

# 《安装式交流电能表检定规程》

## 测量不确定度分析报告

《安装式交流电能表检定规程》编制小组

2022年5月9日

# 测量不确定度分析报告

## 1. 引言

安装式电能表的检定项目有 10 项，本报告选其典型的检定项目固有误差进行举例评定。本规程涉及静止式电能表和机电式电能表两类，考虑到测量不确定度分析的充分性，选取静止式 D 级和 A 级有功电能表以及机电式 A 级有功电能表进行分析。

使用的电能表检定装置和被检电能表信息如下：

| 电能表类型  | 检定装置有功测量的准确度等级  | 被检有功电能表准确度等级 |
|--------|---|--------------|
| 静止式电能表 | 三相电能表检定装置<br>(100~0.1(含))A: ±0.01%<br>(0.1~0.05(含))A: ±0.02%<br>(0.05A~5mA): ±0.03% | D 级          |
|        | 单相电能表检验装置<br>(0.1~100)A/±0.05%  | A 级          |
| 机电式电能表 | 三相电能表检验装置<br>(0.005~100)A/±0.05%  | A 级          |

## 2. 静止式电能表基本误差的测量不确定度分析

### 2.1 数学模型

$$\gamma = \gamma_n \quad (\text{公式 1})$$

$\gamma$ : 被检表基本误差，用相对误差表示；

$\gamma_n$ : 电能表检定装置测得的基本误差实际值，用相对误差表示。

基本误差的测量不确定度来源主要有以下四方面：

在重复性条件下由被测电能表测量重复性引起；电能表检测设备的误差引起；被检电能表误差修约引起；环境温度引起。

根据标准不确定度合成原理，基本误差标准不确定度的计算公式为：

$$u_c(y) = \sqrt{c_1^2 u^2(\gamma_1) + c_2^2 u^2(\gamma_2) + c_3^2 u^2(\gamma_3) + c_4^2 u^2(\gamma_4)} \quad (\text{公式 2})$$

$\mu_c(y)$ : 被检电能表电能基本误差标准不确定度，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_1)$ : 重复性引入的标准不确定度分量，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_2)$ : 电能表检测设备误差引入的标准不确定度分量，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_3)$ : 被检电能表误差修约引入的标准不确定度分量，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_4)$ : 环境温度引入的标准不确定度分量，用相对误差表示。

式中，灵敏系数  $c_1 = \partial x / \partial \gamma_1 = 1$ ,  $c_2 = \partial x / \partial \gamma_2 = 1$ ,  $c_3 = \partial x / \partial \gamma_3 = 1$ ,  $c_4 = \partial x / \partial \gamma_4 = 1$ 。

### 2.2 标准不确定度评定

分别取如下等级电能表在对应检测装置上进行基本误差测试，在装置的重

复性条件下连续独立测量 10 次。

| 规格/准确度等级                                 | 检测设备名称/型号 | 电流测量范围/准确度等级   |
|--|-----------|--|
| 3×220/380V<br>0.003-0.015 (1.2) A<br>D 级 | 三相电能表检定装置 | (100~0.1(含))A:<br>±0.01%<br>(0.1~0.05(含))A:<br>±0.02%<br>(0.05A~5mA): ±0.03% |
| 220V 0.25-5(60)A 级                       | 单相电能表检验装置 | (0.1~100)A/±0.05%  |

### 2.2.1 电能表测量重复性引起的不确定度分量 $u(\gamma_1)$

电能表测量重复性引起的不确定度分量  $u(\gamma_1)$ ，用 A 类方法评定。

D 级电能表测量 10 次所得数据如下：

| 3×220/380V 3×1.2A   |                            |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
|---------------------|----------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 相别                  | $\cos\varphi$              | 基本误差 (%) 测量 10 次 |        |        |        |        |        |        |        |        |         | 平均值(%) |
| ABC                 | 1.0                        | 0.0304           | 0.0313 | 0.0318 | 0.0315 | 0.031  | 0.0315 | 0.0313 | 0.0307 | 0.0327 | 0.0324  | 0.0315 |
| ABC                 | 0.5L                       | 0.031            | 0.0321 | 0.0315 | 0.0327 | 0.031  | 0.0315 | 0.031  | 0.0315 | 0.0327 | 0.0321  | 0.0317 |
| ABC                 | 0.5C                       | 0.0274           | 0.0278 | 0.0274 | 0.0281 | 0.027  | 0.027  | 0.027  | 0.0274 | 0.0285 | 0.0285  | 0.0276 |
| 3×220/380V 3×0.3A   |                            |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
| 相别                  | $\cos\varphi / \cos\theta$ | 基本误差 (%) 测量 10 次 |        |        |        |        |        |        |        |        |         | 平均值(%) |
| ABC                 | 1.0                        | 0.0254           | 0.0241 | 0.0245 | 0.0245 | 0.0243 | 0.0252 | 0.0255 | 0.0254 | 0.0248 | 0.0243  | 0.0248 |
| ABC                 | 0.5L                       | 0.0285           | 0.0281 | 0.0271 | 0.0288 | 0.0281 | 0.0288 | 0.0285 | 0.0292 | 0.0281 | 0.0278  | 0.0283 |
| ABC                 | 0.5C                       | 0.0197           | 0.0217 | 0.0219 | 0.0204 | 0.0204 | 0.0211 | 0.0219 | 0.0211 | 0.0213 | 0.0215  | 0.0211 |
| A                   | 1.0                        | 0.0172           | 0.0177 | 0.0167 | 0.0177 | 0.0161 | 0.0167 | 0.0161 | 0.0172 | 0.0161 | 0.0177  | 0.0169 |
| A                   | 0.5L                       | 0.0198           | 0.0208 | 0.0198 | 0.0198 | 0.0187 | 0.0187 | 0.0219 | 0.0198 | 0.0187 | 0.0187  | 0.0197 |
| 3×220/380V 3×0.005A |                            |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
| 相别                  | $\cos\varphi$              | 基本误差 (%) 测量 10 次 |        |        |        |        |        |        |        |        |         | 平均值(%) |
| ABC                 | 1.0                        | 0.0122           | 0.0004 | 0.0165 | 0.0097 | 0.0125 | 0.0088 | 0.0125 | 0.0086 | 0.0125 | 0.0203  | 0.0114 |
| ABC                 | 0.5L                       | 0.0111           | 0.0195 | 0.0085 | 0.0112 | 0.0101 | 0.0072 | 0.0155 | 0.0072 | 0.0011 | 0.0031  | 0.0095 |
| ABC                 | 0.5C                       | 0.007            | 0.0112 | 0.0061 | 0.007  | 0.0082 | 0.004  | 0.0046 | 0.0057 | 0.0072 | -0.0015 | 0.0060 |

A 级电能表测量 10 次所得数据如下：

| 220V 60A |               |                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------|---------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 相别       | $\cos\varphi$ | 基本误差 (%) 测量 10 次 |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 平均值(%)  |
| 单相       | 1.0           | -0.0808          | -0.0865 | -0.0954 | -0.0976 | -0.0954 | -0.1021 | -0.1043 | -0.1087 | -0.1087 | -0.1065 | -0.0986 |
| 单相       | 0.5L          | 0.0177           | 0.0088  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | -0.0044 | -0.0044 | -0.0088 | -0.0133 | -0.0088 | -0.0013 |
| 单相       | 0.8C          | -0.1065          | -0.1065 | -0.1021 | -0.1109 | -0.1021 | -0.1065 | -0.1109 | -0.1154 | -0.1154 | -0.1198 | -0.1096 |
| 220V 5A  |               |                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 相别       | $\cos\varphi$ | 基本误差 (%) 测量 10 次 |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 平均值(%)  |
| 单相       | 1.0           | -0.0248          | -0.0293 | -0.0248 | -0.0248 | -0.0248 | -0.0251 | -0.0231 | -0.0248 | -0.0266 | -0.0239 | -0.0252 |

|            |      |                 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|------------|------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 单相         | 0.5L | 0.109           | 0.1023  | 0.0978  | 0.1001  | 0.1045  | 0.1001  | 0.0978  | 0.1023  | 0.1023  | 0.1023  | 0.1018  |
| 单相         | 0.8C | -0.0754         | -0.0732 | -0.0777 | -0.0754 | -0.0799 | -0.0754 | -0.0732 | -0.0754 | -0.0843 | -0.0754 | -0.0765 |
| 220V 0.25A |      |                 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 相别         | cosφ | 基本误差(%) 测量 10 次 |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 平均值(%)  |
| 单相         | 1.0  | 0.0845          | 0.1433  | 0.1219  | 0.0934  | 0.0934  | 0.1914  | 0.1629  | 0.1156  | 0.1121  | 0.1388  | 0.1257  |
| 单相         | 0.5L | 0.4231          | 0.3648  | 0.3684  | 0.4204  | 0.3818  | 0.4087  | 0.4536  | 0.3666  | 0.4159  | 0.4365  | 0.4040  |
| 单相         | 0.8C | 0.0907          | 0.088   | 0.0952  | 0.1094  | 0.1067  | 0.0711  | 0.1076  | 0.0498  | 0.064   | 0.0836  | 0.0866  |

单次实验标准差用贝塞尔公式进行计算：
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (E_x - \bar{E}_x)^2}{(n-1)}} \quad (\text{公式 3})$$

基本误差由 2(m)次测量的平均值给出，故由重复性引起的测量不确定度分量为：

$$u(\gamma_1) = \frac{S}{\sqrt{m}} = \frac{S}{\sqrt{2}} \quad (\text{公式 4})$$

D 级电能表由重复性引起的测量不确定度分量

|                     |           |                   |
|---------------------|-----------|-------------------|
| 3×220/380V 3×1.2A   |           |                   |
| 相别                  | cosφ      | $u(\gamma_1)$ (%) |
| ABC                 | 1.0       | 0.0005            |
| ABC                 | 0.5L      | 0.0005            |
| ABC                 | 0.5C      | 0.0004            |
| 3×220/380V 3×0.3A   |           |                   |
| 相别                  | cosφ/cosθ | $u(\gamma_1)$ (%) |
| ABC                 | 1.0       | 0.0004            |
| ABC                 | 0.5L      | 0.0004            |
| ABC                 | 0.5C      | 0.0005            |
| A                   | 1.0       | 0.0005            |
| A                   | 0.5L      | 0.0008            |
| 3×220/380V 3×0.005A |           |                   |
| 相别                  | cosφ      | $u(\gamma_1)$ (%) |
| ABC                 | 1.0       | 0.0037            |
| ABC                 | 0.5L      | 0.0038            |
| ABC                 | 0.5C      | 0.0023            |

A 级电能表由重复性引起的测量不确定度分量

|         |      |                   |
|---------|------|-------------------|
| 220V60A |      |                   |
| 相别      | cosφ | $u(\gamma_1)$ (%) |
| 单相      | 1.0  | 0.0066            |
| 单相      | 0.5L | 0.0064            |
| 单相      | 0.8C | 0.0042            |
| 220V 5A |      |                   |

| 相别         | $\cos\varphi$ | $u(\gamma_1)(\%)$ |
|------------|---------------|-------------------|
| 单相         | 1.0           | 0.0012            |
| 单相         | 0.5L          | 0.0023            |
| 单相         | 0.8C          | 0.0024            |
| 220V 0.25A |               |                   |
| 相别         | $\cos\varphi$ | $u(\gamma_1)(\%)$ |
| 单相         | 1.0           | 0.0239            |
| 单相         | 0.5L          | 0.0223            |
| 单相         | 0.8C          | 0.0141            |

### 2.2.2 标准不确定度的 B 类评定

#### 1) 电能表检测设备的误差引入的不确定度分量

电能表检测设备的误差引起的不确定度分量  $u(\gamma_2)$ ，主要是电能表检测设备的测量误差引起的，按照均匀分布  $k=\sqrt{3}$ ，则电能表检测设备的测量误差引起的标准不确定度  $u(\gamma_2)$  如下表所示：

| 检测设备名称                | 测量范围/准确度等级             | 标准不确定度 $u(\gamma_2)$           |                                    |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 三相电能表检定装置             | (100~0.1(含))A: 0.01 级  | 平衡负载                           | 0.006%( $\cos\Phi=1.0$ 、0.5L、0.8C) |
|                       |                        |                                | 0.009%( $\cos\Phi=0.5C$ )          |
|                       |                        |                                | 0.012%( $\cos\Phi=1.0$ 、0.5L、0.8C) |
|                       | (0.1~0.05(含))A: 0.02 级 |                                | 0.017%( $\cos\Phi=0.5C$ )          |
|                       |                        |                                | 0.017%( $\cos\Phi=1.0$ )           |
|                       | (0.05A~5mA): 0.03 级    |                                | 0.023%( $\cos\Phi=0.5L$ 、0.8C)     |
|                       |                        |                                | 0.029%( $\cos\Phi=0.5C$ )          |
| (100~0.1(含))A: 0.01 级 | 不平衡负载                  | 0.006%( $\cos\Phi=1.0$ )       |                                    |
|                       |                        | 0.009%( $\cos\Phi=0.5L$ )      |                                    |
| 单相电能表检验装置             | (0.1~100)A / 0.05 级    | 0.029%( $\cos\Phi=1.0$ )       |                                    |
|                       |                        | 0.040%( $\cos\Phi=0.5L$ 、0.8C) |                                    |

#### 2) 被检电能表误差修约引起的不确定度分量

对电能表相对误差测量进行数据修约，对于 D 级电能表检定结果保留 2 位小数，修约间隔为 0.02%，则修约后可能引入的最大误差为  $\pm \frac{0.02\%}{2}$ ，由于修约误差出现概率相等，即满足矩形分布，由修约引入的标准不确定度  $\mu(\gamma_3) = \frac{0.02\%}{2\sqrt{3}} = 0.006\%$ 。A 级电能表检定结果保留 1 位小数，修约间隔为 0.2%，由修约引入的标准不确定度为  $\mu(\gamma_3) = \frac{0.2\%}{2\sqrt{3}} = 0.058\%$ 。

### 3) 环境温度引起的电能误差不确定度分量

不同准确度等级电能表的温度影响量, 通过以前大量实际检测数据获得, 实验室温度控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 内即变化在 $4^{\circ}\text{C}$ 之内, 温度对测量误差的影响满足矩形分布, 则环境温度对各等级电能表的不确定度分量如下:

| 准确度等级            | A 级                                      | D 级                                       |
|------------------|--|---|
| 功率因数为 1          | $(0.02\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.046$ | $(0.005\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.012$ |
| 功率因数为 0.5L(0.8C) | $(0.03\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.070$ | $(0.01\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.023$  |
| 功率因数为 0.5C       | /  | $(0.01\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.023$  |

### 2.3 合成标准不确定度

合成标准不确定度按公式 (2) 计算如下。

D 级电能表合成标准不确定度

| 3×220/380V 3×1.2A   |                            | 标准不确定度(%)     |               |               |               |             |                  |
|---------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|------------------|
| 功率因数                |                            |               |               |               |               |             |                  |
| 相别                  | $\cos\varphi$              | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不确定度(%) | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
| ABC                 | 1.0                        | 0.0005        | 0.006         | 0.006         | 0.012         | 0.015       | 0.03%            |
| ABC                 | 0.5L                       | 0.0005        | 0.006         | 0.006         | 0.023         | 0.025       | 0.05%            |
| ABC                 | 0.5C                       | 0.0004        | 0.009         | 0.006         | 0.023         | 0.025       | 0.05%            |
| 3×220/380V 3×0.3A   |                            |               |               |               |               |             |                  |
| 相别                  | $\cos\varphi / \cos\theta$ | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不确定度(%) | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
| ABC                 | 1.0                        | 0.0004        | 0.006         | 0.006         | 0.012         | 0.015       | 0.03%            |
| ABC                 | 0.5L                       | 0.0004        | 0.006         | 0.006         | 0.023         | 0.025       | 0.05%            |
| ABC                 | 0.5C                       | 0.0005        | 0.009         | 0.006         | 0.023         | 0.025       | 0.05%            |
| A                   | 1.0                        | 0.0005        | 0.006         | 0.006         | 0.012         | 0.015       | 0.04%            |
| A                   | 0.5L                       | 0.0004        | 0.006         | 0.006         | 0.012         | 0.015       | 0.06%            |
| 3×220/380V 3×0.005A |                            |               |               |               |               |             |                  |
| 相别                  | $\cos\varphi$              | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不确定度(%) | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
| ABC                 | 1.0                        | 0.0037        | 0.017         | 0.006         | 0.012         | 0.022       | 0.05%            |
| ABC                 | 0.5L                       | 0.0038        | 0.023         | 0.006         | 0.023         | 0.033       | 0.07%            |
| ABC                 | 0.5C                       | 0.0023        | 0.029         | 0.006         | 0.023         | 0.038       | 0.08%            |

### A 级电能表合成标准不确定度

| 220V 60A   |                    | 标准不确定度(%)     |               |               |               |             |                  |
|------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|------------------|
| 相别         | 功率因数 $\cos\varphi$ | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不确定度(%) | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
| 单相         | 1.0                | 0.0066        | 0.029         | 0.058         | 0.046         | 0.080       | 0.16%            |
| 单相         | 0.5L               | 0.0064        | 0.04          | 0.058         | 0.070         | 0.100       | 0.20%            |
| 单相         | 0.8C               | 0.0042        | 0.04          | 0.058         | 0.070         | 0.099       | 0.20%            |
| 220V 5A    |                    |               |               |               |               |             |                  |
| 相别         | 功率因数 $\cos\varphi$ | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_3)$ | 合成标准不确定度(%) | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
| 单相         | 1.0                | 0.0012        | 0.029         | 0.058         | 0.046         | 0.080       | 0.16%            |
| 单相         | 0.5L               | 0.0023        | 0.04          | 0.058         | 0.070         | 0.099       | 0.20%            |
| 单相         | 0.8C               | 0.0024        | 0.04          | 0.058         | 0.070         | 0.099       | 0.20%            |
| 220V 0.25A |                    |               |               |               |               |             |                  |
| 相别         | 功率因数 $\cos\varphi$ | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_3)$ | 合成标准不确定度(%) | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
| 单相         | 1.0                | 0.0239        | 0.029         | 0.058         | 0.046         | 0.083       | 0.17%            |
| 单相         | 0.5L               | 0.0223        | 0.04          | 0.058         | 0.070         | 0.102       | 0.20%            |
| 单相         | 0.8C               | 0.0141        | 0.04          | 0.058         | 0.070         | 0.100       | 0.20%            |

### 2.4 扩展不确定度

扩展不确定度是由合成标准不确定度乘以包含因子  $k=2$  得到的, 对应的包含概率约为 95%, 具体结果如下表所示:

| 电能表准确度等级    | 负载    | 电流范围         | 功率因数                       | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
|-------------|-------|--------------|----------------------------|------------------|
| D 级静止式电能表   | 平衡负载  | (100~0.1)A   | $\cos\Phi=1.0$             | $U_{rel}=0.03\%$ |
|             |       | (100~0.1)A   | $\cos\Phi=0.5L, 0.5C$      | $U_{rel}=0.05\%$ |
|             |       | (0.1~0.005)A | $\cos\Phi=1.0, 0.5L, 0.5C$ | $U_{rel}=0.08\%$ |
|             | 不平衡负载 | (100~0.1)A   | $\cos\Phi=1.0$             | $U_{rel}=0.05\%$ |
|             |       | (100~0.1)A   | $\cos\Phi=0.5L$            | $U_{rel}=0.10\%$ |
| A 级静止式单相电能表 | 平衡负载  | (100~0.1)A   | $\cos\Phi=1.0$             | $U_{rel}=0.20\%$ |
|             |       | (100~0.1)A   | $\cos\Phi=0.5L, 0.8C$      | $U_{rel}=0.20\%$ |

## 3. 机电式电能表基本误差的测量不确定度分析

### 3.1 数学模型

$$\gamma = \gamma_n \quad (\text{公式 5})$$

$\gamma$ : 被检机电式电能表基本误差, 用相对误差表示;

$\gamma_n$ : 电能表检定装置测得的基本误差实际值, 用相对误差表示。

### 3.2 测量不确定度来源

基本误差的测量不确定度来源主要有以下五方面:

在重复性条件下由被测机械式电能表测量重复性引起; 电能表检测设备的误

差引起；被检电能表误差修约引起；环境温度引起；安装位置引起。

根据标准不确定度合成原理，基本误差标准不确定度的计算公式为：

$$\mu_c(y) = \sqrt{c_1^2 \mu^2(\gamma_1) + c_2^2 \mu^2(\gamma_2) + c_3^2 \mu^2(\gamma_3) + c_4^2 \mu^2(\gamma_4)} \quad (\text{公式 6})$$

$\mu_c(y)$ ：被检机械式电能表电能基本误差标准不确定度，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_1)$ ：重复性引入的标准不确定度分量，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_2)$ ：电能表检测设备误差引入的标准不确定度分量，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_3)$ ：被检机械式电能表误差修约引入的标准不确定度分量，用相对误差表示；

$\mu(\gamma_4)$ ：环境温度引入的标准不确定度分量，用相对误差表示。

式中，灵敏系数  $c_1 = \partial x / \partial \gamma_1 = 1$ ,  $c_2 = \partial x / \partial \gamma_2 = 1$ ,  $c_3 = \partial x / \partial \gamma_3 = 1$ ,  $c_4 = \partial x / \partial \gamma_4 = 1$ 。

### 3.3 标准不确定度评定

分别取如下等级电能表在对应检测装置上进行基本误差测试，在装置的重复性条件下连续独立测量 10 次。

| 规格/准确度等级                       | 检测设备名称    | 电流测量范围/准确度等级        |
|--------------------------------|-----------|---------------------|
| 3×220/380V 0.1-10(80)A,<br>A 级 | 三相电能表检验装置 | (0.005~100)A/±0.05% |

#### 3.3.1 电能表测量重复性引起的不确定度分量 $u(\gamma_1)$

电能表测量重复性引起的不确定度分量  $u(\gamma_1)$ ，用 A 类方法评定。

A 级机电式电能表测量 10 次所得数据如下：

| 3×220/380V 3×80A  |                            |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|----------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 相别                | $\cos\varphi$              | 基本误差 (%) 测量 10 次 |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 平均值(%) |
| ABC               | 1.0                        | -0.318           | -0.338 | -0.331 | -0.311 | -0.305 | -0.331 | -0.338 | -0.331 | -0.344 | -0.325 | -0.327 |
| ABC               | 0.5L                       | 0.373            | 0.440  | 0.346  | 0.379  | 0.373  | 0.346  | 0.427  | 0.360  | 0.434  | 0.415  | 0.389  |
| ABC               | 0.8C                       | -0.674           | -0.588 | -0.662 | -0.654 | -0.602 | -0.628 | -0.662 | -0.700 | -0.694 | -0.614 | -0.648 |
| 3×220/380V 3×10A  |                            |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 相别                | $\cos\varphi / \cos\theta$ | 基本误差 (%) 测量 10 次 |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 平均值(%) |
| ABC               | 1.0                        | -0.051           | -0.012 | -0.088 | -0.082 | -0.013 | -0.028 | -0.059 | -0.012 | -0.013 | -0.079 | -0.044 |
| ABC               | 0.5L                       | 0.418            | 0.364  | 0.402  | 0.343  | 0.346  | 0.317  | 0.308  | 0.300  | 0.355  | 0.308  | 0.346  |
| ABC               | 0.8C                       | -0.401           | -0.343 | -0.386 | -0.389 | -0.328 | -0.386 | -0.361 | -0.378 | -0.392 | -0.349 | -0.371 |
| A                 | 1.0                        | -0.752           | -0.762 | -0.785 | -0.772 | -0.788 | -0.765 | -0.801 | -0.770 | -0.775 | -0.785 | -0.776 |
| A                 | 0.5L                       | -0.567           | -0.608 | -0.666 | -0.564 | -0.582 | -0.558 | -0.550 | -0.601 | -0.572 | -0.598 | -0.587 |
| 3×220/380V 3×0.1A |                            |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 相别                | $\cos\varphi$              | 基本误差 (%) 测量 10 次 |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 平均值(%) |

|     |      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ABC | 1.0  | -0.105 | -0.122 | -0.138 | -0.123 | -0.134 | -0.138 | -0.138 | -0.141 | -0.128 | -0.131 | -0.130 |
| ABC | 0.5L | 0.079  | 0.051  | 0.027  | 0.010  | -0.004 | -0.036 | -0.076 | -0.065 | -0.056 | -0.080 | -0.015 |
| ABC | 0.8C | -0.416 | -0.415 | -0.440 | -0.440 | -0.410 | -0.399 | -0.401 | -0.411 | -0.411 | -0.401 | -0.414 |

单次实验标准差用贝塞尔公式进行计算：
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (E_x - \bar{E}_x)^2}{(n-1)}} \quad (\text{公式 7})$$

基本误差由 2(m)次测量的平均值给出，故由重复性引起的测量不确定度分量为：

$$u(\gamma_1) = \frac{s}{\sqrt{m}} = \frac{s}{\sqrt{2}} \quad (\text{公式 8})$$

通过公式 7 计算得到 A 级电能表测量重复性引起的不确定度分量  $u(\gamma_1)$ ：

| 3×220/380V 3×80A  |           |                   |
|-------------------|-----------|-------------------|
| 相别                | cosφ      | $u(\gamma_1)$ (%) |
| ABC               | 1.0       | 0.0088            |
| ABC               | 0.5L      | 0.0257            |
| ABC               | 0.8C      | 0.0271            |
| 3×220/380V 3×10A  |           |                   |
| 相别                | cosφ/cosθ | $u(\gamma_1)$ (%) |
| ABC               | 1.0       | 0.0225            |
| ABC               | 0.5L      | 0.0284            |
| ABC               | 0.8C      | 0.0173            |
| A                 | 1.0       | 0.0102            |
| A                 | 0.5L      | 0.0240            |
| 3×220/380V 3×0.1A |           |                   |
| 相别                | cosφ      | $u(\gamma_1)$ (%) |
| ABC               | 1.0       | 0.0077            |
| ABC               | 0.5L      | 0.0396            |
| ABC               | 0.8C      | 0.0104            |

### 3.3.2 标准不确定度的 B 类评定

#### 1) 电能表检测设备的误差引入的不确定度分量

电能表检测设备的误差引起的不确定度分量  $u(\gamma_2)$ ，主要是电能表检测设备的测量误差引起的，按照均匀分布  $k=\sqrt{3}$ ，则电能表检测设备的测量误差引起的标准不确定度  $u(\gamma_2)$  如下表所示：

| 检测设备名称/型号 | 测量范围                  | 标准不确定度 $u(\gamma_2)$ |                  |
|-----------|-----------------------|----------------------|------------------|
| 三相电能表检验装置 | (0.005~100)A / 0.05 级 | 平衡负载                 | 0.029%(cosΦ=1.0) |

|  |       |                        |
|--|-------|------------------------|
|  |       | 0.040%(cosΦ=0.5L、0.8C) |
|  | 不平衡负载 | 0.035%(cosΦ=1.0)       |
|  |       | 0.046%(cosΦ=0.5L)      |

2) 被检电能表误差修约引起的不确定度分量

对电能表相对误差测量进行数据修约，A级电能表检定结果保留1位小数，

修约间隔为0.2%，由修约引入的标准不确定度为  $\mu(\gamma_3) = \frac{0.2\%}{2\sqrt{3}} = 0.058\%$ 。

3) 环境温度引起的电能误差不确定度分量

不同准确度等级电能表的温度影响量，通过以前大量实际检测数据获得，实验室温度控制在±2℃内即变化在4℃之内，温度对测量误差的影响满足矩形分布，则环境温度对各等级电能表的不确定度分量如下：

| 准确度等级           | A(%)                                       |
|-----------------|--|
| 功率因数为1          | $(0.05\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.115\%$ |
| 功率因数为0.5L(0.8C) | $(0.10\%/k \times 4) / \sqrt{3} = 0.231\%$ |

3.4 合成标准不确定度

合成标准不确定度按公式(5)计算如下：

| 3×220/380V<br>3×80A  |     | 标准不确定度(%)     |               |               |               |                 |                 |
|----------------------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 功率<br>因数             | 相别  | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不<br>确定度(%) | 扩展不确定<br>度(k=2) |
| cosφ                 | ABC | 0.0088        | 0.029         | 0.058         | 0.115         | 0.13            | 0.30            |
|                      | ABC | 0.0257        | 0.04          | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |
|                      | ABC | 0.0271        | 0.04          | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |
| 3×220/380V<br>3×10A  |     |               |               |               |               |                 |                 |
| cosφ/<br>cosθ        | 相别  | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不<br>确定度(%) | 扩展不确定<br>度(k=2) |
|                      | ABC | 0.0225        | 0.029         | 0.058         | 0.115         | 0.13            | 0.30            |
|                      | ABC | 0.0284        | 0.04          | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |
|                      | ABC | 0.0173        | 0.04          | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |
|                      | A   | 0.0102        | 0.035         | 0.058         | 0.115         | 0.13            | 0.30            |
|                      | A   | 0.0240        | 0.046         | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |
| 3×220/380V<br>3×0.1A |     |               |               |               |               |                 |                 |
| cosφ                 | 相别  | $u(\gamma_1)$ | $u(\gamma_2)$ | $u(\gamma_3)$ | $u(\gamma_4)$ | 合成标准不<br>确定度(%) | 扩展不确定<br>度(k=2) |
|                      | ABC | 0.0077        | 0.029         | 0.058         | 0.115         | 0.13            | 0.30            |
|                      | ABC | 0.0396        | 0.04          | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |
|                      | ABC | 0.0104        | 0.04          | 0.058         | 0.231         | 0.24            | 0.50            |

### 3.5 扩展不确定度

扩展不确定度是由合成标准不确定度乘以包含因子  $k=2$  得到的, 对应的包含概率约为 95%, 具体结果如下表所示:

| 电能表准确度等级  | 负载    | 电流范围       | 功率因数                  | 扩展不确定度 ( $k=2$ ) |
|-----------|-------|------------|-----------------------|------------------|
| A 级机电式电能表 | 平衡负载  | (100~0.1)A | $\cos\Phi=1.0$        | $U_{rel}=0.30\%$ |
|           |       | (100~0.1)A | $\cos\Phi=0.5L, 0.8C$ | $U_{rel}=0.50\%$ |
|           | 不平衡负载 | (100~0.1)A | $\cos\Phi=1.0, 0.5L$  | $U_{rel}=0.50\%$ |

以下空白