



中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXXX-202X

通用计数器校准规范

Calibration Specification for Universal Counters

(报审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布

通用计数器校准规范

Calibration Specification for
Universal Counters

JJFXXX-202X
代替 JJG349-2014

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：浙江省计量科学研究院

贵州省计量测试院

石家庄数英仪器有限公司

航天科工集团二院二〇三所

本规范委托全国时间频率计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

曾德灵 上海市计量测试技术研究院

董莲 上海市计量测试技术研究院

参加起草人：

韩海林 浙江省计量科学研究院

王菊凤 贵州省计量测试院

龙波 贵州省计量测试院

冯卫 石家庄数英仪器有限公司

杨军 航天科工集团二院二〇三所

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	2
4.1 内置时基振荡器	2
4.2 频率测量	2
4.3 周期测量	2
4.4 时间间隔测量	3
5 校准条件	3
5.1 环境条件	3
5.2 测量标准器及其他设备	3
6 校准项目和校准方法	4
6.1 校准项目	4
6.2 校准方法	4
7 校准结果	7
8 复校时间间隔	8
附录 A	9
附录 B	10
附录 C	11

引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性文件。

本规范是对 JJG349-2014《通用计数器》的修订，除编辑性修改外，主要技术变化/修订内容如下：

- 明确了频率测量下限 1mHz；
- 补充、完善了概述，增加了原理框图；
- 删除了术语有效分辨力；
- 输入灵敏度计量性能改为工作正常性检查内容，不作为校准项目；
- 删除了日频率波动计量性能；
- 根据 JJG 2007-2015《时间频率计量器具》，频率准确度改为相对频率偏差；
- 部分修改和完善了频率、周期、时间间隔的测量方法。

本规范历次版本发布情况：

- JJG349-2014；
- JJG349-2001。

通用计数器校准规范

1 范围

本规范适用于频率测量范围 1mHz~18 GHz 通用计数器的校准。

2 引用文件

JJG 2007 时间频率计量器具

JJF 1957 铷原子频率标准校准规范

JJF 1984 电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；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

通用计数器基本工作原理是以适当的逻辑电路，在预定的标准时间（闸门时间）内累计待测输入信号的振荡次数，或在待测时间间隔内累计标准时间（时基）信号的个数，进行频率、周期、时间间隔、频率比、任意时间间隔内脉冲个数以及累加计数等的测量。

通用计数器一般由内部时基振荡器、分频/倍频、信号调理、电压比较器、数模转换电路（DAC）、同步控制（ARM）/闸门时间形成、计数、分辨力增强、数据处理和显示等单元组成，见图 1。信号 1 和信号 2 经信号调理电路耦合、放大、滤波等整形后送入电压比较器，由 DAC 按照触发电平的设置使输入信号形成脉冲波，ARM/闸门时间形成单元产生需要的采样脉冲；内部时基振荡器或外部时基信号经分频/倍频单元处理后形成时基脉冲，时基脉冲与 ARM/闸门时间形成单元生成测量采样间隔，计数单元在采样间隔内填充时基脉冲，分辨力增强单元对计数单元的 ± 1 误差进行进一步处理，由数据处理模块形成最终测量结果，送入显示单元进行显示。

通用计数器的多种测量功能，主要通过闸门时间的形成和数据处理的实现。计数单元和分辨力增强单元主要完成采样脉冲内的时间间隔测量，并采用多周期同步法、模拟内插法、数字游标法、量化延迟法、模拟内插数字化的时间/电压（T/V）转化法以及连续时间戳等技术实现高分辨力测量结果显示。

通用计数器广泛应用于计量、科研、生产等部门。

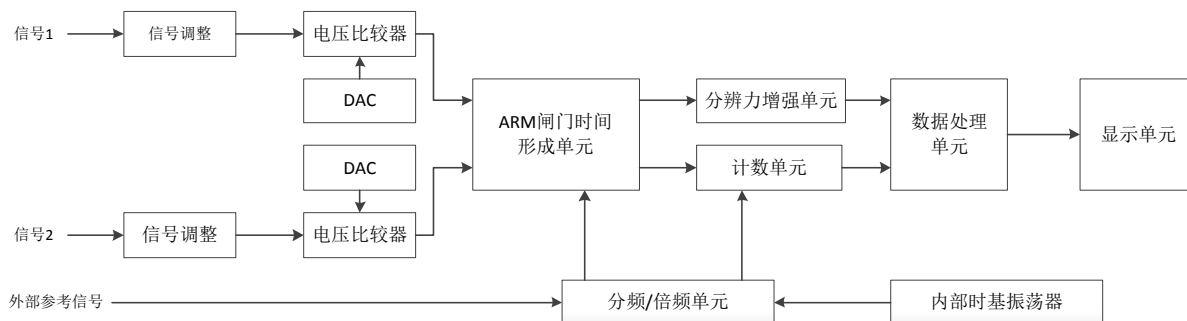


图1 通用计数器原理框图

4 计量特性

4.1 内置时基振荡器

表1 内置时基振荡器计量特性

计量特性	内置振荡器类型	
	石英晶体振荡器	铷原子频率标准
相对频率偏差	$\pm (1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-10})$	$\pm (2 \times 10^{-10} \sim 2 \times 10^{-11})$ $\pm (1 \times 10^{-11} \sim 5 \times 10^{-13})$ (GNSS驯服铷频标, $\tau = 1 \text{ d}$)
开机特性	$\pm (1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-11})$	$\pm (5 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-11})$
日老化率/ 日频率漂移率	$\pm (1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-12})$	$\pm (1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-13})$
1 s频率稳定度	$1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-12}$	$5 \times 10^{-11} \sim 2 \times 10^{-12}$
频率复现性	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-11} \sim 2 \times 10^{-12}$

4.2 频率测量

测量范围：1 mHz~18 GHz

测量误差： $y(\tau) \times f + \delta_f$

式中：

$y(\tau)$ ——内置时基振荡器相对频率偏差；

f ——被测频率，Hz；

δ_f ——频率显示分辨力。

4.3 周期测量

测量范围：1 ns~100 s

测量误差： $y(\tau) \times T + \delta_T$

式中：

T ——被测周期，s；

δ_T ——周期显示分辨力。

4.4 时间间隔测量

测量范围：2 ns~10⁵ s

测量误差： $y(\tau) \times t + \delta_t$

式中：

t ——被测时间间隔，s；

δ_t ——时间显示分辨力。

注：以上技术指标不作合格评定，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度

在 15°C~30°C 范围内任选一值，温度最大允许变化 $\pm 2^\circ\text{C}$ （其中铷内置时基振荡器的通用计数器为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ），且不应有温度突变。

5.1.2 环境湿度

相对湿度： $\leq 80\%$ 。

5.1.3 供电电源

电压：220 V ± 22 V；

频率：50 Hz ± 1 Hz。

5.1.4 其它

周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准器及其他设备

5.2.1 参考频标

输出信号频率包含 5 MHz、10 MHz 等。频率稳定度小于被校相同取样时间频率稳定度的 1/3，其它技术指标如日老化率/日频率漂移率、相对频率偏差等应优于被校相应技术指标一个数量级。

5.2.2 频标比对系统

输入信号频率包含 5 MHz、10 MHz 等。取样时间包含 1 s、10 s、100 s 等，测量带宽应大于相应取样时间倒数的 5 倍，比对不确定度小于被校相同取样时间频率稳定度的 1/3。

5.2.3 函数发生器

频率范围：0.1 Hz~250 MHz，分辨力不低于 1 μ Hz；

相对频率偏差：优于被校相对频率偏差一个数量级或可外接参考频标；

输出电压范围：满足被校输入电压范围要求；

电压：幅度最大允许误差 $\pm 0.1\% \sim \pm 10\%$ ，分辨力不低于 10 mV。

5.2.4 信号发生器

频率范围：5kHz~18GHz；

相对频率偏差：优于被校相对频率偏差一个数量级或可外接参考频标；

输出电平范围：满足被校输入电平范围要求；

电平最大允许误差： $\pm (0.5\text{dB} \sim 2\text{dB})$ ，分辨力不低于 0.1dB。

5.2.5 时间间隔发生器

时间间隔范围：满足被校时间间隔测量范围要求。

相对频率偏差：优于被校相对频率偏差一个数量级或可外接参考频标；

信号形式：单路输出单个脉冲或脉冲列；两路输出单个脉冲或脉冲列；

信号电平： $-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$ 范围内连续可调，分辨力不低于 10 mV。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目表

序号	校准项目	
1	外观及工作正常性检查	
2	内置时基振荡器	相对频率偏差
		开机特性
		日老化率/日频率漂移率
		1s 频率稳定度
		频率复现性
3	频率测量	
4	周期测量	
5	时间间隔测量	

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

6.2.1.1 外观检查

目测被校通用计数器（以下简称被校）外观，前面板或后面板上应标有仪器名称、型号、制造厂、出厂编号及电源要求。电源开关、输入/输出端口、功能设置开关等应有识别标志，接口应牢固可靠，功能旋钮应灵活可用。无影响正常工作的机械损伤。

6.2.1.2 工作正常性检查

正确通电并按说明书操作输入频率信号，被校各功能指示应清晰可见并能正常工作及测量显示。

按照频率测量方法，对被校测量范围内的输入灵敏度进行检查并记录，结果应符合产品技术说明书的规定。

6.2.2 内置时基振荡器

被校内置时基振荡器的校准，根据振荡器类型分别按 JJF 1984 电子测量仪器内石英晶体振荡器或 JJF 1957 铷原子频率标准校准规范中相应条款进行校准。

6.2.3 频率测量

按图 2 连接。应注意函数发生器/信号发生器输出阻抗与被校输入阻抗相匹配；若被校输入端带有衰减器，则将衰减量调到最小位置。若有必要，函数发生器/信号发生器外接参考频标。

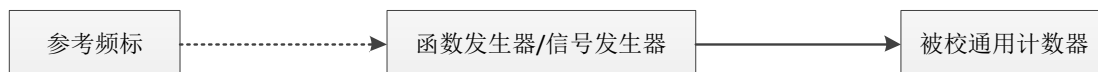


图 2 频率测量校准框图

被校选择频率测量功能。对被校的每个通道，分别从表 3 中选取 3~5 个校准点，也可根据实际情况或送校单位的要求，选取通道及其校准点。

表 3 频率测量校准点

频率范围	校准频率点
(1mHz~350) MHz	1mHz, 10 mHz, 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz, 225 MHz, 350 MHz
100 MHz~6 GHz	100 MHz, 300 MHz, 500 MHz, 800 MHz, 1 GHz, 3 GHz, 6 GHz
300 MHz~18 GHz	300 MHz, 500 MHz, 800 MHz, 1 GHz, 3 GHz, 6 GHz, 10 GHz, 15 GHz, 18 GHz

注：可根据产品说明书合理选取校准点。

在选定的校准点，将函数发生器/信号发生器的输出信号幅度从 10 mV 逐渐增加，直到被校工作正常且读数稳定、准确为止，此时函数发生器/信号发生器的输出信号幅度记为被校该校准点的最小输入电平。将函数发生器/信号发生器的输出信号幅度调至略高于该校准点最小输入电平，被校闸门时间选 1s 或 10 s，记录该闸门时间下的被校输入电平和频率显示值，按公式 (1) 计算频率测量误差。

$$\Delta f = f' - f \quad (1)$$

式中：

Δf ——频率测量误差，Hz；

f' ——被校显示频率，Hz

也可以相对误差 $\Delta f/f$ 表示频率测量误差。

注：若有必要，也可采用参考频标输出的 1PPS 信号作为 1Hz 标准频率信号。

6.2.4 周期测量

按图 2 连接。应注意函数发生器/信号发生器输出阻抗与被校输入阻抗相匹配；若被校输入端带有衰减器，则将衰减量调到最小位置。若有必要，函数发生器/信号发生器外接参考频标。

被校选择周期测量功能。从表 4 中选取 3~5 个校准点，也可根据实际情况或送校单位的要求选取校准点。

表 4 周期测量校准点

周期范围	校准周期点
1 ns~10 ns	1 ns, 5 ns, 10 ns
10 ns~100 s	10 ns, 100 ns, 1 μ s, 10 μ s, 100 μ s, 1 ms, 10 ms, 100 ms, 1 s, 10 s, 100 s
注：可根据产品说明书合理选取校准点。	

在选定的校准点，调节函数发生器/信号发生器，使输出信号幅度高于该校准点最小输入电平，被校闸门时间选取 1 s 或 10 s，记录该闸门时间下的被校输入电平和周期显示值，按公式（2）计算周期测量误差：

$$\Delta T = T' - T \quad (2)$$

式中：

ΔT ——周期测量误差，s；

T' ——被校显示周期，s；

也可以相对误差 $\Delta T/T$ 表示测量误差。

注：若有必要，也可采用参考频标输出的 1PPS 信号作为标准周期信号。

6.2.5 时间间隔测量

被校选择时间间隔测量功能。从表 5 中选取 3~5 个校准点，也可根据实际情况或送校单位的要求选取校准点。

表 5 时间间隔测量校准点

时间间隔范围	校准时间间隔点
2 ns~10 ⁵ s	2 ns, 10 ns, 100 ns, 1 μ s, 10 μ s, 100 μ s, 1 ms, 10 ms, 100 ms, 1 s, 10 s, 100 s, 1000 s, 10000 s, 100000 s
注：可根据产品说明书合理选取校准点。	

记录各校准点的时间间隔显示值，按式（3）计算时间间隔测量误差：

$$\Delta t = t' - t \quad (3)$$

式中：

Δt ——时间间隔测量误差，s；

t' ——被校显示时间间隔值，s；

也可以相对误差 $\Delta t/t$ 表示测量误差。

6.2.5.1 脉冲宽度测量

按图 3 (a) 连接。通常被校触发电平设置在时间间隔发生器输出信号幅度的 1/2 处。

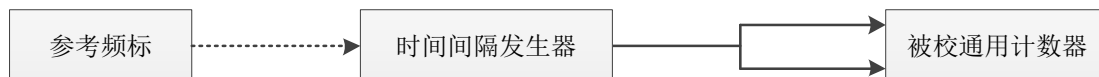


图 3 (a) 双通道脉冲宽度测量校准框图

时间间隔发生器输出单个或连续脉冲信号，同时加到被校具有时间间隔测量功能的两个输入端，一个输入端（启动通道）触发斜率置为正或负，另一个输入端（停止通道）触发斜率置为负或正。

对于有单通道脉冲宽度测量功能的计数器，则按图 3 (b) 连接且被校选择相应正或负脉宽测量功能。

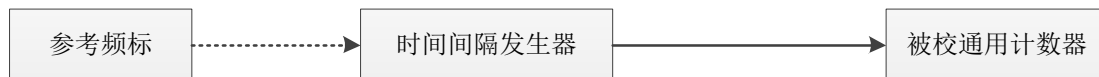


图 3 (b) 单通道脉冲宽度测量校准框图

6.2.5.2 两路脉冲时间间隔测量

按图 4 连接。通常被校触发电平设置在时间间隔发生器输出信号信号幅度的 1/2 处。

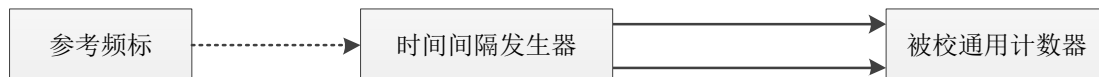


图 4 两路脉冲时间间隔测量校准框图

时间间隔发生器分两路输出单个或连续脉冲信号，分别加到被校具有时间间隔测量功能的两个输入端，两输入端的触发斜率均置为正或负。

7 校准结果

通用计数器校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（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应用有关时，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) 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说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议不超过 12 个月。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

检查项目	结果	
外观		
工作正常性		
	输入频率/Hz	输入灵敏度/mV _{rms}

A.2 内置时基振荡器测量

类型：	<input type="checkbox"/> 石英晶体振荡器	<input type="checkbox"/> 铷原子频率标准
计量特性	测量结果	不确定度 $U(k=2)$
相对频率偏差	(取样时间 $\tau =$ s)	
开机特性		
日老化率/日频率漂移率	(预热时间及相关系数:)	
1 s频率稳定度		
频率复现性		

A.3 频率测量

测量通道	闸门时间/s	输入信号幅度/mV _{rms}	被测频率/Hz	被校显示频率/Hz	测量误差	不确定度 $U(k=2)$

A.4 周期测量

测量通道	闸门时间/s	输入信号幅度/mV _{rms}	被测周期/s	被校显示周期/s	测量误差	不确定度 $U(k=2)$

A.5 时间间隔测量

A.5.1 脉宽测量

测量通道	被测脉宽/s	被校显示脉宽/s	测量误差	不确定度 $U(k=2)$
	<input type="checkbox"/> 正			
	<input type="checkbox"/> 负			

A.5.2 两路脉冲时间间隔测量

测量通道	被测时间间隔/s	被校显示时间间隔值/s	测量误差	不确定度 $U(k=2)$

附录 B

校准证书（内页）格式

B.1 外观及工作正常性检查：

检查项目	结果	
外观		
工作正常性	输入频率/Hz	输入灵敏度/mV _{rms}

B.2 内置时基振荡器测量

类型：	<input type="checkbox"/> 石英晶体振荡器	<input type="checkbox"/> 铷原子频率标准
计量特性	测量结果	不确定度 $U(k=2)$
相对频率偏差	(取样时间 $\tau =$ s)	
开机特性		
日老化率/日频率漂移率	(预热时间及相关系数:)	
1 s 频率稳定度		
频率复现性		

B.3 频率测量

测量通道	闸门时间/s	输入信号幅度/mV _{rms}	被测频率/Hz	被校显示频率/Hz	测量误差	不确定度 $U(k=2)$

B.4 周期测量

测量通道	闸门时间/s	输入信号幅度/mV _{rms}	被测周期/Hz	被校显示周期/Hz	测量误差	不确定度 $U(k=2)$

B.5 时间间隔测量

B.5.1 脉宽测量

测量通道	被测脉宽/s	被校显示脉宽值/s	测量误差	不确定度 $U(k=2)$
	<input type="checkbox"/> 正			
	<input type="checkbox"/> 负			

B.5.2 两路脉冲时间间隔测量

测量通道	被测时间间隔/s	被校显示时间间隔值/s	测量误差	不确定度 $U(k=2)$

附录 C

主要校准项目不确定度评定示例

C.1 频率测量误差不确定度评定

测量方法见 6.2.3, 以测量 10MHz 频点为例, 其中参考频标为原子时标标准 TS (SIMT), 函数信号发生器为 33250A, 频率信号为正弦信号, 被测通用计数器闸门时间设置为 10s, 记录其显示频率值, 计算绝对误差, 作为频率测量误差。

C.1.1 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括:

- 1) 参考频标输出频率不准引入的不确定度;
- 2) 参考频标输出频率不稳引入的不确定度;
- 3) 函数信号发生器分辨力引入的不确定度;
- 4) 测量重复性引入的不确定度;
- 5) 被校通用计数器的分辨力引入的不确定度。

C.1.2 测量模型

$$\Delta f = f' - f$$

式中:

Δf ——频率测量误差, Hz;

f' ——被校显示频率值, Hz

f ——被测频率, Hz。

C.1.3 标准不确定度评定

- 1) 参考频标输出频率不准引入的不确定度 u_1

原子时标标准溯源证书的频率准确度为 1.0×10^{-14} , 按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 5.0 \times 10^{-8} \text{Hz}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{5.0 \times 10^{-8} \text{Hz}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-8} \text{Hz}$$

- 2) 参考频标输出频率不稳引入的不确定度分量 u_2

依据原子时标标准说明书, 其 10s 频率稳定度为 1.5×10^{-14} , 按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 7.5 \times 10^{-8} \text{Hz}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_2 = \frac{7.5 \times 10^{-8} \text{Hz}}{\sqrt{3}} = 4.3 \times 10^{-8} \text{Hz}$$

- 3) 函数信号发生器 33250A 分辨力引入的不确定度 u_3

依据函数信号发生器 33250A 技术说明书, 其分辨力为 $1 \mu\text{Hz}$, 按 B 类方法评定, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{1.0 \times 10^{-6} \text{Hz}}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-7} \text{Hz}$$

4) 测量重复性引入的不确定度分量 u_4

采样 A 类方法进行评定, 对被校通用计数器的频率测量误差连续独立测量 10 次, 用贝塞尔法计算实验标准差。重复性测量数据见表 C.1。

表 C.1 测量重复性

测量次数 n	测量误差 Δf_i /Hz
1	-0.10783
2	-0.10791
3	-0.10787
4	-0.10782
5	-0.10770
6	-0.10768
7	-0.10764
8	-0.10766
9	-0.10777
10	-0.10786
平均值 $\overline{\Delta f}$	-0.10777
实验标准偏差 $s_n(\Delta f)$	9×10^{-5}

标准不确定度分量:

$$u_4 = s_n(\Delta f) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta f_i - \overline{\Delta f})^2} = 9 \times 10^{-5} \text{Hz}$$

5) 被校通用计数器的分辨力引入的标准不确定度 u_5

被校通用计数器在频率 10 MHz 时的分辨力为 10 μ Hz, 按 B 类方法评定, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_5 = \frac{1.0 \times 10^{-5} \text{Hz}}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-6} \text{Hz}$$

C.1.4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量表见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
参考频标输出频率 不准确	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-8} \text{Hz}$
参考频标输出频率 不稳定	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$4.3 \times 10^{-8} \text{Hz}$
函数信号发生器分	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-7} \text{Hz}$

辨力					
被校测量重复性	u_4	A类	--	--	$9 \times 10^{-5} \text{Hz}$
被校通用计数器分辨力	u_5	B类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-6} \text{Hz}$

C.1.5 合成标准不确定度

考虑到被测通用计数器读数的重复性和分辨力存在重复,在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去,则:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 9 \times 10^{-5} \text{Hz}$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = 2u_c = 1.8 \times 10^{-4} \text{Hz}$$

C.2 周期测量误差不确定度评定

测量方法见 6.2.4, 以测量 $10\mu\text{s}$ 周期点为例, 其中参考频标为原子时标标准 TS (SIMT), 函数信号发生器为 33250A, 周期信号为正弦信号, 被测通用计数器闸门时间设置为 10s, 记录其显示周期值, 计算绝对误差, 作为周期测量误差。

C.2.1 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括:

- 1) 参考频标输出频率不准引入的不确定度;
- 2) 参考频标输出频率不稳引入的不确定度;
- 3) 函数信号发生器引入的不确定度;
- 4) 测量重复性引入的不确定度;
- 5) 被校通用计数器的分辨力引入的不确定度。

C.2.2 测量模型

$$\Delta T = T' - T$$

式中:

ΔT ——周期测量误差, s;

T' ——被校显示周期值, s;

T ——被测周期, s。

C.2.3 标准不确定度评定

- 1) 参考频标输出频率不准引入的不确定度 u_1

原子时标标准溯源证书的频率准确度为 1.0×10^{-14} , 按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 5.0 \times 10^{-20} \text{s}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{5.0 \times 10^{-20} \text{s}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-20} \text{s}$$

2) 参考频标输出频率不稳引入的不确定度分量 u_2

依据原子时标标准说明书, 其 10s 频率稳定度为 1.5×10^{-14} , 按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 7.5 \times 10^{-20}\text{s}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{7.5 \times 10^{-20}\text{s}}{\sqrt{3}} = 4.3 \times 10^{-20}\text{s}$$

3) 函数信号发生器 33250A 引入的不确定度 u_3

依据函数信号发生器 33250A 技术说明书, 其分辨力为 $1\mu\text{Hz}$, 按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 5.0 \times 10^{-17}\text{s}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{5.0 \times 10^{-17}\text{s}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-17}\text{s}$$

4) 测量重复性引入的不确定度分量 u_4

采样 A 类方法进行评定, 对被校通用计数器的周期测量误差连续独立测量 10 次, 用贝塞尔法计算实验标准差。重复性测量数据见表 C.3。

表 C.3 测量重复性

测量次数 n	测试误差 ΔT_i /s
1	1.079×10^{-13}
2	1.078×10^{-13}
3	1.078×10^{-13}
4	1.079×10^{-13}
5	1.079×10^{-13}
6	1.078×10^{-13}
7	1.079×10^{-13}
8	1.080×10^{-13}
9	1.079×10^{-13}
10	1.079×10^{-13}
平均值 $\overline{\Delta T}$	1.079×10^{-13}
实验标准偏差 $s_n(\Delta T)$	6×10^{-17}

标准不确定度分量:

$$u_4 = s_n(\Delta T) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta T_i - \overline{\Delta T})^2} = 6 \times 10^{-17}\text{s}$$

5) 被校通用计数器的分辨力引入的标准不确定度 u_5

被校通用计数器在周期 $10\mu\text{s}$ 时的分辨力为 $1 \times 10^{-10}\mu\text{s}$, 按 B 类方法评定, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_5 = \frac{5 \times 10^{-10}\mu\text{s}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-17}\text{s}$$

C.2.4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量表见表 C.4。

表 C.4 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
参考频标输出频率不准确	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-20}\text{s}$
参考频标输出频率不稳定	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$4.3 \times 10^{-20}\text{s}$
函数信号发生器分辨率	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-17}\text{s}$
被校测量重复性	u_4	A 类	--	--	$6 \times 10^{-17}\text{s}$
被校通用计数器分辨率	u_5	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-17}\text{s}$

C.2.5 合成标准不确定度

考虑到被测通用计数器读数的重复性和分辨率存在重复, 在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 7 \times 10^{-17}\text{s}$$

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = 2u_c = 1.4 \times 10^{-16}\text{s}$$

C.3 时间间隔测量误差不确定度评定

测量方法见 6.2.5, 以两路脉冲时间间隔测量为例, 时间间隔为 $100\mu\text{s}$, 其中参考频标为原子时标标准 TS (SIMT), 时间间隔发生器为 TFG5010T, 时间间隔信号为脉冲信号。

C.3.1 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括:

- 1) 参考频标引入的不确定度;
- 2) 时间间隔发生器引入的不确定度;
- 3) 测量重复性引入的不确定度;
- 4) 被校通用计数器的分辨率引入的不确定度;
- 5) 被校通用计数器通道间时滞引入的不确定度。

C.3.2 测量模型

$$\Delta t = t' - t$$

式中:

Δt ——时间间隔测量误差, s;

t' ——被校显示时间间隔值, s;

t ——被测时间间隔值，s。

C.3.3 标准不确定度评定

1) 参考频标引入的不确定度 u_1

原子时标标准溯源证书的频率准确度为 1.0×10^{-14} ，测量 $100\mu\text{s}$ 时，区间半宽 $a = 5.0 \times 10^{-19}\text{s}$ ，按 B 类方法评定，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{5.0 \times 10^{-19}\text{s}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-19}\text{s}$$

2) 时间间隔发生器引入的不确定度 u_2

依据时间间隔发生器 TFG5010T 技术说明书，其时间间隔误差为 $\pm 5\text{ns}$ ，按 B 类方法评定，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{5\text{ns}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-9}\text{s}$$

3) 测量重复性引入的不确定度分量 u_3

采样 A 类方法进行评定，对被校通用计数器的时间间隔测量误差连续独立测量 10 次，用贝塞尔法计算实验标准差。重复性测量数据见表 C.5。

表 C.5 测量重复性

测量次数 n	测试误差 Δt_i /ns
1	-0.8
2	-1.5
3	-0.7
4	-1.5
5	-1.2
6	-1.6
7	-0.9
8	-0.6
9	-1.2
10	-1.1
平均值 $\bar{\Delta t}$	-1.1
实验标准偏差 $s_n(\Delta t)$	0.34

标准不确定度分量：

$$u_3 = s_n(\Delta t) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 3.4 \times 10^{-10}\text{s}$$

4) 由被校通用计数器的分辨力引入的标准不确定度 u_4

根据被校通用计数器技术说明书，其时间间隔测量的系统误差为 150ps ，按 B 类方法评定，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = \frac{150\text{ps}}{2\sqrt{3}} = 4.3 \times 10^{-11}\text{s}$$

C.3.4 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量表见表 C.6。

表 C.6 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
参考频标引入	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-19}\text{s}$
时间间隔发生器分辨率	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-9}\text{s}$
被校测量重复性	u_3	A 类	--	--	$3.4 \times 10^{-10}\text{s}$
被校通用计数器分辨率	u_4	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$4.3 \times 10^{-11}\text{s}$

C.3.5 合成标准不确定度

考虑到被测通用计数器读数的重复性和分辨率存在重复, 在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 2.9 \times 10^{-9}\text{s}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = 2u_c = 5.8\text{ns}$$