

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1517—2015

非接触式静电电压测量仪校准规范

Calibration Specification for Contactless Electrostatic Voltage
Measuring Instruments

2015-04-10 发布

2015-07-10 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

非接触式静电电压
测量仪校准规范

Calibration Specification for Contactless
Electrostatic Voltage Measuring Instruments

JJF 1517—2015

归口单位：全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会

起草单位：江苏省计量科学研究院

北京东方计量测试研究所

国家高电压计量站

安徽省计量科学研究院

国网湖北省电力公司电力科学研究院

本规范委托全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

潘宝祥（江苏省计量科学研究院）

刘 民（北京东方计量测试研究所）

王海燕（国家高电压计量站）

罗朝玉（安徽省计量科学研究院）

王永勤（国网湖北省电力公司电力科学研究院）

参加起草人：

朱 洁（江苏省计量科学研究院）

韦 建（江苏省计量科学研究院）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 术语和计量单位	(1)
2.1 测试距离	(1)
2.2 标准平板电极	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 静电电压基本误差	(1)
4.2 电压示值短期稳定性	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(4)
6.1 校准项目	(4)
6.2 校准前准备	(4)
6.3 校准方法	(4)
7 校准结果表达	(5)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 测量不确定度评定示例	(7)
附录 B 校准原始记录格式	(11)
附录 C 校准证书内页格式	(12)
附录 D 标准平板电极试验	(14)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、IEC 61340-5-1-1998《静电环境下电子元器件防护 一般要求》相关条款编制。

本规范为首次发布。



非接触式静电电压测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量物体表面电压不大于 20 kV 的非接触式静电电压测量仪（也可称为非接触式静电电压表，以下简称静电表）的校准。

本规范不适用于接触式静电电压测量仪的校准。

2 术语和计量单位

2.1 测试距离 testing distance

在非接触测量中，被测表面与测量仪器最前端的距离或测量仪器说明书中定义的距离。

2.2 标准平板电极 standard plate electrode

一个连接标准高压电源的、对地绝缘且边缘经过圆滑处理的金属平板。在平板中心靠近平板表面处，有平行于法线方向的均匀静电场存在，金属平板上的电压可以通过标准电压表读数或标准高压电源的设定来确定。

3 概述

静电表是一种用于测量带静电物体表面对地电位的仪器。在不与被测表面接触的情况下，利用电场感应原理或其他原理，测量出表面的电压值。该电压是以无穷远或大地为零作为参考电位。

静电表一般由电场传感器、距离指示器、测量单元、调零单元和显示单元组成，有些静电表有接地端子。最常见的电场传感器有感应电容式、转子伏特计式和振动电容式等。

静电表按距离指示可分为带有距离定位指示器的和不带距离定位指示器两种；按显示方式可分为数字显示式和指针式两种。

4 计量特性

4.1 静电电压基本误差

静电表的基本误差分为数字显示基本误差和指针显示基本误差两类，其公式可用下列形式之一表示。

4.1.1 数字显示的绝对误差

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

式中：

Δ ——绝对误差表示的基本误差限，V；

a ——与读数有关的误差系数；

b ——与满度值有关的误差系数；

U_x ——被校静电表的读数值（显示值），V；

U_m ——被校静电表量程的满度值，V。

4.1.2 数字显示的相对误差

$$\gamma = \pm \left(a \% + b \% \frac{U_m}{U_x} \right) \quad (2)$$

式中：

γ ——相对误差表示的基本误差限，V/V；

其他字母含义同式（1）。

4.1.3 指针显示的绝对误差限

$$\Delta = \pm \Delta U_{\max} \quad (3)$$

式中：

ΔU_{\max} ——量程内最大允许绝对误差，V。

其他字母含义同式（1）。

4.1.4 指针显示的相对误差

$$\gamma = \pm \frac{\Delta U_{\max}}{U_m} \times 100 \% \quad (4)$$

式中：

字母含义同式（1）、式（2）。

4.2 电压示值短期稳定性

被校静电表电压示值在短时间内的变化应不大于仪器最大允许误差限的 1/2。短时间是指两次调零操作之间的时间，缺省值为 15 s。

5 校准条件

5.1 环境条件

静电表的校准环境条件应满足以下要求：

a) 环境温度：20 °C ± 5 °C。

b) 相对湿度：30% ~ 75%。

c) 周围无影响测量的强电场和交变磁场，外界电磁场影响而引起的误差应不超过被校静电表允许误差的 1/10。

d) 有接地线，且接地电阻小于 4 Ω。

e) 在被校准仪器前端面与标准平板电极之间的立体空间内应不存在其他导体和绝缘物体。

5.2 测量标准及其他设备

静电表的校准装置一般由高压电源、标准平板电极、直流高压表、刻度尺、绝缘支架和距离调节装置组成，原理图如图 1 所示。其校准装置的扩展不确定度应小于被校准对象基本误差限值的 1/3。

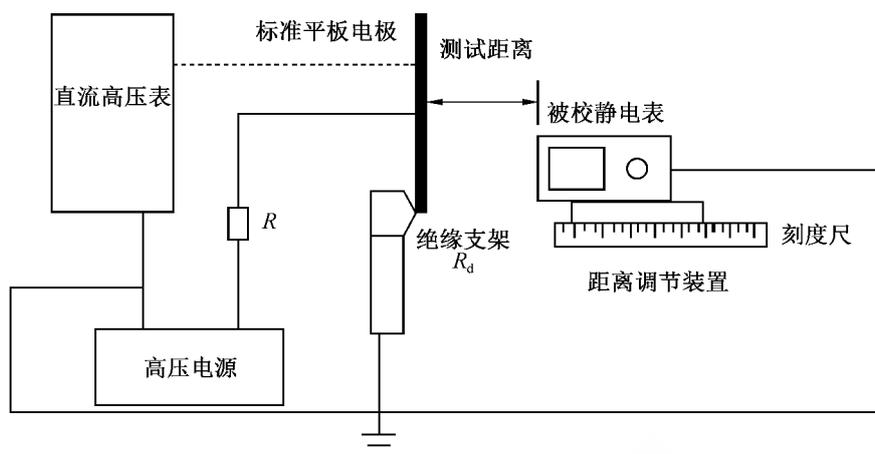


图1 静电表校准装置原理框图

5.2.1 高压电源

高压电源分为工作用高压电源和标准用高压电源。

a) 作为工作用的高压电源的稳定度应满足：在半分钟内其电压的稳定度应不低于被校静电表最大允许误差限的 $1/10$ ，调节细度应优于被校静电表最大允许误差限的 $1/10$ ，直流电压纹波系数应小于 1% 。

b) 作为标准用高压电源的允许误差应小于被校静电表最大允许误差限的 $1/5$ 。

5.2.2 直流高压表

直流高压表的允许误差应小于被校静电表最大允许误差限的 $1/5$ 。

5.2.3 标准平板电极

标准平板电极平面的尺寸应该足够大，以减少边界效应引入的不确定度影响。判断方法见附录 D。

5.2.4 刻度尺

刻度尺范围为 $1\text{ mm} \sim 300\text{ mm}$ ，允许误差为 $\pm(0.1 \sim 1)\text{ mm}$ 。

5.2.5 绝缘支架

绝缘支架应满足以下要求：

a) 绝缘电阻 R_d 大于 $1\text{ T}\Omega$ ；

b) 耐受电压为 25 kV ；

c) 保护电阻 R 应满足：
$$\frac{R}{R+R_d} < \frac{1}{10} \gamma$$
，且能够限制高压源对地短路电流应小于

5 mA ，功率应满足设计要求。

5.2.6 距离调节装置

距离调节装置用于承载和移动被校静电表或其传感器。

距离调节装置应使传感器前端伸出，支架几何形状和材料应对传感器前端周围电场分布无影响。移动轨迹应垂直于标准平板电极，调节细度小于 0.1 mm 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目包括静电电压基本误差和静电电压短期稳定性。

6.2 校准前准备

目视检查被校静电表，应有使用说明书或铭牌。铭牌应明确标出：产品名称、制造厂、型号、出厂编号、出厂日期、允许误差、电压量程、测试距离等。

6.3 校准方法

6.3.1 静电电压基本误差

6.3.1.1 校准点选取

每个量程应至少选取 10%、20%、50%、100% 量程在内的四个以上的校准点，或由校准用户指定校准点，每点测量 n 次 ($n \geq 2$)，取平均值为结果。正、负电压分别校准。

6.3.1.2 标准源法

标准装置中高压电源满足允许误差要求，且绝缘支架与保护电阻之间的关系满足要求，则其输出设定值可作为标准电压值，这种方法中不需要使用直流高压表。

6.3.1.3 标准表法

如果标准装置中高压电源的允许误差不能满足要求，或绝缘支架与保护电阻之间的关系也不满足要求，则使用直流高压表的示值作为标准电压，但高压源短期稳定性和调节细度应满足 5.2.1a) 的要求。

6.3.1.4 校准步骤

校验步骤如下：

a) 将被校静电表放在图 1 所示的装置上，需接地的应接地，高压电源输出零电压，或将标准平板电极接地，被校静电表调零。

b) 调节被校静电表测试距离。先将距离调节装置前移，使被校静电表的传感器正面前端平行地接触到标准平板电极。再将距离调节装置后移，保证被校静电表传感器正面前端平行于标准平板电极。如果说明书中规定固定距离，则校准测试距离为仪器说明书中定义位置的距离。如果说明书中未规定距离范围，则校准测试距离为仪器说明书中定义的下限距离和上限距离，分别校准。

c) 调节高压电源输出。使标准平板电极达到校准点电压，按 6.3.1.2 和 6.3.1.3 选择标准电压读数，在附录 B 中记录标准值 U_N (正电压) 或标准值 U_N (负电压)。

d) 读取被校静电表的显示，在附录 B 中记录示值 U_x (正电压) 或示值 U_x (负电压)。

e) 静电电压示值误差计算如式 (5)，结果 $|\Delta U_x|$ 应小于 4.1 中静电电压基本误差绝对值：

$$\Delta U_x = U_x - U_N \quad (5)$$

式中：

ΔU_x ——被校静电表的示值误差，V；

U_N ——按 6.3.1.2 和 6.3.1.3 选择标准电压读数, V;

U_x ——被校静电表的显示读数, V;

6.3.2 静电电压短期稳定性

校验步骤如下:

a) 将被校静电表调零, 按规定的测试距离置于标准平板电极前;

b) 将标准平板电极电压设置到最大量程电压的 50%, 分别设置正、负电压, 并开始记录时间;

c) 每隔 5 s 观察被校静电表示值并记录, 计时到 15 s 计时结束, 在正、负电压下分别进行, 测量结果记录在附录 B 中;

d) 按照式 (6) 计算, 结果应满足 4.2 的要求。

$$S = \left| \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U} \right| \times 100\% \quad (6)$$

式中:

S ——电压示值短期稳定性;

U_{\max} ——被校静电表短时读数最大值, V;

U_{\min} ——被校静电表短时读数最小值, V;

U ——被校静电表初始示值, V。

7 校准结果表达

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。

测量不确定度的评定与表示参见附录 A，校准原始记录格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C。

8 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

测量不确定度评定示例

A.1 测量方法

用满足本校准规范要求的校准装置，在规定的测试距离条件下，以标准平板电极提供的电压值为标准量，以非接触式静电电压表的读数为被测量，调零操作完成后，测量在 30 s 内完成，读数 6 次。

A.2 测量模型

测量模型见式 (A.1)。

$$\Delta U_x = U_x - U_N \quad (\text{A.1})$$

式中：

ΔU_x ——示值误差，V；

U_x ——被校静电表示值，V；

U_N ——标准平板电极的静电电压，V。

A.3 测量不确定度主要来源

- a) 平板电极边界效应引入的测量不确定度分量 u_1 ；
- b) 测量距离不准确引入的测量不确定度分量 u_2 ；
- c) 绝缘泄漏电阻与保护电阻的分压作用引入的测量不确定度分量 u_3 ；
- d) 直流高压表测量误差或直流高压电源输出不准确引入的测量不确定度分量 u_4 ；
- e) 外界电磁场引入的测量不确定度分量 u_5 ；
- f) 被校静电表显示分辨力引入的测量不确定度分量 u_6 ；
- g) 被校静电表前端平面与标准电极平面不平行引入的不确定度分量 u_7 ；
- h) 测量重复性引入的测量不确定度分量 u_8 。

A.3.1 平板电极边界效应引入的标准不确定度 u_1

根据附录 D 的试验，测得平板电极边界效应产生的相对示值误差为 γ_d ，按式 (A.2) 计算平板电极边界效应引入的标准不确定度 u_1 ，假设均匀分布：

$$u_1 = \frac{\gamma_d}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.2})$$

采用直径 60 cm 的平板电极，被校表为 FMX-003，标准电压 1 000 V 时，按附录 D 的试验，将被校表向左右各偏移 5 cm，读数未发生改变，计算 $\gamma_d = 0$ ， $u_1 = 0$ 。

A.3.2 测量距离不准确引入的标准不确定度 u_2

需要使用刻度尺测量测试距离或按说明书规定测试距离进行调节，不确定度来源于距离测量的相对不确定度，符合均匀分布。

有距离指示器的被校静电表，根据距离指示器的光标进行目视调节，不确定度来源于距离指示器的相对不确定度，符合均匀分布。

在标准平板电极电压不变的情况下，测量距离与静电表的读数成反比关系，见式 (A.3)。假设测量距离为 D ，距离调节不准确的范围是 ΔD ，符合均匀分布，则测量

距离不准确引入的标准不确定度 u_2 按式 (A.3) ~ 式 (A.5) 计算:

$$U_x = \frac{K}{D} \quad (\text{A.3})$$

$$\gamma_x = -\gamma_D = -\frac{\Delta D}{D} \quad (\text{A.4})$$

$$u_2 = \frac{|\gamma_x|}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.5})$$

式 (A.3) ~ 式 (A.5) 中:

U_x ——静电表的读数, V;

K ——当被测电压不变时, K 是与仪表原理有关的常数, 可用一组距离与电压读数测量点, 采用函数拟合的方法计算, V·m;

γ_x ——因测试距离不准确造成的读数偏差, 相对值, V/V;

γ_D ——距离测量不确定度, 相对值, m/m;

ΔD ——距离调节不准确的范围, mm。

测量距离使用游标卡尺, $D = 25.4 \text{ mm}$, $\Delta D = 0.02 \text{ mm}$, $\gamma_x = -0.02/25.4 \approx 0.08\%$, $u_2 = 0.046\%$ 。

A.3.3 绝缘泄漏电阻与保护电阻的分压作用引入的标准不确定度 u_3

根据本校准规范 5.2.5 的 c) 要求, 分压影响应小于被校静电表最大允许误差限的 1/10, 符合均匀分布, 则绝缘泄漏电阻与保护电阻的分压作用引入的标准不确定度 u_3 按式 (A.6) 计算:

$$u_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R}{R + R_d} \quad (\text{A.6})$$

式中:

R ——保护电阻值, Ω ;

R_d ——绝缘支架电阻值, Ω 。

校准装置保护电阻 100 M Ω , 绝缘支架电阻 1 T Ω ,

$$u_3 = \frac{1}{1.732} \cdot \frac{1 \times 10^8}{1 \times 10^8 + 1 \times 10^{12}} = 0.0058\%$$

A.3.4 直流高压表测量误差或高压电源输出不准确引入的标准不确定度 u_4

根据直流高压表或高压电源说明书或检定证书, 获得标准电压的测量不确定度为 γ_v , 符合均匀分布, 则直流高压表或高压电源输出不准确引入的标准不确定度按式 (A.7) 计算:

$$u_4 = \frac{\gamma_v}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.7})$$

式中:

γ_v ——标准电压测量不确定度。

标准数字高压表 SGB-200B 最大允许误差为 $\pm 0.5\%$, $\gamma_v = 0.5\%$, $u_4 = 0.5\%/1.732 = 0.29\%$ 。

A.3.5 外界电磁场引入的测量不确定度 u_5

根据本校准规范 5.1c) 的要求, 外界电磁场影响而引起的误差, 不应超过被校静电表最大允许误差限的 1/10, 符合均匀分布, 则外界电磁场引入的测量不确定度 u_5 按式 (A.8) 计算:

$$u_5 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{10} \gamma \quad (\text{A.8})$$

式中:

γ ——被校静电表基本误差限, 相对值, V/V;

被校表 FMX-003 最大允许误差限 $\gamma=10\%$, $u_5=10\%/(10 \times 1.732) = 0.58\%$ 。

A.3.6 被校静电表显示分辨力引入的测量不确定度分量 u_6

设被校静电表的显示分辨力为 e , 测量不确定度为半区间, 均匀分布, 则由被校静电表显示分辨力引入的测量不确定度分量 u_6 按式 (A.9) 计算:

$$u_6 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2} e \frac{1}{\bar{U}} \quad (\text{A.9})$$

式中:

\bar{U} ——被校静电表的 n 次读数的平均值, V;

e ——被校静电表的显示分辨力, V。

被校表 FMX-003 在 20 kV 量程分辨力是 10 V, $e=10$ V, $\bar{U} \approx 976.8$ V,

$$u_6 = 10 / (1.732 \times 2 \times 976.8) = 0.03\%$$

A.3.7 被校静电表前端平面与标准电极平面不平行引入的不确定度分量 u_7

在 6.3.1.4 校准过程中, 先将距离调节装置前移, 使被校静电表的传感器正面前端平行地接触到标准平板电极。再将距离调节装置后移, 因线性移动不会发生转动, 保证了被校静电表传感器正面前端平行于标准平板电极。因此该项分量可以忽略不计, 如式 (A.10)。

$$u_7 = 0 \quad (\text{A.10})$$

A.3.8 测量重复性引入的标准不确定度 u_8

根据 n 次测量值, 测量结果包含了被校静电表短期稳定性影响量, 采用贝塞尔公式计算实验标准偏差 s 按式 (A.11) 计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}} \quad (\text{A.11})$$

式中:

s ——实验标准偏差;

U_i ——被校静电表的第 i 次读数值, V;

\bar{U} ——被校静电表的 n 次读数的平均值, V。

测量重复性引入的平均值测量结果相对标准不确定度 u_8 按式 (A.12) 计算:

$$u_8 = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot \frac{1}{\bar{U}} \quad (\text{A.12})$$

式中：

n ——测量次数。

测量 6 次， $n=6$ ，测量结果如表 A.1：

表 A.1

n	1	2	3	4	5	6
U_N/V	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
U_i/V	973	977	981	982	973	975
\bar{U}/V	976.8					
s/V	3.92					
$u_8 = 3.92 / (2.45 \times 976.8) = 0.16\%$						

A.4 合成标准不确定度 u_c

合成标准不确定度 u_c 按式 (A.13) 计算：

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2} & (A.13) \\
 &= \sqrt{(0)^2 + (0.046)^2 + (0.0058)^2 + (0.29)^2 + (0.58)^2 + (0.03)^2 + (0)^2 + (0.16)^2} \\
 &= 0.67\%
 \end{aligned}$$

A.5 扩展不确定度 U_{rel}

扩展不确定度 U_{rel} 按式 (A.14) 计算：

$$\begin{aligned}
 U_{rel} &= k u_c & (A.14) \\
 &= 2 \times 0.67\% = 1.3\%
 \end{aligned}$$

式中：

U_{rel} ——扩展不确定度，相对值；

k ——为常数，工程应用中取 2。

附录 B

校准原始记录格式

非接触式静电电压测量仪校准原始记录

基本信息					
委托单位				地 址	
仪器名称				型号/规格	
生产厂家				出厂编号	
标准器名称				标准器型号/规格	
标准证书号				有效期至	
不确定度或准确度等级或 最大允许误差					标准测量范围
校准依据				校准地点	
环境温度	℃	湿度	%	校准日期	
建议复校时间间隔为____年____月____日					
静电电压校准记录					
测试距离			静电电压测量不确定度		
a)					
标准值 U_N (正电压)	示值 U_x (正电压)	示值误差 ΔU_x (正电压)	标准值 U_N (负电压)	示值 U_x (负电压)	示值误差 ΔU_x (负电压)
b)					
静电电压短期稳定特性记录					
测量值	测试电压为负满量程 50% 时		测试电压为正满量程 50% 时		
	示值变化量/V	时间/s	示值变化量/V	时间/s	
第一次测量					
第二次测量					
第三次测量					

校准员：_____

核验员：_____

附录 C

校准证书内页格式

C.1 校准证书第 2 页格式

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		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准 证书编号	证书有效期至

注：

1. ×××××仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准，不得部分复印证书。

第×页 共×页

C.2 校准证书校准结果页格式

证书编号 ×××××—×××××

校准结果

1. 静电电压					
标准值 U_N (正电压)	示值 U_x (正电压)	示值误差 ΔU_x (正电压)	标准值 U_N (负电压)	示值 U_x (负电压)	示值误差 ΔU_x (负电压)
测量不确定度： (k=2)					
2. 电压短期稳定性					
					
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1—2012 的要求。					
敬告：					
<ol style="list-style-type: none"> 1. 被校准仪器修理后，应立即进行校准。 2. 在使用过程中，如对被校准仪器的技术指标产生怀疑，请重新校准。 3. 根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下____个月校准一次。 					

校准员：

核验员：

附录 D

标准平板电极试验

D.1 试验目的

试验的目的是判断标准平板电极的尺寸是否满足要求。标准平板电极的尺寸应该足够大，以减少边界效应引入的不确定度影响。测量距离越大，标准平板尺寸也越大。对不同的被测对象以及不同的测量距离，标准平板尺寸的要求也不一样。通过试验可确定边界效应产生的相对示值误差影响量。

D.2 试验步骤

标准平板电极的试验步骤如下：

- a) 将被校静电表置于规定的测试距离处，并对准标准平板电极的中心；
- b) 调节直流高压电源输出使标准平板电极的电压为被校静电表满量程的 $1/10$ ，但不应小于 $1\ 000\ \text{V}$ ，记录读数 U_1 ；
- c) 保持标准平板电极电压不变，沿平行于电极平面的方向，向边沿平行移动被校静电表，或者相对于被校静电表移动标准平板电极，移动的距离为被校静电表的前端宽度的一半，见图 D.1，并记录读数 U_2 ；
- d) 比较中心位置与偏心位置两种状态下，被校静电表的读数之差 $|U_1 - U_2|$ 。

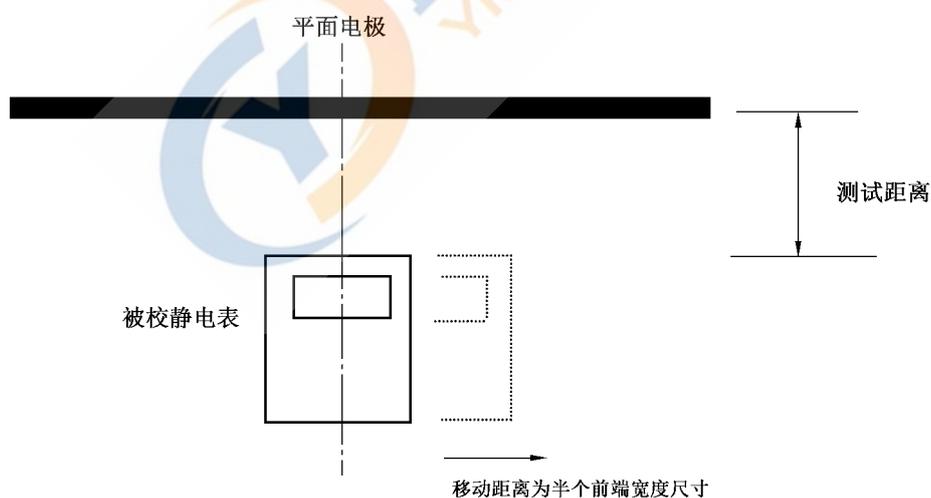


图 D.1 平面电极尺寸试验

D.3 试验结论

如果被校静电表的读数之差 $|U_1 - U_2|$ 小于被校静电表允许误差极限的 $1/5$ ，则平面尺寸满足要求。正负极性各做一次，取偏差大者作为结果。对于型号相同或结构原理相同的被校静电表，不必每次校准都做平板电极试验。用读数的相对变化量表示边界效应产生的相对示值误差 γ_d ，按式 (D.1) 计算：

$$\gamma_d = \frac{|U_1 - U_2|}{U_1} \times 100\% \quad (\text{D. 1})$$

式中：

γ_d ——边界效应产生的相对示值误差，%；

U_1 ——在中心位置状态下被校静电表示值，V；

U_2 ——在偏心位置状态下被校静电表示值，V。

