

团 体 标 准

T/JES XXX-XXXX

电力图计算系统：系统架构及要求

Grid Graph Computing System: System Architecture and Requirements

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

江苏省电工技术学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 系统总体架构概述	1
5.1 功能概述	2
5.2 功能视图	2
5.3 功能要求	2
5.4 应用视图	4

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》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由江苏省电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司南京供电分公司、国网上海市电力公司、东南大学、南京大学、国电南瑞科技股份有限公司、中国电力科学研究院有限公司、北京海致星图科技股份有限公司。

本文件主要起草人：朱红、韦磊、胡子健、许洪华、纪业、周苏洋、顾伟、田英杰、郝运、高明阳、樊继利、李宇涵、张宇杰、孙宇鹏、黄宝俊、王程玉、裘洪彬。

本文件为首次发布。

电力图计算系统：系统架构及要求

1 范围

本文件规定了电力图计算系统的系统架构及相应的功能要求，包括总体架构、功能架构、数据架构、技术架构与应用架构等方面的基本内容。同时，明确了与其他相关标准的衔接要求及接口关系。

本文件适用于电力图计算系统的软件开发、部署、集成与运维管理。对于已有系统的功能扩展和升级改造，也可参照本标准执行。

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。

ISO/IEC 25010:2023 系统和软件工程

IEEE Std 1471-2000 软件密集型系统架构

GB/T 37722-2019 信息技术大数据存储与处理系统功能要求

GB/T 5271.17-2010 信息技术 词汇 第17部分：数据库

3 术语和定义

GB/T 39477-2020、GB/T 5271.28—2001 和 DA/T 77-2019, 3.3 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

图数据库 graph database

一种应用图理论存储实体及其之间关系信息的非关系型数据库。

[GB/T 37722-2019]

3.2

功能适用性 functional suitability

软件满足明确和隐含需求的能力。

[ISO/IEC 25010:2023]

3.3

视图 view

从一组相关关注点的角度对整个系统的描绘。

[IEEE Std 1471-2000]

[来源：GB/T 39477-2020]

4 缩略语

CPU：中央处理器（Central Processing Unit）

REST：表示性状态转变（Representational State Transfer）

API：应用程序编程接口（Application Programming Interface）

GPU：图形处理器（Graphics Processing Unit）

RPC：远程过程调用（Remote Procedure Call）

5 系统总体架构概述

5.1 功能概述

电力图计算系统参考架构如图 1 所示，系统运行设计具备相应能力的各类角色，在一定功能的支持下，执行相应的活动。本标准重点从功能视图的角度给出电力图计算系统的参考架构，具体包括数据接入层、计算平台层及应用算法层。

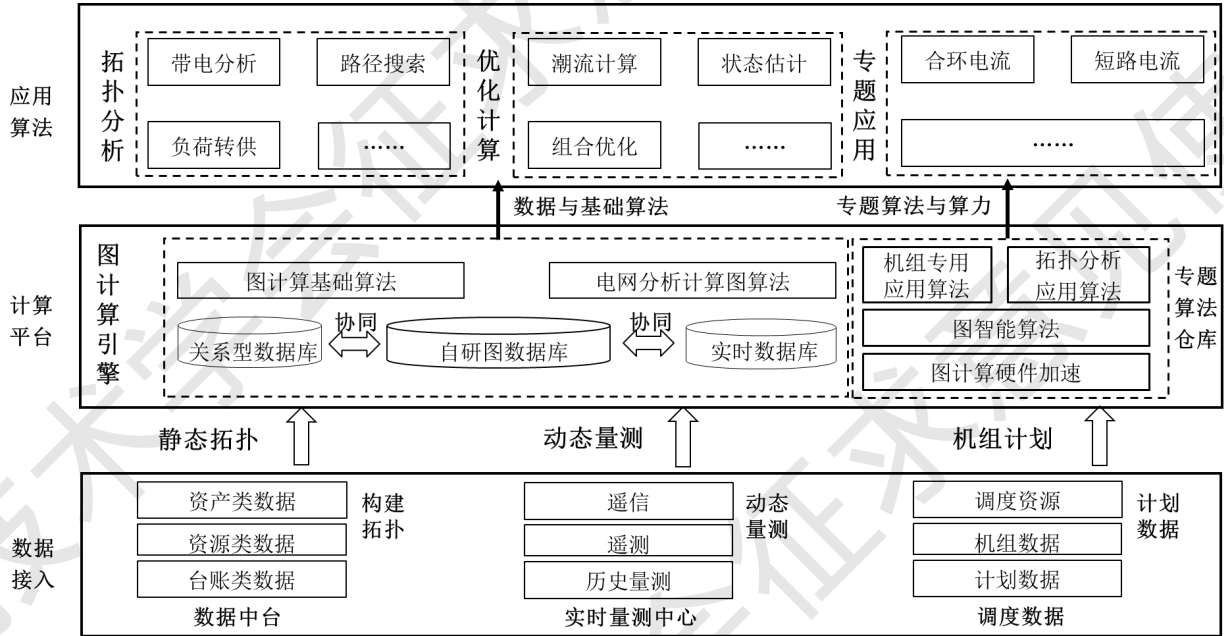


图 1 电力图计算系统参考架构

5.2 功能视图

电力图计算系统功能视图包括数据接入层、计算平台层和应用算法层：

数据接入层：此类功能是支撑系统数据接入的功能。

计算平台层：此类功能是支撑系统基础图计算的功能，主要包括图数据库、基础图计算算子、通用图计算算子及计算加速。

应用算法层：此类功能是支撑系统在电力系统分析计算中应用的专题功能，主要包括拓扑分析、计算分析及专题应用。

5.3 功能要求

5.3.1 数据接入层

5.3.1.1 数据种类

- 应覆盖电网全域设备资源/资产数据，包含发、输、变、配、用全设备类型；
- 应覆盖全网拓扑关系模型，包含 1000kV 至 0.4kV 全电压等级的图形及模型文件；
- 应覆盖实时量测数据，包含但不仅限于电流、电压、有功功率、无功功率等关键运行参数；
- 应支持调度管理数据，包含但不仅限于调度资源、机组参数、发电计划、检修计划、负荷预测等，支持调度指令、稳定限额等扩展数据类型接入；
- 应支持按业务发展需求动态扩展新型数据接入，包含但不限于虚拟电厂、储能系统等新型主体数据接口。

5.3.1.2 数据来源

- 应采用松耦合系统对接方式，不强制指定源端系统名称；基础数据源包含但不仅限于调度自动化系统、资产管理系统、用电信息采集系统等；
- 应支持 104、MQTT、Kafka 等标准通信协议实现接口数据采集；
- 应具备区域级应用扩展能力，新建业务系统需提供标准访问接口，存量系统改造应满足最小化接入改造要求。

5.3.2 计算平台层

计算平台层提供以分布式图数据库为核心，协同关系数据库、实时数据库等多类型数据库，为统一数据存取视角，作为分析计算的数据基础，应具备基础图计算功能及电力专用图计算功能。

5.3.2.1 图数据库架构

5.3.2.1.1 点边类型

计算平台采用强 Schema 的图数据库架构，要求在数据插入前明确定义图模型结构。具体包括以下内容：

- a) 节点 (Vertex) 定义：每个节点具有唯一的节点类型，通过外部唯一标识字段区分同类型下的不同节点。
- b) 边 (Edge) 定义：每条边具有唯一的边类型，需明确指定起始节点类型、结束节点类型及方向性。

5.3.2.1.2 节点 Schema 结构

结构为：propName:TYPE:unique:index

- propName：节点的属性名称。
- TYPE：支持的数据类型包括整型 (Int8/32/64)、浮点型 (Float32/64)、布尔型 (Bool)、字符串类型 (String)、日期型 (Date/DateTime) 等。
- unique：标识字段是否唯一。
- index：表示是否建立索引。

5.3.2.1.3 边 Schema 结构

结构为：(SRC_ID, DST_ID, propName:TYPE)，其中需定义源节点 (SRC_ID)、目标节点 (DST_ID) 及边的属性类型。

5.3.2.2 数据库类型

应采用分布式图数据库协同关系型、内存型等多类型数据库的方式实现数据的读写操作，并支持基于图数据库语言的统一查询支持。

5.3.2.3 查询功能

电力图计算系统中的数据流转和调用核心，包括但不限于以下要求：

- a) 静态拓扑图数据检索：应支持动态拓扑专题图生成/查询功能，根据给定的区域、时间、电压等级等条件，输出静态拓扑专题图；
- b) 动态拓扑图数据检索：应支持动态拓扑专题图生成/查询功能，根据给定的区域、时间、电压等级等条件，输出动态拓扑专题图；
- c) 机组组合图数据检索：应支持机组组合/组合优化专题图生成功能，基于多时态图实例管理模块中查询给定时间点的静态拓扑、机组静态参数，从量测归档数据管理模块中查询当前断面数据、预测曲线，叠加形成专题图，输出机组组合专题图。

5.3.2.4 图计算通用算法

应提供包括但不限于广度有限搜索、网页排名、弱联通分量、子图挖掘、单源最短路径、标签传播、中介中心性等图计算通用算法，支持以服务的形式进行调用。

5.3.2.5 图计算专用算法

应提供基于图计算理论实现的电力系统专用算法，包括但不限于：潮流计算算法、状态估计算法、短路电流算法等。

- a) 支持潮流计算功能，应实现潮流计算，输出各计算节点的状态（电压幅值、电压相角、有功功率、无功功率），单次迭代时间宜小于 50ms。
- b) 支持状态估计功能，应实现状态估计，输出各计算节点的状态（电压幅值、电压相角、有功功率、无功功率）。
- c) 支持短路容量计算功能，应实现各节点的短路容量计算，输出各计算节点的短路容量。

5.3.2.6 计算加速要求

应支持电网图计算通用算法的 GPU 加速，从而更好地满足计算实时性的要求。

5.3.2.7 Web 控制台功能要求

应提供统一的 Web 控制台，以直观方式管理图数据库操作及监控资源使用。主要功能模块包括：

a) 基础功能模块：

- 图查询：提供在线查询语句执行环境。
- 图实例管理：支持图实例的创建与管理。
- 用户权限管理：实现用户添加、权限调整及用户状态控制。
- 集群信息管理：支持图数据库节点的启动与停止管理。

b) 高级运维功能

- 日志采集与管理：支持在线查看与维护服务日志。

- 慢查询追踪：动态记录超出阈值的查询，并支持调优。
- 查询历史记录：提供对历史查询记录的检索功能。
- 资源状态监控：通过仪表盘实时查看主机的 CPU、内存等资源使用状态。

5.3.2.8 服务监控体系

应提供监控管理工具，确保系统的稳定性与高效运行，包括以下功能：

- 支持资源实时监控：全面监测服务器的 CPU、内存等资源使用情况。
- 支持故障预警：通过异常指标分析，第一时间捕获系统瓶颈。
- 支持性能优化：结合监控数据及时调整策略，保障高效服务体验。

5.3.3 应用算法层

面向电力系统分析计算中拓扑分析、优化计算及专题计算，基于计算平台层所提供的图计算通用算法、图计算专用算法及其他必须功能，封装形成面向应用的算法。

5.3.3.1 拓扑分析

基于计算平台层提供的电网拓扑模型，查询面向历史、当前、未来多时态的拓扑专题图，实现拓扑错误辨识修正，全路径快速拓扑分析，支持超大规模电网拓扑结构薄弱方式评估。

5.3.3.2 优化计算

具备潮流计算、状态估计、组合优化求解等功能，为电力系统优化分析类任务提供求解工具。

5.4 应用视图

5.4.1 概述

电力图计算系统的应用通过电网公司各类业务支撑系统调用电力图计算系统相关功能来实现，图 2 描述了电力图计算系统的应用视图。

已有数据维护者是电力系统中采集、存储、分发各类原始数据的系统，为电力图计算系统提供数据，同时调用图计算系统计算平台层的数据管理能力对已有数据进行维护。

电力图计算系统功能使用者是电力系统中面向电网业务开展的各类应用系统，调用电力图计算系统应用算法层相关功能，服务电力系统相关业务开展。

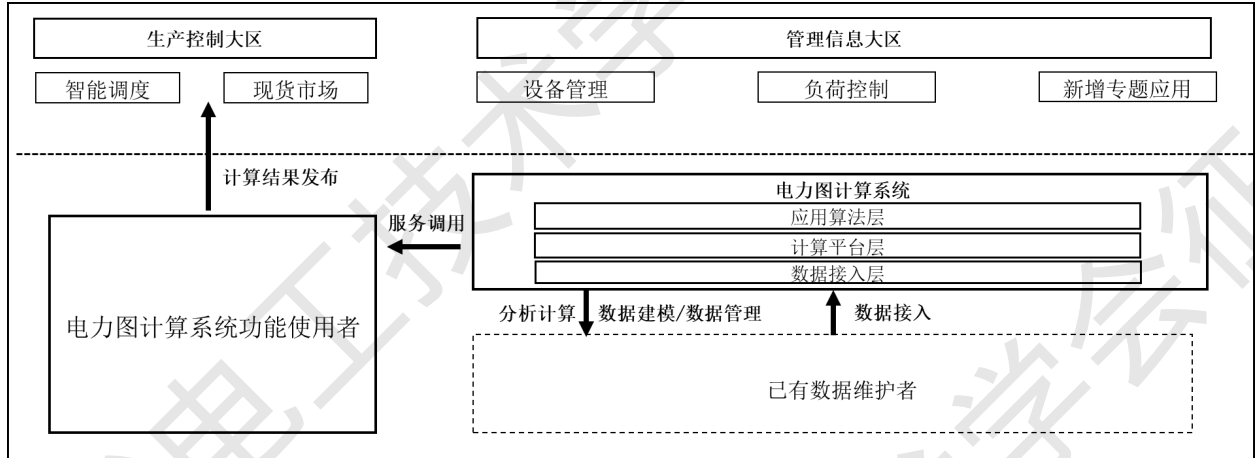


图 2 电力图计算系统应用视图

5.4.2 调用方式

宜采用 PRC 协议设计高效、跨开发语言的服务间通信，应具备接口文档的自动化生成能力，提高开发效率和接口的可维护性；并通过集成 API 网关，实现跨域请求、负载均衡和流量控制的统一管理。

5.4.3 服务安全

应具备安全访问控制，提供服务熔断机制，确保服务的高可用性及处理高并发请求的能力。

5.4.4 日志监控

应具备日志实时分析、监控和告警系统能力，实现对系统运行状态的全面监控，宜通过分布式追踪技术，追踪和分析跨服务的调用链路，为系统的性能优化和问题诊断提供支持。

5.4.5 部署要求

部署宜采用容器化技术，提高部署流程的自动化程度，提升系统运行的弹性和可伸缩性，应保证具备完整的持续部署和持续集成流程。