

ICS 040.20

CCS M33

# 团 体 标 准

T/CCSA 451—2023

## 用于定位的纳秒级同步 技术要求 and 测试方法

Technical requirements and test methods of nanosecond level synchronization for positioning

2023 - 10 - 26 发布

2024 - 01 - 01 实施

中国通信标准化协会 发布

## 版权声明

本文件的版权属于中国通信标准化协会，任何单位和个人未经许可，不得进行技术文件的纸质和电子等任何形式的复制、印刷、出版、翻译、传播、发行、合订和宣贯等，也不得未经允许采用其具体内容编制本协会以外各类标准和技术文件。如有以上需要请与本协会联系。

邮箱：[IPR@ccsa.org.cn](mailto:IPR@ccsa.org.cn)

电话：010-62302847



## 目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	2
5 用于定位的纳秒级同步组网要求.....	2
5.1 总体要求.....	2
5.2 同步组网要求.....	3
6 用于定位的纳秒级同步性能指标要求.....	3
7 用于定位的纳秒级同步传送技术.....	4
8 用于定位的纳秒级同步接口要求.....	4
9 用于定位的纳秒级同步网络可靠性.....	6
9.1 同步源的可靠性要求.....	6
9.2 同步设备及同步链路设置要求.....	6
9.3 同步设备冗余配置要求.....	6
9.4 时间参考源选择要求.....	6
10 用于定位的纳秒级同步典型应用场景.....	7
11 用于定位的纳秒级同步设备基本要求.....	7
11.1 概述.....	7
11.2 设备功能要求.....	7
11.3 设备性能要求.....	9
12 测试方法.....	10
12.1 概述.....	10
12.2 测试仪表要求.....	10
12.3 功能验证.....	10
12.4 性能测试.....	14
附录 A（资料性）PTP 技术功能及性能介绍.....	19
附录 B（资料性）WR 技术功能及性能介绍.....	22
附录 C（资料性）DTI 技术功能及性能介绍.....	25
附录 D（资料性）光纤时频传递技术功能及性能.....	27
附录 E（资料性）卫星共视技术功能及性能介绍.....	28

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国通信标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：中国信息通信研究院、中兴通讯股份有限公司、中国计量科学研究院、中国信息通信科技集团有限公司、中国科学院空天信息创新研究院、中国电信集团有限公司、北京邮电大学、北京东方计量测试研究所、中国科学院微电子研究所。

本文件主要起草人：缪新育、胡昌军、程华、陈诗军、梁坤、李曙方、潘峰、刘文学、杜希、罗彬、尹露、王田、赵旭。

## 引 言

为适应信息通信业发展对标准文件的需求，由中国通信标准化协会组织制定“中国通信标准化协会团体标准”，推荐有关方面采用。有关对本文件的建议和意见，向中国通信标准化协会反映。



# 用于定位的纳秒级同步技术要求和测试方法

## 1 范围

本文件规定了用于定位的纳秒级同步组网要求、性能指标要求、传送技术、接口要求、可靠性要求、典型应用场景以及相关设备基本要求。本文件还描述了用于定位的纳秒级同步设备的测试方法。

本文件适用于米级及以上精度定位应用场景的纳秒级同步组网。

## 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 7611—2016 数字网系列比特率电接口特性
- YD/T 2022—2009 时间同步设备技术要求
- YD/T 2375—2019 高精度时间同步技术要求
- YD/T 2550—2013 时间同步设备测试方法
- YD/T 2879—2015 基于分组网络的同步网操作管理维护（OAM）技术要求
- YD/T 3936—2021 基于移动通信网的高精度定位总体技术要求
- IEEE 802.3 以太网标准（IEEE Standard for Ethernet）
- IEEE 1588 网络测量和控制系统的精确时钟同步协议（IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems）
- IEEE 白兔子规范草案（2.0 版本）（White Rabbit Specification: Draft for Comments version 2.0）
- ITU-T G.703 数字系列接口的物理/电气特性（Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces）
- ITU-T G.8264 同步信息在分组网内的传递（Distribution of timing information through packet networks）
- ITU-T J.211 电缆调制解调器终端系统的定时接口（Timing interface for cable modem termination systems）

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

#### 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

1PPS	秒脉冲	1 Pulse Per Second
BC	边界时钟	Boundary Clock
BMC	最佳主时钟	Best Master Clock
DTI	有线电视数据服务定时接口	DOCSIS Timing Interface
GNSS	全球导航卫星系统	Global Navigation Satellite System
GPS	全球定位系统	Global Positioning System
OC	普通时钟	Ordinary Clock
PTP	精确时间协议	Precision Time Protocol
SSM	同步状态信息	Synchronization Status Message
ToD	当前时刻	Time of Day
UTC	协调世界时	Coordinated Universal Time
WR	白兔子	White Rabbit

#### 5 用于定位的纳秒级同步组网要求

##### 5.1 总体要求

定位总体组网架构包含 3 个层次：授时网络、同步网络和通信定位一体化网络，如图 1 所示。其中授时网络用于实现高精度授时源头，一般基于卫星授时系统或国家守时钟组系统；同步网络主要用于实现高精度同步信号的低损传送，可采用多种同步技术或基于专线；通信定位一体化网络主要用于定位的设备或终端获取高精度同步信号，为用户提供基于高精度同步的定位服务。

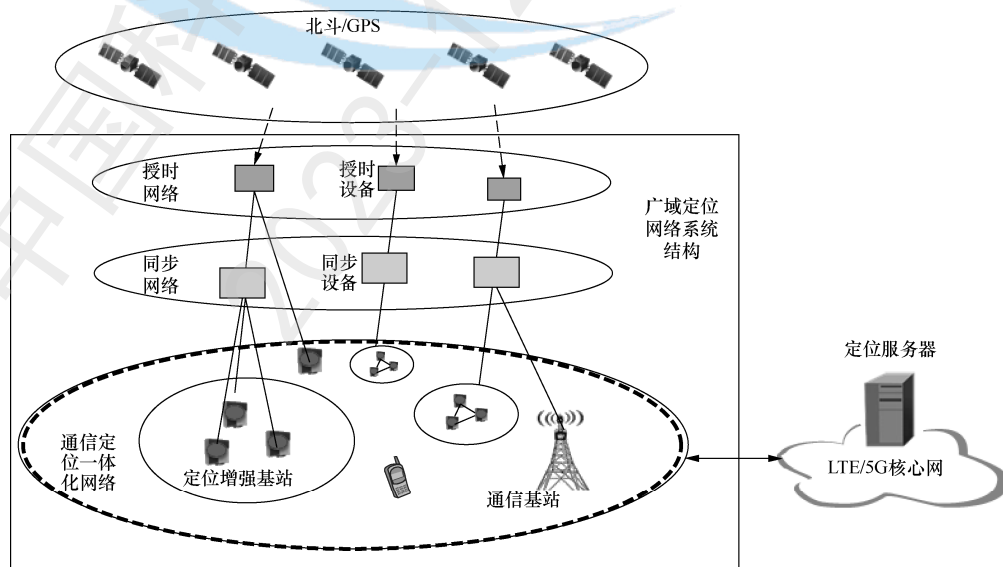


图 1 广域定位网络系统结构

本文件主要规范同步网络的相关要求，由于授时网络和同步网络关系密切，在通信网中授时网络设备通常和同步设备共同组成同步源设备。另外，通信定位一体化网络为最终用时单元，因此，本文件也规范授时网络同步源设备和通信定位一体化网络末端应用设备的相关要求。具体包括授时网络同步源设备、同步网络所采用的同步传送设备及通信定位一体化网络中末端应用设备的功能及性能要求，还包括同步技术相关的功能及性能要求，授时网络、同步网络与通信定位一体化网络的接口要求等。为了实现纳秒级同步要求，同步网络根据不同场景需求可采用的同步技术包括 IEEE 1588 技术(PTP)、WR 技术、DTI 技术、光纤时频传递技术、卫星共视技术等。

## 5.2 同步组网要求

同步网由同步源设备、同步传送设备和末端应用设备组成，采用逐级同步的方式进行高精度时频传送，组网结构可以是星形、链形或星形与链形的组合，同步组网模型如图 2 所示。同步源设备和同步传送设备实现同步信号的获取与低损传送，末端应用设备从末端同步设备获取时间参考，末端同步设备是指与末端应用设备直接相连的同步源设备或同步传送设备。逐级同步方式采用的级数与具体采用的同步技术相关，可按需配置同步源设备直接与末端应用设备相连，或采用不同末端应用设备连接到某一共同同步节点的方式。

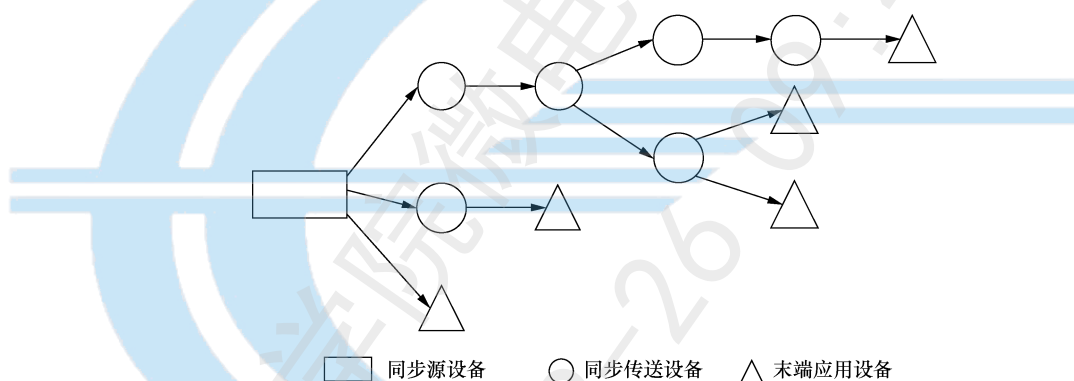


图 2 同步组网模型

## 6 用于定位的纳秒级同步性能指标要求

用于定位的纳秒级同步性能指标要求如下。

- 同步源设备绝对时间精度：优于 $\pm 20\text{ ns}$ （单频信号）/ $\pm 8\text{ ns}$ （双频信号）。
- 末端同步设备间相对时间同步精度：根据不同定位精度要求，采用不同同步指标，应满足 YD/T 3936—2021 中表 3 规定的要求，其中，时间同步精度为最小值和最大值。
- 末端应用设备间相对时间同步精度：根据不同定位精度要求，采用不同同步指标，应符合表 1 的规定。

表 1 末端应用设备间相对时间同步指标

精度等级	定位指标/m	相对时间同步精度/ns
3	1	± 3
4	3	± 10
5	10	± 30

## 7 用于定位的纳秒级同步传送技术

为保证纳秒级的同步精度，可采用以下 5 种同步传送技术：

- a) PTP 技术：功能及性能介绍参见附录 A；
- b) WR 技术：功能及性能介绍参见附录 B；
- c) DTI 技术：功能及性能介绍参见附录 C；
- d) 光纤时频传递技术：功能及性能介绍参见附录 D；
- e) 卫星共视技术：功能及性能介绍参见附录 E。

以上技术的同步精度指标，应符合表 2 的规定。

表 2 纳秒级同步传送技术同步精度指标

同步传送技术	时间同步精度
光纤时频传递	100 ps 量级
WR	1 ns 量级
PTP	10 ns 量级
DTI	10 ns 量级
卫星共视	10 ns 量级

本文件主要规定同步传送技术的相关接口要求以及末端到末端同步性能要求，在同步平面内部不对同步传送技术实现做具体规定。

## 8 用于定位的纳秒级同步接口要求

用于定位的纳秒级同步组网的相关接口，包括平面内互联接口和平面间互联接口两种类型，其中平面内接口包括授时网络内部的设备互联接口，同步网络内部的设备互联接口，以及通信定位一体化网络内部的设备互联接口，在本文件中不做规定。对平面间互联接口包括授时网络设备与同步网络设备之间的外部接口，以及同步网络设备与通信定位一体化网络设备之间的外部接口两部分，本文件主要对平面间互联接口的接口类型、协议、物理电器特性等进行规定，具体规定如下。

## a) 接口种类

- 1) 时间同步输入和输出接口种类：支持 1PPS、1PPS+ToD、PTP、WR、DTI、光纤时频传递或卫星共视接口。
- 2) 频率同步输入和输出接口种类：支持 2048 kHz、2048 kbit/s、10 MHz、GE、10 GE 同步以太、DTI 或光纤时频传递接口。
- 3) 授时平面与同步平面之间和同步平面与末端应用平面之间的常用同步技术，应符合表 3 的规定。

表 3 各平面之间的常用同步技术

同步技术	授时平面—同步平面	同步平面—末端应用平面
PTP	PTP	PTP、1PPS+TOD
WR	WR	WR
DTI	DTI	DTI、1PPS+TOD
光纤时频传递	光纤时频传递	光纤时频传递
卫星共视	卫星共视	卫星共视、1PPS+TOD

## b) 物理电气特性

- 1) PTP 接口：支持 GE 光口、10 GE 光口等，应满足 IEEE 802.3-2018 中 SECTION3 和 SECTION4 规定的要求。
- 2) 1PPS+ToD 接口：1PPS 秒脉冲上升沿时间应小于 10 ns，其他要求应满足 YD/T 2375—2019 中 8.3.1 b) 和 c) 规定的要求。
- 3) 1PPS 接口：脉冲上升沿的 10%~90% 的宽度应小于 1 ns，其他要求应满足 GB/T 7611—2016 中 5.10.2 规定的要求。
- 4) DTI 接口：应满足 ITU-T J.211—2006 第 6 章规定的要求。
- 5) 2048 kbit/s 接口：电气特性应满足国标 GB/T 7611—2016 中 5.2 规定的要求，并应具有按 SSM 信息和按优先级进行人工或自动倒换的功能。
- 6) 2048 kHz 接口：应满足国标 GB/T 7611—2016 中 5.9 规定的要求，并应具有预置 SSM 质量等级的功能，具有按 SSM 等级信息和按优先级进行人工或自动倒换的功能。
- 7) 10 MHz 接口：应满足 ITU-T G.703—2016 第 20 章规定的要求。
- 8) 同步以太网接口：可与 PTP 共用物理接口，SSM 处理功能应满足 ITU-T G.8264—2018 中 11.3 规定的要求。

## c) PTP

PTP 要求包括报文封装、报文传送模式、报文类型、报文发送间隔、延时机制、One-step/Two-step 模式等，应满足 YD/T 2375—2019 中 8.2 规定的要求。

## d) 1PPS+ToD 协议

1PPS+ToD 协议中 ToD 传输机制、帧结构和消息定义应满足 YD/T 2375—2019 中 8.3.1、8.3.2

和 8.3.3 规定的要求。

e) DTI 协议:

DTI 定时协议应满足 ITU-T J.211 第 7 章规定的要求。

f) 时标

PTP 接口应采用 PTP 时标, 1PPS+ToD 接口应采用 GNSS 时标, DTI 接口应采用 DTI 时标。

## 9 用于定位的纳秒级同步网络可靠性

### 9.1 同步源的可靠性要求

应满足 YD/T 2375—2019 中 9.1 规定的要求。

### 9.2 同步设备及同步链路设置要求

同步设备及同步链路设置要求如下:

- a) 各级主备用同步设备应设置在不同的物理局端;
- b) 同步设备应放置在温度受控的机房内, 远离机房内的空调设备、电源机柜、强电磁设备;
- c) 同步设备地面时间链路的主备用地面链路应采用不同的物理路由。

### 9.3 同步设备冗余配置要求

同步设备冗余配置要求如下:

- a) 同步设备的时钟卡、电源卡等重要卡板均应为冗余配置;
- b) 同步源设备应配置双模卫星接收机(例如, GPS+北斗)或者两个单模卫星接收机;
- c) 支持多种卫星信号和地面信号同时接收, 实现各种时间参考源信号自动切换;
- d) 所有时间参考源失效后, 可以利用地面频率输入信号或内部时钟进行守时;
- e) 设备的平均故障时间不应小于 20 年。设备卡板在运行时应可带电插拔。

### 9.4 时间参考源选择要求

#### 9.4.1 时间参考源倒换条件

纳秒级时间同步网应支持故障自动倒换, 以便在同步链路发生故障时可以自动倒换到备用参考源或者链路上, 实现同步链路和性能自愈, 满足业务的同步需求。

参考源自动倒换条件包括:

- a) 同步链路LOS;
- b) 同步链路故障(linkdown);
- c) 同步接口输入信号丢失;
- d) 同步接口输入信号不可用;
- e) PTP优先级1(Priority1)和优先级2(Priority2)降低;
- f) PTP时钟等级(clockClass)降低或1PPS+ToD接口秒脉冲状态等级降低;
- g) PTP时钟精度(clockAccuracy)降低;
- h) PTP分组报文定时失效。

### 9.4.2 时间参考源选择机制

PTP 及 1PPS+ToD 时间选源机制应满足 YD/T 2375—2019 中 9.4.3 规定的要求。WR 端口时间选源机制应满足 IEEE 白兔子规范草案（2.0 版本）中 6.4 规定的要求。1PPS+ToD、PTP、WR、DTI、光纤时频传递或卫星共视接口均可支持人工配置选源。

## 10 用于定位的纳秒级同步典型应用场景

典型应用场景的时间同步要求，应符合表 4 的规定。

表 4 典型应用场景时间同步精度要求和实现技术

总体场景	末端应用间相对同步技术指标	典型实现技术
城区（千米级）	3 ns 量级（米级定位）	光纤时频传递、WR
室内（千米级以内）	3 ns 量级（米级定位）	光纤时频传递、WR
郊区（千米级）	30 ns 量级（十米级定位）	DTI、PTP、卫星共视

## 11 用于定位的纳秒级同步设备基本要求

### 11.1 概述

按照在同步组网所处的位置不同，用于定位的纳秒级同步技术涉及的设备类型分为同步源设备、同步传送设备及末端应用设备。

### 11.2 设备功能要求

#### 11.2.1 同步源设备功能要求

同步源设备应具备如下基本功能。

##### a) 参考源选择功能

同步源设备在正常情况下应跟踪卫星授时接收机信号，在本站卫星信号不可用的情况下，可跟踪地面时间信号；在卫星授时信号和地面时间信号均不可用的情况下，应利用地面频率输入信号进行守时；在全部时间和频率输入信号均不可用的情况下，应利用内部时钟保持进行守时。

##### b) 接口种类

- 1) 卫星信号接收接口：北斗或其他卫星授时接收机，可采用双频信号处理或其他方式；
- 2) 频率同步输入和输出接口种类：2048 kHz、2048 kbit/s、10 MHz、GE、10 GE 同步以太、DTI（根据不同定位精度要求进行选配）或光纤时频传递（根据不同定位精度要求进行选配）接口；
- 3) 时间同步输入和输出接口种类：1PPS、1PPS+ToD、PTP、WR（根据不同定位精度要求进行选配）、DTI（根据不同定位精度要求进行选配）、光纤时频传递（根据不同定位精度要

求进行选配)和卫星共视(根据不同定位精度要求进行选配)接口。

- c) 物理接口类型
  - 1) PTP/WR 物理接口类型: GE 光口、10 GE 光口等;
  - 2) 1PPS 物理接口类型: BNC/SMA;
  - 3) 1PPS+ToD 物理接口类型: RJ45;
  - 4) DTI 物理接口类型: RJ45;
  - 5) 专用同步协议物理接口类型,例如,光纤时频传递和卫星共视接口,与同步传送设备接口保持一致。
- d) 振荡器种类  
可选择配置铯钟、铷钟或者高稳晶振。
- e) PTP时间协议应满足第8章规定的要求,PTP工作方式要求如下:
  - 1) 应支持 OC 模式;
  - 2) PTP 端口可设置为 Enable 和 Disable。
- f) 时延补偿功能  
应支持时延补偿功能,其中天馈系统补偿的时间为 0 ns~500 ns; PTP/WR/DTI/光纤时频传递/卫星共视接口支持补偿为-100 ns~100 ns; 1PPS/1PPS+ToD 补偿的时间为 0 ns~100 ns,补偿步长不大于 0.1 ns。
- g) 性能及故障管理功能  
性能监测功能应满足 YD/T 2879—2015 中 5.4 规定的要求,故障管理功能应满足 YD/T 2879—2015 中 5.3 规定的要求。

### 11.2.2 同步传送设备功能要求

同步传送设备应具备如下基本功能。

- a) 参考源选择功能  
同步传送设备在正常情况下应跟踪地面时间信号,应利用地面频率输入信号进行守时;在地面时间频率信号均不可用的情况下,可跟踪卫星授时接收机信号(可选);在全部时间和频率输入信号均不可用的情况下,应利用内部时钟保持进行守时。
- b) 接口种类:
  - 1) 卫星信号接收接口(可选);北斗或其他卫星授时接收机,可采用双频信号处理或其他方式;
  - 2) 频率同步输入和输出接口种类: 2048 kHz、2048 kbit/s、10 MHz(可选)、GE、10 GE 同步以太、DTI(根据不同定位精度要求进行选配)或光纤时频传递(根据不同定位精度要求进行选配)接口;
  - 3) 时间同步输入接口种类: 1PPS(可选)、1PPS+ToD、PTP、WR(根据不同定位精度要求进行选配)、DTI(根据不同定位精度要求进行选配)、光纤时频传递(根据不同定位精度要求进行选配)和卫星共视(根据不同定位精度要求进行选配)接口;
  - 4) 时间同步输出接口种类: 1PPS、1PPS+ToD、PTP、WR(根据不同定位精度要求进行选配)、DTI(根据不同定位精度要求进行选配)、光纤时频传递(根据不同定位精度要求进行选

配)和卫星共视(根据不同定位精度要求进行选配)接口。

- c) PTP时间协议应满足第8章规定的要求,PTP工作方式应满足YD/T 2375—2019中10.2.1 d)规定的要求。
- d) 其他功能

物理接口类型、振荡器种类、时延补偿功能、性能及故障管理功能与同步源设备相同。

### 11.2.3 末端应用设备功能要求

末端应用设备应具备如下基本功能。

#### a) 参考源选择功能

末端应用设备在正常情况下应跟踪地面时间信号,应利用地面频率输入信号进行守时;在地面时间频率信号均不可用的情况下,可跟踪卫星授时接收机信号(可选);在全部时间和频率输入均不可用的情况下,应利用内部时钟保持进行守时。

#### b) 接口种类

- 1) 卫星信号接收接口(可选);北斗或其他卫星授时接收机,可采用双频信号处理或其他方式;
- 2) 频率同步输入接口种类,与同步传送设备接口保持一致;
- 3) 频率同步输出接口种类:2048 kHz、2048 Kbit/s;
- 4) 时间同步输入接口种类:与同步传送设备接口保持一致;
- 5) 时间同步输出接口种类:1PPS和1PPS+ToD。

- c) PTP时间协议应满足第8章规定的要求,PTP工作方式应满足YD/T 2375—2019中10.3 d)规定的要求。

#### d) 其他功能

物理接口类型、振荡器种类、PTP时间协议要求/工作方式、时延补偿功能、性能及故障管理功能与同步传送设备相同。

## 11.3 设备性能要求

### 11.3.1 同步源设备时间同步性能

在正常跟踪于授时网络或卫星授时接收机的情况下,时间输出接口相对可用的基准时间(例如,UTC)的时间偏差应满足第6章规定的要求。

### 11.3.2 同步传送设备时间同步性能

在正常跟踪PTP、WR、DTI、光纤时频传递、卫星共视接口输入信号的情况下,时间输出接口相对输入的时间偏差应满足表2规定的要求。

### 11.3.3 末端应用设备时间同步性能

在正常跟踪PTP、WR、DTI、光纤时频传递、卫星共视接口输入信号的情况下,时间输出接口相对输入的时间偏差参照表2规定的要求。在正常跟踪1PPS+ToD接口输入信号的情况下,时间输出接口相对输入的时间偏差应优于 $\pm 10$  ns。

## 12 测试方法

## 12.1 概述

本章描述了用于定位的纳秒级同步技术测试方法，通过对相关指标和测试方法的规范，确定用于定位的纳秒级同步技术的指标合格性和符合性。本章重点规范了用于定位的各类纳秒级同步网设备的测试方法，包括功能验证和性能测试。

## 12.2 测试仪表要求

测试仪表配置要求，应符合表 5 的规定。

表 5 测试仪表配置要求

仪表名称	功能要求	性能要求
卫星共视仪	支持 1PPS/1PPS+ToD 输出 支持 10 MHz 输出	频率准确度优于 $\pm 5.0 \times 10^{-13}$ 1PPS/1PPS+ToD 时间偏差优于 $\pm 10$ ns
时间分析仪	支持 1PPS/1PPS+ToD/PTP 时间测试接口 支持时间间隔测量功能 支持 10 MHz 外同步口输入	绝对时间精度优于 $\pm 50$ ns 1PPS/1PPS+ToD 测量分辨率： $\leq 100$ ps PTP 测量分辨率： $\leq 1$ ns 抽样率： $\geq 1$ Hz
时间间隔计数器	支持 1PPS 时间测试接口	时间间隔测量分辨率： $\leq 25$ ps
数字示波器	支持多通道测量	带宽： $\geq 1$ GHz 采样率： $\geq 4$ GSa/s 存储： $\geq 8$ Mpts
协议分析仪	支持 PTP 报文解析	/

## 12.3 功能验证

## 12.3.1 同步设备输入输出功能验证

## 12.3.1.1 验证原理

配置两端采用背靠背方式连接的被测同步设备，其中一端作为主设备，另一端作为从设备。配置主设备正常跟踪于卫星授时接收机，从设备通过时间同步接口跟踪于主设备。在被测设备正常工作情况下，以卫星授时接收机作为时间参考，测试主设备和/或从设备时间输出接口的时间精度、PTP/WR/DTI 等协议、物理接口波形等。测试原理如图 3 所示，外时间参考通过授时网络或卫星授时接收机获得，被测设备包括同步源设备、同步传送设备和末端应用设备，通常用时间分析仪进行时间测量，用协议分析仪进行协议分析，用数字示波器进行物理接口验证。

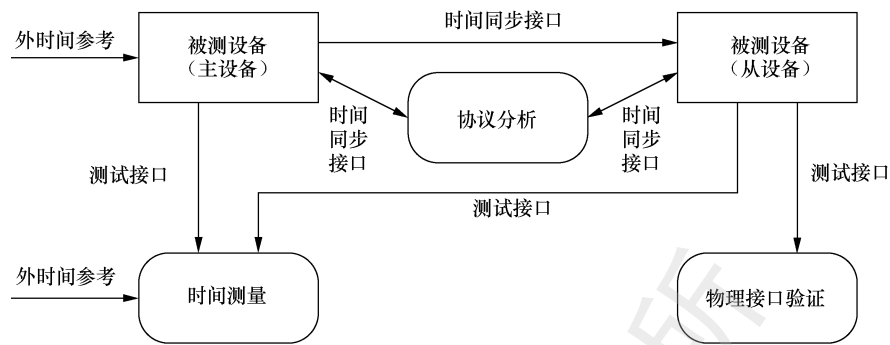


图3 时间同步功能验证原理

### 12.3.1.2 验证步骤

验证步骤如下。

a) 按照图4进行连接，在被测设备及测试仪表均正常运行情况下开始以下验证步骤。

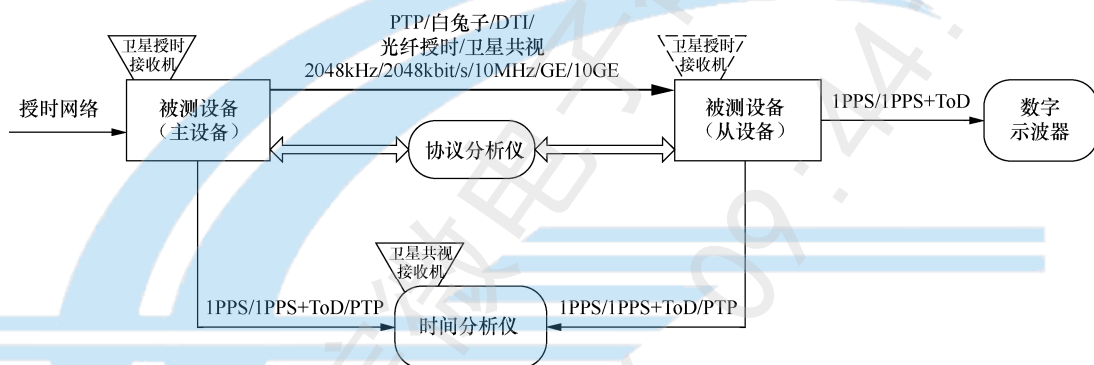


图4 时间同步输入输出功能验证示意

- 设置时间分析仪的时间参考源为卫星共视接收机，并补偿天馈线引入的时延。
- 配置主设备的时间和频率参考源均为卫星授时接收机或授时网络，通过被测设备网管确认工作在锁定状态。通过主设备网管修改天馈线的时延补偿，确认设置范围和补偿步长。在主设备正常锁定后，通过时间分析仪测试结果确认主设备输出时间精度与补偿预期一致。
- 配置从设备的时间参考源为主设备的PTP/WR/DTI/光纤时频传递/卫星共视等输出信号，频率参考源为主设备的2048 KHz、2048 kbit/s、10 MHz、GE、10 GE同步以太、DTI或光纤时频传递信号，通过被测设备网管确认工作在锁定状态。通过时间分析仪测试结果确认主设备和从设备输出时间差精度在1000s的观察时间内应满足表2规定的要求。
- 通过被测设备网管修改从设备1PPS/1PPS+ToD/PTP/WR/DTI/光纤时频传递/卫星共视输入接口的时延补偿值，确认设置范围和补偿步长，通过时间分析仪测试结果确认从设备输出时间精度与补偿一致，对于1PPS/1PPS+ToD输出信号，补偿误差优于0.1 ns。
- 通过被测设备网管修改从设备的ToD时间，确认是否支持人工设置ToD时间功能，同时通过时间分析仪是否能正常接收ToD信息来验证ToD帧结构的正确性。
- 配置主设备和从设备间的PTP接口参数，包括报文封装、报文传送模式、报文类型、报文发送间隔、延时机制和One-step/Two-step模式，通过协议分析仪或者抓包工具确认PTP报文及参数的正确。

- h) 配置从设备的时间参考源为多个，并配置为不同的优先级。在人工插拔或网管删除主用时间参考源之后，通过被测设备网管确认从设备跟踪新的输入时间参考源且工作状态正常，通过时间分析仪测试结果确认切换后从设备输出时间精度在1000s的观察时间内应满足表2规定的要求。
- i) 记录被测设备支持的时间输出接口类型及数量，并通过数字示波器测试1PPS/1PPS+ToD输出信号的上升沿时间、脉冲宽度、脉冲幅度、ToD的发送时刻、ToD的发送时长等物理接口波形信息。

### 12.3.1.3 验证结果

#### 12.3.1.3.1 时间同步输入基本要求

时间同步设备可以通过卫星授时接收机或者地面时间输入信号获得时间同步。

#### 12.3.1.3.2 卫星授时接收机

对于卫星授时接收机：

- a) 能配置基于北斗或其他卫星授时系统的单模或多模接收机；
- b) 卫星授时接收机可以采用内置式或外置式。对于内置式卫星接收机，卫星接收机和时间同步设备间的接口为内部接口，本文件不作要求。对于外置式卫星接收机，卫星接收机和时间同步设备间的接口宜采用 1PPS+ToD 接口；
- c) 对于内置式卫星授时接收机，支持天馈线时延补偿功能。

#### 12.3.1.3.3 地面时间输入输出

对于地面时间输入输出有以下形式。

- a) 能支持以下一种或多种时间输入输出接口：
  - 1) 1PPS+ToD 接口；
  - 2) PTP 接口；
  - 3) WR 接口；
  - 4) DTI 接口；
  - 5) 光纤时频传递接口；
  - 6) 卫星共视接口。
- b) 支持至少两路地面时间输入接口，多路时间输入接口间应支持自动或人工倒换功能。
- c) 地面时间输入接口与内置式卫星授时接收机间支持自动或人工倒换功能。
- d) 对于1PPS+ToD接口，支持电缆时延补偿功能和设置时间与闰秒的功能，波形和协议满足第8章规定的要求。
- e) 对于PTP接口，支持时延补偿功能，报文封装及报文类型满足第8章规定的要求。

### 12.3.2 本地时钟守时功能

#### 12.3.2.1 验证原理

同 12.3.1.1。

### 12.3.2.2 验证步骤

验证步骤如下。

- a) 按照图 5 进行连接，在被测设备及测试仪表均正常运行情况下开始以下验证步骤。

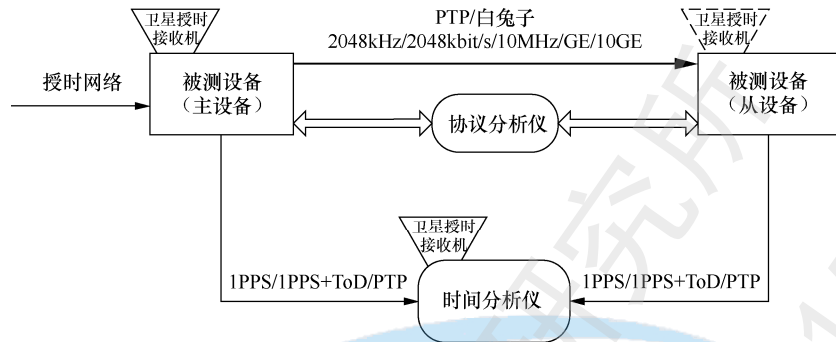


图 5 本地时钟守时能验证示意

- b) 设置时间分析仪的时间参考源为卫星授时接收机，并补偿天馈线引入的时延。
- c) 配置主设备的时间和频率参考源均为卫星授时接收机或授时网络，从设备的频率参考源为地面的 2048 kHz、2048 kbit/s、10 MHz、GE、10 GE 或卫星授时接收机信号，时间参考源为 PTP/WR 或卫星授时接收机信号。通过被测设备网管确认时间同步和频率同步均为锁定状态，通过时间分析仪及抓包工具确认 ToD 及 PTP 时钟等级为正常跟踪卫星信号的等级，即 0 和 6。
- d) 人工断掉从设备地面时间参考信号或卫星天馈线，通过被测设备网管确认从设备时间同步为守时状态，频率同步仍为锁定状态。通过时间分析仪及抓包工具确认 ToD 和 PTP 时钟等级为 PRC 守时的等级，即 1 和 7。
- e) 人工断掉从设备频率参考信号，通过被测设备网管确认从设备时间同步为守时状态，频率同步为保持状态，通过时间分析仪及抓包工具确认 ToD 及 PTP 时钟等级为内部时钟守时的等级，即 1 和 7。
- f) 恢复从设备时间参考信号或卫星天馈线，通过被测设备网管确认从设备的时间同步为锁定状态，对于频率同步仍为保持状态的情况下，通过时间分析仪及抓包工具确认 ToD 和 PTP 时钟等级为正常跟踪可用基准时间信号的等级，即 0 和 6。
- g) 恢复从设备频率参考信号，通过被测设备网管确认从设备的时间同步和频率同步均为锁定状态，通过时间分析仪及抓包工具确认 ToD 和 PTP 时钟等级为正常跟踪可用基准时间信号的等级，即 0 和 6。

### 12.3.2.3 验证结果

时间同步设备能基于内部时钟提供守时功能，能通过频率同步接口获得守时所需的频率同步，验证结果满足 YD/T 2022—2009 中 5.2 规定的要求。

ToD 与 PTP 时钟等级的对应关系，符合表 6 的规定。

表 6 秒脉冲 ToD 与 PTP 时钟等级的对应关系

1PPS+ToD 秒脉冲状态编码	PTP 时钟等级 (clockclass) 编码	状态描述
0	6	正常
1	7	可用基准时间信号丢失, 时间同步设备保持

### 12.3.3 监控管理功能

#### 12.3.3.1 验证原理

同 12.3.1.1。

#### 12.3.3.2 验证步骤

验证步骤如下。

- a) 按照图 4 进行连接, 在被测设备及测试仪表均正常运行情况下开始以下验证步骤。
- b) 设置时间分析仪的时间参考源为卫星共视接收机, 并补偿天馈线引入的时延。
- c) 配置主设备的时间参考源为卫星授时接收机或授时网络, 从设备的时间参考源为主设备的 PTP/WR/DTI/光纤时频传递/卫星共视信号, 从设备频率参考源为主设备的 2048 kHz、2048 Kbit/s、10 MHz、GE、10 GE 同步以太、DTI 或光纤时频传递信号。
- d) 通过网管/终端设备连至被测设备的网管接口, 应能获取被测设备存储的告警/事件信息及性能监测数据。
- e) 通过网管查询主设备卫星接收机的监测参数, 应能获取跟踪的卫星数量、卫星信号灵敏度/信噪比、卫星接收机工作状态等信息。
- f) 通过网管查询主设备是否支持对卫星授时接收机的告警及性能监测功能, 查询从设备是否支持对时间和频率输入信号的告警及性能监测功能。
- g) 以具有三级 (高级) 口令的用户 A/密码 A 登录, 修改密码 A 为 A1 并重新登录。创建具有二级 (中级) 口令的用户 B/密码 B 和具有一级 (低级) 口令的用户 C/密码 C, 并以用户 B/密码 B 登录, 通过人机命令应能设置和修改被测设备中的参数或工作状态。以用户 C/密码 C 登录, 通过人机命令应能查询被测设备中的参数或工作状态。以用户 A/密码 A 登录, 修改密码 A1 为 A, 删除用户 B/密码 B 和用户 C/密码 C 并重新登录。

#### 12.3.3.3 验证结果

验证结果满足 YD/T 2022—2009 中 5.4 规定的要求。

### 12.4 性能测试

#### 12.4.1 绝对时间精度

##### 12.4.1.1 测试原理

同 12.3.1.1。

### 12.4.1.2 测试步骤

测试步骤如下。

a) 按照图 6 进行连接。

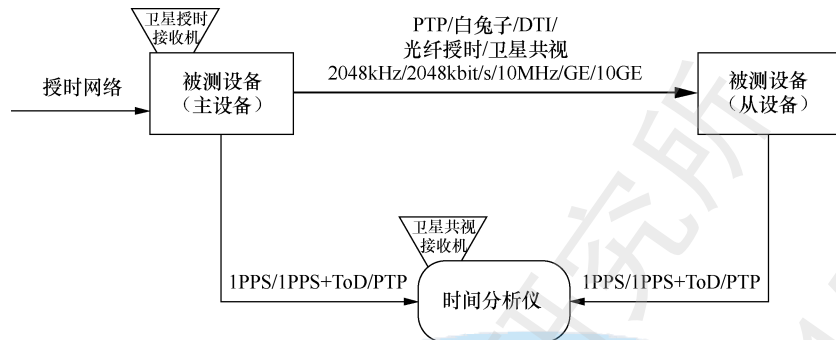


图 6 绝对时间精度测试示意

b) 设备测试配置要求为：

- 1) 设置主设备的时间和频率参考源为卫星授时接收机或授时网络，并补偿天馈线引入的时延；
- 2) 设置从设备的时间参考源为主设备的 PTP/WR/DTI/光纤时频传递/卫星共视等输出信号，频率参考源为主设备的 2048 kHz、2048 Kbit/s、10 MHz（可选）、GE、10 GE 同步以太、DTI 或光纤时频传递信号；
- 3) 被测设备输出 1PPS/1PPS+ToD/PTP 信号。

c) 测试仪表的设置要求如下：

- 1) 设置时间分析仪的时间参考源为卫星共视接收机，并补偿天馈线引入的时延。在条件允许的情况下，宜采用被测设备和测试仪表通过分配器共用天馈线的方式，以避免时延补偿引入的误差；
- 2) 通过自环方式测试并记录 1PPS/1PPS+ToD 测试线缆引入的时延；
- 3) 时间分析仪测试主设备 1PPS/1PPS+ToD/PTP 信号的绝对时间偏差（根据不同的授时技术精度要求，选择相应的测试接口），从设备输出接口为选测；
- 4) 设置时间分析仪的测试采样率为 1 Hz，测试时长至少为 1.5 天。

d) 在被测设备及相关仪表正常工作至少 24h 后开始测试；

e) 处理原始测试数据时，应对测试电缆引入的时延进行补偿，计算最大值、最小值、算术平均值、均方根误差等。

### 12.4.1.3 测试结果

测试结果：1PPS/1PPS+ToD/PTP 接口的输出时间相对于可用的基准时间（例如 UTC）的绝对时间偏差优于 $\pm 20$  ns（单频信号）/ $\pm 8$  ns（双频信号）。

## 12.4.2 相对时间精度

## 12.4.2.1 同步设备相对时间精度

## 12.4.2.1.1 测试原理

同 12.3.1.1。

## 12.4.2.1.2 测试步骤

测试步骤如下。

a) 按照图 7 进行连接。

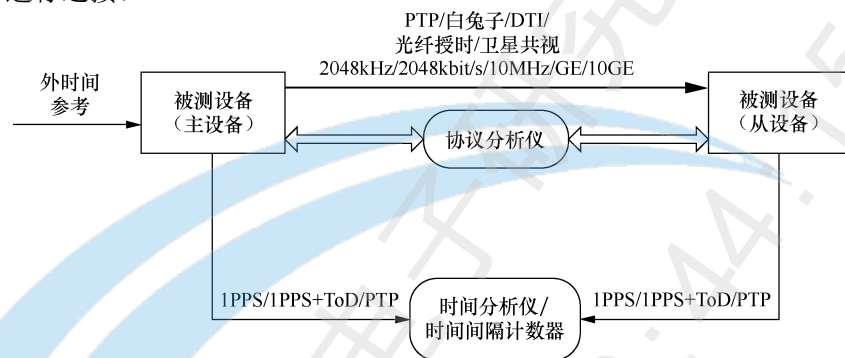


图 7 同步设备相对时间精度测试示意

b) 设备测试配置要求为：

- 1) 设置主设备的时间和频率参考源为上游同步设备的同步信号或内部时钟；
- 2) 设置从设备的时间参考源为来自主设备的 PTP/WR/DTI/光纤时频传递/卫星共视输出信号。频率参考源为主设备的 2048 kHz、2048 Kbit/s、10 MHz（可选）、GE、10 GE 同步以太、DTI 或光纤时频传递信号；
- 3) 被测设备输出 1PPS/1PPS+ToD/PTP 信号。

c) 测试仪表的设置要求如下：

- 1) 通过自环方式测试并记录 1PPS/1PPS+ToD 测试线缆引入的时延；
- 2) 时间分析仪/时间间隔计数器测试主从设备的 1PPS/1PPS+ToD/PTP 时间间隔（根据不同的同步技术精度要求，选择相应的测试接口）；
- 3) 设置时间分析仪的测试采样率为 1 Hz，测试时长至少为 1.5 天。

d) 在被测设备及相关仪表正常工作至少 24h 后开始测试；

e) 处理原始测试数据时，应对测试电缆引入的时延进行补偿，并计算最大值、最小值、算术平均值、均方根误差等。

## 12.4.2.1.3 测试结果

测试结果：1PPS/1PPS+ToD/PTP 接口的相对输出时间偏差满足表 2 规定的要求。

### 12.4.2.2 末端同步设备间相对时间精度

#### 12.4.2.2.1 测试步骤

测试步骤如下。

a) 按照图 8 进行连接。

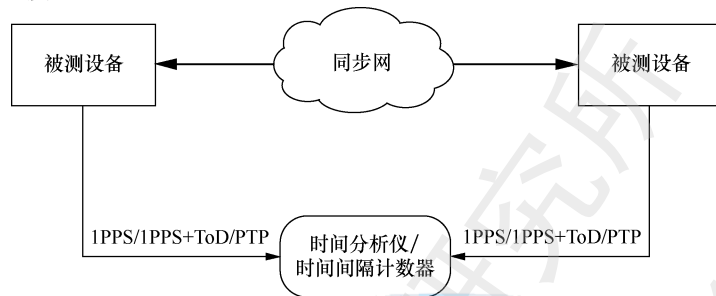


图 8 末端同步/应用设备间相对时间精度测试示意

b) 设备测试配置要求为：

- 1) 设置被测设备的时间参考源为上游同步设备的同步信号；
- 2) 被测设备输出 1PPS/1PPS+ToD/PTP 信号。

c) 测试仪表的设置要求如下：

- 1) 通过自环方式测试并记录 1PPS/1PPS+ToD 测试线缆引入的时延；
- 2) 时间分析仪/时间间隔计数器测试末端同步被测设备的 1PPS/1PPS+ToD/PTP 时间间隔(根据不同的同步技术精度要求，选择相应的测试接口)；
- 3) 设置时间分析仪的测试采样率为 1 Hz，测试时长至少为 1.5 天。

d) 在被测设备及相关仪表正常工作至少 24h 后开始测试；

e) 处理原始测试数据时，应对测试电缆引入的时延进行补偿，并计算最大值、最小值、算术平均值、均方根误差等。

#### 12.4.2.2.2 测试结果

测试结果：1PPS/1PPS+ToD/PTP 接口的相对输出时间偏差满足第 6 章规定的要求。

### 12.4.2.3 末端应用设备间相对时间精度

#### 12.4.2.3.1 测试步骤

测试步骤如下。

a) 按照图 8 进行连接。

b) 设备测试配置要求为：

- 1) 设置被测设备的时间参考源为上游同步设备的同步信号；
- 2) 被测设备输出 1PPS/1PPS+ToD 信号。

c) 测试仪表的设置要求如下：

- 1) 通过自环方式测试并记录 1PPS/1PPS+ToD 测试线缆引入的时延；
- 2) 时间分析仪/时间间隔计数器测试末端应用被测设备的 1PPS/1PPS+ToD 时间间隔(根据不

- 同的同步技术精度要求，选择相应的测试接口)；
- 3) 设置时间分析仪的测试采样率为 1 Hz，测试时长至少为 1.5 天；
  - 4) 末端应用设备的空口相对时间精度测试待研究。
- d) 在被测设备及相关仪表正常工作至少 24h 后开始测试。
- e) 处理原始测试数据时，应对测试电缆引入的时延进行补偿，并计算最大值、最小值、算术平均值、均方根误差等。

#### 12.4.2.3.2 测试结果

测试结果：1PPS/1PPS+ToD 接口的相对输出时间偏差满足表 1 规定的要求。

#### 12.4.3 内部时钟的频率同步性能

##### 12.4.3.1 测试方法

应满足 YD/T 2550—2013 中 5.6.1 规定的要求。

##### 12.4.3.2 测试结果

满足 YD/T 2550—2013 中 5.6.2 规定的要求，即内部时钟的时钟频率准确度、牵引入/保持入范围、噪声产生、噪声传递特性、保持特性、相位瞬变和相位不连续性满足 YD/T 1012—1999 第 4 章规定的要求。

附录 A  
(资料性)  
PTP 技术功能及性能介绍

### A.1 PTP 通用组网模型

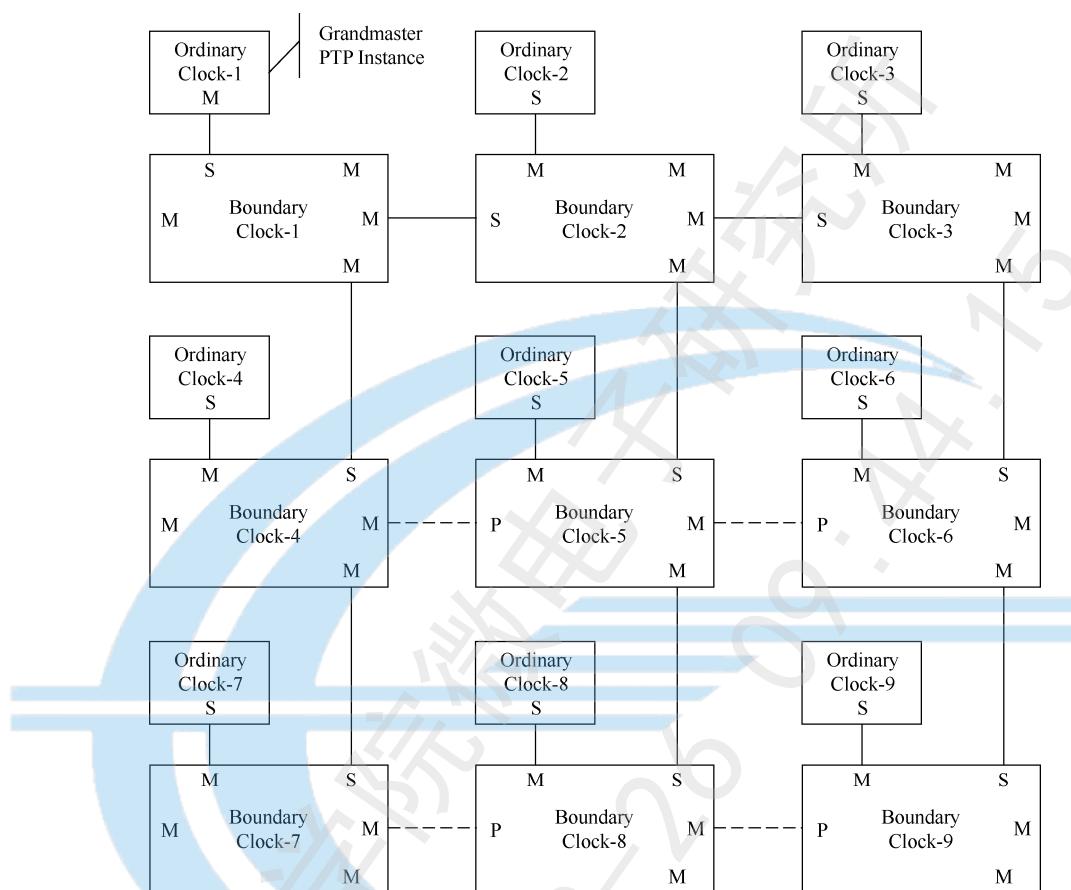


图 A.1 PTP 通用组网模型

如图 A.1 所示，各网元的功能如下。

- GrandMaster PTP Instance 是 PTP 祖时钟。
- Boundary Clock 是边界时钟，该时钟节点在同一个 PTP 域内拥有多个 PTP 端口参与时间同步。它通过其中一个端口从上游时钟节点同步时间，并通过其余端口向下游时钟节点发布时间。
- Ordinary Clock 是普通时钟，该时钟节点在同一个 PTP 域内只有一个 PTP 端口参与时间同步，并通过该端口从上游时钟节点同步时间。
- Passive Port 是被动端口，既不接收同步时间、也不对外发布同步时间的端口，只存在于 BC 上。
- M 是主时钟端口，S 是从时钟端口，P 是被动端口。

PTP 网络中的 PTP 时钟执行 PTP 来进行同步。协议在一个域的逻辑范围内执行，除非另外指定，否则所有 PTP 消息、数据集、状态机和所有其他 PTP 时钟总是与特定域相关联。一个 PTP 网络可以支持多个域，协议在一个域中建立的时间独立于其他域中的时间。

PTP 是一个分布式协议，它指定 PTP 网络的每个域的 PTP 时钟如何彼此同步。PTP 包含被组织成

一个主从同步层次结构的时钟，层次结构顶部的 PTP 时钟——即祖时钟，确定整个域的参考时间。时间同步是通过交换 PTP 定时消息来实现的，从解算出来的 PTP 定时偏差来调整它们的时钟，使得从节点的时间与主节点的时间保持同步。

PTP 网络中的 PTP 时钟通过报文交互彼此通信，PTP 网络可以包括实现不同网络通信协议之间的转换设备。

## A.2 PTP 消息类

协议定义了事件消息和一般消息。事件消息包括定时消息，在传输和接收时都会生成一个准确的时间戳，一般消息不需要精确的时间戳。

有 5 种基本 PTP 报文类型，如下：

- a) Announce 报文，
- b) Sync 报文，
- c) Follow\_Up 报文，
- d) Delay\_Req 报文，
- e) Delay\_Resp 报文。

## A.3 PTP 设备类型

有 5 种基本 PTP 设备类型，如下：

- a) 普通时钟，
- b) 边界时钟，
- c) 端到端透明时钟，
- d) 点到点透明时钟，
- e) PTP 管理节点。

## A.4 PTP 端口

除了透明时钟，边界时钟和普通时钟的 PTP 端口由一个 PTP 端口块和一个依赖于媒体的块组成。PTP 端口块通过媒体独立和媒体依赖 (MDMI) 接口与依赖于媒体的块分离。MDMI 接口必须支持特殊端口，并且可以支持端到端 (E2E) 和点到点 (P2P) PTP 端口。

## A.5 PTP 同步机制

协议的正常执行分为两个阶段：建立主从等级结构，同步本地 PTP 时钟。

### A.5.1 PTP 状态机

确定主从层等级结构的 PTP 端口状态如下。

- a) 主状态：PTP 端口是 PTP 端口所服务的 PTP 通信路径上的时间源。
- b) 从状态：在主机状态下的 PTP 通信路径上，PTP 端口与 PTP 端口同步。
- c) 被动状态：PTP 端口不是 PTP 通信路径上的时间源，也不与主时钟同步。

### A.5.2 最佳主时钟算法

最佳主时钟算法比较描述两个 PTP 时钟的数据，以确定哪个数据描述更好的 PTP 时钟。该算法用于确定一个 PTP 时钟的 PTP 端口接收到的几个公告消息中描述的哪个 PTP 时钟是最好。它还用于确定新发现的潜在 PTP 主时钟是否优于 PTP 时钟本身。描述一个潜在 PTP 超主时钟的数据包含在一个 announce 消息的 Grandmaster 字段中。描述接收 announce 消息的 PTP 时钟的数据包含在 PTP 时钟的 defaultDS 数据集中。

### A.5.3 PTP 报文交互方式

在 PTP 网络中，普通时钟或边界时钟通过在连接两个 PTP 时钟的 PTP 通信路径上交换 PTP 定时消息来同步。PTP 定时消息交换的基本模式如图 A.2 所示。

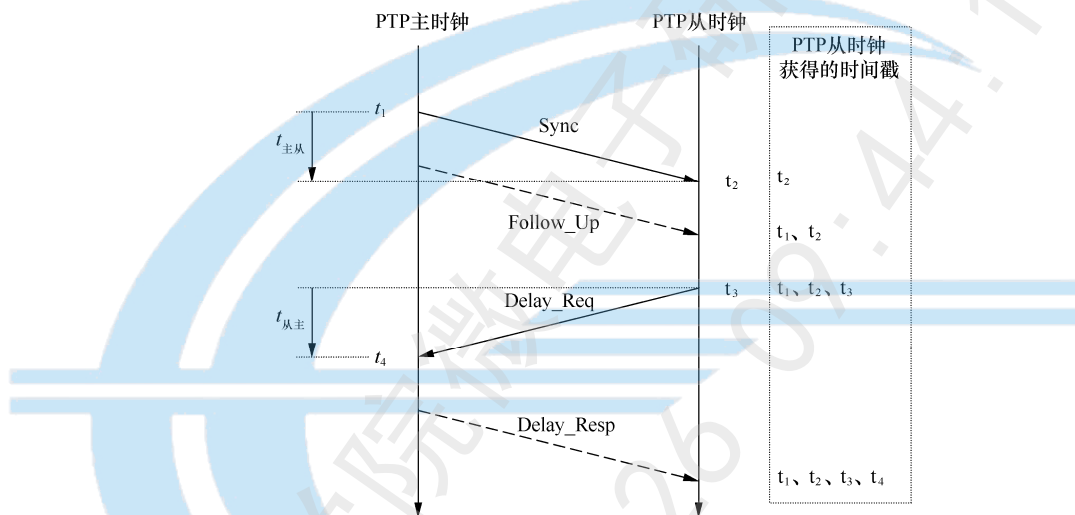


图 A.2 PTP 报文交互方式

基本的 PTP 定时消息交换模式如下。

- PTP 主时钟向 PTP 从时钟发送一个 Sync 报文，并记录发送的时间  $t_1$ 。
- PTP 从时钟接收到 Sync 报文，并记录接收时间  $t_2$ 。
- PTP 主时钟通过以下方式向 PTP 从时钟传递时间戳  $t_1$ ：
  - 在 Sync 报文中嵌入时间戳  $t_1$ ，这需要特殊硬件处理才能达到最高的精度。或者；
  - 在 Follow\_Up 报文中嵌入时间戳  $t_1$ 。
- PTP 从时钟发送 Delay\_Req 报文给 PTP 时钟，并记录发送的时间  $t_3$ 。
- PTP 主时钟接收到 Delay\_Req 报文并记录接收  $t_4$  的时间。
- PTP 主时钟通过 Delay\_Resp 报文将时间戳  $t_4$  传递给 PTP 从时钟。

## 附录 B (资料性) WR 技术功能及性能介绍

### B.1 WR 技术通用组网模型

如图 B.1 所示，分组网络环境下的 WR 技术通用组网模型由 WR 节点和 WR 同步链路组成，要求如下：

- a) WR 节点和 WR 链路支持物理层频率同步以太，定时特性满足 ITU G.8262—2018 规定的要求；
- b) WR 节点支持 WR PTP；
- c) WR 节点分为 WR 边界时钟（Boundary Clock）和 WR 普通时钟（Ordinary Clock）两种类型，其中，WR 边界时钟具备多个 WR PTP 端口，WR 普通时钟只有 1 个 WR PTP 端口。

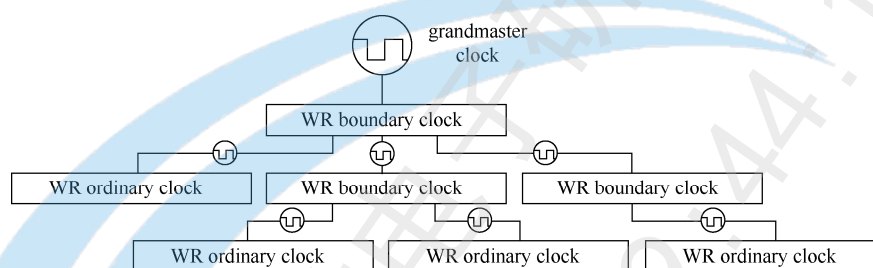


图 B.1 WR 技术通用组网模型

### B.2 接口及同步链路要求

WR 节点的网络侧接口支持 1000BASE-X 光口，同步链路采用单纤双向方式。

### B.3 WR PTP 协议要求

#### B.3.1 总体要求

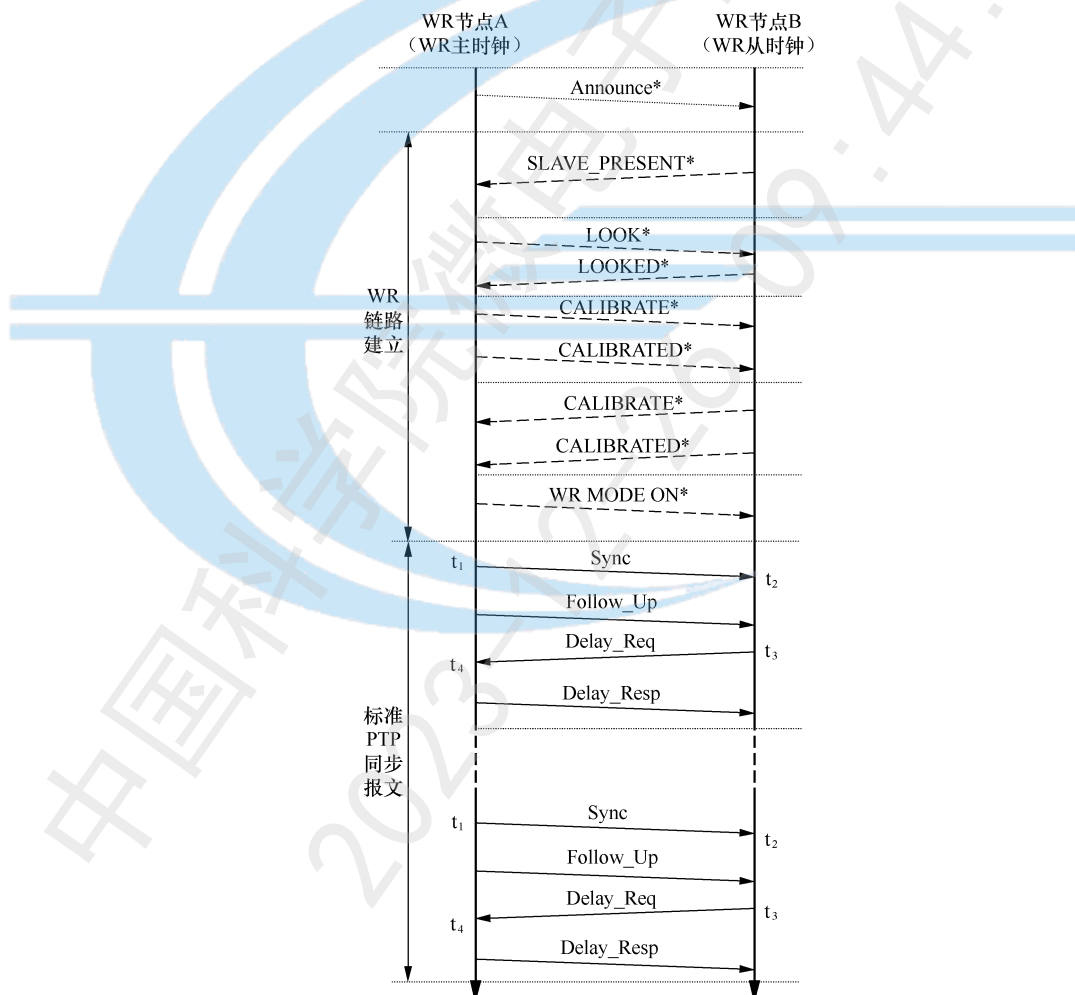
WR PTP 为 PTP 的 profile，在数据集字段和 TLV 方面做了特殊规定，同时与 PTP 相兼容。

#### B.3.2 WR PTP 报文交互

如图 B.2 所示，WR 节点 A 和 WR 节点 B 的 WR PTP 协议交互流程如下：

- a) 处于 PTP 主时钟状态的 WR 节点 A 周期性地发送带有自定义后缀的 WR Announce 消息；
- b) WR 节点 B 接收 Announce 报文，识别 Announce 报文的字段，并运行改进型 BMC 算法；
- c) WR 节点 B 进入 WR 从时钟模式，发送 SLAVE PRESENT WR 信令报文，启动 WR 链路设置；
- d) WR 节点 A 进入 WR 主时钟模式，发送 LOCK WR 信令报文，请求 WR 从时钟节点进行频率同步；
- e) 主从频率同步一旦完成，WR 节点 B 就会根据自身硬件通知，发送 LOCKED WR 信令报文；
- f) WR 节点 A 发送 CALIBRATE WR 信令报文，进入请求校准模式，校准其发送和接收的固定时延；
- g) WR 节点 A 根据自身硬件通知，一旦确认校准完成，即发送 CALIBRATED WR 信令报文；
- h) WR 节点 B 发送 CALIBRATE WR 信令报文，请求进行发送和接收时延校准；

- i) WR 节点 B 根据自身硬件通知，一旦确认校准完成，即发送 CALIBRATED WR 信令报文；
- j) WR 节点 A 发送 WR\_MODE\_ON WR 信令报文，指示完成 WR 同步链路建立过程；
- k) WR 节点 A 周期性发送 Sync 报文（如采用一步法， $t_1$  直接由 sync 报文携带，采用两步法则由 Follow\_Up 报文携带）；
- l) WR 节点 B 接收 WR 节点 A 发送的 sync 报文，记录时间为  $t_2$ ；
- m) 如采用两步法，WR 节点 B 接收 WR 节点 A 发送的 Follow\_Up 报文；
- n) WR 节点 B 发送携带  $t_3$  的 Delay\_Req 报文；
- o) WR 节点 A 接收 Delay\_Req 报文，并记录时间为  $t_4$ ；
- p) WR 节点 A 发送携带  $t_4$  的 Delay\_Resp 报文；
- q) WR 节点 B 接收 Delay\_Resp 报文；
- r) WR 节点 B 根据  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$  计算时钟偏差和链路时延，并对时钟偏差进行校准实现主从同步；
- s) 重复步骤 a, k-r。



\*WR 相关报文描述参见 IEEE 白兔子规范草案（2.0 版本）的第 6.5 节。

图 B.2 WR PTP 报文交互流程

### B.3.3 WR PTP 数据集字段

WR PTP 的数据集在标准 PTP 协议数据集的基础上新定义了以下两方面内容：

- a) 在标准 PTP 数据集中为 WR 所规定的存储参数增加相应字段；
- b) 定义了新的数据集 backupParentDS。

具体规定如下。

- a) 数据集新增字段满足 IEEE 白兔子规范草案（2.0 版本）中 6.3.1 规定的要求；
- b) 为了保证冗余同步源的同步质量，WR 边界时钟定义 backupParentDS 数据集，并进行维护，数据集包括：当前祖时钟源的备用同步链路和候选祖时钟源的同步链路。

具体的参数规定满足 IEEE 白兔子规范草案（2.0 版本）中 6.3.2 规定的要求。

### B.3.4 WR 改进 BMC 算法

与标准 PTP 协议的 BMC 算法不同的是，改进型 BMC 算法允许在单个域中使用多个最佳主时钟，以及可溯源到多个主时钟的逻辑拓扑。

运行改进的 BMC 算法后，可允许一个边界时钟下多个端口具备 PTP SLAVE 状态。改进型最佳主时钟算法包含状态判决算法（State Decision Algorithm）和数据集比较算法（Data Set Comparison Algorithm），其中数据集比较算法未做改动，数据集中的字段根据状态判决算法的判定结果进行更新。

- a) 状态判决算法：修改后的 SDA 算法将 class 字段值大于 127 的时钟端口状态强制判决为 BMC SLAVE 而不是 BMC PASSIVE，此时处于 PTP SLAVE 状态的端口为预置候选 SLAVE 端口。
- b) 数据集更新部分满足 IEEE 白兔子规范草案（2.0 版本）中 6.4.3 规定的要求。

### B.3.5 WR PTP 报文

WR PTP 中通过在 Announce 报文添加 TLV 来与标准版本的 PTP 报文进行区分，标准 PTP 节点无法识别 WR TLV，将会对 WR PTP 报文进行丢弃。此外 WR 协议中 Announce 报文和信令报文与标准 PTP 不同，其余 PTP 报文与标准 PTP 协议保持一致。

## B.4 同步性能要求关键同步技术

WR 在同步以太网和精密时间同步协议的基础上，采用相位返回和全数字鉴相方法，实现主从节点的频率锁定和时间戳同步。为了避免光纤链路的不对称性，WR 使用单纤连接主从节点，采用波分复用技术实现同步。由于逐级噪声累积效应，需要采用一定时钟过滤功能。

## B.5 数据兼容性

WR 完全兼容标准千兆以太网协议，以数据传输网络作为定时控制的媒介，具有低成本、高带宽、高可靠性和灵活拓扑结构等特点。WR 使用单纤连接主从节点，采用波分复用技术实现全双工通信。

## 附录 C

(资料性)

## DTI 技术功能及性能介绍

## C.1 组网方式及设备类型

ITU-T J.211—2006 标准所规定 DTI 协议在同一根电缆的两个方向上采用了主从同步的通信方式，分为 DTI 服务器与 DTI 客户端两种设备类型，DTI 服务器和 DTI 客户端支持 DTI 同步接口。DTI 服务器和客户端的发送和接收信号通过时分方式进行时间分割，单跨段传输距离不超过 200 m。DTI 服务器的主时钟频率为 10.24 MHz，而 DTI 客户端的从时钟按频率可分为 10.24 MHz 与 9.216 MHz 两种时钟类型。

## C.2 同步机制

服务器和客户端采用时分方式共享传输链路，在一根 DTI 电缆的服务器和客户端两侧，通过 ping-pong 的机制无间断的发送和接受 DTI 报文，因此是半双工的工作方式。因 DTI 协议运行于数据链路层，因此信号的基本单元为 DTI 信号帧，DTI 帧分为服务器时隙帧和客户端时隙帧。报文大小固定为 256 比特，包括 234 比特的信息位（包括前置位，净荷与 CRC 校验位）和 22 比特的反转保护时间 TGT（Turnaround Guard Time）位。服务器端 ping 一次，客户端 pong 一次，为一个报文交互周期，共 512 比特，因为 DTI 链路规定 5.12 Mbit/s，所以每秒线路上一共传输 10 k 个来回 DTI 帧信号。在此报文中，服务器端向客户端传输准确的时间戳，客户端返回收到时间戳的信息。

## C.3 线缆补偿

在 DTI 协议中规定了一种线缆时延补偿机制，命名为 Cable Advance。DTI 服务器和客户端在发送 DTI 帧时，两端都精确记录 DTI 帧离开本地的时间，这样 DTI 服务器端经过计算，算出数据在线路上的延时，在每次发报时做出补偿，理论上做到了传输和接收的都是服务器端本地时钟，保证了纳秒级的时间精度。

Cable Advance 在 DTI 中规定了 24 个比特位，其中前 16 个比特位为 Cable Advance 值的整数部分，由 149.8 MHz 的采样时钟循环生成计数，其余的 8 比特位为 Cable Advance 值的分数部分，经过倍频处理后为 149.8 MHz 的采样时钟周期的 1/256。因此可推算出 Cable Advance 的时延分辨率为 26 ps，这也是 DTI 经过 Cable Advance 处理后能达到高精度的依据。

## C.4 时间戳映射及处理

DTI 主服务器跟踪 GPS 后，需要将 GPS 时间信息转换为 DTI 的时间戳，再通过 ping-pong 协议与 Cable-Advance 机制进行 DTI 时间戳的传递与处理，完成服务器与客户端之间的时间同步。

DTI 中的时间戳定义为 DTS（DTI Timestamp），由 32 比特组成，其中前 22 比特为 DTI 设备内部的计数器进行计数，后 10 比特提供了复帧之间的 ToD 信息。在 DTI 中为保证 DTS 与 GPS 时间的一致性，需定义 DTS 时间戳的映射机制。DTS 时间戳与从 GPS 卫星接收机上获取的 gpssec 的映射关系见公式 (C.1)：

$$DTS=2^{10} \times [(10000 \times (\text{gpssec mod } 262144)) \text{ mod } 2^{22}] \dots \dots \dots \text{式 (C.1)}$$

DTI 服务器的卫星接收机收到 GPS 信号后, 根据公式 (C.1) 将  $\text{gpssec}$  转换为 DTS 时间戳, 在 DTI 帧中进行传送, 从而实现服务器与客户端之间的时间同步。

### C.5 数据兼容性

DTI 采用 TDM 方式共享传输链路, 通过 ping-pong 机制在一根电缆两侧以半双工方式不间断地发送和接收 DTI 报文。目前 DTI 服务器的传输速率为 5.12 Mbit/s, DTI 设备的协议、主频、接口与有线电视网设备是兼容的, 但在通信网中由于同步实现机理的不同, DTI 协议还无法与通信网中所应用的 PTP、NTP 兼容统一。



## 附录 D

(资料性)

### 光纤时频传递技术功能及性能

#### D.1 光纤时频传递基本介绍

光纤时频传递是指利用激光信号进行时间和频率信号传递的技术。根据传递信号形式的不同，光纤时频传递可分为 3 种：光纤时间传递、光纤微波频率传递和光纤光学频率传递。通过波分复用技术，光纤时间和频率传递可实现在单光纤上同时传输。随着远距离和网络化的光纤时间频率传递技术的实用化，基于光纤的时频传递系统将可用于构建精度高于现有任何授时手段的地基授时系统。

#### D.2 光纤时频传递组网

目前主要有以下 3 种组网结构。

- a) 星形结构：采用多个同步节点，形成平方公里同步阵列。保证各节点的相位同步及频率稳定。同时要求采样时钟需要有极低的相噪性能，以保证基本的传输信噪比。
- b) 链形结构：各节点从链路节点上获取时频信息，以达到所有节点同步的目的。
- c) 树形结构：星形结构和线性结构的组合。

#### D.3 链路噪声抑制技术

光纤时频传递的噪声来源主要来自链路噪声、来回链路时延不对称，因此针对这两因素出现了链路噪声抑制技术和时延补偿技术等。链路噪声补偿技术主要采用相位补偿技术，时延补偿技术包括光学延时线补偿技术和电学共轭时频同时补偿技术。

#### D.4 波分复用方式

光纤时频传递技术主要分为双向双波长和双向单波长技术。

#### D.5 数据兼容性

光纤时频传递技术目前采用基本上采用私有协议，独占信道，只能传少量协议管理数据，还无法与通信网的数据传输兼容。

附录 E  
(资料性)  
卫星共视技术功能及性能介绍

### E.1 基本原理

卫星共视法是在单向授时的基础上，主从两个站分别同时测量本地时钟与导航系统时间的时差，然后两个站交换测量数据，时差相减获取两站本地时间的时差，通过从站时间调整，实现从站溯源至主站。卫星共视法基本原理如图 E.1 所示。

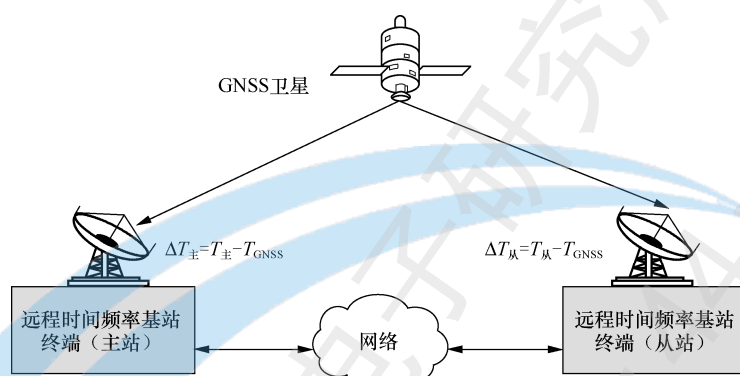


图 E.1 卫星共视法基本原理

卫星共视法本质上是一种伪距差分技术，对卫星到基准站和用户的单向授时误差进行差分，获得优于单向授时方法的精度。

### E.2 交互数据格式

CGGTTS 由国际计量局 (BIPM) 主持制定，是一种在 GNSS 测量应用中普遍采用的标准数据格式。GPS 共视法标准数据格式 (GGTTS GPS DATA FORMAT) 所包含的参数分别是：PRN、CL、MJD、STTIME、TRKL、ELV、AZTH、REFSV、SRSV、REFGPS、SRGPS、DSG、IOE、MDTR、SMDT、MDIO、SMDI、CK。利用 GNSS 共视法进行时间比对时，目前，国际上各时间频率传递研究机构统一采用这种标准格式，各研究机构之间很方便的进行各地原子时标的比对。

### E.3 组网模型

卫星共视技术常采用的组网模型为星型。

### E.4 共视法优缺点

在共视法中，两地 GNSS 接收机约定在相同的时间观测同一颗卫星，并使用同样的测量数据处理方法。在 GNSS 信号的传播过程中，各种误差因素限制了 GNSS 的准确度。共视法通过两地观测数据相减，消除或明显减小了这些误差因素的影响。如果两个观测点非常近，信号到达两个观测点的路径就基本相同，则对流层和电离层的影响也是一样的，消除的效果会非常好。对于广播星历中的参数，消除效果也是一样，特别是钟模型参数和与计算卫星位置有关的参数。

卫星共视技术比较成熟，性能较好，但无法独立部署应用，需主从站配合使用，并配置数据通道进

行数据交互。不建议基于卫星共视技术实现高精度同步源，可将其用于网络性能集中监测和高精度同步测量。

#### E.5 数据兼容性

卫星共视技术的卫星钟差数据采用专用或私有协议，通过数据通道进行交换。该通道目前只能传少量协议管理数据，还无法与通信网的数据传输兼容。

