

江苏电网在线动态安全评估系统及应用研究

王大江¹, 江叶峰², 仇晨光², 葛亚明², 胡昊明¹, 程锦闽²

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国网江苏省电力公司电力调度控制中心, 江苏 南京 210024)

摘要:基于智能调度系统的在线动态安全评估系统以实时在线数据为基础进行计算分析,实现了电网的离线分析向在线分析的飞跃。文中简要介绍了江苏电网动态安全评估系统的主要结构、功能、计算流程,以江苏2016年6月23日龙卷风冰雹特大灾害下的电网安全稳定分析和2016年11月4日某变电站母线故障后的稳定分析为算例,结果表明动态安全评估系统能够及时有效地对电网进行实时计算分析并给出相应的辅助决策措施,提升了电网调度运行人员在事故紧急情形下的应急处理能力,对保证电网的安全稳定运行起到了重要作用。

关键词:在线分析;动态安全评估;智能调度;辅助决策

中图分类号: TM77

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)02-0051-05

0 引言

江苏电网地处华东沿海经济和负荷中心,“十二·五”期间,江苏电网发展迅速,已经形成500 kV“六纵五横”的骨架网络,与上海、浙江、安徽电网通过10回500 kV线路相连,呈现“北电南送、西电东送”的潮流输送格局,除已经投运的锦苏特高压直流和淮南—上海特高压交流输电工程北半环外,正在建设晋北—南京、锡盟—泰州特高压直流工程,未来江苏电网将成为特高压交直流混联的大型受端电网,在取得巨大成就的同时,也面临着电网发展新形势下的技术挑战^[1-5],因此提高安全稳定分析水平是保证江苏电网安全稳定运行的重要手段之一。

传统稳定分析计算时采用离线的计算方式,选取的典型方式与电网实际运行工况有差别,导致多数情况下计算结果趋于保守,因此在线安全分析得到国内外的关注^[6-12]。针对江苏电网发展的新需求,迫切需要在线安全稳定分析技术,克服传统离线方式计算的不足,对电网实施在线动态安全评估,发现各种运行方式存在的问题,并且有针对性的提出改进或预防辅助决策措施,提高调度运行人员对电网的控制水平,有效地提升驾驭大电网的能力^[13-15]。

为此,开展基于智能调度技术支持系统的动态安全评估(dynamic security assessment, DSA),以能量管理系统采集到的实时数据为基础进行计算分

析,具有重要意义^[16]。本文首先简要介绍了江苏电网动态安全评估系统的结构、功能模块,然后分析了动态安全评估系统稳定分析的计算流程,最后以2016年6月23日江苏遭受龙卷风冰雹特大灾害下电网事故应急处理和2016年11月4日某变电站母线故障后的稳定分析为计算实例进行分析,结果表明动态安全评估系统在辅助调控人员进行科学决策方面发挥了重要作用。

1 江苏电网动态安全评估系统介绍

江苏电网动态安全评估系统基于智能电网调度D5000系统,负责江苏电网调度管辖范围内的安全稳定分析计算,以下将从总体结构、基本功能、计算流程几方面进行简单介绍。

1.1 数据源

数据源是在线分析计算的基础,基于智能调度系统D5000的在线稳定系统首先通过与调度支持系统的接口,自动获取国调统一下发的在线计算数据,包括静态模型及参数、实时潮流数据,通过数据拼接,整合本地动态模型及参数、机组及负荷详细模型,形成一套结构完整、能反映当前电网实时运行工况并能进行稳定计算的数据,为在线安全稳定评估提供完备的数据源。

1.2 动态安全评估系统结构和基本功能

在线动态安全评估系统属于智能电网调度技术支持系统D5000实时与监控类应用,其主要结构如图1所示。

构建图1系统的主要硬件配置:计算节点机群、调度管理服务器、数据接口服务器、网络连接交换机、工程师工作站等。各个部分协调工作,完成系

收稿日期:2016-11-03;修回日期:2017-01-07

基金项目:2016年国家电网总部指南项目(应对大规模功率缺失的区域互济日内计划优化调整技术研究)

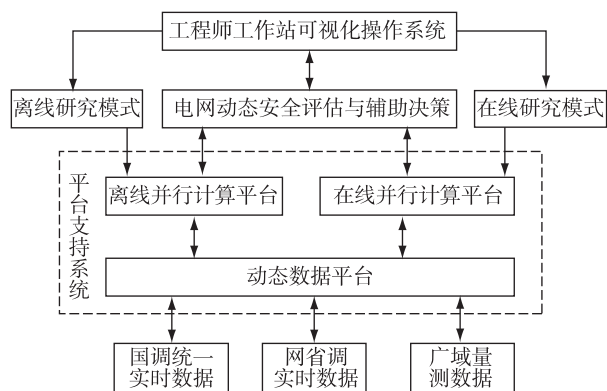


图1 在线动态安全评估系统主要结构

Fig.1 The mainstructure of DSA system

统所需要或所分配的各种计算分析,并将需要的结果返回给人机界面。

1.3 在线动态安全评估系统稳定分析流程

在线动态安全评估系统通过整合设备参数、故障集、电网实时信息等相关数据,生成在线分析应用所需要的计算数据,形成准确合理的与电网实际运行工况相符合的在线整合潮流数据,然后进行基态潮流扫描、静态安全分析、暂态稳定分析、动态稳定分析、电压稳定分析、短路电流分析六大类计算,同时计算电网关键断面的稳定裕度,并对裕度较低的稳定运行情况提示告警,给出相应辅助决策,其整体计算分析流程如图2所示。

1.4 实时态与研究态计算模式

在线动态安全评估系统计算模式分为实时态模块计算和研究态模块计算2种模式。实时态模块是在线跟踪电网实际运行情况,周期性启动计算,每

15 min 定期对电网运行展开六大类计算分析和预防控制决策支持,实现电网安全稳定性的可视化监视和在线辅助决策,向调度运行人员提供当前运行方式下的电网预防控制措施方案,给出稳定极限和调度策略;研究态模块则是事件性启动,选择调度运行人员关心的断面数据,对系统存在的静态、暂态以及动态等问题作详细研究,寻找系统静态、暂态、动态等安全稳定问题的成因,研究解决问题的根本方法,达到在当前运行状态下优化系统运行、提高系统安全、稳定、经济运行的目的。2种计算模式的差别在于启动周期不同,其余功能基本相同。

2 在线动态安全评估系统在江苏电网中的应用

2.1 算例1

2016年6月23日13:00-15:00,江苏北部盐城、连云港、宿迁、淮安等地区出现强降水和大风天气,尤其是盐城阜宁、射阳等地出现强雷电、短时强降雨、冰雹、雷雨大风等强对流天气,局部遭龙卷风袭击,江苏电网受到严重冲击,其中盐城地区电网受到冲击最大。2条500 kV线路跳闸,倒塔1基、受损3基;多条220 kV线路和110 kV线跳闸及倒塔。大范围电网故障导致苏北地区某大型主力电厂仅通过单条500 kV线并网,受灾地区多个变电站单线馈供运行,其中220 kV YN-DY双线、DY-HX线、HX-XY线跳闸。线路跳闸后,电网联系减弱,存在运行风险,江苏北部的盐城地区部分电网如图3所示。

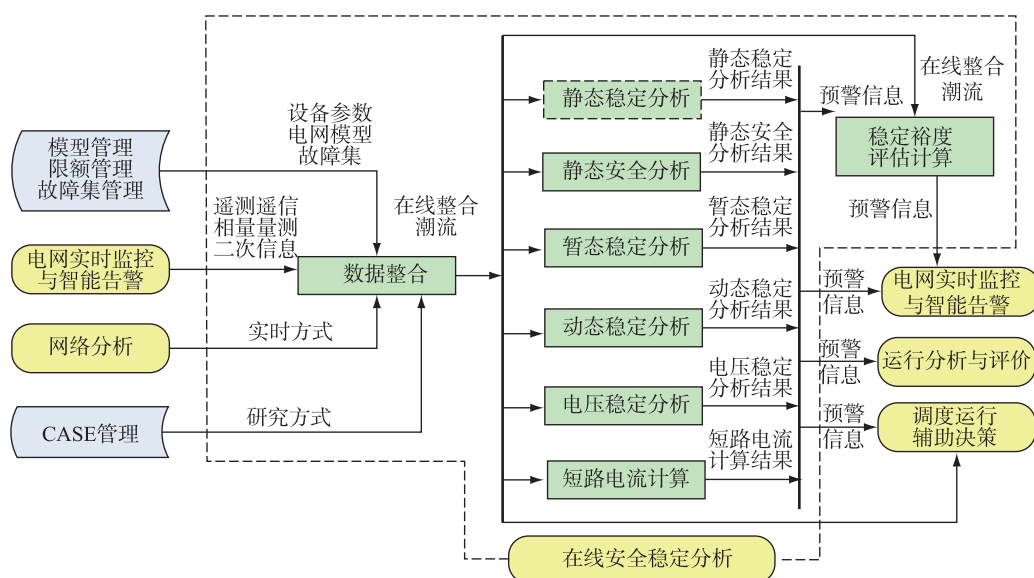


图2 在线动态安全评估系统计算流程框图

Fig.2 The calculation flow chart of DSA system

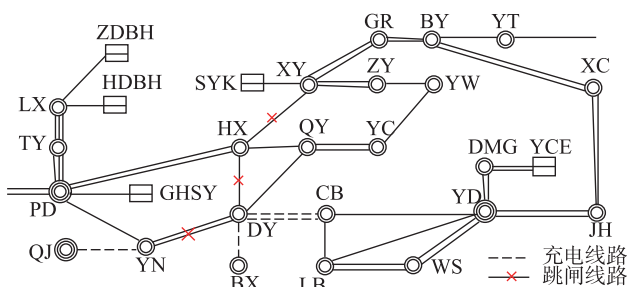


图3 江苏盐城地区部分 220 kV 电网接线图

Fig.3 Part Yancheng 220 kV power grid of Jiangsu

当值安全分析工程师立即利用在线评估系统选取了2016年6月23日15:00国调下发的断面数据作为基础分析数据,由研究态模块自动开展六大类计算。选取的计算方式下盐城地区部分电网实际接线图如图4所示。可以看到,事故后,盐城地区形成了多级馈供的方式,且阜宁地区的HX, QY, DY, BX及YC等5座220 kV变电站仅由PD-HX双线与YC-YW线路等三线并网,如图4中绿色实线中部分,方式异常薄弱。

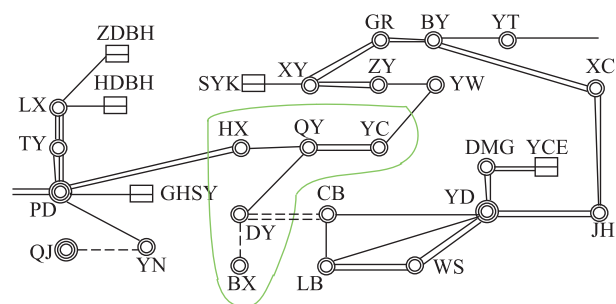


图4 故障后的盐城地区部分 220 kV 电网接线图

Fig.4 Part 220 kV power grid of Yancheng after faults

在线动态安全评估系统经六大类安全分析,发现存在静态安全问题,无暂稳、动稳、短路电流超标等问题。计算结果如表1所示,详细的静态安全计算结果如表2、表3所示。

表1 动态安全评估计算结果

Table 1 Results of dynamic security assessment

分析类别	计算信息	
设备过载安全分析	过载安全裕度	-15.92%
	过载设备	YC-YW线
	关键故障	PD-HX 双线开断
静态电压安全分析	电压安全裕度	-2.51%
	关键母线	DY 变/220 kV 正母线
	关键故障	PD-HX 双线开断

由上述计算结果可知,江苏电网在灾害后的运行方式下存在静态安全问题,在PD-HX 双线开断后,YC-YW 线越限,DY 变、HX 变、QY 变3个站220 kV 正母线电压越下限。在线动态评估系统给

出的辅助决策措施为减少YC 变有功负荷99.5 MW、无功负荷16.73 Mvar;减少QY 变有功负荷17.97 MW、无功负荷5.22 Mvar,采用辅助决策措施后的稳定计算结果如表4所示。

表2 静态安全校核设备过载结果

Table 2 Equipment overload results of static security check

故障元件	越限元件	故障后电流/A	额定电流/A	热稳裕度/%
PD-HX 双线开断	YC-YW 线	1 787.46	1 542.00	-15.92
PD-HX 双线开断	TW-YL 线	1 866.72	2 390.00	21.89
PD-HX 双线开断	YF 线	600.83	857.00	29.89
PD-HX 双线开断	XY 线	1 077.54	1 542.00	30.12

表3 静态电压安全校核结果

Table 3 Static voltage security check results

故障元件	母线名称	故障后电压/kV	电压下限/kV	电压安全裕度/%
PD-HX 双线开断	DY 变/220 kV 正母线	203.76	209.00	-2.51
PD-HX 双线开断	HX 变/220 kV 正母线	205.05	209.00	-1.89
PD-HX 双线开断	QY 变/220 kV 正母线	205.59	209.00	-1.63
PD-HX 双线开断	YC 变/220 kV 正母线	209.31	209.00	1.87

表4 综合辅助决策后结果

Table 4 Results of after comprehensive assistant decision

分析类别	计算信息	控制前	控制后
过载安全分析	过载裕度	-15.92%	7.75%
	关键故障	PD-HX 双线开断	PD-HX 双线开断
	关键设备	YC-YW 线	YC-YW 线
静态电压安全分析	电压裕度	-2.51%	0.3%
	关键故障	PD-HX 双线开断	PD-HX 双线开断
	关键设备	DY 变/220 kV 正母线	DY 变/220 kV 正母线

在盐城灾区电网受损严重,已经损失大量负荷的情况下,电力资源对于灾后应急抢险及生产生活是极为重要的,进行切除负荷的操作显然并不合适。由于盐城地区DY-CB 双线、盐城与淮安联络线YN-QJ 3条线路处于充电备用状态,省调讨论后决定采取将3条备用联络通道转运行,加强盐城电网方式,调整方式后的电网接线图如图5所示。

进行了方式调整后,盐城地区220 kV 电网结构得到了加强,PD-HX 双线开断后YC-YW 线路安全裕度变为5.63%,DY 变/220 kV 正母线电压安全裕度为3.25%,HX 变/220 kV 正母线电压安全裕度为4.62%,QY 变/220 kV 正母线电压安全裕度为5.12%,消除了PD-HX 双线开断后静态不安全的隐患。

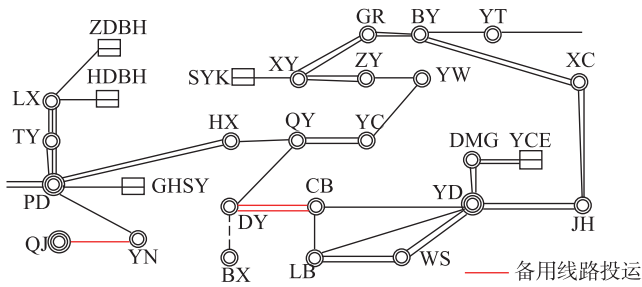


图5 调整运行方式后盐城地区部分 220 kV 电网接线图

Fig.5 Part 220 kV power grid of Yancheng after operation mode adjustment

2.2 算例 2

2016年11月4日09:46,江苏某地区500 kV SL变V II段母线发生故障跳闸,故障发生后,跳开V II段母线所带的SL-YQ I线、SL-JJ I线、SL-XS I线,该地区局部电网接线图如图6所示,SL变为该地区的枢纽变电站,承担该地区的主要受电任务,跳闸后该地区电网联系变弱。

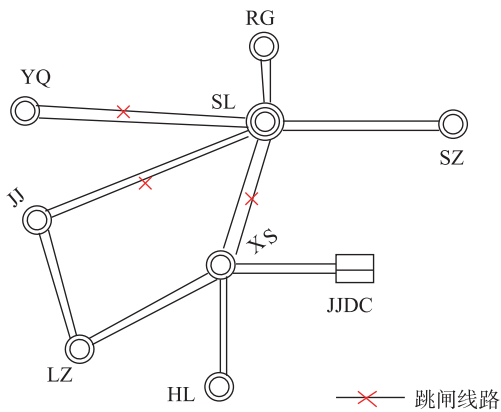


图6 江苏某地区部分电网接线图

Fig.6 Part power grid of Jiangsu

事故发生后,当值安全分析工程师选取了10:00的电网断面数据,调用了研究态计算模块,由在线评估系统对故障后方式下的电网安全稳定进行自动分析。经六大类计算,发现在事故后方式下,存在静态安全过载问题,无暂稳、动稳等问题,计算结果如表5所示。

由上述在线安全校核结果可知,在故障后方式下,此时再发生XS-LZ II线开断后,SL-XS II线线负载率达到113.35%,处于过载状态。

表5 动态安全评估计算结果

Table 5 Results of dynamic security assessment

故障元件	越限元件	故障后 电流/A	额定 电流/A	热稳 裕度/%
XS-LZ II线开断	SL-XS II线	1 285.31	1 134.00	-13.35
XS-LZ II线开断	SL-JJ II线	1 231.72	1 349.00	8.69
XS-LZ II线开断	XS-LZ I线	1 224.49	1 349.00	9.23

在线动态评估系统给出的辅助决策措施为减少JJDC发电机组出力69.5 MW,采用辅助决策后的计算结果为XS-LZ II线开断后,SL-XS II线稳定裕度为6.32%,当值调度员立即按照辅助决策给出的结果,降低JJDC机组出力,消除了过载风险,并通知SL变查找故障原因,尽快投运跳闸的3条线路。

3 结语

本文结合江苏电网在遭受龙卷风冰雹特大灾害后和枢纽变电站母线跳闸后的实际运行状况,利用在线动态安全评估系统对故障后的电网进行了及时的安全稳定校核,并针对存在的越限风险采取了相应的控制策略,消除了电网运行隐患。算例表明,在线安全分析系统能够快速有效地进行在线安全校核,发现电网实时运行中的薄弱环节,为调度员进行电网调控、优化电网运行方式提供有效的技术支持和辅助决策措施,在电网实际运行发挥了重要的指导作用,相对于传统离线计算方式具有更大的优势,有助于向智能型调度的转变。

参考文献:

- [1] 汤奕,陈斌,皮景创,等. 特高压直流分层接入方式下受端交流系统接纳能力分析[J]. 中国电机工程学报,2016,36(7):1790-1800.
TANG Yi, CHEN Bin, PI Jingchuang, et al. Analysis on absorbing ability of receiving AC system for UHVDC hierarchical connection to AC grid [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(7): 1790-1800.
- [2] 吴萍,陈昊,赵兵,等. 风光火打捆交直流混联外送系统交互影响及稳定性研究[J]. 电网技术,2016,40(7):1934-1942.
WU Ping, CHEN Hao, ZHAO Bing, et al. Study on interaction and stability characteristics of bundled wind-PV-thermal power transmitted with AC/DC system [J]. Power System Technology, 2016, 40(7): 1934-1942.
- [3] 朱鑫要,汪惟源,汪成根. 江苏特高压交直流输电交互影响研究[J]. 江苏电机工程,2016,35(2):39-41.
ZHU Xinyao, WANG Weiyuan, WANG Chenggen. Analysis of interaction between UHVAC and UHVDC for jiangsu power grid [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(2): 39-41.
- [4] 李虎成,袁宇波,张小易,等. 全球能源互联网下的受端大电网柔性控制策略探讨[J]. 江苏电机工程,2016,35(3):10-12.
LI Hucheng, YUAN Yubo, ZHANG Xiaoyi, et al. The flexible control strategy study of receiving end large power grid under global energy connection [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3): 10-12.
- [5] 卫鹏,刘建坤,周前. 考虑相关性的沿海大规模风电场出力特性研究[J]. 江苏电机工程,2016,35(5):16-20.
WEI Peng, LIU Jiankun, ZHOU Qian. Study on output charac-

- teristics of coastal large scale wind farms considering correlation [J]. *Jiangsu Electrical Engineering*, 2016, 35(5):16-20.
- [6] 严剑锋,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*,2008,28(34):87-93.
YAN Jianfeng, YU Zhihong, TIAN Fang, et al. Dynamic security assessment & early warning system of power system[J]. *Proceedings of the CSEE*,2008,28(34):87-93.
- [7] 郑超,侯俊贤,严剑锋,等. 在线动态安全评估与预警系统的功能设计与实现[J]. *电网技术*,2010,34(3):55-60.
ZHENG Chao, HOU Junxian, YAN Jianfeng, et al. Functional design and implementation of online dynamic security assessment and early warning system[J]. *Power System Technology*,2010,34(3):55-60.
- [8] XU Yan, DONG Zhaoyang, ZHAO Junhua, et al. A reliable intelligent system for real-time dynamic security assessment of power systems[J]. *IEEE Transactions on Power System*, 2012, 27(3):1253-1263.
- [9] HE Miao, ZHANG Junshan, VITTAL V. Robust online dynamic security assessment using adaptive ensemble decision-tree learning[J]. *IEEE Transactions on Power System*, 2013, 28(4):4089-4098.
- [10] 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.
SUN Shuming, XIE Chang, LYU Ying, et al. Power system online security and stability analysis application modes [J]. *Power System Technology*, 2015,39(10):2875-2881.
- [11] LIU Chengxi, SUN Kai, RATHER Z H, et al. A systematic approach for dynamic security assessment and the corresponding preventive control scheme based on decision trees[J]. *IEEE Transactions on Power System*, 2014, 29(2):717-730.
- [12] GEEGANAGE J, ANNAKAGE U D, WEEKES T, et al. Application of energy-based power system features for dynamic security assessment[J]. *IEEE Transactions on Power System*, 2015, 30(4):1957-1965.
- [13] 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*,2015,19(6):27-30.
WANG Shuangquan, SHA Chengli, XIE Chao, et al. Construction and application of on-line safety and stability analyzing system of Beijing grid[J]. *North China Electric Power*, 2015, 19(6):27-30.
- [14] 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):97-102.
LI Jian, PANG Xiaoyan, LI Min, et al. Research and application of online security pre-warning and decision-making support system for provincial power grid [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2008,32(22):97-102.
- [15] 毕兆东,黄河,王新宝,等. 南方电网在线预决策系统[J]. *电力系统保护与控制*,2011,39(8):112-118.
BI Zhaodong, HUANG He, WANG Xinbao, et al. On-line pre-decision system of China southern power grid [J]. *Power System Protection and Control*, 2011,39(8):112-118.
- [16] 丁平,奚江惠,江嫚,等. 大电网在线动态安全评估系统仿真效果评价[J]. *电网技术*,2012,36(12):153-158.
DING Ping, XI Jianghui, JIANG Man, et al. Evaluation on simulation effects of on-line dynamic security assessment system for bulk power grid [J]. *Power System Technology*, 2012,36(12):153-158.

作者简介:



王大江

王大江(1984—),男,河南郑州人,工程师,研究方向为电力系统稳定与控制;

江叶峰(1976—),男,江苏宜兴人,高级工程师,研究方向为电力调度运行管理;

仇晨光(1977—),男,江苏盐城人,高级工程师,研究方向为电力调度运行管理;

葛亚明(1984—),男,安徽宣城人,高级工程师,研究方向为电力调度运行管理。

Research on the On-line Dynamic Security Assessment System and Application of Jiangsu Power Grid

WANG Dajiang¹, JIANG Yefeng², QIU Chenguang², GE Yaming², HU Haoming¹, CHENG Jinmin²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Dispatching and Control Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: The on-line dynamic security assessment system based on intelligent scheduling system calculates and analyses power system using real time on-line data, achieves a leap from the off-line analysis to the on-line analysis of the power grid. The main structure, function and calculation process of the dynamic security assessment system of Jiangsu power grid are briefly introduced in this paper, using the safety and stability analysis of Jiangsu power grid encountering tornado and hail disaster in June 23, 2016 and after a substation bus fault in November 4, 2016 as calculation examples, the results show that the dynamic security assessment system can calculate and analyze the power grid, and give the corresponding auxiliary decision-making measures timely and effectively, enhancing the emergency handling capacity of power dispatchers in emergency situations, and plays an important role in ensuring the safe and stable operation of the power grid.

Key words: on-line analyse; dynamic security assessment; intelligent scheduling system; auxiliary decision-making

(编辑 徐林菊)