



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF (电子) XXXX-20XX

多通道时间间隔测量仪校准规范

Calibration Specification of Multi-channel Time Interval Meters

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

多通道时间间隔测量仪 校准规范

Calibration Specification of Multi - channel
Time Interval Meters

JJF(电子) XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所

北京卫星导航中心

北京市计量检测科学研究院

北京一朴时频科技有限公司

本规范委托中国电子技术标准化研究院负责解释

本规范主要起草人：

史鸿杰（中国电子科技集团公司第二十研究所）

张 军（北京一朴时频科技有限公司）

陈蕊丽（中国电子科技集团公司第二十研究所）

参加起草人：

李兆南（北京卫星导航中心）

仲崇霞（北京市计量检测科学研究院）

陆 强（中国电子科技集团公司第二十研究所）

刘 洋（中国电子科技集团公司第二十研究所）

目录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 多通道时间间隔测量仪	1
3.2 时间间隔测量分辨力	1
3.3 时间间隔测量	1
3.4 时间间隔测量非线性度	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 时间间隔测量分辨力	2
5.2 时间间隔测量抖动	2
5.3 时间间隔测量	2
5.4 时间间隔测量非线性度	2
5.5 内时基测量	2
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 校准用设备	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法	4
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	8
附录 A	9
附录 B	11
附录 C	12

引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

多通道时间间隔测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量两路以上秒信号间时间间隔的多通道时间间隔测量仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1180 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1206 时间与频率标准远程校准规范

JJF 1984 电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范

JJF 2090 石英晶体频率标准校准规范

JJG 238 时间间隔测量仪校准规范

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 术语和计量单位

3.1 多通道时间间隔测量仪 multi-channel time interval meters

可同时测量两路或两路以上 1PPS（秒脉冲）信号之间时间间隔的测量仪器。

3.2 时间间隔测量分辨力 time interval measurement resolution

引起时间间隔测量结果显示值产生可觉察到变化的被校时间间隔的最小变化。

3.3 时间间隔测量 time interval measurement

时间间隔测量结果与标准时间间隔之差。

3.4 时间间隔测量非线性度 time interval measurement nonlinearity

输入时间间隔呈线性变化时，实际测得的时间间隔结果与输入信号线性变化偏离的程度。

4 概述

多通道时间间隔测量仪（以下简称测量仪）是一种用于卫星导航系统地面站、卫星导航授时终端、授时服务器及大型通信系统、电力系统、航空航天等领域的高精度时间间隔测量的装置，主要由内置振荡器或外部参考频率输入端口、分频 / 倍频、时刻 / 时间间隔闸门、粗计数器、时间展宽电路、精计数器、控制模块和显示/输出模块等部分组成。

其测量原理为：参考 1PPS 信号（时间基准信号，每秒一个脉冲）和被校 1PPS 信号接入时刻或时间间隔闸门产生电路，产生时刻沿或时间间隔闸门；内置振荡器或者外部输入的参考频率信号经由倍频单元处理后对时刻或时间间隔闸门进行粗计数，粗计数不足一个分辨力的剩余时间间隔脉宽由展宽电路放大整数倍后再进行精计数，最后由控制模块运算处理，通过显示/输出模块给出各通道时间间隔的测量结果，原理框图如图 1 所示。

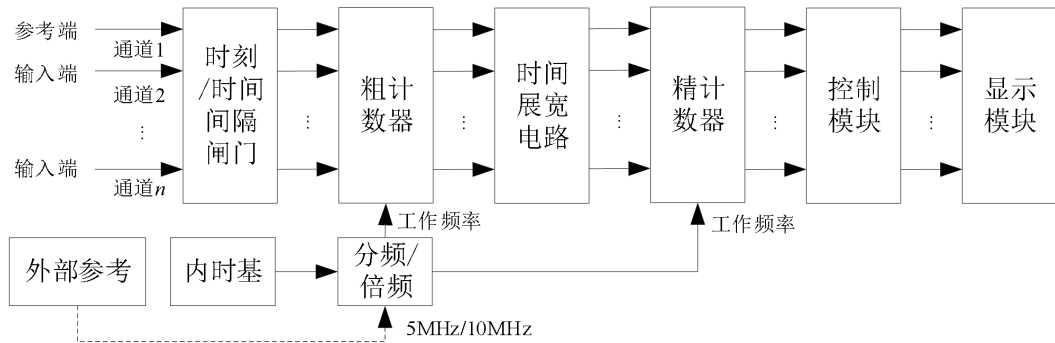


图 1 多通道时间间隔测量仪原理框图

5 计量特性

5.1 时间间隔测量分辨力

测量分辨力： $\leq 1\text{ns}$ ；

5.2 时间间隔测量

测量范围： $\pm (10\text{ps} \sim 0.5\text{s})$ ；

最大允许误差： $\pm (|A| \times t + \delta)$ 。

式中：

A ——内时基或外部参考最大允许频率偏差；

t ——被校时间间隔，单位 ns；

δ ——有效分辨力，单位 ns。

5.3 时间间隔测量抖动

抖动： $\leq 1\text{ns}$ 。

5.4 时间间隔测量非线性度

非线性度： $\leq 1\text{ns}$ 。

5.5 内置时基振荡器

输出信号：5MHz 或 10MHz；

开机特性： $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-11}$

频率复现性: $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-12}$

相对频率偏差: $\pm (1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8})$

1s 频率稳定度: $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-12}$

注: 因不同被校设备的性能指标各不相同, 时间间隔测量结果为正表示被校 1PPS 滞后于参考 1PPS, 测量结果为负表示被校 1PPS 超前于参考 1PPS, 具体的计量特性应以被校设备生产厂家的技术手册及该设备的具体选件配置为参考。以上计量特性不用于合格性判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 校准过程中温度波动 $\leq 2^{\circ}\text{C/h}$;

6.1.2 相对湿度: $\leq 80\%$;

6.1.3 电源要求: $(220 \pm 11) \text{ V}$ 、 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$;

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 校准用设备

6.2.1 标准时间频率源

- a) 输出信号: 10 MHz、1PPS 标准秒脉冲信号等;
- b) 频率稳定度: 优于被校测量仪频率稳定度三分之一;
- c) 其他指标: 日老化率、相对频率偏差等优于被校测量仪相应指标一个数量级。

6.2.2 相位微跃计/时间间隔信号发生器

- a) 输入参考 10MHz 频率信号, 输出时间间隔可设置的两路及以上 1PPS 信号;
- b) 输出 1PPS 信号波形: TTL 电平, 50Ω 阻抗;
- c) 输出 1PPS 信号时间间隔: 满足被校测量仪时间间隔测量范围要求;
- d) 输出 1PPS 信号抖动: 小于被校测量仪最小抖动值三分之一;
- e) 输出 1PPS 时间间隔测量误差优于被校测量仪一个数量级;
- f) 相位调整最小步进: 1 ps;
- g) 频率调整最小步进: $1 \times 10^{-12} \text{ Hz}$ 。

6.2.3 频标比对器

- a) 输入信号频率: 10 MHz、5 MHz;
- b) 取样时间: 1 s、10 s;
- c) 测量带宽: 大于相应取样时间倒数的 5 倍;
- d) 比对不确定度: 优于被校测量仪相应取样时间频率稳定度的三分之一。

6.2.4 脉冲分配放大器

- a) 输出幅度: TTL 电平, $50\ \Omega$ 阻抗, 满足被校时间间隔计数器输入信号要求;
- b) 上升时间: $\leq 2\ \text{ns}$;
- c) 传输时延: $\leq 5\ \text{ns}$;
- d) 传输时间一致性: $\leq 0.5\ \text{ns}$;
- e) 输出信号抖动: 优于被校测量仪最小抖动值一个数量级;

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目与对应方法条款见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	外观及工作正常性检查	7.2.1
2	时间间隔测量分辨力	7.2.2
3	时间间隔测量	7.2.3
4	时间间隔测量抖动	7.2.4
5	时间间隔测量非线性度	7.2.5
6	内置时基振荡器	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校测量仪应结构完整, 并无影响正常工作的机械损伤, 通电检查仪器能正常工作。被校仪器应有明晰的型号、生产编号, 送校时有上位机软件的应附有使用说明书及全部配套附件。

7.2.2 时间间隔测量分辨力

7.2.2.1 将被校测量仪开机预热半小时, 确认仪器前面板的相关信号指示灯显示正常。

7.2.2.2 标准时间频率源与测量仪时基同步后, 将标准时间频率源一路 1PPS 信号输出接入测量仪参考端, 标准时间频率源一路 10MHz 信号输出接入相位微跃计/时间间隔信号发生器参考端, 相位微跃计/时间间隔信号发生器 1PPS 输出接入脉冲分配放大器输入端, 脉冲分配放大器输出接入测量仪待测通道, 仪器连接如图 2。

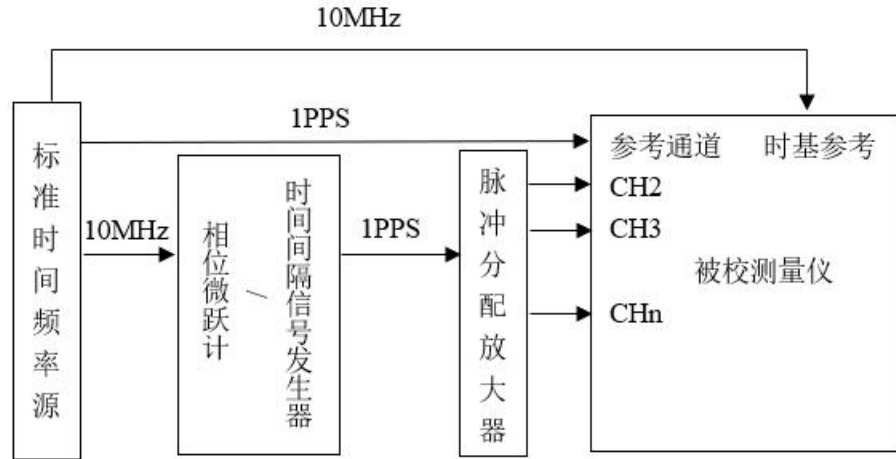


图2 时间间隔测量分辨力、测量误差、抖动仪器连接框图

7.2.2.3 设置相位微跃计/时间间隔信号发生器频率调整量和相位调整量都为零，测量被校通道与参考通道间的时间间隔，测量结果默认按每秒1次记录（下同），连续测量100s，取100次计算时间间隔测量结果的平均值作为初始测量误差 $\bar{t}_0$ ，如测量仪带有调零功能则直接调零，初始测量误差为零。

7.2.2.4 设置相位微跃计/时间间隔信号发生器相位调整量 Δt 为被校测量仪分辨力标称值，连续观察时间间隔测量值与初始测量误差之间的差值，并与分辨力标称值 T_{res} 比较，若无明显变化，则设置相位微跃计/时间间隔信号发生器相位调整量按照被校测量仪标称值的1/10每次增加，每次调整至少连续测量100s，计算100s平均值，直到满足式（1）时，停止测量，此时的相位调整量即为测量仪该通道测量分辨力。

$$|\bar{t}_1 - \bar{t}_0 - \Delta t| \leq 30\% T_{\text{res}} \quad (1)$$

式中：

Δt —— 相位微跃计的相位调整量，ns；

$\bar{t}_1$ —— 被校多通道测量仪测量结果平均值，ns；

$\bar{t}_0$ —— 初始测量误差，ns。

7.2.2.5 重复步骤7.2.2.4，测量其他被测通道的时间间隔测量分辨力。

7.2.3 时间间隔测量

7.2.3.1 标准时间频率源与测量仪同步后，将标准时间频率源一路1PPS信号输出接入测量仪参考端，标准时间频率源一路10MHz信号输出接入相位微跃计/时间间隔信号发生器参考端，相位微跃计/时间间隔信号发生器1PPS输出接入脉冲分配放大器输入端，

脉冲分配放大器输出接入测量仪待测通道，仪器连接如图 2。

7.2.3.2 设置相位微跃计/时间间隔信号发生器频率调整量和相位调整量都为零，记录每个通道与参考通道间的时间间隔的 100s 平均值作为初始测量误差 $\bar{t}_0$ 。

7.2.3.3 设置相位微跃计相位调整量即时间间隔标准值 t ，从测量的最小值开始，之后原则上按每 10 倍程一个校准点，直到测量的最大值 $\pm 500\text{ms}$ ，若被校测量仪是分档的，则最低档取最小值，其他档位只取该档最大值。

7.2.3.4 每一校准点测量 100 次，取其平均值作为该点的测量结果 $\bar{t}$ ，按式 (2) 计算测量误差。

$$\Delta t_s = \bar{t} - t - \bar{t}_0 \quad (2)$$

式中：

Δt_s ——时间间隔测量误差，ns；

$\bar{t}$ ——被校测量仪测量结果平均值，ns；

t ——时间间隔标准值，ns；

$\bar{t}_0$ ——初始测量误差，ns。

7.2.4 时间间隔测量抖动

7.2.4.1 仪器连接如图 2 所示。

7.2.4.2 校准点应设置为测量范围上限 500ms，测量结果以时间标准偏差 (TDEV) 表示。

7.2.4.3 设置相位微跃计/时间间隔信号发生器频率调整量为零，设置相位调整量为 500ms，连续测量时间根据平滑窗口时间 n 决定，取样组数按表 1 选取，读取记录测量仪示值 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 。测量过程中保持所有条件不变，避免人为操作引入偏差。

平滑窗口时间 n	取样组数 m
1s	≥ 50
10s	≥ 50
100s	≥ 50
1000s	≥ 15

7.2.4.4 按照公式 (3) 计算测量平均时间 τ 下时间标准偏差。

$$\text{TDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[\sum_{i=j}^{j+n-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2} \quad (3)$$

式中:

TDEV——在平均时间 τ 内, 时间间隔测量随机起伏的统计标准差, 即抖动, ps;

n ——以基本采样周期为单位的滑动窗口时间, s;

τ_0 ——1s 基本采样时间, s;

N ——总采样点数。

7.2.5 时间间隔测量非线性度

7.2.5.1 仪器连接如图 2 所示。设置相位微跃计相位调整量为零, 频率调整量为 1×10^{-11} 相对频偏。

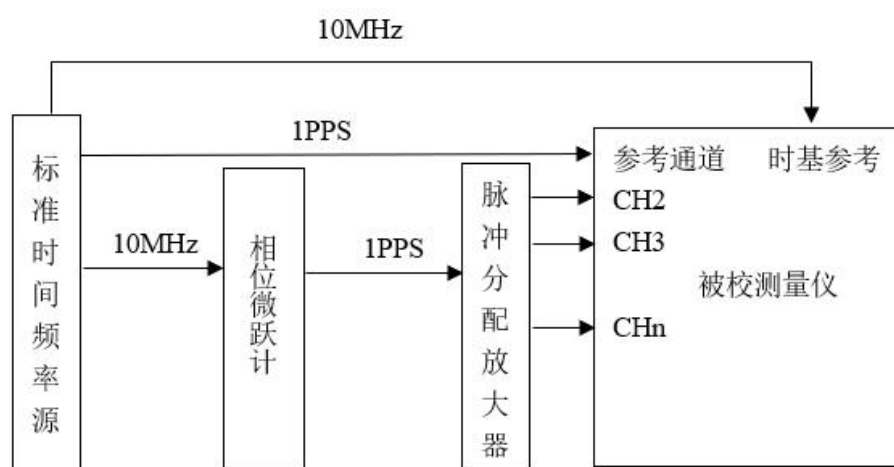


图 2 时间间隔非线性度仪器连接框图

7.2.5.2 测量各通道与参考通道的时间间隔, 以 CH2 测量值为参考值, 取当前通道与 CH2 时间间隔测量结果差值的每 100s 平均值为 t_a , 连续测量 3000s, 其中差值最大值记为 $t_{a\max}$, 最小值记为 $t_{a\min}$ 。

7.2.5.3 按照公式 (4) 计算时间间隔测量非线性度。

$$V_t = \frac{t_{a\max} - t_{a\min}}{2} \quad (4)$$

7.2.6 内置时基振荡器

7.2.6.1 测量仪内置时基振荡器的校准, 根据振荡器类型和相对频率偏差等级, 分别按照 JJF1984《电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范》、JJF2090《石英晶体频率标准校准规范》进行校准。

8 校准结果表达

校准完成后的仪表应出具校准证书。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), 每页和总页数的标识;
- 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) 如果与校准结果有效性应用有关时, 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 故送校单位可根据实际使用情况决定复校时间间隔。

附录 A

校准原始记录格式

第 页 共 页

外观及工作正常性检查: ☐正常 ☐不正常:

A.1 时间间隔测量分辨力

测量通道	实测值 /ns	测量不确定度 ($k=$)

A.2 时间间隔测量

测量通道	时间间隔输出值 /ns	时间间隔测量实测 平均值 /ns	测量误差 /ns	测量不确定度 ($k=$)

A.3 时间间隔测量抖动

测量通道	滑动窗口 τ /s	抖动实测值 /ns	测量不确定度 ($k=$)

A.4 时间间隔测量非线性度

测量通道	时间间隔测量值/ns	CHn 对 CH2 测量误差/ns	非线性度实测值 /ns	测量不确定度 ($k=$)

A.5 内置时基振荡器

校准项目	实测值	测量不确定度 ($k=$)
开机特性		
频率复现性		
相对频率偏差		
1s 频率稳定度		
注：该项目仅针对有晶振频率输出的时间间隔测量仪内部晶振校准		

校准人员：_____ 核验人员：_____ 校准日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

附录 B

校准证书内页格式

外观及工作正常性检查:

时间间隔测量分辨力

测量通道	标称值 /ns	实测值 /ns	测量不确定度 ($k=$)

时间间隔测量

时间间隔 输出值/ns	测量通道 1		测量通道 2		测量通道 3		测量通道...	
	实测平均 值/ns	误差 /ns	实测平均 值/ns	误差 /ns	实测平均 值/ns	误差 /ns	实测平均 值/ns	误差 /ns
测量不确定度 ($k=$)								

时间间隔测量抖动

测量通道	滑动窗口 τ /s	实测值 /ns	测量不确定度 ($k=$)

时间间隔测量非线性度

测量通道	指标要求	实测值 /ns	测量不确定度 ($k=$)

内置时基振荡器

校准项目	实测值	测量不确定度 ($k=$)
开机特性		
频率复现性		
相对频率偏差		
1s 频率稳定度		

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求

敬告:

1. 被校准仪器修理后, 应立即进行校准。
2. 在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。
3. 根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下每_____个月校准一次。

校准员:

核验员:

第 X 页 共 X 页

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 时间间隔测量分辨力

C.1.1 测量方法及测量模型

使用相位微跃计步进相位功能进行相位微调,直接测量被校时间间隔测量仪的分辨力,采用直接测量法。

测量模型为:

$$T_{\text{tim}} = T_r$$

式中:

T_{tim} ——被校测量仪测量分辨力,单位 ns;

T_r ——相位微跃计输出相位调整值,单位 ns。

C.1.2 主要不确定度来源

C.1.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.1.2.2 测量仪显示分辨力引入的标准不确定度分量

C.1.2.3 相位微跃计相位调整最大允许误差引入的标准不确定度分量

C.1.2.4 脉冲分配放大器输出信号抖动引入的标准不确定度分量

C.1.3 标准不确定度分量评定

C.1.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按测量不确定度的 A 类方法评定。相同情况下,用被校测量仪对相位微跃计输出的 1PPS 信号连续独立测量 10 次,每次取 100s 平均值,结果如下: (单位: ns)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	0.013	0.012	0.013	0.013	0.015	0.012	0.012	0.013	0.013	0.015

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} = 13.1\text{ps}$$

标准不确定度 u_A :

$$s_n(T) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 1.1\text{ps}$$

C.1.3.2 由测量仪显示分辨力引入的标准不确定度分量 u_{B1}

测量仪测量 1PPS 信号时的显示分辨力为 1ps，按 B 类方法评定，设为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，由此引入的相对不确定度分量为：

$$u_{B1} = \frac{\delta_x}{k} = \frac{1\text{ps}}{\sqrt{3}} = 0.58\text{ps}$$

C.1.3.3 由相位微跃计相位调整最大允许误差引入的标准不确定度分量 u_{B2}

相位微跃计相位调整的最大允许误差为 $\pm 10\text{ps}$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，由此引入的不确定度分量：

$$u_{B2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} = 5.8\text{ps}$$

C.1.3.4 由脉冲分配放大器输出信号抖动引入的标准不确定度分量 u_{B3}

根据脉冲分配放大器技术说明书，其输出信号抖动为 10 ps，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$s = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} = 5.8\text{ps}$$

输出信号抖动属于随机噪声，在实际测量过程中，以 100 次测量平均值作为测量结果，则：

$$u_{B3} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{5.8\text{ps}}{\sqrt{100}} = 0.58\text{ps}$$

C.1.3.5 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表 C.1 所示。

表 C.1 不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	概率分布	评定方法	标准不确定度
1	测量重复性 u_A	正态	A 类	1.1ps
2	测量仪显示分辨力 u_{B1}	均匀	B 类	0.58ps
3	相位微跃计相位调整最大允许误差 u_{B2}	均匀	B 类	5.8ps
4	脉冲分配放大器抖动 u_{B3}	均匀	B 类	0.58ps

以上各不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2} \approx 6\text{ps}$$

C.1.3.6 扩展不确定度

$U=k \cdot u_c$ 取 $k=2$, 由此得到时间间隔测量分辨力校准结果的扩展不确定度为:

$$U=2u_c=2 \times 6\text{ps}=12\text{ps}, k=2。$$

C.2 时间间隔测量

C.2.1 测量方法及测量模型

以测量时间间隔 500ms 点为例, 使用被校测量仪直接测量相位微跃计参考输出与相位调整 500ms 输出时间间隔, 采用直接测量法。

测量模型为:

$$\Delta t_s = \bar{t} - t - \bar{t}_0$$

式中:

Δt_s ——时间间隔测量误差, ns;

$\bar{t}$ ——被校测量仪测量结果平均值, ns;

t ——时间间隔标准值, ns;

$\bar{t}_0$ ——初始测量误差, ns。

C.2.2 主要不确定度来源

C.2.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.2.2.2 相位微跃计相位调整最大允许误差引入的标准不确定度分量

C.2.2.3 脉冲分配放大器抖动引入的标准不确定度分量

C.2.3 标准不确定度分量评定

C.2.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按测量不确定度的 A 类方法评定。相位微跃计相位调整为 500ms 的相同情况下, 用被校测量仪对相位微跃计输出的 1PPS 信号连续独立测量 10 次, 结果如下: (单位: ns)

测量次数	1	2	3	4	5
测量值	500000000.005	500000000.027	500000000.013	499999999.989	500000000.015
测量次数	6	7	8	9	10
测量值	500000000.018	500000000.003	500000000.015	500000000.017	500000000.020

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} = 500000000.0122\text{ns}$$

标准不确定度 u_A :

$$s_n(T) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \approx 10.7\text{ps}$$

C.2.3.2 由相位微跃计相位调整最大允许误差引入的标准不确定度分量 u_{B1}

相位微跃计相位调整最大允许误差为 $\pm 10\text{ps}$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，由此引入的不确定度分量：

$$u_{B1} = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} \approx 5.8\text{ps}$$

C.2.3.3 由脉冲分配放大器输出信号抖动引入的标准不确定度分量 u_{B2}

根据脉冲分配放大器技术说明书，其输出信号抖动为 10ps ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$s = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} = 5.8\text{ps}$$

输出信号抖动属于随机噪声，在实际测量过程中，以 100 次测量平均值作为测量结果，则：

$$u_{B2} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{5.8\text{ps}}{\sqrt{100}} = 0.58\text{ps}$$

C.2.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表 C.2 所示。

表 C.2 不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	概率分布	评定方法	不确定度分量
1	测量重复性 u_A	正态	A 类	10.7ps
2	相位微跃计相位调整最大允许误差 u_{B1}	均匀	B 类	5.8ps
3	脉冲分配放大器抖动 u_{B2}	均匀	B 类	0.58ps

以上各不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \approx 12\text{ps}$$

C.2.3.5 扩展不确定度

$U=k \cdot u_c$ 取 $k=2$ ，由此得到时间间隔测量误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U=2u_c=2 \times 12\text{ps}=24\text{ps}, k=2。$$

C.3 时间间隔测量抖动测量不确定度评定

C.3.1 测量方法及测量模型

标准时间频率源一路输出作为参考通道，另一路经过脉冲分配放大器使用被校时间间隔测量仪测量，采用直接测量法。

测量模型为：

$$\text{TDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[\sum_{i=j}^{j+n-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2}$$

式中：

TDEV——在平均时间 τ 内，时间间隔测量随机起伏的统计标准差，即抖动，ps；

n ——以基本采样周期为单位的滑动窗口时间，s；

τ_0 ——1s 基本采样时间，s；

N ——总采样点数。

C.3.2 主要不确定度来源

C.3.2.1 有限次测量引入的不确定度分量

C.3.2.2 相位微跃计 1PPS 输出不稳引入的标准不确定度分量

C.3.2.3 脉冲分配放大器抖动引入的标准不确定度分量

C.3.3 标准不确定度分量评定

C.3.3.1 有限次测量引入的标准不确定度分量 u_A

按测量不确定度的 A 类方法评定。相位微跃计相位调整为 500ms 的相同情况下，被校测量仪 1s 平滑窗口时间下测量结果为 16ps，TDEV 有限次测量次数 m 为 100，则：

$$u_A = \frac{16\text{ps}}{\sqrt{100}} \approx 1.6\text{ps}$$

C.3.3.2 由相位微跃计 1PPS 输出不稳定引入的标准不确定度分量 u_{B1}

根据相位微跃计说明书输出的抖动为 $\pm 1\text{ps}$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，由此引入的不确定度分量：

$$u_{B1} = \frac{\alpha}{k} = \frac{1\text{ps}}{\sqrt{3}} \approx 0.58\text{ps}$$

C.3.3.3 脉冲分配放大器抖动引入的标准不确定度分量 u_{B2}

根据脉冲分配放大器技术说明书，其输出信号抖动为 10 ps，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$s = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} = 5.8\text{ps}$$

输出信号抖动属于随机噪声，在实际测量过程中，以 100 次测量平均值作为测量结果，则：

$$u_{B2} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{5.8\text{ps}}{\sqrt{100}} = 0.58\text{ps}$$

C.3.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表 C.3 所示。

表 C.3 不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	概率分布	评定方法	不确定度分量
1	有限次测量引入 u_A	正态	A 类	1.6ps
2	相位微跃计相位调整最大允许误差 u_{B1}	均匀	B 类	0.58ps
3	脉冲分配放大器抖动 u_{B2}	均匀	B 类	0.58ps

以上各不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \approx 2\text{ps}$$

C.3.3.5 扩展不确定度

$U = k \cdot u_c$ 取 $k=2$ ，由此得到时间间隔测量抖动校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 2u_c = 2 \times 2\text{ps} = 4\text{ps}, k=2。$$

C.4 非线性度测量不确定度评定

C.4.1 测量方法及测量模型

使用被校时间间隔测量仪直接测量相位微跃计参考输出与频率调整 $1\text{E}-11$ 相位调整为零的输出时间间隔，采用直接测量法。

测量模型为：

$$T_1 = T_0$$

式中：

T_1 ——被校测量仪测量值，单位 ns；

T_0 ——相位微跃计输出值，单位 ns。

C.4.2 主要不确定度来源

C.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.4.2.2 相位微跃计相位调整最大允许误差引入的标准不确定度分量

C.4.2.3 脉冲分配放大器抖动引入的标准不确定度分量

C.4.3 标准不确定度分量评定

C.4.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

按测量不确定度的 A 类方法评定。相位微跃计频率调整 1E-11 的相同情况下, 用被校测量仪对相位微跃计输出的 1PPS 信号连续独立测量 10 次, 结果如下: (单位: ps)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	26	26	25	28	28	24	23	25	29	27

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} = 26.1\text{ps}$$

标准不确定度 u_A :

$$s_n(T) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \approx 1.9\text{ps}$$

C.4.3.2 由相位微跃计相位调整最大允许误差引入的标准不确定度分量 u_{B1}

相位微跃计相位调整最大允许误差为 $\pm 10\text{ps}$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 由此引入的不确定度分量:

$$u_{B1} = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} \approx 5.8\text{ps}$$

C.4.3.3 由脉冲分配放大器输出信号抖动引入的标准不确定度分量 u_{B2}

根据脉冲分配放大器技术说明书, 其输出信号抖动为 10 ps, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$s = \frac{\alpha}{k} = \frac{10\text{ps}}{\sqrt{3}} = 5.8\text{ps}$$

输出信号抖动属于随机噪声, 在实际测量过程中, 以 100 次测量平均值作为测量结果, 则:

$$u_{B2} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{5.8\text{ps}}{\sqrt{100}} = 0.58\text{ps}$$

C.4.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表 C.4 所示。

表 C.4 不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	概率分布	评定方法	不确定度分量
1	测量重复性 u_A	正态	A 类	1.9ps
2	相位微跃计相位调整最大允许误差 u_{B1}	均匀	B 类	5.8ps
3	脉冲分配放大器抖动 u_{B2}	均匀	B 类	0.58ps

以上各不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \approx 6\text{ps}$$

C.4.3.5 扩展不确定度

$U=k \cdot u_c$ 取 $k=2$ ，由此得到时间间隔测量误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U=2u_c=2 \times 6\text{ps}=12\text{ps}, k=2。$$

注：以下不确定度评定示例中，当测量环境符合校准环境要求时，环境影响引入的不确定度分量可忽略不计，不再单独列出。