

高压开关柜安全状态的监控系统设计

黄宝勇 熊光芳 武 栋

山东电工电气日立高压开关有限公司 山东 济南 250100

摘要：高压开关柜是电力系统安全运行的核心设备，长期在高电压、大电流环境下易出现电气及机械故障，严重威胁电力系统稳定性。本文针对其安全管控需求，分析开关柜结构原理与常见故障，明确监控系统需求，设计分层式总体架构，完成硬软件组件选型与设计，优化安全状态诊断算法，实现数据采集、传输、处理及预警的闭环管控。测试表明，该系统监测精准、运行稳定，可有效识别设备隐患，提升开关柜运维效率。

关键词：高压开关柜；安全状态监控；总体设计；硬软件设计

引言：随着电力系统规模化发展，高压开关柜的安全稳定运行成为保障电力供应的关键。当前传统开关柜运维依赖人工巡检，存在效率低、隐患识别不及时等问题，难以适配现代化电力系统的管控需求。针对这一现状，本文结合高压开关柜的运行特性与故障规律，开展安全状态监控系统设计研究。通过分析系统需求、设计总体架构、研发硬软件模块及优化诊断算法，解决传统运维痛点，实现开关柜安全状态的实时监测与精准预警。

1 高压开关柜安全状态分析

1.1 高压开关柜结构与工作原理

高压开关柜是电力系统中用于控制、保护和隔离高压电气设备的核心装置，主要由柜体、断路器、隔离开关、互感器、母线、二次回路及保护装置等部分组成，按结构可分为固定式和手车式两类。其核心工作原理是通过内部电气元件的协同作用，实现高压电路的接通、断开、控制和保护：正常运行时，断路器闭合，将电能通过母线输送至下游设备；当电路出现过载、短路等异常时，保护装置触发断路器跳闸，快速切断电路，避免设备损坏和事故扩大，同时隔离开关可实现电路的可靠隔离，保障检修人员人身安全。

1.2 高压开关柜常见故障类型

高压开关柜长期在高电压、大电流环境下运行，受环境、老化、操作等因素影响，易出现多种故障，直接威胁电力系统安全。常见故障主要分为两类：（1）电气故障，包括断路器拒动或误动、母线及接头过热、互感器故障、绝缘击穿等，其中接头过热多由接触不良导致，绝缘击穿则与环境湿度、粉尘堆积相关；（2）机械故障，主要有隔离开关卡涩、手车推进或退出受阻、柜门闭锁失效等，多因机械部件磨损、锈蚀或安装偏差引发^[1]。

2 高压开关柜安全监控系统的需求分析

为实现高压开关柜安全状态的实时管控、隐患预警

及事故防控，结合其运行特点和实际应用场景，对监控系统进行全面需求分析，明确系统设计的核心方向，具体需求如下：（1）实时监测需求。系统需精准采集高压开关柜关键安全指标，涵盖电气参数和环境参数，其中电气参数包括母线电流、电压、接头温度、局部放电量等，环境参数包括柜内温度、湿度、粉尘浓度等，采集频率需满足实时性要求，确保及时捕捉设备运行状态变化，为安全判断提供准确数据支撑。（2）异常预警与报警需求。当监测参数超出预设安全阈值时，系统需快速识别异常，通过声光报警、短信通知等多种方式，及时向运维人员推送预警信息，区分一般隐患和紧急故障，明确预警等级，便于工作人员优先处理高危问题，避免事故扩大。（3）可靠性与实用性需求。系统需适应高压开关柜的运行环境，具备较强的抗电磁干扰、防尘防潮能力，长期运行稳定无故障；同时操作简便、界面直观，运维人员可快速掌握操作方法，实现参数设置、数据查询、故障追溯等功能，降低运维成本。（4）数据管理与扩展需求。系统需对监测数据进行存储、统计和分析，生成运行报表，便于工作人员追溯设备运行历史、排查潜在隐患；同时预留扩展接口，可根据后续运维需求，增加监测指标或扩展监控范围，提升系统的适用性和扩展性^[2]。

3 高压开关柜安全监控系统的总体设计

3.1 监控系统总体架构设计

结合高压开关柜运行场景及监控需求，设计分层式总体架构，明确各环节功能边界，实现数据采集、处理、传输闭环管控，整体分为四层：（1）数据采集层，作为数据输入源头，分布式部署于开关柜内外，采集各类关键监控指标，合理布置采集单元保障精准性；对原始数据初步滤波降噪、剔除无效数据，为后续环节奠基。（2）数据传输层，衔接采集与处理层，采用有线与无线结合方式传输有效数据，核心区域用有线保障稳定，不便布线

区域用无线提升灵活；传输采用加密协议，防止数据丢失、泄露及干扰，保障安全实时。(3) 数据处理层为系统核心，搭建处理平台，对传输数据进一步处理分析，完成分类存储、校验，结合预设阈值和诊断逻辑识别设备异常、生成指令，格式化数据支撑应用层。(4) 应用层面向运维人员，提供简洁操作界面，展示设备运行参数、状态及预警，支持参数设置、故障查询、报表导出等功能，实现系统全程操控。

3.2 关键组件的选择与设计

关键组件性能决定系统运行效果，结合实际需求及高压环境特性，对核心组件选型并针对性设计：(1) 采集组件按监测指标类型和精度选型，温湿度用高精度抗干扰嵌入式传感器，局部放电用专用高频模块，电流电压用符合高压标准的互感器；密封式设计适配柜内高温、高电磁干扰环境，保障稳定采集。(2) 传输组件，有线选用屏蔽网线和光纤提升抗干扰性与速率，无线选用工业级模块适配复杂环境；预留接口便于扩展维护，优化功耗降低运维成本。(3) 处理组件选用工业级主控芯片，运算能力强、稳定性高，搭配大容量存储实现数据本地备份与云端同步；冗余设计避免单一组件故障导致系统瘫痪，提升可靠性。(4) 控制与展示组件，工业级触控显示屏适配恶劣环境，界面简洁；控制组件采用防水防尘按键和接口，集成报警模块实现多方式异常提醒。

3.3 系统集成策略

为确保各子系统协同互通，结合总体架构和组件特性，制定针对性集成策略：(1) 接口标准化集成，统一各子系统、组件接口规格，采用通用工业协议，保障接口兼容，实现数据无缝传输和指令高效下发，避免集成冲突。(2) 数据协同集成，搭建统一数据管理平台，汇总管控各子系统数据，建立关联机制实现共享，保障数据一致完整。(3) 功能协同集成，明确子系统功能分工，梳理联动逻辑，实现采集、传输、处理等功能协同，子系统异常触发应急响应。(4) 运维一体化集成，整合运维功能，搭建统一运维平台，实现组件及子系统状态监测、故障排查和日常维护；建立集成测试机制，逐模块排查隐患，保障系统稳定可靠^[3]。

4 高压开关柜安全监控系统硬软件设计

4.1 安全监控系统的硬件设计

高压开关柜安全监控系统硬件设计结合高压运行环境特殊性，构建模块化硬件结构，各模块独立工作且协同联动，整体围绕核心控制模块展开，衔接采集、传输、报警及辅助模块，具体设计如下：(1) 核心控制模块设计，选用工业级高性能主控芯片，兼顾运算速率、功耗

及抗干扰能力，适配柜内复杂电磁环境。主控芯片外接存储、时钟及复位模块，存储采用本地与云端备份双重设计，预留充足空间存储采集数据、系统参数及故障记录；时钟模块保障数据采集与处理的时间同步，复位模块实现系统异常自动重启，避免单一模块故障导致系统瘫痪。同时设计电源管理模块，采用宽电压输入，具备过压、过流、欠压保护，为整个硬件系统稳定供电。(2) 数据采集模块设计，采用分布式布局，根据开关柜结构及监测需求合理布置采集单元，通过专用接口与主控芯片连接。模块分为电气与环境参数采集两部分，电气参数采集选用符合高压标准的隔离式采集元件，实现电流、电压、局部放电量、接头温度等参数精准采集；环境参数采集选用密封式传感器，具备防尘、防潮、耐高温特性，采集柜内温湿度、粉尘浓度等参数。模块内置滤波电路，对原始数据初步降噪滤波、剔除无效数据，减少软件处理压力，同时设计采集触发机制，可切换定时与实时采集模式。(3) 数据传输模块设计，采用有线与无线结合方式，兼顾稳定性与布置灵活性。有线传输选用屏蔽式线路，采用差分传输技术提升抗电磁干扰能力，用于核心及布线便捷区域，接口采用防水防尘设计，避免接触不良；无线传输选用工业级模块，支持远距离传输，适配不便布线场景，采用加密协议保障数据传输安全完整。传输模块预留扩展接口，便于增加传输节点，同时设计信号放大电路，提升信号强度，确保数据高效传输至主控芯片。(4) 报警与辅助模块设计，报警模块与主控芯片联动，根据异常指令触发声光双重报警，声音清晰、亮度适中，同时支持报警信号远程传输。辅助模块包括柜门闭锁、状态指示及调试接口模块：柜门闭锁模块实现设备异常时柜门锁定，防止误操作；状态指示模块显示各模块运行状态，便于直观判断；调试接口采用通用工业接口，简化调试、参数设置及故障排查流程。整个硬件采用模块化封装，布局合理，便于安装维护及扩展，同时通过屏蔽、接地等措施进行整体抗干扰设计，适配高压运行环境^[4]。

4.2 安全监控系统的软件设计

高压开关柜安全监控系统软件设计与硬件协同适配，遵循模块化、简洁化、可维护性原则，围绕数据采集、处理、传输、展示及控制核心功能，构建分层软件架构。(1) 软件总体架构设计，采用分层式架构，分为采集层、处理层、传输层及应用层软件，各层独立封装，通过标准化接口实现数据互通与功能联动，降低耦合度，便于升级维护及扩展。软件开发选用工业级通用工具，编程语言兼顾兼容性与运算效率，适配主控芯片型号，同时制定统一

编码规范,保障代码可读性、可维护性,减少漏洞。(2)采集层软件设计,运行于采集模块,与硬件采集单元协同工作,实现数据采集、初步处理及上传。内置采集参数配置模块,可通过应用层设置采集频率、精度、阈值范围;设计数据滤波算法,对原始数据降噪去抖、剔除异常无效数据;内置数据缓存模块,避免传输短暂故障导致数据丢失,恢复后自动上传;同时设计采集状态监测模块,及时将采集故障反馈至处理层。(3)处理层软件设计,作为软件核心运行于主控芯片,实现数据处理、异常判断及指令下发。内置数据分类处理模块,对传输数据分类校验、按类型存储,同时整理压缩历史数据节省空间;设计异常诊断模块,结合预设阈值与诊断逻辑识别设备异常、明确等级,生成控制指令下发至相关模块;内置系统参数管理模块,支持参数设置、修改、保存及备份恢复,避免参数丢失导致系统异常。(4)传输层软件设计,与硬件传输模块适配,实现传输控制、状态监测及异常处理。内置传输协议解析模块,支持有线无线协议解析,实现各层数据无缝传输;设计传输速率控制模块,根据数据量自动调整速率,兼顾效率与稳定性;内置传输状态监测模块,出现中断、丢失等异常时触发重传机制,并反馈至处理层;设计数据加密模块,保障传输安全,避免数据篡改泄露。(5)应用层软件设计,面向运维人员,实现数据展示、操作交互及故障查询。搭建简洁直观的模块化操作界面,清晰展示设备运行参数、采集数据、系统状态及异常预警,支持数据实时刷新与历史查询;设计操作控制模块,支持参数设置、采集模式切换、报警阈值调整,同时设置权限管理模块防止误操作^[5]。

5 高压开关柜安全状态诊断算法设计与优化

为精准识别高压开关柜安全隐患,结合监控系统采集的多维度数据,开展安全状态诊断算法的设计与优化工作。具体内容如下:(1)诊断算法设计,结合开关柜

安全监控指标特性,选用适配多参数融合分析的基础算法,构建分层诊断模型。算法首先对预处理后的采集数据进行归一化处理,消除不同指标量纲差异,统一数据范围;随后提取各监控参数的特征量,建立特征与设备安全状态的关联关系,划分安全、预警、故障三个等级,嵌入预设阈值与逻辑判断规则,实现对设备安全状态的初步诊断,确保诊断逻辑贴合实际运行场景。(2)算法优化,针对基础算法诊断精度不足、响应滞后的问题,进行针对性优化。引入轻量化优化策略,简化冗余运算步骤,提升算法响应速度,适配监控系统实时诊断需求;同时融入误差修正机制,减少数据干扰对诊断结果的影响,修正诊断偏差。通过数据校验与迭代调整,优化算法参数配置,提升算法对轻微隐患的识别能力。

结束语:本文围绕高压开关柜安全状态监控系统设计展开全面研究,从设备安全分析、系统需求梳理,到总体架构设计、硬软件研发及诊断算法优化,逐步完成整套监控系统的设计工作,实现了开关柜安全状态的实时监测、异常预警与数据管控。但系统在极端环境适应性方面仍有提升空间,未来将进一步优化组件性能与算法精度,完善系统扩展功能,推动其在电力系统中更广泛的应用,助力电力运维智能化发展。

参考文献:

- [1]刘顺.高压开关柜安全状态在线监测预警系统设计[D].安徽:安徽理工大学,2024(2):33-34.
- [2]宗耀,相翠翠,张彬,等.高压开关柜综合状态监测系统的设计与应用研究[J].自动化应用,2025,66(3):221-224.
- [3]朱国庆,范振超.智能高压开关柜电气监测控制系统设计研究[J].电气技术与经济,2025(6):177-179.
- [4]张宝康.智能化高压开关柜的状态评估方法与系统实现[D].浙江:浙江工业大学,2022(4):11-12.
- [5]杨光晨.高压开关柜分布式火灾实时监测与响应系统[D].安徽:安徽理工大学,2022(3):15-16.