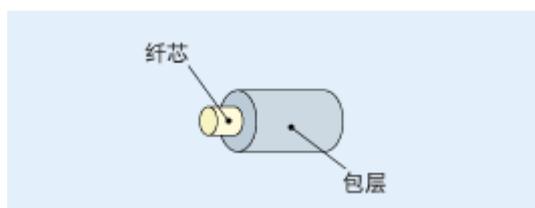


光纤的构造

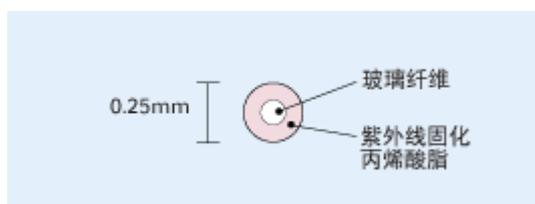
通讯用光纤是由通过内部全反射来传输光信号的玻璃构成的。玻璃光纤的标准直径为 125 微米（0.125 毫米），表面覆盖有直径 250 微米或 900 微米的树脂保护涂敷层。玻璃光纤的传送光的中心部分称为“纤芯”，其周围的包层的折射率比纤芯低，从而限制了光的流失。



石英玻璃非常脆弱，因此覆有保护涂层。通常有三种典型的光纤涂敷层。

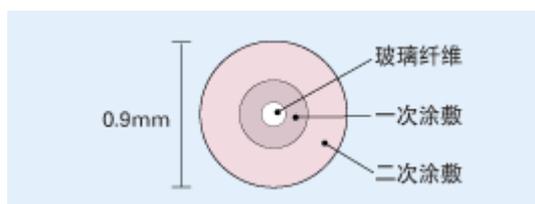
一次涂敷光纤

覆有直径为 0.25 毫米紫外线固化丙烯酸树脂涂敷层的光纤。其直径非常小，增加了光缆内可容纳光纤的密度，使用非常普遍。



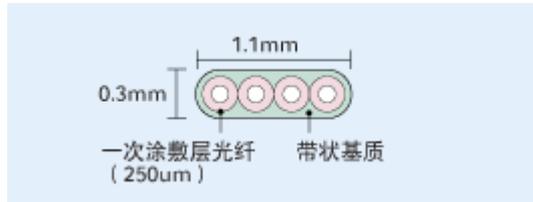
二次涂敷光纤

亦称为紧包缓冲层光纤或半紧包缓冲层光纤。光纤表面覆有直径为 0.9 毫米的热塑性树脂。与 0.25 毫米的光纤相比，其具有更坚固，易操作的优点。广泛应用于局域网布线及光纤数量较少的光缆。



带状光纤

带状光纤提高了连接器组装的效率，有利于多芯融接，从而提高了作业效率。



带状光纤由 4 根、8 根或 12 根不同颜色的光纤组成, 芯纤数最大可达 1,000 根。光纤表层覆有紫外线固化丙烯酸脂材料, 使用标准光纤剥套钳便可轻松去除涂敷层, 方便多芯融接或取出单个光纤。使用多芯融接机, 带状光纤可一次性融接, 在光纤数量多的光缆中能轻易识别出来。

光纤种类

以下是对最常用的通信光纤种类的描述。

MMF（多模光纤）

- OM1 光纤或多模光纤 (62.5/125)
- OM2/OM3 光纤 (G. 651 光纤或多模光纤 (50/125))

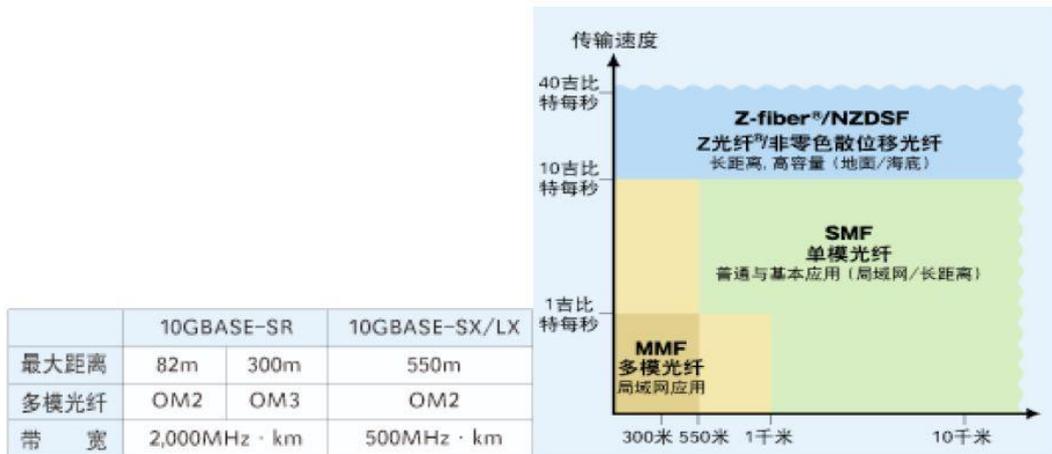
SMF（单模光纤）

- G. 652（色散非位移单模光纤）
- G. 653（色散位移光纤）
- G. 654（截止波长位移光纤）
- G. 655（非零色散位移光纤）
- G. 656（低斜率非零色散位移光纤）
- G. 657（耐弯光纤）

只要光预算允许, 技术上来讲, 任何合适的光纤都可应用于 FTTx 技术, 但 FTTx 技术最常用的光纤为 G. 652 和 G. 657。

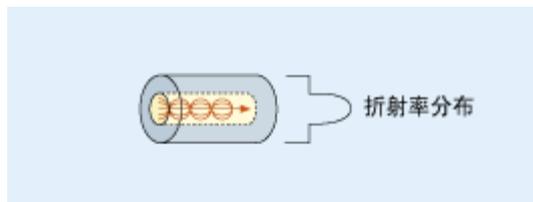
G. 651（多模光纤）

G. 651 主要应用于局域网，不适用于长距离传输，但在 300 至 500 米的范围内，G. 651 是成本较低的多模传输光纤。



ITU-T G. 651 光纤即 OM2/OM3 光纤或多模光纤（50/125）。ITU-T 推荐光纤中并没有 OM1 光纤或多模光（62.5/125）。

多模光纤（50/125）纤芯的反射率从中心到包层逐渐改变，使得多路光传输可以在同一速度下进行。



G. 652 光纤（色散非位移单模光纤）

世界上最普遍的单模光纤。可以将波长在 1,310nm 左右的使信号变形的色散降至最低。您可将 1550nm 波长的工作窗口用于短距离传输或与色散补偿光纤或与模块共同使用。

G. 652A/B 是基本的单模光纤，G. 652C/D 是低水峰单模光纤

G. 653（色散位移光纤）

此光纤可将 1,550nm 波长左右的色散降至最低，从而使光损失降至最低。

G. 654（截止波长位移光纤）

G. 654 的正式名称为截止波长位移光纤，但普通称为低衰减光纤。低衰减的特性使得 G. 654 光纤主要应用于海底或地面长距离传输，比如 400 千米无转发器的线路。

G. 655（非零色散位移光纤）

G. 653 光纤在 1,550nm 波长时色散为零，而 G. 655 光纤则具有集中的或正或负的色散，这样就减少了 DWDM 系统中与相邻波长相互干扰的非线性现象的不良影响。

第一代非零色散位移光纤，如 PureMetro 光纤具有每千米色散等于或低于 5ps/nm 的优点，从而使色散补偿更为简便。第二代非零色散位移光纤，如 PureGuide® 色散达到每千米 10ps/nm 左右，使 DWDM 系统的容量提高了一倍。

G. 656 光纤（低斜率非零色散位移光纤）

非零色散位移光纤的一种，对于色散的速度有严格的要求，确保了 DWDM 系统中更大波长范围内的传输性能。

G. 657（耐弯光纤）

ITU-T 光纤系列中的最新成员。根据 FTTx 技术的需求及组装应用而生的新产品。

G. 657A 光纤与 G. 652 光纤兼容，G. 657B 光纤无需与传统单模光纤在连接上兼容。

光纤接线技术的分类

光纤接线技术可以分为融接、机械绞接及连接器接线。融接和机械绞接为永久性接线，连接器接线则可以反复拆装。光连接器接线主要用于在光服务的运用和维护中必须切换的接线点，其他场所主要使用永久性接线。

光纤接线中出现损耗的原理

光纤接线必须使光通过的纤芯部分对置，正确定位。

光纤的接线损耗主要由下列原因引起。

（1）轴偏移

连接光纤之间的光轴偏移会引起接线损耗。在通用的单模光纤的情况下，接线损耗大约为轴偏移量的平方乘以 0.2 的值。（例如，在光源波长为 1310nm 的情况下，轴偏移量为 1 μm 时，接线损耗约为 0.2dB）



(2) 角度偏移

连接光纤的光轴之间的角度偏移会引起接线损耗。例如，如果融接之前用光纤切割刀切断的断面角度变大，光纤会以倾斜状态接线，因此必须注意。



(3) 縫隙

光纤端面之间的縫隙会引起接线损耗。例如，如果用机械绞接连接的光纤端面没有正确贴合，就会引起接线损耗。



(4) 反射

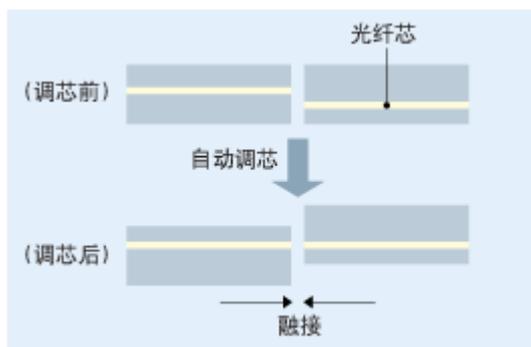
光纤端面存在空隙时，由于光纤和空气的折射率不同，会因最大 0.6dB 程度的反射而引起接线损耗。并且，为了防止断光，在光连接器上清洁光纤端面很重要。但是在光纤端面以外的光连接器端面夹有垃圾也会出现损耗，因此，清洁所有的光连接器端面很重要。

融接的种类和原理

融接是利用电极棒之间放电产生的热能使光纤融化为为一体的接线技术。融接方式分为以下两类。

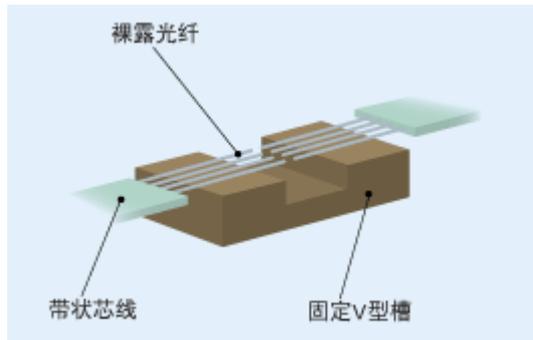
(1) 光纤芯调芯方式

这是在显微镜下观察光纤的芯线，通过图像处理进行定位，使芯线的中心轴一致，然后进行放电的融接方式。采用配置双向观察摄影机的融接机从两个方向进行定位。



(2) 固定 V 型槽调芯方式

这是采用高精度 V 型槽排列光纤，利用融化光纤时的表面张力所产生的调芯效果进行外径调芯的融接方式。最近，由于制造技术的发展使光纤芯位置等的尺寸精度得到提高，因此，可以实现低损耗接线。本方式主要用于多芯一次性接线。



融接作业的注意事项

这是采用高精度 V 型槽排列光纤，利用融化光纤时的表面张力所产生的调芯效果进行外径调芯的融接方式。最近，由于制造技术的发展使光纤芯位置等的尺寸精度得到提高，因此，可以实现低损耗接线。本方式主要用于多芯一次性接线。

①插入光纤保护套管

光纤保护套管用于保护在接线点露出的光纤。由于保护套管无法补插，因此请不要忘记插入。

②去除芯线涂敷层

因为要使光纤的玻璃部分露出，所以采用剥套钳去除涂敷层。

(注) 由于去除涂敷层之后会在剥套钳上残留涂敷层废屑，因此，请去除涂敷层废屑并清洁刀刃。

(注) 去除带状芯线的涂敷层时，使用加热式剥套钳。为了稳妥地进行去除作业，请将涂敷层加热 5 秒左右，然后再去除涂敷层。

③清洁光纤

去除涂敷后，用乙醇清洁玻璃部分。

(注) 如果残留涂敷层废屑，融接时可能会出现轴偏移，接线损耗会增大，因此请仔细清扫。

(注) 在多芯光纤的情况下，光纤前端之间会因酒精而粘在一起，有可能在裁断光纤时引起裁断不良，因此，请用手指将光纤前端弹开。

④切断光纤

按照裁断光纤的操作步骤进行裁断。

(注) 裁断将决定融接时的损耗特性。为了降低裁断不良，请注意清洁光纤切割刀的光纤拿持部和裁断刀刃。

(注) 请注意不要碰撞或触摸裁断后的光纤前端。否则会引起接线不良。

(注) 请注意不要让光纤废屑到处乱洒。

⑤融接

按照融接机的操作步骤进行融接作业。

(注) 如果在融接机的 V 型槽和夹具上有垃圾，会因轴偏移而引起损耗异常，因此请充分清扫。

(注) 如果具备接线前双向观察检查功能，便可以在接线前探测裁断状态的异常。

(注) 光纤呈弯曲状态时，用手指轻轻捋直，使光纤朝下弯曲放置。

⑥融接部补强

在光纤融接部套上光纤保护套管，在加热机上进行芯线补强。

(注) 移动芯线时，请注意避免使光纤弯曲或扭曲。否则会造成光缆破损断裂。

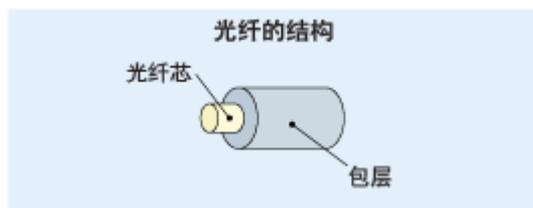
(注) 设置光纤保护套管时，请使光纤保护套管的中心与接线部的中心基本保持一致。

(注) 进行芯线补强时，请务必避免玻璃部分弯曲放置。

光纤的有关规定

● 光纤芯直径

适用于多模光纤的技术参数。表示最接近光纤芯范围的外围圆的直径。因为该值越小越能够实现宽带化，所以目前光纤芯直径一般为 50 μm 。



● 模场直径 (MFD)

适用于单模光纤的技术参数。表示传输模式的电场分布范围（光通道）的直径。光通常通过光纤芯范围，但是在单模光纤的情况下，光也会泄露到包层范围，因此，不按光纤芯直径而按 MFD 规定。为此，MFD 比光纤芯直径要大一些。该值越小对校准精度的要求越高。此外，连接的光纤之间的 MFD 的差越大接线损耗就越大。

● 包层直径

最接近包层表面的圆的直径。连接的光纤之间的包层直径的差越大接线损耗就越大。

● 光缆截止波长

适用于单模光纤的技术参数。如果以小于该值的波长使用，则不为单模。该值由折射率分布和光纤芯的尺寸等光纤的构造来决定。

● 屏蔽等级

屏蔽是指为了去除玻璃的缺陷等、提高结构的可靠性而给予整个光纤一定的伸长率，预先使低强度部分断裂的方法。屏蔽等级表示该伸长率的值。该值越大光纤的可靠性就越高。

● 传输损耗

表示光纤传输光时两点之间的光功率的减少值，以下面的算式表示。

$$\alpha = -(10/L) \log (P_2/P_1)$$

L: 光缆长度

P: 入射光的功率

P2: 出射光的功率

该值越大，光功率的减少就越大，因此，传输距离就越短。

● 传输频带

适用于多模光纤的技术参数。表示基带传输函数的大小减少到某个规定值（6dB）的频率。也就是说，它是表示到哪个频率为止能够使信号在不失真的状态下传输的值。该值越大就越能够以高频率、大容量传输。

● 零色散波长

适用于单模光纤的技术参数。表示波长色散为零的波长。如果以波长色散的绝对值较大的波长传输，色散会变大，光脉冲的失真也会变大。将零色散波长设计在 1310nm 附近的光纤为通用 SM。设计在 1550nm 附近的光纤为色散位移光纤（DSF）。

● 零色散斜率

适用于单模光纤的技术参数。表示零色散波长的色散倾斜度。如果零色散斜率较大，一般情况下各种波长的色散绝对值也会变大。

光缆部分的有关规定

● 最大允许张力

铺设光缆时可以施加的最大张力。但是并不是铺设后也可以一直施加该张力，因此必须加以注意。

● 最小允许弯曲半径

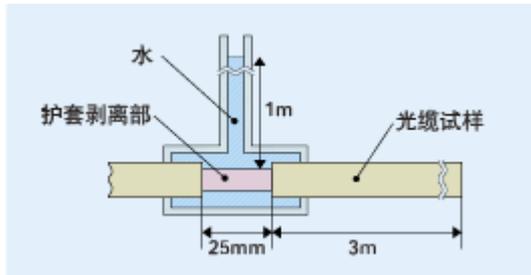
光缆能够弯曲的最小半径。在铺设中和铺设后，最小弯曲半径会不同。一般情况下的标准是：最小允许弯曲半径在铺设中为光纤半径的 20 倍，在铺设后为光纤半径的 10 倍。

● 适用温度范围

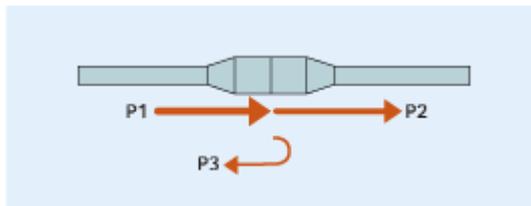
可铺设光纤的温度环境。一般情况下的标准是：如果在室外使用，适用温度范围为 -20°C ~ $+60^{\circ}\text{C}$ ，如果在室内使用，适用温度范围为 -10°C ~ $+40^{\circ}\text{C}$ 。

● 防水特性率

一般情况下，对在地下铺设的光缆要求其具备防水特性。试验方法有各种各样，本公司在常温下连续 24 小时进行以下试验时，一般以光缆内不会有 3m 程度以上程度的进水为标准，这个标准根据光缆的构造有所不同。



光连接器的有关规定



● 接线损耗

是连接光纤与光纤时，光从一方的光纤进入另一方的光纤时出现的损耗，用以下算式表示。

$$\alpha = -10 \log (P2/P1) \text{ [dB]}$$

P1: 紧挨着接线部位前部的光功率

P2: 在接线部位反射的光功率

该值越大，反射的光功率就越小，因此，噪声就越小。

● 反射损耗

是以数字表示的到光连接器的入射光功率与在接线面反射的光功率的比值，用以下算式表示。

$$\alpha = -10 \log (P3/P1) \text{ [dB]}$$

P1: 紧挨着接线部位前部的光功率

P3:在接线部位反射的光功率

该值越大，反射的光功率就越小，因此，噪声就越小。

● 插芯的研磨方法

插芯的研磨方法，连接器的接线特性有所不同。

光终接/接线箱、接头盒的有关规定

● 防尘防水特性

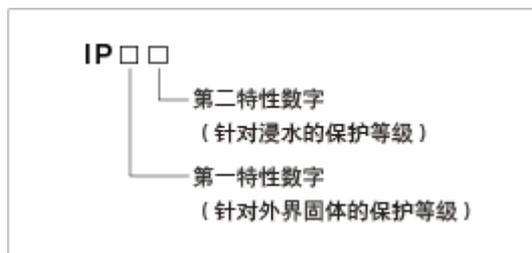
光终接/接线箱、接头盒都要求针对一般外界固体加以保护，并针对浸水加以保护（主要是室外）。保护的分类以 [JIS C 0920] 中规定的 IP 代码表示。

● 表示方法

IP54：防尘形并且针对水的飞沫加以保护。

IP3X：针对直径为 2.5mm 以上的外界固体加以保护。省略针对水的保护。

IPX7：省略针对外界固体的保护，保护工作做到即使浸水也没有影响。



● 表示方法

特性数字	保护程度 (摘要)	推荐 设置场所
第一 特性 数字	0 非保护	
	1 针对直径50mm以上大小的 外界固体加以保护	
	2 针对直径12.5mm以上大小的 外界固体加以保护	室内
	3 针对直径2.5mm以上大小的 外界固体加以保护	室内
	4 针对直径1.0mm以上大小的 外界固体加以保护	室外
	5 防尘形	
	6 耐尘形	
	第二 特性 数字	0 无保护
1 针对垂直落下的水滴进行保护		
2 针对倾斜度低于15度竖直落下的 水滴加以保护		
3 针对从垂直到60度为止的 喷水加以保护		架空
4 针对来自所有方向的水的 飞沫加以保护		架空
5 针对喷流加以保护		
6 针对激烈喷流加以保护		
7 保护工作做到即使漫水也没有影响		地下
8 针对在潜水状态下使用加以保护		
X	无需规定的情况	

按光在光纤中的传输模式可将光纤分为单模光纤和多模光纤两种。

单模光纤(Single-mode Fiber)：一般光纤跳线用黄色表示，接头和保护套为蓝色；传输距离较长。

多模光纤(Multi-mode Fiber)：一般光纤跳线用橙色表示，也有的用灰色表示，接头和保护套用米色或者黑色；传输距离较短。

多模光纤(MMF, Multi Mode Fiber), 纤芯较粗, 可传多种模式的光。但其模间色散较大, 且随传输距离的增加模间色散情况会逐渐加重。多模光纤的传输距离还与其传输速率、芯径、模式带宽有关。

单模光纤(SMF, Single Mode Fiber), 纤芯较细, 只能传一种模式的光。因此, 其模间色散很小, 适用于远程通讯。

光纤直径

光纤直径一般采用纤芯直径/包层直径的表示方法, 单位 μm 。例如: $9/125\ \mu\text{m}$ 表示光纤中心纤芯直径为 $9\ \mu\text{m}$, 光纤包层直径为 $125\ \mu\text{m}$ 。

光纤使用注意:

光纤跳线两端的光模块的收发波长必须一致, 也就是说光纤的两端必须是相同波长的光模块, 简单的区分方法是光模块的颜色要一致。R>一般情况下, 短波光模块使用多模光纤(橙色 的光纤), 长波光模块使用单模光纤(黄色光纤), 以保证数据传输的准确性。

光纤在使用中不要过度弯曲和绕环, 这样会增加光在传输过程的衰减。

光纤跳线使用后一定要用保护套将光纤接头保护起来, 灰尘和油污会损害光纤的耦合。

光纤连接器按传输媒介的不同可分为常见的硅基光纤的单模、多模连接器, 还有其它如以塑胶等为传输媒介的光纤连接器; 按接头结构形式可分为: FC、SC、ST、LC、D4、DIN、MU、MT 等等各种形式。其中, ST 连接器通常用于布线设备端, 如光纤配线架、光纤模块等; 而 SC 和 MT 连接器通常用于网络设备端。按光纤端面形状分有 FC、PC(包括 SPC 或 UPC)和 APC; 按光纤芯数划分还有单芯和多芯(如 MT-RJ)之分。

FC 圆型带螺纹(配线架上用的最多)

ST 卡接式圆型

SC 卡接式方型(路由器交换机上用的最多)

MT-RJ 方型, 一头双纤收发一体

PC 微球面研磨抛光

APC 呈 8 度角并做微球面研磨抛光

(PC, APC 为对接端面的类型)

使用的光纤:

单模: L ,波长 1310 单模长距 LH 波长 1310, 1550

多模:SM 波长 850

SX/LH 表示可以使用单模或多模光纤

在表示尾纤接头的标注中, 我们常能见到“FC/PC”, “SC/PC”等, 其含义如下

“/”前面部分表示尾纤的连接器型号

“SC”接头是标准方型接头, 采用工程塑料, 具有耐高温, 不容易氧化优点。传输设备侧光接口一般用 SC 接头, “LC”接头与 SC 接头形状相似, 较 SC 接头小一些。

“FC”接头是金属接头, 一般在光纤配线架(ODF)侧采用, 金属接头的可插拔次数比塑料要多。

下面是参考示意图:



上图中为光连接器，常见的是 FC（俗称圆头）、SC（俗称方头）和 LC。

FC 型又分为 FC/FC 和 FC/PC (APC) 型，前一个 FC 是 Ferrule Connector 的缩写，表明其外部加强件是采用金属套，紧固方式为螺丝扣；后面的 FC 表明接头的对接方式为平面对接，PC 是 Physical Connection 的缩写，表明其对接端面是物理接触，即端面呈凸面拱型结构，APC 和 PC 类似，但采用了特殊的研磨方式，PC 是球面，APC 是斜 8 度球面，指标要比 PC 好些。目前电信网常用的是 FC/PC 型，FC/APC 多用于有线电视系统。一般写成 FC 或 PC 均是指 FC/PC 光连接器。

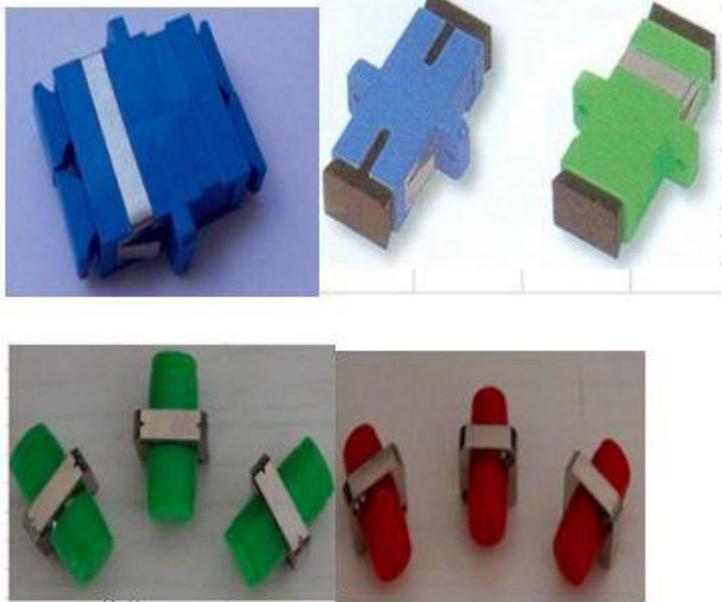
SC 型其外壳采用模塑工艺，用铸模玻璃纤维塑料制成，呈矩型；插头套管（也称插针）由精密陶瓷制成，耦合套筒为金属开缝套管结构，其结构尺寸与 FC 型相同，端面处理采用 PC 或 APC 型研磨方式；紧固方式是采用插拔销闩式，不需旋转头。常用于在数据工程中使用。一般 SC 型均指 SC/PC。由日本 NTT 公司开发的光纤连接器。其外壳呈矩形，所采用的插针与耦合套筒的结构尺寸与 FC 型完全相同。其中插针的端面多采用 PC 或 APC 型研磨方式；紧固方式是采用插拔销闩式，不需旋转。此类连接器价格低廉，插拔操作方便，介入损耗波动小，抗压强度较高，安装密度高。ST 和 SC 接口是光纤连接器的两种类型，对于 10Base-F 连接来说，连接器通常是 ST 类型的，对于 100Base-FX 来说，连接器大部分情况下为 SC 类型的。ST 连接器的芯外露，SC 连接器的芯在接头里面。

LC 光纤连接器采用模块化插孔 (RJ) 机理制成。其所采用的插针和套桶的尺寸是普通 SC、FC 等尺寸的一半。LC 常见于通信设备的高密度的光接口板上。LC 型连接器是著名 Bell（贝尔）研究所研究开发出来的，采用操作方便的模块化插孔 (RJ) 闩锁机理制成。其所采用的插针和套筒的尺寸是普通 SC、FC 等所用尺寸的一半，为 1.25mm。这样可以提高光纤配线架中光纤连接器的密度。目前，在单模 SFF 方面，LC 类型的连接器实际已经占据了主导地位，在多模 方面的应用也增长迅速。

MT-RJ（Mechanical Transfer Registered Jack）起步于 NTT 开发的 MT 连接器，带有与 RJ-45 型 LAN 电连接器相同的闩锁机构，通过安装于小型套管两侧的导向销对准光纤，为便于与光收发信机相连，连接器端面光纤为双芯（间隔 0.75mm）排列设计，是主要用于数据传输的下一代高密度光纤连接器。

MU 型连接器 MU (Miniature unit Coupling) 连接器是以目前使用最多的 SC 型连接器为基础，由 NTT 研制开发出来的世界上最小的单芯光纤连接器。该连接器采用 1.25mm 直径的套管和自保持机构，其优势在于能实现高密度安装。利用 MU 的 1.25mm 直径的套管，NTT 已经开发了 MU 连接器系列。它们有用于光缆连接的插座型连接器（MU-A 系列）；具有自保持机构的底板连接器（MU-B 系列）以及用于连接 LD / PD 模块与插头的简化插座（MU-SR 系列）等。随着光纤网络向更大带宽更大容量方向的迅速发展和 DWDM 技术的广泛应用，对 MU 型连接器的需求也将迅速增长。

适配器



上图是各种光连接器与之对应的适配器，也称法兰盘，用在 ODF 架上，供光纤连接。



该图为 FC/PC 型光纤跳纤（非正规叫法是双头尾纤），英文名为 PATCH CORD 即两头带光纤连接器的软光纤，用于设备至 ODF 架的连接以及 ODF 架之间的跳接。光跳线颜色为黄色，表示单模跳纤。



该图为 MTRJ-SC 型光纤跳纤，光跳线颜色为橙色，表示多模跳纤。

另外，还有用于光缆成端的尾纤，英文名为 PIGTAIL CORD，一端与光缆熔接，一端固定在 ODF 上。在生产中，为了便于测试，均生产为跳纤，即两头均有光纤连接器，施工时，从中间剪断，一根跳纤即成了两根尾纤。

光缆尾纤

特点：

采用高质量的二氧化陶瓷插芯；

光纤外径可选择 $\varnothing 0.9\text{mm}$ 、 $\varnothing 2.0\text{mm}$ 、 $\varnothing 3.0\text{mm}$ ；

有 FC、SC、ST 等型号供选择；

光纤长度可按用户要求业做；

主要技术指标：

插入损耗： $\leq 0.3\text{db}$ ；

回波损耗： $\text{PC} \geq 40\text{db}$ ， $\text{UPC} \geq 50\text{db}$ ， $\text{APC} \geq 60\text{db}$ ；

各项实验插入损耗变化值：

互换性试验：<0.2db（任意对接）

振动试验：<0.1db（5-50HZ，1.5mm 振幅）

抗拉强度试验：<0.1db

高温试验：<0.2db（+85℃，连续 100 小时后）

低温试验：<0.2db（-40℃，连续 100 小时后）

温度循环试验：<0.2db（-40℃+85℃，循环 5 次后）

温度试验：<0.2db（-25℃+65℃，相对湿度 93%，100 小时后）



耦合器

光纤耦合器（Coupler）又称分歧器（Splitter），是将光讯号从一条光纤中分至多条光纤中的元件，属于光被动元件领域，在电信网路、有线电视网路、用户回路系统、区域网路中都会应用到，与光纤连接器并列被动元件中使用最大项的。光纤耦合器可分标准耦合器（双分支，单位 1×2 ，亦即将光讯号分成两个功率）、星状 / 树状耦合器、以及波长多工器（WDM，若波长属高密度分出，即波长间距窄，则属于 DWDM），制作方式则有烧结（Fuse）、微光学式（Micro Optics）、光波导式（Wave Guide）三种，而以烧结式方法生产占多数（约有 90%）。很多人把适配器当作耦合器是错误的。