



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) 00XX—2024

长波定时接收机校准规范

Calibration Specification for Long Wave Timing Receivers

(报批稿)

2024-12-22发布

2025-04-01实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

长波定时接收机 校准规范

Calibration Specification for
Long Wave Timing Receivers

JJF（电子）00XX—2024

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中电科瑞测（西安）科技服务有限公司

参加起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

王震宇（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

程翊昕（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）

参加起草人：

陆 强（中国电子科技集团公司第二十研究所）

张 伟（中国电子科技集团公司第二十研究所）

朱航飞（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

李佳蔚（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	3
6 校准条件	4
7 校准项目和校准方法	5
8 校准结果表达	10
9 复校时间间隔	11
附录 A.....	12
附录 B.....	15
附录 C.....	18

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》编写。

本规范为首次发布。

长波定时接收机校准规范

1 范围

本校准规范适用于长波定时接收机的校准，其他符合数字罗兰C授时信号特征的长波定时接收机校准可参照执行。

2 引用文件

GB 14379 罗兰C系统通用技术条件

GJB 9210-2017 长波定时接收机通用规范

GJB 12752-1991 船用罗兰C接收设备通用技术条件

GJB 8917-2017 长波授时技术要求

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 海里 nautical mile

是一种国际度量单位， $1\text{ n mile} \approx 1852\text{m}$ 。它等于地区椭圆子午线上纬度1分（一度等于六十分，一圆周为360度）所对应的弧长。

3.2 长波脉冲组 group long wave pulse

长波地面台发射的形状相同的一串脉冲，主台九个为一组，副台八个为一组。

3.3 组触发脉冲 group trigger pulse; GTP

长波接收机正确锁定时输出的接收信号基准，时间对应接收信号脉冲组第一个脉冲第三周正向过零点。

3.4 锁定时间 locking time

长波定时接收机从开机到锁定指定授时台信号所经过的时间。

3.5 首次授时信息输出时间 time of first time synchronization information output

长波定时接收机从锁定信号后到第一个授时信息输出的时间。

3.6 定位误差 position offset

长波接收机输出的位置与标准位置之差，单位为微秒/ μs 。

3.7 定时偏差 timing offset

长波接收机锁定状态下输出秒脉冲信号与标准时间秒脉冲时间之差，单位为海里/n mile。

4 概述

长波导航授时系统是工作在规定的100kHz频率上的远程无线电导航系统，由一个主台和两个（或多个）副台组成，每个台站都定时发射长波导航信号，用接收设备测量发射信号到达接收点的时差确定双曲位置线，由双曲位置线的交点确定位置坐标。

长波定时接收机是长波导航授时系统的终端设备，长波定时接收机一般由天线单元、接收主机单元两部件组成。天线单元将卫星信号电磁波转化为电流，并进行滤波和放大处理；接收主机单元对天线单元输出的信号进行跟踪、处理和测量。该设备具有抗干扰能力强、信号质量稳定等优势，可在一定程度上补充卫导接收机信号容易受干扰、不可靠的问题，与卫导接收机组合可使授时时间和定位位置更加精确可靠。其组成原理如图1所示。

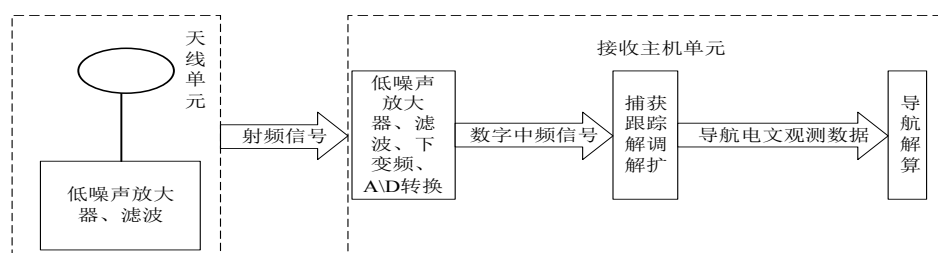


图1 长波定时接收机工作原理图

5 计量特性

5.1 锁定时间

典型锁定时间不大于180s;

最大锁定时间不大于600s。

5.2 首次授时信息输出时间

信号锁定后, 首次授时信息输出时间不大于300s。

5.3 1PPS定时误差

长波定时接收机输出1PPS信号与基准触发信号的偏差不大于1.2 μ s。

5.4 GTP定时误差

长波定时接收机输出GTP信号与基准触发信号的偏差不大于300ns。

5.5 定位误差

定位误差: 0.25 n mile~1.25n mile, 稳定度 \leq 100m。

5.6 1PPS脉冲信号

脉冲宽度: 2 μ s~20000 μ s;

上升沿时间不大于20ns。

5.7 GTP脉冲信号

脉冲宽度: 2 μ s~20000 μ s;

上升沿时间不大于20ns。

5.8 内部时基相对频率偏差和稳定度

相对频率偏差优于 1×10^{-7} ;

频率稳定度优于 1×10^{-8} 。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，温度波动度 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 。

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 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 长波信号模拟器

长波信号频率： 100kHz ；最大允许误差： $\pm 10\text{kHz}$ ；

幅度可调范围： $20\text{dB}\mu\text{V}\sim 114\text{dB}\mu\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm 2\text{dB}$ ；

组重复间隔（GRI）可调范围： $40000\mu\text{s}\sim 99900\mu\text{s}$ ，最大允许误差： $\pm 10\mu\text{s}$ ；

副台延迟可调范围： $0\mu\text{s}\sim 3000\mu\text{s}$ ，最大允许误差： $\pm 10\mu\text{s}$ 。

6.2.2 计时装置

测量不确定度优于 0.2s （ $k=2$ ）。

6.2.3 时间间隔计数器

测量范围应为 $1\text{ns}\sim 1000\text{s}$ ，测量不确定度优于 2ns （ $k=2$ ）。

6.2.4 频标比对器

测量范围应为 $1\text{MHz}\sim 20\text{MHz}$ ，比对分辨率优于 $1 \times 10^{-12} / \text{s}$

6.2.5 参考时间频率源

$5\text{MHz}/10\text{MHz}$ 相对频率偏差优于 5×10^{-10} ，频率稳定度优于 5×10^{-11} ；

1PPS信号不确定度优于 50ns 。

6.2.6 数字示波器

频带宽度： $\text{DC}\sim 100\text{MHz}$ ；

采样率： 1GS/s ；

存储深度： 10Mbit 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

长波定时接收机校准项目见表1。

表1 长波定时接收机校准项目一览表

编号	项目名称	校准方法的条款号
1	外观及工作正常性检查	7.2.1
2	锁定时间	7.2.2
3	首次授时信息输出时间	7.2.3
4	1PPS定时误差	7.2.4
5	GTP定时误差	7.2.5
6	定位误差	7.2.6
7	内部时基相对频率偏差和稳定度	7.2.7
8	1PPS脉冲信号	7.2.8
9	GTP脉冲信号	7.2.9

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

1) 检查长波定时接收机应有明晰的型号、生产编号、制造厂商，送校时应附有使用说明书及全部配套附件。

2) 检查长波定时接收机结构应完整并无影响正常工作及读数的机械或物理损伤。

7.2.2 锁定时间

仪器连接如图2所示。

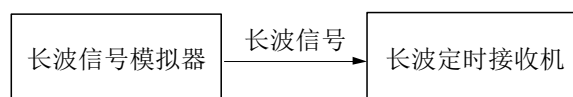


图2 锁定时间校准连接图

1) 打开长波信号模拟器（简称模拟器）和长波定时接收机（以下简称接收机），在

模拟器中选择授时场景设置任一台链信息，信号大小设置为114 dB μ V或按照厂家接口电平指标，模拟器开始仿真输出；

2) 使用计时装置记录长波定时接收机开机时刻至接收机信号锁定灯亮起时刻，两时刻的间隔 x_j ，作为典型锁定时间；

3) 重复测试n次，当n>9时剔除10%最大的数据，在剩余90%的数据里取最大值作为最大锁定时间 x_j ；当n≤9时取所有数中最大值作为最大锁定时间 x_j 记录测量结果。

7.2.3 首次授时信息输出时间

1) 按照图2连接仪器，打开模拟器选择授时场景，按照7.2.2（1）进行设置，模拟器开始仿真输出；

2) 使用计时装置记录从接收机信号锁定灯亮起时刻至接收机输出第一个有效授时信息的时刻间隔 x_j ，作为首次授时信息输出时间。

7.2.4 1PPS定时误差

1) 按照图3连接仪器，长波信号模拟器设置任一台链信息输出长波信号给接收机，模拟器输出1PPS信号输出给时间间隔计数器作为开门信号；

2) 待接收机锁定信号并有授时信息显示后将1PPS脉冲信号作为时间间隔计数器的关门信号，用计数器测量两个1PPS信号的时间间隔。稳定3min后，通过读取100组数。

3) 按照公式（1）和公式（2）计算 δ_{CTP} 作为1PPS定时误差。

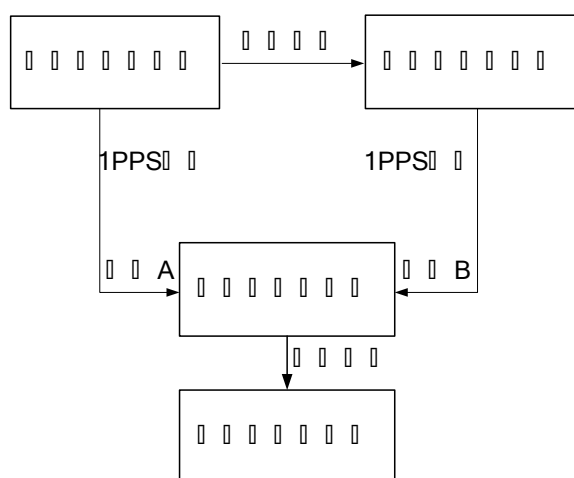


图3 1PPS定时误差校准连接图

$$\varepsilon_{1PPS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}} \quad (1)$$

$$\delta_{1PPS} = \sqrt{\bar{t}^{-2} + \varepsilon_{1PPS}^2} \quad (2)$$

式中 δ_{1PPS} ——1PPS定时误差，单位 μs ；

\bar{t} —— t_i ($i=1\sim 100$)的均值，单位 μs ；

ε_{1PPS} —— 1PPS均方差，单位 μs ；

t_i ——测量数据，单位 μs 。

7.2.5 GTP定时误差

1) 按照图4连接仪器，长波信号模拟器设置任一链信息并预设A值，输出长波信号给接收机，模拟器输出GTP信号输出给时间间隔计数器作为开门信号；

2) 待接收机锁定信号并有授时信息显示后将GTP脉冲信号作为时间间隔计数器的关门信号，用计数器测量两个GTP信号的时间间隔。

3) 稳定3min后，通过上位机读取时间间隔计数器100组时间间隔数据记作 t_i 。

4) 按照公式 (3) 计算 ε_{GTP} 作为GTP均方差，按照公式 (4) 计算 δ_{GTP} 作为GTP定时误差。

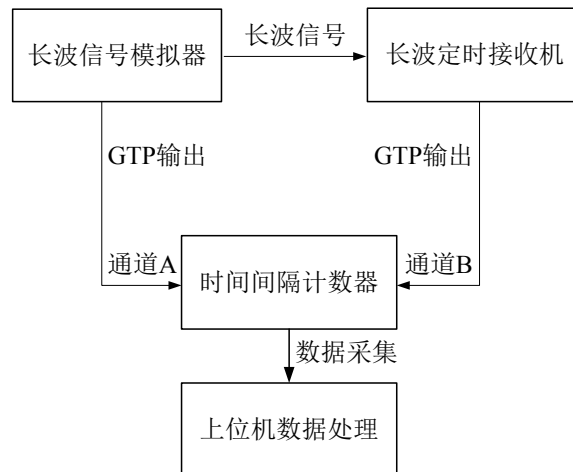


图4 GTP定时误差校准连接图

$$\varepsilon_{GTP} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}} \quad (3)$$

$$\delta_{GTP} = \sqrt{(\bar{t} - A)^2 + \varepsilon_{GTP}^2} \quad (4)$$

式中 δ_{GTP} ——GTP定时误差, 单位ns;

\bar{t} —— t_i ($i=1 \sim 100$)的均值, 单位ns;

A ——模拟器GTP信号与对应罗兰C信号脉冲组第一个脉冲第三周正向过零点之间的时间间隔, 单位ns;

ε_{GTP} —— GTP均方差, 单位ns;

t_i ——测量数据, 单位ns。

7.2.6 定位误差

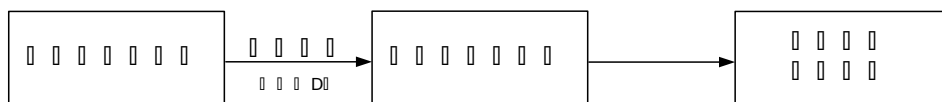


图5 定位误差校准连接图

- 1) 按照图5连接仪器, 将长波信号模拟器设置任一可定位的台链并预设标准位置点 $D(\lambda_{base}, \phi_{base})$, 将长波信号连接至接收机信号输入端口, 各仪器设备开机预热;
- 2) 通过采集模拟器的长波信号待接收机锁定后显示时间与位置信息;
- 3) 打开数据接收电脑, 通过串口线记录接收机每一时刻输出的经纬度 $C(\lambda_i, \phi_i)$, 连续记录不低于1 h后, 读取100组数据;
- 4) 按照公式 (5) 计算 $\bar{\delta}$ 作为接收机平均定位误差, 按照公式 (6) 计算 δ_p 作为接收机定位误差。

$$\bar{\delta} = 1852 \times \sqrt{(\bar{\phi} - \phi_{base})^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_{base})^2 \times \cos^2(\frac{\phi_{base} \times \pi}{180})} \quad (5)$$

$$\delta_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta\phi_i^2 + \Delta\lambda_i^2}{n-1}} \times 1852 \quad (6)$$

式中： $\bar{\delta}$ ——接收机平均定位误差，单位为m；

$\bar{\lambda}$ ——接收机输出经度平均值，单位为°；

$\bar{\phi}$ ——接收机输出纬度平均值，单位为°；

δ_p ——长波接收机的定位误差标准差，单位为 m；

$\Delta\lambda_i$ ——接收机输出经度与标准位置点经度之差，单位为°；

$\Delta\phi_i$ ——接收机输出纬度与标准位置点纬度之差，单位为°。

7.2.7 内部时基相对频率偏差和稳定度

将长波定时接收机、参考时间频率源和频标比对器如图6连接仪器，以参考时间频率源作为参考，使用频标比对器测量接收机内部时基输出10MHz的相对频率偏差和频率稳定度。

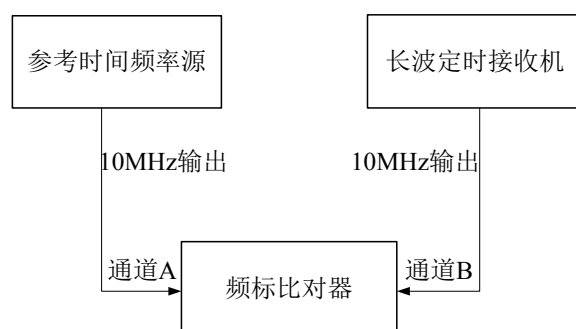


图6 内部时基相对频率偏差和稳定度校准连接图

- 1) 相对频率偏差取样时间 $\tau = 100s$ ，测量相对频率偏差，取3次测量结果平均值的绝对值作为相对频率偏差。
- 2) 频率稳定度取样时间 τ 和取样组数 m 见表3。

表3 取样时间和取样组数

τ / s	m
1	≥ 100

10	≥ 50
100	≥ 30

7.2.8 1PPS脉冲信号



图7 1PPS脉冲信号

- 1) 按图7连接仪器，长波定时接收机开机后输出1PPS脉冲接入数字示波器；
- 2) 数字示波器设置为50 Ω 输入阻抗，测量1PPS的上升时间和脉冲宽度；
- 3) 取3次测量结果平均值的绝对值记录在附录A表A.8中。

7.2.9 GTP脉冲信号



图8 GTP脉冲信号

- 1) 按图8连接仪器，长波定时接收机开机后输出GTP脉冲接入数字示波器；
- 2) 数字示波器设置为50 Ω 输入阻抗，测量GTP脉冲信号的上升时间和脉冲宽度；
- 3) 取3次测量结果平均值的绝对值记录在附录A表A.9中。

8 校准结果表达

校准完成后的测试仪应出具校准证书。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

长波定时接收机的复校时间间隔一般不超过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, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A

校准原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 锁定时间

表A.2 锁定时间

测试项目		测量值
典型锁定时间 X_i/s		
最大锁定时间重复 测试次数	1	
	2	
	3	
	· · ·	· · ·
最大锁定时间 X_j/s		

A.3 首次授时信息输出的时间

表A.3 首次授时信息输出时间

测试项目	测量值
信号锁定灯亮起时刻	
输出第一个有效授时信息时刻	

测试项目	测量值
信号锁定灯亮起时刻	
首次授时信息输出时间 X_j/s	

A.4 1PPS定时误差

表A.4 1PPS定时误差

测试项目	测量值
1PPS均方差 $\varepsilon_{1PPS}/\mu s$	
1PPS定时误差 $\delta_{1PPS}/\mu s$	

A.5 GTP定时误差

表A.5 GTP定时误差

测试项目	测量值
GTP均方差 $\varepsilon_{GTP}/\mu s$	
GTP定时误差 $\delta_{GTP}/\mu s$	

A.6 定位误差

表A.6 定位误差

测试项目	测量值
接收机输出经度平均值 $\bar{\lambda}/^\circ$	
接收机输出纬度平均值 $\bar{\phi}/^\circ$	
接收机输出经度与标准位置点 经度之差 $\Delta\lambda_i/^\circ$	

测试项目	测量值
接收机输出纬度与标准位置点 纬度之差 $\Delta\phi_i / ^\circ$	

A.7 内部时基相对频率偏差和稳定度

表A.7 内部时基相对频率偏差和稳定度

测试项目	取样时间 τ / s	测量值
接收机内部时基准确度	100	
接收机内部时基稳定度	1	
	10	
	100	

A.8 1PPS脉冲信号

表A.8 1PPS脉冲信号

测试项目	测量值
上升沿时间ns	
脉冲宽度 μs	

A.9 GTP脉冲信号

表A.8 GTP脉冲信号

测试项目	测量值
上升沿时间ns	
脉冲宽度 μs	

附录B

校准证书内页格式

第 页 共 页

委托单位：		校准证书编号：	
委托单位地址：		校准依据：	
仪器名称：	型号规格：	出厂编号：	
制造单位：		仪器状况：	
校准地点：		环境温度：	相对湿度：

B.1 外观及工作正常性检查

表B.1 外观及工作正常性检查

测试项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 锁定时间

表B.2 锁定时间

测试项目	实测值
典型锁定时间 X_i/s	
最大锁定时间 X_j/s	

B.3 首次授时信息输出的时间

表B.3 首次授时信息输出时间

测试项目	实测值
首次授时信息输出时间 X_j/s	

B.4 1PPS定时误差

表B.4 1PPS定时误差

测试项目	1PPS均方差 $\varepsilon_{1PPS} / \mu\text{s}$	1PPS定时误差 $\delta_{1PPS} / \mu\text{s}$
实测值		
不确定度		

B.5 GTP定时误差

表B.5 GTP定时误差

测试项目	GTP均方差 $\varepsilon_{GTP} / \mu\text{s}$	GTP定时误差 $\delta_{GTP} / \mu\text{s}$
实测值		
不确定度		

B.6 定位误差

表B.6 定位误差

测试项目	平均定位误差 $\bar{\delta} / \text{m}$	定位标准差 δ_p / m
实测值		
不确定度		

B.7 内部时基相对频率偏差和稳定度

表B.7 内部时基相对频率偏差和稳定度

测试项目	取样时间 τ / s	实测值	不确定度
接收机内部时基准确度	100		
接收机内部时基稳定度	1		
	10		

测试项目	取样时间 τ / s	实测值	不确定度
	100		

B.8 1PPS脉冲信号

表B.8 1PPS脉冲信号

测试项目	实测值
上升沿时间	
脉冲宽度	

B.9 GTP脉冲信号

表B.8 GTP脉冲信号

测试项目	实测值
上升沿时间	
脉冲宽度	

附录C

测量结果不确定度评定示例

C.1 1PPS定时误差的不确定度评定

C.1.1 测量方法

1PPS定时误差使用卫导接收机输出1PPS与长波定时接收机输出1PPS通过时间间隔计数器进行测量。

C.1.2 数学模型

$$\varepsilon_{1PPS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}} \quad (\text{B.1})$$

$$\delta_{1PPS} = \sqrt{\bar{t}^{-2} + \varepsilon_{1PPS}^2} \quad (\text{B.2})$$

式中： δ_{1PPS} ——1PPS定时误差；

\bar{t} —— t_i ($i=1 \sim 100$)的均值；

ε_{1PPS} ——1PPS均方根误差；

t_i ——测量数据。

引入灵敏度系数的不确定度分量：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u(\bar{t})^2 \bar{t}^{-2} \left(\bar{t}^{-2} + \frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100} \right)^{-1} + u(t_i)^2 \left(\frac{x_k}{50} \right)^2}$$

C1.3 计算各分量的标准不确定度

C1.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按A类评定，对1PPS定时误差重复测量10次，用测量值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{B.3})$$

其中, $n=10$;

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值;

\bar{x} —被测量 n 次的算术平均值

连续测量10次, 得到如下数据, 见表C.1。

表C.1 1PPS定时误差

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/ μs	0.92	0.94	0.72	0.88	1.06	1.09	0.61	0.85	0.73	1.05

$$\bar{x}=0.885\mu\text{s}$$

$$u_A = 0.165\mu\text{s}$$

C1.3.2 不确定度分量 u_{B1}

长波模拟器输出1PPS信号引入的误差为100ns, 服从均匀分布, 则

$$u_{B1} = \frac{100\text{ns}}{\sqrt{3}} = 0.0577\mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C1.3.3 计数器时间间隔测量引入的不确定度分量 u_{B2}

计数器测量不确定度0.2ns, 服从均匀分布, 则

$$u_{B2} = \frac{0.2\text{ns}}{\sqrt{3}} = 0.00012\mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C1.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关, 分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + (u_{B1} + u_{B2})^2 \bar{t}^2 \left(\bar{t}^2 + \frac{\bar{t}^2 \sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100} \right)^{-1} + (u_{B1} + u_{B2})^2 \left(\frac{x_k}{50} \right)^2} = 0.266\mu\text{s}$$

C1.5 测量结果的扩展不确定度 U , 取 $k=2$, 则:

$$U = ku_c = 0.53\mu\text{s}$$

C.2 GTP定时误差的不确定度评定

C.2.1 测量方法

GTP定时误差使用长波信号模拟器输出GTP与长波定时接收机输出GTP通过时间间隔计数器进行测量。

C.2.2 数学模型

$$\delta_{GTP} = \sqrt{(\bar{t} - A)^2 + \varepsilon_{GTP}^2} \quad (\text{B.4})$$

$$\varepsilon_{GTP} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}} \quad (\text{B.5})$$

式中

δ_{GTP} ——GTP定时误差；

\bar{t} —— t_i ($i=1 \sim 100$)的均值；

A——模拟器GTP信号与对应罗兰C信号脉冲组第一个脉冲第三周正向过零点之间的时间间隔；

ε_{GTP} ——GTP均方根误差；

t_i ——测量数据。

引入灵敏度系数的不确定度分量：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u(\bar{t})^2 \left(\frac{x_k - A}{100} \right)^2 \left(\frac{1}{(\bar{t} - A)^2 + \frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}} \right)^{-1} + u(t_i)^2 \left(\frac{\frac{x_k - A}{100}}{\sqrt{(\bar{t} - A)^2 + \frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}}} \right)^2}$$

C2.3 计算各分量的标准不确定度

C2.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按A类评定，对1PPS定时误差重复测量10次，用测量值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (C.6)$$

其中, $n=10$;

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值;

\bar{x} --被测量 n 次的算术平均值

连续测量10次, 得到如下数据, 见表C.2。

表C.2 GTP定时误差

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/ns	290	295	291	291	298	290	298	285	290	295

$$\bar{x}=292\text{ns}$$

$$u_A = 4.11\text{ns}$$

C2.3.2长波信号模拟器输出GTP信号与长波信号时间差引入的不确定度分量 u_{B1}

长波信号模拟器误差为100ns, 服从均匀分布, 则

$$u_{B1} = \frac{100\text{ns}}{\sqrt{3}} = 57.73\text{ns} \quad (k=\sqrt{3})$$

C2.3.3 计数器时间间隔测量引入的不确定度分量 u_{B2}

计数器测量不确定度0.2ns, 服从均匀分布, 则

$$u_{B2} = \frac{0.2\text{ns}}{\sqrt{3}} = 0.12\text{ns} \quad (k=\sqrt{3})$$

C2.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关, 分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + (u_{B1} + u_{B2})^2 \left(\frac{x_k - A}{100} \right)^2 \left(\bar{t} - A \right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}} + (u_{B1} + u_{B2})^2 \frac{\frac{x_k - A}{100}}{\sqrt{\left(\bar{t} - A \right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^{100} (t_i - \bar{t})^2}{100}}} = 58.93\text{ns}$$

C2.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k = 2$ ，则：

$$U = ku_c = 117.86\text{ns}$$

C.3 定位误差的不确定度评定

C.3.1 测量方法

定位误差使用标准坐标点与长波定时接收机接收到的长波信号再解算出坐标进行测量。

C.3.2 数学模型

$$\bar{\delta} = 1852 \times \sqrt{(\bar{\phi} - \phi_{base})^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_{base})^2 \times \cos^2(\frac{\phi_{base} \times \pi}{180})} \quad (\text{C.7})$$

$$\delta_P = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta\phi_i^2 + \Delta\lambda_i^2}{n-1}} \times 1852 \quad (\text{C.8})$$

式中：

$\bar{\delta}$ ——接收机平均定位误差，单位为 m；

$\bar{\lambda}$ ——接收机输出经度平均值，单位为°；

$\bar{\phi}$ ——接收机输出纬度平均值，单位为°；

δ_P ——长波接收机的定位误差所求标准差，单位为 m；

$\Delta\lambda_i$ ——接收机输出经度与标准位置点纬度之差，单位为°；

$\Delta\phi_i$ ——接收机输出纬度与标准位置点纬度之差，单位为°

引入灵敏度系数的不确定度分量：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + (u(\phi)^2 926^2 \left[(\bar{\phi} - \phi_{base})^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_{base})^2 \cos^2(\frac{\phi_{base}\pi}{180}) \right]^{\frac{3}{2}} \left[2(\bar{\phi} - \phi_{base}) \cos^2(\frac{\phi_{base}\pi}{180}) \right]^2 + ((u(\lambda)^2 926^2 \left[(\bar{\phi} - \phi_{base})^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_{base})^2 \cos^2(\frac{\phi_{base}\pi}{180}) \right]^{\frac{3}{2}} \left[2(\bar{\lambda} - \lambda_{base}) \cos^2(\frac{\phi_{base}\pi}{180}) \right]^2 \right)^2}$$

C3.3 计算各分量的标准不确定度

C3.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按A类评定，对1PPS定时误差重复测量10次，用测量值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (C.9)$$

其中， $n=10$;

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} —被测量 n 次的算术平均值

连续测量10次，得到如下数据，见表C.3。

表C.3 定位误差

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/m	810	793	811	810	820	795	860	870	790	825

$$\bar{x}=818.4\text{m}$$

$$u_A = 27.15\text{m}$$

C3.3.2 不确定度分量 $u(\phi)$

长波信号模拟器输出坐标经度引入的误差为0.5m，服从均匀分布，则

$$u(\phi) = \frac{0.5\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.289\text{m} \quad (k=\sqrt{3})$$

C3.3.3 不确定度分量 $u(\lambda)$

长波信号模拟器输出坐标纬度引入的误差为0.5m，服从均匀分布，则

$$u(\lambda) = \frac{0.5\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.289\text{m} \quad (k=\sqrt{3})$$

C3.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + (u(\phi))^2 926^2 \left[(\bar{\phi} - \phi_{Base})^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_{Base})^2 \cos^2\left(\frac{\phi_{Base}\pi}{180}\right) \right]^2 + \left[2(\bar{\phi} - \phi_{Base}) \cos^2\left(\frac{\phi_{Base}\pi}{180}\right) \right]^2 + ((u(\lambda))^2 926^2 \left[(\bar{\phi} - \phi_{Base})^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_{Base})^2 \cos^2\left(\frac{\phi_{Base}\pi}{180}\right) \right]^2 + \left[2(\bar{\lambda} - \phi_{Base}) \cos^2\left(\frac{\phi_{Base}\pi}{180}\right) \right]^2}$$

代入数值进入计算得 $u_c=28.36\text{m}$

C3.5测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k = 2$ ，则：

$$U = ku_c = 56.7\text{m}$$

C.4 内部时基相对频率偏差的不确定度评定

C.4.1 测量方法

将长波定时接收机、参考时间频率源和频标比对器如图6连接仪器，使用频标比对器测量接收机与参考时间频率源内部时基相对频率偏差。

C.4.2 数学模型

$$y_{AB}(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = y_A(\tau) - y_B(\tau) \quad (\text{C.10})$$

式中： τ ——测量时的平均测量时间；

f_A ——接收机的内部时基频率；

f_B ——参考时间频率源的内部时基频率；

$y_A(\tau)$ 、 $y_B(\tau)$ ——分别为两者的频率偏差

C.4.3 计算各分量的标准不确定度

C.4.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按A类评定，对1PPS定时误差重复测量10次，用测量值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.11})$$

其中， $n = 10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} —被测量 n 次的算术平均值

连续测量10次，得到如下数据，见表C.4。

表C.4 内部时基频率准确度

次数	1	2	3	4	5
测量值/ μs	8.1×10^{-8}	5.4×10^{-7}	5.0×10^{-7}	2.7×10^{-7}	1.4×10^{-7}
次数	6	7	8	9	10
测量值/ μs	7.3×10^{-7}	5.7×10^{-7}	7.6×10^{-8}	7.3×10^{-7}	5.4×10^{-7}

$$\bar{x} = 4.18 \times 10^{-8}$$

$$u_A = 2.54 \times 10^{-8}$$

C4.3.2 不确定度分量 u_{B1}

参考时间频率源输出10MHz信号引入的误差为 5×10^{-10} ，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{5 \times 10^{-10}}{\sqrt{3}} = 2.88 \times 10^{-10} \quad (k=\sqrt{3})$$

C4.3.3 频标比对器测量引入的不确定度分量 u_{B2}

频标比对器测量不确定度 $1 \times 10^{-12} / s$ ，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{1 \times 10^{-12}}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-13} \quad (k=\sqrt{3})$$

C4.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 2.63 \times 10^{-8}$$

C4.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k=2$ ，则：

$$U = ku_c = 5.3 \times 10^{-8}$$

C.5 内部时基频率稳定度的不确定度评定

C.5.1 测量方法

将长波定时接收机、参考时间频率源和频标比对器如图6连接仪器，以参考时间频率源作为参考，使用频标比对器测量接收机与内部时基的频率稳定度。

C.5.2 数学模型

$$y_{AB}(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = y_A(\tau) - y_B(\tau) \quad (\text{C.12})$$

式中： τ ——测量时的平均测量时间；

f_A ——接收机的内部时基频率；

f_B ——参考时间频率源的内部时基频率；

$y_A(\tau)$ 、 $y_B(\tau)$ ——分别为两者的频率稳定度

C5.3 计算各分量的标准不确定度

C5.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按A类评定，对1PPS定时误差重复测量10次，用测量值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.13})$$

其中， $n=10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} —被测量 n 次的算术平均值

连续测量10次，得到如下数据，见表C.1。

表C.5 内部时基稳定度

次数	1	2	3	4	5
测量值/ μs	6.7×10^{-9}	7.3×10^{-9}	4.5×10^{-9}	1.9×10^{-9}	1.8×10^{-9}
次数	6	7	8	9	10
测量值/ μs	6.7×10^{-9}	8.3×10^{-9}	2.3×10^{-9}	2.4×10^{-9}	8.6×10^{-9}

$$\bar{x} = 5.05 \times 10^{-9}$$

$$u_A = 2.77 \times 10^{-9}$$

C5.3.2 不确定度分量 u_{B1}

参考时间频率源输出10MHz信号引入的误差为 5×10^{-10} ，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{5 \times 10^{-10}}{\sqrt{3}} = 2.88 \times 10^{-10} \quad (k=\sqrt{3})$$

C5.3.3 频标比对器测量引入的不确定度分量 u_{B2}

频标比对器测量不确定度 $1 \times 10^{-12} / s$ ，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{1 \times 10^{-12}}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-13} \quad (k=\sqrt{3})$$

C5.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 2.78 \times 10^{-9}$$

C5.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k=2$ ，则：

$$U = ku_c = 5.56 \times 10^{-9}$$
