



技术说明

1



Omnisens DITEST™

光纤分布式温度和应力传感技术

简介

Omnisens DITEST™ (分布式温度和应力传感) 是一套分布式温度和/或应力监控系统, 通过一套询问系统即可准确测量长距离和超长距离 (50公里范围内) 的各点温度和/或应力。

DITEST™ 使用标准通信级单模光纤作为传感器, 通过受激布里渊散射 (SBS) 测量实现高信噪比和长期稳定性。该技术可提供快速、可靠的测量结果, 非常适合对输电电缆、石油和天然气海底基础设施和管线等高重要性资产进行长距离的持续监控。

Omnisens DITEST™ 在保护高重要性资产性能方面的优势:

> 距离: 利用一套询问系统, 每个通道可实现长达50公里的长距离测量。由于使用低损耗单模光纤, 可保证长距离测量的性能。

- > 准确度: 温度和应力的空间分辨率可高达0.5米; 可立即探测到温度和/或应力事件。
- > 精确性: 测量精确性高达0.1摄氏度 (温度) 或2微应变 (应力), 在发生灾难性后果之前探测到细微变化。
- > 速度: 获取时间快速 – 动态监控只需1秒, 高分辨率测量只需1-2分钟, 因此, 系统可快速诊断影响资产运行的变化, 以便采取合适的行动。
- > 功率: 增大光功率分配, 即使在充满挑战性的应用环境中, 也能实现资产监控。
- > 耐用性: 即使氢气泄漏或辐射导致光纤暗化, 仍可工作。
- > 灵活性: 用户可自行定义配置参数, 根据实际应用领域优化测量结果。

什么是分布式传感？

“分布式传感”是指将光纤作为线性传感器，提供光纤全程的宝贵测量信息。测量以激光脉冲沿光纤传播产生的反向散射光分析结果为基础。

传感纤维通过专门的光纤电缆集成到资产（管线、电缆或结构）本身。单一的光纤取代了原来成千上万个单点传感器，节省了大量的安装、校准和维护成本。此外，现在可实时监控资产状况，而以前由于资产的距离、地点或环境等因素，无法做到这点。光纤价格低、质量轻、柔韧性强、不受电磁干扰，预计寿命可超过40年，是兼具经济性、灵活性、耐用性的惰性传感介质。

DITEST™ 传感

Omnisens DITEST™ 利用光纤作为传感器，可同时测量温度和应力，是分布式传感领域的一项重大发展。它凭借受激布里渊散射（SBS）技术，在有史以来最长的距离上，将准确性和可靠性提升到新的高度，同时拓展了监控的应用领域和行业。

分布式光纤传感技术克服了传统测量技术（热电偶、应力测试）的内在局限，提供了有利于保护人和关键资产的监控解决方案（尤其是在不便进入和条件艰苦的环境中）。

Omnisens 针对能源、石油和天然气行业的特定需求，开发了一系列全面的资产完整性监控解决方案，以保护关键资产，保障能源供应。例如，对石油和天然气传输管线、地下和海底电力电缆以及脐带式管缆、直立电缆、出油管线等海底基础设施进行状况监控。

Omnisens DITEST™ 系统可提供资产的实时状况监控信息，帮助运营商摒弃假想，基于实际数据作出决策。

分布式传感技术的物理原理

分布式传感以激光脉冲沿光纤传播产生的反向散射光分析结果为基础。反向散射是由于激光与介质的密度涨落和分子振动的相互作用产生的。

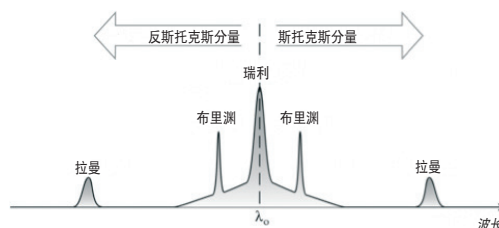


图1: 单色激光光源（单波长）在光纤中传播产生的反向散射的典型光谱

光纤的每一点均会出现自发反向散射，包括三种与分布式传感相关的重要形式（图1）：

- > **瑞利散射 (Rayleigh Scattering)** – 产生与入射光频率相同、强度最高的反向散射，广泛用于光时域反射计 (OTDR) 评估光纤链路衰减。
- > **布里渊散射 (Brillouin scattering)** – 由于热激声波（声学声子）的作用，产生强度次于瑞利散射的反向散射，表现出约10 GHz（在1.5微米波长时为0.1毫微米）的频移。这种频移被称为布里渊频移，与光纤的局部温度和应力状况有着直接关系。
- > **拉曼散射 (Raman scattering)** – 由于热激分子振动（光学声子）的作用，产生强度最低的反向散射，表现出约13 THz（在1.5微米波长时为100毫微米）的频移。拉曼散射光的强度取决于光纤的局部温度。

光散射现象产生于低能量级，随着光纤内光能量的提高而增强。

与其它反向散射现象不同，布里渊散射可通过特殊的光学处理激发，从而大大增加了布里渊交互作用的强度，显著提升了其用于传感的效率。Omnisens DITEST™ 技术利用这一特点，通过在光纤中发射反向传播光波，激发散射过程，提升在测量质量和距离范围方面的性能。

基于布里渊传感技术的优势

- > Omnisens DITEST™ 利用布里渊频移的敏感性，进行温度和应力感应应用。
- > 本技术采用标准低损耗单模光纤，通过一套询问系统即可覆盖几十公里的监控距离，与标准通信元件兼容。
- > 由于单模光纤无分散效应，光信号特征不会受影响，空间分辨率在传感监控的全程可保持一致。而采用多模光纤的拉曼传感系统会随着传感距离拉长累积分散效应，导致空间分辨率下降。
- > 布里渊散射能够进行光学激发，实现强度最大的散射机制，带来更高的信噪比，从而增大光预算和长距离监控能力。

“ Omnisens DITEST™ 设计用于对速度、距离范围、准确性和光功率分配要求较高的应用领域。”

- > 基于强度的技术（例如拉曼散射）容易出现频移，而布里渊这种基于频率的技术从长期来看具有更高内在的准确性和稳定性。
- > 布里渊散射是光纤的固有现象（布里渊偏移与多普勒频移相关，而后者与材料密度成直接正比关系），而温度和应力波动又将影响硅密度。在这方面，基于布里渊的测量技术与测量仪器无关，因为它和被分析的硅纤维的固有属性。由于无需校正偏移，其长期测量的准确性和可靠性将更有保证。
- > Omnisens DITEST™ 使用单一激光光源即可产生测量需要的所有光信号，可自行进行激光漂移补偿。

Omnisens DITEST 采用单一激光光源产生测量需要的所有光信号，可自行补偿所有激光漂移。

运行原理

- > 通过时频域分析处理受激布里渊散射 (SBS) 信号的数据。该分析通过收集整条传感光纤各点的受激布里渊散射 (SBS) 信息，获得无间断的全面分布式温度和/或应力廓线。
- > DITEST™ 采用单一激光产生受激反向散射 (SBS) 所需的两类信号：光脉冲（或“泵浦”）和连续波 (CW) 光信号（又称探测信号）。单一激光可自行补偿所有激光漂移，具有良好的稳定性。
- > 当两种信号的频率差异达到布里渊频移水平时，会出现共振现象，有效激发布里渊散射，引导能量从脉冲信号传递到探测信号，并放大探测信号。利用该技术，系统可快速、准确识别传感光纤各点的局部共振状况，计算局部温度和应力状况。只有泵浦信号和探测信号在光纤内反向传播时，才会出现受激布里渊散射 (SBS) 激发。因此，本技术在应用时使用两条光纤，一条将探测信号传输到另一条的远端，而另一条作为传感光纤。两条光纤形成环状，并且多数集成在同一条电缆（即传感电缆）内。有时可在整个环线距离内进行测量。

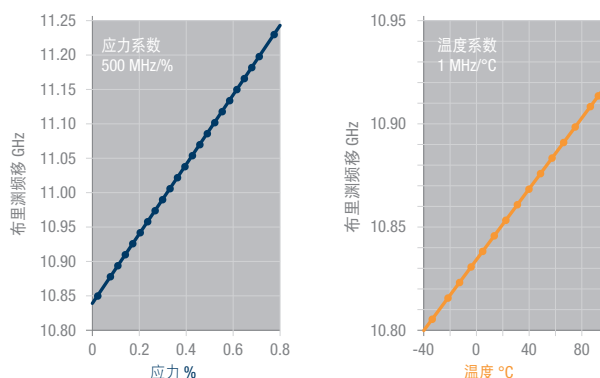


图2: 布里渊分布式传感 – 布里渊频移与温度和应力的相关性

1. 激发

“泵浦”激光光波从单模光纤的一端进入，反向光波（CW）“探测信号”从另一端进入。当达到共振频率条件时，泵浦信号和探测信号通过受激布里渊散射（SBS）相互作用。光纤各个部位的温度和应力将影响布里渊散射的特点。当泵浦和探测频率的差异与局部布里渊频移相匹配时，泵浦和探测信号的相互作用最强（共振）。探测信号由于这种相互作用而被放大，携带通过受激布里渊散射（SBS）现象获得的局部温度和应力信息。

2. 测量

探测信号携带事件（即局部温度和应力）和地点等信息供处理。由于泵浦光波是光脉冲，在已知光纤中光速的情况下，探测信号携带的时间域信息可转换为距离。利用反向波可调的探测信号反复扫描，可识别包含事件信息的布里渊频移。利用可调的探测信号扫描泵浦和探测频率差异，可识别整条传感光纤各个地点的布里渊频移。

3. 结果

系统将记录光纤全程的测量扫描数据（详见光纤的全频响应3D图），并判断最大泵浦和探测信号相互作用（最大布里渊增益）。共振峰的频率位置对应布里渊频移，利用光纤校正数据可转换为温度和/或应力信息。测量过程不区分应力和温度，但只需要使用适合实际应用情况的传感器就可以解决这个问题。

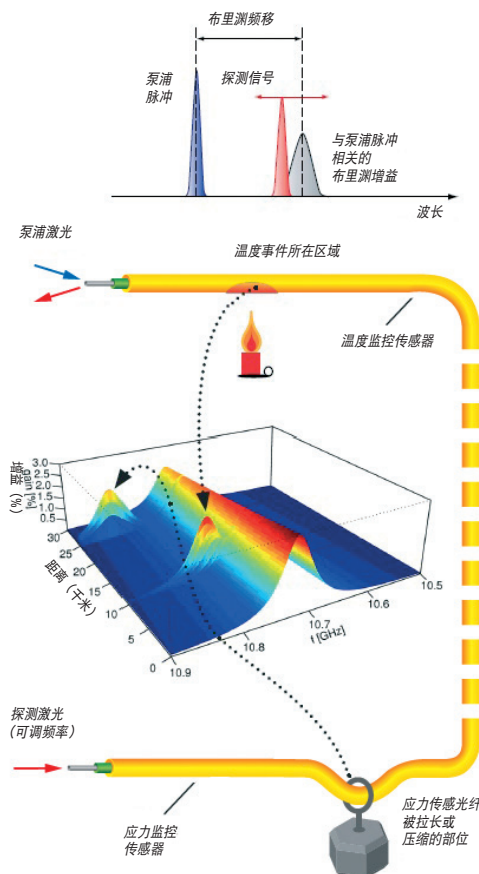


图3: 串联的传感光纤10公里处的温度事件和25公里处的应力事件对布里渊光谱的影响。

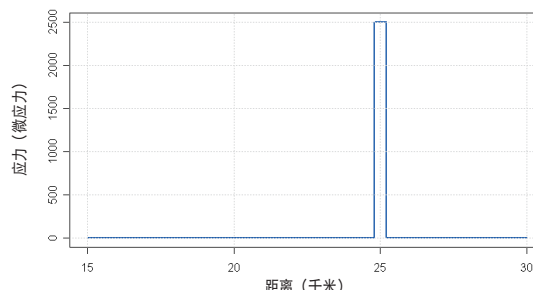
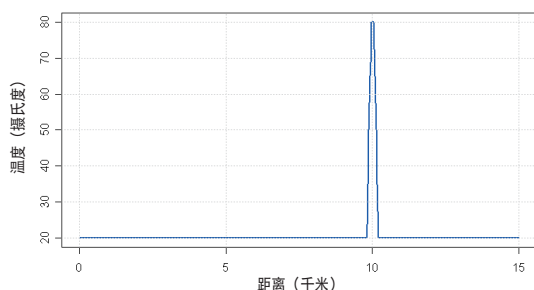


图4: 以长度为30公里的电缆为例，在10公里处发生温度事件，在25公里处发生应力事件。由于应力感应需要将结构应力准确传输至传感光纤，因此温度和应力需要不同类型的传感器。

定义分布式传感的测量性能

由于分布式传感器的测量性能取决于多个相互关联的测量参数，因此对其详细性能的定义比传统点式传感器更加困难。例如，测量精度取决于配置的空间分辨率、捕捉时间、距离范围和/或累积损耗等。

图5显示了DITEST™ 性能参数在不同测量时间和空间分辨率设置中的评估结果。

距离范围是指设备实现规定性能的最大光纤传感器长度。它对应的是一组给定参数条件下，在传感光纤上测量的最远点。

空间分辨率是指设备准确测量温度/应力状况不同的两个临近点的能力。空间分辨率与特定时间点的光脉冲宽度，即脉冲照亮的距离直接相关（10毫微秒脉冲宽度对应1米光纤）。

根据该定义，如果特定温度/应力覆盖距离大于空间分辨率，则测量结果准确率为100%。如果局部温度/应力变化的距离小于询问系统设置的空间分辨率，则无法完全准确测量。

DITEST™ 空间分辨率设置范围是0.5米到10米。在多数实际应用中，空间分辨率设置为1米到3米。

抽样间隔是指传感光纤上两个测量点之间的距离，取决于传感全程的点数。抽样间隔的单位是米，DITEST 询问系统可设定的最小抽样间隔为0.1米。

距离精度指测量点的空间定位精确性。在实际应用中，它取决于所知电缆距离映射和光纤电缆绞距损失的准确性如何。在DITEST 询问系统的距离范围内，距离精度可为1米甚至更短。

测量不确定度是指在完全相同或基本类似的条件下，具有已知数值的同一属性各次性测量结果之间的一致性。它取决于校正错误和测量分辨率/可重复性等组合因素。

测量分辨率或可重复性与短期可重复性的测量相关，是特定空间分辨率、捕捉时间和光纤衰减条件下测量距离的函数。其判断方法是在相同条件下多次（20次或以上）重复测量，分两次计算每个地点的测量结果标准差，并表示为距离的函数。

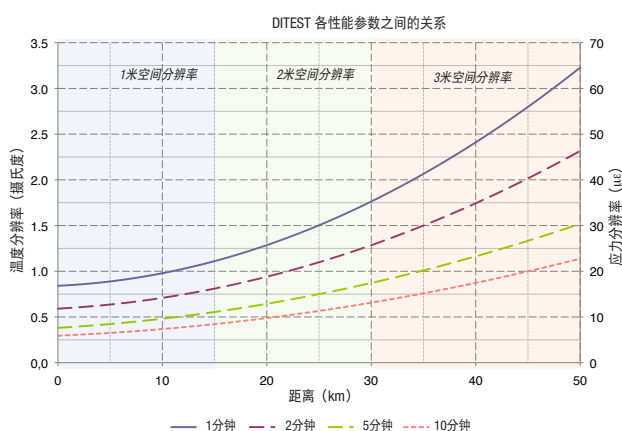


图5: 测量性能: 本图显示了在不同距离范围内，空间分辨率分别为1米到3米时，温度和应力分辨率（2西格玛可重复性）一般可达到的性能数据。该性能根据距离、空间分辨率、捕捉时间和光纤衰减等一系列相互关联的参数判定。用图形显示被测变量的关系是了解性能的最佳方式。



技术说明

Omnisens DITEST™ 的优势

与其他分布式传感方法相比，Omnisens DITEST™ 具有明显的优势：

可靠的温度/应力测量 - DITEST™ 使用同一条光纤可分别或同时测量温度和应力。根据实际安装状况，也可使用不同的光纤分别测量温度和应力，两条光纤在同一设备的不同频道运行。在进行温度监控时，光纤敷设在保护性松套管内，从而防止应力来对温度测量造成重大影响。在进行应力监控时，需要安装专门的应力传感器，以便准确将应力传导至光纤。Omnisens 开发了一系列的传感电缆，以满足特定的应用领域要求。

性能卓越、分辨率高、获取快速 - 可调节的探测信号强度解决了自发散射技术面临的损耗或衰减问题。在充满挑战性的应用领域中，这可以保证最高光功率分配。

优越的可靠性、准确性和重复性 - 用户可自定义光强度的自动设置，以优化不同运转条件下的性能。

测量时间更快 - 凭借受激布里渊散射（SBS）的高信噪比，Omnisens DITEST 保持性能所均的平均值计算少于其它技术（只需几分钟即可以超高性能测量长达 50 公里的光纤）。

动态应力监控 - 受激布里渊散射可进行动态应力测量，更新时间小于1秒。

光功率分配高 - 测量性能可高达 20 dB 的衰减。

测量距离更长 - 每个频道的测量范围可高达50公里，空间分辨率优于 3 米。自选交换模块可用于扩展频道数量。

经实践验证的测量技术 - Omnisens 系统采用经实践验证的元件建造，在开发中强调测量的可靠性和准确性。

灵活的解决方案 - DITEST™ 集成的特有光信号处理技术带来了高度的灵活性，适合各种应用和环境。

具备成本效益的光纤传感器 - 光纤的物理性质和成本效益使其非常适合输送管线、电力电缆和海底基础设施的远程传感等长距离监控。

适合苛刻的环境 - Omnisens 可提供不同类型的温度和应力监控光纤传感器，满足最具挑战性的安装环境。

例如，提高传感器的抗压溃性能和鼠害保护性能，适合地下、海底和隧道环境。

根据公司的质量政策，Omnisens 将持续改善业务的所有层面。因此，本文件及所有产品可能未经通知进行修改。

Omnisens 和 DITEST™ 是 Omnisens 的注册商标

激光安全通知：在正常操作条件和可合理预见的单一故障条件下，按用户文件所述方式使用，根据 IEC/EN 60825-1 (2001) 和 IEC/EN 6025-2 (2005) 标准，DITEST™ 系列归为一类激光产品。除 2001 年 7 月 26 日颁布的 Laser Notice No. 50 中规定的例外情况之外，本产品符合 21 CFR 1040.10 标准。

Omnisens SA

Riond Bosson 3, 1110 Morges – Switzerland
电话: +41 21 510 21 21 - 传真: +41 44 274 20 31
sales@omnisens.com
www.omnisens.com

omnisens
Securing asset integrity