

· 运行分析 ·

发输电设备检修优化决策系统设计与应用

王正风, 袁 辉

(国网安徽省电力有限公司, 安徽 合肥 230022)

摘要:为统筹优化电网生产运行中发输电设备检修计划安排,设计发输电设备检修优化决策系统。基于智能电网调度技术支持系统(D5000),并结合发输电检修、负荷预测等多源信息自动生成计划方式。在此基础上,采用多类调度计划安全校核滚动计算方法来对计及电网安全稳定的发输电检修进行优化,实现检修停电计划优化调整和电网供电能力评估,在满足电网安全可靠供电的基础上,优化发输电检修日程,降低网损,提高电网运行经济性。系统自投入电网调度生产运行以来,实现了年/月发输电检修计划的优化编制,提高了电网安全经济运行水平和生产效率。

关键词:智能电网调度技术支持系统;检修计划;安全稳定;经济性;优化

中图分类号: TM614

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)02-0132-06

0 引言

发输电设备检修计划是电力系统生产运行的重要组成部分,其可行性和合理性将直接影响发电企业和电网公司生产运营的安全性与经济性。目前国内电网公司的通常做法是每月定期召开月度分析会,针对年度及月度申报的发输电检修计划进行离线稳定计算分析,最后排定年度及月度发输电检修计划,这种离线的分析不仅工作量大,而且费时。近年来,随着智能调度技术支持系统的建设^[1-3],电网在线安全稳定评估已逐步实用化,实现了实时和次日电网运行方式数据的自动生成^[4-6],实现了电网运行方式实时和次日稳定计算评估与安全校核,为电力安全稳定评估和辅助决策提供了高效的量化分析与决策支持功能^[7-13]。但针对年度及月度发输电设备检修计划的安全性与经济性仍缺乏实用化的优化方法,难以为电网中长期发输电检修计划优化安排提供决策支持。

因此文中基于智能调度技术支持系统(D5000)的基础数据及功能,设计开发中长期发输电检修优化决策系统,实现对年/月度发输电检修的协调优化。

1 系统总体架构

发输电设备检修计划决策支持系统以智能电网调度支持系统(D5000)为支撑平台,针对预先指定的检修计划和发电计划,从电网历史运行数据中提取负荷信息,结合电网模型,生成检修计划方式数据;根据预先设置的安全稳定考核故障限值,进

行安全稳定评估、检修计划优化调整决策和供电能力评估;评估发电权交易对电网的安全经济运行以及极限发电权交易量的影响。

发输电设备检修计划决策支持系统的系统架构如图1所示。发输电设备检修计划决策支持系统在智能电网调度支持系统(D5000)上实现,软件包括基础功能软件和应用功能软件两部分。基础功能软件包括数据库管理、图形管理、人机交互管理、网络通信管理、数据通信与整合、分布式并行计算平台等。应用功能软件包括检修计划方式数据生成、电网安全稳定评估、检修计划方案优化、检修计划调整决策、电网供电能力评估以及发电权交易评估等。

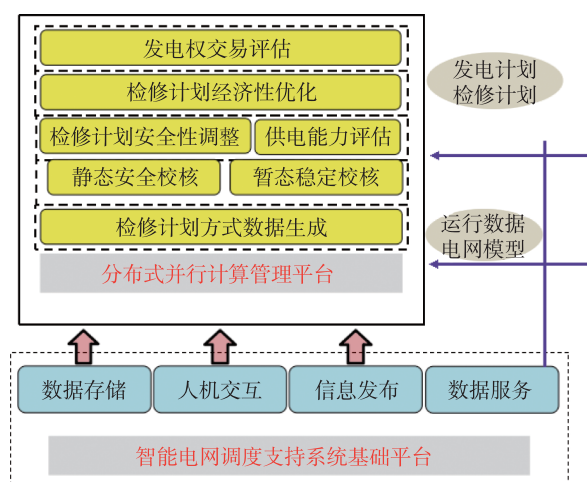


图1 发输电设备检修计划决策支持系统架构

Fig.1 Frame of maintenance plan optimization decision system

发输电设备检修计划决策支持系统属于调度计划安全校核类,部署在安全Ⅱ区。除从安全Ⅰ区

能源管理系统(energy management system, EMS)获取设备参数、电网模型、当月负荷数据、动态参数,还从安全Ⅲ区电网调度管理系统(outage management system, OMS)获取检修计划数据、新投运设备以及发电计划数据,通过多源数据整合,自动生成安全稳定分析计算数据,实现检修运行方式校核和检修计划方案优化。检修计划优化决策各模块逻辑关系如图2所示。

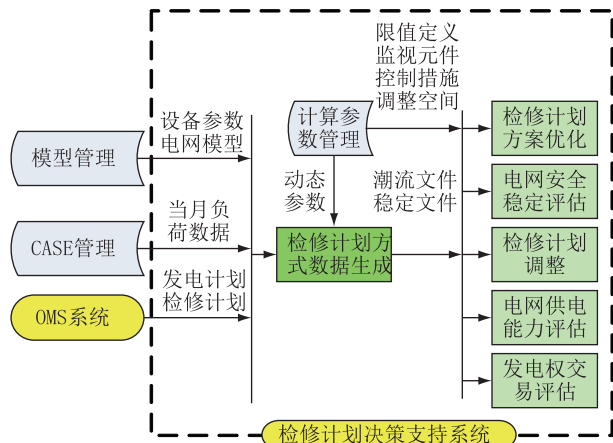


图2 发输电检修计划决策支持系统各模块逻辑关系
Fig.2 Logical relation of functional module for maintenance plan optimization decision system

2 基于多源信息的检修计划方式自动生成

发输电设备检修计划决策支持系统基于电网次年/月的电网负荷预测、新建设备投运、发输电设备检修以及发电计划等信息,并结合 D5000 系统的公共信息模型(common information model, CIM),自

动生成次年/月电网运行方式数据及模型,通常每天自动生成3个邦纳维尔电力管理局格式(Bonneville power administration, BPA)的计划潮流、稳定计算数据。发输电检修计划数据自动生成架构如图3所示。

计划数据格式转换程序将次年/月的发电计划数据、检修计划数据、联络线计划数据转换成内部规范定义的调度计划数据。

基准断面选择程序从状态估计历史实例(CASE)或动态安全分析(dynamic security analysis, DSA)在线系统缓存计算数据包中获取用于月度检修计划功率分摊和无功电压调整的基准方式数据,并转换成设备列表文件。

计划数据分配程序基于机组次年/月发电总量计划,并结合次年/月负荷预测和机组检修计划,按照一定的负荷率,将电量转化成发电电力曲线。

计划数据缓存程序打包计划数据处理需要的并行计算文件,并生成 org 文件。打包文件包括(新增)基准断面的列表文件、(新增)检修计划数据(发电、负荷、联络线和检修计划)、实时库文件、配置文件、断面索引文件、task 文件和 org 文件等。

计划数据处理程序实现对计划数据的功率分摊、设备投停状态置位的数据检查,包括设备投停状态冲突检查、系统功率平衡检查等。

数据处理管理程序调用计划数据处理程序、拓扑分析程序、数据接口程序等模块生成计划数据包。

拓扑分析程序在全接线方式的基础上,基于检修计划生成拓扑岛号和拓扑节点。

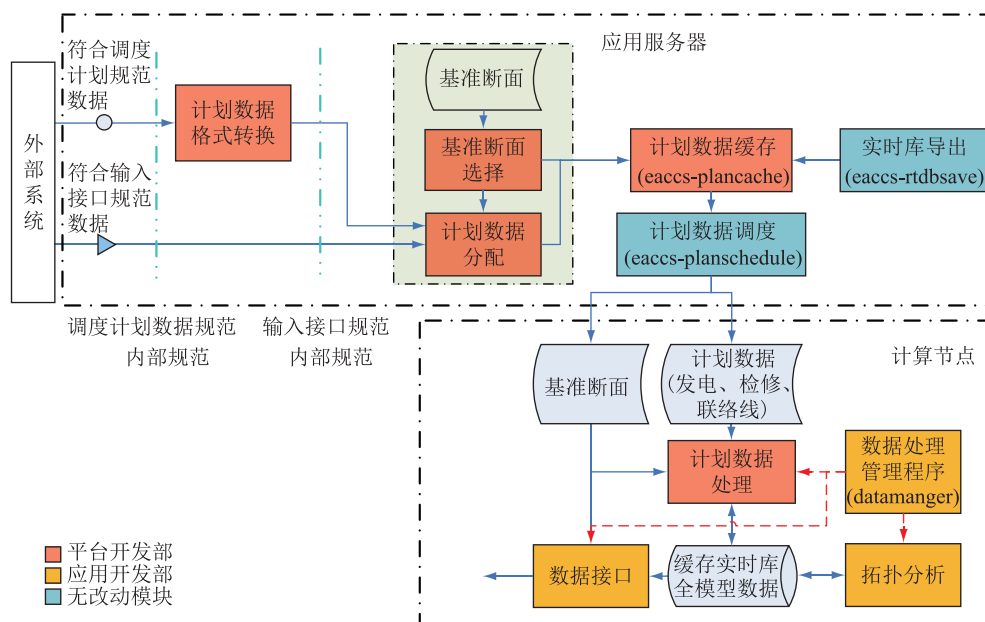


图3 发输电检修计划数据自动生成架构

Fig.3 Diagram for automatic generation and transmission maintenance plan date

发输变电检修计划数据自动生成,按周相似日选择基准断面,通常工作日与工作日相对应,节假日与节假日相对应,并修改配置文件。

3 计及电网安全稳定的发输变电检修优化

计及电网安全稳定的发输变电检修优化在自动实现电网静态和暂态稳定分析的基础上,对检修停电计划进行优化调整,并对影响电网安全稳定的停电检修计划提供辅助优化决策信息。在满足电网安全可靠供电的基础上,优化发输变电检修的协调性,降低网损,提高电网运行经济性。

3.1 静态安全稳定分析评估

静态安全稳定分析评估基于计划检修方式,对系统中所有元件进行潮流分析,确定在计划检修方式下系统是否存在过载或重载设备(线路、变压器)以及在预想故障下所有元件进行静态 $N-1$ 开断后潮流分析,确定在静态 $N-1$ 故障条件下系统是否存在过载或重线路、变压器等。

3.2 暂态安全稳定评估

暂态安全稳定评估根据电网检修方式、模型和参数、预想故障场景进行详细模型的数值仿真,根据扩展的等面积标准理论(extended equal area criterion, EEAC)对仿真曲线进行数据挖掘,提取系统安全性以及模式特征,提供暂态功角稳定裕度及稳定模式,确定系统安全稳定的薄弱环节。针对安全稳定模式,分别给出了暂态功角稳定发电机分群模式中各台发电机的参与因子,依据这些量化信息可为电网检修方式调整、电网供电能力评估和检修计划方案优化等提供决策支持。

3.3 检修计划安全性优化调整

对于不满足安全稳定要求的方式,求取检修元件对各个不安全检修计划方式过载元件及暂态稳定关键断面的潮流转移比,折算综合相关性指标,并按给定阈值筛选过滤,获得与各个不安全方式相关的检修元件集合及综合相关性指标;再按排序结果获得需要进行检修计划调整或取消的检修元件;在此基础上获得进行调整的检修元件集合,重新调整安排年/月度检修计划。优化调整原则是尽量接近原检修计划,重新生成相应的检修计划方式数据并进行安全稳定评估,直至满足电网静态安全要求和暂态稳定要求。

3.4 供电能力评估

根据检修计划优化后的年/月度典型运行方式,计算关键供电断面的输电极限。关键断面的极限计算,是对预想故障下可能出现的暂稳、热稳的

安全分析计算,在保证安全稳定的前提下计算断面极限传输功率。功率极限的计算根据断面组成和潮流方向,指定潮流调整方式增加出力(或减少负荷)的区域、增加负荷(或减少出力)的区域和最大功率调整量。程序计算时根据计算,得到稳定裕度按照类似二分法的原则分档计算,逐步逼近极限值。

3.5 检修计划经济性优化调整

月度检修计划方案基于月度计划运行方式、设备检修计划等信息,综合考虑设备元件检修约束(包括检修时间、检修顺序等约束),优化发输变电检修日程协调安排,降低网损,提高电网运行经济性。通过逐个求取检修集合中每个检修元件在可优化的时段内系统的总网损,计算各检修元件的网损最大下降度指标,并进行排序;优先选择网损下降度最大的元件安排检修,检修的开始日期为元件检修总网损最小对应的开始日期;在此基础上形成检修计划运行方式,动态更新剩余设备的网损最大下降度指标,且考虑设备检修的互斥约束,进入下一轮迭代,直至系统总网损下降小于阈值为止。

4 算法实现

文中基于暂态安全稳定量化分析方法,利用暂稳评估前后断面间的差异,以安全稳定裕度为指标进行故障筛选,并采用分时段并行安全稳定校核技术,实现多类调度计划安全校核滚动计算,从而提高了计算效率^[14-19]。

4.1 检修计划方式的生成

在调度计划数据生成的基础上,根据发输变电设备月度检修计划信息,经拓扑分析生成检修方式的拓扑信息。流程如图4所示,具体步骤如下:

(1) 基于正常态网络模型和月度检修计划数据将所有检修设备停运;

(2) 将停运设备直接关联的开关、刀闸断开;

(3) 根据开关、刀闸开合状态和设备投停状态分别进行厂站内拓扑分析和全网拓扑分析,生成检修计划方式数据;

(4) 计算潮流,通过潮流计算程序自动投切容抗器使被控母线电压限制在指定限值范围。若潮流计算不收敛,则适当松弛被控母线电压上下限,重新计算潮流,若潮流计算收敛,则转第(5)步;

(5) 从潮流计算结果提取控制母线无功补偿容量,转换成容抗器自动投切情况,并映射到模型数据容抗器设备投停状态。

(6) 计算潮流,并加载潮流计算结果,生成单个检修计划方式潮流。

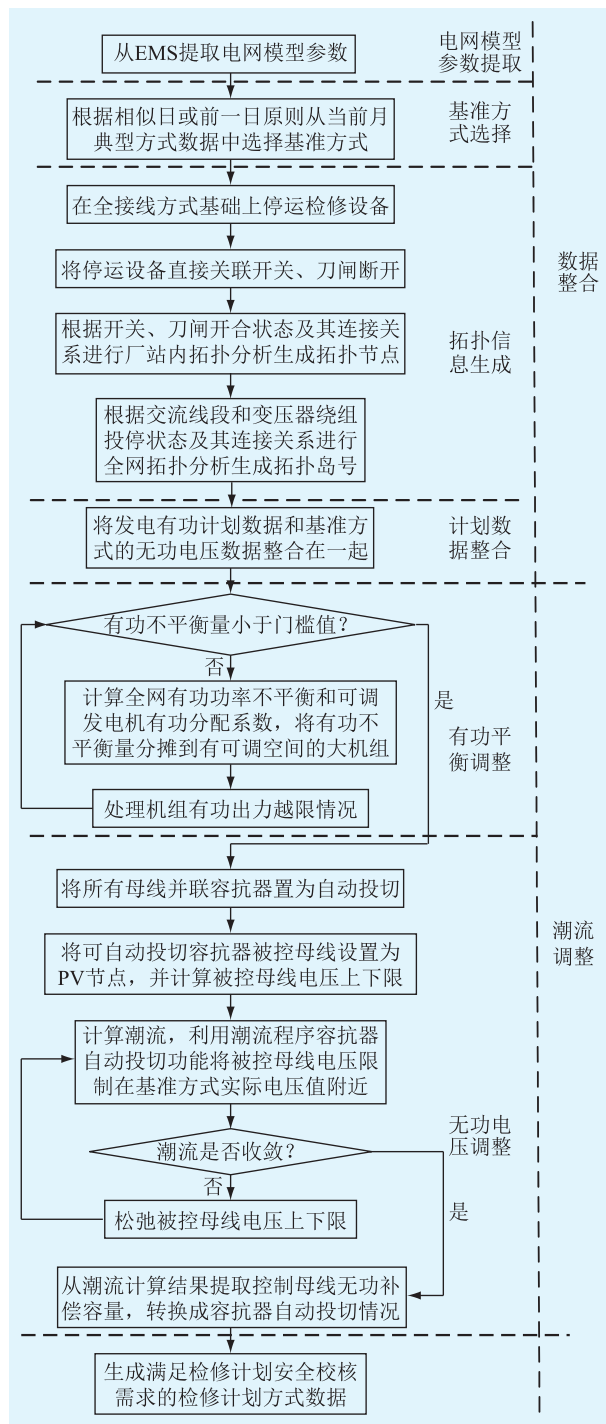


图4 检修计划运行方式自动生成流程

Fig.4 Flow chart of automatic maintenance plan

4.2 检修方式调整流程

检修方式调整基于自动生成的检修方式基础数据,针对存在暂态失稳问题的设备检修计划优先进行辅助决策计算,根据决策结果调整电网检修计划,后续的过载决策计算在前面的计算基础上进行。暂态失稳的设备检修计划优化决策计算完成后,输出各关键检修设备及暂态稳定约束的可调整检修起始时间区间,后续的设备过载决策计算将其作为设备的检修约束加以考虑。若设备过载的

关键检修设备与暂态失稳的关键检修设备相同,则在检修起始时间区间内进行优化调整。流程如图5所示,其中 M 表示并行处理计算的总核数。

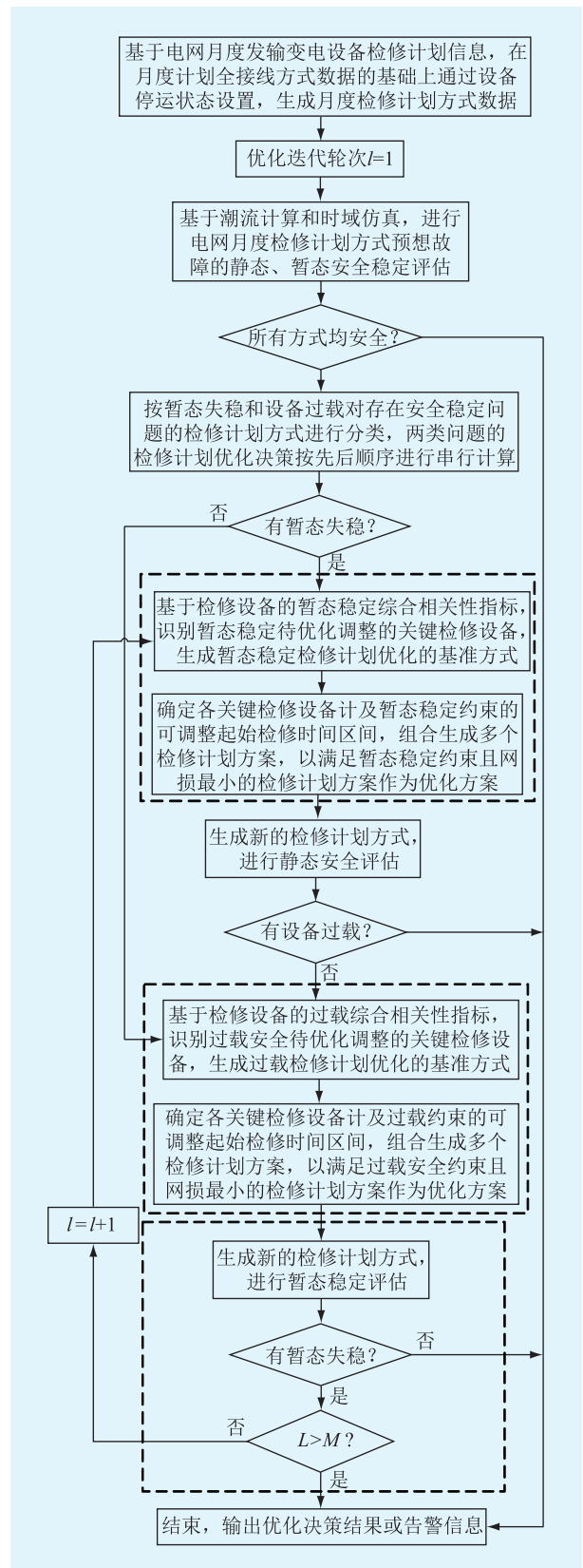


图5 检修计划运行方式优化调整流程

Fig.5 Flow chart of maintenance plan optimization

5 应用情况

以某省级电网2017年3月4日检修为例,表1为3月4日11时断面检修计划。

表1 2017年3月4日检修计划
Tab. 1 March 4, 2017 maintenance plan

序号	检修设备名称	起始时间	结束时间	类型
1	平圩厂 1号机	2017-3-4 07:00	2017-3-20 23:00	机组
2	洛河厂 2号机	2017-3-4 07:00	2017-3-5 18:00	机组
3	梓旌4 CQ3线	2017-3-4 07:00	2017-3-4 20:00	交流线段
4	濉显4 C13线	2017-3-1 06:00	2017-3-5 22:00	交流线段
5	滨江变/ 2号主变	2017-3-4 07:00	2017-3-16 22:00	变压器

表2为发输变电检修计划优化决策系统安全稳定计算结果和辅助决策结果。2017年3月4日11:00初始检修计划,在220 kV濉显4C13线路检修时,220 kV濉显4C14线路过载,过载裕度-7.16%,暂态分析功角、电压、频率裕度均满足要求。其原因是220 kV濉显4C13、4C14承担着该省某地区电网供电的主要输电断面,220 kV濉显4C13检修造成了220 kV濉显4C14过载。

表2 优化控制前后稳定分析计算结果
Tab. 2 The comparison before and after optimization

	控制前 计算结果	辅助决策	优化后 结果
热稳定	热稳裕度	-7.16%	取消濉显 4C13 18.13%
	热稳差值	越限 11.45 A	线路检修 距限值 29.01 A
暂态 稳定	功角裕度	93.5(正常)	无
	电压裕度	95.18(正常)	无
	频率裕度	94.66(正常)	无

按系统给出的控制辅助决策,取消濉显4C13线路检修工作后,热稳定裕度为18.13%,满足热稳定要求,保证了该地区的可靠供电。

6 结语

发输电设备检修计划优化决策系统研发及应用实现了设备检修计划的安全性及经济性优化评估。开发的发输电设备检修计划优化决策系统在安徽电力调度控制中心投运以来运行状况良好,有效地提升了电网检修计划安排的科学性与合理性,从而提高了电网的安全稳定运行水平。

参考文献:

- [1] 张智刚,夏清. 智能电网调度发电计划体系架构及关键技术[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 1-8.
ZHANG Zhigang, XIA Qing. Architecture and key technologies for generation scheduling of smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 1-8.
- [2] 姚建国,严胜,杨胜春,等. 中国特色智能调度的实践与展望[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 15-20.
YAO Jianguo, YAN Sheng, YANG Shengchun, et al. Practice and prospects of intelligent dispatch with chinese characteristics [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 15-20.
- [3] 陆路,徐林菊,王兮. 调控一体化监控信息验证策略的优化方案[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(4): 56-59.
LU Lu, XU Linju, WANG Xi. Optimized solution of monitoring information verification in dispatching and control integration [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(4): 56-59.
- [4] 林毅,孙宏斌,吴文传,等. 日前计划安全校核中计划潮流自动生成技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(20): 68-73.
LIN Yi, Sun hongbin, WU Wenchuan, et al. A schedule power flow auto generation technology in day-ahead security validation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(20): 68-73.
- [5] 王毅,侯俊贤,马世英,等. 用于调度计划安全稳定校核的潮流数据自动整合调整方法[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 100-104.
WANG Yi, HOU Junxian, MA Shiyong, et al. A method of automatic integration and regulation of power flow data for security and stability check of generation scheduling analysis [J]. Power System Technology, 2010, 34(4): 100-104.
- [6] 谢昶,刘文颖,文晶,等. 基于多数据源的日前预报潮流自动生成方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(21): 87-92.
XIE Chang, LIU Wenying, WEN Jing, et al. Auto-generation method of day-ahead forecast power flow based on multiple data sources [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(21): 87-92.
- [7] 汪永华,王正风. 电网动态监测预警与辅助决策系统的应用与发展[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 71-74.
WANG Yonghua, WANG Zhengfeng. Application and development of dynamic monitoring preventive alarm and auxiliary decision system [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(10): 71-74.
- [8] 葛朝强,汪德星,葛敏辉,等. 华东网调日计划安全校核系统及其扩展[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(17): 45-48.
GE Zhaoqiang, WANG Dexin, GE Minhui, et al. Security checking system for daily generation scheduling of East China Power Grid and its expansion [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(17): 45-48.
- [9] 王楠,张粒子,刘宝成,等. 日前节能发电调度计划与实时控制的协调方式[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(17): 45-49.

- WANG Nan, ZHANG Lizi, LIU Baocheng, et al. Coordination mode of day-ahead generation schedule considering energy saving and real-time control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(17): 45-49.
- [10] 郑伟, 鲍颜红, 彭慧敏, 等. 基于受扰轨迹模式分析的动态稳定辅助决策[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(4): 79-83.
- ZHENG Wei, BAO Yanhong, PENG Huimin, et al. Dynamic stability auxiliary decision-making based on mode shape analysis of disturbed trajectory[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(4): 79-83.
- [11] 徐泰山, 薛禹胜, 李碧君, 等. 暂态稳定在线预警故障集的自适应筛选[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(22): 1-4.
- XU Taishan, XUE Yusheng, LI Bijun, et al. On-line adaptive contingency screening for early-warning of transient stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(22): 1-4.
- [12] 鲍颜红, 徐泰山, 许立雄, 等. 暂态稳定预防控制及极限功率集群计算[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 32-35.
- BAO Yanhong, XU Taishan, XU Lixiong, et al. Cluster computing mode for transient stability-constrained preventive control implementation and total transfer capability calculation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(1): 32-35.
- [13] 何楚瑶, 管霖, 莫维科, 等. 基于静态信息的在线暂态稳定评估及预防控制[J]. 广东电力, 2017, 30(9): 57-62.
- HE Chuyao, GUAN Lin, MO Weike, et al. Online transient stability assessment and prevention control based on static information[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(9): 57-62.
- [14] 刘思捷, 蔡秋娜, 杨韵, 等. 适应月度直接交易的电量安全校核模型及方法[J]. 广东电力, 2017, 30(3): 15-20, 33.
- LIU Sijie, CAI Qiuna, YANG Yun, et al. Electricity quantity checking model and method for monthly direct transaction[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(3): 15-20, 33.
- [15] 户秀琼, 颜伟, 余娟, 等. 交直流系统的静态电压稳定预防控制[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(1): 35-39.
- HU Xiuqiong, Yan Wei, Yu Juan, et al. Preventive control of static voltage stability for AC/DC power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(1): 35-39.
- [16] 陈梓铭. 基于万有引力搜索算法的电力系统电压无功控制策略研究[J]. 江苏电机工程, 2016, 33(1): 61-65.
- CHEN Zimin. Gravitational search algorithm based voltage reactive power control strategy research[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 33(1): 61-65.
- [17] 崔晓丹, 周海锋, 刘韶峰, 等. 在线操作前安全校核系统的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 112-116.
- CUI Xiaodan, ZHOU Haifeng, LIU Shaofeng, et al. Design of online pre-operation security checking system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 112-116.
- [18] 徐泰山, 彭慧敏, 苏寅生, 等. 基于并行模式的关联输电断面极限功率计算[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(7): 66-70.
- XU Taishan, PENG Huimin, SU Yinsheng, et al. Limit power calculation of correlative transmission interfaces based on a parallel model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(7): 66-70.
- [19] 彭慧敏, 马明, 郑伟, 等. 在线组合输电断面极限集群计算[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 48-53.
- PENG Huimin, MA Ming, ZHENG Wei, et al. Cluster computing mode for online transfer capability calculation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(4): 48-53.

作者简介:



王正风

王正风(1976—),男,博士,教授级高级工程师,从事电网调度运行工作(E-mail: wang-zf0016@ah.sgcc.com.cn);

袁辉(1986—),男,本科,工程师,从事电网调度运行工作(E-mail: yuanh2817@ah.sgcc.com.cn)。

Design and Application for Maintenance Plan Optimization Decision System of Generation and Transmission Equipment

WANG Zhengfeng, YUAN Hui

(State Grid Anhui Electrical Power Co., Ltd., Hefei 230022, China)

Abstract: In order to coordinate the optimization of power transmission and distribution equipment in the operation of production scheduling maintenance plan, this paper designs a maintenance plan optimization decision system. Based on multi-source information which includes smart grid dispatching technical support system (D5000), generation and transmission equipment maintenance plan, base date of maintenance plan can be automatically generated. Then optimization and adjustment for maintenance plan are realized through multiple class scheduling plan security checking calculation method. Also, power supply capacity assessment of the grid is achieved. On basis of security and stability, the power network loss can be decreased by optimization of maintenance plan. So, the grid operation economy can be improved. Since the system was put into operation and dispatched production of the power grid, it has realized the optimization preparation of annual/monthly power transmission and transformation maintenance plan. Also it has improved the safety and economic operation level and production efficiency.

Key words: smart grid dispatching technical support system; maintenance plan; security and stability; economic; optimization

(编辑 方晶)