

地下管线安全解决方案 ——光缆振动监测预警系统

□ 深圳市燃气集团股份有限公司天然气工程建设分公司（518054）钟 震

摘 要：地下管道设施经常遭受第三方破坏，各地大规模的开发建设给地下管道带来巨大安全隐患。目前采取常规的巡检措施不能做到全路段不间断实时监控保护，当前可靠、可行的方案是利用光缆作为分布式传感器组建光缆振动监测预警系统，预警系统可以通过光缆实时获取各处土壤振动情况，分析识别还原现场情况，通过智能学习主动判别并对危险信号发出告警，及时通知监控人员采取应急措施，将危险屏蔽在发生以前。

关键词：地下管道 光缆 振动监测 安全预警

1 引言

我国经济正处在快速发展之中，城市化步伐也在逐步加快，全国各地的各种开发建设项目随处可见。无论何种建设项目只要动土，就会对埋于地下管道的安全造成威胁。各种地下管道遭到第三方破坏的事故时有发生。据统计，由机械施工及自然灾害所造成的管道事故占事故总数的70%以上，其中90%以上的重大事故是因为机械施工造成的，如：水管被挖破，油、气管道被打穿是经常发生的事情。水管破裂导致居民生产生活受到影响，给各用水企业生产带来损失。输油、气管道破裂会导致大面积泄漏，随时会造成火灾发生，有的甚至引起爆炸，人民生命财产安全将受到严重威胁，生态环境遭到巨大破坏，“管道安全问题”早已成为全球瞩目的话题。

虽然我国政府和各地下管道权属企业对地下设施的安全采取了多种保护措施，做出了大量的工作，但地下管线设施的安全还是存在着各种各样的威胁。如何在地下管线设施遭受破坏之前就可预知危险的到来，并能及时通知应急维护人员，给他们争取时间，

可使他们迅速采取措施，将危险消除在萌芽状态。这是国内外地下管线运营企业共同关注的课题。目前已有相关技术得到应用，并很好的解决了地下管线设施的安全预警问题。当前效果较好的技术是利用埋在地下下的光缆作为分布式传感器来侦测光缆周边一定范围内土壤振动情况，通过相关数据处理系统分析，从而获得管道周边环境是否处于安全状态。该技术已在国外得到大量的应用。近两年中石油、中石化也在油、气长输管线上利用该技术来保证地下管道的安全。

2 光缆振动监测预警系统

光纤传感技术是伴随着光导纤维和光纤通信技术发展的一种新的传感技术。是20世纪70年代中期以来国际上发展最快的高科技应用技术。光纤传感器用光作为敏感信息的载体，用光纤作为传递敏感信息的媒质。利用光纤作为传感器可以测量温度、位移、速度、加速度、液位、应变、压力、流量、振动、电流、电压、磁场等物理量。光缆振动监测预警系统就是通过光纤测量周围振动频率及位置来实现对危险源

的判别与定位的。监测预警系统分为信号采集与智能分析两部分。

2.1 光纤振动感应原理

光缆振动监测系统是同时利用了光纤作为定位传感器与微应变传感器两种功能。光纤在受到外界振动干扰的情况下会产生微应变，微应变会使其内部传送光信号的频率相位等发生细微变化，通过激光相干应力分析系统就可计算出振动点的频率、强度及位置信息。

微应变传感技术是基于“光的干涉”原理，通常使用两根单膜光纤来测量微应变，构成用于测量光的干涉波的传感器（如图1）。

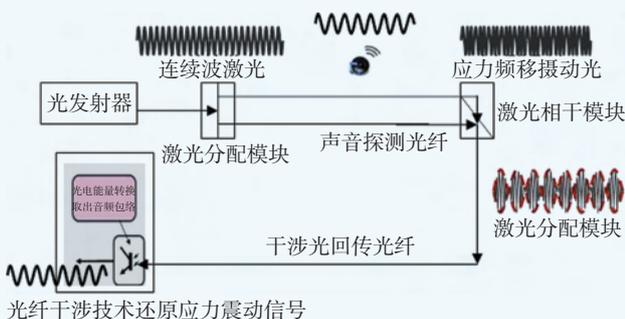


图1 光纤振动感应原理图

激光器向光纤发射连续的激光束，如果光纤没有受到外界的扰动，如运动、声波和触动，或者两根光纤同步受到相同的干扰，反射回的光不会发生变化；如果光纤受到外界的扰动，反射回光的波形将会发生变化，并产生干涉图像，光检测器可检测到这一波形的变化，而且通过软件可以分辨出事件的真实情况，经处理后可检测出干扰强度与位置。相干激光器发射是连续波激光束，光纤传感器的频率响应范围从0Hz~1MHz，通常情况下只需1Hz~100KHz。这项技术可以用来检测动态应变，响应时间在毫秒级。

振动源位置计算：

$$L=1/2 vt=ct/2n ;$$

$$v=c/n;$$

L——振动点位置到干涉仪右端的距离；

t——时延时间；

c——真空中的光速；

n——光纤纤芯折射率。

为了精确定位，需要将光纤的长度信息准确录入到软件中，通过系统修正，定位精度可达±50m之内。

2.2 光缆有效监测半径与最大监测距离

利用光缆震作为分布式传感器是实现地下管道全线安全的最佳方法。要利用光缆实现对地下管道安全的实时保护，必须保证管道沿线有光缆铺设。新建管道可以随管道同沟直埋一根（或两根）4芯以上光缆专门用做振动监测的分布式传感器。已埋设的管道如有同沟铺设的光缆，可以利用光缆中富余光纤（必须有3根）来作为分布式传感器。对于没有同沟铺设光缆的，可以后期重新开挖铺设。

2.2.1 光缆有效监测半径

受当前仪器设备精度所限，只能分析出光纤横截面为中心半径2m内振动声音信号。即，光缆有效监测半径只有2m，所以，管道必须完全处在光缆为中心2m包络线之内，否则将有部分管体受不到有效保护（如图2）。

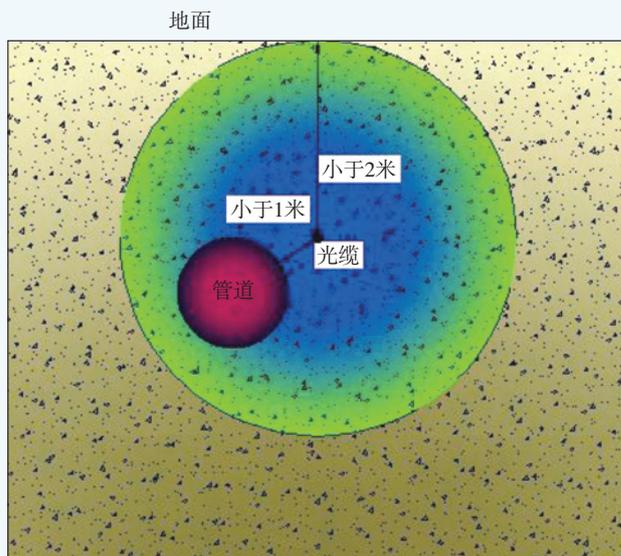


图2 光缆与管道位置关系图

虽然光缆的有效监测半径受分析设备精度影响只有2m，但保护范围也不是不能扩大的，可以通过光缆铺设方式来解决监测保护范围问题。如在管道上方对称铺设2根光缆（见图3）就可有效解决保护半径过小问题。根据具体需要也可铺设多根来扩大保护范