

电信职工培训丛书

同步数字体系(SDH) 原理与技术

韦乐平 李英灏 编著



人民邮电出版社

电信职工培训丛书

同步数字体系(SDH) 原理与技术

韦乐平 李英源 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了同步数字体系(SDH)的基本内容,主要有速率与帧结构、复用和映射方法、传送网结构和自愈网、各种网元(包括复用器、数字交叉连接设备和线路系统)的简介、光接口和电接口、网同步、传输损伤、网络管理以及微波与卫星的 SDH 传输。全书内容简明扼要、系统全面并力求反映国际上的最新研究情况和应用进展。

本书可作为电信部门工程技术人员继续教育的培训教材,也可作为通信院校教学参考用书。

电信职工培训丛书

同步数字体系(SDH)原理与技术

韦乐平 李英颢 编著

责任编辑 王晓明

*

人民邮电出版社出版发行

北京崇文区夕照寺街14号

北京丰华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

*

开本:850×1168 1/32 1996年2月第1版

印张:7.375 1997年4月北京第2次印刷

字数:193千字 印数:8 001—13 000册

ISBN7-115-05973-X/TN·1019

定价:10.00元

丛书前言

当今世界通信技术已成为发展最活跃的科技领域之一。今后十年是我国建设社会主义现代化邮电通信网的十分重要的时期。实现邮电通信现代化，一是要依靠科技进步，二是要提高职工素质。现代通信的发展对职工素质和技能的要求越来越高。邮电职工一旦掌握了新的科技知识，其自身的素质和技能就会发生根本性的变化，劳动操作能力必将大大提高。为此，我社组织编写这套“电信职工培训丛书”，陆续出版。

这套丛书紧密结合电信部门的实际，重点介绍近些年来迅速出现、发展起来的新技术、新设备。丛书的特点是结合通信技术引进、应用、推广和创新的实际，突出实用性，深浅适宜，条理清楚。丛书的主要读者对象是各通信部门的工程技术人员，也可作为相关院校通信专业教学参考用书。

殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，以便这套丛书日臻完善。

人民邮电出版社

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 SDH 的产生	(1)
1.2 SDH 网的基本概念	(4)
1.3 SDH 网的特点	(8)
第 2 章 速率与帧结构	(11)
2.1 网络节点接口	(11)
2.2 同步数字体系的速率	(12)
2.3 帧结构	(13)
2.4 基本复用原理和复用单元	(15)
2.5 开销功能	(18)
第 3 章 同步复用和映射方法	(27)
3.1 基本复用映射结构	(27)
3.2 复用方法	(29)
3.3 指针	(38)
3.4 通道开销	(50)
3.5 映射方法	(53)
第 4 章 SDH 传送网结构和自愈网	(59)
4.1 SDH 网的分层和分割	(59)

4.2 SDH 自愈网	(66)
第5章 数字复用设备	(80)
5.1 同步复用设备功能的概述	(80)
5.2 复用设备类型	(83)
第6章 数字交叉连接设备	(90)
6.1 DXC 的基本概念和应用	(90)
6.2 SDXC 设备功能的概述	(96)
6.3 SDXC 设备类型	(97)
第7章 光缆数字线路系统	(101)
7.1 概述	(101)
7.2 传输媒质	(102)
7.3 总体设计特性	(103)
7.4 传输开销	(104)
7.5 运行、管理和维护	(110)
第8章 光接口	(112)
8.1 物理层接口分类	(112)
8.2 光接口参数	(114)
8.3 光传输设计方法	(132)
8.4 电接口参数	(137)
第9章 网同步	(141)
9.1 网同步的基本原理	(141)
9.2 SDH 网同步结构和方式	(144)
9.3 各级时钟的定时要求	(152)
9.4 网元定时方法	(153)

第 10 章 传输损伤	(156)
10.1 假设参考通道和数字段	(156)
10.2 误码特性	(159)
10.3 抖动特性	(166)
10.4 漂移特性	(179)
第 11 章 网络管理	(184)
11.1 TMN 的基本概念	(184)
11.2 SDH 管理网	(193)
11.3 互操作性和 SDH 信息模型	(194)
11.4 管理功能	(195)
11.5 ECC 协议栈	(198)
11.6 操作运行接口	(202)
11.7 网管等级	(202)
第 12 章 微波与卫星的 SDH 传输	(206)
12.1 概述	(206)
12.2 微波在 SDH 网中的应用	(207)
12.3 Sub-STM-1 传输速率的 SDH 微波系统	(212)
12.4 与现有系统兼容的射频波道配置、容量配置 及调制方式选择	(225)
12.5 新传输技术的采用	(227)
主要参考文献	(228)

第 1 章 概 述

1.1 SDH 的产生

1.1.1 PDH 的弱点和 SDH 的产生

80 年代中期以来, 光纤通信在电信网中获得了大规模应用。其应用场合已逐步从长途通信、市话局间中继通信转向用户接入网。光纤通信的廉价、优良的带宽特性正使之成为电信网的主要传输手段。然而, 随着电信网的发展和用户要求的提高, 光纤通信中的准同步 (PDH) 系统正暴露出一些固有的弱点:

(1) 只有地区性的数字信号速率和帧结构标准, 没有世界性标准。例如北美的速率标准是 $1.5\text{Mbit/s} - 6.3\text{Mbit/s} - 45\text{Mbit/s} - N \times 45\text{Mbit/s}$, 同样体制的日本的标准是 $1.5\text{Mbit/s} - 6.3\text{Mbit/s} - 32\text{Mbit/s} - 100\text{Mbit/s} - 400\text{Mbit/s}$, 而欧洲的标准则为 $2\text{Mbit/s} - 8\text{Mbit/s} - 34\text{Mbit/s} - 140\text{Mbit/s}$ 。这三者互不兼容, 造成国际互通的困难。

(2) 没有世界性的标准光接口规范, 导致各个厂家自行开发的专用光接口大量滋生。这些专用光接口无法在光路上互通, 只有通过光/电转换成标准电接口 (G·703 接口) 才能互通, 这就限制了联网应用的灵活性, 也增加了网络的复杂性和运营成本。

(3) 准同步系统的复用结构除了几个低速率等级的信号 (如北

美为 1.5Mbit/s, 欧洲为 2Mbit/s) 采用同步复用外, 其他多数等级的信号采用异步复用, 即靠塞入一些额外比特使各支路信号与复用设备同步并复用成高速信号。这种方式难以从高速信号中识别和提取低速支路信号。为了上下电路, 唯一的办法就是将整个高速线路信号一步一步地分用到所要取出的低速支路信号等级, 上下支路信号后, 再一步一步地复用至高速线路信号进行传输。可见复用结构不仅复杂, 也缺乏灵活性, 硬件数量大, 上下业务费用高, 数字交叉连接功能(DXC)的实现十分复杂。

(4) 传统的准同步系统的网络运行、管理和维护(OAM)主要靠人工的数字信号交叉连接和停业务测试, 因而复用信号帧结构中不需要安排很多用于网络 OAM 的比特。而今天, 这种辅助比特的严重缺乏已成了进一步改进网络 OAM 能力的重要障碍, 使传统的准同步系统无法适应不断演变的电信网要求, 更难以很好支持新一代的网络。

(5) 由于建立在点对点传输基础上的复用结构缺乏灵活性, 使数字通道设备的利用率很低, 非最短的通道路由占了业务流量的大部分。可见这种建立在点到点传输基础上的体制无法提供最佳的路由选择, 也难以经济地提供不断出现的各种新业务。

另一方面, 用户和网络的要求正在不断变化, 一个现代电信网要求能迅速地、经济地为用户提供电路和各种业务, 最终希望能对电路带宽和业务提供在线实时控制和按需供给。

显然, 要想完满地在原有技术体制和技术框架内解决这些问题是事倍功半、得不偿失的。唯一的出路是从技术体制上进行根本的改革。以微处理器支持的智能网元的出现有力地支持了这种网络技术体制上的重大变革, 一种有机地结合了高速大容量光纤传输技术和智能网元技术的新体制——光同步传输网应运而生。

最初, 这一概念是由美国贝尔通信研究所提出来的, 并称之为同步光网络(SONET)。制订 SONET 标准的最初目的是为了阻止互不兼容的光接口的大量滋生, 实现标准光接口, 便于各厂家设备在

光路上互通。然而以后的发展已大大超过了这一最初的目标, SONET 已扩展为一个全新的传输网技术体制。

国际电信联盟标准部(ITU-T)的前身国际电报电话咨询委员会(CCITT)于 1988 年接受了 SONET 概念,并重新命名为同步数字体系(SDH),使之成为不仅适于光纤也适于微波和卫星传输的通用技术体制。为了建立世界性的统一标准,ITU-T 在光电接口、设备功能和性能、管理控制以及协议和信令方面进行了重要修改和扩展,并于 1988 年至 1995 年分别通过了有关 SDH 的 16 个标准,涉及比特率、网络节点接口、复用结构、复用设备、网络管理、线路系统和光接口、SDH 信息模型、网络结构、抖动性能、误码性能和环形网等内容。至此,已经在世界范围内就 SDH 的基本软硬件问题都达成了一致协议。当然,就体制标准而言,随着实际应用经验的积累还会不断进行修改。随着实际应用的需要还会有新的标准出现,但基本框架和主要问题已经解决。SDH 将在世界范围内进入大发展时期。

1.1.2 SONET 和 SDH 的异同

从 SONET 到 SDH,其实质内容和主要规范并没有很大变化,而且随着国际标准化工作的不断进行,两者也越来越趋于一致。因此一般统称为(光)同步数字传输网,或 SDH/SONET 网。然而,由于历史的原因,在少数细节的规定上仍有一些差别,例如速率等级,SDH 目前只有 4 种,即 155/622/2488/9953 Mbit/s,而 SONET 有 9 种,即 52/155/466/622/933/1244/1866/2488/9953 Mbit/s,但用的最多的也是 SDH 的 4 种等级;SDH 与 SONET 两者在 STM-1 速率上尽管帧结构格式一致,但在指针安排和处理方法上略有不同;两者在净负荷类型安排上也略有不同,SDH 不支持 SONET 的 VT₃,而 SONET 也不支持 SDH 的 VC-12 和 VC-3;两者在少数字节的用法、规定和参数准则上也不尽相同;两者在时钟规范上目前也不能兼容。如此等等都导致两者尚不能完全互通兼容,但其基本原理和主要规范是一致的,下面以 SDH 体制为主进行讲述。

1.2 SDH 网的基本概念

SDH 网是由一些 SDH 网元(NE)组成的,在光纤上进行同步信息传输、复用、分插和交叉连接的网络。它有全世界统一的网络节点接口(NNI),从而简化了信号的互通以及信号的传输、复用、交叉连接和交换过程;它有一套标准化的信息结构等级,称为同步传送模块 STM-N,并具有有一种块状帧结构,允许安排丰富的开销比特(即网络节点接口比特流中扣除净负荷后的剩余部分)用于网络的 OAM;它的基本网元有终端复用器(TM)、再生中继器(REG)、分插复用器(ADM)和同步数字交叉连接设备(SDXC)等等,其功能各异,但都有统一的标准光接口,能够在基本光缆段上实现横向兼容性,即允许不同厂家设备在光路上互通;它有一套特殊的复用结构,允许现存准同步数字体系、同步数字体系和 B-ISDN 信号都能进入其帧结构,因而具有广泛的适应性;它大量采用软件进行网络配置和控制,使得新功能和特性的增加比较方便,适于将来的不断发展。

光同步数字传输网早期应用时最重要的两个网元是终端复用器和分插复用器。以 STM-1 等级为例,其各自功能如图 1.2.1 和图

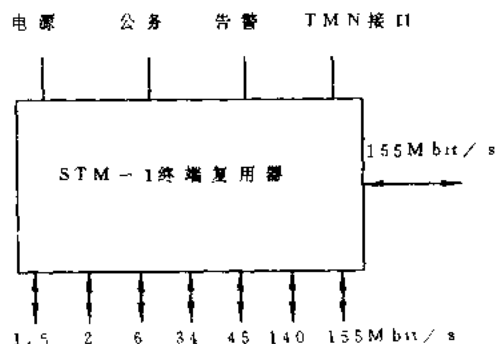


图 1.2.1 STM-1 终端复用器功能

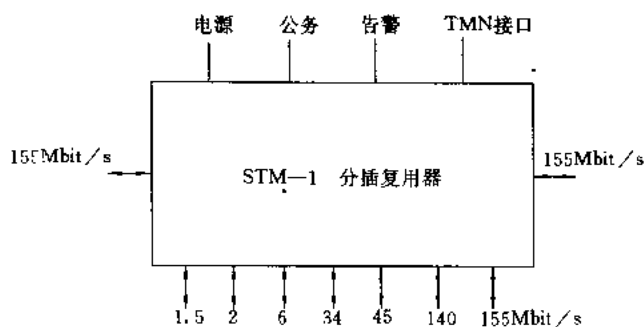


图 1.2.2 STM-1 分插复用器功能

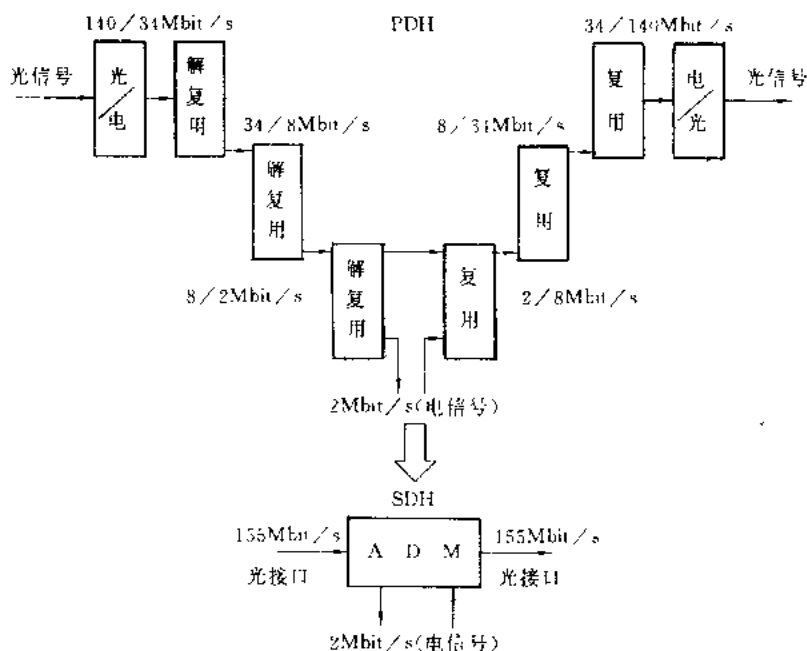


图 1.2.3 分插信号流图的比较

1.2.2 所示。终端复用器的主要任务是将低速支路电信号和 155Mbit/s 电信号纳入 STM-1 帧结构，并经电/光转换为 STM-1

光线路信号，其逆过程正好相反。而分插复用器是一种新型的网元，它将同步复用和数字交叉连接功能综合于一体，具有灵活地分插任意支路信号的能力，在网络设计上有很大灵活性。

以从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 低速支路信号为例，我们将采用传统准同步复用器和 SDH 分插复用器的信号流图同时表示在图 1.2.3 中，以便对比。

由图 1.2.3 可知，在传统准同步系统中，为了从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 低速支路信号，需要经过 $140/34\text{Mbit/s}$ 、 $34/8\text{Mbit/s}$ 和 $8/2\text{Mbit/s}$ 一次解复用和复用过程，而采用 ADM 后，可以利用软件直接一次分插出 2Mbit/s 支路信号，十分简单和方便。

由上述两个基本网元组成的典型网络应用有多种形式，诸如点到点传输(如图 1.2.4)、线形(如图 1.2.5)、枢纽网(如图 1.2.6)和环形网(如图 1.2.7)。当然实际应用时还可能出现别的形式或者各种组合形式，这里就不一一列举了。

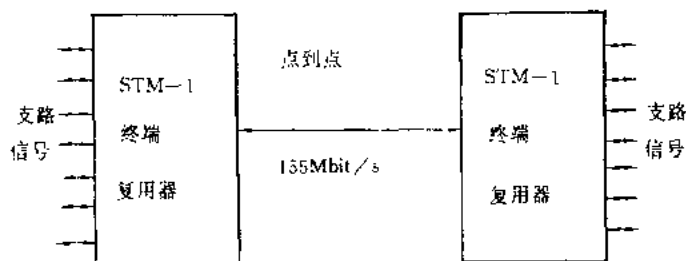


图 1.2.4 点到点的应用

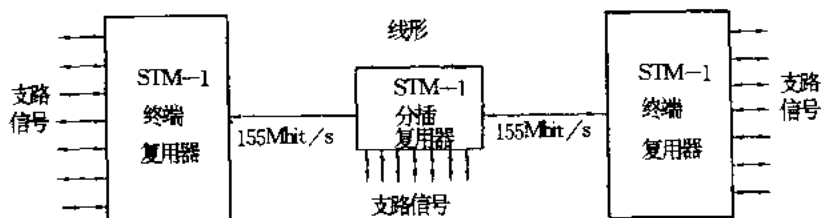


图 1.2.5 线形应用

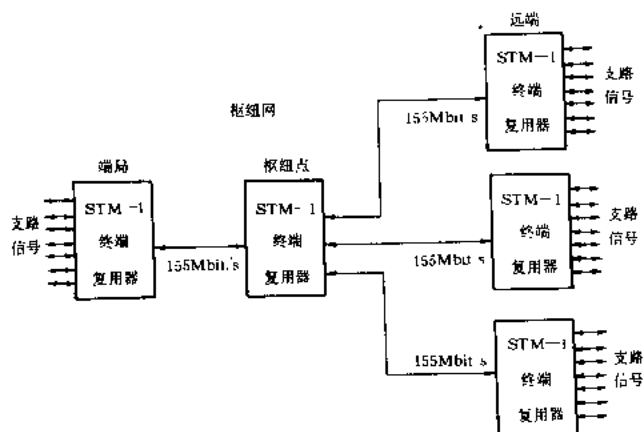


图 1.2.6 枢纽网应用

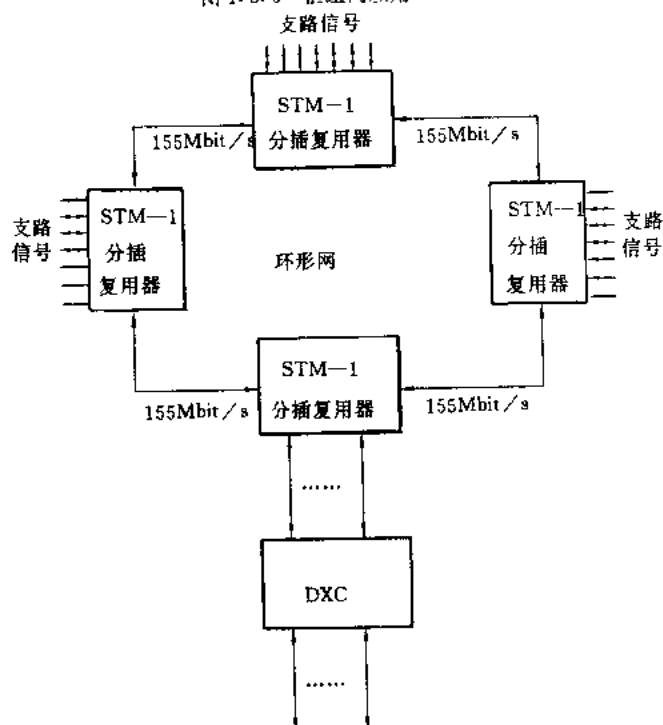


图 1.2.7 环形网应用

1.3 SDH 网的特点

作为一种全新的传输网体制，SDH 网有下列主要特点：

(1) 使 1.5Mbit/s 和 2Mbit/s 两大数字体系(三个地区性标准)在 STM-1 等级以上获得统一。今后，数字信号在跨越国界通信时，不再需要转换成另一种标准，第一次真正实现了数字传输体制上的世界性标准。

(2) 采用了同步复用方式和灵活的复用映射(参见第三章)结构。各种不同等级的码流在帧结构净负荷内的排列是有规律的，而净负荷与网络是同步的，因而只需利用软件即可使高速信号一次直接分插出低速支路信号，即所谓的一步复用特性。这样既不影响别的支路信号，又避免了需要对全部高速复用信号进行分用的作法，省去了全套背靠背复用设备，使网络结构得以简化，上下业务十分容易，也使 DXC 的实现大大简化。利用同步分插能力还可以实现自愈环形网，改进网络的可靠性和安全性。此外，背靠背接口的减少还可以改善网络的业务透明性，便于端到端的业务管理，使网络易于容纳和加速各种新的宽带业务的引入。

(3) SDH 帧结构中安排了丰富的开销比特(大约占信号的 5%)，因而使网络的 OAM 能力大大加强。此外，由于 SDH 中的 DXC 和 ADM 等一类网元是智能化的，通过嵌入在 SOH 中的控制通路可以使部分网络管理能力分配(即软件下载)到网元，实现分布式管理，使新特性和新功能的开发变得比较容易。例如在 SDH 中可望实现按需动态分配网络带宽，网络中任何地方的用户都能很快获得所需要的具有不同带宽的业务。

(4) 由于将标准光接口综合进各种不同的网元，减少了将传输和复用分开的需要，从而简化了硬件，缓解了布线拥挤。例如网元有了标准光接口后，光纤可以直通到 DXC，省去了单独的传输和复用设备，以及又贵又不可靠的人工数字配线架。此外，有了标准光

接口信号和通信协议后，使光接口成为开放型接口，还可以在基本光缆段上实现横向兼容，满足多厂家产品环境要求，降低了联网成本。

(5) 由于用一个光接口代替了大量电接口，因而 SDH 网所传输的业务信息可以不必经由常规准同步系统所具有的一些中间背靠背电接口而直接经光接口通过中间节点，省去了大量相关电路单元和跳线光缆，使网络可用性和误码性能都获得改善，而且，由于电接口数量锐减导致运行操作任务的简化及备件种类和数量的减少，使运营成本减少 20%—30%。

(6) SDH 网与现有网络能完全兼容，即可以兼容现有准同步数字体系的各种速率。同时，SDH 网还能容纳各种新的业务信号，例如高速局域网的光纤分布式数据接口(FDDI)信号，城域网的分布排队双总线(DQDB)信号以及宽带综合业务数字网中的异步传递模式(ATM)信元。简言之，SDH 网具有完全的后向兼容性和前向兼容性。

上述特点中最核心的有三条，即同步复用、标准光接口和强大的网管能力。

当然，SDH 作为一种新的技术体制不可能尽善尽美，必然会有一些不足之处。例如：

(1) 频带利用率不如传统的 PDH 系统。PDH 的 139.264Mbit/s 可以收容 64 个 2.048Mbit/s 系统，而 SDH 的 155.520Mbit/s 却只能收容 63 个 2.048Mbit/s 系统(参见第五章)，频带利用率从 PDH 的 94% 下降到 83%；PDH 的 139.264Mbit/s 可以收容 4 个 34.368Mbit/s 系统，而 SDH 的 155.520Mbit/s 却只能收容 3 个，频带利用率从 PDH 的 99% 下降到 66%。当然，上述安排可以换来网络运用上的一些灵活性，但毕竟使频带利用率降低了。

(2) 技术上和功能上的复杂性大大增加。在传统 PDH 系统中，64 个 2.048Mbit/s 到 139.264Mbit/s 的复用/分用只需 10 万个等效门电路即可。而 SDH 中，63 个 2.048Mbit/s 到 155.520Mbit/s 的复

用/分用共需 100 万个等效门电路。好在采用亚微米超大规模集成电路技术后，成本代价还不算太高。

(3) 在从 PDH 到 SDH 的过渡时期，会形成多个 SDH “同步岛”经由 PDH 互连的局面。这样，由于指针调整产生的相位跃变使经过多次 SDH/PDH 变换的信号在低频抖动和漂移性能上会遭受比纯粹 PDH 或 SDH 信号更严重的损伤，需要采取有效的相位平滑措施才能满足抖动和漂移性能要求。

(4) 由于 ADM/DXC 的自选路由以及难以区分来历的不同的 2.048Mbit/s 信号，使得网同步的规划管理和同步性能的保证增加了相当难度。

(5) 由于大规模地采用软件控制和将业务量集中在少数几个高速链路和交叉连接点上，使软件几乎可以控制网络中的所有交叉连接设备和复用设备。这样，在网络层上的人为错误、软件故障乃至计算机病毒的侵入可能导致网络的重大故障，甚至造成全网瘫痪。为此必须仔细地测试软件，选用可靠性较高的网络拓扑。

综上所述，光同步传输网尽管也有其不足之处，但毕竟比传统的准同步传输网有着明显的优越性。毫无疑问，传输网的发展方向应该是这种高度灵活和规范化的 SDH 网。它必将最终取代 PDH 传输体制，并为 B-ISDN 的发展铺平道路。