

中国造船工程学会人才与教育学术委员会
教材建设学组 推荐

船舶系列丛书

CHUANBO XILIE CONGSHU

船舶起重工艺(中级)

邱隆宝 主编

船舶工业教材编审室 审

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

船舶起重工艺(中级)

主编 邱隆宝

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书共分6章,即:起重基础、常用吊索具、常见吊运作业的基础分析与计算、起重吊装及运输、新建船舶下水、水上起重作业技术。主要讲解了起重作业的一般规范要领,分析思路。重点强调了多台起重机联合作业的技术要领。书中还介绍了数种船舶下水的工艺及要领,为入行已经2~5年的起重工提供了进一步提升技术能力的知识依据。与其他同类教材相比,本书增加了水上起重作业技术的内容,从而满足越来越多的水上作业需求,更为学员日后的学习和深造做好铺垫。书中部分内容已经达到甚至超过高级工的水准,学员可以根据工作需要选择学习和考核。

本书可作为船厂起重工(中级)的专用培训教材,也适用于涉及该专业多年并对此有兴趣的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶起重工艺:中级/邱隆宝主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2011.6
ISBN 978-7-81133-948-2

I. ①船… II. ①邱… III. ①甲板起重机-技术培训-教材
IV. ①U664.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 117029 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 14.5
字 数 350 千字
版 次 2011 年 7 月第 1 版
印 次 2011 年 7 月第 1 次印刷
定 价 28.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

前几年,本作者编写了《船舶起重工》一书。作为船舶行业的起重工岗位培训教材,给各企业大量的新员工尽快掌握生产基本技能,短期内上岗操作带来了有益的帮助。经过几年的磨炼与实践,许多当年的“新员工”已经具备了进一步提升技能的条件,也有这方面的迫切需求。虽然《船舶起重工》一书的部分内容已经达到甚至超过了中级工的水平。但系统性不强,各章节深浅不一。

本书按照中级工技能大纲的要求进行编写,紧密结合各船厂目前的实际情况,同时贴近现代造船模式的转换要求,使本教材不但具有强烈的现实性、实用性,也有前瞻性。

本书在编写过程中得到了薛冬梅、张俊、张国平、张栋旭等同事的大力帮助。他们不但帮助收集资料,还做了大量的文字和插图工作,最后又帮助校对。在此向他们深表感谢,同时向支持和关心本书编写工作的各级领导及其他为出版本教材作出过贡献的所有参与者表示感谢。

由于编者长期从事职工培训的业余教学工作,因而不可避免地留有其他书籍中的烙印。在此一并表示敬意和感谢。由于编者的学识水平和生产实践经验有限,编写时间十分仓促,书中难免存在错误和取舍不当之处,恳请广大读者给予批评指正。

编者

2011年4月

目 录

第1章 起重基础	1
1.1 力学基础	1
1.2 有关常用单位的使用.....	10
1.3 常用连接.....	17
习题	23
第2章 常用吊索具	24
2.1 钢丝绳.....	24
2.2 麻绳.....	42
2.3 尼龙绳.....	44
2.4 卸扣.....	54
2.5 眼板和吊环.....	61
2.6 平衡梁.....	63
习题	67
第3章 常见吊运作业的基础分析与计算	68
3.1 物体所受重力.....	68
3.2 物体的重心.....	71
3.3 两台及两台以上起重机的联合作业.....	81
3.4 起重吊装中的载荷计算.....	87
习题	88
第4章 起重吊装及运输	90
4.1 吊运机械设备的挂绳与保护.....	90
4.2 船体分段的翻身和吊装.....	93
4.3 上层建筑的整体吊装.....	99
4.4 船用主机的吊装	110
4.5 船舶尾部的吊装工程	120
4.6 门吊的吊装工艺	123
4.7 厂区内运输	137
习题.....	144
第5章 新建船舶下水	145
5.1 倾斜滑道重力式纵向下水	145
5.2 船舶进出坞	165
5.3 气囊下水及上排	176
5.4 石油勘探船下水	184
习题.....	187

第 6 章 水上起重作业技术	188
6.1 水上作业基础	188
6.2 水上重大件运输	201
6.3 水上架桥技术	207
习题.....	217
习题答案	219
参考文献	226

第1章 起重基础

1.1 力学基础

有人说,起重作业就是在跟力说话。此话颇有道理,起重作业是和力密切相关的。而与力相关的学科有很多,如静力学、动力学、流体力学、万有引力、工程力学、材料力学、理论力学,等等。一下子学好它不容易,因此我们从基础开始,打好基础,为生产服务。

1.1.1 力的性质

1. 力的概念

我们在推车或提水的时候都用了力,物体(车或水)都受到了力的作用,同理,起重机在吊起物体时,同样对物体产生了力的作用。其效果表现为它们的运动状态的改变,即车被推动,水被提起,物体被吊起。上述物体运动状态的改变可以认为是物体由于受到力的作用而引起的。大多数时候力是看不见的,我们可以通过观察力所产生的效果来证实力的存在。日常生活中所说的“推、拉、提、压”等,都是用来说明物体受力的依据。

因此力是物体之间的机械作用,或者说力就是一个物体对另一个物体的作用。作用是相互的,离开了物体,力是不存在的。这种作用引起物体运动状态的变化或者使物体发生变形。

2. 力的三要素(力是矢量)

经研究证实,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。其中改变任何一个要素,力的作用效果就随之改变。

以推小车为例,如图1-1-1所示。在A点用50 N的力推和用500 N的力推,效果是不同的。表现在用500 N的力推小车时,小车前进的速度要比用50 N的力推时快得多——说明力有大小;用同样大小的500 N的力,向前推使小车前进,向后拉则使小车倒退——说明力有方向;当力的大小相等,方向一致时,若作用在A点,小车便直线前进,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。

力的大小可以用弹簧秤来测量,用数值来表示,其国际标准单位为牛顿(N);实用单位为千克(kg)。

力是一个带有方向性的量。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。常用字母“ F ”或“ P ”作为力的符号。

我们把力的大小、方向和作用点称为力的三要素。

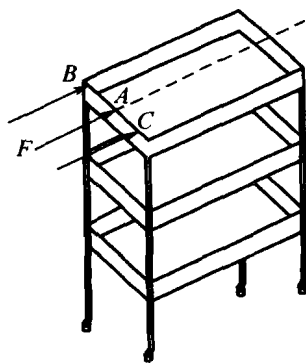


图1-1-1 力的作用示意图

3. 作用力和反作用力

仍以推小车为例。推车时,我们通过手给车一个作用力,所以车子运动起来了,我们手上有受力的感觉,说明车子给手一个反作用力。

牛顿用了大量事实证明,作用力和反作用力是同时存在的。它们大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。并且作用力和反作用力分别作用在两个物体上。这就是作用力和反作用力定律——牛顿第三定律。

(1) 力的种类

力的种类有很多。我们起重作业经常要接触的力有重力、浮力、阻力、压力、拉力、冲击力、惯性力、应力,等等。这里介绍一下重力、浮力、阻力的基本内容。

①重力

重力是由于地球对物体的吸引而产生的。因此,地球表面上的任何物体均受重力的影响,并且在没有外力的情况下都竖直落向地面。经试验表明,物体所受重力在深谷中较大,在高山顶上较小。离地球越远,物体所受重力就越小。也就是说,物体所受重力随物体在地球上位置的不同而稍有不同。如质量为 1 kg 的物体,在地球的一般位置时,所受重力为 9.8 N ,在纬度 45° 海平面上所受重力是 9.8067 N ,在赤道上所受重力是 9.7805 N ,在北极上所受重力是 9.8322 N 。

②浮力

游泳者会有这样的体会,在水中身体感觉到有一股向上的托力。如果你将一个软木块压住并使它向水中沉,不论沉多深,只要一放手,软木块就会立刻浮上来,而且在将木块压向水底的过程中,总会感到有一股向上的力阻止木块向下沉。船厂建造的大型船舶,虽然其船体结构全部是由钢板焊接而成的,但在一定吃水条件下,仍露出水面。诸如此类现象都说明,沉浸在水中的物体,水总要给其一个向上的托力,这个向上的托力被称为“浮力”。浮力的大小等于被物体排开的液体所受到的重力。这个法则称为阿基米德定律,是由希腊人阿基米德发现的。这个定律同样适用于气体中的物体,只是气体与相同体积的水相比,其质量比较轻,物体受到气体的浮力比较小,它与物体受到的重力相比往往显得微不足道,因此,我们在吊运工程中一般忽略不计。

③阻力

所谓阻力,就是阻碍物体运动的力,也就是说和物体运动方向(或运动趋势)相反的力。比如说,我们在叙述浮力时,讲到“总会感到有一股向上的力阻止木块向下沉”,这个和软木块运动方向相反的力,我们称它为阻力。这时的阻力,就是浮力。由于物体的运动状态、运动方式有所不同,因而其阻力的表现形式也有所不同。摩擦力是比较典型的也是最常见的一种阻力形式。它是指两个相互接触的物体,由于接触面的凹凸不平,当发生相对运动或有相对运动趋势时,在接触面之间产生的一种阻碍相对运动或抵消有相对运动趋势的力。摩擦力作用于相互接触处,其方向总是跟运动方向或运动趋势的方向相反。摩擦可分为滑动摩擦和滚动摩擦。

两个表面粗糙的物体,当其接触表面之间有相对滑动趋势或相对滑动时,彼此之间作用有阻碍相对滑动的阻力,即滑动摩擦。根据主动力作用的不同,可以分为三种情况,即静滑动摩擦力、最大静滑动摩擦力和动滑动摩擦力。

在粗糙的水平面上放置的所受重力为 G 的物体上作用一水平方向的大小可变的拉力 F ,如图 1-1-2 (a) 所示。当拉力 F 由零值逐渐增大但不是很大时,物体仅有相对滑动的

趋势,但仍保持静止。可见支撑面对物体除去竖直向上的支撑力 F_N 外,还有一个阻碍物体沿水平面向左滑动的力,此力即为静滑动摩擦力,简称静摩擦力,常以 F_s 表示,其方向向右。由于水平方向仍保持平衡静止,所以其大小等于 F 。并且 F_s 随着 F 的增大而增大,当 F 增大到一定数值时物体处于平衡的临界状态,这时静摩擦力达到最大值,即为最大静摩擦力,常以 $F_{\max}$ 表示。此后拉力 F 继续增大,而摩擦力 F_s 不再随之增大,物体开始向左滑动。在滑动的过程中,接触面之间仍作用有阻碍相对滑动的阻力,该阻力称为动滑动摩擦力,简称动摩擦力,以 F 表示。

实验证明,最大静摩擦力和动摩擦力都与接触物体间的正压力 F_N 成正比,即:

$$F_{\max} = f_s F_N, F = f F_N$$

其中 f_s 为静摩擦因数; f 为动摩擦因数。一般情况下,动摩擦因数小于静摩擦因数,即 $f < f_s$ 。

一个物体在另一个物体上滚动时产生的摩擦,叫做滚动摩擦,如图 1-1-2(b) 所示。在接触面情况和压力相同的情况下,滚动摩擦要比滑动摩擦小得多。

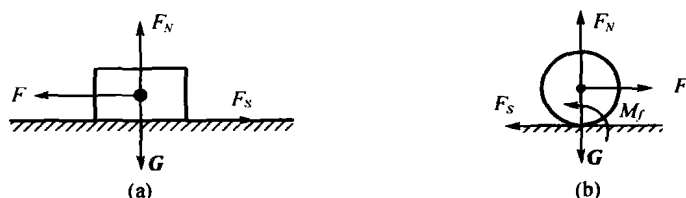


图 1-1-2 物体受力示意图

将物体在滚动时的受力进行简化分解后除了摩擦力 F_s 和支撑面的支撑力 F_N 外还有一个力偶 M_f ,如图 1-1-2(b) 所示。该力偶称为滚动摩阻力偶,其性质与静滑动摩擦力相似。其最大值为

$$M_{\max} = f_i F_N$$

其中 f_i 为滚动摩擦系数。

设该圆的半径为 R ,当物体处于要滚而未滚的平衡临界状态时,摩擦力 F_s 等于拉力 F 。此时的拉力为

$$F = M_{\max} / R = f_i F_N / R = f_i G / R$$

1.1.2 平面汇交力系的合成与分解

1. 力的合成

当一个物体同时受到几个力作用时,那么可以找出这样一个力,使它作用在该物体上所产生的效果和原来几个力作用所产生的效果完全一样,那么这个力就叫做几个力的合力。以打夯为例,如图 1-1-3 所示。打夯时,每个人所用的力 S_1, S_2, S_3, S_4 是倾斜向上的,但石夯的运动方向却是垂直向上。 S_1, S_2, S_3, S_4 合成后,相当于一个垂直向上的力 R ,由于 R 的作用,使得石夯向上运动。求已知力的合力的方法通常叫

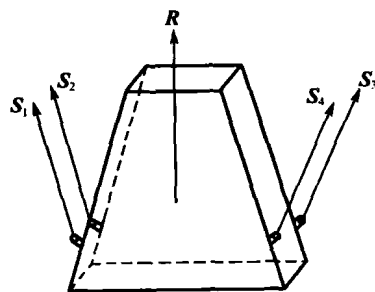


图 1-1-3 打夯时力的合成

做力的合成。

实验表明,作用于物体上所成角度的两个力 S_1, S_2 的合力 R (大小和方向) 可以用表示这两个力 (大小和方向) 的线段作为邻边所画出的平行四边形的对角线来表示, 这种求几个已知力的合力的方法叫平行四边形法则。这一法则已为大量的实践所证明, 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, 即平行四边形法进行几何相加, 具体做法如下:

设在某一物体的 A 点上作用着 S_1, S_2 两个力, 夹角为 α , 如图 1-1-4(a) 所示。按比例画出 S_1, S_2 , 以 S_1, S_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 。

按比例作图。画出力的平行四边形或力的三角形后, 合力的大小和方向就直接可以从图上量出来。这就是图解法。

如不用图解法, 合力的大小、方向也可以利用几何关系算出来。如图 1-1-4(b) 所示, 根据三角形的余弦及正弦定理, 可以求得合力 R 的大小以及它与 S_1, S_2 的夹角 α_1, α_2 。这叫做几何法。

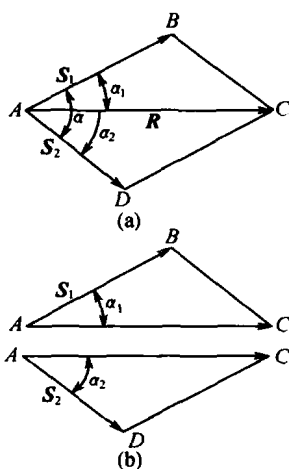


图 1-1-4 力的平行四边形法和几何法

$$R = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + 2S_1S_2\cos\alpha} \quad (1-1-1)$$

$$R/\sin\alpha = S_1/\sin\alpha_2 = S_2/\sin\alpha_1 \quad (1-1-2)$$

两个力同时作用在物体的同一条直线上是力的合成的特殊情况。此时, 若两力同向, 合力则为两力之和, 合力的方向与两力同向; 若两力相反, 合力则为两力之差, 且合力的方向和其中较大的那个力的方向一致。

2. 力的分解

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是对立的统一。它们服从同一个法则——力的平行四边形法则。如果作用在一个物体上的几个力的效果, 与原来一个力作用在此物体上所产生的效果完全相同, 则这几个力就是原来那个力的分力。我们把求已知力的分力称为力的分解。

3. 力的平衡

设物体在 A 点受到一个由五个力组成的平面汇交力系作用而处于平衡状态, 如图 1-1-5(a) 所示。我们可以用力多边形法则求得其中任意四个力 (如 S_1, S_2, S_3, S_4) 的合力 R_1 , 如图 1-1-5(b) 所示。则原力系 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 与力系 R_1, S_5 等效。而原力系是平衡力系, 故力系 R_1, S_5 也是平衡力系。根据二力平衡条件, R_1 与 S_5 应等值、反向、共线。可见, R_1 与 S_5 的合力等于零, 也就是原力系的合力等于零。由此可见, 平面汇交力系平衡的充分必要条件是力系的合力等于零。以矢量式表示为

$$R = 0 \quad \text{或} \quad \sum_{i=1}^n S_i = 0 \quad (1-1-3)$$

如果用力多边形法则将 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 依次合成, 则最后一个力矢 S_5 的末端与第一个力矢 S_1 的始端相接, 也就是这五个力矢首尾相接构成一自行封闭的力多边形, 如图 1-1-5(c) 所示。这表明, 平面汇交力系平衡的充分必要的几何条件是力多边形自行

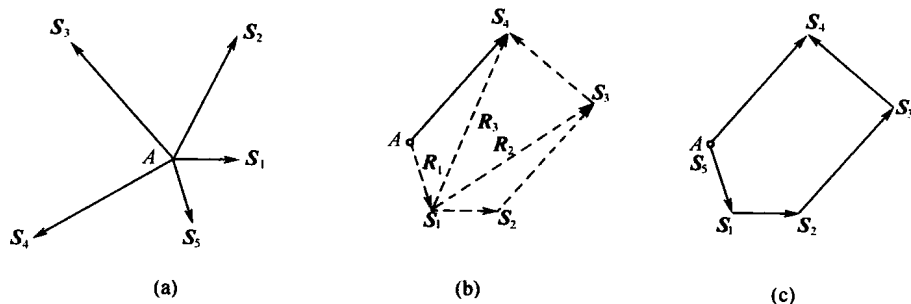


图 1-1-5 力平衡的几何条件

封闭。

例 1.1 用葫芦匀速吊起一减速箱盖,如图 1-1-6(a)所示。箱盖所受重力 $G = 800$ N,已知铁链与铅垂线的夹角 $\alpha = 35^\circ$, $\beta = 25^\circ$,求铁链 AB 和 AC 的拉力。

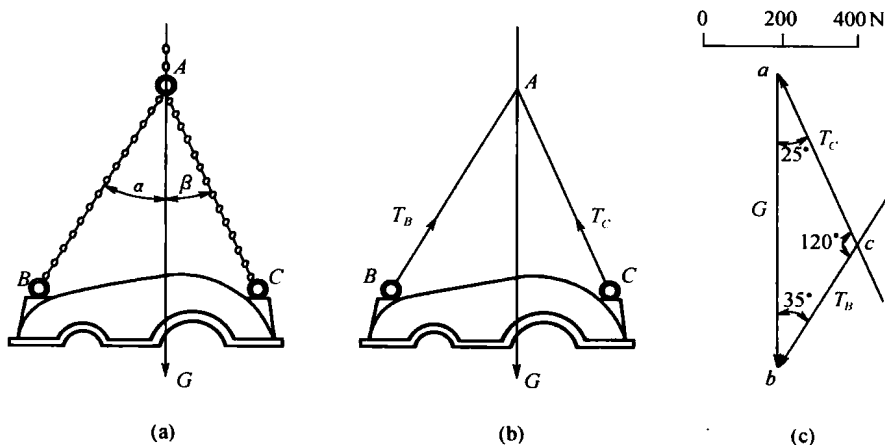


图 1-1-6 用图解法求分力

解 已知重力 G 和待求力的拉力都作用在箱盖上,所以选箱盖为研究对象;由于题中指明是匀速吊起,所以是平衡问题。画出箱盖的受力图,如图 1-1-6(b)所示。它受到重力 G 和两根铁链的拉力 T_B, T_C 的作用。根据三力平衡汇交定理,这三个力必汇交于一点,即交于铁环圆心 A ,构成一平面汇交力系。根据平面汇交力系平衡的几何条件,这三个力应构成一自行封闭的力三角形,从而可由已知力 G 求出未知力 T_B, T_C 。为此,选取比例尺如图 1-1-6(c)所示。先画已知力 $G = ab$,如图 1-1-6(c)所示,过 a, b 两点分别作直线平行于 T_C, T_B ,这两条线相交于 c 点,于是得到力三角形 abc , T_B, T_C 的指向应符合首尾相接的规则,于是可量得: $T_B = 390$ N, $T_C = 530$ N。

这里值得说明的是,力比例尺是可以任意选定的,但要考虑到作图的精确程度和力图的大小问题。 T_B, T_C 分别代表了铁链 A_B, A_C 的内力,指向沿链索的方向。这里顺便指出,柔软的绳索(包括钢丝绳、铁索、尼龙绳等),只能承受拉力,由此得出结论:柔索给被约束物体的力,方向一定沿着柔索,并且只能是拉力。例如图 1-1-7 所示的吊减速箱盖(a)和皮带传

动(b)中链条 AB, AC 作用于被吊起物体的力和皮带作用于两个皮带轮的力都是拉力。

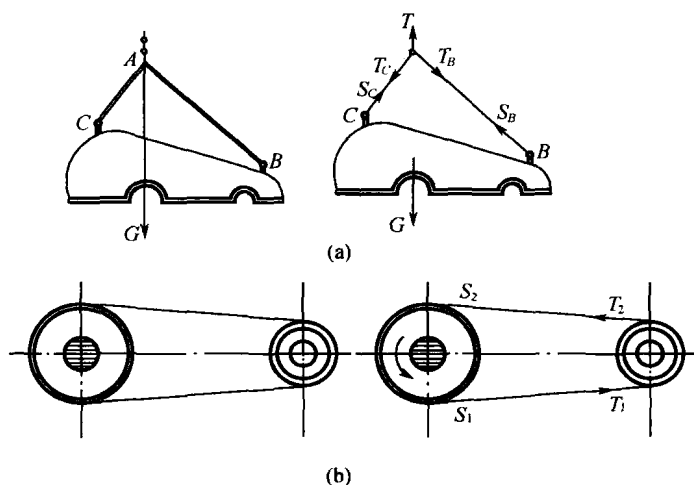


图 1-1-7 柔索与传送皮带的受力分析示意图

受力分析示意图中根据作用和反作用原理,可以确定不同分离体的力的方向。例如,图 1-1-7(a) G 是箱盖所受重力,根据柔索反力的特点,可以确定铁链给铁环的力一定是拉力 (T, T_B, T_C),铁链给箱盖的力也是拉力 (S_B, S_C)。同理,可以确定在皮带传动中皮带轮的力的方向(图 1-1-7(b))。

对于例 1.1,如果力三角形的几何关系不复杂,利用解三角形的方法也很方便。先画出力三角形的草图,再利用正弦定理解这个三角形。

$$\frac{T_B}{\sin 25^\circ} = \frac{T_C}{\sin 35^\circ} = \frac{G}{\sin 120^\circ}$$

$$T_B = G \cdot \frac{\sin 25^\circ}{\sin 120^\circ} = 800 \times \frac{0.423}{0.866} = 390 \text{ N}$$

$$T_C = G \cdot \frac{\sin 35^\circ}{\sin 120^\circ} = 800 \times \frac{0.574}{0.866} = 530 \text{ N}$$

例 1.2 如图 1-1-8(a) 所示,在一粗糙的斜面上放置一所受重力为 G 的物体,根据力的分解,重力 G 可分解为沿斜面向下的力 F_P 和垂直于接触面的力 F_M 。 F_N 与 F_M 属于作用力和反作用力的关系。受 F_P 的影响,物体有沿斜面向下滑动的趋势,为了阻止这种趋势,会在接触面上产生一个沿斜面向上的摩擦力 F_S 。因为物体没有相对斜面的滑动,所以在斜面上的受力平衡,即 F_S 等于 F_P 。如图 1-1-8(b) 所示,给物体施加一个沿斜面向上

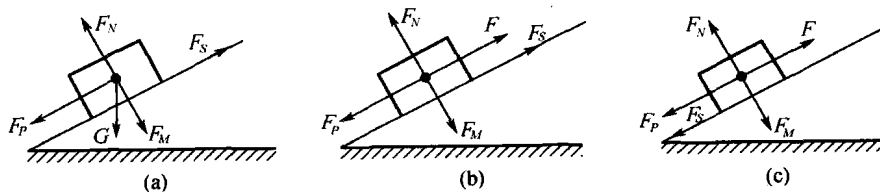


图 1-1-8 例 1.2 题图

的大小可变的拉力 F , 由于物体在斜面上受力平衡保持静止, 故随拉力 F 的不断增大, 摩擦力 F_s 逐渐减小, 当拉力 F 与力 F_p 大小相等时摩擦力 F_s 等于零。继续增大拉力 F 时物体将有向上滑动的趋势, 则滑动摩擦力 F_s 方向沿斜面向下, 如图 1-1-8 (c) 所示, 其大小等于 F 减去 F_p , 当 $F - F_p > F_{\max}$ 时物体开始向上滑动。

例 1.3 简易起重机起重臂 AB 的 A 端安装于固定铰链支座上, B 端用水平钢丝绳 BC 拉住, 起重臂与水平成 40° 角。起重臂在 B 端装有导向滑轮, 钢丝绳绕过滑轮把所受重力为 $G = 3\,000\text{ N}$ 的重物吊起, 钢丝绳绕过滑轮后与水平线成 30° 角, 如图 1-1-9 (a) 所示。假设起重臂的自重略去不计, 求平衡时支座所受的的压力和绳索 BC 中的拉力。

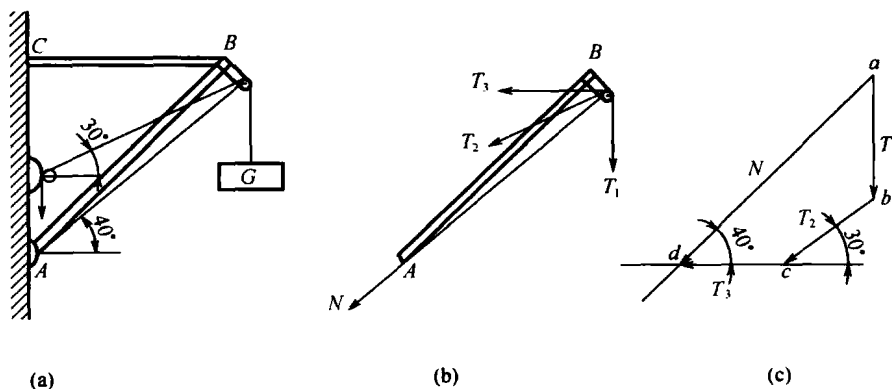


图 1-1-9 简易起重计算示意图

解 以起重臂 AB (连同滑轮) 作为研究对象。画出它的受力图, 如图 1-1-9 (b) 所示, 起重臂受到的力有: 滑轮两边钢丝绳的拉力 T_1, T_2 , 如果不计摩擦, $T_1 = T_2 = G = 3\,000\text{ N}$; 绳索 BC 的拉力 T_3 ; 支座 A 的反力 N 。因为 T_1 和 T_2 的大小相等, 它们的合力必通过 B 点, 所以 T_1 和 T_2 可认为作用在 B 点。由于起重臂只在 A, B 两点受力, 是一个二力杆, 故反力 N 必沿连线 AB , 由图 (b) 可见, T_1, T_2, T_3, N 这四个力构成一作用线相交于 B 点的汇交力系。

根据汇交力系平衡的几何条件, 这四个力应构成一自行封闭的力四边形。应用几何作图法选择一定的比例尺, 如图 (c) 所示, 先画已知的力矢, 作矢量 $ab = T_1$; 过 b 点画矢量 $bc = T_2$; 过 c 点作直线平行于 T_3 , 再过 a 点作直线平行于力 N , 这两条直线相交于 d 点。这样, 就得到了自行封闭的力多边形 $abcd$ 。矢量 cd 代表力矢 T_3 , da 代表力矢 N 。 T_3 和 N 的指向应符合首尾相接的规则。按所选比例尺量得: $T_3 = 2\,800\text{ N}$, $N = 7\,100\text{ N}$ 。

例 1.3 是利用图解法计算简易起重设备的一个很实际的例题。下面再强调一下值得注意的环节。

(1) 选择分离体

选择分离体是解决力学问题的第一步, 且是比较关键的一步。这里首先要搞清题意, 已知什么, 要求什么, 未知力包含在哪个部件中, 取出哪个分离体解决问题方便, 等等。例如在本例当中, 选择起重臂作为研究对象, 就既包含已知力, 又包含未知力, 而且由于起重臂支座 A 处铰接, B 处实际也是铰接, 因此起重臂可以判断为二力杆。这对解决问题带来很大的方便。

(2) 画受力图

画受力图是解决力学问题最关键的一步。正确画出受力图是分析、解决力学问题的前

提。画受力图时应注意：

①不要漏画力。除了重力、电磁力等少数几种情形外,物体之间要通过互相接触才有相互作用的力。因此,必须搞清楚所研究的对象(受力体)与周围哪些物体(施力体)相接触。在接触处,受力体受到施力体所给的力不要漏画。

②不要多画力。要注意力是物体之间的相互机械作用,因此对于受力体所受的每一个力,都应能明确地指出,它是哪一个施力体施加的。如果在受力图上多画了一个力,那么这个力的施力体是哪一个就不清楚。另外,应注意在受力图上只画外力而不该画出内力。

③不要画错力的方向。取出分离体的时候,要注意周围物体对它的约束性质,考虑到起重工岗位培训的学习对象,约束性质本书不单独介绍,以后深入学习时,再作介绍。

④在分析两物体之间的相互作用力时,要注意作用与反作用的关系,作用力的方向一经确定,反作用力的方向也就确定了(与之相反),例如在例 1.3 中,力矢 N 的方向实际上是支座 A 所受到的压力的反作用力的方向,因为力矢 N 已求出,所以支座 A 所受的压力大小、方向、作用线也随之确定。为了帮助加强受力分析和对画受力图的理解,不妨对图 1-1-10,图 1-1-11,图 1-1-12 做些练习。

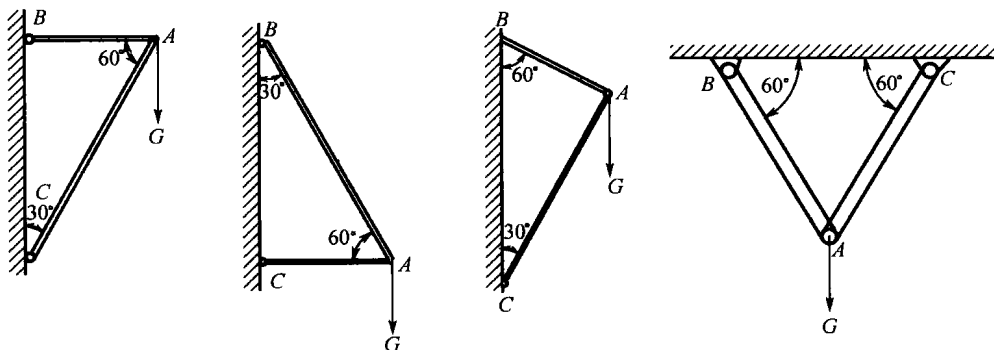


图 1-1-10 画受力图练习

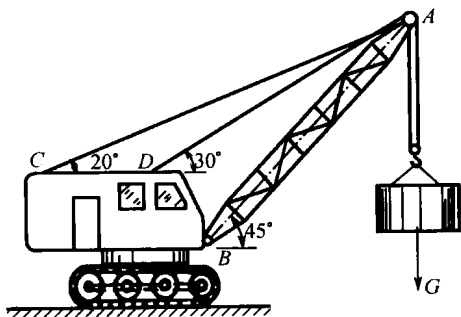


图 1-1-11 画 AB 杆受力图

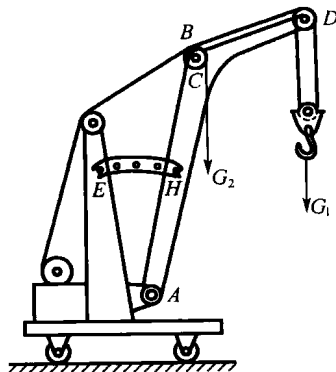


图 1-1-12 画 ABD 受力图

(3) 作力多边形

作力多边形是图解法的最后一步工作。在正确画出受力图的基础上,依据图解法的步骤画出力多边形,这里首先要选定适当的力的比例尺,前已叙述,比例尺选得过大或过小都有利弊。其次再画出已知力,依次合成。如果物体处于平衡状态,则各力矢必首尾相接自行构成一个封闭的力多边形。这对于平衡问题是至关重要的一个几何条件。在具体作法上,采取过某一点作某一已知力的平行线,再按力的比例尺量取某向量的“模”。这样,一个矢量就唯一确定了(方向、大小都是确定的)。

(4) 解平面汇交力系平衡问题的一般步骤

通过以上的叙述和例题,现在可将解平面汇交力系平衡问题的一般步骤总结如下:

- ① 弄清题意,明确已知量和待求量;
- ② 恰当地选取研究对象,也就是明确研究哪个物体的平衡状态;
- ③ 正确画出研究对象的受力图,受力图上除画出所受的主动动力外,还应根据约束的性质画出约束反力,要注意作用力与反作用力的关系,会判断二力体,并能正确运用三力平衡的汇交定理;

④ 根据平衡条件求解未知量。

用图解法作图求解时,要选择适当的比例尺,从已知力开始,根据首尾相接的规则作出该力系封闭的力多边形,而后用比例尺和量角器在图上量出未知量或者利用三角公式计算。

用解析法求解时,要先选定坐标系,而后列出平衡方程,最后求解未知力。如果求出某未知力为负值,就表示这个力的实际指向与受力图上所假想的指向相反。

1.1.3 力矩

1. 力矩的概念

以扳手拧紧螺母为例,如图 1-1-13 所示。设螺母能绕 O 点转动(即转动轴线通过并垂直于图面),作用在扳手上的力为 F ,从 O 点到力 F 作用线的垂直距离为 d 。由经验可知:螺母拧紧的程度,一方面取决于力 F 的大小,另一方面也取决于距离 d 的长短。如用同样大小的力 F ,当 d 越长时,螺母将被拧得越紧;相反,如果 d 很短,就得花很大的力才能将螺母拧紧。从转动中心 O 到力 F 作用线的垂直距离 d 叫做力臂;把转动中心 O 叫做力矩中心,简称矩心;把力 F 与力臂 d 的乘积,叫做力 F 对于矩心 O 的力矩。实践证明:使某一物体绕 O 点转动的效应是由力矩的大小来决定的。力矩用符号 $M_O(F)$ 来表示。因此

$$M_O(F) = \pm F \cdot d \quad (1-1-4)$$

式中的正负号通常是这样规定的:使物体产生逆时针转动(或转动趋势)的力矩为正,使物

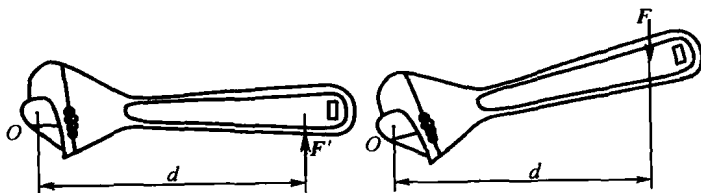


图 1-1-13 拧螺母时的力矩图

体产生顺时针转动(或转动趋势)的力矩为负。符号 $M_0(F)$ 常简写为 M_0 , 力矩的单位是牛·米($\text{N}\cdot\text{m}$)、千牛·米($\text{kN}\cdot\text{m}$)、兆牛·米($\text{MN}\cdot\text{m}$); 实用单位是千克·米($\text{kg}\cdot\text{m}$)或吨·米($\text{t}\cdot\text{m}$)。

2. 合力矩定理

以上讨论了力矩的概念和计算公式。在实际应用时,有时直接计算力臂的长度较麻烦,但若把力进行适当分解,计算各分力对某点的力矩却很方便。因此有必要找出合力对某点的力矩和各分力对同一点的力矩之间的关系,合力矩定理就是解决这一问题的。

实践及理论计算都可说明,一个力对于某点的力矩等于其分力对同一点力矩的代数和。推而广之,如物体在某一平面内受到力 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的作用,这些力的合力为 R , 则合力对力系平面内任一点的力矩等于各分力对同一点的力矩的代数和,这就是合力矩定理。可用方程式表示为

$$M(R) = M_0(F_1) + M_0(F_2) + \dots + M_0(F_n) = \sum M_0(F_i) \quad (1-1-5)$$

合力矩定理的应用很广,下面在第3章要讲到的重心位置的确定就要应用这一原理。

3. 力矩的平衡

在生产和日常生活中,我们经常碰到力矩平衡的例子。以杆秤的平衡为例,如图1-1-14所示。重力 G_1 对秤纽处 O 点的力矩大小为 $G_1 L_1$, 顺时针转向; 秤砣所受重力 G_2 对 O 点的力矩大小为 $G_2 L_2$, 逆时针转向。当 $G_1 L_1 = G_2 L_2$, 即绕秤纽 O 顺时针转向的力矩和逆时针转向的力矩大小相等的时候,杆秤就平衡了。杆秤的平衡规律反映了力矩平衡的一般规律,从中我们也可看出,对于绕定轴转动的物体来说,如果作用在该物体上的逆时针转向的力矩之和与顺时针转向的力矩之和在数值上正好相等,则

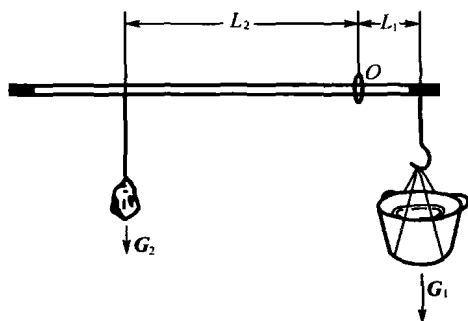


图1-1-14 杆秤的力矩平衡

所有作用的转动效应恰好相互抵消,此时物体处于平衡状态。也就是说,转动物体的平衡条件是:作用在该物体上所有的力矩之和等于零,这也是力矩平衡的条件。用公式表示,即:

$$\sum M_0(F) = 0 \quad (1-1-6)$$

式(1-1-6)称为力矩平衡方程式。

1.2 有关常用单位的使用

有些学员读书、考试还可以,一到解决生产实际问题时,学到的知识就一点都派不上用场。其中很大的原因是吃了弄不清衡量单位的亏。这个“单位”,确实比较复杂。先是有中国的传统单位制,如尺、斤(十六两)制,后有“英制”单位流行。再后来受国际上其他一些国家的影响,先后使用过厘米·克·秒制(cmgs)(又称物理制),米·千克·秒制(mkgs)(又称实用单位制),米·千克力·秒制(mkgfs)(又称工程单位制),等等。这些单位的混合使用已经严重影响了国际上正常的学术交流、生产秩序及货币交换。因此,国际标准化组织(ISO)颁布了一套新的“国际单位制”(IS),并已宣布禁止使用其他单位制。我国国务院也已正式颁

布了我国的法定计量单位,规定了不再使用工程单位制等单位。我国的法定计量单位与国际计量单位基本一致,它包括了全部属于国际单位制的单位以及国际计量大会同意并用的十个非国际单位制单位,此外,又另增加了5个应用较广泛的单位,即海里、节、分贝、转/分、特克斯。

1.2.1 我国的法定计量单位

我国的法定计量单位见表1-2-1~表1-2-5。

表1-2-1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

表1-2-2 国际单位制的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
[平面]角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表1-2-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}
力,重力	牛[顿]	N	$kg \cdot m/s^2$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$N \cdot m$
功率,辐[射能]通量	瓦[特]	W	J/s
电荷[量]	库[仑]	C	$s \cdot A$
电压,电动势,电位,(电势)	伏[特]	V	W/A
电容	法[拉]	F	C/V
电阻	欧[姆]	Ω	V/A
电导	西[门子]	S	A/V