

化工园区电气安全预警系统的设计与风险防控机制研究

何锦鑫

山东鸿运工程设计有限公司番禺分公司 广州番禺

【摘要】本文针对化工园区电气安全隐患突出的问题，深入研究电气安全预警系统的设计方案与配套风险防控机制。从系统硬件架构、软件功能模块设计入手，明确数据采集、传输、分析及预警的核心流程，同时构建“预防 - 监测 - 处置 - 复盘”全链条风险防控体系。结合实际案例与数据表格，验证系统在降低电气故障发生率、缩短故障处置时间方面的成效，为化工园区提升电气安全管理水平提供切实可行的技术方案与管理思路。

【关键词】化工园区；电气安全预警系统；风险防控；硬件架构；数据监测

【收稿日期】2025 年 8 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 19 日 **【DOI】**10.12208/j.jccr.20250059

Design of electrical safety early warning system in chemical industry park and research on risk prevention and control mechanism

Jinxin He

Panyu branch of Shandong Hongyun Engineering Design Co., Ltd, Panyu, Guangzhou

【Abstract】 This paper addresses the prominent electrical safety hazards in chemical industrial parks by conducting an in-depth study on the design of electrical safety early warning systems and their supporting risk prevention mechanisms. Starting from the hardware architecture and software functional module design, it clarifies the core processes of data collection, transmission, analysis, and early warning. A comprehensive risk prevention system covering "prevention-monitoring-handling-review" is established. Through practical case studies and data tables, the effectiveness of the system in reducing electrical failure rates and shortening fault resolution time is verified. The research provides a feasible technical solution and management approach for enhancing electrical safety management in chemical industrial parks.

【Keywords】 Chemical industrial park; Electrical safety early warning system; Risk prevention; Hardware architecture; Data monitoring

1 引言

化工园区作为化工产业集中布局的核心载体，其生产过程涉及高温、高压、易燃易爆介质，而电气系统作为园区生产运行的“动力中枢”，一旦出现短路、过载、漏电等故障，极易引发火灾、爆炸等重大安全事故。据应急管理部统计，2020-2024 年我国化工园区发生的安全事故中，28.3%与电气故障直接相关，其中因预警不及时导致事故扩大的占比达 61.5%。传统电气安全管理依赖人工巡检，存在检测周期长、隐患识别滞后、数据碎片化等问题，难以满足化工园区高安全性、高稳定性的运行需求。因此，设计一套精准、高效的电气安全预警系统，并配套完善的风险防控机制，成为保障化工园区安全生产的关键举措^[1-2]。

2 化工园区电气安全预警系统的设计

2.1 系统设计原则

化工园区电气安全预警系统需遵循“可靠性、实时性、扩展性、兼容性”四大原则：一是采用工业级硬件设备，确保在高温、高湿、腐蚀性环境下稳定运行；二是数据采集与预警响应延迟控制在 100ms 以内，满足紧急故障的快速处置需求；三是预留接口可接入新增电气设备与传感器，适应园区产能扩张；四是兼容园区现有 SCADA（监控与数据采集）系统、MES（制造执行系统），实现数据互通共享。

2.2 硬件架构设计

系统硬件采用“三层分布式架构”，从底层数据采集到顶层监控中心形成闭环，具体架构如下：

感知层：部署多类型传感器，覆盖园区高低压配电系统、关键生产设备电气回路及作业环境，包括电流互

感器（精度 0.2 级）、电压传感器（误差 $\leq 0.5\%$ ）、温度传感器（测量范围 $-40\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）、漏电检测仪（分辨率 1mA）及烟雾传感器（响应时间 $\leq 3\text{s}$ ），实现电气参数与环境安全数据的全面采集。

传输层：采用“5G+工业以太网”双链路传输模式，5G 网络用于移动设备（如巡检机器人）数据传输，工业以太网用于固定传感器与中控室的数据交互，传输速率 $\geq 100\text{Mbps}$ ，packet 丢失率 $< 0.1\%$ ，确保数据传输的稳定性与安全性。

控制层：设置园区级中控中心与车间级分控站，配备工业服务器（CPU 为 Intel Xeon Gold 6330，内存 64GB）、冗余存储设备（容量 10TB）及应急联动装置（如自动断电开关、声光报警器），实现数据集中处理与紧急指令下发。

2.3 软件功能模块设计

软件系统基于 B/S（浏览器/服务器）架构开发，包含五大核心模块：

数据采集与预处理模块：实时采集感知层传输的电流、电压、温度、漏电电流等数据，通过滤波、去重、补全算法处理异常数据，确保数据准确率 $\geq 99.8\%$ 。

风险分析与预警模块：建立电气故障预测模型，基于历史故障数据（如短路电流阈值、过载时间阈值）与实时监测数据对比分析，当参数超出安全范围时，自动触发分级预警：一级预警（轻微异常）通过系统弹窗提示；二级预警（中度隐患）启动声光报警；三级预警（紧急故障）同步推送至管理人员手机 APP，并触发应急联动装置。

可视化监控模块：以三维地图形式展示园区电气设备分布，实时标注各设备运行状态（正常/预警/故障），支持点击查看详细参数曲线（如 24 小时电流变化趋势），便于管理人员直观掌握电气系统运行情况。

故障定位与处置模块：通过传感器编号与设备位置绑定，实现故障点 10 米范围内精准定位，并自动生成处置方案（如“1#配电室 3 号配电柜过载，建议断开非必要负载”），同时记录处置过程与结果。

数据统计与报表模块：自动生成日报、月报、年报，统计电气故障类型分布、预警准确率、处置完成率等关键指标，为园区安全管理优化提供数据支撑。

3 配套风险防控机制构建

3.1 预防机制：源头管控与日常维护

设备准入管控：为了确保化工园区内的电气设备安全可靠，必须制定一套严格的电气设备选型标准。这些标准应明确包括防爆等级（例如，Zone1 区域必须选

用 Exd II BT4 级别的设备）、绝缘等级（至少达到 ClassF 级别）等关键参数。通过这些标准，可以有效禁止不符合要求的设备进入园区，从而从源头上杜绝安全隐患。

周期性维护计划：基于预警系统所采集的设备运行数据，制定一套差异化的维护策略。对于运行参数稳定、表现良好的设备，可以将维护周期适当延长至 6 个月，以减少不必要的维护成本和工作量。而对于那些频繁出现轻微预警信号的设备，则需缩短维护周期至 1 个月，以确保及时发现问题并进行处理。同时，建立详细的维护台账，记录每次维护的时间、内容、发现的问题及处理结果，确保维护工作的全面性和有效性，力求维护覆盖率达到 100%。

3.2 监测机制：动态监测与分级预警

结合预警系统的功能，构建一个多层次、全方位的“三级监测网络”，以确保园区内设备的安全运行。

一级监测：通过安装在设备上的传感器，实时采集各项运行数据，并由系统自动进行分析处理，实现 24 小时不间断的监测，确保任何异常情况都能被及时发现。

二级监测：车间安全员每隔 2 小时对分控站的数据进行查看，核实系统发出的预警信息，确保预警信号的准确性和及时性，避免误报或漏报。

三级监测：园区安全管理部门每日对各个车间的预警数据进行汇总，并进行深入分析，以掌握隐患的发展趋势，提前采取预防措施。

同时，明确各级预警的响应流程和处置时限。规定一级预警由车间技术员在 1 小时内进行处置，确保问题得到快速解决；二级预警则由园区电工队在 2 小时内进行处理，防止问题扩大；对于三级预警，需立即启动应急小组，要求其在 30 分钟内到达现场，迅速应对可能发生的重大安全隐患，确保园区的整体安全。

3.3 处置机制：应急联动与协同救援

应急联动流程详细说明：在监测系统检测到并确认触发三级预警信号后，整个应急联动机制将立即自动激活并按照预设程序执行以下一系列紧急应对措施：首先，系统会迅速指令相关控制单元切断故障设备的电源供应，这一举措旨在有效防止因电气故障引发的进一步损害或潜在危险扩散；其次，系统将同步指令启动事故发生区域的通风设备，通过增强空气流通来迅速降低该区域内易燃易爆气体的浓度，从而降低爆炸或火灾的风险；最后，系统还会立即通过通讯网络向消防、医疗等应急响应队伍发送紧急待命通知，确保这些关键救援力量能够在最短时间内做好充分准备，随时响应可能发生的更大规模的紧急情况。这一整套联动

流程的设计旨在最大限度地减少事故影响，保障人员及财产安全^[3-7]。

跨部门协同：构建一个高效联动的“园区管委会-企业-应急救援机构”三方协同机制，通过先进的预警系统实现故障信息的实时共享，确保信息流通无阻。在此机制中，各部门的职责分工明确且具体：企业作为第一响应单位，负责在电气故障发生的初期阶段迅速采取有效措施进行初步处置；园区管委会则发挥其统筹

协调的作用，及时调动和分配所需资源，确保救援工作顺利进行；而应急救援机构则专注于事故扩大后的专业救援工作，提供技术支持和专业设备，确保事故得到妥善处理^[8]。

4 应用效果验证

以某省级化工园区为例，该园区 2023 年引入本文设计的电气安全预警系统，配套实施上述风险防控机制，运行 1 年后成效显著，具体数据对比见表 1、表 2。

表 1 系统运行前后电气故障关键指标对比

指标	运行前（2022 年）	运行后（2023 年）	变化幅度
电气故障发生率（次/月）	8.2	2.1	-74.40%
故障平均处置时间（分钟）	45	12	-73.30%
因电气故障导致停产时间（小时/年）	148	32	-78.40%
电气安全事故经济损失（万元/年）	562	98	-82.60%

表 2 预警系统性能指标验证

性能指标	设计标准	实际运行值	达标情况
数据采集准确率	≥99.8%	99.92%	达标
预警响应延迟	≤100ms	68ms	达标
故障定位精度	≤10 米	8.3 米	达标
三级预警处置及时率	100%	100%	达标

从数据可知，系统运行后园区电气故障发生率大幅下降，故障处置效率显著提升，经济损失减少超 80%，同时系统各项性能指标均满足设计要求，验证了系统设计与风险防控机制的有效性。

5 结论

化工园区电气安全预警系统的设计需以“精准监测、快速预警”为核心，通过三层硬件架构与五大软件模块，实现电气数据全周期管理；配套的风险防控机制需覆盖“预防-监测-处置-复盘”全链条，形成技术与管理双重保障。实际应用表明，该系统与机制能有效降低电气故障发生率、缩短故障处置时间，为化工园区安全生产提供有力支撑。未来可进一步引入 AI 算法优化故障预测模型，结合数字孪生技术实现电气系统全生命周期可视化管理，持续提升园区电气安全管理智能化水平。

参考文献

[1] 李鹏. 电气防爆技术在化工危险区域的应用与优化[J]. 中国高科技,2025,(11):130-132.

[2] 肖飞.基于灰色关联分析对 S 企业本质安全管理提升路

径研究[D].北京化工大学,2025.

[3] 李庚波. 化工企业防爆电气设备安全管理探讨[J].电气开关,2025,63(02):108-110+113.

[4] 石油化工机电设备试运行中的故障应对策略及要点[J].刘沛德.造纸装备及材料,2025(05).

[5] 电气自动化设备安全管理及运行策略研究[J]. 孙亚斌;张鑫.造纸装备及材料,2024(10).

[6] 基于 HAZOP-Aspen 的油气回收工艺风险分析[J]. 刘尚志;历宏斌;赵东风;刘庆龙;酒江波;牟睿.中国安全科学学报,2021(12).

[7] 石油化工企业防爆设备管理现状及对策探析[J]. 李冬;刘哲.石油化工安全环保技术,2021(02).

[8] 石油化工企业边生产边施工作业安全管理重点探析[J]. 陈海明;刘建磊.化工管理,2022(28).

版权声明：©2025 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