

地方电力系统

王贵德 尹天禄

、型水电站运行工人培训教材

水利电力出版社

TM711

8

小型水电站运行工人培训教材

地方电力系统

王贵德 尹天禄



水利电力出版社

内 容 提 要

本书是“小型水电站运行工人培训教材”的一个分册，主要介绍地方电力系统运行方面的基本知识。全书共有六章：概述；电力网基本计算；电力系统的调度管理；电力系统技术经济特性分析；电力网等线潮流计算；电力系统中性点工作方式。

本书是小型水电站运行工人的培训教材，也可供从事地方电力网及电力系统方面工作的人员自学与培训参考。

全书教学时数约为80~100学时。

2512/20

小型水电站运行工人培训教材

地方电力系统

王贵德 尹天禄

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 10.25印张 272千字

1987年2月第一版 1987年2月北京第一次印刷

印数0001—6130册 定价2.55元

书号 15143·6194

前 言

近年来,我国小水电建设发展很快。为了提高小水电站、电网运行工人的技术和管理水平,充分发挥小水电的经济效益,巩固和扩大办电成果,迫切需要加强对职工进行技术培训。为此,我们组织成都科技大学的有关同志,编写了培训讲义。经多次使用并广泛征求读者意见,现修改编写成这套“小型水电站运行工人培训教材”,供各地举办技术培训班使用。全套教材共十一册:《电工数学基础》、《电工原理》、《电子技术及应用》、《电机原理和运行》、《电工仪表和测量》、《水电站电气一次部分》、《水电站电气二次部分》、《地方电力系统》、《水轮机》、《水轮机调节》、《水轮发电机组辅助设备及自动化》。本教材内容丰富,针对性较强,理论联系实际,凡小型水电站和35千伏及以下电网运行、维护、检修中应当掌握的主要知识,都作了较系统的讲述。对有关领域的新设备和新技术,也有简要的介绍。

本教材适用于培训具有初中毕业文化程度的小型水电站和电网的发、供电运行工人,也可作为具有同等文化程度的有关人员自学参考书。各地可根据实际需要,选用其中有关分册,进行培训。培训班一般以半年为一期,总教学时数控制在500学时左右。

《地方电力系统》一书由王贵德同志编写第二章、第四章和第五章,尹天禄同志编写第一章、第三章和第六章,全书由四川省水电厅副总工程师胡正礼同志审阅。教学时数约为80~100学时。

由于受经验和水平的限制,书中存在的缺点和问题,恳请读者批评指正。

四川省地方电力公司

1985年1月

目 录

前 言

第一章 地方电力系统概述	1
1-1 地方电力系统	1
1-2 地方电力系统的结线方式	5
1-3 地方电力系统的电压等级	11
1-4 地方电力系统的负荷	14
1-5 地方电力系统的架空线路	22
第二章 地方电力网的基本计算	30
2-1 电力网元件参数及等值电路	30
2-2 线路及变压器的功率损耗	52
2-3 线路及变压器的电压损耗	58
2-4 开式电力网的潮流分布	62
2-5 闭式电力网的潮流分布	82
第三章 地方电力系统的调度管理	114
3-1 电力系统调度管理概述	114
3-2 电力系统的有功功率及频率调整	117
3-3 电力系统的无功功率及电压管理	133
3-4 电力系统的经济调度	154
3-5 地方电力系统的正常操作和事故处理	160
第四章 地方电力系统技术经济特性分析	163
4-1 电力网及电力系统设计中的技术经济比较法	163
4-2 电力网的电能损耗	180
4-3 降低电力网电能损耗的措施	213
4-4 地方电力系统接入大电网的技术经济特性分析	241
第五章 电力网导线截面积的选择	245
5-1 按经济电流密度选择导线截面	245

5-2	按容许电压损耗选择导线截面	250
5-3	按安全条件检验导线截面	261
5-4	按电晕条件检验导线截面	264
5-5	电力网导线截面选择的原则	264
5-6	闭式电力网导线截面积选择	265
第六章	地方电力系统中性点工作方式	271
6-1	概述	271
6-2	中性点不接地系统	272
6-3	中性点经消弧线圈接地系统	278
6-4	发电机中性点的工作方式	289
6-5	低压配电网的接地和接零	289
6-6	电力系统电容电流的计算与测量	293
附录I	常用参数	300
附录II	不同电压等级架空线路负荷矩表	316
附录III	各类用户单位耗电定额表	318
附录IV	同时系数和综合需用系数参考指标表	321
附录V	10kV配电线路负荷密度与经济供电半径关系表	321
	主要参考文献	322

第一章 地方电力系统概述*

1-1 地方电力系统

一、地方电力系统的组成

众所周知，电力工业包括发电、输电、配电和用电各个环节，把这些环节中的各种电气设备和元件联系起来共同组成电力生产的统一整体，这个整体称为“电力系统”。为了便于分析问题和组织生产，常将电力系统中的发电机和用电设备划除，把余下的输电、变电和配电设备的统一整体称为“电力网络”。有时又将发电厂的原动机（水电厂的水工建筑物和水力机械、火电厂的热力系统）部分和用户中的供热和用热设备与电力系统一起，称为“动力系统”。因此，电力系统是动力系统的一个组成部分，而电网又是电力系统的一个组成单元。

地方电力系统则是指供电范围较小、电压等级较低的电力系统，其供电的主要对象是地（县）的中小工业、农业和城镇生活用电。当然，随着农业、地方工业和城市建设的不断发展，用电量也必将迅速增长，因此地方电力系统不仅数量愈加增多，而且规模亦愈益扩大，电压等级也必将愈益提高，有的已与国家区域电力网相联结，达到取长补短、相互调剂、共同提高技术经济效益的目的。图1-1表示地方电力系统各组成部分的相互联结关系。

不断发展电力网并把它扩大为电力系统，是当今世界各国电力工业发展的一项重要技术政策，我国亦不例外，电力系统（包括地方电力系统）得到了广泛的发展。其原因是把各个孤立的发电厂联合起来统一向用户供电，具有一系列的技术经济优越性。

* 有关“发电厂和变电站的电气设备”及“过电压保护设备”，另有专册介绍，本书不加以讨论。

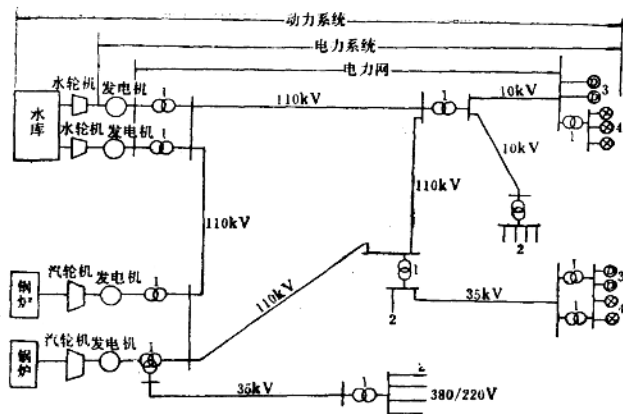


图 1-1 地方电力系统示意图

1—变压器；2—负荷；3—电动机；4—电灯

这些优越性主要表现在：

1. 减少总的装机容量

随着电力系统的不断发展和扩大，与系统相联系的用户必将增加，但各类用户使用最大负荷的时间常常存在一定的时差（即不在同一时间），由此必将减少总的装机容量，针对季节性很强的地方电力系统用户的特点，如果能有目的地错开用电时间，则必将得到显著的效果。

2. 减少系统备用容量

为了保证供电的可靠性，电力系统除满足用户的综合最大负荷外，还必须设置一定的备用容量。其大小决定于两个因素：满足系统最大负荷的百分之十至百分之十五，且不小于系统中最大一台机组的容量。当不联成系统（或者系统容量较小）时，备用容量的大小常受后者控制。因此增大系统容量，一般均能减少备用容量的设置，且为在系统中采用较大机组创造了有利条件。这里需要指出，当孤立地方电力系统与大系统联网时，若大系统不

便承担地方系统的备用容量时，则地方系统仍应具备一定的负荷备用（可以不设置事故备用和检修备用）容量，其大小约为系统最大负荷的百分之五。

3. 提高供电可靠性

将多个孤立发电厂联成电力系统后，只要网络结构合理，无论系统处于正常或非正常状态，均可由多个电源同时向用户供电，这样必将提高对用户供电的可靠性。

4. 合理利用动力资源

对具有水火电厂的供电地区，如果不把它们联成电力系统，则在洪水时水电厂可能出现弃水，与此同时火电厂仍需耗煤发电。联成系统后两者可以相互调济，合理利用动力资源，达到提高经济效益的目的。

这里必须指出：尽管电力系统有一系列优越性，但是也存在着需要增加输变电设备和运行管理较为复杂的矛盾，地方电力系统不能完全照搬国家大电力系统的某些作法，必须联系本身的特点，恰当地处理好电力系统发展中的相关问题。

二、我国地方电力系统的发展

解放前的旧中国虽然办了几十年的电力事业，但由于整个国民经济都处于殖民地、半殖民地性质，电力工业也是一个杂乱无章的烂摊子，广大农村基本无电，电力系统当然也就是空白了。随着新中国的诞生和经济的恢复与发展，“夜明珠”●不断地出现在祖国的大地，一些农村开始用上电了，当然电力系统也只是处在萌芽阶段。随后1958年的“全民办电”热潮一浪高过一浪，但是卓有成效的电站却为数有限。1962年后的经济调整时期，可以说是扎扎实实地办电，但随后的十年动乱又使这一工作受到极大影响。真正取得显著成效的则是在党的十一届三中全会以后，由于农业现代化的号角此起彼伏，地方中小工业突飞猛进，这就促使地方电力工业迅速发展，不仅中小电站如雨后春笋般地出

● “夜明珠”是赞美当时广大农村出现的小水电站。

现，地方电力系统也不断形成，而且规模愈益扩大，采用的电压等级愈益提高。可以预期：伴随国民经济的不断增长和具有我国社会主义特色的农业电气化的逐步实现，地方电力系统必将得到进一步的发展。

但是，电力系统的发展必将受到多种因素的约束：比如区域内国民经济的发展远景（很大程度上受自然资源的约束）；区域内动力资源的蕴藏与开发情况；区域内电源的结构与可能的布局；负荷密度及相应的经济供电半径的大小以及同区域电力网相联系的技术经济效益等等。只有在正确地、适时地解决好这一系列技术经济问题的基础上，才能合理地发展电力系统。

三、地方电力网运行的基本要求

与国家大电力网相似，地方电力网运行的基本要求是：

1. 保证供电的可靠性

如果因电力网故障引起对用户供电的中断，必将造成国民经济的损失。这种损失不仅限于电力工业少供电的直接损失，根据计算因停电带来的国民经济间接损失远大于电力部门本身的损失（一般达十倍以上），因此必须尽可能保证对用户供电的可靠性。当然，为了提高对用户供电的可靠性，在经济上必须付出相应的代价，于是就出现了一个问题：究竟要付出多大的代价来把对用户供电的可靠性提高到什么程度才恰当？对于这个问题的定性分析与定量计算都有待进一步研究。不过，对于地方用户来说，绝大多数均属二、三级负荷，即短时的停电不会造成不可弥补的损失。当然这决不是说对地方电力用户可以任意停电，而是说在不付出过大代价的前提下，仍应尽可能保证供电的可靠性。

2. 保证良好的电能质量

任何产品都有其质量指标，电能的质量指标就是电压和频率。如果这两个指标超出允许范围，都将对用户的工作带来不良后果。例如对提灌机械来说，电压和频率降低后必将引起电动机的机械功率和转速降低，结果导致提水能力的下降；对于纺织厂和印染厂，电压和频率的降低是造成废品的主要原因。这就要求

供电部门必须尽可能保证供电质量。不过，频率的保证主要取决于发电机转速，对于电力网这个中间环节来说是无能为力的。但是对于电压质量的保证，则在很大程度上决定于电力网的设计和运行是否合理，这就要求在设计电力网时作出分析，提出保证电压质量的相应措施，并在运行工作中深入分析影响电压质量的各种因素，采取有效的办法使电压的偏移限制在允许的范围内。

3. 保证电力网运行的经济性

电力网运行的经济性，是指在传送和分配电能的过程中，使得耗费少、效率高，尽可能降低电能成本。对于电力网来说，它主要体现在线路电能损耗方面。在实际工作中必须合理降低线损，并在设计电力网时作出一定的分析，指出降低线损的途径。

概括起来，电力网运行的基本要求是“可靠、优质和经济”。电力工作者必须尽最大努力实现这一要求。

1-2 地方电力系统的结线方式

一、地方电力网的结线图

为了满足电能生产和传送过程的“可靠、优质和经济”的基本要求，合理确定电力网的结线方式是至关重要的。电力网的结线图一般分为两种：

1. 电力网地理结线图

地理结线图是表示电力网中发电厂、送电线路和变电站的相互地理位置关系的联结图，它不反映电力网各组成元件之间电气联结关系。如图1-2所示，从图中可以清楚地看出电源和各变电站的相对地理位置关系。

2. 电力网电气结线图

表示电力网中各主要电气元件（如变压器、断路器和输电线路等）的电气联结关系的图，称为电气结线图，它不反映相互间的地理位置关系，如图1-3所示。

为了表示清晰，有时将两种结线图配合使用，即要使结线图

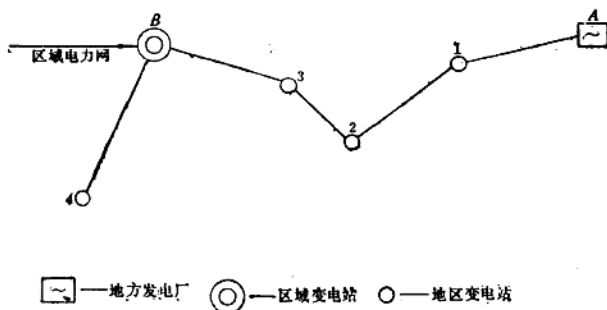


图 1-2 电力网地理结线图

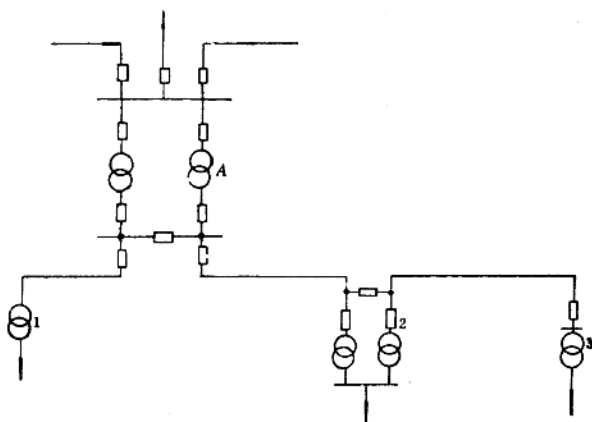


图 1-3 地方电力网电气结线图
A—区域变电站；1、2、3—地区变电站
(图中未表示隔离开关)

既表示电气联结关系，同时又照顾地理位置。

二、电力网基本单元结线

任何复杂电力网都可以分解为各种基本单元结线。反之，如

果将基本单元结线按照一定的原则进行综合，就构成各种不同型式的复杂网络。因此，必须首先对基本单元结线有清晰的了解，才能正确地确定电力网的结线方式。

电力网的基本单元结线一般分为两大类：

1. 无备用结线

这种结线方式的特点是用户不要求备用，它由一个电源单方向向用户供电，一般包括放射式、干线式和链式三种，如图 1-4 所示。

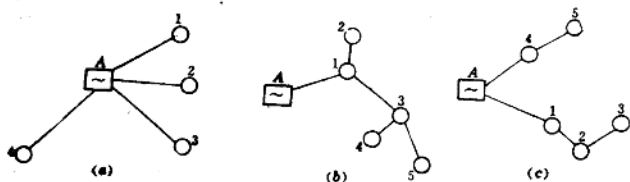


图 1-4 无备用单元结线图
(a)放射式；(b)干线式；(c)链式

2. 有备用结线

凡是用户要求备用，则必须由两个或两个以上电源同时向用户供电，反映这一要求的结线称为有备用结线，主要包括双回放射式、双回干线式、双回链式、环形网络和两端供电网络五种，如图1-5所示。

认真掌握各种基本单元结线的特点，是正确选择电力网结线方式的关键。概括起来，各种基本单元结线的特点有如表1-1。

三、地方电力网结线方式的选择原则

地方电力网的结线方式是地方电力事业发展的重要环节，这是由于它涉及面广、考虑的因素较多，诸如用户用电的大小和分布情况；按用电特性划分的负荷级别；变电站容量及布局；电源特点及分布；可能采用的电压等级和电力网经过地区的地质地形和气象特征等。对于电力网形成的初期，其结线一般是比较简单的，但是当电力网发展到一定基础，负荷分布密度大且遍布地域

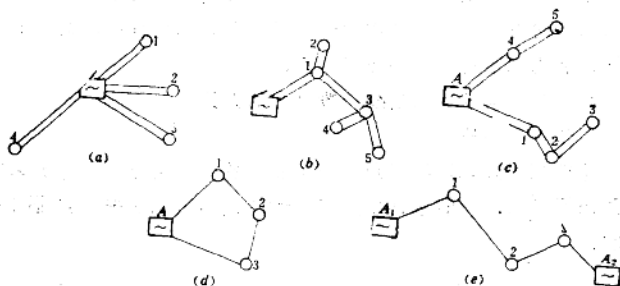


图 1-5 有备用单元结线图

(a)双回放射式；(b)双回干线式；(c)双回链式；(d)环形网络；(e)两端供电网

表 1-1

各种基本单元结线特性分析表

结线方式	主要优点	主要缺点	适用范围	措 施
无备用结线	放射式 干线式 链式	结构简单 经济性好 运行维护方便	不适用于一级负荷， 可用于二级负荷， 广泛用于三级负荷	二级负荷需配用 自动重合闸装置
有备用结线	放射式 干线式 链式	供电可靠性高 电压质量好	结构复杂 经济性差 运行维护不方便	除特殊要求外 一般不常采用
	环 形 网 络	供电可靠性高 经济性好	继电保护复杂， 故障时电压质量差	一、二、三级负荷均 适用，常采用 正常时可 开环运行
	两 端 供电网	供电可靠性高 电压质量好 经济性好	需要两个以上 独立电源	一、二、三级负荷均 适用，常采用

较广时，为了寻求合理的结线方式，常需列出多个可行的不同结线方案，进行全面的技术经济论证，对各方方案作出综合评价，找出合适的结线方式。

考虑结线方式时的总原则，必须首先满足“可靠、优质和经

济”的基本要求，其次还必须保证运行灵活和操作安全，并照顾今后发展的适应性。

四、“两线一地”制输电简介

目前在高压输配电系统中一般均采用三相制交流传送，这样就必须架设三相输电线路才能实现。但在六十年代，我国农村送电线路曾较多地采用“两线一地”制输电系统。由于“两线一地”制的使用存在一定问题，现国家有关部门已明文指出，今后不再发展。目前，只有在边远的山区而又确实不存在对弱电线路干扰的地方，还有继续保留使用的，但应进行改造。

(一) 基本原理

“两线一地”制原理接线，如图1-6所示。

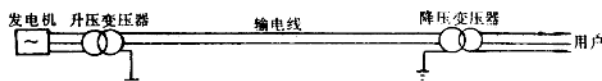


图 1-6 “两线一地”制输电原理接线图

由图可见，输电线路只需架设两相导线，另一相则利用大地作为回路，达到节省线路材料和降低线路造价的目的。

(二) 需要妥善解决的问题

采用“两线一地”制输电虽然在经济上有一定优点，但也存在不少问题，如果不能妥善解决，其使用必将受到限制。归纳起来主要的问题是：

1. 接地

由于这种输电方式是利用大地作为一相，因此对输电线两侧变压器的一相（一般为C相）必须妥善接地，其接地电阻应满足一定的要求（表1-2所列可供参考），如果接地电阻过大，则会导致接地体周围的电位梯度过大，可能造成人畜伤亡，这种事故过去屡见不鲜。

2. 线路绝缘水平要求高

采用“两线一地”制时，不接地相的对地电压始终承受着线

表 1-2

“两线一地”制接地相的接地电阻

变 压 器 容 量 (kVA)	接 地 电 阻 (Ω)		
	6kV	10kV	35kV
50			10
63	10	10	
100	6	10	10
250	2	3.5	4
315		2.5	4
350	1.6		
500	1	1.5	
630			4
1000	0.5	1	3
2500		0.5	1.5
3150			1
6300			0.5

间电压，这就要求绝缘水平较相电压提高 $\sqrt{3}$ 倍。当然如果农村电力系统采用中性点不接地的运行方式（通常如此），则线路的相绝缘水平一般都已提高 $\sqrt{3}$ 倍，此时就不存在这一问题。

3. 通讯干扰严重

三相制输电系统由于三相电流基本对称，形成的综合磁场强度小，波及范围不大，因此对附近的弱电线路干扰影响小。但是当采用“两线一地”制输电时则由于线路结构严重不对称，形成的综合磁场不仅强度大，且波及面广，对附近的弱电线路干扰严重。如果电力线与弱电线路过于接近，且平行接近段又较长时，还可能对弱电线路感应产生一个达到使通讯设备损坏甚至造成人身伤亡事故的纵电动势，这些问题尽管可以采取一些办法解决，但实践证明难于达到满意的结果。

此外，高压发电机和大容量的电动机不能直接接入“两线一地”制的电气结线图中；采用“两线一地”制还降低了供电的可靠性。

1-3 地方电力系统的电压等级

一、电力网的额定电压

各种电气设备（如发电机、电动机和照明设备等）正常工作时能达到最大经济效果的电压，称为该设备的额定电压。一切电气设备都是按照国家统一颁布的标准化额定电压制造的。但是对电力网额定电压的确定，则是一项涉及面广、综合性强的工作，它必须考虑：

1. 电力网本身的经济性

当线路传送功率较大时，电力网的电压愈高，线路本体部分的某些投资就愈小，电能损耗也将降低。但是电压增高后，线路绝缘水平要求提高，线路、变压器和断路器等电气设备都将增加投资。综合有利与不利因素后，可以找出经济上具有最大效益的额定电压。

2. 电气设备的额定电压

电力网是与多种电气设备相联系并共同工作的，因此必须考虑电气设备的额定电压。

3. 国家对电气设备的制造水平

确定电力网的额定电压时，国家必须保证能制造出与该电压等级相适应的电气设备，否则是无法实现的。

4. 国家当前和长远的物质储备情况

电压等级的高低与有色金属的消耗密切相关，即国家物质的储备状况必然制约着电压等级的采用。

综合上述各种因素，就可确定出对国民经济具有最大经济效果的电力网额定电压。显然这不是电力部门独家所能确定的，必须由国家有关部门共同研究和综合平衡，统一制定出适合我国特点的电压等级，并正式颁布实施。

我国正式颁布的现行额定电压等级，如表1-3和表1-4。从表中可以知道，电力系统各环节额定电压的相互配合关系。