

715226

503122

13471

T. 34. 1



小型水电站

下 册

电气一次回路部分

江西省水利水电勘测设计院 天津大学水利系编

小型水电站

下册 电气一次回路部分

江西省水利水电勘测设计院 天津大学水利系编

水利电力出版社

小型水电站
下册 电气一次回路部分
江西省水利水电勘测设计院
天津大学水利系 编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 14印张 373千字

1983年10月第一版 1983年10月北京第一次印刷

印数 0001—71300册 平装定价 1.35元

书号 15143·5184

内 容 提 要

《小型水电站》分上、中、下三册(中册分水轮机、厂房两部分,下册分电气一次回路、电气二次回路两部分)。本书为下册的电气一次回路部分,共八章。书中系统地介绍了单机容量为500~6000千瓦,出线电压为35千伏及以下小型水电站的发电机和变压器,电气主接线,厂用电接线,短路电流计算,高、低压电气设备和载流导体的选择与布置,过电压保护和接地,以及电气照明等内容。重点介绍了发电机和变压器的基本原理,小型水电站接线和布置的特点,以及新型电气设备和新技术的使用。书中还有具体工程的接线和布置实例供参考。

本书可供地、县、社从事水电站电气一次回路设计、运行、安装的技术人员以及大专院校有关专业的师生参考,

* * *

本书的第一至五章、八章由江西省水利水电设计院余奇伟同志(现已调水电部华东勘测设计院)编写;第六章由湖南省水利水电设计院曾永林同志(现已调水电部中南勘测设计院)编写;第七章及第二章的部分内容由天津大学李修恕同志编写;参加本书审稿的有甘肃省水利水电设计院,湖北省水利设计院,四川省水利设计院,福建省水利水电设计院,广西玉林地区水电设计处,水电部华东勘测设计院,华中工学院,合肥工业大学等单位的有关同志。此外,在编写过程中,不少水利水电设计院和已建的水电站提供了许多宝贵意见和设计图纸。最后,请水电部北京勘测设计院邱景安同志对全书内容作了审核,他对其中六章增减了一些内容,补充了新产品,并做了全书统稿工作。

目 录

第五篇 水电站一次回路

第一章 电气主接线	1
1-1 概述	1
1-2 选择电气主接线所需资料和步骤	1
1-3 输电电压及中性点接地方式	3
1-4 电气主接线的基本型式	13
1-5 主变压器容量和台数的选择	25
1-6 电气主接线的技术经济比较	27
1-7 选择电气主接线还应注意的一些问题	33
1-8 电气主接线实例	35
第二章 短路电流计算	47
2-1 电力系统短路概述	47
2-2 标么制和网络化简	50
2-3 三相短路电流计算	62
2-4 不对称短路电流的近似计算	81
2-5 1千伏以下低压电网短路电流计算	83
第三章 高压电气设备及载流导体的选择	109
3-1 高压断路器	109
3-2 高压隔离开关	117
3-3 负荷开关	123
3-4 高压熔断器	128
3-5 6~35千伏成套配电装置	134
3-6 高压电气设备选择	158
3-7 母线及绝缘子的选择	166
3-8 电力电缆	180
第四章 水电站厂用电	195
4-1 厂用电的特点及组成	195

4-2	厂用电负荷统计及计算负荷的确定	196
4-3	厂用变压器选择	203
4-4	厂用电接线	206
4-5	厂用电动机选择及起动	215
4-6	低压电器及其选择	225
4-7	低压配电盘及配电箱	249
第五章	配电装置布置	258
5-1	配电装置的布置型式和基本要求	258
5-2	屋内配电装置布置	260
5-3	屋外配电装置布置	276
5-4	电力电缆敷设	297
第六章	过电压保护和接地	303
6-1	概述	303
6-2	直击雷保护	304
6-3	雷电侵入波的过电压保护	317
6-4	水轮发电机组的过电压保护	325
6-5	配电网的保护	332
6-6	电压互感器饱和过电压及其保护	334
6-7	接地的一般规定	336
6-8	接地电阻的计算方法	341
6-9	主、副厂房和屋外配电装置的接地	348
6-10	接地装置的测量方法	351
第七章	发电机与变压器	355
7-1	同步发电机	355
7-2	电力变压器	371
第八章	电气照明	404
8-1	电气照明的基本概念	404
8-2	照明光源	405
8-3	照明种类及照明容量计算	412
8-4	照明器的选择与布置	413
8-5	水电站主要房间的照明	420
8-6	照明供电网络	427

第五篇 水电站一次回路

第一章 电气主接线

1-1 概 述

电气主接线是水电站电气部分的主体，它与电力系统、电气设备的选择和布置、继电保护等都有密切的关系，直接影响电站的运行、维修和投资。电气主接线由发电机、变压器、断路器、互感器等电器以及它们之间的连接导体所组成，它反映电站的电能从产生、输送到分配的过程。主接线方案选择是电站电气设计的首要环节，必须加以重视。

电气主接线的设计原则必须根据有关的经济建设方针和政策，通过全面的技术经济分析比较，最后选定方案。选择电气主接线的基本要求如下：

- (1) 根据电力系统和用户的要求，应保证供电的可靠性和电能质量；
- (2) 接线应简单、清晰，运行灵活，操作方便；
- (3) 维护及检修方便；
- (4) 经济上合理，运行费用低；
- (5) 便于电站机组分期过渡。

1-2 选择电气主接线所需资料和步骤

一、选择电气主接线所需资料

1. 水能资料

水能资料可包括以下三方面：

- (1) 电站的设计保证率和保证出力，电站的装机容量和机

组合数，多年平均发电量和年装机利用小时数；

(2) 水库调节性能(日调节、季调节、年调节或没有调节性能的径流水电站)；水库是否存在洪水期出力受阻以及弃水现象；对有灌溉、航运等综合利用要求的水库应明确主次关系，并了解由此而引起的强迫出力的大小；

(3) 电站所在河流的开发方式，是属于单级开发还是梯级开发。

2. 电力系统资料

电力系统资料应考虑以下几点：

(1) 现有电网的地理接线图、负荷布局及远景规划；

(2) 电站在系统中的地位及其运行方式；电站在系统中是主力电站还是一般电站；电站在负荷曲线中是担任峰荷、腰荷还是基荷；系统对电站是否有调相、调压等要求；

(3) 电站的供电范围、输电距离、负荷性质及重要性等；

(4) 电站近区负荷的电压等级及发展情况；

(5) 电站的装机程序、分期过渡等要求。

通常，小型水电站均并入电力系统，实现水、火电联合运行，以达到合理利用各种动力资源，保证供电的电能质量和可靠性，最充分地发挥水电站经济效益的目的。因此，充分掌握电力系统资料以及明确系统对本电站的要求是十分重要的。

3. 其他方面资料

其他方面资料有以下几点：

(1) 电站的型式(引水式、坝后式、河床式等)和枢纽布置；

(2) 水轮发电机组的型式及有关技术参数(如水轮发电机组的容量、电压、功率因数等)；

(3) 了解目前有关电气设备制造水平及供货情况。

二、选择电气主接线的步骤

选择电气主接线的步骤如下：

(1) 根据电站接入系统设计, 确定电站的输电电压等级和出线回路数。

(2) 对升高电压输出电能的电站, 经分析比较确定主变压器和发电机的组合方式, 并在此基础上确定主变压器的容量和台数。

(3) 对升高电压侧和发电机电压侧分别列出几个可行的接线方案, 通过充分的技术经济比较, 确定最后采用的电气主接线。在方案比较时, 一般仅需列出各方案的主要电气设备(如主变压器、断路器等)参加比较, 以简化工作量。

(4) 对选定的接线方案, 则需根据正常运行和短路条件选择和校验接线中的各项电气设备和连接导体; 配合电气二次专业选择和配置电流互感器和电压互感器; 根据过电压保护要求选择和配置各级电压的保护设施。接线设计中还应充分考虑继电保护和自动化等方面的要求, 以构成完整的电气主接线图。

1-3 输电电压及中性点接地方式

一、水电站的输电电压

在小型水电站电气主接线设计中, 首先需要确定的是选择一种或两种输电电压等级及每个电压等级的出线回路数。亦即按电力系统要求明确电站的供电范围和对象之后, 根据供电点的负荷及电站与负荷点之间的距离, 通过计算及比较来确定电站的输电电压及出线回路数。

在确定供电点的负荷时, 应估计到远景负荷的发展。一般可按第一台机组投入运行以后第五年作为设计水平年; 第十年作为校核水平年。以校核水平年的负荷作为选择输电电压时的计算依据, 设计水平年的负荷则为了考虑机组分期过渡问题。

电站与负荷点之间的输电距离, 一般可按他们之间直线距离的1.1~1.2倍估算。

对同一电站来讲, 是否与系统并网运行, 在输电电压的选择

上往往是不相同的。如果电站并入系统运行，则电站的输电电压应与系统现有的电压等级相一致。

选择水电站输电电压时，还应考虑电站附近地区的用电要求。

从以上所述可以看出，输电电压的确定与当地电业部门有密切的关系，应该根据他们提供的资料共同协商确定。

根据小型水电站的装机规模和供电范围，输电电压一般均在

表 1-1 不同电压等级架空输电线路的输送功率和输送距离

额定电压等级 (千伏)	输 送 功 率 (千瓦)	输 送 距 离 (公里)
0.4	100以下	0.5
6	100~1200	15~4
10	200~2000	20~6
35	2000~10000	50~20

表 1-2 铝及钢芯铝线的经济输送容量

(单位：兆伏安)

导线截面 (毫米 ²)	最大负荷年利用小时数											
	<3000				3000~5000				>5000			
	电 流		电 压(千伏)		电 流		电 压(千伏)		电 流		电 压(千伏)	
	(安)	6	10	35	(安)	6	10	35	(安)	6	10	35
16	26.4	0.274	0.456		18.4	0.191	0.318		13.5	0.140	0.249	
25	41.3	0.430	0.715		28.8	0.298	0.496		22.3	0.231	0.388	
35	57.7	0.600	1.000	3.50	40.2	0.418	0.695	2.43	31.5	0.328	0.544	1.92
50	82.5	0.855	1.430	5.00	57.5	0.596	0.995	3.48	45.0	0.466	0.778	2.72
70	115.5	1.190	2.000	6.95	80.5	0.836	1.395	4.86	63.0	0.654	1.090	3.67
95	157.0	1.630	2.700	9.48	109.3	1.130	1.890	6.60	85.4	0.885	1.480	5.16
120	198.0	2.060	3.430	11.90	138.0	1.435	2.390	8.35	108.0	1.120	1.870	6.53
150	247.5			14.90	172.5			10.40	134.0			8.14
185	305.0			18.40	212.5			12.80	166.4			10.00

6~35千伏范围内，因此本书所述内容的电压等级也以不超过35千伏为限。

表1-1为不同电压等级架空输电线路的输送功率和输送距离。
表1-2为铝及钢芯铝线的经济输送容量，当线路较长时，应以电压损失作为确定输送容量的控制条件。

二、输电线路导线截面的选择

输电线路导线截面的选择不仅与有色金属消耗量及线路投资有关，而且对保证供电质量及安全供电也有很大关系，因此选择导线截面是水电站接入系统的一项重要的工作内容。

输电线路的导线截面一般按经济电流密度选择，按电压损失、机械强度、发热等条件校验。

1. 按经济电流密度选择导线截面

经济电流密度是综合考虑了电能损失、有色金属消耗及年运行费用等各方面的因素决定的，用来选择导体截面可以获得全面的经济效益。

按经济电流密度选择导线截面 S 的计算公式如下：

$$S = \frac{I}{j} = \frac{P}{\sqrt{3} j U_0 \cos \varphi} \quad (1-1)$$

式中 I ——线路的持续工作电流（安）；

P ——线路的持续有功功率（千瓦）；

U_0 ——额定电压（千伏）；

$\cos \varphi$ ——功率因数；

j ——经济电流密度（安/毫米²）。

我国现行规定的经济电流密度见表1-3。

按经济电流密度选择的导体截面，应尽量接近经济电流密度的计算截面。当无合适规格导体时，允许选用略小于经济电流密度的计算截面。

2. 按允许电压损失校验导线截面

为了保证用电设备的正常运行，输电线路的电压损失应限制

表 1-3

我国现行规定的经济电流密度

(单位: 安/毫米²)

导 体 材 料	最大负荷年利用小时数(小时/年)		
	3000以下	3000~5000	5000以上
铝裸导体	1.65	1.15	0.90
铜裸导体	3.00	2.25	1.75
35千伏及以下铝芯电缆	1.92	1.73	1.54
35千伏及以下铜芯电缆	2.50	2.25	2.00

注 最大负荷年利用小时数等于水电站年发电量(度)除以水电站最大出力(千瓦)。

在允许范围内。一般在正常情况下, 输电线路最大允许电压损失应不大于额定电压的10%, 事故情况下不大于15%。

按电压损失校验导线截面的计算公式如下:

$$\Delta U\% = \frac{P_2 L (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_2)}{U_2^2} \times 100 \quad (1-2)$$

式中 $\Delta U\%$ ——线路始端电压与末端电压的算术差与末端电压之比;

P_2 ——线路末端功率(兆瓦);

U_2 ——线路末端电压(千伏);

L ——输电距离(公里);

r_0, x_0 ——导线的单位电阻、电抗值(欧/公里);

$\operatorname{tg} \varphi_2$ ——线路末端电压与电流间夹角的正切函数, 如果已知线路末端的功率因数为 $\cos \varphi_2$, 则

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2} \div \cos \varphi_2.$$

6~35千伏输电线路在电压损失为10%时的允许负荷矩($P_2 L$)可由表1-4查得。当已知负荷矩时, 可利用表1-5得到线路的电压损失。

表 1-4 6~35千伏架空输电线路按10%电压损失的负荷矩

(单位: 兆瓦·公里)

电压等级 (千伏)	$\cos\varphi$	LJ-16	LJ-25	LGJ-35	LGJ-50	LGJ-70	LGJ-95	LGJ-120	LGJ-150	LGJ-185	LGJ-240
6	1.0	1.82	2.81	3.87	5.48	7.64	10.40	13.20	16.50		
	0.9	1.66	2.46	3.29	4.46	5.76	7.20	8.42	9.65		
	0.8	1.57	2.30	3.00	3.96	5.05	6.15	7.10	8.05		
10	1.0	5.04	7.85	11.30	15.70	21.50	28.90	36.40	45.60		
	0.9	4.68	6.89	9.20	12.60	16.60	20.00	22.80	25.20		
	0.8	4.39	6.42	8.34	11.30	14.20	17.30	20.00	22.50		
35	1.0			133.0	190	260	350	446	560	692	897
	0.9			116.0	148	187	230	258	303	340	386
	0.8			99.6	130	160	192	210	242	264	293

表 1-5

单位电压损失系数

(单位: %/兆瓦·公里)

送电方式		三相架空线路							
输电电压 U (千伏)		0.38		6		10		35	
功率因数 $\cos\varphi$		1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8
铝绞线及钢芯铝绞线型号	LJ-16	1350	1530	5.45	6.26	1.96	2.25		
	LJ-25	880	1060	3.53	4.34	1.27	1.56	0.1040	0.1290
	LGJ-35, LJ-35	630	810	2.53	3.34	0.91	1.20	0.0744	0.1000
	LGJ-50, LJ-50	435	617	1.75	2.56	0.63	0.922	0.0515	0.0772
	LGJ-70, LJ-70	310	492	1.25	2.06	0.45	0.742	0.0368	0.0625
	LGJ-95, LJ-95	230	410	0.918	1.73	0.33	0.622	0.0270	0.0527
	LGJ-120, LJ-120			0.751	1.56	0.27	0.562	0.0220	0.0477
	LGJ-150			0.585	1.40	0.21	0.502	0.0171	0.0428
	LGJ-185							0.0139	0.0396

3. 按机械强度校验导线截面

架空输电线路因受风、雨、结冰和温度的影响,导线截面必须具有足够的机械强度,避免由于机械强度不够而产生断线事故。满足机械强度要求的导线最小截面见表1-6。

表 1-6

满足机械强度要求的导线最小截面

(单位: 毫米²)

导线种类	6~35千伏高压线路		低压线路
	居民区	非居民区	
铝绞线	35	25	16
钢芯铝绞线	25	16	16
铜线	16	16	直径3.2毫米

4. 按允许发热条件校验导线截面

导线中通过电流时,由于电阻产生电能损耗,引起导线发热。导线的发热量与通过电流的平方成正比,与导线截面成反比。按《导体和电器选择设计技术规定》第25条,导体的正常最

高工作温度一般不超过 $+70^{\circ}\text{C}$ ，在计及日照影响时可按不超过 $+80^{\circ}\text{C}$ 考虑。实际计算中，由于最大负荷出现的时间与最大日照

表 1-7 钢芯铝绞线的长期允许载流量 (单位: 安)

导线型号	最高工作温度($^{\circ}\text{C}$)		导线型号	最高工作温度($^{\circ}\text{C}$)	
	+70	+80		+70	+80
LGJ-16	105	108	LGJ-120	380	401
LGJ-25	130	138	LGJ-120 ₍₁₎		351
LGJ-35	175	183	LGJ-150	445	452
LGJ-50	210	215	LGJ-185	510	531
LGJ-70	265	260	LGJQ-150	450	455
LGJ-95	330	352	LGJQ-185	505	518
LGJ-95 ₍₁₎		317			

注 (1) 最高工作温度 $+70^{\circ}\text{C}$ 的载流量, 按基准环境温度为 $+25^{\circ}\text{C}$ 、无日照的条件计算的;

(2) 最高工作温度 $+80^{\circ}\text{C}$ 的载流量, 按基准环境温度为 $+25^{\circ}\text{C}$ 、日照强度 0.1瓦/厘米^2 、风速 0.5米/秒 、海拔 1000米 、辐射散热系数及吸热系数为 0.5 条件计算的。

表 1-8 裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的
综合校正系数

最高工作温度($^{\circ}\text{C}$)	适用范围	海拔高度 (米)	实际环境温度($^{\circ}\text{C}$)						
			+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
+70	屋内矩形、槽形、管形导体和不计日照的屋外导线		1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
	计及日照的屋外导线	1000及以下	1.05	1.00	0.95	0.89	0.83	0.76	0.69
		2000	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79		
		3000	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75		
		4000	0.93	0.89	0.84	0.77	0.71		
+80	计及日照时屋外管形导体	1000及以下	1.05	1.00	0.94	0.87	0.80	0.72	0.63
		2000	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74		
		3000	0.95	0.90	0.84	0.76	0.69		
		4000	0.91	0.86	0.80	0.72	0.65		

强度出现时间的差异, 以及两者正常最高工作温度的不同, 一般情况下, 日照考虑与否对导线允许载流量的计算结果基本上是相同的。

钢芯铝绞线的长期允许载流量见表 1-7, 裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的综合校正系数见表 1-8。

【例】 设某水电站输电容量为 5000 千瓦, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, 输送距离 30 公里, 输电电压 35 千伏, 水电站最大负荷年利用小时数为 4000, 基准环境温度为 $+35^{\circ}\text{C}$, 求导线截面 (不计日照影响)。

【解】

(1) 按经济电流密度选择导线截面。查表 1-3, 当最大负荷利用小时数为 4000 小时, 铝裸导体的经济电流密度为 1.15 安/毫米², 由式 (1-1) 将已知数据代入即可求得导线的经济截面 S 为:

$$S = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 1.15 \times 38.5 \times 0.8} = 81.5 \text{ 毫米}^2$$

选用标准的导线截面为 LGJ-70 钢芯铝线。

(2) 按允许电压损失校验导线截面。按允许电压损失为 10%, 查表 1-4 得到允许的负荷矩为 160 兆瓦·公里, 大于实际负荷矩 $5 \times 30 = 150$ 兆瓦·公里。若用表 1-5 可算得实际的电压损失为 $0.0625 \times 5 \times 30 = 9.375\%$ 。

(3) 按机械强度校验导线截面。查表 1-6 得知通过居民区的 35 千伏线路最小截面为 35 平方毫米, 故选用 LGJ-70 能满足机械强度要求。

(4) 按允许发热条件校验导线截面。查表 1-7, LGJ-70 线路在基准环境温度为 $+25^{\circ}\text{C}$ 时的长期允许载流量为 265 安, 经温度修正后为 $265 \times 0.88 = 233.2$ 安。而实际通过电流为:

$$I = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 38.5 \times 0.8} = 93.7 \text{ 安}$$

计算表明: 当水电站输电容量为 5000 千瓦, $\cos\varphi = 0.8$, 输电距离为 30 公里时, 选用一回 35 千伏 LGJ-70 导线完全可以满足要求。

三、中性点接地方式

电力系统的中性点接地方式选择涉及面较广, 它与供电安全可靠、绝缘水平配合、系统的继电保护等都有密切关系。

根据《电力设备过电压保护设计技术规程》规定，我国6~35千伏应采用中性点非直接接地方式。当单相接地故障电流大于下列数值时，应装设消弧线圈：

6~10千伏电力网 30安

20千伏及以上电力网 10安

《规程》还规定，与发电机或调相机电气上直接连接的6~20千伏电路，中性点应采用非直接接地的方式。当单相接地故障电流大于5安时，如要求发电机能带内部单相接地故障运行，则应装设消弧线圈。

由于水电站地处山区，近区负荷较小，供电范围也有限，一般情况下，6~10千伏线路的单相接地电容电流不会超过30安，可以不考虑装设消弧线圈。对35千伏输电线路，据粗略估计，当线路总长度超过100公里时才需装设消弧线圈。

1. 单相接地电容电流估算

(1) 架空线路的单相接地电容电流 I_c ：

$$I_c = (2.7 \sim 3.3) U_e L \times 10^{-3} \text{ (安)} \quad (1-3)$$

式中 I_c ——架空线路的单相接地电容电流(安)；

U_e ——线路的额定电压(千伏)；

L ——线路的总长度(公里)。

式(1-3)中的系数，2.7适用于没有架空地线的线路，3.3适用于有架空地线的线路。对于同杆双回路的单相接地电容电流可取单回路的1.5~1.6倍。

(2) 电缆线路的单相接地电容电流：可查表1-9。

2. 消弧线圈选择

消弧线圈容量 W 应根据电网5~10年的发展规划确定，并按下式计算：

$$W = 1.35 I_c \frac{U_e}{\sqrt{3}} \text{ (千伏安)} \quad (1-4)$$

式中 1.35——考虑过补偿运行及电网发展的储备系数；