

UPS电源带载充放电技术研究

李家林

西安航天动力试验技术研究所 陕西 西安 710000

摘要: UPS电源带载充放电技术以整流储能逆变为核心,通过动态负载下的充放电实现电池容量验证、隐患检测等功能。该技术影响系统性能,可评估电池组性能、验证电源系统可靠性、检测连接系统隐患。优化策略包括改进充电算法、控制放电过程、强化保护机制。实施中需关注测试安全,通过高压隔离等措施保障;提升数据准确性,定期校准传感器等;优化测试效率,开发自动化脚本、设计并行架构、自动生成报告,推动该技术高效应用。

关键词: UPS电源;带载充放电技术;放电过程控制

引言:在电力供应稳定性要求日益提升的背景下,UPS电源作为保障关键负载连续运行的核心设备,其带载充放电技术成为系统可靠性的关键支撑。该技术通过动态负载条件下的充放电协同控制,不仅可验证电池组实际容量、检测系统连接隐患,还能全面评估电源系统可靠性。本文从基础理论出发,系统阐述带载充放电技术对电池性能、系统可靠性及连接隐患的影响机制,并从充电算法、放电控制、保护策略等维度提出优化方案,为UPS电源的技术升级与工程应用提供理论指导。

1 UPS电源带载充放电技术基础理论

1.1 UPS电源基本工作原理

整流逆变转换机制是UPS电源运行核心,整流环节将输入交流电转为直流电,为逆变提供基础。蓄电池组储存电能,应对突发断电以维持负载运行,逆变环节将直流电转为交流电,适配各类负载用电需求,三个环节协同运作,实现电能的闭环转换与稳定供给。三类技术架构的能量流动路径差异显著。在线式架构中,输入电能经整流转直流后,一部分给蓄电池组充电,一部分直接逆变供负载,路径稳定连续。后备式架构正常时电能直接供负载,蓄电池组待命,断电时才释放电能逆变供电。在线互动式架构结合两者特点,电能供给路径可根据用电情况灵活调整。静态开关与旁路切换逻辑是UPS电源可靠运行的关键。

1.2 带载充放电技术定义与核心目标

动态负载条件下的充放电过程是带载充放电技术的核心场景,指UPS电源在负载持续运行且功率动态变化时,同步完成储能环节的充放电操作。该过程需兼顾充电效率与放电稳定性,避免负载波动导致参数异常,维持系统整体运行的稳定与可靠。电池组实际容量验证是带载充放电技术的核心目标之一,通过带载充放电过程,可准确检测电池组实际储能容量,判断其是否达到

设计标准^[1]。无需额外检测设备,借助运行中的充放电数据,直观反映电池储能能力和衰减情况,为电池维护更换提供依据。系统连接隐患检测是带载充放电技术的重要目标,带载充放电时系统各部件正常运行,通过监测充放电过程中的电流电压变化,可检测内部连接部位的接触不良、线路老化等隐患。这类隐患在空载时难以发现,动态负载压力可放大参数异常,便于及时排查处理。供电路径完整性测试是带载充放电技术的另一核心目标,通过带载充放电过程,可全面检测UPS电源供电路径的完整性和导通性。

2 带载充放电技术对系统性能的影响

2.1 电池组性能评估

实际后备时间与标称值偏差分析是电池组性能评估的核心内容,带载充放电过程中,电池组处于真实负载工况,其实际后备时间与标称值的偏差受多种因素影响。偏差主要源于充放电效率、负载功率波动以及电池自身状态,通过系统监测偏差数据,可明确偏差产生的核心原因,为后续电池组性能优化和参数调整提供方向,确保电池组后备能力符合实际运行需求。容量衰减曲线建模是评估电池组长期性能的关键,基于相关方程修正可提升建模准确性。带载充放电过程能捕捉电池在不同负载条件下的容量变化数据,通过修正建模可精准反映电池容量随充放电次数、运行时间的衰减规律,清晰呈现电池性能退化趋势,为电池组寿命预测和维护计划制定提供可靠支撑。内阻增长与健康状态关联性研究是电池组性能评估的重要环节,带载充放电过程中可实时监测电池内阻变化。内阻增长与电池健康状态存在密切关联,内阻升高通常意味着电池健康状态下降,通过分析两者关联规律,可快速判断电池老化程度,及时识别性能异常的电池,保障电池组整体运行稳定性。

2.2 电源系统可靠性验证

在输出电压稳定性测试中,重点考察负载动态变化时的电压波动范围。例如,当负载功率从50%突增至100%,或从100%骤降至30%时,需监测电源系统输出电压的波动幅度。依据GB/T 7260.1-2022《不间断电源设备第1部分:总则》规定,在线式UPS的输出电压波动率不得超过 $\pm 2\%$ 。通过带载充放电测试,能够有效评估电源系统的电压调节能力和稳压精度,判断其在负载剧烈变化时维持输出电压稳定的性能,进而为优化电源系统的控制策略提供数据支撑。频率同步精度测量主要针对UPS并网运行时的频率跟踪能力。在带载充放电过程中,电源需通过锁相环与市电保持频率一致。国家标准要求UPS输出频率与市电频率的偏差控制在 $\pm 0.5\text{Hz}$ 以内。通过测量频率同步精度,可评估锁相环的动态响应性能,确保电源在并网运行或模式切换过程中频率稳定,防止因频率偏差引发负载设备故障或供电系统振荡。切换时间量化分析聚焦于市电与逆变模式之间的转换效率。带载充放电技术能够模拟实际切换场景,实现切换时间的精确测定。

2.3 连接系统隐患检测

接触电阻动态变化监测以GB 50055-2011《通用用电设备配电设计规范》为依据,带载充放电过程中,连接部位的接触电阻会随负载变化而动态改变。通过实时监测接触电阻的动态变化,可及时发现接触不良等隐患,当电阻变化达到预警值时,能快速发出提示,便于及时处理连接隐患,避免接触电阻过大导致局部过热,影响系统安全运行。线缆载流能力验证以GB 50217-2018《电力工程电缆设计标准》中的线缆温升限值为标准(如铜芯电缆温升 $\leq 70^\circ\text{C}$),带载充放电过程中,线缆承载实际工作电流,其温升情况直接反映载流能力^[2]。通过监测线缆温升,可验证线缆是否能满足实际负载的载流需求,判断线缆载流能力是否达标,避免因线缆载流不足导致温升过高,引发线路老化或安全事故。接地系统完整性测试以GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》为依据,UPS电源系统的接地电阻 $\leq 4\Omega$,带载充放电过程中,接地系统的完整性直接影响系统安全。

3 带载充放电技术优化策略

3.1 充电算法改进

三段式充电曲线优化的核心是对三个阶段的参数进行科学调整。结合带载工况下电池的SOC、内阻及温度,动态调整充电参数:恒流阶段采用 $0.1\text{C}\sim 0.2\text{C}$ 倍率快速补电,避免极化加剧;恒压阶段根据SOC将铅酸电池单体制在 $2.35\text{V}\sim 2.40\text{V}$ 以减少产热;浮充阶段维持 $2.20\text{V}\sim 2.25\text{V}$ 防止过充,从而减缓容量衰减。采用温度补偿策略,以 25°C 为基准,温度每升高/降低 1°C ,单体充电

电压相应降低/升高 2mV ,避免低温过充或高温欠充,确保充电安全有效。应用脉冲充电技术,通过调制占空比(如 $1:1\sim 1:3$)输出 $0.3\text{C}\sim 0.5\text{C}$ 的脉冲电流,利用脉冲间隔促进电解液扩散,缓解极化并减少产热;同时脉冲电流能溶解极板硫化物,修复轻微老化电池,提升其储能能力与使用寿命^[3]。

3.2 放电过程控制

动态负载调整算法通过实时监测电池组的SOC、内阻及端电压,精准判断电池储能能力与健康状况,并基于预设阈值(如 $\text{SOC} \geq 20\%$)灵活调整负载功率分配。当SOC接近阈值时,自动切断非关键负载以降低放电功率,避免电池过放;当负载功率突增时,通过逆变器平滑放电电流,确保供电稳定性,实现放电效率与负载需求的动态平衡。再生制动能量回收主要针对可逆型系统,在带载放电过程中将负载运行产生的制动能量回收利用,通过构建合理的能量回收机制,将原本浪费的能量反馈至储能环节,提升系统整体能量利用率,降低能耗并减轻储能放电压力,优化能量分配,增强系统运行的经济性与环保性。放电截止电压智能预测基于电池电化学模型(如Thevenin模型),结合带载放电过程中采集的端电压、电流、温度及内阻等实时数据,通过卡尔曼滤波算法精准预测放电截止电压,并依据电池类型设定差异化阈值(如铅酸电池单体 1.8V ,锂电池单体 2.5V)。

3.3 系统保护机制强化

多级过载保护策略根据额定负载划分不同的响应等级,针对不同程度的过载情况采取对应的保护措施,实现对系统的全方位保护。不同等级的过载对应不同的保护响应方式,轻度过载时及时发出预警并自动调整负载分配,避免过载加剧;重度过载时迅速切断部分负载或停止放电操作,防止过载导致系统部件损坏,保障带载充放电过程中系统的安全稳定运行,延长系统使用寿命。电池反接物理防护通过极性检测和继电器互锁双重机制实现,极性检测模块实时监测电池连接极性是否正确,一旦检测到反接情况,继电器互锁立即动作,切断电路通路,防止反接电流流经电池和系统核心部件。这种双重防护机制能够有效避免电池反接带来的安全隐患,防止电池损坏和系统故障,保障带载充放电过程中电池连接的安全性和可靠性^[4]。散热系统动态调控实现风机转速与负载率的联动控制,根据带载充放电过程中负载率的实时变化,自动调整风机转速。

4 技术实施中的关键问题

4.1 测试安全性保障

高压隔离措施是测试安全性保障的核心,通过对高压电路与测试环境进行物理隔离,采用绝缘强度 $\geq 2\text{kV}$ 的隔离变压器实现市电与测试系统的电气隔离,同时对高压接线端子进行绝缘封装,并在测试前进行绝缘性能检测,确保1min耐压测试中无击穿、无闪络现象,有效防止高压泄漏引发安全事故。应急切断回路设计是应对突发安全问题的关键,需保证回路具备快速响应能力,在检测到异常情况时,能够在规定时间内迅速切断电路,终止测试过程,从而避免故障扩大,减少设备损坏和安全风险,保障人员和设备安全,提升测试可靠性。人员防护装备配置是保障测试人员安全的重要举措,需配备符合要求的绝缘和防护装备,隔绝高压、高温等潜在危险,确保测试过程中的人身安全。

4.2 数据准确性提升

传感器校准周期是确保数据准确性的基础,对测试所用的电流、电压、温度、内阻等传感器制定标准化校准周期,其中电流、电压传感器每3个月校准一次,温度、内阻传感器每6个月校准一次,采用标准源校准法复核精度并及时修正偏差,确保传感器测量精度 $\leq \pm 0.5\%$,保证采集到的充放电参数真实可靠。抗干扰滤波设计是提升数据准确性的关键手段,通过合理的滤波设计有效抑制测试环境中的各类干扰信号,提升信号纯净度,避免干扰影响数据采集精度,确保测试数据真实反映系统运行状态,为技术优化提供可靠依据^[5]。数据同步采集技术可实现多通道数据的同步获取,通过时钟对时确保不同采集点的数据在时间维度上保持一致,避免数据错位导致的分析误差,确保各类参数数据的关联性和准确性,为系统性能分析和问题排查提供精准、完整的数据支持。

4.3 测试效率优化

基于Python/LabVIEW开发自动化测试脚本,实现测试过程的自动化运行,减少人工干预带来的误差和效率

损耗。通过相关技术实现脚本开发,可完成测试参数设置、过程控制、数据采集等一系列操作,大幅提升测试效率,同时保证测试过程的规范性和一致性。并行测试架构设计通过4~8个独立测试通道,每个通道可独立完成一台UPS电源的带载充放电测试,通道之间通过主控模块实现数据交互与协同控制,打破单一通道测试的效率限制。多通道并行运行能够在相同时间内完成更多测试内容,缩短整体测试周期,提升测试吞吐量,满足大规模、高效测试的实际需求,优化技术实施效率。基于Excel/Word开发标准化,测试报告自动生成可基于预设模板完成参数填充,无需人工手动整理数据和撰写报告,大幅节省报告编制时间。

结束语:带载充放电技术作为保障UPS电源稳定运行的关键,在电池组性能评估、电源系统可靠性验证、连接系统隐患检测等方面意义重大。通过充电算法改进、放电过程控制、系统保护机制强化等优化策略,能提升其性能。同时,在技术实施中,要重视测试安全性保障、数据准确性提升和测试效率优化等关键问题。只有全面考量并妥善解决这些问题,才能推动该技术不断发展,为UPS电源可靠运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1]郑达.基于储能电池的UPS系统连接与充放电控制策略研究[C]//2025工程技术与应用交流论文集.2025:1-3.
- [2]高士臣,涂智辉,宁宇.不间断电源集群监控技术的研究与应用[J].包钢科技,2021,47(2):73-75.
- [3]乔龙洋.基于双向DC-DC变换技术的蓄电池充放电装置研究与设计[D].安徽:合肥工业大学,2012.
- [4]邓军,甘德顺,陈智勇,等.不间断电源自动充放电可行性分析及自控装置研究[J].探索科学,2021(3):216-217.
- [5]刘田波,张文,黄世强.化工企业UPS电源故障处置对策研究及应用[J].机电信息,2025,(03):78-81.