

电网动态监测预警与辅助决策系统的应用与发展

汪永华¹, 王正风²

(1. 安徽水利水电职业技术学院, 安徽 合肥 231603; 2. 安徽电力调度通信中心, 安徽 合肥 230022)

摘要: 介绍了目前电网动态监测预警与辅助决策系统的基本功能, 指出了该系统实现了从电网的离线分析向动态分析的飞跃。指出了可将动态监测预警与辅助决策系统推广应用至电力系统在线参数辨识, 利用 PMU 的动态数据实现电力系统元件的参数辨识; 将其推广运用到电网运行方式预安排, 实现电网运行方式预安排的合理性; 利用其实时计算的功能实现将目前调度控制的离线断面极限潮流概念推广至动态断面极限潮流概念, 从而合理地提高电网输电能力; 利用其 PMU 能测量和记录发电机组当地频率改进一次调频控制与考核; 对其在电力经济调度运行中的作用进行了讨论。

关键词: 动态监测; 电力网; 预警; 辅助决策; 参数辨识; 运行方式; 断面

Application and development of dynamic monitoring preventive alarm and auxiliary decision system

WANG Yong-hua¹, WANG Zheng-feng²

(1. Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, Hefei 231603, China;

2. Anhui Electrical Power Dispatching & Communication Center, Hefei 230022, China)

Abstract: At first the basic function of dynamic monitoring preventive alarm and auxiliary decision system which is widely used at present time in China is introduced. The simulation analysis from off-line to on-line is realized. Then, it indicates that dynamic monitoring preventive alarm and auxiliary decision system can be extended to online parameter identification of power system through dynamical data of PMU. Also, it can be extended to preventive plan of power network operating mode. The preventive plan rationality of power network mode can be improved. The conception of off-line limit load power cover will be updated to the conception on-line limit load power cover. So transmission capability can be appropriately improved. The method which is used in the first frequency modulation can be mended by PMU. Finally, the function which can be used in economy operation is discussed.

Key words: dynamic monitoring; power network; preventive alarm; auxiliary decision; parameter identification; operating mode; cover

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)10-0071-04

0 引言

对电网实现动态监测、在线计算分析并提供预决策信息是提高电网的安全稳定水平, 增强电网抵御灾变能力的重要手段。电网动态监测预警与辅助决策系统的建立将为调度运行人员提供电网实时运行状况和预决策信息, 从而有效地提高调度运行人员对电网的控制, 增强调度运行人员驾驭电网运行的能力^[1-3]。鉴于此, 国家电力调度通信中心在 2008 年下发了关于《在线安全稳定预警系统功能规范》等相关文件^[4], 目前国内已有部分网省公司建成了电网动态监测预警与辅助决策系统, 多数网省公司正在新建电网动态监测预警与辅助决策系统, 从而用来提高电网的安全稳定运行水平。

目前国内的电网动态监测预警与辅助决策系统

实现了电网的实时动态监测、在线热稳定计算、在线暂态功角稳定计算、在线暂态电压稳定计算、在线频率稳定计算、在线低频振荡计算以及与之相对应的预防控制和紧急控制辅助决策, 实现了调度运行的智能化和可视化^[5]。为了进一步发挥电网动态监测预警与辅助决策系统的功能, 还可以将其推广应用至参数辨识、在线断面极限潮流计算、电网运行方式预安排、发电机组一次调频考核和经济调度, 从而为电力调度运行人员、方式运行人员进一步的进行电网分析与控制提供了有益的帮助。

1 基本功能

1.1 数据源

目前国内电网动态监测预警与辅助决策系统通常采集的是 EMS/SCADA 的静态数据、PMU 的动

态数据和故障保护系统的暂态数据。也有的网省公司在电网动态监测预警与辅助决策系统还采集了工作票系统、安全稳定控制系统、电力系统负荷预测系统、发电计划等数据信息。

1.2 基本功能

国内电网动态监测预警与辅助决策系统基本实现的功能主要包括有：电网实时动态监测、在线状态估计、在线静态安全分析、在线静态电压稳定计算分析、在线热稳定计算分析、在线暂态功角稳定计算分析、在线暂态电压稳定计算分析、在线频率稳定计算分析、在线低频振荡在线计算分析、在线热稳定预防控制辅助决策、在线静态电压稳定预防控制辅助决策、在线暂态电压稳定预防控制辅助决策、在线暂态电压稳定预防控制辅助决策、在线频率稳定预防控制辅助决策、在线低频振荡预防控制辅助决策、在线暂态功角稳定紧急控制辅助决策、在线暂态电压稳定紧急控制辅助决策以及在线低频振荡紧急控制辅助决策等。究其功能，除了实时动态监测和在线低频振荡分析以外，其余高级计算及应用功能在 EMS/SCADA 都可以实现，并且主要计算方法也基本一致。但动态监测预警与辅助决策系统不同于基于 EMS/SCADA 的在线系统，主要表现在：

1) 动态监测预警与辅助决策系统进行在线稳定计算同传统的基于 EMS/SCADA 进行在线稳定计算的区别就是在于其状态估计精度的提高。其利用 PMU 传输数据的同时性纠正了 SCADA 数据传输的不精确性，同时利用 PMU 测量的相角实现与 SCADA 数据进行混合状态估计，提高状态估计精度，从而提高在线稳定计算和在线预决策的精确度。

2) 在线低频振荡计算：随着电网的互联，系统规模的扩大，近年来国内电网低频振荡屡有发生。动态监测预警与辅助决策系统能根据 PMU 上传的动态数据，利用 PRONY 算法进行低频振荡的在线分析。动态监测预警与辅助决策系统能连续跟踪电网的电压相对相角、频率和功率动态曲线，实时计算分析动态曲线的频谱，当发现在 0.2~2.5 Hz 范围内较强的弱阻尼振荡分量存在时，向调度运行人员发出告警信息，同时在电网区域图上标注异常区域，同时触发数据平台高速记录当前的实时数据。

3) 数据存储的不同：国家电力调度通信中心之所以进行动态监测预警与辅助决策系统建设，其起始重要的缘由是由于随着全国电网的互联以及电网的迅速发展，低频振荡现象在国内电网屡有发生，并且国内缺乏有效的工具来记录低频振荡数据，也缺乏有效的手段来抑止低频振荡。由于 PMU 的三

大功能：①直接测量发电机功角；②每隔 20 ms 向调度主站传送一次电网动态数据；③利用 GPS 给每个数据打上时标，获取同一时间断面上的数据，从而利用 PMU 有效解决了低频振荡事故发生时的数据记录问题，故国家电力调度通信中心要求个网省公司进行实时动态监测预警与辅助决策系统建设，以实现电网的实时动态监测。后来有的网省公司再将其与 EMS、保护录波系统等数据结合，并进行电网稳定实时在线计算及分析，构建了功能强大的动态监测预警与辅助决策系统来提高电网调度运行人员驾驭大电网的能力。

1.3 显著特点

无论电网动态监测预警与辅助决策系统还是基于 EMS/SCADA 的在线稳定计算系统，它们显著的特点是从离线实现到在线，大幅度地减少稳定计算仿真工作量，提高了电网安全稳定性。

无论在电力规划阶段还是在电力系统运行阶段，通常人们考虑的都是 $n-1$ 故障下的安全性，指的是电网扰动在受到单一扰动后，保护、开关及重合闸正确动作，不采取稳定控制措施，必须保持电力系统稳定运行和电网正常供电，其他元件不超过规定的事故过负荷能力，不发生连锁跳闸。电力系统 $n-1$ 故障下的安全性是《电力系统安全稳定导则》规定的第一级安全稳定标准，是电力系统安全运行必须遵循的标准，为此电力系统调度运行部门为此还每年编制《年度稳定运行规定》，包括正常方式和检修方式。检修方式下的 $n-1$ 故障相当于系统全接线全保护方式下的 $n-2$ 稳定运行水平，这也是离线稳定计算所能考虑的最多方式，具有很大的计算量，电力系统调度运行部门的相关技术人员每年花费大量的时间进行离线计算。电网实际运行时，当电力系统元件检修或遇到相继故障时，很可能还要出现 $n-3$ 、 $n-4$ 、 $\cdots$ 、 $n-m$ 等情况，此时离线稳定计算将很难实现，这是因为此种情况下的计算工作量将达到了 $n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \cdots \cdot (n-m)$ 次，计算工作量异常庞大。动态监测预警与辅助决策系统的建设完成实现了数据的实时获取，并实时进行 $n-1$ 稳定计算，完全可以避免离线计算无法实现的多重相继故障带来的庞大计算工作量。

2 电力系统在线参数辨识的实现

电力系统元件参数的精确与否对于电力系统计算分析具有重要的影响。电力系统元件的模型与参数包括输电线、发电机、励磁系统、原动机及调速器和负荷。美国西部电网 1996 年 8 月 10 日大停电，系统出现振荡、解列，并失去 30 000 MW 负荷，但

是事后使用电网动态数据库对事故进行重现时,发现仿真结果却是系统稳定,由此可见现有的模型与参数不能精确反映电力系统的实际运行情况,这将严重影响电力系统安全性分析的准确性和可靠性,从而影响电力系统调度和运行人员操作处理的正确性。

目前的稳定计算采用的数据通常是经典的理论参数,而环境、温度以及运行状态的状态都会引起这些电力系统元件参数的变化。特别是对电力系统稳定影响较大的发电机同步电抗 x_d 的大小,文献[6]指出,在发电机处于满载或饱和状态,发电机的同步电抗 x_d 仅有空载情况下的 75% 左右。利用动态监测预警与辅助决策系统 PMU 采集的数据可以实现发电机在线参数辨识、励磁系统在线参数辨识、调速系统在线参数辨识、负荷建模^[7]及在线参数辨识。

通常对于线路的参数辨识可以利用 PMU 能直接测量线路两端的电压、电流量和相角,直接推算出线路的参数,从而实现线路的参数辨识,该方法直接有效,可显著提高线路的参数精确度。

表 1 安徽淮北地区断面极限功率

Tab.1 Transient stability simulation result of Huaibei power network under equipment overhauling

检修方式	控制断面	极限功率/MW	
		发电机组满发时调节负荷的功率	典型高峰负荷时,调节发电机组的出力
淮北二厂至高湖单线	淮北口子 (淮北电厂-焦楼、淮北电厂-涡阳、杨柳-蒙城、南坪-蒙城双线、淮北二电厂-高湖双线和 500 kV 濉溪主变上送)	560	1 240
淮北电厂至涡阳线路		410	1 250
杨柳变至蒙城变单线		550	1 260
南坪变至蒙城变单线		700	1 260

由表 1 可见,采用调节负荷获得的断面极限潮流较采用调节发电机组的断面潮流小,并且幅度较大。造成这种结果的缘由是调节发电机组的出力,减少了原动机的机械输入功率,也减少了发电机的初始功角,二者都是有利于加速面积的减小和减速面积的增加,因此在负荷一定的前提下仿真计算所得的断面极限潮流较在机组出力一定的情况下仿真计算所得的断面极限潮流大。对于电力系统调度运行部门来说,最主要关注的是电力系统的稳定性,因此通常采用机组出力一定的情况下获得的仿真结果。虽然该方法的结果比较保守,但这是离线稳定计算带来的必然结果。

电网动态监测预警与辅助决策系统的建成可以对断面进行全新的释义——由于电网负荷实时大幅度的波动可能性很小(事实上,每个省网的负荷曲线变化在短时都是比较平稳的),因此我们可以利

对于发电机、励磁系统、原动机及调速器的建模和参数辨识可以利用 PMU 测量获得的动态数据进行在线参数辨识。

利用电网动态监测预警与辅助决策系统进行参数辨识后,将这些辨识的参数去更新该系统的计算数据库,可以提高稳定计算的精度。

3 控制断面从离线迈向在线,提高输送能力

在电力系统调度部门,人们通常用断面极限功率的概念来控制潮流,这种概念是建立在负荷变化的基础上,是为调度运行部门进行灵活调节发电机组的出力而建立的。断面极限功率的获得是假定发电机组功率一定(通常是满发)的情况下,通过调节负荷变化进行仿真计算获得的。通常这种结论算出的结果较保守,该方法获得的极限功率较采用在负荷一定时,调节发电机组的出力所得的极限功率小,表 1 给出了安徽淮北地区采用这两种调节方式获得的断面极限功率。

用电网动态监测预警与辅助决策系统实时获得电网的负荷水平,根据获得的实时负荷水平在线求出发电机的极限功率,通过上表及分析可见,在线计算可较大幅度地提高电网的输送能力。

4 电网运行方式的预安排

目前国内很多在建或已建成的电网动态监测预警与辅助决策系统最主要的功能是为调度运行人员提供电网实时动态监测信息、预想故障下的系统稳定性以及辅助决策。这些功能的实现无疑将为调度运行人员进行事故处理及电网操作的正确性提供帮助。为了进一步提高电网动态监测预警与辅助决策系统的功能,可将电网动态监测预警与辅助决策系统的功能推广应用至电网的运行方式安排上。根据 EMS/SCADA 系统提供的当前电网结构、负荷预测系统提供的明日 96 点负荷预测、发电机计划安排

以及调度工作票系统提供的电网检修计划进行明日电网 96 点安全稳定计算,利用动态监测预警与辅助决策系统强大的计算功能及辅助决策信息实现对明日电网运行方式安排的有效校核和预控,提高明日电网运行方式安排的合理性,从而提高电网运行的安全稳定性。

5 机组一次调频性能考核

为了保证系统的有功功率平衡,提高电网运行的安全稳定性,省网公司都对并网发电机组一次调频性能提出了要求。目前国内省网公司都是并网发电机组的考核指标采用机组一次调频响应指数。机组一次调频响应指数指的是电网频率出现偏差时机组为恢复电网频率实际变化积分电量与期望变化积分电量之比。由于 EMS/SCADA 系统缺乏时标、具有传输延时以及频率测量的不精确性,故而网省调无法有效获取发电机组当地的频率,因此目前国内一次调频的指标都是相对于某一负荷中心或省调位置的频率为基准值进行的,显然这种机组一次调频控制及考核办法不能准确反映发电机组的一次调频性能。利用电网动态监测预警与辅助决策系统的 PMU 能精确获得发电机组当地频率,可实现以当地频率为基准值对发电机一次调频监测,这样获得的结果才能准确地反映机组的一次调频性能,从而有效地提高网省调对发电厂机组一次调频性能的有效控制与考核。

6 关于经济调度的讨论

经典的电网经济优化理论是最优潮流,虽然最优潮流在理论上是可行的,但在电网实际的调度生产运行中,其实用性不大。这是因为其一是电网规模的扩大使最优潮流难以收敛,特别是随着区域电网的互联更是如此,因此在线最优潮流难以获得理想结果;其二是目前的最优潮流很少考虑系统的安全稳定性。故在电网实际的调度运行中,采用在线潮流灵敏度方法是一种实用的方法。通过电网动态监测预警与辅助决策系统电网的实时运行状态,在线计算电网一些经济运行指标,如网损、购电费用对机组的灵敏度大小对机组进行排序,然后在满足电网稳定运行的前提下(各种运行限额),对灵敏度小的机组优先考虑满出力,可以使电网运行在“次优”状态,包括电网的实时运行方式和明日方式预安排,这样提高电网的安全经济运行水平。该方法正如目前网省调自动电压控制 AVC 系统一样,寻求以电网区域内无功功率流动最小,从而实现电网电压及网损的有效控制。

7 结论

电网动态监测预警与辅助决策系统由于能动态获取电网的运行数据,从而实现了电网的动态监测,在线稳定计算,并能提供辅助策略。由于其获得的数据具有时标,并且计算功能强大,因此可以进一步进行新功能开发与应用,实现电力系统参数辨识、在线获取潮流稳定控制断面极限功率、电网运行方式预安排和机组一次调频等功能,增强调度运行人员驾驭电网的运行能力,从而全面有效地提高电力系统的安全运行经济性。

参考文献

- [1] 薛禹胜. 综合防御由偶然故障演化为电力灾难 — 北美“8.14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 44-48.
XUE Yu-sheng. The way from a simple contingency to system-wide disaster — lessons from the eastern interconnection blackout in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(18): 44-48.
- [2] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1):8-16
XUE Yu-sheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1):8-16.
- [3] 王正风, 黄太贵, 吴迪, 等. 电网实时动态监测技术在电力系统中的应用[J]. 华东电力, 2007, 35(5): 44-48.
WANG Zheng-feng, HUANG Tai-gui, WU Di, et al. Application of wide-area measurement system to power systems[J]. East China Electric Power, 2007, 35(5): 44-48.
- [4] 国家电力调度通信中心. 电力系统实时动态监测系统技术规范[D]. 北京: 国家电力调度通信中心, 2006.
State electrical power dispatching & communication Center. Real-time measurement system technology rule of power system[D]. Beijing: State Electrical Power Dispatching & Communication Center, 2006.
- [5] 严剑峰, 于之虹, 田芳, 等. 电力系统在线动态安全评估和预警系统[J]. 中国电机工程学报, 2008, 34(12): 87-93.
YAN Jian-feng, YU Zhi-hong, TIAN Fang, et al. Dynamic security assessment & early warning system of power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 34(12): 87-93.
- [6] 陈新琪, 竺士章, 袁斌, 等. 同步发电机参数与工况关系初探[J]. 中国电力, 2001, 34(10): 31-34.
CHEN Xin-qi, ZHU Shi-zhang, YUAN Bin, et al. Preliminary study of the relations between generator parameters and operation conditions[J]. Electric Power, 2001, 34(10): 31-34.

(下转第 105 页 continued on page 105)

- 19-23.
- [2] 邹贵彬, 高厚磊, 江世芳. 微机距离保护仿真系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2007, 29(7): 88-90.
ZOU Gui-bin, GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang. Design and implementation of simulation system for microcomputer-based distance protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 29(7): 88-90.
- [3] 刘强, 蔡泽祥, 詹少伟, 等. 基于实际装置的距离保护动态仿真研究[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(11): 8-11.
LIU Qiang, CAI Ze-xiang, ZHAN Shao-wei, et al. Dynamic simulation of distance protection based on real equipment[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(11): 8-11.
- [4] 李志兴, 蔡泽祥, 许志华. 继电保护装置动作逻辑的数字仿真系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 97-101.
LI Zhi-xing, CAI Ze-xiang, XU Zhi-hua. Digital simulation system of relay protection movement logic[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 97-101.
- [5] 胡炎, 曹玉峰. 一种通用的继电保护数据库模型[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(15): 61-65.
HU Yan, CAO Yu-feng. A general protection database model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(15): 61-65.
- [6] 钱华, 张良. 新一代地区电网DTS系统中的继电保护仿真[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(4): 72-75.
QIAN Hua, ZHANG Liang. The new generation relay protection emulation of region electricity web in DTS[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(4): 72-75.
- [7] 孔艳, 袁启海. DTS中基于用户自定义的自动装置模拟[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(6): 36-37.
KONG Yan, YUAN Qi-hai. The auto mechanism simulation bases on the user-defined in DTS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(6): 36-37.
- [8] 张旭, 张东英, 孙涛, 等. 基于逻辑判断法的继电保护仿真系统开发[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 53-56.
ZHANG Xu, ZHANG Dong-ying, SUN Tao, et al. Development of relay protection simulation system based on logic judgment method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(2): 53-56.
- [9] 崔鸿斌, 常鲜戎, 胡文丽. DTS系统中继电保护仿真实现方法的改进[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(3): 94-97.
CUI Hong-bin, CHANG Xian-rong, HU Wen-li. Improvement of the methods for implementing relay protection simulation in DTS[J]. Proceedings of the EPSA, 2006, 18(3): 94-97.
- [10] 王兴武, 常喜茂, 董青, 等. 基于Web的火电仿真培训系统研究及实现[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11): 3091-3094.
WANG Xing-wu, CHANG Xi-mao, DONG Qing, et al. Research and implement of web-based training system for thermal power plant simulation[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(11): 3091-3094.
- [11] 陈树柏, 左垵, 张良震. 网络图论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
CHEN Shu-bai, ZUO Kai, ZHANG Liang-zhen. Network topology and its applications[M]. Beijing: Science Press, 1982.

收稿日期: 2009-06-25; 修回日期: 2009-07-26

作者简介:

袁明军(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为能源与动力系统中电力电子及其控制的应用; E-mail: yuanmj22@yahoo.com.cn

陈泗贞(1975-), 女, 工程师, 主要从事继电保护运行与维护方面的工作;

刘永强(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电能质量监测及电力电子变流技术。

(上接第 74 页 continued from page 74)

- [7] 张红斌, 汤涌, 张东霞, 等. 负荷建模技术的研究现状与未来发展方向[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 6-9.
ZHANG Hong-bin, TANG Yong, ZHANG Dong-xia, et al. Present situation and prospect of load modeling technique[J]. Power System Technology, 2007, 31(4): 6-9.

收稿日期: 2009-06-30; 修回日期: 2009-12-14

作者简介:

汪永华(1963-), 男, 副教授, 高级工程师, 从事电气工程及其自动化方面的教学与研究;

王正风(1976-), 男, 高级工程师, 博士, 从事电力系统调度运行工作。E-mail:wzhengf@163.com