 和夹角 α 。试求齿面法向力 F_n 对轴心 O 的力矩和货箱作用力 F 对支点 A 的力矩。

解 1) 齿面法向压力 F_n 到轴心的距离(即力臂)没有直接给出，可将 F_n 正交分解为圆周力 F_t 和径向力 F_r ，应用合力矩定理得

$$M_O(F_n) = M_O(F_t) + M_O(F_r) \\ = F_t \cdot r + F_r \cdot 0 \\ = F_n \sin \alpha \cdot r$$

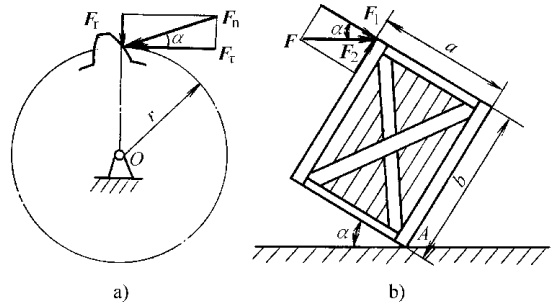


图 1.1 力矩的计算

2) 货箱的作用力 F 到支点 A 的力臂同样没有直接给出，可将 F 沿货箱长宽方向分解为 F_x, F_y ，应用合力矩定理得

$$M_A(F) = M_A(F_x) + M_A(F_y) \\ = F_x \cdot b + F_y \cdot a \\ = F \cos \alpha \cdot b + F \sin \alpha \cdot a$$

三、力偶的概念及其运算法则

力偶的定义和力偶的三要素 在生产实践中，除了力矩可以使物体产生转动效应外，还可见到使物体产生转动的例子。例如，司机用双手转动转向盘(图 1.2a)；钳工用丝锥攻螺纹时，用双手转动铤杆(图 1.2b)。因此，我们把使物体产生转动效应的一对大小相等、方向相反、作用线平行的两个力称为力偶(图 1.2c)。

力偶是一个基本的物理量，力偶中的两个力既不能相互平衡，也不能合成为一个合力，它只能使物体产生转动效应。力偶中两个力作用线所决定的平面称为力偶的作用面，两个力

