

GJB/J 6200-2008 400Hz

v w x y z { | } ~ € , f "

...† ‡ } ^ ‰

Š ‹ Œ ' € z ' " " • { - — ~ ™ š > ™ œ

ÿ j ç £ x y ¤ £ | ¥ † ‡ §

‡ " §

" © ª « | ¬ – ® ¯ §

° ± ² ³ ´ µ

¶ · ¸ ¹ º » ¼ ½ ¾ ¿ À Á Â Ã

Ä Å Ä Å | ® ¯

ÿ j | ® ¯ ‰

Æ Ç È É Ê Ë Ì Í Î Ï ¯ ‰



WP4000

Ð Ñ Ò Ó Ô Õ Ö × Ø Ù

Ù Ú



中华人民共和国国家军用标准

FL 0113

GJB/J 6200-2008

400Hz 功率表校准规范

Calibration specification for 400Hz electrical powermeter

2008-03-17 发布

2008-10-01 实施

国防科学技术工业委员会 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1

6.1 环境条件.....	3
6.2 校准用设备.....	3
7 校准项目.....	4
8 校准方法.....	5
8.1 基本误差.....	5
8.2 年稳定性.....	9
8.3 频率影响量附加误差系数.....	9
8.4 位置影响附加误差.....	9
9 校准结果的处理和复校时间间隔.....	10
9.1 校准结果的处理.....	10
9.2 复校时间间隔.....	10
附录 A (规范性附录) 校准结果的测量不确定度评定.....	11
附录 B (资料性附录) 校准证书校准结果格式.....	16

前 言

本校准规范的附录 A 为规范性附录、附录 B 为资料性附录。

本校准规范由中国航空工业第一集团公司提出。

本校准规范由中国航空工业综合技术研究所归口。

本校准规范起草单位：中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所。

本校准规范主要起草人：金海彬、欧阳普忠、赵艳琴、吴忠燕。

400Hz 功率表校准规范

1 范围

本校准规范规定了额定频率为 400Hz 的单相有功功率表的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果的处理和复校时间间隔。

本校准规范适用于新制造(或新购置)、使用中、修理后的额定频率为 400Hz, 电压测量范围为 100mV~600V, 电流测量范围为 1mA~20A, 功率因数为 0~1, 功率测量基本误差绝对值不小于 0.05% 的单相有功功率表(包括功率变换器、功率分析仪有功功率测量功能)的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本校准规范的引用而成为本标准的条款。凡注日期的引用文件, 其随后所

有功功率因数 **high powerfactor**
量值为 0~1 的功率因数。

3.2

低功率因数 **low powerfactor**

功率因数测量范围上限值。

3.3

额定功率因数 **rating powerfactor**

功率因数测量范围上限值。

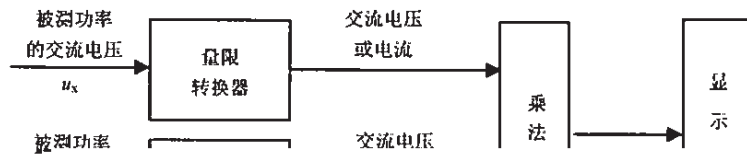
4 概述

4.1 用途

400Hz 单相交流有功功率表(以下简称功率表)主要用于 400Hz 交流有功功率的测量。

4.2 原理和结构

功率表输入量是频率为 400Hz 的电压和电流信号, 一般采用图 1 所示的工作原理。被测功率的交流电压 u_x 和交流电流 i_x 输入后, 分别由各自的量限转换器变成单量限的电压或电流(通常同为电压或同为电流)。两路电压或电流输入乘法器, 变换成与被测有功功率 $P_x = U_x I_x \cos(\varphi)$ 成正比的量, 再由显示仪器或机构直接给出被测功率的示值 P_x 。



5.1 外观和附件

功率表应具有名称、型号、出厂编号、制造厂名以及保证其正确使用信息、通用标志和符号，且不应有可以引起测量错误和影响准确度的缺陷。有关标志和符号应符合 GB/T 7676 规定。仪器各引出端的标志应该清晰，电压回路和电流回路公共端应采用相同的标志(如*或±)。

需要考核年稳定性的数字功率表(功率变换器)应附有上一年的校准证书。

5.2 工作正常性

通电后被校功率表应能正常工作，各种设置和指示应正确。

5.3 基本频率范围

额定功率值。

功率表对不同功率因数范围及不同的量限允许有不同的准确度要求,其中准确度最高的量限为基本量限。准确度级别与相应的最大允许误差见表 1。

表 1 准确度级别

准确度级别	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5
最大允许基本误差	±0.05%	±0.1%	±0.2%	±0.5%	±1%	±2%	±5%

5.5 年稳定性

数字功率表的年稳定性应有和其准确度级别相应的明确规定。

5.6 频率附加误差系数

功率表频率附加误差系数应有和其准确度级别相应的明确规定。

5.7 位置影响附加误差

对于没有装水准器,且有位置标志要求的直接作用模拟指示功率表,自标准位置向四个方向倾斜 5°或规定值,对于没有位置标志要求的直接作用模拟指示功率表,自标准位置倾斜 90°,其位置影响附加误差应有和其准确度级别相应的明确规定。

5.8 介电强度和绝缘电阻

功率表的介电强度和绝缘电阻应满足 GB/T 4793 和 GB/T 7676 的要求。

6 校准条件

6.1 环境条件

功率表应在表 2 规定的标准条件下校准。

表 2 标准条件和允许偏差

影响量	标准条件	允许偏差		
		0.05 级	0.1 级、0.2 级、0.5 级	大于等于 1 级
环境温度	20℃ ^a	±1℃	±2℃	±5℃
相对湿度	50%	±25%		
供电电网的电压	220V	±22V		
供电电网的频率	50Hz	±1Hz		
位置 ^b	支撑面水平	±1°		

外磁场	无	40A/m
外电场	无	1kV/m
^a 允许标准条件在 23℃下校准。		

1/10;

- 3) 电源频率调节的误差绝对值不大于 0.5%，每 3min 频率的最大相对变化不大于 $\pm 0.02\%$;
- 4) 电源电压与电流之间相位差应该能够在 $\pm 90^\circ$ 之间调节，其调节细度应不大于 0.1° ;
- 5) 电源电压及电流应能够调节至被校功率相应的电压和电流，其功率调节细度不应大于被校

功率表的相应示值基本误差允许值的 1/10;

- 6) 电源的电流回路与电源的电压回路间，在电气上应是绝缘的，以使各电流与电压回路间能作任意的电气连接;
- 7) 电源输出电压监视仪表的准确度应优于 1 级;
- 8) 电源输出电压、电流波形失真度，在校准 0.05 级功率表时应小于 0.5%，校准 0.1 级、0.2 级及 0.5 级功率表时应小于 1%，校准 1 级及以下级别功率表时应小于 2%。

b) 标准功率表(或标准功率变换器):

- 1) 标准功率表示值允许误差应小于被校功率表相应示值允许误差的 1/4，允许采用示值允许

率表后，应仍能保证输出的准确度;

- 2) 标准功率源输出功率的示值误差应不大于被校表示值允许误差的 1/4，分辨力应小于被校功率表相应示值允许误差的 1/10;
- 3) 允许用输出功率示值误差不大于被校功率表相应示值允许误差的 1/2 的标准功率源对被校

8 校准方法

8.1 基本误差

8.1.1 校准前的准备

个带数字刀皮线的刻度点进行校准。在切半因数等于 0.5(L) 和 0.5(C) 两种情况下对带数字刀皮线的刻度点进行校准。

户要求，可以在电压量限和电流量限某些指定的组合的情况下进行校准；所有非基本量限的基本误差，仅在量额定电压、量额定电流及额定功率因数下进行校准。

8.1.3 标准功率源法

8.1.3.1 标准功率源法校准功率表的原理接线图如图 2 所示。

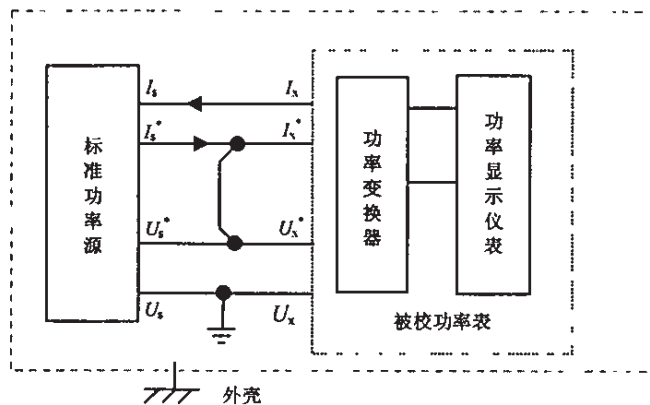


图 2 标准功率源法校准功率表的原理接线图

8.1.3.2 如果被校功率表(或功率变换器)存在输出端，则应将输出端的低端与被测功率电压的非同名端相接。

8.1.3.3 将标准功率源和被校功率表(或被校功率变换器的直流数字电压表)的外壳直接相接，并和地

- a) 选择被校功率表电压电流量限，按图 2 接线；
- b) 轻敲被校功率表，调整被校功率表零位；
- c) 设置标准功率源的功率因数，根据被校功率表量限，调节标准功率源输出电压为被校功率表额定电压；
- d) 缓慢增大标准功率源的输出电流，使被校功率表的指针与数字电压表 V 指示的电压标准

P_n ——被校功率表额定功率，单位为瓦(W)。

被校刻度实际值按(4)式计算：

$$X_s = C_w \frac{P_{s1} + P_{s2}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

X_s ——被校刻度实际值，以刻度格表示；

C_w ——被校功率表满刻度值，以每瓦的刻度格表示；

P_{s1} 、 P_{s2} ——分别为电流上升和下降时标准功率源的输出功率值，单位为瓦(W)。

对应修正值按(5)式计算：

$$C = X_s - X_1 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

C ——被校刻度修正值，以刻度格表示；

X_s ——被校刻度实际值，以刻度格表示；

X_1 ——被校刻度示值，以刻度格表示。

从量程的所有校准点找出最大绝对误差 $\Delta X_m = -C_m$ ，则被校功率表最大基本误差 γ 按(6)式计算：

$$\gamma = \frac{\Delta X_m}{X_n} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

γ ——被校功率表最大基本误差；

X_n ——被校功率表的满刻度值，以刻度格表示；

ΔX_m ——被校功率表的最大绝对误差，以刻度格表示。

8.1.3.6 校准数字功率表测量程序如下：

- a) 选择被校功率表电压电流量限，按图 2 接线。
- b) 按 8.1.1.7 要求调整或自校。
- c) 设置标准功率源的功率因数，根据被校功率表量程，设定标准功率源输出电压为被校功率表额定电压。
- d) 调节标准功率源输出电流，使标准功率源的显示值为 P_s ，被校功率表测量值为 P_x 。记录 P_s 和 P_x 于校准原始记录表格。

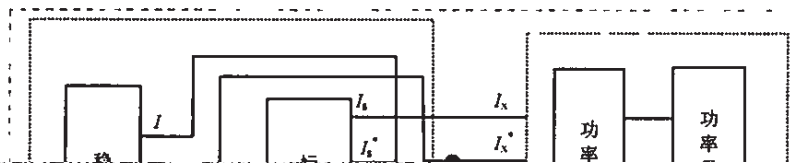
I_n ——被校功率表额定电流，单位为安(A)；

$\cos(\varphi)$ ——被校功率表的额定功率因数。

8.1.3.7 按附录 A 对校准结果进行不确定度评定。

8.1.4 比较法

8.1.4.1 比较法校准功率表的原理接线图如图 3 所示。标准功率表和稳定功率源组成等效标准功率源；标准功率表的电压回路应连接在稳定功率源的电压输出端上，而标准功率表的电流回路串联连接在稳定功率源电流输出端的非公共端上，这样组成的等效标准功率源的示值 P_s 即为标准功率表的示值 P_o 的负值；如果需要改变标准功率表 P_o 的正负号，允许将标准功率表的电流回路两端对调。



8.1.4.2 标准功率表和指示功率表测量步骤如下。

- a) 选择标准功率表和被校功率表电压电流量限，按图 3 接线；
- b) 轻敲被校表，调整被校表零位；
- c) 设置稳定功率源的功率因数，根据被校功率表量限，调节稳定功率源输出电压为被校功率表额定电压；
- d) 缓慢增大稳定功率源的输出电流，使被校功率表的指针与数字分度线 X_i 重合，记录此时标准功率表读数 P_{s1} 于校准原始记录表格；
- e) 重复 d)，稳定功率源输出电流从小到大，直至所有的需要校准的数字分度线校准完毕；
- f) 增大稳定功率源输出电流到被校功率表测量范围上限以上，立刻缓慢减小稳定功率源输出电流，使功率表指针再次与被校的数字分度线 X_i 重合，记录此时标准功率表读数 P_{s2} 于校准原始记录表格；
- g) 重复 f)，稳定功率源输出电流从大到小，直至所有的需要校准的数字分度线校准完毕；

- h) 改变稳定功率源功率因数和电压电流量限，重复 b)~g)；
- i) 计算方法见 8.1.3.5 i)。

8.1.4.3 校准数字功率表测量步骤如下：

P_x 于校准原始记录表格。

- e) 改变稳定功率源功率因数和电压电流量限, 重复 c)~d)。
- f) 计算方法见 8.1.3.6 f)。

8.1.4.4 按附录 A 对校准结果进行不确定度评定。

8.2 年稳定性

在校准基本误差后, 年稳定性按 (9) 式计算:

$$\Delta\gamma = \frac{|\Delta X_0|}{X_n} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- $\Delta\gamma$ ——功率表年稳定性;
- ΔX_0 ——功率表复校间隔一年两次校准值之差, 单位为瓦(W);
- X_n ——引用值, 单位为瓦(W)。

8.3 频率影响量附加误差系数

8.3.1 数字功率表频率影响量的附加误差系数, 一般在额定功率因数及基本量额定电压和额定电流下进行校准。

8.3.2 除频率影响量外, 其他影响量及被测功率应尽量稳定, 由于它们在测量进程变化而引起的附加误差变化值可以忽略不计。

8.3.3 校准步骤如下:

- a) 根据校准方法, 按图 2 或图 3 接线。
- b) 将标准(稳定)功率源电压由液输出频率可调被校功率表工作允许变化范围内阻值, 调整功

表示值稳定后读出标准功率表或标准功率源的实际值 $X(f_h)$, 并记录于校准原始记录表格。

d) 附加误差系数按 (10) 式计算:

$$\Delta\gamma_f = \frac{|X(f_h) - X(f_l)|}{X_{n1}(f_h - f_l)} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- $\Delta\gamma_f$ ——功率表频率附加误差系数, 单位为每赫兹 (1/Hz);
- $X(f_h)$ ——功率表上限频率校准值, 单位为瓦(W);
- $X(f_l)$ ——功率表下限频率校准值, 单位为瓦(W);
- X_{n1} ——引用值, 单位为瓦(W);
- f_h ——功率表上限频率, 单位为赫兹(Hz);
- f_l ——功率表下限频率, 单位为赫兹(Hz)。

8.4 位置影响附加误差

8.4.1 一般在额定功率因数、额定频率、基本量阻值刻度数字公差内进行直接应用模拟也二功率表位

被校表，应倾斜 90°。每次需调节零位，通电并调节标准(稳定)功率源，使指针指在满刻度数字分度线上，并轻敲，记录实际值 X_j 于校准原始记录表格。

d) 由位置引起的误差改变量，按(11)式计算：

$$\Delta\gamma_w = \frac{|X_j - X_0|}{X_{n2}} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$\Delta\gamma_w$ ——功率表位置影响附加误差；

Y ——在标吉值时满刻度数字分度线的标准值，以刻度格表示。

附录 A
(规范性附录)
校准结果的测量不确定度评定

A.1 数字功率表校准结果的测量不确定度评定

A.1.1 数学模型

数字功率表的数学模型可用(A.1)式表示:

$$\gamma = \frac{P_x - P_s}{P_n} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

P_x —— 被校表示值, 单位为瓦(W);

P_s —— 标准值, 单位为瓦(W);

P_n —— 被校表额定功率值, 单位为瓦(W);

γ —— 被校表基本误差

D) 标准(稳定)功率源的不稳定引入的不确定度 u_2 ;

c) 标准功率源(或标准功率表)读数分辨率引入的不确定度 u_3 。

A.1.2.2 $u(P_x)$ 的来源如下:

a) 被校表分辨率引入的不确定度 u_4 ;

b) 被校表示值(读数)变化引入的不确定度 u_5 。

A.1.3 测量不确定度评定

A.1.3.1 校准装置引入的不确定度 $u(P_s)$

A.1.3.1.1 标准功率表的示值误差或标准功率源的输出功率不准确引入的不确定度 u_1

根据标准功率表或标准功率源的技术说明书规定其允许误差极限为 $\Delta P_1(W)$, 并经校准合格。由此引入的不确定度按 B 类评定, 假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布, 查得包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则其标准不确定度 u_1 按(A.3)式计算:

$$u_1 = \frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.3)$$

自由度: $\nu_1 \rightarrow \infty$ (认为不可靠度为 0)。

本项不确定度也可以根据标准功率表或标准功率源检定/校准证书中校准结果的扩展不确定度 U 除以相应的包含因子 k 得到。

A.1.3.1.2 标准(稳定)功率源的不稳定引入的不确定度 u_2

功率源的不稳定引起功率标准值的不稳定。可由标准表的重复性按 A 类评定, 也可以根据功率电源技术说明书按 B 类评定。如按 B 类评定, 根据稳定功率源或标准功率源的技术说明书规定, 其稳定

确定度 u_2 按 (A.4) 式计算:

$$u_2 = \frac{\Delta P_2}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.4)$$

自由度: $\nu_2 \rightarrow \infty$ (认为不可靠度为 0)。

A.1.3.1.3 标准功率电源(或标准功率表)读数分辨力引入的不确定度 u_3

据标准功率源(或标准功率表)的技术说明书规定,其读数分辨力为 $\Delta P_3(W)$,由此引入的不确定度按 B 类评定,假设测量值在允许误差范围内的概率分布为均匀分布,包含因子 k 为 $\sqrt{3}$,则其标准不确定度 u_3 按 (A.5) 式计算:

$$u_3 = \frac{\Delta P_3}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.5)$$

自由度: $\nu_3 \rightarrow \infty$ (认为不可靠度为 0)

A.1.3.1.4 $u(P_s)$ 的计算

合成标准不确定度 $u(P_s)$ 按 (A.6) 式计算:

$$u(P_s) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \dots\dots\dots (A.6)$$

A.1.3.2 被校表示值(读数)引入的不确定度 $u(P_x)$

A.1.3.2.1 被校表示值(读数)分辨力引入的不确定度 u_4

被检数字功率表的读数分辨力为 $\Delta P_4(W)$ 。由此引入的不确定度按 B 类评定,设概率分布为均匀分布,被校表示值(读数)分辨力引入的不确定度 u_4 按 (A.7) 式计算:

$$u_4 = \frac{\Delta P_4}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.7)$$

量结果 x_i 。用贝塞法按 A 类评定被校表示值(读数)变化引入的不确定度 u_5 。

用算术平均值作为校准结果时, u_5 按 (A.8) 式计算:

$$u_5 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (A.8)$$

用单次测量值作为校准结果时, u_5 按 (A.9) 式计算:

$$u_5 = s(x) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (A.9)$$

自由度: $\nu_5 = n - 1$ 。

A.1.3.2.3 $u(P_x)$ 的计算

合成标准不确定度 $u(P_x)$ 按 (A.10) 式计算

$$u(P_x) = \sqrt{u_4^2 + u_5^2} \dots\dots\dots (A.10)$$

A.1.4 不确定度分量一览表

不确定度分量见表 A.1。

A.1.5 合成标准不确定度 u_c

A.1.6 扩展不确定度 U

由 v_{eff} , 在 $p=95\%$ 的情况下, 查 t 分布临界值, 得 k_p , 则扩展不确定度 $U_p(\gamma)$ 按 (A.13) 式计算:

$$U_p(\gamma) = k_p u_c(\gamma) \quad (p=95\%) \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

表 A.1 不确定度分量表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度	灵敏系数	自由度
..	标准功率值不准	R	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}}$		∞

直接作用模拟指示功率表的数学模型可用 (A.14) 式表示:

$$c = P_s \times C_W - K_x \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

C_W —— 额定分度值, 以每瓦的刻度格表示;

P_s —— 标准值, 单位为瓦 (W);

K_x —— 被校刻度值, 以刻度格表示;

c —— 被校刻度修正值, 以刻度格表示。

其不确定度传播可用 (A.15) 式表示:

$$u_c^2(c) = c^2(P_s) \times u^2(P_s) + c^2(K_x) \times u^2(K_x) \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

式中, 灵敏系数:

$$c(P_s) = C_W \quad c(K_x) = -1$$

A.2.2 测量不确定度来源

A.2.2.1 $u(P_s)$ 的来源如下:

- 标准功率表的示值误差或标准功率源的输出功率不准确引入不确定度 u_6 ;
- 标准(稳定)功率源的不稳定引入的不确定度 u_7 ;
- 标准功率源(或标准功率表)读数分辨力引入的不确定度 u_8 。

A.2.2.2 $u(P_x)$ 的来源如下:

- 功率源的调节细度引入的不确定度 u_9 ;
- 被校表分辨力引入的不确定度 u_{10} 。

A.2.3 测量不确定度评定

A.2.3.1 校准装置引入的不确定 $u(P_2)$

A.2.3.1.1 标准功率表的示值误差或标准功率源的输出功率不准确引入不确定度 u_6

$$u_6 = \frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.16)$$

A.2.3.1.2 标准(稳定)功率电源的不稳定引入的不确定度 u_7

功率电源的不稳定引起功率标准值的不稳定。可由标准表的重复性按 A 类评定。当测量被校表某一固定刻度,连续读标准功率读数 n 次以上($n \geq 6$),得到一系列重复测量结果 x_i 。用贝塞法按 A 类评定示值(读数)变化引入的不确定度 u_7 , u_7 按(A.17)式计算:

以贝塞法按 A 类评定示值(读数)变化引入的不确定度 u_7 按(A.17)式计算:

$$u_9 = C_W \frac{\Delta P_2}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (A.20)$$

自由度: $\nu_4 \rightarrow \infty$ (认为不可靠度为 0)。

A.2.3.2 被校表刻度分辨力引入的不确定度 u_{10}

被校表的刻度分辨力引入的不确定度 u_{10} 按(A.19)式计算:

表 A.2 不确定度分量表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度	灵敏系数	自由度
u_6	标准功率值不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}}$	-	∞
u_7	电源输出功率不稳定	A	正态	-	-		$n-1$
u_8	标准表分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta P_3}{\sqrt{3}}$		∞

$$U_p(c) = k_p u_c(c) \text{ (以刻度格表示) } (p=95\%) \dots\dots\dots (\text{A.25})$$

附录 B
(资料性附录)
校准证书校准结果格式

功率表校准证书校准结果格式见图 B.1。

数字功率表/功率变换器校准结果									
1 基本误差									
频率 (Hz)	电压电流量程		被测功率参数			被校表 示值 (W)	标准值 (W)	基本 误差	不确定度 ($k=2$)
	(V)	(A)	$\cos(\varphi)$	$U(V)$	$I(A)$				

2 年稳定性:

3 频率影响量附加误差系数:

直接作用模拟指示功率表校准结果						
1 基本误差						
频率 (Hz)	电压量程 (V)	电流量程 (A)	功率因数	被校表刻度 (格)	修正值 (格)	不确定度 ($k=2$)

2 最大基本误差:

3 位置影响附加误差:

图 B 1 功率表校准证书校准结果格式