

Optimal Design of Intelligent Power Distribution System for Industrial Parks Based on Internet of Things

Cheng Ma

Guodian Power Ningxia Energy Aluminum Industry Technology Engineering Co., Ltd., Wuzhong, Ningxia, 751600, China

Abstract

This paper focuses on the operational pain points of the power distribution system in industrial parks, systematically analyzing five core issues: incomplete monitoring coverage, loose control mode, weak energy efficiency management, passive operation mode, and significant data silos. It also examines how each of these issues restrict the system's safety, efficiency, and green transformation. Based on Internet of Things technology, it proposes targeted optimization solutions from five dimensions: building a full-scenario perception system, intelligent collaborative control strategies, full-link energy efficiency management, proactive intelligent operation and maintenance, and standardized data collaboration platform. The solutions leverage technology to break through traditional bottlenecks, enabling the power distribution system to shift from passive response to active prevention and from single-point operation to global collaboration, providing practical support for industrial parks to enhance power supply reliability, reduce costs, increase efficiency, and achieve green and low-carbon transformation.

Keywords

Industrial park; Power distribution system; Internet of Things

基于物联网的工业园区智能配电系统优化设计

马成

国电投宁夏能源铝业科技工程有限公司, 中国·宁夏 吴忠 751600

摘 要

本文聚焦工业园区配电系统运行痛点, 系统梳理监测覆盖不全、控制模式粗放、能效管控薄弱、运维模式被动、数据孤岛显著五大核心问题, 剖析各问题对系统安全、效率及绿色转型的制约影响。基于物联网技术, 从全场景感知体系搭建、智能协同控制策略、全链路能效管控、主动式智能运维、标准化数据协同平台五大维度, 提出针对性优化方案。方案以技术赋能破解传统瓶颈, 实现配电系统从被动应对向主动防控、从单点运行向全局协同的升级, 为工业园区提升供电可靠性、降本增效及绿色低碳转型提供实操支撑。

关键词

工业园区; 配电系统; 物联网

1 引言

随着工业园区规模化发展与新能源广泛接入, 传统配电系统难以适配高密度负载、复杂工况及智能化管控需求, 各类运行问题频发, 严重影响生产连续性与综合效益^[1]。在“双碳”目标与产业升级背景下, 提升配电系统智能化、高效化、安全化水平成为园区发展的迫切需求。物联网技术凭借全节点感知、数据协同联动优势, 为破解配电系统固有弊端提供了有效路径。本文先梳理核心问题, 再针对性构建优化方案, 旨在为工业园区配电系统升级改造提供理论与实践参考, 助力园区实现能源高效利用与可持续发展。

【作者简介】马成(1996-), 男, 中国甘肃张掖人, 本科, 助理工程师, 从事电气工程及其自动化专业研究。

2 工业园区配电系统核心问题梳理

2.1 监测覆盖不全

传统工业园区配电系统多采用点式监测、人工补位模式, 难以适配现代化园区高密度、高负载、高可靠性供电需求, 监测覆盖不全成为制约系统安全运行的首要瓶颈。监测范围存在明显局限, 多数园区仅在高压进线端、主变压器等核心枢纽设监测点, 中压线路分支、低压配电末端、分布式电源接入点等关键环节存在大量监测盲区。高压环节未将绝缘油色谱、开关设备机械特性等核心健康指标纳入常态化监测。中压配网缺失线路损耗、接地电阻、弧光故障等参数采集。低压侧缺乏车间进线端及关键设备回路精准监测, 电压波动、三相不平衡等隐性问题难以及时捕捉。数据采集依赖人工巡检与定点仪表采集, 效率低下。数据更新周期达数小

时甚至一天，无法匹配故障毫秒级、秒级演变速度。同时，多数系统仅关注电气参数，忽视配电设备运行环境的温湿度、粉尘浓度等参数监测，而这些因素正是设备绝缘老化、接触不良的重要诱因。

2.2 控制模式粗放

当前工业园区配电系统控制仍停留在静态调节的粗放阶段，与负荷动态变化、新能源大规模接入需求严重脱节。负荷调配采用固定时段、容量的分配方式，依赖运维人员经验调整，缺乏实时数据支撑的动态优化机制。车间突发负荷激增时，人工调整响应滞后，易引发局部线路过载、电压跌落。负荷低谷时，无法及时平衡负荷，造成设备闲置与能源浪费。无功补偿控制存在明显短板，传统装置多为手动或固定周期投切，无法根据功率因数实时变化动态调整，导致功率因数波动大，增加线路与变压器损耗，甚至引发电压偏高、谐波超标等问题。分布式电源接入控制问题更为突出，光伏、风电的随机性、波动性给系统带来挑战，多数园区缺乏协同控制体系，并网、离网依赖人工操作，易引发电压波动、连锁脱网事故。

2.3 能效管控薄弱

能效管控薄弱是制约园区降本增效、实现绿色低碳发展的关键瓶颈，核心表现为全链路能耗监测缺失、峰谷调控不合理、高耗低效环节识别滞后。能耗监测层面，多数园区仅能统计园区级、车间级总能耗，缺乏设备级、回路级精细化监测，全链路数据断裂。现有系统聚焦总用电量、电费等宏观数据，无法精准捕捉电机空转、线路漏电等隐性能耗浪费，导致能源浪费问题长期存在且难以根治。峰谷负荷调控层面，峰谷负荷调控不合理进一步加剧能效损失，园区用电峰谷差异明显但缺乏科学调节机制，高峰时段盲目增容导致设备超负荷运行、损耗激增。低谷时段负荷不足，设备单位能耗上升。部分高能耗设备未结合峰谷电价优化运行时段，既增加用电成本，又加重电网峰谷差压力，且缺乏能耗数据分析能力，难以制定针对性调控策略。高耗低效环节识别层面，高耗低效设备及运行状态识别滞后，老旧超标设备难以及时替换，功率因数长期不达标，不仅增加损耗，还可能面临电网罚款，与“双碳”目标下的绿色转型需求严重不符。

2.4 运维模式被动

工业园区配电系统运维普遍呈现事后维修、人工主导的被动特征，与设备分散化、运行状态复杂化特点不相适应，导致运维成本高、故障恢复慢、设备寿命缩短。从运维逻辑看，多数园区以故障后维修为主，缺乏设备实时状态监测与预判，运维工作始终处于被动局面。配电设备分布广泛，涵盖高低压配电室、线路、分布式电源设备等，部分设备安装在高空、地下等特殊位置，人工巡检难以实现全覆盖，故障后逐点排查既耗时耗力，又可能扩大故障影响范围。设备全生命周期数据缺失进一步制约运维效率，安装调试、运行参数、维修记录等数据多以纸质或分散电子文档存储，缺乏统

一数据库管理，数据完整性、连贯性不足。运维人员无法准确掌握设备老化程度、故障规律，难以开展预防性运维，只能依赖经验定期检修。过度检修会增加成本与停机时间，检修不足则无法排除潜在故障，形成运维恶性循环。

2.5 数据孤岛显著

数据孤岛是制约配电系统智能化升级、实现综合能源管控的核心障碍，本质是各子系统数据不通联、协议不统一、标准不一致导致的协同失效。工业园区配电系统与储能、光伏、生产调度、安防等系统紧密关联，但多数园区各系统独立建设运维，形成隔离的数据壁垒。配电系统无法实时获取储能充放电状态、光伏发电功率预测数据，难以实现源网荷储协同调度。生产调度的负荷计划、停产安排等数据无法同步至配电系统，导致负荷调配缺乏精准依据，供电与生产需求脱节。通信协议与数据格式不统一是核心技术原因，不同厂家设备采用多种不同协议，数据格式、编码规则存在差异，无法直接交互，部分场景需人工录入传递数据，效率低下且易出错。同时，部分老旧系统缺乏标准化接口，无法与新增智能系统对接，进一步加剧孤岛问题。数据孤岛使配电系统无法整合多源数据开展深度分析，智能化升级沦为“单点智能”。综合能源管控平台缺乏完整数据支撑，难以制定科学调度策略，制约能源结构优化。

3 基于物联网的工业园区配电系统优化设计方案

3.1 全场景物联网感知体系搭建

针对监测覆盖不全、响应滞后问题，构建全节点感知加边缘预处理一体化物联网感知体系，从监测范围、采集效率、预警能力三方面升级，破解传统模式缺陷。感知终端部署打破核心枢纽局限，实现配电全链路无死角监测^[2]。高压环节，在主变压器、高压开关柜等设备部署绝缘油色谱、局部放电等传感器，实时采集特征气体含量、开关机械特性等指标，预判绝缘老化与机械故障。中压配网在分支点、环网柜处安装损耗监测仪、弧光故障探测器，填补中压监测空白。低压侧在车间进线端、关键设备回路部署高精度传感器与谐波分析仪，捕捉电压波动、三相不平衡等隐性问题。同步部署环境传感器，监测配电室、电缆沟温湿度、腐蚀性气体等参数，厘清环境与设备故障关联。数据传输采用无线加有线融合方案，适配园区复杂场景。户外区域用 LoRa、NB-IoT 无线技术，凭借低功耗、抗干扰优势适配电磁环境。核心区域采用以太网、RS485 有线通信，保障核心参数毫秒级传输，搭配冗余链路确保数据不中断。数据采集实行实时加按需动态策略，核心参数秒级采集，非核心参数分级采集，平衡监测精度与传输压力。边缘计算节点负责本地数据过滤、分析，通过阈值与故障模型快速预警，仅上传有效数据至云端，筑牢系统安全基础。

3.2 物联网驱动的智能协同控制策略

针对控制粗放、协同性差问题，建立物联网数据驱动

的动态调控机制,实现从人工静态调节到智能动态协同的升级。负荷调配依托实时数据与云端机器学习模型,整合历史负荷、生产计划、气象等数据,通过神经网络算法实现小时级、分钟级负荷精准预测。基于预测结果,系统自动优化调配方案,负荷激增时快速调度冗余容量或切除非重要负荷,负荷低谷时关停冗余变压器,同时建立重要负荷优先级机制,保障核心生产供电。无功补偿采用全局平衡加分布式精准补偿模式,云端平台基于实时参数,通过遗传算法计算最优方案,动态调控补偿装置投切,确保功率因数稳定在0.95以上,搭配末端模块化装置弥补集中补偿局限。分布式电源控制搭建协同模块,结合实时发电参数与气象预测,动态调整并网策略,过剩电量协调储能存储,不足时切换电网或储能供电,建立故障联动机制避免连锁脱网。搭建全局控制中台,整合各子系统权限与数据,实现跨区域负荷调配、故障联动处置,提升控制精度与响应速度。

3.3 全链路能效精准管控体系构建

针对能效薄弱、浪费突出问题,搭建监测、分析、优化、反馈全链路体系,推动能效管控精细化。构建园区、车间、设备三级监测体系,园区级采集总用电量、功率因数等宏观数据,车间级按班次统计能耗,设备级针对高能耗设备部署高精度传感器,捕捉空转、低效运行等浪费环节,建立数据追溯机制提供支撑。云端多维度能效模型整合多源数据,通过大数据算法定位低效设备与隐性能耗,搭建趋势预测与评估指标体系,量化无功损耗影响,定期评估能效水平。结合峰谷电价以及预测结果,编制高能耗设备错峰运行方案,通过技术升级,改造浪费严重的低效设备,动态调整无功补偿参数。

3.4 物联网赋能的主动式智能运维模式

传统的被动运维模式,效率低下。需以状态监测为基础,依托智能预警及远程处置,构建主动式运维模式,扭转事后维修的局面。智能预警上,利用传感器采集配电系统设备运行参数以及全生命周期数据。开发健康评估模型,实时评估设备健康状态,并根据评估结果,将设备划分为正常、预警、

故障三个等级。基于云端运维平台,整合维修资源,如人员、设备、备件等,故障发生后,推送信息给运维人员。远程处置上,根据故障类型,采用差异化的远程处置方式。轻微故障,通过调整参数、重启解决,复杂故障,通过现场音视频远程诊断以及实时数据交互解决。

3.5 标准化数据互联与协同平台搭建

标准化数据互联与协同平台搭建是破解数据孤岛以及兼容性不足问题的关键。标准化数据互联方面,统一采用MQTT、Modbus TCP等工业标准协议,并制定标准化的数据编码、格式以及存储标准,确保数据交互顺畅。整合数据中台与业务中台,全方位汇聚各系统数据,形成标准化数据池。依托数据加密、基于身份认证的防控制,构建数据安全管理体系。协同平台搭建方面,采用模块化架构,搭建协同平台,源网荷储模块实现新能源、电网、储能与负荷动态平衡,配电与生产调度模块根据生产计划,精准调度电力,减少浪费及停产损失^[3]。平台预留拓展接口,为后续新能源扩容以及智能化升级提供支持。标准化数据互联与协同平台的搭建,不仅可以推动数据在配电系统内的共享,也能推进园区综合能源管控,实现配电系统的全局智能升级。

4 结语

配电系统是工业园区平稳运行的能源保障,然而,当前工业园区配电系统设计情况并不乐观,面临着监测覆盖不全、控制模式粗放、能效管控薄弱、运维模式被动、数据孤岛显著等问题。物联网以万物互联为核心,在解决配电系统设计问题中具有重要的作用。需从物联网环境出发,根据配电系统设计问题,采取好针对性的策略。

参考文献

- [1] 王常平,丁东勤,何良策.基于电力物联网的智能配电网状态监测系统[J].电气技术与经济,2025(02):386-388.
- [2] 唐昊,刘畅,杨明,等.考虑电网调峰需求的工业园区主动配电系统调度学习优化[J].自动化学报,2021(10):2449-2463.
- [3] 李理.工业园区配电系统中源网荷储一体化技术应用研究[J].现代工程科技,2025(18):13-16.