



安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 94—2020

直流高压试验装置校准规范

Calibration Specification for DC High Voltage Test Device

2020-05-19发布

2020-06-20实施

安徽省市场监督管理局 发布

直流高压试验装置校准规范

Calibration Specification for
DC High Voltage Test Device

JJF (皖) 94-2020

归口单位：安徽省市场监督管理局

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

本规范委托安徽省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

罗朝玉 （安徽省计量科学研究院）

郭 军 （安徽省计量科学研究院）

王 伟 （安徽省计量科学研究院）

马 驭 （安徽省计量科学研究院）

参加起草人：

王 亮（安徽省计量科学研究院）

郑四顺（安徽省计量科学研究院）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 直流电压.....	1
3.2 纹波.....	1
3.3 纹波因素.....	1
3.4 直流标准分压器测量系统.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 耐电压试验.....	2
5.2 电压.....	2
5.3 纹波因数.....	2
5.4 短时稳定度.....	2
5.5 电压调整率.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 供电电源条件.....	3
6.3 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	3
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录A 测量不确定度评定示例.....	9
附录B 直流高压试验装置校准记录.....	12

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

直流高压试验装置校准规范

1 范围

本规范适用于10kV~300kV电压范围的直流高压试验装置（以下简称试验装置）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 795—2016 耐电压测试仪

JJG 1007—2005 直流高压分压器

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求

GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第2部分：测量系统

DL/T 848.1—2004 高压试验装置通用技术条件 第1部分：直流高压发生器

DL/T 1082—2008 高压实验室技术条件

GJB/J2658—1996 1~100kV直流高电压标准源检定规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1 直流电压 direct voltage [DL/T 1082—2008，定义3.3]

极性不变的电压。高压实验室通常使用的直流电压是交流电压经过整流与滤波且有效值与平均值之比小于1.05的直流脉动电压。

3.2 纹波 ripple [DL/T 848.1—2004，定义3.4]

直流高压纹波是指直流高压算术平均值的周期性偏差，纹波幅值是指脉动的最大值和最小值之差的一半。

3.3 纹波因数 ripple factor [DL/T 848.1—2004，定义3.4]

纹波幅值与直流试验电压算术平均值的比值。

3.4 直流标准分压器测量系统 measuring system with DC voltage divider

[GB/T 16927.2—2013，定义3.1]

由直流标准分压器、直流标准电压表组成的电压测量系统。

4 概述

试验装置在输入端接受交流电压信号，通过倍压整流电路，输出直流高压。一般由控制箱、倍压整流单元、高压限流电阻、测量保护单元等组成，其工作原理见图1。

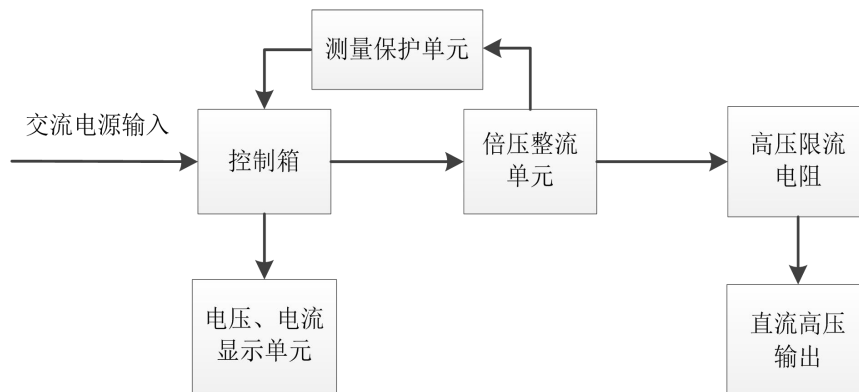


图1 直流高压试验装置工作原理框图

5 计量特性

5.1 耐电压试验

试验装置应能耐受1.1倍额定输出电压10min，应无明显闪络和击穿现象。

5.2 电压

5.2.1 范围应覆盖其标称的电压范围。

5.2.2 直流高压试验装置的额定电压除了满足试验需要使用的最高电压外，还应留出15%~20%的裕度。

5.3 纹波因数

直流高压纹波因数一般不超过 $\pm 1\%$ 。

5.4 短时稳定度

试验装置在开机5min内，试验装置输出高压漂移值应不大于额定电压值的1%。

5.5 电压调整率

试验装置输入电源电压变化10%时，输出高压波动的最大值应不大于额定输出电压值的1%。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ ；环境湿度： $(35\% \sim 80\%) \text{ RH}$ 。

6.1.2 应配备保障校准人员安全的绝缘橡胶垫、手套和良好的接地线。

6.2 供电电源条件

6.2.1 电源电压： (220 ± 22) V或 (380 ± 38) V；频率： (50 ± 0.5) Hz。

6.2.2 电源总谐波畸变不大于5%。

6.3 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表1。

表1 测量标准及其他设备

序号	测量标准及其他设备	计量特性
1	直流标准分压器 测量系统	直流电压测量不确定度优于被校试验装置最大允许误差的1/3，且准确度最低不得低于0.5级，其中直流标准电压表的准确度等级不低于0.5级
2	交流标准分压器 测量系统	交流电压测量范围应能覆盖被校试验装置的电压输出范围，电压测量不确定度优于被校试验装置最大允许误差的1/3。使用示波器时，其频带宽度大于30MHz；使用交流数字电压表时，其阻抗应大于1M Ω ，准确度等级不低于1级
3	直流标准电流表	直流标准电流表最大允许误差绝对值（不确定度）不大于被校泄漏电流表最大允许误差的1/3
4	可调线性负载 电阻	额定电流应不小于校准时使用的电流，并满足校准电压要求
5	调压器	调压器输出端电压应能满足6.2条款中的要求

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表2。

表2 校准项目一览表

序号	项目名称	校准方法条款
1	外观及正常性检查	7.2.1
2	耐电压试验	7.2.2
3	电压示值误差	7.2.3
4	电流示值误差	7.2.4
5	纹波因数	7.2.5
6	短时稳定度	7.2.6
7	电压调整率	7.2.7

7.2 校准方法

7.2.1 外观及正常性检查

a) 直流高压试验装置外观应整洁完好，无划痕损伤，各种标志清晰准确。各种调节旋钮、按键灵活可靠，高压倍压部分应具有良好的密封性和防潮性。

b) 直流高压试验装置应具备过电压和过电流自动保护装置，在非正常工作状态

时，自动保护装置应使试验装置自动切断高压输出。

7.2.2 耐电压试验

将直流高压试验装置的输出电压缓慢升高到额定输出电压值的1.1倍，持续10min。当电压高于75%U时可以有2%U/s的速率上升。应当无明显闪络和击穿现象。

7.2.3 电压示值误差

试验装置电压示值误差校准接线如图2。接通试验装置的控制箱电源，确定电压指示处于零位，合上高压输出开关开始校准。校准点应在额定电压范围内均匀选择20%、40%、60%、80%、100%不少于5个点（含额定电压），误差按式(1)计算：

$$\lambda_u = \frac{(U_x - KU_s)}{KU_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

λ_u —电压示值相对误差，%；

U_x —被检源电压显示值，V；

U_s —标准数字电压表示值，V；

K —标准分压器的分压比。

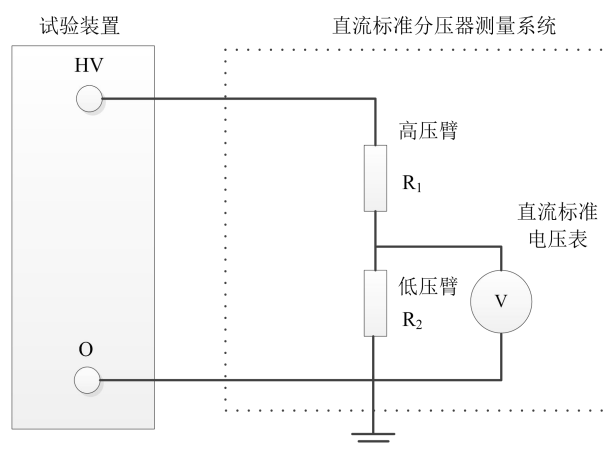


图2 电压示值误差校准接线图

7.2.4 电流示值误差

直流高压试验装置电流示值误差校准接线如图3，试验装置输出端接可调线性负载电阻，在高压电流回路中串联一块直流标准电流表，调节直流高压试验装置电压值开始校准。校准点均匀选取测量范围的20%、40%、60%、80%、100%不少于5个点电流值，也可根据客户要求选取校准点。待示值稳定后，读取标准电流表和泄漏电流表的显示值，误差按式(2)计算：

$$\lambda_I = \frac{(I_x - I_s)}{I_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

λ_I — 电流示值相对误差, %;

I_x — 电流显示值, μA 或 mA ;

I_s — 电流标准值, μA 或 mA 。

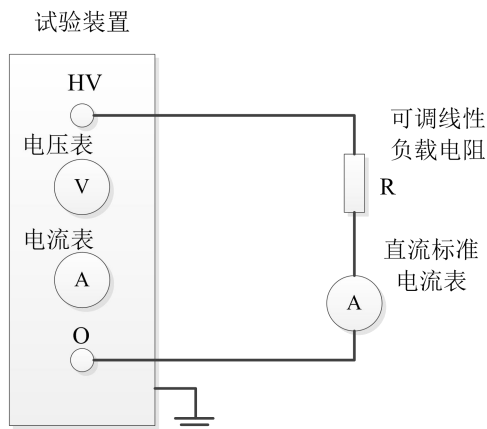


图3 电流示值误差校准接线图

7.2.5 纹波因数

纹波因数校准接线如图4, 适当选择交流标准分压器使输入电压在交流电压表或示波器允许输入电压范围内。调整试验装置输出电压至量程满度值 U_H , 用标准电压表测量时, 从交流档读取电压有效值; 用示波器测量时, 从示波器中读出纹波电压的峰值, 乘以交流标准分压器分压比, 即为输出电压的纹波电压有效值或峰值 U_r , 纹波因数按式(3)计算:

$$S_r = \frac{U_r}{U_d} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

S_r — 直流输出电压的纹波因数, %;

U_r — 试验装置直流输出电压的纹波电压有效值或峰值, V 或 kV ;

U_d — 试验装置直流输出电压的平均值, V 或 kV 。

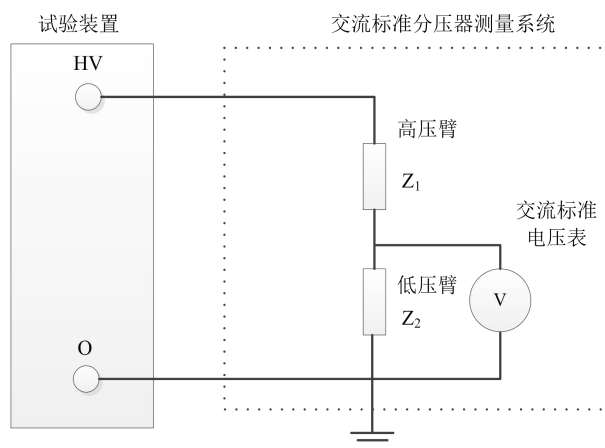


图 4 纹波因数校准接线图

7.2.6 短时稳定度

按图2接线。将试验装置升压至额定电压，记录此时直流标准分压器测量系统的显示值。试验装置连续运行5min，期间电压表每隔1min至少采样一次电压值，观察并记录实测电压的最大值和最小值。短时稳定度按式(4)计算：

$$\delta_u = \frac{(U_{\max} - U_{\min})}{U_x} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

δ_u 一直流电压输出的短时稳定度，%；

U_{\max} 一时间间隔内实测电压最大值，kV；

U_{\min} 一时间间隔内实测电压最小值，kV；

U_x 一时间间隔内实测电压算术平均值，kV。

7.2.7 电压调整率

7.2.7.1 按图5接线，按照10%电网电压的变化范围设置试验装置输入电压。

7.2.7.2 调压器输出电压为220V时，调节试验装置输出电压接近满度值，读取标准直流电压表的示值。

7.2.7.3 调压器输出电压为198V时，保持试验装置输出设置不变，读取标准直流电压表的示值。

7.2.7.4 调压器输出电压为242V时，保持试验装置输出设置不变，读取标准直流电压表的示值。

7.2.7.5 电压调整率可按公式（5）计算：

$$\gamma_D = \left| \frac{U_H - U_L}{U_O} \right| \times 100\% \quad (5)$$

式中:

γ_D — 试验装置的电压调整率, %;

U_O — 试验装置输入电压为220V时, 标准直流电压表的示值, V;

U_H — 试验装置输入电压为242V时, 标准直流电压表的示值, V;

U_L — 试验装置输入电压为198V时, 标准直流电压表的示值, V。

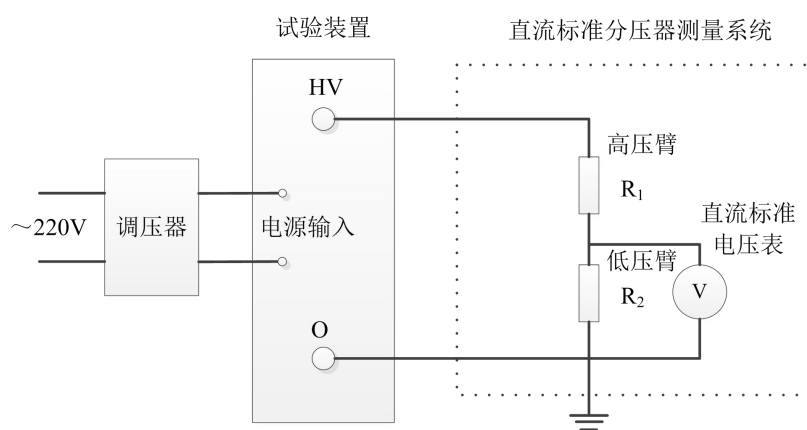


图5 电压调整率校准接线图

8 校准结果表达

8.1 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；
- 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) 进行校准的日期；
- g) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述，物品状态的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；

- k) 被校对象的描述和明确标识;
- l) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或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说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

不确定度的评定示例见附录A, 校准原始记录格式见附录B。

8.2 数据处理原则

校准结果小数点后保留的位数应与扩展不确定度有效位数一致。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年, 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

测量不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 测量标准

测量标准设备为直流标准分压器测量系统，相应技术性能如表A.1所示。

表A.1 测量标准设备

序号	标准设备名称	技术指标
1	直流标准分压器测量系统	测量范围：(0.1~100)kV 准确度等级：0.1级 分压比10000: 1

A.1.2 被测对象

选择直流高压发生器作为被测对象，其相应技术性能如表A.2所示。

表A.2 被测设备

序号	被测对象名称	技术指标
1	直流高压发生器	输出范围：(0.1~100)kV 电压准确度等级：1级

A.1.3 测量方法

采用直流标准分压器测量系统作为标准器，对一台某公司生产的便携式直流高压试验器在环境温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度（35~80）%RH的条件下放置24小时后开始校准。

A.2 测量模型

$$\lambda_u = \frac{(U_x - U_s)}{U_s} \times 100\%$$

式中：

λ_u — 电压示值相对误差，%；

U_x — 电压显示值，kV；

U_s — 电压标准值，kV。

A.3 测量不确定度的来源分析

根据测量模型，被校直流高压发生器测量不确定度将取决于输入量 U_x 和 U_s 的不确定度。以下分别对2个输入量的标准不确定度进行评定。

A.4 标准不确定度的评定

不确定度主要来源于被校直流高压发生器测量重复性引入的不确定度分量和直流标准分压器测量系统引入的不确定度分量。

A.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

对被校直流高压发生器在10kV测量点进行独立的重复测量10次，测量结果如表A.3所示。

表A.3 直流高压发生器电压测量结果

单位: kV

测量序号	1	2	3	4	5
实测值	10.01	10.02	10.02	10.00	10.01
测量序号	6	7	8	9	10
实测值	10.00	10.01	10.02	10.01	10.02

$$\text{算术平均值 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 10.012 \text{ kV},$$

$$\text{单次实验结果的标准偏差 } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.00789 \text{ kV},$$

被校直流高压发生器测量重复性引入的不确定度分量

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} / \bar{x} = 7.89 \times 10^{-4}$$

A.4.2 直流标准分压器测量系统引入的不确定度分量

测量直流电压的标准直流分压器最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ ，可认为在区间内服从均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则相对标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 5.78 \times 10^{-4}$$

标准分压器分压比为10000: 1，直流高压发生器输出10kV，数字多用表显示1V，数字多用表10V量程最大允许误差为 $\pm(\text{读数} \times 0.003\% + \text{量程} \times 0.0005\%)$ ，测量10kV时为 $\pm(1 \times 0.003\% + 10 \times 0.0005\%) \text{ V} = \pm 0.00008 \text{ V}$ ，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，按均匀分布，则相对标准不确定度 u_3 为

$$u_3 = \frac{0.00008 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 1 \text{ V}} = 4.62 \times 10^{-5}$$

A.5 合成标准不确定度

通过以上分析，输出电压测量的标准不确定度各分量如表A.4。

表A.4 输出电压的标准不确定度分量

标准不确定度分量	不确定度来源	ci	测量结果分布	标准不确定度分量值
u_1	测量重复性	1	正态	7.89×10^{-4}
u_2	标准直流分压器最大允许误差	1	均匀	5.78×10^{-4}
u_3	数字多用表准确度	1	均匀	4.62×10^{-5}

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 9.79 \times 10^{-4}$$

A.6 扩展不确定度

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}} = 2 \times 10^{-3} \quad (k=2)$$

同样方法可得出直流高压发生器其他校准点的测量不确定度。

附录 B

直流高压试验装置校准记录

证书编号: _____

共 _____ 页 第 _____ 页

送校单位: _____ 委托方地址: _____

仪器名称: _____ 制造单位: _____

规格型号: _____ 器具编号: _____ 准确度: _____

被校仪器状态 (完好“√”): _____ 校准前: _____ 校准后: _____

校准依据: _____ 环境条件: 温度: _____℃ 相对湿度: _____%

标准器名称	规格型号	出厂编号	有效期	备注

1. 外观及正常性检查 _____ 2. 耐电压试验: _____

3. 纹波因数: 当测试电压为 _____ kV, 纹波因数为 _____ %

4. 电压示值误差

序号	电压测量系统量程(kV)		电压测量系统量程(kV)	
	被检示值	标准值	被检示值	标准值
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

测量不确定度: _____ 校准地点: ☐ 本院 ☐ 现场 _____

校准员: _____ 核验员: _____ 校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

证书编号: _____

共 _____ 页 第 _____ 页

5. 电流示值误差

序号	电流量程(mA)		电流量程(mA)	
	被检示值	标准值	被检示值	标准值
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

6. 短时稳定度

标准要求	试验数据	结论
直流高压试验装置在开机5min内, 直流高压试验装置输出高压漂移值应不大于额定电压值的1%。	直流高压试验装置: 输出高压漂移值_____ kV, 占额定电压值的_____ %。	

7. 电压调整率

标准要求	试验数据	结论
直流高压发生器输入电源电压变化10%时, 直流高压发生器输出高压波动的最大值应不大于额定输出电压值的1%。	输入电源为220V时, 输出标准值_____ kV	
	输入电源为198V时, 输出标准值_____ kV	
	输入电源为242V时, 输出标准值_____ kV	

测量不确定度: _____ 校准地点: ☐ 本院 _____ ☐ 现场 _____

校准员: _____ 核验员: _____ 校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

