可视化电气作业安全管控系统技术研究

娄松磊[1]　朱福文[2]　徐耀晖[3]
1. 焦作煤业（集团）有限责任公司古汉山矿　河南　焦作　454000
2. 3. 焦作煤业（集团）有限责任公司机电部　河南　焦作　454000

摘　要：煤矿电网系统承担着整个矿井电力供应，是煤矿的动力负荷中心。在对电网系统运维过程中，有大量的高压设备倒闸操作，一旦发生误操作，将对操作人员与检修人员的生命安全及经济财产构成巨大威胁。虽然各煤矿企业依据《煤矿安全规程》、《电业安全工作规程》等规定，制定相应安全管理制度，规范作业和管理行为。通过制度约束人员行为传统管理方式虽能起到一定效果，但无法从根本解决人员误操作行为。煤矿电气作业中传统的“人防+制度”管理模式已无法满足当前智能煤矿建设安全保障需求，基于智能两票与微机防误为核心功能的可视化电气作业安全管控系统替代常规倒闸作业手工拟票模式成为技术发展趋势。

关键词：可视化；电气作业；安全管控；系统技术；研究

1 项目内容

1.1 图模一体化图形软件

图形软件能根据实际供电系统生成SVG图形，使用的设备模型与现场设备一一对应，展示设备实时状态、设备间的连接关系及通过拓扑着色技术展现设备带电情况、接地情况。

1.2 基于智能图形拓扑的防误规则专家库

根据电源点分布、设备拓扑接线方式及设备本体操作规则，制定整个供电系统的防误规则专家库，并支持特殊规则配置。防误专家库实时在线运行，根据设备状态动态判断倒闸操作是否正确。规则主要包含：防止带电开柜门、防止带电接地线、防止接地线合开关等[1]。

1.3 基于图票一体化的智能操作票软件

智能操作票基于图形软件与防误规则专家库，研究操作票的图形开票、防误规则验证、操作票的网络化流转及电子操作票序列下发等功能。

1.4 基于RFID码片的井下设备专用防误闭锁锁具

针对井下供电设备分合闸开关、母线腔门、出线腔门及接地线，通过研究专用锁具，实现对上述操作部件强制性闭锁；利用RFID码片上的唯一地址与设备操作部件一一对应，该码片地址在图形软件中与对应设备绑定。解锁控制器通过识别该码片地址判断是否与操作票中操作部件一致，从而对锁具进行解锁。

1.5 研究电子操作票的传输与身份验证装置(传输控制器)

电子操作票形成后，需要通过传输控制器将操作票传输至解锁控制器，从而实现对锁具的解锁操作。传输控制器能实现对操作票的传输，还能接收解锁控制器操作完成后的回传信息并传输至智能倒闸操作防误专家系统[2]。

1.6 研究电子操作票解锁手持终端

解锁控制器作为智能倒闸操作防误专家系统与防误闭锁锁具的中间联系装置，能将操作票序列转换为解锁命令，识别出正确的闭锁锁具(通过识别RFID码)后，进行解锁操作；通过WIFI通信的方式与智能倒闸操作防误专家系统进行实时通信，实现在线防误验证。解锁控制器操作完所有步骤后，通过传输控制器回传操作信息与设备状态。

2 关键技术

2.1 基于煤矿供电运维方式防误闭锁法

电气作业安全管控系统以先进的“五层防线”为设计理念，五层防线的定义是：为防止电气误操作，在人和设备间，用技术措施筑起的五层防线。从设备操作过程全程防误的角度出发，采用不同技术措施，从根本杜绝电气误操作发生。其中，五层防线主要包括：

2.1.1 权限管理层

进行权限定义、管理及分配系统中各用户的权限，防止越权行为产生的误操作。主要包括设备正常操作权限、还包括操作过程各控制权，异常操作权限的管理[3]。

2.1.2 唯一操作权层

对任何设备，任意时刻，确保只有唯一的人员能取得该设备操作权。只有该操作人员工作结束，释放或转移操作权，确保操作人员和设备的安全。

2.1.3 模拟预演层

对经过批准的操作票，在执行操作前，通过模拟预演，使用防误闭锁逻辑规则库进行正确性确认，确保操作项符合电力操作安全规定及运行要求。

2.1.4 实时逻辑层

根据现场实时遥测、遥信及闭锁锁具状态，通过闭锁逻辑判断、拓扑闭锁逻辑分析，实现操作过程实时解/闭锁，有效解决“空程序”问题。

2.1.5 闭锁元件层

针对不同设备、不同操作方式、不同操作地点采用可靠的强制闭锁。

2.2 基于拓扑防误分析的井下变电所开关送电防误闭锁

系统利用图形平台绘制用户供电系统架构图等数据，还能实现供电设备拓扑关系的自动分析，根据设备连接关系、设备状态、操作行为等要素拓扑防误操作分析判断，为开关设备倒闸操作应用提供防误分析支持，防止“有接地设备合位送电”，误合开关向检修区域及设备送电等误操作行为发生[4]。

2.3 井下开关设备的防误闭锁方法

研制专用防误闭锁装置，满足矿用本质安全型ExibIMb防爆等级要求，从而有效防止井下高爆开关设备误分、误合断路器；带电打开母线腔、出线腔门及带电挂接临时地线，带地线送电的误操作行为发生。

3 主要技术手段

3.1 煤矿作业安全相关数据管控

建立煤矿供电系统中设备日常运维数据、检修数据等多维度数据库，形成基于煤矿供电系统设备的运维及检修数据分析结果，运用多种数据分析方法研究煤矿供电系统运维及检修数据，分析各信息间的关系，智能化管控煤矿供电作业安全。

拓扑防误判断的构建，利用煤矿供电系统的接线图，分析设备拓扑连接关系，结合设备类型，防误规则构建煤矿供电系统的拓扑防误分析，支撑系统的防误业务应用。

倒闸操作票、停送电联系票等作业工单的流程化、规范化管理、依托拓扑防误分析、流程控制、防误闭锁装置，从流程上控制业务执行，从过程上规范作业过程，构建起制度和技术双屏障，保障安全生产[1]。

3.2 作业人员管控

通过“操作票+防误闭锁装置“从作业流程，再到作业任务执行过程中，规范作业，作业项符合防误操作判断的，可正确执行；不符合防误操作判断的操作项，禁止操作，并实时提示作业人员检查核对，从技术防控层面管控人为不安全行为。

3.3 电气设备管控

研发安全作业闭锁单元，实现对井下供电设备的闭锁，实现倒闸作业的强制防误闭锁，重点解决“有电合地刀”、“有接地设备在合位送电”的误操作问题，防止出现因误操作发生事故。针对遥控操作设备，系统通过接口与电力监控系统对接，防误判断监控系统的遥控指令，若防误判断通过，回馈结果给监控系统执行遥控操作，若不符合防误判断，则进行防误分析提示，并闭锁当前遥控执行操作。

4 系统基本功能

4.1 供电系统电气拓扑图形化显示功能

通过图模一体化、拓扑着色等技术手段，并通过与监控系统实时通信，获取电气设备实时状态，抽象真实设备图形化，并展示出设备状态及设备间的电气连接关系，通过不同颜色体现其设备状态与带电状态[2]。

4.2 拓扑防误规则实时专家库

根据电源点分布、设备拓扑接线方式及设备本体操作规则，制定整个供电系统防误规则专家库，规则主要包含：防止误合开关、带电开柜门、防止带电接地线、防止接地线合开关等。

4.3 智能操作票

通过图票一体化技术，对操作票进行电子化、网络化管理，可实现图形开票、网络化流转审批等智能化功能，提高开票效率。通过防误规则专家库对操作票进行逻辑判断、防误规则判断，确保票内容正确性。

4.4 遥控操作防误

监控后台与安全管控主机系统通过通信防误验证，实现断路器、电动隔离开关等遥控设备按照防误逻辑顺序遥控操作。

4.5 就地操作防误

作业人员持解锁控制器至现场，按照防误逻辑顺序对断路器、隔离开关、接地刀闸、开关柜门、临时接地线等设备就地闭锁锁具进行防误解、闭锁操作，保证设备就地操作正确性。

4.6 检修防误

对检修设备的关联设备软件闭锁操作权限，闭锁后，无法从安全管控主机进行开票，监控系统也无法通过许可遥控操作，有效防止误向检修设备送电[3]。当安全措施满足防误逻辑的情况下，可实现对检修设备批量解锁，提高检修效率。

4.7 视频联动

煤矿可视化电气作业安全管控系统通过与视频监控系统智能联动，可在电气倒闸操作时联动切换视频画面并主动录像，最大程度安全保证供电运维作业。在电气倒闸操作前的模拟预演阶段，系统根据每次模拟操作步

骤，自动弹出相应设备画面，让操作人员了解现场设备实时状况。

5 经济、社会效益及推广应用的前景

5.1 经济效益

该项目的提出主要为提高供电倒闸操作安全性，保障人员和设备安全的同时提高工作效率，主要经济效益体现在以下几方面：①保障工作人员的人身安全就是最大的经济效益；一旦因误操作导致人员伤亡，带来的经济损失将以数百万计算。②通过智能两票提升倒闸操作效率；智能两票效率是传统的手工拟票、流转的4倍以上，时间就是金钱[4]。③倒闸安全减少因误操作带来的停电时间，提高煤矿的经济效益；一旦发生误操作，可能导致长时间、大面积停电，生产停止，带来上百万的损失。

5.2 推广应用的前景

目前应用于煤矿井下供电系统的煤矿可视化电气作业安全管控系统，在国内煤矿企业还没有相关产品在使用，因此相关产品开发和应用目前处于空白阶段。煤矿井下变电所数量庞大，市场需求庞大。该项目的成功研制，填补了该方面的技术和应用空白，有利于煤矿的智能化安全建设，符合新一代智能煤矿建设方向，有良好的推广应用前景。

结语

本项目能保障工作人员和设备的安全，并提高作业效率，具有很好的经济效益及深远的社会效益。安全生产是煤矿企业的首要目标，也是企业发展的生命线，人员的安全更是对整个企业的社会形象有直接的影响。防止倒闸误操作，对整个供电系统稳定运行有非常积极的意义，有利于煤矿整体生产效益。本项目实施不仅能提升煤矿经济效益，更对整个社会安全生产工作产生积极影响，具有巨大的社会效益。

参考文献

[1]赵磊.人工智能技术在电力调度自动化系统中的运用分析[J].山东工业技术.2019（11）：164.

[2]于秋玲.电力监控网络安全态势感知架构与智能化防护[J/OL].电子技术与软件工程.2019（06）：202-203+224.

[3]张浩，吴健，归宇，等.适用于变电站作业风险管控可视化全覆盖的远程移动视频监控系统研发[J].中国电业（技术版），2020，22（10）：48-49.

[4]贾明月，张勇，陈飞，薛涵今.可视化安全生产指挥系统的研究与应用[J].电气应用，2020,S1:255-257+264.