

区域电网安全保护技术的探讨

徐德丰¹, 陈森贵¹, 张明锐², 刘凯¹, 李永德¹

(1. 贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 同济大学电气工程系, 上海 200331)

摘要: 陈述了我国电网互联的基本情况以及研究区域电网安全保护技术的必要性, 并在传统的继电保护局限性的基础上, 重点论述了研究区域电网安全保护需要解决的主要问题: 数据仓库、故障信息系统、故障分析方法及实现保护的 control 方法。电网发展的趋势表明, 研究区域电网安全保护具有深远的意义和广阔的应用前景。

关键词: 区域电网; 输电断面; 数据仓库; 故障信息; Petri 网; 自适应保护

Research on area power grid security protection technology

XU De-feng¹, CHEN Sen-gui¹, ZHANG Ming-rui², LIU Kai¹, LI Yong-de¹

(1. College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 200331, China)

Abstract: This paper introduces the basic situation of interconnected grid and the necessary research of area power grid security protection technology in China. Based on the limitation of traditional relay protection, several issues on area power grid security protection are proposed. There are data warehouse, fault information system, fault analysis method and its protective control method. Development trend of power grid illustrates the important significance of area power grid security protection and its good application future.

Key words: area power grid; cross-section of transmission line; data warehouse; fault information; Petri net; self-adaptive relay protection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)24-0006-05

0 引言

随着电力系统互联的不断发展, 现代电网规模日益扩大, 逐渐形成了全国统一、甚至跨国的大型联合系统。随着电力网络互联程度的不断提高, 系统越来越庞大, 运行方式越来越复杂, 保证系统安全可靠运行的难度也越来越大, 使整个电网的安全稳定问题越来越突出。在现代大电网中, 各区域、各部分互相联系、密切相关, 在运行过程中互相影响。如果电网结构不完善, 缺少必要的安全措施, 一个局部的小扰动或异常运行也可能引起全系统的连锁反应, 甚至造成大面积的系统瓦解。

大规模的电力系统对现有的继电保护提出了新的挑战。特别是大容量、超高压、远距离输电在电力系统中的作用愈来愈重要, 其继电保护装置的设置和应用水平的要求亦不断提高, 同时对电力系统继电保护的性能要求也越来越高。电力市场的开放突出了对优化和协调的要求, 增加了稳定分析与控

制的难度。相继开断可能发生在不同的交流通道之间、直流通道之间、交直流通道之间、送受端电网之间。继电保护装置的潜在故障、多馈入直流系统与交流电网的相互影响、机组非计划停运、受端无功支撑能力、低频振荡、功角稳定和电压稳定等因素, 更增加了相继故障演化为大停电的风险^[1]。电力系统继电保护的主要目的是保护主设备的安全, 但客观上对电力系统稳定性的影响也很大。对于主设备的安全来说, 继电保护是反馈方式的控制; 但对电力系统稳定性来说, 则是前馈方式的控制。虽然在大多数情况下, 两者的要求并无冲突, 但在大扰动被清除后的暂态过程中, 有时从系统的观点会对区域电网安全保护提出协调的要求。鉴于传统的电网保护采用一套应付各种运行方式的策略, 很难同时满足在运行方式变化情况下系统对保护动作的选择性、速动性、灵敏性和可靠性的要求。为此, 本文在传统的继电保护局限性的基础上, 论述了研究区域电网安全保护需要解决的主要问题, 进而实现整个区域

电网的保护和安全稳定。

1 研究区域电网保护的必要性

1.1 电网互联是全国和地区电网发展的必然要求

我国电网互联经历了从省网到区域电网、再到跨大区电网的发展阶段。在 20 世纪 70~90 年代初期,主要致力于省(区)间的互联,全国形成了东北、华北、华中、华东、西北、川渝、南方互联共 7 个跨省(区)大电网,以及山东、福建、新疆、海南等独立省(区)网。随着“葛—南”直流、华北电网和东北电网、华东电网与福建电网、川渝电网与华中电网、华中电网与华北电网等交流输电工程的投运,形成了由东北、华北、华中、川渝电网互联、容量超过 1.4 亿 kW 的交流大同步电网。该系统通过三峡—常州和葛洲坝—上海南桥两条直流输电线路与华东电网(含福建)相连。另外,至 2006 年,南方电网也形成了“六交三直”的西电东送输电通道。至此,全国电力系统互联的格局可以概括为:基本上按地理位置分片形成北、中、南三个跨区互联电网,北、中、南之间再进行有限的互联,从而建成全国统一的联合电网。电网互联不仅能够实现在更大范围内合理开发资源,提高电能的使用效率和供电的可靠性和经济性,而且能从一定程度上改善电力系统的安全稳定性能,缓解环保及运输压力,取得良好的社会效益。

1.2 区域电网互联对电力系统稳定性的影响

电网互联技术可以合理利用能源资源,具有显著的经济效益,因而得到了十分迅速的发展,但它同时也带来了一些新的问题^[2]。结合南方电网的实际,主要归纳为以下几个方面:

(1) 大区电网采用交流方式互联后,在某些特定的条件下,有可能损害互联电网中电网结构较弱的一方的安全稳定水平。

(2) 多个大容量直流线路集中落点受端电网,由于逆变站容性无功补偿量大(16 GW 的直流送入,逆变站容性无功补偿总量可达 9.6 Gvar),如果每个逆变站的容量过大,且落点又过于集中(如我国的南方联营电网,见 1.1 所述),当交流系统三相故障时则会引起多个大容量直流逆变站交流侧母线电压同时过低,导致系统失去大量容性无功,从而造成受端电网母线电压恢复困难,进而危及整个系统稳定。

(3) 一般认为,采用直流联网可以隔离送、受端交流系统故障的相互影响。但当直流线路的输送规模相对于送端电网较大时,受端电网交流系统的故障可能波及送端交流系统。

(4) 大区电网之间多点联网,有可能改善潮流

分布,从而使联合电网的网损降低。但多点联网也有可能形成环流以及造成事故时电网间的相互影响增大,联络线功率控制和互联电网的安全稳定措施较为复杂。

(5) 大区电网采用交流联网后,如果不采取措施,系统可能出现弱阻尼或负阻尼,进而引发系统的低频振荡问题。

(6) 跨区域联网后,可能在联合电网的边缘部分或者在弱联网的联络线上形成问题突出的薄弱环节。在某些情况下,这些薄弱环节虽不会危及主网的安全稳定运行,但对边缘电厂的送电或电网互联运行构成危害。

(7) 大区电网周边交流互联,对联络线附近的短路电流水平有一定影响。

1.3 传统电网继电保护的局限性

传统的电网继电保护主要集中于元件保护,以线路、母线、发电机、变压器和电动机等为保护对象。传统的保护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,不顾及元件故障被切除以后,剩余电力系统中的潮流转移引起的不良后果。比如故障元件被保护装置正确切除或正常元件被保护装置误切除后,由于功率的转移引起相邻电力元件(主要指线路、变压器)的过载,进而导致过载保护动作等,这是传统继电保护的固有弊端。此外,对于电力系统中的不正常运行和故障状态,目前使用的继电保护和自动装置控制判据,大都是基于本地量构成,反映的只是系统某点或很小一个区域的运行状态,不能反映较大区域电网的安全运行水平情况,装置之间也缺乏相互协调和配合,因而难以对系统进行优化控制。这样将会导致系统某点发生故障后整个电网的安全水平下降,造成继电保护和自动装置相继动作。由于这些装置之间缺乏相互的配合和协调,很可能进一步扩大故障影响的范围,引起系统发生连锁跳闸等严重事故。北美“8.14”以及世界范围内的几次大停电事故让人们认识到,事故的发生往往并不是因为继电保护和自动装置误动作,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和协调,归根到底是本地量难以反映整个区域电网的运行情况。因此,研究区域电网的安全保护技术势在必行,成为当前和今后一段时期电力系统的重要研究课题之一。

2 研究区域电网安全保护需要解决的主要问题

2.1 建立能满足区域电网安全保护的数据仓库^[3]

为了满足电网的飞速发展对现代化电网安全经济运行需要,应建立一个能满足现代化电网生产调度和继电保护信息的管理需要的精确、高效的网络信息系统,及在此基础上实现准确及时的电力系统事故处理与继电保护运行调整的最优决策系统。因此,要建立一个能满足区域电网安全保护的数据仓库。它应包含四个方面的内容:继电保护运行信息,继电保护事故记忆信息,继电保护管理信息,以及故障录波器的录波信息。其中,继电保护运行信息所要求的实时性最强,运行设备发出的信息需要尽快得到运行值班人员及调度值班人员识别,并作为电网事故处理的主要依据。

建立数据仓库首先应该是数据源。随着网络技术的飞速发展和广泛应用,我们在建立数据仓库时应该充分利用现有的电网调度自动化(SCADA+AGC/EDC+SA,即通常所说的EMS)技术和传统的继电保护管理信息系统RPMIS(Relay Protection Management Information System)的资源,不仅要外部世界汲取各种综合信息,同时也给外部空间提供可用的信息数据。数据集成工作在建设管理信息系统时就已基本完成,数据的集成一般通过网关实现,以确保各个系统的安全性和可靠性。为使数据管理与数据应用相分离,数据仓库支持的继电保护管理信息系统本身就采用双库型的组织方式,原始数据库由继电保护管理信息系统本身进行管理,而数据仓库及其原始数据则由大型的数据库管理系统进行管理,两者之间通过应用程序软件对原始数据进行不同级别和目的的抽取。

图1为基于数据仓库的继电保护管理信息系统的体系结构。

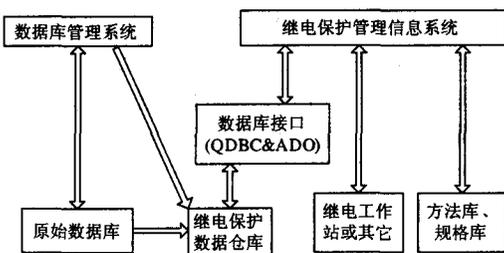


图1 继电保护管理信息系统结构

Fig. 1 Architecture of RPMIS

2.2 设计区域电网安全保护及故障信息处理系统

区域电网安全保护及故障信息处理系统由网、省、地级电力调度中心或集控站的主站与各级电厂、变电站端的子站及录波装置通过电力信息传输网络共同组成。它最终应实现以下功能:对全网保护设备

和录波设备等二次装置的实时监测和控制;提示对运行异常(有缺陷)设备的检修;自动分析电网故障,能准确、快速地诊断出故障区域、故障点及故障性质;自动分析继电保护动作行为;继电保护专业管理的网络化及工作方式的标准化和规范化^[4]。

根据区域电网安全保护及故障信息处理系统的特性以及与其它系统(电网调度系统、配网调度系统、MIS等)互联的要求,在设计时应遵循以下思想和原则:

(1) 分层分布式设计思想

系统的设计以子站系统为中心,通过通讯网络分别和本地监控、地区局主站系统、省局主站系统相连。软件系统应采用模块化的结构,便于扩展新的功能。通过ODBC&ADO进行数据的存取,并兼容当前流行的各种大型数据库平台。该系统要能适应继电保护系统比较分散的运行特点,从整个电网的角度对继电保护设备和故障信息进行管理,使相关的使用人员能够及时了解整个电网特别是电网中的继电保护设备的运行情况,可以根据收集到的设备信息对全网范围的保护设备进行各种行为分析,力保所有设备健康运行。还可以对故障时的数据进行判断,准确定位故障点,快速查出故障设备及故障出现的原因。

(2) 规范化、标准化的设计原则^[5]

该系统可基于Microsoft.NET平台,并选择合适的通用监控软件平台作为支撑平台。在系统应用数据库设计中,可吸收电力系统目前比较流行的技术和标准,主站和子站分别遵循最新的国际标准IEC61970(能量管理系统应用程序接口,即EMS-API)和IEC61850(变电站通信网络和系统标准)进行数据建模,并采用基于XML(可扩展标记)语言的SCL配置描述语言进行对象建模。通讯规约可采用IEC60870-5-103,传输控制方式采用IEC-60870-5-104,网络协议采用TCP/IP协议(FTP)。配置信息通过XML进行数据通信,图形资料通过SVG(可放缩矢量图形)格式与其它系统共享。采用国际标准使得系统可以很好地与采用这些标准的其它系统进行接口,保证了系统良好的开放性。

(3) 智能化、装置化的终端设备

区域电网安全保护及故障信息处理系统的性质决定了其终端设备必须具备非常好的可靠性和稳定性,以保证可靠接收和正确传输故障数据。终端设备实现装置化,尽量避免使用活动部件,具有良好的远程维护功能,可以大大减少终端出故障的几率,减少维护工作量,提高系统的可靠性。

(4) 分散式的数据存储

该系统采取分散式的数据存储模式, 图形信息、设备配置信息、一、二次设备模型信息、通讯参数信息、报警信息以及历史数据等全部实现了本地存放, 并通过同步机制与各主站保持数据的一致。这种数据存放方式大大减少了系统对通讯可靠性的依赖, 为系统在重大事故中有效地记录电网状况提供了保障, 同时在本系统受到重大破坏时提供了恢复机制。

2.3 分析区域电网安全保护的故障信息

1) 分析层次

电网发生故障时, 故障分析方法也会变得非常复杂。按照复杂性程度, 可以把故障分析分为以下四个层次:

- (1) 独立事件分析, 即对单个故障事件进行分析。
- (2) 独立装置分析, 即对保护、断路器特定装置的动作行为进行分析。
- (3) 保护网络分析, 即对由电力系统主设备(线路、变压器、母线等)及其相关的保护、断路器、录波装置等构成的网络进行分析。
- (4) 全系统复杂多重故障分析, 即当电网故障不再局限于单个设备时, 将综合利用上述三个层次的分析技术的方法。

2) 分析方法

由于电网故障分析和事故处理中常常包含了大量难以用传统的数学方法描述的内容, 所以必须利用具有善于模拟人类处理问题能力、容易计及人的经验和具有一定学习能力等特点的人工智能技术, 如专家系统、人工神经网络、模糊理论、遗传算法及 Petri 网络等。本文简单介绍 Petri 网络。

Petri 网络 (Petri Net) 是在 1960~1962 年间由德国数学家 C. A. Petri 提出的一种通用的数学模型, 它以描述系统中各组件之间的关系为基础, 用网络来表示系统中同时发生或循环发生的各种活动。简单的说, Petri 网络是一个加权有向网络, 其中节点可以被分割为两个非有限集合, 分别成为位置 (place) 和跃迁 (transition), 这些节点之间用加权有向弧连接起来。网络结构是静态的, 网络的动态性质是由位置中令牌 (marking) 的数目及其跃迁体现出来的。

输电网络中各类保护系统反应于故障, 并有选择地切除故障的过程正属于系统同时发生或次序发生的活动的范畴, 适于用 Petri 网络。使用 Petri 网络诊断故障, 可以先以输电网络中的组件为单位, 确定故障清除过程的 Petri 网络模型, 进而对其求逆得到故障诊断的 Petri 网络模型, 再把它们组合在一起就形成了整个输电网络的 Petri 网络故障诊断系统^[6]。为了提高性能, 需要分析保护、断路器的

误操作以及后备保护对 Petri 网络模型的影响。

Petri 网络的优点是有向图建模, 形象直观, 用相应数学描述求解、实用性强。缺点是建模对网络结构的依赖性较强, 特别是当网络规模较大时, 诊断效率低下。

2.4 实现区域电网安全保护的 control 方法

鉴于传统的电网保护采用一套应付各种运行方式的策略和离线分析的方法, 很难同时满足在运行方式变化情况下系统对保护动作的选择性、速动性、灵敏性和可靠性的要求。人们在上个世纪 80 年代就已经提出了自适应保护的思想, 其精髓是在电网方式变化的情况下, 对所收集的数据进行筛选和合理的组织, 实时在线地快速重新计算保护设备的整定值以维持保护系统正常运行, 或根据当时系统可靠性和安全性要求的不同改变系统当前的运行方式。它与常规的保护的区别就在于其整定值是通过量测系统状态来确定的, 它反映的是不同地点的实时数据, 因而能减少系统出错的可能性, 而常规保护的整定是假定电力系统存在某种状态下确定的。随着微机保护技术、具有同步相量测量装置 (PMU) 状态监控技术、控制用的广范围测量技术和现代通信技术的发展, 自适应保护技术也会日臻成熟^[7~9]。

实际上, 继电保护也是一种控制系统, 与稳定控制系统一样, 都有测量、比较、动作三个环节。继电保护可以就地动作, 而稳定控制要做到就地动作则相当困难, 通常需要全局协调。特别在大容量远距离输电系统的稳定控制中, 分层切负荷是一种简洁而有效的方法, 解决了稳定控制中协调的困难。本文简单介绍用自适应修改保护的整定值的方法, 具体如下:

修改保护的整定值时, 用稳定极限取代短路电流计算值。在这种方式下, 保护本身没有太大的变化, 只是由外部控制中心每隔一段时间计算一次各个断面的稳定极限, 动态修改各保护的整定值。这种方式的关键是稳定极限要与运行方式和故障方式对应, 运行方式只要满足要求的刷新时间即可; 而故障方式则比较难处理, 因为当故障出现时就要要求相应的控制措施马上启动, 修改整定值已为时已晚。因此比较保守的方法是运行方式实时刷新, 而对所有的故障则选取最保守的稳定极限值。对于区域间大容量远距离输电系统联络线故障而言, 可以用分层切负荷的原理来修改保护整定值。这种方式既做到了“就地动作”, 又兼顾了稳定控制的协调, 即动态修改整定值。此时, 保护执行切故障和切机、切负荷、保稳定两个功能。

在联网运行中, 各区域电网 (包括独立省网) 通

过联络线相互联系在一起。区域间的功率交换能力是随系统运行方式的变化而变化的,输电断面的有功潮流形式简单,便于电网运行人员掌握,因此将输电断面的有功潮流是否突变或超出稳定极限作为判定电网是否会出现静态稳定破坏的手段是可行而有效的^[10]。

3 结语

目前我国电网的特点有:①全国大电网有若干个区域电网互联而成;②两区域电网之间的直接联接构成一个断面,这个断面有四种输电方式:单回交流线路输电,单回直流线路输电,多回交流线路输电,交、直流混合输电方式。③对一个区域电网而言,存在三种对外联系形式:对外单线联系,对外由多线构成一个断面联系,对外多断面联系。④还有一个特点是大功率远程西电东送,输入功率可达受端系统出力 的 5%~10%,该输送断面的突然阻塞将引起受端电网的严重扰动,致使区域系统发生功率不平衡,继而引发严重振荡,这对电网的安全会造成严重威胁。因此,研究区域电网安全保护技术具有特殊的意义。

迄今为止,区域电网安全保护技术在电力系统中的应用还是十分有限的,目前主要局限在某些特定的技术分析问题上。随着电力市场的发展,为了保证市场经济环境下的电力系统的安全、可靠运行,用传统的继电保护方法实现整个电网的安全稳定已经无法满足要求,这就需要寻求更高更广层次的继电保护方法,这也为区域电网安全保护技术的发展 and 广泛应用创造了条件。区域电网安全保护技术,必将在今后的电力系统保护自动化、网络化和信息化过程中起到更重要的作用。

参考文献

- [1] 陈德树. 大电网安全保护技术初探[J]. 电网技术, 2004, 28(9):14-18.
CHEN De-shu. Preliminary Research on Security Protection Technology of Large-scale Power Grid[J]. Power System Technology, 2004, 28(9):14-18.
- [2] 中国南方电网广东省广电集团公司生产技术部,广东省电力试验研究所. 跨区域互联电网运行与建设规划研究[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] 李艳涛, 栗然, 苗炜岑. 继电保护数据仓库的研究与设计[J]. 继电器, 2004, 32(11):49-51.
LI Yan-tao, LI Ran, MIAO Yi-cen. Research and Design of Data Warehouse in Relay Protection Management Information System[J]. Relay, 2004, 32(11):49-51.
- [4] 韩晓萍, 李佰国, 等. 继电保护及故障信息系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(18):16-20.
HAN Xiao-ping, LI Bai-guo, et al. Design and Realization of Relay Protection and Fault Information System[J]. Power System Technology, 2004, 28(18):16-20.
- [5] 高翔, 张沛超, 章坚民. 电网故障信息系统应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] Jiroveanu G, Boel R K. A Distributed Approach for Fault Detection and Diagnosis Based on Time Petri Nets[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2006, 70:287-313.
- [7] Cong W, Pan Z C, Zhao J G, et al. A Wide Area Protection System and Division of Protection IED Associated Area Based on Petri Net[A]. In: IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific[C]. Dalian(China): 2005.1-5.
- [8] 朱永利, 宋少群. 基于广域网和多智能体的自适应协调保护系统的研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(16):15-20.
ZHU Yong-li, SONG Shao-qun. Study on Multi-agent WAN Based Adaptive Coordinated Protection System[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(16):15-20.
- [9] QIU Zhi-cheng, XU Zi-li, WANG Gang. Relay Protection for Multi-terminal Lines Based on Multi-agent Technology[A]. In: Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation[C]. Dalian(China): 2006. 70-73.
- [10] 李响, 郭志忠. N-1 静态安全潮流约束下的输电断面有功潮流控制[J]. 电网技术, 2005, 29(3):29-32.
LI Xiang, GUO Zhi-zhong. Power Flow at Cross-section of Transmission Line and Its Control Under N-1 Static State Secure Power Flow Restraint[J]. Power System Technology, 2005, 29(3):29-32.

收稿日期: 2007-06-11; 修回日期: 2007-08-19

作者简介:

徐德丰(1976-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统微机保护及其应用; E-mail: uudefeng@sohu.com

陈森贵(1949-), 男, 副教授, 主要从事电力系统微机保护及其自动化的教学与科研工作;

张明锐(1971-), 男, 副教授, 主要从事电力系统及其自动化的科研与教学工作。