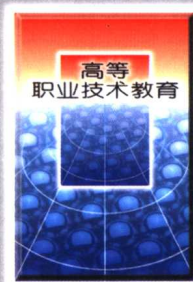


高等职业技术教育机电类专业规划教材



机械技术应用基础

(机械设计四合一)

霍振生 主 编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等职业技术教育机电类专业规划教材

机械技术应用基础

(机械设计四合一)

主编 霍振生

参编 贾玉梅 刘利军

杨殿文 闫莉敏

主审 王茂元 侯德华



机械工业出版社

本书是将理论力学、材料力学、机械原理和机械零件四门课的内容,进行了复合、衔接、渗透和综合。主要介绍:物体的受力及其分析;构件的强度计算;常用机构的工作原理、运动特性和设计方法;通用机械零、部件的工作原理、结构特点、选用、计算方法和设计。全书除绪论外共十章,每章后均附有习题。书后附有习题参考答案,以供读者参考。

本书可作为高等职业技术学院和高等专科学校机械类专业教材,也可作为成人高校教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械技术应用基础:机械设计四合一/霍振生主编.——北京:机械工业出版社,2003.7

高等职业技术教育机电类专业规划教材

ISBN 7-111-12136-8

I. 机... II. 霍... 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036070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:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年7月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·16印张·392千字

定价:22.00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

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,随着我国经济的高速增长,高职层次人才需求量骤增,我国高等职业教育发展迅速,教育改革不断深入,课程改革,课程综合化等问题也提到相应的高度。鉴于高职教育急需具有高职特色教材的实际情况,我们编写了这本综合教材。

本书将“理论力学”、“材料力学”、“机械原理”和“机械零件”四门课程内容进行了衔接、渗透和整合。将力学中物体受力、构件变形分析方法和常用机构、通用零部件的设计方法有机的整合。整合的内容包括:运动学部分内容与常用机构;剪切、挤压与键、销、螺纹联接;扭转与传动轴;弯曲与心轴;弯、扭组合变形与转轴,对应编写成章。从而使每一种构件、零件的分析方法都有了很强的针对性。

根据高职院校教学情况及社会对高职毕业生的要求,本书在编写过程中,力求做到文字简明,内容精练,知识面宽,方便教学。从读者的认识规律出发,深入浅出,循序渐进;讲清基础知识、基本理论和基本方法;注重知识的实用性,理论推导从简,直接切入应用主题,既减少篇幅,适应当前基础课教学时数减少的现实,降低了学生的学习难度,也突出了职业教育特色。

教材选用了国家最新标准、规范及近年来陆续发布的有关新标准,以便读者更好地学习与贯彻。

本书附有习题答案,可供读者参考。

参加本书编写的人员有:贾玉梅(第一章、第十章)、杨殿文(第二章、第七章)、刘利军(第五章)、闫莉敏(第八章、第九章及螺纹联接及螺旋机构)、霍振生(绪论、第三章、第四章、第六章)。全书由霍振生担任主编。

本书由包头职业技术学院王茂元副教授、高职研究所所长侯德华担任主审,对体现高职特色和提高本书质量起了重要的作用,编者对此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏,不妥之处,恳请专家、广大读者不吝指正。

编者

2003年4月

目 录

前言

绪论 1

第一节 引言 1

第二节 机械概述 2

第三节 本课程的性质、内容和任务 4

第一章 物体的受力及其分析 6

第一节 力学的基本概念 6

第二节 平面汇交力系 12

第三节 力矩和力偶 17

第四节 物体的平面一般力系 19

第五节 空间力系 29

思考题与习题 34

第二章 常用机构 42

第一节 机构运动和运动简图 42

第二节 平面连杆机构 53

第三节 凸轮机构 62

第四节 间歇运动机构 70

第五节 螺旋机构 72

思考题与习题 75

第三章 杆件的拉、压强度分析 79

第一节 构件轴向拉伸与压缩的概念 79

第二节 轴向拉伸与压缩的内力与截面法 79

第三节 横截面上的应力 81

第四节 拉伸与压缩的变形 82

第五节 材料拉伸与压缩时的力学性能 84

思考题与习题 88

第四章 联接 90

第一节 键、销联接 90

第二节 螺纹联接 97

思考题与习题 109

第五章 齿轮传动 111

第一节 齿轮的特点和类型 111

第二节 渐开线直齿圆柱齿轮 112

第三节 渐开线齿轮的啮合传动 117

第四节 渐开线齿轮的加工与齿廓

的根切 120

第五节 轮齿的失效形式与材料选择 123

第六节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 128

第七节 斜齿圆柱齿轮传动 136

第八节 齿轮的结构设计 142

第九节 其他齿轮传动的特点和应用 143

第十节 传动装置的润滑 147

思考题与习题 149

第六章 轴的设计 151

第一节 传动轴的强度与刚度计算 151

第二节 心轴的强度计算 156

第三节 转轴强度计算及设计 165

思考题与习题 178

第七章 轮系 181

第一节 轮系的类型 181

第二节 定轴轮系的传动比计算 182

第三节 周转轮系的传动比计算 184

第四节 混合轮系 186

第五节 轮系的应用 187

第六节 其他齿轮系的简介 189

思考题与习题 191

第八章 带传动与链传动 193

第一节 带传动 193

第二节 链传动 208

思考题与习题 211

第九章 轴承 212

第一节 滚动轴承 212

第二节 滑动轴承 228

思考题与习题 236

第十章 联轴器和离合器 238

第一节 联轴器 238

第二节 离合器 242

思考题与习题 245

思考题与习题参考答案 246

参考文献 249

绪 论

第一节 引 言

人类从使用简单工具到今天能够设计复杂的现代机械，经历了漫长的过程。随着生产的不断发展，品种繁多的机械进入了社会的各个领域，承担了人力所不能或不便进行的工作，既减轻了人们的体力劳动，改善了劳动条件，又提高了生产率。同时也便于对生产进行严格分工和科学管理，易于实现产品的标准化、系列化和通用化，使之机械化、电气化和自动化成为可能。

近代机械是在蒸汽机发明后才纷纷出现的。早在 16 世纪第一次工业革命期间意大利人达·芬奇、英国人牛顿等二十多人就研究用蒸汽作为动力的机械。1690 年法国人巴本制造了一台蒸汽机；1698 年，英国人塞维利制造了一台用于矿井抽水的蒸气泵；1705 年，苏格兰人纽可门在前俩人的基础上制造了一台蒸汽机。1712 年这种蒸汽机开始在英国矿井中用于运输煤炭。当时的蒸汽机效率很低，英国人瓦特在此基础上用了 6 年的时间，对蒸汽机作了两次重大改革，才使得蒸汽机能够作为商用，成为火车的动力。1805 年，美国人富尔顿利用蒸汽机原理制造了世界上第一艘轮船。蒸汽机的出现使 19 世纪欧洲产业革命形成了机械工业并得到了迅猛发展。

在我国，机械的创造发展和使用有着悠久的历史。夏商时代人们发明了脚踏水车（见图 0-1），它是一条提水运输链，并利用所运的水进行润滑。在公元前 5 世纪时，墨翟在所著的《墨经》中就论述了杠杆原理及连杆碓舂米机构采用的凸轮机构（见图 0-2）；东汉时期张衡将杠杆机构用于人类第一台地震仪上；杜诗发明了用水作为动力，带动水盘运转，驱动风箱炼

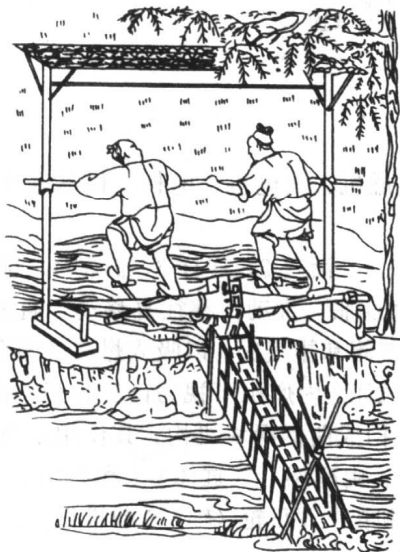


图 0-1 脚踏水车

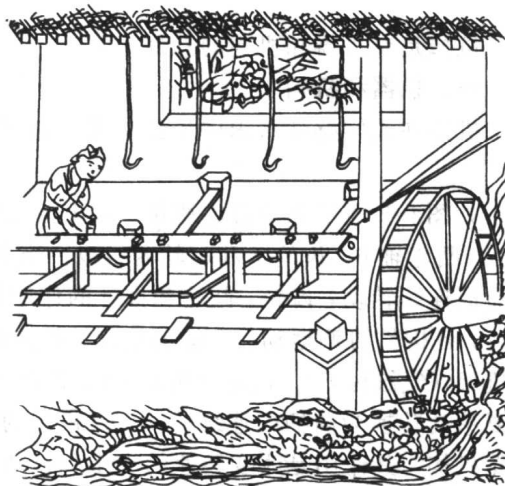


图 0-2 连杆碓舂米机构

铁的连杆机械装置（见图 0-3），成为现代机械的雏形；西汉时期，刘歆在《西京杂记》中，论述了有齿轮机构组成的指南车（见图 0-4）、记里鼓车（计量里程的仪表机构）；元朝时，人们利用曲柄、滑块和飞轮制成的纺织机构等等。

由于近代外敌入侵，朝廷腐败，闭关锁国，长年战乱，使我国机械工业发展滞后，停止不前。

新中国成立后，我国科学技术有了巨大的发展，已经能够设计和生产成套关键设备，发展了一批新型基础机械。如大型万吨水压机、万吨远洋货轮、精度为 $3\mu\text{m}$ 的 TG4280 型光学双坐标镗床、人造卫星的太空遨游及大型精密的高新技术设备的生产等等，都标志着我国的机械工业正在朝着世界先进水平迈进，有些已处于国际领先地位。

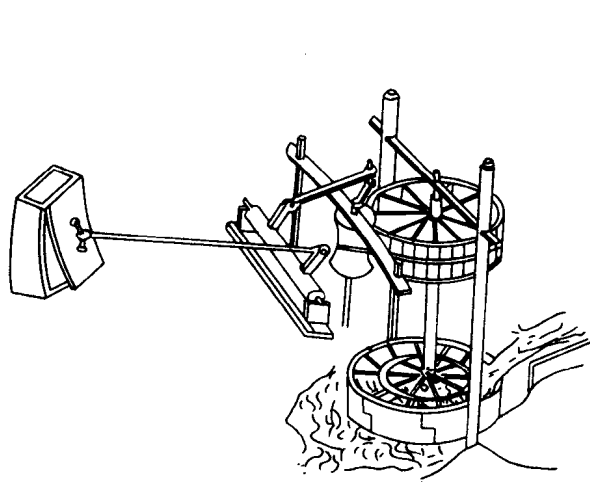


图 0-3 驱动风箱炼铁的连杆机械装置

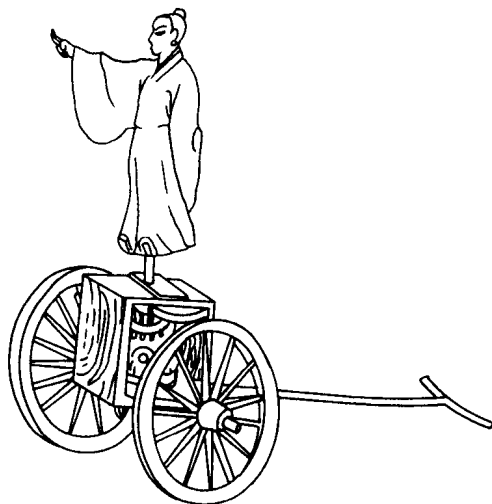


图 0-4 指南车

第二节 机械概述

机械是对机器和机构的总称。

一、机器和机构

机器在人们感性认识中早已形成，如蒸汽机、内燃机、发电机、电梯、机器人及各种机床。

如图 0-5 所示为单缸内燃机，它由气缸体（机架）1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、排气阀推杆 5、凸轮轴 6、齿轮 7 和齿轮 8 组成。当燃烧的气体膨胀，推动活塞往复移动，通过连杆 3 使曲柄连续转动，齿轮、凸轮和推杆的作用是启闭进气阀和排气阀，以吸入燃气和排除废气。这样，各构件协调地动作，就把热能转换为曲柄的机械能。内燃机可视为由三种机构的组合：由机架（气缸体）1、活塞（滑块）2、连杆 3、曲轴 4 构成曲柄滑块机构，其作用是将活塞的往复移动转换为曲柄的连续转动，是机器的主体部分；由机架（气缸体）1 和齿轮 7、8 组成齿轮机构，其作用是改变转速的大小和转动方向；由机架 1、凸轮（轴）6 和推杆 5 组成凸轮机构，其作用是将凸轮的连续转动转换为推杆的往复移动。

如图 0-6 所示为工业机器人，它由计算机控制器 1、液压装置 2、电力装置 3 和铰接臂机

械手4组成。机械手按指令有规律运动时,手端夹持器便将物料搬运到指定位置。

从以上二例可以看出,尽管机器品种繁多,形式多样,用途各异,但都具有如下特征:

- 1) 都是人为的各种实物的组合体;
- 2) 组成机器的各种实物间具有确定的相对运动。
- 3) 可代替或减轻人的劳动,有效地完成机械功或转换机械能。

凡具备上述三个特征的实物组合体均称为机器。

所谓机构,它也是各种实物的组合体,实物间具有确定的相对运动,即符合机器的前两个特征,如图0-5所示,机架(气缸体)1和齿轮7、8等组成齿轮机构;机架(气缸体)1、凸轮(轴)6和推杆5组成凸轮机构。

可见,机构主要用来传递和变换运动,而机器主要用来传递和转换能量,从结构和运动学的角度来分析,机器与机构之间并无区别。

二、零件与构件

机器是由若干个不同零件组装而成(图0-6),零件是组成机器的基本要素,即机器的最小制造单元。各种机器经常用到的零件称为通用零件,如螺钉、螺母、轴、齿轮、弹簧等。在特定的机器中才会用到的零件称为专用零件。如气轮机中的叶片、起重机的吊钩、内燃机中的曲轴、连杆、活塞等。

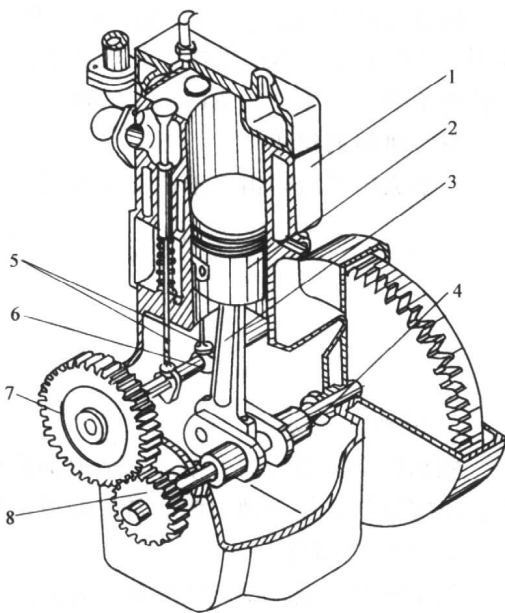


图 0-5 内燃机

1—气缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴
5—排气阀推杆 6—凸轮轴 7—大齿轮 8—小齿轮

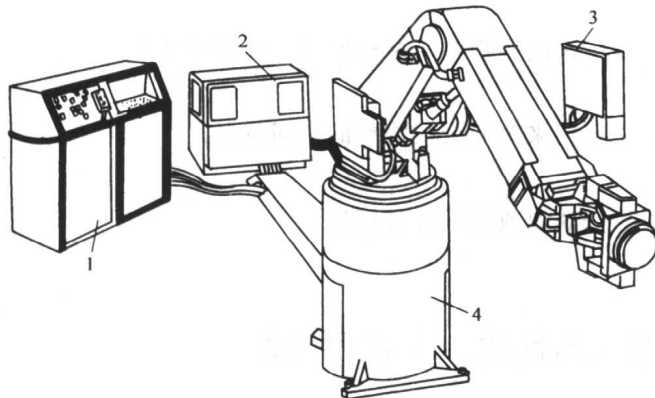


图 0-6 工业机器人

1—计算机控制器 2—液压装置 3—电力装置 4—铰接臂机械手

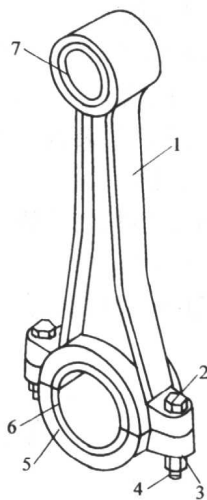


图 0-7 内燃机连杆

1—连杆体 2—螺栓 3—螺母 4—开口销
5—连杆盖 6—轴瓦 7—轴套

构件是机器的运动单元，它可以是单一的零件，也可以是由若干个零件组成的刚性结构。如图 0-7 所示的内燃机连杆，就是由连杆体 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。

三、机器的组成

一部完整的机器由以下四部分组成，如图 0-8 所示。

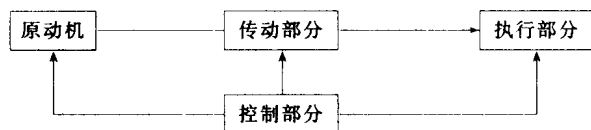


图 0-8 机器的组成

1. 原动机（动力）

原动机是机器的动力来源，动力部分可采用人力、畜力、风力、电力、液力、热力、磁力、压缩空气等作为动力源。常用的原动机有电动机、内燃机。

2. 工作机部分

处于整个机械传动路线终端，是完成工作任务的部分。

3. 传动机部分

介于原动机与工作机之间，作用是把原动机的运动或动力传递给工作机。但也有一些机器原动机直接驱动工作机。

4. 控制部分

控制部分包括各种控制机构（如内燃机中的凸轮机构）、控制离合器、制动器、电动机开关等，能够使机器的原动机部分、传动机和工作机部分按一定的顺序和规律运动，完成给定所需的工作循环。

四、机械的类型

机械种类较多，根据用途不同，可分为：

1. 动力机械

如电动机、内燃机、发电机、液压机等，主要用来实现机械能量转换成其他形式的能量。

2. 加工机械

如轧钢机、包装机及各类机床，主要用来改变物料的结构形状、性质及状态。

3. 运输机械

如汽车、飞机、轮船、输送机等，主要用来改变人或物料的空间位置。

4. 信息机械

如复印机、传真机、摄像机；主要用来获取或处理各种信息。

第三节 本课程的性质、内容和任务

本课程是一门综合性的技术基础课。内容涵盖构件和零件受力分析及机械基本设计知识，并包括有关技术资料的应用等。其具体内容有：

1. 力学基础

各种机械设备都是由若干构件组成，由于构件、工件工作时往往承受载荷作用，在载荷作用下，构件产生变形或发生破坏。这就需要用力学分析的方法，对构件强度及刚度加以研究，使之工作可靠。

2. 常用机构

主要讲述机械中的常用机构和工作原理、运动特性和结构特点等。

3. 机械零件

讨论机械零件及失效形式、强度计算和设计方法，包括确定主要尺寸和结构。同时，简要地介绍国家规范，标准零部件的选用原则，以及机器设备的使用、保养与维护等。

本课程的任务是：

- 1) 了解常用机构的工作原理、运动特性、结构特点；
- 2) 掌握零部件的受力分析、基本变形和强度计算方法；
- 3) 具备正确分析、使用及维护机械的能力，掌握通用零件的设计原理和方法，具有运用机械设计手册、图册、标准、规范等有关技术资料设计简单机械的能力。

第一章 物体的受力及其分析

本章主要研究物体在力系作用下的平衡问题，它包括力的基本性质，力系的合成规律以及力系的平衡。

静力平衡是本门课程最基本的问题之一。通过学习，要求对物体的平衡有清晰明确的概念，能较熟练地运用平衡条件进行计算。平衡条件是物体受力分析必须满足的条件，其应用很广，在工程技术中有着重要的地位和作用。

第一节 力学的基本概念

一、力的概念

1. 定义

力是物体间的相互作用。这种作用使物体运动状态的改变称为力的外效应；使物体形状的改变称为力的内效应。

力的概念产生于生产实践中，例如人们用手握、拉、掷、举物体时，人与物体之间产生相互作用；气锤锻打工件，气锤与工件间有了相互作用，工件产生变形等等。

2. 力的三要素

力对物体的效应，决定于三要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。当三个要素中有任何一个改变时，力的作用效果就会改变。

3. 力的矢量表示及单位

力是一个具有大小和方向的量，称为力矢量。用一个有向线段表示，线段的长度按一定的比例，表示力的大小；线段箭头的指向表示力的方向；线段的始端 A 或末端 B 表示力的作用点，如图 1-1 所示。力的单位用牛（N）或千牛（kN）表示，矢量在本书中用黑体表示，手写时在字符上方画箭头。

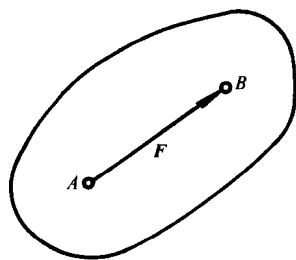


图 1-1 力的表示

4. 刚体的概念

在外力作用下不发生变形的物体称为刚体。事实上，刚体是不存在的，任何物体受力后都将发生变形，但微小变形对研究物体的平衡问题不起主要作用，可以略去不计，物体均视为刚体。

5. 力系的简化与平衡

若干个力组成的系统，称为力系；用简单的力系代替复杂力系的过程称为力系的简化。

平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动；力系使物体处于平衡状态时，该力系称为平衡力系。

二、静力学的基本公理

1. 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体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 1-2 所示，物体放置在水平面上，受到重力 G 和水平面的反力 F_N 作用处于平衡状态，这两个力必等值、反向、共线。

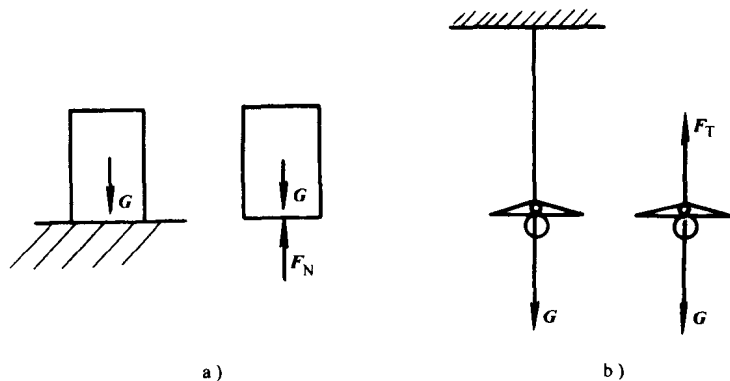


图 1-2 二力平衡

凡只受二力作用而处于平衡状态的构件，称为二力构件，如图 1-3a 所示的托架，杆 AB 不计自重， A 、 B 两点所受力 F_A 、 F_B 必定在二力作用点的连线 AB 上（见图 1-3b）。



图 1-3 托架的受力

a) 托架 b) 二力构件

2. 平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效果。

推论 1（力的可传性原理） 作用于刚体上某点的力可沿其作用线移到刚体内任一点，不会改变力对刚体的作用。如图 1-4 所示，在 A 点的作用力 F 和在 B 点的作用力 F 对小车的的作用效果相同。

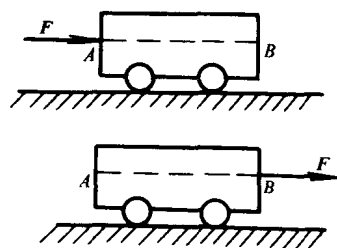


图 1-4 力的可传性

3. 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力，可合成为一合力，合力作用于该点，大小和方向由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-5 所示， F_R 是 F_1 、 F_2 的合力，符合矢量和法则，即

$$F_R = F_1 + F_2$$

推论 2（三力平衡定理） 构件在三个共面而又互不平行的力作用下处于平衡，则此三个力的作用线必汇交于一点。

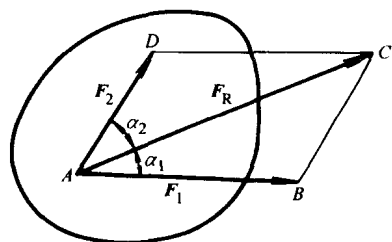


图 1-5 力的合成法则

4. 作用与反作用公理

两物体相互作用的力，必是等值、反向、共线，而且分别同时作用在两个相互作用的物体上。这公理说明力永远是成对出现的，物体间的作用总是相互的，有作用力就有反作用力。如图 1-6a 所示，一重物用钢丝绳悬挂在鼓轮上， G 为重物所受的重力， F_T 为钢丝绳对重物的拉力（见图 1-6b）， F_T 与 F_T' 是作用力与反作用力的关系，而 G 和 F_T 就不是。

三、约束与约束反力

在各类机械工程中，构件总是以一定的形式与周围其他构件相互联系，又相互限制，例如火车车轮受铁轨的限制，既能与铁轨接触，又能沿轨道运行；房梁受立柱的限制，使它在空间得到稳定的平衡。物体受到周围物体限制时，这种限制就称为约束。

作用于物体上的力可以分为主动力和约束力，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

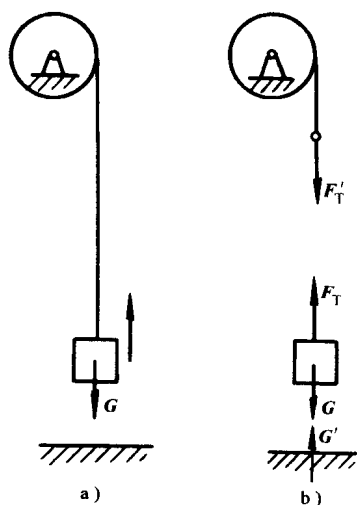


图 1-6 作用力与反作用力

的。约束阻碍了物体本来可能产生的某种运动，从而改变了物体的运动状态，这种限制物体运动或运动趋势的反作用力称为约束反力，约束反力是未知力。一般条件下，根据约束的性质，只能判断约束力的作用点位置或作用力方向，其大小要根据作用在物体上的已知力以及物体的运动状态来确定，现将工程上常见的几种约束类型分别叙述如下：

1. 柔性约束

由绳索、链条、带等柔性物体形成的约束称为柔性约束。由于柔性体本身只能承受拉力，因此柔性约束反力作用在接触点，沿柔性体的中线，背离受力物体，用符号 F_T 表示，如图 1-7b 所示。

如图 1-8 所示的链传动或带传动，当柔性体绕过轮子时，常假想在柔性体的直线处截开，通常把包络在轮子上的柔性体看成是轮子的一部分，约束力作用于切点沿轮缘的切线方向。

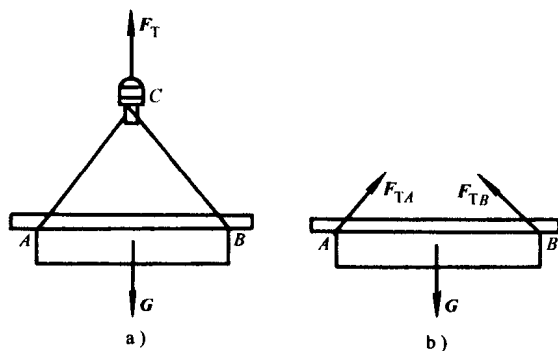


图 1-7 柔性约束

a) 结构 b) 约束力的表示

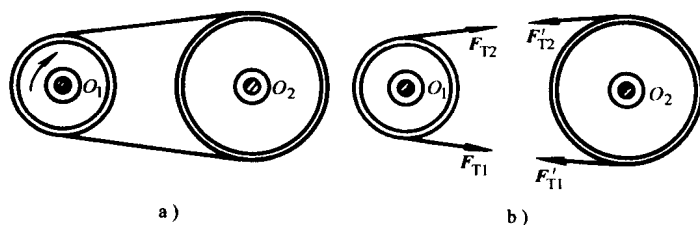


图 1-8 传动带的约束力

2. 光滑面约束

当两物体直接接触，并忽略接触处的摩擦时，把物体的接触面看成是完全光滑的刚性接触面，简称为光滑约束。光滑约束只能限制沿接触的公法线方向运动，故约束力作用在接触点，沿接触面法线方向，指向受力体。用 F_N 表示，如图 1-9 所示。

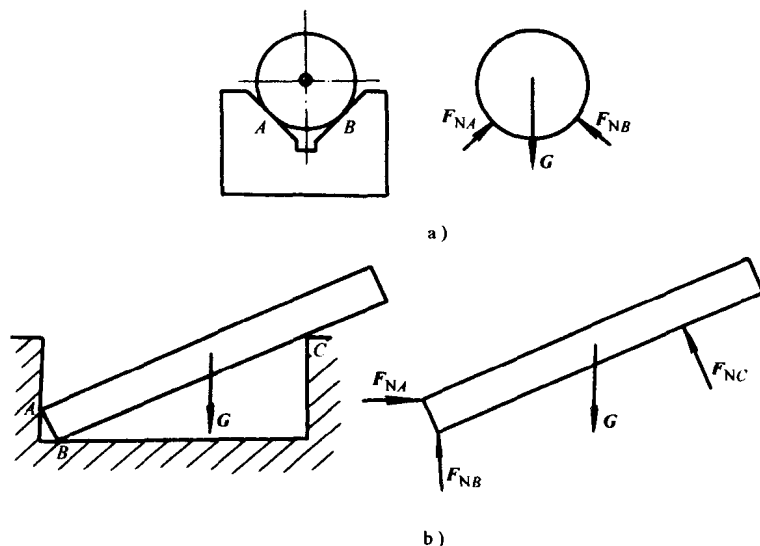


图 1-9 光滑面约束

如图 1-9a 所示的重物与 V 型架平面接触，约束力沿接触面法线指向重物。图 1-9b 中直杆与方槽 A、B、C 三点处接触，三处的约束力均沿两者接触点的公法线方向。

3. 光滑铰链约束

所谓光滑铰链是指相联的两构件均不计摩擦的光滑表面。

(1) 固定铰链和中间铰链 两构件采用圆柱销所形成的联接为铰链联接，如图 1-10a。若相联的两构件有一固定，称为固定铰链，如图 1-10b；若两构件均不固定称为中间铰链。

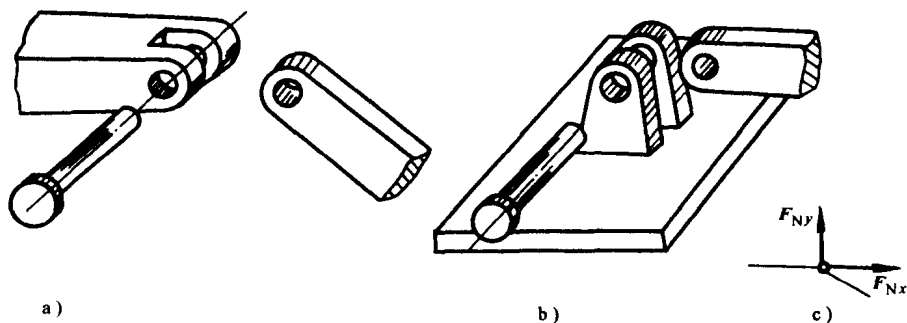


图 1-10 固定铰链与中间铰链

a) 铰链结构 b) 固定铰链 c) 约束力的表示

这类约束的约束力沿圆柱面接触点的公法线通过圆销中心，方向不确定。通常用两个正交分力 F_{Nx} 、 F_{Ny} 来表示，如图 1-10c 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，其约束力满足二力平衡条件，即沿两约束力作用点的连线，方向是确定的，如图 1-11a 所示，杆件 BC 不计自重，受两力作用

处于平衡, 是二力构件, 该二力必通过 B 、 C 两点的连线, 如图 1-11b。

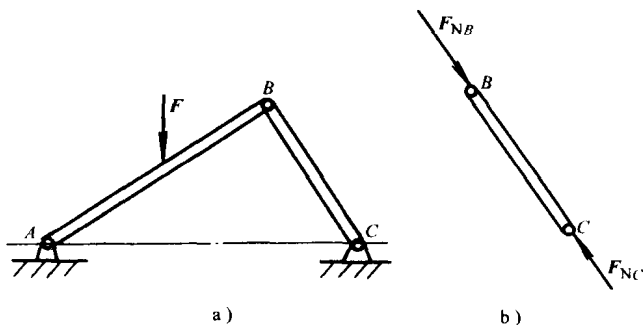


图 1-11 固定铰链和中间铰链实例

a) 实例 b) 二力构件

(2) 活动铰支座 在支座下面装上滚子, 使它能在支承面上水平方向任意移动, 称为活动铰支座, 如图 1-12 所示, 约束反力通过铰链中心并与支承面相垂直。

如图 1-13 所示 AB 梁支承情况, A 为固定铰链, B 为活动铰链, 约束反力画法如图 1-13b 所示。

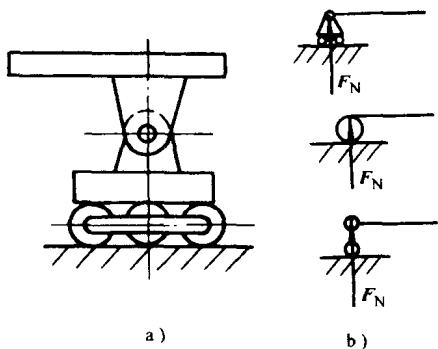


图 1-12 活动铰链

a) 结构 b) 约束力的表示

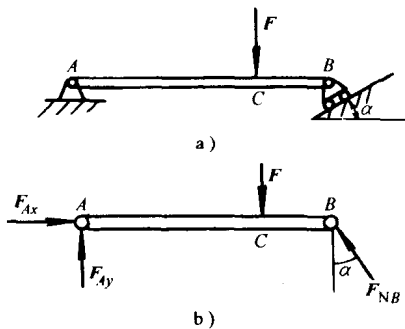


图 1-13 铰链约束的实例

a) 结构 b) 约束力的表示

四、物体的受力分析

在工程上要研究构件的静力平衡问题, 必须分析构件的受力情况, 即进行受力分析, 把所研究的构件从周围的物体中分离出来, 解除约束后的自由物体称为分离体。在分离体上画出全部作用力 (包括主动力和约束反力) 的简图, 称为受力图。

例 1-1 用力拉动碾子以压平路面, 碾子受到一障碍物的阻碍, 如图 1-14a 所示, 如不计接触处的摩擦, 试画出碾子的受力图。

解: (1) 以碾子为研究对象, 并画出分离体图。

(2) 画出主动力 F_P 和拉力 F 。

(3) 画出全部的约束反力, 碾子在 A 处受到 F_{NA} 的作用, 在 B 处受到 F_{NB} 的作用, 它们都沿着碾子接触面的法线而指向圆心如图 1-14b 所示。

例 1-2 梁 AB , A 端为固定铰链支座, B 端为可动铰链支座, 梁中点 C 处受主动力 F_P 作用, 如图 1-15 所示, 梁重不计, 试画梁的受力图。

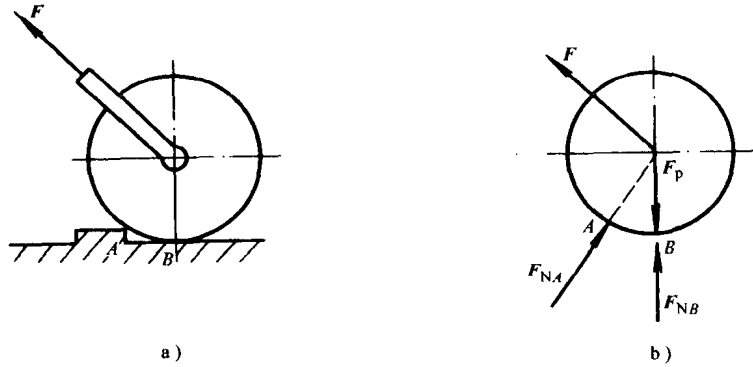


图 1-14 小球的受力图

a) 工作示意图 b) 受力图



图 1-15 梁的受力图

解：(1) 以梁 AB 为研究对象，画出分离体图。

(2) 画主动力。

(3) 画约束反力。活动铰链的约束反力 F_B 沿铅垂向上且通过铰链中心，固定铰链的约束反力的方向不定，可用两正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示（见图 1-15b）。

例 1-3 如图 1-16a 所示的三铰拱桥，由左右两半拱片铰接而成，试画左半片的受力图。

解：(1) 确定左拱片 AB 为研究对象，画出分离体图。

(2) 画主动力。

(3) 画约束反力 右半拱为二力构件，受力如图 1-16c 所示。左半拱 B 端受右半拱 BC 的作用，根据作用力与反作用定理， BC 对左半拱的作用力为 F_B' ，左半拱 A 端受固定铰支座约束，可用正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示，受力如图 1-16b 所示。

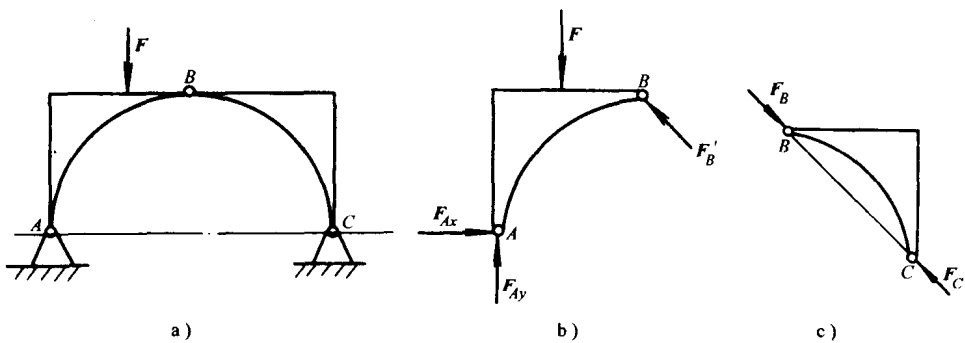


图 1-16 三铰拱桥受力图

a) 工作示意图 b) 左半拱受力图 c) 右半拱受力图

第二节 平面汇交力系

凡各力的作用线均在同一平面内的力系称为平面力系。若各力的作用线全部汇交于一点，则称为平面汇交力系。

一、平面汇交力系的合成

1. 力三角形法则

设有 F_1 与 F_2 二力作用于某刚体上的 A 点，则由平行四边形法则，以两力为边作平行四边形，其对角线即为它们的合力 F_R ，记作 $F_R = F_1 + F_2$ ，如图 1-17a 所示，为简便作图可省略 AC 与 DC ，直接将 F_2 连在 F_1 的末端，通过 $\triangle ABC$ 即可求得合力 F_R ，如图 1-17b 所示。此法称为三角形法则。

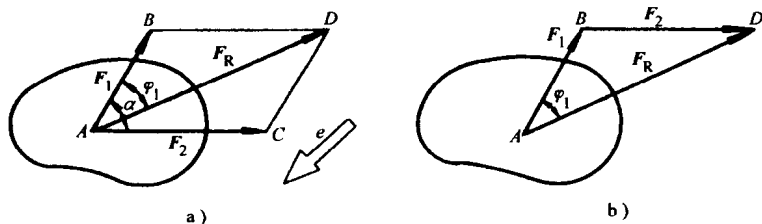


图 1-17 两个共点力合成的三角形法则

2. 力的多边形法则

设在刚体某平面上有一汇交力系 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 作用并汇交于 O 点，其合力 F_R 可连续使用上述力三角形合成法则来求得，如图 1-18b 所示，即

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (1-1)$$

若求合力 F_R 只需将各力 F_1 、 $\dots$ 、 F_4 首尾相接，最后连其封闭边，从共同的始端 O 指向末端所形成的矢量即为合力 F_R 的大小和方向，此法称为力的多边形法则。

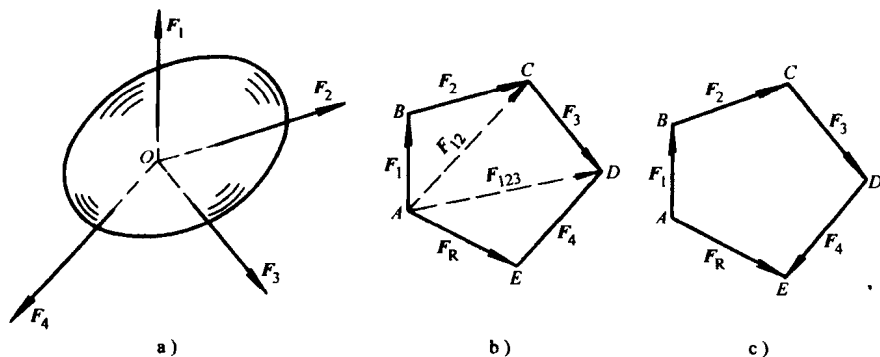


图 1-18 多个共点力合成的多边形法则

若 n 个力汇交一点，则

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \dots + F_n = \sum F \quad (1-2)$$

力的多边形法则的合力大小和方向与各力相加的顺序无关。