

文章编号: 0253-2239(2008)01-0123-05

新型分布式光纤管道泄漏检测技术及定位方法研究

杭利军¹ 何存富¹ 吴斌¹ 蔡栋生¹ 宋晏蓉²

(¹ 北京工业大学机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)
(² 北京工业大学应用数理学院, 北京 100022)

摘要 介绍了一种基于萨尼亚克(Sagnac)干涉仪的直线型分布式光纤管道泄漏监测系统,实时进行管道泄漏监测和定位。此系统有两条传感光纤,可有效提高管道监测距离。推导了泄漏信号引起的光信号相位变化表达式;分析了该干涉仪应用于泄漏检测的原理及其泄漏源定位方法,并在分别距两传感光纤末端的法拉第旋转镜为 3.990 km 和 4.024 km 处进行了泄漏检测实验。管道泄漏实验结果表明,该系统较准确地确定了泄漏源位置且定位误差小于 1.05%。

关键词 光纤光学; 萨尼亚克干涉仪; 分布式光纤传感器; 泄漏检测; 管道

中图分类号 TN247 **文献标识码** A

Research on Novel Distributed Optical Fiber Pipeline Leakage Detection Technology and Location Method

Hang Lijun¹ He Cunfu¹ Wu Bin¹ Cai Dongsheng¹ Song Yanrong²

(¹ College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,
Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)
(² College of Applied Science, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract An in-line distributed optical fiber sensor array based on Sagnac interferometer is developed, and it is used to monitor and locate leakage for the fluid-filled (or gas-filled) pipelines in real-time. The advantage of the sensor is that it can increase monitoring distance by using two sensing fibers. The representation of phase change for optic signal caused by leakage is formulated; the monitor principle and the leakage source location method for the detection system are analyzed. The experiment is carried out at 3.990 km and 4.024 km from Faraday rotator mirror 1 and Faraday rotator mirror 2, respectively. The results verify that the system can realize leakage detection and locate leakage source accurately, and the error is less than 1.05%.

Key words fiber optics; Sagnac interferometer; distributed optical fiber sensor; leakage detection; pipeline

1 引 言

管道传输具有经济、高效、安全、稳定等诸多优点,因此被广泛应用于石油、天然气、水等流体的运输。但管道常年埋于地下,容易发生腐蚀、疲劳破损,或泄漏,这不仅带来重大的经济损失而且污染环境,因此研究有效的管道泄漏检测技术,对于保证管

道安全运输极为重要。

分布式光纤传感技术是近年来发展起来的新技术^[1~4],具有耐腐蚀、灵敏度高、动态范围大^[5],可长距离连续监测的特点。这类传感器只需一个光源和一条传感线路,集传感和传输于一体,可对沿光纤传输路径上长达数千米甚至数十千米的信息进行测

收稿日期: 2007-03-07; 收到修改稿日期: 2007-06-22

基金项目: 国家自然科学基金(10572009)资助课题。

作者简介: 杭利军(1979—),男,蒙古族,内蒙古赤峰市人,博士研究生,主要从事光纤传感技术、现代测控技术与方法、无损检测与健康评价、智能仪器与虚拟仪器技术等方面的研究。E-mail: hlj@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 何存富(1958—),男,山西大同人,教授,博士生导师,主要从事现代测控技术与方法、无损检测与健康评价、智能仪器与虚拟仪器技术等方面的研究。E-mail: hecunfu@bjut.edu.cn

(Corning)单模光纤作为传感光纤,纤芯折射率 $n=1.5$ 。传感器中的两个传感光纤均布放于管道外壁,传感光纤 1 中泄漏点距法拉第旋转镜 1 的距离为 3.990 km,传感光纤 2 中泄漏点距法拉第旋转镜 2 的距离为 4.024 km。延迟线圈长 4 km,施加于相位调制器的载波信号频率为 96 kHz,幅值为 2.5 V。

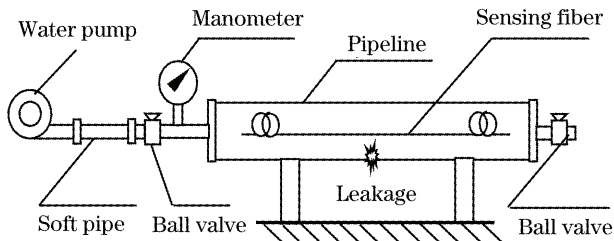


图 3 管道泄漏检测装置示意图

Fig. 3 Diagram of pipeline leakage detection equipment

检测系统的宽带光源中心波长 1550 nm,带宽 30 nm,功率 20 mW。光电转换器为美国 NEW FOCUS 公司的 1811 型光电转换器。利用 NI 的数据采集卡和 LabVIEW 软件对检测信号进行采集和分析^[10]。

在管道压力为 0.3 MPa 下,通过传感光纤 1 和传感光纤 2 测得的定位结果分别如图 4 和图 5 所示。从图 4 中可以发现,在 12.5 kHz 附近有明显的波谷,此波谷对应的最低点即为所求的零点频率,数值为 12.664 kHz。根据(9)式,可以获得泄漏点至法拉第旋转镜 1 的距离为 3.9482 km,绝对误差为 -41.8 m,相对误差为 1.05%。图 5 中零点频率处显示的数值为 12.359 kHz。根据(9)式,可以获得泄漏点至法拉第旋转镜 2 的距离为 4.4563 km,绝对误差为 21.6 m,相对误差为 0.54%。

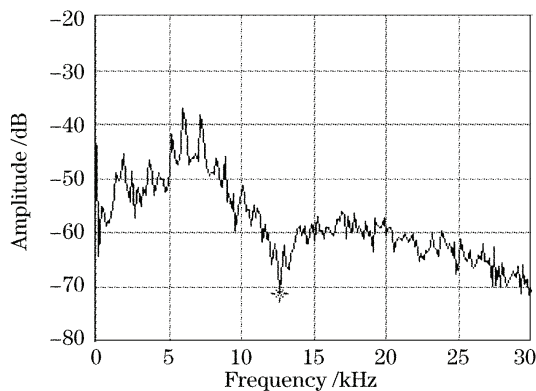


图 4 泄漏位置为 3990 m 处的零点频率图

Fig. 4 Null spectrum with leak position at 3990 m

为了验证传感系统的稳定性,在泄漏点距法拉第旋转镜 2 的距离为 4024 m 处进行了 15 次重复实验,测试数据如图 6 所示,从图中可以发现,15 次测得的数据都在 4024 m 附近,与实际泄漏位置较

吻合。

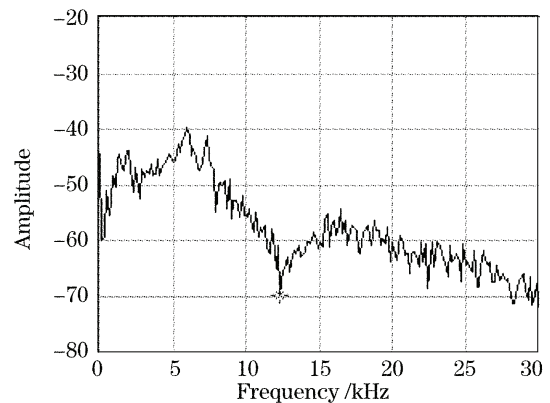


图 5 泄漏位置为 4024 m 处的零点频率图

Fig. 5 Null spectrum with leak position at 4024 m

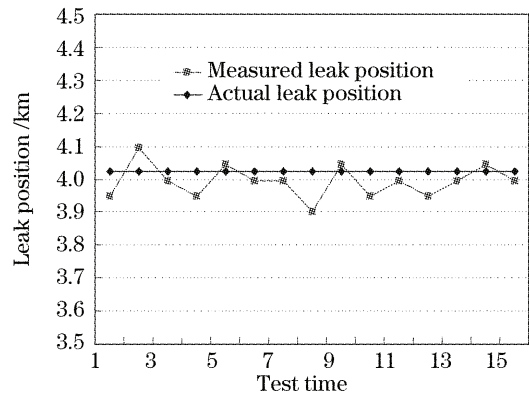


图 6 泄漏位置为 4024 m 处的 15 次测试数据

Fig. 6 Test data with leak position at 4024 m

6 结 论

基于萨尼亚克干涉仪原理的分布式光纤管道泄漏监测系统,能快速、有效地实现管道泄漏检测,而且在与文献[7]具有相同灵敏度的情况下,通过使用两个传感光纤使系统的监测距离提高一倍。多次重复实验结果表明,测量的泄漏点定位结果均在实际值 4024m 附近波动,且最大定位误差在百米左右,因此系统的稳定性及定位精度均可满足实际工程需要。但此系统也存在着不足:实验中发现,测试信号具有很强的背景噪音,将来可通过信号处理技术(如小波去噪),来改善零点频率的可辨识性,以便进一步提高系统的定位精度。

参 考 文 献

- 1 Song Muping, Zhao Bin, Zhang Xianmin. Brillouin optical time domain analysis distributed optic-fiber sensor based on microwave electrooptic modulation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(8): 1053~1056
- 2 宋牟平,赵斌,章献民. 基于微波光电调制的布里渊光时域分析传感器[J]. *光学学报*, 2005, **25**(8): 1053~1056
- 3 Jianzhong Gao, Zhuangde Jiang, Yulong Zhao et al.. Full

- distributed fiber optical sensor for intrusion detection in application to buried pipelines[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(11): 633~635
- 3 Sun An, Chen Jialin, Li Guoyang *et al.*. Detection of spontaneous Brillouin backscattered power in distributed optical fiber sensor system based on high frequency microwave technology[J]. *Chin. J. Lasers*, 2007, **34**(4): 503~506
- 孙安, 陈嘉琳, 李国扬等. 基于高频微波技术的分布式光纤传感器布里渊散射信号检测[J]. *中国激光*, 2007, **34**(4): 503~506
- 4 Song Muping, Ma Zhigang. Optical signal processing in Brillouin optical time domain reflector based morlet wavelet transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 819~823
- 宋牟平, 马志刚. 基于经典小波变换的布里渊光时域反射计光信号处理[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5): 819~823
- 5 T. G. Giallorenzi, J. A. Bucaro, A. Dandridge *et al.*. Optical fiber sensor technology[J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**(4): 626~665
- 6 J. P. Kurmer, S. A. Kingsley, J. S. Laudo *et al.*. Distributed fiber optic acoustic sensor for leak detection[C]. *Proc. SPIE*, 1991, **1586**: 117~128
- 7 Wuwen Lin. Novel distributed fiber optic leak detection system [J]. *J. Opt. Engng.*, 2004, **43**(2): 278~279
- 8 Li Zhineng, Shen Liang, Ye Xianfeng. Study of polarization-insensitive fiber optic Michelson interferometric sensors[J]. *J. Zhejiang University (Engineering Science)*, 2002, **36**(1): 44~46
- 李志能, 沈梁, 叶险峰. 偏振无关的 Michelson 光纤传感器的研究[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2002, **36**(1): 44~46
- 9 W. A. Wassef, M. N. Bassim, M. Houssny-Emam *et al.*. Acoustic emission spectra due to leaks from circular holes and rectangular slits [J]. *J. Acous. Soc. Am.*, 1985, **77**(3): 916~923
- 10 He Cunfu, Hang Lijun, Wu Bin. Application of homodyne demodulation system for fiber optic sensors using phase generated carrier based on LabVIEW in pipeline leak detection[C]. *Proc. SPIE*, 2006, **6150**: 61502G1~61502G6
- 11 Kuang Wu, Zhang Min, Wang Liwei *et al.*. Data acquisition method for digital phase generated carrier demodulation system of optical fiber interferometers[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(8): 1086~1090
- 匡武, 张敏, 王利威等. 光纤干涉仪数字相位生成载波解调系统数据采集单元设计[J]. *中国激光*, 2005, **32**(8): 1086~1090