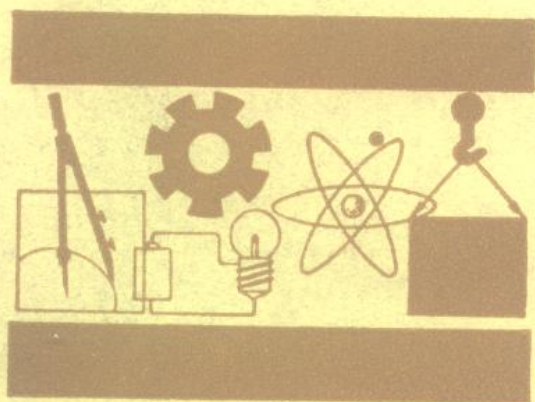


CHUJI

初级技术理论教育用书

工程力学基础



中国铁道出版社

Jishulilun jiaoyuyongshu

初级技术理论教育用书

工程力学基础

郑州铁路机械学校邵耀珠

济南铁路机械学校陈正福 编

成都铁路职工学校黄向光

中国铁道出版社

1983年·北京

内 容 简 介

本书是根据铁道部颁布的初级技术理论教育教学计划编写的,适合于土建、机械类对工程力学知识要求较高的工人学习使用。全书包括理论力学和材料力学两部分共十三章,内容以介绍工程力学的基本知识与基本理论为主,叙述基本理论由浅入深,在章后有小结,思考题与练习题,并附有答案,以便于自学。

学习本书全部内容约需80学时,考虑到各工种的不同要求,各有关工种可根据需要选学相应的内容。

2028/26

初级技术理论教育用书

工程力学基础

邵毓珠 陈正福 黄向光 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 于宗远 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张: 8.25 字数: 186千

1982年10月第1版 1983年8月第2次印刷

印数: 70,001—95,000册 定价: 0.75元

前 言

为了切实搞好全路青壮年职工文化、技术补课工作，按照铁道部颁布的《铁路工人初级技术理论教育教学计划》要求编写了这本教材。经1982年4月南京会议研究确定，本书按80学时左右编写；内容以介绍工程力学的基本知识与基本理论为主，包括理论力学和材料力学两个部分。叙述基本理论由浅入深，循序渐进，文字力求通俗易懂，解题方法力求眉目清晰，所选用的例题尽量联系生产实际，以利于培养职工分析与解决工程技术问题的能力。为便于自学，每章后均有小结、思考题与练习题，每个习题均附有答案。因书中采用国际单位制（SI），为了现场使用方便，书后附有国际单位制（力学部分）与工程单位制的换算关系表。

本书使用对象为具有初中毕业文化程度的土建、机械类对工程力学要求较高的技术工人；对于力学知识要求不高的工种，在教学中，可以根据工种本身的特点和要求，对教材内容和顺序作适当增减调整。

参加本书编写的有：郑州铁路机械学校邵樞珠（第一、二、三、十二、十三章），济南铁路机械学校陈正福（第四、五、六、七、八章），成都铁路职工学校黄向光（第九、十、十一章），全书由邵樞珠同志校阅。

本书的缺点和不足之处，望各单位在使用过程中及时提出。

铁路职工初级技术理
论教育用书编写组

一九八二年七月

目 录

第一篇 理论力学

第一章 静力学基础知识	2
1—1 对于力的认识.....	2
1—2 力的基本性质.....	4
1—3 受力图.....	9
小 结.....	15
思考题.....	16
练习题.....	16
第二章 平面汇交力系	18
2—1 什么是平面汇交力系.....	18
2—2 平面汇交力系的合成.....	19
2—3 平面汇交力系的平衡条件.....	23
小 结.....	27
思考题.....	28
练习题.....	28
第三章 平面力系	30
3—1 力矩.....	30
3—2 力偶及其特性.....	36
3—3 力的平移原理.....	39
3—4 平面力系的平衡条件.....	41
3—5 摩 擦.....	50
小 结.....	55

思考题	57
练习题	57
第四章 质点的运动	62
4—1 点的直线运动	62
4—2 匀变速直线运动	69
4—3 质点的圆周运动	77
小 结	80
思考题	81
练习题	82
第五章 刚体的简单运动	83
5—1 刚体的平动	83
5—2 刚体绕定轴转动	85
小 结	92
思考题	93
练习题	93
第六章 质点动力学基础	95
6—1 动力学基本定律	95
6—2 质量和重量	97
6—3 力学单位制	98
6—4 质点动力学基本方程式及其应用	99
6—5 惯性力的概念	103
小 结	105
思考题	106
练习题	106
第七章 刚体动力学基础	108
7—1 刚体转动动力学的基本方程式	108
7—2 转动惯量	110
7—3 刚体转动动力学基本方程式的应用	111

小 结	115
思考题	116
练习题	117
第八章 功与动能定理	118
8—1 功的概念与计算	118
8—2 功率	125
8—3 动能及动能定理	129
小 结	133
思考题	134
练习题	134

第二篇 材料力学

引 言	135
思考题	139
第九章 拉伸与压缩	140
9—1 拉伸与压缩的概念、内力计算	140
9—2 横截面上的正应力	144
9—3 变形与虎克定律	148
9—4 材料的机械性质	151
9—5 安全系数与许用应力	158
9—6 拉伸与压缩的强度计算	159
小 结	164
思考题	165
练习题	165
第十章 剪 切	168
10—1 剪切的概念	168
10—2 剪应力、剪切变形和剪切虎克定律	170
10—3 挤压的概念和挤压应力	173

10—4	剪切与挤压的强度条件	175
10—5	铆接计算的实例	180
10—6	最大剪切力的计算实例	183
小 结	.....	185
思考题	.....	186
练习题	.....	186
第十一章 扭 转	.....	188
11—1	扭转的概念	188
11—2	扭矩和扭矩图	189
11—3	圆轴扭转时的应力与变形	195
11—4	极惯性矩和抗扭截面系数	199
11—5	圆轴扭转时的强度和刚度条件	201
小 结	.....	205
思考题	.....	206
练习题	.....	206
第十二章 弯 曲	.....	208
12—1	梁弯曲的概念	208
12—2	梁弯曲的内力分析	211
12—3	弯矩图	214
12—4	梁弯曲时的正应力	221
12—5	梁弯曲时的强度计算	227
12—6	提高梁弯曲强度的途径	231
12—7	梁的变形与刚度的概念	233
小 结	.....	234
思考题	.....	234
练习题	.....	235
第十三章 组合变形与压杆的稳定性	.....	238
13—1	组合变形的概念	238

13—2	拉伸(压缩)与弯曲组合	239
13—3	压杆稳定的概念	243
13—4	临界力的确定	244
13—5	压杆稳定性的校核	245
小 结	.....	247
思考题	.....	247
练习题	.....	248
附录 I 国际单位制 (SI) 表	.....	250
附录 II 练习题答案	.....	251

第一篇 理论力学

工程力学是一门基础技术课程。在铁路职工初级技术理论教育计划中规定，工程力学包括两部分：理论力学和材料力学。本篇先介绍理论力学。

理论力学研究什么问题呢？我们知道，自然界中的一切物质都在不断地发展变化着，这种变化称为物质运动，其运动形式是多种多样的，象位置变动、发热、发光、电磁等物理现象和化学变化，以及人们的思维活动等等。物质运动是物质存在的形式，对于各种不同的物质运动形式的研究，就形成了各门不同的自然科学。理论力学是一门研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动就是指物体在空间的相对位置随时间的变化（包括任一物体对于其他物体的相对静止）。如各种车辆的行驶，各种机器的运动，液体和气体的流动，以及房屋、桥梁等相对于地球的静止等等都是机械运动。这种运动在日常生活和生产中是最常见和最基本的一种运动。

理论力学的内容包括静力学、运动学和动力学三部分。静力学研究物体受力分析与平衡规律；运动学是从几何观点研究物体运动而不考虑力的作用；动力学则研究物体运动变化与作用力之间的关系。

学习理论力学将用到物理学中有关力学的基础知识和数学中的计算方法。学习理论力学是为学习专业技术课和进一步提高科学技术水平奠定必要的理论基础。

理论力学与生产实践有密切的关系，随着生产的发展，

人们不断向力学提出各种新问题。解决生产中的工程技术问题，不仅推动了生产，而且也促进了力学的发展。我们学习力学知识的目的，就是掌握一定的力学理论，为祖国现代化建设服务。

第一章 静力学基础知识

本章介绍力的概念和力的基本性质。并阐述工程实践中常用到的约束及其基本型式，和物体受力分析方法。这些内容都是理论力学的基础知识。

1—1 对于力的认识

(一) 力的概念

力的概念是人们从日常生活与生产劳动中逐渐形成的。人们在挑担、推车、拧螺帽等活动中而感觉到力的存在。人们经过长期的观察和经验积累，逐渐认识到：力是物体之间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变或者使物体发生变形。例如，我们用手拉静止的小车，即对小车施加了拉力，如图 1—1

所示，这一拉力将使小车由静止到运动起来。

如果小车经过桥梁（图 1—1），由于小车的重力作用于桥梁，则梁

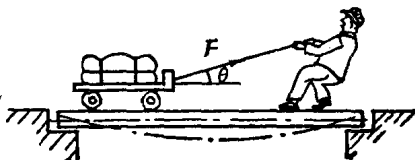


图 1—1

受力的作用总要产生一定程度的变形，即梁由原来的直线形状变为微弯的曲线形状。这些现象都是力作用的效果。但必

须指出，任何力都是一个物体对另一个物体的作用，因此，力不能脱离物体而单独存在。

在机械工程中，通常物体受力作用而产生的变形是非常微小的，在研究物体的机械运动规律时，这种微小变形对研究结果影响很小，可以忽略不计，而把物体看成刚体。所谓刚体就是在任何力作用下不会变形的物体。刚体是理论力学中被抽象化了的模型，实际上，绝对刚体是不存在的。但应注意刚体的概念不能绝对化，例如在材料力学中，物体受力后的变形是所研究的主要内容，虽然很小，但也不能忽略，因此，刚体这一概念在材料力学中就不适用了。

(二) 力的三要素

实践表明，力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点。这三个因素叫做力的三要素。在这三要素中，只要任何一个因素发生改变时，力对物体的作用效果也就随之改变。

为了衡量力的大小，我们必须选择一个标准单位，本书采用国际单位制 (SI)，用牛顿 (N) 或千牛顿 (kN) 作为力的计量单位*。

力是具有大小和方向的量，这种量称为矢量。因为力是矢量，力的大小与方向可用一个带箭头的直线段来表示：线段的长短表示力的大小（按一定的比例尺如1mm表示10N），

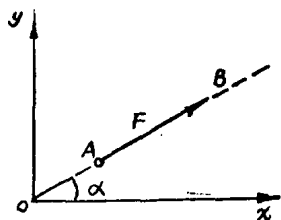


图 1-2

箭头的指向表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点，如图 1-2 所示。通过力的作用点沿力的方向所画的直

*参见第六章 6-2 和 6-3 节。

线叫力的作用线。通常用普通拉丁字母 F 、 P 等表示力的大小，用黑体字母 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$ 或用带短横线的字母 $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 表示力矢量（即按某一方向、作用于某点的、大小为 F 的力）。

1—2 力的基本性质

人们从长期的生活与生产实践中，逐步认识了力所遵循的许多规律，这些规律表明了力的基本性质，现分别介绍如下。

（一）作用与反作用定律

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。当我们利用滑轮吊起重物时，如图 1—3 所示，绳索给重物一个向上的拉力 F ，反过来我们会感觉到重物给绳索一个向下的力 F' 。这些事实说明：一物体对另一物体有作用力时，另一物体对此物体必有一反作用力。作用力与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上。这就是作用与反作用定律。这一定律表明一切力都是成对出现的。牢固地树立作用与反作用的概念，对于我们正确地分析物体受力情况有重要意义。这里要特别注意如下两个问题：

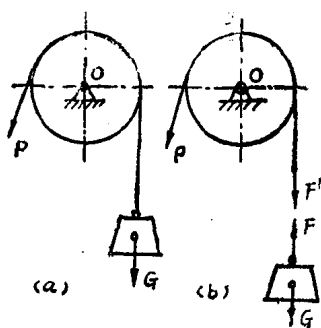


图 1—3

第一，作用力与反作用力分别作用于两个物体上，如图 1—3 (b) 所示的 F 力作用点在重物上， F' 力作用点在绳索上。但是，重物的重力 G 与绳索拉力 F ，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，而它们是作用在同一物体上的，所以并不是一对作用与反作用力。

第二，在分析一个物体的受力情况时，必须分析清楚，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，一对作用力与反作用力，其中只有一个力作用在这个物体上，另一个力则作用在别的物体上。如图 1—3(b) 所示，只有拉力 F 作用于重物上，而 F' 作用于绳索上。

(二) 二力平衡原理

在拔河比赛时，比赛双方争夺十分激烈，绳子有时向这方移动，有时又向那方移动，当双方势均力敌时，绳子相对于地面处于静止状态。在工程技术中，通常把物体相对于地面维持静止不动的状态称为平衡状态。事实证明，物体相对于地球静止或匀速直线运动它所受的力完全一样。所以，力学中还更广泛地把物体相对于地球维持静止或匀速直线运动称为平衡状态，简称平衡。平衡是相对的，说某物体平衡，必须指明它是相对于周围哪一物体而言。在理论力学中所讨论的平衡一般都是指物体相对于地面的平衡状态。例如房屋和桥梁等建筑物相对于地面是静止的，则我们称这些建筑物是处于平衡。平衡是物体机械运动中的一种特殊状态。

物体要处于平衡，它的受力情况必须满足一定的条件，这个条件称为物体的平衡条件。力学中最基本的平衡条件是二力平衡条件，即要使作用于一个刚体上的二力维持平衡，其必要与充分条件是，此二力大小相等、方向相反且作用在同一直线上。这就是二力平衡原理。例如前面图 1—3(b) 所示重物上受两个力，重力 G 和绳索拉力 F ，当重物平衡时，此二力必然是大小相等、方向相反且作用于同一直线上，即

$$F = -G$$

否则，如果 $F > G$ 重物就要向上运动，物体的平衡状态就被破坏了。

但是，在应用二力平衡原理时，必须注意如下两个问题：

第一，二力平衡条件中的二力和作用与反作用中的二力，虽然都具有大小相等、方向相反且作用于同一直线上的相同条件，但不要把这二者混淆起来。正如前面反复说明的，作用力与反作用力分别作用在两个物体上，所以根本不能互相平衡。而二力平衡是二力作用在同一物体上，才有互相平衡的关系。

第二，二力平衡条件对于刚体来说是既必要又充分的条件，但对非刚体来说这个条件是不充分的。例如绳索和皮带等受两个拉力作用时可以平衡，而受两个等值反向的压力时就不能平衡。

（三）力的可传性原理

作用于刚体上某一点的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，并不改变此力对刚体的作用效果，称此为力的可传性原理。例如图 1—4 所示，推小车的力 F 作用于 A 点，

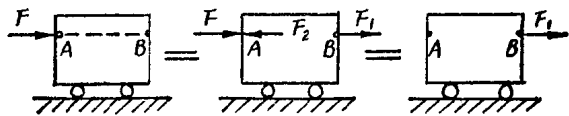


图 1—4

在这个力的作用线上任取一点 B ，并在 A 和 B 两点上分别加两个沿 AB 线而方向相反的力 F_1 和 F_2 ，同时令 $F_1 = F_2 = F$ 。因为 F_1 和 F_2 二力等值、反向且共线，其作用效果互相抵消，因此，三个力共同作用的效果与原来一个力 F 作用的效果相等。但是 F 与 F_2 也符合二力平衡条件，可以去掉，这

样，只剩下一个力 F_1 ，它的大小、方向都与 F 力相同，只是作用点由 A 点移到 B 点了。

但是，这里必须注意，力要沿其作用线移动必须在同一刚体内移动，不能把力移到另一刚体上去。而且力的可传性原理只适用于刚体，对于可变形的物体决不能应用。

(四) 力的基本运算法则

1. 力的合成

两个人拉一辆车，用力分别为： $F_1=30\text{N}$ 、 $F_2=40\text{N}$ ，如图 1—5 (a) 所示，或者一人拉车，另一人推车，用力分别为： $F_1=30\text{N}$ 、 $F_2=40\text{N}$ (图 1—5 (b))，显然这两种情况下力的作用效果和一个力 $R=70\text{N}$ 的作用效果是相同的 (图 1—5 (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 F_1 、 F_2 对物体的作用，可以用另一个力 R 来代替，其效果不变。这个力 R 称为合力，而 F_1 与 F_2 则称为分力。合力的大小为 $R=F_1+F_2$ ，方向和作用线与 F_1 、 F_2 相同。请读者考虑如果力 F_1 与 F_2 方向相反时合力怎样求呢？

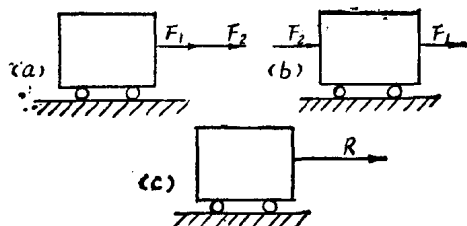


图 1—5

如果物体上受两个互成某一角度的力作用时，还能不能用一个效果相同的合力来代替呢？大量的科学实验证明有这样一个规律：作用在物体上某一点的两个力的合力，也作用

在该点上，其大小和方向由这两个力为邻边的平行四边形的对角线来表示。这就是求合力的平行四边形法则。如图 1—6 所示。

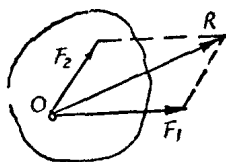


图 1—6

凡是必须按照平行四边形法则相加的有方向的量，在数学上称为矢量，矢量相加称为矢量和。合力就是分力的矢量和。所以求合力必须应用力的平行四边形法则，仅在力的作用线为同一直线时，才能用代数相加（或相减）的方法求合力的大小。

2. 力的分解

利用力的平行四边形法则，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，如图 1—7 (a) 所示两种分解结果。

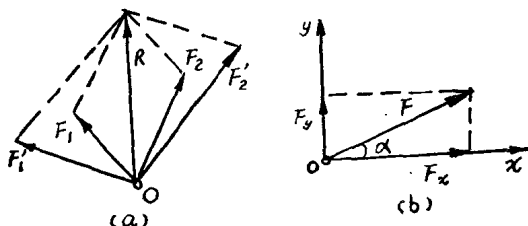


图 1—7

在工程上最常用的分解方法是已知力 F 沿直角坐标轴 x 、 y 分解为两个互相垂直的分力 F_x 、 F_y ，如图 1—7 (b) 所示。按照三角公式可得下列关系：

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \sin \alpha$$

式中 α ——力 F 与 x 轴之间所夹锐角。