

YY(KM)型电力电容器 损坏原因的分析

武汉水利电力学院 黄齐嵩
北京中化试验所 缪始森

武汉水利电力学院印

1965.9

YY(KM)型电力电容器损坏原因的分析*

武汉水利电力学院 黄齐嵩
北京中心试验所 缪始姦

电力系统中的电容器损坏率较高，有时引起较大的事故，影响经济和安全供电。

关于电力电容器的损坏原因皆有各种不同意见；[文献：1、2、3、4]或认为因电容器绝缘的耐燃性能不良，或认为系由于电容器绝缘起始时离污低，在过电压作用下使游离起始电压降低到工作电压以下所致。但实际运行中YY(KM)型电容器所出现的损坏现象又恐不能完全用上述诸说来解释，下面根据运行情况的调查和试验分析提出我们的意见。

关于电容器绝缘的耐燃性能不良问题

提出此原因的根据因电容器在夏季环境温度较高时易发生事故；当系统电压含有高次谐波时电容器的损耗增大，使内部温度升高，也能造成损坏。在实际运行中，电容器的损坏并非完全在夏季，冬季也同时发生。表一为某地电容器在运行中发生损坏的统计。由此知，环境温度高并非根本原因。

有关高次谐波的影响，根据文献[5]，当系统电压所含1、5、7、11……等谐波分量能满足下列条件时：

表一

日期	损坏过程	损坏部位	继电保护动作情况	备注
62.10	温度变增、凡筒膨胀裂开，油喷出燃烧。	内部元件击穿	过电保护未动作开动。	
63.6.12	温度增高，筒壳膨胀。	内部对筒壳放电 (二台)	横差动保护动作	

[注]：本文有关试验部分在北京中试所进行。

63.6.21	温度增高，油壳膨胀	内部元件短路 (=合)		
63.9.12	温度升高，油壳膨胀漏油	——	相差动保护动作	检查及试验
63.12.8	" "	——	中性线平衡保护动作	"
64.2.12	" "	内部元件3, 4, 5, 8击穿	相电压差动保护动作	"

$$\frac{U_1^2 + 5U_5^2 + 7U_7^2 + \dots}{U_1^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots} < 1.25 \sim 1.50$$

$U_1, U_5, U_7 \dots$ 基波及各次谐波分量

电压畸变对电容器的绝缘是无危险的。而实际运行的电压波形并无严重的畸变现象。

为了了解电容器绝缘的耐热性能，对YY(KM)型电力电容器（包括苏联及国产）进行了热破坏试验。该试验在试验中的电性能如表2。

表二：

编号	型号	绝缘电阻 $M\Omega, 50^\circ C$		$tg\delta, 0.5U_H, 80^\circ C, \%$		漏起始电压 U_H 系统电压		尺寸 毫米	备注
		相间	极对壳	相间	极对壳	相间	极对壳		
10-3	KM-105-101	2300	365	0.19	5.46	7.12	7.12	0	15.10 出5
10-7	KM-105-12-1	10000	50000	0.44	1.02	6.9	7.5	33	18.9.85
6-16	KM-66-10-1	7000	900	0.22	4.10	2.4	2.7	33	

热破坏试验结果是，10~3号电容器在环境温度 $80^\circ C$ ，电压 $1.1 U_H$ 下其 $tg\delta$ 随时间之变化如图1。当环境温度增至 $100^\circ C$ ，电压为 $1.25 U_H$ 时， $tg\delta$ 随时间增长而上升，三小时后开始有元件击穿。[注1]

[注1]：在环境温度 $00^\circ C$ 下试验前，曾在环境温度 $40^\circ C$ 下及 $1.0 U_H$ 和 $1.1 U_H$ 下试验共6.5小时。

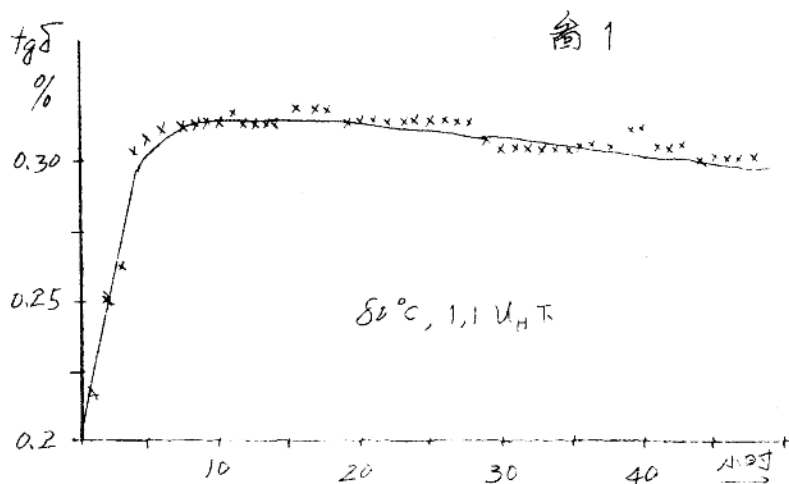


图 1. 10~3号电容器在环境温度 80°C 及电压 $1.1 U_{HT}$ 下, 其 $\text{tg}\delta$ 随时间增长的变化曲线。

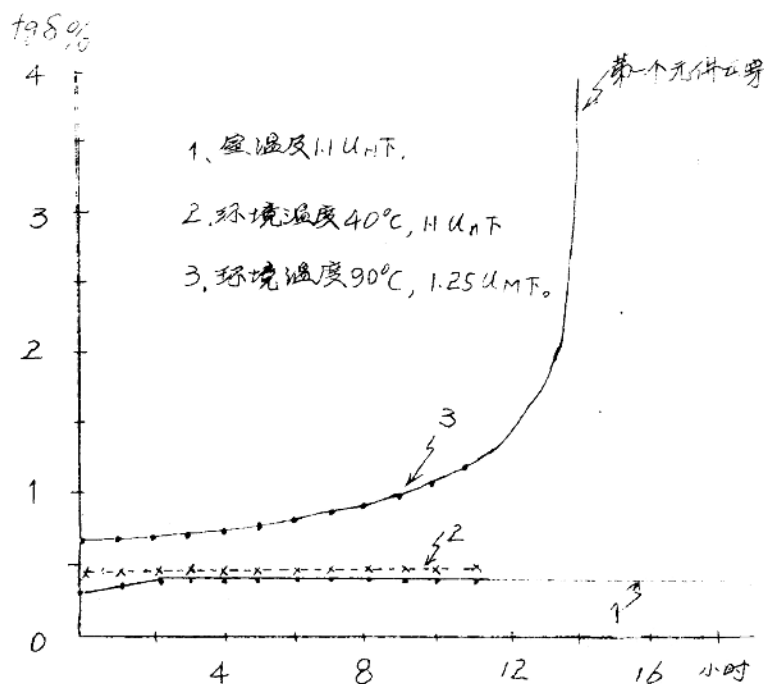


图 2. 10~7号电容器在不同环境温度及电压下之 $\text{tg}\delta$ 值随时间之变化情况。

10~7 电容器在环境温度 40°C , $1.1 U_H$ 下经过 17 小时试验 $\text{tg}\delta$ 值稳定在 $0.42 \sim 0.43\%$ 间。在环境温度 90°C , $1.25 U_H$ 下经过 6.75 小时开始有元件击穿, 其 $\text{tg}\delta$ 随时间的变化情况如图 2。

6~16 号电容器在环境温度 45°C , $1.05 U_H$ 下, 其 $\text{tg}\delta$ 值随时间增长不断增大, 19 小时后开始有元件击穿。

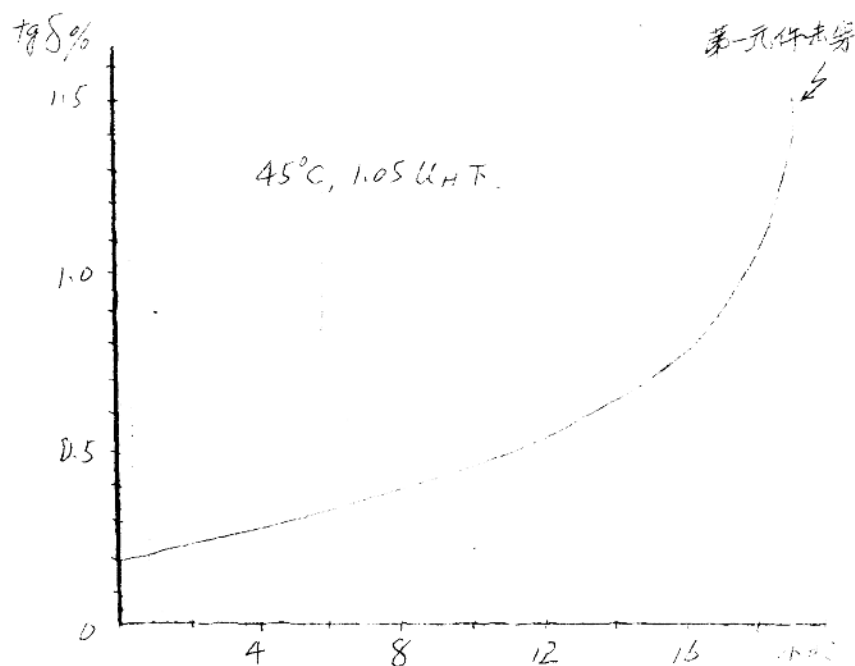


图 3. 6~16 号电容器在环境温度 45°C 及 $1.05 U_H$ 下之 $\text{tg}\delta$ 随时间变化情况

由上述试验结果可知:

1) YY(KM) 型电容器即使有某些缺陷, 如 10~3 号电容器, 但耐热性能仍较高。按电工标准规定 [文献 7], 电容器在环境温度 40°C , $12 U_H$ 交流电压下持续 48 小时, 如在 16, 24, 48 小时之 $\text{tg}\delta$ 符合下列条件:

$$\text{tg}\delta_{48} \leq \text{tg}\delta_{24} \leq \text{tg}\delta_{16}$$

即认为满足要求，现10-3号电容器在环境温度 80°C ， $1.25 U_H$ 下的16, 24, 48小时之 $\text{tg}\delta$ 分别为0.33%, 0.32%及0.29%，即满足上述条件。因此，应认为此电容器的耐热性能是良好的。

2)即使电容内部已产生游离，如10-7号电容器，但其耐热性能仍较高，在 90°C ， $1.25 U_H$ 下始有元件击穿。

3)被检查之电容器都是59年前后的产品，运行时间仅2-3年，不能认为是由于绝缘老化造成其耐热性能不良。

由上述情况可知，电容器在环境温度高时的损坏并非其绝缘耐性能不良，而是其内部已形成其它严重缺陷所致，在解剖10-7及6-16号二台电容器后即得到证明。解剖6-16号电容器后发现两空腔受主油箱内部分已完全熏黑，电容元件已露出油面，这说明其高压引线在运行中曾发生强烈放电，使油大量炭化，油面下降。因引线及元件均露于油外，相间游离起始电压极低，仅为工作电压36.4%，由于空腔下部熏黑及炭化，校对壳之 $\text{tg}\delta$ 值很大，又因元件露出油面，散热条件及抗热强度均恶化，故在环境温度不高及电压较低条件下即产生击穿。10-7号电容器虽然游离起始电压降低，但元件仍在油面下，故耐热性能及抗电强度均较高，表三为对两台电容器矿物油的检查结果。

表三

编号	油位(油面与箱壳顶线距离),毫米	油量,立方厘米	油色	$\text{tg}\delta(18^{\circ})$
10-7	63	3682	浅黄,清澈	0.07%
6-16	155	2112	漆黑,有炭粒	0.17%

由此可知，应进一步找出引起电容器内部发生严重损坏的原因。

关于电容器内部游离问题

这一问题在国内文献中已有详细的介绍。一般认为，电容

因绝热的将离起始场强低，在过电压作用下电容器内将离定如电压不断降低而引起损坏，虽提出减小绝热厚度以提高其将离起始场强。(文献4.6) 根据研究，电容器在这种情况下的损坏具有下列特点：1) 将离起始电压低于工作电压；2) 极间 $\tan\delta$ 增大；3) 箱壳膨胀；4) 绝热纸上应有大片腊化痕迹，同时，损坏是一个较快的过程。目前，我国电容器在运行中的损坏情况不完全符合上述现象，如一次被分析的双台电容器中，极间 $\tan\delta > 0.3\%$ 仅3台，而极对壳之 $\tan\delta$ 为 $0.3 \sim 0.4\%$ 者4台， $0.4 \sim 1.0\%$ 者4台， 1.0% 以上者11台，最大达 9.68% 。除极间 $\tan\delta > 0.44\%$ 之10-7号电容器的元件有腊化及铝箔腐蚀现象外，其他电容器之元件并无腊化痕迹，此外，又对120台电容器进行试验，在1.1UH电压下部分放电仅有指示的有16台，取出其中三台进行解剖，其元件均无腊化痕迹，且绝热 $\tan\delta$ 均小于 0.3% ，这说明：即使电容器内部有将离指示也并非由于绝热产生大面积将离所引起的，而必然有其他的引起将离原因。

在运行中还常发现电容器投入不久，即产生损坏事故，如某地于63年7月投入一组电容器，一个月内即损坏28台；另一组在投入运行三个月中先后损坏18台，损坏分类如表四，这样迅速的损坏也不能认为主要是由于电容器绝热将离起始场强低引起的，电容器在运行中的损坏虽然也发生箱壳膨胀现象，但由于内部击穿或放电也会使油炭化分解而产生气体，而使箱壳膨胀，而

表四：

箱壳膨胀	箱身发热	箱壳漏油	大量漏油	放电	内部损坏	放爆	空腔漏油
12	1	1	2	6	2	1	21

箱壳膨胀，而且，某些电容器箱壳膨胀常发生在损坏的瞬间，如表一所示。

上述情况可以说明，当前电容器的损坏主要原因并不是由于

绝缘的将起端均强低，至过电压作用下使其将起端电压降低至工作电压下所引起的。

YY(KM)型电力电容器的损坏原因。

根据调查及试验分析损坏主要是由于下列原因造成：

1) 抗电强度低的元件发生击穿。

多数电容器在运行中的损坏是因内部元件击穿所引起的，表五为某地三年中预防性试验所淘汰的电容器之缺陷分类情况，由表中可知：内下元件击穿（电容器增大及击穿）佔被淘汰之电容器的42%，因这批电容器均係55年前后的产品，时间不

表五

极间击穿	电容增大(>10%)	放电	箱壳膨胀	漏油	缺油发空	其他
3	179	69	1	80	53	38
0.73%	41.3%	15.73%	0.24%	19.4%	12.14%	9.2%

故绝缘老化不是不是主要原因。我们解剖一台电容量增大17%之10~28号电容器，其中有三个元件击穿：一个係最外层之元件；另二个虽处于中部，但击穿部位係在最外层靠近箱皮处。这样也不能认为击穿是由于热老化所引起的，可以认为，造成电容器元件的大量击穿原因如下：

(1) 制造厂对元件质量未严格挑选

电容器绝缘之击穿场强的裕度是很高的，一般达10倍以上。即使对严重损坏的电容器中取出的元件进行交流耐压试验，其击穿电压亦不低于5~6千伏，有的可达10千伏；但电容器係大面积油纸绝缘，一些元件不可避免的存生弱点，制造时如不将有弱点的元件淘汰，在运行中将会很快击穿，还将影响其他好元件，并且因击穿过程中油炭化，有可能使元件露击油面，抗电强度进一步降低，这也是电容器投入运行不久即迅速损坏的一个主要原因。

(2) 绕型工艺不良。

在绕制元件时因张力不均，使元件内松外紧，当元件压平后，内部必然有断析，形成空隙，此处易产生游离，造成击穿。从解剖的65个元件中可以发现，在元件裡层拐角处击穿者佔37%。由图5及图8表示云这种情况。



图 5



图 6

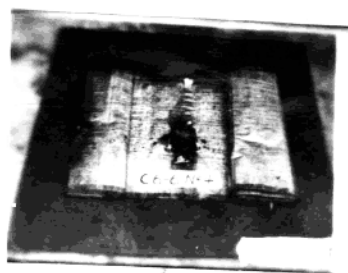


图 7

(3) 元件电极引出线型造不良。

YY(KM)型电容器元件电极引出线係用薄铜片(厚0.16毫米)制成，由于工艺不良，边缘毛刺很多，在引线周围极易产生游离。伏经试验(图6点2、3)导致击穿(图7)特别是放置及调整引线时不慎，使其弯曲，甚至使铜片及绝缘纸破裂(图6，点1)，其击穿电压必然降低，由解剖之元件可以发现，击穿点主引线附近者佔18.5%。

上述(2)(3)两种情况都会是先产生游离而后击穿，但因游离区域小，脂化面积小，其极间 $\tan \delta$ 也就不会显著增大。

(2) 对箱壳之绝缘有弱点。

极对箱壳放电是电容器损坏的另一个主要原因，如果地性试验时，在不合格的94台电容器中，极对壳放电者佔47%。在系统中共取之40台，10千伏YY型电容器。

进行双极对壳之直流耐压试验，其中11台有放电响声，佔27.5%。在正常运行中，由于极对箱壳放电引起损坏的亦佔很大比例，如某地三年发生68台电容器损坏事故中，有7台是极对壳放电，佔11%。

引起极对箱壳放电的原因，根据分析主要是高压引线之结构及工艺不良所致。

YY(KM)型电容器之高压引线系由薄铝片（厚 $\times$ 宽 $\sim 0.25 \times 10$ 毫米）制成，因工艺不良，边缘不平，有毛刺及严重弯折，其尖端处易产生电晕，曾取下这种铝片作电晕起始电压试验，其值仅为3~4千伏（油质较差）。另外，在解剖10-7号电容器时，发现靠于两高压引线之电缆纸上有明显的由于电晕放电使纸炭化的痕迹，这说明此电容器在运行中已经产生电晕。

特别是由于安装不慎，使高压引线弯折，严重缩短了它对箱壳的距离，在较高电压下产生放电，如剖10-7号电容器时，在直流耐压试验时，在不到20千伏电压下即有断续的放电声。解剖后，靠近引线附近正面之电缆纸上端发现有约5厘米很长的烧焦的情况，这说明电容器在运行中已发生极对箱壳放电现象。

由于上述缺陷，将因电晕或放电使油分解，箱壳膨胀，油面下降造成元件击穿。特别是电力系统中性点电流大的情况下产生对箱壳放电使油严重炭化，6-16号电容器之油质变成紫黑色，两空受下部全被熏黑，也就说明了这种情况。油所分解出之腊状物质和炭粒沉积附着在绝缘上，使极对壳之 $\text{tg}\delta$ 增大。许多将离起始电压降低之电容器其极间 $\text{tg}\delta$ 没有显著改变，而极对箱壳的 $\text{tg}\delta$ 却严重增大之原因即此于此。这些缺陷必然使电容器在运行条件下产生击穿损坏。

3) 密封不良

由表五可知：漏油问题是电容器被淘汰的另一个主要原因。由于漏油，油面下降，引线外露，其电晕起始电压急剧降低，产生极对壳放电，严重的使元件击穿损坏，六-六六件下使元件

穿，从解剖的元件中可以发现击穿部位在元件端部处佔72.3%。图8即表示此种击穿情况，这证明运行中的击穿往往是因为元件露出两面部分之散热和抗电强度较低所致。



此外，因为封装密封不良，潮气侵入使绝缘电阻下降，如10-28号电容器的极间绝缘电阻为5000MΩ，极对壳为200MΩ，拆去封装经过简单的拭干后，两者均上升至>10000MΩ。当浸入潮气后使电阻增加，运行中又是不断发展的，例10010-6。

电容器最初测绝缘电阻， $R_{\text{极间}} = 1400\text{M}\Omega$ ， $R_{\text{极壳}} = 89\text{M}\Omega$ ，放于室内一年后测量，其数值又大大降低，极间仅为48MΩ，极壳为10MΩ，这样继续降低，在较高电压时即引起封装爆炸事故。同时，潮气侵入也会使绝缘的抗电性能降低，造成电容器击穿损坏。

由上述分析可知：当前电容器损坏的主要原因是结构及工艺不良所致，希有关单位设法改进，提高质量，以满足生产需要。

参考文献

- 1) 6.6千伏电容器运行情况的分析 杨先茂 沈阳电业局
(电机工程师学会报告会文件)
- 电容器损坏原因分析 上海电管局中试所
- 制时电容器损坏情况分析 哈尔滨电业局
- 4) Э. М. Файтшикий, Уzman изоляции бумажно-масляных конденсаторов и методы повышения их эксплуатационной надежности. 第二层高压电绝缘科学文集 1955.
- 5) 电压含有高次谐波时对电容器绝缘性能影响的分析
黄奇嵩, 北京电力学院高压论文集
- 6) Г. С. Кузнецкий, Введение толщин диэ-ка для бумажных силовых конденсаторов 22-60 1954, № 6.
- 7) 电工专业标准 (草案), 电 (D) 145~60, 矿物油浸渍相电容器。

高压教研室 黄奇嵩