

■ 于学成 李福志 主 编

建筑力学

JIANZHU LIXUE



 中央广播电视大学出版社

建筑力学

于学成 李福志 主编



中央广播电视大学出版社

北 京

内容简介

本书共有 13 个项目, 包括建筑力学基础, 平面力系, 空间力系、重心及截面的几何性质, 轴向拉伸与压缩, 扭转, 梁的内力, 梁的应力与变形计算, 组合变形的强度计算, 压杆稳定, 平面体系的几何组成分析, 静定结构的内力分析, 静定结构的位移计算, 力法、位移法和力矩分配法。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学 / 于学成, 李福志主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-304-05564-6

I. ①建… II. ①于… ②李… III. ①建筑力学

IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 110110 号

版权所有, 翻印必究。

建筑力学

于学成 李福志 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010-58840200 总编室 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 苏 醒

印刷: 北京密云胶印厂

版本: 2014 年 1 月第 1 版

开本: 787×1092 1/16

责任编辑: 谷春林

印数: 0001~3000

2014 年 1 月第 2 次印刷

印张: 18.75 字数: 433 千字

书号: ISBN 978-7-304-05564-6

定价: 46.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前言

PREFACE

本书主要针对包括土木工程、工程地质、材料、安全工程等专业的相关人员。同时，本书对现场工程技术人员也具有一定的参考价值。

本书所选例题贴近工程专业实例，以便使读者更清楚地了解本书各部分理论在工程实践中的应用。各项目末尾“思考与练习”中收录的习题也大多来自工程实践，这对读者较早地熟悉工程实践具有积极作用。

本书由于学成、李福志任主编，于辉、胡小勇任副主编，刘铁明也参与了本书的编写。

由于编者水平有限，时间仓促，书中谬误之处在所难免，恳请广大读者不吝批评指正，以便修订完善。

编者

目 录

CONTENTS

绪 论

项目一 建筑力学基础

任务一 静力学的基本概念.....	5
任务二 静力学公理.....	7
任务三 荷 载.....	9
任务四 约束和约束反力.....	12
任务五 物体的受力分析与受力图.....	16
思考与练习	20

项目二 平面力系

任务一 平面汇交力系.....	22
任务二 平面力偶系.....	31
任务三 平面一般力系.....	38
任务四 工程中的平面力系问题.....	48
思考与练习	56

项目三 空间力系、重心及截面的几何性质

任务一 力在空间直角坐标轴上的投影.....	57
任务二 力对轴之矩.....	60
任务三 空间力系的平衡方程.....	62
任务四 工程中的空间力系问题.....	63

任务五 物体的重心及截面几何性质.....	66
思考与练习	77

项目四 轴向拉伸与压缩

任务一 轴向拉伸与压缩的概念.....	79
任务二 内力、截面法及轴力图.....	80
任务三 轴向拉（压）杆截面上的应力.....	83
任务四 拉（压）杆的变形.....	86
任务五 拉伸与压缩时材料的力学性能.....	89
任务六 拉（压）杆的强度条件及其应用.....	92
任务七 剪切和挤压实用计算.....	96
思考与练习	99

项目五 扭 转

任务一 扭转的概念.....	101
任务二 扭转内力、扭矩图.....	102
任务三 等直圆轴扭转时的应力与变形.....	106
任务四 圆轴扭转时的强度和刚度条件.....	110
思考与练习	113

项目六 梁的内力

任务一 梁的计算简图.....	115
任务二 梁的内力及内力图.....	118
任务三 弯矩、剪力与荷载集度之间的微分关系.....	127
任务四 叠加法作梁的内力图.....	131
思考与练习	132

项目七 梁的应力与变形计算

任务一 梁段横截面上的正应力.....	137
任务二 梁的正应力强度条件.....	144
任务三 梁的挠曲线近似微分方程.....	154
任务四 二次积分法、叠加法计算梁的变形.....	157
任务五 梁的合理截面及提高梁的刚度的措施.....	166
任务六 强度理论.....	169
思考与练习	175

项目八 组合变形的强度计算

任务一 斜弯曲强度计算方法.....	177
任务二 偏心压缩（拉伸）强度计算.....	182
任务三 弯扭组合强度计算.....	188
思考与练习	193

项目九 压杆稳定

任务一 压杆稳定的概念.....	194
任务二 细长压杆的临界力欧拉公式.....	195
任务三 临界应力的欧拉公式及经验公式.....	199
任务四 压杆稳定的实用计算.....	201
思考与练习	211

项目十 平面体系的几何组成分析

任务一 几何组成分析的目的.....	213
任务二 几何不变体系的基本组成规则.....	214
任务三 平面体系几何组成分析示例.....	217
任务四 杆件结构的计算简图.....	219

任务五 静定结构和超静定结构.....	222
思考与练习	223
项目十一 静定结构的内力分析	
任务一 多跨静定梁的内力.....	225
任务二 静定平面刚架的内力.....	228
任务三 静定平面桁架的内力.....	232
任务四 静定结构的基本特性.....	238
思考与练习	239
项目十二 静定结构的位移计算	
任务一 概 述.....	241
任务二 虚功原理.....	243
任务三 计算结构位移的一般公式.....	244
任务四 荷载作用下的位移计算.....	247
任务五 图乘法计算梁及刚架的位移.....	250
任务六 静定结构由于温度变化、支座移动位移的计算.....	254
思考与练习	256
项目十三 力法、位移法和力矩分配法	
任务一 力 法.....	257
任务二 位移法.....	264
任务三 力矩分配法.....	269
任务四 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架.....	274
思考与练习	276
参考文献	279
附录 型钢表	280

绪 论

一、建筑力学的研究对象、基本任务和研究内容

（一）建筑力学的研究对象

建筑力学是土建工程专业的一门重要的技术基础课，它的后续课是几门结构课程，均为专业课。建筑力学有较强的理论性和实用性。

在建筑工程中，构件是建筑结构的基本组成部分，建筑构件按一定的组合方式构成并能承受和传递荷载，称为结构，如图 0-1 所示。工程结构的类型有很多，按其几何形状特征可分为 3 类：

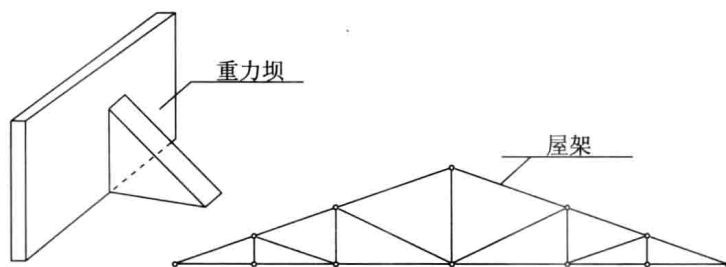


图 0-1 结构

1. 杆件结构

由杆件组成的结构称为杆件结构。杆件的几何特征为纵向长度远大于物体横截面的高度和宽度。如房屋的梁、屋架的连杆、电动机的传动轴等。

2. 薄壁结构

由薄板或薄壳组成的结构称为薄壁结构。薄板、薄壳的几何特征是其厚度远小于物体的长度和宽度。如歌剧院的薄壳板屋面、剪力墙结构等。

3. 实体结构

物体的长度、宽度和高度尺寸相差不大的结构称为实体结构。如块状基石、堤坝等。

在土木工程中，杆件结构是应用最为广泛的结构形式。杆件和杆件结构也是建筑力学的主要研究对象。按杆件在结构中所处的位置不同，杆件结构可分为空间杆件结构和平面杆件结构，其中，平面杆件结构是建筑力学的主要研究方向，而大部分空间杆件结构根据其受力特点可简化为若干个平面杆件形式进行计算。

（二）建筑力学的基本任务

在实际工程中，为了保证每一个构件都能正常地工作，就必须对构件进行设计，使其能安全地承担一定的荷载；同时，以最经济的成本，选择杆件合理的横截面尺寸以及相对应的建筑材料，为设计安全、经济的结构构件提供必要的理论依据和计算方法，这就是建筑力学的学习任务。为此我们可从以下几个方面考虑结构构件的要求：

1. 强度要求

要求构件具有足够的抵抗破坏的能力，使其在规定的荷载作用下不被破坏。如基础、混凝土梁和柱的抵抗破坏的能力。

2. 刚度要求

要求构件具有足够的抵抗变形的能力，使其在规定的荷载作用下不会因为变形过大而失效。例如：机床主轴在满足强度要求的同时，如果变形过大就会影响零件的加工精度；铁路桥梁在列车荷载的作用下，如果变形过大就会影响列车的平稳行驶。

3. 稳定性要求

要求构件具有足够的保持原有平衡状态的能力。例如，细长直杆受到轴压的作用，当压力达到一定限度后，就会由直线平衡状态过渡到曲线平衡状态。

正常情况下，只有构件满足了强度、刚度和稳定性 3 个方面的要求后，才能够保证结构安全、正常地发挥作用。

（三）建筑力学的研究内容

建筑力学内容较多，本书将所研究的内容分成以下 3 个部分：

（1）结构在荷载作用下处于平衡状态，作用于结构及各构件上的外力构成各种力系。需对结构及各构件进行受力分析，并对各力系进行等效与简化，由结构及各构件在力系作用下的平衡条件，求出各未知力。

（2）对各构件进行力学分析，根据几何关系、物理关系、平衡关系，首先需求出各构件在外力作用下各截面上的内力，其次还需求得各构件内的应力和构件的变形及位移。把它们和材料的许用应力、许用变形进行比较来判断该物体的强度、刚度是否符合我们预定的要求。若其处于多向受力状态则应根据强度理论来判断强度。

（3）以杆件体系为研究对象，研究其组成规律和合理形式以及结构在外力作用下内力和变形的计算，为结构设计提供依据和计算公式。

我们在进行结构设计，对结构进行力学分析时，通常需要对实际结构和受力情况进行必要的简化，即要抓住其主要特点，略去一些次要因素，对结构本身、所受的荷载以及所受约束进行简化，得到基本能反映实际情况、便于分析的理想模型，这种模型称为计算简图。

二、变形固体及基本假设

(一) 刚体

在外力作用下其形状和大小都不发生变化的固体称为刚体。在实际工程中,任何固体在外力作用下都会发生变形。当对固体进行受力分析,研究固体在外力作用下的平衡和运动规律时,若固体的微小变形对计算结果影响很小,则可以忽略不计,此时可以将固体视为刚体。

(二) 几个基本假设

当我们研究的固体在外力作用下的变形和破坏形成规律时,尽管固体变形很小却是主要因素之一,这时我们就必须加以考虑。为研究问题的方便,我们对变形固体作出以下几个基本假设:

1. 连续性假设

假设组成固体的物质在整个体积中各点都是连续的,即物质毫无空隙地充满了整个体积,这样就不考虑物质分子、原子之间实际存在的空隙。反映在数学分析上可用连续函数来描述相关的物理量。

2. 均匀性假设

假设固体各点处的力学性能是相同的,这样就不需要考虑固体各点处实际存在不同晶格结构和缺陷等引起的力学性能上的差异。

3. 各向同性假设

假设固体沿各个方向上的力学性能完全相同。例如,对于钢材、玻璃和混凝土等可认为是各向同性材料,这样就不需要考虑固体内部结构的方向性所引起的各个方向上力学性能的差异。

4. 小变形假设

假设构件受力产生的变形量远小于构件本身的原始尺寸,在研究构件的平衡和运动及其内部受力变形时,可按构件的原始尺寸计算。

5. 完全弹性假设

结构或构件在受力后都要产生变形,但当外力被取消后,结构或构件的变形也随之消失,这种变形称为弹性变形。当外力取消后,结构或构件的变形没有全部消失,而是残留一部分变形,这种变形我们称之为塑性变形。建筑力学只研究结构或构件在外力下与其变形之间成完全弹性的关系(外力与变形之间符合线性关系),结构或构件无残余变形。

三、杆件的变形形式

杆件在不同荷载作用下会产生不同的变形,根据荷载本身的性质及荷载作用的位置不同,变形可分为轴向拉伸(压缩)、剪切、扭转、弯曲4种基本变形。

1. 轴向拉伸（压缩）

如果直杆的两端各受到一个外力作用，并且两者大小相等、方向相反，作用线与轴线重合，那么杆件的变形主要是沿轴线方向伸长或缩短，如图 0-2 所示。

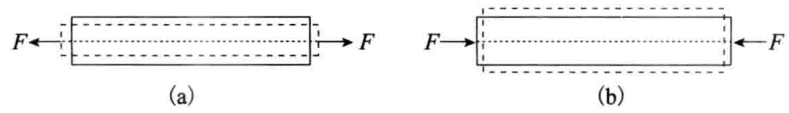


图 0-2

2. 剪切

如果直杆上受到一对大小相等、方向相反、作用线平行并且相距很近的外力沿垂直于杆轴线方向作用时，杆件的横截面将沿外力方向发生相对错动，我们将这种变形称为剪切，如图 0-3 所示。

3. 扭转

如果直杆的两端各受到一个外力偶 M_c 的作用，且二者大小相等、转向相反、作用面与杆件的轴线垂直，那么杆件的横截面将绕轴线发生相对转动，我们将这种变形称为扭转，如图 0-4 所示。

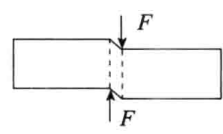


图 0-3

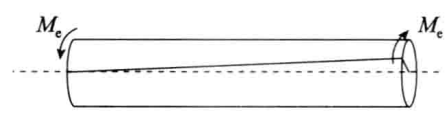


图 0-4

4. 弯曲

如果直杆的两端各受到一个外力偶 M_c 的作用，且二者大小相等、转向相反、作用面与杆件的横截面垂直，或者是受到垂直于杆轴线的外力作用时，杆件的轴线将由直线变为曲线，我们将这种变形称为弯曲，如图 0-5 所示。

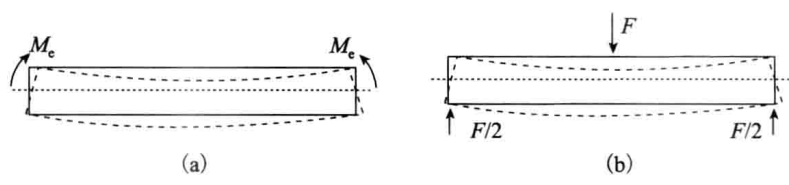


图 0-5

项目一 建筑力学基础

学习目标



理解力、刚体平衡概念；理解并熟记静力学公理的基本内容及其适用范围；能准确认识并熟练掌握几种常见的约束与约束反力；能够正确地分析物体（物系）的受力，并能够准确地绘制物体（物系）的受力图。

创设情景



某建筑工程技术员对梁进行受力分析，各梁如图 1-1 所示。该技术员应如何绘制梁的受力图？

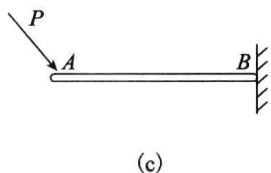
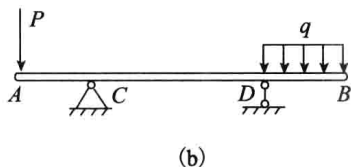
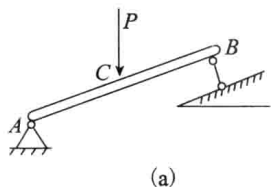


图1-1

知识广场



任务一 静力学的基本概念

一、力

1. 力的定义

力是物体间的相互作用，这种作用会使物体改变原始的运动状态（外效应），会使物体发生变形（内效应）。物体相互间的作用形式多种多样，可以归为两类：一类是两物体相互接触时，它们间相互产生的拉力或压力；另一类是地球与物体间相互产生的吸引力，对物体来说，这种吸引力就是重力。

力不能脱离物体出现，力至少存在于两个物体间，有施力体也有受力体。

2. 力的三要素

力对物体的作用效果取决于 3 个要素：力的大小、方向、作用点。力的大小反映物体相互间作用的强弱程度，它可以通过力的外效应和内效应的大小来度量。力的方向表示物体间的相互作用具有方向性，它包括力所顺沿的直线（称为力的作用线）在空间的方位和力沿其作用线的指向。力的作用点表示物体间相互作用位置的抽象化。实际上物体相互作用的位置并不是一个点，而是物体的一部分面积或体积。如果这个面积或体积相对于物体很小或由于其他原因使力的作用面积或体积可以忽略不计，那么我们可以将它抽象为一个点，此点称为力的作用点。力的三要素中的任何一个有改变，则力对物体的作用效果也将改变。

力的三要素表明力是矢量，可用一条沿力的作用线的有向线段来表示。此有向线段的起点或终点表示力的作用点；此线段的长度按一定的比例表示力的大小；此线段与某定直线的夹角表示力的方位，箭头表示力的指向。力是矢量，就必然满足矢量的运算法则：力的平行四边形法则和力的三角形法则。

3. 力的单位

在国际单位制中，力的单位为 N（牛顿），工程上习惯用的单位是 kgf，两种单位的换算关系是： $1\text{ kgf}=9.806\ 65\text{ N}$ 。

4. 力的作用效应

力对物体的作用同时产生两种效应：运动效应与变形效应。改变物体原始运动状态的效应称为运动效应（外效应）；使物体变形的效应称为变形效应（内效应）。

二、平衡

我们将物体保持原始的运动状态称为该物体保持平衡状态（平衡）。例如，房屋、水坝、桥梁相对于地球是静止的；沿直线匀速起吊的构件相对于地球是做匀速直线运动的，这些都是平衡的实例，它们的共同特点就是原始的运动状态没有发生变化。

三、力系

作用于物体上的一群力，称为力系。使物体保持平衡的力系，称为平衡力系。物体在力系作用下处于平衡状态时，力系所应该满足的条件，称为力系的平衡条件。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的过程，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。如果一个力与一个力系等效，则该力称为此力系的合力，而力系中的各个力称为这个合力的分力。

任务二 静力学公理

人们在长期的生产和生活中，经过反复观察和实践，总结出了关于力的最基本的客观规律，这些客观规律被称为静力学公理。它们是符合客观实际的普遍规律，它们是研究力系简化和平衡问题的基础。

公理 1 二力平衡公理

作用在同一物体上的两个力，使物体平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等、方向相反，且作用在同一条直线上，如图 1-2 (a) 所示。

二力平衡公理有关条件对于刚体是充分的也是必要的；对于变形体只是必要的，而不是充分的。如图 1-2 (b) 所示，绳索的两端若受到一对大小相等、方向相反的拉力作用可以平衡，但若是压力就不能平衡。

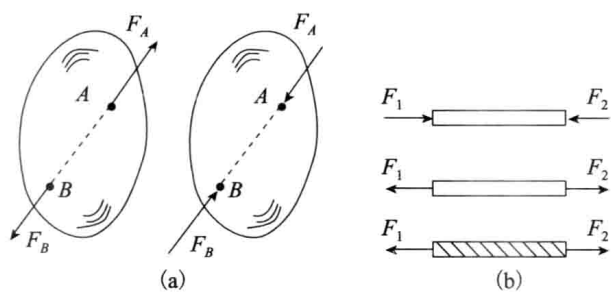


图 1-2

二力平衡公理表明了作用于物体上最简单的力系的平衡条件，它是研究一般力系的平衡条件的基础。受二力作用而处于平衡状态的杆件或构件称为二力杆件（简称为二力杆）或二力构件。如图 1-3 (a) 所示的简单吊车中的拉杆 BC ，如果不考虑它的重量，杆就只在 B 和 C 处分别受到力 F_B 和 F_C 的作用；因杆 BC 处于平衡状态，根据二力平衡条件，二力必须等值、反向、共线，即力 F_B 和 F_C 的作用线都一定沿着 BC 两点的连线，如图 1-3 (b) 所示，所以杆 BC 是二力杆件。

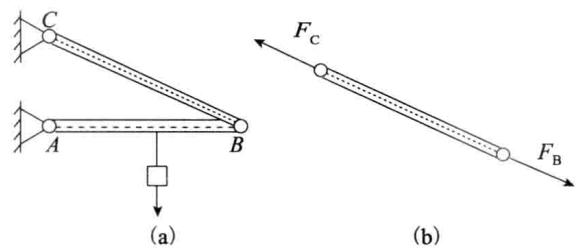


图 1-3

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中，加上或减去任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说，相差一个平衡力系的两个力系作用效果相同，可以互换。这个公理的正确性是显而易见的。因为平衡力系对刚体的运动效果为零，不会改变刚体原来的运动状态（静止或做匀速直线运动），所以在刚体上加上或去掉一个平衡力系，是不会改变刚体原始的运动状态的。

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任意一点，而不会改变该力对刚体的作用效果。力的可传性原理能很容易地为实验所验证。例如，用绳拉车，或者沿绳子同一方向以同样大小的力推车，对车产生的运动效果是相同的，如图 1-4 所示。

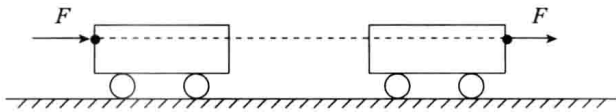


图 1-4

力的可传性原理告诉我们，力对刚体的作用效果与力的作用点在作用线上的位置无关，即力在一刚体上可沿其作用线任意移动。因此，对于刚体来说，力的作用点在作用线上的位置已不是决定其作用效果的要素，而力的作用线对作用效果起决定性的作用，所以作用在刚体上的力，其三要素可表示为：力的大小、方向和作用线。在应用中应当注意，力的可传性只适用于同一刚体，不适用于变形体。

公理 3 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以成为作用于该点的一个合力，合力的大小和方向用以原来的两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线矢量来表示，即合力等于原来的两个力的矢量和（几何和），如图 1-5 所示。

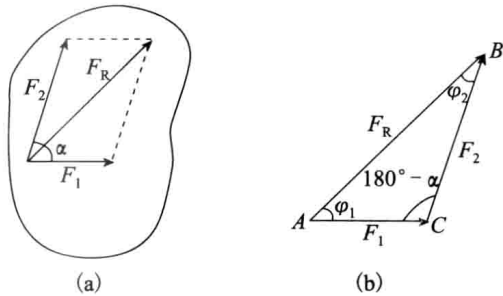


图 1-5

合力 F_R 的大小和方向可以用作图法求出。作图时应先选取恰当的比例尺作出力的平行四边形，然后直接从图上量取对角线的长度，即可得出合力 F_R 的大小，用量角器量出 F_R 与固定轴间的夹角可得合力 F_R 的方向。

我们还可以利用几何关系计算合力 F_R 的大小和方向。如果已知力 F_1 、 F_2 和它们的夹角 α ，根据图 1-5，由余弦定理可得 F_R 的大小为

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

对 $\triangle ABC$ 应用正弦定理，可求得合力 F_R 分别与分力 F_1 、 F_2 间的夹角 φ_1 、 φ_2 ，即由

$$\frac{F_1}{\sin\varphi_1} = \frac{F_2}{\sin\varphi_2} = \frac{F_R}{\sin(180^\circ - \alpha)}$$

得到

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_1\sin\alpha}{F_R}, \quad \sin\varphi_2 = \frac{F_2\sin\alpha}{F_R}$$

根据公理 3，用作图法求合力时，通常只需画半个四边形即可，即以力 F_1 的尾端 C 作为力 F_2 的起点，尾点为 B ，连接 AB 所得矢量即为合力 F_R ，如图 1-5 所示。 $\triangle ABC$ 称为力三角形。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

平行四边形法则是所有用矢量表示的物理量相加的普遍法则。力的平行四边形法则也是研究力系简化的重要理论依据。

推论 2 三力平衡汇交定理

一刚体受共面不平行的三力作用而平衡时，此三力的作用线必交会于一点。

三力平衡汇交定理只说明三力平衡的必要条件，而不是充分条件。它常用来确定刚体在共面不平行的 3 个力作用下平衡时，其中某一未知力的作用线方位。

公理 4 作用与反作用定理

两个物体间的作用力和反作用力，总是大小相等、方向相反、沿同一直线，并分别作用在两个物体上。

这个公理概括了任何两个物体之间相互作用力的关系。只要有作用力，就必定有反作用力，两者总是同时存在，又同时消失的。

任务三 荷 载

工程上将作用在结构或构件上，能主动引起物体运动、产生运动趋势或产生变形的作用称为荷载（也称为主动力），如物体的自重。

一、荷载的分类

结构上所承受的荷载，往往比较复杂。为了便于计算，参照有关结构设计规范，根据不同的特点可对荷载进行如下分类。