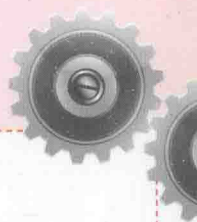




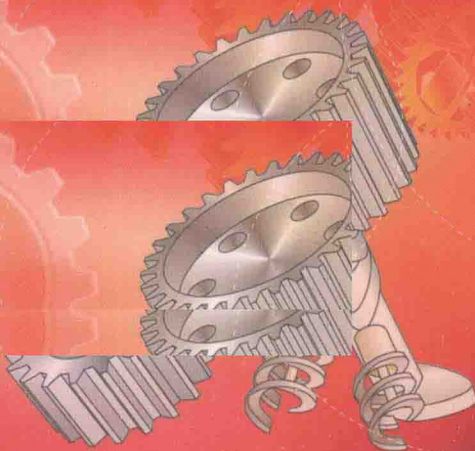
技能型人才培养教材
职业技能鉴定培训教材



机械基础

JIXIE JICHU

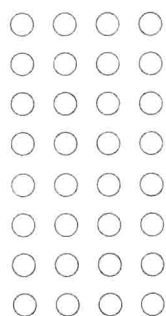
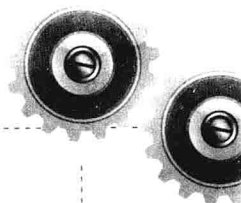
◎ 高路 田爱华 主编



化学工业出版社



技能型人才培养教材
职业技能鉴定培训教材



机械基础

JIXIE JICHU



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础/高路, 田爱华主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.6

技能型人才培养教材. 职业技能鉴定培训教材
ISBN 978-7-122-11005-3

I. 机… II. ①高…②田… III. 机械学-职业技能-
鉴定-教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 064421 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 字数 294 千字 2011 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为了适应经济发展对技能型人才的需要，国家正在大力推行职业资格证书制度，鼓励广大技术工人通过各种形式的学习和培训来提高自身的知识水平和操作能力，不断提高自身的创新意识、创业能力和就业能力，从而增强综合竞争力。同时职业院校的学生为适应市场需求，也在积极参与相关考试获取其职业技能证书。

根据当前生产技术发展的需要和广大操作人员的要求，我们组织了一批具有丰富实践经验的、长期从事生产技术、生产管理的工程技术人员和具有丰富教学经验的、长期从事职业技术教育的专业课教师，编写了这套“技能型职业培训教材”，包括《机械基础》、《化学基础》、《化工基础》、《电工电子技术基础》、《机械制图与识图》、《电工识图》、《钳工》、《焊工》、《冷作钣金工》、《维修电工》、《仪表维修工》等，共 11 本。

该系列培训教材根据国家职业标准并参考中、高职学校相关专业教材，突出了实际操作和技能训练内容的编写。该系列培训教材具有很强的实用性，适用面很宽；具有逻辑性强、语言简练、文字严谨、层次清晰的特点。每本教材遵循由浅到深、由易到难的原则，按照一般的认识规律和教学规律编写。该系列培训教材在编写过程中坚持了先进性原则，注意新标准、新知识、新技术新工艺的采集和介绍。该系列培训教材在每章开头明确提出本章的学习要求（培训目标），每章结束附有习题，题型符合职业技能鉴定考核要求，所以该系列培训教材适用于技术工人的培训、考核，也适合职业院校的学生学习。

本书为《机械基础》分册。本书主要讲述了工程力学基础、常用的机构、常用的机械传动、常用的连接、轴与轴承及轴系部件、液压与气压传动等共九章，介绍了企业中现行使用的新标准、新技术、新设备、新工艺等方面的内容及应用。本书对提高技术工人的理论水平和实际技能有很大帮助，适合企业技术工人培训和自学，也可作为职业院校的学生学习和考证参考。

本书由高路、田爱华主编，其中田爱华编写第 1 章、第 2 章、第 8 章，高路编写第 3 章、第 4 章、第 6 章、第 7 章，申东辉编写第 5 章。全书由邵泽波、刘勃安审核并对本书提出了修改意见。

由于编者水平有限，书中可能有疏漏和不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2011 年 4 月

目 录

第 1 章 工程力学	1
1.1 静力学基础	1
1.1.1 静力分析基础	1
1.1.2 平面汇交力系	5
1.1.3 力矩和力偶	9
1.1.4 平面任意力系	10
1.2 材料力学基础	13
1.2.1 材料力学的基本概念	13
1.2.2 轴向拉伸与压缩	15
1.2.3 剪切与挤压	17
1.2.4 圆轴的扭转	19
1.2.5 直梁的弯曲	19
1.2.6 组合变形与交变应力概念	22
本章小结	23
习题 1	23
第 2 章 常用机构	28
2.1 构件和运动副	28
2.1.1 构件	28
2.1.2 运动副的概念	28
2.1.3 运动副的分类	29
2.2 平面连杆机构	30
2.2.1 铰链四杆机构的基本类型	30
2.2.2 铰链四杆机构的演化	31
2.2.3 平面四杆机构的基本特性	32
2.3 凸轮机构	34
2.3.1 凸轮机构的组成、特点及应用	34
2.3.2 凸轮机构的分类	35
2.3.3 凸轮机构从动件常用运动规律	36
2.4 间歇运动机构	37
2.4.1 棘轮机构	37
2.4.2 槽轮机构	39
本章小结	40
习题 2	41

第3章 机械传动	44
3.1 概述	44
3.1.1 传动的基本知识	44
3.1.2 转速和圆周速度	44
3.1.3 机械传动效率	45
3.1.4 机械传动装置示意图	45
3.2 带传动	47
3.2.1 带传动的类型、特点和应用	47
3.2.2 V带的结构和标准	48
3.2.3 带传动的受力分析、应力分析及运动分析	49
3.2.4 V带传动的设计计算	51
3.2.5 带轮的材料和结构	53
3.2.6 V带传动的张紧、安装、使用和维护	53
3.3 链传动	55
3.3.1 链传动的类型、特点及应用	55
3.3.2 滚子链的结构和基本参数	56
3.3.3 滚子链链轮	57
3.3.4 链传动的运动特性	58
3.3.5 链传动的失效形式及主要参数的选择	60
3.3.6 链传动的布置和张紧	61
3.4 齿轮传动	62
3.4.1 齿轮传动的分类、特点及应用	62
3.4.2 渐开线齿轮	64
3.4.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分的名称、主要参数和几何尺寸	66
3.4.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	68
3.4.5 渐开线齿轮的加工	69
3.4.6 齿轮传动的失效形式和设计准则	71
3.4.7 齿轮的材料、热处理及许用应力	72
3.4.8 直齿圆柱齿轮的强度计算	73
3.4.9 斜齿圆柱齿轮传动	76
3.4.10 圆柱齿轮的结构设计	79
3.4.11 圆锥齿轮传动	80
3.4.12 齿轮传动的润滑	81
3.4.13 蜗杆传动	82
本章小结	85
习题3	86
第4章 连接	89
4.1 轴毂连接	89
4.1.1 键连接	89
4.1.2 销连接	91

4.1.3 过盈连接·····	91
4.2 螺纹连接·····	91
4.2.1 螺纹的基本知识·····	91
4.2.2 螺纹连接的基本类型和常用螺纹连接件·····	93
4.2.3 螺栓组的结构设计·····	95
4.2.4 螺纹连接的预紧和防松·····	96
4.2.5 螺纹连接件的材料·····	98
4.2.6 提高螺栓连接强度的措施·····	98
本章小结·····	100
习题 4·····	100
第 5 章 轴与轴承 ·····	102
5.1 轴·····	102
5.1.1 轴的分类及应用·····	102
5.1.2 轴的材料·····	102
5.1.3 轴的结构设计·····	103
5.2 滑动轴承·····	107
5.2.1 滑动轴承及其润滑状态·····	107
5.2.2 滑动轴承的类型、特点和应用·····	108
5.2.3 滑动轴承的结构、失效形式及常用材料·····	108
5.2.4 滑动轴承的润滑·····	111
5.3 滚动轴承·····	112
5.3.1 滚动轴承的结构、类型及代号·····	112
5.3.2 滚动轴承类型的选择·····	116
5.3.3 滚动轴承的组合设计·····	117
本章小结·····	119
习题 5·····	119
第 6 章 轮系及其应用 ·····	122
6.1 轮系的应用与分类·····	122
6.1.1 定轴轮系·····	122
6.1.2 周转轮系·····	122
6.1.3 复合轮系·····	123
6.2 定轴轮系传动比的计算·····	123
6.3 轮系的应用·····	124
6.3.1 传递相距较远的两轴之间的运动和动力·····	124
6.3.2 实现较大的传动比·····	124
6.3.3 实现变速和换向·····	124
6.3.4 实现运动的合成与分解·····	125
本章小结·····	125
习题 6·····	126
第 7 章 联轴器、离合器和制动器 ·····	128
7.1 联轴器·····	128

7.1.1 联轴器的类型	128
7.1.2 联轴器的选择	131
7.2 离合器	131
7.2.1 离合器的分类	131
7.2.2 对离合器的基本要求	132
7.2.3 常用离合器的类型	132
7.3 制动器	133
7.3.1 制动器的分类	133
7.3.2 对制动器的要求	133
7.3.3 常用制动器的类型	133
本章小结	134
习题 7	135
第 8 章 液压传动与气压传动	137
8.1 液压传动概述	137
8.1.1 液压传动原理和组成	137
8.1.2 液压传动的特点	138
8.1.3 液压系统的图形符号	139
8.2 液压传动的基础知识	139
8.2.1 液压油的特性及选用	139
8.2.2 液压传动的基本参数	140
8.3 液压元件	141
8.3.1 液压泵	141
8.3.2 液压马达和液压缸	144
8.3.3 液压控制阀	146
8.3.4 液压辅助元件	155
8.4 液压基本回路与系统实例分析	156
8.4.1 方向控制回路	156
8.4.2 压力控制回路	156
8.4.3 速度控制回路	158
8.4.4 多缸动作回路	159
8.4.5 液压传动系统实例分析	161
8.5 气压传动	162
8.5.1 气源装置	163
8.5.2 气动执行元件	166
8.5.3 气动控制元件	167
8.5.4 气动辅助元件	168
8.5.5 气压传动基本回路及实例分析	169
本章小结	172
习题 8	172
附录 习题答案	175
参考文献	179

第 1 章 工程力学

【培养目标】

1. 理解力的概念和静力学基本公理。
2. 能够正确进行物体的受力分析。
3. 理解力矩、力偶、力偶矩的概念和合力矩、合力偶矩定律。
4. 利用解析法计算平面力系的平衡问题。
5. 掌握内力的概念和截面法。
6. 掌握杆件轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转和直梁弯曲变形时，杆件的变形特点和内力特点，能够用截面法求解变形时，各个横截面上的内力的大小。

1.1 静力学基础

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

力系是指作用于物体上的一组力。物体的平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线运动的状态。若物体处于平衡状态，则作用于物体上的力系必须满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件，满足平衡条件的力系称为平衡力系。当研究一个复杂的力系对物体的作用效应和力系的平衡条件时，常需将复杂的力系进行简化，就是将一个复杂的力系简化为一个简单的力系，而作用效应不变，这就叫做力系的简化。若两个力系对物体的作用效应相同，则称此两个力系是等效的。若一个力与一个力系等效，则此力称为该力系的合力。

为使问题简化，静力分析中通常将物体视为刚体。所谓刚体就是指在力系作用下不会变形的物体。

1.1.1 静力分析基础

(1) 力的概念

力是物体与物体之间相互的机械作用，其结果是物体的机械运动状态发生改变，或使物体的形状发生改变。使物体运动状态改变是力的外效应，使物体形状发生改变是力的内效应。静力学主要研究的是力的外效应，而材料力学则主要研究的是力的内效应。

力对物体的作用效应，决定于力的大小、方向和作用点。这三个因素通常称为力的三要素，当这三个要素中任何一个改变时，力的作用效应就会改变。

力的大小表示物体之间机械作用的强弱，它可通过力的效应来度量。在国际单位制中，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。力的方向表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向。力的作用点是力作用在物体上的部位。

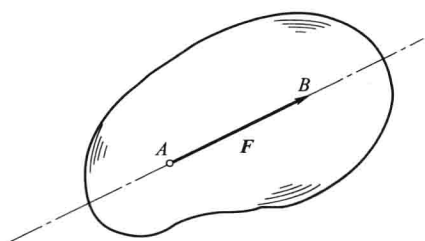


图 1-1 力的表示

力的三要素表明力是一个矢量,如图 1-1 所示,可以用一条具有方向的线段表示。线段的起点或终点表示力的作用点;线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小;通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的作用线;箭头的指向表示力的方向。在静力学中,用黑体字 $\mathbf{F}$ 表示力的矢量,用普通字母 F 表示力的大小。

(2) 静力学公理

静力学公理是静力学的基础。

公理一 二力平衡公理

刚体仅受两力作用而保持平衡的充分必要条件是:两力大小相等、方向相反,且作用在同一条直线上。

在两个力作用下处于平衡的刚体,称为二力构件。如果该构件为杆件,又称为二力杆,如图 1-2 (a)、(b) 所示。这个公理总结了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说这个条件既必要又充分。但对非刚体来说,这个条件是不充分的。如图 1-2 (c)、(d) 所示,软绳只受拉力,不能受压力作用。

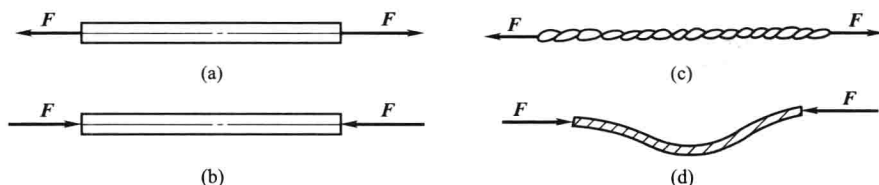


图 1-2 二力平衡条件

公理二 加减平衡力系公理

在任意一个已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不会改变原力系对刚体的作用效应。

推论一 力的可传性原理

作用在刚体上的力,沿其作用线移到刚体上任意一点,不会改变它对刚体的作用效应。如图 1-3 所示,以等量的力在车后 A 点推和在车前 B 点拉,效果是一样的。

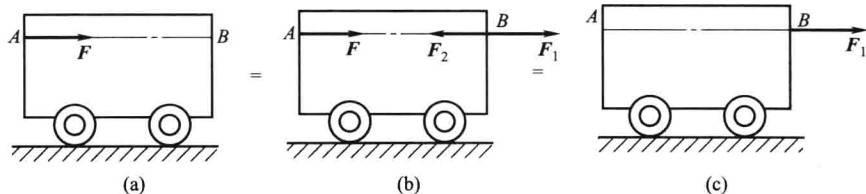


图 1-3 力的可传性

公理三 平行四边形公理

作用于物体上某一点的两个力可以合成为一个合力,其作用点也在该点,合力的大小和方向由两已知力为边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-4 (a) 所示,力的合成法则可写成矢量式

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

即合力等于两个分力的矢量和。

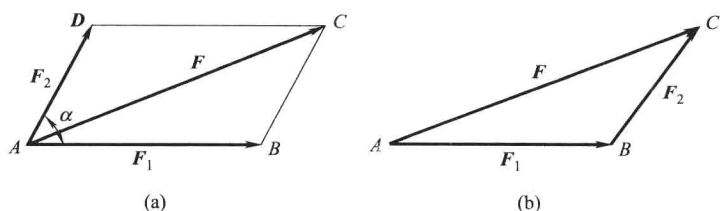


图 1-4 力的合成

推论二 三力平衡汇交定理

若刚体受到同一平面内互不平行的三个力作用而平衡时,则该三力的作用线必汇交于一点。如图 1-5 所示,刚体受到三个互不平行的力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用,当刚体处于平衡时,三力的作用线必汇交于 O 点。

公理四 作用力和反作用力公理

两物体之间的作用力与反作用力总是同时存在,且两力等值、反向、共线,分别作用在这两个物体上。这个公理说明,力总是成对出现的,物体间的作用总是相互的,有作用力就有反作用力,两者永远是同时存在,又同时消失。

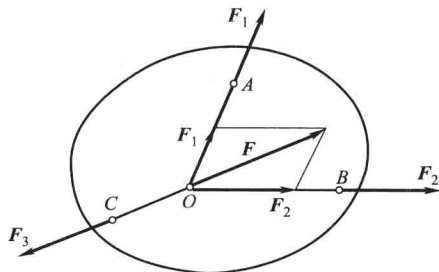


图 1-5 三力平衡汇交

必须注意:作用力和反作用力是作用在两个物体上的,而一对平衡力则是作用在同一物体上的。

(3) 约束与约束反力

机械中的每一个零件都和它周围的零件互相联系、互相制约,从而使零件的运动受到一定的限制。例如,轴受轴承的限制,只能绕轴的中心线转动;车床尾架受床身导轨的限制,只能沿导轨纵向移动。这种限制物体运动的周围物体,称为约束。上面的轴承就是轴的约束,车床床身导轨是尾架的约束等。

物体的受力可分为两类:主动力和约束反力。主动力是指使物体产生运动或运动趋势的力,如物体的重力、零件的载荷等。而约束物体运动,起限制作用的力称为约束反力。由于约束的作用是限制物体的运动,所以约束反力的方向总与限制的运动方向相反,其作用点在约束与被约束物体相互连接或接触之处。下面介绍几种常见的约束类型。

① **柔性约束** 柔软且不可伸长的绳子、带、链等柔索类约束,称为柔性约束。由于柔性约束对物体的约束力只可能是拉力,其作用点必在约束与被约束物体的相互接触处,方向沿约束的中心线且背离被约束物体。约束反力常用符号 F_T 来表示。如图 1-6 中线绳上的约束反力 F_{T1} 和 F_{T2} 。

② **光滑面约束** 当物体与约束的接触面之间摩擦很小,甚至可以忽略不计时,则认为接触面是光滑的。这种光滑的平面或曲面对物体的约束,称为光滑面约束。光滑面约束只能限制物体沿接触点公法线且指向约束物体的运动,对于物体沿接触面切线方向的运动却不能限制,故约束力必过接触点沿接触面法向并指向被约束物体,如图 1-7 所示。

③ **光滑圆柱铰链约束** 两个或两个以上的零件在连接处加工出孔,并用圆柱销钉连接起来,使零件之间只能绕销钉的轴转动,如图 1-8 所示。在不计摩擦力时,这种约束叫做光滑圆柱铰链约束。光滑圆柱铰链对每个零件的约束力在垂直于圆柱销钉轴线的平面内,通过铰链中心,但方向通常未知,一般用过铰链中心的两个正交分力表示。

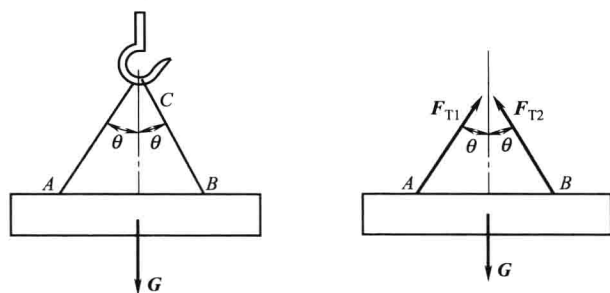


图 1-6 柔性约束

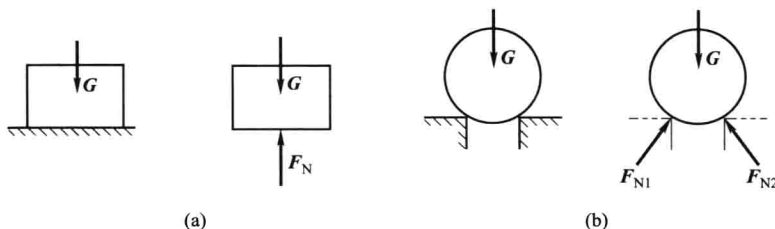


图 1-7 光滑面约束

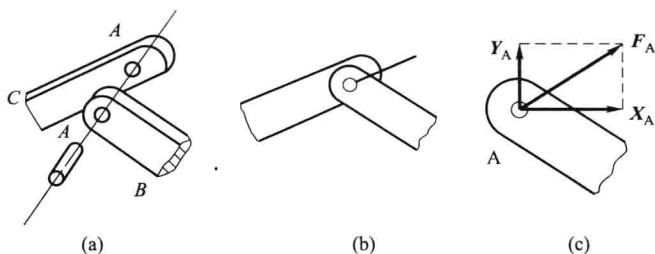


图 1-8 光滑圆柱铰链约束

a. 固定铰链支座 在光滑圆柱铰链约束中, 若其中的一个零件固定于基础或固定于其他不动件上, 如图 1-9 (a)、(b) 所示, 这种铰链在工程上叫做固定铰链支座。固定铰链支座常用图 1-9 (c)、(d)、(e) 所示的符号表示, 其受力如图 1-9 (f) 所示。

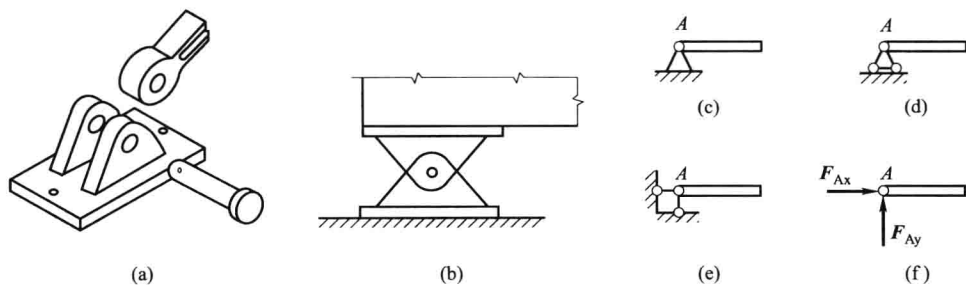


图 1-9 固定铰链支座

b. 可动铰链支座 工程上常用的可动铰链支座是将铰链支座用几个滚子支撑在平面上而成的, 如图 1-10 (a) 所示。支座面不能阻止支座沿着支座面移动, 只能限制沿支座面的法线方向移动, 所以可动铰链支座对物体的约束反力是通过铰链中心垂直于支座面的。可动铰链支座的简图和受力如图 1-10 (b)、(c) 所示。

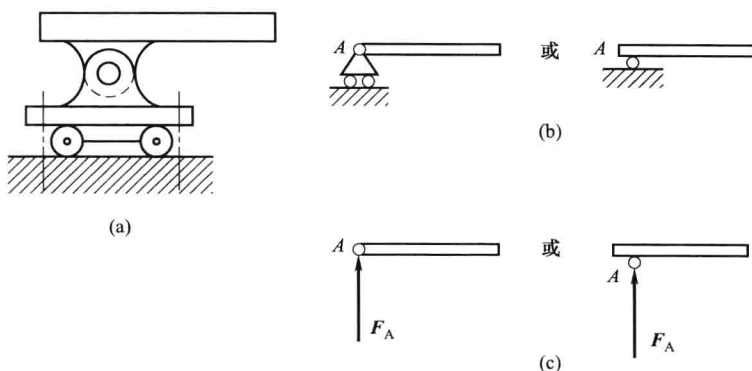


图 1-10 可动铰链支座

④ 固定端约束 物体的一部分固嵌于另一物体所构成的约束，称为固定端约束。如图 1-11 所示，构件焊接或铆接在固定的机架上或基础上，构件的固定端既不能移动，也不能转动，因此，它的约束力可用两个互相垂直的分力和一个阻止转动的力矩来表示。

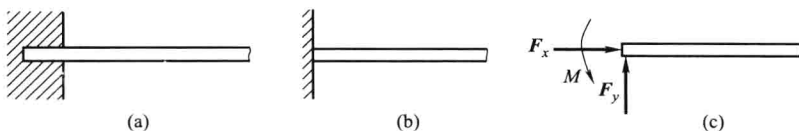


图 1-11 固定端约束

(4) 受力图

在对物体进行受力分析时，为了清楚地表示物体的受力情况，需将研究对象从周围的物体中分离出来，即解除全部约束，成为分离体。为了使分离体的受力情况与原来的受力情况一致，必须在分离体上画出所有主动力，在解除约束的地方画出相应的约束反力，从而形象地表达出研究对象受力情况的全貌，这种图形称为受力图。受力图是对零件进行受力分析的重要基础。下面举例说明受力图的画法。

例 1-1 如图 1-12 (a) 所示，水平横梁 AB 用斜杆 CD 支撑， A 、 C 、 D 三处均为光滑铰链连接。梁 AB 的自重为 G ，其上放置一重为 G_1 的重物， CD 杆自重不计。试分别画出斜杆 CD 、横梁 AB 和整体的受力图。

解：① 斜杆 CD 的受力图 斜杆 CD 的 C 、 D 两端分别在固定铰链和圆柱铰链的约束下处于平衡状态，在 CD 杆自重不计的情况下， CD 杆为二力构件，故作用于 CD 两点的力 F_C 和 F_D 必大小相等，方向相反，且作用在一条直线上。至于是受拉力还是受压力，不能判断，在受力分析时画成拉力或压力均可，如图 1-12 (b) 所示。

② 横梁 AB (含重为 G_1 的重物) 的受力图 横梁 AB (含重为 G_1 的重物) 受已知力 G 和 G_1 ， A 点为固定铰链，约束力通过铰链中心 A ，但方向未知，用两个正交力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。 D 处为光滑铰链，约束力与斜杆 CD 在 D 点的约束力 F_D 互为作用与反作用力，用 F'_D 表示，如图 1-12 (c) 所示。

③ 整体的受力图 对以斜杆 CD 和横梁 AB 构成的整体， D 点的约束因未被解除，故无约束力体现。 C 、 A 点的受力同图 1-12 (b)、(c) 所示一样，总的受力情况如图 1-12 (d) 所示。

1.1.2 平面汇交力系

作用于物体上的力系中，各力的作用线都在同一平面内的力系称为平面力系。各力的作

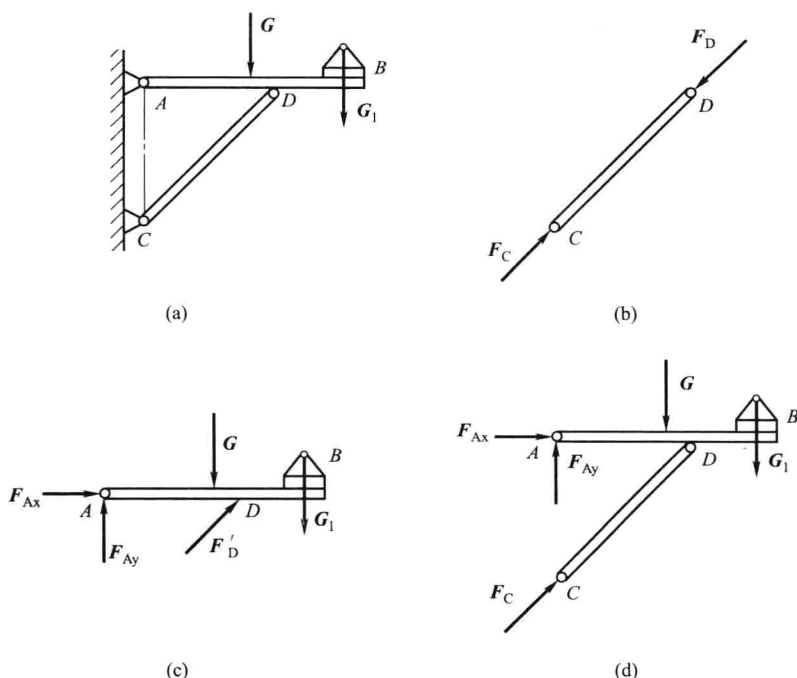


图 1-12 三角支架的受力

用线不在同一平面内的力系称为空间力系。在平面力系中，作用线交于一点的力系称为平面汇交力系。

研究平面汇交力系，可以解决一些简单的工程问题，也为研究更复杂的力系打下基础。分析平面汇交力系一般有两种方法：几何法与解析法。

(1) 平面汇交力系合成的几何法

几何法是直接用矢量加法来表示合力与各分力之间的关系。

① 力的三角形法则 根据力的平行四边形法则，作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点与两力相同，合力的大小和方向由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-4 (a) 所示，作用于某刚体 A 点的两个力 F_1 和 F_2 可由平行四边形法则确定其合力 F 。显然，在求合力时可不画出整个平行四边形。如图 1-4 (b) 所示，从 A 点作一矢量 $AB = F_1$ ，过 B 点再画矢量 $BC = F_2$ ，连接的 F_1 起点 A 与 F_2 的终点 C，矢量 AC 就是力 F_1 、 F_2 的合力 F 。这样画出的三角形称为力三角形，用力三角形求两个汇交力合力的方法，称为力的三角形法则。

力的三角形法则实质上是力的四边形法则的另一种表达方式，它应用起来更加方便，不仅可用于力的合成，也常用于力的分解。

② 力的多边形法则 如果刚体上作用有 F_1 、 F_2 和 F_3 组成的平面汇交力系，如图 1-13 (a) 所示，欲求此力系的合力，可根据力的可传性原理，首先将各力沿其作用线移到 A 点，然后连续应用力的三角形法则，先将 F_1 和 F_2 合成为 F_{12} [图 1-13 (b)]，再将 F_{12} 与 F_3 合成，即可得到该力系的合力 F ，如图 1-13 (c) 所示。实际作图中，中间合力可不画出，只要把各分力矢量首尾相接，得到一开口的多边形 ABCD，然后将第一个力矢量 F_1 的起点 A 和最后一个力矢量 F_3 的终点 D 相连，所得到的矢量就代表该力系的合力 F 的大小和方向。这种用力多边形求平面汇交力系合力的方法，称为力多边形法则。

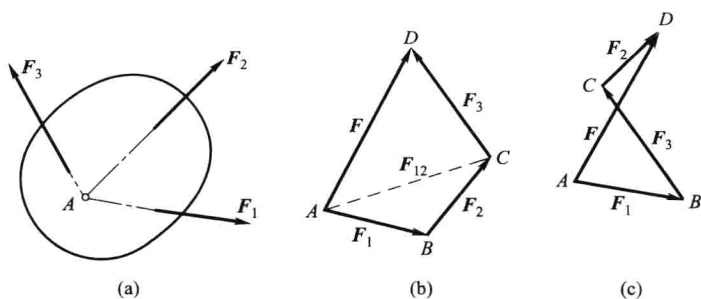


图 1-13 力合成的多边形法则

值得注意的是,运用力多边形求合力时,可以任意变换各分力矢量的次序,虽然得到不同形状的力多边形,但求得的合力不变。还应指出,在力多边形中,各分力矢量首尾相接,环绕同一方向,而合力矢量则沿反方向将力多边形封闭。显然,无论汇交力系中力的数目有多少,均可用此法来求其合力。用矢量式表示为

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum \mathbf{F}_i \quad (1-2)$$

(2) 平面汇交力系合成的解析法

解析法是通过矢量投影定理来表示合力与各分力之间的关系。

① 力在直角坐标轴上的投影 设在刚体上的点 A 作用一力 $\mathbf{F}$, 如图 1-14 所示。在力的同一平面内取 x 轴, 从力 $\mathbf{F}$ 的两端 A 和 B 分别向 x 轴作垂线, 垂足为 a 和 b , 线段 ab 的长度冠以适当的正负号, 就表示这个力在 x 轴上的投影, 记为 F_x 。如果从 a 到 b 的指向与投影轴 x 的正向一致, 则力 $\mathbf{F}$ 在 x 轴上的投影 F_x 定为正值, 反之为负值。如力 $\mathbf{F}$ 与轴的正向间的夹角为 α , 则有

$$F_x = F \cos \alpha \quad (1-3)$$

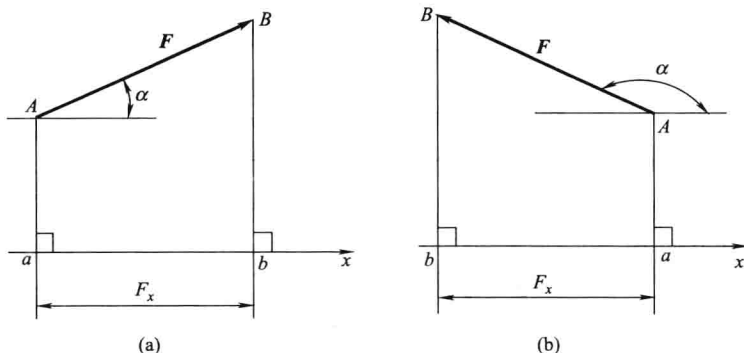


图 1-14 力在坐标轴上的投影

上式表明,力在某轴上的投影等于力的大小乘以力与投影轴正向间夹角的余弦。当 α 为锐角时, F_x 为正值; 当 α 为钝角时, F_x 为负值。所以,力在某轴上的投影是个代数量。

同理,力 $\mathbf{F}$ 在平面直角坐标系 y 轴上的投影则为

$$F_y = F \sin \alpha \quad (1-4)$$

这样,若已知一力在平面直角坐标系的 x 、 y 轴上的投影 F_x 、 F_y , 则该力的大小和方向为

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (1-5)$$

$$\tan \alpha = \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \quad (1-6)$$

式中 α ——力 F 与 x 轴正向间的夹角。

F 的指向可根据 F_x 、 F_y 的正负号来确定。

② 合力投影定理 合力的投影定理建立了合力的投影与分力的投影之间的关系。如图 1-15 所示, 刚体上受一平面汇交力系 F_1 、 F_2 和 F_3 作用, 用力多边形法则可知其合力为 F 。将各力向 x 轴上进行投影, 由图可见

$$ad = ab + bc - cd$$

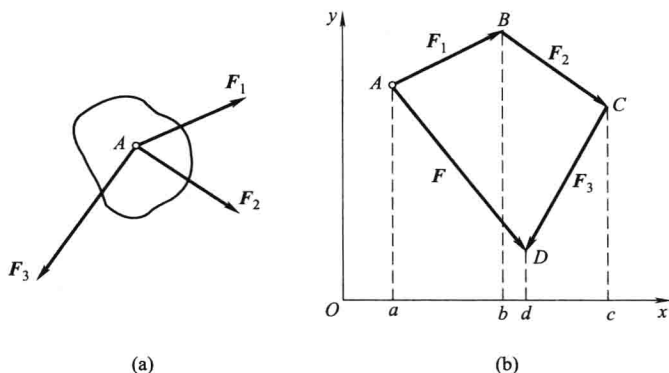


图 1-15 合力投影

按投影定义, 上式左端为合力 F 的投影, 右端为三个分力的投影的代数和, 所以有

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} \quad (1-7)$$

同理有

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} \quad (1-8)$$

显然, 上面的结果可以推广到平面汇交力系有 n 个力的情况, 即

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \quad (1-9)$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \quad (1-10)$$

即合力在某一轴上的投影, 等于各分力在同一轴上投影的代数和。这一关系称为合力投影定理。

合力的大小和方向为

$$F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \quad (1-11)$$

$$\tan \alpha = \left| \frac{(\sum F_y)}{(\sum F_x)} \right| \quad (1-12)$$

式中 α ——力 F 与 x 轴正向间的夹角。

F 的指向可根据 F_x 、 F_y 的正负号来确定。

③ 平面汇交力系的平衡条件 如果物体处于平衡, 所受合力应等于零, 反之亦然。所以, 平面汇交力系平衡的充分必要条件是力系的合力等于零。即

$$F = \sum F_i = 0 \quad (1-13)$$

a. 平面汇交力系平衡的几何条件 从力多边形图形上看, 在合力为零的情况下, 力多边形中第一个力矢量的起点与最后一个力矢量的终点重合, 构成了一个自行封闭的力多边形。因此, 平面汇交力系平衡的几何条件是力系中各力组成的力多边形自行封闭。

b. 平面汇交力系平衡的解析条件 平面汇交力系平衡时, 应有

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \quad (1-14)$$

即

$$\sum F_x = 0 \quad (1-15)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (1-16)$$

因此, 平面汇交力系平衡的解析条件是各力在 x 轴和 y 轴上投影的代数和分别等于零。

1.1.3 力矩和力偶

(1) 力矩

力对物体除了具有移动效应之外, 有时还会产生转动效应。力对点之矩称为力矩, 它是力使物体绕某一点转动效应的度量。如图 1-16 所示, 用扳手拧螺母时, 作用于扳手一端的力 F 能使扳手及螺母绕 O 点转动。由经验可知, 拧动螺母的作用不仅与力 F 的大小有关, 而且与转动中心 O 点到力的作用线的垂直距离 d 有关。因此, 力 F 使物体绕 O 点转动的效应用两者的乘积 Fd 来度量, 称为力 F 对 O 点之矩, 以符号 $M_o(F)$ 来表示, 即

$$M_o(F) = \pm Fd \quad (1-17)$$

O 点称为力矩中心, 简称矩心; O 点到力 F 作用线的垂直距离 d , 称为力臂。力矩是一个代数量, 其正负用来说明力矩的转动方向。一般规定: 力使物体绕矩心作逆时针方向转动时, 力矩取正号; 反之为负。力矩的单位为 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

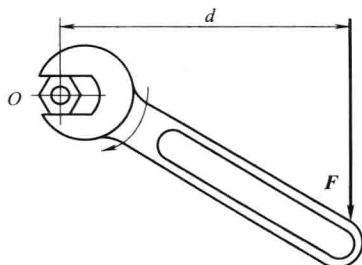


图 1-16 扳手拧螺母示意图

当力的作用线通过矩心时, 无论力多么大, 对物体的作用都不可能产生绕此矩心的转动效应, 此时力臂为零, 所以力矩为零。这是力矩的一个重要性质。矩心可以取在支点或转动物体的中心上, 也可取在物体上的任意一点 (并不说明物体一定绕该点转动)。

(2) 合力矩定理

平面汇交力系的合力对平面内任一点的矩, 等于其所有分力对于同一点的矩的代数和, 即

$$M_o(F) = \sum M_o(F_i) \quad (1-18)$$

此关系称为合力矩定理。这一定理不仅适用于平面汇交力系, 对任何有合力的力系均成立。

(3) 力偶

在实际中, 经常见到诸如双手转动水阀柄 [图 1-17 (a)]、汽车司机用双手转动方向盘 [图 1-17 (b)]、钳工用丝锥攻螺纹、人们用两个手指旋转钥匙开门等情况, 在水阀柄、方向盘、丝锥、钥匙等物体上, 作用了一对等值反向的平行力。等值反向平行力的合力显然等于零, 但是由于它们不共线而不能相互平衡, 它们能使物体改变转动状态。

这种由两个大小相等、方向相反的平行力组成的力系, 称为力偶, 如图 1-17 (c) 所示, 记作 (F, F') 。力偶的两力之间的垂直距离 d , 称为力偶臂, 力偶所在的平面称为力偶的作用面。

(4) 力偶矩

力偶对物体的转动效应, 随力 F 的大小或力偶臂 d 的增大而增强, 因此, 用两者的乘积 Fd 并加以适当的正负号所得的物理量来度量力偶对物体的转动效应, 称之为力偶矩, 记