

## 长飞特种光纤系列之五

### 器件拉锥用弯曲不敏感单模光纤

#### 一、 器件拉锥用弯曲不敏感单模光纤的产生背景

光纤耦合器是实现光信号功率在不同光纤间的分配或组合的光器件。随着“互联网+”、云计算、物联网、大数据等新技术的发展，FTTX、4G/5G 等网络建设的全面铺开，急剧增长的建设项目对光纤无源器件，尤其是光纤耦合器的需求呈井喷态势。在光纤耦合器的制作工艺中，熔融拉锥法因其操作简单、制作成本低、器件损耗小，深受光器件制作厂商青睐。

长飞公司是较早针对光纤无源器件应用进行光纤优化设计的供应商。在此之前，我们已经推出了特种器件用单模光纤（PH1010-A）、器件拉锥用单模光纤（PH1010-B）、器件用弯曲不敏感单模光纤（PH1011-A）和器件用超强弯曲不敏感单模光纤（PH1012-A）。这类光纤具有严格的光学和几何指标，良好的机械性能，并且其 MFD 指标与相应通信用单模光纤一致，因此能与光通信系统完全兼容。

随着光无源器件小型化发展，成本控制要求提高，器件客户在使用已有的器件用单模光纤时遇到了一些新的问题：使用器件拉锥用单模光纤，在较小弯曲半径环境下，如使用在狭小空间、转角、配线箱或分光器等小尺寸器件内，光纤链路宏弯损耗很大，不能满足实际应用要求；而器件用弯曲不敏感和器件用超强弯曲不敏感单模光纤尽管宏弯损耗很低，但由于其外包层设计中增加了含氟比例，光纤剖面结构为  $\delta$  下陷深的 trench 结构。该结构在制作熔融拉锥耦合器的过程中，由于芯包材料特性的不匹配（表现为粘度和热扩散比例不匹配），会导致光纤波导结构变化的不同步，最终导致无论怎样优化熔融拉锥工艺都达不到耦合器需求的分光比，并且过程损耗很大，因此无法完成耦合器的制作。

基于以上原因，长飞公司在已有的器件拉锥用单模光纤（PH1010-B）和器件用弯曲不敏感单模光纤（PH1011-A）的基础上，通过优化剖面参数和合理设计  $v$  值，新开发了一款器件拉锥用弯曲不敏感单模光纤（PH1010-C），这款光纤既能满足熔融拉锥的需求，又具有一定弯曲不敏感特性，可以满足现有市场主流器件尤其是微型器件的客户需求。

#### 二、 光纤技术亮点

器件拉锥用弯曲不敏感单模光纤（PH1010-C）具有如下技术亮点：

##### 1) 宏弯损耗

器件拉锥用弯曲不敏感单模光纤（PH1010-C）光学指标完全满足 G.652.D 标准，宏弯损耗比 ITU-T 发布得 G.657.A1 标准更优，如下表：

表 1 器件拉锥用弯曲不敏感单模光纤（PH1010-C）宏弯损耗

弯曲半径	圈数	波长(nm)	G.657.A1	PH1010-C	国际知名友商
15 mm	10	1550	≤0.25	≤0.05	≤0.05
15 mm	10	1625	≤1.0	≤0.3	≤0.3
10 mm	1	1550	≤0.75	≤0.5	≤0.5
10 mm	1	1625	≤1.5	≤1.5	≤1.5

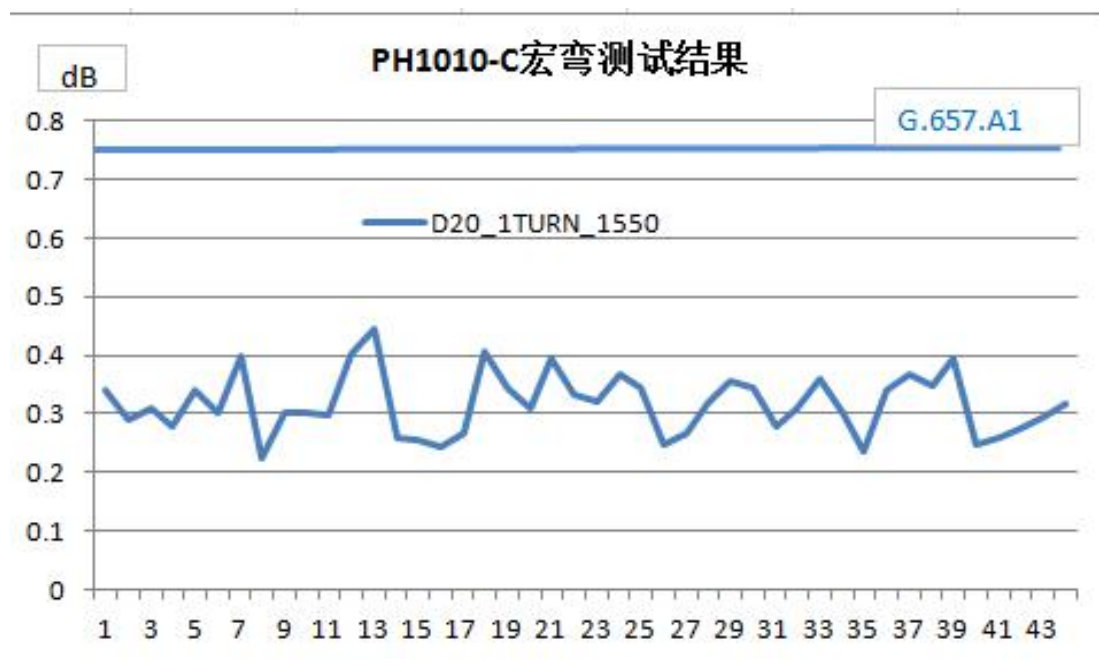


图 1 PH1010-C 宏弯测试结果

上图是 PH1010-C 在φ20mm 弯曲情况下，1550nm 波段宏弯测试结果。可以看出，在 φ20mm 及以上弯曲直径下，宏弯损耗都小于 0.5dB，也远低于 G.657.A1 的 ITU-T 所规定标准。

## 2) 熔接损耗

Sample 1 Fibre_ID	Sample 2(PH1010-C) Fibre_ID	splicing loss	
		1310nm	1550nm
G.652.D	1	0.02	0.015
	2	0.02	0.01
	3	0.015	0.02
	4	0.015	0.015
	5	0.015	0.02
	6	0.01	0.02

上表为 PH1010-C 光纤抽样 6 盘，同通讯用单模光纤熔接的损耗结果，从损耗值看，结果都很小，完全可以满足系统要求。

## 3) 光纤几何

PH1010-C 光纤与普通 G.652.D 光纤相比，具有更优的几何性能，表现为包层直径 124.5

±0.5μm，波动幅度更小，包层不圆度以及芯包同心度都比 G.652.D 标准严格。并且，很多光纤器件都有穿插芯的需要，故为了更好的满足器件客户的需求，将光纤包层直径中心值设定为 124.5μm，相比标准纤 125μm 略小。

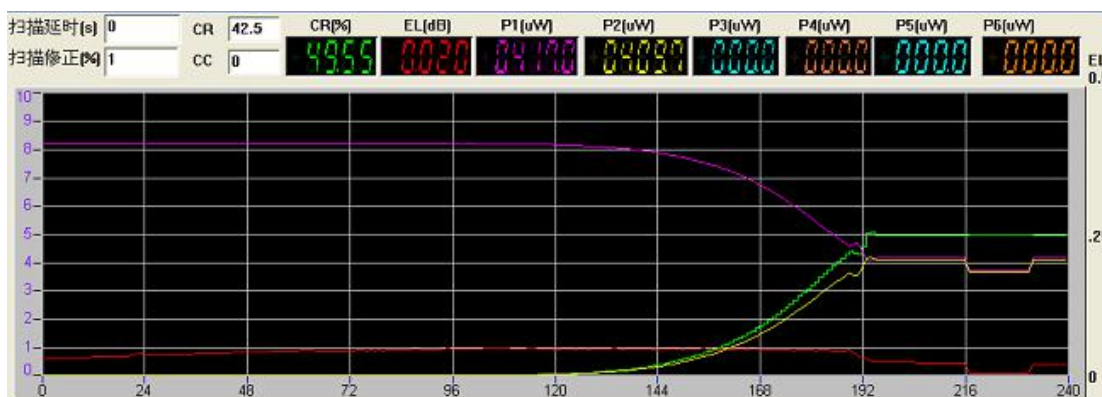
表 2 PH1010-C 几何情况

	G.652D	PH1010-C	国际知名友商
包层直径/μm	125.0±0.7	124.5±0.5	125.0±0.7
芯包同心度/μm	≤0.6	≤0.5	≤0.5
包层不圆度/%	≤1.0	≤0.7	≤0.7
光纤外径/μm	245±7	242±5	242±5

### 三、器件验证

#### 1) 拉锥性能验证

拉锥性能验证：光纤在熔融拉伸过程中，材料缺陷和波导结构变化等原因，会导致器件的光功率损失。该验证就是根据器件光功率损耗的大小和器件的稳定性直接评估该光纤是否适合制作熔融拉锥型光纤器件。下图是 PH1010-C 光纤进行拉锥得到的功率/损耗曲线，记录了光纤从开始拉伸直至光纤拉锥机停机整个过程中功率/损耗随拉伸长度的变化（P1 是光纤输出功率，EL 是附加损耗，CR 是分光比）。验证采用 1310/1550nm 单模泵浦光源，拉锥期间 PH1010-C 光纤的损耗波动很平缓，损耗始终低于 0.1dB。



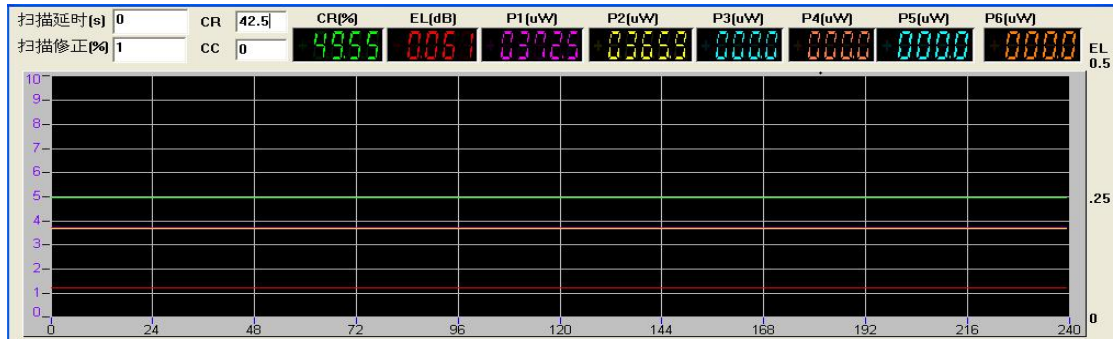


图 2 PH1010-C 光纤拉锥过程中的功率/损耗随拉锥长度的变化

(上图：拉锥前；中图：拉锥中；下图：拉锥停机)

按上述拉锥条件，对不同批次的 PH1010-C 光纤进行重复双窗拉锥实验，测试结果见下表：

表 3 PH1010-C 批次间稳定性实验

样品	波长(nm)	分光比	过程损耗	样品	波长(nm)	分光比	过程损耗
1	1310	49.55%	0.019	5	1310	49.59%	0.014
	1550	50.32%	0.061		1550	49.39%	0.017
2	1310	50.02%	0.016	6	1310	49.91%	0.055
	1550	50.81%	0.01		1550	50.24%	0.029
3	1310	49.26%	0.025	7	1310	50.01%	0.017
	1550	49.56%	0.011		1550	50.33%	0.023
4	1310	49.55%	0.02	8	1310	49.00%	0.016
	1550	49.85%	0.01		1550	49.14%	0.019

从上述验证结果可知，无论是拉锥过程损耗值，还是分光比波动区间（即拉锥稳定性），PH1010-C 均能满足拉锥耦合要求。

## 2) 器件拉锥验证

为了尽可能的接近实际应用情况，我们将该光纤交给国内知名器件公司做成拉锥耦合器，封装后按光器件检验标准做了一系列可靠性测试：1000h 干热（Dry Heat，简称 DH），800 次温循（Temperature Circuit，简称 TC），直拉侧拉检验。在上述条件下检测器件的偏振损耗变化值（PDL），要求 PDL 小于 0.2dB。限于篇幅，我们仅各列举 4 个可靠性检验结果如下图。

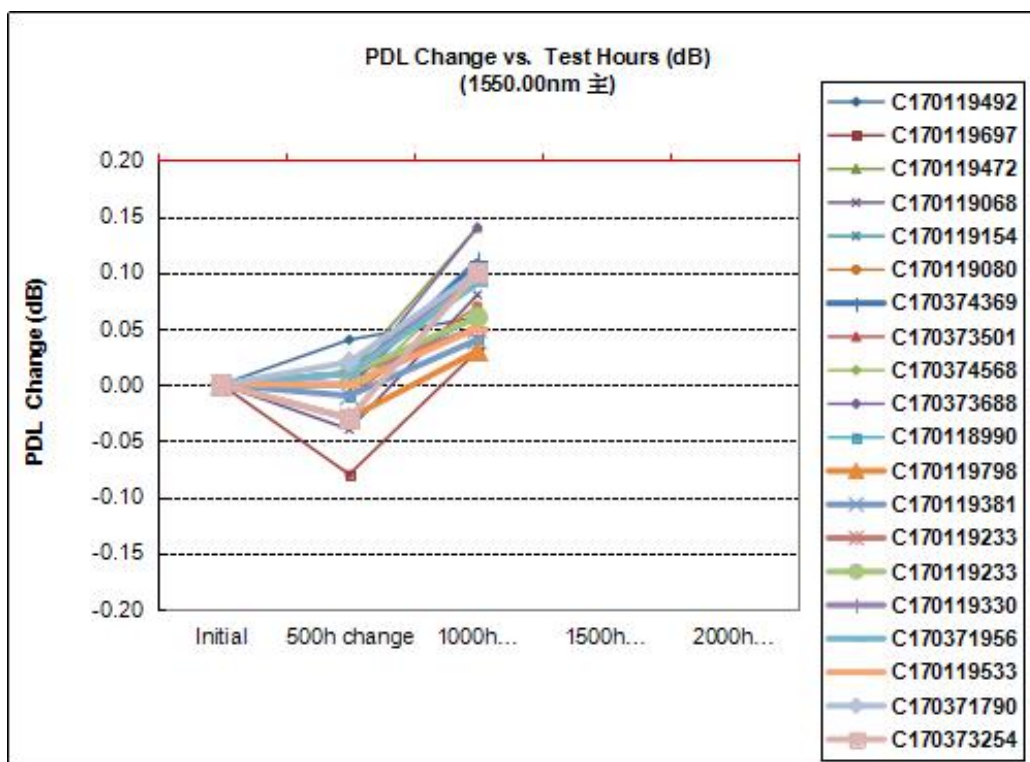


图 3 DH 测试 PDL 变化值 (Damp Heat (85°C/85% RH),1000 hours qualification( @ 25°C)

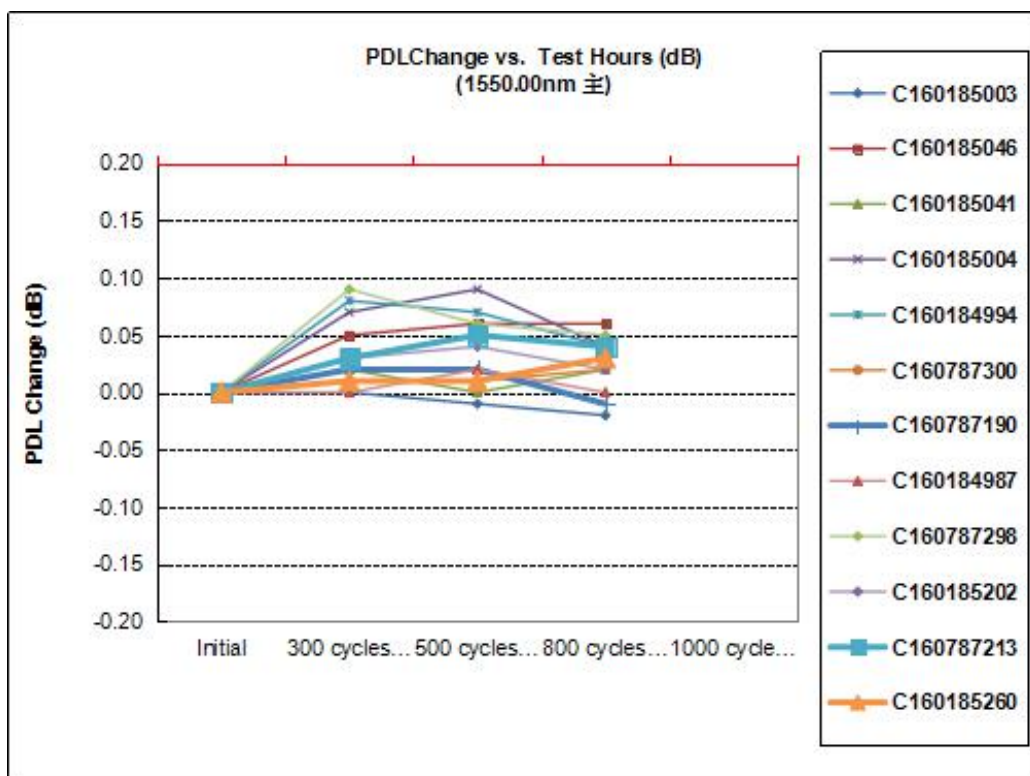


图 4 TC 测试 PDL 变化值 (Temperature cycle(-40°C~+85°C) ,800 cycles qualification)

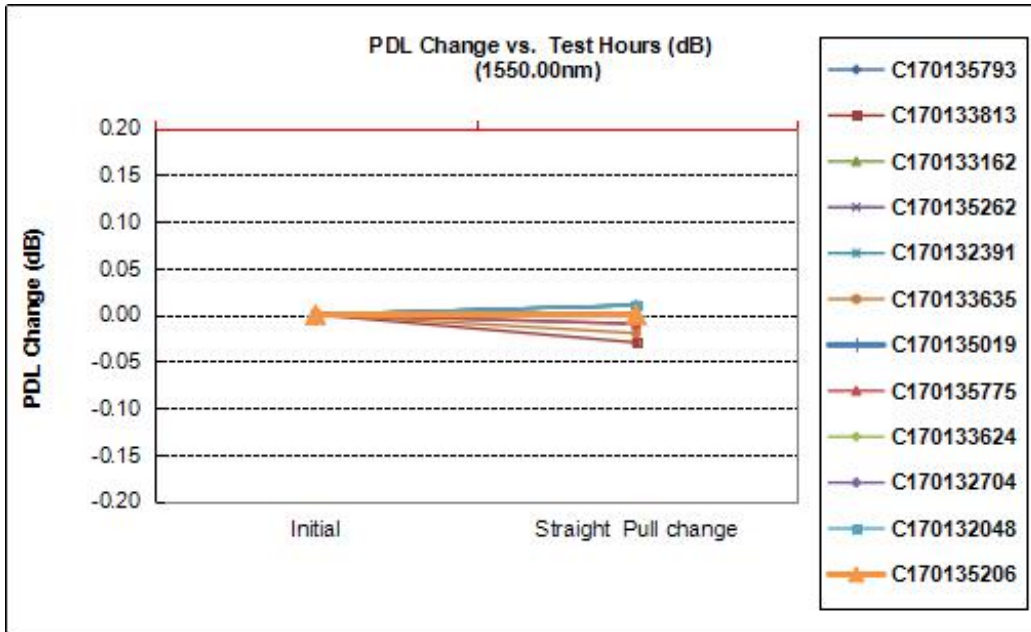


图 5 直拉测试 PDL 变化值 (0.45kg, 60sec)

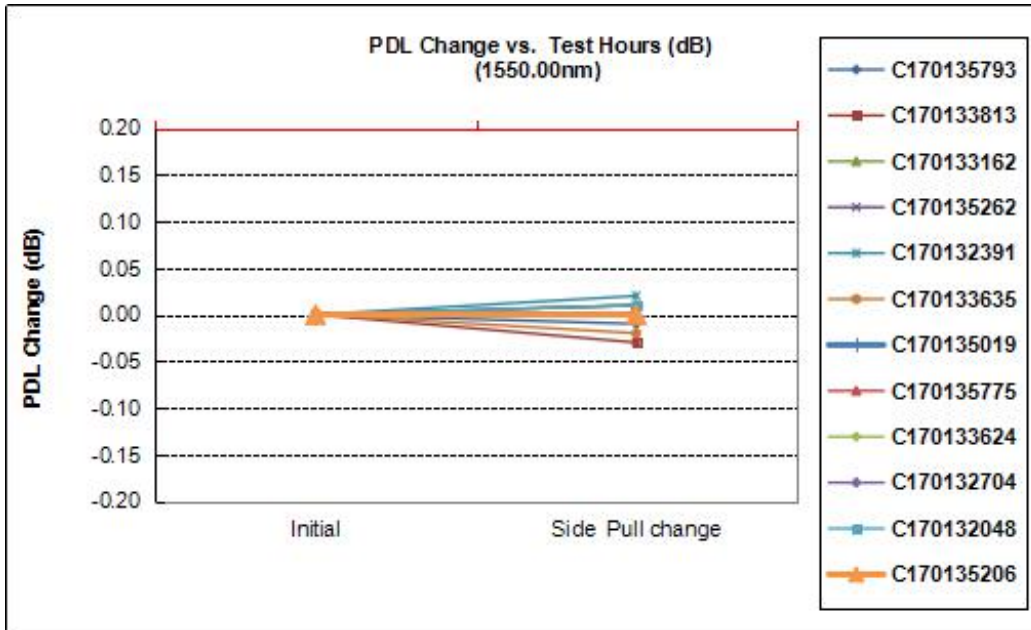


图 6 侧拉测试 PDL 变化值 (0.23kg, 90°, 5sec)

由上述客户反馈的检测结果可知，PH1010-C 制备的上述器件全部满足器件指标要求。客户综合反馈 PH1010-C 光纤在拉锥损耗方面确实比国外某知名厂商提供的某款产品好，特别是在拉制 Mini 尺寸耦合器方面更有优势。