

小水电工程初级指南

第一部分

LAYMAN'S GUIDEBOOK ON HOW TO DEVELOP
A SMALL HYDRO SITE PART 1

欧洲小水电协会 著

王海安 译 林雁庆 校订



European Small Hydropower Association



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

994041

第一部分

小水电工程初级指南

LAYMAN'S GUIDEBOOK ON HOW TO DEVELOP A SMALL HYDRO SITE
PART I

欧洲小水电协会(ESHA) 著

林雁庆 校订

王海安 译



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

该书针对我国在小水电建设方面尚缺乏一整套法规的客观情况,以欧洲小水电建设为背景,系统地介绍了西方发达国家小水电建设的全貌,包括水电厂址的评价与选择,水工建筑及机电设备的介绍,小水电项目经济性分析论证,小水电建设对环境和生态的影响以及西方国家针对小水电的立法情况等,还给出了一些小水电实例。

该书有较高的参考价值,可供小水电工程建设业主、开发管理人员、小水电专业技术工作者参考、借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

小水电工程初级指南:第一部分/欧洲小水电协会(ESHA)著;王海安译 —北京:中国水利水电出版社,1998.8

书名原文: Layman's Guidebook on how to Develop a Small Hydro Site
ISBN 7-80124-801-5

1. 小… I. ①欧… ②王… II. 水力发电站, 小型-水力发电工程
N. TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19824 号

书 名	小水电工程初级指南 第一部分
作 者	欧洲小水电协会(ESHA) 著 王海安 译 林雁庆 校订
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	850×1168毫米 32开本 3印张 74千字
版 次	1998年8月第一版 1998年8月北京第一次印刷
印 数	0001—4600册
定 价	6.60元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻版必究

译者的话

我国小水电资源十分丰富。至 1997 年底,全国累计小水电装机已超过 2000 万 kW,其中四川、广东、福建、湖南、广西、云南、湖北、浙江等八省区装机均超过 100 万 kW。随着小水电建设资金渠道的多样化,小水电建设的步伐也在加快。但是,与欧洲发达国家相比,我国水电建设在立法、规划、设计、审批、建设等方面均有差距,尤其是目前尚未把环保因素列为小水电项目审批的一个重要内容。因此,译者把本书介绍给广大读者。

本书为小水电工程初级指南的第一部分。全书共分 4 章。第 1 章对小水电的规划设计、土建、机电设备作了概述。第 2 章讲述了小水电工程经济分析方法。第 3 章讲述了小水电建设可能产生的环境问题及对策。第 4 章讲述了欧共体各国关于水电的立法情况及管理程序。

本书简明易懂,可作为水电管理者的参考资料,也可供从事小水电规划、设计、建设的技术人员参考。

本书在出版的过程中,得到北京科禹龙水电技术开发有限责任公司的支持,中国水利水电科学研究院水力机电研究所的有关专家对书稿提出了宝贵意见,在此一并致谢。由于本人水平有限,译本中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

译者

1998 年 6 月

6-6 7/07

目 录

译者的话

1 工程评价	1
1.0 小水电概述	1
1.1 厂址评价过程	2
1.2 水资源与水能	2
1.2.1 水文	2
1.2.2 电站规模	3
1.2.3 年发电量	5
1.3 厂址选择和基本方案	6
1.4 土建工程	9
1.4.1 坝和堰	9
1.4.2 取水口	10
1.4.3 渠道	12
1.4.4 前池	13
1.4.5 压力管道	13
1.4.6 尾水渠	17
1.5 机电设备	17
1.5.1 水轮机	17
1.5.2 齿轮箱和其他增速器	22
1.5.3 发电机	23
1.5.4 控制设备	24
1.5.5 配电盘及保护装置	26
1.5.6 自控设备	26
1.5.7 电站辅助电气设备	27
2 经济分析	29
2.0 引言	29
2.1 主要考虑因素	30

2.2 经济评估	30
2.2.1 静态法	31
2.2.2 动态法	31
2.3 一些欧洲项目的财务分析	40
3 环境影响的缓解	46
3.0 引言	46
3.1 对自然景观的影响	46
3.2 噪声的影响	50
3.3 生物学影响	51
3.3.1 保留流量	51
3.3.2 上溯鱼通道	52
3.3.3 下行鱼通道	56
3.4 水质	61
4 管理程序	63
4.0 引言	63
4.1 经济问题	63
4.1.1 法国	63
4.1.2 希腊	64
4.1.3 意大利	65
4.1.4 葡萄牙	65
4.1.5 西班牙	66
4.1.6 英国	67
4.2 技术问题	69
4.2.1 比利时	69
4.2.2 法国	69
4.2.3 希腊	69
4.2.4 意大利	69
4.2.5 葡萄牙	69
4.2.6 西班牙	70
4.2.7 英国	70
4.3 程序问题	70
4.3.1 用水权	71
4.3.2 计划和施工的批准	78

4.3.3 投产与运营	80
4.4 环境限制	81
4.4.1 环境影响评价 (EIA)	81
4.4.2 保留流量	83
参考文献	86

1 工 程 评 价

1.0 小 水 电 概 述

说到小水电人们可能会问，为什么一定要开发小水电，能否使这些堰、瀑布和古老的水力磨坊保持原样，以使我们的环境更加舒适和赏心悦目呢？

发展水电的原因是可以不用燃料而利用无尽的水能来产生电能。一旦筹集到资金并完成工程建设，投资者将在偿还期后相当长的一个时期内得到廉价的电能，当然廉价是相对而言。有一些30年代建成的水电站，其目前的生产总成本不到现代热电厂生产总成本的1/5。

发展水电的另一个优点是无污染。小水电对环境的影响很小，它不产生矿物质、废焦、有毒气体、烟尘或放射性残余物。在欧共体内，水电资源的利用大约生产了总电能的11.7%，并减少了CO₂的排放量（每年减少6700万t以上的排放量），而CO₂是地球产生温室效应的主要因素。其他无污染技术均无法达到这样的效果。

大多数的小水电站可利用原有条件而不用建大坝或水库。小水电多为径流式水电站，简而言之就是当河流有水时水轮机组就发电。当河流干涸或者水流落差小于一个预定的数值时，就停止发电。这意味着小型未上网水电站除非有足够的水量，否则无法全年发电。

这一问题可用两种方法解决。第一种方法是在有条件的情况下，利用已有的上游湖泊或水库进行蓄水。第二种方法是将电厂与供电网相互连接。这样做的优点是可以实现自动控制并调节电的频率，其缺点是电能要以很低的价格（回购价）卖给公共事业公司。目前，公共事业公司已逐步认识到在其供电的边远地区实

现供电方式和小型电力多样化是有益的。同时，由于认识到可再生能源对环境保护很有益，各国政府近年来已制定了相应的条款以增加公共事业公司提出的“回购”率。

1.1 厂址评价过程

小水电厂址的评价过程复杂费时，其规划研究基本上是对工程收益和造价反复比较的重复过程。开发者在决定是否进行全面可行性研究的过程中要进行如下工作：

- (1) 验明厂址；
- (2) 电厂可利用水资源及相应年发电量评估；
- (3) 电站的初步确定及造价评估；
- (4) 在研究金融对象、可从政府或欧共体获得的利益、税制优惠等因素后，进行工程经济性的初步评估；
- (5) 了解规章要求和管理程序；
- (6) 决定是否进行可行性研究。

1.2 水资源与水能

1.2.1 水文

进行水力发电的基本要求是河流具备合适的流量和水头（即电站上下游水位的垂直落差）。电站所发电力与这两个参数的乘积成正比。水头可以通过水准仪、甚至可以通过流速仪和倾斜仪方便地测量，并且一经测定，可以认为其不随时间而改变。流量是由集水面积内降雨量、土壤性质、植被覆盖情况、温度及土地使用特征等因素决定的。某一时间的流量测量无法满足规划要求，因为这一流量无法表征其他时间内的可用流量。因此，水电规划研究涉及水文学、降雨量和水流特征、流域大小、集水面积、土壤水分蒸发蒸腾损失总量和表面地质状况等，这些均影响流量。

进行小水电规划的首要条件是对特定的集水面积和所涉及的流域获取长期的降雨量和河道流量的记录。各工业化国家都收集了地表水和降雨量的记录，这种记录一般由一个或几个政府机构

每年出版,但常常比较滞后。世界气象组织的许多数据库中有一个叫 HYDROINFO 的数据库,该数据库内有一个该组织成员国承担这一任务的机构表。

借助于相关机构提供的水文图(图 1.1),把数据按其幅值大小而不是按时间顺序进行整理,可以得到流量历时曲线(图 1.2)。这一结果可以用于对有关厂址的电能进行评估。第二部分的第 5 章讲述了在未进行测量地区制作综合流量历时曲线的方法,它针对技术人员,使用了诸如降雨量等值区、土壤水分蒸发蒸腾损失总量系数、土壤渗透性和基本流量指数等概念。

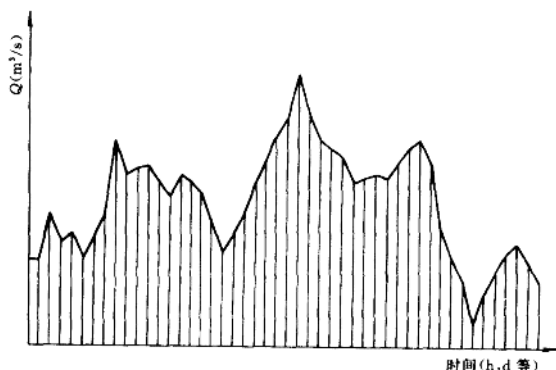
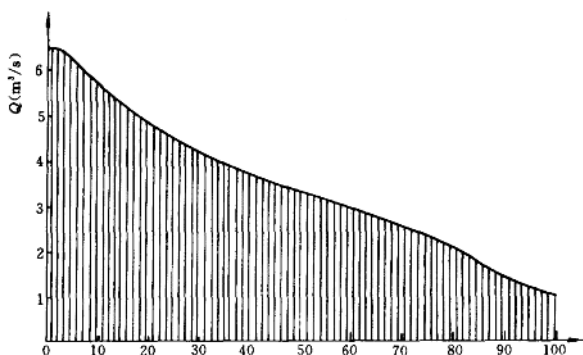


图 1.1

可以预见,在不远的将来将出现完善的计算机化的水文数据库供人们使用,在这个数据库中可以获取任何潜在工程地址处的流量历时曲线。随着 CD-ROM 的普及,加密磁盘已可以在 280ms 内存储和提取超过 1MB 的数据,使得人们可以在一个磁盘内处理整个流域的水文数据。

1.2.2 电站规模

流量历时曲线表示流量大于等于某一特定流量值的时间比例,由此人们可以快速确定有多少水资源可供不同规格的水轮机发电。由某一河流上已完成水电厂址规划的电站流量历时曲线



大于或等于某一流量的时间比例

图 1.2

(图 1.2) 可见, 由于流量在变化, 可利用的水流功率也是随时间变化的。假设水力发电机组的总效率是 0.81, 发电机出力 P 由下式确定:

$$P = 8QH$$

式中: Q 为流量, m^3/s ; H 为水头, m 。

如果水头是恒定的或接近于恒定值, 出力公式可以写成如下形式:

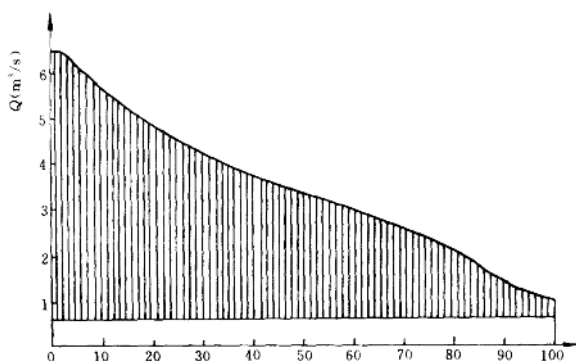
$$P = CQ$$

式中: C 为常数。

由此可见, 通常流量历时曲线代表潜在的电能容量。

然而, 并不是所有的水能都可以利用。首先, 为保证任何时候都有连续的自然流动, 这部分保留流量应从流量历时曲线上去掉。这一流量在图 1.3 的底部以无阴影线部分表示。可利用流量为图中上面剩余部分。

如果安装一台足以通过所有可用流量的水轮机, 那么水轮机的尺寸就会很大, 造价也太高, 满负荷运行时间也很短。与容量较小的机组相比, 机组和管路造价要高, 其发电量增加有限, 不



大于或等于某一流量的时间比例

图 1.3

一定经济。

水轮机不可能在零至额定流量的整个范围内运行，这也是机组容量要适当减小的另一个原因。大多数水轮机只能在 60% 的额定流量以上运行。即使是最好的水轮机也不可能在 $1/5$ 的额定流量以下运行。因此，所选择的额定流量越大，可发电运行的最小流量值也越大。图 1.4 和图 1.5 所给出的水轮机可发电运行的最小流量值为标称流量或设计流量的 30%。面积 A 和 B 为不能利用的部分。结果表明，虽然图 1.4 的电站容量比图 1.5 大 25%，但多发的电能却很有限，而投资要大得多。

1.2.3 年发电量

在流量历时曲线上量出可用流量面积并把它换算成一年内的实际水量，再乘以 9.8（水体重度， kN/m^3 ）、净水头和平均效率（按 0.81 估算），就可以初步估算出年发电量。计算出的年发电量以千焦（kJ）表示，除以 3600 后即可转换成千瓦·时（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ）。

是否进行深入的可行性研究，可根据年发电量初步估算结果确定。

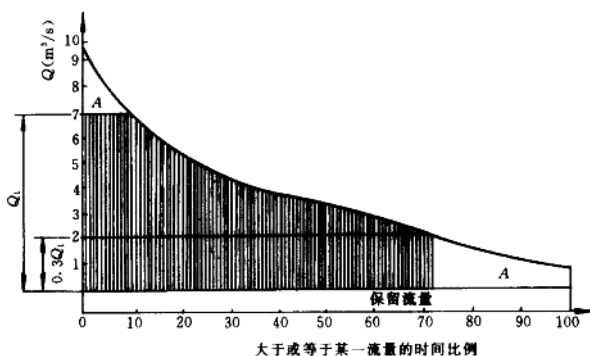


图 1.4

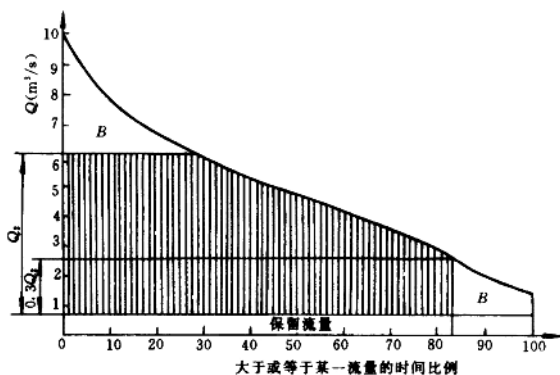


图 1.5

1.3 厂址选择和基本方案

水力发电需要有合适的水头和流量，厂址的选择是以水头和流量满足要求为先决条件。

决定厂址条件的因素是相互关联的，因此很难给出一个确切

的选择厂址的程序。初步勘测研究应包括电能蕴藏量说明、发电量估算、明确实际开发建设的工程量、了解有关限制条件（环境和社会条件的制约）和经济可行性初步研究。

小型水力发电工程既有高水头的，也有低水头的，这取决于特定厂址的地理条件。如果电站出力相同，高水头电站水轮机的过流量小，因而水力流道尺寸小，开发所需要的投入要小于低水头电站。

如果河道的某一段具有相对较大的坡降，就可以通过引用全部或部分水流利用水位落差发电，所引用水流通过水轮机后仍返回河道。水流可由压力管道以进水口直接引取，但是压力管很昂贵。图 1.6 给出了一个更为经济的替代方案。这个方案包括一个坝或堰、取水口和一条水位变化不大的明渠，这条与河谷并行的渠道直通前池，压力管道将水从前池引入厂房中的水轮机。如果地理条件不好，就不宜采用开挖明渠的方式。在这样的条件下，采用低压管道引水虽然昂贵，但总体上讲还是一种较为经济的方法。包括前池在内的电站引水管，尽管其布置方式可以不同，但通常都使用调压井来减小可能出现的瞬间压力冲击。

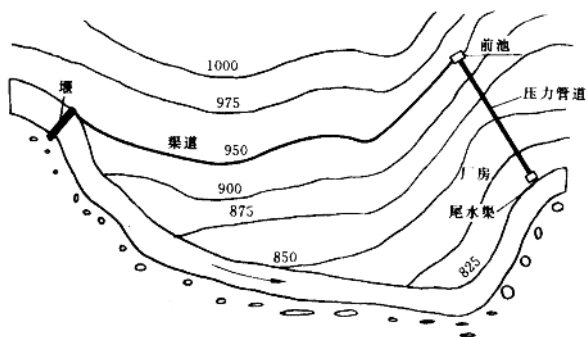


图 1.6

对低水头电站有两种可采用的方案。一种是使用引水堰，其布置类似于上述高水头电站，所不同的是其渠道通常要短一些，压

力管道也很短或者没有（图 1.7）。另一种是采用具有整体取水口和厂房的坝（图 1.8）。

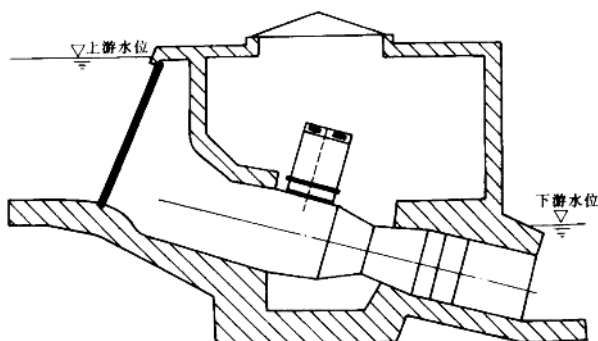


图 1.7

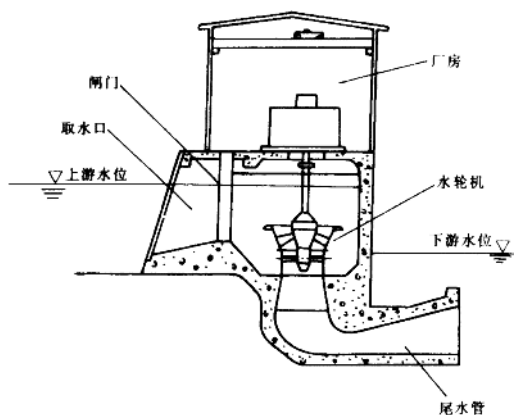


图 1.8

另一种方式是将电站设置在一个已有的大坝上，这个坝可能用于流量控制、灌溉和分配水量等多种目的。水流可以通过一个预先与坝做成一体的压力管道进入水轮机。如果坝不太高，也可以通过一个虹吸管将水引入水轮机（图 1.9）。在采用虹吸管引水

的情况下，压力管道先通过坝顶然后再向下倾斜至水轮机。水轮机可以设置在坝顶，但一般情况下是设置在下游侧。在大多数利用虹吸管引水的情况下，适用水头范围为 $1.8 \sim 11\text{m}$ ，也有个别情况水头用至 30m 。

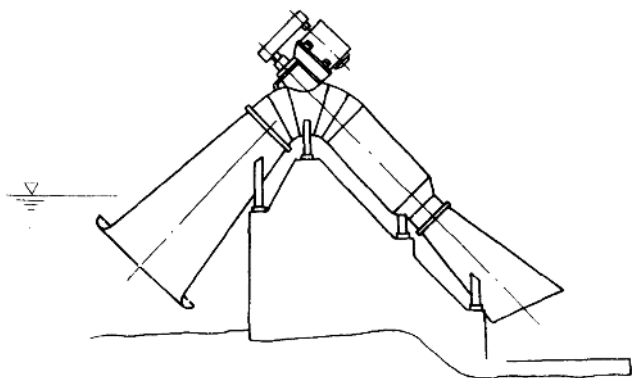


图 1.9

1.4 土 建 工 程

一旦选定厂址并确定了基本方案，就应进行更深入的设计。在第二部分的第 6 章“土建”部分中，讲述了所有基本水工结构的功能及设计方法。

1.4.1 坝和堰

坝是大型水电工程的基本组成部分，用于提高可利用的水头并形成水库蓄水。当地势相对平缓时，可以通过建坝来提高水位以形成发电所需的水头。坝也可以在丰水期用于蓄水，以便在枯水期进行发电。由于建坝的费用高，在小水电建设中很少使用。如果地形条件合适，电价相对较高，修建小型重力坝在低负荷时蓄水，在峰荷时发电是可行的。

堰由大体积混凝土或石材建成，其顶部高出河床 1m 以上（图



图 1.10

1.10)。在输水规划中,堰可以在渠道和管路的进口形成合适的水深。

1.4.2 取水口

取水口的作用是在控制条件下将水引入压力管道或发电渠道。取水口位于水量变化很大的河流与引水水流的分界处,它对水质和水量都进行控制。基于地质、水力、结构和经济方面的考虑,取水口的设计要特别注意避免不必要的维修和运行中的问题,这些问题一旦发生就很难补救,在整个工程的使用年限内都难以解决。

作为一种控制进水水量和水流质量的手段,在取水口的设计中最重要的是其相对于河流的方位。河流泥沙一般淤积在河湾的内侧,因而取水口不应建在河床内侧,以避免泥沙堵塞进口。河床外侧也不适于布置进水口,以防止水上漂浮物对进口的损坏。理想地点应在相对顺直的河段上,如有可能应有坚固的岩石,以便于筑堰。

取水口相对于河流的方位对在拦污栅前面的杂物聚集有很大影响,杂物聚集会造成长时间停机并花费大量的维修费用。取水