

单模光纤抗压力测试与低温性能的相关性研究

段小华,熊涛

(烽火藤仓光纤科技有限公司,武汉 430070)

摘要:光纤在低温环境下的使用越来越广泛,更加优异的低温用涂料和光纤低温性能的研究探索也逐步深入。采用3种不同涂层的G652单模光纤进行光纤抗压力测试,对抗压力测试后的光纤表面形貌进行分析,同时对低温试验后光纤的涂层抗压力与附加衰减性能进行测试表征。实验结果表明:光纤自身抗压力值越大,其低温附加衰减值越小,耐低温性能就越好,且低温测试前后的光纤抗压力值差异较小。

关键词:不同涂料;抗压力测试;低温性能;附加衰减

中图分类号:TN818 文献标志码:A 文章编号:1002-5561(2023)03-0074-05

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.03.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the correlation between pressure resistance testing and low temperature performance of single-mode optical fibers

DUAN Xiaohua, XIONG Tao

(Fujikura Optical Fiber Technology Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: Optical fiber is more and more widely used in low temperature environment, and the research and exploration of more excellent low temperature coatings and optical fiber low temperature performance are gradually deepened. G.652 single-mode fiber with three different coatings is used for fiber pressure resistance test. The surface morphology of the fiber after pressure resistance test is analyzed. At the same time, the anti-pressure and additional attenuation properties of the fiber coating after low temperature test are tested and characterized. The experimental results show that the higher the pressure resistance value of the fiber, the smaller the low temperature additional attenuation value, the better the low temperature resistance performance, and the difference between the pressure resistance value of the fiber before and after the low temperature test is small.

Key words: different coatings, pressure resistance testing, low temperature performance, additional attenuation

0 引言

光纤作为光通信传输的唯一信息载体,具有衰减小、带宽高、传输稳定等优势,被广泛用于长距离的信息传输^[1]。光纤由芯层、包层和涂层三部分组成。其中,芯层与包层是决定光纤传输性能的关键结构,其主要成分为SiO₂;涂层作为裸光纤的缓冲层与保护层,对于保证光纤的使用寿命和使用性能具有重要的作用。目前,应用较为广泛的光纤涂料主要包括丙烯酸酯类、甲

基丙烯酸酯类、乙烯醚类、不饱和聚酯类等^[2]。

常用光纤的工作温度一般为-40~70℃,当光纤的使用温度超过此范围时,涂料的性质将发生变化,而引起光纤微弯、损耗增大,影响通信线路的传输性能^[3]。近年来,运营商的信息网络建设逐步延伸至极寒、极热或者昼夜温差极大等环境恶劣的地区,人们对光纤在低温或高温下的附加损耗越来越关注,且逐步将其作为光纤的一项基本质量指标进行监控。本文对3种不同涂层的G.652单模光纤的抗压力测试性能、耐低温性能的联系性、光纤自身抗压力测试的规律性进行研究。

1 实验测试

1.1 实验设计及光纤制备

本文采用A、B、C 3种不同类型的涂料探究单模

收稿日期:2022-07-15。

作者简介:段小华(1991—),男,工学硕士,江西上饶人,2018年毕业于武汉理工大学材料科学与工程专业,主要从事光纤的生产工艺开发与研发,先后参与单模光纤大尺寸光棒拉丝与无氨拉丝高温炉设计及生产工艺改进工作。



光纤涂层抗压力测试与低温性能的关系。实验制备A#、B#、C# 3组单模光纤,其参数如表1所示。3种涂料均为常规普通涂料,其玻璃化转变温度差异小,对光纤自身低温衰减影响小,涂料具体相关参数如表2所示。

表1 3种不同涂料的单模光纤参数

编号	涂料类型	裸纤直径/ μm	涂层直径/ μm		拉丝参数	
			内涂层	外涂层	高温炉功率/kW	拉丝速度/(m/min)
A#	A					
B#	B	125 $\pm$ 1	185 $\pm$ 3	245 $\pm$ 3	45	2700
C#	C					

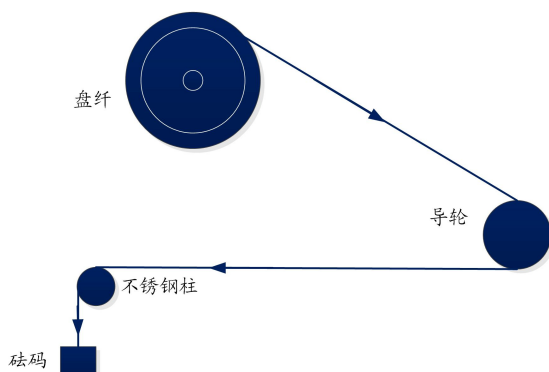
表2 3种不同涂料基本参数

涂料类型	弹性模量/MPa	玻璃化转变温度/ $^{\circ}\text{C}$
A	1.10	-42.0
B	1.28	-42.6
C	1.48	-44.74

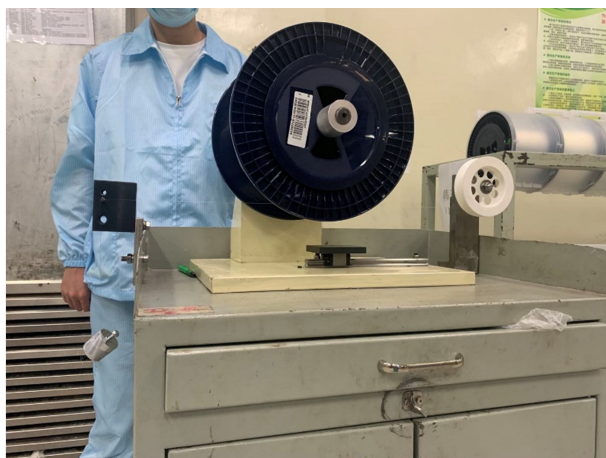
实验采用烽火藤仓光纤科技有限公司研制的单模光纤拉丝塔对光纤预制棒进行拉丝制备光纤。在拉丝过程中,设置拉丝高温炉功率为45 kW、拉丝速度为2700 m/min。拉丝完成后,使用显微镜与德国Tensor27型傅立叶变换红外光谱仪分别对光纤的涂层形貌和固化度进行测试,同时按照IEC 60793-1-32标准和GBT 15972[1].47-2008标准分别对光纤进行剥离力和光纤宏弯损耗测试。其中,在进行光纤固化度、剥离力、宏弯损耗等测试时,将每组光纤各取5个样本和样本平均值进行数据分析。

1.2 光纤抗压力测试与低温实验

光纤抗压力实验采用烽火藤仓光纤科技有限公司研制的光纤抗压力测试机,其结构示意图和实物图如图1所示。光纤抗压力测试过程如下:首先,取盘长为2.2 km的光纤放置在光纤抗压力测试机上。挂纤完成后,光纤在砝码重力的引导下,经过导轮和直径为3 mm的不锈钢柱,以100~300 m/min的放线速度完成砝码下坠,此过程光纤承受一定的侧压力。然后,使用光学显微镜对受压力测试后的光纤进行显微镜形貌分析,每组样品测试重复3次,观察失效形式的一致性。若光纤出现内部裂纹、可视界面、涂层剥离等破坏性的结构,则判定光纤失效。在一定负载测试下,光纤涂层首次失效对应的压力值即为失效压力值,光纤首次出现片状剥离失效时的压力值即为剥离压力值。



(a) 示意图



(b) 实物图

图1 光纤抗压力测试机结构示意图和实物图

低温实验过程如下:首先,取松绕状态下长为2.2 km的光纤放入高低温箱中;然后,高低温箱以1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率将温度降至-60 $^{\circ}\text{C}$,并在该温度下保温2 h后测量出光纤在不同波长下的衰减常温与低温之间的衰减差值即为附加衰减。光纤低温测试样纤中,每组试验各取3个样本进行低温测试,并取样本平均值进行数据分析。

2 实验结果与讨论

2.1 光纤的结构特征

裸纤直径与涂层直径是单模光纤的关键尺寸,其尺寸的大小不但影响光纤的光信息传输性能,而且对光纤的机械性能与环境使用性能起到至关重要的作用。3种光纤实际尺寸与固化度测试数据如表3所示。可以看出,A#、B#、C#这3组光纤的裸纤直径均在125 $\pm$ 1 μm 之内,外涂层直径在245 $\pm$ 3 μm 之内,满足光纤尺寸要求;涂料的固化程度亦是非常重要的影响因素,3组光纤内外涂层固化度均高于98%,固化效果好。此外,单模光纤涂料是一种以丙烯酸树脂为主要

段小华,熊涛:单模光纤抗压力测试与低温性能的相关性研究

表 3 3 组单模光纤的实际尺寸与固化度数据

编号	裸纤 直径/ μm	涂层直径/ μm		固化度	
		内涂层	外涂层	内涂层	外涂层
A#	124.9	186.0	243.8	98.94%	99.85%
B#	124.9	185.6	244.1	98.85%	98.99%
C#	124.7	184.9	245.2	98.35%	98.93%

成分的混合物,涂料中低聚物发生聚合反应的条件是催化剂在紫外线和一定温度下催化聚合物官能团发生聚合反应。若涂料固化不到位,将对光纤的机械性能、衰减性能、低温性能产生重要影响。

图 2 为 3 种不同涂料光纤常温时的宏弯损耗对比图。可以看出,3 组光纤在 1 550 nm 波段的宏弯损耗值均小于 0.05 dB,且最大仅为 0.0072 dB(B#),各纤在波长为 1 625 nm 波段宏弯损耗也非常低。这说明光束在光纤中传播时,只有极少的一部分光会从纤芯逃离,光纤自身的衰减小。

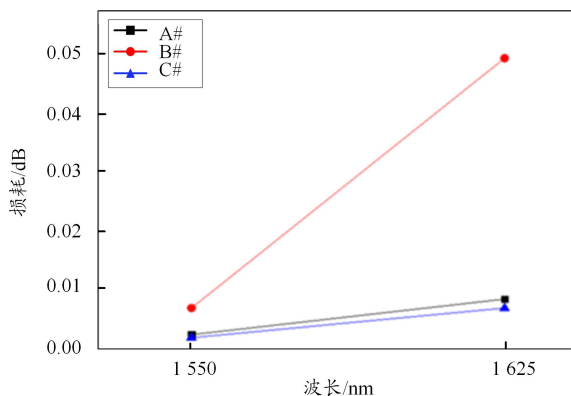


图 2 3 种不同涂料光纤的宏弯损耗

图 3 为 3 种不同涂料光纤的表面形貌图。可以看出,3 组不同涂料的光纤的外观好、透明度高,且涂层均无偏心、串珠与气泡等缺陷,符合光纤外观及结构要求,这是保障光纤在极低温环境工作时的基础与前提。

2.2 光纤抗压力性能与低温性能的联系性研究

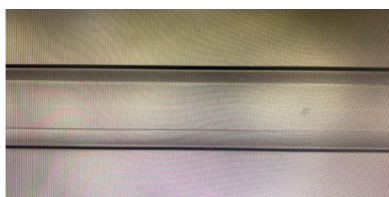
为研究 3 种不同涂料的光纤抗压力测试与低温性

能的关系,本文分别对其进行了抗压力测试、剥离力测试与低温附加衰减测试。3 种不同涂料光纤的抗压力测试值与剥离力值如表 4 所示。可以看出,3 种不同涂层光纤的抗压力值差异性较大,A# 光纤涂层首次失效压力值达到 550 g,涂层首次出现片状剥离时剥离压力值达到 700 g,抗压力性能优异;而 B#、C# 光纤涂层首次失效压力值分别为 300 g、350 g,剥离压力值均为 500 g。经剥离力测试发现,当光纤抗压力值越大时,光纤剥离力也越大。这主要是因为 A# 光纤的涂层与裸纤结合的效果更佳、附着力更大,且 3 种不同涂料具有不同的弹性模量,A# 光纤的涂料弹性模量为 1.10 MPa,明显小于其它 2 组光纤涂料,弹性模量越低其光纤对外界负载缓冲能力就越好^[4-5]。光纤保护性内涂材料具备水渗透低、光固化速度快、摩擦系数小、附着力优异、玻璃化转变温度低等优点。根据文献[4]可知,单模光纤内涂层应具有较低的弹性模量以保证光纤具有较好的抗微弯性能,而外涂层应具有较高的弹性模量以保证光纤的机械耐磨性能^[6-8]。

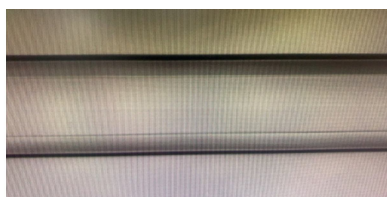
表 4 3 种不同涂料光纤的抗压力测试值与剥离力值

编号	抗压力测试		剥离力测试
	失效压力值/g	剥离压力值/g	光纤剥离力值/N
A#	550	700	1.61
B#	300	500	1.10
C#	350	500	1.23

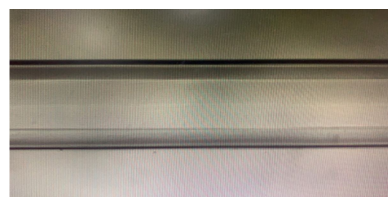
不同光纤涂层首次失效与首次剥离时的光纤形貌图如图 4 所示。可以看出,3 种不同的光纤随着负载压力的逐步增大,涂层形貌的失效形式由低负载下的颗粒状脱落逐步演变为高负载下的片状剥离脱落。由该实验可知,光纤内涂层与裸纤之间的界面是最薄弱区,在此界面处先出现颗粒状脱离失效,逐步长大成片状。这主要是由于内涂层材料自身弹性模量和抗张强度太低,以及内涂层与裸纤之间结合力差导致的。



(a) A#



(b) B#



(c) C#

图 3 3 种不同涂料光纤的表面形貌

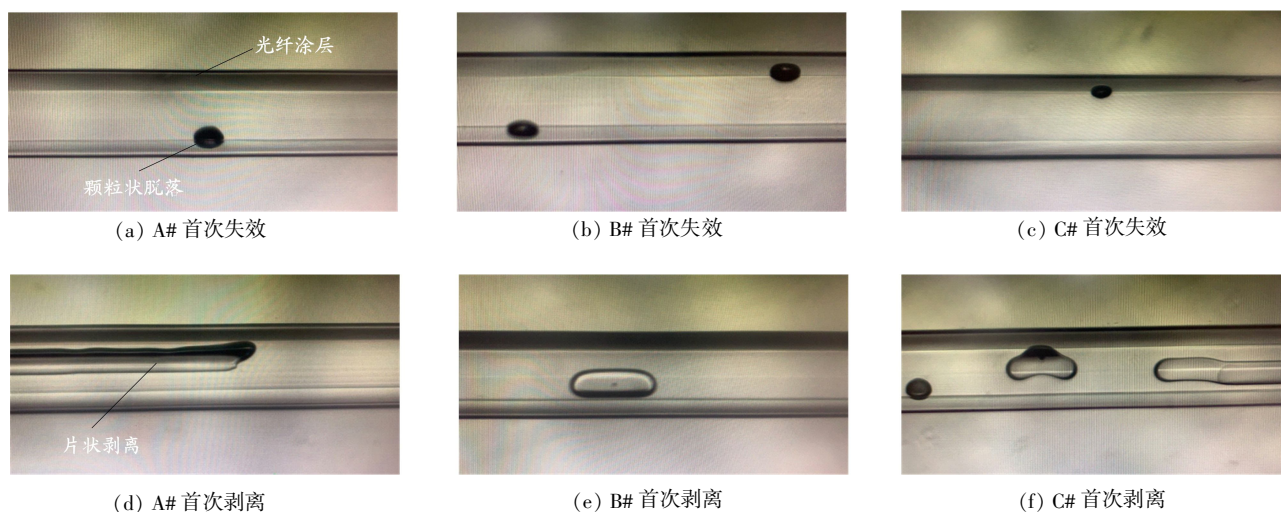


图4 不同光纤涂层首次失效与首次剥离时的光纤形貌图

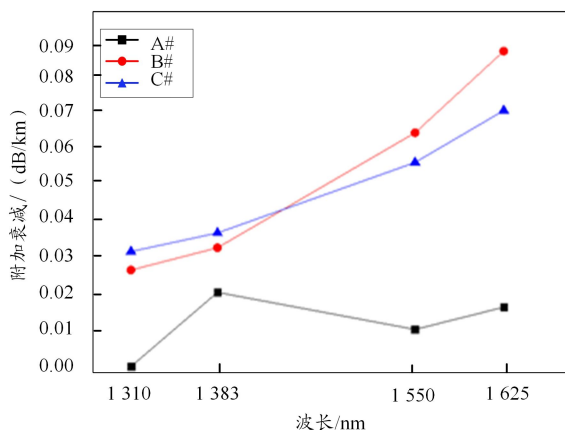


图5 3种不同涂料光纤在-60 °C时的附加损耗曲线图

图5为3种不同涂料光纤在-60 °C时的附加损耗曲线图。可以看出,在低温为-60 °C时,A#光纤在不同衰减波段的附件衰减值均小于B#和C#光纤。1310 nm波长处附加衰减为0,1550 nm波长处附加衰减为0.01 dB/km。与图2相比,A#光纤在-60 °C时的衰减性能与常温下无明显差异,其光纤低温性能优异。相反,B#和C#光纤在低温测试时与常温测试时的衰减值差异明显,附加衰减较大,低温性能不佳。从这3种不同涂料光纤的抗压力测试与低温测试可知,当光纤失效压力值越大时,光纤耐低温性能越佳;当不同光纤的失效压力值差异性较小时,该光纤耐低温性能效果相近、差异性小。光纤抗耐低温性能的优异与否,重点取决于光纤中裸纤与内涂层之接的结合效果,以及涂层涂料自身的性能。因此,在光纤进行低温测试与使用前,对光纤抗压力测试、涂层界面结合情况与涂料自身性能进行检测验证,对光纤耐低温性能的探索具有非常重要的指导意义。

2.3 光纤抗压力测试研究

为了探究低温测试前后光纤抗压力性能的差异性,本文分别从3种不同涂料的光纤中各取2组样品进行试验,其中一组只需进行抗压力测试,另一组经60 °C低温测试后再进行抗压力测试。经低温测试后的3种不同涂料光纤的抗压力测试值如表5所示。可以看出,A#、B#、C#3种不同涂料光纤低温测试前后的光纤抗压力值差异小,光纤失效压力值与剥离压力值在低温前后的差异均低于50 g,无明显区别。这主要是因为光纤内部微裂纹或应力集中区经-60 °C低温测试后,该缺陷不会产生显著恶化。相反,光纤经高温测试后光纤失效压力值与剥离压力值有明显差异^[7]。

表5 经低温测试后的3种不同涂料光纤的抗压力测试值

编号	失效压力值/g		剥离压力值/g	
	低温前	低温后	低温前	低温后
A#	550	500	700	750
B#	300	350	500	500
C#	350	300	500	550

对低温测试后的B#光纤进行不同负载压力测试,并使用金相显微镜进行形貌查看,得到的形貌图如图6所示。可以看出,当光纤所受负载压力为350 g时,光纤开始出现颗粒状脱落,随着负载压力逐步增加,颗粒状脱落越来越多。当颗粒状剥离达到一定程度(500 g)时,光纤涂层出现片状剥离现象。随着压力负载进一步加大,光纤涂层中片状失效亦可能逐步变大,并伴有明显颗粒状脱落存在。这主要是因为光纤在测试运行过程中,涂层受横向与轴向双向压力,横

段小华,熊涛:单模光纤抗压力测试与低温性能的相关性研究

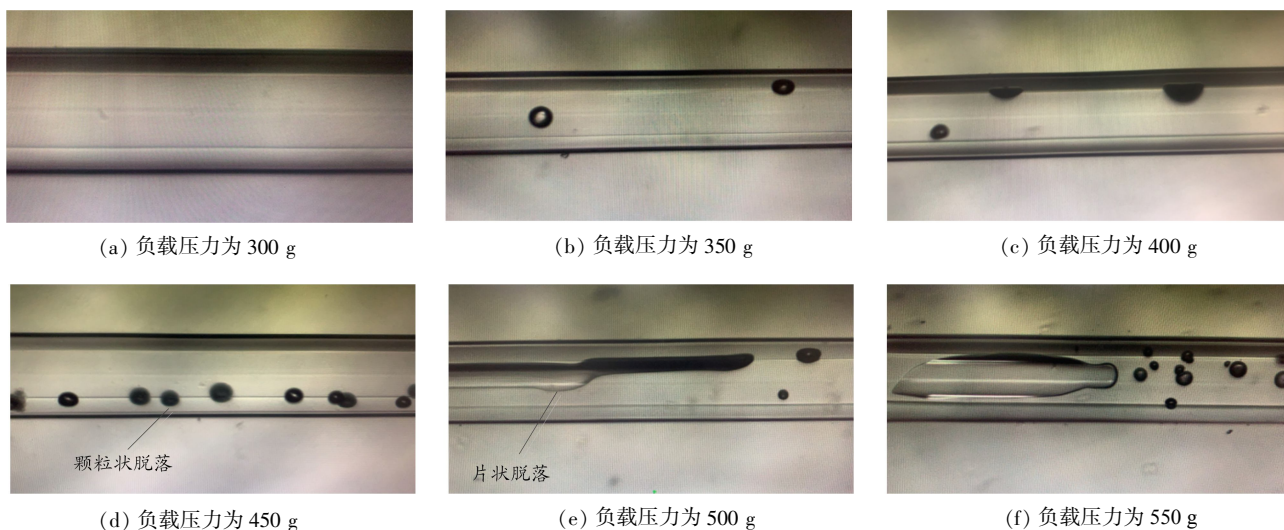


图6 低温测试后的B#光纤在不同负载压力下光纤抗压力测试形貌图

向压力的存在导致光纤与滚轴产生干摩擦,而轴向压力破坏了光纤中涂层与裸光纤的界面结合。因此,光纤抗压力测试方法可用于实际生产中对新涂料的验证检验与评估。

3 结束语

本文采用3种不同涂料的光纤进行抗压力测试与低温测试,光纤抗压力测试对于光纤新涂料的验证评估和光纤低温性能优异与否的前期性测试指导具有非常重要的意义。两者间的相关性主要包括以下几点:

- ①光纤低温前抗压力值越大,则光纤的低温附加衰减越小,光纤耐低温性能越佳。
- ②光纤在低温测试前后的光纤抗压力值差异小,差异在50 g之内,无明显区别。
- ③当光纤外观与结构满足要求,光纤进行抗压力测试时,随着负载压力的增加,涂层形貌的失效形式呈现为:由低负载下的颗粒状脱落,逐步演变为最终高负载下的片状剥离脱落。

参考文献:

- [1] 赵兴海,高杨,徐美健,等. 光纤传能特性研究[J]. 激光杂志, 2008, 29(1): 60-62.
- [2] 迟泽英,陈文建,李武森. 光纤光学与光纤应用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [3] 李健,王春江,包清,等. 光纤复合架空地线的缆芯低温损耗特性[J]. 电线电缆, 1990(4): 2-5.
- [4] 潘丰. 光纤涂覆技术和质量控制分析: 中国通信学会 2002 年光缆电缆学术年会论文集[C]. 成都: 中国通信学会通信线路委员会, 2002: 35-45.
- [5] 宁四平,段琳琳,王彬. 涂覆尺寸对 200 μ m 光纤性能影响的研究[J]. 光通信技术, 2019, 43(10): 11-15.
- [6] 郭君,喻煌. 传能光纤拉丝涂覆工艺的研究[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2019(18): 14-18.
- [7] OVERTON B, GHARBI D. 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.
- [8] 彭楚宇,熊涛. 影响光纤高低温附加损耗的因素探究[J]. 现代信息科技, 2019, 3(3): 35-37.