



高等院校“十二五”示范性建设成果

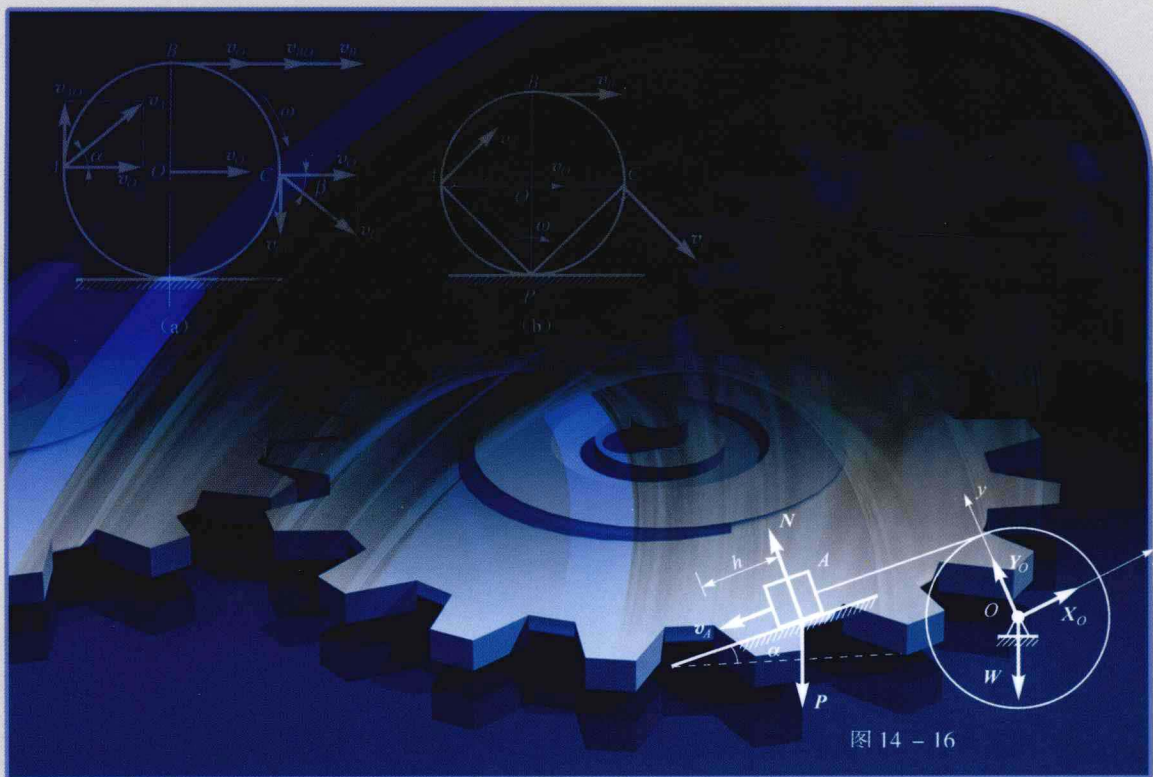


图 14 - 16

工程力学

GONGCHENG LIXUE

主 编 郑立新

主 审 胡照海

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

高等院校“十二五”

工程力学

主 编 郑立新

副主编 陈 岚

主 审 胡照海

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/郑立新主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6282 - 8

I. ①工… II. ①郑… III. ①工程力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 159209 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

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) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市文通印刷包装有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 9.5

字 数 / 165 千字

责任编辑/多海鹏

版 次 / 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

张慧峰

印 数 / 1 ~ 1500 册

责任校对/陈玉梅

定 价 / 32.00 元

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

工程力学包括静力学和材料力学，是工科专业的一门重要技术基础课，与工程实际有着密切的联系。通过学习该门课程，不仅可使学生构筑工程基础的理论根基，还可培养学生理论联系实际解决工程问题的能力。

随着现代科学技术的飞速发展，新技术、新材料的不断涌现，各高校对该课程的教学内容、教学方法及教学体系的改革也在不断深入中。在编写过程中，按照工程力学教学大纲的要求，尽量保留国内原教材的结构严谨、逻辑性强等特点。建议学时为 32 ~ 56 学时，可根据具体需要及计划学时对书中内容进行选择，本书中带“*”部分为选修内容，可根据课时要求进行选择性讲解。

本书共有 8 章，包括静力学（第 2 章）和杆件的基本变形（第 3 ~ 8 章）两部分。静力学的主要内容有力的基本概念、力矩与力偶、平面汇交力系及平面任意力系、空间力系、摩擦等；材料力学包括杆件的基本变形（拉压、剪切与挤压、扭转、弯曲）、组合变形、压杆稳定和应力集中等。本书由郑立新老师担任主编，陈岚老师担任副主编，唐俊老师担任协编，胡照海担任主审。编写的分工如下：第 2 章由唐俊编写，第 3 ~ 5 章由陈岚编写；第 1、第 6、第 7、第 8 章由郑立新编写。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 静力学基础	1
1.1.1 静力学基础研究的对象和内容	1
1.1.2 研究静力学基础的目的	2
1.2 杆件的基本变形	2
1.2.1 杆件基本变形的概念	2
1.2.2 构件正常工作的基本要求	3
1.3 工程力学的学习方法	5
本章小结	5
思考题与习题	5
第2章 构件静力分析基础	6
2.1 力	6
2.1.1 力、刚体、平衡的概念	6
2.1.2 力系	8
2.1.3 静力学公理及其推论	8
2.1.4 约束及约束反力的概念	10
2.1.5 受力图	12
2.2 平面汇交力系的合成与平衡	16
2.2.1 平面汇交力系合成的几何法	17
2.2.2 平面汇交力系平衡的几何条件	18
2.2.3 平面汇交力系合成的解析法	19
2.2.4 静定与超静定问题	20
2.2.5 平面汇交力系的平衡方程	22
2.3 力矩与力偶	25
2.3.1 力对点之矩	25
2.3.2 合力矩定理	26

2.3.3	力矩的平衡	28
2.3.4	力偶的概念	28
2.3.5	平面力偶系的合成和平衡条件	30
2.3.6	力的平移定理及其应用	32
2.4	平面任意力系简介	33
2.4.1	平面任意力系的简化	33
2.4.2	平面任意力系的平衡方程及其应用	36
2.5	摩擦*	42
2.5.1	滑动摩擦	42
2.5.2	自锁	44
2.5.3	考虑摩擦时的平衡问题	46
2.6	空间力系*	49
2.6.1	力在空间轴上的投影	49
2.6.2	力对轴之矩	51
2.6.3	平衡方程及其应用	51
	本章小结	55
	思考题与习题	55
第 3 章	轴向拉伸与压缩变形	64
3.1	拉伸和压缩的概念	64
3.2	拉伸与压缩时横截面上的内力和应力	65
3.2.1	内力	65
3.2.2	截面法	65
3.2.3	轴力	66
3.2.4	横截面上的应力	67
3.2.5	轴向拉伸或压缩时的变形及胡克定律	68
3.3	拉伸与压缩时材料的力学性质	69
3.3.1	低碳钢和铸铁的拉伸与压缩实验	70
3.3.2	铸铁拉伸时的力学性质	72
3.3.3	材料压缩时的力学性质	72
3.4	拉伸与压缩时的强度计算	73
	本章小结	79
	思考题与习题	79
第 4 章	剪切和挤压	83
4.1	剪切与挤压的概念	83

4.2 剪切和挤压的计算	84
4.2.2 挤压强度计算	84
4.2.3 挤压面积的计算	84
本章小结	87
思考题与习题	88
第5章 圆轴扭转	90
5.1 圆轴扭转的概念、内力与应力	90
5.1.1 扭转的概念	90
5.1.2 圆轴扭转的内力	91
5.1.3 圆轴扭转时的应力	93
5.2 圆轴扭转的强度、刚度条件	95
5.2.1 圆轴扭转的强度条件	95
5.2.2 圆轴扭转刚度条件*	96
本章小结	99
思考题与习题	100
第6章 直梁的平面弯曲	102
6.1 梁平面弯曲的概念和弯曲内力	102
6.1.1 平面弯曲	102
6.1.2 梁的基本形式	103
6.2 梁的弯曲强度计算	110
6.2.1 梁弯曲时应力的计算强度条件及其应用	110
6.2.2 梁弯曲时的强度条件及其应用	112
6.3 梁的弯曲变形及刚度计算*	116
6.3.1 弯曲变形的挠度与转角	116
6.3.2 梁的挠曲线方程	117
6.3.3 用叠加法求梁的变形	117
6.3.4 梁的弯曲刚度条件	118
6.4 提高梁的弯曲强度的措施	118
本章小结	119
思考题与习题	119
第7章 *组合变形简介*	122
7.1 组合变形的概念	122
7.2 拉(压)弯组合变形	122

7.3 弯扭组合变形	125
本章小结	128
思考题与习题	128
第8章 其他因素对强度的影响	130
8.1 压杆稳定	130
8.1.1 压杆稳定的概念	130
8.1.2 提高压杆承载能力的措施	131
8.2 应力集中的概念	132
8.3 疲劳破坏	133
8.3.1 动载荷和交变应力	133
8.3.2 疲劳破坏	134
本章小结	136
思考题与习题	136
参考文献	137

第1章 绪 论

本章知识点

1. 课程研究对象及内容
2. 杆件基本变形概念
3. 构件正常工作的基本要求
4. 课程的学习方法

工程力学是一门基础技术课程,主要包括两部分:理论力学和材料力学。本书只介绍理论力学和材料力学的基础知识。

1.1 静力学基础

1.1.1 静力学基础研究的对象和内容

静力学是理论力学的一部分。理论力学由静力学、运动学、动力学三部分组成,是研究物体机械运动一般规律的学科。

物体的机械运动是指物体在空间的相对位置随时间的变化(包括任一物体对其他物体的相对静止)。如各种车辆的行驶,各种机器的运动,液体和气体的流动,以及房屋、桥梁等相对于地球的静止等等都是机械运动。

运动是物质存在的形式,是物质的固有属性。在自然界中,存在着各种各样的运动形式,例如光、热、电磁、声等物理现象,化学变化,生命过程,人的思维,等等。其中,机械运动是最简单的一种运动形式。机械运动的一种特殊情况为平衡——物体相对于地球处于静止或者做匀速直线运动的状态。在工程实际中,房屋、水坝、桥梁、铁路以及匀速直线行驶的车厢等都是平衡的实例。静力学就是研究物体的平衡问题的科学。

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,这些条件称为平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。在力或力系作用下,物体不但有运动状态的改变(机械运动),同时也会发生形状和尺寸的变化(变形),但物体的变形对其机械运动的影响非常小,可以忽略不计。因此,在静力学中,将受力物体理想化为在任何情况下都不发生变形的物体——刚体。前述所谓的静力学实际上是刚体静力学的简称。

静力学研究的主要内容如下。

1. 力的基本性质和物体的受力分析

分析清楚作为研究对象的物体受有哪些力的作用,并抽象出可以建立数学关系的受力图。

2. 力系的简化

在工程实际中,作用在物体上的力系往往较为复杂,为了弄清力系对物体总的作用,需要对它进行合成,用一个与其作用效果相同的简单力系来代替,这就是力系的简化。

3. 力系的平衡条件

研究物体平衡需要满足的条件,得出计算方法,确保构件处于平衡状态是静力学讨论的主要内容。

1.1.2 研究静力学基础的目的

工程专业一般都要接触各类机械运动的问题。很多工程实际问题可以应用静力学的基本理论去解决,有些比较复杂的工程实际问题,则需要静力学和其他专门知识来解决。所以学习静力学是为解决工程实际问题打下一定的基础。

静力学是研究力学中最普遍的、最基本的规律。很多工程专业的课程,例如材料力学、机械原理、机械零件、结构力学、塑性力学、流体力学、飞行力学、振动理论、断裂力学以及许多专业课程等,都要以静力学为基础,所以静力学也是学习一系列后续课程的重要基础。

1.2 杆件的基本变形

1.2.1 杆件基本变形的概念

各种机械和机构都是由许多构件组成的。当它们承受载荷或传递运动时,构件都受到力的作用,为了保证机构和机械的正常工作,每个构件都必须安全可靠。为此,首先要求构件在载荷作用下不发生破坏。而静力学主要是研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件;同时也研究物体受力的分析方法,以及力系简化的方法等。为了研究、计算方便,都是把物体视为刚体,不考虑物体的变形效应,即在外力作用下,物体的形状和尺寸没有任何改变。实际上,绝对不变的物体即所谓的刚

体在自然界中是不存在的,任何物体在外力的作用下,其形状和尺寸都会或多或少地有所改变。而在工程实际中,一般机械、设备或结构都不是绝对刚体,而是由变形固体组成。就是说,在外力作用下,构件都会发生变形或破坏。为了保证每个构件在外力作用下能够正常工作,需要进行分析 and 计算。因此,必须学习材料力学的理论,掌握设计计算的基本方法。本书由于篇幅及深度的限制,只涉及材料力学的基础知识——杆件的基本变形。通过静力学的学习可以掌握如何求构件所受力的_{大小},零件尺寸的大小不仅与力的大小有关,还与零件抵抗变形的能力有关,在外力的作用下构件会发生变形,外力作用在杆件上的方式是多种多样的,因此,杆件产生的变形也有各种不同的类型。我们可以把杆件的变形简化为以下4种基本形式。

1. 轴向拉压变形

当杆件受到沿轴线方向的两个大小相等而方向相反的拉力或压力时,杆件就会产生伸长或缩短,这种变形就叫做拉伸或压缩。

2. 剪切变形

当杆件受到大小相等、方向相反、作用线不重合但距离比较近的两个力作用时,在杆件的两力中间部分将产生沿截面的相互错动,称为剪切变形。剪切变形往往还伴随挤压变形。

3. 扭转变形

当杆件受到垂直于杆轴线的两平面内的大小相等而方向相反的两个力偶作用时,杆件所产生的变形称为扭转变形。例如当轴上装有齿轮、带轮或联轴器时,轴在扭矩的作用下就会产生扭转变形。

4. 弯曲变形

当杆件受到与杆轴线垂直的力的作用,或者在杆件的纵向平面内受到力偶的作用时,变形后的杆件的轴线(原为直线)变成曲线。这种变形称为弯曲变形。

上面的四种变形称为基本变形。实际杆件的变形并不像上面谈到的那样简单,而是比较复杂的。可以把复杂的变形看成是由几种基本变形所组成的组合变形,后面的章节中将逐步介绍各种基本变形。

1.2.2 构件正常工作的基本要求

一般情况下,构件要能够正常工作,必须满足以下3个条件。

1. 强度条件

构件在外力的作用下抵抗破坏的能力,称为强度。工程构件的破坏包含两种含义,即断裂和显著的塑性变形。

构件在外力作用下,它的几何形状和尺寸大小都要发生一定程度的改变。这种改变称为变形。由实验结果知道,绝大多数的固体,在外力不超过一定范围时,当外力除去后,将完全恢复原有形状和尺寸,这种性质称为弹性。除去外力后能够消失的变形,称为弹性变形。但外力过大时,除去外力后,变形只能部分消失而残留一部分不能消失的变形,材料的这种性质称为塑性。除去外力后不能消失而残留的变形,称为塑性变形(或称残余变形、永久变形)。构件在外力作用下,如果发生显著塑性变形,即使构件没有断裂,但由于形状和尺寸发生了塑性变形,构件受到损伤,影响了构件的正常工作,所以也称其为强度不够。如果构件在外力作用下没有发生断裂和显著塑性变形,就称构件具有足够的强度。

2. 足够的刚度

为了分析方便,常常需要把工程中的实际问题,简化为一个力学计算模型,即用一个简化图形表达出工程实际问题。这种简化图形,称为计算简图。

所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

3. 足够的稳定性

所谓稳定性是指构件在外力作用下维持原有平衡状态的能力。足够的稳定性是指构件在外力作用下能够保持原有平衡状态而不丧失稳定。

一般而言,设计构件时,首先必须满足安全的要求,即根据强度、刚度和稳定性的要求,选择合适的材料,确定合理的截面尺寸和几何形状,这是材料力学的任务;同时还要满足经济方面的要求,尽可能选用经济合理的材料,降低材料消耗,节约资金,这也是材料力学的任务。例如设计钢梁,为了达到安全方面的要求,杆件用粗些,就要多用钢材,还要用好钢材;为了经济,则应少用钢材,用低价钢材。显然,安全与经济这两个方面往往是互相矛盾的。片面追求经济而忽视安全是绝对不允许的;然而,不适当地强调安全而忽视经济也是不正确的。材料力学就提供了解决这一矛盾的理论基础,而矛盾的解决也促进了材料力学的进一步发展。

构件的强度、刚度和稳定性问题均与所用材料的力学性质有关。材料的力学性质又必须通过实验来测定。单靠现有理论解决不了的问题,仍需借助实验来解决。因此,材料的试验研究与材料力学的理论分析是同样重要的,都是完成材料力学任务所必需的手段。

1.3 工程力学的学习方法

工程力学的研究方法是从实践出发,经过抽象化、综合和归纳,运用数学推演得到定理和结论,对于复杂的工程问题,常常需要借助计算机进行数值分析和公式推算,通过实验验证理论和计算结果的正确性。

在学习工程力学的过程中,对力学理论要勤于思考、多做练习题,做到熟能生巧。通过掌握领会本课程的内容,为学习机械后续课程打好基础,并能初步利用力学理论和方法解决工程实际中的技术问题。

本章小结

重点:本课程介绍理论力学和材料力学基础知识,学习物体受力平衡时力的分析计算方法和物体受力变形保持正常工作的条件。

难点:理解杆件的4种基本变形形式,构件能正常工作的基本要求。

思考题与习题

- 1-1 课程的内容是什么?
- 1-2 什么是刚体静力学?
- 1-3 构件正常工作的基本要求是什么?

第 2 章 构件静力分析基础

本章知识点

1. 力、刚体、平衡的概念
2. 静力学公理
3. 约束类型及约束反力
4. 受力图的绘制
5. 平面汇交力系的平衡方程
6. 力矩与力偶的概念
7. 力的平移定理
8. 平面任意力系的简化及平衡方程
9. 摩擦

2.1 力

2.1.1 力、刚体、平衡的概念

1. 力

力是物体间的机械作用。这种作用有两种效应:使物体产生运动状态的变化和形状变化。前者称为运动效应,后者称为变形效应。

物理学中学过,力有三要素:大小、方向和作用点,如图 2-1 所示。因为力是矢量,因此可用有向线段 OA 表示,矢线始端 O 表示力的作用点,矢线方向表示力的方向,按一定比例尺所作线段 OA 的长度表示力的大小。计算时,力的单位采用我国的法定计量单位 N ,目前已不再使用的原工程单位制中,力的单位是 kgf 。 N 与 kgf 的换算关系是

$$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$$

在物理学中和工程简化计算中,物体的受力一般认为力集中作用于一点,称为集中力。实际上,任何物体间的作用力都分布在有限的面积上或体积内,应为分布

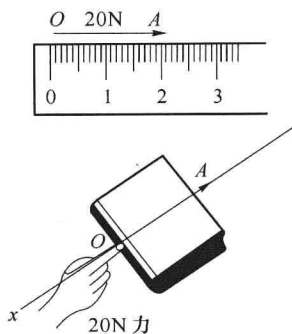


图 2-1 力的表示

力。集中力在实际中并不存在,它只是分布力的理想化模型。但由于分布力的分布规律比较复杂,因此计算时经常需要简化为集中力。

2. 刚体

刚体是在力作用下不变形的物体。实际物体在受力作用时,其内部各质点间的相对距离总要发生一定的伸长或缩短,即变形。由于这种变形通常十分微小,在对某些问题的研究中可以忽略不计,因此引入了刚体这一为分析方便而假设的力学模型。

力对刚体只有运动效应(包括平动、转动及其特例——平衡)。这样,力的三要素可改述为大小、方向、作用线。这种作用在刚体上的力沿其作用线滑移的性质称为力的可传性,如图 2-2 所示。

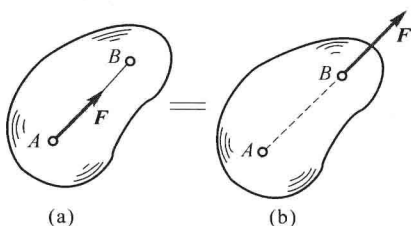


图 2-2 力的可传性

3. 平衡

平衡是指物体相对于地面处于静止或匀速直线运动状态。

本章主要是研究刚体在力系的作用下平衡规律的科学,即静力学。

2.1.2 力系

1. 力系

力系是指同时作用于一物体的若干力。

2. 平衡力系

一个力系对物体的作用使物体处于平衡状态,则此力系称为平衡力系。

3. 等效力系

如果两个力系对物体的作用效果相同,则这两个力系彼此称为等效力系。等效力系可用来简化复杂力系。若一个力与一个力系等效,这个力就称为该力系的合力,而力系中的各个力都是该合力的分力。

2.1.3 静力学公理及其推论

静力学公理是人类经过长期经验积累和实践验证总结出来的最基本的力学规律。它概括了力的一些基本性质。下面简要介绍四个公理。

1. 二力平衡公理

刚体受两个力作用,处于平衡状态的充分和必要条件是:两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上(如图 2-3 所示),即

$$F_1 = F_2$$

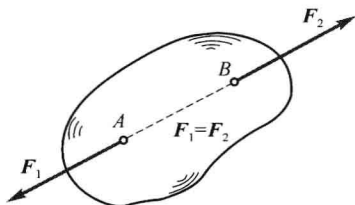


图 2-3 二力平衡

这个公理总结了作用于刚体上最简单力系平衡所必须满足的条件。这个条件对刚体来说,既必要又充分。

2. 加减平衡力系公理

在任意一个已知力系上,可随意加上或减去一平衡力系,这不会改变原力系对物体的作用效应。

这一公理对研究力系简化问题十分重要。实际上,前述力的可传性就是这一公理的推理。图 2-4(a)所示为原力系,图 2-4(b)所示为在原力系上加了一个 $F_1 = F_2$ 的平衡力系,设 $F = F_2$,显然 F 与 F_2 也构成一平衡力系,可以减去,于是变为图 2-4(c)的情况,力在刚体上成功地实现了滑移。

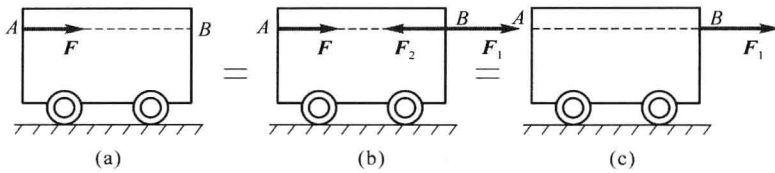


图 2-4 力的可传性证明

3. 平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个力,其作用线通过该点,合力的大小和方向由已知两力为边的平行四边形的对角线表示,这称为力的平行四边形公理或平行四边形法则。如图 2-5 所示,作用在物体 O 点上的两已知力 F_1 、 F_2 的合力为 F ,力的合成法则可写成矢量式:

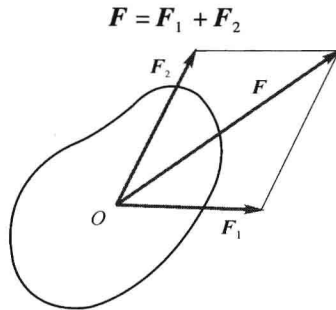


图 2-5 力的合成法则

推论(三力平衡汇交定理):当刚体受三个力作用而处于平衡时,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线必交于同一点,且三个力的作用线在同一平面内。如图 2-6 所示, F_1 、 F_2 汇交于一点 O ,则 F_3 必通过 O 点。

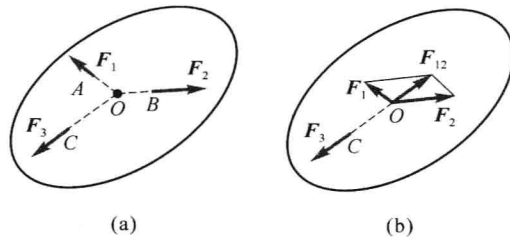


图 2-6 三力平衡汇交