

基于光功率损耗的外绝缘表面污秽度检测系统影响因素研究

徐志钮¹, 陈飞飞¹, 赵丽娟¹, 张智娟¹, 杨志¹, 黄耀德²

(1. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003; 2. 国网新疆电力公司经济技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:为了提高基于光功率损耗的绝缘表面污秽度测量方法的精度,搭建了基于裸光纤的表面污秽度检测系统。基于该系统,对盐溶液浓度、灰悬浊液浓度、光纤形状、光源类型和光纤类型对表面附盐导致的光功率损耗的影响进行了实验研究,并对实验结果进行了较为深入的理论分析。实验结果表明:随着盐溶液浓度的增加,光功率损耗逐渐增大;灰悬浊液浓度对光功率损耗影响不大;采用U型光纤时的光功率衰减比直线型光纤更显著;采用宽谱(多纵模)光源时的光功率衰减比窄谱(单纵模)光源更显著;采用多模光纤的光功率衰减比单模更显著。理论分析结果很好地解释了以上实验结果,验证了实验结果的可靠性。进行基于光纤的外绝缘表面污秽度测量时应采用U型状态、半导体光源和多模光纤以提高测量精度。

关键词:污秽度;光功率损耗;光纤;光纤形状;光源类型;光纤类型

中图分类号: TM 216

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2019.03.018

0 引言

随着社会的不断发展,电力工业在人们的生活中扮演着越来越重要的角色,电网的安全运行意义重大。自20世纪七八十年代以来,我国曾发生过多起因污闪导致的大面积停电事故,其造成的国民经济损失极为严重^[1-2]。因此,有效预防、减少电网中污闪事故的发生对电网安全运行具有十分重要的意义。

污闪的发生需要一定的污秽度、潮湿的环境以及一定的电压。通常污闪容易在额定电压下发生。从目前情况来看,潮湿的环境以及电压并非可控因素。抑制污闪发生的一个重要途径是减少绝缘子表面的污秽度,其前提条件是对污秽度的监测。目前,对污秽及其造成影响的测量方法主要是等值盐密法^[3]、声发射技术法^[4-5]和泄漏电流法^[6-7]。传统的等值盐密法需要从绝缘子表面清扫污秽,然后将污秽溶解于蒸馏水中进行测量,除了花费较大的人力、物力外,还难以实现实时连续的监测。声发射技术法是建立在绝缘子污秽放电基础上的一种方法,它根据污秽情况与声波信号的关系来监测污秽放电情况。绝缘子泄漏电流法应用非常广泛,由于电流大小与很多因素有关,该方法需要进一步探索的问题是泄漏电流与污秽度的等效,同时有效的抗干扰方法也非常关键。

随着光传感技术的发展与成熟,国内外许多研

究人员开始研究采用光传感器来测量绝缘子表面的污秽度。目前基于光传感的污秽度测量的传感原理主要有基于反射光偏振法^[8]和基于光功率衰减的方法^[9-10]等。其中,前者主要是通过测量硒化锌传感器表面反射光的偏振状态来获得绝缘子表面污层的厚度和折射率从而监测污秽水平;后者通过测量光功率损失来对污秽水平进行监测。国网电力科学研究院张锐^[9]和蔡炜^[10]等人分别研究了以石英棒为核心的光传感监测终端,并在实际测量中通过光能量损失,与人工神经网络结合来监测绝缘子污秽度水平,提供了一种比较有效的对运行绝缘子的污秽水平进行监测的方法;天津大学高维钊等人设计了基于裸光纤的绝缘子表面盐密在线检测系统^[11],该方法能有效避免现有方法存在的问题,如现场设备需要有电源支持,易造成放电端,可能破坏输电导体的电磁分布,给电能的传输带来潜在威胁,以及整体造价较高等,给基于光传感的绝缘表面污秽度测量提供了一种新的解决方案,同时所提方案的可行性也得到了初步验证。但以上文献并未对光源类型、光纤类型及光纤形状对光功率衰减的影响进行研究,也没有对相关参数的选择提供参考,更没有对其内部存在的机理进行分析,这可能会对污秽度检测性能,尤其是准确性带来影响,影响该方法的推广应用,因此有必要进行系统的研究。

针对现有基于光功率损耗污秽度测量方法存在的问题,本文针对一种基于裸光纤的绝缘表面污秽度监测系统的影响因素进行了较为深入的实验研究和理论分析。本文搭建了基于裸光纤的绝缘表面污秽度检测系统,然后对光功率损耗的原理进行了简述,并对实验流程进行了说明。基于搭建的系统对盐溶液浓度、灰悬浊液浓度、光纤形状、光源及光纤类型对光功率损耗的影响进行了实验研究,获得了相关的影响规律,在此基础上根据光纤通信理论对

收稿日期:2017-12-28;修回日期:2018-09-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51607066,61377-088);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2017-MS110);河北省自然科学基金资助项目(E2012502045)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51607066,61377088), the Fundamental Research Funds for the Central Universities(2017MS110) and the Natural Science Foundation of Hebei Province(E2012502045)

影响规律进行了较为深入的解释,对基于裸光纤的绝缘表面污秽度测量的相关参数选择给出了建议。本文研究结果为基于光功率损耗的外绝缘表面污秽度检测方案的确定提供了很好的参考。

1 光纤污秽度检测实验介绍

1.1 实验设备及系统

本实验实现对不同污秽度、类型和形状的裸光纤光功率衰减的测量,因此实验系统主要由光源、光纤和光功率计及其他辅助实验设备组成,主要设备的实物图如附录中图 A1 所示。

本实验中使用的光纤分别是单模光纤(LC-FC)和多模光纤(FC/PC-FC/PC)。为了得到实验用的裸光纤,首先剥去护套和涂覆层,然后使用 FC-6S 型切割刀获得平整的光纤断面,再将剥去涂覆层的 2 段光纤采用 KL-300T 型光纤熔接机进行熔接。实验选用的裸光纤长度均为 15 cm。

为了研究光源对测量结果的影响,本文实验选用了 TLS-510 型半导体光源、SLED 型宽谱光源和 GCDFB-B 型单波长分布式反馈 DFB (Distributed FeedBack) 光源。测量使用的光波波长均为 1 550 nm,且在实验中均对温度、电压、电流等进行了稳定性测试。实验光源均可通过调节温度和电流来改变输出功率:半导体光源的温度与电流的调节范围分别为 15~45 °C 与 0~200 mA;宽谱光源的温度和电流调节范围分别为 20~25 °C 和 0~320 mA;单波长 DFB 光源的温度范围是 -40~100 °C,其工作电流可以进行精准的调节。附盐前后光纤末端的光功率通过 JW3208 型光功率检测计进行测量,它的光功率测量范围为 -50~26 dBm,波长测量范围为 800~1 600 nm,相关性能指标能满足本文的实验要求。在配制一定质量浓度(下文简称浓度)的盐溶液时,利用 AB204 型电子天平对水和盐(NaCl)进行称量。

1.2 光功率损耗原理

光在光纤中传输衰减的原因有散射损耗、吸收损耗和弯曲损耗等^[12]。其中,散射损耗主要由光纤材料密度的微观变化、成分的起伏、结构上的不完善及制造过程中产生的缺陷所引起;吸收损耗由光纤材料和杂质对光能的吸收引起,光纤材料和杂质会将光能以热能的形式消耗,是光纤损耗的重要原因之一;弯曲损耗是由波导结构变化引起的损耗,究其原因还是由光不满足全反射条件所致,它与光纤敷设的弯曲半径有关。涂污导致光纤中光功率的损耗主要是由于光在光纤与污层分界面发生了折射现象,这种折射现象归结于污层对光的吸收能力。

根据光学中光的传播特性,一束光在经过 2 种介质的分界面时会发生反射、折射等现象,该现象满足菲涅尔定律^[13],具体示意图如图 1 所示。图中,介质可以是空气或污层; θ_1 、 θ_2 和 θ_3 分别为入射角、

折射角和反射角,且满足式(1)所示的折射定律。

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

其中, n_1 和 n_2 分别为光纤和介质的折射系数。

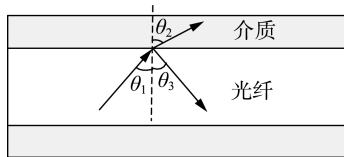


图1 光纤表面发生折反射示意图

Fig.1 Schematic diagram of fiber surface refraction and reflection

当 θ_1 等于全反射临界角 θ_c 时, $\theta_2 = 90^\circ$; 当 $\theta_1 > \theta_c$ 时, 光线在光纤内发生全内反射(以下简称全反射), 光不会射出光纤; 而当 $\theta_1 < \theta_c$ 时, $\theta_2 < 90^\circ$, 光在传输过程中在分界面处会发生折射现象, 部分光射出光纤, 造成光纤中光能量的损失。

1.3 实验过程

实验开始前准备好上述实验物品, 将光源的初始电流、电压均调到最小, 以免损坏实验器材; 同时将其温度调节到器材工作温度。实验步骤如下:

- a. 按照实验原理搭建好实验平台, 并接通光源, 调解光源的输出电流与温度(正常工作范围内), 让设备开启 10 min 左右, 使输出光功率稳定在 1 000 μ W, 读取光功率计的读数, 并记录;
- b. 用电子天平称取 100 mL 的纯净水, 置于容器中;
- c. 用电子天平称取一定量的盐并溶于称取的纯净水中;
- d. 用棉签浸沾上述盐溶液后涂抹在裸光纤表面, 待裸光纤表面液体充分蒸发后读取光功率计的读数, 并记录;
- e. 全部或部分重复步骤 c—d, 完成不同盐溶液浓度的实验, 转步骤 f;
- f. 将光源输出电流调至最小, 关闭光源;
- g. 全部或部分重复步骤 a—f, 完成针对不同光源、光纤类型和光纤形状的实验。

需要注意的是, 光纤由玻璃材料制成, 其直径极小, 表面不易吸附液体, 将盐涂覆到光纤表面较难实现。本实验正式开展前, 笔者反复尝试了多种涂覆方法, 发现用棉签浸沾溶液后涂污效果较好。同时, 笔者也对涂抹次数与光功率衰减的关系进行了实验研究, 确定涂抹次数不小于 3 次可以保证裸光纤表面溶液量趋于稳定的状态。因此, 本文实验结果具有可靠性。

2 实验分析

2.1 污秽度的影响

本文实验通过使裸光纤吸附不同浓度的盐溶液(浓度在 100~1 000 g/L 范围内变化)来实现光纤表

面污秽度的变化。对不同的光纤类型、光源和光纤形状组合下对光功率损耗与盐溶液浓度的关系进行了实验,为了使实验结果具有可重复性,对每种组合在不同盐溶液浓度下进行了不少于 3 次测量。需要注意的是,本文中所有的光功率损耗都是染污前光功率值减去涂污后的光功率值,即实验给出的所有光功率损耗都由光纤表面污秽所导致。

不同的光纤类型、光源和光纤形状组合下对光功率损耗与盐溶液浓度的关系的实验结果如图 2 所示。由图 2 可见,在不同光源、不同光纤及不同光纤形状下的光功率损耗均随着污秽度的增加而增大。

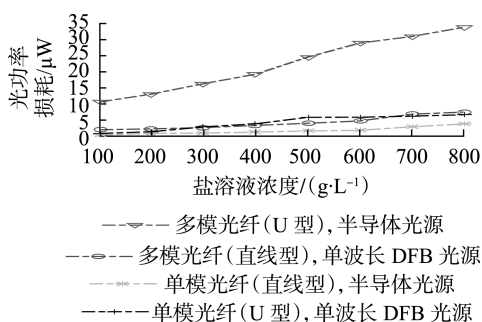


图 2 光功率损耗与污秽度的关系

Fig.2 Relationship between optical power loss and contamination degree

光纤表面附盐导致光功率损耗增加的原理如下。由菲涅尔定律知 $\theta_c = \arcsin(n_L/n_C)^{[14]}$, 其中, n_L 为光纤表面介质的折射率, n_C 为光纤的折射率。当裸光纤表面无附盐时,其介质为空气。对于空气, $n_L = 1$; 对于单模光纤, $n_C = 1.5$; 对于多模光纤, $n_C = 2$; 通过菲涅尔定律可知单模和多模光纤的 θ_c 分别为 41.81° 和 30° , 只要光纤中光的入射角 θ_1 大于此时的 θ_c , 则光在光纤中传输时就会发生全反射, 没有光线折射出光纤。

当裸光纤表面吸附污秽后,污秽成为新的介质。对于盐, $n_L = 1.54 > n_C$, 根据菲涅尔定律可知此时在附盐处单模裸光纤不存在全反射现象,即此时的 $\theta_c = 90^\circ$ 。而多模光纤的 $\theta_c = 50.35^\circ$, 即 2 种情况下的 θ_c 均比无盐情况下的 θ_c 更大, 这时入射角介于原先全反射临界角和新全反射临界角之间的光也会发生折射现象,造成能量的损失。图 3 为洁净和被染污后多模裸光纤折射、反射和全反射示意图。随着裸光纤表面附盐量的增多,污层与裸光纤接触的有效面积会不断增大,光在污秽与光纤分界面处发生折射现象的概率也会增大,折射光线携带能量射出光纤,造成光功率损耗的增加。

另外,介质中传输的功率还与归一化频率 V 有关, V 值越小,介质中的功率越大^[11]。 V 与折射率的关系如式(2)所示。

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda(n_1^2 - n_2'^2)^2} \quad (2)$$

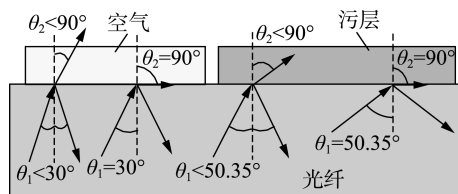


图 3 洁净和染污后多模裸光纤折射、反射和全反射示意图

Fig.3 Schematic diagram of refraction and reflection, total internal reflection of clean and polluted multimode bare fiber

其中, a 为光纤半径; n_2' 为光纤表面整体的折射率; λ 为真空中的光波的波长。

随着裸光纤表面对污秽吸附量的增加,其表面整体的折射率 n_2' 增大,裸光纤的平均 V 值随之变小,导致进入污层中的光功率变大,因此光功率损耗也变大。这也从另一个角度解释了光功率损耗随着盐溶液浓度的增加而增大的原因。

绝缘表面污秽除了可溶性的盐,还有不可溶的灰,本节同时研究了灰密对光功率损耗的影响。实验流程与盐溶液浓度对光功率损耗的影响实验相似,实验参数为:多模光纤,宽谱光源,入射功率为 $1\,000\,\mu\text{W}$,灰为高岭土。实验所得灰悬浊液浓度对光功率损耗的影响如图 4 所示。

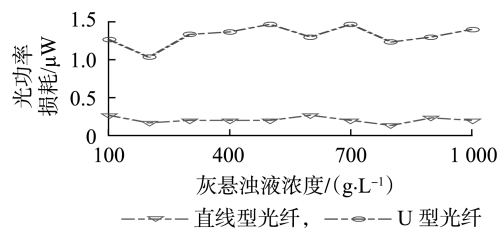


图 4 灰悬浊液浓度对光功率损耗的影响

Fig.4 Influence of non-soluble salt suspension solution concentration on optical power loss

图 4 所示结果表明,测试条件下灰密值对光功率损耗几乎没有影响,这与文献[9]中的研究结果基本吻合。所以在干燥环境下,基于光纤的盐密测量方法在实际运行中不易受到光纤表面存在的灰的干扰。

2.2 光纤形状的影响

光纤的弯曲现象会影响光功率的衰减,本节对该方面进行研究以期在实际应用选择较优的光纤形状。本实验针对直线型和 U 型光纤进行了测试,其中, U 型光纤的弯曲直径约为 $2.5\,\text{cm}$ 。不同光纤形状下光功率损耗与盐溶液浓度的关系见图 5。

由图 5 可见,在同一盐溶液浓度下, U 型光纤的光功率损耗大于直线型光纤的光功率损耗,即基于光功率损耗的绝缘表面盐密测量的灵敏度在 U 型状态下会更高。因此,在确定基于光功率损耗的污秽度测量方案时应该选择 U 型状态下的光纤。

下面分析光纤形状对光功率损耗的影响。假设

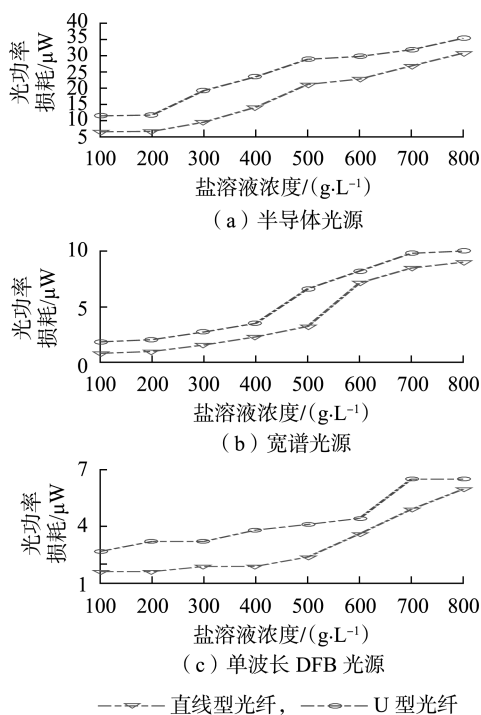


图5 不同形状多模光纤的光功率损耗

Fig.5 Optical power loss of multimode fiber with different shapes

实验中光以相同的入射角 θ_1 分别入射到直线型和U型光纤中。其中,光在U型光纤中的传播路径如图6所示。由图可见,直线型状态下入射角仍然为 θ_1 ,U型状态下的入射角 θ'_1 明显小于 θ_1 。即光纤表面有污秽时,即使直线型状态下不发生折射,U型状态下也可能发生折射而造成能量损失。因此,U型光纤比直线型光功率损耗更大。

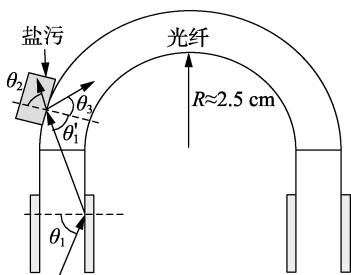


图6 光在附污秽后的U型裸光纤中的传输

Fig.6 Light transmission in U-type bare fiber with contamination

此外,由于光纤的弯曲会使模场重新分布,导致偏离光纤中心的光传播的距离会更长,即导致这部分光由低阶模式向高阶模式转变^[14]。变为高阶模式的光,由于入射角减小,将以更陡的锯齿型路径传播,更容易跑到分界面处。结合菲涅尔定律可知,在分界面处的光更容易发生折射现象,造成能量的损失。因此会有更多比例的光发生折射造成光功率损耗。综合上述分析可知,表面附盐后光纤在U型状态下的光功率损耗将大于光纤在直线型状态下的光功率损耗。

2.3 光源类型的影响

在实际应用中光源类型可能会影响光功率损耗,本节针对光纤形状和盐溶液浓度的不同组合实验研究光源类型的影响。选用光纤形状以及光源的介绍见2.1节,其中,单波长DFB光源为窄谱光源,即单纵模光源;而宽谱光源和半导体光源发射的是宽谱光源,即多纵模光源^[15]。不同光源下的光功率损耗与盐溶液浓度的关系如图7所示。

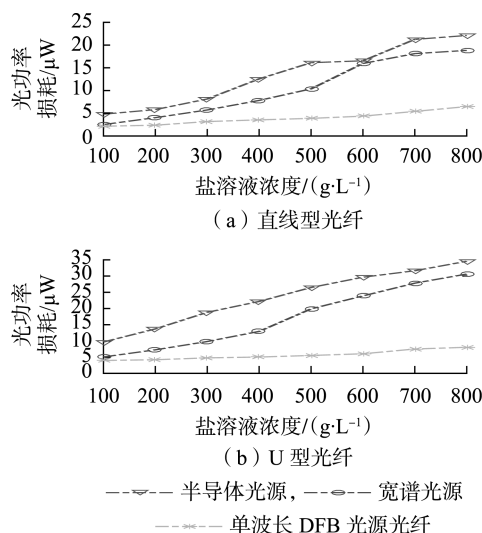


图7 多模光纤在不同光源下的光功率损耗

Fig.7 Multimode fiber optical power loss under different light sources

由图7可知,在相同污秽度下半导体光源和宽谱光源对应的损耗比单波长DFB光源的大。半导体光源的光功率衰减量为单波长DFB光源的4倍左右,即前两者用于光纤测污时的灵敏度要远大于后者。根据实验结果可知,在确定基于光功率损耗的污秽度测量方案时,应该选择多纵模(宽谱)光源,尤其是半导体光源更为合适。并且在不同光源下光功率损耗都会随着盐溶液浓度的增加而有不同程度的增大,这与2.1节的研究结果吻合。

图8为单纵模光源和多纵模光源的光谱特性

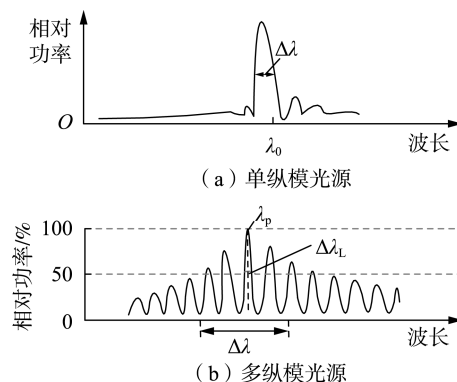


图8 单纵模和多纵模光源的光谱特性

Fig.8 Spectral characteristic of single longitudinal mode and multi-longitudinal mode light sources

线^[12]。在单纵模光源中,产生的光包括单纵模和边模。因为单纵模比边模到达阈值快,所以单纵模便成了主模,主模在传输过程中被束缚在光纤轴向上从而不易发生折射,而边模在传输过程中缺乏光纤的束缚可能发生折射从而泄漏出光纤,但参与折射的光功率占总传输光功率的比例较低。而在多纵模光源中,由于存在多种纵模,多纵模光源的光功率由光纤轴向到分界面处的分布呈指数递减形式,在边模上携带的功率远大于单纵模光源的边模功率。参与折射的光功率占总传输光功率的比例也比单纵模光源要大很多。

当裸光纤表面附盐时,由于污秽的折射率较空气的折射率大,使得光纤与介质的折射率差变小,光纤束缚光的能力减弱^[12]。结合单纵模与多纵模光源的光谱分布可知,在分界面处多纵模产生的光功率损耗较单纵模产生的光功率损耗更大。

2.4 光纤类型的影响

由图 7 可知宽谱光源对应的光功率损耗较半导体光源的略小但更稳定,并且比单波长 DFB 光源对光功率产生损耗更明显,因此本节采用宽谱光源作为光源。为了提高研究结果的可靠性,针对直线型和 U 型光纤均开展了实验,得到不同光纤类型下的光功率损耗与盐溶液浓度的关系如图 9 所示。

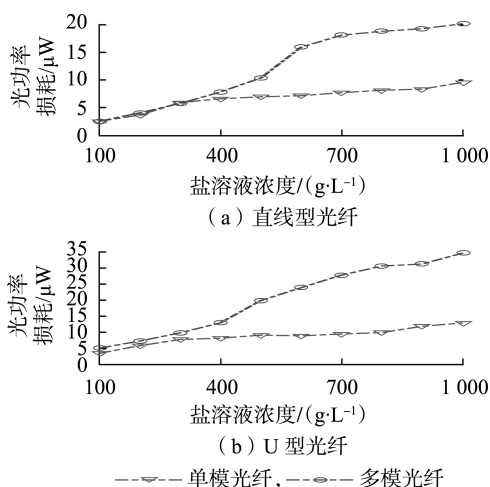


图 9 宽谱光源下光纤类型对光功率损耗的影响

Fig.9 Influence of fiber type on optical power loss under broadband light source

由图 9 可见,无论是单模光纤还是多模光纤,其光功率损耗均随着盐溶液浓度的增加而增大。并且在同一盐溶液浓度下,多模光纤的损耗要比单模的大,基本上前者是后者的 2 倍左右,即选择前者时的灵敏度会更高,在确定基于光功率损耗的污秽度测量方案时应该选择多模光纤。这与光纤通信中多模光纤比单模光纤损耗更大相吻合。其原因为:在单模光纤中由于光纤对光的束缚能力比较强,使得绝大部分的光能量被约束在光纤轴向上传输,只有少部分的光远离光纤轴向,可能在分界面处透射出光

纤造成能量的损失;相对单模光纤而言,多模光纤由于光源在进入光纤前其耦合角度各异,导致入射角大于全反射临界角的光占传输光的比例更高,附盐情况下发生折射导致的能量损耗也会更多;由 2.1 节分析可知,存在污层后单模光纤的全反射临界角明显大于多模光纤的全反射临界角的情况,但后者的边模光功率远大于前者的全反射临界角的情况,掩盖了全反射临界角差别的影响,故有以上实验结果。也可从另一个角度去分析,即由 2.2 节机理分析部分可知,由于多模光纤中的光存在高阶模式,导致在附盐的情况下多模光纤在传输光的过程中其光功率损耗要比单模光纤的大。

3 结论

本文搭建了基于裸光纤的外绝缘表面污秽度检测系统,实验研究了盐溶液浓度、灰悬浊液浓度、光源类型、光纤类型和光纤形状对表面附盐(灰)导致光功率损耗的影响并从理论上对实验结果进行了较为深入的分析,最后为基于光功率损耗的外绝缘表面污秽度检测方案提供了参考。本文所得结论如下:

- 光功率损耗随着盐溶液浓度增加逐渐增大;
- 光纤在 U 型状态时的光功率衰减比直线型光纤更显著,其原因是 U 型状态改变了入射到边界的入射角,同时使光纤由低阶模式向高阶模式转变;
- 采用宽谱(多纵模)光源时的光功率衰减比窄谱(单纵模)光源更显著,原因是前者中可能发生折射的边模携带能量更高,综合分析后应该选择半导体光源。
- 采用多模光纤时的光功率衰减比单模更显著,这是由于多模光纤的高阶模式较之单模光纤基模的入射角更小,发生折反射的次数更多。

综上所述,基于光纤的绝缘表面污秽度测量时应采用 U 型状态、半导体光源和多模光纤。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- 宿志一,李庆峰. 我国电网防污闪措施的回顾和总结[J]. 电网技术,2010,34(12):124-130.
SU Zhiyi, LI Qingfeng. Historical review and summary on measures against pollution flashover occurred in power grids in China[J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 124-130.
- 关志成,刘瑛岩,周远翔,等. 绝缘子及输变电设备外绝缘[M]. 北京:清华大学出版社,2006:182.
- 江秀臣,安玲,韩振东. 等值盐密现场测量方法的研究[J]. 中国电机工程学报,2000,20(4):40-43,49.
JIANG Xiuchen, AN Ling, HAN Zhendong. Study on the method of ESDD on-site measurement[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(4): 40-43, 49.
- 李明,舒乃秋,彭旭东,等. 基于声发射技术的绝缘子污秽放电监测[J]. 电力自动化设备,2004,24(6):98-100.
LI Ming, SHU Naiqiu, PENG Xudong, et al. Insulator contaminant fla-

- shover monitoring based on acoustic emission technique[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(6): 98-100.
- [5] 杨振东,舒乃秋,王文志,等. 绝缘子污秽放电声发射监测方法研究[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(7): 35-37.
- YANG Zhendong, SHU Naiqiu, WANG Wenzhi, et al. Acoustic emission detection method monitoring insulator pollution flashover[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(7): 35-37.
- [6] KUMAGAI S, YOSHIMURA N. Leakage current characterization for estimating the conditions of ceramic and polymeric insulating surfaces[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2004, 11(4): 681-690.
- [7] 刘勇. 基于泄漏电流递归分析的绝缘子状态检测研究[D]. 天津:天津大学, 2009.
- LIU Yong. Recurrent plot analysis of leakage current for evaluating and monitoring outdoor insulator performance[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [8] MAHMOUD F, AZZAM R M A. Optical monitor for contamination on HV insulator surfaces[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1997, 4(1): 33-38.
- [9] 张锐,吴光亚,刘亚新,等. 光技术在线监测绝缘子盐密和灰密的实现及应用[J]. 高电压技术, 2010, 36(6): 1513-1519.
- ZHANG Rui, WU Guangya, LIU Yaxin, et al. Realization and application on monitoring insulator ESDD and NSDD by optical technology[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(6): 1513-1519.
- [10] CAI W, DENG H, ZHOU G, et al. Online measurement of equivalent salt deposit density by using optical technology[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2013, 20(2): 409-413.
- [11] 高维钊,张庆超,郑明忠,等. 绝缘子表面盐密分布式测量系统的设计[J]. 电网技术, 2015, 39(10): 2929-2934.
- GAO Weizhao, ZHANG Qingchao, ZHENG Mingzhong, et al. Design of distributed measurement system for salt density on insulator surface[J]. Power System Technology, 2015, 39(10): 2929-2934.
- [12] 王辉,王平,于虹,等. 光纤通信[M]. 2版. 北京:电子工业出版社, 2009: 69.
- [13] PALAIS J C. 光纤通信[M]. 王江平,刘杰,闻传花,等,译. 5版. 北京:电子工业出版社, 2006: 16-17, 32, 76.
- [14] 未松安晴,甲贺健一. 光纤通信[M]. 金轸裕,译. 北京:科学出版社, 2004: 48-49.
- [15] AGRAWAL G P. 光纤通信系统[M]. 贾东方,忻向军,译. 4版. 北京:电子工业出版社, 2016: 60-70.

作者简介:



徐志钊

徐志钊(1979—),男,浙江苍南人,副教授,博士,主要从事光纤分布式传感技术及在电气设备状态检测及故障中的应用、介电响应及在绝缘材料状态检测中的应用等方面的研究(E-mail: wzcjxx@sohu.com);

陈飞飞(1990—),男,河北任丘人,硕士研究生,主要从事光纤传感技术方面的研究(E-mail: 13623271437@163.com);

赵丽娟(1981—),女,河北涿源人,副教授,博士,通信作者,主要从事光通信与光传感技术方面的研究(E-mail: hdlj@126.com)。

Study on influencing factors of external insulation surface contamination detection system based on optical power loss

XU Zhiniu¹, CHEN Feifei¹, ZHAO Lijuan¹, ZHANG Zhijuan¹, YANG Zhi¹, HUANG Yaode²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. State Grid Xinjiang Electric Power Company Economic Research Institute, Urumqi 830002, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of measuring method of insulation surface contamination degree based on optical power loss, a surface contamination degree measurement system based on bare fiber is established. Based on the established system, the influences of salt solution concentration, non-soluble salt solution suspension concentration, fiber shape, light source type and fiber type on the optical power loss caused by the salt deposit are experimentally investigated and the results are analyzed theoretically. The experimental results reveal that the optical power loss increases gradually along with the increase of salt solution concentration; the influence of the non-soluble salt solution suspension concentration on the optical power loss is not obvious; the optical power loss using U-shape optical fiber is more significant than that using linear shape optical fiber; the optical power loss using broadband (multi-longitudinal mode) light source is more significant than that using narrow spectrum light (single longitudinal mode) source; the optical power loss using multi-mode fiber is more significant than that using single mode fiber. The theoretical analysis results explain the experimental results well and verify the reliability of the experimental results. The semiconductor light source, multi-mode fiber and U-type state should be used in the contamination degree measurement based on the bare fiber in order to improve the measuring accuracy.

Key words: degree of contamination; optical power loss; fibers; fiber shape; light source type; fiber type

附录



(a) 单波长 DFB 光源



(b) 宽谱光源

(c) 半导体光源



(d) 光纤切割刀

(e) 光纤熔接机



(f) 电子天平

(g) 光功率计

图 A1 实验设备实物图

Fig.A1 Pictures of experimental equipments