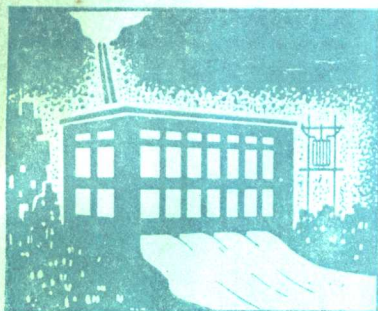


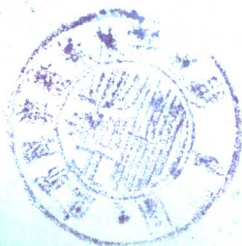
943726



TN72
6012

小水电
电

《小水电技术》丛书



吴可德

小水电的 输变电技术

水利电力出版社

TN72
6012

《小水电技术》丛书

小水电的输变电技术

吴可德

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是《小水电技术》丛书的输变电技术部分,较详细介绍了小水电和地方电网中最常见的电气技术问题。全书共四章,分别讨论电力网和电力系统;送电工程;变电所技术及其管理;雷电常识和过电压保护、接地技术等。书中除了介绍必要的理论知识和电气专业知识外,还列举了一些例子帮助读者理解。书末附录中列出线路和变压器等电气设备的技术参数,供读者计算使用。因此本书具有实用性。

本书奉献给从事小水电和地方电网的基层工作者,作者期望能提高他们的理论水平和实际工作能力作出贡献。书中内容浅显易懂,具有初中毕业的文化程度即能看懂。本书对于专业院校的学生和其他行业的电力工作者,也都具有参考的价值。

《小水电技术》丛书 小水电的输变电技术

吴 可 德

*

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 6.125印张 135千字 1插图

1991年12月第一版 1991年12月北京第一次印刷

印数0001—4160册

ISBN 7-120-01453-6/TV·529

定价4.50元

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利、开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书。包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

4512/10

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委 员 （以姓氏笔划为序）：

丁联臻	王万治	史梦熊	田 园
李文治	郝凤山	杨启声	张宏全
张林祥	沈坤卿	陈祖安	陈春槐
汪景琦	郑连第	郭之章	赵珂经
茹 智	陶芳轩	谈国良	徐曾衍
蒋元驹	曹述五	曹松润	董其林
颜振元			

前 言

我国小水电资源非常丰富，理论蕴藏量超过1.5亿kW，可开发利用的约7100万kW，至1988年底小水电总装机容量达到1180万kW，占可开发利用的16%，超过了我国水电总装机容量的1/3，同年小水电的发电量达300亿kW·h，占同年水电总发电量的30%。各地在建设小型水电站的同时，也积极建设地方电网，发展小水电的负荷，负荷的性质也由照明和电热发展到农副产品加工、地方五小企业供电等。至今为小水电配套的10kV及以上的输电线路超过了70万km，这些电力线路遍布全国各地，使广大的农村和许多的中小城镇用上电，供电的人口超过全国总人口的1/3。因此，小水电的建设和发展，对于缓和能源紧张起着十分重要的作用，对于那些无煤缺油的地区，水电就是主要能源。据统计，全国目前有800余个县主要依靠小水电供电。国家的能源政策表明，我国至2000年要投产1800万kW中小型水电站，其中小型水电站约占800万kW，这对广大的基层电力工作者是很大的鼓舞和鞭策。

小水电建设要充分依靠地方的积极性，调动各方面的积极因素。从总的来说，小水电具有造价低，建设周期短，运行费用低，资金来源灵活等优点。而且水电站及其水库的建设不会对自然环境产生坏的影响，它可促进水土保持，增加淡水养殖面积，延长航运里程等一些综合效益。因此小水电的建设也应该作为综合的资源开发来对待。但是，小水电的

开发同样包含着复杂的技术问题和经济问题，它需要经过水能规划、电网规划、设计和施工至投产运行等许多阶段才能发挥效益。一般说发电站或变电所、输电线路投入使用之后，所面临的运行管理、发挥设备效益更为引人注目。因此，安全经济、多发多供合格的电能，是电力系统最重要的任务。就目前情况看，小水电的效益还需要提高，1988年小水电装机利用小时虽然已达2700余小时，但仍有很大的潜力待开发。这需要电网自身进一步完善；另一方面，需要培养一大批有理论知识并熟悉本专业的技术干部和管理干部。有的地方办电积极性很高，电站装机数千千瓦，却没有一个电气专职干部，结果在运行中经常出事故，影响了效益的发挥。因此，抓紧小水电建设，要同时抓紧人员培训。

电气专业知识内容很广，限于篇幅，本书只叙述电力系统中最基本的知识，作者根据长期从事小水电开发工作经验进行编写，希望本书能对广大读者有所帮助。全书由蔡允明高级工程师审稿，他对书中的许多地方作了修改和补充；福建省水电设计院的许多同志为本书提供许多宝贵资料 and 意见，在此表示真诚的感谢。

由于水平所限，错误在所难免，敬请各位读者指正。

作者

1990年10月

目 录

序

前 言

第一章	电力网和电力系统	1
第一节	概述	1
第二节	电力网的参数及计算	7
第三节	电力网的潮流计算	15
第四节	电能损耗计算	27
第五节	电力系统调频调压	36
第六节	电力系统调压方式及调压措施	43
第七节	电力系统稳定概念	50
第二章	送电工程	56
第一节	架空送电线路的基本知识	56
第二节	导线截面选择	68
第三节	架空线的机械计算	74
第四节	架空线路路径选择及定位	89
第五节	初步设计文件编制	95
第六节	架空线路运行	96
第七节	电力电缆	98
第三章	变电工程	107
第一节	变电所类型和所区规划	107
第二节	变电所	113
第三节	继电保护概述与二次接线	125
第四节	变电所的管理和运行	140

第五节 变电所常见事故及处理	148
第六节 变电所电气试验常识	153
第四章 防雷与接地	158
第一节 雷电常识	158
第二节 送电线路防雷	165
第三节 变电所防雷	168
第四节 接地和接地装置	172
附录	180
附录一 常用架空线规格和参数	180
附录二 架空导线的容纳	182
附录三 铜芯三芯电缆的电阻、感抗和容纳	182
附录四 中小型变压器技术数据	183
附录五 退磁线圈常数	187
参考文献	188

第一章 电力网和电力系统

第一节 概 述

一、电力网和电力系统

由各种类型的发电厂中的发电机、各种电压等级的变压器以及输配电线路、各种类型的用电设备组成的统一体，叫做电力系统。小水电往往自成系统或组成地方电网并与大电网联网运行。因此，小水电具有明显的地方性，一般由各省、市、县的地方电力公司管理。

电力系统中的各种电压的变电站及输配电线路组成的统一体称为电力网。向地方供电的电压大多在110kV及以下，称为地方电网。电压在110kV以上的电力网，供电范围大，联接的变电所的容量也很大，叫做区域电网。区域电网通过超高压输电线路联络形成某地区或国家的主电网，330~500kV输变电系统是我国的主电网。大电网的建设和完善为小水电的稳定运行提供了保证。

(一) 交流电能的特点

电能是由自然能或各种类型的一次能源转变而来，电能的生产具有以下特点：

交流电能的生产从发电、变电、输配电几乎是在同一瞬间完成的。因此电能生产具有同时性，就目前而言，电能无法大量廉价地贮存。因此发电、变电、输电、配电直至用户，缺一不可。

工农业生产以及人民生活需要连续不断地使用电器设备，这就要求供电具有可靠性。电力系统中负荷分为三级，对于一级用户，若是电能供应不足或突然中断将造成国民经济的巨大损失，以至危及人民生命财产的安全。因此，对于重要的负荷要采用双电源或更多电源的供电方式，以保证用户的连续供电。

电力系统的变化具有暂态性。这是因为电磁转化过程非常短暂，因此要求电气设备的操作尽量地快速，自动化程度尽可能高。

（二）电力系统的基本任务

电力系统必须满足国民经济发展的需要，它的结构应该是合理的。这主要指流域规划、电源布点、网络布局、负荷分配、电力电量平衡诸方面，都应有远中近期的规划，该项工作包括技术和经济两方面的内容。

电力系统内的电能质量应符合要求。衡量电能质量的指标有波形、频率、电压三个方面，当这三者在允许的范围变动时，电能就是合格的。不合格的电能除给用户带来损失外，也会给电力系统自身带来危害。例如，低压或低频运行的电力系统是不稳定的，很容易导致系统的崩溃。

要努力提高电力系统运行的经济效益。提高小水电的经济指标，主要是充分利用水力资源，提高设备的利用率，减少发电成本，降低电网的电能损耗。同时要不断更新技术，加强科学管理，提高劳动生产率。

电力部门应尽量满足用户对电能的需求。

电力系统要保证对用户供电的可靠性。除了建立一个结构合理的网架外，还应该建立一整套行之有效的规章制度，以保证供电的可靠性。

二、电力系统的额定电压

(一) 额定电压

为了使电力设备的生产实现标准化和系列化，各种电力设备都规定有额定电压。当电力设备在额定电压下运行时，其技术性能和经济指标最好。我国规定的各种电力设备的额定电压分为三类：第一类是100V以下的额定电压，也称为安全电压；第二类电压在100~1000V之间，主要用于电力及照明、家用电器等；第三类是1000V及以上的额定电压，主要用于发电机、变压器及其他高压用电设备。各类额定电压值详见表1-1。二、三类额定电压又有受电设备和发电设备之分，要注意区别。输电线路联系着用电设备和发电设备，所以它按受电设备额定电压制定，即线路的额定电压等于受电设备的额定电压。发电机是输出电能的设备，它的额定电压比线路的额定电压高5%。变压器的一次绕组是接受电能的，相当于受电设备，它的额定电压取受电设备的额定电压，但发电厂的升压变压器其一次绕组的额定电压应与发电机的额定电压相等。变压器的二次绕组是输出电能的，具有发电机的特点，其额定电压要比线路的额定电压高5%~10%，对于阻抗电压大的变压器取10%。

表 1-1

电气设备额定电压

二 类 电 压	直 流(V)		单相交流(V)		三相交流(V)	
	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
	110	115				
			127	133	127	133
	220	230	220	230	220/380	230/400
					380/660	400/690

续表

三类电压(三相交流)	受电设备与系统额定电压(kV)	供电设备额定电压(kV)	设备最高电压(kV)
	3	3.15	3.5
	6	6.3	6.9
	10	10.5	11.5
		13.8(只用于发电机)	
		15.75(只用于发电机)	
		18(只用于发电机)	
		20(只用于发电机)	
	35		40.5
	63		69
	110		126

(二) 电力系统电压等级的选择

在输电距离和输送功率一定的情况下, 电力线路的电压愈高, 电流就愈小, 线路的电能损耗就愈小, 所需的导线截面也愈小。但是, 随着电压的升高, 输电线路的绝缘费用也愈高, 输变电设备的造价也愈大。因此选择电力网的电压应根据输送容量、输送距离以及电力网的发展情况统筹考虑。该项工作应该由技术部门拟出方案进行技术和经济比较, 当两个方案的技术经济指标相近时, 或者较低电压的方案无明显优点时, 应尽量采用较高电压等级的方案。各级电压的经济输送容量、输送距离以及适用地区, 详见表1-2。

各国对交流电压的发展、相邻电压等级的级差比大体上保持在2~3倍左右。我国以6~10/35/110/220/500kV和6~10/35/110/330kV相匹配。

表 1-2

输电电压与距离关系表

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	适 用 地 区
0.38	0.1以下	0.6以下	低压动力、三相照明
3	0.1~1.0	1~3	高压电动机
6	0.1~1.2	4~15	发电机, 高压电动机
10	0.2~2.0	6~20	配电线路, 高压电机
35	2.0~10	20~50	县级输电网, 用户配电网
110	10~50	50~150	地区级输电网

三、电力网的接线方式

(一) 选择电力网接线的一般原则

(1) 必须保证用户供电的可靠性。当电力系统发生事故时应能迅速地切除故障点, 避免事故扩大, 对于重要用户需采用双电源供电。

(2) 能灵活适应不同的运行方式、且不至因运行方式的变化而降低供电的可靠性或影响电能的质量。

(3) 投资尽量节省, 运行费用尽量低。

(4) 保证值班人员安全工作。

(二) 电力网的种类

电力网有三种类型, 如图1-1所示。

1. 开式电力网

用户只能从一个电源取得电能的电力网称为开式电力网。这类电网具有接线简单、投资省、运行方便等优点; 但供电可靠性低, 因此开式电力网中的重要用户要用双回路供电, 且每回路要接于不同段的母线上。

2. 两端供电网和环网供电

这类电网供电可靠性高, 电能损耗和电压损失都较小,

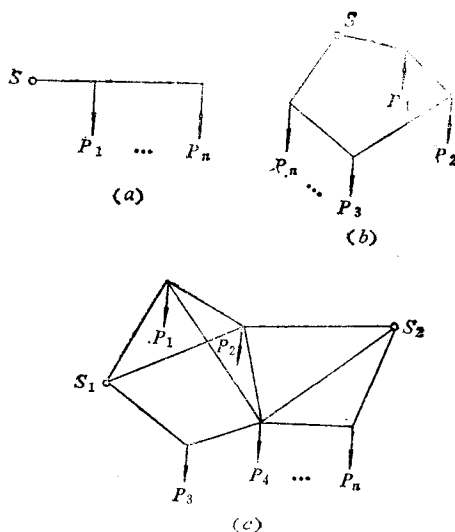


图 1-1 电力网种类

(a)开式电力网；(b)两端供电网；(c)复杂电力网

但运行操作与继电保护都比开式电网复杂。

3. 复杂电网

现代电力网大多为复杂电网。这类电网结构复杂、电压等级较多，其优点是供电可靠性高，系统稳定性较高。但运行、操作、继电保护都较复杂，电网建设投资大，运行费用高，管理难度高。

地方电网和小水电系统应该力求接线简单，不宜搞复杂的电网。但对于重要的用户可采用双回路或双电源的供电方式，尽量提高一级用户的供电可靠性。

第二节 电力网的参数及计算

在电力网建设和运行管理中，经常需要计算潮流分布、电压分布，进行短路电流计算、继电保护整定、系统稳定计算等。进行计算时，要将电力网的接线画成等值电路图，将各主要电气元件用其等值的阻抗（有名值或标么值）代替。这些参数是电阻、电抗、电导、电纳等，称之为网络参数；而加在电网中的电压、通过电网的电流或功率，称之为电网的运行参数。

一、网络参数

为了便于讨论问题，本书中所述的三相交流电均为对称性的。这样在计算参数时只须研究其中的一相，其余两相可在等值电路图中省去，其结果是既简化了计算程序，又不会影响计算准确度。

（一）线路的参数

1. 电阻

每公里每相导线的电阻可表示如下：

$$r_0 = \frac{\rho}{S} = \frac{10^3}{\gamma S} (\Omega/\text{km}) \quad (1-1)$$

长度为 l 公里的导线每相电阻为：

$$R = r_0 l (\Omega) \quad (1-2)$$

上两式中 S ——导线的标称截面 (mm^2)，钢芯铝绞线指铝部截面积；

ρ ——导线材料计算用电阻 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)；

γ ——导线材料计算用的电导率 [$\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$]。

电网计算中使用的 ρ 与 γ 值均为修正值，这与材料的物

理值有所不同。主要是因为导线扭绞后与实际长度不同，导线的实际截面也与标称值不同，而且假设环境温度为20℃。导体的电阻率、电导率见表1-3。

表 1-3 导体物理特性

导体材料	铜	铝
电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)	18.8	31.5
电导率 γ [$\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$]	53	32

2. 导线感抗

三相架空输电线经过整循环换位后，每相每千米感抗为：

$$x_s = 2\pi f \left(4.6 \lg \frac{D_{11}}{r} + 0.5\mu_r \right) \times 10^{-4} (\Omega/\text{km}) \quad (1-3)$$

式中 f ——交流电频率， $f=50\text{Hz}$ ；

r ——导线计算半径(mm)；

μ_r ——导线材料相对导磁系数，有色金属 $\mu_r=1$ ；

D_{11} ——三相导线间的几何平均距离。

D_{11} 与导线排列有关，如图1-2(b)所示的导线排列， D_{11} 按下式求：

$$D_{11} = \sqrt[3]{l_{AB}l_{BC}l_{CA}}$$

在高压输电线路中，为了减少感抗，常采用分裂导线以增加导线的等效半径，达到降低导线的感抗。小水电的输电电压一般在110kV以下，即使已使用110kV电压的，也极少