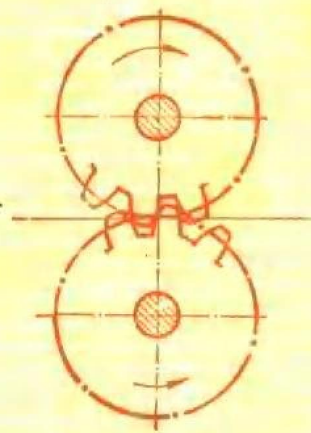


工程力学

上册

上海交通大学力学教研组



上海人民出版社

内 容 提 要

本书系教学用书,可供高等院校机械制造、动力机械等专业教学使用,亦可供有关工人和技术人员参考。

本书分上下二册出版,共分四篇。上册包括第一篇:静力学。讨论了构件的外力分析和在各种力系作用下的平衡条件。第二篇:材料力学。讨论了杆件在拉压、弯曲、剪切、扭转四种基本变形下以及组合变形下的强度、刚度问题。下册包括第二篇的三章:讨论交变应力下的强度、压杆稳定性和电测应力概论。第三篇:运动学和动力学。讨论构件的平动和转动、运动的分解与合成、动静法、机械能与功、碰撞以及机械振动基础。第四篇为专题:讨论图解法、能量法、超静定问题、厚壁筒等。

工 程 力 学

上 册

上海交通大学力学教研组

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.25 字数 456,000

1976年9月第1版 1976年9月第1次印刷

统一书号: 15171·283 定价: 1.10 元

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

马克思主义包含有自然科学，大家要来研究自然科学，否则世界上就有许多不懂的东西，那就不算一个最好的革命者。

你们学自然科学的，要学会用辩证法。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

前 言

“自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由,就要用社会科学来了解社会,改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由,就要用自然科学来了解自然,克服自然和改造自然,从自然里得到自由。”在机械制造、动力机械及船舶结构等设计中,都需要掌握工程力学的基本知识来认识自然、改造自然。

任何复杂的机器或结构都是由若干零、部件组成,这些基本元件在力学中统称为构件。要保证机器正常运转、舰船正常航行,必须要求各主要构件能正常工作。学习工程力学就是为了分析研究构件在正常工作时的机械运动及其受力与变形的基本规律,并运用这些规律进行构件的设计与计算。

工程力学是一门与生产实践紧密联系的学科,在机械制造(包括船舶制造)类的各个专业中都有很多力学问题存在。我们以常见的起重机为例,来看看与工程力学课程有关的主要内容。当起重机吊起重物时,正好象人拿起重物时力的作用传及全身一样,起重机各个构件都受有力的作用。在工程力学中,我们将首先对构件在静力平衡状态下进行受力分析,研究作用力应满足的条件,从而确定各构件受力情况,这就是本书的第一篇《静力学》的内容。要保证起重机能安全吊起重物,各构件还要足够的牢固,这就要在已知构件受力情况下合理地选用材料 and 设计构件的尺寸。本书的第二篇《材料力学》就是研究简单构件的受力与变形的依存关系及其变化规律,并研究材料的机械性质,从而确定构件的承载能力。工程构件很多是处于运动状态下的,如起重机吊运重物时的启动、刹车、回转或行走运动等,因此还要对构件进行运动分析和动力分析,这就是本书的第三篇《运动学和动力学》讨论的内容。其它机械,如机床、内燃机、涡轮机、铸锻机械等,也都有类似的问题,此处不再详细叙述。上述三篇各章阐述了机械、动力机械类专业所需了解的基本内容。考虑到部分专业的需要,把某些工程力学内容列为专题作为本书的第四篇。

“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。”本门学科中的矛盾是什么呢?列宁在说明矛盾的普遍性时指出:“在力学中,作用和反作用。”这一矛盾,贯串于工程力学的始终。我们的任务就是要分析这一矛盾在静力学、材料力学、运动学与动力学等不同情况下表现的不同特点,并且正确地解决它,为工程设计提供力学的基本知识,使设计能符合既安全又经济的要求。

工程力学是根据各专业的生产实际问题,通过科学抽象进行研究的。学习时应特别注意紧密结合三大革命运动的实践,遵循辩证唯物论的认识论,努力提高分析问题和解决问题的能力。本书系教学用书,为了适应机械类各专业对力学的不同要求,本书内容较多,涉及面也较广。用作教材时,应根据各专业结合典型任务开门办学的具体要求,对各章节内容加以取舍;书中注*的章节,仅适应某些专业的特殊需要,教学时可以删节;各章节前后次序也可灵活变动;还可根据专业需要结合典型任务编写补充材料,以更好地做到理论与实际的结

合。各章后面均附有小结、复习思考题和习题,以有利于自学。

经过无产阶级文化大革命的战斗洗礼,我们对旧力学教材进行了剖析,初步批判了旧力学教材中的唯心主义、形而上学、理论至上、烦琐哲学等错误。在本书的编写中,我们力求运用辩证唯物主义思想,贯彻实践第一的观点和理论联系实际的原则,努力反映我国社会主义建设的新成就,同时在内容的安排和叙述方面也力求做到便于自学,注意培养分析问题和解决问题的能力。但是,由于我们认真看书学习不够,水平有限,教育革命实践经验不足,本书在各方面一定会存在许多缺点和错误,特别是对于旧体系,破得还不够彻底,需要在教育革命实践中进一步解决。我们热情希望广大读者提出批评和建议。

在本书编写的过程中,我们得到了许多工厂、单位的大力支持;许多工人师傅、工农兵学员和革命知识分子提出了宝贵意见;特别是上海船厂工人师傅参加了本书初稿的编写工作;同时我们也从兄弟院校教材中学习吸取了许多经验,在此一并表示衷心的感谢!

上海交通大学力学教研组

一九七六年一月

目 录

第一篇 静 力 学

第一章 构件的受力分析	1
§ 1-1 力的性质	1
§ 1-2 支承和支承反力 受力分析和受力图	6
小结	12
复习思考题	13
习题	14
第二章 平面共点力系	17
§ 2-1 平衡的概念	17
§ 2-2 两力平衡的条件 三力平衡汇交定理	17
§ 2-3 平面共点力系的合成和平衡(图解法)	19
§ 2-4 平面共点力系的合成和平衡(解析法)	21
小结	25
复习思考题	25
习题	26
第三章 力矩和力偶	29
§ 3-1 力矩	29
§ 3-2 合力矩定理	30
§ 3-3 力矩的平衡	31
§ 3-4 应用合力矩定理求物体重心	34
§ 3-5 力偶 力偶矩	39
§ 3-6 平面力偶系的合成和平衡	41
小结	42
复习思考题	44
习题	44
第四章 平面一般力系	48
§ 4-1 平面一般力系实例	48
§ 4-2 力线的平移	49
§ 4-3 平面一般力系的简化	50
§ 4-4 平面一般力系的平衡条件	51
§ 4-5 构件系统的平衡	57
小结	60
复习思考题	60
习题	61

第五章 空间力系	66
§ 5-1 空间力系实例	66
§ 5-2 力在空间直角坐标轴上的投影	66
§ 5-3 力对轴之矩	69
§ 5-4 空间力系的平衡条件	72
小结	79
复习思考题	80
习题	80

第六章 摩擦	83
§ 6-1 前言	83
§ 6-2 滑动摩擦力的特点	83
§ 6-3 有摩擦力时的平衡问题 自锁	86
§ 6-4 滚动摩擦的概念	90
小结	92
复习思考题	93
习题	93

第二篇 材料力学

第一章 基本概念	97
§ 1-1 材料力学的任务和研究对象	97
§ 1-2 内力与截面法	98
§ 1-3 构件的基本变形	101
习题	102

第二章 拉压强度计算及材料的机械性质	104
§ 2-1 拉伸(压缩)时的应力和应变计算	104
§ 2-2 低碳钢材料拉伸时的机械性质	108
§ 2-3 其它材料拉伸时的机械性质	113
§ 2-4 压缩时材料的机械性质	115
§ 2-5 拉(压)时斜截面上应力分析	118
§ 2-6 安全系数及许用应力	120
§ 2-7 拉伸(压缩)时强度计算	122
§ 2-8 应力集中的概念	125
*§ 2-9 二向拉伸(薄壁容器)应力计算	126
*§ 2-10 材料的硬度和冲击韧性	129
小结	132
复习思考题	133
习题	133

第三章 梁的弯曲强度	138
§ 3-1 梁弯曲的实例和概念	138
§ 3-2 梁弯曲的内力分析	140
§ 3-3 剪力、弯矩与分布载荷间的关系	147
§ 3-4 用迭加法作剪力图和弯矩图	152
§ 3-5 梁弯曲时的正应力计算	155
§ 3-6 截面惯矩的计算	160
§ 3-7 梁弯曲的强度计算	167
§ 3-8 提高梁弯曲强度的一些途径	172
*§ 3-9 弯曲剪应力计算	181
§ 3-10 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	187
小结	192
复习思考题	193
习题	194
第四章 弯曲变形	201
§ 4-1 生产实践中的弯曲变形问题	201
§ 4-2 梁的挠曲线近似微分方程式	203
§ 4-3 挠曲线近似微分方程式的积分	204
§ 4-4 用迭加法求梁的变形	210
*§ 4-5 虚梁法求梁的变形	213
§ 4-6 提高梁弯曲刚度的一些途径	219
小结	223
复习思考题	223
习题	224
第五章 剪切实用计算	227
§ 5-1 剪切构件的受力与变形特点	227
§ 5-2 剪切实用计算	228
小结	233
复习思考题	233
习题	234
第六章 圆轴的扭转	236
§ 6-1 扭转实例及其受力特点	236
§ 6-2 扭矩的计算	237
§ 6-3 圆轴扭转时的强度和刚度计算	240
§ 6-4 扭转破坏分析	248
§ 6-5 非圆截面杆扭转简介	250
*§ 6-6 密圈螺旋弹簧	252
小结	255
复习思考题	256
习题	256

第七章 弯扭组合强度.....	259
§ 7-1 弯扭组合变形实例	259
§ 7-2 弯扭组合变形时的应力分析	260
§ 7-3 工程上常用的强度理论	271
§ 7-4 弯扭组合强度计算	273
小结.....	280
复习思考题.....	282
习题.....	283
附录 型钢规格表.....	286

第一篇 静 力 学

第一章 构件的受力分析

§ 1-1 力的性质

(一) 力的概念

人类从开始进行生产劳动时起,就用手制造和使用工具,举、掷、击、推、拉等等,都是用手臂和身体的活动驱使工具活动起来,这时,人的肌肉紧张,直接感觉到用了力。可见,力这个概念产生于人的机体对外界的作用。

随着生产的发展,人们开始利用畜力、风力、水力、热力等等,出现了各种利用自然力量的机械。于是在实践中,人们对力的认识又有所前进,从人的肌肉力,扩大到一物体对另一物体的作用力,例如水对水轮机的冲击力,锻锤对锻件的打击力等。即认为力是物体之间的作用。

那末,这种作用的实质即力的实质究竟是什么呢?

辩证唯物论告诉我们,运动不能创造,只能转移。当投掷手榴弹时,我们说手臂对手榴弹作用了力,实际上这无非是指人的机体通过手臂将运动转移给了手榴弹。当机车牵引一列车前进时,机车的前进运动通过挂钩转移给了后面的列车,就显现为机车的牵引力。锻打工件时,锻锤的运动转移给了工件,就显现为打击力。可见,力是以运动的转移为前提的。

力学是研究物体机械运动规律的学科,而所谓机械运动就是物体位置的变动。从上面所举例子可见,物体受力作用的效果表现为它的机械运动状态的改变(包括物体形态的改变)。因此,力可以通过它的作用效果即力的表现来量度。例如手拉弓时,手将运动转移给弓,于是弓发生了变形。变形就是力的表现。通过弓变形的程度就可以量度拉力的大小。又如弹簧秤就是利用弹簧的变形来量度悬挂重物重力的大小的。再如列车开动时,通过列车运动的变化,可以测量到机车牵引力的大小。

正如恩格斯所深刻概括的:“力——它以运动的转移为前提”,“力以它的表现来量度”。

伟大领袖毛主席指出:“中国是世界文明发达最早的国家之一”。例如,由于人工灌溉的需要,我国早在公元前六世纪就发明了桔槔(图 1-1)、辘轳(图 1-2)等简单机械作为灌溉工具。随着建筑事业的兴起,我国劳动人民在修筑万里长城的过程中,就已采用了杠杆、滑轮和斜面。稍举数例,已可以说明我国劳动人民当时对物体的机械运动规律,对力的概念已经有了一定的认识。早在公元前三世纪,法家代表人物荀况就提出了“制天命而用之”的思想,并热情歌颂了人类“善假于物”的能力,这种思想对于机械的发明创造和力学的发展具有很



图 1-1 桔槔

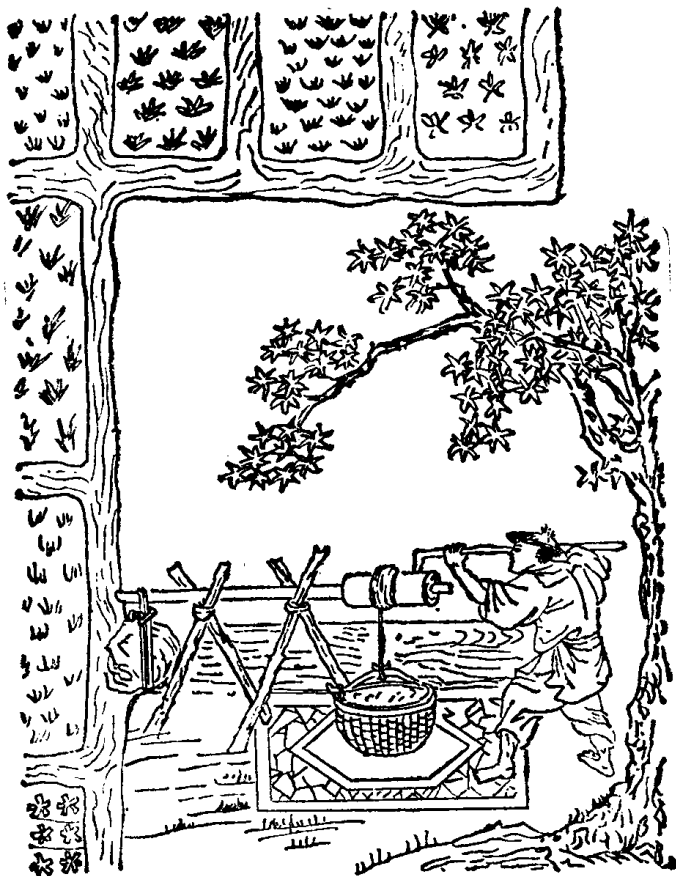


图 1-2 轱辘

大的促进作用。同一时期,在后期墨家的代表作《墨经》中,总结了春秋战国时期我国劳动人民对物体机械运动的认识,对力和运动之间的关系就作了朴素唯物主义的论述,指出:“力,形之所以奋也。”形是物体,奋是运动,说明力是物体运动变化的原因。这是世界上较早的关于力的概念的比较正确的认识。

在讨论了力的概念以后,我们再提一下关于刚体的概念。在工程上,一般构件多用金属材料制成。在力的作用下,它们变形很小。因此,在静力学中研究构件的平衡规律以及在运动学和动力学中研究构件的运动规律时,可以把变形作为次要因素略去。即忽略变形,认为在力的作用下,物体的大小、形状仍保持不变。这种受力作用后不变形的物体称为刚体。因此,刚体的概念是一种抽象,是力学中研究物体运动或平衡规律时抽象化了的理想模型。以后在第一、第三两篇中,我们所说的物体通常是指刚体。

(二)力的三要素 力是矢量

实践表明,力对物体的作用效果是由力的大小、方向和作用点这三个要素决定的。其中任何一个要素改变了,力的作用效果就因之改变。

以推小车为例,图1-3。在A点用3公斤力推和用10公斤力推,效果是不同的,说明力有大小。用同样大小的3公斤力,向前推使小车前进,向后拉使小车倒退,说明力有方向。同样大小方向的力,若作用在A点,使小车直线前进;若作用在B点,则小车不仅向前,还要向右转弯;若作用在C点,则小车边前进,边向左转弯,说明力的作用效果还和它的作用点有关。

我们用带箭头的线段表示力:线段长度表示力的大小;线段的方位就是力的作用线的方位,箭头指向表示力沿作用线的哪一边作用(方位和指向合起来表明方向);线段的起点或箭头的矢端表示力的作用点。图1-3中表示小车上A点作用了3公斤力。

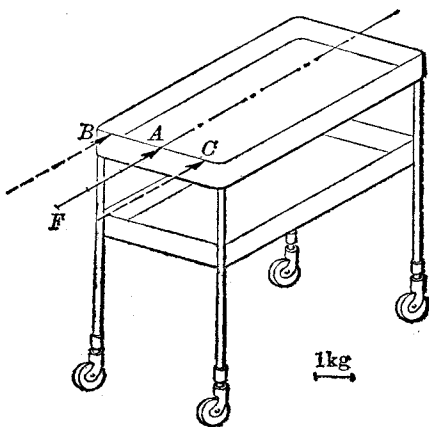


图1-3 力的图示

力的大小、方向和作用点三要素,表明力是一个带方向性的量。在数学中,把具有方向性的量称为矢量(或向量)。因此,力是矢量。另外如温度、面积等量,只需指出它的大小或者再加上正负号就可以完全确定了,这类量在数学中叫做标量。我们往往用黑体字母“**F**”、“**P**”等表示力矢量,而用普通字母“*F*”、“*P*”等表示力的大小。

力的工程单位是吨力(tf)和公斤力(kgf),但习惯上常用吨(t)和公斤(kg)。1t=1000 kg。

(三)作用和反作用定律

推车时,我们通过手给车一个作用,所以车子动起来了;我们手上有受压的感觉,说明车子对手有一个反作用。锻压加工时,锻锤对工件的作用使它发生变形,工件对锻锤的反作用则阻碍锻锤运动,迫使锻锤运动减慢。在工程上,这种作用和反作用常常叫做作用力和反作用力。同样地,在切削加工时车刀与工件之间,机械传动中齿轮与齿轮之间、轴与轴承之间都存在着作用力和反作用力。这告诉我们,任何两个物体间的作用力和反作用力都是同时并存的。如果甲物体对乙物体施以作用力的话,则乙物体对甲物体必同时施以反作用力。

它们相反而又相成,构成一个矛盾。正如列宁在论述矛盾的普遍性时所指出的:“在力学中,作用和反作用。”

实践证明:作用力和反作用力是同时存在的,它们大小相等,方向相反,作用线在同一条直线上。这就是作用和反作用定律。

应该注意,作用力和反作用力是作用在两个物体上的。

作用力和反作用力这一种矛盾,贯穿于整个《工程力学》课程的始终,它是正确地进行构件受力分析的基础。

例如,气锤在锻打工件时(图 1-4),工件 2 受到锤头 1 的打击力 F_1 ,同时锤头也受到工件给它的反作用力 F'_1 ,根据作用与反作用定律, $F_1 = F'_1$, F_1 和 F'_1 方向相反,作用线在同一条直线上,即等值、反向、共线。同样地,工件 2 给砧座 3 一个作用力 F_2 ,砧座给工件一个反作用力 F'_2 , F_2 和 F'_2 也是等值、反向、共线的。

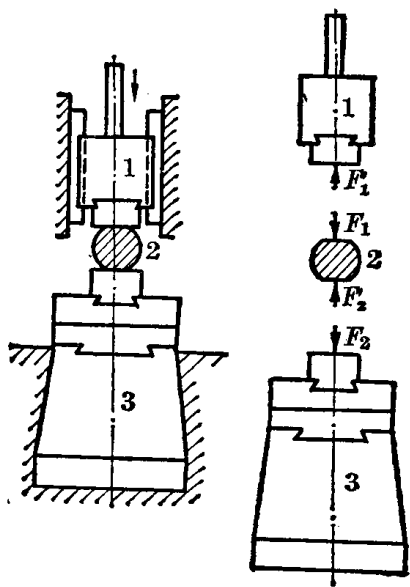


图 1-4 锻压时工件的作用力和反作用力

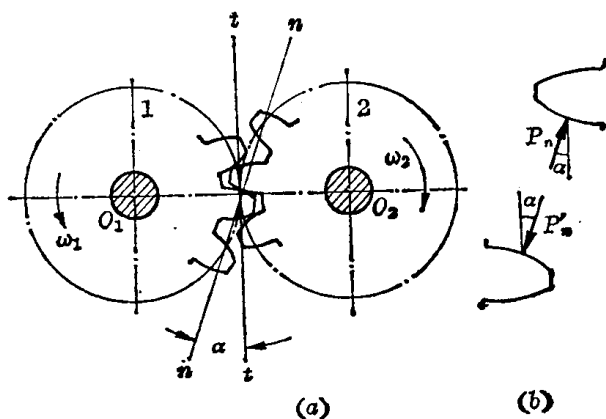


图 1-5 齿轮啮合时的作用力和反作用力

再以一对互相啮合的齿轮为例(图 1-5):主动轮 1 给从动轮 2 一个作用力 P_n ,推动齿轮 2 绕 O_2 轴转动,从动轮 2 也必定给主动轮 1 一个反作用力 P'_n ,这两个力也是等值、反向、共线的。

(四)力的合成与分解

我们知道(图 1-6),打夯时每个人所用的力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 是倾斜向上的,但石夯的运动方向却是铅垂向上。这说明将每个人所用的力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 合成起来,相当于一个铅垂向上的力 R ,这个力 R 就称为 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 四个力的合力。

我们做一个简单的演示(图 1-7):弹簧自然长 l_0 ,一端挂在 O 点,在另一端 A 各沿 AB 和 AD 方向加力 F_1 和 F_2 (可利用悬挂砝码的方法施力),力的大小按比例尺表示如图。在 F_1 、 F_2 两力的作用下,弹簧由 l_0 沿着 OA 伸长为 l 。然后除去 F_1 、 F_2 两力。接着在 AC 方向施加力 R (同样利用砝码逐渐加力),使弹簧同样沿着 OA 由 l_0 伸长为 l ,按比例尺画上 R 。

根据弹簧的变形相等,可知 F_1 、 F_2 两力的合成效果,和 R 一个力的作用效果相等,即

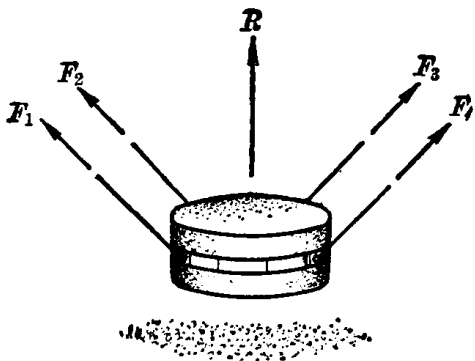


图 1-6 打夯时力的合成

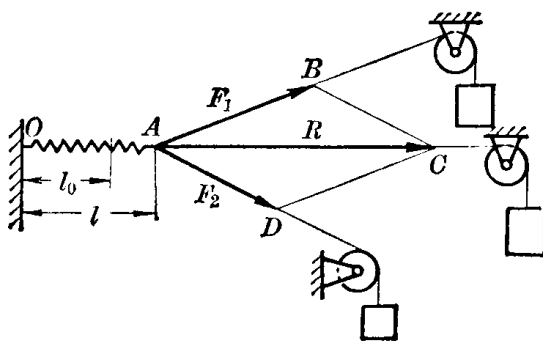


图 1-7 力的平行四边形法则演示

R 是 F_1 、 F_2 两力的合力。

如果以 F_1 、 F_2 作为两邻边，画平行四边形，我们发现， R 正好是它的对角线。上述演示说明：合力 R 和分力 F_1 、 F_2 的关系可以从平行四边形中找到，即分力 F_1 、 F_2 的合力 R 是由 F_1 、 F_2 为边所组成的平行四边形的对角线表示的。这就是求相交两力合力的平行四边形法则。

这一法则为大量的实践所证实，是普遍适用的。它说明，力的合成不能用“算术”的法则把力的大小简单相加，而必须按矢量运算法则，即平行四边形法则几何相加。具体作法如下：

设在某一物体上 A 点作用着 F_1 、 F_2 两力，夹角为 α ，见图 1-8 a。按比例画出 F_1 、 F_2 ，以 F_1 、 F_2 为边作出平行四边形 $ABCD$ ，则对角线 AC 就表示这两个力的合力 R 。

因为平行四边形对边相等，在找合力时，也可不画平行四边形，只要画一个三角形就可以了，即先画 $AB = F_1$ ，再从 B 点接下去画 $BC = F_2$ ，连接 AC ，就得到合力 R ，如图 1-8 b 所示。也可以先画 $AD = F_2$ ，接下去画 $DC = F_1$ ，连接 AC 即得合力 R ，如图 1-8 c 所示。可见画三角形时，画力的先后次序是任意的。

按比例尺作图，画出力的平行四边形或力三角形后，合力的大小和方向就可以直接从图上量出来。这就是图解法。

如果不用图解法，合力的大小、方向可以利用几何关系算出来。由图 1-8，根据三角形的余弦及正弦定律，可以求得合力 R 的大小 R 以及它与 F_1 、 F_2 的夹角 α_1 、 α_2 ：

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha} \\ \frac{R}{\sin \alpha} &= \frac{F_1}{\sin \alpha_2} = \frac{F_2}{\sin \alpha_1} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

这叫做几何法。

上面讨论了两个相交力的合成，与合成相对立的是力的分解。一个力同样可以分解为两个分力。力的合成与力的分解相反而又相成，是对立的统一。它们服从同一个法则——力的平行四边形法则。

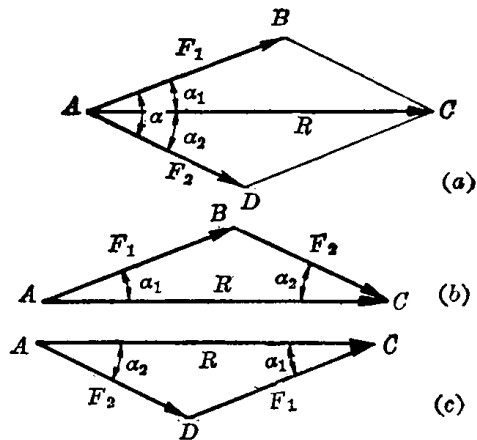


图 1-8 力的平行四边形法则

例如万吨轮下水时(图 1-9), 可将它的重力 W 分解为两个分力: 一个分力 Q 垂直于滑道, 使船体(连同滑板)压紧在滑道上; 另一个分力 P 沿着滑道方向, 使船体(连同滑板)克服

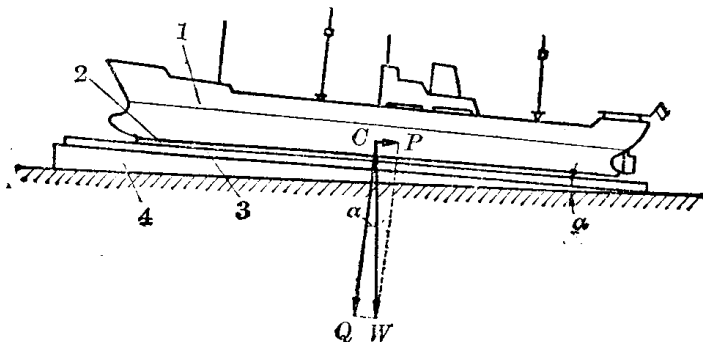


图 1-9 船下水时重力的分解

1—船体; 2—滑板; 3—滑道; 4—船台

摩擦阻力沿着滑道下滑。设船台倾斜角为 α , 则根据力的平行四边形法则, 可得

$$P = W \sin \alpha$$

$$Q = W \cos \alpha$$

如船体重 $W = 4000 \text{ t}$, $\alpha = \arctg \frac{1}{22} = 2^\circ 36'$, 则

$$P = W \sin \alpha = 4000 \sin 2^\circ 36' = 181.6 \text{ t}$$

$$Q = W \cos \alpha = 4000 \cos 2^\circ 36' = 3996 \text{ t}$$

上海船厂的造船工人, 发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神, 在三千吨船台上造出了“风雷号”等万吨巨轮。三千吨船台要造万吨轮, 使船台负荷达到设计负荷的三倍多。怎么办呢? 工人师傅把支承万吨轮的楞头由原来的 100 多个增加到 300 多个, 这样由每个楞头传到船台基础上的力并未增加, 使基础仍能安全地承载。下水时, 将支承船体的滑道由原来的两条增加到四条, 并在船台局部地方适当进行了加强, 这样, 船体的重量经由四条滑道传到船台基础上, 载荷分散了, 船台不仅没有压塌, 而且变形也很小, 胜利地经受了考验。这便是力的分解的实际应用。

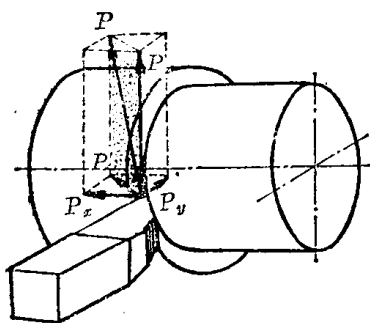


图 1-10 车刀切削工件时切削力的分解

再如车刀切削工件(图 1-10)时, 车刀对工件的切削力 P 可分解为三个相互垂直的分力 P_x 、 P_y 、 P_z 。它们各起不同的作用: 为了使工件在旋转中完成切削加工, 车刀必须有作用向上的圆周力 P_z ; 切削时有一定的进刀深度, 车刀必须有径向力 P_y 压紧工件; 切削时还须沿工件轴线走刀, 所以车刀必须作用轴向力 P_x 。这里合力 P 和分力 P_x 、 P_y 、 P_z 必须服从力的平行四边形法则, 即先将 P 按平行四边形法则分解为 P 与 P' (在打影点平面内), 再将 P' 按同一法则分解为 P_x 与 P_y 。

§ 1-2 支承和支承反力 受力分析和受力图

(一) 支承和支承反力

我们知道, 一台机器总是有很多零件、部件互相连接互相支承而组成的。举小型起重机

为例。图 1-11 为建筑工地上常见的小型起重机。把杆 AB 用拉索 DE 固定在一定幅度上， B 端装滑轮。起升绳一端与吊钩相连，另一端绕过滑轮 B 卷在起升卷筒上。卷筒由马达经过减速箱带动。转盘可绕中心轴转动。考虑到平衡，在转盘后端装有平衡重。

这台起重机的许多构件是相互连接、相互支承的。例如，当起重机吊起重物后静止不动时，重物在重力作用下不能随便下落，因为上面有起升绳拉住它。起升绳就是重物的支承。 B 处的销钉限制了滑轮的运动，使它只能绕销钉转动。销钉就是滑轮的支承。把杆 AB 是由 A 处销钉和拉索 DE 支承的， A 处销钉只允许把杆 AB 绕着它转动，而拉索 DE 又进一步限制了把杆的运动，使把杆固定在需要的位置上。起重机整体又是由地面支承的。

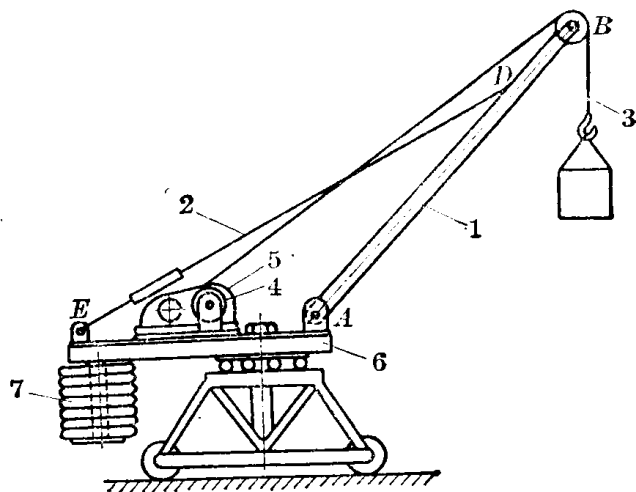


图 1-11 起重机

1—把杆；2—拉索；3—起升绳；4—卷筒；
5—减速箱；6—转盘；7—平衡重

一个物体由其它物体支承，同其它物体连接，其它物体给这个物体的反作用力叫做支承反力，简称支反力。支承是限制运动的，所以支承反力的方向就和支承所能够限制的运动方向相反。不同的支承对于物体的限制作用不同，因此支承反力也不一样。下面分析几种工程上常见的支承和支承反力。

1. 柔索：小型起重机的起升绳阻止重物下落，它给重物一个支承反力（即拉力），此力沿着绳子的方向，见图 1-12。同样，拉索 DE 对把杆的拉力也沿着绳子方向。

绳索提供的拉力，通常用符号 T 表示。 T 的大小是未知的，但方向总是沿着绳索。

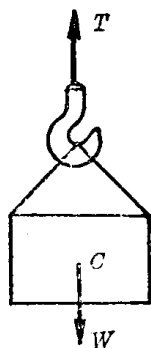


图 1-12 钢丝绳拉力

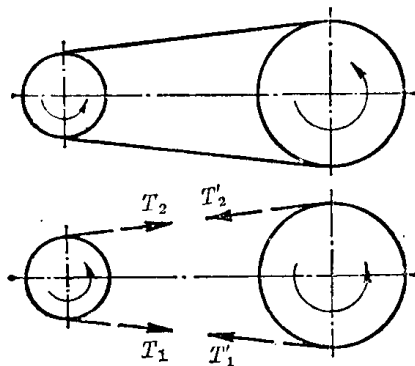


图 1-13 皮带张力

对工程上常见的皮带、链条等的受力分析也是一样。图 1-13 表示了皮带中相互作用的拉力，它们各沿着皮带方向，图中 T_1 和 T_1' 、 T_2 和 T_2' 是作用力与反作用力关系。

绳索、皮带、链条等统称为柔索。

2. 光滑面支承：图 1-11 中，整个起重机用轮子支承在地面上，当地面与轮子之间的摩擦力可以忽略时，就把地面对轮子的支承看成是光滑的，称为光滑面支承。由于不考虑摩擦，轮子在接触面的公切线方向运动不受阻碍，所以切向无支承反力；但在接触面的公法线

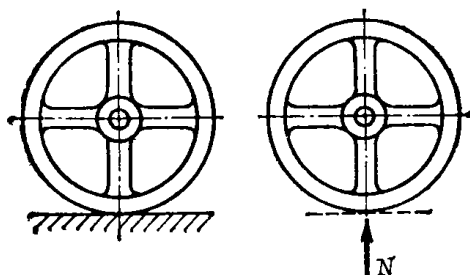


图 1-14 光滑面支承

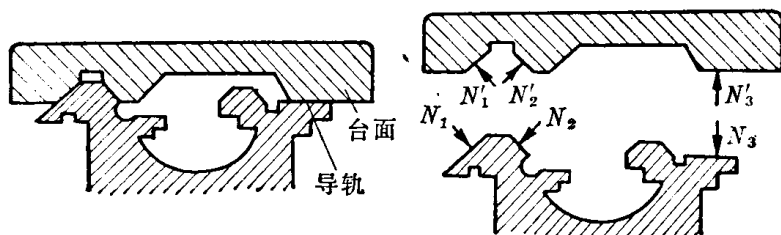


图 1-15 车床台面与导轨

方向, 由于地面的支承, 轮子不能向下自由运动, 因此, 沿法线方向有支承反力 N , 见图 1-14。

图 1-15 表示机床的台面由床身的平导轨和三角导轨支承。导轨充分润滑, 支承面便是光滑的。图中分别画出了台面和导轨间的作用力与反作用力。因为摩擦力可以忽略不计, 所以各力均沿接触面的公法线方向。图中 N_1 与 N'_1 、 N_2 与 N'_2 、 N_3 与 N'_3 均为作用力和反作用力。

又如机械传动中常用的齿轮, 当摩擦力可以忽略时, 齿与齿之间就是光滑接触。图 1-5a 所示为一对圆柱正齿轮传动。齿轮传动时就像两个圆之间在作无滑动的滚动, 这两个圆称为节圆, 如图中点划线所示。两齿轮的节圆相切的点, 称为节点。过节点作两节圆的公切线 $t-t$ 。传动时, 主动轮 1 给从动轮 2 一个推力 P_n , 它的方向沿着两齿廓接触点的公法线方向, 即 $n-n$ 方向, 如图 1-5b 所示。同时, 从动轮 2 也给主动轮 1 一个反作用力 P'_n , 也是沿着 $n-n$ 方向。 $n-n$ 与 $t-t$ 二直线间的夹角称为压力角, 用 α 表示。按我国标准, 取 $\alpha = 20^\circ$ 。

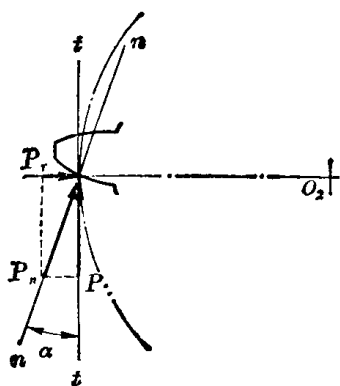


图 1-16 圆柱正齿轮啮合力分解为圆周力和径向力

P_n 称为啮合力。通常将 P_n 分解为沿着齿轮半径方向的分力 P_r 以及垂直于半径方向的分力 P , P_r 叫径向力, P 叫圆周力, 如图 1-16 所示。

综上所述, 光滑面支承的特点是: 阻止物体在支承面公法线方向的相对运动, 而沿公切线方向的相对运动则是自由的。因此, 支承反力沿公法线方向, 即方向已知, 大小未定, 包含一个未知数。

3. 光滑铰链: 图 1-11 中, 把杆 AB 的 A 端和支座上都有大小相同的圆柱形销孔, 当销孔对准时, 插进一个螺钉或圆柱形的销钉就组成了铰链支座, 简称铰支。图 1-17 为铰链支座的典型结构。同样地, 如果两根构件用销钉连接, 就叫铰链连接。铰链连接的特点是允许两构件相对转动, 但不允许相对移动。