

数据中心 UPS 后备电池发展方向研究

杨亚萍¹, 唐兰兰¹, 杨加佳²

(1. 施耐德电气(中国有限公司)上海浦东分公司, 上海 201203;

2. 鲁南大数据中心, 山东 枣庄 277100)

摘要 数据中心 UPS 后备电池作为应对数据中心电力中断的关键环节, 正面临功率密度升级、绿色低碳转型与智能化运维三重诉求。本文剖析了当前 UPS 后备电池的核心瓶颈, 从电池材料迭代、系统集成创新、运维技术升级三大维度并结合产业生态预判发展趋势, 提出技术突破、产业协同与标准构建的针对性策略, 以期为中心 UPS 后备电池升级提供实践参考。

关键词 数据中心 UPS 后备电池; 预测性运维; 备电储能协同

中图分类号: TM91

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.30.004

0 引言

数据中心作为算力基础设施核心载体, 单次供电中断 1 小时造成的直接经济损失可达数百万元人民币。Uptime 调查显示, 约 60% ~ 70% 的数据中心在过去 3 年内经历过至少一次停电。

UPS 系统作为应对供电中断的关键装备, 后备电池性能直接决定其可靠性与经济性。传统阀控式铅酸电池(VRLA)虽主导 UPS 后备电池市场, 但能量密度低、寿命短等缺陷日益凸显; 锂电池虽快速渗透, 却面临成本与安全的双重制约。

与此同时, “双碳”目标推动数据中心能效标准持续收紧。在此背景下, 系统梳理 UPS 后备电池技术现状与瓶颈, 探索创新路径与发展趋势, 对推动数据中心绿色高可靠发展具有重要的现实意义。

1 数据中心 UPS 后备电池应用现状与核心瓶颈

1.1 数据中心 UPS 后备电池应用现状

Global Market Insights 发布的《数据中心电池市场全球预测 2025-2034》呈现“铅酸主导、锂电崛起、多元补充”的格局, 2024 年全球数据中心 UPS 后备电池市场铅酸占 45%, 磷酸铁锂占 42%, 镍镉电池占约 8%, 钠离子电池占约 3%。

表 1 对这几种电池的技术参数做了详细对比, 可见磷酸铁锂电池在多维度具有优势, 钠离子电池发展迅猛, 潜力巨大。

国内数据中心以铅酸为主, 占比 93%, 锂电仅占 7%, 而钠离子电池等新技术占比更少。数据中心电池配置依据应用场景也不尽相同。

Tier III 及以上的数据中心对 UPS 和电池的配置核心目标是实现“并发可维护性”和“容错”, 确保任何单一设备计划内维护或意外故障都不会中断关负载的运行。铅酸因为其前期购置成本低, 技术成熟以及安全性, 仍是首选。

边缘数据中心多部署于户外基站等场景, 面临空间狭小、低温高湿恶劣环境、运维资源有限的三重约束。锂电池因其具备较高的能量密度、循环寿命较长、维护简单等成为边缘数据中心电池的主流。

AIDC 由于搭载大量高性能 GPU, 单机柜功率在向 100 kW 以上迈进。AI 负载呈现周期性、高幅度的波动。AIDC 的 UPS 和电池配置, 核心思路是从传统的“保障不停电”向“高效、智能、弹性能源管理”发展。

1.2 数据中心 UPS 后备电池应用核心瓶颈

1.2.1 能量密度与空间利用的结构性矛盾

VRLA 能量密度较低, 空间占用的背后是承重成本的激增。VRLA 电池的铅极板重量占比超 60%, 1 m² 电池区域的重量可达 1 250 kg, 为满足承重需求, 机房楼板需额外配置钢筋加固。对于老旧机房改造场景, 部分建筑因承重不足甚至无法采用 VRLA 方案。

磷酸铁锂电池虽具备高能量密度, 但早期未能实现“密度—空间”的最优转化。要求必须配套独立消防与散热系统, 如 FM-200 洁净气体灭火系统和强制风冷通道或水冷管路空间, 这些附加设施大幅侵蚀了密度提升带来的空间收益。

1.2.2 全生命周期经济性的双向失衡

VRLA 短寿高耗, 日历寿命 5 年, 需每 4 年更换一次, 在整个 UPS 系统 10 年寿命中, VRLA 维护成本占初始电

表 1 主流电池技术参数对比

技术指标	铅酸电池	磷酸铁锂电池	镍镉电池	钠离子电池
市场份额（2024）	45%	42%	8%	3%
能量密度（Wh/kg）	30 ~ 50	125 ~ 185	50 ~ 80	120 ~ 160
循环寿命（次）	300 ~ 500	> 3 000	> 2 000	3 000 ~ 4 500
初始成本（元 /Wh）	0.75 ~ 0.95	1.5 ~ 2.5	高	比磷酸铁锂低 25% ~ 32%
优势	成本最低、技术成熟、安全	高能量密度、长寿命	极宽温域、高可靠、耐用	低成本、高安全
劣势	能量密度低、寿命短、重金属污染	初始成本高、BMS 要求高	能量密度低、重金属污染、记忆效应	能量密度暂低于铁锂

池投资的 60%，全生命周期运行成本为电池初始投资的 3 倍多，但其残值回收比例高，回收体系完整。

锂电池高投低收，初始成本是 VRLA 的 2 倍左右，而维护成本仅占初始投资的 10%，整个生命周期的成本比铅酸低 39%。但是电池回收体系不完善，上游碳酸锂等原材料价格的显著下行，进一步影响了再生利用的经济性。

1.2.3 智能化管理水平滞后

当前数据中心 UPS 电池管理面临预警准确率低、通讯效率低、精度不足和扩展性不足等问题。

当前电池管理系统（BMS）技术多是依赖电压、温度单点检测和健康度（SOH）经验公式拟合，电池状态检测不准确，故障诊断和预测能力弱。在规模电池组应用场合，单个电池单元与中央控制器直接通信成了瓶颈，通信效率低下。UPS 的充放电控制精度不足，过度充放电会对电池造成不可逆损伤。适应性和扩展性差，目前 BMS 难以满足新型电池技术的要求（如固态电池等）。

BMS 的问题直接影响着电池的运行安全，袁帅等统计了 2017–2024 年全球范围内 90 多起锂离子电池的火灾爆炸事故，发现电池过充、BMS 异常等 5 个风险为引发火灾的高风险因素^[1]。

2 数据中心 UPS 后备电池技术创新方向

2.1 锂电池持续升级，新电池技术不断突破

磷酸铁锂电池作为当前中高端数据中心的核​​心选择，通过“安全—散热—倍率”三维技术升级，实现与数据中心需求的深度适配。（1）电芯级安全屏障构建，采用新的隔膜材料和电解液，提升热失控温度进而提高安全性。2025 年 9 月宁德时代发布 NP3.0 神行 Pro 磷酸铁锂电池采用了三项核心创新：阻燃电解液、陶瓷复合隔膜与正极纳米涂层。这些新材料在提升电

池的热稳定性的同时，改变了电池在极端条件下的反应路径，使其即使发生热失控也不会产生明火或烟雾。

（2）磷酸铁锂电池正摒弃风冷模式，采用新型液冷精准控制电池组温差。如麒麟电池，将液冷板置于电芯侧面甚至电芯之间侧面冷却，换热面积扩大至 4 倍，散热效率和温度均匀性显著提升^[2]。（3）多极耳设计降低电池内阻，减少大电流放电时的极化效应，放电平台更稳定，提升放电倍率。

固态电池凭借高能量密度与高安全性的卓越优势脱颖而出。国内崔光磊团队在正极、电解质、负极三大核心材料上均有突破，使全固态电池能量密度提高至 390 Wh/kg，并实现超万次稳定循环，可以在极宽的温度范围工作。

宁德时代在钠离子电池技术持续突破，2025 年推出的钠新电池能量密度达 175 Wh/kg，-40℃环境下容量保持率高达 90%，循环寿命超 10 000 次，支持 5C 超充，预计 2026 年商业化成本降至 0.25 元 /Wh 以下，将成为北方寒冷地区边缘机房的经济型替代方案。

钒液流电池凭借高安全性、超长寿命和容量可灵活扩展的独特优势，在新型电力系统中扮演着越来越重要的角色。目前钒液流电池的循环寿命超 15 000 次（是磷酸铁锂的 2.3 倍），且充放电过程无固体相变，安全性极高。

2.2 预制化与备储融合架构

2.2.1 电池预制化和模块化

预制化电池柜通过“电池+BMS+液冷+智能配电”的工厂级预集成设计，实现从现场拼凑到模块交付的范式升级。现场仅需通过螺栓进行模块拼接，彻底规避现场接线失误风险。

模块化 N+1 冗余电池架构，通过智能切换开关与主回路并连，提高系统可用性。华为 FusionPower 方

案中单个电池模块故障时,迅速切换至冗余模块,供电中断时间 $<1\text{ ms}$,系统可用性达99.9992%。

预制化电池柜通过集成智能电流分配单元,实现“按需配电”的精准管控。动态配电可防止电池过充、过放,可将电池状态维持在最佳区域以减缓电池容量衰减。一致的功率分配还能改善电池组内的均衡性,避免个别电芯提前老化,从而延长整个电池组的寿命。

2.2.2 备电与储能协同架构

在“双碳”目标与电力市场化改革的双重驱动下,UPS后备电池在保障核心备电需求的前提下,利用剩余容量参与电网互动获利。其运作逻辑为:(1)预留一定容量专门用于电网峰谷调节;(2)建立“BMS+UPS+EMS”三级联动机制,电力管理系统(EMS)实时采集电网电价、电池SOC负载数据,自动生成充放电策略,既规避深度充放电又最大化电价差收益;备电优先级锁定,当电网发生波动或断电时,EMS立即向UPS发送中断储能指令,电池系统立即切换至备电模式,冗余容量瞬间补入主回路,确保负载供电无中断^[3]。

2.3 智能化主动运维管理

随着AI算法、物联网与数字孪生技术的深度渗透,UPS后备电池实现从“事后抢修”到“事前防控”的根本性转变。

AI算法通过分析海量历史数据,构建电池衰减模型,准确预测剩余寿命。同时支持多策略智能充放电,主动延长电池寿命。

AI模型能融合电压、温度、内阻、膨胀力等多维度特征,在潜在故障发生前数十小时甚至数天发出预警,华为的AI BMS系统可实现热失控故障的24小时提前预警,实现“事前防控”。

结合物联网技术,可实现远程诊断和策略下发,大幅提升运维效率,降低非计划停机,实现预测性维护与远程运维。

3 数据中心UPS后备电池未来发展路径

3.1 技术路径:高密度、高可靠、高智能

功率密度持续突破,新材料和卷绕工艺以及液冷技术使电池功率密度持续突破,新的外壳材料进一步减轻重量,提升空间利用价值^[4]。

安全防护体系升级,从“被动防护”转向“主动预警”。通过多维度传感器(温度、电压、电流、漏液、气体)加实时监测算法,关键部件(如BMS、电源接口)采用“1+1”双备份,提高电池系统的安全性。

维护更加智能化,结合AI+IoT技术实现“预测性维护”,通过BMS系统采集的电池SOH、循环次数等数

据,训练算法预测电池寿命,将运维周期从“固定周期”改为“按需维护”,降低运维成本。

3.2 产业生态:协同创新与标准构建

产业生态建设的关键是打破“电池厂商单打独斗”的局面,形成跨领域协作的格局,电池厂商与数据中心运营商、IT设备厂商深度合作,根据数据中心的负载特性(如峰值功率、后备时间)定制电池容量与充放电逻辑以适应不同数据中心的应用。同时电池厂商也会与高校、材料企业合作研发“长寿命电解液”“耐高温隔膜”,提高循环寿命和安全性。

加速标准化推进,制定电池尺寸、接口协议、安全测试(如热失控测试方法)、数据采集格式等统一标准,降低不同厂商产品的兼容性成本。

绿色化深化,推广锂电池、钠电池以减少环境污染,健全电池回收,推进电池回收标准落地^[5]。

4 结论

数据中心UPS后备电池正从“被动备电保障”向“主动能效赋能”转型,呈现“多元技术并存、模块集成、智能运维”的特征。短期(2023-2025年)磷酸铁锂场景优化仍是主流;中期(2025-2030年)固态电池、钠离子电池实现商业化突破;长期(2030年后)形成场景差异化路线——极端环境用钠离子电池、大型数据中心用钒液流电池、高密度场景用固态电池。未来技术层面强化跨学科协同,破解安全与密度瓶颈;产业层面完善回收与标准体系,构建绿色供应链;多方协同推动UPS后备电池系统向高效、安全、绿色、智能化发展,为数据中心算力升级提供支撑。

参考文献:

- [1] 袁帅,崔煜杰,程东浩,等.2017—2024年全球电化学储能电站火灾爆炸事故统计分析[J].储能科学与技术,2025,14(06):2362-2376.
- [2] 宁德时代新能源科技股份有限公司.水冷板组件、水冷系统、电池及其箱体以及用电装置:CN114497826(A)[P].2022-08-26.
- [3] 丁同朝.储能系统在大规模数据中心能源管理中的应用与网络安全[J].储能科学与技术,2025,14(09):3444-3446.
- [4] 刘通,杨瑰婷,毕辉,等.高能量密度与高功率密度兼顾型锂离子电池研究现状与展望[J].储能科学与技术,2025,14(01):54-76.
- [5] 袁榴艳,马文略,刘畅,等.中国锂电池回收利用产业发展形势、问题及建议[J].国际石油经济,2024,32(S1):77-83.