

# BD

## 中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 310020—2022

---

### 北斗卫星导航系统时间（BDT）监测与评估

Monitoring and assessment of BeiDou navigation satellite system time (BDT)



2022-12-30 发布

2023-01-30 实施

---

中国卫星导航系统管理办公室 批准



# 目 次

前言 .....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	2
4 评估参数.....	3
5 评估条件.....	4
5.1 人员.....	4
5.2 场地环境.....	5
5.3 仪器设备.....	5
6 评估方法.....	6
6.1 BDT 物理信号性能评估方法.....	6
6.2 BDT 播发性能评估方法.....	8
附录 A（资料性） 部分评估参数计算方法 .....	12



## 前 言

本文件由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本文件由全国北斗卫星导航标准化技术委员会（SAC/TC 544）归口。

本文件起草单位：国防科技大学、北京卫星导航中心。

本文件主要起草人：彭 竞、马 明、张 可、于美婷、王茂磊、杨 斌、王世超、臧文驰、刘增军、龚 航、任志玲、郭 宇、陈 曦、付 栋。



# 北斗卫星导航系统时间（BDT）监测与评估

## 1 范围

本文件规定了北斗卫星导航系统时间（BDT）监测与评估的评估参数、评估条件及评估方法等。

本文件适用于北斗卫星导航系统时间（BDT）的状态监测与性能评估工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GB/T 39398 全球连续监测评估系统（IGMAS）监测评估参数

GB/T 39399 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范

## 3 术语和定义、缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 39267和GB/T 39398界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**BDT 物理信号 BDT physical signal**

北斗地面运控系统主控站时频统一系统的时频设备输出的10米同轴线末端10MHz和1PPS信号。

#### 3.1.2

**频率稳定度 frequency stability**

描述频率信号因内部噪声调制产生的噪声大小或频率取样值的随机波动大小的特征量。频率稳定度可以用频域或时域两种表征方式。

#### 3.1.3

**阿仑标准偏差 Allan deviation**

频率稳定度在时域的数学表征，区别于统计学上的标准差。

#### 3.1.4

**频率偏差 frequency offset**

频率实际值与标称值之差，一般用相对值表示，如偏差  $y = \frac{f_x - f_0}{f_0}$ ， $f_0$  为标称值， $f_x$  为实际测得

值。由于  $f_0$  只是纸面值，实际选取一个频率偏差比欲测频率偏差小一个量级的参考频率近似作为标称频率。

### 3.1.5

#### 频率漂移 **frequency drift**

由于老化及环境变化或其他外部因素引起的频率随时间的系统性变化。单位时间（一般为日、月等）内的相对频率变化率称为漂移率。

### 3.1.6

#### 时间偏差 **time offset**

一个时标（或时钟）相对一参考时标（或参考钟）的时刻差。

### 3.1.7

#### 时间标准偏差 **time deviation**

表征时间稳定度的参数。

### 3.1.8

#### 协调世界时偏差误差 **UTC offset error**

表征导航卫星广播的协调世界时（UTC）偏差值不确定度的参数。一般取统计误差序列的95%分位值。

### 3.1.9

#### BDT 与其他 GNSS 系统时偏差误差 **BDT/GNSS time offset error**

表征导航卫星播发的BDT与GPS、GLONASS、Galileo系统时之间的偏差值不确定度的参数。一般取统计误差序列的95%分位值。

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

**BDS:** 北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System）

**BDT:** 北斗时（BDS Time）

**BGTOE:** BDT与其他GNSS系统时偏差误差（BDT/GNSS Time Offset Error）

**GALILEO:** 伽利略卫星导航系统（Galileo Navigation Satellite System）

**GLONASS:** 格洛纳斯卫星导航系统（Global Navigation Satellite System）

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

GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)

ICD: 接口控制文件 (Interface Control Document)

TWSTFT: 卫星双向时间频率传递 (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer)

UTC: 协调世界时 (Coordinated Universal Time)

UTC (k): 时间实验室k保持的协调世界时 (Coordinated Universal Time (k))

UTC OE: 协调世界时偏差误差 (UTC Offset Error)

1PPS: 秒脉冲 (1 Pulse Per Second)

#### 4 评估参数

BDT的评估参数见表1。

表1 BDT评估参数表

评估参数分类	评估内容			评估方法	说明
BDT 物理信号性能	1PPS 脉冲信号	前沿宽度	—	6.1.1.1	—
		前沿抖动	—	6.1.1.2	—
	与协调时 UTC (k) 的时间偏差 (模 1s)	时间偏差	—	6.1.2	取样时间 $\tau$
		时间标准偏差	960s		
			9600s		
			86400s		
	其他取样时间 (可选)				
	频率稳定度	阿仑标准偏差	1s	6.1.3.1	取样时间 $\tau$
			10s		
			100s		
1000s					
10000s					
86400s					
其他取样时间 (可选)					
BDT 物理信号性能	频率稳定度	相位噪声	1Hz	6.1.3.2	傅里叶频率 $f$
			10Hz		
			100Hz		
			1kHz		
			10kHz		
	其他傅里叶频率 (可选)				
频率偏差	—	—	6.1.4		

表1（续）

评估参数分类	评估内容			评估方法	说明	
BDT 物理信号性能	1PPS 脉冲信号	前沿宽度	—	6.1.1.1	—	
		前沿抖动	—	6.1.1.2	—	
	与协调时 UTC (k) 的时间偏差 (模 1s)	时间偏差	—	6.1.2	取样时间 $\tau$	
		时间标准偏差	960s			
			9600s			
			86400s			
	其他取样时间 (可选)					
	频率稳定度	阿仑标准偏差	1s	6.1.3.1	取样时间 $\tau$	
			10s			
			100s			
1000s						
10000s						
86400s						
其他取样时间 (可选)						
BDT 物理信号性能	频率稳定度	相位噪声	1Hz	6.1.3.2	傅里叶频率 $f$	
			10Hz			
			100Hz			
			1kHz			
			10kHz			
			其他傅里叶频率 (可选)			
	频率偏差	—	—	6.1.4		
BDT 播发性能	系统性能参数	与协调时 UTC (k) 的时间偏差 (模 1s)	时间偏差	—	6.2.1.1	—
		频率稳定度	阿仑标准偏差	86400s	6.2.1.2	取样时间 $\tau$
				其他取样时间 (可选)		
		频率偏差	—	—	6.2.1.3	—
	频率漂移	日漂移率	—	6.2.1.4	—	
	协调世界时播发精度	协调世界时偏差误差 (UTC OE)	—	6.2.2	—	
BDT 与其他 GNSS 系统时时差播发精度	BDT 与其他 GNSS 系统时偏差误差 (BGTOE)	—	6.2.3	—		

## 5 评估条件

### 5.1 人员

对评估人员的要求如下：

- a) 掌握时间频率基础知识，受过相应岗位培训；
- b) 掌握相关仪器设备的工作原理、性能特点，具备独立操作能力；

c) 能及时妥善处理评估过程中出现的各类问题。

## 5.2 场地环境

监测与评估的场地与环境应满足以下要求：

- 无强电磁干扰和机械振动，GNSS 测量型接收机天线周围遮挡小于 10°；
- 温度：在 (23±5) °C 内任选一点，温度变化不超过 ±2°C；
- 相对湿度：≤80%。

## 5.3 仪器设备

评估过程中使用的高精度时间比对设备等仪器设备应满足以下要求：

- 高精度时间比对设备（光纤双向时间比对设备、卫星共视比对设备、卫星双向时间比对设备等）应满足相关详细规范的要求；
- GNSS 测量型接收机应满足 GB/T 39399 的要求；
- 测试用仪器设备的测试频率、功率、量程等指标测量范围应覆盖被测指标，且测试设备的测量不确定度比被测指标的不确定度至少优于 3 倍；
- 仪器设备需符合国家规定的相关标准要求，通过国家法定计量部门的有效检定或校准，并在检定或校准的有效期内；
- 各仪器设备在测试前需进行规定时间的预热和自校。

本文件规定的部分评估仪器设备清单见表 2。

表 2 评估仪器设备清单

序号	仪器名称	性能指标要求	数量
1	频标比对器	输入信号：10MHz； 附加频率稳定度： 1s：≤4×10 <sup>-14</sup> 10s：≤1×10 <sup>-14</sup> 100s：≤2×10 <sup>-15</sup> ≥1000s：≤5×10 <sup>-16</sup>	1 台
2	相位噪声测量仪	本底噪声指标（10MHz）： ≤-135 dBc/Hz @1 Hz ≤-145 dBc/Hz @10 Hz ≤-160 dBc/Hz @100 Hz ≤-165 dBc/Hz @10 kHz	1 台
3	示波器	1) 采样率：≥10 GS/s； 2) 时间分辨率：≤80 ps	1 台
4	时间间隔计数器	时间间隔测量分辨率：≤25 ps； 时间间隔测量误差：≤100 ps	1 台
5	参考频标	频率稳定度： 1s：≤2×10 <sup>-13</sup> 10s：≤3.0×10 <sup>-14</sup> 100s：≤1.0×10 <sup>-14</sup> 1000s：≤5.0×10 <sup>-15</sup> 10000s：≤3.0×10 <sup>-15</sup> 86400s：≤2.0×10 <sup>-15</sup>	1 台
6	低相噪频标	相位噪声（10MHz）： ≤-120 dBc/Hz @1 Hz ≤-135 dBc/Hz @10 Hz ≤-150 dBc/Hz @100 Hz ≤-155 dBc/Hz @10 kHz	1 台

## 6 评估方法

### 6.1 BDT 物理信号性能评估方法

#### 6.1.1 1PPS 脉冲信号

##### 6.1.1.1 前沿宽度

评估步骤如下：

- a) 按图 1 所示连接设备；
- b) 将被测脉冲信号接入示波器，开启前沿宽度测量功能，设置信号前沿电平范围为 10%~90%，在示波器上读取被测 1PPS 信号前沿宽度的结果；
- c) 重复测试 3 组测试结束取均值作为数据结果，评估是否符合相关指标要求。

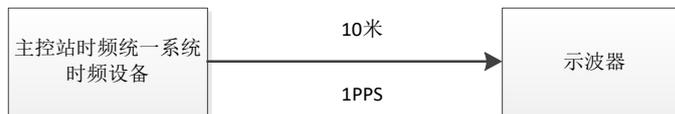


图 1 1PPS 脉冲信号前沿宽度评估设备连接示意图

##### 6.1.1.2 前沿抖动

评估步骤如下：

- a) 按图 2 所示连接设备；
- b) 参考频标提供参考 1PPS 作为开门信号，被测 BDT 物理信号 1PPS 作为关门信号，设置触发方式为上升沿触发，使用时间间隔计数器的抖动测量功能，直接开启抖动测量功能。
- c) 重复测试 10 组测试结果取均值作为数据结果，评估是否符合相关指标要求。

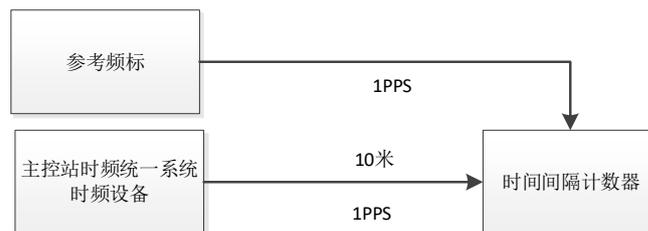


图 2 1PPS 脉冲信号前沿抖动评估设备连接示意图

#### 6.1.2 与协调时 UTC (k) 的时间偏差 (模 1s)

评估步骤如下：

- a) 按图 3 所示连接设备；
- b) 待设备运行稳定后，存储时间比对数据，数据记录时间为 15 天或根据实际需要选取；

- c) 通过事后高精度数据处理方法对比对数据进行处理，获取与协调时 UTC (k) 的时间偏差以及时间标准偏差；
- d) 将时间偏差与时间标准偏差作为数据结果，评估是否符合相关指标要求。

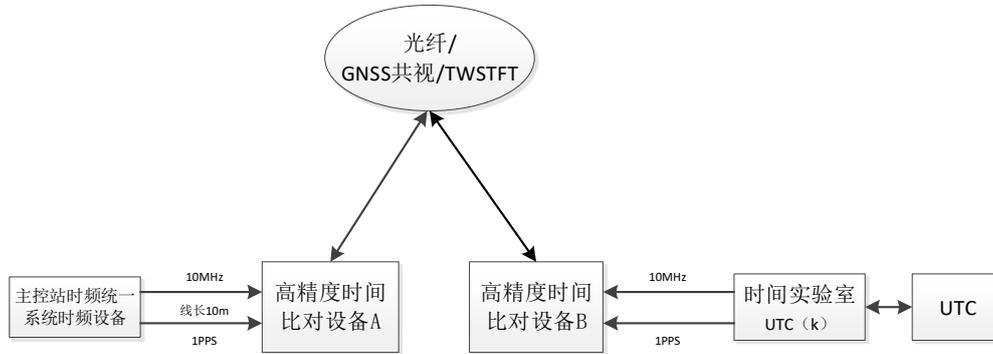


图 3 与 UTC (k) 的时间偏差评估设备连接图

### 6.1.3 频率稳定度

#### 6.1.3.1 阿仑标准偏差

评估步骤如下：

- a) 按图 4 所示连接设备；
- b) 由参考频标提供参考 10MHz 信号，被测 BDT 物理信号 10MHz 频率信号接入测量，频标比对器直接给出测量结果，取样时间  $\tau$  和取样组数 m 按照表 3 选取；
- c) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

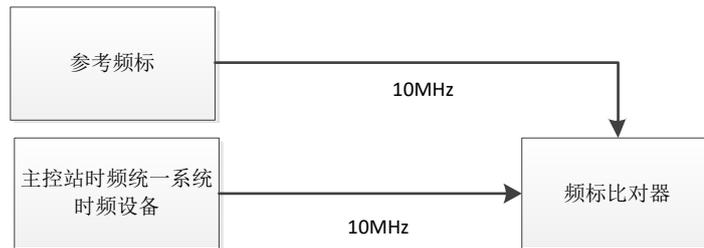


图 4 10MHz 信号阿仑标准偏差评估设备连接示意图

表 3 取样时间和取样组数

序号	取样时间 $\tau$	取样组数 $m$
1	1s	$\geq 100$
2	10s	$\geq 100$
3	100s	$\geq 50$
4	1000s	$\geq 15$
5	10000s	$\geq 15$
6	86400s	$\geq 15$
7	其他（可选）	$\geq 10$

### 6.1.3.2 相位噪声

评估步骤如下：

- 按图 5 所示连接设备；
- 由参考频标提供参考 10MHz 信号，被测 BDT 物理信号 10MHz 频率信号接入测量，读取相位噪声测量仪对应傅里叶频率的测量结果；
- 评估数据结果是否符合相关指标要求。

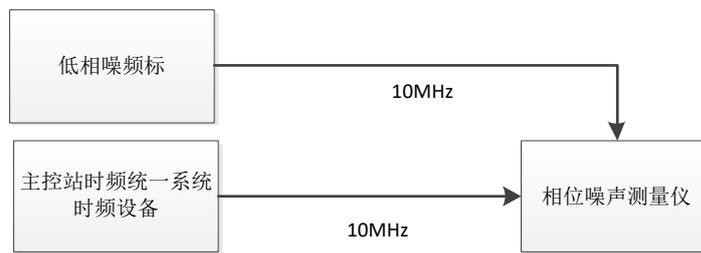


图 5 10MHz 信号相位噪声评估设备连接示意图

### 6.1.4 频率偏差

评估步骤如下：

- 按图 3 所示连接设备，且与 6.1.2 合并评估；
- 使用 6.1.2 获取的 BDT 与 UTC (k) 的时间偏差（模 1s）数据；
- 根据附录 A 公式 (A.3) 计算前三天的频率偏差，并将三天结果的均值作为评估数据结果；
- 评估数据结果是否符合相关指标要求。

## 6.2 BDT 播发性能评估方法

### 6.2.1 系统时性能参数

#### 6.2.1.1 与协调时 UTC (k) 的时间偏差（模 1s）

评估步骤如下：

- a) 按图 6 所示连接设备，以时间实验室的 UTC (k) 作为 GNSS 测量型接收机的外接时间参考；
- b) 待接收机运行稳定后，存储各导航系统伪距、载波相位等原始观测数据，数据记录时间为 15 天或根据实际需要选取；
- c) 通过事后高精度数据处理方法对观测数据进行处理，获取系统播发的 BDT 与 UTC (k) 的时间偏差（模 1s）；
- d) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

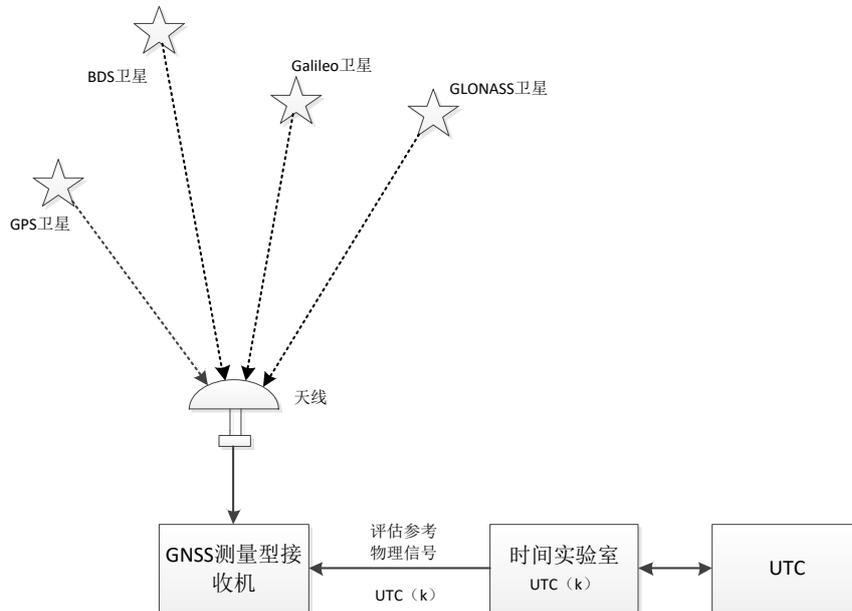


图 6 系统时性能评估设备连接图

#### 6.2.1.2 频率稳定度

评估步骤如下：

- a) 按图 6 所示连接设备，且与 6.2.1.1 合并评估；
- b) 使用 6.2.1.1 获取的 BDT 与 UTC (k) 的时间偏差（模 1s）数据；
- c) 根据附录 A 公式 (A.2) 计算相应取样时间的阿仑标准偏差；
- d) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

#### 6.2.1.3 频率偏差

评估步骤如下：

- a) 按图 6 所示连接设备，且与 6.2.1.1 合并评估；
- b) 使用 6.2.1.1 获取的 BDT 与 UTC (k) 的时间偏差（模 1s）数据；
- c) 根据附录 A 公式 (A.3) 计算前三天的频率偏差，并将三天结果的均值作为评估数据结果；

d) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

#### 6.2.1.4 频率漂移

评估步骤如下：

- a) 按图 6 所示连接设备，且与 6.2.1.1 合并评估；
- b) 使用 6.2.1.1 获取的 BDT 与 UTC (k) 的时间偏差 (模 1s) 数据；
- c) 根据附录 A 公式 (A.4) 计算频率日漂移率；
- d) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

#### 6.2.2 协调世界时播发精度

评估步骤如下：

- a) 单站评估按图 6 所示连接设备，以时间实验室的 UTC (k) 作为 GNSS 测量型接收机的外接时间参考；
- b) 待接收机运行稳定后，存储各导航系统伪距、载波相位等原始观测数据，数据记录时间为 7 天或根据实际需要选取；
- c) 从导航电文中获取相应参数，按照北斗卫星导航系统空间信号 ICD 规定方法计算获得协调世界时偏差；
- d) 采用事后高精度测量方法 (单站与多站测量有所不同) 获取对应时间段的协调世界时偏差；
- e) 将 c)、d) 的结果进行求差，得到协调世界时偏差误差，统计误差序列得 95% 分位值，将该值作为 UTCOE；
- f) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

#### 6.2.3 BDT 与其他 GNSS 系统时时差播发精度

评估步骤如下：

- a) 单站评估按图 6 所示连接设备，以时间实验室的 UTC (k) 作为 GNSS 测量型接收机的外接时间参考；
- b) 待接收机运行稳定后，存储各导航系统伪距、载波相位等原始观测数据，数据记录时间为 7 天或根据实际需要选取；
- c) 按照北斗卫星导航系统空间信号 ICD 规定方法计算获得 BDT 与其他 GNSS 系统时之间的偏差；
- d) 采用事后高精度测量方法 (单站与多站测量有所不同) 获取对应时间段的 BDT 与其他 GNSS 系统时之间的偏差；

- e) 将 c)、d)的结果进行求差，得到 BDT 与其他 GNSS 系统时偏差误差，统计误差序列得 95%分位值，将该值作为 BGTOE;
- f) 评估数据结果是否符合相关指标要求。

附录 A  
(资料性)  
部分评估参数计算方法

## A.1 阿伦标准偏差

阿伦标准偏差的估算公式按公式(A.1):

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(M-1)} \sum_{i=1}^{M-1} (y(\tau)_{i+1} - y(\tau)_i)^2} \dots\dots\dots(A.1)$$

式中:

- $\tau$  —— 取样时间;
- $y(\tau)$  ——  $\tau$  间隔内平均频率偏差;
- $M$  ——  $y(\tau)$  的个数, 称为取样个数。

$y(\tau)$  可以通过测量相位差 (以时间为单位) 得到。相应的阿伦标准偏差的计算公式(A.2):

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(N-2)\tau^2} \sum_{i=1}^{N-2} (x_{i+2} - 2x_{i+1} + x_i)^2} \dots\dots\dots(A.2)$$

式中:

- $x_i$  —— 测得的相位差;
- $\tau$  —— 相邻两次测量  $x_i$  的间隔;
- $N$  ——  $x_i$  的个数。

阿伦标准偏差的平方值称为阿伦方差。

## A.2 频率偏差

频率偏差的估算公式按公式(A.3):

$$y_{AB}(\tau) = \frac{1}{\tau} (x_M - x_1) \dots\dots\dots(A.3)$$

式中:

- $y_{AB}(\tau)$  —— 待测频率偏差值;
- $\tau$  —— 测试时间, 本文件中取  $\tau = 86400s$ ;
- $x_1$  —— 待测频率与参考频率开始时刻的相位差测量值;
- $x_M$  —— 结束时刻的相位差测量值。

## A.3 频率日漂移率

连续测量  $N$  天，可得  $N$  个  $y_{ABl}(\tau)$  值，利用最小二乘法计算频率日漂移率，估算公式按公式(A.4)：

$$y'_{AB} = \frac{\sum_{l=1}^N [y_{ABl}(\tau) - \bar{y}_{AB}(\tau)](l - \bar{l})}{\sum_{l=1}^N (l - \bar{l})^2} \dots\dots\dots(A.4)$$

$$\bar{y}_{AB}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N y_{ABl}(\tau) \dots\dots\dots(A.5)$$

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N l \dots\dots\dots(A.6)$$

式中：

$y'_{AB}$  ——待测频率日漂移率值；

$l$  ——1, 2, ..., (N-1), N, 单位为天，本文件中  $N$  取15；

$y_{ABl}(\tau)$  ——为连续测量  $N$  天中第  $l$  天的频率偏差值；本文件中  $\tau$  取1天。

## A.4 时间标准偏差

时间标准偏差的估算公式按公式(A.7)：

$$\sigma_x(\tau) = \tau / \sqrt{3} \text{Mod} \sigma_y(\tau) \dots\dots\dots(A.7)$$

$\text{Mod} \sigma_y(\tau)$  为修正阿仑标准偏差，计算公式见(A.8)：

$$\text{Mod} \sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2m^2(N_x - 3m + 1)\tau^2} \sum_{j=1}^{N_x - 3m + 1} \left[ \sum_{i=j}^{j+m-1} (x_{i+2m} - 2x_{i+m} + x_i) \right]^2} \dots\dots(A.8)$$

式中：

$N_x$  ——时差测量数量；

$x_i$  ——测得的时差；

$\tau$  ——取样时间。