

第3章 物理层

科技创新,推动发展

5G、卫星通信等新技术在计算机网络中的不断应用,印证了科学技术始终以一种不可逆转、不可抗拒的力量推动着人类社会向前发展,而科技创新始终是一个国家、一个民族发展的重要力量,也始终是推动人类社会进步的重要力量。我国全面实施创新驱动发展战略、加快科技自立自强、建设世界科技强国,“天眼”探空、“墨子”传信、高铁奔驰、“北斗”组网、“蛟龙”入海、“九章”问世,大国重器相继涌现,科技创新领域发生翻天覆地的变化。青年人要有创新意识、创新精神才能赢得优势、赢得主动、赢得未来。



第3章 引言

本章学习任务

- 掌握物理层的基本功能;
- 掌握物理层的接口特性;
- 了解物理层的协议;
- 掌握中继器、集线器的功能及应用。

3.1 物理层概述

首先要强调指出,物理层并不是指连接计算机的具体的物理设备或具体的物理传输媒体。物理层主要考虑的就是怎样才能在连接开放系统的传输媒体上透明地传输各种数据的比特流。国际电报电话咨询委员会 CCITT(现在改为国际电信联盟电信技术分会 ITU-T)对物理层作了如下定义:利用机械的、电气的、功能的和规程的特性在 DTE 和 DCE 之间实现对物理信道的建立、维持和拆除功能。现有的计算机网络中的物理设备和传输媒体的种类非常繁多,而通信手段也有许多不同的方式。因此,物理层的作用正是要尽可能地屏蔽这些差异,使其上面的数据链路层感觉不到这些差异,这样就可以使数据链路层只需考虑如何完成本层的协议和服务,而不必考虑网络具体的传输媒体是什么。

1. 物理层的主要功能

1) 物理连接的建立、维护和拆除

当一个数据链路实体请求与另外一个数据链路实体之间建立物理连接时,物理层应能立即为它们建立相应的物理连接,这个连接可能要经过若干个中继链路实体。在进行通信时,要维持该连接,通信结束后,要立即拆除(释放或撤销)该连接,以供其他的连接使用。

2) 实体间的信息按比特传输

在物理连接上,数据一般都是串行传输,即一个一个比特按时间顺序传输。串行传输可采用同步传输方式,也可采用异步传输方式。物理层要保证信息按比特传输的正确性(即比特同步),并向数据链路层提供一个透明的比特传输。

3) 实现四大特性的匹配

物理层协议规定了为完成物理层主要任务而进行建立、维护和拆除物理连接的有关特性,这些特性分别是物理(机械)特性、电气特性、功能特性和规程特性。

如果用 OSI 的术语来讲,那么物理层的作用就是给其服务用户(即数据链路层或数据链路层实体)在一条物理的传输媒体上传送和接收比特流的能力。为此,物理层就要首先激活(即建立)一个连接。在进行通信时要维持这个连接。通信结束后还要拆除(即释放)这个连接。“激活一个连接”就是当发送端发送一个比特时,在这条连接的另一端(接收端)应当做好接收该比特的必要准备。因此激活一个连接的过程就是要准备好一些必要的资源(如缓冲区),以便在发送和接收时使用。反之,拆除一个连接就是释放这些资源,以便留给其他的连接使用(在许多情况下,一台计算机可以同时建立多条连接)。

2. DCE 和 DTE

DCE(data circuit-terminating equipment,数据通信设备或者数据电路端接设备):大多数数据处理设备的数据传输能力是很有限的,直接将相隔很远的两个数据处理设备连接起来,是不能进行通信的。必须在数据处理设备和传输线路之间,加上一个中间设备。这个中间设备就是数据电路端接设备 DCE。该设备和其相应的连接构成了网络终端的接口。它在 DTE 和传输线路之间提供信号变换和编码的功能,负责网络物理链路的建立、保持和终止连接,并且提供了一个用于同步 DCE 设备和 DTE 设备之间数据传输的时钟信号。常见的设备有调制解调器和接口卡等。

DTE(data terminal equipment,数据终端设备):是具有一定的数据处理能力以及发送和接收数据能力的设备,它位于用户网络中的用户一端,能够作为信源、信宿或同时作为信源和信宿。数据终端设备通过数据通信设备(例如,调制解调器)连接到一个数据网络上,并且通常使用数据通信设备产生的时钟信号。数据终端设备包括计算机、协议翻译器以及多路分解器等设备。

DTE 和 DCE 的连接关系如图 3-1 所示。从图中可以看到,DCE 虽然处于通信环境内,但它和 DTE 均属于用户设施。用户环境只包括 DTE。

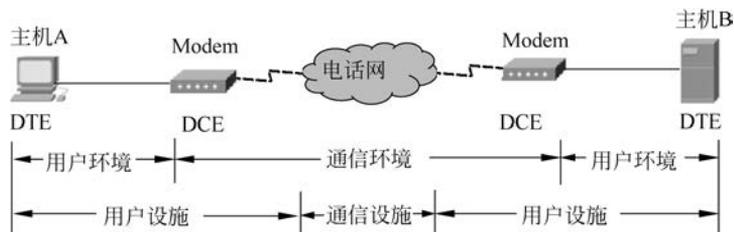


图 3-1 DTE、DCE 连接示意图

3. 冲突域

冲突域是指在通信时会产生冲突的最小范围。在计算机和计算机通过设备互联时,会建立一条通道,如果这条通道只允许瞬间一个数据报文通过,那么如果有两个或更多的数据报文同时要从这里通过时就会出现冲突了。在同一个冲突域中的每一个节点都能侦听到所有被发送的帧。

在 OSI 模型中,冲突域被看作是物理层的概念,连接同一冲突域的设备有 Hub、Repeater 或者其他进行简单复制信号的设备。也就是说,用 Hub 或者 Repeater 连接的所有节点可以被认为是同一个冲突域内,物理层设备不能隔绝冲突域。

3.2 物理层接口特性

OSI 的物理层标准化要比它上面的各层都晚。这固然是由于物理层与具体的物理设备、传输媒体以及通信手段有关,其涉及的范围比较广泛,但更重要的原因是早在 ISO 提出开放系统互联参考模型之前,许多属于物理层(甚至一直到网络层)的规程或协议就已经被制定出来了。在数据通信的领域中,许多商品化的设备都已采用了这些物理层规程或协议。但是,这些物理层规程或协议并没有按照现在的 OSI 那样严格的分层方法来制定,也没有像 OSI 那样将服务定义和协议规范区分开来。在这种现实情况下,要想把已被大量用户使用多年的物理层规程都统一到现在 OSI 的物理层服务定义和协议规范的框架之下,的确有相当大的困难,甚至是不太可能的。因此,尽管已经提出了一些关于物理层服务定义的标准,但实际上这些标准离实际应用还相当远。如果不采用 OSI 那些抽象的术语,可以将物理层的主要任务描述为确定与传输媒体的接口的一些特性。

1. 机械特性

机械特性也称物理特性,它说明了 DTE 和 DCE 接口所用接线器的形状和几何尺寸、引线数目和排列方式、固定和锁定装置等。这很像平时常见的各种规格的电插头尺寸都有严格的规定。由于与 DTE 连接的 DCE 设备多种多样,所以连接器的标准有多种。常用的机械特性标准有 ISO 2110(25 针)、ISO 2593(34 针)、ISO 4902(37 针)、ISO 4902(9 针)和 ISO 4903(15 针)等。

2. 电气特性

在 DTE 和 DCE 之间有多条信号线,除了地线以外,每条信号线都有发送器和接收器。电气特性说明了在 DTE 和 DCE 之间多条信号线的连接方式、发送器和接收器的电气参数以及其他有关电路的特征,包括信号源的输出阻抗、负载的输入阻抗、信号“1”和“0”的电压范围、传输速率、平衡特性和距离的限制等。DTE 和 DCE 接口的电气连接有非平衡方式、半平衡方式(差动接收的非平衡)和平衡方式三种。最常见的电气特性的技术标准有 ITU-T 的 V. 10、V. 11 和 V. 28,与之兼容的分别是 EIA 的 RS-423-A、RS-422-A 和 RS-232-C 等。

3. 功能特性

功能特性说明了接口上各条线的具体功能,即说明某条线上出现的某一电平的电压

表示何种意义。与功能特性有关的国际标准主要有 ITU-T 的 V. 24 和 V. 21。接口信号线按其功能一般可分为接地线、数据线、控制线和定时线等几类。

4. 规程特性

规程特性说明了 DTE 和 DCE 之间各接口信号线实现数据传输的操作过程,也就是在物理连接的建立、维持和拆除时,DTE 和 DCE 双方在各电路上的动作顺序以及维护测试操作等。规程特性反映了在数据通信过程中,通信双方可能发生各种可能事件。由于这些可能事件出现的先后顺序不尽相同,而且又有多种组合,因而规程特性往往比较复杂。常见的规程特性标准有 ITU-T 的 V. 24、V. 25、V. 54、X. 20 和 X. 21 等。

3.3 典型的物理层标准

物理层协议的功能就是在 DTE 与 DCE 或 DCE 与 DCE 之间把数据信号由一方经过物理介质传送到另一方。数据信号可以在模拟信道上传输,也可以在数字信道上传输。物理层所关心的是如何把通信双方连接起来,为数据链路层实现无差错的数据传输创造环境。物理层不负责传输的检错和纠错,检错和纠错任务由数据链路层及以上层次完成。

由于物理层协议的研究较早,很多著名机构(如 ISO、ITU-T、IEEE、EIA 等)都为物理层制定了相应的标准(协议),因此物理层协议很多,也比较成熟。

ITU-T 制定的 DTE 与 DCE 之间的物理层接口标准(协议)有 V 系列和 X 系列两大类建议标准。V 系列标准是为了解决在模拟信道上传输数据而提出的,它一般指 DTE 或 DCE 或网络控制器之间的接口,这类系列标准除了用于数据传输的信号外,还定义了一系列控制线,是一种比较复杂的接口标准。X 系列接口标准是专为数据通信制定的,它符合 ISO/OSI 标准,它适用于公共数据网的室内 DTE 与 DCE 之间的接口,它定义的信号线很少,是一种比较简单的接口标准。

由于篇幅关系,以下简单介绍两种较为常见的物理层标准,但只是相应标准中的部分内容,详细内容请参阅有关资料,这里从略。

3.3.1 EIA-232-D 和 RS-449

1. EIA-232-D 接口标准

EIA-232-D 是美国电子工业协会 EIA(Electronic Industries Association)制定的著名物理层标准,有时甚至说得更简单些:“提供 232 接口”。EIA-232-D 是 DTE 与 DCE 之间的接口标准。DTE 与 DCE 之间的接口一般都有许多条并行线,包括多种信号线和控制线。DCE 将 DTE 传过来的数据,按比特顺序逐个发往传输线路,或者反过来,从传输线路接收下来串行的比特流,然后交给 DTE。很明显,这里需要高度协调地工作。为了减轻数据处理设备用户的负担,就必须对 DTE 和 DCE 的接口进行标准化。这种接口标准即是所谓的物理层协议。

下面扼要介绍一下物理层标准 EIA-232-D 的一些主要特点。

在机械特性方面,EIA-232-D 使用 ISO 2110 关于插头座的标准。这就是使用 25 根

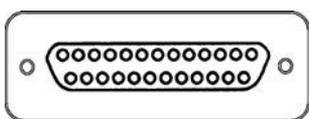


图 3-2 EIA-232-D 连接器

引脚的 DB-25 插头座,它的两个固定螺丝中心到中心的距离为 (47.04 ± 0.17) mm,其他方面的尺寸也都有详细的规定。引脚分为上、下两排,分别有 13 和 12 根引脚,其编号分别规定为 1~13 和 14~25,都是从左到右(当引脚指向人时),如图 3-2 所示。

在电气性能方面,EIA-232-D 与 CCITT 的 V. 28 建议书一致。这里要提醒读者注意的是: EIA-232-D 采用负逻辑。也就是说,逻辑 0 相当于对信号地线有 $+5 \sim +15$ V 的电压,而逻辑 1 相当于对信号地线有 $-5 \sim -15$ V 的电压。逻辑 0 相当于数据的“0”(空号)或控制线的“接通”状态,逻辑 1 则相当于数据的“1”(传号)或控制线“断开”状态。当连接电缆线的长度不超过 15m 时,允许数据传输速率不超过 20Kb/s。

EIA-232-D 所规定的电压范围对过去广泛使用的晶体管电路来说是很合适的,但却远远超过了目前大部分芯片所用的 5V 电压。这点必须加以注意。

EIA-232-D 的功能特性与 CCITT 的 V. 24 建议书一致。它规定了什么电路应当连接到 25 根引脚中的哪一根以及该引脚的作用。EIA 还规定了插头应装在 DTE 上,插座应装在 DCE 上。因此当终端或计算机与调制解调器相连时就非常方便。然而有时却需要将两台计算机通过 EIA-232-D 串行接口直接相连。这显然有点麻烦。例如,这台计算机通过引脚 2 发送数据,但仍然传送到另一台计算机的引脚 2,这就使对方无法接收。为了不改动计算机内标准的串行接口线路,可以采用虚调制解调器的方法。所谓虚调制解调器就是通过一段电缆连接,具体的连接方法参考相关资料。这样对每一台计算机来说,都好像是与一个调制解调器相连,但实际上并没有真正的调制解调器存在。

2. RS-449 接口标准

EIA-232-D 接口标准有两个较大的弱点: ①数据的传输速率最高为 20Kb/s; ②连接电缆的最大长度不超过 15m。这就促使人们制定性能更好的接口标准。出于这种考虑,EIA 于 1977 年又制定了一个新的标准 RS-449,以便逐渐取代旧的 RS-232-C。

实际上,RS-449 由以下 3 个标准组成。

1) RS-449

规定接口的机械特性、功能特性和规程特性。RS-449 采用 37 根引脚的插头座。在 CCITT 的建议书中,RS-449 相当于 V. 35。

2) RS-423-A

规定在采用非平衡传输时(即所有的电路共用一个公共地)的电气特性。当连接电缆长度为 10m 时,数据的传输速率可达 300Kb/s。

3) RS-422-A

规定在采用平衡传输时(即所有的电路没有公共地)的电气特性。它可将传输速率提高到 2Mb/s,而连接电缆长度可超过 60m。当连接电缆长度更短时(如 10m),则传输速率还可以更高些(如达到 10Mb/s)。

通常 EIA-232-D/V. 24 用于标准电话线路(一个话路)的物理层接口,而 RS-449/V. 35 则用于宽带电路(一般都是租用电路),其典型的传输速率为 48~168Kb/s,都是用于点到点的同步传输。

3.3.2 X.21 建议书

上面介绍的 EIA-232-D 和 RS-449 是为在模拟信道上传输数据而制定的一个接口标准。在 1976 年 CCITT 通过了数字信道接口标准的建议书 X.21。

X.21 建议分为两部分：一部分是用于公共数据网同步传输的通用 DTE/DCE 接口，这是 X.21 的物理层部分，对电路交换业务或分组交换业务都适用；另一部分是电路交换业务的呼叫控制过程，这一部分有些内容涉及数据链路层和网络层的功能。在物理层部分，X.21 规定了用户计算机 DTE 在建立和释放一个呼叫时应当和 DCE 交换哪些信息。数字信道当然不需要使用调制解调器。因此这里的 DCE 不再表示调制解调器，而是表示 DTE 和网络接口的一个设备。

X.21 规定使用 15 根引脚的插头座，但接口的信号线只有 8 条，其名称和功能如图 3-3 所示。



图 3-3 X.21 的 DTE 与 DCE 接口

上述 X.21 接口标准是为全数字的电路交换数据网而用的，为了使基于现行接口标准 EIA-232-D/V.24 的设备易于向 X.21 接口标准过渡，CCITT 又制定了一个与 V 系列建议兼容的公共数据网接口标准 X.21 bis 建议书，这里的 bis 是拉丁语“又”或“两次”的意思，表示这是又一个 X.21 接口标准。X.21 bis 的接口与 X.21 相同，但数据网使用的是模拟信道，而 DCE 是同步工作的调制解调器。X.21 是一个相当复杂的接口标准，更具体的说明请参阅有关标准的文本。

3.4 物理层设备

物理层的设备主要完成一条或多条物理媒体的连接和信号的转换，其相对较为简单，一般没有网管功能，价格便宜。下面介绍几种常见的设备。

3.4.1 中继器

数据信号在网络传输介质上传输时，由于衰减和噪声使有效数据信号变得越来越弱，而且传输线也增加了波形失真，因此它只能在有限的距离内传输。中继器(repeater)是工作在物理层最简单的网络互联设备。它实际上是一种信号放大器，将接收到的弱信号对

其波形进行整形和放大,使输出信号比原信号的强度大大提高了。

由于中继器工作在物理层,因此只能用来连接具有相同物理层协议的 LAN,即它仅用来连接同类型的 LAN 网段。实际上,用中继器连接起来的网络相当于由同一条电缆组成的更大的局域网,而不是互联网。因此,中继器主要用于扩展网络的范围(延长传输距离)。例如,10Base-5 粗缆以太网的收发器只能提供 500m 的驱动能力,而 MAC 协议允许粗缆最长为 2.5km,这样就可以利用中继器将几个网段互联起来。

一般情况下,中继器的两端连接的是相同的媒体,但有的中继器也可以完成不同媒体的转接工作。例如,图 3-4 中一个粗缆以太网 10Base-5 和一个细缆以太网 10Base-2 用中继器连接在一起。

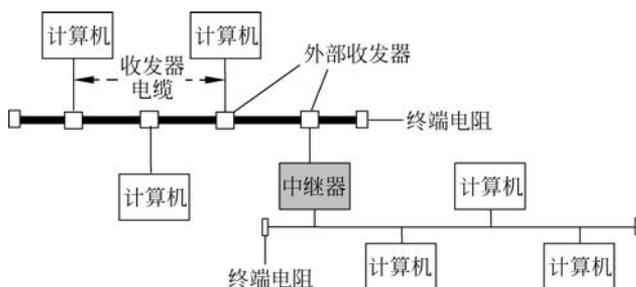


图 3-4 中继器连接 10Base-5 和 10Base-2 网段的结构

中继器的主要优点是安装简单、使用方便、价格相对低廉,并能保持原来的传输速率。然而,中继器并不具有差错检查和纠正功能,也不具有隔离冲突的功能,它只负责将一种信号从一种电缆段传输到另一端电缆段上,而不管信号是否正常,即错误的数 据经中继器后仍被复制到另一电缆段。由于中继器双向传输电缆段间的所有信息,故很容易形成“广播风暴”,导致网络上的信号拥挤;同时,当某个网段有问题时,会引起网段的中断。另外,中继器还会引起时延,影响网络性能。中继器工作在物理层,对于高层协议是完全透明的。

使用中继器时需要注意:①中继器主要用于网段间的延伸,如以太网,使用中继器的以太网不要形成环路;②必须遵守 MAC 协议规则,即不能用中继器将多个网段无限制地连接起来,如在以太网中要遵守 5-4-3 规则,即在以太网中最多使用 4 个中继器,连接 5 个网段,而且其中只能有 3 段电缆线上可以连接计算机;③中继器工作在最底层,与上层协议和访问方式无关,因此被连接的网段必须使用同种介质访问方法;④当网络负载较重、网段间使用不同的访问方式或者需要数据过滤时,不能使用中继器。

3.4.2 集线器

网络集线器(HUB)属于数据通信系统中的基础设备,它和双绞线等传输介质一样,是一种不需任何软件支持或只需很少管理软件管理的硬件设备,被广泛应用到网络简单连接的场合。集线器工作在局域网环境,应用于 OSI 参考模型第一层,因此又被称为物理层设备。集线器内部采用了电气互联,当维护 LAN 的环境是逻辑总线或环形结构时,完全可以用集线器建立一个物理上的星形或树形网络结构。在这方面,集线器所起的作

用相当于多端口的中继器。其实,集线器实际上就是中继器的一种,其区别仅在于集线器能够提供更多的端口服务,所以集线器又叫多口中继器,如图 3-5 所示。



图 3-5 网络集线器

网络集线器的主要功能是对接收到的信号进行再生整形放大,以扩大网络的传输距离,同时把所有节点集中在以它为中心的节点上。网络集线器属于纯硬件网络底层设备,基本上不具有类似于交换机的“智能记忆”能力和“学习”能力。它也不具备交换机所具有的 MAC 地址表,所以它发送数据时都是没有针对性的,而是采用广播方式发送。也就是说当它要向某节点发送数据时,不是直接把数据发送到目的节点,而是把数据包发送到与集线器相连的所有节点。

集线器有多种类型,各个种类具有特定的功能,提供不同等级的服务。依据总线带宽的不同,HUB 分为 10Mb/s、100Mb/s 和 10/100Mb/s 自适应三种;若按配置形式的不同可分为独立型(固定端口)、模块化和堆叠式三种;根据端口数目的不同主要有 8 口、16 口和 24 口等几种;根据工作方式可分为无源 HUB、有源 HUB、智能 HUB。

(1) 无源 HUB: 它是最简单的一种,不对信号做任何的处理,对介质的传输距离没有扩展,并且对信号有一定的影响。连接在这种 HUB 上的每台计算机,都能收到来自同一 HUB 集线器上所有其他计算机发出的信号;

(2) 有源 HUB: 有源 HUB 与无源 HUB 的区别就在于它能对信号放大或再生,这样它可延长两台主机间的有效传输距离;

(3) 智能 HUB: 智能 HUB 除具备有源 HUB 所有的功能外,还有网络管理及路由功能。在智能 HUB 网络中,不是每台机器都能收到信号,只有与信号目的地址相同,地址端口计算机才能收到。有些智能 HUB 可自行选择最佳路径,这就对网络有很好的管理。

3.4.3 调制解调器

调制解调器(Modem)是调制器/解调器(modulator/demodulator)的缩写。典型的调制解调器是在发送端通过调制将数字信号转换为模拟信号,而在接收端通过解调再将模拟信号转换为数字信号的一种装置。

计算机内的信息是由“0”和“1”组成数字信号,而在电话线上传递的却只能是模拟电信号。于是,当两台计算机要通过电话线进行数据传输时(比如拨号上网),就需要一个设备负责数模的转换。这个数模转换器就是 Modem。计算机在发送数据时,先由 Modem 把数字信号转换为相应的模拟信号,这个过程称为调制。经过调制的信号通过电话载波传送到另一台计算机之前,也要经由接收方的 Modem 负责把模拟信号还原为计算机能识别的数字信号,这个过程称为解调。正是通过这样一个调制与解调的数模转换过程,从而实现了两台计算机之间的远程通信。

最初的 Modem 就是通过电话线拨号方式上网的调制解调器。这种上网方式对 ISP 和上网者而言初期投资比较少,无须改造线路,安装也比较简单。随着网络技术发展,越来越多的家庭采用 ADSL、光纤专线等方式联网,其采用 ADSL 调制解调器或光调制解调器,最初的语音调制解调器已不多见。

目前调制解调器的分类有多种,按照安装方式可分为内置式、外置式和 PCMCIA 等。

(1) 内置式调制解调器其实就是一块计算机的扩展卡,插入计算机内的一个扩展槽即可使用,它无须占用计算机的串行端口。它的连线相当简单,把电话线接头插入卡上的 Line 插口,卡上另一个接口 Phone 则与电话机相连,平时不用调制解调器时,电话机使用一点也不受影响。

(2) 外置式调制解调器则是一个放在计算机外部的盒式装置,它需占用计算机的一个串行端口,还需要连接单独的电源才能工作,外置式调制解调器面板上有几盏状态指示灯,可方便监视 Modem 的通信状态,并且外置式调制解调器安装和拆卸容易,设置和维修也很方便,还便于携带。外置式调制解调器的连接也很方便,Phone 和 Line 的接法同内置式调制解调器。但是外置式调制解调器需用一根串行电缆把计算机的一个串行口和调制解调器串行口连起来,这根串行线一般随外置式调制解调器配送。最近,出现了 USB 接口 Modem,只需将其接在主机的 USB 接口就可以,支持即插即用,这比内置 Modem 和外置式 Modem 在安装上都具有优越性。

(3) PCMCIA 卡式 Modem 是笔记本电脑专用产品。功能同普通 Modem 相同。

此外,按照调制信号的类型,调制解调器可分为基带 Modem 和频带 Modem 两大类。

(1) 基带 Modem。基带 Modem 又称为短程调制解调器,是在相对短的距离内,如楼宇、校园内部或市内,连接计算机、网桥、路由器和其他数字通信设备的装置。基带传输是一种重要的数据传输方式,基带 Modem 作用是形成适当的波形,使数据信号在带宽受限的传输线路上通过时,不会由于波形迭起而产生码间干扰,即基带 Modem 用于数字信号间的调制解调。

(2) 频带 Modem。频带 Modem 是利用给定线路中的频带(如一个或多个电话所占用的频带)进行数据传输,它的应用范围要比基带的广泛得多,传输距离也比基带的要远。家庭日常所用的 56K Modem 就是频带 Modem。频带 Modem 用于数字/模拟信号间的调制解调。

调制解调器的一个重要性能参数是传输速率,最初的频带调制解调器有 28.8Kb/s、33.6Kb/s 和 56Kb/s 几种速率。Modem 工作时先以最高速率连接,然后会根据连接质量迅速调整连接速率,所以线路好坏是影响 Modem 连接速率的一个关键因素。基带调制解调器采用的技术不同,可选择的速率也有很大的差别,常见的速率有 64Kb/s~100Mb/s 不等。

3.4.4 介质连接器

不同的物理层标准规定使用不同的连接器。这些标准规定了连接器的机械尺寸和它们在实施中所采用的各种连接器的可接受电气性能。虽然有些连接器外观相同,但根据它们适用的物理层规范,它们具有不同的布线方式。例如 ISO 887 指定了 RJ-45 连接器可用于各种物理层规范,以太网只是其中的一种。其他规范,如 EIA-TIA 568 描述了以太网直通电缆和交叉电缆的电线颜色与引脚搭配(线序)。

尽管可以预先购买各种类型的铜缆,但在某些情况下,尤其在 LAN 安装中,仍可现场进行铜介质端接。这些端接包括在 Cat 5 介质端压接 RJ-45 水晶头来制作电缆,也包

括在 110 配线面板和 RJ-45 插头上进行压线连接。以下列出了几种常用介质的连接器，如图 3-6 所示。



图 3-6 介质连接器