

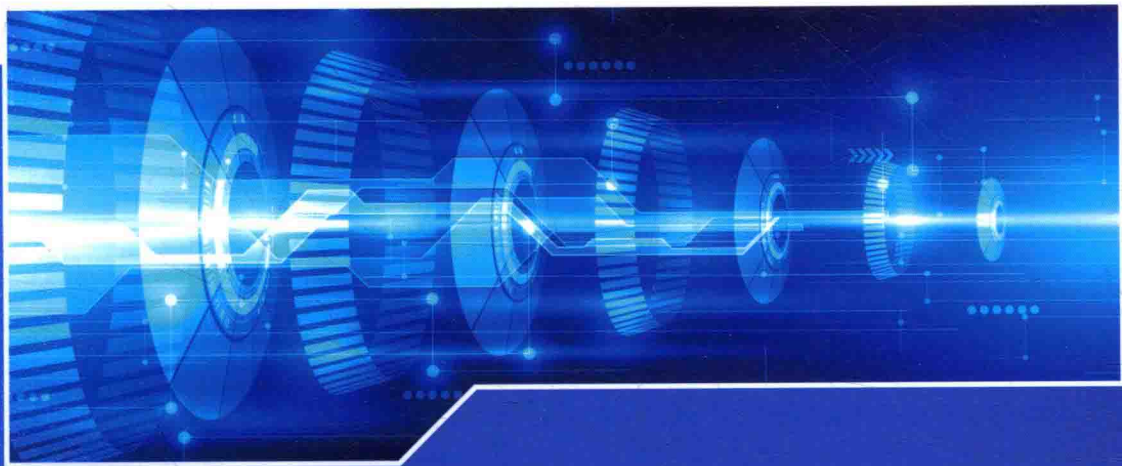


全国**信息通信专业**咨询工程师继续教育培训系列教材

丛书主编 张同须 侯士彦

光通信技术 与应用

高军诗 沈艳涛 王云 魏贤虎 李昶 等 著



TECHNOLOGY AND
APPLICATION OF OPTICAL
COMMUNICATION



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



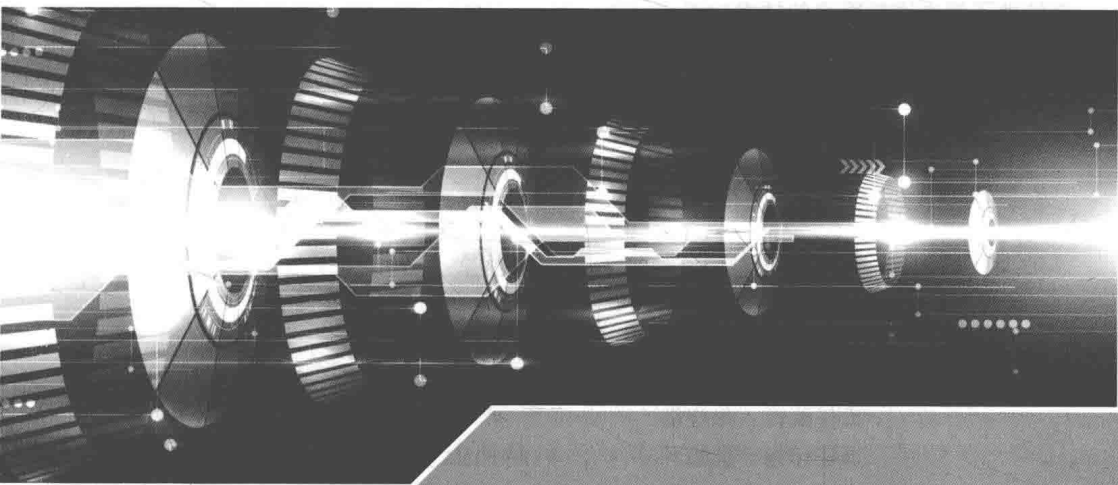
ommunication

全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材

丛书主编 张同须 侯士彦

光通信技术 与应用

高军诗 沈艳涛 王云 魏贤虎 李昶 张中平 冯克正
李伟强 陈烈辉 张传熙 李乐坚 著



TECHNOLOGY AND
APPLICATION OF OPTICAL
COMMUNICATION

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

光通信技术与应用 / 高军诗等著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016. 7
全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材
ISBN 978-7-115-41810-4

I. ①光… II. ①高… III. ①光通信—继续教育—教材 IV. ①TN929.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第089451号

内 容 提 要

本书旨在介绍光传送网中的主要通信技术及组网应用, 内容涉及光纤光缆、WDM 技术、SDH 技术、PTN/IP RAN 技术和 PON 技术, 涵盖骨干传送网、城域传送网和有线接入网。针对各类技术特点, 结合实际网络应用, 分章节描述各类技术在组网中的系统构成及关键技术、组网及应用方案、未来发展趋势。本书兼顾网络架构与技术细节, 融理论性、知识性和实用性于一体, 深入浅出地分析技术特点及应用方案, 有助于通信专业技术人员全面、系统地了解光通信网络的技术应用。

本书是全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材的有线通信部分, 也可作为通信行业广大管理人员、技术人员及其他从业人员的参考学习资料。

◆ 著 高军诗 沈艳涛 王 云 魏贤虎 李 昶
张中平 冯克正 李伟强 陈烈辉 张传熙
李乐坚

责任编辑 牛晓敏

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 10

2016 年 7 月第 1 版

字数: 202 千字

2016 年 7 月河北第 1 次印刷

定价: 56.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材

编 委 会

主任委员

张同须 中国移动通信集团设计院有限公司院长

副主任委员

侯士彦 中国移动通信集团设计院有限公司副总工程师

委 员

颜海涛 中国移动通信集团设计院有限公司规划所副所长
《信息通信市场业务预测与投资分析》编写组组长

高军诗 中国移动通信集团设计院有限公司有线所副所长
《光通信技术与应用》编写组组长

高 鹏 中国移动通信集团设计院有限公司技术部总经理
《无线通信技术与网络规划实践》编写组组长

吕红卫 中国移动通信集团设计院有限公司网络所所长
《核心网架构与关键技术》编写组组长

崔海东 中国移动通信集团设计院有限公司采购物流部总经理
《数据与多媒体网络、系统与关键技术》编写组组长
《IT 支撑系统与关键技术》编写组组长

侯士彦 中国移动通信集团设计院有限公司副总工程师
《通信电源供电及节能技术》编写组组长

- 陈 勋 中国联通网络技术研究院规划部主任
《信息通信市场业务预测与投资分析》编写组副组长
- 曾石麟 广东省电信规划设计院有限公司北京分院技术总监
《信息通信市场业务预测与投资分析》编写组副组长
- 沈艳涛 中国移动通信集团设计院有限公司有线所咨询设计总监
《光通信技术与应用》编写组副组长
- 王 云 广东省电信规划设计院有限公司综合通信咨询设计院副院长
《光通信技术与应用》编写组副组长
- 魏贤虎 江苏省邮电规划设计院有限责任公司网络通信规划设计院副院长
《光通信技术与应用》编写组副组长
- 陈崑崙 中国联通网络技术研究院网优与网管技术研究部主任
《无线通信技术与网络规划实践》编写组副组长
- 曾沂繁 广东省电信规划设计院有限公司电信咨询设计院院长
《无线通信技术与网络规划实践》编写组副组长
- 单 刚 华信咨询设计研究院有限公司副总工程师
《无线通信技术与网络规划实践》编写组副组长
- 甘邵华 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司交换与信息部总工程师
《核心网架构与关键技术》编写组副组长
- 彭 宇 华信咨询设计研究院有限公司移动设计院副院长
《核心网架构与关键技术》编写组副组长
- 余永聪 广东省电信规划设计院有限公司电信咨询设计院总工程师
《核心网架构与关键技术》编写组副组长
- 丁亦志 中国移动通信集团设计院有限公司网络所高级咨询设计师
《数据与多媒体网络、系统与关键技术》编写组副组长
- 倪晓熔 中国移动通信集团设计院有限公司网络所资深专家
《IT 支撑系统与关键技术》编写组副组长
- 刘希禹 中讯邮电咨询设计院有限公司原电源处总工程师
《通信电源供电及节能技术》编写组副组长
- 程劲晖 广东省电信规划设计院有限公司建筑设计研究院副院长
《通信电源供电及节能技术》编写组副组长

序 言

作为曾在邮电通信战线战斗过的老兵，受通信信息专业委员会之邀为全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材作序，欣然之情溢于言表。

2015年8月，中国工程咨询协会启动了咨询工程师继续教育，这是工程咨询行业的一件大事，对于加强咨询工程师队伍建设，完善咨询工程师职业资格制度，促进工程咨询业健康可持续发展将发挥重要作用。

工程咨询是以技术为基础，综合运用多学科知识、工程实践经验、现代科学和管理方法，为经济社会发展、投资建设项目决策与实施全过程提供咨询和管理的智力服务。作为工程咨询的从业人员，咨询工程师需要具备广博、扎实的经济、社会、法律、技术、工程、管理等领域的理论知识和实践经验。随着我国经济社会的快速发展和改革开放的不断深入，国家及地方投资建设领域新的政策、法规、规范标准不断出台，工程咨询相关领域的新理论、新技术、新方法层出不穷，这些都要求咨询工程师努力适应日新月异的形势和市场变化，与时俱进，不断学习、掌握、了解各类新事物，为经济社会发展和各类投资主体提供更优质的、专业化的服务。

为配合行业继续教育的开展，中国工程咨询协会通信信息专业委员会以高度负责的精神，组织通信信息全行业的专家、精英，倾力编写出通信信息专业咨询工程师继续教育培训系列教材，内容全面、充实，反映了通信信息行业在技术、投资咨询等领域最新发展成果和未来发展趋势，对提高通信信息专业咨询工程师专业素质和能力必将起到积极作用。在此我对通信信息专委会和参与编写教材的专家学者表示衷心的感谢，对你们所取

得的成果表示祝贺。

咨询工程师队伍的素质和能力，决定着工程咨询的质量和水平，以及工程咨询业在经济社会发展中的地位。希望全国广大咨询工程师牢固树立终身教育的理念，积极参加继续教育，不断提高自身素质和能力，努力把工程咨询业发展成为学习创新型行业，真正成为各级政府部门和各类投资主体的智库和参谋。



中国工程咨询协会会长

2016年1月

前 言

为建立健全咨询工程师(投资)职业继续教育教材体系,满足通信专业咨询工程师参加继续教育的需要,受中国工程咨询协会委托,中国工程咨询协会通信信息专业委员会组织编写了全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材。该教材作为通信行业咨询工程师继续教育的专业培训用书,为本行业咨询工程师参加继续教育培训提供了必要的帮助。

全国信息通信专业咨询工程师继续教育培训系列教材共分7册:《信息通信市场业务预测与投资分析》、《光通信技术与应用》、《数据与多媒体网络、系统与关键技术》、《核心网架构与关键技术》、《IT支撑系统与关键技术》、《无线通信技术与网络规划实践》、《通信电源供电及节能技术》。本系列教材丛书出自通信行业各类专家之手,既有较深入的技术探讨,也有作者多年的最佳实践总结。课程内容紧密结合了工程咨询业务的实际需要,从体现更新知识、提高职业素质和业务能力的原则出发,尽量使教材内容具有一定的前瞻性,突出了内容的新颖和实用,平衡了基础知识与新技术更新方面的内容比例,使课程内容做到与公共课程的衔接,避免了内容重复交叉,且结合本专业特点对公共课相关内容加以细化、深化和延伸。

本系列教材的编写从起草到修编历时6年,历经国家相关政策的多次调整,在行业专业委员会各委员单位和行业专家的积极推动和鼎力支持下,终于出版了。广大通信行业咨询设计从业人员藉此有了一个更便捷的学习平台。在此我们要感谢中国工程咨询协会和中国通信企业协会通信建设分会相关领导和同志们的关心与指导,还要特别感谢所有参编单位的大力支持!他们是:中国移动通信集团设计院有限公司、广东省电信规划设计院有限公司、

中讯邮电咨询设计院有限公司、江苏省邮电规划设计院有限责任公司、华信咨询设计研究院有限公司。

为传播优秀经验，推广创新技术，我们与人民邮电出版社合作出版此系列教材，希望此教材能为行业从业人员在职业生涯发展上提供一定的帮助与支持，为我国信息通信行业的大发展做出更大的贡献！

再次感谢积极组织、参加教材编写的各位领导和专家，感谢您们长期以来对中国工程咨询协会通信信息专业委员会广大会员的支持与关爱。相信在大家的共同努力下，我国信息通信事业的发展会取得更大的进步！

张同须

中国移动通信集团设计院有限公司
中国工程咨询协会通信信息专业委员会

2016年1月

目 录

第 1 章 有线通信概述	1
1.1 有线通信网络分层结构	1
1.2 有线通信主要技术	2
1.2.1 SDH 与 MSTP 的关系	3
1.2.2 OTN 和 WDM/SDH 的关系	4
1.2.3 PTN 和 IP RAN 的关系	4
1.3 有线通信发展	5
1.3.1 网络发展	5
1.3.2 技术发展	6
1.3.3 多种技术的融合发展	8
思考题	10
第 2 章 光纤通信线路技术	11
2.1 光纤技术的发展及特点	11
2.1.1 光纤技术的发展	11
2.1.2 光纤的主要特点	12
2.2 光纤	14
2.2.1 光纤的基本知识	14
2.2.2 光纤类型	15
2.2.3 光纤的结构参数	23

2.2.4	光纤传输特性参数	23
2.3	光缆	27
2.3.1	光缆的定义	27
2.3.2	光缆的结构	27
2.3.3	光缆的分类	30
2.4	光缆线路网	34
2.4.1	光缆线路网的构成	35
2.4.2	网络结构与配纤方法	35
2.4.3	用户光纤引入线	37
2.5	光纤通信线路技术发展趋势	38
2.5.1	增大有效面积单模光纤	38
2.5.2	超低损耗光纤	38
2.5.3	弯曲衰减不敏感单模光纤	39
2.5.4	多芯光纤技术	39
2.5.5	光子晶体光纤技术	39
	思考题	40
第3章	WDM 传输技术	41
3.1	发展现状	41
3.2	系统结构及关键技术	42
3.2.1	基本概念	42
3.2.2	系统结构	46
3.2.3	关键技术	49
3.2.4	系统性能	54
3.3	组网及应用	54
3.3.1	传统 WDM 系统	54
3.3.2	OTN 系统	56
3.4	未来发展趋势	60
3.4.1	提升系统容量	60
3.4.2	提高传输距离	61

3.4.3 从点到点传输走向动态传送联网	61
思考题	62
第 4 章 SDH 传输技术	63
4.1 发展现状	63
4.1.1 PDH 技术特点	63
4.1.2 SDH 技术特点	64
4.1.3 ASON 技术特点	65
4.2 系统构成及关键技术	66
4.2.1 传输系统构成	66
4.2.2 传输系统性能	66
4.2.3 SDH 技术	67
4.2.4 MSTP 技术	70
4.2.5 ASON 技术	73
4.3 组网及应用	76
4.3.1 SDH 组网技术	76
4.3.2 ASON 组网技术	77
4.3.3 网络保护和恢复	80
4.4 未来发展趋势	83
4.4.1 大交叉容量	83
4.4.2 智能化	84
思考题	85
第 5 章 分组化传送网技术	87
5.1 分组化传送技术的引入	87
5.2 系统结构及关键技术	89
5.2.1 分组化传送网技术简介	89
5.2.2 分组化交换技术	93
5.2.3 保护技术	95
5.2.4 QoS 技术	99

5.2.5	同步技术	103
5.2.6	OAM 功能	105
5.2.7	分组化传送网性能指标	109
5.3	组网及业务承载	110
5.3.1	业务承载及组网需求	110
5.3.2	组网方案	111
5.3.3	业务承载方案	115
5.4	未来发展趋势	119
5.4.1	运营商使用现状	119
5.4.2	技术应用发展	120
5.4.3	网络应用发展	122
	思考题	124
第 6 章	有线接入技术	125
6.1	发展现状	125
6.1.1	接入网定义	125
6.1.2	接入网的物理参考模型	126
6.1.3	接入网功能块	127
6.1.4	有线接入技术划分	127
6.2	PON 系统架构及关键技术	130
6.2.1	PON 系统简介	130
6.2.2	PON 技术分类	131
6.2.3	EPON/GPON 技术原理和特点	134
6.3	组网及应用	139
6.3.1	PON 应用模式	139
6.3.2	业务承载方式	144
6.4	未来发展趋势	147
6.4.1	研究热点	147
6.4.2	下一代 PON 技术	148

第1章

有线通信概述

1.1 有线通信网络分层结构

有线通信网络是整个电信网的基础。传送网为整个网络承载的业务提供传输通道和传送平台，传送网包括有线传送网及无线传送网（以微波通信、卫星通信技术为基础），文中阐述的是基于有线通信技术的传送网。有线接入是综合业务宽带接入的主要手段。

我国的有线通信网络结构一般分为有线传送网和有线接入网，如图 1-1 所示。

其中有线传送网分为骨干传送网和本地传送网，而骨干传送网又分为省际干线传送网和省内干线传送网。

省际干线传送网主要是连接各省业务中心（一般设在省会）的网络，省内干线传送网主要是连接各地市的业务中心（一般是地市业务中心）的网络，而本地传送网就是覆盖整个本地辖区内的有线传送网络，一般分为核心层和汇聚层，这些网络主要部署在各运营商的局端机房。

有线接入网则是在本地传送网之下，从本地传送网到用户端设备之间的网络。

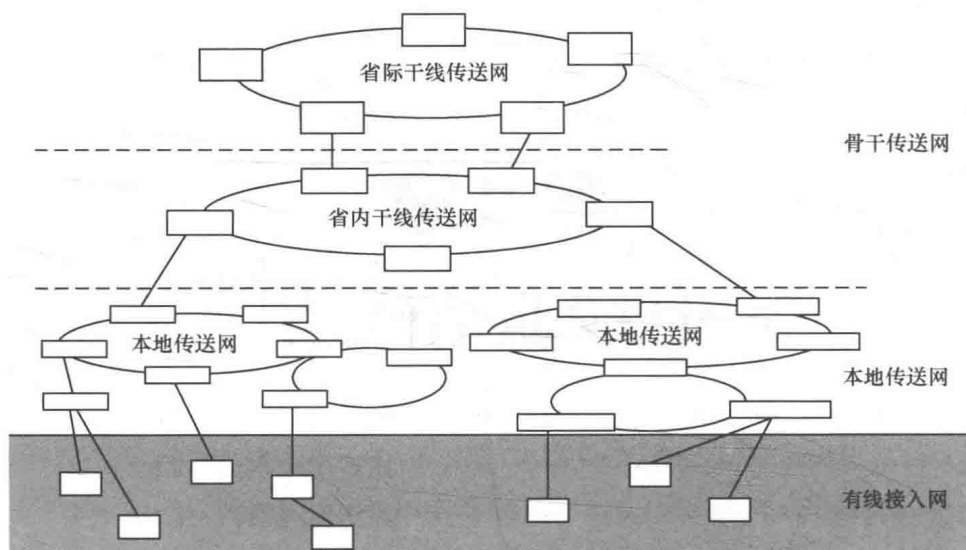


图 1-1 我国典型有线通信网络分层结构示意图

有的运营商将本地传送网又称为城域传送网，后面的章节就不一一注释，以下主要介绍常用的有线通信技术及组网应用。

1.2 有线通信主要技术

有线通信技术多种多样，特别是光纤通信技术，有其巨大的频带资源和优秀的传输性能，成为目前最主要的有线通信技术。

从网络承载技术及应用上看，光传送网络主要分为传送物理网络（光纤光缆）、电层处理网络（SDH/PTN/IP RAN）、光层处理网络（WDM/OTN）、接入网络（PON），这些网络可以独立承载业务，也可协同组网，组成了现阶段丰富灵活的传送网络，这些不同的网络层次及承载关系如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出，光纤光缆是整个光通信技术的基础，其承载的传输系统经历了从 PDH（准同步数字系列）到 SDH（同步数字系列）的时分复用（TDM）技术的发展。随着通信容量需求的快速增长，在尽力提高系统速率的基础上，波分复用（WDM）技术开启了光纤通信技术应用的一次革命性

变革，大容量 WDM 技术为解决通信容量问题提供了有效的手段。

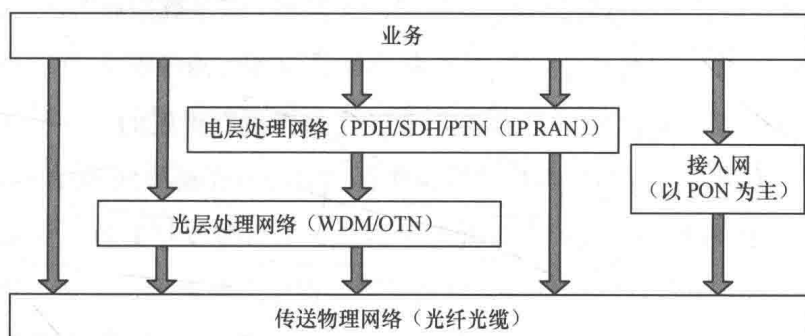


图 1-2 光传送网承载技术示意

OTN 是以波分复用技术为基础、在光层组织网络的传送网，它是狭义程度上的光传送网，是有线光传送网络的一个具体技术应用，是目前长途传送网采用的主要技术手段。OTN 概念涵盖了光层和电层两层网络，其技术继承了 SDH 和 WDM 双重优势，解决传统 WDM 网络调度能力差、组网能力弱、保护能力弱等问题，将传送网推进到真正的多波长光网络阶段。由于结合了光域和电域处理的优点，OTN 可以提供巨大的传送容量、完全透明的端到端波长 / 子波长连接以及电信级的保护，是传送宽带大颗粒业务的优选技术。

随着通信技术的快速发展，各种新技术、新业务的不断涌现，电信业从技术驱动向业务驱动发展，推动了有线传送网向更经济适用、灵活动态的方向发展，由此推出适应业务、靠近用户的分组传送网（PTN/IP RAN）和以无源光网络（PON）为主的用户接入技术。

1.2.1 SDH 与 MSTP 的关系

光传送网面向 IP 业务、适配 IP 业务的传送需求已经成为光通信下一步发展的一个重要议题。光传送网从多种角度和多个方面提供了解决方案，在兼容现有技术的前提下，由于 SDH 设备的大量应用，为了解决数据业务处理

和传送问题，在 SDH 技术的基础上研发了 MSTP 设备，并已经在网络中大量应用，很好地兼容了现有技术，同时在一定程度上满足数据业务的传送功能。

MSTP(多业务传送平台)是一种能够针对多种业务特点进行处理的传送网节点设备，是 SDH 为适应数据业务交换而进行扩展的一项技术，通过灵活的业务适配，将不同颗粒的多种业务、多种协议映射到 SDH 帧结构中，并通过 SDH 网传送。在一个多业务平台上，有效地支持数据、语音和图像业务。伴随着电信网络的发展，MSTP 技术也在不断进步，主要体现在对以太网业务的处理上，经历了从支持以太网透传的第一代 MSTP、支持二层交换的第二代 MSTP 和当前支持以太网业务 QoS 的第三代 MSTP，但其核心技术仍是基于 SDH 交叉。

1.2.2 OTN 和 WDM/SDH 的关系

OTN 是光传送网，是由传统的波分技术演进而来，主要加入智能光交换功能，可以通过数据配置实现光交叉而不用人为跳纤，大大提升了波分设备的可维护性和组网的灵活性。同时，新的 OTN 也在逐渐向更大带宽、更大颗粒、更强的保护演进。

OTN 以 WDM 技术为基础，在超大传输容量的基础上引入 SDH 强大的操作、维护、OAM 能力，同时弥补 SDH 在面向传送层时的功能缺乏和维护管理开销的不足。OTN 使用内嵌标准 FEC，丰富的维护管理开销提高了误码性能，增加了光传输跨距。

1.2.3 PTN 和 IP RAN 的关系

两者都强调以太网技术特别是 L2/L3 技术的应用，主要应用于城域网，其核心是包交换技术。

PTN(Packet Transport Network)技术是分组化传送网技术的一种，是基