



信维科技 **FiberGuard** 光纤传感系统

目 录

一、产品技术背景.....	- 1 -
1.1 光纤传感技术及广泛应用.....	- 1 -
1.2 光纤传感器及其优势.....	- 1 -
二、产品概述.....	- 3 -
2.1 ST-FBG 光纤光栅解调系统.....	- 4 -
2.1.1 光纤光栅传感机理.....	- 4 -
2.1.2 ST-FBG 主要特点.....	- 5 -
2.1.3 ST-FBG 主要应用领域.....	- 5 -
2.1.4 ST-FBG 光纤光栅解调系统规格说明.....	- 6 -
2.2 ST-DTS 分布式光纤测温系统.....	- 6 -
2.2.1 Raman 测温原理.....	- 6 -
2.2.2 ST-DTS 主要特点.....	- 7 -
2.2.4 ST-DTS 规格说明.....	- 7 -
2.3 ST-BOTDA 布里渊光时域分析解调系统.....	- 8 -
2.3.1 BOTDA 基本原理.....	- 8 -
2.3.2 ST-BOTDA 系统特点.....	- 10 -
2.3.3 ST-BOTDA 系统主要应用领域.....	- 10 -
2.3.4 ST-BOTDA 系统规格说明.....	- 10 -
2.4 ST-PDS 光纤周界防御系统.....	- 10 -
2.4.1 工作原理.....	- 11 -
2.4.2 ST-PDS 系统特点.....	- 11 -
2.4.3 ST-PDS 系统主要应用领域.....	- 11 -
2.4.4 ST-PDS 系统规格说明.....	- 11 -
三、典型应用举例.....	- 12 -
3.1 ST-FBG 应用举例.....	- 12 -
3.2 ST-DTS 应用举例.....	- 13 -
3.3 ST-BOTDA 应用举例.....	- 13 -
3.4 ST-PDS 应用举例.....	- 15 -
四、附录 不同光纤传感系统的主要应用对比.....	- 16 -

一、产品技术背景

1.1 光纤传感技术及广泛应用

光纤传感，是指外界信号按照其变化规律使光纤中传输的光波的物理特征参量，如强度（功率）、波长、频率、相位和偏振态等发生变化，测量光参量的变化，然后光纤将受到外界信号调制的光波传输到光探测器进行检测，这样将外界信号从光波中提取出来并按需要进行数据处理，即为调制和解调的过程。因此，**光纤传感技术**包括调制与解调两方面的技术，即外界信号（被测量）如何调制光纤中的光波参量的调制技术（或加载技术）及如何从被调制的光波中提取外界信号（被测量）的解调技术（或检测技术）。

光纤传感技术发展非常迅速，我国在 20 世纪 80 年代末开始研究，虽然现在做出了一些成绩，但是与发达国家相比还有差距，特别是能够进行商用的光纤传感器还比较少，今后发展和应用的空间还很大。

光纤传感的应用范围很广，几乎涉及国民经济的所有重要领域和人们的日常生活，尤其可以安全有效地在恶劣环境中使用，解决了许多行业多年来一直存在的技术难题，具有很大的市场需求。

1.2 光纤传感器及其优势

光纤最早在光学行业中用于传光和传像，在 20 世纪 70 年代初生产出低损耗光纤后，光纤在通信技术中用于长距离传递信息。光纤不仅可以作为光波的传输媒质，而且当光波在光纤中传播时，表征光波的特征参量(振幅、相位、偏振态、波长等)因外界因素(如温度、压力、磁场、电场、位移等)的作用而间接或直接地发生变化，从而可将光纤用作传感元件来探测各种待测量(物理量、化学量和生物量等)，这就是光纤传感器的基本原理。

光纤传感器可以分为传感型和传光型两大类。利用外界因素改变光纤中光波的特征参量，从而对外界因素进行计量和数据传输的传感器，称为传感型光纤传感器，它具有传感合一的特点，信息的获取和传输都在光纤中进行。传光型光纤传感器是指利用其他敏感元件测得的特征量，由光纤进行数据传输，它的特点是充分利用现有的传感器，因而便于推广应用。这两类光纤传感器都可再分成光强调制、相位调制、偏振态调制和波长调制等几种形式。

与传统的传感器相比，光纤传感器具有独特的优点：

(1) 抗电磁干扰、电绝缘、耐腐蚀、本质安全。由于光纤传感器是利用光波传输信息，而光纤又是电绝缘、耐腐蚀的传输媒质，并且安全可靠，这使它可以方便有效地用于各种大

型机电、石油化工、矿井等强电磁干扰和易燃易爆等恶劣环境中。

(2) 灵敏度高。光纤传感器的灵敏度优于一般的传感器，其中有的已由理论证明，有的已经实验验证，如测量水声、加速度、辐射、磁场等物理量的光纤传感器，测量各种气体浓度的光纤化学传感器和测量各种生物量的光纤生物传感器等。

(3) 重量轻、体积小、可挠曲。光纤除具有重量轻、体积小的特点外，还有可挠曲的优点，因此可以利用光纤制成不同外型、不同尺寸的各种传感器。这有利于航空航天以及狭窄空间的应用。

(4) 测量对象广泛。目前已有性能不同的测量各种物理量、化学量的光纤传感器在现场使用。

(5) 对被测介质影响小，有利于在生物、医药卫生等具有复杂环境的领域中应用。

(6) 便于复用，便于成网，有利于与现有光通信设备组成遥测网和光纤传感网络。

(7) 成本低。有些种类的光纤传感器的成本大大低于现有同类传感器。

光纤传感器和电类传感器的传感原理及特性比较分别如附图、附表所示。由此可知，光纤传感器是一类与电类传感器并行、互补的新型传感器。

分类	光纤传感器	电类传感器
调制参量	振幅、吸收、反射等	电阻、电容、电感等
敏感材料	温-光敏、力-光敏、 磁-光敏等	温-电敏、力-电敏、 磁-电敏等
传输信号	光	电
传输介质	光纤、光缆	电线、电缆

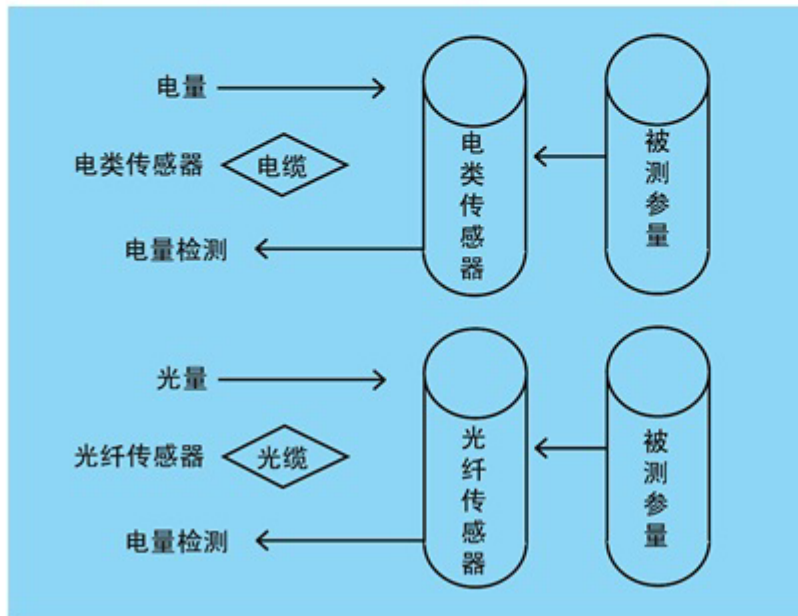


图 1 光纤传感器与电类传感器传感原理比较图

二、产品概述

随着光纤技术的日趋成熟,对光纤传感器实用化的开发成为整个领域发展的热点和关键。很多光纤传感器的开发已相当成熟,可靠性和成本已得到公认,这些具有前所未有全新功能的光纤传感器则在竞争中占有明显优势,FBG 和其它的光栅类传感器就是一个最好的例证。当前的原理性研究热点集中于光纤光栅型传感器和分布式光纤传感系统两大板块。

在世界范围内,由于对工民建和工业设施安全性和效益要求的不断提高,对集成的安全检测系统的需求逐步攀升。具备可连续、无间断、长距离测量并与被测量介质有极强的亲和性的分布式光纤传感系统似乎正是为此而量身定做的。分布式光纤传感系统通常有三种类型:拉曼型、布里渊型和 FBG 型。

2.1 ST-FBG 光纤光栅解调系统

光纤光栅传感探测系统，是基于光纤布拉格光栅技术，线状分布、点式测量的探测系统，通过对光纤布拉格光栅的中心反射波长的检测，获得实际对象的应变、温度等参量的变化。根据数据智能分析，实现实时在线对多种传感量的多点测量和预警。

2.1.1 光纤光栅传感机理

光纤光栅是在光纤的一小段沿光纤轴向方向，使纤芯折射率发生周期性变化而形成的纤芯内体光栅，有很窄的反射带宽和 90% 以上的反射率。光源发出的光从光纤光栅的一端入射，若波长满足布拉格条件，则波长为 λ_B 光发生后向耦合，反射谱中会形成以 λ_B 为中心的峰值，如图 2 所示，即光纤光栅仅反射以 λ_B 为中心的窄带宽的光，其余波长透射。布拉格条件为：

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$$

其中 λ_B 为光纤光栅的中心波长即布拉格波长， n_{eff} 为栅区的纤芯的有效折射率， Λ 为光纤光栅的周期。

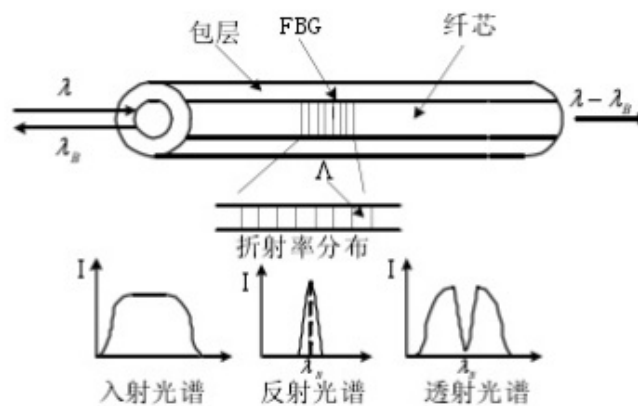


图 2 FBG 反射原理

FBG 的中心波长 λ_B 与 n_{eff} 和 Λ 有关，当外界温度应变等变化时会引起 Δn_{eff} 和 $\Delta \Lambda$ 的变化，从而中心波长发生变化

通过探测 FBG 的变化，便可映射出待测参量的变化，如图 3 所示：因此只要测出波长变化量，便可推知应力、应变、温度、电压、振动、加速度、等的变化量，从而完成光纤光栅传感过程。

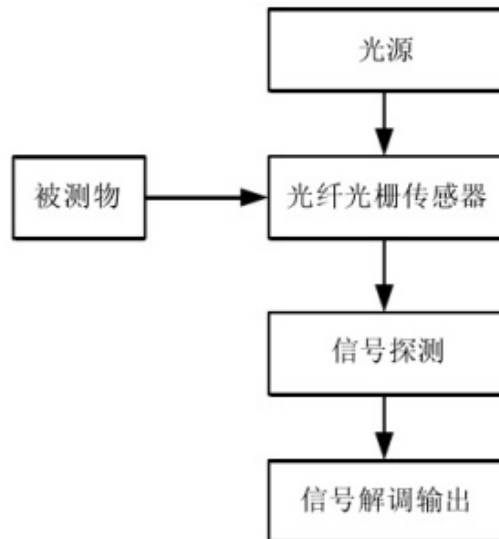


图 3FBG 解调原理

2.1.2 ST-FBG 主要特点

1. 采用的光纤可调谐激光器具有低功耗、能量密度高、寿命长、分辨率高等显著优势；
2. 1~32 通道容量可平滑扩展，同步采样速率可在 1~1000Hz 范围内设定；
3. 支持温度、应变、加速度、压力、位移等多种光纤光栅传感器网络的监测和多种类型传感器混合组网的监测；
4. 内置在线校准波长参考模块，出场后无需校准；
5. 具有测量距离远、实时在线、灵敏度高、测量精度高、可靠性高等优点。

2.1.3 ST-FBG 主要应用领域

- 桥梁、大坝、隧道、建筑等土木工程结构的温度，应变，位移，压力等健康安全监测；
- 油罐、易燃易爆仓库、油井、输油管道、隧道等在线温度、压力的安全监测；
- 电力高压开关柜、母排、电缆接头等设备在线温度监测；
- 发电厂、煤矿、冶金、电力设备、电缆状态检测；
- 隧道、地铁、公路、机场、核电站的温度、应变的监控；
- 军舰、潜艇、飞机、航空设备的温度、应变安全监测；
- 强电磁场、高腐蚀等恶劣环境中温度和应变的测量。

2.1.4 ST-FBG 光纤光栅解调系统规格说明

型号	ST-FBG-n (n=通道数)
通道个数 (个)	1/4/8/16/24/32
每通道测点数 (个)	<20
波长范围 (nm)	1525 ~ 1565
波长分辨率 (pm)	1
采样频率 (Hz)	1~100 (可调)
动态范围 (dB)	50
光接口	FC/APC
光纤类型	9/125
光纤传感器指标	
波长范围 (nm)	1525 ~ 1565 (C 波段)
光栅反射率	≥85%
光纤形式	耐高温、防腐蚀光缆
通用指标	
供电方式	AC220~240V,50~60Hz
通信接口	RJ45/RS232/RS485
工作温度	-10℃~ 50℃
保存温度	-40℃~ 70℃
相对湿度	0~ 95% (无结露)

* 上述参数如有变化，恕不另行通知。

2.2 ST-DTS 分布式光纤测温系统

ST-DTS 分布式光纤测温系统，是利用光纤感测信号和传输信号，采用先进的 OTDR 技术和 Raman 散射光对温度敏感的特性，探测出沿着光纤不同位置的温度的变化，通过使用高速信号采集技术测量入射光和拉曼散射光之间的时间间隔，根据数据智能分析，可以得到拉曼散射光发生的位置，由于拉曼散射光对温度敏感，所以可以沿着光纤测量到相应的温度分布。实现真正分布式的实时在线监测，可及时预警火灾隐患，并精确定位火灾发生的位置。

2.2.1 Raman 测温原理

布式光纤温度传感系统 DTS 是基于光纤拉曼 (Raman) 散射现象。激光器光源发出的光脉冲与光纤分子相互作用，发生散射，散射光有多种类型，如：瑞利 (Rayleigh) 散射、布里渊 (Brillouin) 散射和拉曼 (Raman) 散射等。其中拉曼散射是由于光纤分子的热振动，产生温度不敏感的斯托克斯 (Stokes) 光和温度敏感的反斯托克斯 (Anti-Stokes) 光，两者的波长不一样，经波分复用器分离后由高灵敏的探测器所探测。光纤中的 Anti-Stokes 光强受外界温度调制，Anti-Stokes 与 Stokes 的光强比值准确反映了温度信息；不同位置的拉曼散射信号

返回探测器的时间是不一样的，通过测量该回波时间即可确定散射信号所对应的光纤位置；结合高速信号采集与数据处理技术，可准确、快速地获得整根传感光纤上任一点的温度分布信息如图 4 所示。

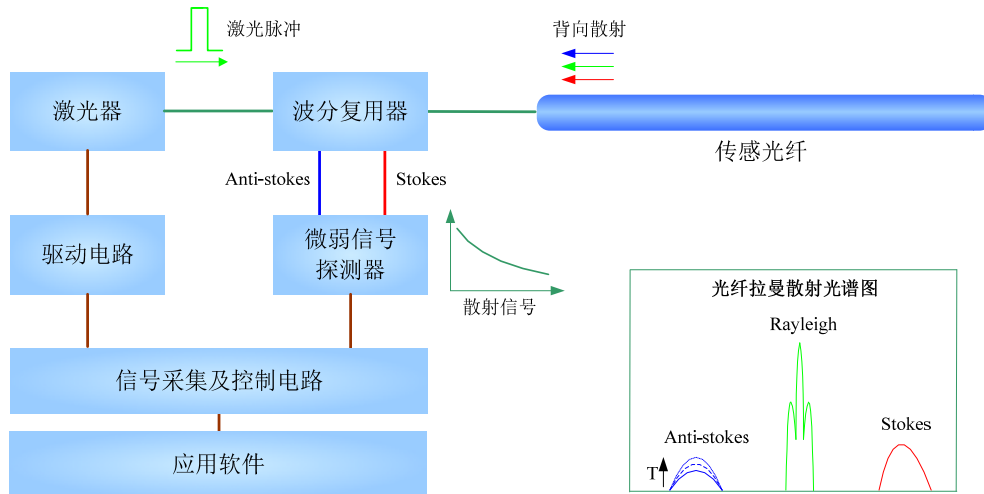


图 4 分布式光纤测温技术原理

2.2.2 ST-DTS 主要特点

1. 实时检测被监测对象各点的温度，既可测线，亦可测点；
2. 光纤安全性高，阻燃、防爆、耐腐蚀，抗干扰性能强，无击穿、烧毁等问题；
3. 可根据现场的报警要求，调整报警阈值；
4. 系统可以对各被监测区域和监测点的故障趋势进行智能分析，并准确定位；
5. 保存并可随时查询历史数据，有利于经验的积累和为事故趋势分析提供依据；
6. 系统具有局域网络借口，可联入企业局域网系统或其他网络系统，实现信息共享；
7. 全年 365×24 小时不间断在线监测，从根本上杜绝人员疏忽导致事故。

2.2.3 ST-DTS 主要应用领域

- 电缆桥架、电缆隧道、电缆沟、高压电缆；
- 储油罐、储气罐、输油管、输气管；
- 公路隧道、地铁隧道、大坝；
- 传输皮带、输煤栈桥、储煤场；
- 军火库、危险品仓库、粮库、大坝等需要空间连续测温的场合。

2.2.4 ST-DTS 规格说明

型号	ST-DTS-2	ST-DTS-4	ST-DTS-8
通道个数 (个)	2	4	8
测量距离 (km)	2/4/6/8/12		
测温范围 (°C)	-40~ 150 (≥150°C需要选用高温光纤)		
测温精度 (°C)	±1		
定位精度 (m)	±1		
测量时间 (s)	<1s/通道/公里 (取决于测量距离、测量精度、定位精度、空间分辨率等因素)		
光接口	FC/APC		
光纤类型	GI 62.5/125		
通用指标			
供电方式	AC220~240V,50~60Hz		
通信接口	RJ45/RS232/RS485		
工作温度	-10°C~ 50°C		
保存温度	-40°C~ 70°C		
相对湿度	0~ 95% (无结露)		
安装方式	2U 上架机箱		

* 上述参数如有变化，恕不另行通知。

2.3 ST-BOTDA 布里渊光时域分析解调系统

目前对布里渊分布式光纤传感器的研究主要集中在三个方面：布里渊光频域分析仪 (BOFDA)、布里渊光时域分析仪(BOTDA)和布里渊光时域反射仪(BOTDR)。BOFDA 分布式光纤传感技术是基于测量光纤的传输函数的一种传感方法；BOTDA 分布式光纤传感技术是一种利用受激布里渊散射现象实现测量的传感方法；BOTDR 分布式光纤传感技术是基于单一脉冲的布里渊散射获取外界环境因素信息的传感方法。BOTDA 采用两个相向传输的光束来增强布里渊散射，因而它的信号强度大，温度和应变的测量更为精确，测量范围更大。BOTDA 主要应用于航天、航海、电力、通讯、工程（桥梁、大坝、隧道）等领域的变形监测和健康诊断。

2.3.1 BOTDA 基本原理

布里渊散射是基于光在光纤中传播时，在反方向产生散射光这一物理现象。其散射光包括了瑞利(Rayleigh)散射、布里渊散射和拉曼(Raman)散射，如图 5 所示：

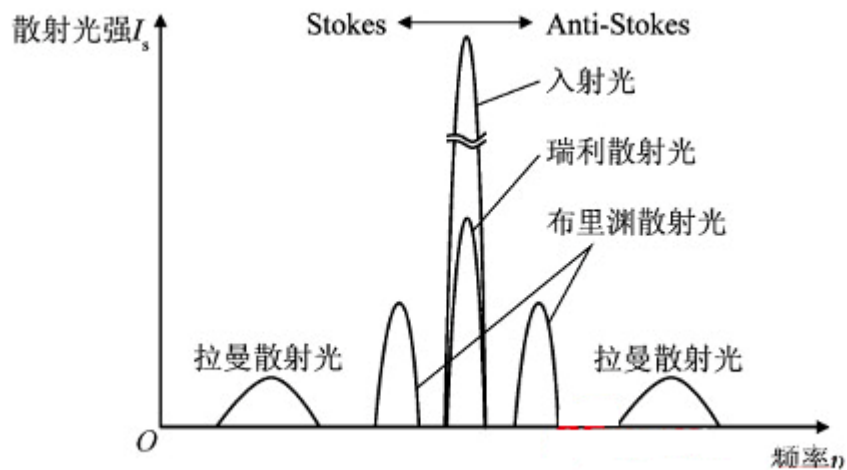


图 5 光纤中的散射光分布图

布里渊散射的基本原理是利用光纤中的布里渊散射光的频移变化量与光纤所受的轴向应变和温度之间的线性关系如图 6 所示：

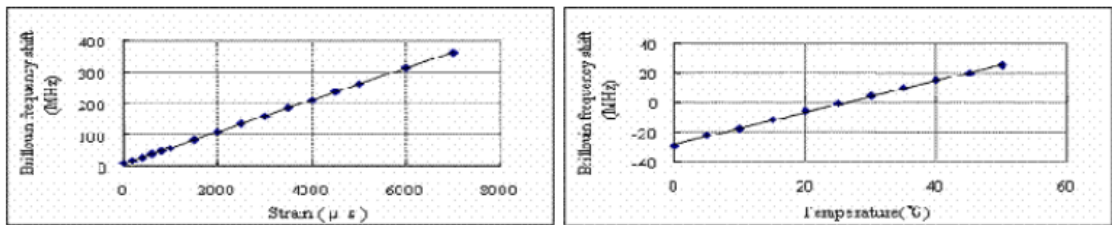


图 6 布里渊散射光的频移变化量与光纤所受的轴向应变和温度之间的线性关系

BOTDA 系统需要两个窄线宽的激光光源，分别为抽运光源（脉冲光信号）和探测光源（连续光信号），这两个光源发出的激光在光纤中反向传输，在光纤的脉冲光源端测量探测光信号，其结构如图 1 所示。抽运光和探测光分别从光纤的两端分别注入，当抽运光与探测光的频率差与光纤中某个区间的布里渊频移相等时，该区域就会发生受激布里渊放大效应，两束光之间发生能量转移。通过扫描探测光频率，可获得光纤任一点的布里渊频谱，从而得到分布式应变和温度测量。

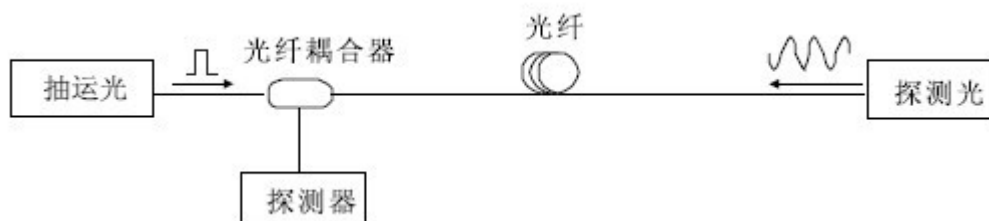


图 7 BOTDA 测量基本原理

2.3.2 ST-BOTDA 系统特点

1. 单端无损测试；
2. 超长探测距离，最远可达 100km；
3. 分布式、空间分辨率最小 1 米；
4. 应变测试精度高， $\pm 20\mu\epsilon$ ；
5. 接口丰富，软件界面友好，易于操作。

2.3.3 ST-BOTDA 系统主要应用领域

- 隧道、大坝、桥梁、大型建筑等健康监测；
- 地质灾害检测；
- 海底光缆应变分布检测；
- 电力电缆应变检测；
- 煤矿、巷道、石油钻井平台等检测；
- 航天应用。

2.3.4 ST-BOTDA 系统规格说明

型号	ST- BOTDA
光纤类型	单模
测量距离	5km~100km
空间分辨率	1m~3m
应变测试范围	-4000 $\mu\epsilon$ ~+6000 $\mu\epsilon$ （取决于光缆）
应变测试精度	$\pm 50\mu\epsilon$ （10-20ns）； $\pm 20\mu\epsilon$ （50-200ns）
应变测试重复性	$\leq \pm 100\mu\epsilon$
光接口	FC/APC
通用指标	
供电方式	AC220~240V,50~60Hz
通信接口	RJ45/RS232/ USB
工作温度	0℃~ 45℃
保存温度	-20℃~ 60℃
相对湿度	0~ 95% (无结露)

* 上述参数如有变化，恕不另行通知。

2.4 ST-PDS 光纤周界防御系统

ST-PDS 系统基于散射光干涉技术的分布式光纤振动传感系统，通过对直接作用于光纤

或通过承载物，如覆土、围栏等，传递给光纤的各种扰动，进行持续和实时的监控。采集到的扰动数据经过主机分析处理和智能识别，判断出不同的外部干扰类型，如攀爬围栏、围墙，设防区域的行走，挖掘，以及可能威胁光纤承载物的破坏等，实现系统预警或实时告警、定位，从而达到对侵入设防区域周界、以及内部核心区域的威胁行为进行预警监测的目的。

2.4.1 工作原理

感应缆对外界扰动的感应能力是通过光纤的弹光效应实现的。当光纤受到外界扰动时，弹光效应使在光纤中传输的光波的光程发生变化，从而引起相位变化。通过专门的光路构建和信号解调技术就能有效的监测光的特性变化，进而达到监控外界的触发事件，即攀爬、踩踏、触碰、摇晃、挤压光缆等，系统即刻报警，并准确定位报警位置。

2.4.2 ST-PDS 系统特点

- 1、探测距离可达 40km，并能精确定位入侵点和泄漏点；
- 2、可实现多点多事件同时监测，且互不影响；
- 3、无需供电，监测区域根据现场划分；
- 4、光纤(光缆)故障查找和维护完全利用成熟的通讯行业技术，易维护；
- 5、可在风雨、雷电等危险及恶劣环境中使用，抗误报性强；

2.4.3 ST-PDS 系统主要应用领域

- 输送油、气、煤管线防盗、防施工破坏监测；
- 城市地下燃气、供暖、自来水管线泄漏和防施工破坏监测；
- 长距离围栏防侵入系统，如机场、仓库、军事禁区、边境线等；
- 地质、结构变化报警，如：矿井巷道振动、位移，山体、护坡垮塌预警；
- 矿井事故被困人员准确定位；
- 其他测振报警应用。

2.4.4 ST-PDS 系统规格说明

型号	ST- PDS
通道个数	2 个
探测长度	30km/通道
定位精度	50m
响应时间	1s
响应频率	1 Hz ~20KHz
检测率	≥90%
检测门限	可调电平，幅度，频率，持续时间

报警灵敏度	可设置
光接口	FC/APC
通用指标	
供电方式	AC220~240V,50~60Hz
通信接口	RJ45/RS232/RS485
工作温度	-0°C~ 45°C
保存温度	-20°C~ 70°C
相对湿度	0~ 95% (无结露)

* 上述参数如有变化，恕不另行通知。

三、典型应用举例

3.1 ST-FBG 应用举例

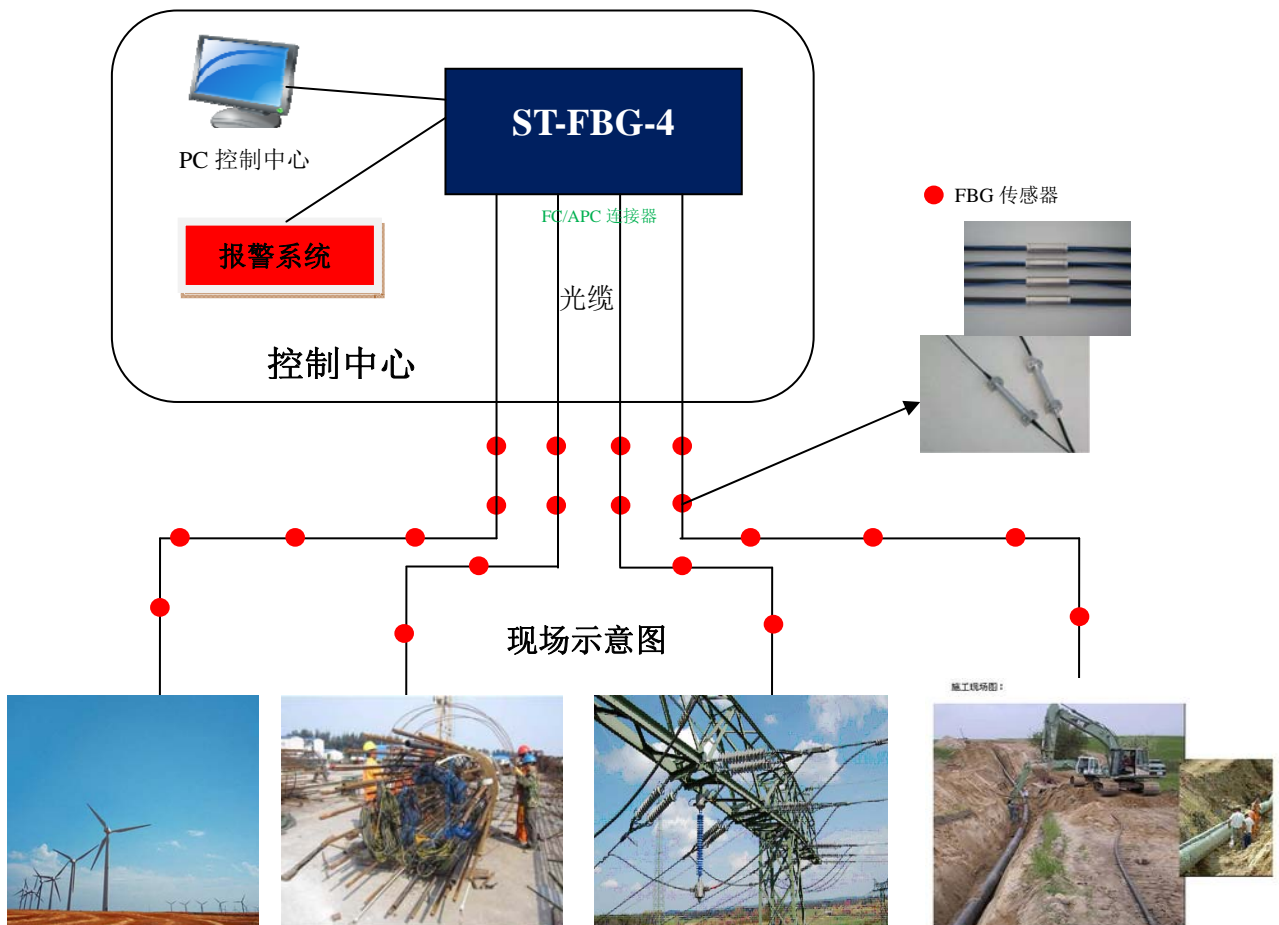


图 8 光纤光栅解调系统现场布置示意图

3.2 ST-DTS 应用举例

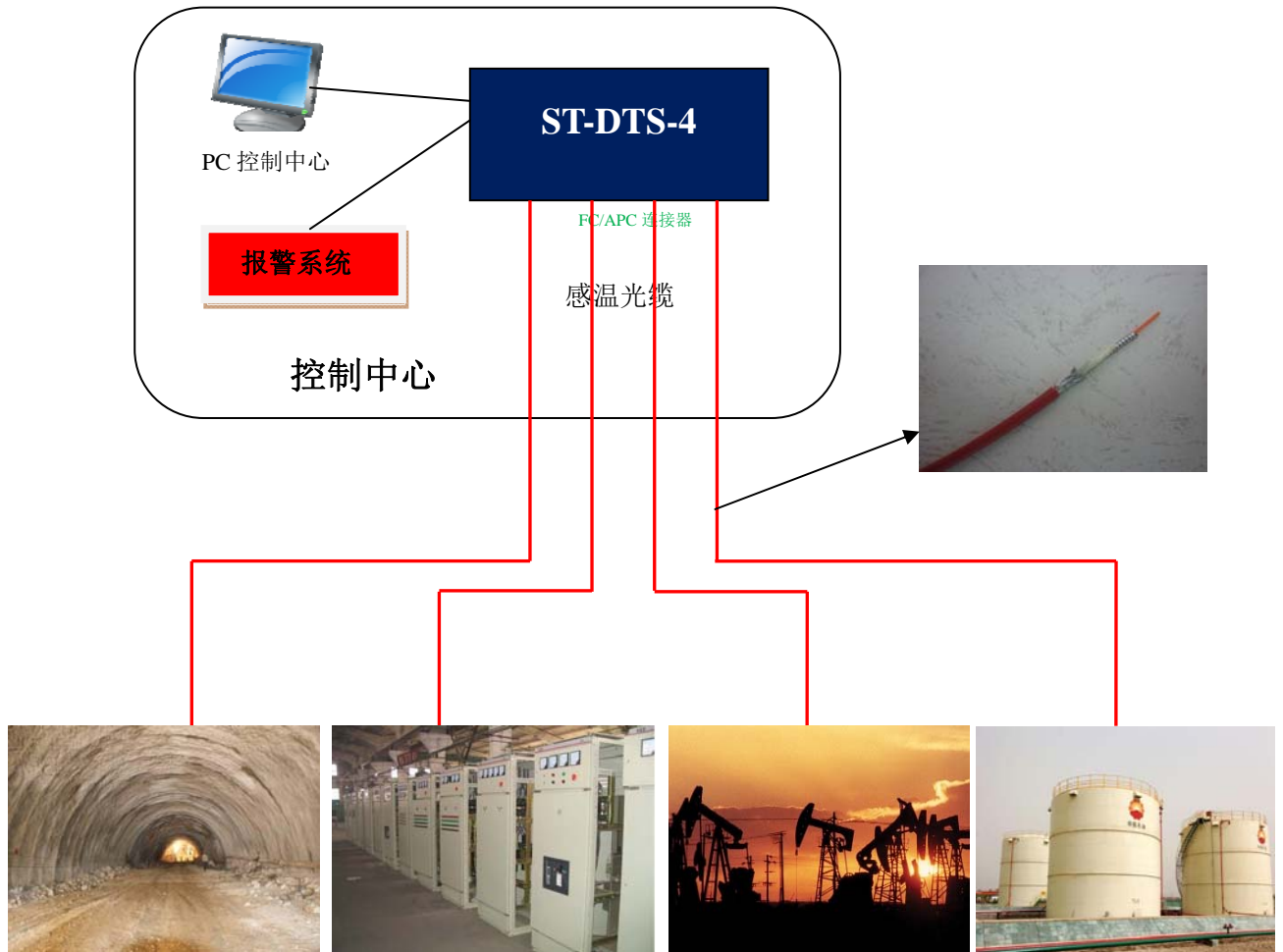


图 9 分布式光纤测温系统现场布置示意图

3.3 ST-BOTDA 应用举例

基坑变形监测

基坑变形监测是岩土工程领域的基本问题之一，基坑稳定性的重要性不言而喻。众所周知，基坑变形原因复杂、类型繁多，但总体来说，主要是由基坑开挖引起的坑体水平位移问题和基底隆起问题。传统的监测方式，如土压力盒、测斜管等，由于自身传感方式的限制，往往有精度不高、抗腐蚀性差、损耗较大、浪费人力等缺点。BOTDA 技术的基坑位移监测分布式光纤传感系统可以有效解决问题。

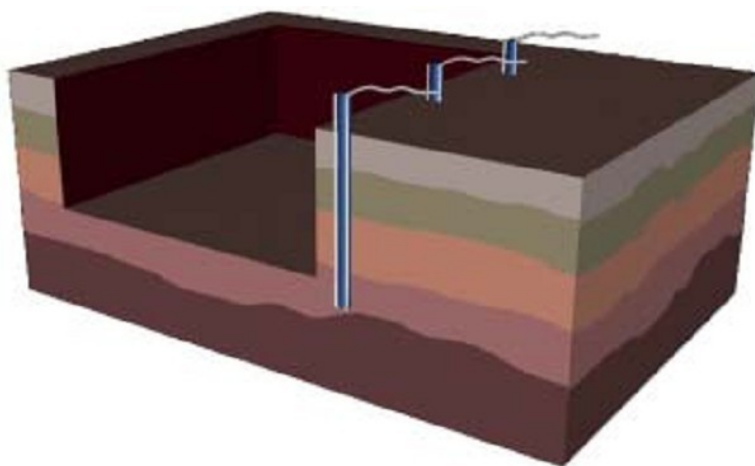


图 10 基坑变形监测示意图

建筑物健康监测

路面纵向钢筋共有 11 根。在其中 9 根钢筋上布设了传感光纤，温度补偿光纤 4 根，应变传感光纤 5 根，沿中心对称铺设。

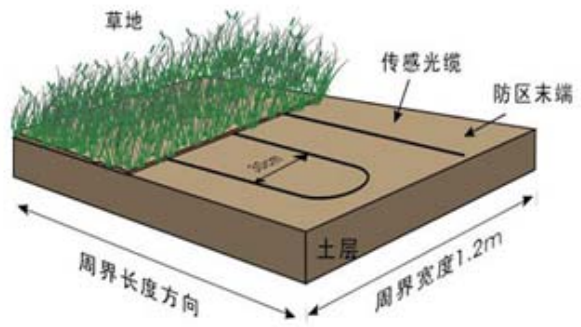


图 11 连续配筋混凝土路面检测示意图

3.4 ST-PDS 应用举例



护栏



埋地铺设



围墙



管道、线缆同程敷设

图 12 光纤周界防御系统应用示意图

四、附录 不同光纤传感系统的主要应用对比

系统名称	主要应用领域	主要测量项目
光纤光栅解调系统	各种 FBG 传感器在线测试、测量； 桥梁、隧道、大坝、石油、石化、电力、航海、航空等长期健康检测； 电磁场、腐蚀等恶劣环境中温度和应变的测量； 火灾报警等。	温度、应变、压力、位移、 振动、加速度等物理量
分布式光纤测温系统	电缆桥架、电缆隧道、电缆沟、高压电缆； 储油罐、储气罐、输油管、输气管公路隧道、地铁隧道、大坝； 传输皮带、输煤栈桥、储煤场； 军火库、危险品仓库、粮库、大坝等需要空间连续测温的场合。	沿着光纤不同的位置的温度变化
BOTDA 布里渊分析解调系统	航天、电力、通讯、工程（桥梁、大坝、隧道）等领域的变形监测和健康诊断。	应变、温度
光纤周界防御系统	易燃易爆、强电磁干扰等恶劣场所（油库、电站、弹药库、机场、高铁等）	振动