

200 μ m 小外径 G.657.A2 光纤

Q-1: 为什么要采用 200 μ m 小外径光纤?

随着光纤通信网络建设的不断发展,对于运营商而言,光缆管道路由资源问题显得越来越重要。首先,新建路由不仅要花费巨资,如一般城市通信管道的造价为 5-8 万元/孔公里,省会城市为 8-10 万元/孔公里,北京、上海、广州等一线城市的造价为 13-18 万元/孔公里,而且随着城市的发展,通信管道的造价会越来越高;其次,新建路由需要行政审批,运营商不能控制建设进度,一旦错过,今后几年内都无法在同一地段得到管道资源。尤其在一些成熟的商务写字楼密集的地区,市政规划、道路开发等早已定型,没有合适的时机,根本无法建设新的通信管道。因此,充分利用现有路由资源,在目前现有的管孔资源中敷设更多的光纤成为迫切需求。

适应管道资源利用最大化的需要,光缆小型化成为新的发展趋势:如果能够将外径为 250 μ m 的光纤的直径降低到 200 μ m,得

到具有同等光纤性能的小外径光纤,则光缆外径可以减小,就在现有的管孔资源中敷设更多的光纤,增加管道内光纤密度,提高通信管道空间的资源利用率,从而降低运营商整体建设成本;同时,光缆外径减小后重量也相应减轻,更易施工。

Q-2: 200 μ m 小外径光纤有哪些实现方法?

减小光纤外径有两条途径:(1)减小光纤玻璃部分的直径;(2)降低光纤涂覆层的厚度。

改变光纤玻璃部分的尺寸(例如将光纤包层直径由 125um 降低到 75um),虽然不会影响光纤的光学传输,但是会造成光纤与现有通用的玻璃包层直径为 125 μ m 的常规单模光纤不相兼容,且不能使用现有的常规的熔接设备和连接设备对这种类型的小外径光纤进行连接。所以,我们不建议采用改变玻璃部分直径的方法,而推荐通过降低涂覆层厚度的方法来实现减小光纤外径的目的。

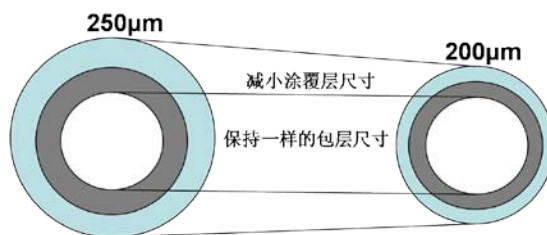


图 1 光纤外径尺寸减小的示意图

在降低光纤涂覆层厚度的同时,我们通过优化光纤结构设计,使用低模量的涂料和优化涂覆工艺,保证了光纤相关性能达到原有 250 μ m 涂覆层的水平。

Q-3: 小外径光纤如何能增加光纤芯密度?

这里我们用具体的数据来说明小外径

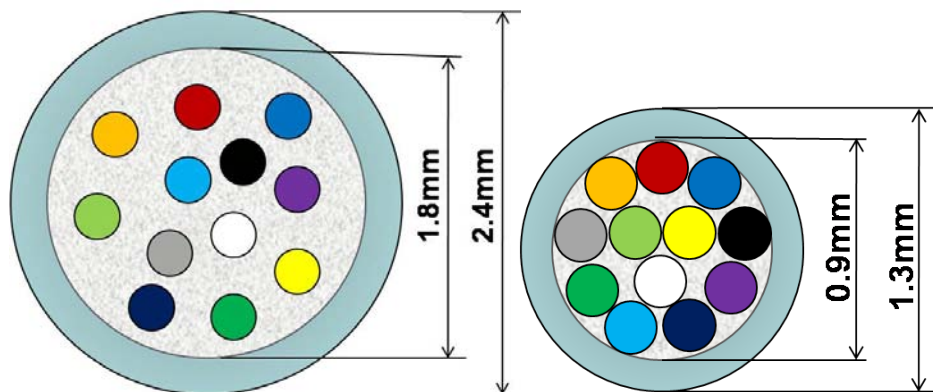
光纤是如何来增加光纤芯密度的。

通常可以使用以下公式计算光缆中光纤的等效直径: $D = 1.16 \times n^{1/2} \times df$

其中: D 为光缆中光纤的等效直径; n 为光纤数量; df 为单根光纤的直径

以 12 根 250 μm 光纤为例，其等效直径为 1.01mm，如果采用小外径光纤，光纤直径由 250 μm 减小到 200 μm，光缆中光纤的等效直径将会降到 0.8mm。由于光纤等效直径降低，在保持原有光缆强度的基础上，光缆

套管尺寸可以降低，从而可以有效地降低光缆尺寸和重量。如果套管外径减小到 1.3mm，光纤的占空比将由 23%迅速提高到 62%，以 1.3mm 套管为单元构造的光缆尺寸将大幅度减小。



2.4mm 光纤松套管内含 12 芯 250 μm G.652 光纤 1.3mm 光纤微单元内含 12 芯 200 μm G.657.A2 光纤

图 2. 内含 12 芯不同外径的光纤在松套管中的套管外径对比

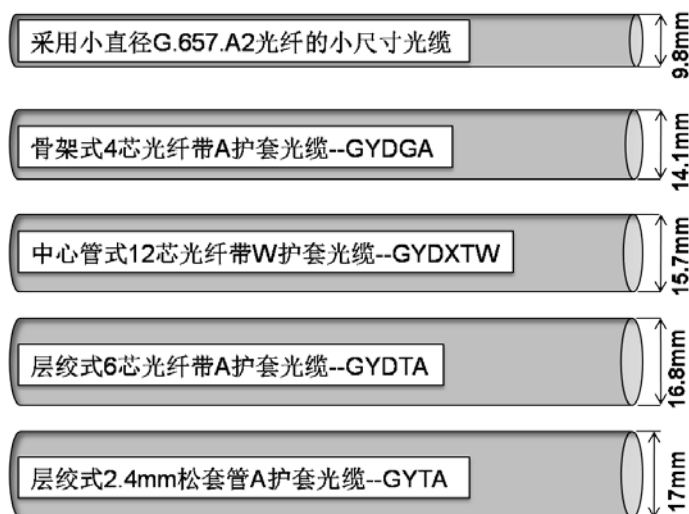


图 3. 不同结构管道敷设光缆的直径对比

图 3 和表 1 显示的是采用 1.3mm 套管中放置 12 根 200 μm 小外径光纤生产的 144 芯管道敷设光缆与其它结构 144 芯管道敷设光缆的直径对比。如表 1 数据显示，采用 200 μm 小外径光纤的光缆尺寸得到大幅度

的下降，相对 1.7mm 套管的光缆，横截面积又下降了 45%；与 2.4mm 套管光缆相比，横截面积降低了 66%，原本只能敷设 36 芯（10mm 左右）普通光缆的管孔能一次性敷设 144 芯光纤，管孔利用率提高了 4 倍。

表 1. 不同结构管道敷设光缆的直径对比

光缆芯数	单元数	套管厚度[mm]	光缆外径[mm]	截面积降低率
		2.4	17	0%
122—144	12	1.7	13.4	38%
		1.3	9.8	66%

从表 2 看出：如敷设常规的微缆，在一个规格为 40/33mm 的外保护管中，最多可容

纳 5 根 10/8 mm 的子管，所能敷设光纤的最大芯数为 360 芯；如敷设小外径光纤的微缆，

则可在同样的子管中敷设 5 根 96 芯总计 480 芯的光缆，光纤芯密度增加 33%；如将 40/33 的外保护管中的子管改为 7 根 8/6 mm，则可

敷设 7 根 72 芯总计 504 芯的光缆，光纤芯密度增加 40%。

表 2. 采用不同外径光纤的光缆直径对比

常规 250 μm 外径光纤层绞式微缆			采用小外径 G. 657. A2 光纤的光缆		
芯数	光纤直径 [mm]	适用微管内外径 [mm]	芯数	光纤直径 [mm]	适用微管内外径 [mm]
<60	5.6	10/8	≤ 72	≤ 5	8/6
62-72	6.2	10/8	74-96	5.8	10/8
74-96	7.3	12/10	98-120	6.7	12/10
98-144	9.5	16/13.5	122-144	7.5	12/10

由此可见，采用 200 μm 小外径光纤的光缆在提高光缆管道的利用率上相对普通光缆有了质的飞跃。

Q-4: 是否可以采用传统的 G. 652 光纤通过减小涂覆层厚度的方法来制备 200 μm 的小外径光纤？是否所有 G. 657 剖面设计都可以通过减小涂覆层厚度的方法实现小外径光纤的制造？

从上面的介绍中我们发现，将光纤外径减小后可以有效提高光缆中的光纤密度，降低铺设成本。我们知道在价格上，普通 G. 652 相对于 G. 657 要低得多，那是否可以使用成本较低的 G. 652 光纤来制造小外径光纤呢？下面我们从 200 μm 小外径光纤的微弯和宏弯性能两方面来进行说明。

在实际的光纤生产和设计中，我们发现，光纤的剖面设计和涂覆层厚度以及涂覆工艺是影响光纤微弯的最重要因素。为了比较剖面设计以及涂覆层厚度对微弯性能的影响，我们将外径分别为 250 μm 和 200 μm 的 G. 652 同 G. 657 两个概念的光纤做了一组微弯性能的对比试验。本实验中，G. 657 两个概念的光纤分别是：G. 657 概念 1 光纤，外

径为 200 μm ；G. 657 概念 2 光纤为长飞小外径 EasyBand® Plus-Mini 光纤，外径 200 μm ，它相对概念 1 光纤结构上进行了进一步优化。

通过相关实验我们发现，如图 4，将常规的 G. 652 光纤外径减小到 200 μm 后，微弯附加衰减值会随着波长大幅度增加，在 1700nm 波长处微弯衰减甚至可以达到 10dB 以上。根本原因是常规 G. 652 光纤没有使用特殊的剖面设计来优化光纤的宏弯和微弯性能，所以一旦将涂覆层外径降低到 200 μm ，微弯性能方面将不能满足实际使用要求。微弯附加衰减值指数级地增加，是使用常规剖面的 G. 652 光纤不能制造 200 μm 小外径光纤的原因。

长飞公司的 G. 657. A2 EasyBand® Plus 系列光纤利用特殊的光纤剖面结构来改善微弯和宏弯性能。在图 4 中，G. 657 概念 2 光纤相对 G. 657 概念 1 光纤结构优化后，微弯附加衰减值低于 G. 657 概念 1 光纤，保持在 1.5dB/km 的典型值左右。但是，结构优化对光纤剖面设计带来更大的挑战，并且显著的增加制造工艺的难度和光纤成本。

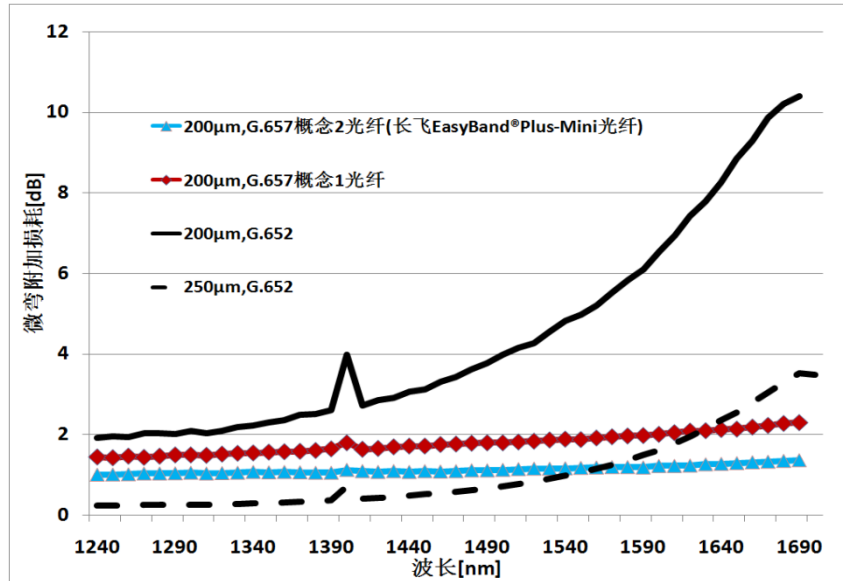


图 4. G. 652 和 G. 657 的微弯性能对比

在宏弯性能方面，长飞公司特殊的光学剖面设计和精确的生产工艺控制也保证了 200 μm 小外径 G. 657 光纤优越的宏弯性能。图 5 所示的是两个 G. 657 概念光纤在不同弯曲半径下的的宏弯附加损耗对比图。由图可

看出，长飞 EasyBand®Plus-Mini 小外径光纤 (G. 657 概念 2 光纤) 在宏弯性能上远远优于现有 ITU-T G. 657. A2 标准要求，而且优于 G. 657 概念 1 光纤。

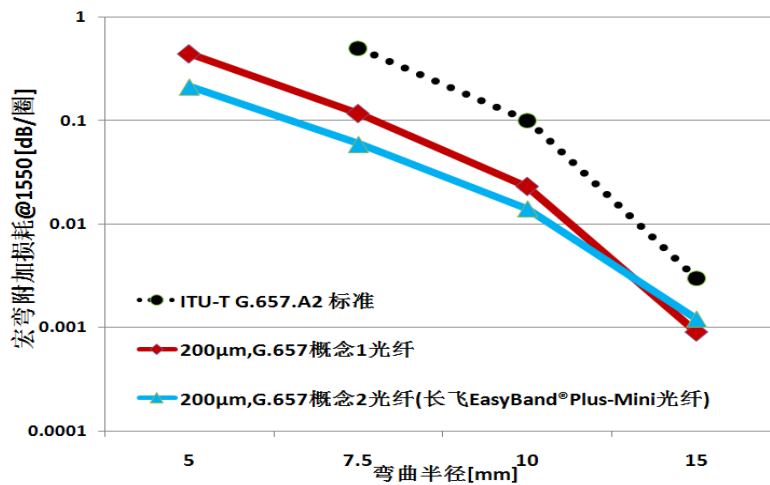


图 5. 不同下陷外包层体积的 G. 657 光纤在不同弯曲半径下的宏弯性能对比

在结构优化的基础上，我们还采用了长飞公司专有的低模量涂料，并针对小外径 G. 657. A2 光纤 EasyBand®Plus-Mini 的特点优化了涂覆工艺，从而使 200 μm 小外径 EasyBand® Plus-Mini 的各项性能可以达到 250 μm 涂覆层厚度光纤的水平。

Q-5: 减小外径后会不会影响光纤的机械性能和光纤寿命?

我们在上面的实验中已经证明了优化结构的长飞 EasyBand®Plus-Mini 小外径光

纤具有优异的宏弯性能和微弯性能。在实际使用过程中 EasyBand®Plus-Mini 小外径光纤在小弯曲半径下的机械性能也满足相关标准要求。在一般情况下，光纤的弯曲半径越小，其所受的张应力和压应力也就越大，光纤的微小缺陷在此应力的长期作用下，其断裂的几率也会增大。长期处于小弯曲半径状态下的光纤，如果其机械性能无法得到保证，那么光纤将会在使用过程中出现断裂的情况，这将会给系统传输带来严重的后果。

长飞 EasyBand® Plus-Mini 小外径弯曲不敏感单模光纤一方面采用低模量的涂层材料，有效缓冲外界施加的应力；另一方面通过工艺优化和控制，在涂层厚度和机械性能之间达到了很好的平衡。如图 6 所示，长飞一个典型的 EasyBand® Plus-Mini 小外径

光纤，经过一系列拉伸试验测试得出 EasyBand® Plus-Mini 小外径光纤在 15%的断裂概率时强度为 5.30Gpa;50%的断裂概率时强度为 5.37Gpa，M 值达到 119，均优于 G.657.A2 的标准要求。

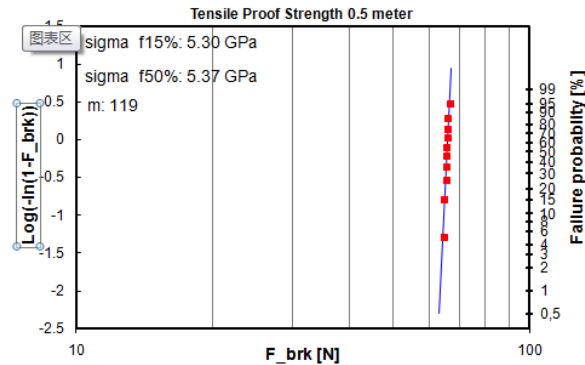


图 6. 典型拉伸测试结果

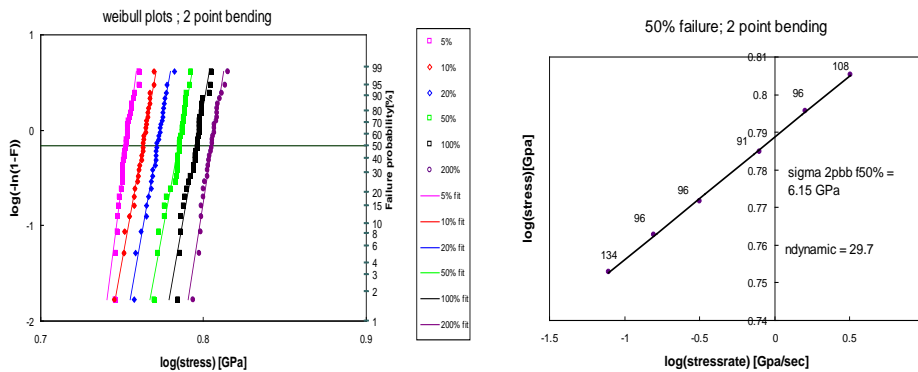


图 7. 典型两点弯曲测试结果

我们知道在小弯曲半径下， n_d 值越大则光纤的寿命越长，可靠性更高。图 7 是在两点弯曲测试下得到的 EasyBand® Plus-Mini 小外径光纤的典型的动态疲劳参数 n_d 值为 29.7。此动态疲劳参数(远远大于标准要求的 20)完全可以保证 EasyBand® Plus-Mini 小外径光纤的机械性能满足 25 年的使用要求。经过 1%应变张力筛选的 EasyBand® Plus-Mini 小外径弯曲不敏感单模光纤不仅具有良好的抗拉强度，还具有很高的抗疲劳参数 n_d 值，从而确保 EasyBand® Plus-Mini 小外径光纤在长期小半径弯曲下具有与传统光纤相当的机械性能。

Q-6: 小外径 G.657 光纤的光缆环境性能以及机械性能如何?

同时我们也研究了成缆后长飞 EasyBand® Plus-Mini 小外径弯曲不敏感单模光纤的环境性能和机械性能。图 8 描述的是一个典型的使用 EasyBand® Plus-Mini 小外径光纤的松套层绞式结构的光缆的温度循环试验结果。在 -40℃ 至 +70℃ 的温度循环过程中，各个波长的附加衰减均在 0.02 dB/km 左右，远远优于国家标准 YD/T 901-2009 中一级光纤小于 0.05 dB/km 的标准要求。

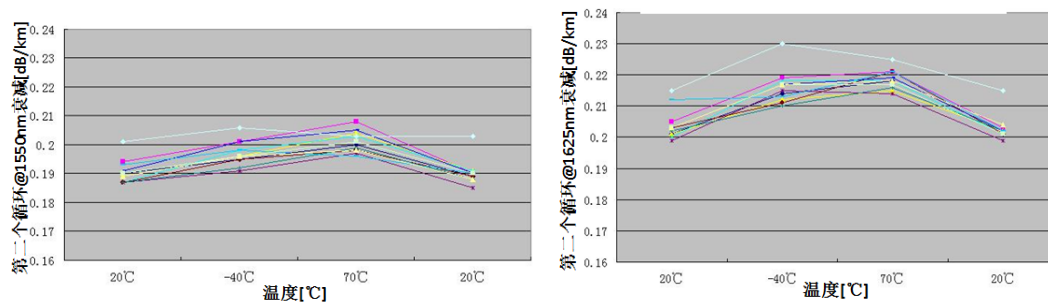


图 8. 温度循环试验结果

根据 IEC60794-1-2 标准对该结构光缆进行了多项主要机械性能试验。试验结果分别显示在下表中。

表 3. 机械性能试验结果

项目	试验方法	IEC60794-3-11 要求	结果
冲击	IEC60794-1-2 method E4	条件: 3 焦耳冲击能量, 10mm 冲击柱半径, 间距大于 150mm 的三个点各一次。	合格
		要求: 残余附加衰减小于 0.1dB@1550nm; 护套和光缆构件无目力可见开裂。	
压扁	IEC60794-1-2 method E3	条件: 1000N, 持续 1min	合格
		要求: 衰减变化小于 0.1dB@1550nm; 护套和光缆构件无目力可见开裂。	
拉伸	IEC60794-1-2 method E1	条件: 允许安装拉力 T_M 为 1km 光缆重量的 1.5 倍; 光缆长期运行张力 T_L 为 T_M 的 30%。(1km 光缆重 110kg)	合格
		$T_M=1600N$, $T_L=480N$ 。 要求: 在允许安装拉力 T_M 下, 光纤应变小于 0.33%; 在光缆长期运行张力 T_L 下, 光纤应变小于 0.05%且附加衰减小于 0.1dB@1550nm; 无残余附加衰减。	
扭转	IEC60794-1-2 method E7	条件: 2m 试样, 180° 扭转, 5 个循环 要求: 衰减变化小于 0.1dB@1550nm 且无残余附加衰减; 护套和光缆构件无目力可见开裂。	合格
反复弯曲	IEC60794-1-2 method E7	条件: 弯曲半径为 20 倍光缆直径, 反复弯曲 25 次。 要求: 护套和光缆构件无目力可见开裂。	合格

以上测试结果表明: 良好的温度循环和机械性能充分显示了具有抗弯曲特性的小外径 G. 657. A2 光纤在小尺寸套管中的安全可靠, 其也完全满足 IEC 60794-3-11 (2007) 的要求。

长飞光纤光缆有限公司
YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE COMPANY LTD
地址: 中国武汉关山二路四号
ADD: 4# Guanshan Er Road, Wuhan, China
邮编: Zipcode: 430073
电话: TEL: +86 27 67887226
+86 27 87802541
传真: FAX: +86 27 87801760
Http://www.yofc.com