

农村小型水电站训练班

水 工 讲 义

福建省水利电力厅水电训练班编

水利电力出版社



內 容 提 要

本書內容精簡、實用，比較系統地論述了農村小型水電站水工部分的設計和施工。本着理論與實際緊密結合的精神，第一章首先介紹了水工建築物和水輪機的一般知識，第二章着重指出了水電站的查勘和各種資料的調查，第三章專門論述了引水建築物，第四、五兩章分別介紹了低、中水頭水電站的情況。

本書敘述的特点是淺顯易懂，沒有高深的理論和複雜的計算公式，因此非常適合作為農村短期訓練班的講義，同時也可作為農村水電技術人員的參考用書。

農村小型水電站訓練班

水 工 講 義

福建省水利電力廳水電訓練班編

*

1198S312

水利電力出版社出版(北京西郊科學路二里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

850×1168 1/32開本*2 $\frac{1}{8}$ 印張*53千字

1958年9月北京第1版

1958年9月北京第1次印刷(0001—26,000冊)

統一書號: T15143·167 定價(第9類)0.38元

前 言

“苏維埃政权加电气化就是共产主义”。

——列 宁

我省工农业大跃进中，掀起了农村水电建設的高潮，不少地区数以百計地建設农村水电站，因而技术很感缺乏，为此水利电力厅领导交給我們为各地培訓千名初級水电技术員的光榮任务。这本講义就是为这批學員而編写的。我們考虑到學員是初中毕业以上的文化程度，時間短促等条件，因此我們是根据通俗易懂，多講实用不講理論，設計采用“定型設計”等原則而編写的。但因編写時間仓促，加上我們水平不高，經驗缺乏，講义內容將有不少缺点和錯誤，希讀者原諒和指正。

福建省水利电力厅水电訓練班

1958年5月于永春

目 录

前言

第一章 基本知識

一、水能利用方式	(5)
1. 水电站的水头, 流量及容量	(5)
2. 水电站布置的基本型式	(6)
二、水电站依水头的分类	(9)
三、低水头引水式水电站的主要建筑物	(9)
1. 攔河壩及进水口	(9)
2. 引水渠道	(9)
3. 泄水閘	(9)
4. 导水槽	(9)
5. 攔污柵	(10)
6. 水輪机室	(10)
7. 尾水管	(10)
8. 尾水渠	(10)
9. 厂房	(10)
四、中水头水电站的主要建筑物	(10)
1. 引水渠道及渠首建筑物	(10)
2. 前池	(10)
3. 压力管道	(10)
4. 厂房	(11)
五、水輪机的分类	(11)
1. 反击式水輪机	(11)
2. 冲击式水輪机	(12)

第二章 查 勘

一、自然資料的調查	(13)
1. 地形資料	(13)
2. 地質資料	(13)

3. 水文資料	(13)
4. 气象資料	(24)
二、社会經濟調查	(24)
1. 負荷調查	(24)
2. 經濟和勞力調查	(24)
3. 交通運輸的調查	(24)
三、查勘步驟与注意事項	(24)

第三章 引水建築物

一、滾水壩	(25)
1. 概說	(25)
2. 壩址的查勘	(26)
3. 壩身斷面的決定	(27)
4. 護岸坦水	(28)
5. 施工概要	(30)
二、渠道	(34)
1. 渠道進水口的布置	(34)
2. 渠道路線的選擇	(35)
3. 渠道縱坡(坡降)的確定	(35)
4. 渠道斷面的確定	(36)
5. 興建渠道工程的步驟	(36)
三、水閘	(41)
1. 概說	(41)
2. 閘孔的決定	(42)
3. 閘牆和翼牆的決定	(43)
4. 閘底的決定	(44)
5. 閘門尺寸	(46)
6. 施工概要	(46)

第四章 低水頭水電站

一、水輪機選擇	(50)
二、導水槽	(50)
三、攔污柵	(51)
四、水輪機室	(51)
1. 水輪機室的決定	(51)

2. 水輪機室結構尺寸	(55)
五、尾水管	(55)
六、施工概要	(57)

第五章 中水頭水電站

一、水輪機選擇	(58)
二、前池	(59)
三、木管	(60)
四、固定台	(68)
五、木管施工	(68)

第一章 基本知識

一、水能利用方式

水力发电就是把天然河流的水能变为电能，来供給人們的使用。

为了利用河流的能量，必須在建設水电站的地点造成一个集中的落差，即是說要在水电站的上下游构成水位差。水从上游水位的高处落下通过水輪机即产生机械功，并通过传动設備传动給发电机而轉变成电能，再通过輸电綫路将电能送給各需电部門及用戶，以滿足人民各种各样的需要。

1. 水电站的水头，流量及容量

水流能量的大小决定于两个因素，即水头（或落差，即电站上下游水位差）与流量，水头愈大，流量愈大，則水流的能量愈大。水流所作的功等于水的重量和落差的乘积：

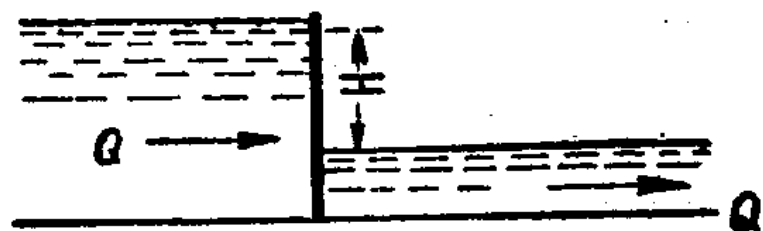


图1 水头之集中

$$P = rQHt = 1000QHt \quad (\text{公斤-公尺})$$

式中： Q ——流量（公方/秒）；

H ——水头（公尺）；

r ——單位体积水的重量（公斤/立方公尺）。

功率：即单位時間內所作之功，其單位为：

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 公斤-公尺/秒} = 0.736 \text{ 瓩}$$

$$1 \text{ 瓩} = 102 \text{ 公斤-公尺/秒} = 1.36 \text{ 馬力}$$

因此，水流的理論功率为：

$$N_p = 1000QH \text{ 公斤-公尺/秒} = 13.33QH \text{ 馬力} = 9.81QH \text{ 瓩}$$

水流的有效功率（也称出力）較水流的理論功率为小，因为在各种引水建筑物、水輪机、发电机及传动設備上面，都不可避免地有能量損失。在小型水力发电机组設備中，以上各种損失的总

和約佔全部功率的 30至40% (此百分数的大小, 随水电站的土木工程、水輪机及传动設備的完善程度而定)。因此, 小型水电站实际上一般只能利用水流的理論功率的65%左右。这个实际能利用的功率就叫做有效功率。

$$N = \eta N_p = 9.81 \eta QH \text{ 瓩} = 9.81 \times 0.65 QH = 0.5QH \text{ 瓩}$$

如用木制旋槳式水輪机, 其效率約为75%, 用半交叉皮帶传动, 传动效率为95%。安裝小容量发电机, 发电机效率为86%, 則有效功率,

$$N = 0.75 \times 0.95 \times 0.86 N_p = 6QH \text{ 瓩}$$

2. 水电站佈置的基本型式

为了取得集中水头进行发电, 水电站有以下几种基本布置型式:

堤壩式 整个水头以壩来构成, 如图2所示。为了利用AB河段的落差 H_0 , 在B点筑一壩, 将水位抬高到使其所构成的迴水达到A点为止。这时可利用的水头 H 将比 H_0 小些, 因为AB河段迴水有坡降。在水壩上游所形成的水庫同时作为水量調节之用。

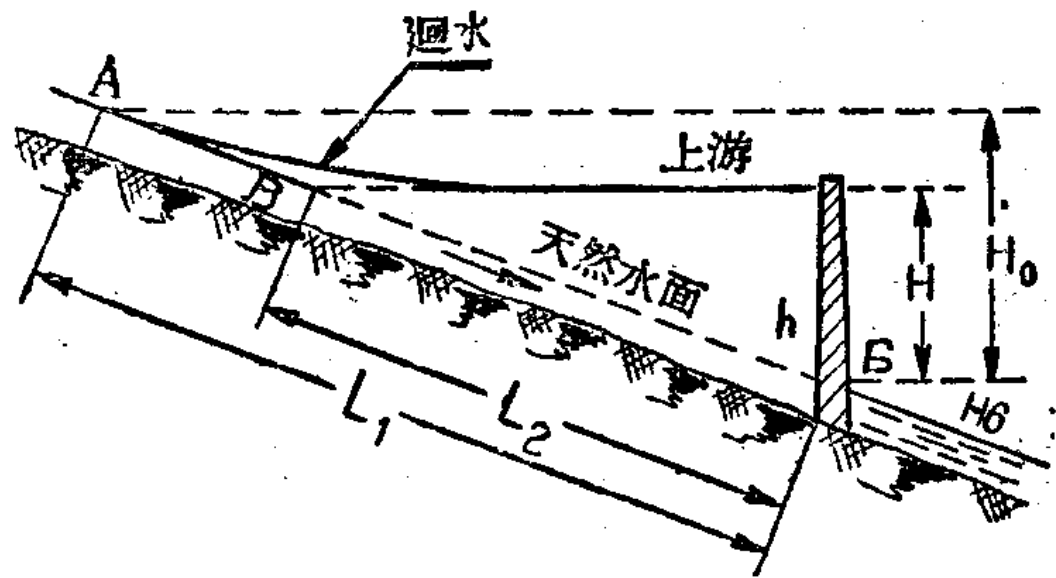


图2 借壩構成水头

堤壩式电站有这些种主要型式:

(1) 电站之厂房与壩并列, 成为壩的延长部分。这种布置的电站厂房須受水压力, 其构造应特別堅固。

(2) 电站之厂房建在壩的后面, 而引入电站的水用短的导管引入水輪机。

(3) 壩內式电站, 厂房位于壩內。

以上三种厂房布置, 目前在我省农村小型电站中都沒有采用, 因为造价昂貴, 技术性較复杂。

(4) 电站厂房建在绕过坝端短的引水渠道上，在这种情况下坝和电站是分离开来。

引水式 在坡度（落差）很大的河流上，为要构成所需要的水头，一般采用下述方法。将水从河流的A点用远较河床坡度为小的小坡度渠道引水。因此在渠道末端B点的水位远较天然河床B点的水位为高。结果就得到集中的水头，以供电厂水轮机之用（见图3）。为了使水更好的流入渠道，可在河上建一低坝，并在渠道首部建一进水口。

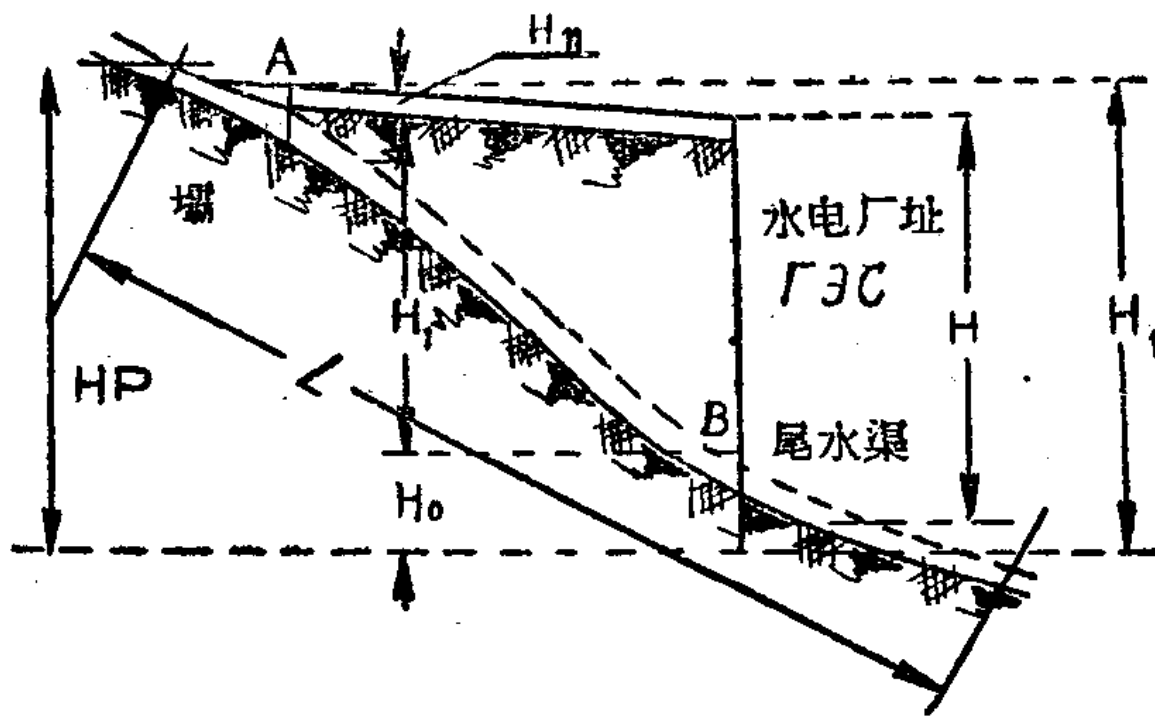


图3 渠道式水电站的水头计算图

利用渠道引水而得到集中水头的电站，叫引水式电站。

因地形条件和所采用的工程布置原则不同，渠道式电站有下列数种典型的布置形式：

(1) 具有大落差的河弯，采用截弯取直的方法得到集中水头，如图4所示。

(2) 在急滩或天然跌水河段，沿河开渠而取得集中落差，如图5所示。

(3) 利用灌溉渠道上的跌水，如图6所示。

(4) 在水位不同的两邻近河流之间，可由高水位河流引一定流量至低水位河流，而获得集中水头，如图7所示。

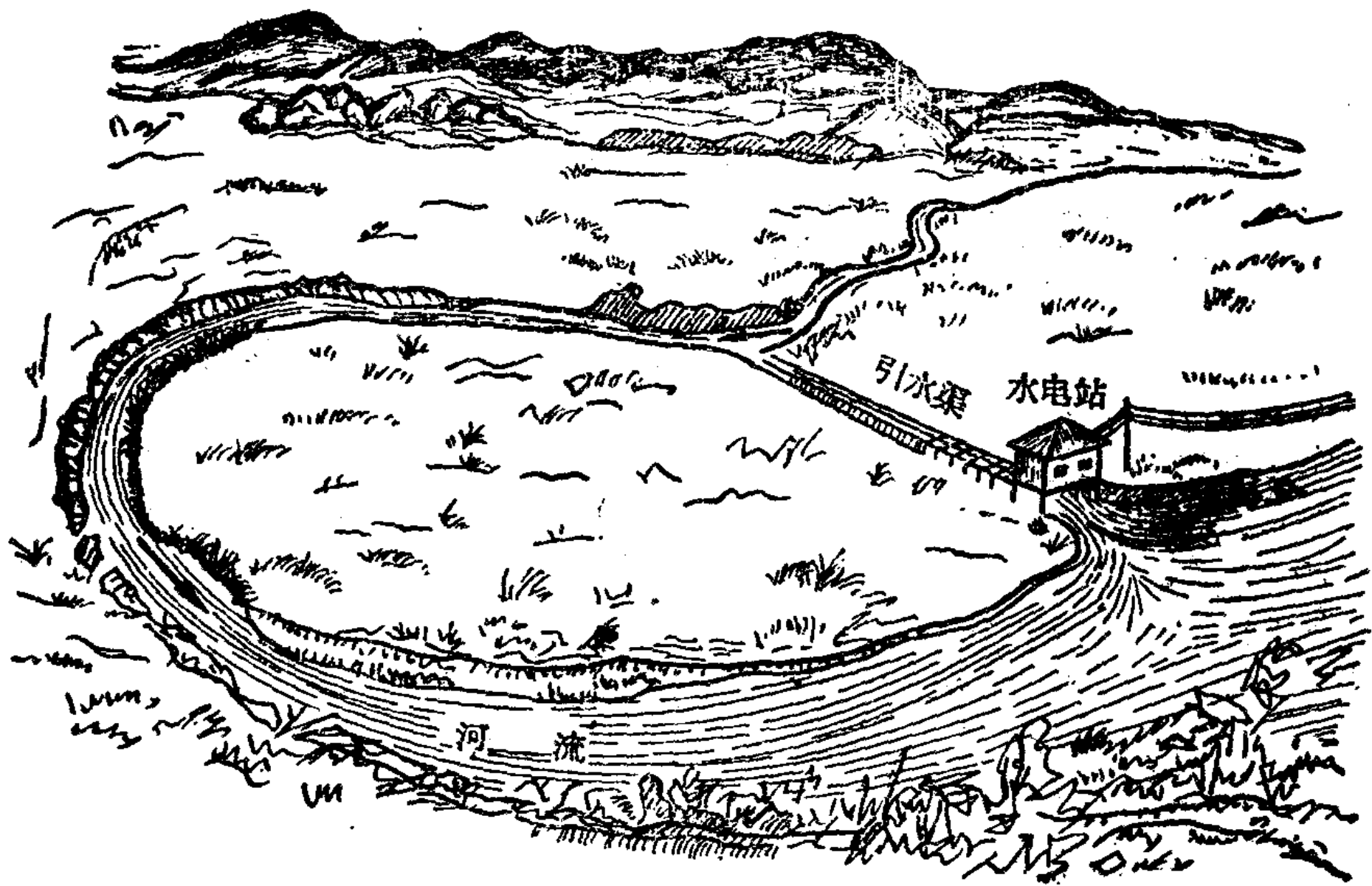


图4 利用河弯造成水头

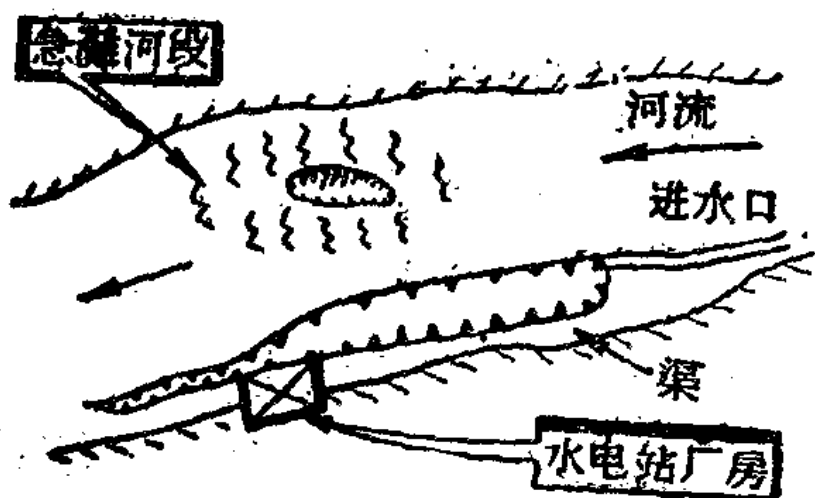


图5 利用急滩河段的渠道式水电站

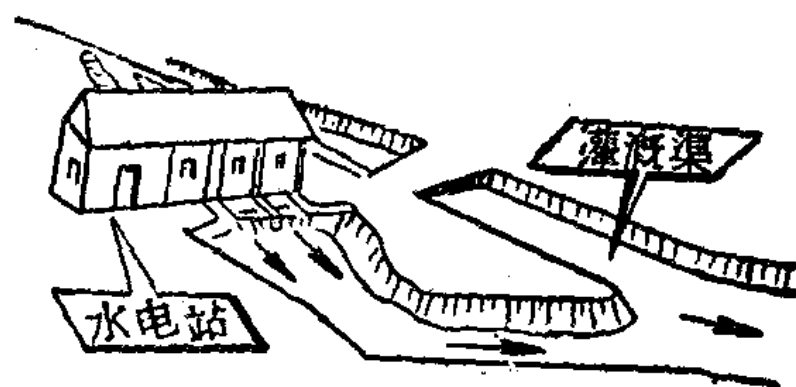


图6 灌溉渠上的渠道式水电站



图7 利用相邻的两条河流的水位差造成水头

过去几年我們比較普遍採用的开发方式，是利用渠道跌水，改緩原有渠道坡度取得水头。这些方式可以大大減少水工建筑物的投資，而降低造价。

壩渠混合式 有时为了調节水量，常在引水式电站进水口处建壩，一方面蓄水調节流量，一方面抬高上游水位。这时电站的工作水头將由壩的抬高水位与引水渠道兩部分所构成。这样的电站布置叫做壩渠混合式电站。这种型式在农村小水电站中也常常被采用。

二、水电站依水头的分类

水电站一般依水头分为低水头、中水头及高水头水电站。目前我省在小型水电站中一般是这样划分的：

水头6—8公尺以下为低水头电站，这种电站一般要安裝鉄制或木制旋槳式水輪机，水輪机室采用明槽露坑。

水头8—25公尺的为中水头电站，这样电站一般用压力管道輸水，采用法兰西斯式、双击式或戽斗式水輪机。

水头25公尺以上的称高水头水电站。

目前我省的电站一般都是低、中水头的水电站。

三、低水头引水式水电站的主要建筑物

1. 拦河壩及进水口。

为了引水入渠道，常需在河道中筑壩抬高水位。有时壩上所蓄的水也兼作調节之用。为了防止洪水进入渠道，常在渠首修建进水閘。

2. 引水渠道。

3. 泄水閘。

在水輪机室上游建一洩水閘，以便在水輪机停机或在小負荷情况下运轉时洩出多余的流量。

4. 导水槽。

位于引水渠和水輪机室之間，其作用是以最小的水头損失將

引水渠中的水平穩地导入水輪机室內。

5. 拦污柵。

位于导水槽閘門前，以拦阻杂物进入水輪机。农村小型水电站中，常以小竹条或小圓木条制成。

6. 水輪机室。

水輪机安裝在水輪机室中，低水头水电站水輪机室采用露坑，可以做成矩形及蝸壳形。

7. 尾水管。

尾水管是反击式水輪机过水部分不可缺少的部件，其功用是使水流自水輪机中排至下游損失最小。为了这个目的尾水管制成圓錐形的，其出口断面大大超过进口断面，因此出口流速的能量損失縮至最小。

8. 尾水渠。

由水輪机尾水管流出的水經尾水渠流回河道。尾水渠一般宜做得寬淺些，这样可減少水下挖方。

9. 厂房。

水电站厂房內，一般包括这几种机电設備：

水輪机——水輪机及調速器。

传动設備——皮帶輪、皮帶和传动軸。

发电机——交流发电机和直流励磁机。

配电盘——交流电流表、交流电压表、磁場变阻器、三相閘刀开关和熔断器等。

加工設備。

四、中水头水电站的主要建筑物

1. 引水渠道及渠首建筑物。

2. 前池。連結引水渠与压力管道，在前池中安有拦污柵和管道进口閘門等。

3. 压力管道。將水由渠道中引至水輪机需通过压力水管，压力水管有鋼管、鋼筋混凝土管及木管等。在目前的情况下，小型

水电站一般都采用木質压力管道。木質压力管道可由松木或杉木片用鉄箍箍成。木質压力管道安装在木質或砌石中間支台上，在轉变处加設固定台，以固定管道。

4. 厂房及尾水渠道等均与低水头电站相同。

五、水輪机的分类

水輪机分为冲击式与反击式两大类。將兩类各种型式簡述如下，

1. 反击式水輪机：

(1) 旋槳式水輪机。在低水头 6—8 公尺以下小型电站中，一般都用旋槳式水輪机。旋槳式水輪机有木制及鉄制两种。这种水輪的轉輪(螺旋槳)是由嵌有固定輪叶的輪壳制成。

旋槳式水輪机有很高的比速，一般 $N_s = 500—800$ 轉/分(木制旋槳式水輪机比速較低，常在 400—600 轉/分左右)，适用于水头低而水量大的地方。鉄制小型旋槳式水輪机最高效率可达 80% 以上，木制旋槳水輪机最高效率可达 75%。但一般效率只有 60% 左右。旋槳式水輪机的工作特性，表明它的效率在正常負荷的 85% 时为最高。水輪机在別的負荷运轉时，效率显著下降。因此，只有在水量及水头固定的情况下，才能得到較高的效率。

(2) 卡普藍水輪机。卡普藍水輪机与旋槳式水輪机所不同的，就是卡普兰水輪机的輪叶能够繞軸轉动，以适应負荷的变化。因而这种水輪机在水头和負荷变化时，仍有較高的效率。但由于輪叶能随負荷变动而轉动，因而結構比旋槳式复杂，一般用于大型电站中。

(3) 卡普兰-托曼型水輪机。該型水輪机系簡化的卡普兰水輪机，其輪叶有几个固定的轉动位置，并需停机后才能調換。在小型水电站中，当轉輪直徑大于 60 公分时，常用此种型式，因其效率較旋槳式为高。

(4) 法兰西斯水輪机(又称軸向輻流式水輪机)。該水輪机也和旋槳式水輪机一样，具有固定的叶片。轉輪範圍內的水流方向

由輻射方向变为軸向方向。

法兰西斯水輪机有着較大的适用范围。在小型水电站中，水头 6 公尺以上即常用該型水輪机。在大型水輪机中，它适用于水头 25—250 公尺。法兰西斯水輪机的比轉速較低，一般 $N_s = 50—500$ 轉/分，它的工作效率随負荷的变化較旋槳式平緩。因此它可以适用較大的負荷变动范围。

法兰西斯水輪机裝置形式有明槽露坑，适用于水头 6—8 公尺以下，6—25 公尺采用壳式正面进水，25 公尺以上一般用蝸壳形式。

2. 冲击式水輪机：

水流自噴嘴自由射出时仅作用在一部分輪叶上。自噴嘴算起的有效水头除射流时損失部分水头外，全部变为动能，射流对輪叶作用力仅是由于流向改变所产生的。冲击式水輪机主要的有兩種。

(1) 別利通式(戽斗式)。在大型水电站中，該型水輪机适用于 200 公尺以上的水头，在小型水电站中可用于几十公尺水头而流量較小的电站中。在容量特別小的情况下戽斗也可以用木制。戽斗式水輪机比轉速在單噴嘴情况下 $N_s = 2—30$ 轉/分，在多噴嘴情况下可达 $N_s = 60$ 轉/分。戽斗式水輪机有着較平穩的效率，在很少負荷时，也几乎保持 80% 以上的效率。

(2) 班克式(双击式)。因其水冲进水輪机轉子以后被利用兩次才泄入尾水渠，所以叫做兩击式水輪机。

兩击式水輪机的特性轉速 $N_s = 30—150$ 轉/分，是介乎輻流式水輪机与戽斗式水輪机之間而适用于小型水电站的一种水輪机。它适用于 6—60 公尺水头，出力 10—130 瓩。在水头小于 6 公尺及出力較小时也可采用。

兩击式水輪机依轉子直徑分为四种型式：A 型轉子直徑 22 公分，B 型轉子直徑 45 公分，C 型轉子直徑 62 公分，D 型轉子直徑 80 公分。每种型式又可以做成不同寬度，同时还有單轉子及双轉子之分。

第二章 查 勘

一、自然資料的調查

1. 地形資料

(1) 1:10,000—50,000的建築物區域的地形圖。建築區域地形圖的範圍包括農村水電站供電所涉及的地區和水電站的水工建築物分布地區。(2) 1:500的建築物附近地形圖。這一種圖紙，要足夠供各個水工建築物，如引水口，渠道，廠房等的選擇比較之用。

在比較小的電站或條件不可能時，可以不測這些地形圖，而只測建築物的縱橫斷面，以便計算這些建築物的工作數量。

2. 地質資料

應了解廠址，渠道，管道廠房等建築物的土質情況，在這方面可以開挖一些試坑，或了解原有附近建築物的基礎情況。小型電站對地質條件要求不高，但也應儘量選擇較優的地質條件。這樣一方面保證了工程質量，也可以保證施工的順利，避免被動。

3. 水文資料

水文資料是小型電站查勘中最主要的資料，因為電站的容量大小主要決定於流量和水頭。因此，我們對水文資料的收集應特別重視，在有水文站的地區有關的資料可以向水文站索取，但一般小溪河都缺乏實測的資料，因此在小型電站中收集水文資料最為困難。

在目前我們興建的小型電站中應收集這些水文資料：

(1) 洪水位——洪水位可以向老農調查，另一方面也可以察看洪水痕迹來確定，如屋牆上和岩石上的痕迹以及樹梢上懸挂的雜草、樹枝等，均可判定出最高洪水位。洪水位是引水渠首部防洪設備及廠房地面高程的確定依據。在必要的情况下還需要確定洪水流量。

(2) 枯水位和枯水流量，及相应的水头。

(3) 经常的水位流量及相应的水头。

在流量测定方面用以下几种方法：

1. 浮标法

河中的流量就是每秒鐘通过河中任一断面的水量，它可由河道的过水断面及平均流速求得：

$$Q = \omega \cdot V_{cp}, \text{ 立方公尺/秒。}$$

Q ——流量，立方公尺/秒；

ω ——河道的过水断面，平方公尺；

V_{cp} ——平均流速，公尺/秒。

ω 、 V_{cp} 均可直接测得。

测定河流流速时，需选择比较直而宽，且深度都没有很大变化的河段。这一段的长度应当比河流宽度的3—4倍还大些。

在这一河段上布置1、2和3三个施测断面(图8)。其中第二个(中间的)是主要的，而其余两个是辅助的。用木桩在河岸上把施测面标志出来，主施测面和两辅助施测面之间的距离应当等于河岸宽度的1—2倍。

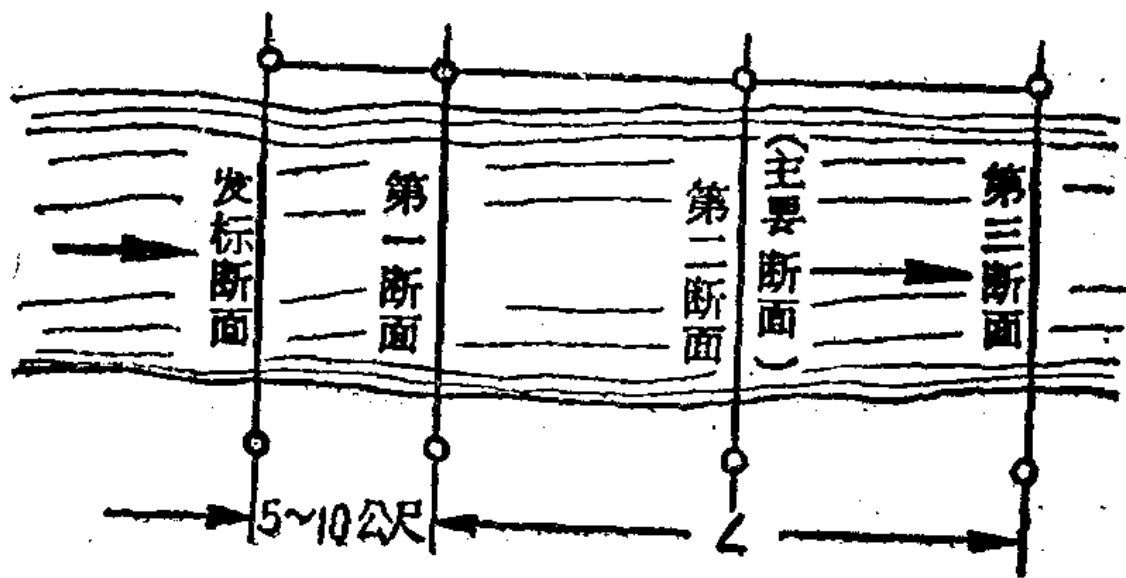


图8 用浮标法测量流速时施测断面的布置

距离上游辅助施测面5—10公尺处再找出一个所谓“发标施测面”。后者与上游施测面间的距离，应当选择得使浮标通过上游主施测面时已能与河中水流速度相一致。在布置并标定各施测面之后，就在主施测面上进行深度测量。跨越河床紧紧地拉一条铁丝或绳。绳上每隔2—5公尺(视河流宽度而定)作一带色记号或系一细绳。

就在这点上量测河流的深度(图9)。量测深度最好用直径4—6

公分，長5—6公尺的木杆。杆上涂以白漆，每隔一公分或每隔五公分画一紅綫。数字用黑漆标明。

根据在各点上所測得的深度画出河底綫并求出河流断面积。

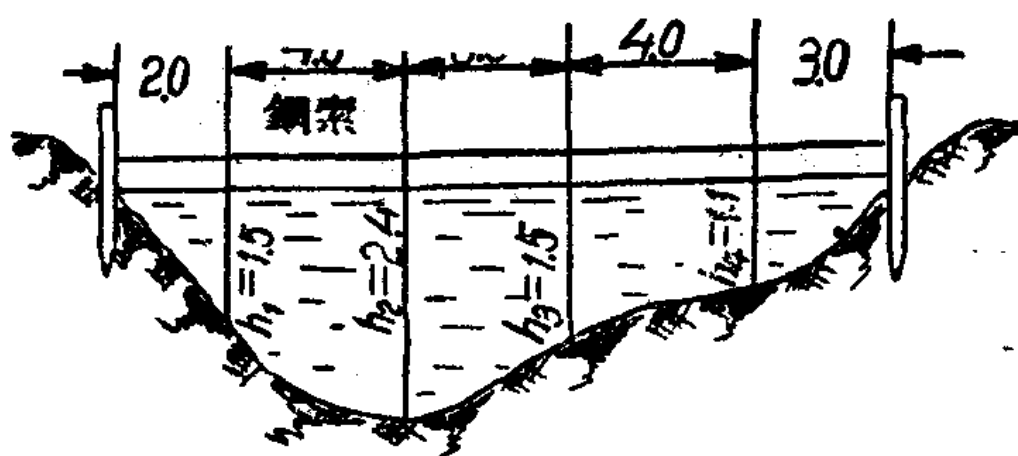


图9 河流断面和深度的測定

因为河流断面的形狀是不規則的，所以在計算它的面积时就把每个組成部分的面积相加而得，或是用适当的等积的几何图形（長方形、三角形、梯形）来代替断面而計算。

潤周 X 是圍繞河床横断面积浸水部分的折綫的長度。

横断面积与潤周的比叫做水力半徑，在初步計算中可以取作

$$R = \frac{\omega}{X},$$

$$R = h_{cp},$$

式中 h_{cp} ——河流平均深度。

用浮标法測定流速应当根据水流的特性进行。在流速甚大而寬度不及20公尺的小河流上，为得到整个水流的平均流速，仅仅可能測量最大表面速度。为此須將5—10个浮标投于发标断面的河流中心。如果河流流速甚小，則須在河流寬度上从几个地方測定流速。

浮标可以制成圓木形，直徑10—15公分，厚2—5公分，或使用10×15公分的木板。浮标或从船上投出或从岸上投出。浮标通过1和3兩断面时，发出信号，并用秒表或鐘上秒針量計時間。这项工作应当无风的天气进行。

浮标在水面上的运行速度用下式求之

$$V = \frac{L}{T}$$