

YD

中华人民共和国通信行业标准

YD/T 1479-2006

一级基准时钟设备技术要求及测试方法

Technical Requirements and Testing Methods of
Primary Reference Clock Equipment

2006-06-08 发布

2006-10-01 实施

中华人民共和国信息产业部 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 缩略语	1
4 一级基准时钟设备的构成	2
4.1 全国基准时钟 (PRC)	2
4.2 区域基准时钟 (LPR)	2
5 一级基准时钟设备的功能要求	3
5.1 全国基准时钟 (PRC)	3
5.2 区域基准时钟 (LPR)	4
6 一级基准时钟设备的性能要求	4
6.1 频率准确度	4
6.2 噪声产生	4
6.3 相位不连续性	5
6.4 可靠性要求	5
7 一级基准时钟设备的环境要求	6
7.1 电源要求	6
7.2 温度要求	6
7.3 湿度要求	6
8 一级基准时钟设备的测试方法	6
8.1 一级基准时钟设备的功能测试	6
8.2 一级基准时钟设备的性能测试	7
附录A (规范性附录) 时间间隔测量及频率测量原理及测量误差分析	10
附录B (规范性附录) 使用最小二乘法计算固有频偏	15
附录C (规范性附录) 测试仪表要求	17
附录D (资料性附录) 共模共视 (CMCV) 简介	19

前 言

本标准是关于一级基准时钟设备（PRC和LPR）的标准，它是YD/T 1011-1999《数字同步网独立型节点从钟设备技术要求及测试方法》的配套标准，其设备功能和环境要求以及测试方法是根据YDN 117-1999《数字同步网的规划方法与组织原则》的要求制定的，是对YD/T 1012-1999《数字同步网节点时钟系列及其定时特性》中一级基准时钟要求的扩充。

本标准的附录A、附录B、附录C为规范性附录，附录D为资料性附录。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位：信息产业部电信研究院

本标准主要起草人：汪建华 徐一军 胡昌军

一级基准时钟设备技术要求及测试方法

1 范围

本标准规定了全国基准时钟（PRC）和区域基准时钟（LPR）设备的功能、性能和环境要求及测试方法。

本标准适用于在数字同步网一级节点中使用的一级基准时钟设备。以此为源头规划建设数字同步网可以支持多种电信业务，并能满足SDH传送网的同步要求。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7611-2001	数字网系列比特率电接口特性（2001年）
YD/T 1011-1999	数字同步网独立型节点从钟设备技术要求及测试方法
YD/T 1012-1999	数字同步网节点时钟系列及其定时特性
YD/T 1267-2003	基于SDH传送网的同步网技术要求
YDN 117-1999	数字同步网的规划方法与组织原则
ITU-T G.810（1996）	同步网的定义和术语

3 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

CMCV	Common Mode Common View	共模共视
LPR	Local Primary Reference	区域基准时钟
PRC	Primary Reference Clock	全国基准时钟
GPS	Global Position System	全球定位系统
GLONASS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
MTIE	Maximum Time Interval Error	最大时间间隔误差
NTP	Network Time Protocol	网络时间协议
PPS	Pulse Per Second	每秒脉冲
SASE	Stand Alone Synchronization Equipment	独立型同步设备
SSM	Synchronization Status Message	同步状态信息
SSU	Synchronization Supply Unit	同步供给单元
TDEV	Time Deviation	时间偏差
TOD	Time of Day	每日时间
UTC	Coordinated Universal Time	协调世界时

4 一级基准时钟设备的构成

4.1 全国基准时钟（PRC）

4.1.1 全国基准时钟（PRC）的定义

全国基准时钟（PRC）是基于铯原子钟为主用的自主时钟，由铯原子钟、卫星定位系统接收机、比对系统、定时基准分配单元、本地维护终端组成，互相对比后择优输出的定时基准信号通过定时基准传输链路传送到各省、直辖市和自治区，作为全网同步的根本保障。参见 YDN 117-1999 中 4.2.1.1 的规定。

4.1.2 全国基准时钟（PRC）设备的构成

全国基准时钟（PRC）设备的主要配置可以由三个铯原子钟与一个全球定位系统GPS（或其他卫星定位系统）接收机和一个定时基准分配单元构成，也可以由一个或两个铯原子钟与两个或一个全球定位系统GPS（或其他卫星定位系统）接收机和一个定时基准分配单元构成。

考虑到定时基准在SDH传送网中传输的安全可靠性以及保证全网同步性等因素，全网PRC设置的数量可以是多个。

每个全国基准时钟（PRC）设备的主要配置见表 1。当全网设置两个及以下 PRC 时，则采用配置一；两个以上则采用配置二或配置三。

表 1 全国基准时钟（PRC）设备的主要配置

单位：个

	配置一	配置二	配置三
铯原子钟	3	2	1
GPS或其他定位系统接收机	1	1	2
定时基准分配单元	1	1	1

4.2 区域基准时钟（LPR）

4.2.1 区域基准时钟（LPR）的定义

区域基准时钟（LPR）是受控于全球定位系统GPS（或其他卫星定位系统）的非自主时钟。区域基准时钟（LPR）应具备接收全国基准时钟（PRC）的定时基准信号作为参考标准的能力。区域基准时钟（LPR）由铷原子钟、全球定位系统GPS（或其他卫星定位系统）接收机、定时基准分配单元、本地维护终端组成，其输出的定时基准信号用作各省、直辖市和自治区内同步网的源头。参见YDN 117-1999 中4.2.1.1的规定。

4.2.2 区域基准时钟（LPR）设备的构成

区域基准时钟（LPR）设备的主要配置应由两个铷原子钟、两个全球定位系统GPS（或其他卫星定位系统）接收机和一个定时基准分配单元构成。一般地，LPR设备是由两个GPS或其他卫星定位系统接收机和一个带双铷原子钟的独立型同步设备（SASE）构成的。它既能接受GPS或其他卫星定位系统的同步，也能接受PRC的同步。

考虑到定时基准在SDH传送网中传输的安全可靠性，省内网应设置两个LPR，且互为主备用。每个区域基准时钟（LPR）设备的主要配置见表2。

表 2 区域基准时钟（LPR）设备的主要配置

单位：个

	配置一（内置卫星接收机）	配置二（外置卫星接收机）
铷原子钟	2	
GPS或其他卫星定位系统接收机	2	2
定时基准分配单元	1	
带双铷原子钟的SASE		1

5 一级基准时钟设备的功能要求

5.1 全国基准时钟（PRC）

PRC的主要功能组成部分有铯原子钟组、卫星定位系统接收机、比对系统、定时基准分配单元、监控管理、本地维护终端。

5.1.1 铯原子钟组

每个铯原子钟应具有2048kHz或2048kbit/s、5/10MHz和1PPS输出接口。

5.1.2 卫星定位系统接收机

卫星接收机应具有2048kHz或2048kbit/s、1PPS和NTP输出接口，并能提供TOD接口的扩展能力。

5.1.3 比对系统

完成对铯原子钟组和卫星定位系统间的性能监测、比对和控制，并以自动/人工的方式从铯原子钟组中择优输出。

5.1.4 定时基准分配单元

完成对优选信号的定时基准分配，并提供多种类型的定时基准输出信号。例如，2048kbit/s和2048kHz以及1/5/10MHz正弦信号（暂定）输出接口。

其定时基准输出功能要求如下：

- 1) 应能冗余配置。
- 2) 应具有提供扩展输出接口的能力，至少应提供300路定时基准输出信号。
- 3) 对于2048kbit/s接口，应满足GB/T 7611-2001《数字网系列比特率电接口特性》中第6节的要求，并应具有转发SSM信息的功能。
- 4) 对于2048kHz接口，应满足GB/T 7611-2001《数字网系列比特率电接口特性》中第11节的要求。
- 5) 对于1/5/10MHz正弦信号，幅度为1V，阻抗为50Ω或75Ω。

5.1.5 监控管理功能

PRC的监控管理功能与其配置有关。

如果按照表1中配置一来配置，一般PRC需要考虑比对系统，则比对系统同时可以完成对铯原子钟和卫星定位系统接收机的工作状态、告警信息的监控管理功能，并通过比对系统将铯原子钟和卫星定位系统接收机统一纳入同步网网管。

如果按照表1中配置二和配置三来配置，一般PRC的定时基准分配单元采用带双铷原子钟的独立型同步设备SASE，则不需要考虑比对系统。在这种情况下，PRC比对系统完成的相应功能由独立型同步设备SASE的输入功能替代了。但是，需要将铯原子钟和卫星定位系统接收机直接纳入同步网网管，以实现铯原子钟和卫星定位系统接收机的工作状态、告警信息的监控管理。

1) 铯原子钟

至少应具有一个本地通信端口，端口类型可以是RS232串行接口或以太网接口。

2) 卫星定位系统接收机

至少应具有一个本地通信端口，端口类型可以是RS232串行接口或以太网接口。

3) 比对系统

比对系统应具有一个本地通信端口和一个远端通信端口，端口类型可以是RS232串行接口或以太网接口，以便纳入同步网网管。同时完成对PRC各组成部件的工作状态、告警信息的监控管理功能。

5.1.6 本地维护终端

完成对铯原子钟组、卫星定位系统接收机、比对系统的本地监控。

5.2 区域基准时钟 (LPR)

LPR的主要功能组成部分有卫星定位系统接收机、独立型2级节点时钟设备和本地维护终端。

5.2.1 卫星定位系统接收机

卫星接收机应具有2048kHz或2048kbit/s、1PPS和NTP输出接口,并能提供TOD接口的扩展能力;还应具有一个本地通信端口和一个远端通信端口,端口类型可以是RS232串行接口或以太网接口,以便纳入同步网网管。

5.2.2 独立型2级节点时钟设备

独立型2级节点时钟设备完成LPR所要求的输入功能、双铷原子时钟功能、定时基准分配功能、监控与管理功能。各功能要求详见YD/T 1011-1999中的相应规定。

5.2.3 本地维护终端

完成对卫星定位系统接收机和独立型2级节点时钟设备的本地监控。

6 一级基准时钟设备的性能要求

6.1 频率准确度

在各种应用运行条件下,对于>7天的连续观察时间,一级基准时钟的频率准确度应优于 $\pm 3 \times 10^{-12}$ 。参见YD/T 1267-2003中11.1的规定。

6.2 噪声产生

一级基准时钟的噪声产生表示在其输出接口产生的相位噪声量。噪声产生又分为漂移产生和抖动产生两类。采用最大时间间隔误差MTIE和时间方差TDEV参数描述噪声产生性能是适用的。

以最大抽样时间 $\tau_0=1/30s$,通过一个等效的10Hz单极点低通滤波器来测量MTIE和TDEV。TDEV的最小测量时间 T 应是积分时间 τ 的12倍,即 $T=12\tau$ 。对于更长观察时间的测量,需要特殊考虑测量滤波器带宽或抽样时间。参见YD/T 1012-1999中4.1.2的规定。

6.2.1 漂移产生

在一级基准时钟输出接口,按照ITU-T建议G810中图2a定义的独立时钟结构进行测试,在 τ 观察时间内MTIE不应超过表3中的限值。

表3 作为观察时间 τ 的函数——一级基准时钟的 MTIE 限值

观察时间 τ (s)	MTIE要求 (μs)
$0.1 < \tau \leq 1000$	$0.275 \times 10^{-3} \times \tau + 0.025$
$\tau > 1000$	$10^{-5} \times \tau + 0.29$

在 τ 秒积分时间内TDEV不应超过表4中的限值。

表4 作为观察时间 τ 的函数——一级基准时钟的 TDEV 限值

积分时间 τ (s)	TDEV要求 (ns)
$0.1 < \tau \leq 100$	3
$100 < \tau \leq 1000$	$0.03 \times \tau$
$1000 < \tau \leq 10000$	30

其相应的MTIE和TDEV模板如图1和图2所示。

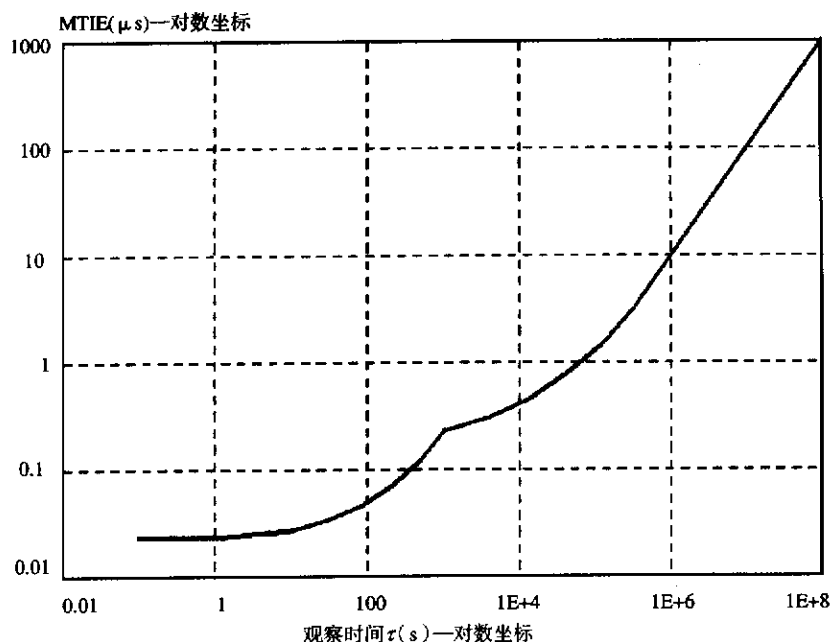


图1 作为观察时间 τ 的函数—MTIE 模板（一级基准时钟）

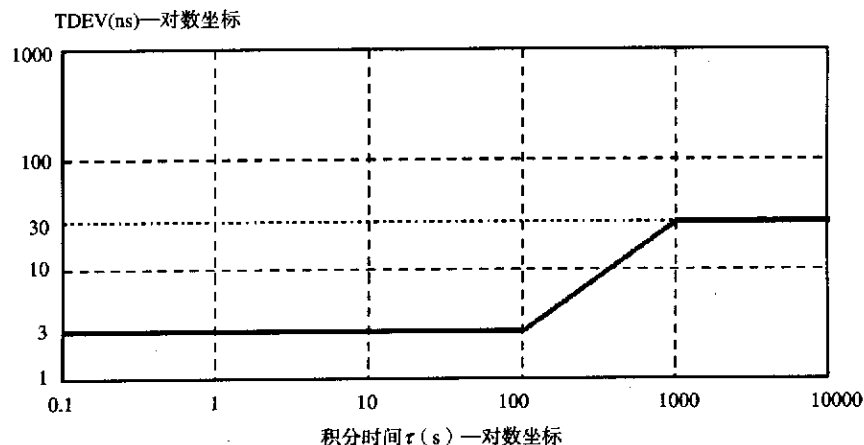


图2 作为积分时间 τ 的函数—TDEV 模板（一级基准时钟）

6.2.2 抖动产生

在2048kHz和2048kbit/s输出接口，当采用一个折角频率分别为20Hz和100kHz的单极点带通滤波器测量时，在60s内测得固有抖动不应超过0.05UI。

6.3 相位不连续性

在一级基准时钟输出接口（2048kHz 或 2048kbit/s），由于时钟内部操作而引起的任何相位不连续性都不应超过 1/8UI。参见 YD/T 1012-1999 中 4.1.3 的规定。

6.4 可靠性要求

设备整机的最大故障时间间隔（MTBF）不应低于 20 年。设备应能够连续地、稳定地提供定时基准信号，设备的主要功能，如定时输出功能应有冗余配置，设备卡板在运行时可带电插拔。

7 一级基准时钟设备的环境要求

7.1 电源要求

双路直流电源范围为 $-42\text{V} \sim -54\text{V}$ 。

7.2 温度要求

长期工作条件^注的温度范围为 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ；

短期工作条件的温度范围为 $0^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 。

7.3 湿度要求

长期工作条件的湿度范围为 $40\% \sim 65\%$ ；

短期工作条件的湿度范围为 $20\% \sim 90\%$ 。

8 一级基准时钟设备的测试方法

8.1 一级基准时钟设备的功能测试

8.1.1 PRC 的功能验证

1) 通过本地维护终端观察所有铯原子钟的工作状态,并且通过人工方式切换比对系统选择的输出信号。

2) 断掉主用铯原子钟的输出信号,比对系统应能自动选择其他铯原子钟的输出信号,并且在本地维护终端上应有实时的告警信息。

3) 断掉卫星定位系统接收机的天线,在比对系统和本地维护终端上应有实时的告警信息。

4) SSM功能测试连接如图3所示。当PRC设备正常工作时,则在定时基准分配单元的2048kbit/s输出口测到的SSM信息应为QL-PRC;当PRC设备异常工作时,例如,切断所有铯原子钟定时基准源,则在定时基准分配单元的2048kbit/s输出口测到的SSM信息应为QL-DNU。

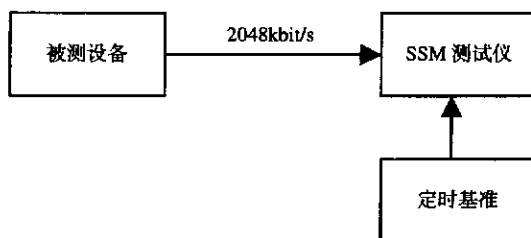


图3 SSM功能测试连接

5) 定时基准分配单元的各种输出信号波形测试连接如图4所示。其测试结果应符合5.1.4节中的规定。

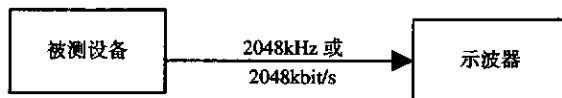


图4 输出信号波形测试连接

8.1.2 LPR 的功能验证

1) 断掉卫星定位系统接收机的天线,在本地维护终端上应有实时的告警信息。

2) SSM功能测试连接如图5所示。其测试结果应符合表5中的基本要求。

^注: 长期工作条件系指正常工作情况,短期工作条件系指连续不超过48h和每年累计不超过15天。

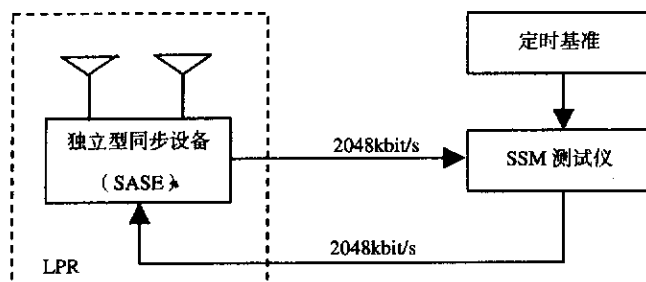


图5 SSM 功能测试连接

表5 LPR 设备的SSM 功能的基本要求

测试项目	测试结果
正常跟踪GPS	QL-PRC
正常跟踪地面参考信号	转发QL-PRC或转发QL-SSU-T
保持工作状态	QL-SSU-T

3) 独立型同步设备 (SASE) 的功能验证详见YD/T 1011-1999中的相应测试方法。

8.2 一级基准时钟设备的性能测试

8.2.1 频率准确度

1) 本项需要与频率准确度优于 $\pm 1 \times 10^{-13}$ 的频率标准系统以共模共视 (CMCV) 方式进行测试。按图6进行连接, 在被测设备处于正常工作状态后, 开始测量。有关共模共视 (CMCV) 的内容参见附录D。



图6 频率准确度测试连接示意

2) 在两个CMCV接收机均完成自动定位后, 设置测试地CMCV接收机的星历表与频率标准系统CMCV接收机的星历表一致。

3) 按照设置的时间表开始测试, 共测试7天, 关于测试时长和测试精度的关系, 参见附录A。

4) 每天读取两个CMCV接收机的测试数据。

5) 通过处理两个CMCV接收机的测试数据, 使用最小二乘法计算频率准确度, 参见附录B。

6) 测试结果应满足6.1节中的要求。

8.2.2 漂移产生

1) 按图7连接, 在被测设备处于锁定状态24h之后, 开始测量。

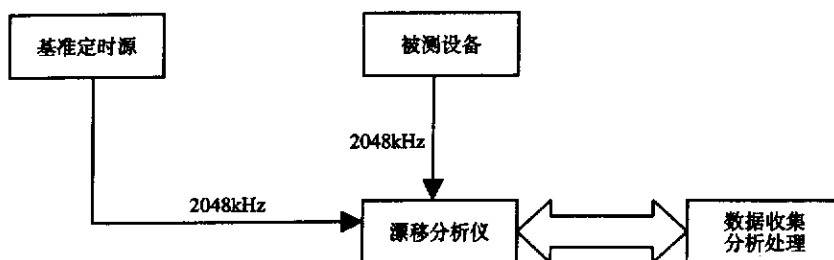


图7 漂移产生测试连接

- 2) 设置漂移分析仪以30Hz (即0.033s/抽样值) 的抽样率测量相位。
- 3) 设置测试时间为400s。
- 4) 得到0.033 ~ 400s MTIE曲线和0.033 ~ 133s TDEV曲线, 取0.1 ~ 30s MTIE曲线和0.1 ~ 30s TDEV曲线。
- 5) 设置漂移分析仪以1Hz (即1s/抽样值) 的抽样率且通过一个等效10Hz单极点低通滤波器测量相位。
- 6) 连续测量120000s。
- 7) 得到1 ~ 120000s MTIE曲线和1 ~ 40000s TDEV曲线, 取30 ~ 10000s MTIE曲线和30 ~ 10000s TDEV曲线。
- 8) 由4)、7) 可得到0.1 ~ 10000s的MTIE及0.1 ~ 10000s的TDEV曲线。
- 9) 测试结果应满足6.2.1节的要求。

8.2.3 抖动产生

- 1) 按图8连接, 在被测设备处于锁定状态2h之后, 开始测量。

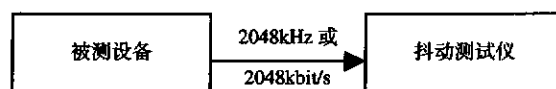


图8 抖动测试连接

- 2) 设置抖动测试仪测量带宽为20Hz ~ 100kHz, 测量时长为60s, 分别对2048kHz和2048kbit/s信号进行测量。
- 3) 记录下峰-峰抖动值。
- 4) 重复步骤2)、3), 对每种接口至少测试三次。
- 5) 测试结果应满足6.2.2节的要求。

8.2.4 相位不连续性

- 1) 按图9连接, 在被测设备处于锁定状态24h之后, 开始测量。

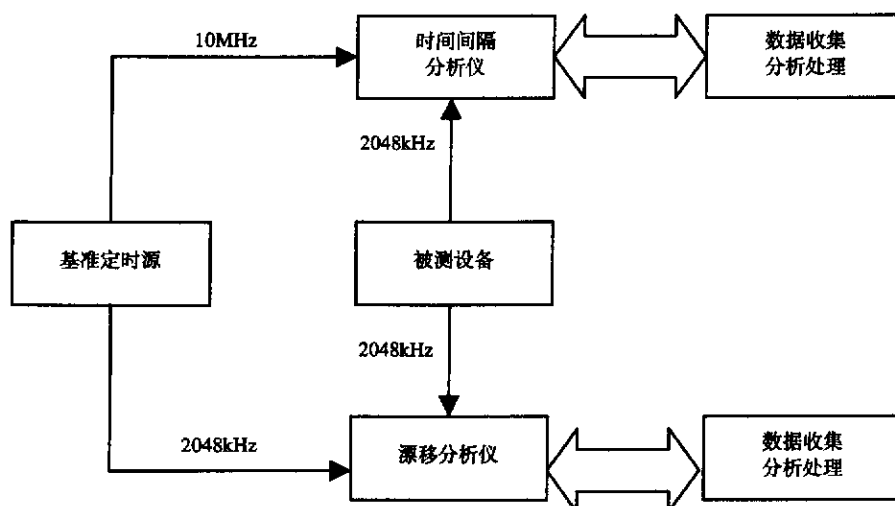


图9 相位不连续性测试连接

- 2) 设置漂移分析仪以1Hz (即1s/抽样值) 的抽样率测量相位。
- 3) 在T=0s时刻开始测量, 连续测量3100s得到1 ~ 3000s MTIE曲线, 取10 ~ 1000s MTIE曲线。

4) 设置时间间隔分析仪以2000Hz (即0.5ms/抽样值) 的抽样率且通过一个等效10Hz单极点低通滤波器测量相位。

5) 在 $T=0s$ 时刻开始测量, 连续测量100s, 得到0.0005 ~ 100s MTIE曲线, 取0.001 ~ 10s MTIE曲线。

6) 在 $T=10s$ 时刻完成一次设备重组的操作 (例如, 人工/自动倒换冗余输入单元、人工/自动倒换时钟单元等)。

7) 在完成一次测量后, 设备至少应处于锁定状态2h, 重复步骤2) ~ 6), 再进行一次相位不连续性测试。

8) 测试结果应满足6.3节的要求。

附录 A

(规范性附录)

时间间隔测量及频率测量原理及测量误差分析

A.1 时间间隔测量

A.1.1 时间间隔测量原理

时间间隔测量是指对参考信号和被测信号之间相位差的测量。对时间间隔的测量有以下几种方式：

(1) 内触发、+TIME 方式

如图 A.1 所示，在仪表就绪后，先等待 START 通道的触发沿，而后开始计时，直到 STOP 通道的触发沿出现。在此方式下，只能测得正时间间隔 (Δt)。在完成一次测量后，能够自动进行下一次测量。

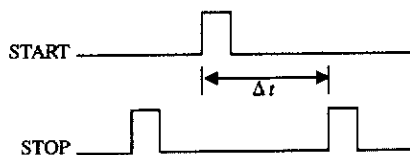


图 A.1 内触发、+TIME 方式

(2) 单沿外触发、+TIME 方式

如图 A.2 所示，在仪表就绪后，先等待 GATE 通道的外触发沿，再等待 START 通道的触发沿，而后开始计时，直到 STOP 通道的触发沿出现。在此方式下，只能测得正时间间隔 (Δt)。在完成一次测量后，必须等待 GATE 通道的触发信号出现，才能进行下一次测量。

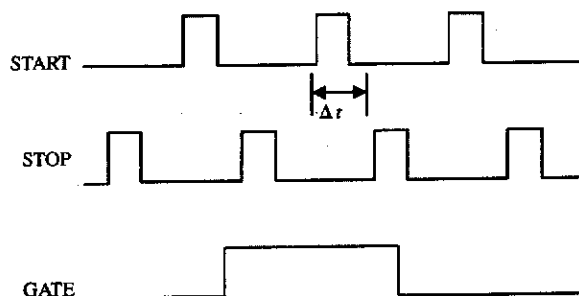


图 A.2 单沿外触发、+TIME 方式

(3) 双沿外触发、+TIME 方式

如图 A.3 所示，在仪表就绪后，先等待 GATE 通道的外触发沿，再等待 START 通道的触发沿，而后开始计时；直到 GATE 通道的另一个外触发沿出现和随后的 STOP 通道的触发沿出现。在此方式下，只能测得正时间间隔 (Δt)。在完成一次测量后，必须等待 GATE 通道的触发信号出现，才能进行下一次测量。

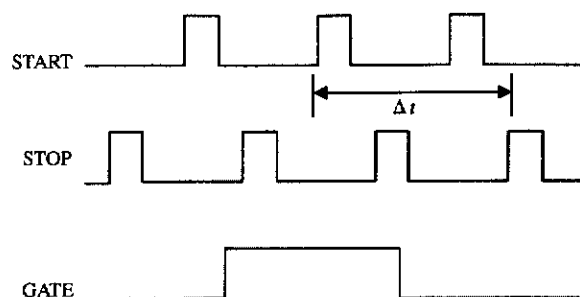


图 A.3 双沿外触发、+TIME 方式

(4) 内触发、±TIME 方式

如图 A.4 所示,在仪表就绪后,先等待 START/STOP 通道的触发沿,而后开始计时,直到 STOP/START 通道的触发沿出现。在此方式下,可以测得正时间间隔 (Δt_1) 或负时间间隔 (Δt_2)。在完成一次测量后,能够自动进行下一次测量。

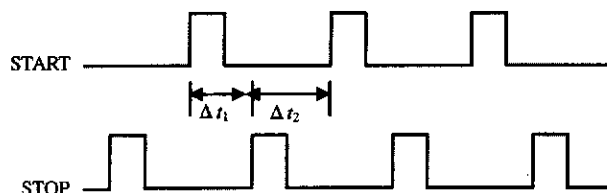


图 A.4 内触发、±TIME 方式

(5) 单沿外触发、±TIME 方式

如图 A.5 所示,在仪表就绪后,先等待 GATE 通道的外触发沿,再等待 START/STOP 通道的触发沿,而后开始计时,直到 STOP/START 通道的触发沿出现。在此方式下,可以测得正时间间隔 (Δt_1) 或负时间间隔 (Δt_2)。在完成一次测量后,必须等待 GATE 通道的触发信号出现,才能进行下一次测量。

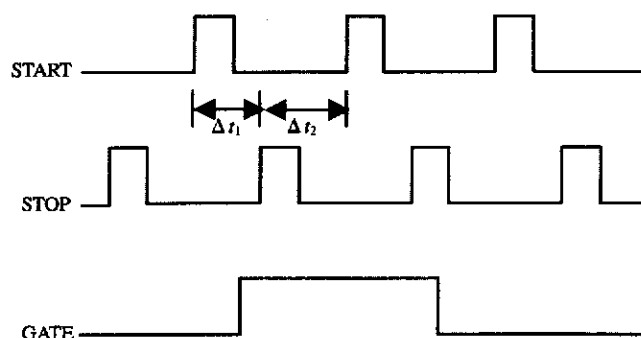


图 A.5 单沿外触发、±TIME 方式

A.1.2 时间间隔测量误差分析

对信号的测试可以使用时间间隔测量,也可使用频率测量,下面将就这两种测试中测试基准稳定度、测试系统精度与分辨率、误差的关系进行讨论。假定测试系统的频率准确度及频率稳定度都不差于一个高性能铯钟的指标。

在进行单次时间间隔测量时,其分辨率和误差与系统精度、系统噪声、触发动抖、基准稳定度、时间间隔、抽样值数量有关,通用的计算公式为:

$$\text{分辨率} = \pm \sqrt{\frac{(\text{系统精度})^2 + 2 \times (\text{触发抖动})^2}{\text{被平均抽样值数量}}} \quad (1)$$

$$\text{误差} = \pm (\text{分辨率} + \text{时间间隔} \times \text{基准稳定度} + 2 \times \text{触发电平误差} + \text{系统噪声}) \quad (2)$$

其中,

$$\text{触发抖动} = \frac{\sqrt{(\text{内部输入噪声})^2 + (\text{输入信号噪声})^2}}{\text{输入翻转速率}} \quad (3)$$

$$\text{触发电平抖动} = \frac{\text{电平精度} + \text{设置值} \times 0.5\%}{\text{输入翻转速率}} \quad (4)$$

在公式 1 中, 系统精度 $\leq 25\text{ps}$, 选择抽样值数量为 10; 在公式 3 中, 将内部输入噪声 $\leq 150\mu\text{V}$ 、输入翻转速率 $\leq 1\text{V/ns}$ 、输入信号 $\leq 1 \times 10^{-2}\text{V}$ 代入, 得出触发抖动 $\leq 10\text{ps}$; 代入公式 1, 得出分辨率 $\leq 10\text{ps}$ 。

在公式 2 中, 系统噪声 $\leq 300\text{ps}$; 在公式 4 中, 将电平精度 $\leq 15\text{mV}$, 设置值 $\leq 3\text{V}$, 输入翻转速率 $\leq 1\text{V/ns}$ 代入, 得出触发电平抖动 $\leq 30\text{ps}$; 代入公式 2, 选择时间间隔为 1000s, 对应的频率稳定度 $\leq \pm 2.7 \times 10^{-13}$, 得出误差 $\leq 640\text{ps}$ (对应的单次 1000s 频偏测量的误差优于 $\pm 6.4 \times 10^{-13}$)。

在公式 2 中, 若选择时间间隔为 1s, 对应的频率稳定度 $\leq \pm 5.0 \times 10^{-12}$, 得出误差 $\leq 350\text{ps}$ (对应的单次 1s 频偏测量的误差优于 $\pm 3.5 \times 10^{-10}$)。

若连续进行 N 次测量, 总的误差为:

$$\text{总误差} = \frac{\text{单次测量误差}}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

例如, 进行时间间隔为 1s 的单次测量, 连续测量 1000s, 代入公式 5, 得出时间间隔测量总误差将优于 11ps (对应的单次 1s 频偏测量的误差优于 $\pm 1.1 \times 10^{-11}$)。

A.2 频率测量

A.2.1 频率测量原理

频率测量是指以外参考信号为基准, 在设定的门时限内得到被测信号的触发沿的个数, 从而计算出频率值。

如图 A.6 所示, 频率测量由时间间隔测量和计数功能组成。由外参考信号产生设定的 GATE 信号, 在等到 GATE 信号的上升触发沿后, 开始一次时间间隔测量; 在等到第 K 个 (例如, 第三个) 被测信号的触发沿, 停止时间间隔测量, 得到 Δt_1 。此后开始计数被测信号的触发沿个数。在等到 GATE 信号的下降触发沿后, 开始另一次时间间隔测量; 在等到第 K 个 (例如, 第三个) 被测信号的触发沿后, 停止时间间隔测量, 得到 Δt_2 , 并且停止计数被测信号的触发沿个数。即在 Δt_x 时间内共有 N 个被测信号的有效触发沿, 对应的被测信号的频率为 $N/\Delta t_x$, 而 Δt_x 可由 Δt_1 、 Δt_2 和设定的门时间计算得到。在完成一次测量后可自动开始下一次测量。

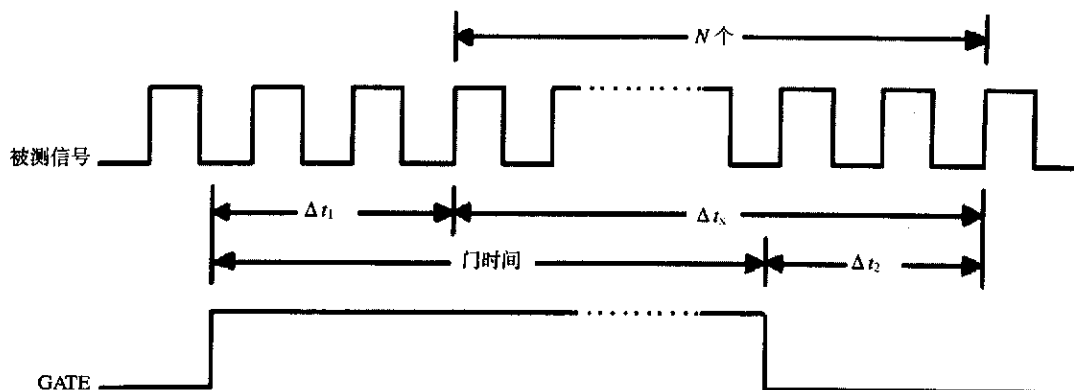


图 A.6 频率测量

A.2.2 频率测量误差分析

在进行单次频率测量时，其分辨率和误差与系统精度、系统噪声、触发动抖、基准稳定度、门时间有关，通用的计算公式为：

$$\text{分辨率} = \pm \frac{\sqrt{(\text{系统精度})^2 + 2 \times (\text{触发动抖})^2}}{\text{门时间}} \quad (6)$$

$$\text{触发动抖} = \frac{\sqrt{(\text{内部输入噪声})^2 + (\text{输入信号噪声})^2}}{\text{输入翻转速率}} \quad (7)$$

$$\text{误差} = \pm (\text{分辨率} + \text{基准稳定度} + \frac{\text{系统噪声}}{\text{门时间}}) \quad (8)$$

在公式 6 中，选择门时间为 1000s，系统精度 $\leq 25\text{ps}$ ；在公式 7 中，将内部输入噪声 $\leq 150\mu\text{V}$ 、输入翻转速率 $\leq 1\text{V/ns}$ 、输入信号噪声 $\leq 1 \times 10^{-2}\text{V}$ ，得出触发动抖 $\leq 10\text{ps}$ ；代入公式 6，得出分辨率优于 $\pm 3 \times 10^{-14}$ 。

在公式 8 中，系统噪声 $\leq 300\text{ps}$ ，对应的 1000s 的频率稳定度 $\leq \pm 2.7 \times 10^{-13}$ ，得出单次 1000s 频偏测量的误差优于 $\pm 6.0 \times 10^{-13}$ 。

在公式 6 中，选择门时间为 1s，系统精度 $\leq 25\text{ps}$ ；在公式 7 中，将内部输入噪声 $\leq 150\mu\text{V}$ 、输入翻转速率 $\leq 1\text{V/ns}$ 、输入信号噪声 $\leq 1 \times 10^{-2}\text{V}$ ，得出触发动抖 $\leq 10\text{ps}$ ；代入公式 6，得出分辨率优于 $\pm 3 \times 10^{-11}$ 。

在公式 8 中，系统噪声 $\leq 300\text{ps}$ ，对应的 1s 的频率稳定度 $\leq \pm 5 \times 10^{-12}$ ，得出单次 1s 频偏测量的误差优于 $\pm 3.4 \times 10^{-10}$ 。若连续进行 1000 次 1s 的频率测量，根据公式 5，得出单次 1s 频偏测量的总误差为 $\pm 1.1 \times 10^{-11}$ 。

A.3 两种测量方法的比较

由上述误差分析可以看出，通过时间间隔测量和频率测量的方法都可以得到所需频偏数据，而且对应的单次测量时长的误差也基本一致。考虑到需要得到高精度的测量，建议使用以 1000s（或更长的时间，如 1 天）为间隔进行单次时间间隔测量或频率测量。这两种测量方法的不同在于，用时间间隔测量方法，每隔 1000s 进行一次测试，而频率测量方法，则在 1000s 内时时刻刻都在进行测量。

关于单次测量所选用的方法及时长应结合具体的方案和测试系统的性能来制定，本标准暂不作规定。为提高测量的精度及可信度，可以从以下几个方面进行考虑：

(1) 针对公式 2 及公式 8 中的参数，使用具有更高频率准确度和频率稳定度的测量基准源，使用具有更小系统噪声的验证系统等；

- (2) 针对公式1中的参数, 提高单次时间间隔测量的被平均抽样值数量;
- (3) 针对公式2中的参数, 增加单次时间间隔测量的时间间隔;
- (4) 针对公式6及8中的参数, 增加单次频率测量的门时间;
- (5) 针对公式5的参数, 进行多次单次测量, 减小测试误差。

举例来说, 为达到 $\pm 1 \times 10^{-13}$ (暂定) 的测试精度上, 需将 1000s 的测量误差控制在 $\pm 3 \times 10^{-14}$ 的范围内。根据公式 5, 按 1000s 单次测量误差优于 $\pm 6.0 \times 10^{-13}$ 计算, 需进行 400 次测量, 即约连续 5 天的测量, 便可得到要求的测量误差精度。若测试系统各方面的性能远高于单个铯钟的指标, 则可以进一步减小单次测量的误差, 减小所需的连续测量时长。

附 录 B
(规范性附录)
使用最小二乘法计算固有频偏

B.1 振荡器噪声模型

几乎所有的振荡器都用一个重叠的随机量和确定的频率、相位变量来表示。以时间间隔测试数据为例，典型的模型如公式9所示。

$$X(t) = a + b \times t + Dr \times \frac{t^2}{2} + \phi(t) \quad (9)$$

其中：

$X(t)$ 是被测定时信号相对于基准参考的相位差；

a 是初始相位差；

b 是初始频率偏差；

Dr 是频率漂移；

$\phi(t)$ 是随机部分，即噪声。

PRC通常采用铯原子钟组的配置，其噪声主要来自原子钟本身的频率稳定度；LPR通常采用铷原子钟 + GPS的配置，其噪声主要来自原子钟本身的频率稳定度和GPS系统的噪声。由于噪声模型的不可预知性，故建议应按多种方式进行数据处理，例如，对时间间隔测量数据的二次、一次最小二乘法回归、对频率测量数据的一次最小二乘法回归等。而且，这些算法能在单次测量误差的基础上进一步修正误差的量级。现提出以下两种在特定情况下的固有频偏的计算。

B.2 对PRC的测量结果的处理

假定对PRC的测量结果中不存在频率漂移 Dr 的影响，且噪声部分 $\phi(t)$ 在一次微分后是白噪声（例如，随机、非相关，正态分布、零平均、有限变量），则可考虑采用对相位数据的一次最小二乘法回归算法计算固有频偏。

即对于公式10：

$$X(t) = a + b \times t + \phi(t) \quad (10)$$

固有频偏为：

$$\bar{b} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}}$$

其中：

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^N t_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N t_i \right)^2$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^N t_i X_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N t_i \right) \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)$$

B.3 对LPR的测量结果的处理

假定对LPR的测量结果中存在频率漂移 Dr 的影响，且噪声部分 $\phi(t)$ 在二次微分后是白噪声（例如，随机、非相关，正态分布、零平均、有限变量），则可考虑采用对相位数据的二次最小二乘法回归算法计算线性频率漂移和固有频偏。

即对于公式11:

$$X(t) = a + b \cdot t + c \cdot t^2 + \phi(t) \quad (11)$$

线性频率漂移为:

$$\bar{c} = \frac{(CS_x + \tau_0 ES_{nx} + \tau_0^2 FS_{nnx}) \times 2}{G\tau_0^2}$$

固有频偏为:

$$\bar{b} = \frac{BS_x + \tau_0 DS_{nx} + \tau_0^2 ES_{nnx}}{G\tau_0}$$

其中:

$$S_x = \sum_{n=1}^N X_n$$

$$S_{nx} = \sum_{n=1}^N (X_n \times n)$$

$$S_{nnx} = \sum_{n=1}^N (X_n \times n^2)$$

$$B = -18(2N+1)$$

$$C = 30$$

$$D = 12(2N+1)(8N+11)/[(N+1)(N+2)]$$

$$E = -180/(N+2)$$

$$F = 180/[(N+1)(N+2)]$$

$$G = N(N-1)(N-2)$$

关于比对所需的测量数据数量,即所需连续测量的时长,应在满足测量误差要求的基础上,结合控制间隔来考虑,本标准不作规定。考虑到 PRC 和 LPR 具有不同的噪声模型,故对 PRC 的测试时长可以较短(例如,一周),对 LPR 的测试时长应当适当延长(例如,两周)。

附 录 C
(规范性附录)
测试仪表要求

C.1 功能测试的仪表要求

进行功能测试所需的仪表见表C.1。所有仪表均需经过计量并在有效期内，测试中所用仪表应良好接地。

表 C.1 功能测试所需仪表及要求

仪表名称	功能要求	性能要求
定时基准	独立的定时基准 有2048kHz/5MHz/10MHz输出口	准确度: $\pm 1 \times 10^{-12}$ 频率重现性: $\pm 5 \times 10^{-13}$ 频率稳定度: 2×10^{-13} /天 (包括环境影响) 温度特性: $\pm 1 \times 10^{-13}$ (0~55℃)
数字示波器	多通道, 带2Mbit/s和2MHz信号模板	测试频率范围: $\geq 5\text{MHz}$
SSM测试仪		
终端设备		能通过人机命令对被测设备进行监控

C.2 性能测试仪表的要求及自检

进行性能测试所需的仪表见表C.2。所有仪表均需经过计量并在有效期内，测试中所用仪表应良好接地。

表 C.2 性能测试所需仪表及要求

仪表名称	功能要求	性能要求
基准定时源	独立的定时基准 有2048kHz/5MHz/10MHz输出口	准确度: $\pm 1 \times 10^{-12}$ 频率重现性: $\pm 5 \times 10^{-13}$ 频率稳定度: 2×10^{-13} /天 (包括环境影响) 温度特性: $\pm 1 \times 10^{-13}$ (0~55℃)
漂移分析仪	能测量时间间隔 有2048kHz/10MHz外定时口	分辨率: $\leq 200\text{ps}$ 抽样率: $\geq 30\text{Hz}$ 数据存储容量: $\geq 256\text{KB}$
抖动测试仪	有2Mbit/s或2MHz测试口	精度: 优于0.01UI
时间间隔分析仪	能测量频率及时间间隔 有5/10MHz外定时口	分辨率: $\leq 200\text{ps}$ 抽样率: $\geq 2000\text{Hz}$ 数据存储容量: $\geq 256\text{KB}$
CMCV接收机	频率标准系统所在地点及测试地点均应 有共模共视功能的GPS接收机; 具有1PPS测试口	测试系统精度: CMCV方式下优于5ns 频率标准系统的频率准确度应优于 $\pm 1 \times 10^{-13}$

根据测试项目，仪表在测试前或测试期间应按照下面步骤进行自检：

(1) 设置时间间隔分析仪的抽样率为2000Hz，测量时间为100s。计算MTIE，结果应满足：MTIE (0.001s) < 2ns。

YD/T 1479-2006

(2) 设置漂移分析仪的抽样率为30Hz (或更高) 且通过一个等效10Hz单极点低通滤波器, 测量时间为100s。计算MTIE和TDEV, 结果应满足: $MTIE(1s) < 2ns$, $TDEV(1s) < 0.2ns$ 。

(3) 设置抖动测试仪测量带宽为20Hz ~ 100kHz, 测量时长为60s, 测试理想信号。计算峰-峰抖动值, 其结果应满足: 优于 $0.005UI$ 。

附 录 D
(资料性附录)
共模共视 (CMCV) 简介

在对一级时钟的测试中,作为基准参考信号的频率准确度应达到 $\pm 1 \times 10^{-13}$ 以上,这在实际测试中很难实现。事实上,高精度的频率标准系统结构都比较复杂,它一般由多个铯钟组成,并且有相应的比对系统,当然,它不可能是便携的。共模共视 (CMCV) 测试法的目的就是要解决绝对测量标准的问题。

CMCV (Common Mode Common View) 测试方法通过使用两个 CMCV 接收机,可以异地利用不能携带的时间/频率标准系统,准确地测出本地待测 GPS 接收机的输出性能。即在某一时刻,CMCV 接收机 A 和 CMCV 接收机 B 的信号接收路径均经过电离层和对流层,而且它们都同时跟踪某一颗特定的 GPS 卫星,此时可近似认为两个 GPS 接收机具有相同的接收条件,以它们为基准同时开始的测试可认为是以相同基准进行的测试,另外为消除测量误差,两个 CMCV 接收机必须对内部定时参考进行相同的操作,并对测量数据作相同的处理,在这种情况下测得的结果可以消除电离层等介入的干扰。

图 D.1 给出了共模共视测试法的示意。

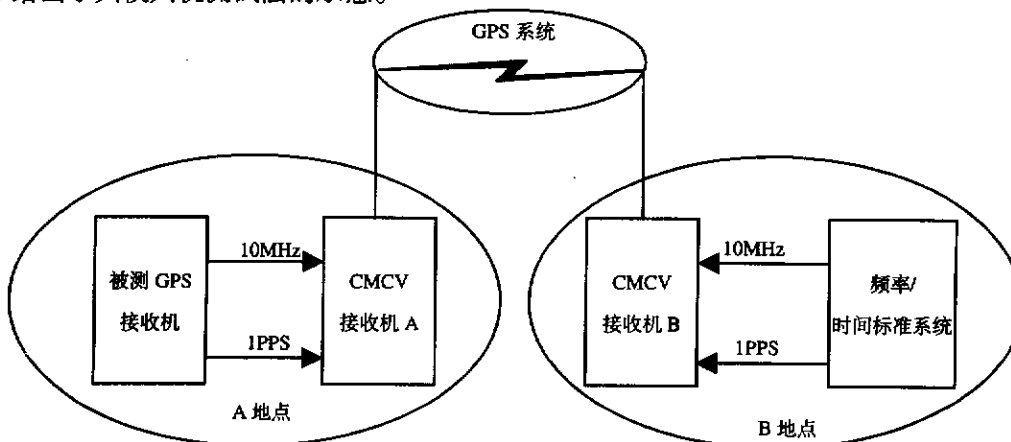


图 D.1 共模共视测试法的示意