



国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

机构与零件设计

主编 李学东



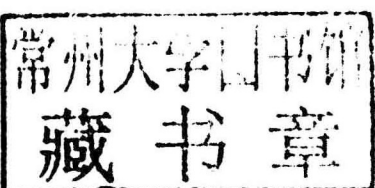
黄河出版传媒集团
阳光出版社



国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

机构与零件设计

主编 李学东



黄河出版传媒集团
阳光出版社

图书在版编目(CIP)数据

机构与零件设计 / 李学东主编. —银川: 阳光出版社,
2011. 1 (2013. 3 重印)
ISBN 978-7-80620-772-7

I. ①机… II. ①李… III. ①机械元件—机械设计—
高等学校:技术学校—教材 IV. ①TH13
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 026908 号

机构与零件设计

李学东 主编

责任编辑 李媛媛
封面设计 狄多强
责任印制 郭迅生



黄河出版传媒集团
阳光出版社 出版发行

地 址 银川市北京东路 139 号出版大厦(750001)
网 址 www.yrpubm.com
网上书店 www.hh-book.com
电子信箱 yangguang@yrpubm.com
邮购电话 0951-5044614
经 销 全国新华书店
印刷装订 宁夏捷诚彩色印务有限公司
印刷委托书号(宁)0010921

开 本	787mm × 1092mm 1/16	印 张	20.75
字 数	400 千	版 次	2011 年 1 月第 1 版
印 次	2013 年 3 月第 2 次印刷		
书 号	ISBN 978-7-80620-772-7/T·4		

定 价 39.00 元

版权所有 翻印必究



前言

宁夏职业技术学院于 2007 年被国家教育部、财政部确定为国家一百所示范性高等职业院校立项建设单位。项目实施以来,学院以专业建设为龙头,围绕自治区经济发展战略定位。按照“专业对接市场、课程对接能力、质量对接需求”的理念,有针对性地设置和调整专业。积极实践工学结合、校企合作人才培养模式改革和课程体系改革。以“开放、合作、包容、共赢”为原则,与区域内近二百家企业实施校企合作、人才共育。在工作过程系统化的课程体系建构和工学结合专业课程建设中,以设备、工作对象、案例、典型产品等为载体,组织教学内容,实施教学,取得了一批标志性成果。为了推广在课程建设中取得的成效,决定编辑出版部分教材和实训指导书。

特别感谢合作企业给予学校的大力支持。由于编者水平所限和时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请业内专家和广大读者指正。

宁夏职业技术学院国家示范性
高职院校建设项目教材编写委员会
2010 年 3 月 18 日

目录

绪论	1
模块一 静力学基础	4
课题一 分析构件的受力	4
课题二 分析平面汇交力系	14
课题三 计算力对点之矩	19
课题四 分析平面力偶系	22
课题五 分析平面一般力系	26
思考与练习	36
模块二 材料力学基础	41
课题一 计算杆件的轴向拉伸(压缩)强度	41
课题二 计算构件的剪切与挤压强度	55
课题三 计算圆轴的扭转强度和刚度	59
课题四 计算直梁的弯曲强度	67
课题五 计算组合变形构件的强度	84
课题六 认识交变应力和疲劳失效	92
思考与练习	96
模块三 平面机构运动简图和自由度	103
课题一 绘制平面机构运动简图	103
课题二 分析平面机构的自由度	109
思考与练习	116

模块四 平面连杆机构	118
课题一 识别铰链四杆机构的类型	118
课题二 用作图法设计平面四杆机构	124
思考与练习	129
模块五 凸轮机构	131
课题一 认识凸轮机构	131
课题二 用作图法设计凸轮机构	135
思考与练习	142
模块六 间歇运动机构	144
课题一 分析棘轮机构	144
课题二 认识槽轮机构	148
思考与练习	151
模块七 挠性传动	152
课题一 设计 V 带传动	152
课题二 设计滚子链传动	171
思考与练习	182
模块八 平行轴圆柱齿轮传动	184
课题一 计算渐开线直齿圆柱齿轮的几何尺寸	185
课题二 计算斜齿圆柱齿轮的几何尺寸	193
课题三 认识变位齿轮传动	198
课题四 设计平行轴圆柱齿轮传动	205
思考与练习	223
模块九 蜗杆传动	225
课题一 计算蜗杆传动的几何尺寸	225
课题二 设计蜗杆传动	233

思考与练习	243
模块十 轮系	244
课题一 计算定轴轮系的传动比	245
课题二 计算行星轮系的传动比	248
思考与练习	252
模块十一 螺纹连接与螺旋传动	254
课题一 设计螺纹连接	254
课题二 分析螺旋传动	268
思考与练习	272
模块十二 轴系零部件	274
课题一 设计减速器的低速轴	274
课题二 选用键连接	286
课题三 选用联轴器、离合器	291
课题四 设计滑动轴承	298
课题五 选用滚动轴承	306
思考与练习	325
附录 型钢表	327
参考文献	328
后记	329

绪 论

机器是人类在长期生产实践中创造出来的重要的生产工具，它对人类文明的发展起着至关重要的作用。人们依靠机器减轻劳动强度、提高劳动生产率，并为社会创造更多的财富。在现代工业社会中，机器的设计和制造水平已成为一个国家现代化程度的重要标志。随着科技进步，机器的种类不断增多，性能不断提高，功能不断扩大。

一、机器的组成及特征

人们在生产实践和日常生活中，广泛使用和接触着各种机器，如：自行车、汽车、轮船、推土机、各类机床、洗衣机等。机器的种类繁多，用途各异，但它们都有共同的特征。

从机器的功能要素来看，一台机器一般由原动部分、传动部分、工作部分、控制部分以及辅助部分组成。

图 0-1 所示为牛头刨床的结构示意图。电动机 1 通过皮带 2 和齿轮系统 3 将动力传递给大齿轮 4，大齿轮的转动又通过销钉带动滑块 5 在导杆槽中上下滑行，迫使导杆 6 绕滑块摆动，从而推动滑枕 7 左右移动，使固装在刀架上的刀具 10 随之往复直线运动，实现对工件的加工。手柄 8 和丝杠 9 则用来调整刀具的进刀深度。在这里，电动机是机器动力来源，即原动部分；刀架带着刨刀对工件进行切削，直接完成生产任务，即执行部分；带传动、齿轮传动等把原动部分的动力和运动的传到执行部分，这些中间装置统称为传动部分；手柄和丝杠以及整台机器的电动开关等属于控制部分；而床身、润滑系统、照明装置等则属于辅助部分。

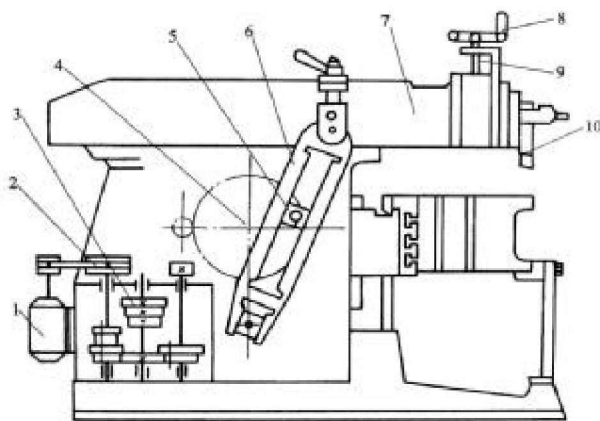


图 0-1 牛头刨床

从机器的结构来看,机器是由一个或几个机构加上动力源组成。

图 0-2 为单缸内燃机结构图,它主要由缸体 1 (机架)、曲柄 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 7、推杆 6 和 8、凸轮 9 以及齿轮 10 和 11 等组成。当燃气推动活塞在气缸内作直线往复移动时,通过连杆使曲柄作连续转动,从而把燃气的热能转换为机械能。其中:活塞、连杆、曲柄和机架构成曲柄滑块机构,它将活塞的往复移动变换为曲柄的连续转动;齿轮和机架构成齿轮机构,用于改变曲柄的转速,并将一个曲柄的转动分解成两个等速的齿轮转动;凸轮、推杆和机架构成凸轮机构,它将凸轮的连续转动变为推杆的往复移动,以启闭进气阀和排气阀。

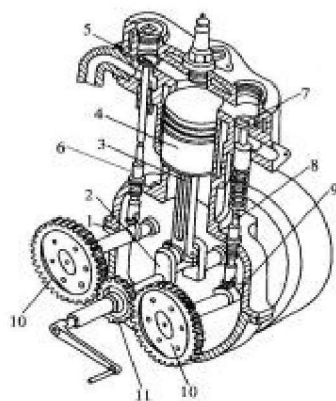


图 0-2 单缸内燃机

机构是由若干构件通过可动连结而组成的具有确定运动的组合体,它在机器中起着改变运动速度、运动方向和运动形式的作用。如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。

构件是由一个或若干个零件通过刚性连结而形成的组合体,它是运动的单元体。

零件是组成机构的最基本单元,是加工制造的单元体。各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,如螺钉、齿轮、轴和弹簧等。只在某一种类型的机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机的活塞、汽轮机的叶片、轧钢机的轧辊等。

通过对上述两个的实例分析可以看出,机器具有三个共同特征:

- (1)它们都是人为实体的组合;
- (2)各部分间具有确定的相对运动;
- (3)能够代替或减轻人的劳动强度,完成机械功或转换机械能。

凡同时具备上述三个特征的实体组合就称为机器,而只具备前两个特征的,则是机构。机器与机构的主要区别在于:机器可同时产生能量的转换和运动的传递,机构则只反映各构件之间的相对运动关系。由于机器和机构在组成和运动方面是相同的,所以习惯上把机器和机构统称为机械。

二、课程的内容、性质和任务

1. 课程的内容

本课程阐述机械力学、常用机构、通用零件设计等相关问题。主要介绍构件静力学分析和强度分析的基本知识,机械常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。课程内容还涉及一些相关的国家规范,某些标准零部件的

选用原则和方法,以及通用零部件的一般使用和维护知识等。

2. 课程的性质

本课程是一门技术基础课。它综合运用工程力学、机械制图、金属工艺学、公差配合的等知识,解决常用机构及通用零部件的分析和设计等问题。本课程主要研究各类机械所具有的共性问题,具有较强综合性和实践性,它较先修的基础课程更接近于工程实际,但也有别于后续的专业课程。本课程地位重要,是机械类相关专业的必修课。

3. 课程的任务

- (1)以静力学分析为基础,掌握构件强度计算方面的基本知识。
- (2)熟悉常用机构的结构、运动特性及其应用,了解常用机构设计的方法。
- (3)基本掌握通用零件的工作原理、选用和维护等方面的知识。
- (4)初步学会使用标准和技术资料进行通用零件和简单机械传动装置的设计,为学习后续机械类专业课程打好基础。
- (5)通过实验实训培养一定的动手能力和分析解决实际问题的能力。

三、课程的学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要转折点,因此,学生在学习本课程时应注意学习方法的转变。必须注意以下几点:

- (1)本课程是将多门先修课程的基本理论应用于实际,以解决有关工程实际问题。因此,必要时可以复习相关先修课程,以便深入理解本课程有关内容。
- (2)由于在生产实践中所遇到的问题很复杂,很难用纯理论的方法来解决,因此在教材中常常采用很多经验性公式和参数以及简化计算(条件性计算)等,这一点必须在学习过程中逐步适应。
- (3)计算步骤和计算结果不象基础课程那样具有唯一性。
- (4)计算对解决设计问题虽然很重要,但并不是唯一要求的能力。学生必须逐步培养综合分析的能力,把理论计算与结构设计、工艺等结合起来解决设计问题。

模块一 静力学基础

所谓静力,是指恒定不变或变化非常缓慢的力。在工程实际中,往往需要对物体所受到的载荷进行静力分析,以便为进一步设计提供依据。静力分析是以静力学中力系平衡规律为出发点,分析物体在平衡时所表现出来的基本性质并解决力系简化与平衡等问题。静力分析在工程技术中具有重要的实用意义。

课题一 分析构件的受力

【能力目标】

1. 熟练掌握平衡状态下构件的受力分析方法。
2. 能够准确地画出构件的受力图。
3. 能够分析复杂系统中各个构件的受力状况。

【知识要点】

力学要素的基本概念,静力学公理及其推论,约束的类型以及相应的约束反力。

【任务引入】

如图 1-1 所示,一个三铰拱桥由左、右两半拱在 C 点铰接而成。在左半拱 AC 上作用有载荷 F_P ,如果不计半拱自重以及各处摩擦,试分析左、右两半拱以及整个桥的受力状况并画出受力图。

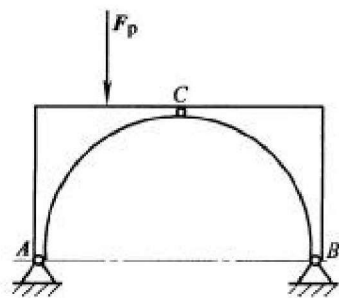


图 1-1 三角拱桥

【任务分析】

拱桥是由两个半拱所组成的结构。左、右半拱分别通过铰点 A 和 B 固定在地表,两半拱又通过铰点 C 连接,这些铰点对半拱起到限制作用,使得拱桥在外力作用下处于平衡状态。在不计重力和摩擦的情况下,右半拱只受到铰点的约束力,而左半拱除受到铰点的约束力外还受到外力 F_P 的作用,两者的受力状况是不同的。那么,如何正确分析和表示两个半拱所受力的作用呢? 这需要运用静力学基本知识。

【相关知识】**一、静力学基本概念****1. 力**

力的概念产生于人们长期的生产劳动中。例如,地球引力(重力)使树上的苹果落地;汽车驶过桥梁会使桥面变形;人推小车使其由静到动,同时感到小车也在推人;手用力拉弹簧,使弹簧发生伸长变形,同时感到弹簧也在拉手等。这种力的作用广泛存在于人与物及物与物之间。

(1)力的定义:力是物体之间相互的机械作用。力的形式多样,性质各不相同。力对物体会产生两种效应,一是使物体的机械运动状态发生改变,二是使物体的形状发生改变。一般把前者称为力的外效应或运动效应,把后者称为力的内效应或变形效应。力的外效应又有两种情况:例如,人沿直线轨道推小车使小车产生移动,这是力的移动效应;人作用于绞车手柄上的力使鼓轮转动,这是力的转动效应。而在一般情况下,一个力对物体作用时,既有移动效应,又有转动效应。静力学以刚体为研究对象,因此只研究力的外效应。

(2)力的三要素:力对物体的作用效应,决定于力的大小、方向(包括方位和指向)和作用点,这三个因素称为力的三要素。如果改变其中任何一个要素,就会改变力对物体的作用效应。例如:用扳手拧螺母时,作用在扳手上的力,因大小不同,或方向不同,或作用点不同,它们产生的效果就不同(图 1-2a)。

需要注意的是,力的作用点是力作用在物体上的位置。实际上,当两个物体直接接触时,力总是分布地作用在一定的面积上。如手推车时,力作用在手与车相接触的面积上。当力作用的面积很小以至可以忽略其大小时,就可以近似地将力看成作用在一个点上。作用于一点上的力称为集中力。如果力作用的面积很大,这种力称为分布力。例如,作用在墙上的风压力或压力容器上所受到的气体压力,都是分布力。有的力不是分布地作用在一定的面积上,而是分布地作用于物体的每一点上,如地球吸引物体的重力。

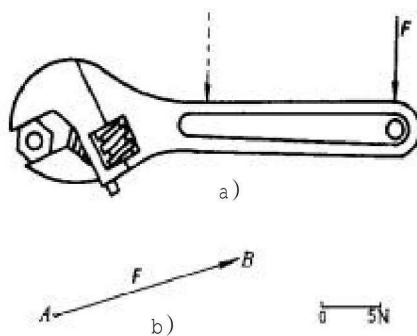


图 1-2 力的三要素

(3)力是矢量:矢量常用一个带箭头的有向线段来表示(图 1-2b),线段长度 AB 按一定比例代表力的大小,线段的方位和箭头表示力的方向,其起点或终点表示力的作用点。此线段的延伸称为力的作用线。一般用黑体字 $\mathbf{F}$ 代表力矢,并以同一字母的非黑体字 F 代表该矢量的大小。

(4)力的单位:度量力大小的单位随单位制不同而不同。力的国际单位是牛顿或

千牛顿,其符号为 N,或 kN。

2. 刚体

刚体是指在受力状态下几何形状和尺寸保持不变的物体,它是静力学的主要研究对象。刚体是一个理想化的模型,现实并不存在这样的物体。在工程实际中,机械零件和构件的变形一般都非常微小。例如,桥梁在车辆、人群等荷载作用下的最大竖直变形一般不超过桥梁跨度的 $1/700 \sim 1/900$ 。这种微小变形对于物体的受力平衡影响极小,可以忽略不计,因此通常将机械零件和构件视为刚体以便简化问题。当然,在研究物体的变形问题时,就不能把物体看作是刚体,否则会导致错误的结果。本书在分析构件受力时将其视为刚体,而在分析构件的承载能力(强度、刚度)时,将其视为变形体。

3. 平衡

平衡是物体机械运动的一种特殊状态,是指物体相对于惯性参照系静止或做匀速直线平动的状态。平衡是有条件的,工程上所指的物体平衡,一般是相对于地球而言的。常将固连于地球或相对于地球做匀速直线运动的参考系视为惯性参考系。

4. 力系

作用在物体上的一群力称为力系。按力系中各力作用线分布情况可将力系进行分类。当力系中各力的作用线均在同一平面上时,该力系称为平面力系,否则称为空间力系。当各力的作用线均汇交于一点时,称为汇交力系;当各力的作用线互相平行时,称为平行力系;当各力作用线不全汇交于一点,也不全互相平行时,称为一般力系或任意力系。平面一般力系是工程上最常见的力系,很多实际问题都可简化成平面一般力系问题处理。如果两个力系对同一物体的作用效应完全相同,则称这两个力系互为等效力系。

二、静力学公理

人们在长期的生活和生产实践中,经过观察和反复验证,归纳总结出一些最基本的力学规律,这些规律称为静力学公理。静力学公理是静力分析的依据。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等、方向相反、且作用于同一直线上(图 1-3)。

这个公理揭示了刚体在最简单力系下的平衡条件,称为二力平衡条件。应注意,该公理对刚体是充要条件,而对变形体则是必要条件。例如,软绳受拉力作用可处于平衡,但若是受压力作用,则将卷曲而不能平衡。

工程中常把只受两个力作用而平衡的构件称为“二力构件”或“二力杆”。它们的受力特点是:两个力的方向必在二力作用点的连线上。应用二力构件的概念,可以很方便地判定结构中某些构件的受力方向。图 1-4 所示的杆件若不计自重,且只有 A、B 两点受力,则这样的杆件就是二力构件。

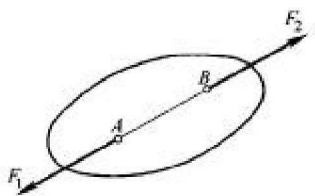


图 1-3 二力平衡

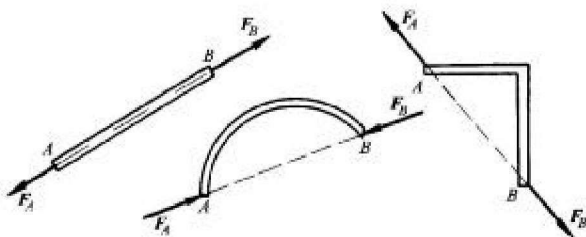


图 1-4 二力构件

公理二 加减平衡力系公理

在刚体的原有力系中,加上或减去一组平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

这一公理可用来进行力系的替换与简化。应注意的是,该公理也只适用于刚体,而对涉及内力和变形的问题中,公理二也不适用。依据这一公理,可以得出一个重要的推论。

推论 1(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内任一点,而不改变原力对刚体的作用效应。

例如,图 1-5 中在车后 A 点加一水平力推车,与在车前 B 点加一水平力拉车,其效果是一样的。

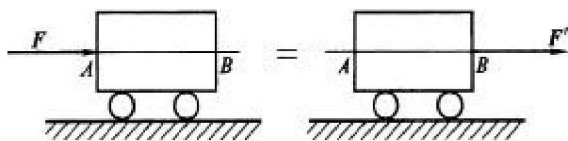


图 1-5 力的可传性

这个原理可利用上述公理推证如下:

- (1) 设 F 作用于 A 点(图 1-6a);
- (2) 在力的作用线上任取一点 B,并在 B 点加一平衡力系(F_1, F_2),使 $F_1 = -F_2 = -F$ (图 1-6b);由加减平衡力系公理知,这并不影响原力 F 对刚体的作用效应;
- (3) 再从该力系中去掉平衡力系(F, F_1),则剩下的 F_2 (图 1-6c)与原力 F 等效。这样就把原来作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点。

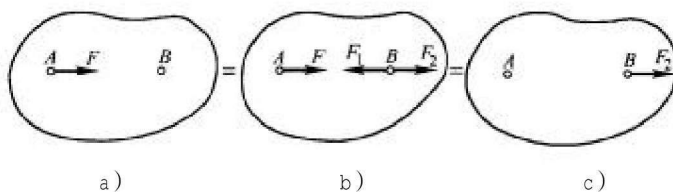


图 1-6 力的可传性原理推证

根据力的可传性原理,力在刚体上的作用点已经被其作用线所代替,所以作用于刚体上的力的三要素又可以说成:力的大小、方向和作用线。这样的力矢量称为滑移矢量。

应注意,力的可传性原理只适用于刚体,对变形体不适用。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体某一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,合力的大小和方向由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线所确定,即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。

如图 1-7 所示,合力 F 的矢量表达式为

$$F = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

在实际应用中,可由公理三得到求合力的三角形法则,如图 1-8a 所示:首先在任意点 A 画出力矢 F_1 ,然后由 F_1 的终点画力矢 F_2 ,最后由 A 点至力矢 F_2 的终点作矢量 F_R ,则 F_R 就是 F_1 、 F_2 的合力。在作力三角形时,必须使分力力矢首尾相接,合力力矢与最后的分力箭头相接。分力力矢的次序对合力 F_R 无影响(图 1-8b)。力三角形只表示力的大小和方向,而不表示力的作用点或作用线。

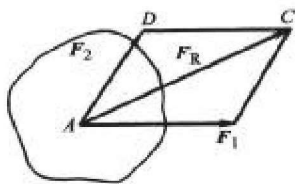


图 1-7 力的平行四边形法则

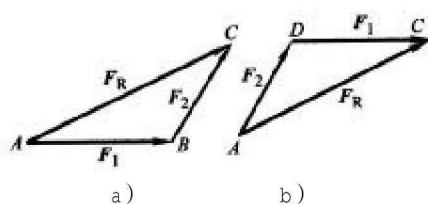


图 1-8 力的三角形法则

公理三总结了最简单的力系简化规律,它是较复杂力系合成的主要依据。应注意,此公理不仅适用于刚体,也适用于变形体。

力的分解是力的合成的逆运算,因此也是按平行四边形法则来进行的,但为不定解。在工程实际中,通常把力进行正交分解,形成方向互相垂直的两个分力。例如,在进行直齿圆柱齿轮的受力分析时,常将齿面的法向正压力 F_n 分解为推动齿轮旋转的圆周力 F_t 和指向轴心的径向力 F_r (图 1-9)。

运用公理二,公理三可以得到下面的重要推论:

推论 2(三力平衡汇交定理) 刚体受三力作用而平衡,若其中两力作用线相交,则此三力共面且作用线汇交于一点。

该定理的推证:如图 1-10 所示,刚体受力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用而处于平衡。先将力 F_1 、 F_2 滑移至交点 B,并合成为力 F_R ,则 F_R 与 F_3 二力平衡,于是 F_3 与 F_R 共线,故 F_3 与 F_1 、 F_2 共面,且交于同一点 B。

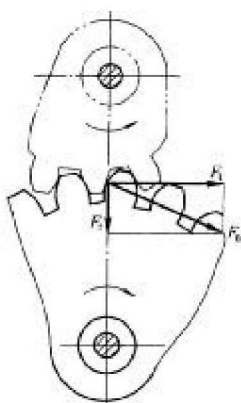


图 1-9 力的正交分解

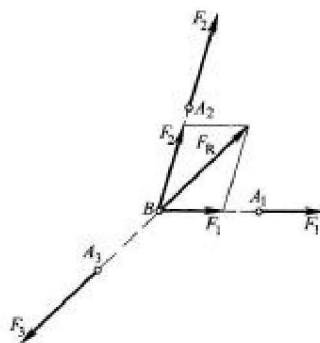


图 1-10 三力平衡汇交定理

公理四 作用与反作用公理

两个物体间的作用力与反作用力总是同时存在,且两力等值、反向、共线、分别作用于两个物体上。

该公理说明,物体之间的作用是相互的,有作用力就有反作用力,两者总是同时出现,又同时消失。如图 1-11 所示,放在地面上物体对地面产生压力 N ,同时,地面作用于物体一个支持力 N' ,这两个力等大、反向、共线。

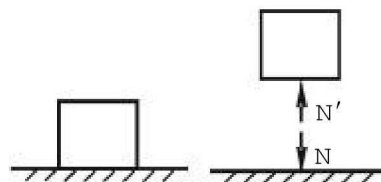


图 1-11 作用力与反作用力

应注意,作用力和反作用力是分别作用于两个不同的物体上的,这两个力不是相互平衡的关系,这与作用在同一个物体两个平衡力有本质的区别。

三、约束和约束反力

机器或者工程结构总是由各个零件通过一定的方式连接而成,零件的运动必然相互牵连和限制。例如:转轴受轴承的限制,只能绕轴心线转动;汽车只可沿地面运动而不能沿垂直于地面的方向运动;任务中的拱桥固连于地面支座而不能左右移动;等等。

一个运动受到限制或约束的物体,称为被约束体。凡是限制某物体运动的其他物体,都称为该物体的约束,如轴承是转轴的约束,地面是汽车的约束。约束对物体的作用实质上是力的作用,因为约束限制了物体本来可能产生的某种运动,故约束必然有力作用于被约束体,这种力称为约束反力,简称反力。约束反力总是作用在被约束体与约束体的接触处,其方向总是与该约束所能限制的运动(或运动趋势)的方向相反。据此可判断约束反力的位置和方向。

物体除受到约束反力之外,还受到像重力、推力以及各种机械动力,这些力能主动改变物体运动状态,称为主动力。一般地,已知主动力的方向和大小,可根据力的平

衡条件确定约束反力的大小。

物体受力分析的重点是确定约束反力的方向,而这与约束的种类和性质有关。

四、约束的种类和性质

1. 柔索约束

由绳索、链条、皮带等形成的约束称为柔索约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动(不能限制沿压缩方向的运动),因此它对物体的约束反力只能是沿柔索方向的拉力,记作 F_T 。在图 1-12a 中, F_{TB} 和 F_{TC} 为绳索给重物的约束反力。在图 1-12b 所示的带传动中,可假想切开胶带,由于胶带套在带轮上受到预紧力的作用,所以其松边和紧边分别受到拉力 F_{T2} 和 F_{T1} 作用。

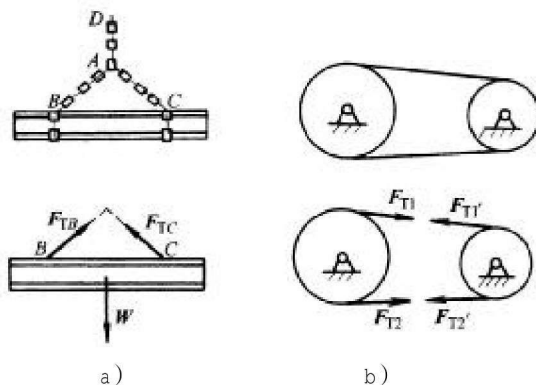


图 1-12 柔索约束

2. 光滑面约束

当两物体之间以点、线、面形式接触,且接触表面非常光滑,摩擦可以忽略不计,就可简化为光滑面约束。该约束只能限制物体沿两接触面法线方向往约束内部的运动,不能限制沿切线方向的运动。故光滑面约束力作用在接触点处,沿两接触面公法线向,并指向受力物体,称为法向力,记作 F_N ,如图 1-13 所示。

3. 光滑铰链约束

铰链是工程上常见的一种约束。它采用圆柱形销钉将两个带圆孔的构件连接在一起,使两构件可以相对转动,但不能相对移动,门所用的活页、铡刀与刀架、起重机的动臂与机座的连接等,都是常见的铰链连接。铰链约束有以下三种形式。

(1) 中间铰链约束

当铰链连接的两构件均为活动构件时所构成的约束,称为中间铰链,如图 1-14a 所示。其简图见图 1-14b,在两个构件连接处用一个小圆圈表示铰链。

通常,销钉与构件为光滑接触,所以铰链连接实际上是一种光滑面约束,约束反力应通过接触点 K 沿公法线方向(通过销钉中心)指向构件(图 1-14c),但实际上很难确定 K 的位置,因此反力 F_N 的方向无法确定。所以,约束反力通常是用两个通过铰链中心、大小和方向未知的正交分力 F_x 、 F_y 来表示,两分力的指向可以任意设定,如图 1-14d 所示。

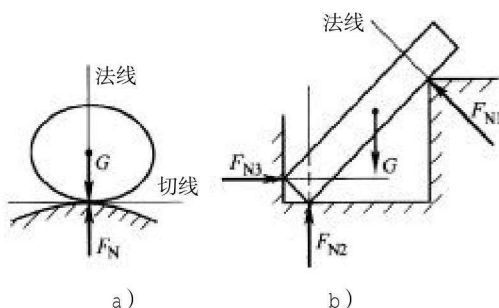


图 1-13 光滑面约束