

国产超低损耗光纤

在超长距离通信系统中的应用

Application of Ultra Low Loss Fiber on Ultra Long Haul Optical Communication System

李鹏^{1,2},吴俊^{1,2},邓黎³,周红燕^{1,2},吴超^{1,2},张磊^{1,2},李树辰⁴,徐健⁵(1. 光纤光缆制备技术国家重点实验室,湖北武汉430073;2. 长飞光纤光缆股份有限公司,湖北武汉430073;3. 国家电网公司信息通信分公司,北京100761;4. 电力规划设计总院,北京100120;5. 武汉光迅科技股份有限公司,湖北武汉430205)

Li Peng^{1,2},Wu Jun^{1,2},Deng Li³,Zhou Hongyan^{1,2},Wu Chao^{1,2},Zhang Lei^{1,2},Li Shuchen⁴,Xu Jian⁵(1. Key Laboratory of Optical Fiber and Cable Manufacture Technology, Wuhan 430073, China; 2. Yangtze Optical Fiber and Cable Joint Stock Co., Ltd., Wuhan 430073, China; 3. State Grid Information & Telecommunication Branch, Beijing 100761, China; 4. Electric Power Planning & Engineering Institute, Beijing 100120, China; 5. Accelink Technologies Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

摘要:

随着全球IP流量的急速增长以及宽带互联网技术的不断进步,传输容量需求急剧增长,通信网规模不断扩大,特别是400G技术的兴起对超长距大容量高速率传输系统提出了更高的要求。目前国内厂家在超低损耗新型光纤方面(超低损耗G.652和G.654.E)取得了关键性突破,并在成缆测试以及实际链路中充分验证了其在超长跨距传输网络建设方面具有广阔的应用前景。

关键词:

超长距;超低损耗;大有效面积;光纤
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2018.06.002
中图分类号:TN929.11
文献标识码:A
文章编号:1007-3043(2018)06-0005-05

Abstract:

With the rapid growth of global IP traffic and the development of broadband Internet technology, the demand for transmission capacity is increasing rapidly, and the scale of communication network is continuously expanding. In particular, the rise of 400G technology puts forward higher demands on the ultra long haul, ultra large capacity and ultra high speed transmission systems. At present domestic fiber manufacturers have made key breakthroughs in novel ultra-low loss optical fibers (ultra-low loss G.652 and G.654.E). It is fully verified in cable test and actual cable link that ultra-low loss optical fibers have broad application prospects in the construction of ultra long haul transmission network.

Keywords:

Ultra long haul; Ultra low loss; Large effective area; Optical fiber

引用格式:李鹏,吴俊,邓黎,等. 国产超低损耗光纤在超长距离通信系统中的应用[J]. 邮电设计技术,2018(6):5-9.

0 引言

随着在线高清视频、物联网、产业互联网、数据中心等业务高速发展,传统单模G.652光纤已很难满足未来大容量高速率互联网业务超长距离传输的需要,使用传统G.652光纤,400G系统电中继距离只有100G系统的1/4,这样会增加中继站的数量,从而增加系统的建设维护成本。

为了增加高传输速率下的传输距离,从光纤的角

度可从以下2个方面进行改进,一方面降低光纤衰减,从而降低整个链路的光功率损耗,目前超低损耗G.652光纤已广泛应用在特高压长距离光纤通信工程中,另一方面可增大光纤有效面积(如G.654.E光纤),这样能显著减小光纤非线性效应的影响并增大入纤光功率,从而提高系统OSNR,进一步延长系统的传输距离,目前结合了超低衰减和大有效面积的G.654.E光纤已在现网试验中得到了验证。

1 降低光纤衰减的技术

常规单模光纤的衰减主要是由瑞利散射造成,所

收稿日期:2018-05-09

以降低单模光纤衰减的实质就是如何降低光纤的瑞利散射。瑞利散射系数主要包括浓度因子波动和密度因子波动2部分。

降低浓度因子的主要方法是减少单模光纤芯层位置的锗和氟掺杂,这也是目前超低损耗光纤核心制备技术“纯硅芯层”的主要出发点。不同的预制棒制备工艺(PCVD、OVD、VAD)所设计的光纤折射率剖面也不一样。纯硅纤芯技术可以减小瑞利散射,从而达到超低衰减的目标即0.17 dB/km以下,目前全世界范围内有4家公司掌握此技术。

密度因子主要由光纤的虚拟温度决定,而虚拟温度主要受退火速率和光纤材料组分的匹配2方面影响。光纤拉丝速度越低,光纤退火时间越长,光纤衰减就越容易降低。光纤材料组分的匹配同样会影响光纤的虚拟温度,合理的材料粘度匹配和膨胀系数匹配可以降低光纤内部缺陷产生的概率,从而减少光纤衰减。虽然减少光纤芯层的掺杂会减少浓度因子影响,但很容易造成光纤其他部分同芯层玻璃材料间的组分失配,增加密度因子,从而整体上提高瑞利散射系数,所以在制备超低损耗光纤时需同时考虑降低浓度和密度因子的影响。

2 超低损耗 G.652 光纤

2.1 超低损耗 G.652 光纤产品参数

以PCVD方法制备的国产超低损耗G.652光纤产品参数优于ITU-T G.652相关标准,部分指标优于国外厂商的产品。国产超低损耗G.652光纤产品性能和质量优异,已达到世界一流水平,工艺成熟稳定,已具备大规模化量产的能力,可批量供货,快速响应客户

需求,性价比高。

2.2 超低损耗 G.652 光纤 OPGW 成缆性能

国产超低损耗G.652光纤在国内光缆厂商进行了OPGW成缆实验,相关实验结果表明,该类光纤性能参数优异,获得了国内主流OPGW厂商的一致认可。

2.2.1 缆型结构

为验证国产超低损耗G.652光纤性能,对其进行OPGW成缆实验,并对上述OPGW光缆进行了温度循环测试和强度验证试验,监测了成缆各道工序以及相关环境和强度测试过程中光纤衰减系数变化。

OPGW成缆流程为着色—光纤单元制作—OPGW成缆。光纤的着色色谱按照电力行业DL/T 832-2016标准执行,OPGW光缆的成缆光纤为36芯,成缆技术参数参照IEC和DL/T 832-2016标准,光缆型号为OPGW-36ULL-128[163.2;86.2],缆长1.8 km。成缆试验的OPGW光缆结构为常规的双层结构,光缆为全铝包钢线结构。中心层采用20.3%AS铝包钢线(直径 $d=3.20$ mm),第一层绞合为5根20.3%AS铝包钢线(直径 $d=3.00$ mm)+1根24芯不锈钢管光纤单元,第二层绞合为12根20.3%AS铝包钢线(直径 $d=2.90$ mm)。为统一光纤的复测和各工序的光纤检测,光纤损耗检测仪表采用同一台OTDR检测,其OTDR型号为PK8000I。

2.2.2 OPGW 成缆过程中光纤衰减变化

如图1所示,成缆后1310 nm波长处衰减为0.275 dB/km,1550 nm波长处衰减为0.163 dB/km。由图2可以看出成缆后1310 nm和1550 nm波长处衰减变化幅度均不超过0.002 dB/km。由此表明超低损耗G.652光纤在OPGW成缆过程中光纤性能稳定可靠,成缆后光纤衰减性能满足相关电力领域实际使用标准。

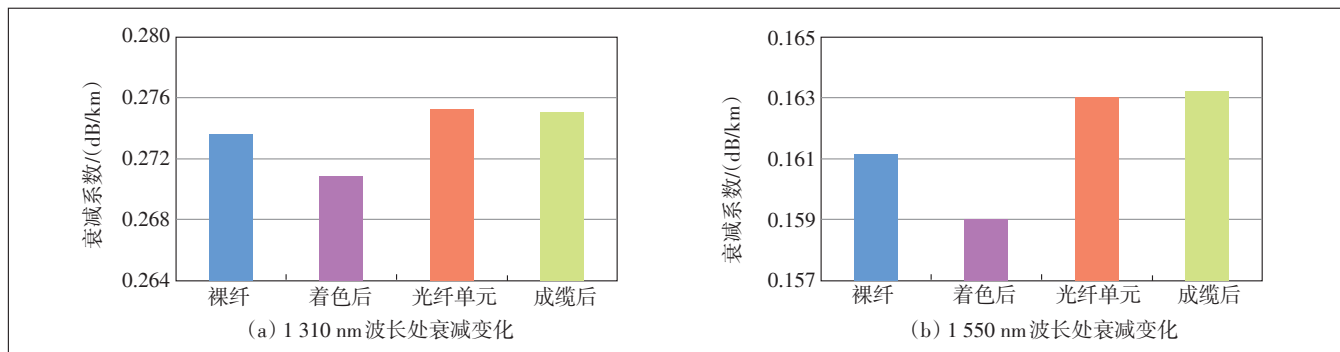


图1 OPGW成缆过程中光纤衰减变化

2.2.3 OPGW 光缆环境性能测试

参照标准DL/T 832-2016《光纤复合架空地线》对

OPGW光缆进行温度循环试验,1310 nm和1550 nm波长位置处衰减波动在合理范围,试验结果符合电力

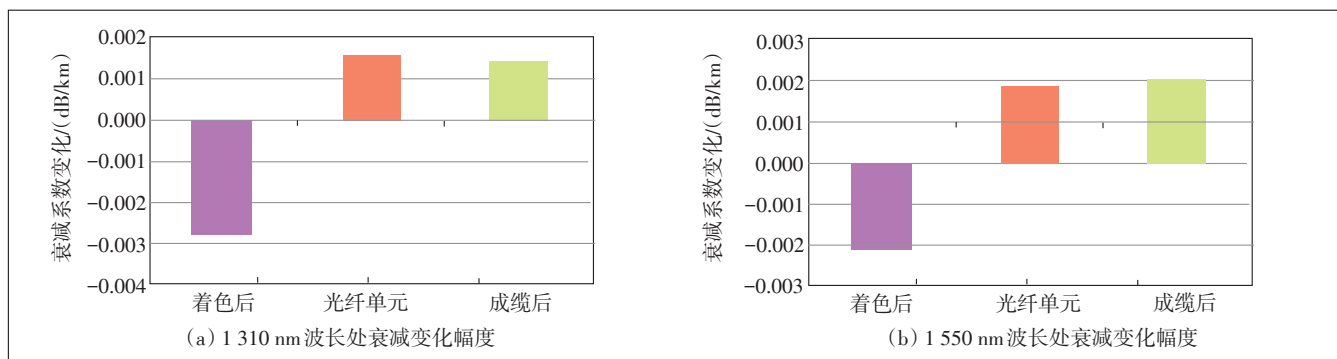


图2 OPGW成缆过程中衰减系数变化幅度

行业标准规定的要求。

2.2.4 OPGW 光缆机械性能测试

为进一步验证国产超低损耗 G.652 光纤制作的 OPGW 光缆性能,参照电力行业 DL/T 832-2016《光纤复合架空地线》对 OPGW 光缆进行了强度试验。该 OPGW 光缆通过了应力-应变性能、过滑轮性能、破断性能测试,其结果均优于标准要求。

a) 应力-应变试验情况: OPGW 在承受 40%RTS 张力时,光纤应变为 0.001%,附加衰减 0.019 dB,在承受 60%RTS 张力时,光纤应变为 0.001%,附加衰减 0.025 dB,符合电力行业标准。

b) 过滑轮、破断试验情况: OPGW 经过滑轮试验,附加衰减 0.04 dB/km,试验结果符合行业标准规定的要求,破断力的值为 175.7 kN。

该国产超低损耗 G.652 光纤具有超低损耗、优异的抗弯性能,OPGW 光缆在机械、环境等多项测试中表现优异,性能稳定可靠,可有力地支撑超长距光传输,该光纤已规模量产,可完全取代国外进口产品。

3 超低损耗 G.654.E 光纤

3.1 超低损耗 G.654.E 光纤参数

G.654.E 光纤即截止波长位移单模光纤,这种光纤

在 1550 nm 工作波长衰减系数很小,抗弯曲性能优异,通常应用于超长跨段无中继海底通信系统。相比 G.652 光纤,G.654.E 光纤具有更大的有效面积,可以提高激光泵浦功率,即提高入纤功率,从而有效提高系统 OSNR,改善系统光传输能力,延长传输距离。G.654.E 光纤可以有效降低跨段损耗 3~4 dB,为超长跨距、超长距离、超大容量陆地通信光缆提供解决方案。

目前国产 G.654.E 光纤参数优于 ITU-T 相关标准,相关产品技术指标在处于领先地位,部分指标优于国外厂商同类产品。国产超低损耗 G.654.E 光纤产品同时具备大有效面积和超低损耗 2 种特性,性能和质量优异,工艺成熟稳定,具备大规模化量产的能力,可批量供货,快速响应客户需求,其全面国产化的原材料、制备设备和工艺,使其性价比极高。

3.2 超低损耗 G.654.E 光纤性能

3.2.1 超低损耗 G.654.E 光纤熔接性能

选择 G.654.E 光纤作为下一代长距离通信用光纤,其熔接性能是非常关键的参数。G.654.E 光纤的熔接损耗可以分为 2 类,一是 G.654.E 光纤的自熔损耗,如图 3(a)所示,二是其与现网中大量使用的 G.652 光纤互熔时的损耗,如图 3(b)所示。

在长距离传输链路中,大部分的应用场景是

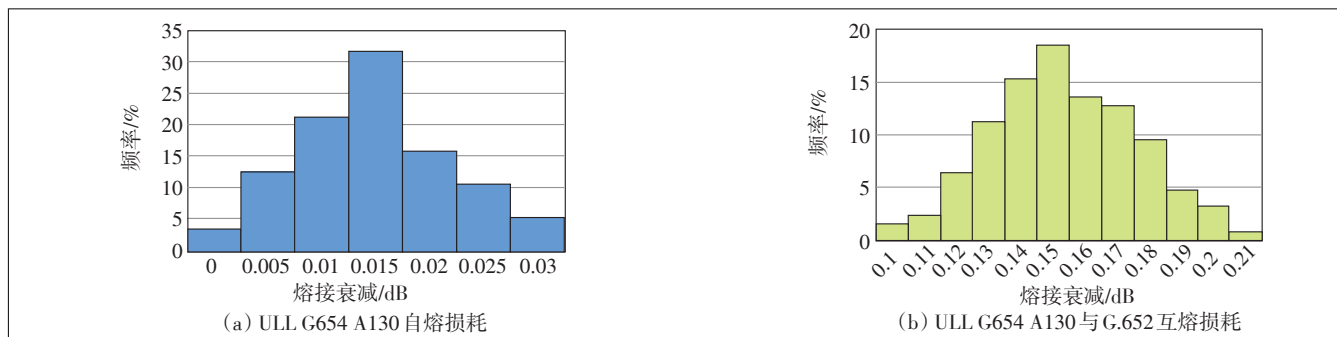


图3 G.654.E A130 光纤熔接损耗分布

G.654.E 光纤自熔, 其自熔损耗的平均值为 0.015 dB, 与 G.652 光纤自熔性能相近甚至更优。另外在链路的两端, G.654.E 光缆进出 ODF 机柜时需要成端, 由于目前绝大部分的通信设备以及光模块仍然使用的是 G.652 光纤, 因此 G.654.E 光纤与 G.652 光纤互熔时的损耗也值得关注。由于 G.654.E 光纤与 G.652 光纤间的模场面积相差较大, 因此其熔接损耗会达到 0.15 dB 左右。

3.2.2 超低损耗 G.654.E 光纤的宏微弯性能

G.654.E 光纤的有效面积比常规 G.652 光纤大 40%~60%, 而有效面积可能影响光纤的宏弯微弯性能, 从而影响 G.654.E 光纤成缆后的衰减。因此在 G.654.E 光纤要通过合理的剖面设计和特殊的涂覆工艺, 来提高 G.654.E 光纤的宏弯微弯性能。

目前国产 PCVD 制备的 G.654.E 光纤的宏弯微弯性能如图 4 所示, 其宏弯性能不仅满足 ITU-T G.654.E 标准, 而且超过 G.657.A1 D20-1 圈的标准, 同时 G.654.E 光纤在整个波长范围内都具有良好的微弯性能。

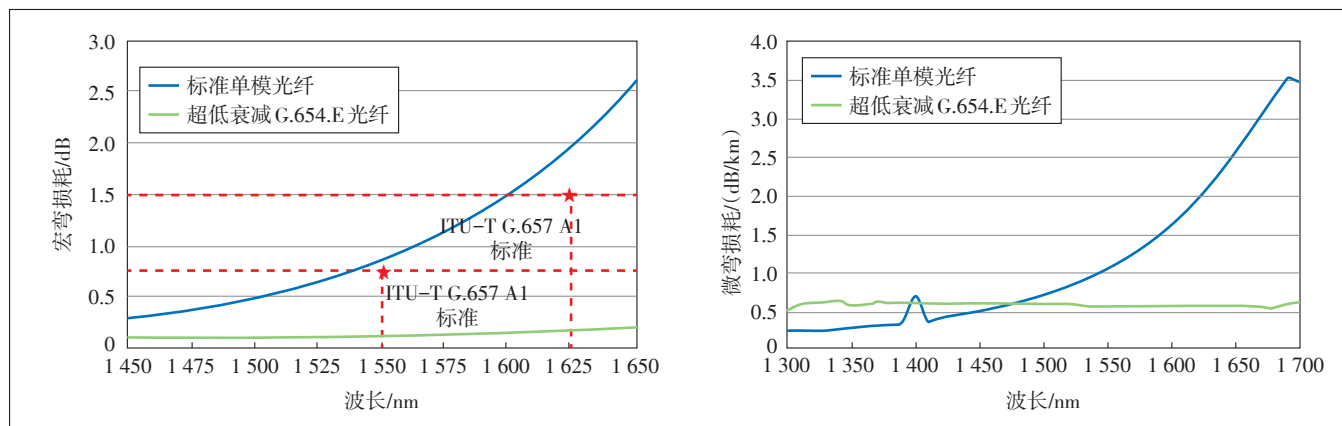


图 4 G.654.E 光纤的宏弯和微弯性能

3.2.3 超低损耗 G.654.E 光纤的实际工程应用

2015 年中国联通携手国内外主流光纤光缆供应商开展全球运营商首个新型 G.654.E 光纤的现网试验, 以架空和管道方式在新疆及山东建设了 2 条采用 G.654.E 光纤的干线光缆, 线路分别穿越沙漠戈壁、高寒雪山和高速公路通信管道, 试验过程中主要针对新型大有效面积光纤的恶劣环境适应能力、施工安装和维护保障技术等方面进行了专题研究, 并于 2016 年 6 月顺利完成工程项目和技术研究验收。

表 1 是 G.654.E 光纤在实际链路中的性能表现。由于 G.654.E 光纤的有效面积比 G.652 大, 在自熔接时模场匹配度更好, 因此 G.654.E 光纤的每个熔接点的熔接损耗比 G.652 小 0.01 dB。同时 G.654.E 光纤自身衰减超低, 因此最终的链路衰减比标准 G.652 光纤小了大约 0.02 dB/km。

2016 年中国移动在北京到南京的 1 500 km 长距离陆地传输链路中使用了大约 2 万芯公里的超低损耗 G.654.E 光纤, 该链路为目前世界范围内最长的一条陆地 G.654.E 光纤传输链路。图 5 是光纤成缆前后衰减性能的表现, 成缆前的光纤衰减典型值 0.159 dB/km, 成缆后的衰减典型值为 0.163 dB/km。

表 1 G.654.E 光纤在中国联通新疆链路段的性能

	G.654.E 光纤 (新疆链路段)	标准 G.652 光纤
有效面积@1 550 nm/ μm^2	110	80
光纤衰减@1 550 nm/(dB/km)	0.166	0.185
光缆衰减@1 550 nm (dB/km)	0.169	0.186
熔接损耗/(dB/熔接点)	0.01	0.02
链路衰减增加值/(dB/km)	0.003~0.005	0.08~0.012
72 km 的链路衰减/(dB/km)	0.172~0.174	0.194~0.198

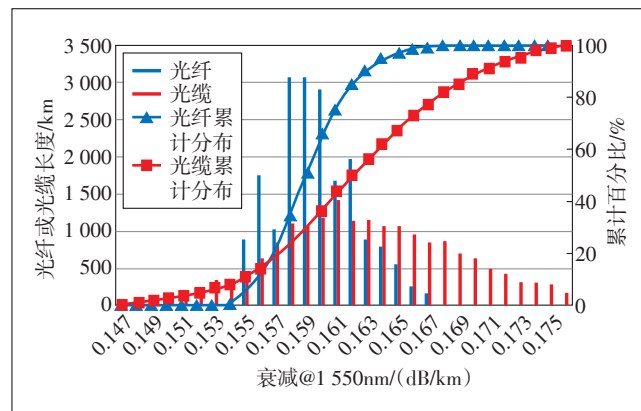


图 5 G.654.E 光纤北京—南京段成缆前后衰减对比

综上所述, G.654.E 光纤具备更大有效面积和更低

衰减的同时,也具备超过标准G.652光纤的优良的宏弯、微弯性能。在实际成缆过程中衰减增加量的典型值可以控制在0.005 dB/km以内,从而保证了G.654.E光纤优异的性能。

2018年3月,国产PCVD工艺超低损耗G.654.E光纤开展了2.5G/10G超长单跨距光传输系统测试,成功实现10G系统665.7 km和2.5G系统713.2 km的单跨距无中继实验室传输测试,刷新原单跨距2.5G和10G系统无中继光传输的世界纪录。通过上述系统测试,国产超低损耗G.654.E光纤产品得到电网客户和传输系统设备厂商一致认可,目前国内光纤制造商正积极配合国家电网开展武汉—陕北、雅安—皖南2条特高压电网超长跨距光传输系统示范工程项目,此项目将使用国内公司提供的超低损耗G.654.E光纤。

4 结论与展望

从商业化角度来看,国产超低损耗系列光纤已成熟,产品参数性能达到或超过国外同类产品,具备在超大跨距传输网络中大规模应用的基础。

从技术角度来看,国产超低损耗G.652光纤在相关性能上已经达到国外同类产品水平,国产超低损耗大有效面积G.654.E光纤在衰减系数和有效面积等关键参数上领先于国外同类产品,其在超长距无中继传输方面更加具有优势,且通过中国联通和中国移动的现网试验,验证了G.654.E光纤适用于超长跨距光传输通信网。

参考文献:

[1] 邓黎,刘琦,陈皓,等.超长距电力光通信中的超低损耗光纤应用及测试技术[J].电力信息与通信技术,2015(12):83-90.
 [2] 黄俊华,林光,周峰,等.首条采用超低损耗光纤的超低损耗OPGW[J].电力系统通信,2010(10):6-11.
 [3] 余少华,杨奇,薛道均,等.超高速超大容量超长距离光传输基础理论与关键技术研究[J].电信科学,2014,30(10):52-63.
 [4] 贾小铁,白晓杰,董振华.电力无中继超长站距光传输系统实用化研究[J].电信技术,2011,1(1):69-71.
 [5] 李长春.超长距离光传输技术基础及其应用[M].北京:人民邮电出版社,2008.
 [6] 姜利民,罗玉兴,印新达,等.电力系统光纤通信超长站距传输技术的研究[J].电力系统通信.2008,29(3):24-25.
 [7] 刘源,黄丽艳,雷学义.超低损耗光纤是超长站距光通信的新选择[J].电力系统通信,2011,32(6):35-38.
 [8] 樊宏,王勇,陈皓.超低损耗光纤在电力通信网中应用研究[J].光通信技术,2012(9):9-11.

[9] MECOZZI A, SHTAIF M. Noiseless amplification and signal-to-noise ratio in single-sideband transmission[J]. Optics Letters, 2003, 28(3):203-205.
 [10] 沈世奎,王光全.中国联通现网测试G.654.E光纤陆地应用性能优越[J].通信世界,2016(23):41-42.
 [11] ZHOU H, ZHANG L, WU J, et al. A bend-insensitive ultra low loss and large Aeff fibre for long haul transmission [C]// Optical Fiber Communications Conference and Exhibition. 2016.
 [12] 黄俊华,张建明,李晓琴,等.采用大有效面积光纤的超低损耗OPGW[C]//中国电机工程学会电力通信专业委员会学术会议.2013.
 [13] LI B, TOWERY C, CHANG D, et al. Ultra-long unrepeated transmission over 607 km at 100G and 632 km at 10G[J]. Optics Express, 2015, 23(19):25028-25033.
 [14] ZHANG C, CHEN Y, WANG R, et al. Demonstration of Real-time 1.2 Tbit/s Transmission over 4 Types of Fiber with Nyquist WDM Prototype System[C]// Optical Fiber Communication Conference. 2014: 484-485.
 [15] ZHANG L, ZHU J, LI J, et al. Novel ultra low loss & large effective area G.654.E fibre in terrestrial application [C]// Optical Fiber Communications Conference and Exhibition. 2017.
 [16] TSUJIKAWA K, OHASHI M, SHIRAKI K, et al. Effect of thermal treatment on Rayleigh scattering in silica-based glasses[J]. Electronics Letters, 1995, 31(22):1940-1941.
 [17] ETIENNE S, BISESSUR H, BASTIDE C, et al. Ultra-long 610 km unrepeated transmission of 100 Gbit/s using single fibre configuration [C]// European Conference on Optical Communication. IEEE, 2015:1-3.
 [18] 光纤复合架空地线:DL/T 832-2016[S].北京:中国电力出版社,2016.
 [19] MONGARDIEN D A, BOUSSELET P, BISESSUR H, et al. 4x43 Gbit/s unrepeated transmission over 525 km using PDM-RZ-BPSK with a coherent receiver [C]// European Conference and Exhibition on Optical Communication. IEEE, 2010:1-3.
 [20] BISESSUR H, BOUSSELET P, MONGARDIEN D A, et al. Ultra-long 10 Gbit/s unrepeated WDM transmission up to 601 km [C]// Optical Fiber Communication. IEEE, 2010:1-3.
 [21] SLEPTSOV M, GURKIN N, NANII O, et al. Record 500 km unrepeated 1 Tbit/s (10x100G) transmission over an ultra-low loss fiber [J]. Optics Express, 2014, 22(19):22308-22313.

作者简介:

李鹏,工程师,硕士,主要从事大有效面积光纤研发工作;吴俊,工程师,硕士,主要从事超低损耗系列光纤及相关技术研发工作;邓黎,工程师,硕士,主要从事电力特高压配套光纤通信工程建设管理工作;周红燕,工程师,硕士,主要从事光纤测试和系统传输相关工作;吴超,工程师,硕士,主要从事抗弯曲光纤研究工作;张磊,工程师,硕士,主要从事新型光纤研发工作;李树辰,高级工程师,硕士,主要从事电力系统通信规划、设计、评审工作;徐健,工程师,硕士,主要从事光通信系统和光器件的研发工作。