



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

时间综合测试仪校准规范

Calibration Specification for Time and Frequency Synchronization

Analytical System

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

国家市场监督管理总局 发布

时间综合测试仪校准规范

Time and Frequency Synchronization
Analytical System

JJF xxxx—xxxx

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：

中国信息通信研究院

参与起草单位：

中国计量科学研究院

北京无线电计量测试研究所

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：

XXX (XXXXXXX)

XXX (XXXXXXX)

参加起草人：

XXX (XXXXXXX)

XXX (XXXXXXX)

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 IRIG-B 码 Inter Range Instrumentation Group-B Format.....	1
3.2 1PPS 定时偏差 1PPS timing offset.....	1
3.3 时间保持偏差 time-keeping offset.....	1
4 缩略语.....	1
5 概述.....	2
6 计量特性.....	2
6.1 输出频率相对频率偏差.....	2
6.2 输出频率稳定度.....	3
6.3 1PPS 定时偏差.....	3
6.4 时间保持偏差.....	3
6.5 输出时间偏差.....	3
6.6 时间测量偏差.....	3
6.7 PTP 往返时延测量.....	3
7 校准条件.....	3
7.1 环境条件.....	3
7.2 测量标准及其他设备.....	4
8 校准项目和校准方法.....	5
8.1 校准项目.....	5
8.2 校准方法.....	5
9 校准结果表达.....	12
10 复校时间间隔.....	12
附录 A 原始记录推荐格式.....	13
附录 B 校准证书内页推荐格式.....	16
附录 C 协议编码与协议解码验证.....	19
附录 D 主要校准项目不确定度评定示例.....	21

引 言

JJF 1001《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。

本规范为首次制定。

时间综合测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于支持时间/频率信号测量和生成的时间综合测试仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1180-2007 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1724-2018 时码发生器校准规范

JJF 1957 铷原子频率标准校准规范

JJF 2090 石英晶体频率标准校准规范

JJG 2007 时间频率计量器具

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

以下术语和定义适用于本规范

3.1 IRIG-B 码 Inter Range Instrumentation Group-B Format

IRIG-B码是串行时间码，时帧速率为1帧/s，每个码元总宽度为10ms，一个时帧周期包括100个码元，为脉宽编码。IRIG-B码简称B码，分为B（DC）码和B（AC）码，B（DC）码是未经幅度调制的IRIG-B码，B（AC）码是经幅度调制的IRIG-B码。

3.2 1PPS 定时偏差 1PPS timing offset

时间综合测试仪输出 1PPS 信号与参考时标 1PPS 信号的偏差。

3.3 时间保持偏差 time-keeping offset

时间综合测试仪在正常跟踪锁定外部时间信号并达到产品说明书规定的驯服时间后，断开外部时间信号，使时间综合测试仪工作在保持模式下，在其技术指标说明书规定的保持时间（通常为24 h）内输出的1PPS信号与参考时标1PPS信号的偏差最大值。

4 缩略语

以下缩略语适用于本规范。

GNSS: 全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)

NTP: 网络时间协议 (Network Time Protocol)

PTP: 精确时间协议 (Precise Time Protocol)

TOD: 时间信息 (Time Of Day)

5 概述

时间综合测试仪是一种高精度时间信号测量和生成设备, 广泛应用于通信、电力以及航天等精密时间测量领域。时间综合测试仪主要由GNSS接收机、本地时间保持单元、时间信号产生单元以及时间信号测量单元组成 (见图1)。时间综合测试仪通过GNSS接收机对本地时钟进行同步, 同时利用主振器进行时间保持, 可以产生1PPS、PTP、NTP、B码、1PPS+TOD等时间信号及10M等频率信号, 并能够对上述信号进行测量。

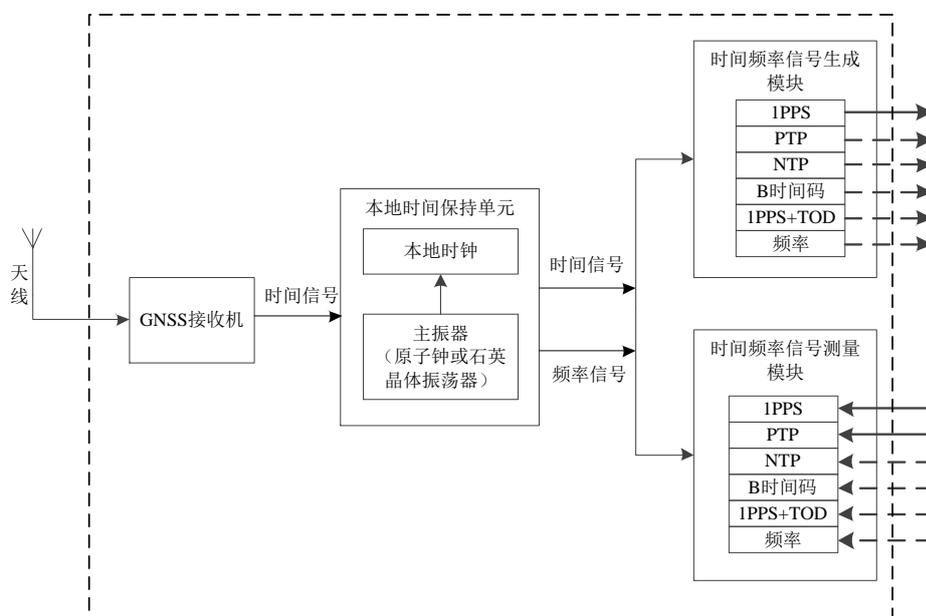


图1 时间综合测试仪原理示意图

6 计量特性

6.1 输出频率相对频率偏差

见表1。

表1 输出频率相对频率偏差

运行状态	相对频率偏差
自由运行	$\pm(5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-11})$
锁定 GNSS	$\pm(1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-13})$ ($\tau=1d$)
保持	$\pm(5 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-12})$

6.2 输出频率稳定度

见表 2。

表 2 输出频率稳定度

取样时间	频率稳定度
1s	$1 \times 10^{-10} \sim 2 \times 10^{-12}$
10s	$2 \times 10^{-11} \sim 8 \times 10^{-13}$
100s	$5 \times 10^{-12} \sim 2 \times 10^{-13}$

6.3 1PPS 定时偏差

$\pm (20 \text{ ns} \sim 2 \text{ } \mu\text{s})$ 。

6.4 时间保持偏差

$\pm (100 \text{ ns} \sim 2 \text{ } \mu\text{s})$

6.5 输出时间偏差

见表 3。

表 3 输出时间偏差

信号类型	输出时间偏差
PTP	$\pm 50 \text{ ns}$
NTP	$\pm 100 \text{ } \mu\text{s}$
B (DC) 码	$\pm (100 \text{ ns} \sim 20 \text{ } \mu\text{s})$
B (AC) 码	$\pm (1 \text{ } \mu\text{s} \sim 20 \text{ } \mu\text{s})$
1PPS+TOD	$\pm (100 \text{ ns} \sim 20 \text{ } \mu\text{s})$

6.6 时间测量偏差

见表 4。

表 4 时间测量偏差

信号类型	时间测量最大允许误差
1PPS	$\pm (30 \text{ ns} \sim 2 \text{ } \mu\text{s})$
PTP	$\pm 50 \text{ ns}$
NTP	$\pm 100 \text{ } \mu\text{s}$
B (DC) 码	$\pm (100 \text{ ns} \sim 20 \text{ } \mu\text{s})$
B (AC) 码	$\pm (1 \text{ } \mu\text{s} \sim 20 \text{ } \mu\text{s})$
1PPS+TOD	$\pm (100 \text{ ns} \sim 20 \text{ } \mu\text{s})$

6.7 PTP 往返时延测量

最大允许误差： $\pm (1 \times 10^{-6} \times \text{设置值} + 0.1 \text{ } \mu\text{s})$ 。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

7 校准条件

7.1 环境条件

环境温度：（18~25）℃内任选一点，整个测量过程中，温度变化不应超过 ± 1 ℃。

相对湿度： $\leq 80\%$ 。

电源电压及频率：220（ $1\pm 10\%$ ）V，50（ $1\pm 1\%$ ）Hz。

实验室应无影响测量结果的机械振动和电磁干扰。

7.2 测量标准及其他设备

7.2.1 参考时标

定时偏差优于被校时间综合测试仪定时偏差的 1/3；

定时稳定度优于被校测试仪定时稳定度的 1/3。

7.2.2 参考频标

输出频率：5MHz 或 10MHz

频率稳定度优于被校测试仪相同取样时间频率稳定度的 1/3；

相对频率偏差优于被校测试仪一个数量级。

7.2.3 频标比对器

输入频率：5 MHz 或 10 MHz；

比对不确定度（用阿仑标准偏差表示）应优于被校测试仪相同取样时间频率稳定度的 1/3。

7.2.4 时间间隔测量仪

测量范围：1 ns~1 s；

最大允许误差： ± 1 ns；

相对频率偏差优于被校测试仪一个数量级，或具有外接参考频标功能。

7.2.5 参考时间源

PTP 时间偏差：时间偏差优于被校测试仪 PTP 测量偏差的 1/3；

NTP 时间偏差：时间偏差优于被校测试仪 NTP 测量偏差的 1/3；

B(DC)码时间偏差：时间偏差优于被校测试仪 B(DC)码测量偏差的 1/3；

B(AC)码时间偏差：时间偏差优于被校测试仪 B(AC)码测量偏差的 1/3；

1PPS+TOD 时间偏差：时间偏差优于被校测试仪 1PPS+TOD 测量偏差的 1/3。

7.2.6 参考时间分析仪

PTP 测量偏差：时间测量偏差的最大允许误差优于被校测试仪 PTP 时间偏差的 1/3；

NTP 测量偏差：时间测量偏差的最大允许误差优于被校测试仪 NTP 时间偏差的 1/3；

B(DC)码测量偏差：时间测量偏差的最大允许误差优于被校测试仪 B(DC)码时间偏差的 1/3；

B(AC)码测量偏差：时间测量偏差的最大允许误差优于被校测试仪 B(AC)码时间偏差的 1/3；

1PPS+TOD 测量偏差：时间测量偏差的最大允许误差优于被校测试仪 1PPS+TOD 时间偏差的 1/3。

7.2.7 时延发生器

支持 100Mbit/s、1000Mbit/s 和 10Gbit/s 端口速率；

时延设置范围： $\geq 1\mu\text{s}$ ；

时延设置的最大允许误差： $\leq \pm(1 \times 10^{-6} \times \text{设置值} + 0.1\mu\text{s})$ 。

7.2.8 示波器

示波器带宽： $\geq 500\text{MHz}$ ；

幅度测量最大允许误差： $\leq \pm 0.4\%$ ；

时间测量最大允许误差： $\leq \pm 0.3\%$ 。

8 校准项目和校准方法

8.1 校准项目

校准项目见表 5 所示。

表 5 校准项目一览表

序号	项目名称	校准方法的条款
1	外观及工作正常性检查	8.2.1
2	输出频率相对频率偏差	8.2.2
3	输出频率稳定度	8.2.3
4	1PPS 定时偏差、时差峰值	8.2.4
5	时间保持偏差	8.2.5
6	输出时间偏差	8.2.6
7	时间测量偏差	8.2.7
8	PTP 往返时延测量	8.2.8

8.2 校准方法

8.2.1 外观及工作正常性检查

被校时间综合测试仪外观应完好，仪器名称、型号、制造单位、出厂编号及输入输出接口标识清晰，无影响其正常工作的机械损伤；各部件安装牢固，附件及使用说明书应齐全。通电后，仪器应正常工作。

对被校测试仪支持的协议编码与协议解码功能进行验证，按说明书要求进行预热后，按照附录C进行设置，观察编码和解码功能是否正常。

8.2.2 输出频率相对频率偏差

根据被校测试仪主振器类型，分别按照JJF 2090或JJF 1957进行校准。

8.2.3 输出频率稳定度

根据被校测试仪主振器类型，分别按照JJF 2090或JJF 1957进行校准。

8.2.4 1PPS 定时偏差、时差峰值

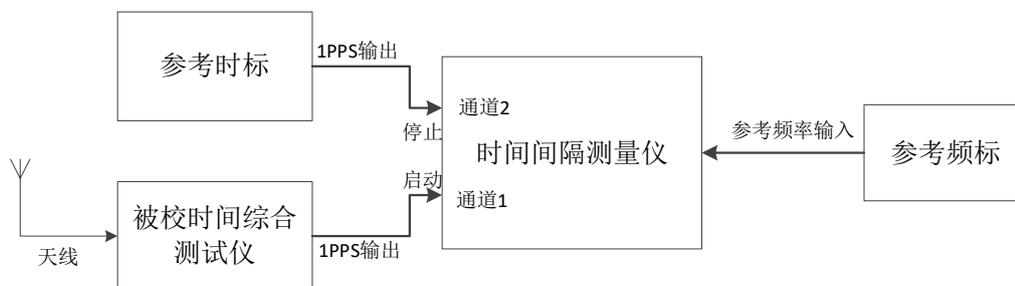


图2 1PPS定时偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 2 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。时间间隔测量仪使用参考频标作为外参考。选择两根时延已知的线缆，将被校测试仪和参考时标输出的 1PPS 信号分别输入时间间隔测量仪的通道 1 和通道 2。

b) 设置时间间隔测量仪通道 1 和通道 2 的触发电平为输入信号幅度的 50%，测量被校和参考 1PPS 的时间偏差，连续测试不少于 24 h，计算测量结果的算术平均值，记为 $\overline{\Delta t}$ ，按公式 (1) 计算 1PPS 定时偏差 T 。

$$T = \overline{\Delta t} - T_D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i - T_D \quad (1)$$

式中：

Δt_i —测量周期内时间间隔测量仪两通道的时间偏差测量值，ns；

N —测量点数；

T_D —时间间隔测量仪的通道 1 和通道 2 两根线缆输入信号时延差，ns；

$\overline{\Delta t}$ —时间间隔测量仪两通道输入 1PPS 时间偏差的算术平均值，ns。

同时按公式（2）计算 1PPS 时差峰值 T_{\max} 。

$$T_{\max} = \Delta t_{\max} - T_D \quad (2)$$

式中：

Δt_{\max} — $|\Delta t_i|$ 最大值对应的时间偏差测量值，ns。

8.2.5 时间保持偏差

仪器连接如图 2 所示，被校测试仪正常锁定 GNSS 信号，并达到说明书规定的驯服时间后，断开 GNSS 天线，使其工作在保持模式下。按 8.2.4 (b) 设置时间间隔测量仪，测量被校与参考时标 1PPS 信号的时间偏差，按公式（2）时差峰值，作为时间保持偏差。

8.2.6 输出时间偏差

8.2.6.1 PTP 时间偏差

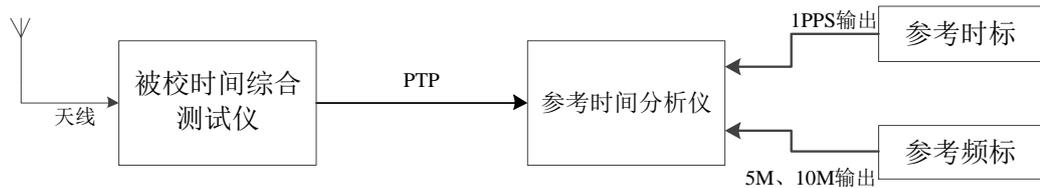


图3 PTP时间偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 3 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 被校测试仪为服务器，参考时间分析仪为客户端，合理设置 PTP 协议参数，其中同步报文设为 1 次/s。启动参考时间分析仪的 PTP 时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值作为被校测试仪 PTP 时间偏差。

8.2.6.2 NTP 时间偏差

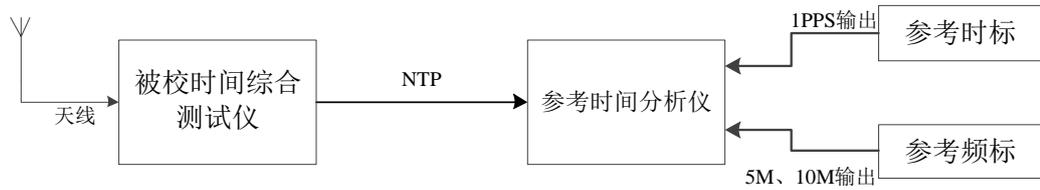


图4 NTP时间偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 4 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 被校测试仪为服务器，参考时间分析仪为客户端，合理设置 NTP 协议参数，其中轮询时间设为 1s。启动参考时间分析仪的 NTP 时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值作为被校测试仪 NTP 时间偏差。

8.2.6.3 B 码时间偏差

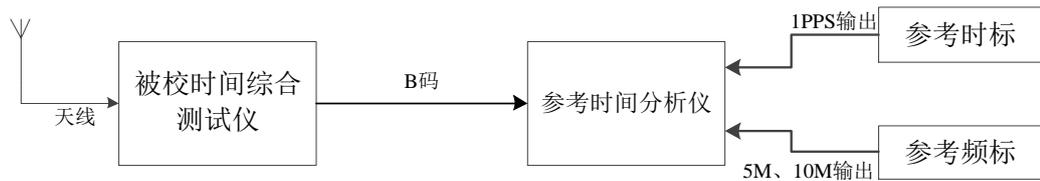


图5 B码时间偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 5 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 被校测试仪为发送端，参考时间分析仪为接收端，合理设置 B(DC)码参数。启动参考时间分析仪的 B(DC)码时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值，并扣除连接电缆延迟，即可得到被校测试仪 B(DC)码时间偏差。

c) 被校测试仪和参考时间分析仪之间配置为 B(AC)码，重复 b)项测试，即可得到被校测试仪 B(AC)码时间偏差。

d) 被校测试仪的 1PPS 定时偏差在 20us 以下时，输出 B(DC)码和 B(AC)码的时间偏差可以参照 JJF 1724-2018 7.2.4 节方法进行校准。

8.2.6.4 1PPS+TOD 时间偏差

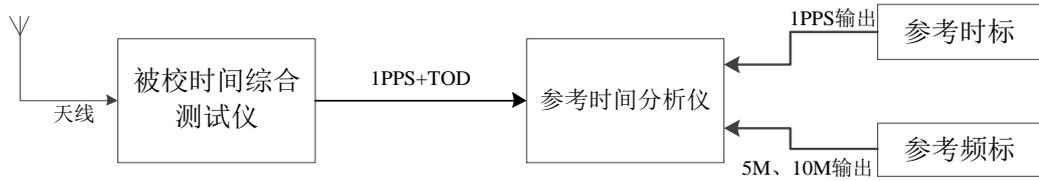


图6 1PPS+TOD时间偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 6 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 被校测试仪为发送端，参考时间分析仪为接收端，合理设置 1PPS+TOD 协议参数。启动参考时间分析仪的 1PPS+TOD 时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值，并扣除连接电缆延迟，即可得到被校测试仪 1PPS+TOD 时间偏差。

8.2.7 时间测量偏差

8.2.7.1 1PPS 测量偏差

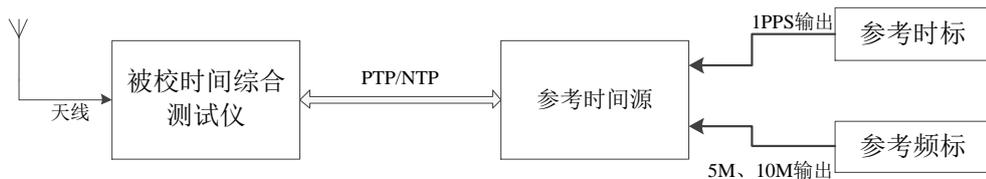


图7 1PPS测量偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 7 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 将参考时标的 1PPS 输出至被校测试仪，启动被校测试仪 1PPS 测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值，扣除连接电缆延迟和 7.2.4 中测得定时偏差，即可得到被校测试仪 1PPS 测量偏差。

8.2.7.2 PTP 测量偏差



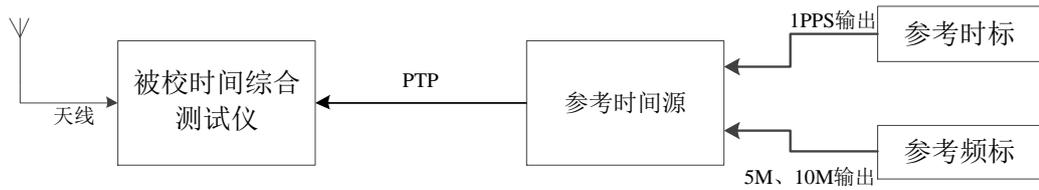


图8 PTP测量偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 8 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 参考时间源为服务器，被校测试仪为客户端，合理设置 PTP 协议参数，其中同步报文设为 1 次/s。启动被校测试仪的 PTP 时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值作为被校测试仪 PTP 测量偏差。

8.2.7.3 NTP 测量偏差

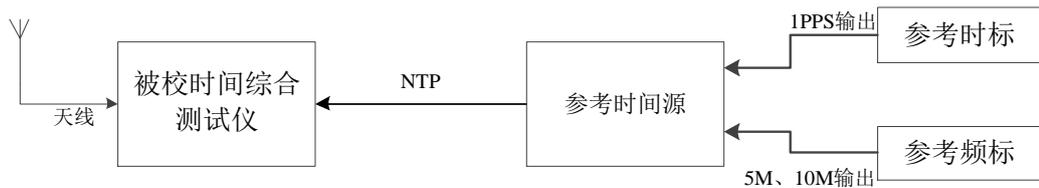


图9 NTP测量偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 9 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 参考时间源为服务器，被校测试仪为客户端，合理设置 NTP 协议参数，其中轮询时间设为 1s。启动被校测试仪的 NTP 时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值作为被校测试仪 NTP 测量偏差。

8.2.7.4 B 码测量偏差

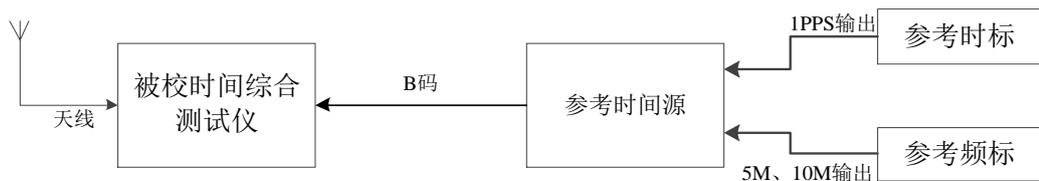


图10 B码时间偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 10 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 参考时间源为发送端，被校测试仪为接收端，合理设置 B(DC)码参数。启动参考时间分析仪的 B(DC)码时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值，并扣除连接电缆延迟，即可得到被校测试仪 B(DC)码测量偏差。

c) 被校测试仪和参考时间源之间配置为 B(AC)码，重复 b)项测试，即可得到被校测试仪 B(AC)码测量偏差。

8.2.7.5 1PPS+TOD 测量偏差

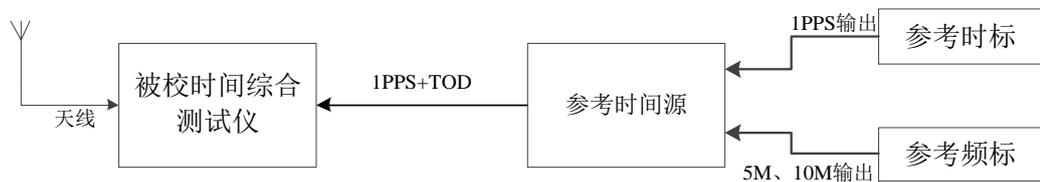


图 11 1PPS+TOD 时间偏差校准连接图

a) 仪器连接如图 11 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间。

b) 参考时间源为发送端，被校测试仪为接收端，合理设置 1PPS+TOD 协议参数。启动被校测试仪的 1PPS+TOD 时间测量功能，连续测试不少于 24 h，计算测量结果算术平均值，并扣除连接电缆延迟，即可得到被校测试仪 1PPS+TOD 测量偏差。

8.2.8 PTP 往返时延测量

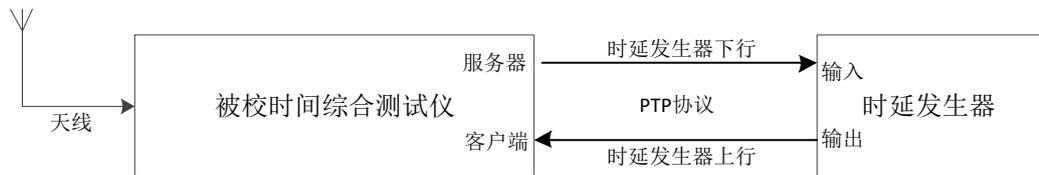


图 12 PTP往返时延测量连接图

a) 同时具备 PTP 时间信号生成和测量功能的时间综合测试仪可进行 PTP 往返时延测量，仪器连接如图 12 所示，合理设置被校测试仪天线时延，使被校测试仪工作在 GNSS 锁定状态，并达到说明书规定的驯服时间，时延发生器按说明书规定预热。

b) 选取被校测试仪的 1 对 PTP 协议端口，分别配置为服务器和客户端，并分别接至时延发生器的输入和输出端口。合理设置被校测试仪的 PTP 协议参数，同时保证时延发生器的接口速率、工作模式与被校测试仪一致，被校测试仪上应显示实现 PTP 协

议同步状态。

c) 设置时延发生器的上行或下行时延值为 $1\mu\text{s}$ ，启动被校测试仪的 PTP 测量功能，记录路径时延测量值作为 PTP 往返时延测量结果。

d) 继续设置时延发生器的上行或下行时延值为 $5\mu\text{s}$ 、 $10\mu\text{s}$ 、 $50\mu\text{s}$ 、 $100\mu\text{s}$ ，启动被校测试仪的 PTP 测量功能，同样记录路径时延测量值。

9 校准结果表达

校准证书应至少包括以下信息：

- 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声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

10 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐不超过 12 个月。

附录 A 原始记录推荐格式

记录编号：_____

共_____页 第_____页

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	

检查项目	支持协议		
	NTP 协议	PTP 协议
协议编码			
协议解码			

A.2 输出频率相对频率偏差

A.2.1 自由运行状态

相对频率偏差	不确定度 $U(k=2)$

A.2.2 锁定（GNSS）状态

锁定（GNSS）一天以上后，连续测量七天。

时间	相对频率偏差
第一天	
第二天	
第三天	
第四天	
第五天	
第六天	
第七天	

锁定（GNSS）状态下相对频率偏差不确定度为：（ $k=2$ ）。

A.2.3 保持状态

进入保持，保持（ ）h。

相对频率偏差	不确定度 $U(k=2)$

A.3 输出频率稳定度

取样时间	频率稳定度(σ)					
	自由运行状态		锁定(GNSS)状态		保持状态	
	测量结果	不确定度 $U(k=2)$	测量结果	不确定度 $U(k=2)$	测量结果	不确定度 $U(k=2)$
1 s						
10 s						
100 s						

A.4 1PPS 定时偏差

测量信号	时间偏差平均值 (参考-被校)	标准偏差	测试时长	不确定度 $U(k=2)$
1PPS				

A.5 1PPS 时差峰值

测量信号	时差峰值	测试时长	不确定度 $U(k=2)$
1PPS			

A.6 时间保持偏差

测量信号	时间保持偏差 (h)	不确定度 $U(k=2)$
1PPS		

A.7 输出时间偏差

测量信号	时间偏差平均值 (参考-被校)	标准偏差	测试时长	不确定度 $U(k=2)$
PTP				
NTP				
IRIG-B(DC)				
IRIG-B(AC)				
1PPS+TOD				

A.8 时间测量偏差

测量信号	测量偏差平均值 (被校-参考)	标准偏差	测试时长	不确定度 $U(k=2)$
1PPS				
PTP				
NTP				
IRIG-B(DC)				
IRIG-B(AC)				
1PPS+TOD				

A.9 PTP 往返时延测量

端口速率	往返时延测量结果 (μs)		不确定度 $U(k=2)$
	标称值	显示值	

附录 B 校准证书内页推荐格式

证书编号：_____

共_____页 第_____页

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	

检查项目	支持协议		
	NTP 协议	PTP 协议
协议编码			
协议解码			

B.2 输出频率相对频率偏差

B.2.1 自由运行状态

相对频率偏差	不确定度 $U(k=2)$

B.2.2 锁定 (GNSS) 状态

锁定 (GNSS) 一天以上后, 连续测量七天。

时间	相对频率偏差
第一天	
第二天	
第三天	
第四天	
第五天	
第六天	
第七天	

锁定 (GNSS) 状态下相对频率偏差不确定度为: ($k=2$)。

B.2.3 保持状态

进入保持, 保持 () h。

相对频率偏差	不确定度 $U(k=2)$

B.3 输出频率稳定度

取样时间	频率稳定度(σ)					
	自由运行状态		锁定(GNSS)状态		保持状态	
	测量结果	不确定度 $U(k=2)$	测量结果	不确定度 $U(k=2)$	测量结果	不确定度 $U(k=2)$
1 s						
10 s						
100 s						

B.4 1PPS 定时偏差

测量信号	时间偏差平均值 (参考-被校)	不确定度 $U(k=2)$
1PPS		

B.5 1PPS 时差峰值

测量信号	时差峰值	测试时长	不确定度 $U(k=2)$
1PPS			

B.6 时间保持偏差

测量信号	时间保持偏差 (h)	不确定度 $U(k=2)$
1PPS		

B.7 输出时间偏差

测量信号	时间偏差平均值 (参考-被校)	不确定度 $U(k=2)$
PTP		
NTP		
IRIG-B(DC)		
IRIG-B(AC)		
1PPS+TOD		

B.8 时间测量偏差

测量信号	测量偏差平均值 (被校-参考)	不确定度 $U(k=2)$
1PPS		
PTP		
NTP		
IRIG-B(DC)		
IRIG-B(AC)		
1PPS+TOD		

B.9 PTP 往返时延测量

端口速率	往返时延测量结果 (μs)		不确定度 $U(k=2)$
	标称值	显示值	

附录 C 协议编码与协议解码验证

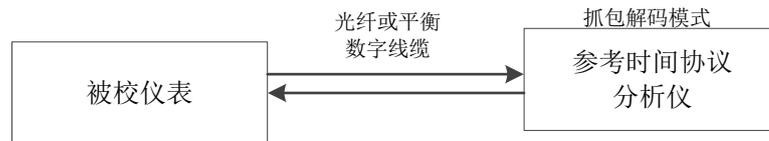
C.1 协议编码

C.1.1 如图 C.1 建立协议编码验证连接。设置被校时间综合测试仪，根据被校测试仪具体支持的协议，按表 C.1 中的协议编码验证项选择相应的时间同步协议，编辑该时间同步数据包内对应字段的内容，设置接口参数，生成正确的数据包并保存设置。同样设置参考时间同步协议分析仪，使二者正常通信。

C.1.2 将参考时间协议分析仪设置为抓包解码模式，启动参考时间协议分析仪的抓包功能，接收到被校测试仪发送的数据包后，停止抓包。

C.1.3 启动参考时间协议分析仪的解码功能，比较参考时间协议分析仪所抓数据解码值和被校测试仪发送值是否一致，将结果记录到附录 A 表格 A.1 相应表格中

C.1.4 根据表 C.1 继续下一协议编码验证项，重复 C.1.1 ~C.1.3 步骤，直至完成所有编码内容的验证。



图C.1 协议编码验证连接图

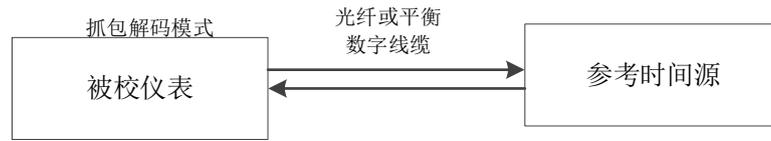
C.2 协议解码

C.2.1 如图 C.2 建立协议解码验证连接。设置参考时间源，根据被校测试仪具体支持的协议，按表 C.1 中的协议编码验证项选择相应的时间同步协议，编辑该时间同步数据包内对应字段的内容，设置接口参数，生成正确的数据包并保存设置。同样设置被校测试仪，使二者正常通信。

C.2.2 将被校测试仪设置为抓包解码模式，启动被校测试仪的抓包功能，接收到参考时间协议分析仪发送的数据包后，停止抓包。

C.2.3 启动被校测试仪的解码功能，比较被校测试仪所抓数据解码值和参考时间协议分析仪发送值是否一致，将结果记录到附录 A 表格 A.1 相应表格中

C.2.4 根据表 C.1 继续下一协议编码验证项，重复 C.2.1 ~C.2.3 步骤，直至完成所有编码内容的验证。



图C.2 协议解码验证连接图

表 C.1 协议编码/解码验证内容一览表

项目	内容		
NTP 协议	UDP 封装		
	UDP 端口号	123	
	工作模式	客户端/服务器模式	
		对等体模式	
		广播模式	
组播模式			
PTP 协议 (IEEE 1588 v1 & v2)	MAC 封装		
	UDP 封装		
	以太网类型	0x88F7	
	支持时钟类型	普通时钟 OC (Ordinary Clock)	
		边界时钟 BC (Boundary Clock)	
		透明时钟 TC (Transparent Clock)	
	PTP 端口类型	主端口 (Master Port)	
		从端口 (Slave Port)	
		被动端口 (Passive Port)	
	G.8275.1 支持时钟节点	T-GM (Telecom Grandmaster, 电信级主时钟)	
		T-BC (Telecom Boundary Clock, 电信级边界时钟)	
		T-TSC (Telecom Time Slave Clock, 电信级从时钟)	
	报文验证	Sync 同步报文	
		Follow up 跟随报文	
		Delay req 延迟请求报文	
Delay resp 延迟请求响应报文			

附录 D 主要校准项目不确定度评定示例

D.1 1PPS 定时偏差校准结果不确定度评定

D.1.1 测量模型

$$T = T_{1\text{PPS}} + \Delta T - m$$

式中：

T —为被校时间综合测试仪的 1PPS 定时偏差；

$T_{1\text{PPS}}$ —为被校测试仪输出 1PPS 时间偏差测量结果；

ΔT —为参考时标输出 1PPS 时间偏差；

m —测试电缆时延。

D.1.2 不确定度来源

- (1) 参考时标不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 时间间隔测量仪分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 测量重复性引入的不确定度分量 u_3 ；
- (4) 电缆延时测量不准引入的不确定度分量 u_4 。

D.1.3 标准不确定度评定

- (1) 参考时标不准引入的不确定度分量 u_1 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，参考时标的 1PPS 时间偏差为 $\pm 10\text{ns}$ ，则此偏差的置信区间半宽 $a_1 = 10\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_1 = \sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_1 = \frac{a_1}{k_1} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ns}$ 。

- (2) 时间间隔测量仪分辨力引入的不确定度分量 u_2 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，时间间隔测量仪的有效分辨力为 1ns ，则此分辨力的区间半宽度 $a_2 = 0.5\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_2 = \sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_2 = \frac{a_2}{k_2} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ns}$ 。

- (3) 测量重复性引入的不确定度分量 u_3 ，按 A 类方法进行评定。

当取样次数为 n 时，得到 n 个测量结果，实验标准偏差为 σ 。采用该 n 次测量结果的平均值作为测量结果的最佳估计值，则由测量重复性引入的不确定度分量 $u_3 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} =$

$\frac{6.9}{\sqrt{86400}} = 0.023\text{ns}$ ，详见表 D.1 所示：

表 D.1 测量重复性引入的不确定度

次数	时间偏差平均值 (参考-被校)	标准偏差	u_3
86400	5 ns	6.9 ns	0.023 ns

(4) 电缆延时测量不准引入的不确定度 u_4 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，电缆延时测量的最大允许误差为 $\pm 0.5\text{ns}$ ，按均匀分布，取扩展因子 $k_4=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_4 = \frac{a_4}{k_4} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ns}$ 。

D.1.4 合成标准不确定度

表 D.2 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	类型	分布	因子	标准不确定度
u_1	参考时标不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.77 ns
u_2	时间间隔测量仪分辨率	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.29 ns
u_3	测量重复性	A	-	-	0.023 ns
u_4	电缆延时测量不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.29 ns

u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 5.78 \text{ ns}$$

D.1.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 1PPS 定时偏差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 12 \text{ ns}$$

D.2 PTP 时间偏差校准结果不确定度评定

D.2.1 测量模型

$$T_{\text{PTP}} = T_{\text{PTPs}} + \Delta T$$

式中：

T_{PTP} —被校测试仪的 PTP 时间偏差；

T_{PTPs} —参考时间分析仪的 PTP 时间偏差测量结果；

ΔT —参考时间分析仪的 PTP 测量偏差。

D.2.2 不确定度来源

- (1) 参考时间分析仪的参考时标不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 参考时间分析仪分辨力的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 参考时间分析仪测量重复性的不确定度分量 u_3 。

D.2.3 标准不确定度评定

(1) 由参考时间分析仪参考时标不准的不确定度分量 u_1 ，按 B 类方法进行评定。
根据仪表说明书给出的技术指标，参考时标的 1PPS 时间偏差为 $\pm 10\text{ns}$ ，则此偏差的置信区间半宽 $a_2 = 10\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_2 = \sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_2 = \frac{a_2}{k_2} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ns}$ 。

(2) 由参考时间分析仪分辨力引入的不确定度分量 u_2 ，按 B 类方法进行评定。
根据仪表说明书给出的技术指标，参考时间分析仪的有效分辨力为 4ns ，则此分辨力的区间半宽度 $a_2 = 2\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_2 = \sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_2 = \frac{a_2}{k_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.2\text{ns}$ 。

(3) 参考时间分析仪测量重复性引入的不确定度分量 u_3 ，按 A 类方法进行评定。
当取样次数为 n 时，得到 n 个测量结果，实验标准偏差为 σ 。采用该 n 次测量结果的平均值作为测量结果的最佳估计值，则由测量重复性引入的不确定度分量 $u_3 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{8.5}{\sqrt{86400}} = 0.029\text{ns}$ ，详见表 D.3 所示：

表 D.3 测量重复性引入的不确定度

次数	时间偏差平均值/ns (参考-被校)	标准偏差/ns	u_3
86400	-35	8.5	0.029

D.2.4 合成标准不确定度

表 D.4 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	类型	分布	包含因子	标准不确定度
u_1	参考时间分析仪参考时标不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.77 ns
u_2	参考时间分析仪分辨率	B	均匀	$\sqrt{3}$	1.2 ns
u_3	测量重复性	A	-	-	0.029 ns

u_1 、 u_2 、 u_3 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 5.90 \text{ ns}$$

D.2.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 PTP 时间偏差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 12 \text{ ns}$$

D.3 1PPS 测量偏差校准结果不确定度评定

D.3.1 测量模型

$$T = T_{1\text{PPS}} + \Delta T + \Delta T_{\text{ref}} - m$$

式中：

T —为被校测试仪的 1PPS 测量偏差；

$T_{1\text{PPS}}$ —被校测试仪 1PPS 测量偏差测量值；

ΔT —被校测试仪基准时间不准；

ΔT_{ref} —参考时标不准；

m —测试电缆时延。

D.3.2 不确定度来源

- (1) 被校测试仪基准时间不准引入的不确定度 u_1 ；
- (2) 参考时标不准引入的不确定度 u_2 ；
- (3) 被校测试仪分辨力引入的不确定度 u_3 ；
- (4) 测量重复性引入的不确定度 u_4 ；
- (5) 电缆延时测量不准引入的不确定度 u_5 。

D.3.3 标准不确定度评定

- (1) 被校测试仪基准时间不准引入的不确定度 u_1 ，按 B 类方法进行评定。

被校测试仪 1PPS 定时偏差标准不确定度为 5.8ns ($k=2$)，则校时间综合测试仪基准时间不准引入的不确定度分量 $u_1 = \frac{a_1}{k_1} = \frac{5.8}{2} = 2.90\text{ns}$ 。

- (2) 参考时标不准引入的不确定度分量 u_2 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，参考时标的 1PPS 时间偏差为 $\pm 10\text{ns}$ ，则此偏差的置信区间半宽 $a_2=10\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_2=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_2 = \frac{a_2}{k_2} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ns}$ 。

- (3) 被校测试仪分辨力引入的不确定度分量 u_3 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，被校测试仪的分辨力为 0.01ns，则此分辨力的区间半宽度 $a_3=0.005\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_3=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_3 = \frac{a_3}{k_3} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{ns}$ 。

(4) 测量重复性引入的不确定度分量 u_4 ，按 A 类方法进行评定。

当取样次数为 n 时，得到 n 个测量结果，实验标准偏差为 σ 。采用该 n 次测量结果的平均值作为测量结果的最佳估计值，则由测量重复性引入的不确定度分量 $u_4 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} =$

$$\frac{5.3}{\sqrt{86400}} = 0.018\text{ns}, \text{ 详见表 D.5 所示:}$$

表 D.5 测量重复性引入的不确定度

次数	时间偏差平均值 (参考-被校)	标准偏差	u_4
86400	8 ns	5.3 ns	0.018 ns

(5) 电缆延时测量不准引入的不确定度 u_5 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，电缆延时测量的最大允许误差为 $\pm 0.5\text{ns}$ ，按均匀分布，取扩展因子 $k_5 = \sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_5 = \frac{a_5}{k_5} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ns}$ 。

D.3.4 合成标准不确定度

表 D.6 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	类型	分布	因子	标准不确定度
u_1	被校测试仪基准时间不准	B	正态	2	2.90 ns
u_2	参考时标不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.77 ns
u_3	被校测试仪分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029 ns
u_4	测量重复性	A	-	-	0.018 ns
u_5	电缆延时测量不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.29 ns

u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 6.46 \text{ ns}$$

D.3.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 1PPS 测量偏差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 13\text{ns}$$

D.4 PTP 测量偏差校准结果不确定度评定

D.4.1 测量模型

$$T_{PTP} = T_{PTPs} + \Delta T + \Delta T_{ref}$$

式中：

T_{PTP} —被校测试仪的 PTP 测量偏差；

T_{PTPs} —被校测试仪的 PTP 测量偏差测量值；

ΔT —被校测试仪基准时间不准；

ΔT_{ref} —参考时间源的参考时标不准。

D.4.2 不确定度来源

- (1) 被校测试仪基准时间不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 参考时间源考时标不准引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 被校测试仪的测量分辨力引入的不确定度分量 u_3 ；
- (4) 测量重复性引入的不确定度分量 u_4 。

D.4.3 标准不确定度评定

- (1) 被校测试仪基准时间不准引入的不确定度 u_1 ，按 B 类方法进行评定。

被校测试仪 1PPS 定时偏差标准不确定度为 5.8ns ($k=2$)，则校时间综合测试仪基准时间不准引入的不确定度分量 $u_1 = \frac{a_1}{k_1} = \frac{5.8}{2} = 2.90\text{ns}$ 。

- (2) 参考时标不准引入的不确定度分量 u_2 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，参考时标 1PPS 时间偏差的最大允许误差为 $\pm 10\text{ns}$ ，则此偏差的置信区间半宽 $a_2=10\text{ns}$ 。按呈均匀分布，取扩展因子 $k_2=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_2 = \frac{a_2}{k_2} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ns}$ 。

- (3) 由被校测试仪分辨力引入的不确定度分量 u_2 ，按 B 类方法进行评定。

根据仪表说明书给出的技术指标，被校测试仪测量分辨力为 20ns，则此分辨力的置信区间半宽 $a_3=10\text{ns}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_3=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_3 = \frac{a_3}{k_3} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ns}$ 。

- (4) 测量重复性引入的不确定度分量 u_3

当取样次数为 n 时，得到 n 个测量结果，实验标准偏差为 σ 。采用该 n 次测量结果

的平均值作为测量结果的最佳估计值，则由测量重复性引入的不确定度分量 $u_4 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{31.0}{\sqrt{86400}} = 0.105\text{ns}$ ，详见表 D.7 所示：

表 D.7 测量重复性引入的标准不确定度

次数	测量误差平均值/ns (被校-参考)	标准偏差/ns	u_4
86400	-78	31.0	0.105

D.4.4 合成标准不确定度

表 D.8 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	类型	分布	包含因子	标准不确定度
u_1	被校测试仪基准时间不准	B	正态	2	2.90 ns
u_2	参考时间源考时标不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.77 ns
u_3	被校测试仪分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	5.8 ns
u_4	测量重复性	A	-	-	0.105 ns

u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 8.7\text{ns}$$

D.4.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 PTP 测量偏差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 18\text{ns}$$

D.5 PTP 往返时延测量校准结果不确定度评定

D.5.1 测量模型

$$T_{Delay}=1/2 \times [(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)] + \Delta T_{delay_generator}$$

式中：

T_{Delay} —被校测试仪的 PTP 往返时延测量值；

T_1 —被校测试仪 Master 端的 Sync 报文发送时间；

T_2 —被校测试仪 Slave 端的 Sync 报文接收时间；

T_3 —被校测试仪 Slave 端的 Delay_Req 报文发送时间；

T_4 —被校测试仪 Master 端的 Delay_Req 报文接收时间；

$\Delta T_{delay_generator}$ —时延发生器的时延设置不准。

D.5.2 不确定度来源

- (1) 被校测试仪发送报文的记录时间不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 被校测试仪接收报文的解析时间不准引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 时延发生器的时延设置不准的不确定度分量 u_3 。

D.5.3 标准不确定度评定

- (1) 被校测试仪发送报文的记录时间不准引入的不确定度分量 u_1 。

根据 D.4 节的计算，被校测试仪发送报文的记录时间不准引入的不确定度约为 8.2 ns，其中发送报文的记录时间 T_1 、 T_3 ，测量环境类似、测量方法相同，设为 $u(T_1) = u(T_3) = 8.2$ ns，则：

$$u_1 = \sqrt{u^2(T_1) + u^2(T_3)} = 11.6 \text{ ns}$$

- (2) 被校测试仪接收报文的解析时间不准引入的不确定度分量 u_2 。

根据 D.4 节的计算，被校测试仪接收报文的解析时间不准引入的不确定度约为 8.2 ns，其中发送报文的记录时间 T_2 、 T_4 ，测量环境类似、测量方法相同，设为 $u(T_2) = u(T_4) = 8.2$ ns，则：

$$u_2 = \sqrt{u^2(T_2) + u^2(T_4)} = 11.6 \text{ ns}$$

- (3) 时延发生器的时延设置不准 u_3 分量，按 B 类方法进行评定。

根据时延发生器说明书给出的技术指标，时延设置值为 1 μ s 时，发生器时延设置的

最大允许误差为 $\pm(1 \times 10^{-6} \times 1 \mu\text{s} + 0.1 \mu\text{s}) = \pm 0.1 \mu\text{s}$ ，则此偏差的置信区间半宽 $a_3 = 0.1 \mu\text{s}$ 。按均匀分布，取扩展因子 $k_3 = \sqrt{3}$ ，则不确定度 $u_3 = \frac{a_3}{k_3} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 57.7 \text{ ns}$ 。

D.5.4 合成标准不确定度

表 D.9 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	类型	分布	包含因子	标准不确定度
u_1	被校测试仪发送报文的记录时间不准	-	-	-	11.6 ns
u_2	被校测试仪接收报文的解析时间不准	-	-	-	11.6 ns
u_3	时延发生器的时延设置不准	B	均匀	$\sqrt{3}$	57.7 ns

u_1 、 u_2 、 u_3 独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.06 \mu\text{s}$$

D.5.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 PTP 往返时延测量校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 0.2 \mu\text{s}$$