

ICS 33.040.20

CCS M33

YD

# 中华人民共和国通信行业标准

YD/T XXXX-XXXX

## 100ns 量级高精度时间同步技术要求

Technical requirements for 100ns level high accuracy time  
synchronization

(报批稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 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、中国移动通信集团有限公司、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、中国信息通信科技集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司。

本文件主要起草人：缪新育、胡昌军、韩柳燕、潘峰、李曙方、陆荣舵、吕京飞、张贺、陈朝辉、罗彬、赵良。

# 100ns 量级高精度时间同步技术要求

## 1 范围

本文件规定了 100ns 量级时间同步的技术要求，包括组网要求、性能要求、传送技术、接口要求、可靠性要求及相关设备基本要求等。

本文件适用于采用精确时间协议（PTP）技术地面传送的 100ns 量级时间同步网的规划、建设和维护。

## 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 1479-2006 一级基准时钟设备技术要求及测试方法

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 3770-2020 软件定义同步网技术要求

YD/T 4445-2023 增强型基准主时间（ePRTC）设备技术要求

YD/T 4504-2023 超高精度时间同步接口要求

YD/T 4505-2023 增强型同步设备从时钟技术要求

ITU-T G.8275.1 支持全网时间同步的电信级精确时间同步协议配置集（Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization with full timing support from the network）

IEEE 1588-2019 网络测量和控制系统的精确时钟同步协议（Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control 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。

BC：边界时钟（Boundary Clock）

BMC：最佳主时钟（Best Master Clock）

ePRC：增强型全国基准时钟（enhanced Primary Reference Clock）

ePRTC：增强型基准主时间（enhanced Primary Reference Time Clock）

GE：千兆以太网（Gigabit Ethernet）

GMC：祖时钟（Grandmaster Clock）

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

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

LOF: 帧丢失 (Loss of Frame)

LOS: 信号丢失 (Loss of Signal)

OC: 普通时钟 (Ordinary Clock)

OTN: 光传送网 (Optical Transport Network)

PDV: 分组时延变化 (Packet Delay Variation)

PTSF: 分组定时信号失效 (Packet Timing Signal Failure)

PTP: 精确时间协议 (Precision Time Protocol)

QL: 质量等级 (Quality Level)

SSM: 同步状态信息 (Synchronization Status Message)

T-BC: 电信边界时钟 (Telecom Boundary Clock)

T-GM: 电信祖时钟 (Telecom Grandmaster)

UTC: 协调世界时 (Coordinated Universal Time)

## 5 概述

随着移动通信技术的不断发展, 5G 协同增强业务提出了  $\pm 130$  ns 甚至  $\pm 65$  ns 的高精度时间同步需求, 同时基于 5G 基站的高精度定位业务提出了  $\pm 3$  ns (米级) 的时间同步需求。为了适应这些业务的发展需求, 本文件主要规定基于 PTP 技术实现高精度时间传送, 进行高精度时间同步组网, 目标是满足高精度同步网络端到端  $\pm 130$  ns 时间精度的要求。

## 6 100ns 量级时间同步组网要求

### 6.1 时间同步组网总体原则

100ns量级时间同步网由时间同步设备、承载设备和被同步设备组成。在卫星信号可用情况下, 时间同步设备应优选卫星授时接收机的信号作为时间和频率参考, 实现同步信号的获取及下发。在卫星信号不可用的情况下, 时间同步设备应能支持地面时间溯源功能或利用地面物理层频率同步输入信号进行守时。在条件允许的情况下, 时间同步网可通过专用的比对手段溯源到国家UTC时间基准。承载设备逐点跟踪时间同步设备的同步信号, 实现同步信号的高精度传送。被同步设备从承载设备接收时间同步信号, 满足高精度时间同步需求。

### 6.2 时间同步网与频率同步网的关系

时间同步网与频率同步网原则上在定时链路组织、选源机制等方面逻辑上应相互独立, 时间同步应以频率同步为基础。频率同步可采用最少跳数优先或环网优先等策略进行组网, 应符合 YD/T 3770-2020 第 6.1.1.1 节要求, 时间同步可采用 BMC 算法方式进行组网, 应符合 C.3 的要求。时间同步网与频率同步网的关系示意如图 1 所示。

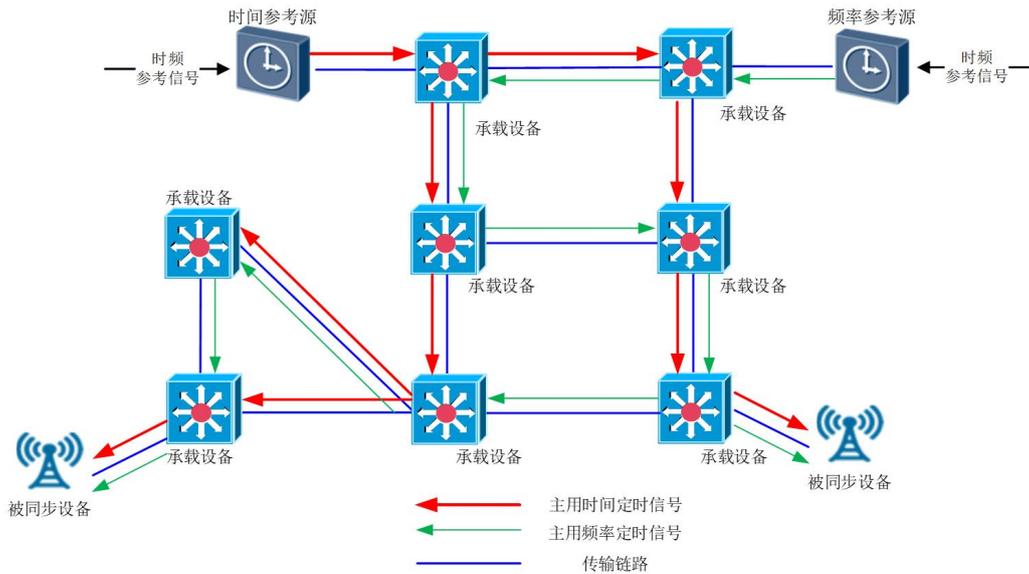


图 1 时间同步网与频率同步网关系示意图

### 6.3 参考源设置原则

时间同步定时参考源设置原则如下：

- 在卫星信号可用情况下，时间同步设备应跟踪卫星授时接收机的信号；
- 时间同步设备应至少配置一路地面时间输入参考信号，在卫星信号不可用的情况下，时间同步设备的时间信号应能跟踪地面时间输入参考信号；
- 时间同步设备应至少配置一路地面频率输入参考信号，在卫星信号不可用的情况下，时间同步设备的频率信号应能跟踪地面物理层频率输入参考信号。

### 6.4 时间同步路径组织原则

为了保证时间同步网的可靠性和时间分配的精度，时间同步路径组织应该遵循以下原则：

- 地面时间传送应遵循单向逐层向下的原则；
- 时间同步设备、承载设备与被同步设备（如基站）之间的地面时间传送应采用PTP技术，基于BMC算法规划同步路径；
- 时间同步设备、承载设备与被同步设备（如基站）之间的频率参考应取自地面物理层频率同步输入信号。

## 7 100ns 量级时间同步性能要求

### 7.1 一般要求

100ns量级时间同步网形成单级结构，即在时间路径中只有一个时间同步设备作为时间源头，如图 2所示。端到端时间性能指标均由三部分组成：时间源头部分、承载网部分和末

端分配部分。考虑到工程施工中可能存在的线路不对称性、补偿误差等引入的时间偏差会对端到端指标分配带来不利影响，在实际工程施工中应对时延不对称性进行准确补偿，具体补偿方法见附录A。

## 7.2 时间同步网的性能指标分配

时间同步网组网模型如图 2 所示。在这种组网模式下，时间同步组网模型的端到端时间性能分配要求如下：

- 时间同步设备部分：时间同步设备在正常跟踪时频参考源的情况下，其时间输出性能 $\Delta t_1$  应优于 $\pm 30$  ns（相对于 UTC）；
- 承载网部分：在时间路径中串入的承载设备（例如：SPN 设备）总数不宜超过 16 个，承载网部分分配的时间性能指标 $\Delta t_2$  应优于 $\pm 80$  ns；承载网部分引入的时间误差主要包括时钟网元引入的动态及固定时间误差；链路不对称性引入的时间误差、时钟短时保持及网络倒换引入的时间误差等其它误差待定；
- 被同步设备部分：从末端承载设备输出到被同步设备时间应用接口之间分配的性能指标 $\Delta t_3$  应优于 $\pm 20$  ns。

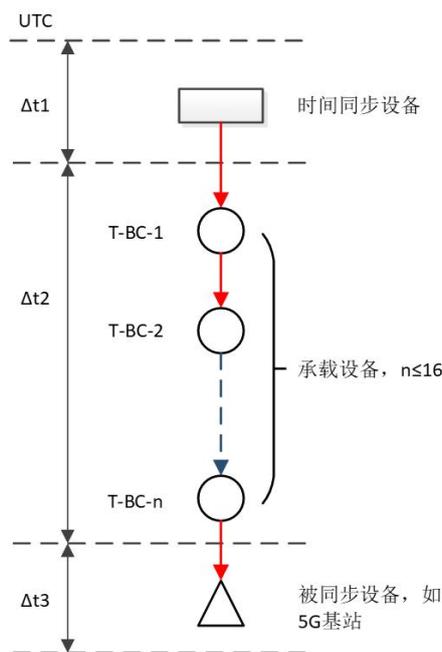


图 2 时间同步网性能指标分配

## 8 100ns 量级时间同步传送技术

### 8.1 时间同步实现技术

高精度时间同步实现技术涉及局间传送技术和局内分配技术。其中，局间传送技术是指实现不同机房之间的时间同步，局内分配技术主要是为了实现机房内不同设备之间的时间同步。

## 8.2 局间时间传送技术

局间传送技术应采用逐点支持PTP方式，时间同步路径所涉及的承载网元设备均应支持PTP功能，频率从物理层信号获取。影响局间传送精度的关键因素参见附录B。PTP协议及其BMC算法的要求应符合附录C。

## 8.3 局内时间分配技术

局内分配技术可采用PTP技术或其它时间同步技术。当采用PTP技术进行局内分配时，频率从物理层信号获取。

# 9 100ns 量级时间同步接口要求

## 9.1 概述

100ns量级组网的高精度时间同步接口主要为PTP接口，PTP接口可以同时用于局间和局内时间分配。

## 9.2 PTP 时间接口要求

PTP时间接口要求包括报文封装、报文传送模式、报文类型、报文发送间隔、延时机制和One-step/Two-step模式等，应满足YD/T 4504-2023中6.2和6.3节要求。

PTP 时钟等级（clockClass）应符合 YD/T 2879-2015 第 5.2.2、5.2.3、6.4.1.2 及 6.4.1.3 节要求。

# 10 100ns 量级时间同步网络可靠性要求

## 10.1 时间源头的可靠性要求

时间源头的可靠性要求如下：

- a) 时间同步网的时间同步设备可跟踪不同的卫星授时系统；
- b) 在卫星信号不可用的情况下，应能利用地面时间信号作为整个时间同步网的时间源；
- c) 在相关技术条件具备的情况下，应通过地面手段溯源至国家UTC时间基准，作为整个时间同步网的根本保障。

## 10.2 时间同步设备及时间链路设置要求

时间同步设备及时间链路设置要求如下：

- a) 主备时间同步设备应设置在不同的物理局址；
- b) 时间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) 主备用地面时间链路应采用不同的物理路由。

### 10.3 时间同步设备冗余配置要求

时间同步设备冗余配置应满足YD/T 4445-2023第9.1节要求。

### 10.4 时间参考源选择要求

#### 10.4.1 概述

本章主要适用于T-BC模式的时间参考源选择，OC模式的可参考使用。

#### 10.4.2 时间参考源倒换条件

高精度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。BMC算法倒换条件应包括C.3及以下3个自动倒换条件的要求：

- a) ITU-T G.8275.1定义的分组报文定时失效PTSF；
- b) PTP链路LOS/LOF；
- c) PTP链路故障。

#### 10.4.3 时间参考源选择机制

时间参考源选择机制采用BMC算法，应符合C.3的要求。

## 11 100ns 量级时间同步相关设备基本要求

### 11.1 时间同步设备基本要求

#### 11.1.1 设备组成

时间同步设备由铯钟或铷钟或高稳晶振和卫星授时接收机组成，支持地面时间溯源功能和地面频率信号守时功能。可通过专用的比对手段，溯源到国内更高等级的国家UTC时间基准。

#### 11.1.2 功能要求

高精度时间同步设备应具备以下基本功能：

- a) 参考源选择功能
  - 时间同步设备在卫星信号可用情况下应跟踪卫星授时接收机信号；在卫星信号不可用的情况下，可跟踪地面时间信号；在卫星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；
  - 时间同步设备的地面频率输入接口应支持SSM功能，宜利用SSM等级优于等于QL-ePRC的地面频率信号作为时间守时；
- b) 接口种类
  - 1) 频率同步输入和输出接口种类：2048 kHz、2048 kbit/s和同步以太网接口；
  - 2) 时间同步输入和输出接口种类：PTP接口，具体应符合9.2节的要求；

- 3) 卫星源的种类：符合YD/T 4445-2023 第6.1.1.2节的要求；
- c) PTP物理接口类型：GE光口或10GE光口；
- d) 振荡器种类：可选择配置铯钟、铷钟或者高稳晶振；
- e) 时标：PTP接口应采用PTP时标；
- f) 时延补偿功能：应支持路径延迟不对称补偿、天馈系统补偿；不对称补偿时间范围-100  $\mu$ s~+100  $\mu$ s，补偿的步长不大于1 ns；天馈补偿的时间范围0 ns~2500 ns；
- g) 时钟ID：参照IEEE 1588-2019协议；
- h) 性能及故障管理功能：性能监测应符合YD/T 2879-2015的5.4节的要求，故障管理功能应符合YD/T 2879-2015的5.3节的要求。

### 11.1.3 性能要求

#### 11.1.3.1 频率同步性能

时间同步设备的频率准确度应优于 $\pm 1 \times 10^{-12}$ ，噪声产生、相位不连续性应满足YD/T 1479-2006第6.2和6.3节要求。

#### 11.1.3.2 时间同步性能

时间同步性能如下：

- a) 在正常跟踪于卫星授时接收机的情况下，时间输出接口相对于UTC的时间偏差应满足YD/T 4445-2023第7.1和7.2节要求；
- b) 在正常跟踪PTP接口输入信号的情况下，时间输出接口相对于输入口的时间偏差应在 $\pm 5$  ns以内；
- c) 对于时间参考源输入信号倒换和设备冗余保护倒换，在1000s之内的时间变化应在10 ns以内。

## 11.2 承载设备时间同步基本要求

### 11.2.1 功能要求

对于采用逐点支持PTP方式的承载网设备，应具备以下基本功能：

- a) 参考源选择功能：承载网设备在正常情况下应跟踪时间同步设备；在主用时间同步设备不可用的情况下，应跟踪备用时间同步设备；在主用和备用时间同步设备均不可用的情况下，应利用频率输入信号进行守时；
- b) 接口种类
  - 1) 频率同步输入和输出接口种类：2048 kHz、2048 kbit/s和同步以太网接口；
  - 2) 时间同步输入和输出接口种类：PTP接口，应符合9.2节要求；
- c) PTP时间协议应符合9.2节要求，PTP工作方式要求如下：
  - 1) 承载设备应支持T-BC模式；
  - 2) PTP端口应支持通过BMC算法自动决策端口状态，并可在不使用BMC算法情况下支持人工强制配置端口状态为Master、Slave或Passive；

- 3) PTP端口可设置为Enable和Disable;
- d) 时标: PTP接口应采用PTP时标;
- e) 时延补偿功能: PTP接口应支持路径延迟不对称补偿, 补偿的步长不大于1 ns; 对于PTP接口, 补偿范围为-100  $\mu$ s~+100  $\mu$ s, 其中OTN设备的补偿范围为-1000  $\mu$ s~+1000  $\mu$ s;
- f) 时钟ID: 参照IEEE 1588-2019协议;
- g) 性能及故障管理功能: PTP端口应具备性能监控和故障检测功能, 性能监测应符合YD/T 2879-2015的6.4.3节要求, 故障管理功能应符合YD/T 2879-2015的6.4.2节要求。

## 11.2.2 性能要求

### 11.2.2.1 频率同步性能

承载设备时钟的频率准确度、牵引入/牵引出范围、噪声产生、噪声容限、噪声传递、瞬变响应和保持性能均应满足YD/T 4505-2023第6、7、8、9、10及11章要求。

### 11.2.2.2 时间同步性能

时间同步性能要求如下:

- a) 在承载设备时钟正常跟踪PTP信号的情况下, 时间输出接口相对于输入口的时间偏差应在 $\pm 5$  ns以内;
- b) 对于时间参考源输入信号倒换和设备冗余保护倒换, 在1000 s之内的时间变化应在10 ns以内。

## 11.3 被同步设备时间同步基本要求

被同步设备支持高精度时间同步应具备以下基本功能:

- a) 参考源选择功能: 被同步设备在正常情况下, 可通过地面时间输入信号获得时间同步;
- b) 接口种类
  - 1) 频率同步输入和输出接口种类: 2048 kHz、2048 kbit/s和同步以太网接口;
  - 2) 时间同步输入和输出接口种类: PTP接口, 具体应符合9.2节要求;
- c) PTP时间协议应符合9.2节要求, PTP工作方式要求如下:
  - 1) 被同步设备应支持OC模式, T-BC可选;
  - 2) 被同步设备应支持PTP状态信息提取, 可选支持BMC算法;
  - 3) 被同步设备支持PTP端口, 应可设置为Enable和Disable, 并应可配置Slave\_Only功能使能和不使能;
- d) 时标: PTP接口, 应采用PTP时标;
- e) 时延补偿功能: PTP接口应支持时延补偿功能, 补偿的步长不大于1ns, 其中PTP接口支持补偿范围-100  $\mu$ s~+100  $\mu$ s;

- f) 时钟ID: 参照IEEE 1588-2019协议;
- g) 性能及故障管理功能: PTP端口应具备性能监控和故障检测功能, 具体要求待研究。

附 录 A  
(资料性)  
工程可实施性要求

## A.1 时延不对称补偿方法和要求

### A.1.1 概述

由于实际网络中的光纤存在收发物理长度不对称造成的双向时延不对称(包括单纤双向和双纤双向),在IEEE 1588时间同步网部署中,应严格保证双向光纤时延相等,进行光纤时延不对称补偿。因此对于PTP端口,设备应支持对光纤时延的不对称补偿。

### A.1.2 时延不对称补偿方法

补偿方法如下:

- a) 对于环形组网、MESH组网和链形组网中的所有PTP接口,均应逐点对双向时延不对称进行测量;
- b) 按照IEEE 1588标准,在相关设备的对应端口进行补偿。

## A.2 验收方法和要求

### A.2.1 高精度时间同步网的验收方法和步骤

验收方法和步骤如下:

- a) 跟踪拓扑检查:查询全网跟踪拓扑是否正确并符合设计要求。检查所有的节点是否都有多径保护。并对所有的单径节点进行确认,若不满足要求,重新设计跟踪拓扑;
- b) 告警检测:查询全网节点(时间同步设备、承载网、基站)是否有告警。若有告警,一一进行排查;
- c) 保护倒换检查:人为触发保护倒换,看保护倒换是否正确;
- d) 同步精度检查:
  - 1) 测量方法:采用带有GNSS的IEEE 1588时间分析仪或无线信号分析仪分别测试时间同步设备、承载网设备边缘节点及基站的时间或空口时间与GNSS的时间偏差;
  - 2) 精度要求:同第7章性能要求;
- e) 基站业务检查(可选)。

### A.2.2 高精度时间同步网的验收要求

验收要求如下:

- a) 跟踪拓扑符合设计预期;
- b) 保护倒换正常;
- c) 性能指标满足要求;

- d) 基站业务满足指标要求（可选）。

## 附录 B

(资料性)

## 影响时间传送精度的关键因素

## B.1 链路方面

## B.1.1 双向固定时延不对称

光纤双向固定传输时延不对称是由现网收发双向光纤物理长度的不对称造成，是影响PTP高精度时间同步部署的最大困难。光纤双向固定传输时延不对称是静态误差，影响PTP时间同步的绝对精度，无法通过时间恢复算法来滤除。光纤传输时延的计算公式如下：

$$\text{Delay (L)} = L \times n / c \quad (1)$$

其中：L为光纤距离，n为光纤折射率，c为真空中光速。

在一般工程应用中，折射率的典型推荐值为1.458，c为299,792,458 m/s，因此1 m的时延约为4.86 ns。

根据PTP原理，收发光纤不对称引入的误差是绝对不对称值的1/2。例如5G网络，分配给承载网的时间同步精度就是±80 ns，那么40 m长的光纤不对称误差就将引入100 ns时间误差，超出对承载网的同步精度要求。通过现网多个局点实际测试，大多数站点的不对称实际小于40 m，然而确实存在超过40 m的站点。因此实际工程部署中，需要考虑收发双向光纤的不对称，并进行有效的测量和补偿。

## B.1.2 单向时延变化

单向时延变化主要由光纤环境温度、物理应力等变化引起的光纤传输速率变化引起，不过这种变化本身非常小，相对物理长度的不对称，几乎可以忽略不计。

另外，由于PTP协议规定采用硬件打时间戳方式，因此设备内部引起的PDV也非常小，可以通过单站设备的同步精度指标分配来约束设备的内部实现。

## B.1.3 链路频率漂移变化

网络漂移变化主要是指频率同步的漂移影响时间同步精度。ITU-T G.8262和G.8261分别规定了单网元和组网环境下锁定状态的频率漂移产生指标，单网元在1000 s的观察间隔内频率漂移将不超过150 ns，多网元组网条件下末端输出可达到5330 ns。但PTP时间同步是一个实时闭环系统，可以通过相互之间不停地交互PTP报文和计算时间戳发现频率漂移引起的时间误差，从而得到实时的时间调整，避免频率漂移引起过大的时间差。因此，理论上可以通过提高PTP报文发包频率的方式来提高时间同步的精度。

## B.1.4 链路业务流量变化

PTP时间同步通过相互之间交互以太报文实现时间同步，且PTP报文和业务报文是共物理端口的，因此设备内部业务流量的变化，将会造成PTP报文的转发延时，从而带来PTP报

文的传输时延变化，影响PTP时间同步精度。PTP协议充分考虑了这一因素，规定PTP时间戳处理应在物理层PHY和MAC之间实现，且应采用硬件打时间戳方式，以获得最高的同步精度。由于在物理接口上采用硬件打时间戳方法，且采用逐跳同步的组网方式，经过多次实际测试，业务流量对PTP时间同步精度几乎没有影响。

## B.2 网络方面

### B.2.1 网络规模

PTP时间同步网的规模，是影响PTP时间同步的一个重要因素。一是网络规模过大，必然导致地理空间大，光纤物理链路过长，从而带来的收发双向时延不对称变大；二是网络规模过大，可能造成同步链路过长，中间节点数过多，从而劣化PTP时间同步精度。由于每一个节点的处理都会引入误差（如内部处理的采样误差、时间戳计算误差等），因此需要规定单网元的时间同步精度，从而确定时间同步链接上的节点数。

### B.2.2 网络拓扑

网络拓扑主要影响同步链路长短和保护倒换。环形组网可以在相同的网络规模下，使同步链路的跳数最短，是推荐的组网方式，尤其适合核心层和汇聚层。同时环形或者MESH组网可以形成多点保护，避免同步链路单点故障。链形组网主要用于少量末端节点。只有规划好网络拓扑，才能获得一个高性能和高可靠性的时间同步网。

### B.2.3 网络保护方式

时间同步需要实现完善的保护方式，避免单点故障引起的整网瘫痪。通常有参考源保护、跟踪路径保护和设备内部的重要时钟单元主备保护。每种保护方式，在发生保护倒换时，都可能引起时间同步性能的短期劣化。

- a) 参考源保护倒换引入的误差：主备时间同步设备跟踪北斗/GPS的精度差异会造成参考源倒换前后的精度误差。
- b) 跟踪路径保护倒换的误差：链路倒换前后光纤不对称的误差以及链路节点数目不一样可能带来的末端基站的误差。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/815330304324011234>