

面向21世纪高职高专规划教材

机械工程 设计基础

● 黄淑容 主 编
● 陈国发 副主编



国内许多高等院校机电专业规划教材

机械工程 设计基础

● 黄国荣 主 编
● 陈江明 副主编

机械工业出版社



面向 21 世纪高职高专规划教材

机械工程设计基础

主 编 黄淑容

副主编 陈国发

参 编 陈思义 杨晓兰 张光祖 王永健

黄志敏 张立红 石 坚

主 审 彭向和



机械工业出版社

本书对工程力学、工程材料及热处理、机械原理与零件等三门机械工程基础课程进行了整合。全书共十五章,其内容有:构件的静力分析与动力分析,机械工程中常用金属材料性能、热处理方式及材料的选用原则,常用机构的性能、特点及其应用,常用的传动零件、通用的支承类和联接类零部件的工作原理、特点、失效形式、设计准则以及结构设计等基本内容。各章配有适量的例题、思考题与习题以及必要的资料。

与本书配套的《机械工程设计基础实训》(陈国发主编),含实验篇、实作与综合训练篇和课程设计篇。

该书主要作为高等职业技术教育、高等专科学校机械类及近机类专业“机械工程设计基础”课程的教材,也可作为相关专业和成人高等专科学校教育的选用教材及供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程设计基础/黄淑容主编. —北京:机械工业出版社,
2003.6

面向 21 世纪高职高专规划教材

ISBN 7-111-11972-X

I. 机... II. 黄... III. 机械设计—高等学校:技术学校—教材

IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 034291 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:邓海平 冯春生 版式设计:冉晓华 责任校对:陈延翔

封面设计:陈 沛 责任印制:付方敏

北京中加印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ 20.25 印张·499 千字

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部1999年组织制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”和“高职高专教育专业人才培养目标及规划”的精神,遵循对专业基础课程进行合理整合和优化的原则,对机械工程设计所涉及的工程力学、工程材料及热处理、机械原理与零件等机械工程基础课程进行了整合。本书具有以下特点:

1. 本书遵循“应用为目的”、“必需、够用为度”和“少而精、浅而广”的原则,以机械传动装置和机械零件设计为主体,将工程力学、工程材料及热处理等相关内容有机地融入其中,使各部分内容相互渗透、交叉,打破了原课程的界限和体系,避免了各原课程内容的相互独立而由此造成的相关知识点的重复,突出了工程力学、工程材料与机械设计间的紧密联系。

2. 本书的涉及面广,虽内容多,但深浅适度,且结构紧凑,安排合理。在理论方面,既注重各部分基本知识点讲到、讲够,又尽量避免繁琐的推演,简洁而定性或定量地给出基本公式、结论及其使用条件。在应用方面,注重突出机构与机械传动的特点、应用及工作能力的分析,注重突出零部件的失效形式、设计准则、材料选择、结构设计和强度设计与验算。教材改革的力度较大,具有一定的工程背景和实用价值,并逐步体现出高等职业教育重在实践应用这一基本特色。

3. 本书所涉及到的标准均采用最新的国家标准,并尽量使用了国家标准规定的名词术语和符号。

4. 本书致力于在有限的时间内使学生最大限度地获取这三门课程的基本知识、基本技能,并能应用这些基本知识和基本技能完成简单的机械设计。

5. 与本书配套的《机械工程设计基础实训》(陈国发主编),含实验篇、实作与综合训练篇和课程设计篇。该配套教材从切实加强学生的应用能力与动手能力出发,列出了与课程相关的基本实验与选择性实验,给出了一定量的综合训练题与实作题,对机械传动和机械零件的设计提出了要求并给予了指导。

参加本书编写的有重庆工业职业技术学院的黄淑容(绪论、第一章、第十二章)、张光祖(第二章)、王永健(第四章),重庆石油高等专科学校的陈国发(第八章、第十章)、杨晓兰(第十三章、第十五章)、黄志敏(第三章),四川工商职业技术学院的陈思义(第十一章、第十四章),洛阳工业高等专科学校的张立红(第五章、第六章、第七章),重庆工业学校的石坚(第九章)。由黄淑容担任主编,陈国发担任副主编。

本书承蒙重庆大学彭向和教授担任主审,参加审稿的还有重庆工学院的邹继文、重庆工业高等专科学校的刘成俊、重庆工业职业技术学院的龚奇平、重庆工程职业技术学院的黄均平和重庆石油高等专科学校的韦志锋等老师,他们对本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此谨致以最衷心的感谢。

由于编者水平有限和时间仓促,书中的缺点和错误在所难免,敬请各位读者批评指正。

编 者

2002年12月

目 录

前言

绪论 1

第一节 本课程的研究内容和学习目的 1

第二节 本课程研究的对象 1

第三节 几个基本概念 2

思考题与习题 7

第一篇 基础篇 8

第一章 物体的受力分析与平面机构概述 8

第一节 运动副及其类型、约束力与受力图 8

第二节 平面机构的组成及其运动简图 15

第三节 平面机构的自由度和机构具有确定相对运动的条件 16

思考题与习题 19

第二章 构件的静力分析基础 24

第一节 力的投影与力矩的计算 24

第二节 力系的合成与平衡 27

第三节 构件的变形及其应力分析基础 40

思考题与习题 57

第三章 构件的运动与动力分析基础 65

第一节 点的运动 65

第二节 构件绕定轴转动 70

第三节 功与功率 74

第四节 动能定理概述 78

第五节 机械的平衡与调速 81

思考题与习题 85

第四章 机械工程材料基础 89

第一节 金属材料的性能 89

第二节 金属学基础 93

第三节 钢的热处理常识 102

第四节 常用金属材料 111

第五节 其他常用工程材料 127

第六节 材料的失效形式、常用零件的材料选择与热处理工序 130

思考题与习题 133

第二篇 机械中的常用机构 135

第五章 平面连杆机构 135

第一节 平面连杆机构的基本类型及应用 135

第二节 平面连杆机构的基本特性 140

第三节 图解法设计简单平面四杆机构 143

第四节 平面多杆机构简介 144

思考题与习题 145

第六章 凸轮机构 147

第一节 凸轮机构的基本类型 147

第二节 从动件常用运动规律 149

第三节 图解法设计盘形凸轮的轮廓曲线 152

第四节 凸轮机构设计中的几个问题 156

思考题与习题 158

第七章 间歇运动机构简介 160

第一节 棘轮机构 160

第二节 槽轮机构 162

第三节 不完全齿轮机构 163

思考题与习题 164

第三篇 机械传动与机械零件设计 165

第八章 机械传动与零件设计概论 165

第一节 机械传动的功用 165

第二节 机械传动形式的选择和机械传动的运动与动力计算 166

第三节 机械零件的工作能力及计算准则 168

第四节 机械零件设计的基本要求和过程 169

第九章 带传动与链传动 170

第一节 带传动的工作原理、类型及

特点	170	尺寸	223
第二节 V 带的结构、标准及带轮的 结构和材料	171	第三节 蜗杆传动的失效、材料、散 热与润滑	227
第三节 带传动的工作能力分析	174	第四节 蜗杆与蜗轮的结构	228
第四节 普通 V 带传动的设计计算	177	第五节 螺旋传动简介	229
第五节 带传动的张紧、安装与维护	180	思考题与习题	234
第六节 链传动简介	182	第十二章 轮系	236
思考题与习题	186	第一节 轮系及其分类	236
第十章 齿轮传动	187	第二节 定轴轮系的传动比	236
第一节 齿轮传动的特点和类型	187	第三节 周转轮系及其传动比	238
第二节 渐开线及渐开线齿廓	187	第四节 混合轮系及其传动比	241
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 各部分名称、几何参数和尺 寸计算	190	第五节 轮系的功用	242
第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合 传动	192	思考题与习题	244
第五节 渐开线齿轮的切齿原理与根 切现象	194	第十三章 联接	247
第六节 变位齿轮传动简介	196	第一节 键和销联接	247
第七节 标准斜齿圆柱齿轮传动	200	第二节 螺纹联接	252
第八节 标准直齿圆锥齿轮传动简介	203	第三节 联轴器与离合器	261
第九节 轮齿的失效形式及齿轮传动 设计准则	205	思考题与习题	266
第十节 圆柱齿轮传动的强度计算	209	第十四章 轴	267
第十一节 齿轮的结构设计	215	第一节 轴的分类、轴设计的基本准则	267
第十二节 齿轮传动的润滑	217	第二节 轴的结构设计与强度计算	268
思考题与习题	219	第三节 轴的刚度计算和临界转速简介	280
第十一章 蜗杆传动与螺旋传动	221	思考题与习题	283
第一节 蜗杆传动的组成与特点	221	第十五章 轴承与弹簧	286
第二节 蜗杆传动的主要参数及几何		第一节 滚动轴承	286
		第二节 滑动轴承	305
		第三节 弹簧	312
		思考题与习题	315
		参考文献	317

绪 论

第一节 本课程的研究内容和学习目的

机械工程科学是一门应用型技术科学,它存在于人类活动的各个领域,是人类社会生存与发展、进步与文明所必不可少的一门科学。而机械工程设计基础课程则是机械工程科学的基础,它主要研究常用机构和传动装置以及通用零件的工作原理、运动特性、承载能力、结构特点、材料选择、标准和规范等方面的内容。

通过这门课程的学习,应达到以下目的:

- 1) 实现在工程中能用图样和技术语言或其他手段来表达机构和机械传动装置以及机械零件的结构形状、材料、承载能力、使用性能、制造与维修等诸方面的要求,以指导人们的生产实践活动。
- 2) 应初步具备设计机械零件和传动装置的能力,以及运用机械工程中的最新科技成果服务于产品设计和开发的能力。
- 3) 应逐步增强自己参与工程实践的基本技能;逐步提高自己分析问题、解决问题的能力;逐步培养自己的创新能力、决策能力和与他人合作的能力。

第二节 本课程研究的对象

本课程研究的对象是机械,它是工程中的机器与机构的统称。机械是人类用以减轻或代替体力劳动和提高劳动生产率的主要生产工具。

图 0-1 所示为牛头刨床。它是由电动机 1 通过带传动(图中未画出)和齿轮 2、3 来实现减速,又通过齿轮 3 上的滑块 4 带动导杆 5 摆动,使导杆 5 上的销钉带动刨头 6 作往复直线运动而完成刨削动作。由此可以看出,电动机是为刨床提供运动与动力源的原动装置,带传动、齿轮传动与导杆机构组成了刨床运动与动力传递的传动装置,而刨头则是刨床完成工作任务的执行装置。通过这些装置的协同动作,实现了将电动机的电能转换为刨刀往复切削的机械能而完成有用功的目的。

图 0-2 所示为单缸四冲程内燃机。它是由燃气推动活塞 2 作往复移动,再经连杆 5 将活塞的移动转变为曲轴 6 的连续转动。在曲轴和凸轮轴之间安装了齿数为 1:2 的齿轮 10 和 9,以保证曲轴在转两周的过程中,通过齿轮 10 和齿轮 9 的啮合来带动凸轮轴 7 和顶杆 8 启闭进气阀 3 和排气阀 4 各一次。这样,当燃气推动活塞运动时,进、排气阀有规律地启闭,就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。该内燃机主要包括了由曲柄(曲轴)、连杆、滑块(活塞)与机架(气缸体)组成的曲柄滑块机构,由凸轮、顶杆与机架组成的凸轮机构和齿轮与机架组成的齿轮机构。

由以上实例可以得知,机器是人类用以减轻或代替体力劳动和提高劳动生产率的主要生产工具。它的特征为:机器是诸个实物的组合体,各个实物之间都具有确定的相对运动;机

器能代替或减轻人类的劳动去完成机械功或转换机械能。机构则是用来传递力和运动的，它是机器中起着改变运动形式、改变速度大小或方向以及传递力的作用的具有相对运动的实体，它只具备机器的前两个特征而不具备第三个特征。

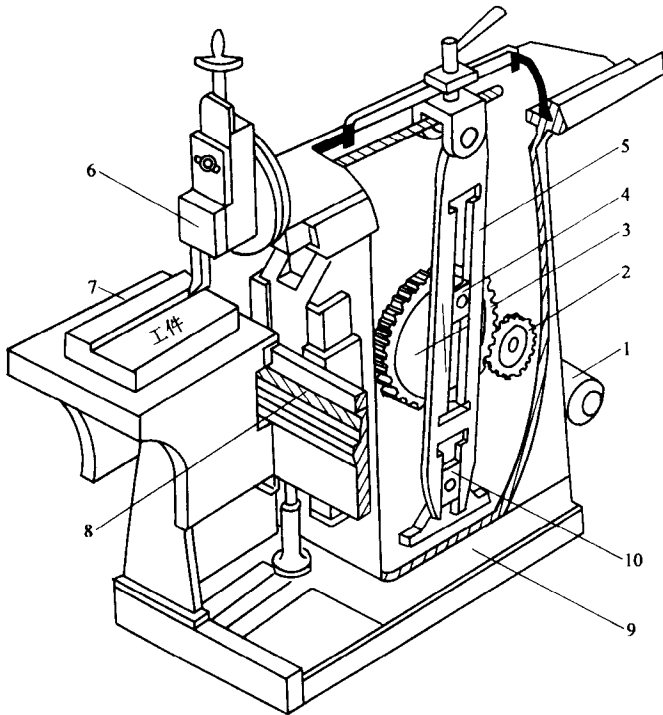


图 0-1 牛头刨床

1—电动机 2、3—齿轮 4、10—滑块 5—导杆
6—刨头 7—工作台 8—导轨 9—机座

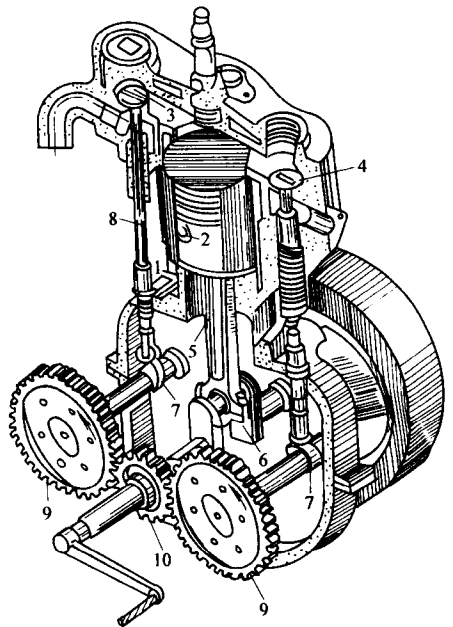


图 0-2 单缸四冲程内燃机

1—气缸体 2—活塞 3—进气阀
4—排气阀 5—连杆 6—曲轴 7—凸轮轴
8—顶杆 9、10—齿轮

组成机构的基本运动单元体称为构件。它可以是单一的零件，如牛头刨床中的导杆；也可以是几个零件通过静联接（相互固接，无相对运动）而组成的单元体，如内燃机中的凸轮轴 7 与齿轮 9 作为一个回转体而构成一个构件，曲轴 6 与齿轮 10 又构成一个构件，连杆也是由许多零件构成的一个构件。

组成机械的各个制造单元称为零件，如螺钉、螺母、轴、齿轮等。

机械中的零件分为两类：一类是通用零件——在各类机械中普遍使用的零件，如齿轮、轴、销、键、螺钉、弹簧等；另一类是专用零件——只在某一类型的机械中使用的零件，如内燃机中的活塞、曲轴、电动机的转子、风扇的叶片等。

为了叙述方便，常把工程中的结构元件、机械零件或部件也称为工程构件或构件。

第三节 几个基本概念

一、平衡的概念

力学中的平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的一种状态。例如，静止

在地面上的厂房、机床的床身、桥梁以及在直线轨道上匀速行驶的列车等，都是相对于地球处于平衡状态的。

作用于物体上的若干个力构成一个力系，当物体处于平衡状态时，该力系必须满足一定的条件，这个条件称为力系的平衡条件，而这个力系就称为平衡力系。

二、刚体与变形固体

任何物体在受力后或多或少地都将发生一些变形（形状或尺寸的变化），但在对构件进行外力分析与运动分析中，这些变形对所研究的问题没有实质性影响，这时就可将所研究的对象抽象为在力的作用下，其大小和形状都保持不变的物体，这样的物体称为刚体。经过这样的抽象，可使对物体的受力分析与运动分析的研究极大地简化。

在研究构件的承载能力时，构件发生的变形是不能忽略的，这时所研究的对象不能再视为刚体，而是受力后要发生变形的物体，这样的物体称为变形固体，简称变形体。工程中，对于大多数变形体可抽象为其体内毫无间隙地充满了物质，且各处和各个方向都具有相同的力学性能。

三、力与力偶

1. 力

力是物体间相互的机械作用，它能使物体的运动状态发生改变（力的运动效应）或使物体发生变形（力的变形效应）。实践表明，力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和力的作用点这三个要素。

力是矢量。凡是矢量，在图上均用带箭头的有向线段表示，如图 0-3 所示，矢量的方向（箭头指向）代表力的方向，矢量的始点或终点为力的作用点。当用符号表示力矢量时，应用黑体的大写字母如 F 、 F_R 、 P 、 Q 、 W 、 G 等表示，矢量的模即为力的大小，用一般大写字母 F 、 F_R 、 P 、 Q 、 W 、 G 等表示。

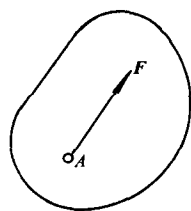


图 0-3 力的图示

在国际单位制中，力的常用单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。力和力系具有以下基本性质：

性质 1 作用于同一刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要与充分的条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

性质 1 给出了刚体在最简单力系下的平衡条件，称为二力平衡条件。需要指出的是，此性质对变形体而言只是必要条件而非充分条件。如图 0-4a 中的杆（刚体）不管受拉还是受压均能处于平衡状态；若把杆换成软绳（变形体），则受拉仍能处于平衡状态，而受压则将卷曲而不平衡，如图 0-4b 所示。

在工程中，常把只受两力作用而平衡的构件称为二力构件，或称二力杆。对于二力构件

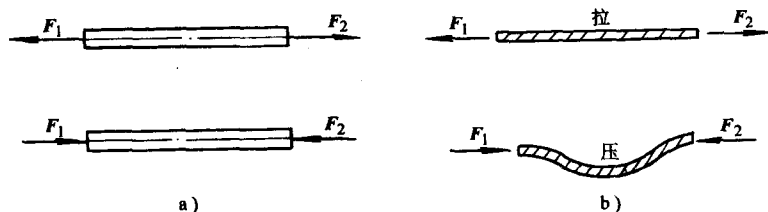


图 0-4 二力平衡条件

或二力杆,若已知二力的作用点,则根据二力平衡条件,即可确定这两个力的方位。如图 0-5 所示的杆均不计自重,且只有 A、B 两点受力,故这些杆均为二力杆,其两点所受的力 F_A 和 F_B 的作用线必定沿着力的作用点 A 和 B 的连线,如图 0-5 所示。

性质 2 在刚体上增加或减去一组平衡力系并不改变原力系对刚体的作用效应。

性质 2 是力系简化的基础,称为加减平衡力系公理。由此性质还可导出力的可传性原理(简要推导见图 0-6):作用在刚体上的力可沿其作用线任意滑移,而不改变该力对刚体的作用效应。由此可见,力对刚体的效应与力的作用点在作用线上的位置无关,所以对于刚体,力的三要素为力的大小、方向和作用线。应该强调的是,性质 2 和力的可传性原理均不适用于变形体。

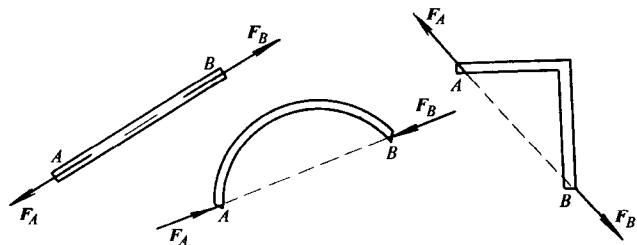


图 0-5 二力构件(杆)

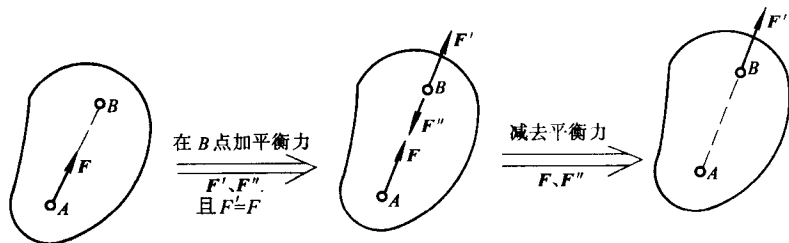


图 0-6 力的可传性原理推导

性质 3 作用在物体上某一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 0-7a 所示,图中 F_R 表示合力, F_1 、 F_2 表示分力,合力与分力的矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (0-1)$$

性质 3 即力的平行四边形法则,它为力系的简化提供了理论基础。由该性质可知,力的加减

是矢量的合成与分解,必须遵循平行四边形法则。另外,由图 0-7b 所示,在求合力 F_R 时,可不必作出力的平行四边形,只需画出力三角形即可。力三角形的作法是:作矢量 AB 代表力 F_1 ,再从 F_1 的终点 B 作矢量 BC 代表 F_2 ,最后从 F_1 的起点 A 向 F_2 的终点 C 作矢量 AC ,即为合力 F_R ,这一合成方法称为力三角形法则。

性质 4 两物体间的作用力与反作用力总是大小相等,方向相反,沿同一直线分别作用在这两个物体上。

性质 4 即力的作用与反作用定律。该性质为研究由多个物体组成的物体系统提供了基

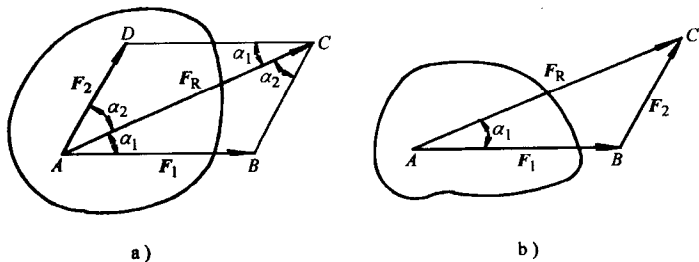


图 0-7 力的合成

础。应该注意的是,力总是成对出现,有作用力就必有反作用力,它们同时出现,同时消失。

2. 力偶

力学上把一对大小相等、方向相反、作用线相互平行且不共线的两个力称为力偶,用符号 (F, F') 或 M 来表示。在力偶中,两力作用线所决定的平面称为力偶面,作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂(图0-8a)。力偶在生产和生活中常常遇到,例如,钳工用丝锥攻螺纹(图0-8b),司机操纵方向盘(图0-8c)等。

力偶是力学中的一个基本物理量,它对物体只产生转动效应,其转动效应用力偶矩度量。在平面问题中,力偶中任一力的大小与力偶臂的乘积,并冠以正、负号,则称为力偶矩,即

$$M = \pm Fd \quad (0-2)$$

习惯上规定:使物体逆时针转动的力偶矩为正,反之为负。

在国际单位制中,力偶矩常用的单位为牛顿·米($\text{N}\cdot\text{m}$)或千牛·米($\text{kN}\cdot\text{m}$)。

力偶具有以下基本性质:

性质1 力偶不能合成为一个力且自身又不平衡,故力偶不能与一个力等效也不能与一个力平衡。

性质2 作用于同一平面内的两个力偶,若其力偶矩相等,则该两力偶彼此等效。

性质3 只要保持力偶矩不变,可以任意改变力偶的大小和力偶臂的长短或将力偶在其作用面内任意移转,均不改变它对刚体的作用效应(图0-9)。

由性质3可知,力偶作用的效应最终取决于力偶矩的大小和力偶的转向。因此,可以将力偶用一弧形箭头表示,弧形箭头所在的平面为力偶作用面,弧形箭头的指向表示力偶的转向, M 表示力偶矩的大小。图0-10给出了力偶的几种表示方法。

作用于同一刚体上的一群力偶称为力偶系。若力偶系中各力偶的作用面均在同一平面内,则称为平面力偶系。刚体在平面力偶系作用下的效应与一个力偶等效,因此,平面力偶系可以合成为一个力偶,则合力偶的力偶矩等于原力偶系中各力偶矩的代数和,即

$$\sum M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n \quad (0-3)$$

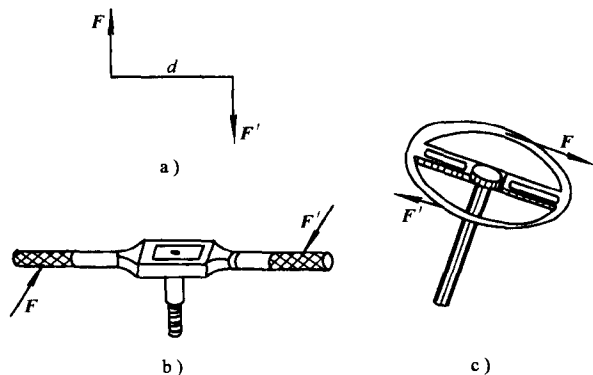


图 0-8 力偶

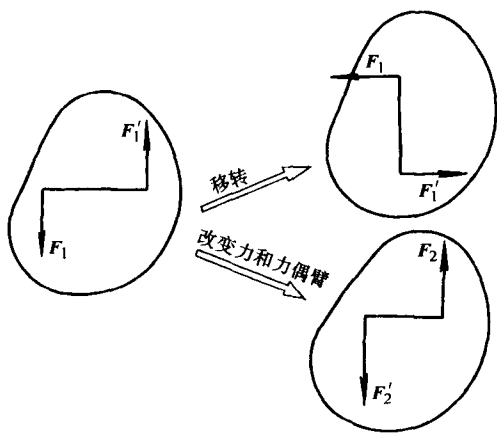


图 0-9 力偶的特性

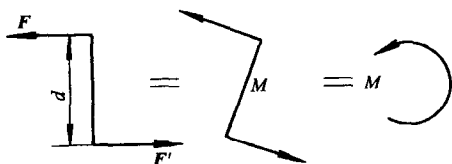


图 0-10 力偶的几种表示方法

四、内力与应力

1. 内力

在外力的作用下构件将发生变形,而由此引起内部分子之间相对位置的改变,这种由分子之间相互位置的变化而产生的分子之间相互作用的力称为内力。构件的内力随构件变形的增加而增加。但对于确定的材料,内力的增加有一定的限度,超过这一限度,构件将失去正常的工作能力而失效。因此,内力是分析构件承载能力的基础。

构件的内力在截面上是连续分布的,组成一个分布内力系。在受力分析中,通常指的内力是分布内力系的合力或合力偶。下面我们通过一个简单实例来说明确定内力的一般方法。

如图 0-11a 所示的杆件,在杆两端作用有一对轴向外力 P 。若欲求 $m-m$ 截面上的内力,可假想地用一截面将杆于 $m-m$ 处切取为 I、II 两段(图 0-11b、c);今任取其中一段 I 进行分析。因杆件原来在一对 P 力的作用下平衡,截开后的该段也必须平衡;因此, I 段除受 P 力作用外,在 $m-m$ 截面上还受 II 段对 I 段的作用力 F_N 的作用,该 F_N 就是 $m-m$ 截面上内力;根据二力平衡条件,可得 $F_N = P$ (若以 II 段为研究对象可得同样的结果)。不难看出,截开处左右两侧面的内力互为作用与反作用的关系。

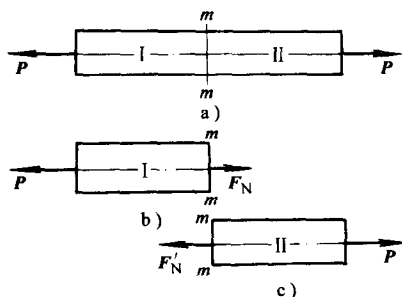


图 0-11 截面法求内力

上述用假想截面将构件一分为二,任取其一为研究对象,在截开的截面上用内力代替另一部分对它的作用,并由平衡条件求得内力的方法,称为截面法。

2. 应力

由于截面上的内力是一分布的内力系的合力,这一合力不能反映分布内力系在某一点的密集程度。为了准确地反映截面一点处的实际受力情况,引出了应力的概念。所谓应力,就是指分布内力在一点的集度。

为了确定截面上各点的应力,可在 $m-m$ 截面上任取一微小面积 ΔA ,假设 ΔA 上内力的合力为 ΔP (图 0-12a),且 ΔP 在 ΔA 上均匀分布,若应力用 p 表示,则 ΔA 上的平均应力 p_m 为

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (0-4)$$

当 ΔA 趋近于零时, p_m 的极限值 p 就是 $m-m$ 截面上 K 点的应力,即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (0-5)$$

p 是一个矢量,由力的平行四边形法则可以把它分解为垂直于截面的分量 σ 和相切于截面的分量 τ (图 0-12b)。其中, σ 称为正应力, τ 称为切应力。

应力的单位为帕斯卡 (Pa), $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$; 常用的单位是兆帕 (MPa), $1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2$; MPa 与 Pa 的换算关系为 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

五、强度与刚度

构件在力的作用下将产生一定程度的变形。变形

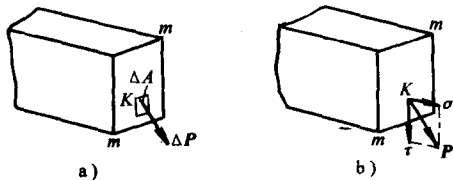


图 0-12 应力

可分为弹性变形和塑性变形两大类。若随外力的消除而变形全部消失的这一类变形称为弹性变形；若去掉外力后其变形不能完全消失仍残留在体内的这一类变形称为塑性变形。

当作用在构件上的力超过一定限度时，将导致构件丧失正常的功能，这种现象称为失效或破坏。工程构件的失效形式很多，最为常见的失效是强度失效与刚度失效。

所谓强度，是指构件在载荷的作用下，抵抗破坏或塑性变形的能力。例如，起吊重物用的钢丝绳和吊钩均不允许断裂，齿轮的轮齿不能破损或折断，使之有足够的强度以保证它们能正常工作。构件因强度不足而丧失正常功能称为强度失效。

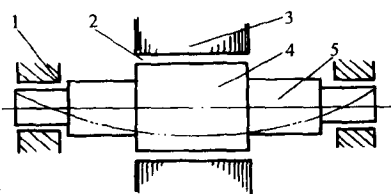


图 0-13 电机轴

1—轴承 2—空隙 3—定子
4—转子 5—转轴

所谓刚度，是指构件在载荷的作用下，抵抗变形或保持弹性变形不超过允许数值的能力。例如，电动机的转子和定子之间的空隙很小（图 0-13），其转轴除应满足强度要求外，还要限制其最大变形不能超过转子与定子间的间隙，以防运转时转子与定子相碰；另外，转轴变形过大，还会导致轴承的不均匀磨损，使其传动精度降低。构件因刚度不足而丧失正常的工作能力称为刚度失效。

由此可见，强度和刚度是度量构件承载能力的重要指标。

思考题与习题

- 0-1 用 2~3 个生产中的实例说明机器所具有的特征。
- 0-2 用 2~3 个生活中的实例说明机构所具有的特征。
- 0-3 用实例说明构件与零件的区别与联系，通用零件和专用零件的区别。
- 0-4 试问普通自行车是平面机构吗？为什么？
- 0-5 一刚体在 A 点受 F_1 、 F_2 、 F_3 三个平面力作用，如图 0-14 所示。试用力的平行四边形法则和二力平衡条件分析该刚体是否处于平衡状态。
- 0-6 能否在不计自重的曲杆（图 0-15）A、B 两点各施加一个力，使该杆处于平衡状态？若能，则施加力的方法一共有几种？
- 0-7 图 0-16 中， G 为电动机的重力， F_N 是电动机对地面的压力， F'_N 是地面对电动机的约束力，问哪一对力是作用与反作用力？哪一对力互相平衡？电动机实际受到哪些力的作用？

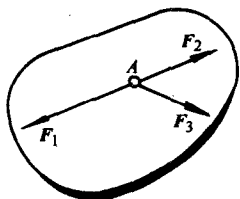


图 0-14 题 0-5 图

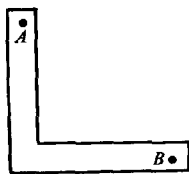


图 0-15 题 0-6 图

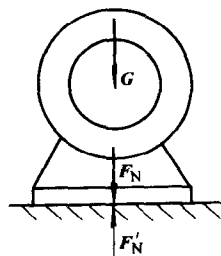


图 0-16 题 0-7 图

第一篇 基础篇

本篇将从机械设计的角度出发,对平面机构的组成及其运动简图,构件的静力分析、运动与动力分析,常用的工程材料和金属热加工方面的知识作一基本介绍。

第一章 物体的受力分析与平面机构概述

本章主要研究运动副与约束,机构与构件的受力分析,平面机构的组成及其运动简图,机构自由度计算和机构具有确定运动的条件等内容。

第一节 运动副及其类型、约束力与受力图

一、构件的自由度

当构件未与其他任何物体接触时,其运动是自由的,则这类构件称为自由体。自由体在平面内有三种运动的可能性,即沿 x 轴、 y 轴的移动和绕 Oxy 平面内任意点 A 的转动,如图 1-1 所示。自由体在空间有六种运动的可能性,即沿 x 、 y 、 z 三个方向的移动和绕 x 、 y 、 z 三轴的转动。

一个构件作独立运动的可能性,称为该构件的自由度。由此可见,一个在平面上自由运动的构件有三个自由度,在空间自由运动的构件有六个自由度。

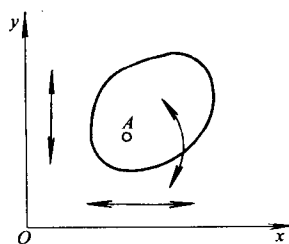


图 1-1 构件的自由度

二、运动副与约束

1. 运动副与约束

当构件组合成机构时,构件之间必须以一定的方式联接起来,以保证构件间具有确定的相对运动。构件间这种相互接触又有一定的相对运动的联接,称为运动副。例如,门窗与铰链(图 1-2a)、齿轮轮齿的啮合(图 1-2b)、车轮与钢轨(图 1-2c)、轴与轴承、活塞与气缸、连杆与曲柄(曲轴)(图 1-2d)等形成的联接,都构成了运动副。

当构件与其他物体相互接触时,构件的运动将受到与其接触物体预先给定的限制,则此类构件称为非自由体,对该类构件的运动构成限制的物体称为约束。显然,在构件间引入运动副时即形成了约束。

工程中的结构和机械中的构件,为了承受确定的载荷以及传递运动实现所需要的动作,彼此间将形成各种各样的约束。例如,门、窗由于铰链的限制只能绕固定轴转动,铰链便是门、窗的约束;轴由于轴承的限制只能绕自身轴线转动,轴承便是轴的约束;火车在钢轨上行驶,钢轨便是火车的约束;活塞只能沿气缸直线移动,气缸便是活塞的约束等。

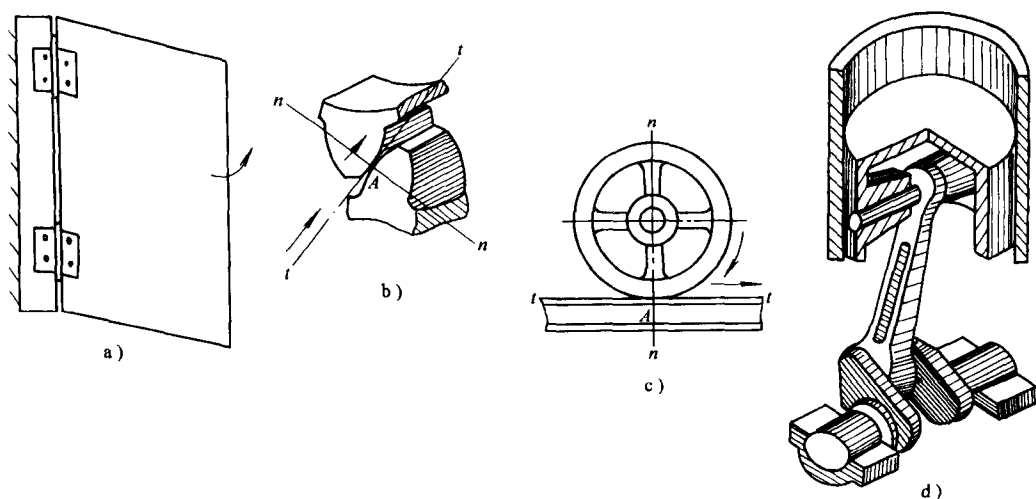


图 1-2 运动副的形成

2. 运动副类型及其特性分析

平面机构中的运动副按构件的接触特性分为低副和高副。

低副是指构件间通过面接触的运动副，它又分为移动副和转动副。而高副是指构件间通过点、线接触的运动副。

各类平面运动副的实例、类型、特点及表示符号见表 1-1。

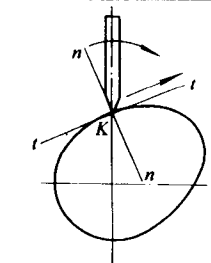
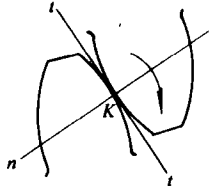
3. 约束类型与约束力分析

由于约束对物体运动的限制，使之受到被约束物体的作用力；反过来，根据作用与反作用定律，约束也必给物体一反作用力，这个反作用力就称为约束力。

表 1-1 运动副的实例类型、特点及表示符号

运动副类型	实 例	表示符号	相对运动关系	构件的自由度	运动副特点
平面低副	转动副 		运动副限制构件沿 x 和 y 方向的移动，使构件只能绕销的轴线相对转动	构件的自由度为 1 (转动)	表面应力小，能承受较大的压力，易于润滑，经久耐用
	移动副 		运动副限制构件沿 y 方向的移动和绕运动平面内任意点的转动，使构件只能沿滑道 (即 x 轴) 移动	构件的自由度为 1 (移动)	

(续)

运动副类型	实 例	表示符号	相对运动关系	构件的自由度	运动副特点
平面高副			运动副只限制构件沿接触点处的公法线方向的移动, 使构件能沿公切线方向移动和绕接触点K的转动	构件的自由度为2 (移动和转动)	表面应力大, 易磨损, 寿命低, 但有较多的自由度, 在实现复杂运动规律时比低副强
					

约束力为一种被动力, 其大小和方向与约束的类型和作用于物体上的主动力 (引起物体运动或运动趋势的力, 通常是已知力) 有关。下面介绍几种常见的约束及其约束力。

(1) 柔性约束 由绳索、带、链条等对物体所构成的约束称为柔性约束。该约束将限制物体沿柔体的中心线离开柔体的运动, 其约束力必沿着柔体的中心线, 其箭头背向物体。该力为拉力, 用符号 F_T 表示。

图 1-3a 中链绳对重物的约束力 F_{TB} 、 F_{TC} 以及图 1-3b 中带对带轮的约束力 F_{T1} 、 F_{T2} 等都属于柔性约束力。

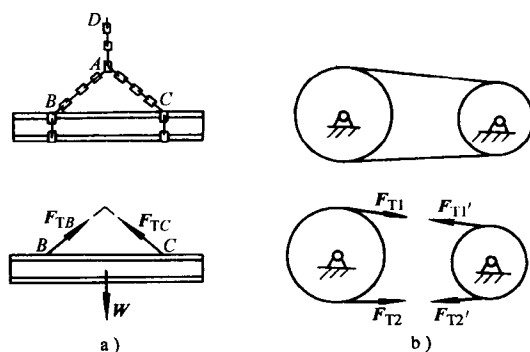


图 1-3 柔性约束

(2) 光滑面约束 光滑平面或曲面对物体所构成的约束称为光滑面约束。这种约束只能限制物体沿接触面公法线方向而趋向支承面内的运动, 其约束力必通过接触点沿着接触表面的公法线, 其箭头指向物体。该力为压力, 用符号 F_N 表示。

图 1-4a 中物块所受到的约束力 F_N 、图 1-4b 中小球所受到的约束力 F_N 、图 1-4c 中杆所受到的约束力 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} 以及图 1-4d 中齿轮轮齿所受到的力 F_N 均属于光滑面约束力。

(3) 光滑圆柱铰链约束 两个物体用光滑圆柱销相联接而形成的约束称为圆柱铰链约束。这种约束限制被约束物体间的相对移动, 但不限制物体绕销轴线的相对转动。其常见的类型有固定铰支座和中间铰。当铰链联接的构件之中有一构件为固定构件 (支座) 所形成的铰链约束称为固定铰支座, 如图 1-5a 所示, 图 1-5b 所示的是固定铰支座的力学模型; 当铰链联接的两构件均为活动构件所形成的约束称为中间铰, 如图 1-6a 所示, 图 1-6b 所示的是中间铰的力学模型。

铰链联接所产生的约束力从约束特性来看与光滑面约束相同, 但由于接触点的位置与构