

工 程 力 学

(试 用 教 材)

建 筑 工 程 系
清华大学 水 利 工 程 系 合 编
基础课力学教研组

1977 年 1 月

目 录

主要字符表.....	1
第一章 緒论.....	3
第一节 《工程力学》研究什么问题.....	3
第二节 《工程力学》的基本内容.....	4
2—1 构件的基本受力与变形形式.....	4
2—2 基本矛盾的三种表现形式.....	5
2—3 怎样分析荷载和构件承载能力这个基本矛盾.....	6
2—4 本书各章内容簡介.....	7
第三节 学习方法.....	7
第二章 靜力学基础.....	9
第一节 力的基本性质.....	9
1—1 力的两种效果.....	9
1—2 力的三要素.....	10
1—3 作用与反作用原理.....	10
1—4 力的合成.....	11
1—5 力的分解.....	12
1—6 约束和约束反力.....	14
第二节 平面汇交力系的平衡问题.....	18
2—1 平衡的概念.....	18
2—2 平面汇交力系的平衡条件及数解法.....	20
2—3 平衡问题的分析方法.....	24
2—4 平面汇交力系的图解法.....	24
第三节 力矩的概念和力矩的平衡.....	26
3—1 力矩的概念.....	26
3—2 力矩的平衡.....	27
3—3 力矩平衡方程的应用.....	28
第四节 平面力系的平衡问题.....	34
4—1 什么是平面力系.....	34
4—2 平面力系的平衡方程.....	36
4—3 平面力系平衡方程的应用.....	37
4—4 平面力系平衡问题的讨论.....	43
第五节 力偶的特性和力的平移法則.....	45
5—1 力偶的特性.....	45

5—2 力的平移法则·····	49
5—3 固定端的约束反力。几种典型支座的总结·····	51
小结·····	54
第三章 静力学的几个应用问题·····	56
第一节 构件系统的平衡问题·····	56
1—1 概述·····	56
1—2 计算举例·····	57
1—3 构件系统平衡问题分析方法的总结·····	60
第二节 桁架的内力计算·····	61
2—1 桁架的应用及计算简图·····	61
2—2 结点法·····	63
2—3 截面法·····	68
第三节 平行力系的合成及截面形心计算·····	70
3—1 平面平行力系的合成·····	70
3—2 截面形心计算·····	71
第四节 摩擦·····	75
4—1 研究摩擦的目的·····	75
4—2 静滑动摩擦力的性质·····	76
4—3 考虑摩擦时物体的平衡问题·····	79
4—4 滚动摩擦的性质·····	81
小结·····	84
第四章 拉伸与压缩·····	85
第一节 拉伸、压缩的应力与应变·····	85
1—1 拉杆、压杆的内力和应力·····	85
1—2 拉杆、压杆的线应变·····	91
第二节 材料在拉伸和压缩时的力学性质·····	93
2—1 钢材的拉伸试验·····	93
2—2 钢材的压缩试验·····	98
2—3 钢材的力学性能表·····	98
2—4 脆性材料的力学性能·····	99
第三节 钢拉杆的强度计算·····	101
小结·····	103
第五章 剪切与扭转·····	105
第一节 剪切的实用计算·····	105
第二节 薄壁圆筒的扭转·····	107
2—1 扭转的概念·····	107
2—2 薄壁圆筒扭转的内力和应力·····	109

第三节 剪应力互等原理和剪切弹性定律	110
3—1 剪应变	110
3—2 剪应力互等原理	111
3—3 剪切的应力应变曲线和剪切弹性定律	111
第四节 圆轴的扭转	113
4—1 应力计算	113
4—2 强度条件	114
4—3 刚度条件	115
第五节 非圆形截面杆的扭转	117
小结	119
第六章 梁的内力及内力图	120
第一节 梁的内力分量及指定截面的内力计算	120
1—1 梁在荷载作用下产生什么内力	120
1—2 弯矩 (M) 和剪力 (Q) 的正负号	121
1—3 指定截面的内力计算	122
第二节 剪力图和弯矩图	125
2—1 什么是剪力图和弯矩图	125
2—2 怎样作剪力图和弯矩图	126
2—3 内力图的用处	127
2—4 剪力图和弯矩图举例	128
2—5 最大弯矩发生在哪里	132
第三节 弯矩(M)、剪力(Q)、荷载集度(q)之间的微分关系及其应用	133
3—1 $M-Q-q$ 间的微分关系	133
3—2 $M-Q-q$ 间微分关系的应用	134
3—3 作内力图的简易方法	136
第四节 用叠加法作剪力图和弯矩图	140
第五节 柱及简单刚架的内力计算	141
5—1 柱的内力计算	141
5—2 简单刚架的内力计算	143
小结	145
第七章 梁的应力及强度计算	146
第一节 梁的正应力	147
1—1 梁的变形特点	148
1—2 正应力计算公式	149
1—3 理论公式的验证	153
第二节 截面惯性矩	155
2—1 简单截面的惯性矩	156

2—2 组合截面的惯性矩及惯性矩的平行移轴公式·····	158
第三节 正应力的强度计算·····	164
3—1 最大正应力·····	164
3—2 正应力的强度计算·····	165
第四节 梁的合理截面和变截面梁·····	171
4—1 梁的合理截面·····	171
4—2 变截面梁·····	172
第五节 钢梁的极限弯矩·····	173
第六节 梁的剪应力·····	175
6—1 剪应力公式·····	176
6—2 几种常用截面的剪应力·····	178
6—3 剪应力的强度计算·····	181
小结·····	183
第八章 应力状态和强度理论·····	185
第一节 应力状态的数解法·····	186
1—1 一点应力状态的概念·····	186
1—2 应力状态的数解法·····	186
第二节 应力状态的图解法——应力圆·····	190
2—1 应力圆·····	190
2—2 用应力圆求任意截面的应力·····	192
第三节 主应力·····	196
3—1 主应力·····	196
3—2 梁的主应力迹线·····	200
第四节 广义弹性定律·····	203
第五节 强度理论·····	204
小结·····	210
第九章 组合受力·····	212
第一节 斜弯曲·····	212
第二节 压弯组合受力·····	215
2—1 压弯组合·····	215
2—2 偏心压缩·····	215
小结·····	219
第十章 梁的位移计算·····	221
第一节 为什么要计算梁的位移·····	221
第二节 挠曲线微分方程·····	222
第三节 重积分法求梁的挠曲线方程·····	225
第四节 位移公式的应用·····	232

4—1	利用图表和叠加法计算位移·····	232
4—2	影响位移的因素分析·····	232
小结	·····	236
第十一章	压杆稳定·····	238
第一节	压杆稳定的概念·····	338
1—1	为什么要研究压杆稳定问题·····	238
1—2	稳定问题的特点·····	239
第二节	临界力的计算·····	241
2—1	临界力的定性分析·····	241
2—2	简支压杆的临界力·····	242
2—3	压杆在其他支承条件下的临界力·····	244
第三节	压杆的计算·····	247
3—1	临界应力与长细比·····	247
3—2	临界应力总图·····	248
3—3	压杆的计算公式·····	249
小结	·····	253
习 题	·····	256
第二章	静力学基础习题·····	256
第三章	静力学的应用问题习题·····	263
第四章	拉伸与压缩习题·····	269
第五章	剪切与扭转习题·····	272
第六章	梁的内力及内力图习题·····	273
第七章	梁的应力及强度计算习题·····	280
第八章	应力状态和强度理论习题·····	282
第九章	组合受力习题·····	284
第十章	梁的位移计算习题·····	285
第十一章	压杆稳定习题·····	286
附录	型钢表	

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	$kg/cm^2, t/m^2$	
q	线分布荷载集度	$kg/cm, t/m$	
G, W	自重	kg, t	
M_o	力对 O 点的力矩	$kg-cm, t-m$	L_o
m	力偶	$kg-cm, t-m$	
N	轴力 (内力分量)	kg, t	
Q	剪力 (内力分量)	kg, t	
M_y, M_z	弯矩 (内力分量)	$kg-cm, t-m$	
M_n	扭矩 (内力分量)	$kg-cm, t-m$	M_K
P_{lj}	压杆的临界力	kg, t	P_K
A	截面面积	cm^2, mm^2	F
S_y, S_z	面积矩	cm^3, mm^3	
y_c, z_c	截面形心坐标	cm, mm	
I_y, I_z	惯性矩	cm^4, mm^4	J_y, J_z
I_p	极惯性矩	cm^4, mm^4	J_p
W_y, W_z	截面系数	cm^3, mm^3	
W_p	圆轴抗扭截面系数	cm^3, mm^3	
r_y, r_z	惯性半径	cm, mm	i_y, i_z
λ	压杆的长细比	无量纲量	
σ	正应力	$kg/cm^2, kg/mm^2$	
σ_p	比例极限	$kg/cm^2, kg/mm^2$	σ_n
σ_s	屈服极限 (流动极限)	$kg/cm^2, kg/mm^2$	σ_T
σ_b	强度极限	$kg/cm^2, kg/mm^2$	σ_B
σ_{jx}	极限应力	$kg/cm^2, kg/mm^2$	σ^o
σ_{lj}	压杆的临界应力	$kg/cm^2, kg/mm^2$	σ_K
τ	剪应力	$kg/cm^2, kg/mm^2$	
τ_p	剪切比例极限	$kg/cm^2, kg/mm^2$	τ_n
τ_s	剪切流动极限	$kg/cm^2, kg/mm^2$	τ_T
k	安全系数	无量纲量	n

續 表

本书字符	字 符 意 义	常 用 单 位	其他书籍 常用字符
$[\sigma]$	许用应力	$kg/cm^2, kg/mm^2$	
$[\tau]$	许用剪应力	$kg/cm^2, kg/mm^2$	
ε	线应变	无量綱量	
γ	剪应变	无量綱量	
δ	伸长率	无量綱量	
φ	扭转角,	弧度	
	縱向弯曲系数 (稳定)		$\frac{d\phi}{dx}$
θ	杆的单位长度扭转角,	弧度/m	
	梁的转角		$\left[\frac{d\phi}{dx} \right]$
$[\theta]$	杆的单位长度允许扭转角	$^\circ/m$	y
w	梁的挠度	cm, mm	w_{max}, y_{max}
f	梁的最大挠度	cm, mm	
	摩擦系数	无量綱量	
E	弹性模量	$kg/cm^2, kg/m^2$	
G	剪切弹性模量	$kg/cm^2, kg/m^2$	
μ	橫向变形系数	无量綱量	

第一章 绪 论

《工程力学》研究什么问题？为什么要学习这一门课程？怎样才能学好这一门课程？这是大家在开始学习本门课程的时候普遍关心的问题。本章就是针对这几个问题作一个概略的介绍。

第一节 《工程力学》研究什么问题

在我国伟大的社会主义建设中，基本建设是一项重要的任务。结构设计是建筑工程和水利工程中一个重要的环节。学习《工程力学》是为进行结构设计打下必要的基础。

毛主席教导我们：“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。因此，对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”《工程力学》研究的对象是什么呢？让我们结合一个工业厂房来加以说明。

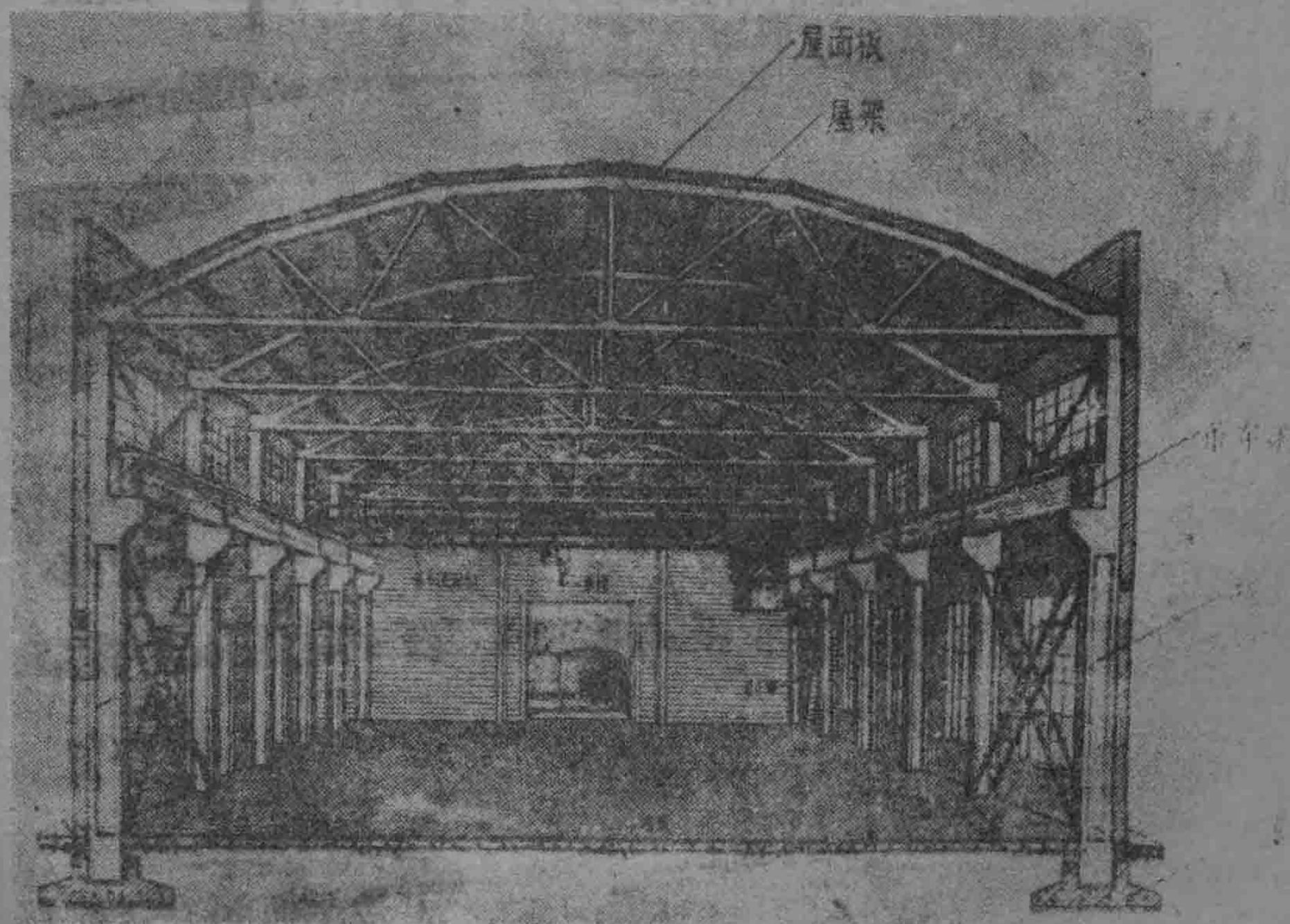


图 1—1

图 1—1 是一个工业厂房的示意图。厂房受到各种力的作用：外墙在迎风面受到风的压力，在背风面受到风的吸力；冬天屋顶上有积雪的重量；此外还有各种构件本身的重量。

量；吊车和起吊物的重量等等。这些重量和压力在工程中称为荷载。各种建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分叫做结构。厂房结构是由屋面板、屋架（或屋顶大梁），吊车梁、柱、基础等构件组成的。这些构件的截面如果设计得过小，则在荷载作用下，结构将发生过大的变形，不能保证使用要求，甚至会破坏倒塌。构件截面如果设计得过大，则会造成人力、物力的浪费。如何处理好结构构件所受的荷载与构件本身承载能力之间的矛盾，把构件设计得既经济又安全，这就是《工程力学》所要研究的基本问题。

结构设计的问题是一个综合性问题；不仅要合理地解决荷载与构件承载能力之间的矛盾，而且还要进行结构方案的分析比较，要考虑使用要求、施工条件等多方面的因素。总之，要求全面地贯彻“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线。因此，《工程力学》所研究的问题只是结构设计中的一部分问题。

《工程力学》属于一门基础课程，它主要研究由均质材料（如钢材、木材等）制成的单个构件的承载能力问题。通过解决这个问题，介绍一些力学的基本概念、基本规律和计算方法，培养分析问题和解决问题的能力。学习《工程力学》之后，还要进一步学习《结构力学》、《工程结构》等课程，才能比较全面地掌握结构设计的基本方法。

第二节 《工程力学》的基本内容

《工程力学》的整个内容是围绕荷载与构件承载能力这个基本矛盾进行讨论的。下面从几个方面加以说明。

2—1 构件的基本受力与变形形式

《工程力学》所研究的构件大多数属于直杆。直杆的纵向（长度方向）尺寸比横向（垂直于长度方向）尺寸要大得多。例如，梁、柱、屋架中的各个构件都是直杆。

杆件的受力情况是多种多样的，但是按照杆件的变形特点可以归纳为五种基本受力与变形形式：拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲。如图 1—2 所示（图中虚线表示变形前的形状，实线表示变形后的形状）。有些杆件的变形比较单纯，属于上述五种基本形式的某一种。有些杆件的变形比较复杂，是几种基本形式的综合。

(1) 拉伸（图 1—2a）。

(2) 压缩（图 1—2b）。

杆件两端沿轴线作用一对纵向力，杆件产生拉伸或压缩变形。例如，屋架在荷载作用下，有些杆件只产生拉伸变形，称作拉杆；有些杆件只产生压缩变形，称作压杆。又如有些柱子产生压缩变形，称作中心受压柱。

(3) 剪切（图 1—2c）。

用剪刀剪断布匹和纸张等是我们日常生活中比较熟悉的剪切现象，生产实践中有大量的构件和机器部件受到剪切作用力。如图 1—2c 所示，在构件的两侧有一对相距很近，大小相等、方向相反的力作用时，两作用力的中间段产生剪切变形。剪床剪断钢板

就是利用剪切的例子；螺栓接头中的螺栓也主要产生剪切变形。

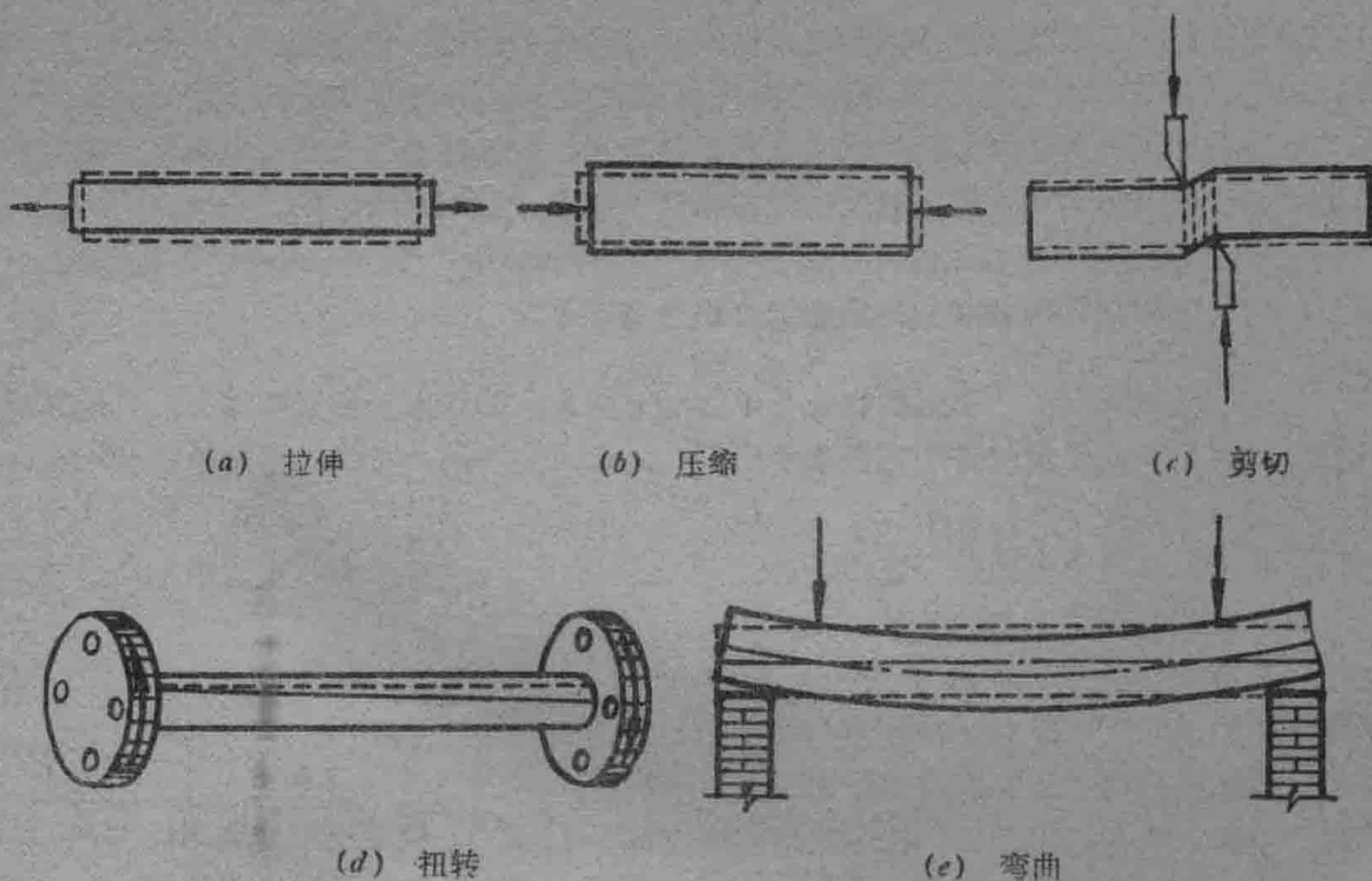


图 1-2

(4) 扭转 (图 1-2d)。

在机械设备中经常遇到受扭的部件，如图 1-2d 所示，它是一段传动轴。它的右端通过法兰盘与电动机相连，它的左端通过法兰盘与某种机器的轴相连。发动机通过法兰盘给传动轴一个扭转力偶。机器的轴由于受到工作阻力，通过法兰盘给传动轴一个反方向的扭转力偶。在方向相反的两个力偶作用下，传动轴产生了扭转变形。

(5) 弯曲 (图 1-2e)。

当构件受到与其轴线相垂直的荷载作用时，就产生弯曲变形。例如图 1-1 中的吊车梁和屋面板在荷载作用下均产生弯曲变形。

在本书中将针对这五种基本受力与变形形式的特点，分别讨论荷载与构件承载能力这个基本矛盾。

2-2 基本的矛盾的三种表现形式

构件本身可能由于三种原因而失去承载能力。或者说，荷载与构件承载能力这个基本矛盾有三种可能的表现形式。

(1) 构件在过大的荷载作用下可能破坏。例如，当吊车起重量过大时，吊车梁可能被弯断。因此，设计时要保证构件有足够的强度。这时基本矛盾表现为“强度问题”。

(2) 在荷载作用下构件虽然有足够的强度，但变形过大，影响正常使用。例如，吊

车梁的变形如果过大,吊车就不能正常行驶。因此,设计时必须保证构件有足够的刚度,使变形的数值不超过工程上所允许的范围。这时基本矛盾表现为“刚度问题”。

(3) 像柱子这类受压构件,如果比较细长,当压力超过一定限度后,它会突然变弯,以致引起结构的倒塌,这种现象称为失去稳定。这时基本矛盾表现为“稳定问题”。

概括起来说,为了保证构件的安全和正常使用,构件就必须有足够的强度、刚度和稳定性。也就是说,构件的承载能力是由强度、刚度、稳定来决定的。

2—3 怎样分析荷载和构件承载能力这个基本矛盾

毛主席教导我们:“不但要在各个矛盾的总体上,即矛盾的相互联结上,了解其特殊性,而且只有从矛盾的各个方面着手研究,才有可能了解其总体。”分析荷载和构件承载能力这个基本矛盾,这是一个总题目。为了研究这个总题目,我们把它分成几个小题目,从矛盾的各个方面逐一进行研究。下面以图 1—3 中的 AB 梁为例加以说明。

(1) 荷载与支承反力的关系。

AB 梁一方面受到荷载 P 和 q 的作用,同时还受到墙的支座反力(也称为约束反力)的作用。梁正是在荷载和支座反力作用下处于平衡状态。因此,如何根据已知的荷载来确定支座反力的大小,这是我们要研究的一个问题。

(2) 外力和内力的关系。

荷载和支座反力都是构件所受到的外力,即构件以外的物体作用在构件上的力。在外力作用下,梁的各部分间会产生内力。试验结果表明, AB 梁的破坏通常是由于在横截面 C 处开裂而造成的。这说明横截面 C 是整个梁的危险截面,横截面 C 处的内力是整个梁的危险内力。因此,如何根据已知的外力来确定构件的内力,这是我们要研究的另一个问题。

(3) 梁的承载能力与梁的材料、截面几何性质的关系。

根据荷载计算支座反力,根据外力计算内力的问题,只是涉及到矛盾的一方,即使梁发生破坏的一方。因此还需要研究矛盾的另一方,即梁的承载能力究竟与那些因素有关。经验表明,钢梁与木梁的承载能力不同,截面大的梁与截面小的梁承载能力不同,矩形截面梁与工字形截面梁的承载能力也不同。因此,梁的承载能力与梁的材料的力学性质,梁的截面尺寸大小和几何形状等因素有关。这是我们要研究的又一个问题。

总之,《工程力学》的基本内容是:针对拉、压、剪、扭、弯五种基本受力状态,讨论强度、刚度、稳定三类问题。为此,我们就要讨论支座反力的计算问题,内力的计算问题,材料的力学性能问题,截面的几何性质问题,从而合理地解决荷载与构件承载能力之间的矛盾这个总问题。

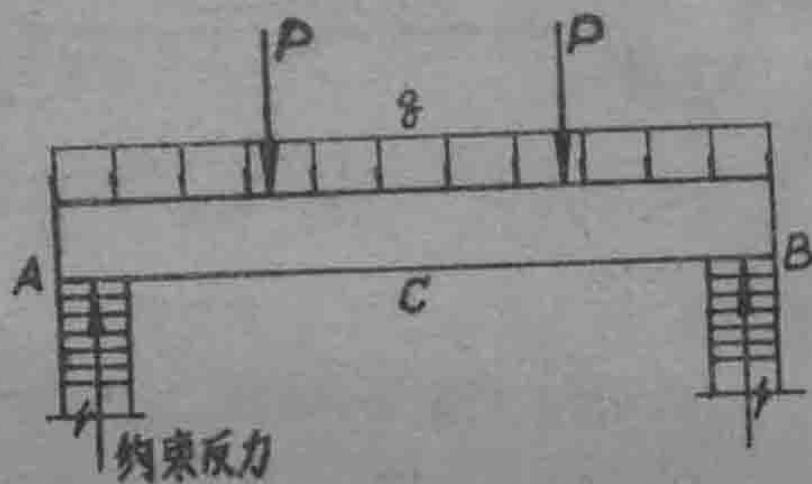


图 1—3

2-4 本书各章内容简介

第二章和第三章介绍有关力的一些基本概念和基本规律,解决根据已知荷载求支座反力的问题,这两章所研究的内容是对构件进行受力分析的基础。第四章以轴向拉伸(或压缩)构件的强度问题为典型,对《工程力学》解决问题的基本方法作了概括介绍。第五章简单介绍构件在剪切和扭转受力情况下的强度和刚度计算问题。第六章和第七章分别讨论梁的内力、应力和强度计算问题,这是本书的重点。第八章研究应力状态和强度理论,第九章研究组合受力问题,这两章的内容是解决构件在复杂受力情况下的强度计算问题。第十章研究梁的刚度计算问题。第十一章研究压杆稳定问题。

从上面的简介中可以看出,本书也可归纳为两大部分,第二章和第三章讨论构件的受力分析问题,着重介绍力学的基本概念和基本规律;第四章以后才讨论构件的承载能力问题。讨论承载能力问题时,在五种基本受力状态中,以弯曲为重点。在强度、刚度、稳定三类问题中,以强度问题为重点。

第三节 学习方法

“我们不但要提出任务,而且要解决完成任务的方法问题。”我们学习《工程力学》这门课程应当注意那些学习方法呢?这里提出几点看法,供大家参考。

(1) 注意理论联系实际。

“理论的基础是实践。”力学理论是劳动人民通过长期的生产实践和科学实验总结出来的。并且通过生产实践的检验得到不断地改造和发展。我们在学习的时候必须注意理论联系实际的原则。对于我们来说,有些内容是有直接经验的,有些内容则还没有直接经验。在学习中,要尽量利用我们原有的直接经验,根据自己的感性认识,对所学的理论进行对照、检验、分析、批判;对于没有直接经验的内容,可以通过一些科学实验、模型表演和现场教学来进行观察,积累新的感性认识,并从感性认识发展到理性认识,使理论学习尽可能和感性认识结合起来。我们还应当利用一切机会向有实践经验的工人、贫下中农和革命知识分子学习,向实践学习。反对“理论至上”轻视实践的观点。

要重视思考题、习题等训练,这些环节对于加深对理论的理解,培养分析问题和解决问题的能力,以及培养科学的工作作风都是很重要的。

(2) 把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上。

毛主席教导我们:**“所谓分析,就是分析事物的矛盾。”“学会应用马克思主义的方法去观察问题、提出问题、分析问题和解决问题。”**我们学习每一章每一节的时候,都要分析一下,这一章要解决什么问题?这些问题在基本矛盾中占有什么地位?是怎样解决的?要注意各章各节之间在内容上,在分析问题的方法上有什么联系?有什么区别?总之,要多问几个为什么,要前后联系,要在对比中进行学习。

应当特别注意联系实际结构进行分析,培养分析问题和解决问题的能力,培养综合

分析问题的能力。在分析中，要把定性分析和定量计算结合起来。克服“读死书、死读书”，不求甚解，以及形而上学地看问题等不正确的学习方法。

在学习中，要学会分清主次，抓住重点。对一些基本概念和基本原理必须透彻理解，对理论的适用范围和局限性也要予以注意。同时学习不能只停留在弄懂概念和理论上，要把它与分析和解决实际问题结合起来。

(3) 坚持以自学为主。

旧教学方法是以教师为中心，教师“满堂灌”，学员“跟着转”，完全抹杀了学员学习的主动性和创造性。我们要坚决贯彻毛主席的指示：“大学生，尤其是高年级，主要是自己研究问题。”坚持以自学为主。这当然也不是忽视教师的指导作用。要开展“官教兵，兵教官，兵教兵的群众练兵运动。”教师和学员有不同的经历和实践经验，要互相帮助，取长补短。

本书每一章的前面都有内容简介，每一章的后面都有小结，并附有一定数量的思考题和习题，以便学员自学。但学员也不要受此限制，应当积极主动地思考问题、提出问题、分析问题和解决问题，并随时总结自己的心得体会。

关于学习方法问题以上只提出了三点。总之，学习方法的问题，实质上是属于世界观和方法论的问题。我们必须树立辩证唯物主义的世界观，克服唯心主义形而上学的世界观；要用政治统帅业务；要明确为谁而学。这样才能以百折不回的毅力克服学习中遇到的困难，胜利地完成党和人民交给我们的学习任务。

“入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。”

“我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。”

思 考 题

- 1—1 《工程力学》所研究的基本矛盾是什么？
- 1—2 什么是“强度问题”、“刚度问题”、“稳定问题”？
- 1—3 试举出几个拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲受力的实际构件。

第二章 静力学基础

什么是力？力有哪些基本性质？怎样去分析工程中构件的受力？什么叫平衡？什么叫力系的平衡条件？怎样用力系的平衡条件求解未知力？这些就是本章所要研究的问题。

结合上述问题的讨论，本章还将介绍力学中一些最基本的概念和一些最基本的规律。这些概念和规律是力学的基础。由于在建筑和水利工程中，结构通常都是相对于地球处于静止状态，或称平衡状态，所以一般把研究结构物受力平衡问题的理论称为静力学。

第一节 力的基本性质

1—1 力的两种效果

力的概念是从劳动中来的。劳动人民在生产实践中，对于力的性质积累了大量的感性认识，对于力的运用积累了丰富的实践经验。农民用畜力耕田，工人用蒸汽力开车，说明力能使物体产生运动状态的变化。挑担时扁担发生弯曲，楼房的荷重可能使地基发生沉陷，洪水有时会冲决堤坝，说明力能使物体产生变形甚至破坏。上面列举的这些例子，说明力不是什么神秘的、不可捉摸的东西，而是实实在在的物体与物体之间的相互作用。尽管力的形式千差万别，可是力作用在物体上总是同时产生两种效果：第一、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、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。实际上，人们也正是从力的作用效果来认识力本身的。正如恩格斯所深刻指出的：“力——它以运动的转移为前提”，“力以它的表现来量度”（《自然辩证法》）。

我们学习《工程力学》的任务，就是要研究力对物体作用的两种效果，掌握其中的基本规律，为进一步学习结构设计打下基础。举一个浅显的例子：两人用扁担抬一重物，如果问每人要用多大的力气才能把重物抬起来，这就要研究力的运动效果；如果问扁担会不会压断，这就要研究力的变形效果。

在静力学部分（第二章和第三章），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 2—1）。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，我们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，它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

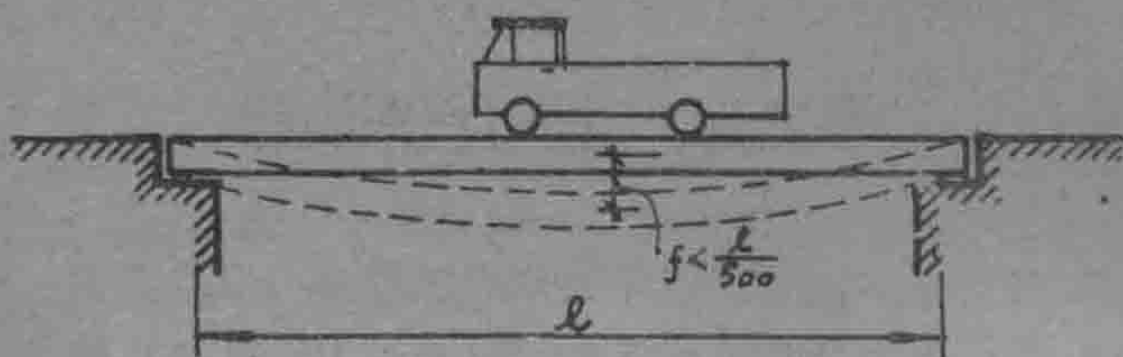


图 2—1

化模型。当然，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。

1—2 力的三要素

人们在长期的生产实践中，认识到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，我们称这三方面为力的三要素。例如我们用搬手拧螺母时，能否拧动螺母，不仅取决于加力的大小，还取决于加力的位置和加力的方向。如图 2—2 中，若在 A 点加力就比在 B 点加力省劲，若在 C 点加一个指向螺母中心 O 的力，则无论这个力有多大也不可能拧动螺母。

力的大小通常用重量的单位，即以吨 (t) 或公斤 (kg) 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力，如图 2—2 所示的 P_1 、 P_2 和 P_3 。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。

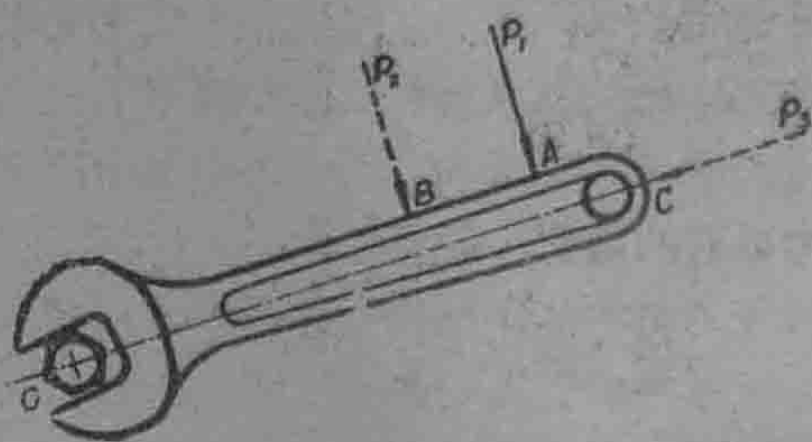


图 2—2

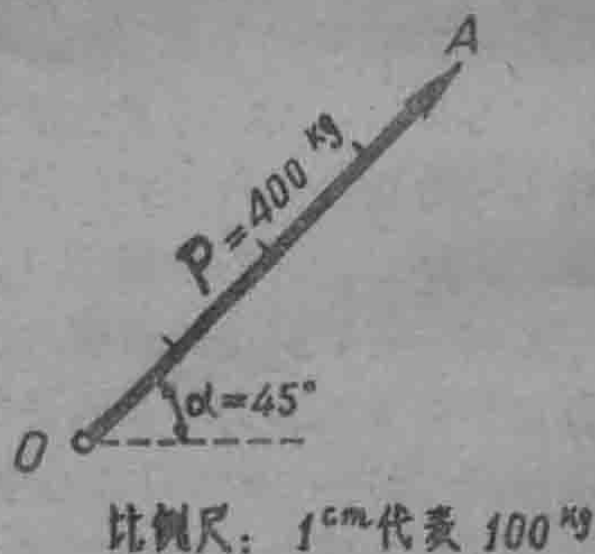


图 2—3

在以后将要讨论的图解法中，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 2—3 所示，图中所用比例尺是以 $1cm$ 长度表示 $100kg$ 的力。

1—3 作用与反作用原理

列宁曾经以力学中的作用与反作用为例子来说明矛盾的普遍性。

木梁由于承受荷载而压着砖墙，砖墙以同样大小的力托住木梁 (图 2—4)。船桨把

湖水推向船后，湖水又以同样大小的力推动船只向前，喷气飞机的前进，大炮的后座力等等，无数的例子说明作用与反作用原理的普遍性。只要有作用力存在，必定同时存在反作用力，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。

可见力是物体之间的相互作用，力都是成对出现的，单方面的作用力是不存在的。正如毛主席在《矛盾论》中指出的：“矛盾着的各方面，不能孤立地存在。假如没有和它作对的矛盾的一方，它自己这一方就失去了存在的条件”。

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。我们在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”，也就是说要注意“谁给谁”这个问题。例如图 2—4 中，如果取木梁作为受力对象，则在梁的端部所受的力是砖墙施加的上托力。如果取砖墙作为受力对象，则所受的力是木梁施加的下压力。

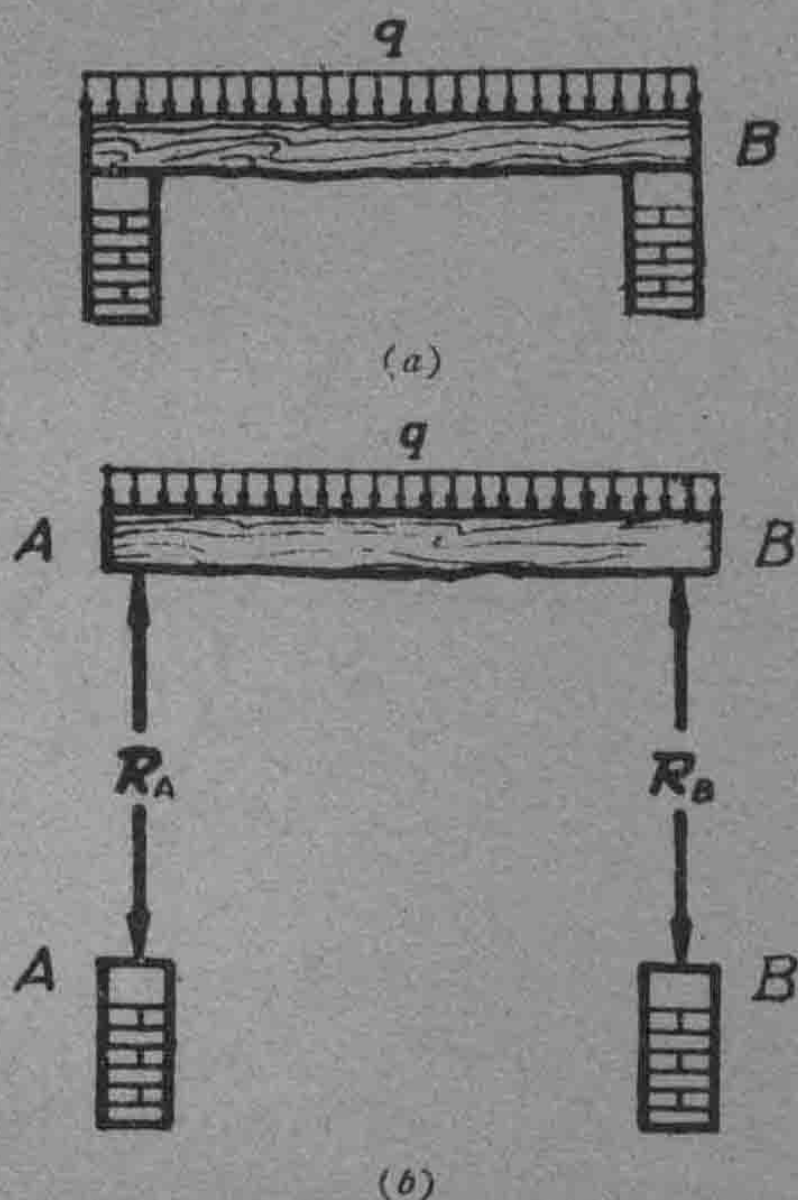


图 2—4

1—4 力的合成

一件 20 斤重的行李，由一个人竖着提，显然用 20 斤的力正好把它提起来（图 2—5a）。如果由两个人斜着提（图 2—5b），那末每个人需要用多大的力才能把它提起来呢？这时每个人的负担不是 10 斤而是稍大于 10 斤。当加力方向与铅垂线夹角为 30° 时，每人约需负担 11.5 斤。

这里提出一个问题，两个力对物体的作用效果是否可以与一个力相当，或者说用一个力来代替？它们的关系怎样？

劳动人民从长期的生产实践和科学试验中认识到如下的规律：如果作用在一个物体上有两个力 P_1 和 P_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 P_1 和 P_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 P_1 和 P_2 作用线的交点 O （图 2—6a）。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。

力的平行四边形也可以简化为力的三角形，即用力的平

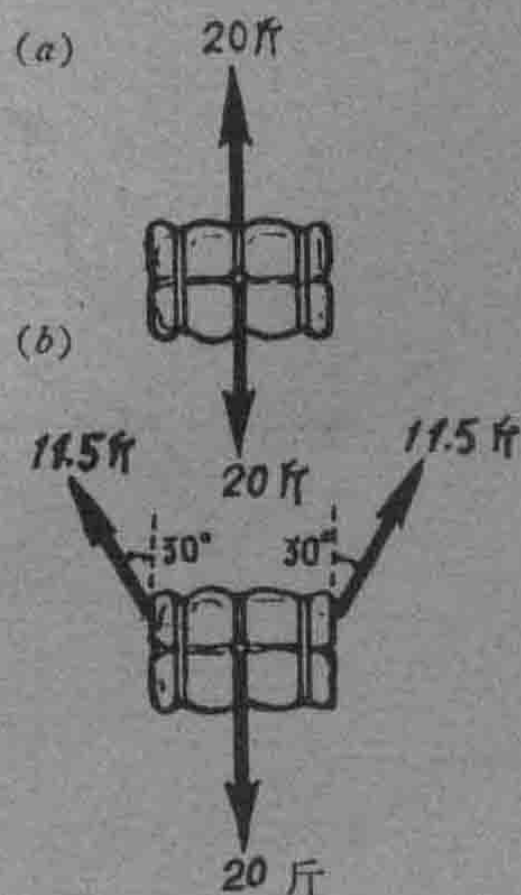


图 2—5