

天津市地方计量技术规范

JJF (津) 5013-2025

直流高压发生器校准规范

Calibration Specification for DC High Voltage Generators

2025-09-29 发布

2025-11-01 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

直流高压发生器校准规范

Calibration Specification for

DC High Voltage Generators

JJF(津) 5013-2025

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

付江楠（天津市计量监督检测科学研究院）

呼 和（内蒙古自治区计量测试研究院）

张一萌（天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

赵新明（天津市计量监督检测科学研究院）

赵 青（天津市计量监督检测科学研究院）

李学森（天津市计量监督检测科学研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语及定义	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
5.1 输出直流电压	(1)
5.2 输出直流电流	(2)
5.3 电压整定值	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(2)
7.1 校准项目	(2)
7.2 校准方法	(2)
8 校准结果表达	(4)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 校准原始记录参考格式	(6)
附录 B 校准证书内页校准结果格式	(7)
附录 C 直流高压发生器输出电压误差不确定度评定示例	(8)
附录 D 直流高压发生器输出电流误差不确定度评定示例	(10)
附录 E 直流高压发生器电压整定值误差不确定度评定示例	(12)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范的编制参考了 JJF(新) 10—2018《直流高压发生器校准规范》、JJF(豫) 283—2020《直流高压发生器校准规范》、DB15/T 1054—2024《计算机软件处理检测数据记录要求》等技术文件。

本规范为华北大区共建计量技术规范，本规范为首次发布。

直流高压发生器校准规范

1 范围

本规范适用于利用中频逆变倍压整流电路输出直流电压 1 kV 及以上、直流泄漏电流 10 mA 以内的固定式或便携式直流高压发生器的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

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

DL/T 848.1—2019 高压试验装置通用技术条件 第 1 部分：直流高压发生器

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

3 术语及定义

电压整定值 voltage setting value

在直流高压发生器电压输出范围内，设定的输出电压的上限，输出超过此电压值时，直流高压发生器将自动切断输出电压或停止电压输出。

4 概述

直流高压发生器利用中频逆变倍压整流电路输出直流高电压，常用于提供直流高压源，用来校准电力器件如氧化锌避雷器、电力电缆、变压器、发电机等高压电气设备的电气绝缘强度和泄漏电流进行直流耐压试验。原理如图 1 所示：

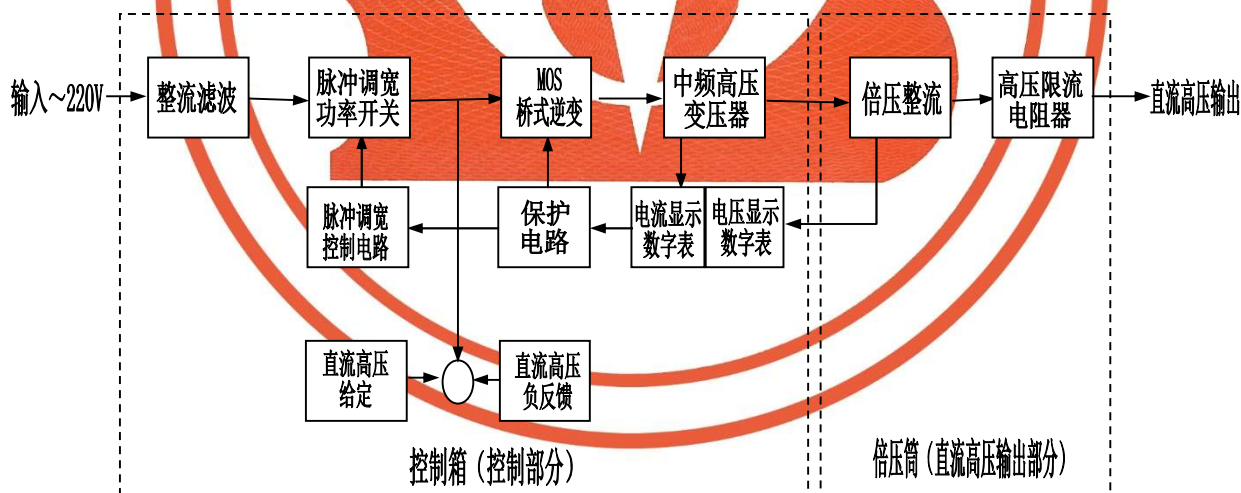


图 1 倍压整流产生直流高电压原理图

5 计量特性

5.1 输出直流电压

在额度输出电压的 10%~100%范围内，直流高压发生器输出电压示值误差： $\pm 1.0\% \sim \pm 5.0\%$ 。

5.2 输出直流电流

在额度输出电流的 10%~100%范围内, 直流高压发生器输出电流示值误差: $\pm 1.0\% \sim \pm 5.0\%$ 。

5.3 电压整定值

在额度输出电压的 10%~100%范围内, 直流高压发生器电压整定值示值误差: $\pm 1.0\% \sim \pm 5.0\%$ 。

注: 以上指标不适用于合格性判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度: $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

6.1.2 相对湿度: 不大于 80%;

6.1.3 周围无影响测量的强电磁场;

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 标准分压器

电压测量范围不小于被检直流高压发生器的额定输出范围, 最大允许误差不超过被检直流高压发生器输出电压最大允许误差的 1/3。

6.2.2 直流电流表

使用时连接于负载电阻与地之间, 电流测量大于 1 mA, 最大允许误差不超过被检直流高压发生器输出电流最大允许误差的 1/3。

6.2.3 负载电阻

电阻值大于 1 M Ω , 耐压值应大于直流高压发生器额度输出电压的 5%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

对被校仪器进行校准时, 应先确定被校仪器的测量参量及范围、测量环境条件等, 校准项目见表 2。

表 2 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	校准前的准备	7.2.1
2	输出直流电压	7.2.2
3	电压整定值	7.2.3
4	输出直流电流	7.2.4

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备

7.2.1.1 直流高压发生器外观应完好, 铭牌上应至少明确标出额定工作电压、最大输出电流, 所有标志清晰明确;

7.2.1.2 高压输出部分具有良好密封性和防潮性, 控制器部分各种调节旋钮、按键灵活可靠, 标识清晰, 通电时显示正常;

7.2.1.3 按图 2(a) 所示将测量端接至直流高压发生器输出端上, 接线完成后, 先调节直流高压发生器输出电压升高至校准点上限电压, 保持 120 s, 然后调节直流高压发生

器输出电压降至起点。

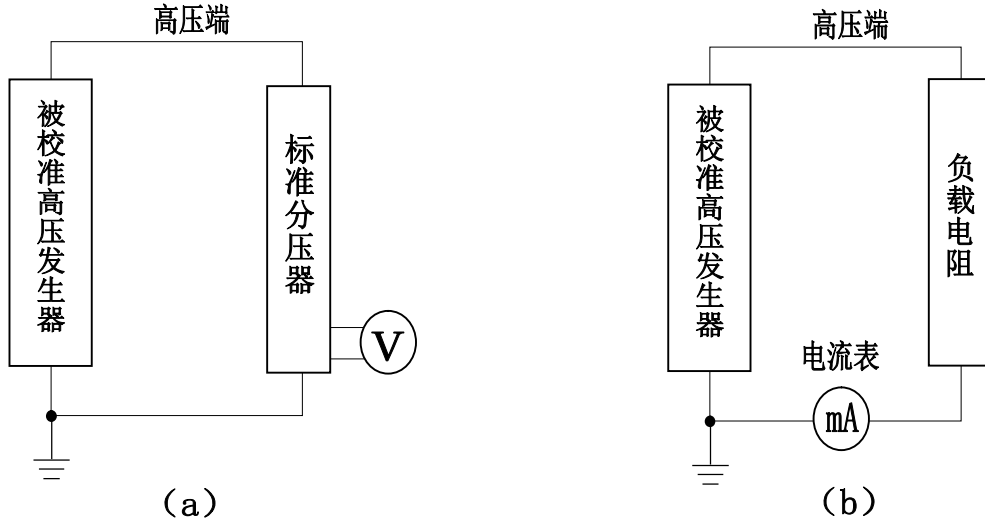


图 2

7. 2. 2 输出直流电压

7.2.2.1 每个量程至少应选取 10%、20%、50%、80%和 100%共 5 个点进行校准；客户有特殊要求时，按客户要求的校准点进行校准。

7.2.2.2 按图 2 (a) 接线后，根据 7.2.2.1 选择量程及校准点，从低到高，记录输出值 U_x 和实测值 U_n ，计算每个点误差。

电压示值误差按照式 (1) 进行计算：

$$\delta_U = \frac{U_x - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ_U — 直流高压发生器输出电压示值相对误差，%；

U_x — 直流高压发生器输出电压显示值，kV；

U_n — 标准分压器电压实测值，kV。

7.2. 3 电压整定值

按图 2 (a) 接线，有电压整定值功能的直流高压发生器，根据客户的要求选择校准点。客户无要求的，校准点一般选择为额定输出电压的 50%与 100%。在直流高压发生器的操作箱上设定电压整定值后，启动直流高压发生器，缓慢增大输出电压，至直流高压发生器产生保护（停升或切断输出电压），此时从标准分压器上读取的最大电压值即为电压整定值实测值，电压整定值示值误差按照公式 (2) 进行计算。

$$\gamma_u = \frac{U_s - U_o}{U_o} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ_u — 电压整定值示值相对误差，%；

U_s — 直流高压发生器电压整定值显示值, kV;

U_o — 标准分压器电压整定值实测值, kV。

7.2.4 输出直流电流

7.2.4.1 直流高压发生器输出电流校准,应在高压发生器最大输出电压量程的 2%~100% 下进行。

7.2.4.2 客户无要求的每个量程至少应选取 10%、20%、50%、80%和 100%共 5 个点进行校准;客户有特殊要求时,按客户要求的校准点进行校准。

按图 2 (b) 所示接线完成后,在直流高压发生器的操作箱上设定电压整定值为负载电阻最大耐压值后,启动直流高压发生器,缓慢增大输出电流,按 7.2.4.2 条款选择校准点,从低到高在分别记录输出值 I_x 和实测值 I_n 。

电流示值误差按照式 (3) 进行计算:

$$\delta_I = \frac{I_x - I_n}{I_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

δ_I — 直流高压发生器输出电流示值相对误差, %;

I_x — 直流高压发生器输出直流电流显示值, μA 或 mA ;

I_n — 直流电流表实测值, μA 或 mA 。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映,校准证书至少包括以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点 (如果不在实验室内进行校准);
- 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) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代码;
- j) 本次校准所用测量标准的信息及计量溯源性的声明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及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, 以及签发日期;
- 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, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。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

校准原始记录参考格式

委托单位:	校准证书编号:
委托单位地址:	型号规格:
仪器名称:	出厂编号:
制造单位:	校准日期:
校准地点:	环境温度: °C
校准依据:	相对湿度: %

计量标准考核证书编号: _____ 有效期至: _____

校准用主要计量标准器

名称	型号规格	出厂编号	证书编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	有效期至

1. 校准前检查:

外观完好 ☐ ; 通电检查工作正常 ☐ ; 接地端子正常 ☐.

2. 输出直流电压 () kV 量程

校准点	10%	20%	50%	80%	100%
显示值 (kV)					
实测值 (kV)					
显示值相对误差 (%)					
测量点相对误差扩展不确定度 ($k=2$)					

3. 输出直流电流 () mA 量程

校准点	10%	20%	50%	80%	100%
显示值 (mA)					
实测值 (mA)					
相对误差 (%)					
测量点相对误差扩展不确定度 ($k=2$)					

4. 电压整定值 () kV 量程

校准点	50%	100%
显示值 kV		
实测值 kV		
相对误差 (%)		
测量点相对误差扩展不确定度 ($k=2$)		

校准人员: _____ 核验人员: _____

附录 B

校准证书内页校准结果格式

校 准 结 果

1. 校准前检查:

外观完好 ☐ ; 通电检查工作正常 ☐ ; 接地端子正常 ☐.

2、输出直流电压 () kV 量程

校准点	10%	20%	50%	80%	100%
显示值 (kV)					
实测值 (kV)					
相对误差平均值 %					
测量点相对误差 扩展不确定度 ($k=2$)					

3、输出直流电流 () mA 量程

校准点	10%	20%	50%	80%	100%
显示值 (mA)					
实测值 (mA)					
测量点相对误差 (%)					
测量点相对误差 扩展不确定度 ($k=2$)					

4、电压整定值 () kV 量程

校准点	50%	100%
显示值 (kV)		
实测值 (kV)		
测量点相对误差 (%)		
测量点相对误差 扩展不确定度 ($k=2$)		

---- 以 下 空 白 ----

附录 C

直流高压发生器输出电压示值误差评定示例

C.1 概述

C.1.1 环境条件：温度：(20±5)℃；湿度：≤75%。

C.1.2 测量标准：400 kV 标准分压器（0.2 级）。

C.1.3 被测对象：100 kV/2 mA 直流高压发生器。

C.1.4 测量方法：用标准分压器测量直流高压发生器额定输出电压 100%（100.0 kV）校准点，重复测量 10 次。

C.2 测量模型：

$$f_V = f_{VP} + \Delta f_1 + \Delta f_2 \quad (C.1)$$

式中：

f_V —— 被校直流高压发生器输出电压示值误差；

f_{VP} —— 标准分压器电压测量的实际值误差；

Δf_1 —— 标准分压器准确度影响量；

Δf_2 —— 被校直流高压发生器输出电压示值测量重复性影响量。

C.3 标准不确定度评定

C.3.1 由标准分压器准确度引入的不确定度分量 u_1

测量发生器输出电压示值误差时，由标准分压器准确度引入的不确定度分量 u_1 ，采用 B 类评定。标准分压器的技术指标，其准确度为 ±0.2%，其不确定度的区间为：100 kV × ±0.2% = ±0.2 kV，则半宽度 $a = 0.2$ kV，在区间内可认为服从均匀分布。

取包含因子 $k = \sqrt{3}$

则不确定度 $u_1 = a / k = 0.2 / \sqrt{3} = 0.1154$ kV ≈ 0.115 kV

C.3.2 被校直流高压发生器输出电压示值测量重复性影响量 u_2

可通过重复测量得到测量列，采用 A 类评定方法进行评定。

对一直流高压发生器的输出电压示值 100 kV 连续测量 10 次。得到表 1 的数据：

表 1 重复测量数据列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
显示值 (kV)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
实际值 (kV)	100.65	101.05	101.05	101.05	101.03	101.05	101.05	101.05	101.05	101.05
实际值平均值 (kV)	101.258									
实际值误差 (kV)	-1.258									
实际值相对误差 (%)	-1.26%									
标准偏差 s (kV)	0.298									

$$\text{则不确定度 } u_2 = \frac{s}{\sqrt{10}} = \frac{0.298}{3.162} = 0.095 \text{ kV}$$

C.3.3 标准不确定度一览表:

表 2 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	不确定度 (kV)	相对不确定度 %
u_1	标准分压器引入	B	0.115	0.12%
u_1	测量结果重复性测量	A	0.095	0.10%

C.4 合成标准不确定度:

由于 u_1 和 u_2 彼此独立, 可按下列方法进行合成:

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} = 0.16\%$$

C.5 扩展不确定度:

取包含因子 $k = 2$, 则扩展不确定度 $U = k \times u_{\text{crel}} = 0.32\%$ ($k=2$)。

附录 D

直流高压发生器输出电流示值误差评定示例

D.1 概述

D.1.1 环境条件：温度：(20±5)℃；湿度：≤75%。

D.1.2 测量标准：电流表（0.05 级）。

D.1.3 被测对象：100 kV/2 mA 直流高压发生器。

D.1.4 测量方法：用标准分压器测量直流高压发生器额定输出电流 80%（1.600 mA）校准点，重复测量 10 次。

D.2 测量模型：

$$f_A = f_{AP} + \Delta f_1 + \Delta f_2 \quad (D.1)$$

式中：

f_A —— 被校直流高压发生器输出电流示值误差；

f_{AP} —— 电流表测量的实际值误差；

Δf_1 —— 电流表准确度影响量；

Δf_2 —— 被校直流高压发生器输出电流示值测量重复性影响量。

D.3 标准不确定度评定：

D.3.1 由电流表准确度引入的不确定度分量 u_1

测量发生器输出电流示值误差时，由电流表准确度引入的不确定度分量 u_1 ，采用 B 类评定。电流表的技术指标，其准确度为±0.05%，其不确定度的区间为：1.600 mA × ±0.05%=±0.0008 mA，则半宽度 $a = 0.0008$ mA，在区间内可认为服从均匀分布。

取包含因子 $k = \sqrt{3}$

则不确定度 $u_1 = a / k = 0.0008 / \sqrt{3} \approx 0.00046$ mA = 0.0005 mA

D.3.2 被校直流高压发生器输出电流示值测量重复性影响量 u_2

可通过重复测量得到测量列，采用 A 类评定方法进行评定。

对一直流高压发生器的输出电流示值 1.600 mA 连续测量 10 次。得到表 1 的数据：

表 1 重复测量数据列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
显示值 (mA)	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
实际值 (mA)	1.602	1.593	1.580	1.580	1.611	1.609	1.616	1.611	1.612	1.612
实际值平均值 (mA)	1.6026									
实际值误差 (mA)	-0.0026									
实际值相对误差(%)	-0.16%									
标准偏差 s (mA)	0.014									

$$\text{则不确定度 } u_2 = \frac{s}{\sqrt{10}} = \frac{0.014}{3.162} = 0.0044 \text{ mA}$$

D.3.3 标准不确定度一览表:

表 2 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	不确定度 (mA)	相对不确定度%
u_1	电流表引入	B	0.0008	0.05%
u_1	测量结果重复性测量	A	0.0044	0.25%

D.4 合成标准不确定度:

由于 u_1 和 u_2 彼此独立, 可按下列方法进行合成:

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} = 0.26\%$$

D.5 扩展不确定度:

取包含因子 $k = 2$, 则扩展不确定度 $U = k \times u_{\text{crel}} = 0.52\%$ ($k=2$)。

附录 E

直流高压发生器输出电压整定示值误差评定示例

E.1 概述

E.1.1 环境条件：温度：（20±5）℃，相对湿度：≤75%。

E.1.2 测量标准：400 kV 标准分压器（0.2 级）。

E.1.3 被测对象：100 kV/2 mA 直流高压发生器。

E.1.4 测量方法：用标准分压器测量直流高压发生器整定电压值 100%（100.0 kV）校准点，重复测量 10 次。

E.2 测量模型：

$$f_{ZV} = f_{ZVP} + \Delta f_1 + \Delta f_2 \quad (\text{E.1})$$

式中：

f_{ZV} —— 被校直流高压发生器输出电压示值误差；

f_{ZVP} —— 标准分压器电压测量的实际值误差；

Δf_1 —— 标准分压器准确度影响量；

Δf_2 —— 被校直流高压发生器输出电压示值测量重复性影响量。

E.3 标准不确定度评定：

E.3.1 由标准分压器准确度引入的不确定度分量 u_1

测量发生器输出电压示值误差时，由标准分压器准确度引入的不确定度分量 u_1 ，采用 B 类评定。标准分压器的技术指标，其准确度为 ±0.2%，其不确定度的区间为：±0.2% × 100 kV = ±0.2 kV，则半宽度 $a = 0.2$ kV，在区间内可认为服从均匀分布。

取包含因子 $k = \sqrt{3}$

则不确定度 $u_1 = a / k = 0.2 / \sqrt{3} = 0.1154$ kV ≈ 0.115 kV

E.3.2 被校直流高压发生器整定电压示值测量重复性影响量 u_2

可通过重复测量得到测量列，采用 A 类评定方法进行评定。

对一直流高压发生器的整定电压示值 100 kV 连续测量 10 次。得到表 1 的数据：

表 1 重复测量数据列

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
整定显示值 (kV)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
实际值 (kV)	100.9 5	101.0 1	101.0 5	101.7 5	101.6 3	101.5 5	101.7 5	101.7 5	101.4 5	101.6 5
实际值平均值 (kV)	101.454									
实际值误差 (kV)	-1.454									
实际值相对误差 (%)	-1.45%									
标准偏差 s (kV)	0.326									

$$\text{则不确定度 } u_2 = \frac{s}{\sqrt{10}} = \frac{0.326}{3.162} = 0.103 \text{ kV}$$

E.3.3 标准不确定度一览表:

表 2 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	不确定度 (kV)	相对不确定度%
u_1	标准分压器引入	B	0.115	0.12%
u_1	测量结果重复性测量	A	0.103	0.10%

E.4 合成标准不确定度:

由于 u_1 和 u_2 彼此独立, 可按下列方法进行合成:

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2} = 0.16\%$$

E.5 扩展不确定度:

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 $U = k \times u_{\text{crel}} = 0.32\%$ ($k=2$)。

