

农田水利工程

清华大学水利系《农田水利工程》编写组

科学出版社

内 容 简 介

本书内容以介绍山区和半山区的中小型农田水利工程为主, 兼顾平原地区的工程情况, 主要面向北方农村。全书共分十章, 包括: 工程力学、钢筋混凝土结构、测量、年径流量及洪水估算、渠系规划和设计、渠系建筑物、水库工程、地下水的开采和利用、扬水站、小型水电站。

为了便于学习和应用, 书中还编入了一些定型设计图表。

本书可作为举办农村水利工程短训班的教材, 也可供基层农田水利工作人员和上山下乡知识青年自学参考。

农 田 水 利 工 程

清华大学水利系《农田水利工程》编写组

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

国 营 五 二 三 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1977年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1977年 5 月第一次印刷 印张: 46 插页: 2

印数: 0001—81,110 字数: 1,076,000

统一书号: 15031·122

本社书号: 647·15—1

定 价: 3.35元

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

农业学大寨。

水利是农业的命脉，我们也应予以极大的注意。

兴修水利是保证农业增产的大事，小型水利是各县各区各乡和各个合作社都可以办的，十分需要订出一个在若干年内，分期实行，除了遇到不可抵抗的特大的水旱灾荒以外，保证遇旱有水，遇涝排水的规划。这是完全可以做得到的。

前 言

伟大领袖毛主席教导我们：“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。”我系师生在无产阶级文化大革命中，在毛主席革命路线指引下，面向农村、开门办学，在张家口等地区举办了几期农田水利短训班。在此期间，我们学习了广大贫下中农以阶级斗争为纲战天斗地的革命精神和改造自然，战胜水旱灾害，合理利用水、砂资源，促进农业增产的丰富经验，大大地推动了教育革命的开展。

在批林批孔运动和农业学大寨群众运动的推动下，为了巩固无产阶级教育革命的成果，坚持为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务的方针，配合大规模的农田水利建设的群众运动，普及农田水利工程知识，我们在原短训班教材的基础上修改、补充，编写了这本《农田水利工程》。这是无产阶级文化大革命以后，总结群众农田水利建设经验的一个尝试，是坚持为社会主义农业服务方向的一个成果。

这本书的出版得到了广大贫下中农、各级干部和技术人员的指导与帮助。特别是在张家口地区水利局的支持下，组织了有贫下中农、领导干部、技术人员参加的三结合班子审定全稿，提出了许多宝贵的修改意见。张家口地区水利局的同志还为本书的出版描绘了大量的插图。此外，我们在教育革命以及本书编写过程中还得到许多地区和兄弟院校的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

本书可供基层农田水利工作人员和上山下乡知识青年自学参考，也可作为“农田水利短训班”的教材。

在农村这个广阔天地里，广大贫下中农在大办水利的斗争实践中有极丰富的经验，但由于我们思想水平与业务能力所限，实践知识也很不够，因而不能很好地将群众的经验总结、提高，本书的缺点、错误定会存在，热诚地欢迎同志们批评指正。

清华大学水利系《农田水利工程》编写组

1974年11月

目 录

绪论	1
第一章 工程力学	5
第一节 力和力的平衡	5
第二节 材料的力学性质	14
第三节 梁的内力——弯矩和剪力	19
第四节 梁的应力	34
第五节 组合受力	38
第六节 行载作用下静定梁的内力	41
第七节 柱	44
第八节 超静定结构计算图表	50
第二章 钢筋混凝土结构	65
第一节 钢筋混凝土的材料和强度	65
第二节 钢筋混凝土受弯结构的特点和构件的破坏过程	70
第三节 钢筋混凝土受弯构件纵向受力筋的计算	73
第四节 钢筋混凝土受弯构件斜断面的强度计算	83
第五节 钢筋混凝土中心受压构件和偏心受压构件的计算	88
第六节 钢筋混凝土中心受拉构件和偏心受拉构件的计算	106
第七节 钢筋混凝土构件的抗裂计算	110
第八节 梁、板、柱的钢筋构造	114
第九节 砖石结构	121
第十节 钢丝网水泥结构	136
第三章 测量	155
第一节 水准测量	155
第二节 经纬仪及其使用方法	162
第三节 怎样认识和应用地形图	174
第四节 地形测量及绘制地形图	179
第四章 年径流量及洪水估算	185
第一节 年径流量及其估算	185
第二节 洪水估算	191
第三节 平原洼涝地区除涝排水计算	219
第五章 渠系规划和设计	225
第一节 渠系规划的原则和步骤	225
第二节 渠首位置的选择及布置	226
第三节 灌溉及排水系统的布置	233

第四节	渠道设计流量的确定	239
第五节	渠道的设计	244
第六节	渠道的放线和施工	265
第六章	渠系建筑物	269
第一节	水闸	269
第二节	桥和渡槽	343
第三节	倒虹吸和涵洞	391
第四节	跌水和陡坡	420
第七章	水库工程	435
第一节	水库水文水利计算	435
第二节	水库工程的布置与勘测	451
第三节	土坝	470
第四节	堆石坝及沥青混凝土防渗结构设计介绍	506
第五节	溢洪道	513
第六节	放水管	521
第七节	重力坝	527
第八节	拱坝	539
第九节	多泥沙河道上的“缓洪蓄清”水库	551
第八章	地下水的开采和利用	559
第一节	地下水概说	559
第二节	地下水的寻找	563
第三节	地下水的开采	568
第四节	井灌区的规划与布置	584
第九章	扬水站	599
第一节	扬水站的规划	599
第二节	水泵	600
第三节	柴油机	621
第四节	扬水站的电气设备	631
第五节	扬水站机房布置	656
第十章	小型水电站	661
第一节	小水电站的规划	661
第二节	水电站的引水建筑物	668
第三节	小型水轮机	683
第四节	发电机及电气主结线	709
第五节	水电站厂房布置	718

原
书
缺
页

原
书
缺
页

原
书
缺
页

原
书
缺
页

第一章 工程力学

第一节 力和力的平衡

一、力的概念和构件的受力分析

“工程力学”所阐述的规律是劳动人民从长期的实践经验中总结出来的。力虽然看不见，但并不是不可捉摸的，而是可以感觉得到的客观存在。我们用手去推、压、拉某件东西或者用肩膀去抬东西，就是力的作用。作用在水工结构上的力主要是建筑物本身的重量和水压力，其他有车辆、人群、安装在建筑物上的各种设备的重量以及土压力等等，这些力在工程上通常称为荷载。

力对物体的作用效果取决于三个因素，即大小、方向和作用点。我们分析某个力的时候一定要弄清楚：1. 这个力是哪个物体作用在哪个物体上的？它作用在物体的哪个部位？2. 它是沿着哪一个方向作用的？3. 它有多大？力的大小用重量的单位即吨(t)、公斤(kg)来度量。

力还有一个重要的特征：它总是成双成对地存在的，这就是所谓作用力与反作用力。如果甲物体给乙物体一个作用力，那么乙物体必然同时给甲物体一个大小相等、方向相反、作用线相重合的反作用力。作用力和反作用力是一对矛盾，它们互相联系，互为依存，在一定的条件下又互相转化。毛主席在论述矛盾的普遍性时就引用了列宁所列举的“在力学中，作用和反作用”这一例子。由于力是物体与物体之间的相互作用，因此必须根据一个物体跟它周围哪些物体发生相互联系和相互制约去分析构件的受力，也只有运用辩证唯物主义观点和矛盾对立统一观点，才能正确地分析构件的受力。

现以水闸启闭机桥板为例进行受力分析。桥板搁在两边闸墩上，正中安置一启闭机，如图 1-1a 所示。启闭机的重量集中作用在正中（实际上是作用在小块面积上，但可以近似地看成是作用在一个点上），象这样的作用力称为集中荷载，以符号 P 表示。桥板本身的自重是均匀分布在整個桥板上的，象这样的作用力称为均布荷载，以符号 q 表示单位长度

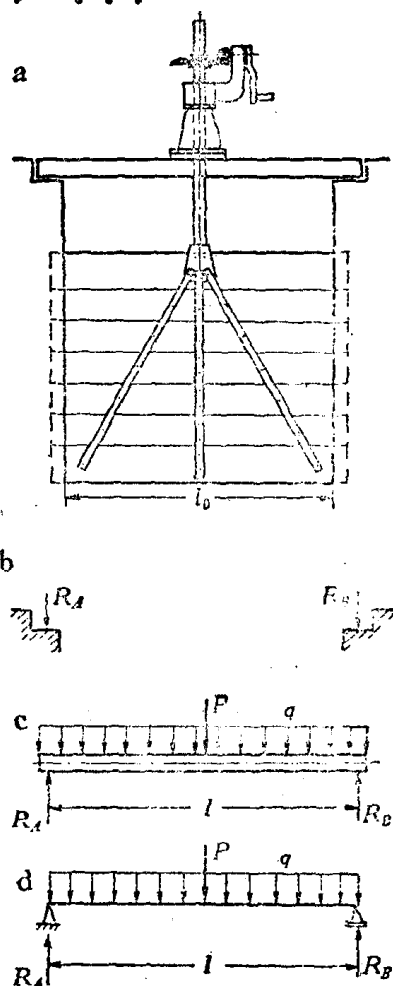


图 1-1 启闭机桥板的受力分析

(例如每米)上所受的荷载,其单位为吨/米(t/m)或公斤/米(kg/m)。桥板连同启闭机的重量压在闸墩上,使闸墩受到方向向下的压力的作用,如图1-1b R_A 、 R_B 所示。这样,闸墩必然要给桥板一个反作用力,称为**支座反力**,如图1-1c R_A 、 R_B 所示。这种两端搁置而没有嵌固的桥板(或梁)称为**简支梁**,两个闸墩之间的距离 l 称为桥板的**净跨**,支座反力 R_A 、 R_B 之间的距离 l_0 称为**计算跨度**,它略大于净跨,一般用 l_0 的 1.05 倍。启闭机桥板的计算简图见图1-1d。

二、力的合成与分解

在解决工程问题时,常常需要用一个力来代替两个或几个力,或者相反,用两个力去代替一个力。前者叫做力的合成,后者叫做力的分解。两个力或多个力合成为一个力时,这个力叫做**合力**,一个力分解为两个力时,这两个力叫做**分力**。由于力是有方向的,所以合力与分力之间不是简单的算术加减关系,而是符合“**平行四边形法则**”的,即:如果用平行四边形的两条相邻边代表两个分力的大小和方向,那么从这两邻边的交点所引的平行

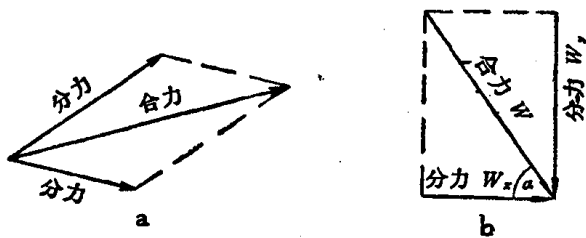


图1-2 力的合成与分解

所示。合力与分力的关系是:

$$W_x = W \cos \alpha, \quad (1.1)$$

$$W_y = W \sin \alpha, \quad (1.2)$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}. \quad (1.3)$$

式中: W ——合力;

W_x 、 W_y ——水平方向与垂直方向的两个分力。 $\frac{W_y}{W_x} = \tan \alpha$, α 是水平分力与合力的夹角。

例1-1 水利工地常在斜坡上铺设铁轨,用卷扬机拉斗车上料,如图1-3。如果斜坡坡度 1:4,斗车及料总重量 $G = 1.5$ 吨。问铁轨受多大压力?使斗车向下滚动的力有多大?

解:

重力 G 可以分解为一个平行于斜坡的分力 G_1 和一个垂直于斜坡的分力 G_2 。 G_1 就是企图使斗车沿轨道向下滚动的力, G_2 就是铁轨所受的压力。由于 G 垂直于水平面, G_2 垂直于斜坡, G 和 G_2 的夹角 α 就等于斜坡与水平面的夹角

α 。已知斜坡坡度为 1:4,即 $\tan \alpha = \frac{1}{4}$, $\alpha = 14.05^\circ$,这样就有。

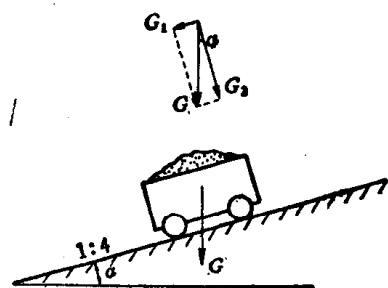


图1-3

$$G_1 = G \sin \alpha = G \sin 14.05^\circ = 1.5 \times 0.243 = 0.364 \text{ 吨} = 364 \text{ 公斤};$$

$$G_2 = G \cos \alpha = G \cos 14.05^\circ = 1.5 \times 0.97 = 1.45 \text{ 吨} = 1,450 \text{ 公斤}.$$

如果忽略车轮与铁轨之间的摩擦力,使斗车沿斜坡等速上升的牵引力等于 G_1 。可以看出:斜坡越陡(即 α 越大), G_1 就越大,这样需要的牵引力也越大。

前面讲的是两个作用线相交的力求合力。水利工程中经常会遇到分布的平行力求合力的问题,例如:渡槽里的水重都垂直分布在全部底板上,水对平板闸门的压力都水平分布在整块门板上。这些力都垂直于作用面,互相平行。

大小相同的均布荷载其合力大小应等于单位面积上的作用力乘以整个作用面积,合力的方向与均布荷载一致,合力的作用点位于均布荷载作用范围的中心。如果均布荷载在单位面积上的作用力大小为 p ,作用面为一矩形,宽度为 b ,长度为 l 。沿着长度方向,每米上的均布荷载 $q = pb$,其合力大小为 $P = ql = pbl$,作用在矩形的中心,图1-4所示 $l/2$ 处。

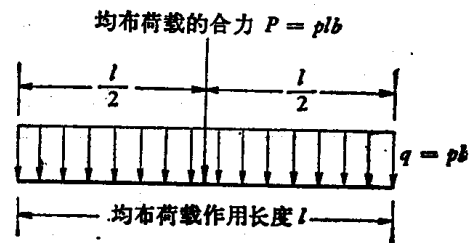


图 1-4

闸门上水压力的分布是不均匀的,单位面积上的水压力称为压强(吨/米²或公斤/厘米²),以符号 p 表示。压强反映的是作用面上各点水压力的作用大小,它和水深成正比,越是深的地方,水压力越大,如图1-5所示,水的压强成三角形分布,它的大小是:

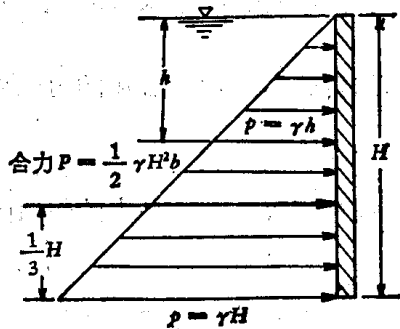


图 1-5

$$p = \gamma h. \quad (1.4)$$

式中: p ——水在各点的压强(吨/米²);

h ——该点的水深(米);

γ ——水的容重,也就是单位体积的水重,其数值大小为1吨/米³。

三角形分布的水压力的合力 P 可以用平均压强 \bar{p} 乘以作用面积来表示。闸门上的平均压强 \bar{p} 可以用水面压强和门底压强来求:

$$\bar{p} = \frac{1}{2} (\text{水面压强} + \text{门底压强})$$

$$= \frac{1}{2} (0 + \gamma H) = \frac{1}{2} \gamma H;$$

$$P = \bar{p} \times Hb = \frac{1}{2} \gamma H^2 b. \quad (1.5)$$

式中 b 是闸门宽度。由于越往下水压力越大,合力作用点必定比水深的 $\frac{1}{2}$ 更靠下,从实验和理论计算可知:水压力的合力作用点距闸门底部为 $\frac{H}{3}$,见图1-5。这个结论同样适用于其他三角形分布的荷载。

三、力 矩

我们拿一个搬手去松螺帽,如果螺帽拧得很紧,用很大的力也松不动。这时,找一小段合适的铁管套在搬手把上延长手把,就可以很省劲地把螺帽拧下来(图1-6)。

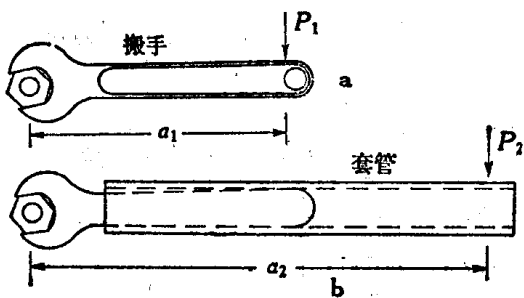


图 1-6

通过这一简单的事例可以认识到,一个力对物体的转动作用不仅与力的大小有关,而且还与这个力到转动中心的垂直距离有关,这个距离称为力臂。也就是说,力对物体的转动作用应该用力力和力臂的乘积,即力矩来度量才行。以 M 代表力矩

(吨·米或公斤·米),以 P 代表力(吨或公斤),以 a 代表力臂(米或厘米),则有

$$M = Pa. \quad (1.6)$$

例如图 1-6a 所示搬手,假定力臂 $a_1 = 20$ 厘米,用力 $P_1 = 20$ 公斤可以松动螺帽,则力矩 $M_1 = P_1 a_1 = 20 \times 20 = 400$ 公斤·厘米。图 1-6b 增加了套管后,假定力臂 $a_2 = 50$ 厘米,用多大的力可以松动螺帽呢?根据上述道理,应该让它的力矩也等于 400 公斤·厘米,即 $M_2 = P_2 a_2$

$= 400$ 公斤·厘米。这样 $P_2 = \frac{M_2}{a_2} = \frac{400}{50} = 8$ 公斤,可见增加套管后只用 8 公斤的力就可以

松动螺帽了。

应当强调指出:力臂是指力矩中心到力的作用线的垂直距离,而不是力的作用点到力矩中心的距离。例如图 1-7a 中,力 P 的作用点是 C ,作用线与搬手不垂直,交角 $\alpha < 90^\circ$,力臂就不是 AC 而是 AB 。显然, α 角越小,力臂就越小,力矩也越小。当 $\alpha = 0$ 时,力 P 的作用线正好通过力矩中心,如图 1-7b,力臂等于 0,这时无无论用多大的力也不能使螺帽转动了。

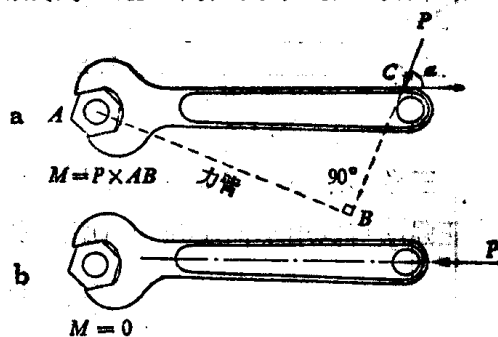


图 1-7

两个大小相等、方向相反、作用线平行而不重合的力,称为力偶。这两个力的作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂,力偶中一个力 F 与力偶臂的乘积称为力偶矩 M' 。

$$M' = Fd. \quad (1.7)$$

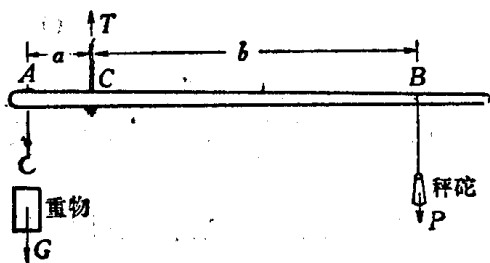


图 1-8

力矩的概念是劳动人民从长期的生产斗争经验中总结出来的。早在几千年前,劳动人民就广泛地使用撬棍、杠杆、滑轮、绞盘、辘轳等工具来提升或搬运重物,并且从中总结出了一条转动平衡原理。

图 1-8 是一把秤。设秤砣的重量为 P ,秤砣悬挂点 B 与提纽 C 的距离为 b ;被称的

物体重量为 G ，秤钩悬挂点 A 与提纽 C 的距离为 a 。则力矩 $P \times b$ 有使秤杆顺时针转动的趋势，力矩 $G \times a$ 有使秤杆反时针转动的趋势。在什么情况下秤杆可以保持水平平衡状态呢？实践证明：只有当 $P \times b = G \times a$ 的时候，秤杆才能水平。而在秤杆已经平衡的情况下，无论 G 、 P 、 a 、 b 中哪一个数值稍有改变，秤杆就将失去平衡。当 $G \times a > P \times b$ 时，秤杆将绕 C 点反时针转动，秤杆尾翘起；当 $P \times b > G \times a$ 时，秤杆将绕 C 点顺时针转动，秤杆头翘起。由此可见，要使一个物体不发生转动必须保证作用在该物体上的力对任何转动中心的顺时针力矩等于反时针力矩。这就是转动平衡原理。也称杠杆原理。利用这个原理可以解决工程中如何保证物体不发生转动（倾倒）的问题。

例1-2 用旋转法架立水泥电线杆的办法如图 1-9 所示。设电线杆重 $G = 1,200$ 公斤，重心 C 到 A 端的距离 $AC = 5$ 米，拴钢丝绳的 B 点到 A 端的距离 $AB = 8$ 米，当电线杆与水平线的夹角为 20° 时，电线杆与钢丝绳的夹角为 45° ，求此时钢丝绳的拉力 T 等于多大？

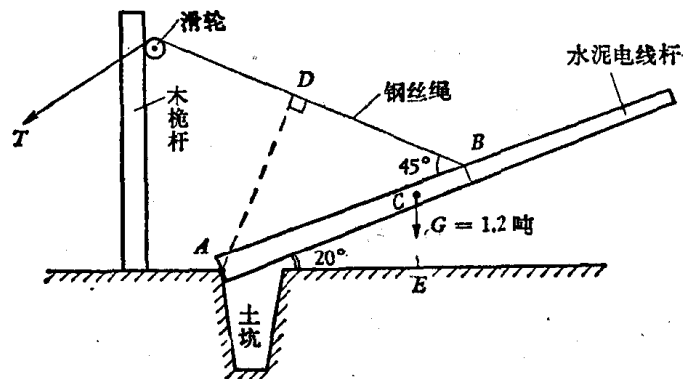


图 1-9

解：

拉力 T 使电线杆绕 A 点作反时针旋转，

力臂 $AD = AB \times \sin 45^\circ$ ；

$$\begin{aligned} \text{力矩 } M &= T \times AD = T \times AB \times \sin 45^\circ \\ &= T \times 8 \times 0.707 = 5.66 T. \end{aligned}$$

自重 G 对 A 点的顺时针力矩阻碍电线杆立起，

力臂 $AE = AC \times \cos 20^\circ$ ；

$$\begin{aligned} \text{力矩 } M_G &= G \times AE = G \times AC \times \cos 20^\circ \\ &= 1,200 \times 5 \times 0.941 = 5,640 \text{ 公斤} \cdot \text{米}； \end{aligned}$$

当电线杆平衡时 $M_T = M_G$

即 $5.66 T = 5,640 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$ ，

$$T = \frac{5,640}{5.66} = 996 \text{ 公斤}.$$

也就是这时需要 1 吨左右的力才能把电线杆拉起来。

四、力的平衡

毛主席教导我们：“所谓平衡，就是矛盾的暂时的相对的统一。”我们平时看到的水闸、桥、渡槽等建筑物都相对于地球处在静止的状态，即平衡状态。这时，建筑物上所有的

外力,包括荷载和支座反力之间应满足一定的关系,称为平衡条件。

前面通过秤杆的例子已经说明了转动平衡的条件是: $P \times b = G \times a$,

即 顺时针力矩 = 反时针力矩。

规定顺时针力矩为正(+),反时针力矩为负(-),也可写成

$$\text{顺时针力矩} - \text{反时针力矩} = 0.$$

上式可以看成所有力矩的代数和为0,即:

$$\Sigma M = 0. \quad (1.8)$$

式中 Σ 代表代数和, ΣM 就是把顺时针力矩(+)和反时针力矩(-)累加起来所得的和。

除了转动平衡以外,秤杆没有垂直方向的移动,说明这时提纽上手提的力 T 等于物体重量 G 和秤砣重量 P 的总和(忽略秤杆重量)。

$$T = P + G,$$

即 向上的力 = 向下的力。

规定向上的力为正(+),向下的力为负(-),也可写成

$$\text{向上的力} - \text{向下的力} = 0,$$

上式可以看成所有垂直方向的力的代数和为0,即 $\Sigma Y = 0.$ (1.9)

式中 Y 代表垂直方向的力,向上为(+),向下为(-)。 ΣY 就是把垂直方向的力累加起来所得的和。

根据同样道理,物体处于平衡状态时没有水平方向的移动,

$$\text{向右的力} = \text{向左的力}.$$

也就是 $\Sigma X = 0.$ (1.10)

式中 X 代表水平方向的力,规定向右为正(+),向左为负(-), ΣX 表示水平方向力的代数和。在秤杆平衡问题中因为没有水平方向作用力,所以这个条件没有反映出来,是自然满足的。

总之

$$\begin{cases} \Sigma X = 0; \\ \Sigma Y = 0; \\ \Sigma M = 0. \end{cases}$$

就是所谓力的平衡条件。这些条件确定了作用在一个平衡物体上的各个力之间的相互关系,从而给我们提供了根据已知力求解其他未知力的可能性。这三个平衡方程是很重要的。

许多力学问题就是反复运用这几个方程解算的。下面举例说明。

例1-3 某公路桥跨度8米,汽车后轴压力 $P_1 = 7$ 吨,前轴压力 $P_2 = 3$ 吨,行车位置如图1-10a示,不考虑桥板自重,求两岸桥台所受的壓力。

解:

1. 选定平衡对象

本题虽然求的是桥台的受力,但桥台的压力是桥板加给它的。桥板对桥台的压力与桥台对桥板的支承反力是一对作用力与反作用力,求出了前者的大小就等于求出了后者。桥板受哪些力? 作用在什么位置? 题中

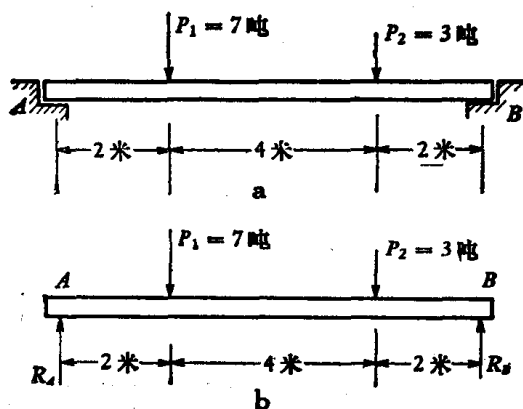


图 1-10

已经给出,而桥台受的力都是未知的,所以应取桥板为平衡对象。

2. 分析桥板受力情况

桥板受汽车荷载 P_1 、 P_2 以及桥台的支承反力 R_A 和 R_B 一共四个力的作用,如图 1-10b。

3. 利用平衡条件求解未知力。

由于桥板是平衡的,作用在桥板上的四个力 P_1 、 P_2 、 R_A 和 R_B 必满足前面所说的平衡条件。这四个力中有两个是未知的,一个平衡方程只能求解一个未知力,一般可先取某一未知力的作用点为力矩中心,根据 $\Sigma M = 0$ 写出平衡方程。该未知力的力臂为 0,力矩等于 0,不反映在方程式中,这样就可以马上求出另一个未知力。

现先以 R_A 的作用点 A 为力矩中心求 R_B 。

$$\Sigma M_A = 0$$

$$P_1 \times 2 + P_2 \times 6 - R_B \times 8 = 0,$$

$$7 \times 2 + 3 \times 6 - R_B \times 8 = 0,$$

$$R_B = \frac{14 + 18}{8} = \frac{32}{8} = 4 \text{ 吨}.$$

再以 R_B 的作用点 B 为力矩中心求 R_A 。

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-P_1 \times 6 - P_2 \times 2 + R_A \times 8 = 0,$$

$$-7 \times 6 - 3 \times 2 + R_A \times 8 = 0,$$

$$R_A = \frac{42 + 6}{8} = \frac{48}{8} = 6 \text{ 吨}.$$

4. 检验计算结果

求得 $R_A = 6$ 吨, $R_B = 4$ 吨后,可用 $\Sigma Y = 0$ 的平衡条件检验计算结果是否正确。

$$\Sigma Y = R_A + R_B - P_1 - P_2 = 6 + 4 - 7 - 3 = 0.$$

可见 $R_A = 6$ 吨, $R_B = 4$ 吨是正确的。

例 1-4 外伸梁所受荷载如图 1-11a 所示,求柱子对梁的支承反力。

解:

把梁作为平衡对象,作用在梁上的力有集中荷载 P_1 、 P_2 , 均布荷载 q , 支座反力 R_A 、 R_B , 如图 1-11b

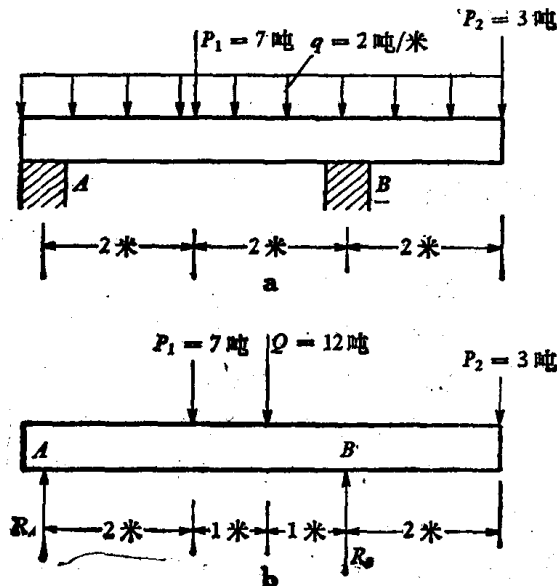


图 1-11