

建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材
JIANZHU YU SHIZHENG GONGCHENG SHIGONG XIANCHANG
ZHUANYE RENYUAN PEIXUN JIAOCAI

建筑力学

J I A N Z H U L I X U E

安松柏 编



中国环境科学出版社

建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材

建筑力学

安松柏 主编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学/安松柏编. —3 版. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.12 (2012.12 重印)

建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材

ISBN 978-7-5111-1241-5

I. ①建… II. ①安… III. ①建筑力学—技术培训—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 311252 号

责任编辑 张于嫣
策划编辑 易 萌
责任校对 扣志红
封面设计 马 晓

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
出版电话: 010-67112739 (建筑图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 12 月第 3 版
印 次 2012 年 12 月第 2 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 14.75
字 数 365 千字
定 价 32.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材

编审委员会

高级顾问：明卫华 刘建忠

主任委员：张秀丽

副主任委员：杨 松 王小明 陈光圻（常务）

委 员：（以姓氏笔画为序）

王建平 王昌辉 汤 斌 陈文举

陈 昕 陈 鸣 张玉杰 张玉琴

张志华 谷铁汉 姜其岩 程 辉

出版说明

住房和城乡建设部 2011 年 7 月 13 日发布, 2012 年 1 月 1 日实施的《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》(JGJ/T 250—2011), 对加强建筑与市政工程施工现场专业人员队伍建设提出了规范性要求。为做好该《职业标准》的贯彻实施工作, 受贵州省住房和城乡建设厅人事处委托, 贵州省建设教育协会组织贵州省建设教育协会所属会员单位 10 多所高、中等职业院校、培训机构和大型国有建筑施工企业与中国环境科学出版社合作, 对《建筑企业专业管理人员岗位资格培训教材》进行了专题研究。以《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》和《建筑与市政工程施工现场专业人员考核评价大纲》(试行 2012 年 8 月) 为指导, 面向施工企业、中高职院校和培训机构调研咨询, 对相关培训人员及培训授课教师进行回访问卷及电话调查咨询, 结合贵州省建筑施工现场专业人员的实际, 组织专家论证, 完成了对该培训教材的编审工作。在调查研究中, 广大施工企业和受培人员及授课教师强烈要求提供与大纲配套的培训、自学教材。为满足需要, 在贵州省住房和城乡建设厅人教处的领导下, 在中国环境科学出版社的大力支持下, 由贵州省建设教育协会牵头, 组织建设职业院校、施工企业等有关专家组成教材编审委员会, 组织编写和审定了这套岗位资格培训教材供目前培训所使用。

本套教材的编审工作得到了贵州省住建厅相关处室、各高等院校及相关施工企业的大力支持。在此谨致以衷心感谢! 由于编审者经验和水平有限, 加之编审时间仓促, 书中难免有疏漏、错误之处, 恳请读者谅解和批评指正。

建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材编审会

2012 年 9 月

目 录

绪 论	(1)
第一章 静力学基本概念及结构受力分析	(4)
第一节 力的基本概念	(5)
第二节 静力学基本公理	(6)
第三节 力的投影及合力投影定理	(11)
第四节 力矩的概念及合力矩定理	(14)
第五节 力偶的概念及其性质	(16)
第六节 力的平移定理	(19)
第七节 荷载及其简化	(20)
第八节 约束与约束反力	(22)
第九节 物体的受力分析及受力图	(26)
第十节 结构计算简图	(28)
第二章 平面力系的平衡条件及其应用	(36)
第一节 平面汇交力系的合成与平衡条件	(36)
第二节 平面力偶系的合成与平衡条件	(41)
第三节 平面一般力系的合成与平衡条件	(42)
第四节 应用平面力系平衡条件求解桁架内力	(46)
第五节 平面平行力系的平衡条件及抗倾覆计算	(52)
第六节 梁的支座反力	(55)
第七节 考虑摩擦的平衡问题	(60)
第三章 轴向拉伸与压缩	(71)
第一节 轴向拉伸与压缩时的内力、轴力图	(72)
第二节 轴向拉(压)时杆件截面上的应力	(74)
第三节 拉(压)杆的变形及虎克定律	(76)
第四节 拉伸和压缩时材料的力学性能	(78)
第五节 许用应力和安全系数	(83)
第六节 拉伸和压缩时的强度计算	(84)
第七节 压杆稳定	(88)
第八节 提高压杆稳定性的措施	(93)
第四章 剪切(附挤压)	(99)
第一节 剪切的概念	(99)
第二节 铆接接头的实用计算	(100)
第三节 剪切的应力—应变关系	(105)
第五章 扭 转	(108)
第一节 扭转时的内力——扭矩	(109)

第二节	圆轴扭转时的应力及其强度计算	(112)
第三节	圆轴扭转时的变形计算和刚度校核	(117)
第六章	梁的内力	(123)
第一节	弯曲内力——剪力和弯矩	(124)
第二节	内力方程和内力图	(126)
第三节	利用内力图的规律绘制内力图	(131)
第四节	用叠加法绘制内力图	(136)
第七章	梁的弯曲应力	(142)
第一节	梁的正应力强度条件	(142)
第二节	提高梁抗弯强度的途径	(148)
第三节	梁弯曲时的剪应力强度条件	(152)
第八章	梁的弯曲变形及位移计算	(159)
第一节	梁的线位移与角位移	(159)
第二节	用图乘法计算位移	(159)
第三节	梁的刚度校核	(166)
第四节	提高弯曲刚度的措施	(169)
第九章	超静定梁及排架的内力计算	(173)
第一节	力法的基本概念	(174)
第二节	用力法计算超静定梁	(179)
第三节	用力法计算铰接排架	(183)
第四节	等截面单跨超静定梁的内力	(185)
第十章	平面杆系的组成规律	(197)
第一节	几何组成分析的有关概念	(197)
第二节	几何不变体系的组成规律	(200)
第三节	常变体系和瞬变体系	(203)
附录 I	一些常用几何量和物理量的单位换算表	(207)
附录 II	常用截面的几何性质	(209)
附录 III	型钢表	(212)

绪 论

一、建筑力学的任务

任何建筑物在施工过程中和建成后的正常使用中,都要受到各种各样的力的作用,例如:建筑物的自重,人、物品和设备的重量,以及风压、雪压、地震力的作用等等。这些力在工程上统称为荷载。

建筑物中支承和传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。在房屋建筑中,结构由屋架、梁、板、柱、墙和基础等部件组成,这些组成结构的各个部件称为构件。图 0-1 是一个单层工业场房的结构和构件的示意图。

工程上无论是单层工业厂房,还是各种工业和民用建筑,组成结构的各个构件均相对地面保持静止状态,工程上把这种状态称为平衡。

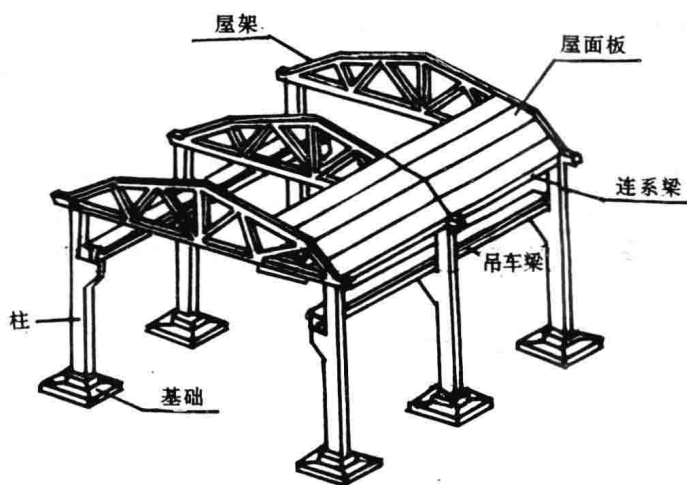


图 0-1

在施工和使用过程中,结构中的各个构件在承受和传递荷载时,必须满足以下两方面基本要求:

(1) 结构和构件在荷载作用下不能破坏,同时也不能产生过大的形状改变(变形)。工程上把满足这种要求的条件称为具有承载能力。只有具有承载能力的结构和构件才能使用。这是安全性方面的基本要求。

(2) 应使结构和构件所用的材料尽可能地少,工程造价尽可能地低。这是经济性方面的基本要求。

显然,结构和构件的安全性和经济性是矛盾的,前者要求用好的材料、大的截面尺

寸，而后者则要求用低廉材料，最经济的截面尺寸。那么怎样才能使两者达到完美的统一呢？这就需要依靠科学理论和实践来探索材料的受力性能、确定构件的受力计算方法，从而使设计出的结构和构件既安全又经济。

研究和解决上述问题的理论基础之一就是建筑力学。所以，建筑力学的任务是：研究作用在结构（或构件）上的力的平衡关系，构件的承载能力及材料的力学性能，为保证结构（或构件）既安全可靠又经济合理而提供计算原理和方法。

二、建筑力学的研究对象

结构和构件是多种多样的。凡是长度方向的尺寸比截面尺寸大得多的构件称为杆件，如梁、柱等。由杆件组成的结构称为杆件结构。这种结构是房屋建筑中应用最广泛的一种结构。

本书所研究的主要对象就是杆件构件和由杆件构件组成的杆件结构。

三、建筑力学研究的内容

为了使大家能够对建筑力学的内容有一个总体概念。下面以图 0-2 所示的梁为例作一简单介绍。

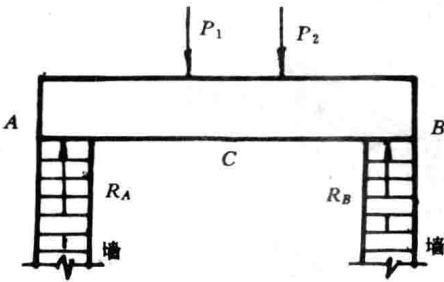


图 0-2

(1) 确定此梁所受的力，并计算出这些力的大小。梁 AB 搁在砖墙上，其上受有已知力（即荷载） P_1 和 P_2 的作用，在这两个力的作用下，梁 AB 有向下坠落的趋势，但由于墙体的支承作用，才使其不至落下，而维持平衡状态。在墙对梁的支承处，墙产生了对梁的支承力 R_A 和 R_B 。则荷载 P_1 和 P_2 与支承力 R_A 和 R_B 就具有某种关系，这种关系称为平衡条件。一旦知道了这种关系就可由荷载 P_1 和 P_2 求出支承力 R_A 和 R_B 。

这一工作的关键在于研究力的平衡条件。

(2) 荷载 P_1 和 P_2 与支承力 R_A 和 R_B 统称为梁 AB 的外力。当梁上的全部外力求出后，便可进一步研究这些力怎样可以使梁破坏或产生变形。梁 AB 在外力 P_1 、 P_2 、 R_A 和 R_B 的作用下，产生弯曲，同时，梁的内部也将产生一种力抵抗外力，这种力称为内力，例如：梁 AB 在图示荷载作用下，跨中截面 C 很可能首先出现裂缝继而断裂。这就说明，跨中截面 C 处有引起破坏的最大内力存在，是梁的危险截面。

这一工作主要是研究外力与内力的关系，是分析承载能力的关键。

(3) 上述工作相当于找出梁的破坏因素。为了保证梁不发生破坏，就需要进一步研究梁本身抵抗破坏的能力，找出引起梁破坏的因素和梁抵抗破坏能力之间的关系，从而可以选择梁的材料和截面尺寸，使梁既具有足够的承载能力，又使材料用量最少。

各种不同的受力方式会产生不同的内力，相应有不同的计算方法。这些方法就构成了建筑力学的研究内容。这些内容又可划分为三个部分：静力学、材料力学和结构力学。

四、建筑力学与安全、质量的关系

显然，作为结构设计人员，必须掌握建筑力学，否则将无法正确地计算各个构件和结构，设计也就无法进行。

同样，作为一名安全员或质量检查员也需要掌握建筑力学。安全员和质量检查员的主要任务是保证建筑施工过程中的绝对安全和保证结构的施工质量符合要求，这就需要知道结构或构件的受力情况，什么位置是危险截面，各种力的传递途径，以及结构和构件在这些力的作用下将会发生怎样的破坏等等。这样才能制定出合理的安全措施和质量保证措施，做到胸中有数，从而保证建筑施工过程中的绝对安全，保证工程质量，避免发生质量安全事故，使国家财产和人民生命免受损失，确保建筑施工正常地进行。

近年来，在许多建筑施工中，尤其是由某些乡镇集体建筑企业承担的工程中，质量安全事故时有发生。其中许多事故就是由于工地管理人员缺乏或不懂力学知识造成的，例如：由于没有力矩平衡的概念，造成阳台倾覆，塔吊倾翻；不懂内力的分布规律，使雨篷或阳台的受力筋放错，造成雨篷或阳台折断；不懂预应力知识，造成预应力圆孔板在运输、堆放、吊装过程中破坏；不懂几何不变体系的组成规则，少加或拆除必要支撑，使脚手架倒塌等等。

因此，作为一名安全员或质量检查员负有重大的责任与使命。他必须以建筑力学为指南，去指导和改进工作。这正是建筑施工企业对安全员和质量检查员的基本要求之一。

第一章 静力学基本概念及结构受力分析

静力学是研究物体在力的作用下平衡规律的科学。

所谓平衡，就是指物体相对于地面处于静止状态或保持匀速直线运动状态，是机械运动的特殊情况，例如：我们不仅说静止在地面上的房屋、桥梁和水坝是处于平衡状态的，而且也说在直线轨道上作匀速运动的塔吊以及匀速上升或下降的升降台等也是处于平衡状态的。但是，在本书中没有特殊说明时所说的平衡，系单指物体相对于地面处于静止状态。

这里一再强调相对于地面，是因为实际上，宇宙空间中的任何物体都处在永恒的运动之中，所以说静止、平衡都是相对的。例如，在地面上看来是静止的建筑物，实际上随着地球的自转和公转在太阳系中不停地运动。因此，我们所说的平衡只有相对于被选作参照的物体而言才有意义。通常把地面选作参照系。

在工程实际中，平衡问题的研究有着广泛的应用，特别是建筑工程。由于相对于地面，建筑物是处于静止状态的，对于这些建筑物进行设计和施工时，就必须分析其在力的作用下平衡的规律，即进行静力学分析，例如：在设计单层工业厂房结构时，首先需要分析和计算各种构件所受的力，然后再根据受力情况和所选用的材料确定构件尺寸，以满足安全和经济的要求。前者是静力学要解决的问题，后者是材料力学及工程结构学科要解决的问题。此外，各种建筑机械的设计，也都离不开静力学知识。同时，静力学也是建筑力学其它章节内容的基础。

一般情况下，一个物体总是同时受到许多力的作用，例如：单层工业厂房结构中的屋架就受到屋面材料重量及屋架自重等重力以及风雪压力的作用。我们将作用在物体上的一群力，称为力系。

为了便于研究各种力系对物体作用的效应，导出力系的平衡条件，在静力学中，将研究两类基本问题：

1. 力系的简化

就是将作用在物体上的复杂力系，用一个最简单的与原力系作用效果完全相同的力系来代替。

2. 力系的平衡条件

即物体处于平衡状态时，作用在物体上的力系所应满足的条件。

在静力学中，将所研究的物体都视为刚体。所谓刚体，就是指在任何外力作用下，其大小和形状绝对不改变的物体。也就是说，物体内任意两点间的距离是绝对不变的。显然这样的物体在自然界中是不存在的。因为任何物体在受到外力的作用后，尽管某些物体的变形可能极其微小，但都将发生变形，所以，刚体是一种理想化的力学模型。但是，这种理想化的力学模型是满足工程实际的精度要求的。

实践证明，在工程实际中，结构或构件的变形都是很微小的。例如：房屋建筑中的钢筋混凝土大梁，设计时工程师通常将梁中央处的最大挠度控制在跨度的 $1/500 \sim 1/$

200。在一般情况下，物体的这些微小变形对平衡问题的研究影响很小，完全可以忽略不计，而将物体视为刚体。将实际物体抽象成为理想化的刚体后，会使静力学所研究的问题大为简化。

第一节 力的基本概念

力的概念是人类在长期的生产劳动和生活实践中逐步形成的。在建筑工地上劳动，人们在挑担、推车、制做钢筋时，不仅能通过筋肉紧张收缩的感觉感受到力的存在，而且，还可以看到，由于人们推力，车会运动起来，由于人们制做钢筋，钢筋会改变形状。同时人们也发现，力总是出现在两个物体之间，例如：人与车之间，人与钢筋之间，经过长期的实践和总结，人们将这些感性认识，加以归纳、概括和科学地抽象，逐渐地上升到了理性认识，这样就形成了力的科学概念，即力是物体与物体间的相互机械作用，这种作用效果或者使物体的运动状态改变（力的运动效应或外效应），如图 1-1（a）所示；或者使物体的形状发生改变（力的变形效应或内效应），如图 1-1（b）所示。

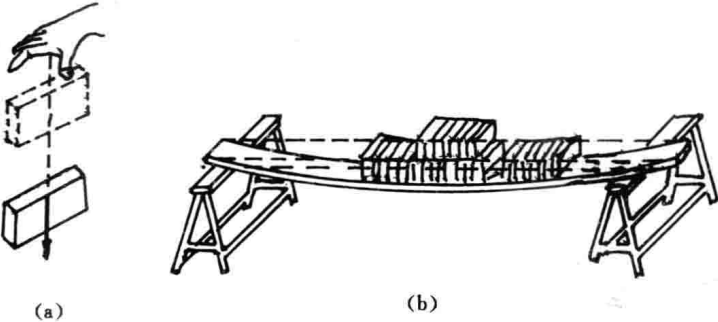


图 1-1

两物体间力的作用即可以是直接的、互相接触的，例如，塔吊吊装楼板时，钢丝绳对楼板的拉力作用使其上升，放在梁上的机械设备对梁的压力作用使其弯曲等等；也可以是间接的，互相不接触的，例如：建筑物所受的地心引力（也称重力）等。因此，可以将力分为两类：前者称为接触力，后者称为非接触力。

力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个因素，例如：要想打开围墙的铁门，就必须对铁门施以足够大的力，并使施力的方向与门面垂直；另外还应使施加的力尽可能地作用在远离门轴的位置上。否则，用力不够、用力方向不对（如施以足够大的力，但其方向平行于门面）或者力的作用位置（即力的作用点）不对（如施一个足够大的垂直于门面的作用在门轴上的力）都不可能使铁门顺利地打开。

将力的大小、方向和作用点称为力的三要素，三要素中的任何一个因素发生了改变，力的作用效果也就会随之改变。因此，要表达一个力，就要把力的三要素都表示出来。

1. 力的大小

它反映了物体间相互作用的强弱程度。通常可以由数量表示出来，力的度量单位，本

书采用国际单位制 (SI)。在国际单位制中，力的单位用牛顿或千牛顿，简称牛 (N) 或千牛 (kN)。其换算关系为：

$$1 \text{ 千牛顿 (kN)} = 1000 \text{ 牛顿 (N)}$$

目前在工程实际中，国际单位制正在推广实行，力的单位正由一直延用至今的工程单位制向国际单位制过渡。在工程单位制中，力的单位用千克力 (kgf) 或吨力 (tf)，两种单位的换算关系为：

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ tf} = 9.80665 \text{ kN}$$

2. 力的方向

通常包括指向和方位两个含义，例如，说重力的方向是“铅垂向下”，“铅垂”是力的方位，“向下”则是力的指向。

3. 力的作用点

指物体受力作用的地方。实际上，作用点并非是一个点，而是一块面积。当作用面积很小时，可以近似地看成为一点。通过力的作用点，沿力的方向的直线，称为力的作用线。

由此可知，力是既有大小，又有方向的物理量，把这种既有大小，又有方向的量称为矢量。它可以用一个带有箭头的直线线段（即有向线段）表示，如图 1-2 所示。其中线段的长短按一定的比例尺表示力的大小，线段的方位和箭头的指向表示力的方向。另外力还有作用点这个要素，而线段的起点或终点就表示力的作用点。过力的作用点，沿力的矢量方位画出的直线就表示力的作用线。这就是力的图示法。

本书凡是矢量都以黑体英文字母表示，如力 **F**；而以白体的同一字母表示其大小，如 *F*。

第二节 静力学基本公理

静力学基本公理是人们在长期的生产活动和生活实践中，经过反复观察和实践总结出来的客观规律，它正确地反映了作用在物体上的力的基本性质。这些基本公理只能在实践中得到验证，而不可能通过简单的理论进行推导证明。以静力学基本公理为基础，可以引出静力学的全部理论。

一、二力平衡公理

当刚体在某力系作用下处于平衡状态时，该力系必须满足一定的条件，这个条件被称为力系的平衡条件。

如图 1-3 所示，吊车起重重物，重物受到自重 **W** 和吊车绳索的拉力 **T** 的作用，这两个力组成了最简单的力系。由牛顿运动定律可知，如果重物处于平衡状态（即加速度为零），则外力 **W** 和 **T** 的合力必须等于零，即：

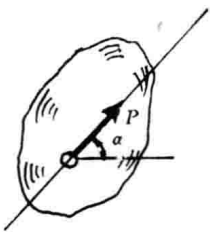


图 1-2

$$T - W = 0$$

$$T = W$$

也就是说，作用于同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要与充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且在同一直线上。

这个公理总结了作用于物体上最简单的力系平衡时必须满足的条件。所以强调刚体，是因为对于刚体来说，这个条件即必要又充分；而对于非刚体，这个条件虽然必要却不充分，例如：一条软绳在受到一对等值、反向的拉力作用时，可以平衡，但在受到一对等值、反向的压力作用时，就不能平衡了。我们将处于平衡状态的力系称为平衡力系。

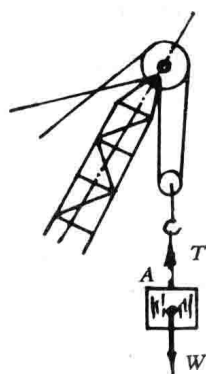


图 1-3

二、加减平衡力系公理

平衡力系也就是合力等于零的力系，根据牛顿运动定律，它不会改变刚体原有的运动状态。由此可得如下公理：可以在作用于刚体上的任一力系上，加上或减去任意的平衡力系，而不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说，相差一个或几个平衡力系的两个力系，其作用效果完全相同，可以互相代替。这种对于刚体作用效果完全相同的力系，称为等效力系。

应用这个公理可以推导出静力学中一个重要的定理——力的可传性原理，即作用在刚体上的力，可沿其作用线移动，而不改变该力对刚体的作用效果。

现证明一下这个原理的正确性。

设力 F 作用于刚体的 A 点，如图 1-4 (a) 所示。在力 F 的作用线上任取一点 B ，加上两个等值、反向，并与力 F 共线的力 F_1 和 F_2 ，如图 1-4 (b) 所示，并使力 F_1 、 F_2 和力 F 大小相等，即 $F_1 = F_2 = F$ 。由加减平衡力系公理可知，这并不影响力 F 对刚体的作用效果，即力系 (F, F_1, F_2) 与原力系 F 等效。在新的力系中， F 与 F_2 也可构成一个平衡力系，再由加减平衡力系公理，减去由 F 和 F_2 所构成的平衡力系，就只剩下力 F_1 ，如图 1-4 (c) 所示，力 F_1 与力 F 等效。于是，就把原来作用在 A 点上的力 F 沿其作用线移到了 B 点。原理证毕。

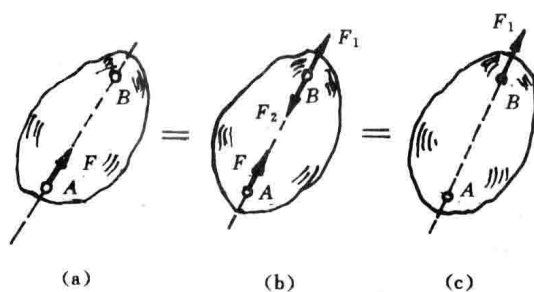


图 1-4

由力的可传性原理可知，力在刚体上的作用点可由其作用线代替。因此，作用在刚体上力的三要素又可表示为：大小、方向和作用线。

为加深印象，这里再次指出，无论加减平衡力系公理，还是力的可传性原理，都只适用于刚体，即只有研究刚体的平衡和运动时，它们才是正确的。

三、力的平行四边形法则

由中学物理可知：作用在刚体同一点、方向不同的两个力（也称共点力系），可以由与其作用效果完全相同、作用在该点的一个力来代替。将这个力称为两共点力的合力，两共点力称为该合力的分力。也可以说，合力是两分力的等效力系。显然，在讨论力系的平衡条件时，采用合力更为方便。

由分力求合力的过程称为力的合成，由合力求分力的过程称为力的分解。力的合成和分解都可由力的平行四边形法则完成。力的平行四边形法则的内容是：作用在刚体上同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力，它的大小和方向可由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示，如图 1-5 (a) 所示。

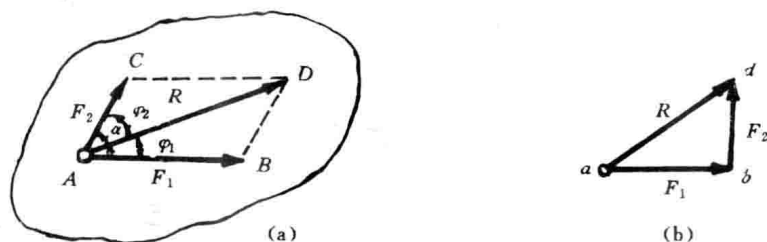


图 1-5

力的平行四边形也可以简化成为力的三角形，即用力的平行四边形的一半来表示，如图 1-5 (b) 所示。仍以 AB 表示力 F_1 ，将力 F_2 移到 BD 位置，三角形 ABD 的第三边 AD 就是力 F_1 和 F_2 的合力 R 。作图时，先通过 a 点画出第一个力 F_1 ，再以 F_1 的终点 b 作为第二个力 F_2 的起点，画出 F_2 ，则三角形的闭合边 ad 就代表合力 R 的大小和方向。此法也可称为力的三角形法则。

力三角形只表示各力的大小和方向，它并不表示各力作用线的位置。因此，力三角形只是一种矢量运算方法，不能完全表示力系的真实作用情况。

如果以 α 表示分力 F_1 与 F_2 间的夹角，再以 φ_1 和 φ_2 分别表示合力 R 与两分力间的夹角。则合力 R 的大小和方向可由三角公式求得。

在三角形 ABC 中，应用余弦定理，得：

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \alpha)$$

$$\because \cos(180^\circ - \alpha) = -\cos\alpha$$

$$\therefore R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可确定合力 R 的大小。

再在三角形 ABC 中应用正弦定理，得：

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

$$\therefore \sin (180^{\circ}-\alpha)=\sin \alpha$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore \sin \varphi_1 &= \frac{F_2}{R} \sin \alpha \\ \sin \varphi_2 &= \frac{F_1}{R} \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 $\alpha = \varphi_1 + \varphi_2$ 。由式 (1-2) 可以确定合力 R 的方向。

当 $\alpha = 90^{\circ}$ 时, 式 (1-1)、(1-2) 分别为:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad (1-3)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_1 &= \frac{F_2}{R} \\ \sin \varphi_2 &= \frac{F_1}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

应用力的平行四边形法则不仅可以两个力合成为一个合力, 而且也可以将一个力分解成为两个分力。但是, 两个已知力的合力是唯一的, 而将一个已知力分解为两个分力却能有无穷多种结果。这是因为用两个力为邻边构成的平行四边形只有一个, 而以一个力为对角线的平行四边形就不是唯一的了, 如图 1-6 (a) 所示, 力 F 既可分解为 F_1 和 F_2 , 也可分解为 F_3 和 F_4 等等。要想得到唯一的结果, 就必须给以附加的条件, 例如: 可将一个已知力分解成为两个方向已知的力, 或将一个已知力分解成为两个大小已知的力等等。特别是在解决工程实际问题时, 经常需将一个力 F 沿两个直角坐标轴方向分解成两个相互垂直的力 F_x 和 F_y , 如图 1-6 (b) 所示, 其大小可由三角公式确定:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\}$$



图 1-6

四、作用力与反作用力公理

现举几个例子来说明。如图 1-7 (a), 人水平推车前进, 要向前对车施加力 P , 同时, 车也向后对人施加力 P' 。又如图 1-7 (b), 楼板对梁施加向下的压力 g , 梁对楼板则施加

向上的支承力 g' ；梁对墙施加向下的压力 R_A 和 R_B ，同时，墙对梁也作用向上的支承力 R'_A 和 R'_B 。再如图 1-7 (c) 所示，提升一根柱时，吊钩对钢索施加向上的拉力 T ，钢索对吊钩也施加向下的拉力 T' 。总之，当一物体对另一物体施加作用力时，另一物体必定同时对此物体也施加相应的反作用力，即任意两物体间的作用力都是相互地、成对地出现的。

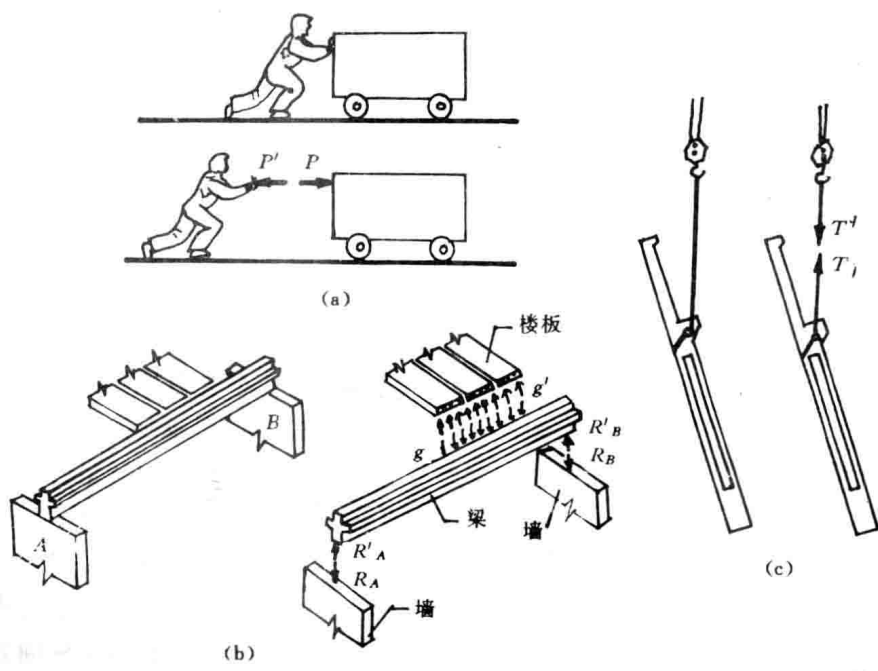


图 1-7

无数事实证明：当一个物体给另一个物体一个作用力时，另一物体也同时给该物体以反作用力。作用力与反作用力大小相等，方向相反，且沿着同一直线。这就是作用力与反作用力公理，此公理概括了自然界中物体间相互作用的关系，普遍适用于任何相互作用的物体。即作用力与反作用力同时出现，同时消失，说明了力总是成对出现的。

值得注意的是，不能将作用力与反作用力公理和二力平衡公理混淆起来，作用力与反作用力虽然也是大小相等，方向相反，且沿着同一直线，但此两力分别作用在两个不同的物体上，而不是同时作用在同一物体上，故不能构成力系或平衡力系。而二力平衡公理中的两个力是作用在同一物体上的。这就是它们的区别。应用上述静力学基本公理和力的可传性原理可以证明静力学的一个基本定理——三力汇交定理。

在刚体上作用着三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 和 F_3 ，若其中两个力 F_1 和 F_2 的作用线相交于点 A ，则第三个力 F_3 的作用线必通过汇交点 A ，如图 1-8 所示。

证明：由力的可传性原理可知，可将力 F_1 和 F_2 移到这两力作用线的交点 A ，再由力的平行四边形法则，将力 F_1 和 F_2

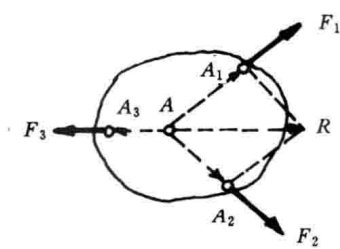


图 1-8