



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



工程力学教程

第 2 版

西南交通大学应用力学与工程系 编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程力学教程

第2版

西南交通大学应用力学与工程系 编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。第1版于2004年出版,是教育科学“十五”国家规划课题研究成果。本教材按高等学校工科本科工程力学课程中、少学时(48~96学时)的要求编写,涵盖了理论力学和材料力学的主要内容。本次修订内容包括:静力学中增加了空间力系及摩擦两章,原书第6章“内力和内力图”分别放在后面相关章节中叙述,对需要重点掌握的概念加了着重符号,以利于学生学习或教师使用。

全书共18章,包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、摩擦、空间力系和重心、拉伸和压缩、扭转、弯曲、应力状态分析和强度理论、压杆的稳定性、点的运动、刚体的基本运动、点的复合运动、刚体的平面运动、质点的运动微分方程、动力学普遍定理、动静法。本书在叙述某些概念和方法的同时,给出了相关的思考题,可供课堂讨论之用。本书具有很强的教学适用性,有助于培养工程应用型人才。

本书可作为高等学校工科本科非机类及相关专业中、少学时工程力学课程的教材,也可供高职高专与成人高校师生、网络教育及有关工程技术人员参考。

本书配有电子教案。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学教程/西南交通大学应用力学与工程系编.
—2版. —北京:高等教育出版社,2009.1
ISBN 978-7-04-024922-4

I. 工… II. 西… III. 工程力学-高等学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第185587号

策划编辑 杨倩 责任编辑 张玉海 封面设计 于文燕 责任绘图 尹莉
版式设计 马敬茹 责任校对 杨雪莲 责任印制 尤静

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网址	http://www.hep.edu.cn
总机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印刷	北京铭成印刷有限公司印刷		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开本	787×960 1/16	版次	2004年7月第1版
印张	28		2009年1月第2版
字数	520 000	印次	2009年1月第1次印刷
		定价	37.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24922-00

第 2 版前言

本教材第 1 版自 2004 年出版以来,得到了广大教师和学生的真诚关心和大力支持。现根据我们几年来的教学实践和听取了部分老师的意见作了局部修订,主要有:

1. 加强了“摩擦”这一部分内容,单独列为一章;增加了“空间力系和重心”这一章。

2. 将原书“内力和内力图”这一章内的“轴力及轴力图”、“扭矩和扭矩图”和“剪力和弯矩”、“剪力图和弯矩图”分别归入“拉伸和压缩”、“扭转”和“弯曲”等各章,以利讲解。

3. 在习题选取中,力争结合实际。

4. 正文中对重点部分加注重点符号。

5. 对第 1 版作了全面、认真的校核,并将疏漏之处更正。

本次修订工作由葛玉梅(第 1~11 章)、邱秉权(第 12~18 章)执笔完成,电子教案由葛玉梅主持完成。

本次修订承蒙大连理工大学郑芳怀教授、清华大学贾书惠教授审阅。对他们认真审阅和仔细指点深表谢意。使用该教材第 1 版的教师和学生也对本书提出了许多宝贵意见。在此谨向他们表示衷心的感谢。

虽然经过我们的努力,但限于执笔者的水平,书中难免仍存在不足之处,衷心希望广大读者和使用者提出批评和指正。

西南交通大学 力学与工程学院

2008 年 10 月

第 1 版前言

本教材按 70~90 课内学时编写，适用于大学本科“工程力学”课程安排为中、少学时的各专业以及大专院校的专科教学之用，亦可供成人教育及网络教育使用。

本教材涵盖了理论力学和材料力学的主要内容。在内容的安排上，先讲授静力学基本理论、内力和内力图，然后是构件的强度、刚度和稳定性计算，最后讲授运动学和动力学基本理论。

教材中结合理论分析和例题，列有一定数量的思考题，以启发读者深入思考，其中包括初学者易于误会之处以及需要灵活掌握的方法。编者在选择这些问题时力戒呆板，以防学生死记硬背。在教学中，这些思考题也可供课堂讨论使用。

本教材由西南交通大学应用力学与工程系编，奚绍中、邱秉权执笔，葛玉梅参加了编写工作。本教材是在奚绍中、邱秉权主编的《工程力学》(西南交通大学出版社,1987)的基础上改编而成的，曾参加该书编写的有陈均衡(泸州化工专科学校)、李志君、周坤如、万长珠、罗无量、毛文义、张茂修以及奚绍中、邱秉权。

本教材收录了一些工程设计中曾经出现过问题的、与计算简图相关的内容，如简支梁桥的约束条件以及长千斤顶油缸弯曲刚度对临界力的影响等。在强度理论部分还介绍了我国学者俞茂铨于 1961 年提出的“双剪应力屈服准则”。本教材充分吸纳了执笔人过去 40 余年从事工科力学教学和编写多种力学教材的经验，具有很强的教学适用性，并有利于培养工程应用型人才。

本教材承蒙大连理工大学郑芳怀教授审阅，谨此致谢。

由于执笔人能力有限，书中难免存在不足之处，衷心希望读者批评指正。意见请寄：西南交通大学应用力学与工程系(四川省成都市，邮编：610031)。

西南交通大学应用力学与工程系
2004 年 2 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第1章 静力学基础 /1

§1-1 静力学的基本概念	1
§1-2 静力学公理	4
§1-3 约束和约束力	8
§1-4 物体受力分析和受力图	15
习题	19

第2章 平面汇交力系 /23

§2-1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	23
§2-2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	28
习题	35

第3章 力矩与平面力偶系 /38

§3-1 关于力矩的概念及其计算	38
§3-2 关于力偶的概念	40
§3-3 平面力偶系的合成与平衡	43
习题	46

第4章 平面任意力系 /49

§4-1 力线平移定理	50
§4-2 平面任意力系向一点简化	51
§4-3 分布荷载	55
§4-4 平面任意力系的平衡条件	57
§4-5 平面平行力系的平衡条件	60
§4-6 物体系的平衡问题·静定与超静定的概念	61
§4-7 平面静定桁架的内力分析	64
习题	68

第5章 摩擦 /73

§5-1 滑动摩擦	73
§5-2 考虑摩擦时的物体平衡问题	76
§5-3 滚动摩擦阻的概念	82
习题	84

第6章 空间力系和重心 /88

§6-1 空间汇交力系的合成与平衡	88
§6-2 力对点之矩与力对轴之矩	93
§6-3 空间力偶系的合成与平衡	97
§6-4 空间任意力系的简化·主矢与主矩	101
§6-5 空间任意力系的平衡	107
§6-6 重心和形心的坐标公式	111
§6-7 确定重心和形心位置的具体方法	114
习题	116

第7章 拉伸和压缩 /121

§7-1 轴力及轴力图	121
§7-2 横截面上的应力	123
§7-3 拉压杆的强度计算	127
§7-4 斜截面上的应力	130
§7-5 拉(压)杆的变形与位移	132
§7-6 拉(压)杆内的应变能	136
§7-7 低碳钢和铸铁受拉伸和压缩时的力学性能	139
§7-8 简单的拉、压超静定问题	145
§7-9 拉(压)杆接头的计算	150
习题	153

第8章 扭转 /158

§8-1 扭矩和扭矩图	158
§8-2 薄壁圆筒扭转时的应力和变形	160
§8-3 圆杆扭转时的应力和变形	162
§8-4 受扭圆杆的强度条件及刚度条件	171
§8-5 等圆截面直杆在扭转时的应变能	176

§ 8-6 矩形截面杆的扭转·····	179
习题·····	183
第 9 章 弯曲 /186	
§ 9-1 剪力和弯矩·剪力图和弯矩图·····	186
§ 9-2 剪力图和弯矩图的进一步研究·····	192
§ 9-3 弯曲正应力·····	195
§ 9-4 惯性矩的平行移轴公式·····	204
§ 9-5 弯曲切应力·····	206
§ 9-6 梁的强度条件·····	212
§ 9-7 挠度和转角·····	214
§ 9-8 斜弯曲·····	220
§ 9-9 弯曲应变能·····	222
§ 9-10 超静定梁·····	225
习题·····	228
第 10 章 应力状态分析和强度理论 /234	
§ 10-1 概述·····	234
§ 10-2 平面应力状态分析·····	235
§ 10-3 平面应力状态下的胡克定律·····	238
§ 10-4 三向应力状态·····	241
§ 10-5 强度理论及其应用·····	244
习题·····	252
第 11 章 压杆的稳定性 /254	
§ 11-1 关于稳定性的概念·····	254
§ 11-2 细长中心压杆的临界荷载·····	256
§ 11-3 欧拉公式的适用范围·临界应力总图·····	260
§ 11-4 压杆的稳定条件和稳定性校核·····	262
习题·····	265
第 12 章 点的运动 /268	
§ 12-1 运动学的基本内容·参考系·····	268
§ 12-2 点的运动的矢量表示法·····	268

§ 12-3 点的运动的直角坐标表示法	270
§ 12-4 点的运动的自然表示法(弧坐标表示法)	274
习题	280
第 13 章 刚体的基本运动 /282	
§ 13-1 刚体的移动	282
§ 13-2 刚体的定轴转动	283
§ 13-3 转动刚体上点的速度和加速度	287
习题	291
第 14 章 点的复合运动 /294	
§ 14-1 绝对运动、相对运动和牵连运动	294
§ 14-2 点的速度合成定理	296
§ 14-3 牵连运动为移动时点的加速度合成定理	299
习题	301
第 15 章 刚体的平面运动 /306	
§ 15-1 刚体平面运动分解为移动和转动	306
§ 15-2 平面图形上点的速度·速度瞬心	308
§ 15-3 平面图形上点的加速度	315
习题	318
第 16 章 质点的运动微分方程 /321	
§ 16-1 动力学的基本定律	321
§ 16-2 质点的运动微分方程	323
习题	329
第 17 章 动力学普遍定理 /332	
§ 17-1 动量定理	332
§ 17-2 动量矩定理	342
§ 17-3 动能定理	355
§ 17-4 动力学普遍定理的综合应用	369
习题	374

第 18 章 动静法 /380

§ 18-1 关于惯性力的概念	380
§ 18-2 质点的动静法	381
§ 18-3 质点系的动静法	384
§ 18-4 刚体惯性力系的简化	386
习题	393
附录 I 型钢表	396
附录 II 简单荷载作用下梁的挠度和转角	409
参考文献	412
习题答案	413
索引	424
Synopsis	428
Contents	429
执笔者简介	434

第 1 章 静力学基础

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。它主要解决两类问题：一是将作用在物体上的力系进行简化,即用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系,这类问题称为“力系的简化(或力系的合成)问题”;二是建立物体在各种力系作用下的平衡条件,这类问题称为“力系的平衡问题”。

静力学是工程力学的基础部分,在工程实际中有着广泛的应用。它所研究的两类问题(力系的简化和平衡),无论对于研究物体的运动或变形都有十分重要的意义。因为研究物体的运动和变形以及工程结构和机器能否正常工作而不致发生破坏等时,都要知道作用在物体上的各种力(包括未知力)的大小和方向。

力在物体平衡时所表现出来的基本性质,也同样表现于物体做一般运动的情形中。在静力学里关于力的合成、分解与力系简化的研究结果,可以直接应用于动力学。

本章将阐述静力学中的一些基本概念、静力学公理、工程上常见的典型约束和约束力,以及物体的受力分析。

§ 1-1 静力学的基本概念

一、关于力的概念

关于力的概念是人们在生活和生产实践中,通过长期的观察和分析而逐步形成的。当人们推动小车时,由于手臂肌肉的紧张和收缩而感受到了力的作用。这种作用不仅存在于人与物体之间,而且广泛地存在于物体与物体之间,例如机车牵引车辆加速前进时或者制动时,机车与车辆之间、车辆与车辆之间都有力的作用。大量事实说明,力是物体(指广义上的物体,其中包括人)之间的相互机械作用,离开了物体,力就不可能存在。力虽然看不见,但它的作用效应完全可以直接观察,或用仪器测量出来。实际上,人们正是从力的作用效应来认识力本身的。

1. 力的定义

力是物体之间的相互机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化，同时使物体的形状或尺寸发生改变。前者称为力的运动效应或外效应，后者称为力的变形效应或内效应。

2. 力的三要素

力对物体作用的效应，决定于力的大小、方向(包括方位和指向)和作用点，这三个因素称为力的三要素。在这三个要素中，如果改变其中任何一个，也就改变了力对物体的作用效应。例如沿水平地面推一个木箱(图1-1)，当推力 F 较小时，木箱不动，当推力 F 增大到某一数值时，木箱开始滑动。如果推力 F 的指向改变了，变为拉力，则木箱将沿相反方向滑动。如果推力 F 不作用在点 A 而移到点 B ，则木箱的运动趋势就不仅是滑动，而且可能绕点 C 转动(倾覆)。所以要确定一个力，必须说明它的大小、方向和作用点，缺一不可。

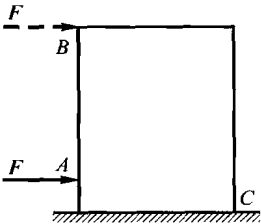


图 1-1

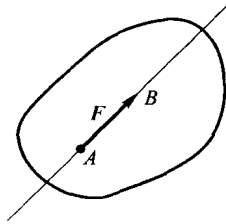


图 1-2

(1) 力是矢量。力是一个既有大小又有方向的量，力的合成与分解需要运用矢量的运算法则，因此它是矢量(或称向量)(vector)。

(2) 力的矢量表示。力矢量可用一具有方向的线段来表示，如图1-2所示。用线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小，用线段的方位和箭头指向表示力的方向，用线段的起点或终点表示力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。按国家标准《量和单位》GB 3100~3102—93，本教材中单个字母表示的矢量，用黑斜体字母表示，对于用两个字母表示一个矢量的情况，则在其上方加一箭头，如 \vec{F} 、 \vec{AB} 等；用同文的白体字母(如 F 、 AB)代表该矢量的模(大小)。

(3) 力的单位。力的单位是N(牛顿)或kN(千牛顿)。

3. 等效力系

(1) 力系(system of forces)。作用在物体上的若干个力总称为力系，以

(F_1, F_2, \dots, F_n) 表示(图 1-3a)。

(2) 等效力系(equivalent system of forces)。如果作用于物体上的一个力系可用另一个力系来代替,而不改变原力系对物体作用的外效应,则这两个力系称为等效力系或互等力系,以 $(F_1, F_2, \dots, F_n) = (F'_1, F'_2, \dots, F'_m)$ 表示(图 1-3b)。

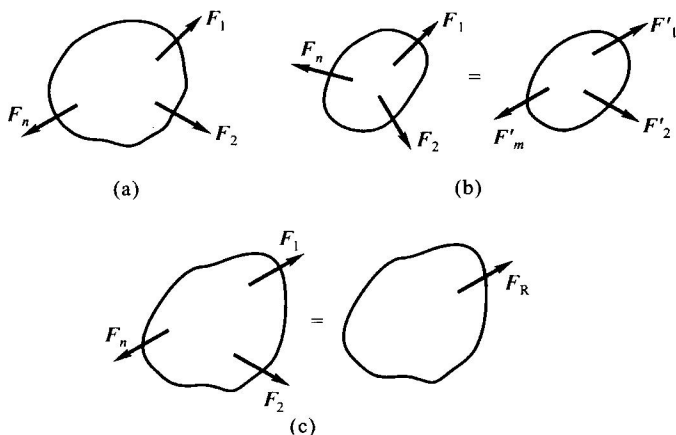


图 1-3

需要强调的是,这种等效力系只是不改变对于物体作用的外效应,至于内效应显然将随力的作用点等的改变而有所不同。

(3) 合力(resultant force)。如果一个力 (F_R) 与一个力系 (F_1, F_2, \dots, F_n) 等效,则力 F_R 称为此力系的合力,而力系中的各力则称为合力 F_R 的分力(图 1-3c)。

二、关于刚体的概念

任何物体在力的作用下,或多或少总要产生变形。但是,工程实际中构件的变形通常是非常微小的,当研究力对物体的运动效应时,可以忽略不计。

所谓刚体(rigid body)就是指在受力情况下保持其几何形状和尺寸不变的物体,亦即受力后任意两点之间的距离保持不变的物体。显然,这只是一个理想化了的模型,实际上并不存在这样的物体。这种抽象简化的方法,虽然在研究许多问题时是必要的,而且也是许可的,但它是有条件的。以后我们将会看到,当研究物体在受力情况下的变形或破坏时,即使变形很小,也必须考虑物体的变形情况,即把物体视为变形体而不能再看作刚体。

三、关于平衡的概念

所谓物体的平衡(equilibrium), 工程上一般是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动的状态。

要使物体处于平衡状态, 作用于物体上的力系必须满足一定的条件, 这些条件称为力系的平衡条件; 作用于物体上正好使之保持平衡的力系则称为平衡力系。静力学研究物体的平衡问题, 实际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件, 并利用这些条件解决工程中的实际问题。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理(axiom in static)是人类在长期的生活和生产实践中, 经过反复观察和实验总结出来的客观规律, 它正确地反映和概括了作用于物体上的一些基本性质。静力学的全部理论, 即关于力系的简化和平衡条件的理论, 都是以这些公理为依据而得出的。

公理1 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力, 使刚体处于平衡状态的必要与充分条件是: 这两个力大小相等, 方向相反, 且作用于同一直线上(简称等值、反向、共线)(图1-4)。

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系在平衡时所必须满足的条件, 它是静力学中最基本的平衡条件。对于刚体来说, 这个条件既是必要的又是充分的, 但对于变形体, 这个条件是不充分的。例如, 软绳受两个等值反向共线的拉力作用可以平衡, 而受两个等值反向共线的压力作用就不能平衡(图1-5)。

值得注意的是, 两个力等值、反向、共线这三个条件对于使刚体处于平衡来说是缺一不可的。例如图1-6所示中的两个力 F_1 、 F_2 , 尽管 $F_1 = -F_2$, 但不足以使刚体处于平衡。

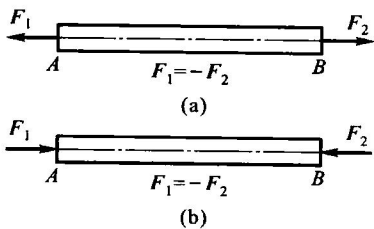


图 1-4

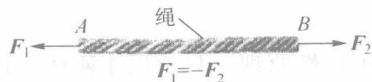


图 1-5

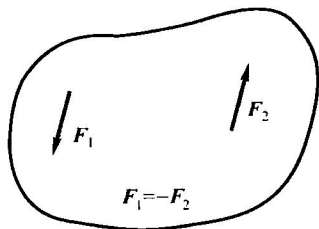


图 1-6

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。这是因为平衡力系对刚体作用的总效应等于零，它不会改变刚体的平衡或运动的状态。这个公理常被用来简化某一已知力系。

应用这个公理可以导出作用于刚体上的力的如下一个重要性质。

力的可传性原理 作用于刚体上的力，可沿其作用线移动至该刚体上的任意点而不改变它对刚体的作用效应。例如，图 1-7 中在车后点 A 加一水平力 F 推车，与在车前点 B 加一水平力 F 拉车，对于车的运动而言，其效果是一样的。

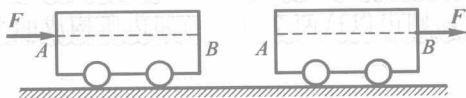


图 1-7

这个原理可以利用上述公理推证如下(图 1-8)：

(1) 设力 F 作用于刚体上的点 A(图 1-8a)；

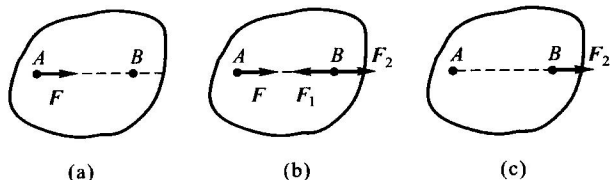


图 1-8

(2) 在力的作用线上任取一点 B，并在点 B 加一平衡力系 (F_1, F_2) ，使 $F_1 = -F_2 = -F$ (图 1-8b)；由加减平衡力系公理知，这并不影响原力 F 对刚体的作用效应，即力系 $(F, F_1, F_2) = F$ ；

(3) 再从该力系中去掉平衡力系 (F, F_1) ，则剩下的力 F_2 (图 1-8c) 与原

力 F 等效。这样就使原来作用在点 A 的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

根据力的可传性，力在刚体上的作用点已为它的作用线所代替，所以作用于刚体上的力的三要素又可以说是：力的大小、方向和作用线。这样的力矢量称为滑动矢量。力虽然是作用点一定的矢量即定位矢量，但研究力对刚体的运动效应时，可看作滑动矢量。

应当指出，加减平衡力系公理以及力的可传性原理，只适用于刚体，即只有在研究刚体的平衡或运动时才是正确的。对于需要考虑变形的物体，加减任何平衡力系，或将力沿其作用线作任何移动，都将改变物体的变形或物体内部的受力情况。例如，图 1-9a 所示的杆 AB ，在平衡力系 (F_1, F_2) 作用下产生拉伸变形；如去掉该平衡力系，则杆就没有变形；如根据力的可传性，将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端，如图 1-9b 所示，则该杆就要产生压缩变形。

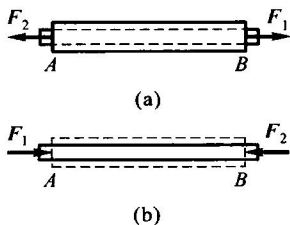


图 1-9

公理3 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，合力也作用在该点上，合力的大小和方向则由以这两个分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示(图 1-10a)。

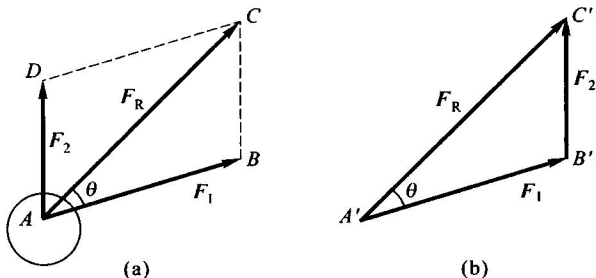


图 1-10

这种合成力的方法称为矢量加法，而合力矢量就是分力的矢量和(或几何和)。图 1-10 中按同一比例尺作出了以作用于点 A 的两个力为邻边构成的平行四边形，其对角线代表合力的大小和方向，三个力的关系可用矢量式表示为

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

应该指出，式(1-1)是矢量等式，它与代数等式 $F_R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同，不能混淆。