

火电厂厂用电系统倒闸操作风险防控研究

石润生

华电国际电力股份有限公司莱城发电厂

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21197

[摘要] 本文以 2×300MW 凝汽式火电厂为研究对象, 依托 LEC 法分级厂用电高低压典型操作风险, 从人员、设备、管理、环境四维度深挖风险根源, 结合现场作业规范制定操作前、中、后全流程实操防控方案, 依托风险分级管控、标准化时序作业、五防刚性管理落地风控举措, 经现场应用验证防控有效性, 可为同类火电厂厂用电倒闸作业安全管控提供实操参考。

[关键词] 火电厂; 厂用电系统; 倒闸操作; 误操作; 风险分级; 闭环防控

1. 绪论

根据国家能源局 2023 年至 2025 年的火电电气事故统计数据, 72.4% 的火电电气事故均因厂用电倒闸操作不规范而引发, 且四类恶性误操作事故所占比例长期居高。与常规变电操作相比, 火电厂厂用电操作工况变化显著, 两种操作模式经常混用, 辅机负荷冲击较强, 当前通用的防范标准并不适用。目前, 电厂普遍存在风险识别不够细致、操作流程较为随意、防误管理缺失、现场监护形同虚设等问题。基于此, 本文针对机组厂用电架构的特性, 全面分析操作风险, 并建立一套完整的风险控制体系, 以保障电厂电气作业的安全与稳定。

2. 研究对象厂用电架构及操作特点

当前, 某电厂配备 2×300MW 机组, 每台机组设有两段 6kV 厂用工作母线, 全厂配置 1 台 50MVA 启备变作为公用备

用电源。6kV 系统采用单母线分段接线形式, 380V 低压厂用电经 6kV 厂用变降压供电, 并配置微机型备用电源自动投入装置 (BZT)、电气五防闭锁装置, 以及集控远程与就地本地双重操作权限。其操作主要特征包括: 其一, 电源切换需符合机组负荷范围, 高负荷状态下不得无稳控措施手动倒电; 其二, 高低压联合操作频繁, 一次开关操作会引起二次保护压板及联锁回路发生改变; 其三, 雨天、高温、夜晚等环境下的操作风险显著增大。

3. 厂用电倒闸操作风险辨识与分级

依据《电业安全工作规程》和《火力发电厂厂用电设计技术规程》, 采用 LEC 风险评价法 (危险性 $D=L \times E \times C$, 其中 L 为发生概率, E 为暴露频次, C 为后果严重度), 对全厂 21 项常规倒闸作业进行风险分级, 分别属于重大、较大、一般、低四级风险。分级情况及管控要求详见表 1。

表 1 LEC 风险评价法分级

操作项目	L(概率值)	E(频次值)	C(后果值)	D 风险值	风险等级	核心风险点
6kV 启备变带负荷并列倒厂用电	6	6	15	540	重大风险	非同期合闸、环流烧毁开关、母线短路
6kV 母线检修挂拆接地线	4	6	10	240	较大风险	带电挂地线、地线漏拆、接地位置错误
380V 低压母线分段手动切换	3	4	7	84	一般风险	负荷叠加跳闸、低压电弧灼伤
二次保护压板投退、控制电源分合	2	3	3	18	低风险	压板误投退、保护误动拒动

参照现场近三年的操作异常台账, 总结出四种高频率的实际操作风险: 其一, 人为违章风险, 存在跳项操作、私自解除五防、不复述核对以及单人无监护操作等情况; 其二, 设备本体风险, 五防闭锁失效、开关分合闸机构卡滞、母线

残留电压未泄放、BZT 装置参数不准等现象; 其三, 系统工况风险, 机组负荷超过 70% 额定负荷时强行手动倒电、两相电压偏差超标后并列、谐波干扰叠加等情形; 其四, 作业环境风险, 操作票填写有误、夜间照明不足、梅雨季节柜体出

现凝露导致漏电、安全工器具超出有效期未检测等问题。

4. 倒闸操作风险根源分析

4.1 人员作业能力短板

运行人员技能适配存在不足, 仅了解常规顺控操作, 对BZT闭锁条件、非同期判定标准及残余电压控制原理认识不够深入, 高风险电源切换依赖经验完成。其二, 不良作业习惯固化, 经常性简化复诵步骤、设备双重编号核查过程及验电环节, 对待简单操作粗心大意。其三, 缺乏心理调节机制, 夜班或迎峰保电期间急躁不安, 执行应急操作时手忙脚乱, 随意改变操作顺序, 先拉开刀闸再断开断路器类的违章行为屡屡出现。

4.2 设备防误体系存在结构性漏洞

老旧6kV开关柜存在机械五防与微机五防联动失效的情况, 运维人员私自保留万能解锁钥匙。母线上无固定残余电压检测点, 仅能依靠集控电压指示判断是否无电。备用电源切换装置未关联机组负荷信号, 当负荷波动时, 自动切换逻辑失效, 只能手动操作, 进而增大风险。

4.3 作业流程管控碎片化

当前操作控制仅针对现场执行阶段, 缺少对前期风险判断、工况校核及工器具核查等环节的管理。操作票分级审查流于形式, 未针对重大风险操作进行专门交代。应急处理无固定步骤, 当操作发生改变时, 人员盲目强行合闸, 从而加重故障影响范围。

5. 全流程可落地倒闸操作风险防控实操措施

5.1 操作前置: 分级研判+工况核验源头防控

首先, 执行风险分级准入控制, 按前述四级风险划分确定作业准入标准。对于6kV电源并列倒电这类高风险操作, 仅准许在工作日白天进行, 禁止在夜间、雷雨天气或机组负荷剧烈变化时开展, 操作过程中需有值长和电气专工两人现场监督; 若较大风险倒闸操作需解除五防装置, 应事先填写专门审批单, 经逐级批准后方可操作; 一般风险或低风险操作, 班组内部做好安全交代、明确操作重点后即可开始。

严格把控工况硬性校核标准及手动电源并列切换门槛。执行厂用电手动并列倒电作业时, 应同步核查电气及机组各项参数, 确保三相电压差值不超过5%, 电网频率差值不超过

0.2Hz, 两相相角差值不超过 15° , 且机组负荷稳定保持在40%至60%额定范围内。若任一项参数超出限值, 不得执行合闸并列操作, 以防止非同期合闸。

最后, 执行安全工器具前置核验。高压倒闸作业前, 每班对绝缘手套、绝缘靴进行外观破损及漏气核验; 全厂统一采用 25mm^2 多股软铜线作为专用接地线, 验电器需严格契合作业电压等级; 建立工器具台账, 对到期未校验、外观破损、性能不合格的器具立即封存停用, 从工器具层面防止触电及接地失效风险。

5.2 操作过程: 标准化时序+刚性制度过程防控

现场作业应严格遵守电气倒闸核心操作规则, 执行“断路器先分后合, 刀闸先离后合, 送电先合电源侧, 停电先分负荷侧, 地线先接接地端”的硬性规定, 摒弃运维人员凭经验随意操作的做法, 统一全厂高低压厂用电倒闸的时序标准。全过程实行一人操作、一人监护、复诵核实、设备双重编号核查的制度, 杜绝跳项、并项、颠倒工序的操作行为, 从操作流程上防止人为误操作风险。

针对6kV母线停电检修工况, 标准化分步操作管控要点包括: 其一, 事先经集控后台检查母线负荷, 并将下级辅机运行负荷予以转移, 确认母线剩余负荷小于额定负荷的30%后方可开始工作, 避免因大负荷分闸引发电弧短路; 其二, 预先退出母线备自投、联锁保护压板, 固定二次回路, 防止停电工况下装置误合闸带电; 其三, 经集控远方分断工作进线断路器, 核实机械位置及DCS信号均处于分位状态, 严禁就地手动分闸, 以防止电弧灼伤人员; 其四, 严格按顺序分断负荷侧、电源侧刀闸, 依靠五防闭锁验证步骤, 杜绝带负荷拉刀闸等严重事故; 其五, 到指定地点就地验电检测母线残留电压, 仅当电压低于36V时方可执行接地操作, 以免感应电压造成触电; 其六, 按规定安装接地线, 先接好接地端, 确保接线牢固不缠绕, 工作完成后记录地线数量并纳入五防台账管理。

全面落实全厂电气五防刚性管控制度, 常规倒闸作业需使用微机五防编码钥匙开锁, 并全程依靠闭锁逻辑约束工序。万能解锁钥匙由电厂安监部专人上锁封存, 仅在开关柜机构故障或五防装置失灵等特殊情况下方可使用, 使用前需经厂

长书面批准, 并安排两名管理人员现场监督, 作业完毕后立即封存钥匙。严禁运行人员擅自短接或拆除柜体闭锁回路, 以夯实设备防误操作防线。

5.3 操作收尾: 信号复核+台账闭环后置防控

落实复电全参数核验制度。母线及回路复电作业结束后, 作业人员不得立即终止操作, 应与监护人员一同逐条核对关键运行参数, 重点检查开关机械位置、母线三相电压、继电保护变位信号及下级辅机运行电流四项内容, 确认参数平稳、设备无异响、无报警信号后, 方可签字结束操作票, 从源头上防止隐性带电隐患。

实现接地线全流程台账闭环控制。全厂接地线应执行编号专管, 严格遵循一组一号、领用登记、归还销号的规定。设备检修完毕准备复电时, 作业人员须对照台账逐一清点并拆除接地线, 经两人共同核实无误后实施登记销号, 防止接地线遗留柜内, 杜绝因带地线合闸引发母线短路事故。

形成操作异常闭环处理机制。倒闸过程中如遇开关机构卡涩、母线电压畸变、五防闭锁报警等异常情况, 应立即停止所有操作, 不得私自解锁或强行合闸送电, 需立即隔离工作区域, 及时向电气专责汇报以判断故障, 同时保存操作监视录像及后台运行参数记录。待完成故障分析并执行纠正措施后, 方允许重新开始工作, 从而实现操作变动的全流程控制。

5.4 人员+环境长效兜底防控

分层专项培训需每季度开展非同期并列、带负荷拉刀闸事故的仿真演练, 重大操作前须实施在岗实操考核, 考核未达标者不得上岗。应明确集控操作员与就地监护员的岗位职责, 监护员不得兼任操作任务。环境差异化管控方面, 当环境温度超过 35℃、柜体出现凝露现象或遭遇大风雷雨天气时, 应减少高压操作频率; 配电室内安装除湿设备, 并为夜间操作配备双重照明, 同时划定带电间隔的红色警示隔离区域。管理考核方面, 将倒闸操作规范性纳入月度安全经营业绩考核, 一旦发现无复诵、跳步操作、私自开锁等情况, 直接追究班组及相关人员责任, 压实“操作人员—监护人员—值班人员”三级责任。

同时建立操作行为复盘机制: 每周总结倒闸操作中存在的问题, 组织班组开展警醒教育; 定期梳理作业中的不良习惯, 完善安全奖惩制度。对依照标准规范执行任务的员工给予业绩奖励分值。建立涵盖培训、控制、考核、复盘环节的长期风险防控体系, 巩固日常作业的安全基础。

6. 防控体系现场应用成效

该 2×300MW 电厂于 2025 年 1 月采用本文分级防控、时序标准化管控体系后, 全年共计完成厂用电高低压倒闸操作 412 次, 其中重大风险电源切换操作 46 次, 实现零误操作、零五防违规、零人身电气异常。相较于 2023 年至 2024 年同期, 倒闸操作异常次数从年均 9 次降至 0 次, 操作票不合格率从 7.2%降至 0.8%, 厂用电倒闸导致辅机跳闸、工况扰动事件全部清零。表明本防控措施符合现场实际操作需求, 风险控制有效。

7. 结论

研究表明, 火电厂厂用电倒闸操作属于人员、设备、工况、管理耦合复合型风险, 非同期合闸、带负荷拉刀闸、地线误操作是核心高危隐患。依托 LEC 风险分级、全流程标准化时序作业、五防刚性管控、三级监护机制搭建的风控体系, 可有效降低操作异常率, 保障厂用电供电稳定。后续可依托智慧电气监测技术, 加装智能闭锁与 AI 核验装置, 弱化人为操作干预, 进一步提升厂用电倒闸操作本质安全水平。

[参考文献]

- [1] 朱益之. 变电运维中的倒闸操作风险对策分析[J]. 集成电路应用, 2025, 42(03): 216-217.
- [2] 康文姣. 关于变电运维倒闸操作的危险性策略分析[J]. 智慧中国, 2023, (04): 92-93.
- [3] 陈辉. 火力发电厂电气运行操作危险点及控制方法[J]. 通讯世界, 2025, 32(05): 112-114.
- [4] 张宜杰. 变电运维倒闸操作危险性分析[J]. 光源与照明, 2024, (02): 201-203.
- [5] 唐显. 倒闸操作危险点分析与预控[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(06): 315-317+325.