



高：_____类校企合作系列教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU GUIDAO JIAOTONG LEI XIAOQI HEZUO XILIE JIAOCAI

土建力学

TUJIAN LIXUE

主 编 ● 刘玉欣 满吉芳
副主编 ● 梁启龙
参 编 ● 张聚贤 姜雄基
主 审 ● 解宝柱



通类校企合作系列教材

土建力学

主 编 刘玉欣 满吉芳
副主编 梁启龙
参 编 张聚贤 姜雄基
主 审 解宝柱

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本书主要面向高职高专培养应用型人才的院校。全书共分为 10 个项目, 主要包括静力学基本知识、工程构件的受力分析、静定结构的支座反力计算、轴向拉压杆的承载能力分析、工程中连接件的承载能力分析、圆轴的承载能力分析、梁的内力与承载能力分析、组合变形构件的强度分析、细长受压杆件的稳定性分析、静定结构的内力分析。本书知识点的选取符合高等职业院校人才培养的要求, 符合必需、够用的原则。

本书可作为高等职业院校铁道工程专业、高速铁路技术专业、桥梁与隧道工程专业、道路桥梁工程技术专业等教学使用, 也可供土建工程技术人员研究力学基本知识参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土建力学 / 刘玉欣, 满吉芳主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.8
ISBN 978-7-5643-5013-0

I. ①土… II. ①刘… ②满… III. ①土木工程—工程力学—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 215371 号

土 建 力 学

主 编 刘玉欣 满吉芳

责 任 编 辑 姜锡伟
封 面 设 计 何东琳设计工作室

出 版 发 行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮 政 编 码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司

成 品 尺 寸 185 mm × 260 mm

印 张 15.5

字 数 384 千

版 次 2016 年 8 月第 1 版

印 次 2016 年 8 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-5013-0

定 价 33.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

根据高等职业院校的人才培养目标,为了适应工学结合的人才培养模式,编者结合多年工程力学教学经验,吸取《材料力学》《工程力学》《结构力学》等教材内容的经验,按照教学改革的要求,选取教材内容。本书以学生为主体,语言表述简单明了,内容由浅入深,使高职学生在有限的学时内,能够了解土建力学的基本知识,掌握基本技能;选取工程实际中的结构构件进行分析,培养学生分析工程问题和解决工程问题的基本能力。工程力学课是工程专业学生的一门专业基础课,为后续专业课程的学习提供理论基础。本书为高职院校工程力学课程实用教材。

本书共分为 10 个项目,内容涵盖:静力学部分内容,主要介绍静力学基本知识、工程构件的受力分析、静定结构的支座反力计算;材料力学部分内容,主要介绍四种基本变形杆件以及组合变形杆件的内力和承载能力分析、细长压杆的稳定性分析;结构力学部分内容,主要介绍静定结构的内力分析。

本书总学时计划为 84 学时。

本书由辽宁铁道职业技术学院刘玉欣、满吉芳担任主编,辽宁铁道职业技术学院梁启龙担任副主编,辽宁铁道职业技术学院张聚贤、姜雄基参编,辽宁铁道职业技术学院解宝柱教授主审。绪论、项目 5、项目 10 由刘玉欣编写;项目 1、项目 2 由张聚贤编写;项目 3、项目 4、项目 8 由满吉芳编写;项目 6、项目 7 由梁启龙编写;项目 9 由姜雄基编写。

由于编者水平有限,书中难免存在一定问题,敬请读者批评指正,提出宝贵意见。

编 者

2016 年 7 月

目 录

绪 论	1
项目小结	3
习 题	3
项目 1 静力学基本知识	4
任务 静力学基本概念、基本公理	4
项目小结	10
习 题	11
项目 2 工程构件的受力分析	12
任务一 工程构件受力分析基础知识	12
任务二 工程单体构件受力分析	17
任务三 工程结构受力分析	19
项目小结	22
习 题	23
项目 3 静定结构的支座反力计算	25
任务一 力矩和力偶	26
任务二 三铰支架的反力计算	29
任务三 梁和刚架的反力计算	34
任务四 三铰拱的受力计算	42
任务五 多跨静定梁的反力计算	44
项目小结	46
习 题	49
项目 4 轴向拉压杆的承载能力分析	52
任务一 轴向拉压杆的内力计算及轴力图的绘制	53
任务二 轴向拉压杆横截面上的正应力的计算	57
任务三 轴向拉压杆的强度条件的应用	60
任务四 轴向拉压杆的变形计算	65

任务五 材料在拉伸和压缩时的力学性能	69
项目小结	73
习 题	75
项目 5 工程中连接件的承载能力分析	78
任务一 工程中连接件的认识	79
任务二 剪切和挤压的实用计算	81
项目小结	85
习 题	86
项目 6 圆轴的承载能力分析	88
任务一 工程构件典型截面几何性质的计算	89
任务二 工程中扭转构件的认识	96
任务三 扭转内力的计算与扭矩图的绘制	99
任务四 圆轴扭转强度条件的应用	102
任务五 圆轴扭转变形和刚度的计算	105
项目小结	108
习 题	109
项目 7 梁的内力与承载能力分析	111
任务一 梁的内力图的绘制	112
任务二 纯弯曲梁横截面上的正应力、剪应力的计算	124
任务三 梁的弯曲强度条件的应用	133
任务四 梁的变形和刚度的计算	138
任务五 提高梁的强度和刚度的措施	146
项目小结	150
习 题	150
项目 8 组合变形构件的强度分析	162
任务一 斜弯曲杆件强度计算	163
任务二 偏心压缩杆件强度计算	167
项目小结	172
习 题	173
项目 9 细长受压杆件的稳定性分析	176
任务一 压杆稳定的临界力与临界应力计算	177
任务二 压杆稳定计算	183
任务三 提高压杆稳定性的措施	186

项目小结	187
习 题	188
项目 10 静定结构的内力分析	191
任务一 体系的几何组成分析	191
任务二 多跨静定梁的内力分析	203
任务三 静定平面刚架的内力分析	207
任务四 静定平面桁架的内力分析	213
项目小结	220
习 题	220
参考文献	227
附录 型钢表	228

绪 论



项目描述

工程力学课程是铁道工程专业、道路与桥梁工程专业、高速铁路技术专业、桥梁与隧道工程专业、土木工程专业的一门专业基础课，主要为土建工程结构的受力分析提供理论基础。本教材依据高职院校人才培养目标的要求，对力学的知识点重新进行整合，内容主要涵盖了理论力学中静力学、材料力学、结构力学等基本知识，以满足从事土建工程专业的学生对力学基本知识的学习，满足实用性的要求。



学习目标

- (1) 能够说明土建力学的研究对象。
- (2) 能描述土建力学的研究任务。



任务描述

一座简支梁桥中，哪些部分是土建力学的研究对象？主要研究任务是什么？



学习引导

本任务学习思路：

学习土建力学的研究对象，明确土建力学的研究任务。

一、相关知识

1. 土建力学的研究对象

在土建工程中有桥梁、涵洞、房屋建筑、水利工程等建筑物，在建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分称为结构。结构是由若干构件按一定方式组合而成的。组成结构的各单独部分称为构件。结构受荷载作用时，如不考虑建筑材料的变形，其几何形状和位置不会发生改变。

结构按其几何特征分为三种类型。

(1) 杆系结构：由杆件组成的结构。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的宽度和高度。

(2) 薄壁结构：由薄板或薄壳组成。薄板或薄壳的几何特征是其厚度远远小于另两个方向的尺寸。

(3) 实体结构：由块体构成。其几何特征三个方向的尺寸基本为同一数量级。

土建力学的研究对象主要是杆系结构。

2. 土建力学的研究任务

土建力学的任务是研究静力学基本知识、结构的几何组成规律,以及在荷载的作用下结构和构件的强度、刚度和稳定性问题。

强度是指抵抗破坏的能力。满足强度要求就是要求结构的构件在正常工作时不发生破坏。

刚度是指抵抗变形的能力。满足刚度要求就是要求结构的构件在正常工作时产生的变形不超过允许范围。

稳定性是指结构或构件保持原有的平衡状态的能力。满足稳定性要求就是要求结构的构件在正常工作时不突然改变原有平衡状态,避免因变形过大而破坏。

进行结构设计时,要求在受力分析基础上,进行结构的几何组成分析,使各构件按一定的规律组成结构,以确保在荷载的作用下结构几何形状不发生突变。结构正常工作必须满足强度、刚度和稳定性的要求。

知识点重新进行整合后的土建力学主要研究以下几个部分的内容。

(1) 静力学知识。

该部分包括静力学基本知识、工程构件的受力分析、静定结构的反力计算等刚体静力学基础理论。

(2) 材料力学部分知识。

该部分包括轴向拉压杆的承载能力分析、工程中连接件的承载能力分析、圆轴的承载能力分析、梁的内力与承载能力分析、组合变形构件的承载能力分析、细长受压杆件的稳定性分析等。

(3) 结构力学部分知识。

该部分包括研究结构的组成规律、静定结构的内力分析。

3. 力学模型

土建力学中将物体抽象化为两种计算模型:刚体和理想变形固体。

刚体是在外力作用下形状和尺寸都不改变的物体。实际上,任何物体受力的作用后都发生一定的变形,但在一些力学问题中,物体变形这一因素与所研究的问题无关或对其影响甚微,这时可将物体视为刚体,从而使研究的问题得到简化。

理想变形固体是对实际变形固体的材料理想化。对理想变形固体,我们作出以下假设:

(1) 连续性假设。认为物体的材料结构是密实的,物体内材料是无空隙连续分布的。

(2) 均匀性假设。认为材料的力学性质是均匀的,从物体上任取或大或小的一部分,材料的力学性质均相同。

(3) 各向同性假设。认为材料的力学性质是各向同性的,材料沿不同方向具有相同的力学性质,而各方向力学性质不同的材料称为各向异性材料。本教材中仅研究各向同性材料。

按照上述假设理想化的一般变形固体称为理想变形固体。刚体和变形固体都是力学中不可少的理想化的力学模型。

变形固体受荷载作用时将产生变形。当荷载撤去后,可完全消失的变形称为弹性变形;不能恢复的变形称为塑性变形或残余变形。在多数工程问题中,要求构件只发生弹性变形。工程中,大多数构件在荷载的作用下产生的变形量若与其原始尺寸相比很微小,称为小变形。小变形构件的计算,可采取变形前的原始尺寸并可略去某些高阶无穷小量,可大大简化计算。

综上所述，土建力学把所研究的结构和构件看作连续、均匀、各向同性的理想变形固体，在弹性范围内和小变形情况下研究其承载能力。

二、任务实施

举例说明常见的建筑物中土建力学的研究对象。

分析：常见的简支梁桥结构中的梁、桥墩，桁架结构中的弦杆等都可以简化为杆系结构，因此都是土建力学的研究对象。

项目小结

绪论中主要介绍了土建力学的研究对象、研究任务及力学模型。

（1）研究对象：杆系结构。

（2）研究任务：研究静力学基本知识、结构的几何组成规律，以及在荷载的作用下结构和构件的强度、刚度和稳定性问题。

（3）力学模型：刚体和理想变形固体。

习 题

0-1 土建力学的研究对象是什么？

0-2 土建力学的研究任务是什么？

0-3 阐述土建力学的力学模型。

0-4 叙述强度、刚度、稳定性的概念。

0-5 什么是刚体？土建力学中研究什么问题时按照刚体模型考虑？

项目1 静力学基本知识



项目描述

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学，它为学习一系列后续课程打下基础，如结构设计原理、土力学及流体力学等。因此，掌握静力学基本概念和基本公理是非常重要的。本项目将阐述静力学基本概念和静力学基本公理。



学习目标

1. 知识目标

- (1) 能够叙述力、力系、平衡等基本概念。
- (2) 能够叙述静力学基本公理及推论。

2. 能力目标

- (1) 能够准确区分力与力系。
- (2) 能够正确运用静力学基本公理解决实际问题

3. 素质目标

- (1) 培养学生分析问题和解决实际问题的能力。
- (2) 培养学生严谨认真的学习和工作态度。



教学重难点

1. 教学重点

静力学基本公理及推论

2. 教学难点

静力学基本公理及推论

任务 静力学基本概念、基本公理



任务描述

以生活中常见的物体为例，如桌子、橡皮筋、皮球等，分析其受力情况和平衡状态，说明静力学基本公理及推论的适用范围。



学习引导

本任务学习思路：

- (1) 分析物体所受力情况。

(2) 判断物体平衡状态。

(3) 说明静力学基本公理的适用范围。

一、相关知识

1. 力

(1) 力的概念及分类。

力是物体间的相互机械作用。其作用效应有两种：一种使物体的运动状态发生改变，即使物体的运动速度大小或运动方向发生改变，称为力的运动效应或外效应。例如踢球，人对球施加了力，使球的速度大小或运动方向发生了改变。另一种使物体的形态发生改变，称为力的变形效应或内效应。例如打铁，人对铁施加了力，使铁的形态发生了改变。一般而言，这两种效应是同时存在的。但为了简化研究问题，通常将二者分开来研究。本章主要研究力的外效应。

根据力的相互作用范围，将力分为集中力和分布力两大类。

① 集中力。

集中力是指作用于物体上某一点处的力。事实上，任何两物体间的相互作用不可能局限于一个无面积的点上，即力不可能作用于一点上，而是作用于一块面积上，但当作用面积相对于物体尺寸很小时，可近似看作一点。如列车车轮作用于钢轨上的压力，轮轨接触实际上属于面-面接触，但相对于钢轨尺寸而言，接触面积很小，可等效为一个点，即车轮压力可视为集中力。

② 分布力。

当作用面积相对较大而不能简化为集中力时，作用于构件上的外力应简化为分布力。当荷载连续作用于整个物体的体积上时，称为体荷载，如物体的重力；当荷载连续作用于物体的某一表面上时，称为面荷载，如风、雪、水对物体的压力；当分布荷载可以简化为沿物体中心线分布的平行力时，称为线荷载，如梁的自重，可以简化为沿梁轴线分布的线荷载。单位长度上所受力的大小，称为分布力在该处的荷载集度，可用符号 q 表示。若 q 为一常数，则该荷载称为均布荷载；反之，若 q 为一非常数，则该荷载称为非均布荷载；体荷载的荷载集度单位符号是 N/m^3 或 kN/m^3 ，面荷载的荷载集度单位符号是 N/m^2 或 kN/m^2 ，线荷载的荷载集度单位符号是 N/m 或 kN/m 。

(2) 力的三要素。

① 力的大小。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度。

② 力的方向。力的方向包括方位和指向两个含义。如重力的方向是“铅垂向下”的，“铅垂”是力的方位，“向下”是力的指向。

③ 力的作用点。力的作用点是指物体受力作用的位置。

以上三个因素，称为力的三要素。要确定一个力，就必须说明它的大小、方向及作用点。因此，力是一个既有大小又有方向的量，即矢量。通常用一个带有箭头的线段表示力，如图 1-1-1 所示。线段的长度表示力的大小，线段的方位和指向表示力的方向，线段的起点（或终点）表示力的作用点。线段所在的直线称为力的作用线。本书中，用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 、 $\boldsymbol{P}$ 表示力矢量，而用普通字母 F 、 P 表示矢量的大小。

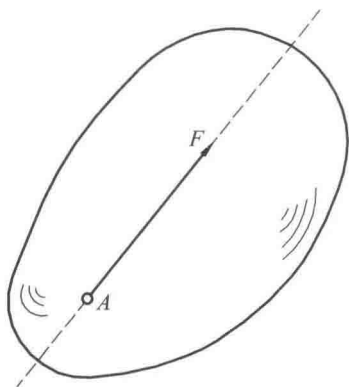


图 1-1-1

2. 力系

力系是指作用于物体上的一组力。在不改变作用效果的前提下，用一个简单力系代替一个复杂力系，称为力系的简化或力系的合成。对物体作用效果相同的力系，称为等效力系。如果一个力和一个力系等效，则称此力为该力系的合力，而力系中各个力都是其合力的分力。

按照作用线分布情况，将力系分为以下几种。

(1) 平面力系。

所有力的作用线在同一平面内的力系为平面力系。平面力系又可分为：

① 平面汇交力系。

平面汇交力系是指所有力的作用线汇交于同一点的平面力系。

② 平面平行力系。

平面平行力系是指所有力的作用线都相互平行的平面力系。

③ 平面任意力系。

平面任意力系是指所有力的作用线既不汇交于同一点，又不相互平行的平面力系。

(2) 空间力系。

所有力的作用线不在同一平面内的力系为空间力系。空间力系又可分为：

① 空间汇交力系。

空间汇交力系是指所有力的作用线汇交于同一点的空间力系。

② 空间平行力系。

空间平行力系是指所有力的作用线都相互平行的空间力系。

③ 空间任意力系。

空间任意力系是指所有力的作用线既不汇交于同一点，又不相互平行的空间力系。

由于平面力系是空间力系的特殊情况，而汇交力系和平行力系又是任意力系的特殊情况，因此，空间任意力系是最复杂、最普遍、最一般的形式，其他各种力系都是它的一种特殊情况。

3. 静力学基本公理

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。

公理 1 力的平行四边形法则

作用于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, 由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定, 如图 1-1-2 (a) 所示。也可作一力三角形, 求两汇交力合力的大小和方向, 即合力矢, 如图 1-1-2 (b)、(c) 所示。换言之, 作用于物体上同一点的两个力的合力, 等于这两个力的矢量和, 即

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

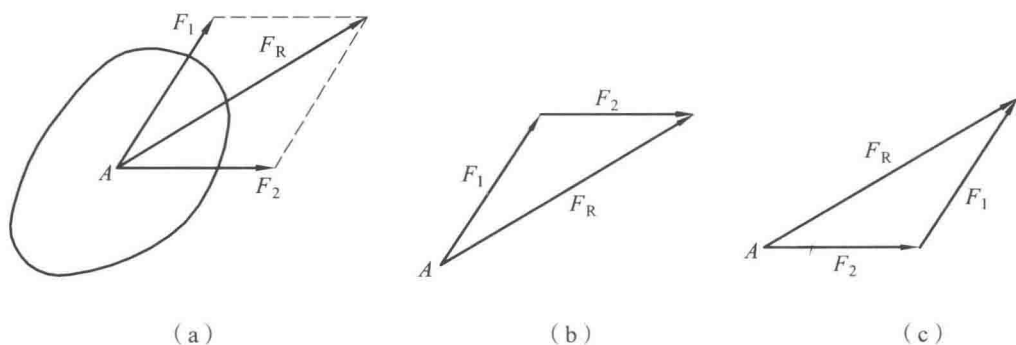


图 1-1-2

公理 2 二力平衡公理

刚体在两个力作用下保持平衡的充分必要条件是: 这两个力大小相等, 方向相反, 作用在同一直线上。这个公理说明了刚体在两个力作用下处于平衡状态时应满足的条件, 如图 1-1-3 所示。

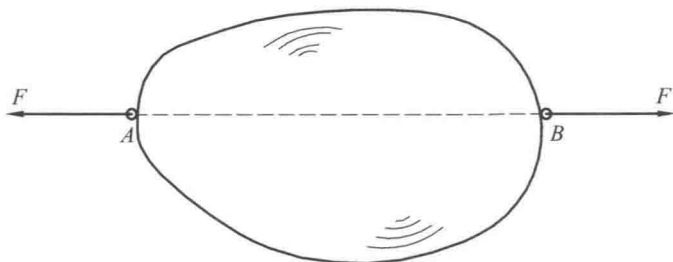


图 1-1-3

对于只受两个力作用而处于平衡状态的构件, 称为二力构件, 如图 1-1-4 所示。根据二力平衡条件可知: 二力构件不论其形状如何, 所受两个力的作用线必沿二力作用点的连线。若一根直杆只在两点受力作用而处于平衡, 则此两力作用线必与杆的轴线重合, 此杆称为二力杆件, 如图 1-1-5 所示。

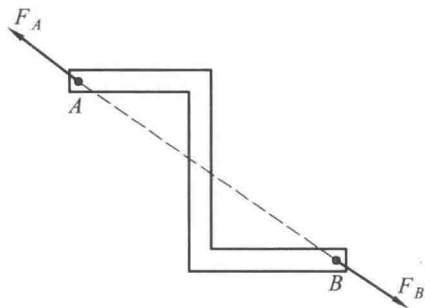


图 1-1-4

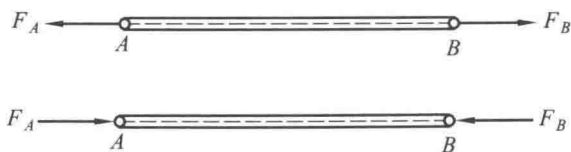


图 1-1-5

必须指出：二力平衡公理只适用于刚体，不适用于柔体，例如，绳索的两端受到大小相等、方向相反、沿同一直线作用的两个压力，是不能平衡的。

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

根据上述公理可以导出下列推论：

推论 1 力的可传性

作用于刚体上某一点的力，可以沿其作用线平移至刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：(1) 设力 F 作用于刚体上的 A 点处，如图 1-1-6 (a) 所示。

(2) 根据加减平衡力系公理，可在力的作用线上任取一点 B ，并加上一对平衡力系 F_1 和 F_2 ，使得 $F=F_1=-F_2$ ，如图 1-1-6 (b) 所示。

(3) 由于 F 和 F_2 是一个平衡力系，故可除去，这样只剩下作用于 B 点的力 F_1 ，如图 1-1-6 (c) 所示。

(4) 力 F_1 和原力 F 等效，就相当于把作用于 A 点的力 F 沿其作用线移动到 B 点。

由此可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力作用效应的要素，它已为作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力矢量可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

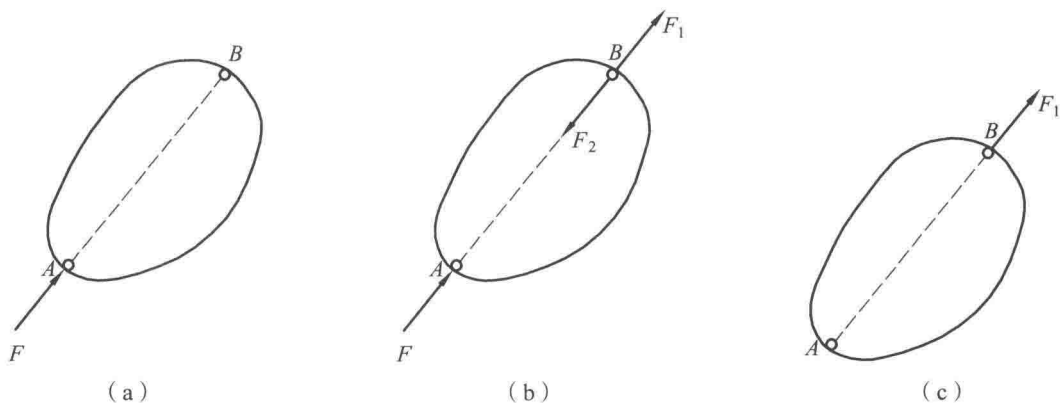


图 1-1-6

推论 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线必通过汇交点。

证明：(1) 设刚体的 A 、 B 、 C 三点上，分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 和 F_3 ，如图 1-1-7 (a) 所示。

(2) 根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O ，并根据力的平行四边形法则，得合力 F_{12} 。则力 F_3 应与 F_{12} 平衡，如图 1-1-7 (b) 所示。

(3) 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 和 F_2 的交点 O 。

于是定理得证。

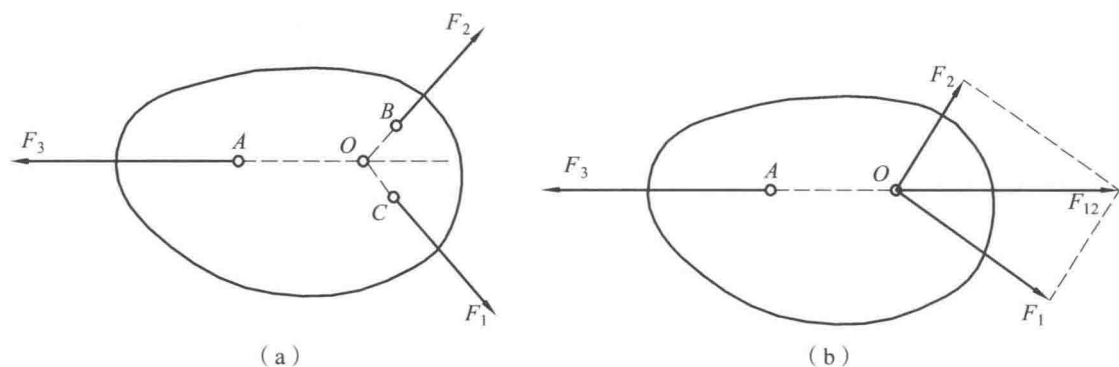


图 1-1-7

公理 4 作用和反作用公理

作用力和反作用力总是同时存在，它们大小相等、方向相反，沿同一条直线分别作用在两个相互作用的物体上。若用力 F 表示作用力，又用力 F' 表示反作用力，则

$$F = -F'$$

该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。由于作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上，因此，不能将其视作平衡力系。如地面上有一个处于静止状态的物体（图 1-1-8），物体对地面有一个作用力 F_N 作用在地面上，而地面对物体有一个反作用力 F'_N 作用在物体上，力 F'_N 和 F_N 大小相等、方向相反，沿同一条直线分别作用在地面和物体上，是一对作用力和反作用力。物体在力 G 和力 F'_N 作用下处于平衡，因此，力 G 和力 F'_N 是一对平衡力。

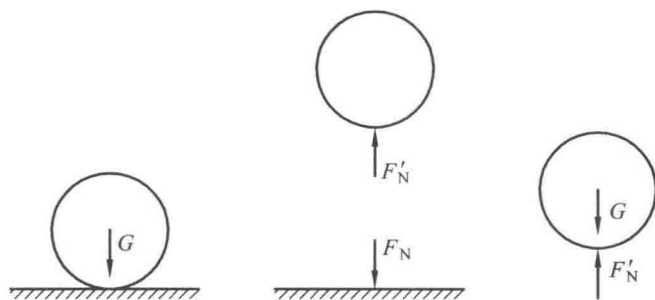


图 1-1-8

公理 5 刚化原理

变形体在某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。

该公理提供了变形体刚化的条件。如图 1-1-9 所示，绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化为刚体，其平衡状态保持不变。反之则不一定成立，如刚体在两个等值反向的压力作用下平衡，而绳索则无法平衡。

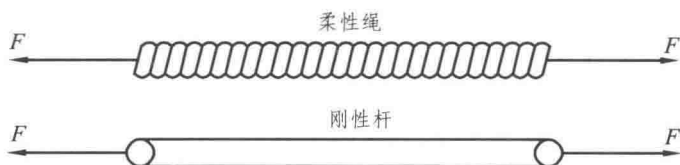


图 1-1-9

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。

静力学全部理论都可以由以上五个公理推证而得,这既能保证理论体系的完整性和严密性,又能培养读者的逻辑思维能力。

二、任务实施

2人一组,以生活中常见的物体为基础,举例说明静力学基本公理及推论的适用范围。

分析:

(1) 二力平衡公理。

分别对木杆和绳索施加一对等大的平衡压力,木杆保持平衡,而绳索发生变形,即不能保持平衡。因此,二力平衡公理只适用于刚体,而不适用于柔性体。

(2) 加减平衡力系公理。

静止在地面上的木杆和绳索在重力 G 和地面支持力 F_N 作用下处于平衡状态,现分别对木杆和绳索施加一对等大的平衡压力,木杆保持平衡,而绳索发生变形,即不能保持平衡。因此,加减平衡力系公理只适用于刚体,而不适用于柔性体。

(3) 力的可传性。

橡皮筋一端系在墙壁上,若在其中点处施加力 F ,橡皮筋伸长 ΔL ,现将力 F 移动至橡皮筋另一端,其伸长量为 $2\Delta L$,由此可见,力的可传性不适用于变形体。

除上述两个公理和一个推论外,其余公理和推论均不仅适用于刚体,而且适用于柔性体,读者可自行证明。

项目小结

1. 静力学基本概念

(1) 力。

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变(外效应),或使物体发生变形(内效应)。力对物体的外效应取决于力的三要素:大小、方向和作用点(或作用线)。

(2) 力系。

力系是指作用于物体上的一组力。在不改变作用效果的前提下,一个复杂力系可用一个简单力系来代替。按照所有力的作用线是否在同一平面内,将力系分为平面力系和空间力系,平面力系是空间力系的特殊情况。

2. 静力学公理

公理1 力的平行四边形法则。

公理2 二力平衡条件。

公理3 加减平衡力系原理。

公理4 作用和反作用定律。

公理5 刚化原理。