

基于物联网的实用新型选煤供配电装置性能评价研究

杨帆¹, 王军强¹, 张磊¹, 薛虎林¹, 任卫华², 米超², 鲁斌²

¹ 陕西新能选煤技术有限公司 陕西西安

² 山西汇永青峰选煤工程技术有限公司 山西朔州

【摘要】针对选煤厂传统低压供配电装置依赖人工停送电、MNS 抽屉柜物理隔离需现场操作、运行状态感知不足及高粉尘环境适应性弱等问题, 研发基于物联网的实用新型选煤供配电装置, 构建由状态感知、工业通信、可编程逻辑控制器 (PLC) 控制、远程执行、安全联锁与可视化管理组成的一体化装置体系, 并建立执行性能、控制性能、安全性能、可靠性能、环境适应性及应用效能六维评价方法。工业试运行结果表明: 往复式电能隔离机构执行距离为 30~80 mm, 电动操作机构寿命不低于 2 万次, 断路器分/合闸时间为 0.7~1.3 s, 智能控制器故障概率低于 0.1%; MNS 抽屉单次推拉由人工约 90 s 缩短至远程自动 15 s 以内, 操作成功率达到 100%, 系统无故障运行时间不低于 99.9%, 数据查询响应时间不超过 1.5 s。装置应用后停电操作耗时缩短 40% 以上、设备故障停机时间减少 50%、维护效率提高 30%, 吨煤电耗由 2.96 kW·h/t 降至 2.51 kW·h/t。结果表明, 该装置能够在保证物理隔离和防误联锁的基础上提高选煤厂供配电操作效率、运行可靠性与数字化管理水平, 可为同类工业低压配电装备的选型、采购和智能化改造提供参考。

【关键词】物联网; 选煤厂; 供配电装置; MNS 抽屉柜; 远程停送电; 性能评价; 智能控制

【收稿日期】2026 年 3 月 3 日

【出刊日期】2026 年 8 月 20 日

【DOI】10.12208/j.merd.20260003

Performance evaluation of a novel IoT-based power supply and distribution device for coal preparation plants

Fan Yang¹, Junqiang Wang¹, Lei Zhang¹, Hulin Xue¹, Weihua Ren², Chao Mi², Bin Lu²

¹ Shaanxi Xinneng Coal Preparation Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi

² Shanxi Huiyong Qingfeng Coal Preparation Engineering Technology Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi

【Abstract】To address manual power switching, on-site physical isolation of MNS drawers, insufficient condition awareness and poor environmental adaptability of conventional low-voltage power-distribution devices in coal preparation plants, a novel IoT-based power supply and distribution device was developed. The device integrates condition sensing, industrial communication, Programmable Logic Controller (PLC) control, remote actuation, safety interlocking and visual management. A six-dimensional evaluation method covering actuation, control, safety, reliability, environmental adaptability and application efficiency was established. Industrial trials showed that the reciprocating electrical isolation mechanism had an execution distance of 30-80 mm, the electric operating mechanism had a service life of at least 20,000 operations, and breaker opening/closing time was 0.7-1.3 s. The failure probability of the intelligent controller was below 0.1%. A single MNS drawer operation was shortened from about 90 s manually to less than 15 s automatically, with a 100% success rate. System uptime was at least 99.9% and the data-query response time was within 1.5 s. After application, power-switching operation time decreased by more than 40%, equipment-failure downtime decreased by 50%, maintenance efficiency increased by 30%, and specific

electricity consumption decreased from 2.96 to 2.51 kW·h/t. The device improves operating efficiency, reliability and digital management while maintaining physical isolation and anti-misoperation interlocking, and can provide a reference for equipment selection, procurement and intelligent retrofit of similar industrial low-voltage distribution systems.

【Keywords】Internet of things; Coal preparation plant; Power distribution device; MNS drawer; Remote power switching; Performance evaluation; Intelligent control

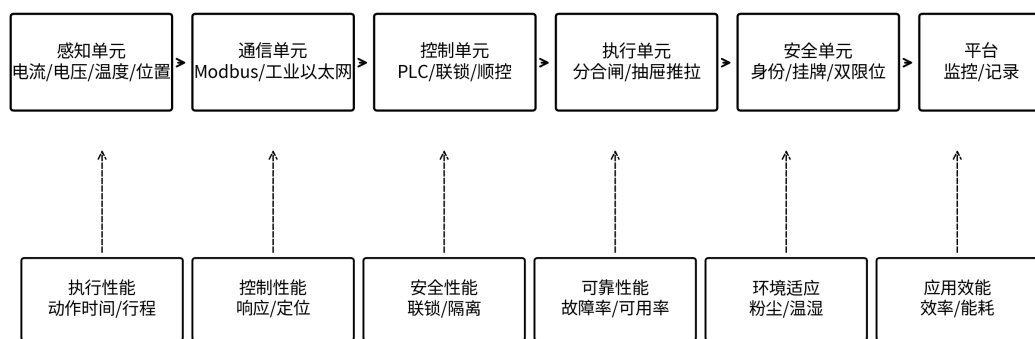
引言

选煤厂低压供配电系统承担破碎、筛分、输送、重介、压滤等大量动力设备的供能与检修隔离任务,具有回路数量多、停电电操作频繁、配电点分散和环境粉尘湿度较高等特点。传统供配电方式通常由电工持操作票进入配电室,完成断路器分合闸及MNS抽屉柜摇入摇出,不仅操作链条长,而且人员需要接近带电间隔。随着智慧选煤厂建设推进,低压供配电已由辅助系统逐步成为影响生产连续性、本质安全和运维效率的关键环节。

已有研究表明,选煤厂智能供配电可通过远程停送电、低压保护监测、电量采集与环境监测实现配电室集中管理和无人值守^[1-2]。王宇涵^[1]采用工业现场总线构建低压供配电系统,仪表和保护器数据刷新时间不超过1s,塑壳断路器停送电动作延时控

制在3s以内;李涛等^[2]则通过远程控制和工业电视联动降低检修停送电时间。这些研究验证了网络化配电的工程价值,但对于“远程电气操作+抽屉柜物理隔离+身份与联锁+移动巡检”一体化装置的系统性能评价仍相对不足。

本文以基于物联网的选煤厂智能安全供配电项目为工程基础,选取MNS低压抽屉柜远程推拉装置、断路器电动操作单元、状态传感与物联网通信、安全联锁及监控平台作为评价对象,建立执行、控制、安全、可靠、环境适应与应用效能六维指标体系,并利用项目试运行及工业应用数据进行性能评价。研究重点不是对系统进行主观综合打分,而是通过可复核的技术参数、对比数据和运行指标判断装置是否满足选煤厂工业应用需求。



评价原则：功能完整性 + 定量实测 + 工业工况验证 + 安全边界约束 + 长期运行效果

图1 基于物联网的选煤供配电装置组成与性能评价框架

1 装置结构与工作原理

1.1 总体组成

装置由感知单元、通信单元、控制单元、执行单元、安全单元和监控平台组成。感知单元采集配电回路电流、电压、温度、断路器状态以及MNS抽屉位置;通信单元采用Modbus RTU、工业以太网等实

现设备与监控中心数据交互;PLC根据远程操作指令、设备状态和安全联锁条件执行顺序控制;执行单元包括断路器电动操作机构及往复式电能隔离机构;安全单元完成身份识别、电子挂牌、软闭锁与硬联锁;监控平台记录操作、报警和设备状态。

该结构将传统“远程分合闸”扩展为“状态感

知-权限校验-电气动作-物理隔离-反馈确认-记录追溯”闭环, 使供配电装置既具备远程控制能力, 又保留检修所需的确定性安全条件。

1.2 往复式电能隔离机构

MNS 抽屉柜远程物理隔离是装置的核心。项目形成的推拉结构采用驱动电机、丝杠传动、移动板、滚轮导向、限位条及双重限位等结构, 实现抽屉柜

由工作位、试验位向隔离位的自动移动。最终项目总结口径给出的执行距离为 30~80 mm, 位置状态由双重限位开关反馈。

与仅控制断路器分合闸相比, 该机构能够在检修场景中形成可确认的物理断开点, 降低“断路器已分闸但回路未形成可靠隔离”的风险, 结构示意图见图 2。

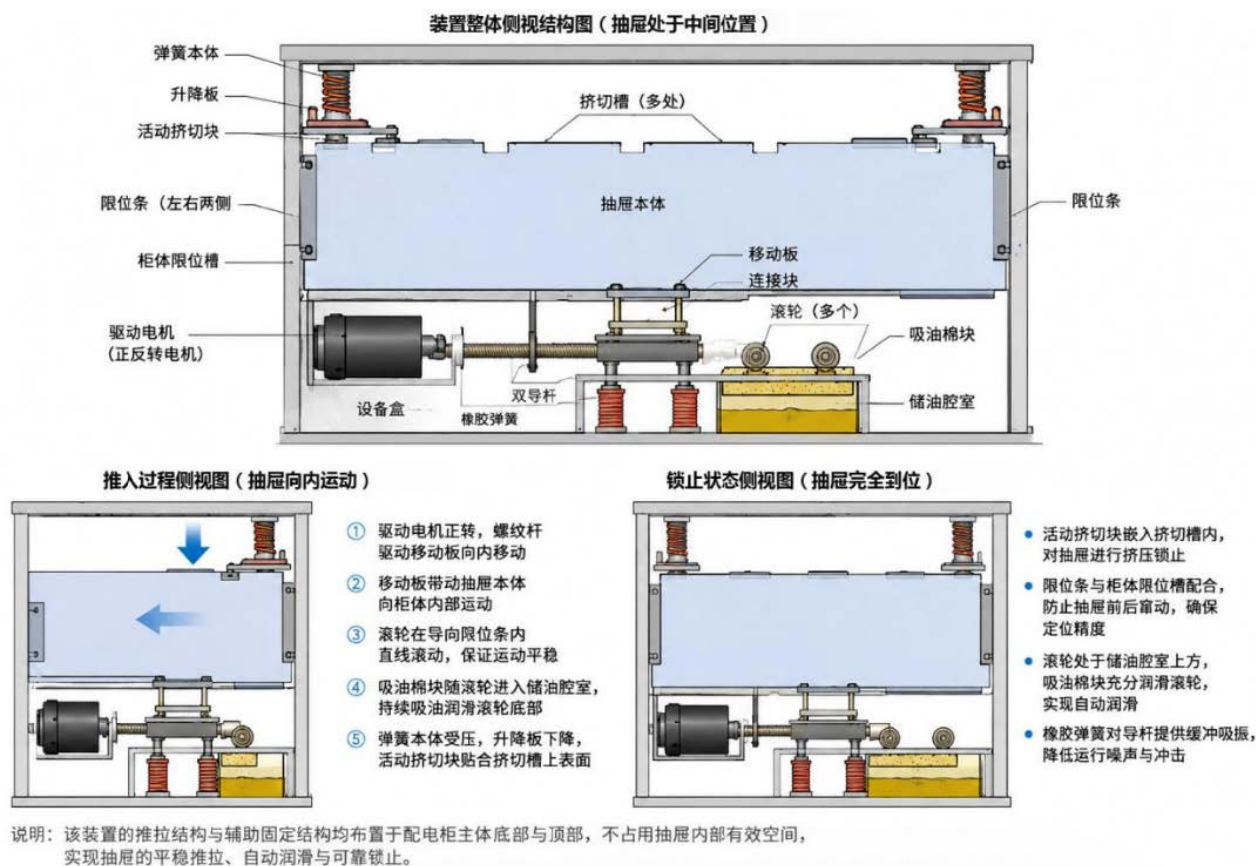


图 2 MNS 抽屉远程推拉与物理隔离机构结构示意图

注: 结构图源自项目研究报告, 本文仅进行清晰化处理。

1.3 物联网感知与控制链

装置通过 PLC 和传感器采集电流、电压、温度、位置等数据, 并通过工业通信网络上传监控中心。远程停送电时, 平台首先核验操作权限、电子挂牌和设备状态, 再下发控制指令; 断路器完成分/合闸后由辅助触点与电压状态反馈确认; 抽屉移动过程中由双限位和位置状态反馈确认到位。

对于运行异常, 系统可结合电气参数、设备状态和巡检数据进行预警。研究报告中进一步构建规则引擎和机器学习诊断模块, 用于对非计划停电和复杂故障进行识别; 但本文评价对象仍以装置硬件、

控制链和工程运行性能为主, 算法诊断仅作为装置智能化扩展能力讨论。

1.4 安全设计

装置安全性能依托多层约束实现: 人员侧采用身份识别和权限管理; 管理侧采用电子挂牌和流程留痕; 控制侧采用软件闭锁与 PLC 联锁; 设备侧采用双重限位、断路器状态反馈和物理隔离。对于高风险操作, 单一网络指令不能直接构成送电条件, 必须同时满足人员、流程、设备位置和电气状态要求。

这一设计符合电力安全工作规程和选煤厂安全管理中“停电-验电-隔离-挂牌-确认”的基本原则,

也使物联网功能的增加不削弱原有电气保护与现场安全边界。

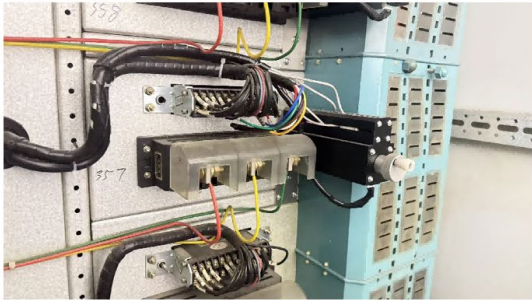
2 性能评价方法

2.1 评价指标体系

依据装置功能和选煤厂工业运行要求，将性能划分为 6 个维度：①执行性能，考察抽屉推拉时间、断路器分合闸时间、执行距离和机械寿命；②控制性能，考察系统响应、位置确认和操作成功率；③安全性能，考察身份、联锁、挂牌、物理隔离及误动拒动；④可靠性能，考察控制器故障概率、系统无故障

运行时间和长期稳定性；⑤环境适应性，考察高粉尘、高湿等环境下的防护和运行；⑥应用效能，考察停送电效率、故障停机、维护效率、单位能耗及人工需求变化。

评价采用“设计/行业要求-实测结果-工程基准”三层比较。对于有明确阈值的指标，采用达标判定；对于传统模式可直接比较的指标，采用改造前后变化率。由于不同指标物理量与安全重要度差异较大，本文不人为设置权重形成单一综合分数，以避免某一关键安全短板被其他高分指标抵消。



远程推拉执行机构



低压配电柜改造



配电室现场应用



物联网监控平台

图 3 供配电装置实物及物联网平台现场应用

表 1 供配电装置性能评价指标

评价维度	主要指标	评价方法	数据来源	评价重点
执行性能	执行距离、推拉时间、分合闸时间、寿命	实测/对比	现场试验、总结报告	动作快速且可重复
控制性能	响应时间、定位/到位反馈、成功率	功能及时延测试	平台日志、PLC 记录	控制链闭环
安全性能	身份、联锁、挂牌、物理隔离、误动拒动	场景试验	安全测试、运行记录	禁止越权和不安全动作
可靠性能	控制器故障概率、系统可用率	长期试运行	运行统计	持续稳定运行
环境适应性	粉尘、温湿度、防护散热	现场运行/状态监测	环境及设备数据	适应选煤厂工况
应用效能	操作耗时、停机、维护、能耗、人工	改造前后对比	工业应用统计	全生命周期价值

2.2 试验与数据处理方法

装置在项目示范选煤厂配电室完成安装、调试

和长期试运行。性能测试包括：远程分/合闸动作测试、抽屉自动推进/退出测试、限位与位置反馈测试、

身份认证和权限校验测试、通信与响应测试、系统连续运行测试以及现场异常工况验证。

抽屉推拉效率采用传统人工操作与自动操作的单次耗时进行对比；系统响应以平台查询和操作响应日志为依据；机械寿命与控制器故障概率采用项目测试和持续运行记录；系统可用率采用无故障运行统计。工业效能指标采用改造前后生产运维数据进行比较。

项目总结报告部分章节存在年节约电费 184.25 万元与 189.75 万元两个统计口径。本文涉及经济性时采用技术应用总结章节的 184.25 万元作为最终口径；吨煤电耗则采用两处均一致的 $2.96 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 降至 $2.51 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 。

3 性能评价结果

3.1 执行与控制性能

试运行结果显示，往复式电能隔离机构执行距离为 $30\sim 80 \text{ mm}$ ，能够完成 MNS 抽屉柜远程自动摇入摇出；电动操作机构寿命不低于 2 万次，断路器分/合闸时间为 $0.7\sim 1.3 \text{ s}$ 。低压配电柜智能控制器故障概率低于 0.1%，满足高频停送电场景对重复动作和控制可靠性的要求。

工业对比数据表明，单次抽屉推拉由传统人工约 90 s 缩短至远程自动 15 s 以内，按 15 s 上限计算单次操作时间至少降低 83.3%，操作成功率达到 100%。这一结果说明，机械执行机构与 PLC 顺控能够显著压缩检修辅助时间。

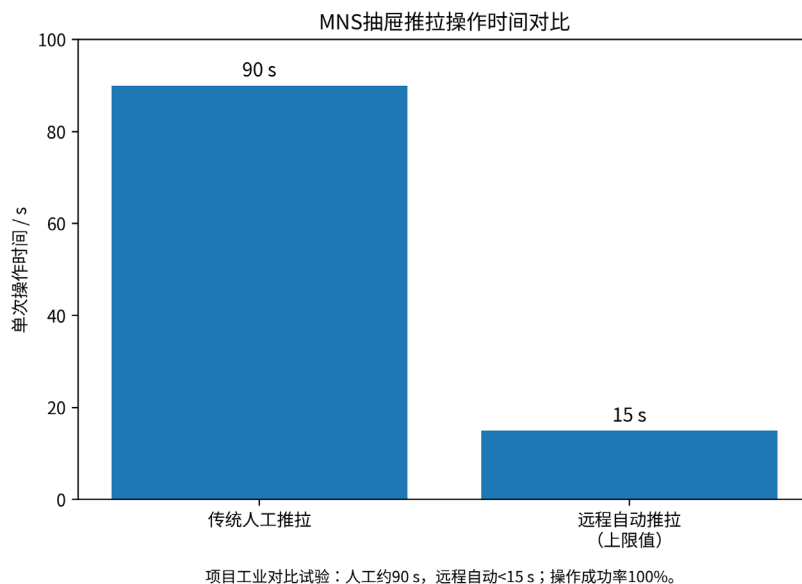


图4 MNS 抽屉推拉操作时间对比

3.2 安全性能

项目运行期间未发生因远程控制引起的误动、拒动事故。身份识别精度达到 100%，系统通过操作权限、电子挂牌、软件闭锁、双限位和物理隔离构成多层安全控制。对于检修场景，抽屉退出到位后才能形成可确认的物理断开状态，从功能上补足了仅远程分闸但隔离状态不可见的不足。

研究报告设定联锁逻辑正确率为 100%，并将定位准确率、故障预警准确率和系统响应时间作为模型性能指标。考虑到最终总结报告并未对所有算法指标逐项重复给出验收统计，本文不把“故障预警准确率 $\geq 95\%$ ”作为整机最终实测结论，而将其作为系统智能诊断功能的设计/研究指标。

3.3 可靠性与实时性

系统无故障运行时间不低于 99.9%，数据查询响应时间不超过 1.5 s。项目同时实现远程停送电、身份识别、智能巡检和设备状态监测等功能，说明通信、控制和平台能够在连续工业环境下协同运行。

从装置层面看，机械寿命、控制器故障概率、系统可用率和响应时间共同决定其能否替代现场人工操作。单一“能远程控制”并不足以说明装置成熟，只有长期运行中保持动作一致性、状态反馈完整和故障可恢复，才具备工程采购与规模推广价值。

3.4 环境适应性与智能巡检

选煤厂配电环境具有粉尘、湿度和振动等不利

因素。项目配套巡检机器人搭载可见光、红外测温和环境监测功能，机器人续航时间不低于 6.2 h，识别精度不低于 96%，可对设备状态和温升异常进行自动识别。

此外，项目研究报告针对低压电气设备提出防尘与智能散热结构，试点数据记录设备内部积尘量降低 95%以上、高温告警次数减少 80%。该指标属于配套防护装置的应用效果，并非所有供配电装置本体的统一性能，因此本文将其作为环境适应性扩展验证，而不与核心电气性能混为一项综合评分。

3.5 应用效能与经济性

系统应用后，停送电操作耗时缩短 40%以上，

设备故障停机时间减少 50%，维护效率提高 30%，设备使用寿命延长 10%以上。吨煤电耗由 2.96 kW·h/t 降至 2.51 kW·h/t，降幅约 15.2%。上述变化说明，装置性能提升不仅体现在单次动作速度，还通过缩短停机等待、提高维护及时性和减少低效运行对生产系统产生间接收益。

按项目最终应用口径，年节约电费 184.25 万元，减少岗位工 4 人、年节约人工成本 48 万元。经济性结果受到产量、电价、运行制度和人员配置影响，不能直接外推到所有选煤厂，但可以说明在停送电频繁、配电室分散的场景中，装置具有较明确的全生命周期价值。

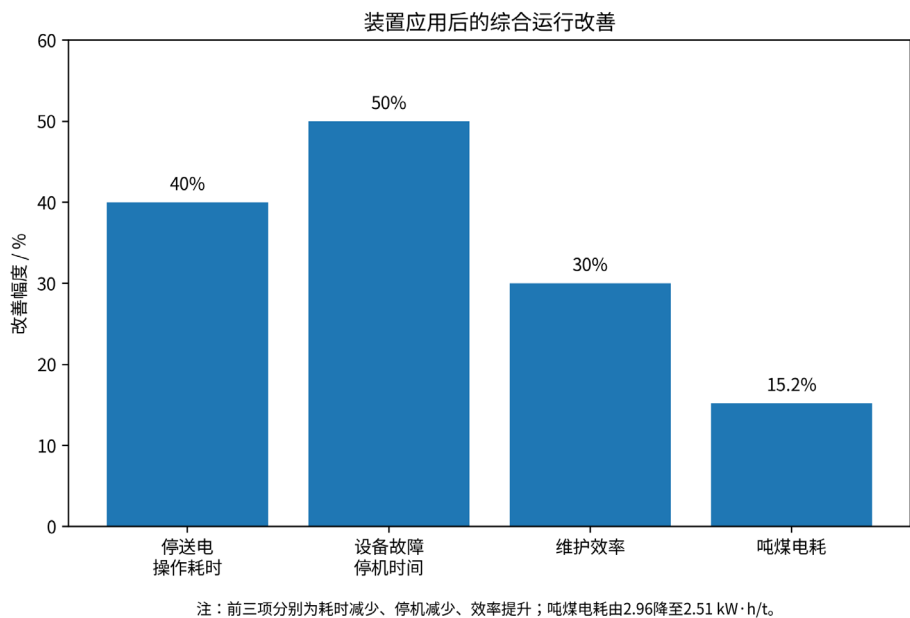


图 5 装置应用后的综合运行改善

表 2 主要性能实测/试运行结果

指标	实测/最终结果	评价结论	说明
隔离机构执行距离	30~80 mm	满足抽屉位移控制需求	最终项目总结口径
电动操作机构寿命	≥2 万次	满足高频操作需求	长期动作可靠性
断路器分/合闸时间	0.7~1.3 s	动作快速	电动操作机构
控制器故障概率	<0.1%	可靠性较高	项目试运行统计
抽屉自动推拉时间	<15 s（人工约 90 s）	效率显著提高	操作成功率 100%
系统无故障运行时间	≥99.9%	满足连续运行要求	系统级指标
数据查询响应时间	≤1.5 s	满足实时交互要求	平台性能
身份识别精度	100%	满足权限控制要求	人员安全功能
巡检机器人识别精度	≥96%	满足自动巡检需求	配套智能巡检

4 与传统方案及同类技术的比较

4.1 与传统人工供配电方式比较

传统人工方式的优势是控制链简单、现场人员能够直接确认设备状态,但其缺点是人员暴露、往返时间长、过程记录分散以及操作一致性依赖个人经验。本装置通过物联网将人员从高频现场操作中部分释放,并通过状态反馈和操作日志提高可追溯性^[3-4]。

在物理隔离方面,传统方式依赖人工摇出抽屉,本装置通过往复式机构完成远程机械位移,并采用双限位反馈确认位置,因此改造价值不是简单把“手动按钮”变成“远程按钮”,而是把物理隔离动作也纳入自动化闭环。

表3 传统方式、一般远程配电与本文装置功能比较

功能	传统人工方式	一般远程配电	本文装置
断路器分合闸	现场人工	远程电动	远程电动+状态反馈
MNS 抽屉物理隔离	人工推拉	多需人工	远程自动推拉+双限位
人员权限	人工核验	账号权限	身份识别+权限+挂牌
设备状态	现场查看	在线监测	在线监测+巡检机器人
操作追溯	纸质/分散	平台记录	全流程电子记录
异常处置	人工发现	报警	报警+诊断扩展+移动核验
环境适应	依赖柜体防护	环境监测可选	防护/散热+环境监测扩展

5 面向设备采购与工程应用的选型建议

5.1 执行机构应优先评价寿命和状态可验证性

对于频繁停送电场景,采购评价不应只看额定推力或是否具备电动功能,而应关注机械寿命、单次动作时间、限位冗余、手动应急方式和到位状态反馈。状态不可验证的远程执行机构会把现场不确定性转移到网络端,反而增加风险^[7-8]。

5.2 控制器与通信设备应强调开放接口和工业可靠性

物联网装置需要长期与 PLC、保护器、传感器和上层平台交互,宜优先选择支持标准工业协议、具备本地缓存和断网运行能力的控制器与网关。采购技术条件中应明确响应时间、环境适应、数据接口、时间同步、日志留存以及网络安全要求,避免后期形成新的信息孤岛。

5.3 安全功能应作为采购门槛而非加分项

身份认证、电子挂牌、联锁逻辑、物理隔离和本地急停属于安全底线,不宜通过综合评分被低价格或附加功能抵消。对于高风险配电装备,应设置必须通过的门槛试验,例如错误权限操作、不到位送

4.2 与既有智能供配电系统比较

现有选煤厂智能供配电研究多集中于远程停送电、电机保护器监测、电量数据采集和配电室环境监测^[5-6]。例如,基于工业现场总线的系统可实现数据刷新时间不超过 1 s、断路器动作延时 3 s 以内^[1],体现出较好的网络监控能力。

本文评价的装置在此基础上进一步突出 MNS 抽屉柜自动物理隔离、机械/电气双状态确认、身份和挂牌联锁以及移动巡检等功能。其技术特点更接近“智能配电装备+安全执行机构+物联网平台”的组合,而不是单纯后台监控系统。

电、通信中断、反馈不一致和执行机构卡涩等异常场景测试。

5.4 全生命周期成本应纳入设备采购评价

智能供配电装置的经济性不应只比较一次采购价格,还应综合安装改造、网络接入、软件授权、维护、备件、机械寿命以及减少停机和人工带来的收益。对于配电室分散、停送电频繁的选煤厂,远程执行和无人巡检的价值通常高于操作频次较低的场景,设备采购应与具体业务强度匹配。

6 结论

1) 构建了基于物联网的实用新型选煤供配电装置,形成状态感知、工业通信、PLC 顺控、断路器电动操作、MNS 抽屉远程物理隔离、身份与安全联锁及平台管理一体化技术体系。

2) 建立执行、控制、安全、可靠、环境适应和应用效能六维评价方法。装置执行距离 30~80 mm,电动操作机构寿命 ≥ 2 万次,分/合闸时间 0.7~1.3 s,控制器故障概率 $<0.1\%$,系统无故障运行时间 $\geq 99.9\%$,数据查询响应 ≤ 1.5 s。

3) MNS 抽屉单次推拉由人工约 90 s 缩短至自

动 15 s 以内, 操作成功率 100%; 应用后停送电耗时缩短 40%以上、故障停机减少 50%、维护效率提高 30%, 验证了装置在选煤厂频繁检修场景中的工程适用性。

4) 装置采购和推广应重点考察机械寿命、状态反馈、异常降级、安全联锁、标准接口及全生命周期成本。物联网化的核心不是增加远程功能, 而是在可验证的安全边界内实现高可靠、可追溯和可维护的智能供配电。

参考文献

- [1] 王宇涵. 基于工业现场总线的选煤厂智能低压供配电系统设计应用[J]. 选煤技术, 2024, 52(6).
- [2] 李涛, 逯新保, 郎舒婷. 智能供配电系统在选煤厂的应用[J]. 选煤技术, 2021, 49(5): 92-95.
- [3] 畅轩, 刁瑞盛. 基于混合深度学习的煤矿电网故障诊断

研究[J]. 工矿自动化, 2026, 52(7).

- [4] GB/T 7251.1—2023 低压成套开关设备和控制设备 第 1 部分: 总则[S].
- [5] GB/T 7251.8—2020 低压成套开关设备和控制设备 第 8 部分: 智能型成套设备通用技术要求[S].
- [6] GB/T 4208—2017 外壳防护等级 (IP 代码) [S].
- [7] GB 26860—2011 电力安全工作规程 发电厂和变电站 电气部分[S].
- [8] AQ 1010—2005 选煤厂安全规程[S].

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