分布式光纤传感技术在清管内检测作业中的应用

The Application of Distributed Optical Fiber Sensing Technology in the Internal Inspection of Pigging

仇攀 刘贝贝

Pan Qiu Beibei Liu

山东省天然气管道有限责任公司
中国·山东 济南 250014
Shandong Natural Gas Pipeline Co., Ltd.,
Ji'nan, Shandong 250014, China

【摘要】在清管、检测作业中如何对清管器和内检测器进行监测跟踪与定位是长期困扰管道运营的一个技术难题。而光纤传感技术,可以实现对清管器和内检测器的监测跟踪和准确定位。论文详细介绍了光纤传感技术的原理,并通过具体的案例详细介绍了其在油气管线内检测作业中的应用。

【Abstract】How to monitor and track the pig and the internal detector in the pigging and inspection operations is a technical problem that has long plagued the pipeline operation. The optical fiber sensing technology can realize the monitoring and tracking and accurate positioning of the pig and the internal detector. This paper introduces the principle of fiber optic sensing technology in detail, and introduces its application in the detection of oil and gas pipelines through detailed cases.

【关键词】管道清管;内检测;监测跟踪;光纤传感

【Keywords】pipeline pigging; internal inspection; monitoring and tracking; fiber optic sensing

【DOI】10.36012/etr.v1i2.272

1 引言

随着新技术的发展,新型传感技术日新月异,光纤传感技术以其独特的优势脱颖而出,在振动监测领域它几乎可以实现传统传感器所有的功能,在技术性能和实际应用方面与传统方法相比具有绝对的优势,可以对位移、振动、压力等物理量进行检测,具有灵敏度高、无电磁辐射、适用范围大、工作距离长、精准定位、实时监测等优点,是长距离振动监测技术发展的主流方向,同时在管道监测等领域显示出巨大的发展潜力。

2 分布式光纤传感技术

2.1 光纤中的散射

激光入射到光纤中,会产生各种光散射,包括弹性散射和非弹性散射。当外界环境发生变化时,这些散射光的散射强度随外界扰动发生相应改变,通过对散射光的监测可以实现对

外界环境相关参数的实时测量。由于信号光在光纤中传输,沿光纤任意处都会产生散射光,所以传感光纤上的任意一段都可以看作是传感单元,通过对散射光的连续监测,可以实现真正意义上的分布式传感^[1]。

2.2 分布式光纤振动传感系统

分布式光纤振动传感系统^[2],它也是基于 OTDR 原理。与常规 OTDR 一样,光脉冲从光纤的一端注入,用光探测器探测后向瑞利散射光,不同的是注入光纤中的光是强相干的,因此该传感系统的输出就是脉冲宽度区域内反射回来的瑞利散射光相干干涉的结果。与常规 OTDR 一样, ϕ -OTDR 通过测量注入脉冲与接收到的信号之间的时间延迟来得到扰动的位置(见图 1)。当光纤线路上由于入侵而发生扰动时,相应位置光纤的折射率及长度将会发生变化,这将导致该位置光相位的变化。因为入侵位置的散射光传输到探测器经历的是周期的相位变化,因此,最终干涉的结果将会发生变化,并与入侵的位置相对应^[3]。

图1 ϕ -OTDR 分布式光纤传感系统

3 在清管、内检测作业中的应用

目前，分布式光纤传感系统在油气管道中主要应用于对第三方破坏的监测。本次，分布式光纤传感系统在山东地区的应用，采用与管道同沟铺设的一根通信光纤作为传输介质和传感元件，使用管道光纤监测主机，对 30km 的天然气管线进行监测，主要对管道周围振动活动进行监控。由于清管器和内检测器在管道内移动时，会在管道焊缝和弯头处产生明显振动，分布式光纤传感系统可以监测到该振动信号，从而对清管器或内检测器进行监测跟踪^[1]。

图2为山东现场，清管器的跟踪信号瀑布图，横坐标为管线距离，纵坐标为时间。由于天然气管道每 12m 会有一条焊缝，当清管器到达管道焊缝位置时，在经过焊缝位置前后存在运行速度上的阶梯变化，受管道运行气体惯性的影响，在清管器两侧产生负压波（压缩波）沿管道两侧传播，因此，会在信号瀑布图中显示出“V”字形，“V”字形尖端为清管器所在位置，“V”字形边线即为负压波信号。

图2 清管器的跟踪信号瀑布图

图3为分布式光纤传感器采集到的清管器与焊缝碰撞产生的振动信号波形图，横坐标为时间，纵坐标表示信号能量，图中共有 6 次清管器与焊缝碰撞产生的振动信号，根据信号

能量判断，其中第1、2、3、5、6次信号，均为负压波信号，第4次信号为碰撞信号，对应应在信号瀑布图中，便是“V”字形的尖端。

清管器通过弯头处，会在弯头处受到阻力，影响清管器正常前进，行走速度变慢，导致清管器上游气压升高，而清管器也会因为上游气压的上升，与弯头处管壁摩擦振动增强，但是行走速度不会有特别大的影响，因此，会出现图4信号瀑布图，红色方框内的振动信号即过弯头处，速度变慢，且一直与管道摩擦振动。

图3 清管器与焊缝碰撞信号波形图

图4 清管器在弯头处信号瀑布图

4 结语

本文介绍了分布式光纤传感技术的基本原理及其在天然气管线内检测作业中的应用：①分布式光纤传感技术在内检测作业监测中，从空间上、时间上弥补了传统监测、跟踪技术的不足，能够对清管器运行进行全过程跟踪，并极大地提高了清管器定位的精度和速度，可以完全替代传统的跟踪技术；②分布式光纤传感技术可用于管道周边振动的监测，可以实时监测管道周边重车经过、人工挖掘、机械施工等第三方活动，极大地提升了管道安全受控程度。

参考文献

- [1]SHI Y, FENG H, ZENG Z M.Distributed fiber sensing system with wide frequency response and accurate location[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016, 77(29):219-224.
- [2]HE Q, ZHU T, XIAO X, et al. All fiber distributed vibration sensing using modulated time-difference pulses [J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2013,25(20):1955-1957.
- [3]谢孔利.基于 ϕ -OTDR 分布式光纤传感系统[D].成都:电子科技大学,2008.