

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

网络时间服务器校准规范

Calibration Specification for Network Time Servers

(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

网络时间服务器校准规范

Calibration Specification for
Network Time Servers

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：中国计量科学研究院

贵州省计量测试院

参加起草单位：中国信息通信研究院

中国计量测试学会

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：

刘年丰 （中国计量科学研究院）

张 宇 （贵州省计量测试院）

王玉琢 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

龙 波 （贵州省计量测试院）

张大元 （中国信息通信研究院）

马爱文 （中国计量测试学会）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 缩略语.....	1
5 概述.....	2
6 计量特性.....	2
6.1 1PPS 定时偏差.....	2
6.2 1PPS 定时稳定度.....	2
6.3 NTP 同步偏差.....	2
6.4 PTP 同步偏差.....	2
6.5 输出 B 码相对于标准时间偏差.....	2
6.6 时间保持偏差.....	3
6.7 相对频率偏差.....	3
6.8 频率稳定度.....	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.....	3
8 校准项目和校准方法.....	4
8.1 校准项目.....	4
8.2 校准方法.....	5
9 校准结果表达.....	10
10 复校时间间隔.....	10
附录 A 原始记录格式.....	11
附录 B 校准证书(内页)格式.....	13
附录 C 主要校准项目不确定度评定示例.....	15

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。

网络时间服务器校准规范

1 范围

本规范适用于网络时间服务器的校准。

2 引用文件

JJG 181 石英晶体频率标准

JJF 1180 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1403-2013 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范

JJF 1724-2018 时码发生器校准规范

JJF 1957-2021 铷原子频率标准校准规范

GJB 2991A-2008 B 时间码接口终端通用规范

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

3.1 网络时间服务器 network time servers

在网络中提供时间同步服务的授时设备。

3.2 1PPS 定时偏差 timing offset

网络时间服务器输出 1PPS 信号与参考时标 1PPS 信号的偏差。

3.3 1PPS 定时稳定度 timing stability

网络时间服务器输出 1PPS 信号与参考时标 1PPS 信号的偏差的标准偏差。

3.4 时间保持偏差 time-keeping offset

网络时间服务器在正常跟踪锁定外部时间信号并达到产品说明书规定的伺服时间后，断开外部时间信号，使网络时间服务器工作在保持模式下，在其技术指标说明书规定的保持时间内输出的 1PPS 信号与参考时标 1PPS 信号的偏差最大值。单位为秒（s）。

4 缩略语

下列缩略语适用于本规范。

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

IP: 互联网协议 (Internet Protocol)

NTP: 网络时间协议 (Network Time Protocol)

PTP: 精确时间同步协议 (Precise Time Protocol)

1PPS: 秒脉冲 (1 Pulse Per Second)

5 概述

网络时间服务器是用于在网络中提供时间同步服务的授时设备，由参考信号输入单元、本地时间保持单元、信号输出单元组成（见图 1）。参考信号输入单元获取外部时间信息；本地时间保持单元接收参考信号输入单元的时间信号对本地时钟进行同步，并利用主振器进行时间保持；信号输出单元根据本地的时间频率信号，对外提供 1PPS 输出、频率信号输出、B 时间码输出、NTP 服务、PTP 服务。

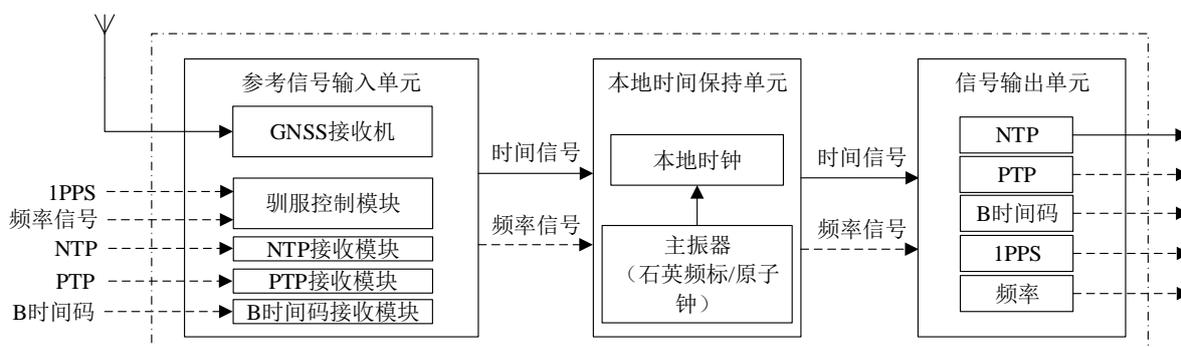


图 1 网络时间服务器工作原理示意图

6 计量特性

6.1 1PPS 定时偏差

$\pm (30 \text{ ns} \sim 2 \mu\text{s})$ 。

6.2 1PPS 定时稳定度

$(10 \sim 200) \text{ ns}$ 。

6.3 NTP 同步偏差

$\pm 100 \text{ ms}$ 。

6.4 PTP 同步偏差

$\pm 10 \mu\text{s}$ 。

6.5 输出 B 码相对于标准时间偏差

B (DC) 码: $\pm (100 \text{ ns} \sim 20 \mu\text{s})$;

B (AC) 码: $\pm (1 \mu\text{s} \sim 20 \mu\text{s})$ 。

6.6 时间保持偏差

$\pm (5 \mu\text{s} \sim 1 \text{ms})$ (保持时间24 h)。

6.7 相对频率偏差

表1分别给出了主振器为石英晶体频率标准、铷原子频率标准的相对频率偏差。

表1 相对频率偏差

主振器类型	相对频率偏差
石英晶体频率标准	$\pm (1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-10})$
铷原子频率标准	$\pm (2 \times 10^{-10} \sim 2 \times 10^{-11})$

6.8 频率稳定度

表2分别给出了主振器为石英晶体频率标准、铷原子频率标准的频率稳定度。

表2 频率稳定度

主振器类型	频率稳定度
石英晶体频率标准	$1 \times 10^{-10} \sim 5 \times 10^{-14}$ (取样时间1 s)
铷原子频率标准	$5 \times 10^{-11} \sim 2 \times 10^{-12}$ (取样时间1 s)

注: 以上指标仅供参考。

7 校准条件

7.1 环境条件

7.1.1 环境温度: $(20 \sim 25) \text{ } ^\circ\text{C}$, 环境温度波动在 $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 内。

7.1.2 相对湿度: 不大于80%。

7.1.3 电源电压及频率: $220 (1 \pm 10\%) \text{ V}$, $50 (1 \pm 2\%) \text{ Hz}$ 。

7.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

7.2 测量标准及其他设备

7.2.1 参考频标

输出频率: 5 MHz、10 MHz;

频率稳定度优于被测网络时间服务器相同取样时间频率稳定度的 1/3;

相对频率偏差优于被测网络时间服务器一个数量级。

7.2.2 参考时标

时间偏差优于被测网络时间服务器 1PPS 定时偏差的 1/3；

具有 1PPS 信号输出功能。

7.2.3 参考网络时间服务器

NTP 同步偏差优于被校网络时间服务器一个数量级，或具有外接参考频标和参考时标功能。

7.2.4 频标比对器

输入频率：5 MHz、10 MHz；

比对不确定度（用阿伦标准偏差表示）应优于被测网络时间服务器相同取样时间频率稳定度的 1/3。

7.2.5 时间间隔测量仪

测量范围：1 ns~1 s；

相对频率偏差优于被测网络时间服务器一个数量级，或具有外接参考频标功能。

7.2.6 时间综合测试仪

具有 NTP、PTP 和 B 时间码测量功能；

时间偏差优于被测网络时间服务器 1PPS 定时偏差的 1/3，或具有外接参考时标功能。

7.2.7 示波器

通道数： ≥ 2 ；

带宽： ≥ 200 MHz；

时间测量最大允许误差： $\pm 0.2\%$ 。

8 校准项目和校准方法

8.1 校准项目

校准项目见表 3。

表3 校准项目一览表

序号	校准项目名称	校准方法的条款
1	外观及工作正常性检查	8.2.1
2	1PPS定时偏差	8.2.2

3	1PPS定时稳定度	8.2.3
4	NTP同步偏差	8.2.4
5	PTP同步偏差	8.2.5
6	输出B码相对于标准时间偏差	8.2.6
7	时间保持偏差	8.2.7
8	主振器相对频率偏差	8.2.8
9	主振器频率稳定度	8.2.9

8.2 校准方法

8.2.1 外观及工作正常性检查

目测被校网络时间服务器外观，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。通电后，仪器应正常工作。

8.2.2 1PPS 定时偏差

按图 2 连接仪器，参考时标 1PPS 输出信号与被校网络时间服务器 1PPS 输出信号的连接线缆长度相同。被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到说明书规定的驯服时长和预热时长，设置时间间隔测量仪通道 1 及通道 2 的触发电平为信号幅度的 50%，由时间间隔测量仪测量得到被校网络时间服务器与参考时标 1PPS 24 h 的时间偏差数据（取样时间 1 s），按式（1）计算 1PPS 定时偏差。

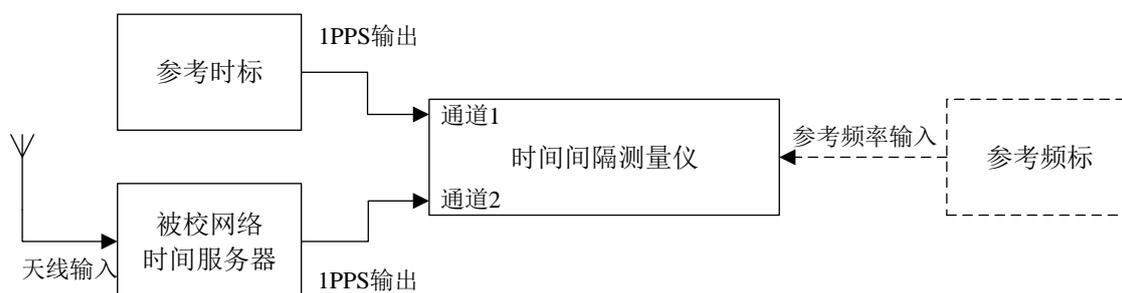


图 2 1PPS 定时偏差及定时稳定度校准示意图

$$\Delta T_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{1PPS,i} \quad (1)$$

式中：

ΔT_A ——1PPS 定时偏差，ns；

$\Delta T_{1\text{PPS},i}$ ——时间间隔测量仪第 i 秒测得的时间偏差测量值，ns；

N ——有效取样个数。

8.2.3 1PPS 定时稳定度

按 8.2.2 条 1PPS 定时偏差校准方法测量被校网络时间服务器与参考时标 1PPS 24 h 的时间偏差数据（取样时间 1 s），按式（2）计算 1PPS 定时稳定度。

$$\Delta T_S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta T_{1\text{PPS},i} - \overline{\Delta T})^2}{N-1}} \quad (2)$$

式中：

ΔT_S ——1PPS 定时稳定度，ns；

$\overline{\Delta T}$ ——时间间隔测量仪 24 h 测得 T_i 的平均值，ns。

8.2.4 NTP 同步偏差

1) 直接测量法（局域网/直连）

按图 3 连接仪器，被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间，被校网络时间服务器与时间综合测试仪通过网线直连（或在同一局域网），设置时间综合测试仪与被校网络时间服务器的 IP 地址在同一网段，时间综合测试仪工作在 NTP 测量模式，轮询时间为 1 s，连续测量 12 h~24 h，按式（3）计算 NTP 同步偏差。

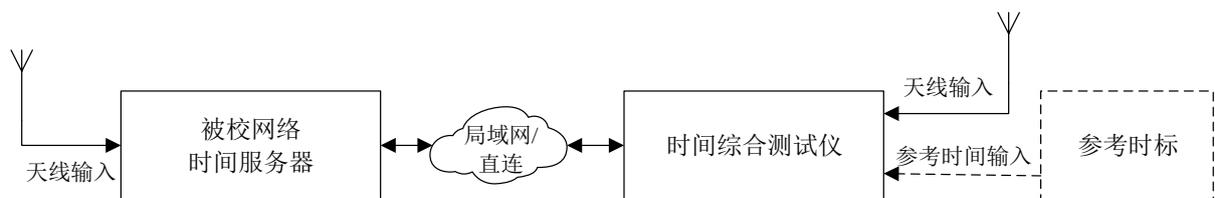


图 3 NTP 同步偏差直连法校准示意图

$$\Delta T_{\text{NTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{NTP},i} \quad (3)$$

式中：

ΔT_{NTP} ——NTP 同步偏差，ms；

$\Delta T_{\text{NTP},i}$ ——NTP 测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值，ms。

2) 直接测量法 (广域网)

被校网络时间服务器具有公开可访问的静态 IP 地址, 按图 4 将时间综合测试仪接入广域网, 被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间, 将被校网络时间服务器的 IP 地址输入时间综合测试仪, 时间综合测试仪工作在 NTP 测量模式, 轮询时间为 1 s, 连续测量 12 h~24 h, 按式 (3) 计算 NTP 同步偏差。

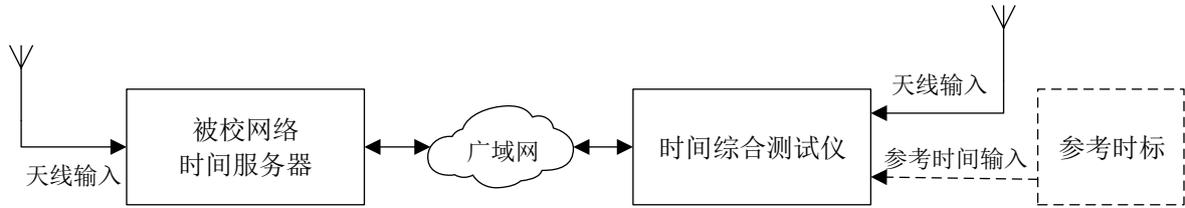


图 4 NTP 同步偏差网络连接法校准示意图

3) 比较法

被校网络时间服务器具有公开可访问的静态 IP 地址, 按图 5 连接仪器, 被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间, 计算机采用 NTP 协议同时向被校网络时间服务器和参考网络时间服务器采集时间, 轮询时间为 1 s, 连续测量 12 h~24 h, 并分别计算时间偏差, 按式 (4) 计算 $\Delta T_{\text{NTP},i}$, 按式 (3) 计算 NTP 同步偏差。

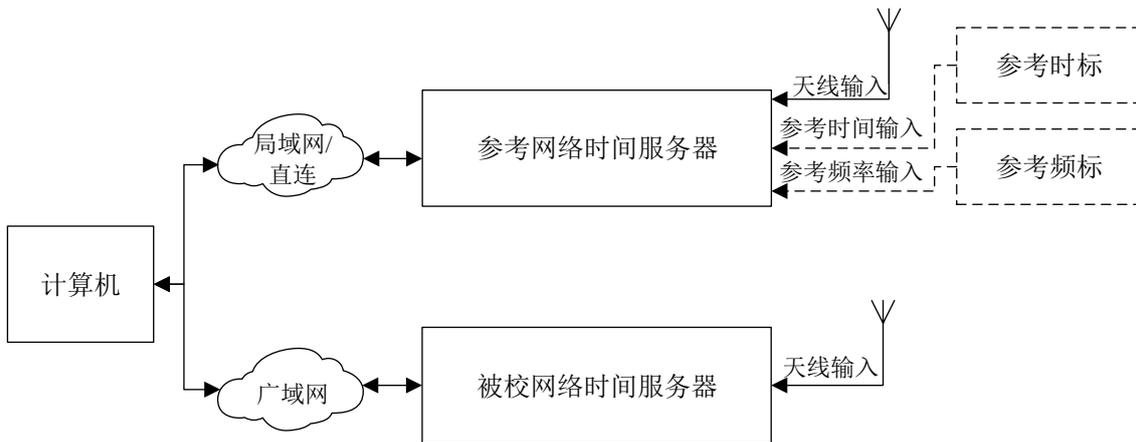


图 5 NTP 同步偏差网络比较法校准示意图

$$\Delta T_{\text{NTP},i} = \Delta T_{\text{CD},i} - \Delta T_{\text{CR},i} \quad (4)$$

式中:

$\Delta T_{\text{CD},i}$ ——计算机与被校网络时间服务器第 i 秒的时间偏差, ms;

$\Delta T_{\text{CR},i}$ ——计算机与参考网络时间服务器第 i 秒的时间偏差, ms。

8.2.5 PTP 同步偏差

按图 6 连接仪器，被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间，被校网络时间服务器的网口与时间综合测试仪的网口通过网线直连，设置时间综合测试仪与被校网络时间服务器的 IP 地址在同一网段，时间综合测试仪工作在 PTP 测量模式，同步报文设置为 1 次/s，连续测量 12 h~24 h，按式 (5) 计算 PTP 同步偏差。



图 6 PTP 同步偏差校准示意图

$$\Delta T_{\text{PTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{PTP},i} \quad (5)$$

式中：

ΔT_{PTP} ——PTP 时间偏差，ns；

$\Delta T_{\text{PTP},i}$ ——时间综合测试仪 PTP 测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值，ns。

8.2.6 输出 B 码相对于标准时间偏差

1) 示波器法

被测网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到说明书规定的驯服时长和预热时长，参照 JJF 1724-2018 《时码发生器校准规范》中 7.2.3 和 7.2.4 规定的校准方法，应用示波器测量输出 B (DC) 和 B (AC) 码相对于标准时间偏差。

2) 时间综合测试仪法

按图 7 连接仪器，被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间，时间综合测试仪工作在 B (DC) /B (AC) 码测量模式，连续测量 12 h~24 h，按式 (6) 计算输出 B (DC) 码相对于标准时间偏差，按式 (7) 计算输出 B (AC) 码相对于标准时间偏差。

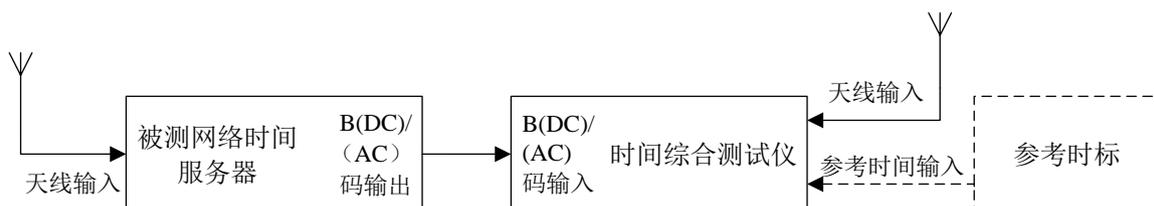


图 7 输出 B 码相对于标准时间偏差校准示意图

$$\Delta T_{B(DC)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{B(DC),i} \quad (6)$$

式中：

$\Delta T_{B(DC)}$ ——输出 B（DC）码相对于标准时间偏差， μs ；

$\Delta T_{B(DC),i}$ ——时间综合测试仪 B（DC）码测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值， μs 。

$$\Delta T_{B(AC)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{B(AC),i} \quad (7)$$

式中：

$\Delta T_{B(AC)}$ ——输出 B（AC）码相对于标准时间偏差， μs ；

$\Delta T_{B(AC),i}$ ——时间综合测试仪 B（AC）码测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值， μs 。

8.2.7 时间保持偏差

按图 2 连接仪器，被校网络时间服务器正常锁定外参考信号并达到说明书规定的驯服和预热时间后，断开天线，使其工作在保持模式下，由时间间隔测量仪测量得到被校网络时间服务器与参考时标 1PPS 24 h（或根据说明书给出的保持时间）的时间偏差数据（取样时间 1 s），按式（8）计算时间保持偏差。

$$\Delta T = \Delta T_{\max} \quad (8)$$

式中：

ΔT ——时间保持偏差， μs ；

ΔT_{\max} ——时间保持期间绝对值最大的时间偏差测量值， μs 。

8.2.8 相对频率偏差

被校网络时间服务器先断开外参考信号再开机，并达到仪器说明书规定的预热时间，当主振器为石英晶体频率标准时，相对频率偏差按 JJG 181《石英晶体频率标准》进行校准；当主振器为铷原子频率标准时，相对频率偏差按 JJF 1957-2021《铷原子频率标准校准规范》进行校准。

8.2.9 频率稳定度

被校网络时间服务器先断开外参考信号再开机，并达到仪器说明书规定的预热时间，

当主振器为石英晶体频率标准时，频率稳定度按 JJG 181《石英晶体频率标准》进行校准；当主振器为铷原子频率标准时，频率稳定度按 JJF 1957-2021《铷原子频率标准校准规范》进行校准。

9 校准结果表达

校准证书应至少包括以下内容：

- 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) 证书或报告的唯一性标识（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) 对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) 校准证书和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，不得部分复制证书或报告的声明。

10 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行决定，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	

A.2 1PPS 定时偏差及定时稳定度：

校准项目	不确定度 U ($k=2$)
1PPS 定时偏差	
1PPS 定时稳定度	

A.3 NTP 同步偏差：

NTP 同步偏差	不确定度 U ($k=2$)

A.4 PTP 同步偏差：

PTP 同步偏差	不确定度 U ($k=2$)

A.5 输出 B 码相对于标准时间偏差：

A.5.1 输出 B (DC) 码相对于标准时间偏差：

输出 B (DC) 码相对于标准时间偏差	不确定度 U ($k=2$)

A.5.2 输出 B (AC) 码相对于标准时间偏差：

输出 B (AC) 码相对于标准时间偏差	不确定度 U ($k=2$)

A.6 时间保持偏差:

时间保持偏差	保持时间	不确定度 U ($k=2$)

A.7 主振器性能

A.7.1 相对频率偏差:

相对频率偏差	取样时间	不确定度 U ($k=2$)

A.7.2 频率稳定度:

频率稳定度	取样时间	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	

B.2 1PPS 定时偏差及定时稳定度

B.2.1 1PPS 定时偏差

$$\Delta T_A =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.2.2 1PPS 定时稳定度

$$\Delta T_A =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.3 NTP 同步偏差

$$\Delta T_{NTP} =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.4 PTP 同步偏差

$$\Delta T_{PTP} =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.5 输出 B 码相对于标准时间偏差

B.5.1 输出 B (DC) 码相对于标准时间偏差

$$\Delta T_{B(DC)} =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.5.2 输出 B (AC) 码相对于标准时间偏差

$$\Delta T_{B(AC)} =$$

扩展不确定度： $U =$ ($k = 2$)

B.6 时间保持偏差

$$\Delta T =$$

扩展不确定度： $U =$ ($k = 2$)

B.7 主振器性能

B.7.1 相对频率偏差

$$y =$$

扩展不确定度： $U =$ ($k = 2$)

B.7.2 频率稳定度

取样时间 τ	频率稳定度	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 1PPS 定时偏差校准结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

测量方法参见 8.2.2，参考时标 1PPS 输出信号与被校网络时间服务器 1PPS 输出信号的连接线缆长度相同，设置时间间隔测量仪通道 1、2 的触发电平，由时间间隔测量仪测量得到被校网络时间服务器与参考时标的时间偏差（取样时间 1 s）。

C.1.2 测量模型

测量模型按公式（C.1）建立。

$$\Delta T_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_i \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔT_A ——定时偏差，ns；

ΔT_i ——时间间隔测量仪第 i 秒测得的时间偏差测量值，ns；

N ——有效取样个数。

C.1.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考时标不准确引入的不确定度；
- b) 时间间隔测量仪测量能力引入的不确定度；
- c) 测量重复性引入的不确定度。

C.1.4 标准不确定度评定

C.1.4.1 参考时标不准确引入的不确定度 u_1

参考时标不准确引入的误差为 10 ns，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{10\text{ns}}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ ns}$$

C.1.4.2 时间间隔计数器测量能力引入的不确定度分量 u_2

时间间隔计数器 SR620 时间测量最大允许误差 $\pm 1\text{ns}$ ，按 B 类方法评定，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{1 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ ns}$$

C.1.4.3 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

对被校网络时间服务器输出的 1PPS 信号连续测量 24 h 共 86400 次，用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(x) = 0.1 \text{ ns}$$

故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{s(x)}{\sqrt{N}} = \frac{0.1 \text{ ns}}{\sqrt{86400}} = 3.4 \times 10^{-4} \text{ ns}$$

C.1.5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考时标不准确	u_1	5.77 ns
时间间隔计数器测量能力	u_2	0.58 ns
测量重复性	u_3	3.4×10^{-4} ns

表 C.1 各输入量彼此独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 5.8 \text{ ns}$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 5.8 = 11.6 \text{ ns}$$

C.2 NTP 同步偏差校准结果不确定度评定

C.2.1 直连法

测量方法参见 8.2.4 “直连测量法”，被校网络时间服务器与时间综合测试仪通过网线直连（或在同一局域网），设置时间综合测试仪与被校网络时间服务器的 IP 地址在同一网段，时间综合测试仪工作在 NTP 测量模式。

C.2.1.1 测量模型

测量模型按公式 (C.2) 建立。

$$\Delta T_{\text{NTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{NTP},i} \quad (\text{C.2})$$

式中：

ΔT_{NTP} ——NTP 同步偏差，ms；

$\Delta T_{\text{NTP},i}$ ——NTP 测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值，ms；

N ——有效取样个数。

C.2.1.2 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考时标时间偏差引入的不确定度；
- b) 时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度；
- c) 测量重复性引入的不确定度；
- d) 时间综合测试仪与被校网络时间服务器之间往返延时引入的不确定度；
- e) 时间综合测试仪 NTP 测量误差引入的不确定度。

C.2.1.3 标准不确定度评定

C.2.1.3.1 参考时标时间偏差引入的标准不确定度 u_1

参考时标不准确引入的误差为 10 ns，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{10 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ ns}$$

C.2.1.3.2 时间综合测试仪时间偏差引入的标准不确定度 u_2

时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度按 B 类方法评定，与标准时间的最大时间偏差为 ± 30 ns，区间半宽度 $a=30$ ns，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{30 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 17.3 \text{ ns}$$

C.2.1.3.3 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

对被校网络时间服务器的连续测量 24 h 共 86400 次，用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(x) = 4.15 \mu\text{s}$$

故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{s(x)}{\sqrt{N}} = \frac{4.15 \mu\text{s}}{\sqrt{86400}} = 14.12 \text{ ns}$$

C.2.1.3.4 往返延时引入的标准不确定度 u_4

对被校网络时间服务器的连续测量 24 h 共 86400 次, 每次测量都具有往返延时 δ_i , 其引入的不确定度为:

$$u_{\delta,i} = \frac{1}{2} \delta_i$$

校准时 NTP 同步偏差取多次测量的平均值, 往返延时视为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 按公式 (C.3) 计算往返延时引入的标准不确定度为:

$$u_4 = \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\delta,i,\max} = 37.96 \mu\text{s} \quad (\text{C.3})$$

式中:

$u_{\delta,i,\max}$ ——往返延时 δ_i 引入不确定度的最大值。

C.2.1.3.5 时间综合测试仪 NTP 测量误差引入的标准不确定度 u_5

根据说明书给出的技术指标, 时间综合测试仪 NTP 测量误差为 $\pm 35 \text{ ns}$, 引入的不确定度按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 35 \text{ ns}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_5 = \frac{a}{k} = \frac{35 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 20.21 \text{ ns}$$

C.2.1.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考时标时间偏差	u_1	5.77 ns
时间综合测试仪时间偏差	u_2	17.32 ns
测量重复性	u_3	14.12 ns
往返延时	u_4	37.96 μs
时间综合测试仪 NTP 测量误差	u_5	20.21 ns

表 C.2 各输入量彼此独立, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 38.0 \mu\text{s}$$

C.2.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 38.0 \mu\text{s} = 76.0 \mu\text{s}$$

C.2.2 比较法

测量方法参见 8.2.4“比较法”，被校网络时间服务器具有公开可访问的静态 IP 地址，计算机采用 NTP 协议同时向被校网络时间服务器和参考网络时间服务器采集时间。

C.2.2.1 测量模型

测量模型按公式 (C.4) 建立。

$$\Delta T_{\text{NTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta T_{\text{CD},i} - \Delta T_{\text{CR},i}) \quad (\text{C.4})$$

式中：

ΔT_{NTP} ——NTP 同步偏差，ms；

$\Delta T_{\text{CD},i}$ ——计算机与被校网络时间服务器第 i 秒的时间偏差，ms；

$\Delta T_{\text{CR},i}$ ——计算机与参考网络时间服务器第 i 秒的时间偏差，ms；

N ——有效取样个数。

C.2.2.2 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考时标时间偏差引入的不确定度；
- b) 测量重复性引入的不确定度；
- c) 计算机相对频率偏差引入的不确定度；
- d) 往返延时引入的不确定度。

C.2.2.3 标准不确定度评定

C.2.2.3.1 参考时标时间偏差引入的标准不确定度 u_1

参考时标不准确引入的误差为 10 ns，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{10 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ ns}$$

C.2.2.3.2 计算机相对频率偏差引入的标准不确定度 u_2

由于计算机不是绝对的同时访问被校和参考网络时间服务器，故计算机相对频率偏

差引入的不确定度按 B 类方法评定，相对频率偏差为 1×10^{-5} ，计算机分别访问两台 NTP 服务器之间的时间间隔最大为 1 s，区间半宽度 $a=1 \times 10^{-5}$ ，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{a \cdot t}{k} = \frac{1 \times 10^{-5} \times 1 \text{ s}}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ } \mu\text{s}$$

C.2.2.3.3 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

对被校网络时间服务器的连续测量 24 h 共 86400 次，用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(x) = 6.5 \text{ ms}$$

故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{s(x)}{\sqrt{N}} = \frac{6.5 \text{ ms}}{\sqrt{86400}} = 22.11 \text{ } \mu\text{s}$$

C.2.2.3.4 往返延时引入的标准不确定度 u_4

计算机对被校网络时间服务器的连续测量 24 h 共 N 次，每次测量都具有往返延时 δ_i ，其引入的不确定度为：

$$u_{\delta,(\text{CD}),i} = \frac{1}{2} \delta_{(\text{CD}),i}$$

计算机对参考网络时间服务器的连续测量 24 h 共 N 次，每次测量都具有往返延时 δ_i ，其引入的不确定度为：

$$u_{\delta,(\text{CR}),i} = \frac{1}{2} \delta_{(\text{CR}),i}$$

则每次参考网络时间服务器和被校网络时间服务器之间由往返延时引入的时间偏差不确定度为：

$$u_{\delta,(\text{RD}),i} = \sqrt{u_{\delta,(\text{CR}),i}^2 + u_{\delta,(\text{CD}),i}^2}$$

校准时 NTP 同步偏差取多次测量的平均值，往返延时视为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，按公式 (C.5) 计算往返延时引入的标准不确定度为：

$$u_4 = \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\delta,i,\max} = 28.6 \text{ ms} \quad (\text{C.5})$$

式中：

$u_{\delta_i, \max}$ ——往返延时 δ_i 引入不确定度的最大值。

C.2.2.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.3。

表 C.3 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考时标时间偏差	u_1	5.77 ns
计算机相对频率偏差	u_2	5.77 μ s
测量重复性	u_3	22.11 μ s
往返延时	u_4	28.6 ms

表 C.3 各输入量彼此独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 29.3 \text{ ms}$$

C.2.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 29.3 \text{ ms} = 58.6 \text{ ms}$$

C.3 PTP 同步偏差校准结果不确定度评定

C.3.1 测量方法

测量方法参见 8.2.5，被校网络时间服务器的网口与时间综合测试仪的网口通过网线直连，设置时间综合测试仪与被校网络时间服务器的 IP 地址在同一网段，时间综合测试仪工作在 PTP 测量模式，同步报文设置为 1 次/s，进行连续测量。

C.3.2 测量模型

测量模型按公式 (C.6) 建立。

$$\Delta T_{\text{PTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{PTP},i} \quad (\text{C.6})$$

式中：

ΔT_{PTP} ——PTP 时间偏差，ns；

$\Delta T_{\text{PTP},i}$ ——PTP 测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值，ns。

C.3.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考时标时间偏差引入的不确定度；
- b) 时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度；
- c) 测量重复性引入的不确定度；
- d) 时间综合测试仪与被校网络时间服务器之间往返延时引入的不确定度。
- e) 时间综合测试仪 PTP 测量误差引入的不确定度。

C.3.4 标准不确定度评定

C.3.4.1 参考时标时间偏差引入的标准不确定度 u_1

参考时标不准确引入的误差为 10 ns，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{10 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ ns}$$

C.3.4.2 时间综合测试仪时间偏差引入的标准不确定度 u_2

时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度按 B 类方法评定，与标准时间的最大时间偏差为 $\pm 30 \text{ ns}$ ，区间半宽度 $a = 30 \text{ ns}$ ，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{30 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 17.32 \text{ ns}$$

C.3.4.3 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

对被校网络时间服务器的连续测量 24 h 共 86400 次，用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(x) = 3.6 \text{ ns}$$

故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{s(x)}{\sqrt{N}} = \frac{3.6 \text{ ns}}{\sqrt{86400}} = 12.2 \text{ ps}$$

C.3.4.4 往返延时引入的标准不确定度 u_4

对被校网络时间服务器的连续测量 24 h 共 86400 次，每次测量都具有往返延时 δ_i ，其引入的不确定度为：

$$u_{\delta_i} = \frac{1}{2} \delta_i$$

校准时 PTP 时间偏差取多次测量的平均值，往返延时视为均匀分布，包含因子

$k = \sqrt{3}$ ，按公式 (C.7) 计算往返延时引入的标准不确定度为：

$$u_4 = \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\delta_i, \max} = 129.3 \text{ ns} \quad (\text{C.7})$$

式中：

$u_{\delta_i, \max}$ ——往返延时 δ_i 引入不确定度的最大值。

C.3.4.5 时间综合测试仪 PTP 测量误差引入的标准不确定度 u_5

根据说明书给出的技术指标，时间综合测试仪 PTP 测量误差为 $\pm 35 \text{ ns}$ ，引入的不确定度按 B 类方法评定，区间半宽度 $a=35 \text{ ns}$ ，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_5 = \frac{a}{k} = \frac{35 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 20.21 \text{ ns}$$

C.3.5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.4。

表 C.4 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考时标时间偏差	u_1	5.77 ns
时间综合测试仪时间偏差	u_2	17.32 ns
测量重复性	u_3	12.2 ps
往返延时	u_4	129.3 ns
时间综合测试仪 PTP 测量误差	u_5	20.21 ns

表 C.4 各输入量彼此独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 132.2 \text{ ns}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 132.2 \text{ ns} = 264.4 \text{ ns}$$

C.4 输出 B (DC) 码相对于标准时间偏差校准结果不确定度评定

C.4.1 测量方法

测量方法参见 8.2.6，被校网络时间服务器正常锁定 GNSS 信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间，时间综合测试仪工作在 B (DC) 码测量模式，连续测量 10

次。

C.4.2 测量模型

测量模型按公式 (C.8) 建立。

$$\Delta T_{B(DC)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{B(DC),i} \quad (C.8)$$

式中：

$\Delta T_{B(DC)}$ ——输出 B (DC) 码相对于标准时间偏差, μs ;

$\Delta T_{B(DC),i}$ ——B (DC) 码测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值, μs 。

C.4.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考时标时间偏差引入的不确定度；
- b) 时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度；
- c) 时间综合测试仪 B (DC) 码测量误差引入的不确定度；
- d) 测量重复性引入的不确定度。

C.4.4 标准不确定度评定

C.4.4.1 参考时标时间偏差引入的标准不确定度 u_1

参考时标不准确引入的误差为 10 ns, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则：

$$u_1 = \frac{10\text{ns}}{\sqrt{3}} = 5.77\text{ ns}$$

C.4.4.2 时间综合测试仪时间偏差引入的标准不确定度 u_2

时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度按 B 类方法评定, 与标准时间的最大时间偏差为 $\pm 30\text{ ns}$, 区间半宽度 $a = 30\text{ ns}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{30\text{ ns}}{\sqrt{3}} = 17.32\text{ ns}$$

C.4.4.3 时间综合测试仪 B (DC) 码测量误差引入的标准不确定度 u_3

根据说明书给出的技术指标, 时间综合测试仪 B (DC) 码测量误差为 $\pm 25\text{ ns}$, 引入的不确定度按 B 类方法评定, 区间半宽度 $a = 25\text{ ns}$, 视其为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{25 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 14.43 \text{ ns}$$

C.4.4.4 测量重复性引入的标准不确定度 u_5

对被校网络时间服务器连续测量 24 h，用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(x) = 2.6 \text{ ns}$$

故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_4 = \frac{s(x)}{\sqrt{N}} = \frac{2.6 \text{ ns}}{\sqrt{86400}} = 8.84 \text{ ps}$$

C.4.5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.5。

表 C.5 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考时标时间偏差	u_1	5.77 ns
时间综合测试仪时间偏差	u_2	17.32 ns
时间综合测试仪 B (DC) 码测量误差	u_3	14.43 ns
测量重复性	u_4	8.84 ps

表 C.5 各输入量彼此独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 23.4 \text{ ns}$$

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 23.4 \text{ ns} = 46.8 \text{ ns}$$

C.5 输出 B (AC) 码相对于标准时间偏差校准结果不确定度评定

C.5.1 测量方法

测量方法参见 8.2.6，被校网络时间服务器正常锁定 GNSS 信号并达到仪器说明书规定的驯服和预热时间，时间综合测试仪工作在 B (AC) 码测量模式，连续测量 10 次。

C.5.2 测量模型

测量模型按公式 (C.9) 建立。

$$\Delta T_{B(AC)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{B(AC),i} \quad (\text{C.9})$$

式中：

$\Delta T_{B(AC)}$ ——输出 B (AC) 码相对于标准时间偏差， μs ；

$\Delta T_{B(AC),i}$ ——B (AC) 码测量模式下第 i 秒测得的时间偏差测量值， μs 。

C.5.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考时标时间偏差引入的不确定度；
- b) 时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度；
- c) 时间综合测试仪 B (AC) 码测量误差引入的不确定度；
- d) 测量重复性引入的不确定度。

C.5.4 标准不确定度评定

C.5.4.1 参考时标时间偏差引入的标准不确定度 u_1

参考时标不准确引入的误差为 10 ns，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{10 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ ns}$$

C.5.4.2 时间综合测试仪时间偏差引入的标准不确定度 u_2

时间综合测试仪时间偏差引入的不确定度按 B 类方法评定，与标准时间的最大时间偏差为 $\pm 30 \text{ ns}$ ，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{30 \text{ ns}}{\sqrt{3}} = 17.32 \text{ ns}$$

C.5.4.3 时间综合测试仪 B (AC) 码测量误差引入的标准不确定度 u_3

时间综合测试仪 B (DC) 码测量误差为 $\pm 1 \mu\text{s}$ ，引入的不确定度按 B 类方法评定，区间半宽度 $a = 1 \mu\text{s}$ ，视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{1 \mu\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.58 \mu\text{s}$$

C.5.4.4 测量重复性引入的标准不确定度 u_5

对被校网络时间服务器连续测量 24 h，用贝塞尔法计算实验标准偏差为：

$$s(x) = 205.1 \text{ ns}$$

故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_4 = \frac{s(x)}{\sqrt{N}} = \frac{205.1 \text{ ns}}{\sqrt{86400}} = 0.70 \text{ ns}$$

C.5.5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.6。

表 C.6 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考时标时间偏差	u_1	5.77 ns
时间综合测试仪时间偏差	u_2	17.32 ns
时间综合测试仪 B (AC) 码测量误差	u_3	0.58 μs
测量重复性	u_4	0.70 ns

表 C.6 各输入量彼此独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.6 \mu\text{s}$$

C.5.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.6 \mu\text{s} = 1.2 \mu\text{s}$$

注：以上不确定度评定示例中，当测量环境符合环境校准要求时，环境影响引入的不确定度分量可以忽略不计，不再单独列出。

JJF xxx-xxxx