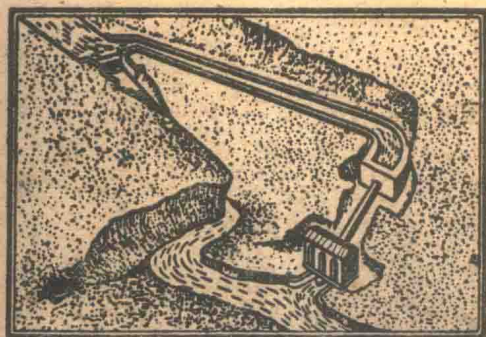


农村小型水电站讲义

上 卷

第一分册

水利部北京勘测设计院水电组 编



水利电力出版社

农村小型水电站讲义

上 卷

第一分册

水利部北京勘测设计院水电组 編

水利电力出版社

內 容 提 要

本講義是为适应日益开展的农村水电建設而編制的。

本講義共分上、中、下三卷，上卷为水工部分，中卷为电气部分，下卷为机械部分。

上卷共 13 章，分为两个分册出版，第一章至第五章为第一分册，第六章至第十三章为第二分册。

第一分册的主要内容是：水能利用的基本知識，农村水电站設計中的水文工作，逕流調节，水电站的裝机容量和机組数目的选择，水电站的引水建筑物，压力前池等。書中附有必需的公式、圖表和曲綫。

讀者对象为各省所办农村水电站訓練班的學員，中等水利学校非水能利用專業的畢業生或与此程度相当的人員。

农村小型水电站講義

上 卷 （第一分册）

水利部北京勘测設計院水电組 編

*

10818269

水利电力出版社出版（北京西郊科学第二臥落）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 7 $\frac{1}{2}$ 印張 * 150千字 * 定价（第9类）0.80元

1958年7月北京第1版

1958年7月北京第1次印刷（0001—15,100册）

前 言

我們的国家在中国共产党的领导下已經胜利地完成了第一个五年計劃。在这短短的五年里，我国的工农业生产获得了空前未有的发展，人民的生活水平也正在逐年提高，甚至連最反动的资本主义国家也不得不承認，我国的工农业发展速度是惊人的。例如，在第一个五年計劃里，我国电站的年发电量已从72.6亿度增加到了190.3亿度。但是由于我国过去长期遭受帝国主义和反动派的压迫与統治，所以国家穷、基础弱，我国的工农业生产还远远地落后于世界上各先进资本主义国家；例如，英国的年发电量到1956年就已經达到了870亿度。为了迅速地改变我們国家的落后面貌，党和政府提出了要在15年，或者更短的时间內，在主要的工业产品产量方面赶上和超过英国的奋斗目标。这是一項光榮而艰巨的任务。自从党中央在1957年提出了1956~1967年全国农业发展綱要(修正草案)和以重工业为主、实行工农业並举的建設方針以后，在全国掀起了一个农田水利高潮和农业生产的大跃进，农村劳动力日感不足，农业生产的电气化和机械化已提到日程上来了。

改造农业，使农业走上現代化的道路，仍然是一个极为艰巨的任务。列宁在論粮食稅一書中制定了改造农业的順序，就是“个体农民——集体农民——电气化”。現在我国农民已經走上了合作化的道路，农业电气化也是我們发展的方向，将来我們也要在农村中使用电力，把农业轉移到新的技术基础上来，它不但使我們能获得巨大的经济效益，使农民从沉重的体力劳动中解放出来，而且还能空前地提高农民的文化，使他們能听广播、看电影、学文化。

农业用电的主要来源有：1)現有工业电网的高压輸电綫，由此把电接向农业用电戶；2)建設在中、小河流上为农业服务的农村水电站；3)使用当地燃料(煤、天然气、沼氣、石油、泥炭、木柴等)的火力发电站。虽然利用风力的可能性很大，但由于风的多变性，故暂时还很少利用。

由于我国有取之不尽、用之不竭的水能資源，据估計，全国水能

蘊藏量达 5.4 亿瓩，同时，利用水力来发电，不論在經濟上或运轉管理上都是最优越的，因而中央提出了今后发展电力事业的主要方向，是以水力发电为主；在农业电气化方面，无疑地也是如此。

我国在第一个五年计划末，全国农村水电站的总容量只有 20 324 瓩，而电站的平均容量也只有 37 瓩，所以这些大多是最小型的农村水电站，但是即使是这些最小型的农村水电站，也已经給农民带来了好处，通过这一段工作还培养了一定数量的专业干部，积累了一定的經驗，对我国农业的社会主义改造与社会主义建設，也起了积极的作用。在目前条件下，中央按大、中、小型工程相結合，而在地方的建設以小型为主的方針，依靠群众的力量兴建一些小型的水电站及水力站以满足群众的迫切需要，仍是必要的。

要实现国家的农业电气化，必須先編制好地方的和全国的农业电气化规划，这是苏联一項极为重要而宝贵的經驗。編制好了的全国农业电气化规划，乃是实行全国农业电气化和农村电站建設的最根本的文件。根据这个文件，就能事先确定农业电气化的发展方向，工程的修建程序，所需的设备数量、建設資金和干部等，使我国的农业电气化事业能有计划、有步骤地开展。

同时，在編制农业电气化规划以前，还必须編制中、小河流的水能利用规划。

我們編写这本“农村小型水电站讲义”的目的，一方面是为了給今后各省主办的水电訓練班提供教材，另一方面是給农村水电站建設工作崗位上的同志們提供參考資料。本讲义的編写对象是中等水利学校非水能利用专业毕业的学生或与此程度相当的人員。由于考虑到他們对于普通的水工建筑物和电工学有了一定的了解，因此在本讲义中不包括这两方面的內容，而只專門討論为农村水电站所特有的建筑物及机械电气设备。使用本讲义的訓練班，可根据學員的具体情况，适当地增減一些材料。

参加本讲义編写工作的同志都缺乏实际的工作經驗，理論水平也很低，加以編写的時間又很短促，特别是沒有反映出今年初生产大跃进以后，农村水电蓬勃发展中所积累的經驗及新提出的問題，所以讲义中一定会存在着很多錯誤和缺点，希望使用本讲义的同志們，毫不客气地把发现的錯誤和缺点写信告訴我們，以便在再版中进行修改。

目 录

前言

第一章 概論	5
§1. 水力发电的物理基础，水流的功率	5
§2. 水电站的定义	7
§3. 水电站的两个水能要素——水头和流量	8
§4. 集中落差的方法	8
§5. 水电站的基本类型，各类型水电站所包括的建筑物及其布置	12
§6. 水电站的负荷图、年发电量及装机容量的年利用小时数	22
§7. 水电站的年运转费及电能成本	25
§8. 水电站的其他主要经济指标	27
第二章 农村水电站设计中的水文工作	30
§9. 河流的水文情况对农村水电站的影响	30
§10. 水文分析的内容	31
§11. 分配曲线及保证率曲线	33
§12. 有观测资料时各种不同保证率的最大流量的计算	38
§13. 没有水文资料时最大流量的计算	40
§14. 设计流量的决定	45
§15. 流域相似原理的应用	49
§16. 等值线图的应用	52
§17. 水位流量关系曲线的绘制	55
§18. 水库淤积的计算	62
第三章 逆流调节及水电站的装机容量和机组数目的选择	63
§19. 逆流调节的意义及其基本类型	63
§20. 进行逆流调节计算所需的资料	65
§21. 水量累积曲线	68
§22. 利用累积曲线进行逆流调节计算（逆流调节计算的图解法）	71
§23. 用列表法计算水库的调节容积	75
§24. 水库的工作深度及日调节的限制	76
✓ §25. 水电站的水头	77
· §26. 孤立运转的有日调节和无日调节的水电站的装机容量的选择	79
· §27. 几个电站联合供电时水电站装机容量的选择	82

、 §28. 水电站机组数目的选择	88
第四章 水电站的引水建筑物	91
§29. 引水建筑物的功用及其类型	91
§30. 取水口的設計	92
§31. 引水渠道的設計	122
§32. 渠道上的附屬建筑物	142
第五章 压力前池	154
§33. 压力前池的作用和对它的一般要求	154
§34. 压力前池的組成部分	155
§35. 压力前池的设备	168
§36. 压力前池的位置及布置方式	178
§37. 压力前池的水力学計算	179

农村小型水电站讲义

上卷第二分册要目

第六章	压力水管总論
第七章	压力鋼管設計
第八章	木質压力水管設計
第九章	鋼筋混凝土管設計
第十章	水电站的厂房
第十一章	查勘的任务和目的
第十二章	查勘前的准备工作
第十三章	勘测的具体方法

第一章 概 論

§1. 水力发电的物理基础, 水流的功率

在物理学中我們对于“功”和“能”这两个概念已經有了比較清楚的了解,“功”和“能”之間的轉換以及各种形式的“能”之間的轉換也是我們所熟知的事情,这就使得我們有可能很容易地理解水力发电的物理基础。

我們知道,当把一个重的物体从地面举到一定高度时,我們就因克服重力而作了“功”,而該物体則蓄积了“势能”。所謂“能”,其实就是作“功”的本事。从高处落下来的物体,如果我們有意識地加以利用,即給它創造一定的条件,則它是会作一些对我們有用的“功”的。水力发电就是根据这个道理,利用从高处流下的水来作功(使水輪机轉动)。从“能”的观点来看,就是把水的势能轉变为机械能,再轉变为电能。为了連續不断地获得势能,必須有連續不断的水从高处流下。在一般情况下,河中的水流是能滿足这个条件的。

水流所能作的功可以这样来計算:設在 AB 兩点之間的这一段河里(图1-1),河流的流量等于 Q ,落差等于 H ,則水流在一秒鐘里能作的功等于它的重量和落差的乘积

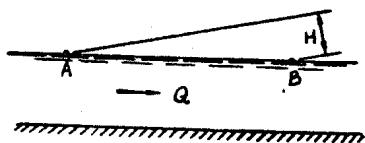


图 1-1 河段的水能

(在物理学中我們已經学过: 功 = 力 $\times$ 受力的物体沿力的方向所移动的距离), 即

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H = 1000QH \text{ 公斤-公尺/秒} \quad (1-1)$$

式中

N ——水流的功率(即每秒鐘里所作的功);

γ ——水的单位体积重, 按1000公斤/立方公尺計;

Q ——河道的流量, 以公方/秒計;

H ——水头, 以公尺計。

在上面这个公式中，我們用公斤-公尺/秒作功率的单位，但在工程上，这个单位用得很少，一般是用“瓩”和“馬力”，它們之間的关系如下：

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

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

順便指出，“馬力”这个单位是不太恰当的，一方面用力来表示功率的本身就有毛病，另一方面，它很容易使人誤解：一馬力等于从一匹馬所能得到的功率；事实上，在連續工作的情况下，一匹馬所能发生的功率只0.4~0.6馬力。因为这个緣故，馬力这个单位也就愈来愈少用了。目前我国电机制造厂的产品，除部分电动机(馬达)尙系用馬力表示其額定容量以外，其余都是用千伏安(KVA)或瓩(KW)来表示額定容量的。

如果在計算水流功率的公式中，用“瓩”和“馬力”来作单位，那么就得到了下面这两个式子：

$$N = \frac{1000}{102} QH = 9.81QH\text{瓩} \quad (1-2)$$

$$N = \frac{1000}{75} QH = 13.33QH\text{馬力} \quad (1-3)$$

按照上面这些公式所算出的功率称为理論功率，即不考虑任何損失时的功率。实际上，在水电站的引水建筑物、水輪机、传动設備、发电机、輸配电設備等都发生着功率的損失，所以理論功率應該乘上总的效率才是我們所能利用的有效功率。

在初步估算各項損失的时候，可以参考下列数字：

1) 水工建筑物中的損失約佔水流功率的3~10%，对于各种不同型式的水电站来講，这一項損失也是互不相同的(引水道式水电站的大于堤坝式水电站的，关于这两种水电站的定义将在以后說明)。

2) 在水輪机中所損失的功率約为水流所传递給它的功率(即其輸入功率)的10~20%(木制水輪机甚至可达到40%)，視水輪机的类型、容量的大小及制造質量而定。

3) 发电机及传动設備中的損失約为5~15%。

4) 电力网、昇压变电站及降压变电站中的损失约为10~20%。

这样，总的损失就达到了30~65%，真正为电力用户所利用的只有35~70%。但通常我們所指的水电站的容量系发电机的输出功率，就是只考虑水工建筑物、水輪机、传动设备及发电机的损失时的功率。在初步决定小型水电站的容量(即发电机所产生的最大出力)时，可采用总效率为60~70%，即

$\eta = \eta_{引水建筑物} \times \eta_{水輪机} \times \eta_{传动设备} \times \eta_{发电机} = 60 \sim 70\%$ 而水电站的容量则为

$$N = 9.81QH\eta_{总} = 9.81(0.60 \sim 0.7)QH_{总} \div (6.0 \sim 7.0)QN_{总}.$$

表 1-1

(1-4)

水輪机与发电机之间的传动型式	A 的数值
1) 水輪机与发电机直接相连(同軸)	7.0
2) 用皮带传动	6.5
3) 用齒輪传动	6.3
4) 經两次传动	6.0

根据一般的机械制造情况来講，水輪机和发电机的容量愈小，其效率愈低，所以对于不同容量的机电设备就应该采用不同的效率值。对于100瓩以下的小型水电站，按公式 $N =$

$6.5QH_{总}$ 計算比較可靠。同时，总效率与传动设备的型式也有关系，如以A代表 9.81η ，则 $N = A \cdot QH$ ，A的数值可近似地按下表(表1-1)选择。

§2. 水电站的定义

有很多人认为水电站所指的只是安装有水輪机、发电机及配电设备等的厂房。显然，这是不正确的，因为水电站是把水能变为电能的工厂，所以，凡是为这一目标服务的建筑物及机械、电气设备就都应该包括在“水电站”这一含义中。准确地說，水电站就是所有为了把水能转变为电能的建筑物及机械、电气设备的总和。在以后我們談到水电站时，就是根据这个定义来說的，而不单单是指它的厂房。

水电站是工厂，它的产品是电能，原料是水能。和其他工厂相比，水电站有一个特点，就是它的产品不能貯存(小規模的蓄电池充电除外)。对于其它的工厂来講，在原料多的时候，可以充分利用其设备能力多生产一些产品，放在仓库里，等到需要的时候再拿出来

用。水电站就不能这样，因为没有贮存电能的仓库，所以也就没有办法在水多的时候多发出一些电能留到水少的时候来用。水电站的这一个特点，提出了一个要求，就是为了保证用电户对于电能的需要，必须控制原料——水能——的供应，这也就是我们在以后所要谈的逕流调节。

§3. 水电站的两个水能要素——水头和流量

在§2中我们说过，水电站是把水能（原料）变为电能（产品）的工厂，表示原料的充足与否的是水流的功率；水流的功率愈大，原料愈充足，生产的电能也就愈多。由公式 $N = 9.81QH$ 可以看出，决定水流功率的大小的是流量 Q 和水头 H ，如果这两者之中有一个接近于零或某一一定的极限，水电站就发不出电来了。因此，可以说，水头和流量是水电站的两个缺一不可的水能要素。

甚么叫做水头呢？水头就是集中起来的落差。

在天然状态下，河流的落差是均匀分佈的或几乎是均匀分佈的（瀑布例外）。这种状态下的水能，除了消耗于冲刷河底河岸及挟带泥沙以外，充其量也只能利用来浮送木材或建造极小的（容量不超过10瓩）自由水流式水电站（即利用水流动能的无坝式水电站），这对于国民经济意义不大。为了较有效地利用水流的能量，就必须在建设水电站的地点造成一个集中的落差，即是说要在水电站的上、下游构成水位差，水从上游水位的高度落下并且通过水轮机时，即能产生机械功，把水轮机带动，然后再经过传动设备，把发电机带动而产生电能。但是要怎样才能把落差集中起来呢？这就是我们下面所要讨论的问题。

§4. 集中落差的方法

用人工方法来集中落差，当然得借助于水工建筑物。一般用来集中水头的建筑物有坝和引水道两种。利用坝来集中落差的方式如图1-2所示；为了集中河流A、B两点间的落差，在B点筑一坝，将水位抬高到使其所构成的壅水达到A点为止。此时，由于在壅水长度内有一

落差 ΔH ，可供利用的水头 H 将比总水头($H + \Delta H$)小些，即小于河流中 A, B 两点之间的水位差， ΔH 的数值即是坝水曲线 AB 长度内的水头损失。

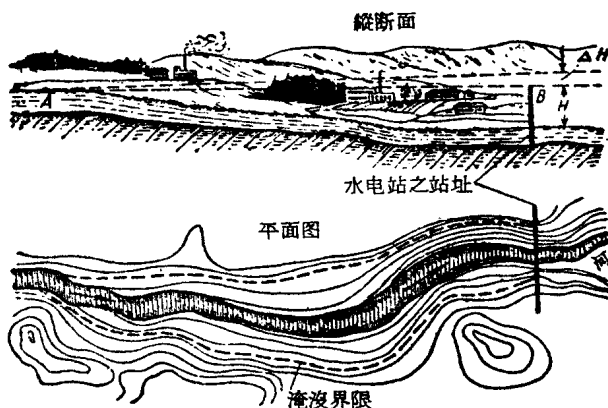


图 1-2 利用坝造成水头的示意图

用坝来造成水头，不可避免地会引起坝上游两岸的淹没。利用坝抬高水位的可能性，一方面取决于上游的地形条件，另一方面取决于淹没面积的价值。两岸的高度很显然应该高出于河流的坝前水位，同时河岸不应该有低洼之处，以免水从这些低洼处溢流出去。如果有低洼处的话，它们就应该用土坝或土堤堵截起来。当两岸不高时，被淹没的土地面积可能会大大增加，因而淹没土地的损失就会提高水电站的造价，以致使水电站显得不经济。淹没村庄市镇、工矿企业及铁路公路等的建筑物所付的代价特别高昂。所以淹没面积的大小及被淹没的对象可能限制利用坝来抬高水位的高度。

利用引水建筑物来集中落差的方式如图 1-3 所示，坝的高度很小，其作用仅在于将水导入引水建筑物，水头基本上是由后者造成的。

引水建筑物之所以能造成水头，是因为它的坡降比天然河流的坡降要小很多的缘故。假定引水渠的坡降是 i_1 ，天然河流的坡降是 i_2 ，水电站厂房及压力前池距进水口的长度(假定此二者相等，并设渠道

系沿河岸而行)为 L , 则造成的水头可按式初步估算,

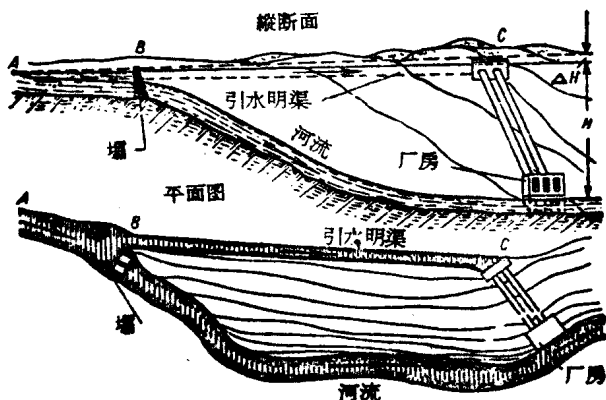


图 1-3 利用引水渠造成水头的示意图

$$H = i_2 L - i_1 L + h = L(i_2 - i_1) + h \quad (1-5)$$

式中 H 是造成的总水头, h 是坝所造成的少量水头。

利用引水建筑物来集中落差时, 进水口处並不一定要筑坝, 有坝时叫有坝引水, 无坝时叫无坝引水。

比較上述两种造成水头的方法以后, 可以得出以下关于两者的优越性及采用它们的条件的結論。

河流的坡降愈大, 采用引水建筑物来造成水头就愈有利, 因为在这种情况下, 可以在一定长度的引水建筑物中得到較大的水头。当河流的坡降小时, 引水道的落差与河流的落差相差很小, 和可供利用的水头相比, 水头损失非常显著。对于这一类坡降很小(差不多与人工渠道的坡降相同)的河流来講, 将水引向与河流平行的渠道中借以构成或多或少的水头是不大可能的, 唯一有利的方法, 有时甚至是唯一可能的方法, 便是建筑足够高的坝。例如建筑在苏联伏尔加河上的德涅泊尔水电站, 它的坝所造成的廻水延伸达100公里, 其有效水头为36公尺, 如果用引水渠来造成这样大的水头, 它的长度就要达100公

①此公式不适用于将河弯取直的引水式电站, 关于将河弯取直的引水式电站造成水头的公式見15。

里左右，同时，这一渠道的大小应该足以通过德涅泊尔河的全部流量（当然，洪水流量除外）。无疑的，坝的造价及淹没面积的价值将大大地小于这一条渠道的造价。这个例子虽然是讲的大水电站，但对于小型水电站来讲也能同样的说明问题。从这个例子还可以得出另一个结论：在水电站引用流量大的情况下，利用引水建筑物来造成水头可能是不经济的。因此，可以说，利用坝来造成水头适用于坡降小、流量大的场合；相反地，在河流的坡降大而可资利用的流量较小时（主要是山区河流），利用引水建筑物来造成水头就有它的优点。一般来讲，利用坝来造成水头主要是在坡降小于0.001的平原河流上，在坡降大于0.003的山区河流上，水头多半是用引水建筑物造成的，而当河流的坡降在0.001~0.003之间时，水头的造成可以用坝也可以用引水建筑物，主要是以经济比较为依据。

如果由于淹没面积太大或地质条件恶劣因而不允许筑高坝，或由于水头很高（几百公尺），因而坝的建造复杂化起来或变成不可能时，也可利用引水建筑物来造成水头。

另一方面，如果坝能形成一个足以进行逕流调节的水库（即把水多时的余水存到水少时来用），则利用坝来造成水头有时是很有利的。因为水量调节所带来的好处（增加发电量及发电能力）能够补偿、有时甚至远远超过因造坝而多花的钱。

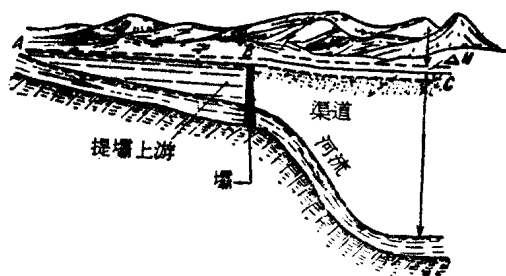


图 1-4 同时利用坝和渠道造成水头

除了上面所讲的单独利用坝和引水建筑物来造成水头的办法以外，有时也同时利用这两者来造成水头。图 1-4 所示者即为此种情况。它具有上述两种办法的优点；坝所形成的水库 AB 可用来调节水量，引水渠道 BC 则能在

不增加坝高的条件下增加水电站的水头。当河流的上游河段只有很小的落差（这对于采用引水道来集中落差是不利的）而下游河段的坡降却

又很大时(如图 1-4 所示),采用这种办法最有利。因为此时上游河段的落差用坝来集中较为合理,尤其是坡降小,就更能保证迴水范围有相当的大,使水库具有足够的容量来进行水量调节。坡度很陡的下游河段当然用引水道来集中落差是最合理的。

§5. 水电站的基本类型,各类型水电站 所包括的建筑物及其布置

根据造成水头的方法的不同,水电站可分为三大类型,即堤坝式水电站、引水道式水电站及混合式水电站。在堤坝式水电站中,水头是由坝所造成;在引水道式水电站中,水头基本上是由引水建筑物所造成;在混合式水电站中水头系由坝和引水建筑物两者造成。

1) 堤坝式水电站 堤坝式水电站又可分为两种,即河床式水电站和坝后式水电站;在河床式水电站中,厂房和拦河坝位于同一断面上,厂房也起挡水的作用,承受水的压力,所以它和一般的工厂厂房不同,需要作得特别结实,同时,在设计时还应保证它在水平推力的

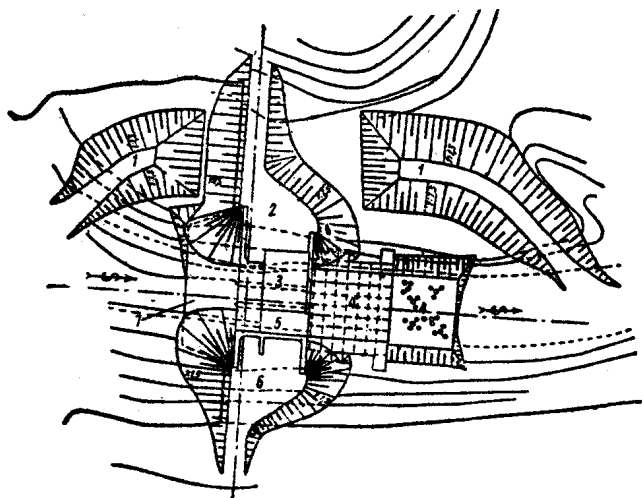


图 1-5 河床式水电站佈置方式之一

- 1—施工期间的导流渠道; 2—左岸土坝; 3—水电站厂房; 4—坝的护坦和海漫;
5—溢洪道; 6—右岸土坝; 7—坝及水电站厂房的铺盖。

作用下不致于傾倒和滑動。對於它的要求和對於壩的要求是一樣的。這種型式的水電站主要是適用於所選定的河床斷面具有足夠的寬度，因而毋須開挖兩岸就可把所有的建築物安插下來的場合。根據水頭和廠址地形條件的不同，在這種水電站的建築物組合中可能包括有壩、廠房和溢洪道，或者只有廠房和溢洪道；它們的佈置形式如圖 1-5 所示。

當所選定的河床斷面不夠寬時，使水電站的廠房和壩之間相交有一個角度(圖 1-6)是合理的，因為這樣可以減少土、石方的開挖量。

如果河流中有小島把整個河斷面分成兩條岔道，則可把水電站的廠房和壩佈置在不同的岔道上(圖 1-7)。從施工方便和宣洩施工期流量的觀點來看，這種佈置形式是非常有利的。

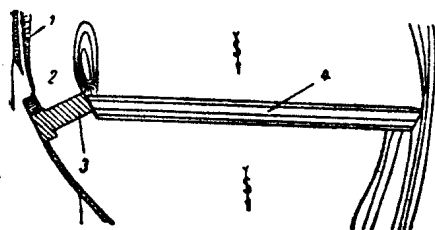


圖 1-6 河床式水電站佈置方式之二
1—導流壩；2—引水渠；3—水電站廠房；
4—溢水壩。

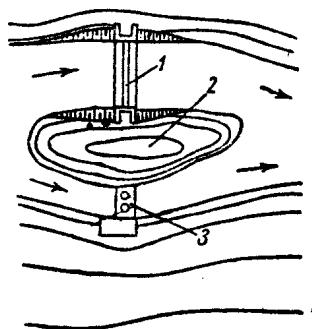


圖 1-7 河床式水電站佈置方式之三
1—壩；2—小島；3—水電站廠房。

如果河床的寬度不夠大，以致要把所有的建築物安置在一個斷面上就需要開挖大量土、石方時，最好是把水電站的廠房佈置在壩的下游，這就是所謂壩後式水電站。在壩後式水電站中，水頭也由壩造成，但廠房不起擋水的作用，水是經由一短的引水道（木槽、鋼筋混凝土槽或壓力水管）引至廠房的。

有時候，河床斷面雖有足夠寬度，但因水頭太高，也不適宜於建造河床式水電站。在大水電站中，以水頭不超過 25 公尺為限，而在農村

小型水电站中，河床式水电站的适用范围更小，一般以水头小于6~10公尺为限，这就是说，当水头小于6公尺时，在技术上和经济上都可考虑采用河床式水电站；当水头在6公尺和10公尺之间时，虽然可以建造河床式水电站，但已经不见得有利了；而当水头超过10公尺时，采用河床式水电站就可能显得不经济了。在这样的

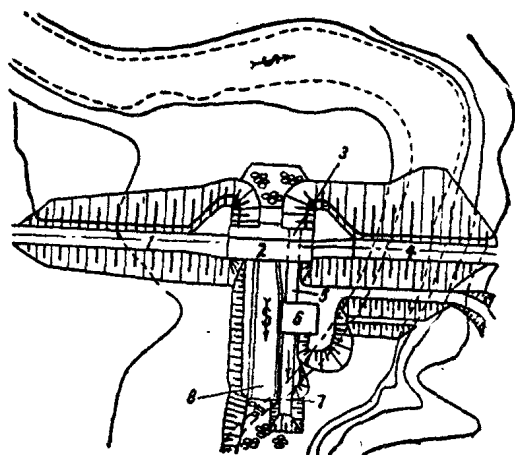


图 1-8 坝后式水电站布置方式之一
1—右岸土坝；2—溢洪道；3—进水口；4—左岸土坝；5—引水槽；6—水电站厂房；7—尾水槽；8—坝的溢流部分。

情况下，也就只能采用坝后式水电站，利用压力水管引水至水轮机。

在坝后式水电站中，厂房可以紧靠在坝的下游，也可以修建在

坝下游较远处的河岸上，而用引水道引水至厂房。后一种情况主要是用于坝下游没有适当的地方可以修建厂房的场合。坝后式水电站的布置如图1-8及图1-9所示。

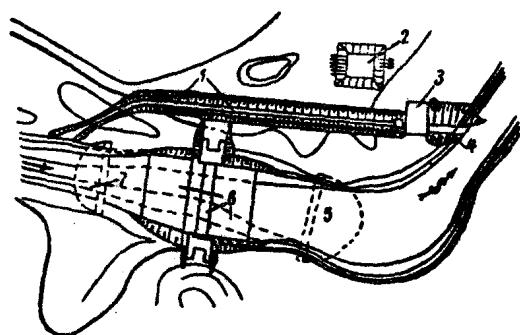


图 1-9 坝后式水电站布置方式之二
1—引水渠；2—露天升压变电站；3—水电站的厂房；4—尾水渠；5—下游圆堰；6—坝；7—上游圆堰。

2) 引水道式水电站 引水道式水电站的水头是由引水建筑物所造成，一般