

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.02.10

基于交流放电的 UPS 电源蓄电池性能测试方法研究

彭进先¹, 桑苗苗², 高澜¹, 曹迎禧¹

(1. 中国人民解放军 63611 部队, 新疆 库尔勒 841000; 2. 中国人民解放军 63618 部队, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要: 蓄电池性能测试常用直流放电测试方法, 所采用的直流放电测试负载对蓄电池的配置数量有一定要求, 因而缺乏通用性。利用 UPS 电源输出交流电的特性, 提出了基于交流放电的 UPS 电源蓄电池性能测试方法。通过详细分析该方法的原理并进行试验, 结果表明, 该方法适用于不同蓄电池配置情况下的 UPS 电源蓄电池性能测试, 具有较好的经济性和通用性。

关键词: 蓄电池; 直流放电; UPS; 交流放电; 试验

中图分类号: TM912 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795(2018)02-0038-04

Research on Battery Testing Method of UPS Based on AC Discharge

PENG Jinxian¹, SANG Miaomiao², GAO Lan¹, CAO Yingxi¹

(1. Troops 63611 of PLA, Korla 841000, China; 2. Troops 63618 of PLA, Korla 841000, China)

Abstract: Battery performance test uses DC discharge test method commonly. The DC discharge test load used in this method has certain requirements on the battery configurations, so it lacks versatility. This paper presents a battery performance test method of UPS based on AC discharge by utilizing the characteristics of UPS output AC power. The principle of this method is analyzed in detail and experiments are carried out in the article. This method can be applied to UPS battery performance test under different battery configurations and it has better economical efficiency and versatility.

Key words: battery; DC discharge; AC discharge; UPS; experiments

0 引言

大型 UPS 电源广泛用于通信机房、指控系统、测试厂房等特别重要的负荷中, 在紧急情况下其能支撑的负载应急工作时间由蓄电池决定。因此有必要定期测试蓄电池的性能。文献[1-4], 对电力工程和通信开关电源等直流电源系统用的蓄电池性能测试作了规范。测试时, 直流放电测试负载(以下简称直流负载)对蓄电池恒直流放电, 并记录放电电流、放电时间、单体蓄电池端电压、环境温度等参数, 通过放电电流与放电时间的乘积得出蓄电池的实测容量, 经修正后, 与规范的容量对比, 评估蓄电池的性能。这种直流放电测试方法, 直流负载的直流放电电压范围必须与蓄电池的配置相一致, 试验前还需要连接大量的测试电缆, 试验结束后再将其拆除, 测试工作繁琐^[5]。利用 UPS 电源将蓄电池的直流电转化为交流电的特性, 采用交流测试负载测试蓄电池性能。通过 UPS 电源主机相关系数换算出交流负载大小, 在放电过程中还需要记录蓄电池放电电流、单体蓄电池端电压和环境温度等参数, 综合数据计算分析, 判断蓄电池性能。本文

将详细阐述该方法原理, 并进行试验。

1 蓄电池交流放电测试原理

1.1 容量计算

1.1.1 蓄电池容量系数

为了检验蓄电池的实际容量, 以规定的放电电流进行恒流放电, 电池达到规定的放电终止电压即停止放电, 根据放电电流和放电时间计算出蓄电池的实际容量。

根据需要定义四个参数: Q_T 为当环境温度为 T 时的蓄电池实测容量, Ah, 是放电电流 I (A) 与放电时间 T (h) 的乘积; Q_c 为在基准温度 25 °C 条件时的蓄电池容量, Ah; Q_t 为 t 小时率额定容量, Ah; 一般蓄电池额定容量用 10 小时率容量 Q 表示(环境温度为 25 °C); I_t 为 t 小时率放电电流, 那么 $Q = 10I_{10}$ ^[4]。那么定义蓄电池不同小时率的容量系数为

$$\eta_t = \frac{Q_t}{Q} \quad (1)$$

可得出, 铅酸蓄电池不同小时率放电电流、放电

容量系数与放电终止电压见表 1 所示^[3-4]。

表 1 额定电压 12 V 的铅酸蓄电池放电容量系数 η 表

电池放电 小时数/h	放电电流		放电系数		放电终止 电压/V
	防酸电池	阀控电池	防酸电池	阀控电池	
0.5	$7.0I_{10}$	$9I_{10}$	0.35	0.45	10.2
1	$5.0I_{10}$	$5.5I_{10}$	0.50	0.55	10.5
2	$3.05I_{10}$	$3.05I_{10}$	0.61	0.61	10.8
3	$2.5I_{10}$	$2.5I_{10}$	0.75	0.75	10.8
4	$1.98I_{10}$	$1.98I_{10}$	0.79	0.79	10.8
6	$1.47I_{10}$	$1.47I_{10}$	0.88	0.88	10.8
8	$1.18I_{10}$	$1.18I_{10}$	0.94	0.94	10.8
10	$1I_{10}$	$1I_{10}$	1.00	1.00	10.8

1.1.2 交流放电测试负载功率计算

若 UPS 电源蓄电池配置为 N 组、每组 n 块、单体蓄电池电压 U ，主机逆变效率为 μ 。现蓄电池预做 t 小时率容量试验(也叫核对性放电^[1])，蓄电池以 I_t 恒流放电，则经过 UPS 主机逆变后的交流负载初始功率为

$$P = N \cdot n \cdot U \cdot I_t \cdot \mu \cos \theta \quad (2)$$

式中： nU 为蓄电池组直流电压； $\cos \theta$ 为 UPS 电源的功率因素。测试过程中，蓄电池电压会不断下降，为了使蓄电池恒流放电，需不断降低交流测试负载的大小。

1.1.3 实际放出容量估算

放电测试期间要测量单体蓄电池端电压、直流放电电流及环境温度。一般 10 h 率容量试验的测量时间间隔为 1 h，3 h 率容量试验的测量时间间隔为 0.5 h，1 h 率容量试验的测量时间间隔为 10 min；在放电末期应随时测量，以便确定测试时间和放电末期蓄电池的电压^[4]。则实际放出容量为

$$Q_T = \bar{I} t_{\text{实}} \quad (3)$$

式中： $\bar{I}$ 为每组蓄电池的平均放电电流； $t_{\text{实}}$ 为蓄电池实际放电时间。

1.2 性能评估

1.2.1 容量换算

蓄电池放电时，如果温度不是 25 ℃，则需将实测容量按式(4)换算成 25 ℃基准温度下的容量^[2-4]

$$Q_{e\text{实}} = \frac{Q_T}{1 + \alpha(T - 25)} \quad (4)$$

式中： α 为蓄电池温度系数(1/℃)，10 h 率容量试验时，取 $\alpha = 0.006$ ；3 h 率容量试验时，取 $\alpha = 0.008$ ；1 h 率容量试验时，取 $\alpha = 0.01$ 。

1.2.2 性能判定

将修正后基准温度下的蓄电池容量 $Q_{e\text{实}}$ 与 t 小时率容量 $\eta_t Q$ 比较，两者相近，说明蓄电池容量没有下降，性能保持较好；当 $Q_{e\text{实}}$ 只有 $\eta_t Q$ 的 80% 时，蓄电池容量损失较大，应对蓄电池作更换处理^[1]。

2 交流放电测试试验

2.1 交流测试方法物理连接

现某测试厂房于 2016 年 9 月安装 160 kVA UPS 电源 1 套，主机为伊顿 9390^[6]，蓄电池为西恩迪 CD12-100LBT。该 UPS 电源的蓄电池是阀控式铅酸蓄电池，配置为 2 组 $\times 40$ 块 $\times 100\text{Ah} \times 12\text{V}$ 。交流测试负载采用本单位研制的 ACTL90A 交流电源智能测试负载(以下简称“交流负载”)，最大测试功率为 90 kW，最小步进功率 1 kW。该交流负载采用独立的 220 V 电源作为工作电源，同时具备以蓄电池组直流电压和直流电流为输入控制条件，通过测量蓄电池的电压或电流控制交流负载继续加载或卸载。测试前，连接好交流负载工作电源，将测试线、蓄电池组直流电压测量线和直流电流测量传感器与 UPS 电源做好相应连接，测试连接示意图如图 1 所示。

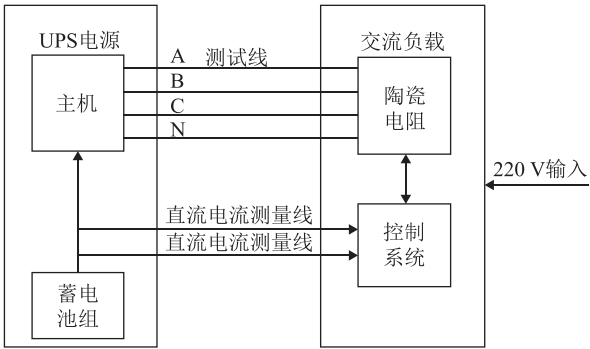


图 1 交流负载测试连接示意图

2.2 交流负载参数设置

测试按 1 h 率容量试验进行，则每组蓄电池的直流放电电流为 55 A。将 UPS 电源主机逆变效率 0.94 和功率因素 0.9 两参数输入交流负载的控制面板，同时设置控制总直流电流 110 A(直流母线上的电流值)、测试停机直流电压 420 V(40 $\times$ 10.5 V)。参数设置完毕后，选择交流负载工作在“自动加载”工作模式，则系统会根据式(2)计算值自动加载相应的功率。测试过程中，交流负载实时测量蓄电池组直流电压和总直流电流，随着直流电压的降低，为了确保蓄电池以 110A 总直流电流放电不变，交流负载功率会实时自动调整(卸载部分功率)。

测试临近结束时,应迅速做好测试收尾工作,等待交流负载停机;停机后,蓄电池转为充电状态。

2.3 数据记录

测试前 24 h,蓄电池已经进行了一次完整的放电。测试还需使用数字钳形表、数字万用表和环境温度计,分别用于测量蓄电池直流放电电流、单体蓄电池端电压和环境温度。其中直流电流和环境温度测量时间间隔为 5 min,测量数据如表 2 所示。

静态下(切断 UPS 电源输入和输出),单体蓄电池端电压在 13.66 ~ 13.81 V 之间;测试开始 1min 后的端电压在 12.21 ~ 12.45 V 之间,个体差异不大;测试 20 min 后的端电压在 11.76 ~ 12.18 V 之间,个体差异开始显现;临近测试结束(主机显示剩余工作时间为 5 min)的端电压在 (7.72 ~ 11.47) V 之间,差距较大,将本次采集的数据列于表 3,其中数值低于 10.50 的加粗表示。

表 2 直流电流和环境温度测量记录				
时间 t/min	总直流 电流/A	第 1 组 蓄电池/A	第 2 组 蓄电池/A	温度 $T/^{\circ}\text{C}$
1	110.5	55.1	55.4	22.0
5	110.5	55.0	55.5	22.0
10	110.5	54.9	55.6	22.5
15	109.0	54.1	54.9	22.5
20	109.0	54.1	54.9	23.0
25	109.9	54.5	55.4	23.5
30	109.3	54.1	55.2	24.0
35	109.5	54.0	55.5	24.5
40	110.8	54.6	56.2	25.0
45	110.5	54.2	56.3	25.5
46	109.8	53.80	56.0	25.5
$t_{\text{实}}=46$ $\bar{I}=109.9$ $\bar{I}_1=54.4$ $\bar{I}_2=55.5$ $T_{\text{实}}\approx 23.6$				

2.4 数据处理与分析

根据式(3)可得,第一组蓄电池放出容量为 41.9 Ah,第二组为 42.5 Ah;按式(4)换算成基准温度下的容量分别为 42.3 Ah,43.2 Ah。按(1)式可得,理想情况下应放出容量为 55 Ah($0.55\times 100\text{ Ah}$)。测试结果与理想值相差较大,也没有达到 1 小时率容量的 80%,即 44 Ah。

从表 3 可以看出,临近测试结束两组蓄电池中共有 28 块(第一组 13 块,第二组 15 块)蓄电池电压偏低;在电压偏低的蓄电池中,第一组数据分散严重,其中有 3 块蓄电池电压低于 9.0 V,最低为 7.72 V,“拖后腿”现象严重。该 UPS 电源安装时间不长,蓄电池性

表 3 单体蓄电池端电压测量记录

蓄电池序号	单体蓄电池端电压/V	
	第 1 组蓄电池/V	第 2 组蓄电池/V
1	11.11	10.94
2	10.62	9.81
3	11.39	11.01
4	11.24	10.36
5	11.47	10.83
6	11.12	10.61
7	11.15	10.56
8	11.24	10.5
9	11.09	10.49
10	10.85	10.42
11	9.10	10.52
12	8.63	9.58
13	10.11	10.74
14	11.27	10.13
15	10.57	10.39
16	11.26	10.48
17	11.41	9.04
18	11.15	10.60
19	11.2	10.69
20	11.08	10.61
21	11.11	10.20
22	11.47	9.34
23	9.71	9.93
24	9.55	10.41
25	11.19	10.51
26	10.40	10.51
27	11.03	10.40
28	9.32	11.07
29	7.72	11.04
30	9.22	11.06
31	10.67	11.03
32	8.83	11.02
33	9.81	11.00
34	11.30	10.89
35	9.29	10.78
36	10.69	10.84
37	10.43	11.07
38	11.30	11.09
39	11.20	10.90
40	10.55	10.47

能下降严重,查阅该装备管理档案及蓄电池合格证发现,有一半数量的蓄电池安装之前在库房存放时间将近半年。分析该蓄电池性能下降的原因,长时间存放使蓄电池极板表面逐渐产生硫酸铅结晶体(一般称之为

“硫化”)^[6]，堵塞极板的微孔，阻碍电解液的渗透，降低了极板中活性物质的作用，内阻增加，导致容量下降。

3 两种放电测试方法比较

受制于直流放电测试负载因素，本文没有直接进行直流放电测试试验。参考市场上适用于测试文中蓄电池的直流负载产品说明书^[8]，该直流负载和交流负载的工作参数见表4。

表4 两种测试负载的工作参数

项目	放电额定电压	可放电电流	适用电池组电压	适用蓄电池数
直流负载 (ZDT-CE 系列)	384 ~ 600 V	0 ~ 50 A, 100 A, 150 A	480 V	限每组 40 个, 每次 测试 1 组
交流负载	0 ~ 1000 V	0 ~ 220 A	无要求	与蓄电池 配置没有 直接关系

因此，可以进一步归纳总结直流放电测试方法和交流放电测试方法的特点见表5。

表5 两种测试方法对比

项目	测试步骤	测试时间 (1 小时率)	测试电 压范围	测试电 流范围	对蓄电池 配置要求	使用 范围
直流测试方法	复杂 ^[9]	几小时	窄	窄	对每组数量和 组数有要求	负载 专用
交流测试方法	简单	1.5 小时	宽	宽	无要求	负载 通用

4 总结

所提出的基于交流放电的 UPS 电源蓄电池性能测试方法是对直流放电测试方法的继承和发展。通过详

细介绍该方法的原理，推导了公式，并对 160 kVA 的 UPS 电源蓄电池进行了性能测试试验。试验表明，该测试方法能够达到测试 UPS 电源蓄电池性能的目的；同时由于该方法不需要考虑蓄电池的具体配置情况，具有较好的经济性和通用性。

参 考 文 献

[1] DL/T 5044 - 2014 电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程[S]. 北京：国家能源局，2014：6 - 34.

[2] DL/T 724 - 2000 电力工程直流电源系统设计技术规范[S]. 北京：国家经济贸易委员会，2000：1 - 22.

[3] YD/T 5040 - 2005 通信电源设备安装工程设计规范[S]. 北京：信息产业部，2006：3 - 11.

[4] YD/T 799 - 2010 通信用阀控式密封铅酸蓄电池[S]. 北京：工业和信息化部，2010：1 - 13.

[5] 何小霞，詹勤辉，代尚林，等. 变电站直流系统自动远程维护技术[J]. 电测与仪表，2012，49(9)：63 - 66.

[6] 伊顿 UPS 电源(中国)有限公司. 伊顿 9390 (40 - 160kVA) [EB/OL]. 中国：www.eaton.com.cn.

[7] 齐和忠，刘卫东. 汽车蓄电池的硫化故障原因分析及预防[J]. 武警工程大学学报，2004，20(6)：60 - 62.

[8] 武汉中电通电力设备有限公司. ZDT - CE 系列蓄电池放电测试仪[EB/OL]. 中国：www.ztdl.com/chanpin/xudianchi/.

[9] 许晓阳，谭志聪，谭志保. 变电站直流蓄电池组核容放电测试新方法研究[J]. 机电信息，2015(27)：168 - 171.

收稿日期：2017 - 12 - 23

基金项目：基地装备预研项目



彭进先(1988 -)，男，硕士，工程师，主要研究方向为发射场电磁兼容和地面保障技术及其应用。授权国防专利 1 项，发表学术论文 5 篇。