

信息驱动的大电网运行态势知识图谱框架及构建模式研究

张晓华¹, 刘道伟^{2*}, 李柏青², 乔颖³, 赵高尚², 杨红英², 吕先进³, 张丽³

(1. 国网冀北电力有限公司, 北京市 西城区 100053; 2. 中国电力科学研究院有限公司, 北京市 海淀区 100192; 3. 中国科学院软件研究所, 北京市 海淀区 100190)

Research on Information-driven Operation Situation Knowledge Graph Framework and Construction Mode of Large Power Grid

ZHANG Xiaohua¹, LIU Daowei^{2*}, LI Baiqing², QIAO Ying³, ZHAO Gaoshang²,
YANG Hongying², LYU Xianjin³, ZHANG Li³

(1. State Grid Jibei Electric power Company Limited, Xicheng District, Beijing 100053, China;

2. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

3. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Haidian District, Beijing 100190, China)

ABSTRACT: Real-time measurement and simulation information of large power grids based on the massive and high-dimensional, advanced information technologies such as big data, artificial intelligence and knowledge graph, deeply mining and characterizing the knowledge of power grid operation situation and displaying it intuitively, are the core of building a large power grid online intelligent active safety defense system. First, under the ideological system of the intelligent panoramic system, adopting the fusion mechanism of "physical system + information system + knowledge graph", facing the construction needs and dispatching operators of the intelligent panoramic power grid, and comprehensively considering the stable state evaluation indicators and optimal control strategy information of different operating scenarios of the power grid, this paper gives the basic concept and connotation of the knowledge graph of power grid operation situation and introduces its core elements and construction goals in detail. Then, relying on the smart grid dispatching spatio-temporal big data support platform, the software functional architecture of the power grid operation situation knowledge graph is designed, including multi-source information fusion, spatio-temporal big data platform, situation graph engine, knowledge association reasoning, graph business application and friendly human-computer interaction. On this basis, the up-bottom construction process of the knowledge graph of power grid operation situation is given, and the logical

framework, technical framework and a series of technologies for operation situation knowledge graph construction such as knowledge modeling, knowledge extraction, knowledge fusion, knowledge processing, and knowledge updating are systematically introduced. Finally, an intelligent construction and visualization system for the knowledge graph of the operation situation of the large power grid is developed. The system has the characteristics of simplicity, intuitive operation, and user-friendliness. It has been tested and applied in a provincial power grid, and the functional framework and technical system proposed in this paper have been verified. It can also provide technical support for the realization of the information-driven intelligent panoramic active safety defense of the large power grid.

KEY WORDS: intelligent panoramic system; intelligent panoramic power grid; operation situation; knowledge graph; artificial intelligence

摘要: 基于大电网海量、高维的各类实时测量及仿真模拟信息, 依托大数据、人工智能、知识图谱等先进信息技术, 深度挖掘和表征电网运行态势知识并直观形象展示, 是建设大电网在线智能主动安全防御体系的核心。首先, 在智能全景系统思想体系下, 采用“物理系统+信息系统+知识图谱”融合机制, 综合考虑电网不同运行场景的稳定状态评估指标和优化控制策略信息, 给出电网运行态势知识图谱的基本概念及内涵, 并详细介绍其核心要素及构建目标。然后, 依托智能电网调度时空大数据支撑平台, 设计电网运行态势知识图谱软件功能架构, 包含多源信息融合、时空大数据平台、态势图谱引擎、知识关联推理、图谱业务应用和友好人机交互等6个层次模块。在此基础上, 给出自顶向下的电网运行

基金项目: 国家电网公司总部科技项目(5100-202155016A-0-0-00)。

Project Supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (5100-202155016A-0-0-00).

态势知识图谱构建模式,并系统性介绍逻辑架构、技术架构、知识建模、知识抽取、知识融合、知识加工、知识更新、图结构存储、可视化引擎等构建技术。最后,研发大电网运行态势知识图谱智能构建及可视化系统,并在某省级电网开展测试应用,为实现信息驱动的大电网智能全景主动安全防御提供技术支撑。

关键词: 智能全景系统; 智能全景电网; 运行态势; 知识图谱; 人工智能

0 引言

随着新一代信息通讯、物联网、大数据和人工智能技术的发展,人类社会及各行业数字化建设逐渐进入智能全景系统时代^[1]。同时,随着能源互联网及新型电力系统的发展,互联大电网具有日益复杂的信息物理深度融合形态^[1-3]和动态运行特性^[4-5],其安全经济运行及调度控制面临巨大挑战^[6-7]。目前,为提高大电网在线安全经济运行水平,国家电网已经建立了功能完备的智能调度支撑系统^[8],大数据、人工智能技术进一步在大电网调控领域得以深化应用^[9],并逐步建立了信息驱动的大电网智能全景主动安全防御与调控体系^[10-11]。

从电网空间拓扑结构及运行特性来看,电网广域状态信息属于典型的时空大数据^[11],实现信息驱动的大电网智能全景主动安全防御与调控体系,其核心是针对大电网不同时间尺度状态信息、不同运行场景及有关稳定问题,深度挖掘电网时空动力学运行特性及演变规律^[11-13],给出精细化的稳定态势量化评估指标^[14-18]和自适应优化调控策略^[19-20],并将关键价值信息进行简单直观可视化展示^[1,10-11]。然而,目前诸多研究成果往往侧重电网某种稳定分析和控制问题,所得稳定态势评估指标或优化控制策略种类繁多^[10],碎片化现象比较严重,核心价值知识提取和展示效果存在一定不足,在时效性、精细化、实用化等方面难以有效应对大电网复杂运行形态和调度运行人员应用需求。从图论和复杂网络角度来看,电网具有典型的网络属性和图结构,针对大电网动态运行特性、稳定分析与优化控制等核心问题,亟需借助先进复杂网络理论、大数据和人工智能技术,将电网实时运行状态及控制策略提炼为更有价值的知识,并结合电网空间物理分布图进行简单、直观、形象的可视化展示,高效支撑调度运行人员快速、精准、主动掌握电网全局运行态势及控制策略^[21-22],提升大电网实时智能全景主动安全防御水平^[1,11]。

近年来,由 Google 公司提出的知识图谱概念及图模型知识表达方式^[23-24]与电网自身的物理网络属性及智能应用核心业务场景有相通之处,知识图谱在电网领域的应用有诸多优势,目前诸多学者已开展了知识图谱在电力系统领域的探索研究和工程实践工作^[25-33]。文献[25]从科学和工程双视角系统性地研究了电力领域知识图谱的应用架构设计及有关应用实践,为电力行业产业链提供有效跨媒体组织、管理和认知能力。在电网调度领域,文献[26]研究并提出了面向电网调度故障处理的知识图谱框架,设计了知识图谱构建和应用的 5 个层次和 4 类领域图谱,并给出了分解思路和解决技术手段。文献[27]以电网故障处置预案文本为对象,进一步研究了自顶向下和自底向上相结合的电网故障处置知识图谱构建方法,解决了电力领域知识抽取问题。文献[28]基于迁移学习技术,提出了电网故障处置文本数据实体识别技术,研究了电网故障处置知识图谱构建方法,并实现了对多故障类型的决策支撑。文献[29]研究了电网智能调度领域的知识图谱构建方法,针对实际调度需求,给出了规则电子化、故障处置、倒闸操作、对话问答等应用场景知识图谱应用方案,具有工程参考和实践意义。文献[30]针对电网稳定运行规定的特点及复杂性,研究了适用于稳定规定表述的产生式规则系统及知识模型系统性建模方法,基于电网数字孪生模型,提出了稳定规定知识模型的数字化实现技术路线,并研发了数字化应用系统。另外,在有关配电网故障辅助决策^[31]、需求响应智能推荐^[32]、电力设备健康管理^[33]等方面,也开展了诸多知识图谱研究工作,推动了知识图谱在电网业务场景的深度融合及创新应用。

综上,知识图谱在电网诸多业务场景均开始了新的研究和有意义的探索,其具体生产应用实践还处于刚刚起步阶段。尤其在大电网智能调度和在线安全防御专业领域,取得了一些实用化研究成果,可进一步在大电网运行态势知识图谱构建和核心业务体系创新方面开展深入研究。本文在前人研究成果基础上,针对大电网在线智能主动安全防御体系核心业务需求,以“物理系统+信息系统+知识图谱”深度融合为理念,提出并建立信息驱动模式下的大电网运行态势知识图谱概念及技术架构体系,并开展有关大电网运行态势知识图谱智能构建关键技术研究及系统工程实践工作,助力调度运行人

员高效洞察电网运行态势，为大电网安全经济运行和智能主动安全防御提供技术支撑。

1 电网运行态势知识图谱定义

1.1 基本概念

电网运行态势知识图谱，是指用图模型表征电网稳定评估、优化决策等运行态势知识与各级设备对象之间的复杂时空关联关系。

在智能全景系统及智能全景电网架构体系下，从“物理系统+信息系统+知识图谱”深度融合角度，电网运行态势知识图谱基本概念示意图如图 1 所示。主要通过对复杂电网设备对象、运行态势信息、优化控制策略及有关事件行为进行有效地抽取、融合、加工、挖掘、分析、叠加和展现，转化为简单、直观、清晰的“实体-关系-实体”的三元组。进而，聚合成电网整体运行态势的核心知识图谱信息，并采用先进的地理信息及可视化技术进行直观展示，方便调度运行人员直观了解电网动态运行特性及安全稳定态势时空分布特征，从而支撑信息驱动模式的大电网在线智能主动安全防御体系建设。

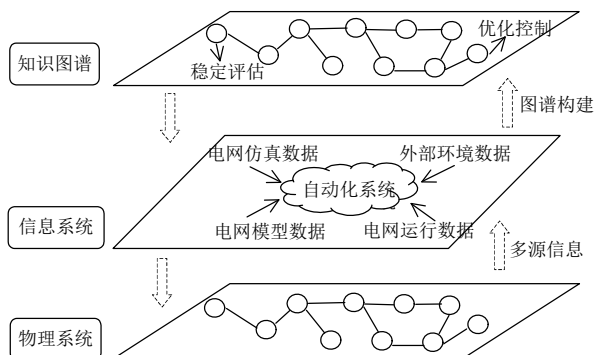


图 1 电网运行态势知识图谱基本概念示意图

Fig. 1 Concept of operation situation knowledge graph

1.2 核心要素

电网运行态势知识图谱，本质上是在电网一次物理设备网络拓扑结构基础上叠加与之直接相关或间接相关的运行状态、稳定态势、控制策略及事件等属性信息，进而以图模型表达电网设备及其属性之间相互关系的新型知识网络。该新型知识网络核心要素是实体、关系和属性，主要由“实体-关系-实体”三元组构成基本单元格，如图 2 所示。

实体和关系都有自己不同的属性，实体及其属性以节点形式存在，关系及其属性以有向边的形式存在，通过在电网一次物理网络系统上叠加综合运行态势属性信息而形成的网络型知识库。

“实体”是电网运行态势知识图谱的基本核心



图 2 电网运行态势知识图谱核心要素示意图

Fig. 2 Core elements of operation situation knowledge graph

节点元素，主要指电网物理设施及其有关的各类事件、分析与控制等数字信息。物理设施主要包括发电机、母线、线路、变压器、负荷、开关、断路器、保护装置、网络拓扑结构等各类基础物理设施，数字信息主要是与物理设施直接或间接有关的各种操作、故障、评估、控制、规程、日志等信息。

“关系”是用有向边表征电网各类不同实体之间的某种直接或间接时空关联关系。由于电网各类设备天然具有直接的物理网络拓扑结构及连接关系，所以电网运行态势知识图谱中的关系即直接映射了这种物理网络拓扑结构关系，蕴含叠加于物理设备系统之上的各类事件、评估和控制等抽象或虚拟联系。通过对电网不同实体及其关系的表征，形成电网运行态势知识图谱的基础图结构知识网络。

“属性”是对实体和关系的各类参数或赋能信息的描述，主要采用“属性+值”描述方式。其中“属性”是对实体和关系的说明，“值”为对应的具体参数值。实体和关系往往具有多个属性，既有直接描述的属性，如设备的名称、位置、运行状态信息、事件、操作等属性；还有各种衍生的价值属性，如各类分析、评估和决策等信息，属于广义的间接抽象属性。通过对各类实体和关系的属性描述，形成了具有价值和对外赋能的电网运行态势知识图谱新型知识网络结构。

1.3 构建目标

面向电网调度运行人员和智能调度系统，电网运行态势知识图谱构建目标如图 3 所示。采用大数据和人工智能等技术，深度挖掘和表征电网复杂时空动力学运行特性和动态演变规律。基于电网能量流和信息流，实时在线快速计算电网稳定态势评估和优化控制决策核心业务价值信息。

采用图形学、可视化、地理信息等技术，将电网稳定态势评估和优化控制决策等核心价值信息平行映射到一次物理网络系统，实现“一图知全局”、“一图展全态”，为电网调度运行人员及智能调度系统提供简单、直观、有效、可信的参考信息，

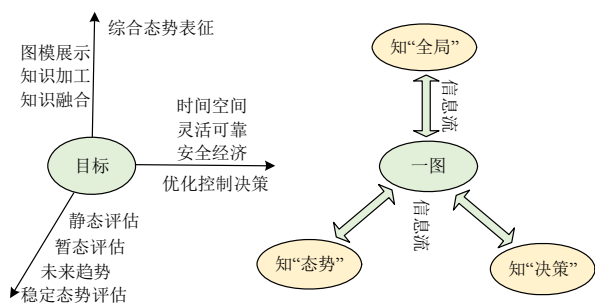


图3 电网运行态势知识图谱构建目标

Fig. 3 Construction goal of operation situation knowledge graph

支撑大电网智能全景主动安全防御体系建设。

1) 稳定态势评估, 针对电网实时运行状态轨迹信息, 采用信息驱动和模型驱动两种混合模式, 实时诊断电网运行工况场景, 采用静态稳定态势评估或暂态稳定态势评估算法, 在线快速计算等效参数辨识、稳定裕度指标、稳定域、扰动域等电网稳定态势评估结果, 赋能相关属性信息。另外, 针对系统即将发生或可能发生的扰动, 通过异常数据分析、动态模拟推演、历史经验匹配等方法, 实现对电网预想态或未来态的稳定态势评估。

2) 优化控制决策, 在电网稳定态势评估结果基础上, 采用聚类、相关性、相似性等数据分析方法, 挖掘电网时空关联特性, 进一步识别关键路径、关键设备。根据电网状态轨迹特征及运行工况, 综合考虑电网空间维度和时间维度, 兼顾电网安全性和经济性, 在线快速计算自适应优化防控策略或紧急控制措施, 赋能相关属性信息。根据故障预案、专家知识、调控安规等知识的关联分析匹配, 快速推送出合理的辅助控制策略, 必要时抑制电网扰动传播或隔离危险环节。

3) 综合态势表征, 针对电网状态数据、稳定态势评估及优化控制决策等核心价值信息, 进一步深度加工和融合, 形成完整的电网运行态势知识体系, 并直接关联映射到电网物理系统对应的具体设备或区域。同时, 采用地图引擎、动态着色、热力图、图像处理、空间多尺度表达等可视化技术, 简单、直观展示电网稳定态势、薄弱环节、关键路径和优化策略的时空动态分布情况及动态演变趋势, 提升电网运行态势的综合表征及可视化展示能力。另外, 通过图论、复杂系统、统计分析、机器学习等理论和技术, 从电网已有理论方法体系中挖掘和发现新的知识, 从而丰富和拓展电网智能认知理论与方法。

2 运行态势知识图谱软件功能架构

针对电网运行态势图谱构建目标, 结合其基本概念与核心要求, 本文提出了电网运行态势知识图谱软件功能架构, 如图4所示。该架构面向智能调度场景, 依托多源信息融合、时空大数据平台、态势图谱引擎、知识关联推理、图谱业务应用和友好人机交互6大功能板块, 叠加业务流与信息流, 实现“物理网络+信息系统+知识图谱”的深度融合, 进而实现“一图知全局”, “一图全态”, 提升大电网实时智能防御水平。

1) 多源信息融合。从电网调度自动化系统或各类仿真工具, 获得电网不同时间尺度的实时运行状态测量信息、异常事件告警信息、历史断面、运行日志、环境信息及各类预想场景仿真结果等多源信息。综合考虑电网空间维度和时间维度, 对以上多源信息进行自适应校正、补缺、关联、对齐等综合处理, 建立统一数据结构和接口规范, 并采用图结构数据存储技术进行存储和管理, 为电网运行态势知识图谱构建提供统一标准的基础数据支撑。

2) 时空大数据平台。针对大电网多源、高维、海量、异构数据特点, 构建实时电网运行态势知识图谱大数据平台。向下对接智能调度和仿真系统, 向上支撑运行态势知识图谱构建全业务流程。利用高性能全量数据接口与智能算法引擎, 为静态评估与决策、动态评估与决策、基础通用算法及运行态势知识图谱构建提供高性能集成运行环境。利用多模数据管理技术, 实现电网海量高维、多源异构数据的高性能存储与查询。

3) 态势图谱引擎。基于电网物理设备信息、量测数据、仿真数据、态势评估指标、优化控制策略等各类多源信息, 提取电网运行态势知识图谱中的实体、关系以及属性等核心要素信息, 并采用“实体-关系-实体”的三元组形式进行表示, 从而构建电网运行态势图谱模式层。同时, 集成电网运行态势的知识建模、知识抽取、知识融合、知识加工与知识更新的核心业务计算流程, 并将综合态势知识信息映射到电网一次物理系统上, 支撑运行态势知识图谱在线实时智能构建。

4) 知识关联推理。结合态势知识库、调规知识库和专家知识库等, 对所构建的运行态势知识图谱, 再次进行数据关联挖掘、知识关联协同、异常告警溯源、核心知识表达等关联分析, 并开展相似

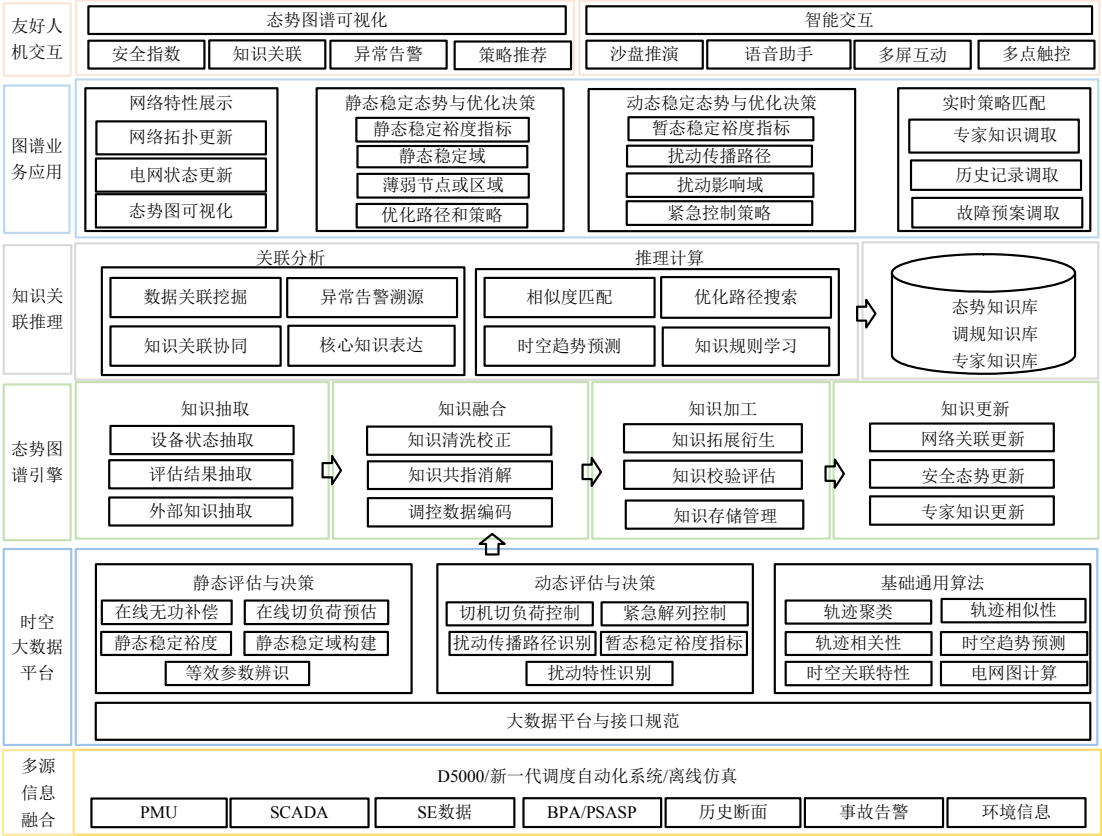


图 4 运行态势知识图谱软件功能架构图

Fig. 4 Software framework of operation situation knowledge graph

度匹配、优化路径搜索、时空趋势预测、知识规则学习等推理计算，实现电网运行态势的深度挖掘与综合研判，为电网全景态势感知与精确控制提供了有效技术支撑手段。

5) 图谱业务应用。针对电网运行态势知识图谱构建核心目标，动态展示电网拓扑结构、运行状态特性信息。在稳态运行场景下，实时直观展示电网有关等效阻抗、稳定裕度指标、稳定运行域、薄弱环节、优化路径和策略等知识信息。在动态运行场景下，实时展现电网扰动源、暂态稳定评估指标、关键设备、扰动传播路径、紧急控制策略等知识信息。同时，融合各类专家知识、历史记录、故障集预案等信息，实时匹配优化防控策略和对外推送。

6) 友好人机交互。面向调度运行人员及智能调度系统，在电网原有物理网络图上叠加展示运行态势知识图谱核心价值信息。主要采用电网地理信息接线图、仪表盘、曲线图、柱状图、热力图、表格及自定义组件等组态化模式，简单、直观、形象展示电网当前运行状态、薄弱环节、关键路径、优化策略等运行态势综合知识信息，方便调度运行人员了解电网全局运行态势及时空分布情况。同时，利用沙盘推演、语音助手、多屏互动等多模态智能

交互技术，提升调度人员与系统人机协同互动能力，提高工作成效，降低工作负荷。

3 运行态势知识图谱构建模式

3.1 逻辑架构

电网运行态势知识图谱是典型的领域知识图谱，核心要素相对明确与固定。因此，采用自顶向下的构建模式，其逻辑架构如图 5 所示，利用电网领域知识与专家经验，预先定义运行态势知识图谱的模式层，然后在模式层的指导下利用知识建模、知识抽取、知识融合等技术构建数据层。

1) 模式层构建。

模式层，是电网运行态势知识图谱的核心，主要是面向电网调度运行人员，存储分析和提炼的电网稳定态势评估、优化控制决策及综合态势表征等知识信息，并进一步叠加和关联映射到电网一次物理系统。

模式层从电网一次物理系统及二次信息系统获得电网各类运行状态信息，通过智能分析和优化控制算法，提取电网各类等效模型、评估指标、稳定域、薄弱环节、关键路径、防控策略、时空关联关系及行为事件等核心知识要素，并形成网络型知

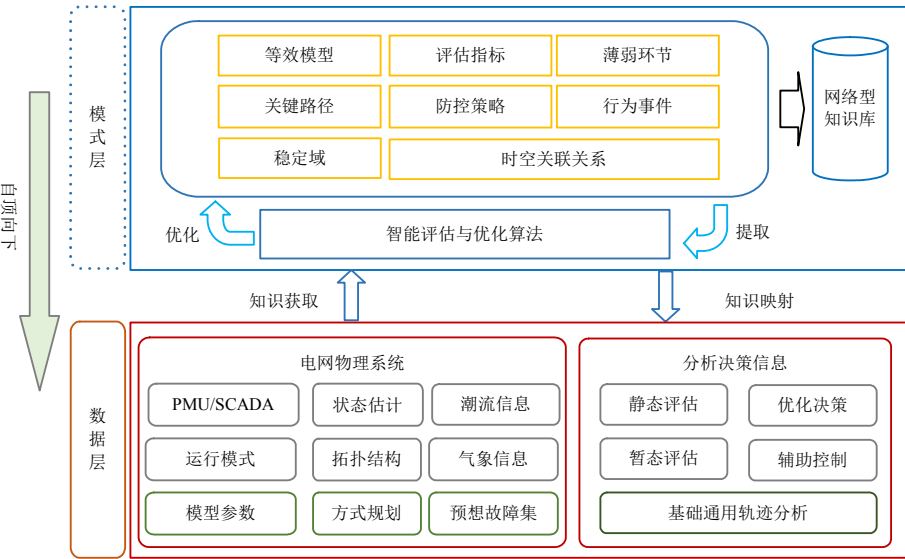


图 5 运行态势知识图谱逻辑架构图

Fig. 5 Logical framework of operation situation knowledge graph

识库进行存储。同时，将所形成的知识网络反向映射到电网实际物理设备中，方便调度运行人员快速、直观、全面了解电网运行态势与防控策略，支撑大电网智能全景主动安全防御体系建设，指导数据层建设与知识图谱构建，起到承上启下的作用。

2) 数据层构建。

数据层，是电网运行态势知识图谱的数据支撑基础，主要包含两类信息，一类是与电网物理系统直接相关的各类实测和仿真信息，另一类是挖掘和提炼出来的各种智能分析和控制策略信息。

第一类信息主要包含电网不同时间尺度的实时状态测量信息，如电网潮流状态信息、状态估计

信息、广域测量信息、运行模式、拓扑结构、设备状态及气象状态等主要信息；还有面向电网仿真相关的基础模型参数、方式、规划、预想故障集等主要信息。第二类信息主要通过电网静态评估与控制、暂态评估与控制及基础通用轨迹分析等算法计算获得。以上两类信息，均可通过三元组进行存储管理，匹配模式层对基础数据的需求，起到由下而上的数据支撑作用。

3.2 技术架构

电网运行态势知识图谱技术架构和构建流程，如图 6 所示。

在模式层的规范约束与指导下，从电网调度自

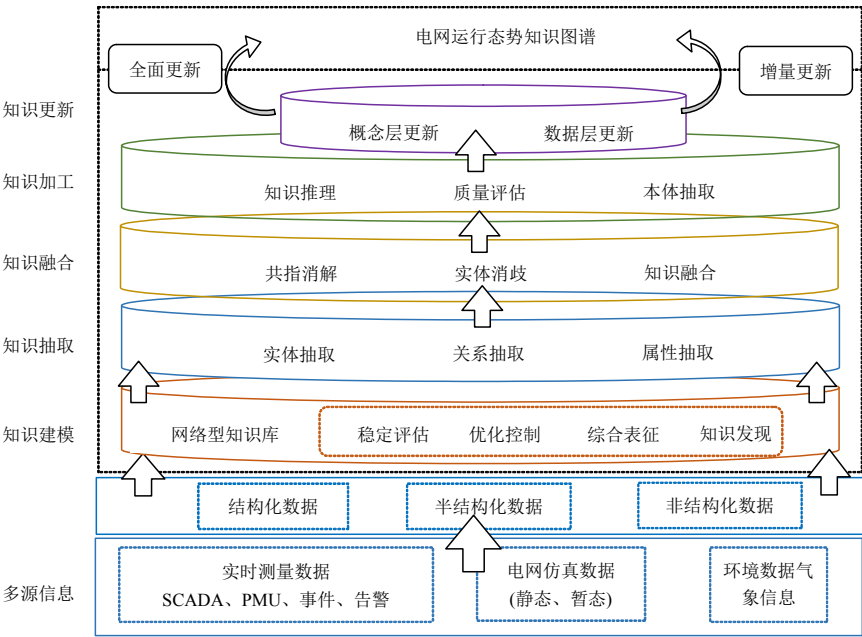


图 6 运行态势知识图谱构建流程图

Fig. 6 Operation situation knowledge graph construction process

动化系统、仿真工具及其他系统，获得电网各类运行状态数据、事件告警、模型参数、环境气象等多源信息，并开展知识建模、知识抽取、知识融合、知识加工、知识更新等知识图谱实时构建工作，最终提取并形成稳定态势评估、优化控制决策及综合态势表征等核心知识要素，并采用“实体-关系-实体”的三元组形式对其进行组织管理，最终实现电网运行态势知识图谱的实时构建。

3.3 构建技术

1) 知识建模。

知识建模是完成模式层所需基础模型搭建的过程，其过程如图 7 所示。形成电网运行态势网络型知识库进行存储，并对物理实体、实体间的关系以及实体属性进行关联映射，指导数据层的建设与知识图谱的构建。

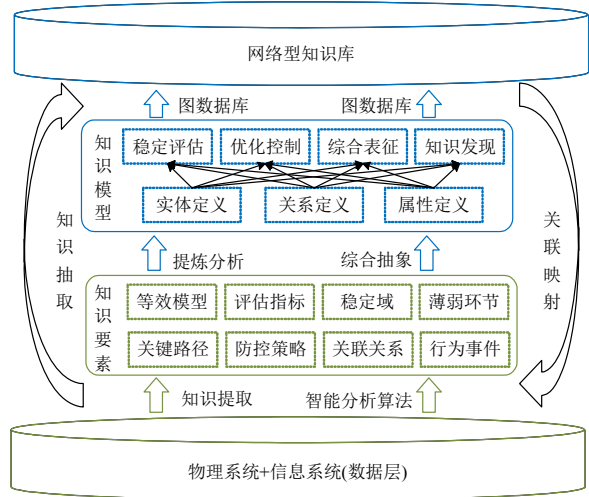


图 7 知识建模流程图

Fig. 7 Knowledge modeling process of operation situation knowledge graph

首先，从电网一次物理系统和二次信息系统构成的数据层中抽取模型构建所需的电网知识，然后对抽取的知识通过智能分析与特征关联等技术获得模型构建的核心知识要素，包括：等效模型、评估指标、稳定域、薄弱环节、关键路径、防控策略、关联关系、行为事件等。

然后，需要对电网核心知识要素进行提炼分析和综合抽象，即结合物理设备实体、电网调控业务及知识应用属性等要求，将核心知识要素抽象对应到实体-关系-属性的组织结构中，建立电网调控领域的知识模型。通过该知识模型解决电网稳定评估、优化控制、综合表征等重要问题，同时挖掘新的电网知识，进行电网知识发现与扩展。

最后，引入图数据库技术，将具有明显图结构特征的电网调控知识模型，结合电网一次物理拓连接关系，通过图数据库技术进行统一存储与管理，提高知识模型的分析、计算与查询性能。

2) 知识抽取。

知识抽取主要包括电网运行态势知识图谱的实体抽取、关系抽取和属性抽取，具体流程如图 8 所示。

实体抽取。实体抽取的质量在一定程度上直接影响电网运行态势知识图谱的整体性能，主要包含对真实物理实体和虚拟数字实体的抽取。由于电网具备天然网络属性，其中各类基础物理设施，如发电机、母线等均为物理实体。此外，通过对电网运行数据进行特性挖掘和数据分析，可获得各类等效虚拟参数、扰动传播模型、时空关联特性等虚拟数字实体。

关系抽取：通过关系抽取可抽象出电网物理设

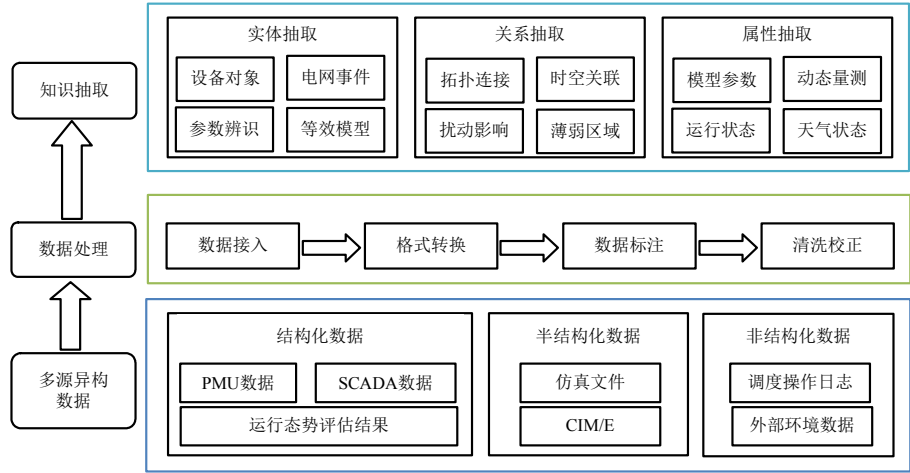


图 8 知识抽取流程图

Fig. 8 Knowledge extraction implementation process

备之间的直接与间接关系,包括拓扑连接关系以及时空关联关系等。例如,基于量测数据,可抽取电网拓扑连接关系,识别主网结构。通过时空关联关系抽取,可以评估电网设备间的相互作用关系,支撑电网广域优化控制、扰动传播预测及解列隔离等控制工作。

属性抽取:从不同信息中采集特定的实体属性信息,并通过一定的数据分析、评估和控制方法,获得实体有关的新知识,用于对实体特性的进一步描述及价值赋能,从而较为完整的刻画实体属性。比如,通过综合各类静/暂态分析和控制算法的结果,可获得设备及电网的稳定态势指标及控制策略,实现对设备实体的价值赋能。当电网发生故障时,可根据故障位置、网络结构、状态轨迹等信息,快速预估暂态稳定性,进而采取相应措施。

3) 知识融合。

针对电网多源数据在时间、空间、名称、属性等方面的诸多差异问题,需要将有关信息和知识进行融合,具体过程如图9所示。

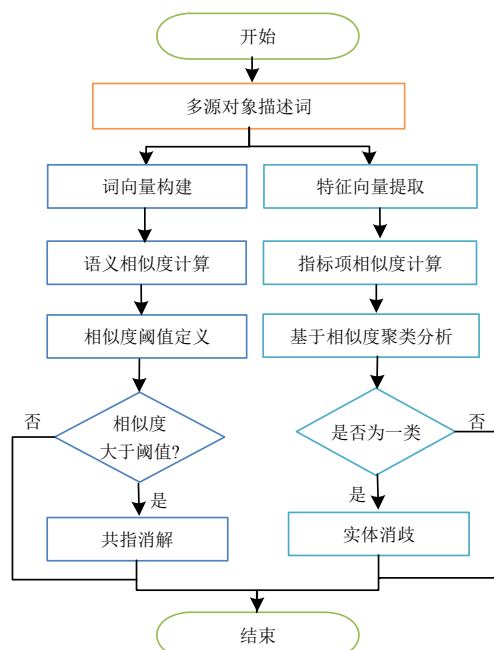


图9 知识融合流程图

Fig. 9 Knowledge fusion implementation process

知识融合主要通过共指消解和实体消歧等手段,融合同一对象的多源信息,建立统一规范的对象描述。

共指消解,利用提取出的实体词向量进行余弦相似度计算,将具有相同含义的描述词,赋予正确的电网物理设备对象上。

实体消歧,利用构建出的实体词向量生成空间

向量模型,再基于模型相似度进行聚类分析,确定实体的含义。例如电网中某些发电厂站与变电站以相同某地名称命名,无法明确厂站性质,通过实体消歧,可明确实体指代关系,确定实体所对应的物理厂站性质。

通过知识融合,可有效去除知识图谱核心三要素实体、关系、属性中的冗余和歧义,获得高质量的“实体-关系-实体”核心要素三元组,为电网运行态势知识图谱提供高质量的知识单元。

4) 知识加工。

知识加工是为了消除由多个系统产生的底层数据,尤其在知识抽取或知识融合阶段,产生的错误知识,具体流程如图10所示。通过知识加工,提高知识图谱构建质量。

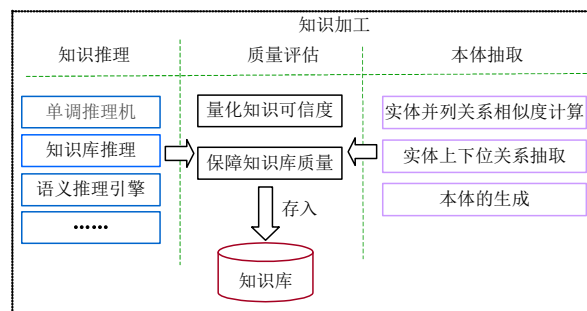


图10 知识加工流程图

Fig. 10 Knowledge processing implementation process

知识加工主要包括本体抽取、知识推理和质量评估。电网调度自动化系统获取设备及潮流等基本信息,数据量庞大且复杂,操作过程中会出现知识图谱关系不完整或属性错误等问题,并非所有信息都可应用于实际生产系统中。

因此,在新增知识之前,需要增加可信度量化评价的过程,从而消除知识错误或冲突。质量评估可采用专家人工评定的方法,也可根据自身业务需求灵活定义质量评估函数,通过舍弃可信度较低的知识,保障知识库的质量。

5) 知识更新。

由于系统状态、结构及连接方式发生变化,为了跟踪响应这种变化,需要对产生的知识进行更新和追加,具体流程如图11所示。

知识更新主要针对3类情况:①由于电网各节点的属性发生动态变化,导致节点间关联关系的变化;②电网态势发生状态变化,例如出现薄弱节点、相关性或相似性关系发生剧烈变化时,需要更新实体间的连接关系或连接强度;③增加电网物理拓扑

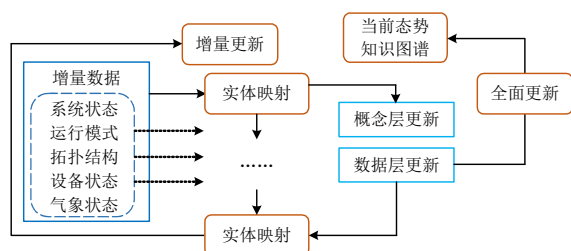


图 11 知识更新流程图

Fig. 11 Knowledge renewal implementation process

对应的知识图谱更新策略，将实时变化的电网状态及属性动态更新在知识图谱上。

知识图谱更新策略主要利用数据驱动的方式，即构建数据到实体的映射算法，自动更新知识图谱中的节点与边的关系、以及电网物理拓扑对应知识图谱的关联关系。同时，当某个节点发生变化的时候，与其相连的其他节点的关系也会发生相应改变。因此，进行知识更新时需要注意一致性的问题。

3.4 图结构存储

电网运行态势知识图谱是一种图结构的新型知识网络，主要采用高性能图数据库进行存储和管理，其模式如图 12 所示。

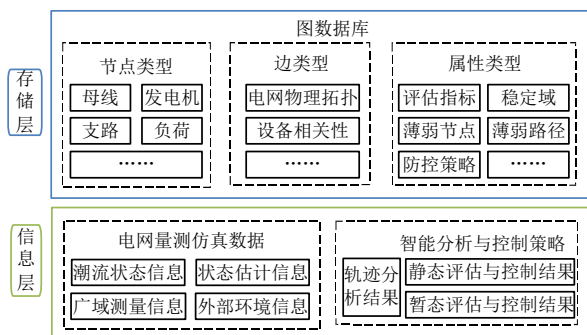


Fig. 12 Storage mode of operation situation knowledge graph

图数据库是一种使用图结构存储数据的数据库，相较于关系型数据库，其存储知识图谱更加高效，同时支持大规模数据存储与更新，综合考虑数据类型与存储效率，实现电网运行态势知识图谱数据存储管理。

电网运行态势知识图谱的存储模型以电网物理结构为基础，节点为电网设备，边为设备连接关系，属性为节点/边相关的状态信息、事件信息以及控制信息等。在数据存储过程中，对节点、边和属性的每个数据项分配唯一的 ID 作为数据位置索引，当进行数据查询与图分析计算时，可直接通过 ID 索引，快速定位到相应位置。

为了支持高效的图谱计算与应用，采用稀疏矩

阵三元组的存储方式，通过对电网运行态势知识图谱中的各类基础数据和评估结果定义数据结构，保存该数据元素的行、列及数值。同时，对矩阵中的非零元素进行筛选并压缩存储，还可以灵活的插入和删除运算生成的非零元素，节省存储空间，极大地提高计算和查询性能。

3.5 可视化引擎

电网运行态势知识图谱的可视化展示效果，决定其实用性和便捷性，采用的可视化引擎框架如图 13 所示。综合利用先进地理信息技术、三维可视化技术、色值转化技术、动画标注技术、数据实时传输技术、动态着色等可视化技术，构建知识图谱可视化引擎，对电网运行态势知识图谱进行综合展示。



Fig. 13 Functional framework of operation situation knowledge graph visualization engine

基础层，利用全国地图经纬度信息和电网厂站空间信息、网络拓扑连接关系，对各厂站进行地理分布定位，叠加厂站模型，绘制拓扑连接结构，将三维场景中构建的电网运行态势知识图谱地图作为可视化引擎的基础。

信息层，将运行态势知识图谱的核心要素通过聚类、相似、相关、扰动扩散等加工处理，结合动态着色技术进行色值映射，并将全网的信息流、能量流与业务流进行数据的动态映射。

展示层，将信息层色值映射处理后的知识叠加在地图引擎上，利用可视化动态效果展示全网信息流、能量流的流向、流速及流量情况。同时，通过高维数据可视化方法将电网运行状态的实时评价、异常分析、风险预警、调控策略、历史溯源等关键信息进行分层展示，有效降低调度员对全网运行态势的认知负荷。

电网运行态势知识图谱的知识具有数据量大、更新频率快的特点，在数据映射和图形渲染方面给硬件带来较大负荷。为了避免页面卡顿，可引入多线程计算与流式渲染技术，充分利用 CPU 资源，

提高图形实时更新渲染效率。

4 工程应用案例

针对本文设计的电网运行态势知识图谱软件架构和技术方案,设计并研发了电网运行态势知识图谱构建及可视化系统。该系统具体硬件集群配置如表 1 所示。

表 1 环境部署配置表

Table 1 Environmental deployment configuration			
服务器类型	软件部署	硬件参数	数量/台
管理服务器	Zookeeper、HDFS、CPU: 八核, 2.3 GHz; 内存:	128 GB; 磁盘: 2.4 TB	2
	HBase、Neo4j		
存储服务器	Zookeeper、CPU: 八核, 2.3 GHz; 内存:	64 GB; 磁盘: 4.8 TB	2
	HDFS、HBase		

本系统利用 Hadoop 核心组件搭建大数据环境,利用 Neo4j 图数据库对知识图谱进行存储管理,并在原有物理电网图上进行知识叠加和价值赋能。

本系统采用智能调度驾驶舱理念,设计了电网运行态势知识图谱主题界面,通过地图可视化引擎进行直观展示,主界面效果如图 14 所示。

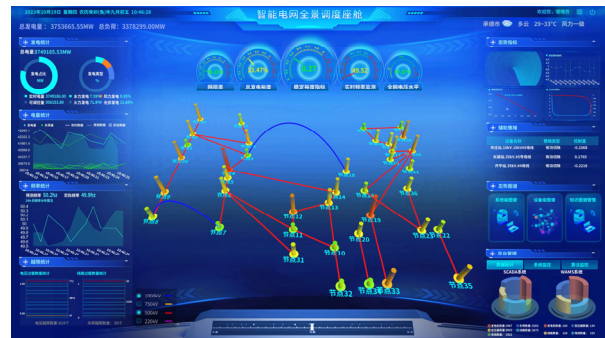


图 14 系统主界面展示图

Fig. 14 System main interface

主界面中间区域采用全景式地图引擎技术,部署和展示监控电网的地理接线图,并采用数据驱动和动态着色技术,在一次接线图中直观展示关键设备、指标、路径及策略等重要信息,方便调度运行人员更直观和全面地掌握电网运行态势。

主界面正上方以仪表盘模式,提供了反映电网整体运行态势的综合评估指标,可直观表达电网当前稳定态势及裕度情况,实现智能电网调度驾驶舱效果。该仪表盘采用组件化设计,方便调度员根据需要自定义设置预警指标阈值,还可方便用户自定义设置其余指标。

主界面左右两方,根据电网实际运行工况,分别提供组态化的特定主题展示控件,例如稳定指标曲线、稳定域、优化策略表、等效参数辨识等电网

当前运行态势核心价值信息。同时,通过直接设备映射或电网运行态势知识图谱关联分析,对应和溯源电网实际物理系统。做到分析和控制结果“从系统中来,到系统中去”的闭环目标,方便调度运行人员参考和决策。

主界面下方提供了拖拽式组态化电网虚拟时钟控件,通过拖拽时间轴方式,可实现对电网过去、现在及未来的状态推演。

系统采用“轨迹+事件”驱动的模式,根据电网实时状态轨迹特征,在线识别电网运行工况,自适应启动相应智能分析与控制算法,实现对电网实时智能监控及安全预警。

以某省级电网为案例,系统根据智能调度系统实时测量稳态信息、广域动态测量信息及仿真结果等数据,通过图谱自动化引擎的融合、计算与分析,得到了该省级电网静态场景下的等效阻抗参数辨识、静态稳定裕度评估指标、薄弱环节、稳定域、切负荷、无功补偿等综合运行态势核心知识要素信息,并直接映射到电网真实物理设备对象中。

当电网某处发生大扰动后,信息抽取模块提取出故障发生时间、故障类型、故障发生位置等关键信息,通过知识融合模块中词描述标准库进行匹配,生成标准化描述词;再通过设备 ID 将故障信息与量测、拓扑等信息进行关联,实现知识融合,并利用知识推理技术判断融合后的知识图谱基本逻辑是否正确。

如图 15 所示,在该场景中,通过知识图谱可得出某线路在 2022 年 1 月某日发生三相短路,故障持续 0.3 s,通过计算得到的评估指标为 0.72,将相关信息推送至图谱展示模块,并采用图数据库技术进行存储,帮助调度员迅速知悉故障影响情况。

同时,系统接收到故障预警提示后,自动切换到暂态分析与控制主题界面,利用 GIS 引擎等可视化技术,直观展示扰动事件、位置、属性、评估指标、控制策略、关键路径等核心知识图谱要素信息。如图 16 所示,从故障信息概述中,可以直观看到电网某厂站发生了三相短路故障,结合电网时序量测数据分析了电网设备受扰程度,并以冲击波的形式直观展示故障影响范围,帮助调度员迅速知悉故障情况,及时采取控制策略。

综上可见,系统从工程实用化角度及调度员视角,利用知识图谱简洁、高效、直观的“图语言”特点,结合地理信息及可视化技术,将加工整合后

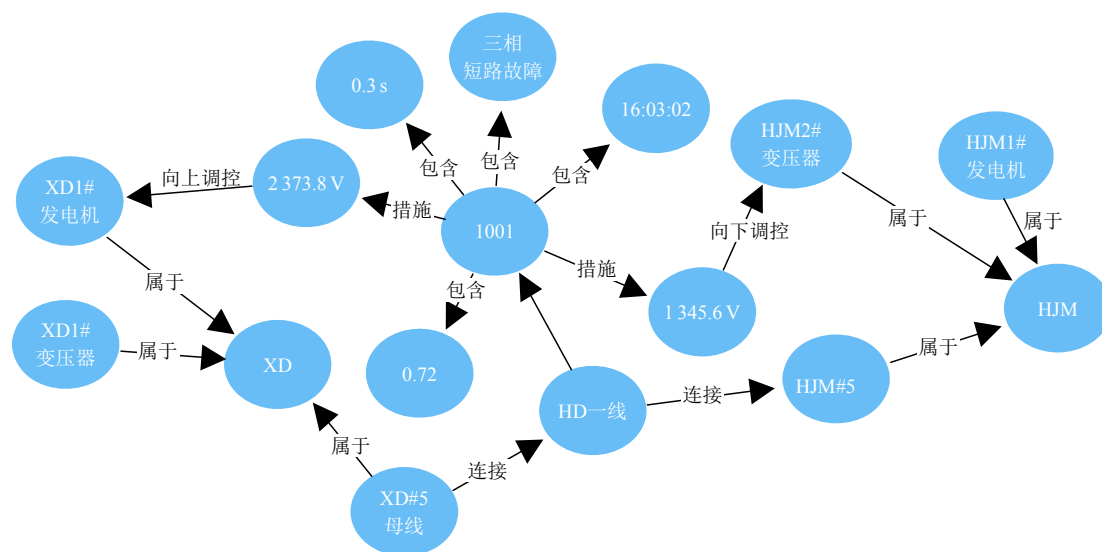


图 15 运行态势知识图谱组织结构示意图

Fig. 15 Organization structure for operation situation knowledge graph

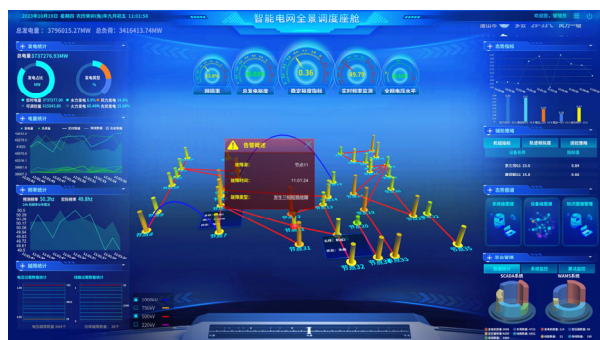


图 16 故障态系统界面展示图

Fig. 16 Display of the fail state system interface

的电网运行态势核心知识要素进行直观可视化展示，方便调度员实时直观把握电网动态运行特性，洞察电网安全稳定态势及时空分布特征。在一定程度上，达到“一图知全局”、“一图知全态”的电网运行态势知识谱图构建目标。

5 结论

针对大电网在线安全防御与智能调度核心业务问题，在智能全景系统思想和智能全景电网框架体系下，本文从“物理系统+信息系统+知识图谱”深度融合视角，提出了电网运行态势知识图谱的基本概念，详细介绍了其核心要素和构建目标。

在智能电网调度时空大数据平台基础上，面向调度运行人员，设计了电网运行态势知识图谱的软件功能架构，并系统性阐述了自顶向下的电网运行态势知识图谱构建模式及关键技术。

面向电网调度和控制中心，研发了大电网运行态势知识图谱智能构建及可视化系统，该系统具有简单、直观和友好人机交互特点，并在省级电网进

行应用，体现了电网运行态势知识图谱架构体系的先进性和实用性。

本文仅对电网运行态势知识图谱技术体系进行了初步探索，后续将结合新一代智能调度系统及实际电网运行数据，进一步深化研究稳定态势评估指标体系、自适应优化防控方法及综合运行态势知识图谱构建方法，助推信息驱动模式的大电网智能全景主动安全防御体系建设。

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. Concept of intelligent panoramic system and its application system in modern power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(10): 2885-2894(in Chinese).
- [2] 薛禹胜, 谢东亮, 薛峰, 等. 支持信息-物理-社会系统研究的跨领域交互仿真平台[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(10): 138-148.
XUE Yusheng, XIE Dongliang, XUE Feng, et al. A cross-field interactive simulation platform for supporting research on cyber-physical-social systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(10): 138-148(in Chinese).
- [3] 郭庆来, 辛蜀骏, 孙宏斌, 等. 电力系统信息物理融合建模与综合安全评估: 驱动力与研究构想[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(6): 1481-1489.
GUO Qinglai, XIN Shujun, SUN Hongbin, et al. Power system cyber-physical modelling and security assessment: motivation and ideas[J]. Proceedings of the CSEE, 2016,

- 36(6): 1481-1489(in Chinese).
- [4] 曾繁宏, 张俊勃. 电力系统惯性的时空特性及分析方法[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(1): 50-58, 373.
ZENG Fanhong, ZHANG Junbo. Temporal and spatial characteristics of power system inertia and its analysis method[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(1): 50-58, 373(in Chinese).
- [5] 袁小明, 张美清, 迟永宁, 等. 电力电子化电力系统动态问题的基本挑战和技术路线[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(5): 1904-1916.
YUAN Xiaoming, ZHANG Meiqing, CHI Yongning, et al. Basic challenges of and technical roadmap to power-electronized power system dynamics issues [J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(5): 1904-1916(in Chinese).
- [6] 董新洲, 汤涌, 卜广全, 等. 大型交直流混联电网安全运行面临的问题与挑战[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(11): 3107-3119.
DONG Xinzhou, TANG Yong, BU Guangquan, et al. Confronting problem and challenge of large scale AC-DC hybrid power grid operation[J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(11): 3107-3119(in Chinese).
- [7] 张智刚, 康重庆. 碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(8): 2806-2818.
ZHANG Zhigang, KANG Chongqing. Challenges and prospects for constructing the new-type power system towards a carbon neutrality future[J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(8): 2806-2818(in Chinese).
- [8] 许洪强. 调控云架构及应用展望[J]. 电网技术, 2017, 41(10): 3104-3111.
XU Hongqiang. Architecture of dispatching and control cloud and its application prospect[J]. Power System Technology, 2017, 41(10): 3104-3111(in Chinese).
- [9] 李明节, 陶洪铸, 许洪强, 等. 电网调控领域人工智能技术框架与应用展望[J]. 电网技术, 2020, 44(2): 393-400.
LI Mingjie, TAO Hongzhu, XU Hongqiang, et al. The technical framework and application prospect of artificial intelligence application in the field of power grid dispatching and control[J]. Power System Technology, 2020, 44(2): 393-400(in Chinese).
- [10] 刘道伟, 张东霞, 孙华东, 等. 时空大数据环境下的大电网稳定态势量化评估与自适应防控体系构建[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(2): 268-276.
LIU Daowei, ZHANG Dongxia, SUN Huadong, et al. Construction of stability situation quantitative assessment and adaptive control system for large-scale power grid in the spatio-temporal big data environment[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(2): 268-276(in Chinese).
- [11] 李柏青, 刘道伟, 秦晓辉, 等. 信息驱动的大电网全景安全防御概念及理论框架[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(21): 5796-5805, 6022.
LI Baiqing, LIU Daowei, QIN Xiaohui, et al. Concept and theory framework of panoramic security defense for bulk power system driven by information[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(21): 5796-5805, 6022(in Chinese).
- [12] 郑恒峰, 刘道伟, 李柏青, 等. 基于电压相量轨迹几何特征的电网节点时空关联特性评估[J]. 电网技术, 2020, 44(1): 9-18.
ZHENG Hengfeng, LIU Daowei, LI Baiqing, et al. Grid bus spatio-temporal linkage assessment based on geometric characteristics of voltage phasor trajectories [J]. Power System Technology, 2020, 44(1): 9-18(in Chinese).
- [13] 刘道伟, 李宗翰, 李柏青, 等. 基于电压相量空间的电网失步中心特性解析及精准定位方法[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(10): 3068-3076.
LIU Daowei, LI Zonghan, LI Baiqing, et al. Power grid out-of-step center characteristic analysis and accurate locating method based on voltage phase space [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(10): 3068-3076(in Chinese).
- [14] 薛禹胜. EEAC与直接法的机理比较(三)定性判稳与定量分析[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(13): 1-5, 25.
XUE Yusheng. A critical comparison of various methods for transient stability assessment part three qualitative criterion and quantitative analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(13): 1-5, 25(in Chinese).
- [15] 刘道伟, 韩学山, 杨明, 等. 基于全参量灵敏度的电网静态稳定实用判据[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(7): 91-100, 196.
LIU Daowei, HAN Xueshan, YANG Ming, et al. Applied criterion of power system static stability based on comprehensive parameters sensitivity technique [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(7): 91-100, 196(in Chinese).
- [16] 刘道伟, 马世英, 李柏青, 等. 基于响应的电网暂态稳定态势在线量化评估方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(4): 85-95.
LIU Daowei, MA Shiying, LI Baiqing, et al. Quantitative method for on-line power system transient stability assessment based on response information[J]. Proceedings

- of the CSEE, 2013, 33(4): 85-95(in Chinese).
- [17] 竺炜, 周孝信, 蒋岷, 等. 基于映射弹性势能的电网有功承载能力定量指标[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(13): 2088-2099.
- ZHU Wei, ZHOU Xiaoxin, JIANG Di, et al. Quantitative index of grid active power load capability based on mapping elasticity potential energy[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(13): 2088-2099(in Chinese).
- [18] 于琳, 孙华东, 徐式蕴, 等. 电力电子设备接入电压支撑强度量化评估指标综述[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(2): 499-514.
- YU Lin, SUN Huadong, XU Shiyun, et al. Overview of strength quantification indexes of power system with power electronic equipment[J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(2): 499-514(in Chinese).
- [19] 李宗翰, 刘道伟, 张东霞, 等. 计及动作时序的电网在线快速主动解列策略计算[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(14): 4740-4752.
- LI Zonghan, LIU Daowei, ZHANG Dongxia, et al. Rapid active controlled islanding strategy considering action sequence for power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(14): 4740-4752(in Chinese).
- [20] 邱高, 刘友波, 许立雄, 等. 基于深度确定性策略梯度的电网断面极限传输能力动态趋优控制[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(15): 5128-5138.
- QIU Gao, LIU Youbo, XU Lixiong, et al. A deep deterministic policy gradient based-dynamic optimizing control for power system total transfer capability [J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(15): 5128-5138(in Chinese).
- [21] 杨胜春, 汤必强, 姚建国, 等. 基于态势感知的电网自动智能调度架构及关键技术[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 33-39.
- YANG Shengchun, TANG Biqiang, YAO Jianguo, et al. Architecture and key technologies for situational awareness based automatic intelligent dispatching of power grid[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 33-39(in Chinese).
- [22] 刘广一, 王继业, 李洋, 等. “电网一张图”时空信息管理系统[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(1): 7-17.
- LIU Guangyi, WANG Jiye, LI Yang, et al. "One Graph of Power Grid" spatio-temporal information management system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(1): 7-17(in Chinese).
- [23] SINGHAL A. Introducing the knowledge graph: things, not strings[M]. Official Google Blog, 2012.
- [24] 刘峤, 李杨, 段宏, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 582-600.
- LIU Qiao, LI Yang, DUAN Hong, et al. Knowledge graph construction techniques[J]. Journal of Computer Research and Development, 2016, 53(3): 582-600(in Chinese).
- [25] 蒲天骄, 谈元鹏, 彭国政, 等. 电力领域知识图谱的构建与应用[J]. 电网技术, 2021, 45(6): 2080-2091.
- PU Tianjiao, TAN Yuanpeng, PENG Guozheng, et al. Construction and application of knowledge graph in the electric power field[J]. Power System Technology, 2021, 45(6): 2080-2091(in Chinese).
- [26] 乔骥, 王新迎, 闵睿, 等. 面向电网调度故障处理的知识图谱框架与关键技术初探[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(18): 5837-5848.
- QIAO Ji, WANG Xinying, MIN Rui, et al. Framework and key technologies of knowledge-graph-based fault handling system in power Grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(18): 5837-5848(in Chinese).
- [27] 郭榕, 杨群, 刘绍翰, 等. 电网故障处置知识图谱构建研究与应用[J]. 电网技术, 2021, 45(6): 2092-2100.
- GUO Rong, YANG Qun, LIU Shaohan, et al. Construction and application of power grid fault handling knowledge graph[J]. Power System Technology, 2021, 45(6): 2092-2100(in Chinese).
- [28] 张锐, 刘剑青, 张伯远, 等. 基于迁移学习的电网故障处置知识图谱构建及实时辅助决策研究[J]. 电力信息与通信技术, 2022, 20(6): 24-34.
- ZHANG Rui, LIU Jianqing, ZHANG Boyuan, et al. Research on grid fault handling knowledge graph construction and real-time auxiliary decision based on transfer learning[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2022, 20(6): 24-34(in Chinese).
- [29] 余建明, 王小海, 张越, 等. 面向智能调控领域的知识图谱构建与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 29-35.
- YU Jianming, WANG Xiaohai, ZHANG Yue, et al. Construction and application of knowledge graph for intelligent dispatching and control[J]. Power system protection and Control, 2020, 48(3): 29-35(in Chinese).
- [30] 周二专, 张思远, 严剑峰, 等. 电网调控决策知识模型建模及实现方法[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(14): 5057-5066.
- ZHOU Erzhuang, ZHANG Siyuan, YAN Jianfeng, et al. Decision knowledge modeling and implementation for power grid dispatching and control[J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(14): 5057-5066(in Chinese).

- [31] 王骏东, 杨军, 裴洋舟, 等. 基于知识图谱的配电网故障辅助决策研究[J]. 电网技术, 2021, 45(6): 2101-2112.
WANG Jundong, YANG Jun, PEI Yangzhou, et al. Distribution network fault assistant decision-making based on knowledge graph[J]. Power System Technology, 2021, 45(6): 2101-2112(in Chinese).
- [32] 阮聪, 齐林海, 王红. 融合知识图谱与神经张量网络的需求响应智能推荐[J]. 电网技术, 2021, 45(6): 2131-2140.
RUAN Cong, QI Linhai, WANG Hong. Intelligent recommendation of demand response combined with knowledge graph and neural tensor network[J]. Power System Technology, 2021, 45(6): 2131-2140(in Chinese).
- [33] 李刚, 李银强, 王洪涛, 等. 电力设备健康管理知识图谱: 基本概念、关键技术及研究进展[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(3): 1-13.
LI Gang, LI Yinqiang, WANG Hongtao, et al. Knowledge graph of power equipment health management: basic concepts, key technologies and research progress [J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(3): 1-13(in Chinese).



张晓华

在线出版日期: 2023-10-26。

收稿日期: 2022-07-28。

作者简介:

张晓华(1963), 男, 教授级高级工程师, 长期从事大电网调控运行管理工作, zhang-xiaohua@sgcc.com.cn;

*通信作者: 刘道伟(1977), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事信息驱动的大电网智能全景安全防御与优化控制工作, liudaowei@epri.sgcc.com.cn;

李柏青(1963), 男, 教授级高级工程师, 主要从事电力系统分析与控制研究工作;

乔颖(1973), 女, 研究员, 主要从事实时大数据以及实时智能技术的研究;

赵高尚(1993), 男, 工程师, 主要从事电力系统稳定分析与电力大数据应用。

(责任编辑 李泽荣)

Research on Information-driven Operation Situation Knowledge Graph Framework and Construction Mode of Large Power Grid

ZHANG Xiaohua¹, LIU Daowei^{2*}, LI Baiqing², QIAO Ying³, ZHAO Gaoshang²,
YANG Hongying², LYU Xianjin³, ZHANG Li³

(1. State Grid Jibei Electric power Company Limited; 2. China Electric Power Research Institute;

3. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences)

KEY WORDS: intelligent panoramic system; intelligent panoramic power grid; operation situation; knowledge graph; artificial intelligence

Based on the massive and high-dimensional real-time measurement and simulation information of the large power grid, and relying on advanced information technologies such as big data, artificial intelligence, and knowledge graphs, the core of building an online intelligent active security defense system for the large power grid is to deeply explore and characterize the knowledge of the power grid operation situation and visually display it.

This article proposes the basic concept of power grid operation situation knowledge graph from the perspective of deep integration of “physical system+information system+knowledge graph” under the concept of intelligent panoramic system and intelligent panoramic power grid framework system. It uses graph models to represent the complex spatiotemporal correlation between power grid stability assessment, optimization decision-making and various equipment objects (as shown in Fig. 1).

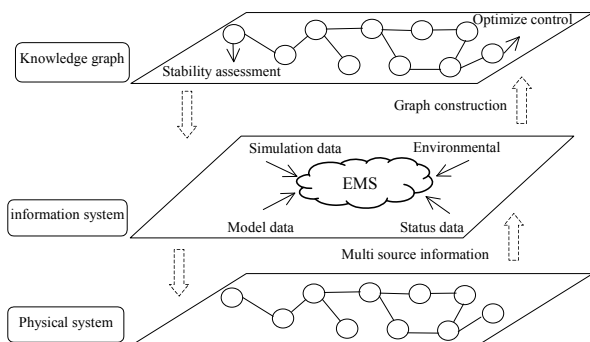


Fig. 1 Concept of operation situation knowledge graph

At the same time, based on the smart grid scheduling spatiotemporal big data platform, a software

functional architecture for the power grid operation situation knowledge graph is designed, and a top-down construction mode for the power grid operation situation knowledge graph is proposed (as shown in Fig. 2). Key technologies such as knowledge modeling, knowledge extraction, knowledge fusion, knowledge processing, knowledge updating, graph structure storage, and visualization engine are elaborated, and an intelligent construction and visualization system for the power grid operation situation knowledge graph is developed.

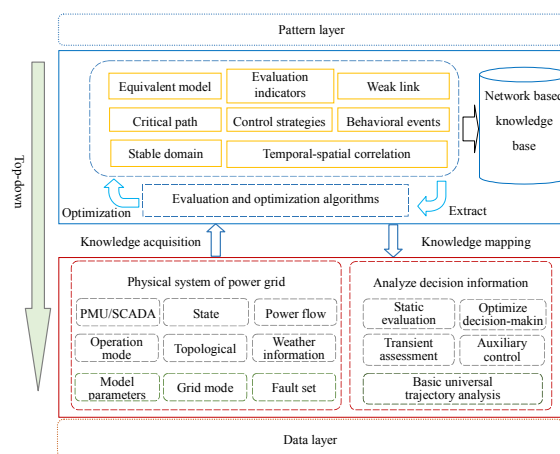


Fig. 2 Logical framework of operation situation knowledge graph

The knowledge graph of power grid operation situation constructed in this article can achieve a deep integration of “physical network+information system+knowledge graph”, thereby achieving “one graph displays the whole state”, “one graph displays the whole world”, and “one graph displays the whole picture”, improving the real-time intelligent defense level of the power grid.