

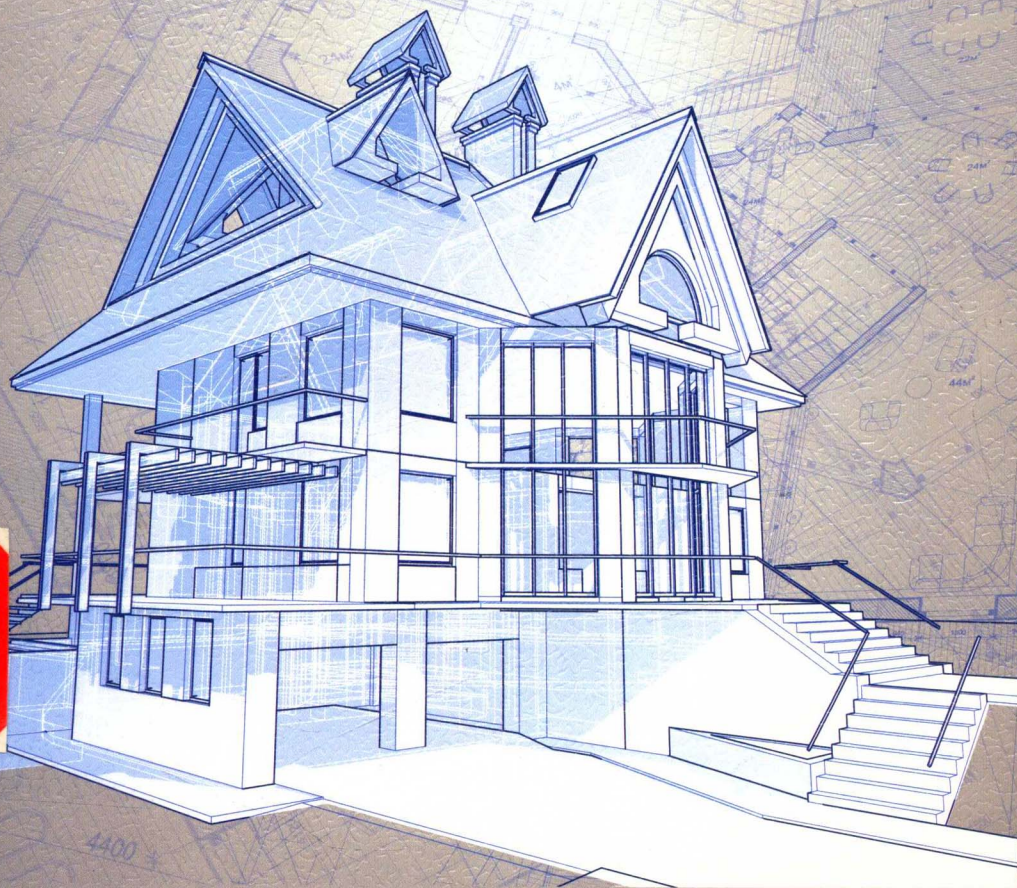
转型发展系列教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

主 编◎李 雪 刘 成

副主编◎江旻路 刘国瑞



转型发展系列教材

工 程 力 学

主 编 李 雪 刘 成

副主编 江旻路 刘国瑞

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目 (C I P) 数据
工程力学 / 李雪, 刘成主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2018.3
转型发展系列教材
ISBN 978-7-5643-6095-5
I. ①工… II. ①李… ②刘… 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 (2018) 第 043904 号

转型发展系列教材

工程力学

主 编 李 雪 刘 成

责任编辑	姜锡伟
助理编辑	王同晓
封面设计	严春艳
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)
邮政编码	610031
发行部电话	028-87600564 028-87600533
官网	http://www.xnjdcbs.com
印刷	四川森林印务有限责任公司

成品尺寸	185 mm × 260 mm
印张	14.5
字数	362 千
版次	2018 年 3 月第 1 版
印次	2018 年 3 月第 1 次
定价	32.00 元
书号	ISBN 978-7-5643-6095-5

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

转型发展系列教材

编委会

顾 问： 蒋葛夫

主 任： 汪辉武

执行主编： 蔡玉波 陈叶梅 贾志永 王 彦

总 序

教育部、国家发展和改革委员会、财政部在《关于引导部分地方普通本科高校向应用型转变的指导意见》中指出：

“当前，我国已经建成了世界上最大规模的高等教育体系，为现代化建设做出了巨大贡献。但随着经济发展进入新常态，人才供给与需求关系深刻变化，面对经济结构深刻调整、产业升级加快步伐、社会文化建设不断推进特别是创新驱动发展战略的实施，高等教育结构性矛盾更加突出，同质化倾向严重，毕业生就业难和就业质量低的问题仍未有效缓解，生产服务一线紧缺的应用型、复合型、创新型人才培养机制尚未完全建立，人才培养结构和质量尚不适应经济结构调整和产业升级的要求。

贯彻党中央、国务院重大决策，主动适应我国经济发展新常态，主动融入产业转型升级和创新驱动发展，坚持试点引领、示范推动，转变发展理念，增强改革动力，强化评价引导，推动转型发展高校把办学思路真正转到服务地方经济社会发展上来，转到产教融合校企合作上来，转到培养应用型技术技能人才上来，转到增强学生就业创业能力上来，全面提高学校服务区域经济社会发展和创新驱动发展的能力。”

高校转型的核心是人才培养模式，因为应用型人才和学术人才是有所不同的。应用型技术技能型人才培养模式，就是要建立以提高实践能力为引领的人才培养流程，建立产教融合、协同育人的人才培养模式，实现专业链与产业链、课程内容与职业标准、教学过程与生产过程对接。

应用型技术技能型人才培养模式的实施，必然要求进行相应的课程改革，我们这套“转型发展系列教材”就是为了适应转型发展的课程改革需要而推出的。

希望教育集团下属的院校，都是以培养应用型技术技能人才为职责使命的，人才培养目标与国家大力推动的转型发展的要求高度契合。在办学过程中，围绕培养应用型技术技能人才，教师们在不同的课程教学中进行了卓有成效的探索与实践。为此，我们将经过教学实践检验的、较成熟的讲义陆续整理出版。一来与兄弟

院校共同分享这些教改成果，二来也希望兄弟院校对于其中的不足之处进行指正。

让我们共同携起手来，增强转型发展的历史使命感，大力培养应用型技术技能型人才，使其成为产业转型升级的“助推器”、促进就业的“稳定器”、人才红利的“催化器”！

汪辉武

2016年6月

前 言

《工程力学》是为了适应我国培养应用型技术人才、建设应用型大学的需求而编写的，希望能够通过本教材为我国应用型人才的培养和应用型大学的建设贡献一份力量。

本书在出版之前，已经过西南交通大学希望学院为期一年的试用。通过试用我们发现了初稿中的问题和不足，并组织编者对其进行整改完善，才有今天呈现在读者眼前的更为成熟的版本。

由于力学在土木工程及相关专业的基础性作用，所有土木类专业都非常重视力学的教学工作，西南交通大学希望学院更是如此，为此专门成立了力学基础教研室，负责力学的教学和改革工作。力学的学习效果在很大程度上决定了学生学习其他土木类课程的高度，只有充分理解力学的基本概念和掌握力学的基本应用，才能够理解纷繁复杂的各类结构的设计、建设的原理和过程，才能够更好地从事土木工程的建设。

应用型技术人才的培养与传统研究型人才的培养不同，更注重知识的实用性和适用性，不追求高深的基础理论，强调知识在实际工作中对于解决问题是否必须和够用。因此，在编写本书的过程中，对传统的经典力学教材进行了部分的精简，在强调力学基本概念的基础上，应用鲜活的工程实例，展现力学的基本运用，追求学以致用。本书中的力学知识都为最基础的、应用范围最广的知识内容，力求简明扼要，通俗易懂。为了方便读者阅读本书，每个章节划分为学习目标、情境导入、章节正文、小结等四个部分。学习目标和小结部分相互呼应，情境导入通过工程实例循序渐进地把读者引入到本章需要学习的内容中。通过这四个部分的学习，读者能更加快捷地学会书中内容。

力学学习不是靠死记硬背，而是强调形象性的理解，工程力学的学习更是如此。力学学习是为了培养学生一种正确的力学思维习惯，并且与各类工程结构相衔接，建立工程结构的力学思维模型，只有这样才能达到力学学习的目的。建立力学思维，

是本书编写的初衷之一。

本书由西南交通大学希望学院的教师李雪、刘成担任主编，江旻路、刘国瑞担任副主编。全书共 11 章，第 1~2 章由江旻路编写，第 3~4、8 章由刘国瑞编写，第 5~6、10 章由李雪编写，第 7、9、11 章由刘成编写。全书由李雪统稿并负责出版发行。

在编写本书的过程中，编委会借鉴和学习了全国各类优秀力学教材，通过对比分析，传承力学经典，把握力学发展方向，凝念本书特色。没有前辈们的先进成果，就没有中国力学的宏伟成就，在此对各位前辈的付出表示诚挚的敬意和感谢！

经过了一年的试用期，编者已针对初稿进行了最大程度的整改和完善，但鉴于编者水平有限，书中如有不足之处，敬请广大读者批评指正，以期再版之时改正。具体意见或建议，恳请读者与编者（liucheng0825@126.com）联系，在此表示由衷的感谢！

刘 成

2018 年元月

目 录

绪 论	001
第一章 静力学基础	004
第一节 静力学的基本概念	005
第二节 静力学公理	006
第三节 约束与约束反力	009
第四节 物体及物体系统的受力分析	014
第二章 平面力系的合成与平衡	019
第一节 平面汇交力系	020
第二节 力矩与平面力偶系	030
第三节 平面一般力系和平面平行力系	036
第四节 物体系统的平衡	049
第三章 轴向拉伸和压缩	054
第一节 材料力学的基本概念	054
第二节 轴向拉伸和压缩时杆的内力	056
第三节 轴向拉(压)杆横截面上的应力	059
第四节 轴向拉(压)杆的变形及胡克定律	061
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	064
第六节 轴向拉(压)杆的强度条件和强度计算	069
第七节 应力集中的概念	071
第四章 剪切与扭转	074
第一节 剪切与挤压的实用计算	074
第二节 切应力互等定理与剪切胡克定律	078
第三节 圆轴扭转时的内力	079
第四节 圆轴扭转时横截面上的应力	081
第五节 圆轴扭转时的强度计算	083
第六节 圆轴扭转时的变形及刚度计算	084
第五章 平面图形的几何性质	091
第一节 截面的静矩和形心位置	091

第二节	惯性矩	094
第三节	惯性半径和惯性积	098
第四节	形心主惯性轴和形心主惯性矩的概念	099
第六章	弯曲	100
第一节	弯曲内力	101
第二节	梁的内力图	106
第三节	弯曲应力	114
第四节	弯曲变形	124
第五节	提高梁抗弯强度与刚度的措施	132
第七章	组合变形	137
第一节	组合变形的概念	137
第二节	斜弯曲	138
第三节	拉伸（压缩）与弯曲的组合变形	143
第四节	偏心压缩与拉伸截面核心	146
第八章	压杆稳定	151
第一节	细长压杆的临界力	151
第二节	压杆的临界应力	154
第三节	压杆的稳定计算	157
第九章	静定结构的内力分析	162
第一节	静定梁	163
第二节	静定平面刚架的内力	166
第三节	三铰拱的内力	173
第四节	静定平面桁架的内力	180
第十章	力法	187
第一节	超静定结构概述	187
第二节	力法的基本原理	188
第三节	力法的典型方程	192
第四节	力法计算举例	196
第十一章	影响线	200
第一节	影响线的概念	201
第二节	用静力法作简支梁的内力影响线	202
第三节	影响线的应用	205
附录	常用型钢规格表	211
参考文献		222

绪 论

建筑物是人类生产、生活的必要场所。凡是有人类活动的地方就有建筑物存在，它们默默地记载了人类光辉灿烂的历史文化，也彰显着一个国家科学技术的发展成果。古今中外，具有代表性的建筑不胜枚举，不能想象人类没有建筑的生活。

想一想？

请同学们列举一些你知道的建筑。

上海环球中心（见图 0-1）

一些与建筑有关的名言：

建筑是技术与艺术的结合

建筑是力与美的结合

建筑是凝固的音乐

建筑是一首哲理诗

建筑是空间的结合

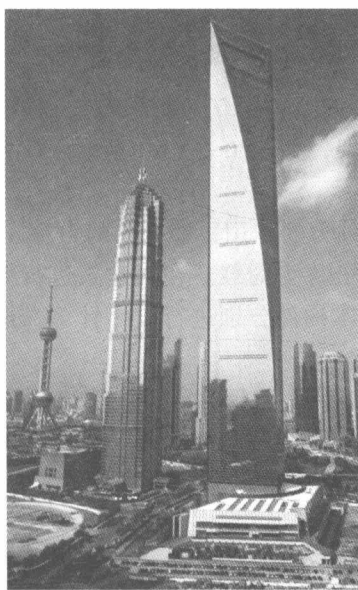


图 0-1 上海环球中心

观察建筑物的建造过程可以看到，它们是由许许多多的构件有机地结合起来的。建筑物中用以承受和传递力作用的物体称为建筑结构，简称结构。结构又可分为多个构件，如梁、板、柱、基础等。一个庞大的建筑物，在建造之前，设计人员要对它的所有构件进行受力分

析计算。构件的尺寸大小、所用材料、排列位置都要通过结构计算来确定，这样才能保证建筑物的牢固和安全。

这一烦琐而细致的计算工作必须要有科学的计算理论作为依据。工程力学便是提供工程结构受力分析和计算理论依据的一门科学。它将为工程结构设计和解决施工现场问题打下基础。本书将研究工程力学理论最基本的部分。

一、工程力学的研究对象

一个工程结构由许多构件组成，如图 0-2 所示是一个常见的框架结构透视图。

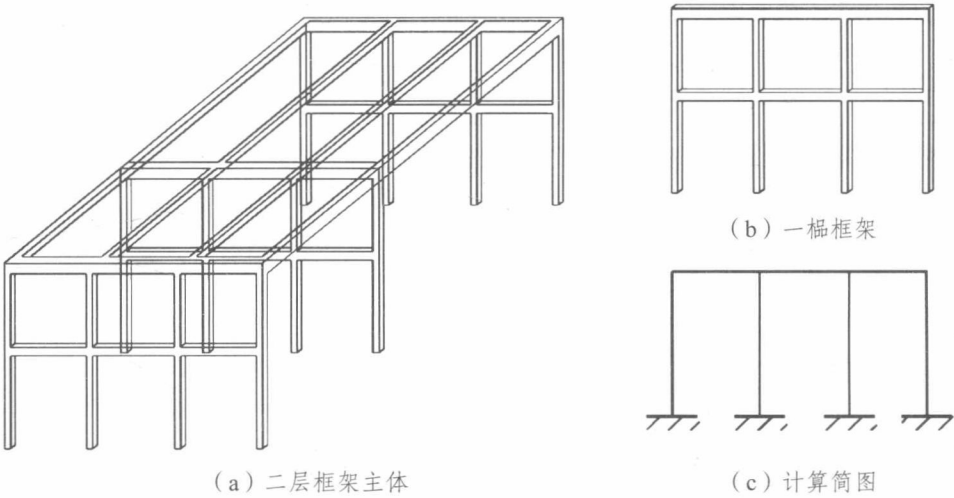


图 0-2 常见框架结构透视图

框架的主体承重结构是由梁、板、柱、基础形成的立体空间结构。在对此结构进行力学分析时，往往需选取其中一榀框架，如图 0-2 (b) 所示。实际计算时，还需进一步简化为结构的计算简图，如图 0-2 (c) 所示。

建筑物在使用中，会受到各种力的作用，如构件的自重、楼面上的人群、外墙上的风等，这些作用在建筑物上的力在工程上称为荷载。在对建筑进行结构设计时，通常是先进行结构整体布置，再把结构分为一些基本构件分别进行设计计算，最后通过构造处理，把各个构件联系起来构成一个整体结构。

对土建类专业来讲，工程力学的主要研究对象就是组成结构的构件和构件体系。

二、工程力学的主要任务

建筑结构的构件都有承受多大荷载的问题，工程力学就是研究结构和构件承载能力的科学。结构和构件的承载能力包括**强度**、**刚度**和**稳定性**。所谓**强度**是指结构或构件抵抗破坏的能力。结构能安全承受荷载而不破坏，就认为满足强度要求。所谓**刚度**是指结构或构件抵抗变形的能力。任何结构或构件在外力作用下都会产生变形，工程结构或构件的变形应限制在允许范围内。所谓**稳定性**是指构件保持平衡状态稳定性的能力。有些构件在荷载大到一定数值时，会突然出现不能保持其平衡状态稳定性的现象，称之为丧失稳定。这些构件必须通过

稳定性的验算才能正常工作。

为了保证结构和构件具有足够的承载力，一般来说，都要选择较好的材料和截面较大的构件，这样才能保证建筑的安全，但一味地选用较好的材料和较大的截面，势必会大材小用、优材劣用，造成浪费，不够经济。可见，**安全和经济是矛盾的**。

工程力学的主要任务就是为解决这一矛盾提供必要的理论基础和计算方法。

三、工程力学的内容

工程力学分为（理论力学中的）**静力学**、**材料力学**和**结构力学**三部分。

静力学讨论构件及构件之间作用力的问题，主要内容是力系的简化及平衡。例如，一个构件受到哪些力的作用，哪些力已知，哪些力未知，未知力怎么求等。

材料力学讨论构件受力后发生变形时的承载能力的问题。知道构件的受力情况后，构件使用什么材料？什么形状？多大截面？是否做到既安全又经济？这一部分内容就解决上述问题。

结构力学讨论杆件体系的组成规律以及结构内力和位移的计算。庞大的建筑结构是由许多构件组成的，它们的布局应该是合理的，整体的结构应该是稳固的，组成结构的每一个构件都应满足承载能力的要求。

四、工程力学的学习方法

工程力学是研究结构及构件承载能力的课程，是土建类专业重要的专业基础课。学习时要理论联系实际，循序渐进，温故知新。具体来讲，第一要理解地记忆力学中的**基本概念、基本理论和基本方法**（即“三基”），这对于学习力学是至关重要的。第二要注意例题的分析方法和解题思路。在分析时，既要做定性的分析，也要做定量的计算。第三要及时地完成课堂的练习和课后的习题。做习题是运用理论解决实际问题的基本训练，只有通过自己动手，独立完成课堂练习和课后作业，才能发现问题，解决问题，巩固所学。切忌对公式死记硬背、对例题生搬硬套。

第一章 静力学基础

【学习目标】

1. 深入理解力、平衡、刚体和约束等基本概念；
2. 掌握静力学四个公理和两个推论的内容，明确其适用范围；
3. 掌握几种常见约束和支座的约束特征及其约束反力的确定；
4. 能正确地画出物体及物体系统的受力图。

【情境导入】

静力学是研究物体在力系作用下处于平衡的规律。

何谓力系？在一般情况下，建筑物的结构或构件总是同时受到若干力的作用。我们把作用于同一物体上的一群力称为力系。

何谓平衡？在力系作用下，相对于地球静止的物体、在直线轨道上匀速行驶的火车等都是平衡的实例，如图 1-1 所示。它们的运动状态没有发生变化，称为平衡状态。一般情况下，物体若在力系作用下处于平衡状态，则该力系为平衡力系。使物体处于平衡时力系应满足的条件称为力系的平衡条件。作用在物体上的力系通常是非常复杂的。讨论力系时，在不改变原力系对物体作用效果的前提下，用一个简单的力系来代替原力系就称为力系的合成，或称为力系的简化。对物体作用效果相同的力系称为等效力系。

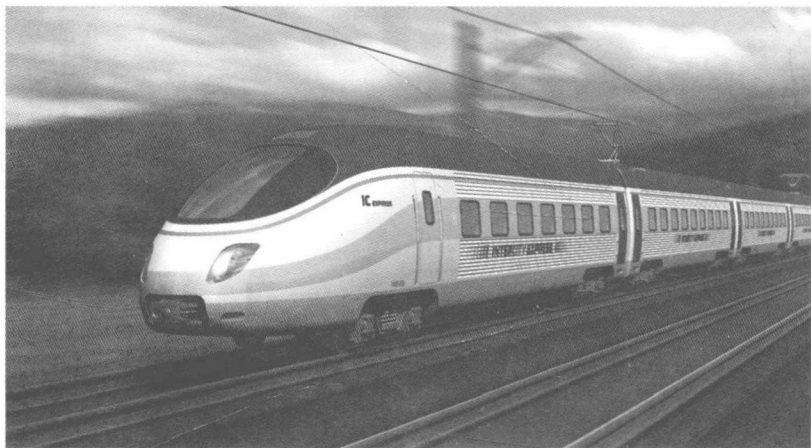


图 1-1 匀速行驶的火车

建筑物及其构件在正常情况下都处于平衡状态。因此，工程力学首先要研究力系的平衡问题。

第一节 静力学的基本概念

要研究力系的平衡问题，首先要掌握以下静力学的基本概念。

一、刚体的概念

在任何外力作用下，大小和形状保持不变的物体称为刚体。事实上，物体受力后都会产生程度不同的变形，但这些变形相对于物体的尺寸非常微小，对研究平衡问题没有影响，可以忽略不计。在静力学中，我们把所研究的物体都看作是刚体。

二、力的概念

力的概念是从劳动中产生，并通过生产实践和日常生活不断加深认识的。例如：在建筑工地人们拉车、弯钢筋时，肌肉紧张，就感受到用了“力”；吊车吊起构件时，构件同样受到吊车的拉力；等等。

总之，力是物体之间相互的机械作用，物体在这种相互作用下，可能产生如下的效应：一是使物体的运动状态发生变化（称之为外效应），二是使物体发生变形（称之为内效应）。

力是物体与物体之间的相互作用，它总是成对地出现。力不可能脱离物体而存在，有受力体时必定有施力体。物体之间相互接触时，可产生相互间的推、拉、挤、压等作用；物体间不接触时，也能产生力，如万有引力、电荷的引力斥力等。

实践证明：力对物体的作用效果取决于力的三要素，即力的大小、方向、作用点。

1. 力的大小

力的大小表明物体间相互作用的强弱程度。

国际单位制中：力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。

$$1 \text{ kN} = 1\,000 \text{ N}$$

2. 力的方向

力的方向包含方位和指向两个含义。比如说重力的方向是“铅垂向下”，“铅垂”是方位，“向下”是指向。改变力的方向，当然会改变力的作用效果。

3. 力的作用点

力的作用都有一定的范围，当作用范围与物体相比很小时，我们把它可以近似地看作是一个点。这种力又可称为集中力。

力的三要素中改变任何一个时，都会改变力对物体作用的效果。因此，在描述一个力时，必须全面表明这个力的三要素。

力是一个矢量，通常用带箭头的线段来表示。线段的长度（按比例）表示力的大小，线段与某直线或坐标轴的夹角表示力的方位，箭头表示力的指向；线段的起点和终点都可以表示力的作用点。

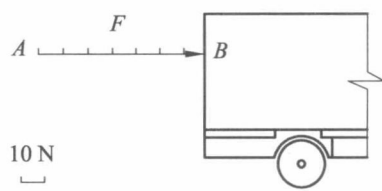


图 1-2

如图 1-2 所示的小车受到力 F 的作用，选定的基本长度为 10 N ，按比例得到 F 的大小是 70 N ，力与水平线夹角成 0° ，指向从左到右，作用点在小车 B 点上。这样，一个力就描述清楚了。

注意：用字母表示力矢量时，需用黑体 F ，普通字母（如 F ）表示力矢量的大小。

实际工程中，有时力的作用范围较大，不能看作是一个点，这种情况的力就属于分布力，又称分布荷载。分布荷载大多是均匀的，又称均布荷载。力均匀分布在狭长的范围时，简称为均布线荷载，用 q 表示，单位为 N/m ；力均匀分布在较大的平面时，简称为均布面荷载，用 p 表示，单位为 N/m^2 。 q 和 p 是分布力的荷载集度，指单位长度或单位面积上作用荷载的密集程度，即均布荷载的大小，如图 1-3 所示。

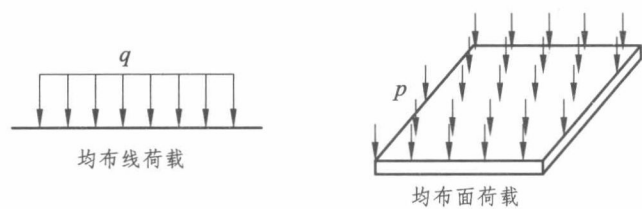


图 1-3 分布荷载

第二节 静力学公理

静力学公理是人类在长期的生产和生活实践中，经过反复观察和实验总结出来的普遍规律。它阐述了力的一些基本性质，是研究静力学的基础。

一、作用力与反作用力公理

两物体间的作用力与反作用力总是大小相等、方向相反、沿同一直线，并分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了两个物体间相互作用的关系。力总是成对出现的，有作用力必有反作用

力，且总是同时产生又同时消失的。而作用力与反作用力是一对大小相等、方向相反、作用线相同、分别作用在两个不同物体上的力。这就是作用力与反作用力公理。注意，作用力与反作用力这一对力并不在同一物体上出现。

例如，图 1-4 所示的物体 A 对物体 B 施作用力 F ，同时，物体 A 也受到物体 B 对它的反作用力 F' ，且这两个力大小相等、方向相反、沿同一作用线。

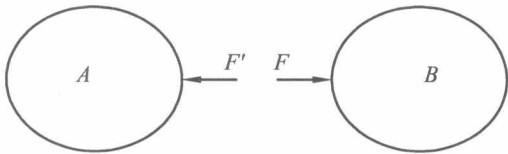


图 1-4

二、二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力，使物体平衡的充分与必要条件是：这两个力大小相等、方向相反，且作用在同一直线上，如图 1-5 所示。

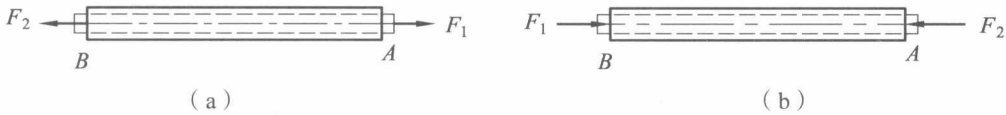


图 1-5

这个公理表明了一个刚体只受到两个力作用而平衡时应满足的条件。这里必须强调只有对于刚体而言，平衡条件才是既充分又必要的；而对于非刚体，平衡条件是不充分的。如软绳受到一对拉力的作用可以平衡，而受到一对压力作用就不能平衡了。

若一根不计自重的杆只在两点受力作用而处于平衡，则此二力必共线，这种杆称为二力杆，如图 1-6 所示。

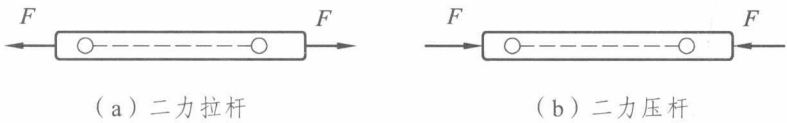


图 1-6 二力杆

三、加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中，加上或减去任意一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

平衡力系对刚体的作用效果为零，所以在刚体的原力系上加上或去掉一个平衡力系，不会改变刚体的运动状态。

推论一 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，而不改变原力对刚体的作用效果。