

DOI: 10.7667/PSPC171416

防误操作平台在智能操作票系统中的研究及应用

潘佳锋¹, 朱和剑¹, 高捷¹, 林中森¹, 林江², 蔡会会²

(1. 广西电网有限责任公司玉林供电局, 广西 玉林 537000; 2. 南京德软信息科技发展有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 防误操作平台是目前智能化操作票系统研究的关键。作为智能化操作票系统的重要组成部分, 防误操作平台以报警形式提醒操作人员, 能够有效预防误操作带来的各种电网故障。在简要概述智能化操作票系统的组成及应用的基础上, 分析了防误操作平台在调度过程中的意义。考虑到防误操作系统与智能操作系统、原系统之间的配合关系, 设计了防误操作模块。采用模糊综合评判的方法对电网调度人员与操作人员进行可靠性评估, 并设计相应事故预控系统对不同级别的误操作进行智能化报警, 提高了现场人员的工作效率, 同时防范因疏忽而导致的各种风险, 为电力系统的可靠安全运行奠定了基础。

关键词: 操作票系统; 防误操作平台; 模糊综合评判; 事故预控; 智能化报警

Research and application of fuzzy comprehensive judgment in dispatching anti-misuse platform

PAN Jiafeng¹, ZHU Hejian¹, GAO Jie¹, LIN Zhongsen¹, LIN Jiang², CAI Huihui²

(1. Yulin Power Supply Bureau, Guangxi Power Grid Co., Ltd., Yulin 537000, China;

2. Nanjing De Soft Information Technology Development Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: Misoperation platform is the key to intelligent operation order system, which is the important part of the operation order system. Through the alarm platform, anti-misuse platform can remind the operator and prevent the accident. This paper briefly outlines the composition and application of intelligent operation order system, and analyzes the significance of platform in dispatching process. Taking into account the matching relation between the intelligent operating order system and anti-misuse system, this paper designs an anti-misuse module. Then, the fuzzy comprehensive evaluation method is used to evaluate the reliability of the system operators and site operation personnel. What's more, the corresponding accident control system is designed to intelligently alarm the different levels of misuse. With this system, the efficiency of the personnel can be improved, and the various risks caused by negligence can be prevented, which lays a foundation for power system reliable and safe operation.

This work is supported by Science and Technology Project of Guangxi Power Grid Co., Ltd. (No. 040400KK52150008).

Key words: operation order system; anti-misuse platform; fuzzy comprehensive evaluation; accident pre-control system; intelligent alarm

0 引言

随着电网规模的扩大, 输变电网络日益复杂, 调度操作票复杂程度及频繁程度显著提高。传统的手工拟写操作票已无法满足电网发展的要求, 基于计算机系统智能操作票系统能够实现从拟票、审票到归档等一系列操作, 很大程度上提升了调度员的工作效率。但是, 操作票系统的所有环节只靠调度

员一一把关, 势必会增加调度员的工作负担, 若稍有不慎, 很可能造成带电合接地闸刀或带接地闸刀送电等严重误调度事故, 影响电网的安全稳定运行^[1-2]。因此, 建立有效的防误操作系统, 对于辅助调度员做好安全生产工作、加快智能化调度的发展进程、确保电力系统安全稳定运行意义重大。

本文在简要概述调度操作票系统的基础上, 采用面向对象的编程语言和模块化思想, 应用可视化人机互动技术, 基于人工智能专家系统, 开发了调度智能成票及综合防误操作平台。利用模糊综合预

基金项目: 广西电网有限责任公司科技项目 (040400KK52150008)

判方法, 对系统调度人员及现场操作人员进行了可靠性评估。最后, 提出基于模糊综合评估的事故预控系统, 结合风险预警, 对不同等级的风险可视化显示。

1 智能化调度操作票系统

电力系统中的电气操作, 即操作票, 主要有两类: (1) 一次设备的状态变化。一次设备共有运行、热备用、冷备用、检修四种运行状态, 设备的电气操作即状态之间的相互转换, 通常通过关联开关、刀闸、地刀的分合来实现, 如图 1 所示。(2) 二次设备的状态变化。与一次设备不同, 二次设备状态变换与一次设备有关, 一般通过投入和退出改变设备状态^[3]。



图 1 一次设备状态转换次序图

Fig. 1 State transition sequence of primary equipment

本文采用编程语言和功能模块化的思想, 提出了一套完整的智能化操作票系统, 不仅直观、易于操作, 而且各模块之间相互独立, 便于软件开发和调试, 具有很强的可移植性。系统结构如图 2 所示, 主要包括以下几个模块。

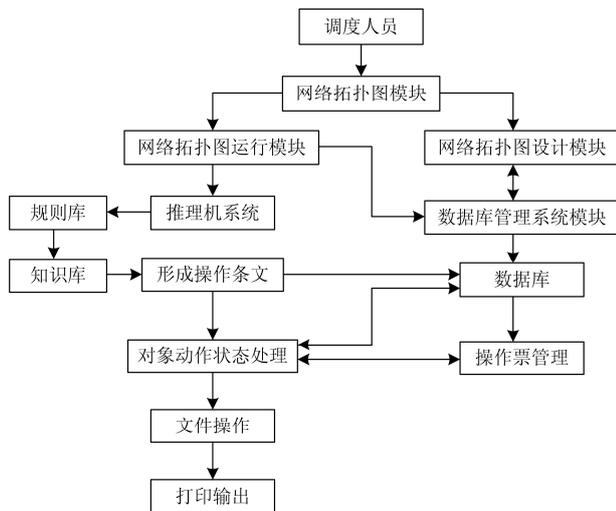


图 2 智能化操作票系统框图

Fig. 2 Intelligence operation order system

(1) 网络拓扑模块

网络拓扑模块主要负责绘制图元、增补元件参数信息、结合电网实际运行情况给设备进行带电着色, 及图元的拓扑分析等工作^[4]。图元之间的拓扑联系通过图元端口坐标来决定, 以二端口开关和

二端口变压器为例进行说明, 如图 3 所示。每个图元类中加入端口数组成员变量, 用于存储端口位置坐标。



图 3 图元端口

Fig. 3 Ports of primitive

图元基类中定义的成员函数如图 4, 由于每个元件都具有一个或一个以上的对外连接端口, 用端口坐标判断视图中其他坐标与元件的连接关系。当以当前元件的端口坐标为参数循环调用其他图元的 Islinked 函数时, 便可得到该元件与网络中其他元件的连接关系, 对整个网络所有元件都执行同样的操作, 即可得到电网的拓扑结构。

```

BOOL CGrap::IsHnked(CPoint pt)
{
    CPoint ppp;
    CRgn rgn;
    for (int i=0;i<m_PtArray.GetSize(),i++)
    {
        rgn.Deleteobject0;
        ppp=m_PtArray.GetAt(i); //取端口坐标
        rgn.CreateEllipticRgn(ppp.x-(int)(12/blc),ppp.y-(int)(12/blc)
        PPP.x+(int)(12/blc),ppp.y+(int)X12/blc));
        //获得该坐标周围12像素的一个矢量范围区域;
        f(rgn.PtInRegion(pt));
        return true; //如果传入参数坐标点在这个区域内,则表示相连
    }
    return false; //否则该点不与当前图元相连
}
    
```

图 4 成员函数在 visual C++中的实现

Fig. 4 Member function realization in visual C++

(2) 数据库管理模块

操作票系统的数据来源有三方面: 元件参数及状态、操作票、典型票, 其中典型票是操作票的基础, 其他类型操作票需要根据典型票来开票。由于电网规模扩大导致设备迅速增加, 需要处理的数据量十分庞大, 因此, 需要针对不同的数据类型建立各自的数据库。为了统一的管理所有数据库, 本文采用开放数据库互联(ODBC)的方法^[5-6], 如图 5 所

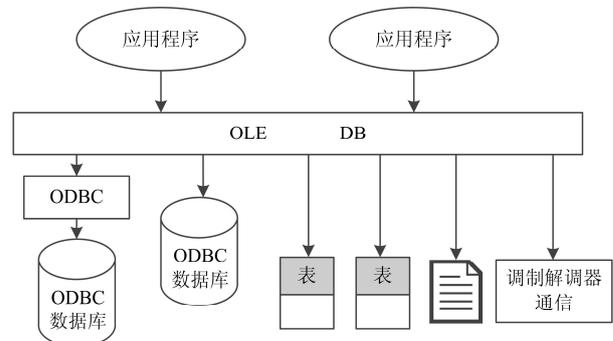


图 5 ODBC 数据接口

Fig. 5 Database interface of ODBC

示。调用 Access 驱动程序建立外部应用程序和数据库、电子表与文本的接口，从而使外部应用更加方便、快速地存取、扩充数据，提高系统工作效率。

(3) 推理机模块

与模糊控制系统的推理机不同，基于专家系统的推理机以逻辑推理为基准，根据知识库中的已知规则和用户提供的事实进行推理^[7]。所有的推理以消息的方式进行传递，最终将结果返回给用户。

操作票的操作对象是电力系统中的各种设备，这些设备彼此之间密切相关，一旦对其中某一设备操作，就会导致与其相连的设备状态变化。此外，为了保证剩下线路的正常运行，对设备的操作必须按顺序进行，不能颠倒。推理机要处理的就是设备之间的这种相关性及层次性，即完成逐层递推和消息传递的任务。

(4) 知识库模块

知识库也是专家系统中的一部分，用于存储推理机推理所需要的规则^[7]。操作票系统中的知识库主要存放对设备操作规程的相关程序，不仅针对不同设备有不同的目标状态，而且针对关联对象不同的同一设备有各自的目标状态可选，某些情况下，甚至会发出警告信号，这在很大程度上降低了误操作的可能性。

(5) 操作票管理模块(图 6)

该模块主要负责操作票管理的各项工作，包括生成、修改、删除、保存、导出操作票等。同时，还负责对操作票进行归档，对已执行完的操作票进行检索和查询，对未执行的操作票保存相关元件的目标状态。此外，还可以将已开列的操作票保存为典型票，便于后续使用。

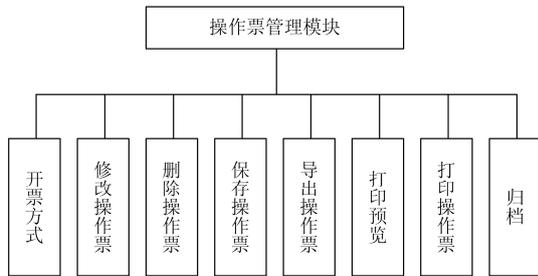


图 6 操作票管理模块

Fig. 6 Operation management module

2 防误操作平台在智能操作票系统的应用

传统的人工开票方式受人体心理、生理、环境等条件因素的影响。智能操作票系统推理开票虽然可以避免上述因素的影响，但电力系统运行方式在

时刻变化，若不能及时根据系统的变化做出相应的反映，就会严重威胁系统的安全性^[8]。因此，一套完整的智能操作票系统不仅应具备操作票推理功能，同时还应具备防误操作功能，如图 7 所示。

防误操作主要功能如下。

(1) 语义纠错：检查人工开票或系统开票的操作票，对发现的错误输入给予修改提示。

(2) N-1 校核：无论操作票执行前抑或执行后，都应对系统进行 N-1 校核，保证电网在安全约束内运行^[9]。

(3) 模拟预演：在执行操作票前，通过模拟预演的方式，得到每一次操作所对应的结果，并结合误操作判别法，判断是否会存在误操作的可能性。

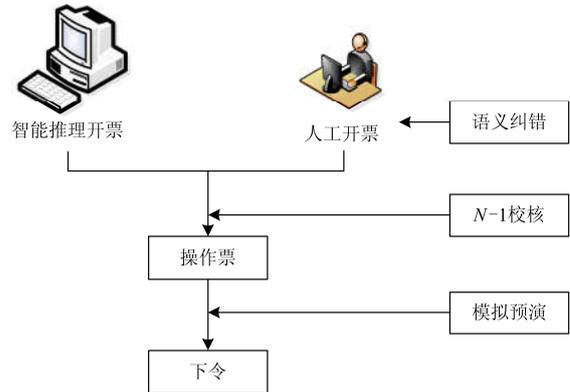


图 7 防误操作系统功能

Fig. 7 Features of the anti-misoperation system

考虑到防误操作模块应同智能操作票系统及原系统之间相互配合，故其模块构成如图 8 所示。

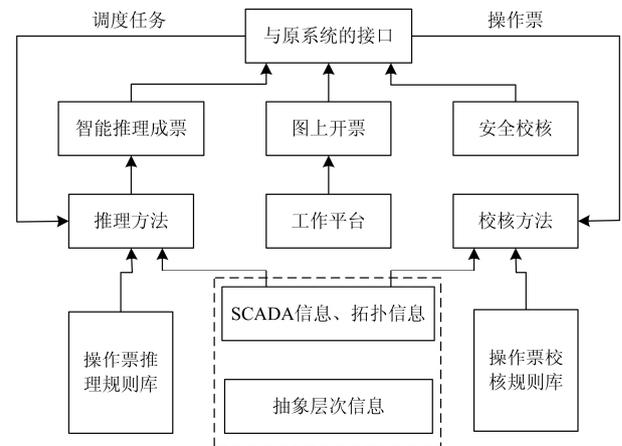


图 8 防误操作系统构成

Fig. 8 Components of the anti-misoperation system

针对防误操作功能，建立操作票校核规则库，用于对系统和人工开具的操作票进行安全校核，对电网的相关安全约束及规程进行防误闭锁。规则库

中的规则主要来源于调度人员的经验总结以及调度规程规定。一旦操作票命令下达时, 系统将依据操作票的内容对设备进行操作^[10-11]。机端可显示操作过程中设备的状态及网络潮流变化。防误操作系统时刻检查每一次的操作, 如果不符合规则库中建立的规则, 则操作无法继续进行, 系统立即发出报警信号, 并给出设备正确的操作规程。

3 模糊综合评判及事故预控

调度人员或现场人员在长期工作的过程中, 由于思想麻痹, 在下达指令或执行操作的过程中难免会犯错, 从而产生违背调度规程、现场操作规定的错误操作, 甚至引起恶劣影响^[12-13]。因此, 为了避免这种情况的发生, 提高电网安全稳定性, 对相关人员进行可靠性分析和风险评估降低十分必要, 可以很大程度上降低事故发生的概率。

3.1 模糊综合评判

模糊综合评判以模糊集合理论为基础, 对具有多种属性或受多种因素影响的对象进行单因素判断, 根据影响因素的重要性进行分配权重, 最终将定性的评价量化, 从而做出一个相对客观的总体评判^[14]。模糊综合评判的基本步骤如下:

(1) 求取影响因素集

假定评判因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}$, 其中 N 为影响因素总数, 每一个 U_i 都可以表示为 $\{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{im}\}$, m 为第 i 类影响因素包含的单因素数, 且 $i \neq j$ 时, $U_i \cap U_j = \emptyset$ 。

(2) 求取权重集

对于第 i 类影响因素, 设其权重为 A_i , 从而权重集为 $A_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{iN}\}$, $\sum_{i=1}^N A_i = 1$ 。

(3) 求取评判集

假定评价对象的评判结果为 V , 则 V 可以表示为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$ 。

(4) 模糊综合评判

对因素子集 U_i 的单因素评估矩阵 R_i 为

$$R_i = \begin{bmatrix} R_{i1} \\ \vdots \\ R_{im} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i1} & \cdots & r_{i1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{im} & \cdots & r_{imn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, r_{ijk} 为评估对象 U_{ij} 对评判集 V_k 的隶属度。

故 U_i 的模糊综合评判集 B_i 为

$$B_i = A_i R_i = [A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im}] \begin{bmatrix} r_{i1} & \cdots & r_{i1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{im} & \cdots & r_{imn} \end{bmatrix} = [B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{in}] \quad (2)$$

以“调度人员经验”为例, 即 U_i 表示调度人员经验, 其包含的单因素分别为: 经验水平、作业培训、心理素质、操作技能思想, 即 $m=4$ 。利用层次分析法对 $\{U_{i1}, U_{i2}, U_{i3}, U_{i4}\}$ 分配权重, 得到 A 数组。最后根据式(2)求得评判结果矩阵 B 。结合 B 矩阵的值, 根据每一项所对应的因素判断此调度或现场操作人员是否可靠。

3.2 事故预控

完备的安全规章制度、细致的操作审批及操作任务都能降低误操作的概率, 提高系统的安全稳定性。本文提出的事故预控系统能够按照一定的规则划定操作任务的风险等级, 以便后续作业的安排^[15-17]。系统构成如图 9 所示。系统主要包括六个模块: 用户登陆、可靠性评估、风险预警、缺陷信息管控、数据查询与维护、系统安全管理。

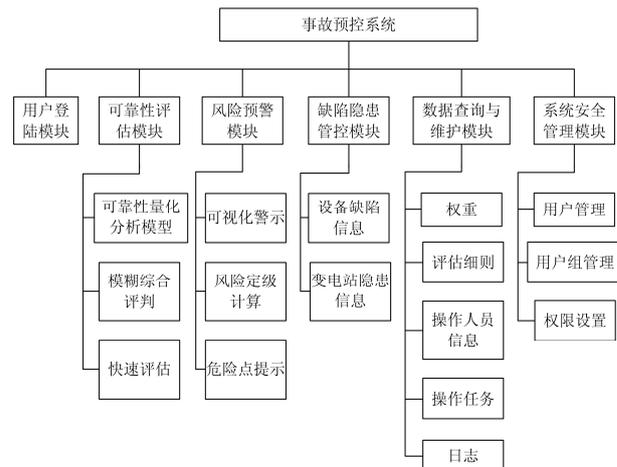


图 9 事故预控系统

Fig. 9 Accident pre-control system

(1) 用户登陆模块: 该模块主要负责用户登陆操作, 针对不同等级登陆用户, 可操作权限不同, 因此具有不同的系统界面。

(2) 可靠性评估模块: 该模块可根据应用场合, 对多影响因素建立可靠性评估模型, 选择适合的评估方式。

(3) 风险预警: 通过可靠性评估, 可以得到操作人员的失误概率, 进而评估风险等级(表 1), 并向用

户提供可视化警示^[18-20]。

表 1 风险等级表

Table 1 Risk rating table

风险等级	失误概率 P
★	(0,0.0032)
★★	[0.0032,0.0316)
★★★	[0.0316,0.3)
★★★★	[0.3,1)

(4) 缺陷信息管控模块: 系统缺陷信息可能来源于两部分, 即设备缺陷和变电站缺陷。根据严重程度, 可将设备缺陷分为一般、严重、危急三级。同样地, 变电站隐患也可以分为一般和严重两级。用户在界面选择操作任务的时候, 系统会自动弹出该操作相关设备或变电站的缺陷信息及对应解决措施, 以此提高调度人员的警觉性, 减小事故发生的概率。

(5) 数据查询与维护模块: 该模块可以查询其他模块涉及到的相关信息, 如可靠性量化分析模型中的权重信息、评估细则等等, 还可以设定查询条件, 查询历史数据信息, 具有日志查询的功能。

(6) 系统安全管理模块: 该模块可对用户、用户组进行包括添加、删除在内的管理操作, 同时可针对不同类型的用户修改其可用权限。

4 总结

本文简述了操作票系统组成及应用, 针对开票及操作过程中存在的误操作问题, 主要做了以下工作:

(1) 基于专家系统的智能化操作票系统采用面向对象的编程语言和功能模块化的思想, 能够实现操作票的智能化开票及全过程的监控。

(2) 防误操作平台同智能化操作票系统结合, 在开票前对操作指令进行模拟, 能够判断误操作存在的可能性, 防止事故的发生。

(3) 针对由于调度人员或调度人员引起的误操作问题, 提出模糊综合预判的可靠性分析模型, 并设计事故预控系统, 以达到尽可能减小误操作概率的目的。

参考文献

[1] 刘翔宇. 电网调度操作票系统的设计与实现[D]. 北京: 北京工业大学, 2008.
LIU Xiangyu. The design and implementation of grid dispatching operation order system[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008.

[2] 王昊, 夏慧, 陈威, 等. 基于分治策略的分布式调度自

动化系统稳态监控网络拓扑分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(18): 101-107.

WANG Hao, XIA Hui, CHEN Wei, et al. Analysis of distributed dispatching automation system stability monitoring of topology based on divide-and-conquer strategy[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(18): 101-107.

[3] 李功新, 黄文英, 任晓辉, 等. 调控一体化系统防误校核研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 97-102.
LI Gongxin, HUANG Wenyong, REN Xiaohui, et al. Research on anti-misoperation check in integrated dispatching and control system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 97-102.

[4] 李孟超, 王允平, 李献伟, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 59-62.
LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei, et al. Smart substation and technical characteristics ananlysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 59-62.

[5] 宋海生. VC++5.0 环境下的 ODBC 数据库接口与编程 [J]. 河北科技大学学报, 2000, 21(1): 8-11.
SONG Haisheng. ODBC database interface and program in VC++5.0 environment[D]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2000, 21(1): 8-11.

[6] JU R S, QIAO H Q, HUANG K D. Principle and realization of ODBC data source dynamic configuration[J]. Computer Simulation, 2006, 23(7): 84-86.

[7] 杨兵, 丁辉, 罗为民, 等. 基于知识库的变压器故障诊断专家系统[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(10): 121-124.
YANG Bing, DING Hui, LUO Weimin, et al. Expert system of transformer fault diagnosis based on knowledge base[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 121-124.

[8] 邢智. 电网调度智能操作票及防误系统的优化设计与应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
XING Zhi. The optimization design and application of power grid scheduling intelligent operation ticket and anti-misoperation system[D]. Nanchang: Nanchang University, 2013.

[9] 张文磊, 王建雄. 调度操作票专家系统及 $N-1$ 安全分析在湖南电网中的应用[J]. 电网技术, 1996, 10(6): 63-65.
ZHANG Wenlei, WANG Jianxiong. Expert system for switching order expert and application of $N-1$ safety analysis in Hunan power system[J]. Power System Technology, 1996, 10(6): 63-65.

[10] 王文林, 洪天炘. 新型调度操作票系统防误技术研究与应用[J]. 电网技术, 2006, 30(增刊 2): 579-582.

- WANG Wenlin, HONG Tianxin. New adjust operation ticket system defends the mistake technical research and application[J]. Power System Technology, 2006, 30(S2): 579-582.
- [11] 李德鑫. 一体化全网控制智能防误操作票系统电网部分的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
- LI Dexin. Integrative and all-net controlled intelligent anti-misoperation operation instructions system research of power dispatching[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2009.
- [12] 张旭升, 李江林, 赵国喜. 智能变电站二次安措防误系统研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11): 141-146.
- ZHANG Xusheng, LI Jianglin, ZHAO Guoxi. Research and application of the anti-misoperation system for the intelligent station secondary equipment security measures[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(11): 141-146.
- [13] 唐俊熙. 电网操作人因可靠性及事故预控研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- TANG Junxi. The research of power grid operation reliability and precontrol[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [14] 孙朝苑, 蒲云. 模糊综合评判在智能化收费系统经济评价中的应用[J]. 世界科技研究与发展, 2001, 23(2): 90-92.
- SUN Zhaoyuan, PU Yun. A fuzzy comprehensive evaluation method to access the intelligence charging system[J]. World Science-Technology R & D, 2001, 23(2): 90-92.
- [15] DY-LIACCO T E. Modern control centers and computer networking[J]. Computer Applications in Power IEEE, 1994, 7(4): 17-22.
- [16] 徐伟, 徐泰山, 胡昊明, 等. 适用于调度计划滚动更新的安全校核计算策略研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(2): 10-14.
- XU Wei, XU Taishan, HU Haoming, et al. Security check calculation strategy for rolling update scheduling plan[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(2): 10-14.
- [17] 蔡新雷, 何祥针, 卢恩, 等. 广东电网调度操作模式调整策略分析与实践[J]. 广东电力, 2016, 29(3): 77-80.
- CAI Xinlei, HE Xiangzhen, LU En, et al. Analysis and practice of adjustment strategy for dispatching and operating mode of Guangdong Power Grid[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(3): 77-80.
- [18] 周宏, 李强, 林涛, 等. 基于 WAMS 量测数据的电网扰动和操作类型识别[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 7-11.
- ZHOU Hong, LI Qiang, LIN Tao, et al. Power system disturbance and operation identification based on WAMS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2): 7-11.
- [19] 魏金清, 莫颖生, 罗春风, 等. 变电站断路器及隔离开关动作信息统计系统的设计与实现[J]. 广东电力, 2017, 30(2): 87-90.
- WEI Jinqing, MO Yingsheng, LUO Chunfeng, et al. Design and implementation for circuit breaker and disconnecting switch operation information statistical system[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(2): 87-90.
- [20] 李子龙, 刘亚东, 王耀东, 等. 基于大维随机矩阵的电网异常快速检测方法[J]. 陕西电力, 2017, 45(3): 77-81.
- LI Zilong, LIU Yadong, WANG Yaodong, et al. Abnormal situation direction in power grid with large-dimensional random matrix spectral distribution[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(3): 77-81.

收稿日期: 2017-09-20; 修回日期: 2017-11-28

作者简介:

潘佳锋(1985-), 男, 工学学士, 助理工程师, 研究方向为电力系统机器自动化; E-mail: pan_jf.ylg@gx.csg.cn

蔡会会(1987-), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为能源经济与管理。E-mail: 2961883255@qq.com

(编辑 张爱琴)