

☆ 工程师继续教育培训教材 ☆

电力新技术应用

(上册)

湖北省电力公司 编

Gongchengshi jixu jiaoyu peixun jiaocai



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

工程师继续教育培训教材

电力新技术应用

(上册)

湖北省电力公司 编

2009/10/



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

5

为适应新形势下电力专业技术人员继续教育培训的需要,增强培训的针对性和适用性,对电力专业技术人员进行一次比较全面的技术知识普及,《工程师继续教育培训教材》编写委员会组织相关技术专家,编写了本书。

本书是《工程师继续教育培训教材 电力新技术应用(上册)》,共分为四篇。

第一篇为新型电力安全自动装置,主要内容有微型安全自动装置基本知识、电力系统稳定器、远方跳闸装置、按频率自动减负荷装置、电力系统自动解列装置、微型故障录波器、剩余电流保护、微机防误装置。第二篇为配电自动化技术,主要内容有基于“分布控制”的配网自动化系统、基于“集中控制”的配网自动化系统、配电自动化涵盖的其他内容、配电自动化工程实施中的经验及问题配电自动化的前景。第三篇为热机设备节能降耗新技术,主要内容有国内外能源利用现状与非传统能源的简介、热力发电厂能量平衡的基本知识、热力发电厂锅炉—汽轮机组节能降耗新技术。第四篇为现代通信知识在电力工业中的应用,主要内容有信号传输基本知识、有线和无线通信技术、交换技术、IP通信、SDH通信、接入网、电信管理网络、可视会议通信等。

本书既可作为电力各专业技术人员的培训用书,也可作为大专院校相关专业师生的教学用书和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力新技术应用.上册/湖北省电力公司编. —北京:
中国电力出版社, 2004
工程师继续教育培训教材
ISBN 7-5083-2423-4

I. 电... II. 湖... III. 电工工业-新技术
应用-技术培训-教材 IV. TM-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 059743 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 7 月第一版 2004 年 7 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 18.25 印张 566 千字
印数 0001—5000 册 定价 39.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

编 审 委 员 会

主任委员 周世平

副主任委员 陈瑞亭 胡亚东 张大国

委 员 阮成豪 詹必川 王增清 袁小英 李振柱 薛启龙

蔡 敏 杨木林 詹新华 邹宇兵 朱世俊 王义平

邓大明 王世林 李建平 覃兰平

主 编 周世平

参 编 李火元 李 斌 胡 刚 张叔骅 陈俊杰 王大江

林协丰 李仲英 郑晓东 徐 珮 周凝翠 周少雄

童丹勤 周想凌 舒旭辉 李珞新 祝小红 侯淞学

胡惠然 张炳惠 卢 军 林志伟 彭晓莺 王瑞珍

蔡成良 汪 涛 徐浩军 杨 璃 车方毅 袁 烽

肖治华 罗 宾 樊启柏 吴阶林 秦昌平

序

在全面建设小康社会，走新型工业化道路的新形势下，我国经济快速发展，再次暴露出电力总供给难以满足总需求的基本矛盾，同时也给中国电力工业和中国电网建设带来了新的发展机遇。

走新型工业化道路的突出特征就是科技含量高。我国电力工业 120 多年的发展史就是电力工业科学进步的发展史。在电力工业的发展过程中，大量的新设备、新技术、新知识得到广泛应用，这些新技术与新设备一方面提高了电力工业的生产运营水平，另一方面也给电力安全稳定运行带来了挑战。充分利用这些先进的技术，运行、维护好电网，提高电力工业的生产力，为社会提供质优价廉、安全可靠的电力商品，满足社会对电力的各种需求是广大电力工作者的神圣职责。

广大电力工程技术人员站在电力安全生产、稳定运行的前沿，要能承担这些责任，就必须不断自我加压、不断学习，既要了解一些前沿理论，又要掌握现有的适用技术；既要认真研究有关技术难题，又要用好现有的设备、设施，把自己打造成既通晓理论知识，又熟悉电力生产经营实践的复合型技术人才。

当今时代已步入信息化时代，电力工业走新型工业化的道路，就必须自觉利用信息产业的最新成果武装和改造传统的电力工业，发挥信息化的带动和倍增作用。当前，信息技术飞速发展，过程控制、管理信息、通信、计算机、网络技术在电力工业各个部门及设备上发挥着越来越重要的作用。随之而来的是各种专业技术资料、书籍浩如烟海，要选择适合自身实际又能为工作提供一定指导性的书籍确实很难，费时费力，受益却不多。如何选择一套带有电力工业特色的专业技术书籍，既能较全面反映当今电力企业，特别是电网企业运用的新技术、新设备，又能反映电力企业在技术方面的发展方向，为广大工程技术人员提高自身素质起到一个很好的指导作用，是当前工程技术人员继续教育培训面临的一个重要问题。

针对这一情况，湖北省电力公司积极思考、探索，精心组织有关专家，历时两年时间，编成了适用性较强的《工程师继续教育培训教材》。本教材内容丰富，包括新型电力安全装置、配电自动化技术、热机设备节能降耗新技术、现代通信知识在电力工业中的应用、输变电设备新技术应用及发展、电网自动化技术、电网企业信息化技术概论、电力市场营销八个方面的知识，涵盖了目前电力企业所应用的主要新技术，同时也展望了有关专业技术领域的发展前景，是专业技术人员学习培训的理想教材，也是提高自身素质的一套必不可少的工具书，同时还是专业技术人员综合发展的好助手。

我们希望本教材的出版，能对专业技术人员开阔视野，丰富实际经验，提高理论知识，起到较大的帮助作用；能对提高广大电力专业技术人员的专业技术水平起到极大的促进作用。

湖北省电力公司总工程师

周世平

2004 年 6 月

前 言

为适应新形势下电力专业技术人员继续教育培训的需要,增强培训的针对性和适用性,对电力专业技术人员进行一次比较全面的技术知识普及,同时,为专业技术人员在纷繁复杂的技术领域提供学习参考,湖北省电力公司从2002年1月起,分析研究了发供电单位广大工程技术人员生产实际中的迫切需求,成立了教材编写委员会,组织公司内部技术专家,编写了《工程师继续教育培训教材》。

在教材编写过程中,作者坚持了以下指导思想和编写原则。

指导思想是:以工作需求选材,以电力生产技术与经营中的新技术、新设备、新材料、新工艺为中心内容,努力使教材具有较强的针对性、实用性、科学性和先进性,以适应工程技术人员工作的需要和电力职工的自学要求。

编写原则如下:

实用性:与电力生产、经营实际紧密结合,具有较强的针对性、实用性、科学性和先进性,能指导工程师解决生产、经营中的实际问题。

前瞻性:不但要介绍当前新的工程技术,还应介绍国内外新技术、新设备、新材料、新工艺在电力工业中的运用及发展态势。

普及性:语言力求精练、简洁,工程技术人员看起来通俗易懂。

规范性:内容、结构形式规范,引用名词、图形、文字符号符合国家出版物标准的要求。

这本教材共有八篇,分上下两册出版,其中第一~四篇为上册内容,第五~八篇为下册内容。

第一篇为新型电力安全自动装置,主要内容有微机型电力安全自动装置的基本知识、电力系统稳定器、远方跳闸装置、按频率自动减负荷装置、电力系统自动解列装置、微机型故障录波器、剩余电流保护、微机防误装置。该篇主要由李火元、李斌、胡刚、张叔骅同志编写。

第二篇为配电自动化技术,主要内容有基于“分布控制”的配网自动化系统、基于“集中控制”的配网自动化系统、配电自动化涵盖的其他内容、配电自动化工程实施中的经验及问题配电自动化的前景。该编主要由陈俊杰、王大江同志编写。

第三篇为热机设备节能降耗新技术,主要内容有国内外能源利用现状与非传统能源的简介,热力发电厂能量平衡的基本知识、热力发电厂锅炉—汽轮机组节能降耗新技术。该篇主要由林协丰、李仲英同志编写。

第四篇为现代通信知识在电力工业中的应用,主要内容有信号传输基本知识、有线和无线通信技术、交换技术、IP通信、SDH通信、接入网、电信管理网络、可视会议通信等。该篇主要由郑晓东、周少雄、周凝翠、徐珮、童丹勤、周想凌同志编写。

第五篇为输变电设备新技术应用与发展,主要内容有输变电设备新技术、电力设备状态检测技术、高压直流输电、灵活交流输电系统。该篇主要由张炳惠、胡惠然、卢军、林志伟、彭晓莺、王瑞珍、蔡成良、汪涛同志编写。

第六篇为电网自动化技术,主要内容有电网调度自动化系统站端设备、电网调度自动化主站系统、电能计量系统、电力市场技术支持系统、电网自动化技术的其他应用系统、自动化系统的安全防护、电网自动化技术发展展望。该篇主要由徐浩军、杨璃、车方毅、袁烽同志编写。

第七篇为电网企业信息化技术概论,主要内容有计算机硬件、操作系统、计算机网络、数据库技术、计算机信息安全技术、信息化基本概念简释、电力企业信息化、信息技术在电力系统中的应用。该篇主要

由肖治华、周想凌、罗宾、樊启柏、吴阶林、秦昌平同志编写。

第八篇为电力市场营销，其主要内容有电力市场营销的基本理论、电力客户服务、电力市场营销现代化管理及新技术、需求侧管理、电力市场营销应用研究等内容。该篇主要由舒旭辉、李珞新、祝小红、侯淞学同志编写。

在《工程师继续教育培训教材》历时两年的编写过程中，编者花费了大量心血和时间，克服了许多困难，教材编委会各位专家及审稿人也严格审核把关，但百密仍有一疏，加之时代的进步和技术的发展，难免会出现一些失误，但愿我们努力后的这一成果，能使广大工程技术人员参阅或学习后有所收获，并希望各位专家对我们的教材提出批评建议，以便于进一步完善。在此，向参加此项工作的编写者及审稿专家们表示衷心的感谢。

编者

2004年6月

目 录

序
前言

第一篇 新型电力安全自动装置

第一章 绪论	1
第一节 安全自动装置的作用与分类	1
第二节 电力安全自动装置应用简介	3
第三节 安全自动装置发展趋势	5
第二章 微机型安全自动装置基础知识	7
第一节 微机型安全自动装置输入信号的预处理	7
第二节 微机型安全自动装置的基本算法与数字滤波	12
第三节 微机型就地判别式安全自动装置	17
第三章 电力系统稳定器	20
第一节 励磁调节对电力系统稳定性的影响	20
第二节 低频振荡	26
第三节 电力系统稳定器的原理及构成	29
第四节 多机系统的电力系统稳定器配置	30
第四章 远方跳闸装置	33
第一节 高频通道简介和输电电平	33
第二节 远方跳闸信号传输装置	36
第五章 按频率自动减负荷装置	40
第一节 电压和频率降低对电力系统的影响	40
第二节 电力系统的频率特性	40
第三节 对按频率自动减负荷装置的基本要求	41
第四节 按频率自动减负荷装置	42
第六章 电力系统自动解列装置	45
第一节 电力系统自动解列装置的作用	45
第二节 利用测量阻抗构成的振荡解列装置	45

第七章 微机型故障录波器	49
第一节 概述	49
第二节 微机型故障录波器	51
第八章 剩余电流保护	60
第一节 电流对人体的影响及触电种类	60
第二节 剩余电流保护装置	61
第九章 微机防误装置	64
第一节 微机防误装置的作用与意义	64
第二节 微机防误装置的闭锁原理	64
第三节 微机防误装置闭锁实现方法	67
参考文献	69

● 第二篇 配电自动化技术 ●

第十章 概述	70
第一节 配电网及其特点	70
第二节 配电自动化的基本内容	74
第三节 国内外配电自动化的现状和发展历史	75
第十一章 基于“分布控制”的配网自动化系统	77
第一节 基于重合器的配网馈线自动化	77
第二节 控制器互通信息的面保护方式	79
第三节 附带保护功能的柱上断路器隔离故障方式	80
第四节 “分布控制”的配网自动化系统实例	80
第十二章 基于“集中控制”的配网自动化系统	82
第一节 系统的总体结构	82
第二节 主站系统	84
第三节 配电子站及配电控制终端	94
第四节 一个典型的“集中控制”系统	97
第五节 故障隔离及恢复非故障段的原理功能	98
第六节 配电自动化的通信方式	100
第十三章 配电自动化涵盖的其他内容	106
第一节 负荷控制系统	106
第二节 远方抄表及电能计费系统	107
第三节 配电网地理信息系统	110
第十四章 配电自动化工程实施中的经验及问题	117
第一节 配电自动化的信息集成	117

第二节 通信协议的标准化、一致性	120
第三节 开关的控制电源及控制器的工作电源	120
第四节 一次设备的选型及其他技术问题	122
第十五章 配电自动化的前景	127
第一节 配电自动化的投资与效益	127
第二节 配电自动化的发展	128
参考文献	130

● 第三篇 热机设备节能降耗新技术 ●

第十六章 国内外能源利用现状与非传统能源的简介	132
第一节 国内外能源利用现状	132
第二节 非传统能源和可再生能源简介	134
第十七章 热力发电厂能量平衡的基本知识	146
第一节 热力发电厂的生产过程	146
第二节 热力发电厂的能量平衡	146
第三节 名词解释	152
第十八章 热力发电厂锅炉—汽轮机组节能降耗新技术	154
第一节 热力参数与能耗的关系	154
第二节 燃气—蒸汽联合循环、热电联产的节能效果	156
第三节 锅炉机组节能降耗新技术	158
第四节 汽轮发电机组节能降耗新技术	174
第十九章 存在问题和进一步研究的方向	195
参考文献	197

● 第四篇 现代通信知识在电力工业中的应用 ●

第二十章 通信基本概念	201
第二十一章 信号传输的基础知识	203
第一节 模拟信号传输	203
第二节 模拟信号数字化	203
第三节 数字信号的时分复用	205
第四节 数字信号传输	208
第二十二章 有线通信技术	211
第一节 电力载波通信	211

第二节	光纤通信	220
第三节	电力线通信	227
第二十三章	无线通信技术	230
第一节	无线通信波长划分	230
第二节	短波通信	230
第三节	微波通信	231
第四节	集群通信	234
第二十四章	交换技术	238
第一节	程控交换机	238
第二节	分组交换技术	243
第二十五章	近代通信技术	246
第一节	ATM 通信	246
第二节	IP 通信	249
第三节	SDH 通信	253
第四节	密集波分复用 (DWDM) 技术	264
第五节	接入网技术	265
第二十六章	可视会议通信	270
第一节	H.320 会议电视系统	270
第二节	H.323 会议电视系统	270
第二十七章	电信管理网络	272
第一节	电信管理网络网管系统的基本功能	272
第二节	电信管理网络网管系统的接口	276
第二十八章	通信电源	279
第一节	通信网对电源系统的要求	279
第二节	近代通信直流电源系统	279
第二十九章	未来通信的发展方向	281
参考文献		282

第一篇

新型电力安全自动装置

第一章

绪 论

电力系统安全自动装置是电力系统安全、稳定运行的可靠保证。

电力系统由于受自然因素(如雷击、风灾、火灾等)、人为(与设备制造上的缺陷、误操作等)因素的扰动影响,不可避免地会发生各种形式的故障和不正常工作状态。故障和不正常工作状态,都可能在电力系统中引起事故。事故是指系统或其中的一部分正常工作遭破坏,造成对用户的少送电或人身伤亡和设备损坏。前者称为停电事故,后者称为人身和设备事故。

电能的生产(发电)、输送、分配、使用是同时进行的,从电源到负荷是一个紧密连接的且分布十分广泛的大系统。因此,对电能质量及电力系统运行有极严格的要求。运行中出现问题,若处理不及时或处理不正确都会影响电力系统的正常运行,甚至造成大面积停电;局部发生的故障,如处理不当,会影响整个电力系统。随着发电机单机容量及电力系统容量的不断扩大,对运行水平的要求越来越高。只有借助安全自动装置的帮助,才能达到现代电力系统要求的运行水平。

电力系统继电保护(含自动重合闸)是安全自动装置的重要组成部分,正因为它的重要性,已从安全自动装置中独立出去,即安全自动装置不包含电力系统继电保护方面的内容。

第一节 安全自动装置的作用与分类

电力系统安全自动装置是实现电力系统紧急控制的执行工具,我国自20世纪50年代起,为正确、迅速处理事故,设计出一种装置,延伸、补充继电保护的功能,能在消除事故的第一阶段——继电保护操作断路器切除电网故障区段之后,自动担负起消除事故的第二阶段任务,即消除电网设备切除引起的不良后果,诸如线路或设备过负荷、系统解列、频率下降、电压下降等现象。电力系统安全自动装置随即在我国各电力系统得到推广和应用。这类装置统一被称为安全自动装置。近来我国有的学者把应用安全自动装置更确切的称为电力系统采取的安全稳定控制。最近国际大电网会议(CIGRE)和美国电气与电子工程师学

会又称之为特种保护方式。

我国在很长一段时间有人认为：对于人为造成的故障和扰动，只要提高运行人员和工作人员的思想素质和业务素质，就可避免。但发电厂和变电站的误操作和误入带电间隔的事故还是时有发生。实践证明，要完全避免人为造成的故障和扰动是不可能的，通过提高运行人员和工作人员的思想素质和业务素质，可减少其概率。要保证电力系统的安全，除了装设保证电力系统稳定运行的安全自动装置外，还应该装设防止人为造成的故障和扰动的安全自动装置。

电力系统的安全自动装置应包括保证电力系统稳定运行的安全自动装置和防止人为造成的故障和扰动的安全自动装置。

保证电力系统稳定运行的安全自动装置又分为用于紧急状态的稳定控制安全自动装置和用于恢复状态的安全稳定控制的自动装置。

一、用于紧急状态的稳定控制

当电力系统故障设备已被切除，但电力系统的扰动仍不收敛的紧急情况下，通过检测系统状态变化，系统将出现按预先的计算或运行经验得出的事故扩大。为避免出现这种扩大，在事故尚未发展到不能挽救之前所采取的措施，如自动重合闸、投入电气制动、远方切除发电机、快关汽轮机汽门、自动调节励磁、远方切除负荷、环网解环、自动解列、自动投入备用电源，投入电容器或低压电抗器、串联电容强补等。这些措施有的是牺牲局部以保全整体的措施。

二、用于恢复状态的安全稳定控制

电力系统已脱离紧急状态，但系统仍不正常，靠系统本身能力无法恢复正常状态，必须依靠加装的安全自动装置，将系统迅速恢复至正常状态，否则系统的不正常状态不会维持多久，系统的状态将恶化到不可收拾。安全自动装置检测系统异常的参数，发出动作指令，采取相应措施，如发电机组的并列或功率调整，水轮发电机低频自启动，抽水蓄能机组变发电，调相运行机组变发电，低频减负荷，低压减负荷，解列厂用电等，通过采取这些措施使系统恢复频率，恢复电压，消除过负荷，恢复稳定性。表 1-1 列出了保证电力系统稳定运行的安全自动装置的名称、原理和功能。

表 1-1 保证电力系统稳定运行的安全自动装置原理与功能简表

序 号	名 称	原 理	功 能
1	电气制动	发电厂投入特制电阻器，增加发电机出力，减少发电机因甩负荷造成的角度飞行	保持暂态稳定
2	切除发电机组	(1) 故障时切机可提高仍在运行的机组出力； (2) 故障时切机可减少送端出力	(1) 保持稳定； (2) 防止送端设备过负荷
3	快关汽轮机汽门	事故时自动关闭汽轮机汽门减少原动机输出，以便与甩掉负荷的发电机功率相平衡	保持暂态稳定
4	自动调节励磁	发电机电压变化时自动保持电压	提高系统稳定性、保证电压质量
5	集中切除负荷	根据事故信息连锁跳闸大的集中负荷	(1) 使系统供需平衡； (2) 防止线路或设备过负荷
6	环网解环	将环网自动解环控制潮流转移	防止过负荷
7	自动解列	事故时自动将部分系统或发电机解列	隔离系统避免事故扩大
8	备用电源自动投入	事故时自动合上备用电源断路器向停电设备或电网供电	保证连续供电
9	投入电容器或低压电抗器	根据电压检测信号自动合上相应断路器，投入备用低压电容器或低压电抗器	保持电压水平和电压稳定
10	串联电容强补	增加电容总补偿度	改变系统参数增加送端发电机出力，提高暂态稳定能力
11	发电机组自动调整出力	机组根据速度变化，调速器自动调整出力，或根据测频装置自动调整出力	保持电网频率正常
12	水轮发电机低频自启动	系统频率下降，根据低频信号，自动将备用水轮机组启动并列带负荷	增加发电能力并阻止频率下降
13	抽水蓄能机组变发电	抽水蓄能机组从抽水状态变为发电状态	增加发电能力并阻止频率下降

续表

序 号	名 称	原 理	功 能
14	水轮发电机组调相变发电	将水轮发电机组从调相运行发无功状态自动变成发电状态发有功出力	增加发电能力并阻止频率下降
15	低频减负荷	系统频率下降,分散于各地的低压减负荷装置测出电压低于定值时,切除所控制的负荷	阻止频率下降并恢复正常
16	低压减负荷	系统电压下降,分散于各地的低压减负荷装置测出电压低于定值时,切除所控制的负荷	阻止局部地区电压下降并恢复正常
17	解列厂用电	频率下降事故时,按预先布置的解列点自动将一台或数台发电机连同厂用电解列,与频率下降的主系统隔离	防止电厂受频率影响使出力下降

防止人为造成的故障和扰动的安全自动装置包括微机防误装置、人体触电的剩余电流保护装置、火灾报警自动灭火系统、发电厂及变电站的巡视等装置。

安全自动装置的内容很多,本书将重点介绍电力系统稳定器、远方跳闸装置、微机型低周与低压减负荷装置、电力系统解列装置、微机型故障录波器、微机防误装置、剩余电流保护装置。

第二节 电力安全自动装置应用简介

电力安全自动装置在各电网得到广泛应用,对电网的安全稳定运行起着越来越重要的作用。下面以湖北电网电力安全自动装置的应用情况为主作简要介绍。

一、对电力安全自动装置的基本要求及配置原则

1. 基本要求

(1) 可靠性。电力安全自动装置较继电保护装置更强调可靠性,所选用的电力安全自动装置的技术指标及抗干扰的能力应满足有关技术标准。

(2) 适应性。为满足不同时期电网发展要求及不同的控制要求,所选用的装置应有一定的适应性,装置的硬件、软件按功能应系列化、模块化,便于功能扩充或功能修改。

2. 电力安全自动装置的配置原则

(1) 电力安全自动装置应尽量采用分散式就地控制装置,以减少对通道的依赖。必要时也可用区域型分散决策方式。

(2) 装置在满足其主要功能的前提下,应尽量简化。一些后备功能(如振荡解列等)不要与安全稳定控制装置主功能合在一起,以免使安全稳定控制装置本身过分复杂又达不到冗余后备控制的目的。

3. 采用区域性电力安全自动装置应注意的问题

(1) 区域性电力安全自动装置的方案制定。要作好一个区域系统安全自动装置的专题设计,首先应根据系统设计和规划等基础资料,对所研究的系统进行分析归类,对负荷情况及通信通道组成情况应充分了解,根据本系统的特点,有侧重、有目标地进行系统安全自动装置的稳定计算、制定策略表和方案论证。

(2) 通信通道。安全自动装置作为电力系统的“特殊保护”,通信通道和通道接口装置是极其重要的环节。因此,安全自动装置的通道和通道接口装置的安全性和可靠性标准应不低于远方保护通道和接口装置。安全自动装置通道分为命令通道和数据通道,所有命令通道均为双向工作,用于主站向子站下达命令和子站向主站传送主要开关量信息,根据电网的实际情况和技术、经济等因素,考虑到稳定控制系统并不是采集所有子站的全部信息,仅在几个关键子站与主站之间设置数据通道。通道接口装置最好采用安全性高的数字式接口装置,受条件限制必须用载波通道时,也可采用音频接口装置或收发信机。安全性较好的微波和光纤通道可采用“二取一”方式,若需要也可采用“二取二”方式,载波通道最好采用“二取二”方式,特殊情况可转为“二取一”或“一取一”方式。

二、安全自动装置的应用及现状

1. 电力系统稳定器(PSS)的应用

葛洲坝二江电厂发电初期,湖北电网的稳定问题令人关注,葛洲坝二江电厂发电机采用快速可控硅励磁调节器,具有较高的放大倍数,提高了系统的稳定水平。同时葛洲坝二江电厂的投产,大量电力外送又能缓解鄂东地区缺电的局面。但这种大功率远距离输电的弱联系系统,产生了低频振荡,从而又限制葛洲坝二江电厂的电力外送。为了保证葛洲坝电厂的电力外送,必须采取措施,抑制可能产生的低频振荡。为此,在葛洲坝二江电厂采用了湖北省电力试验研究院研制的调节性能良好的加速功率型 PSS,为解决原动机功率测量的困难,利用电功率 ΔP_e 和 Δf 来模拟原动机功率 ΔP_m ,从而得到过剩功率(即加速功率) $\Delta P_s = \Delta P_m - \Delta P_e$, ΔP_e 和 Δf 这两个量便于测量的量。该装置投入运行后,在 500kV 葛凤线降压为 220kV 运行、葛洲坝二江电厂 220kV 母线分母运行期间,为保证湖北电网的安全运行发挥了重要作用。

1998 年 8 月以来,湖北鄂西电网经常出现低频振荡现象,一般表现为葛洲坝二江电厂 220kV 各出线都存在不同程度的低频功率振荡,其中葛雁线、葛荆线振荡最为明显,振荡剧烈时其有功功率摆动幅度可达 4 万 kW;同时,恩施的 220kV 旗峰坝变电站、咸丰变电站等变电站出线,以及宜昌的 220kV 长阳变电站、郭家岗变电站等变电站出线也有不同程度的低频功率振荡现象。2000 年 9 月 16 日,白莲线有功功率摆动幅度达 7 万 kW。以上现象严重地威胁电网安全稳定运行。经计算和现场调查与综合分析判断,鄂西电网低频振荡主要是由“长距离、重负荷、弱阻尼、快速励磁”而引起的。在葛洲坝二江电厂、隔河岩水电厂、荆门电厂、黄龙滩水电厂、高坝洲水电厂、朝阳寺水电厂等 10 余座电厂的 30 多台水电机组的励磁调节器中投入 PSS 稳定器,对抑制低频振荡取得了明显的效果。但在 1999 年 7~9 月丰水期,鄂西水电满发期间,220kV 葛雁线送入系统的功率大于 15~16 万 kW 时,鄂西电网又多次发生低频振荡,振荡剧烈时葛雁线振幅可达 4 万 kW,故经常限制葛雁线功率不超过 13 万 kW 运行。2000 年的同期,由于鄂西有关电站又投运了一批 PSS 稳定器,低频振荡的频率和幅度都有较大的降低,葛雁线功率一般要达到 18 万 kW 以上,才可能出现低频振荡,振荡时葛雁线振幅约 1 万 kW 左右。将葛雁线功率降至 18 万 kW 以下后,低频振荡现象基本消除。可见,采用了 PSS 后,使恩施水电外送能力同比增加了 4 万 kW 左右,取得了较好的效益。

目前,在恩施电网中,小溪口电站 1~2 号机组及桃花山电站 1 号机组已具备投入 PSS 稳定器的条件。这些 PSS 稳定器的投入将进一步改善系统阻尼,为抑制鄂西电网低频振荡发挥积极作用。

2. 远方跳闸装置的应用

湖北的电源点集中在西部(如葛洲坝、丹江、隔河岩、高坝洲、恩施地区的小水电群和在建的三峡等水电厂和与之配套的荆门、襄樊等火电厂)和负荷在几百公里以外的东部(如武汉、黄石等大中城市),形成了湖北电力系统长距离、大功率远距离的输电格局。使得电力输送的稳定问题非常突出。为保证湖北电网的稳定,湖北省在 220kV 及以上电压等级的 40 个厂站已配置 70 余套远方跳闸装置(原理见第四章),形成了目前湖北电网庞大的远切、联切系统。

由于远方跳闸装置在所安装点的线路、母线及发电机—变压器组等主保护均要起动远跳装置,形成起动回路多而复杂的二次接线,在保护装置检验中,往往因安全措施不当造成远跳装置误动作,或者由于远方跳闸装置元件的损坏,直流电源的波动干扰以及一次系统操作干扰等原因引起远跳装置的误动。上述原因曾引起远方跳闸装置误动而造成葛洲坝电厂误切机,鄂东地区大面积停电的事故。尤其在 20 世纪 80 年代,在 500kV 系统中远方跳闸装置的正确动作率仅为 50%。为此,湖北省电力试验研究院开发研制了切机、切负荷的闭锁装置。该装置采用了相电压变量 ΔU_ϕ 、正序、负序、零序电压的突变量 ΔU_1 、 ΔU_2 、 ΔU_0 ;线路电流突变量 ΔI_ϕ 、线路正序、负序、零序电流突变量 ΔI_1 、 ΔI_2 、 ΔI_0 等表征电网运行状态量的变化来解除对切机、切负荷回路的闭锁。上述的各突变量在电网正常运行时均为零。当系统发生异常的瞬间才会出现,其变化量的大小将随系统故障的类型、地点而变化,为了保证切机、切负荷的闭锁装置可靠工作,装置还采用上述各增量综合起动解锁的方法,以确保在电网发生故障时能正确迅速地解除闭锁。切机、切负荷的闭锁装置投入运行以来,在 1990 年 4 月 28 日,500kV 葛岗线电抗器压力释放阀跳闸触点绝缘降低,导致电抗器被误切除。在这次保护误动中,该闭锁装置可靠地闭锁了切机装置,避免了一次切机事故。1990 年 10 月 21 日,葛洲坝直流换流站换流变压器绕组接地保护误动作,误发交流保护动作切机信

号,在事故中,闭锁装置可靠闭锁了切机出口回路,又避免了一次切机事故;与此同时,因葛侧远跳装置发出远切信号,经500kV葛凤线复用通道使凤侧远跳装置收信并动作,由于凤变压器侧远切闭锁装置的可靠闭锁,未造成凤变压器切鄂东负荷。在以后的运行中,该闭锁装置能在电网各种运行方式下,在发生能引起电网稳定破坏的事故中,均能迅速解除闭锁,保证远方切机切负荷。运行实践证明,该闭锁装置达到了设计要求,在投入运行后,对电网安全稳定运行起到了重要的作用。

随着湖北电网建设的发展,500kV系统的网络结构得以加强,220kV网络结构得到了较大的改善,在系统发生单相故障时,不需像过去那样,继电保护动作切除故障时,同时切除葛洲坝电厂发电机,切除鄂东地区的负荷来保证电网的暂态稳定。为了提高电网安全稳定水平,合理使用系统稳定措施,尽量少切机、切负荷。湖北电网采用湖北电力试验研究院开发研制的故障判别装置,达到区分单相故障与相间故障的目的。在多次500kV线路故障中,能正确区分故障相别及类型。特别是在1995年6月24日500kV双凤线单相瞬时故障中,500kV葛凤线葛侧RAZFE距离保护误跳三相的情况下,凤变及葛洲坝大江电厂两套故障判别装置均快速而准确地判别了故障类型,根据设计要求没有起动切机、切负荷装置,避免了葛洲坝电厂切4台机,530MW、鄂东地区切350MW负荷的损失。

湖北电网目前的切机、切负荷稳定措施由于功能专一,设计回路简单有效,易于实施,而成为提高湖北电网稳定的有效措施,对保证湖北电网的安全稳定起着极其重要的作用。但是,这个稳定措施涉及的远切通道及远切装置几乎遍布全网220kV及以上变电站,且均由分散独立的控制装置构成,每个装置通常只适应一定接线方式和运行方式,不同方式及功能实施均由压板切换,每当运行方式稍有变化,就需由运行人员根据控制要求对压板进行投退,这种复杂频繁的操作不仅给运行管理造成了很大的不方便,在以往也曾多次发生人为误碰、误投切机压板造成电网误切机、切负荷事故。由于装置独立分散,无智能化功能,装置只能反映主站的开关和保护状态,无法反映相邻线路的故障及系统的运行方式,不能根据系统稳定水平,自动准确地调整切机、切负荷量,自动化运行水平不高。除葛洲坝、凤凰山等站加有一定的闭锁措施外,大多数远切装置的保护起动回路无闭锁,当某一套保护装置误动时,也可能引起远切装置的误动、误切发电机组或切负荷,装置的安全可靠运行水平不高。

第三节 安全自动装置发展趋势

一、安全自动装置技术未来趋势是向计算机化、网络化、一体化发展

安全自动装置的微机化是不可逆转的发展趋势。电力系统对安全自动装置的要求不断提高,除了装置本身的基本功能外,还应具有大容量故障信息和数据的长期存放空间,快速的数据处理功能,强大的通信能力,与其他安全自动装置和调度联网共享信息和网络资源的能力。

作为信息和数据通信工具,计算机网络已成为信息时代的技术支柱。要保证系统的安全稳定运行,这就要求每个安全自动装置共享全系统的运行和故障信息的数据,各个安全自动装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作,确保系统的安全稳定运行。显然,实现这种功能的基本条件是将全系统安全自动装置用计算机网络连接起来,亦即实现微型安全自动装置的网络化。这在当前的技术条件下是完全可能的。

在实现安全自动装置的计算机化和网络化的条件下,安全自动装置可从网上获取电力系统运行和故障的任何信息和数据,也可将自身所获得的信息和数据传送给网络控制中心或任一终端。因此,每个微型安全自动装置不但可完成自身的基本功能,而且在无故障正常运行情况下还可完成测量、控制、数据通信功能,亦即实现保护、控制、测量、数据通信一体化。

二、GPS技术应用于安全自动装置

全球定位系统(Global Positioning System, GPS)技术被广泛应用于军事、电力、交通等领域,在电力系统中的应用也显示出独特优势以及应用前景。在电力系统安全自动装置中,应用GPS技术将使传统的自动监视和控制功能得到进一步提高。使原来不可能做到的控制和测量精度,以及故障分析,装置实验、特殊参数的采集都可以在GPS条件下得以实现。GPS除了本身可用于全球定位功能外,另一个显著的特点就

是精确的时间传递，电力系统可以利用 GPS 的这个特点，使电力系统安全自动装置能够在 $1\mu\text{s}$ 的分辨率下进行电网统一时钟和同步采集，以实现各种动态测量。

(1) 统一电力系统的时钟。GPS 接收机在任何时刻都能在同一时刻接收到同一个信号，并可以取出 1s 的脉冲信号 1pps ，其误差不超过国际标准时间 $1\mu\text{s}$ 。因此可以很方便地实现全国电力系统时间的真正统一。与传统方法相比，具有精度高（微秒级）、范围广、不需要通信联络、不受地理和气候条件限制等优点，是理想的统一的全网时钟的首选方案。

(2) 同步采样。电力系统中，继电保护及其各种监控系统都需要对测控对象进行采样，尤其是各种微机保护，不仅需要本地信息，而且还需要远方信息，这些信息要求是同步采集，同时将采集结果进行比较处理，不用 GPS 是很难解决这个问题。电力系统自动化系统工作也需要在统一的时间标准下对电力系统和电气量进行同步采集，以便实现同步测量。由于 GPS 有许多优点，故障定位、线路的电流纵差动保护、保护装置的试验以及相量测量等的应用都可以利用他得到很好的解决。比如，当输电线路发生故障时，故障点将产生向线路两端以光速运行的行波。如果能在同一时间基准下记录两端首接受到的行波的时刻，则很容易确定出故障的位置，这就是行波故障测距。数字式纵差电流保护在实现上有两大困难：一是通信问题，二是线路两端电流的同步采样。前者可以利用光纤数字通信，后者可利用 GPS 很好地解决。由于保护装置安装在不同的站端，因此需要一种同步装置来完成试验信号的同步输入，GPS 可以很好地解决上述时间同步问题。相量测量及其在电网监视和稳定控制中的应用是非常重要的。相量测量就是在同步采样直接测量电网中的各种母线电压和相位。不同电站母线电压之间的相位关系是判断系统稳定的重要依据。因此，实时测量各电站母线电压的相量及相位关系，对系统稳定判别和控制有着非常重要的意义。

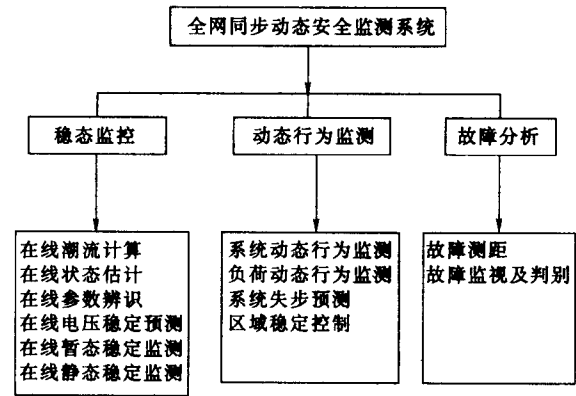


图 1-1 全网同步动态安全监测系统框图

相量控制是实现电力系统稳定的新方法。采用光纤技术为相量控制实现提供了可能。光纤通信将各变电所的同步相量测量值收集汇总处理后，就可得到各变电站之间动态相量的变化，从而可通过预测不稳定现象的变化实时决策应采取的控制措施及相量控制。

电力系统自动化系统动态监测系统主要由同步定位系统、动态相量测量系统、通信系统、中央信号处理系统四部分组成。其最关键的技术就是 GPS 技术。借助于 GPS 技术，一个全网同步安全监测系统将服务于电力系统。动态监测的基础是 GPS 技术、DPS 技术及通信技术。动态安全监测系统在电力系统中的应用领域如图 1-1 所示。

其中信息来源主要依靠电力系统各发电厂、变电所安装价格低廉的 GPS 接收器，可以方便的获得精度为 $1\mu\text{s}$ 的 1pps 脉冲代码，并实行电网的高精度、高可靠性时间统一的同步采样。GPS 的应用将促进电力系统自动化技术的全面发展，给事故分析、继电保护、故障测距、稳定判别和快速控制等领域带来技术上的重大突破。