

建筑结构设计及工程应用丛书

工程力学



GONGCHENG LIXUE

主 编 蒋秀根
副主编 傅向荣 剧锦三

中国建筑工业出版社

建筑结构设计及工程应用丛书

工 程 力 学

主 编 蒋秀根

副主编 傅向荣 剧锦三

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/蒋秀根主编. —北京:中国建筑工业出版社, 2009

(建筑结构设计及工程应用丛书)

ISBN 978-7-112-10571-7

I. 工… II. 蒋… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 206951 号

本书主要阐述建筑结构和结构分析中的基本力学问题。全书分十一章。第一、二章介绍有关力的一些基本概念和基本规律,是对构件受力分析的基础;第三、四章介绍拉压、剪切和扭转;第五、六章讨论梁的内力、应力和强度计算问题,这是本书重点;第七、八章分别研究应力状态、强度理论,以及组合受力问题,是解决构件在复杂受力情况下的强度问题;第九章研究梁的刚度计算问题;第十章研究压杆稳定问题。上述一、二章为力学基础;第四章以后的弯曲为重点讨论构件的承载力问题。全部讨论中以大量联系工程实际的分析计算例题配合讲解。最后第十一章为结构动力学基础,简明扼要地介绍了结构动力计算的基本概念和地震分析概念。

本书主要供新参加工作的毕业生、施工技术人员和管理人员以及工程监理人员阅读,也可供一些课时编排紧促的专业作为工程力学简明教材。

* * *

责任编辑:赵梦梅 刘婷婷 刘瑞霞

责任设计:赵明霞

责任校对:梁珊珊 关 健

建筑结构设计及工程应用丛书

工 程 力 学

主 编 蒋秀根

副主编 傅向荣 剧锦三

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 362 千字

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-10571-7

(17496)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

丛书编写委员会

(以姓氏笔画为序)

主 编：王亚勇 江见鲸 朱炳寅 郭继武

编 委：王昌兴 何浙浙 宋振森 张惠英

李 静 李晨光 姚 谏 胡天兵

胡孔国 蒋秀根 黎 钟

“建筑结构设计及工程应用丛书”出版说明

随着我国建设事业的迅猛发展,需要越来越多素质高、实践能力强的建设人才。高等院校已为学生打下坚实的理论知识及其应用的基础,但从学校到社会实践还需学生向有经验的工程人员学习,并结合实践磨练和提高。在技术日新月异、专业纷繁交错的今天,即使已有一些经验的工程人员,也要不断巩固已有的理论,吸收新的知识和借鉴别人的经验。我社早年出版过一套“建筑结构基本知识丛书”,供在职的初级技术人员学习参考应用,且随着我国建筑工程技术人员水平的提高而经多次修订,但今日的要求远非昔日可比,这套丛书已不能满足今日走向社会的大学生和在职人员的需要。

为了沟通理论与实践、学校教育与社会实际,我社在清华大学、浙江大学、中国建筑科学研究院、中国建筑设计研究院等多所高等院校和研究设计单位部分具有深厚理论基础和丰富实践经验的教授和高级工程师大力支持下,对上述丛书重新组织,编写了这套“建筑结构设计及工程应用丛书”,目的是给新参加建筑结构设计的大专院校学生,以及建筑结构设计、施工、监理人员提供参考。

丛书内容本着加深对基本概念和基本理论的理解,淡化理论计算分析过程的推导,着重理论分析与工程实践的联系,尤其突出从理论、规范规定到在实际工程中的具体应用,以及对实际问题包括电算结果的判断与分析,尽量介绍一些在实践中已得到广泛应用的实用分析方法和简洁设计图表,以求指出一条通向实践的方便之路。

本丛书包括以下10个分册:

- ◆《钢筋混凝土结构设计及工程应用》
- ◆《预应力混凝土结构设计及工程应用》
- ◆《砌体结构设计及工程应用》
- ◆《钢结构设计及工程应用》
- ◆《轻型钢结构设计及工程应用》
- ◆《建筑结构抗震设计及工程应用》
- ◆《多高层混凝土结构设计及工程应用》
- ◆《建筑地基基础设计及工程应用》
- ◆《建筑加固与改造》
- ◆《工程力学》

希望本丛书的出版能对即将从事建筑结构设计的大学生给予引导,对正在从事建筑结构设计的人员进一步提高提供参考。在设计、施工专家们的支持下,我社将会组织出版更多实用的技术丛书,以满足广大工程技术人员需要。

中国建筑工业出版社

前言

本丛书读者对象为大、中专院校土建专业学生，新参加建筑设计工作的毕业生，施工技术人员和管理人员以及工程监理人员。旨在引导土建从业者入门；给学生课程设计和毕业设计提供参考；帮助设计人员巩固基本概念并建立计算模型；为施工监察和管理人员了解设计意图提供方便。

工程力学作为工程类学生的一门专业基础课程，解决建筑设计和结构分析中的基本力学问题。该课程一般包括理论力学和材料力学两方面的知识。本书结合专业特点，将两方面的知识有机地进行了整合，在内容编排上考虑精练的同时，也达到了必要的深度要求，因此本书也特别适用于一些课时编排紧促的专业，作为工程力学、建筑力学、理论力学和材料力学的简明教材。原版丛书中有个理念，希望能不通过各种公式的数学推导也能看懂本书，学好这门力学基础课程。这也是我们希望在重新编写时能够继承下来的。

工程力学全书十一章：第一、二章明确研究对象和基本内容，并介绍静力学的基础知识和工程中的一些简单应用；第三、四、五章分别介绍拉伸与压缩、剪切与扭转以及梁的弯曲等几类材料的基本变形模式及其力学分析方法；第六、七章引入应力的概念和几种常用的材料强度理论，并分析以上几类基本变形模式下工程构件的承载能力；第八、九和十章对组合受力分析、位移计算、稳定问题等工程中关心的问题，进行了深入浅出的探讨。第十一章简明地介绍结构动力学的基础知识及地震分析概念。

本书内容由浅入深，我们希望通过精心的例题设计，让大家掌握分析工程力学问题的基本思路和方法。中国农业大学土木工程系老师蒋秀根、傅向荣、剧锦三、王宏志、雷隼卿等参加了本书的编写。张凤杰、刘春扬、刘长云、王文婕、杜敬、周娟等研究生为本书绘制了插图。

本书简明扼要，希望能在原版小丛书良好的基础上构造一个通俗易懂、短小精悍的品牌书系。但由于我们的知识水平和经验有限，编写中难免有不妥之处。我们乐于在与大家共同学习好本门课程的同时相互交流，也欢迎各位专家批评指正。

主要字符表

本书字符	字符意义	常用单位	其他书籍常用字符
p	面分布荷载集度	$\text{kN/m}^2, \text{N/m}^2$	
q	线分布荷载集度	$\text{kN/m}, \text{N/m}$	
G, W	自重(重力)	kN, N	
M_O	力系对点 O 的主矩	$\text{kN} \cdot \text{m}, \text{N} \cdot \text{m}$	L_0
m	力偶矩	$\text{kN} \cdot \text{m}, \text{N} \cdot \text{m}$	
F_N	轴力(内力分量)	kN, N	
F_Q	剪力(内力分量)	kN, N	
M_y, M_z	弯矩(内力分量)	$\text{kN} \cdot \text{m}, \text{N} \cdot \text{m}$	
M_n	扭矩(内力分量)	$\text{kN} \cdot \text{m}, \text{N} \cdot \text{m}$	M_k
$P_{ij} (P_{cr})$	压杆的临界力	kN, N	P_k
A	截面面积	mm^2	F
S_y, S_z	面积矩	mm^3	
y_c, z_c	截面形心坐标	mm	
I_y, I_z	惯性矩	mm^4	J_y, J_z
I_p	极惯性矩	mm^4	J_p
W_y, W_z	截面系数(截面模量)	mm^3	
W_p	扭转截面系数	mm^3	
r_y, r_z	惯性半径	m, mm	i_y, i_z
λ	柔度、长细比	无量纲量	
σ	正应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	
σ_p	比例极限	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	σ_n
σ_y, σ_s	屈服强度、屈服应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	σ_T
σ_b	强度极限	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	σ_B
σ_{jx}	极限应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	σ_0
$\sigma_{ij} (\sigma_{cr})$	压杆临界应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	σ_k
τ	剪应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	
τ_p	剪切比例极限	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	τ_n
τ_s	剪切流动极限	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	τ_T
k, K	安全系数	无量纲量	n
$[\sigma]$	许用应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	
$[\tau]$	许用剪应力	$\text{kN/mm}^2, \text{N/mm}^2$	
ε	线应变	无量纲量	
γ	剪应变	无量纲量	
δ	伸长率	无量纲量	
ϕ	扭转角	弧度	
φ	纵向弯曲系数(稳定)		

目录

第1章 工程力学与力学基础	1
1.1 概述	1
1.2 力的基本性质	2
1.3 平面汇交力系的平衡问题	9
1.4 力矩和力矩的平衡	14
1.5 平面力系的平衡问题	19
1.6 力偶的特性和力的平移法则	26
小结	33
习题	34
第2章 静力学的几个应用问题	41
2.1 构件系统的平衡问题	41
2.2 桁架的内力计算	46
2.3 平行力系的合成及截面形心计算	52
2.4 摩擦	57
小结	63
习题	64
第3章 拉伸与压缩	68
3.1 拉伸、压缩的应力与应变	68
3.2 材料在拉伸和压缩时的力学性质	73
3.3 钢拉杆的强度计算	78
小结	80
习题	81
第4章 剪切与扭转	84
4.1 剪切的实用计算	84
4.2 薄壁圆筒的扭转	86

4.3	剪应力互等原理和剪切弹性定律	87
4.4	圆轴的扭转	89
4.5	非圆形截面杆的扭转	92
	小结	94
	习题	94
第5章	梁的内力计算	96
5.1	梁的内力分量及其截面法计算	96
5.2	剪力图和弯矩图	100
5.3	弯矩(M)、剪力(F_Q)、荷载集度(q)之间的关系	106
5.4	叠加法作剪力图和弯矩图	111
5.5	偏心受压柱及三铰刚架的内力计算	113
	小结	116
	习题	117
第6章	梁的应力及强度计算	120
6.1	梁的正应力	121
6.2	截面惯性矩	127
6.3	正应力的强度计算	134
6.4	梁的合理截面和变截面梁	137
6.5	钢梁的极限弯矩	140
6.6	梁的剪应力	141
	小结	147
	习题	148
第7章	应力状态和强度理论	150
7.1	应力状态的数解法	151
7.2	应力状态的图解法——应力圆	154
7.3	主应力	159
7.4	广义弹性定律	164
7.5	强度理论	166
	小结	170
	习题	171
第8章	组合受力	173
8.1	斜弯曲	173
8.2	压弯组合受力	175
	小结	179

习题	180
第9章 梁的位移计算	182
9.1 为什么要计算梁的位移	182
9.2 挠曲线微分方程	183
9.3 重积分法求梁的挠曲线方程	185
9.4 位移公式的应用	190
小结	193
习题	193
第10章 压杆稳定问题	195
10.1 压杆稳定的概念	195
10.2 临界力的计算	197
10.3 压杆的计算	201
小结	204
习题	204
第11章 结构动力学基础	206
11.1 工程结构中的动力学问题	206
11.2 结构的自由振动	206
11.3 结构的受迫振动	209
11.4 结构振动影响因素	211
11.5 结构动力分析基本方法	217
11.6 结构地震反应分析	219

第1章

工程力学与力学基础

1.1 概述

1.1.1 本书研究范围

工程力学主要研究力与工程结构承载力之间的关系。按丛书宗旨,本书主要回顾和加深对工程力学的理解,把它熟练地运用到土建实践中去。因而本书主要选取由均质材料,如钢、木等制成的单个构件为对象,介绍力学基本概念、基本规律、基本计算方法,研讨对构件的受力分析,解决构件和一些简单结构的合理受力问题,也就是概括了静力学和材料力学的基本内容。

工程力学在土木建筑专业中是一门基础课。本书目的除重点介绍上述的基本力学问题,揭示它们的内在规律,使读者能达到一定的深度外,更重要的是把这些力学的规律与工程中的实际问题相互联系起来。因此,书中采用了较多从实际工程中精选的受力分析和分析计算的例题进行讲解,并在其中附上一些讨论。同时也大量列出思考题和习题,作为联系实际的辅导。

1.1.2 工程力学的基本内容

(1) 基本的受力与变形形式

工程结构构件各式各样,本书主要以纵向尺寸比其他方向尺寸大得多的梁、柱等杆件及其组成的最简单的杆件系统——桁架为对象,并以其承受的拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲五种基本受力与变形形式,对构件的受力(荷载)和构件的承载力关系进行分析及其计算方法进行计算。

上述五种受力与变形形式(图 1-1)中,拉伸、压缩均属于沿着杆件轴线两端作用的轴向力,当两轴向力相背作用(拉力)或相向作用(压力)时,将分别使杆件产生拉伸和压缩变形(图 1-1a、b);剪切是在构件两侧受到一对相距很近而大小相等、方向相反的剪力作用时,承受剪力的中间段将产生剪切变形(图 1-1c);扭转是杆件两端同时受到相反方向的扭转力矩作用,使杆件产生扭转变形,例如,图 1-1d 的机械轴因主动轮为电动的驱动,再通过机轴本身带动与工作机械相联的被动轮转动,此时被动轮对机轴便产生一个反力偶,从而使主动轮 I 与被动轮 II 之间的机轴产生扭转;弯曲是杆件受到与其轴线相垂直的力或通过杆轴平面内的力偶作用时,杆件即产生弯曲变形(图 1-1e)。这五种受力与变形的形式也是一般构件受力与变形的最基本形式;其中弯曲是工程中最为广泛的受力与变形现象。

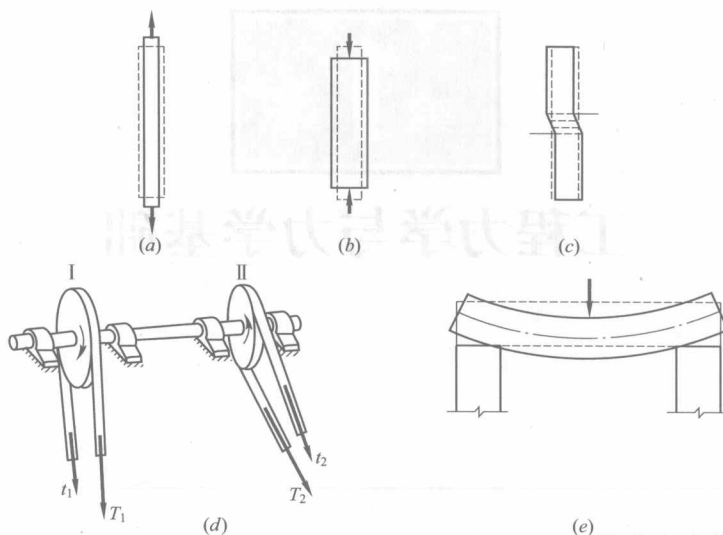


图 1-1 五种基本受力与变形形式

(a) 拉伸; (b) 压缩; (c) 剪切; (d) 扭转; (e) 弯曲

(2) 荷载与构件承载力

荷载(作用力)与构件承载力(承载能力)的关系,也即构件承受作用力的效果,是工程设计最关心的问题。首先,要求承受荷载时不发生破坏,因此,要保证构件有足够的承载力,表现为强度问题。第二,在荷载作用下构件虽有足够的承载力,但变形过大,影响正常使用。例如,吊车梁不但要经受起吊车行驶不被压坏,还要使它在吊车行驶时挠度不会太大(超过工程规范规定的允许值),致使吊车不能正常行使,因此,必须保证构件有足够的刚度,不产生过大变形,是刚度问题。第三,一些细长的受压构件,当压力超过一定限度,会突然变弯,也就是改变它原来的平衡状态,以致弯折破坏,这是失稳。因此,必须保证构件在原有状态下与外力保持平衡,是稳定问题。

概括起来,工程中为了保证构件安全和正常使用,必须使它具有足够的承载力、刚度和稳定性,这三部分是本书研究的主要内容。

从荷载到承载能力的分析,工程上首要的是状态,即相对于地面是不动的,并由此根据荷载决定构件与构件(包括地基)之间的约束力(包括支反力)的大小和方向。根据这些从外部作用于构件上的荷载与约束力(和支反力)的外力,即可求出构件内产生内力最大的或最薄弱的截面上的内力(构件内分子之间的作用力),从而最后决定所采用的材料、截面几何形状和尺寸大小。

本章以下各节即介绍力的基本性质、力系平衡、力学中一些基本概念和一些最基本的规律。

1.2 力的基本性质

1.2.1 力的两种效果

力是物体与物体之间的相互作用。力作用在物体上总是同时产生两种效果:第一是促使或限制物体的运动状态发生改变,称为力的运动效果;第二是促使物体发生变形或破

坏,称为力的变形效果。力虽然看不见,但它的作用效果完全可以直接观察或用仪器测量出来。人们也正是从力的作用效果来认识力本身的。工程力学就是要研究力对物体作用的两种效果,以掌握其中的基本规律。

本章以后的内容将着重研究力的运动效果,而且主要是研究运动的一种特殊状态,即平衡问题。在工程实际中,结构的变形通常都限制在微小的范围之内,例如一般的公路桥梁和厂房吊车梁,在自重及荷载作用下的最大下垂度 f 不许超过梁的跨度 l 的 $1/500 \sim 1/700$ (图 1-2)。在这种情况下研究力的运动效果时,通常可以忽略力的变形效果。例如,研究梁在两端支座处的支承力时,可以忽略梁的微小变形而把梁看成是不变形的物体,或者称为刚体。应该指出,刚体在世界上是不存在的,是我们在研究力的运动效果时,为了突出主要矛盾,忽略次要矛盾而得出的抽象化模型。当我们研究力的变形效果时,就不能再把结构物看成是刚体,而应该看成是变形体了。

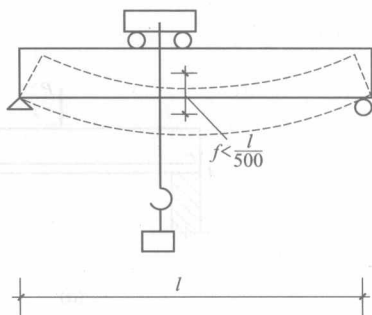


图 1-2 吊车梁在自重及起吊重物作用下的变形

1.2.2 力的三要素

力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点的位置这三个因素,称为力的三要素。

力的大小通常用重力的单位牛(N)或千牛(kN)来度量。由于力是有方向的量,在数学上称为向量。为了表示清楚力的方向和作用点,通常采用向量表示法,即用一段带箭头的线段表示,箭头的指向代表力的方向,箭头或箭尾所在的点表示力的作用点,在箭头的旁边注明力的大小或力的代号(图 1-3)。

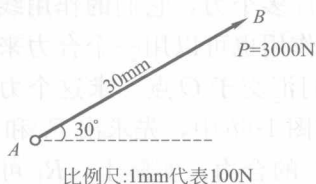


图 1-3 力的向量表示法

在力的图解法中,还需要按照一定的比例尺画出力的长度,以表示力的大小。如图 1-3 所示,图中所用比例尺是以 1mm 长度表示 100N 的力。

1.2.3 作用与反作用原理

只要有作用力存在,必定同时存在反作用力;作用力与反作用力二者大小相等,方向相反,作用线相同,分别作用在两个物体上。

力在物体之间的相互作用时,都是成对出现的,单方面的作用力是不存在的。需要特别注意的是:作用力与反作用力是分别作用在互相作用的两个物体上的。分析任何一个力的时候,首先需要明确谁是“施力者”,谁是“受力者”。例如,图 1-4 中,如果取钢筋混凝土梁作为受力对象,则在梁的端部所受的力是墙施加的上托力。如果取墙作为受力对象,即所受的力是梁施加的向下压力。

1.2.4 力的合成

一人打夯,夯重 500N,用 500N 的力正好把它垂直提起。如果两个人打夯,每个人用力的方向不同,每个人负担的力并不是 250N,为什么呢? 这里有一个力的方向与力的合成(相加)的问题。人们从长期的生活和科学试验中认识到如下的规律:如果作用在一个物

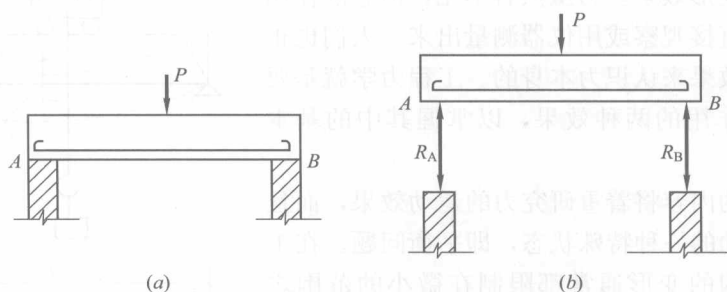


图 1-4 梁与墙的作用力与反作用力

体上有两个力 F_1 和 F_2 ，其作用线交于一点 O ，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 F_1 和 F_2 为邻边作成的平行四边形的对角线来确定，合力 R 的作用线通过 F_1 和 F_2 作用线的交点 O (图 1-5a)。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。

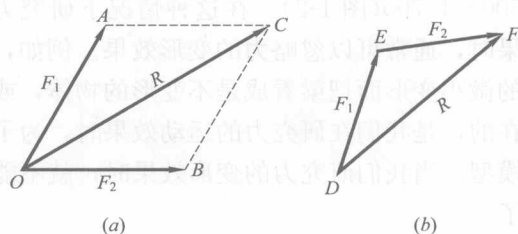


图 1-5 力的合成

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 1-5b。作图时连续画出 F_1 和 F_2 的向量，使二力首尾相接，则三角形的闭合边 DF (由 F_1 的起点 D 到 F_2 的终点 F) 就代表合力 R 的大小和方向。

不仅两个力可以用一个力来代替。如果作用在物体上有许多个力，它们的作用线都交于一点，则这些力称为一个汇交力系。汇交力系对物体的作用也可以用一个合力来代替。图 1-6a 表示作用在物体上有三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 ，它们汇交于 O 点。求这个力系的合力 R 时，则可连续应用力三角形法则逐步进行合成：在图 1-6b 中，先求出 F_1 和 F_2 的合力 R_1 ，再求出 R_1 和 F_3 的合力 R 。 R 就是 F_1 、 F_2 和 F_3 的合力。实际上， R_1 可以不必画出，只需将 F_1 、 F_2 和 F_3 的向量首尾相接，然后连接第一个力的起点和最后一个力的终点，方向从前者指向后者，就可得到合力 R ，如图 1-6c 所示。这个图称为力多边形。

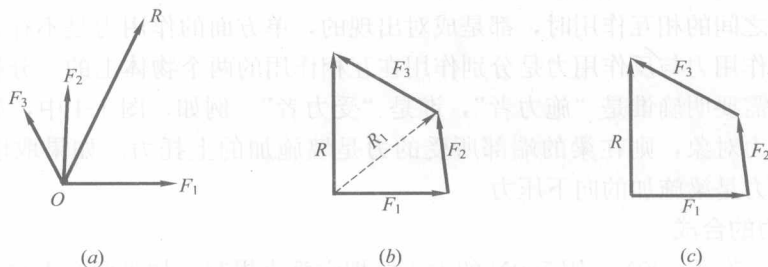


图 1-6 力多边形

1.2.5 力的分解

利用力的平行四边形或三角形法则,不但可以把两个已知力 F_1 、 F_2 合成为一个合力 R ;而且也可以把一个已知力 R 分解为两个分力 F_1 、 F_2 。但需注意,力的合成只有一个结果,而力的分解则可能有多种结果。因为根据一个已知的对角线可以作出许多个平行四边形,图 1-7a 中给出了两种分解的结果。

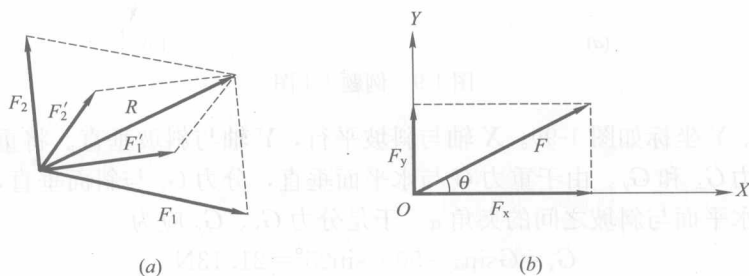


图 1-7 力的各种分解

最常用的分解方法是已知力 F 沿坐标轴 X 、 Y 分解为水平分力 F_x 和竖向分力 F_y ,如图 1-7b 所示。分力 F_x 和 F_y 也称为力 F 在坐标轴 X 和 Y 上的投影。这时投影 F_x 、 F_y 与 F 之间有如下关系:

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F_y = F \sin \theta$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

式中 θ 为力 F 与 X 轴之间的夹角。

图 1-8 表示作用于一个物体上的两个相交的力 P_1 和 P_2 ,按照力的平行四边形法则,它们可以用合力 R 来代替。从图上几何关系可以看出:

$$R_x = F_{1x} + F_{2x}$$

这个式子说明:合力在某一坐标轴上的投影,等于各分力在同一坐标轴上投影的代数和。这个规律适用于有许多力的情况,假设有几个力 F_1 、 F_2 、 F_3 …… F_n 作用于同一物体,并且可以合成一个合力 R ,则有

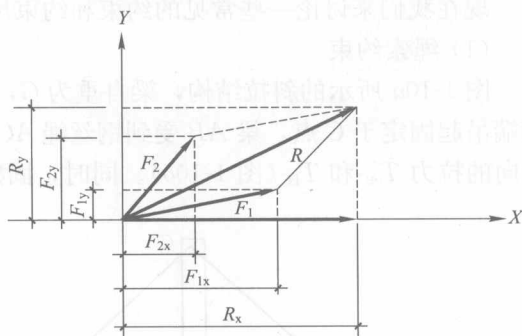


图 1-8 力在坐标轴上的分解示意

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots + F_{nx} = \sum X$$

$$R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \dots + F_{ny} = \sum Y$$

【例题 1-1】 在斜坡上有一辆小车(图 1-9a),由于自重小车将沿斜面往下滚动,设小车与坡面的滚动摩擦为零,试问是什么力使小车下滚?这个力的大小是多少?设小车自重 $G=50\text{N}$,斜坡与水平面的夹角 $\alpha=25^\circ$ 。

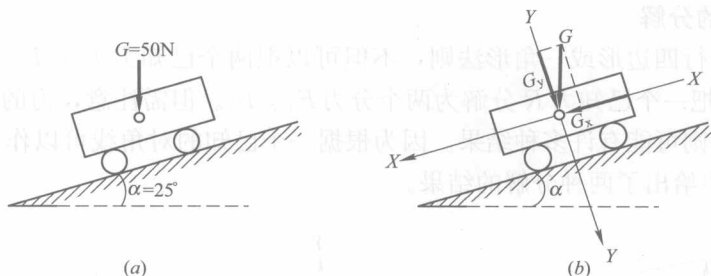


图 1-9 例题 1-1 图

解：取 X 、 Y 坐标如图 1-9b。X 轴与斜坡平行，Y 轴与斜坡垂直。将重力沿 X 、 Y 轴分解为两个分力 G_x 和 G_y 。由于重力 G 与水平面垂直，分力 G_y 与斜面垂直， G 与 G_y 之间的夹角应等于水平面与斜坡之间的夹角 α 。于是分力 G_x 、 G_y 应为

$$G_x = G \sin \alpha = 50 \times \sin 25^\circ = 21.13 \text{ N}$$

$$G_y = G \cos \alpha = 50 \times \cos 25^\circ = 45.32 \text{ N}$$

由此看出，重力 G 可以分解为两个分力，其中一个分力 G_y ，只使斜面受到垂直于斜面的压力，而不能使小车往下滚动。另一个分力 G_x 则是引起小车沿斜面滚动的唯一因素，它的大小是 21.13N。如果忽略车轮与路面之间的摩擦力，那么使小车沿斜坡上升所需的牵引力就等于 G_x 。可以看出，斜坡越陡（即 α 越大），则 G_x 越大，上坡时所需的牵引力也越大。

1.2.6 约束和约束反力

如前所述，力是物体之间的相互作用。在工程实际中，每一构件总是要和周围其他构件以各种形式联系在一起组成结构整体。在这个整体中，每一构件的位置（或它的运动）都受到与它相联系的构件的限制，因而这些构件对它有力作用。我们把限制某一构件的位置（或运动）的其他构件称为约束，把约束对构件的作用力称为约束反力。

现在我们来讨论一些常见的约束和约束反力。

(1) 绳索约束

图 1-10a 所示的斜拉结构，梁自重为 G ，承受均布活荷载 q ，梁长为 l ，用钢丝绳将梁两端吊起固定于 C 点，梁 AB 受到钢丝绳 AC 和 BC 的约束，其约束反力必定是沿着绳索方向的拉力 T_{AC} 和 T_{BC} （图 1-10b）。同时，固定点 C 也受到钢丝绳 CA 、 CB 以及支架对它

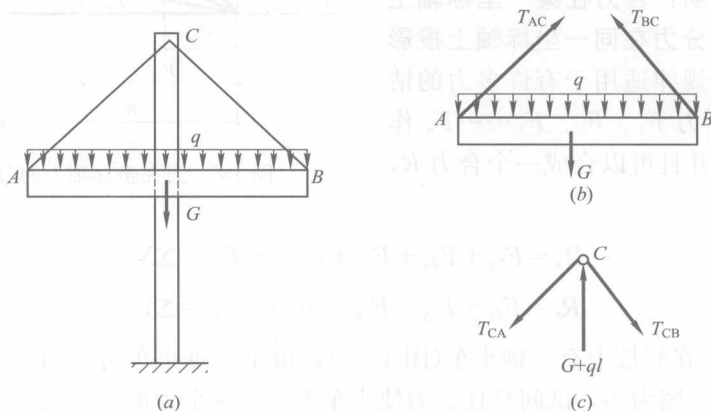


图 1-10 绳索约束示意

的约束，钢丝绳对 C 的约束反力 T_{CA} 和 T_{CB} 也是沿着绳索方向的拉力(图 1-10c)。显然 T_{CA} 与 T_{AC} 、 T_{CB} 与 T_{BC} 大小相等，方向相反。可见，任何柔性的绳索(钢丝绳、麻绳、链条等)对物体的约束反力都是沿着绳索方向的拉力。

(2) 光滑接触面约束

任何两个互相连接或互相接触的物体，如果有相对滑动或相对滑动的趋势，在接触面上总要产生摩擦力。摩擦力的方向沿着接触面的切线方向。例如图 1-11 所示，一个重为 G 的滑块搁置在桌面上。在水平推力 P 作用下，滑块在桌面上滑动或仅有滑动趋势而尚未滑动起来。这时桌面对滑块产生的约束反力包括有平行于接触面的力

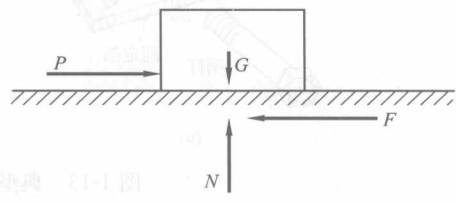


图 1-11 桌面对滑块的约束示意

F (就是摩擦力)和垂直于接触面的力 N (也称为法向反力)。如果两个物体的接触面很光滑，摩擦力很小，对所研究的问题不起主要作用，可以忽略，这时约束反力就只剩下与接触面相垂直的法向反力 N 。这种情况称为光滑接触面约束。

吊车的大轮受到吊车梁上钢轨的约束。通常滚轮受到的摩擦阻力比较小，如果忽略摩擦阻力，就可以看成是光滑接触面的约束。这时钢轨仅仅限制滚轮在垂直于轨道方向的移动，而不能限制滚轮在平行于轨道方向的滚动。钢轨对滚轮的约束反力只能是沿着垂直于钢轨方向的支承反力。

桥梁结构中常用的辊轴支座(图 1-12)是由一排辊子作为支承。这种支座对桥梁的约束反力也只有沿着铅垂方向的反力 Y_A 。这种支座通常用图 1-12b、c 所示的简图表示。

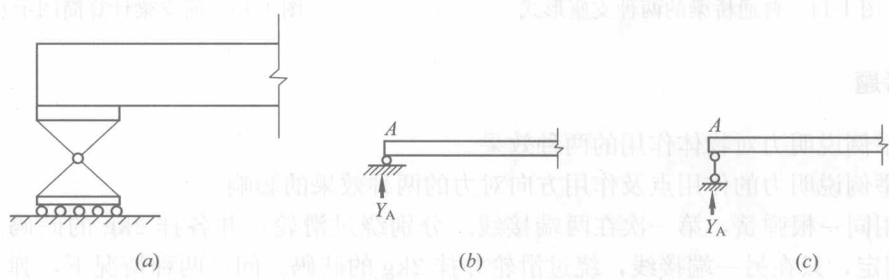


图 1-12 辊轴支座约束示意

(3) 光滑铰链约束

在工程结构和机械设备中常常采用铰链来连接构件或零件。在桥梁、弧形闸门等结构中则常用铰支座。典型的铰支座构造如图 1-13a 所示。光滑铰链约束的特点是不允许被约束构件在任何方向发生相对移动，但是允许被约束构件围绕销钉中心自由转动，并且忽略摩擦力的影响。根据前述光滑接触面约束的性质可知，销钉加于被约束构件的反力 R_A 一定通过销钉的中心。它的方向取决于构件所承受的荷载情况，常常不能直接判断出来。通常总是把它分解为竖向反力 Y_A 和水平反力 X_A 两个分量来进行计算。

一般铰支座的计算简图如图 1-13b 所示。铰节点的计算简图如图 1-13c 所示。