

DOI: 10.7667/PSPC170162

基于大数据平台的电网运行指标统一管控方案

林静怀

(国网福建省电力有限公司, 福建 福州 350003)

摘要: 针对传统电网运行指标管控的不足, 提出了一种基于大数据平台的电网运行指标统一管控方案。该方案提出了电网运行和管理指标的统一管控体系, 利用大数据平台所提供的海量电网运行与调度管理数据以及高效的数据处理能力与挖掘分析能力, 实现了多级调控中心多业务数据的融合与共享。通过指标体系定义工具实现了指标计算公式自定义功能, 通过指标计算引擎和任务调度技术实现了指标自动计算功能。该方案已经在电力调控中心试点应用。实践表明, 该方案能够解决传统指标管控存在的不足, 全面提升电网运行和管理精细化水平。

关键词: 调控大数据; 指标管控; 指标定义; 指标计算引擎; 任务调度

A unified scheme of grid operation index control based on big data platform

LIN Jinghuai

(Fujian Electric Power Company Limited, Fuzhou 350003, China)

Abstract: A unified scheme of index control based on big data platform is proposed due to the inadequacy of the traditional index control of grid operation and management. In the scheme, a unified index control system of grid operation and management is proposed. Using the massive data of power grid operation and dispatch management and the high-efficient capacity of data analyzing and processing supplied by big data platform, the data fusion and sharing of multi-stage control center and multi-specialty is implemented. Using index system definition tool, the user-defined function of index calculation formula is implemented. Using index calculation engine and task scheduling technology, the function of index automatic calculation is realized. The scheme has been applied as a pilot in the control center. Practice shows that it can solve the inadequacy of the traditional index control and totally improve the grid fine operation and management level.

Key words: big data of dispatching and control; index control; index definition; index calculation engine; task scheduling

0 引言

电网调度与控制是电网运行过程中的重要环节, 是保证电网安全、稳定、经济运行的有效手段。随着特高压大电网的快速形成和发展, 电网特性日益复杂, 电网协同调度与控制的难度越来越大。同时“大运行”体系建设使得省地调控业务高度耦合, 调控运行统一决策、分级控制、实时协同等业务模式的变化, 客观上要求建立一整套科学的评价体系^[1], 一方面, 需要对电网运行的安全性、稳定性、经济性进行综合评价, 为优化电网调度运行控制提供决策依据, 另一方面, 需要对各级调度机构、各专业技术与管理干部的调度运行管理工作进行综合评价与考核管理^[1-4], 为提升精益化管理水平提供支撑^[5]。

传统的电网运行状态与调度运行管理工作评价通常采用基于关键绩效指标(Key Performance

Indicator, KPI)的评价与管控方法^[5-15]。主要是就电网运行以及调度管理工作中的某个或某几个方面提出若干 KPI 指标, 通过对相关指标统计计算进行评价与考核管理^[5-6,9-20]。当前通常的做法是根据特定指标统计的要求, 开发相关的指标统计与考核管理功能模块, 进行指标统计计算。随着电网运行与管理业务的不断发展, 这种传统的指标管控方法逐渐暴露出以下不足: (1) 固定的指标统计算法程序难以满足考核指标不断变化的需求。由于电网愈来愈复杂, 调度运行管理工作精益化要求越来越高, 评价指标体系也需要不断地发展变化。原来固定的指标统计程序难以满足要求, 新的指标统计程序开发周期长, 无法满足考核评价要求。(2) 缺乏必要的基础数据与分析手段, 部分指标靠人工统计与填报, 指标的真实性、准确性难以保证。(3) 电网调度控制运行信息的集成化程度不够, 数据处理与分析能力不

足, 综合指标难以统计。一方面, 大量的基础信息分别存储在省、地调的调度控制系统、调度管理信息系统以及其他专业应用系统中, 指标统计时难以获取完整的基础数据。另一方面, 数据处理与分析能力不足, 无法通过对海量数据分析统计相关指标, 只能通过对局部数据进行统计并分析评价。

文献[1]构造了一套地区电网电压无功运行状态评估指标体系, 同时提出了一套评价方法, 强调的是电压无功运行状态评估指标本身的构建及实现; 文献[2-7, 9-15]分别从电力系统各专业的角度提出了自己的指标评价方法; 文献[8]重点论述了基于 Hadoop 的大数据解决方案。

本文针对电网调度运行指标管控的需求和传统方案存在的问题, 基于大数据平台技术, 从指标统一管控的角度提出了一种基于调控大数据的电网运行指标统一管控方案, 包括指标定义工具、指标计算引擎及任务调度监控等主要功能的实现方式。该方案能够解决传统的指标管控存在的不足, 为电网运行和管理建立全方位的评价体系, 实现指标体系自定义和自动计算, 为提升电网精益化管理水平提供支撑。

1 总体方案

基于电力调控大数据平台丰富的基础数据和高效的数据处理与分析能力, 建立电网运行指标统一管控平台, 通过指标体系自主定制、自动计算、动态扩展的方式解决传统的指标管控应用无法满足指标管控需求不断发展变化要求的问题, 统一满足电力调控中心各级调度机构、各业务部门的指标管控需求^[19-20]。

调控大数据平台融合了来自省、地、县电力调度机构的各种业务应用系统, 可涵盖设备全生命周期, 电力调控全部业务的电网基础信息、运行状态、调度计划、调度管理与运行记录、设备检修等各种数据, 且各种数据之间进行了有效集成, 可为指标管控提供充足的基础数据。并且, 大数据平台基于并行计算框架与数据挖掘算法库, 提供了高效的数据处理能力和分析能力, 为指标管控提供了重要的数据处理能力支撑。基于调控大数据平台实现指标管控可以解决以下问题: 电网调度控制运行信息的集成化程度不够, 缺乏详细基础数据与数据处理能力, 综合指标难以自动统计, 人工统计与报送的指标真实性、准确性难以保证等。

基于 Web 技术实现可视化的指标定义工具, 结合灵活的权限管理, 多级调控中心各专业、各层次的人员可以根据需要利用指标定义工具自定义所

需要的指标以及计算公式。通过指标计算引擎结合基于工作流的任务调度, 根据指标定义信息自动进行指标统计计算。指标定义工具和指标计算引擎与基于商务智能(Business Intelligence, BI)平台的可视化分析展示页面自主定制功能相结合, 可以达到在统一平台上管控指标自助定制、自动计算、各不干涉的目标, 可以解决传统的固定的指标统计算法程序难以满足考核指标不断快速变化需求的问题。

系统采用层次化体系架构, 电力调控大数据平台层提供海量电网运行数据和高效的数据处理能力。指标管控应用包括定义层、计算层、调度层和展示层模块。定义层实现指标体系定义、计算公式管理等功能。计算层包括计算引擎解析与计算处理等功能。调度层实现计算任务调度执行与监控功能。展示层包括可视化展示定制工具、指标查询展示等功能。系统的总体技术结构如图 1 所示。

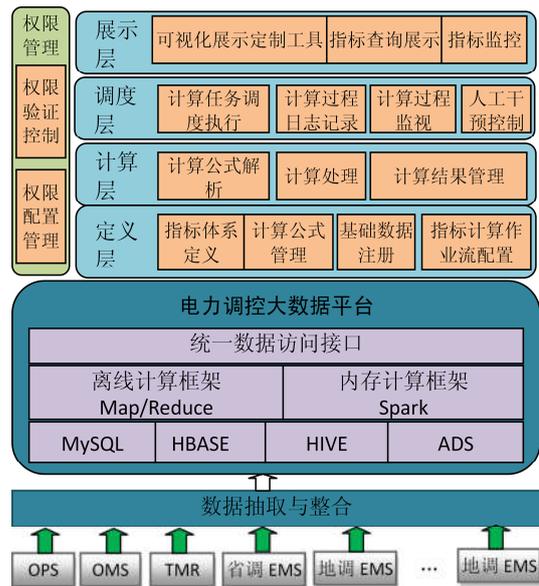


图 1 总体技术架构

Fig. 1 Overall technical architecture

2 关键技术

2.1 电力调控大数据平台

电力调控大数据平台以云计算和大数据处理与分析技术为基础构建而成^[4], 纵向贯通各级电力调控机构, 横向融合各专业, 实现覆盖电力调控全业务的电力调控大数据有机融合、统一存储管理、高效访问, 实现电力调控数据的规范化管理与共享、充分挖掘与综合应用。采用云计算技术构建系统基础平台, 实现资源的高效共享、动态扩展、弹性管理、故障快速迁移以及自动化运维, 大数据平台的分布式存储、并行计算框架以及数据挖掘技术, 实

现电力调控大数据的分布式存储、高效处理和挖掘分析^[3]。

调控大数据平台从调度运行管理系统(OMS)、调度计划系统(OPS)、电量采集系统(TMR)、省调度控制系统(EMS)以及各地调度控制系统(EMS)抽取电网模型、设备参数、实时、历史运行数据,设备停电检修、故障、缺陷、调度日志、调度计划、电量计量等各种电力调控数据,深入挖掘各类电网信息之间的内在关系,梳理调度中心各专业、各层次人员的数据分析需求,建立统一的调控大数据分析模型,在此基础上对数据进行组织与整合,建立涵盖电力调控全业务的电力调控大数据中心。大数据平台基于 Hive 分布式数据库提供统一电网模型库和离线分析数据仓库。基于离线并行计算(Map/Reduce)、内存计算框架(Spark)实现电力调控大数据的统一访问接口^[3]。电力调控大数据平台基于 Spark MLlib 提供成熟的数据挖掘算法包,基于 BI 平台提供可定制的数据展示分析工具,调控中心可根据分析需要,在电力调控大数据平台的基础上扩展开发各种综合分析应用。

调控大数据平台融合了省、地、县各级调度机构各种业务应用的海量数据,可以为指标管控提供重要的数据基础,解决了以往传统的专用指标统计功能缺乏足够数据的问题,为指标数据统计处理提供强大的数据处理与分析能力支撑。

2.2 图形化指标定义工具

指标定义工具以图形化的方式实现指标体系模型的建立、修改与删除功能,所建立的指标体系模型可由指标计算引擎和指标展示模块访问。

指标定义工具采用 B/S 技术架构,以 Web 页面的形式向指标体系维护人员提供操作界面。根据指标管控的需要,省、地、县各级电力调度机构的各专业、各层次管理人员利用指标定义工具自主定制指标体系。主要功能包括:

(1) 指标定义。指标体系按照主题域、主题集、主题与指标的层次组织。其中主题域和主题集主要作为分析主题的分类与子类。主题是一系列相关指标的集合。主题定义主要描述分析主题的用途、分析维度以及指标统计结果存储表名。指标定义信息主要包括:指标名称、指标含义、所属主题、计量单位、统计周期、分解维度、计算结果的数据类型、计算方法说明等信息。

通过绘制指标体系图的形式定义指标的计算公式定义,操作者通过在指标体系图中拖拽鼠标的方式定义指标计算公式、计算参数以及指标统计结果输出。

(2) 指标计算作业流配置。基于 workflow 技术进行指标计算作业流配置,可以按照指标之间的依赖关系定义指标计算流程。指标定义如图 2 所示。

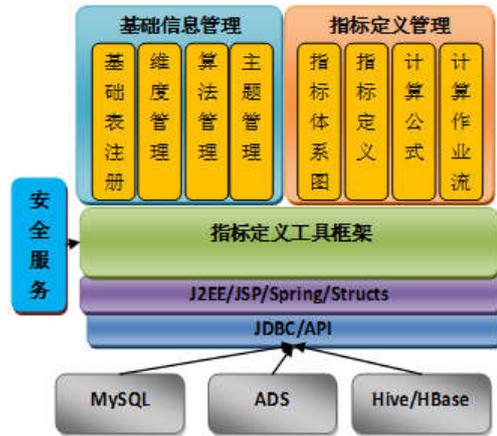


图 2 指标定义工具功能结构图

Fig. 2 Function diagram of index tool

2.3 指标计算引擎

指标计算引擎从指标定义数据库中获得指标定义信息,根据配置的作业流进行指标计算:根据计算参数的数据源信息获取计算参数所引用的数据,解析计算公式并根据计算公式进行计算,将计算结果写入数据库。通过指标计算引擎可实现根据指标定义自动进行自动动态指标计算。指标计算引擎功能如图 3 所示。

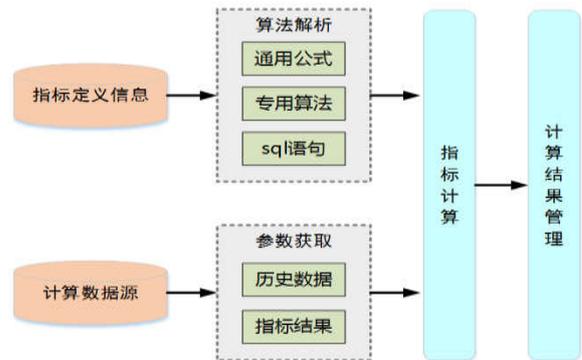


图 3 指标计算引擎功能图

Fig. 3 Index calculating engine diagram

指标计算引擎基于 spark 分布式并行计算实现,以保证足够的计算性能。指标体系定义工具与计算引擎相结合可以实现指标体系自主定制、动态扩展的目标。

2.4 任务调度监控

任务调度模块根据指标计算任务所配置的定时启动时间或接收的计算命令,启动指标计算引擎,执行相应的指标计算作业流。

任务监控模块可以监视每一个指标计算作业流的执行情况，包括是否执行完成以及执行进度、执行过程中是否有错误等情况。对于执行异常的计算任务，在查找并解决了执行失败问题后，可以手动重新启动计算任务，或者对计算出错的历史指标(历史数据丢失后重新补数)重新进行计算。

通过灵活的任务调度监控，可以实现指标计算过程的可观测、可控制。

2.5 可定制的指标可视化展示

系统基于 BI 展示平台所提供的可视化展示界面定制工具，实现可定制的指标可视化展示功能。用户可根据自己所定义的指标特点以及展示需要，利用定制工具定制所需要的指标数据展示页面，包括所展示的指标以及展示图表类别、样式与风格等信息。指标展示平台根据所定制的信息获取指标数据并生成展示页面。图 4 是电网规模指标展示效果图，为了分析整个电网的建设规模情况，定义了电网规模统计主题集，电网规模统计主题集下定义了变电规模统计、发电规模统计、输电规模统计、设备装备水平四个主题。变电规模统计主题下定义了变电站座数、变压器台数、变电容量等指标。统计维度包括区域维度和时间维度，地区维度分地区和总体两个层次，时间维度分为年、月两个层次。指标计算结果通过可自由定制的可视化展示工具进行展示。



图 4 电网规模指标展示

Fig. 4 Power grid scale index display diagram

在图 4 中，利用仪表盘展示全省变电站座数和变电台数，采用饼图展示各地区的变电站座数和变电台数，可比较直观地反映各地区的占比。采用棒图分别展示每个地区的 1000 kV、500 kV、220 kV、110 kV、35 kV 变电站座数，可直观地对比分析地区各电压等级变电站数量。

2.6 权限管理

为了满足在同一平台上统一实现省、地、县各级调度机构各专业各层次的指标管控需求的目标，除上述功能外，还需要具备完善的权限管理功能相配合。权限管理主要包括三个方面：

(1) 基础数据的访问权限管理。通过控制每个人员对基础数据的访问权限，实现从指标计算可引用的数据源头进行管控。

(2) 指标定义信息的访问权限管理。可以控制指标定义信息的公开范围，只有具备权限的人员才能够查看、引用相应的指标定义信息。

(3) 指标数据的查询与展示权限管理。指标定义人员可以控制所定义指标的计算结果数据的查询与展示页面及数据的公开范围。

三个方面相结合，可以实现不同单位、不同部门的人员在同一平台上各自定义自己的指标体系而互不影响的目的。

基于调控大数据平台丰富的基础数据和强大的数据处理与分析能力，通过可视化的指标体系定义工具与指标计算引擎，结合完善的权限管理，可以在统一的平台上满足省、地、县各级调度机构各专业、各层次的不同指标管控需求。

3 应用实例

福建省电力有限公司省调控大数据项目自 2015 年初开始研发，于 2015 年 8 月中旬建设完成。福建电力大数据平台实现了一省九地的能量管理系统(EMS)以及省地一体化调度运行管理系统(OMS)、调度计划系统(OPS)等系统数据的融合与高效访问。按照本方案实现的基于调控大数据的指标统一管控是调控大数据平台上的一个重要应用。该系统于 2016 年 5 月投入使用，作为电网运行指标统一管控平台对福建电力省、地调的电网运行指标管控工作发挥了重要作用。省调、地调各专业、各层次的人员可以根据自己的指标管控需求，利用本系统进行指标定义、指标计算、指标数据发布与展示。根据调控大数据平台采集的电网基础数据，专业垂直化管控的实际需求以及不同层次人员对电网运行的关注程度，从电网运行的核心出发，运用在线化、数据化、智能化、闭环化的手段，提取电网指标。

系统部署在福建省电力调控中心安全Ⅲ区，由 53 台 PC 服务器和 4 台网络交换机构成。其中，10 台 PC 服务器组成虚拟化集群，向系统的各种应用提供虚拟主机。由 13 台 PC 服务器构成大数据集群，提供调控大数据分布式存储和高效的数据处理引擎，由 18 台 PC 服务器和在线分析数据库构成在

线分析数据库集群。另外,由4台PC服务器构成关系数据库集群,提供系统配置、元数据库、指标定义等关系数据存储服务,由2台PC服务器构成ETL集群,负责全省EMS数据和OMS系统数据的抽取、转换与加载处理。指标定义工具和指标计算过程监视、指标数据展示以Web应用形式提供,部署在Web服务器上。指标计算引擎与任务调度服务部署在虚拟化集群所提供的虚拟服务器上,以分布式服务架构实现。任务调度节点根据指标计算任务的负载情况向云平台动态申请并启动虚拟主机作为指标计算节点,指标计算引擎运行在指标计算节点上。指标计算引擎通过调用引擎进行数据计算处理。指标计算结果由指标数据可视化应用进行展示。系统部署结构如图5所示。

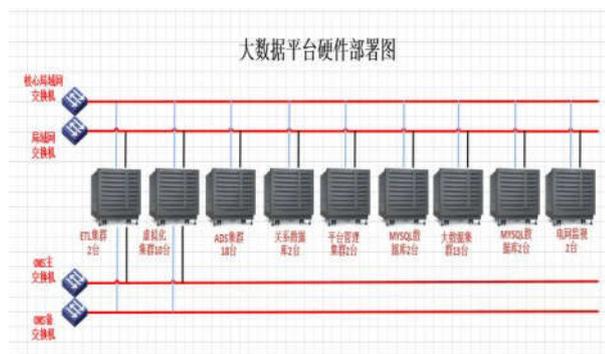


图5 系统部署图

Fig. 5 System deployment diagram

建设方法。首先需要确定对电网运行状态产生影响特征属性,提炼包含主题域、主题集、主题、指标四个层级的指标体系及其计算方法,并根据对电网运行健康状态的影响程度确定各个指标的权重;其次,针对每个指标的劣化程度制定相应的评分标准;最后根据每个指标的评分和权重,统计电网运行状态的总体评分,进而得出电网健康状况在线评价。福建省调根据调控中心各专业重点内容编制专业管理指标体系,涵盖4个主题域、14个主题集、39个主题、406个指标,并在云支撑平台实现各级调控机构调控指标在线自动抓取。通过对指标的分析,查找指标异常原因,并制定解决措施。原来新增指标统计需求时,需要相关厂商技术人员花费几周甚至几个月时间开发专用指标统计程序才能统计出来,通过本系统,省调和地调人员都能够利用指标定义工具自主定制指标与计算公式并进行指标自动计算,基本上1小时内甚至几分钟就可以完成指标定义、计算与展示配置,显著缩短了开发周

期,解决了固定的指标统计程序无法满足指标统计需求不断快速变化的问题,减轻了各级调度机构专业管理工作量,为提升福建省电力调控管理水平提供了有力支撑。

4 结语

基于调控大数据平台,研究指标定义工具、指标计算引擎、任务调度监督、权限管理等主要功能,研发了基于调控大数据的电网运行指标统一管控系统,并进行了试点应用。实践表明,该系统解决了传统指标管控存在的不足,建立了电网运行与管理全方位的指标管控体系,实现了指标体系自定义和自动计算,提升了电网精益化管理水平。

参考文献

- [1] 林捷,王云柳,黄辉,等.自动电压控制下的地区电网电压无功运行状态评估指标体系[J].电力系统保护与控制,2016,44(13):123-129.
LIN Jie, WANG Yunliu, HUANG Hui, et al. An index system for voltage and reactive power operation status evaluation in regional power grid under automatic voltage control[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(13): 123-129.
- [2] 黄飞,宋璇坤,周晖,等.基于效果与基础互动的电网智能化水平综合评价指标体系研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(11):142-148.
HUANG Fei, SONG Xuankun, ZHOU Hui, et al. Research on comprehensive evaluation index system of grid's intelligence level based on interaction between effect and basis[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(11): 142-148.
- [3] 尹凯,笃峻,葛立青.关键绩效指标在变电站设备在线监测中的应用[J].电力系统保护与控制,2015,43(4):63-68.
YIN Kai, DU Jun, GE Liqing. Application of KPI in online monitoring system for electrical equipment in substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 63-68.
- [4] 董雷,张昭,蒲天骄,等.基于PMU量测信息的电压稳定在线评估指标[J].电力系统保护与控制,2015,43(11):1-6.
DONG Lei, ZHANG Zhao, PU Tianjiao, et al. An online voltage stability index based on measuring information of phasor measurement unit[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 1-6.
- [5] 吕朋蓬,赵晋泉,李端超,等.电网运行状态评价指标体系与综合评价方法[J].电网技术,2015,39(8):2245-2252.
LÜ Pengpeng, ZHAO Jinquan, LI Duanchao, et al. An

- assessment index system for power grid operation status and corresponding synthetic assessment method[J]. Power System Technology, 2015, 39(8): 2245-2252.
- [6] 林海雪. 电能质量指标的完善化及其展望[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 5073-5079.
LIN Haixue. Perfecting power quality indices and prospect[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(29): 5073-5079.
- [7] 孙彦龙, 康重庆, 陈宋宋, 等. 低碳电网评价指标体系与方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(17): 157-162.
SUN Yanlong, KANG Chongqing, CHEN Songsong, et al. Low-carbon power grid index system and evaluation method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(17): 157-162.
- [8] 陈吉荣, 乐嘉锦. 基于 Hadoop 生态系统的大数据解决方案综述[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(10): 25-35.
CHEN Jirong, LE Jiajin. Reviewing the big data solution based on Hadoop ecosystem[J]. Computer Engineering & Science, 2013, 35(10): 25-35.
- [9] 文云峰, 崔建磊, 张金江, 等. 面向调度运行的电网安全风险管 理控制系统(一)概念及架构与功能设计[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(9): 66-73.
WEN Yunfeng, CUI Jianlei, ZHANG Jinjiang, et al. Design of a security risk management system for power system dispatching and operation part one concepts and design of architecture and function[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(9): 66-73.
- [10] 王晓晶, 陈星莺, 陈楷, 等. 智能配电网清洁性评估指标研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(31): 43-50.
WANG Xiaojing, CHEN Xingying, CHEN Kai, et al. Research on cleaning evaluation indices of smart distribution grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(31): 43-50.
- [11] 高新华, 严正. 基于主成分聚类分析的智能电网建设综合评价[J]. 电网技术, 2013, 37(8): 2238-2243.
GAO Xinhua, YAN Zheng. Comprehensive assessment of smart grid construction based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Power System Technology, 2013, 37(8): 2238-2243.
- [12] 张健, 蒲天骄, 王伟, 等. 智能电网示范工程综合评价指标体系[J]. 电网技术, 2011, 35(6): 5-9.
ZHANG Jian, PU Tianjiao, WANG Wei, et al. A comprehensive assessment index system for smart grid demonstration projects[J]. Power System Technology, 2011, 35(6): 5-9.
- [13] 王彬, 何光宇, 梅生伟, 等. 智能电网评估指标体系的构建方法 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 1-5.
WANG Bin, HE Guangyu, MEI Shengwei, et al. Construction method of smart grid's assessment index system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 1-5.
- [14] 万卫, 王淳, 程虹, 等. 电网评价指标体系的初步框架 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(24): 14-16.
WAN Wei, WANG Chun, CHENG Hong, et al. Preliminary frame of index system for evaluating power network[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(24): 14-16.
- [15] 王智冬, 李晖, 李隽, 等. 智能电网的评估指标体系[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 14-18.
WANG Zhidong, LI Hui, LI Jun, et al. Assessment index system for smart grids[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 14-18.
- [16] 杨江. 电网发展协调性评价指标体系研究[J]. 陕西电力, 2016, 44 (8): 55-59
Yang Jiang. Study on development coordination evaluation indicators system of power grid[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44 (8): 55-59
- [17] 刘兆元, 王萍, 管志成. 分布式电源大量接入后配电网可靠性综合评估体系[J]. 陕西电力, 2016, 44(10): 15-19.
Liu Zhaoyuan, Wang Ping, Guan Zhicheng. Integrated reliability evaluation system of distribution network after connecting to DG[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(10): 15-19.
- [18] 田洪迅, 齐立忠, 曹利强, 等. 基于 SEC 指标的电力企业无监督同业对标研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(10): 50-55.
Tian Hongxun, Qi lizhong, Cao liqiang, et al. SEC index based unsupervised benchmarking technology for grid enterprises[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(10): 50-55.
- [19] 张程铭, 程浩忠, 柳璐, 等. 高比例可再生能源接入的输电网结构适应性指标及评估方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(21): 55-61.
ZHANG Chengming, CHENG Haozhong, LIU Lu, et al. Adaptability index and evaluation method for power transmission network structure with integration of high-penetration renewable energy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(21): 55-61.
- [20] 徐泰山, 鲍颜红, 苏寅生, 等. 暂态稳定断面功率极限区间和关联度指标计算[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(20): 154-160.
XU Taishan, BAO Yanhong, SU Yinsheng, et al. Calculation of power limit interval and correlation degree for transient stability section[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(20): 154-160.

收稿日期: 2017-02-10; 修回日期: 2017-05-16

作者简介:

林静怀(1971—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力调度自动化研发、运维和电力调度、监控运行管理工作。
E-mail: linjinghui@163.com

(编辑 张爱琴)