

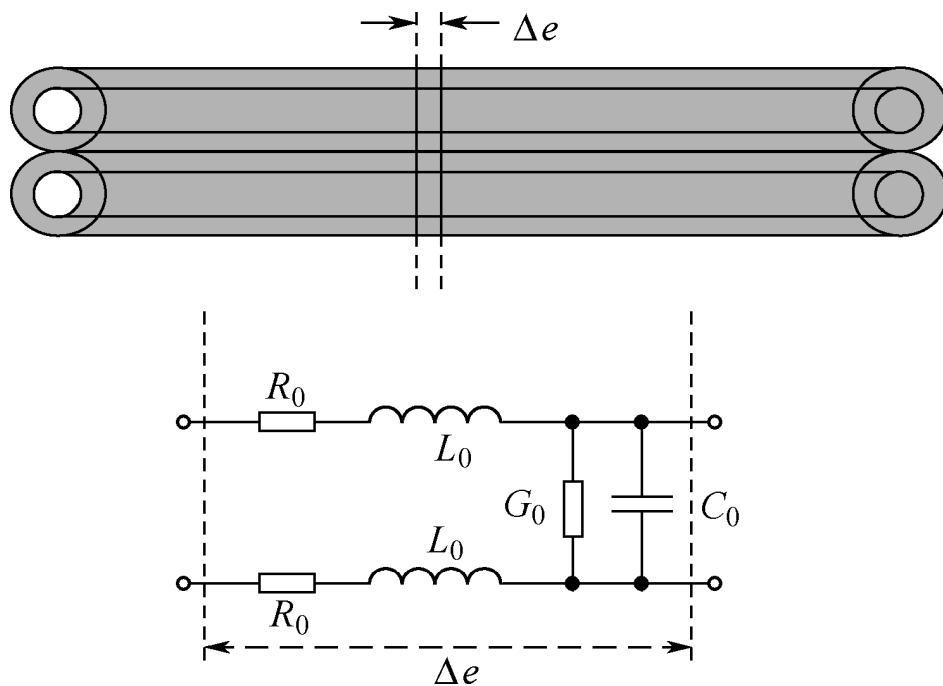
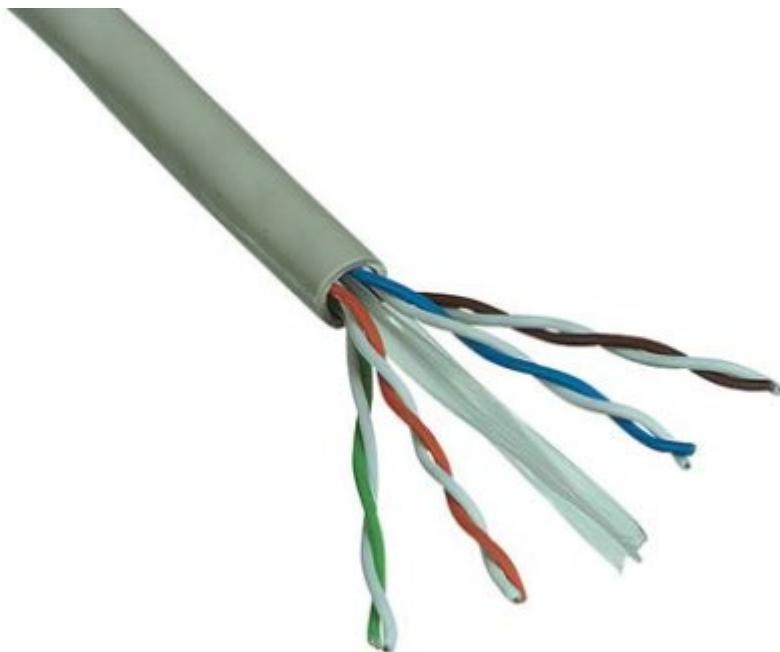
EST-100配套理论课件

第1章

走进综合布线测试

1.1 双绞线测试相关知识

- 双绞线本质上讲就是由经过缠绕的两根导线（称为线对）组成的传输线路。



双绞的好处

- 调整线对的绕度，可使线对形成的电感与电容相位很好地相互抵消，减小衰减。
- 采用线对互相缠绕的方式，相当于两个电流方向相反的电感线圈互相靠近，一个电感线圈的磁场变化和另一个电感线圈的磁场变化可以很好地相互抵消，使电磁互感现象的影响最小
- 双绞线把导线的平行路径分割成一系列短线路，使双绞线的天线效应及导线对干扰辐射信号和杂散电磁场的敏感性降到最低，使高频传输性能得到不断提高。

其他减小双绞线干扰的方式

- 调整绝缘材料和结构，减小介电常数
- 控制导线长度
- 平衡传输的信号
- 保持导线和相邻线对之间的隔离度

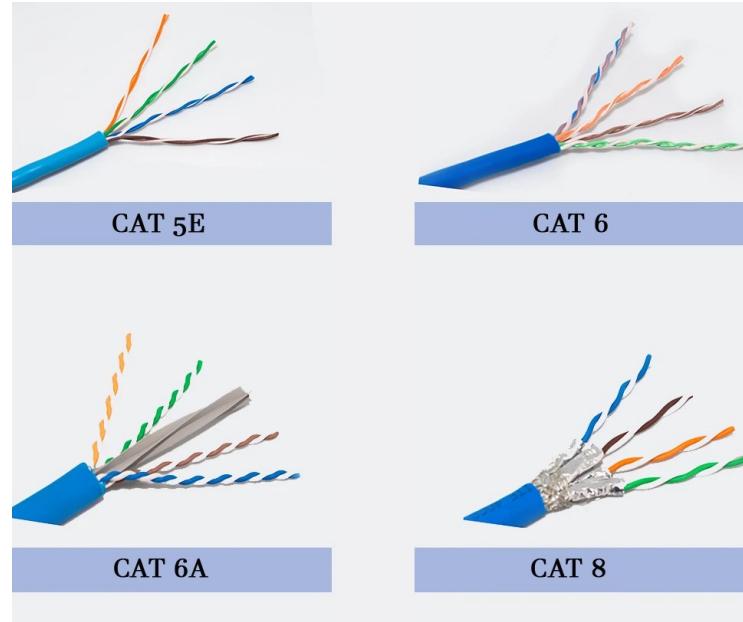
双绞线的生产设计难度

- 双绞线的生产设计难度在

用尽可能少的铜材制造出传输距离更长、性能更稳定的线缆，要尽可能减少线对间的相互干扰及信号的衰减，同时也要兼顾安装时的复杂程度和损耗程度。

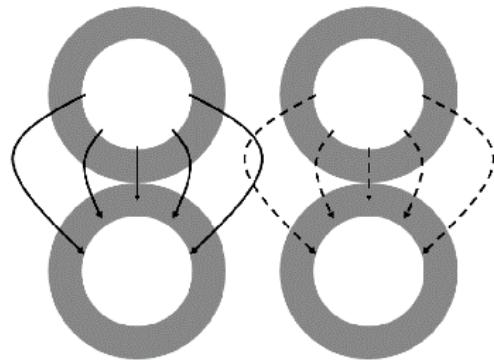
双绞线测试

- 不仅涉及连通性的问题，同时也包含线缆材质测试和性能测试，涉及相当多的测试参数和标准。

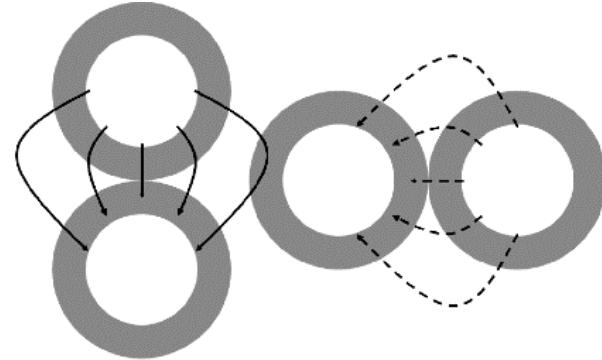


不同类型双绞线的结构

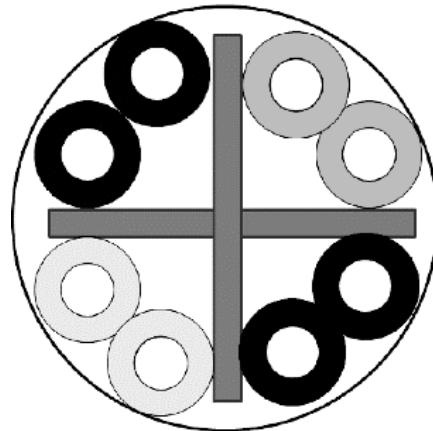
双绞线布局结构



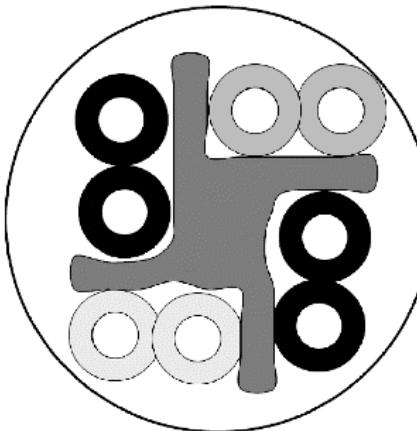
(a) 互感应干扰强



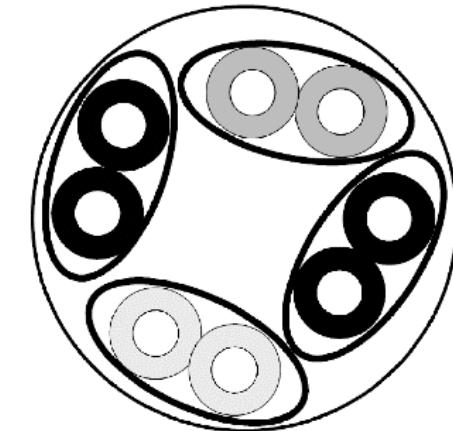
(b) 互感应干扰弱



(c) 垂直



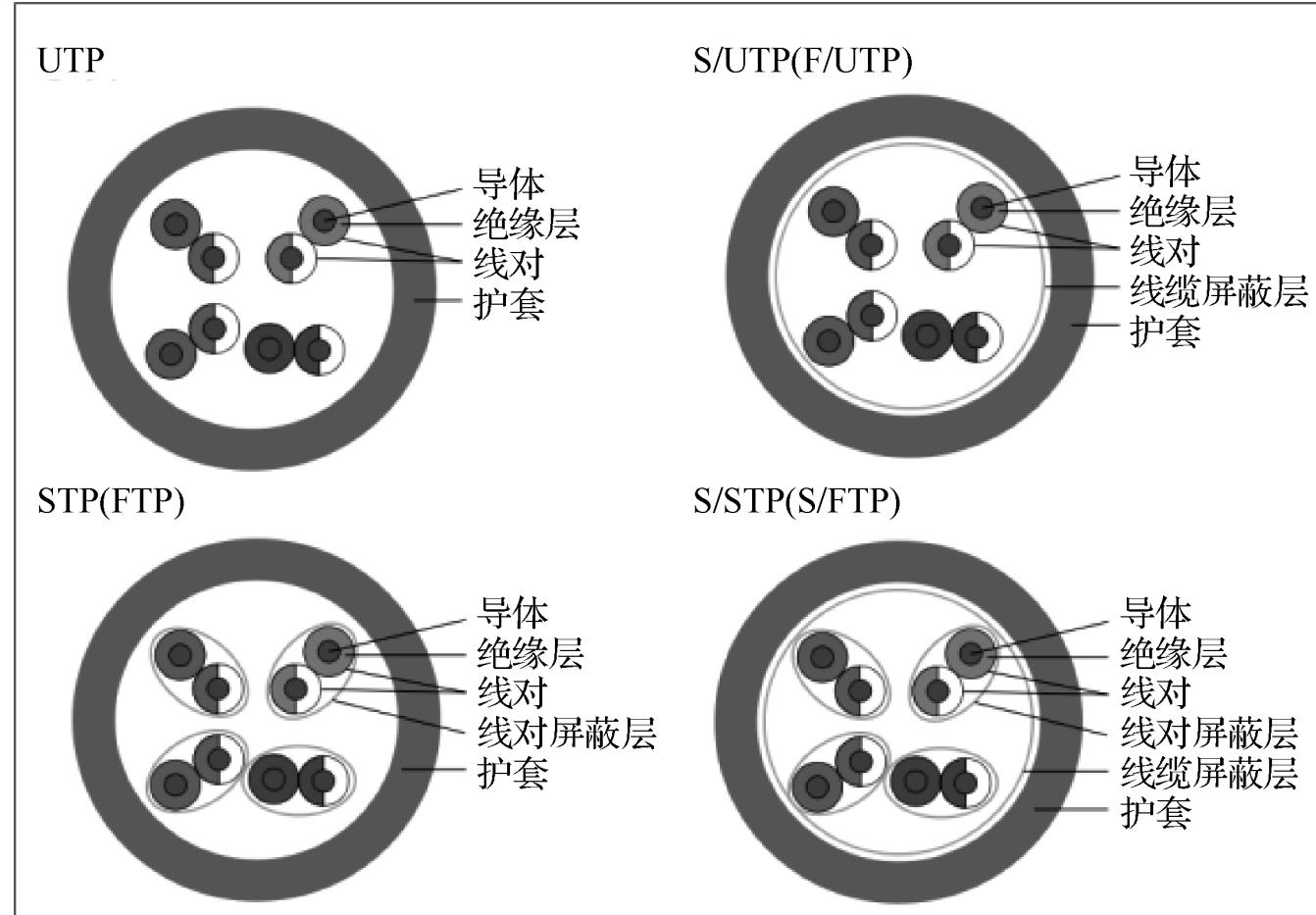
(d) 隔离/垂直



(e) 屏蔽

屏蔽层

- 双绞线按屏蔽结构分为：
 - UTP (非屏蔽双绞线)
 - STP(FTP) (线对屏蔽双绞线)
 - S/UTP(F/UTP) (外层屏蔽内层非屏蔽双绞线)
 - S/STP(S/FTP) (外层屏蔽内层屏蔽双绞线)



不同屏蔽结构的双绞线

常用双绞线标准直径

AWG	直 径		面 积 /mm ²	电 阻 /(Ω/km)
	/in	/mm		
22	0.0253	0.644	0.326	52.96
23	0.0226	0.573	0.258	66.79
24	0.0201	0.511	0.205	84.22
25	0.0179	0.455	0.162	106.2
26	0.0159	0.405	0.129	133.9

AWG (American Wire Gauge) 的标识 (俗称线规)

双绞线类型

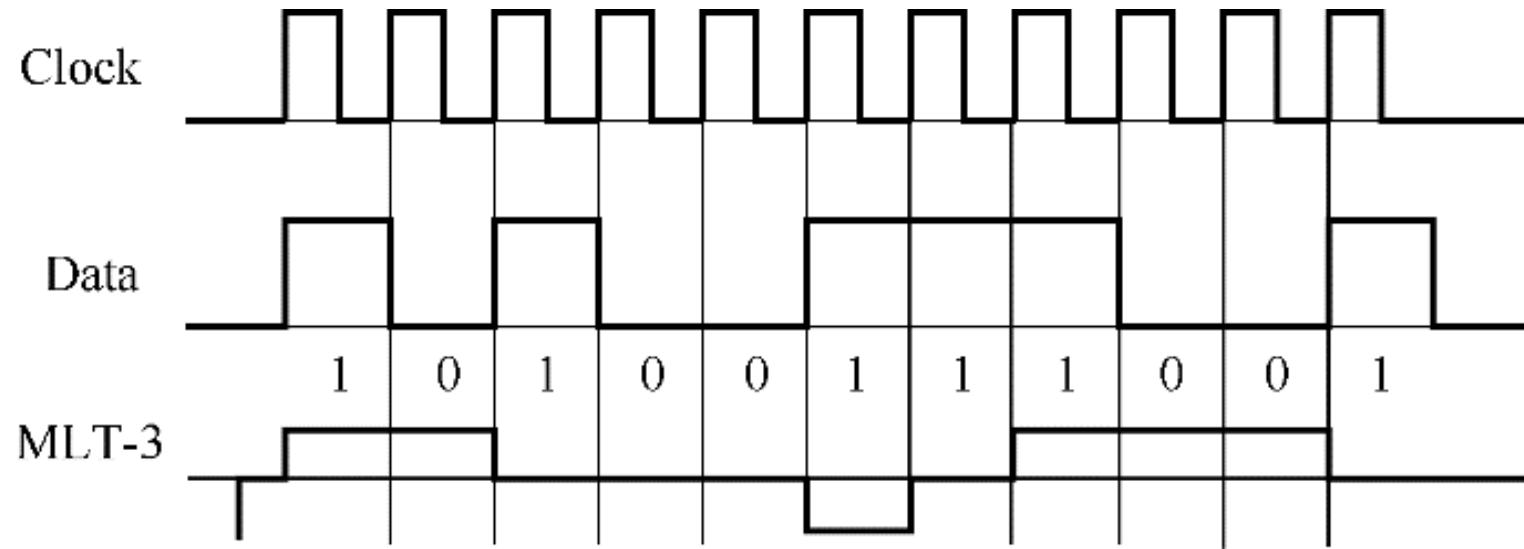
类 型	最 高 带 宽	用 途 和 特 点 描 述
1类 (CAT1)	750kHz	报警系统或语音传输
2类 (CAT2)	1MHz	语音传输和最高4Mb/s的数据传输速率
3类 (CAT3)	16MHz	语音传输、十兆以太网 (10Base-T) 和4Mb/s的令牌环数据传输速率
4类 (CAT4)	20MHz	语音传输和最高16Mb/s的令牌环数据传输速率
5类 (CAT5)	100MHz	语音传输和最高100Mb/s的数据传输速率 (100Base-T和1000Base-T网络)；最大网段长度为100m，采用RJ45形式的连接器
超5类 (CAT5e)	100MHz	超5类线比5类线抗干扰能力强，衰减小，主要用于千兆以太网
6类 (CAT6)	250MHz	数据传输速率高于1Gb/s的应用，比超5类线在串音和回波损耗方面改善了性能
超6类 (CAT6a)	500MHz	数据传输速率高于10Gb/s的应用，长度为100m
7类 (CAT7)	600MHz	非RJ45接口，定义于ISO/IEC 60603-7-71和ISO/IEC 61076-3-104 (ANSI/TIA 568.2-D标准没有定义7类线) 中，可用于稳定性要求较高的万兆以太网，长度为100m
7A类 (CAT7a)	1GHz	非RJ45接口，定义于ISO/IEC 60603-7-71和ISO/IEC 61076-3-104 (ANSI/TIA 568.2-D标准没有定义7A类线) 中，可用于稳定性要求较高的万兆以太网，长度为100m
8类 (CAT8.1)	2GHz	RJ45接口，可用于将来的25GBase-T或40GBase-T以太网，长度为30m
8类 (CAT8.2)	2GHz	非RJ45接口，ANSI/TIA 568.2-D标准没有定义CAT8.2接口，可用于将来的25GBase-T或40GBase-T以太网，长度为30m

在工业和商业上，一般根据双绞线的带宽进行划分，通常以CAT (Category) 进行区分

介质性能测试vs连通性测试vs吞吐量测试

- 介质性能测试
 - 是按线缆的设计带宽进行频谱分析。当信号噪声在可接受的一定范围内时，测试介质的可用带宽。
- 连通性测试
 - 对于百兆和千兆网络来说，PING产生的流量太小，无论封包如何加大，实际产生的流量不会超过端口流量的1%，即便测试时不丢包并且延时很小，也不能证明在高速率时不会丢包。
- 吞吐量测试
 - 作为补充可以将测试速率提升到百兆或千兆级别，但它不能区分实际使用的是哪类介质。

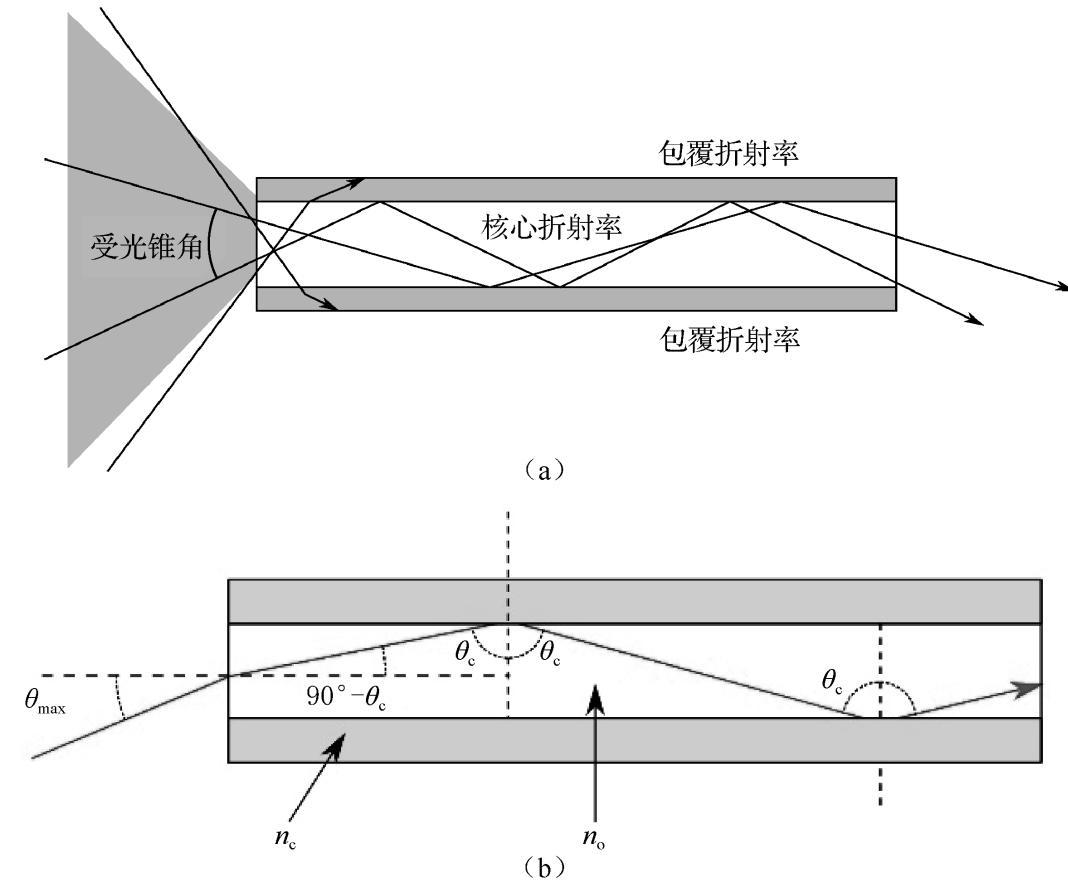
例：为什么5类线可以支持百兆甚至千兆级别的传输呢



1000Base-T应用的带宽最大为62.5MHz，用5类线和超5类线传输也是可以的

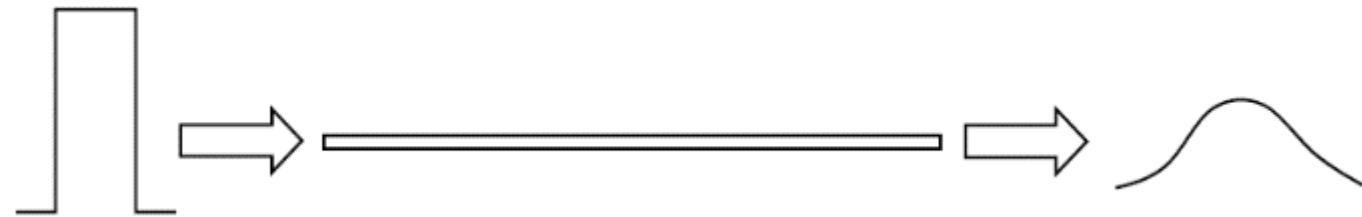
1.2 光纤测试相关知识

- 光纤是一种玻璃或塑料材质制成的纤维，利用光的全反射原理进行信号传输。微细的光纤封装在敷层护套中，即使弯曲也不易断裂。网络中常用的光波长是850nm、1300nm、1310nm和1550nm。
- 网络中光纤使用的发射光源一般为发光二极管（LED）光源或激光光源，一端发射光源，将光脉冲注入光纤，另一端负责接收。通常使用光敏元件来提取光脉冲。



光纤按照波长分为单模光纤和多模光纤

- 所谓“模”，是指以一定入射角进入光纤的一束光。
- 多模光纤允许多束光在光纤中同时传播，从而形成模式色散



由于每个模进入光纤的角度不同，因此它们所走过的路径不同，到达终点的时间也不同。

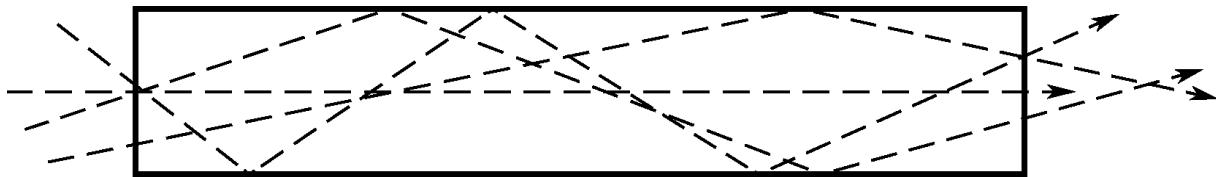
高次模走的路程长，耗时也长；低次模走的路程短，耗时也短。

在光传输中最高次模与最低次模到达终点所用的时间差就形成了光脉冲的展宽。

色散对应用场景的影响

- 由于模式色散的存在限制了多模光纤的传输带宽和距离，因此多模光纤一般用于建筑物内或地理位置相邻的环境中。
- 单模光纤采用单一模传输，无须考虑模式色散问题，可用的传输带宽大，传输距离长，而且纤芯细，被大量运用于建筑物间或者远距离的传输。

多模光纤和单模光纤传输示意图



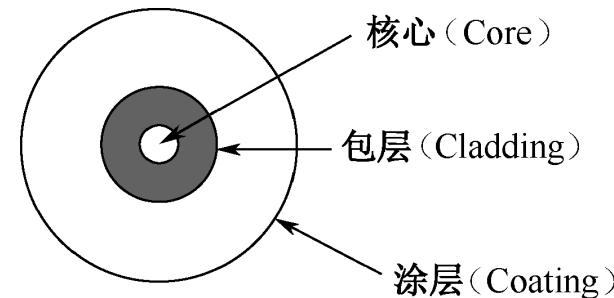
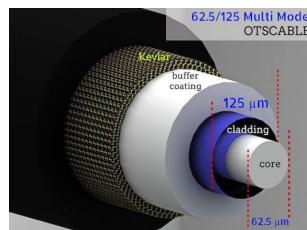
(a) 多模光纤



(b) 单模光纤

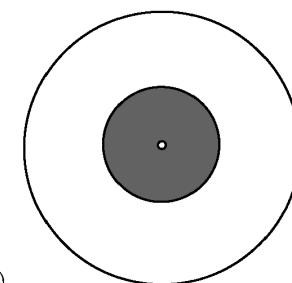
光纤传输示意图

多模 (MM)



规格: 62.5/125
(芯径62.5μm)
核心较大

单模 (SM)



规格: 8.3/125
(芯径8.3μm)
核心较小

多模光纤和单模光纤的结构

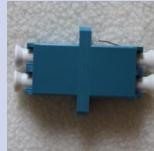
2 . 光纤接头

- 光纤连接器类型
 - 分为单模光纤连接器和多模光纤连接器;
- 按结构
 - 分为FC、LC、SC和ST等;
 - FC (Ferrule Connector) 、 LC (Lucent Connector/Local Connector) 、 SC (Subscriber Connector/Standard Connector) 、 ST (Straight Tip)
- 按光纤连接头端面
 - 分为SPC、PC (UPC) 和APC
 - PC (Physical Contact) 、 SPC (Super Physical Contact) 、 UPC (Ultra Physical Contact) 和APC (Angle Polished Connector)

- 一般PC连接器的回波损耗（回波损耗是指有多少比例的光被光纤连接器的端面反射，回波损耗越小越好）为-35dB
- SPC连接器的回波损耗为-40dB
- UPC连接器的回波损耗为-50dB
- APC连接器的回波损耗为-60dB。

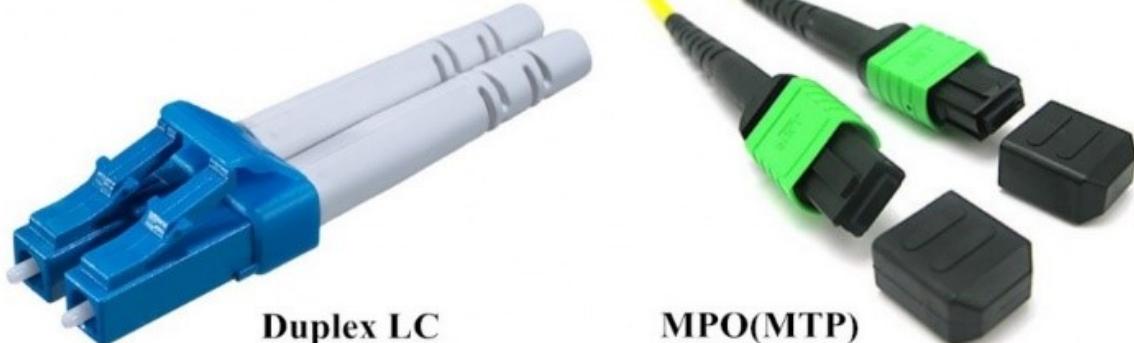
不同的连接器原则上不能混接。

常见的光纤连接头和连接器

光纤连接头	连接器	结 构	材 质	接入方 式
		FC (Ferrule Connector)	金属接头	旋转
		LC (Lucent Connector/Local Connector)	Lucent接头/ Local接头	插扣
		SC (Subscriber Connector/Standard Connector)	用户端接头/ 标准接头	插扣
		ST (Straight Tip)	金属接头	旋扣

LC连接器和MPO连接器对比

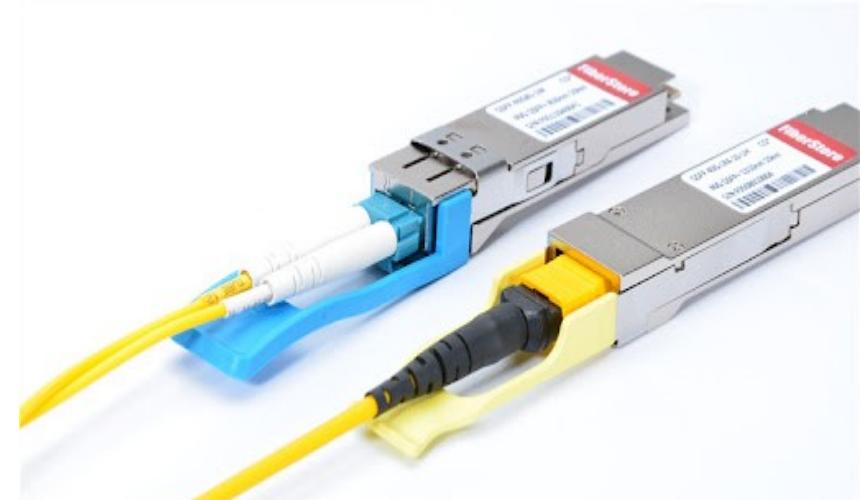
- 在数据中心场景中还会用到新型连接器MPO/MTP。
 - MPO为Multi-fiber Pushon的缩写， MTP为Multi-fiber Termination Pushon的缩写。
- MTP连接器是MPO连接器的一种， 是US Conec公司的注册商标。一般描述MPO解决方案时不使用MTP名称。
- 光纤密度得到极大改善



Duplex LC

MPO(MTP)

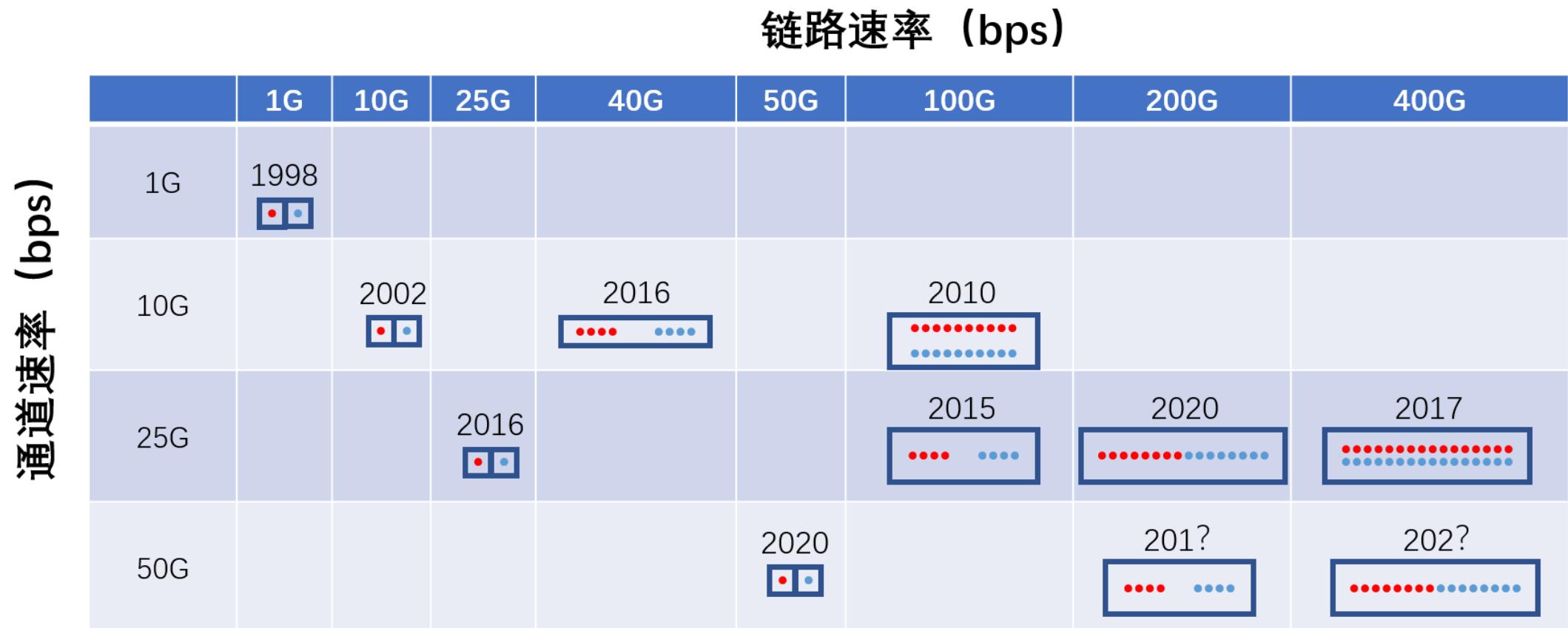
LC连接头（左）和MPO连接头（右）



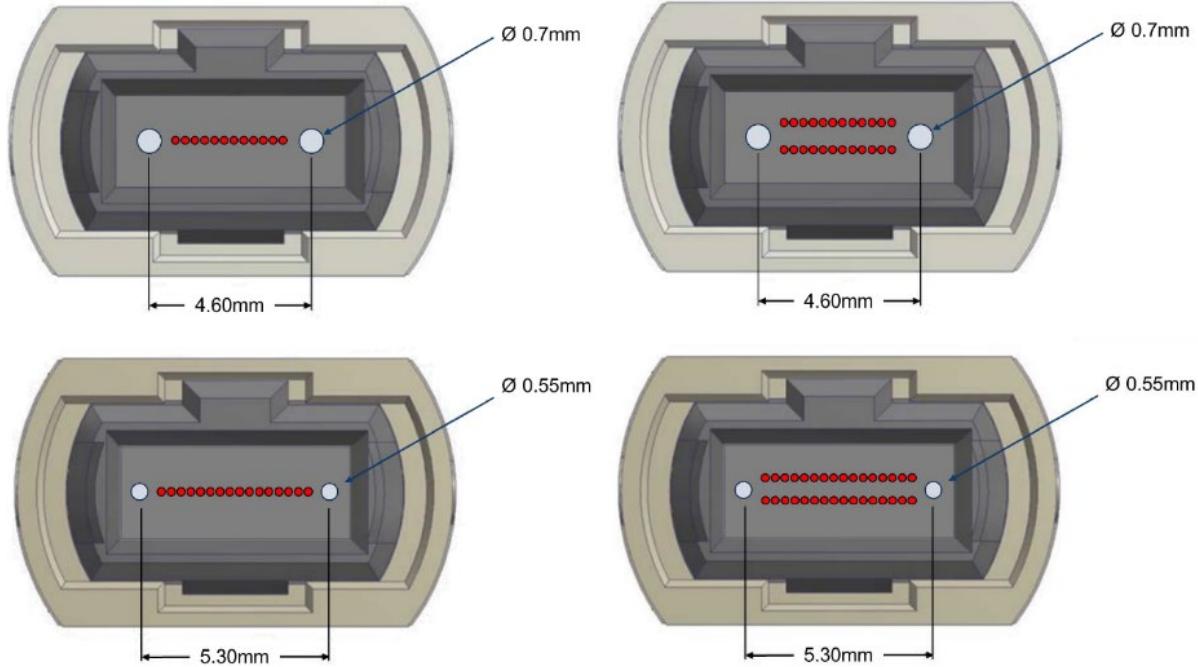
LC连接头及模块（左）和MPO连接头及模块（右）

- ANSI/TIA 568.3-D和ISO/IEC 11801 Ed.3都定义了平行和阵列连接器（MPO）。
- 一般，MPO连接器中的芯数为12的倍数，
 - 2010年，40G和100G标准就定义了可以在基于Base12的MPO上实现40Gb/s和100Gb/s的传输速率
- 基于SR4的协议逐步成为主流以及25Gb/s和50Gb/s单通道技术的实现使Base8的技术也得到了运用，即连接器中的芯数为8
 - 原先Base12以12芯为基数，现在支持光纤干线的数量变为8芯、16芯、32芯。

光纤链路速率和通道速率的发展



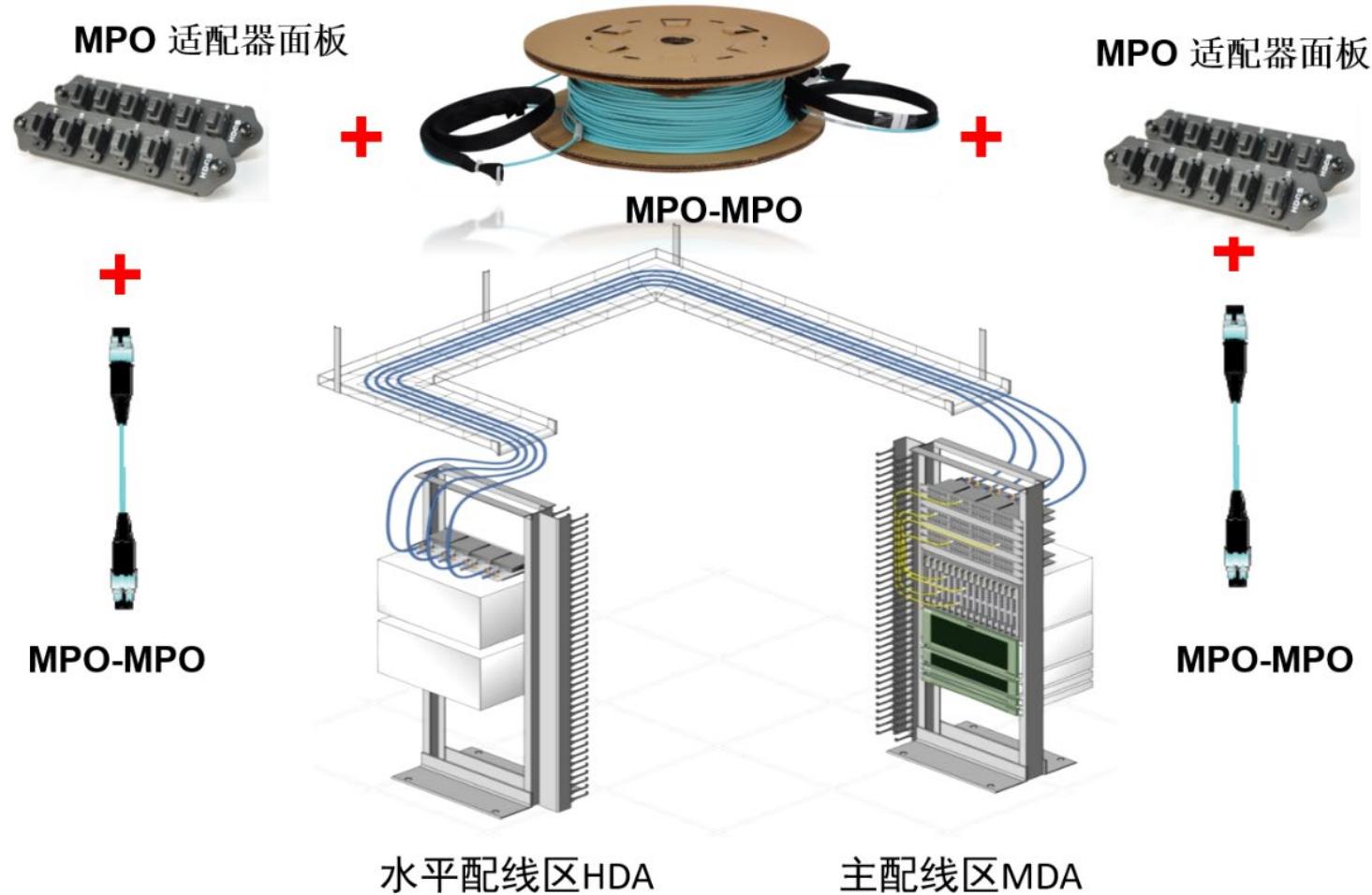
Base12和Base8结构示意图



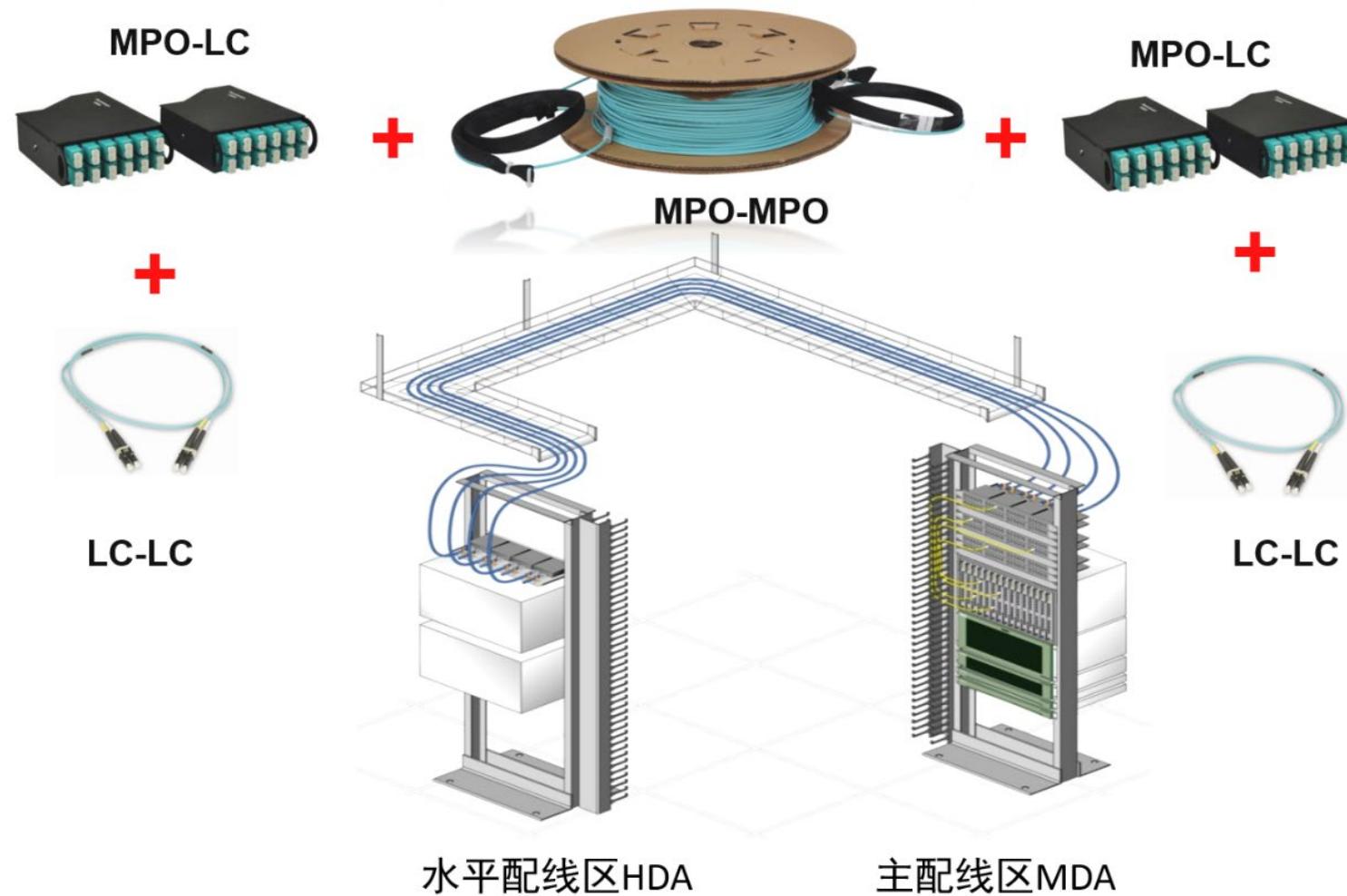
光纤应用技术标准和光模块封装

- Base8可以为40GBase-SR4和100GBase-SR4提供更多的灵活性。如果网速想要迅速从40Gb/s提高到100Gb/s，这是非常平顺的升级实施方案。
- Base8技术以8芯为基数进行优化，是为了适用于QSFP+/QSFP28收发器，因为该收发器也使用了8芯光纤。这样，光纤利用率是100%（相对于Base12）。

MPO组网 (1)



MPO组网 (2)



3 . 光纤等级分类

- (1) 多模光纤

多模光纤目前分为5个等级。

① OM1：波长为850nm或1300nm、芯径为 $62.5\text{ }\mu\text{m}$ 的多模光纤。850nm的满注入带宽大于 $200\text{MHz}\cdot\text{km}$, 1300nm的满注入带宽大于 $500\text{MHz}\cdot\text{km}$ 。

② OM2：波长为850nm或1300nm、芯径为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 或 $62.5\text{ }\mu\text{m}$ 的多模光纤。满注入带宽大于 $500\text{MHz}\cdot\text{km}$ 。

③ OM3：波长为850nm或1300mm、芯径为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的多模光纤。高效激光注入带宽可达 $2000\text{MHz}\cdot\text{km}$ 。

④ OM4：波长为850nm或1300mm、芯径为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的多模光纤。高效激光注入带宽可达 $4700\text{MHz}\cdot\text{km}$ 。

⑤ OM5：波长为850nm或1300mm、并将850nm的带宽性能拓宽到953nm，可支持4波长，支持短波分复用(SWDM)，为传输40G和100G及以上而开发的新技术之一。

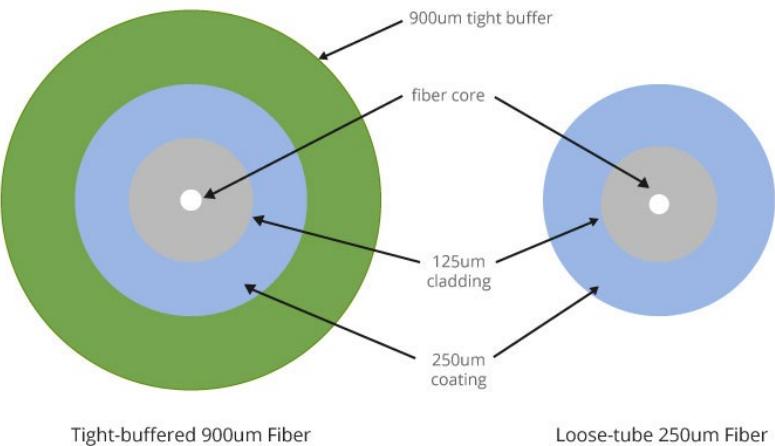
光纤跳线外护套颜色



- (2) 单模光纤
- 单模光纤分为OS1和OS2两个等级，光纤跳线外护套颜色为黄色，如图3.16所示。而ISO/IEC 11801-1:2016标准中对于紧密缓冲型SMF产品，已由OS1改为OS1a。

两个等级光纤主要差别如下。

- ① 损耗系数：OS1单模光纤的最大损耗系数为1.0dB/km；OS2单模光纤的最大损耗系数为0.4dB/km。
- ② 传输距离：OS1单模光纤的最大传输距离为10km；OS2单模光纤的最大传输距离则可以达到200km。
- ③ 支持速率：OS1和OS2单模光纤都可以在不同的传输距离下实现1G/10G以太网所需的速率；OS2单模光纤还可用于40G/100G以太网的传输。



单模光纤的差异主要在结构上

- OS1单模光纤通常采用紧套管结构，专为室内应用而设计
- OS2单模光纤通常采用松套管结构，更适合户外应用
- 因此OS1单模光纤和OS2单模光纤可以通过熔接接续在一起，而没有接续匹配性影响
 - 要确保的是，如果使用WDM，它们都需要具有相同的低水峰特性，但趋势上OS2是今后的主流。

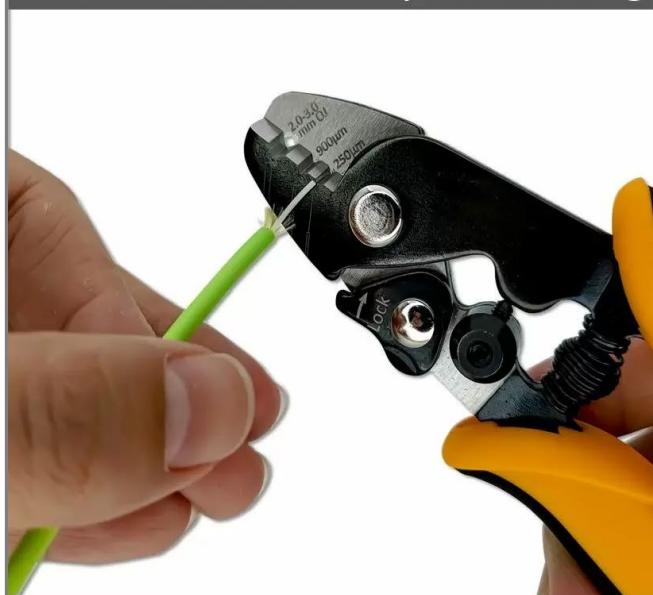
STEP 1. Remove Outer Jacket



STEP 2. Remove Buffer Insulation



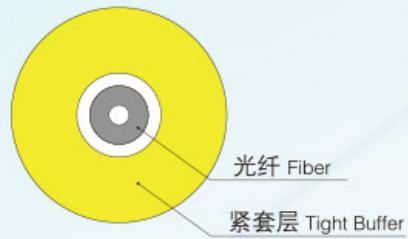
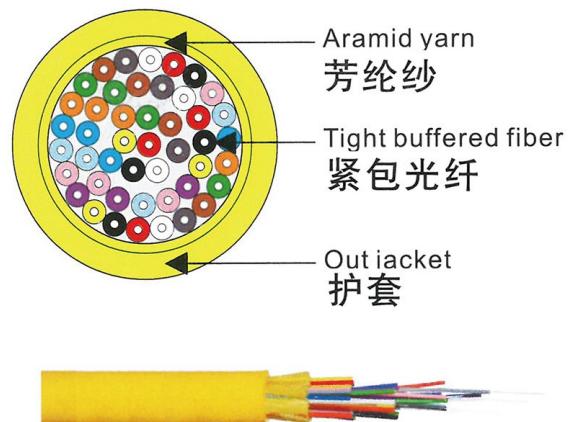
STEP 3. Remove Acrylate Coating



大孔可剥离2mm—3mm光纤外层保护层
中孔可剥离250um—900um光纤芯白色软胶保护层(紧套管)
小孔可剥离125um—250um光纤芯的覆层。



12芯以下室内光缆



■ 特点 Characteristic

- 拥有优异的剥离性能
Excellent stripping performance
- 适用于单模光纤和多模光纤 (50 μm 和 62.5 μm)
Suited to SM fiber and MM fiber (50 μm and 62.5μm)
- 有源器件用尾纤的理想选择
It is ideal choice of active apparatus used pigtail
- 优异的高低温性能
Excellent temperature performance
- 紧套材料: PVC、LSZH、HYTREL、NYLON、PVDF
Buffer material: PVC, LSZH, HYTREL, NYLON, PVDF

■ 几何特性 Geometrical Characteristics

紧套光纤直径 TBF Diameter(μm)	900±50	600±50
紧套光纤重量 TBF Weight(kg/km)	0.9	0.4
光纤包层直径 Fiber Cladding Diameter(μm)	125±1	125±1

■ 机械性能 Mechanical Characteristics

最大负载 (N) Max load (N)	长期 Long Term	3	3
	短期 Short Term	6	6
弯曲半径 (cm) Bending Radius(cm)	动态 Dynamic	20 × D (D:紧套光纤直径) (D:TBF Diameter)	
	静态 Static	10 × D (D:紧套光纤直径) (D:TBF Diameter)	

■ 色谱 Colour

蓝 Blue	桔 Orange	绿 Green	棕 Brown	灰 Grey	白 White
Red	Black	Yellow	Violet	Pink	Light Blue

■ 光纤 Fiber

光纤类型 (芯/包尺寸) Fiber Type (core/cladding dimension)	8.3/125, 50/125, 62.5/125
--	---------------------------

■ 传输性能 Mechanical Characteristics

	单模光纤SMF Attenuation (dB/km)	50/125	62.5/125 1310/1550(nm)
	≤0.40/0.30 Attenuation (dB/km)	≤3.5/1.5	≤3.5/1.5
最小带宽 (MHz · km) Minimum Bandwidth(MHz · km)	-----	≥400/400	≥160/500

■ 环境特性 Environmental Characteristics

储存使用温度 Operating Storage temperature	-20°C ~ +60°C
---	---------------

松套管 (Loose Tube)

特点 Characteristic

■ 松套管900 μm Hytrex,PVDF等空管,芳纶加强,柔软阻燃护套
900 μm Hytrex,PVDF,aramid yarn,soft flame-retardant jacket

几何特性 Geometrical Characteristics

光缆类型 Cable Type	$\phi 30$	$\phi 20$
光缆尺寸 Cable Dimension (mm)	2.85 ± 0.1	1.95 ± 0.1
光缆重量 Cable weight (kg/mm)	6.5	3.2
空管直径 Loose tube Diameter(μm)	900 ± 50	

机械性能 Mechanical Characteristics

抗拉力 (N) Tensile Strength(N)	长期 Long Term	60
	短期 Short Term	100
抗压力(N/100cm) Crush resistance(N/100cm)	长期 Long Term	100
	短期 Short Term	500
弯曲半径 (cm) Bending Radius(cm)	动态 Dynamic	$20 \times D$ (D :光缆直径) (D :Cable Diameter)
	静态 Static	$10 \times D$ (D :光缆直径) (D :Cable Diameter)

环境特性 Environmental Characteristics

储存使用温度 Operating Storage temperature	$-20^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$
---	--

光纤保护管 (Fiber protect Tube)

特点 Characteristic

■ 光纤保护管包括900 μm 空管及12芯扁管
900 μm loose tube, and 12 flat tube

几何特性 Geometrical Characteristics

A. 圆形(Round)

光缆类型 Cable Type	$\phi 09$
光缆直径 Cable Diameter (mm)	0.9
光缆重量 Cable weight (kg/mm)	0.6

B. 扁形(Flat)

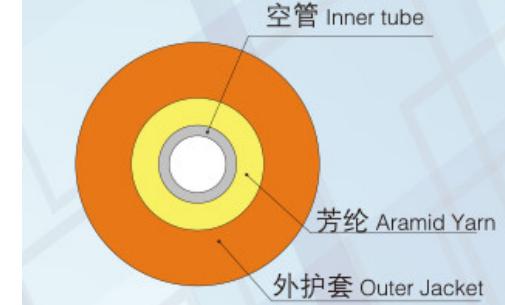
光缆类型 Cable Type	$\phi 12$ -fibers
光缆直径 Cable Diameter (mm)	2.5×4.5
光缆重量 Cable weight (kg/mm)	4.4



空管 Loose Tube

环境特性 Environmental Characteristics

储存使用温度 Operating Storage temperature	$-20^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$
---	--



4 . 光纤应用

PHY/PMD名称	使用的技术	距离/m	最大通道损耗/dB
25GBase-LR	25G串行, 1310nm, 1对单模光纤	10000	6
25GBase-ER	25G串行, 1310nm, 1对单模光纤	40000	15/18
50GBase-SR	50G串行, 850nm, 1对多模光纤	70/100/100(OM3/4/5)	1.8/1.9/1.9
50GBase-FR	50G串行, 1310nm, 1对单模光纤	2000	4
50GBase-LR	50G串行, 1310nm, 1对单模光纤	10000	6.3
100GBase-SR2	50G/通道, 850nm并行, 2对多模光纤	70/100/100(OM3/4/5)	1.8/1.9/1.9
100GBase-DR	100G串行, 1310nm, 1对单模光纤	500	3
200GBase-SR4	50G/通道, 850nm并行, 4对多模光纤	70/100/100(OM3/4/5)	1.8/1.9/1.9
200GBase-DR4	50G/通道, 1310nm并行, 4对单模光纤	500	3
200GBase-FR4	50G/通道, 1310nm 4λ CWDM, 1对单模光纤	2000	4
200GBase-LR4	50G/通道, 1310nm 4λ LWDM, 1对单模光纤	10000	6.3
400GBase-SR16	25G/通道, 850nm并行, 16对多模光纤	70/100/100(OM3/4/5)	1.8/1.9/1.9
400GBase-DR4	100G/通道, 1310nm并行, 4对单模光纤	500	3
400GBase-FR8	50G/通道, 1310nm 8λ LWDM, 1对单模光纤	2000	4
400GBase-LR8	50G/通道, 1310nm 8λ LWDM, 1对单模光纤	10000	6.3

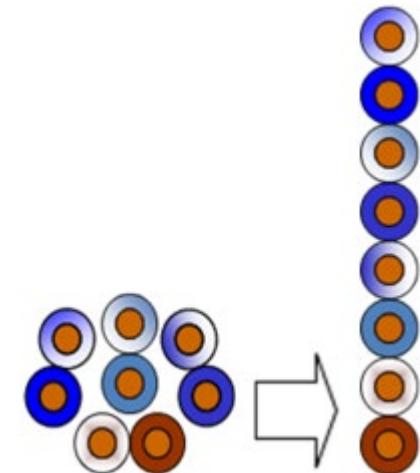
注意带2
和4标准
和不带
的区别

1.3 影响双绞线传输质量的因素

- 1. 双绞线本身的问题

- (1) 抗干扰能力弱
- (2) 阻抗一致性差

阻抗

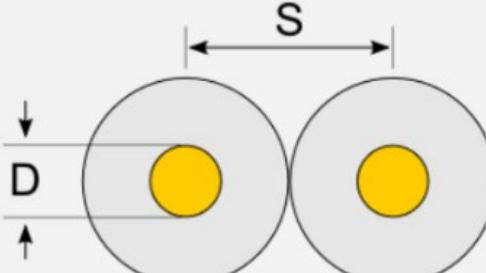


理想线对横截面	变化后的横截面	阻抗变化原因
		绝缘层变化
		芯径变化
		绝缘层和芯径变化
		同心度变化
		间距变化

阻抗计算

$$Z = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{2S}{D}\right)$$

Twisted Pair Calculator



<http://www.edatop.com/tools/3671.html>

Inputs

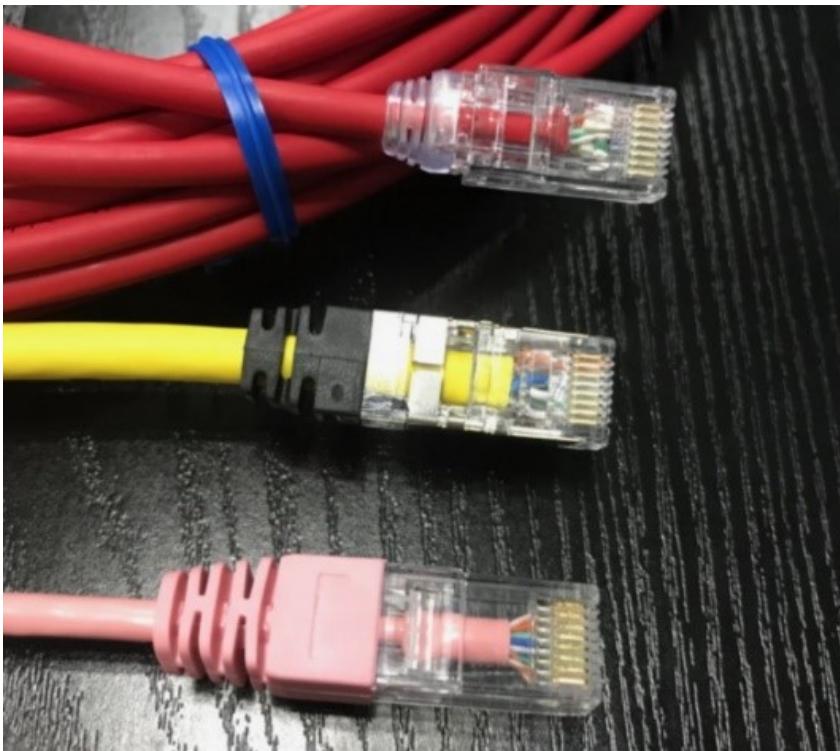
Diameter of Wire	D	0.57	<input type="button" value="mil"/>
Separation Between Wires	S	1.07	<input type="button" value="mil"/>
Substrate Dielectric	Er	2.5	

Outputs

Impedance (Z): 100 Ohms	Delay: 0.134 ns/in
Inductance per inch: 1.34 nH/in	Capacitance per inch: 13.4 pF/in

(3) 接头匹配性差

在双绞线中通过控制芯径和线芯间距离来保证阻抗一致性，在水晶头和模块设计中也引入了阻抗补偿匹配的概念。

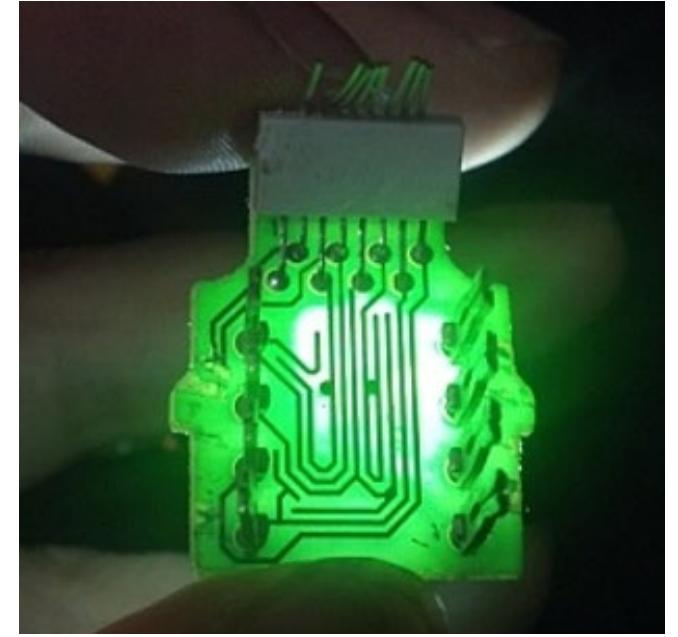
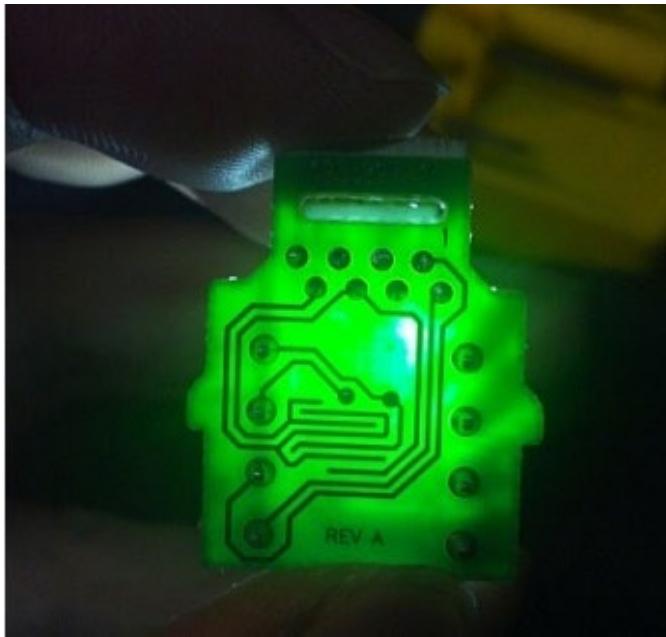
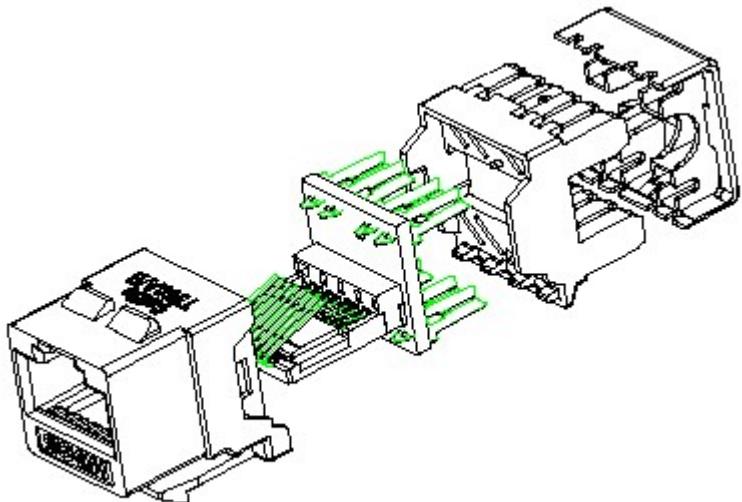


(a) 水晶头处开绞距离越靠近顶部铜片，其阻抗变异越小。



(b) 水晶头正视图时，间隔线芯从同一平面到上下相互错开或微距错开

- 模块中的补偿设计



CAT5、CAT5e和CAT6等互相之间存在兼容性问题

(4) 信号损耗相对大

- ① 电阻性损耗：由线缆本身电阻引起的损耗，一般只有在信号速率比较低或双绞线距离超长时，才需要考虑这个因素。
- ② 趋肤效应损耗：信号衰减根据频率平方根的函数增大。达到一定频率时，这种效应变为主要的衰减形式，是双绞线传输损耗的主要来源。
- ③ 介电损耗：中低频时，几乎没有影响。介电损耗随频率线性增大。当数据传输速率达到 1Gb/s 以上时，介电损耗开始成为主要衰减来源。由于介电损耗与数据传输速率和线缆长度成正比，因此，一旦发生介电损耗，情况将迅速变糟。这个特性决定了线缆传输速率的上限。
- ④ 温度效应：温度对于信号衰减的影响及作用要远远大于其他环境因素。

2. 安装工艺

- (1) 施工不规范
- (2) 设计安装

3. 工作环境

在网络运行中，电磁噪声、温湿度、粉尘、气体或液体侵蚀和虫鼠害等会造成外部干扰。

1.4 影响光纤传输质量的因素

原 因		描 述
内部原因	损耗	本征吸收：光纤石英材料固有的吸收损耗，包括红外吸收和紫外吸收； 杂质吸收：光纤内杂质吸收； 不均匀：光纤材料折射率不均匀造成的损耗； 散射：小于光波长的微粒对入射光的散射
	色散	模间色散：存在于多模光纤中。每种模式到达光纤终端的时间先后不同，造成了脉冲的展宽； 材料色散：不同的波长会导致折射率不相同，传输速率不同就会引起脉冲展宽； 波导色散（又称结构色散）：横截面积尺寸起主要作用，少部分高频率的光线进入包层，在包层中传输，而包层的折射率低、传播速度快； 偏振模色散（又称光的双折射）：单模光纤存在不圆度、微弯力和应力，造成相互垂直的x轴方向和y轴方向折射率不同
	光纤非线性效应	受激散射：包括受激拉曼散射和受激布里渊散射； 折射率扰动：包括自相位调制、交叉相位调制和四波混频
	弯曲	光纤弯曲时，部分光纤内的光会因散射而造成损耗
	挤压	光纤受到挤压时，产生微小弯曲而造成损耗
	对接不良	光纤对接时产生损耗，例如，不同轴（单模光纤同轴度要求小于0.8mm），端面与轴心不垂直 端面不平，对接芯径不匹配及熔接质量差等
外部原因	端面问题	端面受到污染引起损耗
	人为衰减	在实际的工作中，有时需要人为进行光纤衰减

谢谢

欢迎提宝贵建议：pankaien@163.com