

# G.654.E 微型光缆在骨干光缆网中的应用研究

## Research on Application of G.654.E Micro Optical Cable in Backbone Optical Cable Network

张曜晖<sup>1</sup>,赵璋卓<sup>1</sup>,王浩<sup>2</sup>,黄劲松<sup>1</sup>(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Zhang Yaohui<sup>1</sup>,Zhao Zhangzhuo<sup>1</sup>,Wang Hao<sup>2</sup>,Huang Jinsong<sup>1</sup>(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China;2. China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China)

### 摘要:

G.654.E 微型光缆作为一种全新的光缆类型,尚未在国内各大运营商干线光缆网中规模应用。为了验证 G.654.E 微型光缆的可用性,中国联通组织了相关厂商制作样品并进行测试。深入分析了测试数据,从结构尺寸、PMD 参数、机械性能、温度循环特性等 7 个方面论证了 G.654.E 微型光缆的性能指标,为该型光缆在中国联通骨干光缆网中的应用提供试验基础,同时也为其他运营商的使用提供参考。

### 关键词:

G.654.E 光纤;微型光缆;测试

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.06.013

文章编号:1007-3043(2024)06-0063-04

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

As a new type of optical cable, G.654.E micro optical cable has not yet been applied in backbone optical cable networks. To verify the availability of G.654.E micro optical cables, China Unicom has organized sample testing from main manufacturers. It deeply analyzes the test data and demonstrates the performance indicators of G.654.E micro optical cable from seven aspects, including structural dimensions, PMD parameters, mechanical properties, and temperature cycling characteristics et al. It lays the foundation for the application of this type of optical cable in China Unicom's backbone optical cable network and provides reference for the use of other operators.

### Keywords:

G.654.E fibre; Micro optical cable; Test

引用格式:张曜晖,赵璋卓,王浩,等. G.654.E 微型光缆在骨干光缆网中的应用研究[J]. 邮电设计技术,2024(6):63-66.

## 1 研究背景

非线性和链路损耗成为 400G 及更高速系统传输能力的主要限制因素。增大光纤的有效面积和降低损耗是提升系统传输能力,延长传输距离的主要手段,也是当前光纤技术发展的趋势。由于 G.654 光纤具有低衰减系数、大有效面积和低非线性效应等特性,它可以很好地延长无电中继传输距离,满足干线传输的需求。因此,适用于陆地传输系统的 G.654 光纤已成为骨干光缆网的主要选择。

与此同时,我国高速公路路网日趋完善,在路由方面与骨干光缆网契合度较高。高速公路管道光缆具有高安全、低时延、维护便利等优势,已成为当前骨干光缆网的主要建设方式。高速公路管道通常位于高速公路中间隔离带内,主要使用  $\Phi 40/33$  mm 硅芯塑料管道。管道光缆一般使用 GYTA 光缆,使用气流法吹放进行铺设。

然而,在近年的工程实践中发现,甘肃、四川等省在新竣工的高速公路管道中,更多采用微管、集束管等小口径管材来增加高速公路管道资源,这使得利用微管敷设 G.654.E 微型光缆不可避免。而现有的通信行业标准《通信用气吹微型光缆及光纤单元 第 4 部分

收稿日期:2024-04-09

微型光缆》(YD/T 1460.4-2019)尚未对 G.654.E 微型光缆的性能要求作出明确规定。由于 G.654.E 光纤有效面积大,抗弯曲性能及温度特性相较于 G.652 光纤有天然劣势,在成缆时,如果微型光缆松套管过小,光纤在松套管内的自由空间受限,这可能带来光缆性能指标的劣化。因此,作为一种全新型号的光缆,G.654.E 微型光缆是否适用于骨干光缆网<sup>[1]</sup>,尚需进行验证。

本研究的主要思路是针对 G.654.E 微型光缆样品,测试在不同环境条件下,其传输指标能否满足骨干光缆网的指标要求,从而为工程应用提供指导。

## 2 测试要求及过程

### 2.1 G.654.E 微型光缆样品选型

微管穿放在外保护管内,外保护管用于为微管及微缆提供机械防护。高速公路常用的外保护管为 Φ40/33 mm 硅芯管,微管为 Φ10/8 mm,其材质一般为高密度聚乙烯塑料管。1 根 Φ40/33 mm 的硅芯管可穿放 5~7 孔 Φ10/8 mm 的微管。

由于骨干光缆芯数较大,微型光缆应选用层绞式气吹微缆。对于 Φ10/8 mm 规格的微管,最大微型光缆外径应在 6.2 mm 左右。为了更贴近实际工程情况,本次试验要求微型光缆的外径平均值控制在 6.3 mm 以内,光纤型号选用 G.654.E 光纤,芯数选择 6.3 mm 外径下的最大芯数量 96 芯,结构为 6 管×12 芯。外保护管、微管与微型光缆间的关系如图 1 所示。

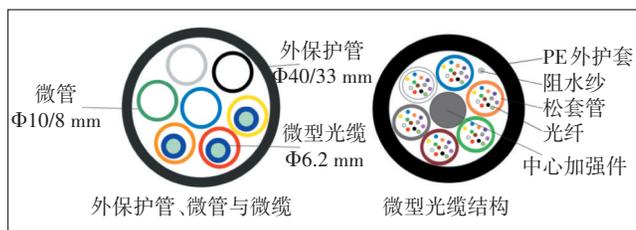


图 1 外保护管、微管与微缆断面示意

为便于与已有规格型号的光缆做对比,同期额外准备了一盘同规格的 G.652 微缆进行同步测试。

测试采用自愿参加的方式,对参加测试的厂家提供的样品要求如下:需提交 2 盘 96 芯 G.654.E 纤芯的微型光缆,型号为 GYCFHTY-96B1.2,外径控制在 6.3 mm 以内,长度为 1.2 km。

### 2.2 测试项目及指标要求

本次测试按照通信行业标准《通信用气吹微型光缆及光纤单元 第 4 部分 微型光缆》(YD/T 1460.4-2019)对光缆的要求执行,光纤指标参照中国联通骨干光缆网普通 G.654.E 光缆指标要求,重点加强了低温性能测试。与普通光缆测试相比,本次测试的温度循环台阶变更为 +20 °C、-20 °C、-30 °C、-40 °C、+20 °C、+70 °C,增加了 10 天的 -30 °C 低温下的光纤附加衰减测试。测试项目及指标如表 1 所示。

### 2.3 测试过程

本次测试由厂商 A 提供测试场地、仪表及人员,进行统一测试。参加测试的企业有厂商 A、厂商 B、厂商

表 1 测试项目及指标要求

序号	测试项目	测试方法	指标要求	备注	
1	结构尺寸	投影放大方式测试:光缆外径、护套厚度	光缆外径≤6.3 mm,护套厚度≤0.3 mm	-	
2	单盘偏振模色散(PMD)系数	PMD 测试仪表	单盘偏振模色散系数:≤0.15 ps/√km	-	
3	渗水性能	1 m 高水柱,3 m 长样品,全截面 24 h	24 h 内无渗水现象	-	
4	机械性能	拉伸	试验方法:GB/T7424.2-E1 缆长≥50 m 保持最大拉力时间≥1 min	长期/短期:0.15 G/0.5 G(G 为 1 km 微缆的重量); 长期张力作用:光缆延伸率≤0.20%,缆内每一根光纤延伸率为零,1 550 nm 处衰减变化为 0.0 dB/km; 短期张力作用:缆中光纤延伸率≤0.15%,无残余附加衰减	衰减无变化是指衰减系数≤0.02 dB/km 或衰减值≤0.03 dB
		压扁	试验方法:GB/T7424.2-E73 压力作用时间:1 min	长期/短期:150/450(N/100 mm),缆中光纤和部件完好,衰减无变化	
		扭转	试验方法:GB/T7424.2-E7,L=1 m,±180°,≥5 次,40 N	光缆护套不应有目视可见的损坏,衰减无变化	
		反复弯曲	试验方法:GB/T7424.2-E6,20 倍缆径,25 N ±90°,25 次,2 s 1 次		
5	气吹性能	平均吹放速度 100 m/min	衰减无变化	-	
6	温度循环	试验方法:GB/T7424.2-F1;温度台阶:+20 °C、-20 °C、-30 °C、-40 °C、+20 °C、+70 °C、+20 °C;保持时间:每一台阶 12 h,2 个循环	衰减无变化	温度台阶更多,较普通光缆更严格	
7	长期低温测试	GB/T7424.2-F1,温度台阶:-30 °C,240 h	衰减无变化	较普通光缆更严格	

C、厂商D共4家。在2023年10月23日之前,各厂家将符合测试要求的样品运至测试场地。10月23日—10月24日,对除温循、长期低温以外的其他项目进行现场试验,10月24日—11月10日,完成温循及长期低温的测试项目。

### 3 测试数据分析

#### 3.1 结构尺寸

微型光缆结构尺寸对于是否可以顺利敷设光缆有着关键影响。由于微型光缆尺寸较小,为了提高数据的准确性,使用了专用投影放大仪表进行测试。结构尺寸测试结果如表2所示。

表2 结构尺寸参数

项目	厂商A		厂商B		厂商C		厂商D		最大值	最小值
	盘1	盘2	盘1	盘2	盘1	盘2	盘1	盘2		
护套厚度/mm	0.52	0.45	0.42	0.40	0.48	0.46	0.47	0.60	0.60	0.40
光缆外径/mm	6.14	6.09	5.86	5.94	6.1	6.28	6.09	6.18	6.28	5.86

从表2可以看出,微缆外PE厚度最小值为0.40 mm,最大值为0.60 mm,为普通光缆2 mm以上的外护PE厚度的25%,缆皮较薄,在敷设安装时应注意不得划伤外皮。微缆外径尺寸最小值为5.86 mm,最大值为6.28 mm,对于内径为8 mm的微管而言,其占空比为73.3%~78.5%,符合工程实际应用需要,也在随后的吹缆测试中得到验证。

#### 3.2 单盘偏振模色散(PMD)系数

光纤的PMD系数对光纤受应力影响较敏感,而成缆过程中及静态时,光纤余长会产生一定的光纤应力,PMD系数在一定程度上可反映光缆的成缆水平。PMD系数测试结果如表3所示。

表3 PMD系数测试指标

项目	厂商A	厂商B	厂商C	厂商D	
PMD系数	最大值	0.059	0.056	0.072	0.067
	最小值	0.078	0.079	0.094	0.137
	平均值	0.061 3	0.060 5	0.081 4	0.082 1

指标要求成缆后的光纤在1 550 nm波长下光缆PMD系数 $\leq 0.15 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。试验结果显示,G.654.E光纤的PMD均 $\leq 0.15 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ,满足测试指标要求。

#### 3.3 渗水

由于微型光缆所采用的半干式结构未曾在骨干光缆网中得到应用,需在本次测试中进行验证。渗水测试结果如表4所示。

表4 渗水测试结果

项目	厂商A	厂商B	厂商C	厂商D	结论
渗水长度/m	0.67	0.63	0.10	0.84	合格

渗水指标要求为不超过3 m,本次测试的结果均满足规范的要求。

#### 3.4 机械性能

光缆的机械性能是光缆的核心能力。由于结构原因,微型光缆的机械性能指标与普通光缆有较大差距。本次测试按照通信行业标准《通信用气吹微型光缆及光纤单元 第4部分 微型光缆》(YD/T 1460.4-2019)的要求执行,主要测试了拉伸、压扁、扭转、卷绕、反复弯曲等4个项目,测试结果如表5所示。

表5 机械测试结果

项目	厂商A	厂商B	厂商C	厂商D	结论	
测试项目	光缆拉伸应变(长期/短期)/%	0.02/0.063	0.023/0.068	0.02/0.06	0.025/0.073	合格
	压扁附加衰减(长期/短期)/dB	<0.02/<0.02	<0.01/<0.02	<0.01/<0.02	<0.01/<0.02	合格
	扭转附加衰减/dB	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	合格
	反复弯曲附加衰减/dB	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	合格

在拉伸测试中,短期拉力下光纤的应变均在0.02%以下,远小于标准要求的0.15%,说明几个厂家的光纤余长控制均很优秀。测试过程中的光纤衰减变化值均小于0.03 dB,满足“光纤衰减无变化”的标准要求,机械测试性能均合格。

#### 3.5 气吹性能

4个厂家的8个样品均在厂商A的气吹测试场地进行了气吹性能测试,测试速度设定为100 m/min,气吹后测试每根光纤的附加衰减值。经测试,8个样品均可顺利吹放,最大附加衰减情况如表6所示。

光缆气吹后的衰减系数变化值最大为0.015 dB/km,满足“光纤衰减无变化”的标准要求,光缆的吹放测试性能均合格。

#### 3.6 温度循环测试

温度循环测试包含2个循环,每个循环的温度台阶为+20℃、-20℃、-30℃、-40℃、+20℃、+70℃、+

表6 气吹性能测试附加衰减

项目	厂商A	厂商B	厂商C	厂商D	
A 光缆气吹后衰减变化最大值/(dB/km)	1 550 nm	0.005	0.005	0.011	0.007
	1 625 nm	0.006	0.004	0.015	0.010
B 光缆气吹后衰减变化最大值/(dB/km)	1 550 nm	0.002	0.002	0.005	0.004
	1 625 nm	0.004	0.002	0.007	0.005

20 °C, 保持时间为每一台阶 12 h。测试衰减系数变化如表 7 所示。

表 7 温度循环测试衰减系数变化

项目		厂商 A	厂商 B	厂商 C	厂商 D	最大值	
第 1 次循环/(dB/km)	-20 °C	1 550 nm	0.004	0.003	0.004	0.007	0.007
		1 625 nm	0.003	0.006	0.011	0.009	0.011
	-30 °C	1 550 nm	0.005	0.004	0.009	0.007	0.009
		1 625 nm	0.003	0	0.006	0.005	0.006
	-40 °C	1 550 nm	0.007	0.005	0.011	0.018	0.018
		1 625 nm	0.006	0.001	0.021	0.012	0.021
	+20 °C	1 550 nm	0.004	0.009	0.011	0.005	0.009
		1 625 nm	0.009	0.01	0.019	0.01	0.019
	+70 °C	1 550 nm	0.007	0.008	0.023	0.011	0.023
		1 625 nm	0.011	0.007	0.021	0.01	0.021
	+20 °C	1 550 nm	0.005	0.004	0.012	0.006	0.012
		1 625 nm	0.009	0.008	0.009	0.005	0.009
第 2 次循环/(dB/km)	-20 °C	1 550 nm	0.007	0.002	0.009	0.005	0.009
		1 625 nm	0.002	0.003	0.011	0.003	0.011
	-30 °C	1 550 nm	0.009	0.002	0.009	0.008	0.009
		1 625 nm	0.004	0.004	0.008	0.011	0.011
	-40 °C	1 550 nm	0.011	0.007	0.013	0.01	0.013
		1 625 nm	0.006	0.002	0.009	0.01	0.01
	+20 °C	1 550 nm	0.006	0.006	0.011	0.006	0.011
		1 625 nm	0.003	0.009	0.007	0.005	0.009
	+70 °C	1 550 nm	0.007	0.006	0.02	0.01	0.02
		1 625 nm	0.014	0.017	0.029	0.018	0.029
	+20 °C	1 550 nm	0.005	0.004	0.013	0.007	0.013
		1 625 nm	0.006	0.003	0.01	0.01	0.01

结果显示, -40 °C 时 1 625 nm 波长的附加衰减最大值为 0.021 dB/km, +70 °C 时 1 550 nm 波长的附加衰减最大值为 0.023 dB/km, 1 625 nm 波长的附加衰减最大值为 0.029 dB/km, 这些值均远小于 0.15 dB/km 的行标要求。在所有温循数据中, 仅有 1 个数据超出 0.02 dB/km, 即 +70 °C 时 1 625 nm 波长的附加衰减(共有 768 个数据), 经研判可认为上述数据为测试误差数据。试验前比较担心的低温指标全部满足要求。

温度循环测试结果显示, 试验后 1 550 nm 波长的附加衰减最大值不超过 0.02 dB/km, 据此可判为衰减无明显变化, 温度循环测试结果满足指标要求。

### 3.7 长期低温测试

长期低温测试是在 -30 °C 下将光纤放置 240 h (10 天), 每隔 48 h 对试验中的每一芯光纤进行一次测试。测试衰减系数变化如表 8 所示。

在测试过程中, 1 550 nm 波长上最大的附加衰减

表 8 长期低温测试衰减系数变化

厂商		厂商 A	厂商 B	厂商 C	厂商 D	最大值		
长期低温/(dB/km)	-30 °C	48 h	1 550 nm	0.006	0.012	0.016	0.011	0.016
			1 625 nm	0.004	0.006	0.015	0.009	0.015
		96 h	1 550 nm	0.005	0.011	0.014	0.012	0.014
			1 625 nm	0.006	0.004	0.009	0.01	0.01
	144 h	1 550 nm	0.005	0.01	0.014	0.009	0.014	
		1 625 nm	0.006	0.005	0.009	0.012	0.012	
	192 h	1 550 nm	0.004	0.008	0.018	0.012	0.018	
		1 625 nm	0.007	0.011	0.01	0.008	0.011	
	240 h	1 550 nm	0.002	0.01	0.013	0.01	0.013	
		1 625 nm	0.003	0.006	0.011	0.009	0.011	
	+20 °C	回到常温	1 550 nm	0.011	0.012	0.02	0.012	0.02
			1 625 nm	0.004	0.007	0.012	0.007	0.012

值为 0.018 dB/km, 1 625 nm 波长上最大的附加衰减值为 0.015 dB/km, 附加衰减最大值均不超过 0.02 dB/km, 可判断为衰减无明显变化。

## 4 研究结论

G.654.E 微型光缆作为一种全新的缆型, 本次接受了全面且严苛的测试。光纤指标的评判是参照普通 G.654.E 光缆的标准, 且与 G.652.D 微型光缆相比, 各项指标没有出现明显偏差。本测试可得出以下结论。

a) 测试方法按照通信行业标准《通信用气吹微型光缆及光纤单元 第 4 部分 微型光缆》(YD/T 1460.4-2019) 的要求执行。所测 G.654.E 光纤的性能指标满足省际干线普通光缆 G.654.E 光纤的指标要求。因此, 该型号光纤可在省际干线光缆线路工程中使用。

b) 本次参与测试的 4 个光缆厂家分别为厂商 A、厂商 B、厂商 C 和厂商 D, 它们生产的 G.654.E 微缆的性能均达到中国联通省际干线光缆线路工程的要求<sup>[2]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 吕洪涛, 张曜晖, 金飒. 中国联通省际干线光缆网光纤技术和建设方式研究[J]. 邮电设计技术, 2018, (6): 38-44.
- [2] 沈世奎, 王光全. 应对超高速传输需求中国联通将逐步建设 G.654.E 光缆[J]. 通信世界, 2017(24): 46.

### 作者简介:

张曜晖, 高级工程师, 主要从事传输网规划、设计、研究等工作; 赵璋卓, 高级工程师, 主要从事传输网规划、设计、研究等工作; 王浩, 毕业于西南交通大学, 工程师、学士, 主要从事骨干传输线路运营维护及管理等工作; 黄劲松, 高级工程师, 主要从事传输网规划、设计、研究等工作。