



农村水利技术人员培训教材

郑耀松 杨傅华 编

工程力学与结构计算

水利电力出版社



内 容 提 要

本书共分六章。主要包括力学的基本知识；简单构件如梁、板、柱、桁架等的内力计算和强度计算；钢筋混凝土梁、板的配筋计算；最后一章以重力式挡土墙、小型水闸底板作为工程结构计算的实例，进行具体的示范性演算。

本书可作县级以下区、乡水利工程技术人员的培训教材，也可供从事小型工程设计、施工的同志自学用书。

农村水利技术人员培训教材

工程力学与结构计算

杨傅华 郑耀松 编

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路8号)

昌平建华印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.75印张 180千字

1985年7月第一版 1985年7月北京第一次印刷

印数00001—17400册 定价1.40元

书号 15143·5761

序 言

党的十一届三中全会以来，中央多次提出要加强职工队伍的培训，以提高整个职工队伍的政治素质和业务、技术、文化水平，以适应四个现代化建设的需要。为了具体落实中央的指示精神，推动基层水利干部培训工作的开展，农田水利司会同水利电力出版社，在各个方面的大力支持下，组织了一些既有专业知识，又有实践经验的同志编写了这套《农村水利技术人员培训教材》，全套教材包括《水利工程测量》、《水利工程制图》、《小型工程水力计算》、《工程力学与结构计算》、《地基与基础》、《小型水工建筑物》、《农田水利》、《地下水开发利用》、《小型抽水站》、《小型水利工程施工》、《小型水利工程管理》十一个分册，内容较为丰富，看来一定会受到水利基层单位同志们的热烈欢迎。在这里，我们也向赞助这项工作的单位和从事编写、审订的同志表示衷心的感谢。

三十多年来，我国水利建设，无论是江河治理，还是农田水利，都取得了巨大成就，这与广大水利基层职工的辛勤劳动、艰苦奋斗是分不开的。党的十二大确定本世纪末的战略目标是工农业年总产值翻两番，各行各业要为实现总目标服务，水利工作也必须为实现总目标，提供防洪安全和水资源的保证。这就要求首先要管好用好现有水利设施，充分发挥效益，并在此基础上，进一步提高江河防洪能力；在水利基础差的地方进一步改善水利条件；努力提高水资源的综合

利用水平；大力开展水土保持和水源保护，改善生态环境。总的说来，今后水利工作任务仍然“任重而道远”。

一九八三年全国水利会议确定，今后水利建设方针是“加强经营管理，讲究经济效益”。从全国来说，水利工作重点要转到管理上来，水利发展要走以内涵为主的路子。无论管理还是建设，都要讲究经济效益，讲究科学，力求以社会最小的投入获得最大的产出，形成良性循环。这给我们水利工作者提出了很高的要求，也是我们水利工作者的努力方向。

水利基层单位，是水利工作的基础。他们工作如何，业务、技术水平状况怎样，对整个水利工作，尤其对农田水利工作，关系极大。近几年来，各地水利部门在实际工作中，特别是山区、牧区和边远地区，普遍反映技术力量不足，人才缺乏，现有职工队伍的业务技术水平不能适应当前工作需要。随着水利事业的发展，四化建设的推进，这个矛盾将越来越突出。当然，随着智力投资的增加，教育事业的加强，水利基层队伍将会得到不断的补充。但更重要的是，如何通过各种形式，提高现有几十万水利基层职工队伍的知识水平，这是当前一项迫切的工作，也是水利工作中的一项最基本的建设。

据了解，近几年来，各省、专、县水利水电部门，都在积极落实中央的指示，加强职工培训工作。但许多基层单位，苦于缺乏系统培训教材，以致费力不小，收效不大，这也是组织编写这套教材的重要原因。

我们相信，通过这套教材的编辑、出版，可以进一步推动水利基层职工队伍的培训工作，使我们水利基层队伍的业务、技术水平大大提高一步，水利管理和建设的水平大大提

高一步。

我们国家很大，各地自然条件，经济条件不同，水利基础也不相同，水利基层职工队伍的水平也不一样，这套教材仅供各地基层职工培训班和学员们参考。我们期待各地在实际工作中，对这套教材能够提出补充、修改意见，使这套教材不断完善，真正成为水利基层干部的教科书。

水利电力部农田水利司司长

丁泽民

1985年3月

前 言

全书共分六章,前两章主要论述力的基本知识、结构的受力和静力平衡,第三章为轴心拉、压杆件和梁的内力计算方法,第四、五两章主要讲述匀质构件的强度校核和截面设计以及钢筋混凝土梁板的配筋方法,最后一章介绍小型水工建筑物中最常见的两种结构设计方法。全书计划讲授47学时,其中第一章7学时,第二章6学时,第三章9学时,第四章7学时,第五章10学时,第六章8学时。各地采用此教材时,可根据学员实际情况适当增减学时。

本教材在叙述上力求简明扼要,通俗易懂,便于自学。书中还列举了大量的例题,以供学员将所学的理论知识用于生产实践。为了帮助学员复习和训练分析计算能力,在每章之后都有一定数量的习题并附有答案,以供读者练习。

本书由扬州市水利勘测设计室杨传华执笔写第一、二、六章,江苏农学院机电排灌系郑耀松执笔写第三、四、五章。此书承蒙江苏省淮安县水利局陈芸同志审阅,并提出了许多宝贵意见,在此谨表谢意。

对书中缺点与不足之外,热忱欢迎读者批评指正。

编 者

1983年3月

目 录

序 言

前 言

第一章 力的基本知识	1
第一节 力的概念	1
第二节 力的性质	3
第三节 重力与摩擦力	6
第四节 力的合成与分解	11
第五节 力矩与力偶	17
第二章 结构的静力平衡	30
第一节 结构计算简图	30
第二节 静力平衡条件	42
第三节 支座反力计算	48
第三章 构件的内力计算	62
第一节 轴心受拉（压）构件的内力计算	62
第二节 桁架的内力计算	65
第三节 梁的内力计算	72
第四节 简支梁的弯矩包络图	94
第四章 匀质构件的强度及稳定计算	102
第一节 轴心受拉（压）构件的强度计算	102
第二节 轴心压杆的稳定计算	114
第三节 匀质梁的强度计算	120
第五章 钢筋混凝土梁、板的强度计算	138
第一节 钢筋混凝土材料	138

第二节	钢筋混凝土梁、板的计算原理	141
第三节	钢筋混凝土梁、板的构造要求	144
第四节	单筋矩形截面梁、板正截面强度计算	153
第五节	单筋 T 形截面梁正截面强度计算	163
第六节	钢筋混凝土梁的斜截面强度计算	174
第七节	保证斜截面抗弯强度的构造措施	178
第八节	水闸工作桥预制 T 形梁的设计	182
第六章	工程结构计算实例	198
第一节	重力式挡土墙的计算	198
第二节	小型水闸底板计算	216

第一章 力的基本知识

第一节 力的概念

什么是力？力是怎样产生的？初学者往往会提出这些问题来。起初人们对力的认识，是从日常生活和生产劳动中感觉到的，譬如用手推车或手提重物，人的手臂就会感觉到对车子或重物用了力。然而，不仅是人能够对物体产生力，物体与物体之间也同样可以产生力，譬如用绳子悬挂一个重物，绳子就受到了重物的力，同时重物也受到了绳子的力。这就说明，力是物体与物体之间的作用，当一个物体受到了力的作用，必定有另一个物体对它施加了这种作用，从而使我们认识到，力是不能够离开物体的相互作用而独立存在的。是不是物体之间的相互作用力都是通过物体之间的直接接触而存在的呢？这只是大多数的情况，但也有另外一种情况，就是不通过直接的接触而有力的作用，如地球周围的一切物体，不论同地球接触与否，都要受到地球吸引对它的重力作用。

现在我们再来看看，物体受到力的作用以后，会引起什么效果呢？静止的车子如果用力就可以把它推动；反过来，运动的车子也可以用力使它停住。这就是力可以改变物体的运动状态（由静止变为运动或由运动变为静止）的一种效果。还有另外一种效果，那就是力也可以改变物体的原有形状，如人站在一块两端搁支的木板上时，就会看到木板发生了明显地弯曲变形。因此我们说，力的作用效果可以使受力

的物体发生运动状态的改变或者是发生形状的改变。

为了说明力的作用效果究竟与力的哪些因素有关，我们举一个用扳手扳螺帽的例子，这是一种常见的动作。我们可以发现以下三种情况（图1-1）：

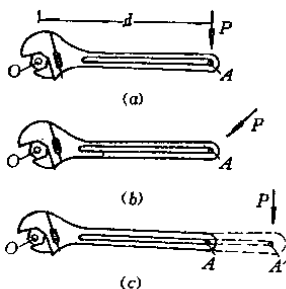


图 1-1

1) 力 P 越大，拧紧（或松动）螺帽的效果越大；

2) 力 P 垂直 OA 线作用时，效果要比倾斜于 OA 线的好；

3) 使用长柄的扳手比使用短柄的省力，拧紧（或松动）螺帽的效果更好些。

这三种情况可以说，力对物体的作用效果

是与力的大小、力的方向及力的作用点这三个因素有关的。于是我们就把力的大小、方向、作用点称为力的三要素。力的三要素只要其中有一个因素变了，那么力的作用效果也就跟着变了。

由于力的作用效果要由三个要素来决定，所以要表明一个力，必须同时把这三个要素都表示出来，缺一不可。通常我们用图示的方法表示力，即用一根带箭头的直线段来表示对一物体的作用力（图1-2）。箭头的指向表示力的作用方向；线段的起点（有时也用终点）表示力的作用点；线段的端旁注明力的代号和大小。图1-2是一个作用在 A 点的与水平线成 30° 方向的、大小为 20N （牛顿）的力 F 的图示。

要表明力的大小，必须指明它的单位与数值。

力的法定计量单位为牛顿（简称牛，外文符号为N），而目前工程上使用的力的单位为公斤(kg)、吨(t)。本书将以法定计量单位为准，相互换算关系如下：

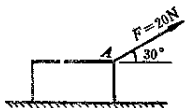


图 1-2

$$1\text{ N}=0.102\text{ kg}, \quad 1\text{ kg}=9.8\text{ N};$$

$$1\text{ kN}=1000\text{ N}, \quad 1\text{ t}=1000\text{ kg}.$$

第二节 力的性质

现在我们来进一步研究力的一些基本性质，这些力的性质所都是大家可以理解，并在日常生活和生产实践中可以得到证实的。

一、二力平衡的条件

首先，所谓“平衡”是什么意思呢？平衡就是指物体相对于地球来说，处于静止的或匀速直线运动的状态。静止的物体如房屋、桌子等等都处于平衡状态，这是很容易理解的；而匀速直线运动的物体，也同样是处于平衡状态，就较难理解了。前面我们说过，力可以改变物体的运动状态；现在反过来说，如果没有力的作用（或首是力处于平衡状态），物体的运动状态也不会改变。原来静止的物体仍保持静止，原来运动的物体仍保持原有的运动，运动的速度和方向都不改变，那就是所指的匀速直线运动。

现在的问题是，若物体受到两个力作用，这两个力必须

满足什么样的条件，物体才会平衡呢？

图1-3所示为一杆件受到两个方向相反的力 P_1 与 P_2 的

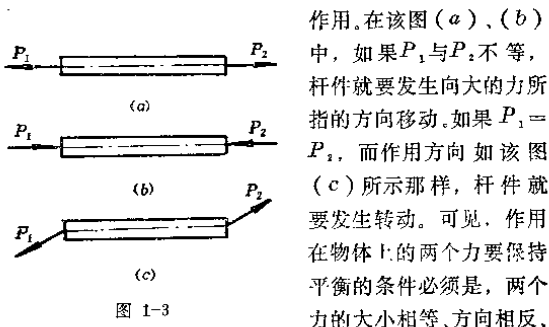


图 1-3

而且作用在同一直线上。这三个条件，不可缺一，否则，物体就不会处于平衡状态。

二、两个互相平衡的力

如果在一物体上，加上或减去两个互成平衡的力，不会改变此物体原有的平衡状态或运动状态。

这是前述性质的引伸，因为两个互成平衡的力，一定是大小相等、方向相反、并且作用在一条直线上，它们对物体的运动效果是相互抵消的，所以在一物体上，加上或是减去这两个力，对物体原有的平衡状态或运动状态都不会有任何改变。原来是平衡的仍保持平衡，原来怎么运动的仍然怎么运动。

三、力的可传性

力的可传性就是说，力可以沿其作用线任意移动，而并不改变它对物体的运动状态。如图1-4所示，一力 F 在 A 点推物体，若把它改为沿作用线移动到 B 点拉物体，并不改变力

F 的大小和方向，而只是沿力的作用线移动。由日常经验我们知道，这种移动是不会改变力对物体的运动状态的。

四、作用力与反作用

力

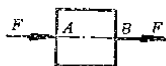


图 1-4

例如在水面上有甲、乙两船，甲船用绳拉乙船，这时我们看到不但乙船向甲船移动，同时甲船也向乙船移动。这就说明，甲船给乙船一个拉力，同时乙船也给甲船一个拉力。另一个例子如图1-5所示，提升一根水泥杆时，吊钩对钢索施加向上的拉力 F ，这时，钢索对吊钩也施加向下的拉力 F' 。如果在这根钢索的两端分别装上两个弹簧测力计，就会测到两端的读数是相等的。因此证明，既有作用力，必有反作用力，并且它们是大小相等、方向相反且沿同一作用线而分别作用在两个物体上。这一规律我们称之为作用与反作用定律。这个定律对于我们以后进行结构的受力分析有着重要的意义。

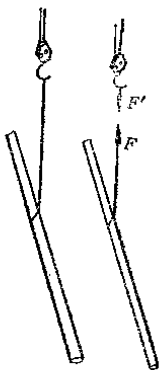


图 1-5

这里应该注意：作用力与反作用力是分别作用在两个不同物体上的两个力，是相互的、成对出现的，单方面的作用力是不存在的。与作用在同一个物体上的两个平衡力不同，

学习时，不要把这两个概念混淆起来。

以上我们介绍了力的一些基本性质。今后我们着重学习物体在静止状态下的受力情况，即力学中有关静力学部分的一些内容，而对力学中有关运动学、动力学的内容在这本书中就不提及了。

第三节 重力与摩擦力

作用于工程结构上的力是非常广泛的，种类繁多。一般作用于小型水工建筑物上的力主要有：重力（包括结构自身的重量、水重、土重、机械设备重等）、水压力、土压力、浮力、渗透压力、摩阻力等等，其中水压力的计算在《小型工程水力计算》一书中讲解；土压力的计算在《地基与基础》一书中讲解；浮力、渗透压力在《小型水工建筑物》一书中讲解，这里只重点介绍重力与摩擦力的计算。

一、重力

重力就是地球对物体作用的吸引力，地球周围的一切物体，不论是否同地球接触，都要受到地球吸引的重力作用。重力的大小，就是物体的重量。重力的方向，总是竖直向下。重力的作用点分布在物体的各个部分，但在讨论作用效果时，我们可以认为重力集中作用在一定的地方，就是说，把重力作为一个集中力，集中作用于一点，这一点就叫做物体的重心。物体的重心可以用实验方法或理论计算来确定。对于形状规则、材料分布均匀的物体，它的重心也就是它的形心，用 C 点表示（图1-6）。对称图形的形心，必在它的对称轴上〔图1-6（a）〕；如有两个对称轴的图形，它的形心必在两个对称轴的交点上〔图1-6（b）〕；三角形的形心

在三中线的交点上，而且到各边的垂距分别是各边高度的 $1/3$ [图 1-6 (c)]；梯形的形心比较复杂，要用公式计算，为了方便，常将梯形分成矩形和三角形分别计算 [图 1-6 (d)]。

体积相同而材料不同的物体，如一立方米的混凝土与一立方米的木材，其重量是不同的。单位体积的材料重量，叫做这种材料的容重。容重是材料的重要属性，一般用符号 γ 表示。若物体的体积为 V ，重量为 G ，其组成材料的容重为 γ ，则

$$\gamma = G/V \text{ 或 } G = \gamma V \quad (1-1)$$

容重的单位有：法定计量单位为 N/m^3 (牛/立方米)、 kN/m^3 (千牛/立方米)；工程单位为 kg/m^3 (公斤/立方米)、 t/m^3 (吨/立方米)。常用材料的容重见表 1-1。表中的数字都很粗略，只供

一般计算使用。特别是土壤、砂石料、木材等的容重，与材料的紧密程度、含水量的多少有很大关系，可能有较大出入。

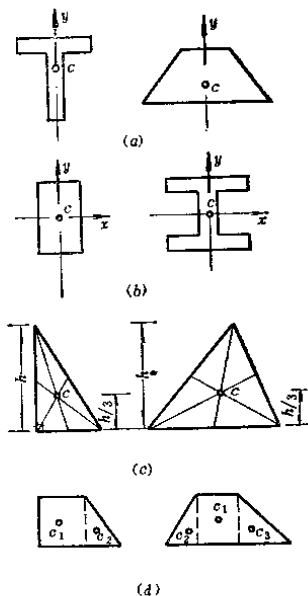


图 1-6

表 1-1 常用材料的容重

材料名称	容 重		材料名称	容 重	
	法定单位 kN/m ³	工程单位 t/m ³		法定单位 kN/m ³	工程单位 t/m ³
铸 铁	71.1	7.25	水	9.8	1.0
钢、铸钢	76.9	7.85	粗、细黄砂	约15.2	约1.55
混 凝 土	22.5~23.5	2.3~2.4	碎 石 子	13.7~14.7	1.4~1.5
钢筋混凝土	23.5~24.5	2.4~2.5	卵 石 子	15.7~17.6	1.6~1.8
水泥砂浆	19.6	2.0	成堆块石	约16.7	约1.7
石灰砂浆、混合 砂浆	16.7	1.7	方整石料	26.5	2.7
石灰三合土	17.2	1.75	天 然 土	约17.6	1.8
砖 砌 体	17.6	1.8	湿 土	18.6	1.9
浆砌块石	22.5~23.5	2.3~2.4	饱 和 土	19.6	2.0
平砌块石	19.6	2.0	杉 木	<3.9	<0.4
水泥(散装)	11.8	1.2	一般松木	4.9~5.9	0.5~0.6

二、摩擦力

摩擦力是个什么性质的力呢？我们不妨做一个简单的实验来看看，将一个物体放在桌面上，用绳子向前牵拉，当拉力小时，就拉不动它（图1-7）。这一现象说明，在拉动物

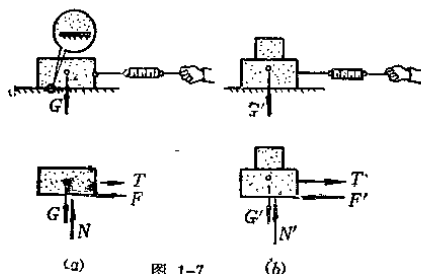


图 1-7

体时，物体要受到桌面阻止它运动的力。一般说来，当两个相互接触的物体沿着接触面发生相对运动或者具有相对运动的趋势时，一个物体就要受到另一物体阻碍它运动的作用力，这种力就是摩擦力，也叫摩阻力。

产生摩擦力的原因，一般人认为主要是两个物体接触面的凹凸不平，平常看起来很光滑的表面，若用放大镜观察，总是有点起伏不平的〔图1-7(a)〕。产生摩擦力的条件必须有两个：一是两个物体之间必须有相互挤压的垂直正压力（即垂直于接触面的压力）；二是两个物体必须有相对运动或有相对运动的趋势。摩擦力的方向，总是沿着接触面而和相对运动的方向相反；摩擦力的作用点，分布在接触面上，通常计算时，都作为一个沿着接触面的集中力。摩擦力的大小，则要区分如下几种情况。

（一）静摩擦力

在实验中，当我们用拉力 T 拉桌面上的物体时，就会发觉如果拉力 T 在一定的范围内，物体保持静止不动，这时拉力 T 被摩擦力 F 相抵消，处于大小相等、方向相反、作用效果相互平衡的状态。我们把物体和它接触的物体相对静止时受到的摩擦力，叫做静摩擦力。当拉力 T 逐渐增大，达到一定数值时，物体开始由静止而刚要滑动，这时候的摩擦力达到最大值 $F_{\max}$ ，叫做最大静摩擦力。若加大物体与桌面之间的垂直正压力（图1-7中的 $N' > N$ ），则需要更大的拉力（ $T' > T$ ）才能使物体发生运动，这就说明最大静摩擦力是随着垂直正压力的加大而加大。大量的实验指出：最大静摩擦力 $F_{\max}$ 与垂直正压力 N 成正比例，可以写成

$$F_{\max} = fN \quad (1-2)$$

这个关系被称为静摩擦定律。式中的 f 为比例常数，称