



山东微感光电子有限公司

Shandong Micro-Sensor Photonics Limited

# 矿用光纤矿压、微震监测技术、装备研究及应用进展

刘统玉

山东省科学院激光研究所

第一届全国冲击地压防治学术大会 2020.12.7 中国固安

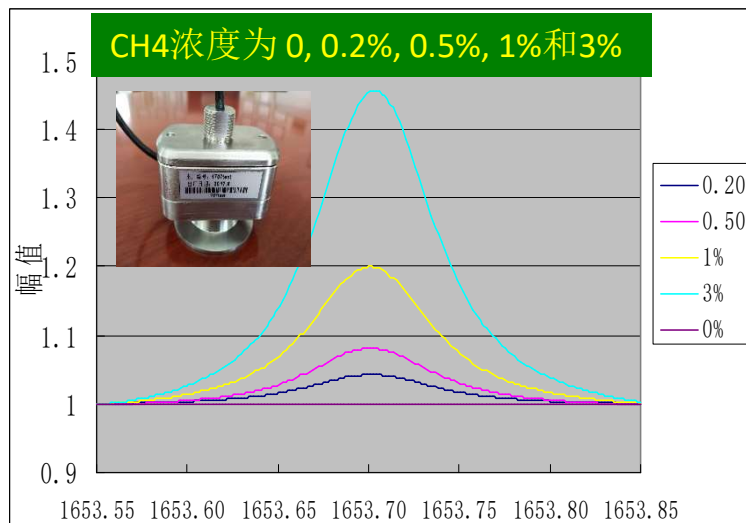
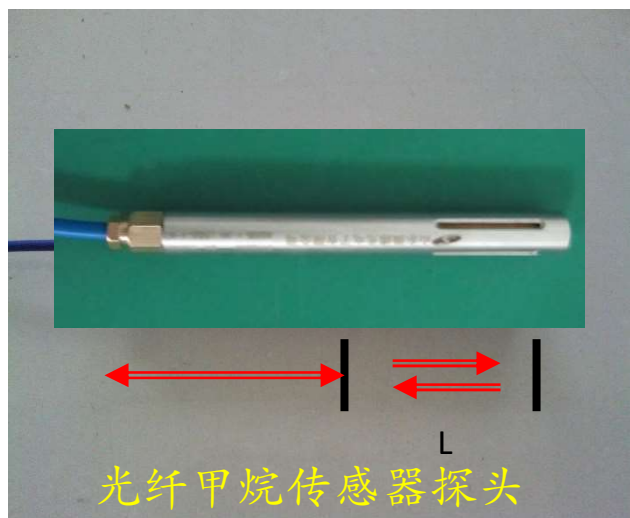
# 汇报提纲

- 研究背景
- 光纤光栅顶板离层、矿压在线监测
- 光纤微震传感器监测系统；
- 光纤分布式振动等新型传感器应用潜力
- 总结

# 一、研究背景

- 冲击地压灾害 – 煤岩内部储存的弹性能量采掘诱发的瞬间释放
- “认识地压”：构造应力~“振动波速”“锚杆应力、钻孔应力”，
- “改造地压”：裂岩卸压，先卸后采 – “精准压裂”
- “认识冲击”：微震能量、声波频率
- “消除冲击”：吸能支护、吸能结构
- “地应力、顶板离层、微震”等标志性参数的时空分布精准监测是防冲的基础；
- 传统电子式离层、应力传感器飘移、跳变、精度低；
- 电子式微震传感器，微弱信号检测传输，易受电磁场干扰；
- 电子的难题，可以由光子解决，智能传感器！
- 煤矿瓦斯、火灾、设备故障隐患治理，激光传感已有成功先例！

# 激光甲烷传感器~瓦斯综合治理监测技术变革

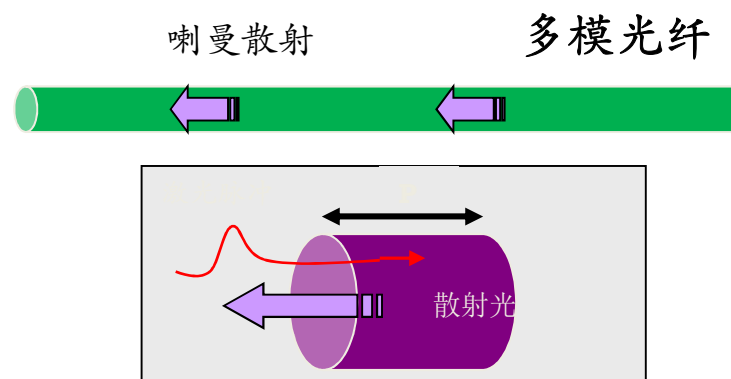
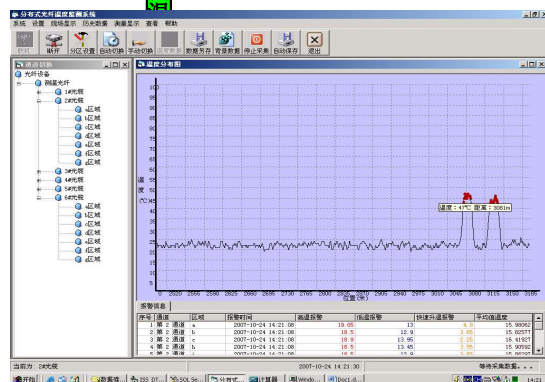
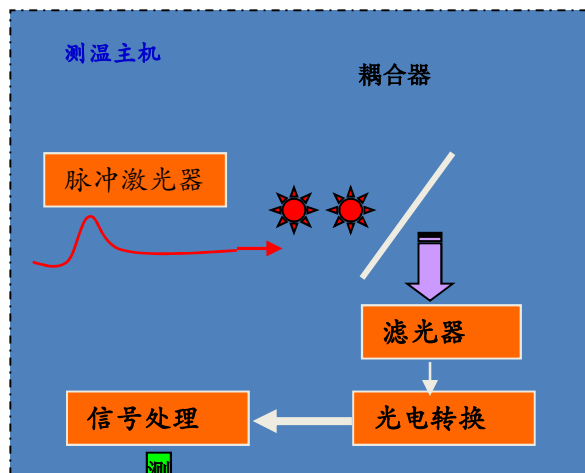


- 激光甲烷传感器，理论上无需标校，抗潮湿、无交叉干扰；
- 我国煤矿率先建立工业标准（6个月标校），全国1000多对煤矿推广使用（监控系统升级）
- 超低功耗： $< 30\text{mA}@3.3\text{V}$ ，传输距离远： $>6\text{ km}$ ；
- 高精度定位、无线便携仪：0—100%， $\pm 0.05\%$ ；

# 光纤分布式测温成功助力采空区火灾防治



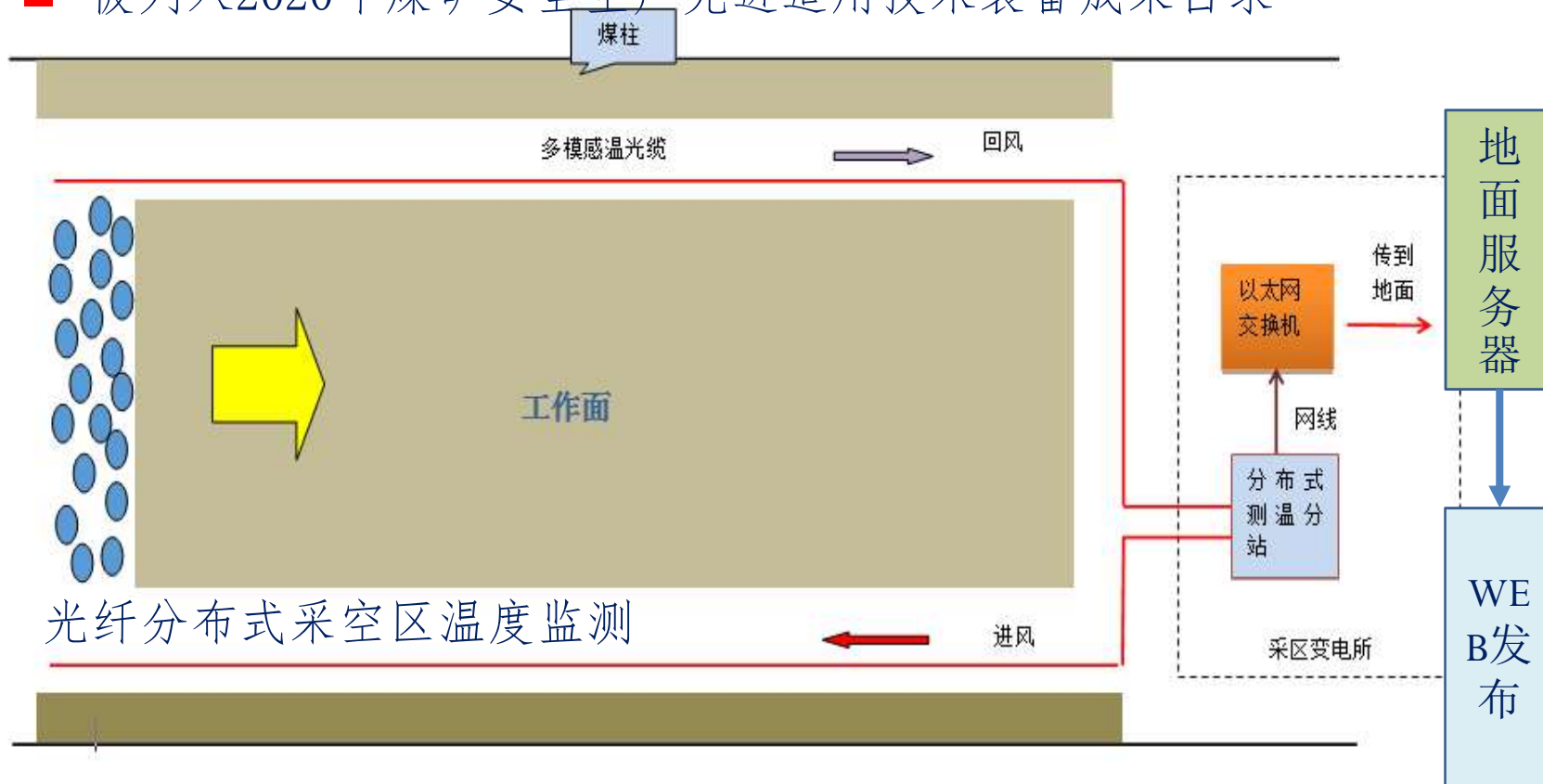
■ 本安型  
DTS主机



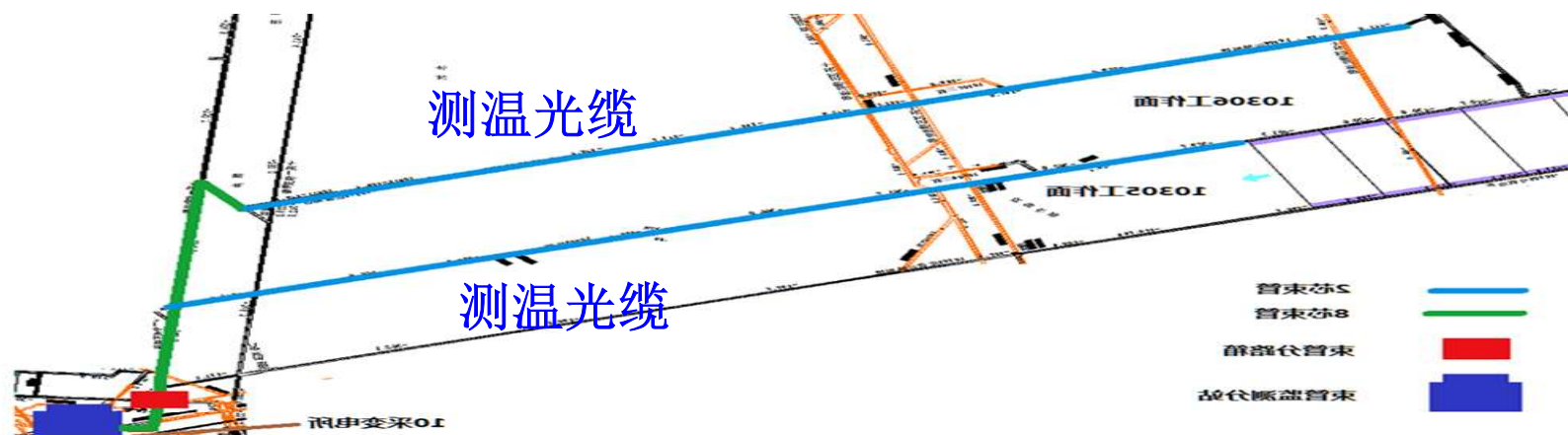
- 测量光纤内任何一点后向散射的反斯托克斯和斯托克斯光信号
- 散射光强度比值  $\gg \gg$  该点光纤温度。

# 光纤分布式测温成功助力采空区火灾防治

■ 被列入2020年煤矿安全生产先进适用技术装备成果目录

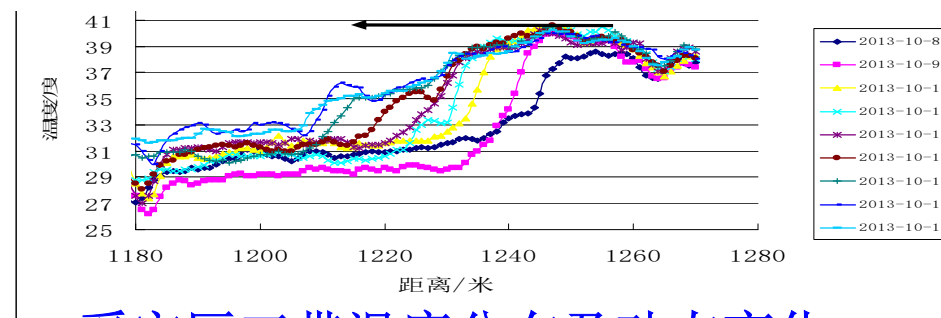


# 光纤分布式测温成功助力采空区火灾防治



光缆分布式  
测温仪

井下变电所

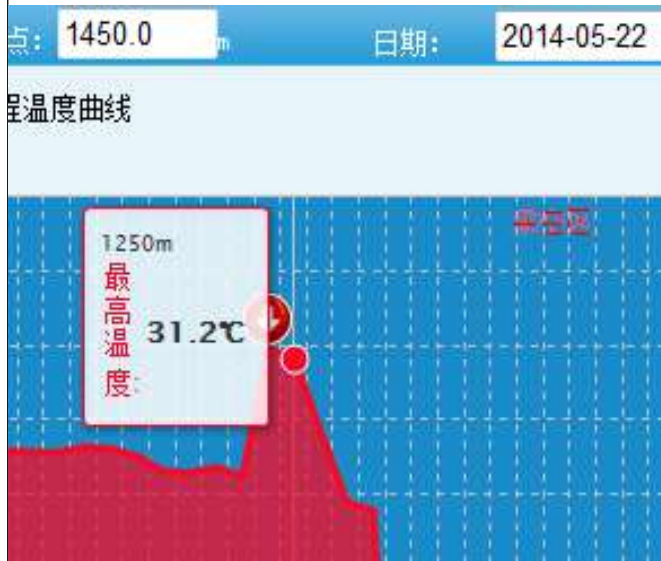


采空区三带温度分布及动态变化

- 监测采空区 / 密闭内三带热点位置及温度变化趋势



# 光纤分布式测温成功助力采空区防火



2014年，成功预警黑龙江某矿采空区有自然发火趋势，系统进行预警，高温点位置1250米，温度31.2°C



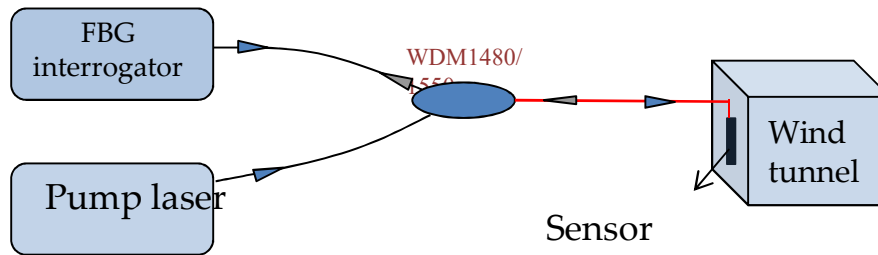
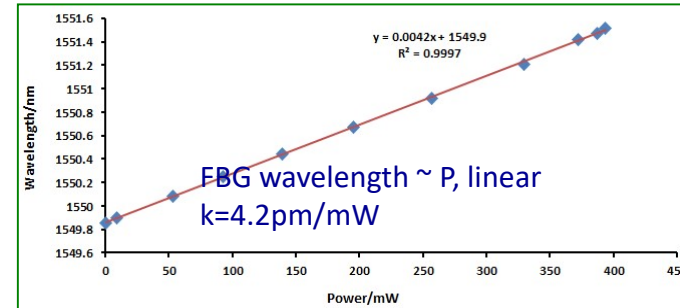
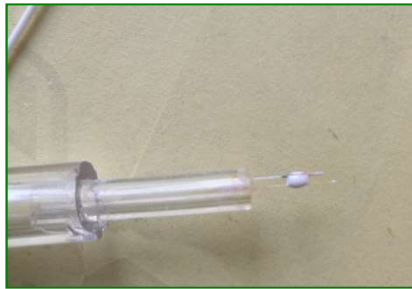
2016年，在线监测预警定位煤矿密闭内热点，及时注浆防止了火灾发生



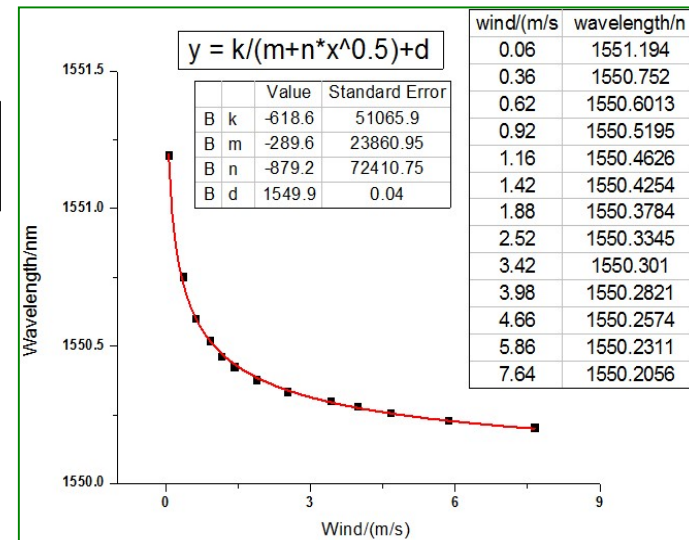
2019年东北某矿，实时监测采空区氧化带热点温度及位置定位趋势



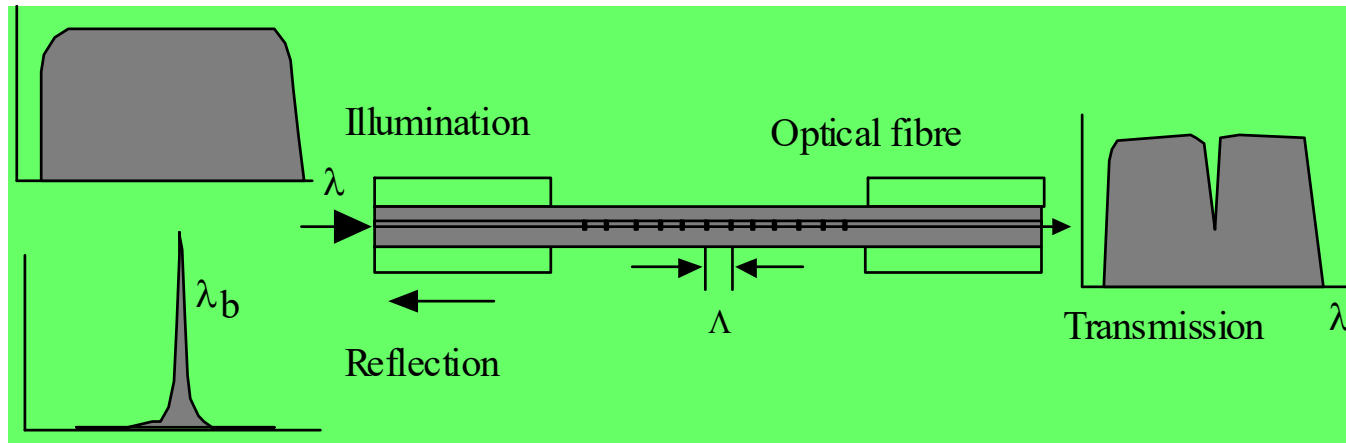
# 光纤微风传感器助力采空区防火（漏风监测）



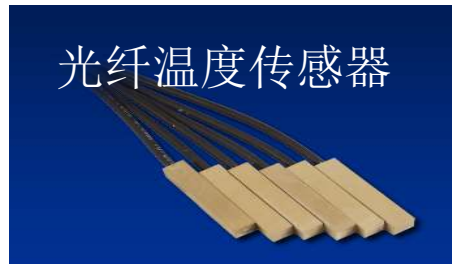
- 灵敏度: 1 mm/s @0.5m/s
- 范围: 0—30m/s



## 二、光纤光栅矿用传感器



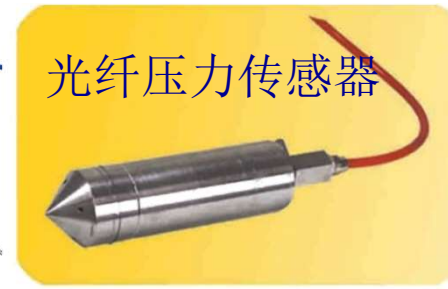
■ 当温度、应变等发生变化时，反射波长发生改变实现精确测量；



光纤温度传感器



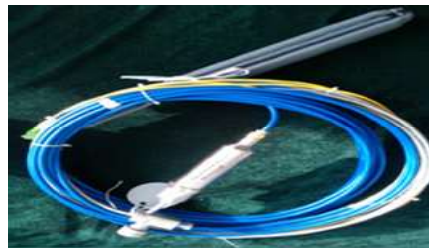
光纤顶板离层



光纤压力传感器



光纤锚杆应力

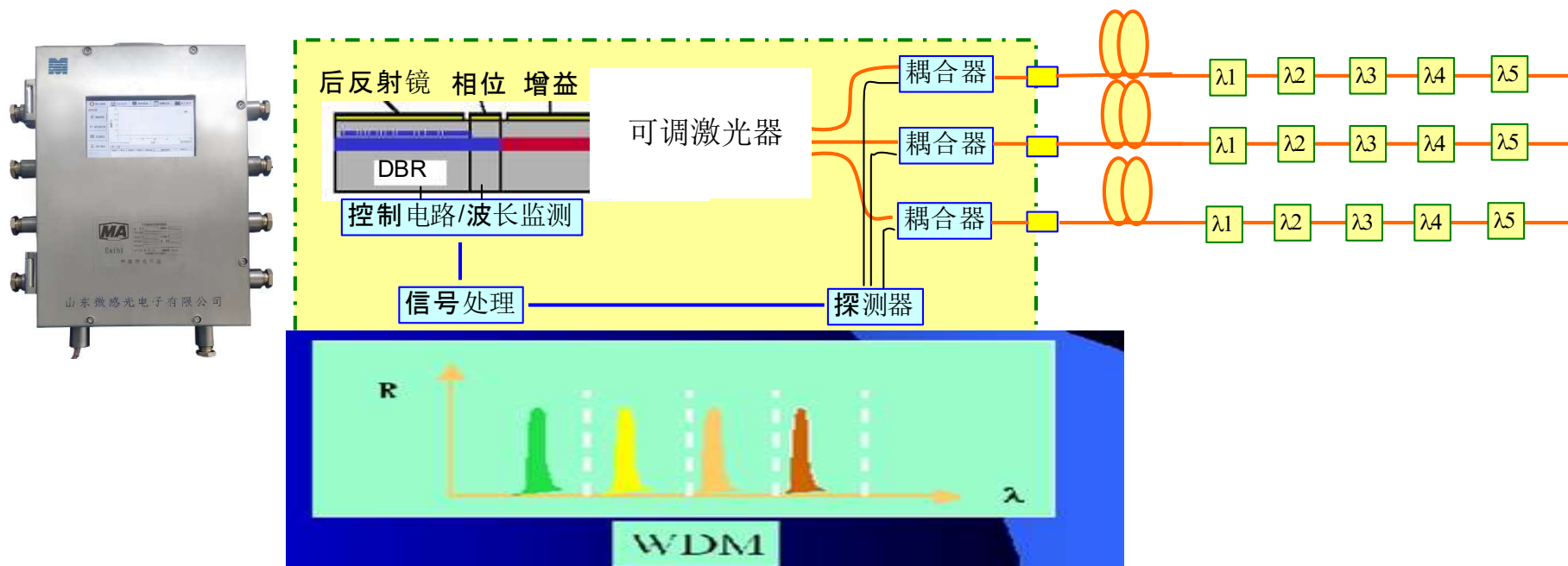


光纤钻孔应力



光纤振动传感器

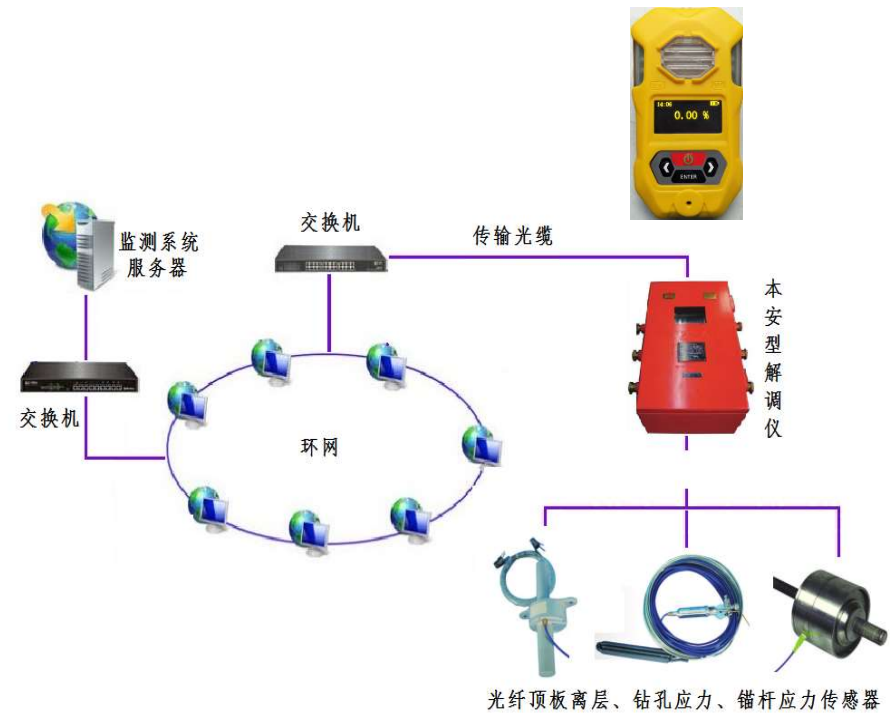
## 二、光纤光栅多点解调仪—基于可调激光器



- 光纤光栅解调仪可同时检测 $12 \times 16 = 192$ 个传感器；
- 同时测量温度、压力、位移、应变、振动等多种物理量；
- 光缆长度十余公里，不受光纤接头等影响

## 二、光纤顶板围岩变形综合检测系统

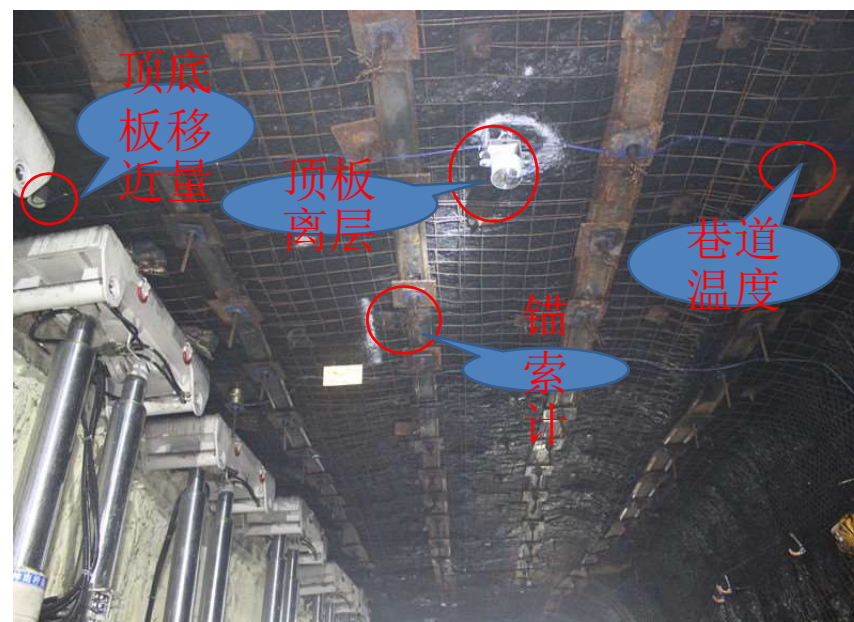
界面



- 光纤顶板离层、矿压监测系统
- 光纤顶板无线监测系统升级



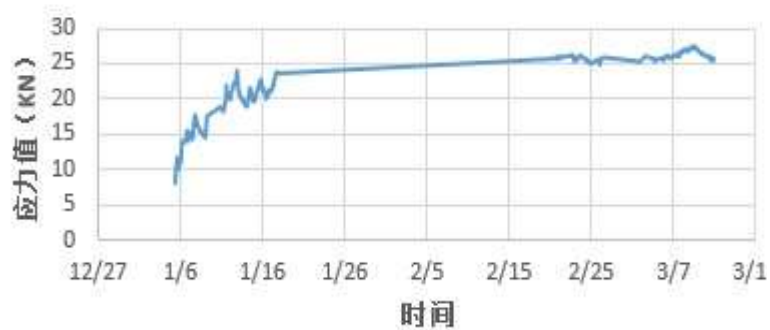
## 二、光纤顶板围岩变形综合检测系统



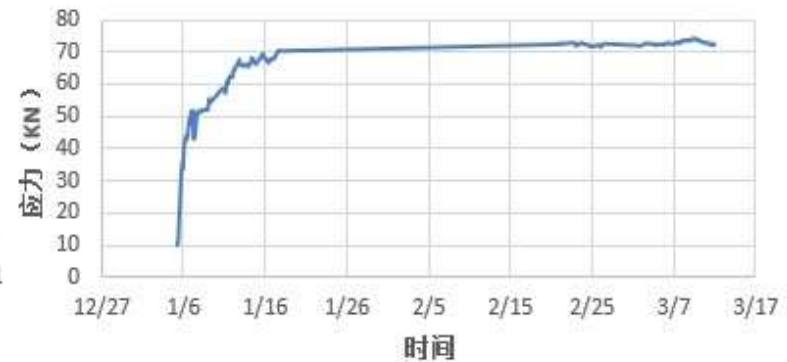
## 二、光纤顶板围岩变形综合检测系统

应用效果-兴隆庄煤矿锚杆应力传感器

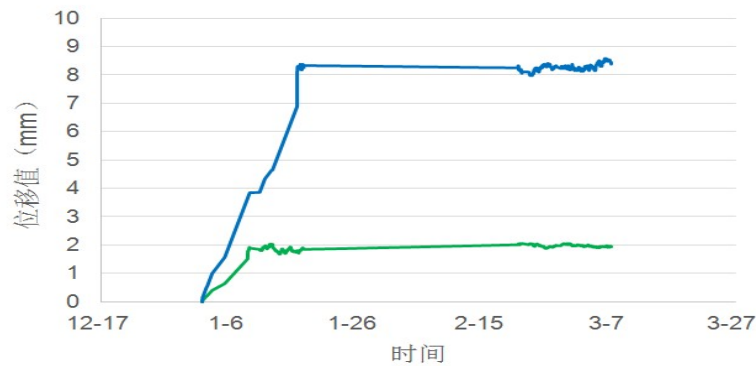
轨顺510#实体帮锚杆应力传感器



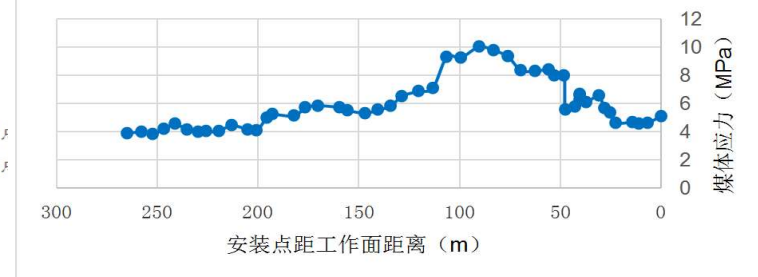
轨顺510#沿空帮锚杆应力传感器



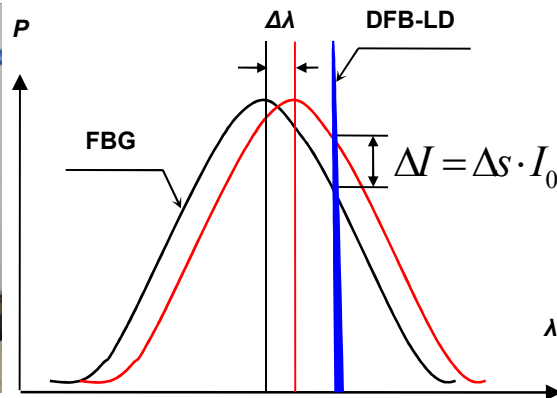
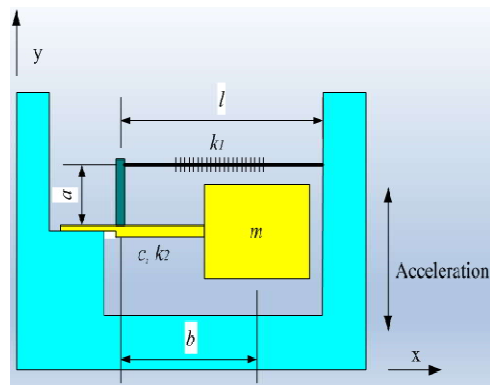
404#顶板离层传感器



轨顺50#煤体应力随工作面推进变化趋势



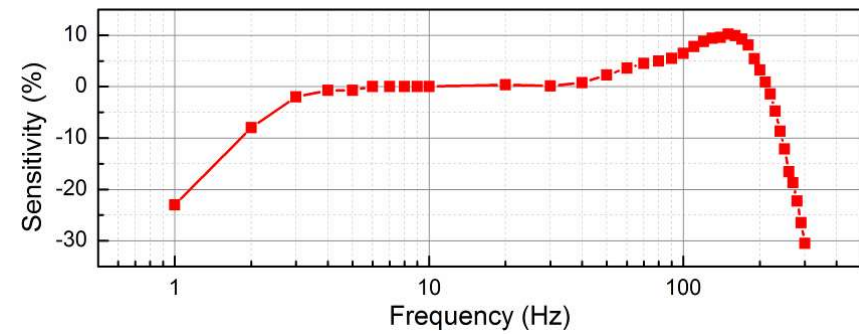
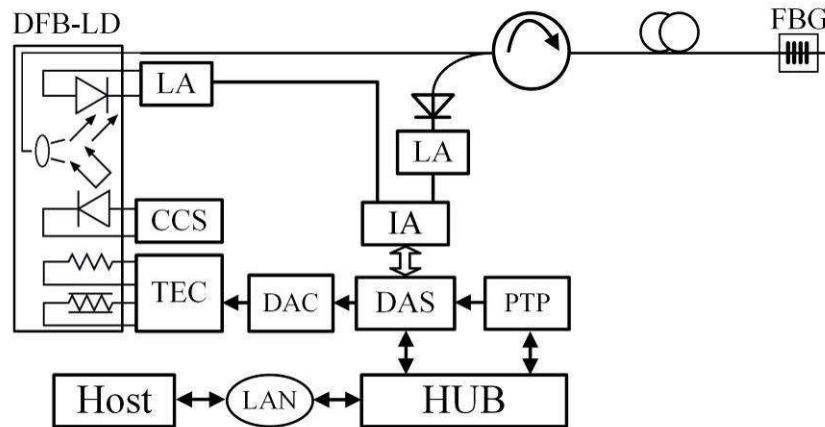
# 三、光纤光栅微震传感器-基本型



■ 光纤光栅加速度传感器；

波长伺服跟踪检测；

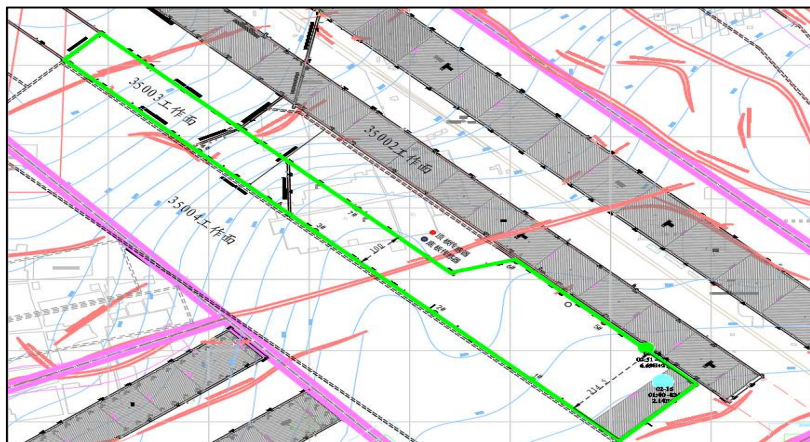
三轴加速度传感器



■ 采用简单的波长伺服跟踪检测技术，可实现10 $\mu$ g地震信号探测。



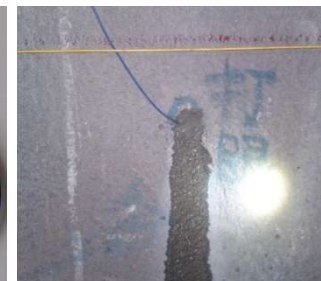
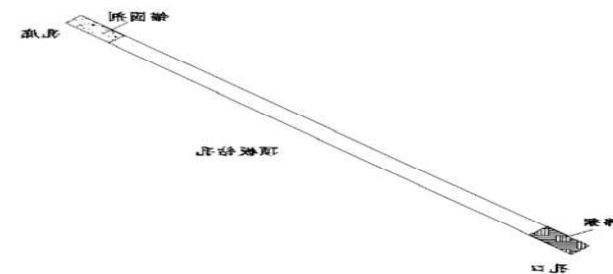
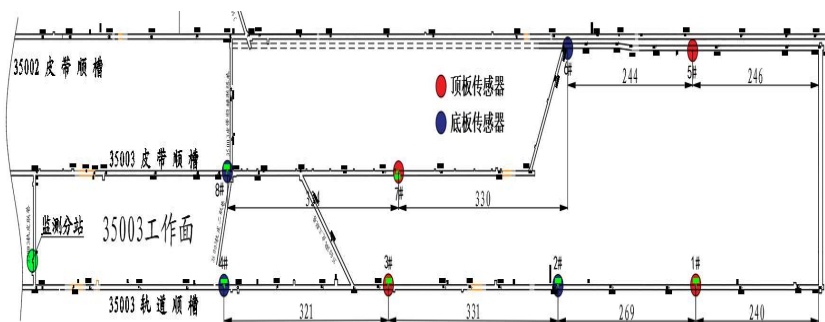
# 三、光纤光栅微震传感器现场监测



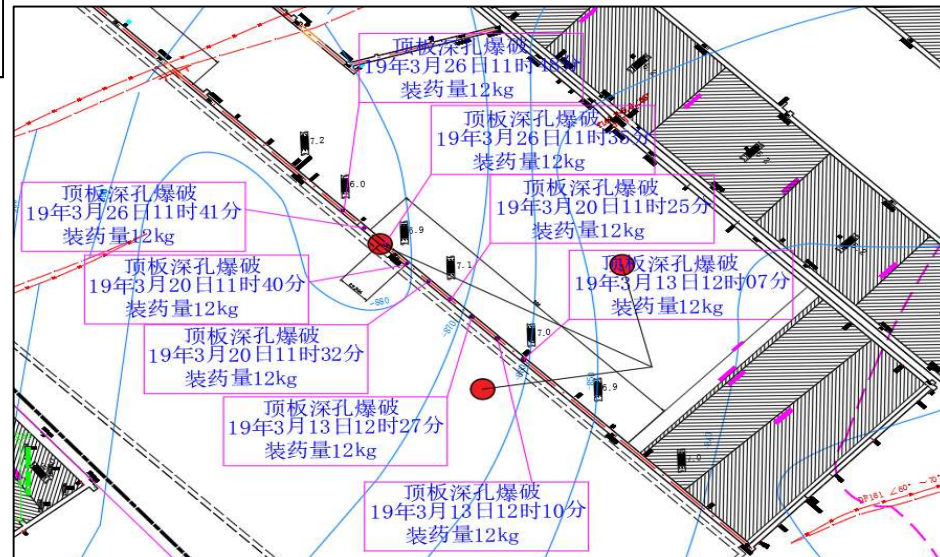
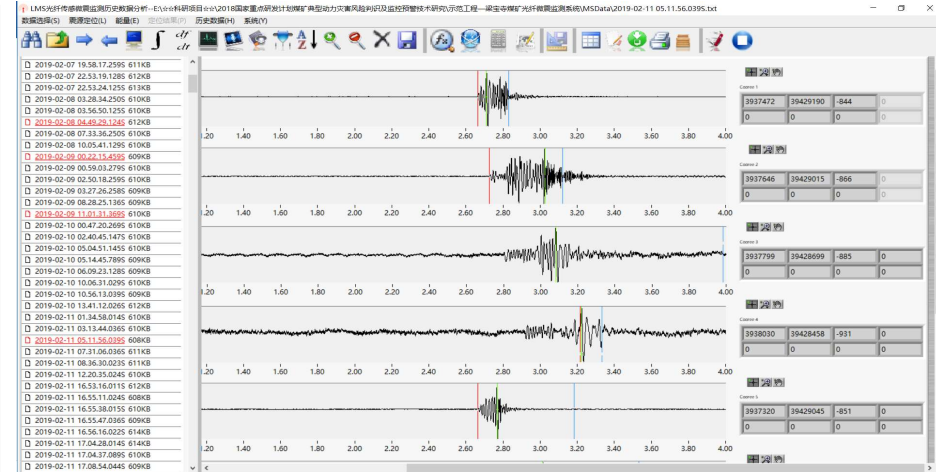
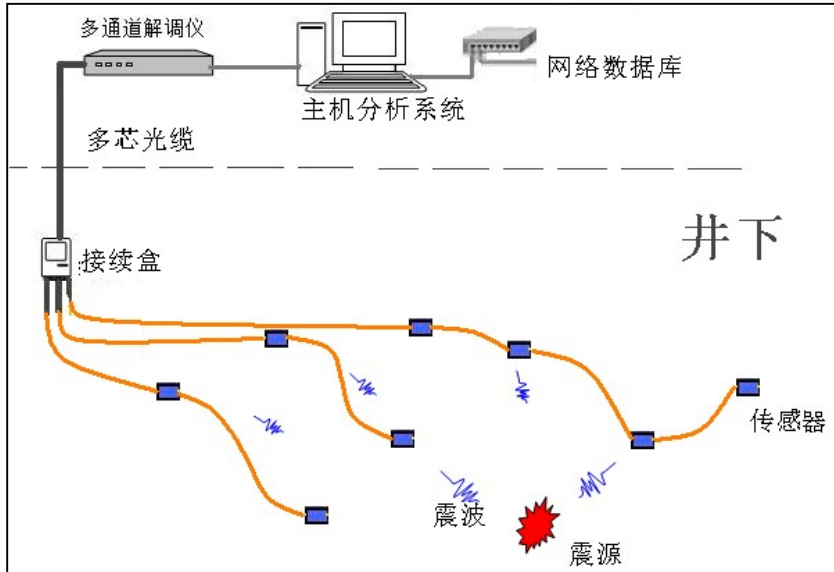
(a) 光纤检波器及其井下安装



(b) 地面监测主机

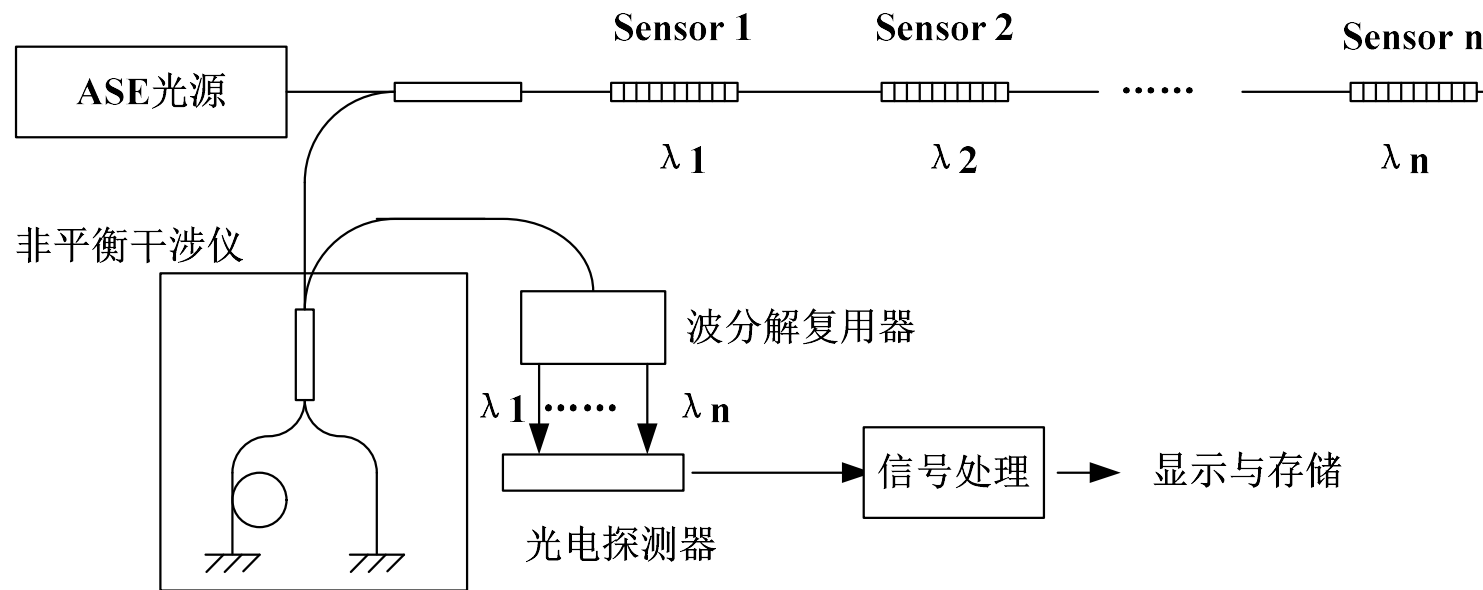


# 三、光纤光栅微震传感器现场监测



# 三、光纤光栅多点微震监测系统-干涉型

- 敏感元件： 光纤布拉格光栅（FBG）； 探测原理： 相干探测



- 采用成熟的相位解调技术还原出地震信号，可实现小于 $1\mu\text{g}$ 的微弱地震信号探测。



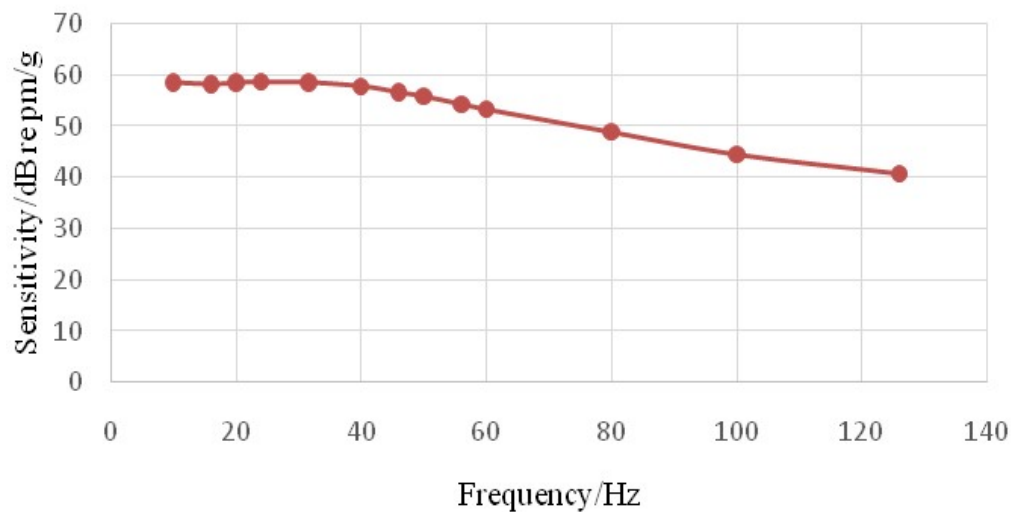
# 三、光纤光栅多点微震监测系统-干涉型



FBG检波器



32道FBG检波器解调系统



频响曲线

### 三、光纤光栅多点微震监测系统-干涉型

- FBG检波器抗拉、抗碾压试验。



- 孙智慧 2019

- 进行光缆及检波器抗拉试验，抗拉力 $>500\text{N}$ 。
- 进行了铠装光缆的汽车碾压试验，经20次碾压，外观无损伤，损耗无变化。

# 东营河口野外采集对比试验



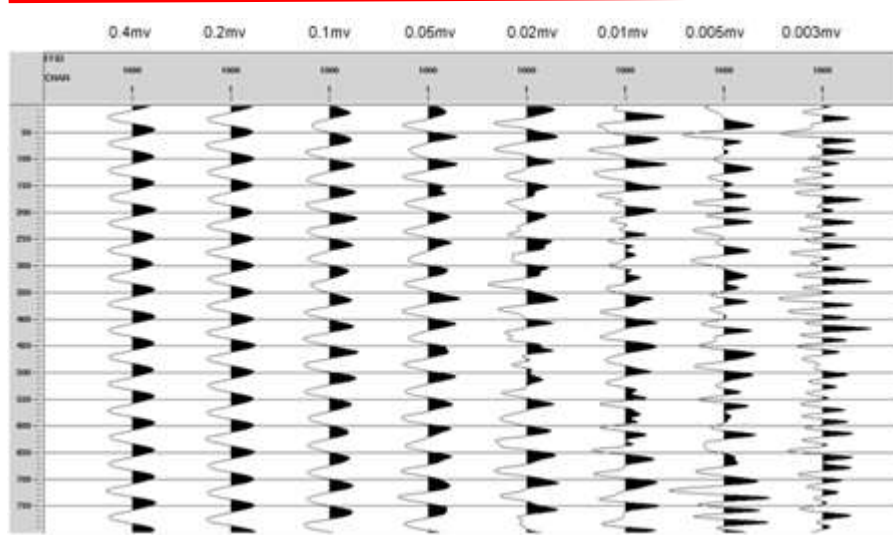


## 东营陈庄野外采集对比试验

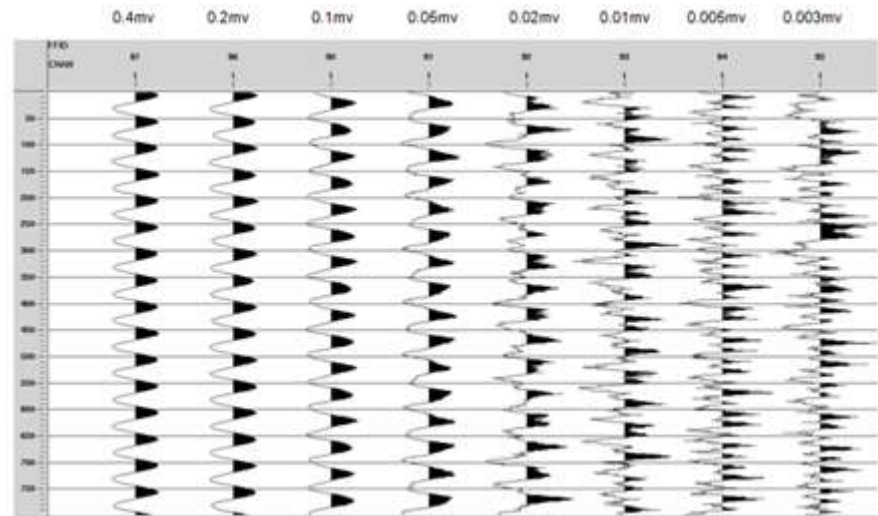




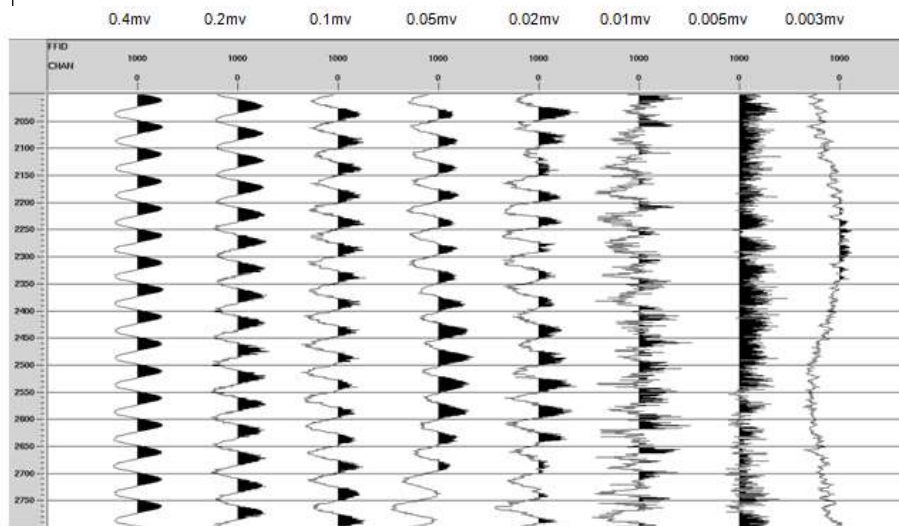
# 三、光纤光栅多点微震监测系统-干涉型



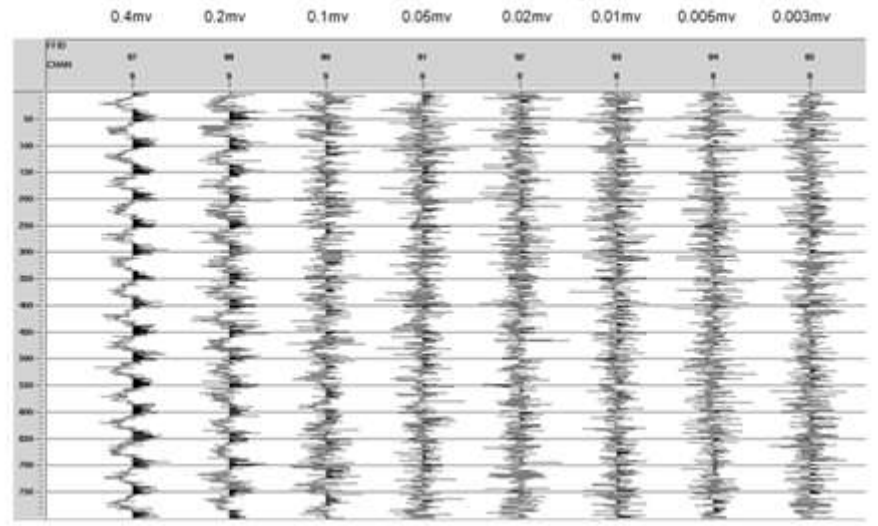
FBG 检波器



动圈检波器



光纤干涉检波器



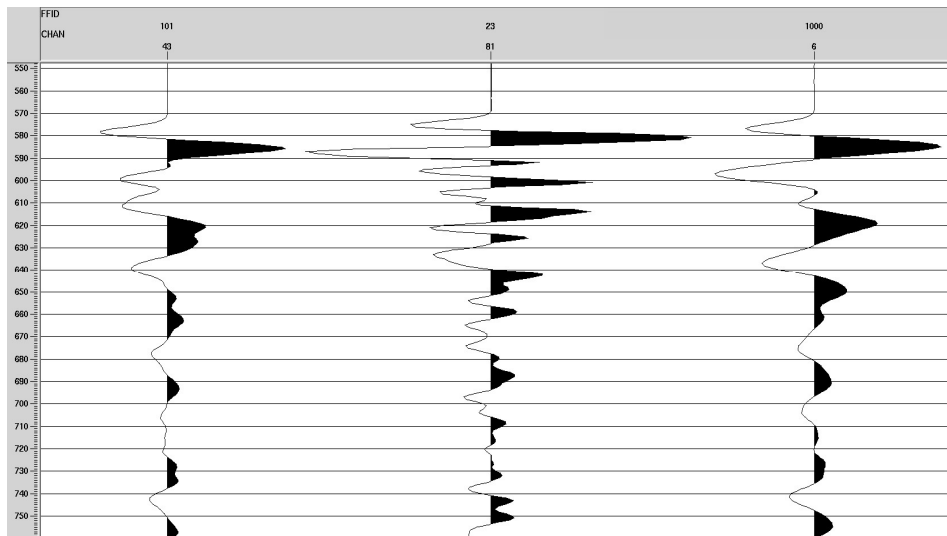
MEMS检波器

正弦小信号测试(@20Hz)

动圈

光纤干涉

FBG



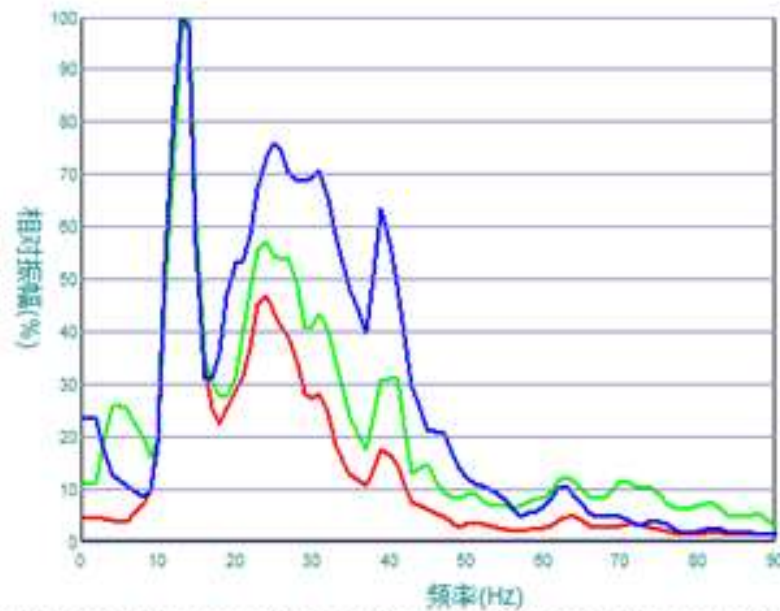
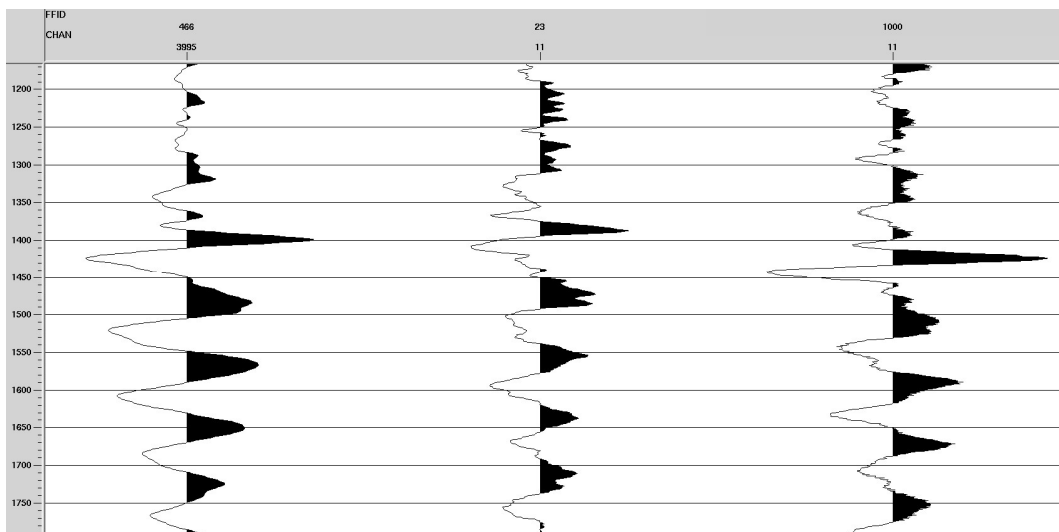
初至对比

道集间频率分析

动圈

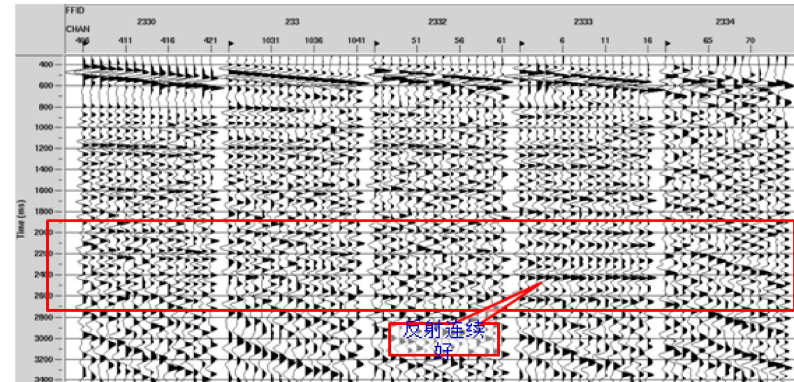
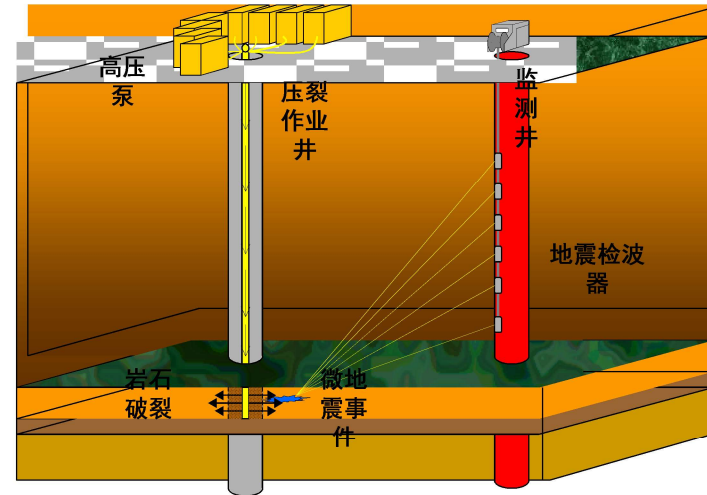
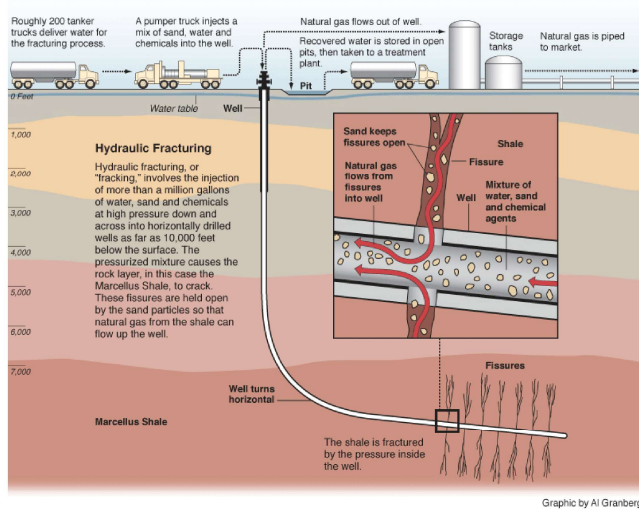
光纤干涉

FBG



■ 光纤光栅微震传感器干涉式解调显示更高灵敏度

# 串联式光纤光栅地震检波器成功用于井间地震

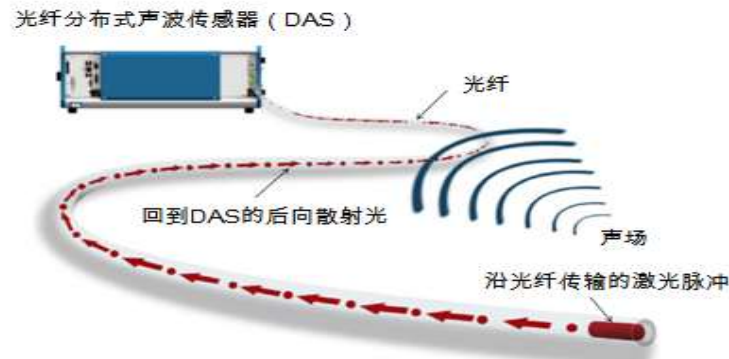
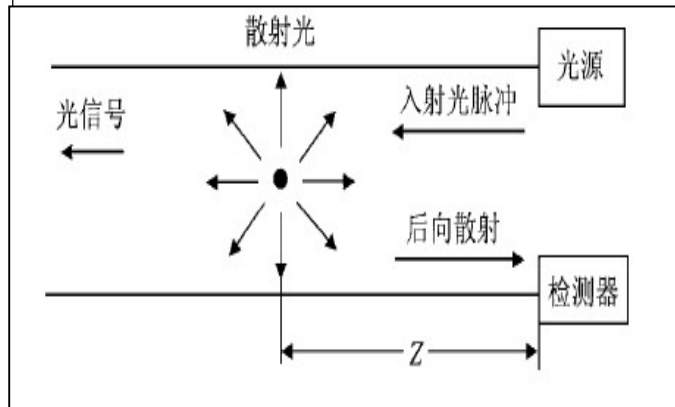


陆用压电 XS-5高灵敏度 23所 济南1C 济南DAS



## 四、新型光纤分布式振动监测系统（多点波速、微震）

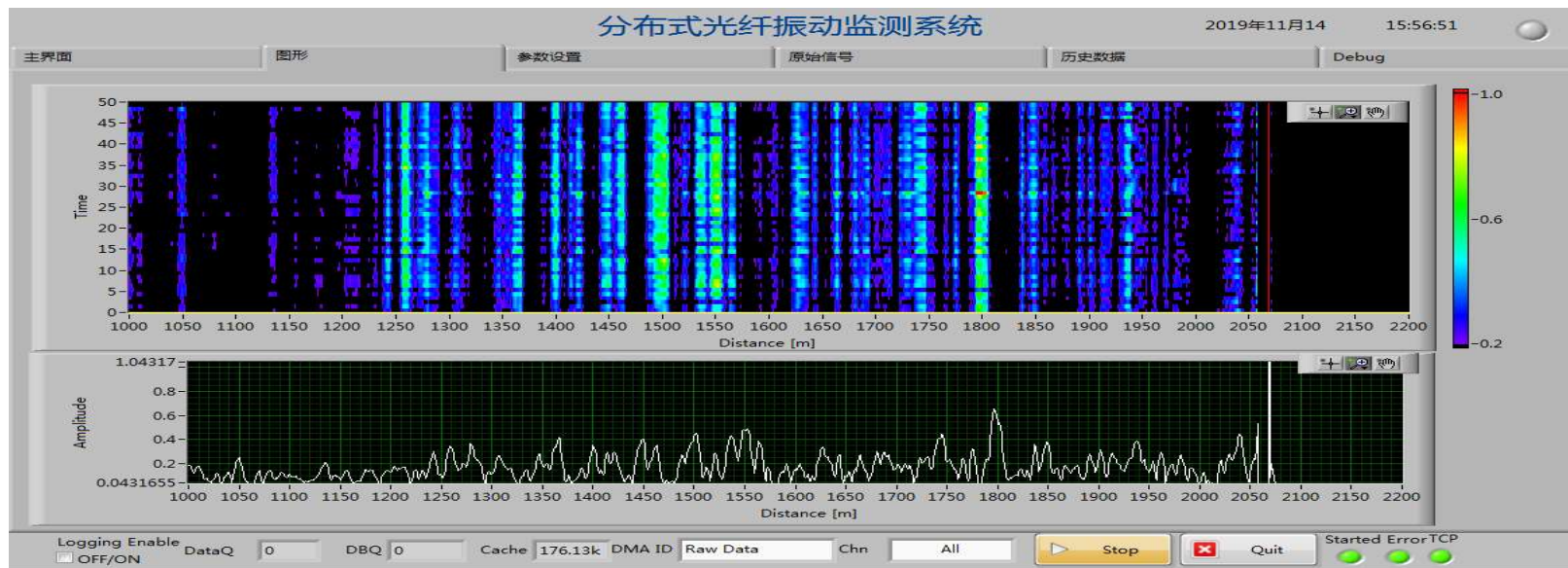
- 当光纤线路上的某个位置由于声音或振动使其发生扰动时，光纤相应位置的折射率将发生变化，这将导致该处光相位发生变化，进而得到检测。



- 背向瑞利散射光的相位随振动发生变化，
- 经光学系统处理，将微弱的相位变化转换为监测声音
- 或者振动监测数据，并进行定位
- 范 围：40km；定位精度：±2米
- 应 用：皮带机异常托辊定位；煤岩声波波速、微震检测定位

# 已成功用于检测皮带机托辊振动异常

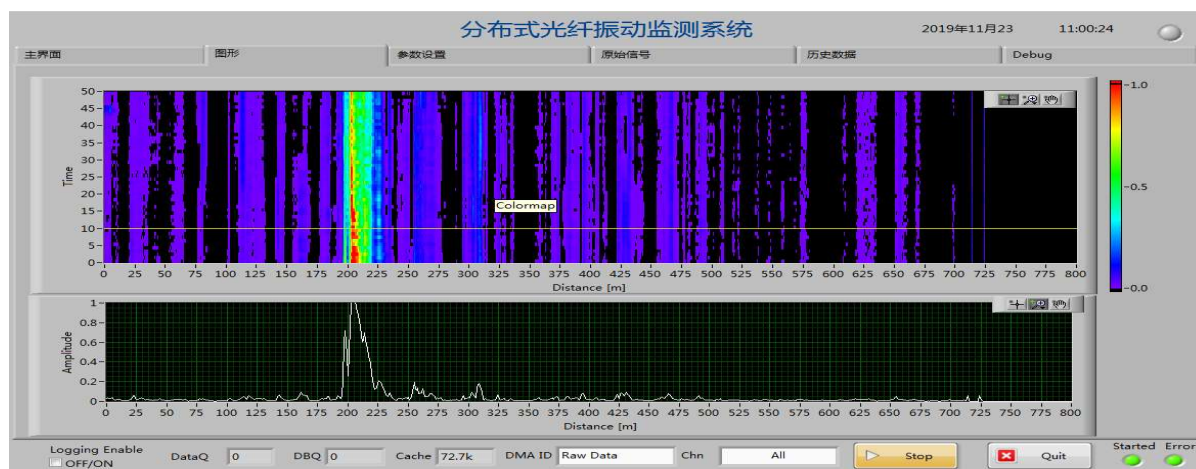
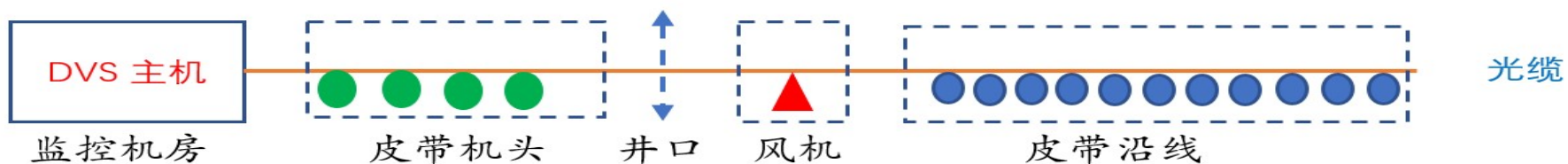
皮带机巷道分布式光纤声波/振动监测测试（兖矿兴隆庄煤矿）



- 光缆分为两部分，一部分是是地面机房到-270变电所，第二部分从-270变电所到一采主皮皮带巷。前段部分1000米左右，后端1000米左右。可明显看出皮带运输巷道的声音分布（亮色部位为皮带机运行声音较大位置）

# 已成功用于检测皮带机托辊振动异常

## ■ 皮带机槽钢沿线分布式光纤振动监测测试（中煤华晋-王家岭煤矿）



亮色部位为托辊损坏部位~205米位置



# 总结

- 激光甲烷传感器、光纤分布式测温传感器已经成功应用于瓦斯、火灾监测预警防治；
- 光纤光栅顶板离层、矿压、微震成功研发并现场应用，在稳定性、高精度，靠干扰、多点、连续分布式在线监测等方面展示出巨大潜力；
- 光纤分布式振动传感器在波速、微震、压裂在线精准测定，等方面具有较大潜力；光纤无线矿压顶板检测系统技术升级！
- 光纤传感器在矿压冲击波灾害防治方面可望象在瓦斯、火灾综合治理领域同样重要的变革性进步！

刘统玉 13864169129

