

电力设备与材料着火危险评定导则 第5部分：
油浸式电容器

Guide for assessing the fire hazard of electric equipment and materials Part 5:
Oil-immersed capacitors

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本文件完成时间：2024.7)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家能源局 发布

电力设备与材料着火危险评定导则 第5部分：油浸式电容器

1 范围

本文件规定了油浸式电容器用绝缘材料着火危险试验方法、电容器电弧试验方法、电容器热失控试验方法、以及材料和电容器的着火危险等级评定。

本文件适用于标称电压1000V及以上电压等级油浸式电容器用绝缘纸板、电缆纸、聚丙烯薄膜、硅橡胶、苜基甲苯绝缘油等材料和电容器产品的着火危险等级评定。

本文件不适用于感应加热装置用电力电容器、电动机用电容器及类似者、耦合电容器及电容分压器的着火危险等级评定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2900.1 电工术语 基本术语
- GB/T 2900.5 电工术语 绝缘固体、液体和气体
- GB/T 2900.16 电工术语 电力电容器
- GB/T 5169.1 电工电子产品着火危险试验 第1部分：着火试验术语
- GB/T 5169.2 电工电子产品着火危险试验 第2部分：着火危险评定导则 总则
- GB/T 5169.16-2017 电工电子产品着火危险试验 第16部分：试验火焰 50W水平与垂直火焰试验方法
- GB/T 5169.49 电工电子产品着火危险试验 第49部分：电弧法 材料的电弧着火试验方法
- GB/T 11024.1-2019 标称电压1000V以上交流电力系统用并联电容器 第1部分：总则
- DL/T 840-2016 高压并联电容器使用技术条件
- DL/T 1774-2017 电力电容器外壳耐受爆破能量试验导则
- NB/T 11307.1 电力设备与材料着火危险评定导则 第1部分：总则
- NB/T 11307.2-2024 电力设备与材料着火危险评定导则 第2部分：油浸式变压器
- ISO 13943 防火安全：词汇 Fire Safety—Vocabulary

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 2900.5、GB/T 2900.16、GB/T 5169.1、GB/T 5169.2、GB/T 5169.49、GB/T 5169.16、DL/T 1774、NB/T 11307.1、NB/T 11307.2-2024、ISO 13943界定的下列术语和定义适应于本文件。

3.1

油浸式电容器 oil-immersed capacitor
电介质的固体材料浸于绝缘油介质中的电容器。

3.2

储能电容器 energy storage capacitor
为进行电容器电弧试验，预先存储试验所需要能量的电容器。
[来源：DL/T 1774-2017，3.2，修改]

3.3

充电能量 charging energy
为进行电容器电弧试验，预先存储在储能电容器的能量。

[来源：DL/T 1774-2017，3.3，修改]

3.4

注入能量 implanted energy

⚠

电容器电弧试验过程中，储能电容器对试样放电时实际消耗在试样电容器内部的能量。

[来源：DL/T 1774-2017，3.5，修改]

3.5

电弧耐受能量 arc withstand energy

电容器内部发生极间或极对壳击穿时，外部并联电容器对故障电容器放电引起故障电容器外壳或套管破裂的最小能量。

3.6

额定电弧耐受能量 rated arc withstand energy

电容器内部发生极间或极对壳击穿时，电容器能耐受的不引起外壳和套管破裂的最大能量。

[来源：DL/T 1774:2017，3.8]

3.7

残余能量 residual energy

⚠

电容器电弧试验放电后，储能电容器残余电荷储存的能量。

[来源：DL/T 1774-2017，3.10，修改]

3.8

热失控 thermal runaway

电容器内部放热反应引起不可控温升的现象。

4 油浸式电容器用固体绝缘材料着火危险试验方法

4.1 固体材料类型

油浸式电容器用固体材料对其燃烧特性有重大的影响，宜对油浸式电容器用固体材料开展着火危险试验和着火危险等级评定，包括绝缘纸板板、电缆纸、聚丙烯薄膜、硅橡胶等固体材料。

4.2 固体材料的燃烧试验方法

试验装置应符合GB/T 5169.16—2017第6章的规定。

试样参考NB/T 11307.2-2024的4.3要求。

试验方法按NB/T 11307.2-2024的4.4、4.5要求执行，开展水平燃烧着火危险和垂直燃烧着火危险。

4.3 固体材料的电弧着火试验方法

试验方法按GB/T 5169.49-2024的要求执行。

5 油浸式电容器用液体材料闪点测定方法

按NB/T 11307.2-2024第5章要求执行，进行苊基甲苯绝缘油闪点的测定。

6 油浸式电容器电弧试验方法

6.1 试验原理和目的

试验原理是在电容器试样内部设置故障元件，模拟电容器极间绝缘破坏，对储能电容器预先存储试验所需要的电弧能量，通过储能电容器对试样进行放电，注入试样的能量达到规定的电弧能量，评估试样在规定的电弧能量下的着火危险等级。

试验目的是在电容器试样内部设置故障元件，利用储能电容器预先存储电弧能量后对试样进行放电，比较真实地模拟在试样发生内部电弧故障时外部电容器组储能向试样放电，评估试样在规定电弧能量下的着火风险。通过试验结果指导电容器产品的选型、设计、制造、试验，提高电容器产品的电弧防护水平，降低电容器产品的着火风险。

6.2 试样要求

6.2.1 试样结构要求

除故障元件与之极间绝缘与之破坏外，试样的结构、材料、工艺均应按正常产品进行生产备置。对采用内熔丝的电容器，应对试样内熔丝进行金属短接。

6.2.2 试样制备

试样应内置故障元件，故障元件应采用电击穿方式备置，一个串联段内的并联元件只允许预置一个故障元件。对串联数在3串及以下的电容器，每个串联段应各预置1个故障元件，如图1所示；对串联数在4串联段及以上的电容器，靠近套管的第一个串联段应完好，不预置故障元件，其他串联段各预置1个故障元件，如图2所示。

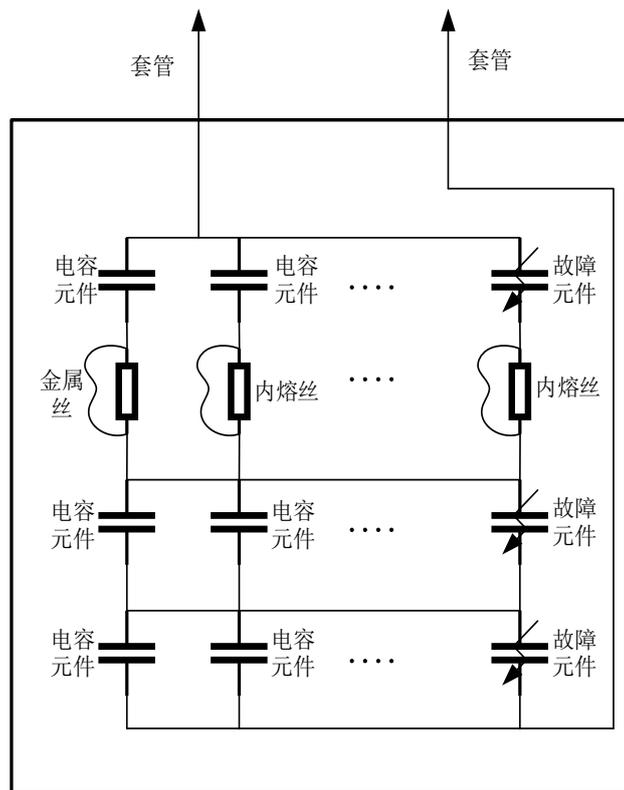


图1 串联数在3串及以下的电容器试样的制备示意图

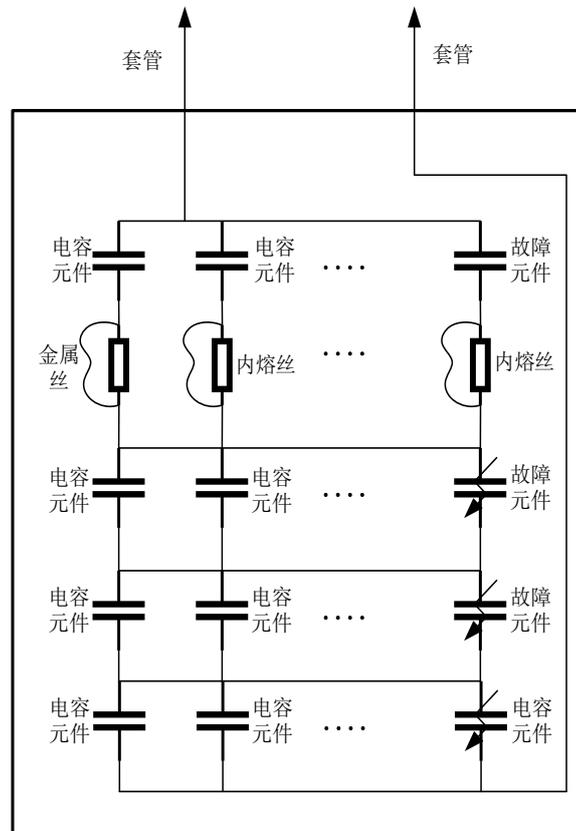


图2 串联数在4串及以上的电容器试样的制备示意图

6.2.3 试样数量

试样数量不应少于4台，其中试样数量为3台，1台试样用于放电参数调整。

6.3 试验方法

试验采用直流储能、脉冲放电的方式，利用储能电容器预先存储电弧能量后对试样进行放电，用波形记录仪实测注入电容器内部的电弧能量。

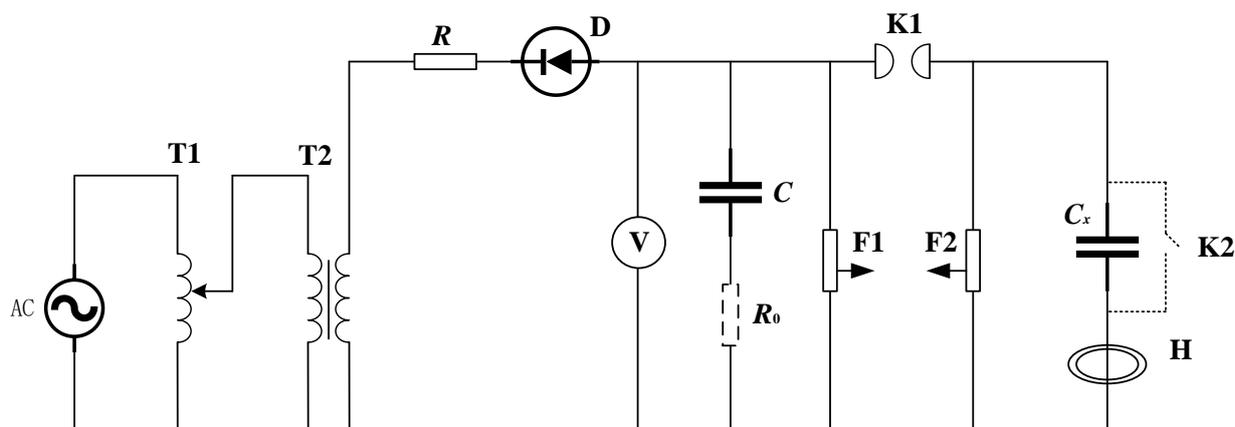
用电阻与试验回路电阻相比可以忽略的导体短接（建议导体电阻不大于 $10\mu\Omega$ ）试样，如图2短接导体K2，测试并记录基准放电波形。放电回路应使基准放电波形的电流相邻峰值之比、放电波形振荡频率。

将短接导体K2拆除，将试样串入到试验回路，对储能电容器存储能量后，对试样进行放电，并使实际注入试样的电弧能量达到要求。

6.4 试验回路及要求

6.4.1 试验接线图

试验接线如图3所示。



符号说明：

AC—交流电源；

T1—调压器；

T2—试验变压器；

R—充电回路限流电阻；

D—充电回路整流硅堆；

V—直流(交直流)分压器，用于测量充电电压；

C—储能电容器，电容量可调；

R_0 —放电回路外部等效电阻（非实际电阻）；

F1、F2—电容分压器(或阻容分压器)，用于测量放电电压；

K1—放电球隙；

K2—短接导体；

H—罗氏线圈或分流器，用于测量放电电流；

C_x —试验样品。

图3 试样电弧试验接线图

放电回路尽可能紧凑，与试样的连接线尽可能短，并采用软连接，避免套管端部放电时承受额外的电动力冲击，并联的各储能电容器至试样的放电参数尽可能保持一致。

6.4.2 储能电容器电容量

试验所用的储能电容器，其电容量应能使其储能能量在充电电压为 $1.1 \times \sqrt{2}$ 倍试样额定电压时达到规定的额定电弧耐受能量。

注：考虑到并联电容器组实际运行方式及试验回路可调节性，储能电容器电容量可以在该值的70%~100%范围内调节。

6.4.3 充电电压

储能电容器充电电压范围为 $(1.1 \sim 2.0) \times \sqrt{2}$ 倍试样额定电压。

6.4.4 充电能量

储能电容器的充电能量范围为 $(1.0 \sim 2.0)$ 倍试样额定电弧耐受能量。

6.4.5 基准放电波形参数要求

基准放电波形参数应满足下列要求：

- 基准放电波形电流相邻峰值之比大于等于0.8；
- 基准放电波形振荡频率大于等于4.0kHz。

6.5 试验测量系统要求

试验放电电流可采用分流器或罗科夫斯基线圈进行测量,充电电压可采用直流分压器(或交直流分压器)进行测量,试样两端的放电电压及储能电容器残余电压应采用电容分压器(或阻容分压器)测量,测试仪器及设备的频率响应特性均应满足要求。

试验过程应采用采样率在1MS/s、分辨率12位及以上的瞬态数字记录仪记录试样放电电流、试样两端电压及储能电容器残余电压波形。

6.6 注入能量计算方法

注入能量计算方法宜采用能量焦耳积分法。计算方法如下:

a) 记录基准放电波形,充电能量为 W_{c1} ,放电电流能量焦耳积分 $\int_0^{\infty} i_1^2(t)dt$,回路等效串联阻尼电阻 R_0 ,则:

$$W_{c1} = R_0 \times \int_0^{\infty} i_1^2(t)dt \quad (1)$$

b) 接入试样进行试验,充电能量为 W_{c2} ,放电电流能量焦耳积分 $\int_0^{\infty} i_2^2(t)dt$,试样等效串联阻尼电阻 R_x ,储能电容器容量 C ,残余电压 U_r ,储能电容器残余电荷能量 W_r ,则:

$$W_r = \frac{1}{2}CU_r^2 \quad (2)$$

$$W_{c2} = (R_0 + R_x) \times \int_0^{\infty} i_2^2(t)dt + W_r \quad (3)$$

c) 则注入试样能量 W_i 为:

$$W_i = W_{c2} - W_{c1} \times \frac{\int_0^{\infty} i_2^2(t)dt}{\int_0^{\infty} i_1^2(t)dt} - W_r \quad (4)$$

6.7 放电参数及能量调整

为使基准放电波形参数及试样注入能量均符合要求,必要时可根据试样的试验结果及时调整试验回路参数或充电能量,并重做基准放电波形。充电电压仅在 $\pm 10\%$ 范围内改变时,可不必重做基准放电波形。

6.8 额定电弧耐受能量的选择

电容器所能承受的额定电弧耐受能量推荐值为18kJ,用户和制造方亦可根据电容器产品的应用场合、电压等级、电容器组串并联方式等情况协商确定。

6.9 试验记录

记录单个试验的放电电压、放电电流的暂态波形以及残余电压值,记录试验过程中电容器外壳破裂、漏油或着火的情况。

6.10 试验有效性判定

6.10.1 实测注入试样内部的电弧能量应不小于额定电弧耐受能量。

6.10.2 如果有1台试样注入能量未超过额定耐受电弧能量1.2倍,则试验结果有效。

6.10.3 如果由于注入能量过大(超过额定电弧耐受能量的1.2倍),试验后试样外壳或套管出现爆裂、漏油或燃烧的;或者注入能量过小(未达到额定电弧耐受能量),同时未引起电容器外壳或套管出现爆裂、漏油或燃烧的,则该台试样试验结果判为无效,应更换试样重新开展试验。

7 电容器热失控试验方法

电容器热失控试验是特殊试验项目,考核电容器耐受工频和谐波电压(或工频和谐波电流)的温升情况。附录B给出了案例说明。

8 油浸式电容器用材料和产品着火危险评定

8.1 总则

依据本文件获得的结果不应单独用来描述或评定材料和产品在实际着火条件或电弧能量下的着火危险。评定着火危险需要考虑燃料作用、燃烧强度（热释放速率）、燃烧生成物、环境因素和外部设备情况等，包括引燃源性质、被暴露材料或产品的尺寸和通风条件等。

8.2 固体材料水平燃烧着火危险分级和垂直燃烧着火危险分级

固体材料水平燃烧着火危险分级按NB/T 11307.2-2024的7.2要求执行。

固体材料垂直燃烧着火危险分级按NB/T 11307.2-2024的7.3要求执行。

8.3 固体材料电弧着火危险分级

固体材料电弧着火危险分级按GB/T 5169.49-2024的第11章的要求执行。

8.4 油浸式电容器电弧试验的着火危险分级

根据表1所示的评定要求，对试样电弧试验的着火危险进行分级。

表1 油浸式电容器电弧试验的着火危险分级标准

评判标准	着火危险分级	备注
试样外壳或套管未发生爆裂或漏油	I级	电弧试验过程，在冲击油压下外壳和套管等仅仅发生变形，可有效将高温的绝缘油和故障限制在电容器内部，电容器着火危险低
试样外壳或套管发生爆裂或漏油，但未发生燃烧	II级	电弧试验过程，在冲击油压下外壳和套管等已发生破裂，试样内部的高温绝缘油通过裂口已跟空气接触，但未发生燃烧，电容器存在着火危险。
试样外壳或套管发生爆裂或漏油，试样发生燃烧	III级	电弧试验过程，在冲击油压下外壳和套管等已发生破裂，试样内部的高温绝缘油通过裂口跟空气接触，同时发生燃烧，电容器着火危险极高

8.5 油浸式电容器热失控试验的着火危险分级

9 油浸式电容器用材料和产品着火危险等级

9.1 固体绝缘材料着火危险等级

油浸式电容器用固体绝缘材料着火危险等级应符合表2规定。如果对油浸式电容器用材料着火危险等级另有要求，则由供需双方协商确定。

表2 油浸式电容器用材料着火危险等级

固体绝缘材料	项目	着火危险等级
绝缘纸板	水平燃烧试验	HB级
电缆纸	水平燃烧试验	HB级
聚丙烯薄膜	水平燃烧试验	HB级
硅橡胶	水平燃烧试验	HB级
	垂直燃烧试验	V-0级

9.2 固体材料的电弧着火危险等级

固体材料电弧着火危险等级应不低于Arc(HB)-4级。

9.3 液体材料的闪点要求

油浸式电容器用苜基甲苯绝缘油绝缘油的闪点应不低于135℃。

9.4 油浸式电容器电弧试验着火危险等级

油浸式电容器电弧试验着火危险等级应为 I 级或 II 级。

9.5 油浸式电容器热失控试验着火危险等级

（待补充）

附录 A 100kvar 油浸式电容器产品电弧试验实例

(资料性)

A.1 油浸式电容器试样

试样是交流滤波器用的油浸式电容器，额定电压为 $12/\sqrt{3}$ kV，技术参数如下表所示。

表A.1 技术参数

项目	数值	项目	数值
额定电压	$12/\sqrt{3}$ kV	额定电流	14.43A
额定容量	100kvar	额定频率	50Hz
额定电容	6.631 μ F	介质结构	3膜 films
串联段数	3	每串并联数	4
额定电弧耐受能量	18kJ	介质允许最热点温度	80°C

额定电弧耐受能量要求大于等于18kJ，电容器内部无放电电阻或内熔丝，套管采用滚压一体式瓷质套管，外壳采用304不锈钢。试样外形图如下图所示。



图A.1 油浸式电容器试样

A.2 试验过程

试验过程电压波形、电流波形如下图所示，试验记录如下表所示。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/995334302111011310>