

核电厂电气设备日常运维隐患及安全管理措施研究

王绍尉

中广核陆丰核电有限公司 广东 陆丰 516500

【摘要】：核电厂电气系统承担厂用电转换、输送、分配与事故工况供电任务，设备隐患一旦叠加隔离失误或处置迟滞，可能沿供电链影响重要负荷可用性。文章从设备状态、作业隔离、环境条件和缺陷闭环分析日常运维中的薄弱环节，提出状态检修准备、安全作业管理、巡检诊断和技术资料治理措施。分析可见，安全管理的重点不是增加重复检查，而是使征兆识别、风险定级、工作许可、复役验证和经验反馈形成可追溯闭环，并以分层阈值和多源证据提高决策准确性，以此保持电气设备功能可靠和纵深防御有效。

【关键词】：核电厂；电气设备；日常运维；安全管理；状态检修

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.069

引言

核电厂电气设备数量多、接口密集，同时包含发电机、主变压器和厂用变压器，也涉及中低压开关柜、直流系统、不间断电源、电缆及继电保护装置。设备长期运行后，绝缘老化、连接松动、局部过热和控制回路漂移往往先以弱征兆出现，单次巡检不易确认；检修期间的边界变更并会引入人因风险。若运维只关注缺陷消除速度，可能忽略供电方式变化和复役条件核对。围绕这一矛盾，本文梳理日常运维控制要点，并从技术、作业和资料三个层面形成安全管理闭环。

1 核电厂电气设备运维概况

核电厂电气系统按功能可分为电源、配电、控制保护和应急供电等部分，各部分之间并非简单串联。正常运行时，厂用母线向泵、风机、阀门执行机构及仪控负荷供电；外电源或机组运行方式变化时，应急柴油发电机、蓄电池和不间断电源需要按设计逻辑承接重要负荷。运维对象同时有一次设备的绝缘、导电和机械状态，也有二次回路的采样、逻辑、定值与通信状态。日常工作通常包括巡视、定期试验、预防性维护、缺陷处理和临时改造，其共同目标是确认设备能够在要求的工况和时间内执行规定功能。安全管理不能把每台设备孤立看待，还需识别母线分段、冗余列、共用辅助系统及检修电源之间的关联，避免在一个通道停役时削弱另一通道。

2 核电厂电气设备日常运维控制要点

电气设备隐患具有渐变、耦合和条件触发特征。接头接触电阻上升可能只表现为负荷高峰时温升异常，蓄电池容量衰减可能在浮充状态下不明显，保护回路端子松动也可能在振动或切换时才暴露。控制工作应围绕“征兆是否可信、影响范围多大、当前供电方式能否容忍、何时必须处理”组织。巡检记录、在线监测、定期试验和历史缺陷需要使用统一设备编码关联，并区分运行限值、预警阈值与趋势观察值。风险判断还要覆盖人、机、料、法、环：人员是否具备授权，工器具是否适用，备件是否满足等级要求，规程是否与现场一致，环境是否影响

绝缘或散热。只有把这些条件放入同一工作包，日常运维才从发现问题转向控制设备功能风险。

2.1 设备状态质量监理

设备状态辨识先要防止“参数正常即设备健康”的单点判断。变压器可同时观察油温、绕组温度、负荷率、油中溶解气体和冷却器投运状态；开关柜应结合触头温升、局放信号、机构储能时间及分合闸线圈电流；直流系统则需关注单体电压离散、内阻趋势、充电装置纹波和绝缘监察告警。不同信号的时间尺度并不一致，瞬时越限适合触发核查，连续偏移和同类设备对比更适合识别缓慢退化。对异常征兆应保存原始数值、测点位置、负荷与环境条件，避免只写“温度偏高”之类无法复核的结论。设备安全管理只有把风险识别结果与责任人、复测期限、允许状态和升级动作逐项对应，风险清单才会转化为现场可执行的控制措施[1]。缺陷分级需要把设备重要度、冗余状态、退化速度和失效后果共同纳入：影响安全级负荷或备用列可用性的缺陷优先升级，尚未越限但趋势持续恶化的项目进入缩短周期观察。

2.2 电气作业安全监理

电气作业的主要隐患常出现在边界转换处，包括错误识别间隔、隔离点遗漏、反送电路径未切断、接地线位置不当以及工作结束后的临时措施未恢复。作业前应依据单线图和现场标识核对设备名称、编号、电源方向及可能带电部位，隔离操作由具备授权的人员按票证执行，并通过验电、接地、挂牌和实体边界共同确认。涉及保护、联锁或自动切换回路时，还应识别试验信号对运行设备的影响，防止为验证一个通道而误触发另一通道。班前交底不宜照读通用风险，应明确本次工作最可能发生的错误动作、监护位置、停止条件和异常撤离路径。授权范围、监护位置、停止条件和关键步骤的独立验证同步落实后，班组责任才能转化为稳定的现场安全管理控制[2]。核电场景还需把独立验证嵌入关键步骤：操作者说明对象和动作，验证者根据独立信息确认，而不是跟随操作者重复同一判断。复

役前逐项清点工具、短接线、接地线和临时标识，再核对保护定值、开关位置及报警状态，才能关闭工作许可。

2.3 缺陷处置进度监理

缺陷管理同时要避免拖延，也要防止把“尽快消缺”变成未经评估的抢修。缺陷发现后应先确认设备功能、当前运行方式和替代手段，再划分立即处理、计划窗口处理或趋势跟踪。立即处理适用于功能丧失、参数快速恶化或可能影响重要负荷的情形；计划处理需要锁定备件、人员、隔离窗口和风险补偿措施；趋势跟踪则必须给出复测频次和升级阈值。进度监控的关键不是统计工单关闭数量，而是识别等待备件、技术判断、工作窗口和试验条件等真实阻塞点。缺陷安全管理需要让制度要求、岗位责任、现场控制和验收证据在同一工单中相互衔接，才能避免关闭状态掩盖未消除的风险[3]。对跨专业缺陷，可由运行、电气维修、工程支持和安全管理共同进行短会审，明确谁判断设备可接受状态、谁准备工作包、谁批准延期以及谁验证处理效果。

3 核电厂电气设备安全管理措施

安全管理措施应把设备可靠性要求转换为现场可执行的控制点。管理链从工作前状态评估开始，经过风险分级、许可隔离、维修试验和复役验证，最终进入缺陷反馈与维护策略调整。每一环节同时需要技术证据，也需要明确的组织接口。制度数量并不等于控制有效，若设备清单、规程版本、定值记录和现场标识不同步，人员仍可能在正确执行旧信息时产生错误。措施设计宜遵循纵深防御：第一层依靠设备设计和预防性维护减少故障，第二层以监测和试验发现退化，第三层通过保护、自动切换及备用电源限制后果，第四层以应急程序处置超出预期的组合事件。设备质量保障与安全管理需要共享状态准入、作业边界和复役验收证据，才能避免不同环节依据相互冲突的设备信息作出判断[4]。这类共享证据还便于在复役后追溯偏差来源，并把验证结果反馈给维护策略，同时保留设备状态转换前后的操作、试验和确认记录，供下一次风险评估核对。

3.1 电气运维技术前期准备

技术准备要在设备停役前消除信息不确定性。工程师先从设备分级、历史缺陷、预防性维护基准和近期趋势中确定工作范围，再核对图纸、厂商手册、备件替代关系和专用工具。对可能改变供电方式的工作，应开展运行风险评估，确认另一冗余列、备用电源和共用系统是否存在同步维护或未决缺陷。工作包中的验收标准需量化到可核对对象，例如绝缘电阻应记录试验电压、温度和吸收比条件，螺栓紧固应注明规定力矩及工具校验状态，保护试验应对应通道、定值版本和动作出口。这类准备清单需要把风险对象、核查证据和放行条件建立关系。风险等级越高，所需独立验证和管理批准越严格，但不应机械增加签字层级。准备阶段还要预演异常情景：若拆检发现超预

期损伤、备件不匹配或试验结果不合格，现场应知道暂停位置、临时恢复方式和升级联系人。这样可避免设备已解体后才讨论技术边界，使停役窗口服从安全条件而非反向挤压判断时间。工作前各风险对象的核查证据和放行关系见表1。

表1 电气运维工作前风险核查与放行关系

风险对象	核查证据	建议核查频次/次	独立验证点/项	放行条件
设备身份	铭牌、编码、单线图	1.25	2	对象和边界一致
供电方式	母线状态、备用电源	2.50	4	冗余列可用
隔离边界	操作票、验电、接地	3.75	6	能量路径全部受控
保护回路	定值单、出口矩阵	5.00	8	版本与通道一致
备件工具	合格证、校验记录	6.25	10	等级和量程适用
复役条件	清点表、试验结果	7.50	12	临时措施全部恢复

表1中，建议核查频次由设备身份的1.25次增至复役条件的7.50次，独立验证点由2项增至12项，形成随边界复杂度提升的差异化配置。隔离边界设置6项验证点，复役条件设置12项，说明状态转换后的恢复确认需要覆盖更多对象。

3.2 电气作业安全技管理

现场管理可采用“身份确认—能量隔离—过程控制—复役验证”四道关口。身份确认通过票证、设备铭牌、间隔位置和图纸交叉核对；能量隔离除主电源外，还要检查控制电源、感应电、储能机构、直流反送及临时电源；过程控制围绕防误触、防异物、防静电和防邻近带电风险布置；复役验证则确认人员撤离、工器具清点、临时措施解除和设备状态恢复。作业安全管理中的具体问题必须与纠正措施逐项对应，并保留可验证的现场结果，通用提醒不能替代对错误边界和失效标识的直接修正[5]。现场发现标识模糊时，不应只增加口头提醒，而应暂停关键动作、核对配置并修正永久标识。管理者应把观察重点放在高风险步骤而非全程陪同，例如保护出口拆接、母线隔离变更、蓄电池组操作和临时接线恢复。

3.3 设备诊断工艺技术管理

巡检诊断应从固定路线抄录参数转向基于机理的证据组合。红外检测适合识别载流连接和散热异常，但结果受负荷、电流分配、发射率与观察角度影响；局部放电检测可提示绝缘

缺陷，却需排除环境噪声；振动、声纹和操作线圈电流能够反映开关机构变化，也需要同型设备及历史基线。运维人员应先提出故障假设，再选择能够支持或否定假设的检测手段。从异常征兆到维护决策的有向诊断链中，任何单项结果都要经过工况校核和交叉验证。诊断结论可分为“证实缺陷、疑似退化、未见异常但继续观察”，并分别绑定处理时限。数据平台应保留原始波形、仪器编号、测量条件和分析版本，防止只保存自动生成的健康等级。对于同类设备集中出现的温升、接触器抖动或电容老化，应开展共因筛查，检查批次、环境、维护工艺和运行负荷是否具有共同特征。诊断工艺经定期复盘后，可据此调整巡检频次和预防性维护项目。电气设备从异常征兆到维护决策的诊断链见图1。



图1 核电厂电气设备状态诊断链

图1中，异常征兆先经过工况校核，随后进入多源检测与交叉验证，能够降低单一测量受负荷或环境扰动造成的误判。维护决策返回多源检测的复测反馈，使不确定结论保留验证通道。

3.4 电气运维技术资料管理

技术资料是设备状态和作业边界的长期记忆，常见隐患包括图纸修改未回填、定值单版本混用、设备编码不一致、工单记录缺少测量条件以及经验反馈无法定位到具体对象。资料治理应以唯一设备编码贯通台账、图纸、规程、缺陷、试验和备件记录，并设置受控版本、审批生效和作废回收规则。现场临时修改必须明确有效期、补偿措施和转永久变更的条件，不能长期依赖交接班口头说明。资料闭环需要把工作执行、竣工回填、配置核对和维护策略更新连接起来；其中竣工回填不是归档终点，工程支持还要判断本次发现是否影响同型设备、培训

材料或预防性维护周期。记录质量可通过抽查关键字段评估，如测点、工况、原始值、验收标准、复核人和异常解释是否齐全。资料访问权限应兼顾可用性与网络安全，移动终端下载的离线文件需有失效提示，防止现场使用过期版本。经过这种闭环，技术资料才能参与下一次风险判断，而不是在审计前集中补录。以唯一设备编码贯通的运维技术资料闭环见图2。

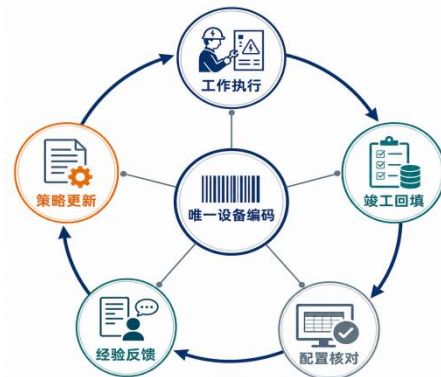


图2 核电厂电气运维技术资料闭环

图2表明，唯一设备编码位于资料关系中心，使工作执行产生的记录能够经竣工回填、配置核对和经验反馈进入策略更新。策略更新再返回下一轮工作执行，避免资料归档后脱离维护决策。

4 结语

核电厂电气设备日常运维的隐患同时来自绝缘、连接、机构和控制回路的缓慢退化，也来自隔离边界、工作许可、配置资料与人员沟通之间的接口偏差。安全管理应以设备功能为中心，把多源状态证据转化为缺陷分级和处置时限，在作业中设置身份确认、能量隔离、过程控制和复役验证关口，并用唯一设备编码贯通图纸、定值、工单与经验反馈。状态检修并非减少维护，而是依据退化机理选择检查内容和窗口。只有技术判断、组织责任与现场证据相互闭合，才能及时控制弱征兆演变和共因风险，维持重要负荷供电可靠性，并为维护策略持续优化提供可信依据。

参考文献:

- [1] 刘丹阳.EPC 总承包工程项目风险管理及应对措施[J/OL].中国企业管理知识仓库,1-8[2026-07-18].
- [2] 冼琼珍,詹小舒,陈耀,等.高校专职实验教师安全素养与 PDCA 模式双驱动的教学实验室安全管理研究——以佛山大学动物机能学实验室与动物生物化学实验室为例[J].畜牧兽医杂志,2026,45(4):132-137.
- [3] 詹世阳.建筑施工行业班组安全管理的重要性[J].大众标准化,2026,(12):99-101.
- [4] 周赣红.水利工程质量保障与安全管理措施探讨[J].中国防汛抗旱,2026,36(S1):80-83.
- [5] 宋佳轩.采气安全管理中存在的问题及相应措施[J].中国石油和化工标准与质量,2026,46(12):73-75.