

基于萨格奈克/双马赫-曾德干涉原理的 长途管道破坏预警技术研究*

谭靖^{1,2}, 陈伟民¹, 吴俊¹, 朱永¹

(1 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

(2 中国人民解放军 95478 部队, 重庆 400000)

摘 要:针对现有技术在灵敏度和监测距离上的限制,提出了一种基于萨格奈克/双马赫-曾德干涉原理的分布式光纤传感方案,并对其探测和定位原理进行了分析.结果表明,利用从萨格奈克干涉仪解调出的信号可以判断有无破坏行为的发生,利用两个马赫-曾德干涉仪的输出信号可以实现对破坏行为的定位,从而为长途管道的破坏预警提供了一种较为理想的方法.

关键词:管道运输;破坏预警;分布式光纤传感

中图分类号:V41

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2008)01-0067-6

0 引言

管道运输具有安全、经济、保质、无污染等优点,在国内外都得到了广泛应用,在未来几年,全世界的成品油和天然气管道还将呈现高速发展态势.然而油气管道具有高温、高压、易燃和易爆的特点,盗油分子、工程车辆在管道上活动都会给其正常运营带来重大安全隐患.因此如何及时发现、精确定位上述破坏行为,及时准确地向管理者发出预警信号,是预防管道发生泄漏事故所迫切需要解决的问题.

传统的管道监测方法是在泄漏发生后,探测一些物理或化学现象发现泄漏.西安交通大学、天津大学等研究单位对此进行了深入研究,取得了一些重要成果.但这些方法可及时发现泄漏,但不能防止泄漏事故的发生.如果能在管道发生泄漏前探测和识别那些有威胁的破坏行为,向管理者发出正确预警信息,就可以及时采取措施加以制止,将管道泄漏控制在萌芽状态,避免油气泄漏所带来的环境污染和经济损失.因此,开展具有破坏预警的在线监测技术研究,将具有巨大的社会和经济效益.

文献[1-2]提出了基于 OTDR 的探测方法,虽然具有破坏预警能力,但利用背向散射光进行探测,灵敏度很低;文献[3]提出了基于萨格奈克原理的分布式光纤探测方法,文献[4-5]提出了基于萨格奈克原理的单轴式结构.两种方法利用干涉原理进行探测,灵敏度非常高,但由于零点频率的限制,不能探测对管道有破坏的行为.文献[6]提出了结合萨格

奈克/马赫-曾德干涉仪的探测方法,利用两种光纤干涉仪探测来自泄漏或管道周边对管道构成威胁的行为所产生的地震动、位移来发现和定位泄漏或破坏行为,具有破坏预警能力.但是,该方法需要在传感光纤末端设置电源和采集系统,并为数据传输提供通道,使得该方法不能用于长途管道在线实时监测.

本文提出了一种基于萨格奈克/双马赫-曾德干涉原理的分布式光纤传感系统,并对其探测和定位原理进行了研究.

1 基于萨格奈克/双马赫-曾德干涉的 分布式光纤传感方案

基于萨格奈克/双马赫-曾德干涉原理的分布式光纤传感方案如图 1. 该方案主要包括光源 S_1 和 S_2 , 光纤隔离器 Isolator, 偏振控制器 P, 1×2 耦合器 C_1 , 2×2 耦合器 C_3 、 C_4 、 C_5 , 3×3 耦合器 C_2 , 探测器 D_1 - D_4 , 传感光纤 F_1 、 F_2 , 以及引导光纤 F_3 . 这些元件和光纤共同构成四个干涉仪:两个萨格奈克干涉仪和两个马赫-曾德干涉仪.其中耦合器 C_3 、 C_4 、 C_5 , 传感光纤 F_1 和 F_2 , 以及引导光纤 F_3 , 构成两个方向相反的马赫-曾德干涉仪, D_1 和 D_2 用于对其光强的探测.耦合器 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 , 探测器 D_3 和 D_4 , 传感光纤 F_1 , 以及引导光纤 F_3 , 构成一个萨格奈克干涉仪;同理将传感光纤 F_1 替换成 F_2 , 可与上述器件构成另一个萨格奈克干涉仪.在两个萨格奈克干涉仪中 C_3 为 3×3 耦合器,其主要作用是实现萨格奈克相移的偏置和解调,以简化系统结构和降低系统成本.在传感系统中,萨格奈克干涉仪主要用于探测和识别破坏行为,两个马赫-曾德干涉仪主要用

*总装备部预研基金(51402040101JW2004)资助

Tel: 023-65112164 Email: kgytj@163.com

收稿日期: 2006-07-24

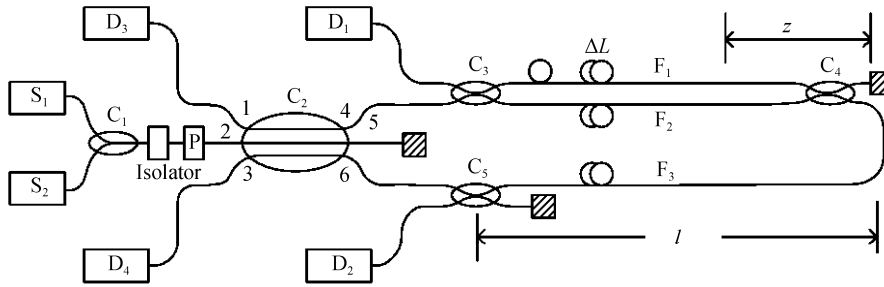


图1 萨格奈克/双马赫-曾德干涉仪分布式传感系统结构

Fig.1 Sagnac/twin Mach-zehnder interferometers for distributed sensing

于对破坏行为的定位。两种干涉仪分时复用传感光路实现对外部作用的探测。

在图1的传感系统中,使用两个独立的光源,分别满足萨格奈克干涉仪和马赫-曾德干涉仪各自对光源的要求。其中光源 S_1 为宽带光源,为萨格奈克干涉仪提供光源; S_2 为长相干光源,为马赫-曾德干涉仪提供光源。光纤隔离器 Isolator 的主要作用是阻止从耦合器 C_2 输出的光波返回到光源 S_1 和 S_2 ,避免对光源性能产生影响。偏振控制器P用于控制入射光的偏振态,提高系统的干涉对比度^[7-8]。

该方案使用单模光纤作为分布式传感元件,只需在起始端设置电源和信号处理单元,因此具有很长的传感距离。利用萨格奈克和马赫-曾德干涉原理来探测和定位破坏行为,具有非常高的探测灵敏度。

2 探测和定位理论分析

为简化分析,首先假设参与干涉的光波间的偏振态始终保持一致,不考虑它们对干涉光强的影响。

从图1可以看到,从光源 S_1 发出的光波 E_0 在传输过程中,依次经过 2×1 耦合器、 3×3 耦合器和 2×2 耦合器。由于耦合器具有分光作用,光波经过后,幅度和相位都会发生改变,因此首先分析这三种耦合器的传输系数。

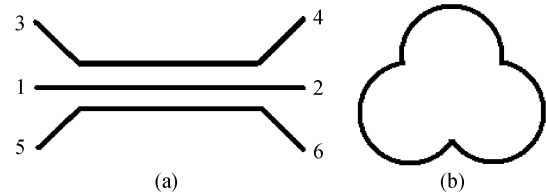
2×1 耦合器是将两个光源发出的光波合为一束,在不考虑插入损耗的情况下,从其中一个支路直接耦合到输出端的光波幅度和相位都不会变化。对于跨接耦合到输出端的光波,幅度不变,但会发生 $\pi/2$ 的相移。在系统中,由于该耦合器位于光源之后,分光耦合器 C_2 之前,所以对萨格奈克干涉仪和马赫-曾德干涉仪中光波的影响都一致,相当于在跨接耦合时改变了它们的初始相位,所以在分析中可以不考虑其对光波相位的影响。

对于3 dB的 2×2 耦合器,在不考虑损耗的情况下,直接耦合的传输系数为 $K_S = \frac{\sqrt{2}}{2}$,跨接耦合时,相位会发生 $\frac{\pi}{2}$ 的滞后,传输系数为 $K_A = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 。

$\exp\left(i\left(-\frac{\pi}{2}\right)\right)$ 。所以 2×2 耦合器传输系数矩阵^[9-10]为

$$\begin{pmatrix} E_3 \\ E_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_S & K_A \\ K_A & K_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

常用的 3×3 光纤耦合器^[11]如图2。耦合区三根光纤排列具有旋转对称性,输入输出之间具有反射对称性。

图2 3×3 光纤耦合器排列结构Fig.2 The fiber arrangement of the 3×3 coupler

如果把耦合器看作无损耗、可逆且具有一定对称性的六端口网络,其散射矩阵可表示为

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & 0 & S_{14} & 0 & S_{14} \\ S_{12} & 0 & S_{14} & 0 & S_{14} & 0 \\ 0 & S_{14} & 0 & S_{12} & 0 & S_{14} \\ S_{14} & 0 & S_{12} & 0 & S_{14} & 0 \\ 0 & S_{14} & 0 & S_{14} & 0 & S_{12} \\ S_{14} & 0 & S_{14} & 0 & S_{12} & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $S_{12} = |S_{12}|e^{j\phi_{12}}$, $S_{14} = |S_{14}|e^{j\phi_{14}}$ 。根据文献^[12], 3×3 光纤耦合器的直通端和耦合端输出相位差为 $\phi_{12} - \phi_{14} = \pm \frac{\pi}{2} \sim \pi$,具体大小由耦合功率比决定。而耦合系数之间有如下关系

$$0 < |S_{14}| \leq \frac{2}{3}, \frac{1}{3} \leq |S_{12}| < 1 \quad (3)$$

如果选择三光纤等分功率输出,即分光比为 $1:1:1$,则 $|S_{12}| = |S_{14}| = \frac{\sqrt{3}}{3}$, $\phi_{12} - \phi_{14} = \pm \frac{2\pi}{3}$ 。

2.1 探测原理分析

根据探测系统结构和耦合器的传输系数,在不考虑各元件的插入损耗和光纤传输损耗情况下,可以分别写出探测器 D_3 和 D_4 接收到的四束光波的表达式。

探测器 D₃ 接收到的四束光波

$$\tilde{E}_{31} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \Delta\phi_L + \phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} - \frac{n\Delta L}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} + \pi \right] \right\} \quad (4)$$

$$\tilde{E}_{32} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \alpha\phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \quad (5)$$

$$\tilde{E}_{33} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \Delta\phi_L + \phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} + \pi \right] \right\} \quad (6)$$

$$\tilde{E}_{34} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \alpha\phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \quad (7)$$

探测器 D₄ 接收到的四束光波

$$\tilde{E}_{41} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \Delta\phi_L + \phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} - \frac{n\Delta L}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} + \pi \right] \right\} \quad (8)$$

$$\tilde{E}_{42} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \alpha\phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \quad (9)$$

$$\tilde{E}_{43} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \Delta\phi_L + \phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} + \pi \right] \right\} \quad (10)$$

$$\tilde{E}_{44} = \frac{\sqrt{2}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \alpha\phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \quad (11)$$

式中, $\Delta\phi_L = \frac{2\pi n\Delta L}{\lambda}$, ΔL 为两条传感光纤 F₁ 和 F₂ 之间的长度差, z 为破坏等作用距终点的距离, l 为传感光纤长度, n 为单模光纤的折射率, $\phi(t)$ 为破坏等作用对光纤中传输光波施加的相位影响. 其中 \tilde{E}_{31} 、 \tilde{E}_{33} 、 \tilde{E}_{41} 和 \tilde{E}_{43} 两次经过 2×2 耦合器的跨接耦合, 所以有 π 的附加相移. 此外, 两条传感光纤 F₁ 和 F₂ 都受到了同一作用信号的影响, 由于光纤排列不同, 受到的作用大小也有差别, 如果设传感光纤 F₁ 所受影响幅度为 1, 那么 F₂ 可设为 α ($0 < \alpha < 1$).

为讨论探测器 D₃ 所接收到的总光强, 首先设

$$\phi_1 = \omega_c t + \Delta\phi_L + \phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} - \frac{n\Delta L}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} + \pi \quad (12)$$

$$\phi_2 = \omega_c t + \alpha\phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} \quad (13)$$

$$\phi_3 = \omega_c t + \Delta\phi_L + \phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} + \pi \quad (14)$$

$$\phi_4 = \omega_c t + \alpha\phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} \quad (15)$$

由于 S₁ 光源的相干长度(微米级)远小于传感光纤 F₁ 和 F₂ 之间的长度差 ΔL , 则探测器 D₃ 接收到的四束光中, 只有 \tilde{E}_{31} 与 \tilde{E}_{33} 和 \tilde{E}_{32} 与 \tilde{E}_{34} 之间会发生干涉, 所以总光强为

$$I_3 = \langle (\tilde{E}_{31} + \tilde{E}_{33})(\tilde{E}_{31} + \tilde{E}_{33})^* \rangle + \langle (\tilde{E}_{32} + \tilde{E}_{34})(\tilde{E}_{32} + \tilde{E}_{34})^* \rangle = \tilde{E}_{31}\tilde{E}_{31}^* + \tilde{E}_{33}\tilde{E}_{33}^* + \tilde{E}_{32}\tilde{E}_{32}^* + \tilde{E}_{34}\tilde{E}_{34}^* + 2\tilde{E}_{31}\tilde{E}_{33}^* + 2\tilde{E}_{32}\tilde{E}_{34}^* = \frac{1}{18}I_0 + \frac{1}{36}I_0(\cos\Delta\phi_{13} + \cos\Delta\phi_{24}) \quad (16)$$

式中 $\Delta\phi_{nm} = \phi_m - \phi_n$, $m, n=1, 2, 3, 4$.

根据式(12~15), 有

$$\Delta\phi_{13} = \phi \left(t - \frac{n(L-z)}{c} - \frac{n\Delta L}{c} \right) - \phi \left(t - \frac{n(L+z)}{c} \right) = \frac{n(2z - \Delta L)}{c} \frac{d\phi}{dt} + \frac{4\pi}{3} \quad (17)$$

$$\Delta\phi_{24} = \frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} + \frac{4\pi}{3} \quad (18)$$

由于传感光纤 F₁ 和 F₂ 为同缆光纤, 它们之间的 ΔL 较短, 所以式(17)中的 $\frac{n\Delta L}{c} \frac{d\phi}{dt}$ 非常小, 为简化分析, 忽略它的影响后有

$$\Delta\phi_{13} = \frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} + \frac{4\pi}{3} \quad (19)$$

则四束光的干涉项可表示为

$$I_r = \frac{1}{36}I_0(\cos\Delta\phi_{13} + \cos\Delta\phi_{24}) = \frac{1}{18}I_0 \cos \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} + \frac{4\pi}{3} \right) \quad (20)$$

将式(20)代入式(16), 可得 D₃ 接收到的总光强

$$I_3 = \frac{1}{18}I_0 + \frac{1}{18}I_0 \cos \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (21)$$

式中, $\frac{1}{18}I_0$ 为直流分量, $\frac{1}{18}I_0 \cos \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} - \frac{2\pi}{3} \right)$ 是与干涉有关的交流分量, 该项只与作用信号的位置和相位影响大小有关.

同理, 探测器 D₄ 上接收到的光强可表示为

$$I_4 = \frac{1}{18}I_0 + \frac{1}{18}I_0 \cos \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (22)$$

用式(21)减式(22), 可得两个探测器测量信号之差

$$\Delta I = I_3 - I_4 = \frac{1}{18}I_0 \left[\cos \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} - \frac{2\pi}{3} \right) - \cos \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} + \frac{2\pi}{3} \right) \right] = \frac{\sqrt{3}}{18}I_0 \sin \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} \right) \quad (23)$$

从式(23)可以看出,两探测器输出信号的差值是相位差 $\left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt}\right)$ 的正弦函数. 众所周知,由于干涉信号是余弦函数,相位差在 0 附近灵敏度最低,所以需要进行相位偏置,将静态工作点从 0 移到斜率最大的 $\frac{\pi}{2}$ 处,如图 3 的 A 点和 B 点. 相当于实现了静态工作点的偏置,使系统工作在灵敏度最大处.

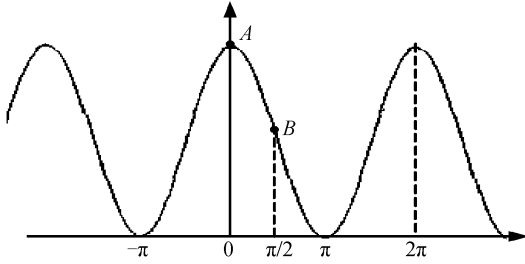


图 3 干涉仪的静态工作点

Fig. 3 The sensitive point of the interferometer

当破坏等作用对传感光纤的影响较小时,可以把 $\left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt}\right)$ 看作是比较小的量,则式(23)可以近似为

$$\Delta I \approx \frac{\sqrt{3}}{18} I_0 \left(\frac{2nz}{c} \frac{d\phi}{dt} \right) \quad (24)$$

此时可以得到一个与作用位置 z 和 $\frac{d\phi}{dt}$ 成正比的信号 ΔI , 对 ΔI 积分可获得与 z 和 $\phi(t)$ 成正比的信号

$$\int \Delta I \approx \frac{\sqrt{3}}{18} I_0 \left(\frac{2nz}{c} \phi(t) \right) \quad (25)$$

式(25)中,同时含有位置 z 和破坏等作用施加的相位变化 $\phi(t)$ 的信息,在去除 z 信号之后就可以得到只包含有 $\phi(t)$ 的信号. 当管道附近有破坏行为发生,或管道上有泄漏发生时,它们激发的地震动信号会引起光纤中传输光的相位发生明显改变,因此通过 $\phi(t)$ 信号的大小就可以判断有无破坏行为或泄漏.

2.2 定位理论分析

图 1 的系统结构中,双马赫-曾德干涉仪共用萨格奈克干涉仪的传感光路,其主要功能是实现破坏等作用的精确定位. 下面将详细分析两个马赫-曾德干涉仪输出的干涉信号与作用位置之间的关系,从理论上论证这种方法实现定位功能的可行性.

设从耦合器 C_3 输出到探测器 D_1 的两束干涉光分别为

$$\begin{aligned} \tilde{E}_{11} = & \frac{\sqrt{6}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \frac{2\pi n(2l + \Delta l)}{\lambda} + \right. \right. \\ & \left. \left. \phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} - \frac{n\Delta L}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \quad (26) \end{aligned}$$

$$\tilde{E}_{12} = \frac{\sqrt{6}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \frac{2\pi n(2l)}{\lambda} + \right. \right.$$

$$\left. \left. \alpha \phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} \right) - \frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \quad (27)$$

从耦合器 C_5 输出到探测器 D_2 的两束光为

$$\begin{aligned} \tilde{E}_{21} = & \frac{\sqrt{6}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \frac{2\pi n(2l + \Delta l)}{\lambda} + \right. \right. \\ & \left. \left. \phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} + \frac{3\pi}{2} \right] \right\} \quad (28) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{E}_{22} = & \frac{\sqrt{6}}{12} E_0 \exp \left\{ j \left[\omega_c t + \frac{2\pi n(2l)}{\lambda} + \right. \right. \\ & \left. \left. \alpha \phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) + \frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \quad (29) \end{aligned}$$

式中, $\frac{2\pi n(2l)}{\lambda}$ 、 $\frac{2\pi n(2l + \Delta l)}{\lambda}$ 分别表示两束光各自经历的光程所带来的相位, ΔL 为两条传感光纤 F_1 和 F_2 之间的长度差, z 为破坏等作用距终点的距离, l 为传感光纤长度, n 为单模光纤的折射率, $\phi(t)$ 为破坏等作用对传输光波施加的相位影响.

$\frac{m\pi}{2}$ 为光波 m 次经过 2×2 耦合器的跨接耦合所带来的相移. 设两条传感光纤所受作用的强度比为 α ($0 < \alpha < 1$), 则 D_1 和 D_2 接收到的干涉光强分别为

$$\begin{aligned} I_1 = & \frac{1}{12} I_0 + \frac{1}{12} I_0 \cos \left(\frac{2\pi n \Delta l}{\lambda} + (1 - \alpha) \cdot \right. \\ & \left. \phi \left(t - \frac{n(l-z)}{c} - \frac{n\Delta L}{c} \right) \right) \quad (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 = & \frac{1}{12} I_0 + \frac{1}{12} I_0 \cos \left(\frac{2\pi n \Delta l}{\lambda} + (1 - \alpha) \cdot \right. \\ & \left. \phi \left(t - \frac{n(l+z)}{c} \right) + \pi \right) \quad (31) \end{aligned}$$

设

$$\begin{aligned} \Delta\phi_L = & \frac{2\pi n \Delta l}{\lambda}, \quad \tau_1 = \frac{n(l-z)}{c} + \frac{n\Delta L}{c}, \\ \tau_2 = & \frac{n(l+z)}{c} \quad (32) \end{aligned}$$

则式(30)和(31)可表示为

$$I_1 = \frac{1}{12} I_0 + \frac{1}{12} I_0 \cos [\Delta\phi_L + (1 - \alpha)\phi(t - \tau_1)] \quad (33)$$

$$I_2 = \frac{1}{12} I_0 - \frac{1}{12} I_0 \cos [\Delta\phi_L + (1 - \alpha)\phi(t - \tau_2)] \quad (34)$$

滤除式(33)和(34)中的直流成分后,可以得到两个反向的 \cos 干涉信号

$$I_{1r} = \frac{1}{12} I_0 \cos [\Delta\phi_L + (1 - \alpha)\phi(t - \tau_1)] \quad (35)$$

$$I_{2r} = -\frac{1}{12} I_0 \cos [\Delta\phi_L + (1 - \alpha)\phi(t - \tau_2)] \quad (36)$$

将式(36)反相后,可以发现 I_{1r} 和 I_{2r} 的波形非常相似,它们之间存在时延差 $\Delta\tau$

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{n(2z - \Delta L)}{c} \quad (37)$$

从式(37)可知,时间延迟 $\Delta\tau$ 与传感光纤 F_1 、 F_2 之间的长度差 ΔL 和破坏等作用的位置 z 有关. 由于 ΔL 为定值,则 $\Delta\tau$ 的变化只与作用位置 z 有关,因此只要测得 I_{1r} 和 I_{2r} 两个相关信号之间的时延差 $\Delta\tau$,就可以由式(37)求得破坏等作用的位置 z ,实现对破坏行为的定位.

3 结论

针对长途管道的破坏预警探测问题,提出了一种新的基于萨格奈克/双马赫-曾德干涉原理的传感系统方案. 理论分析表明,利用萨格奈克干涉仪的输出信号可以同时获得与破坏等作用的位置 z 和它们所施加的相位变化 $\phi(t)$ 的信息,去除位置信息 z 后可以得到只与 $\phi(t)$ 成正比的信号,传感系统可以利用该信号的变化判断有无破坏等作用发生;同时,分析两个马赫-曾德干涉仪输出的干涉信号,可以发现它们之间波形非常相似,但存在时延差 $\Delta\tau$,且该时延差与位置 z 有关,因此可以利用相关分析等技术获得该时延差,求出作用位置 z ,实现对破坏等作用的定位. 该方案利用两种干涉仪分别实现了对破坏等作用的探测和定位,为长途管道的破坏探测和预警提供了一种较为理想的方法.

参考文献

- [1] ROGERS A J. Distributed optical-fiber sensors[J]. *J Phys D Appl Phys*, 1986, **19**:2237-2255.
- [2] BAO X, WEBB D J, JACKSON DA. Recent progress in distributed fiber optic sensors based upon brillouin scattering [C]. *SPIE*, 1995, **2507**:175-185.
- [3] UDD E. Distributed fiber optic strain sensor based on the sagnac and michelson interferometers[J]. *Smart Structures and Materials*, 1996:105-110.
- [4] TAN Jing, CHEN Wei-min, ZHU Yong, et al. The monitoring system and the analysis of locating theory for pipeline leakage detection based on single distributed optical fiber sensor[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2):228-231.
- [5] TAN Jing, CHEN Wei-min, FU Yu-mei. Analysis of monitoring system for pipeline security based on sagnac interferometer[C]. International Symposium on Advances and Trends in Fiber Optics and Application. Chongqing, China, 2004:351-355.
- [6] KURMER J P, KINGSLEY S A, LAUDO J S, et al. Applicability of a novel distributed fiber optic acoustic sensor for leak detection[C]. *SPIE*, 1992, **1797**:63-71.
- [7] GAO Zhi-hui. Transmission property of laser polarization in single mode fiber system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(7):599-603.
- [8] TAN Jing, CHEN Wei-min, FU Yu-mei. A research on polarization effects in the single distributed optical fiber sensor based on sagnac interferometer[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(3):492-197.
- [9] MORTIMORE D B. Fiber loop reflectors[J]. *J of Lightwave Technol*, 1988, **6**:1217-1224.
- [10] LI Ling, HUANG Yong-qing. Basis of optic fiber communication[M]. Beijing: Defense Industry Press, 2000: 175-184.
- [11] ZHANG Jing-hua. Discussion on the scattering matrix parameters of the optical fiber couplers [J]. *Journal of Shanghai University*, 1999, **5**(3):245-249.
- [12] ZHANG Zhong-min, LI Ke-jie, LI Gui-tao, et al. Feature extraction of acoustic/seismic signal of target[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2000, **9**(3):312-317.

Study on Long Distance Pipeline Destruction Alarm Technology Based on Sagnac/Mach-Zehnder Interferometers

TAN Jing^{1,2}, CHEN Weimin¹, WU Jun¹, ZHU Yong¹

(1 The Key Laboratory for Optoelectronic Technology & Systems, Education Ministry of China,

Chongqing University, 400030, Chongqing, China)

(2 The 95478 Unit of PLA, Chongqing 400000, China)

Received date: 2006-07-24

Abstract: To solve problems about lower sensitive or shorter detection distance in existing methods, a novel method based on Sagnac and twin Mach-Zehnder interferometers is put forward, and its theory about detecting and locating is analyzed. The result shows that this method can be used in practice for long distance pipeline destruction alarm project.

Key words: Pipeline transportation; Destruction alarm; Distributed optic fiber sensor



TAN Jing was born in 1975. He is a Ph. D. candidate at Department of Optoelectronic Engineering, Chongqing University. He received the B. S. degree and the M. S. degree in air-fire control engineering from Air Force Engineering University. And he is engaged in the research and development of distributed optical fiber sensor and signal processing.