

附件 2

样例一：地质三维模型

1. 技术特点

地质三维模型具有可视化程度高、信息集成性强、空间分析能力优越等技术特点。

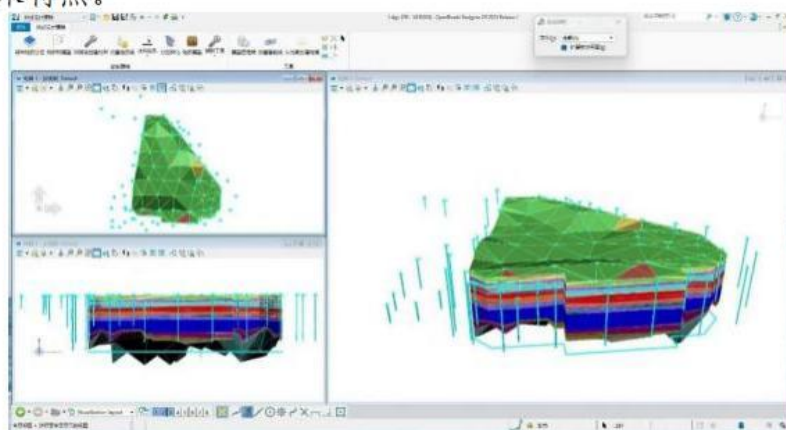


图 1 地质三维模型

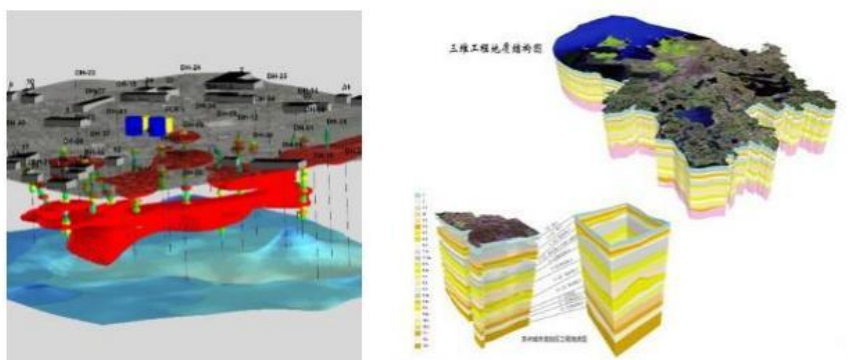


图 2 地质三维模型展示

2. 技术指标

- (1) 数据精度，包括空间分辨率和属性的精度。
- (2) 模型复杂度，包括几何复杂度和数据量的大小。

(3) 模型更新频率。

3. 成果案例

在举世瞩目的三峡水利枢纽工程建设进程中，由于三峡地区地质条件极为复杂、地层结构多变、断裂构造交错纵横，因此构建高精度三维地质模型成为保障工程安全稳定与科学施工的关键环节。

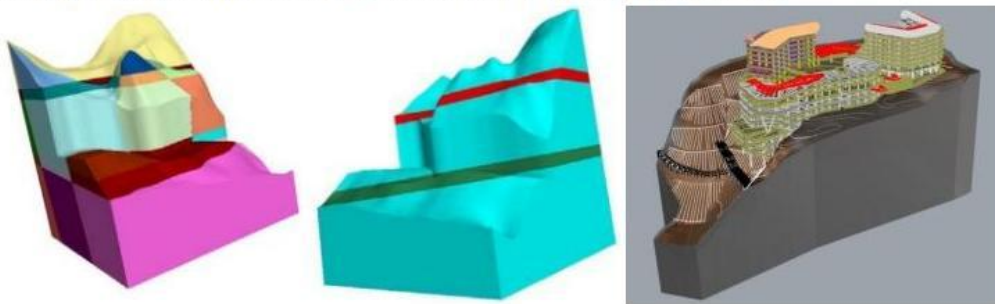


图 3 三峡水利枢纽工程地质三维模型

数据采集作为建模的首要步骤，采用了多种先进手段。利用航测技术，从高空获取大面积的地形地貌信息，为地质模型构建提供宏观框架；物探方法则发挥其独特优势，通过不同物理场的探测，深入揭示地下地质体的分布与特性。同时，结合大量的钻孔数据，对地层岩性、厚度等关键参数进行精确测定，确保数据的全面性与准确性。

在数据处理阶段，运用先进的算法与软件，对采集到的海量数据进行细致校正与分析。剔除异常数据，消除测量误差，将各类数据进行整合，使其在统一的坐标系下得以关联，为模型构建提供可靠的数据支持。

基于地质数据和地质规律，借助专业的三维地质建模软件，如 Gocad、3DMine 等，构建三维地质模型，构建地层、断层、节理等地质界面和地质体。通过不断调整参数，优化模型结构，使其能够真实反映三峡地区复杂的地质结构。

高精度三维地质模型在三峡水利枢纽工程中发挥了不可替代的作用。在工程设计方面，为大坝选址、坝型设计提供了详细的地质信息，依据

模型能够准确评估坝址区的工程地质条件，分析坝基稳定性、岩体质量及断裂构造等问题，有效降低工程风险。在施工过程中，通过将设计模型与施工平台对接，实时监测施工进度与地质条件变化，及时发现潜在问题并调整施工方案。

4. 未来发展方向

（1）与地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）等技术集成，实现地质信息与地理空间信息、工程建筑信息的无缝对接。在城市建设中，形成从地质勘察、工程设计到施工管理的全生命周期信息管理平台。



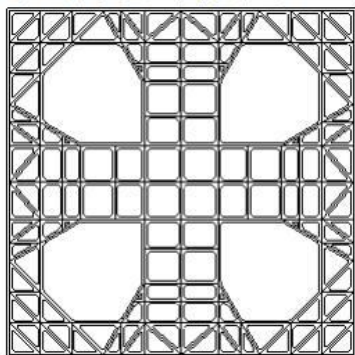
图 4 *****

（2）虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术应用。VR 技术可以让用户沉浸式地体验三维地质模型，仿佛置身于地下地质环境中。AR 技术可以将三维地质模型与实际的野外地质调查相结合，提升野外地质工作效率与准确性。

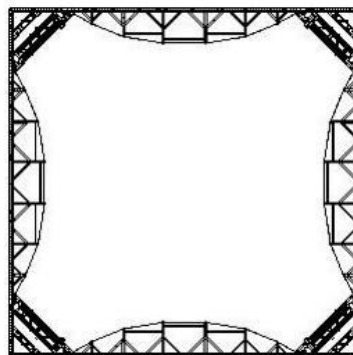
样例二：预应力鱼腹式基坑钢支撑技术

1. 技术特点

预应力鱼腹式基坑钢支撑技术是基于预应力原理，通过大量的工程研究和实践应用开发出的一种深基坑支护内支撑结构体系，它由鱼腹梁（高强低松弛的钢绞线作为上弦构件）、对撑、角撑、立柱、横梁、联系杆、高强接点、预应力加载装置等标准部件组成，形成平面预应力支撑系统与立体支护结构体系。



传统内支撑布置示意图



预应力鱼腹式钢支撑布置示意图

图 1 预应力鱼腹式钢支撑与传统支撑平面布置对比

安全性方面，预应力鱼腹式钢支撑通过在基坑开挖之前施加足够的预应力，消除了支撑的大部分压缩变形量，从而减少基坑的变形量。在基坑开挖过程中，可通过加载装置调节预应力等措施，确保支护结构的安全和控制周边土体的变形，有效地保护基坑周边的建（构）筑物、市政道路和管线等环境的安全。可采用多功能监测警报系统对基坑侧壁水土压力和围护结构变形的有效监控，保证基坑支护结构安全可控。

环境效益方面，高刚度和高稳定性的结构体系能有效地提高基坑的安全度，大幅降低地下空间开发建设对周边建（构）筑物、市政道路管线等环境的影响。构件材料全部回收重复循环使用，符合国家节能减排的产业政策，系绿色施工技术。

经济效益方面，可提供更开阔的施工空间，使挖土、运土及地下结构施工便捷，大幅节约围护结构安拆、土方开挖及主体结构施工的工期和造价。与传统支撑相比，本工法降低造价 20%以上，支撑安拆、挖土及地下结构施工工期缩短 40%以上。

2. 技术指标

鱼腹梁结构共有 FS 型、FA 型、SS 型三种，使用的 H 型钢规格有 H400、H428 和 H500 三种，主要技术指标见下表：

表 1 鱼腹梁结构主要技术指标

鱼腹梁结构类型	鱼腹梁端部钢绞线与腰梁的夹角 α (°)	支护跨度 (m)
FS 型	23	8~18
FA 型	23	19~23
SS 型	30~38	24~64

3. 工程案例

工程名称：百万庄项目（北京，近接地铁工程）

基坑尺寸：190m × 80m

基坑深度：约 25m

支护结构： $\phi 1000@1600$ 支护桩+预应力鱼腹式钢支撑



图 2 百万庄项目基坑工程全景图

工程名称：美景工业苑基坑工程（深圳，临近地下油库和高层建筑）

基坑尺寸：120m × 90 × 65m（不规则平面+大阳角）

基坑深度：约 15m~20m

支护结构：φ 1200@1400 支护桩+预应力鱼腹式钢支撑



图 3 美景工业苑基坑工程全景图

4. 未来发展方向

该技术可考虑在以下几方面做进一步发展：更大跨度的预应力鱼腹梁钢支撑；开发液压伺服式预应力鱼腹梁结构，实现支撑结构刚度自适应调整；发展钢板桩、装配式钢筋混凝土板桩等竖向围护结构与鱼腹梁结构相结合的支护形式。

样例三：城市致塌地下病害体综合探测与风险防控技术

1. 技术特点

随着城市化进程发展，城市地面塌陷事件频发，严重危及城市安全。为有效防范塌陷风险，北勘院构建了以探地雷达技术为主其他物探方法为辅综合探测与风险评价体系与监控系统（图 1），形成地下病害的探测-检测-风险评估-修复治理-监测预警-信息化管理全过程产品体系，发布了《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》(JJT 437-2018)，推进了行业技术发展。

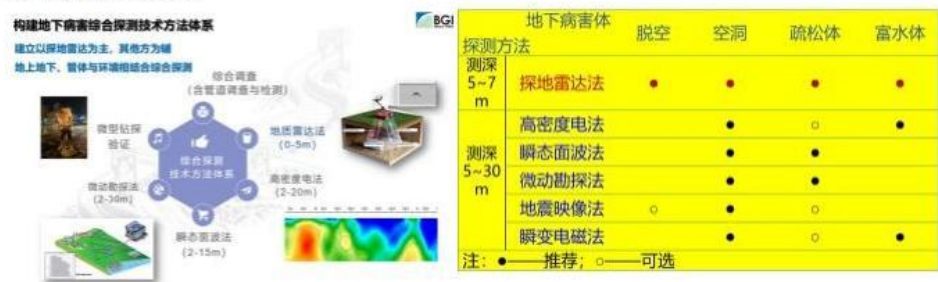


图 1 城市致塌地下病害体综合探测技术方法及适用性

建标立制，完善质控体系，规范行业行为，推进技术产业发展

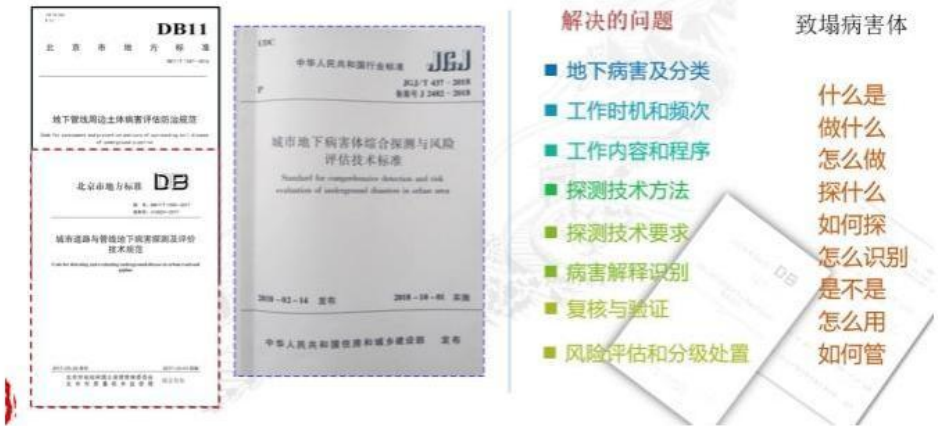


图 2 城市地下病害体综合探测与风险评估相关技术标准及解决问题

近年来以三维探地雷达为代表的装备与技术发展，融合与重构多频道雷达信息，立体展示了地下异常体，快速识别地下管线等规则性构筑物，降低了多解性起到重要指导作用。

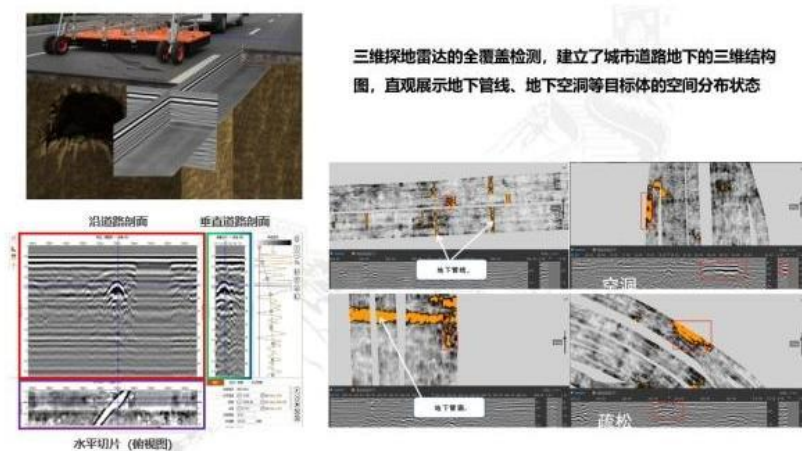


图 3 城市道路地下三维结构图

2. 技术指标

二维探地雷达：探测速度 15~30km、探测深度 3~7m、探测分辨率：一般水平 1.0~1.5 m；垂向：0.3~1.2m。

三维探地雷达：探测速度：40~60km、探测深度：2~4m；探测分辨率，一般水平 1.0~1.5 m；垂向：0.3~1.2m。

3. 工程案例

深圳市某条道路，相似位置发现多期次的地下空洞等隐患，图 4 和图 5 分别是两个时间段监测结果及相应探地雷达图谱。

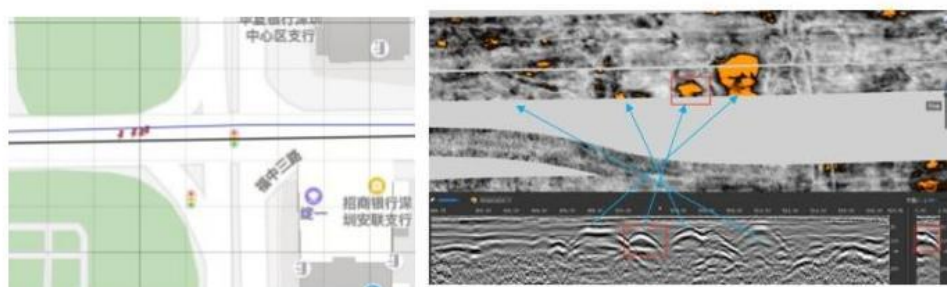


图 4 深圳某路 2022 年 1 月 15 日检测的隐患点分布图及探地雷达图谱
(从左至右隐患 7-4-6-4) (红色图钉表示空洞，黄色表示脱空，绿色表示疏松)

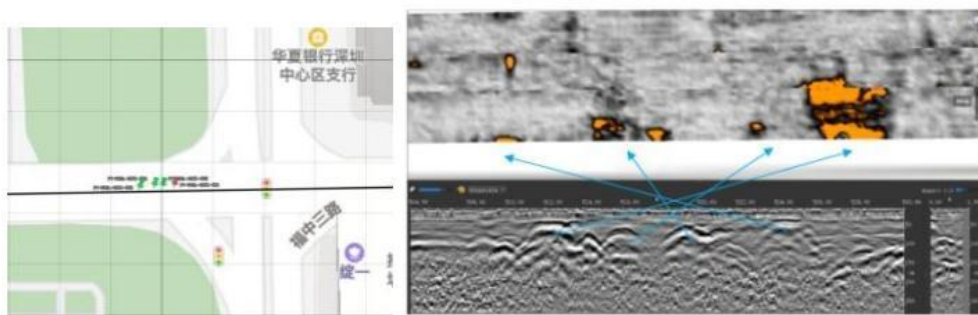


图 5 深圳某路 2022 年 11 月 15 日检测的隐患点分布图及探地雷达图谱
(从左至右隐患 6-4-4-1) (红色图钉表示空洞, 黄色表示脱空, 绿色表示疏松)



图 6 深圳某路历史地下病害检测情况

图 5 为历史道路地下病害检测情况, 图 7 微动技术对道路深部进行探测, 表明局部深度 3.0-5.0m 范围存在低速异常区 (波速 140-200m/s), 推测其为深部地下排水管线渗漏及周边土体病害作用所致。

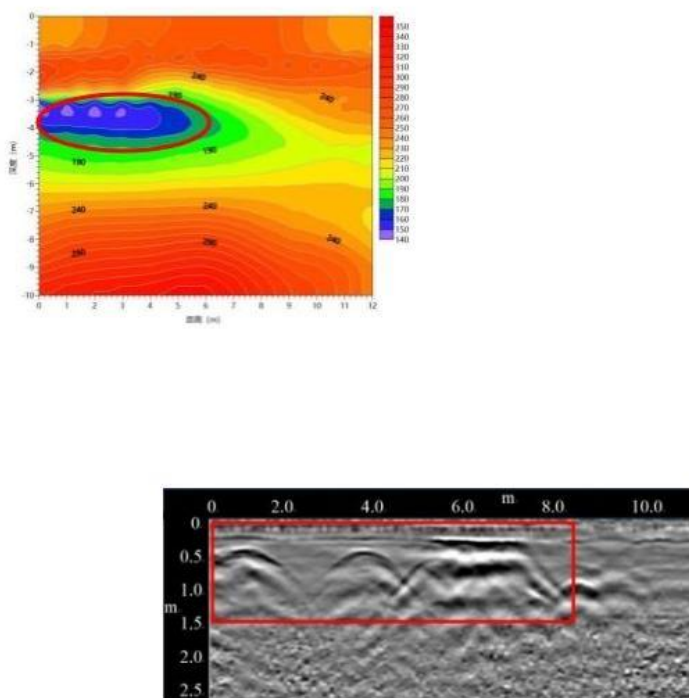


图 7 微动勘探剖面成果图（左）与 200Mhz 雷达剖面成果图（右）

案例表明道路地下病害体是多种因素叠加作用所致，引发不同深度深度层次病害类型，检测中应根据病害致塌因素及地下环境，确定综合探测方法有效组合，实现地下病害体的综合探测目标。

4. 未来发展方向

1) 研发探测能力更强的探地雷达及弹性波快速移动探测技术与装备，提高探测深度较浅、方法单一等技术难题；

2) 开展人工智能技术与探地雷达等各类物探技术的融合，研发快速处理与识别算法，解决成果解释效率与多解性难题；

3) 研制与城市地面塌陷防治相配套的微型治理技术与装备，将探测的病害体，实现验证与治理相结合、环境友好的致塌地下病害体防治技术；

4) 开发适应城市级地面塌陷风险监控装备与技术，开展针对性的探

测与治理，实现城市全域的分级防控管理体系与治理技术。

样例四：密闭空间无人机测量技术

1. 成果特点

1) 高度自动化和智能化。搭载功能摄像机、激光雷达、传感器等，自动收集温度、湿度、有害气体（CH₄、H₂S、O₂、CO）浓度等环境数据，通过内置的算法实时分析，完成人难以进入的复杂环境中的测量任务。

2) 高安全性。替代人工进入危险或有害环境，有效降低了作业人员的安全风险。良好的抗风、抗冲击性能，能够在各种恶劣环境下稳定飞行。

3) 灵活性。快速更换传感器和设备以适应不同的测量任务。飞行高度和速度的可调节性，在不同空间尺寸和复杂程度的环境中灵活作业，不受地面限制。



图 1 密闭空间无人机测量实物图

管道锁：向前移动时，将无人机置于管子中间。适用于任何角度的管道，确保无人机始终保持居中。

速度锁：使用最佳的视觉和惯性传感器组合，防止无人机在激活后

漂移。使用水面模式时，向下的光流传感器会自动停用，以防止无人机跟随水流。

墙锁：以固定的距离和角度锁定在墙上，以便水平和垂直扫描。

避障：使用红外传感器来避免碰撞，与检测到的障碍物保持最小距离，在障碍物较大的低尘埃环境中使用。

高度锁：锁定到地板、屋顶或两者的高度或距离，保持相同的高度。

2. 技术指标

表 1 飞行装置技术规格参数

配置	共轴双轴反浆	电池续航	长达 20min		
马达	2x 无刷电机（定制瑞士 Maxon 电机）	尺寸	长 425mm*高 305mm*宽 406mm		
最大速度	辅助功能：1m/s; 手动：5m/s	抗风性能	3 m/s	认证	CE/FCC
搭载传感器	云台	无人机			
	1xRGB4K 相机(静态 4056x3040px,30cm 处 0.2mm) 1x 红外相机 1x3D 激光雷达	2 x IMU 1 x 磁力计 1 x 气压计	6 x 距离传感器 4 x 光学流量传感器 4 x 气体检测传感器		
温度范围	0°C-40°C	防护等级	防尘防水等级 IP42*		
重量	1.150kg	LEDs 亮度	高达 40,000 流明		
控制算法	稳定飞行(6 自由度)、高度锁、墙锁、管道锁、鲤鱼打挺、10s 原路返回和自动着陆。	侧斜系统	电磁测斜系统（无旋转斜盘，无伺服电机）		

3. 工程案例

仓储物流：自动化仓库中，无人机用于快速拣选、搬运货物，提高物流效率。

工业制造：在工厂内执行巡检任务，监测生产线状态，及时发现并

处理故障。

医疗救援：在手术室等敏感区域，无人机可用于运送医疗物资，减少人员接触风险。

4. 未来发展方向

无人机技术应用于室内密闭空间需高度灵活、精准、安全，拓展模块满足多样需求，如搬运、巡检、环境监测。技术广用于仓储、工业、医疗，前景广阔但面临复杂环境适应等挑战。