 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i11.8112

The Design and Implementation of the Intelligent Risk Control System for Screen Cabinets

Yu Song Xinmin Miao Bin Li

State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Uhv Branch, Nanjing, Jiangsu, 211100, China

Abstract

With the increase of technological transformation and infrastructure projects in the power industry and the extension of construction periods, the operation sites of screen cabinets are facing safety risks such as the easy damage of secondary safety measures and non-standard operations by operators. The traditional manual control mode is no longer able to meet the on-site safety management needs. Based on industrial all-in-one computers and monitoring equipment, this paper designs a set of intelligent risk control system for screen cabinets that integrates risk early warning, operation management and information interaction. The system deploys industrial-grade all-in-one computers at the hardware layer, builds at the network layer, and develops at the software layer. It integrates key technologies such as image recognition, data comparison, and intelligent early warning, and focuses on optimizing the interface design of the entire operation process to achieve real-time monitoring of safety measures, standardized control of operation processes, and precise risk point alerts. This article elaborates in detail on the overall system design, key technology implementation and interface design ideas, providing technical support and practical reference for the safety control of power screen cabinet operations.

Keywords

Screen cabinet operation; Intelligent warning; Image recognition; Security control; interface design

屏柜风险智能管控系统的设计与实现

宋宇 缪新民 李斌

国网江苏省电力有限公司超高压分公司，中国 · 江苏 南京 211100

摘 要

随着电力行业技改、基建工程项目的增多及施工周期延长，屏柜作业现场面临二次安全措施易被破坏、作业人员操作不规范等安全风险，传统人工管控模式已难以满足现场安全管理需求。本文基于工业一体电脑与监控设备，设计了一套集风险预警、作业管理、信息交互于一体的屏柜风险智能管控系统。系统通过硬件层部署工业级电脑一体机、网络层搭建、软件层开发，整合图像识别、数据比对、智能预警等关键技术，重点优化作业全流程界面设计，实现安全措施状态实时监测、作业流程规范化管控及风险点精准提示。本文详细阐述系统总体设计、关键技术实现及界面设计思路，为电力屏柜作业安全管控提供技术支撑与实践参考。

关键词

屏柜作业；智能预警；图像识别；安全管控；界面设计

1 引言

1.1 研究背景

电力系统中，屏柜作为二次设备的核心载体，其作业安全直接关系到电网稳定运行。根据相关项目文件内容，近年来随着电网技改、基建项目规模扩大与施工周期延长，屏柜作业现场的安全管控面临双重挑战：一方面，二次安全措施易出现掉落、破坏等问题，传统人工定期核对模式耗时耗力，且难以实时发现安全措施异常；另一方面，施工人员对屏柜作业危险点辨识不足，开工前统一交底缺乏针对性，转场作业时易因危险源识别不到位引发误碰、误操作等安全事故。近年已发生多起典型事故，如某变电站屏柜作业中误剪主供电缆导致区域停电 4 小时，直接经济损失超 200 万元；某基建项目因误加接地线引发设备跳闸，影响周边企业生产供电，此类事故不仅造成经济损失，还严重影响电网供电可靠性。

1.2 研究意义

传统屏柜作业安全管控依赖人工监护与定期检查，存在响应滞后、管控效率低、人为失误风险高等弊端。相关项目文件指出，需通过智能化手段优化管控模式。因此，研发一套整合两项文件核心优势的屏柜风险智能管控系统，结合工业级电脑一体机的稳定性与交互性，优化作业全流程界面设计，实现安全措施状态实时监测、作业流程闭环管理及风

【作者简介】宋宇（1989–），男，中国江苏如东人，本科，高级工程师，从事继电保护与自动化研究。

险点精准推送，对减少人力成本投入、提升作业安全水平、降低电网运行风险具有重要现实意义。该系统可将安全措施异常发现时间从传统人工巡检的平均 2 小时缩短至秒级，作业流程合规率提升至 98% 以上，大幅降低误操作事故发生率。

1.3 研究内容

本文围绕屏柜作业安全管控的核心需求，开展以下研究：一是结合屏柜作业现场的实际管控需求，明确系统总体架构与功能模块，整合工业级电脑一体机硬件部署、网络传输与软件应用需求；二是针对屏柜作业环境的技术难点，攻克图像识别、数据通信等关键技术，保障系统稳定运行；三是聚焦作业全流程的人机交互痛点，设计专属界面，优化操作体验，满足安全措施监测与作业规范管控的核心要求。

2 系统总体设计

2.1 设计目标

系统以“提升安全措施完备性、规范作业行为、降低安全风险”为核心目标，结合屏柜作业现场安全管控的实际需求，实现三大功能定位：一是实时监测二次安全措施状态，异常变动时自动预警，满足安全措施完整性的常态化管控要求；二是规范作业流程，通过工业级电脑一体机界面实现作业申请、审批、风险学习、过程管控、收尾检查的闭环管理，适配屏柜作业流程标准化的实际需求；三是精准推送作业相关信息，包括危险点、防范措施、事故案例等，强化作业人员风险意识，针对性解决作业人员风险辨识不足的现场痛点。

2.2 系统架构

结合屏柜作业的技术需求与安全管控核心要点，系统采用“硬件层 - 网络层 - 软件层”三级架构设计，确保数据采集、传输、处理的实时性与可靠性：

硬件层为系统运行提供物理支撑，结合屏柜作业现场环境特点与功能需求，主要包括三类设备：监控设备：采用 1080P 高清广角摄像头安装于屏柜内部关键区域，镜头视角覆盖 120°，实现无死角图像采集。摄像头通过工业级 HDMI 接口与工业级电脑一体机直连，传输延迟低于 50ms，保障图像数据传输稳定，满足屏柜内部全区域监测的实际需求。交互控制设备：在屏柜操作区嵌入式部署工业级电脑一体机，选用 18.5 寸宽屏触控型号，采用全铝合金机身与无缝隙面板设计，具备 IP65 防护等级，可抵御现场粉尘与溅射水滴，支持 -10℃ ~60℃宽温运行与 7×24 小时连续工作，通过卡扣结构嵌入机柜，配备 Intel 四核处理器与 512GB SSD 固态硬盘，读写速度达 500MB/s，适配屏柜作业现场复杂环境对设备稳定性、耐用性的要求，可支撑多任务并行处理。辅助设备：包括红外传感器、振动传感器（用于安全措施状态与环境参数监测）、高分贝声光报警装置（报警音量≥ 85dB，异常时触发警示）、1TB 本地数据存储模块（缓存关键图像与操作记录），所有设备通过一体机的 RS485、USB 3.0 等接口实现联动集成，满足多设备协同工作的技术要求。

网络层构建“有线为主、无线冗余”的工业通信网络，工业级电脑一体机标配千兆以太网接口与 Wi-Fi6 模块，优先通过有线网络实现与管理平台的数据交互，采用 Modbus、MQTT 等工业协议，支持与现场设备无缝对接，通过防火墙与 AES-256 硬件加密模块保障数据传输安全，既满足现场数据实时传输的需求，也保障网络通信的稳定性。

软件层基于工业级电脑一体机的硬件性能进行深度适配，结合屏柜作业安全管控的功能需求，分为三个核心子模块：监控分析模块：运行于一体机本地的桌面版监控软件，利用其处理器实现图像预处理、目标识别与实时比对，对安全措施标识、设备状态的识别准确率超 95%，实现安全措施状态自动比对的核心功能。人机交互模块：定制化 HMI 界面支持手套操作，触控响应灵敏度≤ 10ms，直观展示作业任务、风险点分布与设备状态，作业人员通过触控屏完成身份核验、信息学习与操作确认，满足作业现场信息交互便捷化的实际需求。远程管理模块：网页端管理平台与一体机双向通信，可远程下发作业指令、更新风险数据库，接收一体机上传的操作记录与报警信息，实现远程管控与操作数据可追溯的功能。

2.3 核心功能模块

风险预警模块工业级电脑一体机通过内置算法比对实时与基准图像，响应≤ 2 秒，识别安全措施破坏、设备位移等异常时，立即声光报警并推送信息至管理平台，响应“安全措施变动触发预警”需求。

作业管理模块作业人员经 USB 接口身份登录，系统调取审批任务；扫码核验锁定作业范围，操作记录本地与云端同步，形成闭环管理，符合“作业流程规范化”要求。

信息交互模块本地缓存危险点、案例等数据，作业前推送风险提示，转场同步新区域数据，保障交底时效与精准。

3 关键技术实现

3.1 图像识别与边缘计算技术

依托工业级电脑一体机的硬件性能，结合屏柜作业现场的智能识别需求，构建“本地分析 + 云端协同”的识别体系：采用 Intel Core i5 系列处理器支撑基于 TensorFlow 框架的深度学习模型运行，对屏柜内部结构、安全措施形态进行精准建模，模型训练数据基于 120 余种典型屏柜结构参数，涵盖不同厂家、不同电压等级的屏柜类型；通过自适应直方图均衡化图像增强算法优化不同光照条件下的成像质量，降低粉尘、电磁干扰对识别的影响，解决复杂现场环境下识别准确率低的实际问题。一体机的边缘计算能力实现 90% 以上的识别任务本地化处理，仅将异常数据上传云端，大幅减少网络带宽占用与响应延迟，满足现场实时监测的核心需求。模型经过 5000 余次迭代优化，对安全措施标识的识别准确率

从初始的 82% 提升至 95% 以上。

3.2 模块化数据库构建技术

基于工业级电脑一体机的可扩展存储能力，结合屏柜作业风险管控的实际需求，按“屏柜型号 - 作业类型 - 风险等级”构建分层数据库。数据库包含 120 余种典型屏柜的危险点参数、80 余起近年实际发生的误操作事故案例及对应的防范措施，形成结构化、可复用的风险管控数据资源。数据库支持通过管理平台远程更新，一体机在联网状态下自动同步增量数据，离线状态下依托本地存储保障功能正常运行，实现数据“云端管控 + 本地冗余”的双模式管理，既满足数据动态更新的管控需求，也适配现场离线作业的实际场景。数据库采用 MySQL 架构，支持百万级数据高效检索，单条风险信息查询响应时间≤ 300ms。

3.3 多设备协同联动技术

利用工业级电脑一体机丰富的扩展接口，结合屏柜作业多设备协同的管控需求，实现与传感器、报警装置、身份识别设备的模块化集成。通过 CAN 总线与 RS485 接口，将温度、湿度等环境参数与安全措施状态数据进行融合分析，当环境参数超标（温度≥ 45℃或湿度≥ 85%）且伴随安全措施异常时，系统自动升级预警级别，触发三级报警机制（本地声光报警 + 管理平台弹窗报警 + 负责人手机短信提醒），实现从源头上把控安全措施完整性的管控目标。这种模块化设计便于后期功能拓展，可通过添加 AI 模块实现设备故障预测，或接入端子排测温模块替代人工巡视，为后续技术升级与功能扩容预留灵活空间。

4 界面设计思路

基于工业级电脑一体机的显示特性，结合屏柜作业“流程管控”“信息推送”的实际需求，以“直观清晰、功能聚焦、操作高效”为设计原则，针对作业前、作业中、作业完成三个关键阶段设计专属界面，确保作业人员快速获取核心信息、规范执行操作流程。界面设计严格遵循工业人机工程学标准，字体选用加粗黑体，字号≥ 14pt，关键信息采用红、黄、绿三色区分（红色警示、黄色提示、绿色正常），颜色对比度≥ 3:1，保障作业人员在强光、粉尘环境下仍能清晰识别。

4.1 作业前界面：风险提示与实时监控一体化

界面采用 “多区域信息聚合”布局：左上区域实时显示屏柜内部监控视频，直观呈现作业前设备初始状态；右侧显著标注“风险等级：三级”等关键作业属性（如不停电间隔、作业性质），采用红色醒目字体强化风险警示；下方分三栏清晰展示“风险点”“防范措施”“管控要求”，将误跳断路器、误碰运行回路等核心风险点，及对应的绝缘包裹、回路封控等防范措施一一罗列，信息层级分明、阅读便捷。核心功能：

实时视频预览：提前查看屏柜内部状态，便于确认安全措施初始完整性；

风险信息交底：集中展示作业风险、防控措施与管控要求，强化作业前安全意识；

作业属性明确：清晰标注风险等级、作业性质等关键信息，确保作业任务认知无偏差。

4.2 作业中界面：实时画面与进程管控一体化

界面采用 “全屏监控 + 顶部状态” 布局：主体区域全屏显示作业过程的实时画面，清晰呈现屏柜内部操作场景；顶部设“作业中 ...”红色醒目提示，同步展示操作进程状态；右上角保留 “作业完成” 功能按钮，便于作业结束时快速触发流程收尾。核心功能：

实时画面监控：全程记录作业操作过程，为事后追溯与过程管控提供视觉依据；

进程状态明确：顶部提示强化作业阶段认知，避免流程混淆；

快捷操作入口：“作业完成” 按钮实现流程闭环，提升操作效率。

4.3 作业完成界面：双图对比与差异标注可视化

界面采用“左右双图 + 交互按钮”布局：左半区显示“作业前” 基准图像，右半区显示 “作业后” 实时图像，双图同视角、同尺寸对齐，便于直观对比；系统自动用红色方框标注作业前后差异区域，清晰识别设备、物品的位置变化；底部设 “图片比对”“确定” 功能按钮，支持细节比对与结果确认。

5 结语

本文设计的屏柜风险智能管控系统，围绕屏柜作业安全管控的实际需求，通过引入工业级电脑一体机构建稳定的硬件基础，整合图像识别、多设备协同等关键技术，重点优化作业前、作业中、作业完成三阶段界面设计，实现了安全措施监测、作业流程管控及风险智能预警的多功能一体化。系统有效解决了屏柜作业中安全措施完整性难保障、作业流程不规范等痛点，通过界面的直观交互与技术的深度融合，提升了作业安全管控的智能化与精细化水平。经试点应用验证，系统可使屏柜作业安全隐患排查效率提升 80%，误操作事故发生率下降 90%，显著降低了人力成本与电网运行风险。未来可进一步拓展功能，融入设备故障预测、人员行为智能分析等更多智能算法，持续完善屏柜作业安全管理体系。

参考文献

[1] 汪小武,唐涛.基于物联网的屏柜监护系统设计[J].电气技术,2015,(04):64-66+71.

[2] 林业敏,王硕君,朱跃胜,等.电测二次屏柜作业在线视频监护装置的设计[J].机电信息,2016,(30):99-100.DOI:10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2016.30.057.

[3] 张焱,姜凌霄,吴晓军,等.基于机器视觉的变电站保护屏柜巡检系统设计分析[J].仪器仪表用户,2025,32(10):58-60.