

3Ds技术及其在地调行业中的应用

 南京大学 施斌

 shibin@nju.edu.cn

汇报提纲

一 技术研发背景

二 何谓3Ds?

三 3Ds能做什么?

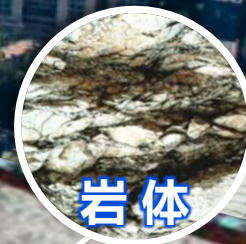
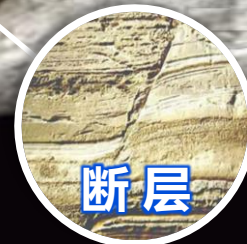
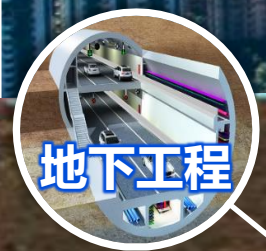
四 应用实例

五 展望

岩土体

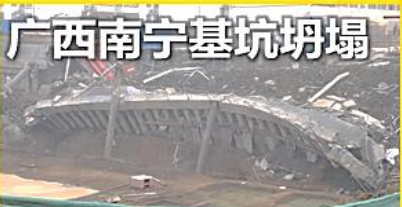
➤ **地球宜居性**是21世纪的前沿科学问题。作为人类赖以生存的**岩土体**，在**自然力**和**人类活动**作用下在不断运动着，它的**稳定性**直接影响**人居环境**和**工程安全**

岩土不稳，地动山摇！



岩土体灾变

我国是世界上最大的**基础工程**建设大国，同时也是**地质与岩土工程灾害**最为严重的国家。近二十年来，在极端气候和人类活动**双重压力**下，我国各类地质与岩土体灾害呈现**频发态势**，防灾减灾**任重道远**



直接经济损失近**5000亿元**

维护费用增加**900%**

防治岩土体灾害，确保基础工程安全是国家重大需求！

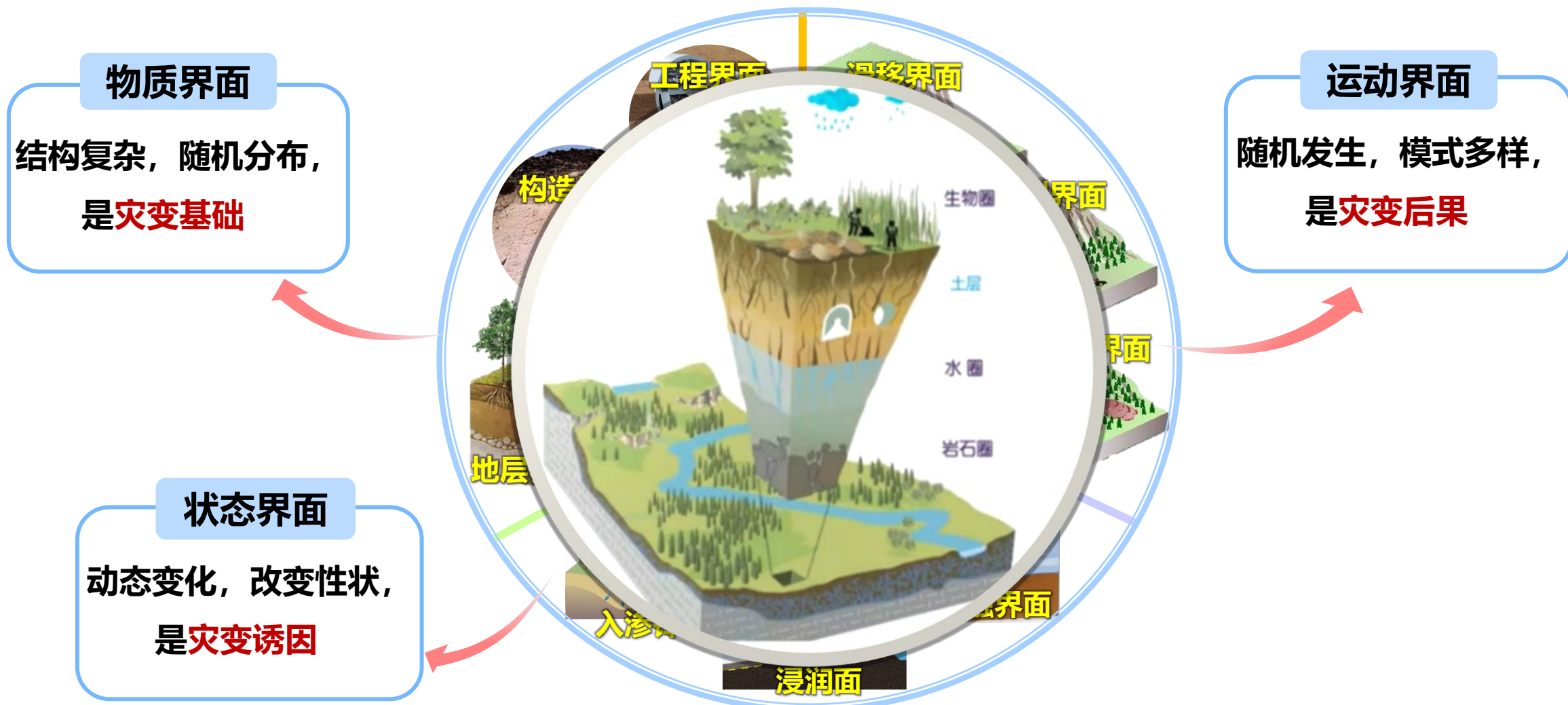


近十年，岩土体灾害造成人员伤亡

我国基础设施投资规模年均增长

控制岩土体灾变的锁钥：不连续界面

- 岩土体作为**承灾体**，是**自然历史的产物**，存在大量随机分布的**力学不连续界面**，它们**控制着岩土体的稳定性**，**极高的隐蔽性和极强不确定性**，使其**难以掌握**，这是灾害防治困难的**症结所在**



掌握岩土体界面之途径：**原位观测**

- 岩土体中的**界面**使岩土体的力学性质变得**极其复杂**，**不连续**和**非线性**是其本质特点。**岩土力学**必须与**原位观测技术**密切结合才能解决灾变问题，因为**原位观测**是掌握岩土体界面的**必然途径**

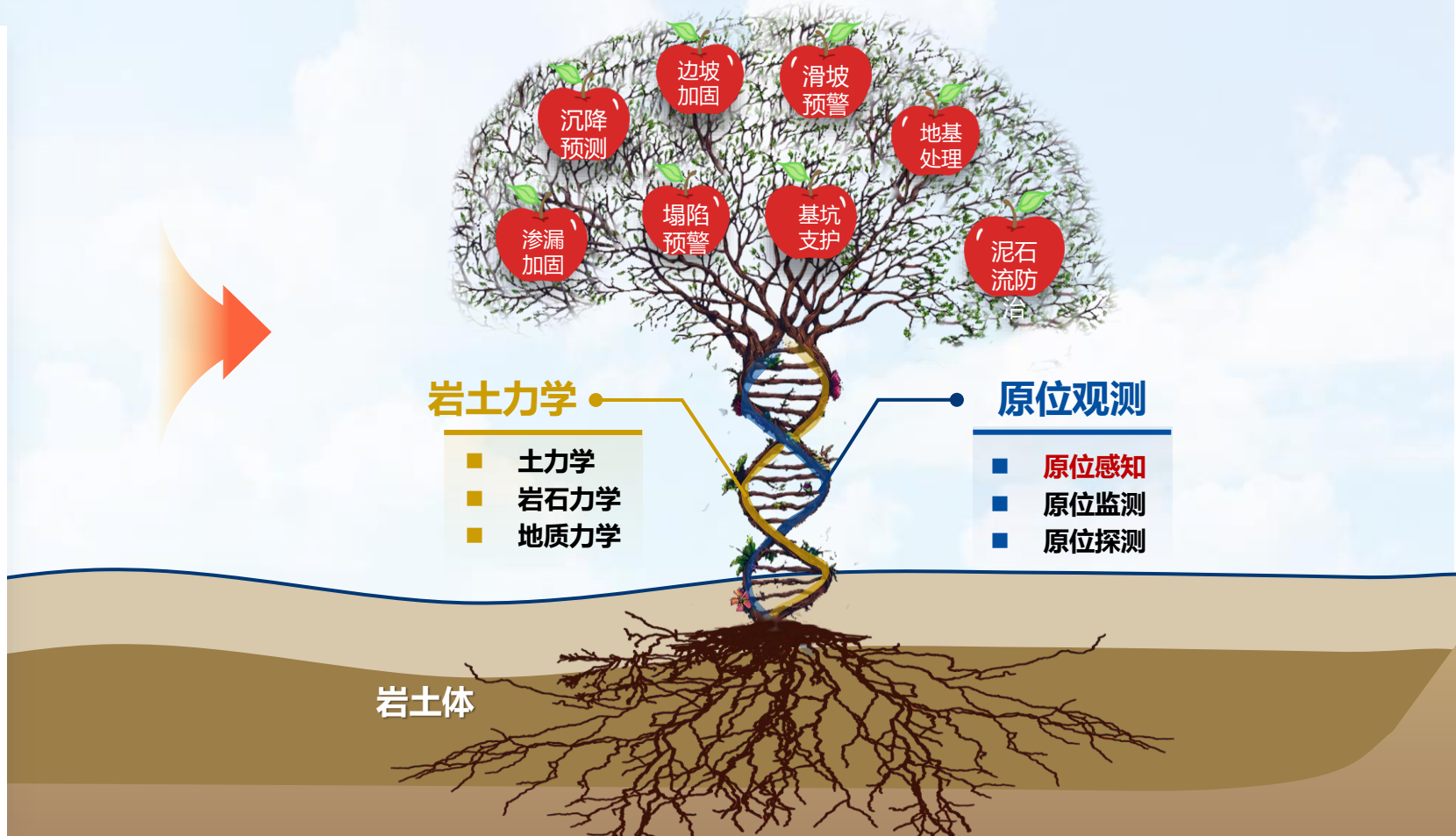


Karl Terzaghi

土力学之父

“土力学的进一步发展在很大程度上**取决于原位观测的范围和质量**，因为现实中土体比实验室中土样要复杂得多。”

——Terzaghi (1948)



从目测、探测和监测走向感知

- 岩土体的原位观测技术大致分为**目测**、**探测与监测**三类，它们都存在观测数据的**时空不连续**问题，为**避免关键界面漏监和过程信息缺失**，必须要有**时空连续**观测的手段，称为**感知**

发展趋势



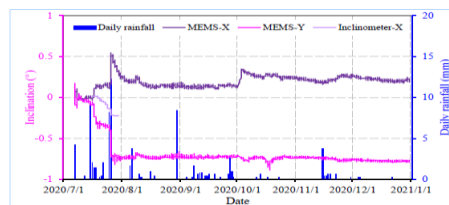
目测

经验性



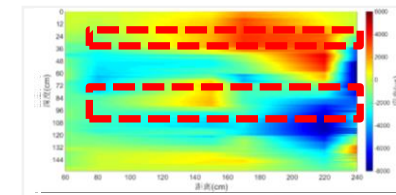
探测

空间连续，时间不连续：
难以观测界面过程



监测

空间不连续，时间连续：
难以定位界面分布



感知

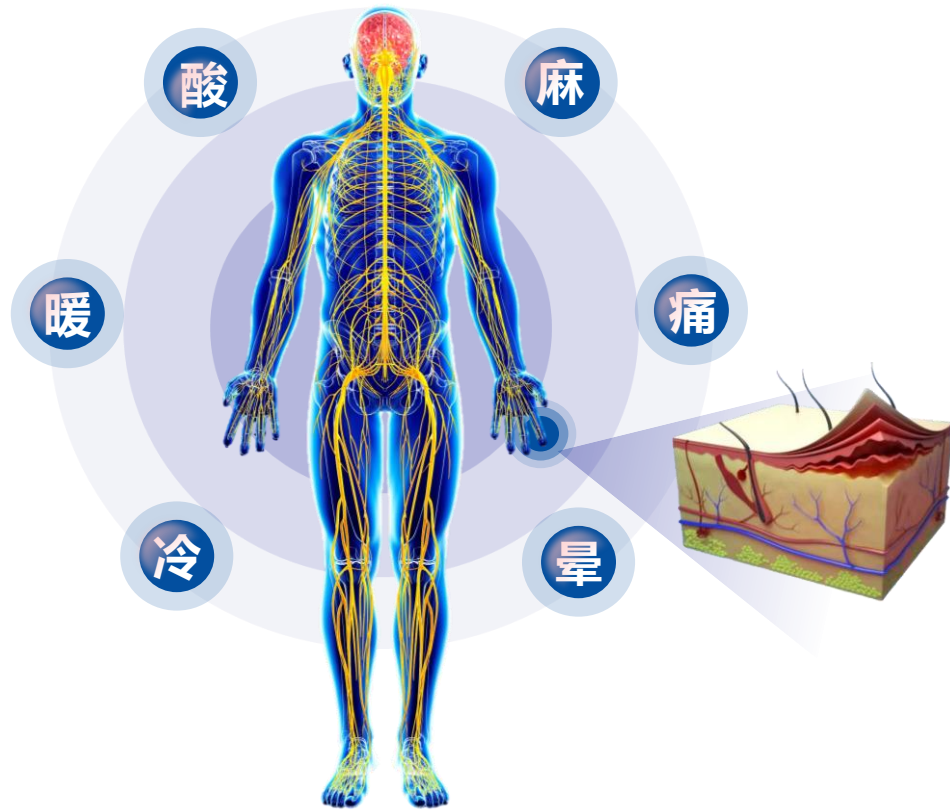
时空连续：掌握界面
时空演化（发展方向）

时间

岩土体多场感知

- 将**光纤等线性传感元**植入岩土体成为**感知神经**，赋予岩土体“**生命**”，**原位感知岩土体多场作用信息及其变形响应**，以掌握岩土体不连续界面的**时空演化规律和致灾机理**，实现**灾害风险科学评价与预测预警**

人体感知神经



岩土体感知神经



汇报提纲

一 技术研发背景

二 何谓3Ds?

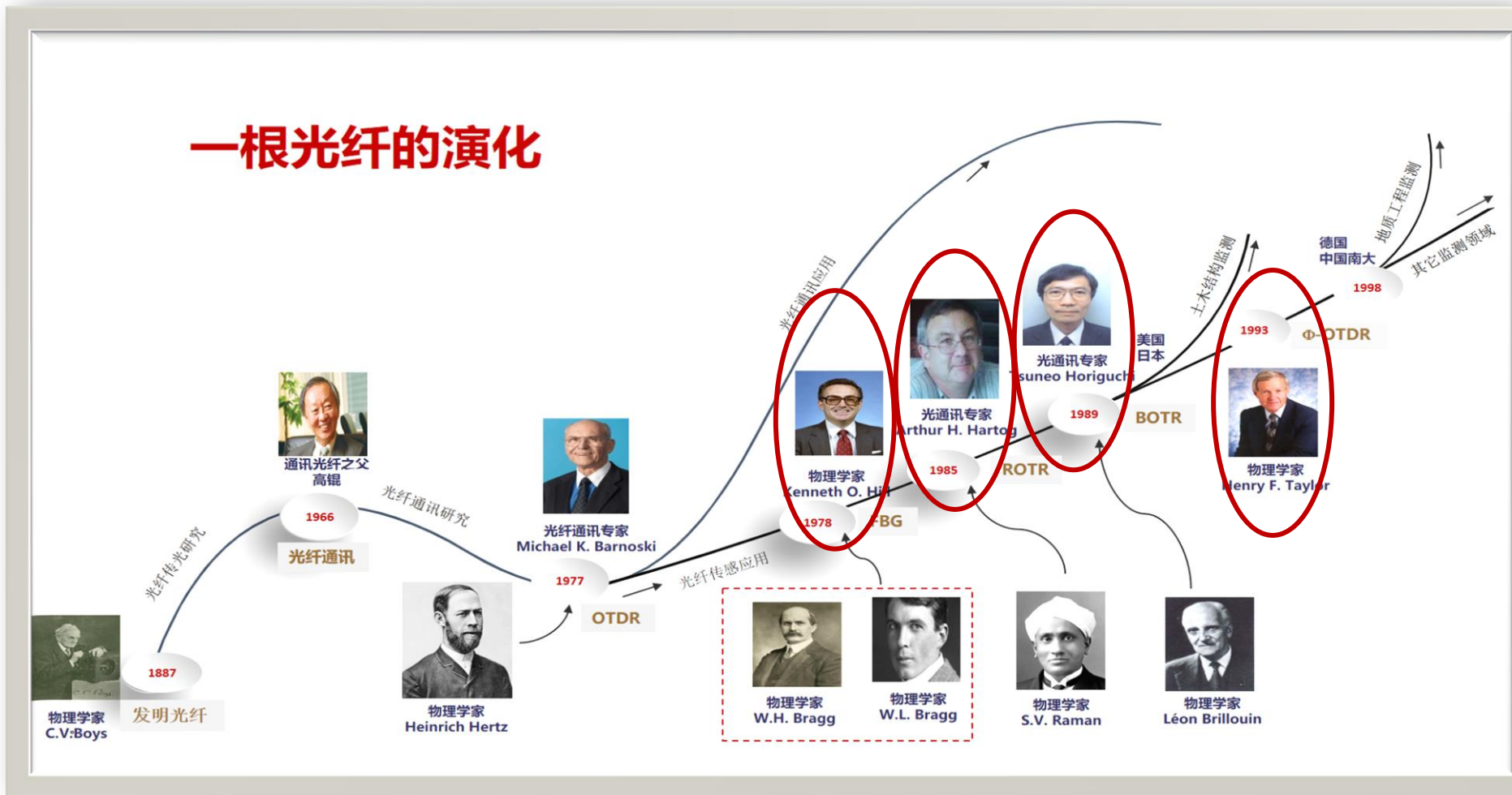
三 3Ds能做什么?

四 应用实例

五 展望

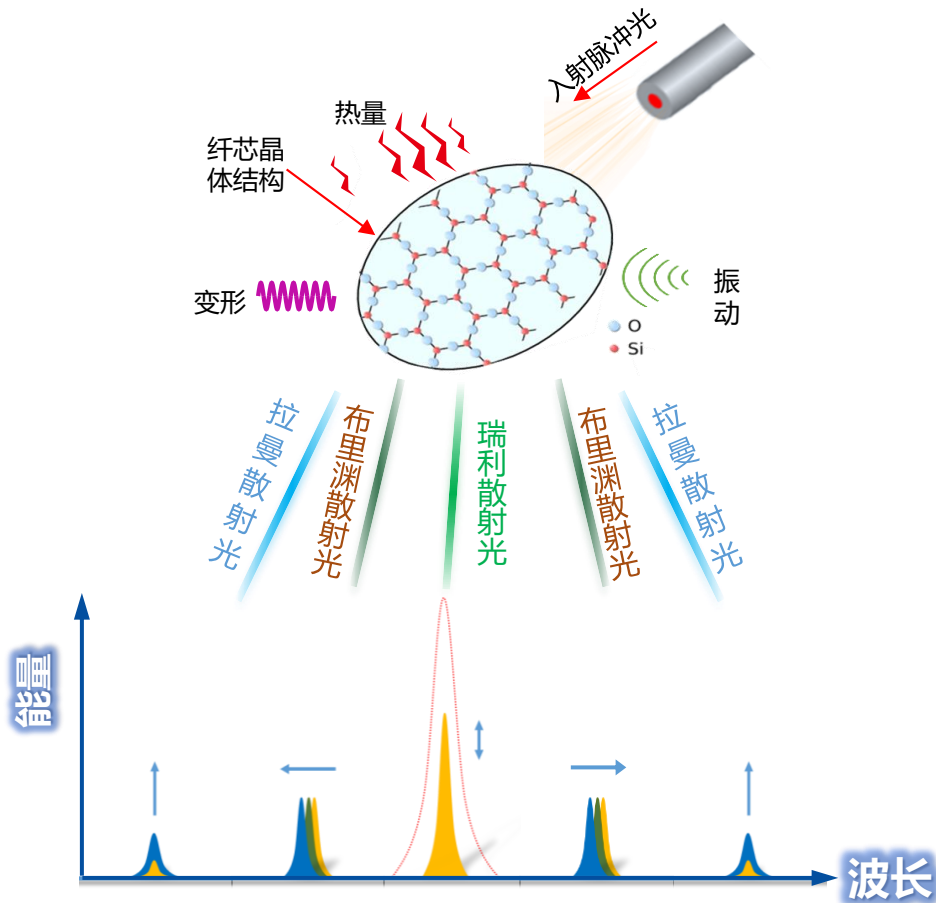
光纤传感技术发展历史回顾

一根光纤的演化

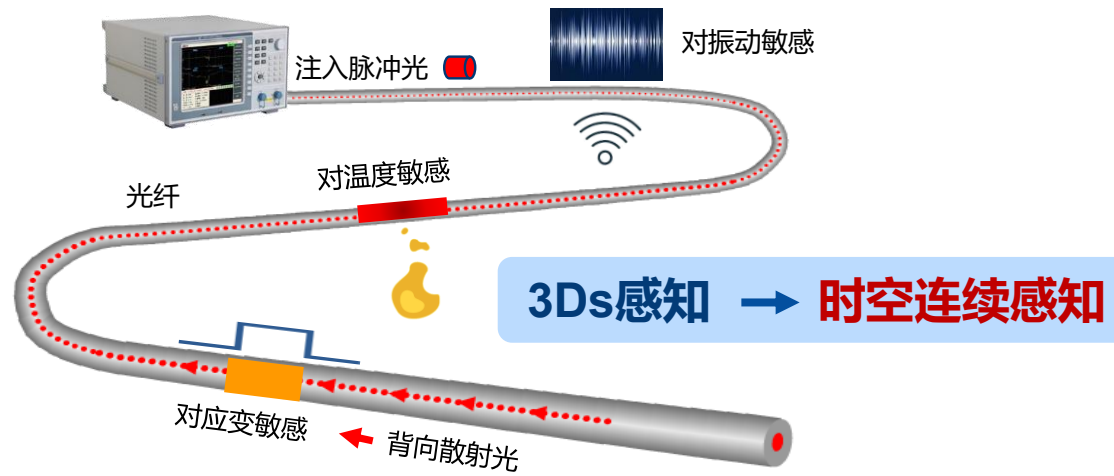


何谓3Ds光纤感测技术

- 集光**传感**与**传输**为一体，利用光纤中**散射**和**反射**光特征量变化，可对光纤沿线的**应变**、**温度**和**振动**3个物理量分布式感测(Distributed temperature, strain, vibration Sensing),简称**3Ds**光纤感测技术



布里渊散射光	对应变敏感	$\nu_B(\epsilon) = \nu_B(0) + \frac{\partial \nu_B(\epsilon)}{\partial \epsilon} \cdot \epsilon$
拉曼散射光	对温度敏感	$R(T) = \frac{I_{as}}{I_s} = \left(\frac{\nu_{as}}{\nu_s}\right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hc\Delta\nu}{KT}\right)$
瑞利散射光	对振动敏感	$\Delta\phi = \beta L \cdot \frac{\Delta L}{L}$
定位	光时域测量技术	$Z = VT/2$



为什么是3Ds光纤感测技术？

分布式光纤感测技术中，**传感光纤网**犹如一个“**神经**”系统，可**感知**被测对象相关物理量的分布信息，是一种具有**巨大应用潜力**的**变革性**的监测技术

- ◆ **连续分布式**：1 公里长光纤上可有成百上千传感点
- ◆ **长距离**：可感测几十到上百公里长度上的物理量
- ◆ **耐久性好**：二氧化硅介质，耐腐蚀，适用长期稳定监测
- ◆ **抗干扰强**：无源、绝缘，抗电磁干扰，适用恶劣环境
- ◆ **匹配性好**：纤细柔顺，可与复杂形状被测物耦合
- ◆ **性价比高**：与长距离点式技术比较，性价比提高数十倍



地质与岩土工程光纤感知系统概念图

实现大地光纤感知须攻克的**四大挑战**

➤ 将**现代光纤信息技术**应用于大地灾变感知，必须攻克“**四大挑战**”

挑战2：感不全

如何感知岩土体
水分与渗流？

挑战3：判不对

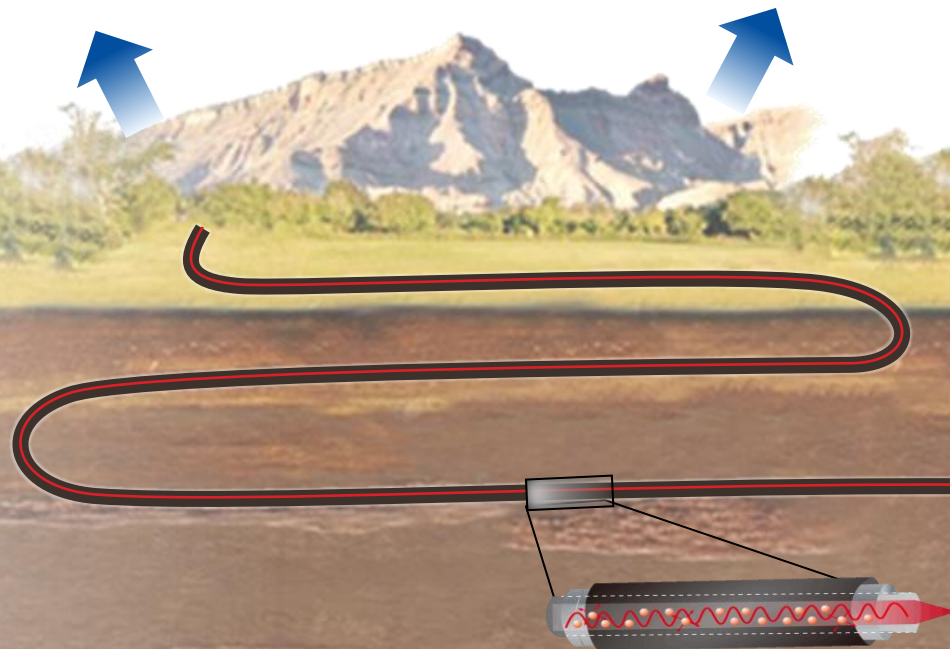
如何对光纤信号事
件识别与预测？

挑战1：测不准

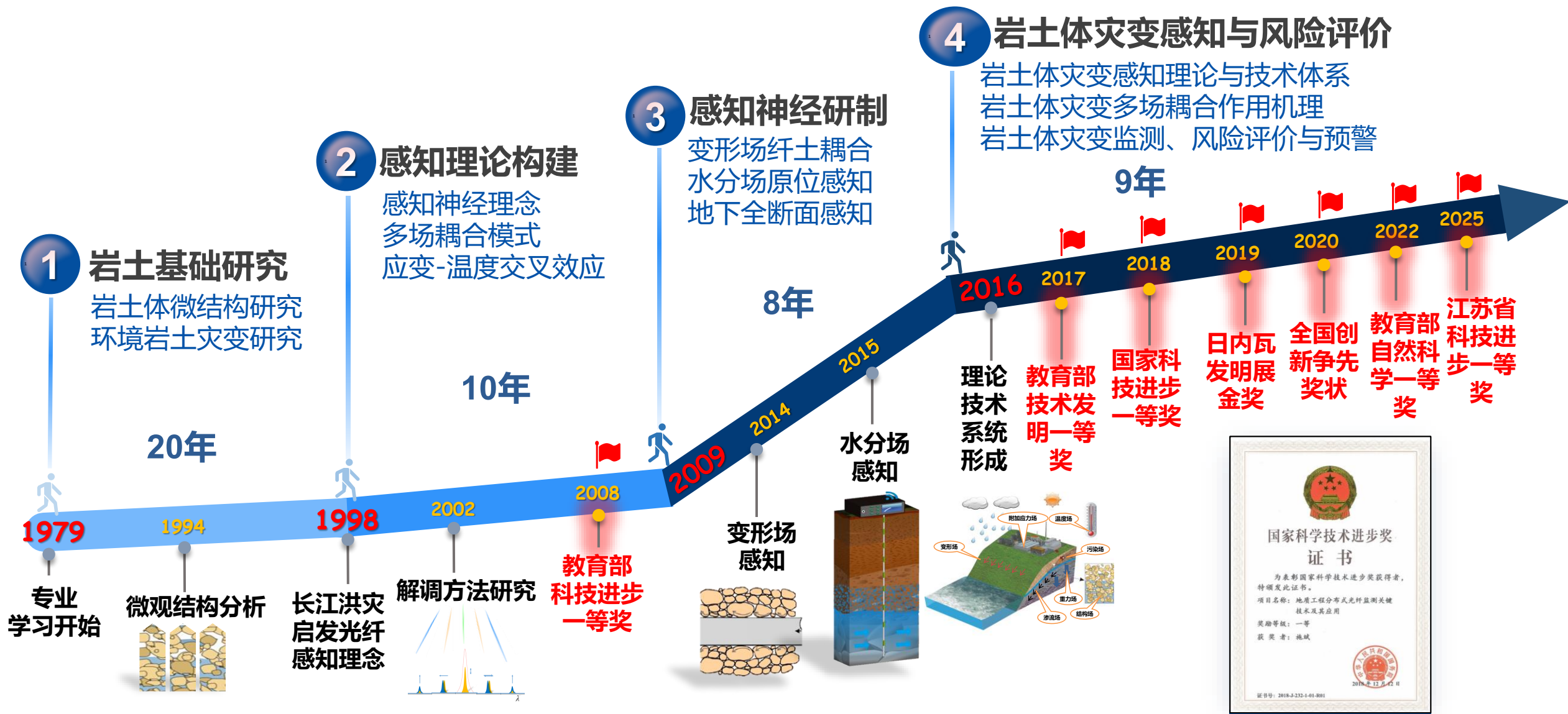
如何评价光纤与
岩土体应变耦合？

挑战4：用不好

如何建立大地灾变
感知技术系统？

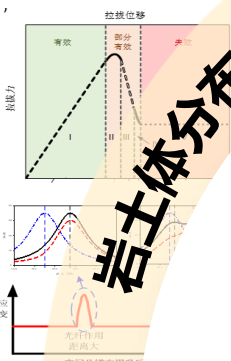
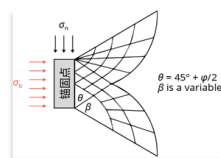
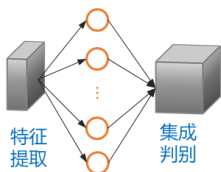


南京大学岩土体灾变感知理论与技术研究回顾



大地灾变光纤感知系统

岩土体分布式感知理论

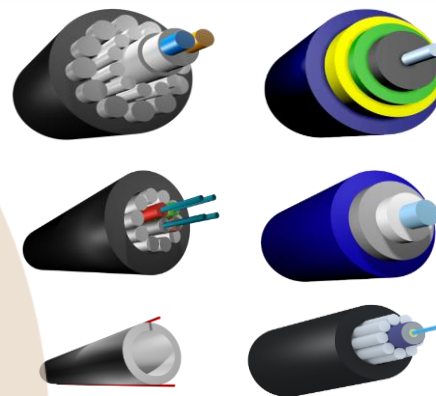


岩土体分布式感知理论

大地光纤感知系统



50余种光纤感知神经



灾变智能识别系统



十余种灾变智能识别系统

自主知识产权信号解调装备



近十种自主知识产权信号解调装备

汇报提纲

- 一 技术研发背景
- 二 何谓3Ds?
- 三 3Ds能做什么?**
- 四 应用实例
- 五 展望

岩土体多参量监测

➤ 监测指标

- ✓ 温度、热物性(热导率、热阻、比热容)、热通量、基质吸力、汽通量、PH值、盐分、含水率、渗流、地下水位、形变、应力、振动等

➤ 环境承受能力

- ✓ 地面传输设备能够承受温度-50~80°C

➤ 供电来源

- ✓ 太阳能或风能

➤ 监测深度

- ✓ 0~数公里；地表布设长度：一~百公里

➤ 监测方式

- ✓ 接触式定位观测

➤ 数据传输

- ✓ 远程实时传输或定制自动传输



岩土体多参量监测



基于光纤传感技术可测量的土体参量

汇报提纲

一 技术研发背景

二 何谓3Ds?

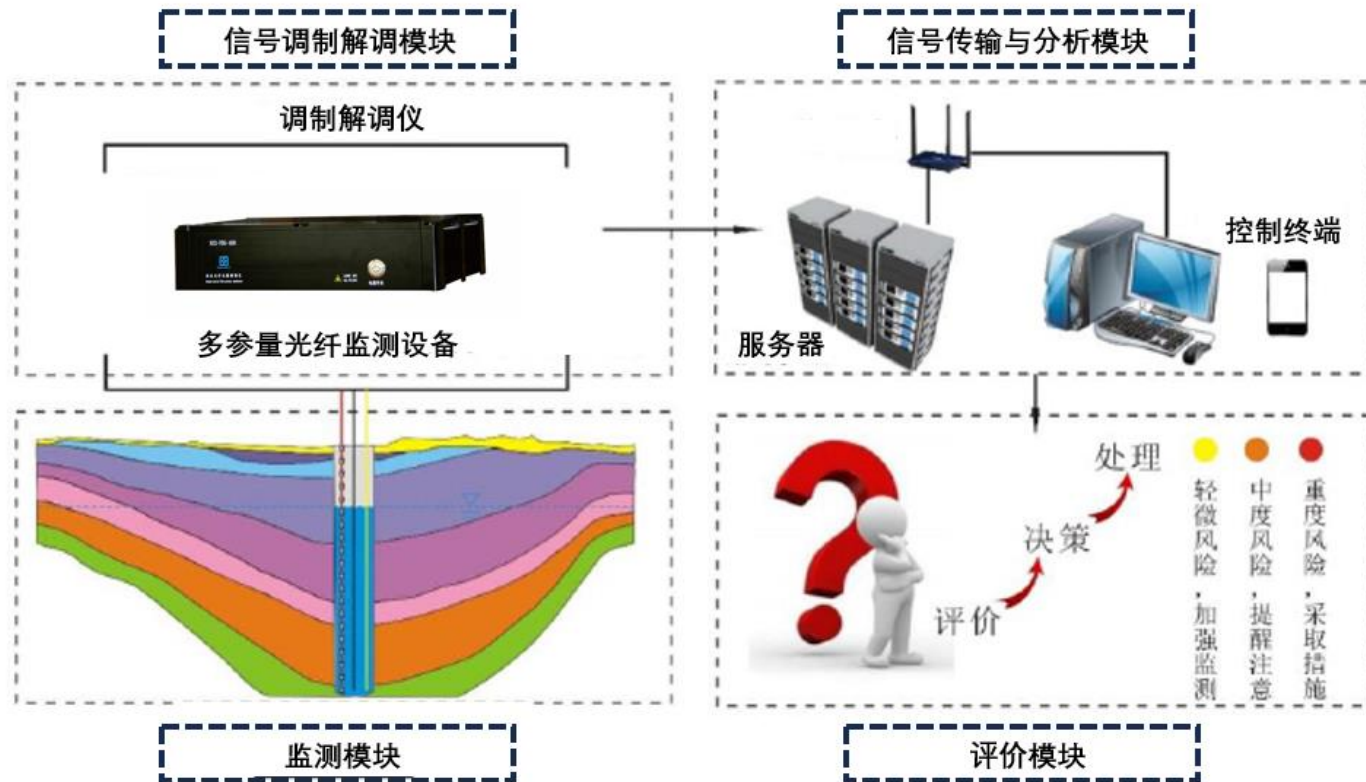
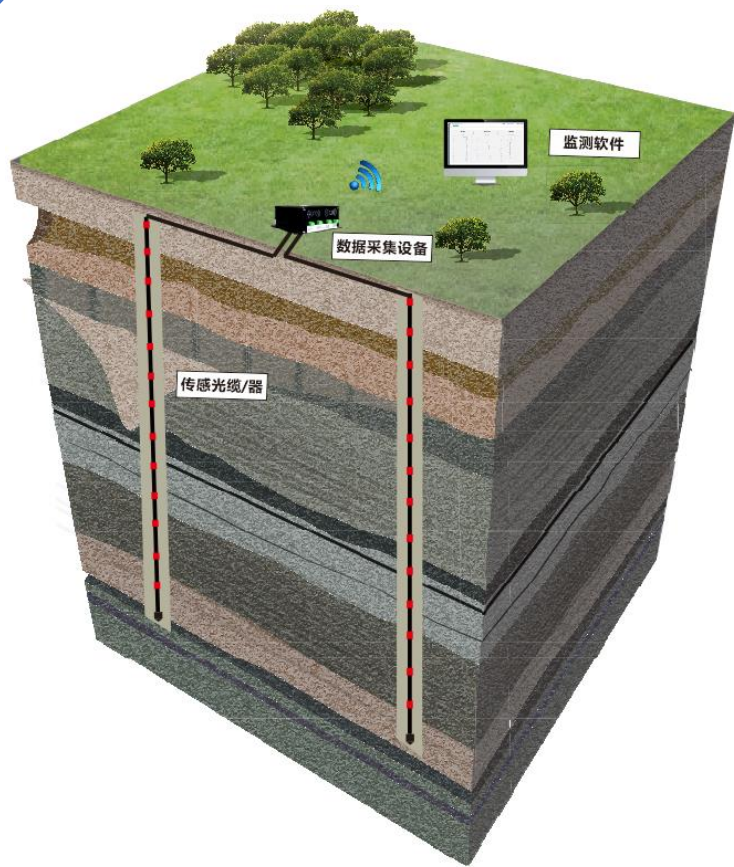
三 3Ds能做什么?

四 应用实例

五 展望



地质钻孔多参量光纤3Ds综合监测系统



地质钻孔多参量光纤监测系统主要由传感光缆/传感器、数据采集设备及监测软件构成，通过钻孔方式实现深部**岩土体分层沉降、地质结构、温度、地下水位、孔隙水压力、化学成分**等多参量的自动化在线监测。

● 系统介绍

地质钻孔多参量光纤综合监测系统包括六大子系统：

- **分层沉降监测子系统**：采用分布式变形光缆实现地层分层压缩和地面沉降监测；
- **温度监测子系统**：采用分布式温度传感光缆实现地层温度监测；
- **水位监测子系统**：采用光纤水位计实现钻孔水位监测；
- **孔隙水压监测子系统**：采用光纤渗压计实现孔隙水压力监测；
- **振动事件与地质结构监测子系统**：采用分布式振动技术对塌陷、泥石流、岩石破裂等动力灾害进行实时捕捉，对岩土体结构实时成像；
- **水质监测子系统**：采用分布式化学传感器对水矿化度、盐度pH值等进行原位监测。（开发中）

系统应用优势

- **低成本**，相对分层标极大的降低了监测成本
- **多参量**，沉降、温度、水位、水压等一体化监测
- **自动化**，自动化、全天候在线监测
- **精细化**，分布式获取每一地层变形、温度信息
- **不占地**，1m²建设地上监测站
- **易安装**，光缆连续下放，快速、便捷
- **长寿命**，基于光纤传感，长期稳定

系统参数

参数类型	参数值	参数类型	参数类型
位移测试量程	20mm/m	水位测试精度	0.1% F.S.
位移测试精度	0.005mm/m	水压测试精度	0.1% F.S.
温度测试精度	0.2°C（常规）	差异沉降精度	2mm
	0.02°C（高精）	采集频率	20S

系统应用与标准

应用参考标准

ICS 07.060
CCS D 14

DZ

ICS 07.060
CCS P 13

DB32

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0446—2023

江苏省地方标准

DB32/T 4403—2022

地面沉降和地裂缝光纤监测规程

Code of practice for optical fiber monitoring of land subsidence and earth fissure

2023-10-31 发布

2024-01-01 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

2024年1月1日实施

地质钻孔光纤多参量监测实施技术规范

Technical specification for optical fiber multi-parameter monitoring
implementation through geological borehole

2022-12-24 发布

2023-01-24 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

2023年1月23日实施

系统应用

总体思路:

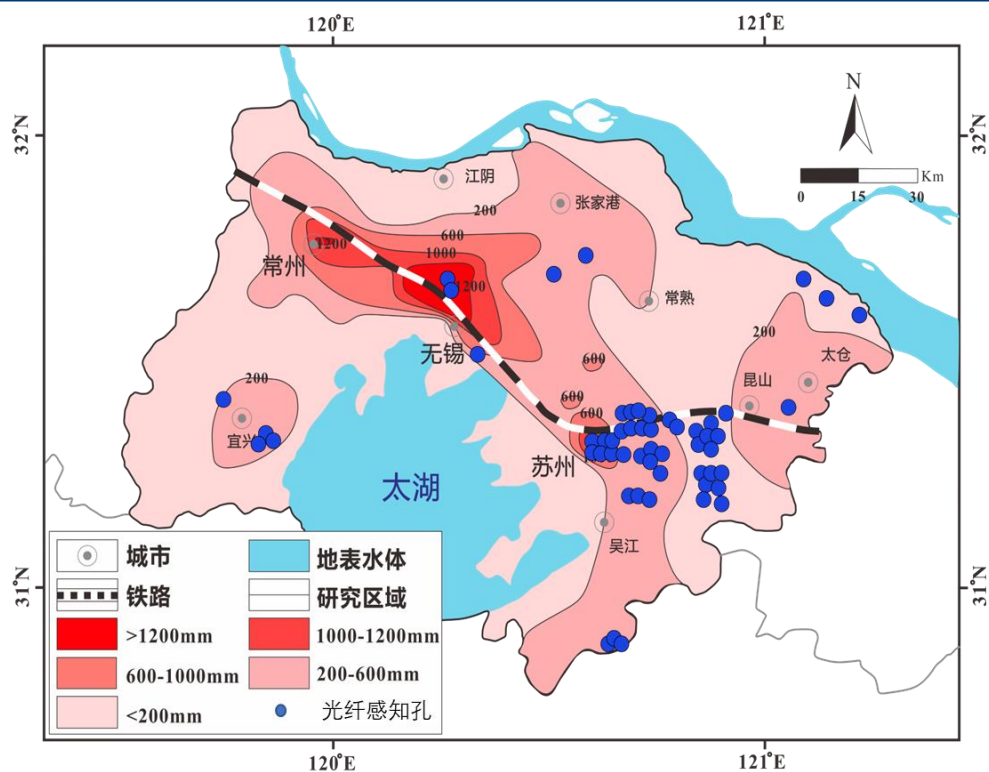
在同一区域内,通过一台光纤解调设备,实现地层精细化分层沉降、温度、水位、孔隙水压力以及基岩标与分层标、地面标的差异沉降自动化监测。

技术选择:

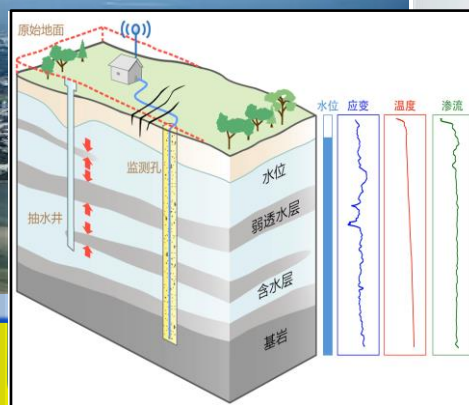
考虑系统成本与技术特点,以50m深度钻孔为分界点,50m以浅采用光纤光栅技术,点式监测为主;50m以深采用密集分布式光纤技术,以分布式监测为主。

应用方向一：地层压缩与地面沉降监测

地面沉降正威胁全球**19%人口**的生存环境。**长三角**是我国地面沉降最严重地区。**发明钻孔全断面多场光纤感知技术**，建成了**50多个**光纤感知孔，初步形成了地面沉降**灾变感知网**

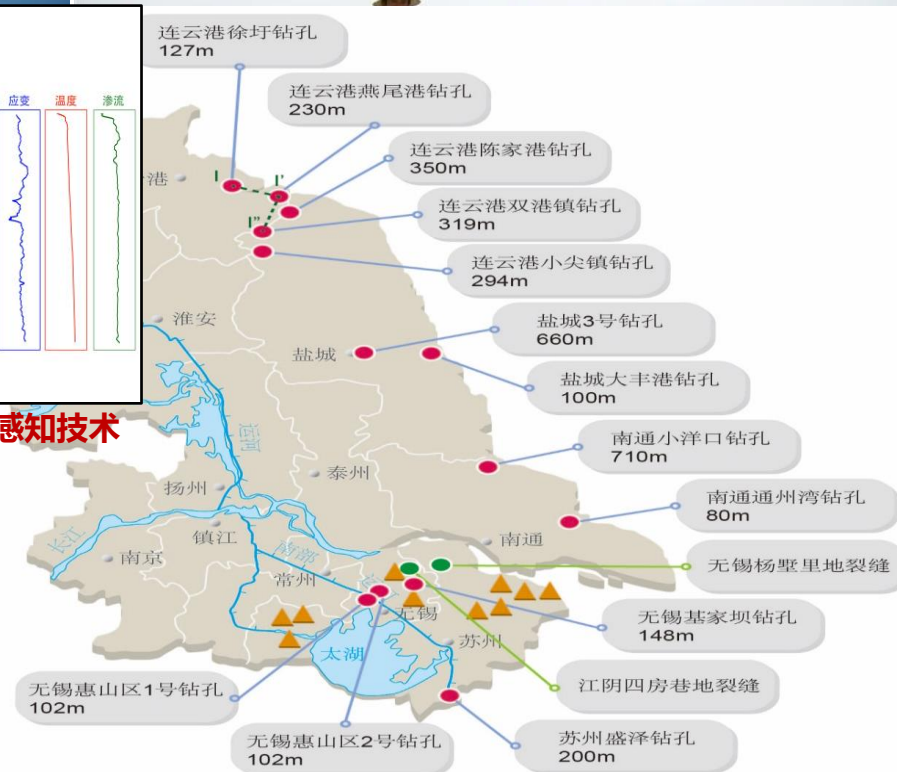


长三角地区地面沉降分布图

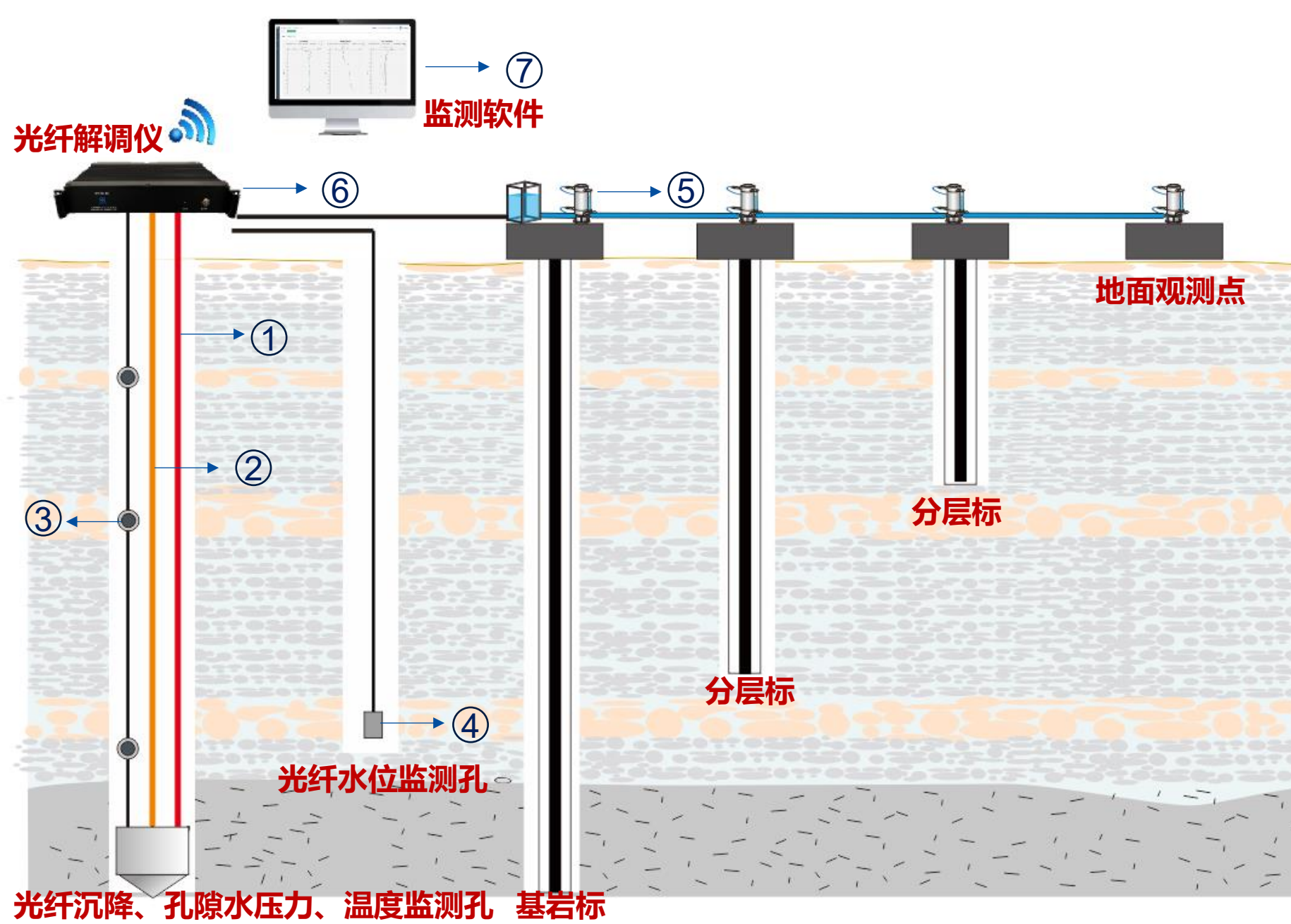


钻孔全断面多场光纤感知技术

● 已建造
▲ 在建造



长三角地区光纤感知钻孔分布图
(已建成**54个**)



① 锚固型定点密集分布式应变传感光缆



② 非金属高强密集分布式温度传感光缆



③

光纤钻孔渗压计



④

光纤水位计



⑤

光纤静力水准



⑥

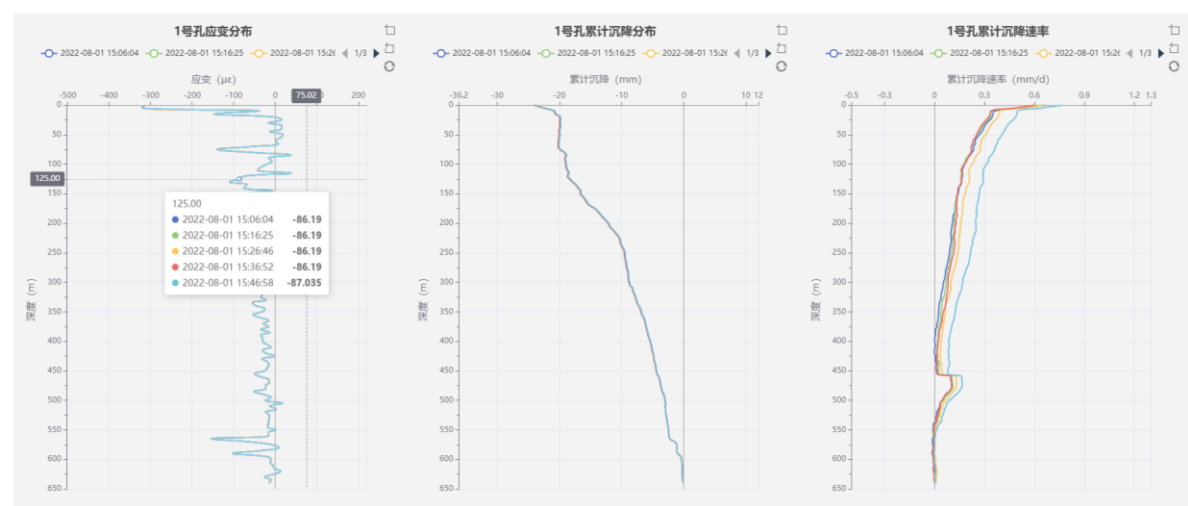
柜式密集分布式光纤解调仪



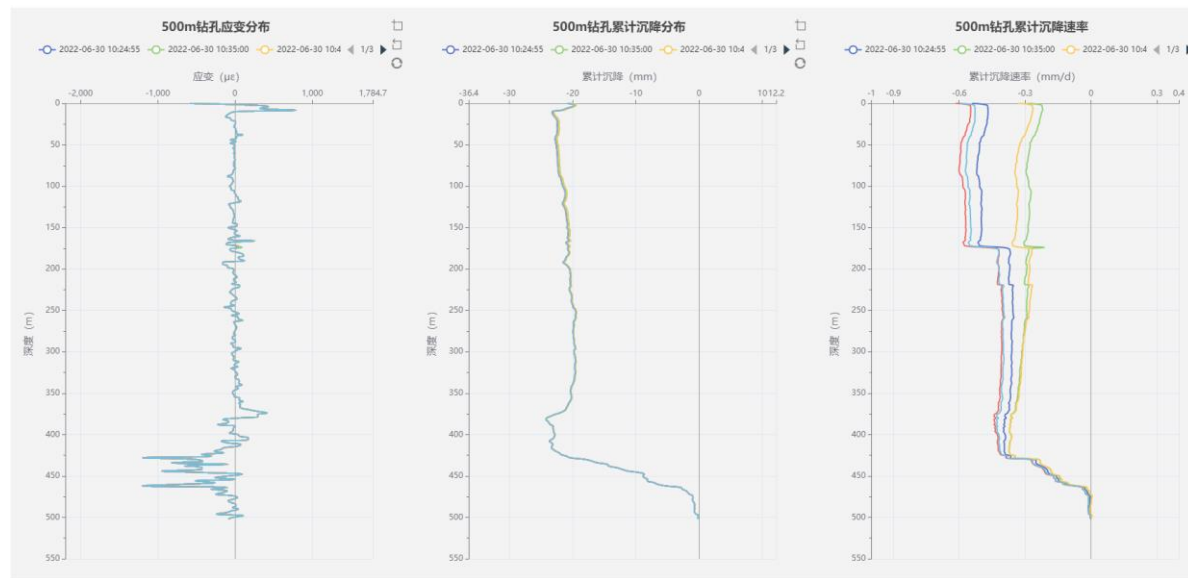
⑦

钻孔多参量监测软件

地面沉降监测平台



河北高阳650m钻孔

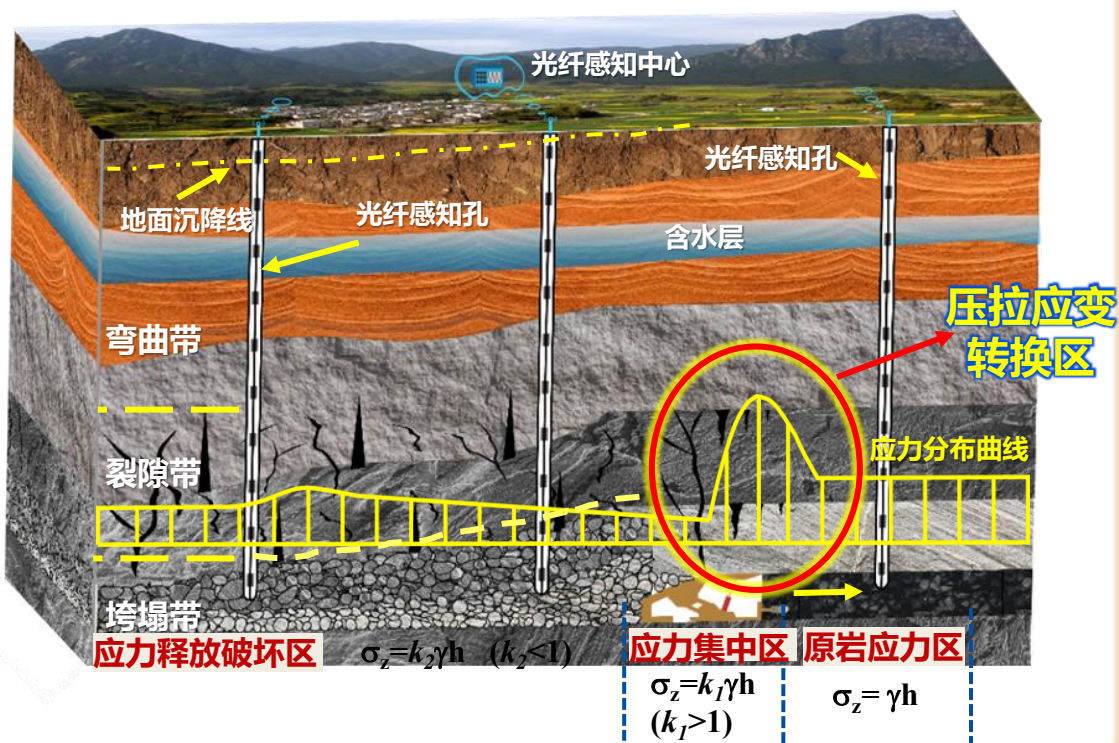


安徽阜阳500m钻孔

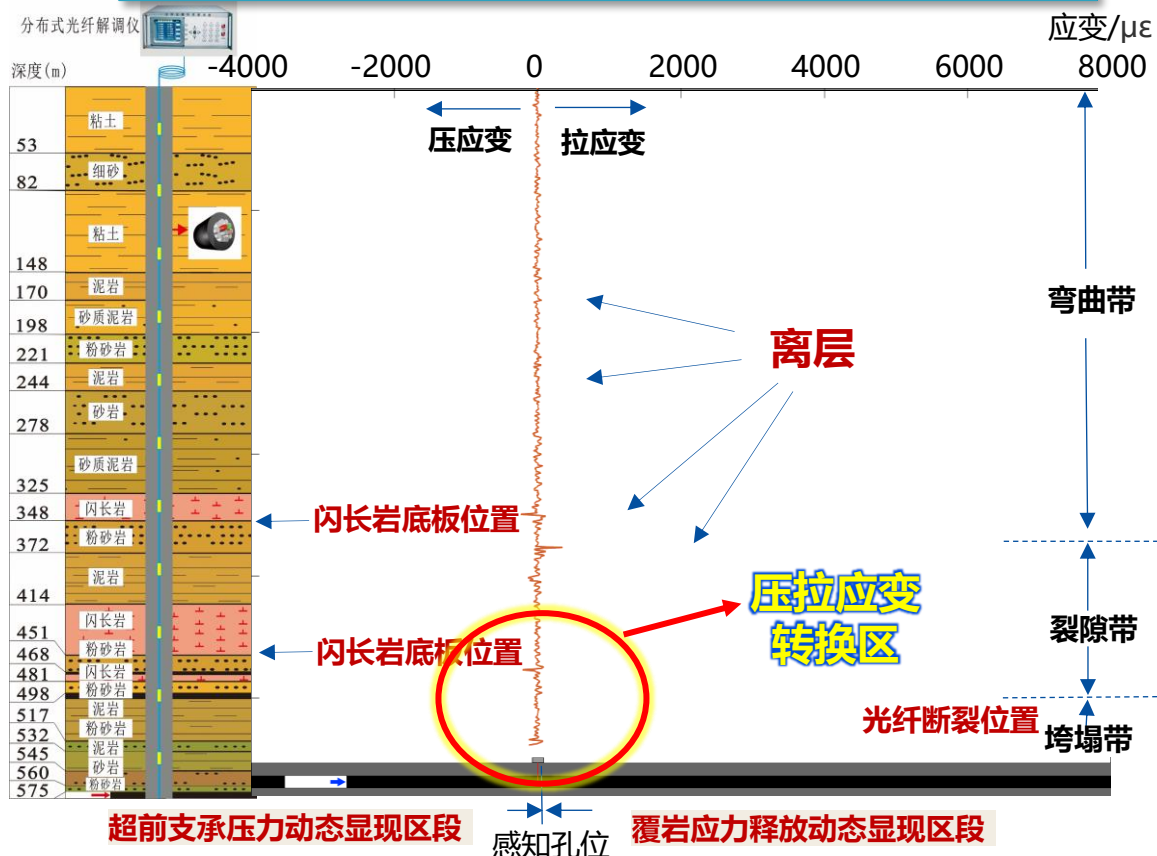
应用方向二：矿山覆岩变形监测

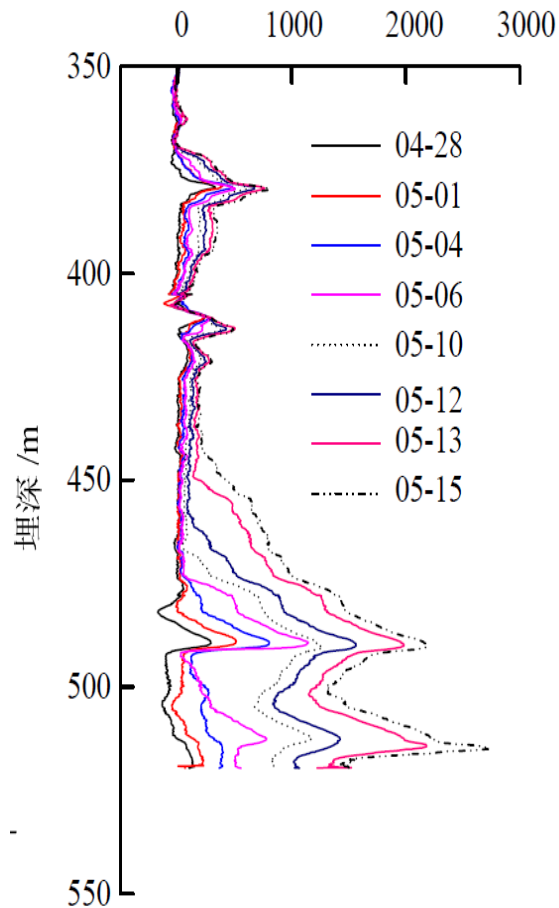
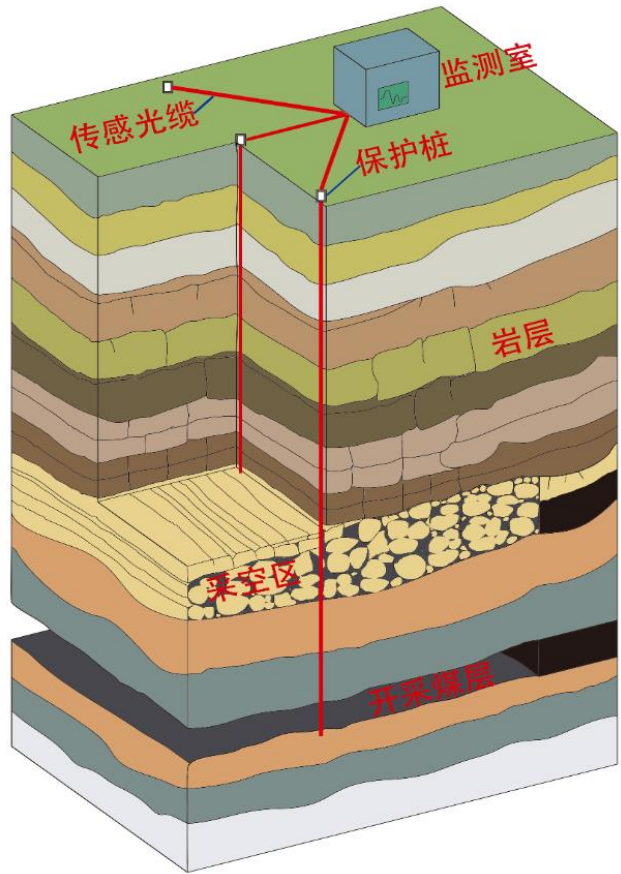
➤ 采场覆岩运动直接威胁**矿山安全**。光纤**精准感知**采动覆岩的**拉压应变转换、范围、离层分布**，**准确划定覆岩运动“三带”**，为防治顶板**垮塌**和**突水**提供依据。成果已在**国内50多个**矿山得到应用

煤矿采动覆岩应力分布**理论模型**与变形“三带”示意



覆岩拉压应变和变形“三带”**原位感知** (杨柳煤矿)





系统简介

系统由传感光缆、数据采集设备及监测软件构成，通过地表钻孔布设，实现开采过程或采后稳定期间的**分层变形**自动化监测。




系统特点

- 低成本，相对分层标极大的降低了监测成本
- 自动化，自动化、全天候在线监测
- 不占地，1m²建设地上监测站
- 长寿命，基于光纤传感，长期稳定

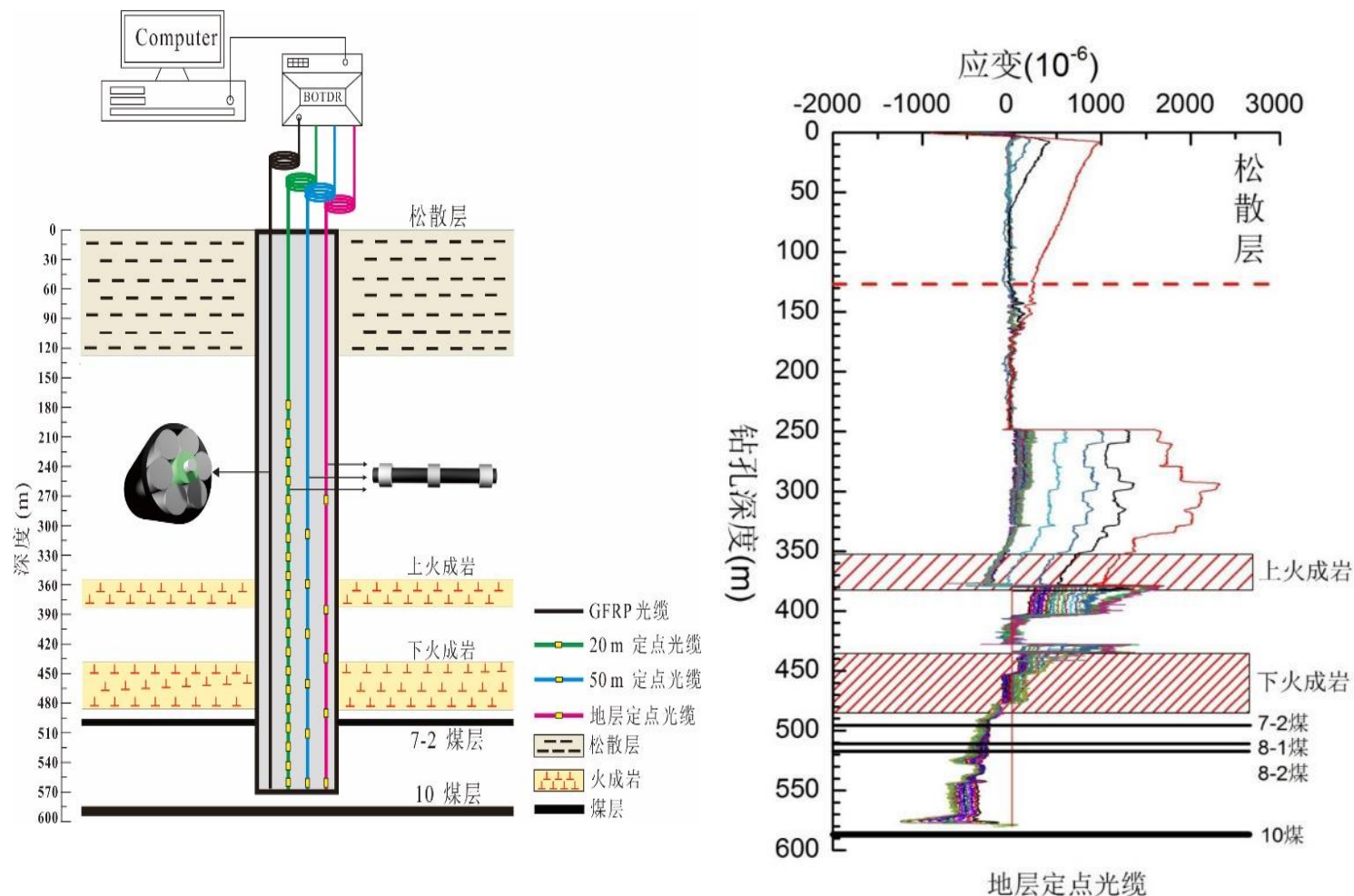
系统参数

参数类型	参数值	参数类型	参数类型
位移测试量程	100mm/5m	数据传输	4G/5G
位移测试精度	0.025mm/5m	系统供电	市电/太阳能

系统架构

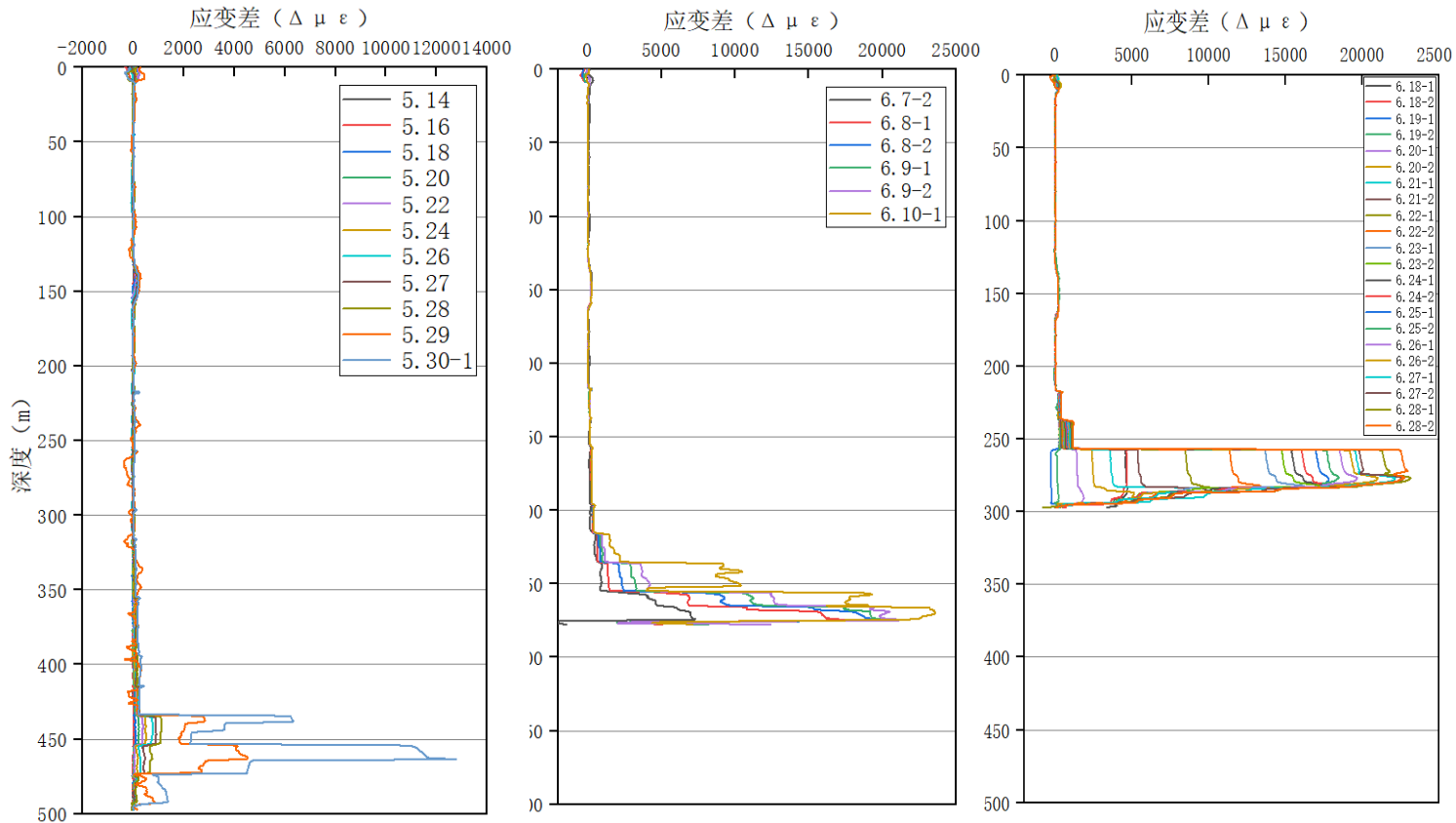
系统组成	产品选型	产品样图
分层变形监测	高强抗剪定点密集分布式应变传感光缆	
数据采集设备	柜式密集分布式光纤解调仪	
软件系统	覆岩变形自动化监测系统	

将传感光缆利用钻孔送达到制定深度，并注浆封孔，使得传感光缆与周围岩体耦合到一起，协调变形，通过测试光缆的变形量来反演周围岩体竖向压缩及拉伸变形分布规律，据此分析开采后的覆岩的冒落高度、导水裂隙高度、岩体离层层位等有关开采技术指标



埋深	发展过程	量级
350m	开采过监测点后就出现，一直在增大发展	毫米级
380m	开采过监测点后就出现，一直在增大发展，速度很快，十分明显和典型	数十厘米
440m	开采过监测点后20m才出现，一直在增大发展，速度很快，后期有闭合趋势	数厘米级
495m	开采过监测点后就出现，迅速增大，后期发生闭合	数厘米-数十个厘米级
525m	开采未到达监测点就出现，迅速增大，后期随着上覆岩体中离层出现而发生闭合	数十厘米级

开采前布设分布式应变传感光缆，实现开采期间上覆岩层变形的分布式监测，有效监测深度500m。



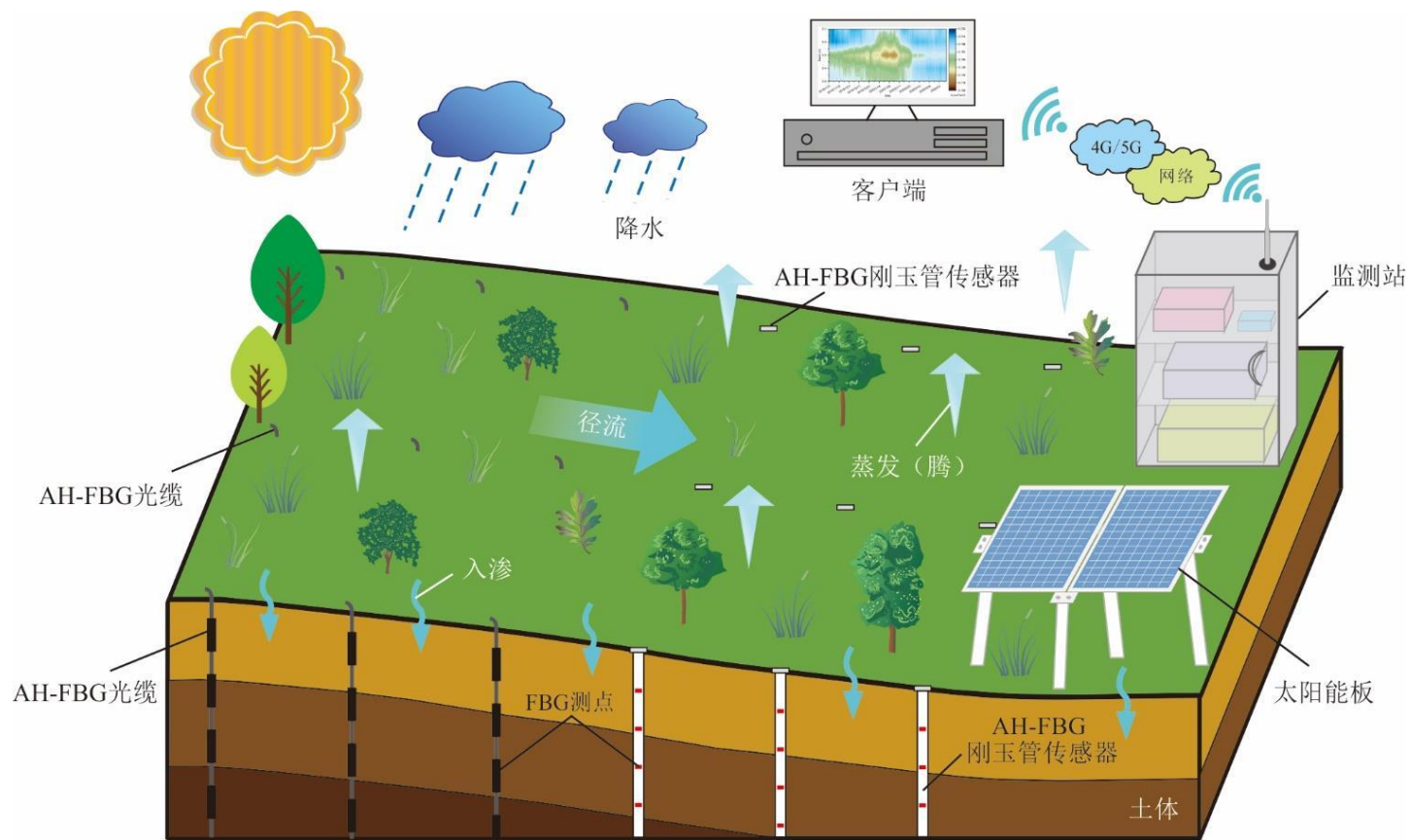
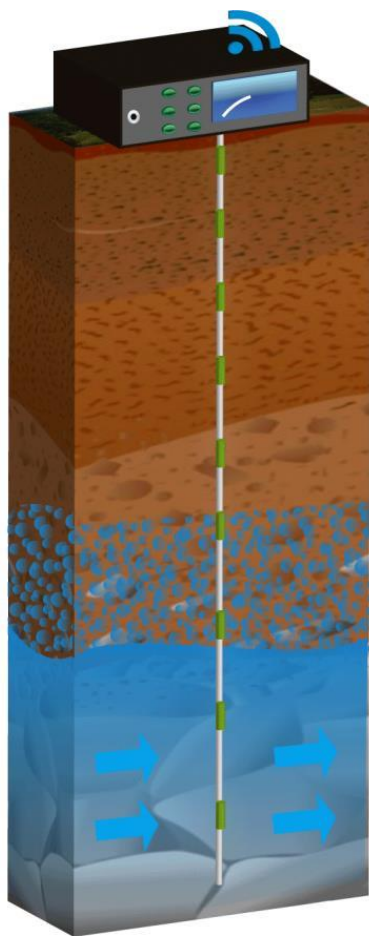
5.14-5.30

6.7-6.10

6.18-6.28

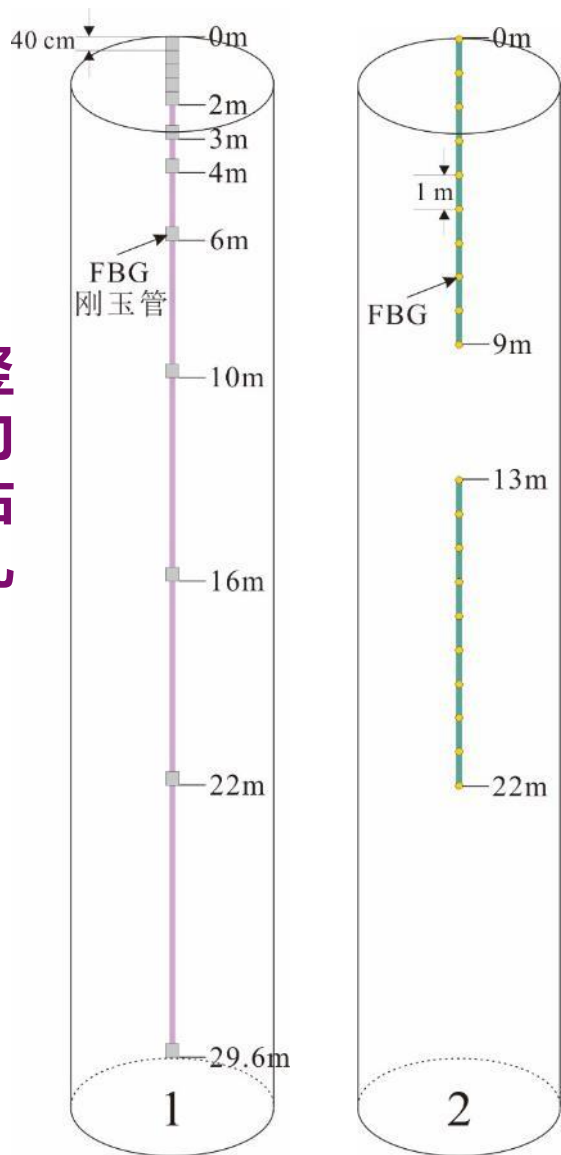
开采期间变形发展过程

应用方向三：岩土体水分场与渗流监测

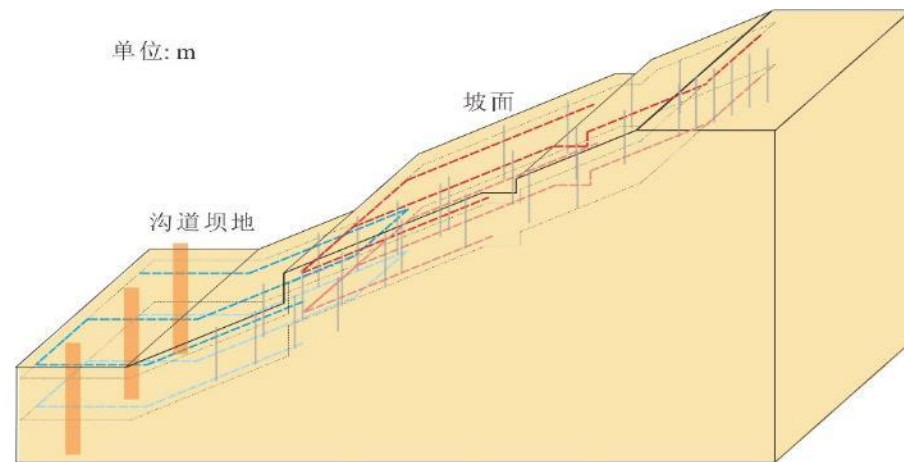


利用钻孔或浅表沟槽埋设传感光缆，采用主动温度信息法，基于热耗散原理，根据热量扩散快慢实现岩土体**含水率、热导率、渗流速度**等水分场信息的分布式感知。

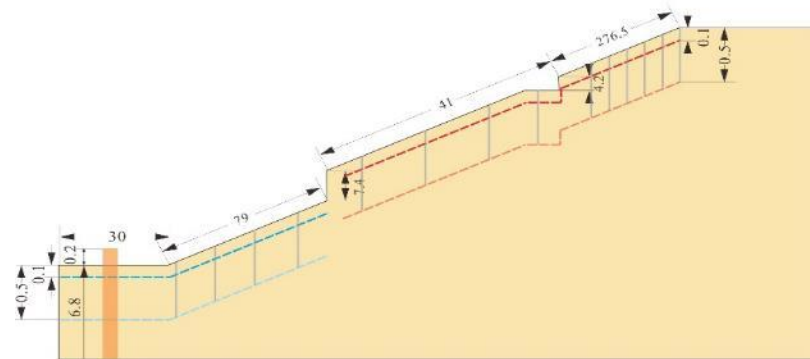
竖向钻孔



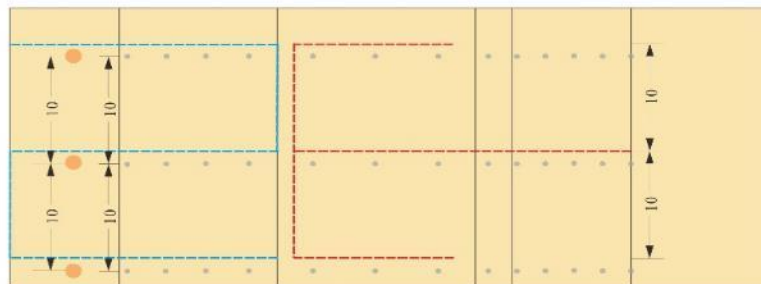
坡表



(a)边坡流域光纤传感器布设立体图



(b)正视图



(c)俯视图



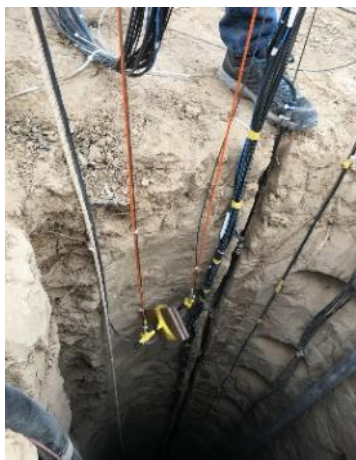
现场实施



光缆与导锤固定



钢绞线捆扎传感器



下放光缆



监测站建设



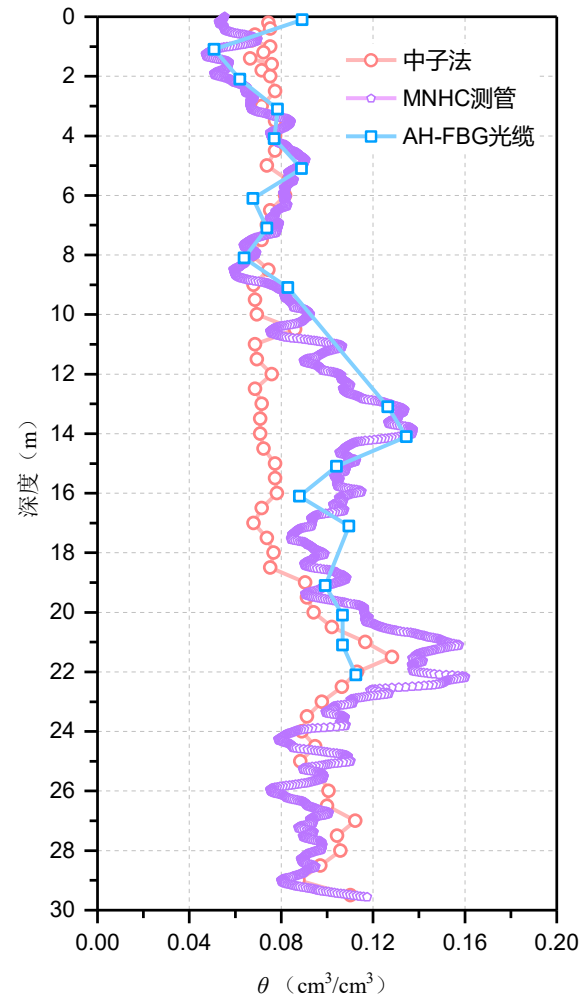
布线、挖沟



铺设缆线

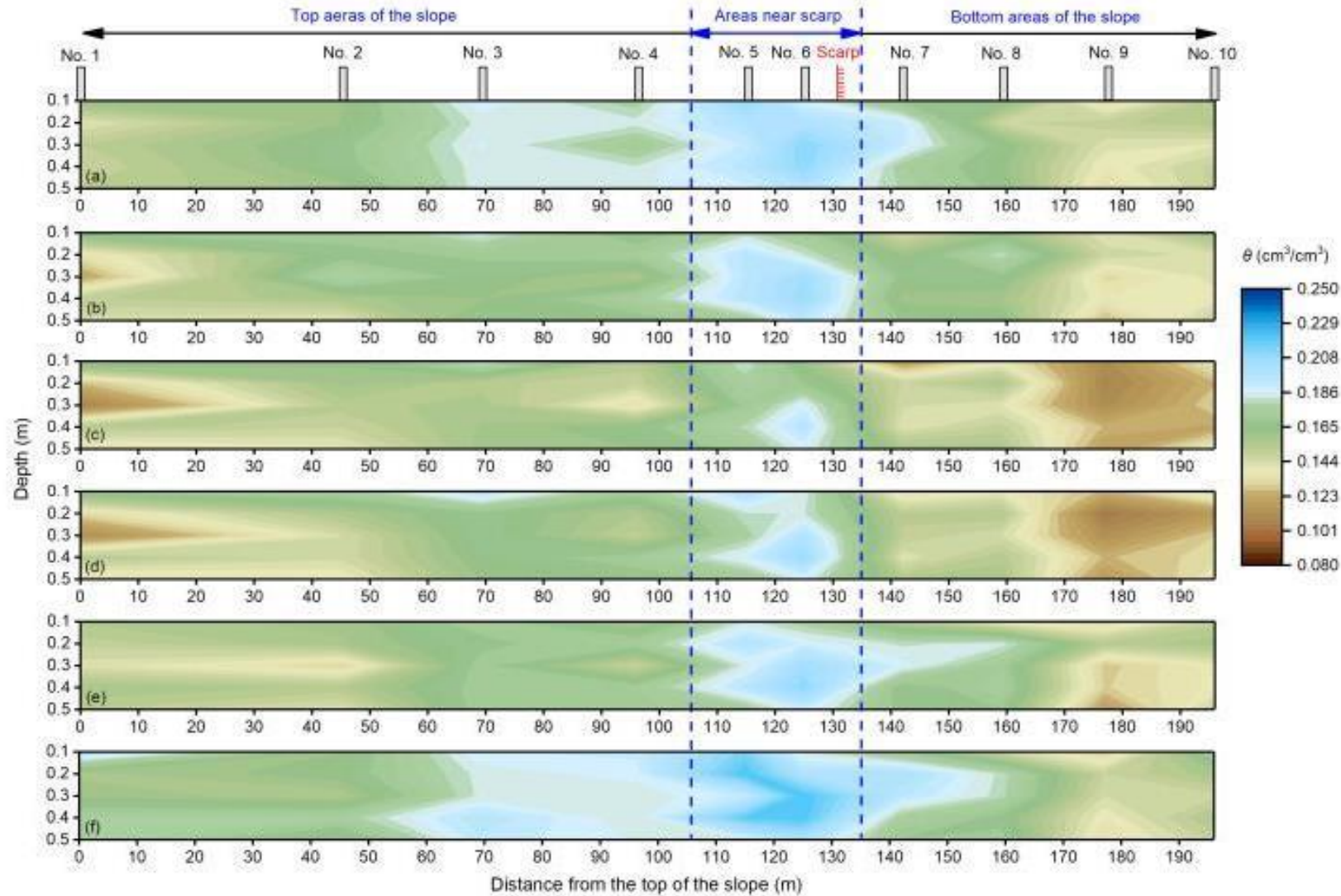
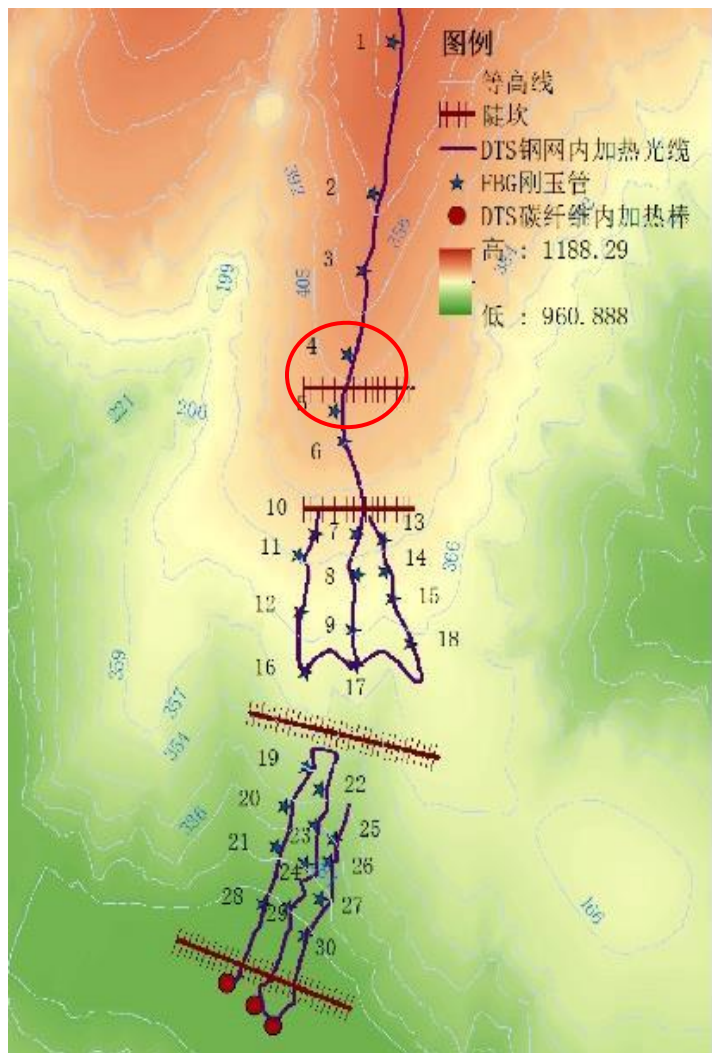


分层回填



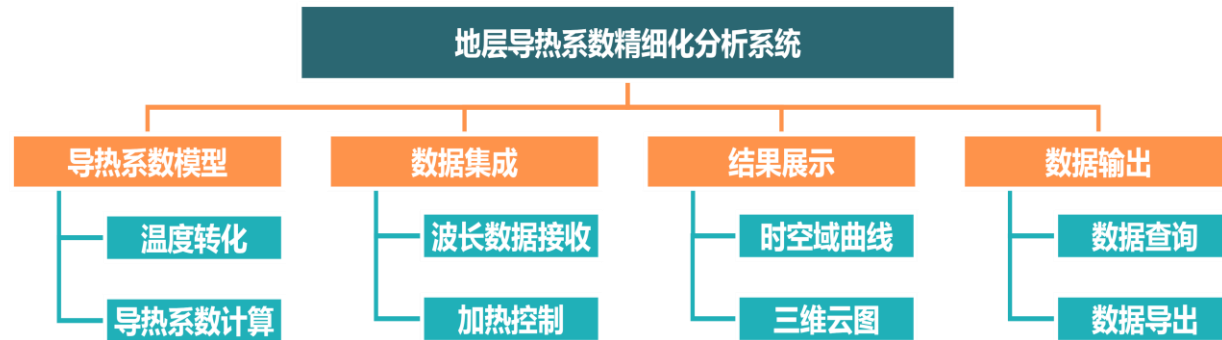
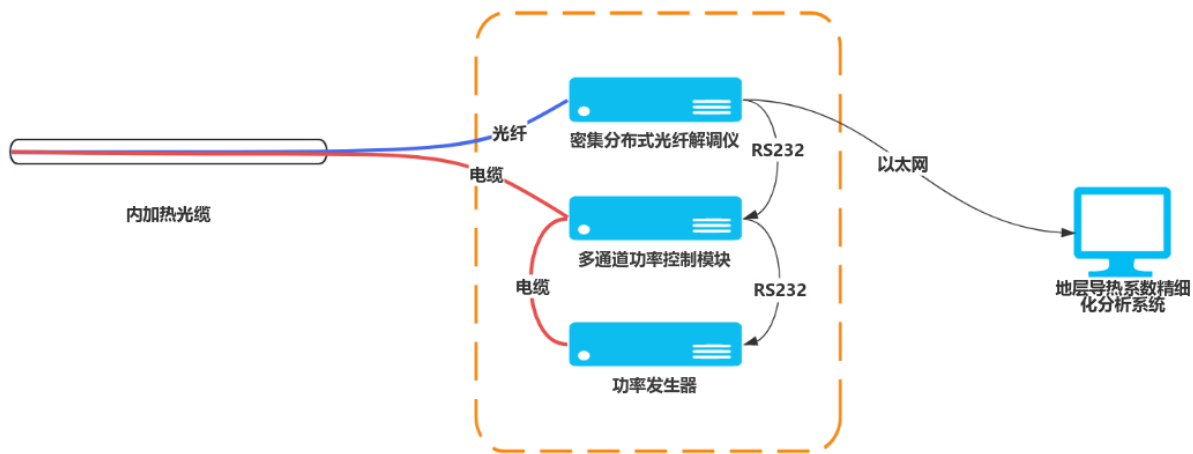
钻孔含水率分布

监测成果



坡表含水率分布

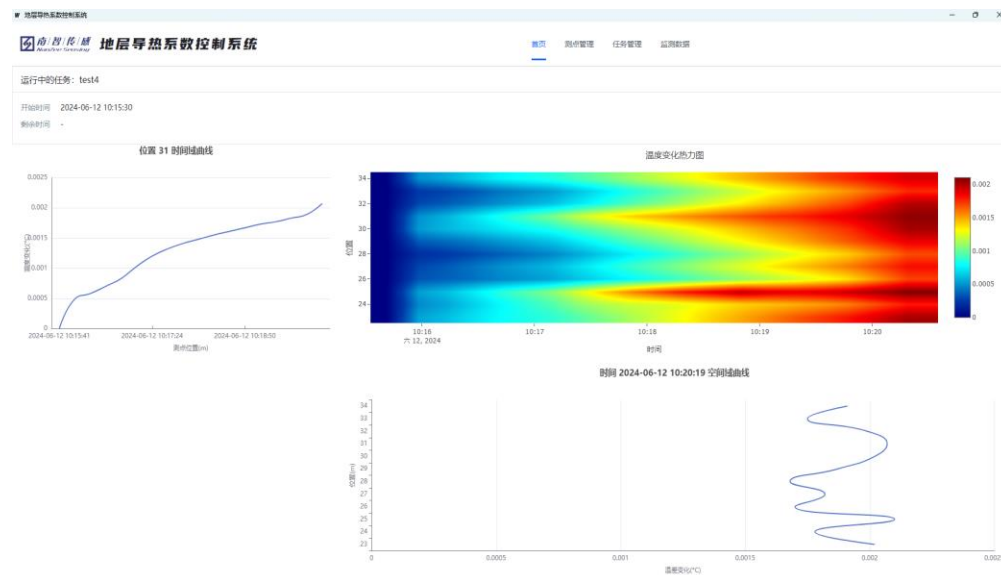
应用方向四：地层热物理性质参数测试系统



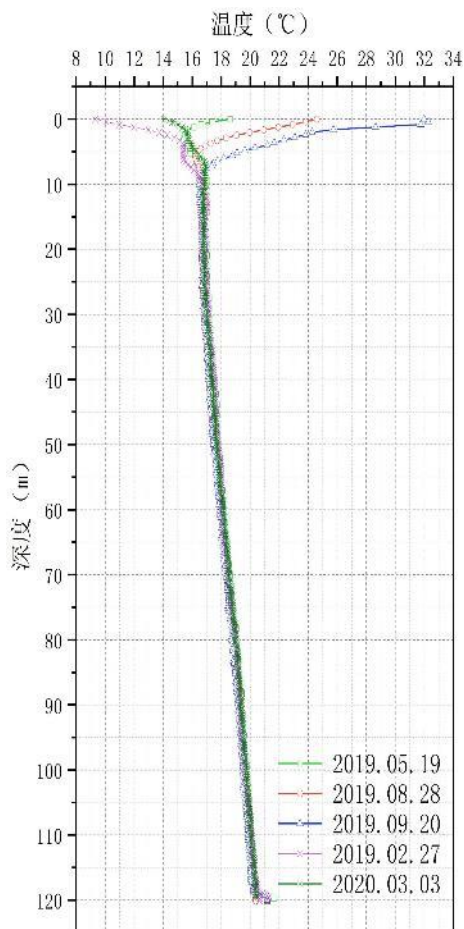
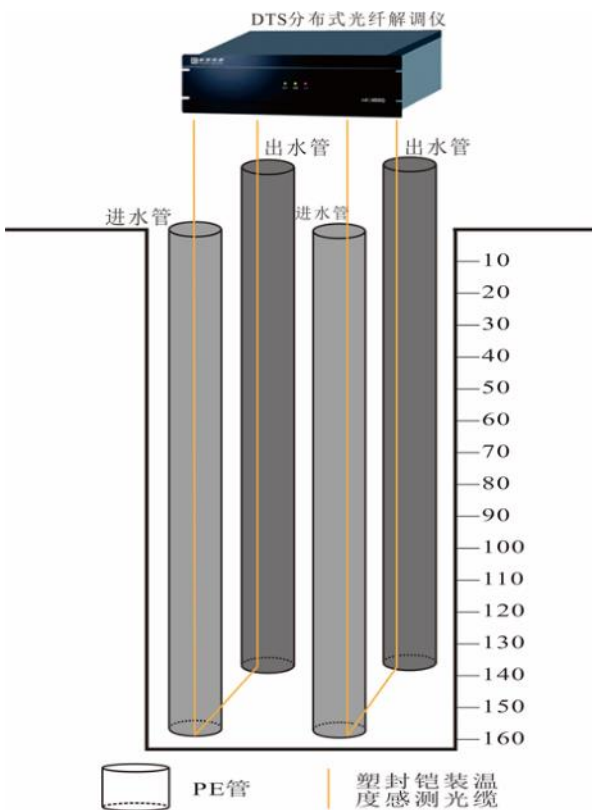
扩展16路，每路分时独立工作



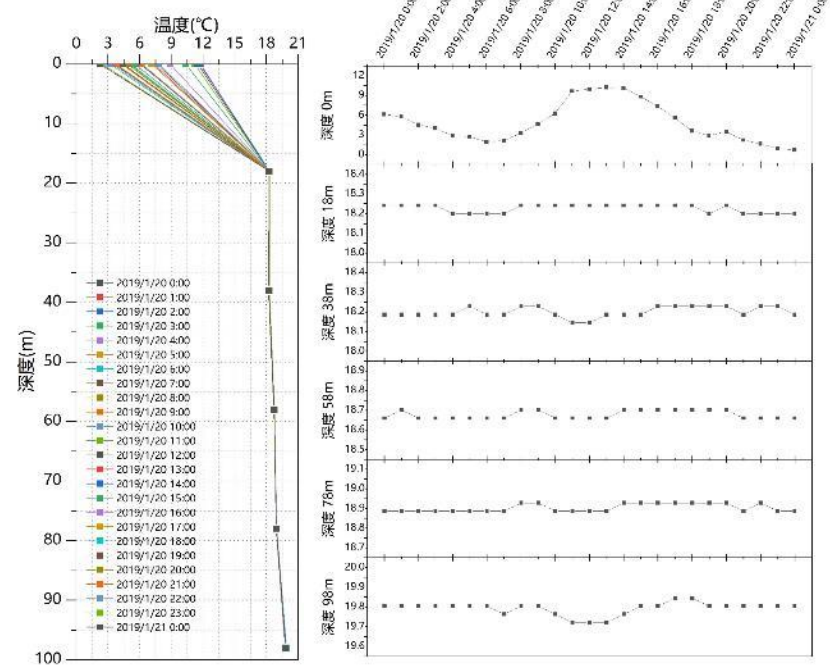
电流: $\leq 10A$ 电压: $0\sim 300V$



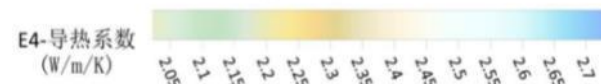
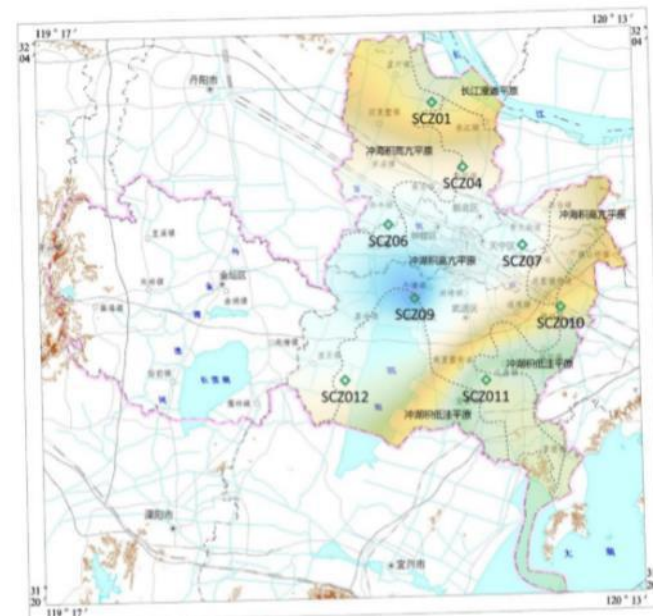
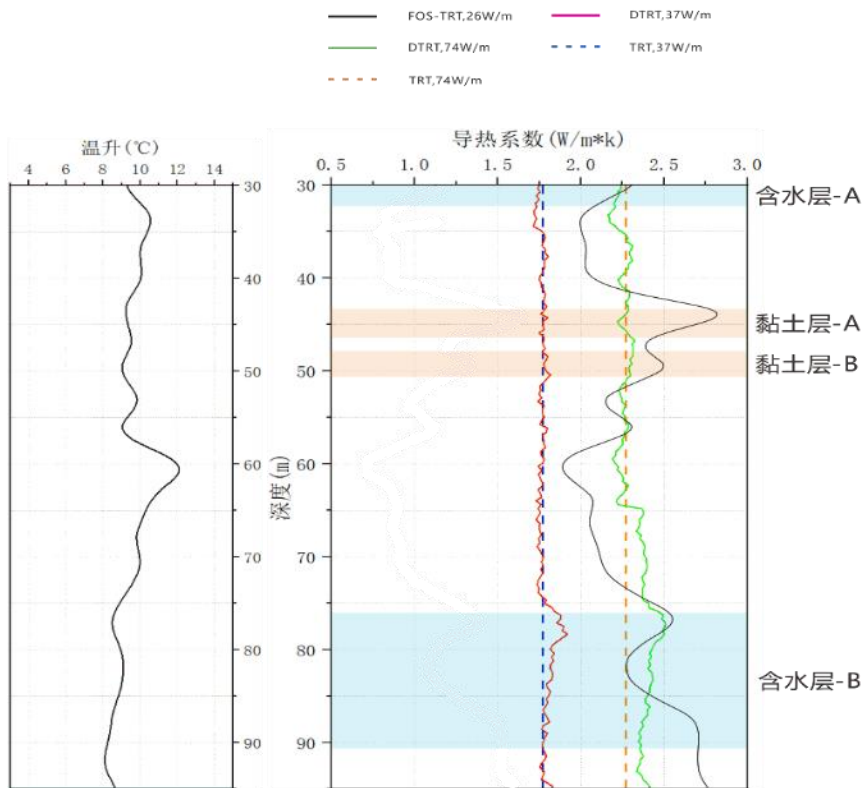
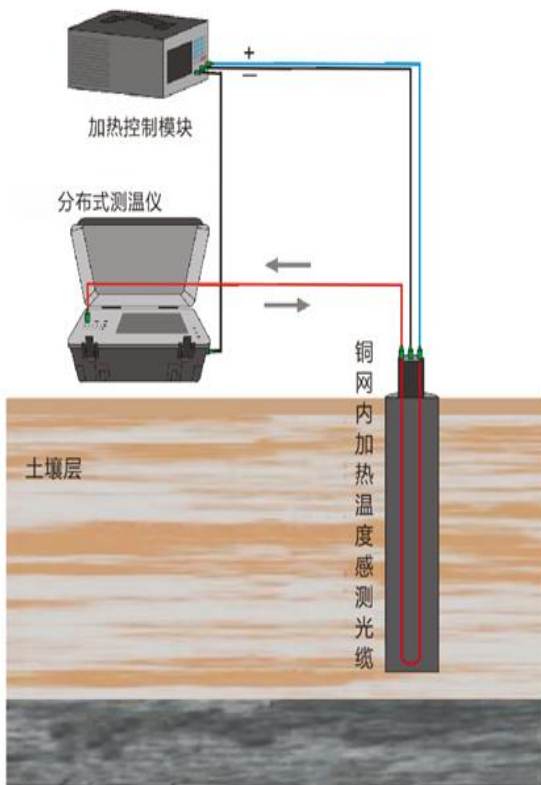
为查明常州城市规划区浅层地温能分布特点和赋存条件，评价浅层地温能资源量及开发利用潜力，利用分布式光纤感测技术对地温场进行监测，为常州城市规划区浅层地温能合理开发利用和保护提供依据



年地温场分布



日地温场变化

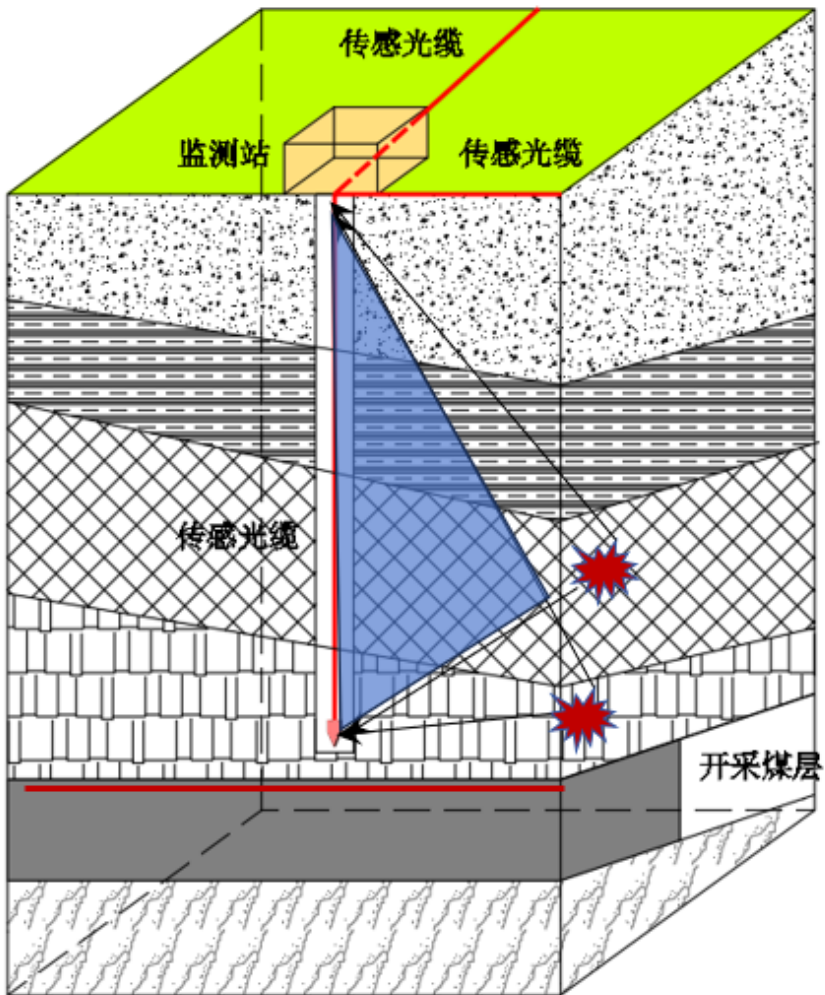


导热系数区域分布

- 常规热响应测试-TRT
- 分布式热响应测试-DTRT
- 主动加热热响应测试-ATRT

测试方法	TRT	DTRT	ATRT
测试时间 (h)	82.2	82.2	3
初始地温测试时间 (h)	22.3	22.3	0.6
加热测试时间 (h)	48h	48	1.6
恢复时间 (h)	11.9	11.9	0.8
单位长度加热功率(W·m ⁻¹)	74	74	26
温度采集方式	热电阻采集进出口水温	DTS采集分布式温度	DTS采集分布式温度

应用方向五：岩体微震及地质成像系统



强耦合振动光缆



增敏型振动光缆

应用方向

■ 微振监测

通过统计微振信号发生的次数与频次，地震活跃度监测预警及矿山预防冲击地压；

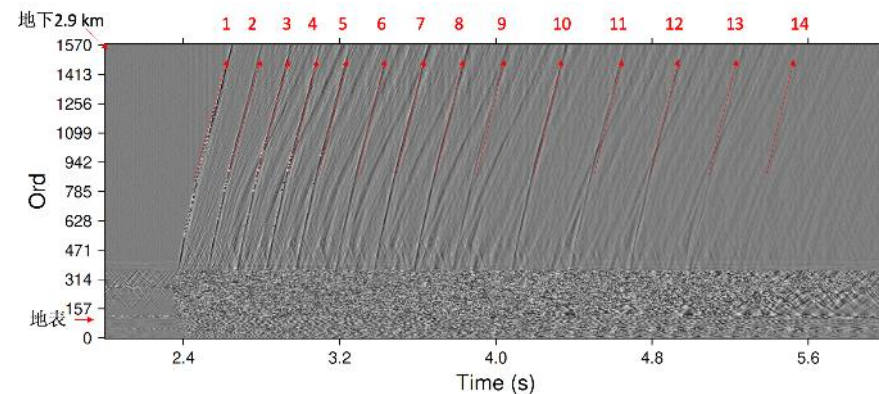
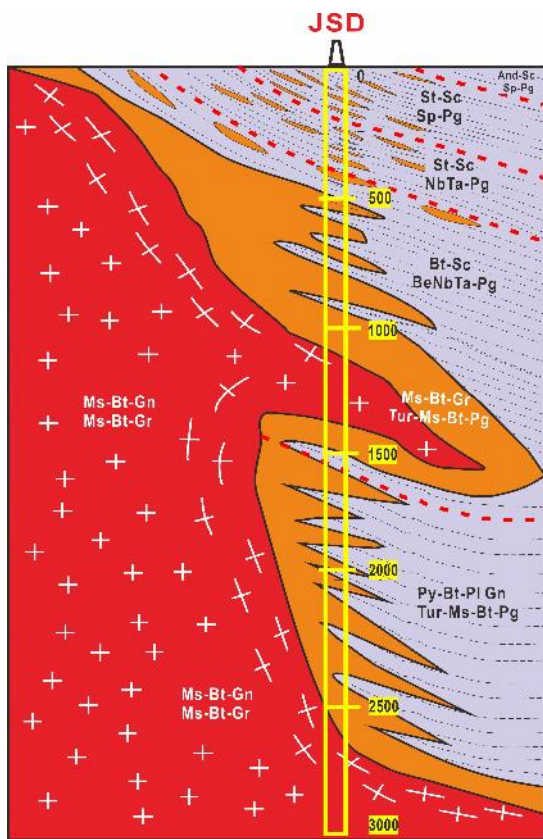
■ 垮塌分布监测

通过在同一点多次放炮激励，对垮塌分布进行监测。

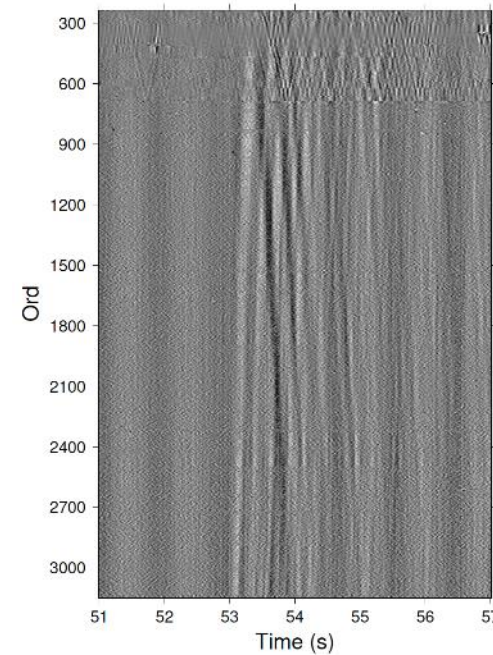
■ 震波成像

利用主和被动源对地层结构进行实时成像

在中国最大的川西甲基卡伟晶岩型锂矿区连续钻探3200米, 建成目前 (2021) 世界上最深的直埋式分布式光纤综合监测孔, 对周边断裂带的微小震动进行精细捕捉

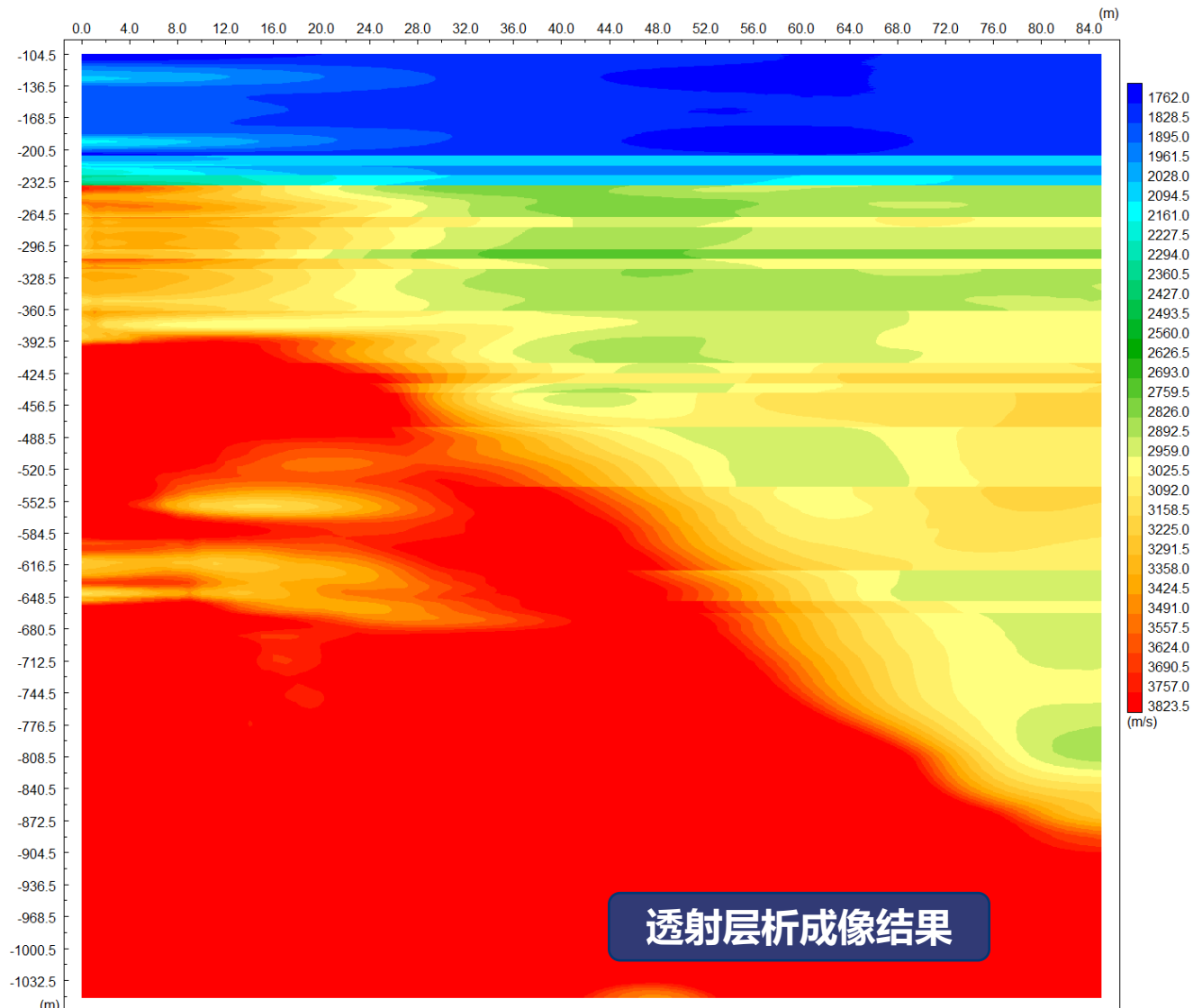
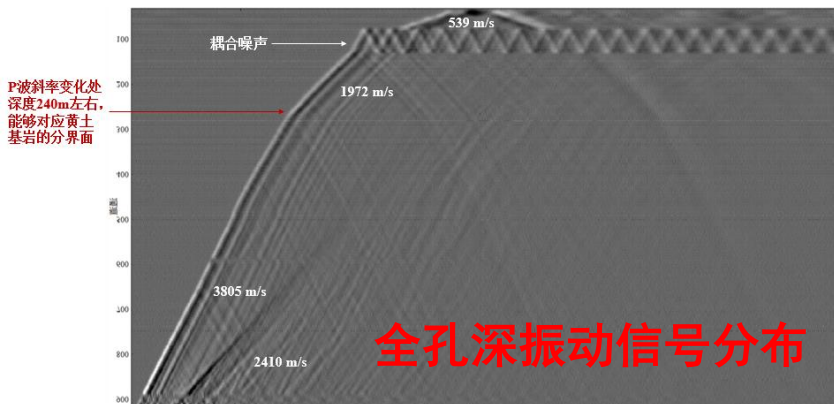
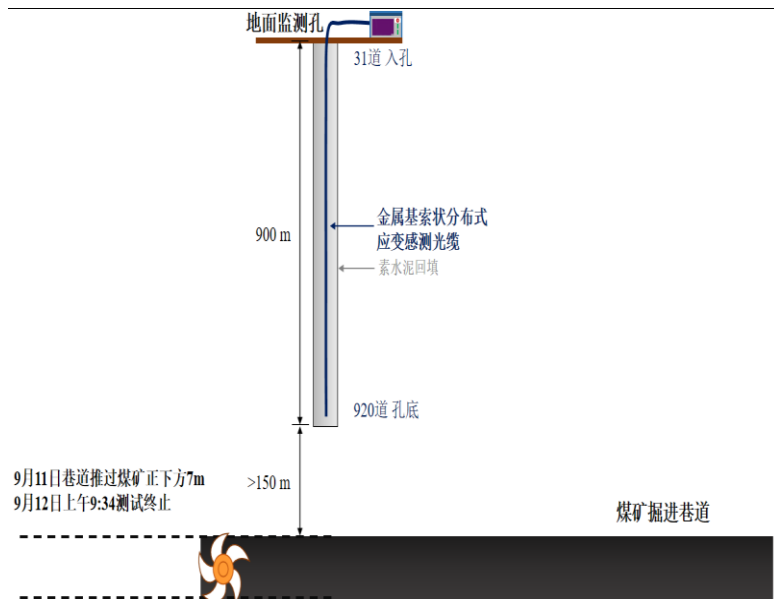


地表爆破信号

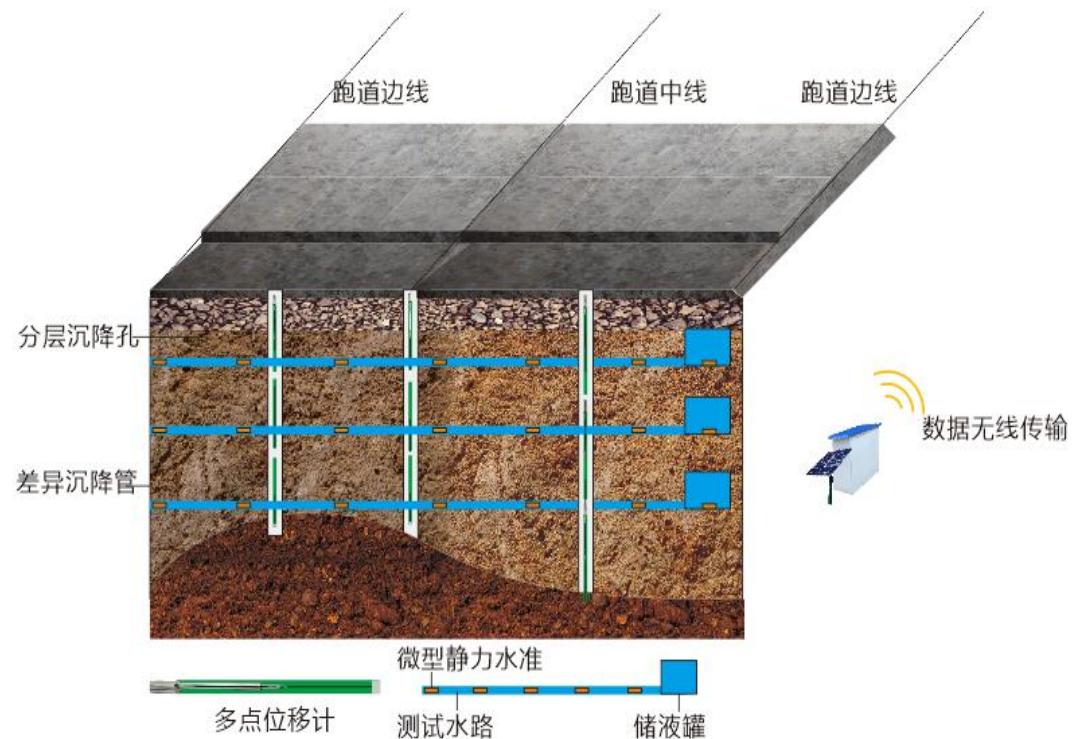
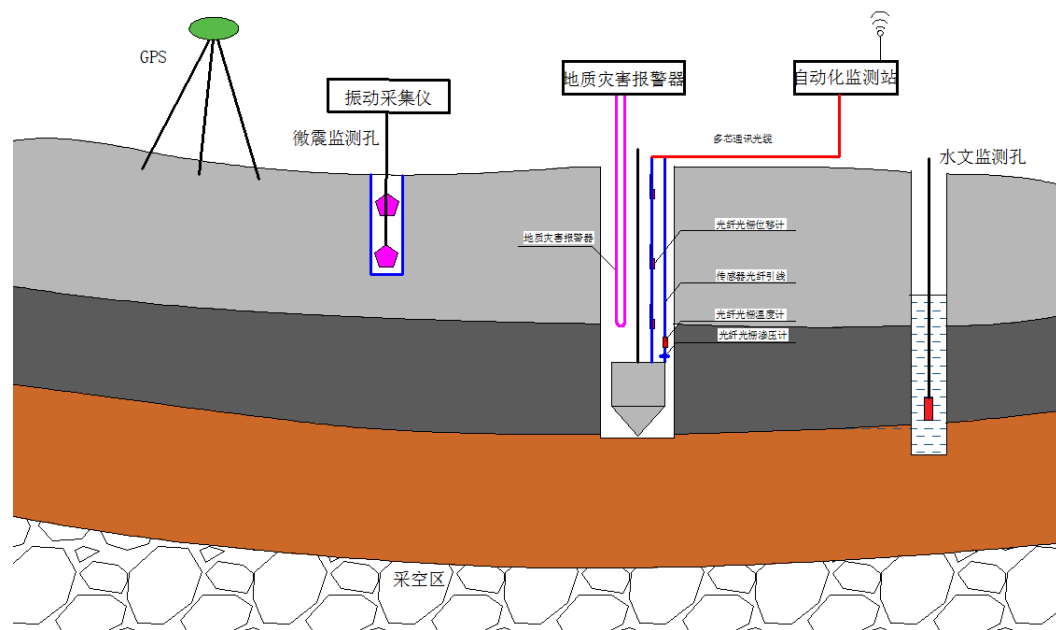


M3.1级地震信号 (178km)
近地表视速度 1.24km/s

在开采工作面前方钻孔布设分布式振动传感光缆，拾取微振及放炮产生的振动信号,并进行CT波速成像

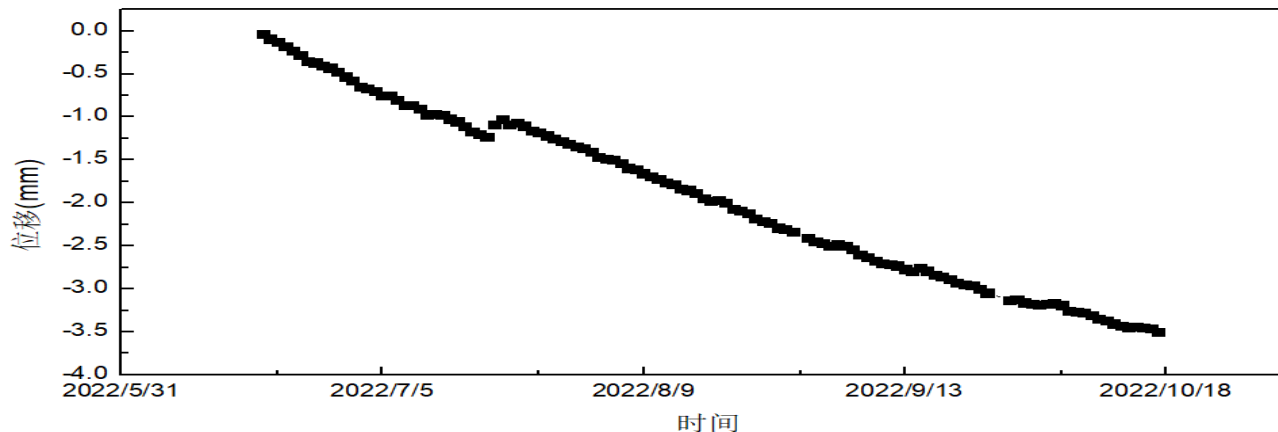
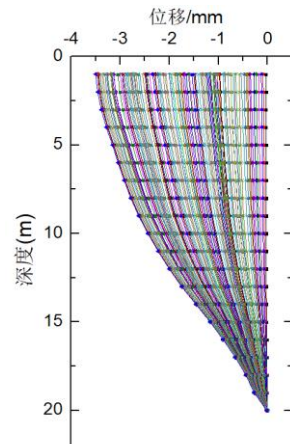
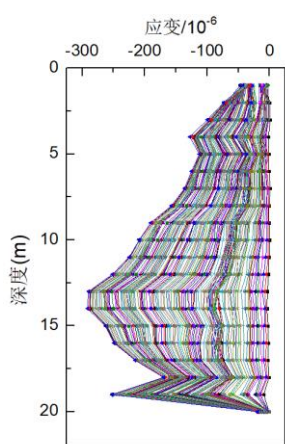


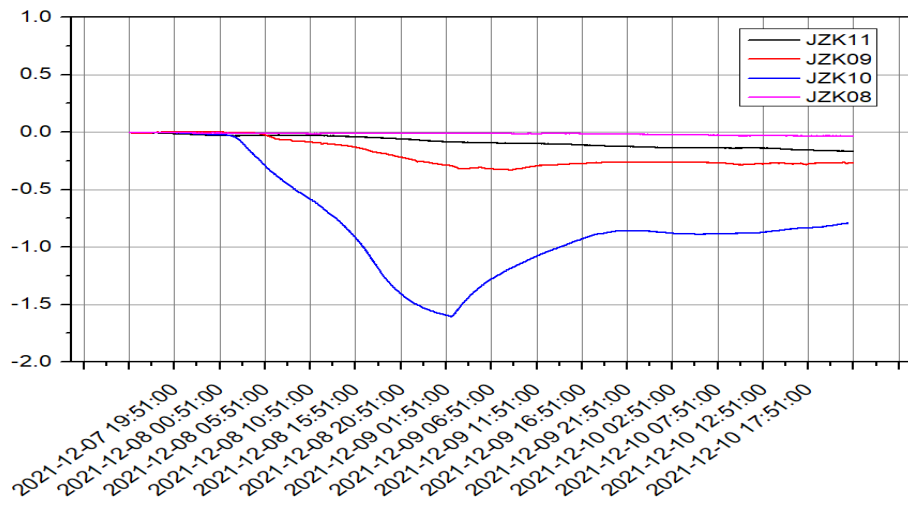
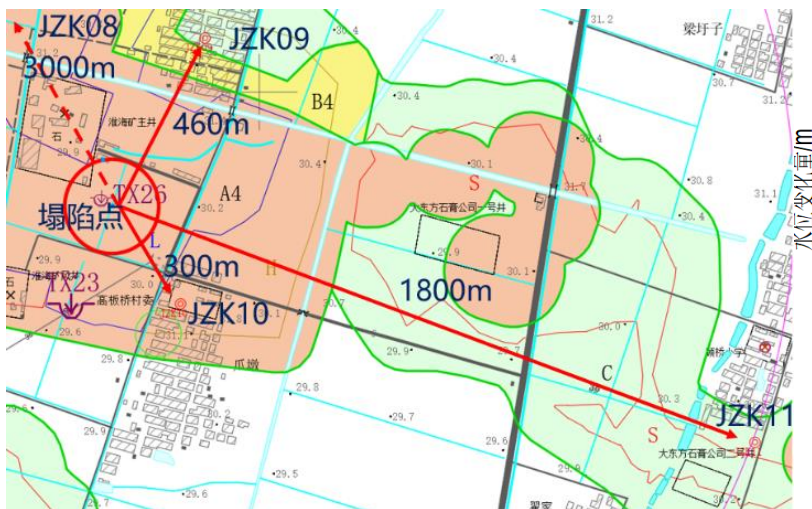
应用方向六：地表与路面塌陷监测系统



本系统采用分散型监测设备结合浅层钻孔布设，**实现水位、变形、振动多参量数据**的远程自动化采集与传输，实现监测内地塌陷前的水位波动、岩土变形、破坏微震及水土流失等内容监测。

沿盾构隧道周边布置竖向钻孔，实现盾构推进期间及后期地层稳定性的自动化在线监测。





- 高板桥村委监测点 (JZK10) **地下水位从2021年12月8日02:50开始发生明显下降的趋势**，至2021年12月9日02:48下降至最大，**变化量1.604m**，然后开始缓慢回升，至2021年12月09日22:00达到新的水位后开始稳定。
- 同时期的兴墩监测点 (JZK09) 地下水位也变化了0.329m，变化量相对较小。其他监测孔的传感器由于距离较远，没有监测到明显的变化数据。
- 2021年12月9日9:48在**地质灾害日常巡查中发现此处出现塌陷坑**，现场踏勘时发现地面塌陷坑形态近圆形，直径22m，总面积约350m²。

工程应用与社会贡献-国内

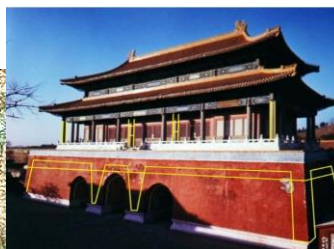
➤ 基于感知理论和技术突破，研发了80余种传感器和10余种监测系统，在国内1000多个工程监测项目中成功应用，为表层基质层和地球关键带监测和质灾害防治提供了新的观测手段



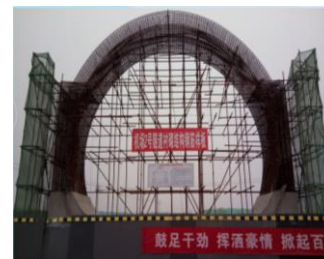
雅鲁藏布江穿山隧道光纤感知



延安甘谷驿黄土水分场光纤感知



故宫东华门光纤感知



京雄高铁隧道光纤感知



南水北调光纤感知



川西甲基卡3200米科学钻探孔光纤感知



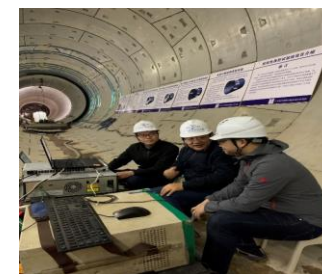
锦屏二级电站光纤感知



延长油田二氧化碳储存驱油光纤感知



苏州地铁光纤感知

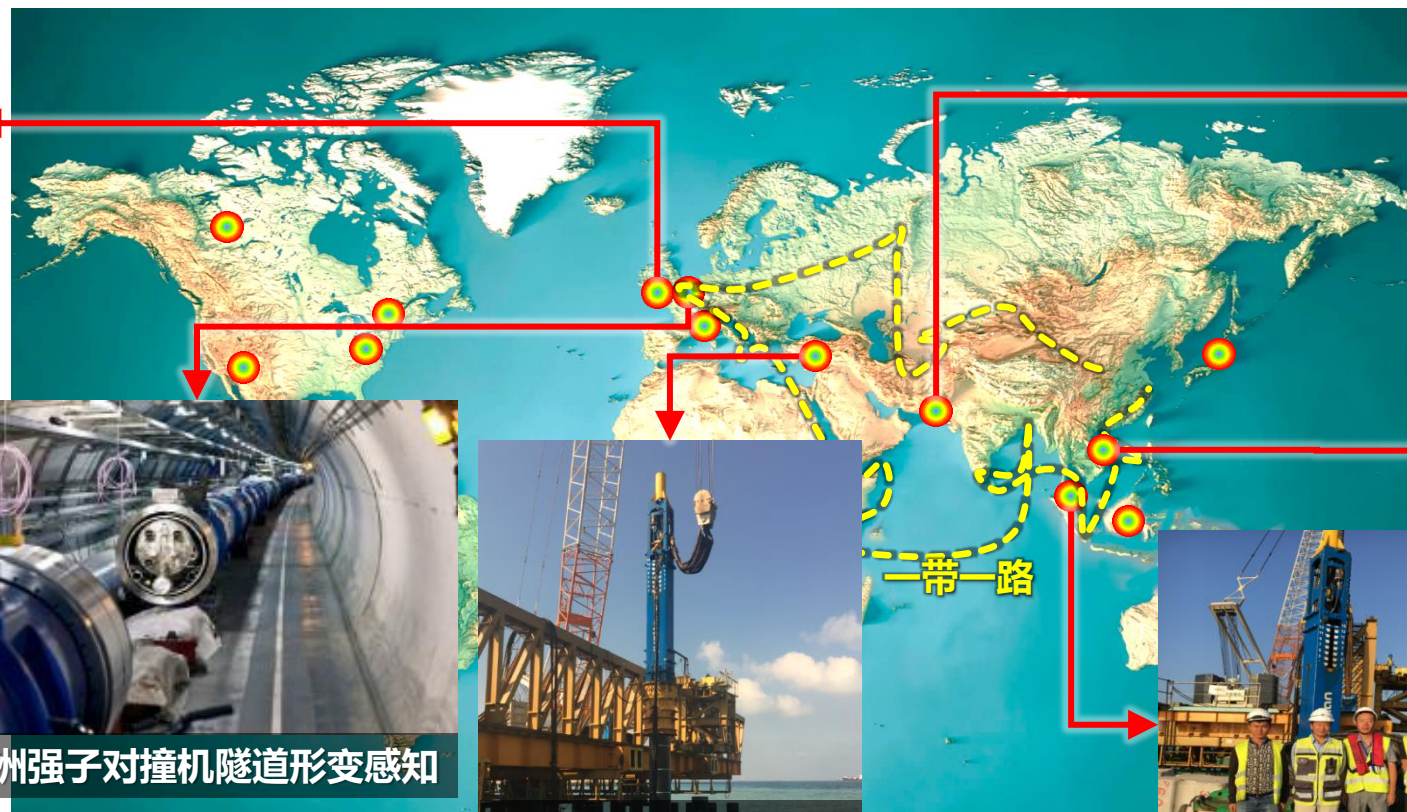


珠三角113公里资源配置工程光纤感知

京雄高铁、南水北调、青藏铁路、113公里珠三角引水隧洞、锦屏二级电站、拉哇水利工程...

工程应用与社会贡献-国外

➤ 成果在**国外100多个工程监测项目**中得到了成功推广和应用，如世界上最古老的**伦敦桥火车站损伤监测**，**欧洲强子对撞机隧道形变感知**等。



同行评价



M. B. Cardenas教授

美国德州大学奥斯汀分校教授、GRL主编

Fiber Optics Opens Window into Subsurface Deformation

The distributed deformation of buried materials is difficult to map, but a new approach is able to resolve vertical deformation over the length of a fiber optic cable.

SOURCE: *Geophysical Research Letters*

A schematic for fiber optic sensors deployment (left) and the mopped strain by the fiber optic cable (right). Credit: Zhang et al. (2018), Figures 1b and 3b.

By M. Bayani Cardenas © 18 December 2018

Land subsidence is a major problem in many areas. It usually occurs in deltaic regions, many of which are home to large human populations. Subsidence is typically due to compaction of specific fine-grained layers of geologic formations that are more elastic. However, pinpointing where underground compaction occurs is very challenging. Zhang et al. (2018) demonstrate that detailed vertical profiles of deformation can now be mapped using novel applications of fiber-optic sensing. They buried and installed a fiber-optic cable into boreholes and mapped the strain experienced by the cable. This allowed meter-scale mapping of where the hotspots for deformation are located. This opens many opportunities for applications in geomechanics and hydrology.

Citation: Zhang, C.-C., Shi, B., Gu, K., Liu, S.-P., Wu, J.-H., Zhang, S., et al. (2018). Vertically distributed sensing of deformation using fiber optic sensing. *Geophysical Research Letters*, 45. <https://doi.org/10.1029/2018GL080428>

—M. Bayani Cardenas, Editor, *Geophysical Research Letters*

Text © 2018. The authors. CC BY-NC-ND 3.0
Except where otherwise noted, images are subject to copyright. Any reuse without express permission from the copyright owner is prohibited.

在《地球与空间科学新闻》以“**光纤打开地下深部变形之窗**”为题亮点评述：“（施等成果）使一根传感光纤就可获取钻孔地层的应变分布，...打开了岩土力学与水文学中的许多应用机会。”



Kenichi Soga 教授

国际岩土工程权威
英国皇家工程院院士，剑桥大学

在专著和多篇论文中以较大篇幅介绍了施等在**三峡库区滑坡、长江三角洲地区地面沉降及地下工程灾害感测**等方面的**三项代表性成果**。

Advances in Geotechnical Sensors and Monitoring

Kenichi Soga, Amr Ewais, James Fern and Jinho Park

The DFOS technology can also be used to monitor landslides. Zhang et al. [121] show its usage for identifying sliding direction, shear zone width and the magnitude of shear displacement as shown in Fig. 18. They used this technology for monitoring the movement of Majiagou landslide in Three Gorges Reservoir region, China. The distributed strain measurements captured two sliding surfaces of this landslide: (i) at the contact between surface deposits and bedrock and (ii) the main sliding surface occurring within the bedrock. The monitoring results show that the landslide responded more to the fluctuation of the reservoir water level than to rainfall.

Original Manuscript

Brillouin scattering spectrum-based crack measurement using distributed fiber optic sensing

Ruonan Ou¹, Linqing Luo^{1,2} and Kenichi Soga¹

continuous monitoring of cracks with wide coverage. For instance, the Brillouin optic frequency domain analysis was used to monitor the opening and closing of segment joints in a shield tunnel.¹² The Rayleigh scattering-based optical backscatter reflectometer (OBR) was adopted to measure a narrow crack of 0.05 mm inside a reinforced concrete bar under eccentric tension,¹ whereas the pulse pre-pump Brillouin optic time domain analysis (PPP-BOTDA) was

JOURNAL OF STRUCTURAL INTEGRITY AND MAINTENANCE, 2018
VOL. 3, NO. 1, 1-21
<https://doi.org/10.1080/24705314.2018.1426138>



Distributed fiber optics sensors for civil engineering infrastructure sensing

Kenichi Soga and Linqing Luo
Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, USA

- Ground movements (Suo et al., 2016; Wu et al., 2015).
- Slope and landslides (Damiano et al., 2017; Hong, Yin, & Zhang, 2016; Janmonta et al., 2008; Sun et al., 2016; Xu & Yin, 2016).

Suo, W., Lu, Y., Shi, B., Zhu, H., Wei, G., & Jiang, H. (2016). Development and application of a fixed-point fiber-optic sensing cable for ground fissure monitoring. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 6(4), 715-724.

同行评价



J.R. Casas 教授
国际桥梁维护与安全协会创始人

(施等) 在岩土体
光纤感知方面的成
果具有“无可比拟
的潜力”、“印象
深刻的多用途性”

Review
A Review
Civil En
Antonio Bar
The results
strains at any de
As seen in
showcase its [m



John Selker 教授
Water Resource Research 前主编
AGU PUBLICATIONS



Marcus Hardie 博士
澳大利亚土壤科学学会塔斯马尼
亚分会主席

Emerging Proximal Soil
Use in Agriculture
[10] developed a down hole FBG soil moisture sensor with 1.25 cm
of 1 m for laboratory studies, and to a depth of 18 m for a field study, by
coated FBG optic fiber around a 5 cm diameter PVC tube (Figure 5). The
nature of AHFO data appears to be ideally suited to agricultural
knowledge of variations in soil moisture across fields, such as surface of
crops/vines/orchards. In addition, downhole AHFO probes appear to have
and measured soil volume than existing downhole (multiple) FDR probes.



Luca Schenato 博士

意大利国家研究委员会研究员

Review
A Review of Distributed Fibre Optic Sensors for
Geo-Hydrological Applications

Luca Schenato
the conventional existing technology, with the advantages of common optical sensors. Instead, DOFSs
enable new paradigms of measurement in geo-hydrological applications that cannot be replicated by
conventional instruments or FBGs. In this sense, we may say that it is a “transformative” technology
to those from conventional sensors installed in a few select positions along the artificial slope. Overall, the optical
system has been validated as an unprecedented tool for landslide monitoring and characterisation. Furthermore,
its effectiveness and sensitivity are promising for possible use as a reliable early warning and forecasting system.

在综述论文中用6个
版面详尽介绍了施团
队的成果，“新范
式”、“前所未有的
工具”、“变革性的”

Review
A Review
Geo-Hy
Luca Schenato
the convention
enable new par
conventional in
to those from con
system has been v
its effectiveness a

MONINI 教授
工程学会主席

IC REPORTS

Review
Sensors is still not completely clear. Recently, the results of proof-of-concept
tests could be successfully used for measuring strain in the soil since it seems
able cable with the soil. Of course, this coupling is largely dependent on
the measurement conditions represents a strong hindrance in obtaining
measurements. This has led some authors to test such sensors on large-scale, yet
in this respect, one of the advantages of fibre optic sensors is their negligible



Dona
美国劳伦

在JGR的论文中推介
了施等在地层-钻孔-
传感光缆变形耦合性
方面的理论成果

JGR Solid Earth
Seismicity and Stress Associated With a Fluid-Driven
Fracture: Estimating the Evolving Geometry
D. W. Vasco¹, J. Torquill Smith¹, and G. Michael Hoverson²
(Guglielmi, Elsworth, et al., 2015; Wynants-Morel et al., 2020). This implies that most of the deformation
associated with the opening of the fracture will be missed if one simply considers the associated micro-
seismicity. One option is to measure nearby quasistatic deformation directly using instruments in nearby
monitoring wells. Currently, such downhole instruments are rarely deployed, but they may become more
common with advancements in monitoring technology, such as developments in distributed strain sensing
(DSS) (Zhang et al., 2020), distributed acoustic sensing (DAS) cables (Daley et al., 2013), and broadband

率测试方法是“经济
的”，可将空间分辨率
“提高40倍”，误差只
有“1.5%”

Method
Hailong He^{1,2}, Miles F. Dyck¹, Robert Horton¹, Min Li¹, Huijun Jin¹,
Bincheng Si^{1,2}
Instead of improving the costly DTS technology, the spatial resolution
can be improved by coiling the FO cables around a tube (Cao et al., 2015a).
of the tube (m). For the case, $\phi=0.004$ m, $S=1$ m, $P=0.05$ m, and
 $M=0.025$ m, the spatial resolution has been increased 40 times. Coil
change and hence the integral compared to a drier soil. Therefore, T_w
can be calibrated to obtain the water contents ($\pm 1.5\%$ errors) (Cao et al.,
2015b).

得到的应变具有很好
的一致性，可以识别
不同开采阶段拉张区
域的形成和发展

Advances in fibre optic based geotechnical monitoring systems for
underground excavations
Hongkui Gong, Mehmet S. Koca, Zhongwei Chen, Miao Amanzadeh, Ben Yang, Saeed M. Aminossadati
acterized during the advancement of the working face. Recently, a
ment of roof and floor strata under simulated mining activities
for a two-seam coal mining physical model [41]. A light buffered
sensing fibre with polyurethane jacket was installed in the vertical
grooves in the model using gypsum concrete. The similarity test
results showed that the strain distribution measurements from
the sensing fibre was in good agreement with those obtained using
photogrammetry method. The formation and development of char-
acteristic tensile zone can be identified during different mining
stages.

汇报提纲

一 技术研发背景

二 何谓3Ds?

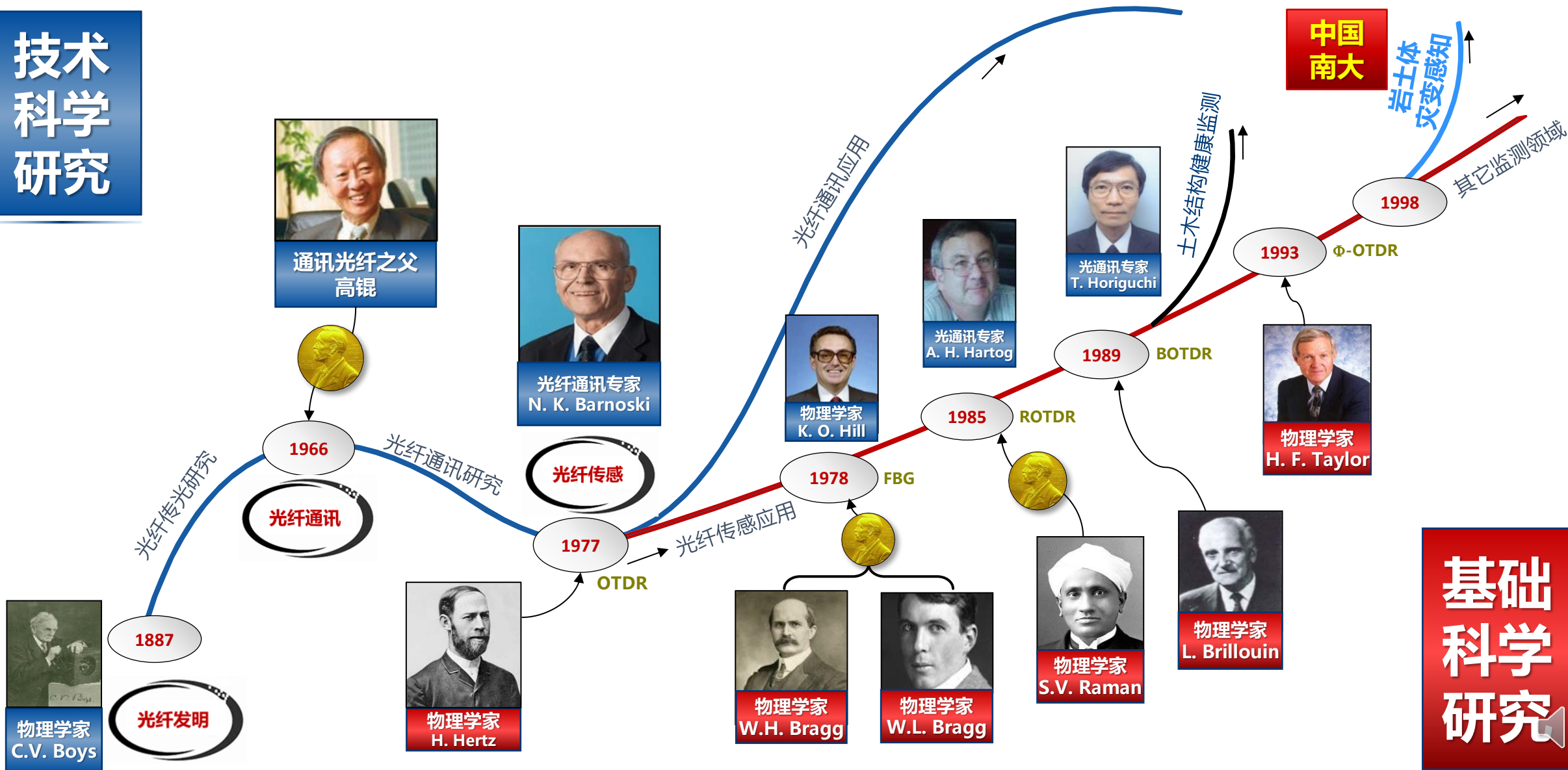
三 3Ds能做什么?

四 应用实例

五 展望

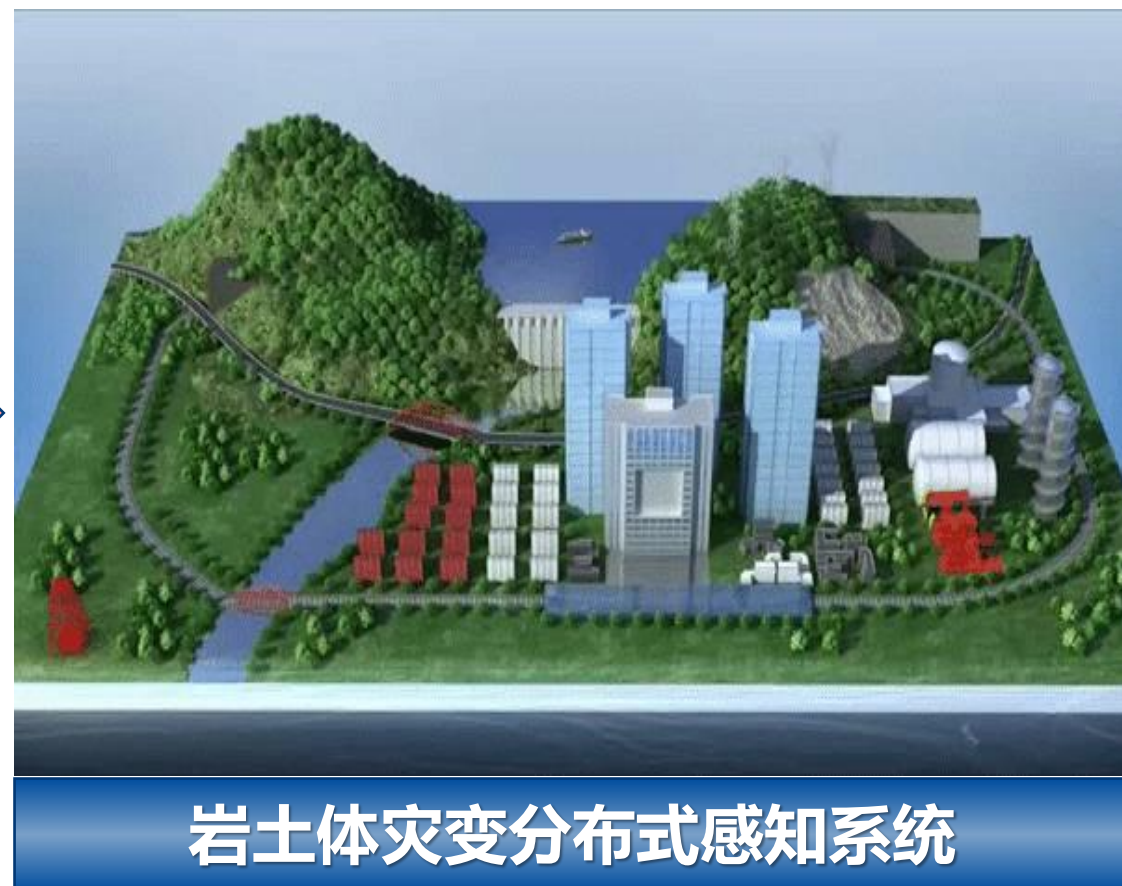
光纤传感技术发展图谱

技术
科学
研究

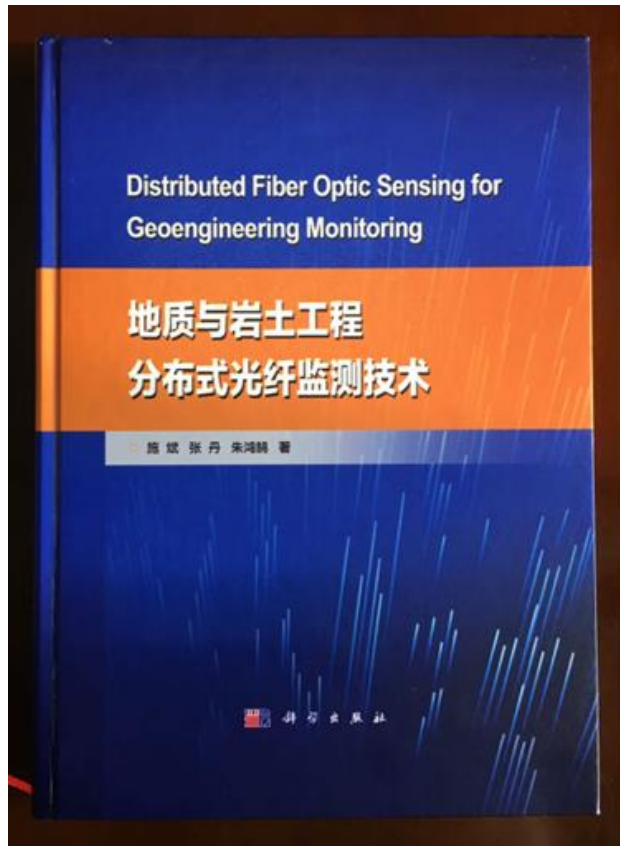


大地光纤感知理论与技术方兴未艾

- 通过功能性传感光缆等一系列研发，未来可望实现岩土体灾变的**全方位感知**
- 结合**大数据**和**AI技术**，在**感知大地**的同时实现**智慧控灾**，以满足**美丽中国**与**平安中国**建设的重大需求



相关知识和信息可参阅如下



微信号：nz_sensing

欢迎·关注

可搜索上方微信号关注，也可
长按下方图片识别二维码加入



介绍完毕
敬请提出宝贵意见!

