



OHM 通信实用技术系列

SDH/SONET 传输技术

〔日〕 河西宏之 榎 一光 著
辻 久雄 上田裕巳 译
尹保国 吴松芝 校
丁志俊



 科学出版社
www.sciencep.com

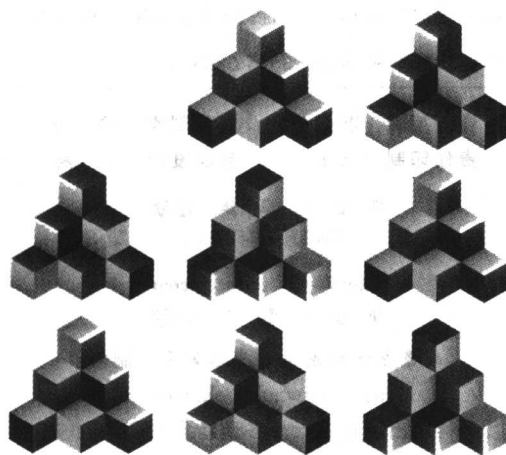
TN929.11
19

OHM 通信实用技术系列

SDH / SONET 传输技术

[日] 河西宏之 榎 一光 著
辻 久雄 上田裕巳

尹保国 吴松芝 译
丁志俊 校



科学出版社

北京

北方工业大学图书馆



00542295

图字:01-2003-3479 号

Original Japanese language edition

Wakariyasui SDH/SONET Densou Houshiki

By Hiroyuki Kasai, Hisao Tsuji, Kazumitsu Maki and Hiromi Ueda

Copyright © 2001 by Hiroyuki Kasai, Hisao Tsuji, Kazumitsu Maki and Hiromi Ueda

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese version published by Science Press, Beijing

Under license from Ohmsha, Ltd.

Copyright © 2003

All rights reserved

わかりやすい

SDH/SONET 伝送方式

河西宏之 横 一光
オーム社 2001

辻 久雄 上田裕巳

图书在版编目(CIP)数据

SDH/SONET 传输技术/(日)河西宏之等著;尹保国,吴松芝译;丁志俊校
—北京:科学出版社,2004

(OHM 通信实用技术系列)

ISBN 7-03-012160-0

I. S… II. ①河…②尹…③吴… III. 同步通信网 IV. TN915.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 080355 号

责任编辑 崔炳哲 责任制作 魏 谨
责任印制 刘士平 封面设计 李 祥

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2004年1月第一次印刷 印张:14

印数:1—4 000 字数:184 000

定 价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

● 前 言

1988年秋天,国际电报电话咨询委员会(CCITT,现在的ITU-T)出台了一种以电话服务为中心,包含数据、图像等各种服务功能的更加高效的、通用的多路复用方式——同步数字系列(SDH:Synchronous Digital Hierarchy)的国际标准。

这里,我们简单地回忆一下多路复用方式的历史。首先是应用于两地之间的比较经济的传输方式——塞入同步多路复用技术的实用化。这种多路复用设备具有以时钟脉冲为基准进行工作的特点,所以更具有独立性,更加适合于高速的多路复用。其后,随着数字传输方式和数字交换方式的出现,在整个网络上使用同一个时钟源进行工作的网同步技术和同步多路复用技术得到实用化。这种方式有利于提高网络的利用率,但在技术上速率被限定为6Mbit/s。另外,数字信号多路复用的速率等级世界上有三个系列,因此,人们强烈期待着构建一个可以在国际上自由通信的统一的传输网络。

SDH系列统一了这些数字系统,同时在技术上具有能够实现塞入同步复用方式高速工作和同步复用网络的高效性的特征,因此给远程通信带来了很大的冲击。在美国,SDH被称为SONET(Synchronous Optical Network,同步光纤网),二者是相同的。

随后,为了适用于无线领域,SDH建议又增加了一个校正建议,现在SDH和SONET之间的差异更小了。

本书以SDH/SONET的实际应用为目的,通俗易懂地介绍了SDH的基本原理,同时以此为基础对传输系统的设计方法和网络构建方法进行了说明。

在1988年秋天SDH标准化之前,国际电报电话咨询委员会于1988年2月接受的关于传输系统的建议草案,这正是本书中所介绍的第一代传输系统进行正规开发的立足点。这个系统着眼于构建一个利用电话进行增值服务的经济型网络,进入商业应用是在1989年的11月。从开发到进入商用时间较短是这个系统的一个特点。另外,对于整

个系统来说,第一次在传输设备内装载了大量旨在强化操作功能的软件;再加上由过去的模拟系统变更为数字系统,可以说改变了传输系统的历史。之后,又出现了旨在提高网络可靠性的网络倒换系统和 IP 系统,以及对突发的线路需求能够灵活控制的 ADM 环路系统。本书将这部分内容归类为第一代以后的传输系统并进行了说明。据此,我们可以知道开发 SDH 传输方式的原因,同时也可以作为传输系统今后发展的参考。另外,为了把握网络整体化的发展方向,对于 SDH 和 SONET 的不同之处也进行了整理和归纳总结,以便于网络设计者或使用者灵活运用。

本书的执笔者都是从 1987 年 7 月开始就担任开发基于 SDH 第一代传输系统的 NTT 工程的领导者,我们深切地感受到普及 SDH 技术的必要性。SDH 技术进入商用领域已经 11 年,也可以称作 IP over SDH 或 IP over SONET。SDH/SONET 将要迎来一个崭新的时代。借此良机,我们想把我们的经验或者说感悟传授给要学习 SDH/SONET 的读者,所以欣然接受了欧姆社的出版计划。但是由于能力有限,难免有不妥之处,敬请读者指正。

最后,向执笔者中参与筹划 SDH 开发方案的各位表示谢意。特别向和执笔者一起担当工程指导的白川英俊、三浦秀利两位先生表示衷心的感谢。向 NTT 研究所的参与研究开发并对本书出版给予指导的岛田禎晋博士表示深深的谢意。特别对为本书的出版提供很多帮助的欧姆社有关部门表示感谢。

著 者

● 目 录

第 1 章 数字传输方式概况

1.1 为什么数字传输方式会成为主流	2
1.2 数字传输技术的现状	4
1.2.1 在电话的传输上已达到了足够的超大容量 ...	4
1.2.2 大容量传输方式使网络的简化成为可能	7
1.2.3 窄带 ISDN 与宽带 ISDN	9
1.2.4 移动电话、因特网与 SDH	11

第 2 章 数字复用技术基础

2.1 数字复用方式的演变	14
2.2 什么是数字分级体系结构	15
2.3 什么是塞入同步多路复用	16
2.3.1 塞入同步原理	16
2.3.2 由塞入同步实现多路复用	17
2.3.3 塞入同步复用设备的构成	19
2.4 什么是同步多路复用	20
2.4.1 同步多路复用的特点	20
2.4.2 同步多路复用设备的构成	22
2.5 什么是 SDH	23
2.6 什么是 SONET	24

第 3 章 SDH 接口技术

3.1 SDH 产生的背景	28
3.1.1 SDH 的标准化	28
3.1.2 SDH 的技术特点	30
3.2 SDH 帧结构	35

3.2.1	STM-1 帧	35
3.2.2	STM-0 帧	36
3.2.3	STM-N 帧	37
3.2.4	SDH 位速率	37
3.3	SDH 复用帧格式和功能	38
3.3.1	SDH 中所使用的术语	38
3.3.2	SDH 的复用原理	42
3.3.3	由 VC-3/VC-4 复用形成 STM-N	43
3.4	指针的作用	45
3.4.1	指针功能	45
3.4.2	AU 指针	50
3.4.3	TU 指针	54
3.5	开销的作用	56
3.5.1	段开销	56
3.5.2	通道开销	61
3.6	信号复用的实例	67
3.6.1	从 STM-0 中分离 1.544Mbit/s 速率的 复用信号	67
3.6.2	1.544Mbit/s 速率信号的复用	69
3.6.3	2.048Mbit/s 速率信号的复用	73
3.6.4	6.312Mbit/s 速率信号的复用	76
3.6.5	34.368Mbit/s 速率信号的复用	79
3.6.6	44.736Mbit/s 速率信号的复用	79
3.6.7	139.264Mbit/s 速率信号的复用	80
3.6.8	ATM 信元的复用	81
3.6.9	IP 分组的复用	82
3.7	SDH 和 SONET 的不同点	83

第 4 章 SDH 传输技术

4.1	光接口	86
4.1.1	基本方法	86
4.1.2	SDH 传输设备的光传输技术	87

4.1.3	光接口的主要参数	90
4.2	帧同步方式	92
4.2.1	帧同步信号	92
4.2.2	帧同步方式的状态转换	93
4.2.3	帧同步方式的设计方法	93
4.2.4	帧同步电路	96
4.3	指针处理	97
4.3.1	指针替换处理	97
4.3.2	指针的状态转换	100
4.3.3	指针处理电路	101
4.4	BIP 处理方式	102
4.4.1	BIP 演算方法	102
4.4.2	BIP 检测能力	103
4.4.3	BIP 运算功能构成法	104
4.4.4	退化 BIP 方式	105
4.5	复用段倒换方式	106
4.5.1	倒换系统的结构	107
4.5.2	倒换要素和 K1, K2 字节	109
4.5.3	1:n 结构的倒换控制	110
4.5.4	1+1 结构的倒换控制	112
4.6	倒换环方式	113
4.6.1	倒换方式的种类	113
4.6.2	UPSR	114
4.6.3	BLSR	115
4.6.4	UPSR 和 BLSR 的比较	120

第 5 章 SDH 传输设备

5.1	SDH 传输设备的功能与结构	122
5.1.1	终端复用器 LT-MUX 与再生中继器 REP	122
5.1.2	高阶通道交叉连接设备 HOP-XC	124
5.1.3	低阶通道交叉连接设备 LOP-XC	124
5.1.4	接口转换设备 CONV-MUX	126

5.1.5	分插复用器 ADM	128
5.2	第一代 SDH 传输设备	129
5.2.1	模块 A	132
5.2.2	模块 B	136
5.2.3	模块 C	138
5.2.4	内装的操作功能	141
5.3	第二代以后的 SDH 传输设备	143
5.3.1	模块 AX	144
5.3.2	改良模块 A	146
5.3.3	ADM 10G 环路设备	149

第 6 章 网同步设备

6.1	网同步	152
6.1.1	网同步的原理	152
6.1.2	网同步的必要性	154
6.1.3	时钟的应用状态和定时的关系	155
6.1.4	时钟分配网	157
6.1.5	振荡器的发展过程	158
6.1.6	时钟提供设备和同步传送设备的任务划分	160
6.1.7	SDH 传输网的网同步连接方式及要求	161
6.2	标准时钟发生设备	163
6.2.1	主局的作用	163
6.2.2	铯振荡器的工作原理	164
6.2.3	标准时钟发生设备	165
6.3	时钟提供设备	166
6.3.1	SM 局、S 局的作用	166
6.3.2	使用水晶振荡器的 D1 DCS, D2 DCS	166
6.3.3	使用铷振荡器的 CSM	167
6.3.4	用于 SDH 的 CSM 时钟提供设备	169
6.3.5	时钟提供设备的主要元件	170
6.4	SDH 中网同步的实现	171

第 7 章	应用 SDH 的网络	
7.1	网络的简单化	176
7.1.1	SDH 的成立	176
7.1.2	SDH 以前的网络构造和课题	176
7.1.3	应用 SDH 的传送网构成	177
7.2	SDH 网的功能模型	180
7.2.1	分层和分割	180
7.2.2	SDH 网络的结构	184
第 8 章	操作支持系统	
8.1	操作的高度集成化	188
8.1.1	网络单元和操作支持系统	188
8.1.2	操作功能划分的变化	188
8.2	SDH 传输设备的操作支持系统	189
8.2.1	终端控制系统的概要	190
8.2.2	终端控制系统的构成	192
8.2.3	SDH 传输网中的运营形式	194
8.3	SDH 网的操作支持系统	195
8.3.1	SDH 网控制系统概要	195
8.3.2	SDH 网控制系统的构成	196
8.3.3	SDH 网中的运营形式	199
参考文献		203

数字传输方式概况

实用化的数字传输方式——PCM（脉码调制）方式于1937年问世。然而，这种数字传输方式在当时使用电子管的数字电路技术上，要得到应用是很困难的。后来发明了晶体管，这种数字传输方式才于1962年得以实际应用。再到后来，随着光纤的出现以及LSI技术、数字信号处理技术的进步，数字传输方式已进入全盛时期。而且，由于ISDN及SDH（数字同步系列）的标准化，特别是由于因特网的普及，国际化的多媒体通信已经遍地开花。

本章将介绍关于数字传输方式的发展历程及影响。

1.1 为什么数字传输方式会成为主流

通信的理想目标是,无论何时、何地 and 何人都能及时地交流信息。20世纪90年代后期以来,移动电话的爆发性普及,充分证明已经接近这一理想目标。那么,传输在通信中的作用又是什么呢?其实很简单,就是把任意的信号准确、迅速并且廉价地发送到远方的目的地。

作为传输信号的形态,大致可分为两种。一种如声音或图像那样,无论在时间上还是在振幅上都是连续的模拟信号,多数信号都属于这种类型。另外一种就像数据一样,是由数字的“1”和“0”的组合构成的数字信号。在这些信号的传输方式上,也存在如图1.1所示的模拟传输方式和数字传输方式。

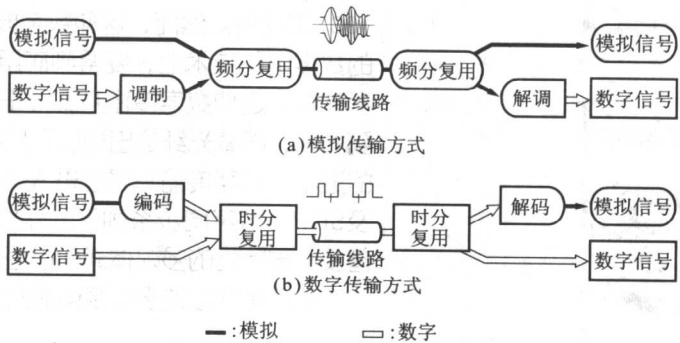


图 1.1 模拟传输方式与数字传输方式的比较

在模拟传输方式中,模拟信号保持原有形式不变,而数字信号需要对信号进行调制处理,转换为与模拟信号等价的形式。之后,为了有效地利用传输线路,经过频分复用处理后,即可送往传输线路。在接收方,通过与此相反的操作,即可解调为原有的信号。在数字信号时,可通过解调这种信号处理方式,对“1”和“0”的信号进行解调。

在数字传输方式中,数字信号无需改变形式,而模拟信号需要对信号进行编码处理,转换为由“1”和“0”的组合所表示的数字信号,在时分复用后送往传输线路。在接收方,经过多路分配后,对模拟信号进行解码,就可以恢复为原有的形态。

若对两种传输方式作一下比较,则在频率的利用率,信号

的传输质量以及传输设备的 LSI 化这三点上具有可比性。在传输对象以模拟信号为主要的时代,由于频率的利用率高,所以使用模拟传输方式。然而,模拟传输方式在进行信号的远距离传输时,存在噪声的累积和线路衰耗的变化等,因此,难以确保传输质量。这种传输方式不适合利用 LSI 技术来达到设备的小型化和经济化的目的。

另外,在数字传输方式中,由于脉冲具有在一定的中继站间距内进行识别并再生传输的再生中继功能,所以即使在进行信号的远距离传输时,也能确保传输质量。而且,在传输设备的操作上,使用数字传输方式的信号在编码后,可以数字方式进行信号的处理,与 LSI 的关系比较密切,有利于设备的小型化和经济化。

数字传输方式曾有过频率利用率低的时期。比如,只有 4kHz 带宽的电话语音信号,在数字传输方式中,一般多是将其编码为 64kbit/s 的数字信号。虽不能进行单纯的带宽比较,但数字传输方式却需要模拟传输方式的约 16 倍的带宽。但是,近来出现了通过提取模拟信号的特点,只传输所需要的最小限度的信号,在接收方就可恢复为原有形态的带宽压缩编码的技术,随着数字信号处理技术和 LSI 技术的进步,这种编码技术是可能实现的。关于前边所说的电话,已可以进行 8kbit/s 的编码,在频率利用率方面也已发展到了和模拟传输方式相差不大的水平。

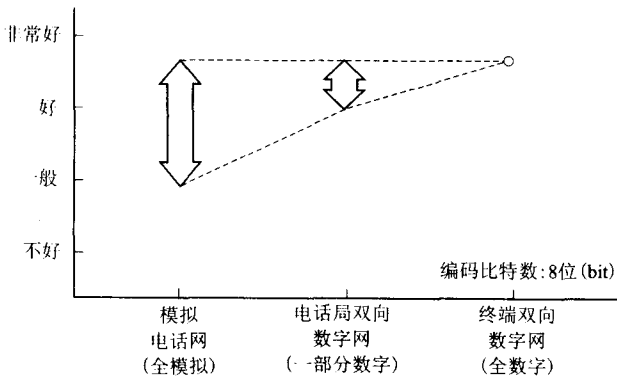


图 1.2 通信网的数字化与电话的通话质量

图 1.2 所示为模拟传输方式与数字传输方式的电话信号

传输质量的比较。在模拟传输方式下,由于电平变化等原因使评价值出现了离散,而在数字传输方式下,所有的评价者都给出了好的判定结论。另外,图 1.3 显示出了语音编码设备的电路规模的比较。从中可以看出,通过使用 LSI 技术,设备的体积已经大幅度地减小。

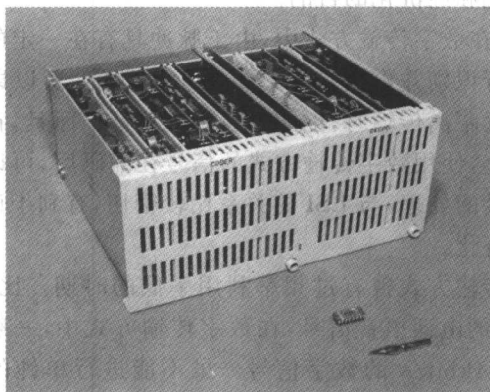


图 1.3 语音编码器的比较

如上所述,数字传输方式已迎来了超过模拟传输方式的全盛时代。

1.2 数字传输技术的现状

1.2.1 在电话的传输上已达到了足够的超大容量

数字传输方式在日本的引进始于 1966 年的 PCM-24 方式^[1]。这一方式是为短途电话线路而开发的,使用平衡电缆可以将 24 条电话线路的信号以 1.5 Mbit/s 的传输速率复用传输。但是,传输网的真正意义上的数字化,是在 1976 年以后^[2,3]开发引进把同轴电缆作为传输媒质的 DC-400M 方式及以使用准毫米波的 20L-P1 的无线方式。这些方式下的每一个设备都具有 400 Mbit/s 的信号传输速率,而且在经济性或

性能方面也能适合数字传输方式的长途区间。决定在日本范围内实行传输线路的数字化是源于光传输方式的出现。同轴电缆对频率 f 的信号的传输损耗以 $f^{1/2}$ 的倍数增加。因此,要想通过提高传输速率增大容量,就必须缩短中继站间隔。在 DC-400M 方式下,如图 1.4 所示,在每隔 1.5km 设立的人井(电缆管道维修井)中设置中继器,进行多中继传输。因此,限制了这种方式的经济化。20 世纪 70 年代,也进行了保持一定的中继站间隔,采用多值代码,以求得大容量化的研究,但根本上的经济化最终未能实现^[4~6]。而打破同轴电缆的限制作为传输媒质出现的就是光纤。由于光纤具有宽带宽、损耗低的特点,因此引发了长途传输的革命^[7~9]。

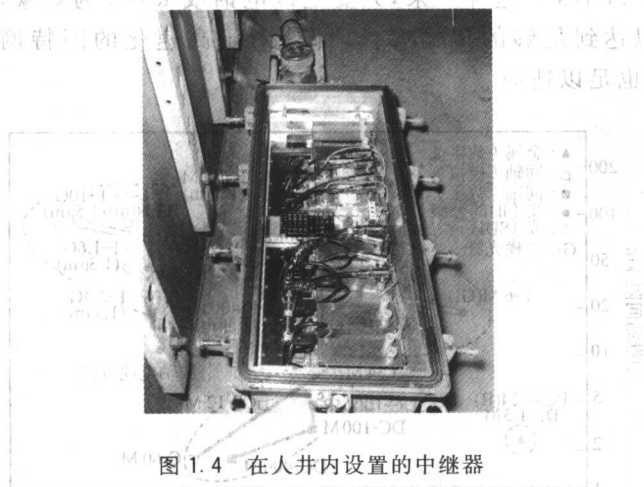


图 1.4 在人井内设置的中继器

数字传输方式的大容量化的情况如图 1.5 所示。光传输方式最初是在 1981 年引进的,在当时曾使用过多模(GI)光纤。其后,随着光源等技术的进步与对传输方法的研究,单模光纤的使用成为主流。1983 年开始引进使用 $1.3\mu\text{m}$ 波长区的 F-400M 方式,1985 年开通了从北海道到九州的利用本方式连接的横贯日本的路由。

进而言之,对于 Gbit/s 这种高速脉冲传输速率,即使是单模光纤也会受中继站间隔的制约,因此要使用色散移位光纤,它是零色散点移到 $1.55\mu\text{m}$ 波长区的光纤。目前,使用这种光纤,不仅可达到 80km 的中继站间隔,而且开发出了 10Gbit/s 传输速率的传输方式,即换算为电话相

当于拥有约 13 万条线路的传输容量, 并已提供商业运营^[10]。在当初引入光纤时, 曾使用过 24 芯的光缆, 而如今已开发出了 100 芯甚至 300 芯这样的多芯光缆。其结果就是, 在 100 芯光缆中, 作为每个路由的传输容量为 10Gbit/s 速率, 也就是说已经可以超过 500Gbit/s 传输速率。特别是 20 世纪 90 年代后期以来, 如图 1.6 所示, 已实际采用了适用于波分复用技术的传输方式, 并引入了 2.5 Gbit/s×80 波方式及 10 Gbit/s×40 波方式^[11]。尤其是在进入 2000 年以后, 又发布了 10 Gbit/s×211 波方式的开发成果^[12]。比如, 如果使用 100 芯光缆, 则每个路由的传输容量为 10 Gbit/s×211×50 设备, 即已经可以超过 100 Tbit/s。这样一来, 只要是以电话或 ISDN 为对象, 就可以达到足够的传输容量, 即使对于高速化的因特网服务, 也足以适应。

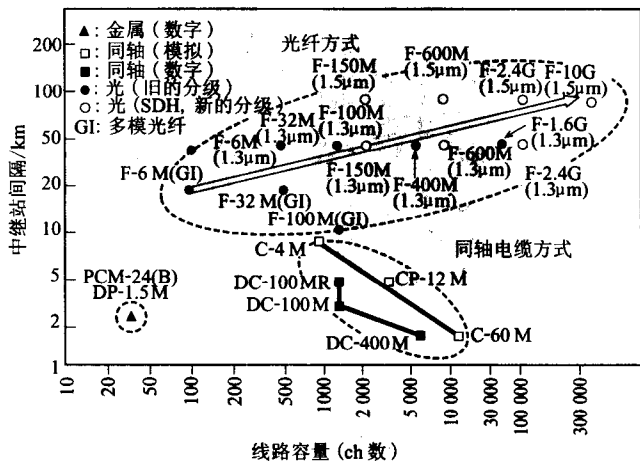


图 1.5 数字传输方式的发展

另外, 有关无线方面, 初期的 20L-P1 方式由于使用 20GHz 这样的准毫米波, 故中继站间隔仅为 3km, 而且还由于经济性方面的改善与路由选定的制约等问题, 其后, 又开发出了使用 4GHz, 5GHz, 6GHz 微波的数字传输方式^[13]。由于该方式的中继站间隔长达 50 km, 而且每个路由的容量超过了 8Gbit/s, 所以不仅可以分担光传输的任务, 同时也为网络的数字化作出了贡献。

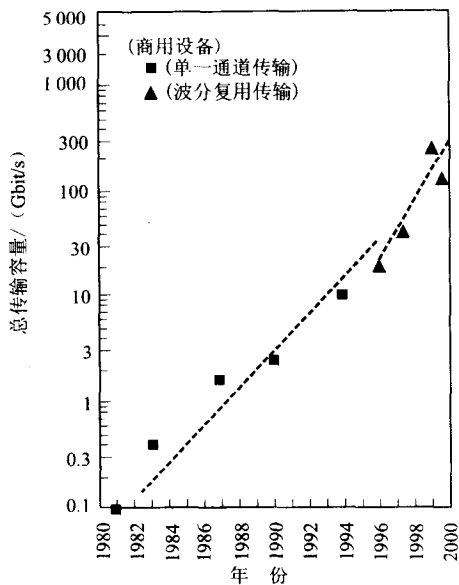


图 1.6 波分复用传输方式的发展

1.2.2 大容量传输方式使网络的简化成为可能

传输网络真正意义上的数字化是以 PC-400M 方式、20L-P1 方式的实用化开始的。其后,随着 1978 年的同步终端局方式^[14]、1981 年的光传输方式,尤其是 1982 年的数字交换方式等的引进^[15,16]而加快了步伐。然而,在最初的数字化阶段,长途传输线路成本过高,如图 1.7 所示,在电话局或中继站等各个节点需安装多级复用设备,对传输线路也需进行更为细致的终端局设计^[17]。其结果导致了网络结构的复杂化及运行维护的繁琐化。

此外,由于光传输方式具有大容量、长中继站间隔的特点,因此可以使传输线路成本大幅度降低。与同轴数字传输方式相比较,成本可以降低一个数量级到两个数量级,因此,传输线路成本不断下降。而在所有节点进行更为细致的终端局服务设计,从整个网络经济化的观点来看,未必是理想的。

通过图 1.7 与图 1.8,可以把从节点 A 到节点 D 的所有