

基于在线稳定分析的电网风险预控与故障处置

邹鑫,张思远,路建明,谭文忠

(国网湖南电力调度控制中心,湖南长沙 410004)

摘要:在线稳定分析系统能实时扫描分析电网运行情况,预警电网运行风险,为调度运行决策的科学性、预见性提供了技术支撑和手段,为电网风险预控与故障处置奠定了良好的基础,但在实践中如何充分发挥好它的作用,仍然是众多调度运行人员必须关注的课题.本文首先陈述当前湖南省调在线稳定分析系统的应用情况,然后进行 1 例电网风险预控与故障处置实例分析,最后提出了在线稳定分析系统应用的优化改进措施.

关键词:在线稳定分析;风险预控;故障处置;优化改进措施

中图分类号:TM73

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2017)02-0022-05

Power grid risk pre-control and accident disposal based on online stability analysis

Zou Xin, Zhang Siyuan, Lu Jianming, Tan Wenzhong

(Grid Hunan Electrical Power Dispatch & Control Center, Changsha 410004, China)

Abstract: Online stability analysis system can scan the real-time power grid, reveal the stability and risks, provide technical supports and means for scientific and predictable decision-making on grid operation, and lay a good foundation for the power grid risk prevention and fault disposal, but how to make full use of the system in practice is still a problem that many operators should focus on. The application was introduced, which of online stability analysis system in Hunan electrical power dispatch & control center, and the optimization improvement measures of the system was proposed by analysing a real example on power grid risk pre-control and accident disposal based on online stability analysis system.

Keywords: online stability analysis system; risk pre-control; accident disposal; optimization improvement measures

近年来,湖南省社会用电负荷水平持续增长和电网规模不断扩大,电网实时运行特性日益复杂多变,系统高负荷期间,不少电力设备和重要输电断面长期在重载方式下运行,冰冻、雷电、洪水、山火等自然灾害频发对电网设备安全运行造成较大影响^[1-2],电网调度运行人员承受了较大的安全运行风险压力,在进行电网事故处理时的难点不是事故后电网已进入恢复状态时的处理,而是预防事故发生时的警戒状态或事故发生后有可能继续扩大事故影响紧急状态时的优化决策分析^[3],亟需借助科学有效的技术支撑系统来实施电网预控风险与故障处置,湖南省调于 2012 年建设应用了一套在线稳定分析系统.在线稳定分析系统对电网实时运行方式的数据进行采集和整理,采用快速、全面的分析工具对电网安全稳定情况进行实时监测与评估,分析计算电网安全稳定裕度,并针对问题提出优化解决方案,为电网调度运行控制提供了有效工具^[4].电力系统在线安全稳定评估及决策是电网稳定运行和控制的发展方向,电力系统运行状态数据采集的快速性、同时性、可靠性是实现在线评估及决策系统的重要基础,在线系统将使电网调度运行人

员从繁重的离线计算任务中解放出来,也让调度值班员可以根据预防控制的提示画面及时了解当前电网运行所处的状态,并按照提示调整电厂出力、限制某些地区的负荷、改变联络线的潮流等,保证电网运行有足够的裕度^[5]。文献[6]按时间、空间和对象 3 个维度来规划设计电网控制中心安全预警和辅助控制系统,通过时间维分析事故发展过程,空间维分层、分区分解协调,对象维考虑功角和电压稳定,构筑电网安全防御有机整体。文献[7]提出了省级电网在线安全稳定预警及决策支持系统的总体目标,设计了系统的总体框架和硬件结构,在四川省构建了一套省级电网规模的在线安全预警及对策的应用系统。文献[8]提出了在线安全稳定分析的实时分析、研究分析和趋势分析 3 种应用模式,分别阐述不同应用模式的研究目的、数据来源和业务流程,分析 3 种应用模式协调运行能够避免基于实时数据分析的局限性,认为在线安全稳定分析 3 种应用模式协调运行能够为大电网运行安全稳定提供有效保障。文献[9]提出了基于智能电网调度技术支持平台的省地一体化电网运行风险评估与防控系统框架的设计,利用省、地两级在线数据与离线数据,整合得到当前运行工况的潮流和稳定数据,进行电网运行风险及辅助决策计算。文献[10-15]从不同方面探讨了在线安全稳定分析在电力系统的应用情况。专家们研究与开发在线稳定分析系统为电网风险预控与故障处置奠定了良好的基础,但在实践中如何充分发挥好它的作用,仍然是众多调度运行人员必须关注的课题。本文拟通过对省、地调联合电网风险预控与故障处置的应用实例分析,探索在线稳定分析系统优化应用的改进措施。

1 在线稳定分析系统在湖南电网调度运行中的应用

1.1 湖南电网运行特点

截至 2016 年底,湖南电网已逐渐发展成一个中等规模的省级电网,主要包括 293 台发电机组(不含风电机组),19 座 500 kV 变电站,200 座 220 kV 变电站,60 条 500 kV 线路,480 条 220 kV 线路等省主网设备以及全省 14 个市(州)的 110 kV 及以下电压等级的地区电网设备。电网在运行结构方式上还存在部分 500 kV 与 220 kV 电磁环网未完全开环运行,全省各地区内部 110 kV 与 220 kV 电磁环网已全部开环运行^[1-2]。历年的运行经验表明湖南电网在调度运行中主要呈现出 3 个特点:

1) 受湖南省所处地理位置和气候因素的影响,雷电、冰冻、山火、洪水等自然灾害给电网调度实时运行带来了较大的安全风险,经常造成设备故障跳闸。

2) 受全省经济发展整体形势和经济结构的影响,全省各地区用电负荷分布不均、局部地区相对集中,局部电网和电源结构存在薄弱环节,部分电网输电断面长期重载运行。

3) 主网 220 kV 及以上电压等级的输电断面潮流受各地区电网的用电负荷水平和地区 110 kV 电网运行方式安排的影响较大,在实时潮流控制时需要省、地两级电网调度运行人员紧密协同配合。

1.2 在线稳定分析系统

2012 年,湖南省调在线稳定分析系统正式上线运行,该系统基于全网同步整合数据,既能按照预设电网方式进行预控分析,也能对实时电网方式进行动态监测分析,实时扫描分析、预警和展示全网薄弱环节,为省调调度员协同、指挥地调调度员预控电网风险、处置电网故障提供技术支持,其系统整体框架如图 1 所示。

系统具备静态安全分析、暂态稳定分析、电压稳定分析、小干扰稳定分析、短路电流分析及断面稳定裕度评估 6 大类分析预警功能,其主画面如图 2 所示。系统同时提供重要输电断面或设备的灵敏度分析。系统采用 15 min 定周期或事件触发的模式启动实时电网分析,提供 6 类计算分析结果和灵敏度计算分析结果。电力系统运行经验表明,绝大多数电网安全稳定问题都是属于静态安全稳定问题,所以在日常电网调度运行控制中,在线稳定分析系统中的静态安全分析模块与灵敏度分析模块在实时电网风险预控与故障处置中应用最为频繁。

静态安全分析对全网 220 kV 及以上发、输、变电全部设备进行 N-1 或 N-2 故障停运扫描,展示预警故障后其他输变电设备或输电断面过载或重载情况,而灵敏度计算可对关键输变电断面进行电源灵敏度和负荷灵敏度计算和排序。在预控或控制输变电断面潮流时,负荷灵敏度计算结果可以为省调调度员协同、指挥地调调度员调整地区 110 kV 电网方式转供负荷或事故限电提供精确的参考信息。

静态安全分析与灵敏度分析的协同应用为省调调度员精准掌握电网运行特性、提前发现电网潜在运行风险、预控和处置电网事故提供了技术支撑,在省、地调联合电网风险预控与故障处置实例中发挥了明

有功容量均为 300 MW)并网运行,戊厂 2#,3#机组(抽蓄、额定有功容量均为 300 MW)发电方式并网运行。

4)沙变至 H 变的双回线输电断面(沙 H 输电断面)为重要输电断面,长期重载运行,由省调负责监视与控制。

5)系统 1,系统 2,系统 3 为电网其他相关性很小的等效系统。

6)潮流方向:沙变送 A 变、A 变送 B 变、A 变送 C 变、A 变送 E 变、C 变送 D 变、C 变送 E 变、E 变送 F 变,甲厂送 C 变,乙厂部分功率等效送 D 变,丙厂、丁厂部分功率等效送 F 变、戊厂送沙变。

2.2 风险预控

某时刻,在线稳定分析系统中静态安全分析实时扫描分析结果预警在甲厂 1#火电机组故障跳机后,沙 H 输电断面潮流将较大幅超出其稳定规定限值,同时实时灵敏度计算分析得出沙 H 输电断面相关主要变电站的负荷灵敏度计算结果(如表 1 所示)与电源灵敏度计算结果(如表 2 所示)。

表 1 沙 H 输电断面负荷灵敏度计算结果

变电站	灵敏度/%
A 变	-63
B 变	-63
C 变	-54
E 变	-43
D 变	-35
F 变	-32

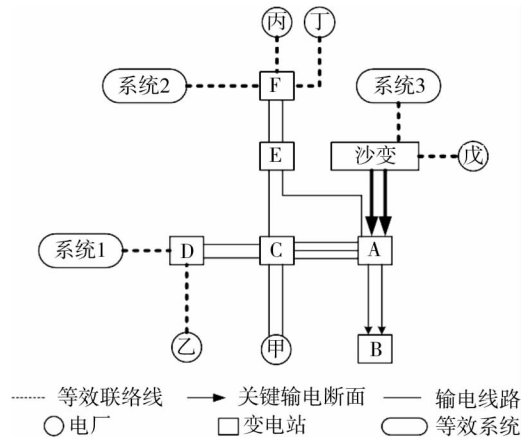


图 3 某局部电网简化潮流图

表 2 沙 H 输电断面电源灵敏度计算结果

变电站	灵敏度/%
甲厂	-49.5
丙厂	-26.4
乙厂	-19.6
丁厂	-13.9
戊厂	8.5

表 1 的计算结果表明,转移 A,B,C,E,D,F 变的负荷可以有效减轻沙 H 输电断面潮流,其中 A 变负荷的灵敏度最高,效果最好,每转移其 10 MW 的负荷,大致可有效减轻沙 H 输电断面潮流 6.3 MW。表 2 的计算结果表明,增加甲、乙、丙、丁厂机组的出力可以有效地减轻沙 H 输电断面的潮流,其中甲厂机组功率的灵敏度最高,效果最好,每增加其 10 MW 的功率,可以有效减轻沙 H 输电断面潮流 4.95 MW,相反,若机组出现故障则会增加沙 H 输电断面的功率,其中甲厂机组的故障对沙 H 输电断面的影响最大。等效系统 1,2,3 中的其他变电站的负荷对沙 H 断面的灵敏度较小。

结合静态安全分析预警和灵敏度分析结果,为预防风险,省调调度员迅速调整增加乙、丙、丁厂机组出力,减少戊厂机组出力,电话联系 101 地调和 701 地调落实地区电网运行方式和负荷转供能力有关情况,确定 101 地区 A,B,C 变(D 变负荷因转供通道检修不能转供)可转实时总负荷约 130 MW,701 地区 E,F 变可转实时总负荷约 50 MW,临时制定《乙厂 1#机组故障跳闸处置预案》并下发 101 地调和 701 地调,预案的内容包含了 101 地调和 701 地调分别调整地区电网方式转供 A,B,C,D 变和 E,F 变负荷的方案等故障处置措施。

2.3 故障处置

1 h 后,午高峰前夕,甲厂 1#机组突然故障跳机,造成沙 H 输电断面有功潮流猛增,超出稳定规定的限额约 120 MW,省调调度员迅速按照处置预案进行事故处置,指挥 101 地调转移 A,B,C 变的负荷至区域外其他变电站供电,其中 A 变转移 114 MW,B 变转移 23 MW,C 变转移 26 MW,共计 173 MW;指挥 701 地调调整转移 E,F 变负荷至区域外其他变电站供电,其中 E 变转移 40 MW,F 变转移 30 MW,共计 70 MW。101 地调和 701 地调完成负荷的转移后,沙 H 输电断面有功潮流控制在稳定规定限额以内。

针对后续可能再发生连锁事故,省调调度员启动即时在线稳定计算分析,制定临时事故预案,内容包括沙 H 输电断面单回线跳闸、沙 H 断面双回线跳闸和 500 kV 艾变单台主变跳闸 3 种故障的分析和相应处理措施与限电方案,下发 101 地调和 701 地调,要求其按预案做好在相关变电站迅速限电的准备,进行故障模式下的风险再预控。

在该实例中,在线稳定分析系统的实时扫描分析向省调调度员预警了运行风险,灵敏度计算分析结果

直观地展示了相应地区电网负荷调整对降低输电断面潮流的效用,为省地调调度员联合预控风险、编制故障预案提供了精确的信息,也为故障处置时两级调度员的紧密协同,联合正确、快速处置提供了技术支撑。但是也暴露了一些调度管理与技术方面问题,需要进一步提升与改进:

- 1) 缺乏电网实时风险预控和故障处置预案编制的标准流程,需要临时协调启动。
- 2) 省调调度员对地区电网结构不够熟识,需要通过调度电话联系相关地调临时了解关键输电断面相关负荷转供情况。
- 3) 省、地两级调度机构之间的电网运行关键信息共享机制与技术存在不足。
- 4) 在线稳定分析系统功能还不够完善。

3 结论

在线稳定分析等技术系统的应用可以提升调度员调度运行决策的科学性与预见性,但是如何更充分地发挥在线稳定分析系统的核心技术支撑作用,更好地开展省地调联合电网风险预控和故障处置工作,降低电网安全事故风险,仍然需要调度运行人员继续研究与实践探索。我们的探索与实践体会是:

1) 需要制定电网实时风险预控和故障处置预案编制的标准流程。当静态安全分析 N-1 或 N-2 实时扫描预警电网运行风险时,调度员启动该流程,预案的内容包括需要提前进行的电网方式调整、故障预想、限电序位表及处置要点等,涉及需要协同地调调整地区电网方式或事故限电的预案发送至相关地调。

2) 需要进一步加强省、地两级调度人员的培训,使之更全面更准确地掌握电网运行特性。省调调度员需要进一步了解地区电网结构,掌握变电站负荷转供有关情况,并利用灵敏度分析软件频繁对不同运行方式下的重要输电断面进行灵敏度分析,掌握变电站负荷对电网潮流运行特性的影响。地调调度员需要进一步了解地区电网方式、负荷变化对上级主网关键输电断面的影响,熟练掌握地区负荷转供方案。

3) 需要进一步改进技术手段以实现省地两级调度间电网运行关键信息实时共享。省调可将重要输电断面或设备风险预警情况、负载情况与稳定控制要求、相关负荷灵敏度计算结果等关键信息实时传送至地调,地调可将地区电网实时可转供负荷方案(包括转供通道和转供负荷量)、重要用户情况、限电序位表、可中断负荷等实时信息传送至省调。

4) 需要进一步完善在线稳定分析系统的功能。要开展风险预防控制和应急处置智能辅助决策模块建设,结合灵敏度计算分析、地区电网负荷转供方案或限电方案来实现风险预警控制和故障处置的智能辅助决策以及决策的预演展示,采纳的决策自动导入至相关预案。

参考文献:

- [1] 朱军飞,宋军英,王建雄,等.2015年湖南电网运行方式[Z].长沙:国网湖南省电力公司,2015.
- [2] 杨丹,宋军英,王建雄,等.2016年湖南电网运行方式[Z].长沙:国网湖南省电力公司,2016.
- [3] 王灿林,陈浩.电网事故处理优化决策分析[J].湖南电力.2015,35(2):29-32.
- [4] 国家电力调度控制中心.电网调控运行人员实用手册[M].北京:中国电力出版社,2013.
- [5] 孙光辉,毕兆东,赵希才,等.电力系统在线安全稳定评估及决策技术的研究[J].电力系统自动化,2005,29(17):81-83.
- [6] 张伯明,吴素农,蔡斌,等.电网控制中心安全预警和决策支持(EWSC)系统设计[J].电力系统自动化,2006,30(6):1-5.
- [7] 李建,庞晓艳,李旻,等.省级电网在线安全稳定预警及决策支持系统研究与应用[J].电力系统自动化,2008,32(22):97-101.
- [8] 孙树明,谢昶,吕颖,等.电力系统在线安全稳定分析应用模式[J].电网技术.2015,39(10):2875-2881.
- [9] 孙树明,刘海洋,吕颖,等.省地一体化电网在线运行风险评估与预防控制系统[J].智能电网.2016,4(5):512-518.
- [10] Ejebe G C, Jing C, Waight J G. Online dynamic security assessment in an EMS[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1998,11(1):43-47.
- [11] 李碧君,许剑冰,徐泰山.大电网安全稳定综合协调防御的工程应用[J].电力系统自动化,2008,32(6):25-30.
- [12] 张思远,陈浩,李京.省级电网在线安全稳定分析系统的建设与应用[J].通讯世界,2013(23):94-96.
- [13] 金明亮,赖宏毅,刘志成.华中电网在线安全稳定分析系统应用探讨[J].湖北电力,2014,38(2):5-8.
- [14] 李启旺,张思远,钱军,等.在线安全稳定分析在电网实时调度控制中的应用[J].湖南电力,2015,35(5):26-29.
- [15] 王双全,沙立成,谢超,等.北京电网在线安全稳定分析系统的建设与应用[J].华北电力技术,2015(6):27-30.