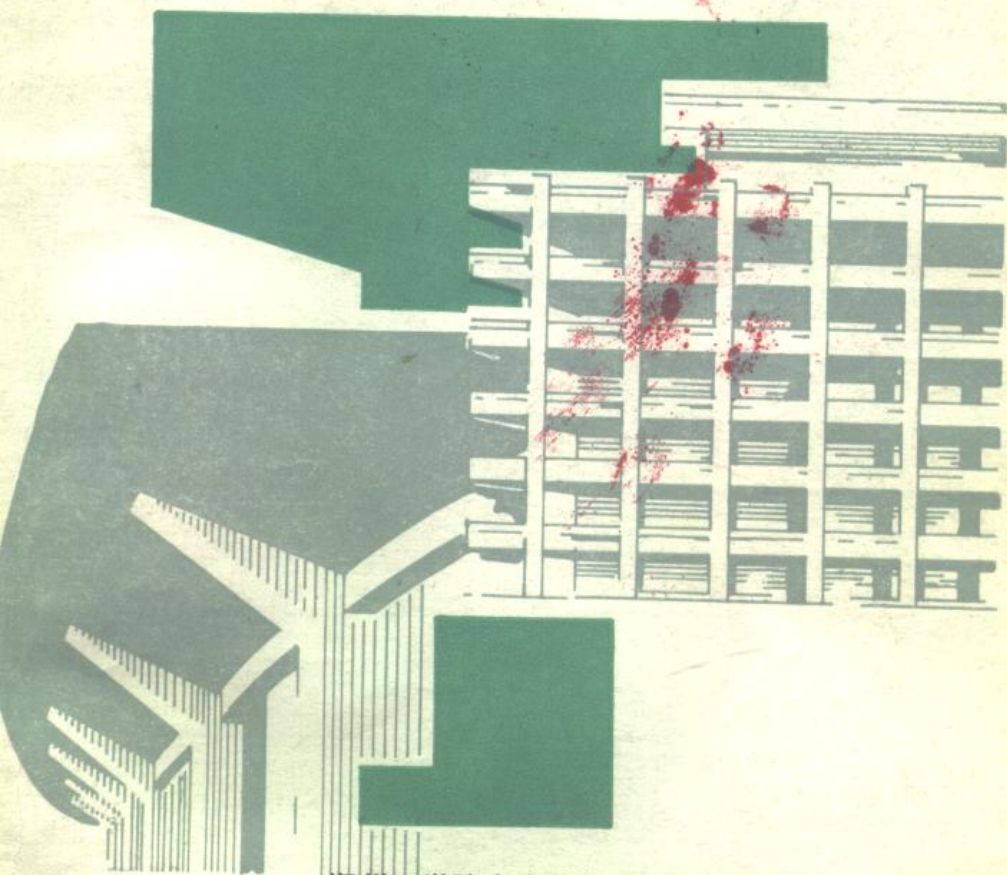


建筑结构基本知识丛书



郑州工学院土木建筑工程系《静力学》编写组

# 静力学

中国建筑工业出版社

建筑结构基本知识丛书

# 静 力 学

(第二版)

郑州工学院土木建筑工程系《静力学》编写组

中国建筑工业出版社

本书是建筑结构基本知识丛书之一，主要介绍力的合成、分解和简化的方法以及物体在力系作用下的平衡条件。全书共分静力学的基本概念、平面汇交力系、平面一般力系、滑动摩擦以及空间力系和物体的重心等五章。每章后附有习题，以供读者复习和培养解决工程问题的能力。

这套《建筑结构基本知识丛书》包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识，按专题分册出版，每册力求重点突出，并有一定的独立性，以便读者根据需要选读。这次修订版对原丛书各册的内容作了某些补充或修改。

本书可供具有初中以上文化水平的 basic 建设战线职工和青年自学参考，也可作为职工培训用书。

本书由寿楠椿主编，周鉴清、陈庆佑等参加了编写工作。第二版由寿楠椿修订。

## 建筑结构基本知识丛书

### 静力学

#### 第二版

郑州工学院土木建筑工程系《静力学》编写组

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 7<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 字数: 176千字

1982年3月第二版 1986年12月第四次印刷

印数: 147,431—158,530册 定价: 0.99元

统一书号: 15040·4200

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第一章 静力学的基本概念 .....               | 1  |
| 1-1 静力学研究什么问题 .....              | 1  |
| 1-2 对于力的认识 .....                 | 4  |
| 1. 力的概念 .....                    | 4  |
| 2. 力的三要素 .....                   | 5  |
| 3. 作用力和反作用力定律 .....              | 7  |
| 4. 力的基本运算法则 .....                | 9  |
| 5. 平衡的概念和二力平衡条件 .....            | 15 |
| 6. 力的可传性原理 .....                 | 17 |
| 1-3 结构构件受到哪些荷载的作用 .....          | 19 |
| 1. 集中力与分布力的概念 .....              | 19 |
| 2. 构件上的荷载怎样计算 .....              | 21 |
| 1-4 支座和支座反力 .....                | 24 |
| 1. 铰支座 ( 固定铰支座 ) .....           | 25 |
| 2. 辊轴支座 ( 活动铰支座 ) 与光滑接触面约束 ..... | 27 |
| 3. 固定端支座 .....                   | 29 |
| 1-5 怎样画构件的受力图 .....              | 31 |
| 习 题 .....                        | 40 |
| 第二章 平面汇交力系 .....                 | 47 |
| 2-1 什么是平面汇交力系 .....              | 47 |
| 2-2 平面汇交力系的合成 .....              | 49 |
| 1. 用几何法 ( 图解法 ) 求合力 .....        | 49 |
| 2. 用解析法 ( 数解法 ) 求合力 .....        | 51 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 2-3 平面汇交力系的平衡条件及其应用 .....      | 58  |
| 1. 平面汇交力系平衡的几何条件及图解法 .....     | 58  |
| 2. 平面汇交力系平衡的解析条件及数解法 .....     | 61  |
| 3. 平衡条件应用举例 .....              | 62  |
| 习 题 .....                      | 69  |
| 第三章 平面一般力系 .....               | 75  |
| 3-1 什么是平面一般力系 .....            | 75  |
| 3-2 力矩和合力矩定理 .....             | 78  |
| 1. 力矩的概念 .....                 | 78  |
| 2. 合力矩定理 .....                 | 81  |
| 3. 平行力的合力 .....                | 83  |
| 3-3 力偶和平面力偶系的合成 .....          | 86  |
| 1. 力偶及其特点 .....                | 86  |
| 2. 平面力偶系的合成和平衡条件 .....         | 92  |
| 3-4 力的平移法则 .....               | 94  |
| 3-5 平面一般力系的简化 .....            | 97  |
| 1. 平面一般力系向作用面内一点简化 .....       | 97  |
| 2. 平面一般力系简化为一个力或者一个力偶的情形 ..... | 100 |
| 3-6 平面一般力系的平衡条件及其应用 .....      | 104 |
| 3-7 平面平行力系的平衡条件及其应用 .....      | 118 |
| 3-8 构件系统的平衡问题和超静定问题的概念 .....   | 127 |
| 1. 静定多跨梁的支座反力计算 .....          | 128 |
| 2. 三铰刚架的支座反力计算 .....           | 132 |
| 3. 超静定问题的概念 .....              | 138 |
| 3-9 桁架的内力计算 .....              | 140 |
| 1. 节点法 .....                   | 144 |
| 2. 截面法 .....                   | 148 |
| 3. 节点法和截面法的联合应用 .....          | 151 |
| 习 题 .....                      | 155 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第四章 滑动摩擦 .....           | 166 |
| 4-1 滑动摩擦力的性质 .....       | 166 |
| 4-2 考虑摩擦时物体的平衡问题 .....   | 169 |
| 习 题 .....                | 174 |
| 第五章 空间力系和物体的重心 .....     | 178 |
| 5-1 什么是空间力系 .....        | 178 |
| 5-2 空间汇交力系的平衡方程式 .....   | 181 |
| 1. 作用于一点的力沿三垂直方向分解 ..... | 181 |
| 2. 空间汇交力系的平衡方程式 .....    | 184 |
| 5-3 力对于轴之矩 .....         | 189 |
| 5-4 空间力偶 .....           | 195 |
| 1. 力偶等效定理 .....          | 195 |
| 2. 力偶的三要素和力偶矩矢 .....     | 198 |
| 3. 空间力偶的合成 .....         | 200 |
| 5-5 空间一般力系的简化 .....      | 204 |
| 5-6 空间一般力系的平衡方程式 .....   | 210 |
| 5-7 物体的重心 .....          | 217 |
| 1. 什么是物体的重心 .....        | 217 |
| 2. 求重心的公式 .....          | 221 |
| 3. 平面图形的重心(形心) .....     | 225 |
| 习 题 .....                | 231 |
| 附录 习题答案 .....            | 241 |

# 第一章 静力学的基本概念

## 1-1 静力学研究什么问题

静力学是一门研究有关物体平衡问题的科学。它和其他科学技术一样是在生产实践中产生、发展又服务于生产实践的。在房屋结构的设计与施工中经常需要应用静力学原理，要学习建筑结构的科学知识就必须掌握它。

静力学研究物体在力作用下的平衡规律，它所研究的基本问题是：

（1）作用在物体上的力的合成、分解和简化的方法。所谓简化就是将作用在物体上的一群力简化为最简单的形式。

（2）物体在力系作用下的平衡条件——力系的平衡条件。所谓力系，就是作用在物体上的一群力。平衡，浅显地说就是物体在地面上维持静止状态。比如房屋结构通常都是在—群力即力系的作用下处于平衡的。物体平衡时作用在它上面的力系必须满足一定的条件，这就是力系的平衡条件。

力系的平衡条件及其在房屋建筑工程中的应用是本书讨论的主题。现在通过图 1-1 所示的楼房，大概地说一说静力学在房屋结构的设计与施工中的应用。

图 1-1 中的楼房在使用中会受到各种力的作用。比如：屋架要承受风力以及屋面和积雪、吊顶等的重量；楼板要承受人和物的重量；梁又要承受楼板以及楼板上的人和物的重

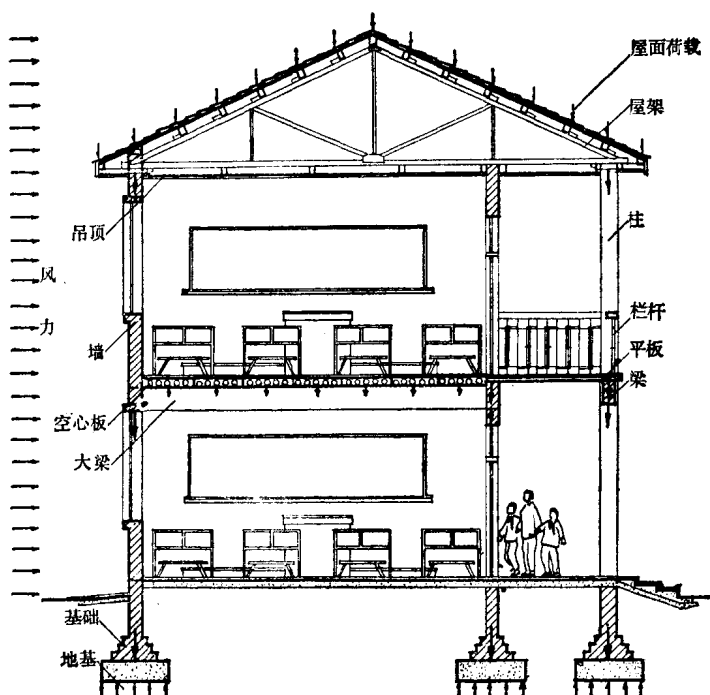


图 1-1

量；墙则要承受风力、屋架、楼板和梁传来的力。同时屋架、楼板、梁和墙等还必须承受自身的重量（简称自重）。所有这些重量或力最后都要通过基础传到地基上。上述这些起承重作用的房屋组成部分，如屋架、梁、板、墙（柱）、基础等称为构件。其所承受的重量或力称为荷载。通常所说的结构就是指建筑物中由构件组成的承受荷载而起骨架作用的部分。由屋架、楼板、梁、墙（柱）、基础等构件组成的体系就是起骨架作用的，称为房屋结构。

在设计这个房屋结构时，必须先分析屋架、楼板、梁、墙（柱）以及基础等构件受到什么力的作用，并且必须计算出这些力，即先要对每个构件进行受力分析。只有根据受力分析的结果才能进一步设计这些构件要多大的断面尺寸以及决定钢筋混凝土楼板和梁的配筋数量。而在作受力分析时，就必须应用静力学原理。

又如施工的时候，用起重机吊装钢筋混凝土大梁（图1-2），钢丝绳要多粗才合适？一般要预先计算一下起吊过程中钢丝绳可能受到多大的拉力，然后根据这个拉力的大小，并考虑其他的因素，选用合适的钢丝绳规格。这里计算拉力的大小也需要应用静力学原理。

以上所述，只是二个简单的例子。一般地讲，受力分析是房屋结构的设计和施工中不可缺少的重要环节，而房屋结构又都是在力系的作用下平衡的，因此要对房屋结构进行受力分析就必须应用静力学原理特别是力系的平衡条件（当然，仅靠静力学还远远不够）；同时静力学又是研究材料力学、结构力学和建筑结构问题的基础。

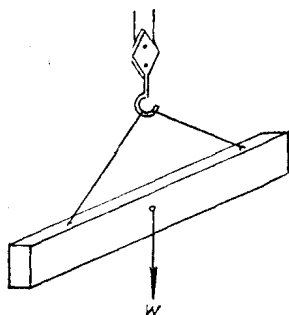


图 1-2

本书结合建筑工程着重讨论力的合成、分解和简化以及力系的平衡条件等基本原理。书中某些概念和原理是通过例题引出并加以阐述的，希望读者注意。

## 1-2 对于力的认识

### 1. 力的概念

力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐渐形成的。在建筑工地劳动，我们挑担、推车、拧螺帽、弯钢筋等要用力。同样，起重机起吊构件、牵引车拉大平板车、卷扬机拉直钢筋、压力试验机压碎混凝土试块等也都是力的作用。

力作用在车子上可以使车由静到动、使车运动加快或者转弯；力作用在钢筋上可以使直的钢筋变弯或者使弯的钢筋变直；力可以压碎混凝土试块，等等。凡此种种，都说明：力是一个物体对另一个物体的作用，这种作用使物体的运动状态发生改变或者使物体的形状发生改变。这里所说运动状态的改变，就是指物体运动快慢和运动方向的改变。力的作用是出现在两个物体之间的，一个物体受到力的作用，一定有另一个物体对它施加这种作用，因此力是不能离开物体而单独存在的。

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡问题。这里所说的平衡是指物体在地面上静止或作等速直线运动（更确切地说物体相对于地面静止或作等速直线运动）。平衡是运动的一个特殊情况，即物体受力作用后的运动状态不变。因此，仅当作用在物体上的力系满足一定的条件——平衡条件时物体的平衡才能成立。通常实际结构在荷载作用下都是处于平衡的，而且在正常情况下结构或构件在荷载作用下产生的变形很微小。例如，一般的公路桥梁和厂房吊车梁，在荷载作用下的最大下垂度  $f$  不允许超过梁跨度  $l$  的  $1/500 \sim$

1/700，如图1-3所示（图中用虚线夸张地画出了梁的变形，实际上变形小得肉眼看不出来，须用专门仪器测量）。在静力学中研究整个物体的平衡问题时，如果要考虑这些微小的变形，那就使问题变得非常复杂而难以解决。为了使问题便于解决，我们必须在研究过程中暂时忽略这些变形。事实证明，忽略这种微小的变形一般并不影响研究结果的精确度。因此，在静力学中研究物体的平衡问题时，变形是一次要因素可以忽略不计。即认为物体受力后保持原来的几何形状和尺寸不变，这样理想化了的物体称为刚体。刚体是真实物体的抽象模型，它实际上是不存在的。自然界的物体受力作用后总或多或少地要发生一些变形。我们把实际的结构物或构件抽象为刚体是为了抓主要矛盾，使平衡问题的研究得以顺利进行。显然，当进一步研究物体在力作用下的变形和破坏问题时，变形就成为主要因素而不能忽略。这时就不能再把实际的物体当作刚体而必须看作是可变形的物体了！本书中如果不作特别说明，所有的物体均认为是刚体。

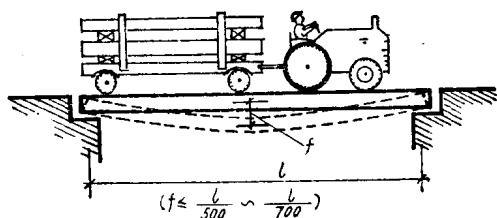


图 1-3

## 2. 力的三要素

无数的实践证明，力对物体的作用效果取决于“力的三要素”：

### (1) 力的大小

力是有大小的。工程上度量力的大小通常以“吨力”、“公斤力”为单位，习惯上简写为吨（或  $t$ ）、公斤（或  $kg$ ）。它们与重量的单位是一样的。

$$1 \text{ 吨} = 1000 \text{ 公斤}$$

或写为

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$$

测定力的大小可以用各种测力计，例如弹簧秤。

### (2) 力的方向

力不仅有大小，而且还有方向。力的方向包括力的方位和指向两个含义。例如机车拖动列车前进，机车对列车的牵引力是与路轨平行并指向前方的。地球对任何物体的吸引力都是沿着连接该物体的重心和地心的直线指向地心的。

### (3) 力的作用点

即力作用在物体上的位置。

以手握扳子拧紧螺帽为例（图1-4 a），能否拧紧螺帽不仅与力的大小有关系，还与手加力的方向和加力的位置有关系。若在A点加力就比在B点加力省劲，若在C点加一个指向螺帽中心的力，则无论这个力有多大也不能拧动螺帽（图1-4 b）。

由此可见，力的作用效果是由它的大小、方向和作用点三个要素确定的。力的大小、方向、作用点这三个要素中有一个改变了，力的作用效果就会发生改变。

对于力这一类既有大小又有方向的物理量称为矢量（或向量）。它可以用一根带有箭头并有一定长短的线段来表示，如图1-4 c 所示。线段AB的长度按一定的比例表示力的大小（例如规定图中1厘米长表示100公斤力，则AB长1.8厘米就表示力的大小是180公斤）； $\alpha$ 角表示力的方位，箭

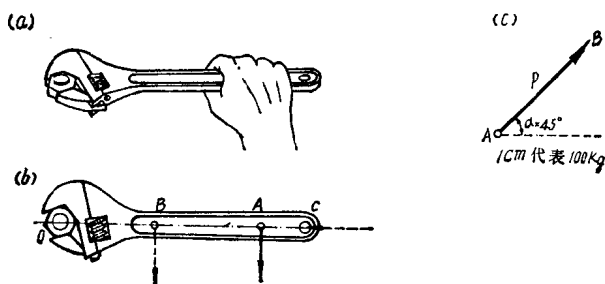


图 1-4

头的指向即力的指向；箭头  $B$  点或箭尾  $A$  点表示力的作用点。这就是力的图示法。图中通过力的作用点沿力的方向所画的直线  $AB$  叫做力的作用线，线段  $AB$  旁边的文字符号表示这个力叫  $P$ 。其实在图1-1、1-4 b 中我们已经用了力的图示法。

### 3. 作用力和反作用力定律

船工用篙撑河岸时，篙给河岸一个推力，反过来河岸也给篙一个反方向的力把船推离河岸。当我们提水时，手给水桶的

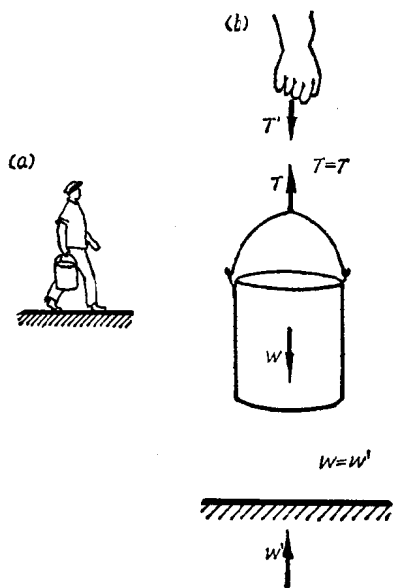


图 1-5

提环一个向上的力（图 1-5 b 中的力  $T$ ），反过来会感觉到提环给手一个向下的力（图 1-5 b 中的力  $T'$ ）。人站在楼板上，脚对楼板产生压力，反过来楼板也给人脚一个向上的力。同样，大梁两端压在墙上，梁端给墙一个压力，反过来墙给梁端一个向上的力支承着梁（图 1-6）。这些事实说明：当第一个物体对第二个物体有力的作用时，第二个物体也同时对第一个物体有力的作用，这一对力叫做作用力和反作用力。由此可见力既然是物体之间的相互作用，它的出现必然是成对的。

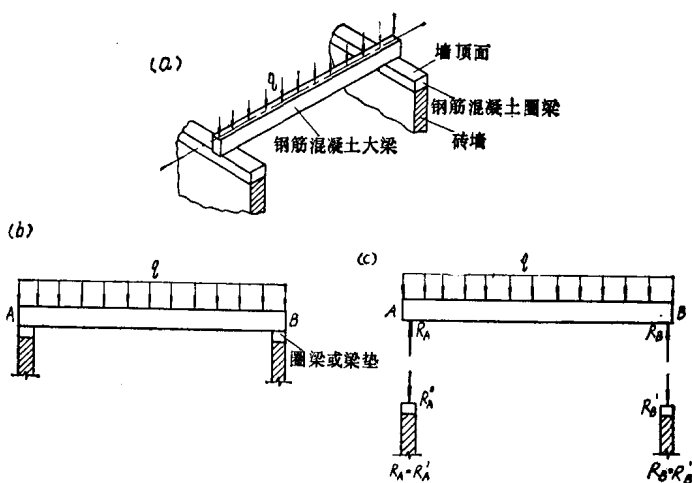


图 1-6

无数的实验证明：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等、方向相反并沿同一直线分别作用于这两个物体。这就是作用力和反作用力定律，又叫做牛顿第三运动定律。上述几个例子中的作用力和反作用力都是符合这个定律的。

这个定律是静力学中的基本定律，在分析结构的受力情况时经常要应用它。这里要特别注意两个问题：

第一、作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的，任何作用在同一物体上的两个力，都不是一对作用力和反作用力。例如图 1-5 b 所示的水桶的重力  $W$  与对手对提环的拉力  $T$ ，虽然它们可以是大小相等，方向相反，沿同一直线作用的两个力。但它们是作用在同一物体上的，所以并不是一对作用力和反作用力。实际上重力  $W$  是地球对水桶的吸引力，反过来水桶对地球也有一个吸引力  $W'$  作用在地球上，这才是一对作用力和反作用力。

第二、在分析一个物体的受力情况时，必须分清：哪些是这个物体所受的力，哪些不是这个物体而是其他物体所受的力。一对作用力和反作用力，其中只有一个力作用在这个物体上，另一个则作用在别的物体上。例如考察图 1-6 c 中墙的受力情况时，即以墙为受力对象时，则墙顶（这里把钢筋混凝土圈梁当作墙的一部分）所受的力是梁端对墙顶面的压力  $R'_A$ 、 $R'_B$ 。如果考察钢筋混凝土大梁的受力情况时，即以大梁为受力对象时，则梁端所受的力是墙顶对它们反作用力  $R_A$ 、 $R_B$ 。

#### 4. 力的基本运算法则

##### （1）力的合成

两个人拉一辆载货小车，一个人用力  $P_1=30$  公斤，另一个人用力  $P_2=20$  公斤（图 1-7 a）；或者一个人用力  $P_1=30$  公斤拉车，另一个人用力  $P_2=20$  公斤推车（图 1-7 b）。显然这两种情况下力的作用效果和一个  $R=50$  公斤的力作用在车上是相同的（图 1-7 c），小车将同样向前运动。这说明方

向相同,作用线为同一直线的两个力 $P_1$ 、 $P_2$ 对物体的作用,可以用另一个力 $R$ 来代替,其效果不变。力 $R$ 的大小为 $R = P_1 + P_2$ ,方向和作用线与 $P_1$ 、 $P_2$ 相同。这个力叫做 $P_1$ 与 $P_2$ 两个力的合力。请读者回答如果力 $P_1$ 与 $P_2$ 方向相反时合力 $R$ 怎样求?

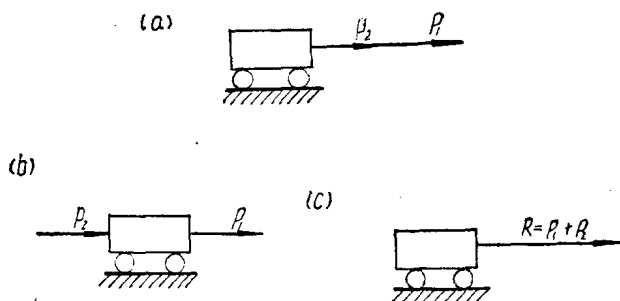


图 1-7

现在如果两个人各执一绳, 分别以力 $P_1=30$ 公斤、 $P_2=20$ 公斤按图1-8a所示方向拉车, 在这种情况下, 还能不能用一个效果相当的力, 来代替这两个互成某一角度的力的作用呢? 回答是肯定的。

大量的科学实验证明有这样一个规律<sup>①</sup>: 如果作用在一个物体上某点 $O$ 有互成角度的两个力 $P_1$ 和 $P_2$ , 则它们对该物体的作用可以用一个合力 $R$ 来代替。合力 $R$ 的大小和方向, 由 $P_1$ 和 $P_2$ 为邻边所作成的平行四边形的对角线来确定, 合力 $R$ 的作用点也在 $O$ 点(图1-8b)。这个规律称为力的平行四边形法则。两个力用一个力来代替。称为力的合成。而 $P_1$ 、 $P_2$ 则称为合力 $R$ 的分力。

① 物理学中用精确的试验证明了这个规律。

力的平行四边形也可以简化为力的三角形，即用力的平行四边形的一半来表示。如图 1-8 c 所示，仍以  $OA$  表示力  $P_1$ ，而把力  $P_2$  平行移至  $AC$  的位置，三角形  $OAC$  的第三个边  $OC$  就是  $P_1$  和  $P_2$  的合力  $R$ 。作图时先通过  $O$  点画出第一个力  $P_1$ ，然后以  $P_1$  的终点  $A$  作为第二个力  $P_2$  的起点画出  $P_2$ ，则三角形的闭合边（由  $P_1$  的起点  $O$  指向  $P_2$  的终点  $C$ ）就代表合力  $R$  的大小和方向。这样求合力的规则叫做力的三角形法则。

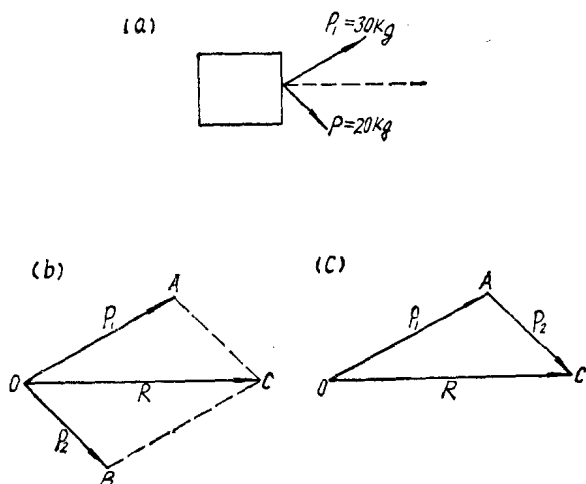


图 1-8

让我们用上述法则来求图 1-8 a 所示二力  $P_1$ 、 $P_2$  的合力。先规定比例尺，以 1 厘米代表 10 公斤力。然后分别按力  $P_1$ 、 $P_2$  的大小和方向（图 1-8 a）作平行四边形或三角形， $OC$  即为合力  $R$ （图 1-8 b、c）。正是这个力  $R$  可以代替  $P_1$ 、 $P_2$  两个力的作用。从图上量得  $OC$  长 4.1 厘米，故合力的大小是 41 公斤。显然，这里合力  $R$  的大小已不再是  $P_1$ 、 $P_2$  两个力