



天津市地方计量技术规范

JJF(津)52—2021

电容漏电流测试仪校准规范

Calibration Specification for Electrolytic
Capacitor Leakage Current Tester

2021-04-16 发布

2021-05-16 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

电容漏电流测试仪校准规范

Calibration Specification for
Electrolytic Capacitor Leakage
Current Tester

JJF(津)52-2021

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

参加起草单位：天津市计量监督检测科学研究院电子
仪表实验所

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：

- 董 娜 （天津市计量监督检测科学研究院）
王 楠 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）
刘 宇 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

参加起草人：

- 张一萌 （天津市计量监督检测科学研究院）
张 涛 （天津市计量监督检测科学研究院）
郭景涛 （天津市计量监督检测科学研究院）
赵新明 （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 概述.....	(1)
4 术语和计量单位.....	(2)
4.1 漏电流.....	(2)
4.2 直流测试电压.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 漏电流.....	(2)
5.2 直流测试电压.....	(2)
5.3 充电电流.....	(2)
5.4 充电时间.....	(2)
5.5 超限指示引用误差.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 主要测量标准及要求.....	(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 电容漏电流测试仪校准原始记录参考格式.....	(9)
附录 B 校准证书内页格式.....	(12)
B.1 校准证书内页 (第二页) 格式.....	(12)
B.2 校准证书校准结果页格式.....	(13)
附录 C 测量不确定度评定示例.....	(15)

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》进行编制。

本规范为首次发布。

电容漏电流测试校准规范

1 范围

本规范适用于各型电解电容漏电流测试仪的校准。电容器分选仪漏电流功能可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1587—2016 数字多用表校准规范

GB/T2693—2001 电子设备用固定电容器 第1部分：总规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；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 概述

电容器漏电流是铝、钽类电解电容器的重要指标之一，可使用专门的电测量仪器开展测量。其测量原理如图1所示：

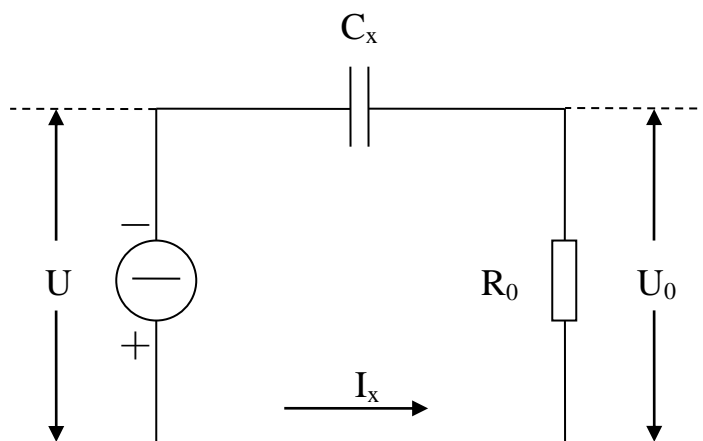


图1 电容器漏电流测量原理图

图中： C_x ——被测电容器；

R_0 ——标准电阻器；

I_x ——电容器的漏电流；

U ——直流极化电源；

U_0 ——电容器漏电流在 R_0 的电压降。

4 术语和计量单位

4.1 漏电流 Leakage Current

在电容器两端加上一定的直流电压所产生的直流电流。

4.2 直流测试电压 DC Test Voltage

测量电容漏电流时，施加在电容器两端的直流电压。

5 计量特性

5.1 漏电流

测量范围：0.2 μ A~30mA；允许误差限： $\pm 0.3\%$ 。

5.2 直流测试电压

测量范围：(1~1000) V；允许误差限： $\pm 0.5\%$ 。

5.3 充电电流

测量范围：(0.5~500) mA；允许误差限： $\pm 5\%$ 。

5.4 充电时间

测量范围：(0~999) s；允许误差限： $\pm 2\%$ 。

5.5 超限指示引用误差

测量范围：0.2 μ A~30mA；允许误差限： $\pm 2\%$ 。

注：具体计量特性，可参照被校测试仪的技术要求。以上要求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 环境温度：(20 \pm 5) $^{\circ}$ C；

6.1.2 相对湿度：(50 \pm 20) %；

6.1.3 大气压强：(86~106) kPa；

6.1.4 供电电源：(220 \pm 11) V；

6.1.5 供电频率：(50 \pm 1) Hz；

6.1.6 周围无影响校准工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 主要测量标准及要求

6.2.1 数字多用表

6.2.1.1 直流电流：10 μ A~100mA；最大允许误差： $\leq \pm 0.1\%$ 。

6.2.1.2 直流电压：(0.001~1000) V；最大允许误差： $\leq \pm 0.05\%$ 。

6.2.2 直流电阻箱：0.01 Ω ~100M Ω ；准确度等级：0.1 级。

6.2.3 四端标准电阻器：100k Ω ；最大允许误差： $\leq \pm 0.05\%$ 。

6.2.4 数字式电秒表：1ms~999s；最大允许误差： $\leq \pm 0.005\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

序号	项目名称	计量特性的条款	校准方法的条款
1	漏电流示值误差	5.1	7.2.4
2	直流测试电压	5.2	7.2.5
3	最大充电电流	5.3	7.2.6
4	充电时间	5.4	7.2.7
5	超限指示误差	5.5	7.2.8

7.2 校准方法

7.2.1 一般要求

被校准电容器电容漏电流测试仪置于校准环境条件下应不少于 2h，以消除温度梯度。严格按使用说明书对被校准仪器进行预热。

7.2.2 外观

外观检查的内容包括：制造厂名或商标、出厂编号、仪器名称、型号；电容器电容漏电流测试仪的外形结构和附件是否损坏或脱落，机壳、端钮等是否碰伤或松动；供电电源电压、频率标志、接地端钮等是否正确。

7.2.3 通电检查

通电检查电容器电容漏电流测试仪的线路是否能正常工作，如存在影响正常工作的损坏（如线路短路或断路、绝缘部件的电器击穿、数码管等）。

7.2.4 漏电流示值误差校准

7.2.4.1 校准 $10\mu\text{A}$ 以上的漏电流示值时，建议采用标准数字表法，如图 2 连接仪器，将数字多用表和直流电阻箱串联，接于电容测试端 C_x 接线柱，数字多用表至于“DCI”功能；校准 $10\mu\text{A}$ 以下的漏电流示值时，建议采用伏安法，如图 3 连接仪器，直流电阻箱与标准电阻器串联，数字多用表至于“DCV”功能。并接于标准电阻器的电压采样端。在校准过程中，直流电阻箱的示值不得低于 $2\text{ k}\Omega$ 。

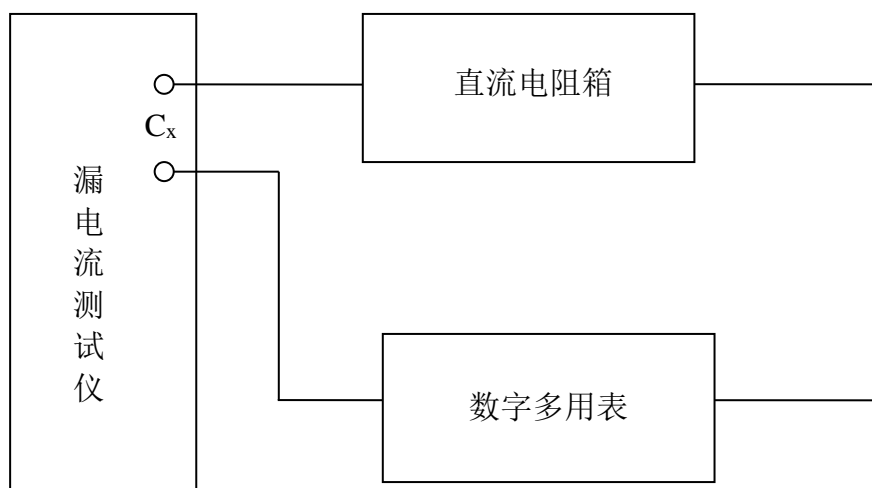


图 2 采用标准数字表法校准

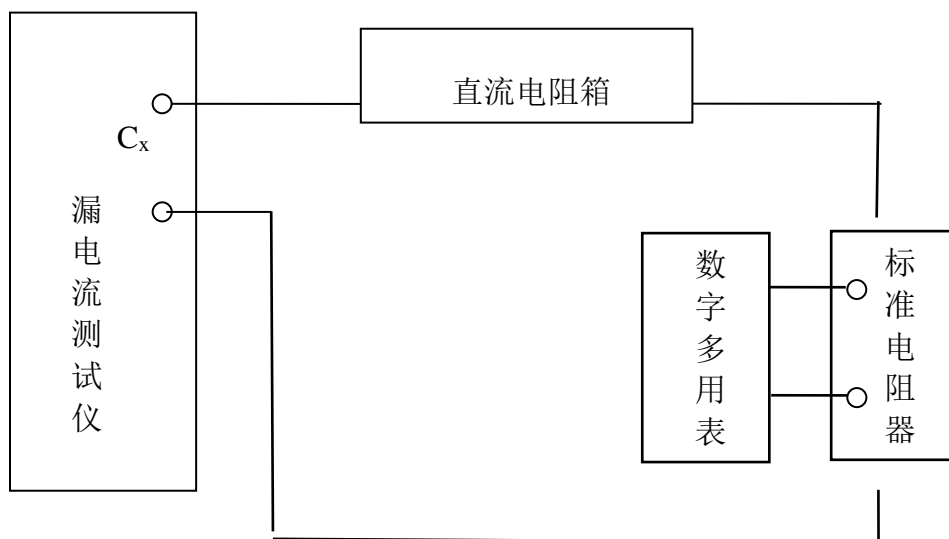


图3 采用伏安法校准

7.2.4.2 将被校电容漏电流测试仪的工作选择开关放置在“测试”功能，将报警“门限值”至于最大。

7.2.4.3 选取被校电容漏电流测试仪的一个 mA 量程和一个 μA 量程作为基本量程。在基本量程中，均匀的选取 5 个点作为校准点，其余量程选取该量程的最大值和最小值作为校准点。

7.2.4.4 采用标准数字表法校准时，读取数字多用表显示的电流值作为 I_0 ，按(1)式计算漏电流的引用误差：

$$\delta_{I_s} = \frac{I - I_0}{I_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中： δ_{I_s} ——被校电容漏电流测试仪漏电流示值的引用误差；

I ——被校电容漏电流测试仪的电流示值，单位为毫安或微安（mA 或 μA ）；

I_0 ——数字多用表测得的电流实际值，单位为毫安或微安（mA 或 μA ）；

I_N ——被校电容漏电流测试仪相应量程的满度值，单位为毫安或微安（mA 或 μA ）。

7.2.4.5 采用伏安法校准时，读取数字多用表显示的电压值 U_0 ，按(2)式计算漏电流的引用误差。

$$\delta_{I_s} = \frac{I - U_0 / R_0}{I_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中： δ_{I_s} ——被校电容漏电流测试仪漏电流示值的引用误差；

I ——被校电容漏电流测试仪的电流示值，单位为毫安或微安（mA 或 μA ）；

U_0 ——数字多用表测得的电压实际值，单位为伏特（V）；

R_0 ——标准电阻器的电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；

I_N ——被校电容漏电流测试仪相应量程的满度值,单位为毫安或微安(mA 或 μA)。

7.2.5 直流测试电压校准

7.2.5.1 按图 4 连接仪器,将数字多用表接于电容测试端 C_x 接线柱两端,数字多用表置于“DCV”功能。

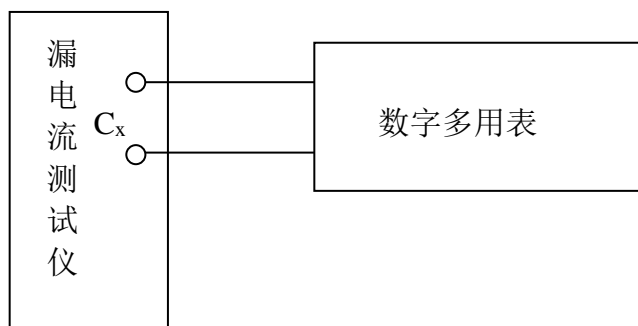


图 4 直流测试电压校准示意图

7.2.5.2 将被校电容漏电流测试仪的工作选择开关置于“测试”位置,每个量程均匀的选取 5 个点作为校准点,调节电压旋钮使被校电容漏电流测试仪显示相应示值,读取数字多用表的 DCV 示值。

7.2.5.3 按(3)式计算直流测试电压的相对误差。

$$\delta_U = \frac{U - U_0}{U_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中: δ_U ——被校电容漏电流测试仪直流测试电压的引用误差;

U ——被校电容漏电流测试仪的直流测试电压示值,单位为伏特(V);

U_0 ——数字多用表测得的电压实际值,单位为伏特(V)。

7.2.6 最大充电电流校准

7.2.6.1 按图 2 连接仪器,数字多用表置于“DCI”功能。

7.2.6.2 将被校电容漏电流测试仪的工作选择开关置于“充电”位置,将电压置于最大量程,调节电压使其指示到说明书要求的示值,读取数字多用表的 DCI 示值,并将结果记入原始记录。每个校准点的校准时间一般不超过 10 秒,校准后应立即取下数字多用表。

7.2.7 充电时间校准

7.2.7.1 将试验电容器(电压不大于 100V)充分放电后接于 C_x 接线柱,数字式电秒表并联到 C_x 接线柱两端,将测试仪充电时间控制置于定时方式。将数字式电秒表记录的充电时间记入原始记录。

7.2.7.2 按(4)式计算充电时间的相对误差。

$$\delta_t = \frac{t - t_0}{t_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中： δ_t ——被校电容漏电流测试仪充电时间的相对误差；

t ——被校电容漏电流测试仪的充电时间示值，单位为秒（s）；

t_0 ——数字式电秒表测得的充电时间的实际值，单位为秒（s）；

7.2.8 超限指示误差校准

7.2.8.1 按图 2 或图 3 连接仪器，将数字多用表和直流电阻箱串联，接于电容测试端 C_x 接线柱，数字多用表至于“DCI”功能，选取“max”读数功能，缓慢的调节电压旋钮至预先设置的报警门限值，待被校电容漏电流测试仪“超限”灯亮起时，记录数字多用表的示值作为设置的门限值的实际值，记入原始记录。

7.2.8.2 按(5)式计算超限指示的相对误差。

$$\delta_{I_{\max}} = \frac{I_{\max} - I_{0\max}}{I_{0\max}} \times 100\% \quad (5)$$

式中： $\delta_{I_{\max}}$ ——被校电容漏电流测试仪超限指示的相对误差；

I_{\max} ——预先设定的超限指示报警的示值，单位为毫安（mA）；

$I_{0\max}$ ——超限指示报警的实际值，单位为毫安（mA）；

8 校准结果的表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书的唯一性标识，每页及总页数的标识；
- e) 客户的地址和名称；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 校准的日期，若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) 若与校准结果的有效性应用相关时，应对被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，包括名称及代号；
- j) 本次校准所有测量标准的溯源性及有效性的说明；
- 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) 对校准规范的偏离说明；
- n) 校准证书签发人的签名或等效标识；
- 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，不得部分复制证书的声明。

8.2 校准原始记录格式见附录 A，校准证书内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位也可根据实际使用情况，自主决定复校时间间隔。

附录 A 电容漏电流测试仪校准原始记录参考格式

仪器/样品信息						
委托(报检)单位名称:						
委托(报检)单位地址:						
仪器/样品名称:				型号规格:		
制造厂/商:				测量范围:		
准确度等级:				出厂编号:		
其它说明: <input type="checkbox"/> 送样 <input type="checkbox"/> 现场 <input type="checkbox"/> 抽样 <input type="checkbox"/> 其它						
测量信息						
序号	标准器名称	型号规格	编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至
标准器及配套设备使用前状态是否正常: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 情况说明:						
标准器及配套设备使用后状态是否正常: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 情况说明:						
校准依据:						
测量地点:				测量日期:		
环境温度: °C				环境湿度: %RH		
结论:						
测量结果扩展不确定度:						
测量人员:				核验人员:		

记录编号_____

证书编号_____

1. 外观检查:
 2. 通电检查:
 3. 漏电流示值校准:
- mA 量程:

量程	被校漏电流测试仪示值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

μ A 量程:

量程	被校漏电流测试仪示值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

4. 直流测试电压校准:

量程	被校漏电流测试仪示值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

5. 充电电流校准:

设定值	实际值	校准结果不确定度 ($k=2$)

6. 充电时间校准:

设定值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

7. 超限指示误差校准:

设定值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

第3页 共3页

附录 B 校准证书内页格式

B.1 校准证书内页（第 2 页）格式

证书编号：XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明			
校准所依据的技术文件（代号、名称）：			
校准所使用的主要计量器具：			
名 称	型号/规格	不确定度/准确度等级	证书编号
校准地点及其环境条件：			
地点：			
温度：	相对湿度：	其他：	

注：1.未经实验室书面批准，不得部分复制本证书。

2.本证书的校准结果仅对所校准的样品有效

3.本证书封面未加盖校准专用章无效

B.2 校准证书校准结果页格式

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

1. 漏电流示值校准:

量程 (mA)	被校漏电流测试仪示值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

量程 (μ A)	被校漏电流测试仪示值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

2. 直流测试电压校准:

量程	被校漏电流测试仪示值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

第 × 页 共 × 页

3. 充电电流校准:

设定值	实际值	校准结果不确定度 ($k=2$)

4. 充电时间校准:

设定值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

5. 超限指示误差校准:

设定值	实际值	测量误差	校准结果不确定度 ($k=2$)

校准员: _____

核验员: _____

附录 C 测量不确定度评定示例

电容漏电流测试仪漏电流测量不确定度评定

C.1 引言

电容漏电流测试仪校准主要指标有 5 个参数，其中漏电流是主要的参数之一。

本附录以漏电流测量值的测量不确定度评定为例，说明电容漏电流测试仪校准项目的测量不确定度评定的程序。由于校准方法和所用仪器设备相同或近似，其他项目校准结果的测量不确定度评定也是相同或近似的。

C.2 漏电流测量不确定度评定

C.2.1 测量方法

采用标准数字表法，调节电容漏电流测试仪的电压旋钮，使电容漏电流测试仪指示到需校准的测量点，读取数字多用表的电流值作为该点的校准值，漏电流引用误差按公式 (C.1) 计算。

C.2.2 样品信息

型号：TH2689A

技术指标：漏电流：± (0.3%满量程值+0.05μA)

C.2.3 测量模型

$$\delta_I = \frac{I - I_0}{I_N} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中： δ_I ——被校电容漏电流测试仪漏电流示值的引用误差；

I ——被校电容漏电流测试仪的电流示值，单位为毫安 (mA)；

I_0 ——数字多用表测得的电流实际值，单位为毫安 (mA)；

I_N ——被校电容漏电流测试仪相应量程的满度值，单位为毫安 (mA)。

C.2.4 不确定度来源

- a) 被校电容漏电流测试仪漏电流示值引入的不确定度分量 $u(I)$ ；
- b) 数字多用表电流示值最大允许误差引入的不确定度分量 $u(I_0)$ ；

C.2.5 标准不确定度的评定

- a. 被校电容漏电流测试仪漏电流示值引入的不确定度分量 $u(I)$ ；

被校电容漏电流测试仪示值显示的不稳定,分辨力不足是同一种不确定度分量的不同表现形式,因此在不不确定度评定时,应取其二者之间的较大值。首先通过多次重复测量进行 A 类评定,用贝塞尔公式 (C.2) 计算实验标准差,得到结果如表 C.1 所示。

$$u(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (\text{C.2})$$

式中: \bar{I} ——被校电容漏电流测试仪漏电流测量多次读数值的平均值;

I_i ——被校电容漏电流测试仪漏电流测量示值第 i 次读数值;

n ——重复测量的次数,此处 $n=10$ 。

表 C.1 电容漏电流测试仪漏电流显示值 2.00mA 重复测量数据

$x_1=2.004\text{mA}$	$x_2=2.008\text{mA}$	$x_3=2.005\text{mA}$	$x_4=2.007\text{mA}$	$x_5=2.005\text{mA}$
$x_6=2.003\text{mA}$	$x_7=2.007\text{mA}$	$x_8=2.004\text{mA}$	$x_9=2.008\text{mA}$	$x_{10}=2.006\text{mA}$

根据表 D.1 中的数据,可由公式 (D.2) 计算出漏电流示值的实验标准差:

$$s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - \bar{I})^2}{10-1}} \approx 0.0018\text{mA}$$

校准时,以单次测量作为结果,故测量重复性引入的不确定度为:

$$u_A = s(I) = 0.0018\text{mA}$$

被校电容漏电流测试仪漏电流分辨力为 0.01mA,因此每一个读数可能包含的误差应在 $\pm 0.005\text{mA}$ 范围内,其在该范围内均匀分布且包含因子 $k = \sqrt{3}$,则:

$$u_R = \frac{0.005\text{mA}}{\sqrt{3}} \approx 0.0029\text{mA}$$

u_A 和 u_R 均是通过被校电容漏电流测试仪表现出来的,因此选择其中数值较大的一个作为被校电容漏电流测试仪漏电流示值引入的不确定度分量 $u(I)$,因此

$$u(I) = u_R(I) = 0.0029\text{mA}$$

b. 数字多用表最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(I_0)$

按 B 类方法进行评定。以直流 2mA 电流值为例,根据数字多用表的技术指标,其最大允许误差为 $\pm 0.003\text{mA}$,其分散区间的半宽度为 $a = 0.003\text{mA}$,估计为均匀分布,包含

因子 $k = \sqrt{3}$ ，则数字多用表直流电流最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u(P_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.003}{\sqrt{3}} \text{mA} \approx 0.0017 \text{mA}$$

C.2.6 合成标准不确定度

电容漏电流测试仪漏电流测量不确定度来源及数值汇总于表 D.2 中。

表 D.2 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度	灵敏系数
电容漏电流测试仪分辨力	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029mA	1
数字多用表直流电流的最大允许误差	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0017mA	-1

合成标准不确定度：

$$u_c(\delta_I) = \sqrt{c_1^2 u^2(I) + c_2^2 u^2(I_0)} \approx 0.0034 \text{mA}$$

C.2.7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(P) = 2 \times 0.0034 \text{mA} = 0.0068 \text{mA} \approx 0.007 \text{mA}, \quad k = 2$$

C.2.7 结果判定

TH2689A 在 2mA 时最大允许误差 $\Delta = (20 \text{mA} \times 0.3\% + 0.05 \mu\text{A}) \approx 0.06 \text{mA}$

$$U < \frac{1}{3} \Delta$$

