



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1206—2008

---

## 频率标准与数字时钟的远程校准规范

Calibration Specification for the Remote Calibration for

Frequency Standard and Digital Clock

2008-04-23 发布

2008-07-23 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 频率标准与数字时钟的 远程校准规范

Calibration Specification for the Remote Calibration  
for Frequency Standard and Digital Clock

JJF 1206—2008

---

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2008 年 4 月 23 日批准，并自 2008 年 7 月 23 日起施行。

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

本规范由归口单位负责解释

**本规范主要起草人：**

高小珣（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

宁大愚（中国计量科学研究院）

王伟波（中国计量科学研究院）

西安同步电子科技有限公司

## 目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语及定义	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 频率标准	(2)
5.2 数字时钟	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(2)
7.1 校准方法	(2)
7.2 校准项目	(3)
7.2.1 频率标准的校准及数据处理	(3)
7.2.2 数字时钟的校准及数据处理	(7)
8 校准结果	(8)
9 复校时间间隔	(8)
附录 A 校准结果的不确定度评定	(9)
附录 B 数据交换格式	(12)
附录 C 校准证书(内页)格式	(13)

## 频率标准与数字时钟的远程校准规范

### 1 范围

本规范适用于：原子频标、石英晶体频标的频率偏差（频率准确度）及日漂移率和精密数字时钟的时间偏差及速率的远程校准。

### 2 引用文献

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

国际时间频率咨询委员会（CCTF）关于 GPS 定时接收机软件标准的技术指南（Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software, 1994）

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

### 3 术语及定义

#### 3.1 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，即偏差与标称值之比。

#### 3.2 频率准确度（frequency accuracy）

频率偏差的最大范围。表明频率实际值靠近标称值的程度，定量表示时不带正、负号。

#### 3.3 频率漂移（frequency drift）

频标的输出频率值随运行时间单方向的缓慢变化，一天内的变化量称为日漂移率，用相对值表示，单位为  $1/d$ 。

#### 3.4 时间偏差（time offset）

一台时钟的读数与基准时钟的读数之差。单位为 ns， $\mu\text{s}$  或 ms。

#### 3.5 时钟速率（clock rate）

时间偏差在一天内的变化量。单位为 ns/d， $\mu\text{s}/d$  或 ms/d。

#### 3.6 GPS（global positioning system）

美国国防部建立的全球卫星导航定位系统。

#### 3.7 GPS 共视法（GPS common-view）

相距较远的两地的时钟，同时测量与 GPS 某颗导航卫星的时间差，事后交换数据得出两地时钟的读数差；通过多次测量得出两台钟的相对速率（或相对频差）。

### 4 概述

频标和时钟的传统校准方法是在同一实验室内，被校准与参考源直接进行比对。此方法可得到较小的测量结果的不确定度，并能校准频标和时钟的所有计量特性。

某些应用领域，如陆地导航台、通讯站、电话局等所用的频标和时钟都是连续地运行，不能搬到有关部门进行直接校准；此外，有些大型的氢原子频标搬运较困难，对于

这些频标和时钟可进行远程校准。

校准方法是以导航卫星发播的时间信号作为媒介，被校准源与参考源同时测量各自与媒介的时间差，事后由参考源所在单位（称校准方）进行数据处理，给出被校准源计量特性的校准结果，并保证校准的溯源性。目前比较普遍可用的方法是 GPS 共视法。

## 5 计量特性

### 5.1 频率标准

5.1.1 频率准确度： $5 \times 10^{-10} \sim 5 \times 10^{-13}$

5.1.2 频率日漂移率： $\pm (1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-13}) / \text{d}$

### 5.2 数字时钟

5.2.1 时间偏差： $|\Delta T| \leq 1 \text{ms}$

5.2.2 速率： $\pm (50 \mu\text{s}/\text{d} \sim 50 \text{ns}/\text{d})$

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(20 \sim 25)^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度： $\leq 80\%$

6.1.2 电源电压： $220(1 \pm 10\%) \text{V}$ ，电源频率： $(50 \pm 2) \text{Hz}$

6.1.3 无影响接收机正常工作的电磁干扰、机械振动。

### 6.2 标准及其他设备

6.2.1 定时型 GPS 接收机。

6.2.1.1 接收机内装有 CCTF 推荐的相应软件。

6.2.1.2 天线坐标要准确，采用 WGS-84 坐标系，X、Y、Z 的误差均应不大于 10 cm，天线及传输电缆延迟的测量不确定度应不大于 1 ns。

6.2.2 参考频标

频率准确度及日漂移率优于被校准频标的一个量级。

6.2.3 参考时钟

时间偏差及时钟速率优于被校准时钟的一个量级。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准方法

仪器连接如图 1 所示。

被校准源和参考源都要输出秒脉冲和相应的频率给各自的 GPS 定时接收机。

两台接收机均配有相同的卫星自动跟踪和测量软件，每 16 min 作为一个跟踪和测量时间段。

接收机自动测量本地秒脉冲与 GPS 时间（以 GPST 表示）的秒脉冲的时差，每 16 min 给出一个测量结果，被校准方通过互联网把原始数据传给校准方。

如果双方使用的都是单通道接收机，即每 16 min 只有一个时差值：

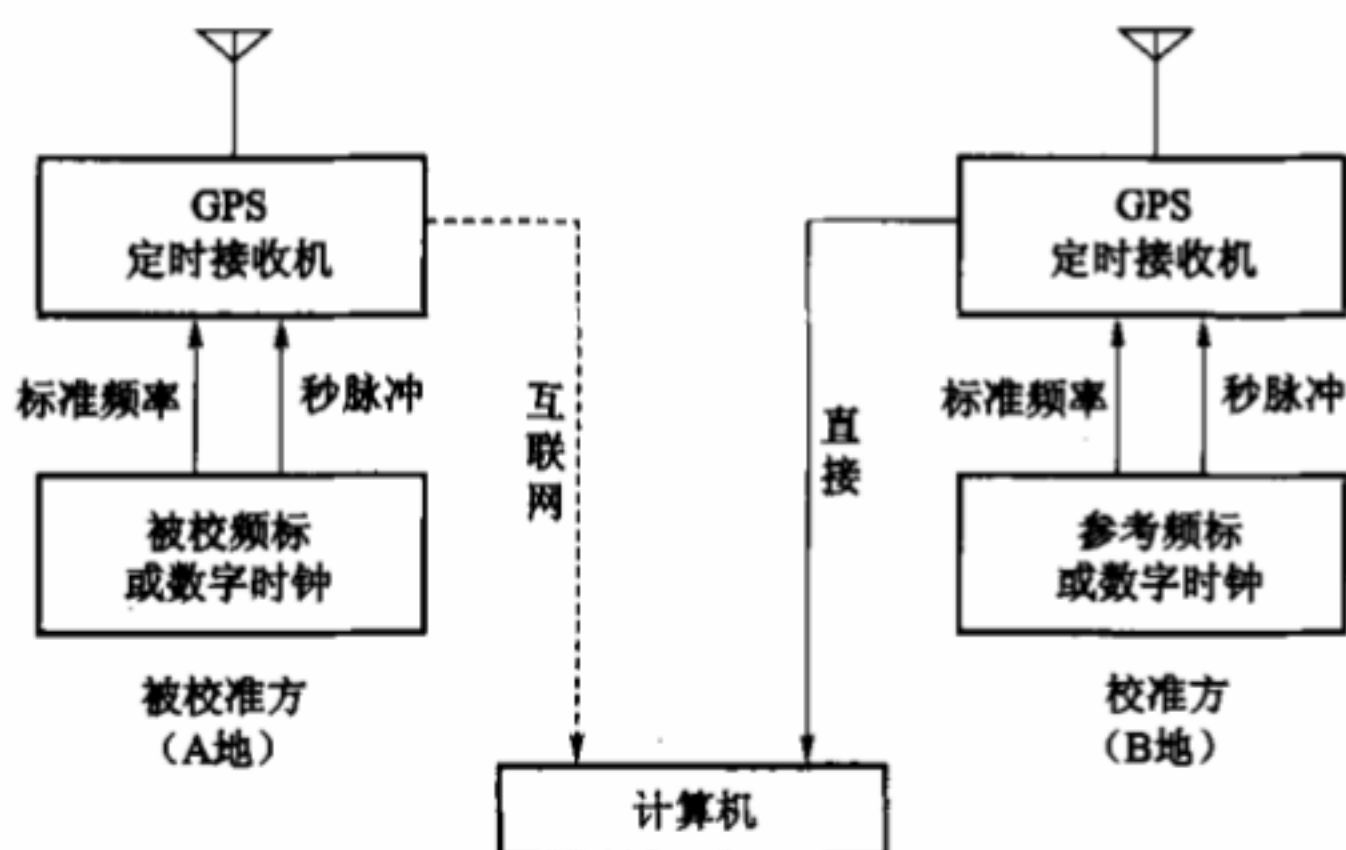


图1 远程校准连接图

$$T_{AGi} = C_{Ai} - GPST_i$$

$$T_{BGi} = C_{Bi} - GPST_i$$

式中： $C_{Ai}$ ——被校准方（A地）钟的读数；

$C_{Bi}$ ——校准方（B地）钟的读数；

$GPST_i$ ——接收机给出的 GPS 钟的读数；

$i$ ——差值序号。

如果使用的是多通道接收机，则原始数据是每 16 min 内有多多个时差值，记为  $T_{AGij}$  和  $T_{BGij}$ ：

在 A 地， $j=1, 2, \dots, N_A$ ，

在 B 地， $j=1, 2, \dots, N_B$ 。

$N_A$  和  $N_B$  是在同一个 16 min 内，接收机各自跟踪的卫星个数。此时，校准方在进行数据处理时，先算出  $N_A$  个和  $N_B$  个时差的平均值。不同的跟踪时间段  $N_A$  和  $N_B$  可能均不同，用  $N_{Ai}$  和  $N_{Bi}$  表示，按下式计算：

$$T_{AGi} = \frac{1}{N_{Ai}} \sum_{j=1}^{N_{Ai}} T_{AGij} \quad (1)$$

$$T_{BGi} = \frac{1}{N_{Bi}} \sum_{j=1}^{N_{Bi}} T_{BGij} \quad (2)$$

然后计算 A、B 两地频标（或时钟）的时差值：

$$T_{ABi} = T_{AGi} - T_{BGi} \quad (3)$$

这是远程校准的基本数据，不同的校准项目采用不同的计算方法。

## 7.2 校准项目

### 7.2.1 频率标准的校准及数据处理

#### 7.2.1.1 频率偏差

##### a) 两点时差法

设被校准源与参考源的平均频率偏差分别为：

$$y_A(\tau) = \frac{f_A(\tau) - f_{A0}}{f_{A0}}$$

$$y_B(\tau) = \frac{f_B(\tau) - f_{B0}}{f_{B0}}$$

$f_A(\tau)$ 和 $f_B(\tau)$ 分别为 $\tau$ 内的平均值,取 $f_{A0} = f_{B0} = f_0$ 为两源的频率标称值,则有:

$$y_A(\tau) - y_B(\tau) = \frac{f_A(\tau) - f_B(\tau)}{f_0} = y_{AB}(\tau)$$

$$y_A(\tau) = y_{AB}(\tau) + y_B(\tau) \quad (4)$$

$y_{AB}(\tau)$ 的计算:

按(3)式计算的时差是每16 min一个,设 $\tau_0 = 16$  min,则 $\tau_0$ 内平均频率差为:

$$y_{AB}(\tau_0) = \frac{1}{\tau_0} (T_{AB(i+1)} - T_{ABi})$$

在一天内共有 $(M+1)$ 个 $T_{AB}$ ,可得到 $M$ 个 $y_{AB}(\tau_0)$ ,其平均值为:

$$\bar{y}_{AB}(\tau_0) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_{AB}(\tau_0) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{\tau_0} [T_{AB(i+1)} - T_{ABi}]$$

$$= \frac{1}{M \cdot \tau_0} [T_{AB(M+1)} - T_{AB1}]$$

$$= \frac{1}{\tau} [T_{AB(M+1)} - T_{AB1}]$$

$$= y_{AB}(\tau) \quad (5)$$

$\tau = M\tau_0$ ,可取 $\tau = 1d$  ( $M=90$ ),  $2d$  ( $M=180$ )或更长。按(4)式计算被校准频率的频率偏差。

$y_A(\tau)$ 的不确定度:

$$u^2[y_A(\tau)] = u^2[y_{AB}(\tau)] + u^2[y_B(\tau)] \quad (6)$$

$u[y_{AB}(\tau)]$ 只有A类不确定度,用 $y_{AB}(\tau)$ 的标准偏差表征。

由于 $y_{AB}(\tau)$ 是 $M$ 个 $y_{AB}(\tau_0)$ 的平均值,故可用 $y_{AB}(\tau_0)$ 的标准偏差计算。

$y_{AB}(\tau_0)$ 的标准偏差为:

$$\sigma[y_{AB}(\tau_0)] = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M [y_{AB}(\tau_0) - y_{AB}(\tau)]^2} \quad (7)$$

则 $y_{AB}(\tau)$ 的标准偏差为:

$$\sigma[y_{AB}(\tau)] = \frac{1}{\sqrt{M}} \sigma[y_{AB}(\tau_0)] \quad (8)$$

取

$$u[y_{AB}(\tau)] = \sigma[y_{AB}(\tau)] \quad (9)$$

如果参考源技术指标满足6.2的要求,则可近似给出:

$$y_A(\tau) \approx y_{AB}(\tau)$$

$$u[y_A(\tau)] = u[y_{AB}(\tau)]$$

一般,相对频率偏差 $y(\tau)$ 都用指数表示,即:

$$y(\tau) = a.b \times 10^n$$

$a$ 和 $b$ 均取一位整数,小数点后的第二位数用四舍五入法修约。

例如:测得值为 $y(\tau) = 3.266 \times 10^{-9}$ ,

则取 $y(\tau) = 3.3 \times 10^{-9}$



若测得值为  $y(\tau) = 3.246 \times 10^{-9}$ ,

则取  $y(\tau) = 3.2 \times 10^{-9}$ ,

修约后的标准不确定度为  $\frac{0.05 \times 10^{-9}}{\sqrt{3}}$ , 可与前边的不确定度合成, 作为合成不确定度。

#### b) 直线拟合法

$M$  个  $T_{AB}$  随时间的变化可用图 2 表示。

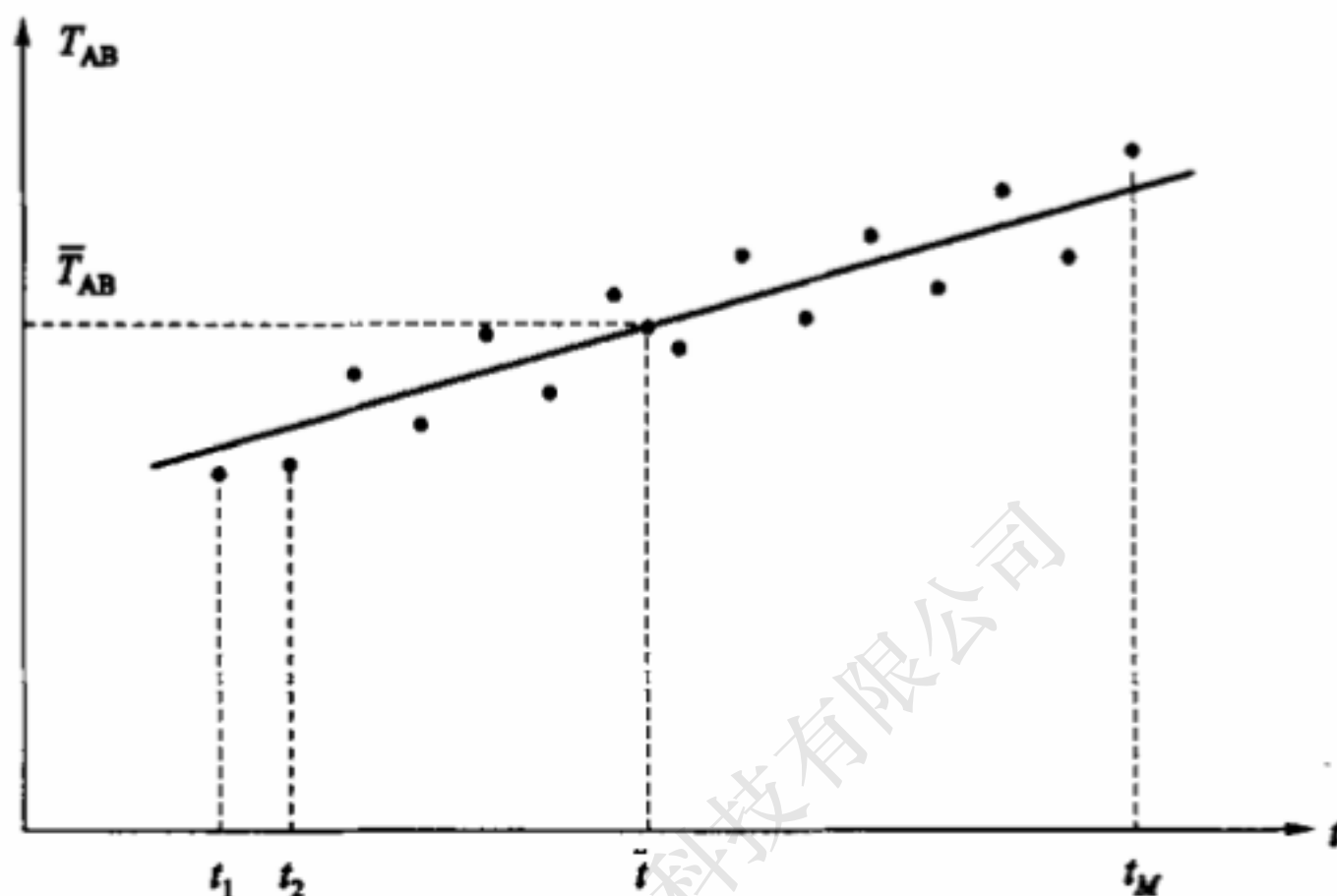


图 2 直线拟合

过平均点作一拟合直线, 平均点的坐标为  $(\bar{t}, \bar{T}_{AB})$ 。

其中:  $\bar{t} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_i$ , 取  $t_i = 1, 2, \dots, M$ , 单位为  $\tau_0 = 16 \text{ min}$ 。

$$\bar{T}_{AB} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_{ABi}$$

直线拟合法就是利用拟合直线的斜率计算平均频率偏差。

斜率:

$$k_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^M (T_{ABi} - \bar{T}_{AB})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})^2} \quad (10)$$

直线方程为:

$$T_{AB}(t) = \bar{T}_{AB} + k_{AB}(t - \bar{t}) \quad (11)$$

将  $k_{AB}$  值的分子和分母都用同一时间单位表示,  $k_{AB}$  值就变成无量纲的值, 用  $k$  表示, 则:

$$y_{AB}(\tau) = k$$

$k_{AB}$  的不确定度按下式计算:

$$u(k_{AB}) = \frac{1}{\sqrt{M-2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M [\Delta T_{AB}(t_i)]^2}{\sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})^2}} \quad (12)$$

$\Delta T_{AB}(t_i)$  为时间残差,按下式计算:

$$\Delta T_{AB}(t_i) = T_{ABi} - [T_{AB} + k_{AB}(t_i - \bar{t})] \quad (13)$$

同样,将  $u(k_{AB})$  的分子和分母都用同一时间单位表示,则  $u(k_{AB})$  也变成无量纲的值,用  $u(k)$  表示,则  $y_{AB}(\tau)$  的不确定度即为:

$$u[y_{AB}(\tau)] = u(k)$$

$y_{AB}(\tau)$  数值的取法及  $u[y_{AB}(\tau)]$  的最后估算同 a)。

### 7.2.1.2 频率准确度

按 JJG 1004—2005 氢原子频率标准检定规程给出,若  $y(\tau) = a.b \times 10^{-n}$ , 则准确度为:

$$A = (\text{取整 } |a.b| + 1) \times 10^{-n} \quad (14)$$

如果需要给出校准结果的不确定度,可按以下方式给出:

频标的输出频率值:  $f_0$

扩展不确定度:  $U = A \quad (k=2)$

$f_0$  为被校准频标的标称频率值。

### 7.2.1.3 频率日漂移率

连续测量  $N$  天,可得  $N$  个  $y_{AB}(\tau)$  值,若参考源的日漂移率满足 6.2.2 要求,则可认为  $y_{AB}(\tau)$  的日漂移率即为被校准源的日漂移率。利用最小二乘法计算:

$$k_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^N [y_{AB}(\tau) - \bar{y}_{AB}(\tau)](t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (15)$$

式中:  $\bar{y}_{AB}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{AB}(\tau)$

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

$t_i = 1, 2, \dots, (N-1), N$ , 单位为 d。

$k_{AB}$  的不确定度为:

$$u(k_{AB}) = \frac{1}{\sqrt{N-2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta y_{AB}(\tau)(t_i)]^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}} \quad (16)$$

对于石英晶体频标  $N \geq 7$ , 对于原子频标  $N \geq 15$ 。

$\Delta y_{AB}(\tau)(t_i)$  为频率残差,按下式计算。

残差:

$$\Delta y_{AB}(\tau)(t_i) = y_{AB}(\tau) - [\bar{y}_{AB}(\tau) + k_{AB}(t_i - \bar{t})] \quad (17)$$

同样,日漂移率按照 7.2.1.1 的方法处理。

被校准频标的绝对漂移率为:

$$k_A = k_{AB} + k_B$$

若  $k_B \leq \frac{1}{10}k_A$ , 则取  $k_A \approx k_{AB}$

不确定度为:

$$u^2(k_A) = u^2(k_{AB}) + u^2(k_B)$$

$$u(k_A) \approx u(k_{AB})$$

## 7.2.2 数字时钟的校准及数据处理

### 7.2.2.1 时钟速率

通过校准给出某一特定时刻的时间偏差和校准期间的时钟速率。

共测量三天, 按 7.1 中的 (3) 式求出两地钟的时差, 每  $\tau_0 = 16 \text{ min}$  一个值, 共有  $M$  个。

按图 2 所示的线性拟合法用 (10) 式计算拟合直线的斜率, 并把  $k_{AB}$  用  $R_{AB}(\tau_0)$  代替。

由此算出的  $R_{AB}(\tau_0)$  是  $(\tau_0)$  时间内的时差变化量, 若  $R_{AB}(\tau_0) = \frac{a}{\tau_0}$ , 则  $R_{AB}(\tau) =$

$$\frac{90 \times a}{90\tau_0} = \frac{90 \times a}{\tau}, \quad \tau = 90 \times 16 \text{ min} = 1 \text{ d}.$$

若参考钟的性能指标满足 6.2.3 的要求, 则  $R_{AB}(\tau)$  近似为被校准时钟的绝对速率,  $R_{AB}(\tau)$  的单位由  $T_{AB}(\tau_0)$  的单位决定。若  $T_{AB}(\tau_0)$  的单位为 ns,  $\mu\text{s}$  或 ms, 则  $R_{AB}(\tau)$  的单位相应为: ns/d,  $\mu\text{s}/\text{d}$  或 ms/d。

$R_{AB}(\tau_0)$  的不确定度按式 (12) 计算。

$R_{AB}(\tau)$  的不确定度应为:

$$u[R_{AB}(\tau)] = \frac{90}{90} u[R_{AB}(\tau_0)]$$

$$\text{如 } u[R_{AB}(\tau_0)] = \frac{b}{\tau_0}, \text{ 则 } u[R_{AB}(\tau)] = \frac{90b}{90\tau_0} = \frac{90b}{\tau}$$

### 7.2.2.2 时间偏差

给出  $t_i = 1$  时刻的时间偏差。

用最小二乘法算求出时差的方程为:

$$T_{AB}(t_i) = \bar{T}_{AB} + R_{AB}(\tau_0) \times (t_i - \bar{t}) \quad (18)$$

这是拟合直线的方程式。其中:  $t_i = 0, 1, 2, \dots, M$ 。单位为  $\tau_0 = 16 \text{ min}$

$t = t_0 = 0$  时, A、B 两台钟的时差为:

$$T_{AB}(0) = \bar{T}_{AB} + R_{AB}(\tau_0) \times (0 - \bar{t}) \quad (19)$$

最后要将  $t_0$  换算成 UTC 的某一时刻, 校准结果中要给出此时刻的时间偏差及其不确定度。

按照“共视法标准”的规定, 跟踪时刻表中每天开始的时刻为  $T_1$ , 持续时间为 16 min。前 2 min 用于捕捉卫星, 不进行测量; 接着的 13 min 为正式的测量时段, 经过特定的计算后, 只给出该时段中点时刻的时差值, 则:  $T_{AB}(t_1)$  将是 UTC 某日  $(T_1 + 2 \text{ min} + 6.5 \text{ min})$  时刻的值,  $T_{AB}(0)$  对应的时刻为  $[(T_1 + 2 \text{ min} + 6.5 \text{ min}) - 16 \text{ min}]$ 。

同样参考钟的性能指标满足 6.2.3 的要求, 被校准时钟相对参考钟的时差即为该钟

的时间偏差。

时间偏差的不确定度按下式计算：

$$u[T_{AB}(0)] = \frac{1}{\sqrt{M-2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M [\Delta T_{AB}(t_i)]^2 \times \sum_{i=1}^M t_i^2}{M \sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})^2}} \quad (20)$$

### 7.2.2.3 时间偏差与时钟速率的有效位数

根据计量单位制的规定，在校准结果中时间偏差的单位可取 ns、 $\mu$ s、ms，相应的时钟速率的单位应取：ns/d、 $\mu$ s/d 和 ms/d，单位前边的数值一般取 0.1~999。

例如：若  $T_{AB}(t_1) = 1\,260$  ns，则应取  $T_{AB}(t_1) = 1.3$   $\mu$ s

若  $R_{AB}(\tau) = 2\,530$  ns/d，则应取  $R_{AB}(\tau) = 2.5$   $\mu$ s/d

小数点后第二位数进行四舍五入。由此引入的不确定度按 7.2.2.1 的方法估算。

## 8 校准结果

由校准方出具“校准证书”或校准报告。包括下列内容：

- a) 校准方的名称和地址
- b) 被校准方的名称和地址
- c) 校准时间：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日 ~ \_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日
- d) 被校准标准的名称、型号和出厂序列号
- e) 参考标准的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标
- f) 双方使用的定时型 GPS 接收机的型号
- g) 校准结果及其测量不确定度

## 9 复校时间间隔

由用户自定，建议 1 年。

## 附录 A

## 校准结果的不确定度评定

## A.1 频率校准的不确定度

设被校频率标准的频率为  $f_A$ ，参考频率标准的频率为  $f_B$ ，两频率标准的频率标称值相同为  $f_0$ ，则有：

$$y_{AB}(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = \frac{f_A - f_0}{f_0} - \frac{f_B - f_0}{f_0} = y_A(\tau) - y_B(\tau)$$

$y_{AB}(\tau)$  为两频率标准的频率差， $y_A(\tau)$  和  $y_B(\tau)$  分别为两者的频率偏差， $\tau$  为测量时的平均时间（取样时间）， $\tau$  的选择要保证相应的频率稳定度比欲测的  $y_{AB}(\tau)$  小一个量级，在本规范中取  $\tau=1d$ ，测量目的是要得到  $y_{AB}(\tau)$ 。

以两点时差法为例：

$$\text{基本关系：} \quad y_{AB}(\tau) = \frac{T_{AB}(t_2) - T_{AB}(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{A.1})$$

$T_{AB}(t_1)$  和  $T_{AB}(t_2)$  为分别在  $t_1$  和  $t_2$  时刻测得的两频标的时差，

$$t_2 - t_1 = \tau$$

测量误差：

$$\delta y_{AB}(\tau) = \frac{1}{\tau} [\delta T_{AB}(t_2) - \delta T_{AB}(t_1)] \quad (\text{A.2})$$

时差的误差包含两部分：一是时差本身的稳定度，由于时差的绝对值都小于 1 s，其稳定度都远小于 1 ns，故可忽略。二是时间间隔计数器的测量误差，也包含两部分：一是系统误差，在两次测量结果相减时，可抵消掉；二是随机误差，一般用统计学上的标准偏差给定，即为计数器测量时引入的标准不确定度。

最后，两频标相对频差测量结果的标准不确定度为：

$$u(y_{AB}(\tau)) = \frac{\sqrt{2}}{\tau} u(T_{AB})$$

本规范是利用 GPS 信号作为远程校准的媒介，原始数据是在 A、B 两地同时测量各自频标与 GPS 时钟的时差。

$$\text{即：} T_{AG}(t_1) = C_A(t_1) - \text{GPST}(t_1)$$

$$T_B(t_1) = C_B(t_1) - \text{GPST}(t_1)$$

$$\text{和 } T_{AG}(t_2) = C_A(t_2) - \text{GPST}(t_2)$$

$$T_B(t_2) = C_B(t_2) - \text{GPST}(t_2)$$

最后通过交换数据得到：

$$y_{AB}(\tau) = \frac{[T_{AG}(t_2) - T_{BG}(t_2)] - [T_{AG}(t_1) - T_{BG}(t_1)]}{t_2 - t_1} \quad (\text{A.3})$$

时差的测量由 GPS 接收机内置的时间间隔计数器完成。即测量外部频标输入的秒脉冲与接收机内产生的代表 GPST 的秒脉冲间时间间隔。

接收机给出的 GPST 是所接收到的时间经过修正后得到, 如图 A.1 所示:

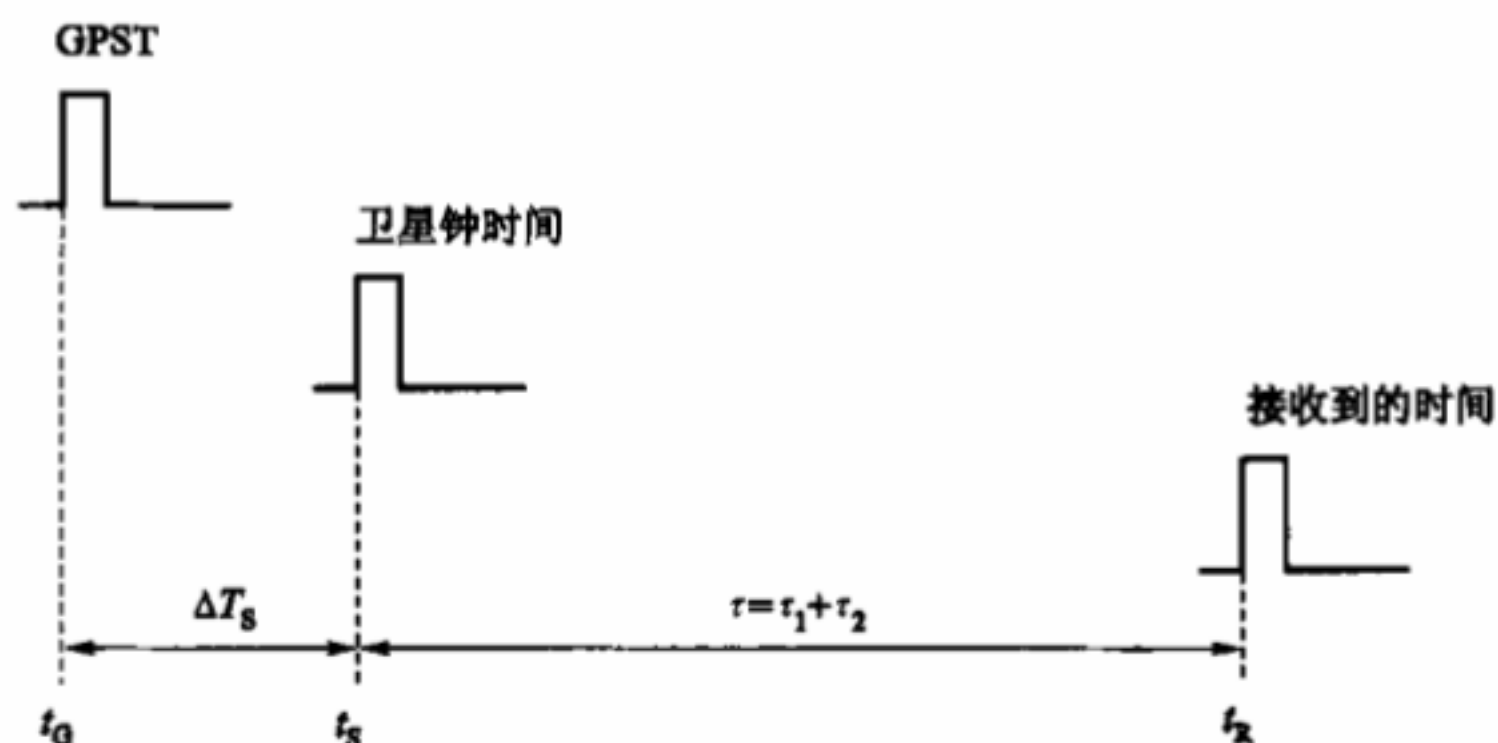


图 A.1

$\Delta T_s$  是卫星上钟与 GPST 的时差, 可修正到 1 ns, 以内;  $\tau$  为信号传输延迟, 分为两部分:  $\tau_1$  是空间传输延迟, 由接收机自动估算,  $\tau_2$  是接收天线、电缆、接收机本身共同引入的延迟, 由用户测定并输给接收机。

由此得出修正公式为:

$$\text{GPST} = t_G = t_R - (\Delta T_s + \tau_1 + \tau_2)$$

修正后的误差主要来源于后两项, 即:

$$\delta_{\text{GPST}} = \delta\tau_1 + \delta\tau_2$$

$\delta\tau_1$  为空间传输时间估算不准引入的, 又包含两项: 一是系统的, 二是随机的, 由信号传输时的抖动引起的。

$\delta\tau_2$  也很小, 可做到 1 ns, 故在本校准中也可忽略。

在 A、B 两地给出的 GPST 不同, 主要是  $\delta\tau_1$  引起的, 由此可得:

$$\delta T_{\text{AG}}(t_1) = \delta_{\text{GPST}_A}(t_1) = \delta\tau'_{1A}(t_1) + \delta\tau''_{1A}(t_1) \quad (\text{A.4})$$

和

$$\delta T_{\text{BG}}(t_1) = \delta_{\text{GPST}_B}(t_1) = \delta\tau'_{1B}(t_1) + \delta\tau''_{1B}(t_1)$$

$\delta\tau'_{1A}(t_1)$  和  $\delta\tau'_{1B}(t_1)$  为系统误差,  $\delta\tau''_{1A}(t_1)$  和  $\delta\tau''_{1B}(t_1)$  为随机误差。

同样有:

$$\delta T_{\text{AG}}(t_2) = \delta_{\text{GPST}_A}(t_2) = \delta\tau'_{1A}(t_2) + \delta\tau''_{1A}(t_2)$$

$$\delta T_{\text{BG}}(t_2) = \delta_{\text{GPST}_B}(t_2) = \delta\tau'_{1B}(t_2) + \delta\tau''_{1B}(t_2)$$

$\tau_1$  修正后的系统误差在不同时刻是一样的, 即:

$$\delta\tau'_{1A}(t_1) = \delta\tau'_{1A}(t_2)$$

$$\delta\tau'_{1B}(t_1) = \delta\tau'_{1B}(t_2)$$

代入 (A.3) 式可得:

$$\delta y_{\text{AB}}(\tau) = \frac{1}{\tau} [(\delta\tau''_{1A}(t_2) - \delta\tau''_{1B}(t_2)) - (\delta\tau''_{1A}(t_1) - \delta\tau''_{1B}(t_1))] \quad (\text{A.5})$$

$\delta\tau''_1(t)$  主要是电离层起伏引入的传输时间的修正误差, 受阳光照射的影响, A、B 两地相距不太远时, 电离层起伏相差不大, 延迟误差相减后大部分抵消掉。大量实验表明, 在 A、B 两地相距 3 000 km 以内时, 延迟的标准不确定度小于 5 ns, 当  $\tau=1$  d 时,

$y_{AB}(\tau)$ 的不确定度相应的近似为  $5 \times 10^{-14}$ 。

#### A.2 时钟校准的不确定度

时钟校准是通过测量得到在某一时刻两地钟的时差，频率校准时所用的数据是时差的变化量，故信号传输时间修正后的系统误差可抵消掉，而时钟校准时所用的数据只是本地钟与 GPST 的时差，故系统误差不能抵消。当两地相距 3 000 km 以内时，时差的测量不确定度可达 20 ns，如果采用双频 GPS 接收机，电离层的传输延迟可较准确地测定，这时用共视法进行时钟的远程校准，钟差测量的不确定度可小于 10 ns。

西安同步电子科技有限公司

## 附录 B

## 数据交换格式

被校准方向校准方提供下列信息：

1. 被校准单位名称：
2. 被校准的频标或时钟信息：
  - 名称：
  - 型号：
  - 制造厂：
3. 校准项目：
  - 频率：
  - 时钟：
4. 所用的 GPS 接收机信息：
  - 型号：
  - 制造厂：
5. 原始数据格式：

跟踪的卫星编号	起始跟踪时刻	跟踪时长	本地钟与 GPS 的时差



## 附录 C

## 校准证书（内页）格式

## C.1 校准项目

## C.1.1 频率标准

名称、型号及制造厂

## C.1.1.1 平均频率偏差：

$$y(1d) = a.b \times 10^{-m}$$

扩展不确定度： $U = c.d \times 10^{-n}$  ( $k=2$ )C.1.1.2 频率准确度： $A =$ 

## C.1.1.3 频率日漂移率：

$$K = a.b \times 10^{-m}/d$$

扩展不确定度： $U = c.d \times 10^{-n}$  ( $k=2$ )

## C.1.2 数字时钟

## C.1.2.1 时间偏差

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日\_\_\_\_\_点\_\_\_\_\_分  $\Delta T = (abc.d) \text{ ns}$  ( $\mu\text{s}$  或  $\text{ms}$ )

扩展不确定度： $U = (e.f) \text{ ns}$  ( $\mu\text{s}$  或  $\text{ms}$ )

## C.1.2.2 时钟速率

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日~\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

 $R = (a.b) \text{ ns/d}$  ( $\mu\text{s/d}$  或  $\text{ms/d}$ )扩展不确定度： $U = (c.d) \cdot \text{ns/d}$  ( $\mu\text{s/d}$  或  $\text{ms/d}$ )

## C.2 被校准单位

## C.3 校准日期