

基于电网一张图的配电网电压质量监测系统研究

王欣伟¹, 胡群¹, 周芸¹, 葛辉^{1,2*}

¹南京邮电大学自动化学院 江苏南京

²南京邮电大学碳中和先进技术研究院 江苏南京

【摘要】配电网向新型电力系统转型加速,设备激增与传统管理模式适配性不足的矛盾凸显,拓扑数据以非结构化图模存储,关键业务数据依赖人工提取整理,更新滞后,电压监测需要定时查询,无法实时捕捉波动,追溯困难,形成多系统数据孤岛,跨平台查询效率低,制约运维效能。针对上述问题,本文以电网一张图为核心,构建数据接入、治理、建模、应用的全流程技术体系,优化电压质量监测系统。整合用电信息采集、配电自动化等多源数据,涵盖拓扑关联、电压时序、负荷及用户档案等信息,通过剔除异常值、补全缺失数据、统一编码格式完成标准化治理,贯通拓扑逻辑。构建融合异常检测算法与分类模型的电压研判模型,通过异常检测算法过滤偶发波动,结合用户特性差异化进行判定,实现电压质量全景监测、精准预警及主动检修,为配电网数字化转型提供技术支撑,助力精益化运维升级。

【关键词】电网一张图;配电网;电压质量监测;数据治理;异常研判;主动检修

【基金项目】国家自然科学基金面上项目(62373197);江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究面上项目(23KJB120010);江苏省产学研合作项目(BY20251038);南京邮电大学自动化学院自然科学类培育与孵化项目(YX005002)

【收稿日期】2026 年 5 月 15 日

【出刊日期】2026 年 6 月 20 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20260009

Voltage quality monitoring system for distribution networks based on the one map of power grid

Xinwei Wang¹, Qun Hu¹, Yun Zhou¹, Hui Ge^{1,2*}

¹School of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu

²Institute of Carbon Neutrality Advanced Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu

【Abstract】The transformation of the distribution network to a new power system is accelerating. The contradiction between the surge in equipment and the insufficient adaptability of the traditional management mode has become prominent. Topological data is stored in an unstructured graph model, and key business data depends on manual extraction and organization, resulting in lagged updates. Voltage monitoring requires regular queries, making it impossible to capture fluctuations in real-time and difficult to trace. This has led to data silos in multiple systems, low cross-platform query efficiency, and restricted operation and maintenance efficiency. In response to the above problems, this research takes the One Map of the Power Grid as the core and constructs a full-process technical system of data access-governance-modeling-application, with a focus on breaking through the voltage quality monitoring module. It integrates multi-source data such as power consumption information collection and distribution automation, covering information such as topological associations, voltage time series, load, and user profiles. Standardized governance is completed by eliminating outliers, complementing missing data, and unifying the coding format to connect topological logic. A voltage judgment model integrating an anomaly detection algorithm and a classification model is constructed. The anomaly detection algorithm filters out occasional fluctuations, and combined with the differential determination of user characteristics, it realizes panoramic monitoring, accurate early warning, and proactive maintenance of voltage quality, providing technical support for the digital transformation of the distribution network and helping to upgrade the lean operation and maintenance.

【Keywords】One map of power grid; Distribution network; Voltage quality monitoring; Data governance; Anomaly

*通讯作者: 葛辉

analysis; Active maintenance

引言

近年来,全球能源转型进程不断加快,在我国积极推进碳达峰、碳中和目标的大趋势下,打造具备清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能五大特征的新型电力系统,已成为我国能源领域发展的核心战略方向^[1-2]。这一战略顺应了全球能源变革的潮流,更是我国实现能源结构优化、推动绿色可持续发展的关键举措^[3]。在新型电力系统的整体架构中,配电网扮演着与用户直接对接的重要角色,其战略地位正随着电力系统转型的深入而不断提升^[4-5]。如果将新型电力系统比作一个完整生命体,那么配电网就是这个生命体的神经末梢^[6]。配电网直接面向广大用户,既要确保电力能够稳定、持续地输送到每一个用电终端,保障社会生产生活的电力供应,又要通过高效的电力分配,为经济社会的高质量发展提供支撑,同时在改善民生、满足居民多样化用电需求等方面发挥着不可替代的作用。

当前,新型电力系统的建设正处于高质量加速推进的阶段,而分布式能源的大规模接入以及各类电力技术的快速更新迭代,为配电网的发展带来了新的挑战与需求^[7-8]。分布式新能源已成为我国电力供应体系中不可或缺的支柱性能源之一^[9]。在技术持续革新使得设备性能不断提升、成本逐步降低带来投资门槛下降的双重推动下,分布式发电设施在家庭、企业和社区等不同层面的普及率呈现出急剧上升的态势^[10-11]。这种普及不仅让越来越多的用户能够依靠自身的发电设施满足日常电能需求,实现了用户侧电能的自给自足,还能将发电过程中产生的富余电力接入电网,为整个新型电力系统的能源供给增添了新来源,注入强劲活力^[12-13]。

从具体数据来看,截至2024年6月底,我国全国累计光伏并网总容量已经达到71293万千瓦,分布式光伏并网容量占比显著,达到30951万千瓦^[14-15]。进一步细分,户用光伏作为分布式光伏的重要组成部分,其并网容量为13184万千瓦,占分布式光伏并网总容量的比例为42.59%^[16]。分布式新能源的这种蓬勃发展态势,对配电网提出了前所未有的高要求。一方面,配电网需要具备更高的新能源接纳容量,以容纳不断增加的分布式新能源发电^[17],另一方面,配电网还需提升新能源消纳效率,确保接入的新能源电力能够被高效利用,避免能源浪费,这也成为当前配电网升级改造过程中需要重点突破的关键方向^[18]。传统的运维模式渐渐显露出诸多局限性,在面对日益复杂的设备状况、

运行环境以及各种突发情况时,难以有效地应对拓扑数据非结构化、电压监测滞后、跨系统数据孤岛等复杂局面,从而对整个配电网的稳定运行构成潜在威胁^[19]。在实际工作场景中,为城市的平稳运行提供安全可靠的供电,始终是一项至关重要、不容有失的任务,尤其是关乎民生、经济和社会稳定的重要场景,对电压质量的稳定性以及异常响应速度有着极高的要求。本文聚焦于通过引入数字化技术,以电网一张图为核心,对设备运行状态进行实时、精准的监测与数据采集,利用智能化手段,对海量数据进行高效分析,挖掘潜在问题,构建数据接入、治理、建模、应用的全流程技术体系,优化电压质量监测系统,进而提升管理效率,满足在电压质量管控方面提出的全面监测、系统分析、准确诊断、主动检修等高标准需求。

1 配电网电压质量监测应对的需求挑战

配电网正加速向新型电力系统过渡,不仅体现在分布式光伏、储能设备的大规模接入带来的能源结构调整,更带来了配电网设备规模的质量双升,如图1所示。配电变压器、智能电表、线路开关等设备数量年均增长10%以上,部分城区设备密度较传统电网提升3倍,设备类型更趋复杂,支持实时数据传输的低压电力线高速载波通信(HPLC)电表、具备远程控制功能的智能开关等新型设备占比持续提高^[20]。传统运维模式在此背景下近乎失能,过去依赖人工定期巡检及每月数据核对的方式,不仅无法覆盖激增的设备数量,更难以应对新型设备带来诸如出力骤变导致短时过载等电压波动情况^[21]。这就要求配电网电压质量监测必须摆脱人工依赖,通过数字化、智能化手段重构监测体系,实现覆盖变电站、线路、台区、用户四级电压的全面监测、关联电压数据与负荷、拓扑数据的系统分析、快速准确定位异常原因,才能适配新型电力系统的运维需求。

配电网电压质量不仅关系普通居民用电体验,更直接影响城市如地铁、医院等核心基础设施的安全运行。例如,医院重症病房的医疗设备通常需稳定电压在 $220V \pm 5\%$ 的范围内,电压波动超过阈值可能导致设备停机,危及患者生命,该类场景对电压质量的要求远超普通用户。配电网电压质量监测必须从被动响应转向主动预防。实时监测关键用户的电压状态,确保异常第一时间发现,缩短异常响应时间,实现预警即派单、派单即处理,才保障关键场景的供电安全。

2 配电网电压质量监测面临的主要问题

目前,配电网电压质量监测在实际运行过程中主

要面临着如下三方面亟待解决的问题, 如图 2 所示。首先, 在拓扑数据管理方面, 由于采用的是非结构化存储方式, 这种存储形式在数据处理和调用时存在显著的效率瓶颈。其次, 多维度能力的欠缺成为制约电压质量监测全面性的关键因素, 多维度能力不足意味着在特定场景或运行状态下, 电压质量监测会出现盲区, 无法全面、精准地捕捉到电压质量的各种细微变化和潜

在问题, 影响对整个配电网电压状况的准确评估^[22]。最后, 闭环管理的缺失给业务协同治理带来了严重阻碍, 使得业务协同治理效率处于较低水平, 导致各个业务环节之间无法形成有效的反馈与优化机制, 部门间协同合作时沟通不畅、流程不连贯, 无法充分发挥协同治理的优势, 最终影响到配电网电压质量监测工作的整体效果和效率。

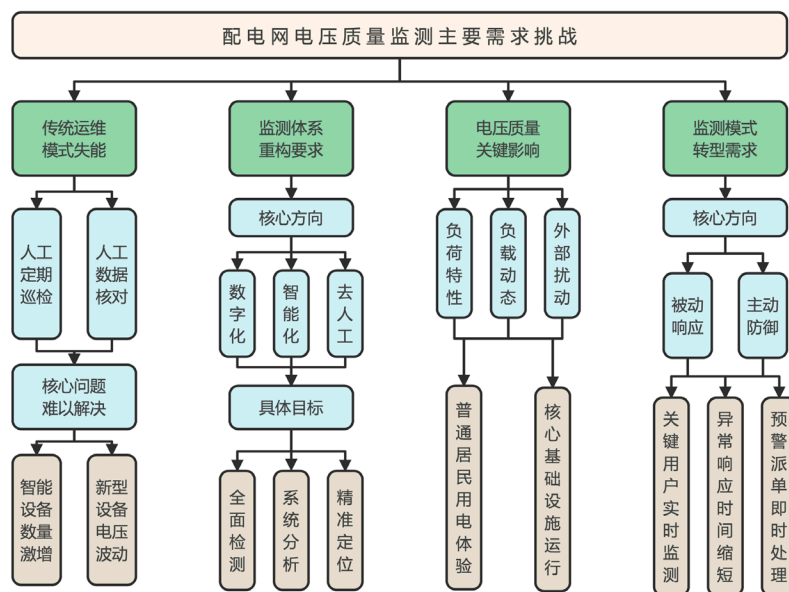


图 1 当前配电网电压质量监测的主要需求挑战

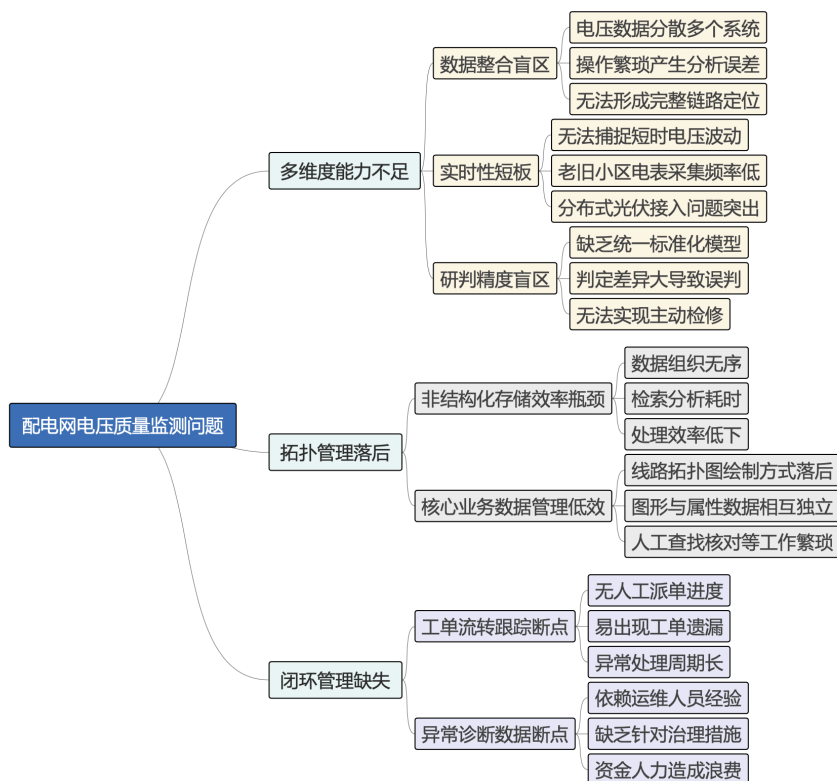


图2 当前配电网电压质量监测面临的主要问题

拓扑数据管理存在非结构化存储导致的效率瓶颈。在当前的配电网中, 电网与用户的拓扑关联主要以非结构化图模形式存在, 非结构化存储难以对数据进行有序且高效的组织, 使得在检索、分析拓扑数据时, 耗费大量时间与资源, 进而影响到整个配电网电压质量监测系统的数据处理效率。部分供电公司仍使用 CAD 绘制的线路拓扑图, 图中虽然标注了设备位置与连接关系, 但是无法直接提取结构化数据, 即使支持图形展示, 图形数据与属性数据相互独立, 无法形成关联, 直接导致核心业务数据管理低效。例如, 运维人员若需获取某台区的线路变压器关联关系, 需手动在图模中逐一查找、记录, 再与线下台账核对。人工劳动重复与数据更新滞后使得电压质量监测的基础数据存在先天缺陷, 直接制约后续监测与分析效率。

多维度能力不足导致电压质量监测存在盲区。配电网电压质量监测的核心目标是实时、准确、全面地掌握电压状态, 但是当前监测体系在数据整合、实时性、研判精度三方面均存在明显短板, 形成大量监测盲区。电压数据被分割存储于多个独立系统, 用电信息采集系统存储用户层面的电压时点明细, 配电自动化系统存储线路层面的电压数据, 电力设备资产管理系统存储设备层面的电压台账。运维人员若需分析某线路电压异常是否导致某用户电压低, 需登录多个系统, 导出对应数据后手动比对, 不仅操作繁琐, 还可能因数据格式不统一导致分析误差。数据分散导致整合盲区, 使得电压监测无法形成从线路到用户的完整链路, 难以定位异常传播路径。另外, 当前电压数据采集主要采用定时上传模式, 非 HPLC 电表在老旧小区仍大量使用, 每日仅在若干整点上传电压数据, 无法捕捉分钟级的短时电压波动。在传统用电场景下, 这种采集频率或许可行, 但在分布式光伏大规模接入后, 电压波动频次大幅增加, 定时采集根本无法实时捕捉这类异常。同时, 历史电压越限数据未建立统一的归档与查询系统, 超过时限无法追溯, 导致历史异常无法复盘。当前电压异常研判缺乏统一的标准化模型, 不同班组、不同区域的判定规则差异极大, 无统一标准的研判方式导致大量误判与漏判, 导致出现精度盲区, 使得主动检修成为空谈。

闭环管理缺失导致低效的业务协同治理。电压质量监测的最终目标是发现异常、解决异常、防止复发, 但当前业务流程中, 异常发现与异常治理之间缺乏有效的协同机制, 形成管理断点, 导致治理效率低下、问题反复出现。一方面, 工单流转存在跟踪断点, 当前电

压异常工单的派发仍以人工为主, 没有统一系统记录处理进度, 还可能出现工单遗漏, 无自动化、无跟踪的工单模式, 导致异常处理周期大幅延长。另一方面, 异常诊断存在数据断点, 电压异常原因分析完全依赖运维人员的经验, 这种经验驱动的诊断方式, 导致治理措施缺乏针对性, 极易造成资金与人力的严重浪费。

3 基于电网一张图的配电网电压质量监测系统的技术架构

基于电网一张图的配电网电压质量监测系统搭建遵循数据打通、治理赋能、应用落地的核心逻辑。通过构建数据层、治理层、应用层、部署层四层架构体系, 实现对配电网所有关键要素的数字化管理目标, 如图3所示。在数据层中, 着重对配电网各类相关数据进行全面采集与融合。在治理层中, 针对上述数据进行深度治理, 提升数据质量与价值。在应用层中, 基于高质量数据与治理成果, 开发一系列符合实际业务需求的应用程序。在部署层中, 将上述应用有序部署到相应的运行环境中, 最终实现配电网各要素的数字化管理, 使配电网电压质量监测更加高效、智能、精准。

多源数据的接入与整合是电网一张图稳定运行的基础, 核心在于实现配电网设备、用户、量测全维度数据的全面覆盖与有效整合, 所有接入数据均来自内部系统。其中, 电网资源业务中台接入线路变压器关系、线路出线开关关系、含导线段、电缆段、开关、变压器等线路图模以及专变用户信息等业务数据, 完成结构化数据的有效接入。电网一张图基础平台接入电网资源、资产、拓扑、图形数据及设备坐标信息, 成功实现拓扑与地理信息的精准关联。用电信息采集系统接入配变台区电压时点明细, 以及包含 HPLC 电表 24 点数据、非 HPLC 电表 4 点数据的用户电压时点明细, 达成电压数据的实时采集。企业级实时量测中心接入配变三相电流、负荷数据及遥测遥信数据, 为配电网实时运行分析提供有力支撑。营销业务应用系统接入含敏感用户、重要用户标识的用户档案信息与用电地址, 实现用户与台区的精准关联, 为后续业务联动奠定数据基础。

标准化数据治理是保障电网一张图数据可用性的关键环节, 针对多源数据存在的异质性、冗余性、不完整性问题, 开展全流程精细化治理。针对电网资源业务中台数据, 通过数据差异分析、溯源, 统一线路设备关联模型, 校验拓扑逻辑一致性, 最终实现拓扑数据准确率 $\geq 98.5\%$ 。针对用电信息采集数据, 重点清洗电压 0V

或 $<50V$ 等无效值, 补全缺失数据, 标准化采集时间戳, 使电压数据完整率 $\geq 99\%$ 。针对营销与量测数据, 通过关联用户档案与台区拓扑, 统一用户ID编码, 校验电压负荷数据时序一致性, 达成用户-台区关联准确

率 $\geq 98.5\%$ 。针对全量数据, 建立常态化数据链路维护机制, 定期从完整性、规范性、准确性维度开展数据质量核查, 确保数据更新延迟小于15分钟, 为后续应用提供高质量数据支撑。

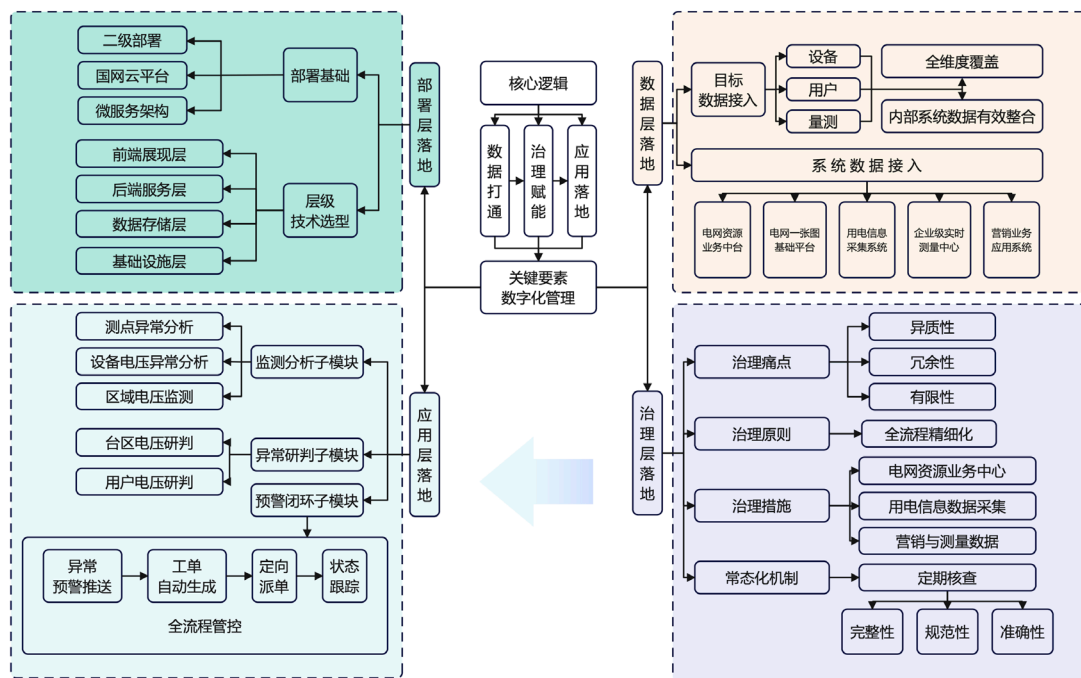


图3 基于电网一张图的配电网电压质量监测系统技术架构

基于治理后的统一数据资源, 电网一张图重点打造电压质量监测与预警模块, 涵盖监测分析、异常研判、预警闭环三大核心子模块, 各模块功能与技术支持紧密结合。测点异常分析模块依托实时数据统计模型, 实现测点总数、异常测点数量、在线率、采集率的统计分析, 高亮标注高低电压异常测点, 直观呈现测点运行状态。设备电压异常分析模块通过多维度聚合分析技术, 按变电站10kV母线、线路、配变等维度统计电压越限情况, 生成电压趋势曲线, 助力运维人员掌握设备电压变化规律。区域电压监测模块运用地理信息可视化(GIS)技术, 以热力图形式展示热点区域的中低压电压分布, 精准定位成片异常区域, 为区域电压治理提供方向。台区电压异常研判模块基于分类模型与异常检测算法, 精准判定台区低电压、过电压状态, 同时分析三相不平衡度, 实现台区电压异常的精准识别。用户电压异常研判模块借助用户电压判定规则引擎, 按电表类型差异化判定用户低电压。快速识别敏感用户异常情况, 预警与工单管理模块依托工单闭环管理系统, 实时将异常预警推送至电网一张图, 自动生成工单并定向派发给对应班组, 全程跟踪工单待处理、处理中、闭

环状态, 实现电压异常治理的全流程闭环管控。

为保障系统稳定高效运行, 电网一张图采用二级部署模式, 部署于管理信息大区, 基于国网云平台实现微服务架构落地, 各架构层级技术选型精准适配业务需求。前端展现层选用Vuex、Element-UI等前端技术, 支持Chrome、Edge等主流浏览器, 确保界面交互流畅、适配性强。后端服务层采用Spring Boot、Spring Cloud Alibaba开发框架, 搭配Nacos服务注册、Sentinel流量控制技术, 保障服务高可用与弹性伸缩。数据存储层结合存储结构化数据、缓存数据、大数据计算分析等数据库与中间件, 实现数据的安全存储、快速读取与深度分析。基础设施层采用Docker容器化部署方式, 配置ECS服务器、数据库服务器、SLB负载均衡等硬件资源, 为系统稳定运行提供坚实的基础设施支撑。

4 基于电网一张图的配电网电压质量监测系统的核心预警模型

电压异常研判是电网一张图实现配电网电压质量精准管控的核心能力, 其核心目标是通过建立标准化的台区与用户电压异常模型, 构建精准识别、原因诊断、

高效治理的全流程管控体系,为配电网主动检修、异常治理提供科学依据,如表 1 所示。

表 1 基于电网一张图的配电网电压质量监测系统核心预警特征

特征	台区电压异常	用户电压异常
核心目标	精准诊断治理电压异常	识别单个用户异常成片低电压及敏感用户
数据采集	实时数据采集	考虑 HPLC 与非 HPLC 电表数据差异
异常类型	低电压、过电压、三相不平衡	单个用户异常、成片低电压、敏感用户预警
判定指标	量化标准,如连续若干时间点低于 196V	基于电表类型的差异化标准
分级标准	电压等级、持续时长、不平衡等级	电压偏离幅度、电压暂变分级、瞬时电压异常
诊断逻辑	关联多维度数据定位根源	明确异常特征参数、划分责任边界、精准定位原因溯源
治理建议	调整相位接入、变压器增容、线路改造	加装单相稳压器、安装浪涌保护器等

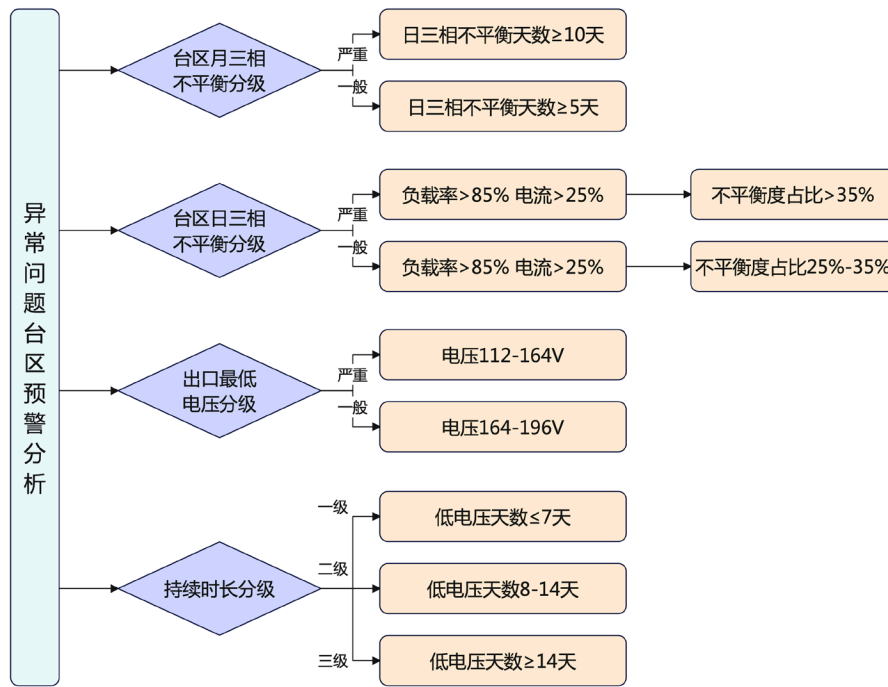


图 4 异常问题台区预警分析

台区电压异常研判模型遵循实时数据采集、连续性判断、异常分级、原因溯源的完整流程,通过明确判定指标、分级标准与诊断逻辑,实现台区电压异常的精准识别与根源定位,如图 4 所示。在核心判定指标方面,模型针对台区低电压、过电压及三相不平衡三大核心异常类型制定了量化标准。台区低电压判定为台区总表曲线中,任一相连续 9 个点 3 小时的电压处于 112-196V 区间,该范围对应额定电压的 45%-95%。台区过电压判定为任一相连续 8 个点的电压处于 238-297V 区间,对应额定电压的 108%-135%。令最大相电流为 $I_{\max}^{ph}$, 最小相电流为 $I_{\min}^{ph}$, 三相不平衡度 ε 采用的计算公式如式 (1) 所示。日不平衡判定需同时满足如下

条件: 单日不平衡度 $\geq 50\%$ 的时长占比超过 20%, 单相负载率 $> 80\%$ 、中性点电流与额定电流的比值 $> 25\%$ 。

$$\varepsilon = \frac{(I_{\max}^{ph} - I_{\min}^{ph})}{I_{\max}^{ph}} \times 100\% \quad (1)$$

异常分级标准围绕电压等级、持续时长、不平衡等级三个维度展开,为异常治理优先级划分提供依据,如图 5 所示。电压等级中,低电压分为 164-196V 的一般等级和 112-164V 的严重等级两个级别,过电压统一按 238-297V 的标准判定。持续时长按月度累计异常天数分为三级,一级为月累计异常 ≤ 7 天,二级为 7 天 $<$ 月累计异常 ≤ 14 天,三级为月累计异常 > 14 天。不平衡等级

分为日不平衡占比 25%-35%的一般等级和日不平衡占比>35%的严重等级两个级别。

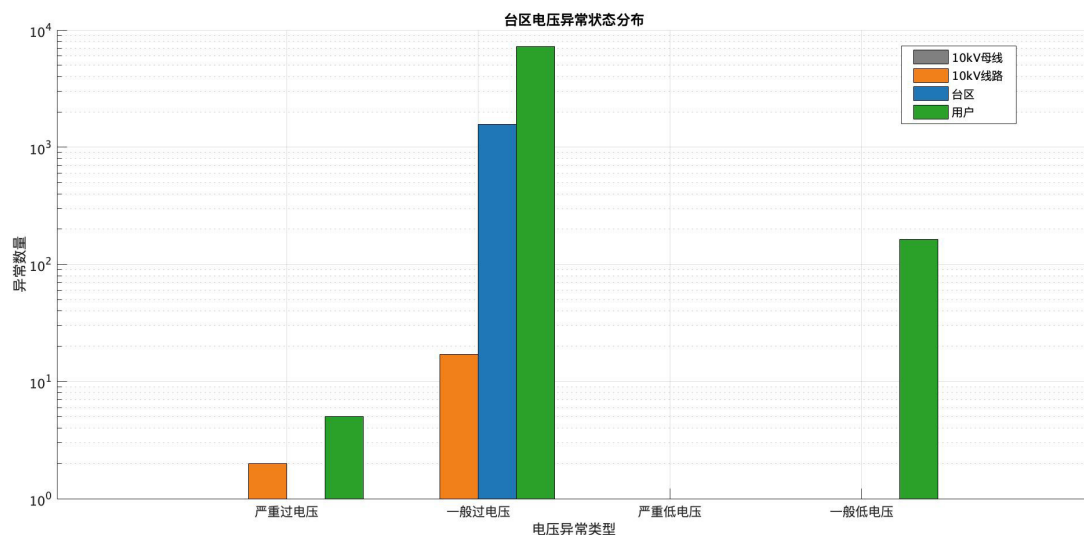


图5 变电站 10KV 母线、10KV 线路、台区及用户的电压异常状态分布情况

异常诊断逻辑通过关联多维度数据实现自动化分析,精准定位异常根源并给出治理建议。当三相不平衡与低电压同步出现时,判定为相位负荷不均,建议通过调整用户相位接入方式平衡负荷。若低电压集中出现在用电高峰时段,则判定为变压器容量不足,建议采取变压器增容措施。若低电压持续存在且线路末端用户异常表现更为明显,判定为线路老化,建议开展线路改造工程以提升供电能力。

用户电压异常研判模型充分考虑 HPLC 与非 HPLC 电表的数据采集差异,聚焦单个用户异常、成片低电压及敏感用户预警三大核心场景,制定差异化判定规则与优先级机制。单个用户异常判定按电表类型划分标准为 HPLC 电表用户需满足单日 24 点数据中 ≥ 8 点电压处于 112-196V 区间,且连续 3 天均满足该条件,非 HPLC 电表用户则需满足以下两个条件之一:单日 6 点数据全部处于 112-196V 区间,或者连续 3 天内每日至少有 1 点电压处于 112-196V 区间。

5 结语

本文围绕配电网数字化转型需求,构建了电网一张图的技术体系与应用模式,通过多源数据整合、标准化治理及智能研判模型,解决了传统配电网管理中数据孤岛、监测滞后、治理粗放的问题,尤其在电压质量监测与预警中实现了从被动到主动的运维模式转变。在未来的研究中,可以进一步融合人工智能与数字孪生技术,扩展电网一张图的应用场景,例如基于历史数据训练负荷预测模型,提前预判电压异常风险。结合数

字孪生技术实现配电网线上仿真、线下治理的联动,为新型电力系统下的配电网精益化管理提供更有力的支撑。

参考文献

- [1] 罗龙波,陈明辉,王雯沁,等.考虑分级重构的配电网安全低碳两阶段运行优化方法[J].电力系统保护与控制,2024,52(14):36-45.
- [2] 周宪.基于电网“一张图”的配电网规划数智化转型策略研究[J].企业改革与管理,2025,(17):142-144.
- [3] 殷定魁,杨健宏.智能配电网中低压线路运行故障检测及定位技术研究[J].电气技术与经济,2025,(11):32-34.
- [4] 刘康康.配电网电能质量综合评估方法研究[D].贵州大学,2022.
- [5] 施婕,彭英智,孙伟卿.碳流管控下的配电网储能优化运行[J].储能科学与技术,2024,13(11):3971-3980.
- [6] 谭科,王志承,刘肇熙,等.考虑分布式储能的主动配电网需求侧管理机制与可靠优化方法[J].广东电力,2024,37(12):129-137.
- [7] 郁进东.“电网一张图”助力科学配电[N].经济日报,2024-12-20(010).
- [8] 卞阳,赵奇剑,胡水军,等.基于云平台的智能配电网电能质量监测预警研究与应用[J].华电技术,2021,43(01):31-37.
- [9] 杨焰.新时期分布式电源的配电网规划与优化运行[J].电工技术,2023,(S1):259-261.

- [10] 安冬.新环境下电力企业中配电网的调度运行分析[J].中国设备工程,2025,(21):40-42.
- [11] 石娟.“电网一张图”引领数字化革命[J].中国电力企业管理,2024,(26):52-53.
- [12] 于佳祯.智能配电网中的大数据技术应用[J].集成电路应用,2023,40(12):240-241.
- [13] 王玥,王露醇.电网一张图赋能配网数智化转型[J].河南电力,2024,(09):62-63.
- [14] 戴健.配电自动化技术与安全运行管理策略分析[J].电子技术,2023,52(12):336-337.
- [15] 吴文传,蔺晨晖,孙宏斌,等.基于机器学习的主动配电网能量管理与运行控制[J].电力系统自动化,2024,48(20):2-11.
- [16] 张兴,田冰,魏延迪,等.供电台区低电压应急治理方案研究[J].中国设备工程,2018,(08):178-179.
- [17] 漆晓凤,杨君艺,付申杰,等.分布式储能对配电网安全运行的影响和对策[J].电气技术与经济,2023,(10):319-322.
- [18] 陈实.配电网电能质量监控系统研究[J].通信电源技术,2020,37(01):253-254.
- [19] 柏雪枫.配电网调度自动化系统建设策略及发展方向分析[J].光源与照明,2023,(12):228-230.
- [20] 杜帅,贾黎明,李真娣,等.“光伏-储能”耦合参与调峰的配电网运行优化配置[J].储能科学与技术,2024,13(05):1741-1743.
- [21] 朱彦卿,刘晓强.配电网供电可靠性的安全运行方式研究[J].中国高新科技,2023,(22):16-18.
- [22] 张磊.电力信息技术在配电网运行管理中的应用研究[J].电气技术与经济,2023,(09):107-109.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS