

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191200

## 面向智能调控领域的知识图谱构建与应用

余建明<sup>1,2</sup>, 王小海<sup>3</sup>, 张越<sup>1,2</sup>, 刘艳<sup>1,2</sup>, 赵胜奥<sup>1,2</sup>, 单连飞<sup>1,2</sup>

(1. 南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院有限公司), 江苏 南京 211106; 2. 北京科东电力控制系统  
有限责任公司, 北京 100192; 3. 内蒙古电力(集团)有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010024)

**摘要:** 知识图谱技术作为一种能够描述客观世界中概念、实体间复杂关系的新方法, 以强大的知识推理能力被广泛关注。调度控制中心是电网运行控制的中心枢纽, 为了推动智能调控建设, 结合知识图谱技术以及调控领域的具体情况, 提出了面向智能调控领域的知识图谱构建方法。进而针对实际调度的需求, 提出了用于支撑运行规则电子化、故障处置、倒闸操作、对话问答等应用场景的知识图谱应用方案。最后, 构建了线路故障处置知识图谱, 通过应用表明, 所建立的知识图谱能够自动驱动线路故障处置流程, 流程判定识别准确率较高, 有效地降低了人工处置风险。

**关键词:** 智能调控; 知识图谱; 知识推理; 线路故障处置

### Construction and application of knowledge graph for intelligent dispatching and control

YU Jianming<sup>1,2</sup>, WANG Xiaohai<sup>3</sup>, ZHANG Yue<sup>1,2</sup>, LIU Yan<sup>1,2</sup>, ZHAO Sheng'ao<sup>1,2</sup>, SHAN Lianfei<sup>1,2</sup>

(1. NARI Group Corporation Co., Ltd., (State Grid Electric Power Research Institute Co., Ltd.), Nanjing 211106, China;  
2. Beijing Kedong Electric Power Control System Co., Ltd., Beijing 100192, China;  
3. Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Hohhot 010024, China)

**Abstract:** Knowledge graph technology is a new method describing the complex relationship between concepts and entities in the objective world, which has been widely concerned because of its strong knowledge inference ability. Dispatching and control center is the central hub of power grid operation control. In order to promote the construction of intelligent dispatching and control, combined with the technology of knowledge graph and the specific situation in the field of dispatching and control, this paper proposes the construction method of knowledge graph oriented to the field of intelligent dispatching and control. Furthermore, the application solutions of knowledge graph for supporting the scenario of fault handling, operational rule electronization, breaker operation and dialogue question and answer are put forward. Finally, the knowledge graph of line fault handling is constructed, showing that the established knowledge graph can drive the process of line fault handling automatically, and the accuracy of judgment and identification process is higher, which effectively reduces the risk of manual handling.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2018YFB0904501).

**Key words:** intelligent dispatching and control; knowledge graph; knowledge inference; line fault handling

## 0 引言

随着特高压交直流混联电网的迅速发展, 电网规模不断扩大, 运行方式灵活多变, 电网调控业务越来越复杂, 调控人员工作强度也越来越大, 这对调控业务的自动化、智能化提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。电力调度控制中心是集高价值数据、分析规则、专

家经验和计算决策为一体的“指挥大脑”, 现行调控方式主要以人工经验分析为主, 调度人员需要将海量多样数据、方案模型进行经验知识关联, 重复性“人脑劳动”较多, 效率较低, 因此, 实现智能调控, 降低调控人员工作强度迫在眉睫。

近年来, 随着机器学习、深度学习、云计算以及大数据技术的飞速发展, 人工智能技术在各行各业得到了广泛的应用, 尤其是在图像识别<sup>[2]</sup>、语音识别<sup>[3]</sup>、非线性系统建模<sup>[4-6]</sup>等领域, 同样在电力系

统的新能源预测<sup>[7-8]</sup>、负荷预测<sup>[9-11]</sup>、故障诊断<sup>[12]</sup>、暂态分析<sup>[13]</sup>等方面也取得了进展,这些技术的应用和突破为实现电网智能调控提供了基础。目前电网智能调控还停留在理论和观点层面,国外学者最先提出“智能调控”<sup>[14]</sup>和“理想调控”<sup>[15]</sup>的概念,并指出智能电网调度控制系统应具备自愈、交互、预测等能力<sup>[16]</sup>。在国内,卢强院士提出了“数字电力”<sup>[17]</sup>和“广域机器人”<sup>[18]</sup>概念。文献[19-20]提出了基于专家知识库实现智能调控的观点。文献[21]从实际需求和应用场景出发提出了电网调控机器人整体架构和各模块的设计思路,具有较高的指导意义。

在人工智能技术范畴内,知识图谱(Knowledge Graph, KG)技术可以模拟调控中心的“指挥大脑”,知识图谱可以对调控领域知识进行提炼、萃取、关联、整合,形成知识模型。通过知识模型让机器具备认知能力,从而形成调控知识引擎,实现调控自动化、智能化。调度日常操作和故障处置有固定的规则、流程,其本质是电网调控运行经验和知识的积累,如何对这些故障处置规程、经验进行学习和模拟,实现自动处置,关键在于构建智能调控知识图谱。

本文介绍了知识图谱技术在通用领域和垂直领域的研究进展,结合知识图谱构建技术和调控领域的特点,提出了面向智能调控领域知识图谱构建方法。根据调控实际需求,设计了知识图谱应用技术方案,用于支撑运行规则电子化、故障处置、倒闸操作等应用场景。最后构建了线路故障处置知识图谱,所提知识图谱能够减轻调度员工作量。

## 1 知识图谱

知识图谱旨在以结构化的形式描述客观世界中概念、实体、事件及其之间的复杂关系。知识图谱可以通过知识收集、知识处理、知识抽取、知识表示、知识存储等步骤构建<sup>[22]</sup>,其中知识抽取是核心步骤,实体和关系的抽取方法是学术界研究的热点,先后经历了规则词典到机器学习再到深度学习几个技术发展阶段。目前,知识图谱在智能搜索、对话问答等领域展示出强大的威力,与大数据、深度学习一起,成为推动人工智能发展的核心驱动力。

### 1.1 通用知识图谱

通用知识图谱面向全领域,由大量常识性知识组成,强调知识的广度。德国马普研究所研发了链接数据库 YAGO<sup>[23]</sup>、柏林自由大学以及莱比锡大学开启了 DBPedia 项目<sup>[24]</sup>、卡耐基梅隆大学开发了 NELL 系统<sup>[25]</sup>。在国内,复旦大学将百科数据及部分领域知识结合提出 CN\_DBPedia<sup>[26]</sup>,上海交通大

学融合维基百科、互动百科、百度百科三大数据库提出了 Zhishi.me<sup>[27]</sup>。科技公司中谷歌最早于 2012 年提出知识图谱,百度、搜狗相继提出知心和狗立方。这些知识图谱知识覆盖面较为广泛,能够为用户提供智能问答、个性化推荐等服务。

### 1.2 垂直领域知识图谱

垂直领域知识图谱面向某一特定领域,包含领域专业知识,更强调知识的深度。在医疗领域有 IBM 的 Watson Health<sup>[28]</sup>、阿里健康的“医知鹿”医学智库、搜狗的 AI 医学知识图谱、上海曙光医院的中医药知识图谱、百度的“百度医疗大脑”等;在电商领域,阿里建立了电商知识图谱基础平台“阡陌数据管理平台”、京东构建了“京东大脑”、美团构建了餐饮娱乐知识图谱“美团大脑”等。此外,还有地理领域的 Geo Names、影视领域的 IMDB、音乐领域的 MusicBrainz。这些领域知识图谱为上层业务提供了良好的支撑,推动了行业应用的智能化。然而,在电力调控领域尚没有知识图谱构建的研究与成果。

## 2 调控知识图谱的构建

结合知识图谱现行研究技术以及调控领域具体情况,从数据、数据预处理、知识抽取、知识模型、知识管理、知识应用等层面出发,提出调控领域知识图谱的构建方法,如图 1 所示。

1) 数据层,收集调控领域涉及的结构化、半结构化和非结构化数据。结构化数据可以直接使用,半结构化和非结构化数据需要在数据处理层进行整理。所涉及的数据主要由用户提供。

2) 数据处理层,将结构化数据和非结构化数据使用不同方法进行预处理,然后使用现行标准的 BIOES 规范对实体和关系进行人工标记。人工标记需要花费大量的时间、财力和物力,因此在方案中人工标记一小部分样本,剩余的数据利用数据增强工具进行标记。增强工具采用工程实现较为容易的同义词转换和 K-近邻(K-nearest Neighbors, KNN)分类进行实现。

3) 知识抽取层,知识抽取层是构建知识图谱的核心,针对不同的输入类型的标记数据分别采用基于数据库、规则和深度学习方法提取实体和关系。基于数据库知识抽取将结构化数据通过提取-翻译-加载(Extraction Transformation Loading, ETL)转化为实体和关系;基于规则的知识抽取采用中文分词工具和正则表达式实现;基于深度学习的知识抽取利用中文分词、Word2Vec 将文本转化为词向量,将词向量作为输入,使用双向长短期记忆网络+条件

随机场(Bilateral Long-Short Term Memory-Conditional Random Field, BiLSTM-CRF)识别实体标签,使用卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)识

别关系标签。为了提高中文分词准确性,在结巴分词工具中加入电力专业词典,词典采用手工和信息熵等方式构成。

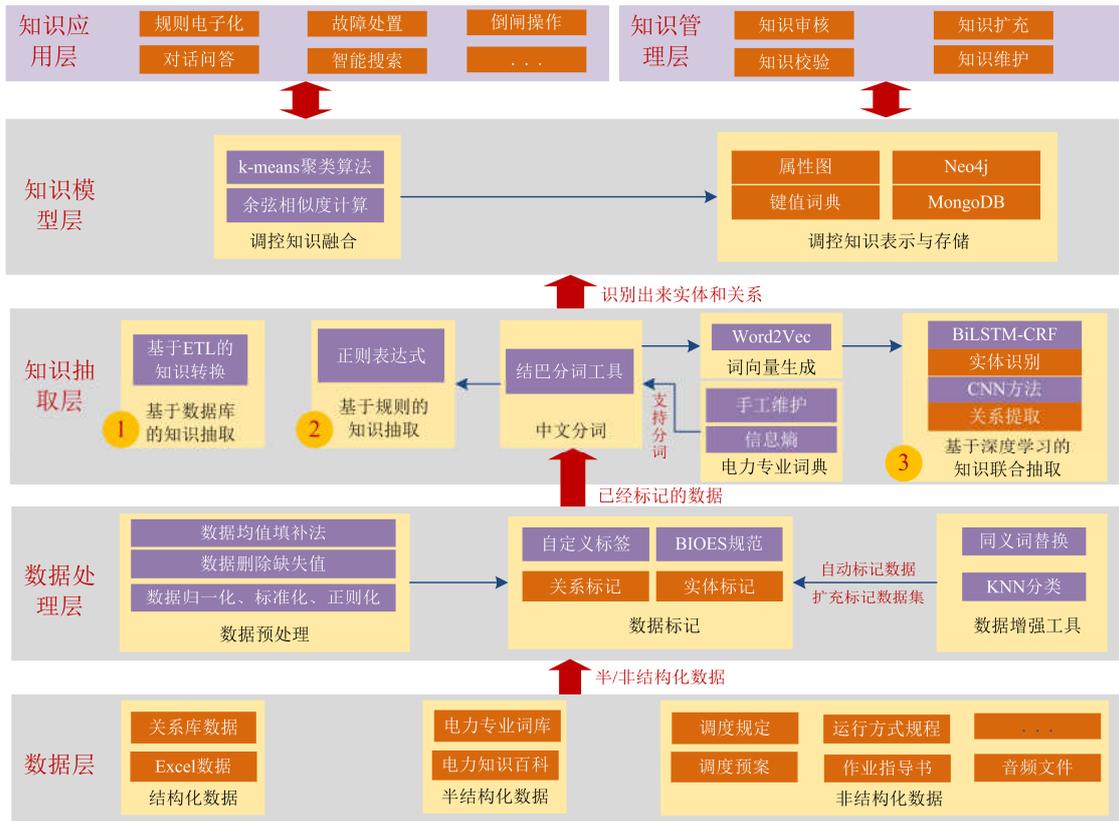


图 1 电网调控知识图谱构建方法

Fig. 1 Construction method of knowledge graph for power grid intelligent dispatching and control

4) 知识模型层, 该层采用 k-means 聚类算法和余弦相似度算法将识别出来的实体和关系进行知识的融合。然后, 对知识进行表示和存储, 采用 Neo4j 和 MongoDB 分别存储关系类知识和属性类知识。

5) 知识管理层, 对构建好的调控知识图谱进行管理, 专业人员依据调度规定、作业指导书、运行规程等对构建的知识图谱进行审核、校验, 确保其符合实际应用要求。随着时间的更替, 如设备名称和运行方式发生变化时, 需要专业人员对知识图谱进行扩充和维护。

6) 知识应用层, 应用构建的知识图谱支撑运行规则电子化、故障处置、倒闸操作、对话问答和智能搜索等应用场景。

### 3 调控知识图谱支撑场景

#### 3.1 运行规则电子化

电网实时运行要严格按照稳定运行、故障处置、倒闸操作等规则开展日常业务。由于电网运行方式

多变且规则复杂, 人工查阅规则难度大、效率低。基于运行规则知识图谱, 协助调度员进行决策指导、指令校验、稳定限额计算等, 减轻调控人员工作量, 降低人工操作风险, 应用方案如图 2 所示。



图 2 运行规则知识图谱应用方案

Fig. 2 Application solution of operational rules knowledge graph

#### 3.2 故障处置

电网运行方式日益复杂, 存在单一引发连锁故障风险增加、运行方式规定显著增多、人工处置风险增加、经验难以复用等问题, 因此要快速阻断单一故障, 降低人工操作风险和工作负荷。接收到故障处置信号、故障处置预案、故障文本描述等信息, 自动匹配故障处置知识图谱, 知识图谱调用电网分

析软件实时分析电网状态，根据计算结果判定生成处置逻辑，将各处置步骤结合形成流程图，应用方案如图 3 所示。

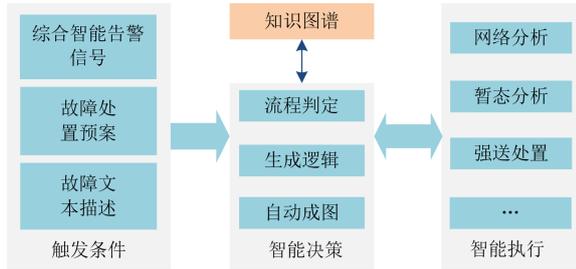


图 3 故障处置知识图谱应用方案

Fig. 3 Application solution of fault handling knowledge graph

### 3.3 倒闸操作

倒闸操作工作量大，重复性工作多，占据了调控人员大量的精力，人工操作存在主观风险，人工下令效率低，并发执行能力有限。基于知识图谱技术，将计划操作智能编排为操作任务，智能匹配知识图谱中的处置流程和逻辑，生成操作序列，调用智能执行服务自动下令或遥控执行，并自动收令或进行遥控双确认。该方案显著提高倒闸操作工作效率与安全性，应用方案如图 4 所示。

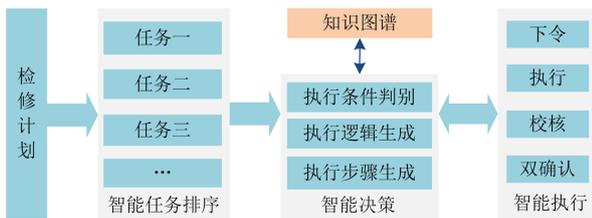


图 4 倒闸操作知识图谱应用方案

Fig. 4 Application solution of breaker operation knowledge graph

### 3.4 其他

电网调控系统中信息量显著增加，调控画面日益增多，功能愈加丰富。画面调阅，功能操作难度加大，事故、异常等关键场景下要求调控系统具有更快的信息调阅、功能操作响应速度，可以基于知识图谱采用人机问答方式进行信息交互。此外，为了帮助调度员快速查询信息，可以将知识图谱用于调控信息搜索，也可以支撑安防事件处置、电网异常处置等应用场景。

## 4 调控知识图谱的实际应用

### 4.1 构建线路故障处置知识图谱

在网省科技项目中，构建了线路故障处置知识图谱用于自动驱动故障处置流程。具体包括以下步骤。

步骤 1：收集某省调关系库数据和线路故障处置语料，对数据进行预处理，结合文本数据和线路故障处置应用场景，确定概念知识模型，如图 5 所示。

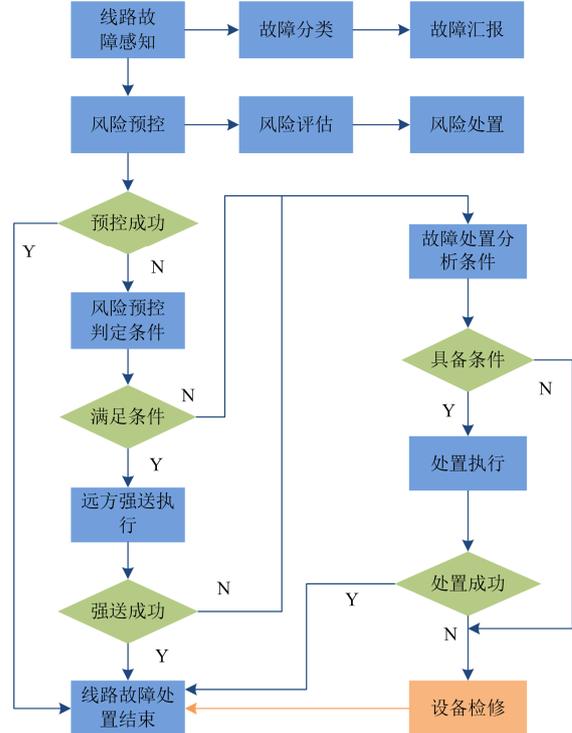


图 5 线路故障处置概念知识模型

Fig. 5 Conceptual knowledge model of line fault handling

步骤 2：采用结巴分词工具对线路故障处置文本进行分词处理，通过建立线路故障处置专业词典增加分词的准确性，词典词汇均为默认最大词频，部分专业词典如表 1 所示。

表 1 部分专业词典词汇

Table 1 Part of professional vocabulary dictionary

序号	词汇	序号	词汇
1	执行试送电	4	停役处置
2	执行强送电	5	设备越限
3	单线并网	6	断面越限

进而利用正则表达式<sup>[29]</sup>识别线路故障处置知识图谱的实体和关系。提取出的实体和关系如表 2 所示。

步骤 3：将识别出的实体和关系进行对齐、链接、消歧，通过手工维护、相同字符规则匹配、k-means 聚类等多种方式进行实体链接，从而形成完整的线路故障处置知识图谱。

步骤 4：应用 Neo4j 图数据库存储实体和关系，通过 Cypher 语言进行数据查询。所建立的部分线路故障处置知识图谱如图 6 所示。

表 2 部分线路故障处置知识图谱实体和关系  
Table 2 Part of knowledge graph entity and relation of line fault handling

序号	实体-关系-实体
1	感知风险-下一步-分类故障
2	分类故障-下一步-报告故障
3	感知风险-判断-是否存在风险
4	是否存在风险-真-调整机组
5	调整机组后是否存在风险-真-感知强送

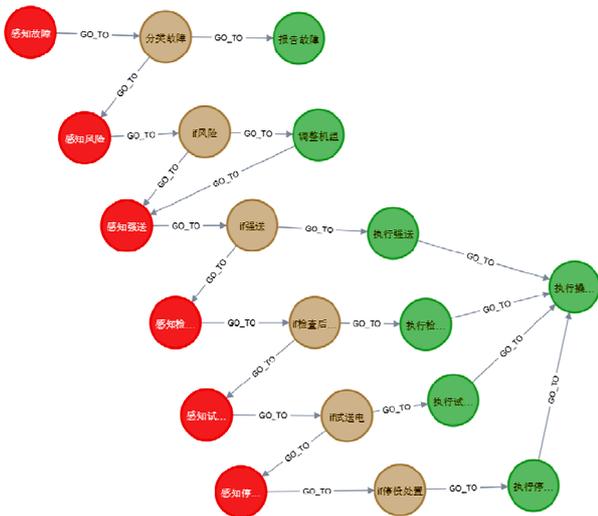


图 6 部分线路故障处置知识图谱

Fig. 6 Part of knowledge graph of line fault handling

#### 4.2 故障处置知识图谱应用

线路故障处置知识图谱可以自动驱动处置流程的进行, 执行到图谱实体节点时, 不需要人工做出决策, 而是依据其他电网软件实时计算的反馈结果进行决策, 比如执行到“风险处置”节点, 会自动调用网络分析的灵敏度计算功能, 根据反馈结果驱动下一节点“机组出力调整”。在项目工厂阶段, 使用智能调度控制系统(D5000)综合智能告警匹配知识图谱, 模拟处置多条线路故障, 所有线路均能匹配知识图谱, 全流程处置成功率平均值在 95%以上, 还有近 5%的空间要提升。

通过大量线路故障处置试验测试, 故障处置失败的原因主要来自故障处置知识图谱难以覆盖所有故障处置情况。故障处置知识图谱是基于调规、预案、作业指导书、电网运行方式等规程建立的知识模型, 在实际线路处置过程中, 会存在一些问题, 要依靠调度员经验具体问题具体分析, 这些经验尚未完全形成知识图谱。下一步, 将继续整理调度员在故障处置过程中的经验, 扩充知识图谱, 同时建立故障处置知识滚动抽取模型从电网运行记录日

志、检修计划、外部环境等信息中识别故障处置要点和逻辑, 对故障处置知识图谱进行细化、丰富, 实现故障处置知识图谱在线动态更新。

所建的知识图谱可用于线路故障处置逻辑推理、故障处置知识检索。通过与各应用实时交互信息完成了依据高级应用软件分析电网运行情况驱动线路故障处置全过程。总体来说, 实现了人工经验的复用, 能够辅助调控人员处置线路故障, 在一定程度上降低了人工处置风险。

#### 5 结论

知识图谱作为人工智能与计算机技术发展的产物, 是推动智能调控的有效手段, 文中结合调控领域情况提出了调控知识图谱的构建方法和应用案例, 同时也产生一些思考, 主要结论如下:

1) 结合知识图谱技术和调控领域现场情况, 提出了构建智能调控知识图谱的方法。通过学习调控场景业务知识, 设计了知识图谱应用方案, 用于运行规则电子化、支撑故障处置、倒闸操作、对话问答等应用场景。

2) 知识图谱能够通过知识经验学习模仿调控人员解决问题, 文中构建了线路故障处置知识图谱, 通过某省调电网环境测试, 依据知识图谱能够自动驱动故障处置流程, 准确判定识别处置步骤, 降低人工处置风险和工作负荷。

3) 构建知识图谱的关键在于识别实体和提取关系。知识提取方法包括规则词典、机器学习以及深度学习等方法, 每种方法都有其适合的场景。理论上, 在样本足够的情况下, 深度学习往往能取得更好的效果, 但是对样本标记、硬件设备、专业人才均有较高的要求, 因此, 应该根据实际情况选择相应算法构建知识图谱。

#### 参考文献

- [1] 张晓华, 刘道伟, 李柏青, 等. 智能全景系统概念及其在现代电网中的应用体系[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(10): 2885-2894.  
ZHANG Xiaohua, LIU Daowei, LI Baiqing, et al. The concept of intelligent panoramic system and its application system in modern power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(10): 2885-2894.
- [2] 郑远攀, 李广阳, 李晔. 深度学习在图像识别中的应用研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(12): 20-36.  
ZHENG Yuanpan, LI Guangyang, LI Ye. Survey of application of deep learning in image recognition[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(12):

- 20-36.
- [3] 侯一民, 周慧琼, 王政一. 深度学习在语音识别中的研究进展综述[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(8): 2241-2246.  
HOU Yimin, ZHOU Huiqiong, WANG Zhengyi. Overview of speech recognition based on deep learning[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(8): 2241-2246.
- [4] 张越, 单连飞, 余建明, 等. 基于 $\varepsilon$ -模糊树方法的电力系统状态估计[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 43(1): 138-145.  
ZHANG Yue, SHAN Lianfei, YU Jianming, et al. Power system state estimation based on  $\varepsilon$ -fuzzy tree method[J]. Power System Protection and Control, 2019, 43(1): 138-145.
- [5] ZHANG Wenguang, ZHANG Yue, BAI Xuejian, et al. A robust fuzzy tree method with outlier detection for combustion models and optimization[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2016, 158: 130-137.
- [6] YANG Xia, BIN Gou, YAN Xu. A new ensemble-based classifier for IGBT open-circuit fault diagnosis in three-phase PWM converter[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 364-372. DOI: 10.1186/s41601-018-0109-x.
- [7] 于秋玲, 许长清, 李珊, 等. 基于模糊聚类和支持向量机的短期光伏功率预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(12): 115-118.  
YU Qiuling, XU Changqing, LI Shan, et al. Application of fuzzy clustering algorithm and support vector machine to short-term forecasting of PV power[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28(12): 115-118.
- [8] 傅美平, 马红伟, 毛建容. 基于相似日和最小二乘支持向量机的光伏发电短期预测[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(16): 65-69.  
FU Meiping, MA Hongwei, MAO Jianrong. Short-term photovoltaic power forecasting based on similar days and least square support vector machine[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(16): 65-69.
- [9] 刘翊枫, 周国鹏, 刘昕, 等. 基于智能相似日识别及偏差校正的短期负荷预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 138-145.  
LIU Yifeng, ZHOU Guopeng, LIU Xin, et al. A short-term load forecasting method based on intelligent similar day recognition and deviation correction[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 138-145.
- [10] 邢书豪, 高广玲, 张智晟. 基于双层随机森林算法的短期负荷预测模型[J]. 广东电力, 2019, 32(9): 160-166.  
XING Shuhao, GAO Guangling, ZHANG Zhisheng. Short-term load forecasting model based on double-layer random forest algorithm[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(9): 160-166.
- [11] RUI H, WEN S P, ZENG Z J, et al. A short-term power load forecasting model based on the generalized regression neural network with decreasing step fruit fly optimization algorithm[J]. Neurocomputing, 2017(221): 24-31.
- [12] 王峰, 毕建刚, 万梓聪, 等. 基于深度卷积神经网络的变压器故障诊断方法[J]. 广东电力, 2019, 32(9): 177-183.  
WANG Feng, BI Jiangan, WAN Zicong, et al. Transformer fault diagnosis method based on deeply convolutional neural network[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(9): 177-183.
- [13] 汤奕, 催晗, 李峰, 等. 人工智能在电力系统暂态问题中的应用综述[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(1): 2-13.  
TANG Yi, CUI Han, LI Feng, et al. Review on artificial intelligence in power system transient stability analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(1): 2-13.
- [14] DY-LIACCO T E. Enhancing power system security control[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2002, 10(3): 38-41.
- [15] EPRI. IntelliGrid: smart power for the 21st century [R/OL]. [http://my.epri.com/portal/server.pt?Product\\_id=0000000001012094](http://my.epri.com/portal/server.pt?Product_id=0000000001012094).
- [16] OTT A L. Development of smart dispatch tools in the PJM market[C] // IEEE Power & Energy Society General Meeting, Detroit, USA, July 24-29, 2011: 3p.
- [17] 卢强. 数字电力系统(DPS)[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(9): 1-4.  
LU Qiang. Digital power system, automation of electric power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(9): 1-4.
- [18] 卢强, 戚晓耀, 何光宇. 智能电网与智能广域机器人[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(10): 1-5.  
LU Qiang, QI Xiaoyao, HE Guangyu. Smart grid and smart wide area robot[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(10): 1-5.
- [19] 程乐峰, 余涛, 张孝顺, 等. 信息-物理-社会融合的智慧能源调度机器人及其知识自动化: 框架、技术与挑战[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(1): 25-40.  
CHENG Lefeng, YU Tao, ZHANG Xiaoshun, et al. Cyberphysical-social systems based smart energy robotic dispatcher and its knowledge automation: framework, techniques and challenges[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(1): 25-40.
- [20] SHAN Xin, WANG Bo, SUN Shaohua, et al. Research on deep learning based dispatching fault disposal robot

- technology[C] // 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, Beijing, China, 2018.
- [21] 张晓华, 冯长有, 王永明, 等. 电网调控机器人设计思路[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(13): 1-8.  
ZHANG Xiaohua, FENG Changyou, WANG Yongming, et al. Design ideas of robotic dispatcher for power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(13): 1-8.
- [22] 徐增林, 盛泳潘, 贺丽荣, 等. 知识图谱技术综述[J]. 电子科技大学学报, 2016, 45(4): 589-606.  
XU Zenglin, SHENG Yongpan, HE Lirong, et al. Review on knowledge graph techniques[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2016, 45(4): 589-606.
- [23] SUCHANEK F M, KASNECI G, WEIKUM G. Yago: A large ontology from wikipedia and wordnet[J]. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 2008, 6(3): 203-217.
- [24] AUER S, BIZER C, KOBILAROV G, et al. Dbpedia: a nucleus for a web of open data[M] // The Semantic Web, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007: 722-735.
- [25] MITCHELL T, COHEN W, HRUSCHKA E, et al. Never-ending learning[J]. Communications of the ACM, 2018, 61(5): 103-115.
- [26] XU B, XU Y, LIANG J Q, et al. CN-DBpedia: a never ending Chinese knowledge extraction system[C] // International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, Springer, 2017: 428-438.
- [27] NIU X, SUN X, WANG H, et al. Me-weaving Chinese linking open data[C] // International Semantic Web Conference, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011: 205-220.
- [28] CHEN Y, ARGENTINIS J D E, WEBER G. IBM Watson: how cognitive computing can be applied to big data challenges in life sciences research[J]. Clinical Therapeutics, 2016, 38(4): 688-701.
- [29] 鲁华永, 袁越, 郭泓佐. 基于正则表达式的变电站集中监控信息解析方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(5): 78-83.  
LU Huayong, YUAN Yue, GUO Hongzuo. Regular expressions based on information analytic method for substation centralized monitoring[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(5): 78-83.
- 
- 收稿日期: 2019-08-23; 修回日期: 2019-12-04
- 作者简介:  
余建明(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为电网调度自动化应用技术; E-mail: yujianming@sgepri.sgcc.com.cc  
张越(1989—), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 研究方向为电网调度自动化, 系统电网分析与控制。E-mail: zhangyue3655@163.com
- (编辑 周金梅)