

涂覆尺寸对 200 μm 光纤性能影响的研究

宁四平, 段琳琳, 王彬

(特恩驰(南京)光纤有限公司, 南京 21006)

摘要: 相比传统 250 μm 涂覆直径光纤, 200 μm 小涂覆尺寸光纤的生产制造对过程控制要求更高、生产的难度更大。而光纤的内外涂层尺寸控制, 对光纤的各项性能也有显著的影响。研究使用相同抗微弯性能的涂料但不同内涂尺寸的 G.657.A1 光纤, 对比光纤的传输性能、机械性能和环境性能, 为 200 μm 小涂覆尺寸光纤的性能改善、优化生产过程控制提供参考。

关键词: 200 μm ; 内涂尺寸; 剥离力; 拔出力; 微弯损耗; 鲁棒性

中图分类号: TN914 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)10-0011-05

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.10.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study of 200 μm fiber character impacted by coating diameter

NING Siping, DUAN Linlin, WANG Bin

(Twensche (Nanjing) Fibre Optic Ltd., Nanjing 21006, China)

Abstract: Comparing to conventional 250 μm coating diameter optic fibre, 200 μm mini coating geometry optic fibre manufacture requires more accurate process control, this makes it more difficult to produce. Among all the fibre characters, the inner coating diameter and outer coating diameter have dramatically influence to fiber performance. This paper focus on the studying of G.657.A1 fiber performance comparisons of transmission, mechanical and environment performance between varies fiber inner coating diameter using same bending insensitive resin. The studying result may be a reference to improve 200 μm fibre performance and optimize the process control.

Key words: 200 μm ; inner coating diameter; strip force; pull-out force; microbending loss; robustness

0 引言

5G 的应用、超级数据中心、光纤到户 (FTTH) 以及城域网的建设, 刺激了光缆需求的持续增长, 大规模的光缆敷设和运营商的激烈竞争, 将导致地下敷设光缆用的管道资源稀缺。由于受到小区区域位置、管道铺设等多方面限制, 光缆结构必然向小尺寸、大芯数的方向发展。在不降低光纤光缆性能的基础上, 采用新工艺及新材料等方式, 降低光纤、光缆尺寸, 以满足未来网络建设的需要, 同时降低日趋严峻的生产成本压力是市场对光纤光缆行业的要求。

由此, 200 μm 小涂覆尺寸光纤应运而生。目前, 在欧洲市场, 200 μm 小涂覆尺寸光纤的应用已经较为普

收稿日期: 2019-07-24。
作者简介: 宁四平 (1967-), 男, 硕士, 高级工程师。2000 年开始从事光纤光缆行业, 主要研究方向为光纤光缆的设计、制造、工艺、质控和应用。中国“通信光电缆专家委员会”委员, 中国电器工业协会电线电缆分会“通信电缆及光纤光缆专家委员会”委员。现任特恩驰(南京)光纤有限公司项目总监, 同时负责光纤光缆的质控工作。



遍。在国内的细分市场也有不同程度的应用, 相信随着质量、供应和成本的改善, 应用范围将会更加广泛。本文以着色后外涂尺寸为 200 μm 的 G.657.A1 光纤为研究对象 (着色前约 191 μm), 研究不同的内涂尺寸对光纤性能的影响。

1 实验设计

光纤涂覆对光纤的性能影响非常关键, 由于光纤是脆性材料, 其表面存在大量微裂纹, 不加涂覆直接在空气中裸露时, 表面缺陷扩大, 局部应力集中, 就会造成强度极低。而涂覆可保护表面的微裂纹, 隔绝水和外力对微裂纹的作用。目前, 光纤通常采用紫外固化或 LED 固化的丙烯酸双涂层结构, 其中内涂层较软 (弹性模量低), 能缓冲外界应力, 提高抗微弯性能; 外涂层较硬 (弹性模量高), 耐磨损, 可提高光纤强度性能。因此, 光纤涂层对光纤的使用性能有很大的影响。而内外涂的尺寸, 即缓冲层和保护层的厚度同样影响着光纤的使用性能。

本次实验即从内外涂尺寸的角度出发,研究其尺寸对光纤性能(剥离力、拔出力、微弯性能、下线衰减、强度和鲁棒性等)的影响。本次选取拉丝条件相同但内涂尺寸不同的 G.657.A1 光纤样品 7 个,拉丝工艺一致,涂覆胶为抗敏感新型涂覆胶,光纤固化良好,外涂直径为 191 μm ,包层直径为 125 μm 。7 个样品的内外涂尺寸如表 1 所示。

光纤样品	外涂直径 (μm)	内涂直径 (μm)
A	191	151.2
B	191	154.1
C	191	158.7
D	191	162.6
E	191	164.5
F	191	165.6
G	192	170.3

2 不同内涂尺寸的 G.657.A1 光纤性能比较

2.1 剥离力

光纤剥离力定义了沿光纤轴向机械剥除涂覆层所需的力。为了提高测试稳定性^[1],本次测试参照 IEC 60793-1-32^[2]“Coating strippability”推荐的测试方法,测试使用配备 140 μm (0.0055in) 圆形孔刀片的 Micro-Strip 剥纤钳,剥离长度为 30 mm,剥离速度为 500 mm/min,每个样品测试 10 次。7 个样品测试 10 次的剥离力均值和峰值的平均值结果,及均值的标准偏差如表 2 所示。剥离力均值与外涂层横截面积之间的相关性曲线如图 1 所示。

对双涂覆层光纤,涂层的模量、粘度和直径大小决定了剥皮钳将涂覆层破坏并从光纤表面脱离的阻力,即剥离力。外涂性能对剥离力的影响非常显著。从图 1 可以看出,相同的涂料,光纤的剥离力与外涂横截面积成线性关系,即外涂直径对剥离力影响很大。

综合表 2 和图 1 的数据可知,外涂横截面积主要影响剥离力,相同外涂直径下内涂直径越小,光纤剥离力越大。因 200 μm 小尺寸光纤

光纤样品	均值 (N)	均值的标准偏差 (N)	峰值 (N)
A	1.25	0.03	1.97
B	1.22	0.03	1.72
C	1.10	0.02	1.56
D	1.13	0.02	1.70
E	1.05	0.02	1.50
F	1.03	0.02	1.35
G	0.90	0.03	1.36

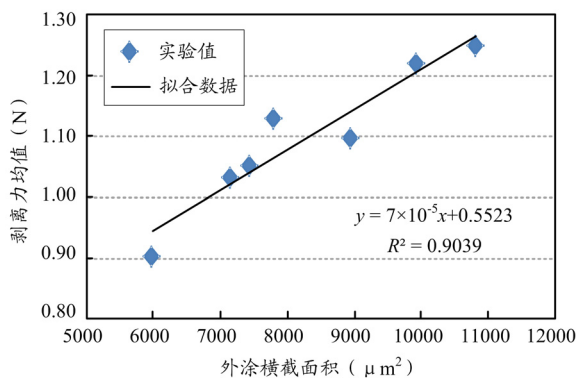


图 1 剥离力均值与外涂横截面积相关性

受其较小的涂覆尺寸限制,剥离力较正常光纤偏低,为保证光纤剥离强度,内涂直径越小越优。

2.2 拔出力

拔出力是用来测试内涂层与玻璃光纤之间的粘结力。参照 FOTP-105(1993 年草案)中的测试方法,测试装置如图 2 所示。将 1 cm 长的涂覆光纤粘结在钢板上(如图 2(a)),在钢板的边缘处切除部分涂层,通过在拉力机上拉光纤样品的另一端,测试破坏涂层与玻璃光纤之间粘结力的力,即拔出力^[3]。样品制备时通过胶水等粘合剂将光纤样品两端(各约 1.5 cm)固定在钢板上,待胶水凝固后,切除部分距钢板边缘 1 cm 处的胶水与光纤(如图 2(b)),使得测玻璃光纤可以顺利被拔出。2 块钢板的距离约为 10 cm,拉伸速度为 50 mm/min。每个样品测试 10 次。

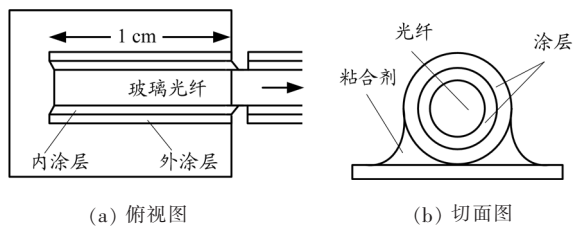


图 2 拔出力测试装置

7 个样品每个测试 10 次得到的拔出力数据的箱型分布图如图 3 所示。拔出力均值与内涂尺寸之间的相关性曲线如图 4 所示。

光纤内涂的模量主要影响光纤内涂与玻璃光纤的粘结力^[4]。但是,在相同涂覆胶类型及相同固化条件下,从图 4 可以看出拔出力与内涂尺寸有较大的相关性,表现为与剥离力相反的力值特性。

2.3 微弯性能

随着光缆尺寸的小型化,用户对光纤抗微弯敏感度性能要求越来越高。较低的微弯损耗可使光缆的设

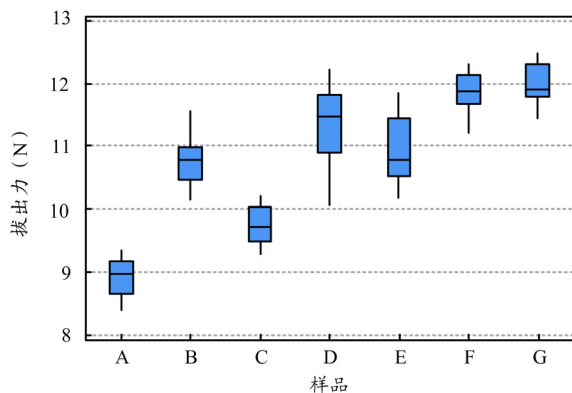


图3 拔出测试峰值分布

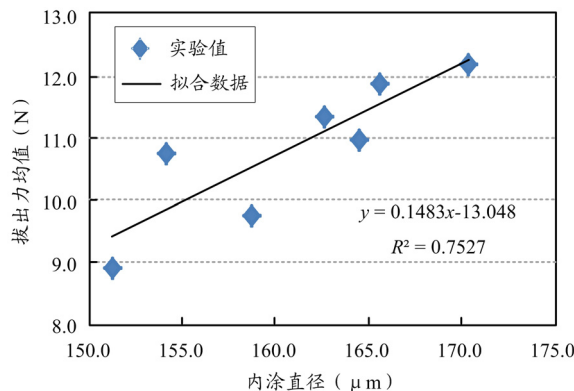


图4 拔出均值与内涂尺寸相关性

计更加简单和多样化,并降低光缆生产成本。本次实验参照 IEC/TR 62221^[5]中方法 B——固定鼓径法(fixed diameter drum),在外径为 280 mm 的石英鼓外无缝隙包裹细度规格 P320 的砂纸,使用复绕机将光纤以固定张力绕于鼓上,试验参数如下:收线张力为 100 g,排线节距为 0.50 mm,收线长度为 450 m。

使用光时域反射仪(OTDR)测试常温及-60 $^{\circ}\text{C}$ 低温下因砂纸砂粒造成的微弯附加衰减。7 盘样品在波长为 1310 nm 和 1550 nm、-60 $^{\circ}\text{C}$ 保温 2 h 后的微弯附加衰减(测试 3 次的平均值)如图 5 所示。1550 nm 波长处微弯附加衰减与内涂尺寸的相关性如图 6 所示。

抗敏感涂覆胶因其较低的内涂模量,给受应力时的玻璃光纤一个良好缓冲,被覆光纤可表现出比普通类型涂覆胶更良好的弯曲不敏感性。抗微弯性能不仅与涂覆胶类型有较大相关性,与内涂尺寸之间也表现出较明显的相关性。从图 6 可以看出,内涂直径越大,缓冲层越厚,光纤的抗微弯性能越良好。但当内涂尺寸增加到一定程度,而外涂层极薄时(样品 G 的外涂厚度仅约 10 μm),微弯附加衰减又表现为增加,这时外涂尺寸的降低已经不能达到保护光纤不受外力的

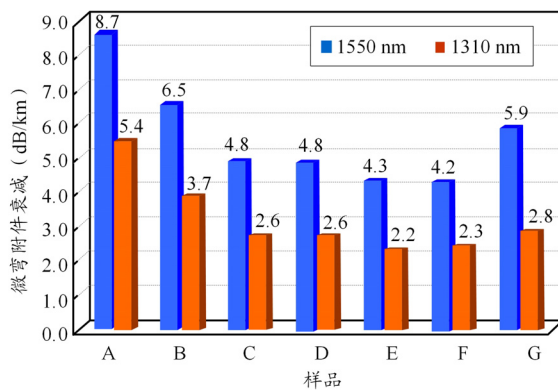


图5 -60 $^{\circ}\text{C}$ 保温 2 h 后的微弯附加衰减

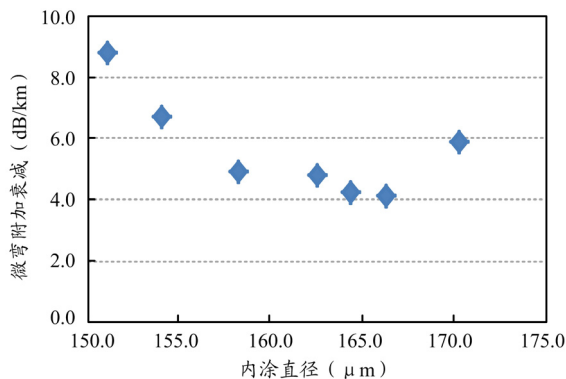


图6 -60 $^{\circ}\text{C}$ 、1550 nm 波长处,微弯附加衰减与内涂尺寸的相关性

作用了,说明外涂尺寸也是影响微弯性能的一个重要参数。

2.4 下线衰减及低温性能

200 μm 小尺寸光纤因其超薄涂覆层,相对常规 250 μm 光纤在衰减上表现出更大的敏感性。生产中会遇到这样的困扰,在张力筛选分盘后,因收线张力的影响,下线直接测试 200 μm 小尺寸光纤的衰减会高于光纤实际衰减(收线应力释放后测试),长波长尤为敏感。部分厂家进行在盘低温性能测试时同样会遇到此种困扰。

本文使用同台张力机,相同排线条件,在相同收线张力下复绕相同长度光纤,下线后立即测试的 7 盘光纤在 1310 nm、1550 nm 和 1625 nm 波长处的附加衰减,结果如图 7 所示。

为进一步研究衰减特性,本文将复绕后的光纤直接进行在盘-60 $^{\circ}\text{C}$ 保温测试 2 h,测试结果如图 8 所示。

从图 7、图 8 可以看出,对超薄涂覆层光纤,长波长衰减相对敏感性更高些。从图 7 常温下线测试衰减看,当内涂尺寸太薄时,略大的收线张力会导致明显

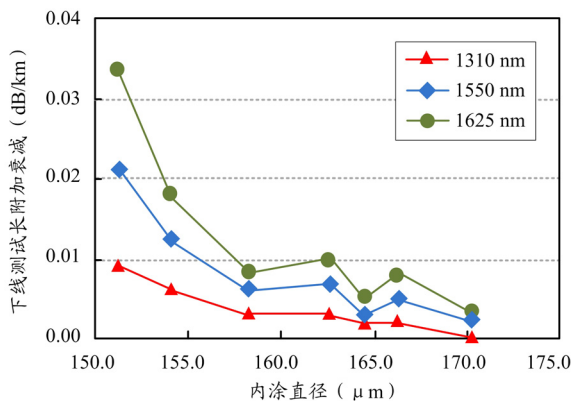


图 7 下线测试附加衰减

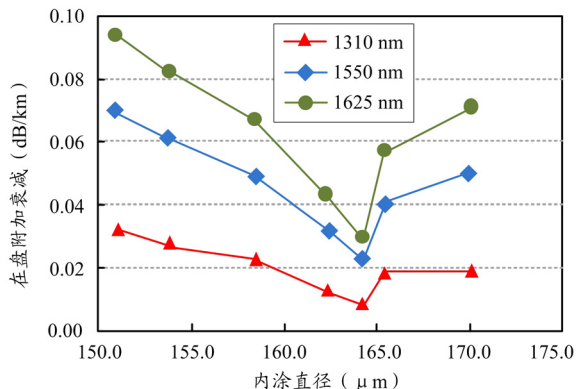


图 8 -60 °C 低温在盘附加衰减

的下线附加衰减,但当内涂尺寸大到一定程度时,对下线衰减的影响已很小(如图 7 所示,内涂尺寸大于等于 158.7 μm 后下线附加衰减均低于 0.01 dB/km)。但当进行恶劣的环境温度处理时,从图 8 可以看出,其表现与微弯实验结果类似,内涂直径越小,光纤玻璃的缓冲层越薄,附加衰减越大;但当内涂尺寸增大到一定程度,外涂层极薄时低温附加损耗又表现为增加,这与外涂层太薄导致不能对光纤进行有效的强度保护有关。

2.5 光纤强度实验

2.5.1 抗张强度

本文对 7 个样品进行 0.5 m 抗张强度实验,每个样品重复测试 30 次,结果如图 9 所示。可以看出,7 个样品在强度上的差异不太明显,但 2 个极端样品 A (150 μm 内涂)和样品 G (170 μm 内涂)表现稍差。

2.5.2 动态疲劳

动态疲劳选用 2 点法进行测量,得到动态疲劳参数与内涂尺寸的相关性如图 10 所示。可以看出,光纤动态疲劳参数整体表现较优,内涂尺寸的变化对动态疲劳影响不明显。

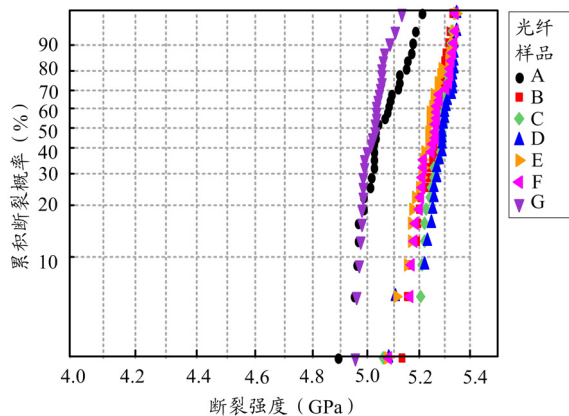


图 9 0.5 m 抗张强度韦伯尔分布

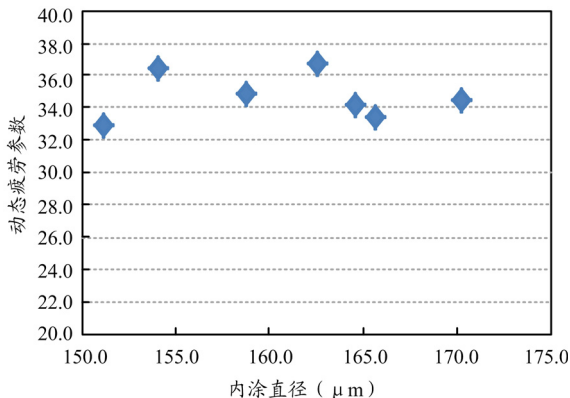
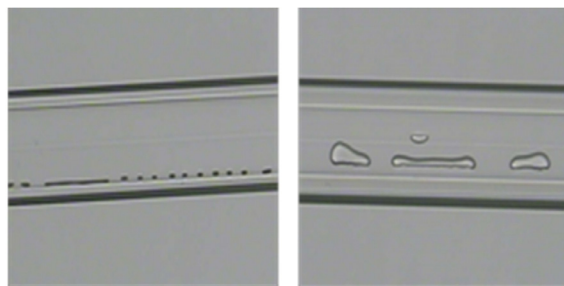


图 10 动态疲劳参数与内涂尺寸的相关性

2.6 鲁棒性强度实验

鲁棒性测试由 Draka 在 2010 年提出,是一种测试光纤内涂层耐损伤强度的方法^[6]。光纤在砝码张力引导下经导轮和直径 3 mm 不锈钢柱,以 500~800 m/min 的放线速度完成砝码下坠,然后通过高倍显微镜检查受测光纤的涂覆状况。该测试是验证光纤是否能够在后续的光缆制造、安装及接续时不受损伤的一种方法。通常测试后的光纤在显微镜下观察会有 2 种机械损伤,如图 11 所示。

具体机械损伤如下:



(a) 空穴 (Cavitation) (b) 分层 (Delamination)

图 11 鲁棒性的 2 种现象

①内涂层成空穴状(Cavitation),光纤在径向受压后,内涂层和玻璃脱离,形成空穴。造成的主要原因为内涂层材料弹性模量和抗张强度太低。

②在玻璃表面和内涂层界面形成分层和剥离(Delamination),主要原因是内涂与光纤的粘结力不够。

光纤鲁棒性性能与涂料相关,与光纤制造过程的工艺也相关,其测试结果如图 12 所示。可以看出,光纤的鲁棒性和内涂的尺寸有一定的相关性。内涂低于 160 μm ,鲁棒性表现不佳,且与内涂层尺寸呈现一定的正相关性。

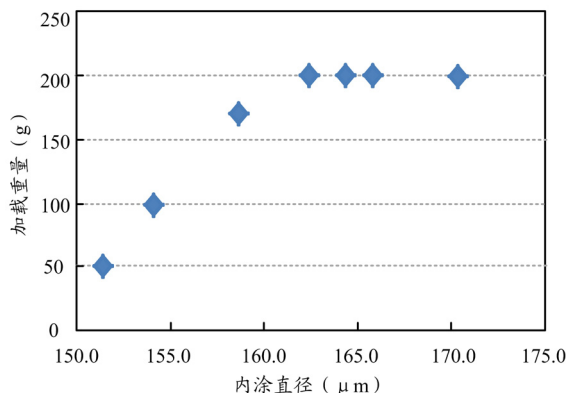


图 12 鲁棒性与内涂相关性的分析

3 结束语

本文对一系列不同内涂尺寸的 200 μm 小尺寸光纤进行试验测试,通过评价光纤的剥离力、拔出力、微弯、下线衰减、强度和鲁棒性等性能,证明涂覆层尺寸控制非常关键,现总结如下,并提出一些建议:

①200 μm 小尺寸光纤内涂尺寸的变化对光纤的多项性能有非常显著的影响。从传输性能看,光纤的内涂尺寸增加会有利于降低微弯附加衰减和耐低温性能,但当内涂尺寸过大时,微弯附加衰减和耐低温会变差。剥离力和拔出力的特性相反,当内涂尺寸增加时,剥离力减小,拔出力增大。鲁棒性表现出和内涂

层尺寸呈现明显的正相关性。光纤的强度和内涂层的尺寸相关性不明显,但当内涂尺寸过小或过大时,光纤因保护不当受到损伤的概率增大,从而导致强度降低。

②200 μm 小尺寸光纤在设计 and 制造过程中,内涂的尺寸变化范围窗口非常狭窄,根据不同的光纤应用细分市场,优化设计和制造控制,兼顾各项性能指标最优有很大的挑战。

③设定合理的内外涂覆尺寸控制目标,在优化性能的同时,又兼顾了制造过程中的效率提升和产品防护,从而提高产出率和成本竞争力。

参考文献:

- [1] GAN Keqi, LONG Han, ROBERTS Kate M. Optical Fiber Strip Force Measurement Techniques and Their Implications[C]//International Cable & Connectivity Symposium (IWCS), Nov. 10–12, 2008, Rhode Island, USA. Rhode Island: IWCS, 2008: 214–221.
- [2] International Electrotechnical Commission. Optical fibres-Part 1-32 Measurement methods and test procedures -Coating strippability: IEC 60793-1-32-2010[S]. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2010.
- [3] KASAHARA Minoru, ARASHITANI Yoshihiro. Investigation of Optical Fiber Performance after Accelerated Aging and Adhesion Strength at Glass/Primary Interface [C]//International Cable & Connectivity Symposium (IWCS), Nov. 10–13, 2013, Charlotte, USA. Charlotte: IWCS, 2013: 336–338.
- [4] LONG Han, WU Xiaosong. Characterization of tensile properties of optical fibers coated with a new generation coating system and the comparison of fatigue behavior by tensile test and two point bending technique [C]//International Cable & Connectivity Symposium (IWCS), Nov. 7–10, 2010, Rhode Island, USA. Rhode Island: IWCS, 2010: 242–249.
- [5] International Electrotechnical Commission. Optical fibres - Measurement methods - Microbending sensitivity: IEC/TR 62221-2012 [S]. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2012.
- [6] OVERTON Bob, GHARBI Delya. Reduced Diameter Optical Fiber and Cable[C]//International Cable & Connectivity Symposium(IWCS), Nov. 7–10, 2010, Rhode Island, USA. Rhode Island: IWCS, 2010: 117–122.

2020 年征订启事

光通信技术 月刊

邮发代号: 48-126

定 价: 16 元/册;192 元/年

订 阅: 全国各地邮局

为增强读者的阅读舒适感,从 2019 年起,《光通信技术》全刊采用铜版纸彩色印刷。