

智能工器具管理系统在电气五防中的应用研究

赵永传, 常伟, 刘永健

(江阴利港发电股份有限公司, 江苏 江阴 214400)

摘要 电力系统安全运行依赖于严格的防误操作管理(简称“电气五防”),而工器具的规范使用是实现五防目标的关键环节。本文针对传统工器具管理中存在的流程漏洞与安全隐患,提出一种基于二维码识别的智能工器具管理系统。该系统通过将接地线、验电器等安全工器具的领用归还与电气一种票强制绑定,将可燃气体检测仪与动火票流程深度耦合,构建了“工作票流程—工器具状态—安全措施”的闭环管控机制。研究表明,该系统通过技术手段实现了工器具使用的全流程溯源与防误强制校验,有效解决了“无票操作”“漏用错用工器具”等安全风险,为电气五防体系提供了创新性的实践路径参考。

关键词 电气五防; 接地线; 验电器; 安全; 可燃气体检测仪

中图分类号: TM73; TP2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.004

0 引言

电气五防是电力安全生产的“生命线”,其核心目标是通过技术与管理手段杜绝五种恶性误操作事故:防止误拉、合断路器和隔离开关;防止带负荷拉合隔离开关;防止带电装设或合接地隔离开关;防止带地线合闸;防止非同期并列^[1]。在电力作业现场,安全工器具是落实五防措施的“最后一道屏障”——验电器的规范使用可精准判断设备带电状态,避免误入带电间隔;接地线的可靠装设能形成安全接地回路,防止带电合闸;可燃气体检测仪的实时监测则可规避动火作业中的燃爆风险,虽未被列入传统五防范畴,却已成为现代电力安全管理的必要延伸。

近年来,随着电力系统规模的扩大和作业复杂度的提升,安全工器具的种类与数量持续增加,传统管理模式逐渐暴露短板。

安全工器具管理工作涉及的内容十分繁杂,包括购置、验收、登记、领用和租借、维修等,随着安全工器具的逐渐增多,也给管理人员造成了极大的困难^[2],存在“领用状态不透明、流程关联不强制、责任追溯不清晰”等问题,导致部分作业环节出现“无票领用工器具”“工器具未归还即终结工作票”等违规现象,为五防体系留下安全漏洞。

安全工器具的管理在安全生产中尤显重要^[3]。构建一套与工作票流程深度融合的智能工器具管理系统,对强化电气五防体系具有重要现实意义。

1 智能工器具管理系统的实现

针对传统管理痛点,江阴某发电厂联合技术团队设计了一种融合二维码识别、智能锁具的智能工器具货柜系统。实现工器具的智能存取、实时监控、数据统计管理^[4]和权限控制。该系统突破传统RFID识别技术的成本限制,采用工业级二维码扫描模块(识别精度达0.1 mm,响应时间<0.5 s),配合电磁锁具(开锁响应时间<1 s,防护等级IP65)和10.1英寸触摸显示屏,支持作业人员自助完成工具存取操作。

系统通过“智能终端—数据传输—平台管理”的协同架构实现高效运行:智能工器具柜实时采集工器具领用、归还、状态等数据,经MQTT协议(传输延迟<200 ms)上传至云端数据平台;平台对数据进行清洗、关联后,同步至多终端管理界面(PC端、移动端、柜体显示屏),为管理人员提供实时监控窗口。经6个月现场测试,系统连续运行稳定性达99.8%,单柜日均处理借还操作32次,误识率<0.3%,显著优于传统管理模式。

本文提出的智能工器具管理系统,通过和智能工器具柜之间数据交互^[5],在工器具与工作票之间建立“工器具—工作票—作业人员”的强制关联机制:通过二维码唯一标识每件工器具(编码规则包含类型、规格、校验日期等信息),领用环节必须扫描工作票二维码完成绑定,归还时需同步校验工作票状态,从技术层面确保工器具使用与作业流程的刚性衔接。

2 电气五防与工器具管理的关联性分析

2.1 电气五防对工器具使用的核心要求

防止带电挂接地线，验电器是核心判定工具，其使用需遵循“先检测、后操作”原则。作业前，必须领用经校验合格的验电器（校验周期 ≤ 1 年），按“自检—检测带电体—检测接地体”流程操作，确保设备确实无电。若验电器未领用或失效，可能导致误判设备带电状态，直接引发触电事故。

防止带接地线合闸，接地线的状态管理是关键。作业时需记录接地线装设位置、数量，作业结束后必须逐一拆除并归还。若接地线未完全归还，系统需强制阻断工作票终结流程，避免带接地线合闸导致的设备短路损毁（短路电流可达正常运行电流的 5~10 倍，瞬间温升超 800℃）。

动火作业安全，可燃气体检测仪虽未被列入传统五防，却是动火票的“必备条件”。其使用需满足“作业前 30 分钟内检测”“每 2 小时复检测”的要求，检测数据需实时上传系统。若未领用或检测值超标，系统应禁止动火作业，防止可燃气体浓度超标引发的爆炸。其缺失可能导致可燃气体环境下的动火作业引发火灾或爆炸，属于“防止误操作”的扩展安全范畴。

电气五防与工器具管理的关联性如表 1 所示。

表 1 电气五防与工器具管理的关联性

五防目标	核心工器具	管理失效后果
防止带电挂接地线	验电器	误判带电状态→触电事故
防止带接地线合闸	接地线	电气设备短路损毁
动火安全扩展项	可燃气体检测仪	可燃气体爆炸（未列入传统五防但同等重要）

2.2 传统工器具管理的痛点

1. 流程脱节：工器具领用与工作票办理独立运行，缺乏系统级的强制关联。例如：理论上应“先领验电器再开工”，但实际可能因人工疏忽或赶工期而跳过领用环节。

2. 状态滞后：纸质台账或简单数字化系统无法实时同步工器具的领用、归还状态，导致“未归还工器具却终结工作票”等违规操作难以被系统识别。

3. 责任模糊：工器具使用记录不完整，一旦发生事故，难以通过历史数据追溯具体环节的责任主体。

3 智能工器具管理系统的功能设计与五防实现路径

3.1 系统架构与核心技术

系统采用“智能工器具柜—数据层—应用层”三层架构，如图 1 所示。

1. 智能工器具柜：集成工业级二维码扫描模块、电磁锁具、触摸显示屏，支持自助式工具存取，实时与管理平台交互状态数据。

2. 数据层：通过 MQTT 协议实现柜体与云端平台的双向通信将终端数据，包括工器具信息、借还记录等，上传至数据平台。

3. 应用层：开发多终端管理平台，内置三大防误引擎：

（1）绑定引擎：建立“工作票号—工器具编码—操作人工号”的关联矩阵。

（2）校验引擎：在许可开工、工作终结等节点自动触发状态核查。

（3）拦截引擎：对违规操作实时阻断并推送告警信息至责任人员。

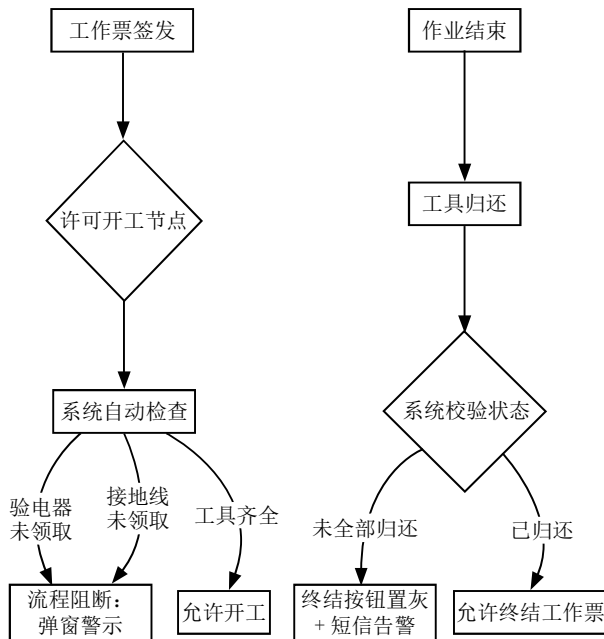


图 1 流程设计

3.2 基于工作票的强制绑定机制

1. 领用环节：工作负责人在智能工器具柜扫描工作票二维码，系统自动显示该作业所需工器具清单（如 2 组接地线、1 台验电器）。确认领用后，对应柜门解锁，同时系统自动生成“工作票号—工具编码—领用人”的关联记录。

2. 开工校验：工作票签发后，系统在“许可开工”节点自动调用校验引擎，检查该票关联的工器具领用情况。若发现工器具未领用（如验电器缺失），立即触发拦截机制：柜体显示屏弹出“安全工具需在借出状态”的警示信息。

3. 归还环节：作业完成后，工作负责人归还工具时，系统通过二维码识别确认工具完好性。所有工具归还后，系统自动解锁工作票终结权限；若有未归还工具，终结按钮将保持禁用状态，并每30分钟推送一次预警提醒。

针对动火作业的特殊性，系统对可燃气体检测仪需实施严格管控：

1. 领用环节：工作负责人需在智能工器具柜完成可燃气体检测仪的领用操作。

2. 开工校验：工作票签发时，系统自动验证可燃气体检测仪的领用状态。若未领用，系统将阻断流程并提示“请先领取必备工器具”，杜绝“未检测即动火”的风险。

3. 归还环节：作业结束后，系统确认所有领用工器具（包括可燃气体检测仪）均已归还后，才开放工作票终结权限。

4 智能工器具管理系统在电气五防中的应用价值与效能提升

4.1 管理效率优化

1. 流程数字化：工器具领用归还时间从传统模式的5~10分钟缩短至1~2分钟，且全流程无需人工填写台账。

2. 状态实时化：管理平台可实时显示所有工器具的使用状态（如“在库”“已领用（关联某票）”“超期未归还”），支持动态调度与预警。

智能工具系统管理效能如表2所示。

表2 智能工具系统管理效能

指标	传统模式	智能系统	提升幅度
单次领用耗时	5~10分钟	1.2分钟	85.9%
状态查询时效	滞后≥2小时	实时	100%
月度盘点人工	16人/小时	2人/小时	87.5%

4.2 安全风险控制

1. 防误强制化：通过系统硬校验，消除“人为疏漏”导致的五防措施失效问题。江阴莫电厂应用后，“无票领用工器具”现象归零，“未归还工器具终结工作票”违规次数下降92%。

2. 责任可溯化：每个操作步骤均留存的关联记录，为安全事故调查提供精确的证据链。

3. 系统响应：工作票终结流程中，系统强制校验所有已领用接地线的归还状态。若存在未归还记录，终结按钮置灰，同时向运维班组发送预警信息。

5 智能工器具管理系统在电气五防中的应用挑战与改进方向

5.1 系统兼容性问题

当前系统需与电力企业现有工作票系统、设备管理系统深度对接，存在数据接口标准化程度不足的问题。未来可推动基于IEC 61970标准的信息交互模型，提升系统兼容性。

5.2 离线场景应对

网络故障时，系统可能无法实时校验工器具状态。可增加本地缓存功能，存储最近更新的工作票与工器具关联信息，确保离线环境下的基本防误功能。

5.3 智能化升级空间

结合RFID技术提升工器具识别效率，引入物联网传感器监测工器具的物理状态（如接地线是否正确架设），进一步将“领用校验”扩展到“使用过程监控”，实现五防措施的全场景覆盖。

6 结束语

基于二维码识别的智能工器具管理系统通过构建“工作票—工器具—作业人员”的强制绑定机制，实现了电气五防措施从“制度要求”到“技术刚性”的转变。系统直击传统管理中流程脱节、状态滞后、责任模糊等核心痛点，以全流程溯源与实时校验为支撑，将五防管控模式从被动的“事后追溯”升级为主动的“事前预防、事中监控”，形成动态闭环管理。未来，随着物联网感知技术、人工智能算法的持续融入，系统有望进一步拓展至工器具全生命周期状态监测与风险预警，为构建覆盖全场景、贯穿全流程的电力安全防御体系提供更坚实的技术支撑，同时也为其他工业领域的安全工器具规范化管理提供有益借鉴。

参考文献：

- [1] 吴东斌. 浅析电气五防与误操作[J]. 民营科技, 2014(09):76.
- [2] 孔令波. 基于二维码的变电站安全工器具管理方法研究[J]. 电力设备管理, 2022(11):49-51.
- [3] 曹玉兰, 于海跃, 马海峰, 等. 绝缘工器具智能化管理应用[J]. 中国科技投资, 2016(30):167.
- [4] 苏浩洋. 智能工具柜的系统分析与应用[J]. 大众标准化, 2025(07):139-141.
- [5] 方勇, 孔晨华, 张建军. 基于数字和智能化的变电站安全工器具管理模式研究[J]. 机械与电子, 2022, 40(04): 77-80.