

弯曲不敏感光纤1310nm处模场直径测试方法研究

■ 杨世信^[1], 李琳莹^[2], 俞根娥^[2], 时彬^[2], 甘露^[2], 宋志伦^[2], 康玉成^[3], 朱博^[3], 张嘉一^[3], 苗俊杰^[3], 冀忠宝^[3], 肖斌^[4]
 康宁通信(大中华区)^[1], 信息产业部有线通信产品质量监督检验中心^[2], 康宁(上海)光纤有限公司^[3], 成都康宁光缆有限公司^[4]

摘要: G.657.A2是一种优化了抗弯性能的全谱单模光纤,和传统的G.657.A1弯曲改善型单模光纤相比,它大幅提升了光纤的抗弯表现。由于这种光纤的性能满足ITU-T G.657.A2标准,同时完全符合ITU-T G.652.D标准,与已经广泛铺设的G.652标准单模光纤能无缝兼容,目前在国内FTTH的建设中得到广泛的应用。但在测试弯曲损耗不敏感G.657.A2光纤1310nm处模场直径时,特别是测宏弯性能优异的G.657.A2光纤时,如果仍然采用针对传统标准G.652光纤测试条件:即在2m试样光纤上绕一半径为30mm圈作为高阶模的滤模器,并不总能有效滤除高阶模,当高阶模未完全滤除时,会出现测试光纤的模场直径比其真实的模场直径偏小的现象。本文通过试验的方法研究分析了高阶模对模场直径的影响和可能的消除办法,多个试验结果表明:图1b和图1c所示两种测试方法^[1]完全能够满足国家标准、国际标准的测试要求,且两种方法测试模场直径的均值无显著差异($p < 0.05$)。由于G.657.A2光纤标准要求 $\lambda_{cc} \leq 1260\text{nm}$,可以保证22m光纤或光缆试样的“对应截止波长” $\leq 1260\text{nm}$,故用图1c条件可测得正确的1310nm处MFD值。

关键词: 弯曲不敏感单模光纤; 模场直径; 滤模器; 测试

Doi:10.3969/j.issn.1673-5137.2012.06.005

1、引言

现行国家标准GB/T15972-45-2008“光纤试验方法规范 第45部分:传输特性和光学特性的测量方法和试验程序-模场直径”在4.5节“高次模滤模器”中明确要求如下:

“为确保样品在测量波长上单模工作,应采用滤模器滤除高阶模。通常对被试光纤绕一半径为30mm的单圈或加入其它类型的滤模器”^[2]。5.1条“试样长度”中规定:“对于方法A(直接远场扫描法),方法B(远场可变孔径法)和方法C(近场扫描法),试样应是长度为 $2\text{m} \pm 0.2\text{m}$ 的单模光纤”。

而这与IEC 60793-45-2001-07中5.1“试样长度”的规定并不完全相同,IEC 60793-45-2001-07规定如下:方法A,B和C的试样应为一已知长度,典型长度为 $2\text{m} \pm 0.2\text{m}$ ^[3]。即IEC标准允许使用其它已知长度试样测试模场直径,而没有要求必须或“应”采用 $2\text{m} \pm 0.2\text{m}$ 的试样。

2、测试方法与测试条件

用PK2200的远场可变孔径法测试1310nm处模场直径,并定义在不变动相应模场直径测试的试样光纤布置条

件下,将模场直径测试端面移动至截止波长测试单元,用多模参考方法测试相对应的截止波长,作为本文中的“对应截止波长”。

图1b和图1c是我们推荐的G.657.A2光纤MFD的测试方法,而图1a则是标准G.652光纤通常推荐的测试方法^[3]:

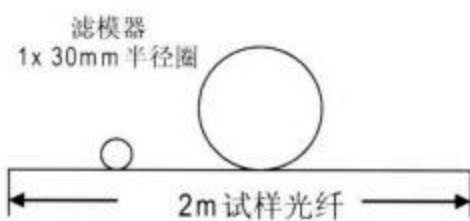


图1a: 标准G.652单模光纤测试方法

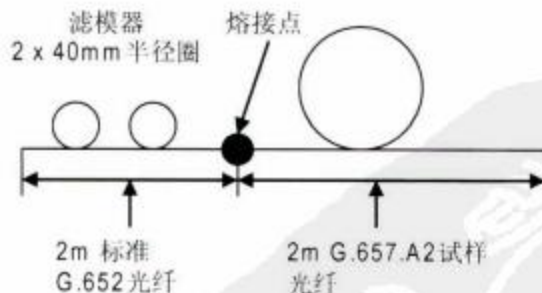


图1b: 熔接2米标准G.652作滤膜器测试G.657.A2光纤方法



图1c: 22米G.657.A2试样光纤测试方法

3、高阶模的影响试验分析

3.1 不同测试条件下测试同一光纤试样相同端面处模场直径

直径

为了了解在图1a、图1b和图1c三种不同测试条件下测量G.657.A2光纤1310nm处MFD的差异和引起差异的原因，进行了如下两个试验：

试验一：MFD和对应截止波长随试样长度变化试验。

试样要求：测试试样为两段22m G657.A2光纤，样品光纤A的 $\lambda_c < 1310\text{nm}$ ，样品光纤B的 $\lambda_c \geq 1310\text{nm}$ 。

试验步骤：

1.按图1c所示方法重复测试22m A、B试样模场直径和“对应截止波长”各10次。

2.保持MFD的测试端面不变，从22m试样长度开始测试同一样品测试端面的MFD和其“对应截止波长”。完成一段试样长度的测试后，从光注入端截除2m，重复以上测试，直至最后2m。每次MFD测试时，采用在注入端附近的光纤试样上绕一半径为30mm的圈作为滤模器。当测试至最后2m试样时，试样的长度和滤模的方式完全符合GB/T15972-45-2008推荐的要求即满足图1a的测试方法要求。

3.在最后2m试样长度处重复测试MFD值和其“对应截止波长”10次。

试验数据：如图2和图3。

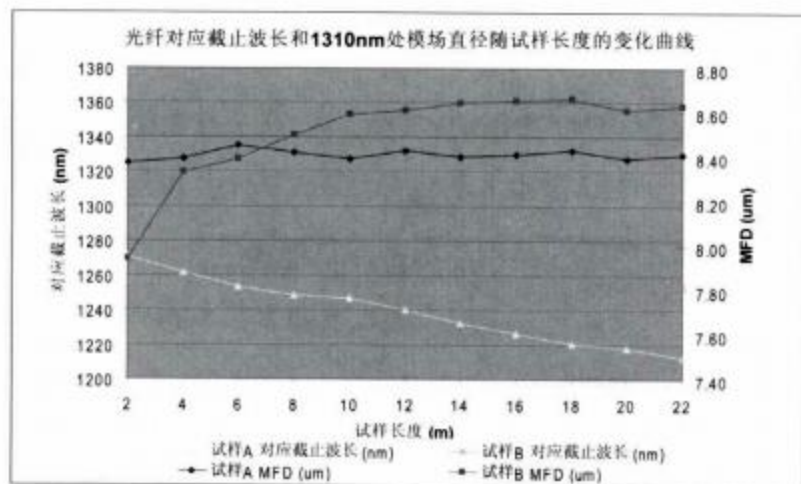


图2：A、B试样1310nm处模场直径和对应截止波长随试样长度变化曲线

试验二：采用图1b方法测试G.657.A2光纤的模场直径

样品要求：试样C：一段2m G.652.D光纤熔接一段2m G.657.A2的试样光纤，试样光纤的2m光纤截止波长 $\lambda_c < 1310\text{nm}$ 。试样D：一段2m G.652.D光纤熔接一段2m G.657.A2的试样光纤，试样光纤的2m光纤截止波长 $\lambda_c \geq 1310\text{nm}$ 。

滤模器：采用图1b所示，在2m G.652.D引入光纤上绕2个40mm半径的圈作滤模器

试验步骤：保持试验1所用试样A和B的2m试样原测试端面不变，按图1b的测试条件要求各熔接一段2m标准G.652.D光纤并绕2个40mm半径的圈以滤除高阶模分别作为试样C和试样D，重复测试试验1中相同试样的测试端面处MFD和其“对应截止波长”10次。

试验数据：用图1中对应的3种测试方法分别测量A、B试样光纤相同端面1310nm处的模场直径，测试结果的10次平均值数据如图3所示。

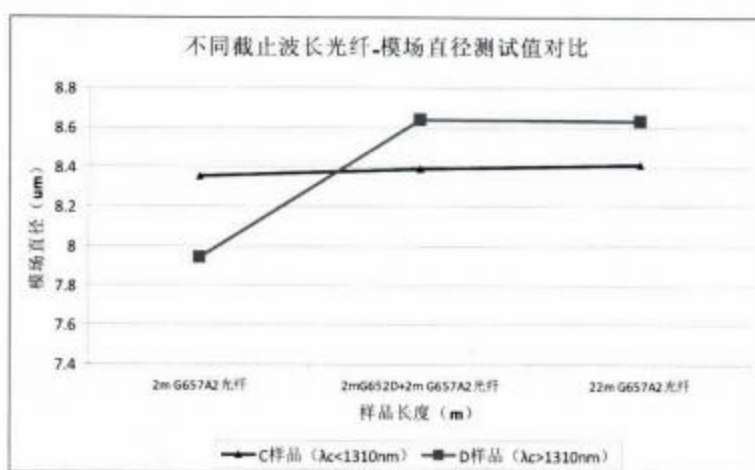


图3 采用图1中三种测试方法测试G.657.A2光纤的模场直径

试验结果与分析：

由图2所示，试样A，在22m试样长度时其“对应截止波长”小于1310nm测量波长，为1213nm，在2m试样长度时“对应截止波长”也小于1310nm测量波长，为1271nm，因此，两种长度下均可以保证在1310nm测量波长上为单模工作。但统计检验表明2m长A试样与22m长A试样测试的MFD均值存在显著差异 ($p < 0.05$)，MFD均值偏差为 $-0.06 \mu\text{m}$ 。

试样B的“对应截止波长”表明在22m试样长度测试模场直径时其“对应截止波长”小于1310nm测量波长，为1254nm，可以保证在1310nm测量波长上为单模工作，反之，在2m试样长度测试时由于“对应截止波长”大于1310nm，为1359nm，因此无法保证在1310nm测量波长上为单模工作，不能满足模场直径测试波长上基模传输的要求，模场直径测试会受到高阶模的影响产生明显的偏差，小于正常测试均值，统计检验表明2m长B试样与22m长B试样测试的MFD均值存在显著差异 ($p < 0.05$)，偏小 $0.69 \mu\text{m}$ 。

对光纤截止波长大于或小于1310nm的样品，高阶模对

模场直径测试值的影响会随光纤的“对应截止波长”的不同而产生不同的影响，但随光纤试样长度的增加而减小。由于G.657.A2光纤标准要求 $\lambda_c \leq 1260\text{nm}$ ，可以保证22m光纤的“对应截止波长”小于1310nm，故用图1c条件可测得正确的1310nm处MFD值。

试验二中，C、D两个试样的“对应截止波长”都远小于测试波长1310nm，分别为1096nm和1129nm，达到了1310nm测试波长处基模传输的要求，可见增加标准G.652光纤做为引导光纤，可以保证滤模器的输出端在测试波长1310nm处为基模，良好的熔接将基模注入待测2m G.657.A2光纤试样中，保证了MFD的测试要求^[4]。统计检验表明：与C和D相同的MFD测试端面，在图1b与图1c条件下的所测结果均值无显著差异（ $p > 0.05$ ），而采用图1a测试条件所得均值与图1b与图1c两种测试条件的均值均有显著差异（ $p < 0.05$ ）。

3.2 注入光功率沿光纤试样长度变化分析

为了进一步了解图1中三种测试方法测试相同G.657.A2光纤试样在1310nm处模场直径时存在图1a测试的MFD均值与图1b与图1c方法测试均值存在统计检验的显著差异（ $p < 0.05$ ）的原因，进行了如下试验：

试验三：对5个光纤试样，在距光纤注入端不同长度处依次剪断2m光纤测试对应光功率变化值。

样品与滤模形式要求见表1：

表1：样品要求与滤模形式

试样编号	光纤类型	长度(m)	衰减系数(1310nm) (dB/km)	2m试样光纤截止波长/最后2m试样“对应截止波长”(nm)	滤模形式
E	G.657.A2	22	0.33	$\geq 1310 / < 1310$	在待测试样前熔接2m G.652.D光纤作引入光纤并按图1b所示绕2个40mm半径圈
F	G.657.A2	22	0.34	$< 1310 / < 1310$	
G	G.657.A2	22	0.33	$\geq 1310 / \geq 1310$	
H	G.657.A2	22	0.34	$< 1310 / < 1310$	
I	G.652.D	22	0.34	$\geq 1310 / < 1310$	

试验步骤：

1. 试样E、F为按图1b制作的试样，保持2m G.652.D引入光纤和2m G.657.A2试样在光注入端状态不变，从22m G.657.A2试样长度开始，分别测试每截除2m试样前后光功率变化，直至最后2m，并记录每次剪断2m后的功率变化

值。

2. 在G、H、I的22m试样上按图1a要求在距光注入端2m内绕一半径为30mm圈并保持试样状态不变，从22m长度开始，分别测试每截除2m试样前后光功率变化，直至最后2m，并记录每次剪断2m后的功率变化值。

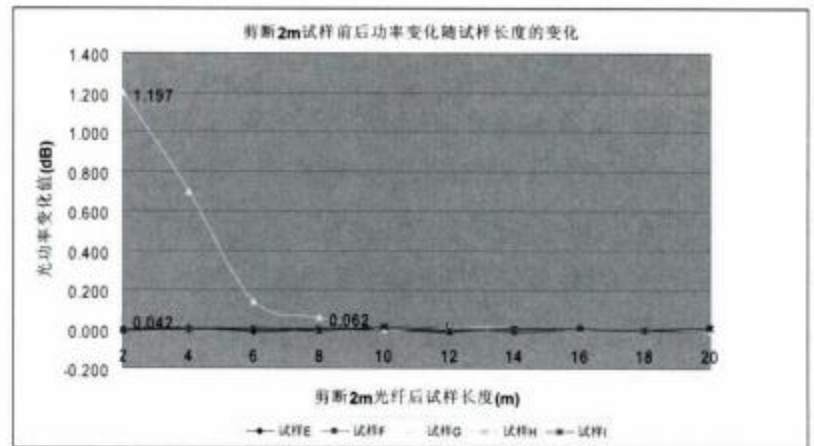


图4 剪断2m试样前后光功率变化随试样长度变化曲线

试验结果与分析：

对只有基模传输、衰减系数均匀一致的光纤而言，剪断2m光纤前后，各点测试的光功率变化值应该一致，为对应2m光纤的损耗。对1310nm处衰减系数为0.33dB/km和0.34dB/km的光纤，2m光纤损耗值为：0.00066dB和0.00068dB。而实际测试结果如图4所示。E、F、I三试样所有测试结果在最大值为0.014dB以下区间波动，该最大值包含2m光纤试样衰减和测试设备的测试误差和光纤测试端面质量的影响。但G试样（ $\lambda_c \geq 1310\text{nm}$ ）从最后8m开始，测试值从0.062dB异常增高到1.197dB远高于0.00066dB。高出正常范围的光功率变化表明：试样G在 $\leq 8\text{m}$ 的试样长度内有明显的高阶模功率影响。虽然H试样的 λ_c 和最后2m试样的“对应截止波长”都 $< 1310\text{nm}$ ，1310nm波长处高阶模应该处于截止状态，但测试结果显示：4m至2m处光功率变化值仍然达到0.042dB，远高于2m光纤的损耗，与试样E、F、I的测试结果亦明显不同，这一差异表明H试样在采用图1a的测试条件滤除高阶模时，2m试样处仍然会受部分高阶模光功率的影响。因此G、H试验结果表明高阶模或部分高阶模光功率的影响是试验一、二中2m试样采用图1a条件测试的MFD的均值与采用图1b和图1c条件测试MFD的均值相比偏小的原因^[5]。为了避免高阶模可能引起测试误差，G.657.A2光纤在1310nm处MFD的测试方法推荐采用图1b和图1c所示方法，而不推荐采用图1a所示在2m试样上绕一30mm半径圈的测试条件，否则可能出现1310nm处MFD测

试值会比正确值偏小的情况。

3.3 光纤熔接验证试验

试验四，选择J、K两盘光纤样品，样品测试条件和测试数据如表2。受高阶模的影响，采用通常2m试样上作1个30mm半径的圈滤高阶模时，会测试到K试样的1310nm处MFD会比正确数据偏小，为 $7.88\ \mu\text{m}$ 与另一盘J试样在同样测试条件下的测试值偏差 $0.48\ \mu\text{m}$ 。而其两盘试样实际MFD偏差只有 $0.13\ \mu\text{m}$ 。

表2 G.657.A2光纤熔接试验试样MFD测试数据

光纤编号	光纤类型	MFD(图1a条件测试值)(μm)	MFD(图1c条件测试值)(μm)	2m光纤截止波长(nm)
样品J	G.657.A2	8.36	8.38	1274
样品K	G.657.A2	7.88	8.51	1361
模场直径不匹配值(μm)		0.48	0.13	

用以上两盘光纤做熔接试验，其接头平均损耗OTDR双向测试值的平均值为 0.02dB ，而接头损耗的单向OTDR测试值分别为 0.14dB 和 -0.11dB 。按图1a方法测试的 $8.36\ \mu\text{m}$ 和 $7.88\ \mu\text{m}$ 的模场直径值计算，接头损耗的单向OTDR测试值应超过 0.27dB 或小于 -0.25dB 。但试验数据并非如此。该试验证明：G.657.A2光纤，尤其是 $\lambda_c \geq 1310\text{nm}$ 的光纤，宜采用22m进行测试，以得到正确的1310nm处的MFD值。

3.4 用蝶形光缆和蝶形光缆中光纤测试模场直径

试验五，用图1c方法、或在图1c方法的基础上加绕2个40mm半径圈的方法测试试样长度为22m G.657.A2蝶形光缆和对应蝶形光缆中的22m光纤在1310nm处的模场直径。

表3 G.657.A2蝶形光缆样品和光纤要求及滤模形式

试样编号	样品类型	长度(m)	2m光纤截止波长(nm)	滤模形式	注
L	蝶形光缆	22	< 1310	如图1c	L、M、N、O采用相同光纤试样并保持MFD测试端面不变
M	蝶形光缆	22	< 1310	在光注入端和测试端各绕1个40mm半径圈	
N	光纤	22	< 1310	如图1c	
O	光纤	22	< 1310	在光注入端和测试端各绕1个40mm半径圈	
P	光纤	22	≥ 1310	如图1c	P、Q采用相同光纤试样并保持MFD测试端面不变
Q	光纤	22	≥ 1310	在光注入端和测试端各绕1个40mm半径圈	

试验步骤：按表3中滤模器形式要求，重复测试所列样品在1310nm处MFD值10次和“对应截止波长”，数据如下表4。

表4 22m试样在1310nm处MFD测试结果

试样编号	L	M	N	O	P	Q
10次平均MFD(μm)	8.43	8.43	8.43	8.44	8.78	8.79
Ssd	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
对应截止波长(nm)	1248	1246	1249	1246	1247	1246

试验结论：表3可以看出，因为满足G.657.A2光纤的 $\lambda_{cc} \leq 1260\text{nm}$ ，故在表3所示22m试样各种条件下测试1310nm处的MFD值时，“对应截止波长”都小于1310nm，且试样光纤长度远大于2m试样长度，可以充分衰减掉高阶模，保证测试波长上只有基模传输，故都能够测试到正确的1310nm处模场直径。

4、结论与推荐的标准试验方法

如图1a，国标4.5条推荐在被试2m光纤上绕一半径30mm单圈的方式去除高阶模的测试条件对常规的抗弯性能并不优越的标准G.652光纤是合理的，但是由于商用的测试设备通常采用满注入的光耦合方式，会激发除LP01传输基模之外的高阶模，实际测试中发现，对弯曲性能好的G.657.A2光纤，绕与不绕30mm半径的圈对滤除高阶模的影响很小，或无影响，这是因为抗弯性能好的G.657.A2光纤并不总能通过绕30mm半径的圈滤除高阶模，出现测试结果重复性差、测试1310nm处模场直径值偏小的现象。多家品牌的G.657.A2光纤产品的测试结果也证明了这一现象的存在。

为了避免高阶模对测试G.657.A2在1310nm处模场直径的影响，推荐采用图1b或图1c所示方法测试1310nm处模场直径。考虑测试模场直径的准确性与方便性的要求，图1c所示的方法简单、易行。

参考文献

- [1] Corning Application Note, May 2012, "Measurement Considerations for Corning®ClearCurve®LBL Optical Fiber and Corning®ClearCurve® ZBL Optical Fiber".
- [2] GB/T15972-45-2008 "光纤试验方法规范 第45部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序—模场直径"
- [3] IEC 60793-1-45, "Measurement methods and test procedures— Mode field diameter", First Edition, 2011-07
- [4] ITU-T G.650.1, "Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable", (07/2010)
- [5] K. Nakajima, J. Zhou, K. Tajima, C. Fukai, K. Kurokawa, and I. Sankawa 's paper of "Cutoff Wavelength Measurement in a Fiber With Improved Bending Loss", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 16, NO. 8, AUGUST 2004.