

李秉钧 万晓榆 樊自甫 编著
中国通信学会主编 人民邮电出版社

传送网 演进中的电信

通信工程丛书



TN915
35

通信工程丛书

演进中的电信传送网

李秉钧 万晓榆 樊自甫 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

演进中的电信传送网 / 李秉钧, 万晓榆, 樊自甫编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2004.9

(通信工程丛书)

ISBN 7-115-12491-4

I. 演... II. ①李...②万...③樊... III. 通信网 IV. TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 088398 号

通信工程丛书

演进中的电信传送网

◆ 编 著 李秉钧 万晓榆 樊自甫

责任编辑 陈万寿

◆ 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@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129258

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 850×1168 1/32

印张: 18.75

字数: 489 千字

2004 年 9 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12491-4/TN · 2317

定价: 38.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书紧密结合电信传送网的发展,全面系统地介绍了传统电信传输系统向下一代传送网的发展历程,完整地分析了从PDH到自动交换光网络(ASON)的演进路线,介绍了演进中出现的各种技术。全书共分为12章,主要讨论了三部分内容:传送网的主要技术特点和标准化,以及传送网的发展方向;近年来传送网领域内发生的重要技术演进;传送网管理和控制的智能化和ASON的组网、控制平面协议、设备及其应用。

本书的特点是以技术演进的观点来探讨电信传送网的发展,在编写过程中不仅从技术角度,还从市场的角度对传送网的演进进行分析和讲解。考虑到传送网技术工作者分布在运营、制造、市场、教学与研发等多个方面,本书在选材时以传送网的规划、运营方面的技术和管理的工作内容为基本需求,兼顾各方面工作所涉及的内容。书中内容深入浅出、条理清楚、涵盖面广,可供电信部门技术人员、管理人员和市场营销人员阅读和参考,也可供相关院校通信专业的教学使用。

丛 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识，提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力，了解通信技术的新知识和发展趋势，以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献，我会与人民邮电出版社协作，组织编写这套“通信工程丛书”，陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发，密切结合当前通信科技工程和未来发展的需要，阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识，包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求，以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备，深浅适宜，条理清楚，对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材，不仅介绍有关的物理概念和基本原理，而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际；论证简明扼要，避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们，我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

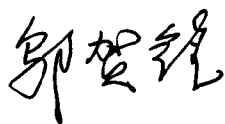
序

进入新世纪以来，尽管网络经济步入调整期，但电信用户的增长速度并没有受多大影响，尤其数据业务量继续以高于话音业务量数倍甚至十倍的速度在增长。与此同时，光纤通信技术在持续了多年的高速发展后，仍以高于电信业务量的增长速度不断刷新在单对光纤上可供商用的比特率，满足了网络业务发展对带宽的需求。在干线传输容量的能力建设大发展之后，核心网光纤通信技术发展的焦点从追求更大容量转到传输能力配置的灵活快速响应和生存性方面。

在 WDM 系统中加入灵活的光节点不仅将点对点结构扩展成环形或网状拓扑，而且在光层引入了交换/交叉连接能力，同时在光传送网（OTN）中导入控制面借助信令实现资源的自动配置和带宽的动态分配及优化。基于上述设计理念的自动交换光网络（ASON）适应了光网络的实时动态连接配置和保护恢复的需求，因而受到普遍的关注。将 ASON 的概念扩展到包括物理层在内的其他各层的传送技术就得到自动交换传送网（ASTN）。从 OTN 到 ASON/ASTN，在传送网中引入了信令控制的交换能力，这是传送网技术的一次革命，ASON/ASTN 代表了下一代网（NGN）的传送平台的发展方向。

传送网技术正进入一个发展的新时期，SDH 被赋予新的内涵，WDM 系统又上了新的发展台阶，GMPLS（通用多协议标签交换）技术打开了传送网智能化的舞台。传送网技术还需要通过实践不断深化，演进中的电信传送网对传统的网络建设和运维提出了挑战，也为从事传送网技术开发和管理及应用的人们提供了技术创新的空间，给网络业务和电信产业带来了跨越发展的机遇。

相信这本《演进中的电信传送网》的出版，能对广大通信工程技术人员和院校师生有所裨益。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '郭辉' (Guo Hui), written in a cursive style.

2004年5月17日

前 言

电信传送网是电信网络中的一个重要部分，也是电信网络中演进最快、新技术层出不穷的一个部分。电信传送网的发展与电信技术的发展密切相关。正在研究中的下一代网络（NGN）技术包含了新一代电信传送网的内容。

本书以技术演进的观点来探讨电信传送网的发展，完整地探讨了从传统 PDH 到下一代光传送网 ASON 的演进路线。在编写过程中力求做到：

（1）探讨电信传送网演进的由来和方向。

（2）考虑到传送网技术工作者分布在运营、制造、市场、教学与研发等多个方面。本书在选材时以传送网的规划、运营方面的技术和管理工程师的需求为基础，同时所选内容兼顾广大同行们工作中涉及到的传送网方面的技术。

（3）已经为较多同行所熟悉的内容尽量少讲或不讲，重点放在多年来作者参加技术交流等活动经常被问到的问题。对这部分内容尽可能地给予详细讲解。

（4）从工程应用的角度，详细分析电信传送网在演进过程中已经实际应用和将要应用的新技术。

（5）将传送网与整个电信网的技术演进与市场发展紧密相连，从技术和网络应用角度分析传送网的演进。

（6）叙述方法尽量贴近工程技术人员的思考习惯。

全书共分为 12 章，总的来看可以分成三个部分内容。其中：

第一部分，第 1、2 章和第 12 章。这部分讨论了传送网的主要技术特点和标准化。概括传送网与 IT 产业和电信产业的关系，传送网向网络管理和控制智能化方向发展的意义，介绍传送网相关标准

化组织及其标准，帮助读者在现有标准和建议中快捷地找出自己所需的资源。

第二部分，第3章至第7章。这部分主要讲解了近年来传送网领域内发生的重要的技术演进。其中包括，IP的出现和数据业务的传送；新一代SDH采用的各种技术；光传输技术及其向光联网技术的演进；网络拓扑及其在智能化环境下的应用；网络管理的发展以及实际光传送网络与设备的管理。通过这部分内容，分析当前在传送网中已经实际应用或将要应用的最新技术；指出它们的实质和对网络性能的改进。

第三部分，包括第8章至第11章。这部分集中讨论了传送网管理和控制的智能化发展方向。其中，通过第8章建立智能化的概念和认识；第9章讲解了ASON的概念，组成网络的接口、协议等，强调具有标准化的控制平面是ASON的主要特点；第10章介绍关于ASON的ITU-T建议的主要内容；第11章研究了目前一些公司已有的智能光网络产品，并分类叙述了实现产品智能化的具体做法，以及智能光网络目前的组网状况。希望这部分内容能使读者较为完整地了解当前的智能光网络，同时为关注ASON新的发展打下基础。

本书由重庆邮电学院李秉钧、严常青、万晓榆、樊自甫组织编写。博士生导师李秉钧教授长期在电信科学技术研究院五所、大唐光通信公司从事光传送网络等方面的技术工作，主持过多项国家五年计划中的项目及863计划等项目的研究，先后获国家和部科技进步奖7次。下一代网络（NGN）应用技术研究组管文明、姚平香、张志勇、常大为、张洪、王仕奎等同志参加了本书部分章节的编写工作。

作为全面介绍传送网从PDH到ASON演进的一本学术专著，本书在编写过程中得到了业界同仁和部分专家的关心与支持。特别是，重庆市教委科研管理处肖建国教授、王建新老师，重庆邮电学院张德民教授对全书的出版给予了悉心的指导；大唐电信研究院教授级高工朱洪、教授级高工任顺尧，光桥科技公司陈云志教授提供

了许多标准化方面的资料；大唐电信集团的高级工程师黄鹏修改与撰写了本书第五章的部分内容，在此一并表示感谢。此外，在本书编写和出版过程中得到了重庆市教委的大力支持，作者所在的课题组承担了重庆市教育委员会“ASON 网络生存性方案的研究与设计”项目（编号为渝教 050308）的研究工作，通过项目资助对新一代智能光传送网进行了深入、广泛的研究。谨以此书献给重庆市教委，以表达对重庆市教委的谢意。

由于传送网技术日新月异，正处于高速发展之中，加之作者水平有限，本书中难免有错漏和欠缺之处，还望广大读者能够批评指正。同时，我们也欢迎广大读者将您的宝贵意见，包括对本书的修改建议发到重庆邮电学院下一代网络（NGN）应用技术研究，我们的邮件地址为：wanxiaoyu@cqcyit.com 或 fanzifu@cqcyit.com。

作 者

2004 年 4 月 16 日

目 录

第 1 章 传送网的技术演进特点	1
1.1 电信传送网的技术演进	1
1.2 新一代电信传送网络的概念和组成	2
1.3 传送网的分层结构	2
1.4 光传输技术的发展	5
1.4.1 网络的传输技术概述	5
1.4.2 光传输网络的技术优势	6
1.4.3 光纤传输技术的发展	7
1.5 传送网的产业特点	9
1.5.1 从 IT 产业看传送网络	9
1.5.2 从电信业的发展看传送网络	10
1.5.3 电信传送网的产业结构	12
1.6 传送网演进趋势概述	14
1.7 本章小结：以演进的观点认识传送网产业	21
第 2 章 光传送网相关的标准与标准化组织	23
2.1 标准化在传送网中的作用	23
2.1.1 传送网中的互联互通问题	23
2.1.2 传送网的质量技术问题	24
2.1.3 传送网标准的约束	24
2.1.4 传送网指标的针对性	25
2.2 标准化组织介绍	25
2.2.1 概述	25
2.2.2 ITU-T	26

2.2.3	IETF	29
2.2.4	OIF	31
2.2.5	国内标准化组织	32
2.2.6	部分标准化组织的网址	34
2.2.7	传送网相关标准和建议的查找	34
2.3	光传送网相关的国内标准	36
2.3.1	与传送网相关的国内标准	36
2.3.2	国内标准查找索引	36
2.4	与传送网相关的 ITU-T 建议	44
2.4.1	与传送网相关的常用 ITU-T 建议	44
2.4.2	2003 年 ITU-T 新增的部分传送网建议	62
2.5	传送网建议分类索引	79
2.5.1	SDH/SONET 建议与标准的分类索引	79
2.5.2	有关 OTN 传送平面的 ITU-T 建议分类索引	83
2.5.3	有关 ASTN/ASON 控制平面的 ITU-T 建议分类索引	86
2.6	IETF 关于智能光网络的协议进展	87
2.7	本章小结: 关注传送网的标准化进程	87
第 3 章	面向数据业务传送技术的演进	89
3.1	数据业务传送的技术特点	89
3.1.1	传送网传送的业务类型	89
3.1.2	业务的传输特点	91
3.1.3	演进中的数据业务传送技术	93
3.1.4	OSI 的七层协议	93
3.2	IP 和 MPLS 的传送	94
3.2.1	IP over SDH	95
3.2.2	IP over Optical	99
3.2.3	MPLS 在光网络中的应用	102
3.3	VPN 在传送网络中的实现	105

3.4 MPLS 向 GMPLS 的演进	109
3.4.1 MPLS 向光层的扩展	109
3.4.2 GMPLS 的技术优势	111
3.4.3 GMPLS 网络结构概述	112
3.5 面向数据业务的城域以太网技术	114
3.5.1 以太网技术及其发展	115
3.5.2 基于以太网的城域网演进	120
3.5.3 10Gbit/s 以太网技术	121
3.6 针对数据业务接入网的进展	124
3.6.1 数据业务的接入需求	124
3.6.2 xDSL	126
3.6.3 V5 接口	127
3.6.4 无线接入网	128
3.6.5 HFC 方式的混合光纤/同轴电缆接入网	129
3.6.6 PON 及其技术应用	130
3.6.7 基于以太网标准的接入	132
3.6.8 FTTx	133
3.6.9 Home PNA	133
3.6.10 电力线接入	134
3.6.11 无纤光通信	134
3.7 光存储网络	136
3.8 RPR 技术原理与应用	137
3.8.1 弹性分组环 (RPR) 的提出	137
3.8.2 RPR 结构和操作	139
3.8.3 RPR 参考模型	141
3.8.4 业务类别	142
3.8.5 通用帧结构	143
3.8.6 拓扑发现机制和环保护功能	145
3.8.7 带宽的公平调度	145

3.9 本章小结：传送网的一个重要方向	146
第 4 章 新一代 SDH 及相关技术	147
4.1 新一代 SDH 的演进背景	147
4.1.1 SDH 的成功之处	148
4.1.2 业务类型的多样化	152
4.1.3 可能的组网方式	152
4.2 传统 SDH 向 MSTP 的演进	154
4.2.1 传统 SDH 设备的不足	155
4.2.2 MSTP 设计的针对性	156
4.2.3 MSTP 的主要特点	161
4.3 SDH 关键技术原理	162
4.3.1 SDH 指针调整的实现及其意义	162
4.3.2 基于 SDH 技术的交叉连接	169
4.3.3 SDH 容器的级联技术	172
4.4 基于 SDH 的 MSTP 组成	182
4.4.1 基本功能模型	182
4.4.2 基于 SDH 的 MSTP 的节点设备	186
4.4.3 MSTP 的市场应用	193
4.5 LCAS 技术原理与应用	194
4.5.1 LCAS 的产生	195
4.5.2 LCAS 控制帧	196
4.5.3 LCAS 的工作原理	202
4.5.4 LCAS 提供的多径传输保护	203
4.6 Ethernet over SDH 的关键技术	205
4.6.1 Ethernet over SDH 适配技术	205
4.6.2 PPP/ML-PPP 协议	206
4.6.3 LAPS 协议	208
4.6.4 GFP 技术原理与应用	215

4.6.5 协议互通探讨	220
4.7 演进中的 ATM 传送体系	221
4.7.1 ATM 的定义和特点	221
4.7.2 ATM 网络的技术原理	224
4.7.3 ATM 的流量与拥塞控制	230
4.7.4 ATM 的发展与应用前景	234
4.8 本章小结: MSTP 的背景、优势、技术和前景	238
第 5 章 光联网技术	239
5.1 WDM 传输技术	239
5.1.1 概述	239
5.1.2 长距离 DWDM 系统	242
5.1.3 超长距离传输系统	249
5.1.4 城域波分复用系统	251
5.1.5 WDM 系统工程设计概要	253
5.1.6 40Gbit/s DWDM 系统技术	254
5.1.7 CWDM 技术及其在城域网中的应用	262
5.2 IP over WDM	269
5.2.1 IP 在 WDM 上的适配技术	269
5.2.2 IP over WDM 网络结构	273
5.2.3 光网络发展趋势	275
5.3 OTN 和数字包封	276
5.3.1 网络的分层结构及其演进	276
5.3.2 OTN 的数字包封技术	279
5.3.3 OTN 的复用技术	286
5.3.4 OTN 的组网	288
5.4 光联网设备	290
5.4.1 光分插复用器	290
5.4.2 光交叉连接设备	293

5.4.3	光交换设备	302
5.4.4	光路由设备	308
5.5	本章小结：新一代光传送网演进的支撑力量	310
第 6 章	演进中的传送网络拓扑	311
6.1	传送网的节点和节点设备	311
6.1.1	传送网络的节点	311
6.1.2	传送网的节点设备	312
6.1.3	交叉连接是实现网络拓扑的基础	314
6.2	传送网的主要网络拓扑	316
6.3	提高传送网生存性的主要途径	319
6.3.1	提高网络生存性	319
6.3.2	传送网的保护和恢复	320
6.4	自愈环的基本概念	322
6.5	SDH 自愈环	325
6.5.1	通道保护自愈环	325
6.5.2	复用段共享保护自愈环	327
6.5.3	多环互连组成的自愈网络	329
6.5.4	SDH 自愈环的组网应用	331
6.6	基于 WDM 技术的自愈环	333
6.6.1	常见的 WDM 自愈环	333
6.6.2	WDM 环实现保护倒换的技术措施	339
6.7	基于格状网的组网及恢复	341
6.7.1	光传送网演进中的格状网	341
6.7.2	格状网中多重故障的恢复	343
6.7.3	格状拓扑的组织	343
6.7.4	格状网恢复方案介绍	344
6.7.5	多层网络保护与恢复策略	355
6.8	本章小结：从环网到智能控制的格状网	356

第 7 章 光传送网的管理技术	358
7.1 TMN 简介	358
7.1.1 TMN 的概念	358
7.1.2 TMN 的结构	360
7.1.3 TMN 的管理功能	365
7.2 传送网的管理系统构成	368
7.2.1 SDH 网络的管理	368
7.2.2 OTN 的管理	371
7.2.3 ASON 的管理	371
7.3 部分网管协议的应用	373
7.3.1 SDH 的 ECC 协议栈	373
7.3.2 简单网络管理协议 SNMP	374
7.4 CORBA 网管系统	378
7.5 传送网络节点设备的管理	380
7.5.1 SDH 设备的网管	380
7.5.2 网管系统的协调	384
7.6 本章小结：演进中不断发展的网管	384
第 8 章 光传送网的智能化	386
8.1 智能化是光传送网络的演进趋势	386
8.1.1 技术发展历程回顾	386
8.1.2 从市场发展需求看传送网的智能化趋势	388
8.1.3 网络对控制平面的需求	391
8.2 光传送网智能化带来的网络拓扑和生存性优势	392
8.2.1 格状网络的应用	392
8.2.2 格状网子拓扑的应用	393
8.3 光传送网智能化的管理与运营优势	401
8.3.1 智能化的自动配置	401
8.3.2 智能化的网元自动发现	402