

0 机械设计基础概论

0.1 本课程研究的对象和内容

1. 概述

人们在生产和生活中为了节省劳动、提高效率,不断改进所使用的工具,从而创造、发展了机械和机械学科。从最早的杠杆、斜面等最简单的机械,发展到起重机、汽车、飞机、各种机床设备、缝纫机、机器人、计算机、现代航天器等种类繁多、结构复杂、技术先进、功能全面的机械。机械科学的不断发展,推动着生产力的进步和社会的向前发展,使用机器进行生产的水平已经成为衡量一个国家生产技术水平和现代化程度的重要标志之一。为了承担设计、制造、使用和管理机器的任务,从事生产第一线技术、管理工作的技术人员必须熟悉机器基本知识,掌握机械设计、制造、使用和维修的技术。因此,学习机械设计基础课程是十分重要的。

2. 本课程研究的性质、对象和内容

本课程是一门工科类专业技术基础课,研究对象和内容分别是:项目1和项目2的力学部分研究对象分别为刚体系统和变形固体,其中,构件的静力分析主要研究刚体在载荷作用下的平衡问题,为构件承载能力提供依据,构件承载能力分析主要研究变形固体的强度和刚度问题,为机械零件设计确定合理的材料、截面形状和尺寸提供理论依据;项目3到项目12研究对象为机械中常用机构和通用零部件,其中,常用机构部分主要研究机器中常用机构的工作原理、结构特点、运动特性及其设计的基本原理和方法,机械中通用的零部件主要研究机械中通用零部件的工作原理、结构特点、选用、设计的基本原理和方法。

3. 本课程的任务

通过对本课程的学习,应达到以下基本要求:

- ① 熟练运用力学知识处理简单的力系平衡问题和零部件的受力分析及强度、刚度的计算方法。
- ② 熟悉常用机构、常用机构传动和通用零件的工作原理、结构特点、应用和标准,掌握它们的选用和设计的基本原理方法,具备正确分析、使用、维护机械的能力,初步具备设计简单机械传动装置的能力。

③ 具备与机械设计有关的解题、运算、绘图和运用标准、手册、图册等技术资料的能力。

4. 本课程在机械工程中的意义和应用

本课程主要研究机械设计中的基本问题,是进行机械设计工作的技术基础,在日常生活

和工程实践中都具有广泛的应用。在进行机械设计工作时,首先都是根据产品功能需求确定机构组成;其次,分析各构件在工作过程中的运动情况及受载时的平衡问题;然后根据不同构件具体的受载情况,合理选择材料、热处理,确定构件的形状、结构、几何尺寸、制造工艺等;最后根据上述各环节的结果绘制零件工作图。传动机械设计的流程就是本课程所研究内容的系统应用过程。

0.2 机械的组成

机械是机器和机构的总称。

在经济建设中,使用着各种不同类型的机器,如汽车、飞机、起重机、输送机、压力机、轧钢机、纺织机等。由于机器的功用不同,其工作原理、构造和性能也各异。但是,从机器的组成原理、运动的确定性及其功能的关系来看,各种机器之间存在一些共同的特征。

1. 从机器的各部分功能分析

从机器的各部分功能分析,机器由四大部分组成:动力部分、工作部分、传动部分及控制部分。

(1) 动力部分

动力部分是机器能量的来源,它将各种能量(如电能、热能等)转变为机械能。常见的动力部分多为电动机、内燃机和汽轮机等。

(2) 工作部分

工作部分是直接实现机器特定功能、完成生产任务的部分。如起重机的卷筒和吊钩、掘土机的撮斗、轧钢机的轧辊、汽车的车轮、机器人的执行部分等。

(3) 传动部分

传动部分是按工作要求将动力部分的运动和动力传递、转换或分配给工作部分的中间装置。如带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动等。

(4) 控制部分

控制部分是控制机器启动、停车和变更运动参数的部分。如开关、变速手柄、离合踏板以及相应的电器等。

如图 0-1 所示是一台卷扬机的传动示意图。图中动力部分是电动机;工作部分是卷筒和钢丝绳;介于动力部分和工作部分之间的齿轮传动是传动部分,它将电动机的高速转动改变为低速转动,并将转矩加大;而控制台上的按钮和手柄是卷扬机的控制部分,分别控制电动机的启动、制动和卷筒的正、反转,从而控制钢丝绳上、下运动进行吊重。

2. 从制造角度分析

从制造角度分析,可以把机器看成由若干机械零件(简称零件)组成的。零件是指机器的制造单元。机械零件分为通用零件和专用零件两大类。通用零件是指各种机器经常用到的零件,如螺栓、螺母、齿轮、轴等;专用零件是指某种机器才用到的零件,如汽轮机中的叶片,内燃机中的曲轴和机床主轴等。

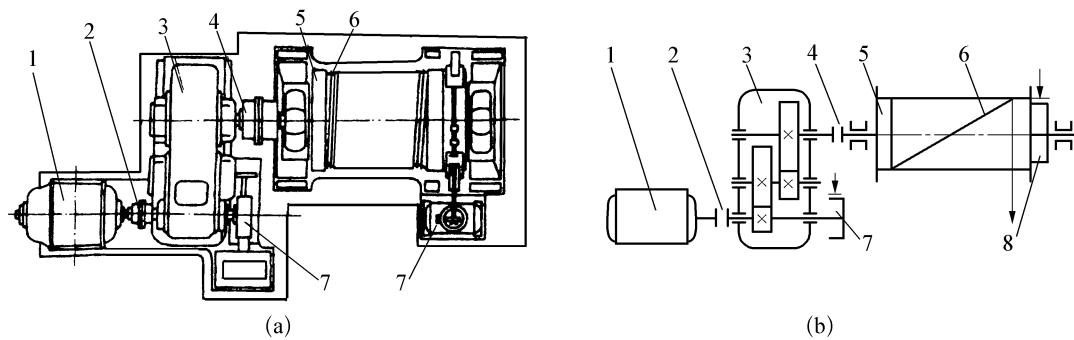


图 0-1 卷扬机

1—电动机；2—联轴器；3—减速箱；4—联轴器；5—卷筒；6—钢丝绳；7—制动器

3. 从运动角度分析

从运动角度分析,可以把机器看成由若干构件组成的。构件是指机器的运动单元。构件可能是一个零件,也可能是若干个零件的刚性组合体。如图 0-2 所示中的内燃机连杆,就是由如图 0-3 所示的连杆体 1、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、连杆盖 5、轴瓦 6 和轴套 7 等多个零件构成的一个构件。又如图 0-4 所示中的齿轮-凸轮轴,则是由凸轮轴 1、齿轮 2、键 3、轴端挡圈 4 和螺钉 5 等零件构成的构件。

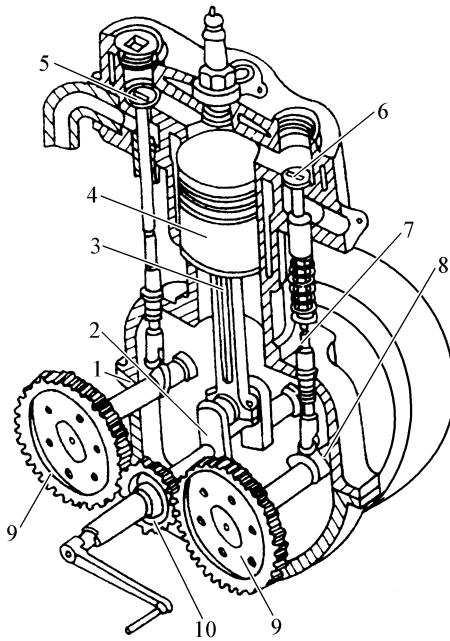


图 0-2 单缸内燃机

1—汽缸体(机架);2—曲轴(曲柄);3—连杆;
4—活塞(滑块);5—进气阀;6—排气阀;
7—推杆;8—凸轮轴(凸轮);9、10—齿轮

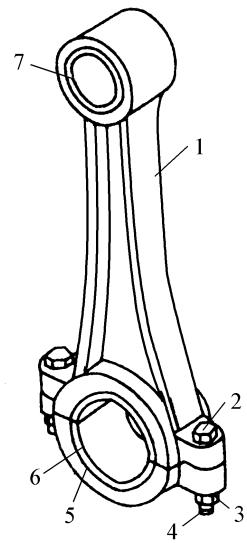


图 0-3 内燃机连杆

1—连杆体;2—螺栓;3—螺母;
4—开口销;5—连杆盖;6—轴瓦;7—轴套

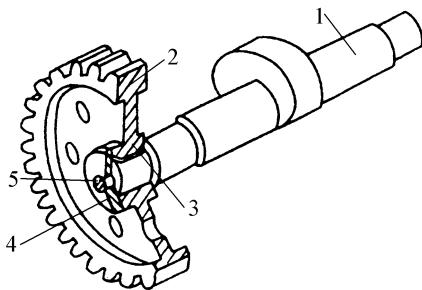


图 0-4 齿轮-凸轮轴

1—凸轮轴；2—齿轮；3—键；4—轴端挡圈；5—螺钉

4. 从运动的确定性及功能关系分析

从运动的确定性及功能关系分析,如图 0-2 所示中的单缸内燃机,它由汽缸体(机架)1、曲轴(曲柄)2、连杆3、活塞(滑块)4、进气阀5、排气阀6、推杆7、凸轮轴(凸轮)8 及齿轮9、10 组成。当燃气推动活塞4作往复移动时,通过连杆3使曲轴2作连续转动,从而将燃气的热能转换为曲轴的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时启闭阀门,完成吸气和排气。

凡将其他形式的能量转换为机械能的机器称为原动机。内燃机、电动机、液压马达、蒸汽机等都是原动机。

有些机器是利用机械能来作有用机械功的。凡利用机械能作有用机械功的机器,称为工作机。金属切削机床、碾砂机、织布机、印刷机、起重机等都是工作机。

发电机是由转子和定子组成的。当原动机驱动发电机时,发电机便将机械能转换为电能。凡是将机械能转换为其他形式能量的机器,称为转换机。

从上述可以看出,机器具有以下三个特征:

- ① 机器一般是由许多构件组成的。
- ② 各构件间具有确定的相对运动。
- ③ 机器能代替或减轻人类劳动来完成有用的机械功或转换机械能。

当仅仅研究构件之间的相对运动,而不考虑构件在作功和能量转换方面所起的作用时,通常把具有确定相对运动、实现运动的传递或运动形式的转换的多构件组合称为机构。最简单的机器只包含一个机构,如电动机就是由一个双杆机构组成的。大多数机器都包含若干个机构,如内燃机就是由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构组成的。

从结构和运动的角度来看,机器与机构之间是没有区别的。因此,为了叙述方便,通常用“机械”一词作为“机器”和“机构”的总称。

0.3 机械零件的失效形式及设计准则

一个机械零件可能有多种失效方式,防止失效是保证机械零件正常工作的主要措施。了解零件的失效形式,设计者在设计时就可以预先估计所设计零件可能的失效形式,从而用计算的方法使机械零件的工作负担控制在其承载能力允许范围之内,从而避免失效。计算所依据的条件称为设计准则。

1. 失效形式

机械零件丧失工作能力或达不到设计要求,称为失效。失效并不意味着破坏。

常见的失效形式有:因强度不足而断裂;过大的弹性变形或塑性变形;摩擦表面的过度

磨损、打滑或过热；连接松动；压力容器、管道等的泄漏；运动精度达不到要求等。

2. 设计准则

机械零件虽然有很多失效形式，但归纳起来，最主要的是由于强度、刚度、耐磨性、温度对工作能力的影响及振动稳定性、可靠性等方面的问题。

(1) 强度

强度不足是零件在工作中断裂或产生过量残余变形的直接原因，一般来说，除了预定过载时应当断裂的安全装置中的零件外，其余所有的机械零件都应该满足强度条件。

提高零件的强度可以从结构和制造工艺两方面着手。如合理布置零件，减少所受载荷；降低载荷集中，均匀分布载荷；选用合理截面，减少应力集中；选用高强度的材料；适当增大零件的尺寸；采用改善材料力学性能的热处理等。

(2) 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。

如车床、铣床、磨床等金属切削机床的主轴在切削力作用下，若产生过度弹性弯曲或扭转变形，将导致加工精度的下降以致手工件超差，故对这类机床的主轴在其满足强度的同时还需进行刚度计算。机床本身也应有足够刚度，以保证整机的稳定性和精度。

因此，需将零件工作时的弹性变形限制在一定的范围内，如果弹性变形影响机器正常工作，需进行刚度校核。通常对于精密机械中的主要零件需考虑刚度要求。

(3) 耐磨性

相互接触且有相对运动的两个机械零件表面之间，因摩擦的存在会导致零件表面材料的逐渐损失，称为磨损。

据统计，机械零件的报废约80%是由磨损造成的。零件的磨损可分为跑合磨损阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段。

在新机器正式投入使用之前，逐渐施加小于额定工作载荷的轻载荷，使机器作短期试运转，以达到消除切削加工刀痕、减小运动副表面粗糙度的良好效果；经跑合的零件在工作寿命期限内将长期维持缓慢而平稳的正常运转状态；此后零件的磨损速度将变快，因相对运动表面的破坏和间隙增大而引起额定的动载荷，出现噪声和振动，导致机器无法正常工作。

提高零件表面质量或硬度、采取良好润滑措施等可以提高零件的耐磨性。此外，零件的磨损与环境也有关，在工作中应加以注意。

(4) 振动稳定性

零件发生周期弹性变形的现象，称为振动。振幅和频率是描述振动现象的两个参数。随着现代机器工作速度的不断提高，容易使机器出现振动问题，影响工作质量。

振幅尺寸虽然很小，但当机器或零件的自振频率与周期性外力的变化频率相等或接近时，就会出现共振。这时振幅将急剧增大，这种现象称为失稳，即丧失振动稳定性。共振在短期内使零件损坏，因此对零件或机器来说，为保证振动稳定性，应避开在邻近共振频率区域内工作。

引起振动的周期性外力有：往复运动零件产生的惯性力和摆动零件产生的惯性力矩；转动零件因不平衡产生的离心力；周期性作用的外力。

减轻振动可以采取下列措施：对转动零件进行平衡；利用阻尼作用消耗引起振动的能量。

量;设置隔振零件(如弹簧、橡胶垫等)。

(5) 可靠性

按传统强度设计方法设计的零件,由于材料强度、外载荷和加工尺寸等存在离散性,有可能出现达不到预定工作时间而失效的情况。因此,希望将出现这种失效情况的概率限制在一定程度之内,这就是对零件提出的可靠性要求。

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。

可靠度是指产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。

(6) 标准化

标准化是指零件的特征参数及其结构尺寸、检验方法和制图等规范要求。标准化是缩短产品设计周期、提高产品质量和生产效率、降低生产成本的重要途径。

(7) 其他要求

设计机械零件时,在满足上述要求的前提下,还应力求减小其质量,以减少材料消耗惯性载荷,提高经济效益。同时,还需考虑诸如耐高温或低温、耐腐蚀、表面装饰和造型美观等要求。

0.4 机械零件的设计步骤

机械设计应在满足预期功能的前提下,具有性能好、效率高、成本低,在预定使用期限内安全可靠、操作方便、维修简单和造型美观等优点。

机械零件的设计常按以下步骤进行:

- ① 根据机器的具体运转情况和简化的计算方法,确定零件的载荷。
- ② 根据材料的力学性能、物理性质、经济因素及供应情况等,选择零件的材料。
- ③ 根据零件工作能力准则,确定零件的主要尺寸,并加以标准化或圆整。
- ④ 根据确定的主要尺寸并结合结构和工艺上的要求,绘制零件的工作图。
- ⑤ 零件工作图是制造零件的依据,故应对其进行严格的检查,以提高工艺性,避免差错,造成浪费。

0.5 本课程的学习方法

由于本课程是一门专业技术基础课,因此在学习过程中,除了应坚持做好课前预习、认真听课、及时复习、独立完成作业、实验等基本学习环节外,还应注意以下几方面:

① 学会综合运用所学知识、融会贯通。综合运用本课程及其他课程知识,解决生产和生活中所遇到的简单机械设计问题是本课程的教学目标。

② 做到理论、技能和实践相结合。本课程是一门实践性较强的课程,在学习过程中除了要完成课程所安排的实验、设计训练环节外,还要注重理论知识和实践设计、制造环节的

结合,尤其是在处理零部件的结构设计和生产工艺性等问题时。

③ 学会创新,科学的灵魂在于创新。机械科学的生产与发展本身就是一个创新的过程,只有灵活运用所学知识并结合生产生活实际,勇于创新,才能将所学的知识真正变成改变人类生活、推动社会向前进步的力量。

0.6 实验: 典型机构认识

一、实验性质

本实验为演示性实验。

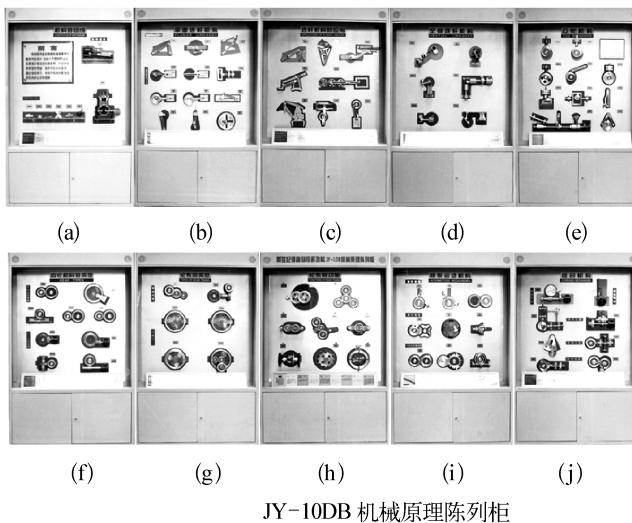
二、实验目的

- 了解各种常用机构的组成及运动情况。
- 了解各种常用机构的实际应用。
- 了解本课程所要学习的内容。

三、实验内容及步骤

观看图 0-5 所示机械原理陈列柜。

机械原理陈列柜陈列内容更贴近教材,更符合开放性实验室的需要。各柜装有语音芯片、单片机、手动控制盒及单箱,另配红外线遥控器,用来控制模型的动作和播音,使模型动作与讲解的控制方式更加方便灵活。



JY-10DB 机械原理陈列柜

图 0-5 机械原理陈列柜

- (a) 机构的组成 (b) 平面连杆机构 (c) 平面连杆机构的应用 (d) 空间连杆机构 (e) 凸轮机构
 (f) 齿轮机构的类型 (g) 轮系的类型 (h) 轮系的功用 (i) 间歇运动机构 (j) 组合机构

四、实验报告要求

在实验报告中回答下列问题：

1. 何谓机构、机器、机械？
2. 何谓连杆机构，并举例说明平面连杆机构的实际应用。
3. 一般情况下，凸轮是如何运动的？推杆（从动件）是如何运动的？举例说明凸轮的应用实例。
4. 一般情况下，一对齿轮传动实现了怎样的运动传递和变换？常用的齿轮传动有哪些种类？举例说明齿轮传动的应用实例。
5. 何谓轮系，轮系分为哪些种类？周转轮系中行星轮的运动有何特点？轮系的功用主要有哪些？
6. 常用的间歇机构有哪些？并举例说明这些主要间歇机构的应用实例。



小结

本课程是一门介绍机械设计基础知识和培养学生机械设计能力的课程。它以力学、组成机器的常用机构及通用零部件为研究对象。通过对这些基础知识的学习，同学们能够认识机械的一般构成，理解机械的工作原理，初步具备对一般常用机械的选用及设计能力。

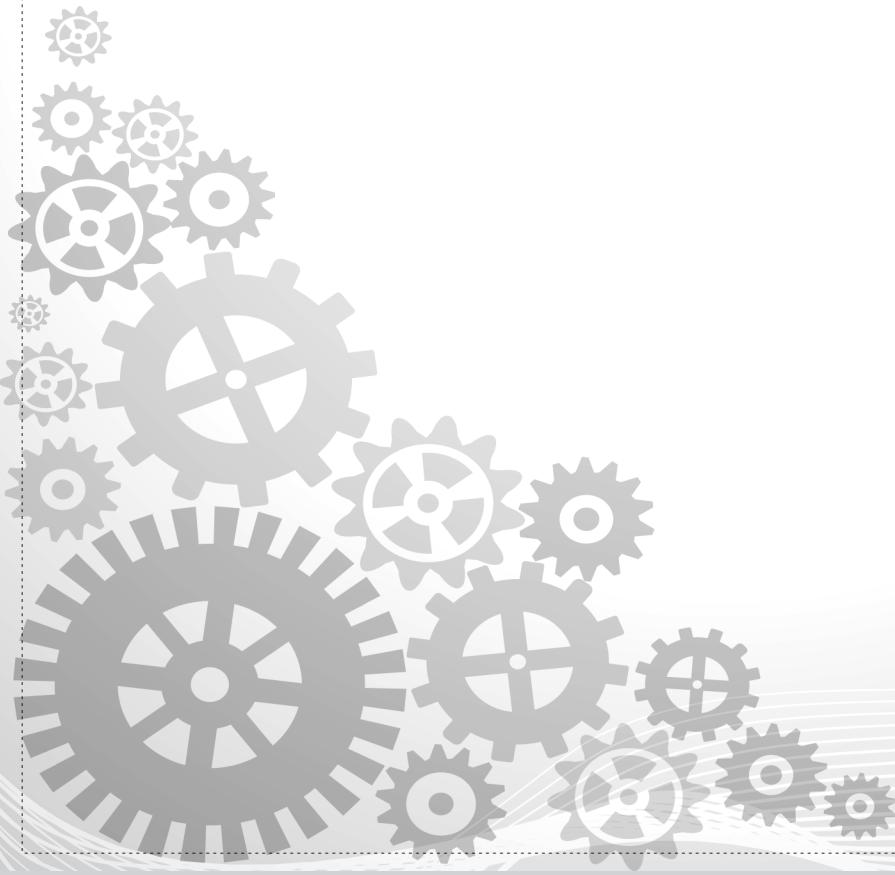


思考与练习

1. 什么是机器？什么是机构？什么是机械？请举例说明。
2. 什么是通用零件？什么是专用零件？请举例说明。
3. 分别指出汽车和自行车的原动机、传动部分、执行部分和控制部分。
4. 机械设计的基本步骤有哪些？

第1篇

工程力学基础



项目 1 构件的静力分析

构件的静力分析主要研究构件在力系作用下的平衡规律。包括对研究对象进行受力分析并绘制受力图、分析作用于构件上的力系类型、建立平衡方程以及求解未知约束反力。

任务 1 构件受力分析与受力图绘制

知识目标：

1. 了解刚体、力、约束的概念；
2. 掌握静力学公理及其应用；
3. 熟练掌握各种常见约束及其约束反力的特点；
4. 熟练掌握构件受力图的绘制方法与步骤。

技能目标：

1. 能够正确分析常见约束的类型并画出其相应的约束反力；
2. 能够正确规范地绘制构件的受力图。



任务描述

如图 1-1 所示,一均质圆球重 300N,置于墙与斜杆 AB 之间,AB 杆由绳子 BC 固定在墙上。分析图中圆球及 AB 杆的受力并绘制其受力图。

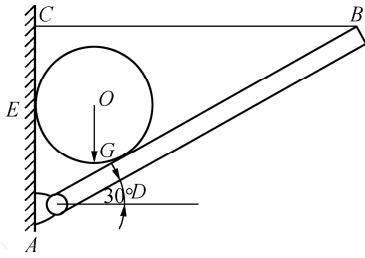


图 1-1 任务 1 用图



任务分析

首先确定研究对象,然后分析作用于研究对象上的主动力及其所受的约束反力,最后绘制研究对象的受力图。



相关知识

一、力

1. 力的概念

(1) 力的定义

力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐步建立起来的。例如挑担、推车、投掷物体、拧螺钉等都要用力。同样机床加工、汽车运行等,也是力的作用。可见,力是物体之间相互的机械作用。

(2) 力的效应

力不能脱离物体而存在。力对物体的作用效应是使物体运动状态发生改变或使物体发生变形。力使物体运动状态发生变化的效应称为力的运动效应,也称为力的外效应;力使物体产生变形的效应称为力的变形效应,也称为力的内效应。力使物体产生的基本变形有拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲。

(3) 力的三要素

力对物体的作用效果,取决于三要素,即力的大小、方向和作用点。这三个要素中任何一个要素改变,都会使力的作用效果改变。

力是一个具有大小和方向的量,所以是矢量。力矢量常用带箭头的有向线段表示,线段的长度AB按一定的比例表示力的大小;箭头的指向表示力的方向;线段的始点A或终点B为力的作用点,如图1-2所示。

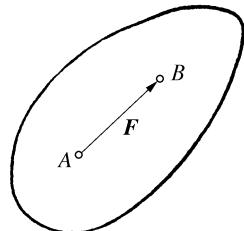


图1-2 力

在国际单位制中,力的单位为牛顿(N)或千牛(kN)。

(4) 平衡及平衡力系

所谓平衡是指物体相对于地球静止或作匀速直线运动。平衡是相对的,是有条件的。

由若干个相互关联的力组成的系统称为力系。若力系使物体处于平衡状态,该力系称为平衡力系。力系平衡所满足的条件称为力系的平衡条件。

(5) 刚体的概念

在外力作用下形状和大小保持不变的物体称为刚体。实际上,任何物体受到外力的作用都将发生变形,但微小变形对研究结果不产生显著影响,可以略去不计。

2. 力的基本公理

所谓公理,就是符合客观实际的真理。力的基本公理是人类对客观实际长期观察、分析、抽象、归纳、总结而得出的结论,不需要证明,易为人们所公认,故称为公理。

(1) 二力平衡公理

刚体在两个力作用下保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。如图 1-3 所示构件 AB 同时受到等值、反向、共线的两个力 F_A 和 F_B (F_A 和 F_B 作用线沿 A、B 连线) 的作用，显然，该刚体是平衡的。

必须注意，本公理只适用于刚体，对于变形体，这个条件是不充分的。例如，一根绳索或链条的两端受到等值、反向、共线的两拉力作用能平衡，若是压力则将弯曲而不能平衡。

在机构中，凡是只受到两个力作用而处于平衡状态的构件，称为二力构件。

(2) 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力可合成为一作用于该点的合力，其大小和方向是以这两个力为邻边而构成的平行四边形的对角线。如图 1-4(a) 所示，图中 F_R 是 F_1 、 F_2 的合力，即合力等于两分力的矢量和。

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

根据平行四边形的性质，在运用作图法求合力时，只需画出力平行四边形的一半，即可简化为力的三角形法则。其作图方法为：从 A 点作一矢量 $AB = F_1$ ，过 B 点再画矢量 $BC = F_2$ ，连接 F_1 的起点 A 与 F_2 的终点 C，矢量 AC 就是力 F_1 、 F_2 的合力 F_R ，如图 1-4(b) 所示。显然若改变 F_1 、 F_2 合成的顺序，其结果不变，如图 1-4(c) 所示。

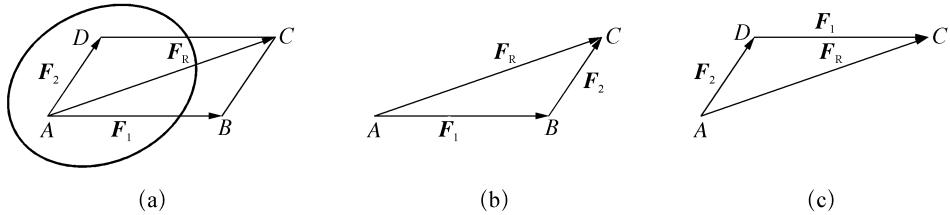


图 1-4 力的平行四边形法则

根据该公理，可以得出如下推论：

推论 1(三力平衡汇交定理) 刚体受三个共面但互不平行的力作用而平衡时，三个力的作用线必汇交于一点。如图 1-5 所示。

(3) 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任何力系中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。

根据该公理，可以得出如下推论：

推论 2(力的可传性定理) 作用于刚体上的力可沿其作用线任意移动，而不改变该力对刚体的作用效应。

如图 1-6 所示，在小车上 A 点的作用力 F 和在小车上 B 点的作用力 F' 对小车的作用效果是相同的。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。因此，对于刚

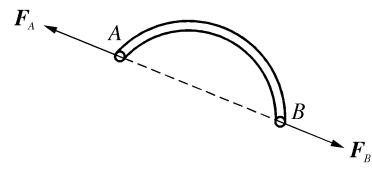


图 1-3 二力平衡

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

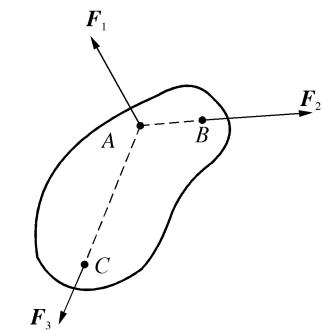


图 1-5 三力平衡

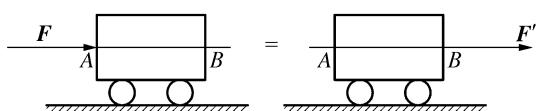


图 1-6 力的可传性

体,力的三要素可改为力的大小、方向和作用线。

(4) 作用力与反作用力公理

两物体间的作用力与反作用力,总是大小相等,方向相反,沿同一直线,分别作用在两个物体上。

公理4阐明了力是物体间的相互作用,其中作用与反作用是相对的,力总是以作用与反作用的形式存在,且以作用与反作用的方式进行传递。

二、力对点之矩

如图1-7所示,当用扳手拧紧螺母时,若作用力为 F ,转动中心 O 到力作用线的垂直距离为 d , d 称为力臂。由经验可知,扳动螺母的转动效应不仅与 F 的大小和方向有关,且与力臂 d 的大小有关,故力 F 对物体转动效应的大小可用两者的乘积 $F \cdot d$ 来度量。当然,若力 F 对物体的转动方向不同,其效果也不相同。这种表示力使物体绕某点转动效应的量称为力对点之矩(简称力矩),转动的中心 O 称为矩心。

力对点之矩为一代数量,它的大小为力 F 的大小与力臂 d 的乘积,正负号表示力矩在平面上的转向。

一般规定,力使物体绕矩心逆时针方向旋转者为正,顺时针为负。并记作

$$M_O(F) = \pm F \cdot d \quad (1-2)$$

由力矩的定义和式(1-2)可知:

- ① 当力的作用线通过矩心时,力臂值为零,力矩值也必定为零。
- ② 当力沿其作用线滑移时,不会改变力矩的值。

力矩的单位为 N·m(牛·米)。

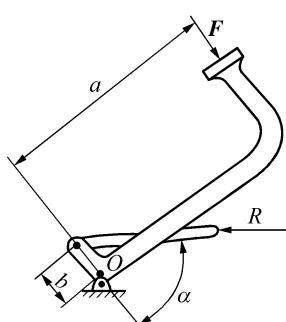


图 1-8 例 1.1 用图

【例 1.1】 汽车操纵系统的踏板装置如图1-8所示,已知工作阻力 $R=1700\text{N}$,驾驶员脚的蹬力 $F=200\text{N}$,尺寸 $a=400\text{mm}$, $b=50\text{mm}$, $\alpha=60^\circ$,试求工作阻力 R 和蹬力 F 对O点之矩。

解: 根据式(1-2)可求得工作阻力 R 和蹬力 F 对O点之力矩分别为

$$M_O(R) = R b \sin \alpha = 1700 \times 0.05 \sin 60^\circ = 73.6 \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_O(F) = F a = -200 \times 0.4 = -80 \text{N} \cdot \text{m}$$

2. 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

力对同一点力矩的代数和。

由于合力与原力系对物体的作用等效,故有

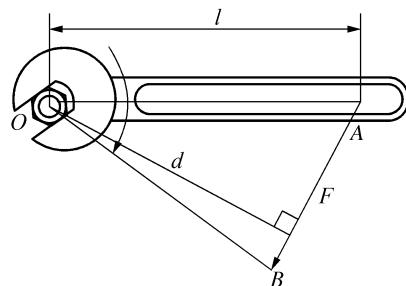


图 1-7 扳手的力矩

$$M_O(\mathbf{F}_R) = \sum M_O(\mathbf{F}_i) \quad (1-3)$$

在力矩的计算中,有时力臂不易确定,力矩很难直接求出。但如果将力进行适当分解,各分力力矩的计算很容易,然后运用合力矩定理,可以使合力矩的计算更为简单。

【例 1.2】 计算图 1-9 中力 P 对 O 点之矩。

解: 将力 \mathbf{P} 分解为沿 X 方向的分力 \mathbf{P}_x 和 Y 方向的分力 \mathbf{P}_y , 这两分力对 O 点之矩分别为

$$M_O(\mathbf{P}_x) = -P \cos\alpha \cdot a \quad M_O(\mathbf{P}_y) = P \sin\alpha \cdot l$$

根据合力矩定理, 可得力 P 对 O 点之矩为: $M_O(\mathbf{P}) = M_O(\mathbf{P}_x) + M_O(\mathbf{P}_y) = -P \cos\alpha \cdot a + P \sin\alpha \cdot l$

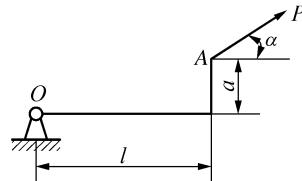


图 1-9 例 1.2 用图

三、力偶

1. 力偶的概念

一对大小相等、方向相反、相互平行的力组成的力系称为力偶。

人们在日常生产生活中常用到力偶, 如人用手拧水龙头开关, 如图 1-10(a) 所示; 司机用双手转动方向盘, 如图 1-10(b) 所示; 钳工用双手转动丝杠攻螺纹, 如图 1-10(c) 所示等。

组成力偶中两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂, 如图 1-10(d) 所示, 力偶所在的平面称为力偶的作用面。

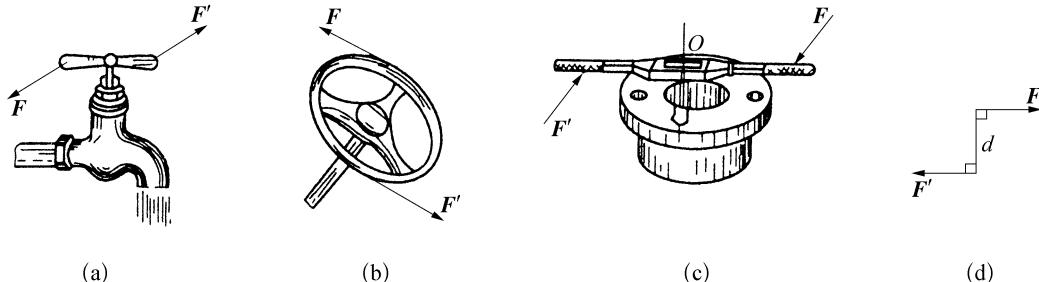


图 1-10 力偶

由实践可知, 在力偶的作用面内, 力偶对物体的转动效应, 取决于组成功力偶两反向平行力的大小 F 、力偶臂 d 的大小以及力偶的转向。在力学中, 用 Fd 的乘积冠以适当的正负号作为度量力偶在其作用面内对物体转动效应的物理量, 称为力偶矩, 以 $M(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$ 或 M 表示, 即

$$M(\mathbf{F}, \mathbf{F}') = \pm Fd \quad (1-4)$$

一般规定, 逆时针转动的力偶取正号, 顺时针转动的力偶取负号。

力偶矩的单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ (牛·米)。

力偶对物体的转动效应取决于下列三要素: 力偶的大小、力偶的转向及力偶作用面的方位。

力偶可以用力和力偶臂来表示, 也可直接用力偶矩来表示, 即用带箭头的弧线表示, 并将力偶矩值标出, 箭头的转向表示力偶的转向。如图 1-11 所示。

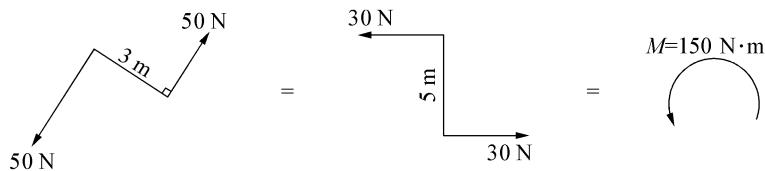


图 1-11 力偶的表示

2. 力偶的性质

(1) 力偶无合力。因为组成力偶的两个力在其作用面内任一坐标轴上投影的代数和等于零。

(2) 力偶只能用力偶来平衡。由于力偶对刚体只能产生转动效应,没有移动效应,所以力偶不能用一个力来代替。

(3) 力偶的等效性。在同一平面内的两个力偶,如果力偶矩的大小相等,转向相同,则两个力偶等效。

四、物体的受力分析与受力图

1. 约束与约束反力

物体所受的力可以分为主动力和约束反力。能够使物体产生运动或运动趋势的力,称为主动力。主动力通常都是已知的。

一个物体的运动受到周围物体限制时,这种限制称为约束。例如火车受铁轨的限制,又能沿着轨道运行;房梁受立柱的限制,使它在空间得到稳定的平衡。

约束对物体的运动起到限制作用的力,称为约束反力。约束反力的方向总是和该约束所能阻碍的运动方向相反。约束反力是未知力,它的确定与约束类型及主动力有关,下面是工程中常见的几种约束类型。

(1) 柔性约束

由绳索、链条、皮带等柔性物体形成的约束称为柔性约束。柔性约束反力是未知拉力,因此柔性约束的约束反力作用在接触点上,方向沿着柔索而背离受力物体,通常用符号“ F_T ”表示。

如图 1-12(a)所示,重物用钢绳悬挂在固定架上;如图 1-12(b)所示的带传动,重物和皮带轮受到钢绳和皮带的拉力均属于此类约束反力。

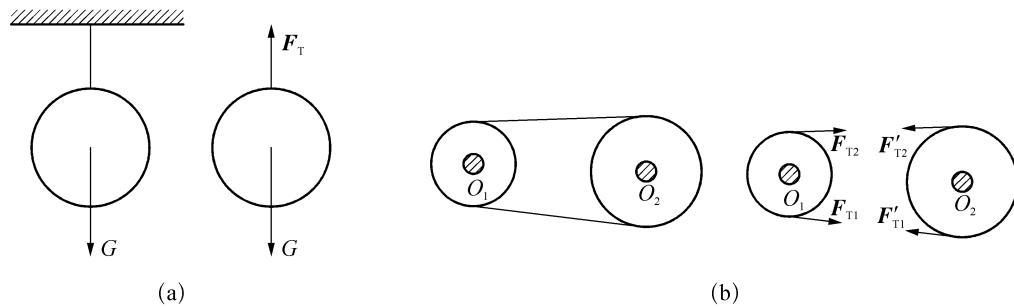
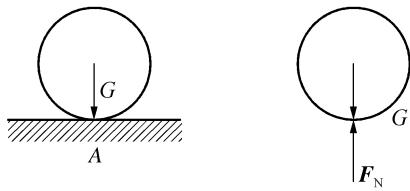


图 1-12 柔性约束

(2) 光滑面约束

两直接接触物体,忽略摩擦,把物体的接触面看成是完全光滑的刚性接触面,简称光滑面约束。光滑面约束反力通过接触点,沿着接触面公法线方向并指向受力物体,用符号“ F_N ”表示,如图 1-13 所示。

图 1-14(a)中直杆与方槽 A、B、C 三点接触,三点的约束反力均沿两者接触点的公法线,方向指向物体,如图 1-14(b)所示。



(a) 结构 (b) 约束反力的表示

图 1-13 光滑面约束

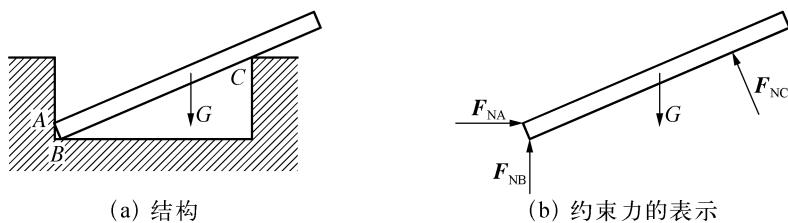


图 1-14 直杆与方槽

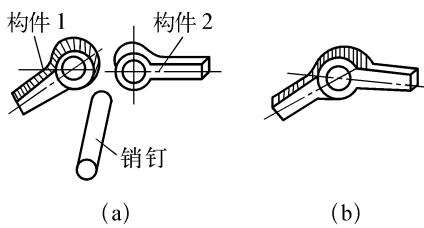


图 1-15 光滑铰链约束

1,2—构件

(3) 光滑铰链约束

两物体采用圆柱销所形成的连接为铰链连接,如图 1-15 所示。这种约束是采用销钉插入构件 1 和 2 的孔内而构成,其接触面是光滑的,这样的约束称为光滑铰链约束。它在机械工程中有许多具体应用形式。

① 固定铰支座和中间铰支座。

若相连接的构件有一个固定在地面或机架上,则

这种约束称为固定铰支座,如图 1-16 所示;若无固定,则称为中间铰支座,如图 1-17(a)所示。

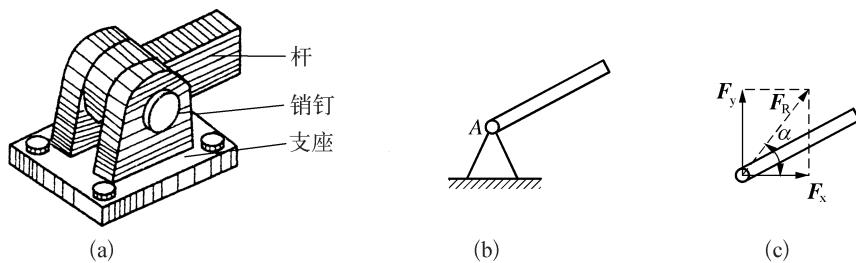


图 1-16 固定铰支座

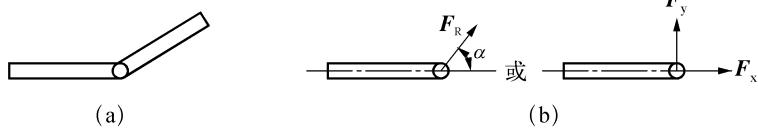


图 1-17 中间铰支座

这类约束反力沿圆柱面接触点的公法线,通过销钉中心,方向不确定,通常用两个正交分力 F_x 、 F_y 来表示,如图 1-16(c)、图 1-17(b)所示。

必须强调,当中间铰链或固定铰链约束的是二力构件时,其约束反力满足二力平衡条件,沿两约束反力作用点的连线,方向是确定的。

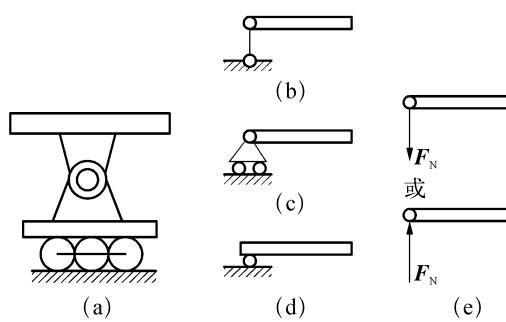


图 1-18 活动铰支座

② 活动铰支座。

支座下面装上滚子,使它能在支承面上任意移动,称为活动铰支座,如图 1-18 所示,约束反力通过铰链中心,并垂直于支承面,其方向随载荷的情况而定。活动铰支座常用于桥梁、屋架等结构中。

(4) 固定端约束

工程中还有一种常见的约束形式,如插入墙体的外伸阳台、车床上的刀架对车刀的

约束、立于路边的电线杆所受的约束都是固定端约束,如图 1-19 所示。这种约束的特点是构件一端被固定,既不允许构件随意移动,也不允许构件绕其固定端转动。因此,固定端约束就有两个约束反力 F_x 、 F_y 和一个约束反力偶 M ,如图 1-19(f)所示。

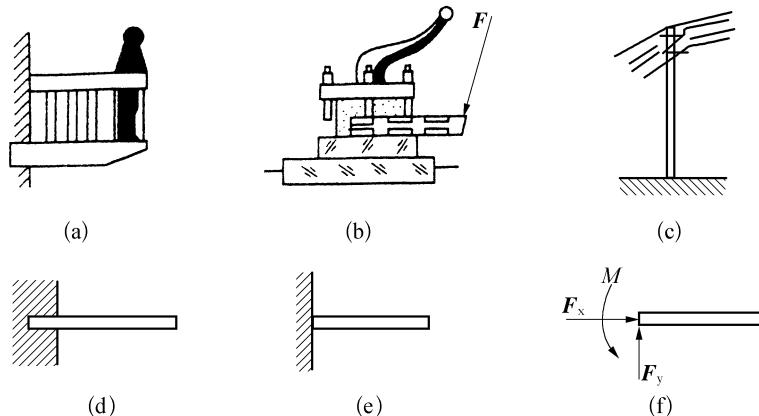


图 1-19 固定端约束

2. 受力分析与受力图

为了清楚地表示物体的受力情况,需将所研究的物体(称为研究对象)从所受的约束中分离出来,解除约束的自由物体称为分离体。在分离体上画出它所受的全部主动力和约束反力的图形,称为受力图。

画受力图的步骤如下:

- ① 确定研究对象。
- ② 将研究对象从约束中分离出来,使其成为自由体。
- ③ 画出所有的主动力。
- ④ 在解除约束的地方画出所有约束反力。

【例 1.3】 均质杆 AB, 重量 G, 支于光滑的地面及墙角间, 并用水平绳 DE 系住, 如图 1-20(a) 所示, 试画杆 AB 的受力图。

解: ① 以杆 AB 为研究对象。

② 分离研究对象使其成为自由体, 如图 1-20(b) 所示。

③ 画出主动力 G, G 作用于杆的重心 O。

④ 画出所有约束反力: 地面约束反力 F_{NA} (过 A 点垂直于地面), 墙角反作用力 F_{NC} (过 C 点与杆垂直) 及绳的拉力 F_T (沿绳中心线并背离杆的方向)。

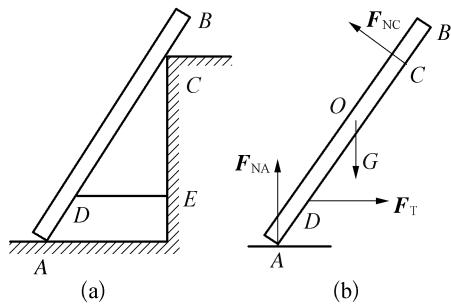


图 1-20 例 1.3 用图

【例 1.4】 均质水平梁重 G, 一端 A 为固定铰支座, 另一端 B 为活动铰支座, 梁受力 P 作用, 如图 1-21(a) 所示, 试画梁的受力图。

解: ① 以梁为研究对象。

② 分离研究对象使其成为自由体, 如图 1-21(b) 所示。

③ 画出梁所受的主动力 G 和 P。

④ 画出全部约束反力: 固定铰支座 A 的作用力 F_{Ax} 和 F_{Ay} , 活动铰支座 B 的反作用力 F_B (与支承面垂直)。

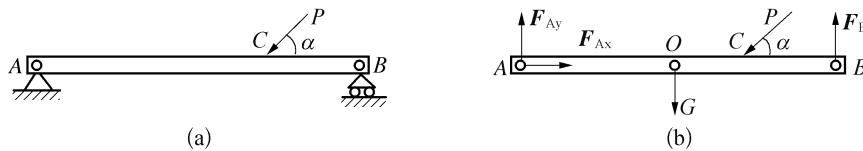
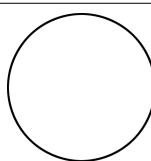
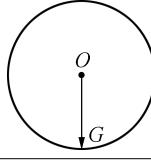


图 1-21 例 1.4 用图

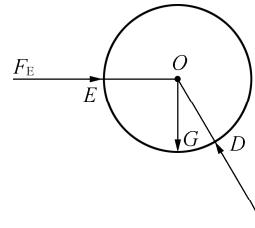
任务实施

(1) 图 1-1 中圆球的受力分析与受力图绘制过程见表 1-1。

表 1-1 圆球的受力图绘制过程

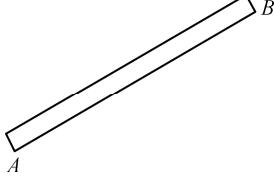
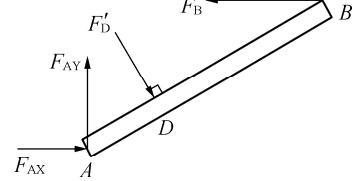
步 骤	过程分析	结 果
1. 确定研究对象		圆球
2. 分离研究对象为自由体	将圆球从周围物体中分离出来, 使其成为自由体	
3. 画出主动力	作用于圆球上的主动力为重力 G	

(续表)

步 骤	过程分析	结 果
4. 解除约束的地方画出约束反力	圆球在 D、E 两处解除约束, 约束类型都为光滑面约束	

(2) AB 杆的受力图绘制见表 1-2。

表 1-2 AB 杆的受力图绘制过程

步 骤	过程分析	结 果
1. 确定研究对象		AB 杆
2. 分离研究对象为自由体	将 AB 杆从周围物体中分离出来, 使其成为自由体	
3. 画出主动力	AB 杆自重不计, 无主动力	略
4. 解除约束的地方画出约束反力	AB 杆在 A、D、B 处解除约束, A 处为固定铰链约束、D 处为光滑面约束、B 处为柔性约束	

(注意: 本任务中, 圆球在 D 处的约束反力 F_D 与 AB 杆在 D 处的约束反力 F'_D 互为作用力与反作用力, 它们等值、反向、共线, 其代号用 F_D 与 F'_D 加以区分。)

拓展训练1

运用三力平衡汇交定理, 分析并绘制出图 1-1 中 AB 杆在 A 处的约束反力, 思考 AB 杆实际所受的力有何特点。

解: A 处的约束类型为光滑铰链约束, 本质为光滑面约束, 其约束反力实际只有一个 F_A , 表 1-2 中 F_{AX} 、 F_{AY} 只是 F_A 的两个分力, 因此, AB 杆实际只受三个力的作用, 所以可以运用三力平衡汇交定理, 首先作出 F_B 与 F'_D 的作用线交点, 再将该交点与点 A 相连, 即可确定出 F_A 的作用线, 并假设其方向向上。绘制的受力图如图 1-22 所示。

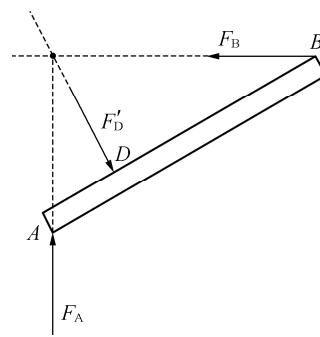


图 1-22 拓展题 1 图解

任务 2 分析力系类型

知识目标：

- 掌握力系的概念及类型；
- 熟练掌握各种平面力系的特点；

技能目标：

- 能够正确分析各种平面力系类型；
- 能够根据构件的受力图，正确分析并写出对应的力系名称。



任务描述

根据任务 1 中绘制的圆球和 AB 杆受力图，分析分别作用于圆球和 AB 杆上的力系类型。



首先要认识各种平面力系及其特点，然后根据作用于研究对象上的力系特点确定力系类型。



相关知识

一、力系的分类

工程实际中，物体往往同时受多个力的作用，多个力组成的系统称为力系。如图 1-23(a)、(b)所示的矿车及图 1-23(c)所示的曲柄滑块机构等，其所受各力都在同一平面内或相互平行的平面内，这些均为物体受平面力系作用的实例。

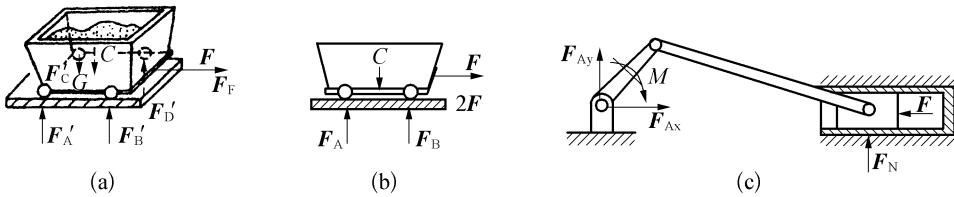


图 1-23 平面力系