

DOI: 10.7667/PSPC171108

多级智能电网调控系统集中运维模式的探讨

邢颖¹, 郎燕生¹, 李强¹, 张印¹, 王焰光², 李丹², 杨宁², 安天瑜²

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 国家电网东北电力调控分中心, 辽宁 沈阳 110180)

摘要: 各级智能电网调度控制系统的推广应用对系统运维工作提出了新的要求, 亟待转变当前分散式运维模式, 建立集中运维工作标准化流程, 实现全系统运维的集约化、自动化和互助化。分析了运维的现状和集中运维的必要性, 提出全系统集中运维的功能架构、安全防护、标准化流程和技术实施方案, 探讨了集中运维模式的关键技术。目前智能电网调度控制系统集中运维中心建成投运, 验证了集中运维模式能够有效提升系统运行稳定性和安全性。

关键词: 集中运维; 功能架构; 安全防护; 标准流程; 关键技术

Discussion on pattern of centralized operation and maintenance for multilevel smart power dispatching control system

XING Ying¹, LANG Yansheng¹, LI Qiang¹, ZHANG Yin¹, WANG Shaoguang², LI Dan², YANG Ning², AN Tianyu²

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. SGCC Northeast China Branch, Shenyang 110180, China)

Abstract: The popularization and application of the smart power dispatching control systems propose new requirements to the system operation and maintenance work. Therefore it is in urgent need of changing the current decentralized operation mode, and establishes centralized operation and maintenance standardized work processes to achieve the whole system operation and maintenance intensification, automation and mutual assistance. The present situation of the operation and maintenance and the necessity of centralized operation and maintenance are analyzed. The function framework, safety precaution, standardized process and technical implementation plan of whole system centralized operation and maintenance are put forward, and the key technologies are discussed. The centralized operation and maintenance center of smart power dispatching system has been completed and put into operation, which show that the centralized mode can effectively improve the system stability and security.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China: Research on Technical System for Global Energy Interconnection (No. SGTYHT/15-JS-191).

Key words: centralized operation and maintenance; functional architecture; safety precaution; standard process; key techniques

0 引言

智能电网调度控制系统(以下简称“系统”)的成功开发和规模化应用推动了电网调度控制技术的升级换代, 实现了电网调控业务的“横向集成, 纵向贯通”^[1]。各级系统上线投运后, 带来了业务集中处理、应用数据快速增长、系统横向耦合紧密^[2]以及大量新技术开发应用等新局面^[3-6]。在一体化基

础平台上构建的各类电网核心应用功能的运维工作繁重, 因此亟待解决当前分散运维与自动化运维人员结构性缺员、运维操作不规范给系统造成的风险等矛盾。本文对当前运维现状进行了分析, 提出了系统集中运维模式的功能架构、工作流程和技术实施方案, 并对关键技术进行了初步探索。

1 系统运维现状及要求

国、分、省多级一体化分布的智能电网调度控制系统运维模式一直采用分散式属地运维, 系统一旦出现复杂故障, 需要各类技术人员花费一定的时

基金项目: 国家电网公司科技项目(SGTYHT/15-JS-191)“全球能源互联网技术体系研究”

度数据网, 严格监控管理信息大区与生产控制大区边界、生产控制大区纵向边界和生产控制大区横向边界。

物理安全——包括物理位置的选择、物理访问控制、防盗窃和防破坏、防雷击、防火、防水和防潮、防静电、温湿度控制、电力供应和电磁防护。

网络安全——包括结构安全、访问控制、边界完整性检查和网络设备防护。

主机安全——包括身份鉴别、安全标记、访问控制、剩余信息保护、入侵防范和资源控制。

应用安全——包括身份鉴别、访问控制、安全审计、剩余信息保护、通信完整性、通信保密性、抗抵赖、软件容错和资源控制。

数据安全——包括数据完整性、数据保密性、备份和恢复等。

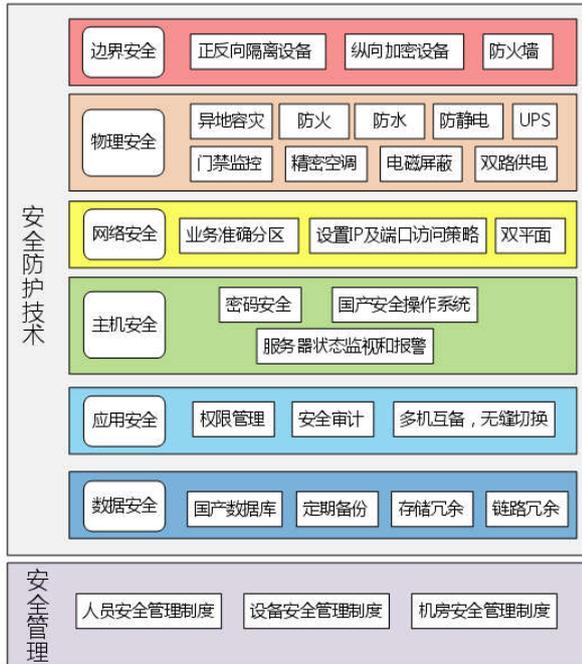


图 2 集中运维安全防护架构

Fig. 2 Safety precaution framework of centralized operation and maintenance

2.3 标准工作流程

工作流程管控是确保标准化作业的重要手段, 简约规范的流程可以提高效率、减少人为操作对系统运行稳定性造成的风险, 同时也有利于对工作的管理和评价。本文研究了建立标准工作流程的关键步骤: (1) 梳理系统业务需求, 以业务为单元划分工作流集合, 每个集合明确运维中心的相应职责和调控中心之间的交互点; (2) 明确每个工作流的实施过程(如准备工单、申请、审批、文档完善等), 每个

过程中各节点所需要记录和提交的信息, 包括所有与工作相关需要记录在案的信息和工作中产生的各类文档以及在其他的业务系统中的关联信息(如: 申请单、值班记录), 信息内容要完整、饱满和丰富, 并对关键节点进行重点监督; (3) 汇总各流程的交叉节点, 标明责任主体和流程、流程和节点、节点和记录项之间的对应关系, 形成流程配置图。 (4) 根据流程配置, 设计数据逻辑存储结构, 宜采用层次设计, 包括数据来源、数据存储方式、业务逻辑表单的处理、工作流与应用的关联(如知识库、信息发布、报表引擎等), 逐渐实现标准工作流程的自动化运转体系。

3 集中运维模式的关键技术实现

3.1 在线集中监视

1) 数据采集。数据采集方式分为两种, 实时性强的信息通过前置服务建立点对点连接(不占用被监视系统资源), 实时发送给集中运维中心进行深度分析和系统评估; 统计性强的数据, 在本地工作站上进行初步分析, 将分析结果周期性通过文件服务打包给集中运维中心进行深入分析后定期反馈给调控中心。

2) 状态监视。监测数据按照硬件、软件、辅助环境、系统资源、操作系统、数据库、人机界面等类型进行分类监视^[20], 以便于故障分类和定位。各地调控中心在本地同步监视系统运行状态的关键信息、评估指标和告警信息。集中运维的监视手段结合可视化和多媒体技术, 对监视状态的变化进行跟踪和告警, 提高值班员日常巡检的效率。

3) 风险预警。利用蒙特卡洛方法^[21]得到设备故障率的分布, 从而在未来时间段内对设备故障进行风险评估。制定系统各类风险的定级评估指标, 当风险指数高于限值时, 发出预警信息。针对系统资源, 还要考虑资源使用率的变化趋势是否在未来几分钟内达到风险极值。

4) 故障告警。考虑系统自愈能力, 通过告警窗实时远程推送故障信息给调控中心; 通过告警直传转发给故障诊断和分析的结果, 夜间值班的告警信息同步到值班手机上。故障告警采用语音告警、热线电话、本地告警窗、手机短信服务和可视化技术等多种形式, 对于不同级别的故障应采用不同的提示手段。

3.2 故障集中处理

1) 故障定级。基于对监测数据的分类, 需要对故障类型和内容进行分级, 级别定义为 3 级, 级别定义如表 1 所示。

表 1 故障定级

Table 1 Fault classification

级别	故障表现	故障响应
I	系统故障导致业务停止、数据丢失	紧急响应: 及时发现, 由系统工程师实时协同处理
II	出现部分部件失效、系统性能下降但能正常运行, 不影响正常业务运作	故障处理: 及时发现, 系统工程师进行故障处理队列, 等待处理
III	出现系统报错或警告, 但业务系统能继续运行且性能不受影响	常规维护: 由运维值班员进行处理和维护

2) 故障诊断。建立全系统运维的知识库系统或专家系统^[22], 包括日常运维故障处理预案。结合监视信息的分类建立系统各部件的故障树结构, 同时建立系统故障状态识别指标, 依靠人工智能方法来识别各部件的故障状态。依据故障类型和故障指标判定故障级别(故障定级), 从而进入不同的故障处理队列。

3) 故障处理。建立故障闭环处理协调机制, 明确操作权限, 对于紧急故障、系统级和程序级故障必须交由系统工程师进行维护, 运维值班员根据故障预案负责非系统级和非程序级的日常维护工作, 处理结果及时反馈给各级调控中心。

4) 故障分析统计。采用数据挖掘技术能够从单一设备到整个系统对不同的故障类型、故障原因、故障时间、维护时间、运行时间、维护次数等统计量进行分析统计, 能够对故障之间的级联关系进行分析, 能够挖掘和发现系统运行的共性问题、系统风险和潜在规律。

5) 运行评估指标。制定一套完整的系统运行评估指标, 从系统实时运行状态的安全性、稳定性、可靠性、可用性、数据一致性和功能完整性等方面进行定义和评估。同时, 系统运行评估指标要覆盖系统全系统运行状态及运行环境, 评估对象能够从单个设备扩展到全系统, 包括风险指标, 实时指标、周期性统计指标以及二次设备运行评估指标。

3.3 运维集中管理

1) 流程管理。包括任务管理(故障列队)、版本管理、权限管理、操作管理(记录运维方具体的操作事项)、消息管理以及人员管理功能。通过流程管理, 能够归纳日常运维工作的重点和难点, 发现运维工作的特点和规律, 并及时发布共性问题和解决方案, 实现全系统信息共享, 提高运维整体工作效率和水平。

2) 信息管理。除了运维相关的各类文档之外, 各级调控系统在线运行设备的属性也应纳入集中运维管理的范畴, 包括设备数量、设备型号、设备供应商、使用年限、运行情况、维护次数、故障次数

等内容, 统计各种类型设备的运行情况, 为设备招标和采购提供统计数据。

3) 预案管理。为提高处理系统突发事件的应对能力, 集中运维建立健全的故障应急响应机制, 保障系统迅速恢复正常功能。预案范围包括应用软件、服务器硬件、网络设备、机房环境等方面, 涉及数据备份、主备切换、进程重启、设备断电、设备或功能无响应、人员不足、系统崩溃、网络故障、病毒监控、机房防水防火等问题。

3.4 集中运维安全防护策略

随着运维中心 IT 基础设施规模的不断扩大, 运维手段的多样性而产生的统一安全防护管理需求日益显现。因运维人员众多、角色复杂、账号共享和运维过程不透明而导致的运维风险也不可忽视。集中运维中心本地采用以下安全防护策略。

1) 文件加密保护。文本文件是以二进制数的形式以字节为单位存放在磁盘上, 重要的文本文件把它们一律视为数据文件来进行加密解密操作; 可执行文件由于加密后不能运行, 所以集中运维中心配置了源码服务器用于存放所有源程序, 并进行版本管控, 只能通过专员授权后方可在各服务节点更改和统一发布。

2) 操作限制。是对用户将要进行的一系列操作通过某种手段进行确认, 即弄清楚他是谁, 他有什么特征, 他拥有什么权限。集中运维中心的限制技术有口令和存取控制。

3) 进程监控。集中运维中心开发了应用软件的关键进程监视程序, 实时监测关键进程是否在线, 进程掉线后及时发出告警, 包括软件的用户登录在线人数、登录端的 IP 地址、登录时间等信息, 并把信息详细的记录到监控日志中。

4) 操作录屏。运维人员执行任务时所做的一切操作, 均通过屏幕录像完整的保存下来。具有授权的运维人员, 就可以通过观看操作录像, 完整详细地观看到操作人员在电脑上的操作、键盘命令以掌握操作人员的所有操作步骤。当操作人员有违规或越权访问服务器资源, 或其他不合法行为时, 运维人员可以准确追溯到事件的责任人、事件发生的时间、事件发生的设备, 以备进行其他后续处罚等。

5) 漏洞修复。在日常的操作使用中, 通过综合告警程序记录软件的漏洞, 定期反馈给开发人员, 修复漏洞升级系统, 减小软件在使用中的安全风险。

6) 远程登录安全防护。通过在双方的代理网关上配置远程登录用户和密码口令, 只有经过调控中心授权的应用才能开放远程登录专属通道, 并在指定的目录下进行操作。

4 集中运维关键技术

4.1 软件风险评估

软件安全风险评估的目的是评价软件是否达到系统规范所要求的安全性。IEEE 标准认为软件安全性是指避免软件达到危险状态的能力^[23]。智能电网调度控制系统“横向集成、纵向贯通”的体系架构为集中运维模式下的系统级风险评估提供了实现基础。目前,国内电力系统大型复杂计算机监控软件在这方面的研究经验非常少,需要开展的技术研究工作非常艰巨。集中运维为软件运行状态的过程分析提供了大样本数据基础,集中运维中心通过全景采样将蒙特卡洛方法与时间序列法相结合,对系统各种软件、各类设备的故障率进行预测,从而得到各类软件运行状态的统计学结果,并提取系统运行状态的关键监测指标并进行明确的定义,有助于对软件故障进行预警预控,从而使用软件运维从被动向主动转变。基于集中运维模式下的软件风险评估技术研究的破冰,将为提升运维能力、优化资源配置和保障系统安全稳定经济运行带来前所未有的好处。

4.2 故障诊断

故障诊断研究的方法早期主要有基于解析的方法,随着信息技术、通信技术和人工智能技术的发展,国内外学者提出了许多故障诊断的技术和方法,主要有专家系统、人工神经网络、遗传算法、Petri 网、贝叶斯网络、模糊集理论等。故障诊断技术大量应用于电力系统状态监测中,如文献[24]引入了状态监测和故障诊断的概念,并将之运用到风力发电系统当中;目前集中运维探索了基于故障树的多源告警联合故障诊断方法。首先建立调控系统故障树诊断模型;其次通过信息融合技术对系统各类故障告警信息分析与合成,产生比单一告警源更精确和完整的告警;最后依据建立的多级别故障预案进行故障处理。提升系统运维的决策和处理能力,实现了系统远程在线故障诊断与快速响应,推进了系统多源告警协同感知与处理技术的研究。

4.3 数据挖掘

数据挖掘是近年来国际上较为活跃的研究领域,是人工智能与数据库技术相结合的产物,应用一些专门的算法从数据中抽取有效的模式,能从大量数据中发现潜在规律,以提取有用知识。数据挖掘的出发点是代替专家从大量的数据中挖掘出隐含于其中的知识,它使数据存储技术进入了一个更高级的阶段。数据挖掘所能发现的知识可以划分为如下几种知识模型:分类模型(Classify Model)、回归

模型(Regression Model)、时间序列模型(Time Series Model)、聚类模型(Clustering Model)、关联模型(Association Model)、序列模型(Sequence Model)等多种模式,所有以上的知识都可在不同的概念层次上被发现,随着概念树的提升,从微观到宏观,以满足不同用户、不同层次决策的需要^[25]。

面对电力系统中迅速膨胀的数据信息量,根据电力系统安全性、经济性的要求,有关研究人员已开始研究将数据挖掘技术引入电力系统数据库中的数据分析,并取得了一些成功的经验。

目前初步将数据挖掘技术引用到集中运维范畴,探索了国、分、省调多级系统的故障综合分析方法,对系统运行状态潜在规律和知识进行深度挖掘。采用聚类分析挖掘了系统各类运行数据的数值分布和聚类中心,形成了系统运行状态的风险定级区间;采用时间序列分析对运行数据在时间维度上进行趋势预测,推进了系统风险预警技术的研发;采用 Apriori 算法定义了关联分析规则,挖掘进程和应用之间的关联程度,作为故障树模型故障分支的权重系数,完善了故障诊断技术的判据。数据挖掘技术的探索与研究取得了一定进展,能够为系统故障诊断、趋势评估、软件消缺和硬件升级提供辅助决策。

5 总结

本文探索性地提出一整套多级调控系统集中运维模式及技术实施方案。已在中国电科院智能电网调度控制系统集中运维中心初步实施,搭建了功能完整的集中运维系统,开通了省级以上调控系统的远程浏览功能,统一接入了系统运行状态的实时监测数据,开展了远程巡检、状态监测、故障诊断、数据统计、信息管理、版本管控、标准化流程和集中运维的关键技术研究等相关工作。集中运维中心当前还处于科学论证、技术研发和实验验证的阶段,初步为省级以上智能电网调度控制系统提供基础平台及关键应用综合故障的解决方案和授权应用的远程技术支撑。从总体上实现了国、分、省多级调控系统运行状态的实时监测从局部到整体、故障诊断从被动到主动、事故处置从分散到协同、信息交互从单向到多向,保障全系统运维工作的规范、协同、高效和安全;缓解了各级调控中心自动化运维结构性缺员的问题,提高了故障处置的效率,节省了人力资源成本,实现了操作流程标准化和综合告警技术的提升,降低了技术人员误操作对系统带来的安全隐患。基于集中运维模式下系统运行工况的统一采集,利用数据挖掘技术发现和分析系统运行状态

的异常、综合性故障、连锁性故障和共性问题,提升自动化运维整体技术支持能力,为提高调控系统安全稳定性对大电网运行的支撑能力保驾护航。目前大数据分析技术、复合故障的快速诊断技术、智能分析辅助决策技术以及多媒体联合告警技术和APP的应用开发将是下一阶段的研究方向。

参考文献

- [1] 辛耀中, 石俊杰, 周京阳, 等. 智能电网调度控制系统现状与技术展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 2-8.
XIN Yaozhong, SHI Junjie, ZHOU Jingyang, et al. Technology development trends of smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 2-8.
- [2] 张华峰. 大集中下电力信息化新运维体系探讨[J]. 电力信息化, 2009, 8(7): 29-31.
ZHANG Huafeng. Discussion on new operation and maintenance system of electric power information in large concentration[J]. Electric Power Information Technology, 2009, 8(7): 29-31.
- [3] 杜鹏, 陶洪铸, 高保成, 等. 面向多应用的通用数据采集技术方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 26-30.
DU Peng, TAO Hongzhu, GAO Baocheng, et al. A universal multi-application oriented data acquisition technical solution[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 26-30.
- [4] 高昆仑, 辛耀中, 李钊, 等. 智能电网调度控制系统安全防护技术及发展[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 48-52.
GAO Kunlun, XIN Yaozhong, LI Zhao, et al. Development and process of cybersecurity protection architecture for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 48-52.
- [5] 林静怀, 米为民, 李泽科, 等. 智能电网调度控制系统的远方操作安全防误技术[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 60-64, 240.
LIN Jinghuai, MI Weimin, LI Zeke, et al. Safety anti-misoperation technology of remote operation of smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 60-64, 240.
- [6] 闪鑫, 戴则梅, 张哲, 等. 智能电网调度控制系统综合智能告警研究及应用[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 65-72.
SHAN Xin, DAI Zemei, ZHANG Zhe, et al. Research on integrated intelligent alarm of smart grid dispatching and control systems and its application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 65-72.
- [7] 周国亮, 朱永利, 王桂兰, 等. 实时大数据处理技术在状态监测领域中的应用[J]. 电工技术学报, 2014, 29(增刊 1): 432-437.
ZHOU Guoliang, ZHU Yongli, WANG Guilan, et al. Real-time big data processing technology application in the field of state monitoring[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(S1): 432-437.
- [8] 张东霞, 苗新, 刘丽平, 等. 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(1): 2-12.
ZHANG Dongxia, MIAO Xin, LIU Liping, et al. Research on development strategy for smart grid big data[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(1): 2-12.
- [9] 戴波, 丰佳. 信息系统全业务集中运维的实践[J]. 电力信息化, 2012, 10(1): 14-17.
DAI Bo, FENG Jia. Practice on centralized all-business operation and maintenance of information system[J]. Electric Power Information Technology, 2012, 10(1): 14-17.
- [10] 周国亮, 宋亚奇, 王桂兰, 等. 状态监测大数据存储及聚类划分研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(增刊 2): 337-344.
ZHOU Guoliang, SONG Yaqi, WANG Guilan, et al. Research of condition monitoring big data storage and clustering[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(S2): 337-344.
- [11] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40.
QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 35-40.
- [12] 张永刚, 庄卫金, 孙名扬, 等. 大运行模式下面向监控的分布式智能告警架构设计[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(26): 148-153.
ZHANG Yonggang, ZHUANG Weijin, SUN Mingyang, et al. Architectural design of distributed intelligent alarm application for equipment monitoring in the "large operation" mode of State Grid[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(26): 148-153.
- [13] 沈凤杰, 才洪全, 徐洪涛, 等. 省地两级电网紧急控制装置协同监控系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 126-132.
SHEN Fengjie, CAI Hongquan, XU Hongtao, et al. Design of collaborative monitoring and control system for emergency control device used for province-district two-level power grid[J]. Power System Protection and

- Control, 2017, 45(6): 126-132.
- [14] 孙启明, 石立宝, 司大军, 等. 基于连锁故障事故链搜索的输电网风险评估研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(19): 27-34.
SUN Qiming, SHI Libao, SI Dajun, et al. Study on the risk assessment for transmission network based on failure chain search[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(19): 27-34.
- [15] 冷华, 童莹, 李欣然, 等. 配电网运行状态综合评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 53-59.
LENG Hua, TONG Ying, LI Xinran, et al. Comprehensive evaluation method research of the operation state in distributed network[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(1): 53-59.
- [16] 丁轶. 智能电网调度技术支持系统集中运维关键技术[J]. 科技与企业, 2015(3): 96-98.
DING Yi. Key technology of centralized operation and maintenance for intelligent grid dispatching technology support system[J]. Science Technology & Enterprise, 2015(3): 96-98.
- [17] 黄小奇. 面向业务应用的IT集中运维分析系统研究与开发[J]. 机电信息, 2011(33): 183-185.
HUANG Xiaoqi. Research and development of IT centralized operation and maintenance analysis system for business application[J]. Mechanical and Electrical Information, 2011(33): 183-185.
- [18] 张超树. 汕尾电网变电站的告警信息通知系统[J]. 电网技术, 2004, 28(12): 73-76.
ZHANG Chaoshu. Alarm information notifying system for substations in Shanwei power network[J]. Power System Technology, 2004, 28(12): 73-76.
- [19] 沈国辉, 刘梦, 高保成, 等. 智能电网调度技术支持系统集中运维关键技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2013, 11(11): 1-5.
SHEN Guohui, LIU Meng, GAO Baocheng, et al. Research of key technologies of centralized operation and maintenance for power grid dispatching technical support system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2013, 11(11): 1-5.
- [20] 叶飞, 刘金波, 于宏文, 等. 智能电网调度技术支持系统值班告警的研发与应用[J]. 电网技术, 2014, 38(8): 2286-2290.
YE Fei, LIU Jinbo, YU Hongwen, et al. Development of watch alarm in technical support system for smart grid dispatching and its application[J]. Power System Technology, 2014, 38(8): 2286-2290.
- [21] DUBI A. 蒙特卡洛方法在系统工程中的应用[M]. 卫军胡, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [22] 周明, 任建文, 李庚银, 等. 基于模糊推理的分布式电力系统故障诊断专家系统[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(24): 33-36.
ZHOU Ming, REN Jianwen, LI Gengyin, et al. Distributed power system fault diagnosis expert system based on fuzzy inference[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(24): 33-36.
- [23] IEEE Standards Board. IEEE standard for software safety plans: IEEE Std, 1228—1994[S].
- [24] 杭俊, 张建忠, 程明, 等. 风力发电系统状态监测和故障诊断技术综述(英文)[J]. 电工技术学报, 2013, 28(4): 261-271.
HANG Jun, ZHANG Jianzhong, CHENG Ming, et al. An overview of condition monitoring and fault diagnostic for wind energy conversion system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(4): 261-271.
- [25] MCCALLEY J D, VITTAL V, ABI-SAMRA N. An overview of risk based security assessment[C] // Power Engineering Society Summer Meeting, July 18-22, 1999, Edmonton, Canada: 173-178.

收稿日期: 2017-07-24; 修回日期: 2017-10-26

作者简介:

邢颖(1979—), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化、智能电网调度自动化网络分析方面的研究; E-mail: xingying@epri.sgcc.com.cn

郎燕生(1972—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化、智能电网调度自动化网络分析方面的研究。E-mail: langys@epri.sgcc.com.cn

(编辑 葛艳娜)