

# 单元五 计算机网络电工技术

## ◆工作任务

通过本单元的学习,了解计算机网络系统涉及的电工技术,重点掌握双绞线电缆、水晶头、模块、光缆传输中的电工技术与典型应用案例,熟悉计算机网络系统电气特性的测试方法。

## ◆工作目标

- (1)了解铜缆的结构特征与电气特性。
- (2)熟悉铜缆与水晶头、模块的连接方式。
- (3)认知并掌握光纤传输系统的构成。
- (4)了解光传播的特性与光纤传输系统中光电的转化。

铜缆传输系统是由铜缆双绞线、水晶头、模块和配线架等设备组成的,光缆传输系统则是由光缆、光电转换和收发设备等组成的,本单元主要讲解铜缆和光缆传输系统的原理和各组成部件的结构原理。

## 5.1 网络双绞线电缆的电学特性

### 5.1.1 双绞线电缆的结构和材料

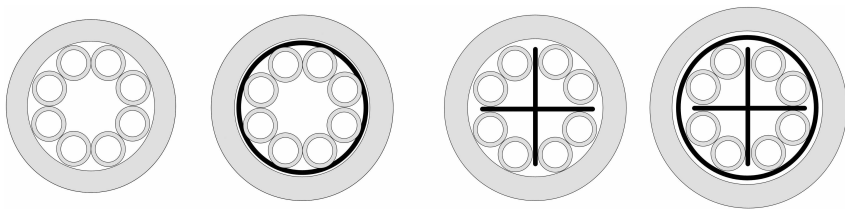
常用双绞线电缆一般分为屏蔽和非屏蔽两大类,每类中又分为五类(100MHz),六类(250MHz),七类(600MHz),如图 5-1 所示。

双绞线由绝缘外护套包裹 4 对双绞线构成,每对双绞线由 2 根包裹着绝缘皮的铜导体对绞,如图 5-2 所示。4 对双绞线的绞绕距各有不同。6 类双绞线中有塑料十字骨架,用于固定 4 对双绞线的空间位置,屏蔽双绞线中有一层或多层屏蔽层。



超五类非屏蔽电缆 超五类屏蔽电缆 六类非屏蔽电缆 六类屏蔽电缆

图 5-1 双绞线



超五类非屏蔽电缆 超五类屏蔽电缆 六类非屏蔽电缆 六类屏蔽电缆

图 5-2 双绞线电缆的结构

### 1. 导体

根据国标 GB/T18015《数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆》规定如下：

- (1) 导体应由质地均匀,无缺陷的退火铜线制成。
- (2) 导体可以是实心或绞合的。实心导体应具有圆形截面,可以镀金属或不镀金属。
- (3) 五类电缆的线芯直径为 0.5 毫米,六类电缆的线芯直径为 0.55 毫米。

### 2. 绝缘材料

导体应由适当的热塑性材料绝缘,例如聚烯烃、PVC、含氟聚合物、低烟无卤热塑性材料等。国标 GB/T18015《数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆》有如下规定：

- (1) 导体绝缘应由一种或多种适当的介电材料组成。
- (2) 绝缘应连续,其厚度尽可能均匀。
- (3) 绝缘应紧密的包裹在导体上。应能容易地将绝缘从导体上剥下而不损坏绝缘或导体。

### 3. 护套

在对绞线外层有一个护套将所有 4 对双绞线包裹起来,形成一根双绞线铜缆。国标 GB/T18015《数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆》有如下规定：

- (1) 护套应有足够的机械强度与弹性。在正常使用期限内应保持这些性能足够稳定。
- (2) 护套应连续,其厚度应尽可能均匀。
- (3) 护套应适当紧密的包裹在缆芯上。对于屏蔽线缆,护套不应粘附于屏蔽上。

### 4. 电缆标记和标签

国标 GB/T18015《数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆》有如下规定：

(1) 每根电缆上应标有制造商名称,必要时还应有制造年份。可使用下列一种方法加上电缆标志:包括着色线和着色带、印字带、缆芯包带上印字、在护套上做标记。

(2) 应在每个成品电缆所附的标签上或在产品包装外面给出制造信息,包括电缆型号、制造商名称或专用标志、制造年份、电缆长度等。

电缆型号表示方法如图 5-3 所示：

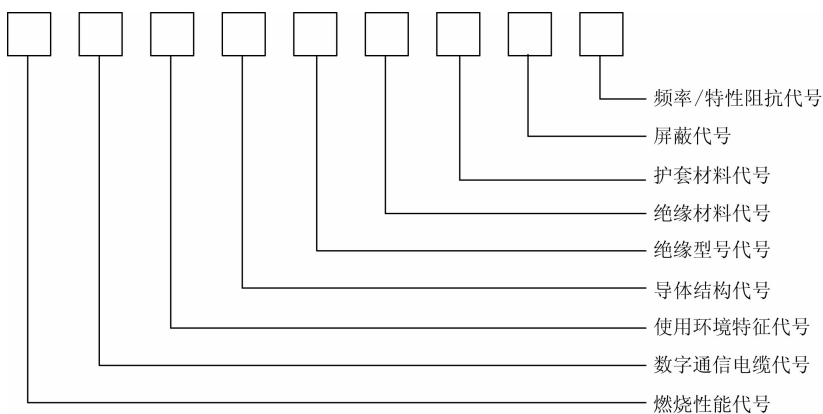


图 5-3 电缆型号的表示方法

电缆各分类代号如表 5-1 所示：

表 5-1

电缆分类代号

分类方法	类别	代号	
数字通信电缆系列	数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆系列	HS	
使用环境特征	水平层布线电缆	S	
	工作区布线电缆	G	
	垂直布线电缆	C	
导体结构	实心导体	省略	
	绞合导体	R	
	铜皮导体	TR	
绝缘形式	实心	省略	
	泡沫实心皮(或皮-泡-皮)	P	
绝缘材料	聚氯乙烯	V	
	聚烯烃	Y	
	含氟聚合物	F	
	低烟无卤热塑性材料	Z	
护套材料	聚氯乙烯	V	
	聚烯烃	Y	
	含氟聚合物	F	
	低烟无卤热塑性材料	Z	
屏蔽	无屏蔽	省略	
	有屏蔽	单对屏蔽	P1
		总屏蔽	P

(续表)

分类方法	类别	代号
最高传输频率	16MHz	
	20MHz	
	100MHz	
	100MHz(支持双工)	
	250MHz	
	600MHz	

## 5.1.2 网络双绞线电缆的电学特性

### 1. 使用电桥测试电阻的方法

图 5-4 中  $R_1$  和  $R_2$  为固定电阻,  $R_3$  为可变电阻,  $R$  为待测电阻, 调节  $R_3$ , 使得中间毫安表读数为零, 此时  $R_x/R_1 = R_3/R_2$ 。毫安表  $G$  可以检测出微小的电流值, 由于毫安表量程较小, 为防止大电流使其损坏, 并联的电阻起到分流的作用。

在必要的时候, 需要对测量得到的电阻值进行校正, 以  $\Omega/\text{km}$  表示, 并把它换算到  $20^\circ\text{C}$  标准温度下的值。对于铜导体有(5-1)所示公式:

$$R_{20} = \frac{R_x}{1 + 0.00393(t - 20)} \times \frac{1000}{L} \quad (5-1)$$

式中:  $R_{20}$  ——  $20^\circ\text{C}$  时每 km 长度导体的直流电阻,  $\Omega/\text{km}$ ;

$R_x$  ——  $t^\circ\text{C}$  时被测导体的直流电阻,  $\Omega$ ;

$L$  —— 被测导体的长度, m;

$t$  —— 测量时的环境温度,  $^\circ\text{C}$ ;

0.00393 —— 铜  $20^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数,  $1/^\circ\text{C}$ 。

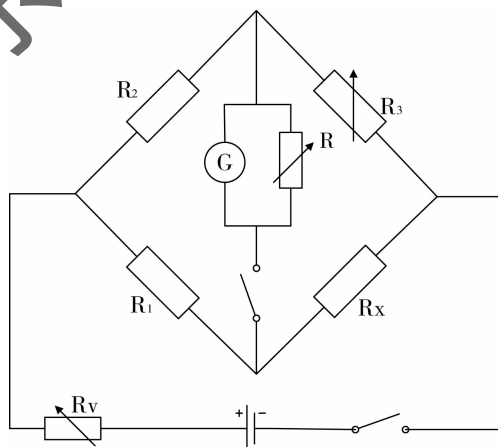


图 5-4 直流电桥

### 2. 环路电阻

环路电阻又称回路电阻或简称环阻, 它是指构成通信回路的 a、b 两线电阻之和, 是电缆

线路测试的重要内容。对环阻加以测量和限制是控制线路传输衰减、保证传输质量的重要措施。使用电桥法测量环路阻抗的电路如图 5-5 所示。

不同业务对环阻的要求不同。对于 ADSL 等宽带业务要求环阻在  $900\Omega$  以下,用户线环阻不能超过这个值,否则就会造成信号的过大衰减。此外,环阻也是检验线对是否工作良好的一个指标,若发现环阻值过小,则线对一定短路了;若环阻趋于无限大,则线对一定是开路了。

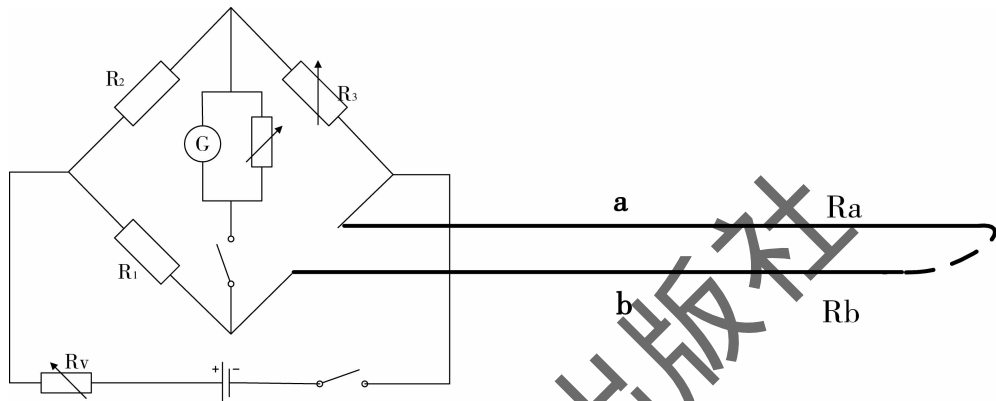


图 5-5 电桥法测环路电阻

### 3. 电阻不平衡

对绞组两导体间或四线组中一对线两导体间的电阻不平衡定义为(5-2)所示公式:

$$\Delta R(\%) = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max} + R_{\min}} \times 100(\%) \quad (5-2)$$

式中:

$\Delta R$ ——电阻不平衡;

$R_{\max}$ ——较大电阻值的导线电阻,  $\Omega$ ;

$R_{\min}$ ——较小电阻值的导线电阻,  $\Omega$ 。

对于综合布线系统中的垂直子系统、水平子系统和工作区子系统,规定电阻不平衡性应不大于 3%;

### 4. 使用万用表测试铜缆双绞线

使用万用表测试铜缆电阻虽然不如电桥法测试精准,但也可对线缆情况做出基本的判断。通常使用的超五类铜缆双绞线线芯应  $0.5\text{mm}$  直径铜芯,根据公式(5-3)计算:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5-3)$$

铜的电阻率为  $1.75 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ,计算可知,100m 超五类非屏蔽铜缆双绞线单根线芯的电阻应为  $8.9\Omega$ ,由于双绞线绞对缠绕,实际中线缆铜芯的长度大于线缆本身长度,规定 100m 铜缆双绞线单根线芯的电阻应在  $10\Omega$  以内。

我们截取一段 100m 的铜缆双绞线,使用万用表测量其电阻,测得其白橙线电阻为  $9.3\Omega$ ,橙线电阻为  $9.3\Omega$ ,白绿线电阻为  $9.1\Omega$ ,绿线电阻为  $9.1\Omega$ ,白蓝线电阻为  $9.1\Omega$ ,蓝线电阻为  $9.1\Omega$ ,白棕线电阻为  $9.3\Omega$ ,棕线电阻为  $9.2\Omega$ 。

根据测得的电阻值,可以看出这段双绞线路完好,无开路短路,且电阻值符合标准。4

对双绞线由于其绞距不同,实测电阻值有略微的差别。白棕线与棕线的电阻不平衡,但由于精度有限,此处不可使用电阻不平衡的计算公式对其进行计算。

## 5. 屏蔽电阻

屏蔽电缆虽然埋在土壤中,但是由于外护套的保护,与大地绝缘,因此保证电缆屏蔽层连接良好并且可靠接地是十分重要的。

全塑电缆屏蔽层电阻大小的标准为:主干电缆屏蔽层电阻平均值不大于  $2.6\Omega/\text{km}$ ;配线电缆屏蔽层电阻不得大于  $5\Omega/\text{km}$ 。

屏蔽电阻使用电桥法,分三次测。第一次测量 a, b 两芯间的环阻;第二次测量屏蔽层与 a 线电阻之和;第三次测量屏蔽层与 b 线电阻之和。于是有(5-3)所示公式:

$$R_{\text{屏}} = \frac{\text{a 线与屏蔽层电阻} + \text{b 线与屏蔽层电阻} - \text{ab 线环阻}}{2} \quad (5-4)$$

## 6. 绝缘电阻

铜缆线路中的绝缘电阻包括线间绝缘电阻和线地间绝缘电阻两种。

### (1) 芯线对地绝缘电阻值。

绝缘电阻使用兆欧表进行测试。测量接线如图 5-6 所示,被测导线对端必须腾空。用单股导线一根,一段接在兆欧表的保护环 G 上,另一端接在被测线绝缘层上,减少因漏电流而引起的测试误差。用测试线将兆欧表的 E 端子接电缆屏蔽层,用测试线将被测芯线与兆欧表的 L 接线柱相连,屏蔽层与兆欧表的 E 接线柱相连。慢慢摇动手柄,使转速达到  $120\text{r}/\text{min}$  左右,待表针稳定后从表头读取读数  $R_x$ ,即为被测绝缘电阻值。

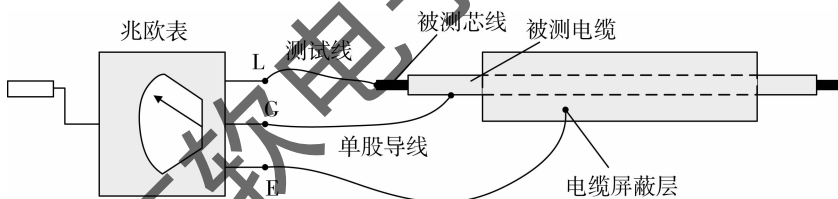


图 5-6 兆欧表测芯线对地绝缘电阻接线图

### (2) 芯线间绝缘电阻值。

测量接线如图 5-7 所示,用绝缘良好的单股线一端接在兆欧表的保护环 G 上,另一端接在两芯线绝缘层上,以减少因漏电流而产生的误差。用测试线将被测两芯线分别与兆欧表的 L、E 接线柱相连,其余非测试芯线在电缆的对端全部短连接地。慢慢摇动手柄,使转速达到  $120\text{r}/\text{min}$  左右,待表针稳定后从表头读取读书  $R_x$ ,即为被测两芯线间的绝缘电阻值。

对于综合布线系统中的垂直子系统、水平子系统和工作区子系统,规定绝缘电阻应大于  $150\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

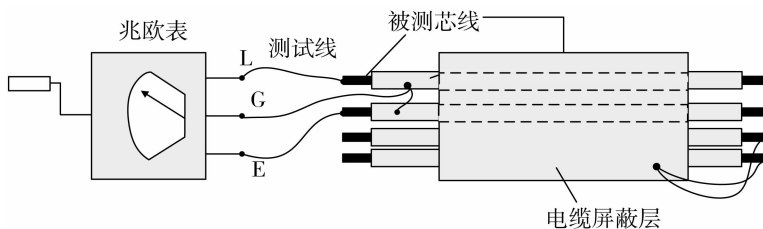


图 5-7 兆欧表测芯线间绝缘电阻接线图

### 7. 特性阻抗

如图 5-8 所示,一对双绞线并行,可以分解为无数个微小的长度  $\Delta l$  的组合。每个  $\Delta l$  段的铜线可以等效为一个电阻和一个电感串联而成,一对铜线等效为两个电阻和电感串联的线路并行,它们之间用一个电容连接,如图 5-9 所示。

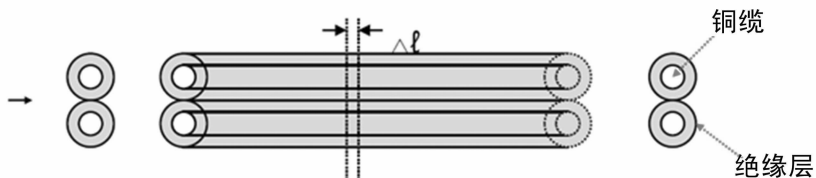


图 5-8 铜缆双绞线的阻抗特性

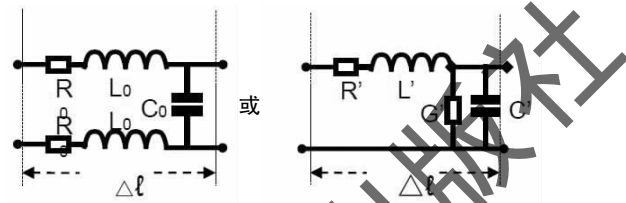


图 5-9  $\Delta l$  的等效电路

那么,整段线路就是无数个图 5-9 所示阻抗的组合,用  $Z_c$  表示其阻抗,我们称  $Z_c$  为这段双绞线的特效阻抗,计算公式如(5-5)所示。

$$Z_c = \int_0^{+\infty} f(l) dl \tag{5-5}$$

如图 5-10 所示,  $D$  为电缆绝缘层外径,  $d$  为线芯外径。

- (1) 电缆受到  $D$  非线性扰动时,线芯不变,绝缘层变厚,此时  $R_0$  不变,  $C_0$  变小,  $L_0$  微变。
- (2) 电缆受到  $d$  非线性扰动时,线芯变粗,绝缘层不变,此时  $R_0$  变小,  $C_0$  变大,  $L_0$  变小。
- (3) 电缆受到  $D$ 、 $d$  组合非线性扰动,线芯变粗,绝缘层变薄,此时  $R_0$  变小,  $C_0$  变大,  $L_0$  变小。
- (4) 导体同心度扰动、导体椭圆度扰动、绝缘椭圆度扰动时,电缆截面变化如图 5-10 所示。电缆受到间距非线性扰动时,两线芯间距变大,此时  $R_0$  不变,  $C_0$  变小,  $L_0$  微变。

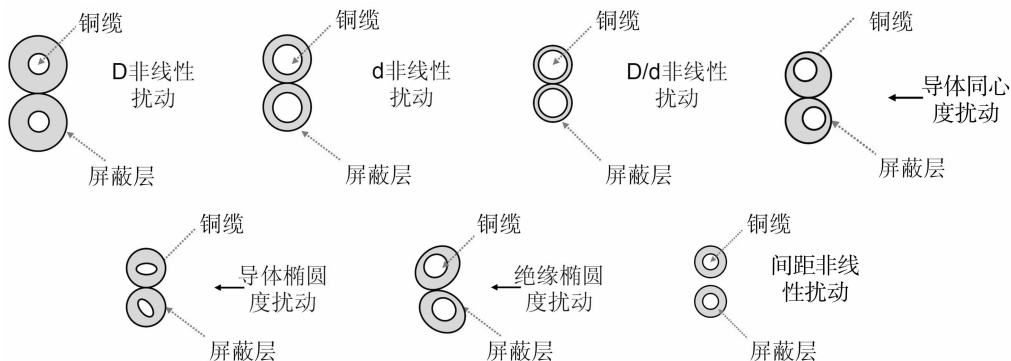


图 5-10 电缆受到各种扰动时线芯和绝缘层的变化

线缆阻抗不连续时,会造成信号能量的反射,分布电容和电感的变化造成对外辐射能量的变化,如图 5-11 所示。

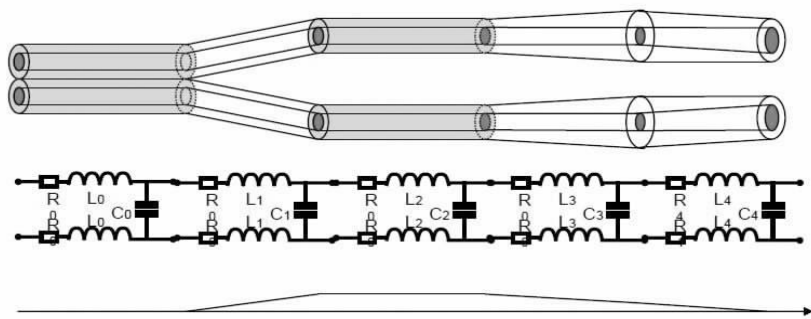


图 5-11 线缆阻抗不连续

### 5.1.3 双绞线与水晶头的电气结构与端接

#### 1. 水晶头的结构

每个水晶头由 9 个零件组成,包括 1 个插头体和 8 个刀片。同时每个水晶头配套一个塑料护套。插头体的特点如下:

(1)插头体的右端设计有三角形塑料压块,水晶头压接前,三角形塑料压块没有向下翻转,网线可以轻松插入。水晶头压接时,三角形塑料压块向下翻转,卡装在水晶头内,将网线的护套压扁固定,如图 5-12 所示。

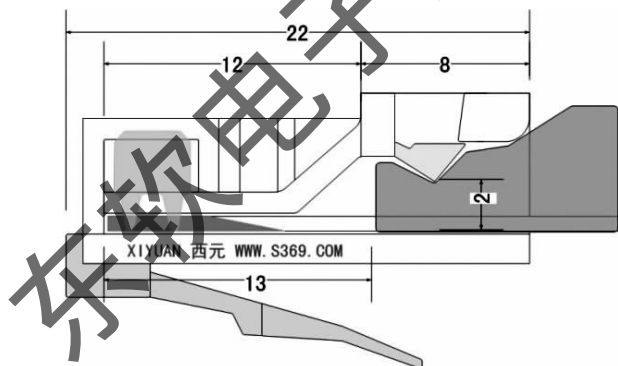


图 5-12 水晶头结构图

(2)插头体中间有 8 个限位槽,每个限位槽的尺寸稍微大于线芯直径,刚好安装 1 根线芯,防止两根线芯同时插入一个限位槽中。

特别注意,五类、超五类水晶头的 8 个限位槽并排排列,如图 5-13 所示。

六类水晶头的 8 个限位槽上下两排排列,如图 5-14 所示。

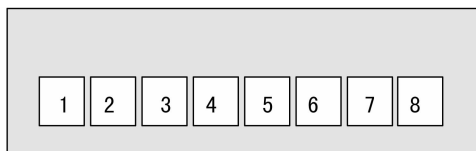


图 5-13 五类水晶头限位槽

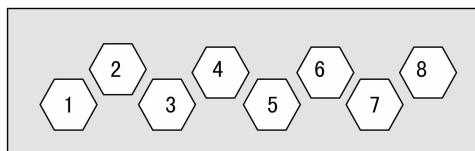


图 5-14 六类水晶头限位槽

(3)插头体 8 个限位槽上方,分别安装有 8 个刀片。

(4)插头体下边有一个弹性塑料限位手柄,手柄上有个卡装结构,用于将水晶头卡在



RJ45 接口内。安装时,压下手柄,能够轻松插拔水晶头;松开手柄,水晶头就卡装在 RJ45 接口内了。

## 2. 电气连接的实现

如图 5-15 和图 5-16 所示,五类水晶头压接前插头体限位槽上方的 8 个刀片突出表面约 1 毫米,压接后 8 个刀片分别划破绝缘层插入到 8 个铜线导体中。六类水晶头压接后的刀片上端低于插头体表面,刀片下端已经划破网线绝缘层,插入铜导线中了。此时,8 根铜缆线芯与水晶头中的 8 个刀片实现了电气连接功能。

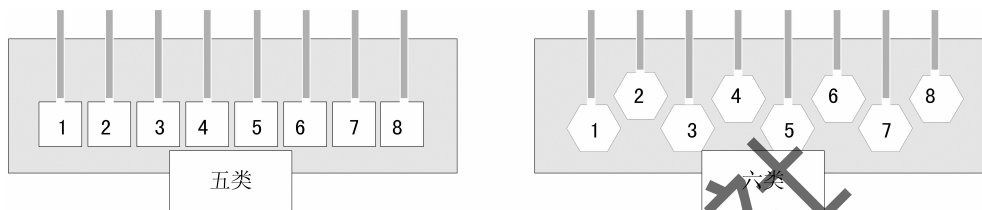


图 5-15 压接前的刀片位置

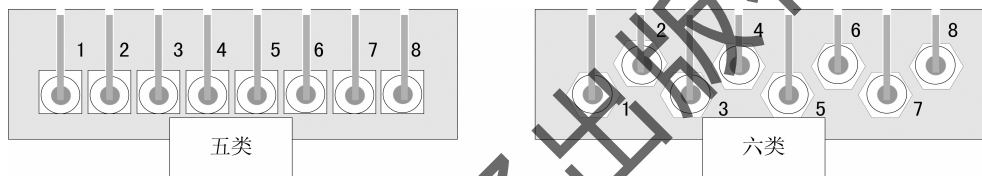


图 5-16 压接后的刀片位置

根据标准规定,双绞线与水晶头端接有 T568A 和 T568B 两种线序,如图 5-17 和图 5-18 所示。

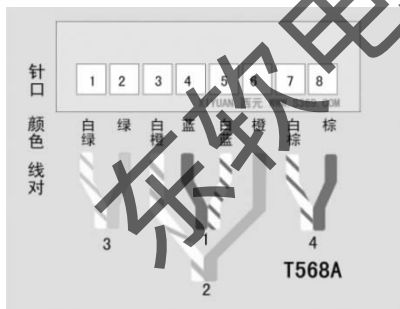


图 5-17 T568A 接线图

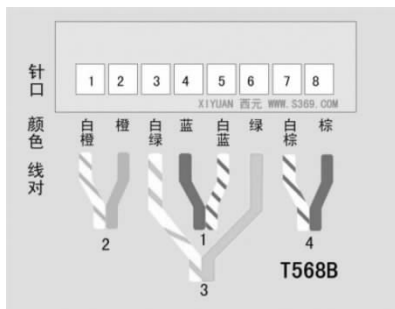


图 5-18 T568B 接线图

### 5.1.4 双绞线、水晶头与网络模块的电气连接

#### 1. 网络模块的结构

网络模块的结构包括如下几个部分,如图 5-19 所示。

- (1) 8 个塑料线柱,每个塑料线柱内镶嵌有 1 个刀片,用于压接网线的 8 根线芯;
- (2) 一个可以插入水晶头的插口,其中有 8 个弹簧插针;
- (3) 一块电路板,将 8 个弹簧插针连接到网络模块的 8 个刀片;
- (4) 一套卡装结构,可以将模块卡装在信息面板上。

每个网络模块配套有一个防尘盖,防止在长期使用中灰尘落入刀片,影响网线线芯与刀片的电气连接。

## 2. 电气连接的实现

(1)如图 5-19 和图 5-20 所示,网络模块的 8 个线柱,每个线柱内镶有一个刀片,刀片下端固定在电路板上,上端穿入塑料线柱中。线芯压入塑料线柱时,被刀片划破绝缘层,夹紧铜导体,这样就实现了双绞线与网络模块的电气连接。刀片和铜线位置如图 5-21 所示。

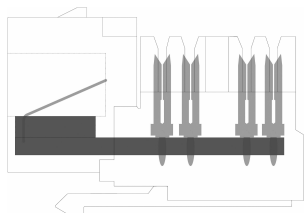


图 5-19 网络模块结构图

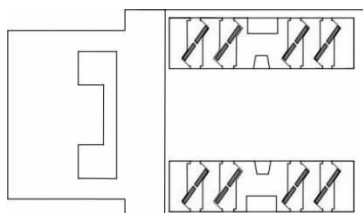


图 5-20 网络模块的 8 个线柱与刀片



图 5-21 刀片与铜线

(2)如图 5-22 和图 5-23 所示,水晶头插口内有 8 个弹簧插针,弹簧插针一端固定在电路板上,通过电路与刀片连通,另一端与电路板成 30 度。水晶头插入后,8 个弹簧插针与水晶头上的 8 个刀片紧密接触。这样就实现了水晶头与网络模块的电气连接。

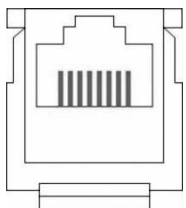


图 5-22 水晶头插口

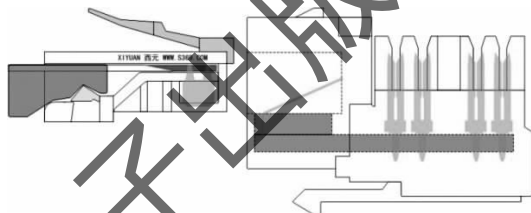


图 5-23 水晶头插入示意图

(3)水晶头插口内的 8 个插针插入内部电路板,接线柱内的 8 个刀片也插入内部电路板,它们之间通过电路板上线的线路一一对应连通,这样,水晶头就通过模块与端接在模块上的双绞线实现了连通。

## 5.1.5 屏蔽技术

### 1. 屏蔽的概念

屏蔽技术是在普通非屏蔽布线系统的外面加上金属屏蔽层,利用金属屏蔽层的反射、吸收及趋肤效应实现防止电磁干扰及电磁辐射的功能。

由于线缆外覆盖一层金属屏蔽层,当外界存在电场时,金属屏蔽层上的自由电子受到电场力的作用发生移动,不再均匀分布。移动的结果是屏蔽层上的自由电子聚集产生一个反向的电场,与外界电场相抵消,因此屏蔽层内不会受到外界电场的干扰。同理,屏蔽层内部的线缆中电流产生的电场也不会释放到屏蔽层以外。

屏蔽层按类型分为丝网和铝箔,图 5-24 为丝网屏蔽层,图 5-25 为铝箔屏蔽层。



图 5-24 丝网屏蔽层



图 5-25 铝箔屏蔽层

## 2. 屏蔽双绞线的类型

### (1) F/UTP 屏蔽双绞线。

F/UTP 铝箔屏蔽双绞线是传统的屏蔽双绞线,主要用于将 8 芯双绞线与外部电磁场隔离,对线对之间电磁干扰没有作用。

F/UTP 双绞线在 8 芯双绞线外层包裹了一层铝箔。即在 8 根芯线外、护套内有一层铝箔,在铝箔的导电面上铺设了一根接地导线。

F/UTP 双绞线主要用于五类、超五类,在六类中也有应用。

### (2) U/FTP 屏蔽双绞线。

U/FTP 屏蔽双绞线的屏蔽层,同样由铝箔和接地导线组成,所不同的是:铝箔层分有 4 张,分别包裹 4 个线对,切断了每个线对之间的电磁干扰途径。因此它除了可以抵御外来的电磁干扰外,还可以对抗线对之间的电磁干扰。

U/FTP 线对屏蔽双绞线来自 7 类双绞线,主要用于六类屏蔽双绞线,也可以用于超 5 类屏蔽双绞线。

### (3) SF/UTP 屏蔽双绞线。

SF/UTP 屏蔽双绞线的总屏蔽层为铝箔加铜丝网,它不需要接地导线作为引流线;铜丝网具有很好的韧性,不易折断,因此它本身就可以作为铝箔层的引流线,万一铝箔层断裂,丝网将起到将铝箔层继续连接的作用。

SF/UTP 双绞线在 4 个双绞线的线对上,没有各自的屏蔽层。因此它属于只有总屏蔽层的屏蔽双绞线。

F/UTP 双绞线主要用于五类、超五类,在六类屏蔽双绞线中也有应用。

### (4) S/FTP 屏蔽双绞线。

S/FTP 屏蔽双绞线属于双重屏蔽双绞线,它是应用于 7 类屏蔽双绞线的线缆产品,也用于六类屏蔽双绞线。

## 3. 屏蔽层的连接和接地

屏蔽水晶头如图 5-26 所示,水晶头外有一层金属屏蔽层,当水晶头插入屏蔽配线架或其他如 5-27 所示的 RJ45 口中时,屏蔽层与设备金属壳相接触,然后通过设备金属壳的接地线实现接地。

屏蔽双绞线与屏蔽水晶头端接时,双绞线的屏蔽层(丝网屏蔽层或铝箔屏蔽层)与水晶头的金属屏蔽层连接,通过水晶头的金属屏蔽层间接实现接地。

屏蔽网络模块如图 5-28 所示,外部有一层金属屏蔽层。水晶头插入网络模块时,水晶头外侧的金属屏蔽层与网络模块的金属屏蔽层相接触,从而实现连通。



图 5-26 屏蔽水晶头



图 5-27 屏蔽配线架



图 5-28 屏蔽模块

网络双绞线与屏蔽模块端接时,双绞线的屏蔽层与网络模块的金属屏蔽层相连通,从而实现接地。

## 5.2 光纤传输中的电工技术

### 5.2.1 光纤传输技术

由于铜缆导线电阻的存在,传输距离受到了很大的限制,而光纤与之相比,具有更小的衰减,而且抗干扰能力强,安全性高,因此广泛用于远距离传输中。最基本的光纤通信系统由数据源、光发送端、光学信道和光接收机组成。

#### 1. 光的传播特性

(1)传播速度。光在均匀介质(折射率 $n$ 不变)中是沿直线路径传播的,光在真空中的传播速度为 $3 \times 10^8$  m/s,也就是每秒30万公里。在介质中的传播的速度为(5-6)所示:

$$v = \frac{c}{n} \quad (5-6)$$

式中, $c=3 \times 10^8$  m/s,是光在真空中的传播速度, $n$ 是介质的折射率,空气的折射率为1.00027,近似为1,玻璃的折射率为1.45左右。

(2)独立传输。在线性介质如光纤中,来自不同方向的光线即使在空中相交也能互不影响,按各自原有方向继续前进。

#### 2. 光纤与光缆

(1)光纤的结构和类型。光纤一般由纤芯、包层、涂覆层和套层组成,如图5-29所示。

①纤芯位于光纤中心,直径 $2a$ 为 $5 \sim 75 \mu\text{m}$ ,作用是传输光波。

②包层位于纤芯外层,直径 $2b$ 为 $100 \sim 150 \mu\text{m}$ ,作用是将光波限制在纤芯中。纤芯和包层组成裸光纤,两者采用高纯度二氧化硅制成,但为了使光波在纤芯中传送,应对材料进行不同掺杂,使包层材料折射率 $n_2 <$ 纤芯材料折射率 $n_1$ 。

③一次涂覆层是为了保护裸纤而在其表面涂上的聚氨基甲酸乙酯或硅酮树脂层,厚度一般为 $30 \sim 150 \mu\text{m}$ 。

④套层又称二次涂覆或被覆层,多采用聚乙烯塑料或聚丙烯塑料、尼龙等材料。经过二次涂敷的裸光纤称为光纤芯线。

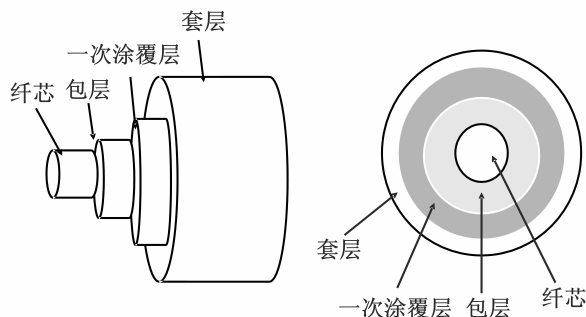


图 5-29 光纤的结构

光纤按照纤芯的折射率分布可以分为阶跃型光纤(SIF),渐变型光纤(GIF)和 W 型光纤,其折射率分布特点如图 5-30 所示。

阶跃型光纤纤芯的折射率是均匀的,包层的折射率稍低一些。光纤中心芯到玻璃包层的折射率是突变的,只有一个台阶。阶跃型光纤的传输模式很多,各种模式的传输路径不一样,经传输后到达终点的时间也不相同,因而产生时延差,使光脉冲受到展宽。所以这种光纤的模间色散高,传输频带不宽,传输速率不能太高,用于通信不够理想,只适用于短途低速通讯。

渐变型光纤的纤芯折射率中心最大,沿纤芯半径方向逐渐减小。由于高次模和低次模的光线分别在不同的折射率层界面上按折射定律产生折射,进入低折射率层中去,因此,光的行进方向与光纤轴方向所形成的角度将逐渐变小,直至光在某一折射率层产生全反射,使光改变方向,朝中心较高的折射率层行进。光的行进方向与光纤轴方向所构成的角度,在各折射率层中每折射一次,其值就增大一次,最后达到中心折射率最大的地方。可以看出,光在渐变光纤中会自觉地进行调整,从而最终到达目的地,这叫做自聚焦。

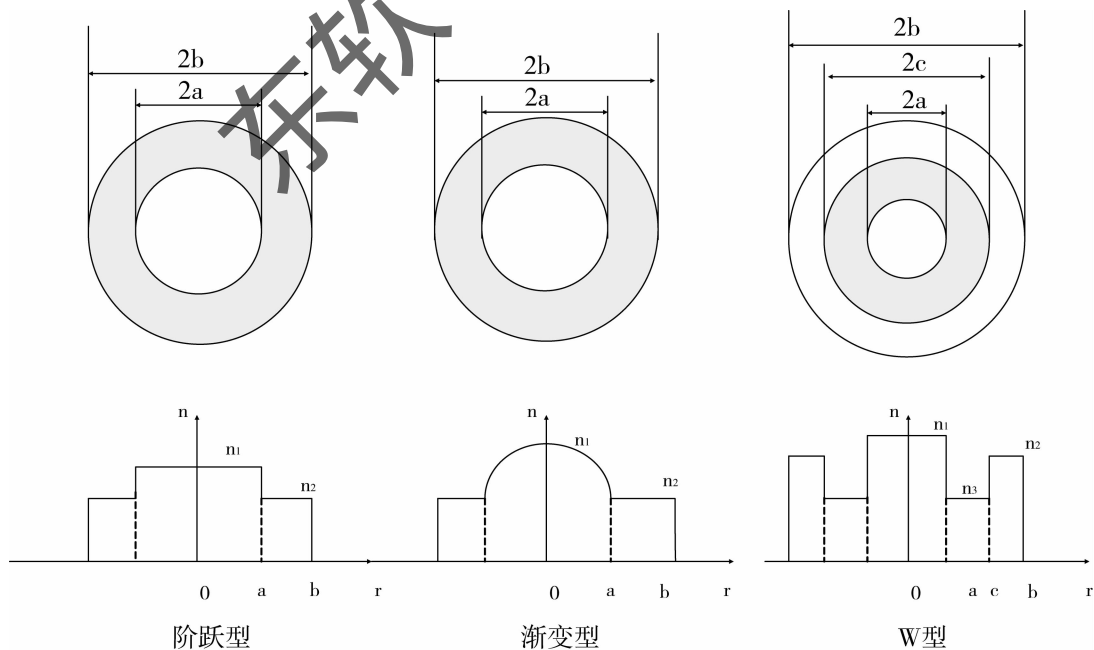


图 5-30 光纤纤芯折射率分布

(2) 光缆的结构和类型。光缆一般由缆芯、加强元件和护层三部分组成。

① 缆芯: 由单根或多根光纤芯线组成, 有紧套和松套两种结构。紧套光纤有二层和三层结构。

② 加强元件: 用于增强光缆敷设时可承受的负荷。一般是金属丝或非金属纤维。

③ 护层: 具有阻燃、防潮、耐压、耐腐蚀等特性, 主要是对已成缆的光纤芯线进行保护。根据敷设条件可由铝带和聚乙烯组成的外护层、钢带或钢丝铠装, 聚乙烯护层等组成。

层绞式光缆的结构, 类似于传统的电缆结构方式, 故又称为古典式光缆, 如图 5-31 所示。

骨架式光缆中的光纤置放于塑料骨架的槽中, 槽的横截面可以是 V 形、U 形或其他合理的形状, 槽的纵向呈螺旋形或正弦形, 一个空槽放置 5~10 根一次涂覆光纤, 如图 5-32 所示。

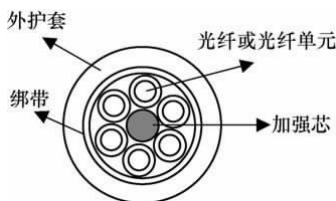


图 5-31 层绞式光缆

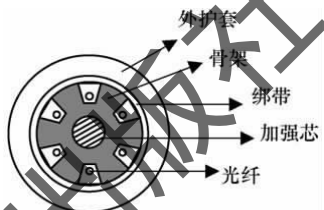


图 5-32 骨架式光缆

束管式结构的光缆近年来得到了较快的发展。它相当于把松套管扩大为整个缆芯, 成为一个管腔, 将光纤集中松放在其中, 如图 5-33 所示。

带状式结构的光缆首先将一次涂覆的光纤放入塑料带内做成光纤带, 然后将几层光纤带叠放在一起构成光缆芯, 如图 5-34。

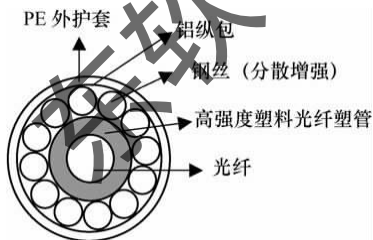


图 5-33 束管式光缆

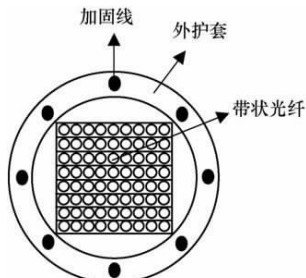


图 5-34 带状式光缆

## 5.2.2 光电转换

### 1. 光模块在光通信设备中的作用

光模块的作用是完成光电转换和电光转换。在铜缆上传输的电信号数据经过电光转换变为光信号, 能够在光缆上传输, 在光缆上传输的光信号经过光电转换变为电信号, 能够在电缆上传输, 如图 5-35 所示。

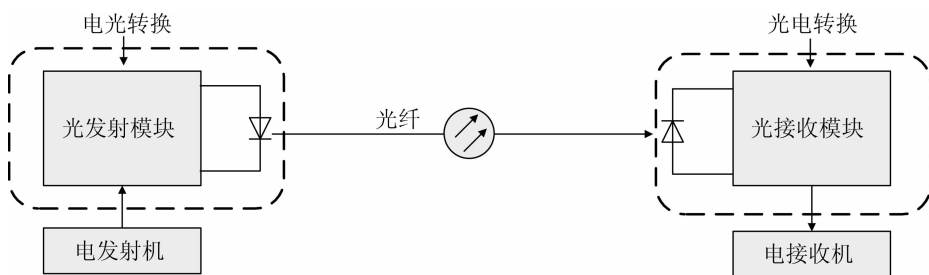


图 5-35 信号传输中的光电转换

## 2. 光发射模块和电光转换原理

光发射模块由两个部分组成，一是将带有信息的电信号转换成光信号的转换装置，二是将光信号送入光纤的传输装置，其结构如图 5-36 所示。

光发射模块的主要部件是激光二极管，激光二极管是一个电流器件，只在它通过的正向电流超过一定范围时它发出激光。

## 3. 光接收模块和光电转换原理

光接收模块如图 5-37 所示，主要功能有两个，一是把经过传输后的微弱光信号转换为电信号，二是将得到的电信号放大、整形恢复为原输入的电信号。光接收模块的主要部件是光电二极管，利用光电效应把通信中光信号转换为电信号。

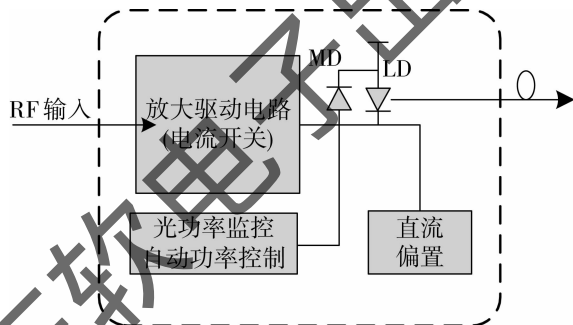


图 5-36 光发射模块

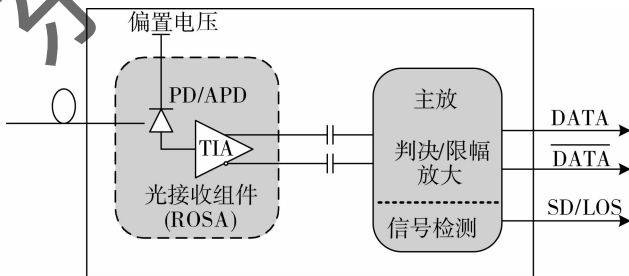


图 5-37 光接收模块

## 4. 收发一体光模块

$$\text{光收发一体模块} = \begin{cases} \text{光源(激光器) + 驱动器} \\ \text{光检测器 + 放大器} \end{cases}$$

由于微电子技术、有源和无源光器件技术的发展，将传统的分离发射、接收模块组装在同一外壳中的光收发一体模块近年来已经成为普通光模块的主流产品。

这种光收发一体模块的优点:

- (1)小型化:目前做到 SFF、SFP 封装,目前还有进一步小型化的趋势;
- (2)降低成本;
- (3)可靠性提高;
- (4)性能提高:由于 PCB 缩小,寄生参数减小,高频性能提高。

## 5. 光纤收发器

(1)光纤收发器的概念。

光纤收发器,又叫光电转换器,外形如图 5-38 所示。一般应用在以太网电缆无法覆盖、必须使用光纤来延长传输距离的实际网络环境中,同时在帮助把光纤最后一公里线路连接到城域网和更外层的网络上也发挥了巨大的作用。光纤收发器的作用是:将要发送的电信号转换成光信号,并发送出去,同时,能将接收到的光信号转换成电信号,输入到接收端。



图 5-38 光纤收发器

光纤收发器包括三个基本功能模块:光电介质转换芯片、光信号接口和电信号接口,如果配备网管功能则还包括网管信息处理单元。

(2)光纤收发器的分类。

①按照光纤性质来分:

可以分为单模光纤收发器和多模光纤收发器。

单模光纤收发器的传输距离为 20 公里~120 公里,多模光纤收发器的传输距离为 2 公里~5 公里。5 公里光纤收发器的发射功率一般在 $-20\sim-14\text{dB}$ 之间,接收灵敏度为 $-30\text{dB}$ ,使用 1310nm 的波长,而 120 公里光纤收发器的发射功率多在 $-5\sim 0\text{dB}$ 之间,接收灵敏度为 $-38\text{dB}$ ,使用 1550nm 的波长。

②按照所需光纤来分:

可以分为单纤光纤收发器和双纤光纤收发器。

单纤光纤收发器,接收和发送的数据在一根光纤上传输。双纤光纤收发器,接收数据在一根光纤上,发送数据在另一根光纤上。

单纤和双纤的收发器接线如图 5-39 和 5-40 所示。双纤收发器有 TX 口(发射口)与 RX 口(接收口),两个口都是发射一样的波长 1310nm,接收也都是 1310nm 的波长,所以接线时采用的是平行的两根光纤交叉连接。单纤收发器只有一个口,它使用的波分复用技术,将两束不同波长的光信号在一根光纤传输从而实现光信号发送与接收。一般它们使用的波长是 1310nm 和 1550nm。



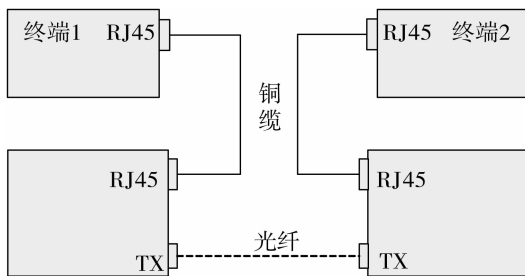


图 5-39 单纤收发器接线简图

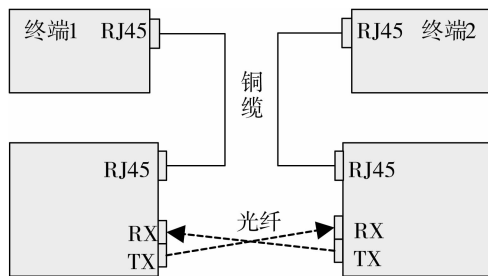


图 5-40 双纤收发器接线简图

## ③按工作方式来分：

可以分为全双工方式和半双工方式。全双工方式是指当数据的发送和接收分流，分别由两根不同的传输线传送时，通信双方都能在同一时刻进行发送和接收操作，这样的传送方式就是全双工制。在全双工方式下，通信系统的每一端都设置了发送器和接收器，因此，能控制数据同时在两个方向上传送。全双工方式无需进行方向的切换，因此，没有切换操作所产生的时间延迟。

半双工方式是指使用同一根传输线既作接收又作发送，虽然数据可以在两个方向上传送，但通信双方不能同时收发数据，这样的传送方式就是半双工制。采用半双工方式时，通信系统每一端的发送器和接收器，通过收/发开关转接到通信线上，进行方向的切换，因此，会产生时间延迟。

## 5.3 练习题

### 1. 填空题

- (1) 超五类双绞线电缆的导体直径应为 \_\_\_\_\_，六类为 \_\_\_\_\_。
- (2) 每个水晶头由 9 个零件组成，包括 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。
- (3) 光缆一般由 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和护层三部分组成。光纤一般由纤芯、包层、涂覆层和套层组成。
- (4) 光纤按照纤芯的折射率分布可以分为阶跃型光纤(SIF)，\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。
- (5) 光在真空中的传播速度为 \_\_\_\_\_，也就是每秒 \_\_\_\_\_ 公里。

### 2. 选择题

- (1) 使用万用表测试 4 条 100m 铜缆双绞线白绿线芯的电阻，阻值符合标准的为( )。
 

(A) 5Ω	(B) 9Ω	(C) 15Ω	(D) 25Ω
--------	--------	---------	---------
- (2) 成品电缆所附的标签上或产品包装外面不需要给出的信息是( )。
 

(A) 电缆型号	(B) 制造商名称或专用标志
(C) 制造年份	(D) 电缆产地
- (3) 下面哪一项不属于屏蔽双绞线类型( )。
 

(A) F/UTP	(B) U/FTP	(C) SF/UTP	(D) U/UTP
-----------	-----------	------------	-----------

- (4) 以下哪一项不属于网络模块的结构( )。
- (A) 8 个塑料线柱 (B) 一个可以插入水晶头的插口  
(C) 三角形塑料压块 (D) 一套卡装结构
- (5) 以下关于半双工方式的光纤收发器,说法错误的是( )。
- (A) 使用同一根传输线既作接收又作发送。  
(B) 通信双方不能同时收发数据。  
(C) 无需进行方向的切换。  
(D) 存在时间延迟。

### 3. 思考题

- (1) 简述五类双绞线与六类双绞线、屏蔽双绞线与非屏蔽双绞线的结构区别。  
(2) 简述水晶头是如何实现电气连接的。  
(3) 简述综合布线系统的屏蔽是如何实现的。  
(4) 光缆传输系统中的信息是怎样传输的?

## 5.4 全光网链路搭建实训

### 1. 实训目的

- (1) 了解光纤通信系统的结构;  
(2) 学习光纤收发器的连接方法;  
(3) 掌握摄像机的设置方法。

### 2. 实训要求

完成光纤链路的搭建,使摄像机获得的信号传输至笔记本上。

### 3. 实训设备、材料和工具

- (1) 西元全光网综合布线实训平台,型号 KYPXZ-02-01,如图 5-41 所示。  
(2) 西元光纤工具箱,型号 KYGJX-31。  
(3) 西元光纤冷接工具箱,型号 KYGJX-35。

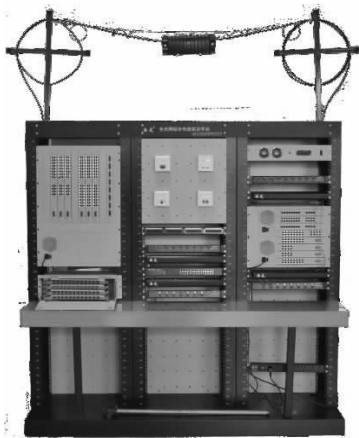


图 5-41 西元全光网综合布线实训平台

#### 4. 实训步骤

##### (1) 平台搭建。

第一步:安装机架。用螺丝连接顶帽、立柱、底座,再将操作台面固定在立柱 24-26U 位置并安装支撑脚。

第二步:安装孔板。将一块带有 4 个  $\varphi 25$  开孔的孔板装于机架正面中间顶部位置,将其余五块孔板装于机架背面下部位置。

第三步:安装光缆盘线架。将两个光缆盘线架加装  $30 \times 30$  脚套后,用螺丝固定在机架背面的两侧立柱上,每个盘线架的 4 个安装孔分别对应立柱的 1U、2U、4U、5U 位置。

##### (2) 设备安装。

###### 第一步:安装正面设备。

①将各机架式设备固定在正面立柱上,保持各设备间均留有空隙,便于实训操作。

②摄像机通过几字形专用支架安装于机架顶部,笔记本电脑放置在台面中间。

③将 4 个 86 底座在底部开孔后安装在孔板的 4 个  $\varphi 25$  孔位置,使线缆能够穿过,将 4 个带有耦合器(模块)的信息面板安装于 86 底座之上。

④FD 接入交换机附带两个 SPF 光模块,确保光模块完全插入交换机的 SPF 接口中。

⑤各设备安装完成后,将 CD 核心交换机、BD 汇聚交换机、FD 接入交换机、数字播放器以及摄像机、笔记本电脑的电源线连接至 PDU 电源插座,接通外部电源并打开相应开关,检查各设备并确保供电正常。

⑥将手动弯管器平放在操作台机架的底座上。

###### 第二步:安装背面设备。

①将  $\varphi 3$  钢缆紧扎在盘线架顶部,两端用 U 型卡固定,将室外光缆穿入光纤接续盒后用挂勾挂在钢缆上,多余长度的光缆缠绕在两个盘线架上,并用线扎固定。

②使用专用支架将光纤收发器安装在上部两个孔板上。

③将折弯成型的钢管利用直通连接,用管卡固定在孔板下方,将室内光缆从管路的一头穿入,另一头穿出,留出一定长度,便于后期连接。

##### (3) 摄像机调试。

第一步:使用一根超五类 568B 线序跳线连接摄像机和笔记本电脑,接通电源,摄像机进入自检状态。

第二步:设置电脑的局域网 IP、子网掩码、网关,若不连接至互联网,可不设置 DNS。

第三步:打开 IPCamera 软件,右击列表中的摄像机,选择“网络配置”进行摄像机 IP 设置,摄像机 IP 地址应与电脑 IP 地址处于同一子网段。

第四步:打开摄像机监控软件,在左侧空白处右击,进入“分组设置”。右击新建一个分组,点击下方查找摄像机。双击查找到的摄像机,在右侧设置其参数,重命名设备名称,用户名为“admin”,密码为空,其余参数不变,点击“添加”将该摄像机添加至刚新建的分组中,点击“确定”返回。

第五步:在左侧分组中找到添加好的摄像机,双击即可出现监控画面,切换至“控制”标签,可在软件中实现对摄像机的远程控制。

#### (4) 光纤收发器测试。

使用一对双纤收发器连接网络摄像机和电脑。如图 5-42 所示,双纤收发器上有两个 SC 光纤接口和一个 RJ45 接口,使用超五类网络跳线分别将两个双纤收发器连接至摄像机和电脑,用一根双芯 SC 光纤跳线连接两个双纤收发器的光纤接口。注意:收发器的两个光纤接口有 TX 和 RX 标识,两个双纤收发器互联时应将光纤跳线交叉连接,即收发器 A 的 TX 接口连接收发器 B 的 RX 接口,即收发器 A 的 RX 接口连接收发器 B 的 TX 接口,如图 5-42 所示。连接完成后,测试网络摄像机与电脑之间通信是否正常。

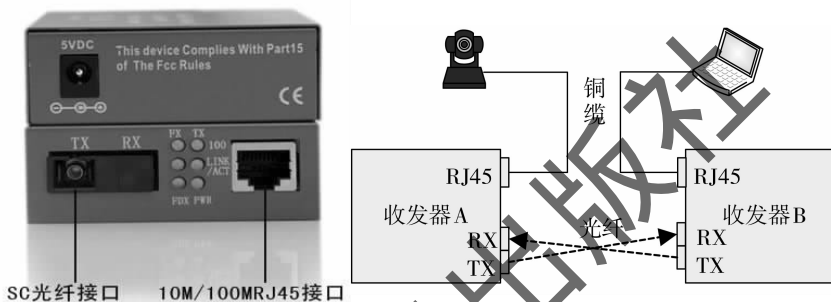


图 5-42 测试光纤收发器

#### (5) 设备连线。

设备安装调试完成后用光纤连接各设备,形成一条“摄像机—CD 交换机—BD 交换机—FD 交换机—信息面板—终端电脑”的光纤链路,使摄像头与笔记本电脑之间可以互相通信。连接方式多样,图 5-43 展示了其中一种可行的连接方式。

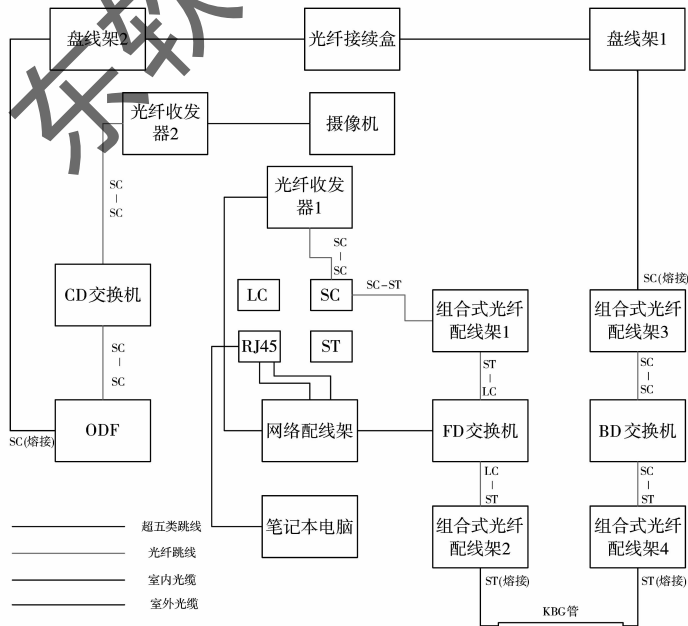


图 5-43 系统连线图

## 5. 实训报告

- (1) 记录摄像机调试步骤和结果。
- (2) 比较单纤收发器与双纤收发器在使用中的优缺点。
- (3) 画出全光网链路拓扑图。

东软电子出版社