

MT 连接器反射损耗特性研究

作者：李航，ADC 电信（上海）有限公司

近年来用网络带宽需求的增加促进了高密度光纤通信系统例如 DWDM 系统、FTTH 网络系统、数据中心等的发展，MT 多芯连接器由于具有高密度、性能稳定、安装方便等特点，已经成为通信系统必不可少的光纤无源器件之一，其市场需求量在逐渐增加。

MT 是“Mechanical Transfer”的缩写，是机械转接结构的多芯光纤连接器，依靠高精度的金属定位针和塑料插芯中孔位来实现两个连接器的对准。MPO 连接器与 MTP 连接器同属于 MT 系列，MPO 与 MTP 的结构基本类似，其基本的零件是塑料插芯和金属定位针，如图 1 所示。

目前已经有很多论文讨论如何降低 MT 连接器的插入损耗，而讨论如何提高 MT 连接器的反射损耗的论文较少，本文将从以下几方面探讨如何提高 MT 连接器的反射损耗性能：光纤高度；插芯的 X 轴和 Y 轴的角度；连接器弹性；光纤端面粗糙度；光纤的纤芯内陷深度。

光纤高度对反射损耗的影响

目前比较常见的 MT 连接器有 4 芯、6 芯、8 芯和 12 芯等。由于光纤研磨、抛光工艺的限制，同一个连接器中各个光纤的高度会有一些的差异，IEC61755 定义了三种光纤高度参数：1. 单根光纤高度 H：所有光纤中最大的高度变化范围在 1000nm 到 5000nm 之间。2. 相邻光纤高度差 HB：在所有光纤中，任意两根相邻光纤的高度差值小于 300nm。3. 最大光纤高度差 HA：在所有光纤中，高度最高的光纤与高度最低的光纤高度之差小于 500nm。

连接器必须同时满足以上三个参数要求才是合格的。

在两只连接器对接时，光纤高度差会产生一定的空气间隙。在空气间隙中光信号的传输介质是空气，空气的折射率近似为 1，G.652 单模光纤纤芯的折射率约为 1.46，由于折射率的差异，当光信号从光纤进入空气中会发生菲涅尔反射，从而劣化了连接器的反射损耗，因此光纤连接器的反射损耗对接时的光纤间隙非常敏感。

插芯端面角度对反射损耗的影响

如图 2 所示，IEC61755-3-3 中规定 Y 轴角度的公差范围在 7.8 度到 8.2 度之间。如果两个插芯的 Y 轴角度相同，则插芯的表面间隙是零；如果两个插芯的 Y 轴角度不相同，则插芯间隙同时受插芯厚度 T、插芯的平面宽度 W、以及相互配接的两个插芯 Y 轴角度差的影响（图 3）。

由于 MT 连接器的插芯是由模具批量生产，插芯的厚度 T 比较稳定、一致性较好。其它几个参数如插芯的平面宽度 W、两个插芯的 Y 轴角度 α 、 β 主要由研磨工艺决定。如研磨机或研磨盘精度会影响插芯的角度，研磨时的压力或返磨的次数会影响到插芯平面的宽度，经过返磨后的插芯平面宽度会显著变小。

由图 3 可以看出，由于两个相互配接的插芯角度存在一定的偏差，两个插芯的表面将无法实现全面接触，基于这一点特性，MT 多芯连接器的光纤必须是凸出的（光纤端面凸出插芯表面），而不能是内缩的（光纤端面

低于插芯表面）；如果光纤端面低于插芯表面，配接时将无法实现光纤的物理接触，光纤之间将会存在空气间隙，光信号通过空气间隙时，将

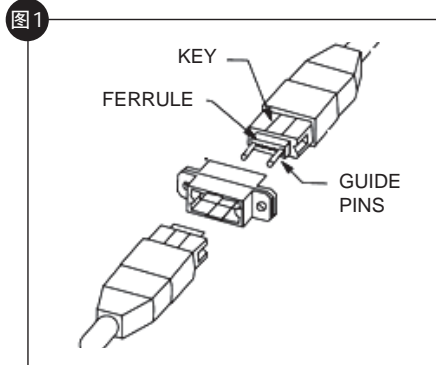


图1 MT 光纤连接器结构示意图。

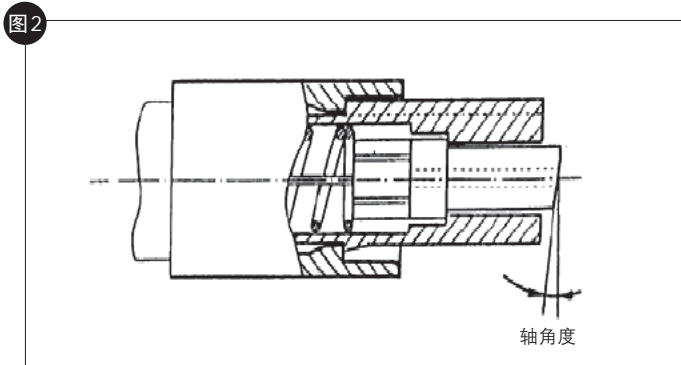
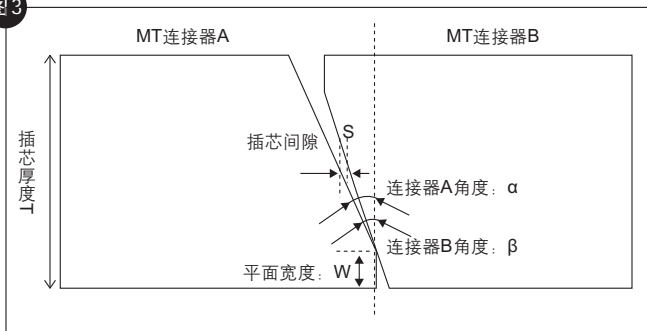


图2 MT 连接器的 Y 轴角度示意图。

图 3



MT 连接器插芯表面间隙示意图。

会发生菲涅尔反射现象，从而会影响到连接器的反射损耗。

经计算可以得出：1. 当两个插芯 Y 轴角度相同，如都是 8.2 度，即使平面宽度为零，两个插芯也能实现全面接触。2. 当插芯 A 是 8.2 度，插芯 B 是 7.8 度时，如果平面宽度是零，插芯间隙是 8899nm。3. 插芯 A 是 8.2 度，插芯 B 是 7.8 度时，如果平面宽度是 0.8mm，插芯间隙是 3024nm。

从以上分析可以得出结论：要实现 MT 连接器光纤的全面接触、有效消除空气间隙，不仅在加工过程中要控制 X 轴和 Y 轴角度的偏差，同时还要有效地控制插芯表面的平面宽度。利用同样的原理和方法，可以推算出 X 轴角度的偏差对光纤插芯间隙的影响。

连接器的弹性对反射损耗的影响

从以上分析可知，即使 MT 光纤连接器光纤高度、插芯的角度满足相关的国际标准，仍然有可能无法实现所有光纤的物理接触。

为了消除连接器配接过程中产生的空气间隙，各种光纤连接器中都加入了弹簧，并对弹簧有一定的弹性要求。通过弹簧的弹性使连接器配接时光纤能轻微的压缩，从而最大限度地实现光纤的物理接触。弹

簧的弹性必须控制在一定的范围内，如果弹性过大，连接器配接后会增加光纤的疲劳程度，从而降低产品的可靠性。另外过大的弹性还会增加 APC 连接器侧向力，产生光纤的错位损耗。

光纤端面变质层对反射损耗的影响

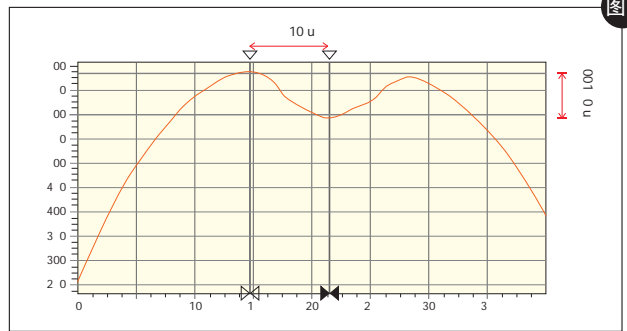
光纤研磨和抛光通常在高速和一定的压力条件下进行，由于研磨材料对光纤表面的切削，在压力作用和研磨材料等活性物质的作用下，光纤端面会形成一个几十到几百纳米的变质层，变质层的密度和折射率相对于正常区域均有所增加。

根据薄膜光学原理和菲涅尔反射原理可得出：变质层的折射率和厚度都会对光纤的反射损耗产生影响。如果要提高反射损耗性能，在连接器的抛光工艺中必须最大限度地减少变质层的厚度或完全消除变质层，降低变质层折射率。通过选择合适的抛光参数如压力、时间、抛光材料等可以实现这一目的。

光纤端面粗糙度和纤芯内陷对反射损耗的影响

光纤端面的粗糙度由研磨材料（研磨片和研磨液）的颗粒大小决定，通常可以达到 50nm 甚至 10nm 以下。

图 4



光纤连接器纤芯内陷测试图形。

当表面的粗糙度过大时，光信号会在粗糙的光纤表面发生漫反射现象，从而劣化光纤连接器的反射损耗，高精度的干涉仪可以测试光纤表面的粗糙度。当两束光在凹凸不平的光纤表面反射时，如果两束光的光程差满足一定相位干涉条件，则会发生光的干涉现象，这种干涉现象会加强或者削弱反射光信号，通过把光纤表面的粗糙度控制在一定范围内，可以避免这种干涉和漫反射现象的发生。

为了实现光信号在光纤内的全反射，光纤的纤芯和被覆层在材料的硬度上有所差异，这一差异通常会造成研磨后光纤的纤芯内陷，即纤芯的高度低于被覆层高度。在这种情况下，光信号在光纤和空气的分界面会发生菲涅尔反射，从而会使光纤连接器的反射损耗变差。

经试验发现，抛光的时间、压力、抛光片和抛光溶液的材料均会对光纤内陷产生一定影响。

图 4 是高精度干涉仪测到的纤芯内陷现象。通过调整研磨工艺参数，可以实现光纤连接器光纤纤芯内陷为零或趋近于零。

由于单模光纤纤芯直径只有 10 微米左右，光纤纤芯内陷给光纤的端面清洁带来了很大的难度和挑战。端面被污染的光纤的反射损耗会更加变差。[LWC]