

塑料光纤衰减测试方法的探讨

王庆江¹ 信春玲^{1,2} 李庆春^{1,2}

(1.北京化工大学机电工程学院,北京 100029; 2.北京化工大学北京市新型高分子材料制备与加工重点实验室,北京 100029)

摘要 介绍测试塑料光纤衰减的三种方法:截断法、插入损耗法和后向散射法。详述各方法的测试原理及所用装置,重点分析三种方法的特点、差异,提出测试中应注意的问题。

关键词 塑料光纤 衰减 截断法 插入损耗法 后向散射法

塑料光纤又称聚合物光纤或有机光纤,是由高折射率的聚合物为纤芯和低折射率的聚合物为皮层所构成的光导纤维,其中聚合物材料多选用聚碳酸酯(PC)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)和氟塑料等。塑料光纤作为光导纤维的重要成员,与传统的石英光纤相比,除了具有抗电磁干扰、抗串扰、能以极低的误码率进行高速度数据传输外,还具有优异的耐辐照、模量低、较柔软、弯曲半径小、直径较大、数值孔径大、易于连接耦合、质量轻、成本低等优点,在短距离通信、车载舰载通信、工业控制系统、有线电视网、室内计算机互联等方面具有广阔的应用潜力^[1]。

目前,塑料光纤研究的重点主要集中在降低光纤衰减、提高带宽、提高热稳定性三个方面。而降低光纤衰减一直是塑料光纤研究和应用中最为关注的问题。在塑料光纤制备与应用时,需要经常测量光纤实际的衰减,以调控或评价该光纤的光传输性能。因此,采用适当的方法对塑料光纤衰减进行准确、有效、便捷的测量十分必要。

尽管塑料光纤衰减的测试方法仍可沿用石英光纤衰减的测试方法,如截断法、插入损耗法和后向散射法,但由于塑料光纤的材质、光纤直径、数值孔径、光纤衰减特性等与石英光纤有较大差异,因此,在光纤衰减测试方法的选择及测试方法的具体操作方面都应有别于石英光纤。

光纤衰减是光波在光纤中传播时光波强度减少的一种度量,取决于光纤的工作(波长)类型和长度,并受检测条件所影响。在波长为λ时,光纤上相距为L的两个横截面1和2之间的衰减定义为:

$$A(\lambda) = 10\lg \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \tag{1}$$

式中:A(λ)——光纤衰减,dB;

P₁(λ)——波长为λ时,通过横截面1的光功率,mW;

P₂(λ)——波长为λ时,通过横截面2的光功率,mW。

通常,对于均匀光纤来说,可用单位长度的衰减即衰减系数来反映光纤衰减性能的优劣,它与选择的光纤长度无关。衰减系数α(λ)定义为:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \tag{2}$$

式中:α(λ)——衰减系数,dB/km;

L——光纤长度,km。

另外,光纤衰减系数随波长变化的函数称为光纤传输损耗图或光纤衰减损耗谱。笔者现介绍三种测试塑料光纤衰减的方法^[2,3]、各方法所用测试装置的特点及测试中应注意的问题,并分析了这三种方法的特点、差异及适用性。

1 截断法

截断法是测试光纤衰减最常用的一种方法,是光纤衰减性能的基准测试方法。图1为截断法测试光纤衰减的示意图。光源发出的光经过注入系统射入被测光纤的端面,在光纤的另一端面用光检测器测出其光功率P₂(λ),然后,在不改变注入条件下,在靠近光检测器的一端截去一段长度为L的光纤,测出其光功率P₁(λ),然后就可按式(1)、(2)计算出光纤的衰减和衰减系数。

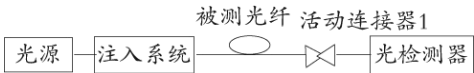


图1 截断法测试光纤衰减示意图

1.1 测试装置

光源 光源应满足塑料光纤对光源波长、谱宽、光发射角和输出功率等的要求,且在完成衰减测试的长时间内,光源位置、发光强度和波长应保持稳定。塑料光纤的直径较大(0.5~1.0 mm),且数值孔径较大(0.25~0.50),易与光源耦合,可选用廉

价的高速半导体光源。值得注意的是,若采用激光作塑料光纤的光源,则激光可能会在接收机中产生斑点图案,从而造成测试的不确定性^[4]。

注入系统 塑料光纤衰减测试的注入系统与多模石英光纤有一定区别。多模石英光纤的铺设长度远大于塑料光纤。考虑到塑料光纤的使用长度多在100 m以内,在实际使用中不可能实现如多模石英光纤长距离传输中达到的稳态模传输,其稳态模的注入条件不像多模石英光纤那样重要。衰减系数在塑料光纤衰减测试时是个不稳定的值,可根据实际使用条件和测试仪表的灵敏度来大致测试实用长度下的衰减,所得结果可以更真实地反映出塑料光纤在实际使用中的传输性能^[5]。

光检测器 光检测器是将光信号转变为电信号的一种器件。雪崩光电二极管(APD)的灵敏度高,但因偏置电压高、价格贵和稳定性问题而不宜用于短距离通信网络。因此,在通信网络中使用PIN光电二极管(PIN-PD)是一种比较好的选择。它在使用中产生与入射光功率成正比的输出电流,这一线性特性在60倍的输入功率范围内保持不变,响应时间短,通常不超过1 s,其灵敏度可达 1×10^{-12} W,但其光谱线性响应与波长有关^[6]。另外为了改善接收机的信噪比,若对光源进行调制,则应将光检测器连接到与光源调制频率同步的信号处理装置上。故选用的光检测器光谱线性响应须与光源的光谱特性相适应,且有足够的线性灵敏度、工作稳定性等。

连接器 连接器是把两个光纤端面结合在一起,以实现光纤与光纤之间可拆卸(活动)连接的器件,它是光纤通信中应用最广泛、最基本的光无源器件。例如,连接器可用于将许多段光纤连接成更长的光纤;将一些光纤连接至辐射源或检测器等有源器件;或将一些光纤连接至开关或衰减器等无源器件。对连接器的要求主要有连接损耗(插入损耗)小、回波损耗大、多次插拔重复性好、互换性好、环境温度变换时性能保持稳定并有足够的机械强度等。

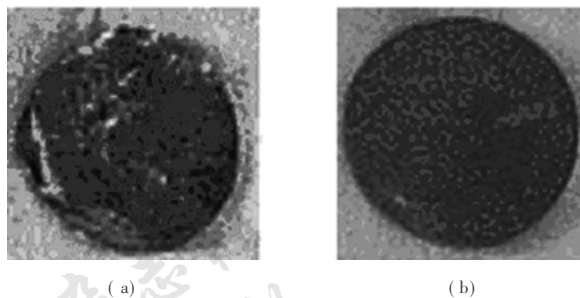
塑料光纤直径大、易连接,如对于纤芯直径为980 μm 的阶跃型塑料光纤和纤芯直径为500 μm 的渐变型塑料光纤,连接中即便有 $\pm 30 \mu\text{m}$ 的偏移也不会严重影响连接损耗(增加损耗0.03 dB左右),因而在误差允许范围内可选用结构简单、成本低廉、使用安装方便和通用性强的注塑连接器^[7]。

1.2 测试时应注意的问题

(1) 被测光纤端面和截断后的光纤端面应清

洁、平滑且与光纤的中心轴垂直。

由于塑料光纤具有韧性,因此不容易截断,必须用锋利的刀快速切下才能保证端面相对平整。另外塑料光纤也有一定的脆性,往往不是切断而是崩断。为确保被测光纤端面平整、光滑、清洁,且与中心轴垂直,通常还要采用刀切法^[8]、热金属板法^[9]或干抛光法^[10]对光纤端面进行预处理,清除端面污斑、杂质、气泡、凹凸及裂痕等缺陷。这对于保证测试精度十分重要。处理前后的塑料光纤端面形貌如图2所示。



a—处理前; b—处理后

图2 处理前后塑料光纤端面形貌

(2) 应多次测试 $P_1(\lambda)$ 、 $P_2(\lambda)$,并取几次测试数据的平均值,使得测试结果更精确。

(3) 为使塑料光纤与仪器耦合良好,测试时应保证连接器的清洁。另外当需要将连接损耗限制得较低时,可在塑料光纤与光源连接端面之间使用折射率匹配液,如与纤芯折射率相同的硅油^[7]或蓖麻油等。

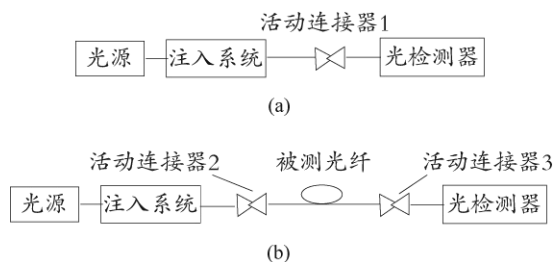
由于截断法具有破坏性,且不能获得整个塑料光纤长度的衰减变化情况,多用于成缆以前的单根光纤测试,因而它是一种实验室技术,但与后两种方法相比,该方法具有操作简便、测试精度高等突出优点。试验证明,截断法可以将测试误差控制在 ± 0.02 dB/m范围内,非常适合于塑料光纤制备过程或产品的取样检测校验。

2 插入损耗法

插入损耗法测试原理类似于截断法,如图3所示,只不过插入损耗法用带活动连接器的连接软线代替短塑料光纤进行参考测试,计算在预先相互连接的注入系统与光检测器之间(参考条件)因插入被测光纤而引起的光功率损耗。被测塑料光纤总衰减可按式(3)计算:

$$A(\lambda) = 10 \lg \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} + C_1 - C_2 - C_3 \quad (3)$$

式中: C_1 、 C_2 、 C_3 ——连接器1、连接器2、连接器3的



a—参考条件下的光功率测量；b—插入被测光纤后的光功率测量

图3 插入损耗法测试光纤衰减示意图

标称平均损耗值, dB。

另外,若已知被测塑料光纤的长度,则光纤的衰减系数可由式(2)计算得出。

2.1 测试装置

插入损耗法测试装置与截断法大体相同,主要有光源、注入系统、光检测器和连接器等。对各部分的要求同截断法中所述。

2.2 测试时应注意的问题

(1) 测试中所用连接器较多,为尽量保证其多次插拔的重复性,应选用精度较高的连接器。

(2) 该方法易受试验者实际操作水平的影响,故要求试验者操作熟练、认真仔细,一般要多次测试取平均值。

此方法测试误差较大,有时可达3 dB,即使进行多次测试取平均值,有时最大误差仍达1.5 dB^[11];测试精度一般低于截断法、后向散射法,不太适合于实验研究和塑料光纤制造中光纤衰减的测试。但这种方法具有非破坏性且操作简单等优点,因此非常适合于现场测试带有连接器光缆中继段长度的总衰减。

3 后向散射法

后向散射法是利用塑料光纤传输中的后向散射原理,使用光时域反射仪(OTDR)测量光纤数值孔径内返回到光纤注入端的瑞利散射的光功率及其返回时间,仅在光纤一端即可得出光纤衰减。通常应对光纤衰减进行双向多次测试,然后取重复性较好的数据作为光纤衰减。图4为后向散射法测试塑料光纤衰减示意图。

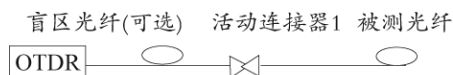


图4 后向散射法测试塑料光纤衰减示意图

3.1 测试装置

后向散射法所用装置为OTDR,其组成如图5所示。

OTDR 各主要组成部分的作用如下:

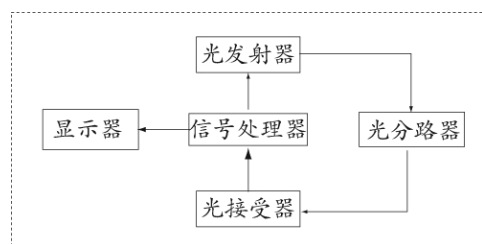


图5 OTDR 组成示意图

光发射器 通常包括一个脉冲激光二极管,能提供一个或多个脉冲宽度和脉冲重复率。

输出口 以某种方法将被测塑料光纤或盲区光纤连接到仪器面板或光源尾纤上。

光分路器 光分路器将光源输出光耦合到光纤,以及将后向散射光耦合到探测器,同时避免光源与探测器的直接耦合。光分路器不应有偏振效应。

光接受器 通常包括光电二极管探测器,探测器的带宽、灵敏度、线性度及动态范围应与采用的脉宽和接受信号电平相适应。

信号处理器 用一个对数响应的信号处理器处理信号,并采用信号平均技术提高信噪比。

显示器 显示器可以是阴极射线管、液晶显示器或两者并用,也可以是计算机部件。显示器上的垂直分度标尺为分贝数,对应于往返光信号损耗之半的分贝数变化;水平分度标尺为距离,对应于往返光信号群时延之半的长度。

3.2 测试时应注意的问题

在测试塑料光纤衰减时,一定要选用与被测塑料光纤相匹配的OTDR进行测试,这样才能得到各项性能指标均正确的结果。如果使用单模OTDR模块对多模光纤进行测试,或使用多模OTDR模块对单模塑料光纤进行测试,长度测试结果虽然不会受到影响,但衰减测试结果是不正确的。要利用OTDR进行准确的测试,还应注意以下几点^[12]:

(1) 由于塑料光纤光损耗较大,且后向散射法的散射功率一般较低,信号易消失在噪声中,故所测塑料光纤不宜过长。

(2) 在塑料光纤的测试端制作被测光纤的端面,其光纤端面应清洁且与光纤中心轴垂直。

(3) 通常OTDR能直接给出光纤衰减和衰减系数。该数据可以用两点法给出,也可以用最小二乘法拟合曲线给出。

(4) 定期通过计量检定或校验确定OTDR的距离测试误差和衰减测试误差,并确定OTDR的盲区长度和动态范围等参数。

后向散射法可减少仪器稳定性和耦合重复性的影响,但对于较长的塑料光纤而言光纤衰减测试精度低,且易受试验者实际操作水平的影响,如 OTDR 游标的正确定位与否将与测试结果密切相关^[12]。但是在短距离内,该方法不仅可以测得塑料光纤衰减或衰减系数,而且还可以检测塑料光纤长度、衰减均匀性、点不连续性、光学连续性、物理缺陷及连接器损耗等信息,更重要的是,后向散射法是一种非破坏性测试方法,且仅在塑料光纤一端即可测试,故该方法广泛应用于光缆工程施工、验收试验和安装维护中。

4 结语

三种塑料光纤衰减测试方法各有特点。尽管截断法具有破坏性,但其测试精度是三种方法中最高的,非常适合于光纤制备过程或产品的取样检测。后向散射法仅在光纤一端即可测试光纤衰减,而且还可测得连接器光损耗及进行故障定位等,故其广泛应用于工程安装、调试和维护检修。插入损耗法非常适合于在现场测试带有连接器光缆中继段长度的总衰减。总之,针对具体的塑料光纤衰减测试对象,要根据衰减测试要求、目的和场合等具体情况,合理、有效地选择测试方法。当然还可综合运用三

种测试方法,优化测试方法设计,消除测试过程中连接器插拔次数过多等带来的设计误差,提高塑料光纤衰减的测试精度。

参考文献

- 1 于荣金.塑料通信光纤.光电子·激光,2002,13(4):315
- 2 GB/T 12357.4-2004 通信用多模光纤第4部分:A4类多模光纤特性.
- 3 IEC 60793-1-40-2001 Optical fibres, Part 1-40: Measurement methods and test procedures; Attenuation.
- 4 王占友.光纤与光纤测试技术.电子产品世界,1996(8):34
- 5 孙筱虹,陆敏捷.有关塑料光纤测试的研究.中国通信学会2002年光缆电缆学术年会论文集.北京:中国通信学会,2002.
- 6 江源,邹宁宇.聚合物光纤.北京:化学工业出版社,2002.
- 7 肖文辉,于荣金.塑料光纤连接器.中国实用新型专利 03145056.3.2004-04-07
- 8 孙会刚,储九荣,温序铭,等.PMMA塑料光纤衰减的测试研究.光通信研究,2002(2):55
- 9 Koeppen C, Shi R F, Chen W D, et al. Properties of plastic optical fibers. Opt Soc Am B, 1998, 15(2):727
- 10 胡先志.梯度塑料光纤的性能测试.光纤通信技术,1997(2):39
- 11 刘强,段景汉,冒勇.一种新的精确测试光纤衰减方法的探讨.光通信研究,2000(5):59
- 12 成晓林.利用 OTDR 进行精确的测试.四川通信技术,2001,31(1):39

INVESTIGATION ON ATTENUATION MEASURING METHODS FOR PLASTIC OPTICAL FIBER

Wang Qingjiang¹, Xin Chunling^{1,2}, Li Qingchun^{1,2}

(1. Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. The Key Laboratory of Beijing City on the Preparing and Processing of Novel Polymer, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT Three attenuation measuring methods for plastic optical fiber including the cut-back method, the insertion-loss method and the back-scattering method are introduced. The measuring principles and apparatus used in tests are presented in detail. The characteristics and the main problems that should be noticed in test procedures for three methods are emphatically discussed.

KEYWORDS plastic optical fiber, attenuation, cut-back method, insertion-loss method, back-scattering method

美科学家开发出一种低成本的塑料太阳能电池

加州大学洛杉矶分校(UCLA)的研究者已开发出一种低成本的塑料太阳能电池,这种太阳能电池的生产成本将是传统的太阳能电池生产成本的10%~20%。当前近90%的太阳能电池都是由硅制成的,而由UCLA开发的太阳能电池则是由两个导电极之间夹着一单层塑料组成。UCLA工程学教授Yang Yang指出,这种太阳能电池的转化效率达到4.4%,是截止目前全球转化效率最高的塑料太阳能电池。太阳能电池的转化效率是指吸收所有照射在其表面总能量的百分比。

据UCLA称,塑料太阳能电池的性能目标是最终达到转化效率约15%~20%,而使用期限达到15~20年。而对于大型传统太阳能电池来说,在同样使用期限内的转化效率为

14%~18%。(庞晓华)

印度车用塑料需求将大增

据分析,到2010年,印度产车辆塑料用量将增加30%,印度用于制造国产轻型机动车的塑料(包括特种工程塑料)将从2005年的60 kg/辆增加至2010年的80 kg/辆。

目前,印度汽车制造业使用的塑料有一半要靠进口,某些车用工程塑料如特殊等级聚碳酸酯和(丙烯腈/苯乙烯/丙烯酸酯)共聚物(ASA)完全依赖进口。

据统计,在印度,2002~2003年乘用车用塑料占车用塑料总消费量的35%,摩托车和电动自行车各占28%。同时,印度班加罗尔Segment Y汽车咨询公司预计,印度汽车市场在今后5年将以年均10%左右的速度增长,2011年销量将达200万辆。(子皿)