

电解电容器负极引出部位发生跳火的理论研究

朱 荻, 丰 骏, 姜汉兵, 朱 祥

(南通江海电容器股份有限公司, 江苏 通州 226361)

摘要: 研究了在特大纹波电流下电解电容器发生负极跳火的现象。通过对电容器的充放电过程模型进行分析, 指出跳火的根本原因在于电容器负极铆接或冷压焊接的引出部位容量很小, 会产生反向的电压并逐渐对引出部位进行电压化成, 因此产生负极跳火现象。采用负极引出贴箔或增容处理工艺, 可有效避免负极跳火, 135 ℃, 2 000 h 试验后电容器的失效率为 0。

关键词: 电容器; 贴箔; 纹波电流; 负极跳火

中图分类号: TM535

文献标识码: A

文章编号: 1001-2028 (2009) 02-0058-03

Study on the theory of sparkover at the cathode lead position of the electrolytic capacitor

ZHU Di, FENG Jun, JIANG Hanbing, ZHU Xiang

(Nantong Jianghai Capacitor Co. Ltd, Tongzhou 226361, Jiangsu Province, China)

Abstract: The phenomenon and principle of the cathode sparkover were studied by the test applied with extra high ripple current. By analyzing the charge and discharge process of the capacitor, the root cause of cathode sparkover is defined to be quite small capacitance at the stitching or pressing point of the negative polarity of the capacitor, which will result in reverse voltage and gradually form the lead position, consequently the cathode sparkover happens. It is indicated that covering the cathode lead position with foil or increasing its capacitance can invoid the sparkover after practice. Failure rates of the capacitor is 0 after the test of 135 ℃ and 2 000 h.

Key words: capacitor; cover foil; ripple current; cathode sparkover

现在的紧凑型节能灯以及 UPS 电源等设备中, 因为小型化的发展要求, 电容器单位容量需承受纹波电流不断扩大。在紧凑型节能灯中, 为了防止谐波干扰, 往往将铝电解电容器的容量设计为标称值偏负, 更加增大了电容器的纹波电流发热; 在 UPS 电源中, 突变的转化过程使铝电解电容器瞬间承受很高的纹波电流^[1]。因此, 研究如何提高电解电容器耐特大纹波电流能力, 是广大电容器制造厂面临的一个重要课题, 笔者就发生负极跳火的原理及消除方法作了介绍。

1 试验

在铝电解电容器的耐大纹波电流试验中, 发现在施加超过额定纹波电流的 1.5~3.0 倍 (视电容量大小) 的纹波电流后, 电解电容器的负极铆接或冷

压焊接处发生跳火击穿, 经过长期试验后总结, 发生的时间与下列因素有关:

- (1) 所加的纹波电流越大, 时间越短;
- (2) 直流偏置电压越高, 时间越短;
- (3) 电解液组分中, 阴离子空间体积越大, 发生的时间越长;
- (4) 电解纸越厚, 发生的时间越长;
- (5) 负极箔如果是化成箔, 发生的时间越长。

同时试验还表明, 跳火发生时间与下列因素无关:

- (1) 负极箔含铜量, 即使采用高纯负极箔 (如日本 KDK 的 C208), 也避免不了发生跳火;
- (2) 负极引线纯度, 即使采用与正极相同的高纯化引线也避免不了发生跳火;
- (3) 负极箔的化成电压, 即使采用低压化成箔 (19 V · F) 也避免不了发生跳火;

收稿日期: 2008-09-28 通讯作者: 朱荻

作者简介: 朱荻 (1967—), 男, 江苏南通人, 高级经济师, 主要从事电解电容器的市场开发及技术调研, Tel: (0513)86726020, E-mail: fj@jianghai.com ; 丰骏 (1966—), 男, 江苏南通人, 工程师, 主要从事电解电容器的电解液设计及节能灯电容器技术开发, Tel: (0513)86726020, E-mail: fj@jianghai.com .

(4) 工作电压大小, 不但中高压, 也发现 50 V、22 μF, φ5 mm×11.5 mm 电容器在长时间工作容量下降后发生负极跳火。

拿国外的电容器做比较试验:

(1) 将 Epcos 的 B43524, 400 V、180 μF, φ30 mm×35 mm 按常温下 3.3 A、100 Hz 的纹波电流进行试验, 12 d 后发生负极跳火;

(2) 将日本 Nichicon 的 VZ 系列, 400 V、6.8 μF, φ10 mm×20 mm 按节能灯电容器的一般试验条件: +125 °C, DC350 V+AC50 V 进行试验, 902 h 全部发生负极跳火。

发生负极跳火的样品照片如图 1, 图 2。

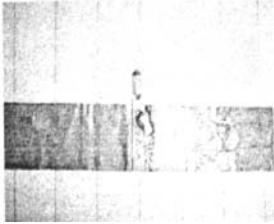


图 1 引线式样品 Fig. 1 The sample of radial type

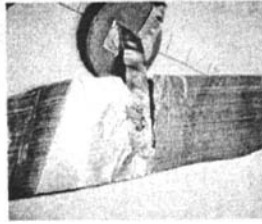


图 2 焊针式样品 Fig. 2 The sample of snap-in type

2 发生跳火的理论分析

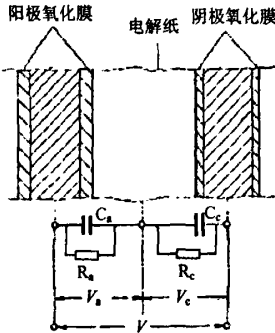


图 3 电容器充放电时的等效电路 Fig. 3 The equivalent circuit of capacitor in charging and discharging

对电容器施加纹波电流, 本质上就是在给电容器充放电, 只不过频率不同。闪光灯电容器的充放电频率相对低, 节能灯用电容器纹波电流一般也是在较低频 (50~100 Hz) 时其幅值才大, 特大的纹波电流实际上是一种深度充

放电。在电容器充放电时, 等效电路如图 3。

图 3 中, Ca 是由阳极氧化膜与含浸电解液的电解纸组成的; Ra 可以看作是阳极氧化膜的绝缘电阻; Cc 是由阴极氧化膜与含浸电解液的电解纸组成的, Rc 可以看作是阴极氧化膜的绝缘电阻 (包括电解液与电解纸的复合电阻)。

在给图 3 的电路施加直流电压 V 时, Ca、Cc 的两端电压分别为 Va 和 Vc, 则有 V=Va+Vc, 并且 Va/Vc=Ra/Rc。

另外, 在理想情况下, Va/Vc=Ra/Rc=Cc/Ca, 这时阳极和阴极储存的电量相等。但是, 阳极氧化膜是

经过特别氧化处理的, Ra 非常高, 而阴极氧化膜很薄, Rc 很小, 因此, Ra/Rc 比值极大, 如果这时想让 Cc/Ca 也获得与 Ra/Rc 相同的比值, 则 Cc 值必须非常大, 这在实际的工程上是做不到的, 因此, 在现有的电容器中, 都是满足下列公式:

Ra/Rc > Cc/Ca, 即 Va/Vc > Cc/Ca, 也即 Va Ca > Vc Cc, 因 Qa = Va Ca; Qc = Vc Cc, 就得到: Qa > Qc。

这说明在实际的电解电容器加电过程中, 阳极储存的电量比阴极要大, 因此, 实际的电容器储存电量就如图 4 所示。

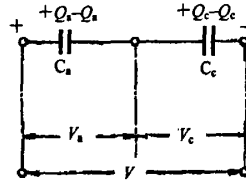


图 4 电容器储存电量等效电路 Fig. 4 The equivalent circuit of capacitor in storing electrical energy

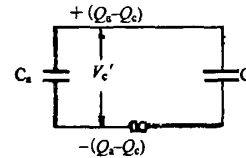


图 5 电容器放电等效电路 Fig. 5 The equivalent circuit of capacitor in discharging electrical energy

如将充电电压为 V (对闪光灯电容器, V 值是直流电压; 对大纹波电流应用的电容器, V 值是纹波电压峰值) 的电容器两端短接后 (极度放电), 如图 5 所示, 就形成了两个容量 Ca 和 Cc 的并联形式。

其两端间的电压由于放电形成了 Vc', 放电只在储存电荷相对小的 Qc 上进行, 而 Qa-Qc 是不放电而残留的电荷。因此, 残留电压 Vc' 就由

Ca+Cc 和 Qa-Qc 所决定, 如下式:

$$V_c' = (Q_a - Q_c) / (C_a + C_c) = \frac{C_a V_a - C_c V_c}{C_a + C_c} \quad (1)$$

从公式 (1) 可知, 放电时, 施加在阴极氧化膜上的电压 (Vc') 可能会很高 (相对于约 1V 的天然氧化膜耐压), 这会引起负极发生氧化反应, 使电容器内部产生气体等不良现象。因此, 在电容器放电时, 为了不发生氧化反应, 阴极 Cc 上的耐压 V' 必须满足下面的公式:

$$V' \geq V_c' = \frac{C_a V_a - C_c V_c}{C_a + C_c} \quad (2)$$

因为 V=Va+Vc, 公式 (2) 可进一步转化为:

$$V' \geq \frac{V}{1 + (C_c / C_a)} - V_c \quad (3)$$

假如满足公式 (3), 在放电时, 即使在阴极上施加了电压 Vc', 也不会发生氧化反应, 为了满足

这种要求,理论上可采用比容很高(C_c 容量大)的阴极箔或预先在阴极箔、引出线上形成较高的化成电压(V_c 大),但是事实上如前所描述的,这并没有解决负极发生氧化反应乃至发生电压跳火的问题,其本质是什么?

通过对电容器的结构分析得知,在电容器施加特大纹波电流或者说短时间电压差很大的充放电时,因为电容器负极的引线板或引线条上的电容量(单位面积容量)非常低,根据公式(3),引线板或引线条上的 V_c' 将非常高,即放电时,就会在引线板或引线条上产生高压。这高压对于负极来说是反向的,并带有脉冲性。一段时间以后,负极上会逐渐生成氧化膜,电容器内部气体越来越多,电解液中的吸氢剂不断吸收。结果有两种状况:一是开始时的纹波电流特大,使得 V_c' 电压很高,氧化反应激烈,很快发生电压跳火;二是纹波电流比正常要大得多,在 V_c' 电压下逐渐生成氧化膜,而且随着时间的延长,负极的容量 C_c 不断下降, V_c' 电压不断上升,到达某个临界点后发生电压跳火。

3 解决跳火的方法

根据上面的原理分析,若需解决负极铆接处电

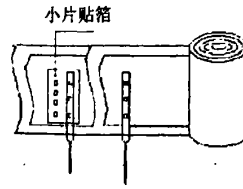


图6 负极贴箔示意
Fig.6 Covering the cathode lead position with foil

压跳火,需要在负极引线板或引线条进行增容处理,实际的做法是在上面覆盖电容量不小于负箔容量的电极箔,从而增大负极的平均容量。负极引线板或引线条贴箔见图6,效果实体照片如图7。

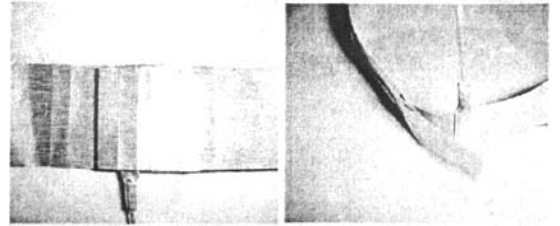


图7 实物样品照片
Fig.7 The actual photo of sample

4 实施后的测试结果

通过对负极引线板贴箔,增大了电容器的耐特大纹波电流的稳定性,在恶劣条件下,试验2000 h过程电容器再没有发生负极跳火现象。从而表明理论上的分析对实际效果起到正确指导作用。试验结果如表1。

表1 样品在135℃,2000 h后试验数据
Tab.1 The test data of sample after 135℃, 2000 h

试验类型	高温负荷		试验条件	AC(100 Hz): 40 V; DC: 360 V		样品规格	CD11GL, 400 V 4.7 μF φ10 mm×20 mm			
参数项目	初始测试					+135℃, 2000 h				
	$C_0/\mu\text{F}$	$\Delta C \cdot C_0^{-1}/\%$	$\tan\delta/\%$	$I_L/\mu\text{A}(30\text{ s})$	外观	$C_1/\mu\text{F}$	$\Delta C \cdot C_0^{-1}/\%$	$\tan\delta/\%$	$I_L/\mu\text{A}(30\text{ s})$	
材料组成	阳极箔: 610 V; 电解纸: WM270—80; 胶塞: 丁基橡胶									
1	4.93	4.89%	2.98	12.0	合格	4.21	-14.60%	7.16	1.2	
2	4.76	1.28%	3.03	3.40	合格	3.99	-16.18%	7.60	1.5	
3	4.81	2.34%	3.00	6.24	合格	4.14	-13.93%	6.12	1.5	
4	4.58	-2.55%	2.96	4.28	合格	4.00	-12.66%	7.38	1.6	
5	4.81	2.34%	3.04	3.32	合格	4.14	-13.93%	6.71	1.3	
6	4.83	2.77%	3.19	5.54	合格	4.20	-13.04%	6.92	1.5	
7	4.84	2.98%	3.04	4.52	合格	4.13	-14.67%	7.10	1.7	
8	4.97	5.74%	3.20	3.23	合格	4.27	-14.08%	7.71	1.6	
9	4.69	-0.21%	3.00	4.42	合格	4.07	-13.22%	7.13	1.5	
10	4.81	2.34%	3.30	5.03	合格	4.21	-12.47%	6.83	1.4	
最大值	—	5.74%	3.30	12.0	—	—	-16.18%	7.71	1.7	
最小值	—	-2.55%	2.96	3.23	—	—	-12.47%	6.71	1.2	
平均值	—	2.19%	3.07	5.20	—	—	-13.9%	7.16	1.5	
失效率	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
环境条件	21℃, RH 68%					22℃, RH 69%				

5 结论

通过采用在负极引线板或引线条进行增容,在实践中确实增大了电容器的耐纹波电流能力,防止了产品击穿。但纹波电流毕竟与产品的发热息息相关,而发热温度又决定电容器的工作寿命,因此,

设计纹波电流时,还要测试稳定状态下的内部温升,这样才能保证电解电容器长期稳定工作。

参考文献:

- [1] 永田伊佐也. 铝箔干式电解电容器 [M], 陈永滨译. 台湾: 日本蓄电器工业株式会社, 1985: 75—81.

(编辑: 曾革)