

信息与通信网络技术丛书

光传送网（OTN）技术、 设备及工程应用

Technology, Equipment and Engineering Applications of
Optical Transport Network (OTN)

王健 魏贤虎 易准 张敏锋 俞力 鞠卫国 等◎编著

献给从事光传送网技术研究、规划设计、网络建设与维护的
工程技术人员的一本系统性著作



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

信息与通信网络技术丛书

光传送网（OTN）技术、 设备及工程应用

Technology, Equipment and Engineering Applications of
Optical Transport Network (OTN)

王健 魏贤虎 易准 张敏锋 俞力 鞠卫国 等◎编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

光传送网 (OTN) 技术、设备及工程应用 / 王健等编
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2016. 1
(信息与通信网络技术丛书)
ISBN 978-7-115-40450-3

I. ①光… II. ①王… III. ①光传送网 IV.
①TN929. 1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第220000号

内 容 提 要

本书首先介绍了传输网的概念及技术发展历程和演进趋势, 然后简单介绍了 SDH 和 WDM 的技术原理, 在此基础上引入了光传送网 (OTN) 技术。全书在简要介绍 OTN 基本原理的基础上, 从工程应用的角度详细讨论了 OTN 系统及设备, 主要内容包括: OTN 的概念与应用、OTN 的体系架构、OTN 的网络保护与应用、OTN 的网络管理、ROADM 的原理及应用、OTN 的技术演进、OTN 的规划与设计、OTN 的传输性能、OTN 设备安装与测试技术, 并在最后介绍了华为公司主流的 OTN 设备——OSN8800, 以使读者能够更加直观地了解 OTN 光传输设备的结构、配置和组网方法, 进一步加强理论与实际的结合。

本书内容全面、系统, 在介绍理论知识的同时, 注重与实际工程和应用紧密结合, 具有很强的实用性。

本书适合从事 WDM/OTN 系统和设备的研究开发、规划设计、建设施工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。

◆ 编 著 王 健 魏贤虎 易 准 张敏锋 俞 力
鞠卫国 等

责任编辑 杨 凌

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>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 19

2016 年 1 月第 1 版

字数: 463 千字

2016 年 1 月北京第 1 次印刷

定价: 79.00 元

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

反盗版热线: (010)81055315

前言

全业务运营时代,电信运营商都将转型成为 ICT 综合服务提供商。业务的丰富性带来对带宽的更高需求,直接反映为对传送网能力和性能的要求。光传送网(Optical Transport Network, OTN)技术由于能够满足各种新型业务需求,从幕后渐渐走到台前,成为传送网发展的主要方向。

OTN 是为了克服 SDH 与 WDM 技术的不足而提出来的一种新的光传输技术,一方面它具有 SDH 网络与 WDM 网络的技术优势,既可以像 WDM 网络那样提供超大容量的带宽,又可以像 SDH 网络那样可运营可管理;另一方面它还具有路由功能与信令功能,能够为业务提供更为安全的保护策略和更高的传输效率。OTN 结合了光域和电域处理的优势,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最优的技术,受到业界一致青睐,代表着光网络未来的技术发展趋势。

全书分为 7 章。第 1 章为传输网概述,简要介绍了传输网的概念和传输网的发展历程及演进趋势。第 2 章简要介绍了 SDH 和 WDM 的基本原理及应用。第 3 章主要介绍了 OTN 的概念、标准进展以及应用场景,重点阐述了 OTN 的体系架构、网络保护与应用、OTN 管理及 ROADM 的原理及应用。第 4 章主要介绍了 100Gbit/s OTN 和超 100Gbit/s OTN 的关键技术及相关标准和产业链发展情况,同时介绍了分组增强型 OTN 的关键技术和应用场景。第 5 章结合实例重点介绍了 OTN 的规划与设计,主要介绍了 OTN 规划的基本要素、OTN 设计内容及要求和光纤光缆的测试内容及方法。第 6 章主要介绍 OTN 传输性能,包括误码性能、以太网性能、光信噪比要求及抖动性能等。第 7 章主要介绍 OTN 设备的安装及单机设备、组网性能等测试技术。附录给出了华为公司主流的 OTN 设备——OSN8800 的详细介绍。

本书由王健、魏贤虎策划和主编,易准负责全书的结构和内容的掌握和控制,王健、魏贤虎、易准、张敏锋、俞力、鞠卫国、卢林林等参与了全书内容的编写。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,在此表示衷心的感谢。

编写本书的主要目的,是想从工程应用的角度来重新整合和优化 OTN 技术及设备的基本原理、OTN 规划设计及维护测试等内容。由于编者的水平有限,对相关技术文件理解不一定深透,加之时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

作者

2015 年 10 月于南京

目 录

第 1 章 传输网概述	1
1.1 传输网的概念及作用	1
1.1.1 传输系统的概念	1
1.1.2 传输网在电信网中所处的地位	4
1.1.3 业务网对传输网的需求	5
1.2 传输网技术演进及展望	9
1.2.1 传输网技术发展历程	9
1.2.2 传输网技术发展趋势展望	14
第 2 章 光传输网技术现状	18
2.1 光同步数字体系 (SDH)	18
2.1.1 SDH 概念及特点	18
2.1.2 SDH 速率与帧结构	20
2.1.3 SDH 复用与映射	23
2.1.4 SDH 组网	32
2.1.5 SDH 保护与恢复	38
2.1.6 SDH 性能分析	45
2.1.7 SDH 技术应用与发展	52
2.2 光波分复用 (WDM) 系统	53
2.2.1 WDM 技术原理	53
2.2.2 WDM 系统功能结构及描述	56
2.2.3 WDM 主要性能	61
2.2.4 WDM 组网技术	63
2.2.5 WDM 网络保护	66
第 3 章 光传送网 (OTN)	69
3.1 OTN 的概念及应用	69

3.1.1	OTN 的概念	69
3.1.2	OTN 技术优势	71
3.1.3	OTN 标准进展	72
3.1.4	OTN 的应用场景分析	82
3.2	OTN 体系架构	87
3.2.1	OTN 分层及接口	89
3.2.2	OTN 的分割	100
3.2.3	OTN 帧结构与开销	102
3.2.4	OTN 复用与映射结构	106
3.2.5	OTN 光传送模块	109
3.2.6	OTN 设备形态	114
3.3	OTN 保护与应用	116
3.3.1	光线路保护	117
3.3.2	线性保护	118
3.3.3	环网保护	120
3.4	OTN 管理	123
3.4.1	OTN 管理需求	123
3.4.2	OTN 管理体系结构	125
3.4.3	控制平面技术	126
3.5	可重构的光分插复用器（ROADM）	127
3.5.1	ROADM 应用驱动力	128
3.5.2	ROADM 的技术实现	129
3.5.3	ROADM 组网应用	136
第 4 章 光传送网技术演进		139
4.1	概述	139
4.2	100Gbit/s OTN 技术	142
4.2.1	100Gbit/s 标准化现状	142
4.2.2	100Gbit/s 产业链发展状况	143
4.2.3	100Gbit/s OTN 关键技术	143
4.2.4	100Gbit/s OTN 组网应用	146
4.3	超 100Gbit/s 技术	148
4.3.1	超 100Gbit/s 标准化进展	149
4.3.2	超 100Gbit/s 关键技术	152
4.3.3	超 100Gbit/s 产业化进程	156
4.4	分组增强型 OTN-POTN	157
4.4.1	POTN 概念	157
4.4.2	POTN 设备功能模型	160
4.4.3	POTN 关键技术	162

4.4.4 POTN 应用场景分析	163
第 5 章 光传送网规划与设计	165
5.1 OTN 概述	165
5.2 OTN 规划基本要素	167
5.2.1 光纤衰减	168
5.2.2 光信噪比	169
5.2.3 色散	170
5.2.4 非线性效应	173
5.3 OTN 设计	175
5.3.1 系统制式	175
5.3.2 传送平面网络规划	178
5.3.3 传输系统设计	178
5.3.4 网络保护	180
5.3.5 辅助系统设计	181
5.3.6 控制平面设计	182
5.3.7 光传输距离计算	183
5.4 光纤光缆测试	185
5.4.1 光纤测试需求	185
5.4.2 光纤测试内容	186
5.4.3 光纤测试方法	186
5.5 $n \times 100\text{Gbit/s}$ WDM/OTN 干线传输系统规划与设计	187
5.5.1 OTN 干线传送网的规划	188
5.5.2 $n \times 100\text{Gbit/s}$ WDM/OTN 干线传输系统工程设计	189
第 6 章 OTN 传输性能	193
6.1 OTN 假设参考光通道	193
6.2 误码性能	193
6.2.1 误码性能评估参数	193
6.2.2 端到端误码性能目标	194
6.2.3 端到端性能目标分配	195
6.2.4 误码维护性能可用性目标	195
6.3 以太网性能	196
6.4 光信噪比要求	196
6.5 抖动性能	197
6.5.1 抖动对数字通信的影响	198
6.5.2 OTN 接口输出抖动和漂移	199
6.5.3 OTN 接口抖动和漂移容限	199
6.6 ODU k 时钟要求	201

6.6.1 ODUk 时钟分类	201
6.6.2 ODUk 时钟固有抖动产生	203
6.6.3 ODUk 时钟抖动容限	203
6.6.4 ODUk 时钟抖动转移特性	203
第 7 章 OTN 设备安装与测试技术	205
7.1 OTN 设备安装	205
7.1.1 机房环境	205
7.1.2 铁架安装	205
7.1.3 电源及告警功能检查	207
7.2 OTN 单机设备测试	208
7.2.1 OTN 设备基本形态	208
7.2.2 开销及维护信号测试	210
7.2.3 光接口测试	218
7.2.4 抖动测试	228
7.2.5 OTN 设备功能测试	230
7.2.6 交叉连接功能测试	235
7.3 OTN 组网性能测试	240
7.3.1 网络性能测试	240
7.3.2 保护倒换测试	243
7.4 OTN 网络智能功能测试	253
7.4.1 控制平面连接管理功能	253
7.4.2 路由功能	254
7.4.3 自动发现和链路管理功能验证	257
7.4.4 基于控制平面的保护恢复测试	258
附录 华为公司 OTN 设备（OSN8800）介绍	264
第 1 章 简介	264
第 2 章 产品架构	278
第 3 章 操作与维护	285
第 4 章 网络管理	286
第 5 章 节能与环境保护	287
缩略语	289
参考文献	293

第 1 章

传输网概述

1.1 传输网的概念及作用

1.1.1 传输系统的概念

传输系统是包括了调制、传输、解调全过程的通信设备的总和。它是先把语音、数据、图像信息转变成电信号，再经过调制，将频谱搬移到适合于某些媒质传输的频段，并形成有利于传输的电磁波传送到对方，最后经过解调还原为电信号。作为信道时，传输系统可连接两个终端设备从而构成通信系统，也可以作为链路连接网络节点的交换系统构成通信网。

在传输信号的过程中，传输系统会遇到一些导致信号质量劣化的因素，如衰减、噪声、失真、串音、干扰、衰落等，这些都是不可避免的。为了提高传输质量、扩大容量，从而取得技术和经济方面的优化效果，传输技术必须坚持不懈地发展和提高。传输媒质的开发和调制技术的进步情况标志着传输系统的发展水平，可以从传输质量、系统容量、经济性、适应性、可靠性、可维护性等多个方面综合评价。有效扩大传输系统容量的重要手段包括提高工作频率来扩展绝对带宽、以压缩已调制信号占用带宽来提高频谱利用率等。

传输系统按其传输信号性质可分为模拟传输系统和数字传输系统两大类，按传输媒质可分为有线传输系统和无线传输系统两类（见图 1-1）。

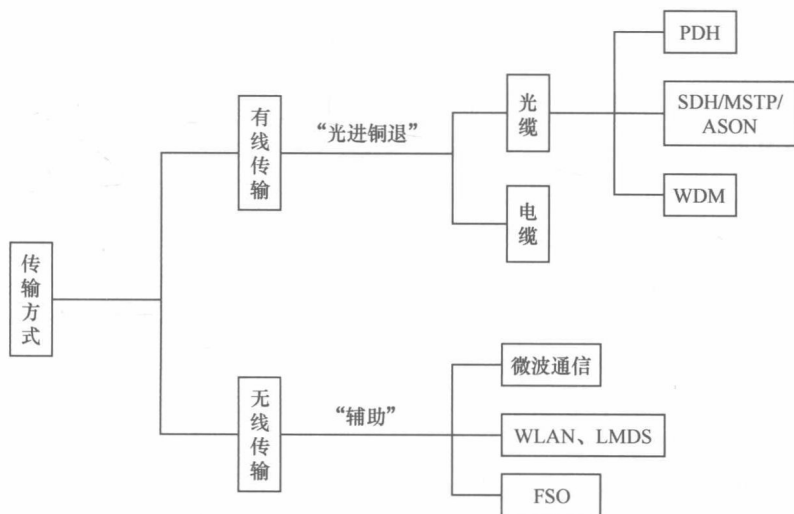


图 1-1 传输方式分类

1. 模拟传输系统

模拟传输系统的信号随时间连续变化，必须采用线性调制技术和线性传输系统。在金属缆线的应用中，由于其频带受限，故适合采用单边带调制，它的已调信号的带宽可与原信号相同，有着更高频谱利用率的复用系统。为了克服无线传输系统的干扰和衰落，模拟基带信号的二次调制大多采用调频方式。考虑到扩大容量，某些特大容量的模拟微波接力系统中会出现采用调幅方式的情况。模拟传输系统的缺点是接力系统的噪声及信号损伤均有积累，它只适用于早期业务量很大的模拟电话网。

2. 数字传输系统

数字传输系统的抗干扰及抗损伤能力变强，因为其信号参量在等时间间隔内取 2^n 或 2^n+1 个离散值，接收信号之后只需取参量与各标称离散值的差值即可判决，接收信号无需保持原状，因此，信号经过每个中继器都可以逐段再生，无噪声及损伤的积累。同时数字传输系统可用逻辑电路来处理信号，设备简单，易于集成。它不仅适用于数据等数字信号传输，也适用于传输数字语音信号以及其他数字化模拟信号，从而为建立包容各种信号的综合业务数字网提供条件。尽管数字化模拟信号的频谱利用率远低于原信号，但如果采用高效调制技术、高效编码技术和高工作频段的传输媒质等方法，依然可以相应地提高频谱利用率。这些优点使数字传输系统受到了更多关注，其发展也变得迅速起来。

3. 有线传输系统

有线传输系统是以线状金属导体（如同轴电缆、双绞线电缆等）及其周围或包围的空间为传输媒质，或者以线状光导材料（光纤）为传输媒质的传输系统。有线传输系统的传输质量相对稳定，其中受外界电磁场辐射交连或集肤效应制约的金属缆线，其可用频带严重受限，大体上只适用于模拟载波系统；借助缩小中继距离，我们可以一定程度上提高金属缆线的系统容量。光导纤维是利用其构成的有线链路，以及光线射到两种不同介质交界面时会产生折射和反射的原理，使携带信号的光线可在光纤的纤芯中远距离传播。其优点是传输衰减小、距离长、频带宽、容量大、体积小、重量轻，同时抗电磁干扰，传输质量较好。当然，光纤也存在一些不足之处，如容易断裂，需要专业工具接续等。由于光纤具有良好的传播特性，现已成为有线传输系统的主要传输媒质。

4. 无线传输系统

无线传输系统是以自由空间为媒质的传输系统，其信道大体上可分为卫星信道和地面无线信道两大类。卫星信道基本可以认为是恒参信道，只是由于电波超长距离地在空中传播，会造成明显的时延。同时，大气环境会影响卫星信道，致使其传播损耗不稳定；卫星信道的主要优点是代价低、使用方便、传输容量巨大，据测算，装有 10 个转发器的一到两颗卫星即可使世界上最大的国家能成功地进行通信；同时，其覆盖面宽，具有广播信道特性，可构成优良的无线传送信道，尤其是远程无线传送信道，现已成为远程无线传输的重要手段。在地面无线通信系统中，收端与发端之间是一种由直射波、绕射波、反射波、散射波、地表波等多个电波传播方式协同的信号传输模式。收发天线间的直射波传播要受到反射波、绕射波和散射波等干扰的影响，它们会对直射波产生干涉，形成多径效应。而沿地球表面传播的地表波，其能量随着传播距离增加而迅速减小，衰减随着频率增高而急剧加大，多径效应反倒可以忽略不计。微波接力通信系统、特高频接力通信系统以及无线局域网（WLAN）、自由空间光通信系统（FSO）等都应用了地面无线信道。无线传输系统的传输质量不能保证稳定，容

易受到干扰，必须采取各种抗干扰措施，并且进行频率的管理和系统间协调。另一方面，由于无线传输系统无需实体媒质，故其成本相对较低，建设工期短，调度灵活；同时，配合不同的天线，它还可以方便地进行定向或全向广播通信。

5. 传输网分层结构

如图 1-2 所示，传输网能够分为省际干线（一级干线）、省内干线（二级干线）和本地传输网 3 个层面。

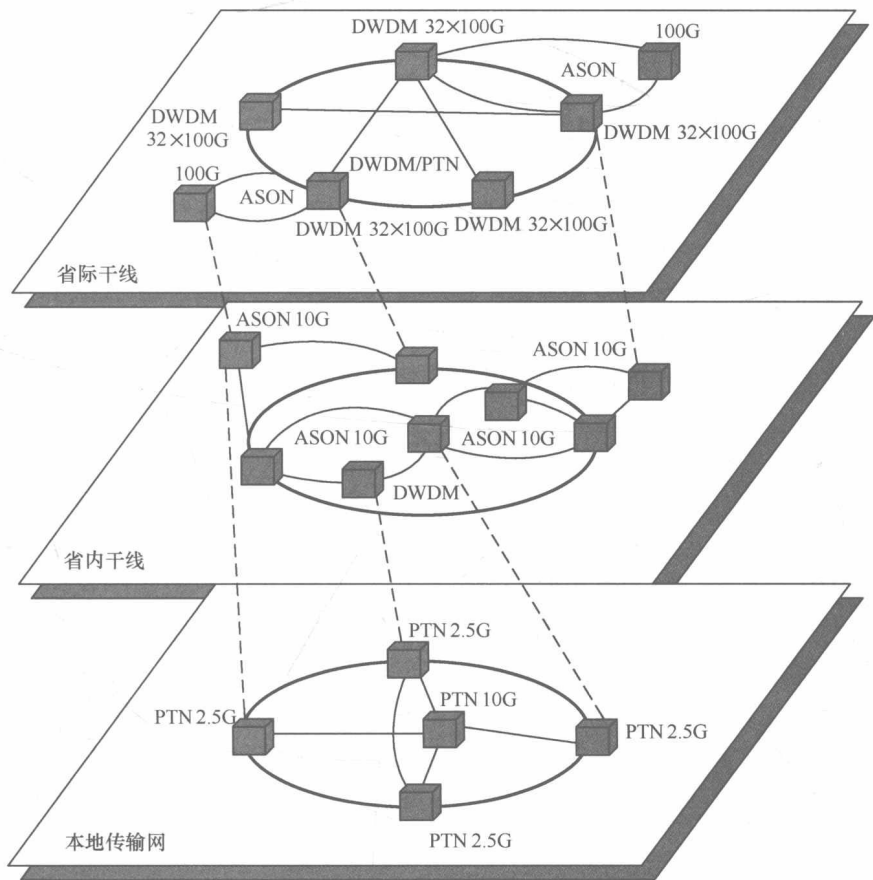


图 1-2 传输网分层

其中，省际干线用于连接各省的通信网元，省内干线则完成省内各地市间业务网元的连接，传输各地市间业务及出省业务，干线网络传输距离长、速率高、容量大、业务流向相对固定，业务颗粒也相对规范，它既肩负海量数据传送的任务，又需要有非常强大的网络保护和恢复能力。这一层布设的应当是 DWDM 和 ASON 这一类设备，利用 DWDM 系统卓越的长途传输能力和大容量传输的特性，以及 ASON 节点十分灵活的调度能力和宽带容量，加之足够多的光纤资源相互交织成的网络，可以满足干线系统的需求。在相互之间和与本地传输网之间的沟通中，ASON 节点可以完成传统 SDH 设备需要行使的所有功能，还能够提供更大的节点宽带容量，同时更灵活和更快捷地调度电路，进一步降低网络的建设和运营费用。

本地传输网是指在本地电话网范围内为各种业务提供传输通道的传送网络，相较于干线

网络，它有以下不同特点：

- ① 中继距离相对干线较短，业务种类繁多，颗粒大小不一，需要各种类型接口；
- ② 业务具有不确定性，受用户应用影响大，需要有比较强的调度和电路配置能力；
- ③ 要求网络有较强的可扩展性，以适应网络变化；
- ④ 技术多样性，每种技术都有其应用空间；
- ⑤ 接入环境复杂多变，设备数目众多，需要强大的网管；
- ⑥ 对成本敏感，如何降低运营成本成为重要因素；
- ⑦ 基于 IP 的应用逐渐成为主流，传统语音和专线服务已逐渐变为次要的收入来源。

从结构上来看，本地传输网又可以再细分为骨干层、汇聚层和接入层 3 个层面，每个层面则包含多种混合组网设备。骨干层主要解决各骨干节点之间业务的传送、跨区域的业务调度等问题。汇聚层实现业务从接入层到骨干节点的汇聚。接入层则提供丰富的业务接口，实现多种业务的接入。通过 3 个层面的配合，实现全程全网的多业务传送。

骨干层网络上联省内干线，主要由几个核心数据机房构成，比较大型的城市，往往业务量巨大，需要骨干层有足够的带宽和速率，所以这一层面也会选用 DWDM 和 ASON 设备组网。ASON 节点所能提供的单节点交叉容量可以大大缓解网络中节点的“瓶颈”问题。

汇聚层网络主要由网络中的业务重要节点和通路重要节点组成，多会布设 ASON 和 PTN 等设备。ASON 可以基于 G.803 规范的 SDH 传送网实现，也可以基于 G.872 规范的光传送网实现，因此，ASON 可与现有 SDH 传输设备混合组网。PTN 设备也可以与 SDH 传输设备混合组网。ASON 和 PTN 与现有传输网络的融合是一个渐进的过程，在现有的 SDH 网络中组建 ASON 或 PTN 的基础上，逐步形成完整的 ASON 或 PTN，并取代原有网络。这一发展过程与 PDH 向 SDH 设备的过渡非常相似。

接入层网络的节点就是所有业务的接入点，包括通信基站、大客户专线、宽带租用点和小区宽带集散点等，它们的业务需求多种多样，网络结构也各有不同，针对这种情况，可以布设 PTN 设备和 PON 设备，PTN 一种设备就可以满足所有各式的业务需求，同时结合 PON 系统，实现“一网承送多重业务”，这个目标的实现需要一个渐进的过程，目前这层网络中的设备既有 PTN 也有 SDH，应当首先在有多业务需求的节点布设 PTN 设备，再逐步过渡到全网 PTN 设备组网。

1.1.2 传输网在电信网中所处的地位

电信网大体上可分为传输网、业务网和支撑网，它们之间的关系如图 1-3 所示。

支撑网是现代电信网运行的支撑系统。建设支撑网的目的是利用先进的科学技术手段全面提高全网的运行效率。一个完整的电信网除有以传递电信业务为主的业务网之外，还需有若干个用来保障业务网正常运行、增强网络功能、提高网络服务质量的支撑网络。支撑网中传递相应的监测和控制信号。支撑网包括同步网、公共信道信令网、传输监控和网络管理网等。同步网在数字网中是用来实现数字交换机之间或数字交换机和数字传输设备之间时钟信号速率的同步；在模拟网中通过自动或人工方式校准和控制各主振器，使其频率趋于一致。公共信道信令网专用来实现网络中各级交换机之间的信令信息的传递。传输监控网是用来监视和控制传输网络中传输系统的运行状态。网络管理网主要用来观察、控制电话网服务质量并对网络实施指挥调度，以充分发挥网络的运行效益。可以看出，支撑网所有的这些功能都

需要建立在一个性能优越的传输网的基础上才能实现。

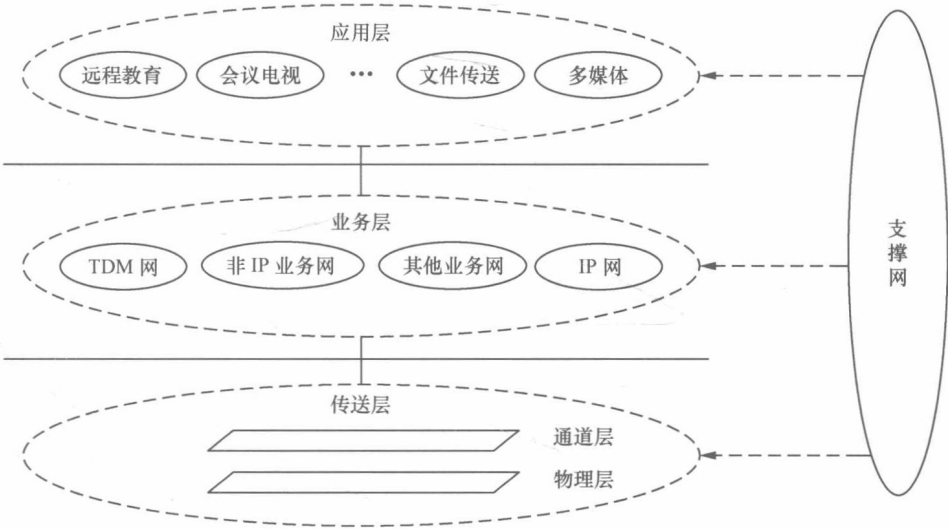


图 1-3 电信网关系图

业务网则包含了移动通信网、互联网、电话交换网、基础数据网等。起初，以 SDH 技术为基础的传输网定位于 PSTN 的配套传输网。现在，随着各类业务的增加，传输网在为传统语音业务提供传输通道的同时也服务于整个网络所承载的各种业务。所以，传输网是整个电信网络的基础，承载各业务网络，用于传送每个业务网的信号，使它们的不同节点和不同业务网之间能够互相连通，最终构成一个连通各处的网络，为语音业务、宽带数据业务以及下一代业务网和未来的 IP 多媒体等业务提供通道和多种传送方式，满足用户对各种业务的需求。可以说，没有传输网就无法构成电信网，传输网的稳定程度、质量优劣，直接影响到电信网的总体实力。

1.1.3 业务网对传输网的需求

传输网提供诸如 2Mbit/s、8Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s、155Mbit/s、2.5Gbit/s、10Gbit/s、40Gbit/s 乃至 100Gbit/s 速率的通道；各业务网通过传输网传送信号时，也必须以相应速率的接口与传输网对接，常用的有 2Mbit/s、155Mbit/s、2.5Gbit/s 等，这些接口可以是电口或光口。之后传输设备把这些相同或不同速率的信号复用成高速率的信号，再通过传输媒质传送到对端，然后解复用，还原给相应的业务网。

1. 电话交换网、基础数据网、GSM 移动通信网对传输网的需求

早期，通信网主要以语音业务为主，传输网也只是作为电话交换网的基础网络，为语音业务提供服务。这段时间里，传输网的规划设计均参考电话网的架构进行。考虑到话务量的大小，传输系统需要在国际长途局、省内外长途汇接局、本地长途汇接局和本地电话局之间提供大量的 E12 至 STM-1 的信道。

基础数据网包括 DDN、分组交换网、帧中继通信网和 ATM 网，它的省骨干网和本地骨干网、本地骨干网和接入层之间以及各网络的构成，都需要传输系统提供不同接口的通道。

GSM 移动通信系统中，根据载波数量，基站收发信机子系统、基站控制器和移动交换中

心之间需要若干 E12 传输通道。一般来说，10 个载波需要一条 E12 通道。同时根据话务量大小和数据带宽需求，移动交换中心与固话网之间也需要配置适当的 E12 或 STM-1 传输通道。

2. 第三代移动通信网对传输网的需求

第三代移动通信网的 3 个主流标准——WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 中，WCDMA 的业务侧接口种类最多；并且，在全球颁布的基于 WCDMA 的 3G 执照超过了 80%。所以这里主要介绍 WCDMA 对传输网的需求。

目前，下行速率为 14.4Mbit/s 的 WCDMA 系统已经商用化，这大约是 2G 时代速率的近百倍，相应的，其传输带宽也会扩大近百倍。除传统的语音业务外，3G 的主要业务是诸如多媒体流、通用上网等数据业务。数据业务的特点是突发性很强，这便需要配套传输网不仅要有高带宽，而且要有高的带宽利用率和优良的多业务处理机制。接口方面，其基站及控制器之间需要 2Mbit/s、155Mbit/s，乃至 1Gbit/s 的接口，就 WCDMA 的 R99 版本而言，其网络模型中与传输网紧密联系的部分如图 1-4 和表 1-1 所示。它主要由两部分组成：无线接入网（UTRAN）和核心网（CN）。其中，UTRAN 负责处理与无线接入有关的事务，主要由基站（Node B）和无线网络控制器（RNC）组成；CN 负责处理内部数据与外部网络的交换事务及路由选择，主要由电路域（CS）的移动交换中心/拜访位置寄存器（MSC/VLR）及关口移动交换中心（GMSC）和分组域（PS）的服务 GPRS 支持节点（SGSN）及网管 GPRS 支持节点（GGSN）等组成。此外，R4 版本的 WCDMA 相比 R99 版本有一些调整 and 改变，但是对传输网络部分影响不大。

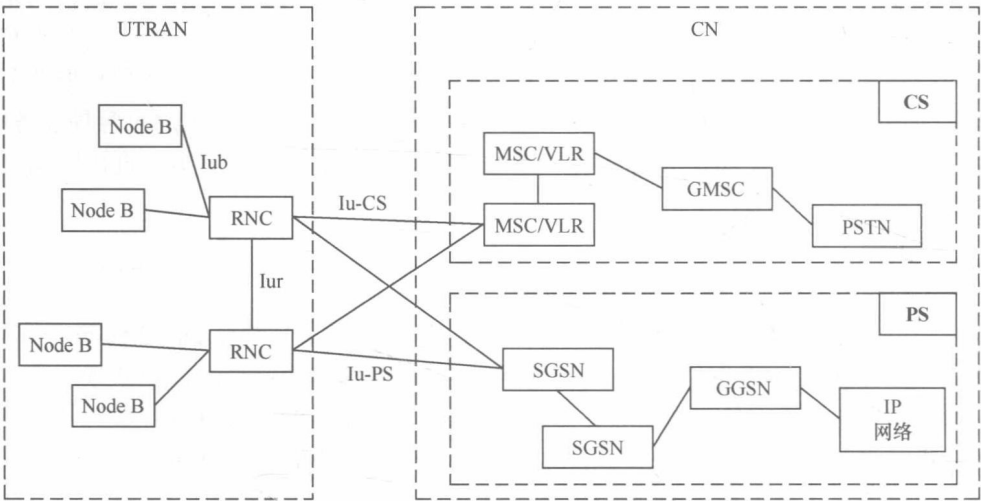


图 1-4 WCDMA R99 版本网络模型

表 1-1 WCDMA R99 版本接口类型

接口名称	连接位置	接口类型
Iub	Node B 到 RNC 之间接口	IMA E1 和 STM-1（ATM）
Iur	RNC 到 RNC 之间的接口	IMA E1 和 STM-1（ATM）
Iu-CS	RNC 到核心网电路域 MSC 之间的接口	IMA E1 和 STM-1/4（ATM）
Iu-PS	RNC 到核心网分组域 SGSN 之间的接口	IMA E1 和 STM-1/4（ATM）

续表

接口名称	连接位置	接口类型
	核心网内部电路域接口	E1、STM- <i>n</i> 的 TDM
	核心网内部分组域接口	GE、FE
	PSTN 网管接口	E1、STM- <i>n</i> 的 TDM
	数据网网管接口	GE、FE、POS、STM-1/4 的 ATM

3. 第四代移动通信网对传输网的需求

第四代移动通信网（4G）技术包括 TD-LTE 和 LTE TDD 两种制式，能够高质量且快速地进行传输数据、音频、视频和图像，能够满足几乎所有用户对于无线服务的要求。4G 技术支持 100~150Mbit/s 的下行网络速率，上行速率也能达到 20Mbit/s。4G 移动系统网络结构可分为 3 层：物理网络层、中间环境层、应用网络层。物理网络层提供接入和路由选择功能，它们由无线和核心网的结合格式完成。中间环境层的功能有 QoS 映射、地址变换和完全性管理等。物理网络层与中间环境层及其应用环境之间的接口是开放的，它使发展和提供新的应用及服务变得更为容易，提供无缝高数据速率的无线服务，并运行于多个频带。

与 3G 网络比较，4G 回传网有很大不同，具体主要表现在网络拓扑、流量变化和连接方式 3 个方面。

（1）2G/3G 网络的每个 BTS/Node B 只归属于一个 BSC/RNC，各个 BTS/Node B 之间没有网络连接，只存在点对点的网络模式，一般采用 SDH/PTN 进行回传。4G 网络中，每个 eNode B 可同时归属多个 S-GW/MME（S1-Flex），即 4G 基站与多个核心网元（SGW/MME）通过 S1 接口实现业务和信令互联。同时为了疏导 4G 基站之间的流量，引入了各个 eNode B 之间的 X2 直连接口。4G 回传网在技术和组网上既要满足“点到多点”的 4G 基站业务转发和长距离、大容量跨城域基站业务回传需要，还要解决 4G 对业务的分类管理和质量保障问题。

（2）对于 2G/3G 网络，基站侧的流量最多为 30~40Mbit/s，其汇聚节点也只要 1000Mbit/s 左右的带宽。而在 4G 网络，光基站侧就需 80~320Mbit/s 带宽，汇聚节点则需 10000Mbit/s 以上的带宽。

（3）2G/3G 网络的基站只有 Iub 接口，只有点到多点的静态连接。4G 网络存在 SGW/MME 与 eNode B 间的 S1 接口，eNode B 与 eNode B 之间还存在 X2 接口，形成了多点到多点的复杂逻辑关系，其中 X2 接口的连接始终处于动态变化中。

4. 互联网对传输链路的需求

随着电信和互联网的高速发展，各种高流量的业务不断涌现，使得全球的 IP 流量激增。智能手机、平板电脑的普及使得移动互联网业务迅猛增长，移动数据流量每年增长速度均超过 100%。这其中主要增长点是 P2P 和网络视频，另外 IPTV 流量增长率也不容忽视，虽然其绝对量不是主导因素。P2P 流量加起来将近占互联网流量的 70%，并且绝大部分是视音频。从这些可以看出，未来 5 年平均增长率依然能达到 56%~80%，相当于容量需要增加 10~20 倍。目前，互联网链路在核心节点之间根据业务量大小配置若干个 100Gbit/s 的传输通道；在汇聚节点双归连接到附近的两个核心节点，根据业务量大小配置若干个 10Gbit/s 或以上通道带宽的传输通道；在边缘节点双归连接到附近的两个汇接节点，根据业务量大小配置若干个 STM-4、2.5G 或以上通道带宽的传输通道。

5. 因特网数据中心对传输网的需求

因特网数据中心（Internet Data Center, IDC）是基于 Internet，为集中式收集、存储、处理和发送数据的设备提供运行维护的设施基地并提供相关的服务。IDC 提供的主要业务包括域名注册查询主机托管、资源出租、系统维护、管理服务及其他支撑和运行服务。

数据中心光传输系统对带宽的要求呈高速增长的态势，根据思科公司最近公布的《全球云指数》年度报告，到 2015 年，全球数据中心 IP 流量将达到 4.8 泽比特，是 2010 年的 4 倍，年复合增长率达 32%。而中国市场增长速度更快，未来 5 年我国干线网流量年增长率高达 60%~70%，5 年后干线网络带宽要求将是当前的 10~15 倍。采用新一代光纤及光模块可以不断发掘光网络带宽潜力。由于多模光纤较低的有源+无源的综合成本，促使多模光纤在数据中心的应用中占有绝对的优势，OM4 新类别 EIA/TIA-492AAAD 多模光纤标准的推出，为多模光纤今后大量应用提供了更优良的传输手段，多模光纤从 OM1 到 OM2，采用 VCSEL 激光优化技术后的 OM3 再到 OM4 几个阶段，带宽也是逐级提升，受到云计算环境中在线媒体和应用大量成长需求的推动，这个模块产品为数据中心、服务器场、网络交换机、电信交换中心以及许多其他需要高速数据传输高性能嵌入式应用的理想通信方案，系统应用包括数据聚合、背板通信、专用协议数据传输以及其他高密度/高带宽应用。在 40/100Gbit/s 的状态下设备端口如 QSFP 将直接与 MTP/MPO 连接器相连接，不论光纤通道中由几条光缆来连接，也不论中间连接的光纤是哪种类型连接方式，40/100Gbit/s 的设备端与设备端之间最终通道连接方式都需要形成一种特殊的模型状态，使设备发送端与接收端的通道相互对应。MPO/MTP 高密度光纤预连接系统目前主要用于三大领域：数据中心的高密度环境的应用，光纤到大楼的应用，在分光器及 40/100Gbit/s QSFP SFP+等光收发设备内部的连接应用。

6. 大客户专线对传输网的需求

在固定宽带网络接入中，针对集团、政府、银行等大客户的接入叫做专线接入，是用于在客户不同分支机构之间传送各种信息服务、语音业务、数据业务的基础网络。

当前分组化专线用户数呈现增长的态势，原因主要包括网络发展带来的移动和固定网络的数据业务量的增长，特别是移动网络 3G、4G 和 WiMAX 等逐渐推动部署，从而推动现有 SDH（MSTP）传送网络朝分组化网络方向转变。另外一方面，随着信息技术的发展和行业信息化进程的推进，集团大客户对计算机技术和通信网络技术的依赖程度越来越高。视频、数据、OA 办公、即时消息、视频会议、实时监控等高带宽业务开始受到大家的关注。很多传统网络上不可能的应用都变成了现实，“高速互联网”、“视频会议”、“数据交互”、“办公自动化”等网络应用都是目前常见的基本需求，这些业务在传统通道上是难以实现的。现有大客户专线对接入网络具有以下主要需求。

① 业务带宽不断增长，从传统的 2~4Mbit/s 发展到 10~100Mbit/s 甚至更高的业务带宽需求。

② 数据业务的增长带来高带宽的投入需求，高带宽和带来的收入不完全匹配。

③ 专线接入涉及的客户主要是政府、金融、集团和机构等，对业务质量、可靠性和服务要求高于普通用户，同时往往具备一些独特个性化要求。

④ 当前作为主流承载网络 MSTP 网络刚性带宽的特点使得带宽利用率低，不能很好地适应将来全 IP 的趋势，迫使专线接入的上层承载传输网络从 MSTP 朝分组化的网络转变。

⑤ 专线网络的点数众多且分散，设备需要更强的管理特性、简单的部署配置以及满足

低功耗的需求。

总的来说,各种业务网离不开传输网络,传输网的质量将直接影响到各种通信业务网的运行质量。业务网的不断演进对传输网提出了更新、更高的要求。第一,多业务的运营必然要求传输网实现多业务的承载;第二,数据业务要求传输网能够提供自动配置、动态可调带宽,提高资源利用率;第三,业务发展的不确定性要求网络能够灵活扩展;第四,面临多业务、多运营商的竞争环境,要求传输网络提供更高的安全保障。只有这样,传输网才能快速响应业务网的需求,运营商才能快速响应用户的需求,这就要求传输网必须向具有自动交换能力,支持多业务、多接口,可经营管理的方向发展。

1.2 传输网技术演进及展望

1.2.1 传输网技术发展历程

1. PDH 技术

20 世纪 70 年代开始,国际电信联盟远程通信标准化组织 (ITU-T) 的前身国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 先后提出了由 3 批 PDH 建议形成的完整的 PDH 体系。PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) 即准同步数字系列,包括有两种体制:北美体制和欧洲体制。这便是数字通信发展的初期。进入 80 年代后,大量的数字传输系统都采用了 PDH,它基本上是电信号层的处理运作,所以铜导线主宰了整个通信网。采用了 PDH 的传输方式实现了点到点的传输。然而,随着光通信技术的发展,数字交换的引入,人们对通信的距离、容量、智能性等方面的需求越来越大,采用 PDH 的传输方式便暴露出了很多弊端:最明显的便是标准不兼容的情况时有发生——北美、欧洲和日本 3 种地区性 PDH 标准互不兼容、世界性的标准光接口规范在 PDH 下无法匹配和互通;同时它缺乏灵活性,异步复用需逐级码速调整来实现复用和解复用,难以上、下话路;网络管理的通道明显不足,建立集中式传输网管困难。

2. SDH 技术

为适应不断演变的电信网的要求,美国贝尔通信研究所提出了 SDH 的概念,称为同步光纤网 (SONET)。不久,CCITT 接受了 SONET 的概念,并重新命名为同步数字体系 (Synchronous Digital Hierarchy, SDH),SDH 不仅是一种复用方法,也是一种组网原则,还是一套国际标准。SDH 传输网是一种以同步时分复用和光纤技术为核心的传输网结构。与 PDH 的面向点到点的工作模式不同,SDH 采用了面向业务的模式,利用交叉连接单元、分插复用单元和信号再生放大单元等网元设备构成线性、星形、环形和网孔型等多种拓扑结构的传输网。它主要有五方面的特性:首先,SDH 的接口采用了统一的标准和协议,以及统一的比特率,为便于承载低阶数字信号及同步结构它还定义了统一的同步复用格式,如此一来不同厂商的数字交换机接口与 SDH 网元间的接口便能够相互兼容;其次,SDH 在采用同步复用的同时具备灵活的复用映射结构,从而实现上层业务信息传输的透明性,使得信号的复用、交叉链接和交换的过程得以简化,并使 SDH 成为一个独立于各类业务网的业务传输平台;再次,SDH 采用字节复接技术,使得信号上下支路变得十分简单;另外,SDH 中提出了自愈网的新概念,按照 SDH 规范组成的带有自愈保护能力的环网,能够预留一定比例的传输容量为