

黄锡伟 朱秀昌 编著

中国通信学会主编 人民邮电出版社

宽带通信网络

通信工程丛书



通信工程丛书

宽带通信网络

黄锡伟 朱秀昌 编著

35/64

中国通信学会主编·人民邮电出版社

内 容 提 要

随着通信网的不断发展,ATM 技术已成为宽带通信网络的重要支撑技术,本书主要讲述了 ATM 技术及其应用。全书内容包括 ATM 网络的基本原理、协议体系结构、传输网络、交换技术、接入技术和网络互连技术等方面的内容。本书深入浅出,并尽量结合实际应用,是一本较好的工程技术书。

本书主要读者对象为:从事通信的工程技术人员,从事计算机通信网的工程技术人员及大专院校师生。

通 信 工 程 丛 书 宽 带 通 信 网 络

◆ 编 著 黄锡伟 朱秀昌
责任编辑 梁 凝

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:850×1168 1/32
印张:17.875

字数:473 千字

1998 年 9 月第 1 版

印数:5 001—9 000 册

1999 年 8 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-115-07044-X/TN·1369

定价:40.00 元

丛书前言

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

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

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

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

中国通信学会

前 言

信息网络是信息社会的重要支撑。以电信号作为媒介的通信网络产生不过才百余年的历史,但是已经大大地改变并将进一步改变我们工作和生活方式,同时促进了许多行业的发展,传统的通信方式是将话音、数据、视频和图像等信号分开传输,在相当长的时间内它们相互独立地发展,从而产生了目前所见的各种通信网络,如公共交换电话网 PSTN、公共分组网 PSDN、数字数据网 DDN、会议电视网以及闭路电视网 CATV 等等。是否可以在同一的网络平台上传输各种业务,以此减少网络建设和运营费用? 人们在 70 年代就开始着手这方面课题的研究。人们发现不同媒体传输的业务特性和对网络要求是不相同的,例如对于话音通信可以在 64kbit/s 速率下传输,通信过程中出现误码不会严重影响用户通信,但是话音数据必须能够及时从发送端送到接收端即不能有较长的传输延时;对于计算机数据通信速率跨度在几十 bit/s 到几 Mbit/s 要求数据传输过程中传输误码率尽可能低(如在 10^{-7} 以下),但是允许数据传输有一定的延时;对于视频通信,不同质量的视频会有不同的带宽需求,例如对于压缩的 HDTV 信号要求带宽在 20Mbit/s 左右,对于会议电视要求带宽在 384kbit/s~2Mbit/s,对于可视电话则要求带宽在 64kbit/s 以下,但是对于数据传输准确性和延时都有比较严格的要求。人们在 80 年代对传统电路交换和分组交换进行改造,提出高级电路交换和快速分组交换(如帧中继),试图在原有网络的基础上能够提供各种不同的业务并可以充分利用网络的传输、交换资源,但是事实证明这些策略只能在一定程度上支持接入多种业务,仍旧无法支持所有的通信业务需求。

上述这种情况迫使人们开始考虑设计一种在概念上全新并能吸

取过去电路交换和分组交换优点的交换、传输和复用模式,这就是本书讲述的重点:异步转移模式 ATM (Asynchronous Transfer Mode)。ATM 模式在 1988 年被 ITU-T 确定为 B-ISDN 的支撑技术,ITU-T 标准组织采用“加快”程序加速生成 B-ISDN 网络协议,工业界组成的 ATM 论坛也在同时推出各种实用 ATM 网络协议。ATM 技术可以认为是面向 21 世纪的一个最为重要的技术,它能够支持包括话音、数据、图像和视频在内的各种媒体业务,并且将成为广域和局域网的实现技术,从此计算机通信领域和电信领域将基于同样的基础。特别是 1996 年美国政府资助的作为全球高速通信网络实验网的第 2 代 Internet 网络的主干网 VBNS 采用 ATM 网络作为其传输网,是 ATM 技术走向实用化的重要一步。Internet 的标准化组织 IETF (Internet Engineering Task Force)也将考虑将 ATM 网络许多概念引入到 TCP/IP 协议以及新一代的 Gbit/s 级的路由器和 IP 交换机中去。

本书作者从事宽带通信领域教学和科研多年,在进行本科和研讨班教学时由于受这方面书籍的限制只能以材料方式下发部分讲义,因此,我们从 1995 年开始本书的撰写。由于 ATM 技术发展迅速,我们在编写过程中三易书稿,正式定稿在 1997 年 9 月,在书中充实了许多关于 ATM 实用化的技术。本书在编写过程中遵循以下的原则:

1. 体系结构齐全

全书内容包括 ATM 网络的基本原理、协议体系和信令结构、传输网络、交换技术,接入技术和网络互连技术等方面的内容。其中有许多内容是国内外的书籍没有涉及过的,例如 ATM 网络的物理传输基础——ATM 传送网络,几乎没有书籍作过详细的论述;而作为 1995 年以后通信网络中的研究热点——宽带接入网以及在宽带接入网中 ATM 技术的应用也只有零星的文献报道,没有见到系统地介绍宽带接入网络的综述文献。另外在本书中还介绍了 1996 年以来 ITU-T 及 ATM 论坛给出最新的建议,如 AAL2 和 MPOA 等。此

外,本书各章后均给出参考文献,以便读者进一步学习。

2. 概念引入有序

本书从现有各种通信网络(电话网络、广域数据网、局域网以及城域网)的原理和现状讲起,自然引出 ATM 交换、传输、网络控制等方面的知识。在书中,我们希望不仅讲清原理是什么,更重要的是讲清楚为什么是这样的。例如我们在书中引入 ATM 技术时首先深入分析电路交换和分组交换及其改进技术的优点和缺点,自然导引出 ATM 技术,读者阅读后会自然感觉 ATM 技术并不是突如其来的新概念,而是吸取传统交换方式的优点而摒弃其缺点的产物。

3. 内容讲述透彻

虽然目前在 IEEE 通信类杂志中论述了许多关于 ATM 网络新的概念和设计方法,但是在目前的标准协议中,许多具体内容并没有涉及,这是因为标准协议总是滞后于科研成果和产品。我们结合科研工作,在本书的编写中试图阐明一些令人感到模糊和疑惑的概念,例如 ATM 网络中 VP 层的概念,它在 ATM 骨干网络管理和传输网络优化设计以及网络自愈等方面起到非常重要的作用,1992 年以后在国际通信类会议和杂志上屡屡有相应的文献发表,但却很少有书籍涉及这方面内容,而这恰是 ATM 网络中为数不多的几个非常重要特点之一。这些知识是目前工程人员和研究人员希望迫切了解的。

4. 结合实际应用

ATM 作为广域网和局域网统一的实现技术,这是以前所有任何通信技术所无法实现的。目前 ATM 已经在各种通信网络方面得到了很好的应用,例如可以提高广域通信网络(如帧中继网络,它是在目前 x.25 分组网络上的改进和城域网(如 SMDS 网络,用于局域网互连)主干运行速率,另外在 Internet 网和 LAN 方面的应用更是发展迅速。这些非常实际的问题在第 9 章论述。在其它章节如接入网、流量控制和 ATM 交换机和传输网络中,我们尽量结合具体实例深入浅出地讲述原理和概念。

本书由上海交通大学黄锡伟博士主编,南京邮电学院朱秀昌教

授参与第 2、4 章部分编写。本书编写得到上海交通大学张煦院士和南京邮电学院教授毕厚杰先生的尽心帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于计算机通信和电信发展速度极为迅速,ATM 技术仍处于发展和完善之中,各种应用正在被厂商推出,另外由于作者对宽带通信网络的理解局限,书中不妥之处希望广大读者批评指正。

编者

1998. 2. 24

目 录

第一章 绪论

1.1 话音通信	1
1.1.1 话音传输	4
1.1.2 电话交换	8
1.2 数据通信网络	10
1.2.1 数据通信和话音通信的区别	10
1.2.2 利用电话网络进行数据传输	12
1.2.3 电路交换数据网	15
1.2.4 报文交换数据网	17
1.2.5 分组交换数据网	19
1.2.6 三种数据网络交换方式比较	24
1.3 宽带传输和交换网络	24
1.3.1 电信业务和媒体传输特性	24
1.3.2 高级电路交换技术	28
1.3.3 快速分组交换一帧中继	30
1.3.4 多媒体信息交换和传输技术—异步转送模式 ATM	33
1.4 综合通信网络平台	40
1.4.1 “综合”的含义	40
1.4.2 窄带综合业务数字网络 N-ISDN	43
1.4.3 宽带综合业务数字网络 B-ISDN	51
本章小结	58
参考文献	61

第二章 B-ISDN 网络基本概念

2.1 网络技术	64
2.1.1 网络结构分层	64
2.1.2 VP 交换和 VC 交换	68

2.1.3 虚信道连接/虚路径连接应用	70
2.2 B-ISDN 信令原则	70
2.2.1 B-ISDN 信令功能要求	71
2.2.2 信令虚信道 SVC	72
2.3 宽带网络性能参数表示	74
2.3.1 ATM 网络时延特征	77
2.3.2 ATM 网络传送错误	81
2.4 ATM 网络中的流量控制	85
2.5 B-ISDN 网络中的操作维护	95
2.5.1 宽带网络维护操作的一般原则	95
2.5.2 宽带网络 OAM 分层	96
本章小结	97
参考文献	101

第三章 ATM 网络用户/网络接口

3.1 计算机网络分层模型	103
3.1.1 抽象通信过程	103
3.1.2 通信系统分层的基本概念	104
3.1.3 业务原语	106
3.1.4 层间数据传递	107
3.1.5 OSI 参考模型	110
3.2 B-ISDN/ATM 网络协议参考模型	113
3.2.1 物理层	116
3.2.2 ATM 层	118
3.2.3 AAL 层	121
3.2.4 用户平面	122
3.2.5 控制平面和管理命令	123
3.3 B-ISDN 网络 UNI 接口参考配置	123
3.4 物理层	127
3.4.1 物理媒体 PM 子层	128
3.4.2 传输会聚 TC 子层	131

3.5	ATM 层	137
3.6	ATM 适配层	144
3.6.1	恒定比特率实时业务适配——AAL1	147
3.6.2	变比特率实时业务适配——AAL2	156
3.6.3	数据业务传送适配协议——AAL3/4	166
3.6.4	高效数据业务传送适配协议——AAL5	173
3.7	B-ISDN 接入的 OAM 操作	177
3.7.1	物理层 OAM 操作	178
3.7.2	ATM 层 OAM 操作	181
3.7.3	本地临时管理接口	187
	本章小结	189
	参考文献	194

第四章 宽带传送网络中 ATM 信元传输

4.1	传送网络基本概念	197
4.1.1	传送网络的基本概念	199
4.1.2	SDH 和 PDH 中的复接技术	201
4.1.3	同步转移模式(PDH 和 SDH)两种传送网络比较	205
4.1.4	STM 和 ATM 传送网络比较	208
4.2	基于信元的 ATM 传输	215
4.3	基于 SDH 的 ATM 传输	220
4.4	基于 PDH 的 ATM 传输	229
4.4.1	直接在 PDH 帧结构中传输 ATM 信元	231
4.4.2	重建传输帧的格式用以传输 ATM 信元	231
4.4.3	在 PDH 传输帧的基础上构建 ATM 传输帧	233
	本章小结	235
	参考文献	238

第五章 ATM 网络信令

5.1	ATM 网络信令协议基本概念	239
5.2	信令适配协议 SAAL	245
5.2.1	信令适配协议公共部 SALL-CP	245

5.2.2 信令适配协议中与业务相关的面向连接的协议 SAAL-SSCOP	247
5.2.3 信令适配协议中业务有关的协调功能 SALL-SSCF	259
5.3 用户网络接口 UNI 协议栈	259
5.3.1 元信令虚信道	260
5.3.2 Q.2931 协议信令信息类型和格式	264
5.3.3 Q.2931 协议操作过程	270
5.4 网络节点接口 NNI 协议栈	277
5.4.1 No.7 信令系统基本概念	278
5.4.2 网络节点接口 NNI 处高层协议 B-ISUP	285
本章小结	290
参考文献	293

第六章 宽带 ATM 交换技术

6.1 ATM 交换的基本原理和要求	297
6.1.1 ATM 交换机基本组成结构	297
6.1.2 宽带业务对 ATM 交换机的要求	300
6.2 基本 ATM 交换单元	302
6.2.1 空分交换结构	302
6.2.2 时分交换结构	308
6.2.3 总线交换结构	312
6.2.4 令牌环交换结构	315
6.3 ATM 多级交换网络	316
6.4 ATM 交换机设计	339
本章小结	348
参考文献	351

第七章 ATM 网络流量控制

7.1 ATM 网络流量控制基本概念	358
7.2 ATM 网络中的业务量模型	365
7.2.1 电话网络中的阻塞理论	370
7.2.2 ATM 网络上的呼叫阻塞概率计算	373

7.2.3 ATM 网络中突发级信元丢失率计算	376
7.2.4 信元级业务模型	386
7.3 网络资源管理 NRM	388
7.4 连接受理控制 CAC	397
7.4.1 业务量参数和用户业务量协议	399
7.4.2 CAC 控制策略	404
7.5 基于速率的控制 RBC	408
7.5.1 UPC/NPC	409
7.5.2 阻塞控制	415
7.5.3 差错控制	425
本章小结	428
参考文献	432

第八章 宽带接入网络技术

8.1 接入网络基本知识	435
8.2 数字用户环路 DSL——用户线数字化	443
8.2.1 铜双绞线传输损伤	443
8.2.2 TCM 方式的 DSL	446
8.2.3 EC 方式的 DSL	447
8.3 高比特率数字用户环路 HDSL	449
8.4 不对称数字用户环路 ADSL	459
8.5 光纤同轴混合接入网 HFC	466
8.6 光纤接入网络—FITL	478
本章小结	484
参考文献	488

第九章 ATM 网络互连技术

9.1 前言	491
9.2 基于 ATM 技术的广域数据通信网络互连	501
9.2.1 帧中继基本概念	502
9.2.2 帧中继和 ATM 网络互连	506
9.2.3 帧中继网络和 ATM 网络互连协议结构	508

9.3 基于 ATM 技术的城域数据通信网络互连	509
9.3.1 交换多兆比特数据业务 SMDS 网络	510
9.3.2 ATM 网络上的无连接宽带数据业务	516
9.3.3 基于 ATM 技术的 SMDS 互连	520
9.4 基于 ATM 技术的国际互连网络(Internet)	521
9.4.1 Internet 网络协议 TCP/IP 基本概念	524
9.4.2 基于 ATM 的 IP 数据报传输(IP Over ATM)	533
9.5 基于 ATM 技术的局域网网络互连	538
9.5.1 局域网 LAN 基本概念	540
9.5.2 局域网仿真 LANE	546
9.6 基于 ATM 技术的多协议信息传送(MPOA)	550
9.6.1 LANE 和 “IP Over ATM” 协议的局限性	551
9.6.2 MPOA 协议的基本概念	552
本章小结	554
参考文献	556

第一章 绪论

1.1 话音通信

通信是人类社会传递信息, 交流文化, 传播知识的一种非常有效的手段。随着人类社会的不断进步, 社会生产力及科学技术的日益发展, 人们对通信的需要越来越多, 通信已深入到社会的各个方面, 渗透到世界的各个角落, 因此在通信现代社会中起到越来越重要的作用。显然随着信息时代的到来, 人们的生活、生产、管理、服务等方方面面都离不开通信。可以说通信技术的发展必将会进一步改变人们的生活和工作的方式。

最为简单的通信方式是话音通信, 从人类诞生开始就使用话音进行直接的信息交流, 文字的出现则使处于不同地点的人们可以使用信件进行通信, 在战争年代中的烽火传递信息方式则体现出信息编码和信息接力传递的特点, 这些通信方式是非常简单的。直到 19 世纪末期出现的使用电信号进行话音传输的电话系统才导致了现代意义上的真正的通信系统。使用电话进行话音通信的过程实际就是最通常的通信系统运作的实例, 如图 1.1.1 所示。其中信源和信宿表示通信的双方; 发信机和收信机表示通信双方使用的话机, 完成通信者话音信号和电信号的转换; 通信信道则完成承载话音信息的电信号的传输。在通信过程中将不可避免地介入相应的噪声, 会对通信质量造成一定的损伤。图中只给出单向的信息传递过程, 实际中信息的传递可以是对称的, 收发两端都有相应的发信机和收信

机，同时信道的传输也是双向的。

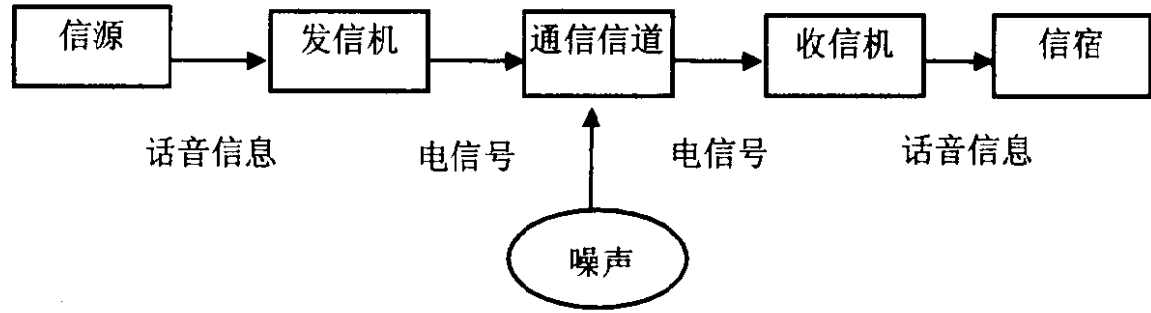


图 1.1.1 通信系统的基本组成

所有话机通过一定的连接构成电话网络。人们可以利用网络中任意两部话机进行信息交流，这就要求任意两部话机之间必须有通信信道相连接，比较直接的方式是将网络中的 n 个话机两两相连，这时需要有 $\frac{n(n-1)}{2}$ 链路连接，如图 1.1.2(a) 所示。这种网状的构造

方式导致的结果是随着话机数目增大连接的线路会急剧增加，考虑到实际的用户数和相连接的链路的成本，这种方式显然是不可取的。另外一种建立信道的策略是将所有的话机和一个交换机相连接，由交换机根据用户的请求建立任意两部话机之间的通信通道，对于有 n 个话机的网络，只需有 n 条链路就可以构建电话网络，如图 1.1.2(b) 所示。以上组网的话机之间的距离一般是在一定范围之内，所以图 1.1.2 给出的电话网又可称为本地网络。本地网络只能允许本地交换机服务的话机之间进行通信，当不同本地网络的交换机节点之间通过中继线群相连接后，不同本地网络中的话机才能够建立通信信道。如果采用直接互联的方式， n 个交换机节点组成的电话网络需要有 $\frac{n(n-1)}{2}$ 条中继线群。但是事实上这样的网状互联

是不必要的，可以建立汇接交换节点完成若干交换节点之间业务的交换，如图 1.1.3 所示。这时汇接节点一般服务的区域是一个城市范围或是城市中某块较大的区域，因而这样的网络称为城市电话网络。为了能够提供不同城市用户之间的通信，显然不同市话网络的

汇接局必须通过长途中继线路群相连接，这样就构成长途电话网络。

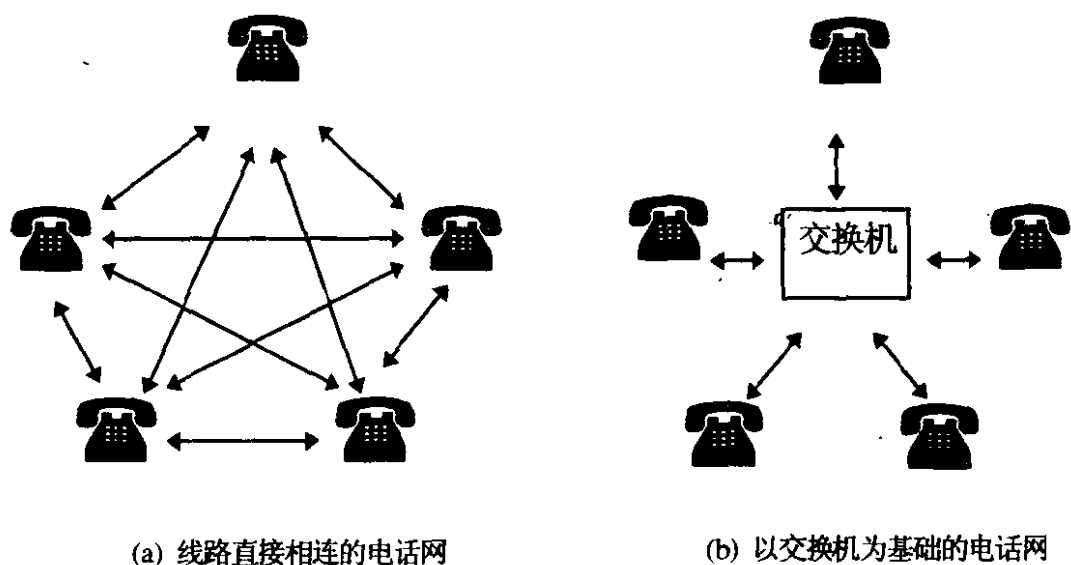


图 1.1.2 本地电话网络

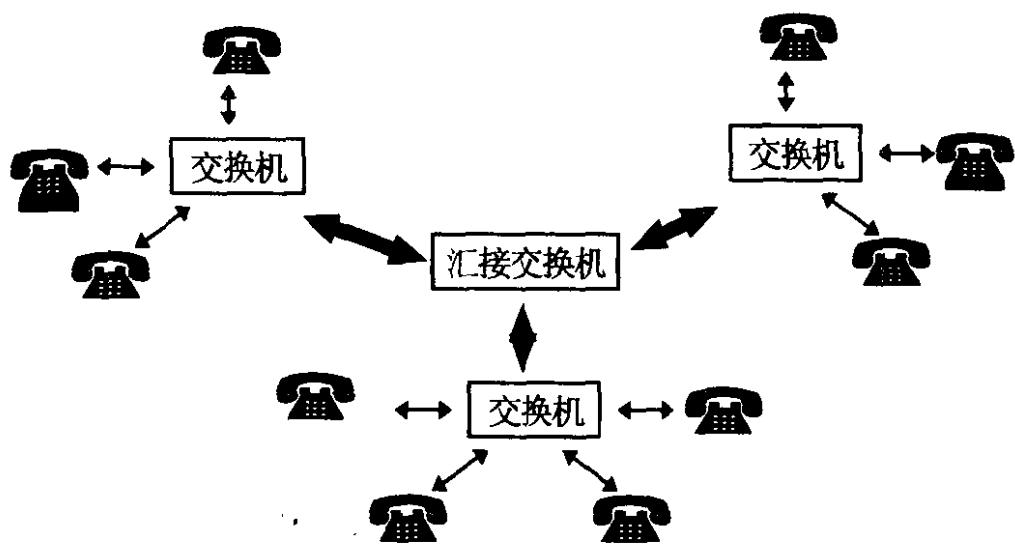


图 1.1.3 城市电话网络

电话网络是由用户终端设备（电话机）、交换设备和传输设备组成的。交换设备之间（汇接局和交换局、汇接局之间）的线路称为中继线路，交换机和终端用户之间的电路连接称为用户线路。目前电话网络的中继线路普遍采用光纤为传输媒体，传输方式采用数字式，多路数字话音信息通过时分方式复用中继线路进行传输的，