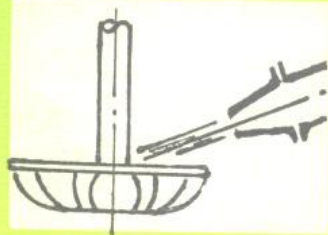


微型水电站

黄 奋 杰
叶 群 胜
张 长 华



云南人民出版社

微 型 水 电 站

黄奋杰 叶群胜 张长年

云南人民出版社

责任编辑：林德琼

封面设计：詹青

2106/12

微型水电站

黄奋杰 叶群胜 张长华

*

云南人民出版社出版

(昆明市书林街100号)

云南新华印刷厂印装 云南省新华书店发行

*

开本：787×1092 1/32 印张：6.75 字数：150,000

1985年5月第一版 1985年5月第一次印刷

印数：1—10,500

统一书号：15116·153

定价：1.25 元

代 前 言

在幅员辽阔的山区、半山区，居民分散，靠大电网送电比较困难，远距离架设输电线路投资大，经济上极不合算。然而，山区水力资源丰富，溪涧多，坡陡流急，落差集中，适合于修建微型水电站。充分利用当地水力资源建设微型水电站，投资少、见效快。就地发电就地用电，不需远距离输电和修建复杂的水工建筑物，是解决山区生活用电及农副产品加工动力的好办法，对发展山区经济、丰富群众文化生活起到积极的作用。

为适应微型水电站建设的发展，满足山区人民对建设微型水电站及运行管理知识的要求，我们得到云南工学院领导和科研处的大力支持，请该院水利电力系的同志编写了这本《微型水电站》。介绍适合山区人民兴办的单机容量在20千瓦以下的微型水电站知识，内容简明扼要，通俗易懂，适合具有初中以上文化程度从事微型水电站建设和运行管理的人员阅读，也可作为培训班教材。

本书由黄奋杰同志主编。全书共六章，其中第一、三章由黄奋杰同志执笔，第二、六章由张长华同志执笔，第四、五章由叶群胜同志执笔。编写中引用云南昌宁农机厂、富宁农机厂、玉溪水电设备厂和江西奉新机械厂、广西玉林水电设备厂、河南西峡水电设备厂、湖北白莲河发电设备厂、湖北长阳发电设备厂的资料。在此，我们向编写者和提供资料的单位表示衷心的感谢。

书中如有不妥之处，敬请读者批评指正。

云南省科学技术委员会科技管理处

目 录

前 言

第一章 水和水流的基础知识

第一节 什么是水力学？水力学所解决的问题……	(1)
------------------------	-----

第二节 水力学中的物理概念……	(2)
-----------------	-----

一、运动、轨迹、路程……	(2)
--------------	-----

二、速度、平均速度和加速度……	(3)
-----------------	-----

三、自由落体运动……	(6)
------------	-----

四、力……	(7)
-------	-----

五、动量和能量……	(8)
-----------	-----

第三节 水的物理性质……	(11)
--------------	------

一、水的一般特征……	(11)
------------	------

二、水的主要物理性质……	(12)
--------------	------

第四节 静水压力、静水压强及其基本方程式……	(14)
------------------------	------

一、静水压力……	(14)
----------	------

二、静水压强……	(14)
----------	------

三、静水压强的性质……	(16)
-------------	------

四、静水压强分布规律——基本方程式……	(18)
---------------------	------

五、测压管水头……	(19)
-----------	------

六、绝对压强和相对压强，真空和真空度……	(20)
----------------------	------

七、静水压强的表示方法……	(22)
---------------	------

第五节 作用在平面上和物体上的静水总压力……	(23)
------------------------	------

一、作用在平面上的静水总压力……	(23)
------------------	------

二、作用在物体上的静水总压力——阿基米德	
----------------------	--

原理.....	(25)
第六节 水流运动的一些概念.....	(26)
一、水流运动的基本类型.....	(26)
二、过水断面及其水力要素.....	(28)
三、流量及过水断面的平均流速.....	(29)
四、过水断面的测压管水头.....	(30)
第七节 稳定流的连续方程和能量方程.....	(30)
一、稳定流的连续方程式.....	(30)
二、单位重量水的能量.....	(31)
三、稳定流的能量方程式及其使用条件.....	(33)
第八节 水流流动中的水头损失.....	(35)
一、产生水头损失的原因.....	(35)
二、水头损失的两种类型.....	(36)
三、沿程水头损失的计算.....	(36)
四、局部水头损失的计算.....	(37)

第二章 电和电路的基础知识

第一节 电的基本概念.....	(39)
一、物体带电及电场.....	(39)
二、电流、电压和电阻.....	(41)
第二节 直流电路.....	(48)
一、电路的组成.....	(48)
二、电压、电流和电阻的关系——欧姆定律...	(49)
三、串联电阻电路.....	(51)
四、并联电阻电路.....	(53)
五、串并联电阻电路.....	(54)
六、电功率和电能.....	(55)
第三节 电和磁的关系.....	(58)

一、磁的性质	(58)
二、电流产生的磁场	(59)
三、磁场对电流的作用	(61)
四、电磁感应——发电机原理	(63)
第四节 单相交流电路	(66)
一、单相交流电的产生	(67)
二、交流电的瞬时值、最大值和有效值	(71)
三、交流电路的阻抗	(72)
四、交流电路的功率	(81)
第五节 三相交流电路	(85)
一、三相交流电的产生	(85)
二、三相电源的接法	(87)
三、三相负载的接法	(89)
四、三相交流电路的功率	(91)
第三章 微型水电站	
第一节 水力发电两要素	(93)
一、水电站出力的计算	(93)
二、水头及其测定方法	(96)
三、流量及其测定方法	(99)
第二节 微型水电站的开发方式及建站规模	(101)
一、微型水电站的开发方式	(101)
二、电站设计流量(引用流量)的确定	(105)
三、电站设计水头的确定	(107)
四、微型水电站规模的确定	(108)
第三节 微型水电站的引水渠	(110)
一、渠道路线的选择	(110)
二、渠道的底坡(纵坡、坡降)及流速的选择	(111)

三、渠道的断面型式及尺寸·····	(113)
第四节 前池·····	(118)
一、前池的作用和组成·····	(118)
二、前池的主要尺寸和设备·····	(118)
第五节 压力引水管及厂房·····	(121)
一、压力引水管的类型及布置·····	(121)
二、压力引水管的流速、直径和水头损失·····	(122)
三、压力引水管的支承·····	(126)
四、微型水电站的厂房·····	(127)

第四章 微型水轮发电机组

第一节 微型水轮机·····	(129)
一、微型水轮机的类型·····	(129)
二、斜击式水轮机·····	(135)
三、混流式水轮机·····	(142)
四、轴流式水轮机·····	(144)
五、水轮机的选用·····	(145)
第二节 微型同步发电机·····	(150)
一、微型同步发电机的构造·····	(150)
二、同步发电机的基本原理·····	(152)
三、微型同步发电机的选用·····	(154)
四、微型同步发电机的励磁装置与配电盘·····	(156)
第三节 异步发电机·····	(160)
一、异步发电机的构造及原理·····	(160)
二、异步发电机电容的接法和电容容量的确定·····	(161)
三、异步发电机的配电箱·····	(164)
第四节 轴承和皮带传动·····	(165)
一、轴承·····	(165)

二、平皮带传动·····	(166)
第五章 微型水轮发电机组的安装与运行维护	
第一节 微型水轮发电机组安装前的准备·····	(170)
一、机墩·····	(170)
二、安装用的工具和材料·····	(172)
三、关于框形水平仪和塞尺的使用·····	(174)
四、安装前对微型水轮发电机组的检查·····	(175)
第二节 微型水轮发电机组的安装·····	(176)
一、微型斜击式水轮发电机组的安装·····	(176)
二、微型斜击式水轮发电机组更换滚珠轴承的 拆装方法·····	(177)
第三节 微型水轮发电机组的试运行·····	(179)
一、试运行前的检查和试验工作·····	(179)
二、空载和带负荷试运行·····	(180)
第四节 微型水轮发电机组的运行·····	(181)
一、发电运行的开机步骤·····	(181)
二、微型机组带动加工机械·····	(182)
三、微型水轮发电机组的停机步骤·····	(182)
四、微型机组运行中遇到哪些情况时应紧急停 机·····	(183)
五、水轮发电机组运行中的注意事项·····	(183)
第五节 微型水电站的维护·····	(184)
第六节 微型水轮发电机组常见故障及处理方法·····	(186)
一、发电机发不出电(没有电压)·····	(186)
二、发电机受潮·····	(188)
三、发电机电压太低·····	(188)
四、机组出力下降·····	(189)

五、机组振动超出允许范围·····	(190)
六、发电机温度过高·····	(191)
七、同步发电机转子励磁线圈接地·····	(191)
八、轴承温度过高·····	(191)

第六章 安全用电知识

第一节 触电及预防触电的措施·····	(193)
一、触电和触电对人体的伤害·····	(193)
二、预防触电的措施·····	(195)
三、关于触电急救·····	(196)
第二节 接地·····	(197)
一、接地的作用·····	(197)
二、接地装置·····	(199)
第三节 常用照明设备及其使用注意事项·····	(200)
一、白炽灯·····	(200)
二、日光灯·····	(200)
三、照明线路的常见故障·····	(203)
第四节 熔断丝的选用·····	(203)

第一章 水和水流的基础知识

第一节 什么是水力学？水力学所解决的问题

水是人们生活和生产活动所不可缺少的东西（物质）。特别是在除水害、兴水利的生产活动中，人们对水的利用是十分广泛的。人们在利用水和征服水的过程中，逐渐认识了水，认识了水在静止状态和运动状态的许多规律，以及研究把这些规律应用到实际生产中去，形成了一门专门的学问，就是水力学。水力学的内容包括两部分，一部分是分析研究静止的水或相对于盛水容器保持不动的水的规律，主要是作用于水的各种力之间的关系，这一部分称为静水力学；另一部分是分析研究水在流动时的规律，主要是作用于水流上的力和水流速度、压力…等之间的关系，这一部分称为动水力学。只有弄清了这些规律，才有可能更好地控制水并利用它来为人们的生活和生产服务。

水力学的实用意义是很大的，不论在哪一种工程实践中很难说不应用水力学的定律，在建设水电站、抽水站、贮水池…时，人们广泛应用水力学的定律。在水利工程和水力机械常见的许许多多水力学问题中，归纳起来，有以下几方面：（1）水对建筑物和设备的作用力问题。如闸门挡水，作用在闸门上的力有多大？需要多大的力才能把闸门拉起来？高压水管在一定的水压力作用下，需要多厚的管壁等等，都属于作用力问题。（2）建筑物和过水设备的过水能力问题。如在一定的水

头（压力）下，水管能通过多少水量？或反之，在一定水头下要求通过一定的流量，求需要多大的水管等。（3）建筑物或设备洩水时，为避免冲刷的消能问题。（4）河流、渠道的水面线和压力管道的压力线问题。（5）建筑物基础的渗漏和设备的止漏问题。（6）水轮机开大或关小时，水管内流速和压力随时间而变化的不稳定流问题。（7）水流速度很高时，可能发生的汽蚀、振动问题。

在这里只介绍水力学中的最基本问题，即上述的（1）、（2）两个问题——作用力和过水能力问题，而且只作为一般知识来叙述。对于其余专门问题在这里不作介绍。

学习水力学需要物理学的基本观点和方法，同时还要直接应用物理学的基本概念和公式，所以在这里列举一些与水力学有关的基本公式和概念，以便进一步学习水力学。

第二节 水力学中的物理概念

一、运动、轨迹、路程

（一）运动

我们知道世界上一切物体都是由物质所组成，各种物质都在进行着各种各样的变化，如位置的变化、状态的变化等等，因此我们说物质总是在运动着。最简单、最基本的运动是物体从一个位置移到另一个位置或物质各部分相对的位置变动，通常称为机械运动。为了说明一个物体的位置或位置的变动，总是先选择好另一个物体作为标准，认为它是不动的物体，然后观察物体对这个标准物体所发生的变化，确定它的运动情况。这个被选作标准的物体，称为参照物。在讨论地面上物体的运动时，通常选取地球（地面）作为参照物。把地球看作绝对不动的物

体，相对于地球表面的运动，叫绝对运动。如果所选的参照物相对于地面也在运动，那么相对于参照物的运动叫相对运动。如水轮机或水泵叶道里的水流，从叶道的进口端流到出口端，相对于叶道本身所作的运动为相对运动；与此同时跟随水轮机转轮或水泵转轮一起转动，这种运动称为牵连运动；相对运动和牵连运动的合成，即相对于地面的运动，即为绝对运动。

（二）轨迹、路程和位移

运动物体在空间所经过的路径或“足迹”称为轨迹。物体运动的轨迹是直线的，称为直线运动。物体运动的轨迹是曲线的，称为曲线运动。

运动轨迹的实际长度，称为路程。路程只讲究其大小数值，不计较其方向。

运动物体位置的变化，称为位移。位移不但有大小，而且有方向。位移只讲究其实际位置的变化，而不计较其中间所走过的路程和轨迹。如垂直上抛一个小球，过了一会又落在手中，假如小球到达的最大高度为10米，则路程是20米，而位移则是零，因为小球仍落回到手中，小球的最终位置没有变化。

二、速度、平均速度和加速度

（一）速度

速度是描述物体运动的快慢程度和方向的量，如果物体沿直线运动，且在任意相等的时间里所通过的路程都相等，这种运动称为匀速直线运动。根据这一特点，我们可以得知，运动物体所通过的路程随时间的增加而增加，单位时间（秒）内所通过的路程都相等。所以运动物体所通过的路程和通过这段路程所需时间之比，叫物体运动的速度。如果物体通过路程 s 所需的时间为 t ，则匀速直线运动的速度 v 为：

$$v = \frac{s}{t} \quad (1-1)$$

$$s = vt \quad (1-2)$$

路程的单位为米；时间的单位为秒；速度的单位为米/秒。

(二) 平均速度

如果物体沿直线运动，但在相等的时间间隔里所走过的路程不相等，这种运动叫变速直线运动。即运动的速度时快时慢，经常在改变。物体通过某一段路程与通过这一段路程所需时间之比，叫运动物体在这一段路程中的平均速度。如果用 s 代表物体在时间 t 内所通过的路程， $v_{\text{平均}}$ 代表这个物体在这段路程中的平均速度，则：

$$v_{\text{平均}} = \frac{s}{t} \quad (1-3)$$

公式 (1-1) 和 (1-3) 形式上是相同的，但实质上是区别的，后者只反映在这一区间内速度的平均值，所以在叙述平均速度时，必须指明是某一段路程区间或某一段时间的平均速度。

平均速度虽有较大的实用意义，但只能粗略地描述物体在某一段路程（时间）的运动情况，在有些情况下是不够精确的。如骑自行车下坡时，速度不断在改变，越到下面速度越快。为了精确地描述变速直线运动，我们引入即时速度（瞬时速度）的概念。运动物体在某一时刻的速度，或运动物体通过轨迹上某一位置的速度，叫做即时速度或瞬时速度。即一刹那的速度。

以上所说的平均速度是“时间”平均，在水力学中还引入了“断面”的平均速度，同样是具有实用意义的。水流在水渠或水管里流动，靠近边壁的水流流得较慢，靠表面或中心的水

流流得较快，在整个过水断面里各点的速度是不同的。我们设想整个断面内各处水流都以同一速度 v 流动，所流过的水量与断面内各点速度不同时流过的水量完全相等时，那么该速度 v 即为该断面的平均速度。在水力学中绝大多数是应用平均流速。

(三) 加速度

我们知道变速直线运动的特点是它的快慢不均匀，如果它的速度总是均匀地增加或均匀地减少，这种运动叫匀变速运动。而其中在任何相等的时间内速度的增加都相等的运动，叫匀加速运动，如物体从高处落下时的情况；在任何相等的时间内速度的减少都相等的运动，叫匀减速运动，如上抛物体的运动情况。物体在作匀变速运动时，速度的变化(增加或减少)与发生这个变化所用时间之比——单位时间的速度变化，叫做加速度。加速度大表示速度变化得快，加速度小表示速度变化得慢。假设运动物体从起始时间 t_0 至时间 t 的这一时段 $\Delta t = t - t_0$ 内，速度由 v_0 增加至 v_t ，速度增加数值为 $\Delta v = v_t - v_0$ ，则其加速度 a 为：

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t - t_0} \quad (1-4)$$

加速度的单位为米/秒²，读做每秒每秒增加多少米。

如果运动物体的速度是逐渐增加的，即 $v_t > v_0$ ，则加速度是正值，加速度方向与速度方向相同；相反，如果运动物体的速度是逐渐减小的，即 $v_t < v_0$ ，则加速度是负值，加速度的方向与速度方向相反。

匀变速运动任一时刻的速度 v_t 、路程(位移) s 、加速度 a 和时间 t 的相互关系可用下列各式表示：

$$v_t = v_0 + at \quad (1-5)$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1-6)$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as \quad (1-7)$$

如果起始时间 $t_0 = 0$ 时的初速 $v_0 = 0$ ，则 (1-5) (1-6) (1-7) 式可变为下列形式：

$$v_t = at \quad (1-8)$$

$$s = \frac{1}{2}at^2 \quad (1-9)$$

$$v_t^2 = 2as \quad (1-10)$$

三、自由落体运动

在没有空气的空间里，物体只在重力作用下，一旦失去支持，从静止开始下落，向地面运动，叫自由落体运动。在有空气的空间里，如果空气的阻力作用较小，可以忽略不计，物体的下落也可看作自由落体运动。

实验研究指出，自由落体运动就是初速度为零的匀变速直线运动。

在同一地点，所有物体在自由落体运动中的加速度都是相同的，这个加速度就是重力加速度，其方向总是垂直向下，以 g 表示。在不同地区 g 的数值虽略有差异，但一般取 9.8 米/秒²。把匀变速直线运动公式中的加速度 a 以重力加速度 g 所代替，即得自由落体运动的公式：

$$\left. \begin{aligned} v &= gt \\ h &= \frac{1}{2}gt^2 \\ v^2 &= 2gh \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式中 h 为落下的高度。

在水力学中，由于水都在重力作用下，水流的流出速度如孔口出流、管嘴出流、管子过流的速度公式与自由落体的速度有

极其相近之处，速度 v 与水头（高度 H ）的关系都可表示为： $v = \sqrt{2gH}$ ，若其出流情况不同可乘以不同的流速系数。

四、力

力是一个物体对另一个物体的作用，同时也是另一物体对这一物体的作用，这种作用可以使物体产生加速度或发生变形。任何物体在别的物体作用下产生加速度，我们就说对这一物体作用了力。力是使物体获得加速度的原因。力的大小与受作用物体的质量 m 有关，与物体产生的加速度 a 成正比；力的大小等于质量和加速度的乘积，用下式表示：

$$F = ma \quad (1-12)$$

物体受地球吸引的力量，叫做重力。物体在作自由落体运动时就是在重力作用下进行的，设物体的质量为 m ，自由落体时的重力加速度为 g ，那么物体受地球的作用力为：

$$G = mg \quad (1-13)$$

这个力就是重力，也就是物体的重量。

力的单位是根据上述公式导出来的，如果 1 公斤质量的物体在力的作用下，产生 1 米/秒²的加速度，该力的大小定为 1 牛顿。在工程实用单位中，以使 1 公斤质量的物体产生 9.8 米/秒²加速度的作用力定为 1 公斤力，故：

$$1 \text{ 公斤力} = 9.8 \text{ 牛顿}$$

当一个物体在另一个物体表面上滑动或有滑动趋势时，在两个物体接触面上就会产生阻碍物体相对滑动的力，这种力叫摩擦力。摩擦力的方向总是沿着接触面的切线方向，与物体运动的方向（或运动趋势）相反。由于物体运动时有摩擦力的存在，要运动就必须克服这种阻力，因而要消耗能量。水流运动时水流与边壁之间、水流内部这一层与另一层、分子质点之间