

ICS 29.040.99

E 38

备案号: 58835-2017

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1694.4 — 2017

高压测试仪器及设备校准规范 第 4 部分: 绝缘油耐压测试仪

Calibration specification for high voltage testing instruments
Part 4: Insulation oil voltage withstanding tester

2017-03-28 发布

2017-08-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	1
5 计量特性	1
6 校准条件	2
7 校准项目和校准方法	2
8 校准结果的表达	4
9 复校时间间隔	5
附录 A (规范性附录) 原始记录格式	6
附录 B (规范性附录) 校准证书内页格式 (第 2 页)	8
附录 C (规范性附录) 校准证书内页格式 (第 3 页)	9
附录 D (资料性附录) 测量不确定度评定示例	10

前 言

本部分按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

DL/T 1694《高压测试仪器及设备校准规范》分为5个部分：

- 第1部分：特高频局部放电在线监测装置；
- 第2部分：电力变压器分接开关测试仪；
- 第3部分：高压开关动作特性测试仪；
- 第4部分：绝缘油耐压测试仪；
- 第5部分：氧化锌避雷器阻性电流测试仪。

本部分是 DL/T 1694 的第4部分。

本部分由中国电力企业联合会提出。

本部分由全国高电压试验标准化分技术委员会（SAC/TC163/SC1）归口。

本部分主要起草单位：中国电力科学研究院、国家高电压计量站、江苏方天电力技术有限公司、中国合格评定国家认可中心、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、国网湖南省电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力公司电力科学研究院、广州供电局有限公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、黑龙江省电力有限公司计量中心、广西电网有限公司电力科学研究院、国网重庆市电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网天津市电力公司电力科学研究院、国网河北省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院。

本部分主要起草人：张军、包玉树、陈迪、潘瑾、卢欣、金鑫、刘红、周志成、饶锐、朱琦、袁恒、宫游、吕泽承、邱妮、李立生、史红洁、王旭、肖莹。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

高压测试仪器及设备校准规范

第 4 部分：绝缘油耐压测试仪

1 范围

本部分规定了绝缘油耐压测试仪的计量特性、校准条件、校准项目和方法、校准结果的表达及复校时间间隔等内容。

本部分适用于绝缘油耐压测试仪的校准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

DL/T 846.7—2016 高电压测试设备通用技术条件 第 7 部分：绝缘油介电强度测试仪

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

试验组件 test assembly

用于油试验的组合器件，通常由油杯、电极、搅拌器等部分组成。

[DL/T 846.7—2016，定义 3.2]

4 概述

绝缘油耐压测试仪（以下简称测试仪）是对绝缘油的介电强度特性进行检测的仪器，用于确定变压器绝缘油的耐压值或测量击穿电压值。测试仪通常由升压单元、测量单元及试验组件组成，是一种源、测一体型测量仪器。

测试仪工作原理通常是按绝缘油相关标准设定试验电压值，对放在试样杯里的被测绝缘油施加一个按设定速率连续上升的试验电压直到设定值为止，并持续标准规定的时间，或按设定速率连续上升直至绝缘油击穿为止，以确定绝缘油的击穿电压值。

5 计量特性

5.1 测量范围

测试仪输出的最高输出试验电压一般不低于 60kV。

5.2 准确度等级与最大允许误差

测试仪输出电压的准确度等级共分为 1、2、5 三个等级，测试仪示值最大允许误差可按公式（1）表示。

$$\pm(a\%U_x + b\%U_m) \quad (1)$$

式中：

a ——与测试仪示值相关的系数；

b ——与测试仪量程相关的系数；

DL / T 1694.4 — 2017

U_x ——测试仪的示值；

U_m ——测试仪量程。

注：其中， a 应大于 $4b$ ，且 $a+b$ 之和应不低于测试仪准确度等级对应的数值。

5.3 升压速度

测试仪输出电压的升压速度应为 2kV/s 或 3kV/s ，其最大允许误差应不超过 $\pm 10\%v_s$ 。

注： v_s 为升压速度设定值。

5.4 谐波总含量

测试仪输出电压的谐波总含量应不大于 5% 。

注：以上条款不作为合格性判断依据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

校准时的环境条件应满足以下要求：

- a) 环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：不大于 80% ；
- c) 电源电压： $(220 \pm 22)\text{V}$ ；
- d) 电源频率： $(50 \pm 0.5)\text{Hz}$ ；
- e) 谐波总含量：不大于 3% 。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 测量标准

校准时使用的标准装置应能直接测量测试仪两个高压电极之间的电压值。由标准装置示值最大允许误差引入的测量不确定度不应超过被校测试仪的最大允许误差的 $1/4$ 。

6.2.2 其他设备

6.2.2.1 绝缘电阻表

绝缘电阻表的准确度等级应不低于 10 级，试验电压应不低于 500V 。

6.2.2.2 耐电压测试仪

耐电压测试仪的准确度等级应不低于 3 级，工频输出电压应不小于 2kV 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测试仪的校准项目主要包括电压示值误差、谐波总含量、升压速度。

7.2 校准前准备

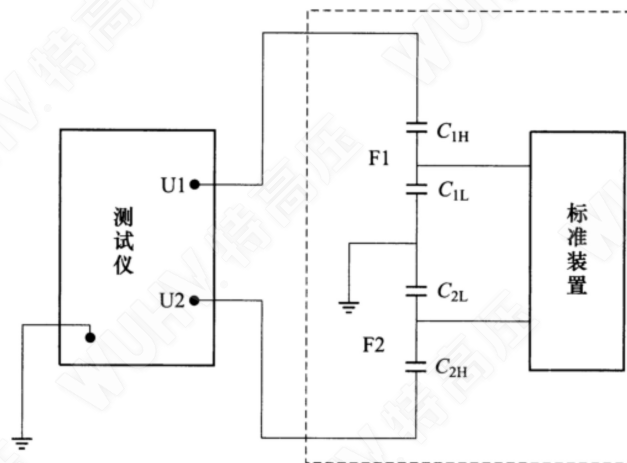
对测试仪应进行绝缘电阻、介电强度和安全保护检查：

- 使用 500V 绝缘电阻表测量被校测试仪电源输入端与机壳之间的绝缘电阻，测量结果应大于 20 MΩ。
- 使用耐电压测试仪对被校测试仪电源输入端与机壳之间施加 2 kV 历时 1 min 的工频电压，应无击穿和飞弧现象。
- 测试仪撤除安全保护屏障时进行升压，测量其高压端，应无高压输出；测试仪加上安全保护屏障后，升压至 10kV，移去安全保护屏障，测量其高压端，高压输出应降为零。

7.3 校准方法

7.3.1 电压示值误差

示值误差校准应采用矢量法，不推荐采用代数法。按图 1 所示原理图接线，校准点为被校测试仪最大输出电压的 10%、20%、40%、60%、80%和 100%，共 6 个试验点。



图中：

- U1, U2 —— 被校测试仪输出端子；
- F1 —— 高压标准分压器 1；
- F2 —— 高压标准分压器 2；
- C_{1H} —— 高压标准分压器 1 高压标准电容；
- C_{2H} —— 高压标准分压器 2 高压标准电容；
- C_{1L} —— 高压标准分压器 1 低压标准电容；
- C_{2L} —— 高压标准分压器 2 低压标准电容。

图 1 示值误差校准原理图（矢量法）

根据式（1）计算出被校测试仪的示值最大允许误差，根据式（2）计算出被校测试仪的示值误差。

$$\Delta = U_X - U_N \quad (2)$$

式中：

- Δ —— 被校测试仪的示值误差，kV；
- U_X —— 被校测试仪的示值，kV；
- U_N —— 标准装置的示值，kV。

7.3.2 谐波总含量

谐波总含量校准按图 2 所示原理图接线。使用谐波分析仪分别在被校测试仪最大输出电压的 20%、50%和 100%三点进行测量。

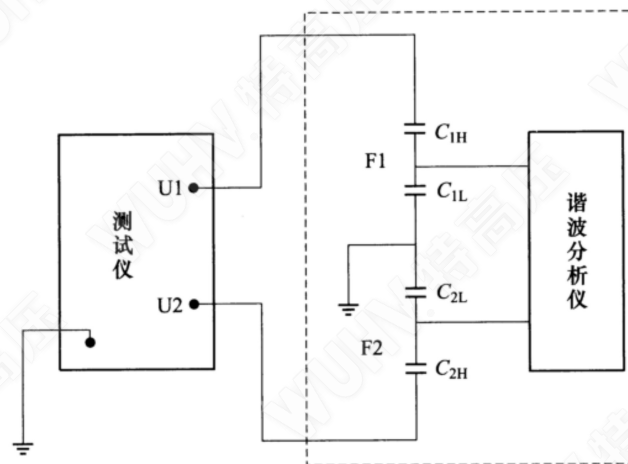


图 2 谐波总含量测量原理图

7.3.3 升压速度

升压速度校准按图 2 所示原理图接线。应分别在被校测试仪最高输出电压 U_t 的 50% 和 100% 两点进行测量。在设定测试仪升压速度 v_s 后，启动测试仪进行升压，同时用计时器分别读取从零到 50% U_t 持续的时间 t_1 、零到 100% U_t 持续的时间 t_2 ，按式 (3)、式 (4) 和式 (5) 计算从零到 50% U_t 的升压速度 v_1 和零到 100% U_t 的升压速度 v_2 及升压速度的平均值 v_n 。

$$v_1 = (50\%U_t) / t_1 \quad (3)$$

$$v_2 = (100\%U_t) / t_2 \quad (4)$$

$$v_n = (v_2 + v_1) / 2 \quad (5)$$

式中：

- v_1 ——被校准测试仪试验电压从零升压到 50% 最高输出电压的升压速度测量值，kV/s；
- v_2 ——被校准测试仪试验电压从零升压到 100% 最高输出电压的升压速度测量值，kV/s；
- v_n ——被校准测试仪升压速度平均值，kV/s。

8 校准结果的表达

8.1 校准数据处理

校准数据结果末位应与测量结果扩展不确定度的末位对齐。

8.2 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 A, 校准证书(报告)内页格式见附录 B 和附录 C, 测量结果不确定度评定参见附录 D。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

注: 由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附 录 A
(规范性附录)
原始记录格式

证书编号 ××××××-××××

基本信息				
送检单位		仪器型号		
制造厂		准确度等级		
出厂编号		校准日期		
校准依据				
校准时使用的标准名称和代号:				
标准器				
仪器名称	型号	编号	证书号	有效期至
环境条件				
温度℃	相对湿度%			
校准地点				
校准项目				
1. 外观检查: 2. 绝缘电阻: 3. 介电强度: 4. 安全保护: 5. 升压速度:				
电压 (kV)	时间 (s)	升压速度 (kV/s)		
50% U_t				
100% U_t				

证书编号 ××××××-××××

6. 电压示值误差

稳态电压法		
被检测试仪器显示值 (kV)	标准值 (kV)	误差 (%)

7. 谐波总含量:

8. 校准结果:

本次校准结果的扩展不确定度为

电压示值部分: $U=ku_c(y_1)=$, 包含因子 $k=2$ 。

升压速度部分: $U=ku_c(y_2)=$, 包含因子 $k=2$ 。

以下空白

校准员:

核验员:

附录 B
(规范性附录)
校准证书内页格式 (第 2 页)

证书编号 ××××××-××××

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点:				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
校准使用的计量 (基) 标准装置				
校准使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	校准/校准证书编号	有效期至

附 录 C
(规范性附录)
校准证书内页格式 (第 3 页)

证书编号 ××××××-××××

校 准 结 果

1. 外观检查:
2. 绝缘电阻:
3. 介电强度:
4. 安全保护:
5. 升压速度:
6. 谐波总含量:
7. 示值误差:

被检测试仪显示值 (kV)	标准值 (kV)	误差 (%)

校准结果:

本次校准结果的扩展不确定度为

电压示值部分: $U=ku_c(y_1)=$, 包含因子 $k=2$ 。

升压速度部分: $U=ku_c(y_2)=$, 包含因子 $k=2$ 。

附录 D
(资料性附录)
测量不确定度评定示例

D.1 标准不确定度分量的来源

以校准 DTA-80 型测试仪为例，试品测量结果不确定度分量主要来源：

- a) 电压示值部分。
- 1) 由试品示值分散性引入不确定度分量 u_1 ；
 - 2) 由标准装置引入的不确定度分量 u_2 ；
 - 3) 由试品分辨力引入的不确定度分量 u_3 。
- b) 升压速度部分。
- 1) 由试品速度示值分散性引入不确定分量 u_4 。
 - 2) 由标准装置升压速度示值允许误差的不确定度分量 u_5 。

D.2 数学模型

对于电压示值误差校准过程，数学模型如式 (D.1) 所示：

$$\Delta U = U_x - U_s \quad (\text{D.1})$$

对于升压速度校准过程，数学模型如式 (D.2) 所示：

$$\Delta v = v_s - v_n \quad (\text{D.2})$$

D.3 灵敏系数与传播率**D.3.1 电压示值部分**

根据式 (D.1)，灵敏系数 $c_1=1$ ， $c_2=-1$ 。

D.3.2 升压速度部分

根据式 (D.2)，灵敏系数 $c_3=1$ ， $c_4=-1$ 。

D.4 标准不确定度分量的 A 类评定

不确定度分量 u_1 ，以校准电压值 $U_x=80\text{kV}$ 、升压速度 $v_s=2\text{ kV/s}$ 点为例，数据见表 D.1。

表 D.1 观测结果的算术平均值

序 号	电压 kV		升压速度 kV/s	
	示值	标准值	示值	标准值
1	80.0	80.15	2	2.02
2	80.0	80.12		2.03
3	80.0	80.11		2.02
4	80.0	80.17		2.03
5	80.0	80.16		2.02

表 D.1 (续)

序号	电压 kV		升压速度 kV/s	
	示值	标准值	示值	标准值
6	80.0	80.13	2	2.03
7	80.0	80.12		2.02
8	80.0	80.11		2.03
9	80.0	80.17		2.02
10	80.0	80.16		2.03
平均值	—	80.140	—	2.025
标准偏差 $S(x)$	—	2.4×10^{-2}	—	5.3×10^{-3}

注：由于在 A 类方法评估中已经包含了校准参比条件中环境温度变化因素、电源稳定性因素，因此在 B 类方法评估中不再单独列举有上述因素引入的分量。

D.5 标准不确定度分量的 B 类评定

D.5.1 电压示值部分

- a) 由标准装置引入的不确定度分量 u_{2rel} 。由于标准装置电压示值最大允许误差为 $\pm(0.2\% \times \text{示值} + 0.01\text{kV})$ ，按均匀分布考虑，则由标准器引入的不确定度分量为：

$$u_{2rel} = (0.2\% \times 80\text{kV} + 0.01\text{kV}) / \sqrt{3} = 1.2 \times 10^{-3}$$

- b) 由试品分辨力引入不确定度分量 u_{3rel} 。由于试品分辨力为 0.1kV，按均匀分布考虑，则由试品分辨力引入的不确定度分量为：

$$u_{3rel} = 0.29 \times 0.1\text{kV} / 80\text{kV} = 2.9 \times 10^{-2}\text{kV}$$

D.5.2 升压速度部分

由于标准装置升压速度示值最大允许误差为 $\pm 0.5\% \times \text{示值}$ ，按均匀分布考虑，则由标准装置引入的不确定度分量 u_5 为：

$$u_5 = 0.5\% \times 2\text{kV/s} / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-3}\text{kV/s}$$

D.6 合成标准不确定度

合成标准不确定度数据见表 D.2。

表 D.2 合成标准不确定度数据

序号	不确定度分量输入值 $u(x_i)$	灵敏系数 C_i	不确定度分量输出值 $u_i(y) = \sqrt{C_i^2 u(x_i)^2}$	评估方法	备注
1	$2.4 \times 10^{-2}\text{kV}$	1	$2.4 \times 10^{-2}\text{kV}$	A	电压示值部分
2	$9.8 \times 10^{-2}\text{kV}$	-1	$9.8 \times 10^{-2}\text{kV}$	B	
3	$2.9 \times 10^{-2}\text{kV}$	1	$2.6 \times 10^{-2}\text{kV}$	B	
4	$5.3 \times 10^{-3}\text{kV/s}$	1	$5.3 \times 10^{-3}\text{kV/s}$	A	升压速度部分
5	$6.0 \times 10^{-3}\text{kV/s}$	-1	$6.0 \times 10^{-3}\text{kV/s}$	B	

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u(x_i)^2} \quad (\text{D.3})$$

合成标准不确定度见式 (D.3):

电压示值部分: $u_c(y_1) = 0.1 \text{ kV}$;

升压速度部分: $u_c(y_2) = 6.0 \times 10^{-3} \text{ kV/s}$ 。

D.7 扩展不确定度

电压示值部分: $U = k u_c(y_1) = 0.2 \text{ kV}$, 包含因子 $k=2$ 。

升压速度部分: $U = k u_c(y_2) = 1.2 \times 10^{-2} \text{ kV/s}$, 包含因子 $k=2$ 。
