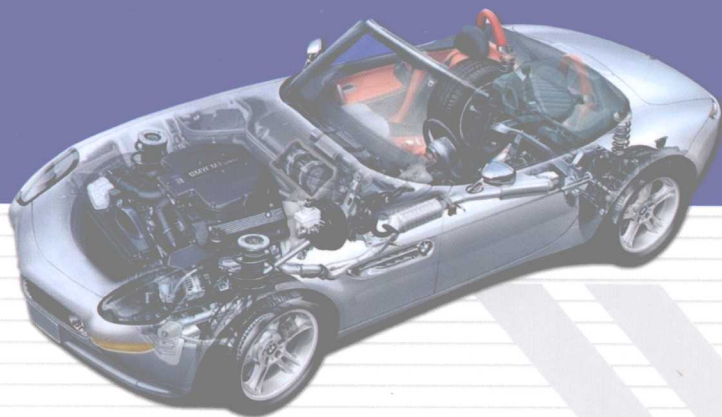




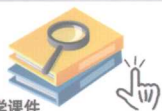
高职高专汽车类专业技能型教育规划教材

汽车机械基础

QICHE JIXIE JICHU



陈红◎主编



赠教学课件
www.cmpedu.com
www.golden-book.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专汽车类专业技能型教育规划教材

汽车机械基础

主编 陈红

主审 何南昌

机械工业出版社

ISBN 978-7-111-34827-6
机械工业出版社 北京 2008年11月第1版

1. 汽车机械基础 / 陈红主编. — 北京: 机械工业出版社, 2008.11
I. 汽... II. 陈... III. 汽车—机械—教材 IV. 470.3

中国标准书号 (CIP) 数据 (2008) 第13590号

机械工业出版社 (北京市东城区百万庄大街22号) 出版发行
责任编辑: 张世英 张友斌 曹梅沙 陈强 王贵
封面设计: 王仲光 责任印制: 陈
北京机械工业出版社 (北京) 印刷

2008年11月第1版
184mm×256mm·32印张·218千字
0 0001-4 000册
机械工业出版社: ISBN 978-7-111-34827-6
定价: 39.00元



机械工业出版社
地址: 北京市东城区百万庄大街22号
邮编: 100027
电话: (010) 88379639 (总机) (010) 88379641 (发行部)
机械工业出版社

本书是高职高专汽车类专业技能型教育规划教材。全书共分为五篇，第一篇为力学分析，介绍了静力分析和承载能力分析的基础知识；第二篇为轴系零部件，介绍了轴、轴承、联轴器、离合器、制动器，以及其他常用零部件的结构与选用；第三篇为汽车常用材料，介绍了汽车材料的性能及特点；第四篇为机构传动的相关知识，介绍了机构传动、机械传动；第五篇为气压传动以及液压传动的基本知识。

本书可供高职高专院校汽车运用技术、汽车检测与维修等专业的师生选用，也可供相关从业人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车机械基础/陈红主编. —北京: 机械工业出版社, 2008.9
高职高专汽车类专业技能型教育规划教材
ISBN 978-7-111-24857-6

I. 汽… II. 陈… III. 汽车—机械学—高等学校: 技术学校—教材
IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 122600 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: 赵海青 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣
封面设计: 王伟光 责任印制: 杨 曦
北京机工印刷厂印刷 (北京樱花印刷厂装订)
2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 21 印张 · 518 千字
0 0001—4 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-24857-6
定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294
购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话: (010) 88379771
封面无防伪标均为盗版

“高职高专汽车类专业技能型教育规划教材”

编 委 会

- 主 任 蔡兴旺 (韶关大学)
副主任 胡光辉 (湖南交通职业技术学院)
梁仁建 (广东轻工职业技术学院)

编 委 (按姓氏笔画排序):

- 万 捷 (北京计划劳动管理干部学院)
马 纲 (江苏城市职业学院)
仇雅莉 (湖南交通职业技术学院)
戈秀龙 (嘉兴职业技术学院)
王 飞 (广州城市职业学院)
王一斐 (甘肃交通职业技术学院)
王海林 (华南农业大学)
刘 威 (北京计划劳动管理干部学院)
刘兴成 (甘肃交通职业技术学院)
纪光兰 (甘肃交通职业技术学院)
何南昌 (广州科技职业技术学院)
吴 松 (广东轻工职业技术学院)
张 涛 (沈阳理工大学应用技术学院)
李幼慧 (云南交通职业技术学院)
李庆军 (黑龙江农业工程职业学院)
李建兴 (宁波城市职业技术学院)
李泉胜 (嘉兴职业技术学院)
陈 红 (广州科技职业技术学院)
范爱民 (顺德职业技术学院)
范梦吾 (顺德职业技术学院)
贺大松 (宜宾职业技术学院)
赵 彬 (无锡商业职业技术学院)
赵海波 (沈阳理工大学应用技术学院)
夏长明 (广州金桥管理干部学院)
钱锦武 (云南交通职业技术学院)
曹红兵 (浙江师范大学职业技术学院)
黄红惠 (江苏城市职业学院)
谭本忠 (广州市凌凯汽车技术开发有限公司)

序 委 言

(学大关部) 编次第 丑 主

(湖学本其业理部交南商) 编次第 丑 主

据统计,“十一五”期间中国汽车运用维修人才缺口80万。未来5年汽车人才全面紧缺,包括汽车研发人才、汽车营销人才、汽车维修人才和汽车管理人才等。2003年,教育部启动了“国家技能型紧缺人才培养项目”,“汽车运用与维修”是其中的项目之一。2006年,教育部和财政部又启动了国家示范性高等职业院校建设计划,其中的一个重要内容就是以学生为主体,以就业为导向,建立新的职教课程体系、教育模式与教学内容,而教材建设是最重要的一个环节。

为适应目前高等职业技术教育的形势,机械工业出版社汽车分社召集了全国20多所院校的骨干教师,于2007年6月在广东省韶关大学组织召开“高职高专汽车类专业技能型教育规划教材”研讨会,确定了本套教材的编写指导思想和编写计划,并于2007年8月在湖南长沙召开“高职高专汽车类专业技能型教育规划教材”主编会,讨论并通过了本套教材的编写大纲。

本套教材紧紧围绕职业工作需求,以就业为导向,以技能训练为中心,以“更加实用、更加科学、更加新颖”为编写原则,旨在探索课堂与实训的一体化,并具有如下特点:

1. 教材编写理念:融入课程教学设计新理念,以学生为主体,以老师为指导,以提高学生实践职业技能和创新能力为目标,理论紧密联系实际,思想性和学术性相统一。理论知识以够用为度,技能训练面向岗位需求,注重结合汽车后市场服务岗位群和维修岗位群的岗位知识和技能要求,使学生学完每一本教材后,都能获得该教材所对应的岗位知识和技能,反映教学改革和课程建设的新成果。

2. 教材结构体系:根据职业工作需求,采用任务驱动、项目导向的新模式构建新课程体系。理论教学与技能训练有机融合,系统性与模块化有机融合,方便不同学校、不同专业、不同实验条件剪裁选用。

3. 教材内容组织:精选对学生终身有用的基础理论和基本知识,突出实用性、新颖性,以我国保有量较大的轿车为典型,注意介绍汽车的新结构、新技术、新方法和新标准,加强“实训项目”内容的编写,引导学生在“做”中“学”。内容安排采用实例引导的方式,以激发学生的阅读兴趣,符合学生的认知规律。

4. 教材编排形式:图文并茂,通俗易懂,简明实用,由浅入深,深浅适度,符合高职学生的心理特点。每一章均结合人力资源和社会保障部职业资格考试要求,给出复习思考题,使教学与职业资格考试有机结合。

此外,为构建立体化教材,方便教师和学生学习,本套教材配备了实训指导光盘和

目 录

序言 前言

第一篇 力学分析

第一章 静力分析	1
第一节 静力分析的基本概念和定理	1
一、静力分析的基本概念	1
二、静力学公理	3
第二节 受力分析与受力图	5
一、约束与约束反力	5
二、常见约束类型及约束反力的确定	6
三、物体的受力分析及受力图	8
第三节 平面力系的简化与合成	11
一、平面汇交力系的合成和简化	11
二、力偶及力偶系的简化	14
三、平面任意力系的简化	18
第四节 平面力系的平衡	21
一、平面任意力系的平衡	21
二、几种特殊平面力系的平衡方程	22
三、平面力系平衡方程的应用	23
第五节 物系的平衡	26
一、物系静定性质的判断	27
二、研究对象的选取	27
第六节 考虑摩擦时的平衡问题	30
一、滑动摩擦	30
二、摩擦角及自锁的概念	31
三、考虑摩擦时的平衡问题	32
四、滚动摩擦	34
第七节 空间力系	35
一、力在空间坐标轴上的投影	35
二、力对轴的矩	36
三、空间一般力系的平衡条件	37
第二章 承载能力分析	40
第一节 承载能力分析的基本知识	40
一、承载能力分析研究的任务	40
二、变形体及其基本假设	41
三、杆件变形的基本形式	41
四、内力、截面法和应力	42
第二节 轴向拉伸与压缩	43
一、轴向拉伸与压缩的概念	43
二、拉压杆内力计算和轴力图	44
三、拉杆和压杆横截面上的应力	45
四、拉杆和压杆的变形	48
五、材料在拉伸和压缩时的力学性能	49
六、轴向拉伸和压缩时的强度计算	52
七、压杆稳定的概念	55
第三节 剪切和挤压	56
一、剪切和挤压的概念	56
二、剪切和挤压的实用计算法	57
第四节 扭转	60
一、扭转的概念	60
二、外力偶矩、扭矩和扭矩图	60
三、圆轴扭转时的应力和变形	63
四、圆轴扭转时强度和刚度的计算	65
第五节 平面弯曲	69
一、平面弯曲的概念	69
二、梁弯曲时的内力	70
三、剪力方程和弯矩方程	73
四、剪力图和弯矩图	73
五、纯弯曲时梁横截面上的应力	79
六、梁的正应力强度计算	85
七、梁的变形与刚度计算	90
第六节 组合变形的强度计算	93
一、组合变形的概念	93
二、拉伸(压缩)与弯曲组合变形	94
三、弯曲与扭转的组合变形	97
第七节 疲劳	100
一、交变应力	100
二、疲劳破坏	101
三、材料的持久极限及其影响因素	102
四、构件疲劳强度条件及提高疲劳强度的措施	103



第二篇 轴系零部件

第三章 轴	111
第一节 轴的分类	111
第二节 轴的结构设计	113
一、轴上零件的布置	113
二、轴的基本直径估算及各段直径和长度的确定	114
三、轴上零件的定位和固定	115
四、提高轴疲劳强度的结构措施	118
五、轴上零件的装拆和调整	118
六、制造工艺要求	119
七、轴的材料	119
第三节 轴的强度与刚度校核	120
一、轴的失效形式	120
二、轴的强度校核计算	120
三、轴的刚度校核计算	124
第四章 轴承	126
第一节 滑动轴承	126
一、滑动轴承的结构及分类	126
二、轴瓦结构	128
三、滑动轴承的失效形式及材料	129
四、滑动轴承的润滑	132
第二节 滚动轴承	135
一、滚动轴承的结构	135
二、滚动轴承的主要类型及其特性	136
三、滚动轴承代号	138
四、滚动轴承的失效形式及承载能力计算	140
五、滚动轴承的当量动载荷计算	143
六、角接触轴承轴向载荷的计算	144
七、滚动轴承的静强度计算	146
八、滚动轴承的组合设计	146
第三节 滑动轴承与滚动轴承的比较及选用	150
一、滑动轴承与滚动轴承的比较	150
二、滑动轴承与滚动轴承的选用	151
第五章 联轴器、离合器与制动器	155
第一节 联轴器	155
一、联轴器的功用与种类	155
二、固定式刚性联轴器	155
三、可移式刚性联轴器	156

四、弹性联轴器	157
五、联轴器的选择	158
第二节 万向节	158
一、十字轴式刚性万向节	158
二、准等速万向节和等速万向节	160
三、挠性万向节	163
第三节 离合器	164
一、离合器的功用与种类	164
二、摩擦式离合器	164
第四节 制动器	166
一、抱块式制动器	166
二、内张蹄式制动器	167
三、带式制动器	167
第六章 其他常用零部件	168
第一节 键联接与花键联接	168
一、键联接的类型、特点和应用	168
二、平键联接的选择和计算	171
三、花键联接的类型、标准和选用	171
第二节 螺纹联接	173
一、螺纹的形成及主要参数	173
二、螺纹联接件与螺纹联接的基本类型及应用	176
三、螺纹联接的预紧和防松	178
四、螺栓联接的结构设计	179
五、螺栓联接的尺寸选择	182
第三节 紧固连接	182
一、销联接	182
二、焊接	183
三、粘接	184
四、铆钉连接	184
五、过盈连接	185
第四节 弹簧	186
一、弹簧的功用	186
二、弹簧的种类	186
三、弹簧的制造	188
四、弹簧的材料	188
五、圆柱螺旋压缩弹簧与拉伸弹簧	189

第三篇 汽车材料

第七章 汽车常用材料	192
第一节 材料的性能	192
一、材料的物理性能	193



二、速度控制回路 313

三、方向控制回路 315

第五节 液压伺服系统 316

一、液压伺服控制原理 317

二、液压伺服系统的基本特点 318

三、液压伺服系统实例 318

第六节 液压系统应用举例 319

一、汽车起重机液压系统 319

二、自卸车液压系统 322

三、QF02B 型液压双柱汽车举升机 323

第五章 液压传动

第一节 概述 324

一、液压传动的定义 324

二、液压传动的组成 324

三、液压传动的特点 324

第二节 液压传动的基本回路 325

一、压力控制回路 325

二、速度控制回路 325

三、方向控制回路 325

第三节 液压伺服系统 326

一、液压伺服控制原理 326

二、液压伺服系统的基本特点 326

三、液压伺服系统实例 326

第四节 液压系统应用举例 327

一、汽车起重机液压系统 327

二、自卸车液压系统 327

三、QF02B 型液压双柱汽车举升机 327

第六章 气压传动

第一节 概述 328

一、气压传动的定义 328

二、气压传动的组成 328

三、气压传动的特点 328

第二节 气压传动的基本回路 329

一、压力控制回路 329

二、速度控制回路 329

三、方向控制回路 329

第三节 气压伺服系统 330

一、气压伺服控制原理 330

二、气压伺服系统的基本特点 330

三、气压伺服系统实例 330

第四节 气压系统应用举例 331

一、汽车起重机气压系统 331

二、自卸车气压系统 331

三、QF02B 型气压双柱汽车举升机 331

第一篇 力学分析

力学分析是研究物体的机械运动和构件承载能力的知识。本篇重点介绍静力分析和构件承载能力分析的有关内容，主要研究力系的简化以及物体在力系作用下平衡的普遍规律，构件受力作用后所发生的变形，以及介绍构件内力、应力和强度、刚度、稳定性计算的基本理论和方法。

通过本篇的学习，要求学习者达到：

1. 深刻理解基本概念，熟练掌握有关力学定理、公理和定律。
2. 学会用抽象简化的思维方式学习理解力学的一般规律，同时灵活运用数学工具解决实际问题。

第一章

静力分析

对汽车机械基础的研究是以构件的力学分析为基础的，而静力分析主要研究力系的简化以及物体在力的作用下平衡的普遍规律。本章主要讲述静力分析的基础知识，介绍构件（物体）的受力分析、力系的简化和利用物体的平衡条件计算未知力的大小和确定未知力的方向。



学习目标：

- 能够对物体进行受力分析和力系的简化。
- 能够利用平衡条件对机械零部件求出未知力，确定机械零部件的承载能力。

第一节 静力分析的基本概念和定理

一、静力分析的基本概念

1. 力

力是物体间相互的机械作用。力作用的结果是使物体的运动状态发生变化，即力的外效应，或使物体的形状发生改变，即力的内效应，如图 1-1 所示。

力是人们通过长期的生产实践和科学实验、观察逐步建立起来的概念。力和人们的日常生活、生产实践息息相关、密不可分。力作用的例子相当普遍，无处不在，例如：人用于推、拉、投掷、举起物体使其运动状态改变；空中物体受到地球引力的作用坠落；行进中的汽车受制动力作用而停下；汽车发动机中的活塞在气缸内燃料燃烧所产生的作用力下，沿气缸的轴线移动等。



力对物体的效应取决于力的三要素，即力的大小、力的方向和力的作用点位置。只要力的三要素之一发生改变，则力对物体的效应也就随之改变。力是有大小和方向的量，因此力是矢量。力矢用黑体字母“ \mathbf{F} ”表示，相应的明体字母“ F ”，则表示力矢的大小。本书采用以国际单位制为基础的法定计量单位，力的单位是牛[顿]，符号为N，或用千牛[顿]，符号为kN。

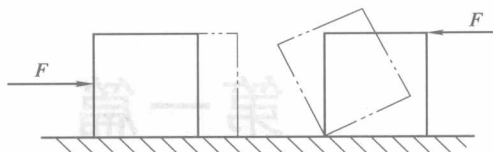


图 1-1 力的效应

力的图示法：力用带箭头且通过力的作用点的有向线段表示，其中线段长度按一定的比例量取，表示力的大小，线段的末端B的箭头表示力的方向，如图1-2a所示。图1-2b是行驶于路上的汽车所受的驱动力 F 和地面支承力 F_{N1} 、 F_{N2} 的表示方法。

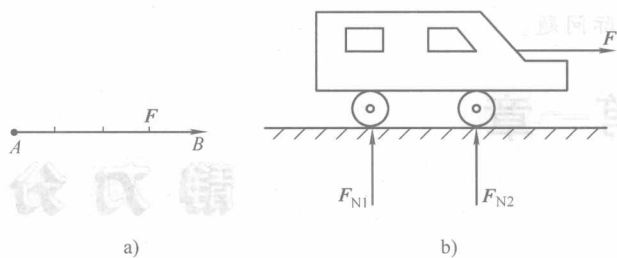


图 1-2 力的表示法

2. 刚体

刚体是指受力作用后不变形的物体。这是一个抽象化了的理想的力学模型。

在工程实际中常用的构件材料，如钢、铸铁、混凝土、木材及陶瓷等，均有足够的抵抗变形的能力。因此，受力产生的变形是极其微小的。

在许多工程问题中，构件的这些微小变形对研究物体的平衡问题来说可以忽略不计。如图1-3所示齿轮轴，在其运转过程中，齿轮轴的微小弯曲对两端轴承受力的影响极小，在研究齿轮轴的受力时，可忽略轴的变形因素，使问题得以简化，而将原物体看作是不变形的“刚体”。

实践证明，在静力学中把所研究的物体抽象为刚体，不仅是解决工程实际问题所允许的，同时也是认识力学规律所必需的。抽象简化可以使许多工程实际问题的解决大为简便，而且计算结果也是足够精确的。

应该指出，“刚体”这一力学模型的应用是有范围和条件的。例如，当研究物体的内力分布规律时，即使物体的变形再小也不能忽略。因此，能否将物体抽象为刚体应视所解决问题的性质而定。

本章以刚体为研究对象，因此也称“刚体静力分析”或“刚体静力学”。

3. 平衡

当物体受到一力系作用而相对于地球作匀速直线运动或静止时，可认为该物体处于平衡状态。作用于该物体上的力系，称为平衡力系。力系是指作用于刚体上的一群力。

平衡是相对的，物体的平衡是物体机械运动的特殊形式，物体的平衡规律远比一般运动规律简单。在工程中往往会遇到很多机器零件、部件等物体的平衡问题，需要进行静力分析计算，因此平衡规律的应用很广泛。

使物体平衡的力系所应满足的条件称为力系的平衡条件。

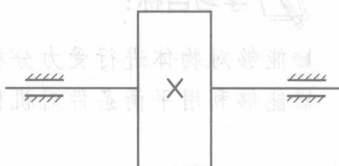


图 1-3 齿轮轴



二、静力学公理

人们经过对长期的生活、生产实践积累的经验和科学试验结果加以总结、归纳和抽象，建立了一些静力学的基本公理。这些公理概括了力的各种性质，是在实践和认识的反复中总结出来的客观规律，也是静力分析的理论基础。

1. 二力平衡条件（公理一）

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用于同一直线上，简称“等值、反向、共线”。

二力平衡公理揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时所应满足的条件，如图 1-4 所示。

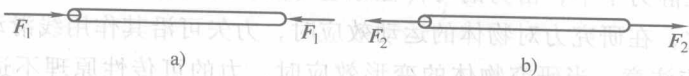


图 1-4 二力平衡

矢量等式为 $F_1 = -F_2$

工程上受两个力作用而平衡的刚体称为“二力构件”或“二力体”。二力构件平衡时，其所受的两个力必沿着两个力作用点的连线，而且两个力大小相等，方向相反。如图 1-5 所示，当支架中的杆 AC 、 BC 自重不计时，即属二力构件，受力如图所示。又如图 1-6 所示，构件 CD 在自重不计时也是二力构件。由此，可知两个作用力 F_C 、 F_D 的方向应沿 C 、 D 的连线。

在进行构件受力分析时，应注意判断其是否为二力构件，使问题顺利解决。

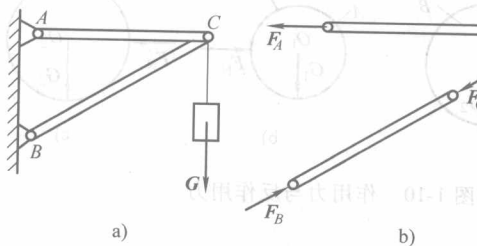


图 1-5 支架

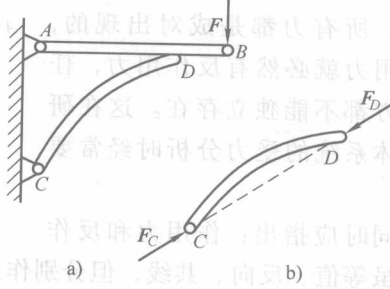


图 1-6 二力构件

2. 加减平衡力系公理（公理二）

在作用于刚体的任意力系中，加上或减去任何一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。这一公理是研究力系等效变换的理论基础。

推论：力的可传性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移动，而不改变该力对刚体的作用效应。

证明如下：如图 1-7 所示刚体上 A 点作用力 F ，在力 F 作用线上任取一点 B ，在 B 点沿力 F 的作用线加上一对平衡力 F_1 和 F'_1 ，且令 $F_1 = F'_1 = F$ ，则由公理二可知，加上 F_1 、 F'_1 后，并不影响刚体的效应。

另由公理一可知，刚体上力 F 和 F'_1 等值、反向且共线，构成一对平衡力系，这时再减



去这一平衡力系，同样也不影响刚体的效应，最后只剩下作用于 B 点的力 $F_1 = F$ ，就相当于把力 F 由 A 点沿着作用线移到了 B 点，而刚体的运动效应不变，即推论得以证明。

由图 1-8 不难看出，在小车的 A 点与 B 点施加相同方向的力，运动效应是一样的。

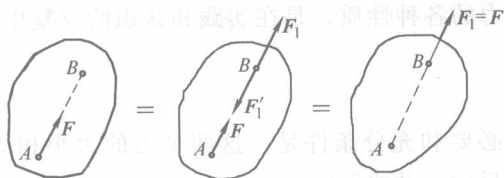


图 1-7 力的可传性原理

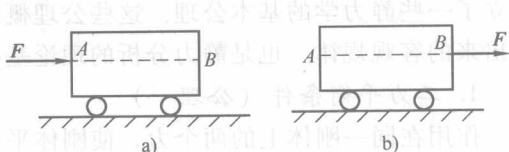


图 1-8 力的可传性

应该指出，在静力学中，由力的可传性原理可知，力的作用点已不是决定力对物体作用效果的要素。因此，在研究力对物体的运动效应时，力矢可沿其作用线滑动，即可以看作是“滑动矢量”。但应注意，当研究物体的变形效应时，力的可传性原理不适用，这时的力应看作“固定矢量”。

如图 1-9a 所示，在压力 F 、 F' 作用下直杆变短、变粗；若将 F' 移至 B 点、将 F 移至 A 点后，如图 1-9b 所示，则直杆受拉，这时杆件会变细、变长，变形效应完全相反。

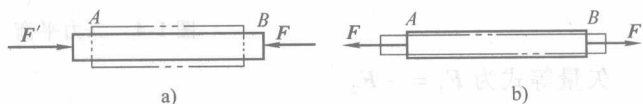


图 1-9 拉杆和压杆

如图 1-10 所示，悬挂在天花板上的两个圆球 A 和 B ，球 A 给予球 B 的作用力 F'_N 和球 B 给予球 A 的作用力 F_N 构成了一对作用力与反作用力。

作用力与反作用力公理揭示了自然界中物体之间相互作用的关系。所有力都是成对出现的，有作用力就必然有反作用力，任何一方都不能独立存在。这在研究物体系统的受力分析时经常要注意。

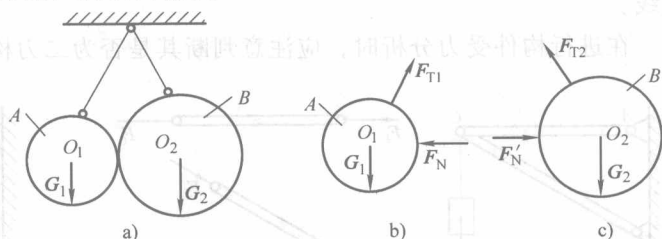


图 1-10 作用力与反作用力

同时应指出：作用力和反作用力虽等值、反向、共线，但分别作用于不同物体上，故不能互相抵消，互成平衡。这与二力平衡公理中的“一对平衡力”是不同的，不能相互混淆。

3. 力的平行四边形法则（公理四）

作用于物体上同一个点（汇交点）的两个力可以合成为一个合力，且合力也作用于汇交点上。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来表示。

如图 1-11 所示，作用于刚体上 A 点的两个力 F_1 、 F_2 的合力，可用平行四边形 $ABCD$ 的对角线 AD 表示，合力矢 F_R 等于两个力 F_1 、 F_2 的矢量和，表达式为

$$F_R = F_1 + F_2$$

合力 F_R 的大小可用余弦定理求出

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

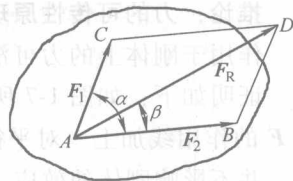


图 1-11 平行四边形公理



式中, α 为两个力 F_1 和 F_2 的夹角。

合力方向为

$$\sin\beta = \frac{F_1}{F_R} \sin\alpha$$

一个力也可以分解为两个力。力的分解仍遵循力的平行四边形法则。

推论：三力平衡汇交定理

刚体受同一平面内三个互不平行的力作用而平衡时, 此三个力的作用线必汇交于一点。

证明：如图 1-12 所示, 刚体上 A 、 B 、 C 三点分别作用有同平面内的不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 而平衡。由力的可传性原理可得, 其中两个不平行的力 F_1 、 F_2 交点为 O , 则可用平行四边形法则将其合成得合力 F_R , 只有 F_R 与第三个力 F_3 平衡, 刚体才会平衡。由二力平行公理可知, F_R 与 F_3 必须等值、反向、共线, 即 F_3 也经过 F_1 、 F_2 汇交于点 O 。

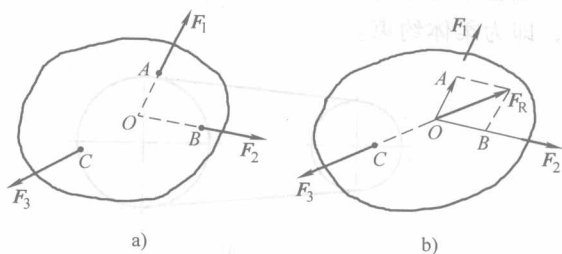


图 1-12 三力平衡汇交定理

应注意: 三力平衡汇交定理是刚体受不平行的三个力作用而平衡的必要条件, 而非充分条件。当刚体受三个在同一平面但不平行的力作用时, 可用此推论确定未知力的方向。

第二节 受力分析与受力图

一、约束与约束反力

力学中通常将物体分为两类, 凡是能在空间作任意运动的物体称为自由体。例如, 空中飞行的飞机、飞翔的小鸟和漂浮的气球等, 均属于自由体。如果物体受到其他物体对它的限制而在某些方向不能自由运动, 则称为非自由体。例如, 在轨道上行驶的火车、由轴承支承的轴、发动机气缸中的活塞等, 均受到相应的限制而不能作某些方向的运动, 属于非自由体。

工程中的零件、部件多为非自由体。凡事先给定用以限制物体某一方向运动的一切装置, 统称为约束。约束的形式多种多样, 可能是地面、基础、轨道, 也可能是一些其他物体, 如螺栓、轴承、绳索等。

由于约束能够限制物体某些方向的运动, 当这些非自由体有沿约束所限制的方向运动的趋势时, 约束与非自由体之间产生相互的作用力, 称为约束反力, 简称约束力, 例如, 在路上行驶的汽车受到地面的支持力就是约束力。约束反力的大小和方向取决于主动力作用的情况和约束的形式, 通常是未知的, 需根据约束的性质进行分析判断。但约束反力的作用点总是在约束与被约束物体相互接触处, 约束反力必与约束所限制的运动方向相反, 这是确定约束反力作用点和方向的原则。

与约束反力相对应, 凡是能主动引起物体运动状态改变或有使物体运动状态趋势改变的力称为主动力, 例如, 物体所受重力、风力、推力等。主动力为物体的外力, 而且是给定的



或可测定的。因此，工程中常称主动力为载荷。

工程中，对非自由体的平衡可看作是作用于其上的主动力与约束反力的平衡。因此，约束反力的确定是力学中一个非常重要的基本问题。

二、常见约束类型及约束反力的确定

1. 柔体约束

工程中常见的钢丝绳、绳索、传动带和链条等，均属柔体约束。如图 1-13 所示的带传动，即为柔体约束。

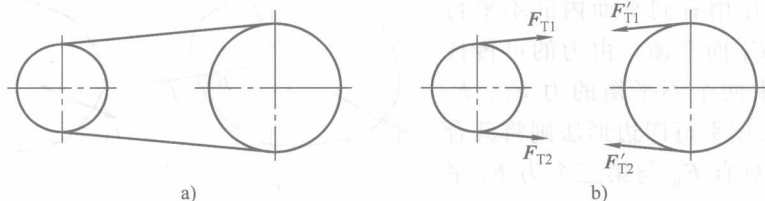


图 1-13 带传动

由于柔体只能承受拉力，不能承受压力，所以柔体对物体的约束只能限制物体沿着柔体的中心线离开柔体的运动，而不能限制其他方向的运动。可见，柔体对物体的约束反力只能是作用在接触点上、方向沿着柔体中心线背离被约束物体的拉力，如图 1-14 所示。这种约束反力通常用 F_T 表示。

2. 光滑接触约束

在研究平衡问题时，如果物体相互接触且接触面之间的摩擦力很小，与其他作用力相比可以忽略不计，则称该接触面为“光滑接触面”，如图 1-15a 所示。

光滑接触面约束只能限制物体沿接触面的公法线而指向支承面的运动，而不能限制物体沿接触面切线方向的运动以及离开接触面的运动。因此，光滑面约束反力是作用在接触点上、沿接触点处接触面公法线指向被约束物体的压力，通常用 F_N 表示，如图 1-15b 所示。光滑面可以是平面，如导轨、滑块等；也可以是曲面，如汽车发动机凸轮与挺杆之间的接触，如图 1-16a 所示；还有齿轮啮合（见图 1-16b）、滚轮的啮合等。

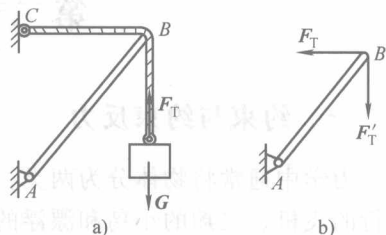


图 1-14 柔体约束

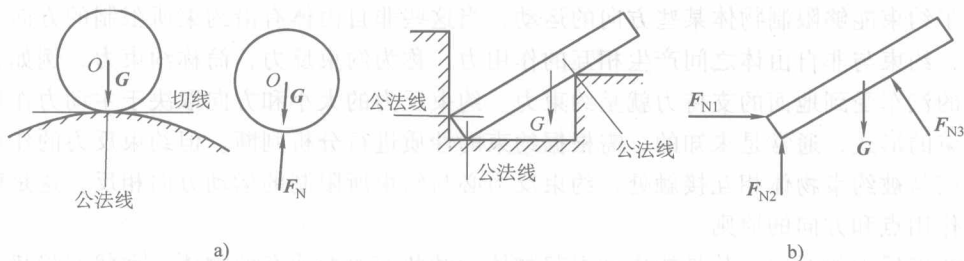


图 1-15 光滑接触面约束



3. 光滑铰链约束

工程上铰链的常见结构是：用圆柱形销钉将两个开有销钉孔的零件连接起来，形成的一种可动的连接，如图 1-17a 所示。这时，销钉只能限制两物体的相对移动而不能限制它们的相对转动。如果销钉与零件之间接触面的摩擦很小，可忽略不计，则称之为光滑铰链。工程上常见的光滑铰链有如下几种形式：

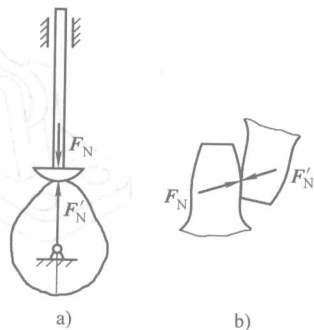


图 1-16 凸轮和齿轮
a) 凸轮 b) 齿轮

(1) 中间铰链 中间铰链结构如图 1-17a 所示，是用销钉穿过两个可动零件的圆柱孔，将它们连接起来，使两个零件可绕销钉轴线相对转动。销钉与两个被约束零件之间实际上是以光滑圆柱面接触。因此，按照光滑面约束反力的特点，销钉对零件的约束反力 F 应沿圆柱面接触点 K 的法线，即过 K 点的半径方向，如图 1-17b 所示。但由于接触点 K 的位置会随主动力方向不同而改变， F 的方向不能预先确定下来，在未知约束力确切指向的情况下，一般可假定用两个正交反力 F_x 和 F_y 来表示。图 1-17c 是这种约束的简图。汽车发动机的曲柄滑块机构中，连杆与活塞、连杆与曲柄的连接就为中间铰链，如图 1-18a、b 所示。

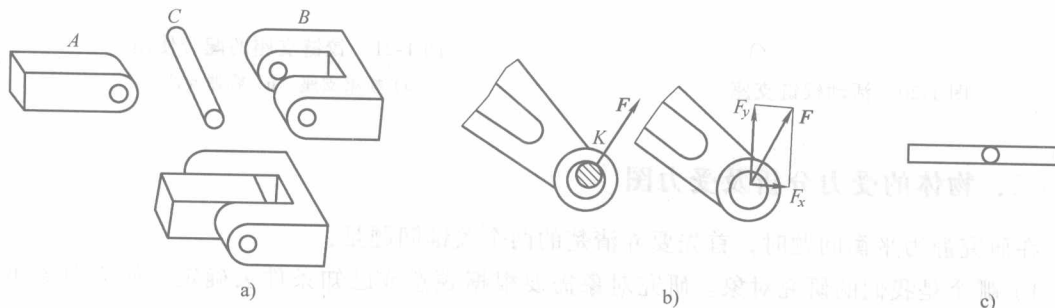


图 1-17 光滑铰链

(2) 固定铰链支座 这是一种工程中常见的约束形式，如图 1-19a、b 所示。用销钉把某构件与固定机架或固定支承面连接，构件只能绕销钉轴线转动，不能作其他移动，销钉与构件的接触同样为光滑圆柱面。因此，约束反力与中间铰链类似，在未知确切方向的情况下，用经过销钉中心的两个正交分力 F_x 和 F_y 表示，如图 1-19c 所示。

(3) 活动铰链支座 工程上有时为了适应某些构件变形的需要，在铰链支座下面安装辊轴，成为活动铰链支座，如图 1-20a 所示。这时候约束只能限制构件离开和趋向支承面的运动，不能限制构件绕销钉轴线的转动以及沿支座面的移动。因此，约束反力通过销钉中心垂直于支承面，如图 1-20b 所示。工程上常将固定铰链与活动铰链配合使用，用来支承有变形可能的桥梁、轴、容器等，通过活动铰链的轴向位移来适应温差效应引起的变形，如图 1-21a、b 所示。

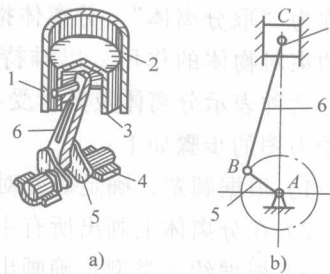


图 1-18 曲柄滑块机构

1—活塞销 2—气缸 3—活塞
4—轴承 5—曲轴 6—连杆