

长飞特种光纤系列之七

用于分布式测温系统的多模光纤和少模光纤

一、分布式光纤测温系统需求

温度是最重要的物理量之一，在我们的生产和生活中，温度的测量非常重要。温度变化的监测，可以有效的避免隧道、管线及高温反应炉等安全隐患的发生，以及发生事故时协助救援方案的制定。然而传统的测温技术由于感温电缆测温精度和定位精度差等原因不能满足要求；精确度较高的点式测温仪或热电偶又解决不了线性与连续监测的需要。因此，可以很好的解决以上难题，兼具精度要求及连续监测功能的分布式光纤测温系统（简称 DTS）应运而生。

由于多模光纤的拉曼增益高、受激阈值高，因此成熟的分布式测温产品多采用多模光纤作为传感光纤。但传统的通信多模光纤仅优化了波长 850nm 和 1300nm 处的衰减，较高的 C 波段衰减严重影响了长距离测量的信噪比，另一方面较大的模间色散会造成长距离测试下空间分辨率的劣化。此外，普通多模光纤因其几何一致性较差，会导致接续点测得的温度出现跳变。

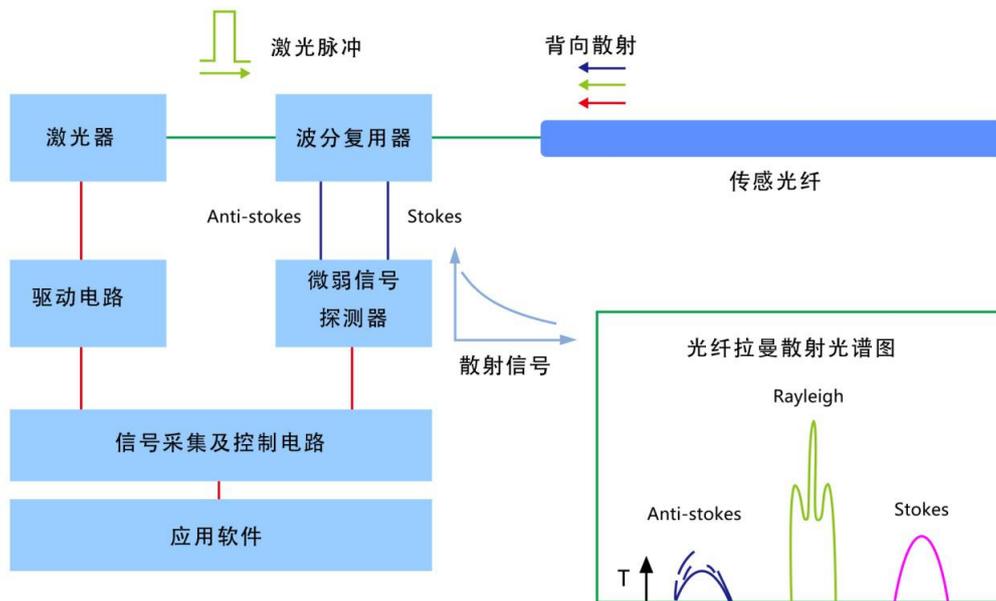


图 1 拉曼测温原理图

二、分布式测温系统用多模光纤和少模光纤

长飞公司针对传统测温系统中多模光纤在实际应用中的问题，利用自身在光纤设计制造方面的经验和技術能力，对测温多模光纤进行了改进。

- (1) DTS 工作波长处衰减的优化，提高了长距离测温的信噪比；
- (2) C 波段带宽的优化提高了长距离 DTS 的空间分辨率，解决了目前 DTS 系统在

长距离传输中空间分辨率劣化；

- (3) 几何一致性的优化，提高了系统的测温精度，以及实际工程中不可避免的光缆接续点温度一致性。

表 1 DTS 测温系统用多模光纤性能参数

光纤类型		GI50/125-20/250DTS
产品编号		GI2012-B
数值孔径		0.195±0.01
损耗	@1300 (dB/km)	≤0.50
	@1450 nm(dB/km)	≤0.45
	@1550nm(dB/km)	≤0.28
	@1650nm(dB/km)	≤0.45
熔接损耗 (dB)		≤0.1
带宽	@1300nm (MHz.km)	≥200
	@1550nm (MHz.km)	≥1000

性能优化后的测温多模光纤结合长飞 DTS 主机测试结果显示，温度曲线平整，测温距离在 25km 时，温度分辨率优于 2℃，空间分辨率约 2-3 米。另外，此光纤还做了抗弯和耐高温涂层处理，使该光纤更适合成缆以及高温应用。

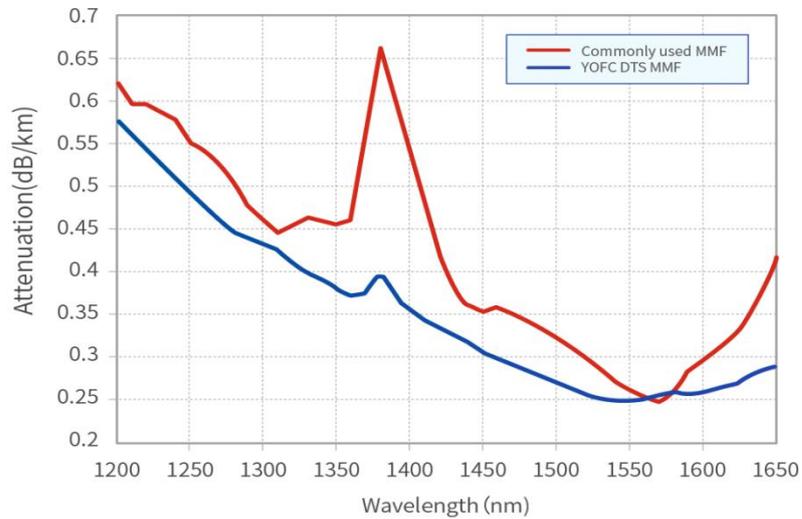


图 2 测温多模光纤衰减谱

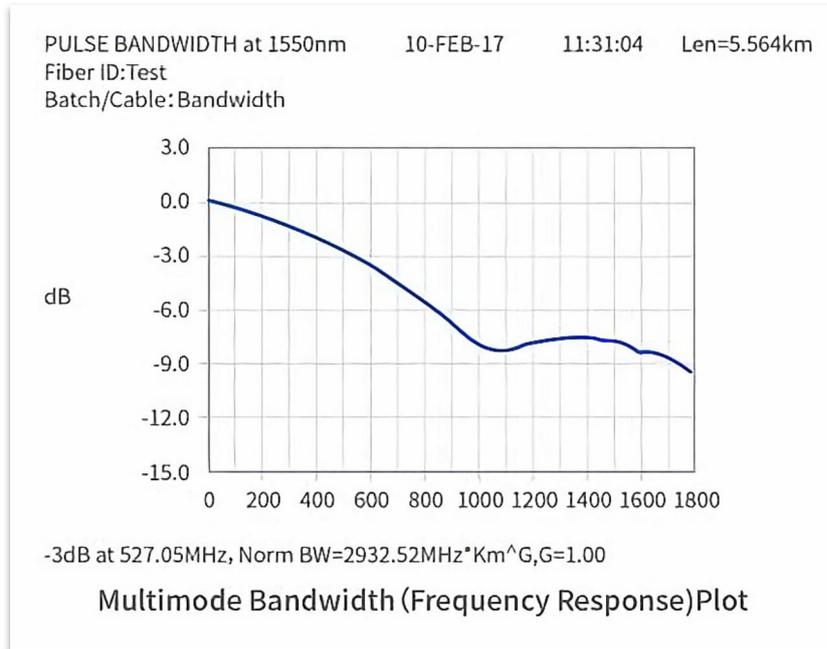


图3 测温多模光纤带宽

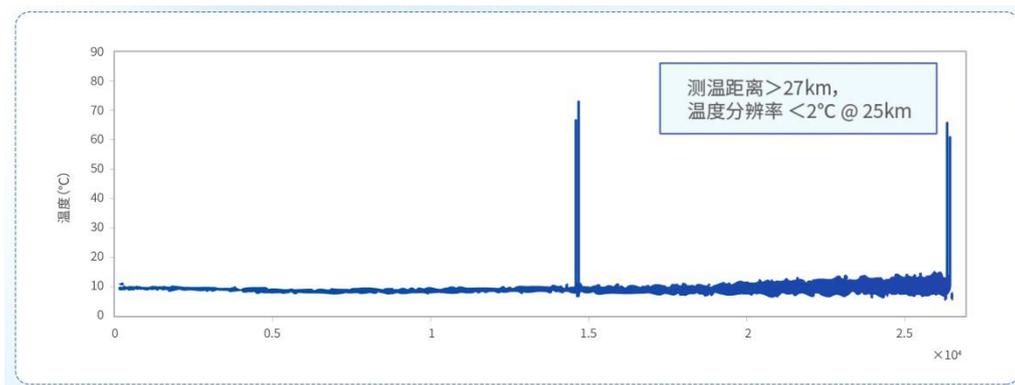


图4 长飞测温多模光纤温度曲线图

基于多模光纤的分布式拉曼传感系统,其优势在于多模光纤具有较大的有效模场面积和较高的拉曼增益系数,易于通过自发拉曼散射获得光纤沿线的温度信息。其劣势在于多模光纤的损耗较大,更重要的是由于多模光纤模间色散(模式差分群时延)引入的脉冲展宽导致长距离传感的空间分辨率不足,这在需要较高空间分辨率的温度测量场景下实际上限制了光纤的传感距离(通常多模系统长度局限于8~10km)。基于单模光纤的分布式拉曼传感系统,其优势在于损耗较小,不存在模间色散导致的脉冲展宽,其劣势在于有效模场面积较小,为了避免产生受激拉曼散射,输入光功率受限从而探测距离受限。因此基于单模光纤的长距离分布式光纤温度传感器系统较为复杂、成本较高(需要进行分布式放大并进行复杂的信号处理)。而少模光纤和单模光纤相比,在只激励起基模的情况下,对比单模光纤而言,具有较大的模场面积,对比多模光纤而言,由于其特殊的折射率设计,具有模间色散极小的优势。利用少模光纤作为传感光纤,结合现有的单模光纤拉曼系统,可在保证高空间分辨率的同时,有效延长现有分布式温度传感器的传感距离,并无需增加系统复杂度。

表 2 少模光纤性能参数

测试项目	LP01	LP11
衰减系数 (@1550nm)	0.187dB/km	0.191dB/km
色散系数 (@1550nm)	20.483	19.303
色散斜率 (@1550nm)	0.070	0.071
差分群时延 (@1550nm) (LP11 相对于 LP01)	/	1.877ps/m

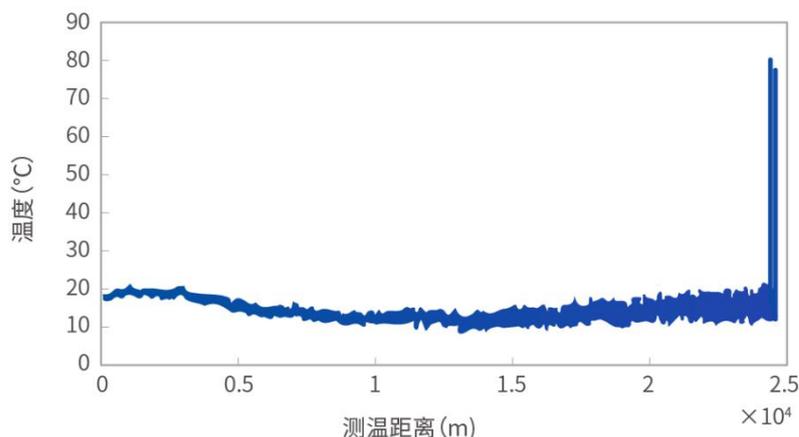


图 5 基于少模测温光纤的分布式测温系统温度曲线

长飞公司提出基于少模光纤的分布式光纤测温系统，从拉曼散射的原理出发，对少模光纤中的斯托克斯拉曼散射与反斯托克斯拉曼散射进行了理论分析与计算，找出了优化的温度解调算法，研制出了高效的少模光纤耦合设备，并将少模光纤与现有单模光纤设备高效结合，研制出了分布式拉曼测温的相应模块。该少模 DTS 系统中，准基模运行避免了模间色散导致脉宽展宽，同时大有效面积大大提高了入纤光功率，最终实现了基于少模光纤的长距离高空间分辨率分布式光纤测温系统产品。如下图，长飞少模光纤结合少模 DTS 主机测试，测温距离大于 20km 时，温度分辨率优于 4°C，空间分辨率约 3 米。

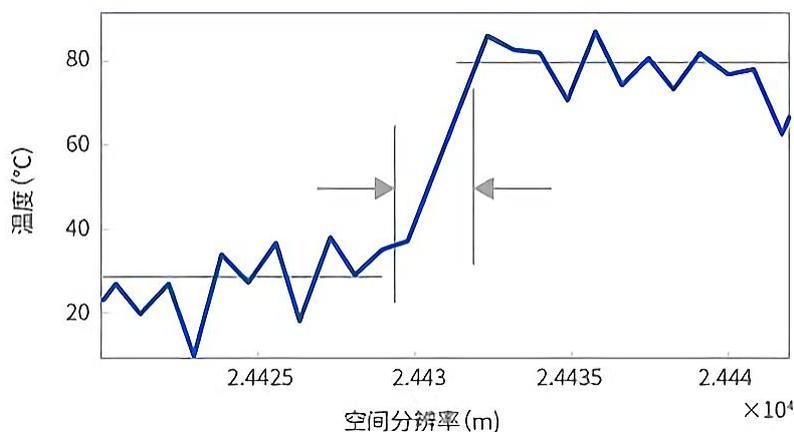


图 6 基于少模测温光纤的分布式测温系统空间分辨率

长飞公司专注特纤技术 20 余年，利用特纤研发与制造的优势，很好地将特纤技术与传

感技术相结合，高效地推进了分布式光纤测温系统的性能优化。产品已广泛应用于国内外电力、隧道及管廊的监测，如新郑机场长鹰隧道中的温度监测。长飞公司将继续推进分布式光纤测温系统中多模与少模光纤的优化及测温系统的产业商用化，发挥长飞公司在特纤与特纤传感市场的旗帜作用，引领市场的优质发展！