



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

电网运行态势知识图谱智能构建技术

Intelligent construction technology of power grid operation situation knowledge
graph

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言I

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义1

4 符号、代号和缩略语1

5 电网运行态势知识图谱构建方式2

 5.1 系统级知识图谱构建方式2

 5.2 设备级知识图谱构建方式3

6 电网运行态势知识图谱管理方式4

 6.1 电网运行态势知识图谱存储管理方式4

 6.2 电网运行态势知识图谱展示方式4

附 录 A5

 （资料性）5

电网运行态势知识图谱概念与范例5

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本文件起草单位：中国科学院软件研究所、中国电力科学研究院有限公司。

本文件主要起草人：刘道伟、乔颖、赵高尚、吕先进、杨红英、张丽、王宏安、蓝海波、宋磊、王凯、卢毅、马鑫盛、陈勇、杨学涛、刘开欣、杨世通、王世茹。

本文件为首次发布。

电网运行态势知识图谱智能构建技术

1 范围

本文件规定了电网运行态势知识图谱智能构建与管理的总体要求,包括电网运行态势知识图谱定义、电网运行态势知识图谱构建方式以及管理方式。

本文件适用于电网运行态势知识图谱智能构建与管理标准,用于支撑电网智能调控系统的研制、开发和测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 42131-2022

人工智能 知识图谱技术框架

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 知识图谱 Knowledge graph

知识图谱是一种语义网络结构,采用图结构描述现实社会中存在的各种实体,以及实体之间的关联关系。

3.2 电网运行态势知识 Knowledge of power grid operation situation

电网运行态势知识是指电网运行状态、各类稳定态势评估指标、控制策略以及电网发生的事件等信息。

3.3 电网运行态势知识图谱 Knowledge graph of power grid operation situation

电网运行态势知识图谱是指使用图模型描述电网稳定态势知识与电网物理设备之间的关联关系,实现电网稳定态势知识的直观表达。电网运行态势知识图谱可根据用户的关注程度分为系统级知识图谱与设备级知识图谱,实现了电网运行态势知识的分层管理,帮助使用用户直观了解电网的运行态势。

3.4 知识抽取 Knowledge extraction

知识抽取是指从海量多源异构数据中自动提取结构化的知识元素,转化为知识图谱的节点和边的过程。

3.5 知识融合 Knowledge fusion

知识融合是指将来自不同数据源、不同领域和不同语言的知识进行集成和整合,生成一个一致性和完整性更高的知识图谱的过程。

3.6 知识加工 Knowledge processing

知识加工是指对知识图谱的数据和结构进行处理、分析和推理,从而提高知识质量和应用效果的过程。

3.7 电子看板 Electronic billboards

实现管理可视化、透明化的一种表现形式,对现场数据、状态信息一目了然地表现,通过网络系统将各种文字、图表、图像等信息内容采用电子显示屏进行发布。

3.8 工位终端 Station terminal

面向生产工位,具备网络通信功能的,用于指导现场作业或执行求助、识别等操作的智能终端设备。

4 符号、代号和缩略语

无

5 电网运行态势知识图谱构建方式

5.1 系统级知识图谱构建方式

5.1.1 构建流程

系统级知识图谱构建流程如图 1 所示，包括但不限于：

- (1) 知识生成：
- 1) 基于电网量测数据，利用电网机理与机器学习算法，包括但不限于强化学习、图卷积神经网络、随机森林等方法开展电网运行态势指标计算，生成静态评估指标与暂态评估指标；基于输入数据与静态评估、暂态评估指标，生成切机、切负荷等电网辅助控制策略；基于输入数据，利用数据挖掘算法，包括但不限于线性回归、贝叶斯网络、循环神经网络等方法开展电网时空特性分析，生成电网时空轨迹聚类、相似性、相关性、趋势预测分析结果；
- 2) 基于电网仿真计算，开展电网运行态势指标计算，计算电压安全指标、功角安全指标；
- (2) 知识融合：对知识生成步骤中输出的电网评估指标、控制策略等信息进行数据清洗校正并统一设备编码，实现知识融合；
- (3) 知识加工：对融合后的知识进行本体抽取，抽取出发电机、母线等物理实体，各类静态评估与暂态评估指标、扰动控制策略、时空关联特性等虚拟数字实体以及拓扑连接关系等，结合知识图谱概念模型生成初步的系统级知识图谱；利用机器学习算法，挖掘知识图谱中实体之间新的关联关系，并对知识的质量进行评估，舍弃质量较低的知识。

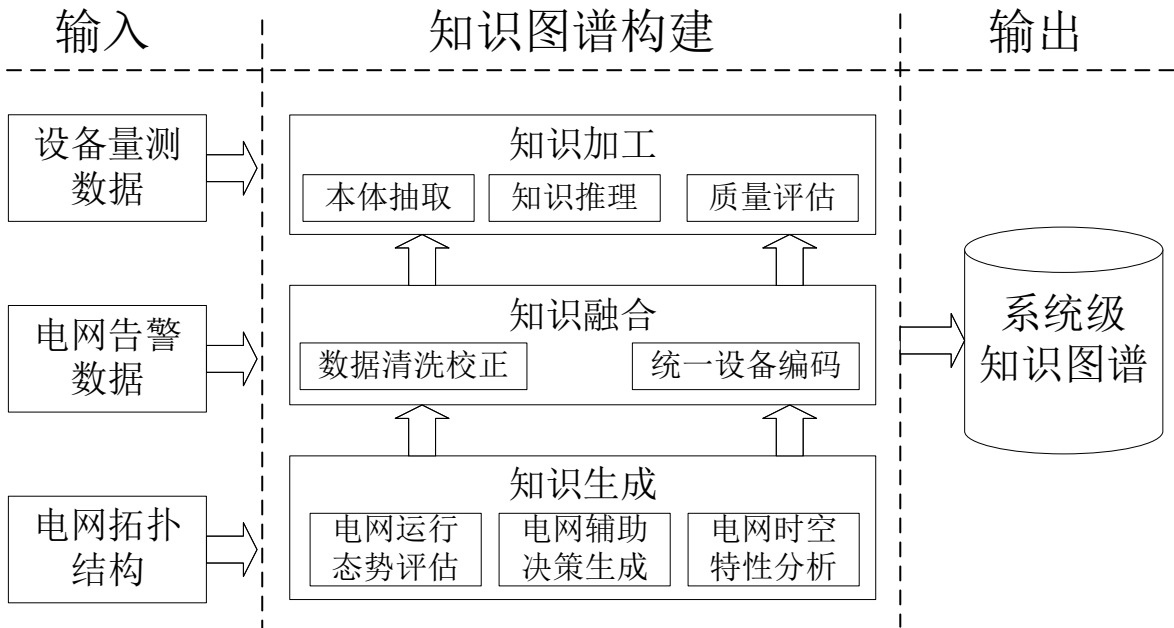


图 1 系统级知识图谱构建流程

5.1.2 输入

系统级知识图谱构建的输入包括但不限于：

- (1) 设备量测数据：发电机、母线、支路、负荷等实时量测数据；
- (2) 电网告警数据：事件类型、事件发生位置、事件发生时间；
- (3) 电网拓扑结构：支路首末端母线、负荷连接母线、发电机连接母线。

5.1.3 输出

系统级知识图谱信息包括但不限于：

- (1) 电网状态：电网稳定或者电网失稳；
- (2) 系统级指标：电网整体稳定指标，包括但不限于网损率指标、总发电裕度指标、稳定裕度指标；
- (3) 电网控制策略：调控类型、调控对象、调控量；
- (4) 关键设备：当前电网最不稳定的设备，重点关注的设备。

5.2 设备级知识图谱构建方式

5.2.1 构建流程

设备级知识图谱构建流程如图 2 所示，包括但不限于：

(1) 知识抽取：基于输入数据，经过实体抽取、关系抽取、属性抽取等流程，实现设备级运行态势知识结构化抽取；

1) **实体抽取**：实体抽取主要包含对真实物理实体和虚拟数字实体的抽取。其中，采用卷积神经网络、循环神经网络等人工智能方法从文本数据中抽取各类基础物理设施，如发电机、母线等。此外，通过对电网运行数据进行特性挖掘和数据分析，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。

2) **关系抽取**：关系抽取可抽象出电网物理设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。基于量测数据，可抽取电网拓扑连接关系，识别主网结构。利用数据挖掘算法，包括但不限于决策树、遗传算法、关联规则挖掘等人工智能方法，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。

3) **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，从而较为完整的刻画实体属性。具体包括设备电压等级、线路电阻、电抗等属性。

(2) 知识融合：对知识抽取步骤中输出的结构化设备运维知识，经过共指消解、实体消歧等流程，实现设备运维知识融合；

1) **共指消解**：利用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。

2) **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。

(3) 知识加工：对融合后的知识进行本体抽取，抽取的本体包括：发电机、母线等物理实体，评估指标、缺陷类型、缺陷原因、缺陷部件等虚拟数字实体以及拓扑连接关系、发生关系等，结合知识图谱概念模型生成初步的设备级知识图谱；再利用机器学习算法，挖掘知识图谱中实体之间新的关联关系，并对知识的质量进行评估，舍弃质量较低的知识。

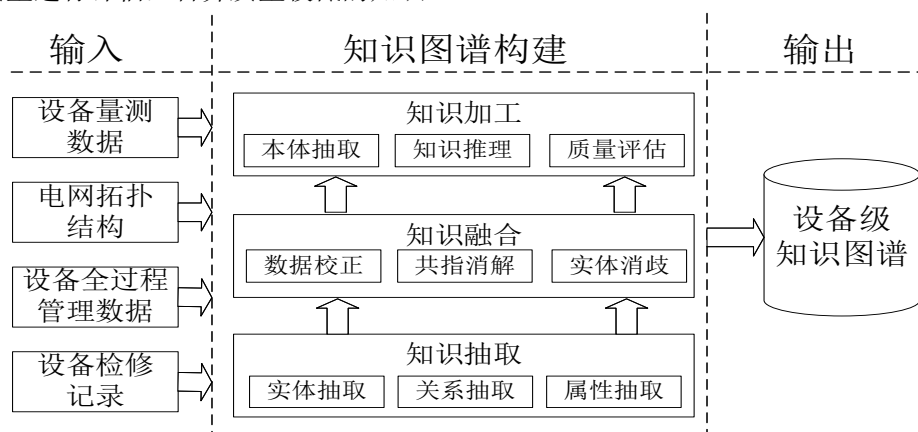


图 2 设备级知识图谱构建流程

5.2.2 输入

设备级知识图谱构建的输入包括但不限于：

- (1) 设备量测数据：发电机、母线、支路、负荷等实时量测数据；
- (2) 电网拓扑结构：支路首末端母线、负荷连接母线、发电机连接母线；
- (3) 设备全过程管理数据：设备采购、投运、维修、停运、报废等管理数据；
- (4) 设备检修记录：故障设备、生产厂家、故障原因、处置措施等检修数据；

5.2.3 输出

设备级知识图谱信息包括但不限于：

(1) 设备级指标：设备各类稳定指标，包括但不限于：电压稳定指标、功角稳定指标、频率稳定指标；

- (2) 设备全过程管理知识：设备采购时间、投运周期、设备质量、报废原因、设备利用率知识；
 (3) 设备生产运维知识：故障/缺陷发生时间、部件、原因以及处置措施。

6 电网运行态势知识图谱管理方式

6.1 电网运行态势知识图谱存储管理方式

采用图数据库方式存储电网运行态势知识图谱，存储流程如图 3 所示，具体流程包括但不限于：

- (1) 在图数据库中创建存储数据结构，具体包含节点、连接边以及属性，其中节点表示实体，边表示实体之间的关系，属性为实体与关系的属性；
 (2) 根据上述数据结构，将电网运行态势知识图谱中事件实体、设备实体、指标实体、策略实体、厂家实体等信息映射到节点上，拓扑连接关系、发生关系、包含关系、控制关系、生产关系等信息映射到边上，时间属性、参数属性添加到相应的节点与边上，从而实现电网运行态势知识图谱存储；
 (3) 使用图数据库查询语言和可视化工具查询、浏览存储在图数据库中的知识图谱，以有向图（节点-->节点）的形式展示查询结果；
 (4) 随着数据的不断变化，需要不断维护和更新图数据库，包括添加新的节点、边与属性，修改现有的节点、边与属性，删除过时的节点、边与属性等；

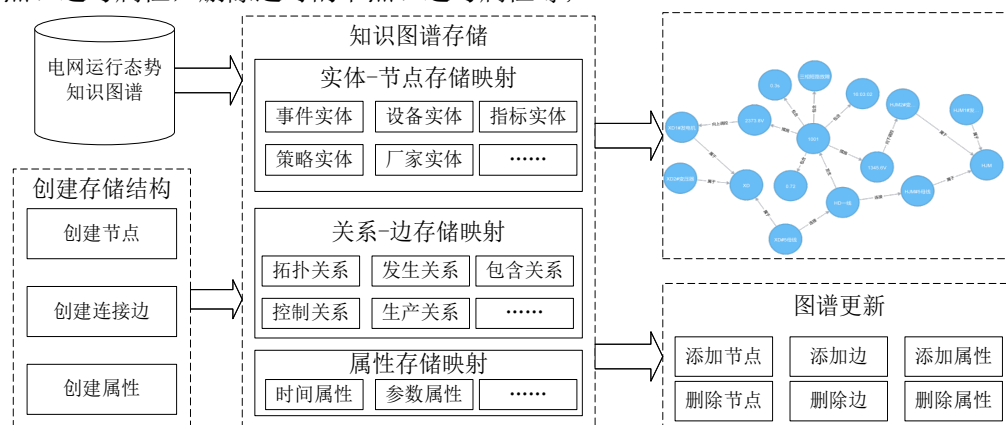


图 3 电网运行态势知识图谱存储流程

6.2 电网运行态势知识图谱展示方式

6.2.1 展示内容

电网运行态势知识图谱展示内容包括但不限于：

- (1) 系统级知识图谱
 1) 电网主网架构；
 2) 电网发生事件信息；
 3) 系统级态势指标、控制策略；
 4) 关键设备；
 (2) 设备级知识图谱
 1) 场站内设备拓扑连接关系；
 2) 电网量测信息、模型参数信息；
 3) 设备级态势评估指标；
 4) 设备生产运维信息；

6.2.2 展示形式

通过电子看板、工位终端或移动终端站展示电网运行态势知识图谱，以电网地理接线图形式展示电网主网架构，利用动态着色技术展示各设备态势评估指标，利用弹窗形式展示电网事件、控制策略、量测数据、模型参数、生产运维等信息。对于异常指标用颜色、图形或声音进行预警或报警。

附录 A

(资料性)

电网运行态势知识图谱概念与范例

A.1 系统级知识图谱概念与范例

系统级知识图谱，主要是对电网的系统级态势知识进行描述，包括设备之间的物理拓扑信息、电网整体的状态信息、电网各类的评估指标、电网发生的故障/扰动事件以及故障/扰动事件对应的调控策略等信息。通过系统级知识图谱，用户可直观了解到电网的整体运行状态，系统级知识图谱概念模型如图 A.1 所示，系统级知识图谱范例如图 A.2 所示。

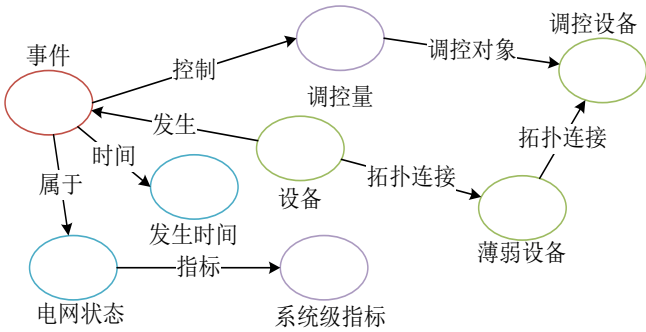


图 A.1 系统级知识图谱概念模型

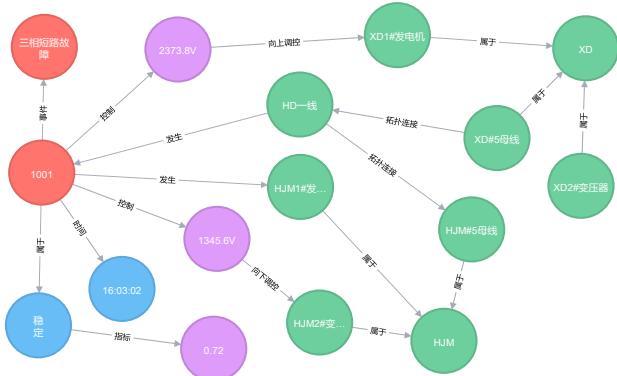


图 A.2 系统级知识图谱范例

A.2 设备级知识图谱概念与范例

设备级知识图谱中，主要是对电网设备的各类运维知识进行描述，包括设备之间的物理拓扑信息、设备实时量测信息、设备静态模型参数、设备各类指标、设备生产运维等信息。通过设备级知识图谱，用户可详细掌握各个设备的运行状态，设备级知识图谱概念模型如图 A.3 所示，设备级知识图谱范例如图 A.4 所示。

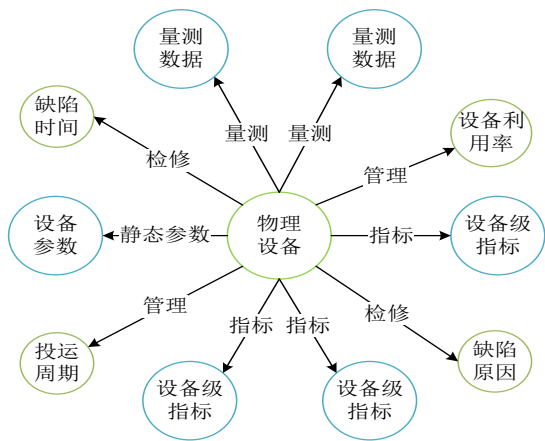


图 A.3 设备级知识图谱概念模型

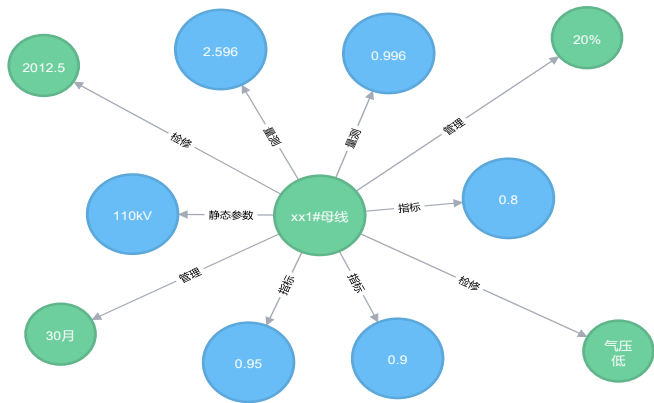


图 A.4 设备级知识图谱范例