

分布式光纤传感监控系统

(油气管线安防应用)

山东世博源自动化有限公司

2023年4月



边境线

核电站

机场

军事基地

安防需求

“安全”成为当今社会面对的严峻问题之一，城市安全、公共设施安全、公共交通安全等等，越来越受到世界各国的广泛关注，呈现出全球化的趋势，一些重要目标的安防措施，如：机场、军事基地、核电站、储备油库、边境线、油气管线、骨干光缆、市政综合管廊等，各国都给予了高度的重视。

对于短距离周界常规的安防手段采用围栏、围墙等阻挡物，同时采用红外探测、泄露电缆和电子围栏等；对于长距离大范围的周界、管线等目标的安防措施，最传统的做法是人工巡逻；由于目标范围大，所处环境复杂，安防措施受到很大限制。这些方法不同程度地存在一些缺陷，不能满足高端用户和长距离大范围防护目标的需求，需要有一种有效的技术手段。

油气管线安防系统

检测方法		特点	应用
人工巡检		人工巡检直接，成本相对较低，但效率也低。不能适时监测，有遗漏，没有预警功能。	国内应用多
无人机巡检		利用无人机巡检，出警迅速，效率较高。不能适时监测，需申请空域，没有预警功能。	国内有应用
光纤传感	温度监测	可以检测到泄漏，并可以确定事故位置，同时还可以检测到破损点。需要预先铺设光缆，没有预警功能。	国外应用多
	应变监测	可以检测第三方破坏，还可以检测到泄露，并可以确定事故位置，具有预警功能。需要预先铺设光缆。	国外应用多
其它	声学检测	可以实时监测管线周围震动情况。沿线安装大量声学传感器，可靠性差，维护困难。	国外少量应用
	压力检测	通过监测管内压力变化确定泄漏位置。无法检测小泄露，没有预警功能。	国内有应用
	软件分析	通过软件分析，可以检测泄漏，也可以定位。无法检测小泄露，没有预警功能。	国外少量应用

光纤传感器

光纤传感器是20世纪70年代中期发展起来的一种基于光导纤维的新型传感器。它以光作为敏感信息的载体，用光纤作为传递敏感信息的媒质。因此，它同时具有光纤及光学测量的特点：

- ①电绝缘性能好
- ②抗电磁干扰能力强
- ③高灵敏度
- ④易实现对被测信号的远距离监控



光纤传感器可测量位移、速度、应变、压力、流量、振动、温度等物理量。

光纤传感器在安防领域应用主要有两种形式，对于短距离周界多采用防区式光纤传感器，对于长距离、大范围的周界和管线多采用分布式光纤传感器。

分布式光纤传感器

目前实用的分布式光纤传感器产品主要包括两大类：

* 散射法

基于散射原理、采用OTDR技术，适用于大范围测温和管线健康等静态监测。

* 干涉法

基于相位调制、采用光干涉检测技术，适用于长距离、大范围周界和管线的动态监测。

两种传感器的共同特点都是分布式传感器，可对入侵事件报警，并可精确定位，但工作原理和系统结构不同，组建的监控系统用途也有区别。



分布式光纤传感器

散射法

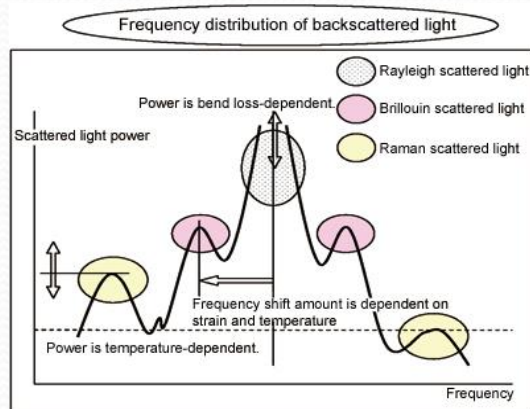
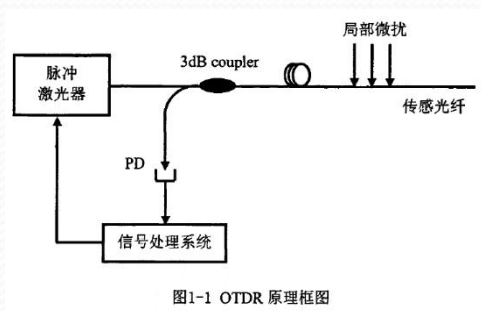


Fig.1 Spectrum of the backscattered light of optical fiber

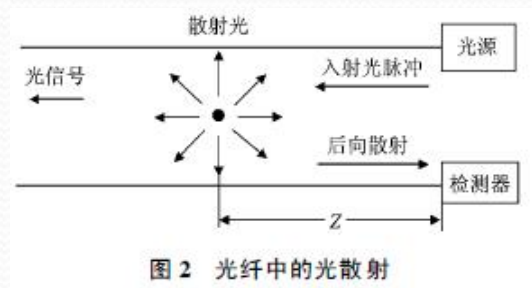


图2 光纤中的光散射

干涉法

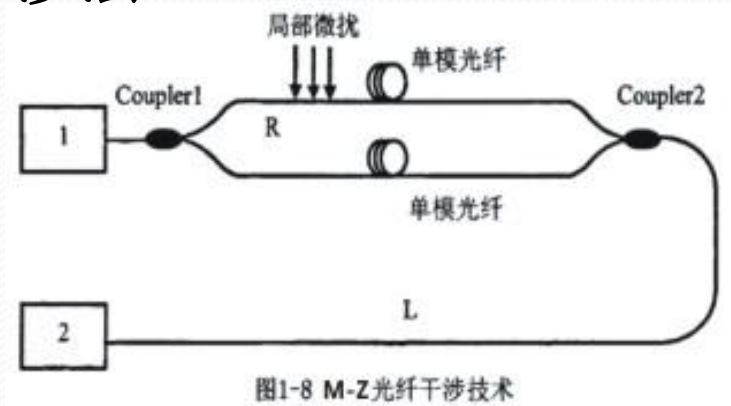


图1-8 M-Z光纤干涉技术

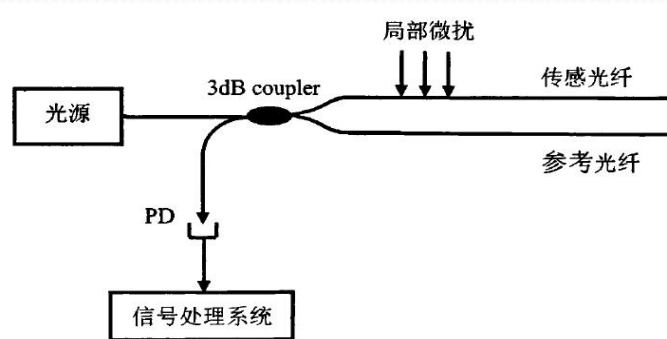



图1-7 图 Michelson 光纤干涉技术

分布式光纤传感技术分析

技术类型	B-OTDR	C-OTDR	M-Z Interferometer	Hybrid Michelson Interferometer
探测物理量	应力/温度	应力	微应变	微应变
探测灵敏度	非常高	非常高	较高	较高
频响带宽	10Hz – 10 KHz	10Hz – 10 KHz	10Hz – 20 KHz	10Hz –500 KHz
线性度	较差	较差	较好	很好
定位精度	很高	很高	较高	较高
探测距离	25km	25km	40km	50km
稳定性	一般 易受环境影响	一般 易受环境影响	一般 易受环境影响	较好 抗干扰能力较强
系统要求	需采用特殊的技术和光源，传感光缆的安装要求非常高	对光源要求较高。传感光缆必须埋入地下较深。	解调技术较复杂，对激光器的相干度要求相对较高	解调技术相对比较复杂，对光源相干度要求相对较高
应用领域	常用于管道结构监测，周界报警应用受限制	用于海底光缆监测，很少用于地面周界项目监测	可以用于管道和周界监控	可用于管道和周界监控，可检测输气管线泄漏



油气管线安防监控 解决方案

油气管线安全监控系统方案

油气管线安防系统的特点是，管线环境复杂，监控距离比较长，每套系统监控的距离达数十km。系统担负的主要任务是监控沿线管道的安全，能够对管道破损、管道泄露和管道附近的挖掘等事件进行报警，并要对事件进行精确定位；同时还要求系统有预警功能，即在挖掘事件初期就能够发出报警，将损失减小到最低限度。鉴于上述要求，分布式光纤传感安防监控系统是比较合适的选择。



油气管线安防系统面临的难题

a) 识别能力

管线传输距离长，沿途可能会穿越公路、铁路、村庄、城镇等不同的地域，来自外界的干扰源也多而复杂，这对系统的识别能力和抗干扰能力都是一个挑战。

b) 动态范围

管道监测涉及到的信号动态范围非常大，挖掘事件信号振幅大频率很低；泄露事件信号振幅小频率很高，因此系统探测能力必须具有非常大的动态范围。

c) 适应能力

管线分布地域广，地质条件复杂，可能经过农田、湿地、山地、河流等各种不同地质环境，管线可能还要伸出地面。传感光缆对不同地质环境的感知度是不一样的，因此要求系统要有很强的适应能力，整体性能基本一致。

油气管线安防系统要考虑的因素

灵敏度	传感光缆相对管道探测范围/产生报警的最小泄漏量等
报警概率	系统能够正确探测出泄漏/入侵事件发生的概率
定位精度	系统对管道泄漏/入侵事件位置的定位误差
频响带宽	系统对管道泄漏/入侵事件检测的最大频率覆盖范围
误报率	系统对非泄漏/入侵事件发出错误报警的概率
预警能力	系统对潜在的泄漏/入侵事件的探测能力
响应时间	从事件发生到系统报警所需要的反应时间
多点检测	系统对同时出现的、不同位置的多个事件进行探测的能力
线性度	系统主要技术参数指标随管线长度增加而衰减的程度
适应能力	针对各种不同的管道环境和输送介质系统所具有的通用性
可维护性	对系统进行故障维护时恢复到执行要求功能状态的能力

油气管线安全监控系统方案

本案例为某机场输航油管线安全监控系统，从油库至机场输油管线总长度约为30km，管线埋设深度大约1.2m - 1.5m，穿越村庄、农田等区域。

要求对管线进行监控，对机械和人为挖掘事件进行报警，能够精确定位，并有预警功能，并对管线泄漏事件进行报警和定位。



分布式光纤传感器选型

根据项目需求，我方选用干涉型分布光纤传感器担此重任。该款产品属第二代分布式光纤传感器，由山东道宽自主研发，采用全新的硬件技术平台和嵌入式操作系统，克服了第一代同类产品的缺陷，具有性能优良、稳定性高的特点，其产品性能达到世界先进水平。

它是当今世界上真正的分布式光纤传感监测系统，提供的最长监控距离为40km以上，与现有长距离光纤传感系统相比，具有更好的定位性能、更高的灵敏度、更宽的动态范围和更高的性价比。

分布式光纤传感器
DK-DVS50



DK-DVS50分布式光纤传感器特点

指标	第一代产品	DK-DVS50产品
技术水平	基于干涉原理，十年前技术	基于干涉原理，新一代技术
系统平台	基于PC Windows 操作系统 对温度比较敏感 功耗300W	基于FPGA + DSP 嵌入式操作系统 对温度不敏感 功耗100W
监控距离	40KM/套	50KM/套
灵敏度	沿光缆统一 如果将光缆放入导管中探测灵敏度减少20%以上	灵敏度提高一倍 沿光缆可配置多种不同的灵敏度 允许光缆放入导管中
频响带宽	10 Hz -- 20 kHz	10 Hz – 500KHz
系统校验	现场人工完成	系统自动完成
系统控制	现场人工完成	具有遥控功能
工作环境	监控主机需要空调	监控主机无需空调

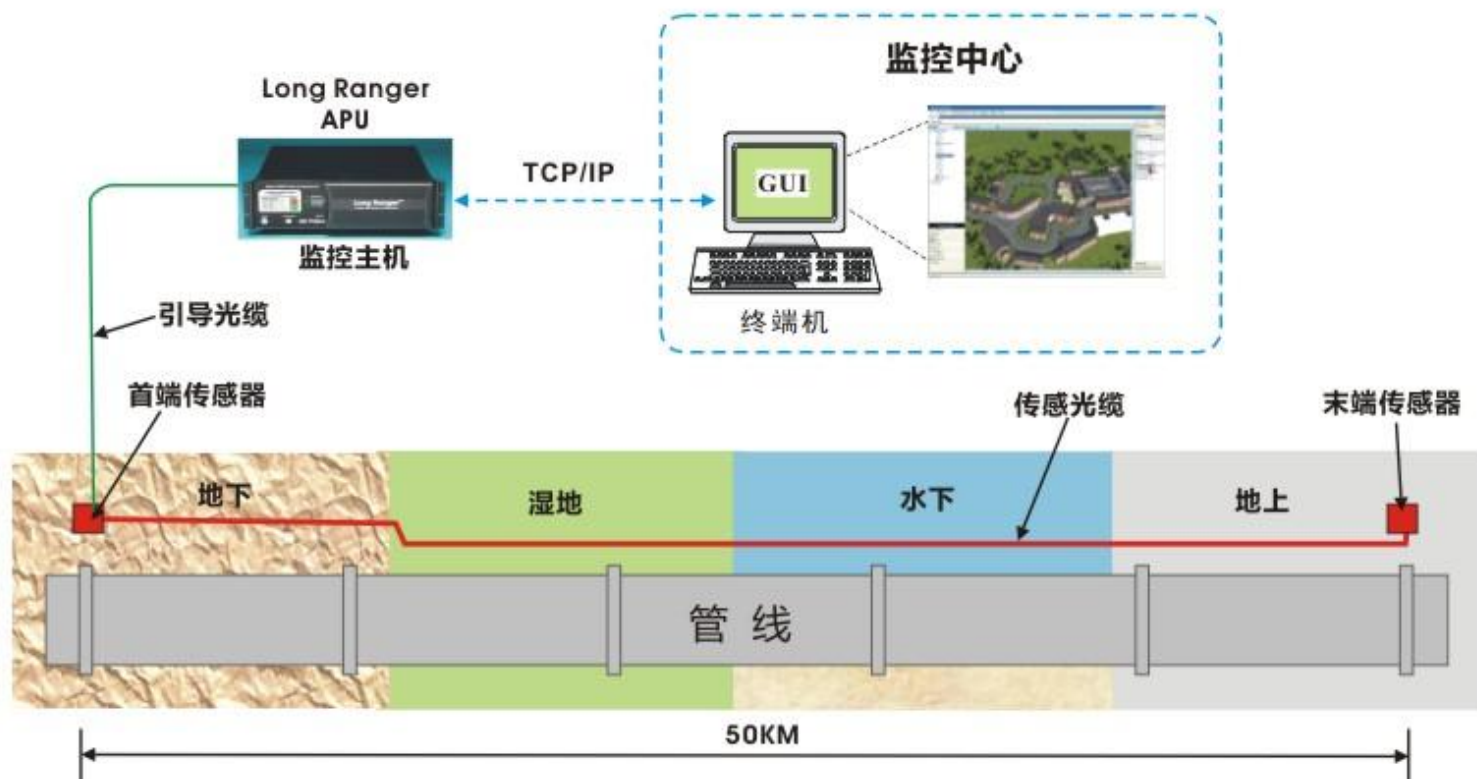
油气管线安全监控系统方案

根据用户的实际情况和需求，我们配置**DVS**分布式光纤传感主机1套作为监控主机，该机具有预警和定位功能；传感光缆可采用八芯单膜高性能专用传感光缆；引导光缆采用四芯标准室外通信光缆。

本系统配备有高性能的系统管理软件，功能实现自动报警；还可以通过**SDK**软件包实现与第三方报警设备互动的功能。

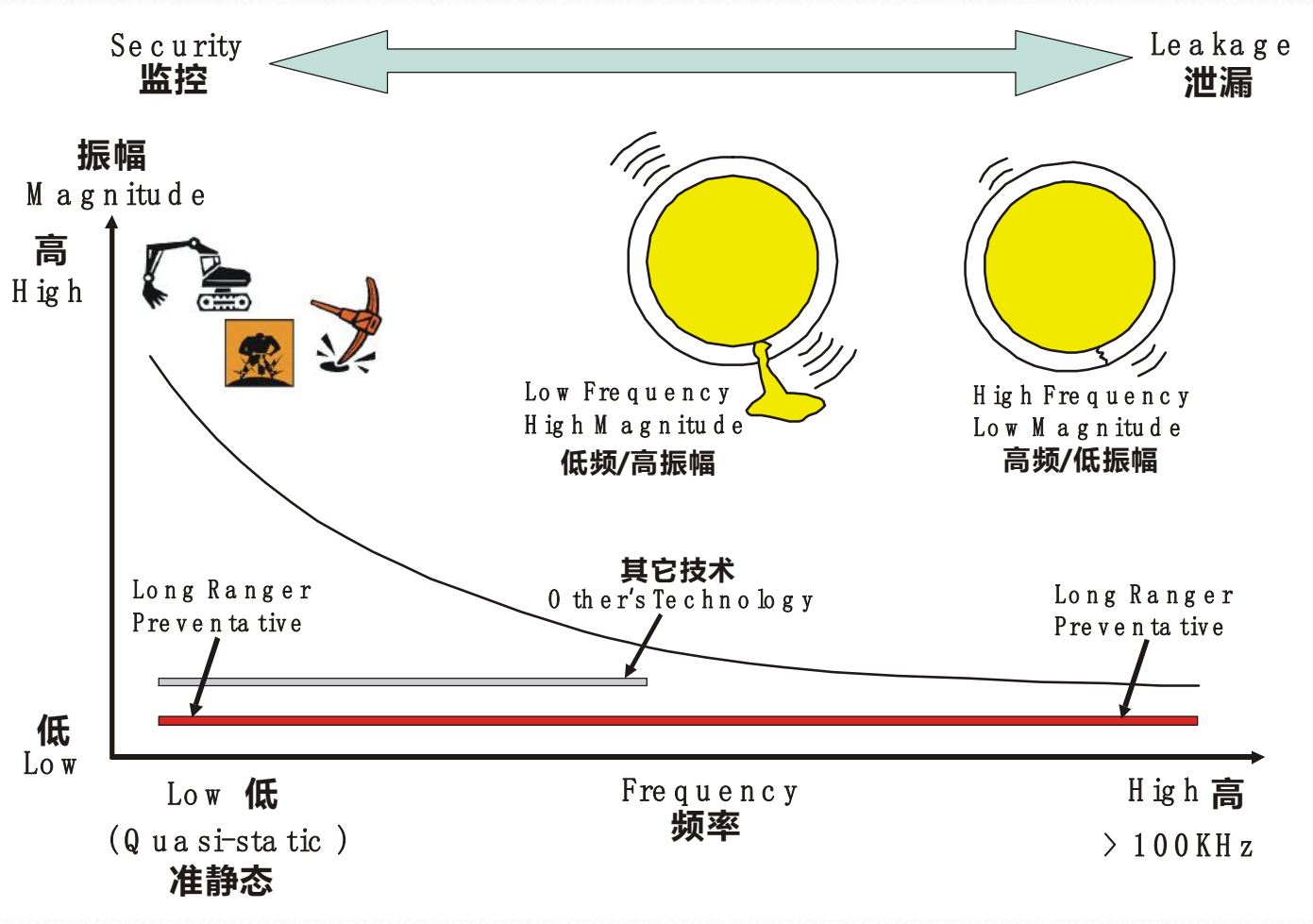


DVS管线监控系统基本配置



DVS系统通过不同的软硬件配置，可沿传感光缆设置多种不同的检测灵敏度。

DVS监控系统频响范围



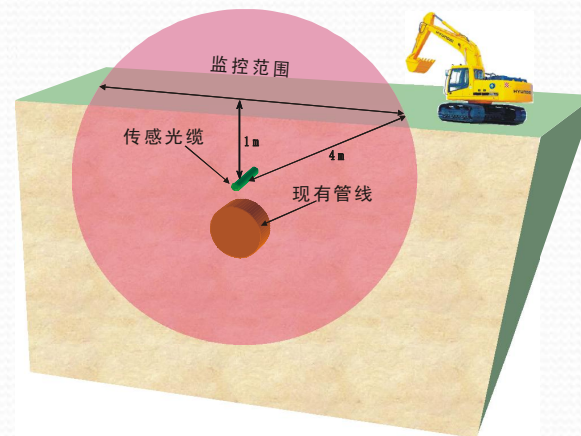
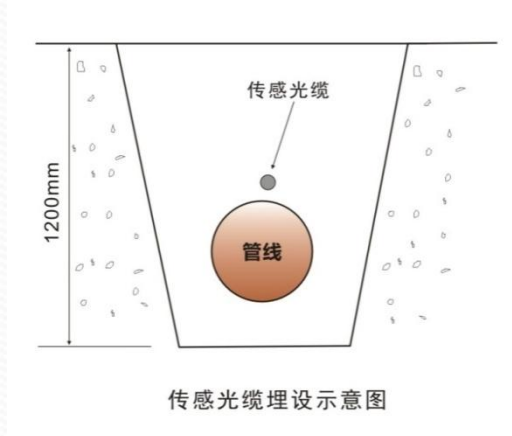
传感光缆选择

传感光缆的质量和选型对系统的性能的发挥非常重要，主要有如下几种情况：

- 1) 对于既有管线，可以借用沿管线同沟埋设的标准通信光缆作为传感器；
- 2) 对于新建管线，且只要求对挖掘事件报警的功能，可以选用标准通信光缆作为传感器，但必须选择优质的产品；
- 3) 对于新建管线，系统要求又比较高，既能对挖掘事件报警，又可以对管线泄漏报警，而且要求有预警功能需求，最好选用专用传感光缆。

传感光缆布设

- 1) 传感光缆最好选择直埋方式；
- 2) 如果选择穿硅芯管方式，系统探测灵敏度将降低20%以上，可采用不同束管的方式进行补偿；
- 3) 如果系统只探测挖掘事件，传感光缆布设时可以与管线保持一定的距离，但最好不要超过1m；
- 4) 如果既探测挖掘事件，又探测管线泄漏事件，则传感光缆布设时最好与管线紧密结合在一起。



项目实施

* 设备选型

监控主机，传感光缆，辅助设备等；

* 设备安装

光缆布设，室内布线，设备安装等；

* 系统调试

光纤链路，监控主机，故障排除，
参数设定，系统测试

* 系统运行与维护

系统试运行，项目移交等。



系统检测功能

- * 人工工具挖掘；
- * 重型机械挖掘；
- * 管线上车辆、机车的运动；
- * 管线泄露（输油、输气和输水管）；
- * 爆破（地表及地浅层）；
- * 硬物撞击（管线表面）；
- * 滑坡、泥石流；
- * 地震等地质灾害；



系统性能指标

- * 传感类型：分布式光纤传感器
- * 操作系统：嵌入式
- * 工作方式：全天候、全实时监控
- * 响应时间：<2秒
- * 频率响应：10Hz – 500KHz
- * 报警概率：>90%
- * 虚警概率：<5%
- * 监控距离：>40km
- * 定位精度：50米左右
- * 系统校验：系统校验自动完成
- * 多目标报警：可同时检测多个入侵目标



油气管线监控系统设备配置清单

项目	设备描述	数量
主要设备	1 分布式光纤传感管道监控主机 DK-DVS50	1部
	2 服务器及管理软件 Server & Commander	1套
	3 光纤跳线架及跳线 Patch Panel, SC/APC	1套
	4 首、末端传感单元 Start and End Terminal Sensor	1对
配套设备	5 八芯单模传感专用光缆	35km
	6 四芯通信级室外单模引导光缆	1km
	7 辅助配套设备 (包括: 终端主机、显示器、19寸标准机柜、UPS不间断电源、交换机、声光报警装置、专用工具、工程辅料等)	若干
工程施工	8 引导光缆 (包括: 路由复测、光纤熔接、线路测试等)	
	9 设备安装 (包括: 光缆成端、室内布线、设备安装等)	
	10 系统调试 (包括: 系统测试、系统调试等)	
	11 系统验收 (包括: 统调、试运行、验收等)	
	12 工程监理	
	13 其它	

售后服务体系

系统质保期**12**个月，质保期内提供免费上门服务；
质保期外提供有偿技术服务。

第一级：现场操作人员 (Operator)

第二级：现场技术人员 (Engineer)

第三级：系统集成商工程师 (Supervisor)

产品供应商为用户提供全方位的最终技术服务



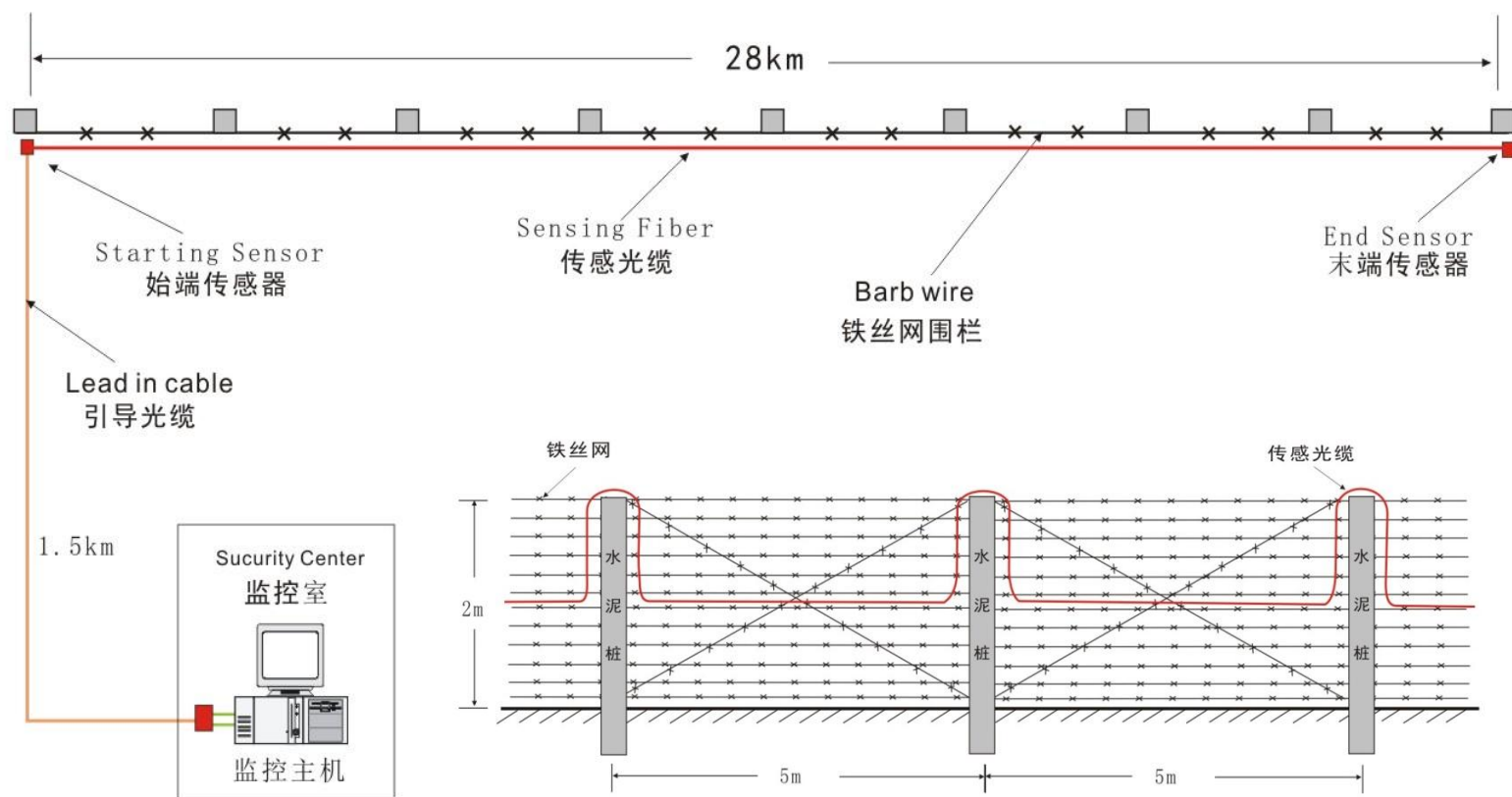
案例

案例一：长距离周界安防项目

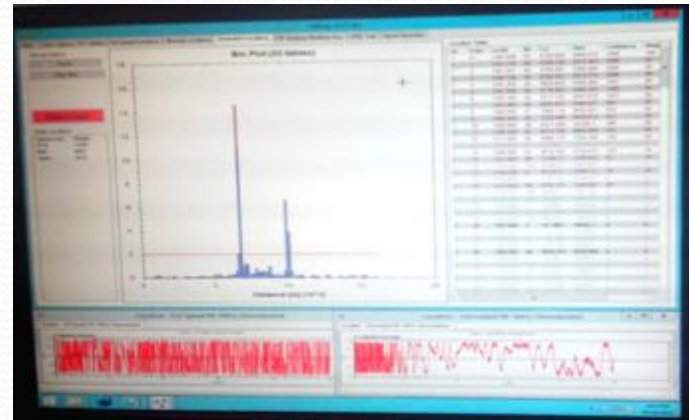


本案为新疆某部边境线安防监控项目，周界长度**28km**，周界采用标准铁丝网，高度**2米**，水泥桩间距**5米**。监控室距离周界**1500m**，使用传感光缆**35km**。测试结果表明，系统对攀爬、翻跃、敲击铁丝网进行报警，定位精度**50m**左右。

边境周界安防系统配置示意图



案例二：油气管线监测项目



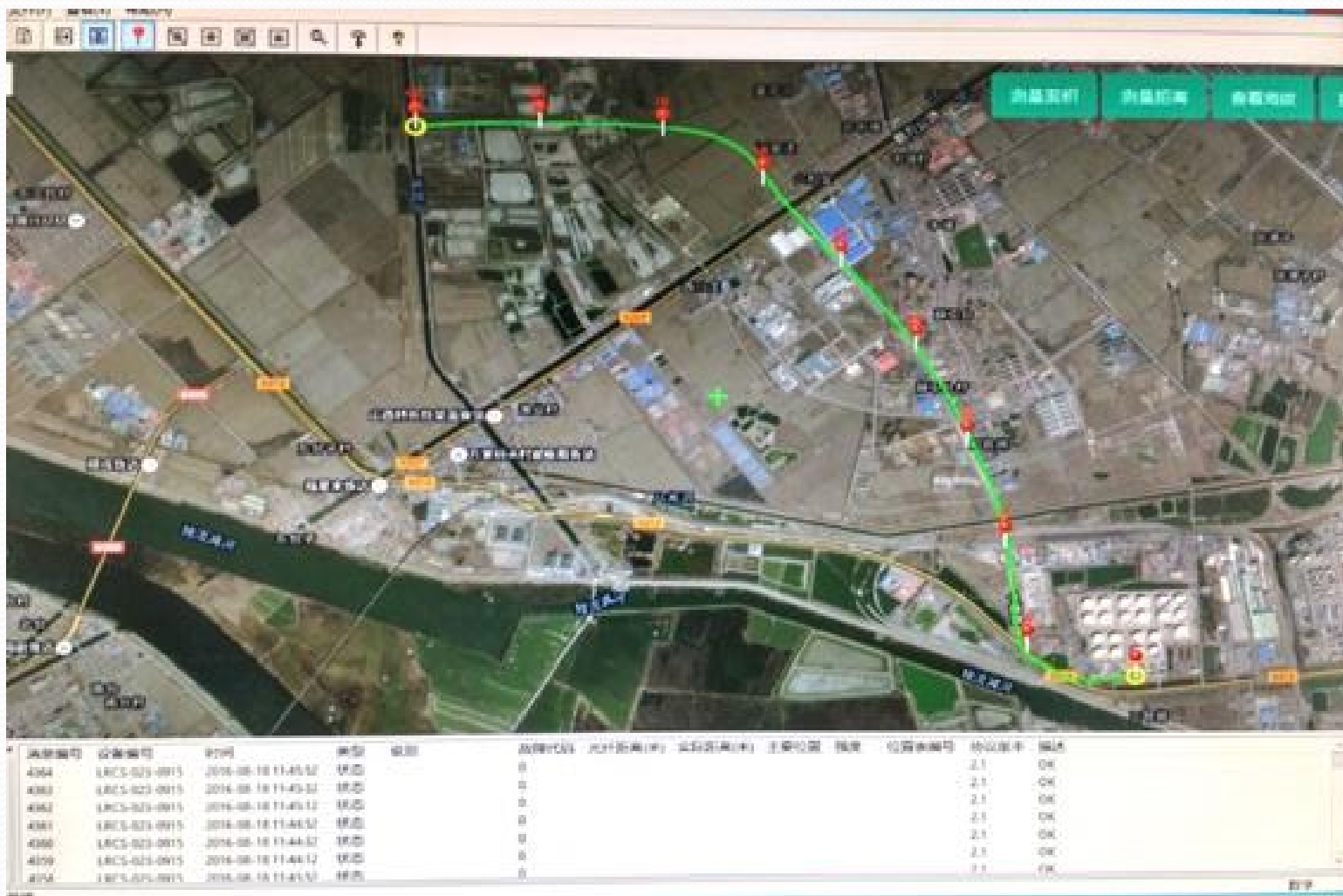
天津中石化某输油管线监测项目，监测管线长度16km，管线埋设深度1.2m – 2m，管线地域复杂，穿越3条河流、2个村庄、2条铁路、4条道路。引导光缆长度10m，传感光缆借用与管线并行的通信用地埋光缆。

测试结果，系统对在地面距离光缆1m左右的人工挖掘、3m左右的机械挖掘事件报警，能够精确定位，并能够同时多目标检测，系统参数线性度很好。

油气管线监测项目



油气管线监测项目



案例三：油气管线模拟测试



人工挖掘



夯机



水平钻机



犁耕机

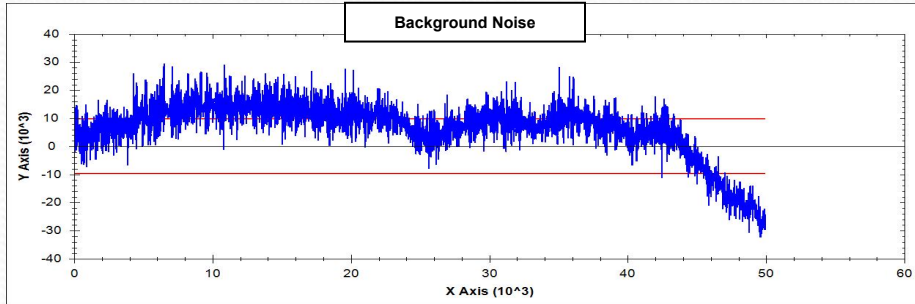


挖掘机

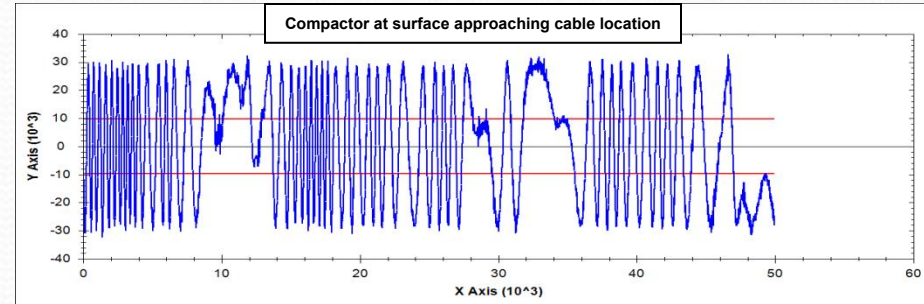
DVS SIGNALS

回波信号图谱

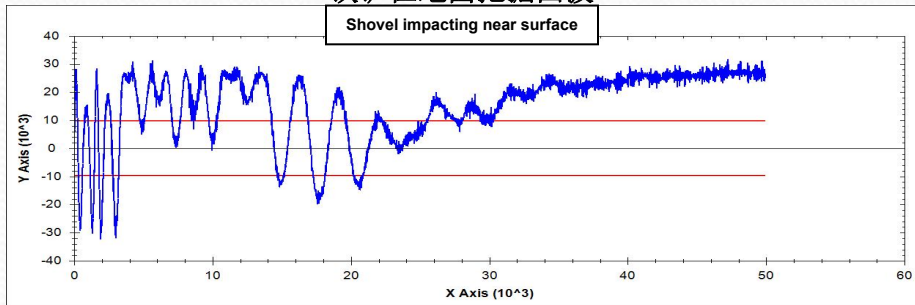
地面背景噪声回波



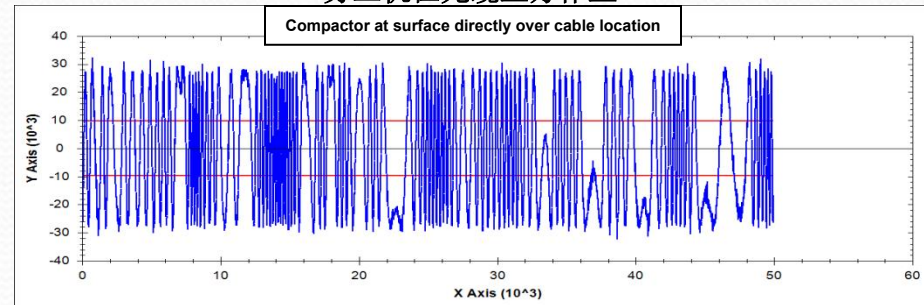
夯土机在光缆附近作业



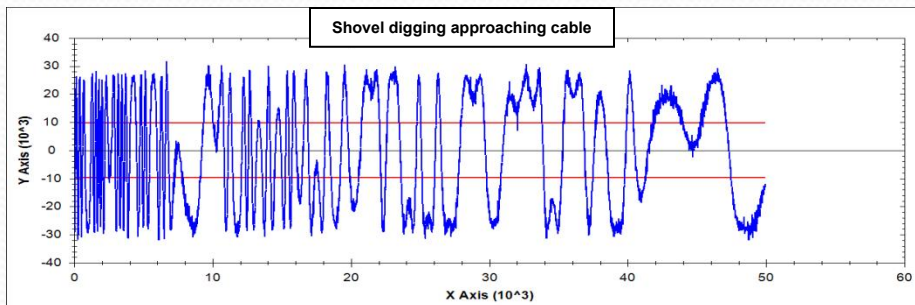
铁铲在地面挖掘回波



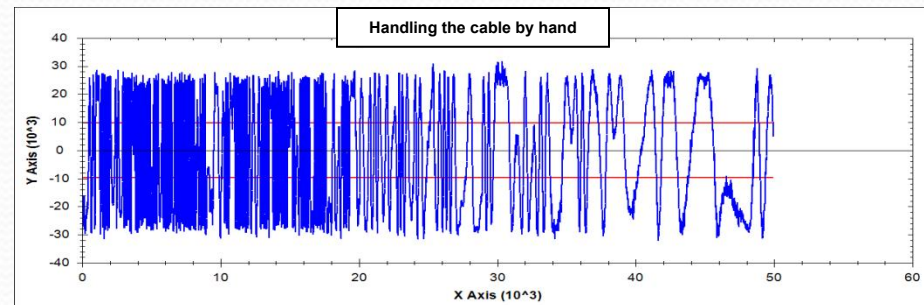
夯土机在光缆上方作业



铁铲靠近光缆挖掘回波



用手敲光缆时回波信号



管线监测系统施工

APPLICATIONS

Gas pipelines to get fiber-optic monitors

11 Jan 2017

Southern California Gas to install technology on all new and replacement pipelines to detect leaks and damage.



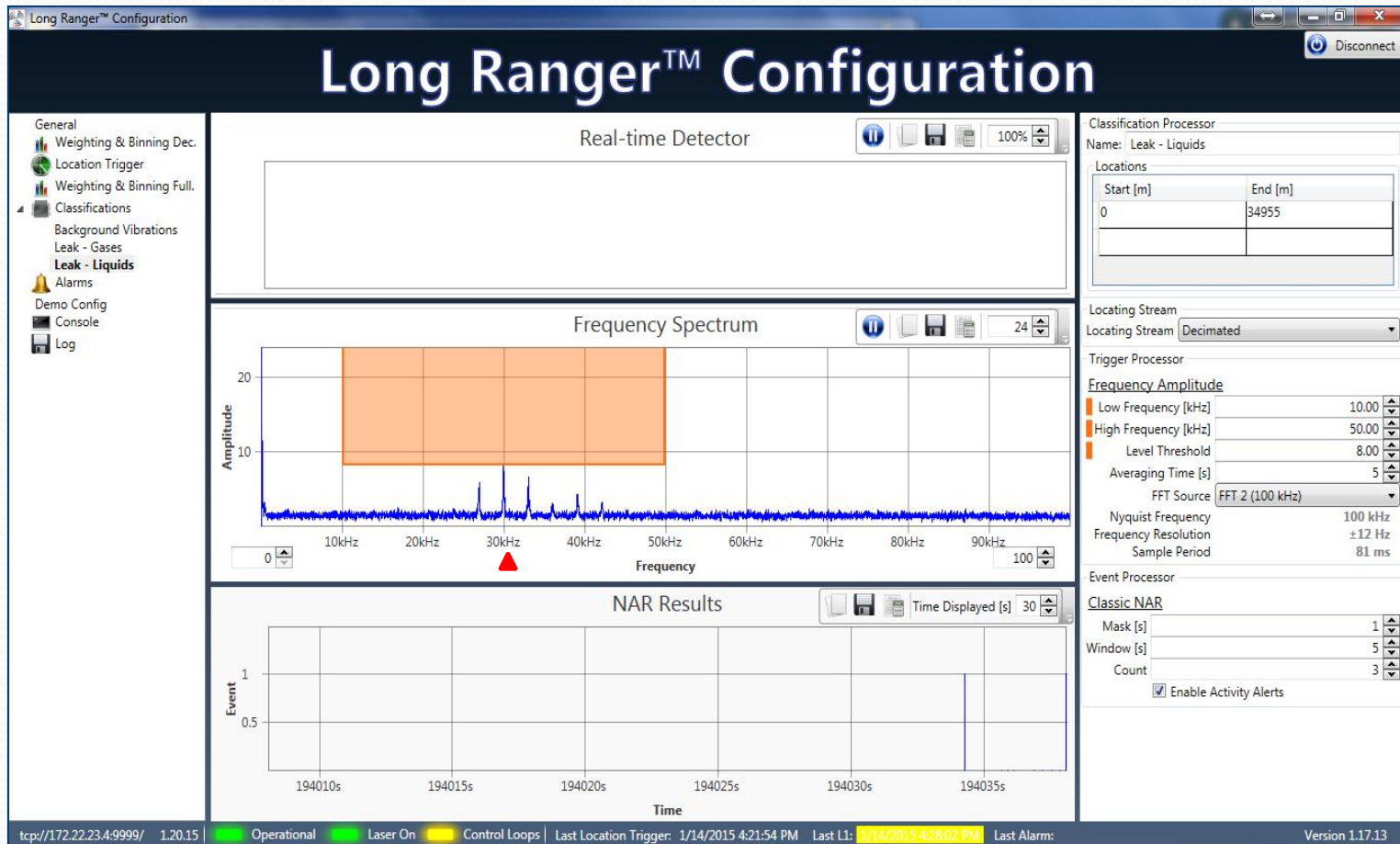
Pipeline sensor

35KM 管线泄漏测试结果

(61cm) (0.3cm)

油料泄漏--24英寸管线--0.125英寸孔洞—压力119psi

Oil Leak - 24in pipe - 0.125in orifice - 119psi - 30° from cable



35KM 管线泄漏测试结果

(61cm) (0.3cm)

气体泄露--24英寸管线--0.125英寸孔洞—压力119psi

Gas Leak - 24in pipe - 0.125in orifice - 119psi

