

中华人民共和国通信行业标准

YD/T 4294—2023

纳秒级 GNSS 相对授时技术要求和测试方法

Technical requirements and test methods for nanosecond level GNSS
relative timing

2023-04-21 发布

2023-08-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言.....II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语、定义和缩略语..... 1

 3.1 术语和定义..... 1

 3.2 缩略语..... 2

4 技术要求..... 3

 4.1 概述..... 3

 4.2 功能结构与实现架构..... 4

 4.3 接口要求..... 6

 4.4 功能要求..... 9

 4.5 性能要求..... 11

5 测试要求与方法..... 14

 5.1 测试环境条件..... 14

 5.2 测试设备..... 14

 5.3 测试方法..... 15

附录 A（资料性）纳秒级 GNSS 相对授时设备位置..... 24

附录 B（规范性）纳秒级 GNSS 相对授时设备功能模型..... 25

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：中国科学院空天信息创新研究院、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、北京东方计量测试研究所、北京邮电大学、中国移动通信集团有限公司、中国电信集团有限公司、北京首科信通科技有限责任公司。

本文件主要起草人：刘文学、袁洪、陈诗军、梁坤、胡昌军、葛建、兰雪梅、尹露、韩冬、缪新育、刘海蛟、张欣旺、赵旭、杨志强、刘硕、黄兰池、黄丹丹。

纳秒级 GNSS 相对授时技术要求和测试方法

1 范围

本文件规定了基于 GNSS 单向授时和 GNSS 邻域相似性等技术实现纳秒级相对授时的技术要求和测试方法，包括纳秒级 GNSS 相对授时技术的接口要求、功能要求、性能要求及相关测试方法。

本文件适用于需要纳秒级授时和同步精度的 5G 定位基站和其他设备研发、设计、生产和测试，其系统设备形态可以作为单独设备/系统提供使用，也可以作为高精度时间同步模块嵌入具体系统中使用。

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。

YD/T 2375—2019 高精度时间同步技术要求

YD/T 3199—2016 支持通信应用的北斗授时设备技术要求

YD/T 3936—2021 基于移动通信网的高精度定位总体技术要求

BD 420006—2015 北斗—全球卫星导航系统（GNSS）定时单元性能要求及测试方法

JJF 1403—2013 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范

IEEE 1588—2008 网络测控系统精确时钟同步协议标准（Standard for a Precision Clock synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems）

ITU-T G.703—2016 分层数字接口的物理/电气特性（Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces）

ITU-T G.8271/Y.1366 电信网络的时间和相位同步问题（Time and phase synchronization aspects of telecommunication networks）

ITU-TG.8272.1/Y.1367.1 增强型主基准时钟的定时特性（Timing characteristics of enhanced primary reference time clocks）

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

GNSS 信号邻域相似性 **GNSS signal neighborhood similarity**

GNSS 单星信号在空间上具有相关性，且一定区域内的各站跟踪卫星集合也具有高度相似性。

3.1.2

纳秒级 GNSS 相对授时 **GNSS relative timing**

通过 GNSS 信号溯源到 UTC，在保证传统百纳秒绝对授时精度的基础上，基于 GNSS 信号邻域相似性特点，通过采用邻域相对同步精度提升技术，达到在任意地理 20km 邻域范围内的同步网元实现 3ns 以内的高精度时间同步。

3.1.3

纳秒级 GNSS 相对授时交互协议 **nanosecond relative timing interaction protocol**

纳秒级 GNSS 相对授时设备组网时的数据交互协议。

注：协议包含组网中各节点发播的高精度时间同步交互信息，用以辅助实现区域各站在复杂情况下实现最优时差联合估计，提高站点间高精度时间同步的可靠性、鲁棒性和环境适应性。

3.1.4

时间的互操作 **time interoperability**

相对授时系统中各站点时间与其他定时方法时间兼容所需要的操作。

3.1.5

相参输出 **coherent output**

时频系统输出的 1PPS 秒脉冲信号与参考频率信号保持固定的相位关系，实现输出时间信号和频率信号产生相干关系。

3.1.6

零基线 **zero baseline**

两台或多台接收机通过功分器接收来自同一天线的卫星信号，由此构成的标准长度理论值为零的基线。

3.1.7

超短基线 **mini-baseline**

标准值在 0.4~24m 的标准长度。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

1PPS	秒脉冲	One Pulse Per Second
BDS	北斗卫星导航系统（中国）	BeiDou Navigation Satellite System
CA	载波聚合	Carrier Aggregation

CoMP	多点协作传输	Coordinated Multiple Points Transmission/ Reception
GPS	全球定位系统（美国）	Global Positioning System
GLONASS	全球卫星导航系统（俄罗斯）	Global Navigation Satellite System
GALILEO	伽利略卫星导航系统（欧洲）	Galileo satellite navigation system
LCS	定位业务	Location Services
NRTIP	纳秒级 GNSS 相对授时交互协议	Nanosecond relative timing interaction protocol
PPP	精密单点定位技术	Precise Point Positioning
PRTC	主参考时间频率	Primary Reference Time Clock
RTK	实时动态载波相位差分技术	Real-time kinematic
RTT	往返时间比对同步	Round Trip Time
UTC	协调世界时间	Coordinated Universal Time

4 技术要求

4.1 概述

纳秒级 GNSS 相对授时的时间是通过 GNSS 信号溯源到 UTC，在保证传统百纳秒绝对授时精度的基础上，通过采用邻域相对同步精度提升技术，不需要外部辅助数据，达到在任意地理 20km 邻域范围内的同步网元实现 3ns 以内的高精度时间同步。从广域来看，各站授时与时间同步呈现“地理临近基站间时间同步精度纳秒级，全网时间授时精度百纳秒”特点。在全域下的各站时间关系示意如图 1 所示。

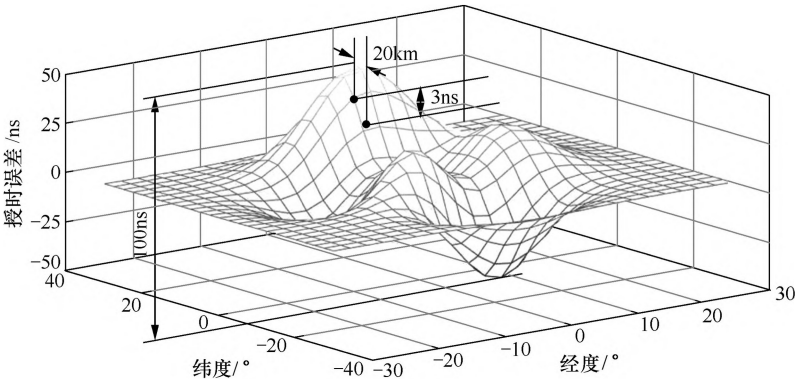


图 1 纳秒级 GNSS 相对授时全域时间关系示意

在标准中，高精度时间设备基于 GNSS 信号完成定时，区域内站间基于 GNSS 信号邻域相似性特点完成邻域相对同步精度提升，实现纳秒级高精度时间同步。单站设备的授时溯源到 UTC，且与 UTC 偏差有界，任意 20km 地理邻域内站间时间同步精度优于 3ns。

在标准中，为了实现高精度时间设备的完好性监测和保证设备在复杂环境下的稳定性，设备可以通过组网来进一步实现高可靠性和鲁棒性多站设备高精度时间同步。在组网方式下，各站通过纳秒级 GNSS 相对授时交互协议完成信息交互，借助交互信息来完成自身最优时差估计的联合估算，从而完成

站点间高可靠和高鲁棒性的纳秒级时间同步。

在标准中，高精度时间同步设备与其他定时手段的兼容互操作性，通过外部接口提供的 GNSS 误差模型参数、其他时间系统与 UTC 的时差信息等来完成时间的互操作，其还要进一步研究，本标准中仅指出其概念。

4.2 功能结构与实现架构

本技术在广域定位系统结构如图 2 所示，应符合 YD/T 3936—2021 中 8.2.2 相关要求。

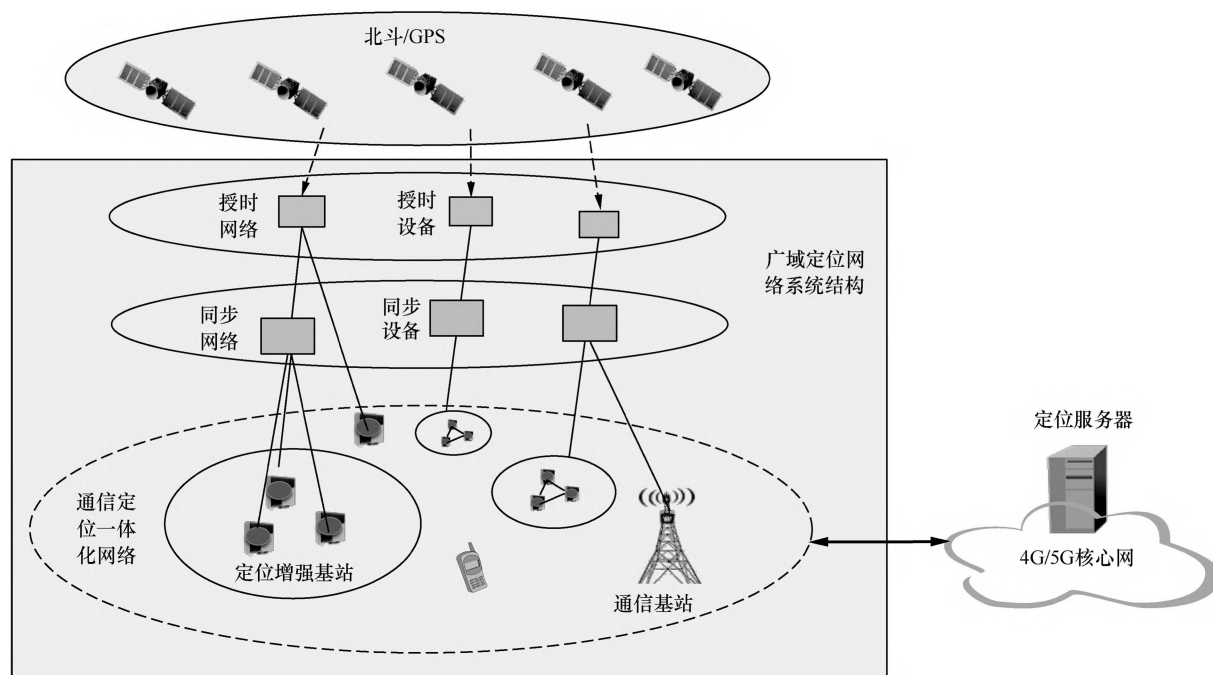


图 2 广域定位网络系统结构

纳秒级 GNSS 相对授时设备通过接收 GNSS 信号，通过授时设备和授时网络提供为定位增强基站或者同步网络提供时间信息。纳秒级 GNSS 相对授时应用组网结构如图 3 所示。

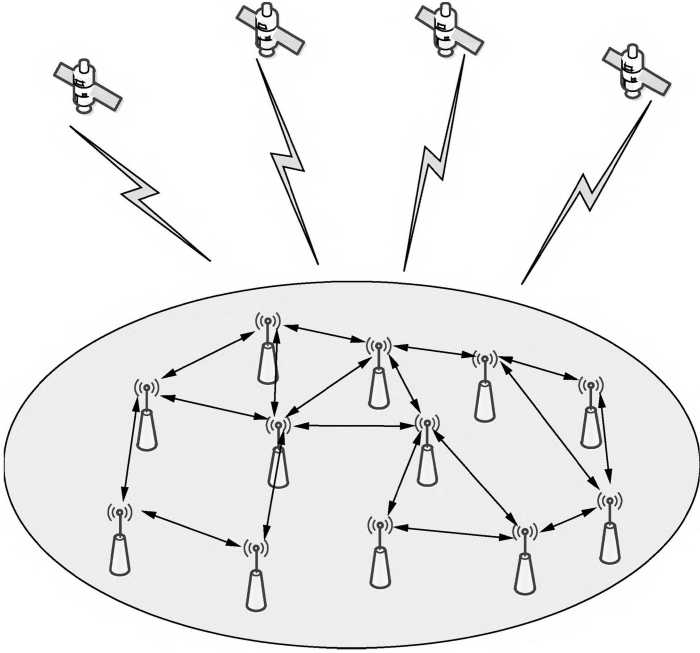


图3 纳秒级 GNSS 相对授时应用组网结构

在组网应用中，每个节点地位平等，获取临近节点的交互数据，同时根据纳秒级 GNSS 相对授时交互协议发播自身的交互信息，各节点根据自身观测量和获取的其他节点交互数据计算自身的最优时差修正值，调整本节点时间。组网应用中实现了去中心化，通过各站点组网与数据交互实现区域多站的高精度时间同步，即每个站点不仅获取本站 GNSS 卫星信号观测量信息，还通过相关接口协议接收其他站点的 GNSS 卫星信号交互信息，并将本站的 GNSS 卫星信号观测量信息转换为交互信息通过相关接口协议发播出去。网络中纳秒级 GNSS 相对授时设备在通信网络中可放置的位置应根据网络情况和具体应用环境而定，具体见附录 A。

在组网应用中，如图 3 所示，组网中各站点不一定需要两两之间有直达路由，各节点利用的其他节点交互信息按照“距离本站近，跟踪卫星多”原则，为了保证各站点时间同步的鲁棒性，每个节点最少利用周围 4 个节点的交互信息即可。因此在需要接口协议之上，设计相应的路由策略来保证网络中各节点交互信息的路由传递。路由策略可以根据网络条件 and 应用需求制定，具体还需要进一步研究。

每个站点的 GNSS 信号接收装置单机信息处理框架如图 4 所示。

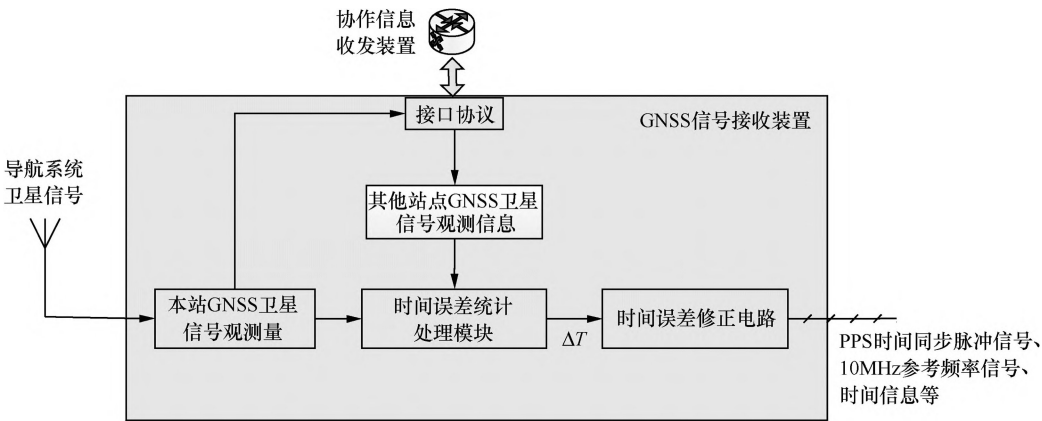


图4 GNSS 信号接收装置单机信息处理框架

在 GNSS 信号接收装置单机信息处理框架中,通过接收机天线信号获取本站 GNSS 卫星信号观测量,在时间误差统计处理模块中利用本站 GNSS 卫星信号观测量和其他站点发播的 GNSS 卫星信号交互信息计算出本站最终时间误差 ΔT ,并将时间误差 ΔT 送入时间误差修正电路,修正本地时间,驱动时间频率输出电路,输出同步的时间频率信号,例如 PPS 时间同步脉冲信号、10MHz 参考频率信号、时间信息等,纳秒级 GNSS 相对授时设备功能模型应符合附录 B 的规定。

通过各个时间同步站点组网,实现复杂条件下区域多站高精度时间同步问题的解决,同时基于网络实现各站点时间同步精度的实时监控、多站卫星信号的联合完好性监测,提供站点时钟的完好性监测信息,实现高精度时间同步网与其他现有数据网络诸如移动通信的融合。与无数据交互下的 GNSS 区域纳秒级高精度时间同步方式相比,基于区域多站组网方式下的区域多站高精度时间同步环境适应性更好,且更具鲁棒性。

4.3 接口要求

4.3.1 接口概述

纳秒级 GNSS 相对授时技术下的设备物理接口一般包括:1PPS 输出口(BNC FEMALE)、10MHz 参考频率输出口(BNC FEMALE)、1PPS+ToD 接口(RJ45)、1588 以太网接口(RJ45,可选)、交互信息接口(RS232)、监测信息数据接口(RS232,可选)、10MHz 参考输入接口(BNC FEMALE,可选)。

——在与基站连接的应用场景中,推荐使用 1PPS 输出口(BNC FEMALE)、10MHz 参考频率输出口(BNC FEMALE)和 TOD 接口(RJ45)中的接口。

——在与 1588 时间同步设备连接的应用场景中,推荐使用 1PPS 输出口(BNC FEMALE)、10MHz 参考频率输出口(BNC FEMALE)和 IEEE 1588 以太网接口。

——在多个设备组网应用场景下,设备间的信息交互推荐使用交互信息接口(RS232)。

——在与外部频率源设备(例如参考频率、T-GM 时钟等频率源)连接应用场景下,推荐采用 10MHz 参考输入接口(BNC FEMALE)接口。

与基站间交互协议采用 ToD 协议,与 IEEE1588 之间协议采用 1588 规定授时设备与同步设备接口协议,设备之间的交互协议采用纳秒级 GNSS 相对授时设备交互协议(NRTIP)。

NRTIP 内容如下。

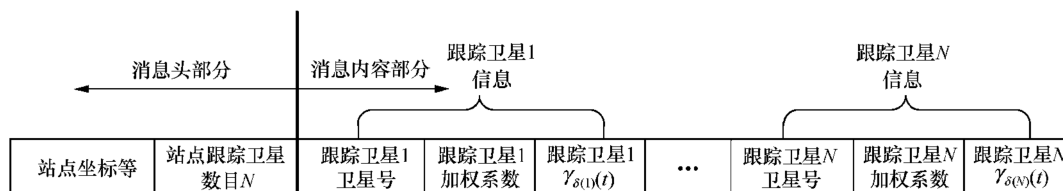


图 5 NRTIP 帧结构

如图 5 所示 NRTIP 帧结构,分为帧头部分和消息部分两部分。其中,帧头给出类站点坐标和站点目前跟踪的卫星数目;消息部分给出站点跟踪各卫星的高精度时间同步应用中的交互信息表达,包括卫星号、加权系数和跟踪卫星相对时差信息。

NRTIP 帧结构所用到的具体消息数据类型见表 1。

表 1 数据类型定义

类型缩写	类型描述 (Type)	类型大小 Size (Bytes)	注释	最小/最大 (Min/Max)
U1	无符号字符 Unsigned Char	1		0, ..., 255
I1	有符号字符 Signed Char	1	补码表示	-128, ..., 127
U2	无符号短整型 Unsigned Short	2		0, ..., 65535
U4	无符号长整型 Unsigned Long	4		0, ..., 4'294'967'295
I4	有符号长整型 Signed Long	4	补码表示	-2'147'483'648, ..., 2'147'483'647
F4	单精度浮点数	4		-2E128~+2E128

4.3.2 帧头部分

NRTIP 帧结构的帧头部分数据类型定义见表 2。

表 2 时间信息消息

消息名称		NRTIP 信息帧头部分			
描述		表示站点当前发出的交互信息的帧头部分			
类型		每秒周期上报			
注释		—			
消息结构		长度			
		24 BYTE			
负荷内容：					
字节偏移量	数据类型	缩放比	名称	单位	注释
0	U4	—	周内秒 TOW	s	BDS Second time of Week BDS 时间周内秒
4	I4	—	Reserved	—	保留
8	U2	—	周数 week	—	BDS week（GPS time） BDS 时间周数
10	I1	—	LeapS	s	Leap Seconds（BDS-UTC） BDS 时与 UTC 整数秒时偏移量
0	F4	—	站点坐标	s	站点坐标 ECEF 坐标系下的 x

表 2 时间信息消息（续）

字节偏移量	数据类型	缩放比	名称	单位	注释
4	F4	—	站点坐标	—	站点坐标 ECEF 坐标系下的 y
8	F4	—		—	站点坐标 ECEF 坐标系下的 z
10	U1	—	站点跟踪卫星数目	颗	站点跟踪的卫星数目

4.3.3 消息部分

NRTIP 帧结构的时间状态消息数据类型定义见表 3。

表 3 时间状态消息

消息名称		NRTIP 信息消息部分			
描述		表示站点当前发出的交互信息的信息部分			
类型		每秒周期上报			
注释		各站根据自身卫星跟踪情况上报			
消息结构		长度			
		9 <i>N</i> BYTE（ <i>N</i> 表示跟踪卫星数目）			
负荷内容：					
字节偏移量	数据类型	缩放比	名称	单位	注释
0	U1	—	跟踪卫星星号 1	—	0：无效标志 1～64：GPS（ID） 65～128：BDS（BDS ID+64） 129～192：GLONASS（GLONASS ID+128） 193～255：保留
1	F4	—	加权系数 1	—	跟踪卫星 1 定时加权信息
3	F4	—	跟踪卫星相对时差信息 1	—	跟踪卫星 1 定时的相对时差信息
5	U1	—	跟踪卫星星号 2	—	0：无效标志 1～64：GPS（ID） 65～128：BDS（BDS ID+64） 129～192：GLONASS（GLONASS ID+128） 193～255：保留
6	F1	—	加权系数 2	—	跟踪卫星 2 定时加权信息
7	F1	—	跟踪卫星相对时差信息 2	—	跟踪卫星 2 定时的相对时差信息
8	—	—		—	—

表 3 时间状态消息（续）

字节偏移量	数据类型	缩放比	名称	单位	注释
9	U1		跟踪卫星星号 N		0: 无效标志 1~64: GPS (ID) 65~128: BDS (BDS ID+64) 129~192: GLONASS (GLONASS ID+128) 193~255: 保留
10	F1		加权系数 N		跟踪卫星 N 定时加权信息
11	F1		跟踪卫星相对时差信息 N		跟踪卫星 N 定时的相对时差信息

4.4 功能要求

4.4.1 接收和解调处理本站天线接收的 GNSS 信号功能

4.4.1.1 功能描述

处理本站天线接收的 GNSS 射频信号。

4.4.1.2 功能需求

完成本站 GNSS 信号（至少一种 GNSS 系统信号）的接收解调。
本站 GNSS 信号（至少一种 GNSS 信号）的原始观测量解算与获取。

4.4.2 输出 1PPS 信号功能

4.4.2.1 功能描述

输出满足指标要求的 1PPS 信号。

4.4.2.2 功能需求

能够输出 1PPS 信号。

4.4.3 输出 10MHz 参考频率功能

4.4.3.1 功能描述

输出满足指标要求的 10MHz 参考频率信号。

4.4.3.2 功能需求

能够输出 10MHz 正弦信号的参考频率，且其相位与 1PPS 具有确定相位关系。

4.4.4 1PPS/10MHz 参考频率信号输出相参的功能

4.4.4.1 功能描述

设备输出的 1PPS 时间脉冲与 10MHz 参考频率信号相位关系。

4.4.4.2 功能需求

输出的 PPS 与 10MHz 相位输出相参，具体指标见性能指标要求 4.5.11 相关内容。

4.4.5 时钟完好性监测功能

4.4.5.1 功能描述

设备或系统的时钟应具有完好的监测能力，能够监测时钟的完好性信息。

4.4.5.2 功能需求

设备具有相关指示灯，以及设备输出相关信息中具有相应的指示字，指示设备当前时频信号的完好性信息和质量信息，用户根据不同应用进行选择。

4.4.6 设备硬件时延补偿功能

4.4.6.1 功能描述

具备设备 1PPS 硬件与馈线时延的补偿和调整。

4.4.6.2 功能需求

通过外部设备或者人工手段实现设备 1PPS 硬件和馈线时延的补偿和调整，实现设备硬件时延的标定校准。

4.4.7 时钟质量评估

4.4.7.1 功能描述

设备输出的时频信号质量评估。

4.4.7.2 功能需求

具有时钟质量评估功能，输出相关信息中的指示字（锁定、失锁、跟踪错误等）随着时钟质量变化会发生相应的变化。

4.4.8 1PPS 精密时间调整

4.4.8.1 功能描述

设备输出的 1PPS 信号具有精密时间调整功能。

4.4.8.2 功能需求

通过相关指令可以实现 1PPS 信号的前移或者滞后。

4.4.9 外部参考时钟输入

4.4.9.1 功能描述

设备在特定的应用场景下支持外部频率源信号的接入。

4.4.9.2 功能需求

支持外部参考频率信号输入作为设备的基准参考时钟，应符合 YD/T 3199—2016 中 5.2 相关内容。

4.4.10 守时功能

4.4.10.1 功能描述

设备在 GNSS 授时失效条件下的守时功能。

4.4.10.2 功能需求

设备在外部 GNSS 信号切断或者异常情况下的输出时频指标在 30 分钟~72 小时内实现 1PPS 100ns~1.5μs 的保持（具体指标和设备算法与采用的频率源相关）。

4.5 性能要求

4.5.1 捕获灵敏度

4.5.1.1 指标描述

当设备天线增益为 0dB 时，输入端 GPS 信号电平在不低于一定功率电平时，设备应该能够捕获信号。

4.5.1.2 指标要求

优于-130dBm。

4.5.2 跟踪灵敏度

4.5.2.1 指标描述

在设备跟踪卫星时，当信号电平不低于一定功率电平时，设备应能连续工作，不失锁。

4.5.2.2 指标要求

优于-133dBm。

4.5.3 接收机信号重捕获时间

4.5.3.1 指标描述

接收机在信号全部失锁后，重新捕获信号所需要的时间。

4.5.3.2 指标要求

小于 30s。

4.5.4 授时偏差

4.5.4.1 指标描述

全球范围内，开阔视野（卫星 15°仰角无遮挡）下，授时接收机定时信号与 UTC 的绝对时间之差。

4.5.4.2 指标要求

优于 150ns。

4.5.5 授时稳定度

4.5.5.1 指标描述

设备输出 1PPS 授时信号的稳定性描述。

4.5.5.2 指标要求

优于 50 ns。

4.5.6 时间同步偏差

4.5.6.1 指标描述

任意地理 20km 区域内下，任意站点接收机间的相对时间同步偏差。

4.5.6.2 指标要求

优于 3ns。

4.5.7 相邻接收机之间的时间同步精密度

4.5.7.1 指标描述

任意地理 20km 区域内，任意站点接收机间的相对时间同步稳定性描述。

4.5.7.2 指标要求

优于 3ns。

4.5.8 输出 10MHz 参考频率信号准确度

4.5.8.1 指标描述

设备输出 10MHz 参考频率信号的频率准确度。

4.5.8.2 指标要求

优于 1.0×10^{-12} (24 h)。

4.5.9 输出 10MHz 参考频率稳定度

4.5.9.1 指标描述

设备输出 10MHz 参考频率的频率稳定度。

4.5.9.2 指标要求

优于 2×10^{-11} (1s)。

4.5.10 输出 10MHz 频率信号电接口指标

4.5.10.1 指标描述

设备输出 10MHz 频率信号的电性能指标。

4.5.10.2 指标要求

- 50 欧姆匹配阻抗。
- 正弦信号。
- 功率范围 (13±1) dBm。

4.5.11 1PPS 信号与参考频率信号相参指标

4.5.11.1 指标描述

设备输出 1PPS 信号与参考频率信号之间的相位关系指标。

4.5.11.2 指标要求

- 与 1PPS 上升沿保持固定相位关系。
- 抖动的绝对值不大于 1°。
- 频率信号波形采用正弦/余弦信号形式。

4.5.12 1PPS 信号上升沿宽度

4.5.12.1 指标描述

设备输出的 1PPS 电信号的上升沿宽度。

4.5.12.2 指标要求

- 单端：<1ns (10%~90%上升时间)。
- 差分电平：<2ns (10%~90%上升时间)。

4.5.13 1PPS 信号电性能指标

4.5.13.1 指标描述

设备输出的 1PPS 信号的电性能指标。

4.5.13.2 指标要求

单端 1PPS 信号指标见表 4，其参考了 ITU-TG.8272.1/Y.1367.1 中 9.1。

表 4 单端 1PPS 信号指标

项目	指标容限	注释
1PPS 20%~80%上升时间	<1ns	设备 1PPS 接口输出指标

表 4 单端 1PPS 信号指标（续）

项目	指标容限	注释
脉宽	100ns~500ms	设备 1PPS 接口输出指标
最大线缆长度	3m	基于时延和上升时间性能制约
注：测试示波器采用 50 欧姆阻抗设置		

差分 422 信号指标见表 5，其参考了 ITU-T G.703—2016 中 19.1。

表 5 差分 1PPS 信号（RJ45 形式）指标

项目	指标容限	注释
1PPS 20%~80%上升时间	<2ns	设备 1PPS 接口输出指标
脉宽	100ns~500ms	设备 1PPS 接口输出指标
最大线缆长度	3m	基于时延和上升时间性能制约
注：测试示波器采用差分探头		

4.5.14 1PPS 信号时间调整补偿指标

4.5.14.1 指标描述

设备 1PPS 信号的精密时间调整范围指标包含了 1PPS、馈线补偿。

4.5.14.2 指标要求

支持 1PPS 信号的精密调整，延时调整范围为±100ns，参考 IEEE 1588—2008 中第 11 章。

5 测试要求与方法

5.1 测试环境条件

实验室环境温度：应在（20~25）2 内任选一点，温度变化应不超过任意℃

实验室环境相对湿度：不大于 80%。

电源电压：应为 220（1 应为湿度：不大；电源频率：应为（50 频率：应为度：其他：应无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动

5.2 测试设备

5.2.1 卫星导航信号模拟器

导航信号：覆盖北斗 B1I 和 GPS L1C/A 频点导航信号。

伪距误差：±距误差：m。

伪距变化率误差：±变化率误差：/A 正。

绝对功率电平误差： $\pm$ 对功率电平误。

5.2.2 时间间隔测量装置

频率范围：DC~3GHz。

频率分辨率：12 位/s。

时间间隔分辨率：20ps。

测量不确定度： $<1\text{ ns}$ ($k=2$)。

5.2.3 频率稳定度测试仪

频率范围：1Hz~30MHz。

频率稳定度： $<5\times 10^{-12}$ (1s)。

5.2.4 功率测试仪

频率范围：1Hz~30MHz。

功率范围：0dBm~20dBm。

测量准确度： $<0.1\text{dBm}$ 。

5.2.5 参考时间频率源

输出频率：10MHz。

频率偏差： $<3\times 10^{-13}$ 。

频率稳定度： $<5\times 10^{-12}$ (1s)。

溯源至 UTC。

与 UTC 偏差：50 ns。

溯源不确定度：3ns ($k=1$)。

5.2.6 光纤时间比对装置

测量范围应为 1ps~1s，测量不确定度应优于 1ns ($k=2$)。

5.3 测试方法

5.3.1 捕获灵敏度

5.3.1.1 测试设备连接

捕获灵敏度测试设备连接如图 6 所示。

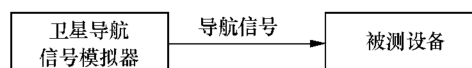


图 6 捕获灵敏度测试设备连接

5.3.1.2 测试方法

步骤 1：参考 BD 420006—2015，设置卫星导航信号模拟器仿真场景：误差参数为无时变误差模式、

不少于 6 颗可见卫星、PDOP $\leq$ 6、用户轨迹模型为动态。

步骤 2：设置卫星导航信号模拟器输出卫星信号，使被测设备射频输入接口的最低信号功率电平小于被测设备捕获灵敏度规定值。

步骤 3：被测设备加电，观察被测设备在规定时间内是否输出正确的定位信息。

- a) 如果被测设备输出正确的定位信息，则被测设备射频输入接口的最低信号功率电平即为被测设备的捕获灵敏度。
- b) 如果被测设备无法输出正确的定位信息，则被测设备断电，更换卫星导航信号模拟器仿真场景，使被测设备保存的星历、历书、位置及时间等信息处于失效状态，并重新设置卫星导航信号输出功率，增加 1dB，重复步骤 3。

5.3.2 跟踪灵敏度

5.3.2.1 测试设备连接

跟踪灵敏度测试设备连接如图 6 所示。

5.3.2.2 测试方法

步骤 1：参考 BD 420006—2015，设置卫星导航信号模拟器仿真场景：误差参数为无时变误差模式、不少于 6 颗可见卫星、PDOP $\leq$ 6、用户轨迹模型为动态。

步骤 2：设置卫星导航信号模拟器输出卫星信号，使被测设备射频输入接口信号功率电平大于被测设备捕获灵敏度。

步骤 3：被测设备加电，且为冷启动状态。

步骤 4：观察被测设备输出的定位信息，被测设备输出定位结果（三维）连续 10 次小于 60m 的条件下，则该功率下能够跟踪。

步骤 5：重新设置卫星导航信号模拟器输出信号功率，降低 1dB，重复步骤 4，直至被测设备定位结果（三维）不满足连续 10 次小于 60m 的条件，则上一次被测设备射频输入接口信号功率电平为被测设备的跟踪灵敏度。

5.3.3 重捕获时间

5.3.3.1 测试设备连接

重捕获时间测试设备连接如图 6 所示。

5.3.3.2 测试方法

步骤 1：设置卫星导航信号模拟器仿真场景：误差参数为无时变误差模式、不少于 6 颗可见卫星、PDOP $\leq$ 6、用户轨迹模型为动态。

步骤 2：设置卫星导航信号模拟器输出卫星信号，使被测设备射频输入接口信号功率电平大于被测设备捕获灵敏度。

步骤 3：被测设备加电，被测设备实时输出定位信息。

步骤 4：2 分钟后，卫星导航信号模拟器中断卫星信号。

步骤 5: 30s 后, 卫星导航信号模拟器重新播发卫星信号, 观察被测设备输出的定位信息, 被测设备输出定位精度满足三维定位结果连续 10 次小于 10m 的第一个定位结果的时间间隔记为 t_1 。

步骤 6: 重复步骤 3~5, 重复 9 次, 统计重捕获时间 t_i ($i=2\sim10$)。10 次测试中的 9 个测试结果 (去掉最大值) 的平均值作为被测设备的重捕获时间。

5.3.4 授时偏差

5.3.4.1 测试设备连接

授时偏差测试设备连接如图 7 所示。

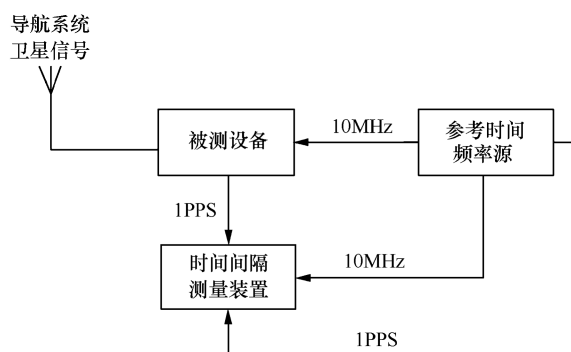


图 7 授时偏差测试设备连接

5.3.4.2 测试方法

步骤 1: 按图 7 进行测试设备连接, 卫星天线架设在开阔视野 (卫星 15°仰角无遮挡) 下, 参考时间频率源需要溯源到 UTC。

步骤 2: 被测设备加电, 被测设备接收实际卫星信号, 被测设备稳定输出 1PPS 信号后 (具体时间根据被测设备说明书确定)。

步骤 3: 利用频率计数器测量被测设备输出的 1PPS 上升沿时刻与参考频率源输出的 1PPS 上升沿时刻的差值 (采样间隔 1s), 测试时间 24h。

步骤 4: 按公式 (1) 计算授时偏差:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

式中:

x_i ——时间间隔计数器测量样本值;

i ——样本序号;

n ——样本总数。

5.3.5 授时精密度

5.3.5.1 测试设备连接

授时精密度测试设备连接如图 7 所示。

5.3.5.2 测试方法

步骤 1：按图 7 进行测试设备连接，卫星天线架设在开阔视野（卫星 15°仰角无遮挡）下。

步骤 2：被测设备加电，被测设备接收实际卫星信号，被测设备稳定输出 1PPS 信号后（具体时间根据被测设备说明书确定）。

步骤 3：利用频率计数器测量被测设备输出的 1PPS 上升沿时刻与参考频率源输出的 1PPS 上升沿时刻的差值（采样间隔 1s），测试时间 24h。

步骤 4：用公式（2）计算授时稳定度：

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

式中：

σ ——授时稳定度；

x_i ——计数器测量样本值；

$\bar{x}$ ——计数器测量样本平均值；

i ——样本序号。

5.3.6 N——样本总数。时间同步偏差

5.3.6.1 测试设备连接

5.3.6.1.1 本地测试设备连接如图 8 所示。

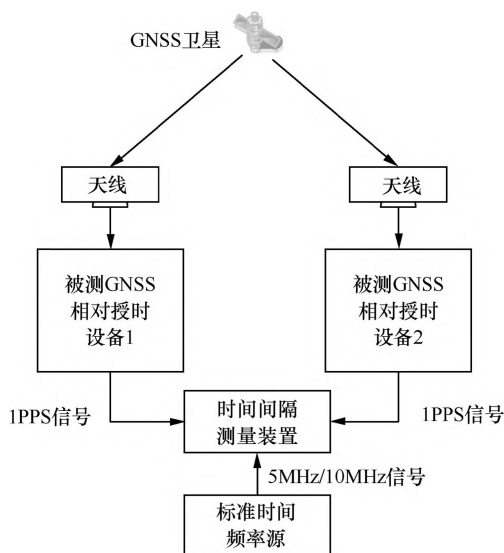


图 8 本地测试设备连接

5.3.6.1.2 远程测试设备连接如图 9 所示。

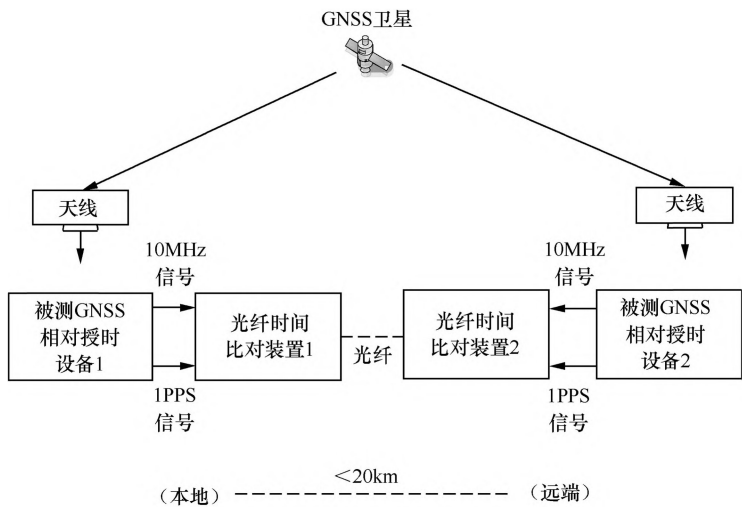


图 9 远程测试设备连接

5.3.6.2 测试方法

5.3.6.2.1 本地测试步骤

步骤 1：按 GNSS 比对测试原理（共钟差测试）搭建测试环境，连接仪器并调试，两台接收机天线在零基线或者超短基线条件下，具体参考 JJF 1403—2013 相关定义，当图 8 中各设备装置正常运行后，开始测试，记录 1 天的时间间隔测量装置测量数据。

步骤 2：按式（3）计算时间间隔测量装置测量值 x_i ，（ $i=1, \dots, n$ ， n 为测量次数）的平均值 $\bar{x}$ ，分别作为本地测试中时间同步偏差。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{3}$$

5.3.6.2.2 远程测试步骤

步骤 1：按 GNSS 比对（远程测试）原理搭建测试环境，连接仪器并调试，当图 9 中各设备装置正常运行后，开始测试，记录 1 天光纤时间比对测量数据。

步骤 2：对由两端光纤比对装置构成的光纤比对链路进行处理得到光纤时间比对各历元时差测量值，按式（3）计算测量值 x_i ，（ $i=1, \dots, n$ ， n 为测量次数）的平均值 $\bar{x}$ ，分别作为远程测试中时间同步偏差。

5.3.7 相邻接收机之间的时间同步精密度

5.3.7.1 测试设备连接

5.3.7.1.1 本地测试设备连接如图 8 所示。

5.3.7.1.2 远程测试设备连接如图 9 所示。

5.3.7.2 测试方法

5.3.7.2.1 本地测试步骤

步骤 1：按 GNSS 比对测试原理（共钟差测试）搭建测试环境，连接仪器并调试，两台接收机天线在零基线或者超短基线条件下，当图 8 中各设备装置正常运行后，开始测试，记录 1 天的时间间隔测量装置测量数据。

步骤 2：按式（4）计算时间间隔测量装置测量值 x_i ，（ $i=1, \dots, n$ ， n 为测量次数）的平均值 $\bar{x}$ 和实验标准差 S_x ，作为本地测试精密度。

$$S_x = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

5.3.7.2.2 远程测试步骤

步骤 1：按 GNSS 比对（远程测试）原理搭建测试环境，连接仪器并调试，当图 9 中各设备装置正常运行后，开始测试，记录 1 天（24h）光纤时间比对测量数据。

步骤 2：对由两端光纤比对装置构成的光纤比对链路进行处理得到光纤时间比对各历元时差测量值，按式（4）计算测量值 x_i ，（ $i=1, \dots, n$ ， n 为测量次数）实验标准差 S_x ，作为远程测试中时间同步精密度。

5.3.8 输出 10MHz 参考频率信号准确度

5.3.8.1 测试设备连接

频率准确度测试设备连接如图 10 所示。

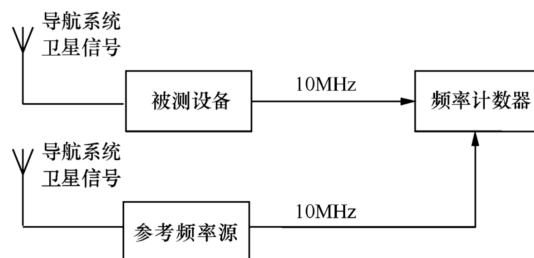


图 10 频率准确度测试设备连接

5.3.8.2 测试方法

步骤 1：按图 10 连接测试设备，被测设备加电，按设备说明书进行预热后，将被测设备输出 10MHz 信号连接到频率计数器。

步骤 2：参考频率源输出参考时钟 10MHz 信号连接到频率计数器，进行频率准确度测试。

步骤 3：测试时间为 24 小时，记下每次频率计数器读取的频率值 $f_{x1}, f_{x2}, \dots, f_{xn}$ ，计算所有测量结果求平均，平均值为 $\bar{f}_x$ ，标称频率为 f_0 ，则频率准确度为：

$$A = \frac{|\bar{f}_x - f_0|}{f_0} \quad (5)$$

5.3.9 输出 10MHz 参考频率信号稳定性

5.3.9.1 测试设备连接

频率稳定度测试设备连接如图 11 所示。

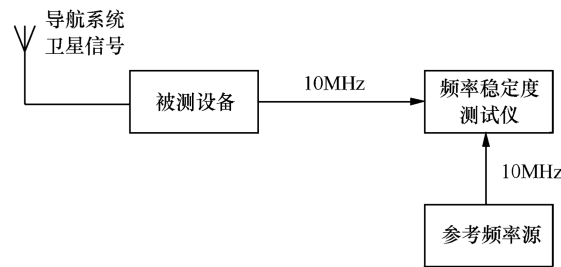


图 11 频率稳定度测试设备

5.3.9.2 测试方法

步骤 1：按图 11 连接测试设备，参考频率源和频率稳定度测试仪按设备说明书要求进行预热。

步骤 2：被测设备加电，按设备说明书进行预热后，将被测设备输出 10MHz 信号连接到频率稳定度测试仪。

步骤 3：设置频率稳定度测试仪采样时间为 1s，测试时间为 100s，记录采样时间对应的频率稳定度。

步骤 4：频率稳定度计算公式为：

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m [y_{i+1}(\tau) - y_i(\tau)]^2} \tag{6}$$

其中， $y_{i+1}(\tau)$ 、 $y_i(\tau)$ 为相对平均频率偏差的实测值， m 为样本数。

5.3.10 输出 10MHz 频率信号电性能指标

5.3.10.1 测试设备连接

10MHz 频率信号电性能指标测试设备连接如图 12 所示。

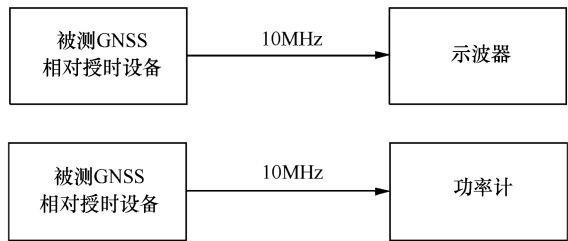


图 12 10MHz 频率信号电性能指标测试设备连接

5.3.10.2 测试方法

步骤 1：将被测 GNSS 相对授时设备输出的 10MHz 频率信号接入示波器，设置示波器采用 50 欧姆阻抗，检查被测信号是否为正弦波，波形是否存在失真。

步骤 2：将被测 GNSS 相对授时设备输出的 10MHz 频率信号接入功率计，测量被测信号功率。

5.3.11 1PPS 与参考频率信号相参指标

5.3.11.1 测试设备连接

1PPS 与 10MHz 信号相参指标测试设备连接如图 13 所示。

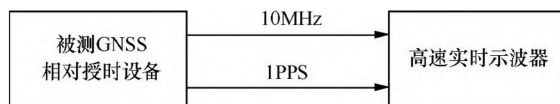


图 13 1PPS 与 10MHz 信号相参指标测试设备连接

5.3.11.2 测试方法

步骤 1：实时采集高速数字示波器上 1PPS 信号与参考频率信号相位过零点的时延差，采集 100 组数据，计算平均值作为 1PPS 信号与参考频率信号的相位差测量值。

步骤 2：计算高速数字示波器测量值的标准偏差作为相位差的抖动。

5.3.12 1PPS 信号上升沿宽度

5.3.12.1 测试设备连接

1PPS 信号电性能指标测试设备连接如图 14 所示。

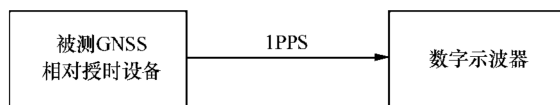


图 14 1PPS 信号电性能指标测试设备连接

5.3.12.2 测试方法

步骤 1：合理设置数字示波器的相关参数，采用 50 欧姆阻抗，测量被测 GNSS 相对授时设备的 1PPS 输出信号的脉冲宽度。

步骤 2：记录测量结果。

5.3.13 1PPS 信号电性能指标

5.3.13.1 测试设备连接

同图 14 所示。

5.3.13.2 测试方法

步骤 1：合理设置数字示波器的相关参数，采用 50 欧姆阻抗，测量被测 GNSS 相对授时设备的 1PPS 输出信号的幅度、上升时间和抖动。

步骤 2：记录测量结果。

5.3.14 1PPS 信号时间调整补偿指标

5.3.14.1 测试设备连接

1PPS 时间调整补偿测试设备连接如图 15 所示。

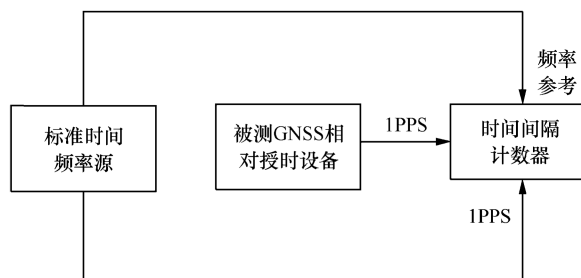


图 15 1PPS 时间调整补偿测试设备连接

5.3.14.2 测试方法

步骤 1：标准时间频率源的 1PPS 信号输出连接到时间间隔计数器作为开门信号，被测 GNSS 相对授时设备的 1PPS 输出端口连接到时间间隔计数器作为关门信号，测量并记录两个 1PPS 信号的时间间隔作为 Δt_1 。

步骤 2：调整被测 GNSS 相对授时设备参数，设定时间调整间隔为其最大时间调整范围，调整完成后，使用时间间隔计数器测量并记录时间间隔作为 $\Delta t_{2\max}$ ，计算 $(\Delta t_{2\max} - \Delta t_1)$ 作为最大时间调整范围。

附录 A

(资料性)

纳秒级 GNSS 相对授时设备位置

GNSS 相对授时设备用于提供网络中的时间频率源信号，其既可以提供给网络中的时间频率传递分发系统（例如作为 1588 时间同步系统的源），也可以直接接入基站设备提供时频基准，参考 ITU-T G.8271/Y.1366 第 8 章与 YD/T 2375—2019 第 5 章，具体应用位置取决于网络运营商希望遵循的总的体系结构，与网络中 PRTC 位置类似。通常，其位置可以概括为图 A.1 所示的 P1、P2、P3 和 P4。纳秒级 GNSS 相对授时设备位置如图 A.1 所示。

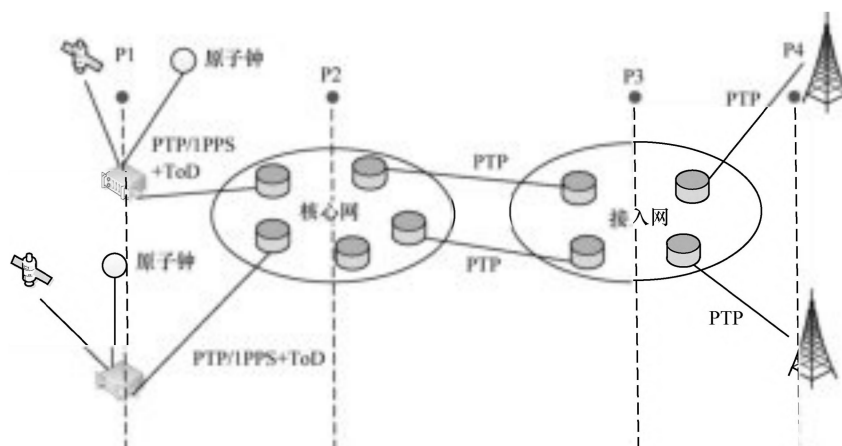


图 A.1 纳秒级 GNSS 相对授时设备位置

纳秒级 GNSS 相对授时设备功能部署与网络中以上可能位置，其与应用基站距离越近，则在时间频率传递中的中间环节越少，时间频率同步误差由于传递分发链路引起的中间误差越小，但是会造成网络对于设备数量需求增多，反之则需求减少，单台设备覆盖区域增加。

在实际网络部署中，可以考虑将纳秒级 GNSS 相对授时设备与时间频率同步网单元联合考虑，控制单台设备时间频率传递跳数，使高精度时间同步网络在成本和精度上取得平衡。

附 录 B
(规范性)

纳秒级 GNSS 相对授时设备功能模型

GNSS 相对授时装置功能模型如图 B.1 所示。

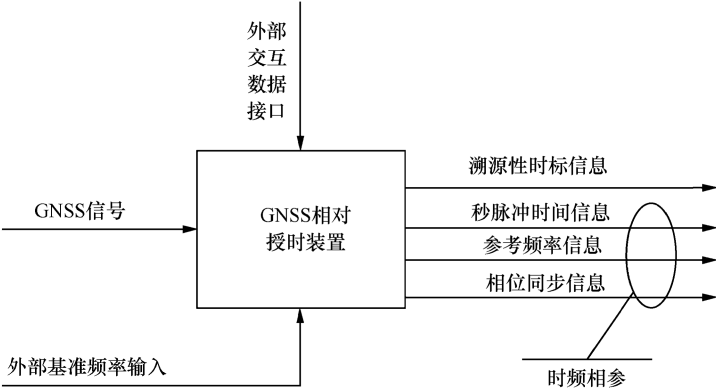


图 B.1 GNSS 相对授时装置功能模型

在图 B.1 中，输出的逻辑接口包括溯源性时标信息、秒脉冲信息、参考频率信息和相位同步信息。在具体实现中，溯源性时标信息通过信息流来表达，秒脉冲时间信息、参考频率信息和相位同步信息通过输出的相参时频接口来表达。其中要求 GNSS 相对授时装置输出的秒脉冲信号和参考频率信号满足时频相参，即 1PPS 上升沿和参考频率信号的上升沿具有固定的相位关系。

GNSS 相对授时装置主要功能是提供时间基准，用作网络中其他基站设备或者时间频率传递设备的源，其时间通过 GNSS 信号溯源至 UTC 时间，为网络提供可溯源的时间基准，其溯源精度与 GNSS 系统运控水平相关，以 GPS 目前水平为例，单频可提供 100ns 授时精度，双频授时精度可提高至 20ns 以内。

GNSS 相对授时装置可能包含外部基准频率输入接口，在使用时外部具备更高精度和稳定度的参考频率信号时，可以接入 GNSS 相对授时装置以替代装置内部的时钟基准，进一步提高装置的授时性能和守时性能。