

农村水电站的规划与设计

上册（水工部分）

安徽省水利电力厅农田水利局編



安徽人民出版社

前 言

我省丘陵山区江河密布，雨水充沛，水力资源十分丰富，其中可供开发中小型农村水电站的资源约达 80~100 万千瓦，电能达 16 亿度。这是我省实现农村电气化极为有利的条件。

几年来，特别是在大跃进以来，我省广大人民在党的领导下，大兴水利，建成了千万处水库、涵闸、渠道等水利工程。与此同时，还掀起了大办水电水力站的高潮，建成了大批水电水力站。这不仅在促进工农业生产方面起了重大作用，而且为进一步利用水能，逐步实现农村电气化创造了良好的条件。

我国钢铁和机械工业的发展极为迅速。在农村，实现了人民公社化以后，社办工业在蓬蓬勃勃地发展起来。为高速度的发展农业生产，促进国民经济的全面跃进，党号召要有计划有步骤地加速实现农业机械化、水利化、电气化。在这一新形势下，各地人民公社对掌握电的知识和技术显得更为迫切。也只有迅速培养大批技术力量，才能适应普遍建站的需要。为此，我们总结了本省已有的建站经验，并参考了有关资料编写了这本书。全书分上下册出版，上册主要写水工部分，下册写机电部分。它可供水电技术干部参考，并可作从事水电业务的基层干部和农民技术员的进修读本。

由于我们水平不高，经验不足，错误之处定所难免，敬请读者批评指正。

安徽省水利电力厅农田水利局

1960·3

目 录

第一章 水力发电的基本知識

- 第一节 水力发电的原理及其意义.....(1)
- 第二节 水流的功率及电能計算.....(1)
 - 一、水流的理論功率.....(1)
 - 二、水流的实际功率.....(2)
 - 三、电能計算.....(4)
- 第三节 农村水力发电站的分类.....(4)
- 第四节 水力发电的两大要素.....(5)

第二章 农村水电站的规划与樞紐布置

- 第一节 水电站的基本开发方式.....(7)
- 第二节 农村水电站的规划与樞紐布置.....(7)
 - 一、一般明渠开敞式水电站.....(7)
 - 二、利用河灣造成水头.....(9)
 - 三、利用相邻两河道的天然落差.....(11)
 - 四、利用河道急滩或天然跌水.....(12)
 - 五、利用天然瀑布.....(13)
 - 六、混合式水电站.....(14)
 - 七、結合涵洞发电.....(22)
 - 八、結合涵閘发电.....(24)
 - 九、結合跌水发电.....(31)
 - 十、水庫电站.....(32)

第三章 农村水电站的厂房布置

- 第一节 进水设备的选择与計算.....(36)
 - 一、导水槽.....(36)
 - 二、压力前池.....(37)

三、压力水管	(39)
第二节 水轮机室类型的选择与主要尺寸的計算	(45)
一、立轴开敞式(明槽式)水轮机室	(45)
二、横轴开敞式水轮机室	(47)
三、半封闭式水轮机室	(49)
四、封闭式水轮机室	(53)
第三节 尾水管的选择及其尺寸的决定	(54)
一、尾水管的作用	(54)
二、汽蚀现象与吸出高程	(54)
三、尾水管的类型及尺寸的决定	(56)
第四节 水电站的厂房	(63)
一、水电站厂房的分类及其主要组成部分	(63)
二、水电站厂房的布置	(74)
第五节 各种传动方式的选择及其距离的决定	(77)

第一章 水力发电的基本知識

第一节 水力发电的原理及其意义

水力发电是利用水的重量或水流的冲击力轉动水輪机，再由水輪机带动发电机发出电来，这种把水的势能和动能变为机械能，进而变为电能的方法叫做水力发电。

随着农村工农业的发展，无论是农业生产、农副产品加工、社办工业、日常照明以及广播等都愈来愈需要用电，所以农村水电站的兴建就成为广大农民的迫切要求。

电力是工业系統的神經，是发展工业的先行官。因此，广泛发展农村水电站，对我省农村的社会主义建設，将是一件有着深远意义的事情。因为它能以廉价的动力代替一部分繁重的体力劳动，使农业有可能逐步轉到机械化、电气化的技术基础上去，从而大大地发展农业生产，以满足生产建設和人們日益增长的物質需要。

第二节 水流的功率及电能計算

一、水流的理論功率

水流的理論功率是根据水力資源直接計算所得的功率，它比水流的实际功率大。水流所作的功，根据理論推算可用下述方法求得：水流所作的功等于河流某段的水量乘其降落的高差。以公式表示为： $R=1000 \times V \times H_0$ (公斤-公尺)

式中：1000 是每公方水的重量(公斤)

R ——水流所作的功

V ——河流某段的水量(立方公尺)

H_p ——水降落的高差(公尺)

理論功率 $N_p = 1000 \times Q_p \times H_p$ (公斤-公尺/秒)

功率用馬力 Θ (代号 HP) 或瓩(代号 KW) 来表示, 馬力一般表示机械功率, 瓩一般表示电功率 $\ominus$, 其关系如下:

1 馬力 = 75 (公斤-公尺/秒)

1 瓩 = 102 (公斤-公尺/秒)

1 馬力 = 0.736 瓩

1 瓩 = 1.36 馬力

所以水流的理論功率等于:

$$N_p = \frac{1000 \times Q_p \times H_p}{75} = 13.33 \times Q_p \times H_p \text{ (馬力)}$$

或
$$N_p = \frac{1000 \times Q_p \times H_p}{102} = 9.81 \times Q_p \times H_p \text{ (瓩)}$$

二、水流的实际功率

实际上, 水流所作的功, 根本不可能达到上述理論要求, 因为水电站中水工建筑物, 水輪机, 傳动装置, 发电机, 輸、变、配电等设备都要影响到水流所作的功的损失, 見表 1-1。因此水流的实际功

表 1-1

項 目	功率损失估算(%)	情 况 說 明
水 輪 机	15~30	此为輸出功率比輸入功率所减少的数字, 其大小須視水輪机类型、容量大小及制造质量而定, 如木制水輪机损失为30~50%
发 电 机	8~15	
傳 动 設 备	3~5	
輸 变 电	10	升降压变压器及綫路等损失

$\ominus$ 馬力是計算單位, 不是指一匹馬所能做到的功率。因为連續工作中一匹馬所能做到的功率只有 0.4~0.6 匹馬力。

$\ominus$ 电功率就是电在单位時間內所做的功, 单位有瓩、仟伏安。瓩經常用以表示发电机的生产能力, 仟伏安經常用以表示变压器的容量。两者在照明用电时可接近相等, 如在动力用电时, 瓩 = 1.25 × 仟伏安 (一般常用数字)。

率,必須以理論功率乘上效率才能得到真正能利用的有效功率。

这样,总的損失就达到了 37~60%,而真正为用户所利用的只有 40~63%。通常我們所說的水电站容量,是发电机的輸出功率,也就是考虑到受水工建筑物、水輪机、傳动設備及发电机影响而損失的功率。一般农村水电站的总效率約为 60~70%,少数容量較大,水工及机电設備质量較好,且水輪发电机是用同軸傳动时,其总效率可达 80% 左右。即:

$$\eta = \eta_{\text{水工建筑物}} \times \eta_{\text{水輪机}} \times \eta_{\text{傳动設備}} \times \eta_{\text{发电机}} \approx 60 \sim 80\%$$

式中: η 为电站总的效率,

$\eta_{\text{水工建筑物}}$ 即为水流通过水工建筑物时的效率(其余相同,不另解释)

因此,实际功率(发电容量)的計算为:

$$N = 9.81 \times Q \times H \times \eta$$

式中: N ——为发电机的容量(瓩)

Q ——为发电流量(公方/秒)

H ——为发电水头(公尺)

η ——为总效率,用百分数表示

中小型水电站考虑各种損失后的实际功率可按:

$$N = 9.81 \times Q \times H \times (60 \sim 80\%) = (6 \sim 8) \times Q \times H \text{ (单位同上)}$$

或用 $N = A \times Q \times H$ 表示。

式中: 常数 A 的选用必須根据容量 $\ominus$ 大小及傳动型式来决定,一

表 1-2

水輪机与发电机的傳动型式	A 的数值
同軸直接連接	7~8
用三角皮帶傳动	6.5~7.5
用半交叉皮帶傳动	6~6.5
用平皮帶傳动	6.5~7.5
用齒輪傳动	6.3
两次傳动	6

$\ominus$ 容量是表示机电設備生产能力的大小,常用的計算单位是瓩或馬力。

般按表 1-2 选用。

三、电能計算

电能(9) = 电功率乘时间, 一般用瓩小时表示。把水电站各阶段实际的发电容量乘其运转小时数, 即得该站一年内所取得的电能。水电站年利用小时的多少, 必须根据利用水量的多寡和负荷的性质而定。纳入系统的水电站, 如果水量充沛, 水库调节性能好, 一般利用小时就长些。中小型电站年利用小时大体范围如下表:

中小型水电站年利用小时范围表 表 1-3

电站容量(瓩)	年利用小时数(小时)	说 明
20 以下	1000~2000	大部分直接利用水力, 少数用于照明或动力(参照我国已有的部分水电站资料)
20~100	1500~3000	为农副业加工、小型工业以及照明用(参照苏联资料)
大于 100	1500~6500	它为农业及小型地方工业及生活用电(参照苏联部分农村水电站资料)

第三节 农村水力发电站的分类

农村水电站分大、中、小型三类, 我国目前暂定: 小型—100 瓩以下; 中型—100~500 瓩; 大型—500~5000 瓩。

发电水头一般分为高、中、低三类。过去习惯划分是: 低水头—6 公尺以下; 中水头 6~25 公尺; 高水头 25 公尺以上, 但区分尺度也可以适当变动。

水轮机的动轮直径, 亦分大、中、小三种。按照苏联农村水电站资料, 小型的 0.5 公尺以下; 中型的 0.5~1.25 公尺; 大型的 1.25 公尺以上。

第四节 水力发电的两大要素

我們知道水力发电容量 $N = A \times Q \times H$, 而 A 的数值一般变化于 6~8 之間, 大小悬殊不大, 而容量 N 的大小, 主要决定于水头 H 及流量 Q 的多少。如果两者之間有一个数值等于零或接近于某一极限时, 水电站就发不出电来, 故水头和流量是水力发电的两大要素。

水头 水电站上下游水位的高差叫做水头, 又可称落差, 代表符号用 H (公尺) 表示。水头一般有两种情况, 一种是天然存在的, 但較小且分散。我們知道, 河流上游水面总是高于中下游水面的, 每一段水面都有一定的高差。高差的大小可用河道的坡降及水平距离来計算。例如, 某段河道坡降为千分之一 (即 1000 公尺下降 1 公尺), 其水平距离为 1000 公尺,

其水头 $H = \frac{1000}{1000} = 1$ 公尺 (图 1-1)。

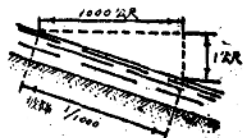


图 1-1 水头計算示意图

我省黄山及大别山区, 中小河流坡降較陡 (一般几十分之一到几百分之一), 分散的落差較大。在江淮丘陵区一般坡降較緩 (一般几百分之一到几千分之一), 落差不大。淮北河网化地区及部分大中型灌区渠道, 其坡降很平 (一般为几千分之一, 部分为 1~2 万分之一), 分散落差很小, 此种水头可供利用的不多。另一种是水头比較集中, 而且較大, 其中少数也是天然存在的, 如黄山及大别山区的瀑布陡壁, 所形成的河道急滩的落差, 就属于天然存在的。但絕大多数是靠人为因素, 如丘陵山区兴建的水庫坝壩、大中型灌溉区的跌水、淮北河网地区的控制閘及圩区部分較大的排水閘等, 都是有一定的集中水头, 可以利用。

有的是利用一部分天然的有利条件, 再做一些比較簡易的工程, 如山区河道局部截弯取直, 或把高处的河水、渠水引向低处的河道、渠道, 以取得較大的集中水头。

流量 每秒钟流过河床任一横断面的水量叫做该河道的流量，代表符号用 Q (公方/秒)表示。它也有两种情况，一种是天然的，它随着季节和降雨等的变化而变化；另一种是由水库、闸坝等蓄水调节，以丰补歉，流量的大小，一般可随人们的需要而定。

测定流量的方法常见到的是流速仪和浮标两种测定方法。用流速仪测定的结果比较正确，有条件的地方可采用此法。浮标法则不需要什么仪器，但结果不太精确，可是对兴建农村水电站，还是可以采用。

第二章 农村水电站的规划与枢纽布置

第一节 水电站的基本开发方式

水电站的基本开发方式可以分成引水式、堤坝式和混合式三大类。引水式和混合式主要是利用自然落差的优越条件取得水头的；堤坝式则是依靠人力修筑堤坝取得水头的。

(一)引水式水电站 引水式水电站是利用河道急滩或灌溉渠道的天然跌水来获得水头的。这种方式适用于坡度较大的山区河流。引水式水电站工程简单，造价便宜，因此农村采用较广。有条件的地区应尽量采用这种方式。

(二)堤坝式水电站 堤坝式水电站是用筑坝的方法取得水头的。主要组成部分是堤坝、溢洪道和厂房。这种方式适用于河道坡道较缓的地区。堤坝式水电站因筑坝工程量大，且技术较复杂，因此对这种方式的水电站的开发，事前要仔细考虑技术条件、经济条件和上游的淹没损失等情况后，方能施工兴建。

(三)混合式水电站 混合式水电站一般是建造较低的坝并开渠引水取得水头的，基本上与引水式相似。

第二节 农村水电站的规划与枢纽布置

由于我省各地自然条件不同，各地取得的水头大小以及流量的多少也有所不同，因此各地水电站的规划与枢纽布置也各有特点，现分别叙述如下：

一、一般明渠开敞式水电站

这种方式的水电站，一般是利用山区河道坡降较陡的特点，或

大中型灌区干、支渠道沿线地势突然变化的有利条件来建站的。它的

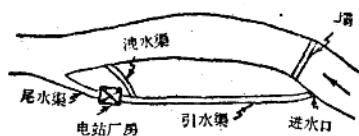


图 2-1 明渠开敞式电站枢纽布置图



图 2-2 明渠开敞式电站
枢纽剖面示意图

的开发布置很简单，即在河床坡降或地形高低突然变化的地方建站，在电站上游适当地点开挖坡降较平（几千分之一）的渠道，把水引向下游即可取得水头。我省歙县桂林及宣城修公坝灌区杨村等水电站，均属此类，其布置如图 2-1、图 2-2。

这种方式的水电站，其发电所需引用的流量，如占河道流量的全部或大部分

时，才需筑坝，其它的不做或仅做低的滚水坝。为了减少开挖的土石方数量，除电站厂房外，引水渠道可采用半挖半填的方法。引水渠底应高于河底几公分到一二公尺（灌区的底一般只高出几公分），以免流入泥砂而淤塞。山区因洪水易于暴涨暴落，所以进口处应建闸，以防洪水威胁。而灌区渠道则因上下放水已有闸门控制，故入口处可不建闸，仅需在厂房边加以控制即可。厂房前端渠道应设溢水道，渲泄多余的水量。

发电水头(H)的计算：

$H = h - \Delta h$ 如前图 2-2 所示

h ——引水口与电站处的河道水位差(公尺)

Δh ——引水渠道中水面降落的数值(公尺)

水头可以实测或按水平距离及河道坡降推算。如有坝引水时，则应用抬高后的上游水位计算。由此可知，当河道坡降等固定的情况下，水头的大小主要取决于引水渠的长短及其坡降的缓陡。

发电流量的决定：若上游没有水库蓄水调节时，其发电所需引用的流量，可根据多年日平均流量持续曲线，引用经常流量或出现历时达全年的 50—90% 时的流量，引其全部或一部分。多年日

平均流量持續曲線的求法是：把所有水文觀測期間所得的各年的日平均流量值，按其大小及出現天數的長短，遞減次序排列，並繪成曲線，如圖中各實線，然後求出各年的平均值，即得多年日平均流量持續曲線，如圖中虛線所示。

另外，可以實際調查偏枯年分，選出出現歷時達 50~90% 的流量考慮引用。如有蓄水調節時，其發電流量的決定，則按水庫壩壩的設計流量減去水庫到電站間的各种耗用水量，加上這段區間保證率相同時的

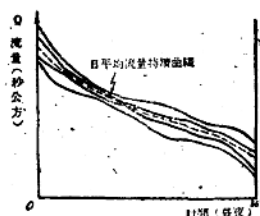


圖 2-3 日平均流量持續曲線圖
來水流量考慮引用。大中型灌區，按其設計流量考慮引用。

裝機容量 Θ 的決定：一般應稍大於 $N = A \times Q \times H$ 的計算值，有些甚至比平均出力大好几倍。它主要根據水量變化幅度的大小及担负負荷的性質而定。如引用的流量變化很小時，裝機容量可接近以上計算數值。

機組的選擇：一般應從事經濟比較並結合已有產品來選擇，凡上游有調節控制或大中型灌區流量變化不大，且電站計劃納入系統運行時，應尽可能選用一個機組，但要注意動輪直徑不宜太大，否則應選用兩個機組或大於兩個機組。天然河道，一般引水式電站最好選用雙機組，水多則全開，水少則開一台，以便能充分利用水力資源。

機型的選擇：一般採用法蘭西斯式半旋漿式及旋漿式水輪機。1~8 公尺的低水頭電站，可全用木製（20 瓩以下）或鐵木結構的（20~100 瓩）水輪機 Θ 。

二、利用河灣造成水頭

我省黃山及大別山區，有很多中小型河道，很多地段迂回曲

- ① 裝機容量是表示機電設備生產能力的大小，常用的計算單位是瓩或馬力。
- ② 水輪機是利用水來轉動的機器，是水电站的動力機。它分反击式、冲击式兩類。中小型水电站常用的有旋漿式、轉漿式、法蘭西斯式及兩击式等。

折,有些儿成环状,如图 2-4。这些河道弯曲长度一般有几百至几千公尺,而直线距离 l 只有几十公尺到几百公尺。

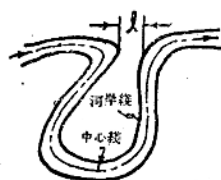


图 2-4 弯曲河段
平面示意图

由于河陡流急,只須截弯取直,即可取得几公尺至几十公尺的水头。若环口段 l 的地面与河底高差不大时,只需开挖明渠,把上下游沟通即可;高差较大时,可打隧洞通到电站厂房。电站厂房一般建于下游河道直段起端。引水和进水方式,有下列几种情况:

(一) 明渠相連

(1) 水头小于 6~8 公尺,一般为明槽进水;

(2) 水头 6~12 公尺,且机组容量较大时,一般采用混凝土或圬工结构的半封闭式进水;

(3) 水头大于 12 公尺时,一般应在厂房前建挡水牆,用压力水管输水。

(二) 隧洞连接

(1) 隧洞内为自由水面,电站为明槽进水,一般可用于 6~8 公尺的水头。

(2) 隧洞因受内水压力而采用半封闭式或压力水管进水,一般用于六、七公尺以上水头。进水口多位于环口附近的上游河段处。厂房位于环口附近的下游岸边。但有时为了多得水头,又要减低拦水坝,当地形许可时,也有伸向曲段上游几公里筑坝开口引水的,如图

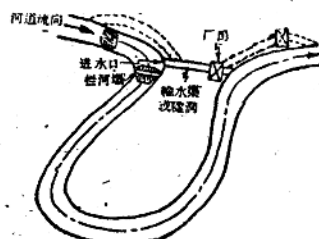


图 2-5a 利用河弯发电枢纽布置

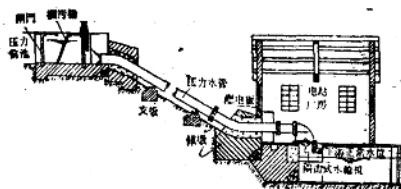


图 2-5b 压力输水发电剖面图

地形许可时,也有伸向曲段上游几公里筑坝开口引水的,如图

2-5a 虚线所示。歙县三阳水电站即属此例。厂房位置可循河而下,选择适当地点,但承压隧洞的厂房位置一般不宜下移,布置如图 2-5a 所示。剖面见图 2-5b、图 3-25~图 3-29 所示。

进水口处要求建闸防洪(尤以开挖明渠时,更应该如此),闸底要高于河底,至于做坝与否,主要按引用流量所占的比例大小而定。为了蓄水调节,提高供电质量,最好在上游建坝蓄水。

引用流量的规划一般与第一种所述相同;水头计算也与之相似。但输水损失的计算,除须计算明渠水面降落的损失外,如有压力水管,则管流的入口摩擦及转弯等各种损失也应计算。

电站装机及机组数目的确定原则,也与第一种相似。但水轮机的选择应随水头大小而定。

三、利用相邻两河道的天然落差

在丘陵山区或大中型灌区,有些地方有相邻两河道局部靠近,且两者高差较大,只须在紧邻处开渠或打隧洞相连,即可取得相当水头,且工程简单。如我省淦史杭灌区中寿县谢铺水电站就是用这种办法取得 20 公尺水头的。丘陵区的上下河网,有类似条件可以利用。其厂房位置一般在两河距离最小处的河道旁。

输水引水:一种是开一段明渠后接压力水管;一种是绝大部分用压力水管或隧洞,其进水方式与第二种所述相同,如图 2-6、2-7 所示。进水口处要建闸控制,闸底应高于河底。

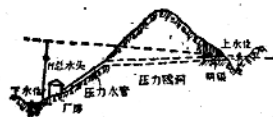


图 2-6 电站枢纽布置示意图

图 2-7 上下河道开发剖面示意图

引用流量的规划也与第一种所述相同,引用数量的多少,須根据高处河道引水发电减少下游灌溉、航运用水和低处河道增加电廢水等对两河下游产生的影响,进行全面规划,统筹安排。是否做坝,須根据引用流量百分比的大小而定。

发电水头等于高处河水位减低处河水位和輸水损失。

装机容量及机組数目的确定均与第一种相似。

机型的选择:这种水电站一般属中水头,其引用流量一般也不会过大过小,故一般以采用法兰西斯式水輪机为宜。

四、利用河道急滩或天然跌水

我省黄山及大别山区的河流,一般每隔一段就有天然跌水(一般偏于上游),或陡滩(中游地区)。这些河流的某些地段的上下落差可达几公尺,是建造水电站的有利条件。这些地区只在河道凸岸滩上开口引水至滩地下游,在离河岸一定距离处建造电站即可发电。廢水放入河道。歙县六联电站即属此例,其平面布置如图 2-8。工程剖面的形式类似第二种之(一)所述。

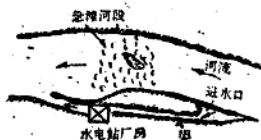


图 2-8 利用急滩河段的
渠道式水电站平面图

电站进水口要建閘防洪,閘底高于河底。是否建造拦水坝,要看引水口位置的好坏以及引水量所占比例的大小而定,見第一种所述,即使建坝拦水,一般坝身也不高。其他工程如厂房和引水渠的防洪問題,必須很好注意。引水渠较长时,須在电站厂房前建溢水道,排泄多余之水,以保厂房安全。

发电水头的計算、引用流量的规划、装机容量及机組数目的确定,均与第一种所述相同。

机型选择:这种电站一般属低水头明渠开敞式引水,故机型可采用旋桨式(一般用鉄木結構或木質的)及法兰西斯式水輪机。

五、利用天然瀑布

在黄山及大别山区的河流,其上游往往有天然的悬崖陡壁,形成瀑布,所形成之高度达几十公尺到一二百公尺。这些地区只要开一很短的引水渠(有时不要),接上压力水管,把水通向低处,即可在河岸边建站发电。这种天然条件的利用,工程小,投资少,收效大,有条件的地方,应大力利用。我省潜山水吼岭拟建电站就是利用瀑布取得水头 30 多公尺的。在这种条件下几乎不需建坝,即可引得全部或绝大部分经常流量。引水口处要加防洪控制。厂房位置和引水渠与压力水管的线路应很好选择,因河流上游河面窄,山坡陡,要取得几十平方公尺的厂房地面,以及合乎要求的线路布置,是比较困难的。一般须开山削坡,开渠铺管建厂房。此外,还要注意防止洪水上涨淹没厂房。其枢纽布置如图 2-9、图 2-10。

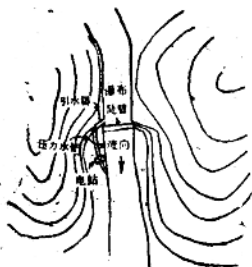


图 2-9 瀑布陡壁电站枢纽布置示意图

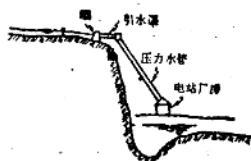


图 2-10 瀑布陡壁电站枢纽布置剖面示意图

发电水头计算: 上下经常水位差减去引水渠的水面降落及压力水管等的水头损失。

发电流量的规划: 一般与第一种所述相同。但是这种方式引水容易,只稍加处理,即可全部引用发电。在丰水季节,多余流量即予廢泄。

这种电站,一般因靠近河源,所以控制面积很小(几平方公里至几十平方公里),如果无外来水源补充,则天然流量经常是极小