

ZHONGXIAOXING SHUIGONGCHENG

JIANMING JISHU CONGSHU (ER)



中小型水工程简明技术丛书 (二)

ZHONGXIAOXING SHUILI FADIAN GONGCHENG

JIANMING JISHU ZHINAN

中小型水力发电工程 简明技术指南

李维树 熊诗湖 王晓丽 张建辉 陈彦生 编著

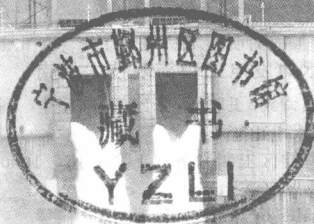


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中小型水工程简明技术丛书（二）

中小型水力发电工程 简明技术指南

李维树 熊诗湖 王晓丽 张建辉 陈彦生 编著



YZLI0890168174



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为“中小型水工程简明技术丛书”之一,采用通俗易懂的语言,系统地介绍了中小型水力发电工程的相关知识,突出了现代水力发电工程“人水和谐”时代具有的环境友好、生态健康、休闲娱乐等特点。全书共9章,分别介绍了我国中小型水力发电工程的概念与分类,中小型水力发电工程勘察、规划、设计、施工、监理、管理、环境影响评价和水土保持、经济评价等。

本书除适用于从事水资源与水利水电工程技术人员外,还可供相关领域的中职中专、大专院校师生和从事土木建筑与岩土工程的勘测、规划、设计、施工、监理、管理及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中小型水力发电工程简明技术指南 / 李维树等编著

— 北京:中国水利水电出版社,2012.12

(中小型水工程简明技术丛书;2)

ISBN 978-7-5170-0498-1

I. ①中… II. ①李… III. ①中型—水力发电工程—指南②小型—水力发电工程—指南 IV. ①TV7-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第314265号

书 名	中小型水工程简明技术丛书(二) 中小型水力发电工程简明技术指南
作 者	李维树 熊诗湖 王晓丽 张建辉 陈彦生 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	140mm×203mm 32开本 9.125印张 246千字
版 次	2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编 著 者 的 话

2011 年中央 1 号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》开宗明义：“水是生命之源、生产之要、生态之基”，“人多水少，水资源时空分布不均是我国的基本国情水情”。

进入 21 世纪 10 年来，新形势下水利的地位越来越重要，水利的作用愈来愈给力。特别是利用水工程为现代农业发展创造条件、为生态环境改善给予保障系统、为国人安全与健康提供水资源与水文化支撑，已成为中华民族的共识并付诸行动。

“中小型水工程简明技术丛书”正是这一共识与行动的一个组成部分。它界定在中小型规模范围，分别从水库枢纽工程、水力发电工程、堤防工程、引调水工程、灌溉排涝工程、防洪工程、围垦工程、水闸工程、灌溉/排水泵站以及水土保持生态工程 10 个测度的技术做了简明介绍，旨在其技术理念的提升更新、技术工艺的规范作用、技术应用的与时俱进。

“中小型水工程简明技术丛书”之所以撇开大型水利工程而专注于中小型水工程技术，一是因为中小型水工程在我国水利工程中占有相当大的比重；二是因为中小型水工程目前存在的缺陷较为严重；三是因为大型水工程将会在 20 年内建设项目逐渐降低，而中小型水工程的“兴建—加固—兴建”循环不止。为此，编著者在过往近 10 年编著出版的“中国堤防工程施工丛书”18 册和“中国水工程安全与病害防治技术丛书”8 册的基础上，与中国水利水电出版社合作，共同策划并编著出版：

1. 中小型水库枢纽工程简明技术指南；
2. 中小型水力发电工程简明技术指南；
3. 中小型堤防工程简明技术指南；

4. 中小型引调水工程简明技术指南;
5. 中小型灌溉排涝工程简明技术指南;
6. 中小型防洪工程简明技术指南;
7. 中小型围垦工程简明技术指南;
8. 中小型水闸工程简明技术指南;
9. 中小型灌溉/排水泵站简明技术指南;
10. 中小型水土保持生态工程简明技术指南。

10 册一套的“中小型水工程简明技术丛书”取之一线智慧即“中小型水工程技术”源于实践一线的经验总结与理论上升。该丛书既非“手册”，也非“标准”“规范”，而是介于两者之间的“手册”提升与“标准”逼近“指南”，核心在于其技术方法的机理创新，重点放在技术如何有效地应用于中小型水工程建设及其加固管理上。

“中小型水工程简明技术丛书”，概念清新，结构严谨，简明扼要，通俗易懂，集知识性、实用性和可操作性于一体，为我国水资源工程建设及其维修加固提供中小型水工程技术支撑。

2012 年 2 月

前 言

水力发电工程是水能转化为电能的水利工程。水力是天然循环的丰富资源，如果能善加运用，对人类造福无穷。但是如果不能加以控制，不但资源浪费，而且必危害无穷。由于水对农业、工业生产及人民生活有密切的关系，人类的生活，不论直接或间接，都不能没有水，因此各国对于水力的开发都极为重视。如果水力受到恰当的控制，不但可以消除水灾及旱灾，而且还可以通过利用水力来提高人类的生活水准。

根据我国现行规定，水电站按发电规模可以分为大型水电站、中型水电站和小型水电站三种主要类型。电站总装机容量达到 300MW 以上的称为大型水电站；其中大于 1200MW 的为大型（1）型，在 300 ~ 1200MW 之间的为大型（2）型。电站总装机容量为 50 ~ 300MW 的称为中型水电站。电站总装机容量小于 50MW 的称为小型水电站，其中在 10 ~ 50MW 之间的称小型（1）型，10MW 以下称小型（2）型。

我国的小水电资源十分丰富，理论蕴藏量约为 1.5 亿 kW，可开发容量约为 7000 多万 kW，相应年发电量约为 2000 亿 ~ 2500 亿 kW · h。小水电除了具有大水电的不污染大气、使用可再生能源而无能源枯竭之虑、成

本低廉等优点外因其资源分散，对生态环境负影响小，技术成熟，投资少，易于修建，因而适宜于农村和山区，特别是发展中国家的农村和山区。

我国作为发展中国家，小水电建设已经取得了巨大的成绩，到 1997 年底，我国小水电总装机容量已达 2052 万 kW，年发电量为 683 亿 kW·h。小水电建设多数情况可采用当地建筑材料，吸收当地劳动力建设，从而降低建设费用，并且其设备易于标准化，能降低造价，缩短建设工期，无需复杂昂贵技术，有利于我国经济不发达的山区和农村实现电气化，因而应继续重视其开发和建设。

因此，为了确保中小型水力发电工程的功能、效益的正常发挥以及长久运行安全，特针对我国中小型水力发电工程对自然平衡的影响，采用通俗易懂的语言，撰写了这本《中小型水工程简明技术丛书》之一《中小型水力发电工程简明技术指南》。本书以水利水电工程相关规范规程为依据，研究吸收了水利水电工程规划、设计、施工、管理及生态环境保护工作中积累的经验，参考了公开发表的论文和著作，系统地介绍了中小型水力发电工程的相关知识，包括中小型水力发电工程的概念、分类以及水力发电工程勘察、规划、设计、施工、监理、监测、管理、环境保护和水土保持等方面的技术要点，以供从事水资源与水利水电工程技术人员参考使用，也可供水利院校师生学习参考。

本书采取集体讨论与分工合作的形式进行编著，由李维树、熊诗湖、王晓丽、张建辉、陈彦生共同撰写。其中李维树编写第 1 章、第 2 章、第 3.1~3.6 节；熊诗

湖编写第3.7节、第4章、第5.1~5.2节；王晓丽编写第5.3~5.7节、第6章、第7.1~7.2节；张建辉编写第7.3~7.11节、第8章、第9章。陈彦生参加了部分章节的编写并对全书进行了策划与统稿。

在编写过程中，参考了国内大量的相关规范规程以及公开发表的论文和著作，在参考文献中一并列出，在此表示衷心的感谢！同时由于时间紧迫、编者水平所限，本书不当之处敬请赐教。

编著者

2012年10月

目 录

编著者的话

前言

1 绪论	1
1.1 水力发电工程的基本概念	1
1.2 水力发电工程发展历史	3
1.3 水力发电工程分类	6
1.4 中小型水力发电工程开发现状	8
2 中小型水力发电工程勘察	14
2.1 规划阶段工程地质勘察	14
2.2 可行性研究阶段地质勘察	17
2.3 初步设计阶段工程地质勘察	23
2.4 设计施工阶段工程地质勘察	31
2.5 病险水库除险加固工程勘察	33
2.6 天然建筑材料勘察	39
2.7 勘察成果	40
3 中小型水力发电工程规划	44
3.1 规划内容	44
3.2 水电站水能计算	49
3.3 水电站保证出力计算	51
3.4 水电站多年平均年发电量估算	52
3.5 电力系统的负荷图	54
3.6 水电站装机容量选择	60
3.7 以发电为主的水库特征水位的选择	80
4 中小型水力发电工程设计	90
4.1 工程布置及主要建筑物设计	90

4.2	水电站厂房设计	102
4.3	水力机械及采暖通风设计	105
4.4	水电站厂房内的辅助设备	110
4.5	主厂房设计	115
4.6	副厂房的布置	125
4.7	厂区布置	129
5	中小型水力发电工程施工	133
5.1	施工导流	133
5.2	主体工程施工	145
5.3	施工交通	154
5.4	施工工厂设施	156
5.5	施工总体布置	160
5.6	施工总体进度	163
6	中小型水力发电工程监理	168
6.1	工程监理机构和人员	169
6.2	监理工作准备	171
6.3	工程质量控制	175
6.4	工程进度控制	180
6.5	工程合同管理	183
6.6	施工安全与环境保护	199
6.7	工程信息管理	200
6.8	监理协调	203
6.9	工程移交与缺陷责任期监理工作	205
7	中小型水力发电工程管理	207
7.1	项目管理组织	208
7.2	项目综合管理及范围管理	211
7.3	项目采购管理	218
7.4	项目前期策划与勘察设计管理	219
7.5	项目科研技术与监理管理	223

7.6	项目征地移民与环境保护管理	225
7.7	项目进度与质量管理	229
7.8	项目投资及合同管理	233
7.9	项目职业健康安全管理	235
7.10	项目风险及验收管理	238
7.11	项目后评价管理	240
8	环境影响评价和水土保持	242
8.1	环境影响评价	242
8.2	水土保持	250
9	经济评价	258
9.1	费用与效益计算	259
9.2	财务评价与国民经济评价	261
9.3	不确定分析及方案比较方法	273
9.4	改建与扩建项目经济评价	274
	引用的规程规范	276
	参考文献	279
	后记	280

1 绪论

水力发电工程是水能转化为电能的水利工程。水力是天然循环的丰富资源，如果能善加运用，对人类造福无穷。但是如果不能加以控制，不但资源浪费，而且必危害无穷。由于水对农业、工业生产及人民生活有密切的关系，人类的生活，不论直接或间接，都不能没有水，因此各国对于水力的开发都极为重视。如果水力受到恰当的控制，不但可以消除水灾及旱灾，而且还可以利用水力来提高人类的生活水准。

1.1 水力发电工程的基本概念

1.1.1 水力的开发

天然的再生能源雨水降落大地以后，除了一部分被泥土吸收或潜入地层，一部分直接被阳光蒸发及经由植物蒸发之外，其余的都慢慢集合，汇流入溪涧河川。河流的流量与雨量有密切关系，雨季流量大，旱季流量小。而河流中每一秒钟水流体积的移动量称为“流量”，流量的单位是 m^3/s 。而水从高地流到低地的垂直距离称为“落差”，又称为“水头”。如果水量一定，则落差越高所产生的“水力”也就越大。

水力的开发与运用水库的开发如果只是为了某一特定的目标，例如发电或灌溉，称为“单一开发”；如果同时能解决多项问题，例如防洪灌溉发电等，称为“多元开发”，在这里我们只

着重于发电方面的开发，所以只就水力发电的部分阐述。水力开拓的必要条件是“落差”与“流量”。而落差和流量的取用方法是在河流上游适当的地方建筑一座水坝，拦阻河水，抬高水位或使水流顺着输水管路送到下游的水力发电厂取得落差，以推动厂内的水轮发电机，使天然的水力转变成电力。另外，水的能量包括动能与位能，水力机械中的水轮机可以把这两种能量转变为机械能，同时加以有效利用。

1.1.2 水力发电的原理与流程

高山上的雨水受重力作用而向下奔流，滔滔不绝，力量巨大，如果我们能想办法加以利用，这个巨大不息的力量，就可以为人类做许多工作。

水力发电的原理以具有位能或动能的水冲水轮机，水轮机即开始转动，若我们将发电机连接到水轮机，则发电机即可开始发电。如果我们将水位提高来冲水轮机，可发现水轮机转速增加。因此可知水位差越大则水轮机所得动能越大，可转换之电能越多。这就是水力发电的基本原理。

惯常水力发电的流程为：河川的水经由拦水设施攫取后，经过压力隧道、压力钢管等水路设施送至电厂，当机组须运转发电时，打开主阀（类似家中水龙头之功能），后开启导翼（实际控制输出力量的小水门）使水冲击水轮机，水轮机转动后带动发电机旋转，发电机加入励磁后，发电机建立电压，并于断路器投入后开始将电力送至电力系统。如果要调整发电机组的出力，可以调整导翼的开度增减水量来达成，发电后的水经由尾水路回到河道，供给下游的用水使用。

抽水蓄能电站与惯常水力电厂不同，它的水流是双方向，设有上池及下池。白天发电流程与惯常水力电厂相同，于夜间电力系统高峰时段，利用原有的发电机的运转，带动水轮机将下池的水抽到上池。如此循环利用，原则上发电后的水并不排掉。

1.2 水力发电工程发展历史

电力是现代化工业生产和生活不可或缺的动力能量，水力发电是电力工业的一个门类。新中国成立 60 多年来，我国的水电事业有了长足的发展，取得了令人瞩目的成绩。水电在我国的兴起是有其深刻的背景的。

(1) 我国有大规模利用水能资源的条件和必要性。我国水能资源丰富，不论是水能资源蕴藏量，还是可开发的水能资源，在世界各国中均居第一位。但是目前我国水能的利用率仅为 13%，水力发电前景广阔。随着我国经济的快速增长，能源消耗总量也大幅度增长，煤炭、石油和天然气这些常规能源的消耗量越来越大，甚至需要依靠进口。在这样的情势下，发展新能源就显得特别重要而紧迫，而水能就是一种可再生的新能源。

(2) 发展水电也是环境保护的需要。常规发电方式，煤的燃烧过程中排放出大量的有害物质使大气环境受到严重污染，引发酸雨和“温室效应”等多方面的环境问题。而核能发电有很大的潜在危险性，一旦泄漏造成污染，对环境的破坏作用是不可估量的。水力发电不排放有害的气体、烟尘和灰渣，又没有核辐射污染，是一种清洁的电力生产，具有明显的优势。

(3) 水力发电经过一个多世纪的发展，其工程建设技术、水轮发电机组制造技术和输电技术于完善，单机容量也不断增大。并且水力发电成本低廉，运行的可靠性高，故其发展极为迅速。

1.2.1 我国水能资源概况

我国河流众多，径流丰沛，落差巨大，蕴藏着丰富的水能资源。据统计，我国河流水能资源蕴藏量 6.76 亿 kW，年发电量 5922 亿 kW·h；可能开发水能资源的装机容量 3.78 亿 kW，年发电量 9200 亿 kW·h。

由于气候和地形地势等因素的影响，我国的水能资源在不同地区和不同流域的分布很不均匀；此外我国水能资源的突出特点

是河流的河道陡峻，落差巨大，发源于“世界屋脊”青藏高原的大河流长江、黄河、雅鲁藏布江、澜沧江、怒江等，天然落差都高达 5000m 左右，形成了一系列世界上落差最大的河流，这是其他国家所没有的。充分了解我国水能资源的特点，才能在开发过程中因地制宜，合理地充分地利用水能资源。

1.2.2 我国水电开发现状

一个世纪，特别是中华人民共和国成立以来，经过几代水电建设者的艰苦努力，中国的水电建设从小到大、从弱到强不断发展壮大。改革开放以来，水电建设更是迅猛发展，工程规模不断扩大。20 世纪 50 年代至 60 年代初，主要修复丰满大坝和电站，续建龙溪河、古田等小型工程，着手开发一些中小型水电（如官厅、淮河、黄坛口、流溪河等电站）。在 50 年代后期条件逐步成熟后，对一些河流进行了梯级开发，如狮子滩、盐锅峡、拓溪、新丰江、新安江、西津和猫跳河、以礼河等工程。60 年代中期到 70 年代末这段时期内开工的有龚嘴、映秀湾、乌江渡、碧口、凤滩、龙羊峡、白山、大化等工程。70 年代初第一座装机容量超过 1000MW 的刘家峡水电站投产。80 年代容量 2715MW 的葛洲坝水电站建成，之后一系列大水电站相继建设，容量 18200MW 的三峡工程也于 1994 年正式开工；到 2000 年底，全国规模超过 1000 MW 已建和在建的大水电站（不包括蓄能电站）已有 18 座。

除了常规水电站以外，我国抽水蓄能电站的建设也取得很大的成绩。抽水蓄能电站主要建于水力资源较少地区，以适应电力系统调峰的需要。已建的主要抽水蓄能电站如下：

广州抽水蓄能电站总装机容量 240 万 kW，是我国第一座也是目前世界上最大的抽水蓄能电站。电站分两期建设，总装机 8 台，每期 4 台，采用 30 万 kW 容量可逆式高参数抽水蓄能机组，设计水头 535m，额定转速 500r/min，综合效率 76%。

江天荒坪抽水蓄能电站，总装机容量为 180 万 kW（ 6×30 万 kW），属日调节纯抽水蓄能电站，年抽水耗电量 42.80

亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。华北电网最大的抽水蓄能电站——十三陵抽水蓄能电站，以“十三陵水库”为下池，采用悬挂式塑性混凝土防渗墙技术进行防渗处理，电厂安装 4 台 20 万 kW 混流河逆式水泵水轮机、电动—发电机组，装机容量 80 万 kW 。

河北潘家口的混合式抽水蓄能电站，装有 1 台 15 万 kW 常规水轮发电机组，还有 3 台抽水蓄能机组，每台 9 万 kW ，合计装机容量 42 万 kW 。

此外，我国在西藏还建设了世界上海拔最高的抽水蓄能电站——羊卓雍湖抽水蓄能电站。其他抽水蓄能电站还有河南宝泉抽水蓄能电站、安徽琅琊山抽水蓄能电站、山东泰安抽水蓄能电站、浙江桐柏抽水蓄能电站、江苏宜兴抽水蓄能电站、河北张河湾抽水蓄能电站。

1.2.3 我国水电发展面临的问题

我国的水电事业在新中国成立以后有了长足的发展，但还存在很多问题。这种情况在我国的水电站中普遍存在。究其原因，主要有以下几点：

(1) 在管理体制上，高度垄断的电力工业体制阻碍了水电的发展。

(2) 在目前经济利益上，火电生产的多少，与各大小煤矿的经济效益直接相关。

(3) 在技术上，由于水电的调峰或甩负荷相当容易，甚至几分钟即可完成大型水电机组的起动、并网发电或停车，而同级容量的火电机组则可能需要几十个小时来完成起动或停车。因此在大电网调度上，往往用水电机组做调峰或备用机组，在水量充足时以泄洪代发电，却不重视其在常规时期的发电应用，造成水电的巨大浪费。

总之，我国水电事业面临的问题归根结底是人们在思想上还没有认识到发展水电的必要性和紧迫性，往往因为水电客观上存在一次性投资大、建设周期长、建成初期回报少的特点，就只顾及眼前的经济利益，从而给水电的发展造成了多重客观阻力。因

此，我们应该大力宣传在我国发展水电所具有的重大意义，改变人们对水电的观念，从本质上扫除各种障碍。

1.3 水力发电工程分类

(1) 按发电能量来源分。人们为了充分利用蕴藏在江河、湖泊、海洋中的水力能源，采用多种多样水力发电的方式，一般可分为常规水电站、抽水蓄能电站、潮汐发电三大种类。常规水电站，一般是通过修建拦河坝将河流的水汇集起来，提高上下水位的落差，利用落差形成的水力能量，由引水管路将水流引到水轮机，驱动水轮机旋转，带动与水轮机相连的发电机发出电力。抽水蓄能电站一般需要修建上、下两个水库，上、下水库之间水位的高度差就是抽水蓄能电站的水头。抽水蓄能电站在电力系统用电负荷高峰期，将上水库所蓄积的水放下来，推动水轮发电机组发电，此时电站机组运行工况称为水轮机工况。当电力系统用电负荷处于低谷时，电站机组采用水泵运行工况，把下水库的水抽到高处的上水库中，将电力系统的剩余电能以水的势能形式储存起来备用。由于海洋受到月球引力的作用，在一些海滩上会形成潮汐，一会儿水面降得很低，露出海滩，过一段时间，又涨得很高，把海滩全部淹没了，如此往复循环。潮汐电站正是利用在海边潮汐形成的水位落差来发电的水电站。

除了以上常规水电站、抽水蓄能电站、潮汐发电三种类型水电站之外，还有利用波浪能、温差能、潮流能和盐度差等发电的水电站。

(2) 按照集中水头分。按照集中水头的不同，水电站可以分为：引水式水电站、堤坝式水电站、混合式水电站和集中网道式水电站四种类型。

1) 引水式水电站是通过修筑引水工程将水流的落差集中用来发电，引水管路可以是明渠或压力管道。

2) 堤坝式水电站是可根据水电站厂房所处位置的不同，分