

# 第4章 分组交换技术

4.1 概述

4.2 分组交换原理

4.3 X.25协议

4.4 分组交换机

4.5 帧中继技术

思考题

# 4.1 概 述

## 4.1.1 分组交换的产生背景

分组交换PS(Packet Switching)技术的研究是从20世纪60年代开始的。当时，电路交换技术已经得到了极大的发展。电路交换技术是最适合于话音通信的，但随着计算机技术的发展，人们越来越多地希望多个计算机之间能够进行资源共享，即能够进行数据业务的交换。数据业务不像电话业务那样具有实时性，而是具有突发性的特点，并要求高度的可靠性。这就要求在计算机之间有高速、大容量和时延小的通信路径。在计算机之间进行数据通信时，传统的电路交换技术的缺点越来越明显：固定占用带宽，线路利用率低，通信的终端双方必须以相同的数据率进行发送和接收等。所有这些都表明电路交换不适合于进行数据通信。因此，大约在20世纪60年代末、70年代初，人们开始研究一种新形式的、适合于进行远距离数据通信的技术——分组交换。

## 第4章 分组交换技术


---

分组交换技术是一种存储—转发的交换技术，被广泛用于数据通信和计算机通信中。它结合了电路交换和早期的存储—转发交换方式——报文交换的特点，克服了电路交换线路利用率低的缺点，同时又不像报文交换那样时延非常大。因此，分组交换技术自从产生后便得到了迅速的发展。




### 4.1.2 分组交换的概念

分组交换不像电路交换那样在传输中将整条电路都交给一个连接，而不管它是否有信息要传送。分组交换的基本思想是：把用户要传送的信息分成若干个小的数据块，即分组(packet)，这些分组长度较短，并具有统一的格式，每个分组有一个分组头，包含用于控制和选路的有关信息。这些分组以“存储-转发”的方式在网内传输，即每个交换节点首先对收到的分组进行暂时存储，分析该分组头中有关选路的信息，进行路由选择，并在选择的路由上进行排队，等到有空闲信道时转发给下一个交换节点或用户终端。



显然，采用分组交换时，同一个报文的多个分组可以同时传输，多个用户的信息也可以共享同一物理链路，因此分组交换可以达到资源共享，并为用户提供可靠、有效的数据服务。它克服了电路交换中独占线路、线路利用率低的缺点。同时，由于分组的长度短，格式统一，便于交换机进行处理，因此它能比传统的“报文交换”有较小的时延。



### 4.1.3 分组交换的优缺点

#### 1. 分组交换的优点

分组交换的设计初衷是为了进行计算机之间的资源共享，其设计思路截然不同于电路交换。与电路交换相比，分组交换的优点可以归纳如下：

(1) 线路利用率较高。分组交换在线路上采用动态统计时分复用的技术传送各个分组，因此提高了传输介质(包括用户线和中继线)的利用率。每个分组都有控制信息，使终端和交换机之间的用户线上或者交换机之间的中继线上，均可同时有多个不同用户终端按需进行资源共享。

(2) 异种终端通信。由于采用存储—转发方式，不需要建立端到端的物理连接，因此不必像电路交换中那样，通信双方的终端必须具有同样的速率和控制规程。分组交换中可以实现不同类型的数据终端设备(不同的传输速率、不同的代码、不同的通信控制规程等)之间的通信。




(3) 数据传输质量好、可靠性高。每个分组在网络内的中继线和用户线上传输时，可以逐段独立地进行差错控制和流量控制，因而网内全程的误码率在 $10^{-11}$ 以下，提高了传送质量且可靠性较高。分组交换网内还具有路由选择、拥塞控制等功能，当网内线路或设备产生故障后，分组交换网可自动为分组选择一条迂回路由，避开故障点，不会引起通信中断。

(4) 负荷控制。分组交换网中进行了逐段的流量控制，因此可以及时发现网络有无过负荷。当网络中的通信量非常大时，网络将拒绝接受更多的连接请求，以使网络负荷逐渐减轻。



(5) 经济性好。分组交换网是以分组为单元在交换机内进行存储和处理的，因而有利于降低网内设备的费用，提高交换机的处理能力。此外，分组交换方式可准确地计算用户的通信量，因此通信费用可按通信量和时长相结合的方法计算，而与通信距离无关。


由于分组交换技术在降低通信成本，提高通信可靠性等方面取得了巨大成功，因此20世纪70年代中期以后的数据通信网几乎都采用了这一技术。30多年来，分组交换技术得到了较大的发展。



### 2. 分组交换的缺点


上面介绍了分组交换的诸多优点，但任何技术在具有优点的同时都不可避免地具有一些缺点，分组交换也不例外。它的这些优点都是有代价的。

(1) 信息传送时延大。由于采用存储—转发方式处理分组，分组在每个节点机内都要经历存储、排队、转发的过程，因此分组穿过网络的平均时延可达几百毫秒。目前各公用分组交换网的平均时延一般都在数百毫秒，而且各个分组的时延具有离散性。



(2) 用户的信息被分成了多个分组，每个分组附加的分组头都需要交换机进行分析处理，从而增加了开销，因此，分组交换适宜于计算机通信等突发性或断续性业务的需求，而不适合于在实时性要求高、信息量大的环境中应用。

(3) 分组交换技术的协议和控制比较复杂，如我们前面提到的逐段链路的流量控制，差错控制，还有代码、速率的变换方法和接口，网络的管理和控制的智能化等。这些复杂的协议使得分组交换具有很高的可靠性，但是它同时也加重了分组交换机处理的负担，使分组交换机的分组吞吐能力和中继线速率的进一步提高受到了限制。



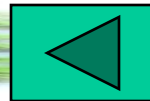
### 4.1.4 分组交换面临的问题

从这些优缺点可以看出，分组交换技术对语音(电话)通信和高速数据通信(2.048 Mb/s以上)是不适应的，它难以满足对实时性要求比较高的电话和视频等业务。这是由于分组交换技术的产生背景是通信网以模拟通信为主的年代，用于传输数据的信道大多数是频分制的电话信道，这种信道的数据传输速率一般不大于9.6 kb/s，误码率为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。这样的误码率不能满足数据通信的要求，通过进行复杂的控制，一方面实现了信道的多路复用，同时把误码率提高到小于 $10^{-11}$ 的水平，满足了绝大多数数据通信的要求。

随着分组交换技术的发展，其性能在不断地提高，功能在不断地完善。分组交换机的分组处理能力由初期的100个分组每秒发展到今天的几万个分组每秒，数据分组通过交换机的时延从几十毫秒缩短到不到1毫秒，分组交换机之间的中继线速率由9.6 kb/s提高到2.048 Mb/s。但是到了20世纪90年代，用户对数据通信网的速率提出了更高的要求，而采用现有分组交换技术的分组交换系统的能力几乎达到了极限，因此人们又开始研究新的分组交换技术。

为了进一步提高分组交换网的分组吞吐能力和传输速率，一方面要提高信道的传输能力，另一方面要发展新的分组交换技术。光纤通信技术的发展为分组交换技术的发展开辟了新的道路。光纤通信具有容量大(高速)、质量高(低误码率)等特点，光纤的数字传输误码率小于 $10^{-9}$ ，光纤数字传输系统能提供40 Gb/s的速率，通常提供2 Mb/s和34 Mb/s信道。在这种通信信道条件下，分组交换中逐段的差错控制、流量控制就显得没有必要，因此快速分组交换FPS(Fast Packet Switching)技术迅速地发展起来。


快速分组交换可以理解为尽量简化协议，只具有核心的网络功能，可提供高速、高吞吐量、低时延服务的交换方式。帧中继作为快速分组交换FPS的一种，是在分组交换的基础上发展起来的，它对其复杂的协议进行了简化，可以更好地适应数字传输的特点，能够给用户提供高速率、低时延的业务，所以近年来得到了迅速的发展。



# 4.2 分组交换原理

## 4.2.1 统计时分复用

正如绪论中所介绍的，在数字传输中，为了提高数字通信线路的利用率，可以采用时分复用的方法。而时分复用有同步时分复用和统计时分复用两种。分组交换中采用了统计时分复用的概念，它在给用户分配资源时，不像同步时分那样固定分配，而是采用动态分配(即按需分配)，只有在用户有数据传送时才给它分配资源，因此线路的利用率较高。





分组交换中，执行统计复用功能的是具有存储能力和处理能力的专用计算机——信息接口处理机(IMP)。IMP要完成对数据流进行缓冲存储和对信息流进行控制的功能，以解决各用户争用线路资源时产生的冲突。当用户有数据传送时，IMP给用户分配线路资源，一旦停发数据，则线路资源另作它用。图4.1所示为3个终端采用统计时分方式共享线路资源的情况。



# 第4章 分组交换技术

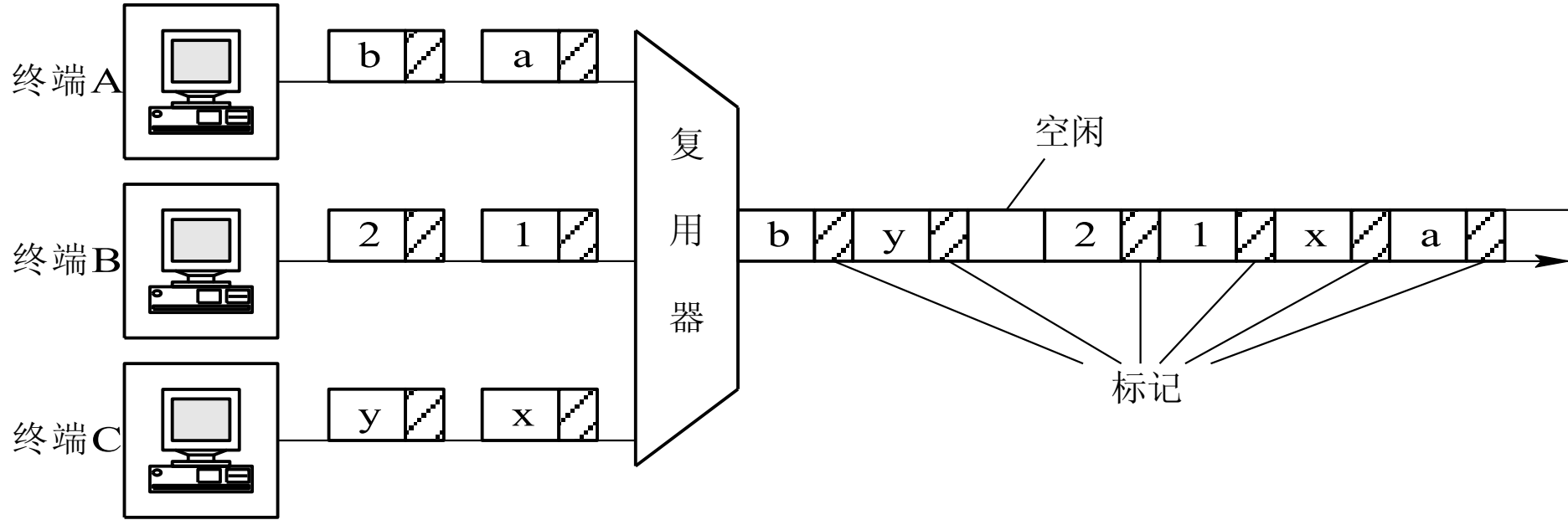


图4.1 统计时分复用

## 第4章 分组交换技术

我们来看看具体的工作过程。来自终端的各分组按到达的顺序在复用器内进行排队，形成队列。复用器按照FIFO的原则，从队列中逐个取出分组向线路上发送。当存储器空时，线路资源也暂时空闲，当队列中又有了新的分组时，又继续进行发送。图4.1中，起初A用户有a分组要传送，B用户有1、2分组要传送，C用户有x分组要传送，它们按到达顺序进行排队：a、x、1、2，因此在线路上的传送顺序为：a、x、1、2，然后终端均暂时无数据传送，则线路空闲。后来，终端C有y分组要送，终端A有b分组要送，则线路上又顺序传送y分组和b分组。这样，在高速传输线上，形成了各用户分组的交织传输。输出的数据不是按固定时间分配，而是根据用户的需要进行的。这些用户数据的区分不像同步时分复用那样靠位置来区分，而是靠各个用户数据分组头中的“标记”来区分的。

统计时分复用的优点是可以获得较高的信道利用率。由于每个终端的数据使用一个自己独有的“标记”，可以把传送的信道按照需要动态地分配给每个终端用户，因此提高了传送信道的利用率。这样每个用户的传输速率可以大于平均速率，最高时可以达到线路的总的传输能力。如线路总的速率为9.6 kb/s，3个用户信息在该线路上进行统计时分复用时的平均速率为3.2 kb/s，而一个用户的传输速率最高时可以达到9.6 kb/s。

统计时分复用的缺点是会产生附加的随机时延并且有丢失数据的可能。这是由于用户传送数据的时间是随机的，若多个用户同时发送数据，则需要竞争排队，引起排队时延；若排队的数据很多，引起缓冲器溢出，则会有部分数据被丢失。

### 4.2.2 逻辑信道

在统计时分复用中，虽然没有为各个终端分配固定的时隙，但通过各个用户的数据信息上所加的标记，仍然可以把各个终端的数据在线路上严格地区分开来。这样，在一条共享的物理线路上，实质上形成了逻辑上的多条子信道，各个子信道用相应的号码表示。图4.2中在高速的传输线上形成了分别为三个用户传输信息的逻辑上的子信道。我们把这种形式的子信道称为逻辑信道，用逻辑信道号LCN(Logical Channel Number)来标识。逻辑信道号由逻辑信道群号及群内逻辑信道号组成，二者统称为逻辑信道号LCN。在统计复用器STDM中建立了终端号和逻辑信道号的对照表，网络通过LCN就可以识别出是哪个终端发来的数据，如图4.2所示。

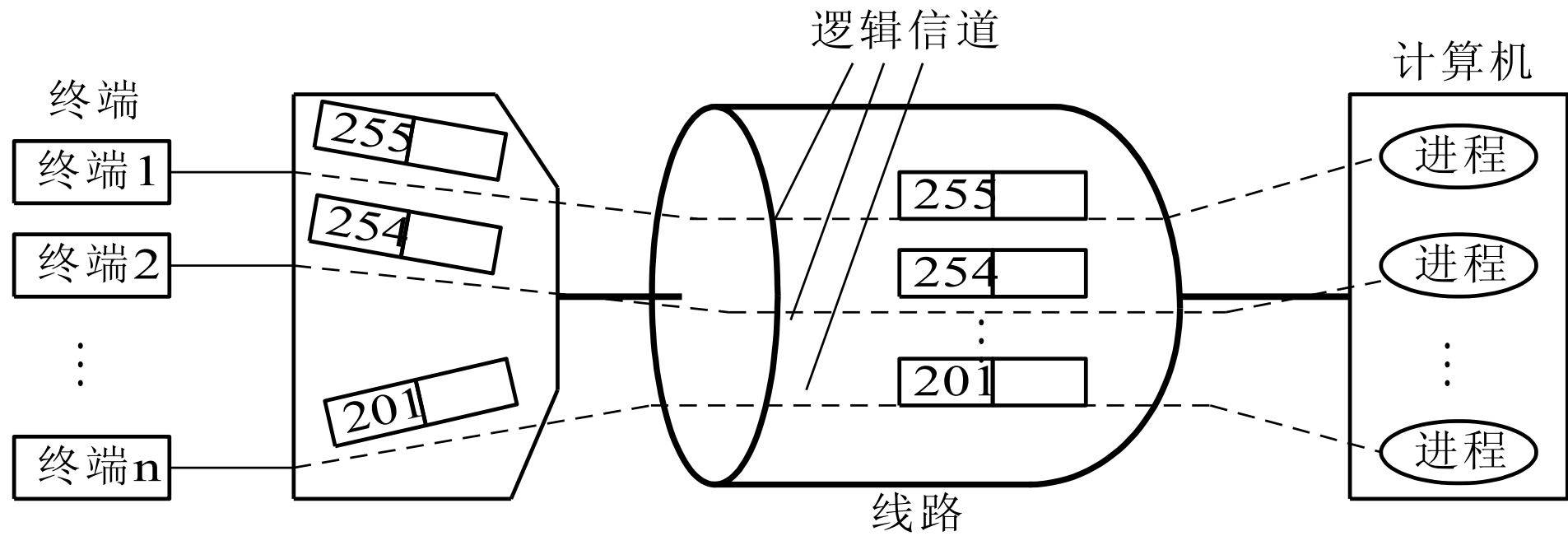



图4.2 逻辑信道的概念示意


逻辑信道具有如下特点：

(1) 由于分组交换采用动态统计时分复用方法，因此是在终端每次呼叫时，根据当时的实际情况分配LCN的。要说明的是，同一个终端可以同时通过网络建立多个数据通路，它们之间通过LCN来进行区分。对同一个终端而言，每次呼叫可以分配不同的逻辑信道号，但在同一次呼叫连接中，来自某一个终端的数据的逻辑信道号应该是相同的。



(2) 逻辑信道号是在用户至交换机或交换机之间的网内中继线上可以被分配的、代表子信道的一种编号资源。每一条线路上，逻辑信道号的分配是独立进行的。也就是说，逻辑信道号并不在全网中有效，而是在每段链路上局部有效，或者说，它只具有局部意义。网内的节点机要负责出/入线上逻辑信道号的转换。


(3) 逻辑信道号是一种客观的存在。逻辑信道总是处于下列状态中的某一种：“准备好”状态、“呼叫建立”状态、“数据传输”状态、“呼叫清除”状态。





### 4.2.3 虚电路和数据报

如前所述，在分组交换网中，来自各个用户的数据被分成一个个分组，这些分组将沿着各自的逻辑信道，从源点出发，经过网络达到终点。问题是：分组是如何通过网络的？分组在通过数据网时有两种方式：虚电路VC(Virtual Circuit)方式和数据报DG(DataGram)方式。两种方式各有其特点，可以适应不同业务的需求。



### 1. 虚电路方式

两终端用户在相互传送数据之前要通过网络建立一条端到端的逻辑上的虚连接，称为虚电路。一旦这种虚电路建立以后，属于同一呼叫的数据均沿着这一虚电路传送。当用户不再发送和接收数据时，清除该虚电路。在这种方式中，用户的通信需要经历连接建立、数据传输、连接拆除三个阶段，也就是说，它是面向连接的方式。

## 第4章 分组交换技术

需要强调的是，分组交换中的虚电路和电路交换中建立的电路不同。不同之处在于：在分组交换中，以统计时分复用的方式在一条物理线路上可以同时建立多个虚电路，两个用户终端之间建立的是虚连接；而电路交换中，是以同步时分方式进行复用的，两用户终端之间建立的是实连接。在电路交换中，多个用户终端的信息在固定的时间段内向所复用的物理线路上发送信息，若某个时间段某终端无信息发送，其它终端也不能在分配给该用户终端的时间段内向线路上发送信息。而虚电路方式则不然，每个终端发送信息没有固定的时间，它们的分组在节点机内部的相应端口进行排队，当某终端暂时无信息发送时，线路的全部带宽资源可以由其它用户共享。换句话说，建立实连接时，不但确定了信息所走的路径，同时还为信息的传送预留了带宽资源；而在建立虚电路时，仅仅是确定了信息所走的端到端的路径，但并不一定要求预留带宽资源。我们之所以称这种连接为虚电路，正是因为每个连接只有在发送数据时才排队竞争占用带宽资源。

如图4.3所示，网中已建立起两条虚电路，VC1：A—1—2—3—B，VC2：C—1—2—4—5—D。所有A—B的分组均沿着VC1从A到达B，所有C—D的分组均沿着VC2从C到达D，在1—2之间的物理链路上，VC1、VC2共享资源。若VC1暂时无数据可送时，网络将保持这种连接，但将所有的传送能力和交换机的处理能力交给VC2，此时VC1并不占用带宽资源。

# 第4章 分组交换技术

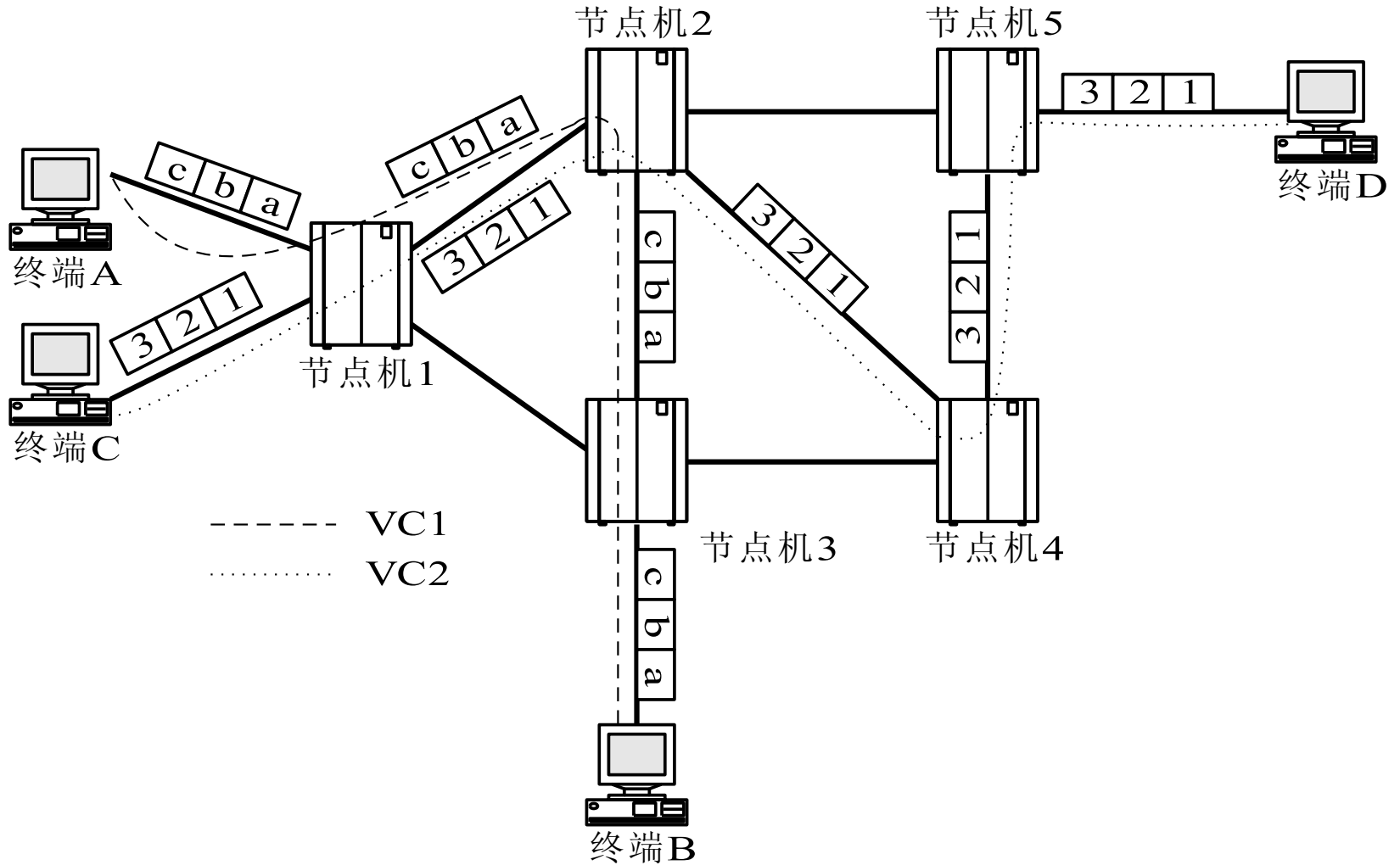



图4.3 虚电路示意图

虚电路的特点是：

(1) 虚电路的路由选择仅仅发生在虚电路建立的时候，在以后的传送过程中，路由不再改变，这可以减少节点不必要的通信处理。

(2) 由于所有分组遵循同一路由，这些分组将以原有的顺序到达目的地，终端不需要进行重新排序，因此分组的传输时延较小。

(3) 一旦建立了虚电路，每个分组头中不再需要有详细的目的地地址，而只需有逻辑信道号就可以区分每个呼叫的信息，这可以减少每一分组的额外开销。




(4) 虚电路是由多段逻辑信道构成的，每一个虚电路在它经过的每段物理链路上都有一个逻辑信道号，这些逻辑信道级连构成了端到端的虚电路。

(5) 虚电路的缺点是当网络中线路或者设备发生故障时，可能导致虚电路中断，必须重新建立连接。

(6) 虚电路的使用场合：虚电路适用于一次建立后长时间传送数据的场合，其持续时间应显著大于呼叫建立时间，如文件传送、传真业务等。

虚电路分为两种：交换虚电路SVC(Switching Virtual Circuit)和永久虚电路PVC (Permanent Virtual Circuit)。

交换虚电路SVC是指在每次呼叫时用户通过发送呼叫请求分组来临时建立虚电路的方式。如果应用户预约，由网络运营者为之建立固定的虚电路，就不需要在呼叫时再临时建立虚电路，而可以直接进入数据传送阶段了，这种方式称之为PVC。这种方式一般适用于业务量较大的集团用户。





### 2. 数据报方式

在数据报方式中，交换节点将每一个分组独立地进行处理，即每一个数据分组中都含有终点地址信息，当分组到达节点后，节点根据分组中包含的终点地址为每一个分组独立地寻找路由，因此同一用户的不同分组可能沿着不同的路径到达终点，在网络的终点需要重新排队，组合成原来的用户数据信息。

如图4.4所示，终端A有三个分组a、b、c要送给B，在网络中，分组a通过节点2进行转接到达3，b通过1—3之间的直达路由到达3，c通过节点4进行转接到达3。由于每条路由上的业务情况(如负荷量、时延等)不尽相同，三个分组的到达不一定按照顺序，因此在节点3要将它们重新排序，再送给B。

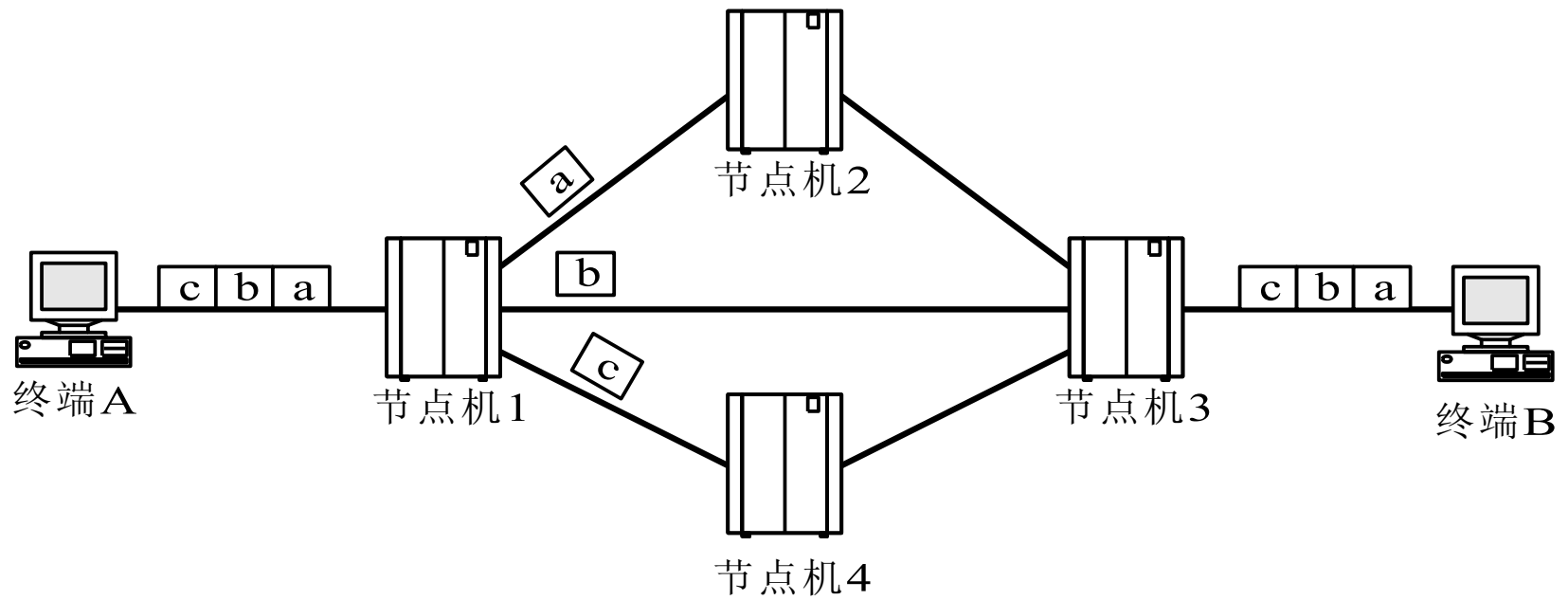


图4.4 数据报方式示意图

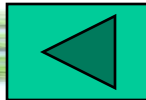
数据报的特点是：

(1) 用户的通信不需要有建立连接和清除连接的过程，可以直接传送每个分组，因此对于短报文通信效率比较高；

(2) 每个节点可以自由地选路，可以避开网中的拥塞部分，因此网络的健壮性较好。对于分组的传送比虚电路更为可靠，如果一个节点出现故障，分组可以通过其它路由传送。

(3) 数据报方式的缺点是：分组的到达不按顺序，在终点各分组需重新排队；并且每个分组的分组头要包含详细的目的地地址，开销比较大。

(4) 数据报的使用场合：数据报适用于短报文的传送，如询问/响应型业务等。



### 4.3 X.25 协议

#### 4.3.1 分层结构

X.25建议是数据终端设备DTE(Digital Terminal Equipment)与数据电路终接设备DCE(Data Circuit-terminating Equipment)之间的接口协议。1976年, ITU-T首次通过了X.25协议, 并于1980年、1984年、1988年多次作了修改。它为利用分组交换网的数据传输系统在DTE和DCE之间交换数据和控制信息规定了一个技术标准。

X.25协议分为三层: 物理层, 链路层和分组层, 分别和OSI的下三层一一对应, 如图4.5所示。

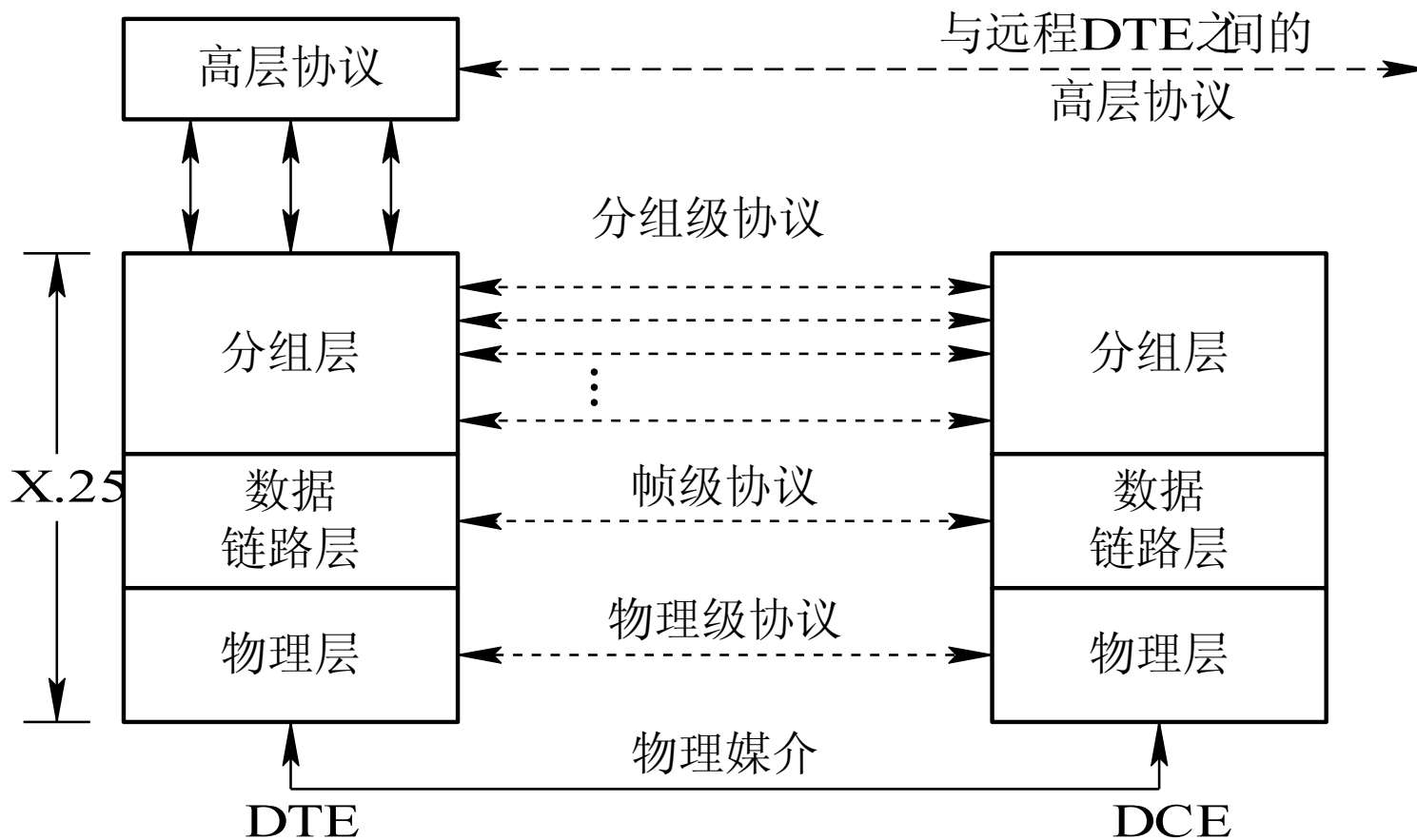


图4.5 X.25协议的分层结构

### 4.3.2 物理层


物理层定义了DTE和DCE之间建立、维持、释放物理链路的过程，包括机械、电气、功能和过程特性，相当于OSI的物理层。

X.25的物理层就像是一条输送信息的管道，它不执行重要的控制功能，控制功能主要由链路层和分组层来完成。



### 4.3.3 数据链路层

链路层规定了在DTE和DCE之间的线路上交换X.25帧的过程。链路层规程用来在物理层提供的双向的信息传送管道上实施信息传输的控制。链路层的主要功能有：

- (1) 在DTE和DCE之间有效地传输数据；
  - (2) 确保接收器和发送器之间信息的同步；
  - (3) 监测和纠正传输中产生的差错；
  - (4) 识别并向高层协议报告规程性错误；
  - (5) 向分组层通知链路层的状态。
- 

数据链路层处理的数据结构是帧。X.25的链路层采用了高级数据链路控制规程HDLC(High-Level Data Link Control)的帧结构，并推荐它的一个子集平衡型链路接入规程LAPB(Link Access Procedures Balanced)作为链路层规程。它通过置异步平衡方式(SABM)命令要求建立链路。用LAPB建立链路只需要由两个站中的任意一个站发送SABM命令，另一站发送UA响应即可以建立双向的链路。



## 1. 帧结构

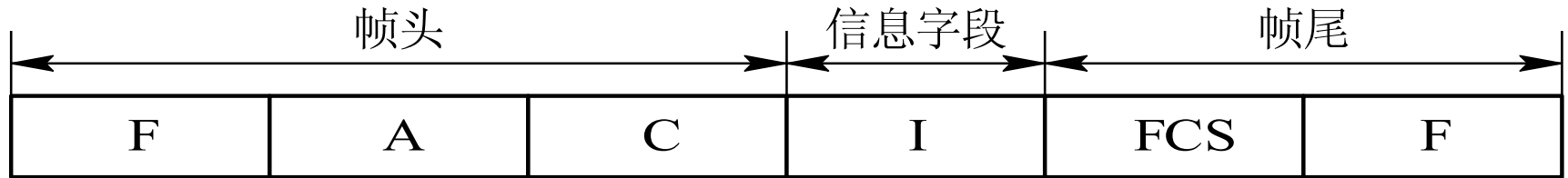




图4.6 LAPB的帧结构

- (1) 标志F：为帧标志，编码为01111110。F为帧的限定符，所有的帧都应以F开始和结束。
  - (2) 地址字段A：由一个8比特组组成，表示链路层的地址。
  - (3) 信息字段I：为传输用户信息而设置的，用来装载分组层的数据分组，其长度可变。在X.25中，长度限额一般为一个分组长度，即128字节或256字节。
  - (4) 帧校验序列FCS：包含在每个帧的尾部，长度为16比特，用来检测帧的传送过程中是否有错。FCS采用循环冗余码，可以用移位寄存器实现。
- 

(5) 控制字段C：由一个8比特组组成，主要作用是指示帧的类型。在X.25中共定义了三类帧：

① 信息帧(I帧)：由帧头、信息字段I和帧尾组成。I帧用于传输高层的信息，即在分组层之间交换的分组，分组包含在I帧的信息字段中。I帧的C字段的第1个比特为“0”，这是识别I帧的唯一标志，第2~8比特用于提供I帧的控制信息，其中包括发送顺序号N(S)，接收顺序号N(R)，探寻位P，这些字段用于链路层差错控制和流量控制。



② 监控帧(S帧): 没有信息字段, 其作用是用来保护I帧的正确传送。监控帧的标志是C字段的第2、1位为“01”。监控帧有3种: 接收准备好(RR), 接收未准备好(RNR)和拒绝帧(REJ)。RR用于在没有I帧发送时向对端发送肯定证实信息; REJ用于重发请求; RNR用于流量控制, 通知对端暂停发送I帧。

③ 无编号帧(U帧): 其作用不是用于实现信息传输的控制, 而是用于实现对链路的建立和断开过程的控制。识别无编号帧的标志是C字段的第2、1位为“11”。无编号帧包括: 置异步平衡方式(SABM), 断链(DISC), 已断链方式(DM), 无编号确认(UA), 帧拒绝(FRMR)等。其中, SABM、DISC分别用于建立链路和断开链路, UA和DM分别为SABM、DISC进行肯定和否定的响应, FRMR表示接收到语法正确但语义不正确的帧, 它将引起链路的复原。

各种帧的作用见表4.1所示。



## 表4.1 X.25数据链路层的帧类型

分 类	名 称	缩 写	作 用
信息帧	—	I 帧	传输用户数据
监控帧	接收准备好	RR	向对方表示已经准备好接收下一个 I 帧
	接收未准备好	RNR	向对方表示“忙”状态，这意味着暂时不能接收新的 I 帧
	拒绝帧	REJ	要求对方重发编号从 N(R)开始的 I 帧
无编号帧	置异步平衡方式	SABM	用于在两个方向上建立链路
	断链	DISC	用于通知对方，断开链路的连接
	已断链方式	DM	表示本方已与链路处于断开状态，并对 SABM 做否定应答
	无编号确认	UA	对 SABM 和 DISC 的肯定应答
	帧拒绝	FRMR	向对方报告出现了用重发帧的办法不能恢复的差错状态，将引起链路的复原


### 2. 链路操作过程

数据链路层的操作分为三个阶段：链路建立，帧的传输和链路断开。

#### 1) 链路建立

DTE通过发送连续的标志F来表示它能够建立数据链路。

原则上，DTE或DCE都可以启动数据链路的建立，但一般是由DTE在接入时启动的。在开始建立数据链路之前，DCE或DTE都能够启动链路断开过程，以确保双方处于同一阶段。DCE还能主动发起DM响应帧，要求DTE启动链路建立过程。



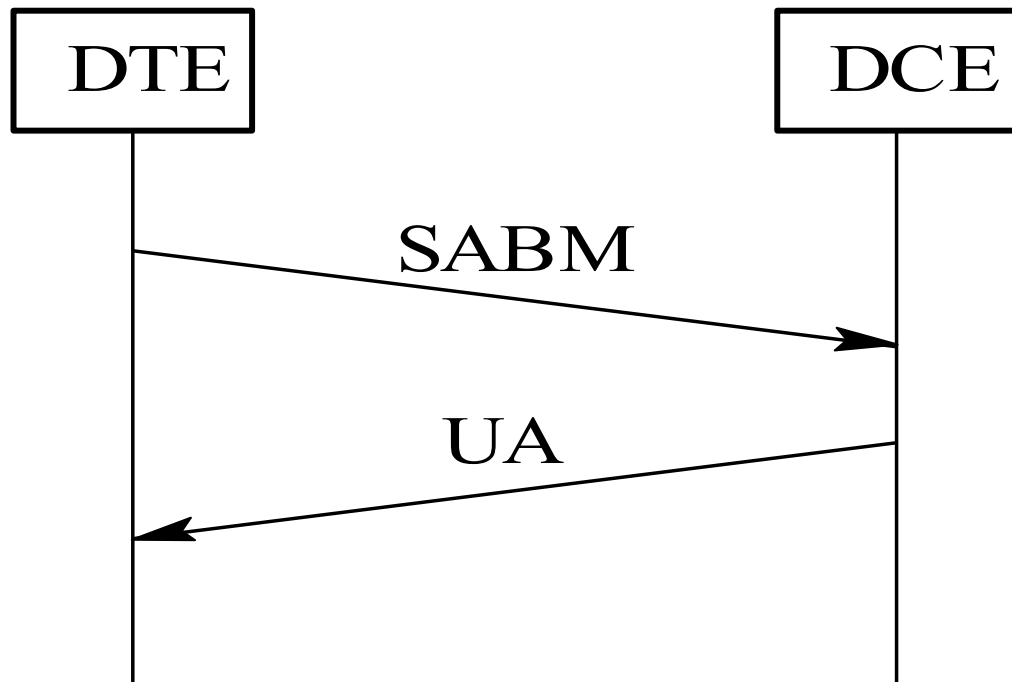


图4.7 链路建立的过程



这里以DTE发起过程为例来说明链路建立的过程。如图4.7所示，DTE通过向DCE发送置异步平衡方式SABM命令启动数据链路建立过程，DCE接收到后，如果认为它能够进入信息传送阶段，它将向DTE回送一个UA响应帧，则数据链路建立成功；DCE接收到后，如果它认为不能进入信息传送阶段，它将向DTE回送一个DM响应帧，则数据链路未建立。

链路建立的过程如图4.7所示。



### 2) 帧的传输

当链路建立之后，就进入信息传输阶段，即在DTE和DCE之间交换I帧和S帧。I帧的传输控制是通过帧的顺序编号和确认、链路层的窗口机制和链路传输计时器等功能来实现的。具体实现过程不再详细介绍，有兴趣的读者请参阅X.25的协议。



### 3) 链路断开过程

链路断开过程是一个双向的过程，可由任意方发起。这里以DTE发起为例来说明链路断开的过程。若DTE要求断开链路，它向DCE发送DISC命令帧，若DCE原来处于信息传输阶段，则用UA响应帧确认，即完成断链过程；若DCE原来已经处于断开阶段，则用DM响应帧确认。

链路断开的过程如图4.8所示。



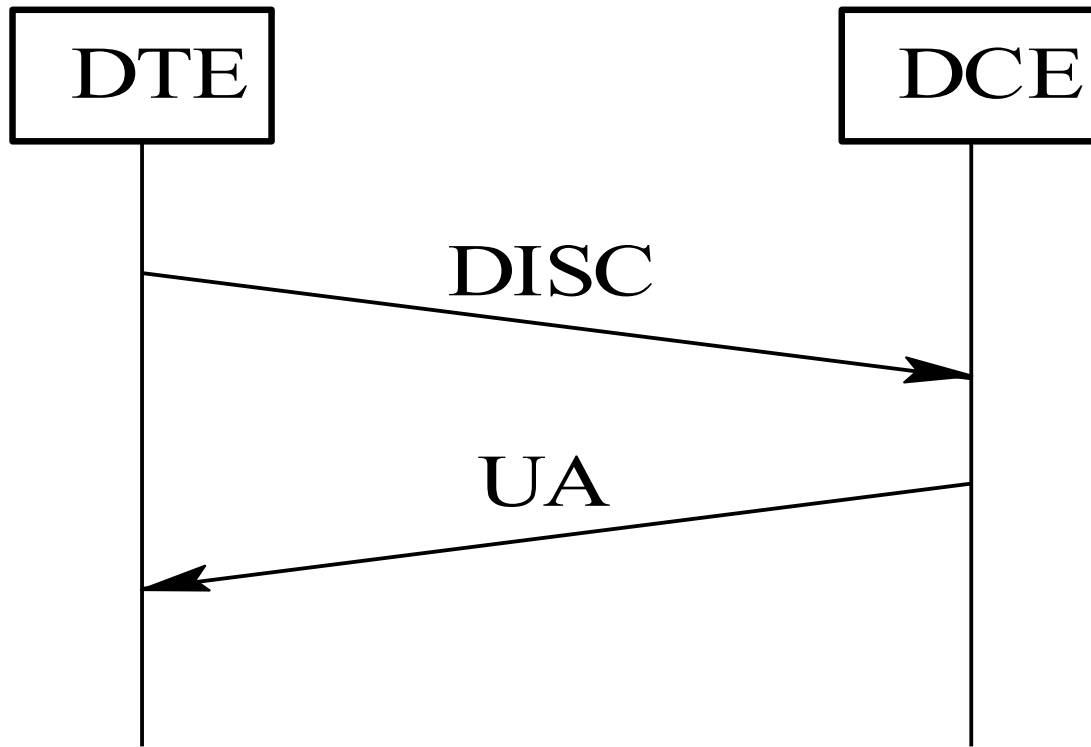



图4.8 链路断开的过程

### 4.3.4 分组层

X.25的分组层利用链路层提供的服务在DTE—DCE接口上交换分组。它将一条数据链路按统计时分复用的方法划分为许多个逻辑信道，允许多台计算机或终端同时使用，以充分利用数据链路的传输能力和交换机资源，实现通信能力和资源的按需分配。

在分组层，交换机要为用户提供交换虚电路(SVC)和永久虚电路(PVC)，并为每次呼叫提供一个逻辑信道，进行有效的分组传输，包括顺序编号，分组的确认和流量控制过程等。



## 1. 分组格式

X.25的分组层定义了每一种分组的类型和功能。分组的格式如图4.9所示，它由分组头和分组数据两部分组成。

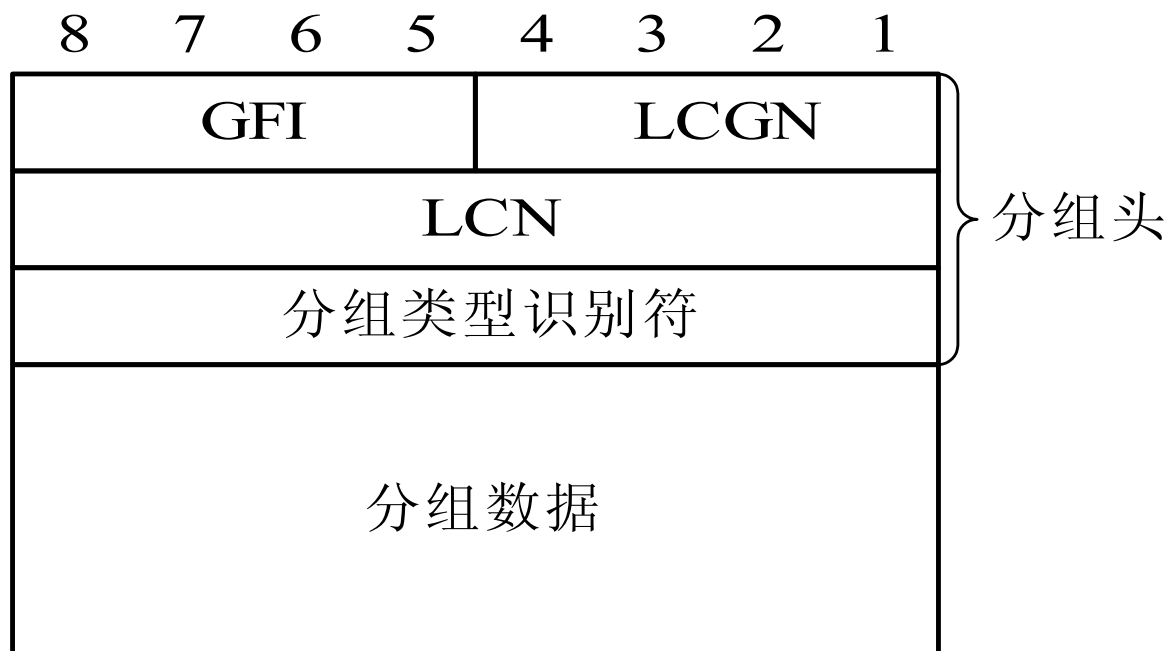


图4.9 X.25的分组格式

(1) 通用格式识别符GFI: 包含4 bit, 它为分组定义了一组通用功能。GFI的格式如图4.10所示。其中, Q比特用来区分传输的分组包含的是用户数据还是控制信息, Q=0时为用户数据, Q=1时为控制信息。D比特用来区分数据分组的确认方式, D=0表示数据分组由本地确认(在DTE—DCE接口上确认), D=1表示数据分组进行端到端(DTE—DTE)确认。SS=01表示按模8方式工作, SS=10表示按模128方式工作。

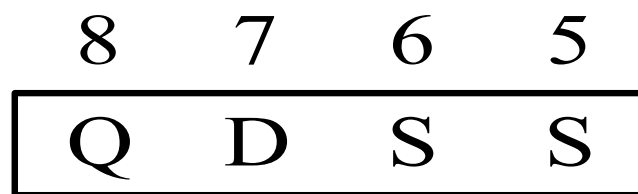


图4.10 分组头GFI的格式

(2) 逻辑信道群号LCGN和逻辑信道号LCN：共12 bit，用于区分DTE—DCE接口上许多不同的逻辑信道。X.25分组层规定一条数据链路上最多可分配16个逻辑信道群，各群用LCGN区分；每群内最多可有256条逻辑信道，用信道号LCN区分。除了第0号逻辑信道有专门用途外，其余4095条逻辑信道均可分配给虚电路使用。

(3) 分组类型识别符：共8 bit，用来区分各种不同的分组。X.25的分组层共定义了4大类30个分组。分组类型如表4.2所示。




## 表4.2 X.25定义的分组类型

类 型		DTE? DCE	DCE? DTE	功 能
呼叫建立分组		呼叫请求 呼叫接受	入呼叫 呼叫连接	在两个 DTE 之间建立 SVC
数据传送 分组	数据分组	DTE 数据	DCE 数据	两个 DTE 之间传送用户数据
	流量控制分组	DTE RR DTE RNR DTE REJ	DCE RR DCE RNR	流量控制
	中断分组	DTE 中断 DTE 中断证实	DCE 中断 DCE 中断证实	加速传送重要数据
	登记分组	登记请求	登记证实	申请或停止可选业务
恢复分组	复位分组	复位请求 DTE 复位证实	复位指示 DCE 复位证实	复位一个 SVC
	重启动分组	重启动请求 DTE 重启动证实	重启动指示 DCE 重启动证实	重启动所有 SVC
	诊断分组	—	诊断	诊断
呼叫清除分组		清除请求 DTE 清除证实	清除指示 DCE 清除证实	释放 SVC

### 2. 分组层处理过程

分组层定义了DTE和DCE之间传输分组的过程。

如前所述，X.25支持两类虚电路连接：交换虚电路(SVC)和永久虚电路(PVC)。SVC要在每次通信时建立虚电路，而PVC是由运营商设置好的，不需要每次建立。因此，对于SVC来说，分组层的操作包括呼叫建立、数据传输、呼叫清除三个阶段；而对于PVC来说，只有数据传输阶段的操作，无呼叫建立和清除过程。



### 1) SVC的呼叫建立过程

正常的呼叫建立过程如图4.11所示。当主叫DTE1想要建立虚呼叫时，它就在至交换机A的线路上选择一个逻辑信道(图中为253)，并发送呼叫请求分组，如表4.3所示。该“呼叫请求”分组中包含了可供分配的高端LCN和被叫DTE地址。

表4.3中，前三个字节为分组头，GFI、LCGN、LCN的意义如前所述，第三个字节即分组类型识别符为00001011，表示这是一个呼叫请求分组。在数据部分包含有详细的被叫DTE地址和主叫DTE地址。

## 表4.3 呼叫请求分组的格式

GFI				LCGN			
LCN							
0	0	0	0	1	0	1	1
主叫 DTE 地址长度				被叫 DTE 地址长度			
被叫 DTE 地址							
被叫 DTE 地址				0	0	0	0
主叫 DTE 地址							
主叫 DTE 地址				0	0	0	0
其它信息							

源端交换机A收到DTE1送来的呼叫请求分组后，要根据被叫DTE的地址判断被叫DTE所连接的终端交换机C，然后查A的路由表选择去往终端交换机C的路由。假设选择的路由要经过交换机B进行转接，则交换机A将该呼叫请求分组转换成网络内部规程格式，转发至交换机B，然后再通过交换机B传送到终端交换机C。为了理解容易，这里我们假设网络内部也采用X.25协议进行虚电路连接。这样，每个交换机进行路由选择后，都要选择一个逻辑信道将该分组传送到下一交换机或被叫终端。由于每一段线路上所选择的LCN并不相同，因此每个交换机中要建立一张转发表，表示入端LCN和出端LCN之间的映射关系。

图4.11中表(a)、(b)、(c)分别是交换机A、B、C中建立的转发表。表(a)表示从入端口DTE1的253号逻辑信道来的信息要转发至出端口B交换机的20号逻辑信道，表(b)表示了从入端口交换机A的20号逻辑信道来的信息要转发至出端口交换机C的78号逻辑信道，此时终端交换机C再将网络规程格式的呼叫请求分组转换为入呼叫分组，并选择一个逻辑信道发送给被叫DTE2。表(c)则表示了从入端口交换机B的78号逻辑信道来的信息要通过10号逻辑信道发送至被叫DTE2。

# 第4章 分组交换技术

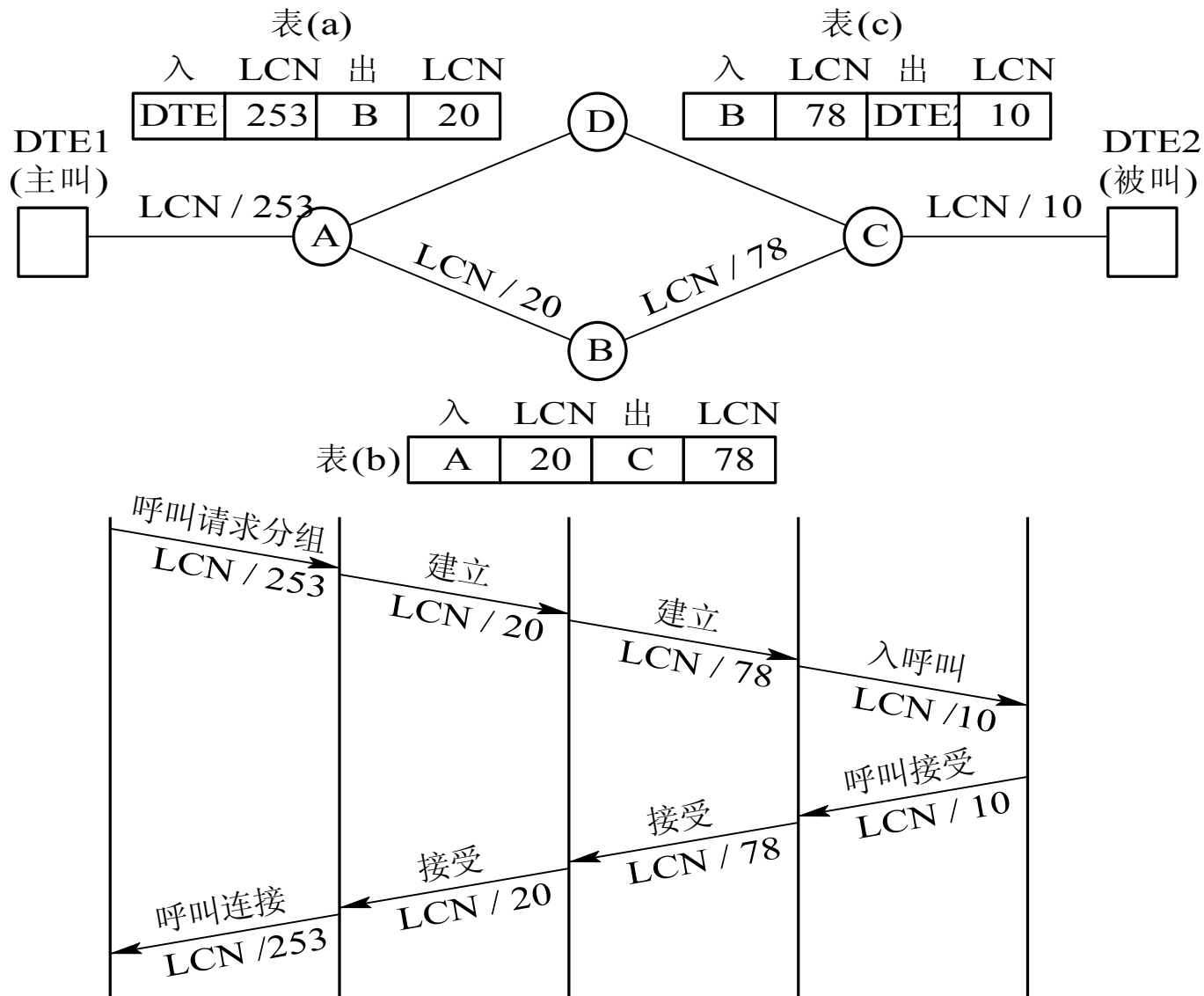


图4.11 呼叫建立过程

若被叫DTE2可以接受呼叫，则向交换机C发送“呼叫接受”分组，表示同意建立虚电路，该分组中的LCN必须与“入呼叫”分组中的LCN(10)相同。交换机C接收到“呼叫接受”分组之后，通过网络规程传送到交换机B，交换机B再送给交换机A，交换机A发送呼叫连接分组到主叫DTE1，此呼叫连接分组中的LCN与呼叫请求分组中的LCN(253)相同。主叫DTE接收到呼叫连接分组之后，表示主叫DTE和被叫DTE之间的虚电路已经建立。此时，可以进入数据传输阶段。



### 2) 数据传输阶段


当主叫DTE和被叫DTE之间完成了虚呼叫的建立之后，就进入了数据传输阶段，DTE和DCE对应的逻辑信道就进入数据传输状态。此时，在两个DTE之间交换的分组包括数据分组、流量控制分组和中断分组。

无论是PVC，还是SVC，都有数据传输阶段。在数据传输阶段，交换机的主要作用是逐个转发分组。由于虚电路已经建立，属于该虚电路的分组将顺序沿着这条虚电路进行传输，此时分组头中将不再需要包含目的地的详细地址，而只需要有逻辑信道号即可。在每个交换节点上，要将分组进行存储，然后进行转发。转发是指根据分组头中的LCN查相应的转发表，找到相应的出端口和出端的LCN，用该LCN替换分组头中的入端口LCN，然后将分组在指定的出端口进行排队，等到有空闲资源时，将分组传送至线路上。

### 3) SVC的呼叫清除过程

在虚电路任何一端的DTE都能够清除呼叫。呼叫清除过程将导致与该呼叫有关的所有网络信息被清除，所有网络资源被释放。

呼叫清除的过程如图4.12所示。主叫DTE1发送清除请求分组给交换机A，再通过网络到达交换机C，交换机C发清除指示分组给被叫DTE2，被叫DTE2用清除证实分组予以响应。该清除证实分组送到交换机C，再通过网络传到交换机A，交换机A再发送清除证实到主叫DTE1。完成清除协议之后，虚呼叫所占用的所有逻辑信道都被释放。



# 第4章 分组交换技术

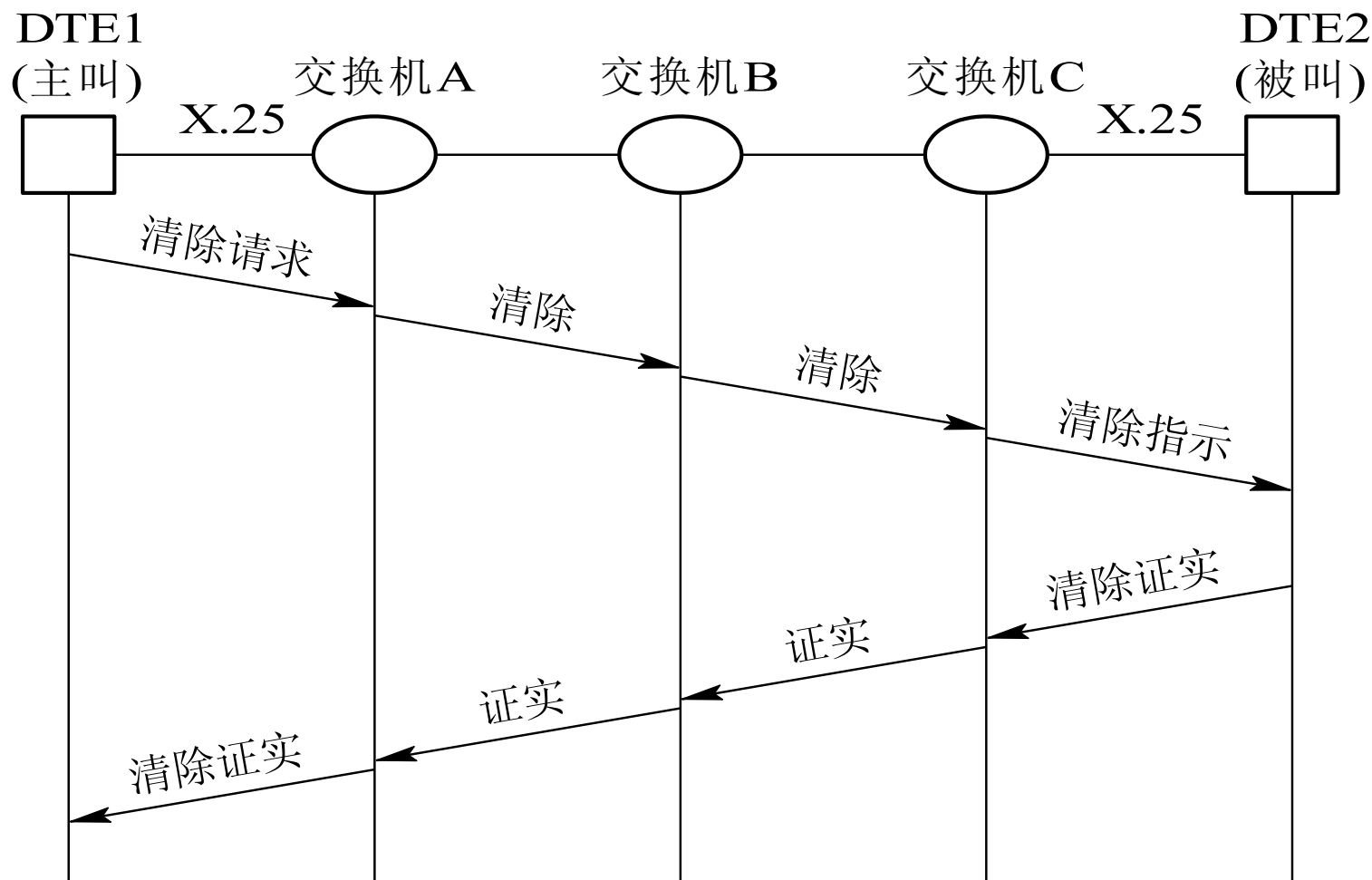
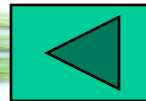


图4.12 呼叫清除过程



# 4.4 分组交换机

## 4.4.1 分组交换机在分组网中的作用


### 1. 虚电路方式下分组交换机的作用

(1) 路由选择。呼叫建立阶段，分组交换机要按照用户的要求进行路由选择，在源点和终点的用户终端设备之间建立起一条虚电路，在这个虚电路所经过的每段链路上，都有一个逻辑信道来传送属于该虚电路的信息。因此，在选择路由的同时，交换机内部要建立起一张出/入端与逻辑信道号之间的映射关系，即转发表，以便属于该虚电路的分组均沿着同一条虚电路到达终点。在呼叫拆除阶段，交换机要负责拆除虚电路，释放每段链路上的逻辑信道资源。

(2) 分组的转发，即按转发表进行转发分组。在信息传输阶段，交换机要按照转发表中的映射关系，把某一入端逻辑信道中送来的分组信息转发到对应的出端，进行排队，当出端口有相应的带宽时，在对应的逻辑信道中转发出去。


### 2. 数据报方式下分组交换机的作用

数据报方式下不需要进行连接建立和连接拆除的过程，只有信息的传送过程。此时，每个交换机对来自用户的每个分组都要进行路由的选择。一旦选好路由，就将该分组直接进行转发，而不需要转发表。当下一分组到来时，再重新进行路由选择。



### 4.4.2 分组交换机的功能结构

由于ITU-T只对分组交换网和终端之间的互连方式作了规范，而对网内的设备如交换机之间的协议并未作规范，因此各个厂家的内部协议并不统一，生产的分组交换机也是多种多样，不尽相同，但其完成的基本功能是一样的。从功能上讲，分组交换机一般由4个主要功能部件组成：接口模块、分组处理模块、控制模块和维护操作与管理模块，如图4.13所示。





# 第4章 分组交换技术

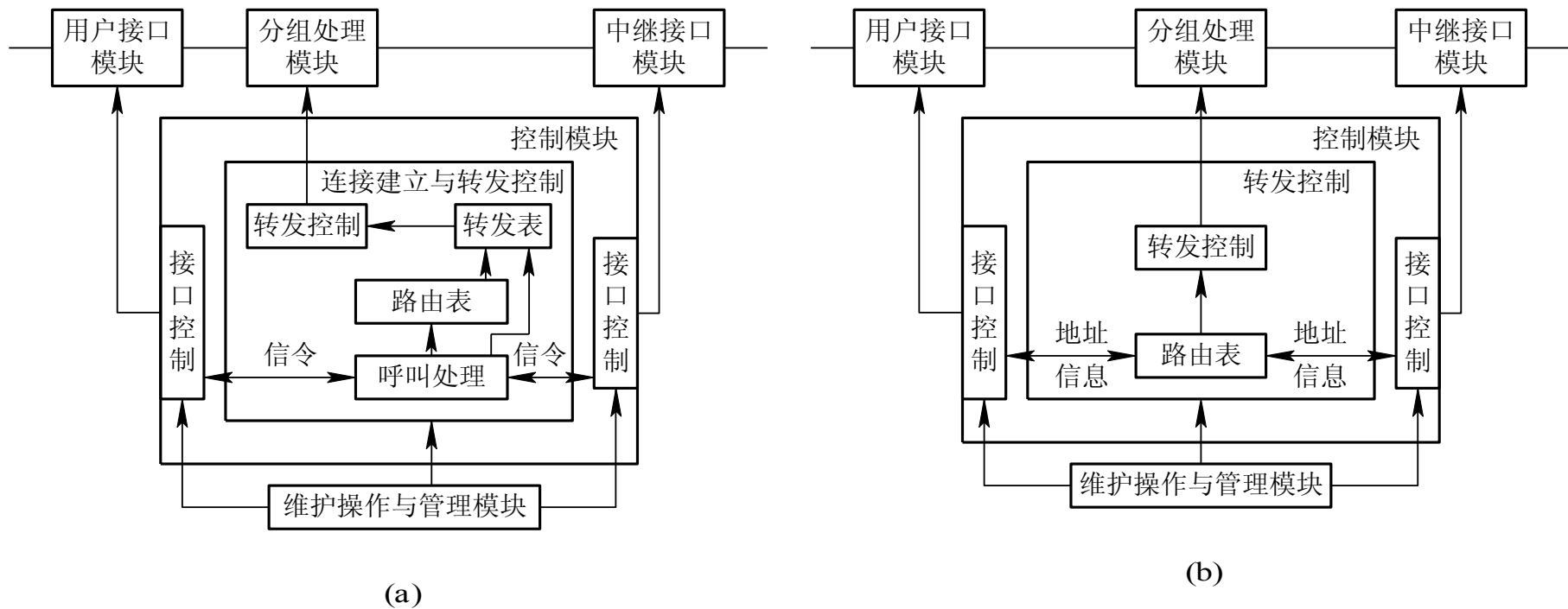



图4.13 分组交换机的功能结构  
(a) 虚电路方式；(b) 数据报方式

### 1. 接口功能模块

接口功能模块负责分组交换机和用户终端之间或与其它交换机之间的互连，包括中继接口模块和用户接口模块。接口功能模块完成接口的物理层功能，定义了用户线和中继线接入分组交换机时的物理接口，包括机械、电气、功能、规程等特性。

分组交换机中常用的物理接口包括ITU-T的X.21、X.21 bis、V.24等。X.21是一种高速物理层接口，可以支持高达10 Mb/s的链路速率，适用于全数字网。X.21 bis和 V.24兼容，两者的电气接口都采用 V.28，即著名的RS-232，可以支持直至19.2 kb/s的链路速率。




### 2. 分组处理模块

分组处理模块的主要任务是实现分组的转发。在采用虚电路和数据报的情况下处理稍有不同。

在数据报情况下，分组处理模块将从接口上送来的分组按照分组头上的目的地址进行路由选择后，从另一接口转发出去。

若采用虚电路方式，在信息传输阶段，分组处理模块将从接口上送来的分组按照分组头上的逻辑信道号按转发表的要求从另一接口转发出去。此时交换模块对接收到的分组进行严格的检查，交换机中保存每一个虚呼叫的状态，据此检查接受的分组是否和其所属呼叫的状态相容，这样可以对分组进行流量控制。



### 3. 控制模块

控制模块完成对分组处理模块和接口模块的控制。控制模块的作用主要有两个：

(1) 连接建立与转发控制。在虚电路和数据报的情况下，处理稍有不同：

- 对于虚电路方式：如图4.13(a)所示，在呼叫建立阶段，控制模块根据用户的呼叫要求(信令信息)进行呼叫处理，并根据路由表进行路由选择，以建立虚电路并生成转发表；而在信息传输阶段，要按照转发表，控制分组的转发过程。
- 对于数据报方式：只有信息传输阶段，如图4.13(b)所示，交换机根据分组头的地址信息查询路由表，直接将分组进行转发，不需要进行呼叫处理和生成转发表。

(2) 接口控制。完成X.25链路层的功能，如差错控制和流量控制。在X.25中，数据链路层要进行逐段链路上的差错控制和流量控制，这是靠I帧和S帧的C字段中的发送顺序号N(S)、接收顺序号N(R)、探寻/最终位P/F等进行的，包括帧的确认、重发机制、窗口机制等控制措施；在分组层，要对每条虚电路进行差错控制和流量控制，其控制机理与链路层相似，但控制的层次不同。

### 4. 维护操作与管理模块

该模块完成对分组交换机各部分的维护操作和管理功能。



### 4.4.3 分组交换机的指标体系

衡量一个分组交换机的性能指标主要有以下几种：

(1) 分组吞吐量：表示每秒通过交换机的数据分组的最大数量。在给出该指标时，必须指出分组长度，通常为128字节/分组。一般小于50分组/秒的为低速率交换机，50~500分组/秒的为中速率交换机，大于500分组/秒的为高速率交换机。


分组吞吐量常用业务量发生器测试。业务量发生器与分组交换机的两个端口分别相连，一个用于发送，另一个用于接收。在分组交换机的处理能力达到极限之前的最大分组发送速率即为分组交换机的分组吞吐量。

(2) 链路速率：指交换机能支持的链路的最高速率。一般小于19.2 kb/s的为低速率链路，19.2~64 kb/s的为中速率链路，大于64 kb/s为高速率链路。

(3) 并发虚呼叫数：指的是交换机可以同时处理的虚呼叫数。

(4) 平均分组处理时延：指的是将一个数据分组从输入端口传送至输出端口所需的平均处理时间。在给出该指标时也必须指出分组长度。

(5) 可靠性：包括硬件可靠性和软件可靠性。可靠性用平均故障间隔时间MTBF来表示。





(6) 可利用度：指的是交换机运行的时间比例，它与硬件故障的平均修复时间及软件故障的恢复时间有关。平均故障修复时间MTTR是指从出现故障开始到排除故障，网络恢复正常工作为止的时间。可用性A可以用平均故障间隔时间MTBF和平均故障修复时间MTTR来表示：

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

(7) 提供用户可选补充业务和增值业务的能力：指交换机给用户提供的业务除基本业务外，还能提供哪些供用户可选的补充业务和增值业务。


### 4.4.4 DPN-100型分组交换机

我国分组交换骨干网CHINAPAC统一使用北方电讯的DPN-100分组交换机，因此下面以DPN-100为例来介绍典型的分组交换机。

#### 1. DPN-100的技术特点

DPN-100的技术特点包括：


(1) 模块化的网络结构。DPN-100分组交换机采用模块化结构。其中，中、小型交换机是由两种标准模块组成的：接入模块AM和资源模块RM。而大型分组交换机采用5种模块，除AM、RM之外，还有中继线模块TM、网络链路模块NLM和DMS总线。



(2) 智能化的路由选择方法。DPN-100分组交换机在内部无连接子网的基础上，在接口处使用虚电路提供了可靠的路由机制。


(3) 广泛的用户接入业务和规程。DPN-100分组交换机支持非常广泛的规程进网，并提供一个资源共享的通信环境，将各种不同种类的数据通信设备连接到一起。

(4) 功能完善的网络管理。DPN-100有一个非常全面的网络管理系统，它可以在提供高度可靠和使用方便的网络业务的同时，满足网络运行上的管理要求，包括网络故障管理、性能管理、配置管理、安全管理和计费管理等。



### 2. DPN-100交换机的结构

如前所述，DPN-100交换机属于模块化设计，它由各种不同作用的模块构成。如图4.14所示，AM(Access Module)和RM(Resource Module)是构成网络的两种基本模块。AM连接用户到网络，即它们提供DTE的接入功能，完成物理层接口和链路层接口功能。RM连接AM到网络的其它部分，并提供数据网络中与分组传送有关的各种功能。



# 第4章 分组交换技术

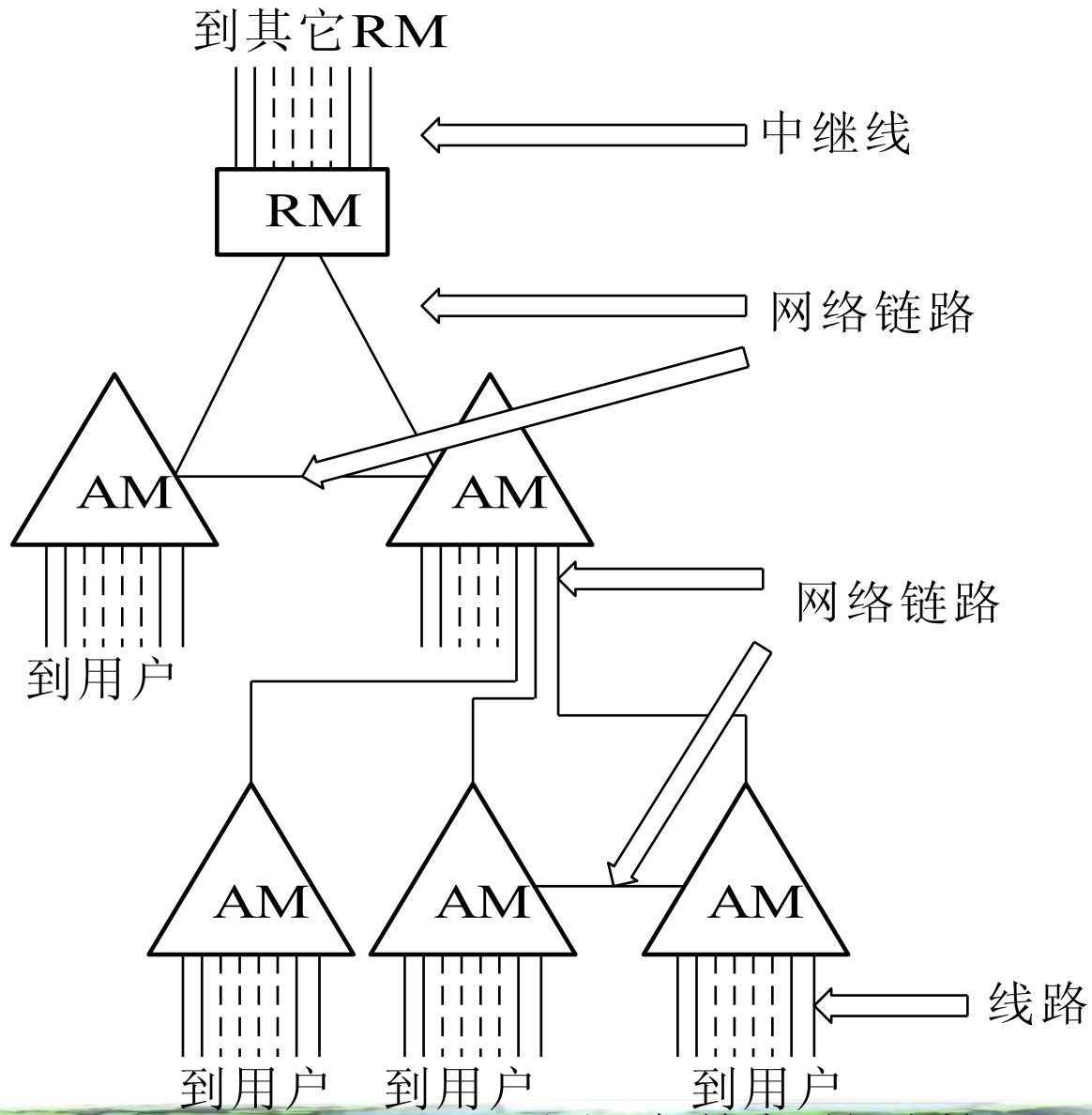



图4.14 DPN-100分组交换机的结构

如图4.14所示，网络链路(network links)将AM连接到网络，可能是将一个AM连到一个RM上，也可能是将一个AM连到另一个AM上。对于后一种情况，AM组成了一个子网或群集(cluster)。RM通过中继线(trunk)连接到其它RM，用户通过用户线(line)接入AM。用户线的速率可达64 kb/s，链路的速率可达256 kb/s，中继线的速率可达2.048 Mb/s。




### 1) 接入模块AM

AM为用户接入线路和DPN-100网络之间提供接口，一个AM可以连接200多条用户线。用户设备可能包括：主机；连接到多个用户终端的复用设备和控制器；单个用户终端或个人计算机；银行自动设备；局域网(LAN)等。


AM提供连接用户的接口，包括一个连接器和物理电路以及相关的协议。AM的功能包括：

(1) 协议支持：DPN-100的AM可支持ITU-T建议的以下协议：X.25，X.32(PSTN)，X.75网关，X.3/X.28/X.29，X.31(ISDN)，帧中继接入等；



(2) 数据集中：通常在用户接入线路上的数据流量是不连续的，它以突发形式到达。AM把来自多个接入线路的数据分组集中到少数几条长距离电路上，以降低长距离电路的费用。数据集中是AM提供的最重要的功能之一。

(3) 本地交换：当主/被叫两条通信线路连接到同一个AM上时，AM可独立完成本地数据交换，但用户之间数据交换电路的确定必须由RM模块完成。本地交换也可在AM群集范围内使用。在一个群集范围内，数据可以从一个AM发送给下一个AM。






(4) 虚电路控制：是指源节点和终节点的AM在呼叫建立阶段建立起的关于该虚电路的联系。若干条虚电路共享同样的中继线路群、网络链路群和接入线路群，虚电路两端的AM负责虚电路控制，以便使网络内部数据可以绕过故障或负荷过重的设备。这种控制功能和数据自动迂回路由对于用户来说是透明的。

(5) 其它功能：AM还要执行一些其它的功能，包括速率匹配、分组的组装和拆卸以及网络链路的负载平衡等。

### 2) 资源模块RM

DPN-100的RM通过网络链路与AM连接，同时RM通过中继线与网络中的其它RM连接，主要提供分组转发和呼叫路由选择功能。


RM执行以下功能：

- (1) 分组转发；
  - (2) 呼叫建立；
  - (3) 中继线控制；
  - (4) 网络链路和中继线的负载平衡；
  - (5) 分布式网络管理。
- 

### 3) 模块构成

如图4.15所示，AM和RM具有相似的结构，但配有不同的软件，执行不同的功能。它们都由标准电路板——处理器单元(PE)和外围接口(PI)构成，多处理机之间由双公共总线相连接，并配有公共存储器和磁盘等。

处理器单元PE是模块内驱动处理过程的“发动机”，它提供运行软件的处理能力，支持由各个模块执行的多种功能。一个PE是一个单板微机，包括一个80286或80386处理器，EPROM，本地存储器，通用总线接口，外围总线接口等。



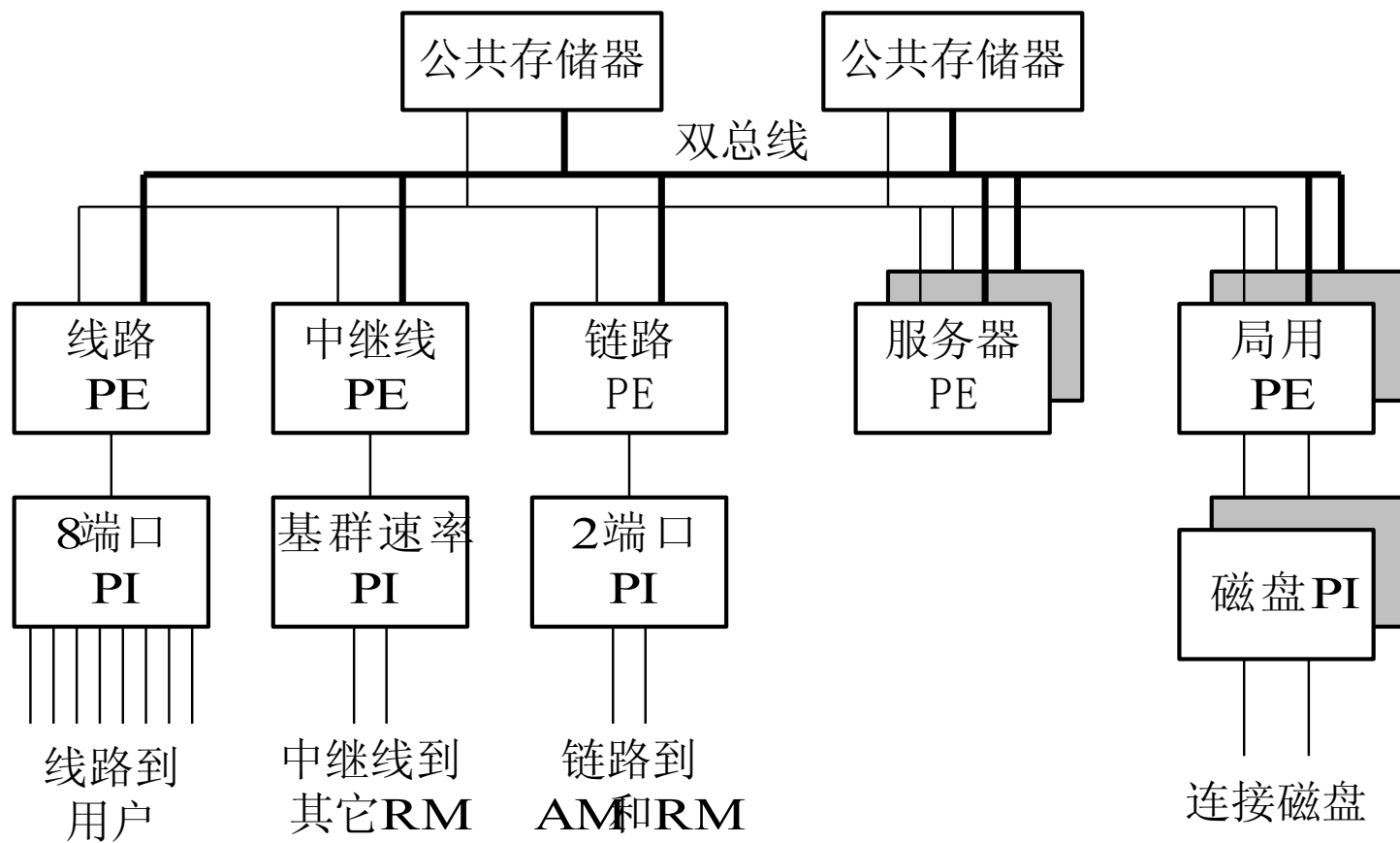


图4.15 AM、RM模块的结构图

## 第4章 分组交换技术

在PE电路板中装入不同的软件可以执行不同的功能，例如，局用PE(OFFICE PE)负责将软件和数据装入模块，提供相应的路由信息和与网络管理系统的接口。每一个模块都由它自己的OFFICE PE去控制，在每个模块中有两个OFFICE PE，当一个发生故障时，另一个接替它的工作。另一种是服务器PE(Server PE)，它用于提供网络服务，安装在RM或AM中。Server PE的主要功能是在呼叫建立时完成用户地址到路由标识的转换。

所有支持通信线路的PE都通过外围接口(PI)电路板实现与线路的物理连接。PI是在PE和其它设备间提供物理接口的电路板，不同的PI可以支持不同的物理接口和通信规程。每个PE至多可以与4个PI相连。PI可以向网络、网络链路、中继线、磁盘等提供物理接口。

### 3. 软件系统

DPN-100的软件是用分层结构来建立的，它提供了抽象的多个层次。从低到高依次为：核心程序、无连接子网层、虚电路层、应用层。

DPN-100软件的最低层是核心程序，它是与硬件关系最紧密的部分，包括操作系统，提供产生进程和传送报文的基本功能。核心程序在硬件层之上提供了一个“友好的环境”。

DPN-100的网络采用了“网内数据报、接口虚电路”的方式，即它的网络内采用无连接的数据报方式，而在接口上采用了X.25的虚电路方式。内部网络称为子网。子网层使用网络链路和中继线，并与路由选择策略结合，通过无连接子网提供网络内的进程之间的通信。

虚电路层支持两个进程之间的分组数据流，并提供流量控制和差错恢复等功能。


应用层提供终端用户服务，如X.25或SNA协议。

DPN-100网络支持的各种功能是由在PE上运行的软件实现的，包括局用(Office)软件、网络链路和中继线软件、服务器软件、接入规程软件和网络管理软件等。

### 4. 交换机功能

#### 1) 路由选择功能

如前所述，DPN-100网络在每个逻辑连接的两端提供虚电路连接，而在网络内部，分组是在一个无连接子网上传输的。在网络内部，每个分组都进行独立的选路，而分组的顺序性则由网络终点的虚电路层保证。因此，DPN-100网内的路由选择是在两个级别上进行的：

- 呼叫路由选择：负责虚电路的建立。
  - 转发功能：提供所有分组的可靠传送，包括呼叫分组、数据分组、控制分组和帧中继业务的可靠传送。
- 




在DPN-100网络上，两个用户在传送数据分组之前，必须在它们之间建立一条虚电路。这是利用呼叫路由选择的功能来建立的。不过，这种虚电路并不是预先确定通过网络的一条通路，而是确定产生通信的两个端点之间的联系，这样就允许网络在数据传输阶段为每个分组独立地确定通路。如果网络设备发生故障或者发生网络拥塞，网络可以自动寻找新的数据路由，绕过故障部分。也就是说，DPN-100通过使用两层路由选择机制来选择路由，这样就综合了虚电路的优点和数据报无连接传输的可靠性。

(1) 呼叫路由选择是指在两个终端之间建立虚电路。为了建立一条虚电路，主叫DTE发信号给与它相连的AM，该信号中包括了被叫终端的数据网络地址(DNA)。AM通过一个网络链路向RM发送呼叫请求分组，呼叫请求中包含了被叫DTE的地址。RM将呼叫请求分组传送到一个称作源呼叫路由器的服务器(Server PE)上，源呼叫路由器决定连接被叫DTE的应该是哪一个RM，并将目的RM的标识符RID(Resource Identifier)放入呼叫请求分组头中，然后将该分组回送给RM。RM用路由表和分组头内的RID将该分组传递到通往目的RID路由上的下一个RM中去。下一节点重复这个过程，直到将该呼叫请求分组送到目的RM。

当呼叫请求分组到达目的RM时，它仍然包含终点DTE的地址。RM将呼叫请求分组传递到目的呼叫路由服务器(Server PE)，由它决定被叫DTE连接到哪一个AM上。目的呼叫路由器将目的AM的标识符MID(AM Identifier)放入呼叫请求分组头中，然后将该分组回送给RM。RM利用路由表和分组头中的MID，通过网络链路将分组送到目的AM。

当呼叫分组到达目的AM时，它仍然包含被叫地址，AM将使用路由表查到与地址相符的用户线PE，在PE上产生一个虚电路进程来支持呼叫，该进程的标识符为PID(Process Identifier)。AM向被叫DTE发送入呼叫分组。被叫DTE响应后，AM利用网络向主叫回送一个呼叫接受分组，该呼叫接受分组中包含了被叫DTE的RID、MID和PID。

一旦呼叫建立，主叫虚电路进程就知道了被叫DTE的RID、MID和PID，用户数据分组按照DPN-100分组格式改装后，在网络内以数据报方式进行交换、传输，最后到达终点。



(2) 分组的转发。DPN-100采用无连接子网来传输分组，因此在每一个分组传输时，网络内部是独立选路的。DPN-100使用分布式最短路径算法为每一个分组选择路由，进行转发。它能容忍中间设备的故障和拥塞，即使出现了故障和拥塞情况，它仍然能准确快速地传递分组。




### 2) 网络管理功能

DPN-100网络具有一个非常完整的网络管理系统DPN-NMS(Network Management System)，它可以在提供高度可靠且使用方便的网络业务的同时，满足网络运行上的管理要求。它采用电信管理网TMN的结构对网络进行管理，其提供的主要管理功能如下：

(1) 网络故障管理：提供对网络设备故障的快速响应和预防性维护能力。DPN-100网络的故障管理能力包括：跟踪和诊断故障、测试网络设备和部件、故障原因提示和对故障的查询及修复。

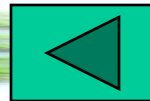
(2) 网络配置管理：生成用户端口，定义和管理网络拓扑结构、网络软件、硬件配置和网络业务类型，并对它们进行动态控制。



(3) 网络性能管理：收集和分析网络中数据流的流量、速率、流向和路径的信息。

(4) 网络计费管理：收集有关网络资源使用的信息，用于网络的规划、预算，并提供用户记账处理系统所需的计费数据。

(5) 网络安全管理：建立、保持和加强网络访问时所需的网络安全级别和准则。



# 4.5 帧中继技术

## 4.5.1 帧中继的基本原理及技术特点

帧中继是在OSI参考模型第二层(数据链路层)的基础上采用简化协议传送和交换数据的一种技术，由于第二层的数据单元为帧，故称之为帧中继。它是X.25分组网在光纤传输、用户终端日益智能化的条件下的发展。它仅完成物理层和链路层核心层的功能，而将流量控制、纠错等复杂的控制交给智能终端去完成，大大简化了节点机之间的协议。





## 1. 帧中继的协议模型

帧中继的协议结构如图4.16所示。

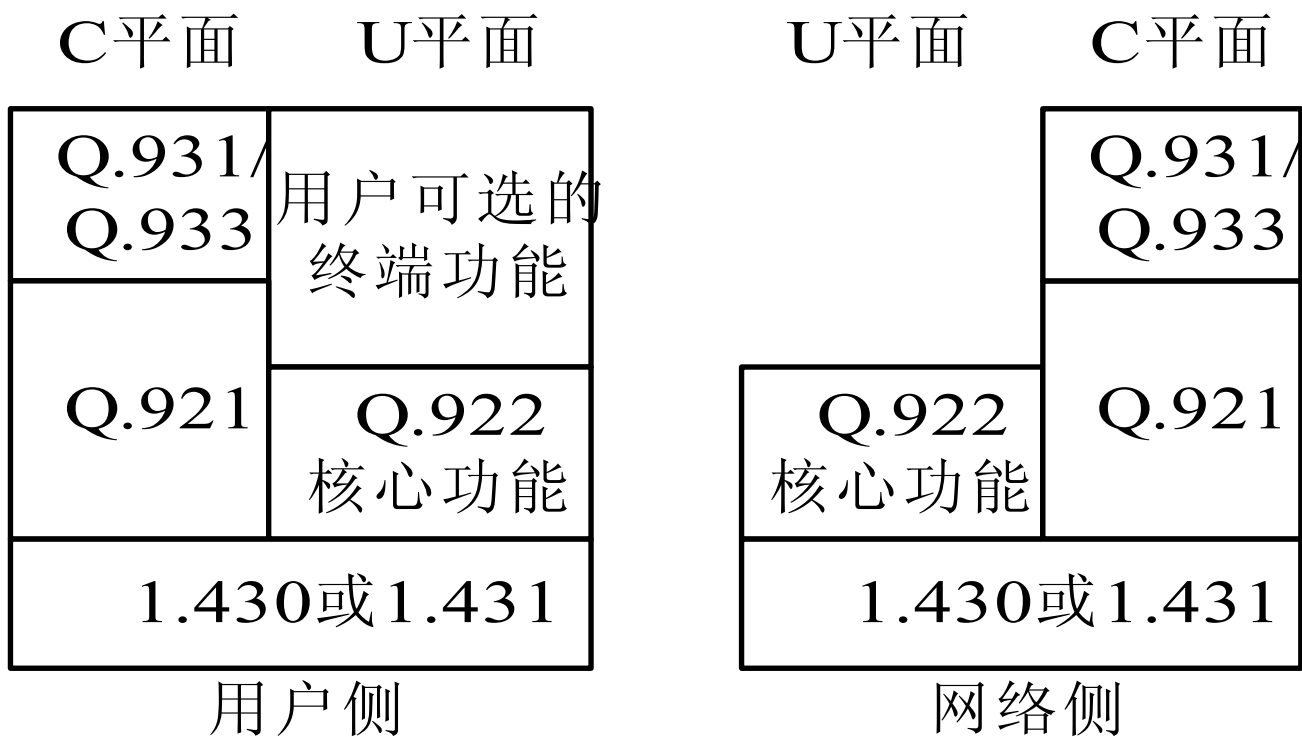


图4.16 帧中继的协议结构

帧中继包括两个操作平面：

- 控制平面(C-plane)：用于建立和释放逻辑连接，传送并处理呼叫控制消息；
- 用户平面(U-plane)：用于传送用户数据和管理信息。

### 1) 控制平面

控制平面(简称C平面)包括三层。第3层规范使用ITU-T的建议Q.931/Q.933定义了帧中继中的信令过程，包括提供永久虚连接PVC业务的管理过程，交换虚连接SVC业务的呼叫建立和拆除过程。第2层的Q.921协议是一个完整的数据链路协议——D信道链路接入规程LAPD(Link Access Procedures on the D-channel)，它在C平面中为Q.931/ Q.933的控制信息提供可靠的传输。C平面协议仅在用户和网络之间操作。

### 2) 用户平面

用户平面(简称U平面)使用了ITU-T Q.922协议, 即帧方式链路接入规程LAPF(Link Access Procedures to Frame Mode Bearer Services), 帧中继只用到了Q.922中的核心部分, 称为DL-Core。

### 3) Q.922中核心部分(DL-Core)的功能

DL-Core的功能包括:

(1) 帧定界、同步和透明传输;

(2) 用地址字段实现帧多路复用和解复用;

(3) 对帧进行检测, 确保0比特插入前/删除后的帧长是整数个字节;

- (4) 对帧进行检测，确保其长度不致于过长或过短；
- (5) 检测传输差错，将出错的帧舍弃(帧中继中不进行重发)；
- (6) 拥塞控制。

作为数据链路层的子层，U平面的核心功能(DL-Core)只提供无应答的链路层数据传输帧的基本服务，提供从一个用户到另一个用户传送数据链路帧的基本功能。



## 2. 帧中继的帧格式

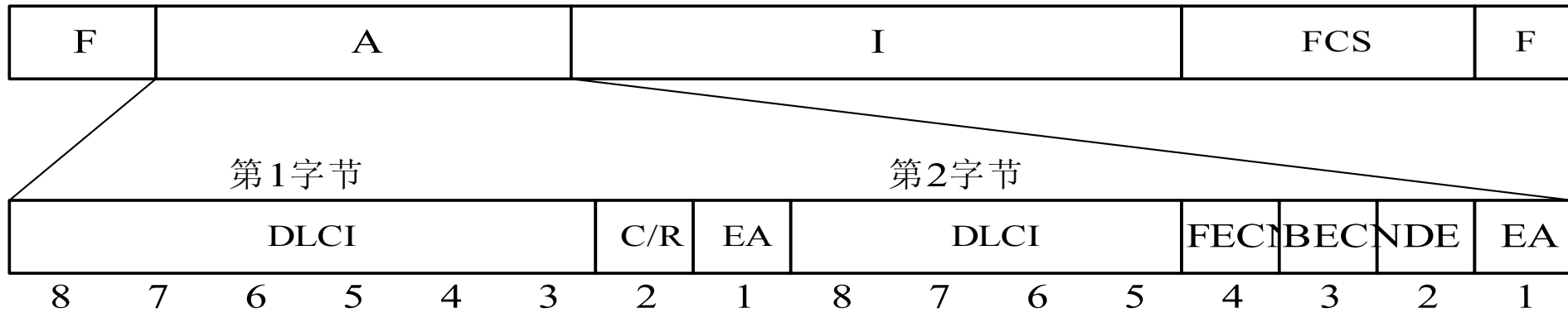


图4.17 帧中继的帧格式

可以看出，帧中继的帧格式和LAPB的格式类似，最主要的区别是帧中继的帧格式中没有控制字段C。帧格式中各字段的含义如下：

### 1) 标志字段F

标志字段是一个01111110的比特序列，用于帧同步、定界(指示一个帧的开始和结束)。

### 2) 地址字段A

地址字段一般为2字节，也可扩展为3或4字节，用于区分不同的帧中继连接，实现帧的复用。当地址字段为2个字节时，其结构如表4.4所示。

表4.4 地址字段的格式

DLCI(高阶比特)			C/R	EA0
DLCI(低阶比特)	FECN	BECN	DE	EA1



(1) 数据链路连接标识符DLCI(Data Link Connection Identifier): 当采用2字节的地址字段时, DLCI占10位, 其作用类似于X.25中的LCN, 用于识别UNI接口或NNI接口上的永久虚连接、呼叫控制或管理信息。其中,  $DLCI=16\sim 1007$ 共992个地址供帧中继使用, 在专设的一条数据链路连接( $DLCI=0$ )上传送呼叫控制消息, 其它值保留或用于管理信息。与X.25的逻辑信道号LCN相似, 对于标准的帧中继接口, DLCI只有局部(或本地)意义。

(2) 命令/响应(C/R): 命令/响应与高层应用有关, 帧中继本身并不使用, 它透明通过帧中继网络。

(3) 扩展地址EA: 当EA为0时, 表示下一个字节仍为地址字段; 当EA为1时, 表示下一个字节为信息段的开始。依照此法, 地址字段可扩展为3字节或4字节。

(4) 正向显式拥塞通知FECN: 用于帧中继的拥塞控制, 用来通知用户启动拥塞控制程序。若某节点将FECN置为1, 则表明与该帧同方向传输的帧可能受到网络拥塞的影响产生时延。

(5) 反向显式拥塞通知BECN: 若某节点将BECN置为1, 即指示接收端, 与该帧相反方向传输的帧可能受网络拥塞的影响产生时延。

(6) 丢弃指示DE: 用于帧中继网的带宽管理。若DE为1, 则表明网络发生拥塞时, 为了维持网络的服务水平, 该帧与DE为0的帧相比应先丢弃。

### 3) 信息字段

用户数据应由整数个字节组成。帧中继网允许用户数据长度可变，最大长度可由用户与网络管理部门协商确定，最小长度为1个字节。

### 4) 帧校验序列FCS

帧校验序列FCS为一个16 bit的序列，用来检查帧通过链路传输时是否有差错。



### 3. 帧中继的交换原理

#### 1) 帧的转发过程

帧中继起源于分组交换技术，它取消了分组交换技术中的数据报方式，而仅采用虚电路方式，向用户提供面向连接的数据链路层服务。

类似于分组交换，帧中继也采用统计复用技术，但它是在链路层进行统计复用的，这些复用的逻辑链路是用DLCI来标识的。类似于X.25中的LCN，当帧通过网络时，DLCI并不指示目的地址，而是标识用户和网络节点以及节点与节点之间的逻辑虚连接。帧中继中，由多段DLCI的级连构成端到端的虚连接(X.25中称为虚电路)，可分为交换虚连接SVC和永久虚连接PVC。由于标准的成熟程度，用户需求以及产品情况等原因，目前在网中只提供永久虚电路业务。无论是PVC还是SVC，帧中继的虚连接都是通过DLCI来实现的。

当帧中继网只提供PVC时，每一个帧中继交换机中都存在PVC转发表，当帧进入网络时，帧中继通过DLCI值识别帧的去向。其基本原理与分组交换过程类似，所不同的是：帧中继在链路层实现了网络(线路和交换机)资源的统计复用，而分组交换(X.25)是在分组层实现统计时分复用的。帧中继中的虚连接是由各段的DLCI级连构成的，而X.25的虚电路是由多段LCN级连构成的。

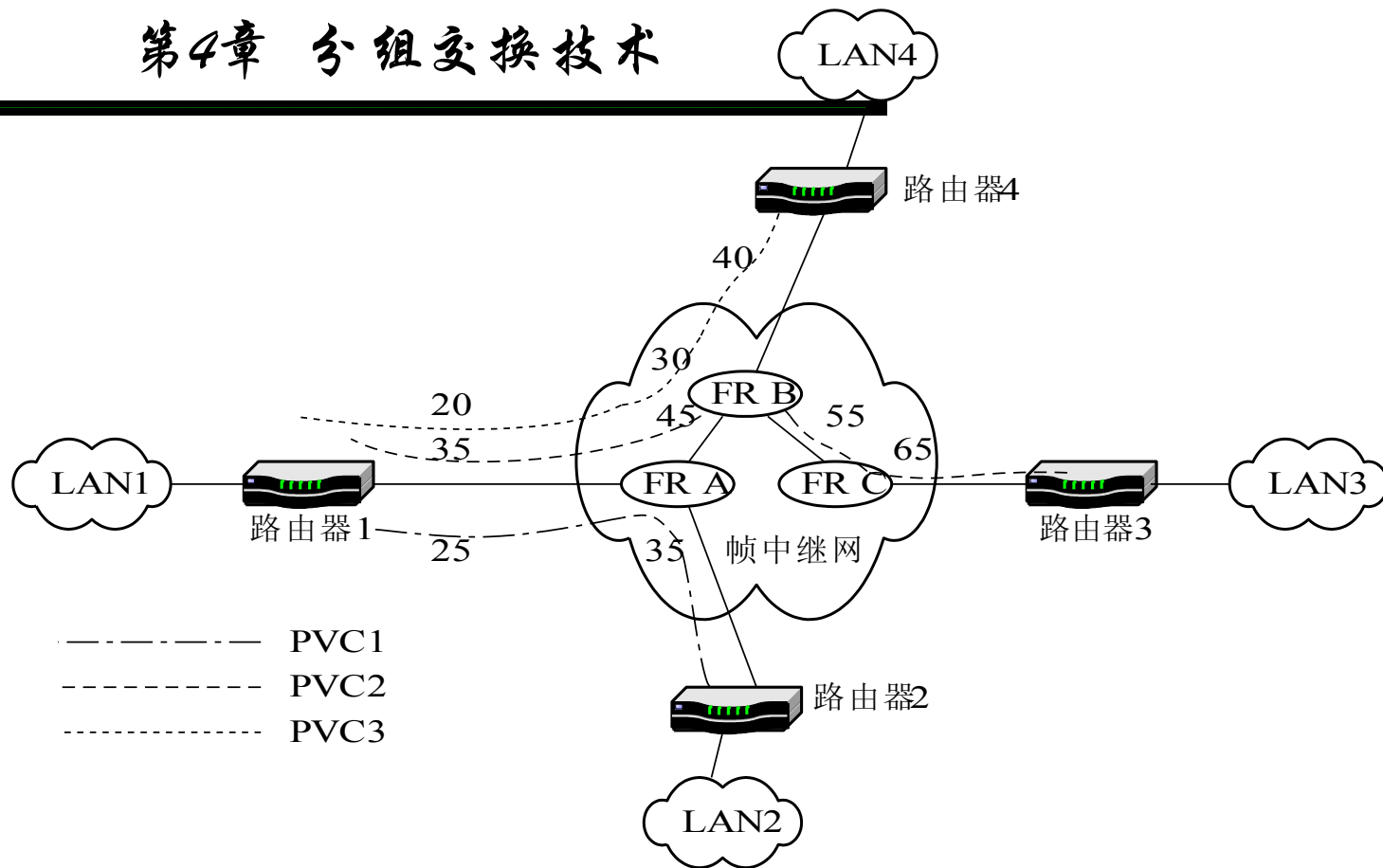
帧中继网中，一般都由路由器作为用户，负责构成帧中继的帧格式。如图4.18所示，路由器在帧内置 DLCI 值，将帧经过本地 UNI 接口送入帧中继交换机，交换机首先识别到帧头中的 DLCI，然后在相应的转发表中找出对应的输出端口和输出的 DLCI，从而将帧准确地送往下一个节点机。如此循环往复，直至送到远端 UNI 处的用户，途中的转发都是按照转发表进行的。在图4.18中，已建立了三条 PVC：

PVC1 为路由器1到路由器2：25—35；

PVC2 为路由器1到路由器3：35—45—55—65；

PVC3 为路由器1到路由器4：20—30—40。

# 第4章 分组交换技术



表a 交换机A的转发表

输入端	DLCI	输出端	DLCI
路由器1	20	交换机B	30
路由器1	25	路由器2	35
路由器1	35	交换机B	45

表b 交换机B的转发表

输入端	DLCI	输出端	DLCI
交换机A	30	路由器4	40
交换机A	45	交换机C	55

表c 交换机C的转发表

输入端	DLCI	输出端	DLCI
交换机B	55	路由器3	65



各交换机内部都建立相应的转发表，如图4.18中的表a、表b、表c所示。如对于PVC2，交换机A收到DLCI=35的帧后，查询转发表，得知下一节点为交换机B，DLCI=45，则交换机A将DLCI=35映射到DLCI=45，并通过A—B的输出线转发出去，帧到达交换机B时，完成类似的操作，将DLCI=45映射到DLCI=55，转发到交换机C，C将DLCI=55映射到DLCI=65转发到路由器3，从而完成用户信息的交换。

## 第4章 分组交换技术

在帧中继网中，节点机一旦收到帧的首部，就立即开始转发此帧，即在帧的尾部还未收到之前，交换机就可将帧的首部发送到下一相邻交换机。显然，帧中继网中的节点这样对帧进行处理是以所传送的帧基本不出错为前提的。但若帧出现传输差错，又该如何处理呢？帧校验序列检错是只有在整个帧完全收完后节点才能处理，但当帧中继的节点检测到出错时，帧的大部分可能已转发到下一个节点了。解决这个问题的办法是：当检测到有误码的节点时，应立即中断这次传输，当中断传输的指示下达到下一个节点后，下一个节点就立即中断该帧的转发，至此，该帧就从网内消除。帧中继网内将会丢弃有错的帧，不再像X.25网中那样采用重传机制，而是将差错的恢复由网内转移到用户终端负责。这就表明，帧中继设备不必像X.25网中的交换机那样，在接收到确认消息之前要保存数据。

### 2) 帧中继的PVC管理


帧中继为计算机用户提供高速数据通道，因此帧中继网提供的多为PVC连接。任何一对用户之间的虚电路连接都是由网络管理功能预先定义的，如果数据链路出现故障，要及时将故障状态的变化及PVC的调整通知用户，这是由本地管理接口LMI(Local Management Interface)管理协议负责的。

PVC管理是指在接口间交换一些询问和状态信息帧，以使双方了解对方的PVC状态情况。PVC管理包括两部分：用于UNI接口的PVC管理协议和用于NNI接口的PVC管理协议。这里将以UNI接口的PVC管理为例详细说明，NNI的PVC管理协议与此基本相同。

PVC管理可完成以下功能：

- 链路完整性证实；
- 增加PVC通知；
- 删除PVC通知；
- PVC状态通知(激活状态或非激活状态)。

LMI管理协议定义了两个消息：状态询问STATUS ENQUIRY消息和状态响应消息STATUS。在UNI之间，通过单向周期性地交换STATUS ENQUIRY和STATUS消息来完成以上功能，这种周期称为轮询周期。



UNI接口的PVC管理示意图见图4.19，其过程如下：

(1) 由用户端(如路由器)发出状态询问信息STATUS ENQUIRY，目的是为了检验数据链路是否正常工作(keep alive)，同时发起端的计时器T开始计时，T的间隔即为每一个轮询的时间间隔；若T超时，则重发 STATUS ENQUIRY。同时，发起端的计数器N也开始计数(N的周期数可人工设定或取缺省值)，在发送N个用来检验数据链路是否工作正常的STATUS ENQUIRY后，用户发出一个询问端口上所有PVC状态的STATUS ENQUIRY。

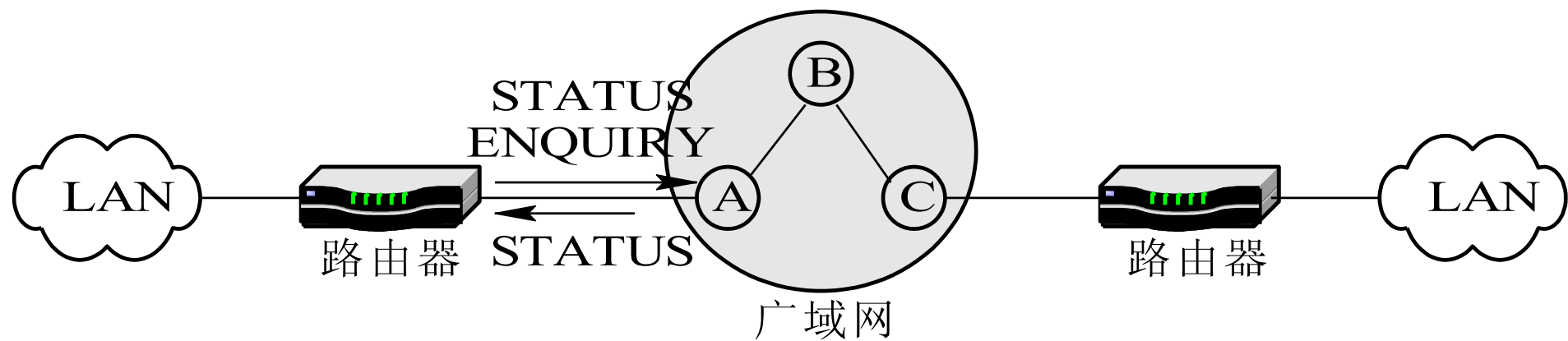


图4.19 UNI接口的PVC管理

(2) 轮询应答端收到询问信息后，以状态信息STATUS应答状态询问信息STATUS ENQUIRY，该信息可能是链路正常工作的应答信息，也可能是所有PVC的状态信息。

虽然PVC管理协议增加了帧中继的复杂性，但这样能保证网络可靠运行，满足用户的服务质量。



### 3) 呼叫控制协议

呼叫控制协议的功能是建立和释放 SVC。这是帧中继的增强部分协议。

呼叫建立消息共有3个：setup(呼叫建立)，call proceeding(呼叫进展)和connect(连接)。建立过程如图4.20(a)所示。



呼叫建立消息中最重要的是setup消息，它包含的主要信息单元为：主叫地址、被叫地址、DLCI和链路层核心参数。被叫地址供网络选路用。DLCI为分配给该SVC的本地数据链路，一般由网络选定，但主叫用户亦可提出优选的链路。链路层核心参数包括帧信息字段最大长度和有关带宽控制的参数等。

呼叫释放消息也有3个：disconnect(拆链)，release(释放)和release complete(释放完成)。释放过程如图4.20(b)所示。

# 第4章 分组交换技术

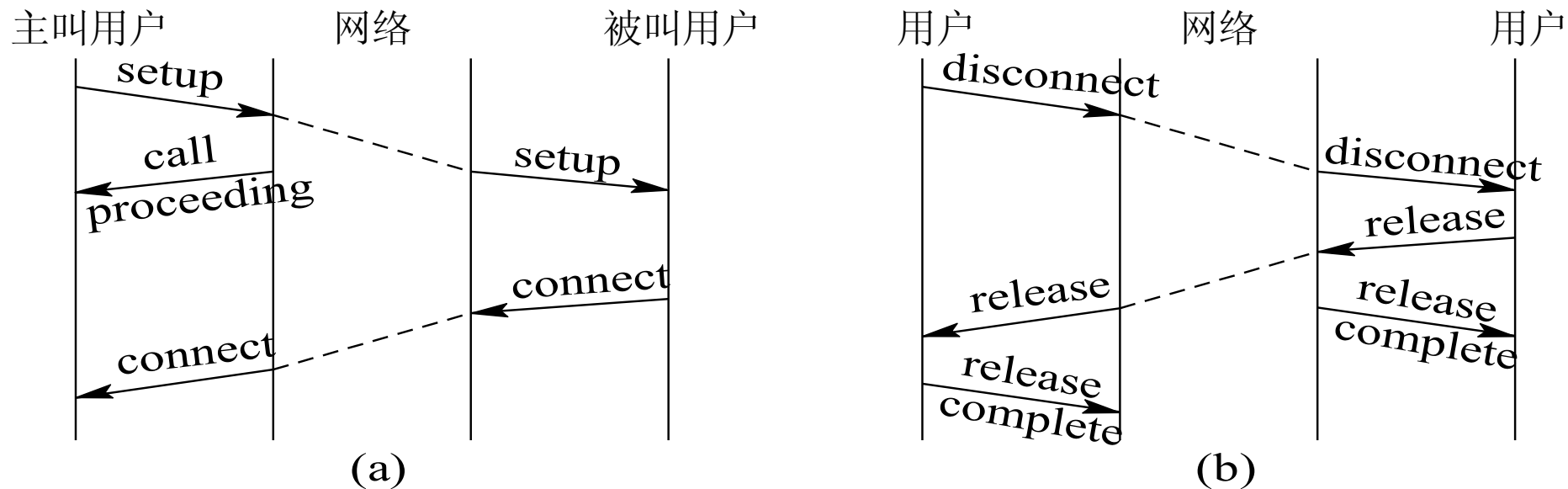


图4.20 SVC的建立和释放过程

(a) 建立过程; (b) 释放过程

应该说明的是，虽然帧中继的标准有关于SVC的上述的信令过程，但由于目前应用的帧中继网中都为PVC，而PVC并无呼叫建立和释放过程，因此，SVC的建立和释放在实际中并没有应用。帧中继中的信令主要是PVC的管理功能。

### 4. 帧中继的技术特点

从帧中继的协议体系可以看出，与X.25分组交换相比，帧中继技术的特点为：


(1) 帧中继协议取消了X.25的分组层功能，只有两个层次：物理层和数据链路层，使网内节点的处理大为简化。在帧中继网中，一个节点收到一个帧时，大约只需执行6个检测步骤，而X.25中约需执行22个步骤。实验结果表明：采用帧中继时一个帧的处理时间可以比X.25的处理时间减少一个数量级，因而提高了帧中继网的处理效率。

(2) 用户平面和控制平面分离。



(3) 传送的基本单元为帧，帧的长度是可变的，允许的最大长度为1 KB，要比X.25网的缺省分组128 B长，特别适合于封装局域网的数据单元，减少了分段与重组的处理开销。

(4) 在数据链路层完成动态统计时分复用、帧透明传输和差错检测。与X.25网不同，帧中继网内节点若检测到差错，就将出错的帧丢弃，不采用重传机制，减少了帧序号、流量控制、应答等开销，由此减少了交换机的处理时间，提高了网络吞吐量，降低了网络时延。例如X.25网内每个节点由于帧检验产生的时延为5~10 ms，而帧中继节点的处理时延小于1 ms。



(5) 帧中继技术提供了一套有效的带宽管理和拥塞控制机制，使用户能合理传送超出约定带宽的突发性数据，充分利用了网络资源。

(6) 帧中继现在可提供用户的接入速率在 64 kb/s~2.048 Mb/s范围内，以后还可更高。


(7) 帧中继采用了面向连接的工作模式，可提供PVC业务和SVC业务。但由于帧中继SVC业务在资费方面并不能给用户带来明显的好处，实际上目前主要用PVC方式实现局域网的互连。

### 4.5.2 帧中继交换机

帧中继交换机是帧中继网中的核心设备，其主要功能包括：用户接入、中继连接、转发控制、管理功能以及与其它网络互通的能力。下面主要介绍帧中继交换机的管理功能，包括带宽管理和拥塞管理等。

#### 1. 带宽管理

带宽管理是指网络对每条虚连接上传送的用户数据量进行监控，以保证带宽资源在用户间的合理分配。



每一用户接入帧中继网时使用下列约定的4个参数：

(1) 承诺的时间间隔时 $T_c$ (Committed Time Interval)：网络监视一条虚连接上传送的用户数据量所采用的时间间隔。一般的， $T_c$ 和业务的突发性成正比，一般选取范围大致为几百毫秒到10秒。

(2) 承诺的信息速率 $CIR$ (Committed Information Rate)：正常情况下网络对用户承诺的用户数据传送速率，它是 $T_c$ 时间段内的平均值。





(3) 承诺的突发长度 $B_c$ (Committed Burst Size): 正常情况下, 在 $T_c$ 时间段内网络允许用户传送的最大的数据量(单位为bits)。

(4) 超量突发长度 $B_e$ (Excess Burst Size):  $T_c$ 时间段内, 网络能够给用户传送的超过 $B_c$ 部分的最大数据量。

每个帧中继用户在使用服务之前, 应与网络约定一条虚连接上的 $B_e$ 、 $B_c$ 、CIR值, 网络在 $T_c$ 时间段内对每条虚连接上的数据量进行监测, 根据监测结果进行带宽的调整。如图4.21所示。

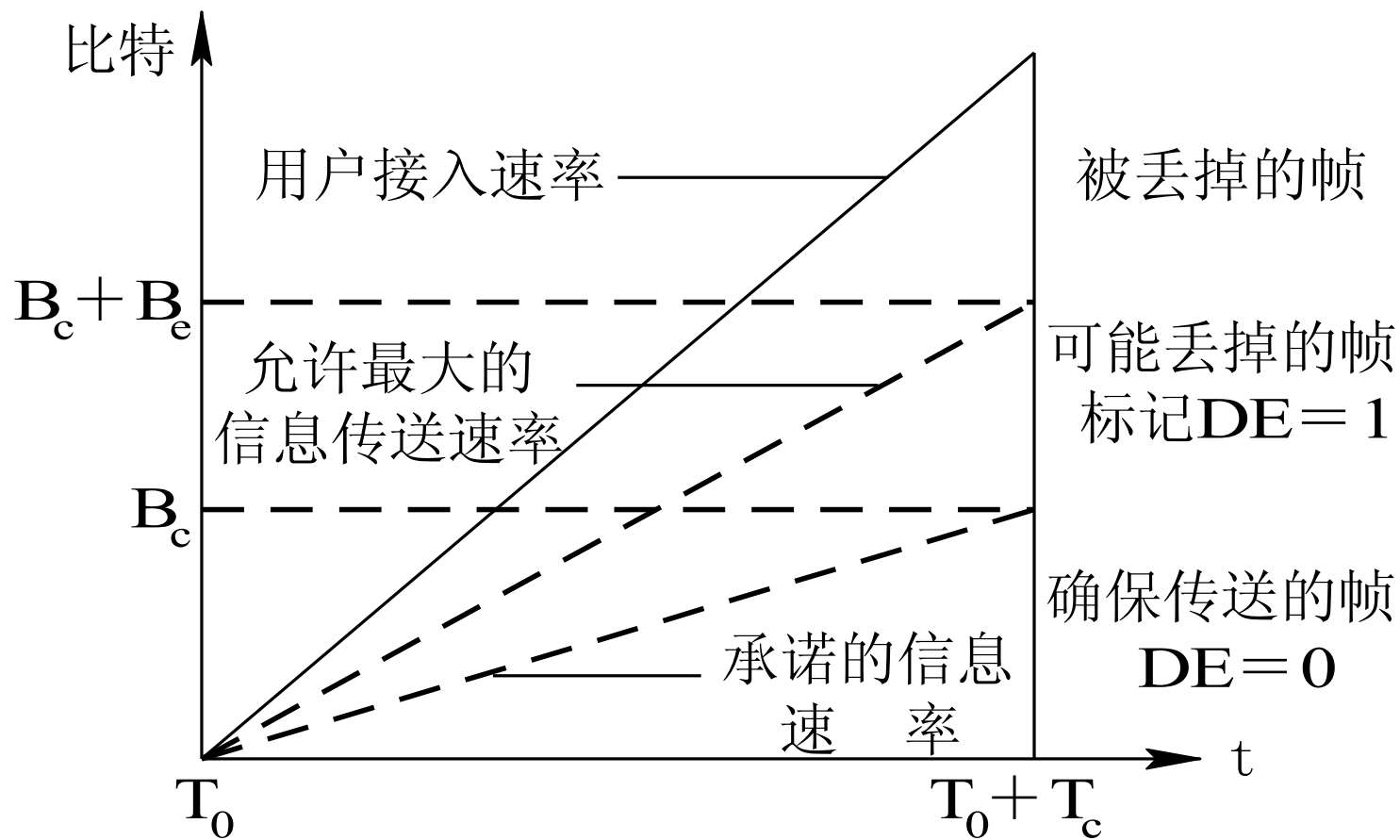


图4.21 帧中继的带宽管理

控制过程如下：

(1) 若测得的比特数 $\leq B_c$ ，说明用户的速率小于CIR，网络节点应继续转发这些帧。在正常情况下，应保证这些帧送到目的地；

(2) 若 $B_c \leq$ 测得的比特数 $\leq B_c + B_e$ ，则说明用户的传输速率已超过CIR，但仍在约定范围内，网络将 $B_e$ 部分的帧DE置为1后转发。若网络无严重拥塞，则努力把这类帧传送到目的地。一旦出现拥塞，将首先丢弃这些DE=1的帧；

(3) 若测得的比特数 $> B_c + B_e$ ，说明用户已经严重违约，则网络应丢掉超过 $B_c + B_e$ 部分的所有的帧。

### 2. 拥塞控制

帧中继网中，为了简化协议，提高节点机的处理速度，就将流量控制和差错控制都交给了高层。但这样做可能会使得数据网络出现拥塞危险，因此要采取一定的措施来尽量减少这种拥塞的出现。

从图4.22中可以看出，一开始当网络负载增加时，随着入网信息量的增加，吞吐量线性地上升。当到达A点后，网络不能继续接收更多的信息，吞吐量趋于平稳。如果输入信息量继续加大，网络将呈现严重拥塞状态(B点所示)，此时网络的吞吐量将急剧下降，甚至可能崩溃(死锁)。为了防止拥塞，网络必须采取必要的措施，通知用户减少发送数据。

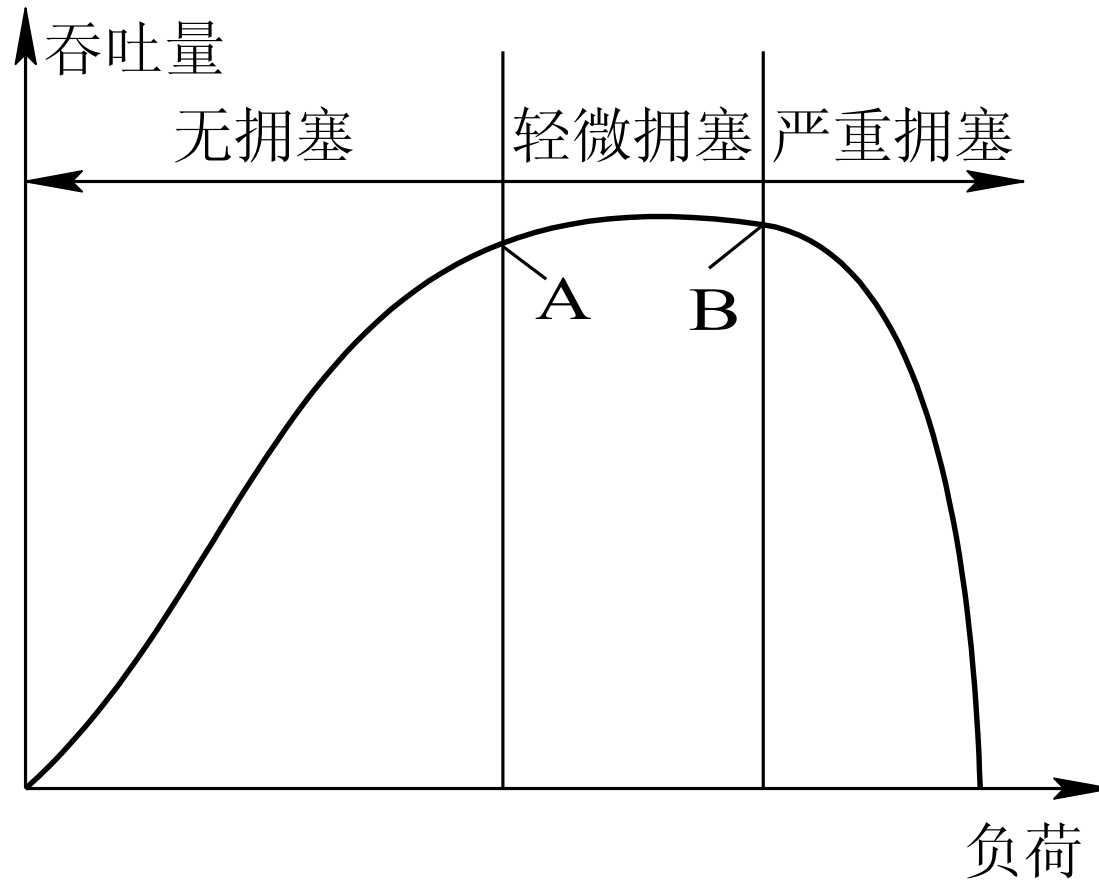



图4.22 拥塞对吞吐量的影响

一般来说，网络发现拥塞和控制拥塞的措施有以下几种：

(1) 显式拥塞通知。在发生轻微拥塞的情况下，网络利用帧结构中的拥塞指示位FECN、BECN来通知端点用户。

如图4.23所示，若B点发生拥塞，则B点通过将前向传送的帧(B到C方向)的FECN位置1来通知C点发生拥塞；同时，通过将后向传送的帧(B到A方向)的BECN位置1来通知A点发生拥塞。用户终端在收到拥塞信息后，原则上应降低其数据传送速率，以减少因拥塞造成的帧丢失。



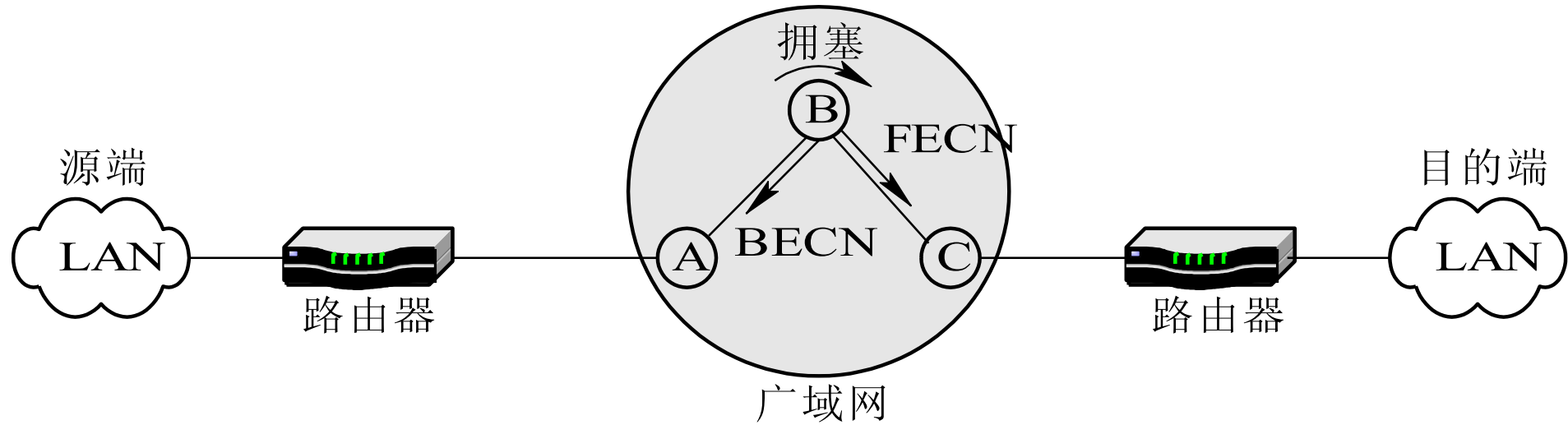
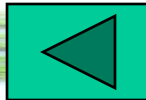



图4.23 显式拥塞通知

(2) 丢弃DE=1的帧。若发生严重拥塞，或者用户并未降低传送速率，网络将如何进行拥塞控制呢？这可以从帧中继的基本原则中找到答案：一旦出现问题就将帧丢弃。此时，除继续采用FECN、BECN来通知用户外，网络将丢弃DE=1的帧来对自身进行保护。这样做增加了网络的反应时间，降低了吞吐量，但可以防止网络性能的进一步恶化，使网络从拥塞中恢复。





### 思考题

- 4.1 统计时分复用和同步时分复用的区别是什么？哪个更适合于进行数据通信？为什么？
  - 4.2 试从优点、缺点、适用场合等方面比较虚电路和数据报方式。
  - 4.3 什么是逻辑信道？什么是虚电路？二者有何区别和联系？
  - 4.4 比较电路交换中的电路和分组交换中的虚电路的不同点。如何理解"虚"的概念？
  - 4.5 SVC是如何建立的？PVC又是如何建立的？
- 

4.6 为什么说X.25现在有些过时？请从 X.25的背景、设计思路、发展、优缺点等几方面进行分析。


4.7 HDLC帧分为哪几种类型？各自的作用是什么？

4.8 试从呼叫建立和数据传输两个方面分析分组交换机的作用。

4.9 从功能上看，分组交换机包括哪几部分？各完成什么功能？

4.10 衡量一个分组交换机的性能指标都有哪些？

4.11 DPN-100的内部采用虚电路方式还是数据报方式？外部采用什么方式？它如何保证用户分组的有序性？



4.12 比较帧中继与X. 25在技术特征上的不同点。

4.13 帧中继的带宽管理如何实现？

4.14 帧中继的帧结构中，DLCI起什么作用？

4.15 构成DPN-100交换机的基本模块有哪两种？它们各自的作用是什么？在构成上有哪些不同？

4.16 虚电路方式下的数据分组中是否含有目的地地址？这样有什么优点？

4.17 假设有3个用户终端采用统计时分复用的方式共享一条线路，线路的速率为19.2 kb/s，求每个用户可能的最大传送速率。

4.18 分析在虚电路和数据报情况下，路由选择和分组转发的实现有什么区别。

