

“电容 + 电池”的配电自动化终端后备电源改造方案

黄建中

(云南电网有限责任公司峨山供电局, 云南 峨山 653200)

摘要: 配电自动化终端后备电源配置有电容、电池2种方案, 其优点各有千秋。现研究采用“电容 + 电池”的组合方案, 在原有超级电容的基础上, 增加电池的改造方案, 以便有效发挥两者共同优势, 且短板互补。通过测试, 得出“电容 + 电池”的方案具有经济可行性, 在配电自动化终端箱具有加装电池安装空间的条件下值得推广应用。

关键词: 配电终端; 后备电源; 改造方案

中图分类号: TM727

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2504A007

CSTR: 32400.14.ncdqh.2504A007

Backup Power Supply Retrofit Scheme for Distribution Automation Terminals Using "Capacitor + Battery" Hybrid System

HUANG Jianzhong

(Eshan Power Supply Bureau of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Yunnan Eshan 653200, China)

Abstract: There are two backup power configurations for distribution automation terminals: capacitors and batteries, each with its distinct advantages. This study proposes a hybrid approach combining both capacitors and batteries to leverage their complementary strengths and mitigate individual limitations. Building upon the existing supercapacitor infrastructure, batteries are integrated into the retrofit scheme. Testing demonstrates that the "capacitor + battery" configuration is economically viable. This retrofit scheme is worthy of being promoted and applied, as long as the battery installation space within the distribution automation terminal enclosure is adequate.

Keywords: distribution terminal; backup power supply; retrofit scheme

0 引言

智能配网所组成设备中, 配电自动化终端(以下简称“配电终端”)的数量、分布、运行状况处于首要地位。随着智能配网的推进, 配电终端数量呈几何级增长。在配电自动化建设初期, 考虑配网运维人员的情况, 过于片面考虑“易维护, 免维护”, 配电终端的后备电源基本配置为超级电容。电容式后备电源技术参数要求“断电后分合闸各3次后保证装置正常工作不少于15 min”^[1]。这种后备电源供电能力, 要求调度员对配网故障处置响应快速性很高, 必须在15 min内完成停电范围内配网开关相应的操作^[2]。但配网线路通道环境大多不佳, 在雷雨等恶劣天气时配网线路故障密集发生, 调度

收稿日期: 2025-04-03; 修回日期: 2025-04-29

难于15 min内及时完成转供电操作。由于超级电容电源放干, 造成无法对配网故障线路隔离、转供电等操作, 产生了供电可靠性下降、客户投诉率上升的负面影响。所以, 南方电网各供电企业践行“主动承担社会责任, 全力做好电力供应”使命, 统筹资金, 对早期建设的配电终端后备电源由超级电容更换为电池。

1 方案设计

1.1 方案简述

南方电网公司《10 kV柱上真空断路器自动化成套设备技术规范书》要求, 其配电终端后备电源可选用磷酸铁锂电池(以下简称为“电池”)、铅酸蓄电池、超级电容(以下简称为“电容”)3种配置方案; 对于配套的电源模块, 其安装尺寸及接

口均要求相同。因铅酸蓄电池存在环保性、能量密度以及使用寿命等短板，特别是不符合国家“双碳”发展要求，故不选择铅酸蓄电池供电方式，改造方案选择磷酸铁锂电池，即把原电容更换为电池，同时对原电容电源模块更换为配套电池的电源模块。

考虑到电容虽然存在供电时间不足的弱点，但具有适于冲击负荷、充电快的优点，电容与电池如能协同工作，可构建高效的后备电源，充分发挥两者优势。所以，选择某一型号配电终端，设计“电容 + 电池”（电容与电池并联）的后备电源方案可行性进行论证及测试。

1.2 方案论证

1.2.1 电池选择

电池应符合南方电网《10 kV 柱上真空断路器自动化成套设备技术规范书》对电池要求“后备电源采用电池供电时，供电时间不小于 8 h”，应与电源模块匹配。电池型号及参数见表 1。

表1 电池及电容参数表

种类	型号	标称电压/V	标称容量	最高充电电压/V	充电电流/A	“BMS”死区电压/V
电池	HK-LFP 243.5-10	25.6	3.5 A·h	29.2	<2.0	25.0
电容	KAMCRP	29.7	20.0 F	29.7	1.20	—

1.2.2 电源模块选择

对原有同一配电终端厂家所用的电容电源模块（DFE300B-AC220D24-SC-A-X，下述简称“电容模块”）与电池电源模块（F30-CL300W24MDGV3-B，下述简称“电池模块”）进行技术参数对比，通过输入特性、输出特性、保护特性、绝缘安全特性、电磁兼容特性、安装尺寸、使用寿命、冷却方式、接口等 9 方面 36 个参数对比，存在 6 个参数差异。其差异情况见表 2。

通过电容模块与电池模块参数差异对比，进行影响因素分析。

1) 电容模块的自放电电流小于电池模块，故采用电容模块优于电池模块。

2) 输出电压即电源模块负荷出口的电压。电容模块输出电压为 28.5~29.5 V，电池模块为 28.0~28.8 V。2 个电源模块当交流断电时，其电源模块输出电压均是后备电源电压。故采用电容模块满足运

表2 电源模块对比差异表

序号	项目	电容电源模块技术参数	电池电源模块技术参数
1	自放电电流/mA	<10	<50
2	输出电压 V_0 /V	28.5~29.5；当电容供电时，该电压值等于电容电压值	28.0~28.8，当电池放电时，该电压值等于电池电压值
3	充电电压 V_c /V	27.8~28.5	28.0~28.8
4	充电电流 I_c /A	1.2 ± 0.2	0.5 ± 0.1
5	活化退出点电压/V	—	22.6~23.5
6	放电死区电压/V	≤8	20.5~21.5

行负荷电压的要求。

3) 电容模块充电电压为 27.8~28.5 V，电池模块为 28.0~28.8 V，均小于电容及电池的最高充电电压。且电容与电池并联后，两端电压相等，故电容模块也满足要求。

4) 电容模块充电电流为 1.2 A ± 0.2 A，电池模块为 0.5 A ± 0.1 A。电容模块可同时对电容与电池充电。

5) 活化功能。电容模块无此功能。

6) 放电死区电压，电容模块为 ≤8 V，电池模块为 20.5~21.5 V。此项参数，电容模块不适于电池。

通过上述对比及分析，电容模块有 2 个参数不适于电池。

活化功能，目前现有配电终端均不具备由远程遥控活化，只能到现场按键活化，而目前巡视工作均未要求开展电池活化，故不考虑活化要求。如对电池必要时活化，则采取到现场断开/合上交流充电电源空开进行充放电活化的方式。

对于死区电压，通过与厂家了解情况，以及对电池功能实际测试，磷酸铁锂电池均内部配置电源管理模块（BMS），BMS 具有放电死区电压保护，测试结果其 BMS 死区电压为 25 V，大于电池模块死区电压，故 BMS 的死区电压能有效避免电池过放电而造成的电池损坏。

所以，电容模块与 BMS 配合，可满足电池要求，即“电容 + 电池”并联运行的配电终端后备电源方案是可行的。

2 方案测试

2.1 测试接线

配电终端保持原电源模块与电容接线方式不变，直接在电容处并联电池，即是“电容+电池”的后备电源方案接线。现对该接线方式测试电源模块、电容、电池各部分的充放电电流及电压，另需接入电压表及电流表。其测试接线图见图1。

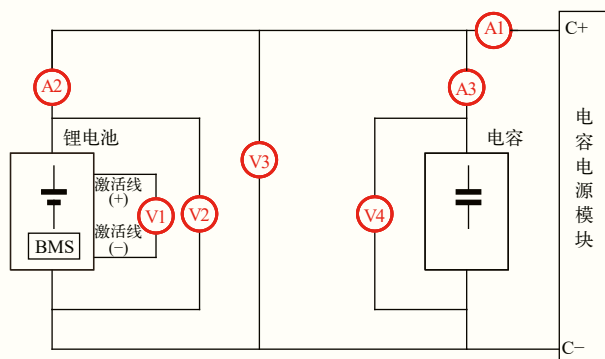


图1 测试接线示意图

图中：A1~A3为电流表，其中A1测量电源模块的充放电电流，A2测量电池充放电电流，A3测量电容充放电电流；V1~V4为电压表，其中V1测量锂电池内部电压（即电池组电压），V2测量电池输出电压，V3测量后备电源电压（电池与电容并联电压），V4测量电容器电压。

2.2 带负荷冲击测试

配电终端接入柱上真空断路器，型号为ZW32-12，进行分合闸测试。其测试结果见表3。

表3 充电测试记录表

断交流后操作	电池冲击电流/A	电池冲击电流/总负荷冲击电流	电容冲击电流/A	电容冲击电流/总负荷冲击电流	总负荷冲击电流/A
合	2.00	28.57%	5.00	71.43%	7.00
分	0.50	25.00%	1.50	75.00%	2.00
合	2.00	28.57%	5.00	71.43%	7.00

通过表3可看出对于冲击负荷，由电容器承载70%以上，而电池对于冲击负荷承载仅25%~28%。这不但有效发挥了电容的特点，并符合电池稳定电流的运行要求。

2.3 充电测试

断开交流电源后，由后备电源带负荷直至无输出电压，再合上交流电源进行充电测试。反映出的充电特点见表4。

表4 冲击电流测试记录表

状态	电池充电电流/A	电池出口电压/V	电池内部电压/V	电容充电电流/A	电容电压/V	总负荷充电电流/A	备注	
电容放干且电池自动关闭	0.00	0.40	25.50	0.00	0.40	0.00	电容放干且电池自动关闭后的状态	
合上交流	0.00	0.40	25.50	1.20	0.40→25.00	1.20	电容电压约上升0.1 V/s	
	0.80	25.00	25.50	0.40	25.00	1.20	电容充电约25 s，电压上升至25 V时，电池自动启动	
	1.00	26.30	26.30	0.20	26.30	1.20		
	1.10	26.40	26.40	0.10	26.40	1.20		
	1.10	26.60	26.60	0.10	26.60	1.20		
	0.90	26.70	26.70	0.10	26.60	1.20		
	0.90	26.70	26.70	0.10	26.70	1.00		
	0.65	26.70	26.80	0.10	26.70	0.75		
	0.60	26.80	26.80	0.10	26.70	0.70		
	充满后断负荷，断交流	0.00	27.20	26.90	0.00	27.20		0.00

电容充电很快，约25 s便由0.4 V充电至25 V，此时电池BMS便启动，才开始对电池进行稳定电流充电。

电池最大充电电流为1.1 A，满足表1电池所要求的充电电流。电源模块最大充电电流为1.2 A，与表2参数相符。

电源充满后电压为27.2 V，均未超过电池及电容所要求的最高电压。

电容器满充时间约10 min，电池满充时间约8 h。

充满后，关闭后备电源空开，电池与电容无电流，即电池与电容均可保持相等电压而无环流进行自放电。

2.4 放电测试

用配电终端本身正常运行负荷进行放电。放电过程测试记录见表5。

表5 放电测试记录表

状态	电池 电流 /A	电池 出口 电压 /V	电池 内部 电压 /V	电容 电流 /A	电容 电压 /V	终端 负荷 电流 /A	备注
满充后 断开交 流电源 开关	0.35	26.20	26.20	-0.10	26.20	0.25	
	0.25	26.20	26.20	0.00	26.20	0.25	
	0.25	25.90	26.00	0.00	25.90	0.25	
	0.25	25.80	25.90	0.00	25.80	0.25	
	0.25	25.50	25.60	0.00	25.50	0.25	
	0.25	25.20	25.30	0.00	25.20	0.25	
电池自 动关闭	0.00	0.00	25.10	0.25	22.00	0.25	电源电压下 降至25V, 电 池自动关闭
终端停 止	0.00	0.00	25.10	0.30	12.20	0.30	电源电压下 降至12.2V, 终 端自动关闭

当断开交流电源空开时, 电池对电容充电, 充电时间约 1 s, 其电流为 0.1 A, 即短时间内产生环流。1 s 后, 电池及电容均开始放电。

在电池运行期间, 其稳定的放电电流均由电池提供, 即恒定负荷基本由电池承载。当端口电压下降至 25 V 时, BMS 驱动电池关闭, 负荷电压全由电容提供, 直至 12.2 V 时, 配电终端因电压过低自动停止运行。

电池有效容量为 1.95 Ah (恒流 0.25 A 放电, 放电时间约 7.8 h, 即放到死区电压 25 V 时的计算容量), 接近于“技术规范”所要求的“电池供电应保证在交流失电后装置可正常工作不少于 8 h”。

2.5 测试结论

电池内置管理模块 (BMS) 能可靠关闭电池, 有效保护电池过放电。

原电容模块满足电池及电容并联后的充放电, 以及对运行负荷供电。

电池与电容并联后, 冲击电流由电容器主要承载, 持续稳定电流由电池承担, 有效发挥电容器与电池的各自优势。

所以, 经过测试, 其“电容 + 电池”的后备电池方案是可行的。

3 应用评估

方案优点: 发挥电容与电池的各自优势, 有效

保障配电终端稳定运行; 因为沿用原电源模块, 减少了电源模块更换的经济性及工作量。

方案不足: 电池过放电仅由电池内置 BMS 保护, 当 BMS 损坏, 可能会造成电池过放电而失效; 仅适用有空间加装电池的配电终端。

4 应用注意事项

方案应用前应对电池的 BMS 进行实际测试, 应确保 BMS 可靠才可选择此方案。

配电终端机柜具有电池加装空间也是该方案选择的必要条件。

所选择的电池, 应与原超级电容综合考虑电压匹配、充放电管理、保护协调及系统兼容性适配。

因原电源模块无反接保护, 所以加装电池过程中, 要确保极性不接反。

5 结束语

本文提出的“电容 + 电池”配电终端后备电源方案, 可构建高效可靠的后备电源系统, 兼顾瞬时功率与长时续航, 同时兼容现有电源模块, 降低改造成本更换时间。该方案目前在现场改造了 2 台, 已稳定运行达 6 月, 运行情况良好。所以, 对于配电终端柜内具有另行安装电池空间的终端, 建议推广应用“电容 + 电池”后备电源改造方案。

参考文献

- [1] 中国南方电网公司. 10 kV 柱上真空断路器自动化成套设备技术规范书 [Z], 2025.
- [2] 云南电网有限责任公司. 云南电网有限责任公司 10 kV 真空柱上断路器自动化成套设备技术规范书 [Z], 2019.

作者简介

黄建中 (1970—), 男, 本科, 电力工程高级工程师, 从事县级供电企业配网自动化技术管理工作, E-mail: 835703798@qq.com.

(责任编辑: 张峰亮)

广告目录

封二·北京华商三优新能源科技有限公司

封三·昇辉智能科技股份有限公司

封底·广东安诺新材料科技有限公司

96·公益广告