



高等职业教育“十二五”规划教材

机械基础

夏策芳 苏理中 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



高等职业教育“十二五”规划教材

机械基础

主 编 夏策芳 苏理中
副主编 薛 梅 张 娜



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书为工科类高等职业教育系列规划教材之一，主要内容包括机械中构件的受力分析、强度分析及稳定性分析，平面机构中的连杆机构、凸轮机构、棘轮机构，机械传动中的齿轮传动、螺旋传动、带传动、链传动、蜗杆传动、轮系，机械中键连接、螺纹连接、轴、轴承，联轴器、离合器、制动器。本教材在内容选择以专业够用为原则，概念侧重理解，公式强化会用。为了提高内容的直观性及读者的兴趣，本书采用了大量的实物图片，穿插了一些小知识。

本书适合作为高等职业技术学院、高等工程专科学校以及成人高职高专机械类相关专业的通用教材，也可供其他相近专业人员使用或参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础/夏策芳, 苏理中主编. —北京: 中国铁道出版社, 2011. 1

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-11500-5

I. ①机… II. ①夏… ②苏… III. ①机械学—高等

学校: 技术学校—教材 IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 244119 号

书 名: 机械基础

作 者: 夏策芳 苏理中 主编

策划编辑: 安增桂

责任编辑: 李小军

编辑助理: 马洪霞

封面设计: 付 巍

责任印制: 李 佳

读者热线电话: 400-668-0820

封面制作: 李 路

出版发行: 中国铁道出版社 (北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054)

印 刷: 北京市昌平开拓印刷厂

版 次: 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.25 字数: 323 千

印 数: 3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-11500-5

定 价: 25.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社计算机图书批销部联系调换。

前 言

本书为工科类高等职业教育规划教材,按照国家高等职业教育培养规划中“机械基础”课程标准编写。适合作为工科类高等职业教育“机械基础”课程的教材。适用于60~100课时。

本书主要将传统的《工程力学》、《机械设计》的两门课程有机地结合在一起。主要介绍机械中构件的受力分析、强度分析及稳定性分析,平面机构中的连杆机构、凸轮机构,棘轮机构,机械传动中的齿轮传动、螺旋传动、带传动、链传动、蜗杆传动、轮系,机械中键连接、螺纹连接、轴、轴承,联轴器、离合器、制动器。

本书在结构上进行了较大改革,删除了烦琐的公式推导,突出了知识点的应用,侧重实例的引入,通过实例引出概念,使读者容易接受。文字简明扼要,通俗易懂。例题选择突出知识点的内涵,解题思路明确,体现了实用性。

本书中的“问题思考”为学生提供对本章节概念理解的检查手段,学生可以通过思考及回答问题检查一下对知识点的理解程度。在每章教学内容之后都安排了数量相当的习题,以利于学生对基本理论和基本技能的掌握。

为了提高学生的兴趣,本书提供了一些“小资料”,使学生对自然科学的人物、自然科学的发展史有一些认识。书中采用了一些精心拍摄的实物图片,以增强阅读的直观性,加强对知识点的理解。

本书采用国际单位制(SI),有关物理量名称、符号、单位执行最新国家标准。

本书由夏策芳、苏理中担任主编,薛梅、张娜担任副主编。参加本书编写的有北京电子科技职业学院(汽车工程学院)夏策芳、苏理中,北京自动化工程学院薛梅,北京机械工程学院张娜,乌鲁木齐铁路运输学校赵聃,广州市交通运输职业学校谢彩英,北京农业职业学院(清河分院)蔡萍等。

安增桂老师为本书拍摄了大量的实物图片,并在编写过程中给予大力支持,在此表示衷心的感谢。

本书采用创新的教材编写方式,以及编者水平所限,书中难免出现疏漏与不足,敬请读者提出批评和改进意见。

编 者

2010年11月

目 录

绪论	1
0.1 机械	1
0.2 机械工程中的力学	3

上篇 工程力学

第 1 章 力与物体的受力分析	8
1.1 力	9
1.2 力矩	17
1.3 力偶	21
1.4 均布载荷	24
1.5 滑动摩擦	25
第 2 章 平面力系的平衡	32
2.1 平面汇交力系	33
2.2 平面力偶系	36
2.3 平面平行力系	37
第 3 章 杆件的强度	42
3.1 杆件承载能力分析的基础	43
3.2 杆件的拉(压)变形下的强度	45
第 4 章 细长压杆的稳定性	52
4.1 细长压杆的稳定性	53
4.2 临界力与临界应力	53

下篇 机构、零件与传动

第 5 章 平面机构	58
5.1 平面机构概述	59
5.2 平面连杆机构	66
5.3 其他常用机构	74
第 6 章 机械连接及螺旋传动	82
6.1 键连接	83
6.2 销连接	87
6.3 螺纹连接	88
6.4 螺旋传动	97

第 7 章 齿轮传动	101
7.1 齿轮传动概述	101
7.2 标准渐开线直齿圆柱齿轮	105
7.3 一对渐开线齿轮的啮合	108
7.4 渐开线齿轮的加工与根切现象	112
7.5 渐开线变位齿轮简介	115
7.6 斜齿圆柱齿轮传动	116
7.7 直齿锥齿轮传动	118
7.8 齿轮失效形式、材料及齿轮的结构	120
第 8 章 蜗杆传动	125
8.1 蜗杆传动概述	125
8.2 蜗杆传动的正确啮合条件和尺寸计算	126
8.3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	129
第 9 章 带传动与链传动	132
9.1 带传动概述	132
9.2 带传动工作能力	136
9.3 带传动的张紧、安装的维护	139
9.4 链传动简介	141
第 10 章 轮系	145
10.1 定轴轮系	145
10.2 行星轮系	149
10.3 混合轮系	152
第 11 章 轴	155
11.1 轴的概述	155
11.2 轴的结构设计	159
第 12 章 轴承	167
12.1 滑动轴承	168
12.2 滚动轴承	171
第 13 章 联轴器、离合器和制动器	181
13.1 联轴器	181

13.2 离合器	185
13.3 制动器	188
第 14 章 实训	191
实训 1 材料的拉伸(压缩)机械性能测试	191
实训 2 自行车拆装实训	192
实训 3 渐开线直齿圆柱齿轮参数测定	194

实训 4 渐开线齿轮范成原理	197
实训 5 一级圆柱齿轮减速器的拆装实训	199

附录 本书主要符号及其法定计量单位	202
参考文献	203

绪 论



0.1 机 械

机械是机器与机构的总称。

1. 机器

由零件组成的执行机械运动，用来完成所赋予的功能的装置称为机器。

图 0-1 所示的自行车是代步的机器，其组成部分：

(1) 原动部分 人的双脚作用在脚踏板上，形成力偶，使大链轮转动。

(2) 传动部分 大链轮带动链条，链条带动小链轮（飞轮），小链轮带动自行车的后轮转动。

(3) 工作部分 自行车后轮在地面摩擦力的作用下，使自行车前行，前轮随之转动。

(4) 控制部分 车闸部分称为自行车的控制部分。

图 0-2 所示的补鞋机，其组成部分：

(1) 原动部分 人手作用在圆盘的手柄上，产生力矩，使圆盘及凸轮轴转动。

(2) 传动部分 凸轮轴带动杠杆摆动。

(3) 工作部分 杠杆带动针杆上下往复运动，达到缝补的目的。

由于机器的转动件的转速较低，无控制部分。



图 0-1 自行车

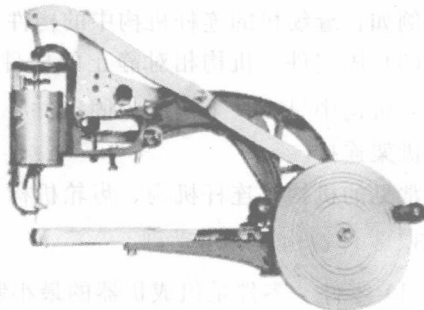


图 0-2 补鞋机

上述实例说明机器具有三个特点：

(1) 机器是由各种零件组合的；

(2) 机器的各部分具有确定的相对运动；

(3) 机器的功能是代替人的劳动，提高劳动效率，进行能量转换以及传递信息。

机器包括原动部分、工作部分、传动部分三个基本部分,为了使其协调工作,并准确、可靠地完成整体功能,必须增加控制部分。

(1) 原动部分 机器的动力与运动的来源。它是通过外来的能源,进行能量的转换,成为机器的能源。外来能源有机械能、电能、化学能。常见有:手动、电动机、内燃机、空气压缩机、液压设备等。

(2) 工作部分 机器以确定的运动形式完成有用功的部分。例如:自行车的车轮、补鞋机的针杆及压脚板、车床刀架等。

(3) 传动部分 将原动部分的动力及运动以一定的运动形式传给机器工作部分。例如:自行车的链传动、补鞋机的凸轮传动、汽车变速箱齿轮传动等。

(4) 控制部分 控制机器的启动、停止及协调动作的部分。例如:汽车的制动器、汽车的油门等。

2. 机构

若干个构件通过连接(运动副),且构件之间具有确定的相对运动的组合体称为机构。机构只具有机器的前两个特征。

如图 0-3 所示,缝纫机传动部分是一个平面连杆机构。

构件 1 为脚踏板,它是机器的原动部分。

构件 2 为拉杆,构件 1 与构件 2 铰链连接,构件 1 的摆动带动构件 2 的平面运动。

构件 3 为曲轴,构件 2 与构件 3 铰链连接,构件 2 的平面运动带动构件 3 的定轴转动。

构件 3 将转动输出给皮带传动部分。

机构是由原(主)动件、从动件、固定件(机架)组成。

(1) 原动件 机构中输入的确定运动的可动构件。一般机构只有一个原动件。例如:缝纫机的连杆机构中的构件 1。

(2) 从动件 在原动件的带动下,产生有规律运动的可动构件。例如:缝纫机的连杆机构中的构件 2、构件 3。

(3) 固定件 机构相对静止的构件,它是其他构件运动的参照物,机构中只有一个构件为固定件。例如:缝纫机的架子(简称机架),构件 1 及构件 3 都与机架连接。

常见的机构有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇机构等。

3. 零件、构件、运动副

(1) 零件 零件是组成机器的最小制造单元。

选用合适的材料,经过不同的加工方式而得到的不可拆卸的最小基本体称为零件。

机械工程中,零件分为通用零件及专用零件。

通用零件:应用广泛,具有国家统一标准。例如:齿轮、轴承、螺栓、螺母等。

专用零件:应用于一些特定的机器中,具有行业的标准。例如:起重机械中的吊钩、内燃机中的活塞、曲轴等。

在机器中常把零件组合成相对独立的组合件,这些组合件称为部件。部件是机器的最小

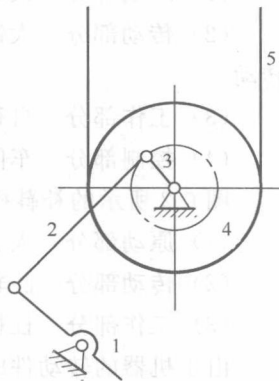


图 0-3 缝纫机传动示意图

装配单元体。例如：减速器、离合器、滚动轴承、自行车脚蹬子等。

机器的零、部件的功用是连接、紧固、传动、支承等。

(2) 构件 构件是机器中最小的运动单元。

由若干个零件组成的刚性体称为构件。一个构件可以是一个零件，也可以是几个零件的组合，组成构件的零件之间不能有相对运动。

(3) 运动副 两个构件直接接触，并能产生一定相对运动的连接部位称为运动副。运动副分为低副、高副，低副又包括转动副、移动副。

如图 0-3 所示的缝纫机连杆机构中，构件 1 与构件 2 的之间具有相对转动，称为转动副。

如图 0-4 所示单缸内燃机的连杆机构，活塞与缸体之间相对滑动，称为移动副。

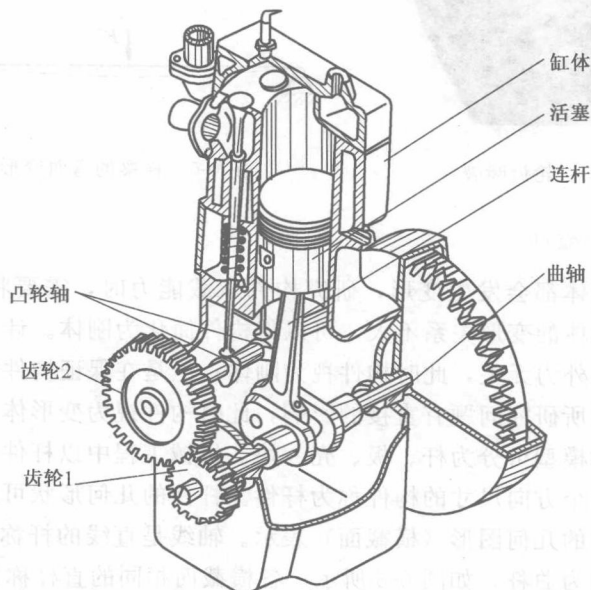


图 0-4 单缸内燃机结构原理图

0.2 机械工程中的力学

1. 工程力学研究的问题

机械工程中的力学主要由工程静力学及材料力学组成。

工程静力学研究作用在平衡物体上的力及其相互关系。

材料力学研究在外力的作用下，基本构件内部将产生什么力，这些力如何分布，构件发生怎样的变形，变形对构件的正常工作有哪些影响。

在机械工程中，为了保证机器的正常工作，需要组成机器的机构正常地运转，而组成机构的每一个构件需要有一定的承载能力。构件的承载能力体现在构件具有足够的强度、刚度、稳定性。

构件的强度是指在外力作用下, 构件抵抗强度失效的能力。**强度失效**是指不可恢复的塑性变形及发生断裂。如图 0-5 所示为齿轮轮齿的断裂。**构件的刚度**是指在外力作用下, 构件抵抗刚度失效的能力。**刚度失效**是指构件产生过量的弹性变形。如图 0-6 所示为装配车间的天车横梁发生弯曲变形, 使小车出现爬坡的现象。**构件的稳定性**通常发生在细长压杆, 当压杆在轴向压力的作用下, 直线平衡状态发生变化, 而导致压杆折断。

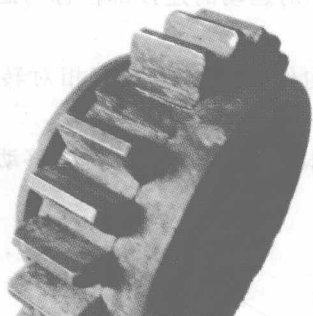


图 0-5 轮齿断裂

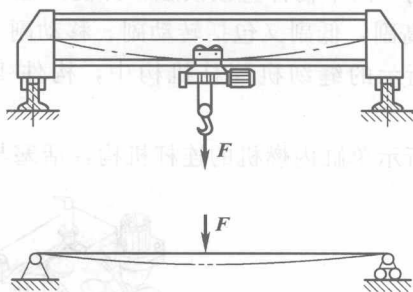


图 0-6 横梁的弯曲变形

2. 工程力学研究的模型

在外力作用下, 物体都会发生变形, 研究构件承载能力时, 需要将构件简化为力学模型。若研究的问题与物体的变形关系不大, 可以将构件简化为刚体。计算每一个构件所受的外力时, 其变形与所求外力无关, 此时构件视为刚体; 但是在保证构件安全的前提下, 设计构件的尺寸时, 变形对所研究问题有直接的影响, 此时构件视为变形体。

根据几何特征构件模型可分为杆、板、壳、块。机械工程中以杆件为主要研究模型。

长度远大于其他两个方向尺寸的构件称为杆件。杆件的几何形状可用其轴线 (截面形心的连线) 和垂直于轴线的几何图形 (横截面) 表示。轴线是直线的杆称为直杆, 如图 0-7 所示; 轴线是曲线的杆称为曲杆, 如图 0-8 所示; 各横截面相同的直杆称为等直杆。

杆件是工程中最常见、最基本的构件。工程中常见的梁、轴、柱等均属于杆类构件。

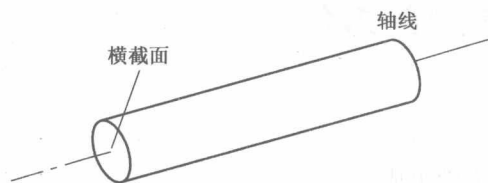


图 0-7 直杆

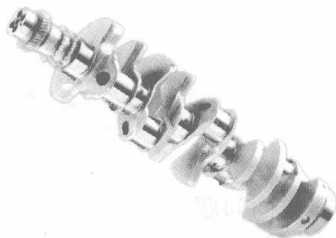


图 0-8 曲杆

3. 构件承载能力研究方法

(1) 绘制机构简图。机构简图是通过简单的线条表示构件的基本形状、构件之间的连接方式、每一个构件的运动形式、标出原动件。如图 0-9 所示为单缸内燃机连杆机构的简图。

(2) 分析机构中每一个构件的所受外力大小及方向。

(3) 判断在外力作用下, 构件的变形类型。

工程中常见杆件的变形类型如图 0-10 所示。

图 0-10 (a) 拉伸 (压缩) 变形;

图 0-10 (b) 剪切 (挤压) 变形;

图 0-10 (c) 扭转变形;

图 0-10 (d) 弯曲变形。

(4) 根据构件具有的强度、刚度、稳定性的条件进行有关的计算。

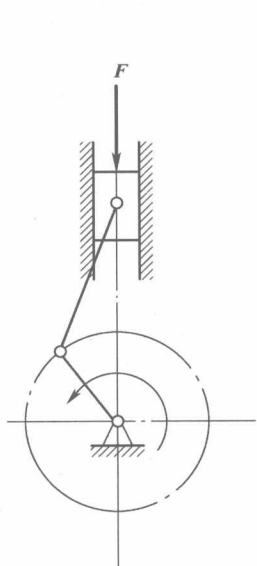


图 0-9 单缸内燃机连杆机构简图

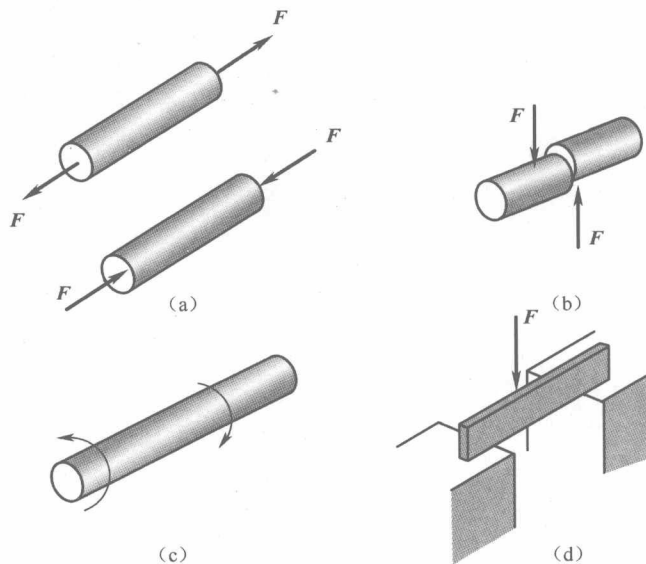


图 0-10 工程中常见杆件的变形类型

综上所述, 本课程是机械类专业的技术基础课程, 通过学习, 使学生对机械的功用、性能、组成有深刻的了解; 会选用通用零件; 掌握常用机构、机械传动的工作原理、基本特点等, 学会分析问题、解决问题的方法。

上篇 工程力学

工程力学是人类在千百年漫长的劳动生产过程中，通过无数次的实践—理论—再实践的过程，建立起来的一门学科。是人类对于物体机械运动规律认识的深化过程。

本篇主要研究物体在力系作用下的平衡规律，包括物体的受力分析、力系的简化及平衡条件的应用。杆件类构件的强度、刚度及稳定性的分析和计算。

在学习的过程中，要注意理论与实践的结合。



第1章 力与物体的受力分析



学习目标

1. 理解力、力矩、力偶、均布载荷、摩擦力的概念。
2. 掌握受力图的画法。
3. 了解力的性质。

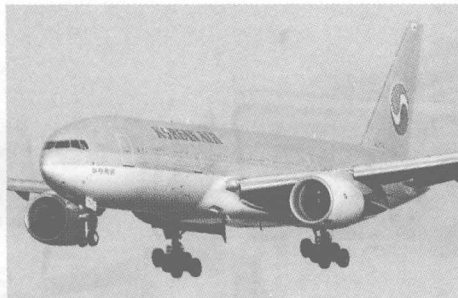
知识点

1. 力、力矩、力偶、均布载荷、摩擦力。
2. 主动力、约束力。
3. 确定二力构件。
4. 进行受力分析。

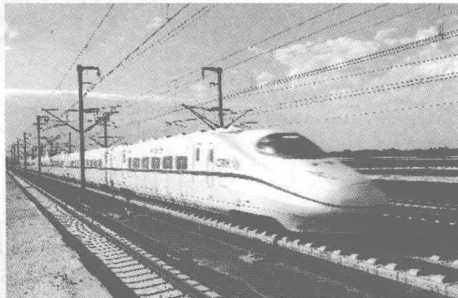
相关链接

力学与现代工程

长期以来,力学始终与土建、机械、船舶、航空等工程技术紧密结合。例如,飞机、高速列车的设计都是通过风洞试验模拟高速行驶状态下空气阻力对飞机、列车的影响。通过风洞流体力学的研究不断改进飞机、高速列车的外形,降低空气的阻力。如我国最新型的和谐号高速列车 2010 年 12 月 3 日在京沪高铁试运行中最高时速达到 486.1 km,创世界铁路运营试验的最高时速,人们出行由北京到上海只需要 5 个多小时。因此正确地运用力学知识可以提高人们的生活质量和科技水平。



某大型客机的流线外形



和谐号动车组的流线外形

1.1 力

1.1.1 力的概念

踢足球是很多人喜欢的体育项目，而在踢足球的过程中，球的运动状态与脚对球的作用有着很大的关系。如图 1-1 所示脚对足球的作用即为“力”。脚是施力体，足球是受力体。球运动的快慢取决于力的大小；球的运动方向取决于力的方向；脚与球的接触点 A 为力的作用位置。由实例我们看出，力对物体的作用效应决定于力的三要素，即力的大小、力的方向及力的作用点。

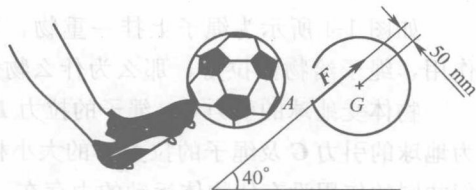


图 1-1 脚对足球的作用

力的大小表示物体间相互作用的强弱程度，通常用“ F ”表示。力的单位为牛（N）或千牛（kN）。

力的方向包括力的作用线方位和指向。作用线的方位用有向线段与参考方向的夹角表示，指向用线段的箭头表示。

力的作用点表示物体间相互作用的位置。可以用线段的起点 [见图 1-2 (a)] 或终点 [见图 1-2 (b)] 表示。

由上述可得出，力是矢量。

力对物体的作用效应可表现为：

(1) 外效应 物体运动状态发生变化。例如：足球从静止到运动。

(2) 内效应 物体形状发生变化。例如：打瘪了的乒乓球。

若在力的作用下，物体相对于地球保持静止或匀速直线运动的状态，则物体处于平衡状态，简称平衡。

实际上物体在力的作用下，都会产生不同程度的变形。但是在研究物体的状态变化时，微小变形忽略不计，在工程问题研究时我们常视物体为刚体。刚体是一个理想化的力学模型。

随着人类科技的发展，机器的组成日趋复杂化，组成机器的构件也越来越多。这样，每个构件上的受力也不只有一个。如图 1-3 所示为简易起重装置，立柱 AD 与横梁 CE 及支撑杆 BE 连接，那么立柱 AD 所受的力就不止一个。当一个构件或机构上作用有一群力时，称为力系。

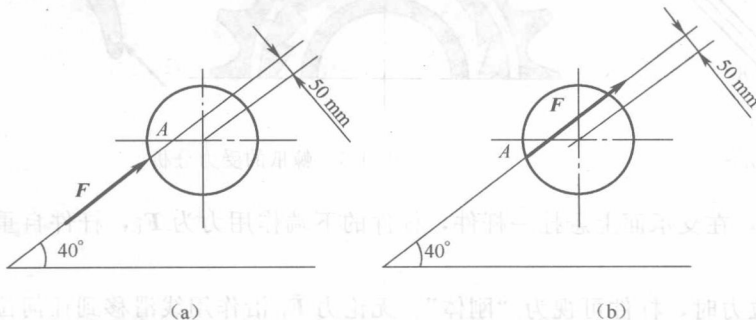


图 1-2 力的作用点

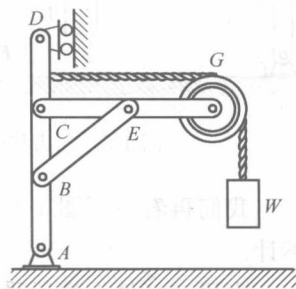


图 1-3 简易起重装置

问题思考

1. 在力的三要素中, 改变其中一个要素, 对受力体产生哪些影响?
2. 观察你周围物体受力的状态, 是一个力还是一个力系。

1.1.2 力的基本性质

如图 1-4 所示为绳子上挂一重物, 不难看出, 物体受地球的引力的作用, 绳子给物体拉力, 那么为什么物体能处于静止状态?

物体受地球的引力 G , 绳子的拉力 F , 但物体却保持静止状态, 是因为地球的引力 G 及绳子的拉力 F 的大小相等, 方向相反, 作用线共线。它们共同的作用没有使物体运动的力存在, 即合力为零, 所以物体静止。

由此推出:

二力平衡性质 作用在刚体上的两个力, 使刚体保持平衡的充分必要条件是这两个力大小相等, 方向相反, 且作用在同一条直线上。

此性质只适用于刚体。

工程中一些构件在忽略自重的情况下, 受到两个力作用时, 通常称为**二力构件**, 若构件为杆件时, 称为**二力杆**。

如图 1-5 所示的 BE 杆, 在忽略 BE 杆自重的前提下, 杆 B 、 E 处为螺栓连接, 当结构在重物 W 的作用下, 杆 BE 在连接处受到压力; 此时杆 BE 处于平衡状态, 又在 B 、 E 处只受两个力作用, 因此杆 BE 称为二力杆。同时, 通过二力平衡的性质可知两个力的作用线为 B 、 E 两点的连线, 以此确定杆 BE 在 B 、 E 处受力的方向如图 1-5 所示。

如图 1-6 所示为自行车飞轮内部结构 (工程中称为**棘轮机构**)。图中构件 2 称为**棘爪**, 在忽略自重的情况下, 当自行车滑行时棘爪的一端与构件 3 (轮毂) 连接, 另一端与构件 1 (棘轮) 接触, 阻止构件 1 的运动, 两端受到压力的作用。棘爪可视为二力构件。由二力平衡性质可以确定棘爪所受力的方向。

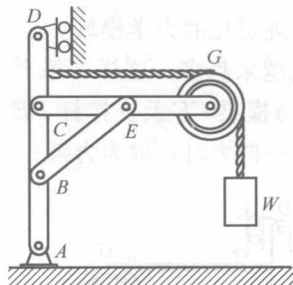


图 1-5 二力杆受力分析

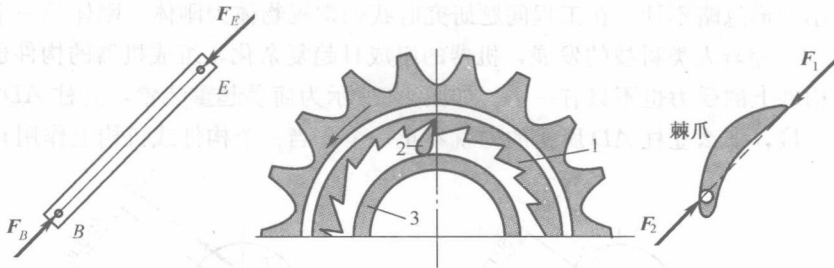


图 1-6 棘爪的受力分析

我们再看一下图 1-7 (a), 在支承面上悬挂一杆件, 杆件的下端作用力为 F_1 , 杆件自重不计。

当研究杆件上端所受的拉力时, 杆件可视为“刚体”。无论力 F_1 沿作用线滑移到任何位置, 杆件上端的拉力大小不变如图 1-7 (b)、(c) 所示。

当研究杆件的变形时,杆件可视为“变形体”。力 F_1 沿作用线滑移到任何位置,杆件产生不同的变形(伸长量 $l_1 > l_2$),如图 1-7 (d)、(e) 所示。

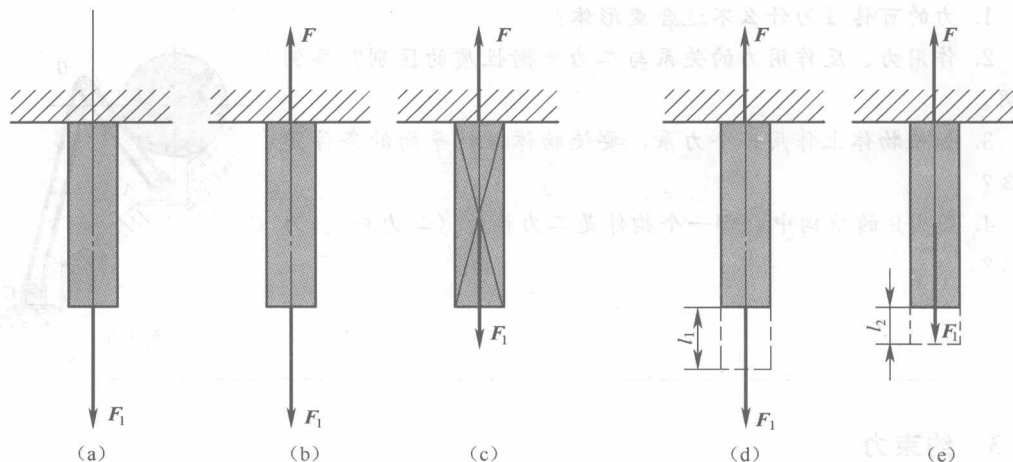


图 1-7 杆件的受力变形

由此推出:

力的可传性 作用在刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移动到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效应。

此性质只适用于刚体。

最后我们看一下图 1-8 (a), A、B 两物体相互接触,有外力 F_1 、 F_2 的作用。当 $F_1 = F_2$ 时,两物体处于平衡状态(忽略摩擦)。

A 物体受外力 F_2 作用及 B 物体给 A 物体的作用力 F ,当 A 物体处于平衡状态时,由二力平衡性质, $F = F_2$; B 物体受外力 F_1 作用及 A 物体给 B 物体的作用力 F' ,当 B 物体处于平衡状态时,由二力平衡性质, $F' = F_1$ 。

因为 $F_1 = F_2$, 所以 $F = F'$ 。

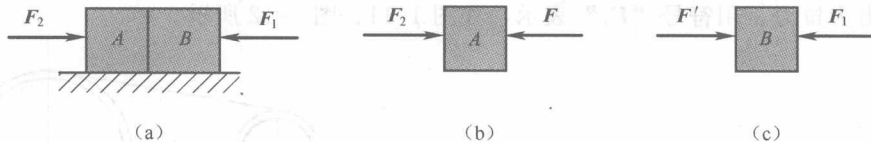


图 1-8 两物体受力分析

由此推出:

作用力与反作用力的关系 两物体间的作用力与反作用力总是同时存在,且大小相等、方向相反、沿同一条直线,分别作用在这两个物体上。

此性质适用于刚体及变形体。