

HUAWEI

信号与通信系统

数字信号交换技术和设备

光纤通信系统

移动通信技术

IP 技术和因特网

通信网的组织和优化

现代通信技术展望

华为通信产品和网络解决方案综述

缩略语

通信技术概论

V2.00

Copyright ©2004
华为技术有限公司
版权所有，侵权必究

技术支援网址: <http://support.huawei.com> 客户服务邮箱: support@huawei.com
客户服务电话: 8008302118 0755-28560000 传真: 0755-28560111
地址: 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编: 518129




声明

Copyright ©2004

华为技术有限公司

版权所有，保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本书内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

®、HUAWEI®、华为®、C&C08®、EAST8000®、HONET®、®、视点®、ViewPoint®、Intess®、ETS®、DMC®、TELLIN®、InfoLink®、Netkey®、Quidway®、SYNLOCK®、Radium®、雷霆®、M900/M1800®、TELESIGHT®、Quidview®、Musa®、视点通®、Airbridge®、Tellwin®、Inmedia®、VRP®、DOPRA®、iTELLIN®、HUAWEI OptiX®、C&C08 iNET®、NETENGINE™、OptiX™、iSite™、U-SYS™、iMUSE™、OpenEye™、Lansway™、SmartAX™、边际网™、infoX™、TopEng™均为华为技术有限公司的商标。

对于本手册中出现的其它商标，由各自的所有人拥有。

目 录

声明	i
信号与通信系统.....	1
1 信息和信号	1
1.1 信息量	1
1.2 模拟信号	2
1.3 数字信号	2
2 通信系统.....	3
2.1 通信系统的结构	3
2.2 通信系统的分类	4
3 模拟信号数字化	5
3.1 话音的脉冲编码调制（PCM）技术.....	5
3.2 话音信号非均匀量化的必要性和实现方法	7
3.3 数字信号与数据信号的特征和异同	8
4 数字信号的时分复用.....	9
4.1 准同步数字系列	10
4.2 同步数字系列	13
5 数字通信系统和数据通信系统	13
5.1 通用数字通信系统模型	14
5.2 基带传输	15
5.3 键控调制	15
5.4 数据通信系统	16
5.5 数字通信系统和数据通信系统的统一性	17
6 光纤的特性和带宽资源	17
6.1 光纤的结构.....	17
6.2 损耗和色散.....	18
6.3 通信光纤的种类和应用	19
7 我国通信网的发展方向	20
数字信号交换技术和设备	22
1 交换的必要性.....	22
2 电路交换.....	23
2.1 数字程控电话交换机的功能	23
2.2 话务量的概念	23
2.3 电路交换接续方法.....	24
3 数字程控电话交换机.....	31

3.1 程控交换系统的硬件结构	31
3.2 程控交换机的软件组成	32
4 电话交换中的信令	33
4.1 信令的分类	33
4.2 No.7 信令的总体结构	34
4.3 No.7 信令系统的特点	36
5 分组交换	36
6 综合业务数字网	38
6.1 ISDN 的用户/网络接口	39
6.2 ISDN 交换机	41
6.3 宽带综合业务数字网(B-ISDN)	42
7 ATM 交换技术和 ATM 网络	43
7.1 ATM 信元的结构和信头的功能	44
7.2 ATM 的统计复用和虚连接	45
7.3 ATM 交换	46
7.4 ATM 的连接方式	47
7.5 ATM 网络的结构	47
8 接入网技术	48
8.1 接入网的物理参考模型	49
8.2 接入方式	49
8.3 接入网的结构	50
8.4 几种主要的接入技术	51
光纤通信系统	54
1 光纤通信系统和光器件	54
1.1 通信光源	55
1.2 光电检测器	56
1.3 光放大器	56
2 SDH 通信系统	57
2.1 SDH 信号的帧结构和速率等级	57
2.2 SDH 的复用结构	62
2.3 SDH 设备	64
2.4 SDH 光缆线路系统和光接口	66
2.5 SDH 保护和自愈环	67
2.6 DNI（双节点接口）节点的互通业务保护	72
2.7 以 DXC 为节点的网孔网保护和混合保护	73
3 密集波分复用技术	73
3.1 DWDM 系统	74
3.2 支持 DWDM 系统的关键器件	75
4 全光网络	77

移动通信技术	79
1 移动通信的频率分配和复用方式.....	80
1.1 GSM 数字蜂窝移动通信网的工作频段.....	80
1.2 GSM 的复用方式	80
1.3 频点配置	82
1.4 GSM 900 的容量评估	83
1.5 1800MHz 公用陆地蜂窝移动通信的频段	84
2 GSM 数字蜂窝移动通信技术.....	84
2.1 GSM 话音处理和收、发信过程	84
2.2 GSM 系统中的逻辑信道	87
2.3 GSM 移动通信系统的结构.....	90
2.4 主要接口和功能	91
2.5 GSM 系统的编号计划	92
2.6 鉴权和加密功能	95
2.7 GSM 呼叫流程描述.....	96
2.8 GSM 的业务种类	101
2.9 GSM 的特点	101
3 第三代数字移动通信系统（3G）	102
3.1 IMT-2000 无线接口和无线传输技术方案	103
3.2 CDMA 技术和三大标准的评述.....	104
3.3 3G 的关键技术.....	108
3.4 IMT-2000 系统的基本结构.....	108
4 2G 向 3G 过渡的策略和方案	108
4.1 GPRS(通用分组无线业务)技术和网络	109
4.2 2G 向 3G 演进的策略	111
4.3 我国 GSM 向 TD-SCDMA 过渡的方案.....	111
4.4 无线应用协议 WAP	113
IP 技术和因特网	115
1 TCP/IP 协议	116
1.1 异种网互联.....	116
1.2 TCP/IP 分层模型	116
1.3 IP 协议和它的主要功能.....	119
1.4 TCP 协议	120
1.5 TCP/IP 协议数据	121
1.6 TCP 的通信过程	122
2 IP 地址技术	123
2.1 IP 地址的结构和类型	123
2.2 保留 IP 地址	125
2.3 节点的命名.....	125
2.4 IPv6	125

3 IP 交换与传输	126
3.1 IP 路由选择和算法	127
3.2 IP 交换	128
3.3 IP 传输技术	130
4 局域网和广域网	132
4.1 局域网	132
4.2 广域网	134
4.3 节点、网卡和网络操作系统	135
4.4 Client-Server(客户机-服务器)方式	135
5 IP 业务及其对传统电信业务的影响	135
5.1 IP 电话	136
5.2 基于 IP 的 VPN	137
5.3 IP 多播技术和业务	138
5.4 基于 IP 的会议电视	138
5.5 IP 业务和技术推动“三网融合”	138
通信网的组织和优化	140
1 公共电话网 (PSTN)	140
1.1 编号计划	140
1.2 中国电信固定电话网的结构	143
1.3 本地网的优化原则和措施	145
1.4 端局最大局容量 (含交换机远端模块) 的参考值	147
1.5 话路汇接方式	147
2 窄带综合业务数字网	148
2.1 ISDN 网络的组织	148
2.2 网间互通	149
2.3 ISDN 网络的编号计划	150
3 GSM 数字移动通信网	150
3.1 GSM 网的网路组织	151
3.2 移动网和固定网互联原则	152
3.3 网间汇接方式	153
4 因特网	153
4.1 中国公用计算机互联网 CHINANET (163 网)	154
4.2 中国公众多媒体通信网 CHINFO.NET (169 网)	156
5 智能网	156
5.1 智能网的总体结构	156
5.2 智能网组网导则	157
5.3 智能网业务和其编号方式	158
6 传输网	159
6.1 中国电信光缆骨干网	159
6.2 SDH 光传输网的组网原则	160

6.3 本地中继传输网的物理结构	161
7 No.7 信令网	162
7.1 信令消息的传送方式和链路的配置原则	162
7.2 信令点与信令转接点的连接方式	163
7.3 信令点数量和信令转接点的容量	163
7.4 No.7 信令网结构	164
8 数字同步网	165
8.1 中国数字同步网的网路结构	165
8.2 组网原则	167
8.3 同步定时基准信号的传送方式	167
9 电信管理网	168
9.1 电话管理网的性能管理功能和其对交换局的要求	169
9.2 我国电话网网管系统的结构和实施方法	170
现代通信技术展望	171
1 推动通信网络更新换代的六大信息技术	171
2 三网融合的内涵与趋势	173
3 电信网的融合演进策略	174
4 新一代网络的结构	176
5 采用 MPLS 的 IP 网络	177
5.1 MPLS 技术中的关键概念	177
5.2 数据网络的构建实例	179
6 全光网络	180
6.1 光网络的结构	180
6.2 光核心网和边缘网	181
6.3 光交换网络和技术	183
华为通信产品和网络解决方案综述	185
1 华为 C&C08 数字程控电话交换机	185
1.1 交换模块	186
1.2 管理与通信模块 (AM/CM)	187
1.3 C&C08 交换机的分级交换过程	189
1.4 C&C08 交换机的特点和应用	190
2 C&C08 iNET 综合网络平台	191
3 HONET®综合业务接入网	193
3.1 HONET®综合业务接入网	193
3.2 ETS 无线接入系统	194
4 数字移动通信系统	194
4.1 M900/M1800 GSM 系统	195
4.2 华为 GPRS 解决方案	195
4.3 华为 CDMA2000 移动通信系统	196

5 数据通信产品.....	197
5.1 Radium 系列 ATM 设备	198
5.2 Quidway 系列产品	200
6 TELLIN 智能网	201
7 OptiX™光传输系列产品	201
7.1 OptiX™ SDH 系列设备	202
7.2 OptiX™ BWS320G—320G 大容量密集波分复用系统	203
7.3 OptiX™ Metro 系列多业务传送平台	204
7.4 OptiX™ iManager T2000/T2100 传输系列网管	205
8 INtess 呼叫中心	205
9 “视点通” ViewPoint 8000 电信级公众视讯系统.....	206
10 C&C08 信令转接点（STP）设备.....	207
11 SYNLOCK 通信综合定时供给系统.....	207
缩略语	209

信号与通信系统

—— 提供客户化宽带通信网络解决方案，为运营商增强核心竞争力服务是我们的理念！

通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。现在，人类社会进入了信息时代，通信业务已从传统的电话，发展到集声音、影视、图文和数据为一体的各种综合信息服务。现代通信网使全球正变成地球村。网络已深入人们的生活，越来越多的人甚至将生活在网上。显然，网络将成为人类文明跃进的平台，无网将难成社会！这对作为网络解决方案供应商的我们是一个挑战，一个机迁，更是一份责任。因此，让我们一起来勤奋学习，掌握先进的通信技术，为客户提供更优化的网络解决方案和服务吧！

本章主要内容：

- 信息量及模拟信号的数字化
- 通信系统
- 数字信号的时分复用
- 光纤的特性及带宽资源

1 信息和信号

在通信中，通常把语言和声音、音乐、文字和符号、数据、图像等统称为消息(Message)。这些消息所给予收信者的新知识称为信息(Information)。这些非电形式的消息可以变换成相应的电信号。电信号通常分为模拟信号和数字信号两大类。

如果收信者对传给他（她）的消息或信号事一无所知，则这样的消息或信号对收信者而言包含有较多的信息，反之，收信者事前已知的消息或信号就无任何信息可言。因此，有必要对一个消息或信号所载荷的信息量予以度量。

1.1 信息量

信息量可用它所表示事件的发生概率 P (Probability)的倒数之对数来度量：

$$I = \log(1/P) = -\log P$$

若对数以 2 为底，则信息量的单位为比特 (bit)。

鉴于二进制码元序列中“1”和“0”出现的概率各为 50%，由上式可知，码元“1”或“0”的信息量都是 1 比特 (bit)。

传输信号的通道称为信道。信道中每秒钟所传输的信息量称为信息传输速率。信息传输速率的单位是 bit/s、kb/s (10^3 bit/s)、Mb/s (10^6 bit/s)、Gb/s (10^9 bit/s)、Tb/s (10^{12} bit/s) 等。

1.2 模拟信号

模拟信号是指某一电参量（如幅度、频率、相位）在一定的取值范围内连续变化的信号，如话筒产生的话音电压信号，摄像机产生的图像电流信号等。

模拟信号通常是时间连续函数，也有时间离散函数的情况。无论时间上是否连续，模拟信号的取值一定是连续的，即在一定的取值范围内，可有无限多个取值。最简单的模拟信号如图 1所示，图 2为时间离散的模拟信号。

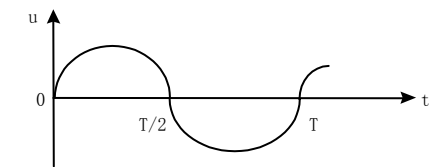


图1 时间连续的模拟信号

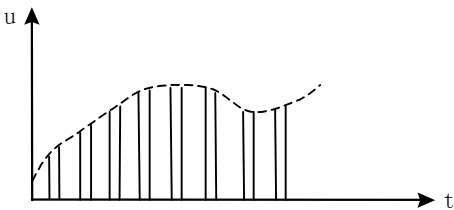


图2 时间离散的模拟信号

模拟信号的结构比较复杂，易受外界干扰，所占用的带宽较窄。

1.3 数字信号

数字信号是指某一电参量在一定的取值范围内跳跃变化，仅有有限个取值的信号，如电报信号、数据信号、遥测指令等。图 3是二进制数字信号示意图。

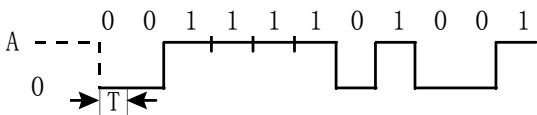


图3 数字信号

数字信号结构简单，抗干扰性强，易整形和再生，所占用的带宽较宽。

2 通信系统

为把用户非电形式的消息传送到远方，现代通信技术在发送端以用户终端设备将作为信源的消息转换成电信号，并令其经信道传送到远方的接收端，接收端用户终端设备再从所接收信号中还原出受信消息（信宿）。

2.1 通信系统的结构

上述通信流程，可用图 4 所示一个单向通信系统的基本模型表示。它由信源（即消息源）、发送变换器（发送终端）、信道、接收变换器（接收终端）和信宿（收信者）等五部分组成。通信过程中的失真和差错一律相当于进入信道的噪声。

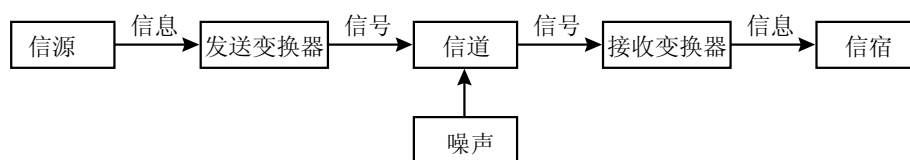


图4 通信系统的基本模型图

通常，通信具有双向和双工的属性，因此，两端的用户终端设备同时具有发送和接收功能，而连接两用户终端的信道也同时具有双向传送功能。

此外，为了高效地利用信道资源，以较少的信道为较多的用户服务，信道的两端应包括具有用户信号汇集、转接和分配功能的交换设备。这样的包括全部通信设备和设施的端到端消息传送系统称之为通信系统。

一个实际的通信系统往往由终端设备、交换设备和传输系统或链路三大部分组成。

1. 终端设备

终端设备除完成消息和信号的相互转换功能外，还应该产生、识别和处理信令（按某种协议控制交换连接的信号）以及信道适配的功能。不同的通信业务有不同的终端设备，如电话业务的终端设备电话机，传真业务的传真机，数据业务的数据终端机等。

2. 交换设备

交换设备是现代通信网的核心，其基本功能是汇集、转接和分配用户信号，实现用户间的选择性连接和自由通信。不同属性的通信业务要求不同的交换设备。实时性强的电话业务要求能直接接续话路的电路交换设备（电话交换机），而实时性要求不高的数据业务，可采用分组交换设备把数据信号分组、

存储和交换，并以分组为单位，利用各信道的空闲时隙，“见缝插针”地传送。

安装交换设备的局所称为交换节点或交换中心（交换局）。有不同层次或级别的交换局，并大体可分为接入用户的端局和疏导局间业务的各级汇接局。

3. 传输系统和传输网

传输系统或链路是连接交换节点，提供传输信号通道(Path)的系统，通常由置于系统两端的传输终端设备、通信线路和间插在线路中，补偿线路损耗，延长传输距离的中继器组成。

为了提高传输系统的效率，现代通信采用了各种先进的复用技术，使一个传输系统不仅能在点到点间提供许多宽带信号通道，而且可以在线路中串入分出/插入复用设备，沿线上/下部份通道，扩大一个通信系统的服务范围或覆盖。

在若干个通信系统或链路汇聚的枢纽节点上，可以采用数字交叉连接设备（DXC），实现通道的交叉互连和调配。

由通信系统或链路按一定的层次连接各级枢纽节点和分支节点以及终端节点所构成的网络称为传输网。不同层次传输网的组织结构和装备有所不同。

覆盖一个地区，连接区内各级交换节点的传输网称为本地中继传输网（Trunk network）。

覆盖若干地区或全国，连接各地区中心汇接节点和其上级汇接节点的传输网称之为骨干传输网(Backbone network)。

处于用户和端局之间，接入用户，汇集用户信号，扩展端局覆盖的传输网和相关设施称为接入网。

2.2 通信系统的分类

通信系统可按所用的传输媒介、信源的种类、所传信号的属性、结构和复用方式等特征进行分类。

按传输媒介分有：有线通信系统（包括铜双绞线和电缆，光纤和光缆等）和无线通信系统（包括微波和卫星通信链路，无线本地环路 WLL 等）。

按信源的种类即业务类别分有：电话通信系统，计算机（数据）通信系统和图像或多媒体通信系统等。

按传输信号属性分有：电气通信系统，光通信系统等。

按信号的结构分有：模拟通信系统，数字通信系统和分组数据通信系统等。

按复用方式分有：频分复用（FDM）系统，时分复用（TDM）系统和码分复用（CDM）系统等。

按数字系列和技术体制分有：异步数字系列（PDH），同步数字系列（SDH）和异步转移模式（ATM），互联网（Internet or IP）等通信系统。

3 模拟信号数字化

模拟信号结构比较复杂、易受外界干扰和占用带宽较窄等属性使模拟通信系统具有设备复杂，抗干扰性差，噪声沿线累积，复用方式落后等先天性缺点，但因其带宽利用率高而在带宽资源受限的铜缆传输时代，成为主要的通信系统。

数字信号结构简单，抗干扰性强，易整形、再生和占用带宽较宽等属性虽然使数据通信系统，特别是基于二进制的系统具有设备简单，抗干扰性好，噪声不沿线累积，复用方式先进和灵活多样，易加密，安全可靠等先天性优点，但因其带宽利用率低而在带宽资源受限的铜缆传输时代，难以成为主要的通信系统。

自 20 世纪 80 年代以来，模拟信号数字化技术，数字处理技术，数字集成电路技术已十分成熟，特别是光纤通信技术和广泛应用突破了带宽资源的瓶颈，以及因特网日益深入社会生活，迎来了数据通信的辉煌时代，也宣告了模拟通信时代的结束。

我国已基本完成了通信系统的数字化，除固定电话话机和电视终端以及把它们接入网络的用户线尚以模拟技术为主外，交换、传输、网管等通信主要设施均已全部数字化。

3.1 语音的脉冲编码调制（PCM）技术

话音和图像信号都是连续变化的模拟信号，把它们数字化是现代通信网络支持各种通信业务的基础。

模拟信号数字化必须经过三个过程，即抽样、量化和编码。现以实现话音数字化的脉冲编码调制（PCM, Pulse Coding Modulation）技术为例简要说明如下：

1. 抽样(Sampling)

抽样是把模拟信号以其信号带宽 2 倍以上的频率提取样值，变为在时间轴上离散的抽样信号的过程。例如，话音信号带宽被限制在 0.3~3.4 kHz 内，用 8 kHz 的抽样频率（fs），就可获得能取代原来连续话音信号的抽样信号。对

一个正弦信号进行抽样获得的抽样信号是一个脉冲幅度调制（PAM）信号，如图 5 所示。对抽样信号进行检波和平滑滤波，即可还原出原来的模拟信号。

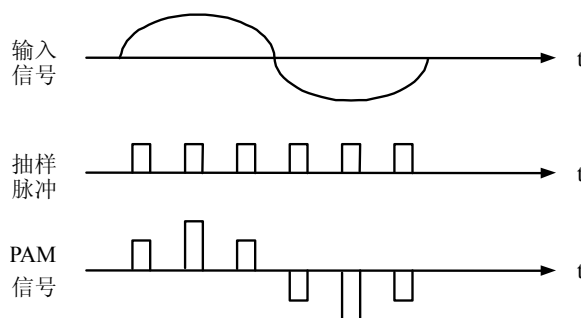


图5 对模拟正弦信号的抽样

2. 量化(quantizing)

抽样信号虽然是时间轴上离散的信号，但仍然是模拟信号，其样值在一定的取值范围内，可有无限多个值。显然，对无限个样值一一给出数字码组来对应是不可能的。为了实现以数字码表示样值，必须采用“四舍五入”的方法把样值分级“取整”，使一定取值范围内的样值由无限多个值变为有限个值。这一过程称为量化。

量化后的抽样信号与量化前的抽样信号相比较，当然有所失真，且不再是模拟信号。这种量化失真在接收端还原模拟信号时表现为噪声，并称为量化噪声。量化噪声的大小取决于把样值分级“取整”的方式，分的级数越多，即量化级差或间隔越小，量化噪声也越小。

3. 编码 (Coding)

量化后的抽样信号在一定的取值范围内仅有有限个可取的样值，且信号正、负幅度分布的对称性使正、负样值的个数相等，正、负向的量化级对称分布。若将有限个量化样值的绝对值从小到大依次排列，并对应地依次赋予一个十进制数字代码（例如，赋予样值 0 的十进制数字代码为 0），在码前以“+”、“-”号为前缀，来区分样值的正、负，则量化后的抽样信号就转化为按抽样时序排列的一串十进制数字码流，即十进制数字信号。简单高效的数据系统是二进制码系统，因此，应将十进制数字代码转换成二进制编码。根据十进制数字代码的总个数，可以确定所需二进制编码的位数，即字长。这种把量化的抽样信号转换成给定字长的二进制码流的过程称为编码。

例如，语音信号的样值有 $\pm 128(2^7=128)$ 个，即 $256(2^8=256)$ 个，对应的十进制数字代码为 $\pm(0\sim 127)$ ，并可转换成字长 8 位的二进制编码。通常，将二进制码元“0”或“1”的时长定义为 1 比特 (Bit)，并将 8 位二进制码称为一个字节 (Byte)。

话音 PCM 的抽样频率为 8 kHz，每个量化样值对应一个 8 位二进制码，故话音数字编码信号的速率为 $8 \text{ bits} \times 8 \text{ kHz} = 64 \text{ kb/s}$ 。

量化噪声随量化级数的增多和级差的缩小而减小。量化级数增多即样值个数增多，就要求更长的二进制编码。因此，量化噪声随二进制编码的位数增多而减小，即随数字编码信号的速率提高而减小。

3.2 话音信号非均匀量化的必要性和实现方法

均匀量化是在抽样信号的取值范围内均匀划分量化等级的量化方法。它产生的量化噪声也是均匀的，与信号在取样点的幅度无关。因此，均匀量化会出现话音弱时的信噪比低、干扰大，而话音强时的信噪比高、干扰小的反常情况。原 CCITT 有关建议要求，在 8 位二进制编码的条件下，话音的量化信噪比应大于 26dB。由于话音大都集中在小信号范围内，均匀量化编码在话音幅度小时不能满足信噪比大于 26dB 的要求，而在话音幅度大时满足要求却绰绰有余。

因此，在维持 8 位二进制编码条件，即量化级总数不变的前提下，把话音的取值范围分成若干个区间，在样值小的区间增多量化级数，而在样值大的区间减少量化级数的非均匀量化方案就应运而生了。

非均匀量化的具体办法是压缩、扩张法，即在发送端对抽样信号先进行压缩处理再均匀量化，如图 6 所示。

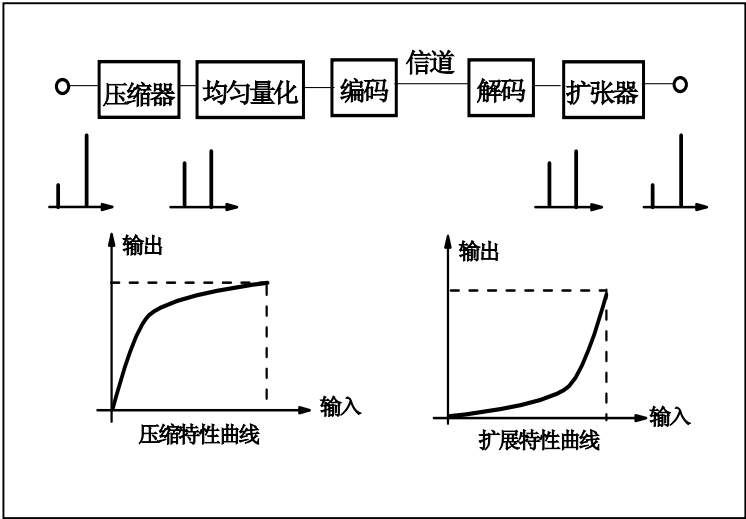


图6 非均匀量化的压缩、扩张法

压缩器特性曲线在小信号时的斜率大，大信号时的斜率小，使抽样信号的小样值部分被充分放大，大样值部分被适当压缩。被压缩的抽样信号虽然再经过均匀量化，但在接收端，解码后的被压缩量化抽样信号之量化信噪比却得

到了均衡，故能在较高的信噪比下，用与压缩器特性正好相反的扩张器恢复被压缩抽样信号的本来面目。

非均匀量化的实现方法通常有两种：一种是北美和日本的 μ 律压扩；另一种是欧洲和我国所采用A律压扩。

A律压扩的13折线分段方法如图7所示。Y轴被均匀分为8段，每段又均分为16份，每份表示一个量化级，则Y轴一共有 $16 \times 8 = 128$ 个量化级。X轴的划分与Y轴不同，它用不均匀分段的方法以达到非均匀量化的目的，划分规律是每次按被分段长的二分之一来进行分段。

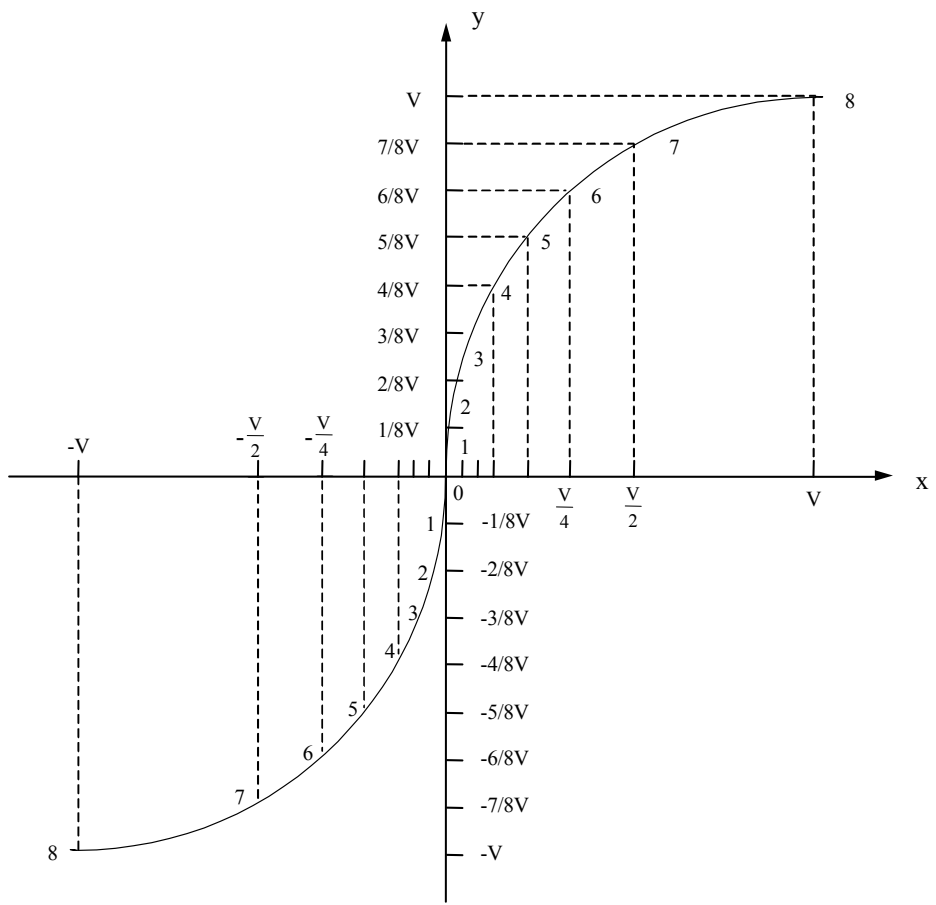


图7 13折线示意图

3.3 数字信号与数据信号的特征和异同

本节将从基本物理概念上说明数字信号和数据信号的特征，而不试图探讨它们在学术上的定义。明白了数字信号与数据信号的物理本质，数字通信与数据通信的特征和异同也就不言而喻了。

如前所述，数字信号得名于模拟信号数字化过程中抽样信号量化样值的编码值。鉴于最早和最典型的话音信号编码 PCM 技术采用 8 kHz 频率抽样（抽样周期或帧长为 125 μ s），8 位（比特）二进制码，并把一个字节的长度定为 8 比特。因此，数字信号可认为是以字节为单元的成帧码流。帧是以帧头为起点，有给定长度（即帧长并用抽样周期或其间包含的字节总个数表示）的字节串。帧头由一个或多个具有预定值的字节构成，即帧头是收、发信双方预先约定码元分布（图案）的一段编码。

我们把有限个特定并规范化的简单明晰的独立图案之集合称为符号集，并可给一个符号集中的每个符号一个唯一的代码或编码。例如，作为标准汉字集的“通用字表”和“信息交换用汉字编码字符集·基本集”以及众多的汉字编码输入法都是规范的符号和代码集。以给定的符号集为基础，用符号的组合序列来表示的信息或消息是时序上离散的消息，例如一篇文章，一份电报。所谓“数据”就是指用离散的数字代表的文字或符号。

“数据”可长可短，信息量蕴含在所选用的符号和其排序中，一般无传送及时性要求。既可将“数据”的符号序列依序沿一条实际路由传送，也可以将“数据”分组并依序标示各分组的序号，然后各分组不分先后，不定路由，不计时间地传送。只要所有分组能无误地到达目的地，就可按序号重组原“数据”。“数据”主要用于人通过数据终端与计算机通信或计算机与计算机通信。其非实时性特征与话音的实时性特征迥然有别。

数据信号就是“数据”流。若采用二进制编码，数据信号可视为以比特为单位的不成帧信号，也可以是成帧信号，特别是在分组传送时。不成帧数据信号也可以通过分组打包，变成成帧的数字信号。

因为字节由 8 比特组成，所以数字信号也可认为是一类成帧的数据信号。

由此看来，就二进制码元“1”和“0”的组合而言，数字信号和数据信号并无本质差别。无论是数字通信系统还是数据通信系统，原则上都能传送数字信号和数据信号。当然，在帧的标识和对码流的处理等实现传输的某些具体环节和技术上会有所不同。

4 数字信号的时分复用

数字信号是时间轴上的离散信号。显然，某一路数字信号通过一个信道传输时不会全时地占据该信道，因此，一个信道应能分时地传输多路数字信号。这就是时分复用的物理基础。

时分复用技术是把抽样周期均分成若干个时隙（TS_n, n=0, 1, 2, 3, ...），各路信号的抽样值编码依一定的顺序占用某一时隙，组成多路复用数字信号，用同一个信道独立传输的技术。

一个抽样周期内各时隙的集合称为帧。将帧内各时隙逐一安排给待复用的各路数字信号，下一帧仍重复此安排，所形成（复用）的群信号称为数字复接信号。实际上数字复接有两种不同的帧结构，一种是每路分配一个短时隙，每时隙送 1bit，称之为 bit 复接；另一种是每路分配一个较长的时隙，每时隙传送由若干 bit（例如 8 bit）构成的码组，称之为码组复接。

为了把被复接的各路数字信号的码元或码组逐一准确地安排进指定时隙，以顺利地实现复接，被复接的各路信号应具有相同的速率并与群信号的帧频保持同步，即同步复接。

各路由同一个时钟控制的同速率信号，即同源信号的复接自然是同步复接。

各路由不同时钟控制的异源信号，即使名义速率相同，彼此的实际速率和相位仍然有不同程度的差异。这些异源信号的复接，即异步复接或准同步复接必须先通过码速调整技术把异源信号调整为同步信号方可实现。因此，虽然有准同步复用（接），异步复用（接）和同步复用（接）等方式，但考虑到复接异步信号时引入的各种调整措施，可以明确地讲，同步是复接的先决条件。

显然，复接后的信号仍然是数字信号，还可以再复接，即群信号是分级的，若干低次群信号可再复接成高次群信号。

4.1 准同步数字系列

目前，数字电话都采用 PCM 编码复接方式实现多路传输。这是一种准同步复用（接）方式，多级复接形成各次群信号的速率系列，称为准同步数字系列（PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy）。

国际上通行有三种准同步数字信号速率等级系列，即欧洲系列、北美系列和日本系列，如图 8 所示，这种局面造成了国际互连互通的困难。

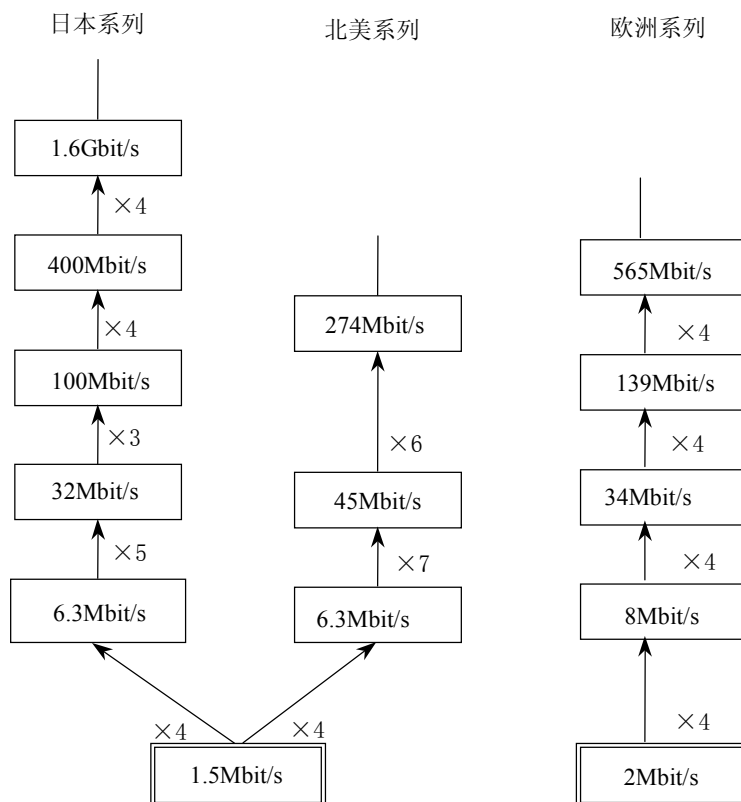


图8 三种准同步数字系列（PDH）

北美、日本等国采用以 24 路话音数字信号复接为一个基本群体（基群），基群速率为 1554kbit/s 的制式，也称为 T 制；我国与西欧采用 30/32 路话音数字信号为一个基本群体，基群传输速率为 2048kb/s 的制式，也称为 E 制。

为了进一步提高信道利用率，ITU—T 规定将四个基群复接为一个二次群，四个二次群复接为一个三次群，四个三次群复接为一个四次群。于是 PDH 的群路等级和速率系列如图 8 所示。

以 E 系列的基群 E1 为例。把话音的抽样周期 $T=1/8000$ 秒= $125\mu\text{s}$ 均分成 32 个时隙（ $TS_0\sim TS_{31}$ ），每时隙长 $125/32=3.91\mu\text{s}$ 。采用码组复接方式，每时隙容纳 8bit，每比特（bit）码元长度 $3.91/8 = 488\text{ns}$ 。这种周期 $125\mu\text{s}$ ，内含 32 时隙，每时隙 8bit，总计 $32\times 8=256\text{bit}$ 的结构称为一个 PCM 帧（欧洲标准），帧结构是周期性重复的，每秒 8000 帧，即基群 E1 的速率为：

$$E1 = 32 \times 8 \times 8000 = 2048\text{kbit/s}.$$

在 30/32 路 PCM 系统（PCM-30/32）中，帧结构中第一个时隙（ TS_0 ）用于传送帧同步信号，第 16 时隙 TS_{16} 用于传送话路信令。其余 30 个时隙用来传送 30 个话路。

当让 30 个话路的信令随着它们所在的 E1 基群传送时，E1 中每个 TS₁₆ 时隙 8bits 可传送 2 路信令，则 30 个话路的信令需 15 个 TS₁₆ 时隙。即就传送信令而言，1 帧不够，要以连续地 15 个帧为一群组来承担。为构成这个群组，还要多用一个 TS₁₆ 时隙做这个群组的界线标志。因此，30 路信令应以连续 16 个帧（F0~F15）为周期传送，这 16 个帧构成的一个更大的帧称为复帧。复帧中第一帧（F0）的 TS₁₆ 时隙为复帧同步时隙，第 2 至 16 帧（F1~F15）的 TS₁₆ 时隙为信令时隙，复帧频率为 500Hz，周期为 2ms。

PCM-30/32 路通信设备是采用码组复接的时分复用系统的一个具体实例，其帧结构如图 9 所示。

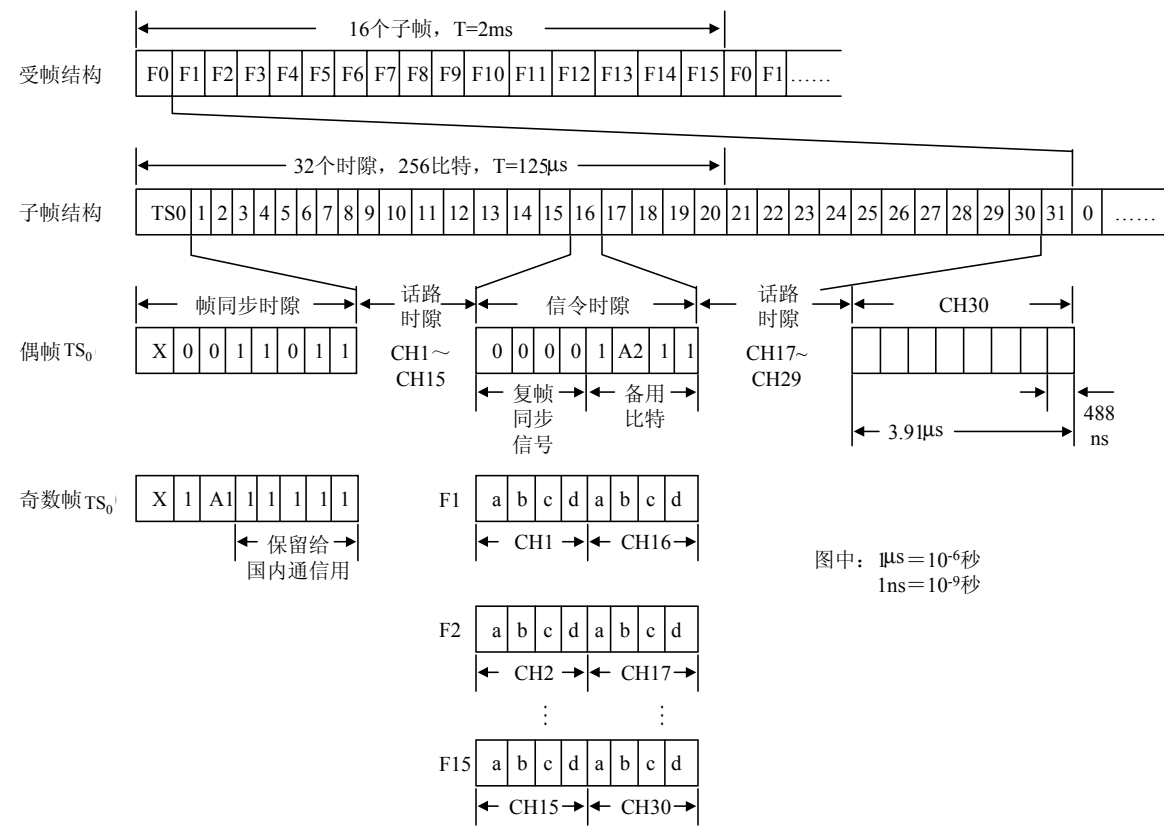


图9 PCM 基群帧结构 (30/32)

由基群逐次复接成各级高次群以形成 PDH 的 E 系列（E1~E5）系采用码速调整和比特间插（bit 复接）方式。

PDH 各次群的帧结构、线路码型和电接口分别由 ITU-T G.704 和 G.703 建议规范。

PDH 逐级地码速调整和比特间插使各高次群的帧结构不一致，等级速率间不规整、无倍乘关系，复用和解复用都必须逐级依次进行，传输途中分出/插入

电路十分不便。此外，PDH 还存在诸如无世界性统一规范和光接口标准，维护和网管功能差等缺点，不能适应现代通信网的发展需要。

4.2 同步数字系列

ITU-T 于 1988~1993 年提出并完善了有关同步数字系列（SDH）的建议，其复用结构如图 10 所示。

SDH 的提出是数字通信发展的重大转折，它的优越性将使 SDH 成为今后数字传输系统的主流。

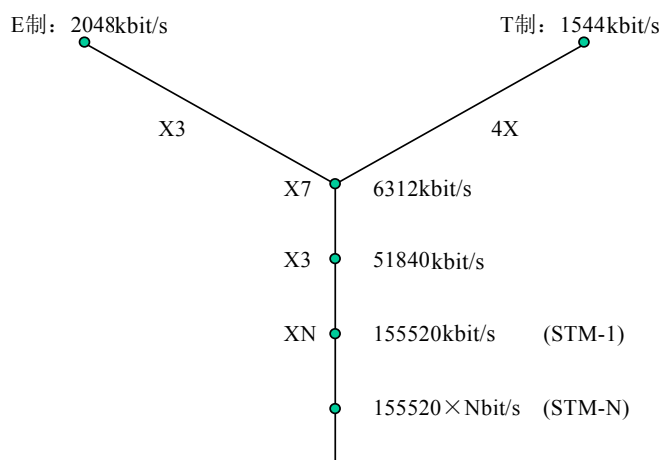


图10 SDH 复用结构及传输速率

SDH 的基本传输信号是同步传送模块（STM），STM-1 为第一级同步传送模块，STM-N 称为第 N 级同步传送模块。STM-1 的传送速率为 155520kbit/s，第 N 级的传送速率为 $N \times 155520 \text{ kbit/s}$ ，目前 N 的取值为 1、4、16 和 64。

STM-1 以上的同步传送模块（STM-N）由 N 个 STM-1 以字节间插同步复用方式组合而成。STM-N 的帧结构为 $270 \times N \times 9$ 字节块状帧结构，每个字节 8 位码，帧长为 125 μs 。

SDH 的主要吸引力在于极大地提高了传输带宽（目前商用最高的等级为 STM-64，其速率为 9953.280Mbit/s，即通常说的 10Gbit/s，含有 4032 个 2Mbit/s 的支路）和管理能力，并可方便地上/下电路，克服了 PDH 系列存在的缺陷。在第三章，我们将对 SDH 做较深入地讨论。

5 数字通信系统和数据通信系统

模拟信号的数据化为通信系统和网络的数字化奠定了基础。在“三网合一”的发展历程中，数字通信系统和数据通信系统将率先逐步融合。

5.1 通用数字通信系统模型

图 11是一个支持各种业务信号的通用数字通信系统模型。在发信端，模拟信号数字化功能可包含在信源编码器内，而受信端，从数字信号恢复出模拟信号的功能则包含在信宿译码器内。此外，这一对编译码器还包括提高数字通信效率和安全性的数字复用/去复用、加密/解密、码型变换/反变换、同步、控制（信令）、维护和管理、开销数据的插入/分出等功能。

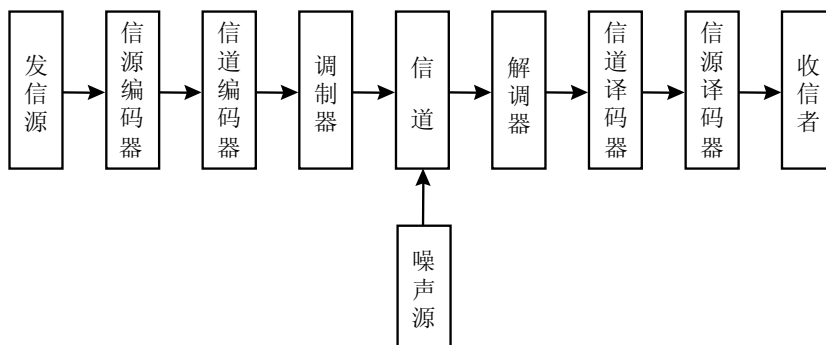


图11 数字通信系统的基本组成图

为实现数字信号的远程传输，数字通信系统除包括上述信源编码器、信宿译码器外，还包括由信道编码器、调制器、信道、解调器和信道译码器组成的传输系统以及保证收、发信两端设备协调一致，同步工作的数字同步系统、控制（信令）通道和网管数据通道等。

信道编码器的作用是提高数字信号传输的可靠性。由于传输信道内的噪声和信道特性不理想造成的码元间干扰极易造成传输差错，而信道线性畸变造成的码间干扰可通过均衡办法基本消除。因此，信道中的噪声成为导致传输差错的主要原因。减小这种差错的基本作法是在信码组中按一定规则附加若干监视码元（或称冗余度码元），使原来不相关的数字信息序列变为有一定相关性的新序列。接收端可根据这种相关性来检测或纠正接收码组中的误码，提高可靠性。有鉴于此，信道编码器又称为差错控制编码器。接收端的信道译码器是信道编码器的逆过程。

同步系统用于建立通信系统收、发相对一致的时间关系。只有这样，收端才能确定每位码的起止时间，并确定接收码组与发送码组的正确对应关系，否则接收端无法恢复发端的信息。因此，同步是数字通信系统正常工作的前提。通信系统能否有效地、可靠地工作，很大程度上依赖于同步系统性能的好坏。

同步可分为载波同步、位同步、帧同步和网同步四大类。

5.2 基带传输

信息或消息包含在信号幅度随时间的变化和变化的快慢等波形特征中，因此，信号有一定的幅值范围和基本带宽。信号的传输可分为基带传输和调制传输（或载波传输）两大类。

直接在信道上传输信号称为基带传输，它是一种波形传输。犹如徒步行军难抗日晒雨淋和易被山川险途所阻一样，基带传输简单，方便，但效率低，抗干扰性差，传输距离不长。来自计算机、电传打字机或其它数字设备的各种数字代码和数字电话终端的脉冲编码信号以及 PDH 基群信号等都是数字基带信号。

在收信端，将收到的数字基带信号经滤波器滤除信号带宽以外的噪声干扰，再通过由同步时钟控制的判决器依序对逐个码元进行判读，并再生出相应的码元，从而恢复数字基带信号。显然，再生的数字码流，除可能因判读有误而出现误码，和因信道中传输时延的随机变化以及收、发信时钟间的误差而使码元在时间轴上的位置偏离标准位置（这种随机偏离称为抖动）外，不再含有其它噪声成份。

5.3 键控调制

把信号“骑在”（Over）载波上经信道传输称为调制传输（或载波传输），也可称为频带（或通带）传输。它好比乘交通工具旅行，不怕风吹浪打，大地任遨游，甚至上太空。调制传输较复杂，但效率高，抗干扰性好，能长途传输。

载波是比信号基带带宽高得多的高频正弦波，并可用幅度、频率和相位三个参数来表征。使这些参数之一模拟基带信号波形和其变化的方式称为调制。因此，相应这三个参数分别有幅度调制（AM）、频率调制（FM）和相位调制（PM）三种调制方式。

数字或数据（基带）信号是一种码流。N 进码只有 N 个独立的码元。因此，上述三种调制的被调制参数也相应地仅取 N 个值。这种由码元控制被调制的载波参数在有限个规定值间游移取值的调制技术称之为键控。因此，相应地有幅移键控调制、频移键控调制和相移键控调制三种键控调制方式。

在收信端，将收到的键控调制信号进行解调制，解调的基带数字信号经滤波器滤除信号带宽以外的噪声干扰，再通过由同步时钟控制的判决器依序对逐个码元进行判读，并再生出相应的码元，从而恢复数字基带信号。显然，再生的数字码流，除可能有误码和抖动外，不再含有其它噪声成份。

对于长距离传输，中途可设置差不多由收、发信设备背靠背组成的再生中继器，使微弱，失真且混入噪声的数字信号再生后又继续传输下去。

5.4 数据通信系统

数据通信是计算机和通信相结合的一种通信方式。由于它是人通过数据终端与计算机或计算机与计算机间的通信，很多通信过程应自动化，并能对传输差错做自动校正。

数据通信系统的基本结构如图 12所示。这是一个远端的数据终端设备（DTE）通过一条由传输信道和其两端的数据电路终接设备（DCE）组成的数据电路，与一个计算机系统相连的系统。如果传输信道是通过交换网提供的，则通信开始前必须有一个呼叫和建立连接的过程，并在通信结束时及时拆除连接。如果传输信道是固定连接的专用线路，则无需这两个过程。

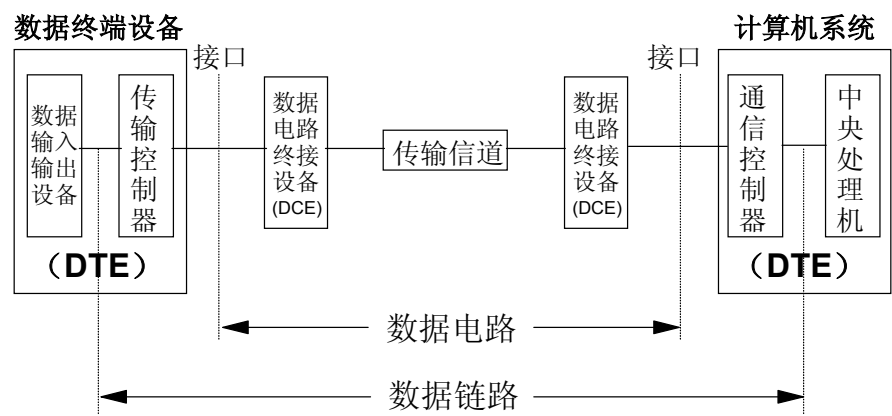


图12 数据通信系统的基本结构

在数据电路建立后，为有效地进行数据通信，还必须按一定规程对传输过程进行控制，以保证通信双方协调地和可靠地工作。包括在数据终端设备中的传输控制器就是按双方事先约定的传输控制规程（协议）实施控制的单元。数据电路和其两端的传输控制器一起组成的通路称为数据链路。

以因特网为代表的数字通信技术和业务应用正迅猛发展，通信网、计算机网和有线电视网正朝逐步融合成统一的宽带数据网（“三网合一”）方向发展。但是应当指出，数据通信的发展不能脱离现有的通信网，而应充分利用现有的通信设施。特别是数据通信系统中的传输信道在相当长的时期内还离不开现在的通信网，4800bit/s 以下低速数据的接入也依赖于 PSTN。

5.5 数字通信系统和数据通信系统的统一性

数字通信系统是实现数字信号交换和传输的系统。当前，数字通信系统的主要特征是电路交换和高速率宽带大容量实时传输。

数据通信系统是实现数据信号交换和传输的系统。当前，数据通信系统的主要特征是高速分组交换和宽带传输。

数据通信系统的非实时性因传输信道容量和带宽的极大丰富而显著改善，从而能在 Internet 网上成功运营 IP 电话。

现在，数字通信系统可以承载数据信号，数字信号也可以在数据通信系统中传送。而且它们都能传输话音、图象和数据以及各种综合业务。

随着“三网合一”的实施，数字网和数据网将统一为 IP 网。

6 光纤的特性和带宽资源

从传输的角度来看，信号的一个主要特征是信号的带宽（ δf ）。通常，信号由频率为 f 的载波承载，在带宽为 ΔF 的媒介上传输。一个显而易见的传输条件是

$$(\delta f/f) < 1; \Delta F > \delta f$$

为了提高一个载波的传输带宽，应提高载波的频率，而为提高媒介的传输总容量，则要求一种能提供丰富带宽资源（ ΔF 大），容纳众多载频低损耗传输的媒介。采用光波和导光媒介是一个发展方向。

以光波为载波，光纤为传输介质的光纤通信系统以其丰富的带宽资源成为通信网数字化的基石。可以说没有光纤通信的广泛应用，就没有通信网的数字化。

6.1 光纤的结构

目前使用的通信光纤是石英（二氧化硅 SiO_2 ）光纤，如图 13 所示。细如发丝（直径约 $125 \mu\text{m}$ ）的裸光纤由纤芯和包层所组成，由于纤芯的折射率 n_1 大于包层的折射率 n_2 ，射进光纤的光可利用光在纤芯与包层界面上的全反射条件而在纤芯中曲折迂回传播。

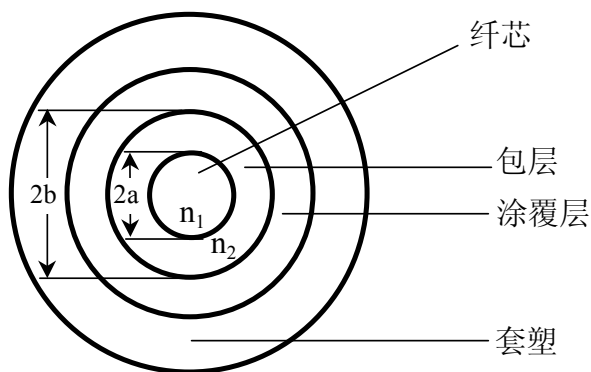


图13 光纤芯线的剖面结构示意图

为了保护光纤表面，提高抗拉强度，成品光纤在裸光纤外还包有硅酮树脂或聚氨基甲酸乙酯涂敷层和尼龙、聚乙烯或聚丙烯等材料的套塑层，直径达 1mm 以上。

6.2 损耗和色散

石英光纤本身的光传输损耗或衰减来自金属杂质离子和 OH 根的吸收损耗及石英材料不均匀或缺陷的散射损耗，且随波长的增加而下降。但是，位于 1385nm 和 1245nm 的 OH 根吸收峰（水吸收峰）改变了单调下降的光纤损耗特性曲线的形状，在光纤通信 800nm ~ 1800nm 的波长范围内，形成了损耗相对较平坦的三个工作波长窗口。第一、二、三窗口的中心波长分别是 850nm、1310nm 和 1550nm，它们的典型损耗分别为 2dB/km、0.35dB/km 和 0.20dB/km。

现代光纤通信最初采用损耗次低的 1310nm 窗口，而现在主要采用损耗最低的 1550nm 窗口。由于光纤制造技术的进步，长波长端可增加中心波长为 1600nm 的第四个窗口（1565nm-1620nm），而大大降低甚至消除的 1385nm 水吸收峰，又可开辟中心波长为 1400nm 的第五个窗口（1350nm-1450nm）。

光纤是色散媒质。光纤的色散是指光脉冲信号的宽度会在传输中逐渐展宽的现象。脉冲展宽严重时会使相邻码元的脉冲发生部分重叠而造成码间干扰。为降低码间干扰，势必限制传输距离以减少色散或增加码间间距，即降低传输码速。

进入光纤的光束有一定的发散角，随着光纤相对于光源波长之纤芯半径的变化，能满足全反射条件在光纤中传输的（光）射线数目，即光传导模的数目会有所不同。有多个传导模的光纤称为多模光纤，而只有一个传导模的光纤称之为单模光纤。

多模光纤中光脉冲承载在不同传输速度的传导模上而产生的脉冲展宽称为模间色散，而单模光纤中光脉冲不同谱线分量传输速度不同而产生的脉冲展宽

称为频率（或波长）色散。模间色散比频率色散大得多，因此，现代高速通信中只用单模光纤而不用多模光纤。

理想圆单模光纤中的一个传导模是一种线偏振波，即它的电场方向在传输中始终处于光纤的一个轴平面内。如果光纤有一定的不圆度，则这种线偏波会分解成速度略异的水平和垂直两个偏振波，从而产生偏振模色散（PMD）。偏振模色散虽然很小，但会在 10Gb/s 量级上限制单模光纤的传输速率。

6.3 通信光纤的种类和应用

光纤种类较多，当前最常用的通信光纤是符合 ITU-T G.652.A 建议的标准单模光纤（SMF）。它的零色散波长在 1310nm 左右，而损耗最小点在 1550nm 波长附近。因此，G.652.A 光纤有两个工作波长窗口：

(1) 波长范围为 1300~1324 nm、最大零色散斜率为 $0.093 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 、最大色散系数 $< 3.5 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 、典型衰减系数为 0.3~0.4 dB/km；

(2) 波长范围为 1525~1575 nm、最大色散系数 $< 20 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 、典型衰减系数为 0.15~0.25 dB/km。

G.652.A 光纤在 1550 nm 窗口传输损耗小，色散也不大，适合高速率，长中继距离（50km 以上）传输。当前，其单一波长的传输速率已达 2.5 Gb/s，而实际上，该窗口还可安排数十个工作波长的密集波分复用（DWDM）。但是它的偏振模色散（PMD）限制了单波长时分复用（TDM）的速率难超过 10Gb/s，而其非线性效应也限制了密集波分复用的波数。

G.652.B 光纤通过改善光纤的圆整度和 / 或采用“旋转”光纤的方法降低了偏振模色散，使 STM-64 系统（10Gb/s）的传输距离可以达到 400km，并可把工作波长延伸到 1600nm 区。

另外，G.652.C 低水峰单模光纤也适合于密集波分复用。目前在我国已有少量的使用。

G.652.A、G.652.B 和 G.652.C 光纤习惯统称为 G.652 光纤，它们价格低，其中，G.652.A 在我国已大量应用。实际上，G.652 光纤 DWDM 系统的容量可达 Tbit / s 量级，中继放大站的跨距可达 100km 以上。以华为 OptiX BWS320G DWDM 系统为例，它用一根 G.652 光纤能提供 32 波 DWDM，每波 10Gb/s，共 320 Gb/s 的特宽带传输信道！

G.653 色散位移单模光纤（DSF）使零色散点上移到 1550nm 区，与最低衰减系数区协调一致。

G.653 光纤虽然可使光纤单波长 TDM 的容量有所增加，但是，零色散反而无助于抑制 DWDM 应用中光纤非线性的四波混频（FWM）效应，成了采用波分复用技术的障碍，故 **G.653** 光纤已不被应用。

G.654 截止波长位移单模光纤除在 1550nm 的损耗最小外，色散特性几乎与 **G.652.A** 光纤差不多，不能大幅度地增加光纤系统的容量，通常用于海缆，在我国的陆地光缆中尚没有使用过。

G.655 非零色散位移单模光纤，主动地保留了适量的色散（约 2~5ps / km），利用它抑制四波混频，使密集波分复用技术得以充分应用，并且使光纤有可能在第四传输窗口 1600nm 区（1565nm-1620nm）工作。目前，**G.655** 光纤还在发展完善中，已有 TrueWave、LEAF、大保实、TeraLight、PureGuide、MetroCor 等品牌问世，它们都力图通过对光纤结构和性能的细微调整，达到与传输设备的最佳组合，取得最好的经济效益。当 **G.655** 光纤格价逐步下降后，它将获得大量应用。

ITU-T **G.655** 光纤的标准范围较宽，因此又可分为大有效面积光纤、色散斜率平坦光纤和没有 OH 吸收衰减的全波光纤等。大有效面积光纤对减少 FWM 干扰最有效。

正在研究和开发的一种称之为“全波光纤”的单模光纤，它属于 ITU-T 652.C 规范的低水吸收峰单模光纤。在二氧化硅系光纤的谱损曲线上，在第二传输窗口 1310nm 区（1280nm-1325nm）和第三传输窗口 1550nm 区（1380nm-1565nm）之间的 1383nm 波长附近，通常有一个水吸收峰。通过新的工艺技术突破，全波光纤消除了这个水吸收峰，与普通单模光纤相比，其在水峰处的衰减降低了 2 / 3，使有用波长范围增加了 100nm，即打开了第五个传输窗口 1400nm 区（即 1350nm-1450nm 区），把原来分离的 1310nm 和 1550nm 两个传输窗口连成一个很宽的大窗口，使光纤的工作波长从 1280nm 延伸到 1625nm。

随着新型光纤的开发和应用，DWDM 技术和数字复用技术的不断创新，单根光纤的传输带宽记录正在不断刷新。再加上光纤制造和成缆技术的进步，多芯光缆体积较小，重量轻，价格日趋便宜，可以说光纤丰富的带宽资源能充分支持通信网的数字化和更新的技术发展，以满足信息社会持续增涨的各种信息服务的需求。

7 我国通信网的发展方向

通信网是以传输网为平台，按规划的层次和结构连接各级交换节点，并通过接入网接入各类用户的网络。覆盖一个地区的通信网称为本地（通信）网，

而覆盖若干地区或全国的通信网称为区域（通信）网或全国（通信）网。通信网也可以按前述通信系统分类方法分类和命名。

通信网正沿着核心网络分组化，接入技术多样化、网络设备构件化、业务，控制和交换分离、网络互联网关化、网管统一化，终端智能化的路线逐渐向“三网融合”的方向演进。

未来十年中国要抓住世界信息技术革命的机遇，按照三网融合的要求，对网络进行战略性结构调整，加快建设新一代信息通信网络，构筑面向 21 世纪的国家信息基础设施。在现有网络的基础上，采用密集波分复用、第三代移动通信及 IP 等先进技术，实现网络的平滑过渡与升级换代，使其逐步成为一个融语音、数据、图象为一体，超大容量、灵活高效、经济适用、安全可靠的宽带高速信息网，全方位、多层次地满足基本通信业务和各种宽带多媒体业务需求。主要通信能力和通信信息业务要成倍增长，固定、移动电话网规模、容量均将跃居世界第一位，电话用户将达到 5 亿户，全国电话普及率达到 40%，从根本上缓解宽带“瓶颈”，并推动网络向广大农村地区延伸，促进东、中、西部协调发展。

中国电信依据市场需求，基本确定了下一代传输网的发展方向。计划从现在开始，在已有的“八纵八横”干线光缆的基础上，再建数条连接全国重要城市光节点的大干线。近期采用 10Gb/s 以上速率的大容量自愈环和 DWDM，中远期建设以 OXC 和 OADM 为网络节点的全光网络层面，“十五”期末长途传输网光缆长度将超过 30 万公里，其中省际干线光中继传输网长度将超过 10 万公里，传输网容量、网络可靠性和网络运维管理功能等都能充分满足各类业务发展的需要。

数字信号交换技术和设备

数字信号交换有电路交换和分组交换两类方式。实现信号交换的设备称之为交换机，它是通信网的核心设备。本章简要介绍各种交换技术的基本原理。

本章主要内容：

- 电路交换和数字程控电话交换机及信令
- 分组交换
- 综合业务数字网
- ATM 交换技术和网络
- 接入网技术

1 交换的必要性

通信网的目的是使一个用户能在任何时间、以任何方式、与任何地点的任何人、实现任何形式的信息交流。显然，不可能把千百万用户的通信终端一一相互以直达通信电路固定连接起来，因为 N 个用户彼此直连需要 $\frac{N(N-1)}{2}$ 条电路，即使只有 100 个用户 ($N=100$) 的小单位，户户直连也需 4950 对线，何况用户还要求移动通信！

解决这问题的方法是在用户分布区域的中心位置安装一个公共设备，每个用户都直接接入到这个公共设备。当一个用户要与其选定的用户或用户群通信时，此公共设备能按发信用户的愿望，在这些用户间建立起承担所需通信业务的电路连接，以实现他们间的信息交流，并在通信结束后，及时地拆除这些电路连接。这种采用公共设备解决各用户间选择性连接的技术称为交换技术，而这种公共设备就称为交换机。数字交换有电路交换和分组交换两类方式，它们采用的技术有本质性的差别。

显然，一个交换机的容量和服务半径有限，随着用户的增多和通信范围的扩大，必须规划好交换局所的数量、分布和层次，配置好各局所内交换机的容量，组织好局所间的业务流量、流向和路由，即以各级交换节点为枢纽，传输链路做经纬，组织好通信网。

2 电路交换

电路交换是一种面向连接，直接切换电路的直接交换方式。它在两用户间进行选择接续和建立专用的物理电路以实现通信，并在通信结束后实时拆除该电路。在从电路建立到电路拆除的时间段内，该物理电路被主、被叫用户全时独占，其间，无论该电路空闲与否，均不允许其它用户使用。此外，信号经电路交换几乎没有时延。

2.1 数字程控电话交换机的功能

数字程控电话交换机是一种典型的电路交换设备，图 14是数字程控电话交换的示意图。为完成电话的电路交换任务，电话交换机必须具备如下基本功能：

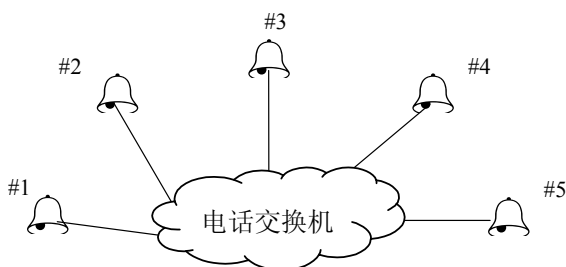


图14 电话交换示意图

- (1) 能及时发现哪一个用户有呼叫请求；
- (2) 要记录被叫用户的号码；
- (3) 能判别被叫用户当前的使用状态；
- (4) 若被叫用户空闲，则交换机应选择一条空闲链路将主叫和被叫用户连通，使双方进入通话状态；
- (5) 通话结束时，必须进行拆线释放处理；
- (6) 使任意两个交换机所带的用户自由通话；
- (7) 同一时间内，交换机要允许若干对用户同时进行通话，且互不干扰。

2.2 话务量的概念

虽然用户何时打电话和每次通话的时长是随机事件，但也有一定的统计规律，例如商业、机关用户和居民用户打电话的高峰时间和通话平均时长各有不同的统计分布。

为反映电话用户通话的频繁程度和通话时间的长短，电话交换中引入了“话务量”的概念。话务量定义为单位时间内发生的呼叫次数与每次呼叫的平均占用时长和计算话务量的时间范围之乘积。

话务量是一个无量纲的数值，但却通常用“小时呼”或“爱尔兰（Erl）”来表示。如果某用户的一次呼叫和通话连续占用话路 1 小时，则该用户的话务量为 1 Erl。

电话网中电话繁忙的程度在一天 24 小时内是不一样的。因此，在计算交换机的容量和网络规划及工程设计中所说的话务量都是指一天 24 小时内最繁忙的一小时的平均话务量，称之为忙时话务量。

程控电话交换机是以时隙交换为基础的 64kb/s 电路交换设备，并已广泛用于现有的公用电话业务网（PSTN）中。迄今，低于 4800bit/s 的低速数据业务通常采用调制解调器（Modem）在 PSTN 网中传输，故无低速数据通信专用的电路交换机。

为了扩大电路交换的能力或容量，在交换机内部，电路交换可采用时间交换和空间交换相互组合来实现。

2.3 电路交换接续方法

电路交换有时分和空分两种基本接续方法。

1. 时分交换的基本概念

现有电话网（PSTN）中，普通传统电话业务（POTS）用户仍然使用模拟电话机和传输话音模拟信号的双绞线接入数字程控电话交换机端局。数字程控电话交换机(以下简称交换机)通过用户电路把用户的话音模拟信号进行 PCM 编码，变成 64kb/s 的数字信号。此后，交换机内部和交换机间的全部运作都是数字化的。

在交换机中，30 个 64kb/s 话音电路被时分复用成一条 PCM30/32 基群通路并称为 HW（Highway）。每个话路的 8bit 话音编码占用 HW 的一个时隙。

时分交换又称为时隙交换。以上述 30 个话路构成的 HW 为例，时分交换的基本原理是利用随机存储器把 HW 中 $TS_0 \sim TS_{31}$ 时隙内的 8 位码，在定时脉冲和写入电路的配合下，依序存入随机存储器相应的 32 行、每行 8 个单元内，再在定时脉冲和控制读出电路的控制下，按选定的次序读出，即以“顺入控出”的方式实现 PCM 2M 通路内话音时隙的选择性交换，从而达到话路交换的目的。同理，也可以采用“控入顺出”的时隙交换方式。利用随机存储器完成时隙交换功能的设备叫做数字时分接线器，简称 T 接线器。

2. 数字时分接线器(T 接线器)

单一的 T 接线器主要由话音存储器和控制存储器两部份组成。

话音存储器(SM)用来暂时存储话音数字信号，又叫做“缓冲存储器”。控制存储器(CM)用来存储时隙地址，又称为“地址存储器”或“时址存储器”。

时分接线器的工作方式有“顺序写入，控制读出”和“控制写入，顺序读出”两种。“顺序”是指按照语音存储器地址的顺序，可由时钟脉冲来控制；而“控制”是指按存储在控制存储器指定地址中的存储内容来控制话音存储器的读出或写入。控制存储器中的内容由中央处理机(CPU)控制写入和清除。

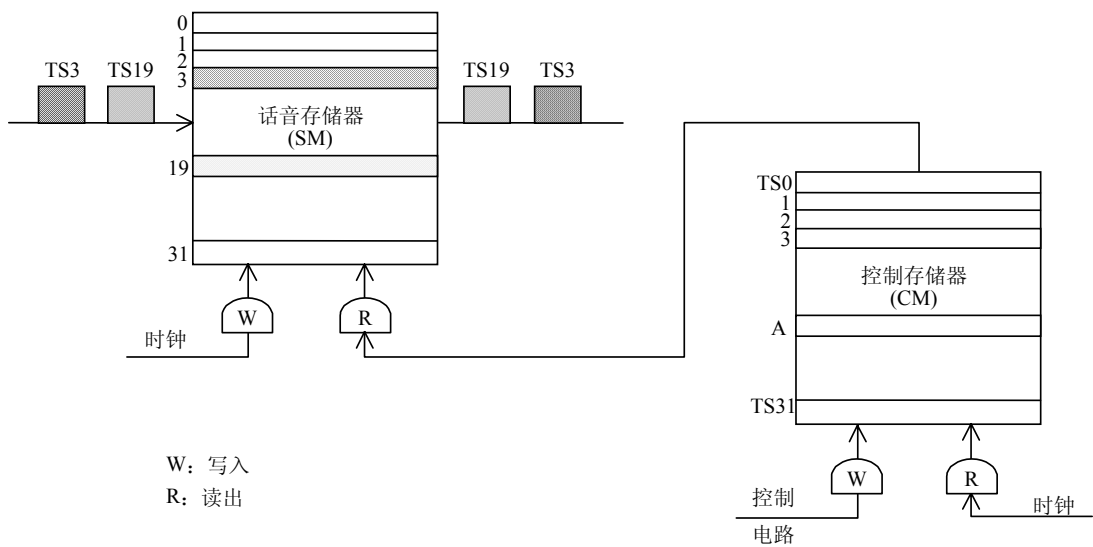


图15 T 接线器

图 15所示“顺序写入，控制读出” T 接线器的工作原理如下：

假设 T 接线器的输入和输出各为一条 32 个时隙的 PCM 复用线。如果占用时隙 TS₃的用户 A 要和占用时隙 TS₁₉的用户 B 通话，在 A 讲话时，就应该把 TS₃的话音信码交换到 TS₁₉中去。

在时隙脉冲的控制下，当 TS₃时隙到来时，把 TS₃中的话音信码写入 SM 内地址为 3 的存储单元中。而此话音信码的读出则受 CM 控制，CM 中地址为 19 的存储单元存有 A 用户的地址“3”。

当 TS₁₉时隙到来时，从 CM 读出 19 号存储单元的内容“3”，以“3”这个地址去控制读出 SM 内 3 号存储单元中的话音信码。这样就完成了把 TS₃的信码交换到 TS₁₉中去的任务。

同理，在 B 用户讲话时，应通过另一条时分复用线和另一接线器把 TS_{19} 中的信息交换到 TS_3 中去，这一过程和上述相似，只是在 TS_{19} 时刻到来时把 TS_{19} 中的信码写入 SM 中，而读出这一信码的时刻则为下一帧 TS_3 时隙来到之时。

由于在 T 接线器进行时隙交换中，话音信码要在 SM 中存储一段时间，所以数字交换会出现时延，其时延时间最长不超过一帧的时间。PCM 信码在 T 接线器中每帧需交换一次，如果 TS_3 和 TS_{19} 两用户的通话时间长为 2 分钟，则上述交换次数达 96 万次。

SM 的存储单元数由输入的 PCM 复用线每帧内的时隙数来决定。以图 2-2 中时隙数为 32 个为例，则该 SM 有 32 个存储单元，每个存储单元可存 8 位码。CM 的存储单元个数和 SM 相同，但每个存储单元需能存储 SM 存储单元的地址，因为这时 SM 的地址共有 32 个，所以 CM 每个存储单元需存 5 位二进制码即可。

“控制写入，顺序读出”的时分接线器与上述工作方式相反，不再赘述。

T 接线器的容量用同时可以交换的时隙数表示，例如，一次可以同时交换 32 条 HW，每条 HW 为 32 个时隙，交换网络的容量为 $32 \times 32 = 1024$ 时隙的网络，简称 1K×1 K T 接线器或 1K 网络，即每次暂存 1024 个 PCM 码组。话音存储器存储单元的 2 进制码存储量与每时隙内的话音编码位长相同，即 8bit，而控制存储器每个存储单元的 2 进制码存储量取决于交换网络容量，例如 1K 的交换网络共有 $2^{10} = 1024$ 个交换时隙，则时隙地址长度，即控制存储器每个存储单元的 2 进制码存储量需要 10bit。

目前时分接线器的存储器一般都采用专门设计的随机存储器(RAM)，大型交换机的交换时隙数高达 512、1024 甚至 4096 个时隙。

例如，华为公司有自主知识产权的时分交换矩阵(T 接线器)ASIC 芯片 SD509 能在微处理器的控制下，完成 64 条 2.048 Mb/s 复用线(HW)之间的话音数字信号或数据信号的无阻塞交换。每个 2.048 Mb/s HW 包含 32 个时隙，共 $64 \times 32 = 2048$ 个时隙，即华为 SD509 ASIC 芯片是 2 K×2 K T 接线器。

3. 空分交换

空分交换是指在各实线通道间切换。

快捷简便的空分交换可用电子交叉接点矩阵来实现。现代程控交换系统中使用的交叉接点大多是由大规模集成电路(LSI)构成的交换矩阵，具有开关速度快(微秒级)、体积小、功耗小、无机械磨损、寿命长等优点。

最简单的空分交换是一个矩形交叉接点阵列，如图 16 所示。

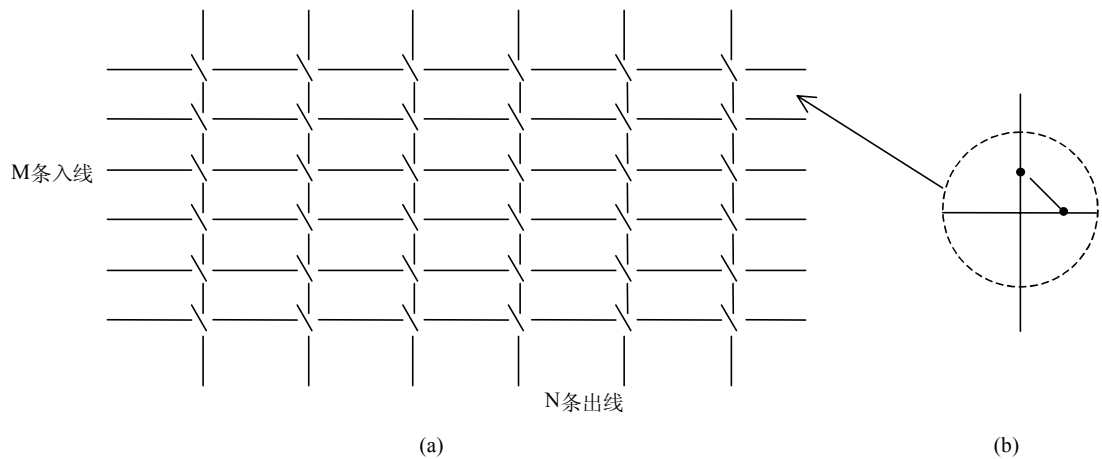


图16 空分交换矩阵

有 M 条入线和 N 条出线的阵列称为 $M \times N$ 矩阵。为能把 M 条入线中的任一条接到 N 条出线中的任一条，从图 2-3a 可看出，它需要 $M \times N$ 个图 2-3b 所示的交叉接点。这种能使每一条入线皆可和每一条出线相接的交叉矩阵称为“全利用度”的交叉矩阵。它要使用数量巨大的交叉接点，既不经济，也难办到。因此，如何减少交叉接点的数量，是空分交换网络设计中一个首要问题。

采用限制每条入线只能接到部分出线上(而不是全部出线)的部分利用度交叉矩阵，虽可减少交叉接点的数目，但减少交叉接点数量的根本途径是使用多级交叉矩阵或采用数字交换。

图 17 是一个三级空分交叉矩阵的示意图。在该矩阵中， N 条入线分成 k 组 ($N > k$)，每组有 n 条入线接入一个 $n \times k$ 矩阵，由 k 个 $n \times k$ 矩阵构成第一级矩阵阵列。第二级是 k 个 $k \times k$ 矩阵阵列。经第一级每一 $n \times k$ 矩阵的 k 个输出分别与第二级的 k 矩阵相连，形成交叉连接。第三级由 k 个 $k \times n$ 矩阵阵列构成。第二级与第三级之间也是交叉式连接。即每一个 $k \times k$ 矩阵的 k 条出线分别与每个 $k \times n$ 矩阵的 k 条入线相连。这样的三级空分交叉矩阵出线总和仍为 N 条，从而构成了一个具有 N 条入线和 N 条出线的交换矩阵。在多级交换矩阵中，级间连接线叫做绳路。图 2-4 中的三级矩阵总共有 $k \times k$ 条绳路。

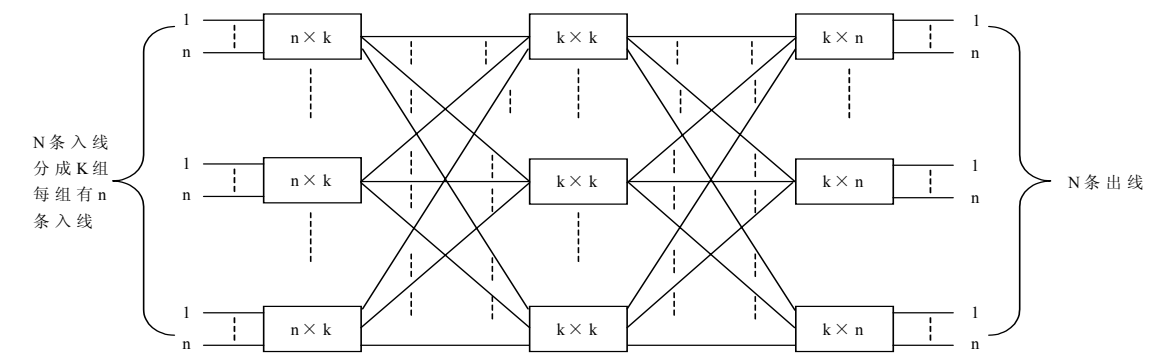


图17 三级交叉矩阵

由图 2-4 可见，对于入线和出线任一特定接续来说，都有 k 条路径可供选择。即多级矩阵能提供迂回路径来避免因个别交叉接点损坏而导致的接续失败。由于在多级矩阵中，每一条入线或出线都仅有较小数目的交叉接点，也避免了容性负载的过份增加。

4. 数字空分接线器(S 接线器)

数字交换机中的空分接线器不用于话路交换，而用于实现不同 HW 之间的信号交换，因此在结构上除了交叉接点矩阵外，还包括了一个控制存储器(CM)。

一个 2 条 HW（复用线）之间的 S 接线器如图 18 所示。图中的交叉接点矩阵有两类交叉接点，分别用有、无实线圈的交叉点表示。它们的打开与闭合由与它们一一对应的控制存储器(CM)控制。

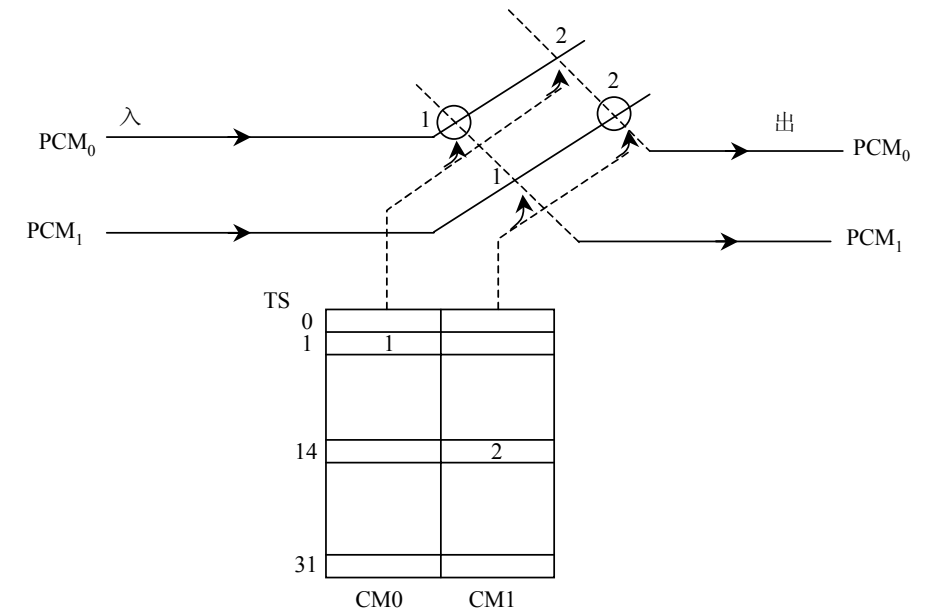


图18 S 接线器

若输入 PCM_0/TS_1 中的信码要交换到输出 PCM_1 中去, 则当时隙 TS_1 到来时, CM_0 应控制实线圈内的交叉接点 1 闭合, 从而把输入 PCM_0/TS_1 时隙中的信码直接转接到输出 PCM_1/TS_1 中去。同理, 若要把输入 PCM_1/TS_{14} 的信码交换到输出 PCM_0/TS_{14} , 则当时隙 TS_{14} 到来时 CM_1 应控制实线圈内的交叉接点 2 闭合。这样 S 接线器就完成了不同的 PCM 复用线之间的信码交换。但是这种交换仅能在相同时隙间进行, 不同时段间不能进行交换。所以 S 接线器在数字交换网络中不能单独使用, 这是 S 接线器和 T 接线器的重大区别。显然, 当复用线之间不进行交换时, 则不带实线圈的交叉接点 1 或 2 应闭合, 它们同样在对应的 CM 控制下动作。

如果要把 PCM_0 的 1、2、4……等时隙中的信码分别交换到 PCM_1 的 1、2、4……等时隙中去, 则标有实线圈的交叉接点 1 在 1 帧内要闭合、打开多次(实际上未标有实线圈的交叉接点 2 也要相应地打开、闭合多次)。由此可见, 数字交换中的空分接线器是以时分方式工作的。

S 接线器中的 CM 对交叉接点的控制也有两种方式: 一是输入控制方式(即上面讲的方式), 它对应于每条入线有一个 CM; 另一种是输出控制方式, 它对应于每条出线有一个 CM, 由这个 CM 决定哪条输入 PCM 线上哪个时隙的信码要交换到这条输出 PCM 线上来。两种控制方式在多级网络中一般交替使用。

空分接线器的控制存储器也是高速 RAM 存储器, 交叉接点矩阵可由高速电子门构成。

5. 时分交换和空分交换的综合应用

值得指出的是, T 接线器以空间位置的划分来实现时隙交换, 而 S 接线器却以时分方式完成 HW (复用线) 之间的空间交换。

在容量较小的数字程控电话交换机中, 数字交换网络可以由单级 T 接线器构成, 但容量有限。为了扩大交换机的容量, 通常采用 T 接线器和 S 接线器相结合的多级交换结构。多级交换的构成方法可以用时分级和空分级相互交替, 形成空——时——空(STS)交换网络, 或时——空——时(TST)交换网络。这种既有时分又有空分的交换叫做二维交换。TST 和 STS 是两种基本的二维交换方式, 其他更复杂的网络, 如 TSST、SSTSS 等, 不过是这两种网络的变形, 下面只对 TST 网络进行分析。

由 TST 交换网络构成的交换机是目前最流行的一种交换机。图 19 给出了一个 TST 交换网络的结构框图。

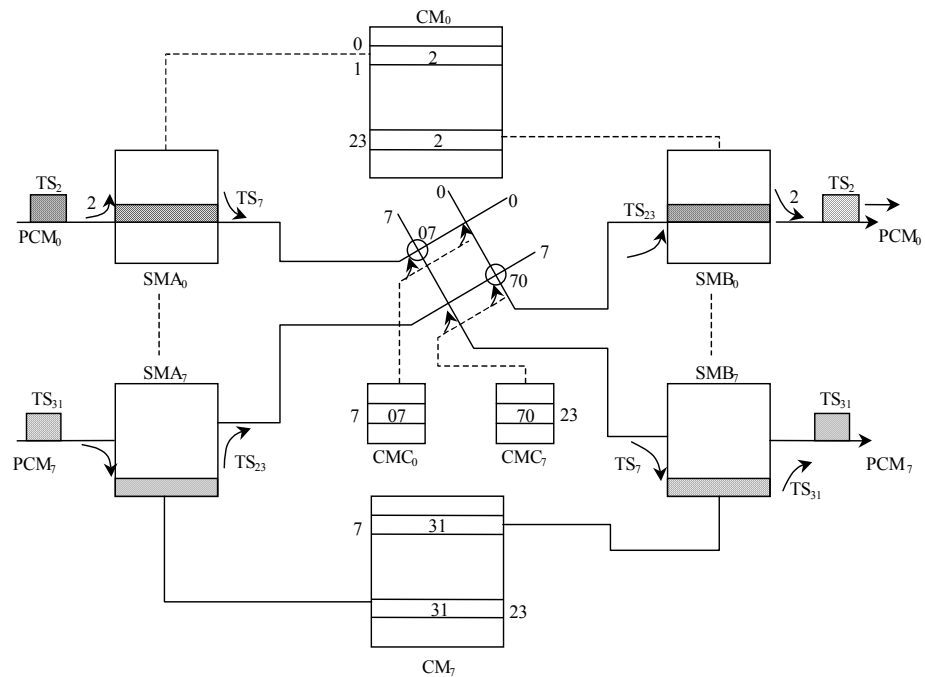


图19 TST 交换网络

图中画有 8 条输入 PCM 复用线(PCM0~PCM7)，每条接到一个 T 接线器（T 输入级，SMA₀~SMA₇）上；有 8 条输出 PCM 复用线分别从 8 个 T 接线器（T 输出级，SMB₀~SMB₇）接出。中间 S 接线器为 8×8 交叉接点矩阵，其输入线对应地接到两侧的 T 接线器。如前面指出的那样，输入 T 接线器采用“顺序写入，控制读出”方式，而输出 T 接线器则采用“控制写入，顺序读出”方式。

现以 PCM₀ 的时隙 TS₂ 与 PCM₇ 的时隙 TS₃₁ 交换为例来说明 TST 交换网络的工作原理。数字交换机中通话路由是四线制（即来话、去话分开），因此应建立 A→B 和 B→A 两条路由。

先看 A→B 方向，PCM₀/TS₂ 在 T 输入级 SMA₀ 顺序写入，并控制在 TS₇ 读出（此 TS₇ 称为内部时隙）。中间的 S 级在 CMC₀ 控制下，于 TS₇ 时刻闭合带圈的 07 交叉接点，把 TS₇ 送到 T 输出级 SMB₇。在 CM₇ 的控制下，内部时隙 TS₇ 的内容，即 PCM₀/TS₂ 话音码被写入到 SMB₇ 的 31 号存储单元中，然后，当 PCM₇/TS₃₁ 时隙到来时，再把 SMB₇/31 号存储单元中的 PCM₀/TS₂ 话音码顺序读出到 PCM₇/TS₃₁ 中，从而完成 A→B 方向通话。

B→A 方向的通话，话音码由 PCM₇ 的 TS₃₁ 送来，顺序写入到 T 输入级 SMA₇，在 CM₇ 的控制下，于内部时隙 TS₂₃ 读出。空分级在 CMC₇ 的控制下，在内部时隙 TS₂₃ 时刻闭合带圈的交叉接点 70，把内部时隙 TS₂₃ 的内容送到 T 输出级 SMB₀。在 CM₀ 的控制下，内部时隙 TS₂₃ 的内容，即 PCM₇/TS₃₁ 话音码被写入到 SMB₀ 的 2 号存储单元中，然后，PCM₀/TS₂ 时隙到来时，再把 SMB₀/2

号存储单元中的 PCM₇/TS₃₁ 话音码顺序读出到 PCM₀/TS₂ 中，从而完成 B→A 方向通话。

3 数字程控电话交换机

程控交换系统由硬件和软件两大部分组成。

3.1 程控交换系统的硬件结构

程控交换系统的硬件结构如图 20所示，可分为话路系统和中央控制系统两部分。整个系统的控制软件都存放在控制系统的存储器中。

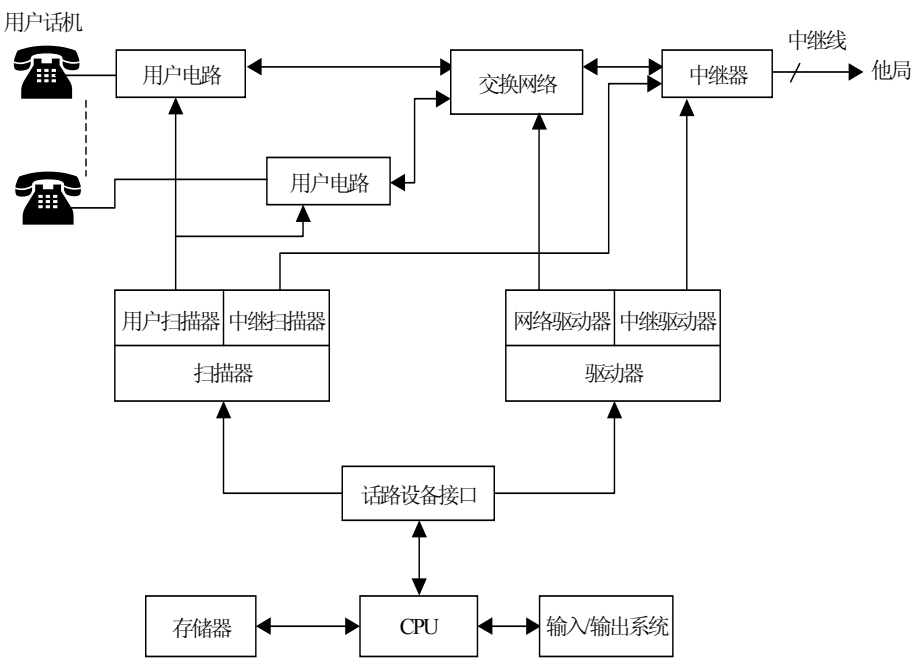


图20 程控交换系统基本结构图

1. 话路系统

话路系统包括交换网络和外围电路。

为话音数据信号提供接续通路的交换网络由综合应用 T 接线器和 S 接线器的模块构成。

外围电路包括用户电路、中继器、扫描器、网络驱动器和话路设备接口等单元。

用户电路是交换网络 and 用户线间的接口电路，具有通常简称为 BORSCHT 功能的七种功能。BORSCHT 是七种功能名称的第一个英文字母的集合，即馈

电(B)、过压保护(O)、振铃(R)、监视(S)、单路编译码器(C)、混合电路(H)、测试(T)。用户电路一方面实现话音模拟信号和数字信号的变换, 另一方面把用户线上的其它信号, 如铃流等, 和交换网络隔离开来, 以保护交换网络。用户电路可用专用集成电路实现。

中继器是交换网络和中继线间的接口电路。所谓中继线是该系统与其他系统或远距离传输设备的连接线。中继器有出局中继和入局中继之分。中继器除具有用户电路的功能外, 还具有指定信号形式和中继线工作方向以及为计费提供反极信号等功能。

扫描器是用来收集用户信息的。用户状态(包括中继线状态)的变化通过扫描器可送到控制部分。

网络驱动器在中央处理系统的控制下, 驱动交换网络建立或释放通路。

话路设备接口, 又称信号接收分配器, 统一协调信号的接收、传送和分配。

2. 中央控制系统

中央控制系统由中央处理机(CPU)、存储器(内存储器)和输入输出系统三部份组成, 其主要功能包括呼叫处理和交换机管理、监测与维护两个方面。

中央处理机(CPU)可以是一般数字计算机的中央处理器芯片, 也可以是交换系统专用芯片。中央处理机有单机集中控制和多机分散控制两种配置方式。为提高安全性和可靠性, 无论单机集中控制还是多机分散控制均有备用设备。单机集中控制系统因有主、备两套中央处理机, 常称之为双机系统。

内存储器存储交换系统正执行的程序和执行数据。外存储器存储常用运行程序, 机器运行时调入内存储器。

输入输出系统包括键盘和打印机, 可根据指令或定时打印出系统数据。

3.2 程控交换机的软件组成

程控交换机中的程序软件是一个庞大的系统, 可分为联机程序和脱机程序。

联机程序又称为在线程序, 是用于交换接续和维护管理工作的程序。

脱机程序不是正常电话交换工作所需程序, 而是用于交换局开通测试或软件中心服务工作的程序。其中软件中心使用的程序叫支援程序, 例如汇编、编辑, 连接编译等程序。就容量而言, 脱机程序比联机程序要大得多。

4 电话交换中的信令

为完成电话接续或转接必须在各级交换局间传递控制接续的指令及表示执行结果和各种运行状态的信号，使网路作为一个整体正常运行。这些指令和信号就是信令。

信令的传送必须遵守一定的协议或规约，这些协议或规约称为信令方式，而实现信令方式和控制功能的实体称为信令设备。各种特定的信令方式和与其相应的信令设备就构成了电话网的信令系统。

图 21表示市话网中不同分局用户间的呼叫和接续过程，在建立接续和进行通话的前后，都有一系列由信令控制的动作为通话服务。

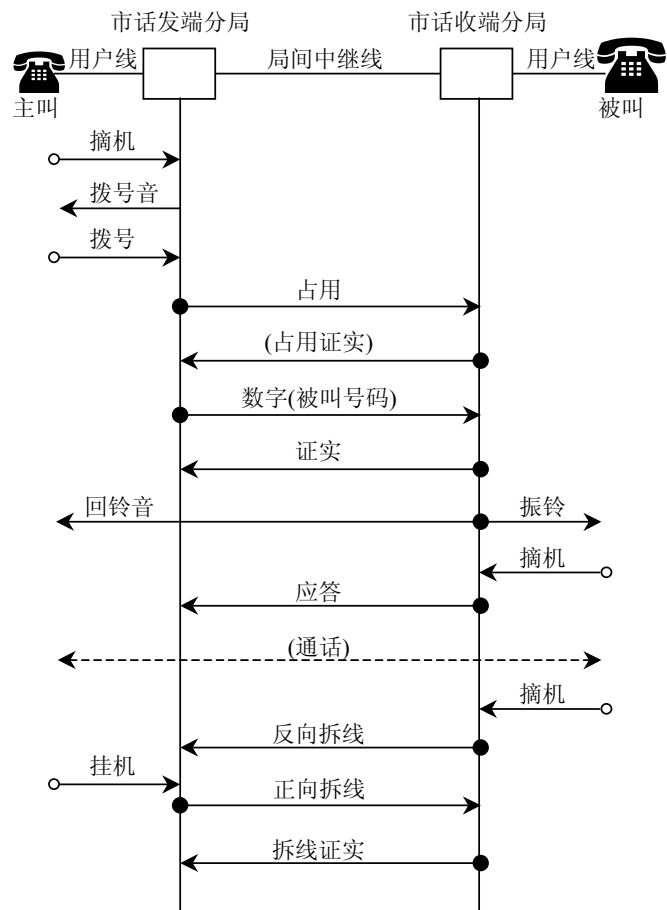


图21 市话接续的信令传送流程

4.1 信令的分类

信令按其工作区域可分为用户线信令和局间信令。

用户线信令是用户线上传递的用户与交换机之间的信号。用户线信令主要包括描述用户摘挂机状态的信令、 传送被叫号码的数字信令、 向用户通报接续结果的铃流和信号音。

局间信令是局间中继线上传送的交换设备之间和交换设备与网管中心、 智能中心、 数据库等设备之间的信令， 主要包括控制话路接续与拆线的信令和保证网路有效运行的信令。

局间信令按功能分，可分为监视信令（也称线路信令），选择信令和操作信令（合称记发器信令）。

各级电话局都是局间信令的源点，称之为信令点（SP， Signalling Point）。为了有效地传送局间信令，在信令点之上，有必要视情况分级设置执行信令交换功能的信令转接点（STP， Signalling Transport Point）。按一定的组网规则，规范各级信令点和信令转接点的编码，并用信令链路连接它们所形成的网络称为局间信令网或简称信令网。

每个电话的信令可以由该电话话路传送，也可以经由专设的公共信令信道传送。因此，根据信令的传送方式，信令可分为随路信令（CAS）和公共信道信令（CCS）两种方式。

我国采用的随路信令方式称为中国 1 号信令方式（相当于 CCITT 标准的 R2 信令方式）。由于程控数字交换机和数字传输设备的大量应用，局间随路信令必须采用数字型线路信令。我国规定，数字型线路信令方式是采用 PCM30/32 系统的第 16 时隙（TS₁₆）作为信令时隙，以 16 帧（F₀~F₁₅）为复帧传送 30 个话路线路信令的方式。

显然，将若干条话路的信令集中在一条传送信令的专用通道上传送的公共信道信令方式，较之随路信令方式，具有传送效率高，容量大、集中处理，灵活方便、无语音干扰，可靠性高等优点，特别适用于由数字程控电话交换机和数字传输设备组成的电话网。当前国际上（含中国）广泛采用 CCITT 7 号公共信道信令（CCS7 或 SS7）。

4.2 No.7 信令的总体结构

No.7 信令的基本结构主要划分为消息传递部分(MTP)、信号连接部分(SCCP)和用户部分（UP）。图 22 表示 No.7 信令的功能级与 OSI 参考模型的关系。

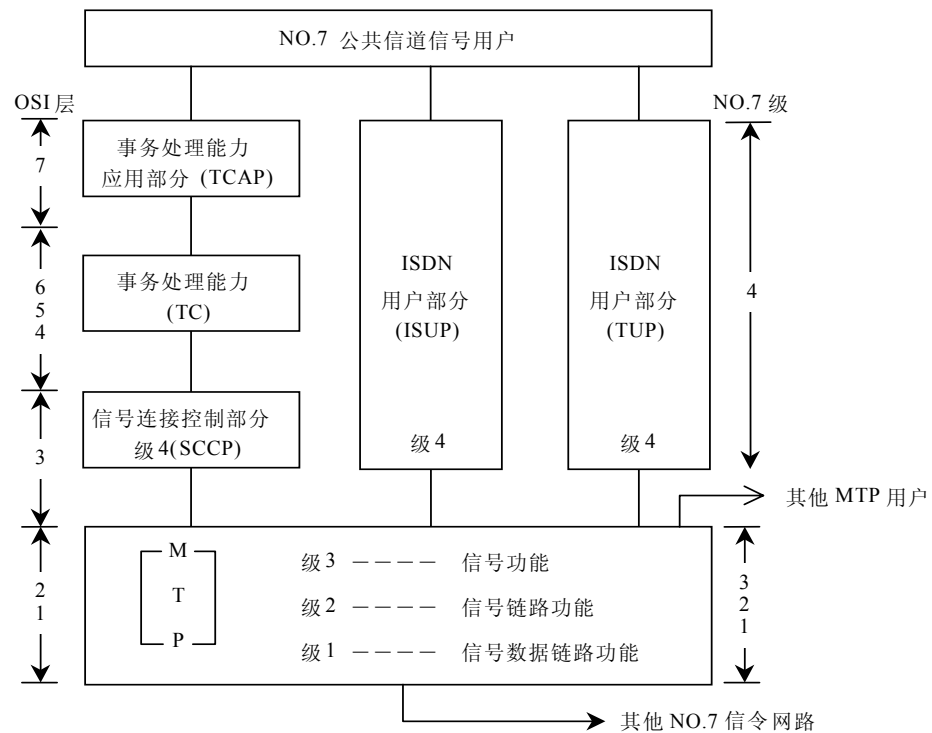


图22 NO.7 信令系统结构

从图上可看出，根据 OSI 参考模型，No.7 信令系统进一步将 MTP 分为三个功能级，对应于 OSI 的 1~3 层。第一级是信令数据链路级，第二级是信令链路级，第三级是信令网功能级。

第一级信令数据链路级定义了信令数据链路的物理、电气和功能特性，确定与数据链路的连接方法。

第二级信令链路功能级规定了把消息信号传送到数据链路的功能和程序。它包括信号单元的分界、信号单元定位、差错检出、差错校正、初始定位、处理机故障、第二级流量控制和信令链路差错率监视等功能、它与第一级共同保证在两个信令点之间提供一条可靠传送消息的信号链路。

第三级信令网功能级规定了在信令点之间传送消息的功能和程序。该功能在信令链路和信令转接点发生故障时，将对信令网重新组合以保证消息可靠传送。

No.7 信令系统的第四级具有 OSI 模型的 4~7 层及第三层的部分功能，它包括的主要功能模块有：

- (1) 电话用户部分(TUP)，它包括完成有关电话网呼叫处理的功能和程序。
- (2) ISDN 用户部分(ISUP)，它定义了 ISDN 通信网的信号程序和实现这些程序的消息及消息编码。

(3) 数据用户部分(DUP)，它用于定义使用 No.7 信令系统的电路交换数据传输业务。

(4) 事物处理应用部分(TCAP)，它定义了事物处理能力的信号消息，编码和信号程序。

No.7 信令以不等长信号单元的形式传送各种信令消息，这些消息包括信令网管理用信息，信令链路状态管理信息，业务接续控制信息等。关于信令单元的格式和种类，以及各用户部分的具体规约，读者可从 ITU-T 相关建议或关于 No.7 信令的专门书籍中找到，不在此赘述。

4.3 No.7 信令系统的特点

ITU-T NO.7 信号方式是一种国际性的、标准化的通用公共信道信号系统，其特点如下：

- 最适用于由数字程控交换机和数字传输设备所组成的综合数字网；
- 能满足现在和将来通信网中传送呼叫控制、遥控、维护管理信号和传送处理机之间事务处理信息的要求；
- 提供了可靠的差错控制手段，使信息按正确的顺序传送而又不致丢失或重复，以保证接收到的消息无差错。

No.7 信号系统能满足多种通信业务的要求，可用于电话网、智能网和综合数字网等。还能作为一种可靠的传送系统，在交换局和特种服务中心之间进行其他形式的信息传递（如管理和维护信息）。因此，No.7 信号系统是通信网向综合化、智能化发展不可缺少的支撑系统。

5 分组交换

以装备数字程控电话交换机的各级电话局为节点，数字传输链路为局间中继线，利用双绞线传送模拟话音信号和接入模拟电话机的公用电话业务网简称为 PSTN。

PSTN 是以时隙交换为基础，面向连接的电路交换网络。每一个电路连接占用 PCM 基群的一个时隙，即交换电路的速率为 64kb/s，是确定而不能改变的。电路交换具有只能支持单一速率（如 64kb/s）、带宽有限的业务、要建立专门的信令系统，负责分配网络资源，建立、拆除和管理连接并需要复杂的路由选择算法、以及所分配的网络资源为主、被叫独占专用，电路利用率不高等缺点，但也有完成交换迅速、时间透明性好、传输时延小、抖动小、支持实时性要求高的业务，特别是电话业务等优点。

在以高速数据业务为代表的宽带业务需求迅猛增长的信息时代，单一速率电路交换的局限性已成为通信发展的瓶颈。分组交换为打破这个瓶颈奠定了基础。

分组交换是一种存储转发方式，即先把用户的消息数据按一定长度分组，并加上规定格式的分组标题，以指明该分组的收、发端地址和分组序号，再把这些分组包（**Packet**）暂存在存储器中，根据交换网的状态，选择空闲路由，把分组包发给另一个分组交换机。因此，一个消息数据的每个分组包可能通过不同路由转发给不同的交换机，且一般不会出现仅仅因为某一路由过忙而不能转发的情况。

收到转发分组包的交换机通过该包的收端地址可判断是收存该包，还是继续转发该包。因此，消息数据的各分组包在经过不同路由和多个非目的端的交换机转发后，总可以先后不一地无序地到达其指定的收端交换机，并被收留和存储。待一个消息数据的全部分组包都到达指定的收端交换机后，该交换机拆开分组包，按分组序号排列各分组，重新组成消息数据，并传送给收信用户的数据终端。显然，信号经分组交换会带来较大的时延。

分组交换在收、发信数据终端间建立的不是专用的物理电路，而是一种非面向连接或无连接的交换。我们可以想象在分组交换的收、发信数据终端间建立的是一条逻辑电路，并称之为虚电路。

上述分组交换的基本原理可形象地用图 23所示数据终端设备 DT1 和 DT2 分别发出数据信息“A1A2A3”和“B1B2B3”，传给收信方分组式终端 DT3 和 DT4 的过程来说明。

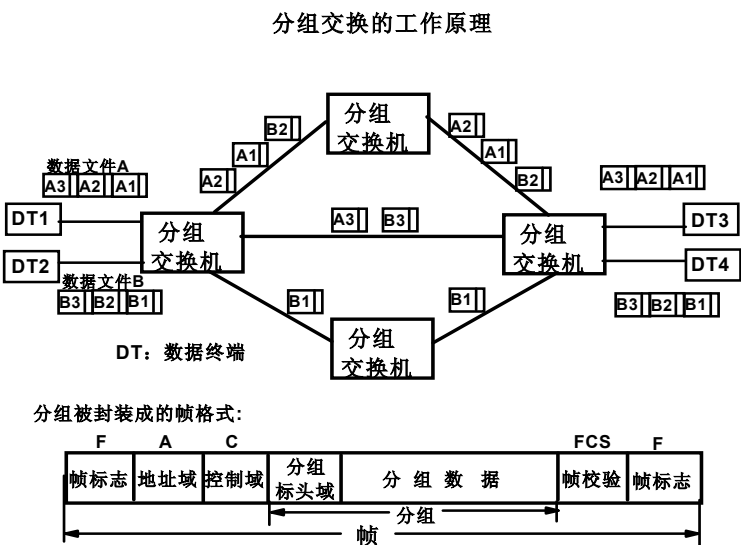


图23 分组交换原理示意图

与面向连接，直接切换电路的电路交换方式不同，分组交换不是面向连接的直接交换方式，其收、发两端间不存在一条直通的物理电路。分组交换有如下特点：

- (1) 可实现多种速率的交换，能灵活支持带宽不同的多种业务；
- (2) 由每个分组的分组头完成与信令系统类似的功能，不需要与连接有关的信令系统；
- (3) 同一业务的不同分组在网络中经过的路径不同，时延大，难支持实时性要求高的业务；
- (4) 分组只在发送时才占用网络资源，网络资源可由各个业务共享；
- (5) 分组头携带差错控制信息，有一定的检错和纠错能力，语义透明性较好；
- (6) 每个分组都要进行分组头的处理，受交换处理速度的限制，只能支持较低速率的业务；
- (7) 不确定的帧长使缓冲队列管理复杂化，复杂的队列管理机制影响交换速度。

分组交换虽然克服了电路交换只支持单一速率的缺点，能提供多速率可变带宽的交换，但交换处理的速度有限使系统不能支持高速率宽带业务。

看来，需要一种扬电路交换和分组交换之长，避两者之短，既能提供多速率可变带宽的逻辑通路，又能进行低时延快速交换的综合交换技术。

6 综合业务数字网

综合业务数字网（ISDN）是一种能根据各种业务的实际速率或带宽要求，提供多速率可变带宽的高速交换技术，ISDN 把各种业务全部数字化，综合电路交换和分组交换的优点，高效利用网络资源，来实现窄带和宽带相结合，语音、图象和数据统一的现代通信。

ITU-T 对 ISDN 的定义为：这种网络能提供端对端的数字连接，能支持广泛的电信业务，用户可通过一组有限的、标准的、多用途的用户/网络接口接入网内。

这就是说，用户只要通过通用设备和标准接口接入 ISDN 网络，就可用这一个网络实现原本要多个不同网络承担的数字电话、用户电报和智能用户电报、可视图文、G4 型传真、可视电话和会议电视、数据等各种宽带和窄带通信业务。

电路交换不支持多速率业务，而分组交换需要解决的首要问题是提高速率。如何扬两者之长，弃各自之短，是实现综合业务数字网（ISDN），特别是宽带综合业务数字网的焦点。

为适应网络渐进演化的发展规律，综合业务数字网（ISDN）的发展可分成窄带综合业务数字网（N-ISDN）和宽带综合业务数字网（B-ISDN）两个阶段。

N-ISDN 是将用户终端全数字化，并在 PSTN 的基础上，即仍利用 64kb/s 电路交换，实现低速率窄带业务（话音、计算机终端和低速数据、数字传真）的综合通信网。当前，人们日常提到的 ISDN 是指 N-ISDN。因为新的数字程控电话交换机都具有 ISDN 功能和接口，也不需改造用户线即可适应 ISDN，所以，常常有 PSTN/ISDN 的提法。以下，我们提到的 ISDN 均特指 N-ISDN。

B-ISDN 是发挥分组交换和电路交换的综合优势，能支持多速率和不同带宽业务的高效率、高速率，宽频带综合业务数字网络。异步转移模式（ATM，Asynchronous Transfer Mode）宽带交换技术是 B-ISDN 的核心技术，它是电路交换技术和分组交换技术的结合，能最大限度地发挥电路交换与分组交换的优点。

当前主要采用 ATM 宽带交换机和高速光纤传输网，并充分利用 IP 接入的灵活性来建立能提供声音、数据和图象以及它们的各种综合应用业务的宽带数据网。这种宽带数据网的结构被称为“ATM + IP”。

6.1 ISDN 的用户/网络接口

ITU-T 关于 ISDN 用户/网络接口的标准是支持 ISDN 各种业务发展的重要技术规范，它规定了用户终端设备与网络连接的条件。

1. 用户接入的参考配置和参考点

ISDN 用户接入网络的参考配置及接入参考点如图 24 所示。其中，用户功能组是指实现 ISDN 接入所需要的功能部件组；参考点是用户访问（或接入）网络的连接点，或不同终端之间的分界点；TE₁ 是 ISDN 标准用户终端设备，如数字电话机和 G4 类传真机等；TE₂ 是不符合 ISDN 用户/网络要求的终端设备，如 PC 机、X.21 或 X.25 数据终端和 G2/G3 类传真机等；NT₁ 是具有线路传输、线路维护和性能监控、定时、馈电、多路复用及接口等功能的网络终端设备；NT₂ 代表 PBX（用户小交换机）、LAN（局域网）和终端控制设备；TA 是非标准 ISDN 终端接入标准 ISDN 终端的适配器；LT 是交换机与传输线路或用户环路接口的线路终端设备。R、S、T、U、V 都是参考点，其位置如图中所示。

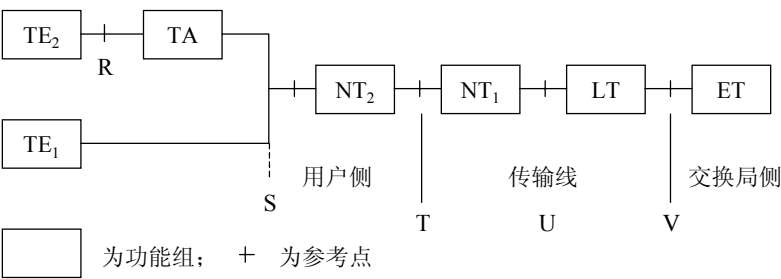


图24 ISDN 用户接入网络的参考配置

用户和网络的分界点 T 的接口规范，即接口信道协议详见 ITU-T 有关建议。符合该协议的终端可携带到世界上任何地点使用。S 点的接口要求可以根据 T 点的协议和 NT₂ 规定的特性确定。不存在 NT₂ 时，S 点和 T 点合成一点，并称为 S/T 点。

2. ISDN 用户接口

ITU-T 目前只规定了两种用户/网络接口，即：基本速率接口和基群速率接口。

(1) 基本速率接口(BRI)

基本速率接口是以普通电话的用户线做 ISDN 用户线，同时提供两条速率均为 64kb/s 的 B 信道和一条速率为 16kb/s 的 D 信道的接口，即“2B+D”接口。两条 B 信道可以独立地用来传送诸如电话、G4 传真、计算机数据等用户信息，D 信道则用来传送信令信息和分组数据。BRI 接口主要用于一般 ISDN 用户，可接一般用户终端及办公室设备等。

(2) 基群速率接口(PRI)

基群速率接口是以 PCM 基群数字传输线做 ISDN 用户线，同时提供多达 30 条（欧洲和中国标准体系）或 23 条（北美标准体系）速率均为 64kb/s 的 B 信道和一条速率为 64kb/s 的 D 信道的接口，即“30B+D”或“23B+D”接口。基群速率接口主要面向用户小交换机（PBX），或有诸如电视会议、可视电话等高速率业务需求的用户。考虑到基群中所要控制的信道数量较多，所以 D 信道速率是 64kb/s。把若干个（少于 30 或 23）B 信道合并为一个高速信道称为 H 信道，例如 H₀/H₁₁ 和 H₁₂ 信道等。其中，H₀ 的速率是 384kb/s、H₁₁ 是 1536kb/s、H₁₂ 是 1920kb/s。表 1 为 ISDN 用户/网络接口的种类和具体参数。

表1 ISDN 用户/网络接口种类和参数

用户/网络接口类型	物理接口	接口结构		附 注
		结构名称	信道结构	
基本接口	144kbit/s	基本接口	2B+D	D=16kbit/s

用户/网络 接口类型	物理接口	接口结构		附 注
		结构名称	信道结构	
基 群 速 率 接 口	1544kbit/s 或 2048kbit/s	B 信道接口	23B+D(1544kbit/s) 30B+D(2048kbit/s)	D=64kbit/s
		Ho 信道接口	4Ho 或 3Ho+D(1544kbit/s) 5Ho+D(2048kbit/s)	D=64kbit/s
		H ₁ 信道接口	H ₁₁ (1536kbit/s) H ₁₂ (1920kbit/s)	D=64kbit/s
		B/Ho 信道混合接口	nB+m Ho+D	D=64kbit/s

6.2 ISDN 交换机

ISDN 的目的是使多种业务综合利用一个网络。ISDN 交换机就是能交换多种业务的交换机。鉴于 ISDN 仍以 64kb/s 电路交换为基础，ISDN 交换机可由数字程控电话交换机配置必要的 ISDN 接口和相应的控制与管理系统及软件改造而成。在现阶段，ISDN 交换机本身并不非要具备完全的分组交换功能，但应能与公用或专用分组交换数据网及用户电报网互通。

ISDN 交换机的功能结构如图 25所示。其中，一层功能对数字用户进行连接；二层功能进行 D 信道 2 层协议处理；64kb/s 电路交换功能执行 64kb/s 电路交换；S 信息处理与交换控制功能以 D 信道协议为基础执行信令和交换控制信号的交换；P 信息处理功能分出/插入 D 信道中的分组信息；分组交换互通功能进行互通信令处理、呼叫选路、兼容性检查和内部分组呼叫的连接。

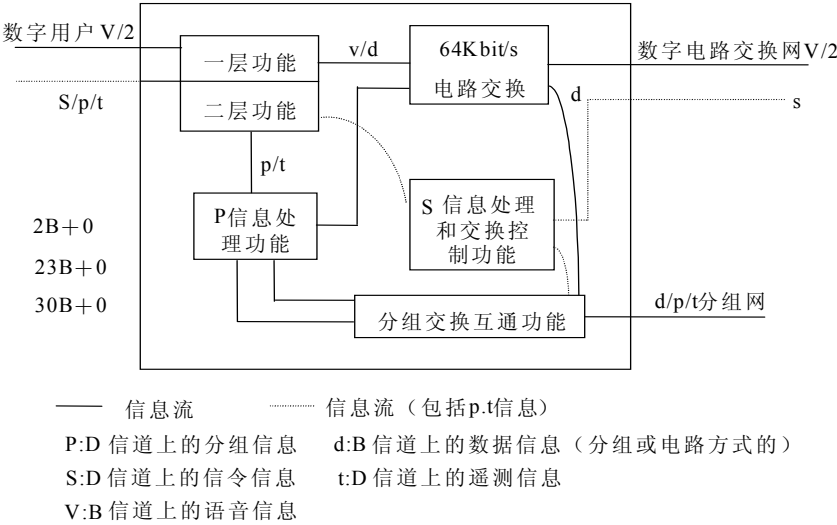


图25 ISDN 交换机的功能结构图

6.3 宽带综合业务数字网(B-ISDN)

B-ISDN 是从 N-ISDN 发展而来的，它除了提供各种宽带业务外，也应提供各种 N-ISDN 业务。

1. B-ISDN 的业务类型

B-ISDN 所提供的主要宽带业务和窄带业务。如表 2所示。

表2 B-ISDN 的主要宽带业务和窄带业务

业务种类		持续时间 (分钟)	速率 Mbit/s
ISDN 业务	电 话	2-3	$4\times 10^{-3}\sim 64\times 10^{-3}$
	传 真	0.1~2	$<64\times 10^{-3}$
对话型	高速数据	0.1-60	>1
	可视电话	2~3	1~135
检索型	文件检索	3	1~33
	宽带可视图文	10	1~135
分配型	电视	60	33~135
	HDTV	60	140~270

从网络支持能力的角度来看，可以从源与目的地的定时关系、比特率与连接模式三个方面把 B-ISDN 业务归纳为表 3所列举的内容：

表3 B-ISDN 的业务类型

业务类型	第 1 类	第 2 类	第 3 类	第 4 类
源与目的地定时关系	要 求	要 求	不要求	不要求
速率	恒 定	恒 定	可 变	可 变
连接模式	面向连接	面向连接	面向连接	无连接
业务类别	恒定速率 的可视图像	可变速率 的视听业务	面向连接的 数据传输	无连接的 数据传输

2. 适合 B-ISDN 的 ATM 交换技术

ATM 技术是将数字化的语音、数据和图像等信号，不论其信息量和带宽的大小，一律分割或组装成固定长度（53 个字节）和格式通常称为信元的数据包。信元分为信头和净荷（信息字段）两部分，信头含有路由识别码。用户每单

位时间发送的信元数，只要不超过呼叫建立时商定的上限，**ATM** 设备将无条件地处理和传送。

各种业务都变成了统一格式的信元，所有来自不同主叫用户的信元流在网络中随机地复合在一起并靠信头加以识别。

ATM 交换机的作用就是阅读流经缓冲器的信元信头，根据信头中的地址把相应的信元送往适当的出口，并最终送往被叫用户。**ATM** 交换机按具体业务对相应的信元进行动态分配，以满足不同业务传送速率和质量的要求，从而自动地实现各种业务的综合交换和传输。

由于一个信元占用的时间很小，且信头中有收信地址和信元序号标识，因此，**ATM** 可以利用任何物理电路的空隙时间“见缝插针”地传送，极大地提高了线路的利用率。它还可以按通信业务的速率调整信元转移频次，从而满足不同速率不同带宽的各种信息的交换和传输。显然，“见缝插针”的传送方式将使端到端的信元路由是随机的，多变的，即不再象电路交换哪样，在端到端间建立起独占专用的一条物理路由，而只有一种称之为虚电路的想象中的或逻辑上的端到端路由。

类似于打电话过程中的呼叫和建立连接。**ATM** 通过收发双方之间最初交换的信元（即逻辑信号）进行虚呼叫，并提供一种虚连接，来建立收发两点间通信的虚电路。虚连接不预约交换容量，即不独占物理连接，故没有物理电路长时间空闲浪费容量问题。一条物理线路的带宽可按需分配给各种业务的虚连接。各种业务只在需要传送其信元的时刻才使用传输和交换资源，而不占用连接空间，这种动态资源分配减少了资源浪费。

ATM 技术是电路交换技术和分组交换技术的结合，能最大限度地发挥电路交换与分组交换的优点。特别适合在 **B-ISDN** 中组织、疏导和调配带宽（或速率）差别较大，实时性要求较强的各种通信业务。从 **1kb/s** 的遥控遥测信号到 **140Mb/s~270Mb/s** 的高清晰度电视信号，**ATM** 交换都能胜任有佳，是目前实现 **B-ISDN** 的最好交换方式。

7 ATM 交换技术和 ATM 网络

ATM 采用与分组交换中分组包相类似的信元，但避开了分组包长度长且不固定的缺点，把信元定长为 **53** 个字节，以适应各种速率的业务，并以硬件进行协议处理和变换，由网络和终端共同分担协议处理功能，让网络基本上不承担繁杂的协议处理，而主要着眼于信息传递，实现快速交换。

7.1 ATM 信元的结构和信头的功能

信元分为信头和净荷两部分，信头为 5 字节(40bit)，净荷为 48 字节(384bit)。ITU-T 建议的 ATM 信元格式如图 26所示。信头的作用是识别信元在异步时分复用中所属虚通路，即表示一个信元是何类型、发自何处、送至那里等。

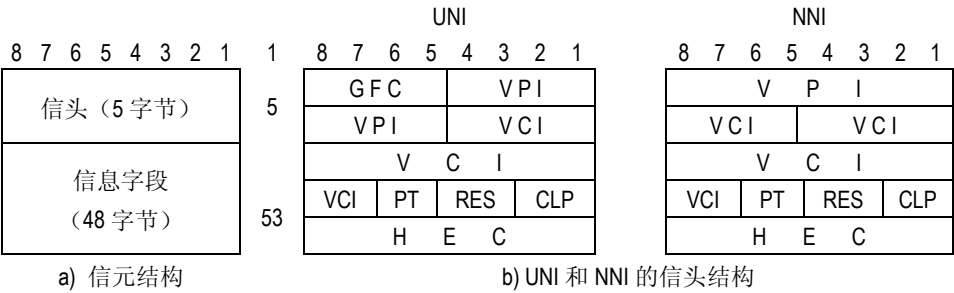


图26 ATM 信元结构示意图

在 B-ISDN 的 ATM 交换机上有用户线和中继线两种接口。连接用户线路的接口称为用户网络接口(UNI)，连接中继线路的接口称为网络节点接口(NNI)。如图 25 b 所示，这两种接口的信头结构有所不同。

图中主要英文缩略词的含义如下：

GFC：一般流量控制，4 比特，只用于 UNI 接口，目前置为 0000，将来可能用于流量控制或在共享媒体的网络中标示不同的接入；

VPI：虚通道标识，NNI 中为 12 比特，UNI 中为 8 比特；

VCI：虚通路标识，16 比特，标识虚通道中的虚通路，VPI 和 VCI 一起标识一个虚连接；

PT：净荷类型，48 字节净荷中所载信息的类型，包括 3 比特，其中，第 3 比特为 0 表示净荷是数据信元，为 1 表示是操作、管理和维护（OAM）信元。

对数据信元，第 2 比特用于前向拥塞指示（EFCI），当经过某一节点出现拥塞时，就将这一比特置为“1”；第 1 比特用于 AAL5。

对 OAM 信元，第 1 和第 2 两比特表示 OAM 信元的类型；

RES：保留位，可用作将来发展定义，现在指定是 0；

CLP：信元丢失优先级，1 比特，用于拥塞控制。在发生信元冲突时，CLP 用来说明该信元是否可以丢掉；

HEC：信头差错控制，8 比特，检测出有错误的信头，可纠正信头中 1 比特的差错。HEC 的另一个作用是进行信元定界，利用 HEC 字段和它之前的 4 字

节的相关性可识别出信头位置。由于在不同的链路中 VPI/VCI 的值不同，所以在每一段链路都要重新计算 HEC。

信头中的 VPI 和 VCI 两部分合起来构成一个信元的路由信息，ATM 交换机依据各个信元上的 VPI、VCI 决定该信元由哪条路由或哪一条线送出去。

与电话网使用摘机、挂机和拨号等动作来表达通信的开始、结束和被叫方一样，ATM 也有指挥交换机动作的信令，如虚通道的建立和拆除等信令。由于在 ATM 用户线路上传送的信息都是 ATM 信元，所以传送信令的信元就叫作信令信元。为与其它信元区别开，可规定信令信元的信头为一个特定的值。

ATM 信元中，除了信息信元、信令信元外，还有空闲和维护运行信元。

ATM 信元的交换既不同于电路交换方式，也不同于分组交换方式，而是电路交换和分组交换的一种组合。

与分组交换中分组头的功能相比，ATM 信元的信头功能大大简化了。信头只用 VPI 和 VCI 标识一个连接，而无需源地址、目的地址和包序号，信元顺序则由各网元保证。由于链路特别是光链路传输质量好，端到端的差错控制只需要由终端处理，而不再需要逐段链路的检错和纠错，因此，HEC 只负责信头的差错控制。

7.2 ATM 的统计复用和虚连接

ATM 对网络资源进行统计复用，即根据各种业务的统计特性，在保证业务质量要求的前提下，在各业务间动态地分配网络资源，以达到最佳的资源利用率。如图 27所示，用户 D、C、A 的数据按到达的先后顺序排列到输出线路上，而用户 B 因为此时没有数据，故不占用输出线路的带宽资源。

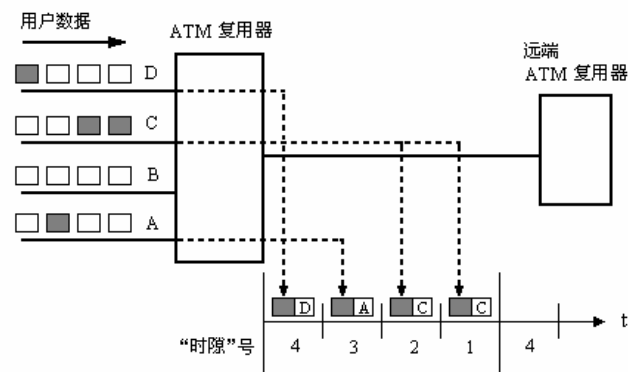


图27 ATM 复用

与每个节点都必须检查每个分组路由标记，以确定是否接收该分组的无连接分组数据网有本质区别的是 ATM 网络采用面向连接的呼叫接续方式，以类似

于电话的呼叫接续过程，事前由网络根据用户的要求（如峰值比特率、平均比特率、信元丢失率、信元时延和信元时延变化等指标），分配 VPI/VCI 和相应的带宽，并在交换机中设置相应的路由，从而在源和目的端之间建立一个“虚连接”。ATM 的复用、交换和传输过程，均在虚通路（VC）上进行。

由 VCI 标识的虚通路是 ATM 网络链路端点之间的一种逻辑联系，是在两个或多个端点之间传送 ATM 信元的通信电路。

虚通道（VP）是在给定参考点上具有同一虚通道标识符的一组虚通路。虚通路在传输过程中，组合在一起构成虚通道，二者关系如图 28所示。因此 ATM 网络中不同用户的信元是在不同的 VP 和 VC 中传送的，而不同的 VP/VC 则是根据各自的 VP 标识（VPI）和 VC 标识（VCI）组织起来的。



图28 VC、VP 和物理传输通道的关系

7.3 ATM 交换

各类业务信号变换成 ATM 信元流，适配进入 ATM 网后，便由 ATM 交换机或交叉连接设备提供交换和中继，保证其到达收信端。

ATM 交换机或交叉连接设备的作用是根据输入信元的 VPI/VCI 标识以及它本身在建立连接时产生的路由表，将该信元转发到相应的输出端口，并对该信元的信头做适当处理，如改变其 VPI/VCI 值，在拥塞时有可能改变 CLP 值，重新计算 HEC 值等，以保护新产生的信头。

ATM 交叉连接设备与 ATM 交换机唯一的区别在于，ATM 交换机由控制面控制，而 ATM 交叉连接设备则由管理面控制。图 29是 N 个输入端口、N 个输出端口（N×N）的 ATM 交换机的原理框图。



IM: 输入模块; OM: 输出模块

图29 ATM 交换机原理框图

ATM 交换又可分为 VP 交换和 VC 交换。

VP 交换设备（通常是交叉连接器和集中 / 分配器）仅对信元的 VP 进行处理和变换，功能较为简单。

VC 交换设备（ATM 交换机、复接 / 分接器）则要同时对 VPI、VCI 进行处理和变换，功能较为复杂。

VPI 和 VCI 只有局部意义，每个 VPI/VCI 在相应的 VP/VC 交换节点被处理，相同的 VPI/VCI 值在不同 VP/VC 链路段并不代表同一个“虚连接”。

7.4 ATM 的连接方式

通过 VC 建立连接有两种方式：交换虚通路（SVC）连接和永久虚通路（PVC）连接。

SVC 类似于电话网的用户线路，是用户需要通信时，通过终端设备的呼叫请求，由信令建立的虚通路，并在通信完成后，由信令释放 SVC。SVC 方式的网络资源利用率高，用户的通信费用较低，是常用的一种主要通信方式。

PVC 类似于电话网中的租用线路，是通过网管预先建立的，无论有无业务或终端接入，已预建的 PVC 都一直保持，直到由网管释放为止。PVC 用户的通信不会因网络资源不够而失败，适用于一些特殊的用户。PVC 用户间通信时无需呼叫请求，操作简便，通信质量好，但通信费用很高。

ATM 可提供点对点 and 点对多点的连接。因此，ATM 交换机具有广播（Broadcast）和组播（Multicast）功能。广播通常是单向的，适用于电视、广播节目的传送；组播是主叫用户选择若干用户进行多方交互业务，如多方电视会议等。

7.5 ATM 网络的结构

当前 ATM 技术是 B-ISDN 的核心技术，所以 B-ISDN 网又称为 ATM 网。ATM 网络概念性结构如图 30 所示，分为公用 ATM 网、专用 ATM 网和 ATM 接入网三部分。

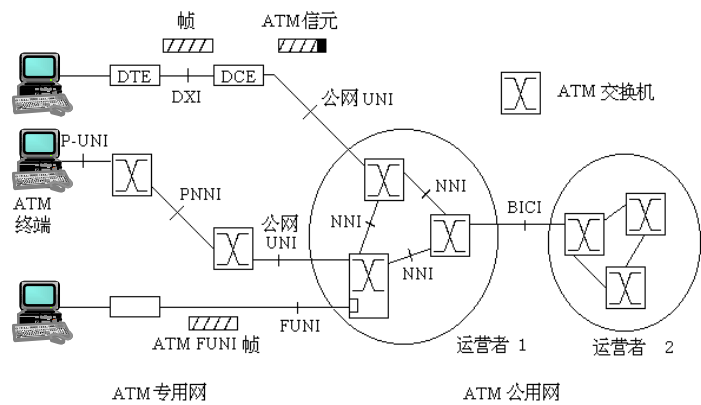


图30 ATM 网络结构及接口

公用 ATM 网络属于电信公用网，它由电信部门建立、管理和经营，可以联接各种专用 ATM 网和 ATM 用户终端，作为骨干网络使用。

专用 ATM 网是指一个单位或部门范围内的 ATM 网，通常用于一幢大厦或校园范围内。

接入 ATM 网也是宽带综合业务数字网中一个非常重要的部分，主要指在各种接入网中使用 ATM 技术传送 ATM 信元，如基于 ATM 的无源光纤网络(PON)、混合光纤同轴(HFC)、非对称数字环路(ADSL)以及利用 ATM 技术的无线接入技术等。

我国发展 ATM 网络可分为几个阶段。首先在高速度、高带宽的专用网中使用 ATM 技术，例如在支持多媒体业务的 LAN、校园网和大企业网以及智能化大厦网络中都可把 ATM 网络作为优选方案。另外，在现有各种网络互连中，也可使用 ATM 网络代替由大量传统集线器(HUB)、网桥(Bridge)和路由器(Router)组成的网络，简单、方便、高效地实现异种网络的互连和互通。其次，在大型公用网和电信骨干网中，使用 ATM 网络。通常，这种 ATM 网络以同步数字系列(SDH)光纤传输系统作为传输媒介。最后，将 ATM 技术用于各种网络，实现通信网络的全面宽带化、综合化，建成 B-ISDN。

8 接入网技术

通信需求已从话音向多媒体和宽带数据迅速转移，世界已进入多元化的信息时代。通信网的数字化和宽带化已进行了多年，有了一定的基础并正在高速发展。在这种背景下，沿用传统电话的双绞线做用户线已不能接入层出不穷的新业务，通信网到用户的“最后一公里”成了全网数字化和宽带化的瓶颈。突破这一瓶颈的解决方案是采用新的接入技术，根据用户发展需要，远近结合、统一规划，分步建设经济合理的宽带接入网。

8.1 接入网的物理参考模型

接入网泛指用户网络接口（UNI）与业务节点接口（SNI）间承载业务信号的实体。

从当前电信网络和所能提供的业务来看，接入网可具体地看作是电信用户，包含普通语音用户（POTS）和数据用户以及综合业务数字用户（ISDN）等与电信局交换设备（如普通交换机、数字节点机，服务器等）之间的传送网络，包含组成网络的不同类型的线路、设备等部分。图 31是接入网的物理参考模型。

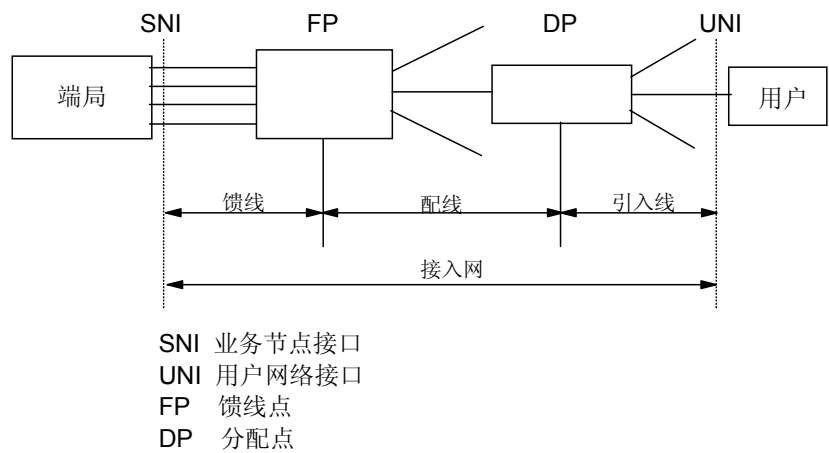


图31 接入网的物理参考模型

8.2 接入方式

近年来接入网技术已有长足的发展，目前接入网主要分为有线和无线接入两类，有线接入又有铜缆接入、混合接入、光缆接入等多种方式。

1. 铜缆接入

利用已有的铜缆用户线实现较高速率的业务接入具有现实意义和显著的经济效益。目前主要有用户线对增容技术（Pair Gain）、高速数字用户环路（HSDL）技术和非对称数字用户环路（ADSL）技术。这些接入技术的带宽总归有限，适合由窄带向宽带过渡的前期使用。其中，ADSL 应用比较广泛。

2. 光纤接入

光纤接入是指从光接入节点至业务提供点全部采用光纤传输系统。光纤接入有诸如灵活接入系统（FAS）、无源光网络（PON）、SDH 接入系统等。就光接入节点的位置来分，又有光纤到户（FTTH）、光纤到路边（FTTC）、

光纤到小区（FTTZ）、光纤到大楼（FTTB）、光纤到办公室（FTTO）等多种类型。

SDH 接入系统能提供极宽的带宽，而且与中继传输网和骨干传输网能密切配合，特别适合于大集团用户的专线接入。其它几种光纤接入系统的带宽虽然比 SDH 窄些，但具有组网灵活、易扩大覆盖，适合多种用户和带宽要求多样化的小区接入等优点。

3. 混合接入

这是一种利用光纤到路边或大楼，以同轴线或 ADSL 接入用户的接入方式，即混合光纤/同轴网（HFC）或混合光纤/非对称数字用户线（ADSL）方式。前者广电系统应用较多。

4. 无线接入

无线接入是在接入网的某一部分或全部引入无线传输媒介，向用户提供固定终端业务和移动终端业务的接入方式，有固定无线接入和移动无线接入两种，多用于边远地区的用户接入。

还有一种工作于 28GHz 的宽带本地多点分配服务系统(LMDS)，它采用 64QAM 调制，速率达 155Mb/s；视线（LOS）传输，小区覆盖半径 3~5km；一个节点可提供 8 万户电话/数据用户，适用于在市内快速方便地建立较高速率的无线数字接入。

用户接入网应该以光纤接入网为主要发展方向，辅之以其他接入手段。

8.3 接入网的结构

让我们以华为 HONET 综合业务接入网为例，来说明接入网的基本结构。如图 32所示，HONET 是以光纤接入为主，能接入话音、数据和图象等综合业务的网络。它由光纤线路终端（OLT）、若干光纤网络单元（ONU）、光纤传输系统和接入网网管系统（AN-NMS）组成。

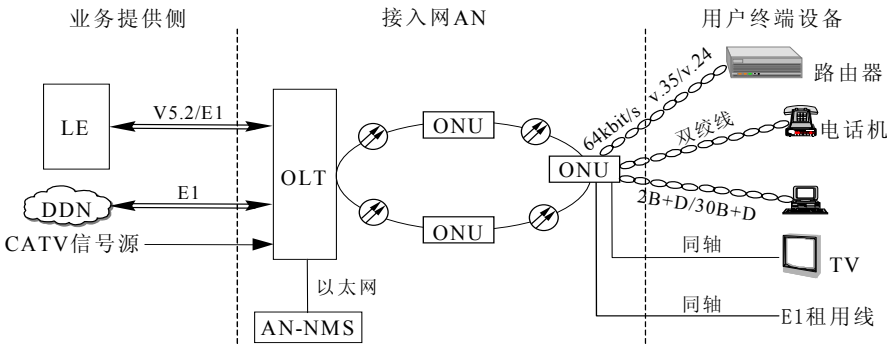


图32 HONET 的典型总体结构

在用户侧，光网络单元(ONU, Optical Network Unit)为光纤接入网提供直接的或远端的用户业务接口。华为 HONET 的 ONU-512、ONU-128 可提供电话、数字(2B+D 等)、E1 租用、VOD、CATV 等综合业务，最多带四个分支，可构成星形、树形、环形等网络结构，组网方式灵活。接口方式有光纤、双绞线、xDSL、E1 租用线、V.35/V.24 接口、2B+D/30B+D，同轴线及微波等多种形式。目前，ONU 主要置于路边或大楼。

在电信局侧，光线路终端(OLT, Optical Line Terminal)是光接入网与本地网之间的接口，完成电光/光电转换、业务接口及协议处理，并经 SDH 环路或无源光网络与用户侧的光纤网络单元(ONU)通信和提供网络管理接口。华为 HONET 的 OLT 由一至四个光业务单元(OSU)、CATV 服务单元和业务接口及协议处理单元模块叠加而成。它通过 V5 接口与数字程控电话交换机相连；以数字中继方式，DNIC 用户接口方式，或串口方式(V.24/V.35)连接数字数据网(DDN)网；以同轴电缆连接 CATV 电视台；以以太网方式连接 AN-NMS。

AN-NMS 可以是一台工作站(微机)，也可以是一个局域网，网上可以有单独的网管台、维护台、测试台、告警台、无线台、SDH 传输台、动力环境电源管理台等工作站。

OLT 与 ONU 既可以通过高性能价格比的内置式或嵌入式 SDH 光传输系统相连，也可以采用标准 SDH、PDH 和无源光网络(PON)等其它光传输系统相连。采用内置式或嵌入式 SDH 光传输系统相连时，若干 ONU 和 OLT 之间可以同时组成环形、树形、星形、链形等不同的拓扑结构，当组成环网时系统具有自愈功能。采用其他光传输设备相连时，网络拓扑结构依赖于相应的光传输系统。

8.4 几种主要的接入技术

作为各种业务共用接入平台的接入网将沿光纤化、SDH 化、分组化、宽带化、广覆盖、增加业务透明性的方向发展。目前，主要的技术手段是利用开放的 V5 接口，使接入网相对独立于 PSTN/ISDN 交换机；把 SDH 延伸到接入层；采用 xDSL 充分利用现有铜线资源；以 PON 实现配线段和引入线光纤化，使接入成本趋近于铜线；用 HFC 对有线电视网进行双向改造；以 ATM 宽带和 PON 透明性优势互补的 APON 技术低成本地拓展接入带宽；采用以太网和 DSL 相结合的传输分组包以太环系统(EDSL)和以无线本地环路(WLL)及宽带本地多点分配服务系统(LMDS)等无线接入做补充。

SDH 将在下章专门介绍，这里仅简要介绍几种常用的接入技术。

1. V5 接口

V5 是 ITU-T 制定的交换机和用户接入网之间的开放式接口标准。目前主要有 V5.1 和 V5.2 两种, 可支持 PSTN、ISDN 等业务类型的接入。不同厂家的交换机和接入网可在这个标准的接口上互连, 使用户在选择交换机和接入网设备时不受厂家的约束和限制。

2. 无源光网络 PON

无源光网络系统是一点(局端)对多点(ONUs)的系统, 它由作为光线路终端 OLT 的局端接口单元 COIU、集散用户信号提供用户接口的若干光网络单元 ONUs、连接 OLT (COIU) 和 ONUs 的 PON 及网管工作站 OAMP 四部分组成。

无源光纤网 (PON) 本身是由光纤和分光器以及相应的传输设备构成的传送和分配光功率的网络。当前最常用的是一根光纤和分光器做下行、另一根光纤和分光器做上行的全双工双向传输方式, 即在局端接口单元 COIU 和 ONUs 间, PON 是双纤单向网。

在 PON 中传输的信号速率为 51.2 Mb/s, 帧长 125 μ s, 每帧 640 个时隙, 每时隙 10 bit 并采用 8B10B 线路码, 即 PON 上 10bit 实为信号的 8bit。

PON 为每个 ONU 分配一个固定的时隙, 帧中包括了每个 ONU 时隙的标识号。下行信号为广播式时分复用 (TDM), 各 ONU 按标识号取信号。上行信号为时分多址 (TDMA), 因 ONU 远近不同的时延差异, 使信号不能按所给定的时隙顺序回到 COIU, 故要自动测量每个 ONU 至局端的距离(即时延), 据此调节各 ONU 发送上行信号的时间, 使各 ONU 上行时隙保持固定顺序。

3. xDSL

这里仅介绍高比特率数字用户线(HDSL, High Bit-Rate Digital Subscriber Line)和非对称数字用户线 (ADSL)。

HDSL 是一种利用铜线进行双向对称高速数据传输的新技术。它可以在 2~3 对双绞线上全双工地传输 $N \times 64\text{kb/s}$ 或 2Mb/s 数据信息, 传输距离 3~5 km。HDSL 采用了 2B1Q 编码技术及高速自适应数字滤波等数字信号处理技术来均衡全部频段上的线路损耗, 消除杂音和串音, 从而实现基群速率的宽带业务。

ADSL 是利用 1 对双绞线以上、下行不同速率的方式实现双向传输的技术。下行速率可达 8Mb/s, 上行一般仅为几十 kb/s, 适用于电视点播等业务。

4. 光纤/同轴混合网

光纤/同轴混合网 (HFC, Hybrid Fiber Coax)是一种以模拟频分复用技术为基础，综合运用模拟和数字传输技术、光纤和同轴电缆传输技术、射频技术的宽带用户接入网。主干系统使用光纤传输高质量的信号，配线部分使用树状拓扑结构的同轴电缆系统，传输和分配用户信息。HFC 是在有线电视网络基础上发展起来的能同时提供下行 CATV 业务和双向语言、数据及数字图象等交互型业务的网络。

光纤通信系统

网络是信息社会的基础设施，光纤通信网则是这个网络的核心或骨干，即人们常说的信息高速公路。

光纤带宽资源丰富，传输损耗低，不受电磁干扰，也无串音干扰，保密性强。光纤光缆，各类有源和无源光器件，光放大器等光纤通信的基本器材和部件已产业化。采用 SDH 和密集波分复用（DWDM）技术的光缆通信网在我国和全球已具规模，并将向全光网络方向发展。

本章主要内容：

- 光纤通信系统和光器件
- SDH 光纤通信系统
- 密集波分复用技术和全光网络

1 光纤通信系统和光器件

当前，光纤通信系统普遍采用数字编码和强度调制-直接检测（IM-DD）通信系统，其基本结构如图 33所示。电端机对用户的各种业务信号进行复用/去复用处理并发送/接收高速数字电信号；光端机把电端机的信号变换成适合光纤传输和能携带定时的线路码并进行电/光和光/电变换及光信号与光纤线路的耦合。光中继器通常采用掺铒光纤放大器以补偿光纤线路的损耗，也可以采用背靠背的光收、发信端机，并在其间配置数字信号再生单元组成的再生器（REG）代替光中继器，并简称为电中继。

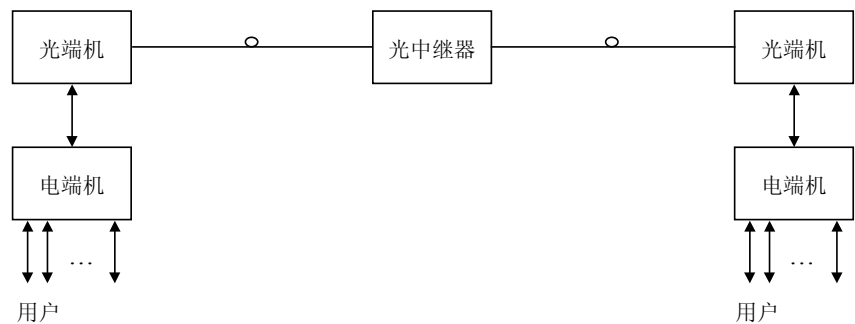


图33 光纤通信系统的基本结

如果中途需要分出/插入部分通道，可以采用分出/插入复用器（ADM）。ADM 其实也是一种可上/下电路的再生器，即在再生单元后配置相应的电端机，从再生的高速数字信号中分出指定的通路，并插入待发的通路。

现在，光端机和电端机已合二为一。通常，把光电合一的端机称为终端复用器（TM）。

一条光纤通信链路由两端的终端复用器（TM）、光纤线路及插在线路中的若干再生器（REG）和（或）分出/插入复用器（ADM）组成。REG 和（或）ADM 把链路分成若干段。两相邻 REG 或 TM 与紧邻的 REG 间的链路段称为（电）再生段；两相邻 ADM 或 TM 与紧邻的 ADM 间的链路段称为复用段。一个复用段可包含几个再生段。在一个再生段中，可插入光中继（放大）器，两相邻光中继器间的链路称之为光中继段。

通常，采用两根光纤实现双向通信，每根光纤支持一个方向。当前，已建成的光纤网络主要采用 G.652 光纤，它在 1550nm 波长窗口损耗最小，虽然有一定的色散，却能在一定限度内支持密集波分复用（DWDM）。例如，可以在这个窗口选用 32 个或更多个波长的密集波分复用，相邻波长之间的间隔仅 1.6 nm 左右。新的 G.655 非零色散和大有有效面积光纤在 1550nm 窗口色散系数为 4ps/nm·km，非线性功率门限高，无四波频（FWM）效应，适合更多波长的 DWDM。

在一个波长上，当前的 SDH 商用系统传输速率已达 10Gb/s（STM-64）。DWDM 的商用和 SDH 的提速，正使光通信系统的容量不断翻番，为满足日益增长的通信业务需求奠定了坚实的基础。

光分出/插入复用（OADM）和光交叉连接（ODXC）技术将在光网络层实现大通路灵活疏导和调度。一个以 DWDM+OADM+ODXC 全光网络为核心层，以 SDH 为中继层和以光接入网为主，并综合各种接入方式的接入层构成的传输网络必将极大地推动各行各业信息化的进程。

通信光源（半导体激光器 LD），光检测器和光纤放大器是支持光纤通信的三类最主要的器件。

1.1 通信光源

目前采用的通信光源主要是半导体激光器（LD）和半导体发光二极管（LED）。

LD 有内置谐振腔，功率-电流曲线有拐点（阈值点），当注入电流达到或超过阈值电流 I_t 时发出激光，小于 I_t 时发出萤光。LD 激光输出功率较大，谱线窄，适用于长距离、大容量的通信系统。目前较好 LD 的谱线宽度在 1 埃以下，但寿命较短，价格高。

LED 无光学谐振腔，功率-电流曲线无阈值，线性较好。LED 不能产生激光，靠自发辐射产生萤光，光功率较小，谱线较宽，调制速率较低，但寿命长，成本低，适用于短距离和中小容量的系统。

1.2 光电检测器

常用的光电检测器有光电二极管（PIN）和雪崩光电二极管（APD）两类，它们的基本功能是把微弱的光信号变成电信号。

光电检测器的核心是加反向偏压的 P-N 结，当光入射到 P-N 结耗尽层时，会产生很多电子-空穴对，并在电场的作用下，形成位移电流。

PIN 管偏压电路简单，价格较低；

APD 需外加高反偏压使其内部产生雪崩增益效应，它能实现有增益的光电转换，灵敏度较高，但噪声也较大。

1.3 光放大器

目前，光放大器有半导体光放大器(SOA)和光纤放大器（掺铒光纤放大器-EDFA，掺镨光纤放大器-PDFA、掺铋光纤放大器-NDFA）两类，此外，还可采用拉曼放大。

SOA 的波长范围较宽，在 1300~1550nm 波长范围内都能使用，但增益不高。

光纤放大器中，EDFA 已经商用。常规 EDFA 工作在 1550nm 波长窗口，增益高，增益谱特性好，能提供 30nm 左右的平坦增益带，且易于与光纤相接，是最常用的一种光纤放大器，其工作原理如图 34所示。

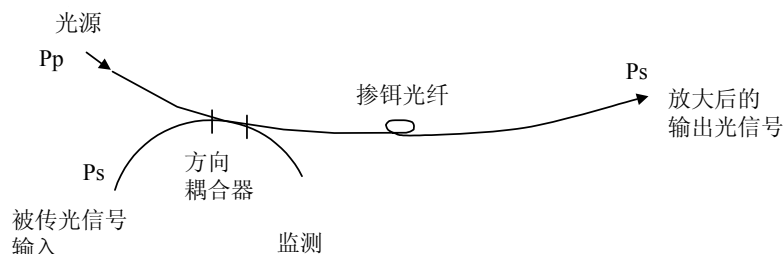


图34 掺铒光纤放大器原理图

掺铒光纤放大器应用范围很广，有单波长信号放大和多波长宽带放大两个系列的产品。

在传输线路的光纤中注入强功率，利用拉曼效应使光信号放大的现象称为拉曼放大。拉曼放大的优点是无需特制的掺铒光纤，线路光纤本身就作为放大器，进行分布式放大，所放大的波长，取决于光泵的波长。拉曼放大的关键就是强功率光泵。

拉曼放大可使光纤工作在线性较小的状态，减少 4 波混频干扰。拉曼放大器的增益比 EDFA 小些，与 EDFA 组合使用效果较好。

不同种类和不同公司出产的光纤，拉曼放大性能有所不同。测试表明，Corning 公司的 NZ-DSF G.655 光纤的拉曼放大系数较大，而全波光纤较小，两者的拉曼放大系数可相差 1 倍。

2 SDH 通信系统

20 世纪 80 年代中期，光纤通信开始在通信网大规模应用时，主要着眼于点到点传输，而采用 G.652 光纤的 1310 nm 波长窗口和准同步（PDH）传输系统，传输速率一般为 140Mb/s。随着光纤干线网络的逐步形成和扩大及信息社会与网络时代的到来，人们开始从全国，甚至全球网络化的角度规划和建设通信网。对一个四通八达的信息高速公路网的基本要求是数字化、光纤化、大容量、宽频带、高效率、易调度、易维护管理、安全可靠、能纵横兼容，能自我保护，生存力强。

没有世界统一标准的光接口，不能横向兼容多厂家设备，管理和维护开销比特少，帧结构复杂，不能直接分出/插入电路，传输速率有限的 PDH 系统显然不能满足上述要求。

为此，美国贝尔通信研究所提出了光同步传输网的概念，并称为同步光网络（SONET）。SONET 由一整套分等级的标准化数字传送结构组成，能把各种数字化业务信号作为净负荷（净负荷是指网络节点接口比特流中的业务信息比特部分）按规定的标准化结构复用成规范的成帧码流，经扰码和电/光变换后在光纤线路上传送。原国际电报电话咨询委员会（CCITT）（现为 ITU-T）于 1988 年接受了 SONET 概念，并将其发展为世界各国普遍接受的同步数字体系（SDH）。

如果把 PDH 比喻为另担散装车运输，那么，SDH 就犹如集装箱货柜车运输。SDH 是不仅适用于光纤，也适用于微波和卫星传输的通用技术体制，目前在世界范围内就 SDH 的基本软件和硬件问题已经达成了一致的协议。

2.1 SDH 信号的帧结构和速率等级

同步数字系列（SDH）规定了一套标准化的字节结构等级，称为同步传送模块（STM）。同步传送模块包括 STM-1、STM-4、STM-16、STM-64、……STM-N 等一系列模块，即 N 被规范为 4 的整数次幂。

SDH 终端复用设备（TM）把各种业务信号码流按同步传送模块的结构规范组成 STM-N 成帧信号，即 SDH 信号码流。如图 35 所示，一个 STM-N 是 SDH 信号码流中由帧头字节组领头的 $9 \times 270 \times N$ 个连续字节。这段字节的持续时间，即 STM-N 以时间计量的帧长，无论 N 取何值都是 125 μ s。帧头字节组

有规定编码图案，例如 STM-1 的帧头字节组编码图案为“111101101111011011110110001010000010100000101000”。

为形象起见，可将 STM-N 的 $9 \times 270 \times N$ 个字节排列成 9 行和 $(270 \times N)$ 列的矩形块，犹如一个满载的标准集装箱。因此，我们通常说 SDH 具有块状帧结构，并把 SDH 传输比喻为集装箱货柜车运输。

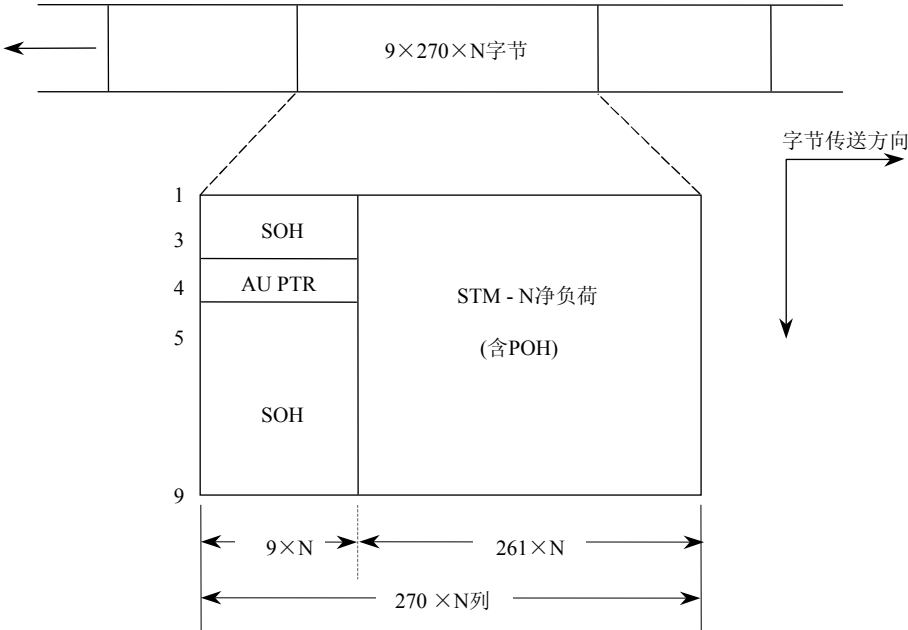


图35 STM-N 帧结构

STM-N 的块状结构可划分成 STM-N 净负荷（Play load）、段开销（SOH）和管理单元指针（AU PTR）三部分。

STM-1 是 SDH 的基本模块。图 36 是详细画出段开销和管理单元指针（AU-4 PTR）的 STM-1 帧结构。STM-N 帧是 N 个 STM-1 帧按字节间插的结果，即 STM-N 的矩形块仍保持 9 行，而列数比 STM-1 块扩展 N 倍，第一个 $(1 \sim N)$ 列组由 N 个 STM-1 的第 1 列组成，第二个 $(1 \sim N)$ 列组由 N 个 STM-1 的第 2 列组成，如此等等。

1. 段开销

段开销（SOH）是为 STM-N 传送服务的操作、管理与维护（OAM）字节，它被 AU PTR 间隔成上部的再生段开销（RSOH）和下部的复用段开销（MSOH）两部分。段开销共有 $8 \times 9 \times N$ 个字节。相当丰富的段开销是光同步传输网的重要特点之一。

如图 36 所示，基本模块 STM-1 的 RSOH 包括 3×9 个字节（图 3-4 中每一小格代表 1 字节），MSOH 包括 5×9 个字节， 分别用于再生段和复用段的

操作、管理与维护(OAM)。其中,以字母标注的字节之功能已由ITU-T G.709建议规定,未标注字节的功能待将来国际标准规定,标注×的字节保留给国内使用,*号表示该字节不扰码。

STM-1 的 SOH 有代表性，其有关字节的操作、管理与维护（OAM）功能简述如下：

A1 和 A2 是定帧字节，规定 A1=11110110； A2=00101000。它们组成帧头标识编码图案，以识别 STM-1 帧的起始位置。

为了让 SDH 线路码既载送信息也携带定时，必须避免线路码出现长连“0”或长连“1”，但源于信息的 STM-1 成帧码流可能出现长连“0”或长连“1”的情况。为解决这个矛盾，要把 STM-N 成帧码流先经过扰码器扰码，即破坏可能的长连“0”或长连“1”，再电/光变换而发送到光纤线路上。在收信端，则于光/电变换后进行反扰码。

显然，如果 A1 和 A2 定帧字节组成的帧头编码图案也因扰码而被破坏，则再生器无法识别 STM-1 帧，就不能维持通信。因此，不对 A1 和 A2 定帧字节，或 RSOH 的第一行扰码。

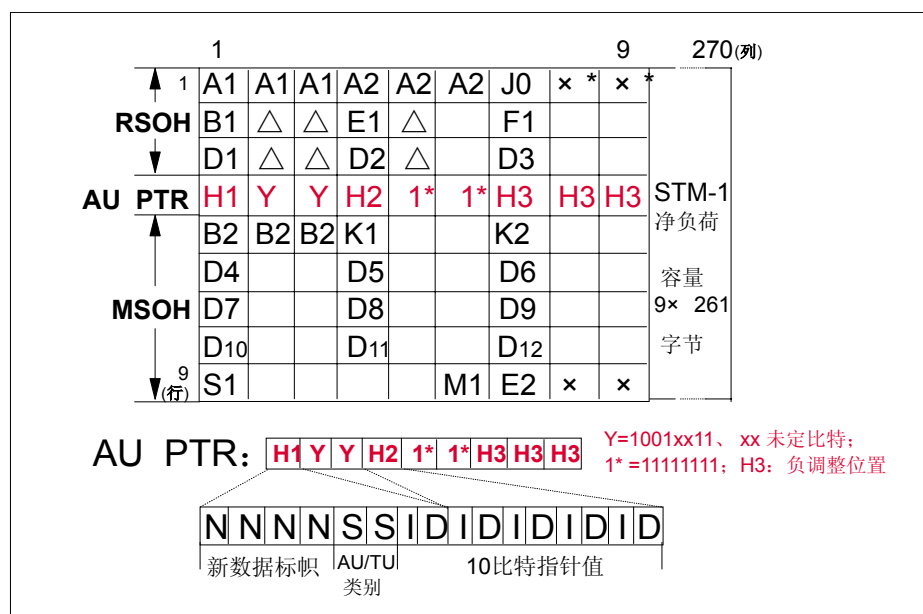


图36 STM-1 的帧结构

J0 是再生段踪迹字节，用于重复发送由收、发两端商定的段接入点标识符，保证该再生段的接收终端与指定的发送端处于持续连接状态。

B1 是对 STM-1 码流按 8 位比特间插奇偶校验算法计算的结果, 简记为 BIP-8 码, 用做对再生段作误码监测。

B2 三字节组是对复用段码流按 **24** 位比特间插奇偶校验算法计算的结果，简记为 **BIP-24** 码，用做对复用段作误码监测。复用段码流是未加入或剥离了 **RSOH** 的信号码流。

F1 是使用者（即运行维护方）通路字节，用于临时公务通信。

E1 和 **E2** 分别是再生段和复用段公务联络字节。

K1、**K2** 是自动保护倒换（**APS**）通路字节，用来传送 **APS** 信令。

S1 是同步状态字节，我国“光同步传输网技术体制 **TZ015-94**”已对该字节表示的同步消息做了规定。

M1 是段远端误块指示字节，用于收端根据三个 **B2** 字节的 **BIP-24** 校验结果，向发端回告复用段差错情况。

D1~D12 是数字通信通路（**DCC**）字节，用于传输操作、管理与维护（**OAM**）信息。

Δ 是与传输媒质有关的字节。

STM-N 的 **SOH** 是 **N** 个 **STM-1** 的 **SOH** 进行字节间插的结果。在端到端的传输中，把 **N** 个 **STM-1** 作为一个 **STM-N** 来操作、管理与维护和对一个 **STM-1** 做操作、管理与维护差不多。因此，**STM-N** 传输过程中只须完整保持第 1 个 **STM-1** 的 **SOH** 并保留（**N-1**）个 **SOH** 的第一行（**A1**、**A2** 和 **J0**）即可，其余的 **SOH** 字节可予以空闲。

2. 净负荷、通道开销和指针

进入 **SDH** 的业务信息码流如同要承载的货物，被有序地装在几种规格化的容器内，若干容器又规范地组成较大的单元，数个单元构成一个标准集装箱（**STM-1** 的净负荷）。这种分级复用（组装）的每一级，都有必要加入表示所装货物（信息字节）属性和装箱方式的信息，即用于操作、管理与维护的各级开销字节，称之为通道开销（**POH**）。**POH** 服务于低级别的容器和单元，所需字节数目和功能比 **SOH** 要简单得多，但基本功能却类似，不再赘述。

为了方便从标准集装箱（**STM-1** 净负荷）上/下指定容器中的货物（净荷），在分级复用过程中，还有必要标示出容器或小单元在大单元中的位置。

一个方便的方法是把标准集装箱和各级单元的空间都分成适当的小格，并选定一个参考位置为起点，依序给各小格或几个小格构成的组编号。于是各级单元中货物的位置就可由这些单元或容器中某一指定的标志点所在格或格组的编号来表示，这一过程称为定位。传送这些编号的字节即为各级单元指针。

3. 管理单元指针（AU PTR）和指针调整

如图 36所示，STM-1 的管理单元指针位于第 4 行 1~9 列，其中 H1 和 H2 两字节构成 16 比特的指针，包括新数据标帜（NDF）、AU/TU 类别和 10 比特指针值三部分。10 比特指针值可传送 $2^{10}=1024$ 个十进制编号。这意味着 STM-1 净负荷最多只能划分为 1024 个小格或小格组，而该净负荷容量为 $9 \times 261=2349$ byte，即可分成 2349 个“1byte”小格，但却不可能每小格给一个编号。因此，AU PTR 以三小格（3byte）为一个三比特组，共 $2349/3=783$ 组，每组给予一个编号（编号 0~782），作为为容器定位的指针值。

选定第 4 行第 9 列的 H3 位置为 STM-1 净荷区格组位置编号（即指针值）的参考点，即把紧邻该 H3 的净负荷三比特组定为 0 号组，于是各组从左到右，从上到下逐一编号。

无论是以单元还是容器形式进入 STM-1 净荷的信息数据流，作为一个集体，每单元或容器中的各字节间的位置关系是固定的。因此不必逐一指明每个字节在 STM-1 净负荷中的位置编号，只要指明其中一个字节，例如领头的通道踪迹字节 J1 所在的位置编号即可。

鉴于时钟误差等因素的影响，不同帧进入 STM-1 净荷的信息数据流可能比预定时刻超前或滞后，从而 J1 所在的位置号也应有所调整，这个过程称为指针调整。管理单元指针（AU PTR）即时反映和传送此指针调整信息到收信端。

为使以 J1 字节领头的信息数据流因指针调整能在满载的净荷区内移动，在紧邻净荷的指针中设置 H3H3H3 三个字节的缓冲位并称为负调整位置。

指针中的新数据标帜（NDF）以“0110”和“1001”分别表示与前帧比较，本帧净负荷容量无变化和有变化。

指针中表示 AU/TU 类别的二个比特 SS 指示进入 SDH 的业务信号组织成 STM-1 信号的复用路线。

4. SDH 的速率系列

让我们来计算一下 SDH STM-N 成帧信号的速率 R （STM-N）。因为 STM-N 有 $9 \times 270 \times N$ 个字节，每字节 8bit，每秒传送 8000 个模块，所以：

$$R(\text{STM-N}) = (9 \times 270 \times N) \times 8 \times 8000 = 155.520 \times N \quad \text{Mb/s}$$

STM-N 矩形块帧结构中的一小格，即一个字节，表示一个速率为 64kb/s 的数字通路。

SDH 的基本模块是 STM-1，它的速率是 155.520 Mb/s，STM-N 的速率为 $155.520 \times N$ Mb/s。为简单起见，口语中常把速率取整。所以，SDH 的速率

系列为 155M、622M、2.5G、10G 和 40G 等等。当前商用 SDH 系统的速率达 10G。

2.2 SDH 的复用结构

鉴于 SDH 商用以前，PDH 已广泛应用，即大多数用户的业务信号已被组织成不同等级 PDH 信号。因此 ITU-T G.709 建议给出了以各级 PDH 数字信号为支路信号的 SDH 复用结构，如图 37 所示。实际上支路信号可以是任何数字信号或数据信号，例如电视编码信号，ATM 信号，IP 信号等等。总之，只要设计相应的适配接口，各种业务信号都可由 SDH 来承载，而当前 SDH 主要采用光纤传输，特别是通过 DWDM 的特大容量光纤传输。英语中“Over”有承载的含意，于是常有“ATM over SDH”，“IP over SDH”，“SDH over DWDM”或“SDH ove Optical”等提法。显然，随着通信技术和通信需求的发展，可以省去某些承载的中间载体，例如，直接“IP over Optical”。不过 SDH 作为中间载体的优点还将保持相当长的时间。

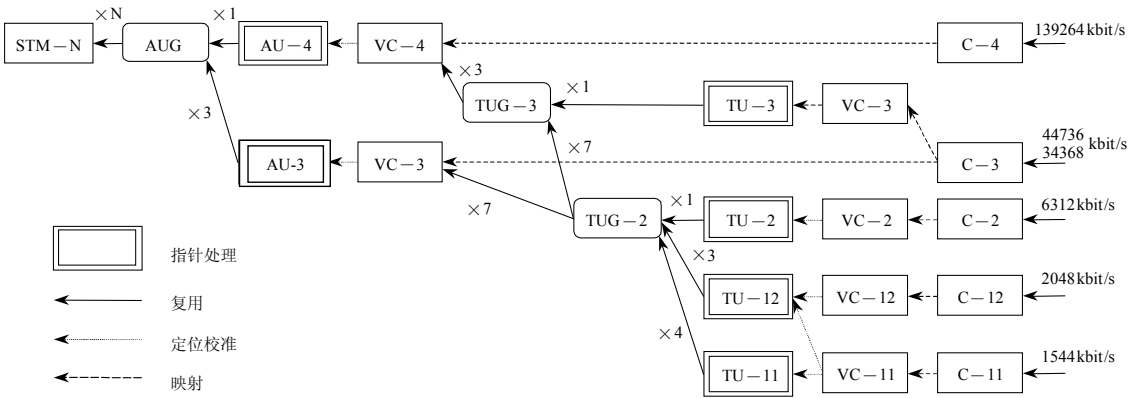


图37 G.709 建议的 SDH 复用结构

由图 37 可见，在 G.709 建议的复用结构中，从一个有效负荷到 STM-N 的复用路线不是唯一的。各国可根据国情选定合适的路线。我国选定经过 AU-4 的复用路线，并仅采用 PDH 欧洲标准（E）系列的 2M、34M 和 140M 支路接口。采用 AU-4 路线时，AU PTR 中表示 AU/TU 类别的 SS=10。

把支路信号复用成 STM-1 成帧信号的复用过程分为映射（Mapping），定位校准（Aligning）和复用(Multiplexing)三个步骤。

1. 映射

支路信号来自不同用户，即使名义速率相同，实际速率也有所差异。为对它们进行同步复用，在经过 G.703 PDH 物理接口（PPI）进入 SDH 终端设备后，统统要先经过码速调整和适配，并以规范的速率和规则装进合适的容器

(C-n) 中, 再加入相应的通道开销 (POH) 即构成一个虚容器 (VC-n)。这一步骤称为映射 (Mapping), 并可表示为:

$$VC-n = C-n + VC-n POH$$

这里, VC-n POH 指服务于 VC-n 的通道开销, n 是各种具有规范结构, 容量和速率的容器和虚容器的标识号、它有 11、12、2、3、4 等编号, 分别对应于 PDH 系列的 1.5M、2M、6.3M、34M 或 45M、140M 支路。

虚容器 (VC-n) 是 SDH 承载相应支路信号的逻辑容器, 并构成 STM-N 链路中的一条逻辑通道, 通常称为 VC-n 通道。

2. 定位校准

VC-n 要进一步装进稍大一点的支路单元 (TU-n) 或管理单元 (AU-n) 中。这些单元由相应的 VC-n 加入相应的单元指针 (TU PTR 或 AU PTR) 构成, 并可表示为:

$$TU-n = VC-n + TU-n PTR; n = 11, 12, 2, 3$$

$$\text{或 } AU-n = VC-n + AU-n PTR; n = 3, 4$$

几个单元可复用成一个支路单元组 (TUG-n) 或管理单元组 (AUG-n)。

在一个分出/插入通道的节点设备 (ADM) 或交叉连接节点设备 (DXC) 中, 要从上游的 STM-N 信号中去复用, 还原出由上游设备时钟控制的 VC-n, 在对它们进行替换 (即分出/插入) 或交叉时序 (交叉连接) 后, 再装进相应的单元并复用成向下游发送的 STM-N 信号。显然, 本节点设备的支路单元 (TU-n)、支路单元组 (TUG-n) 和管理单元 (AU-n) 是受本节点时钟控制的, 即是同源的, 可以简单地采用字节交错间插复用方式构成更大的单元。而 VC-n 是由上游节点时钟控制的, 与本节点的 TU-n 和 AU-n 不属同源信号, 总有差异。因此, VC-n 装进 TU-n 或 AU-n 时必须有一个指针调整过程, 即用微调 VC-n 各字节在单元中的位置以补偿两时钟间的差异, 并加入指示 VC-n 的领头字节在单元中位置编号的指针, 以利收端去复用时, 还原出 VC-n。这一步骤称之为定位校准是十分贴切的。

3. 复用

字节交错间插复用方式把若干个 TU-n 复用成 TUG-n, 多个 AU-n 复用成 AUG-n, 或 N 个 STM-1 复用成 STM-N 的同步复用是一种简单的时隙交错排列过程。

我们参照图 37, 以装有一个 2048kb/s 支路信号的 TU-12 按 AU-4 路线复用成 STM-1 为例, 可列出如下复用过程表达式:

$C-12 = 2048\text{ kbit/s} + \text{塞入比特};$

$VC-12 = C-12 + VC-12 \text{ POH};$

$TU-12 = VC-12 + TU-12 \text{ PTR};$

$TUG-2 = 3 \times TU-12;$

$TUG-3 = 7 \times TUG-2;$

$VC-4 = 3 \times TUG-3;$

$AU-4 = VC-4 + AU-4 \text{ PTR};$

$AUG = 1 \times AU-4;$

$STM-1 = 1 \times AUG + SOH$

$STM-N = N \times STM-1$

因此，一个 STM-1 包含 63 个 VC-12 或 48 个 VC-3 或一个 VC-4。可见，在我国的 SDH 体制中，采用 34M 接口是不经济的，应控制使用。

2.3 SDH 设备

让我们以华为 OptiX SDH 设备典型总体结构来简述 SDH 设备的功能和种类。分出/插入复用设备（ADM）的结构能更全面地反映 SDH 设备的功能，图 38 是它的总体结构。

OptiX SDH 设备由主信道部分（包括线路单元、交叉连接单元和支路单元）、开销处理单元、主控单元、定时单元和内置式光放大器单元等构成。

1. 主信道部分

线路单元、交叉连接单元、支路单元构成业务主信道部分。

支路单元接入各种支路业务信号并执行映射功能，将生成的各类 VC-n 信号送给交叉连接单元。

交叉连接（DXC）单元是一个 VC-n 的交换矩阵，对 VC-n 进行分配调度。它可以按操作者通过主控单元下达的指令使各个 VC-n 信号直通、改变通路、分路和环回。交叉连接可在 VC-n 的各级进行，并用 DXCm/n 来表示，这里 m 指能执行交叉连接的 VC 之最高级别，n 是最低级别。例如，DXC4/1 表示能对从 VC-11 到 VC-4 所有级别的 VC 执行交叉连接的 DXC 单元。

线路单元对交叉连接后的 VC-n 进行定位校准和复用、 再加入来自开销单元的 SOH，形成 STM-N 成帧信号，并对其扰码和光电交换，经光接口发送到光纤线路上。

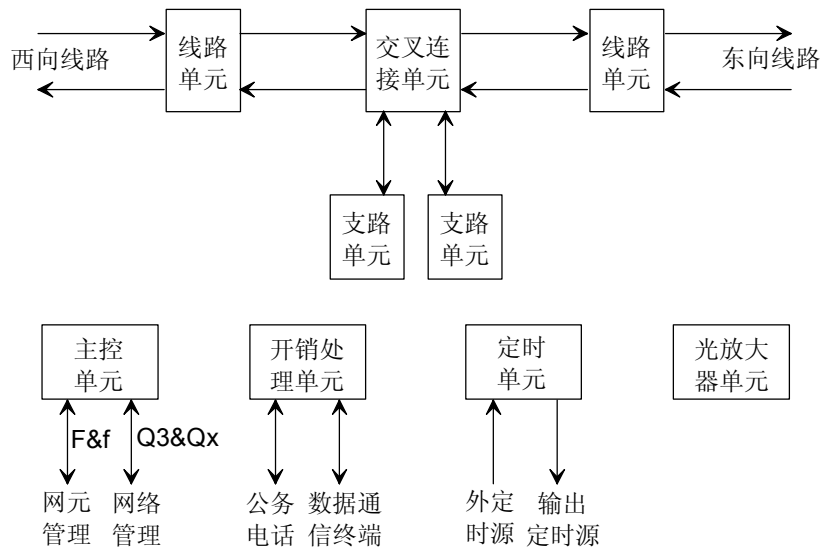


图38 华为 OptiX SDH 设备总体结构

2. 定时单元

定时单元由高稳定度石英晶体振荡器和锁相环组成。它从线路信号或外部定时源获取定时信号，锁定本身的晶振，并由它提供本节点的工作时钟，也可向同级节点或下级节点输出定时信号。

3. 主控单元

主控单元可以通过 F 或 f 接口连接网元管理终端，还可以通过 Q 接口连接网络管理终端。不同传输网元之间可以通过 DCC 通道交换信息。接入网管系统的网元称为网关网元（GNE），它负责收集传输系统的性能、告警等维护信息上报网管，并下发来自网管的各种命令，如配置指令、监视指令等。

4. 开销处理单元

开销处理单元除接入三路公务电话外，还提供若干数据通信接口，如 RS-232、RS-422、64kb/s 同向数据接口等。

5. 内置式光放大器单元

光放大器用来拓展光传输线路接口的中继距离，工作于 1550nm 波长窗口，分为功率放大器和预置放大器两种。

华为 OptiX SDH 设备采用了有全交叉功能的交叉连接单元和适应各种新业务的支路接口并有完备的管理功能,可以通过软件将同一设备配置为 TM、ADM、REG 甚至小型 DXC。

2.4 SDH 光缆线路系统和光接口

SDH 光缆线路系统是在光缆上以 SDH 规范的速率实现数字线路段的手段,它由线路终端、光缆线路段和再生器(如果需要)组成, 如图 39中两终端参考点 C 间的部分所示。

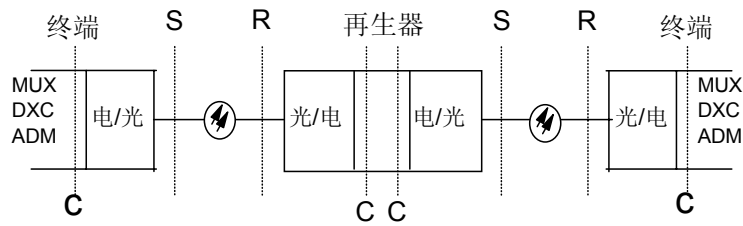


图39 SDH 光缆线路系统

线路系统中 S 点是发信机活动连接器后的参考点, R 点是接收机活动连接器前的参考点。它们规范了光接口的位置。光接口由参考点 S 处发信机、参考点 R 处接收机和 S~R 点之间光缆段的光参数定义, 并按应用距离、速率或 STM 等级及光纤类型和工作波长编列代码来分类, 如表 4所示。

表4 光接口分类和其应用代码（应用缩写字母—STM 等级号·光纤和使用波长代码）

应 用	局内	局 间										
		短距离			长距离							
光源标称波长 (nm)	1310	1310	1550	1550	1310	1550	1550	1310	1550	1550	1550	1550
光纤类型	G.652	G.652	G.652	G.653	G.652	G.652	G.653	G.652	G.652	G.653	G.652	G.653
目标距离(km)	≤ 2	~15	~15		~40	~80	~80	~80	~120	~120	~160	~160
STM等级 STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2		L-1.1	L-1.2	L-1.3					
STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2		L-4.1	L-4.2	L-4.3	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2		L-16.1	L-16.2	L-16.3	V-16.1	V-16.2	V-16.3	V-16.2	V-16.3
目标距离(km)		~20	~40	~40	~40	~80	~80	~80	~120	~120		
STM-64		S-64.1	S-64.2	S-64.3	L-64.1	L-64.2	L-64.3	V-64.1	V-64.2	V-64.3		

代码：1或空白表示G.652 光纤和1310nm工作波长；
2表示G.652或长距离G654光纤和1550nm工作波长；
3表示G.653光纤和1550nm工作波长

* 局内链路无再生器

光接口的主要参数如下：

1. 光源最大-20dB 谱线宽度

定义为主模的最大峰值功率跌落到-20dB 时的最大谱线宽度；

2. 光源最小边模抑制比（SMSR）

定义为主纵模平均光功率 P_1 与最显著边模的平均光功率 P_2 之比的最小值：

$SMSR = 10\lg(P_1/P_2)$ ；SMSR 的值应不小于 30dB；

3. 光源平均发送功率

定义为 S 参考点处测得的发信机发送伪随机二进制码序列的平均光功率；

4. 光源的消光比（EX1）

定义为信号“1”的平均发光功率与信号“0”的平均光功率之比值，而 $EX = 10\lg(EX1)$ （dB）长距离传输时，消光比 EX 为 10dB（除了 L-16.2），其它情况下为 8.2dB；

5. 接收机灵敏度

定义为 R 点处为达到 1×10^{-10} 的比特差错率（BER）值所需要的平均接收功率的最小值。接收机开始使用与寿命终了时的灵敏度相差大约为 2 -4dB。一般情况下，设备灵敏度的实测值要比指标最小要求值(最坏值)大 3dB 左右；

6. 接收过载功率

定义为在 R 点处为达到 1×10^{-10} BER 值所需平均接收光功率的最大值。当接收光功率高于接收灵敏度时，由于信噪比的改善，会使 BER 变小，但随着光接收功率的继续增加，接收机进入非线性工作区，反而会使 BER 下降，故要设置此项参数；

7. 光纤线路的损耗和色散

可采用线路实际使用光缆中的光纤测试值或出厂值。

SDH 有世界统一的光接口标准，并由 ITU-T G.957 建议规范。规范中给出的参数指标为最坏值，即在极端的（最坏的）光通道衰减和色散条件下，仍然要满足每个再生段（光缆段）的误码率不大于 1×10^{-10} 的要求。

2.5 SDH 保护和自愈环

SDH 传输速率高，容量大，必须充分重视生存性问题。解决这个问题的办法是对设备重要单元，光纤线路采用 1+1 或 1: n 备份保护和对网络路由进行保护倒换。自愈（Self-healing）是生存性网络最突出的要求。所谓自愈，是指网络对于某些局部失效具有无需人为干预就能自动倒换到替代路由，重新配置业务，保持通信的能力。

SDH 网的自愈保护方法从网络功能结构划分，可以分为路径保护和子网连接保护。

1. 路径保护

当工作路径失效或性能劣于某一指定水平时，工作路径将由保护路径所代替。路径终端可以提供路径状态的信息，而保护终端则提供受保护路径状态的信息。这两种信息是保护启动的依据。路径保护是一种复用段或数字段保护（MSP）。

最简单但成本较高的路径保护是线型 1+1 或 1: n 备份保护。例如设备重要单元（电路板）的 1+1 主/备份保护，或一般单元 1: n 备份保护，光纤的 1+1 或 1: n 备份保护等。这些保护要利用 K1、K2 复用段开销字节以及相关的自动保护倒换（APS）规约。

网络节点连成环形可以改善网络的生存性和性能价格比。因此，效率较高的路径保护是环形网保护。

2. 子网连接保护（SNCP）

当工作子网连接失效或性能劣于某一指定水平时，工作子网连接将由保护子网连接所代替。子网连接保护可以应用于网络内的任何层，被保护的子网连接可以进一步由低等级的子网连接和链路连接级联而成。通常，子网连接没有固定的监视能力，因而子网保护方案可以进一步用监视子网连接的方法来表示。

SDH 复用设备可在一条光纤上开通众多的通道。所以一个物理光纤网可视为众多的逻辑通道子网的组合。因此，通道保护是一种子网保护，也有线型和环形等保护方式，并可在不同等级的 VC 通道上实施。

3. SDH 自愈环

SDH 光传输网普遍采用自愈环(SHR)保护。表 5列出了 SDH 自愈环的常用结构。

表5 SDH 自愈环的常用结构

类 型	复 用 段 保 护 环			通 道 保 护 环		
环 向	双 向		单 向	双 向		单 向
光 纤 数	二 纤	四 纤	二 纤	二 纤		二 纤
保 护 方 式	线 路 保 护			1 + 1	1 : n	m : n
						1 + 1

(1) 复用段保护环（MSP）

复用段保护是对光缆线路系统的保护，而环路保护可自然实现工作路由和保护路由为不同物理路由的要求。

a) 二纤单向复用段专用保护环（MS-USHR/L-DPR）

二纤单向复用段专用保护环的结构如图 40所示。各节点仅从工作光纤 S1 中分插信道，保护光纤 P1 平常是空闲的，因而是 1+1 专用保护。

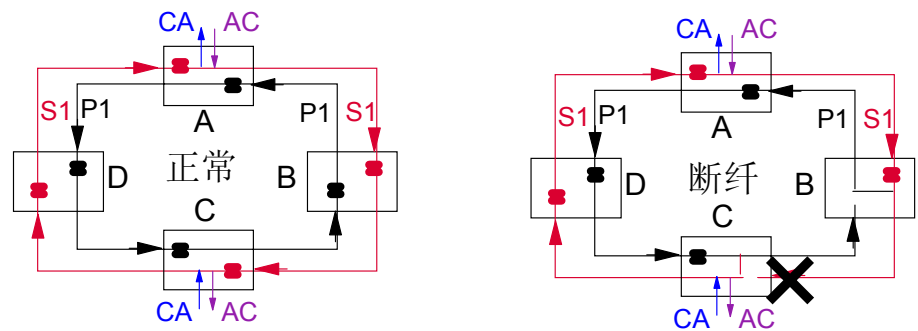


图40 二纤单向复用段专用保护环

环上每一个节点在支路信号分插功能单元前都有一个保护倒换开关。

正常情况下，信号仅仅在 S1 光纤中传输，而 P1 光纤是空闲的。如从 A 到 C 的信号 AC 经 S1 过 B 到 C，而从 C 到 A 的信号 CA 也经 S1 过 D 到 A。

当 B、C 节点间光缆被切断时，切断点两边的两个节点（B、C）执行环回功能。此时，从 A 到 C 的信号 AC 经 S1 到 B 后，被环回到保护光纤 P1，通过 A、D 到达 C。而信号 CA 仍经 S1 传输。故障排除后，倒换开关再返回原来位置。

这种线路环回保护，系统较简单、要求自动保护倒换（APS）协议、，倒换时间短于 50ms，带宽不能再利用，无额外工作能力。

b) 二纤双向复用段共享保护环（MS-BSHR/2-SPR）

二纤双向复用段共享保护环的结构如图 41所示。它利用时隙分配技术将一根光纤的一半时隙作为工作通道 S1，另一半时隙作为占据另一根光纤一半时隙的工作通道 S2 的保护通道 P2，并把这根光纤称为 S1/P2 纤。因此，在 S1/P2 和 S2/P1 两根光纤中，S1 和 P2，S2 和 P1 通道的传输方向是相同的。

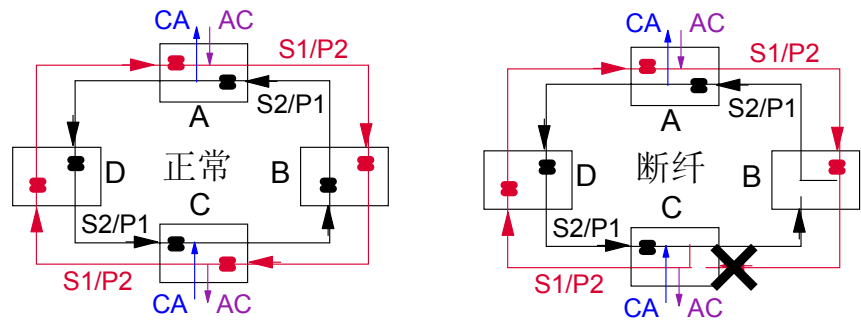


图41 二纤双向复用段共享保护环的结构

当 BC 段光纤全部被切断时，在 B、C 节点分别将 S1/P2 光纤与 S2/P1 光纤沟通，各工作通道从原来的光纤环回到另一根光纤中自己的保护通道内，反方向迂回地通达目的节点，以维持通信。故障排除后，再倒回正常情况。

这种保护环因为有一半容量用作保护通道，其复用段实际容量仅为光系统容量之半。但是，比如说当 A、B 间满容量通信时，B、C 间，C、D 间和 C、A 间仍可独立地进行满容量通信。即如果二纤双向复用段保护环上各节点仅与相邻节点通信而无跨节点通信，则它们都能共享 STM-N 的一半通信容量，因此称为共享保护环。

这种保护环的无跨节点通信总容量为各 ADM 段内的容量之和，即光系统容量的 M/2 倍 $[(M/2) \times \text{STM-N}]$ ，而保护的可靠性相当于 1: M; M 为环上节点数目。当有跨节点通信时，环的总容量在 $(\text{STM-N}/2)$ 和 $[(M/2) \times \text{STM-N}]$ 之间。长途通信网中跨段和不跨段的通信兼而有之，采用二纤双向复用段共享保护环的效率较高。

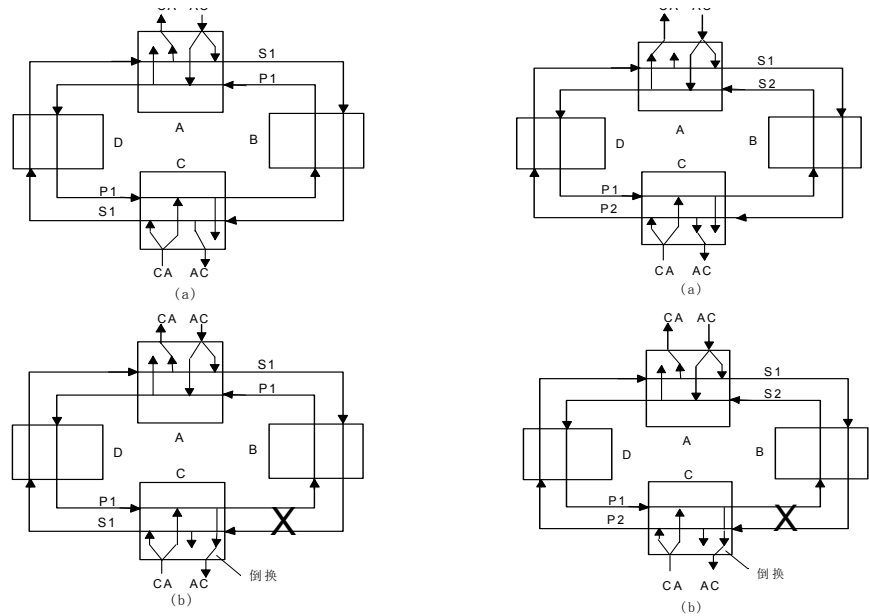
二纤双向复用段共享保护环属线路环回保护，系统比较复杂、要求 APS 协议、倒换时间短于 50ms，有共享带宽或重复利用部分带宽的能力。

c) 四纤双向复用段共享保护环 (MS-BSHR/4-SPR)

四纤双向复用段共享保护环其实是二纤双向复用段共享保护环的翻版，即采用二根工作光纤 S1、S2 和二根保护光纤 P1、P2 来取代利用时隙分配技术把一根光纤一分为二的做法。所以四纤双向复用段共享保护环的容量是二纤双向复用段共享保护环的一倍，并省去了时隙分配，其它特性与二纤双向复用段共享保护环相同，不再赘述。

(2) 通道保护环 (PP)

子网连接保护 (SNCP) 是可适用于各种网络拓扑结构且倒换速度快的保护方式，并能在各级 VC 通道层进行，通道保护环属于子网连接保护，包括二纤单向环和双向环，如图 42 所示。不过通常采用二纤单向通道专用保护环。



二纤单向通道保护环

二纤双向通道保护环

图42 通道专用保护环

a) 二纤单向通道专用保护环（USHR/P（SNC）-DPR）

二纤单向通道保护环（Two-fiber unidirectional path protection rings）采用 1+1 保护方式、“首端桥接，末端倒换”结构。一个单纤环作为双向通信工作光纤环 S1，另一单纤环作为专用保护光纤环 P1。发端业务信号桥接在双纤环上，各单纤环的信号传送方向相反。在接收端根据信号优劣选择从工作或保护光纤环上接收业务信号。

如图 42 所示，由 A 节点到 C 节点的信号 AC 同时由 S1 光纤环顺时针方向经 B 节点和由 P1 光纤环反时针方向经 D 节点的两条路径到达 C 节点。由 C 节点从两路信号中择优使用。即使 B、C 间光纤切断，仍有一条路径畅通。

b) 二纤双向通道保护环（Two-fiber bidirectional path protection rings）

二纤双向通道保护环也是“首端桥接，末端倒换”结构的 1+1 保护方式。与单向保护环不同的是每个单纤环按段分，既做工作光纤又做保护光纤。不是由单环，而是由双环同侧的两段光纤各支持一个方向的通信。

如图 42 所示，为支持 A 节点和 C 节点间的双向通信，令双纤环 A-C 右半环二根光纤段，一根提供 AC 工作通道 S1，另一根提供 CA 工作通道 S2。而 A-C 的左半环二根光纤段，对应 S1 的那根提供 CA 保护通道 P2，另一根提供 AC 保护通道 P1。发端业务信号桥接在双纤环上，各单纤环的信号传送方向相反。由 A 节点到 C 节点的信号 AC 同时由 S1 光纤段顺时针方向经 B 节点和由 P1

光纤段反时针方向经 D 节点的两条路径到达 C 节点。由 C 节点从两路信号中择优使用。即使 B、C 间光纤切断，仍有一条路径畅通。

二纤双向通道保护环主要优点是可以保证双向业务的一致路由，这一点对于时延敏感的业务（如视频）很重要。

2.6 DNI（双节点接口）节点的互通业务保护

两环互通或两环相交时应有两个节点构成两环互通的双节点接口 DNI， 如图 43所示。两环上的节点间的业务要通过双节点接口互通并实现保护。

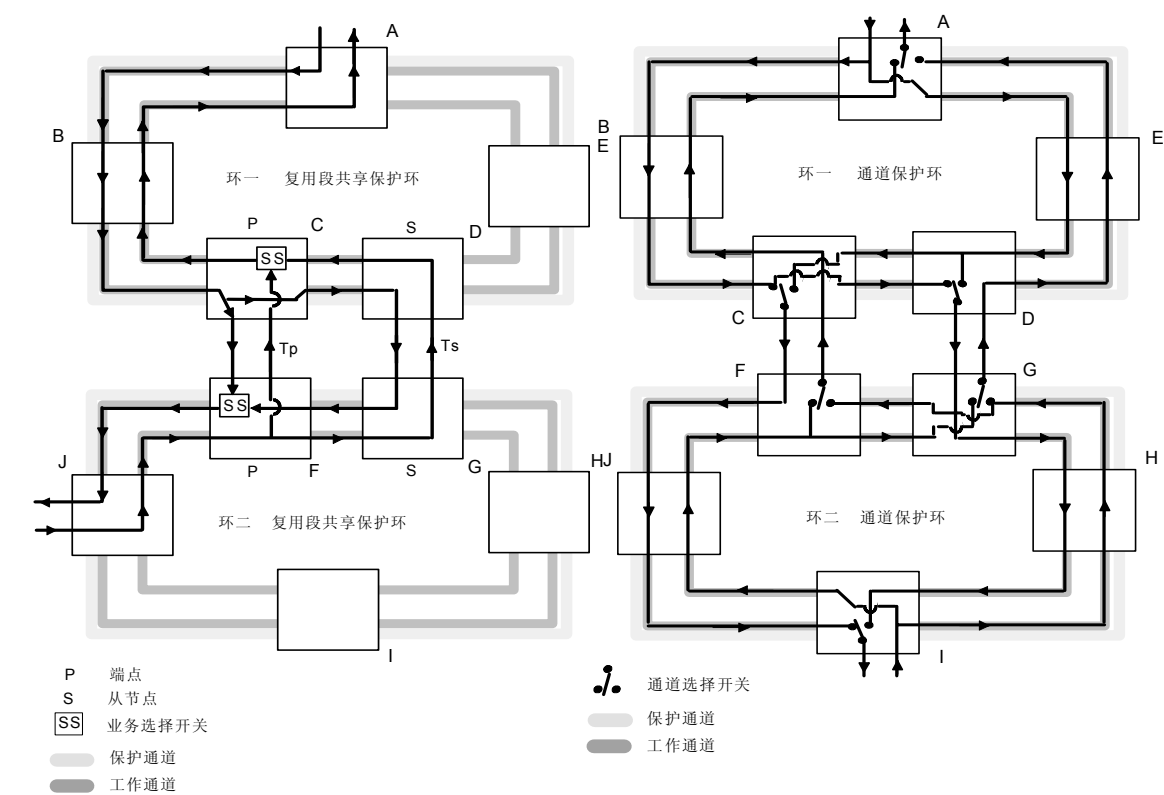


图43 双节点接口（DNI）节点的互通业务保护

1. 复用段共享环 DNI 节点的互通业务保护

如图 44所示，环一节点 A 与环二节点 J 间的业务通过 DNI 方式进行保护，环一工作在复用段共享保护方式下。在 A 到 J 的业务通过 drop-and-continue（下业务和直通）方式分别从互通双节点 C 和 D 送至环二（采用广播方式在 C 点下业务且穿透到 D），而从环二送来的 J 到 A 的业务分别从 C、D 节点进入环一，从 D 节点（从节点）进入环一的业务 Ts 沿 DC 光路到达 C 节点，在 C 节点处，Ts 与从 C 节点（主节点）进入的业务 Tp 经过选优后，选出的业务沿 CBA 光路到达 A 节点。在这种方式下，以下任意一种失效方式均可得到保

护：主节点 C 失效；从节点 D 失效；环上光纤失效；CF 间光纤失效；DG 间光纤失效。

2. 通道保护环 DNI 节点的互通业务保护

如图 3-12 所示，环一节点 A 与环二节点 I 间的业务通过 DNI 方式进行保护，环一工作在单向通道保护方式下。在 A 到 I 的工作业务和保护业务通过 drop-and-continue 方式分别送至互通双节点 C 和 D，在 C、D 分别选出其一送至环二，而从环二送来的 I 到 A 的业务分别从 C、D 节点进入环一，从 C 节点（主节点）进入环一的业务沿工作路径到达 A 节点，从 D 节点（从节点）进入环一的业务沿保护路径到达 A 节点，二者在 A 节点以通道选优方式择其一下路。

2.7 以 DXC 为节点的网孔网保护和混合保护

在现代通信中，尤其是在业务量集中的长途网中，一个节点有很大容量的光纤支路，它们彼此之间构成互连的网孔形拓扑。于是我们注意到，若是在节点处采用 DXC4/4 设备，则一旦某些光纤被切断，利用 DXC4/4 的快速特性，可以很快地找出多条替代路由来分担被中断的业务，恢复通信。

在某些场合下环形网保护和 DXC 保护可以相互结合形成混合保护。市话局间中继网就是混合应用的理想场合。首先按区域划分若干个环形网，再将它们连到同一个设备 DXC4/1，再由该设备上连至长途网中的宽带 DXC4/4 设备。在局间中继网中，数据流可以从一个环流向另一个环，或流出该区域进入长途网。这类 DXC 将同时支持环形结构和 DXC 保护策略。

在某些需要额外带宽或受地理限制的情况下，需要互连多个混合环来保证所要求的网络生存性，并希望不同环的控制机理互相独立。为此，一般采用所谓的“主对主”连接方式，把两个具有不同容量（STM-N1 和 STM-N2）的混合环通过 STM-M 互连路由直接相连，具体连接是在两个 ADM 的低速侧进行。

使用 SDH 混合环可以减少对 DXC 的容量要求，降低 DXC 失效的影响，改善了网络的生存性。环的总容量由所有的交换局共享。

3 密集波分复用技术

光纤在 1310nm 和 1550nm 波长附近的可用带宽大约为 25THz（即 25000GHz）。微电子和光电子技术的进步使利用电时分复用(ETDM)技术的 SDH STM-N 每提升一级，传输速率提高 4 倍，而系统成本只增加 2~3 倍，即每话路成本可下降 1/3~1/2。目前实验室已实现 40Gb/s（STM-256）SDH

系统，10G（STM-64）SDH 已商用，但电时分复用系统再往高走越来越困难。

密集波分复用(DWDM)是利用单根光纤传输多个波长的超大容量光传输技术。DWDM 系统每个波长间隔为 nm（纳米： 1×10^{-9} 米）级，当波长间隔进一步缩窄后就变成 OFDM（光频分复用）。

DWDM 作为进一步提高光纤传输容量的方法，不仅传输容量极大，而且对承载业务透明，即不同种类、不同速率和制式的信号，不需要接口变换就能各自利用 DWDM 的一个波长一起传输。因此，DWDM 系统容易平稳升级，随需求逐步增加波道，组网灵活，节省投资，早见效益。

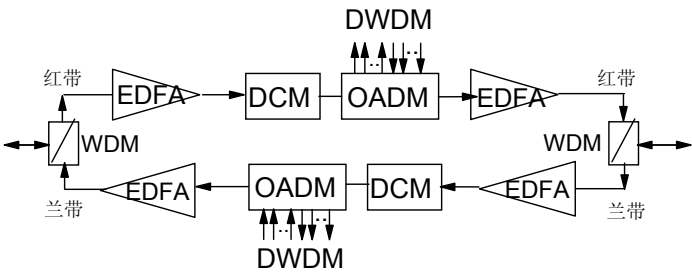
光孤子，或称孤立波，是一种大功率短脉冲，该光脉冲经过长距离传输后仍能维持波形、幅度与形状不变。从理论上讲，光孤子可以超长距离传输高速信号，实验记录为 10Gb/s 传 1.3 万 km。不过光孤子技术离真正实用化还有一段距离。

利用光时分复用技术(OTDM)将多路光孤子复用，可实现更大容量的光传输。OTDM 不存在多路功率相加而产生的四波混频(FWM)串扰及拉慢散射问题。目前 OTDM 的实验室水平为 $16 \times 6.3\text{Gb/s}$ ，50km；80Gb/s，500km 和 160Gb/s 200km。OTDM 的实现需解决全光时分复用技术、光脉冲非线性压缩技术和光电时钟提取技术等问题。

综上所述，对于当前的国家宽带高速核心网，地区广域网和大城市城域网的建设，密集波分复用系统（DWDM）是唯一能适应各种环境和需求，包容性最大，价位最低的解决方案。特别是城域网，它在通信网中要面对最复杂的环境，各种业务、各种协议都要通过它进入大核心网，而 DWDM 能支持 SDH、IP、ATM、甚至 GE、FDDI、ESCON 协议，显然是一种有吸引力的解决方案。

3.1 DWDM 系统

让我们以图 44所示简单的单纤双向 9 波 DWDM 系统的光分出/插入复用器（OADM）为例，来说明 DWDM 系统的原理。



DWDM系统工作波长和波长间隔(G.692)					
序号	红带		兰带		
	中心频率 (THz)	波长 (nm)	中心频率 (THz)	波长 (nm)	
1	193.7	1547.72	196.1	1528.77	
2	193.5	1549.32	195.9	1530.33	
3	193.3	1550.92	195.7	1531.90	
4	193.1	1552.52	195.5	1533.47	
5	192.9	1554.13	195.3	1535.04	
6	192.7	1555.75	195.1	1536.61	
7	192.5	1555.36	194.9	1538.19	
8	192.3	1558.98	194.7	1539.77	
9	192.1	1560.61	194.5	1541.35	

图44 单纤双向 9 波 OADM

该DWDM系统东-西向和西-东向各9个规范的工作波长分别构成兰带和红带，并用WDM分波器/合波器(OD/OM)分隔。OADM中波道分波器/合波器为可渐进扩容的模块化介质膜滤波器结构，信道间隔200GHz（1.6nm），每模块上/下8波。

考虑到该系统的波道将接入10G SDH系统，其最大色散容限为1500ps/nm，若线路色散超过此容限，可采用插盘式结构的色散补偿模块DCM做色散补偿。

为补偿线路损耗，采用了由两级两波段双向EDFA构成的增强型多波长光再生器MOR+，其工作波长范围1528.0~1561.0nm分为东、西向两波段，即

红带：1457.5~1561.0nm；

兰带：1528.4~1542.5nm。

每方向设置一个光控制信道（OSC），波长分别为1510nm和1625nm、速率为4.86Mbps。

3.2 支持 DWDM 系统的关键器件

DWDM系统中的关键器件有光纤放大器、色散补偿器、DWDM分波器/合波器和窄光谱高稳定度的激光器。对它们的基本要求如下：

1. 光纤放大器

用于 DWDM 系统多波长放大之 EDFA 的典型性能为：输出光功率+14~+20dBm，增益平坦波长范围 1548~1560nm，最大增益波动 <2dB，噪声指数 4~5dBm。

华为的 EDFA 产品在 1548~1562nm 的波长范围内增益平坦度已达 1dB，在输入光功率变化 12dB 时，增益变化不超过 1dB。

为适应宽带密集波分复用技术的发展和应用，已研发出掺铒光纤双带光放大器（DBFA, Dual-Band Fiber Amplifier），其带宽可达 1528~1610nm。DBFA 由常规 EDFA 和扩展带光纤放大器（EBFA, Extended Band Fiber Amplifier）组成，可用带宽 80nm，覆盖了 C 波段（1530~1650nm）波和 L 波段（1565~1620nm），能支持 100 波 DWDM。

2. 色散补偿器

光纤的非线性效应包括受激布里渊散射、受激拉曼散射、自相位调制、互相位调制、四波混频、光孤子传输等。当光纤中的光强密度超过光纤的阈值时则会表现出非线性效应。DWDM 多波功率叠加的高光强使光纤非线性效应产生的四波混频(FWM)串扰及拉曼散射，可以采用适当的色散来“以毒攻毒”地补偿。此外，色散也限制了每波道 TDM 所能承载信号的速率。因此，用于 DWDM 系统的光纤，不能是零色散，也不能有过大的色散，即色散要有控制，小而适当。

虽然在 1550nm 通信窗口有小色散 G.655 光纤适用于 DWDM，但目前价格尚高，而已大量敷设和应用的 G.652 光纤在 1550nm 有极低的衰减（0.18dB/km）和较大的色散，因此，使用 G.652 光纤的 1550nm 窗口，适当补偿其色散，对推广 DWDM 极具现实意义和市场价值。例如，以 2.5Gbit/s 速率为单元的 DWDM 系统，其色散容限可以达到 24000ps/nm，在 G.652 光纤上可以传输 1000km，而不需要进行色散补偿，但 10Gbit/s 系统只能传输 100km，40Gbit/s 就传不远了。为高效利用现有的 G.625 光纤网络，色散补偿技术就十分重要，它能使一根 G.625 光纤的传输容量，达到 2.5Gb/s×100 以上。

色散补偿有串入与 G.652 光纤色散特性相反的色散补偿光纤或光纤光栅色散补偿器等方法。Corning、Lucent、NTT 等大公司已分别对 G.652，G.655 光纤开发出 C、L 波段的色散补偿光纤，而一个光纤光栅色散补偿器就能补偿 2000ps/nm 的色散。

目前的色散补偿光纤衰减很大，长度较长，盘绕放置在局内对传输距离毫无贡献，很不经济。现已开发出负色散低衰减光纤，把它制成光缆，直接敷设在线路上，与正色散光缆组合构成无色散的光缆传输线路是一个发展方向。

一个典型的例子在 42.2km 线路中采用了 22.1km G.652 常规光纤和 20.1km 的负色散低衰减的光纤。

无论是色散补偿光纤或是光栅补偿器件都难以同时补偿 2 个波段的色散。因此，在超大容量的光系统中，特别是在占用两个波段以上的系统中，往往需要用几个色散补偿器做分波段的色散补偿。

3. 分波器/合波器

高稳定性和高分辨率的分波/合波器件是 DWDM 技术的基础。当前的分波/合波器件可以分为三类：

第一类是以多层介质膜光学滤波器为基础的合波/分波器件，这类合波/分波器件的温度特性极为稳定，中心波长的温度漂移一般为 $0.5\text{pm}/^{\circ}\text{C}$ 。

第二类是光学光栅器件，该器件采用紫外光写入的方法能方便快速地生产。但光纤光栅的温度特性尚不够稳定，制成器件使用时需要进行稳定补偿。

第三类是用闪耀光栅构成的合波/分波器件，具有很高的分辨率和隔离度，每一个信道的光谱宽度可达到 30GHz，一个光栅就能完成多路合波/分波和分插复用功能。此类器件的温漂系数为 $14\text{pm}/^{\circ}\text{C}$ ，工作时需要进行温度控制。

此外，还有声光滤波器、波导滤波器也可能用于 DWDM 系统。

4. 窄光谱高稳定度的激光器

DWDM 用半导体激光器的波长已被规范，谱线宽度应很窄，稳定度要求极高。例如，目前 2.5Gb/s 的传输设备使用 -20dB 谱宽 $<0.2\text{nm}$ 的外调制分布反馈（DFB）激光器，可使传输设备受色散限制的距离提高到 600~1000km。

此外，DWDM 等高速传输系统的进一步发展还需要新型光纤（NZ-njDSF）、光电集成技术 PIC 和 OEIC 的支撑。

4 全光网络

传送网是由传输系统和传输节点组成的分层网络。为建设一个可统一管理、灵活调度、高生存性和可靠性的网络，要瞻前顾后地合理确定网络层次和节点以及层间接入点的布局，统一规划和设计，并分步实施。

传送网的演进策略是在保证现有 SDH 网络有一定网路冗余的条件下，按规划的节点引入 DXC 或 ADM，逐步引入 OADM 和 OXC，使网络向光、电分层方向发展，并最终实现高层全光网络和光联网(OTN)。

光交换方面，在全光网络的初期，可能采用基于电路交换为基础的光交换，再向光标记交换发展，即在光域采用类似多协议标记交换（MPLS）的技术，提高光数据包的转发速度，以解决光器件响应速度低的困难。

光传输方面，研究和发展光时分复用(OTDM)技术。在电时分复用（ETDM）的速率已逐渐接近电子电路物理极限的情况下，以全光处理技术为基础的 OTDM 方案正受到人们的广泛关注。

OTDM 利用锁模激光器产生重复频率超过 100GHz 的超窄光脉冲作为系统时钟，用光时钟脉冲控制全光复用器和去复用器进行光脉冲的复用与去复用。OTDM 传输需要的基本技术包括超窄光脉冲发生技术、全光复用/去复用技术、光同步技术、光脉冲波形观测技术等。这些技术目前还不太成熟和稳定，有待进一步发展。

OTDM 的传输容量目前能达到 10Gb/s×10，但由于码率太高，受色散限制严重，只能考虑在 G.653 和 G.655 光纤上使用。如果光逻辑元件能实用化，OTDM 能在 100Gb/s 以上的速率实现目前 ETDM 系统的功能。

目前，速率超过 10Gb/s 时，宜采用 SDH Over DWDM，或 ATM Over DWDM 方案。随着因特网的发展，高速数据传输将向 IP over DWDM (Optical) 方向发展。使 IP 网从业务层贯穿至光节点层，可以省去 ATM 与 SDH 层，以减少设备投资，简化网管，节省开销、提高传输效率。例如，动态分组传输技术 DPT(Dynamic Packet Transport) 是一种 IP over DWDM 技术。它借用 SDH 帧格式，具有高度的灵活性和不可思议的兼容性，既可独立在单模和多模裸光纤(Dark fiber)上应用，又可在 DWDM 设备和 SDH 系统中透明传输。

SDH 环最多可连接 16 个节点，而 DPT 二纤双向环可连接多达 256 个千兆位高速路由器(节点)，具有前所未有的带宽，且能最有效地利用二纤双向环的带宽复用性。DPT 环上各节点统计复用带宽，不独占带宽配额，分组到达目的端后就立即从 DPT 环中删除，腾出带宽。

光分组化与 IP 的一致性和 DWDM 的业务汇集能力是光联网(OTN)的基础。光联网(OTN) 的光传输层和数据业务层都有联网能力，可以消除电子设备引起的节点瓶颈，并使网络具有可扩展性、可重构性和透明性。可扩展性指节点数和业务量可持续发展，能与任何未来的新系统互连；可重构性指采用 OADM 和 OXC 可灵活组网和调度；透明性指允许混合不同体制、格式、速率的信号。

移动通信技术

个人通信（UPT, Universal Personal Telecommunication）即能在任何时间，以任何方式，与任何地点的任何人实现任何形式的信息交流（5W）一直是人们的期望和信息产业界的追求。移动通信技术是支持移动用户随时随地与其它移动用户和固定用户进行双向双工通信的技术。移动电话的商用把人们从“守”电话的束缚中解放出来，在语言交流方面迈出了个人通信的第一步。

第一代移动通信系统是频分多址（FDMA, Frequency Division Multiple Access）模拟移动电话系统，例如 AMPS(Advanced Mobile Phone Service, 先进移动电话业务)，TACS（Total Access Communication System, 全接入通信系统），NMT（Nordic Mobile Telephone standard, 北欧移动电话标准）等。它们的通话质量、漫游范围、业务种类和容量以及安全保密性均不理想，现在已基本上为第二代数字移动通信系统（2G）取代。

第二代数字移动通信系统是时分多址（TDMA, Time Division Multiple Access）或码分多址（CDMA, Code Division Multiple Access）数字电话系统，例如 GSM、DCS1800、TIA/EIA-136、IS-95 等。

目前，商用的 2G 系统有欧洲的全球移动通信系统（GSM, Globe System for Mobile communications）、美国的 DAMPS（Digital Advanced Mobile Phone System, 数字先进移动电话系统）和日本的 JDC（Japan Digital Cellular System, 日本数字蜂窝系统）。我国采用 GSM 并俗称为“全球通”。

2G 克服了模拟系统的诸多缺点，并能提供低速数据、语音信箱、短消息等新业务，但其容量、数据业务的带宽等仍不能满足发展需求。人们期待手机成为因特网的移动终端，能够无线上网，移动办公。

第三代移动通信系统（3G）定名为 IMT-2000(国际移动通信 2000 年)。它以宽带码分多址（CAMA）为核心，其标准和系统分为欧洲 GSM MAP 的 3GPP（3th Generation Partnership Project）和美国 ANSI-41 的 3GPP2 两大阵营，已提出了 5 个无线接口标准竞争待选。3G 为人们在网上生活、工作和娱乐展示了诱人的前景，不久即将商用。

为保护 2G 的庞大投资，有必要发展 2G 向 3G 平稳过渡的所谓二代半（2.5G）技术。例如，以 TDMA 和电路交换为基础的 GSM 网络不能直接与因特网互通，但可以通过一种通用分组无线业务（GPRS, General Packet Radio Service）网的 2.5G 技术与因特网互连。

本章主要内容：

- 移动通信的频率配置
- GSM 数字蜂窝移动通信技术
- 第三代移动通信的标准
- GSM 向 3G 的过渡技术

1 移动通信的频率分配和复用方式

移动通信至少有通信的一方处于运动状态中。移动台（MS）或手机是运动一方的终端，移动交换中心（MSC）通过属下的基站（BTS）与移动台以无线方式连接。由于移动台是众多厂家生产的开放型产品，被称为 Um 接口的移动台与基站间的空中无线接口必须是开放接口，其工作频段和频率配置应予规范。

适合公众陆地移动通信网（PLMN，Public Land Mobile Network）的频率范围是 150~1000MHz，通常分为 150MHz、450MHz 和 900MHz 三个频段。

1.1 GSM 数字蜂窝移动通信网的工作频段

鉴于我国在 150MHz 和 450MHz 频段分别设置了 12 和 36 个电视频道，因而只能采用 900MHz 频段作为公用陆地蜂窝移动通信的频段，并规定上行（移动台发、基站收）频率为 890~915MHz，下行（基站发、移动台收）频率为 935~960MHz，双向带宽共计 25MHz，具体配置如图 45所示。随着第一代 TACS 制式的模拟移动通信系统逐步退网，这个频段将全部划归 GSM 数字蜂窝移动通信网使用。因此，人们把 GSM 数字蜂窝移动通信简称为 GSM 900。

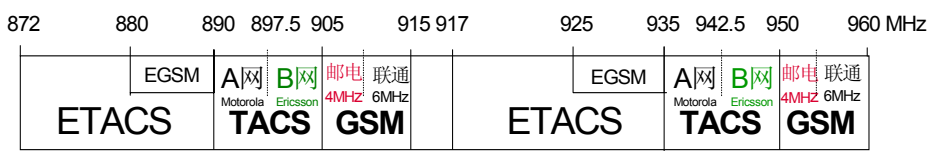


图45 900MHz 公用陆地蜂窝移动通信的频段

1.2 GSM 的复用方式

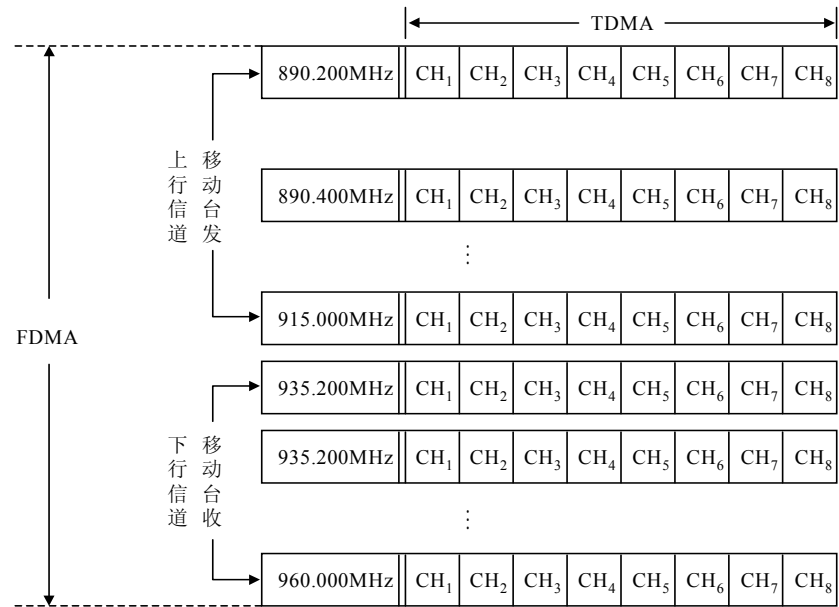
GSM 网的多址方式采用 FDMA—TDMA 混合技术。

频分多址（FDMA）把频段内 25MHz 带宽按频道间隔 200 kHz 划分为 125 个频道。频道的中心载频称为频点，实际使用为 124 个，最后一个频点作为与其它通信系统的隔离带而不用。(可用)频点序号 $n = 1 \sim 124$ ，频点间隔 200kHz。各频点上、下行频率由如下公式给定：

上行： $f_l(n)=890.2+ 0.2(n-1)$ MHz;

下行： $f_h(n) = f_l(n) + 45 \text{ MHz}$

时分多址把每一个频道分为 8 个时分复用信道。所以 GSM 系统 FDMA—TDMA 信道总数为 $8 \times 125 = 1000$ 个，其中，实际可用的 FDMA—TDMA 信道数为 992 个。图 46 是目前中国 GSM 频道的配置情况。



注：时分信道 CH1 ~ CH8 分别占用 TS0 ~ TS7 时隙

图46 GSM 的频道配置

作为移动台和移动交换中心互连桥头堡的基站（BTS）可以有多套工作于不同频点的收、发信机（TRX）和共用的天线和馈线等设备。每个基站的服务范围，称为无线小区（覆盖区）或蜂窝小区。无线小区的大小主要由频率配置、发射功率和基站天线高度等因素决定。。

为了扩大 GSM 的容量，在 FDMA-TDMA 复用的基础上，还采用频率（或频点）重复使用的空间复用技术。利用定向天线，合理配置频率（或频点）和控制发信功率使基站每套收、发信机仅在有限半径蜂窝小区中一定角度的扇区内有效，超出这个区域的一定范围之外，该套收、发信机的信号很弱，不致对附近的基站收、发信机造成不能容忍的干扰。因此，每个频率（或频点）可在一定距离之外重复使用。空间复用的频率（或频点）配置有多种方式，常用的三种如图 47 所示，并简记为 $p \times q$ （空间）复用方式。

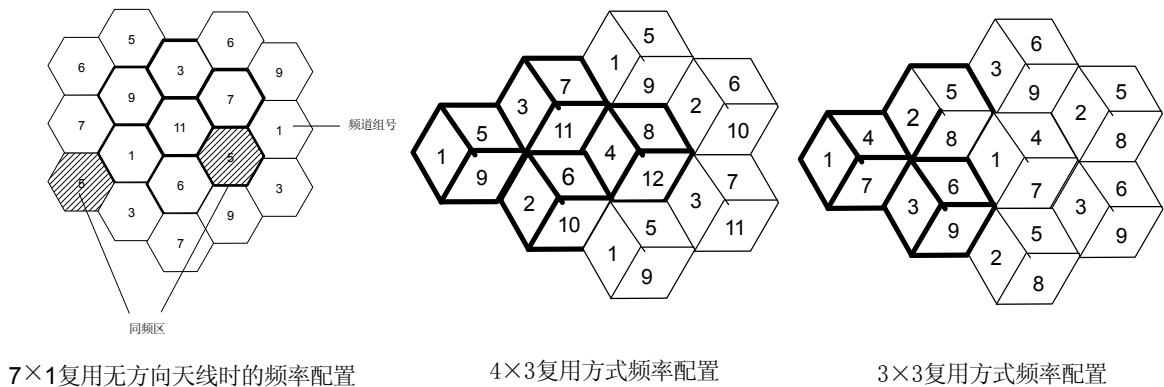


图47 几种频点配置方式

1.3 频点配置

$p \times q$ 方式中，有 $(p \times q)$ 个频道组，频道组编号为 $1 \sim (p \times q)$ 。其中， P 表示频点不重复的基站区（即蜂窝区）数目， q 表示每个基站区内的扇区数目，而定向天线的射束张角等于 $360/q$ 度。 $q=1$ 表示无方向天线。一个扇区可采用几个不同的频点。图 4-3 中各扇区内的号码是该扇区使用的频道组的编号，每个频道组包括的频点个数和频点号由（空间）复用方式、频道组数和工作频带确定。作为例子。表 4-1 是中国移动某 GSM 移动本地网使用 4×3 复用方式和 12.2MHz 带宽时的频点排列表。处于 12.2MHz 带宽上、下边界的 95 号和 34 号频点为隔离带不用于业务。该表确定了 12 个频道组每组所包括的 5 个可用频点的编号。

表6 4×3 复用方式时 12.2MHz 带宽（频点号 34~95）情况下的频道分组

频道组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
各频道组包括的频点号							34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123
	124											

表中：频点号 34~95 为中国移动某移动本地网 GSM 使用 12.2MHz 带宽时的频点；
频点号 96~124 为中国联通某移动本地网 GSM 使用 6MHz 带宽时的频点；

如果采用 120 度的定向天线，则一个基站区有 3 个扇区。若 3 个扇区每扇分别配置 a、b、c 个频点，则该基站区的频点配置结构可记为 Sa/b/c，而该基站的收、发信机总套数为 (a+b+c)。

原邮电部颁布的《900MHz TDMA 数字公用陆地蜂窝移动通信网技术体制》要求，若采用定向天线，建议采用 4×3 复用方式，业务量较大的地区，根据设备的能力还可以采用其它复用方式，如 3×3 复用方式，2×6 复用方式等。无论采用哪种复用方式，基本原则是在考虑不同传播条件，不同复用方式及多种干扰等因素的条件下，必须满足干扰保护比的要求。

在本地移动网规划中，一般采用 4×3（空间）频率复用方式（参看图 4-3），即 4 个基站区，每个基站区分为 3 个 120° 扇形小区或 60° 三叶草形小区，12 个扇形区为一小区群（图 4-3 中粗线所示区域），分别使用 12 个频道组，每个扇区（粗线条的菱形）中的号码是该扇区使用的频道组编号。对于 12.2MHz 带宽，频道号为 34~95 的中国移动某本地网，每个基站最大可配置的载频或基站收发信机（TRX）套数，即频点配置结构为 S5/5/5。

4×3 复用方式同频复用距离大，能够比较可靠地满足 GSM 体制对同频干扰保护比和邻频干扰保护比的指标要求，保证 GSM 网络运行质量和安全性，但其频率利用率低，满足不了扩大网络容量的要求。

1.4 GSM 900 的容量评估

GSM 900 的复用方式是 TDMA/FDMA 和扇区 + 蜂窝群频率重复利用，每频道分为 8 个时隙。据此，可粗略地进行容量估算。现举例如下：

设移动电话忙时平均话务量为 0.03 Erl/户；每频道忙时平均可用话务量为 0.7 Erl，则：

每频道的容量 = $(0.7/0.03) \times 8 \approx 200$ 户；

网络总容量 = 网络使用的总频道数 × 200

例如，B 市 GSM 网有 512 个基站，基站频率配置多数为 S5/5/5，则

总容量 = $[512 \times (3 \times 5)] \times 200 \approx 154$ 万户

又例如，S 市 GSM 网共有 11 个 MSC，391 个基站，4666 部 TRX，则

总容量 = $4666 \times 200 = 933200 \approx 100$ 万户

华为拥有年产 50,000 对载频(即 5 万套 TRX)的能力，可支持一千万用户！

1.5 1800MHz 公用陆地蜂窝移动通信的频段

GSM 的容量有限，满足不了移动通信发展的需求。为解决扩容问题，又划定了 1800 频段，即 1710~1785/1805~1880 MHz(基站收/基站发)频段，总带宽 75MHz，用于公用陆地蜂窝移动通信。

采用 1800 频段和 GSM 技术的移动通信系统，国际上称为 DCS 1800，有时也称为 GSM 1800。

我国 GSM 1800 采用 1710~1755/1805~1850 MHz(基站收/基站发) 频段，总带宽 45MHz，频道间隔 200kHz，共计 225 个频点，可用频道序号 $n = 1 \sim 224$ ，其上、下行频率为

上行： $f_l(n)=1710.2+ 0.2(n-1)$ MHz;

下行： $f_h(n) = f_l(n) + 95$ MHz

GSM 900 和 GSM1800 的差别主要是空中接口工作频率不同，因此无论是基站、移动台或手机，都应能双频共用。

2 GSM 数字蜂窝移动通信技术

GSM 的主要技术可用手机中话音的编码方法和收、发信过程来说明。

2.1 GSM 话音处理和收、发信过程

一个 GSM 手机话音通道的功能框图如图 48所示。

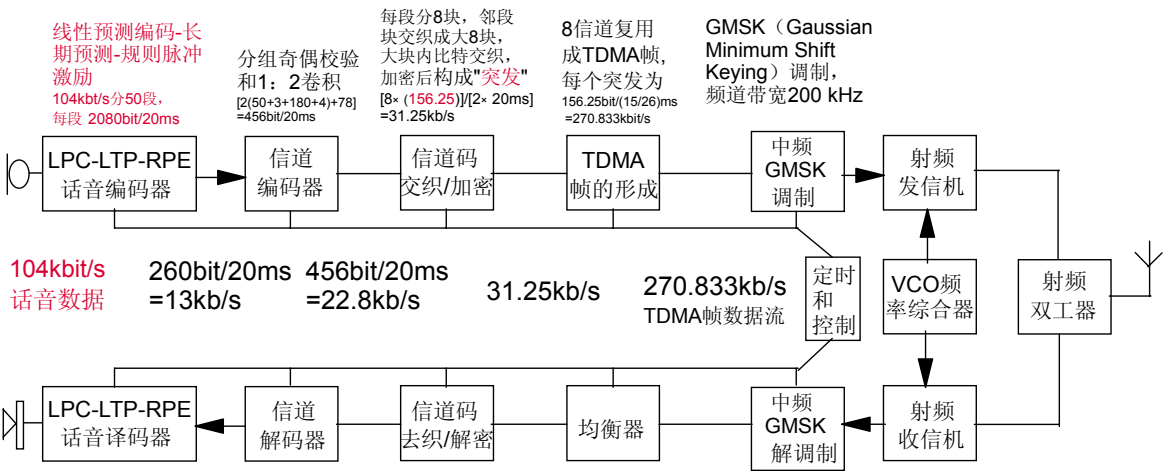


图48 GSM 手机话音通道的功能框图

GSM 业务信道的带宽仅 **200kHz**，因此，其话音编码器的输出速率不能太高，被限制在 **13kb/s** 之内，甚至还可压缩一半或更多，以增加系统容量。

众所周知，无线信道的环境远比有线差，**GSM** 技术要在比 **64kb/s** 低数倍的编码速率和无线信道环境下，达到与有线电话相近的通话质量和安全、保密性，就必须采用诸如线性预测编码-长期预测-规则脉冲激励 (**LPC-LTP-RPE**) 话音编/译码器、分组奇偶校验和 **1:2** 卷积信道编/解码器、信道码交织和加密、**TDMA** 帧形成、高斯最小相移键控 (**GMSK**) 调制、**VCO** 频率综合、以及鉴权等许多先进技术。

话音编/译码器可在保证话音质量的前提下，利用相邻 **20ms** 话音码段内容变化甚微和有一定相关性的特点，大幅度压缩话音编码的速率。

分组奇偶校验和 **1:2** 卷积信道编/解码器对 **20ms** 码段中的话音码按重要程度分组，分别加入不同数目的奇偶校验码，并按卷积算法和 **1:2** 的比例增加冗余码，以提高话音码的抗干扰能力，适应无线信道的多干扰环境。

无线电波会随机地在某些时段内严重起伏波动的现象称为衰落。衰落可能导致接收的信道码在一段时间内严重劣化或丢失。显然，如果劣化或丢失码段的风险落到一个用户的头上，将是难予承受的。因此，有必要分散风险，即让较多的用户来共同承担这一衰落风险。此外，无线信道易被窃听，加密是必须的。交织和加密是一种分散衰落风险和防窃听的手段。交织是把众多用户的话音码按给定的方式或算法进行混合，使一个时段内的信道码中包含众多用户的话音码，而不是一个用户的话音码，以共担衰落风险。加密是用收、发双方约定的一段伪随机码做加密码，对信道码扰码（例如做模二加）。

形成 **TDMA** 帧是实现频分信道时分复用的重要步骤。

高斯最小相移键控 (**GMSK**) 调制是一种节省带宽的高效调制技术，以保证每信道仅占 **200kHz** 带宽。

VCO 频率综合技术可保证按频率规划及时和准确地调节压控本地振荡器的频率，使移动台能在任何蜂窝小区内工作。

鉴权则是保证合法用户接入和防止非法接入的重要手段。

GSM 手机的话音处理和收、发信过程可简单描述如下：

进入手机的模拟话音经 **8kHz** 抽样和模/数 (**A/D**) 变换，形成 **13bit** 均匀量化的 **104kb/s** 话音数据，并分成 **20 ms** 的小段，每段 **2080bit**。

线性预测编码-长期预测-规则脉冲激励(**LPC-LTP-RPE**)话音编码器将 **104kb/s** 话音数据压缩 **8** 倍，生成 **13kb/s** 话音码，每 **20ms** 一小段，每段 **260 bit**。

信道编码器按各语音比特的重要性，把 20ms 语音码段分成重要(50bit)、比较重要(132bit)和不太重要(78 bit)三个分组。在前两个分组的尾部，分别加入 3、4 bit 奇偶校验码。然后，对这两分组共 189 bit 做 1: 2 卷积，再加上未卷积的 78 bit 不重要比特分组，形成每 20ms 一小段，每段 456 bit，速率为 22.8 kb/s 的 GSM 数字语音信道编码。

两次交织和加密的第一次把 456 bit /20ms 语音信道码小段分成 8 块，每块 57 bit，前后两个 20 ms 小段的块交织，组合成 8 个 114bit 的块，即 $\{[8 \times (2 \times 57)]/[2 \times 20] = 22.8\text{kb/s}\}$ 。

第二次把每个 114bit 块内来自两个 20 ms 语音码小段的 57bit 块相互进行逐比特交织，形成第二次交织后的新 114bit 块；再把这些 114bit 块和一个 114bit 的加密码块作模 2 加，以实现加密。

加密后的 114bit 块再加进训练序列和头、尾比特及保护比特，形成 156.25bit 的“突发”(Burst)块，速率为 $\{[8 \times (156.25)]/[2 \times 20\text{ms}] = 31.25\text{kb/s}\}$ 。至此，每路语音将以“突发”的形式出现。不过这里的“突发”处于 TDMA 前，不是我们通常讲的空中接口 Um 上的“突发”。

8 个信道的“突发”经时分复用，构成一个 TDMA 帧。该帧中的每个“突发”就是 Um 接口上每路信号的一个传输单位，如图 49 所示。

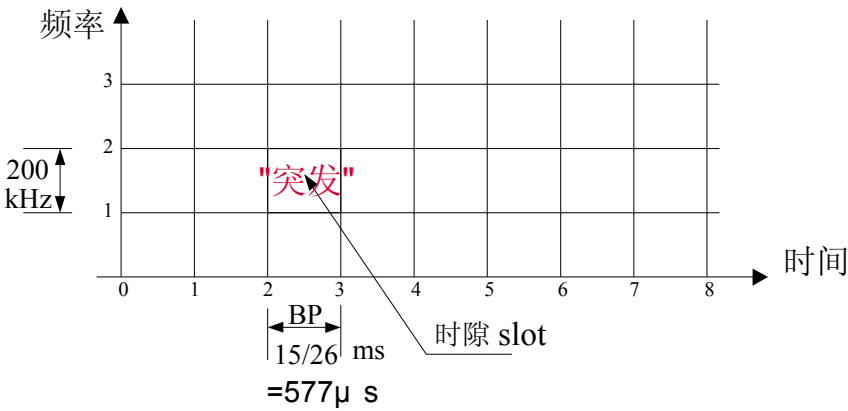


图49 空中接口 Um 频道中的“突发”

空中接口中，每个“突发”包括信息比特、训练比特、尾比特和保护比特，共计 156.25 比特，占用一个持续时间 577 μs (15/26ms)的时隙(slot)，信号速率为 $156.25\text{bit}/577 \mu\text{s} = 270.833\text{kb/s}$ 。

有 5 类“突发”，它们是正常“突发”(NB)、频率校正“突发”(FB)、同步“突发”(SB)、随机接入“突发”(AB)和虚拟“突发”(DB)。正常“突发”(NB)承载语音业务，虚拟“突发”(DB)的结构与正常“突发”相同，

但不承载有效信息，而是承载已规定的比特序列，用于在基站无信息下发时，做填充“突发”，其它“突发”提供控制信道。

8个长度为 577 μ s 的“突发”组成一个帧长为 4.62 ms 的 TDMA 帧，支持业务信道和各种控制信道。由于业务信道和各种控制信道被错开配置在不同 TDMA 帧的指定时隙内，因此，要若干个 TDMA 帧才能组成一个业务信道帧或控制信道帧，这若干个 TDMA 帧合称为复帧。

业务信道的复帧长度和控制信道的复帧长度不同，因此，有 26 复帧、51 复帧、超帧和超高帧等多种类型的复帧。26 个 TDMA 帧组成的长 120 ms 的复帧称为 26 复帧，用于业务信道及随路控制信道；51 个 TDMA 帧组成的复帧称为 51 复帧，用于其它控制信道；同时把 26 复帧和 51 复帧的公倍数，即 $26 \times 51 = 1326$ 个 TDMA 帧的组合称为一个超帧；为实现加密，以 2048 个超帧构成一超高帧，帧长 3 小时 28 分 53 秒 760 毫秒，包含 2715648 个 TDMA 帧，并依顺序从 0 到 2715647 为超高帧中的 TDMA 帧编号，称为帧号。帧号在同步信道（SCH）中传送，供加密、跳频等算法使用。

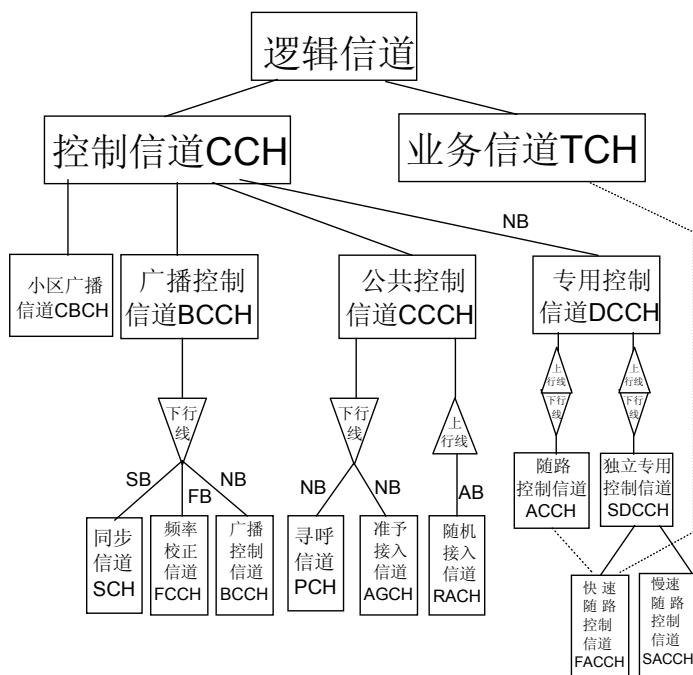
270.833kbit/s 数据流对中频做 GMSK（Gaussian Minimum Shift Keying）调制，频道占用带宽 200 kHz。中频已调信号变成射频发送。

VCO 频率综合器支持方便地改变发射频率。

双工器使发信机和收信机共用天线，收信过程则与发信相反。

2.2 GSM 系统中的逻辑信道

GSM 系统的物理信道指每个频点 8 个时分信道。这些物理信道既要传输业务信号又要传输控制信号。由于业务信号和控制信号的多样性，每种信号要求有相应的逻辑信道支持，因此，如图 50 所示，在 U_m 接口上定义了一系列逻辑信道，以不同类型的“突发”传送业务信息和各种控制消息。逻辑信道是对物理信道通过不同的复帧结构和时隙配置作时间复用的结果，有业务信道和控制信道两大类和许多种。



注：各信道使用的“突发”标注在相应的信道线旁。
NB：正常“突发”； FB：频率校正“突发”； SB：同步“突发”；
AB：随机接入“突发”

图50 GSM移动通信系统逻辑信道的种类

1. 承载话音或用户数据的业务信道(TCH)

- 全速率(22.8kbit/s)话音信道(TCH/FS)；
- 半速率话音信道(TCH/HS)；
- 9.6kbit/s 全速率数据信道(TCH/F9.6)；
- 4.8kbit/s 全速率数据信道(TCH/F4.8)；
- ≤2.4kbit/s 全速率数据信道(TCH/F2.4)

2. 控制信道(CCH)

包括广播信道(BCH)，公共控制信道(CCCH)，专用控制信道(DCCH)和小区广播信道(CBCH)。

(1) 广播信道(BCH)是从基站到移动台一点对多点的单向下行控制信道，用于向移动台广播各类信息，并可细分为：

- 频率校正信道 FCCH：使用 FB 型“突发”用于移动台的频率校正；
- 同步信道 SCH：发送移动台的帧同步(TDMA 帧号)和基站识别码；
- 广播控制信道 BCCH：用于发送 CCCH 号等小区信息，并使移动台预同步；

(2) 公共控制信道 (CCCH) 是小区内各移动台共用, 传送接入管理信令或其他信息的信道。这些信息以 NB 型“突发”映射到小区第一个频点的 TS0 时隙。CCCH 包括:

- 寻呼信道 PCH: 一点对多点下行控制信道, 用于基站寻呼 (搜索) 移动台;
- 随机接入信道 RACH: 唯一映射到上行第一个频点 TS0 时隙的点对点信道, 用于 MS 申请 SDCCH, 响应寻呼和主叫/登记时的接入;
- 准予接入信道 AGCH: 分配给成功接入的移动台的点对点下行 SDCCH 信道

(3) 专用控制信道 (DCCH) 是按需分配给移动台, 与基站进行点对点双向信令传输的信道, 使用第一个频点的 TS1, 每 102 个 TDMA 帧复用一次, 其间, 空闲 3 帧, 且上、下行的 TS1 间有一定的时间偏移。DCCH 包括:

- 独立专用控制信道 SDCCH/8: 用在分配 TCH 前的呼叫建立过程中传送登记、鉴权、越区切换等信令;
- 与 BCCH/CCCH 结合使用的独立专用控制信道 SDCCH/4;
- 与 SDCCH/8 随路的慢速随路控制信道 SACCH/C8: 传送无线传输测量报告, 实现功率控制;
- 与 SDCCH/4 随路的慢速随路控制信道 SACCH/C4;
- 与 TCH/F 随路的慢速随路控制信道 SACCH/TF;
- 全速率快速随路控制信道 FACCH/F: 在未分配 SDCCH 时, 用来传 SDCCH 的信号, 向移动台送挂机消息。

应当注意的是, 未通话时, 随路控制信道由 SDCCH 提供, 而通话中, 则包含 (随) 在业务信道内。

(4) 小区广播信道 (CBCH) 是用于下行方向广播小区短消息的信道, 它使用和 SDCCH 相同的逻辑信道。

小区仅一个频点时, 所有控制信道全映射到 TS0 时隙; 有 2~3 个频点时, BCH/CCCH 用第一个频点的 TS0 时隙, DCCS 用第一个频点的 TS1 时隙; 更多频点时, BCH/CCCH 除用第一个频点的 TS0 时隙外, 还可用 TS2、TS4、TS6 时隙, DCCS 用第一个频点的 TS1 时隙。

SACCH/T 和 FACCH 与 TCH 组合进 26 复帧; 各种 CCH 错开配置在不同帧的 TS0 时隙传送, 并组合成 51 复帧。

2.3 GSM 移动通信系统的结构

GSM 通信系统由移动台(MS)、基站子系统 (BSS)、网络子系统 (NSS)、运行和管理系统 (OMC) 等功能单元组成。图 51是符合 GSM 技术规范的公司 M900/1800 GSM 系统的结构示意图。让我们利用此图来说明 GSM 移动通信系统的一般结构。

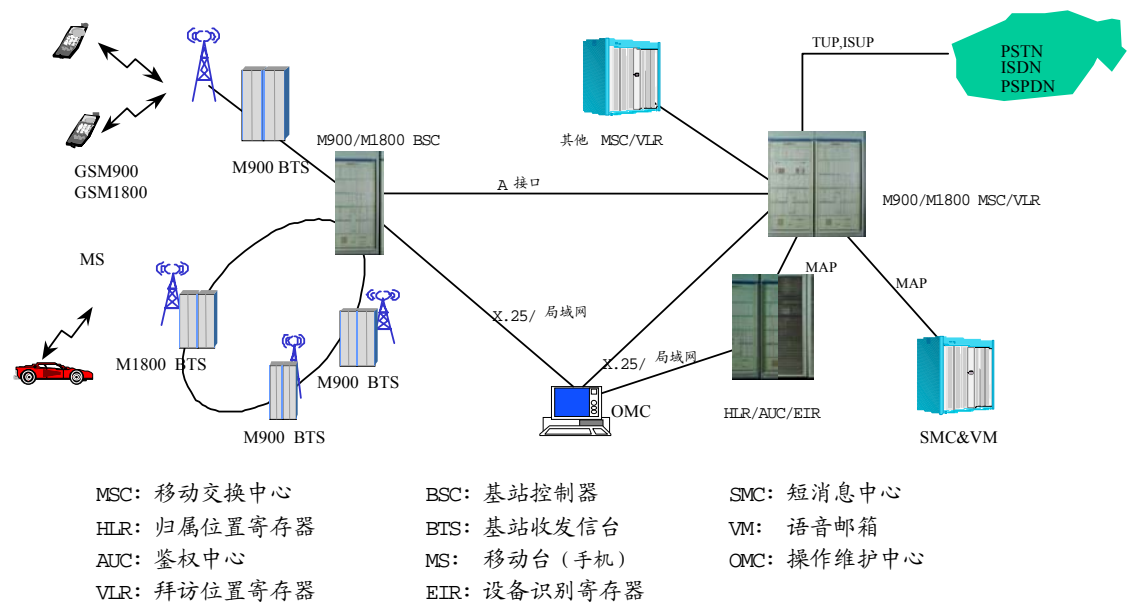


图51 华为公司 M900/1800 GSM 系统的结构示意图

移动台（如车载台，手机等）包括发信机和具有分集接收功能的收信机及天线馈线等单元。移动台与基站间的接口是开放的空中无线接口 U_m ，工作频率由与其连通的基站信道确定。

基站又称为基站收发信台（BTS）可以有多套工作于不同频率的收、发信机和共用的天线馈线等设备。每个基站的通信服务范围，称为无线小区（覆盖区）或蜂窝小区。无线小区的大小主要由频率配置、发射功率和基站天线高度等因素决定。基站是移动台和移动业务交换中心互连的桥头堡。

由于基站众多，为管理方便，在基站与移动业务交换中心之间引入基站控制器（MSC）。一个基站控制器管理和控制若干基站，它们之间的通道接口称为 **Abis** 接口。

基站控制器和所属的基站构成基站子系统（BSS）。基站控制器内通常包含码变换器/速率适配单元（TRAU）。该单元在话音业务中，完成 **A 接口 64kb/s A 律 PCM 话音编码与 GSM 的 13kb/s RPE-LPT 声码**间的转换，以实现 GSM 用户和固定电话用户间的通信和 **No.7 信令**在 **A 接口**透明传输；在数据业务中，实现对数据信号的速率适配。

移动交换中心（MSC）与所辖各基站控制器的连接接口称为 A 接口。MSC 完成业务信道的交换和移动通信系统的集中控制与管理。移动业务交换中心通过中继线和相应的接口和网关及 PSTN/ISDN 和分组交换公用数据网（PSPDN）互通。

大家知道，固定电话端局可以根据与电话机有固定连接的用户线来识别用户，而移动交换中心不可能与移动台有这样的固定连接。为识别移动台，必须建立称之为归属位置寄存器（HLR）的数据库，以存储其所辖用户手机或移动台的身份及业务数据并管理这些用户数据；此外，还要设置产生鉴权参数以认证移动用户身份的鉴权中心（AUC）和识别移动台（手机）国际移动设备身份号（IMEI）的设备识别寄存器（EIR）。

为实现移动台（手机）的漫游，每个移动交换中心（MSC）要设置拜访位置寄存器（VLR）作为登录访问其辖区的漫游移动用户身份的动态数据库。MSC 和 VLR 相互配合，为漫游用户做位置更新登记，向用户原地的 HLR 询问和存储其身份数据，并给该用户分配一个暂时移动台标识码（TMSI）。MSC、VLR 常放在一起，记为 MSC/VLR。HLR、AUC、EIR 也可放在一起，记为 HLR/AUC/EIR，并可以由若干 MSC 共用。在某些情况下，可不设 EIR。

网络子系统（NSS）主要包括移动交换中心（MSC）和访问位置寄存器（VLR）、归属位置寄存器（HLR）、鉴权（认证）中心（AUC）、和设备识别寄存器（EIR）。

若在网络子系统内设置短消息中心和语音信箱（SNC & VM），则可在话音和数据业务外，提供短消息和语音信箱业务。

运行和管理系统（OMS）包括操作维护中心（OMC）和操作维护终端（OMT），通过 X.25 分组交换网或局域网，管理各功能单元。

MSC 和 BSC 以及 BSC 和 BTSs 之间应采用光纤传输，建立光纤连接尚有困难时，可采用无线连接作为过渡。

2.4 主要接口和功能

GSM 通信系统的主要接口如下：

1. 空中接口 U_m ：

定义为移动台（手机）与基站收发信台（BTS）之间的无线通信接口，传递无线资源管理，移动性管理、接续管理和业务等信息。为能横向兼容不同厂家的移动台（手机）产品， U_m 是一个开放型接口，即有公开的接口标准和规范。

2. A 接口

定义为移动交换中心与基站控制器之间的 2.048Mb/s PCM 数字传输链路（E1）接口，传递移动台管理、基站管理、移动性管理、接续管理和业务等信息。为能使不同厂家的移动交换中心和基站控制器横向兼容，A 是一个开放型接口，即有公开的接口标准和规范。

3. Abis 接口

定义为基站控制器（BSC）和基站收发信台（BTS）之间的通信接口。它不是开放型接口，而是 BSS 内部接口，可由各厂家自定规范。Abis 接口支持 GSM 向用户提供的所有服务和无线资源分配及对 BTS 无线设备的控制。

4. o.7 信令接口

包括移动交换中心与各类寄存器间的 MAP（移动应用部分）接口和移动交换中心与 PSTN/ISDN 间的 TUP/ISUP（电话用户部分/ISDN 用户部分）接口等。

2.5 GSM 系统的编号计划

固定电话网的有线封闭环境使每部电话只需要一个号码即可，编号计划比较简单。

GSM 系统的空中接口使移动台（手机）的接入操作完全暴露在空间，为保证接入的保密性和合法性，并支持寻呼和漫游，移动台（手机）用户在国内实行等位长统一编码，且被称为移动用户国际 ISDN 号（MSISDN）的移动用户电话号码和网络识别用户以进行接续操作的号码，即国际移动用户识别码（IMSI）是不同的。

为了避免 IMSI 在空中被窃取，甚至可在用户进行位置更新登记时，由 MSC/VLR 给该用户分配一个有时效的临时移动用户标识码（TMSI）来替代 IMSI。

当漫游用户被呼叫时，该用户所在当前 MSC/VLR，还要为其分配一个引导入呼的号码（称为移动用户漫游号码 MSRN）。此外，移动台（手机）出厂时有一个唯一的国际移动设备识别码（IMEI）。

GSM 网络本身也有一套号码，例如，国家代码（CC），我国为 86；国内目的地编码（NDC=N1N2N3），邮电（中国移动）为 135~139，联通为 130、131；HLR 识别号 H1H2H3，其中，H1H2 由国家电信管理局分给各省和直辖市，H3 则由省电信管理局规定；移动台国家代码（MCC），我国为 460；移动通信网代码（MNC），邮电（中国移动）为 00；联通为 01；标识某 PLMN 中 HLR 的网络代码（NC），NC =N1N2N3H1H2H3；由 2 字节 BCD 码（16 进

制格式 X1X2X3X4) 构成的位置区码 (LAC) ; 由 2 字节 BCD 码 (16 进制格式 Y1Y2Y3Y4) 构成的小区识别码 (CI) ; 位长 3bit 的国家色码 (NCC) 和位长 3bit 的基站色码 (BCC) 等。以这些基本代码作为小单元, 可组织和定义出一系列 GSM 网络子系统中有关设施或服务区的识别码。

这里, 简要介绍几种主要的号码:

1. 按 ISDN 时代的编号计划(E.164)定义的移动用户国际 ISDN 号码 (MSISDN):

MSISDN(最长 15 位) = CC + NDC + (0~9) + SN

其中, CC: 国家代码, 我国为 86;

NDC=N1N2N3: 国内目的地编码(中国移动:135~139; 联通:130,131);

SN: 用户号码, 即某移动局 HLR 所辖用户号, SN=H1H2H3 ABCD;

H1H2H3 是 HLR 识别号, H1H2 由电信管理当局分配给各省和直辖市;

H3 由各省电信管理局规定;

国内有效号码 (即常用的 11 位用户手机号) = NDC + (0~9) + SN

= 139(~130) + (0~9) + H1H2H3 ABCD

例如: 中国移动 D 市 H1H2H3 为 408 的 HLR 的可用 MSISDN 号范围为:

139(~135) 0 408 0000~ 139(~135) 9 408 9999, 共计五十万号。

2. 按陆地移动台标识计划(E.212)定义的国际移动用户识别码(IMS):

IMSI(15 位) = MCC + MNC + MSIN

其中, MCC: 移动台国家代码, 我国为 460;

MNC: 移动通信网代码(中国移动: 00; 联通: 01)

MSIN: 移动台标识号码, MSIN=H1H2H3 9 XXXXXX,

IMSI 存储于 HLR、VLR 和 SIM 卡中, 在 Um 和 MAP 接口上传送,

例如: 中国移动 D 市 H1H2H3 为 408 的 HLR 的可用 IMSI 号范围为:

460 00 408 9 000000~460 00 408 9 999999, 共计一百万号

3. 临时移动用户识别码 (TMSI) :

TMSI 是为避免 IMSI 暴露于空中被窃取而采用的一种保密措施。在用户位置更新成功后, 由用户当前所在 MSC/VLR 分配给该用户替代 IMSI 的临时识别

码, 最大长度为 32bit, 具体结构由运营商决定, 并通常和位置识别码 (LAI) 一起使用, 且至少在每次位置更新后改变。

4. 移动用户漫游号 (MSRN) :

$$\text{MSRN} = \text{CC} + \text{N1N2N3} + 0 + \text{M1M2M3} + \text{ABC}$$

其中, M1M2M3 是 MSC/VLR 的标识号或局号, 也称为 LSP;

M1M2 与 H1H2 同;

例如: D 市某 MSC 的 MSC/VLR 号码 = 86 139 0 408 ;

ABC: VLR 临时分配给被叫用户的漫游号;

例如: 中国移动 D 市 861390408 局的 MSC/VLR 所能供分配的 MSRN 号码范围是:

86 139 0 408 000~ 86 139 0 408 999, 共计一千号;

5. 国际移动设备识别码 (IMEI)

$$\text{IMEI} = \text{TAC} + \text{FAC} + \text{SNR} + \text{SP};$$

其中, TAC: 由欧洲型号认证中心分配的允许类型码, 长度 5 位;

FAC: 由厂家编制的表示生产厂家和装配地的最后组装号, 长度 2 位;

SNR: 厂家制定的产品串号, 长度 5 位;

SP: 备用的 1 位空号;

使用 IMEI 可防止非法移动台 (手机) 入网。也可暂时不使用 IMEI 以节省投资。

6. 按 SCCP 的陆地移动全球标题结构(E.214)定义的全局码(GT):

$$\text{GT(最长 15 位)} = \text{CC} + \text{NC} + \text{MSIN}^* \approx \text{MSISDN}$$

其中, NC: 网络代码, NC = N1N2N3H1H2H3, 用于标识某 PLMN 中的 HLR。

MSIN* 表示略去 MSIN 后几位后的编码。

GT 由 IMSI 导出, 为不使 GT 超长, 可略去 MSIN 的后几位。

$$\text{7. MSC/VLR 号码} = \text{CC} + \text{N1N2N3} + 0 + \text{M1M2M3}$$

例如: 中国移动 D 市某局 MSC/VLR 的号码为 86 138 0 408

8. HLR 号码 = CC+N1N2N3+H1H2H3+0000

例如：中国移动 D 市某 HLR 的号码为 86 139 408 0000

9. 位置区识别码 (LAI)

$LAI = MCC + MNC + LAC$

其中，LAC 是由 2 字节 BCD 码（16 进制格式 X1X2X3X4）构成的位置区码，总共有 65536 个位置区，X1X2 由电信管理当局统一分配，X3X4 由运营商自定。

LAI 主要用于识别一个漫游用户当前所在的 VLR 辖区，亦即 GSM 系统的一个寻呼区；

10. 全球小区识别码 (CGI)

$CGI = LAI + CI$

其中，CI 是由 2 字节 BCD 码（16 进制格式 Y1Y2Y3Y4）构成的小区识别码，由各 MSC 自定。

CGI 主要用于区分 LAI 中的小区；

11. 基站识别码 (BSIC)

$LAI = NCC + BCC$

其中，NCC 是位长 3bit (XY1Y2) 的国家色码，X 表示运营商（中国移动 X=1；中国联通 X=0），Y1Y2 由电信管理当局统一分配。

BCC 是位长 3bit 的基站色码，由运营商自定。

BSIC 主要用于区别相邻国家（或省）间的相邻基站。

2.6 鉴权和加密功能

为保证移动台（手机）接入网络的合法性和安全性，每次呼叫和位置更新时都要对用户进行鉴权，并对空中接口上的话音信号进行加密。

在用户 SIM 卡中，存有用户的 MSISDN、IMSI、TMSI、LAI 等号码、鉴权钥 Ki 和鉴权算法 A3、产生加密钥 Kc 的加密算法 A8、以及用户密码 (PIN) 等。

鉴权中心(AUC)是为用户生成用户鉴权三元参数组 RAND/SRES/Kc 的设备。AUC 中存有每个用户的 IMSI、鉴权钥 Ki 和鉴权算法 A3 以及产生加密钥 Kc 的算法 A8。

AUC 中的随机数据发生器不断产生随机数 RAND。当需鉴权用户所属 HLR 代表该用户向 AUC 申请鉴权三元参数组时，AUC 用不断产生的随机数 RAND 和该用户的鉴权钥 Ki 按 A3, A8 算法：

$$\text{SRES(符号响应)}=\text{A3}(\text{RAND}+\text{Ki}); \quad \text{Kc}=\text{A8}(\text{RAND}+\text{Ki})$$

每次生成 5 套三元参数组 RAND/SRES/Kc 提供给相应的 HRL。

鉴权的流程如下：

当移动用户位置更新后开机或呼叫时，该用户当前所在 VLR 就向该用户归属的 HLR 索取 5 套三元参数组，并任选其中一套用于鉴权。VLR 把所选用那套三元参数组中的 RAND 发给该用户的 MS。

该 MS 以收到的 RAND 和自己的 Ki，通过 A3 和 A8 算法：

$$\text{SRES(符号响应)}=\text{A3}(\text{RAND}+\text{Ki}); \quad \text{Kc}=\text{A8}(\text{RAND}+\text{Ki}) ,$$

计算出 SRES 和 Kc，并把算得的 SRES 回送给用户当前所在的 MSC/VLR。

该 VLR 把 MS 回送的 SRES 与所选用三元参数组的 SRES 作比较，若两者相同，则鉴权通过；否则，就认为该 MS 为非法用户，并拒绝服务。

为对空中接口中的话音进行加密，用户当前所在 MSC/VLR 通过加密指令，令 BTS 和 MS 各自用该用户的 Kc、TDMA 帧号和 A5 算法：

$$\text{扰码或解扰码}=\text{A5}(\text{Kc}+\text{TDMA 帧号}+\text{加密令}+\text{音码})$$

对话音数据扰码和解扰码，以实现空中接口的话音加密。

2.7 GSM 呼叫流程描述

让我们以 D 市一手机用户在 G 市办事后漫游到 S 市做位置更新登记、主呼和被呼以及移动中通话等四种典型情况下 GSM 网络的运作流程来说明 GSM 移动电话的呼叫和通话过程。由于上节已介绍了鉴权的过程，本节的描述将略去呼叫中必有的鉴权环节。

1. 位置更新登记

设某用户 W 在 D 市购手机和开户，运营商（中国移动 D 市 408 局）分配给他手机的国内有效号码（MSISDN）为 13904087689，对应的国际移动用户识别码（IMSI）460004089123456 已烧录于 SIM 卡中，该用户自设开机密码（PIN）8888。

W 在 G 市办事时使用了手机，他离开 G 市时 SIM 卡中存储有 G 市的位置区识别码 LAI-G 和曾访问过的 G 市某 VLR（记为 PVLR）分配的临时移动用户识别码 TMSI-G。

当 W 漫游到 S 市首次开机时，如图 52 所示，其手机自动进行位置更新（移动台漫游登记）的流程如下：

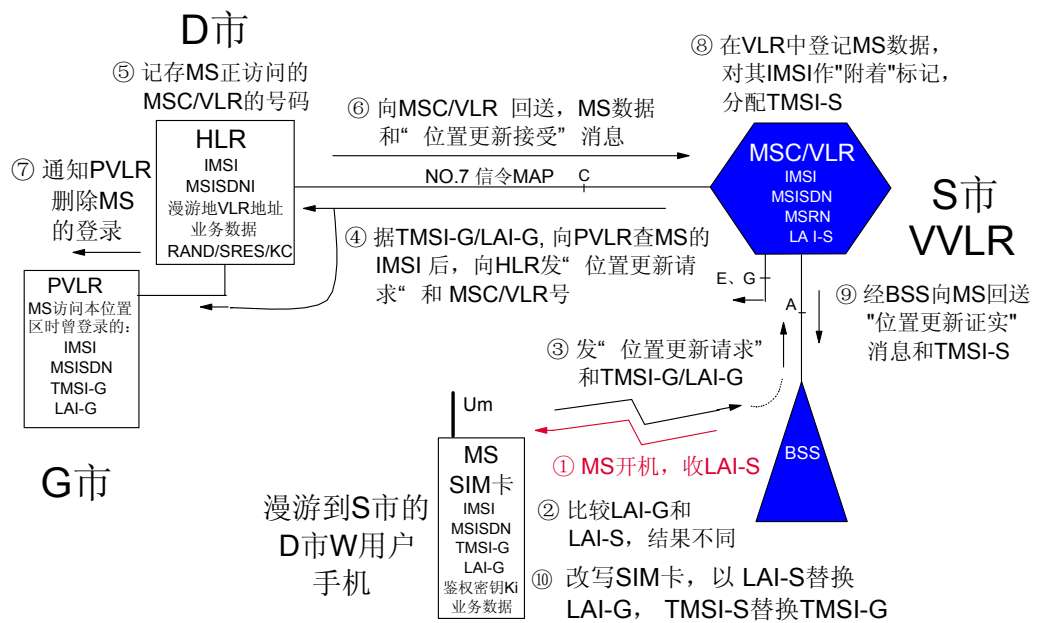


图52 位置更新(移动台漫游登记)的流程

W 用户手机把收到 S 市某基站广播的位置区识别码 LAI-S 与 SIM 卡存储的 LAI-G 相比较，判知其已到达一个新位置区，就向该基站发“位置更新请求”和从前在 G 市做位置登记的记录 TMSI-G/LAI-G。

管辖该基站的 S 市某 MSC/VLR 是 W 手机当前正访问的 VLR（记为 VVLR）。它根据 TMSI-G/LAI-G 向 G 市 PVLR 查询 W 手机的 IMSI，从而获知 W 手机的 D 市 HLR 地址，于是在鉴权后向该 HLR 发查询 W 用户有关资料的“位置更新请求”和自己的 MSC/VLR（即 VVLR）号码。

D 市 HLR 根据这个请求，向 S 市 VVLR 回送“位置更新接受”消息和 W 用户的有关资料数据，同时保存 S 市 MSC/VLR（即 VVLR）号码，删除 G 市 PVLR 号码，并通知 G 市 PVLR 删除 W 手机的漫游数据。

S 市 MSC/VLR（即 VVLR）收存 W 用户数据后就分配一个 TMSI-S，通过基站发给 W 手机。

W 手机存储 TMSI-S/LAI-S，并删除 TMSI-G/LAI-G，完成位置更新登记。

位置更新登记完成后，漫游手机、VLR 和 HLR 中存储的主要信息如下：

漫游到 S 市的 D 市 W 用户手机 SIM 卡中存储的主要号码是：

MSISDN: 8613904087689

IMSI: 460004089123456

TMSI-S: 23456789

LAI-S: 460002618

PIN: 8888

S 市 VLR（例如，其号码为 861390220）中存储的 D 市 W 用户手机的主要号码和信息是：

MSISDN: 8613904087689

IMSI: 460004089123456

TMSI-S: 23456789

LAI-S: 460002618

W 用户的移动业务信息

D 市 W 用户归属的 HLR 中，除原有该用户各种移动业务信息和手机号码外，还存有该用户当前所到 S 市 VLR 的号码（例如 861390220）。

2. 漫游手机呼叫

漫游手机拨被叫号码，向其所在 S 市位置区的基站请求随机接入信道，与该区的 MSC/VLR 建立信令连接；在 VLR 对主叫手机鉴权后，MSC 进入呼叫建立起始阶段。该 MSC/VLR 采用 NO.7 信令用户部分 ISDN/TUP，通过固定网 (ISDN/PSTN) 或移动网建立至被叫用户的通路，并向被叫用户振铃和向主叫手机回送呼叫证实信号。若被叫应答，MSC 经基站向主叫 MS 发应答(连接)信号，进入通话阶段。呼叫流程如图 53 所示。

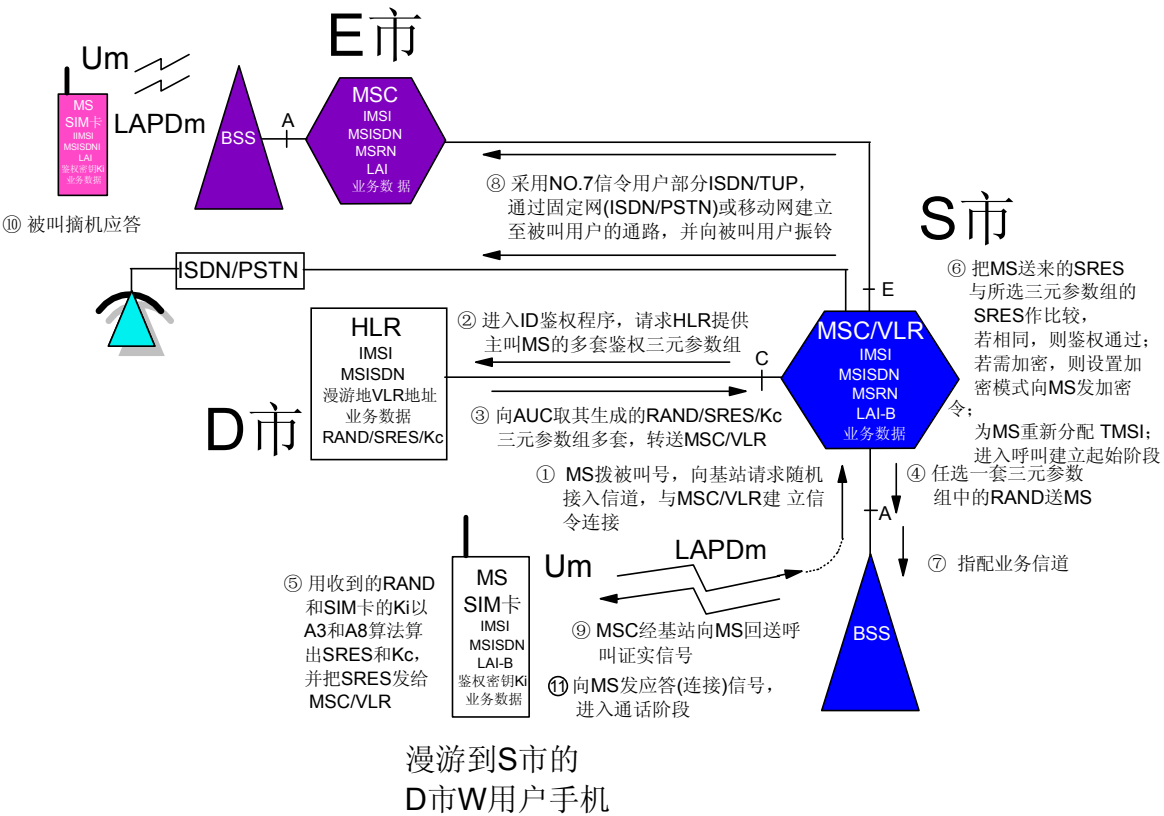


图53 漫游移动台呼叫的流程

3. 漫游手机被叫

如图 54所示，某用户通过 F 市的移动网关局（GMSC）呼叫漫游到 S 市的 D 市 W 用户，其呼叫流程如下：

F 市 GMSC 接收和分析由主叫所在网络转发的被叫手机号码后知被叫是 D 市 W 用户，就向 D 市 HLR 查询 W 用户当前的位置。

D 市 HLR 已知 W 用户当前登记于 S 市 VVLR，遂向该 VLR 发“移动用户漫游号（MSRN）请求”。

S 市 MSC/VLR（即 VVLR）响应此请求，为 W 用户手机分配一个 MSRN（例如 861390220135），并回送给 D 市 HLR。

D 市 HLR 响应 F 市 GMCS 的查询，回告 MSRN。

F 市 GMSC 在 MSRN 的引导下，选择和建立至 S 市 MSC/VLR 通路。

S 市 MSC/VLR 通过基站寻呼 W 用户并建立连接，同时释放分配给 W 用户的 MSRN。

W 用户手机振铃，用户摘机通话。

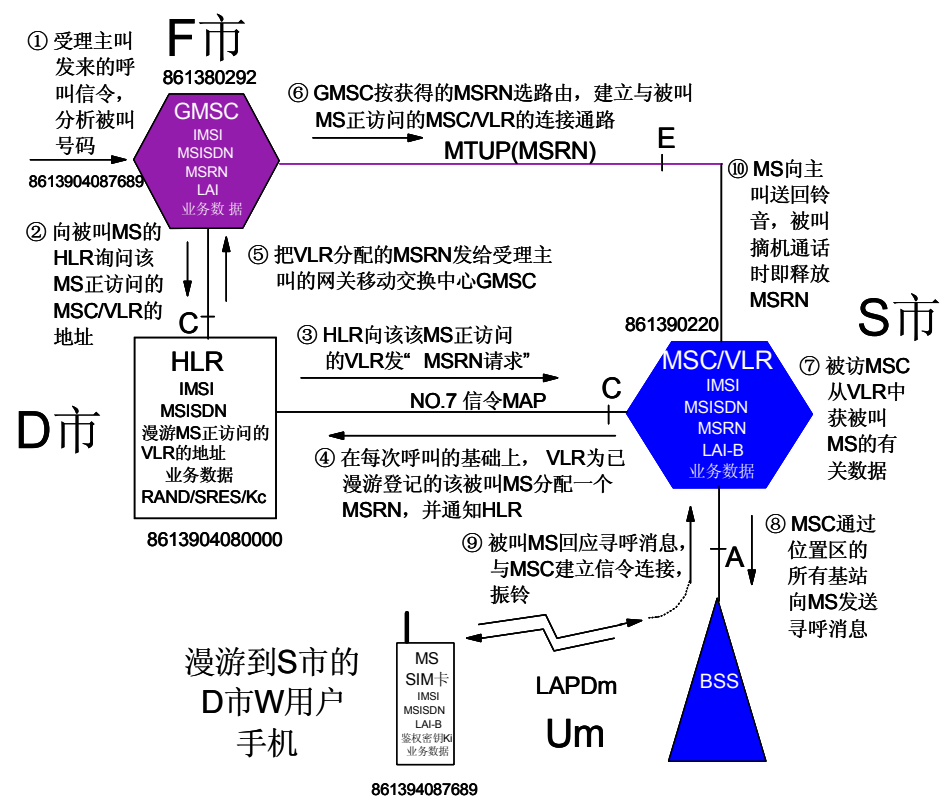


图54 呼叫漫游中的移动用户的流程

4. 通话中移动用户信道的切换

为保证通信质量，网络酌情把正进行呼叫或通话中的 MS 从一个业务信道转换到另一个业务信道的过程称为切换。切换可在基站小区内同一或不同载频的时隙间、 同一 BSC 所属不同小区(基站)的信道间、 同一 MSC 所属不同 BSC 的信道间或不同 MSC 的信道间进行，即切换可在时隙、载频、小区 、 BSC 或 MSC 之间发生。

MS 跨位置区在不同 MSC 的信道间切换的流程如图 55所示：

移动中的 MS 对邻近小区 BTS 的功率、距离和话音质量进行测量，将结果报告给基站；经基站预处理后转送 BSC 进行计算并与切换门限比较，确定是否向 MSC-A 发“切换请求”；当需要切换时，MSC-A 请求 MSC-B 在其位置区 LAI-B 备好无线信道，并在 MSC-A 和 MSC-B 间建立连接；然后，MSC-A 命令 MS 切换到 MSC-B 已备好的信道上，并在获 MS 的切换确认信息后，释放原占用的资源。

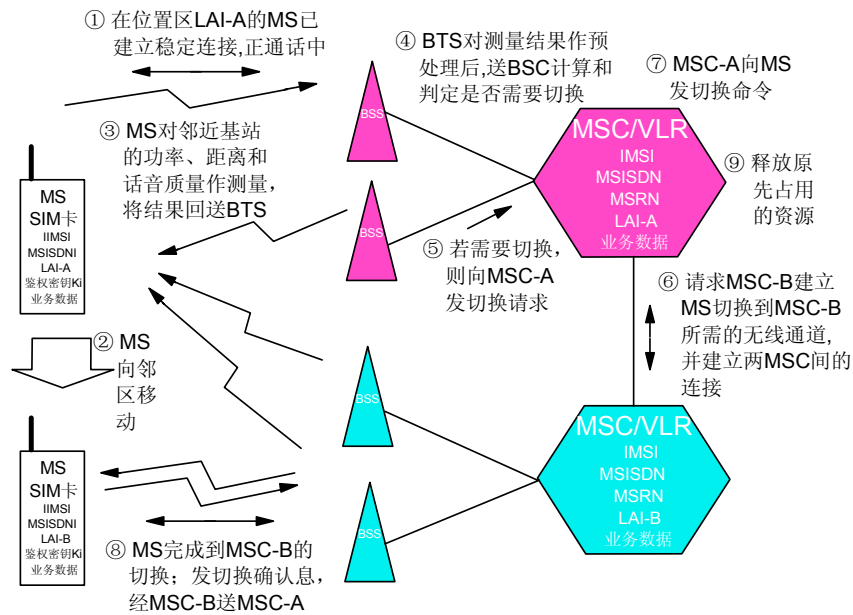


图55 切换的基本流程

2.8 GSM 的业务种类

GSM 是以电路交换为基础的全数字化移动通信系统,能提供下列三类业务,但其带宽有限,数据业务的速率在 9.6kb/s 以下。

- 电信业务: 电话、短消息、可视图文、消息处理系统、传真
- 承载业务: 异步/同步双工数据、电路交换/分组交换
- 补充业务: 号码显示/限制、呼叫前转、反向计费、多方会话、呼叫等待/保持/转换、计费通知、呼叫闭锁等

2.9 GSM 的特点

GSM 是在全球应用最广泛的第 2 代移动通信系统,有下列主要特点:

- 频谱效率高: 采用声码器、信道编码、交织、均衡、蜂窝等技术,压缩信道带宽和重复利用频率;
- 容量: 比 TACS 系统高 3~5 倍,但仍不能满足需求;
- 带宽有限;
- 话音质量: 与有线固定电话相当;
- 安全性: 采用 $A3(RAND+Ki)=SERS$ 鉴权和 $A8(RAND+Ki)=Kc$ 加密,安全有保障;
- 移动性: 用 SIM 卡可不带机漫游,全球漫游计费由 MoU 协调;

- 接口开放性：Um、A、是标准开放接口、Abis 是准开放接口；
- 互通性：与 PSTN、ISDN 以 No.7 信令互通。

随着电子商务的迅速发展和 Internet 广泛应用并日益深入人们的生活，以 GSM 为代表的 2G 系统在带宽、容量和数据传输方式等方面已不能满足移动（无线）上网的发展前景和需求，适应这个需求的第三代数字移动通信系统（3G）即将投入商用。

3 第三代数字移动通信系统（3G）

第三代移动通信系统（3G）被国际电信联盟 ITU 定名为 IMT-2000(国际移动通信 2000 年)，其目的在于以全球统一的频率和标准、实现全球漫游和提供各种宽带业务。IMT-2000 无线传输使用 2000MHz 频段，两个工作频段为 1885～ 2025MHz 和 2110～ 2200MHz，两段带宽总共 230MHz，其中，1980～ 2010MHz 和 2170～ 2200MHz 用于卫星通信。IMT-2000 数据传输速率要求在室内环境达到 2Mb/s，室外步行环境达到 384kb/s，室外车辆中达到 144kb/s，卫星移动环境中达到 96kb/s，能提供目前 PSTN/ISDN 和其他公网的大多数业务和有移动通信附加业务以及通用个人电信(UPT)业务。

IMT-2000 的功能模型及接口如图 56所示。

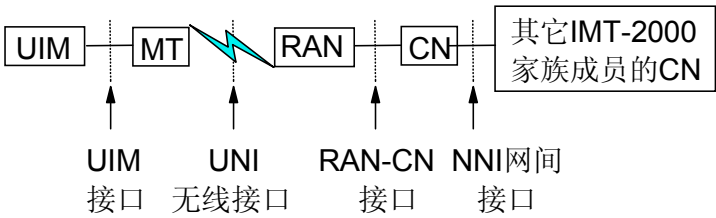


图56 IMT-2000 的功能模型及接口

图中，UIM(User Identify Module)是用户识别模块，MT(Mobile Terminal)是移动终端，RAN(Radio Access Network)为无线接入网，CN(Core Network)表示核心网，各模块间的接口如图所示。

CDMA 技术使用单一的频率，并可在整个系统区域内重复使用，小区复用系数为 1，各个用户采用一组正交码来区分，频率规划简单，频谱利用率高，容量大；在相同的频段内提供的系统容量比模拟 TDMA 系统大 10～ 20 倍，比 TDMA 数字系统大 4～ 6 倍；使用功率控制技术、智能天线、干扰消除等技术后可进一步提高系统容量。因此，IMT-2000 技术方案基本上统一以宽带码分多址（CAMA）技术为核心。

IMT-2000 有如下特点：

全球性标准和系统(两大阵营：欧洲 GSM MAP 的 3GPP、美国 ANSI-41 的 3GPP2);

业务多样性(语音、数据、图象、多媒体、Internet 接入等)和可变性(按需分配带宽);

高比特率分组数据，速率：144kb/s~2Mb/s;

兼容性：能与各种移动通信系统融合，互连互通，便于 2G 平滑演进，过渡到 3G;

保密、安全、易操作。

3.1 IMT-2000 无线接口和无线传输技术方案

围绕 IMT-2000 的竞争十分激烈。截至 1998 年的 6 月底，提交 ITU 的第三代地面候选无线接口技术多达 10 种。最后，IMT-2000 无线接口规范(IMT.RSPC)接纳了 5 个无线接口，即 W-CDMA、cdma2000、TD-SCDMA、UWC136 和 EP-DECT。W-CDMA 是欧洲和日本支持的方案，cdma2000 是由美国提出的方案，UWC-136 是基于 IS-136 (D-AMPS) 的 TDMA 方案，EP-DECT 是在欧洲 DECT 基础上稍加改进而来的，我国提出的 TD-SCDMA 采用 TDMA 和 CDMA 混合接入方案。

IMT-2000 的标准和系统分为欧洲 GSM MAP 的 3GPP 和美国 ANSI-41 的 3GPP2 两大阵营，已接纳的 5 个无线接口标准和无线传输技术 (RTT, Radio Transmission Technology) 方案尚待各国电信当局和运营商选用。

IMT-2000 无线接口规范(IMT.RSPC)5 个无线接口标准的名称是：

- IMT-2000 CDMA-DS(简称 IMT-DS): UTRA FDD/WCDMA,
- IMT-2000 CDMA-TTD(简称 IMT-TD): TDCDMA/TD-SCDMA/UTRA TDD
- IMT-2000 CDMA-MC(简称 IMT-MC): CDMA2000 MC/WCDMAone
- IMT-2000 TDMA SC(简称 IMT-SC): UWC(Universal Wireless Communication)-136
- IMT-2000 FDMA/TDMA(简称 IMT-FT): DECT

其中，DS (Direct Spread) 是直接扩频；MC (Multi-Carrier) 是多载波；SC (Single Carrier) 是单载波。

与这些接口相应的无线传输技术方案如表 7 所示。

表7 IMT-2000 无线传输技术方案

方案	双工方式	空中接口	网络平台	技术基础	提交者
WCDMA (Wideband CDMA)	FDD/TDD	WCDMA	ATM/BISDN	全新，越过2G	日本：ARIB
UTRA	FDD/TDD				欧洲：ETSI
TDCDMA (Time Division CDMA)	TDD	GSM过渡	GSM过渡	2G/3G平滑过渡	西门子
TD-SCDMA (TD Syn. CDMA)	TDD	GSM过渡	GSM过渡	2G/3G平滑过渡	中国：CATT
WCDMAone	FDD	IS-95过渡	IS-95过渡		

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System(通用移动通信系统);
UTRA : UMTS Terrestrial Radio Access (通用移动通信系统陆地无线接入) ;

UTRA 是 ETSI 针对 3G(IMT-2000)提出的解决方案和欧洲的 3G 无线多媒体标准，与 TDCDMA 和 WCDMA 比较接近。因此，三者被融合为 W-CDMA（也写成 WCDMA）。于是,5 种无线接口标准的竞争实际上变成 3GPP 的 WCDMA 和 TD-CDMA 和 3GPP2 的 cdma2000 两大阵营，三大标准的竞争。特别是 WCDMA 和 cdma2000 的竞争。

3.2 CDMA 技术和三大标准的评述

大家知道，信源码的功率主要集中在相对较窄的频谱宽度内。CDMA 采用扩频技术，以频谱很宽的扩频码对信源码进行扩频处理，使信源码的频谱扩展数十到数百倍，扩频后的信号功率被分散在很宽的频内，各频率分量的功率也按相应倍数下降。

不同扩频码的频谱分布不同，因此，不同用户的信源码经各自对应的扩频码扩频后，可以叠加在一起，而各频率分量的功率并无明显增加。多用户扩频信号的集合信号类似于“白噪声”，具有比较均匀分布的功率密度谱，并可采用适当的调制方式共用一个频分或时分信道由空中接口发送出去。

扩频码系列是具有一定长度和码片速率的正交特征码系列。所谓正交，好比“一把钥匙开一把锁”。“扩频”已把一个个用户的信源码用特地为各用户定制的“扩频码锁”锁进了称之为信道的“公用货柜”的一个个小抽屉中。想要接收某用户的信息，只能使用为该用户特配的扩频码做“钥匙”，才能打开装有那个用户信源码的小抽屉。

因此，CDMA 是采用扩频技术使多用户同时共享包括频谱、时间、功率、空间和特征码等要素的无线资源，实现多址联接的通信方式。

CDMA 与 FDMA、TDMA 的最大不同点在于它能统计复用无线资源，即所有 CDMA 用户动态共享频率、时间和功率资源，而仅依靠特征码来区分各用户。

当前，CDMA 有第二代窄带 CDMA 和第三代宽带 CDMA 两类标准和系统。

第二代窄带 CDMA 系统以美国 Qualcomm 公司推出的码分多址(CDMA)直接扩频技术为代表,有关标准是 TIA/EIA IS-95, IS-95A, IS-96, IS-97, IS-98, IS-99。

IS-95(CDMA)系统的工作频段,基站为 869~894MHz,移动台为 824~849MHz;双工间隔 45MHz;而射频载频间隔为 1250kHz,比 D-AMPS 的 30kHz 和 GSM 的 200 kHz 宽得多。

在 IS-95(CDMA)系统中,不同的用户具有不同的特征码,频率规划比较简单,但 CDMA 系统覆盖和容量覆盖需要很好的协调,如果某个小区业务负载过重则会导致覆盖范围减小,甚至会出现覆盖盲区。在 IS-95 中,采用了软切换、快速功率控制等技术,无线资源管理和接入控制比较复杂。

IS-95 (CDMA) 具有抗干扰能力强、系统容量大和无线资源利用率比较高等优点,并能与 AMPS 系统兼容。中国联通正在建设这种 CDMA 网络。

第三代 CDMA 系统采用了更宽的带宽、更高的码片速率。在提交给 ITU 有关 IMT-2000 的方案中,几乎所有的方案使用的带宽在名义上都是 5MHz,可提供 2Mb/s 的数据速率。宽带 CDMA 系统本身具有频率分集作用,比窄带 CDMA 系统能更好地克服多径衰落。改善通信质量和载波特性。

第三代 CDMA 系统中一般采用时分复用或码分复用方案来提供多业务(多速率)服务。即把不同速率和业务质量(QoS)要求的业务完全分割开来,独自编码和交织,以时分或码分复用方式映射到不同物理数据信道中,并对各个业务信道进行单独控制,灵活应用。

第三代 CDMA 一般采用对称 WQPSK (balanced QPSK) 和双信道 QPSK (dual-channel QPSK) 扩频调制。

收信方面,第三代 CDMA 上行链路采用相干检测技术,收信性能改善 3dB 左右。下行链路采用比第二代 CDMA 更快的功率控制技术,能更好地克服多径衰落的影响,并通过分集接收来改善下行链路的性能。上行和下行链路都采用了多用户检测(MUD)技术,以充分挖掘无线信道潜力,增加系统容量。

此外,第三代 CDMA 还采用了智能天线技术。智能天线是一种多波束、用户跟踪、自适应定向的天线阵。当用户一定时,可以减少其它用户信号的干扰。下行链路中使用附加导频来使接收机能对信道进行评估。

对业务密集的热点地区,第三代 CDMA 采用分层小区的方案:在微蜂窝或微微蜂窝上面叠加一个宏蜂窝,不同的蜂窝使用不同的频率。

到目前为止,基于 CDMA 的第三代移动通信系统主要有两种方案:同步方案和异步方案。其主要区别就是基站间是否需要同步。在提交给 ITU 的方案中,

ETSI、ARIB 以及 TTA II 的 WCDMA 属于异步网络方案；美国 TR45.5 的 cdma2000 是同步方案。

cdma2000 的核心是由 Lucent、Motorola、Nortel 和 Qualcomm 联合提出的 Wideband cdmaOne 技术。cdma-2000 采用 MC-CDMA（多载波 CDMA）多址方式，可支持语音、分组、数据等业务，并且可实现 QoS 的协商。对于射频带宽为 $N \times 1.25\text{MHz}$ 的 cdma2000 系统，采用多个载波来利用整个频带。

cdma2000 的功率控制有开环、闭环和外环三种方式，还可采用辅助导频、正交分集、多载波分集等技术来提高系统的性能。

WCDMA（UTRA FDD）的核心网基于 GSM-MAP，可有效支持电路交换业务（如 PSTN、ISDN 网）、分组交换业务（如 IP 网）和其它宽带业务。它的灵活的无线协议可在一个载波内对同一用户同时支持语音、数据和多媒体业务。通过透明或非透明传输块来支持实时、非实时业务。业务质量可通过对诸如延迟、误比特率、误帧率等参数的调整来改善。

WCDMA 采用 DS-CDMA 多址方式，码片速率是 3.84Mcps，载波带宽为 5MHz。系统不采用 GPS 精确定时，不同基站可选择同步和不同步两种方式，可以不受 GPS 系统的限制。在反向信道上，采用导频符号相干 RAKE 接收的方式，解决了 CDMA 中反向信道容量受限的问题。

WCDMA 采用精确的包括基于 SIR 的快速闭环、开环和外环等多种功率控制方式，可有效满足抵抗衰落的要求。

WCDMA 还可采用一些先进的技术，如自适应天线（Adaptive antennas）、多用户检测（Multi-user detection）、分集接收（正交分集、时间分集）、分层式小区结构等，来提高整个系统的性能。

Cdma2000 和 WCDMA 都是采用 FDD 方式的系统。

我国提出的第三代移动通信国际标准——TD-SCDMA（时分双工同步码分多址）标准是采用 TDD 方式的系统。它已成为国际电信联盟标准，与 WCDMA 和 CDMA2000 并列为第三代移动通信世界三大主流标准之一。TD-SCDMA 标准也属于 3GPP 的 UMTS。

采用 TDD 方式的系统，特别是 TD-SCDMA，在同样满足 IMT-2000 要求的前提下，具有如下特点：

- 能使用各种频率资源，不需要成对的频率，适用于不对称的上下行数据传输速率，特别适用于 IP 型的数据业务；
- 上下行工作于同一频率，对称的电波传播特性使之便于使用诸如智能天线等新技术，达到提高性能、降低成本的目的；
- 系统设备成本较低，将可能比 FDD 系统低 20%-50%。

不过 TDD 系统比 FDD 系统也有一些不足之处，主要表现在如下两个方面：

- 终端的移动速度只能在 120km/h 以内，而 FDD 系统可达到 500km/h。
- 由于要考虑上下行时隙的保护时间，小区半径有所限制，TD-SCDMA 系统的最大小区半径为 10km 左右，而 FDD 系统的小区半径完全由发射功率和传播条件确定，没有限制。

cdma2000 要依赖全球定位系统（GPS）实现同步，而 GPS 是由美国控制的军用技术，且此方案与目前在全球获得广泛应用的 GSM 系统不兼容，可能难被其他国家接受。

欧洲国家深受 GSM 巨大成功的鼓舞，极力推崇 W-CDMA 标准。

我国可能采用 W-CDMA 和 TD-SCDMA。

目前，多数人预测第三代移动通信网络的前景将是几种标准共存互补的网络。例如以 FDD 技术的无线基站用来完成全球无缝覆盖，TDD 技术的基站用来在城市人口集中地区提供高密度和容量的话音、数据及多媒体业务。

这可以从未来 10 年内我国对第三代移动通信需求的技术和经济评估中看出一些端倪。

若未来 10 年内，我国第三代移动通信用户按 2 亿户来考虑，将各种数据和话音业务合并折算的每用户平均话务量为 0.05Erl。设每个基站占用 5MHz 带宽，且 FDD 基站和 TD-SCDMA 基站的容量基本相同，每基站大约支持 120Erl，即可提供 5,000 用户(留 20%供越区切换使用)。考虑到我国用户的 80-90%在大中城市，即 90%的业务集中在大中城市，为实现全国的无缝覆盖，3G 网络要设 8,000 至 10,000 个业务量较低的 FDD 基站(每个基站的覆盖半径为 5 至 30 公里)，并另外增加大约 40,000 至 50,000 个 TDD 基站来解决城市及郊区高用户密度的业务需求。

3G 核心网的价格和无线接入网所使用的技术无关。而基站的价格，目前，我们有把握地说在相同容量下，TD-SCDMA9（TDD）基站价格将比 GSM 基站低 20%，而 WCDMA 的 FDD 基站价格估计不可能比 GSM 低。因此，可认为相同容量的 TD-SCDMA 基站比 FDD 基站便宜 30%至 50%。

在上述考虑下，用 FDD 作全国覆盖而用 TDD 来提供城市的话务量(10,000 个 FDD 基站和 40,000 个 TD-SCDMA 基站)比全部用 FDD 基站则至少将节省 50 至 100 亿美元的设备投资。而且，使用 TDD 系统，所占用的频率资源比使用 FDD 设备少一半，可为运营商和用户节省一半的频率占用费。此外，对不对称的数据业务，TDD 系统的效率更高，必将为运营商和用户带来更大的利益。因此，我国的 TD-SCDMA 标准有很好的应用前景。

3.3 3G 的关键技术

3G 方案中采用的主要关键技术有：

- 多载波调制：将一个信道带宽分成 N 个载波作自适应多进制调制，载波数随信道速率增减，进制数随信道衰落和忙闲调节；
- 多址技术：灵活的多载波信道和按需分配带宽的 CDMA 技术；
- 软件无线电：综合采用数字信号处理，微电子和软件等技术的硬件平台，可通过加载软件来实现硬件升级，使系统获得新功能；
- 智能天线：赋形天线的波束能跟踪用户，以降低发射功率，减小干扰；
- ATM：实现宽带分组交换核心网；
- 智能网技术：支持开发新业务。

3.4 IMT-2000 系统的基本结构

IMT-2000 系统由移动台 MS、一系列基站收发信台（BTS-A、BTS-B 等）和基站控制与移动交换综合仿真设备 MCC-SIM 构成，如图 57 所示。

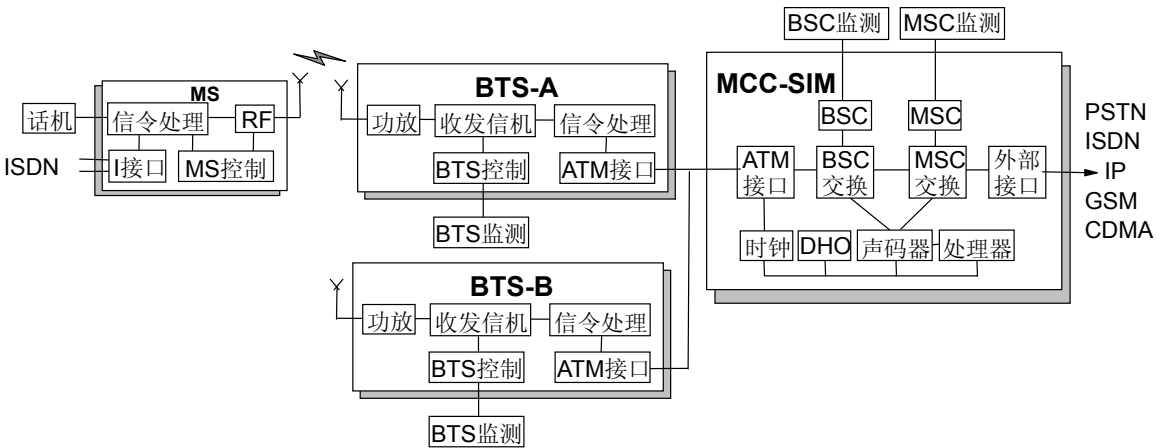


图57 IMT-2000 系统的基本结构

移动终端 MS 提供话音业务和外部高速数据接口；基站收发信台（BTS）实现 IMT-2000 的无线接口功能；综合 BSC 和 MSC 功能的仿真设备 MCC-SIM 提供无线链路控制、交换控制、呼叫控制和外部接口等功能，以及 HLR、VLR、AUC 的功能。

4 2G 向 3G 过渡的策略和方案

在 2G 已广泛应用并不断扩展和 3G 尚待试点推广的背景下，为适应和满足用户当前在较高速率数据业务和移动办公等方面的需求和充分发挥 2G 网络覆

盖广，普及面大的优势，各种 2G 向 3G 过渡的策略和方案应运而生，并通常把它们简称为二代半（2.5G）技术或方案。

GSM 的电路型数据基本速率为 9.6kbps，如果采用高速电路交换（HSCSD）技术，数据速可提高到 57.6kbps，且易实现，但其呼叫建立时间长和多时隙捆绑的工作方式会造成频谱资源的紧张与浪费，因而生命周期较短，难以满足国内 GSM 市场的发展需求。

EDGE（Enhanced Data Rates for GSM Evolution，GSM 演进的增强型数据率）是欧洲电信标准协会(ETSI)提出的使 GSM 数据传输速率扩展到 384 kb/s 的技术，故亦称为 GSM-384。这一速率达到了第三代移动通信系统数据传输速率的下挡范围，能为用户提供许多 3G 业务，但需要的软硬件投资很大，限制了它的大规模发展。

GPRS（通用分组无线业务）是一种经济有效的分组数据无线传输技术，具有支持移动上网浏览的功能；能实现按比特收取用户通信费用；对 GSM 网络的改动较少；速率能达到 115kbps，可满足初期大部分用户对 3G 业务的需求并很快为运营商带来效益，提高竞争能力等优点。GPRS 作为二代半的产品迅速进入市场，可以有效的保护电信运营商的投资，更容易与现有的网络在业务上兼容。

4.1 GPRS(通用分组无线业务)技术和网络

当前我国电信市场迫切需要的是通过 GSM 网接入 Internet 的解决方案。GPRS 就是这样一种二代半技术方案。如图 58 所示，它的基本思路是在支持话音和电路型数据业务的 GSM 网络上叠加一个支持分组数据业务和能与外部分组网或 Internet 互联的有通用分组无线业务功能的 GPRS Infrastructure（通用分组无线业务基础设施）。

话音和电路型数据业务仍由 GSM 系统和 MSC/VLR 支持，在 BSC 中增加 RAN-RAN 接口，以支持 3G 的越区软切换，这时，BSC 变成 RNC，HLR/AUC 由 2G/2.5G 共用，分组数据业务则由 GPRS 基础设施提供。

作为基于分组的体系结构，GPRS 是为在无线系统和公共分组网络之间交换数据而引入的全新网络体系结构。GPRS 基础设施的两大主要功能是保持对所连接主机位置的跟踪和提供对 Internet/ISP/内部网基础设施的接入。

GPRS 基础设施包括 SGSN(服务型 GPRS 支持节点和 GGSN(网关型 GPRS 支持节点)两种类型的节点。

SGSN 是为 MS 提供移动性管理、路由选择等服务的节点，处理用户注册、加密、移动、会话管理和基于位置的具体事务，以实现 GPRS 网与原 GSM 网互通，把 GPRS 连接到无线环境。

GGSN 是接入外部数据网络和业务的节点,用于实现 GPRS 网与外部网络(如内部网、ISP、AS 等)的互连。

BSS 和 SGSN 间的 Gb 接口是 2Mb/s 帧中继链路。在帧中继上运行的特定协议 BSSGP (BSSGPRS 协议) 能在 BSS 与 SGSN 之间传输路由和 QoS 相关信息。

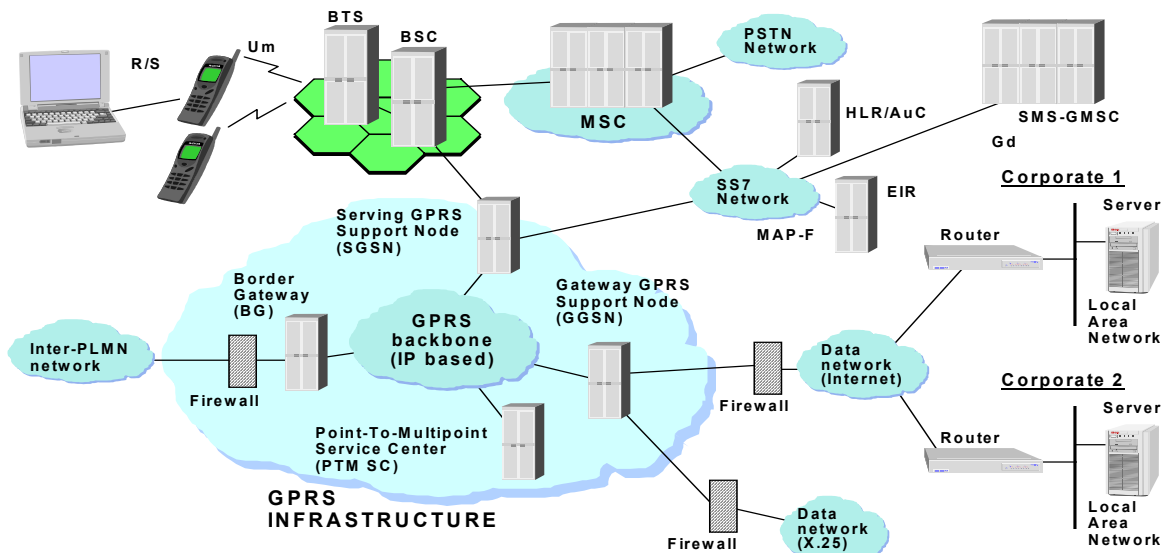


图58 叠加在 GSM 网上的 GPRS 基础设施

移动台（终端）和 SGSN 之间的 IP 流量封装在 SNDTCP（子网相关型收敛协议）中，SNDTCP 提供 IP 包的虚拟连接，并执行 IP 流量计算、分段和压缩等任务。

SGSN 与 GGSN 之间的 Gn 接口令到达 SGSN 的 IP 包通过朝向 GGSN 的特殊隧道中继和传输。此隧道基于称为 GTP（GPRS 通道协议）的 ETSI 协议。

GTP 信令有保持隧道（利用回声）、管理隧道（建立、更新、删除）、更新隧道位置以及管理终端移动（接管）等四个主要功能。

GGSN 到外部网的 Gi 接口提供对外部网（包括 ISP、公司内部网、自动系统）的接入。

GPRS 采用分组交换形式承载的数据业务，不需利用电路交换资源。它能提供的数据速率取决于所采用的编码方案，在标准中有四种编码数据速率，分别为每信道 9.05、13.4、15.6 和 21.4kb/s。由于用户能动态共享一个频点的全部 8 个业务信道，最大的数据吞吐量可高达每用户 171kb/s。不过，由于信道编码和多时隙分配需要一些开销，更现实的最高吞吐量为 115kb/s。在服务质量尚可的条件下，多数应用的传输速率可能比 115kb/s 低得多。GPRS 能

更高效利用无线资源和以更合理的收费方式提供丰富的业务类型，例如，点对点业务(PTP)；点对多点业务(PTM)；匿名接入 PIM；补充业务和 SMS 等。

考虑到 2G 的多样性和保护 2G 的庞大投资，ITU 放弃了对 3G 空中接口和网络技术的一致性要求，而致力于建立 3G 网络接口及其互通的标准。于是 IMT-2000 变成有共同目标要求，包容了多种技术的 3G 演进方案集。

GPRS 是我国移动通信网络从 GSM 到 WCDMA 和（或）TD-SCDMA 平滑过渡的重要步骤。

4.2 2G 向 3G 演进的策略

2G 和 3G 网络都可分成无线接入网和核心网两部分，有两种演进策略：

- 一开始就建 3G 核心网，2G 与 3G 间采用功能单元互通，使 2G 的无线接入网直联到 3G 核心网上，从而淘汰 2G 核心网(如 3GPP2 组织的 IMT-MC)
- 初期不建 3G 核心网，而是增强 2G 核心网功能，使 3G 的无线接入网通过适配功能单元接入到增强 2G 核心网中，既提供 3G 业务，又保护 2G 投资。待技术和经济条件有利时，再逐步建 3G 核心网并淘汰 2G 核心网(如欧洲 ETSI、中国 CWTS、美国 T1、韩国 TTA、日本 ARIB/TTC 组成的 3GPP 组织的 IMT-TD)

第三代移动通信网络的建设是一个长期的过程，特别是为解决 3G 的覆盖问题，同时建设核心网和接入网的高投入是初期难以承受的。因此世界各国普遍采用以第二代移动通信网络为基础向 3G 演进的发展策略，即与 2G 系统尽量兼容，实现 2G 到 3G 间的平滑过渡，以较少的投入解决 3G 初期的漫游问题。不同的运营者可能会在某一阶段只建设 3G 核心网、控制网和无线接入网的部分网络 and 实现 IMT-2000 的部分功能。网络模块可以保证各层具有一定的独立性。

4.3 我国 GSM 向 TD-SCDMA 过渡的方案

2000 年底，我国以 GSM 为主的第二代移动网用户已达 7000 万户，移动通信频率分配也是根据 ITU-T 的要求进行的。因此，第三代移动通信网络的建设必须充分与 GSM 系统兼容。我国的第三代的网络必然应以 GSM-MAP 协议为主，从 GSM 核心网络演进而来，并采用 3GPP 的标准化技术，其中 GPRS 构成的核心网络将起主要的过渡作用。

我国 2G 向第三代移动网演进的步骤应该是：

- (1) 大力发展和建立广泛的 GPRS 网络，用双频 TDMA/CDMA 双模终端，在局部地区提供 3G 业务；
- (2) 通过升级 GSM/GPRS 网络中的核心网络节点，如 MSC/GSN，使之提供 WCDMA 网络所需的 Iu 接口，并增加 WCDMA 系统协议处理能力，即可以使 GSM/GPRS 核心网节点具有 WCDMA 核心网的功能，在保证与原有的 GSM/GPRS 兼容前提下，实现 UTRAN 接入。

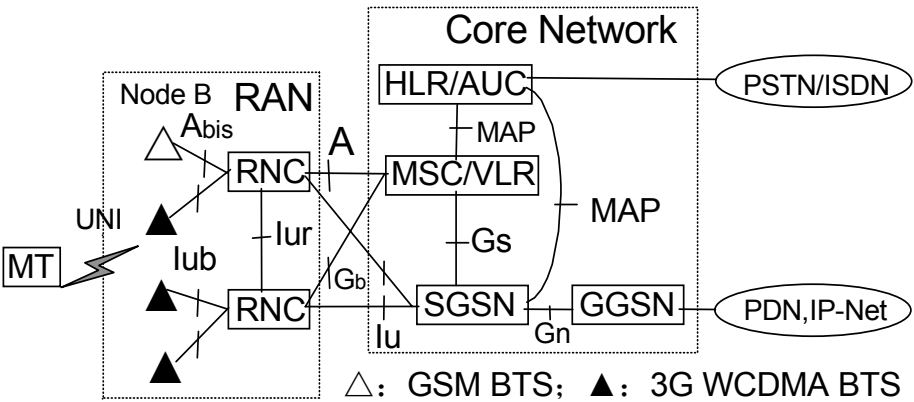


图59 通过 GPRS 由 2G 向 3G 过渡的示意图

如图 59所示，为在 GSM 网络中提供第三代移动通信业务，GSM 网络扩容时，使用过渡的 BSS(基站分系统)，而保持 GSM 的核心网络，通过 A 接口和 Gb 接口分别提供语音(包括电路交换型数据)和分组数据业务，继续使用 GSM 的 SIM 卡、鉴权中心、短消息中心和网络管理。这样，在任何有 GSM MSC 的地方都可能使用此方式来扩大容量并提供第三代移动通信业务。

在此基础上，建立和使用过渡性 3G 核心网，这是一种在 GSM MSC 的基础上增加 ATM 交换功能和新的 Iu 接口，并仍然使用 GSM 鉴权中心等单元的网络。

上述演进方案全部使用具有国际标准的接口和尽可能利用 GSM 核心网的功能，并使用双频双模用户终端和更换部分 GSM 网的硬件和软件。

过渡的初期(预计为 2002—2004 年)，先在移动用户密集地区或数据和多媒体业务需求大的地区，依托 GSM 网开通主要是以 TDD 系统为主，使用 TDMA/CDMA 双模终端的第三代移动通信业务。

从 2004 开始，逐步停止 GSM 系统扩容， 较大规模地建设第三代移动通信 FDD 和 TDD 网络，逐步完成演进过程。在 TDD 系统的选取上，以我国提出的 TD-SCDMA 为主，并综合采用 WCDMA 等标准，以获得最好的性能价格比。

4.4 无线应用协议 WAP

电子商务作为一种新兴的现代商务模式，自 20 世纪 90 年代以来得到了迅速发展，显现了巨大的经济贸易潜力。随时随地通过移动终端接入国际互联网和公司内部网的移动电子商务解决方案将从根本上改变人们消费购物行为，成为人们竞相追逐的热点。

1997 年夏，爱立信、诺基亚、摩托罗拉和 Unwired Planet 共同倡导开发的无线应用协议（WAP），作为移动通信和互联网间的“桥梁”，它使人们能最大限度地摆脱电脑和连线的束缚，通过 WAP 手机就可以便捷地接入互联网。

WAP(无线应用协议)已发展成无线网络通信应用的全球性工业标准，即 WAP 标准，并成立了有手机和系统制造商、运营者、业务提供商、软件开发商、内容提供商等各方面一百多成员参加的 WAP(无线应用协议)论坛。

WAP 标准包括应用、会话、交易、安全和传输层方面的一系列规程，是一个能避免网络割接，实现 GSM 手机与 Internet 互连，保护 GSM 网投资，为运营商快速开拓移动上网和无线增值业务市场的全球性开放协议，已得到全球 75% 的手机厂家和有一亿多用户的运营商们的支持。

WAP 标准以 Internet 模式为基础，继承和充分利用 XML(可扩展标识语言)、UDP、IP 等现有 Internet 规范，结合无线环境(信道低带宽、高时延、不稳定，手机屏幕小、存储器容量有限)，进行优化和创新，并通过论坛成员间的互操作试验而不断发展，已成为无线网上的“TCP/IP”。

WAP 是端到端协议，只要求 WAP 手机和 WAP 代理服务器支持。WAP 对现有移动网络透明，不需对现有网络协议做任何改动，适用于各种空中接口和各种移动或无线终端，可在 GSM、CDMA 等网上实现。

WAP 还定义了 WAE(无线应用环境)作为开发各种新无线业务和应用的工具。

中国移动率先于 2000 年 3 月 28 日在上海、北京、天津、广州、杭州、深圳等六大城市同时开出全球通 WAP 商用试验网，WAP 用户可以在这六大城市中使用漫游业务，多了一个浏览因特网信息的新手段。这标志着我国无线通信技术进入了一个新的发展阶段。

WAP 协议为把因特网信息内容及增值业务传送到移动终端（数字移动电话、寻呼机、个人数字助理、电子阅读器等）提供了一个开放的通用标准。此项 WAP 业务为具有数据业务功能的手机用户提供直接上网的功能，用户可通过手机首先访问中国移动通信集团公司的 WAP 门户网站，接入码为 172，门户网站：wap.chnmobile.com。

用户使用 WAP 业务需在 WAP 手机上进行参数设置，这样即可直接从手机上获取专门为 WAP 用户定制的信息，包括新闻、天气预报、股票信息、娱乐游

戏、体育消息、健康常识、电子商务等信息，并以此站点为起点，通过友情链接可进入上海、北京、广州、深圳、杭州、天津站点浏览当地的各类信息。还可浏览因特网上其他的 **WAP** 信息站点。

IP 技术和因特网

IP (Internet Protocol) 技术的核心是支持网络互联的 TCP/IP 协议, 它通过 IP 数据报和 IP 地址将物理网络细节屏蔽起来, 向用户提供统一的网络服务。

研究 IP 技术, 离不开具体的网络环境。因特网 (Internet) 是一种最典型的 IP 网络, 也是 IP 技术最成功的应用范例。

TCP/IP 协议最初是为提供非实时数据业务而设计的, 因此传统的 IP 网传送实时音频和视频的能力较差。

随着 Internet 业务的增多和技术的成熟, IP 技术自身也在不断变化。这些变化使 Internet 不但可收发电子邮件、浏览主页, 还可进行实时通话和观看点播电视。IP 电话既对传统电话以巨大的冲击, 又拉近了传统电信网与数据通信网的距离。

Internet 由最初位于美国的 4 个节点已发展到现在遍及 175 个国家和地区、连接数千万台主机的计算机网络, 并还在大规模地增长。基于 Internet 的诸如 IP 电话、IP 传真、视频会议、电子商务等新应用正不断涌现。

从目前的情况来看, IP 技术将是综合业务的最好方案。一场把计算机网、有线电视网和电信网融合为统一的宽带数据网或 Internet 的信息革命正在悄然兴起。当前的 Internet 狂潮仅是这场革命的先兆。

我国于 1994 年正式接入 Internet。我国互联网事业发展十分迅速, 先后建成了中国科学技术网(CSTNET)、中国公用计算机互联网(CHINANET)、中国教育和科研计算机网(CERNET)、中国金桥信息网(CHINAGBN)、中国联通互联网(UNINET)等几个主要的互联网络。1999 年 3 月, 经国务院批准, 由中科院、铁道、广电、上海等四家联合成立了中国网通, 它正全力建设中国高速互联骨干网的宽带 IP 示范网。大城市的宽带数据城域网建设正方兴未艾。国际网关也一再提速, 现已达 2.5Gbps。

本章主要内容:

- TCP/IP 协议和 IP 地址
- 局域网和城域网
- 以 IP 电话为代表的 IP 业务
- “三网合一”的发展趋势

1 TCP/IP 协议

TCP/IP(Transmission Control Protocol / Internet Protocol, 传输控制协议/网间协议)是为互连的各类计算机提供透明通信和可互操作性服务的一组软件,它受到各类计算机硬件和操作系统的普遍支持。TCP/IP 由美国国防部支助开发,并于 1960 年年底完成,作为 Internet 的网络操作系统(NOS),广泛流行,成为 NOS 世界中的主流。

TCP/IP 为企业网提供了一种极具魄力的广域网解决方案,它的开放性使任何厂家或用户都可开发基于 TCP/IP 的产品和方案,使用户有广泛的产品和方案选择权,从横向兼容中获益。TCP/IP 提供坚实可靠的与广域网的连通性,任何网络要与 Internet 连接,必须采用 TCP/IP。

1.1 异种网互联

所谓异种网一般是指网络协议层次结构不同、协议功能不同以及协议细节不同的网络。互联网技术就是解决异种网间通信的技术,它能隐藏网络细节,实现异种网不同协议间的转换,向用户提供一致的通信服务。

异种网互联有应用程序级互联和网络级互联两种方式。

应用程序级互联直接建立在物理网络上,没有中间协议。一旦网络系统增加了新功能或新硬件,就要修改所有的应用程序,而且每一个应用程序都要包含完成本机的所有网络连接之代码,导致许多重复代码。

网络级互联在系统中增加了若干中间层次(主要是网络层),使应用程序不直接处理硬件连接。设置若干中间层,特别是通过其中的网络层来组织异种网互联,以建立一个统一的、协作的、提供通用服务的互联网是 TCP/IP 的基本思路,也是它灵活性和通用性的实质所在。

IP 层协议在 TCP/IP 确立的网络层次结构中起着核心作用。它采用无连接方式传递数据报,使上层应用不用关心低层数据传输的细节,以提高数据传输的效率;同时通过 IP 数据报和 IP 地址,屏蔽各种物理网络低层技术细节,统一向上层提供一致性的服务,使物理网络的多样性对上层透明。因此,Internet 可以充分利用各种通信媒介,从而将全球范围内的计算机网络通过统一的 IP 协议连在一起。

1.2 TCP/IP 分层模型

TCP/IP 这个术语并不仅仅指传输控制协议(TCP)和网际协议(IP),它还包括许多与之相关的协议和应用程序,是一个协议簇。

TCP/IP 协议遵从一个由应用层、传输层、网络层和网络接入层组成的四层模型。上层协议层需要低层的协议层提供服务，这样，当任何一个计算机应用模块有网络通信的需求时，只要按照标准的接口使用低层协议模块提供的网络服务即可。图 60给出了 TCP/IP 的网络体系结构及各协议所处的位置。作为比较，图中也给出了 OSI 七层参考模型。

1. 应用层

TCP/IP 最高层是应用层，应用程序通过该层访问网络。这一层有许多标准的 TCP/IP 工具与服务，比如 SMTP（简单报文传送协议）、FTP（文件传输协议）、DNS（域名服务）、SNMP（简单网络管理协议）、Telnet（远程登录）等。

2. 传输层

传输层在计算机之间提供端到端的通信。两个传输协议分别是传输控制协议（TCP）和用户数据报协议（UDP）。

TCP 为应用程序提供可靠的通信连接，适合于一次传输大批数据的情况，并适用于要求得到响应的应用程序。

UDP 提供了无连接通信，且不对传送包实行可靠性保证，适合于一次传输少量数据。数据的可靠传输则由应用层负责。传输协议的选择依据数据传输方式而定。

3. 网络层

网络层协议负责相邻计算机之间的通信。它将数据包封装成 Internet 数据报，并运行必要的路由算法。常用的四个网络层协议是网间协议(IP)、地址解析协议(ARP)、网际控制报文协议(ICMP)和互联网组管理协议(IGMP)。

IP 主要负责在主机和网络之间寻址和路由数据报；ARP 获得同一物理网络中的硬件主机地址；ICMP 发送消息，并报告有关数据报的传送错误；IGMP 用于在多路广播路由器和各 IP 主机间传送多路广播路由器要求的主机组成员报告，该报告包括本地各 IP 主机是那个主机组的成员的信息。

4. 网络接入层

这是 TCP/IP 网络模型的最低层，包括网络接口协议和物理网协议，负责数据帧的发送和接收。这一层从 IP 层接收 IP 数据报并通过网络发送，或者从网络接收物理帧，抽出 IP 数据报，交给 IP 层。

IP 支持广域网和本地网接口技术。它所支持的本地网技术包括 LAN 技术（如 Ethernet、Token Ring）以及 MAN（Metropolitan Area Network，城域网）

技术（如 FDDI）。TCP/IP 还支持串行线路和分组交换网络两种主要类型的广域网技术。串行线路包括模拟电话线、数字线和租用线。分组交换网络包括 X.25、帧中继和 ATM 等。

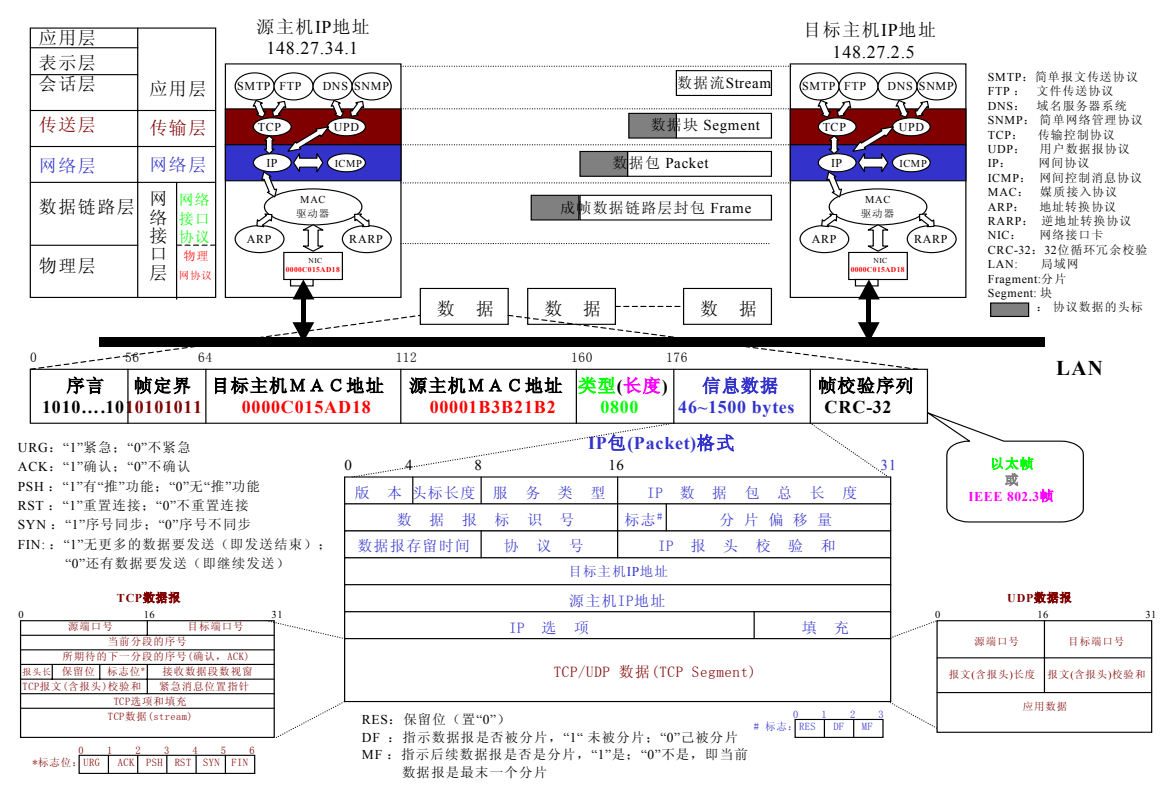


图60 TCP/IP 分层模型和通信示意图

广义的 IP 协议其实是一个庞大的协议族，截止到 2000 年 6 月 30 日，IP 的标准化机构 IETF（Internet Engineering Task Force）共定义了 2868 个 RFC（Request for Comments）文档，此外还有约 2570 个草案（Draft）。这些 RFC 即为 IETF 确定的 IP 标准。它们围绕 IP 的 4 层分层结构模型，规范了从应用层的 FTP、HTTP、SNMP、DNS 等到网络接口层的与当今各种网络，如以太网、令牌网、ATM、帧中继、SDH 和 WDM 为代表的光传送网（OTN）以及无线网的接口技术标准。在地址解析方面有 ARP、RARP 协议，在差错控制方面除了 TCP 外还有 ICMP 协议，在网络路由选择方面有 GGP、EGP、RIP、OSPF、BGP、IGMP、BOOTP 等众多的协议。

不过，所有这些 RFC 中最为重要的是 RFC 791 定义的网际协议即 IP 协议 (Internet Protocol)以及 RFC 793 定义的传输控制协议(Transmission Control Protocol)即 TCP 协议，合称 TCP/IP。IP 协议负责将数据从一处传往另一处，TCP 负责数据的流量控制，并保证传输的正确性。IP 协议具有广泛的兼容性和可伸缩性，它屏蔽了网络底层的细节，适用于不同的计算机网络协议、不同的网络设备互联。下面我们提到的 IP 协议系指 RFC 791 定义的网际协议。

1.3 IP 协议和它的主要功能

IP 协议对应于 OSI 模型的第三层，即网络层，它提供了一种不可靠、无连接的投递机制。IP 提供了三个重要的定义：

- IP 定义了在整个计算机网络上数据传输所用的基本单元，它规定了互连网上传输数据的确切格式；
- IP 软件完成路由选择的功能，选择数据包的发送路径；
- 除数据格式和路由选择的正式定义外，IP 还包括一组嵌入了不可靠分组投递思想的规则，这些规则指明了主机和路由器应该如何处理分组、何时以及如何发出错误信息以及在什么情况下可以放弃数据包。

现在所用和所指的 IP 协议版本为 1981 年定义的第四版，即 IPv4，其数据报的格式如图 60 所示。在传输过程中从左到右，从上到下，即最左位为 MSB。现就 IP 数据报各字段的作用说明如下：

- 版本号为 4 比特，用来标明数据报采用的版本为 IPv4；
- 头标长度字段也是 4 个比特，用来给出以 32 比特字长为单位的首部长度；
- 服务类型字段为 8 个比特，用来对数据报划分优先级别；
- IP 数据包总长度字段为 16 比特，给出要传输数据报的以八位组为单位的总长度，IP 数据报的最大长度为 $2^{16}=65535$ 个八位组；
- 数据报标识号、标志和分片偏移量分别为 16、3 和 13 比特，用来控制数据报的分片和重组，以便让主机识别每个到达的数据报片，将数据完整复原；
- 数据报存留时间或寿命（TTL）字段为 8 个比特，用来设置该数据报在互联网中允许存在的以秒为单位的时间，以避免数据报在网络中出现无限循环；
- 协议号字段为 8 比特，类似于网络帧中的类型字段，它说明数据报内数据字段中的数据是用哪种高层协议产生的；
- IP 报头校验和字段为 16 比特，用于保证头标数据的完整性；
- 目标主机 IP 地址和源主机 IP 地址均为 32 比特，用来标明数据报的目的地址和源地址；
- IP 选项字段是任选的，主要用于网络测试或调试；
- 数据字段用来传送需传送的数据，可以有 0~65535 个字节。

IP 协议的主要功能是命名地址、把 TCP 数据块分片(Fragment)、处理 ICMP 数据报的传送问题和规定网关如何处理数据。

IP 协议给定 TCP 数据报的源、宿 IP 地址、预测数据报传到下一个器件的最佳路由，但并不证实、并利用选项来规定数据报必经的主机或到指定的主机必须经过那些节点。不过，数据报的实际路由却不由 IP 确定，而是留给路由算法协议来做。

由于通过网络接入层组帧传输的 IP 数据报长度受到帧长的限制。数据报长度的限值被称为 MTU(Maximum Transmission Unit)。因此，IP 协议在源方要根据 MTU 将过长的 TCP 数据报报文段 (Segment) 分片，使组成的分片数据报长度不超过 MTU 值，并以片偏移标示分片数据报的序号，但 IP 不保证宿方按序收到分片数据报。在宿方，IP 在拆装定时器的时限内，按分片数据报序号拆装(Reassembly)各分片数据报，还原出 TCP 报文段。若超时，则丢弃分片数据报，宣告拆装失败，待重发后再拆装。显然，分片可能增加传输时延，应尽量减少分片数量。

数据报在传输中可能出现诸如迷路，中断，拆装失败等网络传输差错问题。由于 IP 无差错报告机制，无法解决这些问题，而要由 TCP 来解决。虽然 IP 数据报中也有校验，但其仅用于检验 IP 数据报报头的差错，并不保障报文的可靠传输。这意味着 IP 并不保证传输的可靠性。差错报告功能要由与 IP 集成的 ICMP(Internet Control Message Protocol)承担。

正如 IP 业务处于高速发展之中一样，IP 协议也一直处于发展之中。IP 之所以具有强大的生命力，就是因为它走的是开放式发展道路、以满足社会实际需要为目的。IP 从一开始就不是十全十美的，而且也从不把自己定位为一种十分完善的技术，但它能够引进新的技术，尽量满足用户的需要。

例如由于 IP 没有质量 (QoS) 保证，IP 的标准化机构 IETF (Internet Engineering Task Force) 正在开发满足用户 QoS 要求的 DiffServ 技术，现有的 IP 网络不适合传送语音、视频等实时业务，IETF 定义了实时传送协议 (RTP) 和资源预留协议 (RSVP)；针对传统的路由器交换速率低以及没有业务流量工程，引进了 MPLS 等；为了充分利用光纤通信提供的巨大网络带宽，制定了 IP over SDH 标准，并正在制定 IP over Optical (WDM、以及未来的 OTDM 和 OTN)。

由于 IP 已成为下一代通信网的统一平台，虽然现有的 IP 协议还存在一些问题，随着 ITU-T 等标准化机构的参与，相信将会有有一个能够满足方方面面要求的完善的 IP 标准体系出现。

1.4 TCP 协议

由于网络层 IP 协议提供的是不可靠的分组传送，当传送过程中出现错误和网络硬件失效或网络负载太重时，数据包可能被丢失从而使数据被破坏。

TCP 协议弥补了 IP 的这个缺陷，提供可靠的数据传输服务。TCP 具有面向数据流、虚电路连接、有缓冲的传送、无结构的数据流和全双工连接等 5 个特征，TCP 数据报报文段的格式如图 60 所示，各主要字段的作用说明如下：

- 源端口号和目的端口号字段的长度均为 16 比特，包含了连接两端对应用程序进行标识的 TCP 端口号；
- 当前分段序号字段为 32 比特，指示 TCP 报文段在发送数据字节流中的位置；
- 所期待的下一分段（确认）序号字段为 32 比特，该字段指出本机希望接收的下一个八位组的序号；
- 报头长度字段为 4 比特，是一个以 32 比特为单位的报头长度值。需要该字段是因为选项字段的长度随所选内容而变化；
- 保留位字段为 6 比特，保留给将来的应用；
- 标志位字段为 6 比特，用于标示报文段的目的和内容；
- 接收数据段数视窗字段为 16 比特，用来给出接收缓冲区的大小，告诉发送方自己每次能接收多少数据；
- 校验和字段为 16 比特，提供对包括 TCP 报头在内的 TCP 数据报数据完整性校验。

1.5 TCP/IP 协议数据

综上所述，IP 只提供一种将数据报传送到目标主机的方法。但不能解决数据报丢失和乱序递交等传输的可靠性问题。面向连接的 TCP 协议则解决 IP 未解决的问题。因此，两者相结合的 TCP/IP 提供了在 Internet 上可靠传输数据的方法。

在 TCP/IP 模式中，数据从一层传递到另一层。在这个过程中，每一层的协议软件（称为模块）为上一层进行数据封装。数据封装是一个按照较低层协议要求的格式保存数据的过程。

在 TCP/IP 各层中数据单位的名称随着相应协议的不同而不同。物理层用比特位串表示所有数据；数据链路层将数据帧（Frame 又称物理帧）作为数据单位（如以太网是以太网帧）；网络层将 IP 数据包（Packet）作为数据单位；而传输层，在采用 TCP 时则把 TCP 数据报报文段（Segment）作为数据单位，采用 UDP 时，则将 UDP 数据报作为数据单位；应用层将应用报文作为数据单位(见图 60)。

1.6 TCP 的通信过程

TCP 是面向连接，支持多种应用进程，在不同主机的应用进程间提供端到端可靠逻辑(虚)电路的协议。所谓面向连接是指 TCP 执行“握手”过程在主机间建立起来的 TCP 虚电路将在整个数据报发送期内保持，从而保证能以合理的速度传送高层应用数据。TCP 是全双工的，能同时收、发数据流。

TCP 管理和控制数据流量，数据报的优先权与安全性，维护全部数据流的状态表。由于 TCP 的上述功能，使高层应用和 IP 层都无需考虑传输的流量控制和可靠性等问题。参看图 60，应用数据的传输过程如下：

- 高层应用向 TCP 层发连接请求。TCP 为每种应用提供一个端口(Port)；
- TCP 层生成送往宿主机的请求连接消息，下传给 IP 层，该消息中包括一个插口号(Socket Number)，它由主机 IP 地址和该应用对应的 TCP 端口号组成；
- IP 层把请求连接消息做成数据报，经网络接入协议层送给宿主机，宿方回传含自身 Socket Number 的应答给源主机。经此“握手换帖”，建立 TCP 虚连接。
- 高层应用向 TCP 层发信息数据流(Stream)；
- TCP 将信息数据流分段，加上被称为 Protocol Data Unit(协议数据单元)的开销，形成 TCP 报文段(Segment)，下传 IP 层。开销中包括源、宿主机的插口号、报文段(Segment)的序号、作流量控制的窗口、检验所传报文段正确性的校验和与确认(ACK)等；
- IP 层把 TCP 报文段(Segment)分片(Fragment)，逐片封装成 IP 数据报包(Packet)，交基层网络接入协议层；
- 网络接入层将数据报包组帧传输。帧长限制了数据报长；
- TCP 层还把已发报文段存入缓存做备份，供宿方要求重发时用。被宿方确认接收无误的报文段，则可从缓存中抹去；
- 源、宿间 TCP 层通信由 TCP 报文段序号和宿方回送表示该段被正确接收的确认(ACK)来维持。定时器于发报文段时启动，源方在定时终结时仍未收到该段的 ACK，就重发该段。宿方会丢弃差错段或重复段，从而保证传输的可靠性；
- 宿主机通过作流量控制的窗口向源方通告可发送的 TCP 报文段段数，源主机只能按此限额发送 TCP 报文段；

- 当一个应用要求发送立即能收到 **ACK** 的数据时，**TCP** 使能出自高层的称为 **Push(推)**的特殊行为，用设置在应用层和 **TCP** 层间的推标志 (**Push Flag**) 将 **Push** 初始化。

2 IP 地址技术

地址是系统中某个对象的标识符。在物理网络中，各站点都有一个机器可以识别的地址，该地址称为物理地址（也叫硬件地址或 **MAC** 地址）。在互联网中，统一通过上层软件（**IP** 层）提供一种通用的地址格式，在统一管理下进行分配，确保一个地址对应一台主机。这样，全网的物理地址差异就被 **IP** 层屏蔽，通称 **IP** 层所用的地址为互联网地址，或 **IP** 地址。它包含在 **IP** 数据报的头部。

Internet 网上的每个器件必须申请一个唯一的 **IP** 地址，并与插入器件中网卡的 **MAC** 地址(硬地址)相对应。**IP** 地址是一种软地址或象征性地址。**IP** 地址与 **MAC** 地址间的对应关系由 **ARP** 协议确定。

Internet 学会下属 **Internet Network Center(Inter NIC)**是 **IP** 地址管理机构，它拥有网络地址授予权，并把节点地址授予权赋予获得网络地址的机构。

2.1 IP 地址的结构和类型

IPv4 规定 **IP** 地址总长度为 4 个字节，即 32 bits，地址总容量 $2^{32} = 4,294,967,295$ 个，由网络地址(**Neteowk ID**) 和 节点或主机地址(**Node or Host ID**)两部分组成。每部分的长度取决于 **IP** 地址的类型。最常用的 **IP** 地址有 **A**、**B**、**C** 三类，此外还有 **D**类和 **E**类，如图 61所示。

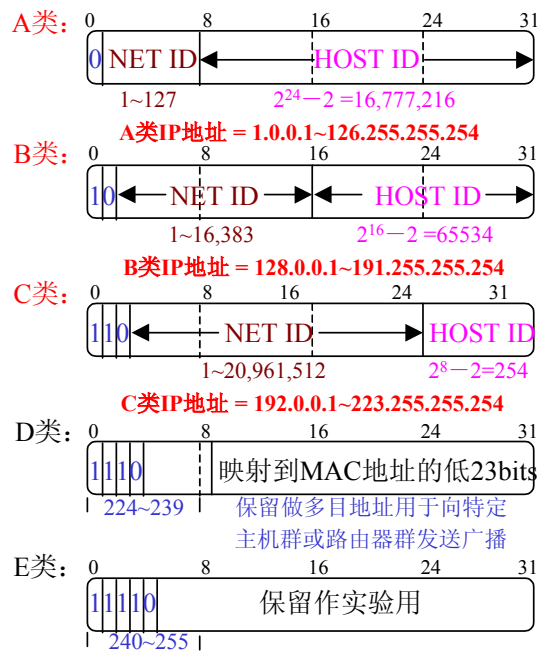


图61 IP 地址的分类

- A 类地址：网络号占 7 位，主机号占 24 位，可容纳网络数为 2^7 个，每个 A 类网络拥有主机数最多为 $2^{24}-2=16777216$ 台，适用于大型网络。
- B 类地址：网络号占 14 位，主机号占 16 位，可容纳网络数为 2^{14} 台，每个 B 类网络拥有主机数最多为 $2^{16}-2=65534$ 台，适用于中型网络。
- C 类地址：网络号占 21 位，主机号占 8 位，可容纳网络数为 2^{21} 个，每个 B 类网络拥有主机数最多为 $2^8-2=254$ 台，适用于小型网络。
- D 类地址：是多播地址，支持多目传输技术，即与网络中多台主机同时通信。
- E 类地址：将来扩展用。

除了上述 5 类地址外，IP 还定义了几类特殊的 IP 地址。它们是：

网络地址：主机号所有比特都置“0”的地址，保留给网络本身使用。

定向广播地址：是主机号所有比特全置“1”的地址，表示向某网络内所有主机发送信息。

有限广播地址：由 32 个“1”组成，表示只向本地网络广播。

“0”地址：是网络号各比特全置“0”的 IP 地址。当要在本网内通信，又不知本网网络号时，可使用“0”地址。

回送地址：A 类网络地址 127 是一个保留地址，用于网络软件测试以及本地机进程间通信，称为回送地址。

IP 地址结构为:

IP 地址 = 类型码 + 网络地址 + 主机地址

为了易于理解, IP 地址采用点分十进制标记法 (Dotted Decimal Notation), 即从左到右, 每 8 位二进制数值以十进制数表示, 各组十进制数值间用点号 “.” 分隔, 且每个量之间用一个点分开。例如一个 B 类地址:
10101100000100000000101000000010 = 172.16.10.2

2.2 保留 IP 地址

RFC1597 规定, 为方便那些极少与 Internet 互连的企业网将来有上 Internet 的可能, 在 A、B、C 三类地址中各保留一段网络地址作为自由使用的专用地址, 它们是:

A 类: 10.0.0.0 ; B 类: 172.16.0.0 ; C 类: 192.168.0.0~192.168.254.0

中国公众多媒体通信网(二级域名为 cninfo.net 和 169.net)采用

A 类保留地址段: 10.0.0.0 ~10.255.255.255

2.3 节点的命名

Internet 允许用户采用自定的节点命名代替其 IP 地址, 并能自动把它翻译成对应的 IP 地址。为保证用户节点名在 Internet 上的唯一性, 用户全名是在其节点名后加 3 组以点号 “.” 分隔的后缀, 即:

用户全名 = 用户节点名.所在机构名.机构业务领域类型.国家或地区代码

例如, 华为公司的 internet 网页地址是: www.huawei.com

中国公众多媒体通信网节点地址的命名格式是: (用户名)@(市).(省).cninfo.net

一台多目主机或路由器可以有多个 IP 地址, 每个 IP 地址由一块网卡支持。

2.4 IPv6

现在的 IPv4 的地址长度是 32 位(bit), 理论上可以支持多达 1600 万个网络, 容纳 40 多亿台主机 ($2^{32}=4294967296$), 但由于 IP 对地址分成 A、B、C 等类地址, 实际可用的网络数和地址数远小于这个数目。随着 IP 业务的爆炸式增长, 因特网上的 IP 地址已经不能满足实际的需要, 此外, 现有 IP 网络协议还存在安全等问题。随着 IP 在下一代通信网络中标准地位的确立, 迫切需要有新版本的 IP 协议来代替现有的 IPv4 协议。RFC1883 定义的 IPv6 就是在这种情况下产生的下一代 IP 协议, 它有如下主要特点:

1. 扩大了地址空间

IPv6 将地址长度从 IPv4 的 32 位扩展到 128 位。IPv6 地址由 8 组 16 位组成，采用十六进制数加“:”的标记方法，可以提供约 3.4×10^{38} 个地址。IPv4 地址可以作为 IPv6 地址的一个子集使用，并可将其映射到 IPv6 的后 32 位中，例如，IPv4 地址“202.13.181.100”，表示成 IPv6 地址则为“0:0:0:0:0:0:202.13.181.100”。IPv6 支持多级地址，IPv6 地址有单级地址(Unicast Address)和多级地址(Multicast Address)之分。广播地址(Broadcast Address)属多级地址。

2. 简化了数据包头格式

IPv6 的数据包头由标准包头和扩张包头两部分组成。IPv6 的标准数据包头从 IPv4 的数据包头中去除了不需要的域(field)，标准数据包头的前 4 位是版本号“6”，IPv6 的“6”就在此域表示，该域处于与 IPv4 相同的位置，所以可区别 IPv4 和 IPv6。这样，在同一网络中，IPv4 和 IPv6 可以通用。

3. 易于扩充

由于 IPv6 包含扩展数据包头，增加了选择设定的灵活性，能很好地适应新增功能。

4. 内置安全特性

IPv6 通过对数据包包头认证和安全包头封装，提高了信息传输的安全性和保密性。

从 IPv4 向 IPv6 的过渡将逐渐进行，两者会有一定的共存期。实现 IPv4 向 IPv6 转移的技术包括双堆栈系统 (Dual Stack System)、隧道技术 (Tunneling) 和数据包头翻译 (Header Translation) 等。

3 IP 交换与传输

数据通信网主要由分布在一定范围的数据通信节点和连接它们的数据链路构成。交换是当一个通信节点存在多方向和多个连接链路时，为指定的信源和信宿选择合适的路由并建立物理的或虚拟的连接，以完成数据报的交互。路由选择是从向一个网络发送数据包的多条路由中选择其一的过程。

与 ATM 以固定长度 53 字节的信元为单位不同，IP 采用长度在 20~64k 字节间可变、结构统一的分组（包）作为数据传输的基本单位，每个分组的头部包括地址（源地址、目的地址）、序号、校验码等信息，供节点检错校错、排队、选路等处理用，数据部分则透明传送。交换则采用无连接的分组交换方式，以存储转发机制，令每个节点首先将前一节点送来的分组收下来，暂

时存储在缓冲区中，然后根据分组头部的地址信息选择适当的链路将其发送至下一节点。这种虚连接极大地提高了网络带宽的利用率，但有时延大，难保证实时通信服务质量（QoS）等缺点。

3.1 IP 路由选择和算法

IP 的路由（Routing）选择是由路由器（Router）依靠软件在第三层（网络层）来实现的。路由器通过存储在路由器中的 IP 路由表（Internet Routing Table）做路由选择。该表存储有关可能的目的网络节点以及如何到达目的网络节点的信息。主机或者路由器中的软件需要传送数据报时，就查询路由表来决定把数据报发往何处。

图 62 是一个由 A、B、C、D、E 5 个路由器组成的局域网（LAN），并给出了站点 X 和路由器 A 的路由表。图中，A1、A2、A3、A4 等表示路由器 A 的各方向输出（入）端口，带园圈的数字是局域网链路号。

为了确定分组数据包在 IP 网络中的传送路径，IETF 定义了多个路由选择协议，包括：网关到网关协议 GGP（Gateway-to-Gateway Protocol）、外部网关协议 EGP（Exterior Gateway Protocol）、内部网关协议 IGP（Interior Gateway Protocol）、选路信息协议 RIP（Routing Information Protocol）、开放最短路径优先协议 OSPF（Open Shortest Path First）以及边界网关协议 BGP（Border Gateway Protocol）等，这些协议的具体内容及其数据报格式可参见 IETF 的相关 RFC 文档。

在算法上，IP 路由选择主要有矢量距离（Vector-Distance）算法和最短路径优先 SPF（Shortest Path First）算法两种：

矢量距离算法是路由器确定传播选路信息的一个经典算法。每个路由器在其路由表中列出了所有已知路由。某路由器启动时，就对其路由表初始化，为每个与自己直接相连的网络生成一个表项，每个表项都指出一个目的网络，并给出相应的距离，该距离通常用跳（Hop）数来表示。每个路由器周期性地向其直接相连的其他路由器发送自己的路由表。

例如，图 62 中，路由器 A 收到其他路由器（比如是路由器 B）发来的路由表后，路由器 A 检查所收到的路由表中列出的每个目的站点以及到该目的站点的距离，如果 B 知道去每个目的站点的更短路由，或列出了 A 不知道的站点，或者 A 目前到某个目的站点的路由经过 B，而 B 到该目的站点的距离有所改变，A 就修改自己路由表中的相应项目。矢量距离的内容用一个序偶（Pair）（V，D）来表示，V 为目的站点（称为矢量 Vector），D 为到该目的站点的距离。矢量距离算法在静态系统中有效，但如果网络中路由变化迅速时，算法就难以稳定。

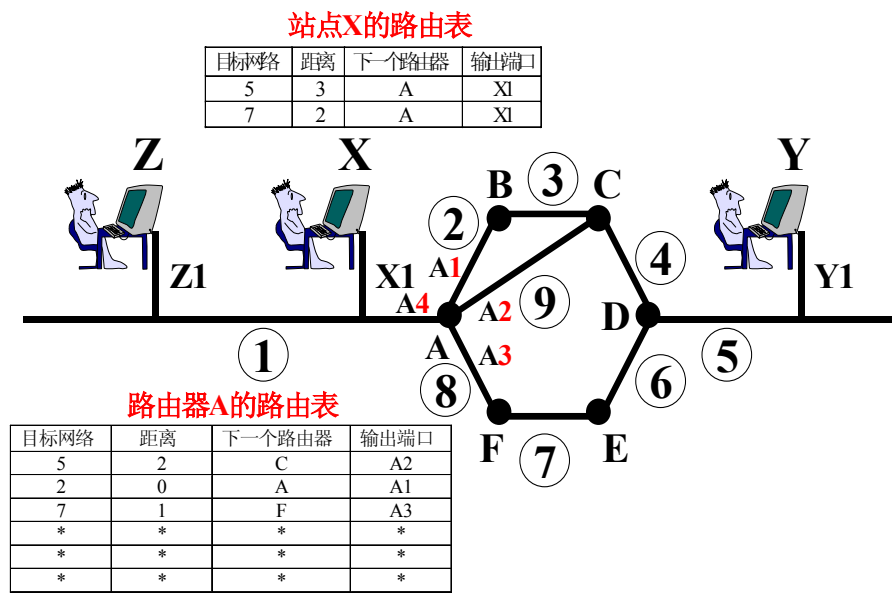


图62 局域网示意图

对矢量距离算法进行修改就得到了 **SPF** 算法，它也称作链接状态算法，**OSPF** 就采用这种算法。**SPF** 算法要求每个参与工作的路由器都具有全部拓扑结构的信息，用点代表路由器，用边表示与路由器相连的网络，两点间有一条链接的条件是：当且仅当对应于这两点的路由器能够直接通信（即不再经过其他的路由器）。与矢量距离算法类似，路由器也周期性地发送广播该路由器各个链接状态的报文，链接状态报文到达后，路由器使用其中的信息，把链接标为正常或故障，更新自己的互连网络映射图。**SPF** 算法的主要优点是每个路由器使用同样的原始状态数据，不依赖中间的机器而是独立地计算出路由。

在 **IP** 网络设备的实际交换中存在多层交换，如在第一层（物理层）进行交换的集线器或 **Hub**，它实际上是一个中继设备；在第二层（**MAC** 层）是以太网交换机；在第三层（网络层、**IP** 层）进行交换的设备为路由器；此外还有在应用层（第四层）交换的设备如网关。

3.2 IP 交换

Internet 已从局域计算机网走向全球计算机网，并向与电信网和有线电视网融合的方向发展。网内的数据流量将与日骤增，靠当前水平的路由器一个包一个包地逐个地址解析、逐跳寻址和过滤，处理速率较慢已成为 **IP** 网发展的“瓶颈”，此外逐跳寻址使端到端的时延大和时延抖动大，同一目的地的 **IP** 包可能走不同的路由，不适合实时应用，为此提出了 **IP** 交换的概念。

1. ATM+IP

ATM+IP 交换是 Ipsilon 公司提出的在 ATM 网络上传送 IP 分组数据的技术，由 ATM 交换机和 IP 交换控制器组成，如图 63 所示。

ATM 交换机用硬件在第二层（数据链路层）实现数据单元面向连接的高速交换。IP 交换控制器主要由路由软件和控制软件组成，通过 ATM 交换机的一个 ATM 接口与 IP 交换控制器的 ATM 接口传送控制信号和用户数据。在 ATM 交换机与 IP 交换控制器之间使用的控制协议是 RFC 1987 通用交换机管理协议（GSMP），在 ATM+IP 交换机之间使用的协议是 RFC 1953 Ipsilon 流管理协议（IFMP）。

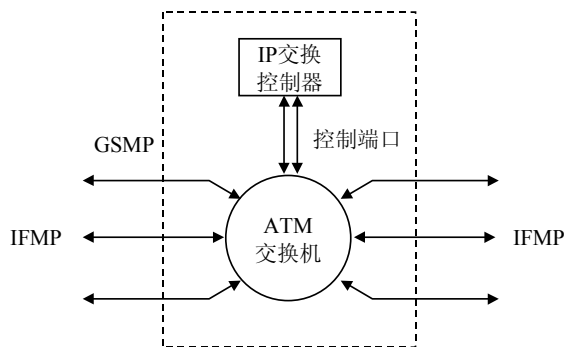


图63 ATM+ IP 交换机的结构

IP 交换的基本概念是流的交换，一个流是从 ATM 交换机端口输入的一系列有先后关系的 IP 包，它将由 IP 控制器的路由软件来处理。通过 GSMP 协议，使得 IP 控制器能对 ATM 交换机进行控制，完成直接交换。IFMP 用于相邻的 ATM+IP 交换机和网关或支持 IFMP 的网络接口卡之间请求分配一个新的 VPI/VCI，以便把现有的网络或主机接入 ATM+IP 交换机中，或用来控制数据传输。

ATM+IP 交换机是 ATM 和 Internet 两种技术的结合，利用 ATM 网络为 IP 用户提供高速直达数据链路，既可以使 ATM 网络运营部门充分利用网络资源，发展 ATM 网上的 IP 用户业务，又可以解决 Internet 网络发展中遇到的瓶颈问题。

2. 第三层交换的概念

当 Internet 网络中存在巨大的数据流量时，即使采用高档的干线路由器也难以应付。

交换机虽有快速的处理能力，但它是一个多端口设备，不可避免会发生广播现象和多点发送的数据流广泛涌向所有端口的现象，而大平面网络引发的这种现象只能采用路由器来防范

路由器是 OSI 七层结构中的第三层（网络层）设备，传统交换机则是第二层（数据链路层）的交换设备。

如前所述，路由器和交换机各有优缺点，两者相互取长补短，从而引出第三层交换的概念。第三层交换是在保持路由器对网络的控制能力的同时，还能够实现交换功能的一种技术。

第三层交换机是一种综合交换机速度和路由器流量控制功能于一体的新的网络互连设备。它只在介质访问层处理数据包，主要是检查目的介质访问层（MAC）地址。这样就能避免在第二层由交换机检查数据包的 MAC 地址时，交换机会把未在其地址表中登录地址的数据包，像对待广播封包一样地扩散出去的弱点。

虽然也可以在第二层把检查目的地 MAC 地址的工作用一个专用集成电路（ASIC）来做，以加快处理速度，但由于在第二层不能查看数据包更多的内容，无法作出交换策略方面的判断，以致数据流控制功能不强。为能查看数据包更多的内容，如目的地 IP 地址和 TCP 端口等，就要采用具有第三层交换功能的设备。

在一个 TCP/IP 的以太网里，广播不可避免地占用了一定的带宽，但广播毕竟不是真正的文件传输，应尽可能降到最低。因此，便把一个 TCP/IP 网分成若干个子网，使广播仅局限在子网内，子网间的通信即为第三层交换。

第三层交换机将核心信息包处理功能直接嵌入到标准路由器中。一个高效率的第三层交换机必须能将第二层和第三层的功能综合在一起。它必须同时具备人们所期望的高速率和低耗时，这种通常只有第二层交换机才有的特性，还必须提供尽可能多的路由功能，例如链路故障时的动态路由再选择功能和每跳重新计算数据包并校验等功能。而完成这些处理过程的开销正是传统路由器的传输速率远低于交换机的原因。

第三层交换机的体系结构不仅对提高局域网的性能有重大的贡献，而且也将影响未来局域网路由设备的设计思路。

3.3 IP 传输技术

如上所述，20 世纪末，由于微电子集成电路等方面限制，路由器的交换速率很低，最高也只有几万个 PPS（Packet Per Second）。而当时 ATM 交换技术比较成熟，速率已达 2.5Gb/s，并被认为是唯一可实现宽带综合网络的技术，因此，IP 与 ATM 交换结合，即 ATM+IP 目前是一种宽带数据网的常用解决方案。

传输方面，SDH 光纤传输和 DWDM 的推广应用，在传输带宽上取得了极大的突破。

基于这种背景，IP 传输有如下几种方式：

1. IP over ATM

从传输的角度看，IP 网与 ATM 交换结合就意味着 IP over ATM (简记为 POA)。而现有的 POA 采用 IP/AAL5/ATM/SONET/SDH/WDM 结构，即 ATM 不直接面向 WDM 光层，中间还要经过 SDH 或 SONET。

由于一些 ISP 已经采用 Gb/s 速率接入，ATM 对 2.5Gb/s 以上速率的支持也存在一定问题。此外，POA 的横向兼容和互操作性差，使得急于寻求解决因特网骨干带宽问题的一些大 ISP 正转向“IP over SDH (POS)”的方案。

2. IP over SDH (POS)

现在的 POS 采用的是 IETF 定义的结构，即 IP/PPP/HDLC/SONET/SDH/WDM 结构。它将 IP 包通过点对点协议(PPP)映射到 SDH/SONET 传输帧(STM-n)中。具体做法是先把 IP 数据报封装进 PPP，然后利用高层数据链路控制(HDLC)成帧，再将字节同步映射进虚容器(VC)封装中，最后加上相应的 SDH 开销，置入 STM-n 帧内。

IP over SDH 最大的优点是封装开销低。目前 ITU-T 已定义一种新的由中国电信主管部门提出的采用 LAPS 结构的 POS。ITU-T 于 2000 年 3 月正式批准了中国 LAPS 结构的 POS 提案，标准号为 X.85/Y.1321。这是国际电联首次确认中国提出的重大提案。

POS 具有封装开销低，运行费用低，实现简单，网络结构简单等特点，适合组建因特网骨干网，解决带宽瓶颈问题，因而受到一些大 ISP 的青睐。但 POS 只适于单一业务(IP)平台与大容量传送数据业务的场合，不适于多业务网络和有 QoS 要求的业务。

3. IP over Optical

理论上在 IP 和物理网络间无需额外增加 ATM 和 SDH 等其他电气层，IP 可以直接与光网络相连，即 IP over Optical (也称为 IP Over WDM 或 IP Over DWDM)。目前 IETF 等有关机构正在制定实现 IP over Optical 的标准，进展十分迅速。IETF 成立了 IPO(IP over Optical)工作组，已经有多个关于 IP over Optical 的草案(Draft)。ODSI 联盟已经提出了光网关协议、IP 光信令等提案。

目前，IP over Optical 主要是 IP over WDM (POW) 或 IP Over DWDM。该技术在国际上已经成熟。据统计，从 1999 年起，国际上新建的 IP 网络在核心网中主要采用 IP over WDM。现有 IP over WDM 所采用的帧结构主要有

SONET/SDH 的帧结构和千兆以太网帧结构两种。这两种帧结构均在实际的 IP 网络中得到了应用。

在标准化方面, ITU-T 的设想是分两步走。近期目标是采用现有的 SDH 格式, 然后对其修改, 加以简化, 最后专门设计一种 POW 的网络信令格式, 让 IP 直接在 WDM 光路上运行。

4. IP Over What?

IP Over ATM, IP Over SDH 和 IP Over Optical 等 IP 骨干网技术是目前大家讨论的焦点, 究竟 IP Over 什么好? 目前, 国外以 Web 业务为主的 Internet 网络提供商主要使用 IP Over SDH 技术; 传统电信运营商为支持实时性要求高的业务, 多选择 IP Over ATM, 而 IP Over Optical 技术将综合两者的优点, 克服其缺点。这三种技术将会在较长一段时间内共存, 在宽带通信网络中发挥各自的作用。

由于 85% 以上的局域网采用以太网技术, 而且实际证明, 以太网是最适合传送 IP 的技术, IEEE 802.3ae 正在制定 Ethernet over WDM (EOW) 的标准, 它采用 10Gb/s 的以太网, 在 WAN 上兼容 SDH/SONET。目前已经确定 EOW 采用全双工模式和 850nm、1300nm 以及 1550nm 波长的多模或单模光纤以及 CWDM 和 WWDM 技术。据预测, 一个 EOW 技术 10Gb/s 以太网端口价格在 4500 美元以内, 而目前 155Mb/s 的 POS 或 ATM 的价格在 40000 美元以上, EOW 有相当明显的价格优势, 从 2000 年到 2004 年间 10Gb/s 以太网的市场增长率可能达到 2500%。

随着 IP 成为事实上的网络标准, 交换将逐步采用 IP 光交换, 传输最终将主要采用 IP over Optical 已成为业界的共识。

4 局域网和广域网

局域网 (LAN, Local Area Network) 是把分布在一定区域内的许多独立器件用一定形式的物理媒质(例如电缆)互连起来所构成的网络。每个器件作为单一的 TCP/IP 实体相互直接进行对等型通信, 速率可达 100 Mbps 或更高。LAN 的范围在数公里之内, 且通常共享一个子网 IP 地址。

广域网 (WAN) 是在大地域范围内把许多 LAN 通过网关或路由器互连起来的网络

4.1 局域网

LNA 的常用类型有以太网 (Ethernet/IEEE 802.3)、令牌环 Token Ring(IEEE 802.5) 和光纤分布数据接口 (FDDI, Fiber Distributed Data Interface)。

1. Ethernet/IEEE 802.3

以太网为电缆总线型网络，采用带碰撞检测载波感应多路接入访问（CSMA/CD(Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection) 运作方式。

感应或监听载波指各站为竞争使用媒质，须对媒质作全时监听。若感应到其它台发送的载波，则表示媒质被占用，无空闲。

多路接入访问指各站都有同等权利使用空闲媒质时，可能发生的多站同时抢用媒质，造成所发数据相互碰撞的情况。

碰撞检测是因为两个或多个站同时发送的数据在总线中相互碰撞会使媒质中传输的数据劣化，已发数据的站必须检测所发数据在传输途中是否遭受碰撞，如有碰撞就须重发受碰撞影响的数据。正发数据的站能检知其发送的数据遭受碰撞的唯一条件是别站的信号到达该站时，它还在持续发数据，从而定义最短数据帧，以规避碰撞。

退避指处于碰撞状态的站应当规避，即发一个 32 比特称之为故障信号（Jam Signal）的“1010...10”，然后停发数据，并监听载波，待媒质空闲时再度接入，重发数据。

2. 令牌环 Token Ring(IEEE 802.5)

令牌环的网型是星型环，即由若干个多站接入单元（MAU）连成的环，每个 MAU 以星型连接多个站，按持令牌发送方式运作。令牌(Token)是各站都能识别的允许发数据的信令，由帧的接入控制区标识。令牌帧依次逐站传递。

持令牌发送指收到令牌的站若有数据要发，则启动令牌持有定时器，并修改令牌帧的接入控制区内容，变令牌帧为数据帧，承载发送数据，源站的一帧或多帧数据沿环传输；若无数据发送，则立即把令牌递给下站。数据帧的最大尺寸取决于令牌持有时间和传输速率(4 Mb/s 或 16Mb/s)。

各站由帧的接入控制区标识并区分令牌帧和数据帧，按帧中的宿站地址确定该数据帧是否是发给自己的。无论是否是发给自己的数据帧，各站一律向下站转发。从而使数据帧能环回到源站。

宿站接收和处理数据帧，而源站检验环回数据帧，判定传输可靠性，并释放令牌。

为更有效利用带宽，对于 16 Mbps 系统，源站采用早令牌释放(ETR)方式，提早在发完最后一帧时就释放令牌，而源站仍要接收环回帧以确定所发数据是否无误地到达宿站。

3. FDDI(Fiber Distributed Data Interface)

FDDI 采用光纤环网型，其运作方式与令牌环相似，但仅用 ETR 方式，且传输速率比数据速率高 25%。这是因为为防止无数据传输时环上出现长连“0”使各站失步，而采用 4B5B 线路码的缘故。数据每 4 bits 为一个符号，去对应一个非“0”打头，无 3 个和 3 个以上连“0”的 5 bits 组。线路码是连“0”不超过 3 个的非归零(NRZ)码。反非归零(NRZI)码作为信令方式。

4.2 广域网

广域网（WAN）是在大地域范围内把许多 LAN 通过中继器、网桥、路由器、网关互连起来的网络，图 63图 64是 WAN 的示意图。

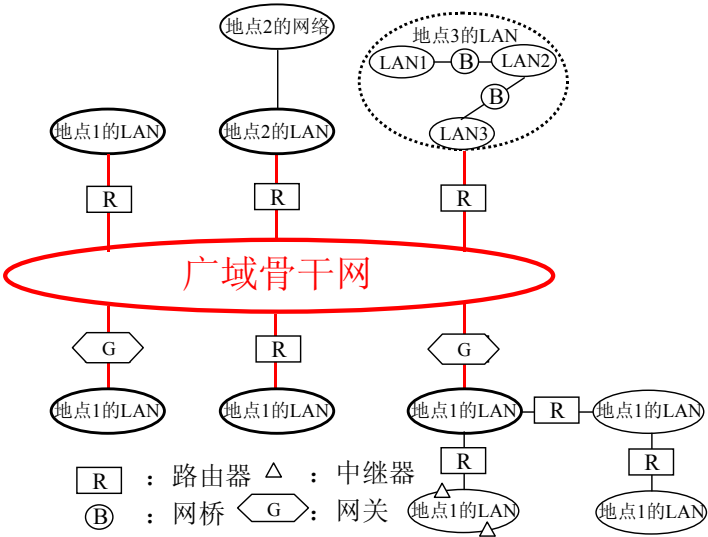


图64 WAN 的示意图

中继器、网桥、路由器和网关都是用于网络互连的设备，其服务层次或范围有所不同。

中继器是在物理层上实现局域网网段互连的设备，用于扩展局域网网段的长度。

网桥是一种帧存储转发设备，用于连接两个运行相同网络操作系统(NOS)的网络，工作于数据链路层

路由器是实现网络层服务的设备或专用计算机，用于连接多个可能运行不同网络操作系统(NOS) 的网络。它作为一个主动的智能节点，参与网管，提供对资源的动态控制，支持工程和维护活动， 路由器能够互连多种类型的网络。

网关是在传输层及其以上的层次实现网络互连的设备，互连不同的协议框架，实现不同网络协议的转换，也具有路由功能。网关还可执行文件格式转换和加密与解密，网关处于 LAN 之外，而路由器属于 LAN 范畴。

4.3 节点、网卡和网络操作系统

与网络连接的每个器件称之为节点。节点设备是计算机、客户机和服务器等。节点设备须配置网络接口卡(NIC)以接入网络。网络接口卡(简称网卡)是装在节点设备或计算机插槽中的网络适配器，提供节点与网络的物理接口，必须保证所用的网络接口卡（NIC）与所连接网络的网络操作系统（NOS）适配。厂家赋予每个网卡一个长度为 48 比特的唯一的硬地址，称之为 MAC(Media Access Control)地址。

网络操作系统（NOS， Network Operation System）是管理机器间通信的软件包，是机器操作系统的一部分,常用的 NOS 有三种：

- (1) TCP/IP ， 系为 UNIX 和 Internet 开发的开放系统；
- (2) Novel NetWare ， 使用 IPX/SPX 协议，与 TCP/IP 不兼容，
- (3) Win95 采用 IPX/SPX 做缺损 NOS，接 Internet 要装 TCP/IP。

NetBEUI/NetBIOS 系统仅适于 LAN，已被前两种替代。

4.4 Client-Server(客户机-服务器)方式

服务器（Server）是向其它机器提供文件、资源或服务的机器，而客户机（Client）是向服务器索取文件、分享资源、要求服务的机器。

Client-Server 方式的实质是一台机器向另一台机器索取某些东西，而一台机器既可做客户机，也可做服务器。

直接与机器连接的任务外设称为本地资源，而必须通过网络才能达到和使用的器件称为远端资源。

5 IP 业务及其对传统电信业务的影响

IP 技术和 Internet 的发展，使 IP 业务已远远超出了当初建立 Internet 网时的设想，全面渗透到电信领域。人们不再满足于 E-mail（电子邮件）、FTP(文件传输)、Telnet(远程登录)、WWW 浏览等一些基本应用，开始关注 IP 电话/传真、网上寻呼、IP 电视会议、VPN（虚拟专用网）、以及电子商务等一些新业务。

1999 年 4 月 27 日，中国信息产业部向社会宣布正式批准中国电信、中国联通、吉通三家公司进行 IP 电话业务的试验，同时公布了试验期间 IP 电话业务资费标准。这一举措使原来带着神秘色彩的 IP 走进了普通百姓的生活，IP 电话则代表着 IP 新业务向传统的电信业务发起了挑战。

5.1 IP 电话

Internet 电话通常被称为 IP 电话（IP Phone），主要指利用 Internet 作为传输载体实现计算机与计算机、普通电话与普通电话、计算机与普通电话之间的语音通信的技术和业务。IP 电话技术受到关注的最重要原因是它非常显著地降低长途通话费用，旁路了相当一部分传统长途电话业务，为新电信运营商提供了广阔的发展机迂。

IP 电话不占用固定的话音信道，而是动态统计复用信道，大大提高了信道的带宽利用率。IP 电话还采用压缩技术将语音信息压缩到 10kb/s 以下，带宽占用远低于现有电话。同时，Internet 网络带宽的不断扩容、硬件压缩技术的发展和高效压缩算法的应用，使 IP 电话的话音质量大幅度提高。ITU-T 的 H.323 建议又为 Internet 电话的发展奠定了标准化的基础。

IP 电话网关（Internet Telephony Gateway，简称为 ITG）可以把传统电话与 Internet 连在一起，使长途 IP 电话业务可通过 PSTN 网在任何一部普通电话机上实现。ITG 是解决普通 PSTN 电话用户通过 Internet 打长途电话的最佳方案，基于 ITG 的 IP 电话如图 65所示。

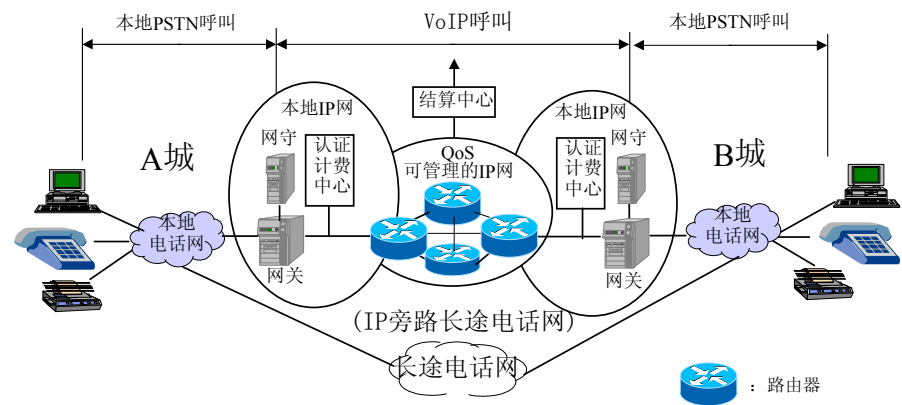


图65 基于 ITG 的 IP 长途电话系统

市话网的用户可以通过一个特服号拨入 ITG，本地的 ITG 通过 Internet“呼叫”远方的 ITG，远方的 ITG 再呼叫当地的 PSTN 用户。ITG 除了完成电话网与

Internet 的硬件接口外，还承担着信令转换、话音处理、呼叫应答与提示、路由寻址等功能。ITG 真正实现了 PSTN 与 Internet 的有机结合。

IP 电话也存在话音质量较差、拨号过程太复杂等问题。业界已对相关标准进行了修改，并采用了优先级排队等一些新技术来降低话音延迟和改善 QoS。IP 电话的话音质量可以在不远的将来得到改善并与传统电话的话音质量相媲美。

在中国，用户用普通电话机打 IP 电话的接入号码为 179X1X2X3+被叫电话号码，其中，X1X2X3 为运营商代码；对 PC 机用户可分配一个和电话号码一样的号码，使用 IP 电话卡，则在被叫电话号码前加拨 IP 电话卡号：8986 X1X2(发行机构) Y(服务方式) Z1Z2(地区码) Z3~Z9(5~7 位用户卡号)。

5.2 基于 IP 的 VPN

虚拟专用网（VPN，Virtual Private Network）业务是数据通信网的一种增值业务，可以允许不同部门在公用数据通信网建立本部门的虚拟专用网，就象自己拥有一个独立的物理专用通信网一样。VPN 的优势在于动态使用网络资源，并提供高可靠性、低费用的通信。一些跨国、跨省、跨地区、含有许多分支机构的企业或组织，大都需要使用此种业务，通过 IP VPN 把它的若干个子网连成内部互联网（Intranet）。

Internet 可以在其网络范围内以“任何地点到任何地点”的方式组织专用广域网作为 IP 虚拟专用网。基于 IP 的 VPN 虽然是 Internet 上的逻辑网络，但是具有与物理专用网相似的独立性、保密性和安全性。

VPN 网络的可靠性和网上信息的安全性是其实用化的关键。目前，解决安全问题的技术手段主要有：访问控制、鉴权认证、信息加密、数字签名。使 IP VPN 具有独立性能的主要技术是隧道技术（Tunneling）。

关于 VPN 隧道技术和安全技术的主要规范有在 Internet 上安全地传送封装数据的 PPTP(Point-to-Point Tunneling Protocol)，即点到点隧道协议、基于 OSI 第二层的隧道技术规范 L2F(Layer 2 Forwarding)，即第二层转发协议和 L2TP(Layer 2 Tunneling Protocol)，即第二层隧道协议、在 OSI 模型第三层实现封装加密、鉴权认证、密钥管理等功能的 VPN 安全标准集 IPSec(Internet Protocol Security)、和在 OSI 第五层完成信息加密、鉴权认证等，支持数据的完整性、安全性，用于防火墙、协议过滤、数据库网关等方面的网络安全标准 Socks V5 等。

5.3 IP 多播技术和业务

在传统的 Internet 中,从一台服务器发送出的每个数据包只能传送给一个客户机。如果有另外的用户希望顺路获得这个数据包的拷贝是做不到的。每个用户必须分别对服务器发送单独的查询,服务器则向每个用户发送数据包拷贝。解决办法是采用多点广播 (Multicasting) 技术。IP 多播技术允许路由器一次将数据包复制到几个通道上,从而减少引起网络拥塞的可能性。

5.4 基于 IP 的会议电视

电视会议是一种交互式图像和语音应用。传统的会议电视系统大都是基于电路交换的系统,质量不高而价格过高,难于普及。

基于 IP 协议的桌面型会议电视,主要是通过桌面 PC 中插入扩展会议电视卡来完成。从网络特性来说,IP 网是能提供不同带宽的网络,因而在 IP 网上可以提供多种等级的便宜的会议电视业务。不过,由于 IP 协议本身传送数据“尽力而为”的特点,图象的质量、传输的时延都无法保证。因此,目前 IP 会议电视系统应用还不广泛。

随着用户接入网的宽带化和 IP 骨干网的高速化以及 IP 技术的不断发展和提高,IP 支持实时业务的性能将愈来愈强。IP 网会议电视系统的标准进展也相当迅速,从主体标准 H.323 到配套的标准已基本定型。会议终端经 ISDN 接入的 IP 会议电视系统和经 ATM 接入的 IP 会议电视系统也已有相应的标准。它们为 IP 会议电视系统的开发创建了良好的条件。可以预期,IP 会议电视将是 IP 网的下一个应用热点。

5.5 IP 业务和技术推动“三网融合”

随着 Internet 网络规模的飞速增长,IP 技术已经迅速普及到了用户桌面,大有取代 ATM 而成为未来综合宽带网核心技术的势头。因特网业务以 IP 电话为前导,开始进入电信和有线电视领域,与传统电信和电视竞争。

大家知道,通信的基本媒体不外乎是语音、数据和图像。如果人们不论在何时、何地都能有效地以这三种媒体进行通信,人类就实现了一体化的业务。现在看来,IP 技术已基本具备集三种媒体于一身的业务能力,Internet 是最具备提供这种一体化业务的网络。

通过 IP 技术和 Internet,集语音、图像、数据于一体,走“三网合一”的发展道路已成为信息业界和管理部门的共识。电信网、计算机网和有线电视网的运营商们都在积极规划、调整部署、筹备资源、联合同志,开始或准备开

始向这个方向冲刺。设备供应商们和网络供应商们也在加强科研、推出各种新设备，拿出融合的各种解决方案，以支持这一发展。

在这种形势下，基于电路交换的业务将逐渐转移到以分组交换和数据通信为基础的结构上去。而这种基础结构就是以 TCP/IP 为核心的电信级（Carrier Class）综合业务宽带数据网络。

“三网融合”不仅受到技术发展的促进，更重要的是它实际上是一种市场需求，因此，限制三网交叉经营的管制也在逐渐松动和做出重大调整。

现在的 Internet 离电信级的要求还相差甚远，它在容量、可靠性、时延和 QoS 等方面均有诸多问题有待改善。

应当指出的是 IP 不等于 Internet，IP 是一种网络互联技术，而 Internet 只是 IP 一个最大的应用实例。新版标准 IPv6 的实施和微电子、光电子、数据处理、计算机软，硬件技术的发展，将把基于下一代的 IP 电信级综合宽带通信网贡献给信息社会。

通信网的组织和优化

通信网由业务网、传输网、支撑网和一些业务平台组成。

业务网是指依靠网络自身可以向用户提供通信业务的网络，当前主要的业务网有固定电话网/窄带综合业务数字网（PSTN/ISDN）、第二代移动电话网、数据网特别是因特网等。

业务平台是指为提供电信增值业务而在原业务网上设置的附加平台，例如智能网、各种语音平台等。

传输网是透明传送通信信号的网络，它是以光纤传输网为主，无线、微波、卫星等为辅的立体交叉网络。

支撑网包括传递信令信息的信令网，保证网络正常运行和服务质量的同步网和电信管理网，既支撑业务网、业务平台，也支撑传输网。

形象地讲，通信网是三根柱子（信令网、同步网、管理网）支撑的一个舞台（传输网），让各家班子（业务网）演出剧目的体系。如何组织这个体系，并不断改造和优化，既保护现有的投资，又具有可持续发展的潜力，以适应公众的需求、获得更多的“票房”收入、增强运营商的核心竞争力是我们在本章要讨论的课题。

本章主要内容：

- 通信网的组织原则和结构
- 网络优化的方法

1 公共电话网（PSTN）

尽管以因特网业务为代表的各种数据和多媒体业务以及电子商务发展迅速，其业务总量正赶超电话业务量，但电话业务（包括移动电话）仍然是最基本的通信业务，特别是发展中国家首先要发展的通信业务。传统的固定电话业务虽已有百年的历史，但随着时代的脚步，社会的发展和技术的进步，固定电话网或 PSTN 的组织结构一直在不断优化和演进，因为，新需求和新技术是网络改造和优化的原动力。

1.1 编号计划

固定电话网的组织和优化可从电话号码计划看出端倪。

固定电话国际号码由国际号码前缀“+”和依次后随的国家码、长途区码、用户号码（即本地电话号码）组成。编号计划必需符合 ITU-T 有关建议的要求。目前，国际号码的最大位数不超过 15 位。除国家码由 ITU-T 规定外，长途区码和本地电话号码的总位数和号码计划由一个国家或地区的电信主管当局规定。

1. 国内电话号码的编号原则和升位要求

编号计划是国家通信长期规划的重要组成部分，要合乎国情，慎重周全，合理地安排编号计划，充分运用号码资源，并给本地电话和长途电话的发展留足“空间”。长途区码有等位编号和不等位编号两种方式。等位制指各个城市或地区不分大小，长途区码一律三位，是一种闭锁编号方式；不等位制则是一种开放的编号方式，长途区码可按城市或地区的大小和电话用户长期预测值，取 1~4 位。电话号码编号的基本原则和升位要求摘要如下：

国际有效号码长度不超过 15，其中，不包括长途前缀的国内有效号码的长度不超过 12 位，（交换机记发器应储存主叫号码和被叫号码，储存的位数均不能少于 20 位）；

编号应有规律性，并尽可能缩短号长，以便于用户使用；

号码应具有相对的稳定性；

应使长、市自动交换设备及路由选择的方案简单；

长途区号分配应满足国际来话识别的要求；

为配合网上 No.7 信令、综合业务数字网等新技术的实施，国内有效号码位长应逐步向等位编号过渡；

升位时用户号改动位数应最少；改号后的错接率尽量小；升位割接时间短；升位后局间中继衰耗不超过原标准 1 dB，局间呼损率不增加 1%；升位过程中用户号码位数差别不超过 1 位，升位完成后的用户号码位数应相等。

2. 中国电话编号计划

中国电信固定电话网国内有效号码为：长途区码 + 本地电话号码（PQRS + ABCD）

目前，不包括长途前缀“0”在内，国内有效号码总位数最多为 10 位。各城市或地区的电话号码位数不等，今后有条件时逐步向等位编号过渡。

3. 长途区码

长途区码采用不等位编号方式，分为 2~4 位三种，如图 66 所示。

- 二位区码：
首都北京为 10；三个直辖市和几大城市分别用 20 ~ 29，如广州为 20；
- 三位和四位区码：
全国分成 7 个编号区，分别以区码的首位，3 ~ 9 来表示，台湾省为“6”；
区码的第二位代表编号区内的省；
区码的第三位：省会为 1，地市为 2 ~ 9；
区码的第四位代表县；
地市管县并以地市为一个固定电话本地网的县，取消其 4 位的长途区号。

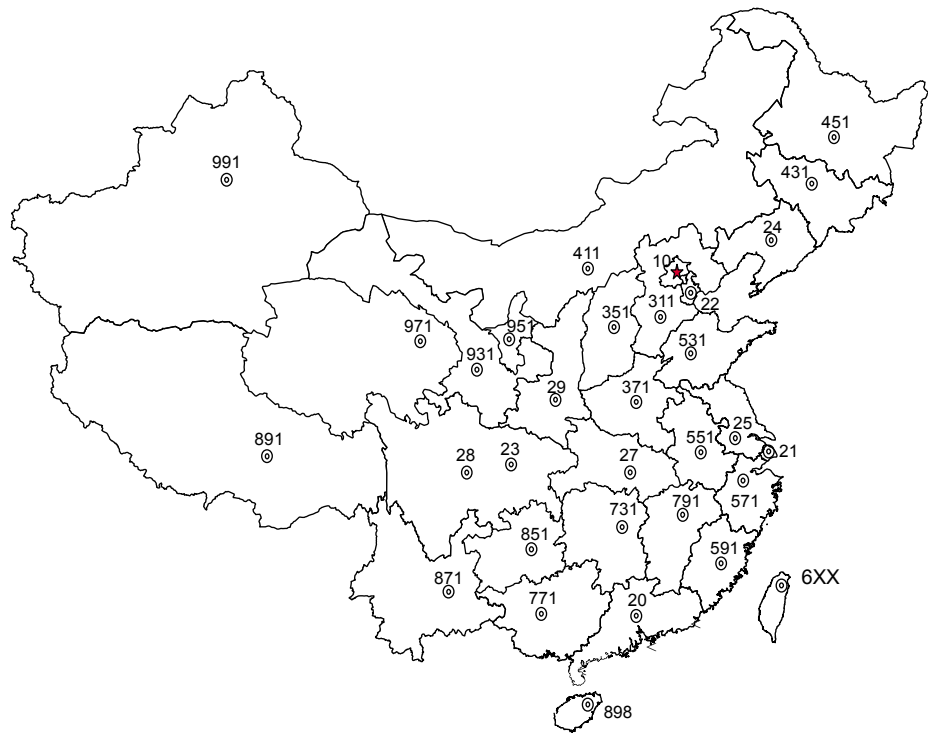


图66 中国电信长途区码分布示意图

4. 长途交换局号码

- 长途交换局号码由字冠“0”与后续长途区码组成；
长途区内设多个长途局时，长途局号码由字冠“0”和后续长途区号/长途交换局序号组成，即 0XX/Y1。XX 为长途区号，Y1=0 ~ 9 为区内长途交换局序号；
- 国际交换局号码由字冠“00”和后续该国际局所在城市的长途区号组成，
例如：北京国际局“0010”，上海国际局“0021”，广州国际局“0020”。
区内设多个国际局时，国际局号由字冠“00”和后续长途区号/国际交换局序号组成，即：00XX/Y2。Y2 =0 ~ 9 为区内国际局序号。

5. 本地电话号码

本地电话号码由端局号和用户号(ABCD)组成,其中,端局号可以有 1 位(P)、2 位(PQ)、3 位(PQR)、4 位(PQRS) 4 种,因此,本地电话号码可以有 5 ~ 8 位。

- 本地端局号码第一位 P 只能是“2~9”,不能用“0”和“1”,因为它们分别被用做长途前缀和特服前缀。
- 送到全国和省网管中心的本地长途交换局号码由“0+长途区号+本地局号”组成,同一长途编号区内设置多个长途交换局时,在长途区号后不加/Y1。即:本地长途局号码仍为“0+长途区号+本地局号”。

6. 本地电话号码首位“P”的分配使用

- “1”是特种业务、新业务、社会服务及网间互通接入码的首位号码,只需要全国统一、又必须采用短号码的业务才分配首位为“1”的短号码;紧急业务号码采用 3 位编号,即 1XX;业务接入码或网间互通接入码、社会服务等号码,视号码资源和业务允许情况,可分配 3 位以上的号码;对于业务接入码和网间互通接入码,还允许在该号码后再延伸号码,例如:166PQR,139H1H2H3XXXX,延伸的最大位数不超过 7 位;“2 ~ 9”为本地电话号码的首位,其中,短码“200”,“300”,“400”,“500”,“600”,“700”,“800”为新业务号码。

1.2 中国电信固定电话网的结构

电话网络的组网原则是全网话务流量流向合理,话务均衡能力强;中继线利用率高(大于 0.8Erl);窄带、宽带综合业务的传输、交换及接入能力满足需求;网路性能(接续性能、接续时延、传输性能)符合国家标准;技术先进可行,网路投资较省;网路安全、可靠,即使话务预测欠准确的局所,仍可有效疏通话务;维护方便,调度简单,易实施动态管理;既保护现有投资,又有可持续发展的潜力。

中国电信固定电话网目前采用三级结构,其中,长途网为二级,本地网就全国网络而言,视为一级。

1. 二级结构的长途电话网

中国大陆划分为 31 个省(自治区、中央直辖市)长途汇接区,在省会城市设省级长途交换中心 DC₁作为一级汇接局。各 DC₁间以长-长中继电路彼此“个个相连”,形成一个高平面;一个长途汇接区内,省属各地市设本地长途交

换中心 DC2 作为二级汇接局，各 DC₂ 间也以长-长中继电路彼此“个个相连”，形成一个低平面。省、地市二级结构的全国长途电话网如图 67 所示。

中国长途电话网将向一级网（又称为无级网）方向优化和发展，即取消省级长途交换中心，以光纤骨干网为主体，把全国约 340 多个本地长途交换中心彼此“个个相连”，形成一级长途网状网。事实上，我国的光纤传输网平台已基本具备了这个能力。再进一步，电话网将向“三网合一”方向的新型 IP 网发展。

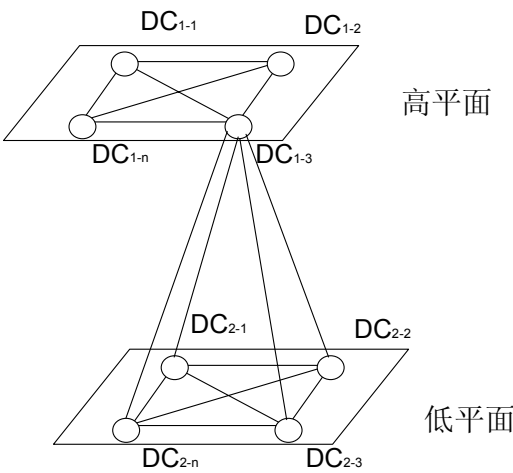


图67 二级结构的全国长途电话网

长途交换中心的设置原则是：

- 当一个 DC_x 的忙时汇接话务量达 6000~8000Erl(或交换机已满载)，且两年内忙时汇接话务量将达到或超过 12000Erl 时，可着手筹建第二个 DC_x (x=1 或 2)；
- 当两个 DC₂ 的忙时汇接话务量超过 20000Erl 时，可再增设一个 DC₂；
- 多个 DC_x (x=1 或 2) 应分设在相隔一定距离的电信大楼内，一个电信大楼内设置的长途交换机的总容量不超过 16 万线/8 万路端；
- 各方向进入城市的长途干线应该分方向地终端在不同地理位置上的传输局站，并采用地埋光缆传输线路进城；
- 一个本地端局或汇接局应逐步有两条疏通长途去话话务的物理路由；
- 一般来说，DC₁ 可包含有 DC₂ 的功能，但不能反之。

2. 本地电话网的网路结构

作为全国电话网中一级的本地电话网，过去是以县为本地通信区，具有 4 位长途区号的网络(县本地网)，其本身一般由汇接局 DT_m 和端局二级组成。随着需求和技术的发展，现在已基本优化升级为以地市（若干个相邻县的组合

建制)为本地通信区,具有 3 位长途区号的网络(地市本地网,简称本地网)。现在 3 位长途区号的本地网仍然是全国电话网中的一级,但它本身的目标网络结构一般也由汇接局 DTm 和端局二级组成。而在县本地网向地市本地网过渡的过程中,本地网将可能是地市汇接局、县(区)汇接局和端局三级结构。图 68是本地网二级目标网络结构示意图,图中远端模块是端局的前置机构,不算一级,用户小交换机 PABX 是集团用户的窗口,仍属用户端,不算一级。

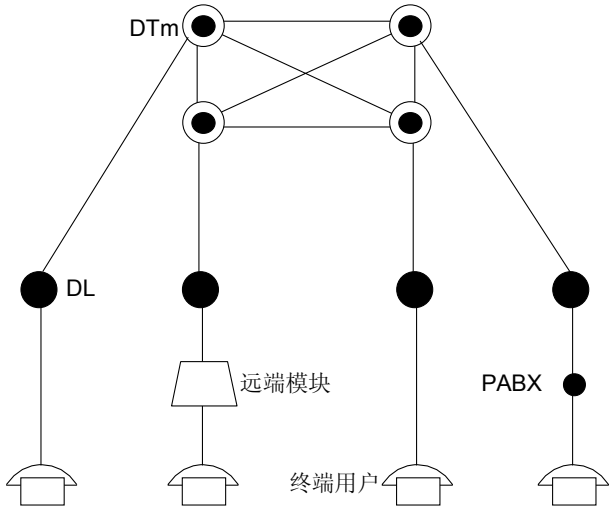


图68 本地网一般的目标网络结构

1.3 本地网的优化原则和措施

本地网的优化原则是“大容量、少局所、少层次、双归属、广覆盖、重要用户重叠覆盖、保护现有投资、保证可持续发展”。其实，这个原则的精神适用于任何网络。

由于接入网技术的进步，按每话路每公里计的用户接入成本相对下降，以及用户对通信业务种类和质量的要求不断提高，可采取扩大大地网，例如中国把县本地网扩大为地市本地网的措施来优化网络。

根据上述优化原则，如图 69所示，我们可按两个或多个汇接局全覆盖或分区覆盖二级结构网作为目标网规划网络；用接入网或远端模块，适当扩大端局容量和服务范围，减少网内局所数量；调整局所布局、逐步拆除用户小交换机和县汇接局，减少汇接层次，以缩短接续时间，提高接通率；令每个端局以双物理路由中继链路分别与它归属的一对汇接局连接，即端局双归属；根据局间的话务流量，经济合理地在话务量达到一定程度的端局间、或端局与本地长途局间建立直达路由，例如，大容量端局间可设直达路由、普通端局与长途局间可设直达中继电路，小端局则经汇接局至长途局；按 10 年左右的

需求，统一规划好本地光缆中继网和接入网的光缆管路，并分步实施，尽可能使光纤靠近用户；用接入网实现宽/窄带相结合综合业务等措施来优化网络。

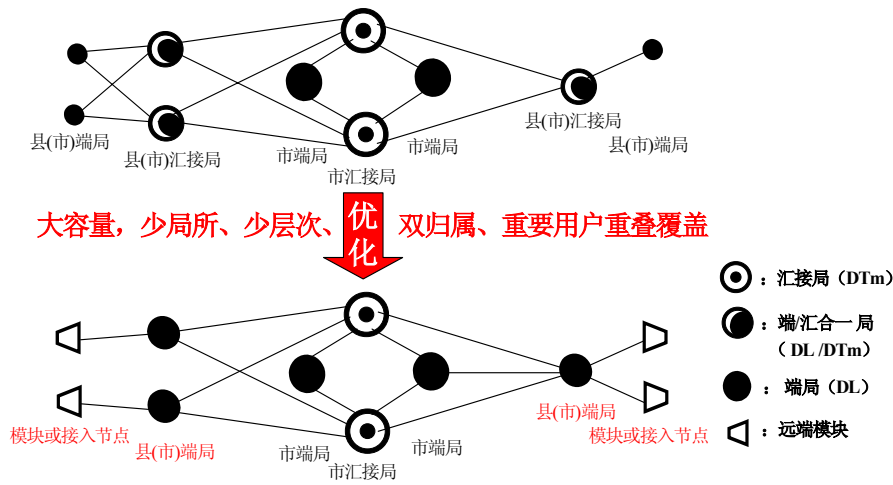


图69 本地网优化示意图

本地网具体的组网方式还取决于城市的规模和人口。如图 70所示，数百万人口的大城市应采用分区双汇接方式、数十万人口的中等城市可按双汇接全覆盖方式、而小城市则以无汇接网状网方式来组网。每个汇接局的最终容量为 10 万线。汇接局不单独占用局所，小汇接局可和端局合并在一起。

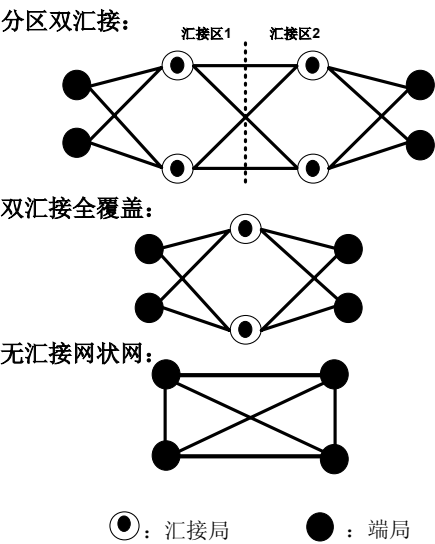


图70 不同规模本地网的目标网络结构

1.4 端局最大局容量（含交换机远端模块）的参考值

端局（DL）是直接连接用户，仅有本局交换功能和来、去话功能的交换局。根据组网需要，端局以下还可接远端用户模块和用户集线器、PABX 等用户装置。

一个端局的最终容量取决于其所在本地网的规划总容量。

对于总容量大于 100 万门的中心城市，每个端局的总容量应在 20 万门以上，但不宜超过全市总容量的 15%。每局可装 2-3 个交换系统，每个系统按 10 万门规划。

对于总容量大于 50 万小于 100 万（含 100 万）门的地市，每个端局的总容量应不超过 20 万门或全市总容量的 20%。每局可装 2 个交换系统，每个系统按 10 万门规划。

对于总容量小于 50 万（含 50 万）门的地市，每个端局总容量应不超过 15 万门或全市总容量的 35%。每个交换系统可按 5-10 万门规划。

郊县（市）一般应建两个或两个以上端局，每个局的总容量不宜超过全县（市）总容量的 60%。

每个交换系统可按 10 万门规划。郊县（市）内设置多个端局时，一般在县城至少应设一个，其余可设在经济发达且较易实现双物理路由的乡镇。近期容量较小的郊县（市）可暂时设置一个端局。

一个物理局址（或称交换机楼）可安装 2-3 个交换系统，每个交换系统最大容量为 10 万门。

新增交换机应有 ISDN、IN、SSP 等新功能，并具备 V5 接口；有多级模块组网能力，既可带远端模块局，又可带远端用户单元；有识别长途局向能力，能识别和分析 6 位号码并适应号码增位；具备负荷分担、中继线计费等功能。

1.5 话路汇接方式

如图 70 所示，分区汇接本地网中，不同汇接区的用户呼叫和通话一般采用要经过二次汇接和三个转接段的来去话（双归）汇接方式。为减少汇接次数和转接段数，不同汇接区间的话路汇接方式可选用只有一次汇接和二转接段的优化的去话汇接或来话汇接方式。图 71 列出了各种话路汇接方式和它们的汇接次数。

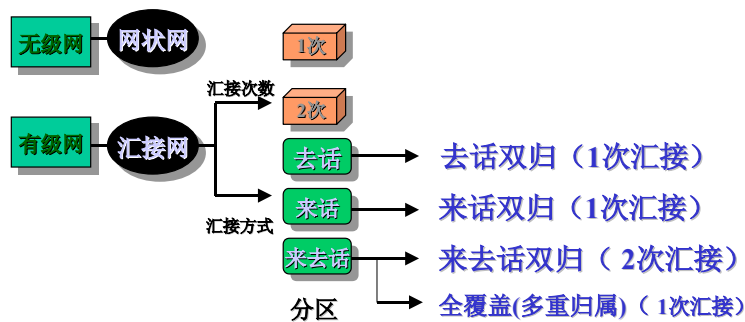


图71 话路汇接方式分类

来去话汇接方式是不同汇接区的端局话务一般经发话区的去话汇接局和受话区的来话汇接局两次汇接疏通的路由方式，其接续中继电路最多不超过 3 段。

去话汇接方式是当发话汇接区中各端局至受话汇接区中某端局的话务量较小，但经汇接后话务量较大，并能经济合理地与受话汇接区的该端局设置低呼损电路群时，采用的绕过受话汇接区汇接局，由发话汇接区汇接局直接接通受话汇接区该端局的路由方式，此时在发话汇接区各端局和受话汇接区该端局间串接两段中继电路和一个发话汇接局。

来话汇接方式是当受话汇接区中各个端局与发话汇接区中某端局间的话务量较小，但经汇接后话务量较大，并能经济合理地与发话汇接区的该端局设置低呼损电路群时，采用的绕过发话汇接区汇接局，由受话汇接区汇接局直接接通发话汇接区该端局的路由方式，此时在受话汇接区各端局和发话汇接区该端局间串接两段中继电路和一个受话汇接局。

2 窄带综合业务数字网

窄带综合业务数字网（N-ISDN）是以 64kbps 端到端透明连接和 PCM 时隙交换与传输的 PSTN 电话网为基础的网络，并具有 2B+D 基本速率接口和 30B+D 或 23B+D 基群速率接口。

2.1 ISDN 网络的组织

通常，在电话普及率尚不到 10%的国家或地区，N-ISDN 用户渗透率仅为 3~5%，业务量较小，故初期 N-ISDN 网应在原 PSTN 的基础上建设，原则上采用与 PSTN 相同的网络结构。

中国电信长途 ISDN 网为与 PSTN 相同的二级结构，只是目前尚未做到全部 DC1 和 DC2 具备接续或转接 ISDN 业务的功能，许多省只有一个长途交换机汇接 ISDN 业务。

本地 ISDN 网有混合网和叠加网两种，混合网是尽量把 PSTN 汇接局改造成 PSTN/ISDN 混合汇接局，并选择一种 PSTN 机型的端局改造成 ISDN 局的网络。

在市场需求大和技术及经济条件较好的地区，初期也可在原 PSTN 的基础上，采用有 N-ISDN 功能的新交换机，在节点不多时以网状网结构建设一个叠加的 ISDN 网。不允许本地 ISDN 端局或远端模块跨出该本地网范围。

ISDN 网的汇接有去话分区汇接和来话全覆盖等方式。大城市采用去话分区汇接、双重归属、来话全覆盖的组网方式，而中等城市采用双汇接局全覆盖，来、去话汇接方式组网。局间业务量大的 ISDN 端局间可设置低呼损直达中继或高效直达电路。

为及早向用户提供 ISDN 数字用户接口，在现有交换机尚未具有 ISUP 的情况下，可在用户线部分先配备 DSS1，利用 TUP 先期提供 ISDN 承载业务，待 ISUP 成熟后再开放补充业务。

在信令方式上，初期可在 ISDN 端局与 ISDN 汇接局间设 ISUP 链路，在 ISDN 交换机与 PSTN 交换机间设 TUP 链路。ISDN 与 PSTN 间呼叫的 ISUP 与 TUP 信令转换由 PSTN 信令网的低级信令转接点（LSTP）完成。在所有端局全改造为 ISDN 端局的终期，全网采用 ISUP 信令。

计费采用详细记录(LAMA)方式，仅在发信端本地局对 ISDN 主叫用户计费。

2.2 网间互通

ISDN 与 PSTN 网互通只支持 PSTN 所提供的业务。ISDN 网不承担分组交换功能，ISDN 网络汇集的分组业务都要通过 B 通道或 D 通道的虚电路，经公用分组交换数据网（PSPDN）的分组处理器接口（PHI）接入 PSPDN 处理。ISDN 网与 PSPDN 间采用 DSS1 信令。

ISDN 通过 GSM 网关局实现与 GSM 的互通，且只支持电话业务。

ISDN 与因特网互通时可选择一個 ISDN 局做网关局，通过 E1/(30B+D)PRI 接口与因特网连接，并采用 DSS1 信令实现互通。

ISDN 与信息网（168 等）及寻呼台的互通方式和与 PSTN 互通相同，但仅支持语音业务。

2.3 ISDN 网络的编号计划

ISDN 的编号采用与 PSTN 相同的编号方案，尽可能使从非 ISDN 接入改为 ISDN 接入的用户不改号。ISDN 组网变化时，ISDN 用户号码应尽可能不变。ISDN 用户号码安排应方便路由选择。

常见的 ISDN 用户编号方案有三种：

方案 1：

所有 ISDN 交换系统共用一个新局号 PQR。ISDN 交换系统中可以有 ISDN 用户和非 ISDN 用户，并依靠第 4 位号码 S 来区分。这种方案的路由选择和维护管理方便，但要占用太多（一万个）号码资源，非 ISDN 用户改为 ISDN 用户要改号

方案 2：

每个 ISDN 交换系统启用一个新局号 PQR，以局号区分 ISDN 用户和非 ISDN 用户。这种方案的路由选择和维护管理方便，但占用较多（千个）号码资源，非 ISDN 用户改为 ISDN 用户要改号

方案 3：

ISDN 和 PSTN 混合编号。这种方案编号灵活，节省号码资源，非 ISDN 用户改为 ISDN 用户不改号，但不能从号码区分是否是 ISDN 用户，路由选择和维护管理不方便。

远端用户模块的编号采用预先为远端用户模块安排的号码或为其所属母局的用户安排的号码。

3 GSM 数字移动通信网

GSM 网络可分成无线网络、基站系统网络和交换网络等部分。

无线网络支持空中接口 U_m 。无线网络的组织包括频率规划、蜂窝小区和频点配置、基站布局和选址等。这些组网环节相互关联，且与地域和电波环境、用户密度等有关，比较复杂。

无线网络的设计和优化特别需要采用理论与现场勘察和电波测试相结合的方法，有专门的勘察车辆、测试仪表、网络设计和优化软件及专门技术队伍从事这项工作，故不再赘述。

基站系统网络支持 Abis 和 A 接口，主要采用光纤传输，必要时用微波为辅助，以环形、星形等拓扑结构和 2Mb/s (E1) 为单位的通路连接一个 MSC 属下的

各 BSC 和 BTS。由于基站量多分散，故也应充分注意基站控制与管理以及电源监测网络的组织。这部分组网相对比较简单，不赘述。

交换网络包括长途网和本地网，它们的组网原则与固定电话网基本类似。移动本地网的交换局 MSC 由于是通过基站而不是直接与用户连接，其局址比固定网端局的选址要灵活得多，容量也大得多。本节主要介绍移动交换网的组织方式及其与固定网的互通问题。

3.1 GSM 网的网路组织

中国移动 GSM 网正由在八大中心城市设一级长途移动交换中心（TMSC1）、在各省省会设二级长途移动交换中心（TMSC2）和以地市为移动本地网的三级结构向一级长途网和一级本地网的二级结构发展。中国联通 GSM 网目前也为类似的三级结构。

原则上在长途编号为二位和三位的地区建移动本地网。如图 72所示，一个移动本地网一般只设一个移动交换中心(局)MSC， 用户多达相当数量时可设多个 MSC。本地网内各 MSC 间以高效直达路由相连，形成网状网；话务量足够大的相邻本地网移动端局之间可建低呼损直达路由；每个 MSC 和它归属的 2 个 TMSC2 间设直达路由（双归属），以负荷分担方式疏通其间的省内话务。每个本地网至少设一个归属位置寄存器 HLR，必要时可多设。

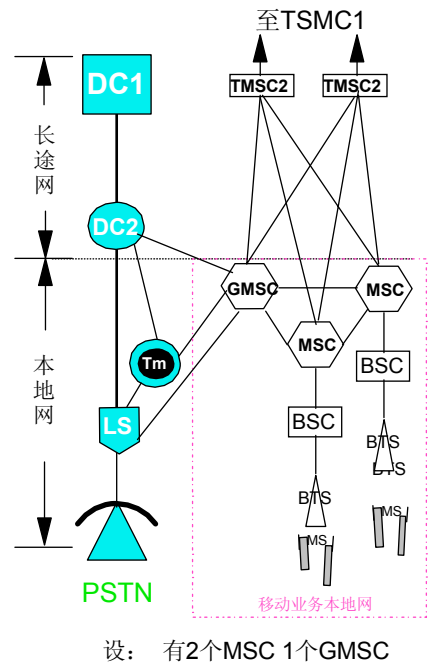


图72 移动本地网和其与固定网的互连

3.2 移动网和固定网互联原则

移动通信网与固定本地电话网、国内长途电话网及国际出入口局网间互联的物理接口点称为互联点。互联点的具体位置应便于互联双方产权分界。移动通信网与其他通信网互联均需经过互联点。可以根据业务和网络安全需要，在一个固定本地网范围内设两个（或两个以上的）互联点。互联点两侧的交换机应根据网间结算需要对来去话进行计费。

互联点两侧的交换机，一侧是移动本地网具有网关功能的交换机（GMSC）；另一侧是固定本地网汇接局（或具有同等级别的其他交换机）、国内长途电话交换局和国际出入口局。

网间互连原则上应在本地级，即基层实施，GMSC 具备路由查询和网间结算功能，应按使网间呼叫就近尽快进入被叫所属网络的原则选择互通路由。图 72 也给出了移动网和固定网网间互连的示意图。

移动本地网容量在 30 万户以下，MSC 少于 3 个时，GMSC 可和 MSC 综合设置，并记为 MSC/GW。

移动本地网容量在 30--100 万户，MSC 多于 3 个时，应设一对独立的 GMSC。一对 GMSC 按负荷分担方式工作，做来去话汇接能支持的移动本地网最大容量为 125 万户。

移动本地网容量超过 100 万户时，可设二对 GMSC。

在同一个地区内的移动本地网和固定本地网互联时，移动本地网网关 GMSC 或 MSC/GW 可以与它平行的固定本地网的一个（或多个）汇接局 Tm/GW（或具有同等级别的其他交换机）、各个本地长途电话局 TS/GW 互联。

一个移动网关（GMSC 或 MSC/GW）覆盖省（自治区）内多个固定本地网时，该移动网关可以与未设置移动交换机但设有基站的那些固定本地网的汇接局 Tm/GW（或具有同等级别的其他交换机）互联。

国际出入口局所在地的移动网关可以与国际出入口局互联。

MSC/GW 与 TS/GW 间的中继呼损应不大于 1%。各线群中平均忙时话务量应不大于 0.7Erl。MSC/GW 与 Tm/GW 间的中断呼损应不大于 0.5%。各线群中平均忙时话务量应不大于 0.7Erl。应尽量减少网间互联中继线群数量，以利于网间的话费结算和网络维护管理，方便网路调度。

不同运营商的移动通信网网间互联由运营双方根据有关规定协商解决。在过渡时期可以通过固定本地电话网转接。

3.3 网间汇接方式

- 移动网关疏通移动网和固定网间的话务有两种汇接方式，如图 73所示。
- 来去话汇接方式：
疏通本地固定和本地移动网间的来去话及本地移动网至固定长途网的去话。
 - 来话汇接方式：
疏通本地固定网至本地移动网间的来话及本地移动网到固定长途网的去话；本地移动网至本地固定网的去话则由各 MSC 与 DTm 间的直达路由疏通。
- 当网间有两对 GMSC 时，可一对作来话汇接，另一对做去话汇接；也可把本地固定网分成两个汇接区，每对 GMSC 服务于一个汇接区，做来去话汇接，这样做的效果较佳。

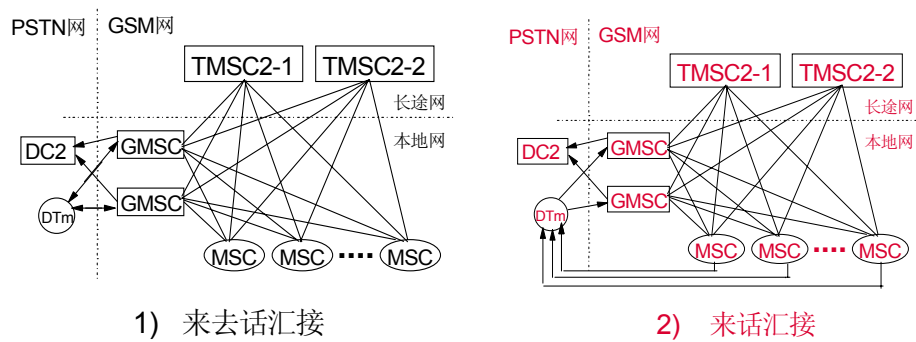


图73 网间话务汇接方式

4 因特网

在电话普及率达到 10%以上的国家或地区，数据业务的需求将日趋旺盛，规划、建设或扩大公用因特网的高潮将逐步兴起。特别是在一些发达的大城市，为适应电子商务、企业和居民上网以及各种多媒体信息服务的迅速发展，正在积极建设宽带城域网和数据港。新电信运营商们在激烈的竞争中站稳脚跟，也纷纷建设自己的以光缆干线网为基础的 ATM 宽带数据网，并利用这个网，推出以 IP 电话为代表的各种新业务。

在当前的技术、经济 and 市场需求条件下，公用因特网或宽带数据网大都采用在 SDH 和 DWDM 光传输网平台上， 设置若干数十 Gb/s 级宽带 ATM 交换节点， 以 IP over ATM 及 ATM over SDH 传输方式组建核心层（核心网）；以千兆比路由交换机或边缘 ATM 交换机做边缘层（区域网）；用以太网交换

机或路由器和多样化接入方式作接入层（接入网）的“ATM+IP”组网方案。
作为例子，图 74给出了某市电信宽带 ATM 网络结构示意图。

电信宽带ATM网络结构示意图

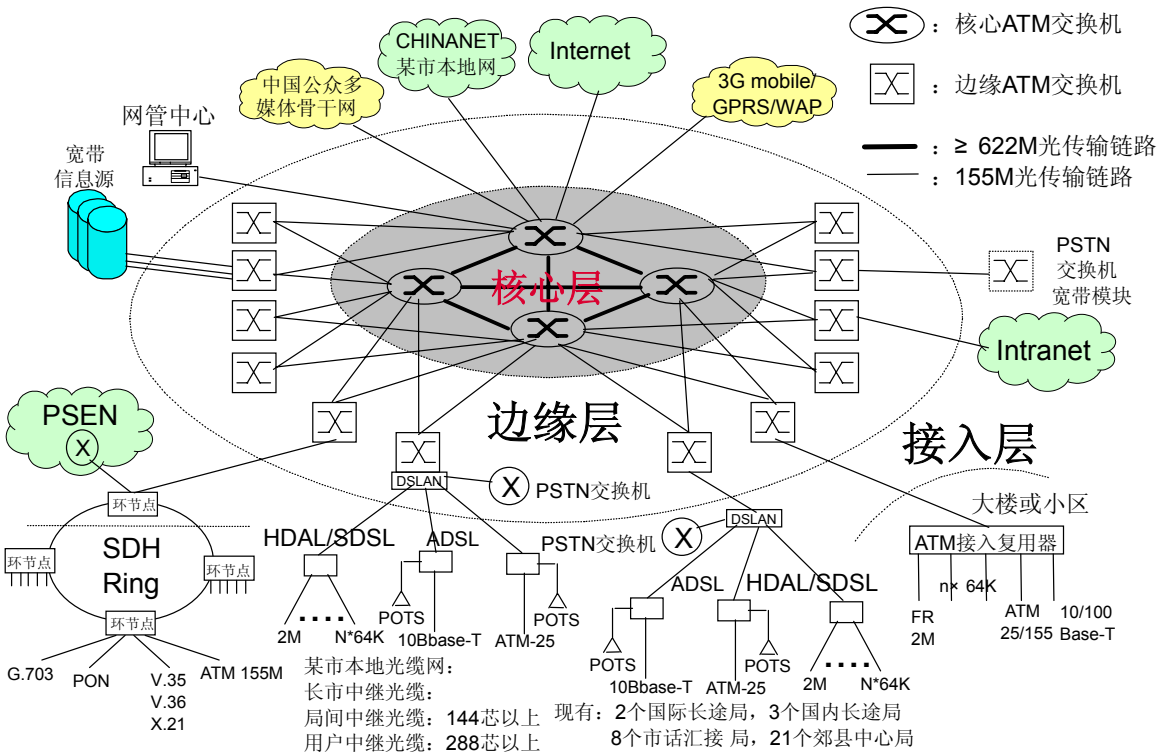


图74 某市电信宽带 ATM 网络的结构

4.1 中国公用计算机互联网 CHINANET（163 网）

CHINANET 是使用申配 IP 地址的开放性因特网。它是全球 Internet 的组成部分，是由中国电信经营和管理的中国公用因特网之一，已覆盖全国 230 个城市，目前，具有中国 Internet 骨干网的地位。

CHINANET 拨号用户的领示码全国统一定为 163，故常称为 163 网。163 网的用户节点命名为：

用户节点名.所在机构名.机构业务领域名.国家或地区代码

CHINANET 采用分层的网络结构，如图 75所示。它的骨干网由核心层和区域层组成，并设有全国网管中心。各省的省内因特网为接入层。

核心层在 8 大城市设大区中心局为核心节点，以千兆比路由器或 ATM 交换机和 SDH 光纤链路构成不完全网状互连。汇接和转接国内中继电路并接国际出入口局。

区域层作为接入层与核心层的过渡层，以各大区所属各省省会或直辖市局为汇接节点。每个大区内部还包括数百个接入层节点，节点间为不完全网状网连接。每个大区按主、备方式设两个出口点，一个设在该大区核心节点的城市，另一个设在大区内的其它节点。负责接入层与核心层的连接。

接入层的节点正逐步分设到地市和发达县，负责本地用户的接入，并提供 ISP、ICP 等服务。

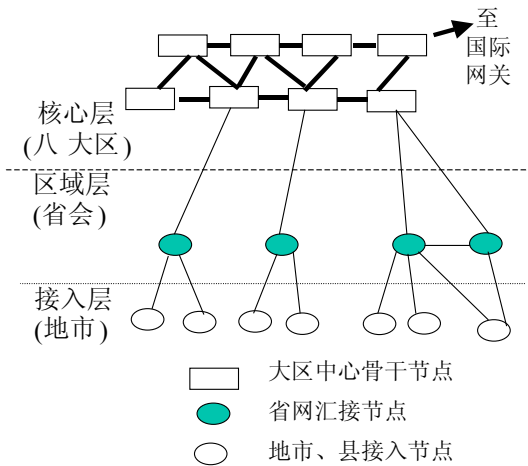


图75 中国公用计算机互联网（CHINANET）的结构

Internet 网业务的特点是网内大部分信息量要参与国际交换，即信息流向以纵向为主，全网信息流大多数要汇集到 8 大核心节点，并最后由北京、上海和广州三个国际出入口局出入。所以 163 网的优化重点是增加骨干网和出入口局带宽及简化入口路由，把核心层由不完全网状网改造成完全网状网。

到 2001 年 1 月，CHINANET 用户已达到 1600 万户；全国性的集团用户超过 120 家，遍及政府、银行、海关、税务、企业、院校、金融等各个领域。CHINANET 网络节点间的路由中继由原来的 155M 扩容为 2.5G，实现提速 16 倍，网络总带宽达到 800G。物理节点覆盖全国 31 个省(市、自治区)的 200 多个城市，业务范围覆盖所有电话通达的地区。中国电信集团在对 CHINANET 大规模扩容的同时，加强与国内、国际主要互联网服务提供商的对等合作，实现了 CHINANET 与其它互联网络的互联互通，CHINANET 国际出口总带宽已达到 2G（1995 年 6 月建网时仅为 64kb/s），预计 2001 年 3 月份将达到 3.3G。

中国公用计算机互联网(CHINANET) 是中国目前带宽最宽、覆盖范围最广、网络性能最稳定、信息资源最丰富、网络功能最先进的互联网络。

4.2 中国公众多媒体通信网 CHINFO.NET（169 网）

CHINFO.NET 是用 IP A 类保留网络地址 10.0.0.0，由中国电信经营和管理的中国国内封闭型公众多媒体通信网，拨号用户的领示码全国统一为 169。169 网不能直接接入作为 Internet 组成部分的 163 网，但可通过 NAT(Network Address Translate, 网络地址翻译) 做网址转换，将 169 网址映射成 Internet 网址，实现 169 与 163 网的互通。

169 网的网络结构与 163 网基本类似，都用于因特网接入，又都由中国电信经营和管理。在现在的网络技术、市场条件和投资能力下，163、169 两网正进行合并，即将以一个网络平台同时提供 163 和 169 两种服务。并网后，虽然两网的用户仍然拨原来的 163、169 上网，但所接入的是一个统一的新平台，从而大大提高了网速。

据悉，中国联通的 165 网也已获得了国际网关权。

5 智能网

智能网是在原业务网络的基础上，为适应不断翻新的业务需求，及时提供各种电信增值业务，提高运营商核心竞争力而开发的附加网络平台。

5.1 智能网的总体结构

智能网（IN）由业务生成环境（SCE）、业务交换点（SSP）、业务控制点（SCP）、业务管理系统（SMS）等节点和连接这些节点的 No.7 信令网及数据网组成。SCE 开发和生成 IN 业务；SSP 负责完成智能业务的触发，并按 SCP 的指令完成对智能网业务的连续控制和计费；SCP 是通信处理和业务控制中心；SMS 对 SCP 和 SSP 的软件进行管理，并通过 X.25 连接 SCE，完成业务功能的追加及变更。中国电信智能网的结构如图 76 所示，各省均设有自己的 SSP，负责疏通本省的智能业务。

我国的智能网尚处在发展的初期阶段，无历史资料和业务数据记录做参考。只能类比国外 IN 的发展情况进行预测。根据加拿大、美国和澳大利亚 90 年初电话主线普及率达 50% 时，其智能网业务占电话总业务量的 2 ~ 7 % 的情况，建议在 2010 年以前，各地可按当年电话总业务量的 1 ~ 6 %，取定本地当年的智能网业务量。

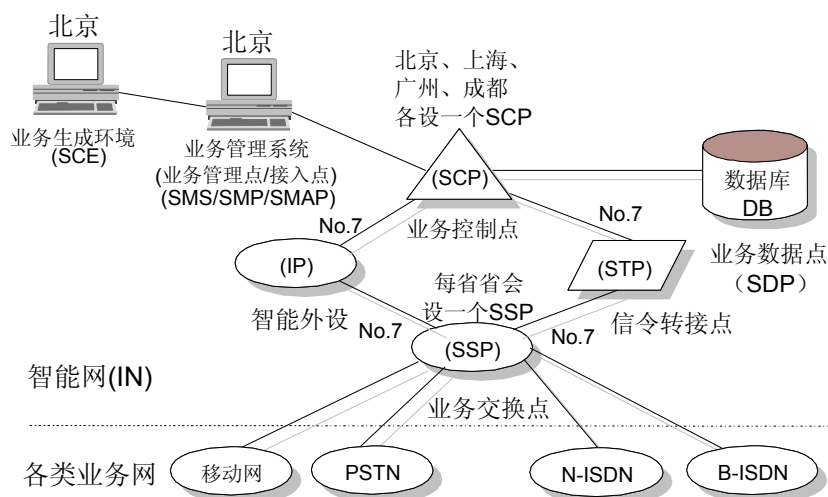


图76 中国电信智能网的结构

5.2 智能网组网导则

智能网网络组织应遵循的基本原则是：

- 本地智能网中一般不设 SCP，少数特大城市的本地智能网需设 SCP 时，应经国家电信主管部门批准；
- 智能网业务较少的本地网，SSP 点可设在长途交换中心，随着业务量的增加应逐步下移至汇接局，并可在一些端局增设 SSP 功能；省会以及大城市的本地网应逐步将汇接局和 5 万门以上的端局改造为 SSP；中等城市的本地网应逐步将汇接局改造为 SSP；小本地网只需逐步将长途局改造为 SSP；
- 省内智能网可设置 SCE 和 SMS，并原则上选用与 SCP 同一供应商的产品；
- 智能网业务量不大时，SCP 与 SSP 间，可先采用准直联方式，即 SCP 与一对高级信令转接点（HSTP）相连，而 SSP 与一对低级信令转接点（LSTP）相连；
- 全国智能网的 GT 翻译点是 HSTP，省内智能网的 GT 翻译点可以是 LSTP，也可以仍然放在 HSTP；
- 采用详细话单计费方式，SCP 向 SSP 提供计费对象、费率和话费门限等计费信息，由 SSP 实施计费，产生计费记录，经 X.25 数据链路送计费中心

5.3 智能网业务和其编号方式

开放智能业务，可以充分挖掘电信网络的潜力，获得经济和社会效益。当前我国有正式业务流程的智能业务共 7 类，它们是：计帐卡呼叫 (ACC)、被叫集中付费电话业务(FHS)、虚拟专用网业务(VPN)、通用个人通信(UPT)、广域集中用户交换业务(WAC)、电子投票(VOT)和大众呼叫(MAS)。

各类业务有规范的编号格式，现列举几类业务的编号格式如下：

1. 通用个人通信(UPT)

编号格式：

业务接入码 + 数据库标识 + UPT 号发售地区代码 + UPT 用户码

700 + N1N2 + X1X2 + X3X4X5X6X7

2. 虚拟专用网业务(VPN)和广域集中用户交换业务(WAC)

编号格式：

业务接入码 + 数据库标识 + 专用编号计划(PNP)号码

600 + N1N2 + X1X2.....Xn(2 位~8 位)

其中， X1=1 作为 VPN 特种业务号码；

X1= 2~8 作为 WAC 业务号码；

X1=9 作为用户做网外呼叫的标志码；

X1=0 用作呼叫话务员

3. 电话投票(VOT)和大众呼叫(MAS)

编号格式：

业务接入码 + 数据库标识 + 项目代码 + 意见代码

1XXK + N1N2 + I1I2 + V1V2

其中，对于电话投票：

K=0 表示是最简单的 VOT 业务；

K=1(或 2) 表示是单(或多)选的 VOT 业务；

用不同的 1XX 组合区分主叫免费或付费；

N2 为奇数表示用户投票号码；

N2 为偶数表示业务用户查询或管理号码;

电话投票业务的用户管理密码是长度不固定的 4~6 位码, 并以 # 号结束, 即 S1S2S3S4(S5S6) #。

6 传输网

传输网是透明传送通信信号的网络, 它是以光纤传输网为主体, 辅以无线、微波、卫星等传输方式的立体网络, 是实现各种业务网的公共平台。本节仅介绍光纤传输网的组织和优化。

传输网分为长途传输网和本地中继传输网二个等级。长途传输网包括省际骨干网和省内干线网, 用作本地网间的信息传输, 支持各种业务本地网的网间互联。中继传输网用作本地网内各端局或交换节点间的中继电路, 支持构建本地网。

目前, 传输网主要采用 SDH 光纤传输并正利用 DWDM 扩容。随着 DWDM 的广泛应用和 OADM、ODXC 及光交换技术的商用, 一个全光网络将成为传输网的核心网(层)。

6.1 中国电信光缆骨干网

20 世纪 90 年代, 中国电信建成了以“八纵八横”为代表, 总长达 8 万公里, 贯穿全国 70% 县市的光缆骨干网, 如图 77 所示。中国联通、中国网通、中国铁通以及中国广电等都有自己的光缆传输网络。已建光缆网基本采用 G.652 光纤, 每条光缆的光纤数为 24 芯到 48 芯光纤。采用新型光纤光缆和技术的光缆骨干网还在扩大和发展中, 它们将成为中国信息高速公路的基础。

中国干线光缆网示意图

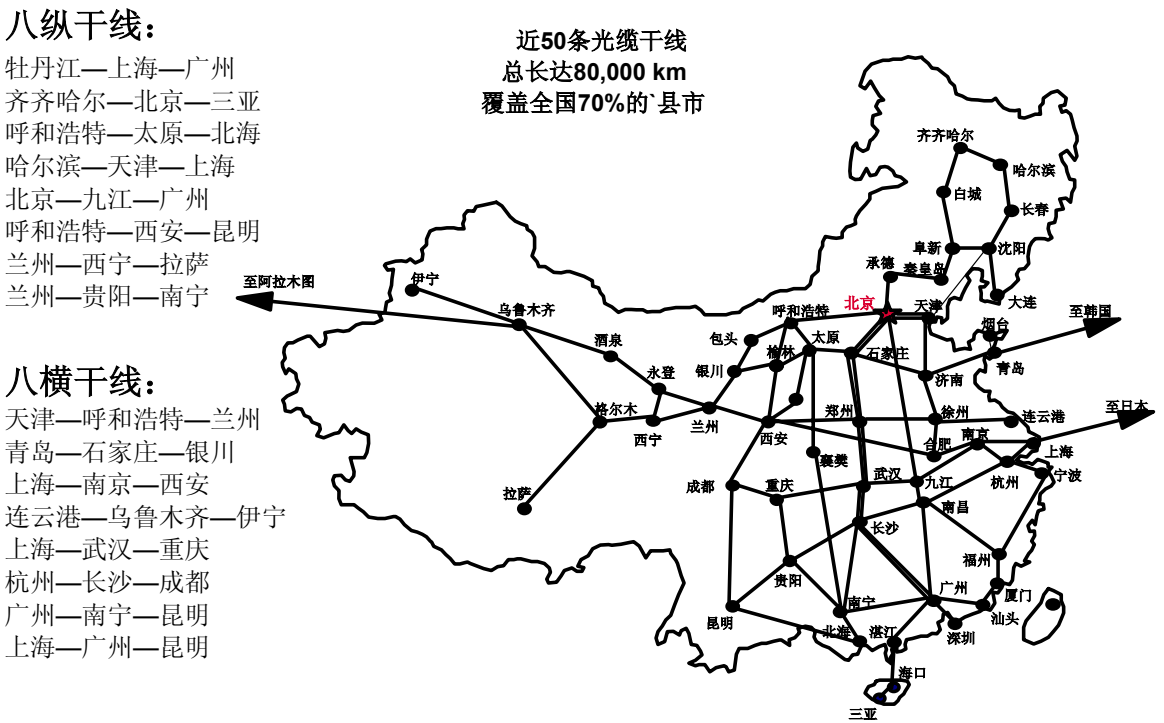


图77 中国电信以“八纵八横”为代表的光缆骨干网

6.2 SDH 光传输网的组网原则

在如上所述的光缆骨干网（物理网）上，可以组织各种传输方式和拓扑结构的逻辑网。由于当前主要采用 SDH 光传输，现将 SDH 光传输网的组网原则简介如下：

- 以更好疏通业务量、充分利用资源，保证可持续性发展为准则，统一考虑近、中、远各期的网络结构，分期实施；
- 网络结构应与电话网的结构相适应，由省际干线、省内干线、本地中继网和接入网四层向长途传输网、本地中继传输网、接入网三层过渡；传输容量按交换容量的 1.2~2 倍配置；
- SDH 中继传输网应以 ADM 自愈环为主，采用主环和子环二层平台，辅以少量线形结构。光缆应尽量成环，光缆芯数应至少满足 10~15 年的需求，在汇接局和所属端局之间应尽量有双物理路由的通道；同一本地网应尽可能采用同一厂家的 SDH 设备；
- 环间业务的保护容量按 100%配置；

- 自愈环上串接的节点数，STM-4 以不超过 5~6 个为宜、STM-16 以不超过 10 个为宜；
慎用 DXC(32 个 STM-1 以下不用)；

6.3 本地中继传输网的物理结构

如图78所示，本地SDH中继传输网由二层平台组成。

第一层平台是由长途局、移动局、汇接局和主要端局的 ADM 节点组成的主环或由 DXC 组成的格形网。主环一般应为一个，每个汇接区至少应有一个汇接局在主环上。

第二层平台是由一般端局的 ADM 节点和其归属的一对汇接局 ADM 节点组成的子环。子环与主环的相交点即是该子环上所有端局归属的汇接局。

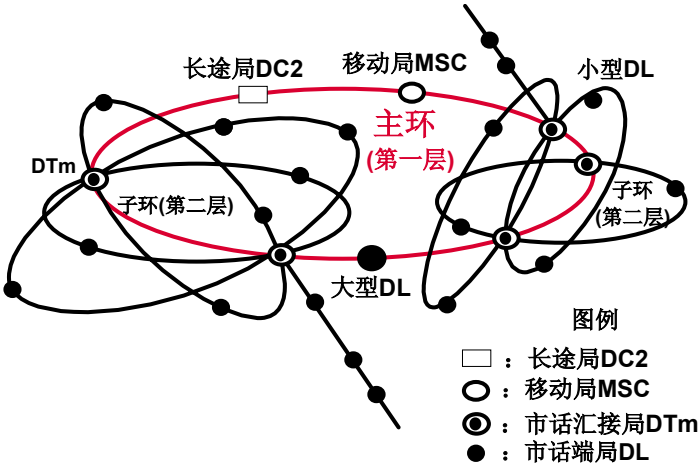


图78 中继传输网结构示意图

特大城市及大城市的 SDH 中继传输网以 ADM 自愈环组成的环形网为主，也可以考虑设置 DXC 格形网。

中等城市的 SDH 中继传输网是 ADM 自愈环组成的环形网，并辅以少量的线型结构。

目前，主环的传输速率一般为 2.5Gb/s，环上 ADM 节点不要超过 10 个；子环为 622Mb/s,或 155 Mb/s，环上 ADM 节点不要超过 5~6 个。

主环光缆的芯数至少满足 10~15 年的需要，一般为 48 芯~96 芯，甚至 144 芯；子环光缆芯数一般为 24~ 48 芯。

不具备环接条件的端局可以链接到汇接局。

7 No.7 信令网

No.7 信令网是由信令点（SP）、信令转接点（STP）以及连接它们的信令链路（SL）组成的局间信令网。信令网不但为电话网和 ISDN 网传送有关呼叫建立、释放的信令，而且可以在交换局和各种特种服务中心之间传送数据信息。

各类各级交换局和特种服务中心都是一个信令点。信令点（SP）是信令消息起源点和目的点。信令转接点（STP）完成信令消息从一个信令点到另一信令点的转换，可以根据网络结构的需要，设置不同等级的 STP。信令链路承载 SP 和 STP 间信令消息的传输。

电话网中的局间信令方式有随路信令（例如：中国 No.1 信令）方式和 No.7 共路信令方式。在数字电话网中，应尽可能采用 No.7 信令方式。路由群较小，使用 No.7 信令方式不经济或不具备条件的本地电话网（如无可靠的数字传输通路），可以暂时使用随路信令方式。本节仅介绍 No.7 信令网。

信令网的组网原则是保证网络的安全可靠性、经济性和可通达性；便于路由设置和链路设置；尽量减少信令消息的传递时延；无闭合环路。

7.1 信令消息的传送方式和链路的配置原则

信令消息的传送方式有直联和准直联两种工作方式。

直联方式是两局间的信令消息通过一段专设的直达公共信令链路传送的方式。直联连接信令链路的配置原则与电话网中直达路由的设置相似。若本地网中两个信令点间超过 180 条 64kb/s 中继电路，长途网中超过 240 条中继电路，则可考虑在这两个信令点间建立直联连接信令链路。

准直联工作方式是两局间的信令消息只经过预定路由的由 STP 串接的多段公共信令链路传送的方式。在此预定路由上，允许使用与直联工作方式一样的电路标记来寻址。在这种情况下，串接的各段公共信令链路既传送准直联信令业务，也传送直联信令业务。准直联连接信令链路的配置有以下两种情况：

- (1) 在有信令转接点的信令网中，每个信令点应连至信令区的两个信令转接点，以疏通它至未设置直达信令链路的信令点的信令业务；
- (2) 信令网采用综合式信令转接点时，与该信令转接点有信令关系的信令点，应设置至该信令转接点的信令链路，它可以转接上述信令点至其它未设置直达信令链路的信令点的信令业务。

7.2 信令点与信令转接点的连接方式

信令点与信令转接点的连接有固定分区连接和自由连接两种连接方式，

固定分区连接方式是把同信令区的信令点直联连接至本区内的两个 STP 的连接方式。同信令区内的两个 STP 按负荷分担方式工作。

采用这种连接方式，异信令区信令点间的信令消息将按准直联工作方式传送，至少经过两个 STP 转接。

固定分区连接方式的路由设计和管理比较方便， 但当一个信令区内的二个 STP 同时都发生故障时，将全部中断该信令区的信令业务。

自由连接方式是信令点按信令信息业务量的大小来决定连接至哪一个 STP 的随机连接方式，即一信令区的 SP 可能与其它信令区的 STP 直联连接。因此，异信令区信令点间的准直联可以只经过一个 STP 转接。

采用这种连接方式，当某信令区内一个 STP 故障时，其负荷可转至该信令区的另一个 STP，也可转至其它信令区的 STP，从而在该信令区的二个 STP 同时都发生故障时，不会全部中断该信令区的信令业务，但路由设计和管理比较复杂。

7.3 信令点数量和信令转接点的容量

固定电话网中每个交换局、移动通信网中的各级交换中心和 VLR、HLR、AUC 数据库均为信令点 SP。

信令转接点容量可用信令转接点可汇接的最大信令链路条数 N (每条 64kbps) 和信令处理能力(每秒可处理的最大消息信号单元数 MSU/s) 两个参数表示。

信令转接点有综合式和独立式两类。综合信令转接点兼备 STP 和 SP 功能，目前，市场上有可汇接最大信令链路数为 128 条和 256 条的两种综合 STP 设备。独立信令转接点只有 STP 功能，目前，市场上有可汇接最大信令链路数为 512 条和 700 条（或以上）的两种独立 STP 设备。独立 STP 的信令处理能力应不小于 10000MSU/s。

信令转接点应成对设置。每个信令点应连到两个信转接点（双归属），每个信令链路组至少包含两条信令链路，以这种“四备份”措施来保证网络的可靠性。信令转接点的不可用性应小于 1.4×10^{-4} 。

7.4 No.7 信令网结构

当电话网的结构层次在三级或三级以下时，相应的 No.7 信令网一般应采用与电话网层次相同的结构。例如，目前，中国电信固定电话网为三级结构的网络，则它的 No.7 信令网也为 HSTP、LSTP 和 SP 三级结构，如图 79所示。

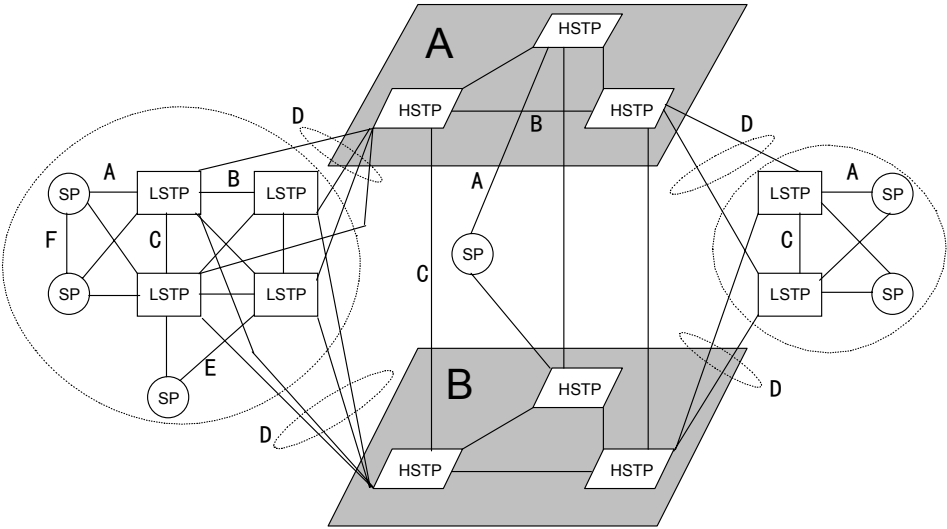


图79 中国电信 No.7 信令网的三级结构

中国电信 No.7 信令网每省（直辖市）为一个主信令区，目前大陆有 31 个主信令区。每个主信令区由若干个分信令区组成，每个分信令区由一个或多个本地网组成。

主信令区内，在省会设置一对分属 A、B 平面的独立的高级信令转接点（HSTP）。每个平面内的 31 个主信令区 HSTP 彼此“个个相连”成网状网，且同一主信令区在 A、B 平面上的 HSTP 应互连；分信令区内，在地市根据本地情况，采用独立型或综合型 STP，设置一对或多对低级信令转接点 LSTP。各分信令区的 LSTP 互连成网状网，并通过信令链路双归地连到其归属的 HSTP；各信令点 SP 通过信令链路双归地连到其归属的 LSTP。

SP 至 LSTP 可采用固定分区或自由连接方式。当信令网服务负荷不大，只为电话网服务时，宜采用直联和准直联相结合的工作方式。为适应智能网及新业务的发展和提高信令链路的利用率，应逐步减少直联方式，增加准直联方式的应用。

SP 间的话路群足够大时，其间可设直达信令链路，否则采用准直联方式。

独立型 STP 目前应满足 MTP 的功能；综合型 STP 除了具有 MTP 的功能外，还应具有电话用户部分（TUP）的功能。

信令点采用 24 位统一编码方式，分为主信令区编码、分信令区编码和信令点编码 3 个 8 比特组。

信令链路的电路标识码 CIC 规范为 12 个 bit，其二进制编码总数为 $2^{12}=4096$ 个，即每局向信令链路总数不能超过 4096 条。

一条 64kb/s 信令链路正常情况下的最大负荷，规定按 0.2 Erl 设计，以保证信令链路有 67%以上的冗余度。如果话路平均负荷设为 0.7 Erl；一次呼叫单向的平均消息信令单元(MSU)数量，市话设为 2.75 MSU/呼叫，长话为 3.65 MSU/呼叫；消息信令单元(MSU)的平均长度，市话设为 140 比特，长话为 160 比特；一次呼叫的平均时长，市话设为 60 秒，长话为 90 秒；在此假设模型下一条 64kb/s 信令链路可负荷的局间中继电路数，市话为 2856 条，长话为 2818 条；信令链路冗余度约 70%。

中国移动 No.7 信令网也为三级结构，即 TMSC1 处设 HSTP，TMSC2 处设 LSTP，组网方式与中国电信 No.7 信令网基本类似。

移动信令网与其他信令网的网间互连原则上采用 No.7 信令和直联方式，条件不具备时可先采用随路信令过渡。

8 数字同步网

数字同步网的同步包括比特定时和帧定时两个方面。同步的作用在于使来自它局的群数字流帧与本局的帧建立和保持帧同步；使各局的时钟频率保持同步，以减少因局间时钟频率差异造成数字交换设备缓冲存储器中产生上溢或下溢而导致的传输比特流滑动并将数字信号的相位漂移转换成滑动。

虽然滑动仅在话音通路解码后的模拟信号中产生通常听不到的噪声脉冲，但滑动对于话音频带内的数据业务、数字数据业务、传真业务以及共路信令转接均有不同程度的影响，应予以有效控制。

数字同步网的基本功能是准确地将同步信息（定时参考信号）从基准时钟向同步网的各同步节点传递，各节点按接收到的定时参考信号调节节点时钟，使其建立并保持与上级时钟的同步。

8.1 中国数字同步网的网路结构

中国数字同步网采用分布式多基准钟、分区等级主从同步的三级网路结构，由各级节点时钟和传递同步定时信息的链路构成，如图 80所示。

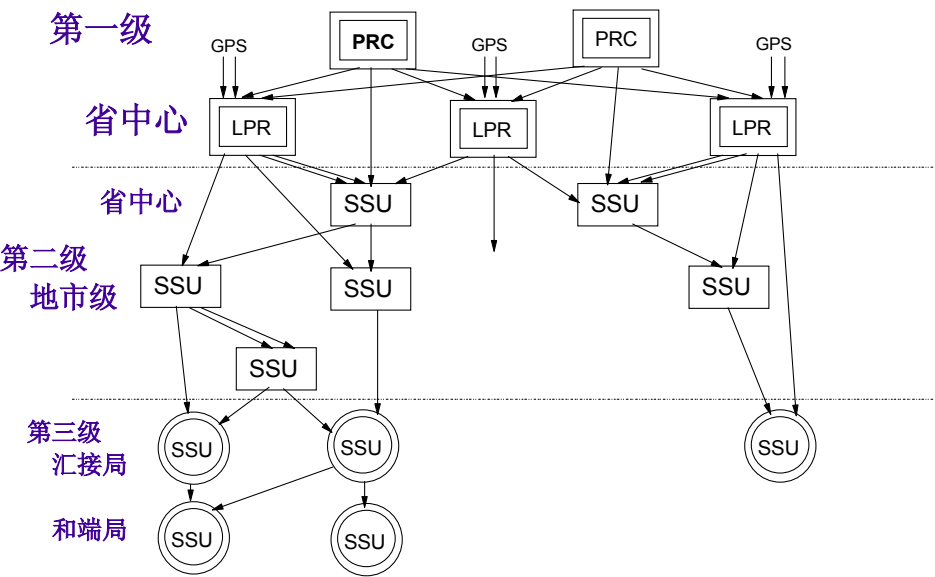


图80 中国数字同步网的网路结构

目前，全网按省/自治区/直辖市划分为 31 个同步区，每个同步区设置一个一级基准源时钟，下设二、三级同步节点时钟。

一级基准源时钟（频率稳定度优于 1×10^{-11} ）包括设在北京、武汉作为全国主基准时钟的铯钟（PRC）和设在各同步区的区域基准受控铯钟（LPR）两种。LPR 应有 4 路定时基准输入，2 路来自 GPS、2 路来自 PRC，也可以有一路来自相邻的 LPR。

二级节点时钟（频率稳定度优于 4×10^{-7} ）是设在省中心长途通信楼的铯钟或极高稳定度的石英晶体钟。过去，二级节点时钟曾分为二级 A 和二级 B，通称为 2A 级和 2B 级，现在不再如此细分。

三级节点时钟（频率稳定度优于 4.6×10^{-6} ）是设在本地网汇接局通信楼或端局通信楼的高稳定度石英晶体钟。

提供二、三级同步节点时钟的设备通常是楼内综合定时供给设备（BITS）。同步节点时钟又称为 SSU（Synchronous Supply Unit，同步供给单元），它一般是独立的 BITS，但也可以是相关通信设备的一个功能单元，这些相关通信设备可以是数字程控交换机、数字交叉连接设备 DXC、SDH 传输设备等。

各级时钟按主从同步方式同步于它的上级时钟，并输出同步信号，做为下一级时钟的定时参考信号（又称之为定时基准）。

8.2 组网原则

组织同步网一般应遵循在同步网内不应存在环路的原则；并考虑地域和传输网络的路由情况，尽量减少定时传递链路的长度；下级时钟应从上一级时钟或至少从其它同级时钟以分散路由获得主、备用定时参考信号；选择可用性高和抖动小的传输系统传送定时参考信号。

8.3 同步定时基准信号的传送方式

数字同步网中，同步定时基准信号的传输介质应按地下光缆，架空光缆，数字微波等优选顺序选用。

同步定时基准信号的速率或频率可根据国情或网情任选。中国由于广泛采用欧洲的 PCM30/32 基群（E1）标准，故选用 2048kb/s 或 2048kHz 作为基准信号的速率或频率。

如图 81 所示，在传送方式上，由于 SDH 系统的抖动包括塞入抖动和指针调整抖动两部分，比仅有塞入抖动的 PDH 系统大得多，因此，现阶段应优先选用 PDH 的 2048kb/s 专线或 2048kb/s 带业务电路传送定时基准信号，且该 PDH 电路不能在传输过程中串入 SDH 传输段，也不宜经过 DXC 等设备调度或组织迂回。

不宜用 SDH 的 2048kb/s 业务电路传送定时基准信号，但可从 SDH 线路码流提取定时基准信号。

从 SDH 线路码流提取定时基准信号应注意到 SDH 传输系统既是同步网的服务对象又是同步基准信号载体两位一体的情况，统一考虑 SDH 网路的设计和同步网的规划。鉴于 SDH 经常采用自愈环，SDH 网元必须具有同步状态信息功能（SSM），以避免出现定时环路或低级时钟同步高级时钟的现象。

ITU-T 建议 G.812 和 G.813 分别规定了适用于同步网节点时钟的从时钟定时要求和 SDH 设备运行适用的从时钟定时特性。G.812 时钟的等级高于 G.813 时钟。采用 G.812 时钟的网元称为 G.812 网元，同步于它的网元则是 G.813 网元。从 G.812 网元起，沿传输链路逐个从上一网元线路码流提取定时基准的成串 G.813 网元的总数不能超过 20 个，其后的那个网元应再度采用 G.812 时钟，而整个传输链路所串入的 G.813 网元总数不能超过 60 个。

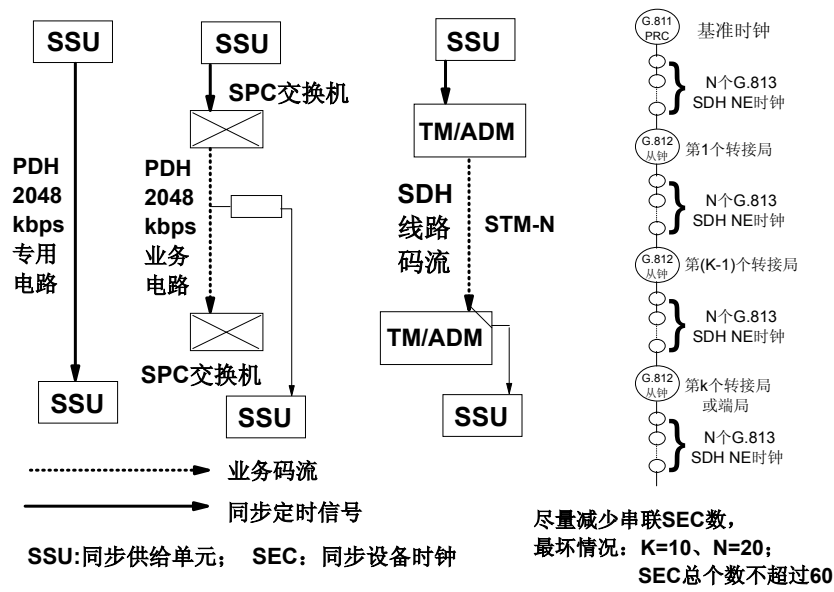


图81 同步定时基准传送方式图

9 电信管理网

电信管理网是实现各类操作系统（OS）之间、操作系统与电信设备之间互连，以商定的协议和标准接口进行管理信息交换的体系结构。

电信管理网（TMN）是能对整个电信网进行集中和有效管理，以提高网路效率和服务水平的网络。TMN 的管理范围包括全部电信网和电信设备；管理功能主要包括性能管理、故障（或维护）管理、配置管理、帐务管理和安全管理。

各类业务网的管理网是电信管理网的一个子网，它们的管理范围和内容可进一步具体化。例如电话管理网的管理范围是电话交换网，但应实现 TMN 的全部功能。

近期，电话管理网、SDH 管理网、No.7 信令管理网和移动电话管理网等都是独立运行的网络，相互之间尚未通过标准接口互连，实现互操作。随着网络管理技术的发展，各类业务网的管理网将逐步向统一的电信管理网（TMN）演变。

电信管理网的层次结构、管理功能和管理业务如图 82所示。

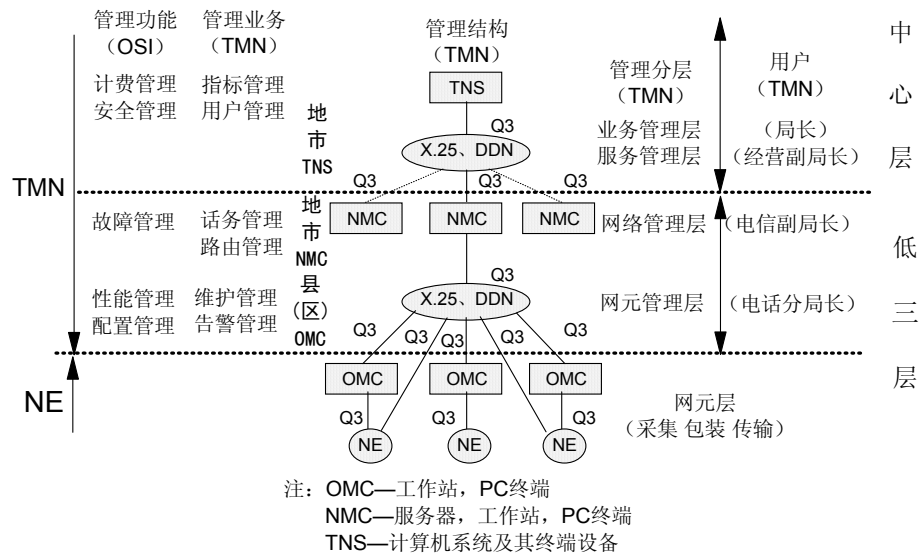


图82 电信管理网的层次结构、管理功能和管理业务示意图

9.1 电话管理网的性能管理功能和其对交换局的要求

性能管理是 TMN 的重要网管功能之一。这里，作为一个例子，我们把电话管理网的性能管理功能细化，并摘要罗列如下：

- 实时监视网路的状态和负荷性能，包括收集和分析业务负荷、流量流向、系统和网络实际性能参数、设备利用率等数据；
- 检测网路的不正常情况，监视网中设备的重大故障状况，判断原因；
- 发出纠正措施和/或控制指令；
- 与其他网路管理中心就有关网路管理和业务恢复等问题进行合作和协调；
- 与维护、运营或计划部门就影响业务的问题进行合作与协调；
- 向上级主管及相关部门报告网路不正常情况及所采取的改进措施和效果等；

为已知的或可预知的网路情况提供事前对策建议。

网路管理对交换局的基本要求有：

每局符合《邮电部电话交换设备总技术规范书》要求的网管数据接口不少于 3 个；

- 能同时周期性统计不少于 128 个电路（中继）群和目的节点的话务数据及处理机占用率数据，信息发送周期近期为 3.5，15，30，60min；
- 能依照收集非周期性信息的指令，统计所要求的信息；

- 能立即向网管中心报告全局系统中断或全局严重过负荷情况；
- 具备网路话务管理的控制功能，并将由人工干预向自动执行过渡；
- 监视管理指令接收及执行情况，存储执行结果并打印报表；
- 有自动拥塞控制功能和拥塞时对特定类型业务优先接续的选择电路保留控制功能；
- 管理信息和指令的内容、含义、码型和格式符合通信体制统一要求；
- 交换局的网路话务管理功能具有足够高的优先级；
- 能逐步将公共信道信令系统的有关信息送至网路管理中心；
- 符合网管编号计划要求；
- 提供符合 ITU—T M.3000 系列建议的网管接口：Q3，Qx 和 F。

9.2 我国电话网网管系统的结构和实施方法

我国电话网网管系统由全国（一级）网管中心、省（二级）网管中心和接口机组成，并通过 DDN 专线连接。

DC1(C1、C2)网管接口机是省长途交换机一侧的微机；

DC2（C3、C4）网管接口机是地市长途交换机一侧的微机；

接口机负责从各种类型的交换机采集话务统计等网管数据，并进行格式变换，以统一的格式报送上级网管中心。尚未建立二级网管中心的省市，可由接口机直接报送全国网管中心。省网管中心只将一、二级电路群或指定电路群数据报送全国网管中心。

电话网网管系统的建设应分步骤、分阶段地进行：

第一阶段：建设全国网管中心和省级网管中心的话务数据采集与处理系统；

第二阶段：实现实时收集长途交换机告警信息与状态信息（C类）和按指令收集电路群运行质量分析数据（B类）及向交换机发指令的功能。逐步完善已有和新建省级网管中心；

第三阶段：逐步实现话务控制，完善各类管理功能和数据库管理系统，为向 TMN 演进打基础。

现代通信技术展望

网络技术正在改变世界，因特网已成为一个日益繁荣的网络社会。信息网络中发生的革命正以前所未有的速度推动着全球经济的发展。而所有这些进步都得益于集成电路技术、光电子技术、存储技术、显示技术、无线技术和软件技术等六大信息技术领域的进步。

抓住世界信息技术革命的机遇，按照三网融合的要求，加快建设新一代信息通信网络（NGN），构筑面向 21 世纪的国家信息基础设施是摆在我们面前的使命。为此，我们应对主要的信息技术和 NGN 的发展方向有一个简要的了解，以便更好地利用密集波分复用、全光网络、第三代移动通信、IP 等先进技术，对网络进行战略性结构调整，实现网络的平滑过渡与升级换代，使现有的通信网逐步演进为一个融语音、数据、图象为一体，超大容量、灵活高效、经济适用、安全可靠的宽带高速信息网。

本章主要内容：

- 推动通信网络更新换代的六大信息技术
- 三网融合的内涵与趋势
- 电信网的融合演进策略
- 新一代网络的结构
- 采用 MPLS 的 IP 网络
- 全光网络

1 推动通信网络更新换代的六大信息技术

20 世纪 90 年代以来，人们单位时间内传递的信息量持续保持每年翻一番的增长速度、存储器容量每 9 个月翻一番、显示器单位面积上的像素每两年翻一番、集成电路集成度每 8 到 24 个月翻一番、光电子技术也在发生类似的变化、无线技术的发展只能用“奇迹”来形容。软件技术尽管难以定量分析，但总体上也可以实现每两年更新一次的发展速度。

六大信息技术的进步和通信网络应用先进技术的灵活性与可伸缩性，为未来的网络发展提供了无限的想象空间。

这里，对六大信息技术的现有水平和发展趋势简单介绍如下：

1. 集成电路技术

当前的集成电路仍然局限于硅技术，采用 $0.13\mu\text{m}$ 工艺，其线径可达 $0.12\mu\text{m}$ ，未来将采用分子技术制造晶体管。

例如，华为公司 2000 年推出了 40G 的高速交换芯片及 2.5G 的 SDH 开销处理芯片、高速 ATM 处理及 Ethernet 交换芯片，ASIC 设计能力达到 0.18 微米，设计门数达到 100 万门，高速 I/O 达到 1.25Gb/s，而 2001 年 ASIC 设计能力将达到 0.15/0.13 微米，设计门数达到 300 万门，高速 I/O 达到 3.25Gb/s。

从长远看，硅片已经难以满足高速率的需求。为进一步提高速率，集成电路技术将向光领域发展。

2. 光电子技术

光电子领域的许多进步都与物理学密切相关。目前，有机晶体正成为一个新的研究领域，目的是制造更便宜的塑料晶体管和激光器。

过去，光纤技术主要应用于点到点配置的网络。随着光纤的大量使用，组建灵活可靠的全光网络是发展的必然趋势。

目前的通信网由业务层、SONET/SDH 层和 DWDM 光层构成。未来的网络将主要由业务层和含有 TCP 子层及 IP 子层的光层组成。因此，SONET/SDH 层的发展应逐步限制，其部分功能将被转移到光层。

最佳的网络应能直接耦合光层，这将在经济性和管理性方面带来诸多的价值。

目前增加网络带宽的主要方法是 DWDM，即增加每根光纤上可用波长的数量。将来，可调激光器技术、补偿光纤和光孤子技术等也将起到十分重要的作用。

光交叉连接（OXC）是构造全光网络的基本部件。微机电方式（MEMS）的空间光交换矩阵是一种采用微型机械控制光纤和反光镜，以实现大规模光交换的模块，对组建可靠的光网络有十分重要的作用。例如，已有 256 根入纤和 256 根出纤，每根纤上可以支持许多波长的交换系统，但目前对如此众多的波长进行实时控制还面临着许多困难。

3. 存储技术

集成电路和光电子技术对信息处理及传输速率的影响最终都将反映到存储器上。传统的存储器采用磁盘方式，速度相对较慢，且存储机制单一。

未来的存储系统将由光存储器组成的存储网络。电子商务对存储器容量的需求越来越高，传统的存储系统将不敷使用。存储技术面临的挑战有很多，其中包括如何制造尺寸更小、控制更方便的存储器。

未来的存储器将采用全息技术和新型磁存储材料。全息技术用三维空间存储机制替代现有的二维空间存储机制，从而大大提高了单位空间的存储量。

4. 显示技术

目前，LCD 正在迅速取代 CRT 成为主流，其分辨率越来越高，价格越来越低，使用越来越普及。

显示技术面临的挑战是如何缩小屏幕尺寸。如果只看一页内容，显示器已经足够方便了；但如果需要阅读多页内容时，许多人可能情愿先打印，后阅读。现在已经有了一种柔性显示屏，其原理是利用黑、白球的显示技术，它有点象打印，一般情况下支撑屏幕的是黑球，需要显示时就将白球推出。未来的显示器将会象报纸一样方便、灵活地任意折叠、阅读。

5. 无线技术

无线技术是实现个人通信的一项极为重要的技术。支持无线因特网的第三代移动通信系统即将商用。业界面临的挑战是如何实现 2G 向 3G 的平滑过渡。

如何增加带宽和比特率是无线网络面临的根本问题之一。为克服无线电波的干扰和衰落，需要采用时间和空间分集接收技术。一个新的研究方向是重新反思过去所谓的“干扰”，探讨利用反射和散射提高无线传输链路的带宽和速率的途径。

6. 软件技术

软件技术是一个非常庞大的领域。早期 UNIX 操作系统的 C 源程序只有 6 千行，而目前微软操作系统的程序有 100 多万行，将来可能会超过 1,000 万行。随着软件规模的增大，保证其正确性变得越来越困难。因此，软件的测试和验证已成为当今软件业面临的重大问题，也是软件生产中成本最高的部分。研发优秀的测试工具对软件的发展至关重要。

过去的软件都是相互独立的，而现在使用更多的是相互关联的网络软件，移动互联网上使用的软件就是一个例子。

总之，上述六大支柱性技术的发展前景光明，也面临着巨大的挑战。它们不断创新成果将支持通信网的更新换代，从而不断改变我们的生活，把人类带入一个更加激动人心的世界。

2 三网融合的内涵与趋势

市场需求、市场竞争和管制政策的逐步放开正推动传统的电信网、计算机网（主要指因特网）和有线电视网通过各种方式相互渗透，并趋向融合。上述

六大技术的进步和 TCP / IP 协议从技术上为三网融合铺平了道路。三网融合涉及技术、业务、市场、行业、终端、网络乃至行业管制和政策等方面，将对社会、经济和文化的发展及信息产业结构产生深远的影响。

通信的数字化使话音、数据和图像都可以通过编码成为统一的 0 / 1 比特流。通信网中各类业务信息的传输、交换、选路和处理过程原则上都是数据操作。20 世纪 90 年代中期以来，以因特网业务为主的数据业务量和业务带宽呈指数式增长。显然，通信网中 100 年来作为主业的电话业务最终将让位给数据业务，即网络的业务将向数据业务为中心的方向融合，网络将逐渐向着对 IP 业务最佳的分组化网（特别是 IP 网）方向演进是历史的必然。

使各种以 IP 为基础的业务能在不同的网上互通的 TCP / IP 协议不仅已经成为统一的、三大网都能接受的、占主导地位的通信协议，为三网融合奠定了最坚实的联网基础。从用户驻地网到接入网到核心网，整个网络将在 TCP/IP 协议下统一，以实现各种各样终端的透明连接。

三网融合的基本内涵至少包含技术融合、业务融合、市场融合、行业融合、终端融合，网络融合乃至行业管制和政策方面的融合等。

目前，融合主要表现为技术上趋向一致，网络层上互联互通，业务层上互相渗透和交叉，应用层上趋向使用统一的 TCP / IP 协议，行业管制和政策方面也逐渐趋向统一。

至于现有各种业务网本身，由于历史的原因以及竞争的需要，还将会长期共存、竞争和发展，而业务层的融合将不会受限于这些业务网的传送结构。

从长远看，三网融合的最终结果将会产生新一代网络，它不是现有三网的简单延伸和迭加，而是有机融合了各自优势的新网络。

融合不会也无必要消除现有以 PSTN 为代表的电信网、有线电视网和计算机网的存在，而且会在它们各自的业务层和应用层中繁衍出大量新的业务和应用。图像、话音和数据也不会简单地融合在一个传统终端（电视、电话和计算机）中，而是根据不同用户的要求，衍生出多样化的、更有特色的和个性化的终端。

3 电信网的融合演进策略

三网融合目前阶段主要从电信网与因特网的融合开始，即数据业务与话音业务的融合，下一步才是与图像业务的融合。

从传统的电路交换网过渡到分组网是一个长期的渐进过程，因此，在未来相当长的时间内，电信运营商要同时支持两种网络，解决两网之间的互通以及

业务和应用间的互操作性，从而最终完成由传统电路交换为基础的电信网向分组数据网的平滑过渡。总的看来，目前有两大过渡策略。

1. 重叠网

在电话业务仍然是运营商的主要收入来源之际，不要去触动能基本胜任电话业务的现有 **PSTN** 网络，让其独立发展；同时，新建一个分组网络（**ATM** 网或 **IP** 路由器网）作为重叠于 **PSTN** 上的网络，来解决日益增长的数据业务，特别是 **IP** 业务的需求。两个网的业务节点独立、并行发展，其间通过各种网关和网关控制器互联互通，实现业务层融合，统一提供管理和加快扩展业务。待数据业务成为网络的主要业务时，再将 **PSTN** 上的电话业务逐渐转移到分组网上来，最终形成一个统一的、融合的网络。

这种网络演进思路的基点在于网络和业务的融合，而不在于节点的融合，允许不同的网按各自的最佳方向独立演进，不受限于节点结构。

Lucent 的 **7R/E**、北电的 **SUCCESSION NETWORK** 是采用这种策略的系统。

2. 混合网

这种演进策略基于电话业务仍然会继续发展的观念。因此，与其对老交换机扩容，不如采用新一代交换机来改造电路交换网，既提高交换节点的效率，扩大交换节点的容量，又能支持 **ATM / IP** 业务的发展，便于网络向分组化方向演进。这种新交换机在外部可以同时支持 **STM**，**ATM** 和 **IP** 网，即不同业务各走各的网，只是业务节点在物理上融合成一体，其内部交换矩阵则采用 **ATM** 或 **ATM / STM** 或 **ATM / STM / IP**，而将实现它们之间互通的网关集成在内。采用新型交换机后可以逐步卸载原有电话业务量，增加数据业务量，从而最终完成向分组网的过渡。

华为 **C&C08 iNET**、西门子 **EWSD**、**NEC** 的 **NEAX Σ** 、爱立信 **AXE10/AXD** **ATM** 是采用这种策略的系统。

采用何种网络融合策略，需要根据具体网络现状和业务预测以及经济比较进行详细分析后才能决定，没有现成的答案。根据具体情况，综合采用这两种策略可能更现实。需要注意的是，无论采用哪一种融合策略，其业务的融合都不会受限于原来网络的传输结构。事实上，融合的业务应能通过任何一种网络来传送，业务融合仅要求在业务网的边缘采用基于统一的 **IP** 协议平台即可，业务网络的内部可以采用任何层的协议来运作。

中国未来十年的固定、移动电话网规模、容量均将跃居世界第一位，电话用户将达到 5 亿户，全国电话普及率达到 40%，能全方位、多层次地满足社会各界对通信服务的需求。

在近 5 年或更长的时间里，总的来说，中国电信的重点是提高农村电话普及率，电话仍将是中国电信的主要业务收入来源。当然，各省（市）电信发展水平有很大的差别，并大体上可用各省（市）的电话普及率来衡量。

有鉴于此，各省（市）向 NGN 过渡的策略也有所不同。在北京、上海等大城市正大力建设宽带数据城域网之时，一些电话普及率仍然较低的地区，近期新装端局交换机仍将主要是电路交换机。长途网的宽带数据化也要依据各地向 NGN 过渡的策略，区别情况，有步骤地进行。数据业务量需求较大的长途局可逐步转向综合交换机或 ATM/IP，然后再逐步向汇接局扩散。

4 新一代网络的结构

新一代网络(NGN)是上层使用统一的 IP 联网协议、中间层业务节点主要为电信级分组节点（高速路由器和 ATM 交换机）、物理层是基于 DWDM 的光传送网和采用多元化无缝网络接入技术的话音、数据及图像一体化的网络。它具有可持续发展的网络（CUN）结构；巨大的网络带宽和容量、低廉的网络成本；电信级的质量、可靠性和可用性；丰富的计费功能；分布式面向目标的业务管理；容易使用和维护；能经济、灵活、可靠、透明地支持当前和未来的任何业务等特点。

基于技术能不断创新而网络却只能演进的发展规律，目前看来，初期的新一代通信网络（NGN）会采用以 ATM+IP 为代表的多种交换（路由）技术和传输方式。

如图 83 所示，就网络功能而言，新一代网络可分为核心网（层）和边缘层（网）两大部分。

核心网由基于 DWDM 光传送网连接骨干 ATM 交换机和/或骨干 IP 路由器构成。

边缘层由各种宽窄带接入设备、各种类型的接入服务器，边缘交换机/路由器和各种网络互通设备构成

这种网络具有结构简单、带宽利用率高、保护现有投资，成本最小化和可持续发展的优点。

随着千兆比路由器等技术的进步和业务的发展，独立的 ATM 和 SDH 将会逐渐消失，其基本功能将分别融于 IP 层和 WDM/OTN 层。IP over WDM 将成为核心骨干网乃至全网的中心，而 IP over ATM 将从核心网退出，并会在相当一段时间内用于边缘层。

新一代通信网也将不断发展和优化，采用多协议标签交换（MPLS，Multi-Protocol Label Switch）技术构建 IP 骨干网是一个方向。

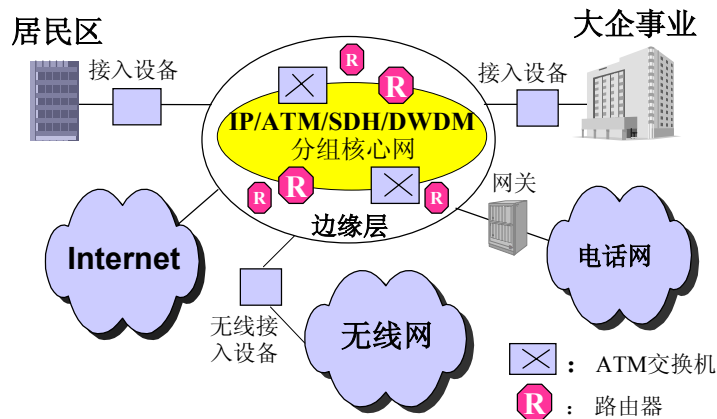


图83 新一代通信网结构示意图

5 采用 MPLS 的 IP 网络

随着因特网新业务和相关的专用网络不断发展，旧的按业务类别建网和处理不同业务网络连接的运营方式已经过时，通过单一的、灵活的接入设备，执行统一的接入协议（如 IP）来提供各种混合业务是通信发展的必然要求。然而，由于传统路由器组建的大规模 IP 网络无法解决诸如路由器转发部件的软件操作，构造高速路由器组件的开销，传统路由寻径机制的预测能力和特定业务的 QoS 等问题，难于适应不同业务（如语音、数据和多媒体应用等）对网络传输质量差别很大的要求。

相对于 IP 路由技术，基于 ATM 和帧中继的快速交换技术可利用多种简单有效的转发算法（其本质就是标签交换算法）来避免或解决这些问题。因此，与传统的 IP 路由机制相比，L2 层(数据链路层)的快速交换技术具有很高的性能价格比。

标签交换技术是一种综合快速交换技术和 IP 路由技术各自优势的网络解决方案。其中多协议标签交换（MPLS）是目前标准最统一、最具发展前景的标签交换技术。多协议标签交换（MPLS）是 IP 动态路由协议和 ATM 第二层交换（面向连接）有机结合的技术。它始于 1997 年初，并由 Internet 工程任务小组（IETF）制定标准。MPLS 具有大规模电信级网络所要求的各种属性，能在大规模 IP 网内，通过 ATM 和帧中继等多种媒介，实现保证 QoS 的快速交换。因此，它的出现对于网络发展具有革命性的意义。

5.1 MPLS 技术中的关键概念

MPLS 技术可适用于任何网络层协议，故称为多协议（multiprotocol），目前主要用于传输 IP 业务。多协议也表明，MPLS 技术的应用并不局限于某一特

定的链路层媒介，即采用 MPLS 技术，网络层的数据包也可以基于 ATM、帧中继、租赁专线 / PPP 等多种物理媒介进行传送。

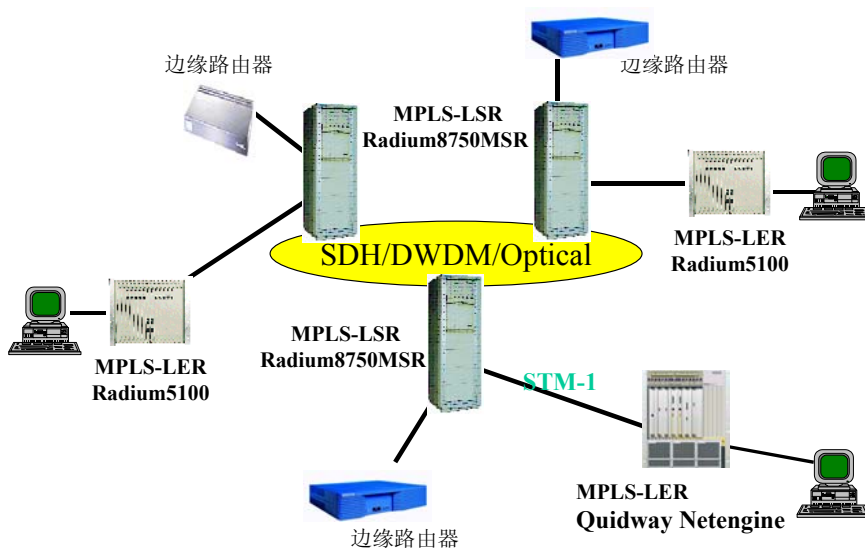
MPLS 网络中的关键元素是标签交换路由器（LSR），它具有理解和参与 IP 路由及 L2 层（数据链路层）交换的能力。

LSR 通过 L3 层（网络层）的标准路由协议（如 OSPF）进行寻径操作，获得整个网络的拓扑结构和路由信息，用以对特定 IP 报文分配相应的标签（Label）。从端到端的角度来看，标签用于确定端点之间 IP 报文的传输路径，这种路径被称为标签交换路径（LSP）。

LSP 是通过 MPLS 的核心协议——标签分配协议（LDP）在 LSR 对等体（Peer）之间建立的路径，本质上与 VC（虚电路）连接十分相似。广义地讲，MPLS 是一项面向连接的机制，它可通过一个 LSP 仿真一条虚电路，来仿真任何其它非确保型面向连接的服务。

在传输 IP 报文时，MPLS 标签边缘路由器（LER）通过特定判决机制，对报文进行标签封装，随后将携带特定标签的报文转发到网络内部升级后的交换机（如 ATM-LSR 或 LSR），它们在接收到相应 IP 报文后通过内部的标签信息库（LIB）进行标签查询与交换并沿着 LSP 转发报文。

MPLS 使一个单一的集成模式数据报网络，能够提供诸如帧中继和 ATM 等传统服务给终端用户，而且网络可以运行在会聚各单个业务的业务流级，使网络运营商获得规模性经济效益。图 84 是华为 MPLS 宽带数据网解决方案示意图。



注： Radium、Quiday 等是华为数据通信产品的注册商标

图84 华为公司 MPLS 宽带数据网解决方案示意图

MPLS 在解决网络的扩展性、实施流量工程、同时支持有多种特定 QoS 保障要求的 IP 业务等诸多方面具有得天独厚的优势，并可在任何链路层，而不仅仅是在 ATM 架构上运行，这有利于向基于 SDH / WDM 和 IP / WDM 架构的光因特网融合。

但是 MPLS 在支持标签合并功能、解决环路问题和如何实施分类业务等方面还存在相当大的难点。MPLS 像其他宽带技术一样，会不断发展，最终将形成一套统一的和完善的宽带技术标准。

MPLS 作为 Internet 下一代宽带网络核心技术，将对广域网网络架构产生深刻影响。这些影响正逐步渗透到我国各 ISP 即将采用的架构中。它正逐渐改变着因特网的基础架构，并使现有因特网架构能适应不断翻新的增值业务的需求。

5.2 数据网络的构建实例

目前，MPLS 还停留在标准完善阶段，尚未到达商用阶段，而 ATM 技术已十分成熟。此外，IETF 正进行的关于 MPLS 标准化工作，是基于一些专用的多层交换解决方案，这些多层交换解决方案均以 ATM 为基础。因此，当前完全抛弃 ATM 技术，而采用纯 IP 方式 MPLS 的网络解决方案是不明智的，它会失去很多现实可以开展的业务，如 PVC 专线业务（FR、ATM）、电路仿真、H.320 大型会议电视业务（基于 IP 的 H.323 会议系统还没有像 H.320 那样成熟）等，减少营运商的利润。

有鉴于此，中国联通采用了一个 MPLS 现实版本的广域数据网络方案。它的底层平台可提供 FR、ATM 等各种速率的接入和传输，又可随 MPLS 标准的演进而进行平滑的升级。这一大型广域数据网将成为联通开展包括数据、IP 语音、传真、视频，第 2 层及第 3 层 VPN 和多媒体业务等各类电信业务在内的综合平台。此网络覆盖了全国 300 多个地市，具有可扩展性和电信级的服务质量保证。

这个数据网络平台支持 165 拨号上网、专线上网；可全面开展因特网传统业务，电信级的 IP 电话和 IP 传真服务（17910，17911）；提供全国范围的第 2 层和第 3 层 VPN 服务；为 ISP 和 ICP 提供网络承载服务；构建数据中心；为数据大客户提供统一的接入服务及先进的客户端网络管理（CNM）；为联通的其它业务，如移动、寻呼、网管计费，客服、信息系统等提供传输平台。应当说，这是一个广域数据网组网的成功案例，其核心部分可方便地升级到 2.5Gbit/s，以连接主要汇接城市，并将进一步发挥 40Gbit/s DWDM 系统的优势。

6 全光网络

传输网传统上采用 SDH/SONET，由于电时分复用在 STM-64（10G）或 STM-256（40G）后提速越来越难和现有光缆线路的光纤耗尽问题以及 DWDM 技术的成熟，今后传输扩容将主要采用 DWDM。随着光技术的进步，传输网正在向 T 比特、多波长核心结构、以光分插复用（OADM）、光交叉连接（OXC）和光交换实现灵活组网及调度的全光网络方向迈进。

6.1 光网络的结构

从地域、传输和应用的角度，光网络的结构可以划分为长途光网络、城域光网络、光接入网络和企业及 LAN 光网络等四个层面。

1. 长途光网络

长途光网络将采用 DWDM，并着眼提高单光通道速率和单光纤总容量，随着骨干网容量的提升，将朝着波长疏导、路由和高比特率信号网络保护与恢复等方向发展。

2. 城域光网络

城域光网络（MON）是指跨度为几百公里的光网络，一般为大集团用户和用户比较集中的城区提供服务。MON 是长途网和接入网之间的桥梁，将接入网中企业/个人用户的各种客户协议互联到骨干网上。

在 MON 中，多协议传送是光业务节点的基本特征。MON 必须能够传送 ATM 信元、IP 分组、以太网的帧和 TDM 信号等，将相应的业务流传送到 POP 的 ATM 交换机、IP 路由器和 DCS 等。

光业务节点必须支持环形拓扑，以保证现有的网络基础设施有序地升级，并保持 TDM 应用所需要的保护和恢复功能。光业务节点还必须支持点到点星型拓扑，因为星型结构在为高速 Interent 接入或类似的非电路应用的接入网中越来越流行。

由于现有本地网已装备了大量的低比特率同步和异步传输设备、短环、小型交叉连接设备和对带宽要求各异的用户设备，因此，对于城域光网络，透明性、扩容性和动态配置是比链路容量更为重要的因素。

透明性是指支持 TDM 和 ATM、千兆比特以太网、ESCON 和 Fiber Channel 等各种数据信号格式的能力；

扩容性是指迅速支持点到点链路容量需求的能力，更为重要的是，支持现有 SONET/SDH 环网中各跨距容量需求的能力；

动态配置是指快速（以天而不是以月为单位）提供 VPN 和宽带专线等宽带业务的能力。

目前的城域光网络主要是 DWDM 系统，并可粗略地划分为核心/骨干城域 DWDM 系统和城域/接入 DWDM 系统两类。

核心/骨干城域 DWDM 系统是根据运营商城域点对点或环网应用特点由长途系统优化而来。

城域/接入 DWDM 系统的功能很象 SDH 接入环，支持环形拓扑和波长分插复用，透明支持各种数据接口。

3. 光接入网络

光接入网络目前主要采用 ATM 交换机、路由器和 SDH 光纤传输，多业务接入复用器的应用也增长很快。随着带宽需求超过 STM-4（OC-12），DWDM 应用将进入光接入网络。

4. 企业及 LAN 光网络

企业及 LAN 光网络可能不属于电信运营商的经营范畴，因此，也可不算做通信网的一层。但从真正的用户终端来讲，企业及 LAN 光网络不仿视为接入网的延伸。

随着企业内部带宽需求的增长，尤其是 Web、数据服务器节点和存储网络采用 Fiber Channel 等连接协议，网络涵盖校园或城域范围，需要低成本企业网 DWDM 系统支持。

6.2 光核心网和边缘网

从网络功能和所用技术来分，光网络由光核心网络和光边缘网络两个层次组成。

1. 光核心网络

光核心网络主要由光传送系统、混合 ADM/宽带数字交叉连接系统、光分插复用器（OADM）、智能光交换系统和以太比特路由器组成。

光传送系统以分离的光纤通道传送多种信号。

混合 ADM/宽带数字交叉连接系统存在于边缘网络和核心网络的边界，是宽带数字交叉连接和 SDH 的集成，它增加了 TDM、包交换和疏导功能，提供 SONET/SDH 层到光层的直接过渡。

光网络的光分插复用器（OADM）节点直接分插光通道，无须信号光电转换，在 DWDM 网络激增的背景下，必将占有重要地位。

智能光交换系统作为一种网络单元，将光交换功能、SDH ADMs、宽带数字交叉连接系统和数据交换系统等结合在一起，运用于骨干网络主要节点。

核心光网络的管理是一个重要课题，它包括光层波长路由管理、端到端性能监控、保护与恢复、疏导和资源分配策略管理等。

2. 光边缘网络

光边缘网络可分为下一代 SDH 传输系统（多业务提供平台）、多业务城域 DWDM、城域光 IP 平台和光接入系统/PONs 等四类。

下一代 SDH 传输系统的一个网元集成了 SDH 的 ADM 和二层/三层桥接/路由技术，同时支持 TDM 专线业务和数据业务，对 TDM 业务和数据业务进行集成管理，降低设备投资成本和运营成本。它既保持了 SDH 传输的优点，又通过技术融合简化了网络结构，把数字交叉连接功能分布到网络边缘，减少了主要核心节点对大容量交叉连接的需求。

多业务城域 DWDM 系统又称为光边缘交换系统或光业务节点，它与下一代 SDH 系统结合，继承城域 DWDM 系统的特点，形成环或网状拓扑，支持 SDH 汇聚和疏导、光 VPN、透明带宽、ATM 接入汇聚、IP VPN 和因特网接入等功能。

城域光 IP 平台目前仍处于持续演变成长的初期，分布式以太交换或包交换功能光边缘网络系统也应归于此类。

光接入系统和 PONs 是光边缘网络的补充，可划分为企业 DWDM 接入系统和无源光网络系统。

企业 DWDM 接入系统为企业用户提供低成本的基于波长的业务，支持企业数据业务，如 ESCON/FICON、GE、Fiber Channel 及高速专用线。

无源光网络系统瞄准城域网末端连接需求，通常采用树形分支拓扑结构提供从业务局到中小规模商业用户间的“最后一公里”连接。PON 系统可以显著提升网络用户的带宽。

对不同运营商来说，光网络边缘有诸多不同的定位，运营商网络的多样性导致光边缘网络设备的多样性。

不同厂商光网络系统的交互操作对光网络的发展非常重要，ITU 和光互连网论坛（OIF）正致力于交互操作和互连研究，并已取得一些进展。ITU 的研究集中于开发光层内互操作标准，OIF 则更多关注光层和网络其他层间的交互操作，集中进行客户层和光层之间接口定义的开发。

6.3 光交换网络和技术

以往的网络一直基于电路层面，包括 WDM 网络技术的应用也集中于静态单波长。现有网络结构虽然支持多业务和传输协议，但往往是每类业务的数据流均由专用的波长承载，而光网络核心单元则由 OADM 和 OXC 组成。采用波长路由方式承载具有突发性的因特网业务还存在电路交换网络的种种缺陷，从而造成光带宽利用的低效率。

随着光网络规模的迅速扩展，光传送网的角色已经从大容量带宽传送转变为提供端到端的服务连接。IP over WDM 没有 ATM 和 SDH 层，而需要交换光网络以有效的交换方式来处理突发 IP 业务。因此，自动光网络设计将成为主要目标，即如何把相对粗颗粒的 WDM 技术和光交换优势结合起来，形成一个大吃吐量的基于光通道层的自动光网络平台。采用类似因特网结构来设计光网络将是必然的选择。

在这个平台上，光交换可动态地向路由器分配光网络资源；在网络性能下降时，维持优先级别较高的业务（网络恢复）；快速自动连接数据业务模式与光网络资源。

1. 光交换网络

光交换网络可分为内、外两个功能层。外层为电层，完成业务汇聚和 IP 包路由功能；内层为交换光网络（SON），基于光技术完成传输和低层交换功能；边缘交换单元（ES）位于上述两层的边界，完成 IP 包和 ES 光包间的组装/分拆。光包一旦组装完成即进入 SON，由 SON 将光包从源 ES 传送到目的 ES，业务在目的 ES 进行分拆，并分发到目的网络。SON 交换单元称为核心交换单元（CS），并通过 WDM 光传输网络相互连接。CS 在光域完成光包转发，同时完成 WDM 链路统计复用，ES 和 CS 采用 MPLS 技术可以简化光节点包转发过程。

SON 有光透明包网络（OTPN）和光突发交换（OBS）两种传输模式。OTPN 基于定长包和同步节点操作，由于固定长度包的传输效率低和光包同步处理的难度大，目前，OTPN 技术尚不成熟；OBS 基于可变长度包和异步节点操作，是介于电路和包交换之间的技术，它的传输效率高、较易实现，为光网络发展开辟了新的空间。

为适应电信业务从电路交换向分组包交换的转变和 IP 业务迅猛增长和广泛应用，以光层网络完成传输功能和交换功能的方案极具吸引力。新一代网络的目标是建立一个透明的光层网络，在光域实现信号的交换、传送和管理，提高宽带网络的可靠性和可恢复性。

2. 光交换网络技术

光交换指对光纤传送的信息直接进行交换，有 5 种交换技术：空分光交换、时分光交换、波分光交换、复合型光交换及自由空间光交换。

空分光交换将光交换元件组成门阵列开关，控制门阵列开关，即可在任一输入光纤和任一输出光纤之间建立通路。

时分光交换与时分电交换的原理完全相同，并能和采用全光时分多路复用方法的光传输系统匹配。时分光交换模块由光存储器（如光纤延迟存储器、双稳态激光二极管存储器）、光选通器（如定向复合型阵列开关）等构成。时分光交换网则由时分光交换模块和空分光交换模块综合组建。

波分光交换充分利用光纤和光路的宽带特性，可调波长滤波器和波长变换器是实现波分交换的基本元件。

复合型光交换是一个交换网络中同时应用两种以上光交换方式的技术。

自由空间光交换可以看作是一种空分交换，然而这种交换方式在空分复用方面具有显著的特点，尤其是它在 1mm 范围内具有高达 $10\mu\text{m}$ 量级的分辨率。因此，自由空间光交换被认为是一种新型交换技术。

华为通信产品和网络解决方案综述

华为技术有限公司（以下简称华为公司）是通信系列设备的制造商和网络供应商。她专注于电信设备的研究、开发、制造与销售，为客户提供交换和接入、传输、移动通信、数据通信、智能网、支撑网、会议电视、图象监控、CATV 等主要通讯设备和客户化网络解决方案。

华为公司的产品既支持现有通信网的优化，又引导其平滑地向新一代通信网演进。她提供的网络解决方案和支持这些方案的成套产品不仅在国内通信网中得到了广泛应用，而且还以其优良品质、高性价比、即时供货和完备服务赢得了海外客户的青睐。华为公司正以优秀的企业文化、先进的技术、有特色的产品和以客户为本的网络解决方案进入国际市场。HUAWEI 品牌和 C&C08、C&C08 iNET、HONET、M900/M1800、Radium、Quidway、IP inside、OptiX、TELLIN、ETS、SYNLOCK、InfoLink、ViewPoint、Intess 等产品品牌已走向世界。本章将简要介绍华为公司系列产品和网络解决方案的主要特点和应用。

本章主要内容：

华为公司主要产品和解决方案的特点

- 华为公司产品和解决方案在通信网中的应用

1 华为 C&C08 数字程控电话交换机

华为公司的 C&C08 交换机由多个交换模块（SM）和一个管理及通信模块（AM/CM）组成，交换机结构如图 85 所示。

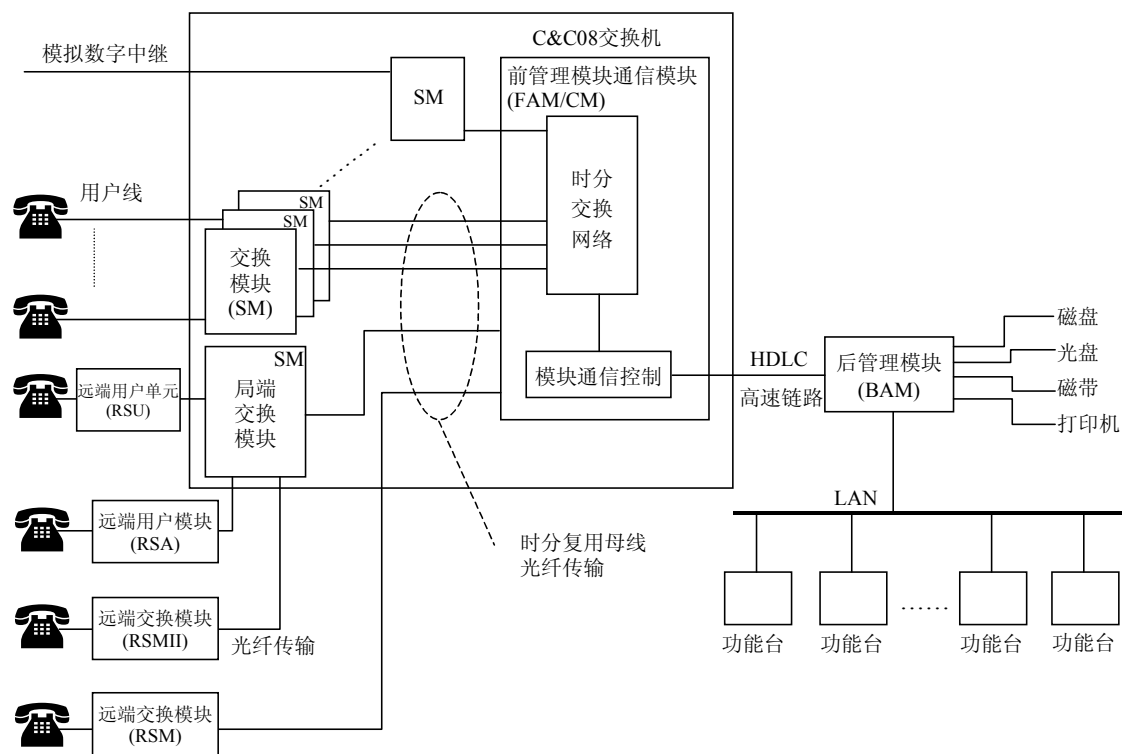


图85 交换机结构框图

1.1 交换模块

交换模块（SM）包括单T交换网络（NET），接口单元和控制及通信单元三个功能块。

NET 是容量为 4K×4K 的单T交换网，主/备双份配置，目前，由 4 片 2K×2K 的 T 网 ASIC 芯片 SD509 (华为公司产品) 构成。一个 SM 内的 NET 独立完成本 SM 内呼叫的交换，并能配合 AM/CM 中的中心交换网络 (CNET) 完成不同 SM 间呼叫的交换。每个 SM 的 NET 有 512 个话路（时隙）经过 2 条（一主一备，负荷分担）32.768Mb/s 复用光纤链路连接到 CNET，并由 CNET 完成与其它 SM 内 NET 的话路交换。此外，每个 SM 与 AM/CM 间还配置一条 2Mb/s 的 HDLC 链路，传送共路信令。

接口单元完成 C&C08 交换机内部数字信号格式和各类通信业务终端的数字信号格式或模拟信号间的转换。因此 SM 的终端可以是模拟话机或模拟用户线、模拟中继线、数字终端或数字用户线，数字中继线等。

控制及通信单元主要控制 SM 的运作，并具有各种音信号的产生和检测功能、呼叫测试及特殊的呼叫处理功能。

交换模块（SM）相当于话路系统。一个 SM 的容量是 4000 条 64kbit/s 话路，能完成交换机中 90% 的呼叫处理功能和电路维护功能。其中呼叫处理功能包括对呼叫源的描述、拨号音发生器、号码接收与分析以及呼叫监视。

SM 包括本地（局端）和远端等类型，按功能可分为用户模块（USM）、远端用户模块（RSA）、远端交换用户模块（RSM）、远端用户单元（RSU）、中继模块（TSM）等。远端交换模块（RSM）可用光纤链路拉到距母局远达 50km 的地方。对于一些用户数较少的社区，安装 RSM 比新建一个交换局更经济、合理。

本地（局端）SM 与 AM/CM 一起装在母局内。AM/CM 通过其 CNET 把若干 SM 整合成大容量交换网，扩容方便。一个 SM 亦可当做独立局用。局端 SM 可为一个或多个远端模块 RSMII、RSA、RSU 提供远端接口

1.2 管理与通信模块（AM/CM）

AM/CM 模块起到中央控制系统的作用。AM/CM 是通信模块（CM）和管理模块（AM）的合称。这是因为 AM 在硬件上几乎与 CM 合为一体，而其管理功能主要通过软件来实现。

CM 主要由通信控制单元、中心时分交换网络（CNET）单元、光纤接口和时钟同步单元等功能单元组成。

通信控制单元管理各个分散的 SM 控制系统，完成 SM 模块间信令的转换、维护测试及前后台通信。目前，满配置时，通信控制单元可带 64 个 SM。模块间通信及控制系统采用了对称双平面结构，以保证整机具有高可靠性。

中心时分交换网络（CNET）是由 16 个 $4K \times 4K$ T 交换网交叉连接而成的 $64k \times 64k$ (65536×65536 时隙) 大容量时分交换网络，可支持 64 个 SM 间主/备共计 $2 \times 64 = 128$ 条 32.768Mb/s (512 个时隙) 光纤链路的连接，主要完成各交换模块（SM）间话路数字信号的时分交换和交换网络自身的一致性维护等功能。

CNET 采用时间交叉流水作业方式来实现大容量快速交换。它有 32.768Mb/s (512 个时隙) 光纤总线 $2 \times 64 = 128$ 条，分别与 64 个 SM 的 $2 \times 64 = 128$ 条 32.768Mb/s (512 个时隙) 光纤总线相连，如图 86 所示。

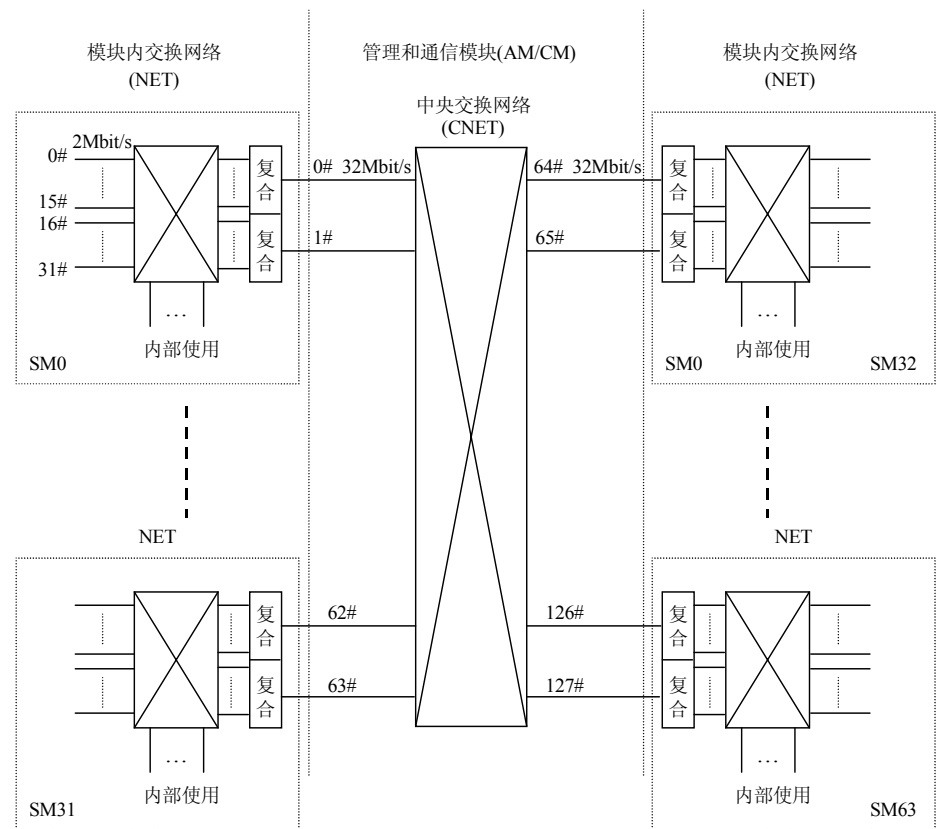


图86 C&C08 交换机交换网络结构(64K×64K T 网)

通过叠加 SM 模块，C&C08 交换机可支持多达 $4096 \times 64 = 262144$ 个时隙有主备功能的交换。交换机的模块化设计和利用模块叠加实现增容是 C&C08 交换机的特点之一。

光纤接口单元完成电信号与光信号的转换，并通过串口监控线路、2Mb/s 的 HW 通信线路和 32Mb/s 话路数据线路 3 种链路将 AM/CM 与各 SM 连接起来。光纤接口单元中所有板件都双备份配置。

时钟同步单元产生供系统内部使用的时钟基准，可为交换机提供二级 A、三级基准时钟信号、同步信号及时钟选择信号等。

此外，CM 还包含告警电路(ALM)，它驱动告警箱完成声光告警功能，并将告警消息发往 BAM。

AM 又分为前管理模块 (FAM) 和后管理模块 (BAM)。

前管理模块(FAM)对系统中所有操作进行总控制和管理。该控制功能主要包括路由、资源分配、数据存储、备份和输入/输出等功能。FAM 是 SM 与后台 BAM 的分发和转发站，各模块的工作状态都经 FAM 送 BAM 及各功能台，告警信息由 FAM 处理后送告警箱。

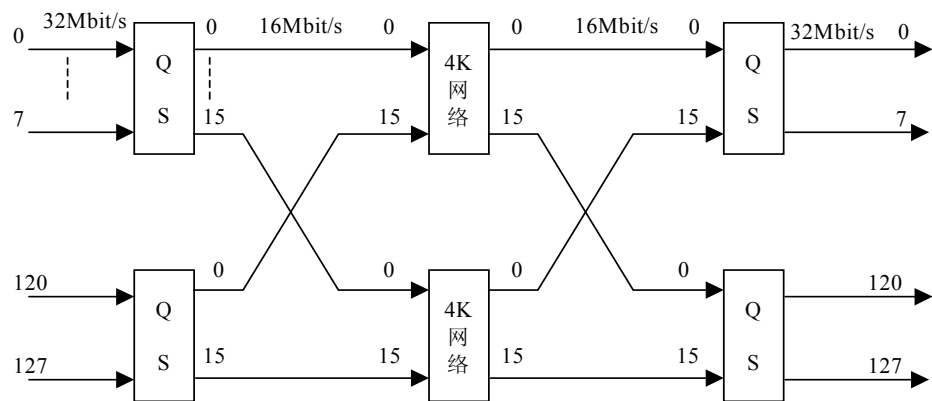
后管理模块（BAM）以 LAN 的形式将维护台、特服台、计费台、服务器等组成后台终端系统。BAM 由一台装有专用软件的计算机终端构成，通过 2 条 HDLC 链路与 FAM 通信。BAM 可根据实际需要选配光盘作数据备份、话单备份的媒体。

1.3 C&C08 交换机的分级交换过程

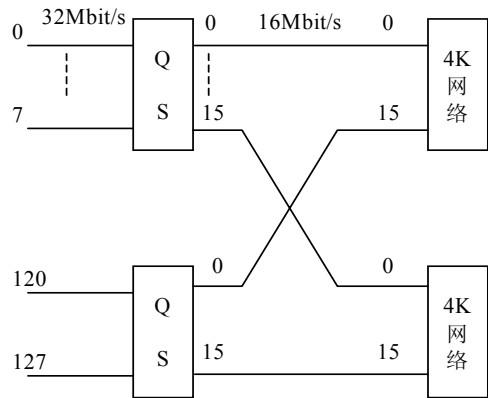
C&C08 交换机在 SM 的 NET 和 AM/CM 的 CNET 两级进行纯时分交换。

NET 级以 4096 个时隙为一组，在一个 SM 内由 2 个 $4K \times 4K$ T 网按主/备负荷分担方式实现相互间无阻塞自由交换。交换控制由 SM 内多达 38 个 CPU 处理机构成的多处理机主控系统控制。每个 SM 有主/备 2 条 512 个时隙（32.768Mb/s）的 SM 模块间时隙交换总线连接 CNET。

CNET 是一个 $64K \times 64K$ T 网，有 128 条 512 时隙（32.768Mb/s）总线连接 64 个 SM。128 条 512 时隙（32.768Mb/s）总线每 8 条为一组，共 16 组。每组通过快速开关网（QSN）切换成 16 条 256 时隙（16.384 Mb/s）总线，分别连接 16 个 $4K \times 4K$ T 网。于是，每个 $4K \times 4K$ T 网共连有 16 条 256 时隙（ $16 \times 256 = 4096$ ）总线，正好满负荷。图 87 以单向和双向两种方式画出了 CNET 的连接示意图。



(单向线画法)



(双向线画法)

注： QS 快速开关
图87 中心交换网络(CNET)结构(64K×64K T 网)

当某一 S M 中的主叫用户呼叫另一 SM 中的被叫用户时，主叫 SM 发出连接请求，经 HDLC 光纤链路送往 AM/CM 内的中心交换网络单元 CNET，控制 CNET 的时隙交换，并由 CNET 将时隙交换分配的结果再经 HDLC 链路送回主叫 SM。

由于一个 SM 中的 4096 个时隙只能经由 521 个时隙的总线通过 CNET 与其它 SM 中的时隙实现交换。这种交换将是有阻塞（受限于 512 个时隙的总线）的交换。

1.4 C&C08 交换机的特点和应用

上述 C&C08 机的交换过程表明，C&C08 交换机有如下特点：

(1) 双备份分级时隙交换；模块化设计，交换模块之间采用高速光纤连接，可通过模块叠加实现扩容；容量可达 80 万用户 / 18 万中继线，无收敛可达 12 万中继，中心网络可平滑扩至 128K，BHCA 达 6000K；集成度高，功耗低，10 万中继线仅用 9 个机架，功耗低达 8.2KW；

(2) 多层次分散控制结构，多处理机主控系统，信令处理能力强，每条链路负荷 0.85Erl，处理能力 340MSU / s；支持国际 No.7 信令和 2M 高速 No.7 信令链路；多信令点编码达 16 个，无须对端局配合，突破同一局向只能开 4096 条电路的限制；内置信令监视仪功能；

(3) 有 STM-1 光/电接口，可通过拨键开关灵活选用，交换设备之间采用透明传输，突破了传输与交换分离的概念；

(4) 具有端局、长市农合一局、汇接局、长话局、长市合一局、网间接口局和国际接口局的全部接续功能；信令转接(STP)功能；先进的商业网、CENTREX 和酒店接口功能；号码转译，中继双向计费和信令转换功能；实时话务统计功能，统计周期在 1 分钟至 24 小时可调，还可对网管指令的执行情况进行统计；

(5) 提供 2B+D、30B+D、V_{5.2}、PHI 等接口和 V.35 接口，具有 ISDN 功能；可接入 Internet、PSPDN、ATM、DDN 等数据网、多媒体通信网和用户接入网，具有话音/数据/图象等综合业务功能，可实现数据通信、会议电视、多媒体通信、VOD、远程医疗和远程教学等窄带与宽带业务；

(6) No.7 信令、中国 1 号信令、R2 信令、No.5 信令、V_{5.2} 接口支持的信令等多种信令板槽位兼容，仅需通过软件选置信令；

No.7 信令 14 位与 24 位自动识别。已实现和 S1240、5ESS、EWSD、AXE-10、F-150、E₁₀-B、DMS100、NEAX61 等机型的 No.7 信令互通；

(7) 具有性能完善的网管功能，组网方式灵活，同时可提供 Q₃ 接口接入 TMN 和信息产业部软件中心 NOMA 网管系统。

2 C&C08 iNET 综合网络平台

C&C08 iNET 综合网络平台是华为公司自主开发的新一代网络交换系统，提供新一代网络端到端的解决方案。

C&C08 iNET 具有面向下一代网络分层体系的结构，各个层次的网络构件包括核心分组交换构件 BNET、CALLSERVER、ISN、线路接口模块 ALIM、多业务接入模块 MA、综合网管系统 iManager-N2000 等。运营商可以根据网络实际需求灵活选择其中的一个或多个构件组成个性化、有针对性的网络解决方案，其网络化体系结构如图 88 所示：

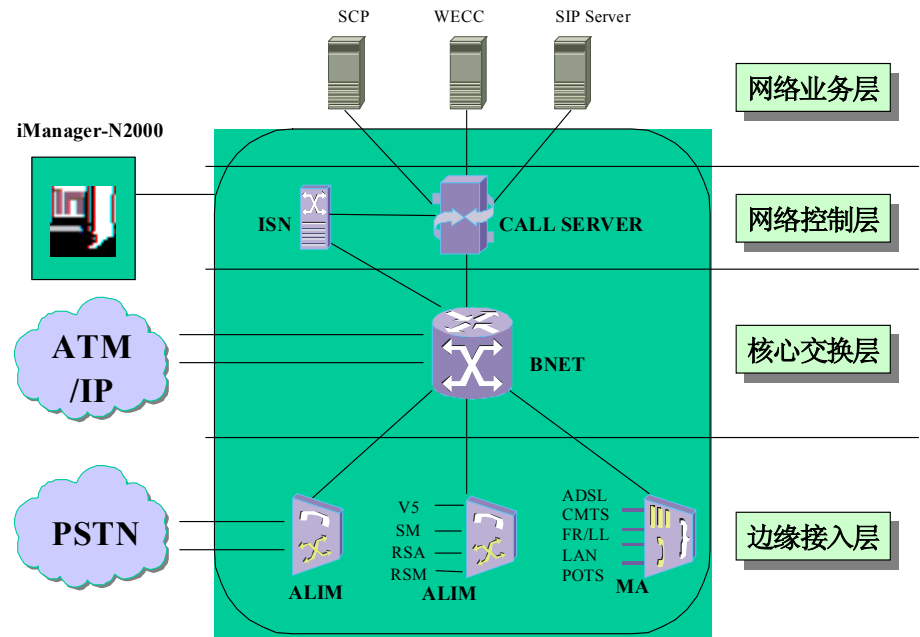


图88 C&C08 iNET 网络化体系结构

C&C08 iNET 大容量核心分组交换构件 BNET 融 ATM、IP、MPLS 交换于一体，并兼有 C&C08 交换机的话音业务功能，可支持各类宽、窄带业务。

BNET 在富有弹性的分组交换平台上实现 ATM、IP、MPLS 统一交换，适合建设低成本、高性能的数据业务网络。BNET 采用与协议无关的统一交换网络结构，交换容量为 15~25Gb/s，系统的设计保证可平滑扩容到 160Gb/s，通过网络接口提供对 ATM、IP 和 MPLS 交换的支持。

C&C08 iNET CALL SERVER 具有强大的话音业务处理能力，在统一交换平台基础上，不仅支持宽带业务，而且可以通过线路接口模块 ALIM 提供电路方式的 SDH 155M/E1/T1 中继接口，可用于局间中继、V5 接口、连接远端交换模块 RSM II 及一体化模块 RIM，并可连接交换模块 SM，最大程度地兼容 C&C08 交换机的硬件及业务，为用户提供 Centrex 业务、酒店业务、秘书/秘书台业务等高质量话音业务，结合数据业务为用户提供综合的一揽子解决方案，提升网络竞争力。

C&C08 iNET 具有广泛的适应性，可以承建大容量长途局/汇接局/关口局、综合业务端局，并能在宽带城域网中发挥重要的作用。

C&C08 iNET 对网络建设的适应性主要表现在以下几方面：

(1) 继承窄带 C&C08 交换机的所有功能和特性，支持 POTS/ISDN/ADSL/LAN/FR/CES/DDN 等多种接入方式；

(2) 支持 VToA/VoIP 等分组话音网关功能，并支持 Internet 拨号接入功能 (RAS);

(3) 支持 SDH/ATM/IP 的混合传输方式，内置 ATM 622M VP Ring 的传输功能;

(4) 支持 ATM/IP/MPLS 的多业务分组交换，一机双平面，具有 FE/GE/POS(Packet over SDH)/ATM 等多种大容量分组接口，并支持强大的三层路由功能;

(5) 可以与多种智能服务器 SCP/WECC/SIP Server 相连;

(6) 综合网管支持统一 PVC 配置、统一业务管理、VPN 用户管理及 Web 网管接口。

C&C08 iNET 以分组交换技术为核心的宽带综合多业务交换机已成功在重庆沙坪坝、深圳黄木岗、北京二里庄、东单等地开局，提供多种宽带业务。

3 HONET[®]综合业务接入网

华为公司接入网产品包括 HONET[®]综合业务接入网和无线接入系统 ETS[®]两大系列。

3.1 HONET[®]综合业务接入网

HONET[®]系统处于本地交换局 (LE) 和用户之间，由交换局侧的光纤线路终端 (OLT) 和用户侧的众多光纤网络单元 (ONU) 和连接它们的接入网传输设备组成。它集光纤接入、无线接入(WLL)和铜缆接入于一体，有 ADSL、LAN、HFC、FR、CES、POTS 等多种接入方式，能按链形、树形、环形等拓扑结构灵活地组织可运营和可管理的网络，实现光纤到路边(FTTC)和光纤到大楼(FTTB)，提供宽带接入，支持电话、数据、视像等综合业务。HONET 系统与交换机以开放的 V_{5.2} 接口相连。当交换局为 C&C08 交换设备时，还可以使用功能更强的内部协议，提供更多的新业务并进一步降低成本。

该系统具有如下应用特点:

(1) OLT 以 V_{5.2} 接口与 LE 相连，以同轴电缆视频接口与 CATV 中心连接，以同轴电缆调制/解调器接 ATM 交换机;

(2) OLT 以光纤网络连接各 ONU 组成树形、环形结构的网络，在这个光纤网上可采用 SDH 或 PON 等传输方式;

(3) ONU 以 2B+D 接口连接远端用户 RSU，以 HDSL 或 WLL(无线本地环路)与基站控制器 (BSC) 相连;

(4) ONU 可采用双绞线提供话音、普通传真和低速数据等业务和连接用户的计算机或其它 ISDN 终端；通过同轴电缆 CATV 网络连接用户家中的 STB（机顶盒），提供 CATV、数字电视和 VOD（视象点播）业务；

(5) HONET 接入网的网管系统通过数据通信网（DCN）与 OLT 相连。

(6) HONET 可支持不同用户群的个性化接入网解决方案，例如，企业解决方案、信息校园解决方案、数字酒店解决方案、多种接入方式的智能小区用户解决方案等。

3.2 ETS 无线接入系统

ETS 系统由基站控制器(BSC)、基站(BS) 和无线用户终端组成。BSC 的主要功能是分配无线信道和提供与交换机间的信令接口。基站和无线用户终端提供连接用户的无线收发信道。无线用户终端用以连接电话机、传真机等各种终端设备和提供网络维护管理功能的 NMS。

在 ETS 系统中，基站与基站控制器的连接方式有 2B+D 的 ISDN 用户线（线径 0.4mm，可传输 5km~7km）；普通用户线（线径 0.5mm，可传输 5km~7km）和光纤传输或数字微波传输的 PCM 2Mb/s 接口。

ETS 的基站控制器与本地交换机(LE)的接口类型有 PCM 2Mb/s 数字接口，并采用中国 1 号（或 R2）信令和 No.7 信令以及标准 V_{5.2} 接入网接口，并提供 No.7 信令、MFC 信号到 V_{5.2} 协议的转接。

ETS 系统可使用 450/150 MHz、800MHz 和 1900 MHz 多个频段，华为公司提供 ETS450 和 ETS1900 两种无线接入系统产品。它们有 4~32 信道，可积木式扩容；能支持多种新业务和多种方式计费；一个 BSC 可带多达 16 个基站，组网灵活，且成本仅为国外同类 WLL 产品的 1/3~1/4 等特点。

4 数字移动通信系统

华为公司能提供 GSM、GPRS、CDMA、移动智能网等数字移动产品和客户化移动通信全方位解决方案，在移动核心网络领域具备了领先的技术优势。

华为 GSM 系统全面支持 GPRS 业务，同时，其前瞻性的设计能充分满足 2G 移动网络向 3G 演进的需要。华为公司即将推出 WCDMA 及 CDMA2000 第三代移动通信系统，满足移动宽带上网的需求。

4.1 M900/M1800 GSM 系统

华为 M900/M1800 GSM 系统采用全模块化结构,可双频(900MHz/1800MHz)工作。

BTS 单机柜最大支持 12 套 TRX, 实现从 S1/1/1 到 S24/24/24 (同步站型)平滑扩容而不浪费任何部件。BTS 采用数字容差射频技术, 保证了基站性能的一致性和长期稳定; 八种双频切换算法, 四层 16 级分层分级控制策略, 满足异种机型的双频组网。

Abis 接口提供 15: 1 复用, 节省传输链路, 并支持 SDH、PON、HDSL、卫星链路等传输方式。All-in-One 的基站把基站设备和光传输设备、监控、电源 (-48VDC、+24VDC、220VAC 等) 集成在一起, 降低了系统的综合成本。

大容量 BSC (支持 1024TRX) 减少了切换, 提升了网络质量。

移动交换机和网关 (GMSC) 的汇接能力强 (12 万中继), 有强大的话单存储能力 (3 个月的话单存储能力), 具备丰富的接口 (SDH155 光/电中继接口、ATM 接口), 支持 2M 信令链路和多信令点技术, 集成了 SSP、IP 网关等功能, 可采用 GMSC/SSP 合设方式建设移动智能网。

4.2 华为 GPRS 解决方案

华为 GPRS (通用分组无线业务) 是一个面向未来无线互联网的完整解决方案, 为运营商提供了一个巩固和提高市场地位的手段。

华为 GPRS 由 GPRS 业务支持节点 SGSN、关口支持节点 GGSN、分组控制单元 PCU、iManager M2000-G、计费网关、DNS 和 RADIUS 服务器、防火墙以及边缘路由器等构成。华为的全套电信级 GPRS 解决方案是只需对原有 GSM 系统进行软件升级即可实现向 EDGE 和 3G 平滑过渡的方案。

SGSN 以华为的通用宽带交换平台为基础, 由可扩展的中央核心分组交换网和功能单元组成, 提供移动性管理、会话管理、安全性管理、GPRS 用户分组数据路由和计费等功能。

GGSN 基于华为的通用路由平台, 实现路由选择功能、IP 地址分配、与外部网络协议的转换、计费等功能。华为 GGSN 还可与 SGSN 合设为 GPRS 支持节点 (GSN)。

SGSN 和 GGSN 都提供丰富的物理接口, 如 E1/T1、STM-1、ATM、E3/T3、高速串口、高速以太网口等, 满足不同结构的组网方案, 减少复杂组网时需要外置的设备。

GPRS 基站系统可在原 GSM 基站系统基础上，对 BSC、BTS 做软件升级来实现或直接采用支持 GSM/GPRS 业务的基站系统。

分组控制单元（PCU）是 GPRS 系统无线网络部分的功能实体，它与 GPRS 的 BSC、BTS 一起完成在 GPRS 移动台和 GPRS 业务支持节点 SGSN 之间传送分组数据包的功能，支持无线资源在电路业务和分组业务之间动态分配。它的最小配置为 120 个分组时隙，可根据用户需要平滑扩容到 7200 个分组时隙。一个 PCU 可连接一个或多个 BSC，最多可带 114 个 BSC（可处理 6080 个激活的分组信道），组网灵活。

华为 GPRS 支持节点（GSN）和 PCU 产品可支持 80 万用户，节省 IP 地址资源，便于网络组织。G-Abi 接口支持 CS-3、CS-4 无需硬件升级，节省升级成本。

华为 GPRS 采用独特的下行功率控制算法，以提高无线网络容量，并能支持多协议标签交换技术，以提供更好的 QoS 保证和提高通信质量，它还支持话音信道和分组信道间的动态转换，以提高无线资源利用率。

GPRS 操作维护中心 iManager M2000-G 基于华为综合网管平台（iManager），继承了 GSM 网管的优良特性，支持向 3G 网管系统的平滑演进。华为 iManager M2000-G 采用全中文图形界面，直观的网元拓扑管理，支持设备级、iManager M2000 级和网管级三级操作维护和网管。

华为 GPRS 网络已在中国沈阳、大连、福建漳州等地的移动本地网中开始应用。

4.3 华为 CDMA2000 移动通信系统

3G 标准技术体制 IMT-2000 家族中 WCDMA 和 CDMA2000 两种技术将是 3G 主流技术。我国 CDMA 网络不论从规模还是业务都远远落后于 GSM 网络，而且 GSM 网络开始启动 GPRS 分组网络的大规模建设，在这种背景下，华为认为运营商采用 CDMA2000 1X 建设 3G 是比较合适的选择，它可以后向兼容 IS-95 窄带 CDMA 系统，保障 IS-95 手机可以继续使用，使运营商处于有利的竞争地位。

华为 CDMA2000 移动通信系统包括无线接入网和核心网两部分，其中核心网由电路域（CS）和分组域（PS）两部分构成，接入网包括基站（BTS）及基站控制器（BSC）。

CDMA2000 核心网主要支持多媒体和语音/数据等多种业务；无线接入网则负责无线资源的管理。

华为 CDMA2000 核心网建立在 C&C08 iNET 网络平台基础上,并在无线智能网业务、分组数据网络及业务方面做了改进,能很好的保证电路域业务与 IS-95 的业务兼容性。CDMA2000 电路域包括 MSC/VLR、HLR/AC,主要完成移动用户的话音业务;分组域主要包括 PDSN、HA、AAA 等设备,完成用户高速分组数据业务。

华为 CDMA2000 移动通信系统可同时支持分组和电路型业务,包括高速互联网访问、移动电子商务、交互式游戏 / 远端教育、远端办公 / 医疗会诊、高速文件传送、多声道 / 多语音 (可视) 会议电话、视频点播、移动多媒体等实时媒体业务和宽带数据业务。

华为 CDMA2000 移动通信系统核心网络采用分布式处理系统,具备平滑升级和扩容的能力。分组交换能力可从 25G 扩充到 160G,电路交换可提供 128K 交换能力。随着 IP 技术的成熟和 IP 网络 QoS 的改进,未来华为 CDMA2000 核心网将基于全 IP 交换,最终实现有线/无线一体化的全 IP 网络,在提供宽带分组数据业务的同时,以 VoIP 方式提供语音业务。

5 数据通信产品

华为公司数据通信产品包括基于综合业务的 Radium 和基于 IP 业务的 Quidway 两大系列。它们覆盖了从核心交换平台到骨干交换层、边缘交换层、末端接入层直至用户终端层以及业务和管理系统等应用层面,全方位满足不同用户的组网需求,支持传统通信网络向分组化、综合化、宽带化、智能化及个人化演进。

核心交换平台支持业务信息流大容量、低成本、动态灵活和安全可靠地传送与转移;骨干交换层保障网络业务以电信级质量进行交换;边缘交换层主要实现业务的汇聚与分发;

末端接入层满足最终用户丰富多样的接入需求;

业务和管理系统负责智能增值业务生成与提供以及整个网络的统一管理。

Radium 系列产品包括 Radium A25 接入交换机 (2.5G)、Radium 1202 局域网接入器、Radium 8750 骨干性综合业务交换机。综合业务产品还包括 MD5500 多业务汇聚分发设备、MA 5100/5200 多业务接入设备等。

Quidway 系列包括电信级 Quidway A8010 IP Phone 系统;电信级 Quidway A8010 Master 接入服务器、Quidway A8010 Refiner 接入服务器;Quidway NetEngine 50 核心路由器、Quidway NetEngine 16/08 骨干路由器、Quidway R1602、R2608/2609、R3680、R3640、R4001 等路由器和 Quidway

VRP 通用路由平台；Quidway S2403/S2403F 以太网交换机和 Quidway S6000/5000 系列可堆叠模块化中心交换机等。

末端接入层 ISDN 终端产品系列包括 Quidway TA128pro/TA128 S ISDN 终端适配器、Quidway T801 网络终端（NT1）、Quidway T802 智能网络终端（NT1 plus）、Quidway T833 ISDN 接入适配卡、Quidway ITTEL64A/T810 数字话机等。

iManager N2000 则是数据通信综合网管系统。

华为连续推出的系列高端路由器打破了国外厂商一统高端路由器的市场格局。在中低端网络设备上，华为 R1600、R2500、R2600、R3600 系列路由器在金融、政府部门等行业获得广泛应用。华为正日益成为国际化的数据通信解决方案供应商。

5.1 Radium 系列 ATM 设备

目前，Radium 系列 ATM 设备包括 Radium A25 接入交换机（2.5G）、Radium 1202 局域网接入器等。

1. Radium A25 接入交换机

A25 接入交换机是适于 ATM 公网做边缘接入或专网作节点（骨干）交换的 ATM 交换机。它采用无阻塞共享存储器交换结构，最大可存储 64K 个信元，交换容量为 2.5Gbit/s。

能支持点对点、点对多点虚连接，提供广播和组播功能，支持 VP 和 VC 交换，提供永久、半永久虚连接 PVC 和交换式虚连接 SVC。

A25 具有多个时延优先级和丢失优先级的流量控制功能，信令系统能够支持 ATM 论坛的多种信令协议，为灵活地控制呼叫/连接资源提供了强有力的保障；具有基于标准网络平台（NetView）的 ATM 网管系统和基于 SNMP 协议的标准网管接口，可在后台实施网络及设备的配置、性能监控、拓扑、计费等功能，在前台实施维护管理功能和符合 ITU-T 建议 I.610 规定的 OAM 功能。

整机模块化设计，交换模块和控制模块均 1+1 备份，业务板可带电热插拔、槽位兼容，电源主备份、负荷分担，机箱风扇智能控制，系统具有较高的安全性和可靠性。

2. Radium1202 局域网接入器

L1202 局域网接入器是 Radium 系列交换机的外围设备，实现 Ethernet 到 ATM 的无缝接入，使 Ethernet 以少量投资即可享受 ATM 主干网资源，并具有虚拟局域网（VLAN）功能。

L1202 支持 LAN 仿真协议 LANE 1.0/2.0 和 MPOA，其信令系统支持 ATM 论坛的 UNI3.1/4.0 和 ITU-T 的 Q.2931、Q.2971 信令协议。

L1202 的接口包括 STM-1/OC-3C 单模/多模光纤接口(UNI)和 10/100Base-T 以太网接口。

3. 多业务路由交换机

Radium 8750 多业务路由交换机采用“一机双平面”体系结构和大容量高性能设计，具有卓越的系统扩展能力，适合做通用的路由平台 VRP™。

所谓“一机双平面”体系结构是指 Radium 8750 有单一的交换平台和双业务平面，即一个设备可同时实现 ATM 交换机和 IP 高速交换路由器两类功能。双平面无级调配，不同 QoS 要求的业务均达最高效率，不存在 IP Over ATM 的弊端。

Radium8750 具有先进的 QoS 保持体制、强大的诊断功能（端口自环，端口激活/去激活）、多级告警处理机制（声光报警）、一体化、全中文网管系统、多种操作维护方式（WEB, Telnet, Console, 网管）、软件可在线升级、所有单板支持热插拔、可使用直流电源或交流电源等优点。

4. 多业务接入设备

MA5100 多业务接入设备是华为公司自主开发的宽带接入产品系列，以适应网络宽带化发展的需要，给用户从窄带过渡到宽带全面的解决方案。

MA5200 多业务接入设备是华为技术有限公司自行研制的以太网接入处理系统，可以提供智能小区的以太网解决方案，为用户提供高速上网、视频点播、网络互连等多种业务，能对用户进行有效管理，保证网络安全可靠，并提供多种计费策略，为电信网络的建设和营运提供新的方式。MA5200 以太网接入系统有着传统以太网设备不具备的功能特点。

5. 多业务汇聚分发设备

MD5500 多业务汇聚分发设备适于作为城域网的汇聚层节点设备，它集 ATM 交换、宽带接入服务器、宽窄带一体化接入、语音网关功能于一体，为用户提供综合的数据、语音解决方案。

MD5500 具有 5G ATM 交换容量，支持单播、多播 PVC，支持 CBR、rt-VBR、nrt-VBR、UBR 业务，提供 LAN、FR、CES 业务接入。系统内置宽带接入服务器（BAS），提供 IP 业务接入功能，支持 PPPoA、PPPoEoA、IPoA 等多种接入协议，可实现 PPP 终结和续传；支持 RIPII、OSPF 等多种路由协议，提供路由转发功能；具备强大的电信级用户管理、计费、统计、维护功能。MD5500 还提供宽窄带业务的统一接入功能，在网络侧提供标准的 V5 接口与

PSTN 5 类交换机对接，在用户侧支持 POTS、ISDN 业务的接入，宽窄带业务共享传输带宽。同时还具有 VoDSL 语音网关功能，实现 ATM 网络中分组语音与 PSTN 的互通。

MD5500 提供灵活的组网能力，下行既可以通过 SDH 传输设备与接入层节点进行组网，也可以直接通过内嵌的传输系统与接入层节点进行星型连接或组成 ATM 环，还可以采用 APON 组成树型网络。上行提供 ATM 接口、FE/GE 接口和 POS 接口，满足与不同核心层设备对接的需要。

5.2 Quidway 系列产品

Quidway 系列产品包括接入服务器、路由器和以太网交换机等子系列，

拨号接入采用电信级 Quidway A8010 Master 型或企业级 Refiner 型 IP 多业务接入服务器作网关（RAS、VOIP）。

Quidway A8010 接入服务器是具有丰富管理机制的业务平台，是国际上率先提供 No.7 号信令接入、单机容量最大的电信级接入服务器，具有结构设计先进、组网能力强、提供业务灵活、信令支持丰富等特点，可广泛应用于各种不同规模的网络解决方案。

用 Quidway A8010 接入服务器提供门户网站业务，即 PORTAL 业务，是近年来接入市场的一个热点。所谓门户网站业务，就是当用户接入时，接入服务器只允许用户访问特定站点服务器的内容，网络运营商通过该站点向用户提供各类信息帮助，并根据用户访问该网站的情况，决定接入服务器是否开放用户访问其他公网信息。

华为提供从 Quidway NetEngine 80/50/16/08 到 R1600 高、中、低端系列路由器产品，为不同规模的 ISP、企业网和用户提供专线接入及互联方案，为网络运营商构筑新一代开放的、可运营、可管理的 IP 综合电信网络。

大企业分支机构和中小型企业 LAN 及速率低、接入用户较少的接入网节点根据业务流量的大小可以选择 Quidway R36××/263×模块化路由器或 Quidway R260×/25××分支路由器连接 ISP；速率要求高、用户密集的节点和中小型 ISP 可使用 Quidway NetEngine 系列路由器上行到大型 ISP；大型 ISP 除提供拨号接入服务外，还提供专线、VPN、MPLS、QoS 等服务；Quidway NetEngine 系列路由器还可以作为国际出口及与其它运营商网络的互连口，出口类型可以根据具体的出口速率要求选用同步串口、cE1、POS 及 ATM 等。

边缘交换层可采用 Quidway NetEngine16/08 高端路由器或 Quidway S6000/5000 系列千兆位三层以太网交换机实现各种业务的汇聚、分发及本地交换。

骨干核心交换平台可采用 Quidway NetEngine 80/50 电信级吉比特路由器（GSR/TSR）实现业务信息流的大容量、低成本、动态灵活及安全可靠的传送和转移。

以太接入以其高带宽、低成本、简单易用得到了许多运营商的重视，以太网接入建设方兴未艾。在用户大楼内可采用 Quidway S2403(F)，在边缘交换层采用 Quidway S6000/5000 系列以太网交换机实现以太网接入。

6 TELLIN 智能网

TELLIN 智能网是目前能提供业务种类最多的智能网系统，它采用了 NP、AD、PRM 等多项新业务专利和双机热备用、容灾、过负荷控制等多种高可靠性设计及通用的第三方数据库互联技术。它的可伸缩业务控制点（SCP）体系结构具有大容量处理能力和灵活的系统可扩展性。它具有图形化的业务开发和仿真测试工具及灵活、完善的计费体系。业务管理接入点（SMAP）以万维网（WWW）接入提供灵活的业务管理。

华为基于移动、固定和 IP-PHONE 的智能网全方位解决方案和本地智能网解决方案具有领先的业务提供能力，可提供 PPS V1.3(支持 IP-PHONE、短消息、预充值等)、WAD V1.0、VPMN V2.2、FNS、PPS V2.0(支持“梦网”业务、支持银行接口)、WAD V2.0(按位置放音)、CTD、家庭用户、统一帐号、位置信息等类业务；先进的技术支撑独立 IP 及动态语音实时加载、大容量、多业务支付平台的 VC、分布式业务处理、统一网管、SMS、USSD、GPRS；良好的系统开放性支持短消息系统、银行系统、营业系统、Internet 的接口、多硬件平台并兼容 Overlay 及目标网。

目前在采用华为 TELLIN 系统的各类智能网上，所能提供的主要智能业务有固定电话增值业务，包括 ACC-记帐卡业务、FPH-被叫付费业务、VPN-虚拟专网业务、UPT-通用个人通信业务、WAC-广域 Centrex 业务、MAS-大众呼叫业务、VOT-电话投票业务、UAN-通用接入号码业务、NP-移机不改号业务、AD-电话广告业务、PRM-附加费率业务、智能公话业务、通用卡号业务和 TP-电话付费业务；移动增值业务，包括 PPS-预付费业务、亲情号码业务、亲情卡业务、MVPN-移动虚拟专网业务、WAD-移动电话广告业务、彩票业务和统一帐号业务；数据通信增值业务，包括 IP 电话卡业务、IPP 电话绑定业务、Click to Dial 点击拨号业务和 ICW 呼叫等待业务等。

7 OptiX™光传输系列产品

华为公司拥有自主知识产权的 STM-N 复用/解复用、SOH 和 POH 处理、净负荷处理（交叉前置处理）、高速时分交叉网、大模空分交叉网、PDH 支路

接口/映射、时钟处理、分布式控制器等 ASIC 芯片、2.5G 光发送/接收模块、DWDM 光发送/接收模块、EDFA（单通道/17nm/35nm, PA/BA/LA）光放大器和 DWDM 分波器（光纤光栅 /AWG/SOA）等光器件，使它成为世界一流的光传输产品和解决方案的供应商。华为 OptiX™ 系列产品包括 SDH 光传输设备、DWDM 系统、Metro 系列多业务传送平台和 iManager T2000/T2100 网管系统。

7.1 OptiX™ SDH 系列设备

OptiX™ SDH 产品包括从 155M（STM-1）到 10G（STM-64）全套设备，具有如下特点：

- DXC4/1 全交叉连接能力，STM-16 最大交叉容量可达到 128×128 个等效 VC4，并支持网络容量和带宽管理自动化；
- 可构建适用于多局向节点实现仿真 DXC 业务调度的 MADM（多 ADM）设备，一个子架内安装多套 ADM 系统，并支持各套 ADM 中的 VC 通道相互交叉连接，从而可将原本要在大枢纽节点用 DXC 进行大容量业务调度的网路操作分散到几个 MADM 节点上完成，避免用 DCX 进行集中业务调度的高成本和高风险；
- 符合兼容性设计体系的要求，系列产品的板件兼容、工作模式兼容、扩容升级方便，丰富的业务接口，可接入 PDH、ATM、路由器、微波、音频专线、数据等设备，满足多种业务的需求。OptiX™ 2500+ 单子架可直接上下 504 个 2M，适合大容量市话和本地网中继传输；
- 完善的保护机制，全面支持各种复用段、通道、子网连接及 G.842 建议等保护方式，并可通过网管软件灵活设置。通道保护倒换时间小于 10ms（ITU-T 建议 50ms），增强了网络业务的安全可靠性。此外，专有的共享光纤虚拟路径保护技术可将一根物理光纤等效为多根逻辑光纤，实现业务分类保护，保护级别可按 VC12 或 VC4 级别设置；
- 专有的降抖动和时钟锁相技术，保证对话音、STP、数据、图象、基站、时钟等信号的无损伤传输；
- 华为的网管系统可统一管理其所有 SDH 和 DWDM、PON 系列产品；
- 华为公司还将 SDH 技术推向业务接入层。

下面选出 OptiX™ SDH 系列产品中最新的 OptiX™ 10G--STM-64 SDH 设备和将要推出的 256×256 OXC（光交叉连接设备）及 OADM 作一个简单介绍。

OptiX 10G SDH 系统采用多 ADM（MADM）设计，为用户提供“可运营、可管理、高可靠、可扩展”的网络解决方案。系统总容量达 120G，线路提供 2

个 10G 四纤环,支路提供 8 个 2.5G 环,支持 $8 \times 10G$ 、 $16 \times 2.5G$ 、 $32 \times 622M$ 、 $128 \times 155M$ 组网能力。先进的多 ADM 设计,使 OptiX 10G 可在各种速率级别(155M—10G)上配置为多个 ADM 系统,满足线形、环形、网孔形等复杂网络及大型网络组网需要。

OptiX 10G 系统交叉连接能力达 768×768 VC-4,支持 STM-1、STM-4c、STM-16c、STM-64c 业务的交叉,可作为一个本地交叉连接设备使用,实现对复杂网络的业务调配和路由保护。

OptiX 10G 是一个统一高效的业务传送平台,与业界同类设备相比,可节省电源功率 30%和节省机房面积 50%。它支持从 155M 到 10G 的各种速率 SDH 信号传送,还可提供 2.5G POS、622M POS、千兆以太网(Gigabit Ethernet)、快速以太网(Fast Ethernet)等各种接口,实现对 SDH、ATM、IP 业务的综合接入和处理。单子架可实现 $8 \times \text{STM-64c}$ 、 $16 \times \text{STM-16c}$ 、 $32 \times \text{STM-4c}$ 、 $128 \times \text{STM-1}$ 、 $32 \times \text{GE}$ 、 $128 \times \text{FE}$ (100M) 接入。通过扩展子架,OptiX 10G 可实现 2M 级别的端到端业务配置和处理,单机柜可完成 $504 \times 2M$ 业务的上下,并可级联扩展。

OptiX 10G 有最佳的业务保护方案。设备的关键单元采用冗余热备份;155M 电口有 1:5 支路保护;网络级有各种线路保护、子网连接保护(SNCP)、两纤/四纤复用段保护(MSP)、环网间互通业务保护(DNI)以及独有的共享光纤虚拟路径保护等。

截止到 2000 年底,华为在国内承建了 4 个电 10G 市话网工程。

256×256 OXC (光交叉连接设备)提供枢纽节点的大容量、多路由业务汇接功能,使网络具有高度灵活性,并支持向智能化发展。

OADM 自愈环网的应用,为网络赋予完善的保护和恢复手段,充分保障网络安全。

7.2 OptiX™ BWS320G—320G 大容量密集波分复用系统

OptiX™ BWS320G 复用的波长数可多达 32 波,与 10G SDH 设备配套,最大容量可达 320G。OptiX™ BWS320G 采用最新的 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)技术,支持运行稳定、跨距多样和可接入多种业务的光网络解决方案,具有如下特点:

- 完善的光信噪比(OSNR)和色散容纳设计,使系统无电中继传输达 640 公里;
- 两级锁相的抖动抑制技术,通过电再生段级联,传输距离可达 $16 \times 640\text{km}$;

- 大功率掺饵光纤放大器实现包含 40dB(约 148 公里)超长跨距的混合传输；
- 内置光谱分析单元，通过在线光监测口，实现对网络光谱（包括每信道的光功率和光波长）性能的在线监测；
- B1 字节校验功能，准确界定故障发生在 SDH 区段还是在 DWDM 区段，实现故障快速定位。

320G DWDM 系统已规模商用，2001 年将推出 800G/1.6T DWDM 系统并将采用 Raman 放大技术，实现 4000km 的无电中继传输，通过模块叠加实现向 3.2T 的平滑升级。

7.3 OptiX™ Metro 系列多业务传送平台

为满足多业务传送和提供 SDH、ATM 及 IP 综合传输能力的需求，华为公司在 SDH/DWDM 技术基础上推出了 Metro 系列产品。其中包括基于 Metro DWDM 技术的 Metro 6000 系列城域波分复用设备和基于 SDH、IP 和 ATM 技术的 Metro 3000/1000 系列城域传输设备，并提供在宽带数据业务传输中的带宽统计复用、QoS、环网保护和业务处理等方面的解决方案。

华为 Metro 系列产品针对城域网特点而设计，提供从接入层到汇聚层和骨干层的全面解决方案。在业务上，不但保留了对传统 TDM 业务支持，同时能够实现对 ATM 和 IP 各种数据业务的有效支持，为用户提供全面的多业务传送平台(MSTP:Multi-Service Transport Platform)。

Metro 6000 产品是基于 DWDM 技术和 SDH 技术的多业务混合传输平台，适用于大容量接入层传输网络和城域骨干层传输网络的建设。它具有多种开放的业务接口；内置 SDH/TDM 模块；带宽利用率高；组网配置灵活，能实现多种拓扑结构；保护机制完备，可提供设备保护、波长保护及基于 SDH 技术的复用段共享保护；传输容量大，升级能力强等特点。

Metro 3000 系列产品是基于 SDH 传输技术的多业务混合传输设备，结合了 SDH 技术、ATM 技术、以太网技术的优点，适用于边缘层和接入层传输，满足宽带接入网络建设的需求。它具有 TDM、ATM、IP 传输统一；多种业务接入能力（TDM、ATM、IP）；强大的电路和数据交换能力；灵活的混合组网和网络生存能力；带宽利用率高、带宽管理能力强；支持从 TDM 传输到数据传输平滑过渡等特点，是体积小、性价比高的综合传输设备。

Metro1000 是华为公司针对城域网、本地网接入层特点推出的 OptiX™ 155/622H 的增强型版本，是支持 ATM/IP 等宽带业务的 STM-1/STM-4 集成型多业务混合传输设备。该设备结合了 SDH、ATM、IP 的技术特点，不仅保留了 SDH 设备灵活的组网和业务调度能力，而且通过增加 ATM、IP 业务处

理模块的方式，实现对 ATM 业务、IP 业务的有效传输，适应城域网数据业务发展的需要。

7.4 OptiX™ iManager T2000/T2100 传输系列网管

iManager T2000/T2100 是华为公司 iManager 网络管理产品系列的传送网络管理部分，以其强大的设备管理能力和灵活的网络业务配置能力，保证用户的传输网络投资得到高效利用。iManager T2000/T2100 充分考虑了网络演进的要求，是华为全网解决方案的一个重要组成部分。

iManager T2000/T2100 构成华为光传送网络管理的全面解决方案，实现对大规模传送网络、业务和设备的综合管理。

iManager T2000 是子网级的管理系统，具有网元级和网络级管理功能，全面管理 OptiX™ 系列所有光传送设备。用于向用户提供中小规模城域传送网络的单层管理网解决方案，实现对多业务传送网络的综合管理。

iManager T2100 为大规模网络应用而设计，能通过标准的 Q3 接口与 iManager T2000 或其他厂家的网元（子网）管理系统连接，构成分层管理网解决方案，实现对大规模光网络和多业务传送网络的集中、高效管理。

传送网网管 iManager T2000/T2100 支持对传输设备的统一管理及分层网管解决方案；具有网络资源管理、客户租用业务、综合业务端到端路径管理和业务管理等功能，可管理 2 万个等效网元，；其丰富的网管接口 Q3、CORBA、MML，支持基于业务域、地理域的业务管理方式。

8 INtess 呼叫中心

近年来，呼叫中心受到越来越多的行业及企业的普遍重视。作为先进的 CTI 技术的典型代表，呼叫中心以便捷的接入方式，人性化的服务和高效的客户信息管理，在统一企业服务形象，提升服务质量，辅助决策，优化管理等方面发挥着日益重要的作用。

华为公司推出的新一代 INtess（Integrated Telecommunication Service System）呼叫中心系统是以 C&C08-Q 智能排队机作为呼叫前端接入设备，集计算机、交换、网络和数据库技术于一体，以灵活的人工、自动服务方式，提供各种智能增值特服业务并可在线生成业务的呼叫中心平台。

INtess 呼叫中心系统按业务与交换分离原则设计，由业务交换层、业务支撑层、业务实现层三层构成。业务交换层包括交换接入、智能业务处理、智能外设，具有交换网络接入和业务控制功能。业务支撑层是交换与业务间的支

撑系统，它把具体业务对话务的需求解释转化为任务，提交给业务交换层，并在业务实现层的配合下，完成丰富多变的话务功能。

业务实现层通过接口选择和向业务支撑层转送具体应用的话务需求。

INtess 系统融各种数据接口于一体，最大限度地实现了软硬件资源共享，支持呼叫接入、业务处理、服务资源的一体化方案。**INtess** 系统的“客户可设计性”使客户可根据需求挑选、组合、编辑业务组件，甚至用户可按照自己的需求生成业务、修改或调整业务。

INtess 呼叫中心系统包括 **INtess-112** 集中测量系统、**INtess-114** 电话号码查询系统、**INtess** 综合信息服务系统、**INtess-170** 话费查询系统和 **INtess-SMAXII** 移动短消息中心等产品。

INtess 呼叫中心系统在电信客户服务中心、移动客户服务中心、金融呼叫中心、邮政呼叫中心、短消息中心以及商业呼叫中心等广泛的领域中得到了大量的应用。今天，**INtess** 呼叫中心已成为国内呼叫中心建设的首选品牌之一。

9 “视点通” ViewPoint 8000 电信级公众视讯系统

视讯多媒体业务正逐步成为电信业务新的增长点。然而，由于传统工控机结构的会议电视系统存在体积庞大、操作复杂、功能简单、线路租用费用和设备价格昂贵等缺陷，束缚了视讯业务走向企业，走向公众。

华为推出新一代全交换“视点通” **ViewPoint 8000** 公众综合视讯系统，可采用 **ISDN** 拨号接入，并兼容 **E1/V.35** 专线及 **H.323** 等接入方式，方便地组建综合视讯业务网络，使视讯业务的广泛应用成为可能。

“视点通” **ViewPoint 8000** 综合视讯系统包括 **ViewPoint 8620** 视讯交换平台和 **ViewPoint 8020** 视讯终端。

ViewPoint 8620 视讯交换平台是具有世界先进水平的电信级视讯交换设备，采用高可靠性全交换体系结构。支持 **H.320**、**T.120** 协议并可接入 **H.323** 系统，超大容量设计，支持混合接口组网。系统性能和业务功能非常适合视讯业务的公众化运营。

ViewPoint 8020 是华为公司推出的新一代便携式全功能视讯终端，采用紧凑型结构设计，外形美观小巧，安装简捷、使用方便。为了满足用户不同环境的应用需求，**ViewPoint 8020** 实现多种线路接口一体化，同时提供 **E1**、**V.35**、**ISDN**（1-4 个 **BRI**，最高可达 **512kb/s**）/**LAN** 多线路接口，适应各种传输网络；同时支持多视频协议（**H.261/H.263**）、多音频协议（**G.711/G.722/G.728**），全速率（**64Kb/s-2Mb/s**）适配，使用户可以随时随地地接入公众视讯网络。

2000年初,通过对业务市场的科学调查和充分论证,华为公司决定采用“视点通” ViewPoint 8000 着手开展国内首例公众视讯运营网络的试验,以促进现有网络的增值和 ISDN 业务推广。

该运营试验网采用 4 台 ViewPoin 8620 视讯交换平台,分别放置于某省内 4 个地市,配置总容量 192 个 ISDN/384K 端口, 24 个 E1 接口,所有 ISDN 端口采用一定的收敛比用于公众化视讯运营, E1 接口用于接入原有 2M 系统。25 套 ViewPoint 8020 视讯终端供电信局内部使用,视讯业务用户自己购买视讯终端,通过 ISDN 拨号接入该网络。该视讯交换网的建设,可以 24 小时无人职守地为用户综合提供行政会议、业务会商、远程教学、远程医疗等视讯服务。

10 C&C08 信令转接点 (STP) 设备

No.7 信令网是通信网的三大支撑网之一,它由信令点(各种交换局和特种服务中心)、各级信令转接点以及连接它们的信令链路组成。

华为利用多年来在交换技术、软件工程、芯片设计等领域形成的核心技术优势研发的信令转点设备 C&C08 STP,通过中国电信的全面测试,证明其在许多关键性能上超过了国外产品,使中国成为世界上少数几个能提供信令转接点设备的国家之一。

C&C08 STP 帧交换平台可接 9 对 PMC 板,提供 144 对 2Mbit/s HDLC 总线,每对 HDLC 总线接 4 块 LPU 板,每一 LPU 板提供两条 No.7 信令链路,系统容量最大配置为 1152 条链路。总线及内部 HDLC 链路全部双备份,保证内部传输不出差错。C&C08 STP 可用 RS-232 接口接低速本地网管终端,并提供多种远程维护管理接口。C&C08 STP 具有完备的链路接口,可提供标准 64kbit/s V.35 接口或 64kbit/s 同向接口以及代表 No.7 信令前沿技术的 2 M 高速信令接口。

11 SYNLOCK 通信综合定时供给系统

华为公司 SYNLOCK 通信综合定时供给系统 (BITS) 是采用先进时钟技术和国际时钟标准的独立型 BITS 设备,它为数字同步网提供各级时钟,在中国数字同步网建设中起越来越重要的作用。

SYNLOCK BITS 通过晶体钟板 (FSY)、铷原子钟板(RBD)和卫星定时接收板 (GPR/DSSR)的组合选配,可构成符合时钟标准规范的地区基准钟 (PRS/LPR)、加强二级钟(ST2E)、加强三级钟(ST3E),应用于同步区基准中心、长途局、汇接局和端局。SYNLOCK BITS 按权威的 Bellcore BITS 规

范设计，完全满足 ITU-T 时钟标准要求，且指标有相当的富裕度，能适应现代电信网对网络定时的苛刻要求。

SYNLOCK BITS 为模块化结构，可在 480 路端口范围实现从 ST3E、ST2E、到 LPR 的在线平滑升级、扩容和组网，具备多参考源输入管理、本地时钟滤波控制、输出频率合成分配、定时性能监测、远近监控管理等各种功能。

内置式 GPS 或双星接收系统，提供了冗余卫星接收通路配置，并将其融入 BITS 系统，接受在线的统一监控管理和维护，增强了系统的可靠性和指标，降低了投资费用。

缩略语

AAA	Authorization, Authentication and Accounting	授权,验证（鉴权）和计费
AAL	ATM Adaptation Layer	ATM 适配层
AB	Access Burst	接入突发脉冲序列
ABR	Available Bit Rate	可用比特率
ACCH	Associated Control Channel	随路控制信道
ACK	Acknowledgement	数据证实
ADM	Add Drop Multiplexe	分插复用器
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line	非对称数字用户线
A-interface		MSC 与 BSC 之间的接口
AM	Amplitude Modulation	幅度调制
AM	Administration Module	管理模块
AM/CM	Administration Module/Communication Module	管理和通信模块
AMPS	Advanced Mobile Phone Service	先进移动电话业务
AN	Access Network	接入网
AON	Active Optical Network	有源光网络
ANSI	American National Standard Institute	美国国家标准协会
APON	ATM Passive Optical Network	ATM 无源光网络
APD	Avalanche Photodiode	雪崩光电二极管
APS	Automatic Protection Switching	自动保护倒换
ARP	Address Resolution Protocol	地址解析协议
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	专用集成电路
ASL	Analog Subscriber Line board	模拟用户电路板
AT	Analog Trunk	模拟中继
ATM	Asynchronous Transfer Mode	异步转移模式
AU	Administrative Unit	管理单元

AUC	Authentication Center	鉴权中心
AUG	Administrative Unit Group	管理单元组
AU PTR	Administrative Unit Pointer	管理单元指针
A3	Authentication algorithm A3	鉴权算法 A3
A5/1	Encryption algorithm A5/1	加密算法 A5/1
A5/2	Encryption algorithm A5/2	加密算法 A5/2
B		
BAM	Back Administration Module	后管理模块
BAS	Broadband Access Server	宽带接入服务器
BCC	Base Transceiver Station (BTS) Color Code	基站色码
BCCH	Broadcast Control Channel	广播控制信道
BCD	Binary Coded Decimal	以二进制编码表示的十进制
BER	Bit Error Ratio	误码率
BHCA	Busy Hour Call Attempt	忙时试呼次数
B-ISDN	Broad band-Integrated Services Digital Network	宽带综合业务数字网
BITS	Building Integrated Timing Supply System	通信楼综合定时供给系统
Bm	Full-rate traffic channel	全速率业务信道
BORSCHT	Battery feed, Over-voltage protection, Ringing signal sending, Supervisory, Code & decode, Hybrid, Test	用户线基本功能（馈电、过压保护、振铃、监视、编解码、混合线圈、测试）
BP	Burst Period	发周期突
BRA	Basic Rate Access	基本速率接入
BRA	Basic Rate Adaptation	基本速率适配
BRI	Basic Rate Interface	基本速率接口
BS	Base Station	基站
BSC	Base Station Controller	基站控制器
BSS	Base Station Sub-system	基站子系统
BTS	Base Transceiver Station	基站收发信台
BUS		总线

C

C	Container	容器
CAS	Channel Associated Signaling	随路信令
CATV	Cable TV	有线电视
CB	Cell Broadcast	蜂窝广播
CBR	Constant Bit Rate	恒定比特率
CC	Country Code	国家代码
CCCH	Common Control Channel	公共控制信道
CCH	Control Channel	控制信道
CCITT	Consultative Committee of International Telegraph and Telephone	国际电报电话咨询委员会
C&C08		华为交换机商标
CCS7	Common Channel Signaling No.7	No.7 公共信道信令
CDMA	Code Division Multiple Addressing	码分多址
CENTREX	Centrex	虚拟用户交换机业务
CEPT	Conference of European Post Telecommunication	欧洲邮政电信会议
CES	Circuit Emulation Service	电路仿真服务
CK	Check Bit	校验位
CLP	Cell Loss Priority	信元丢失优先级
CM	Control Memory	控制存储器
CM	Communication Module	通信模块
CMIP	Common Management Information Protocol	公共管理信息协议
CMISE	Common Management Information Service Element	公共管理信息业务单元
CODEC	Coder/decoder	编码 / 解码器
CPU	Center Process Unit	中央处理单元
CRC	Cyclic Redundancy Check (3 bit)	循环冗余校验
CS-1	Capability Set-1	能力集-1
CTN	Central T Net board	中心交换网板

D

D/A	Digital-Analogue Converter	数-模转换器
DAMPS	Digital Advanced Mobile Phone System	数字先进移动电话系统
DB	DataBase	数据库
DB	Dummy Burst	虚拟突发（脉冲序列）
DCE	Data Circuit-Terminating Equipment	数据终接设备
DCCH	Dedicated Control Channel	专用控制信道
DCS1800	Digital Cellular System at 1800MHz	1800MHz 频段的数字蜂窝系统
DDN	Digital Data Network	数字数据网
DL	Data Link layer	数据链路层
DDS	Digital Data Service	数字数据业务
DECT	Digital European Cordless Telephone	欧洲数字无绳电话
DFB	Distributed Feedback Laser	分布反馈激光器
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	动态主机配置协议
DHW	Down High Way	下行母线
DL	Digital Line signaling	数字线路信令
DMT	Discrete Multi-Tone	离散多频音（线路编码 技术）
DS	Direct Spread	直接扩频
DSL	Digital Subscriber Line board	数字用户板
DSF	Dispersion Self Fiber	色散位移光纤
DSM	Digital Switching Module	数字交换模块
DSP	Digital Signal Processor	数字信号处理器
DSS1	Digital Subscriber Signaling No.1	1 号数字用户信令协议
DTE	Data Terminal Equipment	数据终端设备
DTM	Digital Trunk Module	数字中继接口板
DUP	Data User Part	数据用户部分
DWDM	Dense Wave-length Division Multiplexing	密集波分复用
DXC	Digital Crossing Connection	数字交叉连接

E

EAU	Ethernet Access Unit	以太网接入单元
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier	掺饵光纤放大器
EDGE	Enhance Data Rates for GSM Evolution	GSM 演进增强数据速率
EIA	Electronic Industries Association	电子工业协会
EIR	Equipment Identification Register	设备识别寄存器
ET	Exchange Terminal	交换设备终端
ETDM	Electricity Time Division Multiplexing	电时分复用
ETS		华为无线接入商标
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准协会
F	Flag	标志码
FAM	Front Administration Module	前管理模块
FACCH	Fast ACCH	快速随路控制信道
FACCH/F	Fast Associated Control Channel/Full rate	快速随路控制信道/全速率
FAS	Frame Alignment Signal	帧定位信号
FB	Frequency correction Burst	频率校正突发
FBI	Fiber Interface board	光纤接口板（局端）
FCCH	Frequency Correction Channel	频率校正信道
FCS	Frame Check Sequence	帧校验序列
FDD	Frequency Division Dual	频分 双工
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	光纤分布式数据接口
FDMA	Frequency Division Multiple Addressing	频分多址
FFSK	Fast Frequency-Shift Keying	快速频移键控
FR	Frame Relay	帧中继
FRI	Frame Relay Interface	帧中继接口
FSK	Frequency Shift Key	移频键控
FTTB	Fiber To The Building	光纤到大楼

FTTC	Fiber to the Curb	光纤到路边
FTTH	Fiber To The Home	光纤到家庭
FTTV	Fiber To The Village	光纤到村庄
FWM	Four Wave Mixing	四波混频
G		
GFC	Generic Flow Control	一般流量控制
GMSK	Gaussian Minimum Shift Frequency Keying	高斯予滤波最小移频键控
GPS	Globe Positioning System	全球定位系统
GPRS	General Packet Radio Services	通用分组无线业务
GSM	Globe System for Mobile Communication	全球移动通信系统
GSM1800		工作在 1800MHz 的 GSM 系统
GSM900		工作在 900MHz 的 GSM 系统
GMSC	Gateway Mobile-services Switching Centre	网关移动业务交换中心
GT	Global Title	全局码
GNE	Gateway Network Element	网关网元
3GPP	3th Generation Partnership Project	第三代伙伴计划
H		
HEC	Header Error Control	信头差错控制
HDLC	High Level Digital Link Control Procedure	高级数字链路控制规程
HDSL	High peed Digital Subscriber Line	高速数字用户线
HDTV	High Definition TV	高清晰度电视
HLR	Home Location Register	归属位置寄存器
HOFL	High speed Optic Fiber Link	高速光纤链路
HO	HandOve	切换
HONET		华为综合业务接入网商标
HSTP	High Level Signaling Transfer Point	高级信令转接点
HR	Half Rate	半速率

HUB		集线器
HFC	Hybrid Fiber Coaxial	光纤同轴混合 接入
HW		母线（高速通路）
I		
ICMP	Internet Control Message Protocol	因特网控制信息协议
ICP	Internet Content Provider	因特网内容提供商
ID	Identification/Identity	标识/身份标识
IE	Signaling information element	信令信息单元
IETF	Internet Engineering Task Force	Internet 工程特别工作组
IMEI	international mobile equipment identify	国际移动设备识别码
IMEI	International Mobile station Equipment Identify	国际移动终端设备标识码
IM-DM	Intensity Modulation-Direction Modulation	强度调制- 直接调制
IMSI	Internatio nal Mobile Subscriber Identify	国际移动用户识别码
IN	Intelligent Network	智能网
INCS-1	Intelligent Network Capability Set-1	智能网能力集第 1 阶段
Internet	Interactive Network	因特网（交互式网络）
Intess	Intelligent Service System	智能业务系统
IP	Internet Protocol	互联网协议/网间协议
IP	Intelligent Peripherals	智能外设
IPoA	P Over ATM	ATM 上承载 IP 协议
ISDN	Integrated Services Digital Network	综合业务数字网
ISP	Internet Service Provider	因特网业务提供商
ISUP	ISDN User Part	ISDN 用户部分
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunication Sector	国际电信
IWU	Interworking Unit	互通单元

J

JDC	Japan Digital Cellular System	日本数字蜂窝系统
-----	-------------------------------	----------

K

Kc	Ciphering key C	密钥 C
Kc	Communication Key	通信密钥
Ki	Individual subscriber authentication key	单个用户身份鉴权密钥

LA	Location Area	位置区
LAC	Location Area Code	位置区编码
LAI	Location Area Identify	位置区号
LAN	Local Area Network	局域网
LAP	Link Access Protocol	链路接入规程
LAPD	Link Access Procedure-D channel	D 信道数据链路协议
LMDS	Local Multi-point Distribution Service System	本地多点分配服务系统
LPR	Local Primary Reference	本地（原始）基准时钟源
LE	Local Exchanger	本地交换局
LED	Light Emitting Diode	发光二极管
LS	Local Station	本地局
LSTP	Low Level Signaling Transfer Point	低级信令转接点
L1	Layer 1	层一
	Layer 2	层二
L3	Layer 3	层三

M

MAC	Medium Access Control Layer	介质访问控制层
MAP	Mobile Application Part	移动应用部分
MAS	Mass Calling	大众呼叫

MAP	Mobile Application Part	移动应用部分
MC	Multi-Carrier	多载波
MCC	Mobile Country Code	移动国家码
ME	Mobile Equipment	移动设备
MODEM	Modulator-Demodulator	调制解调器
MPLS	Multi-protocol Label Switching	多协议标记交换
MS	Mobile Station	移动台
MSC	Mobile Switching Center	移动交换中心
MSIN	Mobile Subscriber Identification Number	移动用户识别号
MSISDN	Mobile station ISDN	移动台 ISDN 号
MSISDN	Mobile Station International ISDN Number	移动台国际 ISDN 号码
MSOH	Multiplex Section Overhead	复用段开销
MSP	Multiplex Section Protection	复用段保护
MSRN	Mobile Station Roaming Number	移动台漫游号
MSU	Message Signal Unit	消息信号单元
MTP	Message Transfer Part	消息转移部分
MTUP	MTP Testing User Part	MTP 测试用户部分
MUX	Multiplexer	复用器
N		
NB	Normal Burst	常规突发（脉冲序列）
NDC	National Destination Code	国内目的地代码
NDF	New Data Flag	新数据标志
NE	Network Equipment	网元
NET		模块内交换网板
N-ISDN	Narrow-Band Integrated Services Digital Network	窄带综合业务数字网
NMC	Network Management Centre	网管中心
NMS	Network Management System	网管系统
NMT	Nordic Mobile Telephone standard	北欧移动电话标准

NNI	Network Node Interface	网络节点接口
NOD		主节点
No. 1	China No. 1 Signaling	中国一号信令
No. 5	European No. 5 Signaling	欧洲 5 号信令
No.7	Common Channel Signaling No.7	No.7 公共信道信令
NOMA	Network Operation Maintenance and Administration	网络操作、维护及管理
nrt-VBR	non-real time Variable Bit Rate	非实时可变比特率
NT	Network Terminal	网络终端
NTI	Network Terminal Interface	网络终端接口
NT1	Network Terminal 1	1 类网络终端
NT2	Network Terminal 2	2 类网络终端
NZ-DSF	Non Zero-Dispersion Shift Fiber	非零散位移光纤
O		
OAM	Operation, Administration and Maintenance	操作、管理和维护
OAM&P	Operation Administration Maintenance and Provisioning	运行、管理、维护和指配
OAN	Optical Access Network	光接入网
OBD	Optical Branching Device	光分支器
ODN	Optical Distribution Network	光分配网络
OFA	Optical Fiber Amplifier	光纤放大器
OFL	Optic Fiber Link	光纤链路
OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
OMAP	Operations, Maintenance and Administration Part	操作维护管理部分
OMC	Operation & Maintenance Center	操作维护中心
ONU	Optical Network Unit	光纤网络单元
OPC	Originating Point Code	源信令点编码
OS	Operating System	操作系统
OSC	Oscillator	振荡器
OSI	Open System Interconnection	开放系统互联

OSPF	Open Shortest Path First	开放最短路径优先
OSU	Optical Service Unit	光业务单元
O&M,	OM Operations & Maintenance	操作与维护
OTDM	Optical Time Division Multiplexing	光时分复用
P/S	Parallel to Serial conversion	并-串转换
PABX	Private Automatic Branch Exchange	专用的用户自动交换机
PCM	Pulse Coded Modulation	脉码调制
PCN	Personal Communication Network	个人通信网
PCH	Paging Channel	寻呼信道
PCS	Personal Communication Service	个人通信业务
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	准同步数字系列
PH	Packet Handling	分组处理
PHI	Packet Handling Interface	分组处理接口
PHY	Physical layer	物理层
PI	Peripheral Interface	外设接口
PIN	Personal Identification Number	个人身份号码
PLL	Phase Locked Loop	锁相环
PLMN	Public Land Mobile Network	公用陆地移动网
PLP	Packet Layer Protocol	分组层协议
Personal Numbering		个人编号
POH	Path Overhead	通道开销
PON	Passive Optical Network	无源光网络
POS	Packet Over SDH/SONET	在 SDH 上直接传数据包
POTS	Plain Old Telephone Service	普通电话业务
PP	Point-to-Point	点到点
PPP	Point to Point Protocol	点到点协议
PPPoE	ppp Over Ethernet	以太网承载 PPP 协议

PRA	Primary Rate Adaptation	基群速率适配
PRC	Primary Reference Clock	一级基准时钟
PRI	Primary Rate Interface	基群速率接口
PRM	Premium Rate	附加费率
PSPDN	Packet Switched Public Data Network	分组交换公用数据网
PSTN	Public Switched Telephone Network	公用电话交换网
PT	Payload Type	净荷类型
PTN	Personal Telecommunication Number	个人通信号码
PVC	Permanent Virtual Channel	永久虚通道
PVP	Permanent Virtual Path	永久虚通路
QA	Q interface Adapter	Q 接口适配器
QAF	Q interface Adapter Function	Q 接口适配功能
QoS	Quality Of Service	服务质量
QS	Switch Quick	高速开关
RA	Rate Adaptation	速率适配
RACH	Random Access CHannel	随机接入信道
RAS	Remote Access Server	远程接入服务器
RBD	Rubidium Clock	铷原子时钟
REF	Reference Indicator	基准信号指示
REG	Regenerator	再生器
RF	Radio Frequency	射频
RHW	Receive Highway	接收母线
RIP	Routing Information Protocol	路由信息协议器
RM	Resource Manager	资源管理
RPE-LTP	Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction	规则脉冲激励-长期预测

RR	Radio Resource	无线电资源
RSA	Remote Subscriber Area	远端用户区模块
RSM	Remote Switching Module	远端交换模块
RSOH	Regenerator Section Overhead	再生段开销
RST	Regenerator Section Termination	再生段终端
RSU	Remote Subscriber Unit	远端用户单元
rt-VBR	real time Variable Bit Rate	实时可变比特率
RTT	Radio Transmission Technology	无线传输技术
SACCH/C4	Slow Associated Control Channel/SDCCH/4	慢速随路控制信道/SDCCH/4
SACCH/C8	Slow Associated Control Channel/SDCCH/8	慢速随路控制信道/SDCCH/8
SACCH/T	1 Slow Associated Control Channel/Traffic Channel	慢速随路控制信道/ 业务信道
SACCH/TF	Slow Associated Control Channel/Traffic channel Full Rate	慢速随路控制信道/全速率业务信道
SACCH	Slow Associated Control Channel	慢速随路控制信道
SAP	Service Agent Point	业务接入点
SB	Synchronization Burst	同步突发脉冲序列
SBS	Synchronous Backbone System	华为同步骨干网商标
SC	Single Carrier	单载波
SCCP	Signaling Connection Control Part	信令连接控制部分
SCE	Service Creation Environment	业务生成环境
SCEF	Service Creation Environment Function	业务创建环境功能
SCEP	Service Creation Environment Point	业务创建环境点
SCH	Synchronization Channel	同步信道
SCF	Service Control Function	业务控制功能
SCP	Service Control Point	业务控制点
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel	独立专用控制信道
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系

SDXC	Synchronous Digital Cross Connect	同步数字交叉连接
SETS	Synchronous Equipment Timing Source	同步设备定时源
SHW	Send highway	发送母线
SI	Service Indicator	业务指示码
SIB	Service Independent BuildingBlock	业务独立构件
SLC	Signaling Link Code	信令链路编码
SLS	Signaling Link Selection	信令链路选择
SLT		时钟集中监控板
SM	Switching Module	交换模块
SM	Short Messag	短消息
SMC	Short Message Center	短消息中心
SMC	Short Message service Center	短消息业务中心
SMP	Service Management Point	业务管理点
SMS	Service Management System	业务管理系统
SNMP	Simple Network Management Protocol	简明网管协议
SN	Service Node	业务节点
SNI	Service Network Interface	业务网络侧接口
SNT	Switching Net board	交换网板
SOA	Semiconductor Optical Amplifier	半导体光放大器
SOH	Section Overhead	段开销
SONET	Synchronous Optical Network	同步光网络
SP	Signaling Point	信令点
SPC	Signaling Point Code	信令点编码
SS7	Signaling System No.7	No.7 信令系统
SSM	Synchronization Status Message	同步状态信息
SSP	Service Switching Point	业务交换点
STM	Synchronous Transfer Mode	同步转移模式
STM-1	Synchronous Transfer Mode 1	STM-1
STM-4	Synchronous Transfer Mode 4	STM-4

STM-N	Synchronous Transport Module level-N	同步传送模块等级 N
STP	Signaling Transfer Point	信令转接点
SU	Single subscriber Unit	单用户单元
SVC	Switched Virtual Channe	交换虚通路
SYNC	Synchronization network	同步网
SYNLOCK		华为 BITS 商标
TA	Terminal Adapter	终端适配器
TACH	Traffic and Associated Channel	业务和相关信道
TACS	Total Access Communication System	全接入通信系统
TC	Transcoder	码变换器
TCH	Traffic Channel	业务信道
TCH/F	A full rate TCH	全速率业务信道
TCH/F2.4	A full rate data TCH (2.4kbit/s)	全速率数据业务信道 (2.4kbit/s)
TCH/F4.8	A full rate date TCH (4.8kbit/s)	全速率数据业务信道 (4.8kbit/s)
TCH/F9.6	A full rate data TCH (9.6kbit/s)	全速率数据业务信道 (9.6kbit/s)
TCH/FS	A full rate Speech TCH	全速率话音业务信道
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol	传输控制协议及网络互连协议
TCSM	Transcoder and SubMultiplexer	码变换及子复用单元
TDD	Time Division Duplex	时分双工
TDE	Time Deviation	时间偏移
TDM	Time Division Multiplexing	时分复用
TDMA	Time Division Multiple Address	时分 多址
TE1	Terminal Equipment Type 1	一类终端设备
TE2	Terminal Equipment Type 2	二类终端设备
TELLIN	Telecommunication Intelligent Network	华为公司智能网系统商标
TM	Termination Multiplexer	终端复用器

TMN	Telecommunication Management Network	电信管理网
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identify	临时移动用户识别号码
TN	Timeslot Numbe	时隙号
TRX	Transceiver (board)	收发信机（板）
TS	Time Slot	时隙
TSC	Training Sequence Code	训练序列码
TSI	Timeslot Interchange	时隙交换
TU	Tributary Unit	支路单元
TUG	Tributary Unit Group	支路单元组
TU	Tributary Unit	支路单元
TUG	Tributary Unit Group	支路单元组
TUP	Telephone User Part	电话用户部分
TNC	Transit Node Clock	转接节点时钟
UBR	Unspecified Bit Rate	未确定比特率
UHW	Up High Way	上行母线
Um		空中接口
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	通用移动通信系统
UNI	User Network Interface	用户网络侧接口
UP	User Part	用户部分
UPT	Universal Personal Telecommunication	通用个人通信
UPF	User Port Function	用户端口功能
UPT	Universal Personal Telecommunication	通用个人通信
USM	User Switching Module	用户交换模块
UWC	Universal Wireless Communication	通用无线通信
VBR	Variable Bit Rate	可变比特率

VC	Video Codec	视频编解码器
VC	Video Conference	电视会议
VC	Virtual Container	虚容器
VCI	Virtual Channel Identifier	虚通路标识
VCO	Voltage Controlled Oscillator	压控振荡器
VLC	Variable Length Code	可变长编码
VLR	Visitor Location Register	拜访位置寄存器
VM	Voice Mailbox	语音邮箱
VOD	Video On Demand	视象点播
VOT	Tele-Voting	电话投票
VPI	Virtual Path Identifier	虚通道标识
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网
W		
WAC	Wide Area CENTREX	广域 CENTREX
WAN	Wide Area Network	广域网
WLL	Wireless Local Loop	无线本地环路
WS	Work Station	工作站
WSF	Work Station Function	工作站功能
WDM	Wave-length Division Multiplexing	波分复用
WDM	Wave Division Multiplexer	波分复用器