

高职高专教材

GAOZHI GAOZHUAN JIAOCAI

机械基础

刘海川 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高职高专教材

机械基础

刘海川 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书依据化工设备维修技术、机械制造与自动化、电气自动化技术、汽车检测与维修技术、油气储运技术等非机械、近机械类专业及石油、民族地域的高等职业教学特点,将机械基础课程的内容分为两大部分共计十三章进行编写,主要包括静力学、材料力学、常用机构、机械传动、联结、轴系零部件与机械装置的润滑与密封等内容。

本书可供高等职业教育三年制和五年制非机械、近机械类专业和成人高校教学使用,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/刘海川主编.

北京:石油工业出版社,2013.4

(高职高专教材)

ISBN 978-7-5021-9479-6

I. 机…

II. 刘…

III. 机械学—高等职业教育—教材

IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 025666 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部: (010) 64240656 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15

字数: 367 千字

定价: 30.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

高等职业教育是高等教育的重要组成部分。随着我国高等职业教育的快速发展壮大,特别是我国实现现代化工业化国家的步伐加快,需要培养大量生产一线的高技能人才。大力发展高等职业教育,培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的技术应用性的高技能人才,要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设,编写具有高等职业教育自身特色的教材。高等职业教育的培养目标、教学模式、教学内容有其鲜明特色,这就要求高等职业教育教材要以教学改革为基础,突破传统教育模式,不能照搬普通本科和中专教材,从教材体系到教材内容都要体现改革精神,突出鲜明的高等职业教育特色。

近年来,高等职业教育的院校积极进行高等职业教育改革,探索以就业为导向、以“产学结合”为途径、以职业岗位需求为目标、以培养学生实际操作能力为本位的人才培养模式和课程体系。全新的课程体系包括公共与通识课程、专业大类课程、专业技术方向课程、实践课程和人文素质课程五部分。机械基础课程是一门专业大类课,本着必须、够用的原则,对以往开设的工程力学、机械原理、机械零件等课程进行整合,适当减少内容,力图使内容更加精炼,消除重叠,贯通理论力学与材料力学、机械原理与机械零件等课程,注重启发式教学,鼓励学生的创新精神;采用模块式结构,便于组合适应不同的专业需要,提高教学效果,突出问题的本质,加强内部联系;选编与工程实际和日常生活紧密相关的实例及问题,充分利用学生在物理、高等数学等课程中已学到的知识,注重对学习方法的指导,减少理论学时和教材的篇幅。

本书的主编刘海川、编者王新梅多年从事机械基础教学,积极探索高职人才培养课程改革,积累了丰富的高职教学经验。编者丁永秀虽然参加教学工作不久,但也在老教师的带动下积极参与教材编写,精神可嘉。诸位教师的辛勤耕耘,收获了丰硕的成果,成就了适合石油高等职业院校特色的校本教材。我相信一定会有更多的教师在教学改革中不断总结教学经验,积极投身教材建设,编写出一大批高质量的高等职业教育优秀教材。

王 和

2012年12月

前 言

本书是根据高等职业教育机械基础课程教学基本要求,考虑到化工设备维修技术、机械制造与自动化、电气自动化技术、汽车检测与维修技术、油气储运技术等非机械、近机械类专业及石油、民族地域的教学特点而编写的,可供高等职业教育三年制和五年制非机械、近机械类专业学生使用。

本书将机械基础课程的教学内容分为两大部分共十三章。主要包括静力学、材料力学、常用机构、机械传动、联结、轴系零部件与机械的润滑与密封。计划学时为 80 学时左右。

在本书编写过程中,我们试图把握高职教育的培养目标、社会对人才需求的动向和机械基础课程的教学基本要求结合起来;深入研究和充分吸收近年来国内高职教育课程改革、教材建设的成果和经验;尝试改革课程体系和知识结构,联系生产实际更新课程内容,结合多年教学经验及研究成果,充实重点、难点;注重培养学生的工程意识、专业技能、钻研精神、创新精神;努力采用新标准、新理论、新方法、新技术、新工艺;着力体现本课程综合性、实践性和创新性的特征。

本教材的特色:第一次提出了矢量问题的解决方案,第一次提出了机构特点分析思路的方案,第一次提出了变换参照物进行相对分析的观点,第一次提出了利用极坐标找点的方案,第一次提出了渐开线齿轮传动的传动比恒定的解决方案。

本书中加“*”的内容为选读内容,可供读者提高性阅读。

本书由克拉玛依职业技术学院教师刘海川、王新梅、丁永秀编写。全书由刘海川统稿和定稿。在本书编写过程中,还得到了克拉玛依职业技术学院机械工程系教师们的帮助,他们提出了许多宝贵建议,在此表示感谢!

本书通过几年的使用,效果良好。随着高职高专教育的改革与发展,在 2006 年版的基础上又重新做了修订,其针对性、目标性更强,内容更丰富、简练,相信能更好地满足高职高专教学的需求。

由于编写人员水平有限,书中难免存在不妥之处,希望使用本书的师生批评指正。

编 者

2012 年 12 月

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一篇 工程力学

第一章 静力分析.....	7
第一节 平衡的概念.....	7
第二节 力的基本性质.....	7
第三节 约束、约束力、受力图.....	9
第四节 平面汇交力系的合成	13
第五节 力偶和力偶的基本性质	15
第六节 力矩和力的平移定理	16
第七节 平面力系的简化与平衡	18
第八节 考虑摩擦时的平衡问题	23
习题	27
第二章 拉伸和压缩	32
第一节 内力与截面法	32
第二节 拉伸或压缩时的应力分析	34
第三节 拉伸或压缩时的强度计算	37
* 第四节 拉伸或压缩时的变形	39
第五节 材料的力学性能	41
* 第六节 压杆稳定的基本概念	46
习题	46
第三章 剪切和挤压实用计算	49
第一节 基本概念	49
第二节 剪切实用计算	49
第三节 挤压实用计算	50
习题	53
第四章 扭转	54
第一节 扭矩的计算	54
第二节 扭转时的应力分析	56
习题	61
第五章 弯曲	64
第一节 剪力与弯矩	64

第二节 剪力图与弯矩图	67
第三节 弯曲应力分析	73
第四节 截面的几何性质	77
第五节 弯曲强度计算	78
* 第六节 应力状态分析	82
第七节 弯曲与扭转组合	86
习题	88

第二篇 机械综合

第六章 常用机构	95
第一节 平面连杆机构	95
第二节 凸轮机构	102
本章小结	108
习题	109
第七章 螺纹连接	111
第一节 螺纹连接的基本知识	111
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	117
第三节 螺纹连接的防松措施	119
第四节 螺栓连接的强度计算	120
本章小结	124
习题	124
第八章 带传动和链传动	126
第一节 带传动概述	126
第二节 普通 V 带传动的设计	134
第三节 V 带传动的张紧、安装与维护	139
第四节 链传动	142
本章小结	146
习题	147
第九章 齿轮传动	148
第一节 齿轮传动的特点和类型	148
第二节 渐开线直齿圆柱齿轮	149
第三节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	153
第四节 渐开线齿轮的切齿干涉及最少齿数的概念	155
第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计计算	155
第六节 斜齿圆柱齿轮传动	162
第七节 直齿圆锥齿轮传动	165
第八节 齿轮的结构	167
第九节 蜗杆传动	169

第十节 齿轮传动的润滑和维护·····	174
本章小结·····	175
习题·····	176
第十章 齿轮系 ·····	178
第一节 齿轮系及其类型·····	178
第二节 定轴轮系传动比的计算·····	178
第三节 行星轮系传动比的计算·····	180
本章小结·····	182
习题·····	182
第十一章 轴、联轴器和离合器 ·····	184
第一节 轴的类型和材料·····	184
第二节 轴的结构·····	186
第三节 轴的失效形式·····	189
第四节 键联结·····	190
第五节 联轴器和离合器·····	195
本章小结·····	200
习题·····	201
第十二章 轴承 ·····	202
第一节 滑动轴承的主要类型和结构·····	202
第二节 轴瓦与轴承衬的材料和轴瓦的结构·····	204
第三节 滚动轴承的结构、类型和代号·····	205
第四节 滚动轴承的失效形式和选择·····	211
第五节 滚动轴承组合的结构·····	212
第六节 轴承的润滑和维护·····	216
本章小结·····	218
习题·····	219
第十三章 润滑和密封装置 ·····	220
第一节 润滑剂及其选择·····	220
第二节 润滑方法和润滑装置·····	223
第三节 密封装置·····	225
习题·····	227
参考文献 ·····	228

绪 论

自从发明了蒸汽机，人类使用机械越来越普遍，机械的形式变得也越来越复杂。现代生产的主要特征是广泛地使用机械。在各工业生产部门中，人们经常会接触到各种机械设备，并要处理许多与机械设计、制造、安装、使用和维护等有关的问题。因此，掌握一些机械方面的知识和技能是非常必要的。

一、机器与机构

机器的种类繁多，如电动机、抽油机、汽车、火车、机器人等。各种机器的结构形式和用途虽千差万别，但却具有共同的特征。

如图 0-1 所示的单缸内燃机，其中活塞 1、连杆 2、曲轴 3 和气缸体（连同机架）4 组成主体部分。气缸内燃烧的气体膨胀，推动活塞下行，通过连杆使得曲轴转动并将动力输出。它将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

如图 0-2 所示的牛头刨床，小齿轮 2、大齿轮 3 和机架（床身）1 组成传动部分。电动机经 V 带（图中未画出）传动使小齿轮带动大齿轮转动。大齿轮 3、滑块 4、导杆 5、滑块 6 与机架 1 组成改换运动形式部分。大齿轮上的销轴带动滑块 4 和导杆 5，将大齿轮的转动变换成导杆的摆动。导杆顶端用销轴与滑枕 7 相连，将导杆的摆动变换成滑枕的往复移动，刨刀固定在滑枕的前端，从而实现刨削功能。

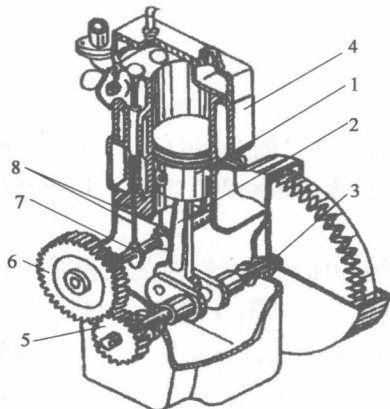


图 0-1 单缸内燃机结构示意图

1—活塞；2—连杆；3—曲轴；4—气缸体（连同机架）；
5—曲轴齿轮；6—凸轮轴齿轮；7—凸轮；8—阀门

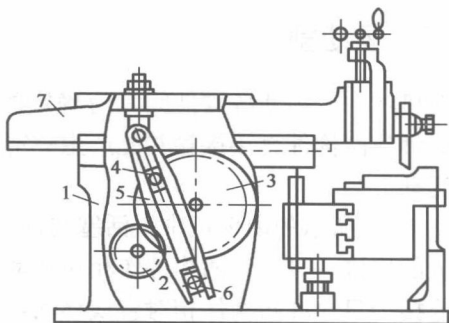


图 0-2 牛头刨床

1—机架（床身）；2—小齿轮；3—大齿轮；
4、6—滑块；5—导杆；7—滑枕

由以上实例可以说明机器具有以下三个特征：

- (1) 它是由许多实物人为地组合而成；
- (2) 各实物间具有确定的相对运动；
- (3) 能完成有用的机械功或进行功能转换，以减轻人们的劳动强度。

一部完整的机器是由原动部分、传动部分和工作执行部分三部分组成。如图 0-2 所示的牛头刨床，原动部分是电动机，刨刀架和工作台是它的执行部分，原动部分到执行部分之间所经过的一系列装置是传动部分。复杂的机器除上述三部分外，还有控制部分。机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息。

机器中若干实物的组合，可实现预定运动的部分称为机构。例如，在内燃机中，活塞、连杆、曲轴和缸体（连同机架）组合起来，可将活塞的往复移动转变成曲轴的转动。凸轮、进排气阀推杆和机架的组合，可将凸轮的转动转变为进排气阀推杆的往复移动等。机构是由若干构件用运动副连接起来的构件系统。机构是机器中的一部分，是传递运动或转换运动形式的那一部分。大多数机器都是由若干基本机构组成，如内燃机的主体部分是连杆机构，进排气控制部分是凸轮机构，传动部分是齿轮机构。

机器与机构统称为机械。

也可以这样理解：机者——机动、灵活也，械者——器具也，机械——机动、灵活的器具。

二、构件与零件

构件是机构的运动单元，如曲轴、连杆、活塞等。机械中不可拆的制造单元称为零件。构件可以是单一零件，如内燃机的曲轴，也可以是若干零件的刚性组合体，如内燃机的连杆（图 0-1），是由连杆体、连杆盖、螺栓和螺母组成。这样的结构便于安装。

机构中接受外部给定运动规律的活动构件称为主动件，随主动件的运动而运动的活动构件称为从动件，支承活动构件的构件称为固定件（机架）。

零件可以分为通用零件和专用零件。通用零件是指各种机械中经常用到的零件，如螺栓、螺母、齿轮和键等。专用零件是指在某些机械中才用到的零件，如内燃机的曲轴、起重机的吊钩等。

三、运动副

在机构中，为使各构件间具有确定的相对运动，各构件之间必定要以某种方式连接起来。这种使两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。其作用是限制构件的多余运动。

图 0-1 所示的内燃机中，活塞与连杆、连杆与曲轴和曲轴与气缸体之间都是用轴与圆孔构成的连接，只允许两构件作相对转动，这种运动副称为转动副或铰链；活塞与气缸体构成的连接，只允许两构件相对直线移动，这种运动副称为移动副。移动副和转动副都是两构件通过面接触组成的运动副，统称低副。两齿轮间用齿廓构成的连接称为齿轮副；凸轮与推杆之间的连接称为凸轮副。齿轮副和凸轮副都是两构件通过线接触或点接触组成的运动副，统称为高副。

四、本课程的性质、任务和基本要求

本课程是工科非机械类各专业的一门综合性专业支持课。

本课程的任务：培养学生掌握机械技术的基本知识、基本理论和基本技能，使学生初步具有使用和维护一般机械的能力，为解决生产实际问题及学习新的科学技术打下基础。

通过本课程的学习，学生应达到下列基本要求：

- (1) 掌握零件的受力分析、基本变形形式和强度计算方法；
- (2) 熟悉机械传动和通用机械零件的工作原理、特点、结构及应用，掌握通用机械零件的标准和选用；
- (3) 初步具有处理一般机械问题的能力；
- (4) 初步具有使用维护一般机械的能力。

习 题

- 1. 何谓机械？何谓机器？何谓机构？
- 2. 一部完整的机器由哪几部分组成？
- 3. 试举例说明机器、机构、构件、零件。
- 4. 何谓运动副？运动副有哪几类？

第一篇 工 程 力 学

严格地讲,工程力学所包含的内容极为广泛,本书所讨论的“工程力学”只涉及静力学和材料力学两部分。前者研究的是物体的受力和平衡规律,后者研究的是物体在外力作用下的变形和失效现象。二者都是工程设计中必备的基本知识。

在生产实践中常用的机械设备和工程结构,都是由许多构件组成的。构件丧失正常功能的现象称为失效。构件的失效形式很多,但在工程力学范畴内的失效通常可分为三类:强度失效、刚度失效和稳定失效。

强度失效是指构件在外力作用下发生不可恢复的塑性变形或断裂。例如,起重机吊起重物时绳索被拉断,销钉产生塑性变形等。由此可知,强度是指构件抵抗塑性变形或断裂的能力。

刚度失效是指构件在外力作用下产生过量的弹性变形。例如,齿轮传动轴,若其弹性变形过大,不仅会影响齿轮间的正常啮合,缩短齿轮的使用寿命,而且会加大轴与轴承的磨损,从而导致传动机构失效;电动机轴如果变形过大,不仅会减小转子与定子之间规定的间隙,增加功率损耗,甚至可能使转子与定子接触,造成严重事故。因此,刚度是指构件抵抗过量弹性变形的能力。

稳定失效是指构件在轴向力的作用下,失去平稳。例如,千斤顶中的螺杆,压缩机中的连杆等,由于过于细长,当所受轴向压力超过一定数值时,便会从直线的平衡状态突然转变为弯曲的平衡状态,致使各自所属的机器失去正常功能。因此,稳定性是指构件保持原有平衡形式的能力。

综上所述,工程力学的主要任务:分析并确定构件所受各种外力的大小和方向,研究在外力作用下构件的内力、变形和失效的规律,提供保证构件具有足够的强度、刚度和稳定性的设计准则和计算方法。

在工程设计时,除了保证构件在确定的外力作用下正常工作性外,还要符合经济节约的原则。从安全考虑,要求选用较好的材料或采用较大截面尺寸;从经济考虑,则要求选用价廉的材料或采用较小的截面尺寸。这两个要求显然是相互矛盾的,在解决这一矛盾的过程中工程力学得到了不断的发展。

第一章 静 力 分 析

第一节 平衡的概念

静力学主要研究的是力系的简化及物体在力系作用下的平衡规律。它包括确定研究对象、进行受力分析、简化力系、建立平衡条件、求解未知量等内容。

在研究物体平衡时，当物体在力的作用下变形很小且并不影响研究的主题，此时变形可以忽略不计，这样的物体称为刚体，否则称为变形体。当然，变形是绝对的，刚体实际上是不存在的，它只是为了方便研讨而被抽象的概念。

物体在空间的位置随时间的变化而变化，称为物体的机械运动。它是人们在日常生活和生产实践中最常见的一种运动形式。

工程中，平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动的状态（惯性），是物体机械运动中的一种特殊状态。物体的运动是绝对的，而平衡总是相对的、有条件的。作用于物体上的力系，若使物体处于平衡状态，必须满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件。研究物体的平衡条件是工程技术中具有实际意义的问题。

力系是指作用于被研究物体上的一组力，可分为空间力系和平面力系。平面力系是指所有的力均在同一平面内，可分为平面任意力系、平面汇交力系、平面平行力系和平面力偶系。

如果力系可使物体处于平衡状态，则称该力系为平衡力系；若两个力系分别作用于同一物体而效应相同，则二者互称为等效力系；若力系与一个力等效，则称此力为该力系的合力，而力系中的各个力都是此合力的分力。把各分力代换成合力的过程，称为力系的合成；把合力改换成几个分力的过程，称为力的分解。所谓力系的简化，就是用简单的力（力系）等效替代复杂的力系。

将看似杂乱无章的事物变得有章有序，看似无规律的事物变得有条有理，看似复杂的事物变得简单明了，这就是科学。

第二节 力的基本性质

一、力的概念

人们在长期的生活与生产实践中，逐渐获得力的概念。当我们提水、推车、搬动重物时，由于肌肉紧张而感觉到力的作用。随着人们在实践中感觉与观察的不断积累，认识到：力是物体间的相互机械作用。尽管力是看不见、摸不着的，但人们总可以度量到它。

力对物体的作用效应有两方面。其一，人推车时，车子由静止转为运动；行驶中的汽车刹车时，摩擦力能使它停下来；自由下落的物体，由于地球引力作用，其速度越来越快。这

些说明力可以使物体的运动状态发生改变,称为运动效应或外效应。其二,弹簧受拉后会伸长,桥梁在车轮压力下会弯曲等,说明力可以使物体的形状发生变化,称为变形效应或内效应。

力对物体的作用效应,取决于力的大小、力的方向和力的作用点,这三个因素称为力的三要素。当这三要素中任何一个有所改变时,力的作用效应就会改变。

为了度量力的大小,必须选择一个标准单位,本书采用我国的法定计量单位。力的单位为 N (牛) 或 kN (千牛)。

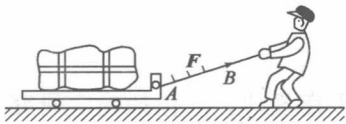


图 1-1 力的表示

在力学中有两类量:标量和矢量。只考虑大小的量称为标量,如长度、时间、质量等都是标量。既考虑大小又考虑方向的量称为矢量。力是矢量,常用一个具有方向的线段来表示。如图 1-1 所示,线段的长短(按一定的比例尺)表示力的大小,箭头的指向表示力的方向,A 点表示力的作用点。用黑体字母如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{S}$ 等表示力矢量,并以普通字母 F 、 P 、 S 等表示力的大小。书写时也可在普通字母上画一箭头如 $\vec{F}$ 、 $\vec{P}$ 、 $\vec{S}$ 表示矢量。

作用在物体上的一组力称为力系。物体在力系作用下处于平衡状态,则该力系称为平衡力系。如果一个力与一个力系对物体的作用效果相同,则称这一个力是该力系的合力,而力系中的各个力都是其合力的分力。把各分力代换成合力的过程,称为力系的合成。把合力代换成几个分力的过程,称为力的分解。

二、力的基本性质

在长期的生活与生产实践中,人们把所积累的经验加以抽象、归纳,总结出了一些结论,概括了力的基本性质,它是研究力学的基础。

1. 作用力与反作用力定律

一个物体对另一个物体有一作用力时,另一个物体对此物体必有一个反作用力,这两个力大小相等、方向相反,作用在同一直线上,且分别作用在两个物体上。例如,图 1-2 所示滑轮组中 B 轮受到绳索的拉力 F_1 、 F_2 作用,则 B 轮亦以等值、反向的反作用力 F'_1 、 F'_2 作用于绳索。这一定律说明了力的来源是物体间的相互作用,力总是成对地出现,并通过作用与反作用相互传递。这一定律是分析物体受力情况的依据。

2. 二力平衡公理

作用于某刚体上的两个力,使该刚体保持平衡的必要与充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。例如,图 1-3 所示杆件 AB 两端分别受 F_1 与 F_2 的作用,要使此杆件处于平衡状态,则这两个力必须等值、反向、共线。这一公理说明了一个刚体受两个力作用时的平衡条件,称为二力平衡条件。它是研究力系平衡的依据。这里应注意,此公理与作用和反作用定律是有

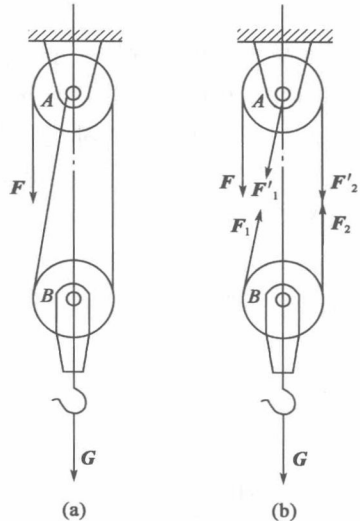


图 1-2 作用力与反作用力

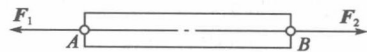


图 1-3 二力平衡

差别的，此公理叙述了作用于同一刚体上的二力平衡条件，而作用力与反作用力定律是描述两个物体之间的相互作用的关系。

利用二力平衡公理可以得出一个推论：作用于刚体上的二力，可以沿其作用线移动到该刚体上的任一点，而不改变它对刚体的作用效果。例如，图 1-4 (a) 所示力 F 作用在小车的 A 点上，在此力的作用线上任一点 B，加上等值、反向、共线的二力 F_1 、 F_2 ，并使 $F_1 = -F_2 = F$ 。根据二力平衡公理可知， F_1 与 F_2 是一对平衡力系，因此，加上这一对平衡力系并不影响原力 F 对小车的的作用效果，力 F 与力系 F_1 、 F_2 、 F 等效。由于 F 与 F_2 也是一对平衡力系，可以把它们去掉，因此力 F_1 与原力 F 等效，相当于力的作用点由 A 移到 B 点。在实践中人们有这样的体会，以等量的力推车与拉车，其效果是一样的。这一推论称为力的可传性原理。

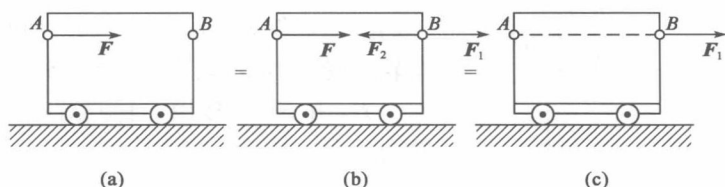


图 1-4 力的可传性证明

应当指出，这一公理与推论只适用于刚体而不适用于变形体。

3. 力的平行四边形法则

作用于物体上某一点的两个力的合力，其作用线必通过该点，合力的大小与方向可由以这两个力矢为邻边所作的平行四边形的对角线来表示，如图 1-5 (a) 所示。此法则指出，两个力矢相加不能简单地求其算术和，而是应用力的平行四边形法则求几何和，这种求合力的方法，称为矢量加法（几何法）。合力矢等于原来两个力矢的矢量和，可用公式表示为：

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

利用力的平行四边形法则，还可以把作用于物体上的一个力分解为相交的两个分力，其分力与合力作用于同一点上。通常是将力分解为方向已知、相互垂直的两个分力，如图 1-5 (b) 所示，这种分解称为正交分解。

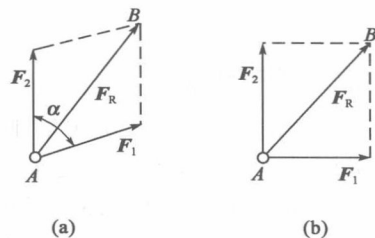


图 1-5 力的平行四边形法则

第三节 约束、约束力、受力图

一、约束与约束力

机械和工程结构中的每个构件，总是与周围其他构件相互联系而又相互制约（即形成了运动副）的，使它的运动受到限制。例如，电动机的转子受到轴承的限制，只能绕轴线转动；火车轮受到钢轨的限制，它只能沿钢轨运行等。对于某一物体的运动起限制作用的周围