



小型水电站

上册

8

天津大学水利系主编·水利电力出版社

小型水电站

上册

天津大学水利系主编

水利电力出版社

内 容 提 要

《小型水电站》分上、中、下三册，内容以单机容量数百千瓦为主，兼顾较小容量的农村水电站，以及装机容量12000千瓦以下的地区、县级骨干水电站的需要。书中介绍小型水电站的规划和水文水能计算，水工建筑物的设计和计算，厂房设计，机电设备的选择，并附有计算实例及各种图表。

本书为上册部分，分两篇共十一章。第一篇为小型水电站的规划，介绍水力发电的基本原理，电站类型及规划要点，水文及水利计算，装机容量的确定等；第二篇为水工建筑物，介绍土坝、浆砌石重力坝、拱坝及其他简易坝型，进水口及闸门设备，渠道（包括渠系建筑物）、前池和压力水管等。

本书可供地、县、社从事小型水电建设的广大基层水利干部、技术人员以及有关院校师生参考。

小 型 水 电 站

上 册

天津大学水利系主编

*

水利电力出版社出版

（北京三里河路6号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂排版

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 23.875印张 635千字 2插页

1976年5月第一版 1985年2月北京第三次印刷

印数27891—35430册 定价5.25元

书号 15143·3162

前 言

电力工业是国民经济的“先行官”，社会主义建设迫切需要电力。在发展水电事业中，贯彻大中小并举的方针，依靠广大群众，充分利用我国丰富的水力资源，因地制宜地建设小型水电站，是加速我国社会主义建设，实现农业机械化，更好地贯彻伟大领袖毛主席提出的备战、备荒、为人民这一战略方针的重要措施。

毛主席和党中央历来十分重视小水电建设。一九六〇年，毛主席亲临视察了浙江省金华县双龙水电站，对全国小水电建设是极大的鼓舞和推动。毛主席亲自主持制定的《全国农业发展纲要》中明确规定：“凡是能够发电的水利建设，应当尽可能同时进行中小型的水电建设，结合国家大中型的电力工程建设，逐步增加农村用电”，为小水电建设指明了方向。

全国现有小水电站近六万处、二百五十多万千瓦。目前，每座小型水电站的装机容量正由几十千瓦发展到几百、几千甚至上万千瓦；供电对象由农村用电发展到城镇和地方工业用电；运行方式由分散单独供电发展到联网运行，由电网外发展到电网内。

小型水电的建设，促进了农业生产和地方“五小”工业的发展，也为普及文化科学技术，活跃农村政治生活创造了有利的条件。毛主席指出：农业的根本出路在于机械化。小水电的发展为农业机械化提供了动力。很多地区利用小水电，发展电力排灌，提高了农田抗旱排涝能力；并使农副产品加工实现了机械化，节省出大批劳动力，向农业生产的深度和广度进军。在边疆、高原

地区发展小水电对促进边疆民族的经济建设和文化生活具有重要意义。

为了适应小型水电站建设的需要，总结交流小型水电站建设经验，我们在进行广泛调查研究的基础上，编写了《小型水电站》一书，供从事小型水电建设事业的基层技术干部参考。

本书编写组由天津大学水利系水利工程建设教研室、广东省肇庆地区水利电力局、湖南省水利电力勘测设计院、云南省电力局勘测设计院地方电站队、浙江省水利电力局、福建省永春县水电科等单位有关同志组成。湖北省水利电力局农电处、四川省水利局农电处、河南省林县水利电力局、四川省大邑县人民电站、福建省闽清县水利电力局、武汉水利电力学院、华东水利学院、成都工学院水利系等单位提供了许多宝贵意见和资料，还得到其他有关单位的大力支持和协助。在本书编写过程中还参考并采用了浙江大学土木系、湖南省水利电力局、广东省水利电力局、福建省水利建设大队等单位编写的同类书籍的部分内容，在此一并表示感谢。

本书分上、中、下三册，上册介绍小型水电站的规划和水工建筑物的设计；中册介绍小型水电站的厂房设计、水轮机及附属设备的选择；下册介绍小型水电站电气部分的设计。

由于我们水平有限，书中缺点、错误热诚希望读者批评指正。

编 者

一九七五年六月

目 录

前 言

第一篇 小型水电站规划

第一章	水力发电的基本原理和水电站出力计算	1
1-1	水力发电的基本原理	1
1-2	水电站出力计算	3
1-3	水能蕴藏量及水电站的发电量	6
第二章	小型水电站类型和规划应注意问题	11
2-1	小型水电站类型及适用条件	11
2-2	小型水电站规划中应注意的问题及影响因素	33
第三章	水电站的水头计算	48
3-1	水电站的毛水头和净水头	48
3-2	堤坝式水电站平均水头的确定	48
3-3	引水式和混合式水电站平均水头的确定	63
3-4	水电站的最大水头和最小水头	65
3-5	水头损失计算	69
第四章	水电站设计年径流和保证日平均流量的确定	83
4-1	各水利部门的用水特性及其设计保证率	84
4-2	水电站设计年径流的分析计算	92
4-3	设计代表年的选择	115
4-4	无调节或仅有日调节水电站保证日平均流量的确定	120
第五章	水能设计	129
5-1	电力负荷和水电站容量	129
5-2	无调节水电站水能设计	139
5-3	日调节水电站水能设计	146
5-4	年调节水电站水能设计	159

5-5	确定装机容量的简化方法	180
5-6	利用日负荷图确定最大工作容量	185
5-7	梯级水库径流调节和水电站群的水能设计	198
第六章	设计洪水和调洪演算	206
6-1	设计洪峰流量	207
6-2	设计洪水总量	229
6-3	设计洪水过程线	230
6-4	洪水调节	235

第二篇 水电站水工建筑物

第七章	水工建筑物概述	246
7-1	堤坝式水电站水工建筑物	246
7-2	引水式水电站水工建筑物	247
7-3	通航、过鱼、过木建筑物	252
第八章	坝和进水闸	257
8-1	堰坝类型和布置	257
8-2	土坝	265
8-3	浆砌石重力坝	294
8-4	浆砌石拱坝	343
8-5	其它简易坝型	369
8-6	进水闸（开敞式进水口）	394
8-7	有压进水口（深孔式进水口）	405
第九章	闸门和启闭设备	428
9-1	闸门的类型和构造	428
9-2	木闸门和钢丝网水泥面板闸门的结构计算	434
9-3	闸门启闭设备	452
第十章	渠道、渠道建筑物和前池	463
10-1	渠线选择	463
10-2	渠道的设计	464
10-3	渠道的构造	477
10-4	渠道建筑物	480
10-5	前池	524

第十一章 压力水管	540
11-1 压力水管的类型和布置方式	540
11-2 压力水管经济直径选择和水力计算	543
11-3 木管	556
11-4 钢管	565
11-5 钢筋混凝土管	580
11-6 分叉管	614
11-7 镇墩和支墩	625

附 录

总附录	637
附录 I	646
附录 II	686
附录 II-1 钢筋混凝土偏心受压及偏心受拉构件计算	708
附录 II-2 浆砌石重力坝设计计算实例	714
附录 II-3 U形加筋钢丝网水泥薄壳渡槽槽身结构计算实例	733

第一篇 小型水电站规划

小型水电站建设首先应作好规划工作。

就广义来说，规划内容包括：水力资源的普查；一定范围内（如地区、县、公社）各溪、河、灌溉渠系上水电站合理布局；安排各水电站开发的先后次序；确定近期工程的主要技术经济指标等。

规划工作应在党的一元化领导下，依靠群众，深入实际，调查研究，作出方案，进行比较确定。

本篇着重介绍小型水电站规划应遵循的原则，水电站类型和站址的选择，枯水和洪水资料的获得及分析整理，径流调节计算，以及坝高、库容、装机容量、多年平均年发电量等主要技术指标的确定。

第一章 水力发电的基本原理 和水电站出力计算

1-1 水力发电的基本原理

在天然溪、河或渠道中，水往低处流，经常冲刷河床和岸坡，这说明水流具有一定的能量。我国早在三千多年前就开始利用水能，当时是装置水磨、水碓、水车等简单机械，利用水力来磨粉、舂米和提水。在发电机出现以前，水力机械只是把水能变为机械能，力量有限，效率也低。十九世纪后期，劳动人民在生产实践中陆续创造了水轮机、发电机和高压输电技术，使水力变成电力并远距离输送。建造水电站就是通过水轮机把水能转变为机

械能，再通过发电机把机械能转变为电能，即以水流为能源，达到发电、供电、用电的目的。

从物理学中“功”的概念和能量转换定律得知：一个重量为 G 公斤的物体，由 H 米高处落下，其位能减少 GH （公斤-米），这部分位能可以作功或转变为其它形式的能量。物体愈重，位置愈高，落下来所产生的能量也就愈大。河水也是这样，自高处流下，水量愈多，高差愈大，产生的力量也就愈大。例如，著名的贵州省黄果树瀑布（图1-1），河水由57米高的悬崖下泻，产生巨大力量。

任何事物都包含矛盾着的两个方面，对立面的斗争，无不在一定条件下互相转化。河水自高处奔流而下，如不采取措施，不仅潜在能量白白流失，而且冲刷河道，破坏堤岸，甚至造成水灾。但若创造一定的条件，拦截河水，抬高水位，把源源不断的水流引向水轮机（或水轮泵），使之转动，水能即转化为机械能。由



图 1-1 贵州省黄果树瀑布

水轮机带动发电机发出电来，机械能即转变为电能。再通过输配电设备把电输送出去，为社会主义建设提供动力，这就是水力发电的基本原理。

为使水能转变为电能而修建的水工建筑物、有关设施和装置的各种机电设备，总称水电站。

1-2 水电站出力计算

在天然溪、河中，水流在不同的河段上，蕴藏的能量是不同的，通过水力学计算可求得河段两端断面的能量差值。如图 1-2 所示，取 AK 河段为计算河段，在时间 t 内，水量 W 由断面 I—I 流到断面 II—II，水面降落 Z_{I-II} 米。若忽略流经两个断面时的动能差，则两断面蕴藏的水流能量之差值 E_{I-II} 为：

$$E_{I-II} = \gamma W Z_{I-II} \text{ (公斤-米)} \quad (1-1)$$

式中 Z_{I-II} ——由断面 I—I 到断面 II—II 的水面降落，称落差(米)；

W —— t 秒时间内通过 AK 河段的水量(米³)；

γ ——水的容重，即每米³水的重量， $\gamma = 1000$ (公斤/米³)。

公式 (1-1) 除以时间 t ，得出断面 I—I 和断面 II—II 单位时间内水流能量之差值 N_{I-II} 为：

$$N_{I-II} = \frac{E_{I-II}}{t} = \frac{\gamma W Z_{I-II}}{t} = \gamma Q Z_{I-II} \text{ (公斤-米/秒)} \quad (1-2)$$

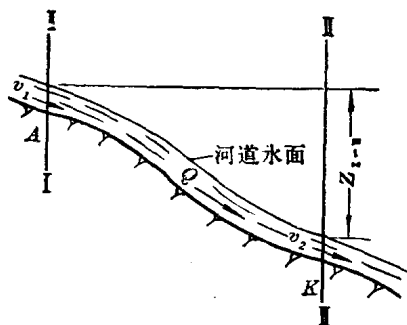


图 1-2 河段示意图

式中 Q ——流量，单位时间内通过某一断面的水量(米³/秒)。

上式中 Q 表示通过 AK 河段的平均流量。

在天然河道中，这部分能量系消耗在克服水流本身内摩擦、水流与河床间的摩阻以及向下输送泥沙等方面。若采取措施，控制水流，集中落差，尽量减少天然水流的的各种损耗，这部分能量

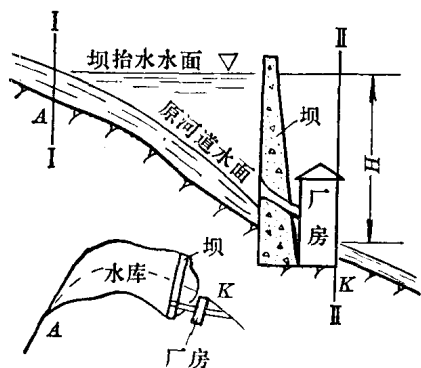


图 1-3 建坝抬水示意图

可用来做功。如图 1-3 所示，在断面 II-II 附近筑坝建水电站，上游形成水库调蓄水量，用坝抬高水位，将 AK 河段分散的落差集中于坝前，为水能利用创造了条件。由人为措施所集中的落差称水头，用符号 H (米) 表示。若使水库中的水通过压力水管进入水轮机，使之旋转并带动发电机发电，这部分水流就作了功，其功率

称理论出力，用下式表示：

$$N_{\text{理}} = \gamma Q H \text{ (公斤-米/秒)} \quad (1-3)$$

从公式 (1-3) 与 (1-2) 比较得知：河段内蕴藏的单位时间的水流能量差值，一旦用以做功，即为理论出力。因此，两式虽含义不同，但计算数值、单位完全相同。

工程上功率单位常用千瓦或马力。1 千瓦 = 102 公斤-米/秒；1 马力 = 75 公斤-米/秒； $\gamma = 1000$ 公斤/米³，代入公式 (1-3) 得：

$$N_{\text{理}} = \frac{1000QH}{102} = 9.81 QH \text{ (千瓦)} \quad (1-4)$$

$$\text{或 } N_{\text{理}} = \frac{1000QH}{75} = 13.33 QH \text{ (马力)} \quad (1-5)$$

但河水自水电站进口流入，经水轮机从尾水管出口流出，在这一过程中，由于水流与建筑物的摩阻，会损失部分水头。从总

水头或称毛水头中扣除损失量，才是作用于水轮机的有效水头，称净水头。另外，能量转化是一个比较复杂的过程，由于机械摩擦、传动和设备质量等因素，也将损耗一定能量。所以，水电站实际出力小于公式（1-4）求得的理论出力值，其计算式为：

$$N = 9.81 \eta Q H_{\text{净}} \quad (\text{千瓦}) \quad (1-6)$$

式中 N ——水电站实际出力（千瓦）；

$H_{\text{净}}$ ——作用于水轮机的净水头（米）；

η ——机组总效率，包括水轮机效率 $\eta_{\text{机}}$ ，发电机效率 $\eta_{\text{电}}$ 及传动设备效率 $\eta_{\text{传}}$ 等，即 $\eta = \eta_{\text{机}} \eta_{\text{电}} \eta_{\text{传}}$ 。 η 值随水头和流量的改变而改变，通常以设计工作状态下的数值为计算值。

若令 $A = 9.81 \eta$ ，代入（1-6）式，则：

$$N = A Q H_{\text{净}} \quad (\text{千瓦}) \quad (1-7)$$

出力系数 A 与设备类型、性能和传动装置方式等有关，同时也受设备生产工艺和生产质量的影响。在规划小型水电站时， A 值可参照表1-1酌情选用。

表 1-1 出力系数 A 值表

传 动 方 式	系 数 A
水轮机与发电机直接相联	7.0~7.5
皮带传动	6.0~7.0 (半交叉皮带采用小值)
齿轮传动	6.3
两次传动(中间经两套皮带轮，增速两次)	6.0

表1-1中数值是针对铁制水轮机而言，当采用木制水轮机时，则需再乘以系数0.8~0.9。

〔例1-1〕 福建省隔兜水电站发电流量 $Q = 1.0 \text{米}^3/\text{秒}$ ，水头 $H = 1.2 \text{米}$ ，若用皮带传动，试分别求出采用铁制和木制水轮机时的水电站出力（水头损失忽略不计）。

[解]

采用铁制水轮机时:

由表1-1查得皮带传动时 $A=6.0\sim 7.0$, 选用 $A=6.5$ 。水电站出力为:

$$N=AQH=6.5\times 1.0\times 1.2=7.8\text{千瓦}$$

采用木制水轮机时, 考虑到木制水轮机效率较低, 再乘以0.8, 即:

$$N=0.8AQH=0.8\times 6.5\times 1.0\times 1.2=6.24\text{千瓦}$$

最后, 根据机组设备条件, 采用铁制水轮机, 装机7.5千瓦。

[例1-2] 在某河段上建水电站, 落差约140米, 发电流量 0.5 米³/秒, 分别求出水电站的理论出力和实际出力。

[解]

根据公式(1-4), 计算理论出力值为:

$$N_{理}=9.81QH=9.81\times 0.5\times 140=686.7\text{千瓦}$$

考虑到水头较高, 出力较大, 规划时拟定铁制水轮机并直接传动方案。参考表 1-1, 出力系数 A 采用7.0, 如暂忽略水头损失不计, 则水电站实际出力将为:

$$N=AQH=7.0\times 0.5\times 140=490\text{千瓦}$$

根据地区发电机生产情况, 可考虑装置两台单机 250 千瓦的机组。

1-3 水能蕴藏量及水电站的发电量

一、水能蕴藏量

在河流水能开发利用之前, 首先要查明各溪、河水能的蕴藏量及其分布情况。只有进行全面普查, 才能确定开发利用的可能性和合理性, 正确选定开发对象, 从而制定全溪、河的水电站建设规划。

将溪、河分段, 按公式(1-2)分别计算各河段蕴藏的能量, 累加起来即可求出全溪、河的水能蕴藏量。分段的原则主要按支

流汇入点及坡降有较大变化之处作为分段点。如段中尚有较小支流在河段中点附近汇入，或该河段两岸较小的支流均匀汇入干流，则中间可不必再行分段。两支流间的干流河段，其上断面在上支流汇入点之下，其下断面则在下支流汇入点之上。

计算河段水能蕴藏量 N_i 的公式为：

$$N_i = 9.81 \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta Z_i \quad (\text{千瓦}) \quad (1-8)$$

式中 Q_1 和 Q_2 ——分别为通过计算河段两端断面的流量（米³/秒）。一般采用多年平均流量和频率 75% 左右的枯水流量值，因此，计算出来的水能蕴藏量也为两个数值（关于各种频率的流量计算参见第四章）；

ΔZ_i ——计算河段的落差（米）。

全河水能蕴藏量为：

$$\Sigma N_i = N_{1 \sim n} + N_{n \sim n} + \dots + N_{n-1 \sim n} \quad (1-9)$$

为了更清楚地表明溪、河水能蕴藏量及其分布情况，可绘制成水能蕴藏图，如图 1-4 所示。在图上，横坐标为距河口的距离 L ，纵坐标按绘制内容设立，一般可绘入以下各项：

（1）水面高程变化，即沿溪、河测量得出的水面纵剖面，如图中 $Z \sim L$ 曲线。该曲线显示出溪、河沿程水面降落情况，可由它查定各河段的落差值。

（2）根据水文资料（缺乏资料的溪、河，可从河源到河口进行水文测量），绘成沿河流量增长情况，如图中 $Q \sim L$ 曲线。由该线可查出各河段两端断面处的流量，取其均值为计算采用值。

（3）用公式（1-8）分段计算水能蕴藏量，并沿河自上游向下游依次累计（公式1-9），绘成溪、河水能蕴藏量累积线，如图中 $\Sigma N_i \sim L$ 曲线。该曲线上某处的纵坐标，表示自上游起算点（图中所示为自河源算起）到该断面处的水能蕴藏总量。

（4）单位蕴藏量线，即各河段单位河长的能量值，表示沿

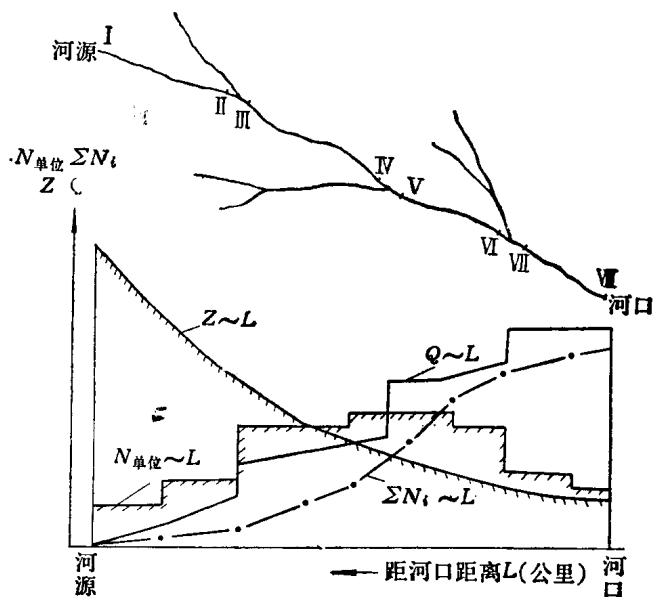


图 1-4 水能蕴藏图

溪、河水能蕴藏的密度，其计算式为：

$$N_{\text{单位}} = \frac{N_i}{L_i} \text{ (千瓦/公里)} \quad (1-10)$$

在综合利用、全面规划原则的指导下，参照水能蕴藏图，结合当地地形、地质、施工等条件，再考虑用电距离、水库淹没损失及交通运输等影响因素，可初步选定水能资源开发地点，拟定开发顺序。

二、水电站的发电量

水电站各机组铭牌出力的总和称装机容量。它是水电站全部机组满载运行时的最大出力值，单位为千瓦。装机容量是表示水电站规模和生产能力的—个重要指标。

在实际运行过程中，水电站并不是以全部装机容量投入运转，其出力有时小于装机容量值。电站某时刻的实际出力取决于该时刻水轮机的效率、过流量和有效水头，按 $N=AQH_{\#}$ (千瓦) 确定。

水电站在一定时间内生产的电能称发电量，它是机组出力和运行时间的乘积，即：

$$E = \bar{N}t = A\bar{Q}\bar{H}_{\#}t \text{ (千瓦-小时)} \quad (1-11)$$

式中 E ——发电量 (千瓦-小时，即度)；

$\bar{N}$ ——机组运行期间出力平均值 (千瓦)；

$\bar{Q}$ ——运行期间平均过流量 (米³/秒)；

$\bar{H}_{\#}$ ——运行期间平均净水头 (米)；

t ——机组运行时间 (小时)。

也可利用下式计算发电量，即：

$$E = \frac{\eta\gamma W\bar{H}_{\#}}{367200} = 0.00272\eta W\bar{H}_{\#} \text{ (千瓦-小时)} \quad (1-12)$$

此式由公式(1-1)演变而来，式中 367200 为单位换算值：

$$1 \text{ 千瓦-小时} = 102 \times 3600 = 367200 \text{ 公斤-米。}$$

水电站的日发电量、月发电量、年发电量分别表示日、月、年生产的电能量。水电站的水头和流量是两个变量，故各日、各月和各年的发电量是不同的。一般以长时期的平均值，作为水电站在某种时段生产电能的指标，例如多年平均年发电量是指多年期间水电站平均每年生产的电能。根据水电站具体条件及溪、河多年流量资料，分别计算各年的年发电量，取其均值即为多年平均年发电量。为简化计算，可首先分析溪、河具体情况，选出最能代表一般状况的平均来水年份作为计算年，以该年发电量表示水电站的多年平均年发电量。

显然，出力和发电量是有一定联系的两种概念，出力表示工作能力，相当于物理学中功率即单位时间内所作的功的概念；而发电量则是功率与工作时间的乘积，相当于物理学中功的概念。例如装机容量为1000千瓦的水电站，某年满载运行4500小时，则