

光纤通信：光纤连接器性能及原理简介

摘要：本文介绍了光纤连接器的主要性能，以及各参数如插入损耗、回波损耗对光纤连接器性能的影响。

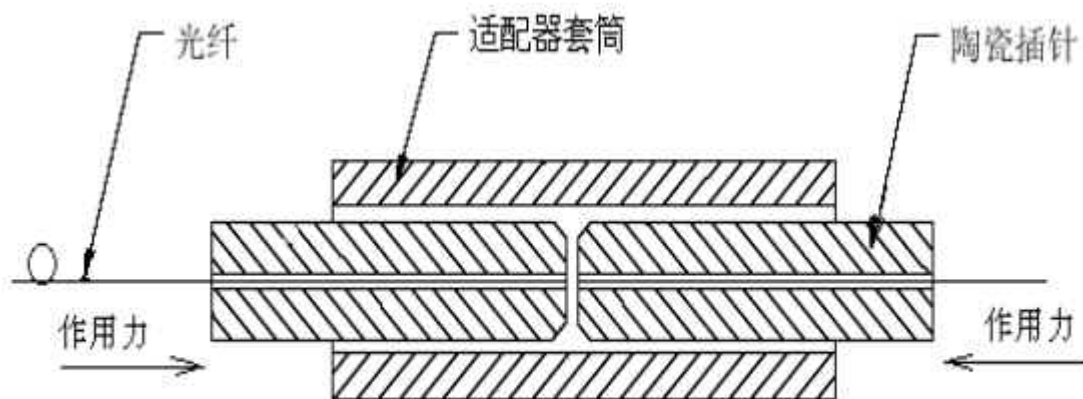
关键词：光纤连接器、插入损耗、回波损耗

光纤连接器是光纤通信系统中各种装置连接所必不可少的器件，也是目前使用量最大的光纤器件。由于本地通信网络的逐步光纤化，城域网和用户接入网需求的上升，近年来全球光纤连接器市场的总需求量不断扩大，预计未来十年的年增长率将在 20%左右。

虽然目前全世界共有超过 70 多种光连接器，并且新品种还在不断出现，但市场上（尤其是中国市场），其主流品种仍然是早年就一直沿袭下来的直径为 $\phi 2.5\text{mm}$ 的精密陶瓷插芯和陶瓷管构成的连接器（如 FC、SC、ST 等）。此外， $\phi 1.25\text{mm}$ 陶瓷芯的小型连接器（如 LC、MU 等），以及带状光纤连接器为主的多芯连接器（如 MTP 等）的需求量也逐步增加。

通常，衡量光纤连接器产品质量的主要光学特性指标为插入损耗（Insert loss）和回波损耗（Return loss）。此外，影响产品质量可靠性的插芯端面几何参数等物理特性指标也越来越被系统厂商或高端客户所重视。下面从光纤连接器的工作原理出发，对连接器的插入和回波损耗作简单的介绍：

光纤连接器不能单独使用，它必须与其它同类型的连接器互配，才能形成光通路的连接，目前，较为流行的光纤连接器装配和对接方式为：利用环氧树脂热固化剂，将光纤粘固在高精度的陶瓷插针孔内，然后使两插针在外力的作用下，通过适配器套筒的定位，实现光纤之间的对接（如图一）。



图一 光纤连接器对接原理

由图一可看出，保证对接的两根光纤纤芯接触时成一直线是确保连接器优良的连接质量的关键，它主要取决于光纤本身的物理性能和连接器插针的制造精度，以及连接器的装配加工精度。同时，光纤的光学性能指标和插针端面的抛光质量对于连接器的光学性能和使用可靠性也有着直接的影响。

插入损耗是指接续的连接器给系统造成的光功率衰减（即光连接器输出功率相对于输入功率的相对减少量）。插入损耗主要由相接续的两根光纤之间的横向偏离造成。如图一所示，如两根光纤排成一直线，横向偏离为零，则其造成的插入损耗最小。但在连接器的实际对接过程中，这是不大可能实现的，因为纤芯与光纤包层的不同心、光纤包层与插针内孔的不同心以及插针内孔与外径的同心度误差等，都会引起光纤间的横向偏离。

同时，光纤接头中的纵向间隙和端面质量也是引起插入损耗的因素之一，近年来普遍采用的 UPC 插头接触方式，则较好地解决了纵向间隙问题。按此方式，插针和光纤端面经球面抛光处理，使得相对接的两插针在外力的作用下啮合在一起，使啮合光纤的顶点变形并展平，形成光纤充分对接，减小光纤接头中的纵向间隙。

回波损耗是用来衡量连接器端面的后向反射光大小的参数。回波的本质即是光线反射，根据菲涅尔反射原理，光线在传输过程中遇到两种折射率不同的界面时会发生菲涅尔反射，造成光通路中的信号叠加或干涉。在高传输速率的单模光纤系统中，尤其是有线电视系统（CATV），反射现象会产生传输信号的时间滞后，使信号到达用户端的时间延迟，造成图像的重影和清晰度下降。

连接器接头的 UPC 接触方式，由于减小了连接端面间的间隙，除降低了插入损耗外，也减少了连接端面的反射，提高了回波损耗；而对于 CATV 系统等用户来说，APC 型接触方式则为更好的选择：由于 APC 型接头其陶瓷插芯端面的球面法线与光纤的轴线有一个角度（一般为 8° ），使得从端面反射的光泄出而不返回纤芯，从而大大提高了连接器的回波损耗。

综上所述，对于优秀的连接器跳线生产厂家而言，为确保产品的高质量，三方面的因素至关重要，它们分别是高品质的紧套光纤光缆、高精度的陶瓷插针和装配散件，以及优良的装配加工工艺：

就光纤而言，光纤对于连接器性能的影响主要反映在光纤本身的衰减系数和光纤光缆制造公差（尤其是纤芯/包层同心度误差）上：对于较长的连接器跳线，光纤本身过大的衰减系数会造成连接器跳线的先天不足，增大光通路中的能量损耗；较大的纤芯/包层同心度误差易造成纤芯的横向偏离。因此，高品质的光纤对于产品的低插损是至关重要的。

就陶瓷插针而言，较小的同心度误差以及内孔直径和光纤包层外径的良好匹配（即小间隙）也可减小纤芯的横向偏离，降低插损；同时，高精度装配散件可保证产品在接续中处于充分对接和良好的受力状态，直接影响回波损耗的大小。

而优良的产品制造技术，包括完善的过程控制，精良的研磨、检测设备，及与

之相配套的研磨抛光工艺和质量监控，使得产品在满足高质量端面 and 光学特性指标的同时，可根据客户的不同要求在相应的标准要求范围内调整插芯的端面几何参数，提高系统接续和使用可靠性。

作为美国康宁公司在中国的合资企业，成都康宁光缆有限公司引进美国康宁公司全套的原材料、生产设备、生产技术、检验程序和管理体系，面向中国市场提供高品质的光纤连接器。

对于原材料之一的紧套光缆及光纤，成都康宁光缆全部采用美国康宁产光纤，依托康宁公司全球领先的光缆制造技术，制造出国内领先水平的紧套光缆，并用于本公司的连接器跳线的生产，确保光纤光缆原材料的品质。图二和图三即是本公司采用的康宁公司 G652 光纤的主要特性参数，其纤芯/包层同心度误差和衰减系数统计值均远好于国内相关行业标准的要求（行业标准的要求分别为 $\leq 0.5\mu\text{m}$ 和 $\leq 0.5\text{dB/km}$ ）：