

G. 657. A2 光纤在室外光缆中的应用前景

阮云芳 韩庆荣 杨晨

1. 前言

国际电信联盟 ITU-T 通过的弯曲不敏感单模光纤 G.657 标准建议的最新修订版本中，维持了 A 和 B 两个大类的整体结构，A 大类与 G.652 光纤能够完全兼容，而 B 大类在部分指标上并不要求与 G.652 光纤兼容。新标准进一步明确了抗弯曲性能和成缆细节，让光纤光缆企业的产品有了更明确的技术演进路线和价值定位。就目前 G.657 光纤的应用而言，绝大部分都使用在 FTTH 中，在室外光缆的运用中鲜有见到。该光纤的弯曲不敏感性这一独特优点没有得到充分发掘和利用。本文通过介绍国内外管孔资源现状，揭示光缆结构尺寸小型化的发展趋势，结合 G.657.A2 光纤优越特性，比较了 G.657.A2 光纤与 G.652 光纤在光缆中的对比运用，展望了 G.657 光纤在室外光缆中的运用前景。

2. 光缆结构尺寸小型化趋势

随着光纤通讯的不断深入发展，对于运营商而言，原有的光缆管道路由资源显得越来越不够充足，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，尤其如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。因此迫切需要在现有的管孔资源中敷设更多的光纤，从而催生了光缆结构尺寸小型化发展趋势。

3. 光缆结构尺寸小型化的可行性

3.1 G.657.A2 光纤的良好弯曲不敏感特性

具有良好弯曲不敏感特性且与 G.652.D 光纤完全兼容的 G.657.A2 光纤为光缆结构尺寸小型化奠定了坚实的基础。众所周知，要想降低光缆结构尺寸必须降低套管尺寸，而降低套管尺寸基本方法有两种：一是降低套管壁厚，但机械学理论指出，套管壁厚的降低直接导致光缆抗压强度的减小，因此单纯靠降低套管尺寸来达到降低光缆尺寸目的的方法不可取。二是降低套管内径，对于同等壁厚的套管而言，内径越小其抗压强度越大，在满足相同抗压强度的情况下，减小内径的同时还可适当减小套管壁厚，因此通过降低套管内径来达到降低光缆尺寸不失为行之有效的方案。然而，套管内径的减小必然会带来极限温度状况下套管内光纤弯曲损耗增加的情况，这种损耗的增加主要来自松套管内过大的余长。因此，如果使用具有更好弯曲性能的光纤，其套管内径减小的程度会更大一些。图 1 是 G.657.A2 类光纤与 G.652.D 光纤弯曲损耗对比图。

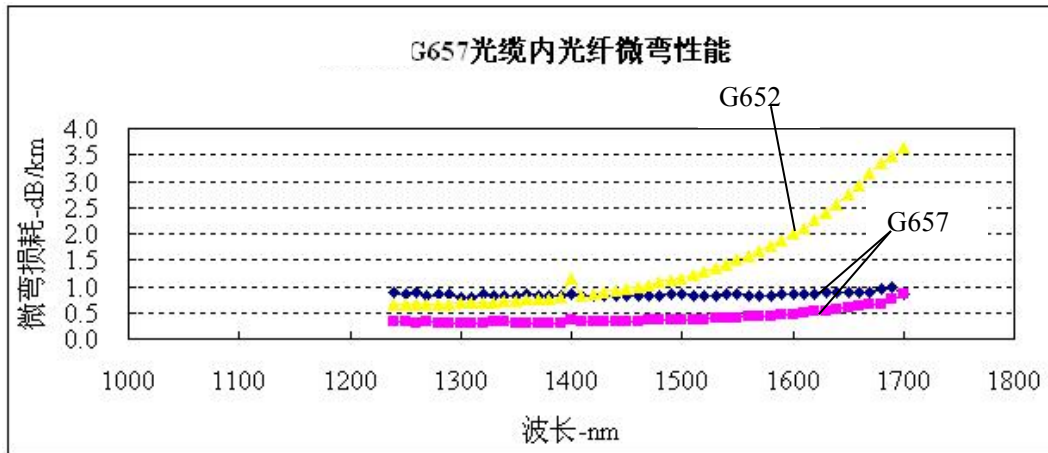


图 1. G.657.A2 与 G.652 光纤微弯性能的对比

在图 1 中，黄色曲线代表普通 G.652 光纤，蓝色和紫色曲线代表 G.657.A2 光纤，从两种光纤在套管内的抗弯曲性能对比可见：弯曲不敏感的 G.657.A2 光纤相对 G.652 光纤对降低套管直径具有巨大优势。

4. 光缆结构小型化的尺寸优势

以下是以 GYTA—xxx B6A2 光缆采用 1.7mm 套管内放置 12 根 G.657.A2 光纤，与常规 GYTA - xxx B1.3 光缆采用 2.4mm 套管内放置 12 根 G.652 光纤的光缆结构尺寸对比，见表 1

表 1 光缆结构小型化的尺寸对比

光缆芯数	单元数	护层厚度 mm	1.7mm 套管 光缆外径 mm	2.4mm 套管 光缆外径 mm	截面积降低 率 (%)
72	6	1.8	9.8	11.8	31
74—96	8	1.8	11.1	13.6	33
98—120	10	1.8	12.2	14.8	32
122—144	12	1.8	13.4	17	37
146—216	18	1.8	13.4	17	37

从表 1 可看出，采用 G.657.A2 光纤的光缆与普通光缆相比，大幅度减小了光缆的外径，

单根光缆截面积下降了 30% 以上。因此可提高光缆管道的利用率，节省光缆敷设的综合成本。

5. 光缆结构尺寸小型化的可靠性

为了检验 12 根 G.657 光纤在 1.7mm 套管

的光缆中可行性和可靠性，我们对 **5.1 GYTA-144B6A2 光缆的环境性能试验** GYTA-144B6A2 的光缆进行了各种性能试验。

表 2. GYTA-144B6A2 光缆的环境性能试验

序号	项目	指标要求和试验方法	试验结果
1	运行/储存/运输温度	-40°C ~ +70°C	合格
2	安装温度	-15°C ~ +70°C	合格
3	衰减温度特性	YD/T 901-2008 中 5.6.2	合格
3	滴流特性	70°C 环境下，光缆中无填充复合物和涂覆复合物等滴出。 GB/T 7424.2-2008 中方法 F6	合格
4	渗水特性	1m 水头加在 3m 光缆的全截面上 24 小时无水渗出。 GB/T 7424.2-2008 中方法 F5B	合格

5.2 GYTA-144B6A2 光缆的机械性能试验

表 2. GYTA-144B6A2 光缆的机械性能试验

序号	项目	指标要求	试验方法	试验结果
1	允许长期拉力	600N	YD/T 901-2008 中 5.5.2	合格
2	允许短期拉力	1500N		合格
3	允许长期压扁力	300N/100mm	YD/T 901-2008 中 5.5.3	合格
4	允许短期压扁力	1000N/100mm		合格
5	冲击	1m 高度，450g 冲锤重量	YD/T 901-2008 中 5.5.4	合格
6	反复弯曲	150N 负载，30 次	YD/T 901-2008 中 5.5.5	合格
7	扭转	±90°，10 次	YD/T 901-2008 中 5.5.6	合格
8	卷绕	密绕 10 圈，循环 5 次	YD/T 901-2008 中 5.5.7	合格
9	静态允许弯曲半径	10D (D 为光缆的外径)	——	合格
10	动态允许弯曲半径	20D (D 为光缆的外径)	——	合格

试验证明该结构完全满足行业标准 YD/T 901-2008《层绞式通信用室外光缆》的结构、传输性能、环境性能和机械性能要求。

可见,通过选用 G.657.A2 光纤来降低光缆结构尺寸,不仅可靠可行而且优势十分明显,但 G.657.A2 光纤优良的抗弯曲特性优势没有得到完全发挥。套管内光纤占据了一定的体积,特别是对于越来越小的套管尺寸,光纤所占用的空间将不容忽视。

使用公式(1)可计算出光缆中光纤的等效直径。

$$D=1.16 \times n^{1/2} \times df \quad (1)$$

D: 光缆中光纤的等效直径

n: 光纤数量

df: 单根光纤的直径

以 12 根 250μm 光纤为例,其等效直径为 1.01mm。

如果光纤包层直径不变,通过改进工艺,降低光纤涂敷层的厚度,使光纤直径由 250μm 减小到 200μm,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,不仅套管内径可降低,满足相应强度的套管壁厚也可相应降低,因此套管外径将会大幅度降低,套管外径的降低同样也会使中心加强件的尺寸减小。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。

6. 采用小尺寸 G.657 光纤光缆的结构尺寸优势急剧放大

6.1 与普通管道光缆相比

图 2 和表 3 显示的是采用 1.3mm 套管中放置 12 根小尺寸 G.657.A2 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。



图 2. 不同结构管道敷设光缆的直径对比

表 3. 不同结构管道敷设光缆的直径对比

光缆芯数	单元数	1.3mm 套管 光缆外径 mm	1.7mm 套管 光缆外径 mm	截面积降低 率 (%)	2.4mm 套管 光缆外径 mm	截面积降低 率 (%)
122—144	12	9.8	13.4	45	17	66

通过以上表格数据显示，采用 G.657.A2 小尺寸光纤的光缆尺寸得到大幅度的下降，相对原本尺寸下降很多的 1.7mm 套管光缆相比，截面积又下降了 45%，与 2.4mm 套管光缆相比，

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。

6.2 与用于气吹方式敷设的光缆直径对比

表 4. 气吹方式敷设的光缆直径对比

常规层绞式气吹微缆 (1.7mm松套管)			采用小尺寸G.657.A2光纤的 小尺寸光缆		
芯数	光缆直径 (mm)	适用微管内外径 (mm)	芯数	光缆直径 (mm)	适用微管内外径 (mm)
≤60	5.6	10/8	≤72	≤5.0	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

从表 4 可看出：如敷设常规气吹微缆，在一个规格为 40/33 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；如敷设小尺寸 G.657.A2 光纤的气吹微缆，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 的外保护管中子管改为 7 根 8/6mm，则可敷设 7 根 72 芯总计 504 芯的光缆，光纤芯密度增加 40%。

7.1 温度循环试验

由此可见，采用 G.657.A2 小尺寸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。

7. 采用小尺寸 G.657 光纤光缆的可靠性

同样为了检验 12 根小尺寸 G.657.A2 光纤在 1.3mm 套管的光缆中可行性和可靠性，我们对含有 144 芯小尺寸 G.657.A2 光纤的 GYTA-144B6A2 的光缆进行了各种性能试验。

图 3 显示的是在 1.3mm 套管中容纳 12 根小尺寸 G.657.A2 光纤的松套层绞式结构光缆在温度循环过程中，1310nm、1383nm、1550nm

和 1625nm 四个波长在-40℃ ~ +70℃ 的温度循环条件下的附加衰减变化。

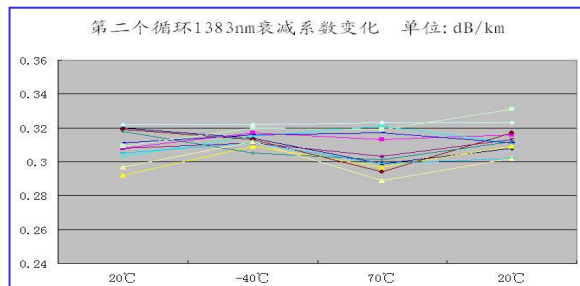
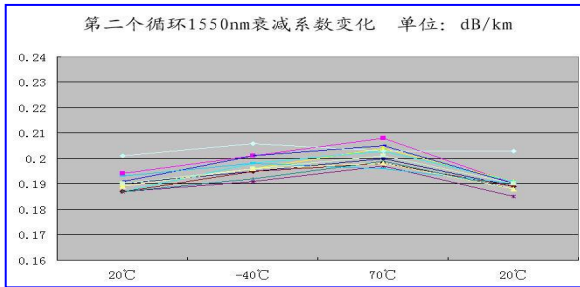
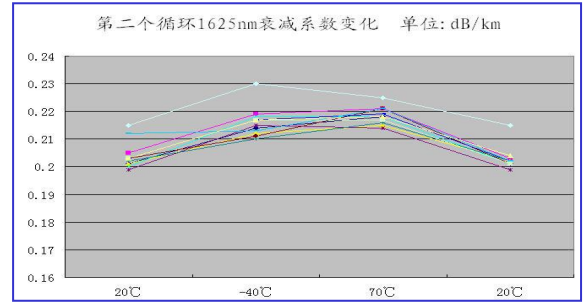
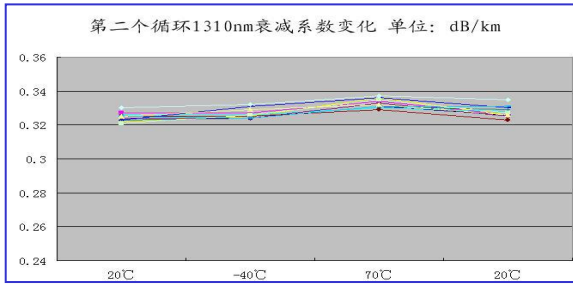


图 3. 温度循环试验结果

7.2 机械性能试验

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 5. 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。 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。	合格
压扁	IEC60794-1-2 method E3	条件：1000N，持续 1min 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。	合格
拉伸	IEC60794-1-2 method E1	条件：允许安装拉力 TM 为 1km 光缆重量的 1.5 倍；光缆长期运行张力 TL 为 TM 的 30%。（1km 光缆重 110kg）TM=1600N，TL=480N。 要求：在允许安装拉力 TM 下，光纤应变小于 0.33%；在光缆长	合格

项目	试验方法	IEC60794-3-11 要求	结果
		期运行张力 TL 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尺寸 G.657.A2 光纤的在小尺寸套管中的安全可靠。同时也完全满足 IEC 60794-3-11(2007)的要求。

8. 结论

总而言之，光缆结构一直是伴随着光网络的发展和环境的要求而发展的。日益紧张的管道路由资源和光缆敷设综合成本是光缆

结构小型化的重要动力，充分利用 G.657 光纤优良的抗弯曲性能，将其在室外小直径松套管光缆中运用，不仅能拓展 G.657.A2 光纤的应用空间，而且会使光缆结构尺寸大大降低，光纤密度显著增加，光缆重量大大减轻，光缆会更柔软，弯曲半径会更小，敷设时牵引力会更小，每单位体积的运输和储存长度更长。随着这些优势逐渐被人们所重视，相信 G.657.A2 光纤在室外光缆中的运用会有一个美好的明天。

长飞光纤光缆股份有限公司

Yangtze Optical Fibre and Cable Joint Stock Limited Company

地址：武汉市光谷大道9号（430073）

ADD: No.9 Optics Valley Avenue, Wuhan, Hubei, China(P.C.: 430073)

电话(Tel): +86 400-991-6698

邮箱(Email): marketing@yofc.com

www.yofc.com