

# 广域保护研究现状及展望

杨春生<sup>1</sup>, 周步祥<sup>1</sup>, 林楠<sup>2</sup>, 徐飞<sup>1</sup>

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川电力职业技术学院, 四川 成都 610071)

**摘要:** 分析了广域保护与传统继电保护的区别, 指出广域保护能实现故障快速、可靠和精确切除, 并能对系统进行实时在线安全分析; 结合国内外该领域的发展情况, 系统介绍了广域稳控系统和基于相角测量的保护的现状和相关实例; 对广域保护的应用前景进行了展望, 指出广域保护是未来系统保护的发展方向。

**关键词:** 广域保护; 传统继电保护; 实时在线安全分析; 广域稳控系统; 相角测量

## Research current status and prospect of wide-area protection

YANG Chun-sheng<sup>1</sup>, ZHOU Bu-xiang<sup>1</sup>, LIN Nan<sup>2</sup>, XU Fei<sup>1</sup>

(1. School of Electricity and Electronic Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Sichuan Electric Power Vocational Technical College, Chengdu 610071, China)

**Abstract:** In this paper, the differences between wide-area protection and traditional relay protection are explained firstly, getting a conclusion that wide-area protection can achieve quick and accurate fault removal, and make real-time online safety analysis. Then with the latest development at home and abroad, research current status and some examples about special protection system and protection based on phasor measurement unit are presented. Finally, the paper points out the development trends about wide-area protection in the future.

**Key words:** wide-area protection; traditional relay protection; real-time online safety analysis; special protection system; phasor measurement unit

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)09-0147-04

## 0 引言

随着互联电网区域的扩大, 交换容量的增加, 电网电压等级的提高, 电力系统运行和控制更加复杂, 出现故障和不稳定的几率大大增加, 对继电保护和安全自动装置要求越来越高。国外电网数次大停电事故的发生并不是因为继电保护和安全自动装置误动作, 恰恰相反, 它们都能正确动作, 但是仍然不能避免大规模停电事故的发生, 其原因就在于它们之间缺乏相应的配合协调, 基于本地量的装置难以反映区域电力系统的运行状况<sup>[1]</sup>。在全国联网的超大型电网形成后, 我国电网在运行过程中也可能会遇到类似国外大型电网的问题, 为了维护大型电力系统的安全性和稳定性, 避免发生大停电事故, 我国必须加快广域保护原理研究进程, 尽快实现广域保护系统的实用化, 将继电保护系统由目前的“点”保护提升为能适应电网互联要求的“面”保护。此外计算机及通信计算的发展, 为建立更完善的保护控制系统提供了条件, 基于广域测量系统的

广域保护成为当前电力系统的重大前沿研究课题之一。

## 1 广域保护与传统继电保护区别

文献[2]对广域保护进行了定义, 并说明广域保护(国外称为特殊保护系统, 国内也称为稳定控制系统)的功能有三个, 一是通过采集电网各个节点的数据, 经计算后确定一定的控制手段以维持电网的安全稳定运行; 二是实时掌握及充分利用电网的输电能力; 三是提供更准确的电网规划方案。

传统的继电保护主要集中于元件保护, 以发电机、线路、母线、变压器和电动机等为保护对象, 以切除被保护元件内部故障为己任, 主要通过开关动作来实现故障隔离, 各电力设备的主保护相互独立, 不顾及故障元件被切除后, 剩余电力系统中的潮流转移引起的后果。而广域保护利用广域测量系统的相量测量信息, 实现对故障进行快速、可靠和精确的切除, 同时能对切除故障后或经受大扰动的系统进行在线实时安全分析, 必要时采用适当的措施

防止系统发生大范围或全系统停电<sup>[3]</sup>。

目前提出的广域保护系统可以分为两类:一类是利用广域信息,主要具有安全监视、控制、稳定边界计算及状态估计等功能,其侧重点在广域信息的利用和安全功能的实现;另一类则是利用广域信息,完成继电保护功能<sup>[4]</sup>。

## 2 广域保护的研究现状

由于区域电网互联的发展及数次大停电的影响,各国电力工作者都在进行广域保护系统的研究。由于我国电网结构和运行方式的特殊性,目前对广域保护的应用需求还不是特别迫切,但一些区域安全稳定装置也已经投入运行。文献[5]中对几种不同类型的广域保护系统进行了总结,根据影响电力系统稳定的三类问题,提出广域保护系统要满足“三道防线”要求,并指出构建广域保护系统需要开展的几方面的研究工作。文献[6]提出一种利用电流差动原理的广域后备保护方案,通过对广域范围内的故障电流及开关位置信息的采集和综合分析,判断故障区域和开关动作情况,利用实时网络拓扑图和跳闸函数实现最优后备保护跳闸方案。文献[7]针对集中式结构的广域保护终端 TE 缺乏必要的自治性,一旦 CE 出现故障,很可能造成整个广域保护区内断路器无序跳闸或误动,而分布式结构的广域后备保护系统中,各保护 IED 具备一定的自治性和交互性,随着系统规模的扩大,IED 数目的增多,必然导致 IED 之间通信网络的复杂程度大大增加,就某一个 IED 可靠动作而言,并不需要知道整个电网的状态信息,过多的信息交互反而可能导致保护处理过程的繁琐甚至混乱的问题,提出一种将两者相结合的集中-分布式结构的广域保护系统,将广域大电网按照一定原则进行区域划分,在各区域电网内,各保护 IED 按照分布控制模式完成广域后备保护任务,每个区域电网配置一个控制中心 CE,通过从 IED 获取信息监视区域电网运行状态。在各个 CE 之上再设置一个广域保护系统中心(System Center, SC),SC 收集各个 CE 的状态信息,监测整个广域电网的运行状况。

### 2.1 广域稳控系统

用于故障切除后或受到大扰动后的电力系统稳定的保护控制系统在不同国家使用的名称有所不同,西方国家多称为特殊保护系统(Special Protection System, SPS),或补救控制系统(Remedial Action Scheme, RAS)<sup>[5,8]</sup>,而在我国一般称作安全自动装置。

稳控系统在电网保护控制中是基本定位于常规

保护及数据采集和监测控制系统/能量管理系统(SCADA/EMS)之间的系统保护控制手段。文献[2]介绍了加拿大的 Hydro - Quebec 电力公司自行开发的可编程减负荷系统 PLSS。该稳控系统包括 4 个子系统,即严重扰动检测子系统(ECDS);远程系统减负荷子系统(RLSS);发电机切除子系统(GRS);可编程减负荷子系统(PLSS)。涉及的稳定问题包括电压崩溃和暂态稳定,系统反应时间在 200 ms 左右。

而巴西的 SPS 系统完全采用商业化的 PLC 组成,其稳控系统将整个电网分为多个稳定安全区,各个稳定安全区依各区电网情况投入 SPS 系统,各区 SPS 的主 PLC(可编程逻辑控制器)安装在变电站,通信通道为双通道备用,整个 SPS 的响应时间在 200 ms 左右。

### 2.2 基于相角测量的广域测量系统/广域保护实例

建立三层结构的广域保护,首先要实现的是广域监视,为此需要利用 WAMS。而 WAMS 一般以 PMU 为基础。基于相量测量单元(Phasor Measurement Unit, PMU)的广域测量系统实现了互联电网多点同步运行状态的实时监测,满足了电网实时监测系统所提出的空间上广域和时间上同步的要求。在 WAMS 将多个 PMU 设备连接到一台称为数据集中器的个人计算机上,同时在该数据集中器上增加控制与保护功能,并提供与上层系统进行通信的 Hub,该系统就成为了一个本地保护中心,进而实现整个系统的实时监视与控制<sup>[9]</sup>。WAMS 在电力系统中的成功应用,为广域保护的实现提供了技术条件。基于相角测量值进行广域测量系统/广域保护实例之一是采用相角测量值进行状态估计。文献[10]介绍了西班牙的 CSE(Sevillana de Electrical, CSE)电力公司建立的第一个利用相角测量来进行状态估计的 SCADA 在线系统。该系统能读取电压正序分量,其状态估计值比测量值更接近真实值。

文献[11]介绍了北美 WSCC 的基于相角测量的广域测量系统 WAMS。可以说该系统是目前规模最大的。WSCC 的广域测量系统 WAMS 的目的是实现系统的动态扰动监视。其功能主要是实时连续测量监视和记录事件,另外具有非常强的分析建模功能。WSCC 的 WAMS 读取分析系统(工程师站)具有特殊的数据库管理工具来管理功角矢量数据,称为 WAMS 数据库管理器。

## 3 应用前景

基于广域测量系统及动态安全分析技术的广域保护应用前景广泛,主要体现在以下几个方面:

1) 系统监测及事故记录。广域测量系统记录下的数据可用来复现事故过程, 评估保护动作, 从而改进系统发生类似故障的安全性。

2) 状态估计。由于PMU能提供实时、同步的电网运行数据, 将PMU提供的量测量和RTU的量测量一起加到状态估计中可以增加冗余度。如果能充分利用统一时标的信息, 基于WAMS的系统状态估计的精度将大幅度提高。

3) 与传统保护和SCADA/EMS系统的整合。传统的线路及装置保护的任務是将故障与系统隔离, 快速性是其最基本的要求之一。而广域保护因为需要通信并进行相对复杂的计算, 在时间上很难达到传统保护的要求, 因此, 广域保护并不能替代传统保护。但另一方面, 广域保护将系统作为一个整体考虑的优势也是传统保护所不具备的, 广域保护可以作为线路和装置保护的后备保护。若能利用广域保护对系统运行状况的计算结果实时修改保护的门槛值, 就能有效防止级联事故的发生。此外利用广域测量可以实现自适应的纵联保护、距离保护、自动重合闸及失步保护等。

4) 与多Agent体系结构相结合。Agent是一些具有自主性、社会性、反应性、目的性和适应性的实体, 多个Agent可以构成多Agent系统, 它们之间共享信息、知识及任务描述, 多Agent通过单个Agent的能力及某种通信方法来协调它们的作用、分配和收集信息, 以实现总体目标。多Agent体系结构可以使广域保护系统更加开放、更具模块化, 还能缓解对通信系统的压力, 增强对大事故的处理能力。

5) 建立新的信息交换及预警机制。分析北美电网一年的次扰动可知, 在扰动发生时, 一方面, 调度员对系统状况特别是相邻电网的状况缺乏了解, 这使得在事故扩大的过程中, 调度员不能有效地采取措施; 另一方面, 扰动发生时, 对于纷纷响起的各种报警信息, 调度员往往不知所措, 很难辨别系统当时真正的状况。因此, 需要建立新的信息交换系统, 实现各区域间关键数据的交换; 同时, 在扰动发生时, 实现信息的过滤, 仅将最重要的信息反馈给调度员。

#### 4 总结

广域保护系统在获取系统多点信息的基础上, 能够从整体或区域电网的角度同时实现继电保护和自动控制功能, 使继电保护和自动控制装置的动作相配合, 加强对故障后系统不稳定状态的控制。随着我国电网互联趋势的发展, 广域保护技术是确保大型互联电网安全性和稳定性的有效手段, 因此意义十分重大。广域保护可以克服传统保护局部性的

局限, 能有效地遏制日益频发的大规模电力系统连锁故障, 提高系统的功角、电压稳定性, 提高现有输电网络的利用率, 是未来系统保护的发展方向。

本文从广域保护的定義, 与传统继电保护的联系和区别, 研究现状和应用前景等方面对广域保护及其相关技术作了全面的综述。

#### 参考文献

- [1] 胡学浩. 美加联合电网大面积停电事故的反思和启示[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 2-6.  
HU Xue-hao. Rethinking and Enlightenment of Large Scope Blackout in Interconnected North America Power Grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 2-6.
- [2] 易俊, 周孝信. 电力系统广域保护与控制综述[J]. 电网技术, 2006, 30(8): 7-12.  
YI Jun, ZHOU Xiao-xin. A Survey on Power System Wide-area Protection and Control[J]. Power System Technology, 2006, 30(8): 7-12.
- [3] 肖健, 文福拴. 广域保护及其应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(2): 22-35.  
XIAO Jian, WEN Fu-shuan. Wide-area Protection and Its Applications[J]. Proceedings of the CSU-EPSS, 2008, 20(2): 22-35.
- [4] 张晶晶, 丁明. 广域保护系统研究[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2006, 29(4): 440-443.  
ZHANG Jing-jing, DING Ming. Research on the Wide-area Protection System[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2006, 29(4): 440-443.
- [5] 丛伟, 潘贞存, 丁磊, 等. 满足 "三道防线" 要求的广域保护系统及其在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(18): 29-33.  
CONG Wei, PAN Zhen-cun, DING Lei, et al. Wide-area Protection System to Defend Three Different Types of Power System Stability Problems and Its Application[J]. Power System Technology, 2004, 28(18): 29-33.
- [6] 林霞, 高厚磊. 新型广域后备保护方案的研究[J]. 继电器, 2005, 33(7): 84-88.  
LIN Xia, GAO Hou-lei. Study of a New Type of Wide-area Backup Protection Scheme[J]. Relay, 2005, 33(7): 84-88.
- [7] 阳世荣. 基于电网广域测量信息的广域保护研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.  
YANG Shi-rong. Research on Wide-area Protection Based on Wide-area Measurement Information of Power Grid[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [8] Begovic M, Novosel D, Karlsson D, et al. Wide Area Protection and Emergency Control[J]. Proceedings of the

IEEE, 2005, 93 (5) : 876- 891.

[9] Milosevic, Borka D Begovic, Miroslav. Voltage Stability Protection and Control Using a Wide Area Network of Phasor Measurements[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18 (1) : 121- 127.

[10] 蔡运清, 汪磊, 周逢权, 等. 广域保护(稳控) 技术的现状及展望[J]. 电网技术, 2004, 28 (8): 20-33.  
CAI Yun-qing, WANG Lei, ZHOU Feng-quan, et al. Current Status and Prospect of Wide-area Protection (Dynamic Stability Control )Technologies[J]. Power System Technology, 2004,28 (8) : 20 - 33.

[11] Begovic M, Fulton D, Gonzalez M R, et al. Summary of System Protection and Voltage Stability[J]. IEEE Transactions on Power Delivery ,1995 ,10 (2) : 631- 637.

[12] 苏盛, Li K K, Chan W L, 等. 广域电流差动保护划分专家系统[J].电网技术, 2005, 29( 3): 55-58.  
SU Sheng, Li K K, Chan W L, et al. An Expert System for Wide Area Protection System Protection Zone Selection[J]. Power System Technology, 2005, 29(3): 55-58.

[13] Rehtanz C, Bertsch J. Wide Area Measurement and Protection System for Emergency Voltage Stability Control[A]. in: Proceedings of 21st IEEE PESW Inter Meeting[C]. New York(USA): 2002.

[14] Taylor C W, Erickson D C, Martin K E, et al . WACS—Wide-area Stability and Voltage Control System: R&D and Online Demonstration[J]. Proceedings of the IEEE, 2005(5): 892-906.

收稿日期: 2009-06-05; 修回日期: 2010-02-10  
作者简介:

杨春生(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事调度自动化及计算机信息处理方面的研究工作; E-mail: yangchunsheng5566@163.com

周步祥(1965-), 男, 博士, 教授, 主要从事电力系统自动化、计算机应用等方面的研究工作;

林楠(1973-), 女, 硕士, 讲师, 从事电力系统自动化、计算机应用的研究和教学工作。

(上接第 117 页 continued from page 117)

[10] 潘毅, 周京阳, 等. 基于电力系统公共模型的互操作实验[J].电网技术, 2003, 27(10): 31-35.  
PAN Yi, ZHOU Jing-yang, et al. Interoperability Test Based on Common Information Model[J]. Power System Technology, 2003,27(10): 31-35.

收稿日期: 2009-06-02; 修回日期: 2009-07-23

作者简介:

苏炳洪(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统信息化与可视化; E-mail: saikira@126.com

李灿(1976-), 男, 博士, 主要研究方向为电力系统自动化应用、电力市场领域开发;

陈琰(1977-), 女, 硕士, 主要研究方向为电力系统控制分析与管理信息化。

(上接第 135 页 continued from page 135)

## 6 结论

综上所述, 经过一次系统运行方式及 110 kV BZT 方式的调整, 可以确保在 110 kV 系统异常时, BZT 可靠动作, 及时恢复送电, 同时, 也避免了再次向故障点送电引起事故扩大的危险。

另外, 若能将主变 110 kV 闸刀的辅助接点引入 BZT, 用做对运行方式的判断, 同时, 增加 BZT 各种方式的逻辑判断, 实现自动适应上述的人工调整, 将可以减少在方式调整过程中人为失误的几率, 提高安全运行保障。

## 参考文献

[1] DL/T 969-2005,变电站运行导则[S].

[2] 承文新, 等. 静态备用电源自动投入装置技术条件, DL/T 526-2002[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[3] 谢尚德, 贾沛义, 等. 35~110kV无人值班变电所设计规程, DL/T5103-1999[M]. 北京: 中国电力出版社出版, 1999.

[4] 张友, 左长春, 等. 电力系统安全自动装置设计技术规范, DL/T 5147-2001[M]. 北京: 中国电力出版社出版, 2001.

收稿日期: 2009-06-11; 修回日期: 2009-07-13

作者简介:

刘东红(1971-), 男, 本科, 一直从事变电运行管理工作; E-mail: jhepsjc@163.com

郭玉萍(1966-), 女, 本科, 一级实习指导教师, 从事电力理论和实践教学的工作。