

# G.657 光纤 $\lambda_{cc}$ 测试条件研究

## 0 引言

G.657 弯曲损耗不敏感光纤在当前乃至今后一个时期的光纤接入网包括 FTTx 等技术中已经和将有广泛的应用。作为单模光纤，截止波长是一项重要的特性参数，它对于应用而言会直接影响信号传输质量。所以包括 G.657 光纤在内的所有单模光纤，无论设计还是应用，都十分重视这项参数，由此对这项参数的测试也备受关注。由于 G.657 光纤相比于其它单模光纤的抗弯性能(bending-loss insensitive nature)对于目前为止所采用的截止波长标准测试方法中的技术具有关键的影响，所以对此进行深入探讨十分必要。

## 1 技术背景

ITU-T 于 2006 年首次颁布了 G.657 弯曲损耗不敏感光纤建议书，作为该光纤的技术规范，其中包括成缆光纤截止波长  $\lambda_{cc} \leq 1260\text{nm}$ 。此后 2009 年该建议书的新版也有如此规定。众所周知，一般对于成缆使用的光纤，截止波长更重要的是  $\lambda_{cc}$ ，因为只有  $\lambda_{cc}$  决定光缆的单模运行和宏弯损耗性能。

从宏弯性能角度，包括 G.652 光纤在内的相对于弯曲损耗不敏感特性的光纤，为改善成缆光纤的宏弯损耗性能，将光纤截止波长  $\lambda_c$  设计成大于工作波长，而缆结构对光纤的弯曲作用，截止波长变短至小于工作波长，不至于比工作波长短太多而降低宏弯损耗性能。基于上述情况，标准中专门规定了成缆光纤截止波长  $\lambda_{cc}$  的测试方法。按当时光纤产品研发进程，该测试方法包括测试条件事实上是针对诸如 G.652 之类非弯曲损耗不敏感光纤的，而用于弯曲损耗不敏感光纤，由于测试方法采用的技术原理本身就与光纤的弯曲有关，因此在测试样品弯曲状态和条件上需要有针对性的研究，而并非如目前标准中仅在进行参考或基准传输功率 (reference transmitted power) 测试时对 G.657 光纤的情况作区别规定 (不采用多模光纤作为基准测试时)，如在单模样品上打更小直径的圈；此外，对基准传输功率测试建议采用多模光纤的方案。

以下将对本方法关键点即测试样品状态要求进行讨论。

## 2 基本概念

众所周知，单模光纤单模运行条件由光纤归一化频率

$$V = (2\pi a n_1 / \lambda) NA \quad (1)$$

决定。显然，当诸如芯半径  $a$ 、芯折射率  $n_1$  和  $NA$  等光纤结构参数确定之后，改变光纤中传输光的波长将改变  $V$  值，而  $V$  值对应光纤中传输模式的情况。相对于基模 (fundamental mode)  $LP_{01}$  模传输，第一高阶模  $LP_{11}$  模的传输和截止对应于光纤中传输的总功率的上升和下降。ITU-T G.650.1 规定的  $\lambda_{cc}$  标准测试方法采用的就是基于上述原理的“传输功率技术 (transmitted power technique)”。

从该方法的基本原理出发，我们进一步论述光纤宏弯产生的作用，以及对于不同的光纤（主要指宏弯特性不同）这种作用的差异，从而探讨作为  $\lambda_{cc}$  测试条件对弯曲损耗不敏感光纤适用性考虑的必要性。

由光纤归一化截止频率  $V_c$  可导出截止波长：

$$\lambda_{cf} = (2\pi a n_1 / V_c) NA \quad (2)$$

由此可见，如果改变光纤有效结构参数，则将改变实际  $\lambda_{cf}$ 。对于光纤成缆以后的情况，由于光纤受到某种弯曲，实际上改变了光纤有效结构参数（主要是  $NA$  或折射率分布），从而使  $\lambda_{cf}$  变为  $\lambda_{cc}$ ，即截止波长变短了，这就是光缆截止波长及其意义。不言而喻，对于不同的光纤设计（结构参数），同样弯曲条件产生的光纤有效结构参数改变是有差异的，所以 ITU-T G.650.1 截止波长测试方法中，基准 (reference) 测试采用单模光纤试样上环圈弯曲的方法 (方法 a) 时对 G.657 光纤提出更小半径的环圈，或建议采用方法 b)，即采用多模光纤，因为采用方法 a) 可能不充分 (adequate)。实践证明，这项针对 G.657 光纤的规定十分必要，然而作为能够适用于 G.657 光纤的完满测试方法，同时应充分考虑恰当规范测试样品的状态，即模拟成缆及实际安装使用的情况。这是本文讨论的问题关键。

之前规定的测试样品是采用 22m 的光缆或同样长度的光纤，试样两端各环一个直径为 80mm 的圈，模拟实际使用中接头盒贮纤的弯曲条件。此外，后者中间部分环成直径不小于 280mm 的圈。对于包括 G652 光纤在内的非弯曲损耗不敏感光纤，该技术规范大致反映了光缆结构和安装使用的实际情况，因而在此规范下得到的截止波长被定义为  $\lambda_{cc}$ 。

对于 G657 光纤的应用背景而言，包括室内布线在内的光纤接入网应用，其最重要的一个特点就是小曲率半径的弯曲。由此，现有的 ITU-T G657 建议书对于该光纤宏弯特性的评估采用的最小弯曲半径为 5mm（还包括 7.5mm、10mm 和 15mm）。在这种应用场合，这样的弯曲半径将最终影响光缆截止波长，因此应在测试方法中反映该影响因素。如前所述，对于 G657 光纤，能够实际改变其有效结构参数的弯曲半径应比对于 G652 光纤的 40mm 小得多，如 15mm 乃至 5mm。这就是重新考虑适用于 G657 光纤的测试条件的出发点。

### 3 试验验证和分析

对于 G657 光纤之前的非弯曲损耗不敏感光纤，在 ITU-T G650.1 规定的试样状态安排中，诸如直接采用光缆或光纤，包括 22m 长度、直径 140mm 的环圈（当采用光纤时）和光缆敷设安装时的弯曲（接头盒中直径 80mm 的贮纤环圈）等，我们的测试研究表明，影响结果的主要因素是直径 80mm 的圈。这是由于实际改变光纤有效结构参数的是直径 80mm 的弯曲；但同样的试样状态条件，对于 G657 光纤， $\lambda_{cc}$  与  $\lambda_{cf}$  却没有什么差别。对此我们以一根  $\lambda_{cf}=1293\text{nm}$  的 G657 光纤，采用现标准条件和其它参照条件进行了测试比较，结果见表 1。

**表 1 不同条件下 G.657 光纤  $\lambda_{cc}$  测试结果比较**

试样测试标准环圈直径 mm	试验圈数	$\lambda_{cc}\text{nm}$
按 ITU-T G.650.1 测试方法	2	1291
按 ITU-T G.657 光纤属性“宏弯损耗” 评估要求	1	1291
20	1	1292
15	1	1290
10	1	1286
10	5	1264

注：基准测试采用 ITU-T G.650.1 方法 b) 多模光纤。

表 1 中的测试研究根据 G657 光纤“宏弯损耗”的评估要求选择了环圈直径。这是由于目前 ITU-T G657 建议书中光纤宏弯性能要求是基于具体应用场合（光纤接入网室内布线）的特点，评估宏弯损耗的弯曲半径在 5mm~15mm 之间。鉴于光纤第一高阶模  $LP_{11}$  模截止的波长取决于光纤弯曲状态（包括半径），所以根据上述应用特点，沿用原先包括 80mm 直径圈在内的试样测试状态对于 G657 光纤是完全不适合的。G657 光纤光学波导结构设计上考虑了改善宏弯特性，具体表现在（2）式中的 NA 提高。作为光纤的结构参数，提高后的 NA 将有对应的弯曲条件使之改变为对应于第一高阶模  $LP_{11}$  模在同样波长下截止的有效 NA。该弯曲条件主要包括更小的曲率半径。

### 4 对于测试方法的建议

如上所述，本文探讨的问题源于 G657 弯曲损耗不敏感光纤的诞生以及其应用场合的小曲率弯曲特点。作为单模光纤特征参数——截止波长对于保证光传输性能的重要性不言而喻。原先针对包括 G652 光纤在内的非弯曲损耗不敏感光纤截止波长标准测试方法中，试样状态的有关规定已不适用。而这恰恰又是十分重要的，因为对于  $\lambda_{cc}$  的测试，必须考虑光缆实际敷设安装条件。目前，在 ITU-T G657 光纤建议书中，基于这类光纤的应用，已经规范了相应弯曲损耗要求，即评估宏弯特性的特定弯曲半径。鉴于此，在我们研究的基础上，在标准方法中，应对试样状态参照前述要求作出规定，其中也可进一步作必要的技术验证，尽早结束目前的状态，以适应 G657 光纤  $\lambda_{cc}$  测试相对特殊性。

[ 参 考 文 献 ]

ITU. ITU-T G.650.1—2010 Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable[S]. ITU: [s.n.], 2010.