

高等职业院校“十三五”课程改革优秀成果规划教材

机械设计基础

主 编 李世一 吴海艳 方春慧
副主编 韩秋燕 谢丽君 修 霞
参 编 解淑英 冯爱平 徐善崇 史同江

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

“机械设计基础”是高职高专院校机械制造与自动化、机电一体化等专业必修的专业技术基础课,本教材分为三个部分,即常用机构、机械传动、机械连接与轴系零部件,共十个教学任务,通过各任务的学习,使学生掌握常用机构和通用机械零部件的基本知识、基本理论和基本技能,初步具有分析和设计常用机械零件和简单传动装置的能力。本教材依据近几年高职教育发展的实际需求编写而成,在内容的选排上,既充分吸收高职教育机械设计课程改革的成果,又渗透了作者长期教学积累的经验和体会。它作为专业基础课服务于专业课教学的同时,其讲授的知识、所培养的能力又为学生毕业后从事机械设计、设备维护等工作打下了基础。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李世一,吴海艳,方春慧主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017.8 (2017.9重印)

ISBN 978-7-5682-4602-6

I. ①机… II. ①李… ②吴… ③方… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第194656号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/18.25

字 数/430千字

版 次/2017年8月第1版 2017年9月第2次印刷

定 价/47.00元

责任编辑/刘永兵

文案编辑/刘 佳

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

“机械设计基础”是机械类、机电类等专业的一个重要基础课程，本教材依据近几年高等职业教育发展的实际需求编写而成，既充分吸收高等职业教育机械设计课程改革的成果，又渗透了作者长期教学积累的经验和体会。根据教育部制定的“高等职业教育技能型人才培养方案”的教学要求，本着“突出技能，重在实用，淡化理论，够用为度”的指导思想，本教材的编写突出了高等职业教育的特点，并贯彻最新国家标准。

本教材内容包括常用机构和通用机械零部件的基本知识和基本理论，涵盖了“机械设计基础”课程的基本要求。通过学习，学生可以初步掌握分析和设计常用机械零件和简单传动装置的知识 and 技能。本教材作为专业基础课服务于专业课教学的同时，其讲授的知识、所培养的能力又为学生毕业后从事机械设计、设备维护等工作打下了基础。

本教材的编写具有以下几个特点：

1. 充分考虑高等职业机械类专业特点，特别强调实践性环节；
2. 以来源于生产和生活中的典型案例作为学习载体，力求提高学生的理解能力，激发学生的学习兴趣；
3. 教学内容编排图文并茂，以图优先，文字表达力求深入浅出；
4. 对原有知识领域进行了大胆整合，力求前后连贯、够用为度，打破传统教材体系束缚，对现有知识体系的合理性进行了有益探索；
5. 任务学习循序渐进，每个任务后面的典型案例和拓展训练锻炼了学生综合运用知识的能力；
6. 以“新媒体”思维融入教材，通过二维码的形式以动画、视频精准地展现教学内容，知识更加形象立体。

本教材由烟台汽车工程职业学院李世一、吴海艳、方春慧担任主编，烟台汽车工程职业学院韩秋燕、谢丽君、青岛恒星科技学院修霞担任副主编，烟台汽车工程职业学院解淑英、冯爱平、徐善崇、史同江参与编写。具体编写分工如下：第一篇常用机构任务1、任务2由方春慧编写，任务3由冯爱平、徐善崇编写，第二篇机械传动任务4、任务5、任务6由吴海艳编写，任务7由李世一编写，任务8由谢丽君、修霞编写，第三篇机械连接与轴系零部件任务9由韩秋燕编写，任务10由解淑英、史同江编写，书中的典型案例和大量机构和机械零部件素材由烟台环球机床附件集团有限公司工程师景国丰提供并给予编写意见。

鉴于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 常用机构

任务 1 平面连杆机构	7
步骤一 静力学基础知识	9
步骤二 机构中的运动副及简图表示	19
步骤三 平面连杆机构原理分析与设计	21
步骤四 缝纫机踏板机构原理、受力分析及简图绘制	37
任务 2 凸轮机构	44
步骤一 凸轮机构概述	45
步骤二 凸轮机构的运动规律	48
步骤三 凸轮机构的设计	52
步骤四 车床自动横向进刀机构原理分析及简图绘制	57
任务 3 间歇机构	61
步骤一 棘轮机构	63
步骤二 槽轮机构	67
步骤三 牛头刨床工作台横向进给机构原理分析和简图绘制	70

第二篇 机械传动

任务 4 带传动	75
步骤一 带传动的组成、类型及特点	77
步骤二 普通 V 带及 V 带轮	81
步骤三 带传动的受力分析和应力分析	86
步骤四 带传动的使用和维护	90
步骤五 带式输送机用 V 带传动设计	92
任务 5 链传动	105
步骤一 链传动的组成、类型及特点	107
步骤二 滚子链及其链轮	108
步骤三 链式输送机用滚子链传动的设计	113

步骤四 链传动的布置、张紧和润滑·····	118
任务6 齿轮传动·····	125
步骤一 齿轮传动的类型和特点·····	127
步骤二 渐开线齿廓及啮合特性·····	131
步骤三 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸·····	133
步骤四 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动分析·····	138
步骤五 渐开线直齿圆柱齿轮的加工·····	141
步骤六 齿轮传动的失效形式和设计准则·····	144
步骤七 直齿圆柱齿轮的强度计算·····	151
步骤八 带式输送机用齿轮传动的设计·····	156
任务7 蜗杆传动·····	172
步骤一 蜗杆传动的特点和类型·····	174
步骤二 蜗杆传动的基本参数和几何尺寸·····	178
步骤三 蜗杆传动设计基础·····	182
步骤四 蜗杆传动的强度计算·····	184
步骤五 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算·····	187
步骤六 单级圆柱蜗杆减速器中的蜗杆传动设计·····	190
任务8 轮系·····	195
步骤一 轮系及其分类·····	197
步骤二 定轴轮系的传动比·····	199
步骤三 周转轮系与复合轮系·····	203
步骤四 轮系的应用·····	206

第三篇 机械连接与轴系零部件

任务9 机械连接·····	215
步骤一 了解螺纹连接·····	216
步骤二 螺栓连接的强度计算·····	226
任务10 轴系零部件·····	240
步骤一 初步分析轴的受力特点, 确定用轴类型·····	242
步骤二 选择轴的材料, 确定许用应力·····	249
步骤三 按扭转强度初估轴的最小直径·····	251
步骤四 初选联轴器·····	253
步骤五 轴承分析·····	259
步骤六 轴的结构设计·····	266
步骤七 轴的强度和刚度计算·····	274
步骤八 绘制轴的零件工作图·····	278
参考文献·····	284

绪 论

人们的生活离不开机械，从小小的螺钉到计算机控制的机械设备，机械在现代化建设中有着重要的作用。机械通常分为以下两类：一类是可以使物体运动加速的机械，被称为加速机械，如汽车、自行车、飞机等；另一类是使人们能够对物体施加更大力机械，被称为加力机械，如旋具、扳手、机床和挖掘机等，如图 0-1 所示。

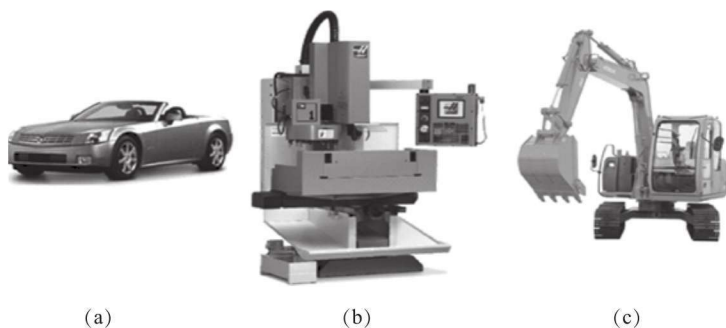


图 0-1 常见机械

(a) 汽车；(b) 数控机床；(c) 挖掘机

一、机械、机器和机构

机械是人类改造自然、使社会进步和发展的重要工具。从运动的观点来看，机器和机构之间没有区别，习惯上把机器和机构统称为机械。

1. 机器

机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物流和信息。无论是简单机器，还是复杂机器，尽管它们的构造、性能和用途各不相同，但它们都具有三个共同的特征：首先，机器是人为的多种实体的组合；其次，各部分之间具有确定的相对运动；第三，能完成有效的机械功或实现能量转换。

如图 0-2 所示为某典型轿车构造图。一部完整的机器，通常由原动部分、执行部分、传动部分、操纵和控制部分、框架支撑部分等组成。其中，动力部分是机械的动力来源，其作用是把其他形式的能量转变为机械能，以驱动机械运动；执行部分是直接完成机械预定功能的部分，也就是工作部分；传动部分是将运动和动力传递给执行部分的中间环节，可变速、转换运动形式；操纵和控制部分用于操纵和控制机械的其他部分；框架支撑部分是用来安装和支撑其他系统的部分。

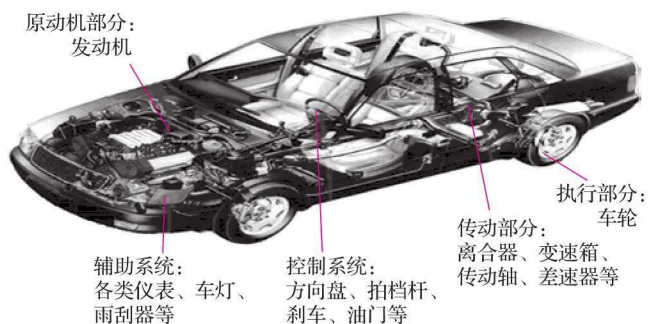


图 0-2 典型轿车构造图

2. 机构

机构是用来传递运动和力的，是多个具有确定相对运动的构件组合体。机构有很多类型，常用的有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构以及各种间歇运动机构等。

图 0-3 所示为内燃机配气机构，由三种类型机构组成，主运动部分的曲柄滑块机构，由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、气缸体 4 组成，其功能是将活塞 1 的直线往复移动转变为曲轴 3 的转动；转速变换部分是两个齿轮组成的齿轮机构，其功能是完成速度变换，即曲轴每转 2 转，凸轮轴转 1 转；配气部分是两组凸轮机构，由凸轮 6、气门推杆 7、机座 8 组成，其功能是将凸轮 6 的转动转换成气门推杆 7 的往复直线移动。两组气门推杆用来开启和关闭进气口和排气口，气门推杆交替的上下往复移动，就完成了内燃机进气口和排气口的打开与关闭。

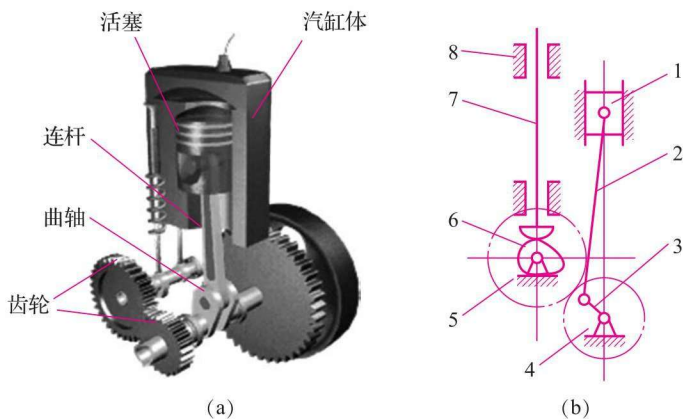


图 0-3 内燃机配气机构

(a) 结构图；(b) 机构运动简图

1—活塞；2—连杆；3—曲轴；4—气缸体；5—齿轮；6—凸轮；7—气门推杆；8—机座

二、构件和零件

1. 构件

组成机构的各个相对运动部分称为构件，构件是运动的单元体，构件可以是单一的整件，如凸轮、齿轮等；也可以是多个零件组成的刚性结构，如图 0-4 所示的连杆，在内燃机配气机构中，连杆是曲柄连杆机构中的一个构件，但在加工时，连杆是由若干个不同的零

件组成的。

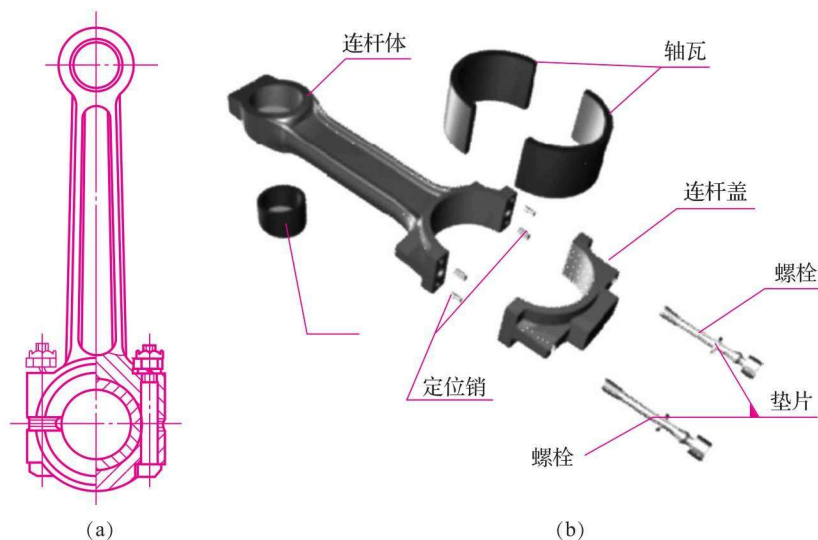


图 0-4 连杆

(a) 连杆装配图; (b) 连杆拆分图

2. 零件

零件是不可拆分的单元体,零件按使用特点可分为两类,一类是通用零件,在各种机器中都能用到的零件,如齿轮、螺栓、键等;另一类是专用零件,是在特定机器中才能用到的零件,如泵的叶片、内燃机的曲轴等。

三、机械设计

机械设计包括以下两种设计:一是应用新技术、新方法开发创造新机械;还有一种是在原有机器的基础上重新设计或进行局部改造,从而改变或提高原有机器的性能。设计质量的高低直接关系到机械产品的性能、价格及经济效益。



课程性质

课程性质:“机械设计基础”是高职高专类学校机械制造与自动化、机电一体化等专业必修的专业技术基础课,主要讲授常用机构和通用机械零部件的基本知识、基本理论和设计方法等内容。本课程作为专业基础课服务于专业课的教学,其讲授的知识让学生初步具有分析和设计常用机械零件和简单传动装置的能力,为学生毕业后从事机械设计、设备维护等工作打下基础。



课程内容

本课程主要包括常用机构、机械传动、机械连接与轴系零部件三篇,共十个教学任务。其中常用机构篇包括平面连杆机构、凸轮机构和间歇机构三个任务,机械传动篇包括带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系五个任务,机械连接与轴系零部件篇包括机械连接、轴系零部件两个任务。



课程教学目标

本课程的教学应达到的教学目标见表 0-1。

表 0-1 课程教学目标

知识目标	➤ 能熟练地运用力系平衡条件求解简单力系的平衡问题； ➤ 掌握零部件的受力分析和强度计算方法； ➤ 熟悉常用机构、常用机械传动及通用零部件的工作原理、特点、应用、结构、标准、选用和基本设计方法
能力目标	➤ 具备正确分析、使用和维护机械的能力，初步具有设计简单机械传动装置的能力； ➤ 具有与本课程有关的解题、运算、绘图能力和应用标准、手册、图册等有关技术资料的能力
职业素养	➤ 良好的分析问题、解决问题的能力； ➤ 严谨的工作态度、团队协作能力



课程的教学方法

课程的教学可结合本教材采用任务驱动式教学，注意问题引导、启发式教学，学生在学习的过程中应注意以下方面。

1. 综合运用知识

本课程是一门综合性课程。综合运用本课程和其他课程所学知识解决简单机械设计问题是本课程的教学目标，也是设计能力的重要标志。

2. 注重实际应用

在学习过程中应注意理论联系实际，以达到活学活用。

3. 学会总结归纳

本课程的研究对象多，内容繁杂，所以必须对每一个研究对象的基本知识、基本原理、基本设计思路方法进行归纳总结，并与其他研究对象进行比较，掌握其共性与个性，只有这样才能有效提高分析和解决设计问题的能力。

4. 学会创新

学习机械设计不仅在于继承，更重要的是应用创新。机械科学产生与发展的历程就是不断创新的历程。只有学会创新，才能把知识变成分析问题与解决问题的能力。



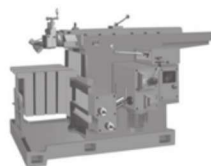
下面就让我们一起来探索机器世界的秘密吧！

ARE YOU READY?



第一篇

常用机构



任务 1 平面连杆机构



任务目标

【知识目标】

- ◇ 掌握杆件受力分析要领，能够熟练进行受力分析图的绘制；
- ◇ 掌握运动副、约束等概念，掌握机构简图绘图步骤；
- ◇ 掌握平面机构的自由度；
- ◇ 掌握铰链四杆机构的基本特征、基本形式以及演化形式。

【能力目标】

- ◇ 能够熟练拆装机械零部件，并结合所学知识，确定工作原理；
- ◇ 能够熟练举出平面连杆机构的典型案例，并可自行设计运动过程；
- ◇ 能够熟练绘制平面机构的机构简图。

【职业目标】

- ◇ 培养勤学好问的学习习惯以及自主获取知识的自学能力；
- ◇ 培养团队协作、共同解决问题的精神品质。



任务描述

图 1-1 所示为家用缝纫机踏板机构，试分析家用缝纫机踏板机构原理，进行受力分析及其机构的简图绘制。

❓ 想一想：

缝纫机是如何通过脚踏板的旋转最终带动皮带轮转动的？

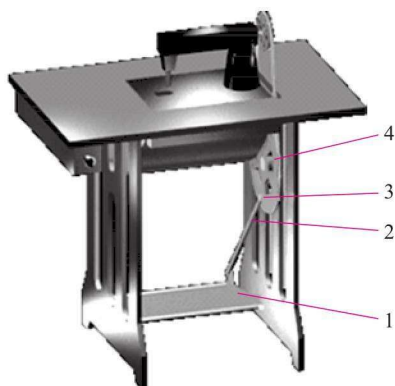


图 1-1 家用缝纫机踏板机构

1—脚踏板；2—连杆；3—曲轴；4—皮带轮

分析与说明	初步结果
缝纫机脚踏板机构运动过程调查分析：	



任务分析

20 世纪中期，缝纫机作为女方陪嫁“三大件”之一，广泛进入中国家庭，成为家庭妇女的好帮手。发展至今天，缝纫机经历了 150 多年的历史，已经演变出形式多样、功能各异的品种，除了老式的纯机械结构，还出现了电动的、电子的缝纫机。而老式缝纫机凭借纯粹的典型机械结构出色地完成了电动的功能，长久以来彰显着先人的智慧，为后人所学习。老式缝纫机如图 1-2 所示。

通过本任务的学习，我们需要了解缝纫机脚踏机构的基本构造及各零部件的名称、功用；熟悉机构的工作原理和结构特点，对曲柄摇杆机构等相关常用平面机构及平面连杆机构的相关知识点以及其工作原理、结构及应用形成感性认识，最终掌握缝纫机踏板机构的原理分析，并绘制机构简图，进行简单的受力分析。



图 1-2 德国百年老缝纫机

学习任务分解

步骤一 静力学基础知识

步骤二 机构中的运动副及简图表示

步骤三 平面连杆机构原理分析与设计

步骤四 缝纫机踏板机构原理、受力分析及简图绘制



任务实施

步骤一 静力学基础知识

由两个或两个以上机械零件通过活动连接形式形成的机械系统称为机构，机构是机器实现机械运动不可缺少的组成部分。

机构的种类很多，在工程和生活得到广泛应用：门可以自由地关闭和开启、汽车刮水器自动刮除水滴、自卸车翻斗倾倒沙土、自行车左右拐弯……机构在机器中不断地传递运动、转换运动形式。例如，将回转运动转换为摆动或往复直线运动；将匀速转动转换为非匀速转动或间歇性运动等。

❓ 想一想：

阅读如下“相关知识”，想一想：如何对组成整套机器的零部件（即机构）进行受力分析以及绘制受力分析图？



相关知识

一、力

1. 力和力系的概念

(1) 刚体

在一般情况下，工程上物体的变形都是微小的，对物体的平衡没有实质性的影响。这样就可以忽略这种微小变形而将物体视为刚体。刚体是在力的作用下不变形的物体。这种抽象会使问题简化，所以说刚体是在静力学中对物体进行抽象后得到的一种理想模型。在不加以说明时，工程力学分析中所指的物体都视为刚体。

(2) 平衡

平衡是指物体相对地球保持静止或做匀速直线运动，是物体机械运动的一种特殊状态。

(3) 力

① 定义：力是物体之间的相互机械作用。这种作用将产生两种效应：外效应使物体的运动状态发生改变；内效应使物体的形状发生改变。

② 力的三要素：大小、方向和作用点，力的作用效应取决于力的三要素。

③ 力的单位：牛（N），千牛（kN）。

(4) 力系

① 力系：作用于被研究物体上的一组力。

② 平衡力系：如果力系可使物体处于平衡状态，则称此力系为平衡力系。

③ 等效力系：若两个力分别作用于同一物体上时其作用效应相同，则这两个力是等效力系。

④ 合力：若力系与一力等效，则称此力为该力系的合力。

⑤ 力系的简化：用简单的力系等效代替复杂力系的过程。

2. 力的性质

人们经过长期的生活和实践积累，总结出了几条力的基本性质，因正确性已被反复实践论证证明，所以大家所公认，被称为静力学公理。力的性质是静力学全部理论的基础。

(1) 性质 1（二力平衡条件）

刚体上仅受两力（ F_1 、 F_2 ）作用而平衡的充分必要条件是：此两力必须等值、反向、共线，即 $F_1 = -F_2$ ，如图 1-3 和图 1-4 所示。

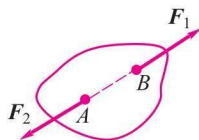


图 1-3 二力平衡条件

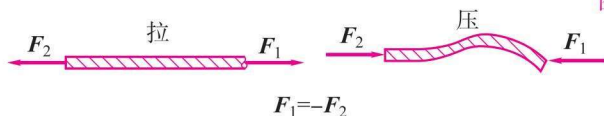


图 1-4 二力构件的受力分析

二力构件：工程上受两个力的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，而且两力大小相等、方向相反。

小提示

在进行构件受力分析时，能正确判断其是否为二力构件，可使问题顺利解决。这点很重要。

(2) 性质 2（加减平衡力系原理）

对于作用于刚体上的任何一个力系，加上或减去任一平衡力系，并不改变力系对刚体的作用效应。

推论 1（力的可传性）：刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体上任一点而不改变此力对刚体的作用效应，如图 1-5 所示。

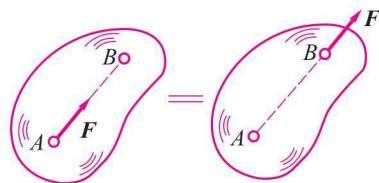


图 1-5 力的可传性示意

小提示

力的可传性只能适用于刚体，而且力只能在刚体自身上沿其作用线移动，不能移到其他刚体上去。

(3) 性质3 (力的平行四边形法则)

作用于物体上同一点的两个力的合力也作用于该点，且合力的大小和方向可用这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线来确定。

该公理说明：力矢量可按平行四边形法则进行合成与分解，同时合力矢量 F_R 与分力矢量 F_1 和 F_2 间的关系符合矢量运算法则，即合力等于两个分力的矢量和，如图 1-6 所示。

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

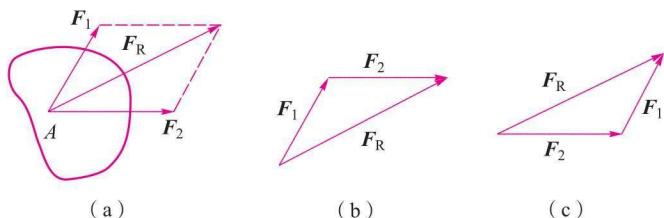


图 1-6 力的平行四边形法则

平行四边形法则可推广到作用在同一点的 n 个力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 $\dots$ 、 F_n 的情况。

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

可见，平面汇交力系的合力矢量等于力系各分力的矢量和。

根据式 (1-2)，将各分力向直角坐标系 xoy 的两个坐标轴上投影，得到：

$$\begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned} \quad (1-3)$$

那么式 (1-3) 称为合力投影定理，即力系的合力在某轴上的投影等于力系中各分力在同一轴上投影的代数和。

推论 2 (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，三力必汇交于一点。

说明：平衡时 F_3 必与 F_{12} 共线则三力必汇交于 O 点，且共面，如图 1-7 所示。

(4) 性质4 (作用与反作用定律)

两物体间相互作用的力总是同时存在，并且两力等值、反向、共线，分别作用于两个物体。这两个力互为作用与反作用的关系。

说明：一切力总是成对出现的，是力的存在形式和力在物体间的传递方式。

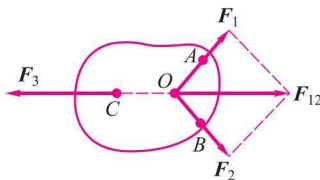


图 1-7 三力平衡汇交定理

二、约束力与约束反力

1. 约束力及其三要素

在运动副中，相互连接的构件的运动都受到了与它联系的其他构件的限制，比如飞轮受到轴承的限制，只能绕轴旋转；列车上的卧铺受到合页和撑杆的限制，保持稳定的平衡状态。一个物体的运动受到周围其他物体的限制，这种限制条件称为约束。约束的存在限制了物体的运动，所以，约束一定有力作用于被约束的物体上，约束作用于该物体上的限制其运动的力，称为约束力。作用于被约束物体上的约束力以外的力统称为主动力，如重力、推力等。约束力的要素见表 1-1。

表 1-1 约束力三要素

种类	特 征
大小	未知，与主动力的值有关，在静力学中可通过刚体的平衡条件求得
方向	总是与约束所能限制的运动方向相反
作用点	约束与物体（被约束）的接触点

2. 工程上常见的约束类型及其约束力表示方法

(1) 柔性约束（柔索）

工程中，由柔索、钢丝绳、皮带、链条等柔性物体所形成的约束称为柔性约束，如图 1-8 所示。

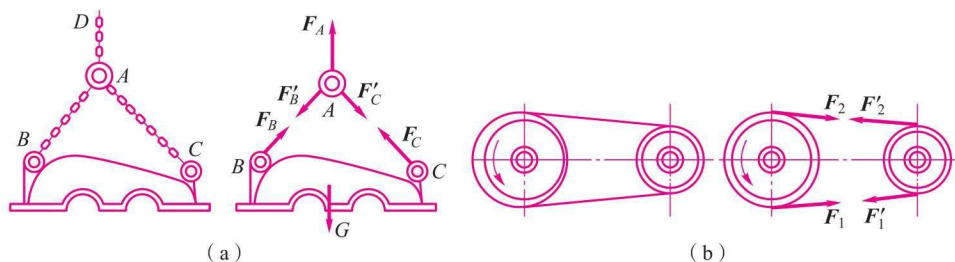


图 1-8 柔性约束

(a) 链条的柔性约束；(b) 皮带的柔性约束

约束特点：只能限制物体沿柔体伸长方向的运动，只能受拉，不能受压。

柔性约束反力作用于触点，沿柔体中心，背离被约束物体。

柔性约束反力用 T 表示。

(2) 光滑接触面约束

当两物体直接接触并可忽略接触面的摩擦时，即构成光滑接触面约束，如图 1-9 所示。

约束特点：只能限制沿接触点的法线方向趋向支承面的运动。

约束反力的确定：通过接触点，沿着接触面公法线方向，指向被约束的物体，即物体受压。

光滑接触的约束反力通常用 F_N 表示，如图 1-10 所示。