

利用光纤传感技术加强 管道监控

管道用于将自然资源从发现地运送到需要的地方，因此构成了全球能源基础设施的重要组成部分。这些资源可以以气体或液体的形式被运送到很远的地方。鉴于这些资源的价值和泄漏的后果，对管道的监控是必不可少的。



简介

管道是长距离运输石油、天然气和其他自然资源的关键机制。一旦建成，它们就不再需要使用油罐车运输，消除了可能造成的拥堵和污染。

通常情况下，管道输送的物质价值很高，而且往往不稳定，如果以不受控制的方式泄漏，可能会对环境造成危害。泄漏的可能性非常大，因为管道容易老化、意外损坏或篡改，并且许多管道穿过环境条件恶劣的区域。因此，对管道进行监控以确保完整性是至关重要的。

为光纤通信开发的组件和基础设施，如单模光纤、耦合器和分路器，同样适用于其他基础设施的光纤传感，并具有固有的抗电刺激能力、长距离传输范围和抗腐蚀性等额外优势。

20 世纪 90 年代初，分布式光纤传感广泛用于温度、应变、压力、声学和其他测量。该技术已被石油和天然气行业采用，以充分利用其巨大优势。

管道监控的传统方法

管道监控最常用的方法之一是定期（如果不频繁的话）派遣技术人员到现场对管道进行物理检查。考虑到许多管道的远程路线，运输本身可能具有挑战性，并且现场条件往往不适宜。

由于管道通常埋在地下，目视检查（包括使用配备常规或热成像相机的无人机或直升机）通常价值有限，因此需要使用其他技术。探地雷达 (GPR) 就是这样一种技术。这里，雷达脉冲用于地下成像和探测管道异常；然而，这种技术需要受过专门训练的人员，并且受到地面条件和深度的限制。

声发射检测可以对泄漏或结构变化产生的声音进行连续监控。然而，这需要沿着管道的长度放置传感器，管道可能长达数千千米。作为一种技术，它有一定的局限性，因为传感器必须在正确的位置来检测泄漏，即使这样，小泄漏也经常被遗漏，直到它们变得大得多。此外，任何声学系统的分辨率都由传感器的位置/密度决定，这会影响系统的成本。

另一种方法是监控压力和流量，以检测任何异常情况。这种类型的监控是持续的，但仅限于检测重大异常（主要是泄漏），这可能已经对环境产生了影响。这种方法的分辨率还取决于所部署的流量传感器的数量——数量越多，越容易发现泄漏……但系统成本也越高。

所有这些方法都有优点和缺点，但是没有一个真正 100% 令人满意的。许多涉及定期测试，没有一个能检测出小问题，所以每个都有相关的环境和声誉风险。几乎所有这些都涉及很高的成本，尤其是部署一个具有合理分辨率的系统。

光纤传感技术

光缆可以在测试系统和传感器之间提供简单的通信路径；这被称为“非本征传感”。但是，当光纤本身充当光纤传感系统时，这称为“本征光纤传感”。本征传感不需要光纤和外部传感器之间的分立接口，这降低了复杂性和成本，同时提高了可靠性。

光纤传感利用光在经过光纤时的物理性质来检测温度、应变、振动（声学）和其他参数的变化。这种技术利用光纤本身作为传感器，沿着光纤的长度有效地产生数千个连续的感测点。

这被称为分布式光纤传感(DFOS)，其目的是使用标准或特定的光纤，利用拉曼、布里渊或相干瑞利反向散射效应，测量由于温度、应变或振动（声波）引起的外部刺激。



图 1: DFOS 在各行各业都有广泛的潜在应用

可见光子被光纤材料随机散射时，我们称之为瑞利散射。这一原理已被证明可用于各种类型的光纤测试技术，例如光时域反射计(OTDR)，因为反向散射到探测器的光的强度、波长和定时可以确定光纤内衰减和反射事件的幅度和距离。

- 拉曼散射在斯托克斯波段产生散射回光源的光子的温度诱导变化。通过测量斯托克斯带和反斯托克斯带中反向散射光的强度差异，就可以准确地确定光纤沿线任何给定位置的温度。
- 布里渊散射是一种类似的现象，在这种现象中，反向散射光的波长会以可预测的方式受到外部温度和声频刺激的影响。在同时与温度背景知识结合使用时，这一数据可用于准确地确定光纤所受到的应变，并可加以分析来确定光纤的哪些区域受到了影响。
- 瑞利相关散射能用于检测振动和声波。光的相移对光缆所经历的振动和声波很敏感。通过分析这些相移，可以精确定位整个光纤范围内的振动位置和强度。

拉曼散射用于分布式温度传感(DTS)、布里渊散射用于分布式温度和应变传感(DTSS)，而瑞利散射用于分布式声学传感(DAS)。这些测量可用于精确监控数十千米范围内的温度、应变和振动。

DFOS 的实际应用

使用具有 DTS 和 DTSS 功能的便携式仪器，如 VIAVI OneAdvisor 平台，技术人员可以对光纤进行现场测量。或者，使用 VIAVI ONMSi 和机架安装式光纤测试头（具备 DTS、DTSS 或 DAS 功能），可以长时间监控光纤，并在检测到变化或事件时发出警报。

VIAVI DTSS 测试仪使用布里渊 OTDR (BOTDR)，其中短脉冲光被发射到用作光纤传感器的光纤中。向前传播的光会以两种不同的波长从光纤沿线的所有节点中生成布里渊反向散射光。

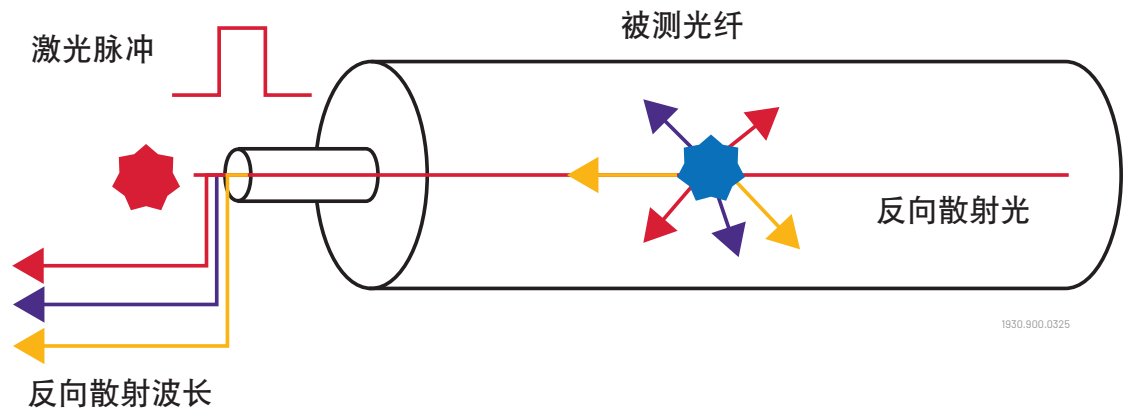


图 2：检测和分析反向散射光，以识别相关问题

布里渊反向散射光的波长不同于前向入射光的波长，被称为“斯托克斯”和“反斯托克斯”。“斯托克斯”和“反斯托克斯”布里渊电平和频率的差异是光纤沿线温度和应变的图像。

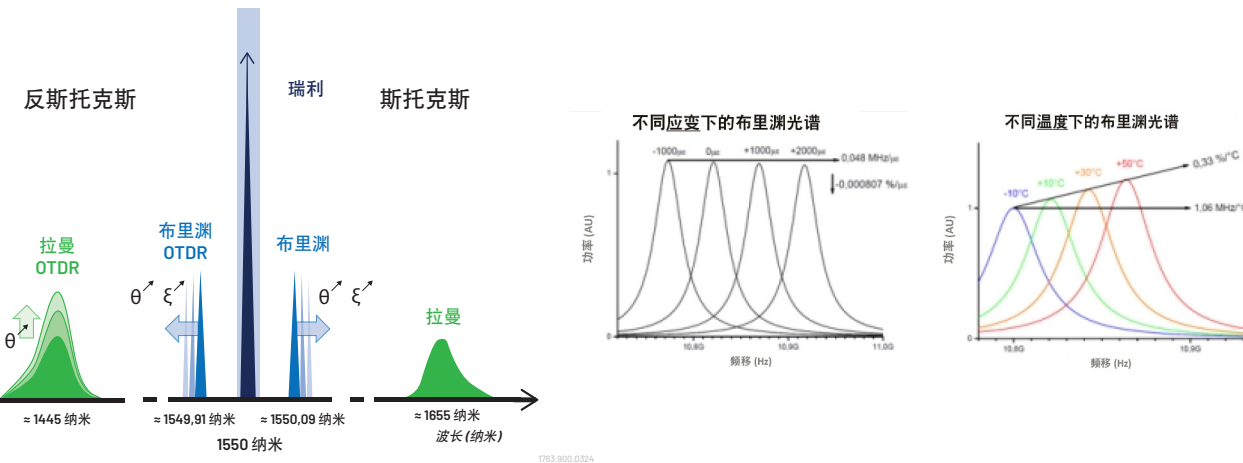


图 3：布里渊反向散射可以测量特定位置的温度和应变

实际应用和优势

管道可能发生的最糟糕的事情是管道完整性出现某种形式的裂缝、破裂或断裂，导致泄漏。从商业角度来看，由于供应中断以及产品损失，可能会造成收入损失。除此之外，任何泄漏都不可避免地会对环境造成影响，这会损害管道运营商的声誉，并产生大量的清理费用。

虽然许多传统的检测问题的方法依赖于泄漏发生并且大到足够可检测到，但 DFOS 更加敏感，寻找泄漏可能发生的迹象。

在某些情况下，问题的第一个迹象是使用传统方法可能检测不到的小泄漏，特别是在地下管道上。然而，当管道内容物开始泄漏时，大多数泄漏会发出某种声音，DAS 可以检测并查明这种情况，在最早期阶段发出警告，使问题在变成灾难之前得到解决。

DFOS 还能够测量管道中的应力和应变，例如由管道周围土壤变化引起的应力和应变，这些变化可能是由洪水、滑坡或地震（环境破坏）引起的。根据应力或应变的大小，管道可能会变形并最终破裂，但 DTSS 将能够立即查明问题，以便进行维修。

有时，管道损坏可能是人类活动的直接结果，无论是意外的还是恶意的。机械损坏最常见的原因之一是施工作业，特别是挖掘和开挖，工作人员不知道管道或没有准确计算位置。

鉴于管道对许多国家/地区的战略重要性，恶意活动是另一个现实的可能性。在某些情况下，这可能会损坏管道，使其无法使用。或者可能是企图窃取或转移内容物。

DAS 系统可以检测到这些与施工相关的挖掘活动，甚至是在地面上移动的车辆或行人；可以利用管道附近的情况来评估和应对这种威胁。虽然附近的对于穿过城市地区的管道来说可能是完全正常的，但它表明了一个值得在偏远地区调查的问题。

不是每个问题都是一个单一的、快速的事件。在某些情况下，管道的退化可能是相对缓慢的老化过程的结果。同样，在这方面，DFOS 可以在早期阶段识别和确定问题的位置。这使得预防性维护可以在方便的时候以尽可能低的成本进行。

解释数据以防止泄漏

当然，能够检测反向散射光是一回事，但将数据解释成现实世界的场景则完全是另一回事。

温度和应变传感更多的是提供绝对测量，而声学传感略有不同。虽然反向散射强度和相位的变化可以告诉您事件正在发生，并且反向散射光子的时间将提供距离信息，但声学特征或模式可以揭示实际原因，例如人的行走、车辆、机械与人工挖掘。VIAVI DAS 光纤测试头 (FTH-DAS)（也称为测试仪）利用声学特征数据集库（从多年的实际部署和经验中获得）、启发式算法和业界领先的边缘处理量，可以更准确、更可靠地识别声学事件的来源/原因。FTH-DAS 能够查明并准确识别危险类型，从而将反向散射数据转化为管道运营商可以使用的有意义且可操作的警报。

当与地理信息系统 (GIS) 结合使用时，所提供的事件数据能够将高分辨率 GPS 坐标叠加在地图上，准确显示问题发生的位置。凭借业界领先的 0.67 米空间分辨率，FTH-DAS 能够准确显示派遣位置，从而避免浪费时间寻找泄漏点。

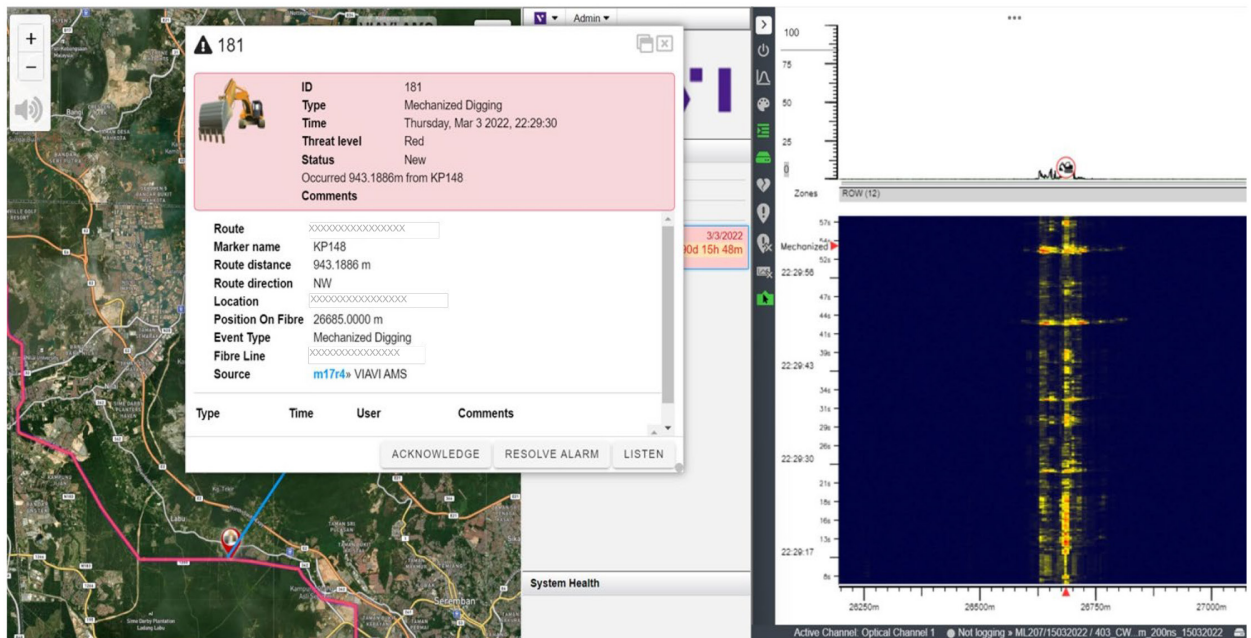


图 5：警报详细说明了确切的问题，以及在易于使用的地图上的精确位置

一旦确定，DAS 警报管理软件(DAS-AMS)就能够对任何事件的严重性进行分类（红色、黄色、绿色），并通过用户可配置的警报和阈值对警报和通知进行优先级排序。

DAS 提供高分辨率数据来检测和定位任何可疑活动，包括故意破坏、盗窃资产和无意威胁。系统可识别管道附近的所有类型的危险活动（包括挖掘、车辆移动等）。

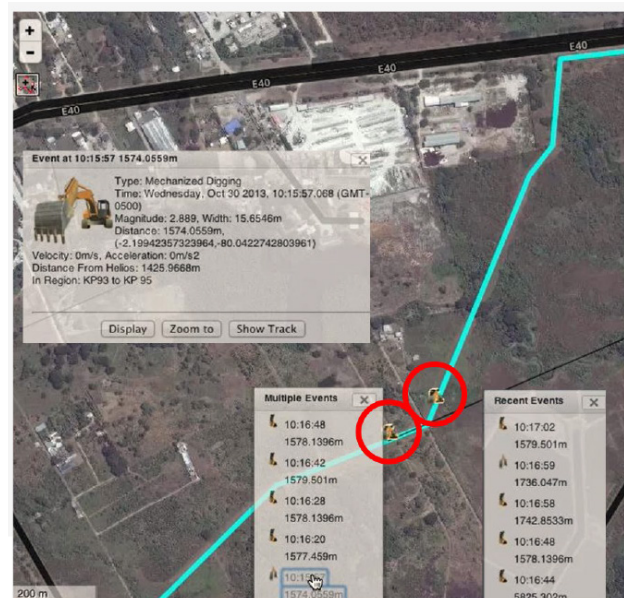


图 6：检测到两个相距 150 米的单独挖掘事件

在上面的例子中，两个单独的挖掘事件发生在彼此相距 150 米的范围内。在这种情况下，FTH-DAS 能够检测到这两个事件，并提供两个独立且不同的警报，从而解决了敏感度较低的解决方案可能只记录了一个事件而遗漏了另一个事件的两种情况。

就泄漏而言，FTH-DAS 具有更快检测小泄漏的灵敏度。结合业界领先的空间分辨率，问题定位速度比内部系统快 10 倍，精度可达亚米级。

在系统调试期间的一个例子中，东南亚的一个管道运营商制造了 45 个单独的泄漏（OP 为 20bar，OF 为 @20l/分钟），包括 4 个直径在 1-5 毫米之间的针孔，分布在 34 千米范围内的 9 个随机测试位置。在这种情况下，分布式声学传感在检测、识别和提供适当的警报方面具有 100% 的成功率。

结论

由于每一条管道都容易老化和损坏，任何一条管道的后果都可能很严重，从重大（收入损失）到灾难性（环境灾难）。

DFOS，尤其是 DAS，正在取代传统的方法，在许多情况下，它正在成为强制性的监控要求，消除了技术人员沿管道长度进行定期检查的需要。

由于能够以更高的分辨率监控更远的距离，并提供即时精确警报，它能够实现更快的响应时间，有助于节省时间、金钱并挽救声誉。

这种功能强大的技术正在不断发展，随着数据的收集和分析，准确性每天都在提高。

有关 VIAVI 的 DFOS 全套产品的更多信息，请访问 viavisolutions.cn/fiber-sensing，或扫描下面的二维码。



viavisolutions.cn

北京 电话：+8610 6539 1166
上海 电话：+8621 6859 5260
上海 电话：+8621 2028 3588
 （仅限 TeraVM 及 TM-500 产品查询）
深圳 电话：+86 755 8869 6800
网站： www.viavisolutions.cn