

电能计量标准装置量值比对总结报告

为了考察七个大区电能标准的运行情况，保证全国电能量值的准确可靠，客观、公正、科学地反映目前我国各大区级及部分主要省级计量技术机构的电能实验室综合技术水平，根据国家质检总局计量司下达的量值比对计划，2003 年度大区及部分省级计量技术机构电能标准量值比对工作由华南国家计量测试中心负责组织实施，主导实验室为中国计量科学研究院。

比对试验已经全部完成，所有比对单位完成了规定的全部 6 个试验点，9 个单位还完成了可选择的 2 个试验点。比对结果的分析表明，所有参加单位所报告的测量值与国家基准的差，在比对数据的不确定度范围内，所有比对单位所声明的不确定度是合理的。其中 8 个单位声明的不确定度在 0.01% 以内，2 个单位声明的不确定度为 0.02% 以内。

一、参加单位

按计量司规定，本次比对由七个大区国家计量测试中心及三个指定的省级计量技术机构参加，共 10 个单位，以下简称比对单位。这十个单位是：

北京市计量科学研究所（华北国家计量测试中心，以下简称华北）

上海市计量测试技术研究院（华东国家计量测试中心，以下简称华东）

辽宁省计量科学研究所（东北国家计量测试中心，以下简称东北）

陕西省计量测试研究所（西北国家计量测试中心，以下简称西北）

湖北省计量测试技术研究院（中南国家计量测试中心，以下简称中南）

中国测试技术研究院（西南国家计量测试中心，以下简称西南）

广东省计量科学研究所（华南国家计量测试中心，以下简称华南）

浙江省质量技术监督检测研究院（以下简称浙江）

江苏省计量测试技术研究所（以下简称江苏）

天津市计量技术研究所（以下简称天津）

参加比对的单位均具有国家总局批准建立的电能计量标准，并已经开展对外检定测试工作。

二、传递标准准备

主导实验室经过反复比较，并与国外专家商量，初步选定 ZERA 公司生产的 COM3000（产品编号：00-730-5）作为传递标准。该仪器的出厂说明书提供的准确度是 0.01%。为了确定该仪器能否充当传递标准，主导实验室进行了必要前期准备工作，包括稳定性试验和运输性能试验。

从 2001 年 12 月到 2002 年 12 月，主导实验室以其所保存的三相电能标准为参考，对 COM3000 进行了一年的稳定性考察。在 100V 5A $\cos\varphi=1.0, 0.5L, 0.5C$ 三个工作点上对三个单相模式下的功率输出、三相四线模式下的功率输出和电能输出进行了测量。结果表明，在实验室条件下，一年内的标准偏差一般约 10×10^{-6} ，最大不超过 15×10^{-6} 。

2003 年 6 月，进行了短距离汽车运输试验，仪器用工厂提供的包装

箱包装，装载在汽车上一天内走了 200 余公里，包括一般公路和高速公路。回到实验室后随即通电，24 小时后开始测试。测试结果与运输前的相比，其差值小于 10×10^{-6} 。2003 年 7 月，进行了长距离火车运输试验，在专人护送下在四天时间内由北京至西安再返回北京，历程约 2300 公里。与短距离基本相同的试验表明，运输前后的变化也在 10×10^{-6} 以内。

三、电能比对技术约定

于 2003 年 8 月 27 日至 8 月 28 日在计量院召开了技术预备会议。主导实验室介绍了前期准备工作，包括稳定性试验和运输试验的结果，介绍了为了减少不确定度在几个需要注意的技术问题上积累的经验。同时对如何正确使用传递标准提出了应该注意的问题。会议经过民主协商，形成了本次比对的技术约定。主要内容有：

- 1、比对单位按照本单位检定文件规定的程序，如同平时对外检定一样进行试验。比对单位应展示本单位的最优能力。
- 2、传递标准在比对单位停留 2 周，在完成试验的情况下，可以提前运往主导实验室。试验完成后一个月内应向主导实验室提供试验结果报告。

试验结果报告分两部分，一部分为传递标准在规定试验点上的相对误差及其扩展不确定度。另一部分为不确定度的分析，请详细列出不确定度的分量和大小，及其最终的表述。相对误差是指比对单位以自己的标准为参考，以传递标准为被测，通过试验得出的值，相对误差的表达形式不限。测量结果扩展不确定度的包含因子 k 取 2。试验结果报告须经报告人签字，单位盖章。

- 3、必须测量的点有 6 个：三相四线 3 个：100V, 5A, $\cos\phi=1.0$, 0.5L, 0.8C；单相 3 个：100V, 5A, $\cos\phi=1.0$, 0.5L, 0.5C；可选择测量的点有 2 个：三相三线：100V 线电压, 5A, $\cos\phi=1.0$, 0.5L，采用“V”型接法。以上试验点均为 50Hz。
- 4、比对中实验室温度和相对湿度按规程分别规定为 $(20 \pm 1)^\circ \text{C}$ ， $(60 \pm 10)\%$ 。
- 5、确定 COM3000（产品编号：00-730-5）为传递标准。COM3000 的供电电源要求 230V(+10%,-15%)，50/60Hz。在保证传递标准安全的前提下，可以 24 小时连续供电，但在整个比对过程中至少断电并重新启动一次。若实验室晚间供电电源电压不能保证上述要求，为了保证传递标准安全请下班断电。
- 6、COM3000 的 3 个电流短路插，及 1.018V 参考短路插应该存在。接通辅助电源前应检查。
- 7、COM3000 工作模式：电压、电流量程工作在手动状态，锁相模式工作在自动状态，测量模式为：4wa，积分时间 $T_I=10\text{s}$ 。以其频率输出为测量对象。
- 8、COM3000 的预热时间至少 1 小时，在预热期间内可以加测量信号。试验点

电压电流等参数以传递标准 COM3000 的显示为标准，应调节在规定值的 0.1% 以内。

9、COM3000 在 120V 5A 时的电能常数为： 1.2×10^8 imp/kWh。

10、做好交接手续，填写交接单。接受仪器后负责仪器的安全。向主导实验室送传递标准时用铁路运输专人护送方式。

四、完成情况

比对按照“主导实验室--比对单位--主导实验室”的方式进行。根据协商，确定了比对的先后次序。各比对单位在约定的时间内基本上如期完成了任务，少数单位由于设备原因稍作调整。全部实验工作在 2004 年 8 月 16 日全部完成。主导实验室和各比对单位完成的基本情况如表 1 所示。

表 1: 试验的基本情况

| 次序 | 单位 | 试验时间 | 报告人 | 标准表 | 平均温度 (/° C) | 平均湿度 (/%RH) |
|----|----|---------------------------|---------|------------------|----------------|----------------|
| 注 | 主导 | (03) 09.01- (04) 08.16 | 李 敏、王 磊 | 单相基准 三相基准 | | |
| 2 | 华东 | 09.12-09.16 | 石雷兵、江 习 | C1-2 | 19.8-20.5 | 60-65 |
| 4 | 浙江 | 10.15-10.19 | 朱中文、金文革 | COM3000 | 20 ± 1 | 60 ± 10 |
| 6 | 华北 | 11.11-11.16 | 朱伏虎 | RM-11, K2005 | 20 ± 1 | 60 ± 10 |
| 8 | 江苏 | 12.04-12.16 | 沙乐菲 | KOM200.3 | 19.5 | 52 |
| 10 | 东北 | 12.29-01.15 | 唐 虹、顾 亮 | C1-2, NST3800 | 20 | 50 |
| 12 | 西北 | 02.24-03.04 | 杭天祥、杨刚炜 | SB1300C | 20.5 | 55 |
| 14 | 天津 | 04.21-04.29 | 张 韧 | COM3003 | 22.3 | 56 |
| 16 | 西南 | 05.17-05.24 | 智新国 | K2006 | 19.8 | 59.1 |
| 18 | 华南 | 06.03-06.08 | 戴 伟 | K2006 | 20.7 | 51 |
| 20 | 中南 | 07.19-07.23 | 王再义、李建军 | COM3003 | 19.5 | 70 |

注：计量院作为主导实验室试验的序号为 1、3、5、...、21，共 11 次。

所有的试验报告数据已经收集齐全，它们被表示在表 2 中，其中 d 表示各单位测到的传递标准对他们标准装置的偏差（测量值，以 $\mu\text{J/J}$ 表示）， u 表示 d

的标准不确定度，以 $\mu\text{J}/\text{J}$ 表示。

大部分比对单位报告的数据精确到 10^{-6} ，但西南的测量值，中南的测量值和不确定度精确到 10^{-5} 。为了处理的方便，在下面的表 2 和表 3 中用统一的单位 ($\mu\text{J}/\text{J}$) 来表示，而用上标 “*” 表示上述三种情况。表 2 中不确定度出现 0.5，是由于扩展不确定度 ($k=2$) 转换为标准不确定度时出现的。

表 2: 全部试验数据, $d/(\mu\text{J}/\text{J})$ 表示各单位报告的测量值, $u/(\mu\text{J}/\text{J})$ 表示这个测量值的标准不确定度。用 * 表示的数据其最后一位仅供参考。

| 序号 | 单位 | 三相四线, 100V, 5A | | | | | | 单相, 100V, 5A | | | | | | 三相三线, 100V, 5A | | | |
|----|----|-------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|--------------------|-----|--------------------|-----|-------------------|-------|--------------------|------|
| | | $\cos\varphi=1.0$ | | $\cos\varphi=0.5L$ | | $\cos\varphi=0.8C$ | | $\cos\varphi=1.0$ | | $\cos\varphi=0.5L$ | | $\cos\varphi=0.5C$ | | $\cos\varphi=1.0$ | | $\cos\varphi=0.5L$ | |
| | | d | u | d | u | d | u | d | u | d | u | d | u | d | u | d | u |
| 1 | 主导 | -6.1 | 11 | -2.5 | 11 | -7.8 | 11 | -16.4 | 5 | 20.0 | 5 | -28.5 | 5 | -6.1 | 11 | 14.1 | 11 |
| 2 | 华东 | 3 | 19.5 | 38 | 31.5 | -8 | 26.5 | 1 | 11 | 41 | 17 | -28 | 22 | 5 | 14.5 | 50 | 34.5 |
| 3 | 主导 | -16.0 | 11 | -0.8 | 11 | -17.4 | 11 | -15.1 | 5 | 20.4 | 5 | -35.3 | 5 | -17.8 | 11 | 7.5 | 11 |
| 4 | 浙江 | 0 | 29 | 14 | 29 | -5 | 29 | 5 | 29 | 2 | 33 | -19 | 28 | -8 | 45 | 0 | 42 |
| 5 | 主导 | -16.8 | 11 | -6.1 | 11 | -12.1 | 11 | -11.8 | 5 | 9.8 | 5 | -27.2 | 5 | -17.1 | 11 | 5.0 | 11 |
| 6 | 华北 | -56 | 68.5 | -56 | 68.5 | -60 | 68.5 | -28 | 21.5 | -8 | 21 | -38.0 | 22 | ** | ** | ** | ** |
| 7 | 主导 | -13.8 | 11 | -9.5 | 11 | -21.7 | 11 | -13.8 | 5 | 13.1 | 5 | -31.2 | 5 | -14.8 | 11 | -7.6 | 11 |
| 8 | 江苏 | -14 | 33.5 | 18 | 34 | -45 | 34 | -7 | 31.5 | 31 | 33 | -69 | 36 | 6 | 43.5 | 50 | 46 |
| 9 | 主导 | -23.2 | 11 | -29.4 | 11 | -29.6 | 11 | -15.3 | 5 | 19.2 | 5 | -34.4 | 5 | -26.2 | 11 | -30.6 | 11 |
| 10 | 东北 | -36 | 39 | -26 | 39 | -44 | 39 | -26 | 42 | -20 | 42 | -51 | 42 | -48 | 39 | -34 | 39 |
| 11 | 主导 | -17.5 | 11 | -6.3 | 11 | -10.5 | 11 | -1.5 | 5 | 24.6 | 5 | -25.8 | 5 | -12.6 | 11 | 1.0 | 11 |
| 12 | 西北 | 5 | 99 | -8 | 99 | -39 | 99 | 22 | 97 | 0 | 97 | -19 | 97 | -17 | 101.5 | 54 | 102 |
| 13 | 主导 | -5.5 | 11 | 6.7 | 11 | -17.5 | 11 | -4.0 | 5 | 28.2 | 5 | -25.4 | 5 | -10.0 | 11 | 14.1 | 11 |
| 14 | 天津 | -18 | 30 | -13 | 30 | -19 | 30.4 | -35 | 30 | -14 | 30 | -55 | 30 | -26 | 42 | -4 | 42 |
| 15 | 主导 | -12.2 | 11 | 11.5 | 11 | -13.5 | 11 | -1.9 | 5 | 32.5 | 5 | -28.1 | 5 | -16.0 | 11 | 14.0 | 11 |
| 16 | 西南 | -20* | 33 | -10* | 39 | -40* | 52 | -10* | 39 | 20* | 39 | 0* | 52 | -10* | 44 | 30* | 52 |
| 17 | 主导 | -7.6 | 11 | 13.4 | 11 | -12.2 | 11 | 5.3 | 5 | 29.5 | 5 | -26.1 | 5 | -12.3 | 11 | 34.1 | 11 |
| 18 | 华南 | -53 | 34 | -12 | 34 | -79 | 34 | -45 | 60 | 18 | 60 | -81 | 60 | -48 | 45 | 0 | 45 |
| 19 | 主导 | -9.8 | 11 | 15.3 | 11 | -8.2 | 11 | 7.2 | 5 | 30.2 | 5 | -26.3 | 5 | -12.9 | 11 | 26.7 | 11 |
| 20 | 中南 | -20* | 30* | 20* | 30* | -40* | 30* | -30* | 30* | 0* | 30* | -70* | 30* | -40* | 40* | 40* | 40* |
| 21 | 主导 | -13.2 | 11 | 13.5 | 11 | -12.6 | 11 | 2.9 | 5 | 42.9 | 5 | -30.0 | 5 | -18.6 | 11 | 20.9 | 11 |

从表 2 看出，西北和华北的三相四线所声明的不确定度 ($k=2$) 在 200×10^{-6} 以内，其余 8 个比对单位和华北的单相所声明的不确定度 ($k=2$) 在 100×10^{-6} 以内。图 1 表示了三相四线 100V 5A PF=1.0 测量点上所有单位的试验报告值随时间的分布。

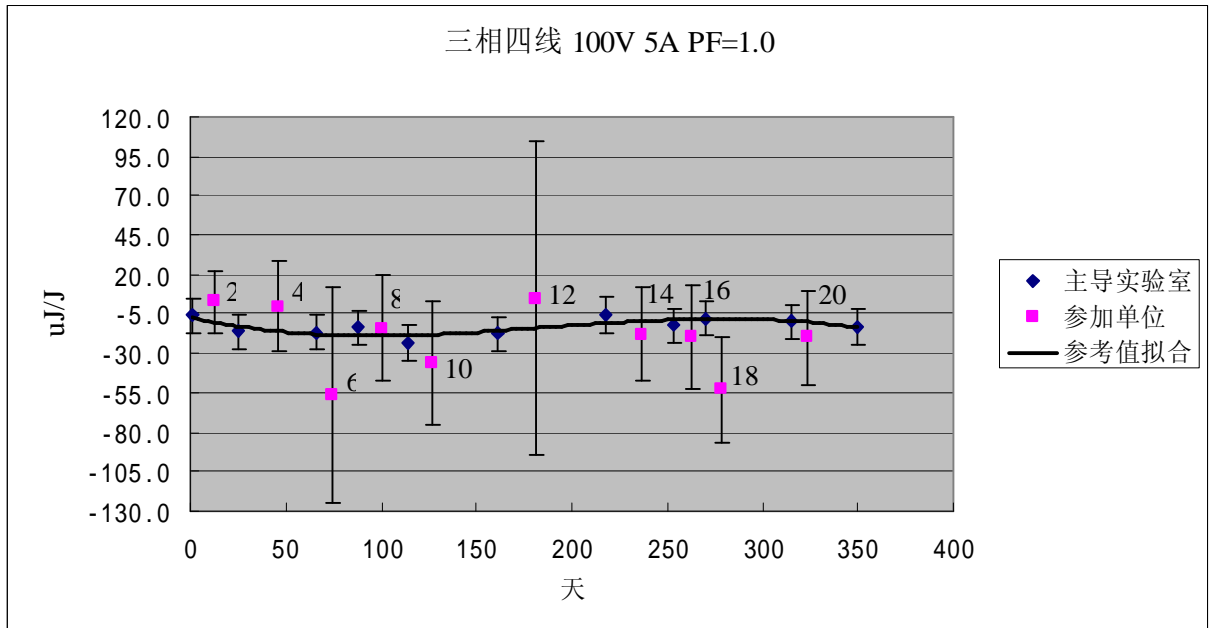


图 1 三相四线 100V 5A PF=1.0 测量点上所有单位的试验报告值随时间的分布，曲线表示对主导实验室数据进行拟合计算参考值。为避免比例尺过大不能显示变化的细节，图中不确定度表示选 $k=1$ 。

五、参考值计算

参考值（或平均值）计算是本次比对数据处理的关键。我们认真研究并参考了国际关键比对的数据处理方法，例如 CCEM-K5。考虑到本次比对中所有比对单位都溯源到主导实验室；同时主导实验室有比比对单位更低的不确定度，因此以主导实验室报告的 11 次数据作为计算参考值的依据。

从图 1 中可以看出，主导实验室的数据的变化具有两个拐点，其他试验点也有相似的现象。这反映了传递标准包括主导实验室基准一年内的变化情况，具体原因有待进一步的研究。为了客观反映比对单位在其试验时候传递标准的参考值，需要用一个随时间变化的函数来反映这个规律，或用一根曲线来拟合主导实验室的数据点。这比简单地用一个平均值来处理更合理。

在图 1 中，考虑到两个拐点的情况，用 3 次曲线来拟合：

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d.$$

其中 y 表示参考值， x 表示时间，以天表示， a 、 b 、 c 和 d 为系数。

经最小二乘法计算，得到 8 个测量点的拟合曲线以及它的标准偏差 s 为：

1、三相四线 100V 5A $\cos\varphi=1.0$

$$y = -3.412E-6x^3 + 0.001925x^2 - 0.2745x - 7.178 \quad s = 3.87.$$

2、三相四线 100V 5A $\cos\varphi=0.5L$

$$y = -5.273E-6x^3 + 0.003202x^2 - 0.4453x + 3.459 \quad s = 7.55.$$

3、三相四线 100V 5A $\cos\varphi=0.8C$

$$y = -2.507E-6x^3 + 0.001573x^2 - 0.2529x - 8.631 \quad s = 5.73.$$

4、单相 100V 5A $\cos\varphi=1$

$$y = -1.311E-6x^3 + 0.0006816x^2 - 0.02084x - 15.56 \quad s = 3.57.$$

5、单相 100V 5A $\cos\varphi=0.5L$

$$y = -1.454E-6x^3 + 0.001000x^2 - 0.1172x + 19.59 \quad s = 4.58.$$

6、单相 100V 5A $\cos\varphi=0.5C$

$$y = -1.244E-6x^3 + 0.0005836x^2 - 0.05049x - 30.31 \quad s = 3.14.$$

7、三相三线 100V 5A $\cos\varphi=1.0$

$$y = -3.156E-6x^3 + 0.001731x^2 - 0.2493x - 8.371 \quad s = 4.52.$$

8、三相三线 100V 5A $\cos\varphi=0.5L$

$$y = -8.278E-6x^3 + 0.005012x^2 - 0.7346x + 20.28 \quad s = 10.77.$$

根据这些公式可以方便地计算每一个比对单位所对应的参考值。这些参考值是不相同的。

六、比对结果计算

每一个比对单位的每一个试验点的比对结果包括两个数据：**D**和**U**。

D是该比对单位在该试验点与参考值的差，由其报告的数据减去其所对应的参考值得到。

U是**D**的扩展不确定度， $k=2$ ，由下列三个分量的平方和开方计算得到：比对单位报告的标准不确定度，主导实验室报告的标准不确定度，拟合曲线的标准偏差。

所有的比对结果列于表3中。

表3:比对结果，**D** ($\mu J/J$)表示各单位与参考值的差，**U** ($\mu J/J$)表示这个差的扩展不确定度， $k=2$ 。用*表示的数据其最后一位仅供参考。

| 序号 | 完成单位 | 三相四线, 100V, 5A | | | | | | 单相, 100V, 5A | | | | | | 三相三线, 100V, 5A | | | |
|----|------|-------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|----------|
| | | $\cos\varphi=1.0$ | | $\cos\varphi=0.5L$ | | $\cos\varphi=0.8C$ | | $\cos\varphi=1.0$ | | $\cos\varphi=0.5L$ | | $\cos\varphi=0.5C$ | | $\cos\varphi=1.0$ | | $\cos\varphi=0.5L$ | |
| | | D | U | D | U | D | U | D | U | D | U | D | U | D | U | D | U |
| 2 | 华东 | 13 | 45 | 40 | 68 | 4 | 59 | 17 | 25 | 23 | 37 | 3 | 46 | 16 | 38 | 38 | 76 |
| 4 | 浙江 | 20 | 63 | 25 | 64 | 12 | 63 | 20 | 59 | -14 | 67 | 13 | 57 | 9 | 93 | 4 | 89 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|
| 6 | 华北 | -38 | 139 | -42 | 140 | -40 | 139 | -14 | 45 | -24 | 44 | -7 | 46** | ** | ** | ** | |
| 8 | 江苏 | 5 | 71 | 32 | 73 | -24 | 72 | 5 | 64 | 15 | 67 | -38 | 73 | 25 | 90 | 61 | 97 |
| 10 | 东北 | -18 | 81 | -14 | 82 | -24 | 82 | -16 | 85 | -38 | 85 | -21 | 85 | -29 | 82 | -25 | 84 |
| 12 | 西北 | 19 | 200 | -5 | 200 | -21 | 200 | 27 | 195 | -23 | 195 | 9 | 195 | -2 | 205 | 52 | 206 |
| 14 | 天津 | -9 | 64 | -21 | 66 | -6 | 66 | -35 | 61 | -43 | 62 | -29 | 61 | -14 | 87 | -22 | 89 |
| 16 | 西南 | -12* | 70 | -22* | 82 | -28* | 107 | -12* | 79 | -12* | 79 | 26* | 105 | 2* | 91 | 7* | 108 |
| 18 | 华南 | -45 | 72 | -26 | 73 | -68 | 72 | -48 | 121 | -15 | 121 | -55 | 121 | -36 | 93 | -26 | 95 |
| 20 | 中南 | -10* | 64* | 4* | 66* | -29* | 65* | -35* | 61* | -37* | 62* | -42* | 61* | -25* | 83* | 13* | 86* |
| 参考值 | | 0 | 23 | 0 | 27 | 0 | 25 | 0 | 12 | 0 | 14 | 0 | 12 | 0 | 24 | 0 | 31 |

表 3 中最后一行“参考值”，其中的不确定度的数值反映了本次比对中对传递标准的控制水平，也包括了国家基准在一年内的稳定度。从表 3 中看出，三相参考值的不确定度小于 $30\mu\text{J}/\text{J}$ ，单相的参考值小于 $15\mu\text{J}/\text{J}$ 。

图 2 至图 9 表示了各个试验点的比对情况。

七、结论

从表 3 中可以看到，所有的 D 的数值都小于它的 U 的数值， D 可视为比对单位标准与国家基准的差，而 U 包含了比对单位标准的不确定度、国家基准的不确定度，以及传递标准的短期和长期稳定性。由此可以得出结论，所有比对单位所声明的不确定度是合理的。

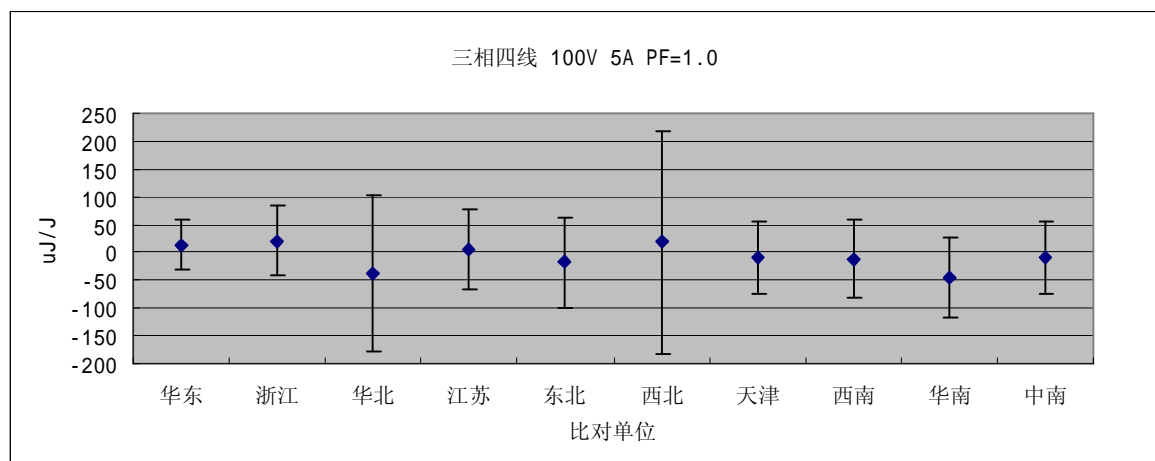


图 2 三相四线 100V 5A PF=1.0 测量点上的比对结果

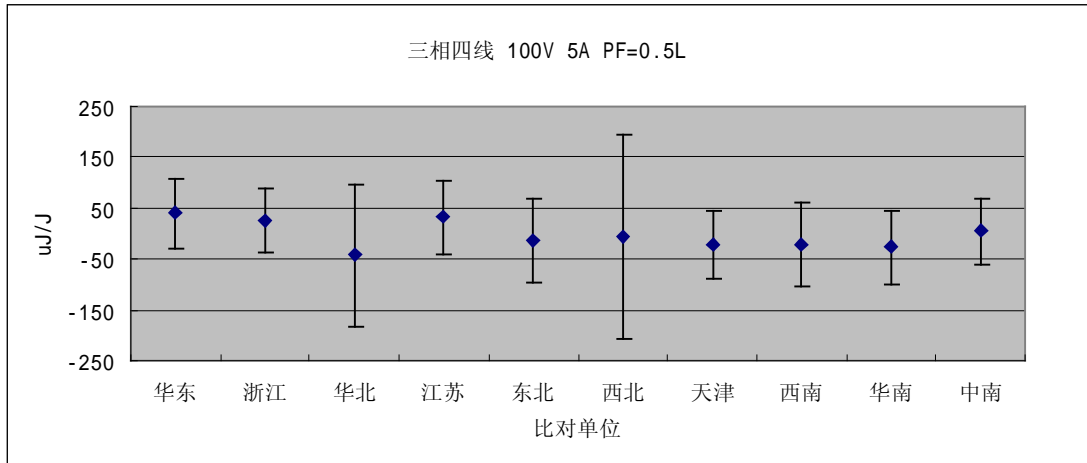


图 3 三相四线 100V 5A PF=0.5L 测量点上的比对结果

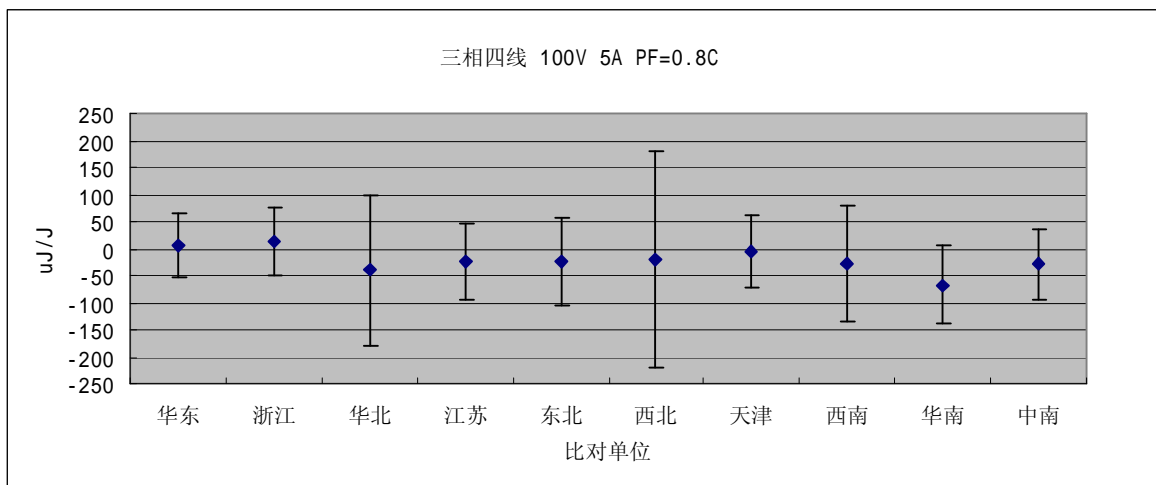


图 4 三相四线 100V 5A PF=0.8C 测量点上的比对结果

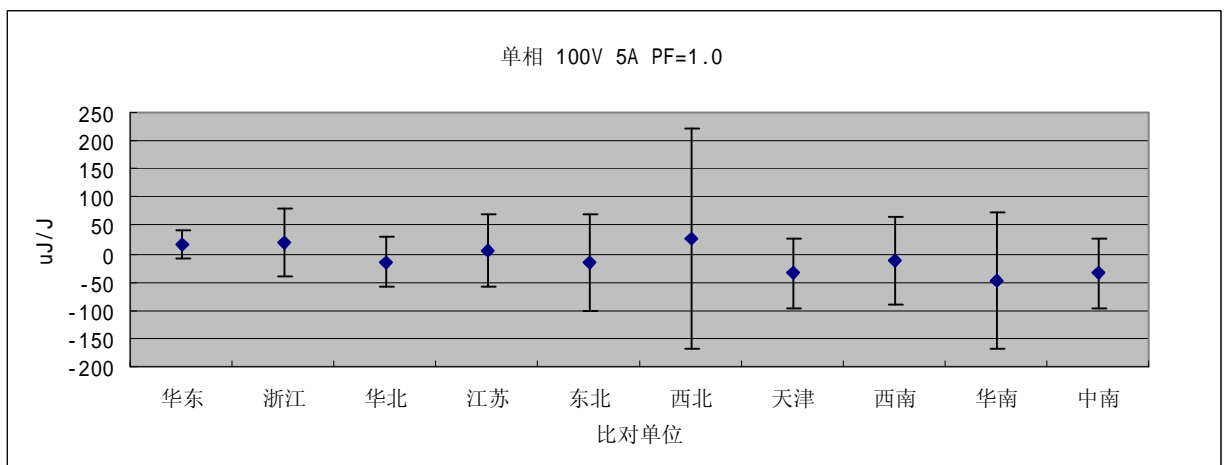


图 5 单相 100V 5A PF=1.0 测量点上的比对结果

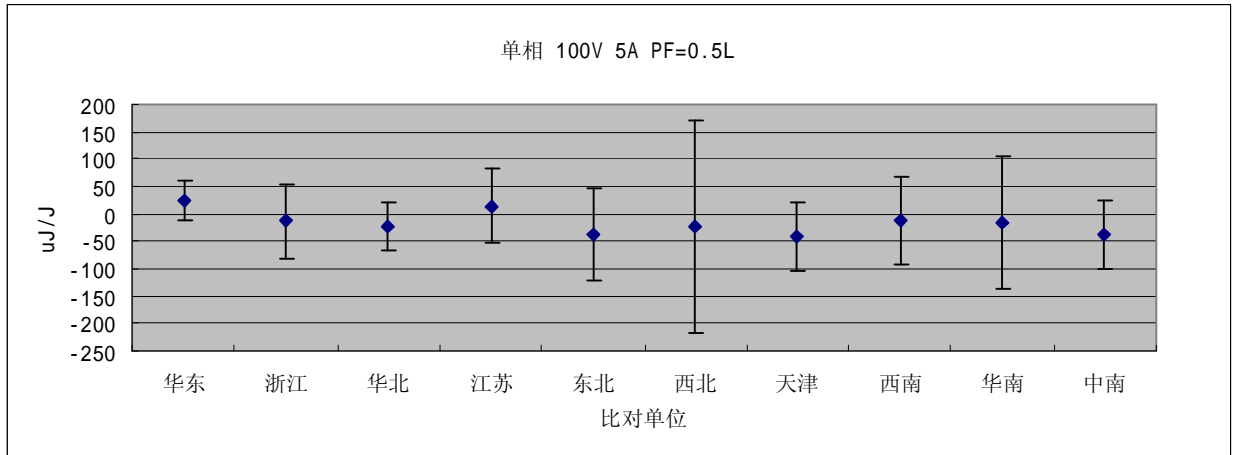


图 6 单相 100V 5A PF=0.5L 测量点上的比对结果

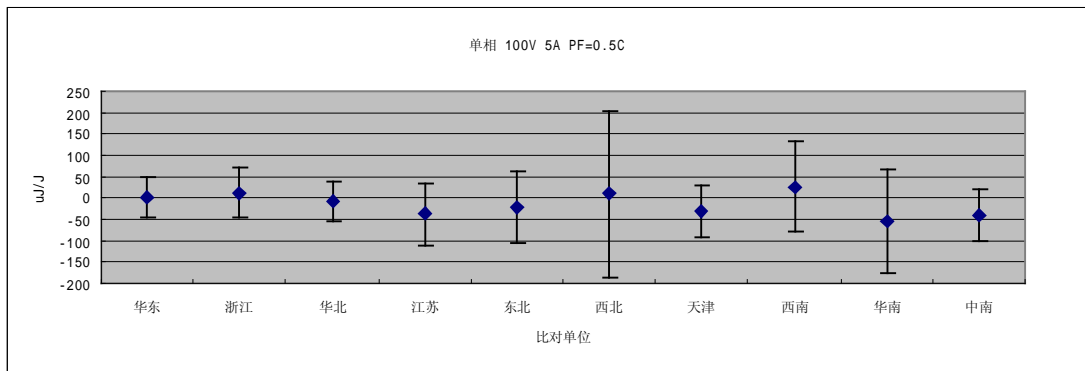


图 7 单相 100V 5A PF=0.5C 测量点上的比对结果

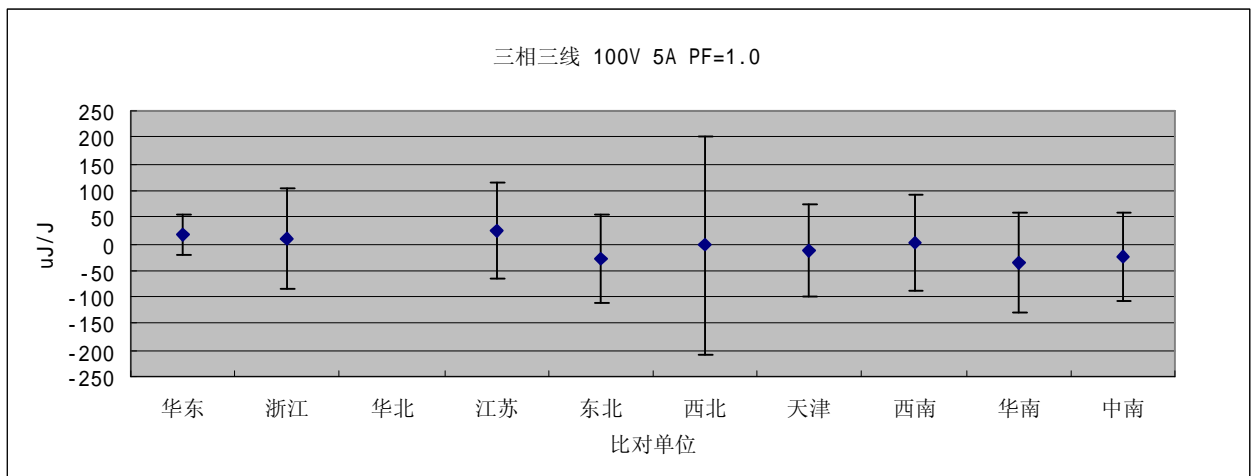


图 8 三相三线 100V 5A PF=1.0 测量点上的比对结果

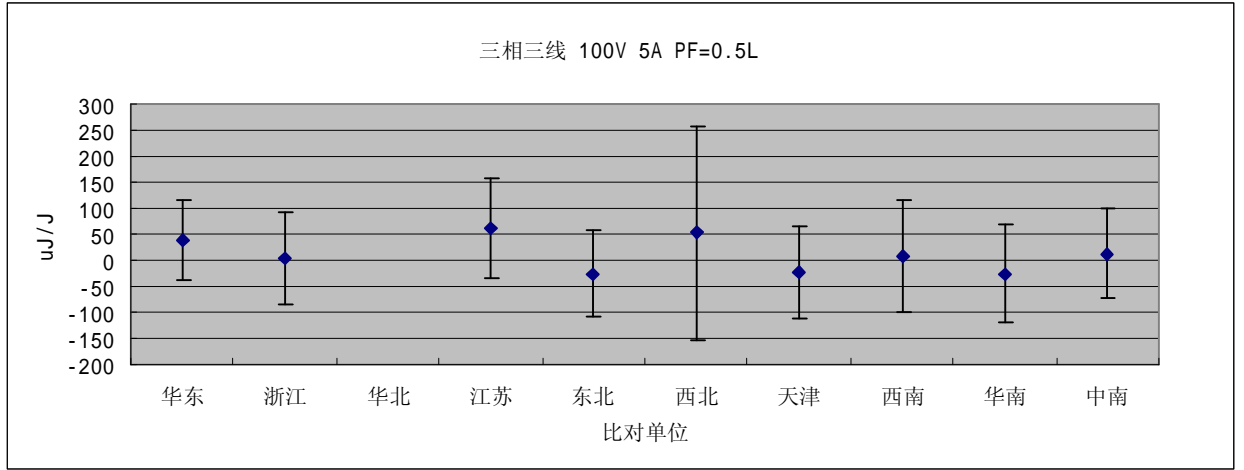


图 9 三相三线 100V 5A PF=0.5L 测量点上的比对结果