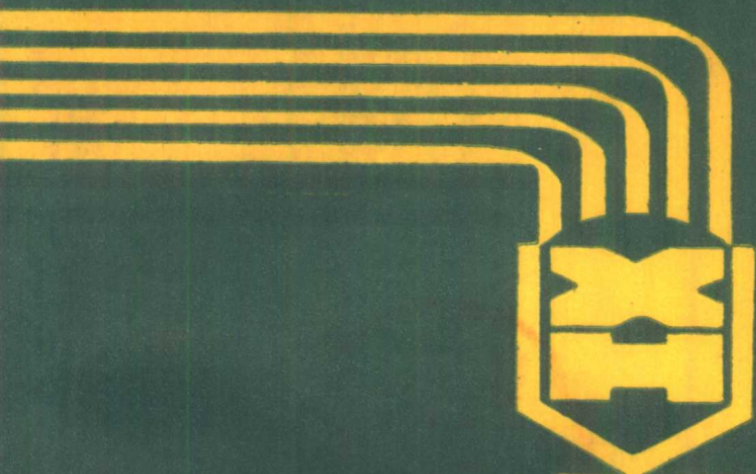




全国“星火计划”丛书

戴树梅 主编

小型水电站

第二版

电气一次

全国“星火计划

小型水电站

第二版

电气一次

戴树梅 主编

水利电力出版社

(京) 新登字115号

内 容 提 要

《小型水电站》分六分册。本书为电气一次部分，共9章。书中系统地介绍了单机容量为500~12000kW、出线电压为110kV及其以下的小型水电站与电力系统连接、电气主接线、厂用电、电气设备的布置、短路电流计算、电气设备及载流导体的选择、过电压保护、接地与接零、照明等内容。本书重点在于叙述一次回路各组成部分的原理、接线方式、布置特点、安装、设计要求和方法。内容紧密结合实际，由浅入深，文字通俗易懂，便于自学。

本书可供从事小型水电站设计、安装、运行的电气技术人员及大、中专院校有关专业师生参考；可作为小型水电站电气技术人员培训教材。

全国“星火计划”丛书

小 型 水 电 站

第 二 版

电 气 一 次

戴树梅 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 19印张 422千字

1992年3月第一版 1992年3月北京第一次印刷

印数 0001—4620册

ISBN 7-120-01364-5/TV·481

定价 13.55 元

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员（以姓氏笔划为序）

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委员（以姓氏笔划为序）

王晓方 向华明 米景九 应日珽

张志强 张崇高 金耀明 赵汝霖

俞福良 柴淑敏 徐 骏 高承增

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、两门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

前 言

我国水力资源极为丰富，水电开发的前景广阔。近几年来小型水电站迅猛发展，在农村经济发展和人民生活水平的提高中发挥了巨大作用。为了适应当前小型水电站建设的需要，我们总结了小型水电站设计、安装、运行及小型水电站技术培训班教学的经验，编写了小型水电站一套丛书。

本书着重介绍单机容量为500~12000kW、出线电压为110kV及以下的小型水电站电气一次部分的设计原理、原则和设计方法，同时对安装、运行的一些问题也作了介绍。

作者在编写时注意系统性、理论性、实用性和先进性，理论联系实际，重视解决工程实际问题。为了便于学习和工作参照，列举了很多设计实例、附图和附表。

本书比第一版增加了极为重要的“小型水电站与电力系统的连接”一章，并对其他各章作了补充编写。

本书可供从事小型水电站设计、安装、运行技术人员和大、中专院校专业师生参考，也可作为小型水电站培训班教材使用。

本书的概论及第一、五章由戴树梅编写，第二、七章由钟海清编写，第四、九章由陈永清编写，第三、六、八章由侯秀玉编写。全书由戴树梅主编。浙江省水利水电设计院胡文宝同志对本书认真审阅，提出了很多宝贵意见。编者向他表示诚挚的谢意。由于编者水平和经验有限，书中缺点、错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1989年12月

目 录

序

前言

概论	1
第一章 小型水电站与电力系统的连接	4
1-1 概述	4
1-2 接入系统设计原始资料的收集	6
1-3 负荷曲线编制、负荷预测及电力电量平衡	10
1-4 送电网络的规划设计	31
1-5 接入系统设计的技术经济分析	39
1-6 电力系统中性点接线方式	53
1-7 输电线路的电气计算	67
1-8 架空线路导线截面的选择	83
第二章 电气主接线	89
2-1 概述	89
2-2 电气主接线设计的依据和步骤	91
2-3 小型水电站电气主接线基本型式	93
2-4 主变压器选择	109
2-5 电气主接线的技术经济比较	117
2-6 小型水电站电气主接线实例分析	119
第三章 厂用电	129
3-1 概述	129
3-2 厂用电负荷的分类与统计	132
3-3 厂用变压器选择	142
3-4 厂用电接线	148
3-5 厂用电机的选择与起动	157
3-6 厂用低压电器及其选择	169

3-7 低压配电屏(柜、箱)	193
第四章 电气设备布置	198
4-1 小型水电站电气部分总体布置	198
4-2 发电机电压电气设备布置	205
4-3 35~110kV配电装置的布置	233
4-4 主变压器的布置	260
4-5 近区供电设备的布置	261
4-6 厂用低压配电装置的布置	267
4-7 电力电缆的敷设	275
4-8 六氟化硫电器的布置	280
第五章 短路电流计算	281
5-1 概述	281
5-2 电力系统中各元件参数计算	286
5-3 网络变换和化简	297
5-4 三相短路电流的变化过程	302
5-5 三相短路电流计算	312
5-6 不对称短路电流近似计算	330
5-7 低压电网短路电流计算	333
第六章 高压电气设备及载流导体选择	354
6-1 电气设备选择的一般条件	354
6-2 高压断路器选择	363
6-3 高压隔离开关选择	373
6-4 高压负荷开关选择	377
6-5 高压熔断器选择	381
6-6 电抗器选择	386
6-7 6~35kV成套配电装置选择	390
6-8 母线选择	394
6-9 电力电缆选择	407
6-10 绝缘子及穿墙套管的选择	413
6-11 互感器选择	419

第七章 过电压保护	428
7-1 概述	428
7-2 过电压保护装置	435
7-3 小型水电站的防雷保护	460
7-4 架空配电网的防雷保护	488
7-5 内部过电压保护	491
7-6 电气设备绝缘水平与绝缘配合	499
第八章 接地与接零	507
8-1 概述	507
8-2 接地和接零的作用	512
8-3 小型水电站及变电所接地的设计	519
8-4 接地电阻计算	528
8-5 接地装置的敷设及改善接地效果的措施	542
8-6 接地电阻测量	547
第九章 照明	552
9-1 概述	552
9-2 电光源及其选择	556
9-3 照明的方式和照明种类	567
9-4 照明器的选择与布置	569
9-5 照度的标准及计算	575
9-6 照明供电网络及其计算	582
9-7 水电站主要厂房照明设计实例	594

概 论

水电站是一座发、变电设施。它通过水轮机将水能转变为机械能，并通过发电机将机械能转变为电能，而后由变压器升高电压，再经输电线路将此电能输送到用户或电力系统中去。

水电站的电气设备可分为电气一次设备和电气二次设备。电气一次设备是直接生产、输送和分配电能的高压设备，它是水电站的主要设备，因此常称为主设备。主设备包括发电机、变压器、电力开关（断路器、自动开关、隔离开关）、电力电缆、母线、电抗器和互感器等；电气二次设备是对一次设备的工作进行监视、测量、控制和保护的低压设备，它包括测量仪表、继电器、自动装置、远动装置、操作开关、信号器具和控制电缆等。

表示一次设备电气连接关系的高压电气回路称为一次回路。在水电站电气部分设计中，一次回路的设计是主体，它是保证供电可靠性、经济性和电能质量的关键，并直接影响着电气部分的投资。同时，它与继电保护、自动装置和二次接线的设计有密切关系。当水电站接入电力系统时，它对于电力系统运行的安全性、稳定性和经济性也将发生直接影响。

一次回路设计必须根据该地区的社会经济、动力资源、电网现状、电网规划、近区负荷和邻近电源情况进行。在设计中，必须认真贯彻党的有关方针、政策；应从全局出发，认真进行分析、比较，精心设计，积极慎重地推广国内外先进技术，因地制宜地采用新设备、新材料和新布置；必须遵

守现行有关规程的规定，例如《电力工业技术管理法规》、《小型水力发电站设计规范》、《电力设备过电压保护设计技术规程》、《电力设备接地设计技术规程》、《高压配电装置设计技术规程》等；必须从实际出发，按照需要与可能，近期与远期相结合的原则，合理布局，便于分期过渡。

电气一次部分设计，通常包括以下几方面的内容：

（1）水电站与电力系统的连接：根据地方的电力系统规划设计或水电站接入系统设计，确定本电站的送电地区，输电电压等级，出线回路数目，输电容量，以及电力系统对本电站的运行方式、稳定措施等方面的要求；

（2）电气主接线：论证、选定电气主接线，包括近期与远期的接线方式；

（3）厂用电系统：选择厂用电源的取得方式与厂用电电压，统计厂用电负荷，选择厂用变压器的容量、台数，选定厂用电接线及厂用配电屏的型号等；

（4）电气设备布置：选定主变压器和开关站的位置，进出线方向及其布置型式，主、副厂房电气设备布置等；

（5）电气设备选择：计算短路电流，选择发电机、变压器、断路器、隔离开关和互感器等电气设备的型式、规格及有关技术参数；

（6）过电压保护和接地：选定主厂房及电气设备，进出线段的过电压保护方式，保护设备型式、规格及其布置位置；计算接地电阻及敷设接地装置等；

（7）电气照明：选定照明方式、照明器具，设计照明供电网络及其布置；

（8）电力电缆敷设：选择电缆路径和电缆规格、型号，设计电缆沟道图及布置图。

电气一次回路的设计是在勘测和可行性研究后进行的。一般分为初步设计和技施设计两阶段。初步设计的编制是根据上级下达的任务或设计任务书，经过审核的河流规划，地方电力系统规划，本地区工农业发展规划和农村电气化规划等进行编制。主要设计内容有：选择接入系统方式，选择发电机容量、台数和电气主接线，选择主要电气设备。技施设计是在初步设计审批后，在初步设计基础上，完成上述内容的施工图及订货图设计。初步设计及技施设计文件除了图纸外，尚须有设备清册和文字说明。文字说明应简明扼要，有分析、论证，能正确反映情况，说明问题，并附有所采用的原始资料、数据、方案选择（仅初设需要），主要计算方法和数据：设计图纸应做到内容完整、清晰、整齐，并注意图纸的正确性和一致性。

设计图纸采用的图形符号和文字符号必须采用国家批准的图例符号和文字符号。以前采用的标准有《电工系统图图形符号》（GB312-64）《电工设备文字符号编制通则》（GB315-64）、《物理量符号》（GB1437-74）和水电部颁布的《电力系统图形符号及文字符号》等。按国家标准局1987年3月以国标发〔1987〕079号文的通知，要求“各地区各部门在所属范围内积极开展对新标准的宣传工作，努力创造条件，全面系统地实施新国家标准。”新的国家标准是参照国际电工委员会（IEC）标准制订的，新的国家标准主要是：《电气图用图形符号》（GB4728.1-84~GB4728.13-85）；《电气设备用图形符号》（GB5465.1-85、GB5465.2-85）；《电气技术中的项目代号》（GB5094-85）；《电气技术中的文字符号制订通则》（GB7159-87）；《电气制图》（GB6988.1-86~GB6988.7-86）。

第一章 小型水电站与 电力系统的连接

1-1 概 述

一、接入系统设计的基本任务

随着小型水电站容量的增大和输电电压的提高，以及小水电群的形成，各地县的小水电已由若干个孤立电站连成地区性的电力系统，而且在自发自供就地平衡的基础上，并入附近大电网，成为大电网一个组成部分。

小型水电站并入地方电力网或并入大电网，不但可提高供电可靠性，保证电能质量，充分发挥设备潜力，合理利用动力资源；同时，可在系统中进行季调节或日调节，在枯水期担负调峰或起蓄能调峰作用。

小型水电站接入地方电力网或大电网的设计是电站电气设计的重要内容，也是电力系统规划设计的一个专题或一个组成部分。电力系统规划设计是对所规定的水平年（一般一个水平年为10~25年）内电源及电网的发展进行预测。系统规划设计主要任务是：根据电力系统现状，本地区的主要经济状况，动力资源，负荷分布及负荷增长情况等资料，进行电力电量平衡，分析确定发展目标和逐年过渡的电源布置、网络结构，并进行有关的电气计算。

接入系统设计的主要任务是：根据系统远景发展规划、水能特性、供电方式要求和地理条件，经全面技术经济论证

后，确定本电站的送电点、输电电压、出线回路数、输送容量（包括穿越功率）、导线的截面、线路的保护方式、电站近期接线方式和分期过渡方式，并配合水机、水电专业确定电站的装机容量及台数。

如果在电力系统规划设计中已对本电站接入系统有关问题进行了分析和设计，在电站建设时没有多大变化，则在进行电站电气设计时，一般就不必再进行接入系统设计；如果电站设计时，该地区尚未形成地方电力网，则在电站电气设计中应考虑将来并入系统的可能性，即要进行电站并入电网布局的研究和并入系统后本电站有关电气计算。

接入系统设计是电气设计的基础和依据，它应为电站电气设计提供如下资料：

（1）电力系统设计水平年的地理接线图、网络接线图及各序阻抗图。

（2）本电站的送电点，输电电压等级，出线回路数，输电容量（包括穿越功率）及其运行方式。

（3）本电站在电力系统中的地位和作用。

（4）电力系统对本电站主变压器的要求，包括主变压器的型式、调压方式、中性点接地方式和短路阻抗等的要求。

（5）电力系统对发电机参数、励磁方式及励磁控制性能的要求，包括对电压和功率允许变化范围、暂态电抗、短路比、飞轮力矩、励磁电压顶值倍数、励磁电压上升速度及励磁调节性能等的要求。

（6）电力系统对本电站的继电保护、自动和远动通信等要求。

二、接入系统设计步骤

电站接入电力系统设计一般可分为以下几个步骤：

- (1) 进行有关资料的收集;
- (2) 进行负荷预测和电力电量平衡;
- (3) 拟出电站近期和远期运行方式的若干方案进行技术经济分析和论证;
- (4) 进行送电网络的规划设计, 并提出对送变电工程设计的要求;
- (5) 进行有关的电气计算。

1-2 接入系统设计原始资料的收集

原始资料是进行接入系统设计的依据, 因此原始资料的完整性和准确性必将影响到设计的合理性和正确性。原始资料包括远景发展(至规划年, 即设计水平年, 一般为 5~10 年)和近期的资料。其主要内容一般是: 本地区社会经济情况、动力资源情况、电力负荷情况、发变电状况和电力网络状况。

一、社会经济状况

社会经济状况包括: 本地区乡镇人口、经济生活水平、地理位置、地形、气候、土地、农田水利、工农业生产、交通运输、矿藏和森林等情况, 以及经济发展对电力生产逐年要求。了解社会经济状况是为了根据需要与可能的原则, 科学地制定本地区电力建设方案, 使电站的建设能适应本地区经济和社会发展的需要, 促进工农业和社会发展。

二、动力资源状况

查清动力资源状况, 以便确定电站的布局与容量。动力资源包括: 水力、煤炭、风水、地热和沼气等。

水力资源方面, 要了解河流特点, 各河流的水能蕴藏量, 可开发量和流域规划中有关电站建设的情况。

其它能源方面，须了解资源分布情况，储藏量，开采计划和本地区燃料平衡情况。

三、电力负荷情况

小型水电站的供电负荷，主要是地、县办工业，乡镇企业，农业生产，电力排灌，农副产品加工及生活用电等负荷。具体资料如下：

1. 历史负荷资料及分析

(1) 地方电力系统及各变电所过去1~2年电力负荷及本年度计划的负荷资料，包括：最高负荷，年用电量，日负荷率，低谷与高峰负荷之比，日负荷高峰和低谷持续时间；

(2) 地方电力网与大电力系统功率交换情况；

(3) 各类负荷的用电量，较大负荷的用电量；

(4) 工农业用电的各种负荷特性指标，本地区典型年的各季代表日负荷曲线，月最大负荷及月平均负荷变化曲线。

2. 远景负荷预测

(1) 设计水平年工农业及各行业电力电量(如表1-1所示)及分析；

(2) 设计水平年各变电所电力电量表；

(3) 本地区逐年电力电量递增速度及分析；

(4) 大用户的电力电量增长计划，设备利用率，负荷率和功率因数等。

四、发、变电状况

1. 水电站资料

(1) 现有水电站所在河流名称、地点、装机容量、多年平均发电量、保证出力、最大出力和调节性能。

(2) 水轮发电机型式、台数、参数、电站电气主接线和主要电气设备规范；并入系统的电站及装机容量；不并入

表 1-1

负 荷 预 测

项 目		19 × × 年		19 × × 年		19 × × 年.....	
		电 力		电 量		电 力	
		最小	最大	最小	最大	最小	最大
× × 片 负 荷 情 况	1. 工业负荷 其中: × × 厂 × × 厂						
	2. 农业负荷						
	3. 民用负荷						
	4. 乡镇企业负荷						
	5. 其它						
	小 计						
× × 片 负 荷 情 况	1.						
	2.						

注 (1) × × 片一般按变电所供电范围划片;

(2) 水平年一般考虑 5 ~ 10 年。

系统的电站及其装机容量;正在施工、设计的水电站装机容量及台数。

2. 其它电源资料

本地区现有小型火电厂和其它能源的发电厂的装机容量、台数、地点;拟扩建的小型火电厂和其他能源电厂的装机容量和台数;

3. 变电站资料

本地区现有及拟建的变电站总容量及其分布情况。