

中小型变电所 实用设计手册

丁毓山 雷振山 主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

TM63-62
D-932

中小型变电所 实用设计手册

丁毓山 雷振山 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本手册是结合当前我国城乡电网建设与改造工程的实际,追踪国内外变电所中应用的最新科技,而编写的一本介绍中小型变电所设计的实用工具书。本书系统地介绍了中小型变电所电气专业的设计内容和设计方法,除了注重变电所设计的基本计算外,对于常规变电所、农村小型变电所、微机监测变电所、综合自动化变电所及无人值班变电所等都进行了充分的介绍。另外,书中还提供了一些中小型变电所设计的实例。

本手册内容新颖、资料齐全、语言简洁、图文并茂,是电力工程设计人员和研究人员必备的专业技术工具书,同时也可供从事变电所管理、安装、运行、维护和检修等专业人员及大中专院校有关专业师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

中小型变电所实用设计手册/丁毓山,雷振山主编. —北京:中国水利水电出版社, 2000.5

ISBN 7-5084-0284-7

I. 中… I. ①丁…②雷… II. 变电所, 中小型-设计 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 06302 号

书 名	中小型变电所实用设计手册
作 者	丁毓山 雷振山 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 588 千字
版 次	2000 年 6 月第一版 2000 年 6 月北京第一次印刷
印 数	0001—4060 册
定 价	49.00 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

编写人员名单

主 编 丁毓山 雷振山

副主编 陈伍传 邹德清 杨 波

许童羽 朴在林

参 编 许童羽 陈春玲 刘建彬

冷青松 史有进 徐忠新

杜智忠 刘继芹 刘 铭

才庆久

前 言

目前，我国的城市电力网和农村电力网正进行大规模地改造，与此相应，城乡变电所也必须进行更新换代。我国电力网的现实情况是常规变电所依然存在，小型变电所、微机监测变电所、综合自动化变电所相继出现，并取得了迅猛发展。

城网、农网改造的主要目的是建设现代化的电力网络，与世界先进电力网接轨。所谓接轨无非是向世界先进的电力网指标接轨，这些指标可以提高电力网的供电可靠性，降低线路损耗，改善电压质量，增加电力企业的经济效益。

本手册正是结合当前我国城乡电网建设与改造工程的实际，追踪国内外变电所中应用的最新科技，而编写的一本介绍中小型变电所设计的实用工具书。本书系统地介绍了中小型变电所电气专业的设计内容和设计方法，除了注重变电所设计的基本计算外，对于常规变电所、农村小型变电所、微机监测变电所、综合自动化变电所及无人值班变电所等都进行了充分的介绍。另外，书中还提供了一些中小型变电所设计的实例。

全书共分十九章，第三、四章由雷振山同志编写，第五、六章由陈伍传同志编写，第七、九章由邹德清同志编写，第十一章由杨波同志编写，第八、十章由陈春玲同志编写，第十七章由许童羽同志编写，其余各章的编写人员可参见编写人员名单。全书由丁毓山同志和雷振山同志统稿。特别感谢朴在林教授对本书编写工作中给予的巨大支持，也特别感谢薛凤英同志在整理书稿中给予的大力帮助。

本手册内容新颖、资料齐全、语言简洁、图文并茂，是电力工程设计人员和研究人员必备的专业技术工具书，同时也可供从事变电所管理、安装、运行、维护和检修等专业人员及大中专院校有关专业师生阅读、参考。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏、错误之处，敬请读者批评指正，谢谢。

作 者

2000 年 1 月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 变电所的发展方向.....	1
第二节 开关设备的发展.....	5
第二章 短路电流的计算	8
第一节 短路种类和标么制.....	8
第二节 元件阻抗和网络变换	11
第三节 高压系统短路电流计算	18
第四节 1 kV 以下网络短路电流计算	26
第五节 高压系统短路电流计算举例	28
第六节 低压网短路电流计算举例	35
第三章 变电所电气主接线选择	42
第一节 电气主接线的设计原则和要求	42
第二节 6~220 kV 配电装置的基本接线	43
第四章 低压配电线路保护和低压电器的选择	48
第一节 低压配电线路保护	48
第二节 熔断器及自动开关的选择	49
第三节 低压保护电路选择实例	56
第五章 配电网可靠性管理	60
第一节 可靠性管理的基本定义和要求	60
第二节 配电系统可靠性指标的计算方法	61
第三节 配电网可靠性评估	63
第四节 具有分段和分支开关单向供电配电网的可靠性分析	66
第五节 环网供电可靠性评估	68
第六节 系统可靠性分析	70
第七节 网架供电可靠性的计算	71
第八节 气象条件对系统可靠性影响	76
第六章 各种高压电器	83
第一节 组合电器	83
第二节 SF ₆ 断路器	90
第三节 重合器的分类和参数	95
第四节 真空重合器的结构原理	99
第五节 重合器的使用.....	103

第六节	自动线路分段器·····	108
第七节	自动配电开关·····	112
第七章	变电所电气设备的选择·····	116
第一节	变电所主变压器的选择·····	116
第二节	变压器最佳容量确定·····	123
第三节	断路器、隔离开关的选择·····	128
第八章	变压器保护整定计算·····	136
第一节	变压器保护的装设原则·····	136
第二节	变压器过流速断保护整定计算·····	139
第三节	差动保护的整定计算·····	144
第四节	差动保护计算举例·····	150
第九章	变压器保护配置方案·····	157
第一节	110 kV 变压器保护方案分析 ·····	157
第二节	66 kV 或 35 kV 变压器的控制和保护分析 ·····	167
第三节	有载调压变压器保护分析·····	170
第十章	线路保护·····	181
第一节	10 kV 线路保护·····	181
第二节	6~10 kV 线路保护的整定计算 ·····	188
第三节	电流电压联锁速断保护的整定计算·····	197
第四节	35 kV 线路保护设计·····	201
第五节	110 kV 线路保护 ·····	210
第十一章	电容器保护和直流操作电源·····	215
第一节	电容器保护方法·····	215
第二节	电容器的保护设置和整定计算·····	219
第三节	操作电源·····	220
第四节	直流系统的绝缘监察和电压监察装置·····	228
第十二章	重合器、分段器、自动开关的配合·····	230
第一节	重合器与熔断器配合·····	230
第二节	分段器与保护装置的配合·····	233
第三节	重合器其他配合方式·····	236
第四节	重合器最小跳闸电流的整定和定值电阻的选择·····	238
第五节	在配电网中自动配电开关隔离故障域的过程·····	239
第十三章	断路器的控制·····	243
第一节	断路器控制要求和原则·····	243
第二节	具有防跳装置的灯光监视控制回路·····	244
第三节	音响监视和液压操动机构的断路器控制回路·····	246
第四节	自动重合闸装置·····	248
第五节	备用电源自动投入装置 (BZT) ·····	252

第十四章	二次回路和中央信号	256
第一节	二次回路的文字和图形符号.....	256
第二节	屏体设计要求和电流互感器、仪表装设原则.....	263
第三节	电气仪表的装设原则.....	267
第四节	电流、电压互感器二次回路.....	270
第五节	控制开关.....	277
第六节	中央信号装置.....	281
第十五章	变电所的防雷保护和接地装置	286
第一节	直击雷和感应雷保护.....	286
第二节	防雷保护装置.....	288
第三节	变电所直击雷保护.....	292
第四节	雷电侵入波保护.....	293
第五节	电气设备的接地.....	297
第六节	接地装置中的几个问题.....	306
第十六章	距离保护整定计算	314
第一节	距离保护的整定计算方法.....	314
第二节	距离保护整定计算举例.....	317
第三节	66 kV 环网保护整定计算.....	319
第十七章	变电所综合自动化系统的选型设计	326
第一节	单片微型计算机的组成及应用.....	326
第二节	变电所综合自动化系统中的网络与通信.....	338
第三节	110 kV 变电所综合自动化系统选型设计	346
第四节	10~35 kV 变电所综合自动化系统选型设计	353
第五节	变电所综合自动化系统的微机保护与远动监控单元.....	356
第十八章	小型变电所设计	362
第一节	小型变电所设计要求.....	362
第二节	户外式微机控制 35 kV 小型变电所设计	363
第三节	10000 kVA 变压器小型化变电所的设计	378
第十九章	无人值班变电所	384
第一节	无人值班变电所的规划.....	384
第二节	无人值班变电所的主接线方案.....	387
第三节	常规变电所实现无人值班的二次回路改造.....	389
第四节	少油断路器两次重合闸装置的改制.....	392
第五节	无人值班变电所综合自动化监控系统.....	395

第一章 概 述

第一节 变电所的发展方向

由于现代科学技术的发展,电力网容量的增大,电压等级的提高,综合自动化水平的需求,使变电所设计问题变得越来越复杂。除了常规变电所之外,还出现了微机变电所、综合自动化变电所、小型化变电所和无人值班变电所等。当前,随着我国城乡电网建设与改造工作的开展,对变电所设计也提出了更高、更新的要求。

变电所设计与占地面积多少和加强网架可靠性直接相关,由于这种原因,城网变电所和农网变电所都经过了一段发展历史。

一、城网变电所的发展

我国常规城网变电所的主要问题是设备陈旧、占地面积大,与现代化的城市建设不适应。为了改变这种面貌,城网变电所已向小型化方向发展,开始采用全封闭组合电器,即GIS成套设备。全封闭组合电器(GIS)就是由于 SF_6 气体的出现而发展的一种新型高压成套设备。它包括断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线、出线套管或电缆终端。这些设备按变电所主接线的要求,依次连接组合成一个整体,各元件的高压带电部位均封闭于接地的金属壳内,并充以 SF_6 气体,作为绝缘和灭弧介质,称之为 SF_6 气体绝缘变电站,简称GIS。

GIS出现于20世纪60年代中期,由于它具有许多传统电气设备无法具备的优越性,因此他一诞生,便显示出强大的生命力。据统计原西德早在1974年已有100个变电所装有450个间隔的GIS。日本到1975年GIS的生产累计达474套,最高电压达500 kV。据1984年资料统计,仅日本三菱公司一家GIS的产量已达2950套,不仅在城市新建变电所中大量使用,而且远离城市的山区高压主干线变电所也采用了相当数量的GIS,目前GIS与敞开式变电所的比例为1:6。

GIS的额定电压已从66 kV发展到800 kV,开断电流已达80 kA,额定电流最高为8000 A,尤其在超高压领域GIS无可置疑地将成为主要发展方向。

我国于1967年由西安高压电器研究所首先研制出中国第一套110 kV的GIS,并于1973年在湖北丹江口水电站正式投入运行。现在西安高压开关厂、平顶山开关厂、上海华通开关厂、北京开关厂,已相继与国外厂家合作,联合生产GIS。

目前GIS的发展趋向,是将变压器一、二次开关全部合为一体,成为气体绝缘组合的供电系统,今后其将向小型化、智能化、免维护、易施工的方向发展。

二、农村变电所的发展

建国以来,我国农电事业得到了迅速的发展。根据1991年农电年报统计,全国已建成35(63)~110 kV农村变电所13150座,农网总用电量上升到2286亿kW·h,乡、村的通电率分别达到96.4%和90%。农村电力的建设,对促进农业、乡镇工业的经济建设和提

高农民的生活水平,起到了十分重要的作用。但是,随着改革开放的形势发展,现有农村电网已经适应不了农电负荷迅速增长的要求。二十年来,全国各地对农网,特别是对农村变电所重点进行了技术改造,取得了可喜的成绩。总的看来,农网结构落后、设备陈旧的问题,并没有得到根本性的改善,仍是一个低效高耗的电网。因此,进一步研究农村电网的技术改造,重点探讨农村变电所的建设方案,研制适合农电特点的新型装备,已是农村电网发展中一个十分重要而迫切的问题,用现代化的装备去实现农网的技术改造,已迫在眉睫。

1. 农村变电所的现存问题

我国于 20 世纪五六十年代早期建立起来的农村变电所的主要问题是设备陈旧落后,开关容量不足,占地面积大,建设周期长,耗费投资多。这种变电所已不能适应我国农村经济发展的新形势。

2. 国外发展情况

以美国的农电为例,它服务于 70% 的国土,服务于 10% 的人口。从农村变电所的建设情况来看,总体布置全为露天式。一次侧采用隔离开关,用于变电所与输电线路的连接,一次侧的保护设备,最常见的是装设熔断器,主变压器大部分为两绕组变压器。二次侧的保护采用熔断器、自动重合器或真空开关,电压调整一般在母线出口处安装自动电压调整器,馈线上装有自动分段器,重合器与熔断器和分段器的相互配合,自动处理故障,从而保证了变电站的正常运行,最大限度缩小了停电的面积,提高了电网自动化水平和供电的可靠性。

美国农村变电所的特点是:①变电所是无人值班;②总体布置为户外式;③采用两绕组主变,容量都不大;④保护设备简单,一次侧采用熔断器,二次侧采用重合器;⑤母线出口都装有调压器;⑥馈线上装有熔断器和分段器;⑦所用变装在二次侧;⑧二次保护和控制的继电器和仪表,都装在户外;⑨变电所基本实现三遥,数据采集终端和遥控箱全部放在户外。

3. 农村变电所的模式

为进一步探讨我国农村变电所的建设原则、发展方向和模式方案,研制开发新型农电装备,在总结国内建设和借鉴国外经验的基础上,对农村变电所的发展提出了三点要求:①农村变电所的建设方案既要满足农业现代化的需要,又要适合我国的国情、网情,走自己的路。②研究新技术和开发研究的新装备,要结合农网的实现,做到技术上先进、安全可靠、不检修周期长。③农村变电所的总体布局,要注意节省投资、维修方便。

近年来,有关科研设计单位和农电部门做了大量的工作,经过多次的论证与实践,确定了农村变电所的建设,应遵循“小容量、密布点、短半径”的原则和“户外式、小型化、造价低、安全可靠、技术先进”的发展方向。

根据上述方向和原则提出了农村变电站模式方案有第一方案(近期方案)和第二方案(远景方案)。第一方案选用柱上 SF₆(或真空)断路器作为 10 kV 出线总开关,可控气吹开断器(或多油断路器)作为 35(63) kV 进线开关,控制和保护选用微机(或集成电路)综合集控装置。第二方案选用 SF₆(油或真空)自动重合器作为 10 kV 出线的保护和控制设备,35 kV 侧选用新型熔断器,10 kV 馈线上加装 SF₆(油、空气)自动分段器和熔断器,

主要出口处装设自动电压调整器。第一方案为半户外式（控制保护为户内式），第二方案为全户外式。由于模式方案的自动化程度有较大的提高，也为实现三遥的无人值班变电所打下了良好的基础。

采用模式方案建设的农村小型化变电所，特别是采用第二方案建设的无人值班变电所，比沿用已久的户内式常规变电所有明显的提高，它是农村变电所的重大改革。由于依靠科学技术的进步，大胆进行了探索，优先采用了新技术，选用了新产品，技术上有所突破，对简陋变电所的技术落后和设备陈旧，以及常规变电所占地多、造价高、工期长的致命缺点，不同程度地得到了解决。而简陋型变电所的户外式、小型化的特点和常规变电所的安全可靠、技术先进的优点，在模式方案中兼而有之，并不同程度地有所提高，达到了扬长避短和开拓创新的目的。

4. 小型化变电所的经济效益

小型化变电所的兴起，新设备的应用，大大地促进了农网电气化的建设，加速了农村经济的发展，供电可靠性有了很大的提高。小型化变电所方案，符合农村电网的特点，适合中国的国情，符合国家的政策，达到了少花钱、办好事、办快事的目的。

（1）农村小型化变电所的建设，占地面积小，仅为常规变电所的 $1/3$ 左右，平均每座变电所可节约土地面积 1000 m^2 左右，符合我国土地的使用政策。设备整体布置合理，紧凑而不拥挤，可谓“袖珍”变电所。

（2）基建工程量小，施工方便，周期短。特别是对简陋的变电所改造尤为方便，可做到供电、改造两不误。建设周期一般在 100 天左右，比建常规变电所平均每座可缩短近 100 天的工期，社会效益显著。

（3）总投资减少，仅占常规变的 $2/3$ 左右，平均每座小型化变电所可节约资金 30 万元左右。

（4）延长了设备的检修周期，改变了原来每年一大修、半年一小修，平时临检不停的现象，节约了人力和检修费用。

（5）简化了接线方式。由于采用自动重合器和分段器配合使用，取代了庞大的控制室，高压配电室及其保护盘、控制盘、整流柜和高压开关柜，主接线简单，设备安全可靠，自动化程度高，为农村变电所实现无人值班提供了条件。

（6）提高了供电可靠性，设备具有智能功能，避免了线路分支线一点故障导致的全线甚至全所停电的事故。由于分段器自动分段故障线路区段，非故障线路区段正常供电，缩短了线路故障的查寻时间，节约了人力。

可见，农村小型化变电所的造价低、占地少、工期短、维护费用少等优点已为工程实践所证实。目前小型化变电所的建设已遍布全国，成为农村变电所的主要形式。

三、变电所综合自动化的发展

自从计算机技术深入到电力系统以来，微机监测技术获得了快速的发展。20 世纪 80 年代，计算机在电力系统的应用，主要以监测电力系统的参数为主，即所谓发展 SCADA 系统。但是，随着电力系统自动化水平的提高，SCADA 系统已不能满足生产实践的要求，因此才开始发展变电所综合自动化系统。这种系统集保护、远动、监控为一体，是一种分布式的综合自动化装置。其把继电保护、远动技术、参数监测等各种功能分布在各个单片机上，而

这些单片机通过计算机网络连接起来, 形成一个有机的自动化装置。

四、无人值班变电所

1. 实现无人值班变电所的基本条件

变电所实现无人值班是一项涉及面广、技术含量高、要求技术和管理工作相互配套的系统工程。它包括: 电网一、二次部分、变电所装备水平、通信通道建设、调度自动化系统的建立以及无人值班变电所的运行管理工作等。所以要实现变电所的无人值班, 必须满足一定的条件, 主要有以下几方面:

(1) 变电所的基础设施要符合要求。如: 主接线力求简单, 运行方式改变易实现, 变压器要具有可调压能力 (可以是有载调压变压器或由调压器与无载调压变压器相配合来实现调压), 主开断设备要具有较高的健康水平, 操作机构要能满足远方拉合要求等。另外, 所内还要具备一定的基础自动化水平, 用以完成对一些辅助性设备实现控制 (如主变风扇的开停、电容器的投切等), 以减轻调度端的工作量。

(2) 调度自动化系统在达到部颁《县级电网电力调度自动化规范》中所要求的功能的基础上, 通过扩展“遥控”、“遥调”, 实现“四遥”功能, 达到实用化要求。同时还要满足 RTU 功能先进、通道畅通可靠等条件。

(3) 企业要有一支高素质的人才队伍。这既是变电所实现无人值班建设的需要, 更是变电所无人值班建成后运行和管理的需要, 也是变电所能否真正实现无人化运行, 发挥出有效益的要求。

(4) 对企业必须产生明显的效益。因为变电所要实现无人值班, 无论是设备升级, 还是上自动化系统, 需要大量的资金投入。对企业来说, 要搞无人值班变电所, 首先要作好投入产出评价。一般来说, 当运行的无人值班变电所低于 3~4 座时, 总体经济效益是不明显的。这主要是因为一方面县调自动化功能由于覆盖率低而得不到充分发挥; 另一方面企业又要为无人值班变电所的运行、操作和管理工作配备一支队伍, 而从变电所减下来的人员由于数量较少, 达不到减人增效的目的。所以说, 要搞无人值班变电所, 就必须形成规模。实践证明: 一个县级供电部门, 在无人值班变电所数量达 50% 以上时, 才可收到良好的经济效益。

2. 实行无人值班的几点意见

(1) 变电所实现无人值班是可行的, 是未来农网调度管理的发展方向, 也是提高农网健康水平和保证电网安全经济运行的重要技术手段。我国农网现有 15000 多座 35~110 kV 变电站, 无人值班技术在农网有着广阔的应用前景。

(2) 坚持积极稳妥的建设原则, 要统筹规划, 作好可行性论证, 因地制宜, 量力而行, 以点带面, 逐步展开。目前国家在无人值班变电所设计、建设到管理等方面还没有制定出一个统一的技术导则或运行管理办法, 各农电部门只能边干, 边摸索, 边总结, 为国家形成相应的文件提供参考依据。

(3) 要防止“为无人而无人”的观念。在县级电网的规划建设时, 建议在非枢纽所和用户所可先行实现无人值班, 而对电网影响大的枢纽所 (或是 110 kV 变电所) 可考虑上综合自动化系统。绝不能为“无人”而忽视了整个电网的安全性。

(4) 要坚持新建与改造并重的原则。对于新建变电所, 有条件、有实力的县局可以按照

原电力部提出的小型化远景模式方案，一次到位实现变电所无人值班；对于条件尚不成熟的县局，可通过对变电所进行改造这条途径，先从设备改造入手，提高基础自动化水平，分步骤实施，最终达到无人值班的要求。

(5) 要很好的研究“控制所”管理方案。变电所实现无人值班，决不能搞“控制室搬家”。从农网目前的情况看，各县所拥有的变电所数目不等，有几座的，有十几座的，也有几十座的。这样看来，如果在变电所传递信息、设备遥控方面，无选择全部都送到调度室，由调度来完成，势必会影响调度对整个电网的有效管理。与此同时，众多数量的变电所控制任务也会影响调度其他业务的有效开展。所以对于那些有条件并且变电所数量较多的县局，建立控制所是个可取方案。控制所的设立可根据本局的条件而定。可设在调度中心，或与负荷控制中心相结合，或在中心所设立等。

(6) 设备力求“少”而“精”，立足国产化。农网点多、面广，资金相对缺乏，所以在建设无人值班变电所时，首先要坚持设备“少”而“精”的原则，即：变电所设备尽量少，电网接线简单明了，监控操作对象少，自动化水平要高等。

第二节 开关设备的发展

开关设备的发展是变电所、电力网发展的先驱。真空开关、SF₆开关、重合器、分段器、自动配电开关、新型熔断器的出现，为变电所的小型化、配电网自动化创造了良好的条件。

一、真空开关的特点

真空开关在国外早就广泛应用于电力系统中，目前单断口电压水平已达到 72 kV。真空开关具有以下优点：

(1) 灭弧室开断后介质恢复快，介质不需要冷却和更换，电弧能量低，无损耗，触头压力小。

(2) 断口开距小，一般为 9~12 mm，合闸所需能量小，使用寿命长，一般可达 20 年左右。

(3) 开断电流大，触头电损耗小，主回路接触电阻小。具有足够的重合闸操作次数。

(4) 可靠性高，能适用于各种场合，维护量小，维护成本低，仅为少油断路器的 1/20 左右。

真空开关最适合在中压等级中使用，10 kV 级真空开关应作为一种发展方向，并可在户内、户外各种条件下使用。目前我国 35 kV 级开关设备品种规格单一，DW 型多油断路器没有大的改进；LW—35 kV SF₆ 断路器价格高、容量大、气体管理等问题，不适合农网特点，应尽早开发研制 35 kV 级真空断路器，要研究降低切空载变压器时引起的过电压的办法。

二、SF₆ 断路器的发展

10 kV 户外柱上 SF₆ 断路器是我国早期自行设计研制成功的农网重点新产品之一，它以 SF₆ 气体作为绝缘和灭弧介质，绝缘强度高，灭弧性能好，采用先进的旋转电弧灭弧原理，不仅开断灵活，电寿命长，操作过电压低，而且结构合理，操作功小，适用于小型化变电所 10 kV 侧出线的控制和保护。早期产品在运行中发生过一些问题，近年来经过改进，

质量已有较大的提高。具有电动弹簧储能操作机构和手动操作机构。气体工作压力已由 0.5 MPa 降到 0.35 MPa, 气体年漏气率不大于 1%, 加上其他质量管理措施, 产品运行中的问题逐年减少。由于 SF₆ 断路器具有结构简单、体积小、不检修周期长、无油污染、无火灾危险、运行维护方便等优点, 目前已在农村小型化变电所中广泛使用。

10 kV 户外柱上真空断路器采用真空灭弧室, 以变压器油或硅胶作外绝缘, 其结构特点和技术性能, 与 SF₆ 断路器竞相媲美, 各有千秋。只是由于国内真空灭弧室的生产原因, 开发得较晚, 投入运行的还少。但从研制单位来看由于机械寿命达 10000 次以上, 只要灭弧室的质量稳定可靠, 它作为小型化变电所 10 kV 侧出线总开关的发展前景, 是别的断路器所不及的。

三、自动重合器

10 kV 户外交流 SF₆ 自动重合器是我国首次自行设计和制造的机电一体化新型高压电器, 具备自具功能, 不需外部提供操作电源和信号, 能独立完成对 10 kV 线路的控制和保护。控制系统采用微电子控制器, 自动化程度高, 采用先进的旋转灭弧原理, 绝缘性能好, 开断能力强, 操作过电压低, 电寿命长, 安全可靠, 结构紧凑, 操作功小。能根据 10 kV 线路出现的故障性质, 自动地按预定操作程序, 完成 1 至 3 次重合闸操作。不仅能最大限度地排除瞬时故障对供电连续性的影响, 而且能避免瞬时故障发展成为永久性故障, 而与分段器配合使用对永久性故障能自动隔离故障区段或实现自动闭锁。可以就地手动操作, 也可进行远方控制, 是新一代的农电产品。

10 kV 户外交流油自动重合器是一种以油为灭弧介质、液压控制式的新型高压电器设备, 其技术性能和特点与 SF₆ 自动重合器大同小异。各地区可结合当地的特点, 因地制宜地选择使用。

四、自动分段器

10 kV 户外交流自动分段器有油分段器、SF₆ 分段器、跌落式分段器和跌落式负荷分段器几种型号。可与自动重合器、带重合闸的断路器和熔断器等新型设备广泛配合使用, 可以记忆线路开断故障电流的次数(1 至 3 次可调), 自动隔离 10 kV 永久性故障线路区段, 使无故障线路区段继续保持正常运行。在规定的记忆次数和复位时间内, 能自动排除瞬时故障。SF₆ 自动分段器是我国自行设计制造的机电一体化新型高压开关设备, 采用微电子控制。油自动分段器采用液压控制, 具有关合短路电流的能力。跌落式负荷分段器和跌落式分段器都采用电子控制, 结构简单, 价格便宜, 各有特点, 需要时挑选的余地很大。跌落式负荷分段器还具有开断和关合负荷电流的能力。

五、新型熔断器

跌落式熔断器是一种快速开断电器, 由于外形结构简单, 制造中的技术难度常被人所忽视, 研究熔断器熄弧原理, 改善开断额定短路电流和提高下限开断电流的能力, 是研制新型熔断器的关键所在。通过两部鉴定的 35 kV 跌落式熔断器, 为单柱式结构, 采用单端逐级排气的熄弧原理, 既能开断短路故障电流, 又能开断过载电流, 熔断件同族系列额定电流为 5~100 A, 完全能满足小型化变电所运行的要求。通过两部鉴定的 10 kV 跌落式熔断器, 也都采用了单端逐级排气的熄弧原理, 几种型号的共同特点是能开断各种短路故障电流, 不同的是有的加装了带负荷开断装置, 又能合分负荷电流, 有的采用了大爬距的防

污型绝缘子,又可用于Ⅱ级污秽地区。与10~35 kV跌落式高压熔断器配套的新型K和T型熔断件都通过了。

六、自动配电开关

1987年以来,我国陆续引进并研制了一些具有自动功能的开关设备,可以自动排除故障、与调度系统配合实现远动化,对提高电网的可靠性及实现综合自动化具有重要意义。这些引进设备包括自动配电开关、自动重合器等。但由于引进设备与我国电网的特点并不完全相符,这些开关在应用中存在一些问题。

自动开关的发展大体分为三个阶段:

(1) 第一阶段为初级阶段,变电所出线以自动重合断路器作为保护设备,线路上装有多组自动配电开关,依靠配电开关来消除瞬时性故障和隔离永久性故障。

(2) 第二阶段是在第一阶段的基础上增设通信及控制设备,各分支线上的自动配电开关由变电所实现控制,可对负荷进行调配。

(3) 第三阶段增加了各变电所与控制中心的通信,将各点信号传送到控制中心,实现计算机控制及信息的自动处理。

目前,我国电力科学研究院已研制出新型的配电开关,这种配电开关对故障段的选择性、缩短恢复供电时间等方面,具有明显的优点。

第二章 短路电流的计算

第一节 短路种类和标么制

一、发生短路的原因和短路的定义

产生短路的主要原因是电气设备载流部分的绝缘损坏。绝缘损坏的原因多因设备过电压、直接遭受雷击、绝缘材料陈旧、绝缘缺陷未及时发现和消除。此外，如输电线路断线、线路倒杆也能造成短路事故。所谓短路是指相与相之间通过电弧或其他较小阻抗的一种非正常连接，在中性点直接接地系统中或三相四线制系统中，还指单相和多相接地。

二、短路的种类

三相系统中短路的基本类型有：三相短路、两相短路、单相接地短路和两相接地短路。三相短路是对称短路，此时三相电流和电压同正常情况一样，即仍然是对称的。只是线路中电流增大、电压降低而已，而电流和电压之间的相位差一般也较正常工作情况时为大。除了三相短路之外，其他类型的短路皆是不对称短路，此时三相所处的情况不同，各相电流、电压数值不等，其间相角也不相同。

运行经验表明：在中性点直接接地的系统中，最常见的短路是单相短路，约占短路故障的 65%~70%；两相短路约占 10%~15%；两相接地短路约占 10%~20%；三相短路约占 5%。

在短路过程中，短路电流是变化的，其变化情况决定于系统容量的大小、短路点距电源的远近、系统内发电机是否有调压装置等因素。根据短路电流的变化情况，通常把电力系统分为无限容量系统和有限容量系统两大类。

所谓无限容量系统是指容量为无限大的电力系统，在该系统中，当发生短路时，母线电压维持不变，短路电流的周期分量不衰减。当然，容量为无限大的系统实际上是不存在的，但是在实际工作中，通常把电源部分阻抗不超过短路电路总阻抗的 5% 甚至 10%，或者以供电电源总容量为基准的短路阻抗标么值大于 3 时，则认为该系统为无限容量系统。对不满足上述条件的系统皆按有限容量的系统处理。

为了校验和选择电气设备和载流导体，以及为了继电保护的整定计算，常用下述短路电流值：

i_{ch} ——短路电流的冲击值，即短路电流最大瞬时值；

I_{ch} ——短路电流最大有效值，即第一周期短路电流有效值；

I'' ——超瞬变或次暂态短路电流的有效值，即第一周期短路电流周期分量有效值；

$I_{0.2}$ ——短路后 0.2 s 的短路电流周期分量有效值；

I_{∞} ——稳态短路电流有效值；

S'' ——超瞬变或次暂态短路容量；

$S_{0.2}$ ——短路后 0.2 s 的短路容量；

S_{∞} ——稳态短路容量。

三、标么制

在计算短路电流时，各电气量如电流、电压、功率、阻抗等数值，可以用有名值表示，也可以用标么值表示。有名值多用于 1000 V 以下的低压网络，标么制则广泛用于高压网络。

标么值是一种相对单位制，电路参数的标么值为其有名值与基准值之比，即

$$\left. \begin{aligned} \text{容量标么值} \quad S &= \frac{S}{S_j} \\ \text{电压标么值} \quad U &= \frac{U}{U_j} \\ \text{电流标么值} \quad I &= \frac{I}{I_j} \\ \text{电抗标么值} \quad X_* &= \frac{X}{X_j} \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

式中 S 、 U 、 I 、 X ——容量、电压、电流、电抗的有名值；

S_j 、 U_j 、 I_j 、 X_j ——容量、电压、电流、电抗的基准值。

工程计算中，通常先取基准容量 S_j 和基准电压 U_j ，而基准电流 I_j 和基准电抗 X_j 则可用下式导出为

$$I_j = \frac{S}{\sqrt{3} U_j} \quad (2-2)$$

$$X_j = \frac{U_j}{\sqrt{3} I_j} = \frac{U_j^2}{S_j} \quad (2-3)$$

$$\text{因此} \quad X_* = \frac{\sqrt{3} I_j}{U_j} = \frac{S_j X}{U_j^2} \quad (2-4)$$

出于计算方便，基准容量常取 100 MVA，如为有限容量系统，则可选取向短路点馈送短路电流的发电机额定总容量 S_{Σ} 作为基准容量。基准电压应采用各电压级的平均电压 U_p ，其数值见表 2-1。该表中列出了基准容量为 100 MVA 时的基准电压、基准电流和基准电抗值。

表 2-1 常用电压、电流、电抗基准值表 ($S=100 \text{ MVA}$)

基准电压 (kV)	3.15	6.3	10.5	37	63	115	230
基准电流 (kA)	18.3	9.16	5.50	1.56	0.92	0.502	0.251
基准电抗 (Ω)	0.0995	0.397	1.10	13.7	39.55	132	530

采用标么值进行短路电流计算时，必须先将元件电抗的有名值或相对值按同一基准容量换算为标么值，其换算公式见表 2-2。

四、有单位制

用有单位制计算短路电路的总阻抗时，必须把各元件阻抗的相对值换算成欧姆值，并把短路电路内通过变压器互连的各电压级元件的欧姆值，都归算到短路点所在级平均额定电压下的欧姆值，换算公式见表 2-2。