

影响发电厂关键电源可靠性因素探究

王西, 郭永超, 易浩男, 刘涛

大唐陕西发电有限公司延安热电厂, 陕西 延安 716000

DOI:10.61369/EPTSM.2026010006

摘 要 : 发电厂关键电源是机组安全稳定运行的支撑, 直接影响到电力生产是否连续、安全, 对于能源供应保障体系而言, 其具有基础性作用。随着电力系统规模化和自动化程度提高, 关键电源所处运行环境越来越复杂, 可靠性受到影响的因素也变得更加, 迫切需要对这些因素进行梳理并加以深入研究。本文从设计、设备、环境、管理、人员五个方面分析影响关键电源可靠性的因素, 揭示各个因素的作用机制和内在联系, 针对性提出改善措施, 为提高发电厂关键电源的可靠性带来理论参考。

关 键 词 : 发电厂; 关键电源; 可靠性; 影响因素; 改善建议

Research on the Key Factors Affecting the Reliability of Power Plant Power Supply

Wang Xi, Guo Yongchao, Yi Haonan, Liu Tao

Datang Shaanxi Power Generation Co., Ltd. Yan 'an Thermal Power Plant, Yan' an, Shaanxi 716000

Abstract : As the backbone of power plant operations, critical power sources ensure the safe and stable functioning of generating units, directly determining the continuity and security of electricity production. They play a fundamental role in the energy supply security framework. With the increasing scale and automation of power systems, the operating environments of critical power sources have grown more complex, and the factors affecting their reliability have multiplied. There is an urgent need to systematically analyze and conduct in-depth research on these factors. This paper examines the reliability of critical power sources from five perspectives: design, equipment, environment, management, and personnel. It elucidates the mechanisms and interconnections of each factor, proposes targeted improvement measures, and provides theoretical references for enhancing the reliability of critical power sources in power plants.

Keywords : power plant; key power supply; reliability; influencing factors; improvement suggestions

引言

发电厂的关键电源包括 UPS 电源、保安电源、厂用段电源、控制电源等, 是保证机组启停、运行控制和处理事故的电力基础, 其可靠性是指在规定条件下能够连续供电的能力。电力生产连续、不可逆的特点决定了关键电源一旦失效, 就会造成机组非计划停运、设备损坏或者安全事故, 出现重大经济损失和社会影响。目前电力行业转型中, 新能源并网、机组调峰压力变大等新的情况, 对关键电源可靠性提出更高要求, 需要进一步提升其可靠程度。

一、发电厂关键电源可靠性的影响因素

(一) 系统设计配置

系统设计是电源可靠性的先天因素, 供电回路的拓扑结构设计不合理容易造成单点故障, 例如部分电厂采用单路电源通过 UPS 供电的集中式结构, 没有设置独立备用回路, 一旦 UPS 出现故障或者检修, 就会造成负载停运。冗余配置参数匹配度不足会造成可靠性问题, 主备电源切换阈值设置不合理会造成切换

延迟或者误切换, 某电厂 DCS 电源切换装置主备阈值偏差, 致使 UPS 电源发生短暂波动时没有及时切换到保安电源, 导致控制器重启^[1]。负荷分配设计不合理也属于隐患, 将高冲击负荷与精密控制负荷接入同一回路, 设备启动时引起电压波动就会波及控制电源。

(二) 核心设备性能

核心设备属于关键电源系统运行的硬件, 性能稳定与否、寿命状态如何, 影响供电是否可靠。电源模块属于能量转换核心部件, 其质量缺陷容易造成故障, 例如 DCS 系统冗余电源模块,

如果使用劣质电容,在高温环境下容值衰减就会造成输出电压不稳定,双冗余配置也可能会因为同源缺陷而失效。储能设备的老化是常见失效原因,UPS配的蓄电池经过长时间充放电循环,极板硫化、电解液干涸等问题会造成容量衰减,在没有输入电源的情况下放电时间不足,不能保证应急供电。开关设备接触性能退化同样会影响可靠性,高压断路器、空气开关等设备由于触点氧化、机械磨损造成接触电阻增大,在负荷变化时容易产生电弧烧蚀,引起回路跳闸。

（三）运行环境条件

运行环境是关键电源系统长期稳定运行的外在保障,温度、湿度、粉尘、电磁干扰等都会对设备的性能造成影响。高温环境下设备绝缘容易劣化,UPS机柜通风散热不好,内部温度超过40℃时,功率模块效率会降低15%以上,蓄电池自放电速度也会变快;潮湿环境下容易发生绝缘击穿,南方多雨地区电厂控制柜如果没有做好密封防潮,雨水进入会引发空气断路器短路分闸,进而造成执行机构失电;粉尘堆积属于潜伏性危险,配电室如果防尘措施不到位,粉尘就会附着在电源模块散热片和风扇上,妨碍热量散发,造成设备过热报警,严重时还会导致风扇过载停运;强电磁干扰会影响电源信号,发电机励磁系统产生的高频谐波如果不能被滤波装置抑制,会侵入控制电源回路,造成PLC信号误触发^[2]。

（四）检修维护管理

检修维护属于设备全生命周期管理的重要部分,缺少定期巡检制度会导致隐患漏查,部分电厂没有制定每日电源参数巡检计划,不能及时发现蓄电池端电压异常、回路接头温度升高等早期故障征兆^[3]。维护操作不规范直接造成故障,检修时未按规程进行电源环路连接,造成接触不良引起局部设备失电;更换电源模块后未进行冗余切换试验,致使备用回路不能正常投入。台账管理不到位容易造成维护盲区,缺少设备的出厂参数、历次故障和更换部件记录,进而不能准确判断设备的老化状况。预防性试验开展不及时,比如没有按照周期做UPS切换试验、蓄电池容量检测,会让设备的潜在问题一直存在,最后导致突然发生故障。

（五）人员操作管控

人员操作是直接影响系统运行的一个重要变量,专业性及规范性对系统的可靠度起到决定性影响,操作技能不足容易造成误操作,新员工如果不懂电源切换逻辑,在做UPS试验时误动主备电源开关,会造成供电中断。应急处置能力缺乏会加大故障的影响,电源故障发生时,如果操作人员不能在黄金时间内判断故障类型,而盲目重启设备,导致控制器指令异常^[4]。运行监控不到位会造成故障处理的延误,值班人员如果不对电源监控系统的告警信息进行监控,会错过对蓄电池电压低、模块过载等告警信号的处理时机。

二、影响发电厂关键电源可靠性因素的改善建议

（一）优化系统设计冗余配置

优化设计方案属于提高关键电源可靠性的源头举措,创建多

层次冗余保障体系,供电回路采用双母线分段加多电源接入的方式,主电源从厂用工作段取电,备用电源分别接入保安段与外部应急电源,三路独立的供电回路实现供电冗余,各回路电源取自不同的变压器,避免同源故障造成的影响^[5]。UPS系统用“1+1”并联冗余设计,两台UPS装置各带50%负荷运行,任意一台装置发生故障时,另一台可以在5ms内无缝接替全部负荷,在UPS前端加装空气断路器和隔离开关,方便检修时不停电切换。负荷分配采用分区分类供电模式,将高冲击负荷(电机启动)和精密控制负荷(DCS、TSI)分别接入独立的母线,用1:1隔离变压器抑制回路干扰,隔离变压器的屏蔽效果不小于80dB。电缆敷设采用物理隔离和屏蔽防护,控制电缆与动力电缆间距不小于0.5米,重要回路用铜带屏蔽电缆单点接地,接地电阻不大于1Ω,减小电磁干扰。

（二）强化设备全生命周期管控

创建设备全生命周期管理体系,对设备的选型、运行到报废实行闭环管控,设备选型采用“资质认证+性能测试”双重标准,优先选用有国家电工产品认证,并且同类型电厂使用3年以上无重大故障的品牌,电源模块要完成1000小时高温老化测试和500次启停冲击测试,蓄电池应提供第三方容量检测报告以及充放电循环寿命曲线。建立设备健康档案,详细记录出厂参数、安装调试数据、历次维护记录和故障分析报告,采用物联网技术给关键设备装上状态监测传感器,实时采集电压、电流、温度、绝缘电阻等参数,通过工业以太网传送到设备管理云平台,使用边缘计算节点实现异常数据实时预警和趋势分析^[6]。每天开展外观检查和参数巡检,每周做冗余切换试验,每季度做蓄电池容量测试(采用恒流放电法,放电深度不小于80%),每年做全面停电检修。故障处置实行“快定位、保备件”模式,建立关键部件备件库,储备UPS模块、蓄电池组、空气断路器等易损备件,备件储备量满足单台设备全部更换,使用红外热像仪、回路电阻测试仪等专用工具快速找到故障点,将故障修复时间缩短到2小时内。对老化设备实行阶梯式更新,达到设计寿命的设备必须报废,接近寿命末期(剩余寿命小于20%)的设备要重点监控,提前6个月制定更换计划并完成备件采购。

（三）构建精准环境调控体系

创建监测、调控、防护三者相统一的环境控制体系,配电室安装智能环境监控系统,布置温湿度传感器、粉尘浓度检测器和水浸传感器,传感器采样频率不低于每分钟一次,实时数据经由SCADA系统上传到监控中心,温度大于35℃或者湿度大于65%的时候,自动开启空调除湿装置,系统具备短信和声光报警两种提醒方式,保证运维人员及时应对^[7]。采用封闭机柜+强制通风的散热方式,UPS机柜加装独立散热风扇,风扇风量≥500m³/h,风扇启停与设备温度联动控制,通过机柜内部温度传感器实时反馈,保证机柜内部温差≤5℃,机柜顶部加装导流罩。防尘防护采用三级过滤,进风口处设置初效过滤网(过滤精度5μm),空调系统设置中效过滤器(过滤精度1μm),设备表面贴附防尘罩,每月清洗或更换过滤器,每季度对机柜内部除尘一次。潮湿地区电厂防凝露改造,控制柜内设低温加热板(功率50—

100W)，加热板与湿度传感器联动，湿度大于70%时自动工作，电缆沟敷设3mm厚SBS防水卷材并做0.5%排水坡度，沟内设集水井、潜水泵，雨季巡检频次加大至每2小时1次，及时清除积水隐患^[9]。电磁干扰防控采用屏蔽和接地相结合的方式，配电室采用法拉第笼屏蔽结构，屏蔽效能不低于90dB，电源系统采用独立接地网，接地电阻不大于4Ω，与其他接地网间距不小于5米，防止接地干扰。

（四）建立规范化运维管理制度

以标准化管理为指导，建立巡检、维护、试验全部运维系统，编制关键电源运维规程，规定巡检项目为12项，其中涉及电源参数、设备异响、指示灯状态、接头温度等项目，对每个项目设定一个正常的参考值及异常判别标准，巡检周期实行班检、专检和全检三级制度，即每日检查一次、每周检查一次和每月全面检查一次。巡检的结果由专人审核后用电子台账记录下来，可以追溯，在规程公布以后组织全员进行考核评定，通过率必须达到100%后方可上岗^[9]。实行预防性维护，依照设备的运行周期及厂家的建议来制订维护计划，每月为电源回路接头实施紧固，并测定回路电阻，要求不大于50mΩ，每半年做切换装置的机械特性试验，切换时间不能多于10ms，每年做蓄电池的充放电循环试验，将试验数据同历史数据做对比分析。建立故障分级处理程序，将故障分为紧急（全部停电）、严重（单一电源线圈故障）、一般（参数异常）三种形式，规定各级故障的处置时间，即，紧急故障为15分钟内、严重故障为30分钟内、一般故障为一小时内。配备应急抢修箱，盒内有绝缘手套、万用表等设备来保证迅速处理。加强运维质量控制，实行双人操作、交叉检查制度，在维护操作前编制作业指导书并进行风险交底，维护操作后进行效果验证，填写维护质量评价表，对不合格项限期整改，不断优化运维流程。

（五）完善人员能力提升机制

加强人员因素控制，形成以培训、考核和激励相结合的能力提升体系，建立分层培训体系，新员工岗前培训3个月，培

训内容包含电源系统原理、操作规程、应急处置、典型故障案例分析；采用理论与实操相结合的培训方式，实操培训时间占比不少于总培训时间的60%；在岗员工每季度参加一次专项培训，主要是新型设备操作、故障诊断技术、行业最新标准的培训；培训结束之后进行闭卷考试；运维骨干参加行业技术交流及厂家高级培训，学习最新的运维理念和技术，并撰写相应的培训教材，邀请设备厂家技术专家担任兼职讲师，提高培训的专业性。实行实操加理论的考核办法，每月开展操作规程考核，每半年开展应急演练考核，考核不合格的取消上岗资格，暂停工作1周进行专项复训，复训合格后可继续上岗。考核成绩是年度绩效考核的一个组成部分。定期开展应急演练，每月模拟一种故障情景，UPS电源故障、蓄电池容量不足、回路短路等，演练前制定方案，明确分工，演练后进行复盘分析，找出不足，优化处置流程，每年开展一次综合应急演练，提升团队协作处置能力。建立岗位激励机制，将运维质量、故障处理效率、隐患排查数量和绩效联系起来，对发现重大隐患、成功处置紧急故障的人员进行专项奖励，对获得行业技能竞赛名次的人员予以晋升倾斜^[10]。

三、结束语

发电厂关键电源可靠性是电力系统安全运行的基础，在能源转型与电力需求增长这两大趋势共同作用之下，提升关键电源可靠性成为电力行业实现高质量发展的重要课题。关键电源的可靠性是由设计、设备、环境、管理、人员等诸多方面综合决定的，要提高关键电源的可靠性就必须坚持系统观念，打造全链条、全方位的可靠性提升体系，进一步提高关键电源可靠性控制的精准度和前瞻性。

参考文献

- [1] 黄婕. 火电厂直流操作电源系统可靠性提升技术探讨 [J]. 建筑工程与设计, 2025(8).
- [2] 何鹏锐. 火电厂热控系统电源可靠性优化研究 [J]. 中国设备工程, 2025(15).
- [3] 王昊. 基于可靠性的电力工程系统电源布局优化设计 [J]. 电力设备管理, 2025(13).
- [4] 焦梓家, 孙晋茹, 乐杨晶, 等. 通信电源系统智能浪涌保护模块的设计与防护特性 [J]. 高压技术, 2023, 49(2): 885–893.
- [5] 刘楠. 火力发电厂热控系统可靠性的技术探讨 [J]. 机械与电子控制工程, 2025(13).
- [6] 殷忠晴, 董强. 动车组制动系统电源板卡可靠性试验研究 [J]. 铁道车辆, 2025(2).
- [7] 汪亮, 马艳巍, 畅小龙, 等. 核级仪控电源模块可靠性运维管理技术研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64(14): 127–130.
- [8] 杨晨, 汪佳, 赵振华, 等. 基于 PSO-BP 的变电站交直流电源系统可靠性评价研究 [J]. 环境技术, 2024, 42(10): 64–70.
- [9] 谭翔宇, 道立宏·吐尔逊, 蔡彦龙. 考虑配电网分布式电源可靠性的储能技术 [J]. 2024(4): 181–183.
- [10] 吴龙腾, 朱卓文, 邱泽坚. 分布式电源接入配电网可靠性评估 [J]. 光源与照明, 2024(3): 165–167.