

SDH

光同步数字传输设备 与工程应用

杨世平 张引发 邓大鹏 何渊 编著

人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

SDH 光同步数字传输设备 与工程应用

杨世平 张引发 编著
邓大鹏 何 渊

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

SDH 光同步数字传输设备与工程应用/杨世平, 张引发, 邓大鹏著.—北京:
人民邮电出版社, 2001.4
ISBN 7-115-09121-8

I. S... II. ①杨... ②张...③邓... III. 同步传输: 数据传输—通信设备, IV. TP915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 11235 号

SDH 光同步数字传输设备与工程应用

- ◆ 编 著 杨世平 张引发 邓大鹏 何 渊
责任编辑 梁 凝
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ pptph.com.cn
网址 <http://www.pptph.com.cn>
读者热线 010-67129212 010-67129211(传真)
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23
字数: 574 千字 2001 年 4 月第 1 版
印数: 1-6 000 册 2001 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09121-8/TN·1672

定价: 39.00 元

内 容 提 要

本书在简要地介绍了 SDH 基本知识的基础上,从工程应用的角度详细讨论了 SDH 传输设备。主要内容包
括:网元设备的组成、功能和 SDH 网管,波分复用(WDM)系统的构成、关键技术、监控技术和实
现方案,SDH 和 DWDM 组网技术、保护和自动恢复技术,SDH 网同步、SDH 网络的误码、抖动等传输性
能和光口、电口等技术要求;SDH 网络安装与维护测量技术,常用测试仪表介绍和光纤互联网技术、新型
光纤与色散补偿技术等光纤通信新技术,并在最后介绍了华为公司 SBS 2500 设备以使读者更直观地了解
SDH 光传输设备的结构、组网方法和配置,以进一步加强理论与实际的结合。

本书内容全面、系统,并与研究开发、工程、维护等应用紧密结合,具有很强的实用性。

本书适合于从事 SDH 系统和设备的研制开发、规划设计、施工建设和维护管理的工程技术人员和管理
人员阅读,也可供通信院校相关专业的师生学习参考。

序

通信技术的迅猛发展，大大加快了人类社会由工业化社会向信息化社会过渡的步伐。今天，通信技术正朝着与计算机技术相融合的方向发展，并对网络的发展带来了革命性的影响。

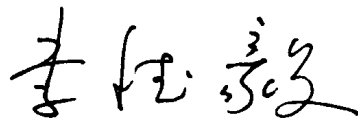
无论是在技术上还是在设备上，传输网络中曾经普遍采用的准同步数字体系（PDH）正迅速让位于同步数字体系（SDH），电路交换正迅速被分组交换所取代，并朝着以密集波分复用（DWDM）技术为基础的全光网络（AON）发展。在这种情况下，《SDH 光同步数字传输设备与工程应用》一书的出版是很有意义的。

本书的作者在光纤通信的教学和科研方面已积累了 10 多年的经验，他们结合自身在 SDH 理论上的探索、工程实践经验以及科研工作的成果，从工程应用与管理的角度，重新优化整合了 SDH 设备原理、组网技术以及测试维护等内容，编写了此书。该书具有以下特点：

1. 系统性强。全书在内容的取舍上注重工程实践的要求。如除了 SDH 设备原理外，重点介绍了网络的拓扑结构、SDH 网同步、SDH 网络传输性能和维护测量技术等。
2. 注重理论联系实际，具有很强的实用性。无论是在 SDH 设备原理，还是在网络拓扑结构和维护测量技术等内容的介绍上，都引入了典型设备、仪表的相关应用知识，这有助于读者理解和掌握这些内容，并应用于实践。
3. 具有先进性和前瞻性。对传输网络发展中的一些新技术作了介绍。如 DWDM、光纤互联网等。

祝贺该书的出版，相信它对从事 SDH 系统和设备研制开发、规划设计、施工建设和维护管理的工程技术人员具有较高的参考价值，也必将有力地推动我国 SDH 网络的维护管理水平。

中国工程院院士



2000 年 12 月

作 者 序

光纤通信技术自 80 年代投入商用以来, 已经历了准同步数字体系 (PDH) 和同步数字体系 (SDH) 两个阶段。由于 PDH 体制的局限性, ITU-T 于 1988 年通过了第一批 SDH 建议, 90 年代初, SDH 设备开始进入市场, 从此传输网发展进入了一个新的时期。在我国, 1994 年开始引进 SDH 设备, 至今 SDH 系统已经成为我国电信网的主要传输体制。

自 1995 年以来, 我们一直从事 SDH 原理的教学和 SDH 设备与网络的维护测试方面的实践和科研工作, 已深入理解和掌握了富士通、华为、武汉邮科院和西门子等多家公司的 SDH 设备原理, 并多次参加过工程施工、测试和维护管理。出于教学的需要, 我们编写了有关 SDH 设备的讲义, 并多次使用, 效果很好。本书在此基础上经过修改整理, 使内容更加系统、全面, 并注重了理论与实践的结合, 以适应教学、科研、工程设计和维护运行等多方面的需求。

全书分为 10 章。第一章简要介绍了 SDH 基础, 如开销、复用映射路径和指针等。第二章结合实例介绍了 SDH 网元设备的功能结构。第三章介绍了 SDH 网管的基本功能和结构。第四、五章介绍了 SDH 网元的组网应用, 如线形网、环形网等的工程设计和工程开通。第六章介绍了 SDH 网的同步原理和应用示例。第七章介绍了 SDH 网络的传输性能。第八章主要介绍了 SDH 网络的开通测试方法。第九章简要介绍了光波分复用系统的原理和实现方案。第十章简要介绍了一些新的技术如光纤互联网技术等。附录一、二分别给出了 SDH 设备原理和测试技术的应用实例。

本书的第一、二章以及第十章的第一、三节由杨世平编写, 第三章由何渊编写, 第四、五、九章以及附录一由邓大鹏编写, 第六、七、八章由张引发编写, 第十章的第二节由季树滨编写, 附录二由陈明贵编写。全书由杨世平统稿。在本书的编写过程中, 得到了相关领导和同事们的大力支持与帮助, 同时也得到华为公司的技术支持, 在此深表谢意。

编写本书的主要目的, 是想从工程应用的角度来重新优化和整合 SDH 设备的基本原理、维护测试等内容, 但是由于编者的水平有限, 加之时间仓促, 书中难免有不足之处 恳请读者批评指正。

2000 年 11 月

目 录

第一章 SDH 基本知识	1
第一节 SDH 的引入	1
第二节 SDH 的速率等级及帧结构	5
第三节 SDH 段开销	7
第四节 映射和复用	12
第五节 指针技术	24
复习思考题	30
第二章 SDH 网元设备	31
第一节 SDH 设备的功能描述	31
第二节 SDH 复用设备	44
第三节 交叉连接设备	49
第四节 再生器	52
复习思考题	54
第三章 电信管理网与 SDH 管理网	56
第一节 电信管理网 (TMN)	56
第二节 SDH 管理网 (SMN)	66
复习思考题	79
第四章 SDH 线形网络应用	81
第一节 SDH 线形网	81
第二节 线形网工程设计	82
第三节 硬件安装	86
第四节 软件设置	88
复习思考题	92
第五章 SDH 环形网络应用	93
第一节 SDH 环形网	93
第二节 环形网工程设计	97
第三节 软件设置	102

复习思考题	106
第六章 SDH 网同步	108
第一节 网同步概述	108
第二节 同步网结构	114
第三节 SDH 设备定时工作方式	119
第四节 SDH 网传送定时的方法	125
第五节 SDH 定时传送网的可靠性	130
第六节 SYNLOCK 系统概述	133
复习思考题	140
第七章 SDH 网络传输性能	141
第一节 传输性能指标体系	141
第二节 假设参考通道和数字段	143
第三节 误码性能	144
第四节 中国 SDH 网络误码性能	150
第五节 SDH 系统误码设计指标	152
第六节 SDH 工程验收的误码指标	153
第七节 SDH 数字通道、复用段投入业务和维护性能限值	154
第八节 抖动性能	158
第九节 漂移特性	162
第十节 光接口技术要求	164
第十一节 电接口技术要求	171
第十二节 可用性指标	174
复习思考题	175
第八章 SDH 网络安装与维护测试技术	176
第一节 概述	176
第二节 基本安装过程	184
第三节 建立 SDH 测试的一般要求	185
第四节 SDH 功能测试	188
第五节 SDH 抖动测量	195
第六节 光接口测试	204
第七节 电接口测试	207
第八节 投入业务 (BIS) 的测试	213
复习思考题	218

第九章 光波分复用系统	219
第一节 波分复用的基本原理	219
第二节 波分复用工程技术问题	224
第三节 波分复用系统主要性能	230
第四节 波分复用系统的监控技术	231
第五节 波分复用系统实现方案	233
复习思考题	236
第十章 光纤通信新技术	238
第一节 新型光纤和色散补偿技术	238
第二节 光纤互联网技术	244
第三节 现代网络管理技术的应用	274
复习思考题	287
附录一 华为公司 SBS 2500 设备介绍	288
第一节 系统介绍	288
第二节 设备及单元板说明	291
第三节 组网和配置	310
第四节 网络管理系统	315
附录二 SDH 高级网络分析仪 ANT-20E 的测试应用	331
第一节 概述	331
第二节 ANT-20E 结构	333
第三节 测试应用	337
参考文献	357

第一章 SDH 基本知识

第一节 SDH 的引入

一、PDH 帧结构和缺陷

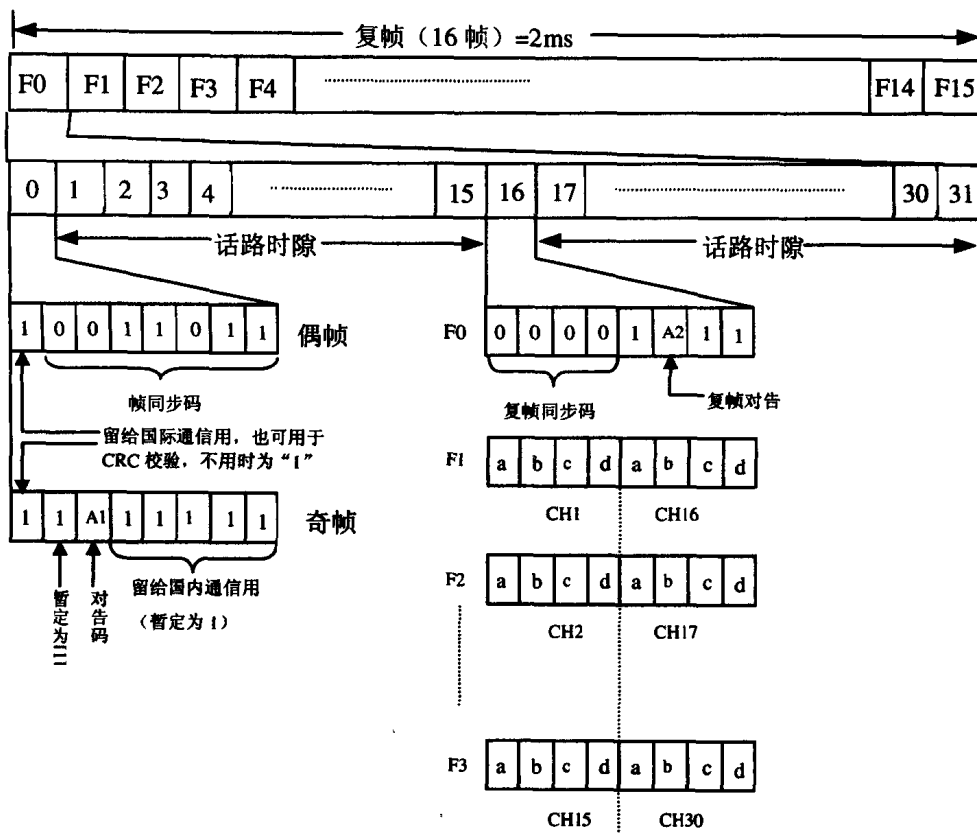
准同步数字体系（PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy）应用了 20 多年，其技术已相当成熟。它是将每路模拟的话音信号进行抽样、量化、编码，变为一路 64kbit/s 的数字信号。为了提高线路利用率和传输容量，又采用时分复用技术，将多路 64kbit/s 数字信号以字节为单位进行间插复接。在欧洲将 30 个独立的 64kbit/s 话音信道与两个信息控制信道一起形成一个 32 个时隙的信号结构，其传输速率为 2.048Mbit/s；在北美和日本，则将 24 个 64kbit/s 信道的信号间插复用在一起，形成一个 1.544Mbit/s 的信息流。

为进一步提高传输容量，可将若干个 2048kbit/s(或 1544kbit/s)的信息流复接成更高速率的信息流。例如，欧洲将 4 个 2048kbit/s 信息流复接成一路 8448kbit/s 的信息流；4 个 8448kbit/s 信息流复接为一路 34368kbit/s 的信息流；4 个 34368kbit/s 的信息流复接为一路 139264kbit/s 的信息流。由于欧洲和北美复接的基础速率不同，因而各速率等级也不相同，见表 1.1。这就形成了欧洲和北美两大制式。

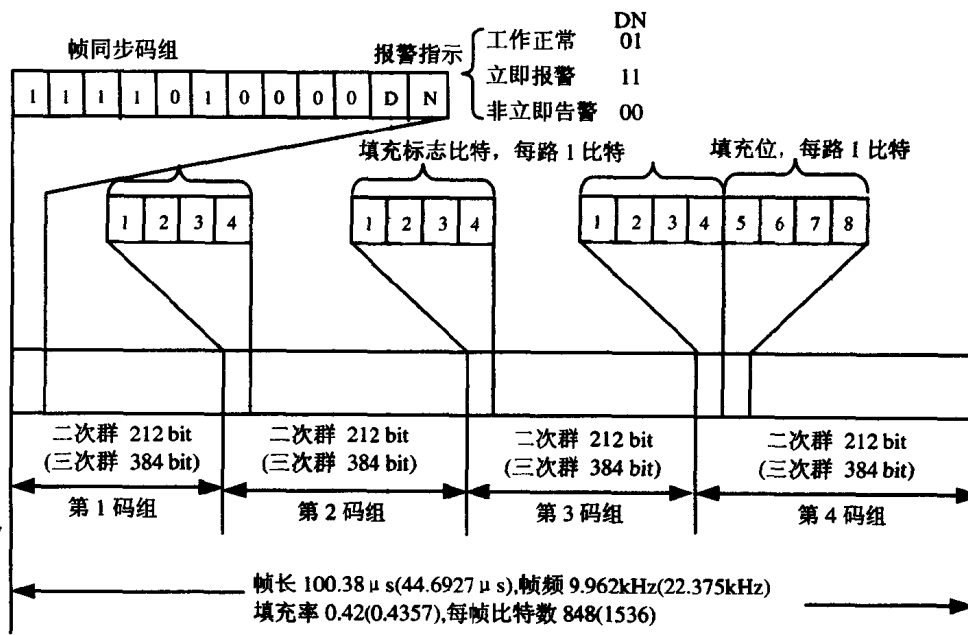
表 1.1 各种制式的速率等级

容量 \ 群次		一次群 (kbit/s)	二次群 (kbit/s)	三次群 (kbit/s)	四次群 (kbit/s)
日本制式	速率	1544	6312	32064	97728
	路数	24	96	480	1400
北美制式	速率	1544	6312	44736	274176
	路数	24	96	672	4032
欧洲制式	速率	2408	8448	34368	139264
	路数	30	120	480	1920

在 PDH 中，各速率等级虽规定了速率，但支路信号可来自不同的设备，这些设备有各自独立的时钟源，因而来自不同设备的同一速率等级的支路信号其速率并不一定严格相等。为了能将各支路信号复接成更高速率的信号，对于各速率等级除规定标称速率外，还规定其允许的偏差范围（称为容差）。例如，欧洲制式的偏差为：2048kbit/s $\pm 50\text{ppm}$ ；8448kbit/s $\pm 30\text{ppm}$ ；34368kbit/s $\pm 20\text{ppm}$ ；139264kbit/s $\pm 15\text{ppm}$ 。这种有相同的标称速率，但又允许有一定的偏差的信号称为准同步信号。它们复接时只能靠插入调整比特，采用异步复接。复接后的帧结构如图 1.1 所示。



(a) 2048kbit/s 复帧结构



(b) 8484kbit/s、34368kbit/s 帧结构

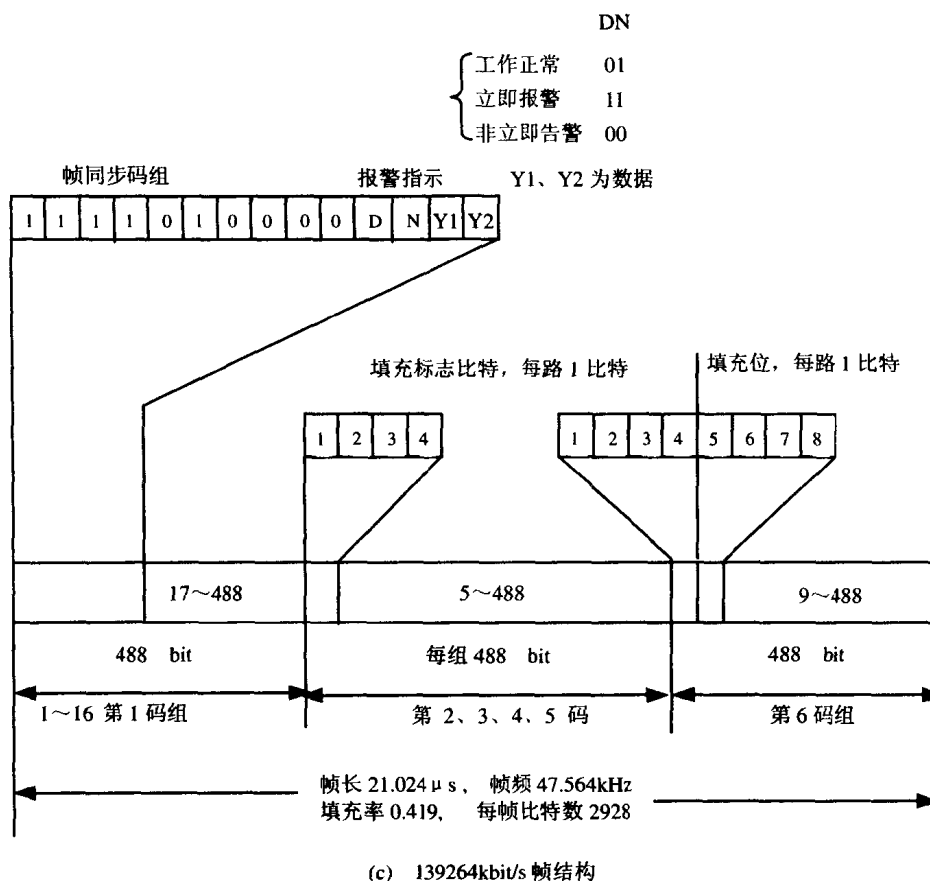


图 1.1 PDH 各速率等级的帧结构

从图中可以看到：基群每帧 $125\mu\text{s}$ ，32 个时隙，采用字节间插复用，16 帧组成一个复帧，TS1~TS31 用于传信息（传送的信息统称为净荷），TS0 传帧同步字及 CRC 校验码等用于运行、维护、管理的比特；8448kbit/s 和 34368kbit/s 每帧分为 4 组，采用逐比特间插复接，帧长分别为 $100.379\mu\text{s}$ 和 $44.693\mu\text{s}$ ，只有第 1 组的前 12 比特用作运行、维护、管理（前 10 比特为同步字，第 11 比特为对告）；139264 kbit/s 帧长为 $21.025\mu\text{s}$ ，分为 6 组，只有第 1 组前 16 比特用作运行、维护、管理（前 12 比特为帧同步字，第 13 比特为对告，第 14~16 比特备用），其余为净负荷。

无可置疑，PDH 技术与模拟技术相比，在提高信号质量和通信容量、有利于集成、缩小设备体积、减少功耗等方面有着无可比拟的优点。因此，在过去的 20 多年时间里在骨干网和本地网中发挥了巨大的作用。但是，从帧结构看 PDH 也存在如下一些缺点：

（1）PDH 存在欧洲、北美（日本）两种制式（图 1.1 中没有画出北美制式帧结构图），两者互不兼容，从而引起国际互联方面的困难。

（2）上/下支路困难。PDH 各速率等级帧长不同，复接时高次群的一帧中容不下低次群的一帧信号，因而使得低次群帧的起始点在高次群帧中没有固定位置，也无规律可循。这种情况导致上/下支路必须采用背靠背设备，逐级分接出要下的支路，将不下的支路再逐级复接上去，如图 1.2 所示，造成设备的极大浪费。

（3）开销比特很少，不能提供足够的运行、管理和维护（OAM: Operation, Administration

and Maintenans) 能力。PDH 的发展是从市话局间中继点对点传输应用开始的，受当时传输媒介的限制，设计时主要考虑如何充分利用带宽资源，而对 OAM 考虑很少。

再加上 PDH 系列的光纤数字通信设备没有统一的光接口标准，致使不同厂家的设备，甚至同一厂家不同型号的设备光接口各不相同，不能互连，即横向不兼容。这些缺点的产生，并非开发不到位，而是因为 PDH 自身的“先天不足”，这些缺点制约了电信网向“网络化、智能化、综合化”的发展，因而急需一个更为先进的体制来取而代之，这就孕育了 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)。

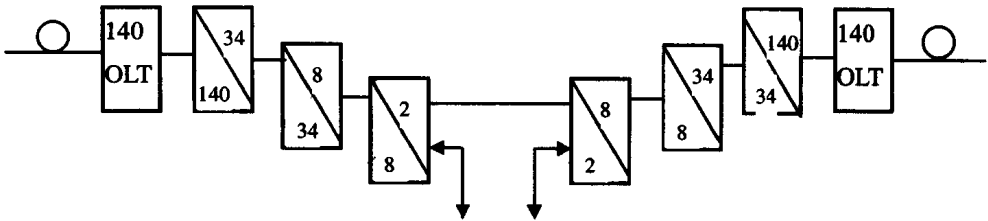


图 1.2 PDH 低次群信号的插入和分出

二、SDH 的帧结构和特点

1985 美国国家标准协会 (ANSI) 为使设备在光口互连起草了光同步标准，并命名为同步光网络 (SONET: Synchronous Optical Network)。1986 年，ITU-T 的前身——CCITT 以 SONET 为基础制订了 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 同步数字体系标准，使同步网不仅适用于光纤传输，也适合于微波等其它传输形式。SDH 帧结构如图 1.3 所示。

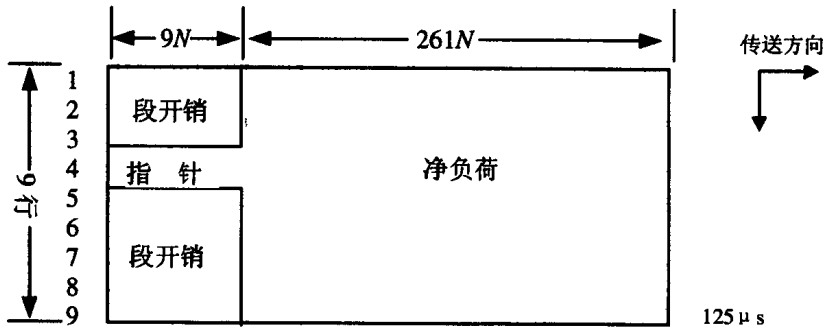


图 1.3 SDH 帧结构 (STM-N)

SDH 的帧为块状结构，每帧长 $125\mu s$ ，由段开销、指针、净负荷三大块组成，按字节间插复用，排列很有规律。

SDH 帧结构克服了 PDH 的不足，与传统的 PDH 相比较，SDH 有如下明显的特点：

(1) 灵活的分插功能。SDH 规定了严格的映射复接方法，并采用指针技术，支路信号在线路信号 (STM-N: Synchronous transfer mode N) 中的位置是透明的，可以直接从 STM-N 中灵活地上下支路信号，无需通过逐级复用实现分插功能，减少了设备的数量，简化了网络结构。图 1.4 即为有上下支路信号功能的 SDH 设备 (ADM: Add and drop multiplexer)。

(2) SDH 有强大的网络管理能力。SDH 的帧结构中有足够的开销比特 (开销比特占总容量的 $1/30$)，包括段开销 (SOH: Section Overhead) 和通道开销 (POH: Path Overhead)，

不仅满足目前的告警、性能监控、网络配置、倒换和公务等的需要，而且还有进一步扩展的余地，用以满足将来的监控和网管需要。

(3) 强大的自愈能力。具有智能检测的 SDH 网管系统和网路动态配置功能，使 SDH 网络容易实现自愈，在设备或系统发生故障时，能迅速恢复业务，提高网络的可靠性，降低维护费用。

(4) SDH 有标准的光接口规范，不同厂家的设备可以在光路上互联，真正实现横向兼容。

(5) SDH 具有后向兼容性和前向兼容性。所谓后向兼容性是指 SDH 的 STM-1 既可复用 2Mbit/s 系列的 PDH 信号，又可复用 1.5 Mbit/s 系列的 PDH 信号，使两大系列在 STM-1 中得到统一，便于实现国际互通，也便于顺利地由 PDH 向 SDH 过渡；而前向兼容性是指 SDH 标准有长远的考虑，它兼容将来的宽带综合业务数字网中的异步传递模式（ATM: Asynchronous Transfer Mode）信号，STM-1 和 STM-4 的速率（155520 kbit/s 和 622080 kbit/s）已被选定为 B-ISDN 的用户/网络接口的标准速率。

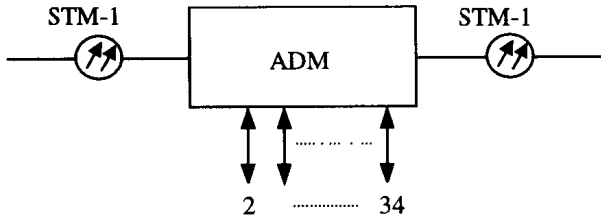


图 1.4 SDH 的支路分出和插入设备

第二节 SDH 的速率等级及帧结构

电信传输网是由传输设备和网络节点构成的。传输设备可以是光缆线路系统、微波接力系统或是卫星通信系统。网络节点则包含终结、交叉连接、复用和交换功能，网络节点之间的接口叫网络节点接口（NNI: Network Node Interface）。图 1.5 示出了网络节点接口在网络中的位置。

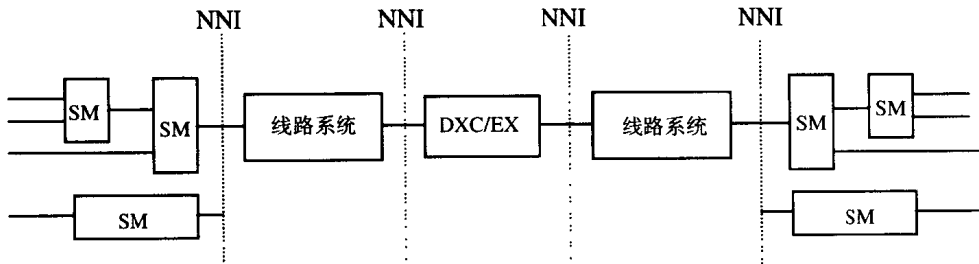


图 1.5 NNI 在网络中的位置

SDH 实际上是网络节点接口的一个统一规范，这个规范中首先统一的就是接口速率等级和帧结构安排。

一、速率等级

SDH 按一定的规律组成块状帧结构，称之为同步传送模块（STM: Synchronous transfer moder），它以与网络同步的速率串行传输。同步数字体系中最基本的，也是最重要的模块信号是 STM-1, 其速率为 155.520 Mbit/s, 更高等级的模块 STM-N 是 N 个基本模块信号 STM-1 按同步复用，经字节间插后形成的，其速率是 STM-1 的 N 倍， N 取正整数 1、4、16、64。详细速率等级如表 1.2 所示。STM-N 光接口线路信号只是 STM-N 信号经扰码后电/光转换的结果，因而速率不变。

表 1.2 同步数字体系（SDH）速率等级

同步数字体系速率等级	比特率 (kbit/s)
STM-1	155520
STM-4	622080
STM-16	2488320
STM-64	9953280

二、帧结构

STM-N 帧结构如图 1.6 所示，它由 9 行 $\times$ 270 N 列（字节）组成，每字节 8 个比特，一帧的周期为 125 μ s，帧频为 8kHz（每秒 8000 帧）。STM-1 ($N=1$) 是 SDH 最基本的结构，每帧周期 125 μ s，传 19440 比特 ($9 \times 270 \times 8$)，传输速率为 $19440 \times 8000 \text{ bit/s} = 155520 \text{ kbit/s}$ ；STM-N 是由 N 个 STM-1 经字节间插同步复接而成的，故其速率为 STM-1 的 N 倍。

SDH 帧由净负荷（payload）、管理单元指针（AU PTR: Administration unit pointer）和段开销（SOH: Section overhead）三部分组成。

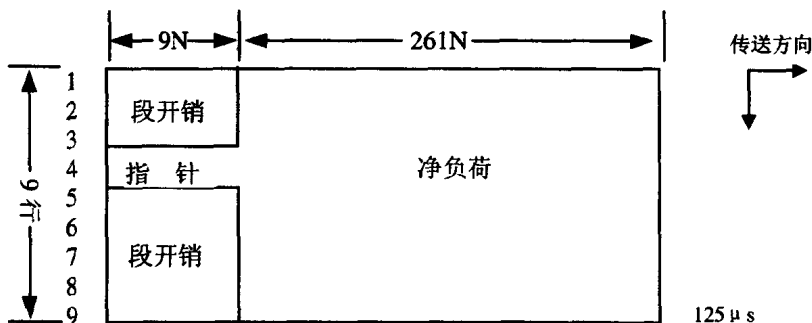


图 1.6 STM-N 帧结构

段开销（SOH）区域用于存放帧定位、运行、维护和管理方面的字节，以保证主信息净负荷正确灵活地传送。段开销进一步分为再生段开销（RSOH: Regenerator section overhead）和复用段开销（MSOH: Multiplexer section overhead）。再生段开销位于 STM-N 帧中的 1~3 行的 $1 \sim 9 \times N$ 列，用于帧定位、再生段的监控和维护管理。再生段开销（RSOH）在再生段始端产生并加入帧中，在再生段末端终结，即从帧中取出来进行处理。所以在 SDH 网中每个网元处，再生段开销都要终结。复用段开销分布在 STM-N 帧中的 5~9 行的 $1 \sim 9$

$\times N$ 列，用于复用段的监控、维护和管理，在复用段的始端产生，在复用段的末端终结，故复用段开销在中继器上透明传输，在除中继器以外的其它网元处终结。

此处已经提到段的概念，用图 1.7 可以帮助读者理解。

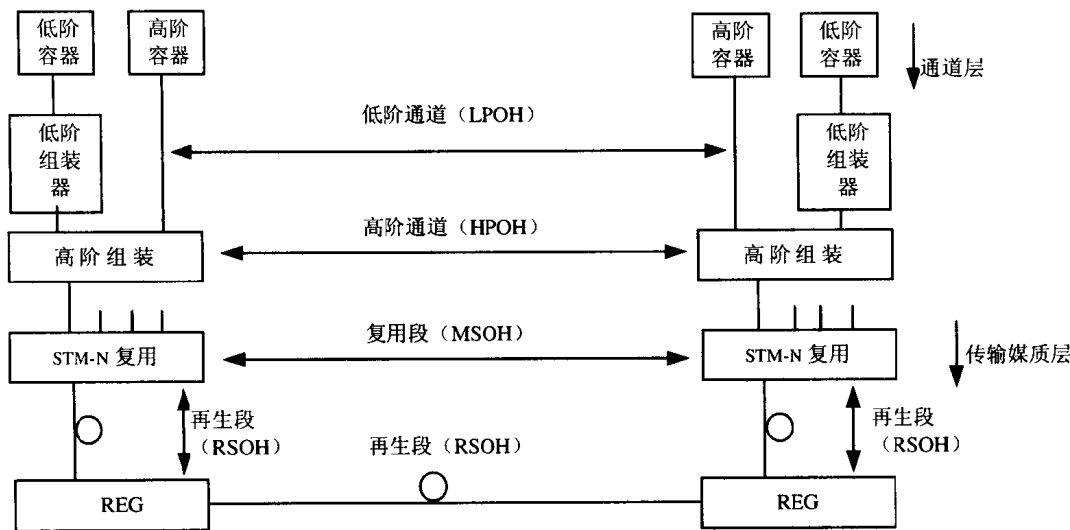


图 1.7 SDH 开销功能的组织结构

从图上可以看到：中继器之间或中继器与数字复用设备（或 DXC 设备）之间的物理实体称为再生段，两复用设备之间的全部物理实体则构成复用段。各种开销的起始、终结位置也标于图上，不同的再生段、再生段开销互不相关，不同的复用段、复用段开销也互不相关。从后续的内容可以看到，弄清楚各种开销的起始与终结位置，对维护管理相当重要，此处将图垂直绘制，有利于对网络分层的理解。

管理单元指针存放在帧的第 4 行的 $1\sim 9\times N$ 列，用来指示信息净负荷的第一个字节在 STM-N 帧内的准确位置，以便正确地分出所需的信息。

信息净负荷区存放各种电信业务信息和少量用于通道性能监控的通道开销字节，它位于 STM-N 帧结构中除段开销和管理单元指针区域以外的所有区域。

第三节 SDH 段开销

一、段开销的安排

STM-1 段开销的安排如图 1.8 所示。STM-N 的段开销由 N 个 STM-1 段开销按字节间插同步复用而成，但只有第一个 STM-1 的段开销完全保留，其余 $N-1$ 个 STM-1 的段开销仅保留 A1、A2 和 3 个 B2 字节，其它的字节全部省略。如图 1.9 所示即为 STM-4 的段开销安排。复接后，每个字节在帧中的位置可用三维矢量 $S(a, b, c)$ 表示，其中 a 表示行数， b 代表复列数（ $1\sim 9$ ），与相同名称字节在 STM-1 帧中的列数相同， c 代表在复列内该字节的间插层数（ $1\sim N$ ），折合成行列数为：

$$\text{行数} = a$$

$$\text{列数} = N(b-1) + c$$