

内 容 提 要

本书将《机械工程力学》、《机械基础设计》和《机械工程材料》合并为一门课程。将课程按模块式布局,以机械设计基础为主体,以工程力学为基础,辅助以机械工程材料,既减少教学内容的重复交叉,将各知识点有机地衔接起来,同时又为不同专业方向和要求的学习者提供了可供选择的学习内容。

全书分机械设计的基本知识、力学知识、机械工程材料及常用机构与常用机械零件三篇,各章配有一定数量的习题供学习时选用。其中,力学知识部分重点讲授静力学、构件在拉、压、弯、扭、剪等典型变形下的力学性能及强度校核的基本知识;机械工程材料部分主要介绍钢的热处理常识和常用的工程材料;常用机构与常用机械零件部分突出机构原理、运动分析、机械零件的结构要素、工艺要素、零件的强度概念等。

本课程参考学时数为 100 学时。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 杨坚主编. —重庆:重庆大学出版社,

2014.12 (2015.05重印)

(中等职业教育数控技术应用系列教材)

ISBN 978-7-5624-8111-1

I. ①机... II. 杨... III. 机械设计—专业学校—教

材 IV. ①TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 249662 号

编 者 杨 坚 主 编

机械设计基础

主 编 杨 坚 副 主 编 唐 守 均

参 编 编 委 庞 立 军 王 摇 英

责任编辑:李定群 彭摇宁 版式设计:彭摇宁

责任校对:方摇正 责任印制:秦摇梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 8 号重庆大学(南区)内

邮编:401331

电话:(023) 23210303 23210304 23210305

传真:(023) 23210302 23210306

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:zhanggs@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.5 字数:260千字

2014 年 12 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—5000 册

ISBN 978-7-5624-8111-1 定价:23.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书遵循“应用为目的”、“必须、够用为度”、“少而精、浅而广”的原则,力求把握职业教育的方向和培养目标,贯彻以提高学生的动手能力、适应能力,着重操作技能训练的精神,其理论课程的设置及内容,按照适应操作技能培训和今后继续进修提高本职工作能力需要来安排。体现了以应用知识为主,突出针对性、实践性和实用性的原则。

本书以定性分析为主,密切联系生产实际,按照理论与实际相统一的原则,从易于学生理解的生产实例中提出问题,引出概念和规律,并指出这些概念和规律解决问题的途径。力求内容浅显通俗,图文并茂,注重应用。

本书的编者有多年从事中等职业教育的经验。参加本书编写的有重庆市工业学校石坚(第 1 章、第 2 章、第 3 章),重庆市渝北职教中心唐守均(第 4 章、第 5 章、第 6 章),重庆市工业学校庞立军(第 7 章、第 8 章、第 9 章),重庆市渝北职教中心王英(第 10 章、第 11 章)。全书由石坚主编,负责全书的统稿。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请广大专家和读者批评指正。

编 者

2012 年 1 月

目 录

第 1 篇 机械设计的基础知识

| | |
|----------------------|---|
| 第 1 章 机械设计概述 | 1 |
| 第 2 章 机械设计的内容 | 2 |
| 第 3 章 机械的摩擦与磨损 | 3 |
| 第 4 章 习题 | 4 |

第 2 篇 力学知识

| | |
|----------------------------|----|
| 第 5 章 静力学基本知识 | 5 |
| 第 6 章 力的基本性质 | 6 |
| 第 7 章 约束和约束力 | 7 |
| 第 8 章 受力图 | 8 |
| 第 9 章 习题 | 9 |
| 第 10 章 平面力系 | 10 |
| 第 11 章 力矩和力偶力的投影 | 11 |
| 第 12 章 平面力系 | 12 |
| 第 13 章 摩擦 | 13 |
| 第 14 章 习题 | 14 |
| 第 15 章 机械零件的基本变形 | 15 |
| 第 16 章 轴向拉伸和压缩 | 16 |
| 第 17 章 构件剪切与挤压时的强度计算 | 17 |
| 第 18 章 圆轴的扭转 | 18 |

| | |
|---------------------|----|
| 摇源缘摇直梁的平面弯曲 | 缘猿 |
| 摇源缘摇组合变形简介 | 缘猿 |
| 摇源缘摇影响强度的其他因素 | 缘远 |
| 摇习题源 | 缘愿 |

第猿篇摇机械工程材料

| | |
|---------------------|-----|
| 第缘章摇常用金属材料 | 苑源 |
| 摇缘缘摇金属材料的性能 | 苑源 |
| 摇缘缘摇金属材料热处理常识 | 苑园 |
| 摇缘缘摇常用金属材料的介绍 | 苑远 |
| 摇缘缘摇拉伸与压缩实验 | 怨苑 |
| 摇缘缘摇硬度试验 | 员员员 |
| 摇习题缘 | 员员源 |

第源篇摇常用机构与常用机械零件

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第远章摇常用机构 | 员愿愿 |
| 摇远缘摇机构的组成及其运动 | 员愿愿 |
| 摇远缘摇平面连杆机构 | 员员员 |
| 摇远缘摇凸轮机构 | 员愿愿 |
| 摇远缘摇间歇运动机构简介 | 员愿源 |
| 摇习题远 | 员愿远 |
| 第苑章摇带传动与链传动 | 员愿愿 |
| 摇苑缘摇带传动的类型、特点和选用 | 员愿怨 |
| 摇苑缘摇带传动的设计 | 员愿源 |
| 摇苑缘摇带传动的张紧、安装与维护 | 员愿远 |
| 摇苑缘摇链传动的特点及选用 | 员愿愿 |
| 摇习题苑 | 员愿圆 |
| 第愿章摇齿轮传动 | 员猿猿 |
| 摇愿缘摇齿轮传动的特点和类型 | 员猿猿 |
| 摇愿缘摇常见的齿轮传动简介 | 员猿缘 |
| 摇愿缘摇齿轮的加工 | 员猿苑 |
| 摇愿缘摇齿轮的失效形式与齿轮传动的设计准则 | 员猿园 |

| | |
|----------------------|---------|
| 摇愿缘摇齿轮的结构 | 员远猿 |
| 摇愿缘摇齿轮传动的润滑 | 员远缘 |
| 摇愿缘摇齿轮传动比的计算 | 员远远 |
| 摇实验 员摇齿轮展成原理实验 | 员远怨 |
| 摇实验 圆摇渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定 | 员远圆 |
| 摇习题 愿 | 员远源 |
| 第 怨章摇螺旋传动 | 员远苑 |
| 摇怨缘摇螺旋传动的类型、特点和应用 | 员远苑 |
| 摇怨缘摇滚动螺旋传动 | 员远怨 |
| 摇习题 怨 | 员远圆 |
| 第 员园章摇轴与轴承 | 员远猿 |
| 摇员园缘摇轴的分类 | 员远猿 |
| 摇员园缘摇轴的结构 | 员远源 |
| 摇员园缘摇轴承的分类与工作特点 | 员远怨 |
| 摇员园缘摇滑动轴承 | 员远怨 |
| 摇员园缘摇滚动轴承 | 员远猿 |
| 摇员园缘摇轴承的选用 | 员远缘 |
| 摇习题 员园 | 员远苑 |
| 第 员员章摇联接 | 员远怨 |
| 摇员员缘摇螺纹 | 员远怨 |
| 摇员员缘摇键与销 | 员远苑 |
| 摇员员缘摇联轴器与离合器 | 员远圆 |
| 摇习题 员员 | 员远圆 |
| 附录 | 员远源 |
| 实验 员摇低碳钢、铸铁的拉伸与压缩实验 | 员远源 |
| 实验 圆摇硬度测定 | 员远远 |
| 实验 猿摇平面机构运动简图的测绘 | 员远苑 |
| 实验 源摇渐开线齿廓的展成 | 员远怨 |
| 实验 缘摇渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定 | 员远圆 |
| 参考文献 | 员远猿 |

第 1 篇

机械设计的基础知识

第 1 章 机械设计概述

同学们在中学学习了普通文化课的基础上,为了更好地掌握专业技术技能,学好专业理论知识,我们将进一步学习一些技术基础课程,机械设计基础便是其中之一。通过本章的学习,大家对本课程有一个概要的了解,并掌握本课程的一些基本概念。

1.1 机械设计的内容

古往今来,机械在人类社会发展的进程中,发挥了非常重要的推动作用,指南车(见图 1-1)、脚踏水车(见图 1-2)、水排(见图 1-3)、内燃机(见图 1-4)等机械设备的使用,充分体现了机械的演进过程。

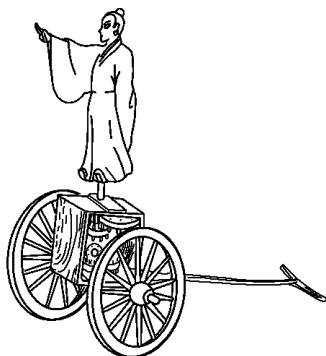


图 1-1 指南车

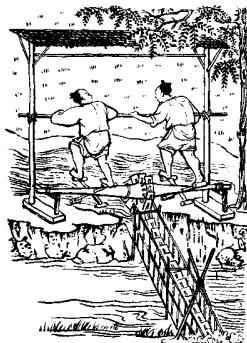


图 1-2 脚踏水车

(1) 本课程研究的对象

本课程研究的对象是机械。机械是机器和机构的总称。

机械是人类在长期的生产实践活动中,为满足生活需要而创造出来的劳动工具。现实生活中,大量、广泛地使用了各种各样的机械。机器的制造和使用,标志着一个国家的技术水平和现代化的发达程度,它是国家工业的基础。无论人们的衣食住行,还是能源、材料及信息等工程领域的发展,都离不开机械。我国人民在各个历史年代,在机械领域都对世界做出了突出贡献。

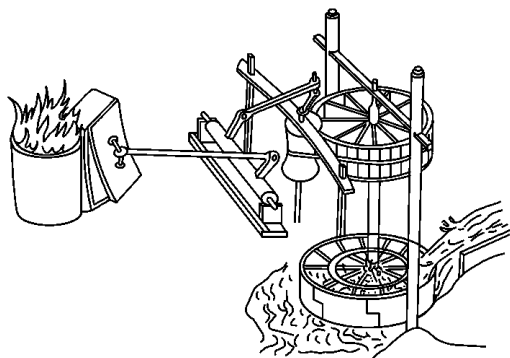


图 1-3 水排

机器是由机构组成的。为了便于研究机器的工作原理,分析运动特性和设计新机器,通常又将机器定义为若干机构的组成。大多数机器中都使用的机构,称为常用机构。

机构是由具有确定相对运动的构件组成,从运动角度看,构件是指相互之间能做相对运动的机件,如图 1-1 所示连杆它是机器中的最小运动单元。

从制造角度上看,机器由许许多多的零件组成,零件是指机器中的独立加工机件,是机器中的最小加工单元。大多数机器都要使用的零件,称为通用零件。

一个构件,可能是单一的整体零件,也可能由多个零件组成。

(圆)本课程的主要内容和任务

员机械的产生过程

实际应用的机械,其产生过程通常要经历以下几个步骤:

①根据工作要求,用规定的机构运动简图符号勾画出机器和机构的运动简图,并分析构件的运动速度和加速度等情况,通常称为机械的运动设计。

②确定所要设计零件的材料,对金属材料还要考虑其热处理方式。

③根据机器运动设计的简图,对各构件和零、部件进行受力分析,最终确定零件的受载情况。

④根据零件的最大受载和零件可能产生的失效破坏形式,按设计准则确定零件的主要参数。

⑤计算零件的全部几何尺寸,按机械制图标准规范和公差配合要求画出零件工作图。

⑥根据零件的工作图,进行加工制造的工艺设计。

⑦用机床(或数控机床)对零件进行加工制造。

⑧装配及试车。

圆机械设计的内容

在职业教育的机械类专业中,上述每一步都可演绎为一门课程,如②演绎为“机械工程材料”,③演绎为“工程力学”,⑤演绎为“机械制图”和“公差配合与技术测量”,①演绎为“机械原理”,④演绎为“机械零件”,⑥演绎为“机械制造工艺”。由于本课程是中等职业教育机械类专业的技术基础课,不可能详尽阐述机械形成的全过程,因此,机械设计基础只简要介绍机械设计的一些基础知识。它包含的主要内容有工程力学基础、机械工程材料基础、常用机构与机械传动以及连接与支承部件等学科的知识。

猿机械设计的任务

①了解使用、维护和管理机械设备的一些基础知识。

②初步掌握机械中的常用机构和通用零件的工作原理、特点、选用及其设计计算方法。

③具有初步设计机械传动和简单机械的能力。

④为后续课程的学习打下必要的基础。

(猿机械设计的概述

机械设计是根据对机械产品提出的任务,综合应用当代各种先进技术成果,设计出技术上尽可能完善,经济上尽可能合理,使用方便,外形美观,并能集中反映先进生产力的机器;也可能在已有机器的基础上作局部改革,以增大机器的工作能力,优化结构,提高效率,降低能耗等,凡此种种均属机械设计的范畴。下面简述与机械设计有关的几个基本问题:

员机械设计应满足的基本要求

员摇摇机械的摩擦与磨损

摩擦和磨损是自然界中普遍存在的现象。在机器运行时,由于机械零件的摩擦和磨损消耗大量能量,据估计世界上总能源的员裁-员圆消耗在摩擦上;与摩擦相伴而发生的磨损使大量零件失效,据统计有愿豫的零件因磨损而失效。因此,研究摩擦、磨损的机理,采用良好的润滑,对节省能源,延长零件使用寿命,保证机器正常运行,具有重要的意义。

摩擦导致磨损,润滑用以避免和降低摩擦和磨损,因此,将研究摩擦和磨损的学科称为摩擦学。这里仅介绍这方面的一些基本知识。

员摇摇摩擦和润滑

机械零件的摩擦是指直接接触又有相对运动或相对运动趋势的两物体表面间,阻碍相对运动的现象。组成运动副的各个机械零件,在相互接触表面间都有摩擦。

润滑是指在相对滑动的两物体间加入润滑剂,以润滑剂之间的摩擦代替两物体间的直接摩擦。

大多数摩擦都在一定的润滑条件中实现,因此,以润滑来命名摩擦的类型,则摩擦分为非液体摩擦和液体摩擦两大类。

(员)非液体摩擦

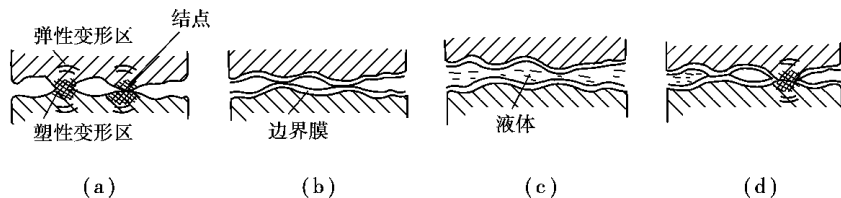
非液体摩擦可分为:

员)干摩擦

两接触表面间无润滑剂,金属表面直接接触,所产生的摩擦,这种摩擦磨损严重,所消耗的功转化为大量的热,散热条件差时甚至烧坏金属表面(图员圆葬)。机器中不允许有干摩擦存在。

圆)边界摩擦

两摩擦表面间有少量润滑剂(如润滑油)吸附在金属表面上,形成极薄的、抵抗力很强的保护膜,称为边界膜。油膜间的摩擦阻力小,且能保护金属表面,但仍有一定的摩擦、磨损发生(图员圆遭)。边界摩擦又称为边界润滑。



图员圆摩擦状态

(圆)液体摩擦

液体摩擦两表面间有足够厚度的压力油液,它将两摩擦表面完全隔开(图员圆糟)。处于液体润滑状态的金属表面没有摩擦磨损,但油液之间仍有摩擦,不过液体摩擦阻力小,又称液体润滑。

按油液压力产生的方法液体润滑分为:

(角) 液体静力润滑依靠油的静压力将两表面完全分开。

(圆) 液体动力润滑依靠动件的运动形成动压力, 将动件托起形成液体润滑。

(猿) 混合摩擦

实际两表面间的摩擦是复杂的, 通常处于各种摩擦共存的混合摩擦。即使在液体动力润滑条件下, 在启动和关机阶段仍然是混合摩擦(图 5-15)。只有液体静力润滑可实现两表面始终不接触, 保证液体润滑。

5.1.3 摩擦磨损

金属受摩擦的表面物质不断损失的现象, 称为磨损。零件的磨损通常经历三个阶段, 可用图 5-16 表示磨损过程。跑合磨损阶段, 是使用初期两面相适应的过程, 这是必要的有益阶段, 跑合时应注意逐步加载, 跑合后要清洗零件和换油。稳定磨损阶段, 磨损率越小寿命越长。剧烈磨损阶段, 零件由于经历长期磨损, 精度下降, 润滑状况恶化, 磨损加剧而失效。如果使用初期承载过大, 速度过高, 润滑不良也会造成早期非正常损坏。

防止磨损引起失效的措施, 在于两摩擦表面间要形成保护油膜。

(角) 组成运动副的结构要合理, 如两表面要形成收敛楔形, 油沟、油槽不得破坏高压油区。

(圆) 满足不破坏油膜, 不损坏表面的判定条件, 如限制低副零件的压强、滑动速度, 以保证油膜不被挤破, 表面不擦伤; 限制运动副中温度, 以保证油膜不因温度过高而脱落。高副零件还需限制接触应力, 防止表面在使用期间发生点蚀。

(猿) 选择合适的材料, 要注意成对地选择相配的材料和表面硬度。

源) 选择合适的润滑剂, 并坚持保养维修制度。

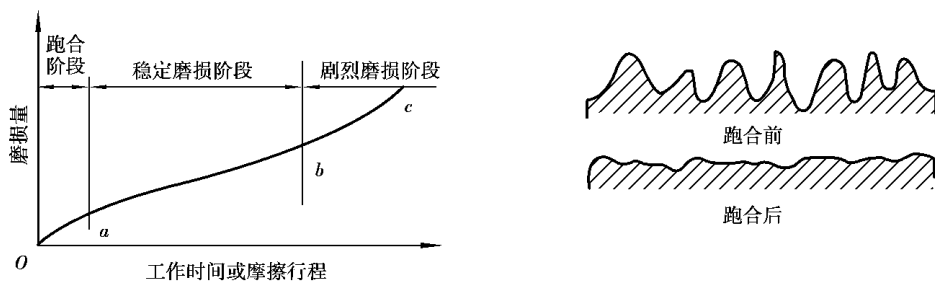


图 5-16 摩擦磨损曲线

5.1.4 润滑剂的性能和选择

合理选择和使用润滑剂, 是保证机器正常运行的重要技术措施。常用的润滑剂主要有润滑油和润滑脂等。

润滑油是在相对滑动表面形成的油膜, 能降低摩擦、减少或避免磨损; 油液的流动可带走杂质和热量, 可起到清洗和散热的作用; 油液的粘度可起防振和缓冲作用。因此, 良好的润滑可以达到节省能源、延长零件使用寿命、保证机器正常运行的目的。

(角) 润滑油的性能

润滑油的性能指标有粘度、油性和极压性等。

(圆) 粘度表征润滑油流动时, 油的内部阻力。粘度大内部阻力大, 承载后不易被挤出, 有

利于油膜的保持,但内部损耗也大。

圆油性摇是指油吸附在金属表面形成油膜的能力,油性好,吸附能力强。

獠极压性摇是指润滑油中活性分子与金属表面形成化学反应膜的能力。极压性强,油膜化学稳定性好。极压性对低速重载的运动副特别重要。

(圆)润滑油的选择

润滑油的选择原则,要涉及以下几个方面:

员工作载荷摇重载应选用粘度高的油,便于形成油膜;对于非液体润滑,应选油性好、极压性好的油。

圆工作速度摇高速应选用粘度低的油,以免液体内部摩擦损耗过大和发热严重。

獠工作温度摇工作温度与环境温度有关,低温应选粘度小而凝点(限制低温的依据)低的油;高温应选粘度大而闪点(限制高温、防火的依据)高的油;工作温度变化大要选粘度指数大的油。

源工作性质摇工作有冲击和振动,经常变载和启、停等间歇运动,都会损坏油膜,应选粘度大的油。

缘供油方式摇采用循环集中润滑、滴油润滑时,应采用粘度小的油;采用飞溅润滑,油中应加抗氧化、抗泡沫的添加剂;采用人工间歇加油,应选粘度较大的油,以免流失过快。

远润滑部位的结构特点摇运动副间隙越小,表面粗糙度值越低,要选粘度小的油;垂直丝杠、开式齿轮和链条上的润滑油容易流失,要选油性好、粘度大的油。

习 题 员

员源摇用生产中的实例说明机器所具有的特征。

员獠摇说明普通自行车和电动自行车的区别。

员獡摇举例说明构件与零件的区别。

员獢摇举例说明材料选择和强度计算对零件设计的重要性。

员獣摇用生产中的实例说明机器中的摩擦和磨损现象。

员獤摇辨别台虎钳、汽车、机械式手表及车床何为机器,何为机构。

第 四 篇

力学知识

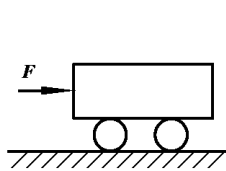
第 四章 静力学基本知识

自然界中的物体都受到力的作用，机器中的零部件也不例外。若要设计一个零件，就必须了解它的受力情况，受力有多大。本章将讨论力的基本概念，力的基本性质，力的投影计算，常见的约束及约束反力的画法，以及受力图的绘制，为以后学习力的计算打下基础。

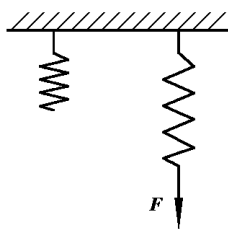
力的基本性质

力的概念

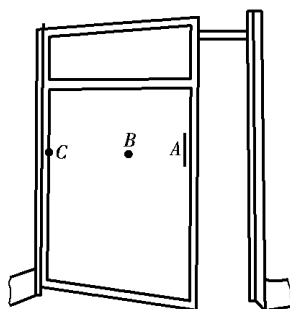
人们在长期的生产劳动和科学实践中，建立了力的概念。如图 4-1 所示的小车，只有推它，才能使小车由静止开始运动；如图 4-2 所示的弹簧，只有拉它，才能改变其形状而使其伸长。



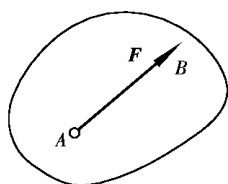
(a)



(b)



力对物体的作用
力对小车的作用
力对弹簧的作用



力的图示法

力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体改变运动的状态或产生变形。实践表明，力对物体的作用效果取决于以下三个要素：力的大小、方向和作用点。若改变其中的任何一个要素都要改变其作用效果。如图 4-3 所示，推门时，若所用的力大小不同，门开或关的效果就不同；若分别在门上不同位置加力，对门的作用效果也不一样；而改变了力的方向，该开门的时候就会变成关门。

力是矢量，在图上用有向线段来表示，如图 4-4 所示。有向线段的长短表示力的大小，起点或终点表示作用点，箭头表示力的方向。用大写的英文字母来标记力的名称。

在国际单位制中，力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

4.1 平衡的概念

平衡是指物体相对地球处于静止状态或做匀速直线运动的状态。例如,静止在地面上的厂房、机床的车身、桥梁以及在直线轨道上匀速行驶的列车等都是相对地球处于平衡状态。

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,而这个力系则称为平衡力系。

本篇研究物体在平衡时的规律,即研究物体的平衡条件,研究物体在平衡时的受力及受力的大小。

4.2 力的基本性质

(一) 二力平衡条件

作用在物体上的两个力,使其保持平衡的充分与必要条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上。

在工程上,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 4-1 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,其两点所受的力的作用线必定沿着力的作用点 A、B 的连线。

(二) 作用力与反作用力

两个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两个不同的物体上。由实践证明,作用力和反作用力总是同时存在、同时消失的。

如图 4-2 所示,一个重物放在水平地面上,物体和地面相互接触,物体对地面的力和地面对物体的力,大小相等,方向相反,作用在一条直线上。但物体对地面的力在地面上,地面对物体的力在物体上。工人用锤子打击工件,锤子给工件一个力;反过来,工件也必然给锤子一个反作用力。人用手敲打物体的时候,用的力越大,就会感觉手越疼,就是因为物体对人手作用了相同大小的反作用力。

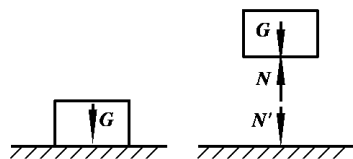


图 4-2 作用力与反作用力

(三) 力的平行四边形法则

作用在物体上某点的两个力,可以合成为作用在该点的一个合力,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 4-3 所示。

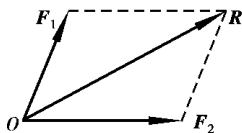


图 4-3 力的平行四边形法则

将一个已知力分解成两个分力的过程,称为力的分解。利用力的平行四边形法则,也可以把一个力分解成两个分力。但将一个已知力分解成两个分力有多种分法,如图 4-4 所示。一般将已知力分解成两个垂直的分力。

其分解方法如图 4-4 所示。首先确定分解的方向,然后从力 F 的终点分别向两个分力的方向做平行线,并且和它们相交,得到一个矩形,最后确定分力的方向。注意:分力的方向和合力的方向相同。

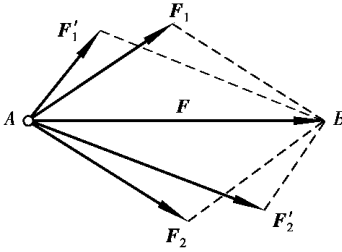


图 圆摇摇力的分解结果

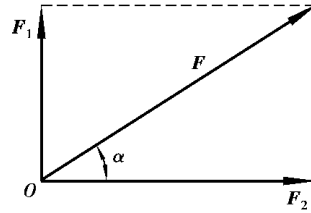


图 圆摇摇力的分解方法

圆摇摇约束和约束力

在空间自由运动、其位置不受限制的物体称为自由体。例如,飞行中的飞机、热气球和火箭等。但地球上更多的物体某些方向的位移都受到限制,例如,在钢轨上行驶的火车,安装在轴承中的转轴,以及数控机床工作台只能沿导轨移动等。这些受到事先给定限制,不能在空间自由运动的物体称为非自由体。对非自由体某些方向的位移起限制作用的周围物体称为约束。钢轨是火车的约束,轴承是轴的约束,导轨是工作台的约束。

既然约束能限制物体沿某些方向的位移,当物体沿约束所限制的方向有某些运动趋势时,约束就与物体之间相互存在着作用力。约束对被约束物体的作用力称为约束反力或约束力。约束反力的方向总是与非自由体被约束所限制的运动方向相反。

物体一般受到的力可分为两类,一类是促使物体运动的力,称为主动力。如物体受到的重力及对物体所施加的驱动力和载荷等。主动力的方向和大小都是已知的。另一类是约束反力,它们是阻碍物体运动的反作用力,其大小和方向往往是未知的。在物体静止平衡的时候,主动力和约束反力构成平衡力系。一般情况下,物体受到的约束反力的方向,可根据物体的约束类型来决定,至于约束反力的大小,则需要运用平衡条件来计算。

下面介绍几种常见的约束类型,并分析其约束反力的特点。

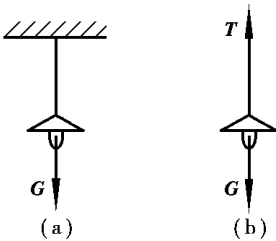


图 圆摇摇电灯及受力情况

圆摇摇柔性约束

如图 圆摇摇所示的电灯,电线阻止灯向下运动,因此灯的约束是电线。工程上常见的钢丝绳、三角带及链条等所构成的约束,称为柔性约束。柔性约束只承受拉力,而不能承受压力。柔性约束的约束反力作用在柔性件与物体的接触点,其方向沿其中心线背离物体。用符号 T 表示。如图 圆摇摇所示电灯的约束反力沿电线的中心线背离电灯,图 圆摇摇带轮的约束反力是沿两轮的公切线。

圆摇摇光滑接触面约束

当两接触面之间的摩擦很小可以忽略不计时,则认为接触面是光滑的。如图 圆摇摇所示一物体放在地面,如图 圆摇摇所示的钢板放在箱槽中,如图 圆摇摇所示的两齿轮相互啮合。这些都属于光滑接触面约束。这类约束不论支撑面形状如何,支撑面只能限制物体沿接触表面公法