

光模块和光纤连接器的应用指南

一、 光收发一体模块定义

光收发一体模块由光电子器件、功能电路和光接口等组成，光电子器件包括发射和接收两部分。发射部分是：输入一定码率的电信号经内部的驱动芯片处理后驱动半导体激光器（LD）或发光二极管（LED）发射出相应速率的调制光信号，其内部带有光功率自动控制电路，使输出的光信号功率保持稳定。接收部分是：一定码率的光信号输入模块后由光探测二极管转换为电信号。经前置放大器后输出相应码率的电信号，输出的信号一般为PECL电平。同时在输入光功率小于一定值后会输出一个告警信号。

二、 光收发一体模块分类

按照速率分：以太网应用的100Base（百兆）、1000Base（千兆）、10GE

SDH应用的155M、622M、2.5G、10G

按照封装分：1×9、SFF、SFP、GBIC、XENPAK、XFP，各种封装见图1~6

1×9封装——焊接型光模块，一般速度不高于千兆，多采用SC接口

SFF封装——焊接小封装光模块，一般速度不高于千兆，多采用LC接口

GBIC封装——热插拔千兆接口光模块，采用SC接口

SFP封装——热插拔小封装模块，目前最高速率可达4G，多采用LC接口

XENPAK封装——应用在万兆以太网，采用SC接口

XFP封装——10G光模块，可用在万兆以太网，SONET等多种系统，多采用LC接口



图1、1×9封装



图2、SFF封装



图3、GBIC封装



图4、SFP封装



图5、XENPAK封装



图6、XFP封装

按照激光类型分：LED、VCSEL、FP LD、DFB LD

按照发射波长分：850nm、1310nm、1550nm等等

按照使用方式分：非热插拔（1×9、SFF），可热插拔（GBIC、SFP、XENPAK、XFP）

三、 光纤连接器的分类和主要规格参数

光纤连接器是在一段光纤的两头都安装上连接头，主要作光配线使用。

按照光纤的类型分：单模光纤连接器（一般为G.652纤：光纤内径9um，外径125um），多模光纤连接器（一种是G.651纤其内径50um，外径125um；另一种是内径62.5um，外径125um）；

按照光纤连接器的连接头形式分：FC，SC，ST，LC，MU，MTRJ等等，目前常用的有FC，SC，ST，LC，见图7~10。

FC型——最早由日本NTT研制。外部加强件采用金属套，紧固方式为螺丝扣。测试设备选用该种接头较多。

SC型——由日本NTT公司开发的模塑插拔耦合式连接器。其外壳采用模塑工艺，用铸模玻璃纤维塑料制成，呈矩形；插针由精密陶瓷制成，耦合套筒为金属开缝套管结构。紧固方式采用插拔销式，不需要旋转。

LC型——朗讯公司设计的。套管外径为1.25mm，是通常采用的FC-SC、ST套管外径2.5mm的一半。提高连接器的应用密度。

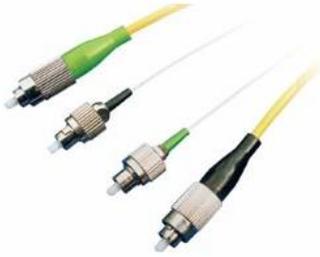


图7、FC光纤连接器

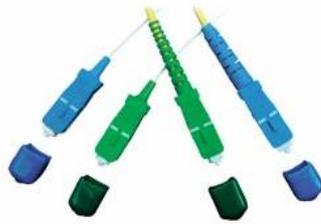


图8、SC光纤连接器



图9、LC光纤连接器



图10、ST光纤连接器

按照光纤连接器接头内插针端面分：PC，SPC，UPC，APC

按照光纤连接器的直径分：Φ3，Φ2，Φ0.9

光纤连接器的性能主要有光学性能、互换性能、机械性能、环境性能和寿命。其中最重要的是插入损耗和回波损耗这两个指标。针对常用的SC，ST，FC，LC连接头，指标要求如下：

模式	插入损耗(dB)	回波损耗(dB)			
		PC	SPC	UPC	APC
单模	≤0.3	≥45	≥50	≥55	≥60
多模	≤0.3	≥35	\	\	[1]

四、光模块主要参数

- 光模块传输速率：百兆、千兆、10GE等等
- 光模块发射光功率和接收灵敏度：发射光功率指发射端的光强，接收灵敏度指可以探测到的光强度。两者都以dBm为单位，是影响传输距离的重要参数。光模块可传输的距离主要受到损耗和色散两方面受限。损耗限制可以根据公式： $\text{损耗受限距离} = (\text{发射光功率} - \text{接收灵敏度}) / \text{光纤衰减量}$ 来估算。光纤衰减量和实际选用的光纤相关。一般目前的G.652光纤可以做到1310nm波段0.5dB/km，1550nm波段0.3dB/km甚至更佳。50um多模光纤在850nm波段4dB/km 1310nm波段2dB/km。对于百兆、千兆的光模块色散受限远大于损耗受限，可以不作考虑。常见的光模块规格：

传输速率	发射波段	传输使用光纤	参考传输距离
百兆	1310nm	多模	2km
百兆	1310nm	单模	15km
百兆	1310nm	单模	40km
百兆	1550nm	单模	80km
千兆	850nm	多模	550m
千兆	1310	单模/多模	10km/550m
千兆	1550	单模	70km

- 10GE光模块遵循802.3ae的标准，传输的距离和选用光纤类型、光模块光性能相关。如10G - S传输距离的300m有如下条件：

Fiber type	Minimum modal bandwidth @ 850 nm (MHz·km)	Operating range (meters)
62.5 μm MMF	160	2 to 26
	200	2 to 33
50 μm MMF	400	2 to 66
	500	2 to 82
	2000	2 to 300

- 饱和光功率值指光模块接收端最大可以探测到的光功率，一般为-3dBm。当接收光功率大于饱和光功率的时候同样会导致误码产生。因此对于发射光功率大的光模块不加衰减回环测试会出现误码现象。

五、光模块功能失效重要原因

光模块功能失效分为发射端失效和接收端失效，分析具体原因，最常出现的问题集中在以下几个方面：

1. 光口污染和损伤

由于光接口的污染和损伤引起光链路损耗变大，导致光链路不通。产生的原因有：

- A. 光模块光口暴露在环境中，光口有灰尘进入而污染；
- B. 使用的光纤连接器端面已经污染，光模块光口二次污染；
- C. 带尾纤的光接头端面使用不当，端面划伤等；
- D. 使用劣质的光纤连接器；

2. ESD损伤

ESD是ElectroStatic Discharge缩写即“静电放电”，是一个上升时间可以小于1ns（10亿分之一秒）甚至几百ps（1ps = 10000亿分之一秒）的非常快的过程，ESD可以产生几十Kv/m甚至更大的强电磁脉冲。静电会吸附灰尘，改变线路间的阻抗，影响产品的功能与寿命；ESD的瞬间电场或电流产生的热，使元件受伤，短期仍能工作但寿命受到影响；甚至破坏元件的绝缘或导体，使元件不能工作（完全破坏）。ESD是不可避免，除了提高电子元件的抗ESD能力，重要的是正确使用，引起ESD损伤的因素有：

- A. 环境干燥，易产生ESD；
- B. 不正常的操作，如：非热插拔光模块带电操作；不做静电防护直接用手接触光模块静电敏感的管脚^[12]；运输和存放过程中没有防静电包装；
- C. 设备没有接地或者接地不良；

六、光收发一体光模块应用注意点

1. 光口问题

光链路上各处的损耗衰减都关系到传输的性能，因此要求：

- A. 选择符合入网标准的光纤连接器；
- B. 光纤连接器要有封帽，不使用时盖上封帽，避免光纤连接器污染而二次污染光模块光口；封帽不使用时应放在防尘干净处保存；
- C. 光纤连接器插入是水平对准光口，避免端面和套筒划伤；
- D. 光模块光口避免长时间暴露，不使用时加盖光口塞；光口塞不使用时储存在防尘干净处；清洁光模块时根据光口类型选用合适的无尘棉棒（SC使用 $\phi 2.5\text{mm}$ 的无尘棉棒[如NTT的14100400]，LC和M TRJ使用 $\phi 1.25\text{mm}$ 的无尘棉棒[如NTT的14100401]）蘸上无水酒精插入光口内部，按同一方向旋转擦拭；然后再用干燥的无尘棉棒插入器件光口，按同一方向旋转擦拭；
- E. 光纤连接器的端面保持清洁，避免划伤；清洁端面时使用干燥无尘棉[如：小津产业株式会社的M-3]在手指未接触部分按如图9所示方法擦拭清洁，每次擦拭不能在同一位置；对脏污严重的接头，则将无尘棉浸无水酒精（不易过多），按相同方法进行擦拭清洁，并需更换另一干燥无尘棉按相同方法操作一次，保证接头端面干燥，再进行测试；此类清洁方法需注意擦拭长度要足够，才能保证清洁效果，并且不能在相同位置重复擦拭；此类无尘棉每张可按图示方向擦拭4次；场地不足时可将无尘棉放在手掌上，在手指未接触部分按如图10所示方法在手掌部位进行擦拭清洁，每次擦拭不能在同一位置；对脏污严重的接头，则将无尘棉浸无水酒精（不易过多），按相同方法进行擦拭清洁，并需更换另一干燥无尘棉按相同方法操作一次，保证接头端面干燥，再进行测试；此类清洁方法需注意擦拭长度要足够，才能保证清洁效果，并且不能在相同位置重复擦拭；此类无尘棉每张可按图示方向擦拭3次；也可以使用清洁剂如图11~13所示；



图9将无尘棉放在桌面清洁



图10将无尘棉放在手掌上清洁



图11打开防尘盖板图示



图12清洁方法图示1



图13清洁方法图示2

2. ESD损伤

ESD是自然界不可避免的现象，预防ESD从防止电荷积聚和让电荷快速放电两方面着手：

- A. 保持环境的湿度30~75%RH；
- B. 划定专门的防静电区域。选用防静电的地板或工作台；
- C. 使用的相关设备采用并联接地的公共接地点接地，保证接地路径最短，接地回路最小，不能串联接地，应避免采用外接电缆连接接地回路的设计方式；
- D. 在专门的防静电区域中操作，防静电工作区内禁止放置工作不必须的静电产生材料，如未作防静电处理的塑料袋、盒子、泡沫、带子、笔记本、纸片、个人用品等物品，这些材料必须距离静电敏感器件30厘米以上；
- E. 包装和周转的时候，采用防静电包装和防静电周转箱/车；
- F. 禁止对非热插拔的设备，进行带电插拔的操作；
- G. 避免用万用表表笔直接检测静电敏感的引脚；
- H. 对光模块操作时做静电防护工作（如：带静电环或将手通过预先接触机壳等手段释放静电），接触光模块壳体，避免接触光模块PIN脚；

七、 简易光模块失效判断步骤

- 1. 测试光功率是否在指标要求范围之内，如果出现无光或者光功率小的现象。处理方法：
 - A. 检查光功率选择的波长和测量单位（dBm）
 - B. 清洁光纤连接器端面，光模块光口，方法见第五节。
 - C. 检查光纤连接器端面是否发黑和划伤，光纤连接器是否存在折断，更换光纤连接器做互换性试验
 - D. 检查光纤连接器是否存在小的弯折。
 - E. 热插拔光模块可以重新插拔测试。
 - F. 同一端口更换光模块或者同一光模块更换端口测试。
- 2. 光功率正常但是链路无法通，检查link灯。

八、 案例

- 1. 市场返回光模块失效，光功率远低于指标-3~-9.5dBm值。
分析结果：返回光模块直接测试光模块值为-19dBm，查看LD端面如下图所示：



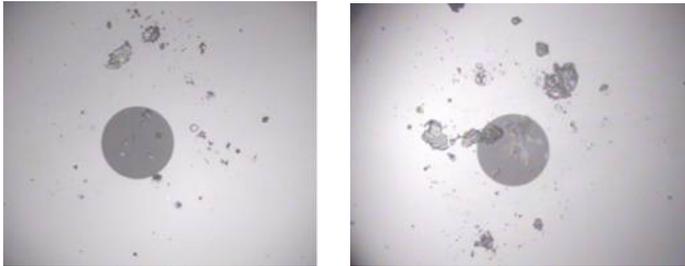
LD端面严重污染，厂家简单清洗端面后复测光模块值为-5dBm，故障排除。清洗后端面如下所示：



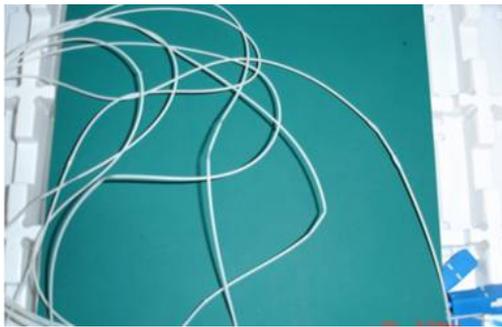
2. 一款带尾纤光模块失效，失效现象是无光输出。

分析结果：

A. 连接头端面受损，端面如下所示：



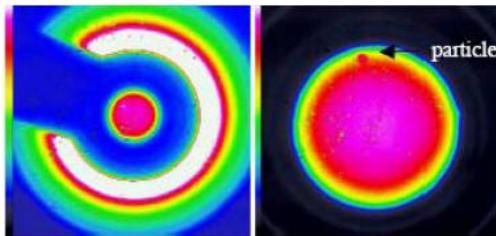
B. 尾纤折断，如下所示：



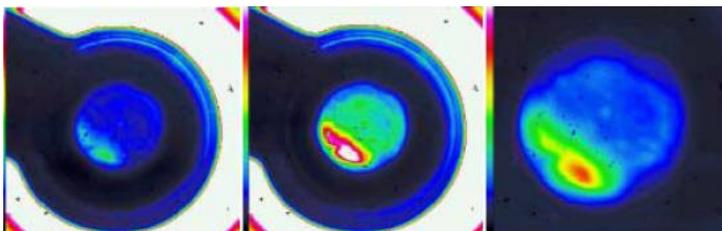
3. 客户端光模块无光输出

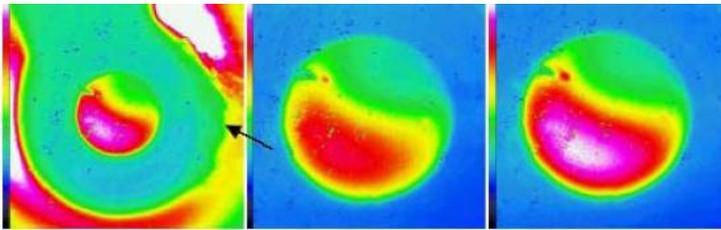
分析结果：故障品返回后故障复现，定位LD不发光。分解LD，其内部芯片电镜图分析为ESD和EOS导致故障。

良品电镜图如下：

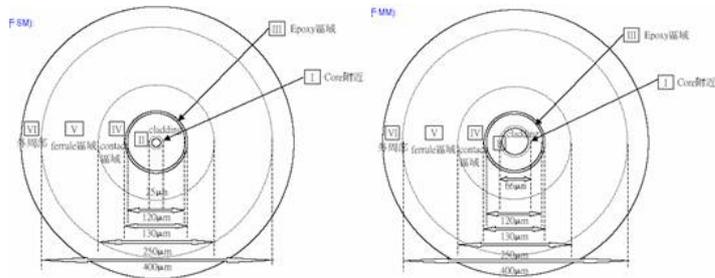


返回故障品电镜图如下：





九、 附件——光纤端面要求



区域	領域	直徑	缺陷(點傷)、髒污、異物(會動的東西)	線傷	使用的顯微鏡倍數
I	Core 附近(僅用於 SMF)	25µm 以下	原材料與成品: 不可以有	不可以有	200X
	Core 附近(僅用於 MMF)	66µm 以下	原材料與成品: 5µm 以下的缺陷是 5 個, 5µm 以上的缺陷不可有, 異物、髒污要擦掉。	3µm 以下的線傷 5 條, 3µm 以上的線傷不可有。	
II	Cladding (僅用於 SMF)	25~120µm	原材料與成品: 2µm 以下的缺陷可以, 5µm 以下的缺陷是 5 個, 5µm 以上的缺陷不可有, 異物、髒污要擦掉。	3µm 以上寬的線傷不可以有	200X
	Cladding (僅用於 MMF)	66~120µm	原材料與成品: 2µm 以下的缺陷可以, 5µm 以下的缺陷是 8 個, 異物、髒污要擦掉, 5µm 以上的缺陷不可有	不可有 3µm 以上的線傷	
III	Epoxy 領域	120~130µm	OK	OK	200X
IV	Contact 領域	130~250µm	原材料與成品: 10µm 以上的缺陷不可有, 異物、髒污要擦掉。	3µm 以上寬的線傷不可以有	200X
V	Ferrule 領域	250~400µm	原材料與成品: 30µm 以上的缺陷不可有, 異物、髒污要擦掉。 或是在 45X 下檢驗: 原材料與成品: 都不可以有 45 倍顯微鏡可見的異物、缺陷、髒污。 原材料: 不可以有 45 倍顯微鏡可見的不可移動的黑點。	OK	200X (45X)