

黑龙江省电力调度中心 编

变电所自动化

实用技术及应用指南

hi yong ji shu

ing yong zhi nan



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

Bian dian suo zi dong hua

变电所自动化 实用技术及应用指南

黑龙江省电力调度中心 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



内 容 提 要

本书系统地阐述了电力系统自动化的功能、原理、理论基础以及相关的技术。全书共 15 章, 主要包括: 电力系统自动化的发展过程, 电力系统自动化技术基础知识, 变电所自动化系统的研究内容、系统结构配置、基本功能、设计原则和要求, 变电所自动化系统的信息采集与接口技术, RTU 装置的原理及应用, 继电保护的配置、主要原理及在变电所自动化系统中的信息传输, 通信技术在电网自动化系统中的应用, 变电所自动化系统中智能装置的应用, 数据采集与监控系统, 能量管理系统, 继电保护及故障录波器信息处理系统, 子站及主站系统安装与维护等。

本书理论联系实际, 具有系统和实用的特点, 可供电力行业的工程设计人员、调度与变电所自动化系统运行维护人员及运行值班人员学习参考。另外, 本书虽是面向工程应用的科技指南, 但对于大专院校相关专业学生拓展思路和开阔视野也有一定的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电所自动化实用技术及应用指南/黑龙江省电力调度中心编. —北京: 中国电力出版社, 2004

ISBN 7 - 5083 - 2335 - 1

I. 变… II. 黑… III. 变电所 - 自动化技术 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 044884 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 29.5 印张 723 千字

印数 0001—3000 册 定价 46.00 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)

变电所自动化实用技术及应用指南

编辑委员会名单

主 编：屠 强

副主编：周迎秋 肖荣国 汤雨海 刘 伟

委 员：田 伟 刘 更 张海彬 陈 铁 曹 阳 徐丽娟

审定委员会名单

主 审：杨铁忠

副主审：刘志富

委 员：李彦俊 漆晓滨 马景春 赵宝森 孙大为 陈伟捷
武 英 邵光耀 唐 磊 李龙浩 李秀兰 王春芳
周宏宇

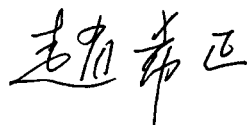
变电所自动化实用技术及应用指南

序 言

随着国民经济的持续发展,电网规模在不断扩大,满足各类用户的供电需求是电网运营的主要任务之一。为此,电网建设与改造必须依靠科技进步,应用电网变电所自动化技术是电网建设与改造中现代化管理的重要手段,是电网建设与改造的基础和重点。

我国对电力系统自动化的研究、开发和应用开始于 20 世纪 80 年代中、后期,90 年代逐渐形成高潮,目前已发展成一个相对独立的技术领域。电力系统自动化涉及到多个专业,包括自动化、远动、通信、继电保护、测量、计量等二次系统的工程及技术,甚至对一次设备也提出了新的要求,涉及到包括变电检修、运行、调度在内的各个部门,还广泛涉及到规划、设计、标准化、质检、生产厂家,是一项综合复杂的系统工程,是现代科技管理在电力企业中的综合应用。由于电网变电所自动化系统是微计算机技术、数字信号处理技术、大规模集成电路技术和通信技术等高科技在变电所的集中应用,是对传统的变电所二次系统的一场重大变革,而且这场变革将随着上述各种高科技的不断发展继续深入。电网变电所自动化技术对许多工作在电力一线的生产技术人员来说,毕竟是一件新生事物。目前还没有一本专门的技术专著作为参考,本书的出版发行填补了这一空白,将使更多的人了解目前电网变电所自动化系统的有关技术和原理,了解电网变电所自动化系统的优越性,以便进一步促进电网变电所自动化系统的建设,促进电网的安全、稳定、经济运行。

本书浅显易懂,适合各类技术人员阅读。在本书的编辑过程中,编委同志们以高度的责任感和严谨的科学态度,付出了辛勤的汗水。在本书即将正式出版的时候,我谨对所有参与和支持本书编辑出版的同志们表示崇高的敬意。并希望有更多的同志结合电网运行的实际,不断总结新经验,逐步完善电网变电所自动化系统技术,为使中国电网向国际一流迈进而坚持不懈地努力。



2004 年 1 月 8 日

变电所自动化实用技术及应用指南

前言

本书系统地阐述了电力系统自动化的功能、原理、理论基础以及相关的技术,以达到拓展和开阔广大电力工程技术人员、工程技术管理人员的知识和视野,推进自动化技术在电力系统中应用水平的提高和健康发展。

由于本书所涵盖的内容十分丰富,为了方便读者应用,增加全书的实用性,编者在本书的结构安排上力求各章自成体系,读者可根据不同需要,直接查阅相关章节。

全书共分十五章。第一章概述,简要介绍了电力系统运行的基本要求及电力系统自动化的发展过程。第二章介绍了电力系统自动化技术基础知识。第三章详细介绍了变电所自动化系统的研究内容、系统的结构和配置、基本功能、设计原则和要求以及提高系统可靠性的措施。第四章详细介绍了变电所自动化系统的信息采集与接口技术。第五章简单介绍了 RTU 装置的原理及应用。第六章简单介绍了国内几个大厂家的变电所综合自动化系统。第七章介绍了继电保护及自动装置的配置、微机保护的原理和算法、继电保护与变电所内外设备的信息传输。第八章简单介绍了通信技术在电网自动化系统中的应用。第九章介绍了综合自动化变电所智能装置的应用。第十章介绍了数据采集与监控系统。第十一章介绍了能量管理系统。第十二章介绍了继电保护及故障录波器信息处理系统。第十三章和第十四章介绍了子站和主站系统的安装与维护。第十五章介绍了综合自动化变电所的安装与调试。

由于时间仓促和限于编者自身水平和实践经验的欠缺,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者和专家们给予批评指正。

2004 年 1 月

变电所自动化实用技术及应用指南

目 录

序言

前言



第一章 概述 1

- 第一节 电力系统运行的基本要求 1
- 第二节 电网及变电所自动化的发展过程 4



第二章 电力系统自动化技术基础知识 13

- 第一节 计算机的基本结构 13
- 第二节 计算机中的数制转换与运算 15
- 第三节 网络基本知识 21
- 第四节 模拟量的输入输出原理 28
- 第五节 开关量的输入输出原理 36



第三章 变电所自动化系统 39

- 第一节 变电所自动化系统研究内容 39
- 第二节 变电所自动化系统的特点 40
- 第三节 变电所自动化系统的结构和配置 41
- 第四节 变电所自动化系统的基本功能 45
- 第五节 变电所自动化系统的设计原则和要求 52
- 第六节 新建变电所自动化系统的设计 53
- 第七节 老变电所改造自动化系统的设计 60
- 第八节 提高变电所自动化系统可靠性的措施 63

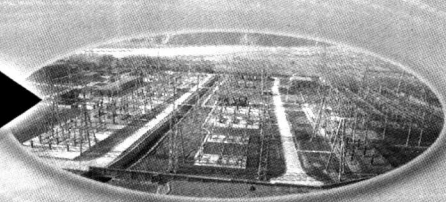


第四章 变电所自动化系统的信息采集与接口技术 80

- 第一节 数据通信概述 80
- 第二节 数据通信的传输方式 82
- 第三节 串行数据通信接口 85
- 第四节 局域网络技术的应用 89
- 第五节 现场总线在变电所综合自动化系统中的应用 92
- 第六节 数字信号的调制与解调 95
- 第七节 差错检测技术 97

第八节	变电所的信息量采集方式	99
第九节	变电所的远传信息传输	101
第十节	变电所信息传输规约	103
	第五章 RTU 装置的原理及应用	131
第一节	远动装置简介	131
第二节	D20 型 RTU 装置简介	133
第三节	DF1331 型 RTU 原理简介	147
	第六章 国内变电所综合自动化系统简介	162
第一节	RCS-9700 综合自动化系统简介	162
第二节	CSC2000 综合自动化系统简介	166
第三节	DF3000 系列综合自动化系统简介	170
	第七章 继电保护	175
第一节	各电压等级的保护及自动装置的配置	175
第二节	继电保护的基本工作原理	179
第三节	微机保护概述	188
第四节	微机保护的硬件组成与设计	190
第五节	微机保护装置中的数字滤波器	201
第六节	微机保护的算法	206
第七节	继电保护与变电所内外设备的信息传输	212
第八节	变电所综合自动化系统中微机保护的其他问题	215
	第八章 通信技术在电网自动化系统中的应用	218
第一节	无人值班变电所的通信	218
第二节	卫星通信	223
第三节	图像通信	225
第四节	数据通信网的应用	226
	第九章 综合自动化变电所智能装置的应用	229
第一节	电压、无功自动控制装置在综合自动化变电所中的应用	229
第二节	电力系统低频减载	236
第三节	小电流接地选线装置在无人值班变电所的应用	241
第四节	自动跟踪补偿消弧装置在配电系统的应用	243
第五节	电能计量远方采集装置在无人值班变电所的应用	247
第六节	备用电源自投控制	248
	第十章 数据采集与监控系统	251
第一节	SCADA 系统构成	251
第二节	SCADA 系统的主要特点	252
第三节	SCADA 系统功能规范	253

	第十一章 能量管理系统 (EMS)	261
第一节	EMS 的技术发展	261
第二节	EMS 的设计、开发与应用	263
第三节	EMS 系统构成	266
第四节	能量管理软件	267
第五节	网络分析软件	268
第六节	EMS 的效益论证	270
第七节	电力系统负荷预测	272
第八节	自动发电控制	274
第九节	调度员培训模拟	277
	第十二章 继电保护及故障录波器信息处理系统	284
第一节	概述	284
第二节	国内继电保护及故障录波器信息处理系统现状	284
第三节	黑龙江省继电保护及故障录波器信息处理系统介绍	288
	第十三章 子站系统安装维护	298
第一节	DF3000 系列变电站综合自动化系统安装指南	298
第二节	CSC2000 变电所综合自动化系统安装指南	320
第三节	DF1331 增强型分布式 RTU 运行维护指南	334
第四节	D20 (GR90) 型 RTU 软件运行维护指南	349
第五节	子站系统遥测系数设定原则	353
	第十四章 主站系统安装维护	358
第一节	Windows 操作系统的安装	358
第二节	Sybase12.0 的安装过程	362
第三节	Alpha 机操作系统的安装配置	374
第四节	SUN Solaris 操作系统安装	385
第五节	UNIX 系统管理员常用命令	396
第六节	主站系统硬件维护	411
第七节	CHASE、MOXA 通信服务器使用管理指南	425
第八节	网络常识	439
	第十五章 综合自动化变电所的安装调试	442
第一节	综合自动化变电所的安装接线	442
第二节	综合自动化装置的调试	443
第三节	自动化装置与主站系统的联合调试	453
第四节	综合自动化装置的竣工验收	458
参考文献		461



概 述



第一节 电力系统运行的基本要求

一、电能生产的特点

电力系统是由电能的生产、输送、分配和消费各个环节构成的一个整体,与其他的工业系统相比较,电力系统的运行具有如下的明显特点。

(1) 电能不能大量存贮。电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的,电力系统中任何时刻,各发电厂发出的功率必须等于该时刻各用电设备所需的功率与输送、分配各环节中损耗功率之和,因而对电能生产的协调和管理提出很高的要求。

(2) 电磁过程的快速性。电力系统中任何一个地方的运行状态的改变或故障,都会快速的影响到整体电力系统的各个地方,仅依靠手动操作是无法保证电力系统的正常和稳定运行,所以电力系统运行必须依靠信息就地处理的继电保护和自动装置,以及信息全局处理的调度自动化系统。

(3) 与国民经济的各部门、人民的日常生活等有着密切的联系。供电的突然中断会产生严重的后果。

二、电力系统运行的基本要求

对电力系统运行的基本要求是:

- (1) 保证安全可靠的供电;
- (2) 要有合乎要求的电能质量;
- (3) 要有良好的经济性。

要实现这些基本要求,除了提高电力设备的可靠性水平,配备足够的备用容量,提高运行人员的素质,采用继电保护和自动装置等以外,采用电网调度自动化系统也是一个极为重要的手段。

三、电力系统的运行状态及其相互间的转变关系

电力系统调度控制的内容与电力系统的运行状态是紧密联系在一起,图 1-1 中画出了电力系统的各种运行状态及其相互间的转变关系。

1. 正常运行状态

在正常运行状态下,电力系统中总的有功和无功出力与负荷总的有功和无功的需求达到平衡;电力系统的频率和各母线电压均在正常运行的允许范围内;各电源设备和输变电设备又均在规定的额定范围内运行,系统内的发电和输变电设备均有足够的备用容量。此时,系统不仅能以电压和频率质量均合格的电能满足负荷用电的需求,而且还具有适当的安全储备,能承受正常的干扰(如断开一条线路或停止一台发电机)而不致造成有害的后果(如设备过载等)。在正常的干扰下,系统能达到一个新的正常运行状态。

电网调度中心的任务就是尽量使系统维持在正常运行状态。

在正常运行状态下,电力系统的负荷每时每刻在变化。运行的主要任务是使得发电机的出力和负荷的需求相适应,以保证电能的频率质量。同时,还应在保证安全的条件下,实现电力系统的经济运行。

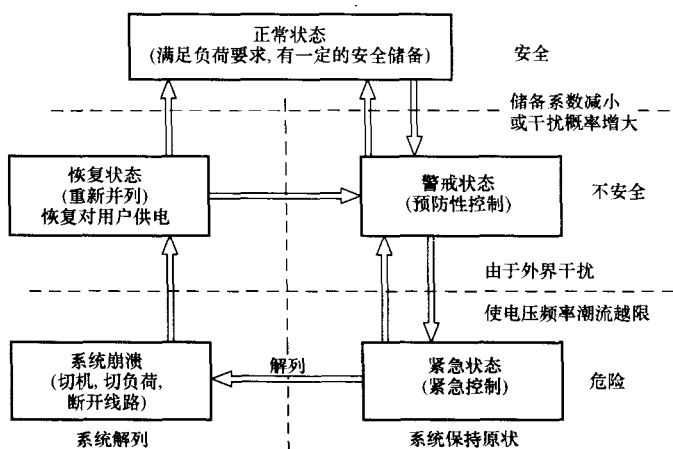


图 1-1 电力系统的运行状态

2. 警戒状态

电力系统受到灾难性干扰的机会虽然不多, 大量的情况是在正常状态下由于一系列不大干扰的积累, 而使电力系统总的水平逐渐降低, 以致进入警戒状态。

在警戒状态下, 虽然电压、频率等都在容许范围内, 但系统的安全储备系数大大减少了, 对于外界干扰的抵抗能力削弱了。当发生一些不可预测的干扰或负荷增长到一定程度, 就可能使电压频率的偏差超过容许范围, 某些设备发生过载, 使系统的安全运行受到威胁。

电网调度自动化系统, 要随时监测系统的运行情况, 并通过静态安全分析、暂态安全分析等应用软件, 对系统的安全水平作出评价, 当发现系统处于警戒状态时, 及时向调度人员作出报告, 调度人员应及时采取预防性控制措施, 如增加和调整发电机出力、调整负荷、改变运行方式等, 使系统尽快恢复到正常状态。

3. 紧急状态

若系统处于警戒状态时, 调度人员没有及时采取有效的预防性措施, 一旦发生一个足够严重的干扰 (例如, 发生短路故障或一台大容量机组退出运行等), 那么系统就要从警戒状态进入紧急状态, 这时可能有某些线路的潮流或系统中的其他元件的负荷超过极限值, 系统的电压或频率超过或低于允许值。

这时电网调度自动化系统就担负着特别重要的任务, 它向调度人员发出一系列的告警信号, 调度人员根据 CRT 或模拟屏的显示, 掌握系统的全局运行状态, 以便及时地采取正确而且有效的紧急控制措施, 则仍可能使系统回复到警戒状态, 或进而恢复到正常状态。

4. 系统崩溃

在紧急状态下, 如果不及时采取适当的控制措施, 或者措施不够有效, 或者因为干扰及其产生的连锁反应十分严重, 则系统可能失去稳定, 并解列成几个系统。此时, 由于出力和负荷的不平衡, 不得不大量地切除负荷及发电机, 从而导致全系统的崩溃。

系统崩溃后, 要尽量利用调度自动化系统提供的手段, 了解崩溃后的系统状况, 采用各种措施, 使已崩溃的电网逐步地恢复起来。

5. 恢复状态

系统崩溃后, 整个电力系统可能已解列为几个小系统, 并且造成许多用户大面积的停电和许多发电机的紧急停机。此时, 要采用各种恢复出力 and 送电能力的措施, 逐步对用户恢复供电, 使解列的小系统逐步的并列运行, 使电力系统还复到正常状态或警戒状态。

在这个过程中, 调度自动化系统也是调度员恢复电力系统运行的重要手段。

从以上讨论的电力系统的运行状态来看, 在电力系统发生故障等大干扰的情况下, 需要依靠继电保护等的快速反应, 及时地切除故障线路, 按频率降低自动减负荷装置是防止系统频率崩溃的基本措施等。这些装置都是对电力系统稳定运行必不可少的手段。但从现代电力系统的发展来看, 仅依靠这些手段还不能保证电力系统的安全、优质、经济运行, 因为这些装置往往都是从局部的事来处理电力系统的故障, 而不能从全局的事来预测、分析系统的运行情况和处理系统中出现的各种情况, 所以调度自动化系统有着它独特的不可取代的作用。

因而继电保护、安全自动装置、安全稳定控制系统、电网调度自动化系统和电力专用通信网系统等现代化技术手段, 成为保证电力系统安全、优质、经济运行的五大支柱, 是现代电网运行的必不可少的手段。

四、电力系统、自动化系统的作用及电力系统的分层控制

1. 电力自动化系统在电力系统中的作用

电网系统运行的可靠性以及供应电能的质量与其自动化系统的水平有着密切的联系。

电力系统的自动化系统由两个系统构成: 信息就地处理的自动化系统和信息集中处理的自动化系统。

信息就地处理的自动化系统的特点是对电力系统的情况作出快速的反应, 如高压输电线上发生短路故障时, 要求继电保护要在 20ms 左右动作, 以便快速切除故障, 而在电力系统正常运行时, 同步发电机的励磁自动控制系统可以保证系统的电压质量和无功出力的分配, 在故障时可以提高系统的稳定水平。有功功率自动调节装置能跟踪系统负荷的随机波动, 保证电能的频率质量按频率自动减负荷装置能在系统事故情况、电力系统出现严重的有功缺额时, 快速的切除一些较为次要的负荷, 以免造成系统的频率崩溃。以上这些信息就地处理装置, 其重要的优点是能对系统中的情况作出快速的反应, 尤其在电力系统发生故障时, 其作用更为明显, 但由于其获得的信息有局限性, 因而不能从全局的角度来处理问题。例如, 通过自动频率调节, 虽然可以跟踪负荷的变化, 但总还存在与额定频率的偏差, 更不能实现出力的经济分配。另外, 信息就地处理自动装置只能“事后”处理出现的事件, 而不能“事先”对系统的安全性作出评价, 因而有其局限性。

信息集中处理的自动化系统(即电网调度自动化系统), 可以通过设置在各发电厂和变电所的远动终端(RTU)采集电网运行的实时信息, 通过信道传输到主站, 主站根据全网的信息, 对电网的运行状态进行安全性分析、负荷预测, 以及自动发电控制、经济调度等控制。当系统发生故障, 继电保护动作切除故障线路后, 调度自动化系统便可将继电保护的断路器的状态采集后送到调度员的监视器屏幕和调度模拟屏显示器上。调度员在掌握这些信息后可以知道故障的情况和原因, 并采取相应的措施, 使电网恢复正常供电。但是由于信息的采集、传输需要一定的时间, 所以系统的故障不可能依靠信息集中处理系统来作为切除故障的手段。

信息就地处理系统和信息集中处理系统各自有其特点, 互相不能替代。但以往这两个系



统往往互相独立，联系较少。随着微机保护，变电所综合自动化等技术的发展，两个信息处理系统之间互相渗透，更重要的是这些微机装置尽管功能不同，但硬件均大同小异，而所采集的量和所控制的对象还有许多是共同的，如何打破原来的二次设备框框，从变电所的全局出发，着手研究全微机化的变电所二次部分的优化设计，这就是变电所自动化的由来。

2. 电力系统的分层控制

电能生产、输送、分配和消费均在一个电力系统中进行的。我国目前已建成五大电网（华北、东北、华东、华中、西北）以及一些省网，并且在大网之间通过联络线进行能量交换。另外按照各省、市经济体制的规定，电力系统的运行管理本身是分层次的，各大区电管局、各省电力局、各市、县供电局均有其管辖范围，它的出力和负荷的分配受上一级的电力部门管理，同时又要管理下一级的电力部门，以保证电能生产、消耗之间的平衡。

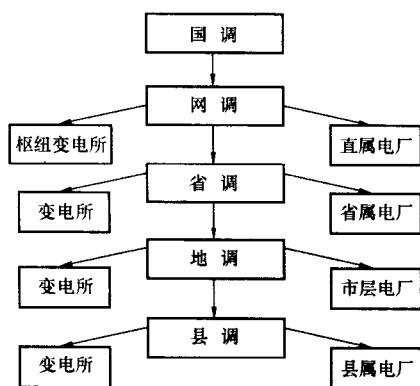


图 1-2 电网分层控制示意图

按我国现在电网运行管理体制的制约，我国电网的调度管理分五级：国家调度控制中心、大区电网调度控制中心、省电网调度控制中心、市和县电网调度控制中心，图 1-2 是电网分层控制的示意图。

在各级电网调度管理实行分层控制，因而其相应的调度自动化必须与之相适应，信息分层采集，逐级传送，命令也按层次逐级下达，为了保证电力系统的可靠运行，对各级调度都规定了一定的职责。

与集中控制方式相比，分层控制的优点是：

(1) 从电力系统调度控制的观点来看，信息可以分层采集，而把一些必要的信息转发给上一级的调度。例如，地区调度可以采集本地区的负荷和出力，并把地区负荷和出力总加后送上一级调度，而对出力和负荷的控制是同样的，上一级调度只向下一级调度发出出力和负荷的总指标，由下一级调度进行控制。这样做既减轻了上一级调度的负担，又加速了控制过程，同时减少了不必要的信息流量。

(2) 在分层控制的电力系统中，若局部的电力系统控制系统停止工作，也不会影响整个电力系统的其他部分，并且各分层间可以部分地互为备用，从而提高了电力系统运行的可靠性。在电力系统中，即使在紧急情况下部分电网与系统解列，也可以分别地独立运行，因为局部地区也有相应的调度自动化系统，可对电网实现监控。

(3) 实现分层控制以后，可以大大降低信息流量，因而减少了对通信系统的投资。同样，分层以后减轻了计算机的负荷，投资也相应下降。

总之，分层控制不仅是可能的，而且是必要的，采用分层控制后，可以使电力系统的监测和控制更可靠而有效。



第二节 电网及变电所自动化的发展过程

一、电网自动化技术的发展过程

常规变电所到无人值班变电所的过渡是生产发展的需要，世界科学技术的迅速发展使得

这种需要成为可能。从 20 世纪 60 年代开始,世界自动化控制技术的发展经历了三个阶段。

(1) 从 20 世纪 50 年代到 60 年代中期是以古典控制理论为基础、以模拟控制为主的第一阶段。调节回路输入信号与设定值比较后经 PID 调节、放大后去控制受控对象,同时发出反馈信号注入输入网络进行校正,实现闭环控制。电力系统中的 AVR(电压自动调整)和调相设备的调节多数采用这种反馈式模拟调节系统。

(2) 从 20 世纪 60 年代中期到 80 年代初期,控制技术进入到现代控制理论为基础的第二阶段,这个阶段的特点是电子计算机技术、通信技术和控制技术有了迅速发展,开发了一批具有协控、程控、集控等对多回路同时调节功能的计算机系统,在调度自动化方面,日本、美国等技术发达国家开始采用了计算机进行电网数据采集和监控,同时在变电所开始采用远动(RTU)作为自动化的终端。数控技术的发展使得控制的精确性、控制的速度和质量有了提高,但是多回路集中控制即使采用了冗余技术,由于风险过于集中,可靠性得不到保证。

(3) 20 世纪 80 年代以来控制技术进入了第三阶段——大系统智能控制阶段,它的特点是面对庞大系统的控制,提出全系统最优化指标,再采用任务分解的办法由分散的小系统去优化完成分配给它的具体指标。这时期微机出现,以微机和小机(或 PC 机)为主组成的分布式控制系统(DCS)运算速度快、可靠性高、价格合理,适应了大系统调节需要。在电网自动化方面,调度端的能量管理系统(EMS)、配电管理系统(DMS)功能已从电网监控(SCADA)扩大到自动发电控制、经济调度控制(AGC/EDC)、静态安全分析(SSA)、暂态安全分析(DSA)、配电网的地图图像系统(GIS)功能、需方用电管理(DSM)以及调度员培训模拟(DTS)等方面。变电所的远动 RTU 及其当地功能包括运行设备的数据采集、四遥、监控、电能计量、保护、故障录波、测距、谐波分析、低频减载等功能。

这些新型的电网监控系统,集中了分布于各处的数据采集,计算机、传输网络形成的庞大自动化系统,与发电厂自动化系统配合一起能完成电力系统复杂的、安全、经济发供电任务,反映了第三阶段自动化控制技术的精粹。

我国电网自动化工作开始于 60 年代初期,1959 年郑州电业局采用 RTU 了解变电所的运行参数、开关变位情况,并实现调度对变电所的遥控。以后受文革干扰,自动化处于休止状态。70 年代后期,科技工作受到重视,国产远动装置问世,各地也开始安装使用。初期产品属半导体晶体管型的,元件质量不过关,故障较多,除少数电业局坚持使用外多半停下来了,调度端计算机系统故障更多,可用率低,接收过来的信息多在模拟屏上显示。80 年代中期 PC 机的出现以及 PDP、VAX 等控制性能良好的计算机开发应用,调度端 SCADA 开始进入实用阶段。在水电部第三次计算机应用大会上,电网调度自动化被列为计算机应用重点,这时国内超高压电网已经形成,配合 50 万 V 超高压输电引进的一批 SCADA、RTU 自动化设施也已取得运行经验,国际上随着计算机、通信、控制技术的发展,放宽了对中国高新技术出口的限制,迎合了中国改革开放的需要。以此为契机,我国电力系统自动化有了快速发展,四大网引进了国外先进的 SCADA 和 RTU 设备,开发了先进的软件,自动化上了新台阶。水电部接着提出了全国 50 个地调要在 1990 年内实现计算机监控达标验收。在这一进程中,自动化资金的筹集和领导重视十分关键,一些经济发展快、实力强、领导又重视的电业部门,注意到调度 SCADA 和变电所 RTU 同步发展,无人值班变电所改造的进度加快,地调



SCADA 实用化验收迅速而巩固。但是多数地方往往先集中财力搞省、地调 SCADA, 无暇顾及变电所自动化, 以致基础不稳固, 给省地调自动化实用化验收造成很多困难, 回过头来再完善 RTU 和变电所无人值班化已到 90 年代了。从全局来看, 90 年代是电网自动化发展得最快的时期: 各局资金投向开始向自动化倾斜; 新建无人值班变电所数量增加; 计算机性能提高、开发应用成熟、价格下降; 通信手段近年取得瞩目成就; 电力部以及所属安全生产司、调度通信中心、规划设计总院对无人值班变电所工作的领导和规范化这些有利条件, 使得无人值班变电所的发展势头有如雨后春笋。

二、变电所自动化及其发展过程

1. 变电所的自动装置采用分列元件阶段

为了保证电力系统的正常运行, 研究单位和制造厂家长期以来陆续生产出各种功能的自动装置, 如自动重合闸装置、低频减载装置、备用电源自投和各种继电保护装置等。电力部门可根据需要, 分别选择配置。70 年代以前, 这些自动装置主要采用模拟电路, 由晶体管分列元件组成, 对提高变电所自动化水平, 保证系统的安全运行, 发挥了一定的作用。但这些自动装置互相之间独立运行, 互不相干, 而且缺乏智能, 没有故障自诊断能力, 在运行中若自身出现故障, 不能提供告警信息, 有的甚至会影响到电网运行的安全。同时分列元件的装置可靠性不高, 经常需要维修, 体积大, 不利于减少变电所的占地面积, 因此需要有更高性能的装置代替。

2. 微处理器为核心的智能自动装置

1971 年, 世界上第一片微处理器问世, 美国 Intel 公司率先做出了贡献。接着许多厂家都纷纷开始了研制微处理器, 逐步形成了以 Intel 公司、Motorola 公司、Zilog 公司为代表的三大系列微处理器产品, 由于其集成度高, 体积小, 性能价格比高, 使微型机迅速渗透和占领各个技术领域, 为计算机应用的普及和推广提供了现实的可能性; 另一方面工农业生产和科学技术发展的需求, 反过来又促进微处理器技术的迅速发展, 70 年代的 10 年中便更新了三代。20 多年来, 几乎每两年微处理器的集成度翻一翻, 每 2~4 年更新换代一次, 现已进入第五代即 64 位高档微处理器阶段。

80 年代, 随着国家的改革开放方针的发展, 微处理器技术开始引入了我国, 吸引了许多为电力行业服务的科技工作者, 都把注意力放在如何将大规模集成电路技术和微处理器技术应用于电力系统的各个领域上。在变电所自动化方面, 首先将原来由晶体管等分列元件组成的自动装置, 逐步由大规模集成电路或微处理机代替, 由于采用了数字式电路, 统一数字信号电平, 缩小了体积, 明显地显示出优越性。特别是由微处理器构成的自动装置, 利用微处理器的智能和计算能力, 可以应用和发展新的算法, 提高了测量的精度和控制的可靠性, 还扩充了新的功能, 尤其是装置本身的故障自诊断能力, 对提高自动装置自身的可靠性和缩短维修时间是很有意义的。

这些微机型的自动装置, 虽然提高了变电所自动控制的能力和可靠性, 但在 80 年代, 基本上多数还是维持原有的功能和逻辑关系的框框, 只是组成的硬件结构由微处理器及其接口电路代替, 并扩展一些简单的功能, 多数仍然是独立运行, 不能互相通信, 不能共享资源, 实际上形成了变电所中多个自动化孤岛, 仍然解决不了前述变电所设计和运行中的所有问题。随着数字技术和微机技术的发展, 对变电所内各自动化孤岛问题进行了研究, 因此变电所自动化是科学技术发展和变电所自动控制技术发展的必然结果。



3. 国内变电所自动化技术现状及其发展趋势

国内变电所自动化工作起始于 50 年代,若不把变电所电气设备及送电线路的保护装备列入传统的变电所自动化工作中,当时的变电所自动化装备主要指以下两方面:一是针对线路(架空线路与电缆线路)的自动重合闸装置;二是备用电源自动合闸装置。这两种自动化装置当时已趋于成熟,是利用有触点继电器来实现的。除此以外,在 50 年代后期,引进了巡回检测及远动技术,在一些变电所安装并试运行。但国产设备由于技术与工艺上的不成熟,而且巡回检测及远动技术是一个系统工程性的技术,不像自动重合闸与备用电源自动投入装置基本是整体(单个)装置性质的,所以在其他技术(不够成熟或可用率不高的情况下,如采样技术、通信技术、主站端的自动化技术等)投运效果很难达到实用化要求。再加上“文革”的影响,在六、七十年代中,除了自动重合闸及备用电源自动合闸的自动化技术在变电所继续采用外,其他自动化技术在应用中鲜有进展。

随着党的改革开放和引进外国先进技术与装备政策的实施,在变电所自动化技术范围内的技术信息采样技术、远动技术、通信技术、计算机技术以及信息技术等的效果愈来愈显著,为我国变电所自动化技术的发展开辟了广泛的前景,现分别叙述如下。

(1) 变电所自动化信息的采集技术。变电所自动化的核心是信息的采集与处理。变电所所采集的信息主要是通过各类变送器取得各种电量及非电量的遥测信息、断路器的分、合状态信息等。对于数值量的交流采样技术,在 80 年代末起主要在县级供电局范畴内的变电所应用,它是不通过变送器对电量进行采样,而直接在远动装置中利用交流采集技术进行电量采集。交流采样技术有广阔的应用前途,因为它首先可取消变送器,这在变电所采样与远动的投资上可节省约 40%;其次它更有利于在变电所自动化技术及继电保护技术中电量的采样源的统一,为进一步提高自动化应用水平创造条件。

现在尚在广泛应用的变送器生产中有两个问题需要生产厂家与科研单位给予重视。一是提高变送器的质量,使变送器的维护、校验能间隔较长时期,如 3~5 年,这不仅可以大大节省用于维护与校验的人力、物力,并可显著地提高电气量采样的可靠性与精度,而现行的变送器运行规程规定,一般每年要对变送器进行一次维护校验;二是在设计与制造过程中提高变送器的精度,降低采样误差,特别是无功功率的采样误差。众所周知,已投运的大量变送器,由于其精确度,特别是在低量程时的精确度较差,因此在部颁电网调度自动化实用化验收中规定,以引用误差不超过 $\pm 1.5\%$ 作为考核标准,而不是采用实际的相对误差不超过 $\pm 1.5\%$ 作为考核标准。20~30 个电网调度自动化实用化验收的测试记录显示,在线路负荷率低的情况下,从变送器取得的电气采样值,虽然其引用误差满足行标要求,但实际的相对误差,特别是所测试的无功功率量值中,总有几个甚至高达 $1/3$ 的测试量中,其实际的相对误差超过行业标准 $\pm 1.5\%$,其相对误差值最高达 20% 以上。如此面较广且误差数值较为巨大的无功功率遥测量,为进一步开发与应用网、省、地调调度自动化系统的状态估计,无功功率优化等功能将产生巨大影响。因此提高变送器特别是无功功率变送器精度是当前急需解决的问题。

大多数地调调度自动化系统事故情况下的遥信正确动作率达到了实用化要求。但我们不应由此而感到满足,因在 1988 年制定实用化要求时,考虑到当时电网调度自动化系统遥信误动、误报问题,根据需与可能及多方协商,把对遥信的正确率考核标准定为事故时,遥信年动作率为 $> 95\%$,并应进一步努力实现 $> 99\%$ 的要求。应该看到,主要遥信的误报将对



事故处理造成严重的干扰,并将产生对其他遥信动作的不信任感。因此,在90年代初,国调中心就提出,电网调度自动化系统特别在通过实用化验收以后,应把解决遥信的误打(指由于瞬间遥信错误信息造成系统打印机打印大量不真实的遥信信息)、误报作为调度自动化系统工作的主攻方向之一。

使遥信动作正确率不高的原因主要是开关辅助触点或继电器触点的抖动、电磁干扰、遥信回路接触不良、通道误码等等。由于造成误动的环节众多,遥信数量巨大,查找不易,工作力度也显得不够,故十年来,遥信动作正确率未取得明显的提高。近年来,部分供电部门加强工作力度,采取软件滤波、延时传报等措施,遏止误报成效显著,通道质量的提高使由于通道误码而造成遥信误动的情况已不多见。另外在加强抗干扰能力、解决触点抖动等亦取得一定进展。因此,各供电部门只要加强工作,措施得当,有希望在不远的将来遥信动作正确率从95%提高到99%。

(2) 变电所自动化的遥控技术。一般来说,无人值班变电所应具备遥控技术。当前少数变电所无遥控功能也采用无人值班运行管理体制,这是当时当地对供电可靠性要求较低及经济条件等的限制而采取的变通的办法。

近年来,电力部所发布的文件中曾指出,采用遥控技术其必要条件之一是,地区电网调度自动化系统应达到实用化水平。这是因为,地调调度员或集控所的值班员在下达遥控命令时,必需掌握被控电气设备及与之相关的其他电气设备的实时运行工况,否则就不能排除所下达的控制操作命令失误的可能性。另外,若是由电网调度自动化系统相应的应用软件下达遥控指令,那么相应的应用软件也必需在取得有关电气设备的实时信息并进行运算处理后才能下达控制指令,这说明变电所自动化的遥控技术的投运必需有遥测、遥信技术的支持,因此地区电网调度自动化系统达到实用化要求,就成为变电所实施遥控技术的基本条件。可是由于部颁实用化要求事实上只是使电网调度自动化系统能够满足调度员实时调度的最低要求,所以对于投运遥控技术的无人值班变电所还应该考虑提高电气与非电气采样量的数量与质量要求,这在1996年3月由国家电力调度通信中心与电力规划设计总院发布的“调自[1996]43号”文“关于转发《实现变电所无人值班对调度自动化系统的基本要求》的通知”中的第5节“无人值班变电所四遥的基本配备”中有明确要求,可参照执行。随着电网调度自动化系统应用功能的开发与深化运用,变电所自动化技术的遥控和遥调功能(遥调在本质上来说是遥控的一种方式)将会在无人值班变电所中得到愈来愈广泛的应用。

要使变电所遥控技术得到良好应用的另一个基本条件是,被控设备不仅具备可控性,如手动操作的断路器和隔离开关就不具备可控性,而且要有良好的控制可靠性。因为控制的拒动,特别是控制的误动,轻则降低供电可靠性,重则可能造成设备或人身事故。因此,调自[1994]2号文中指出,地区电网调度自动化系统遥控功能的可靠性是:

月遥控拒动率小于等于2%;

年遥控误动率小于等于0.01%。

现在地区电网的变电所,特别是80年代后期所投运的变电所,高、中压断路器一般都具备可控的条件,而且大量采用了SF₆及真空断路器等电气设备,具有较高的控制可靠性。

在网调与电规院发布的“调自[1996]43号”文中,规定了在无人值班变电所中还需具备遥控功能的电气装置有主变压器中性点接地隔离开关,以及高频自发自信起动及距离保护闭锁复归,这是当前无人值班变电所对遥控按需要与可能基础上提出的基本要求。显然,随着