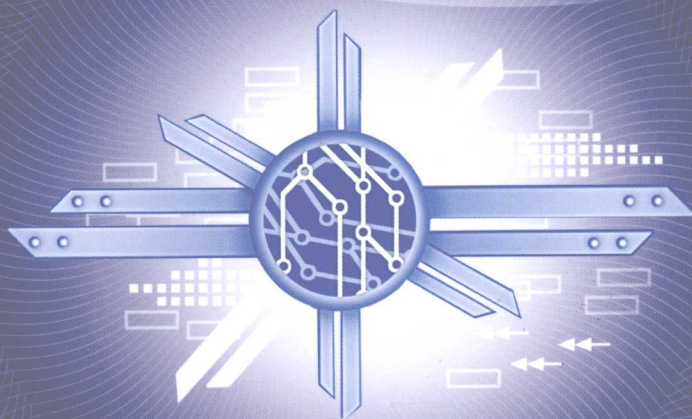




21世纪高职高专规划教材·机电类

工程力学

主编 张春梅 刘静香 主审 李 华



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高职高专规划教材·机电类

工 程 力 学

主 编 张春梅 刘静香
主 审 李 华

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书依据教育部最新制定的“高职高专教育机械类专业力学类课程教学基本要求”编写而成。

本书注重力学基本概念、基本原理、基本方法的理解和掌握,注重理论在工程实践中的应用,以利于培养学生分析问题、解决问题的能力。全书共4篇20章。第1篇静力学部分包括:静力学公理和物体的受力分析、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力系和摩擦、空间力系。第2篇运动学部分包括:点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动。第3篇动力学部分包括:质点动力学基础、刚体动力学基础、动能定理、达朗贝尔原理。第4篇材料力学部分包括:拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、弯曲、应力状态和强度理论简介、组合变形、压杆稳定、动载荷和交变应力。每章后均有思考题和习题。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机械类和近机械类专业力学课程的教材,也可供相关的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/张春梅,刘静香主编. —北京:北京理工大学出版社,2008.1
21世纪高职高专规划教材·机电类
ISBN 978-7-5640-1114-7

I. 工… II. ①张… ②刘… III. 工程力学-高等学校:
技术学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第186896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(办公室) 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/北京地质印刷厂

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/22.25

字 数/466千字

版 次/2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

印 数/1~4000册

定 价/36.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

工程力学（含理论力学、材料力学）是高等工科院校许多专业必修的技术基础课，属于古典力学的范畴。工程力学作为工科教育中重要的技术基础课，是系统地引导学生结合工程实际的一门理论课程，在学生能力和素质的培养中占有重要地位。由于科技的发展，高校的教学结构做了调整，一些前沿、时尚学科的增加，工程力学的授课时间普遍减少。但由于专业的需要，工程力学基本理论又是不可或缺的，这就对教材提出了新的要求。本书正是基于此为高等职业教育工程力学课程编写的教材。

在编写本书时，编者本着高等职业教育的特色和“必需够用”的原则，对诸多力学教材进行借鉴，结合编者的教学及实践经验，对教材内容作了精心的选择和编排。繁琐的推导过程和没有实用价值的内容尽可能省略，增加了与实践结合的工程示例，注重强化学生的工程意识，注意培养学生解决工程实际问题的能力，尽量将抽象的力学理论具体化，深入浅出、简明易懂，进一步突出了实用性，为学生后续专业的学习打好基础。

本书内容涵盖工程力学课程的基本要求。全书内容分4部分共20章：静力学公理和物体的受力分析、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力系（摩擦）、空间力系、点的运动学、刚体的简单运动、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学的基本方程、刚体动力学基础、动能定理、达朗贝尔原理、材料力学。编者本着加强力学基本概念、基本理论、基本解题方法训练的指导思想，力求在110学时内使学生掌握高职高专学生应掌握的力学知识。每章后附有思考题与习题，在加强系统性理论学习的同时，突出对基本理论、基本概念的理解。

本书适用于高等职业院校机械、机电、化工、纺织、地质和水利等专业，可作为工科类高等职业学校和大专院校的教材，也可用作夜大、函授大学、职工大学相应专业的教材及供工程技术人员参考。

本书由张春梅、刘静香任主编。参加编写的有：河南机电高等专科学校张春梅（第

9 章、第 10 章、第 12 章、第 16 章)、刘静香 (第 5 章、第 7 章、第 8 章、第 17 章)、李纯彬 (第 3 章、第 6 章、第 14 章)、郝文思 (第 1 章、第 2 章、第 4 章)、段翠芳 (第 13 章、第 15 章、第 18 章)、付靖 (第 11 章、第 19 章、第 20 章)。河南工业大学的李华教授通审了全稿并提出许多宝贵的修改意见,在此表示诚挚的谢意。

鉴于编者水平和时间因素,书中难免有疏漏或不妥之处,竭诚欢迎读者批评指正。

编者

目 录

绪论	1
----------	---

第1篇 静 力 学

第1章 静力学公理和物体的受力分析	4
§ 1.1 静力学的基本概念	4
§ 1.2 静力学公理	5
§ 1.3 约束和约束反力	7
§ 1.4 物体的受力分析和受力图	12
思考与练习	16
第2章 平面汇交力系与平面力偶系	19
§ 2.1 平面汇交力系的合成与平衡	19
§ 2.2 平面力对点之矩的概念及计算	25
§ 2.3 平面力偶	26
思考与练习	29
第3章 平面任意力系	34
§ 3.1 平面任意力系的简化	34
§ 3.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	37
§ 3.3 物体系的平衡·静定和超静定问题	42
§ 3.4 考虑摩擦时物体的平衡问题	47
思考与练习	55
第4章 空间力系	62
§ 4.1 力在空间直角坐标轴上的投影	62
§ 4.2 空间力对点的矩和力对轴的矩	64

§ 4.3 空间任意力系的平衡·····	67
§ 4.4 重心·····	74
思考与练习·····	78

第2篇 运 动 学

第5章 点的运动学·····	84
§ 5.1 矢量法·····	84
§ 5.2 直角坐标法·····	86
§ 5.3 自然法·····	88
思考与练习·····	95
第6章 刚体的基本运动·····	99
§ 6.1 刚体的平行移动·····	99
§ 6.2 刚体的定轴转动·····	101
§ 6.3 转动刚体内各点的速度和加速度·····	102
思考与练习·····	106
第7章 点的合成运动·····	109
§ 7.1 点的合成运动的概念·····	109
§ 7.2 点的速度合成定理·····	110
§ 7.3 点的加速度合成定理·····	113
思考与练习·····	118
第8章 刚体的平面运动·····	122
§ 8.1 刚体平面运动的基本概念·····	122
§ 8.2 平面图形内各点的速度·····	124
§ 8.3 用基点法求平面图形内各点的加速度·····	129
思考与练习·····	133

第3篇 动 力 学

第9章 质点动力学基础·····	138
§ 9.1 动力学的基本定律·····	138

§ 9.2 质点运动微分方程	139
思考与练习	144
第 10 章 刚体动力学基础	148
§ 10.1 刚体平移动力学基本方程	148
§ 10.2 刚体转动动力学基本方程	148
§ 10.3 刚体对轴的转动惯量	149
§ 10.4 刚体转动动力学基本方程的应用	152
思考与练习	154
第 11 章 动能定理	157
§ 11.1 力的功	157
§ 11.2 质点和质点系的动能	162
§ 11.3 动能定理	164
思考与练习	168
第 12 章 达朗贝尔原理	173
§ 12.1 惯性力 达朗贝尔原理	173
§ 12.2 刚体惯性力系的简化	176
思考与练习	180

第 4 篇 材料力学

第 13 章 轴向拉伸与压缩	186
§ 13.1 轴向拉伸与压缩的概念与实例	186
§ 13.2 截面法、轴力与轴力图	187
§ 13.3 轴向拉(压)杆横截面上的应力、斜截面上的应力	189
§ 13.4 轴向拉(压)杆的变形 胡克定律	193
§ 13.5 材料在轴向拉(压)时的力学性能	195
§ 13.6 轴向拉(压)杆的强度计算	200
§ 13.7 拉(压)超静定问题简介	202
§ 13.8 应力集中的概念	204
思考与练习	205

第 14 章 剪切和挤压	208
§ 14.1 剪切的概念和实用计算	208
§ 14.2 挤压的概念和实用计算	209
思考与练习	213
第 15 章 圆轴扭转	216
§ 15.1 圆轴扭转的概念和实例	216
§ 15.2 扭矩和扭矩图	217
§ 15.3 圆轴扭转时的应力与变形	219
§ 15.4 极惯性矩和抗扭截面系数	222
§ 15.5 圆轴扭转时的强度和刚度计算	223
§ 15.6 提高圆轴扭转强度和刚度的措施	228
思考与练习	229
第 16 章 弯曲	232
§ 16.1 平面弯曲的概念与实例	232
§ 16.2 梁的计算简图及分类	233
§ 16.3 剪力和弯矩 剪力图和弯矩图	234
§ 16.4 剪力、弯矩与分布载荷集度之间的微分关系	239
§ 16.5 纯弯曲梁横截面上的正应力	243
§ 16.6 截面惯性矩 平行移轴公式	247
§ 16.7 梁的切应力简介	250
§ 16.8 梁弯曲时的强度计算	251
§ 16.9 梁弯曲时的变形	254
§ 16.10 用变形比较法解简单超静定梁	259
§ 16.11 提高梁强度和刚度的措施	260
思考与练习	263
第 17 章 应力状态与强度理论	269
§ 17.1 应力状态的概念	269
§ 17.2 二向应力状态下的应力分析——解析法、图解法	271
§ 17.3 三向应力状态简介 广义胡克定律	278
§ 17.4 强度理论概述	280
思考与练习	285

第 18 章 组合变形	288
§ 18.1 拉（压）弯组合变形的强度计算	289
§ 18.2 弯扭组合变形的强度计算	294
思考与练习	298
第 19 章 压杆稳定	302
§ 19.1 压杆稳定的概念	302
§ 19.2 压杆的临界力和临界应力	303
§ 19.3 压杆稳定性校核	309
§ 19.4 提高压杆稳定性的措施	310
思考与练习	312
第 20 章 动载荷和交变应力	315
§ 20.1 动载荷的概念及惯性力问题	315
§ 20.2 构件受冲击时的应力计算	318
§ 20.3 交变应力的概念 材料的持久极限	320
§ 20.4 构件的持久极限 疲劳强度计算	324
思考与练习	326
附录 型钢表	330
附表 1 热轧等边角钢（GB 9787—1988）	330
附表 2 热轧不等边角钢（GB 9788—1988）	336
附表 3 热轧槽钢（GB 707—1988）	340
附表 4 热轧工字钢（GB 707—1988）	343
参考文献	346

绪 论

1. 工程力学的主要内容及其任务

工程力学涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术学科。作为高等工科学校的一门学科，工程力学只是最基础的部分。它包含了静力学、运动学、动力学、材料力学四个部分。

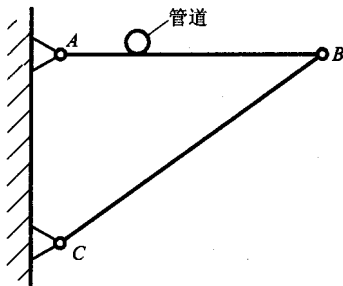
静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。运动学只从几何角度研究物体的运动（如轨迹、速度、加速度），而不研究引起物体运动的原因。动力学研究作用于物体上的力和运动之间的关系。材料力学研究物体在外力作用下的强度（构件在外力作用下抵抗破坏的能力）、刚度（构件在外力作用下抵抗弹性变形的能力）、稳定性（细长杆在压力作用下保持原有直线平衡状态的能力）问题。

工程力学是既与工程又与力学密切相关的课程。在工程设计中具有极其重要的地位和作用。我们用下面两个例子来说明。

例绪 1 图绪-1 为支承管道的三角托架，它是由水平杆 AB 和斜杆 BC 两个构件组成的。为设计这个结构，从力学计算来说，包括下述两个方面的内容。

首先，必须确定作用在各个构件上有哪些力以及它们的大小和方向。概括来说就是对处于静止状态的物体进行受力分析。这正是静力学所要研究的问题。

其次，在确定了作用在构件上的外力以后，还必须为构件选用合适的材料，确定合理的截面形状和尺寸，以保证构件既能安全可靠的工作又符合经济要求。所谓“安全可靠的工作”是指在载荷作用下构件有足够的强度、刚度和稳定性，这正是材料力学所要研究的问题。



图绪-1 三角托架

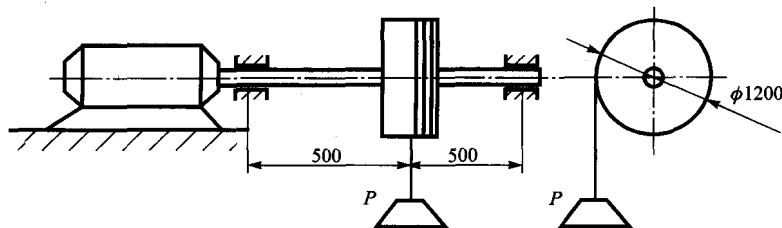
例绪 2 图绪-2 为卷扬机。当它开动时，鼓轮转动，重物以某一加速度上升。如果要设计该传动轴，在力学计算中，应包括下述内容。

首先，必须确定卷扬机工作时，传动轴上所受的力。这就要用到静力学和动力学的知识。其次，还要为传动轴选择合适的直径，以保证它有足够的强度和刚度。强度和刚度问题正是材料力学所要研究的中心问题。

由上面两个例子可以看出，任何工程结构或机械的设计计算都离不开力学的知识。工程力学的任务就在于为各类工程结构的力学计算提供基本的理论和方法。

2. 工程力学的研究对象与模型

工程力学是研究自然界以及各种工程中机械运动（物体在空间的位置随时间的变化）



图绪-2 卷扬机

最普遍、最基本的规律，以指导人们认识自然界，科学地从事工程技术工作。自然界与各种工程中涉及机械运动的物体有时是很复杂的，工程力学研究其机械运动时，必须忽略一些次要因素的影响，对其进行合理简化，抽象出研究模型。由观察和试验可知，在外力作用下，任何物体均会变形。为了保证机械或结构物的正常工作，在工程中通常把各构件的变形限制在很小的范围内，它与构件的原始尺寸相比是微不足道的。所以当我们对物体进行受力分析，研究物体的平衡与运动时，可以把物体视为刚体。而且，当物体的形状和尺寸不影响所研究问题的本质时，还可以把物体简化为质点来研究，由若干质点组成的系统称为质点系。但在材料力学中，研究构件的强度、刚度和稳定性问题时，变形则成为不可忽略的因素，则把物体视为变形体。

3. 工程力学在专业学习中的地位和作用

工程力学是机械类及近机械类专业的一门技术基础课。这门课程讲述力学的基础理论和基本知识，以及处理工程力学问题的基本方法，在专业课与基础课之间起桥梁作用。它为机械原理、机械零件等后继课程提供必要的理论基础。

学习工程力学不仅要深刻理解力学的基本概念和基本定律，并且还要牢固地掌握由此而导出的解决工程力学问题的定理和公式，同时也要注意培养自己处理工程力学问题的能力。为达此目的，认真读书，演算一定数量的习题，并注意联系专业中的力学问题是最重要的途径。

第 1 篇

静 力 学

静力学研究的是刚体在力系作用下的平衡。这是指物体相对于地面处于静止状态或匀速直线运动状态。如房屋、桥梁、工厂中的各种固定设备以及机械零件运动速度很低或加速度很小时，都可视为平衡状态。

静力学主要研究三个问题：① 物体的受力分析，即分析物体受哪些力作用，以及这些力的大小、方向、作用点的位置。② 力系的简化，即将作用于物体上的力系化为最简单的形式。③ 建立各种力系的平衡条件，即研究作用在物体上的各种力系所需满足的平衡条件。利用平衡条件，确定各个力的大小，是各类工程问题中力的计算的最主要部分，是设计机构、构件和机械零件时静力计算的基础。

第 1 章

静力学公理和物体的受力分析

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将介绍刚体与力的概念及静力学公理，并阐述工程中常见的约束和约束反力的分析。最后介绍物体的受力分析及受力图，它是解决力学问题的重要环节。

§ 1.1 静力学的基本概念

1. 刚体

所谓刚体是指在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形。但是，这些微小的变形，对研究物体的平衡问题不起主要作用，可以略去不计，这样可使问题的研究大为简化。在静力学研究的物体只限于刚体，故又称刚体静力学。

2. 力

力是物体间相互的机械作用，这种作用产生的效应一般表现在两个方面：一是物体运动状态的改变，另一个是物体形状的改变。通常把前者称为力的运动效应，后者称为力的变形效应。

实践表明，力对物体的作用效果应决定于三个要素：

- (1) 力的大小。
- (2) 力的方向。
- (3) 力的作用点。

我们可用一个矢量来表示力的三个要素，如图 1-1 所示。这矢量的长度 (AB) 按一定的比例尺表示力的大小，矢量的方向表示力的方向，矢量的始端 (点 A) 表示力的作用点，矢量 $\overrightarrow{AB}$ 所沿着的直线 (图 1-1 上的虚线) 表示力的作用线。我们常用黑体字母 $\mathbf{F}$ 表示力是矢量，而用普通字母 F 表示力的大小。

若以 $\mathbf{F}_0$ 表示沿矢量 $\mathbf{F}$ 方向的单位矢 (图 1-2)，则力矢 $\mathbf{F}$ 可写成

$$\mathbf{F} = F \mathbf{F}_0$$

即力的矢量可以用它的模 (即力的矢量大小) 和单位矢量的乘积表示。

在国际单位制 (SI) 中，以 “N” 作为力的单位符号，称作牛顿。在工程中有时也以

“kN”作为力的单位符号，称作千牛。

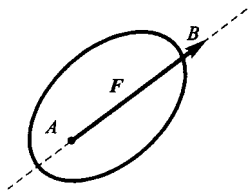


图 1-1 力矢图

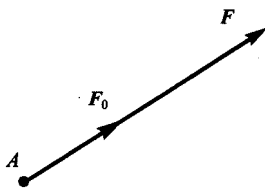


图 1-2 单位力矢图

3. 力系与平衡

所谓力系，是指作用于物体上的一群力。如果一个力系作用于物体上而不改变物体的原有运动状态，则称该力系为平衡力系。如果两个力系对同一物体的作用效应完全相同，则称这两个力系为等效力系。如果一个力对物体的作用效应和一个力系对同一物体的作用效应完全相同，则该力称为力系的合力，力系中的每一个力称为该合力的分力。求力系的合力的过程，称为力系的简化，是静力学的一个重点。

§ 1.2 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结，又经过实践反复检验，被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律，是进行逻辑推理计算的基础与准则。

1. 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是这两个力的大小相等，方向相反，且在同一直线上，如图 1-3 所示，即

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

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。

2. 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。就是说，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用是相同的，因此可以等效替换。这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

根据上述两公理可以导出推论 1：

力的可传性定理：作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：设有力 $\mathbf{F}$ 作用在刚体上的点 A ，如图 1-4 (a) 所示。根据加减平衡力系原理，

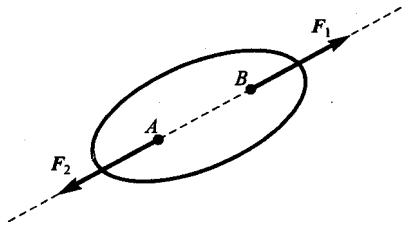


图 1-3 二力平衡图

可在力的作用线上任取一点 B ，并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，使 $F = F_2 = -F_1$ ，如图 1-4 (b) 所示。由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系，故可除去；这样只剩下一个力 F_2 ，如图 1-4 (c) 所示，即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

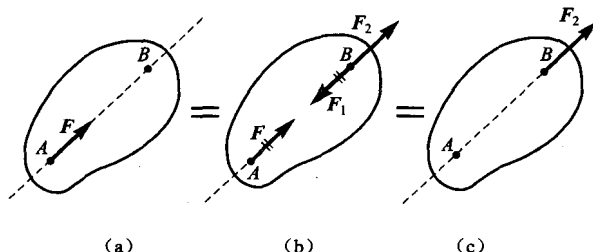


图 1-4 力的可传形图

(a) 作用于 A 点的力 F ；(b) 加在 B 点的平衡力 F_1 和 F_2 ；
(c) 力 F 平移到 B 点

由此可见，对于刚体来说，力的三要素是：力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

3. 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。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定，如图 1-5 (a) 所示。或者说，合力矢等于这两个力矢的几何和，即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

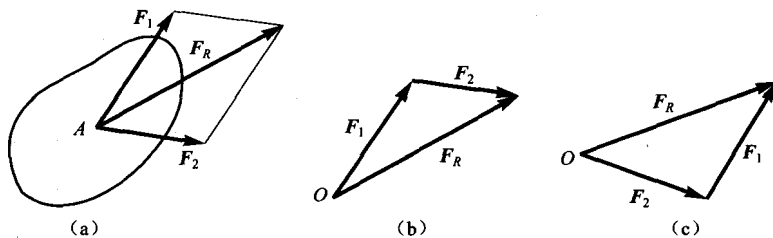


图 1-5 力的合成图

(a) 平行四边形法则合成作用于 A 点的二力 F_1 、 F_2 ；(b) 三角形法则合成作用于 A 点的二力 F_1 、 F_2 ；
(c) 三角形法则应用时力的不同合成次序

这个公理表明了最简单力系的简化规律，它是复杂力系简化的基础。

应用此公理求两汇交力合力的大小和方向（即合力矢）时，可由任一点 O 起，另作一个力的三角形，如图 1-5 (b、c) 所示。三角形的两个边分别为力矢 F_1 和 F_2 ，第三边 F_R ，即代表合力矢，而合力的作用点仍在汇交点 A 。简称力的三角形法则。

根据上述公理可以导出推论 2：

三力平衡汇交定理：刚体在三个力作用下平衡，则此三力必在同一平面内，且三个力的作用线汇交于一点。

证明：如图1-6所示，在刚体的A、B、C三点上，分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点O，然后根据力的平行四边形规则，得合力 F_{12} 。则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两个力平衡必须共线，所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 与 F_2 的交点O。于是定理得证。

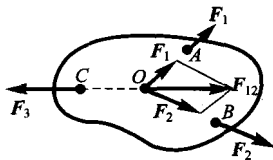


图1-6 三力汇交定理

4. 作用和反作用定律

两物体之间的作用力和反作用力总是同时存在，两力的大小相等、方向相反，沿着同一直线，分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理概括了物体间相互作用的关系，表明作用力和反作用力总是成对出现的。但是必须强调指出，由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上，因此，不能认为作用力与反作用力相互平衡。

5. 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体作为刚体模型的条件——平衡。如绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化成刚体，其平衡状态保持不变。若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下并不能平衡，这时绳索就不能刚化为刚体。但刚体在上述两种力系的作用下都是平衡的。

由此可见，刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。在刚体静力学的基础上，考虑变形体的特性，可进一步研究变形体的平衡问题。

静力学的全部结论都可以由上述5个公理推证而得到。

§1.3 约束和约束反力

1. 约束的概念

有些物体，例如：飞行的飞机、炮弹和火箭等，它们在空间的位移不受任何限制。位移不受限制的物体称为自由体。相反有些物体在空间的位移却要受到一定的限制。如机车受铁轨的限制，只能沿轨道运动；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动；重物由钢索吊住，不能下落等。位移受到限制的物体称为非自由体。

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。

约束阻碍物体的位移，约束对物体的作用就是力，这种力称为约束反力，简称反力。因此，约束反力的方向必与该约束所能阻碍的位移方向相反。应用这个准则，可以确定约束反力的方向或作用线的位置，至于约束反力的大小则是未知的。

物体独立运动的方程个数，称为物体的自由度，空间物体的自由度为6，平面的为3，