

个人简介



夏思茹，2021年毕业于中国地质大学（北京）地球探测与信息技术专业，硕士研究生
2021年入职沈阳市勘察测绘研究院有限公司，主要从事工程物探及地质灾害方面工作

发表论文：

夏思茹，郭良辉，李永华等.青藏高原东北缘的地壳上地幔高分辨率体波成像.2020年中国地球科学联合学术年会论文集.

夏思茹，石磊，李永华等.青藏高原东北缘地壳及上地幔顶部速度结构研究.地球物理学报，2021.

石磊，李永华，夏思茹.体波走时与重力联合反演青藏高原东北缘地壳结构.2021年中国地球科学联合学术年会论文集.

夏思茹，张恒兵，刘升传等.探地雷达在沈阳某区市政道路病害检测中的应用.勘察科学技术，2023.

夏思茹，武义强，张恒兵等.基于多种数值分析模型的基坑沉降预测对比研究.城市勘测（已接收）.

完成项目：

1.自然资源部部署项目《沈阳市地面沉降风险评估与区划》，第一完成人。

2.院内科研项目《基于地质地理信息的数字化模型构建研究》，项目负责人。

3.大东区、于洪区、皇姑区、铁西区等城市道路地下病害体检测项目，项目骨干。

4.院内科研项目《联合多种物探方法研究沈阳地区地下非金属管线和异常介质》，项目骨干。

探地雷达技术在城市地下病害体探测中的应用

夏思茹

2025年4月11日

C 目录

CONTENTS

01 应用背景

02 技术方法

03 工程实例

04 展望未来



沈阳市勘察测绘研究院有限公司

Shenyang Geotechnical Investigation & Surveying Research Institute Co., Ltd.

Part 01 应用背景



一直在进行探测的城市

- 北京
- 上海
- 深圳
-

近几年进行大规模探测的城市

- 沈阳 郑州
- 杭州 西宁
- 成都 西安

.....

地下病害体种类：脱空、**空洞**、富水体、疏松体

地下病害体

工程特征

脱空

位于地面硬壳层与地基土之间，埋置深度浅

空洞

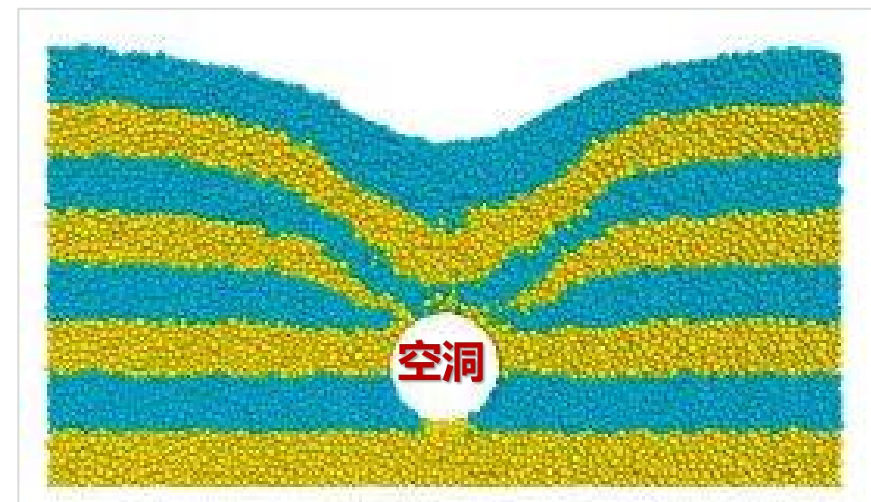
位于路基中，规模大小不一，其上下界面一般均不平整，对上部土体或结构具有失稳风险

1 相对周边土体，具有**结构不均匀、松散、密实度低、强度低、高压缩性**等特点；2 强度随疏松体的松散程度增大而降低；3 疏松体范围逐渐扩大到一定程度，其自身承载力降低，**内部土体发生坍塌，疏松体上部发展为空洞，在路基与基层之间、基层和面层之间会出现脱空**

疏松体

富水体

1 相对周边土体均匀性较差、含水量高异常、呈流塑状态、灵敏度较高；强度很低、孔隙比较大、压缩性高等特点；2 **富水体区域因局部水力作用**，土体结构弱化，强度降低，工程性质变差，危及周边工程安全，**其上部发展为空洞**



源：《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》(JGJ/T 437-2018)



住房和城乡建设部关于支持开展 2020年城市体检工作的函

天津、上海、重庆、广州、武汉、哈尔滨、沈阳、成都、南京、西安、长春、济南、杭州、大连、厦门、石家庄、太原、呼和浩特、合肥、福州、郑州、长沙、南宁、海口、昆明、贵阳、兰州、银川、西宁、乌鲁木齐、洛阳、衢州、赣州、景德镇、黄石、济宁市人民政府:

为贯彻落实习近平总书记关于建立“城市体检”评估机制的重要指示精神，推动建设没有“城市病”的城市，促进城市人居环境高质量发展，由清华大学中国城市研究院、中国科学院地理科学与资源研究所、中国城市规划设计研究院、中国城市规划设计协会等单位组成的第三方城市体检工作团队制定了《2020年城市体检工作方案》（以下简称《工作方案》），对部分城市开展城市体检工作，你市被选定为2020年城市体检样本城市，请予支持做好有关工作。

一、请组织有关部门做好工作对接，加强数据衔接，及时协调解决体检过程中的相关问题。

二、各样本城市可按照《工作方案》，结合前期防疫补短板扩内需调研工作，组织开展城市自体检，增加符合本市自身特色的指标，有针对性地查找城市发展和城市规划建设管理存在的问题，加强城市体检工作技术支持，建立城市体检信息平台。住房和城乡建设部



住房和城乡建设部印发《关于加强城市地下市政基础设施建设的指导意见》

经国务院同意，日前住房和城乡建设部印发《关于加强城市地下市政基础设施建设的指导意见》（以下简称《意见》），要求按照党中央、国务院决策部署，坚持以人民为中心，坚持新发展理念，落实高质量发展要求，统筹发展和安全，加强城市地下市政基础设施系统化建设，加快完善管理制度规范，补齐规划建设和安全管理短板，推动城市治理体系和治理能力现代化，提高城市安全水平和综合承载能力，满足人民群众日益增长的美好生活需要。

《意见》强调，要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中全会精神，进一步加强城市地下市政基础设施建设。到2023年年底，基本完成设施普查，摸清底数，掌握存在的隐患风险点并限期消除。地级及以上城市建立和完善综合管理信息平台，到2025年年底，基本实现综合管理信息平台全覆盖。城市地下市政基础设施建设协调机制更加健全，城市地下市政基础设施建设效率明显提高，安全隐患及事故明显减少，城市安全韧性显著增强。

2020年，住房和城乡建设部《关于加强城市地下市政基础设施建设的指导意见》，指出：“**定期开展检查、巡查、检测、维护**，对发现的**安全隐患及时进行处理**，防止设施带病运行。”



2021年，《辽宁省加强城市地下市政基础设施建设的实施意见》，要求**2023年底前，基本完成全省市政基础设施普查，梳理、核实已有数据，摸清底数。**

2020年，住房和城乡建设部《关于支持开展2020年城市体检工作的函》：为贯彻落实习近平总书记关于建立，“**城市体检**”评估机制的重要指示精神，制定了《2020年城市体检工作方案》。

沈阳市城市精细化管理工作领导小组办公室

关于印发《沈阳市城市道路塌陷隐患排查工作导则》的通知

各区、县（市）人民政府，市城乡建设局、市政公用局、水务局、房产局，市燃气集团、水务集团、城投集团、地铁集团及相关单位：

为了建立长效的城市道路塌陷隐患排查机制，将道路塌陷风险防控纳入城市信息化管理，更好地保障公众生命财产安全。依据相关法律、法规规定，制定了《沈阳市城市道路塌陷隐患排查工作导则》，现印发给你们，请做好落实。

2022年，《沈阳市城市道路塌陷隐患排查工作导则》，要求按照道路隐患“四早”，**早发现、早预防、早介入、早处置**，对路面下的**空洞、脱空、疏松**等易引起道路塌陷的病害体进行隐患排查。



2023年，沈阳市城乡建设局、沈阳市城市管理综合行政执法局印发《沈阳市城市道路改造和维护工作导则》。指出：城镇道路检查应分为日常巡查、定期检测和特殊检测及地下病害体检测。

盘锦市住房和城乡建设局

政府信息公开



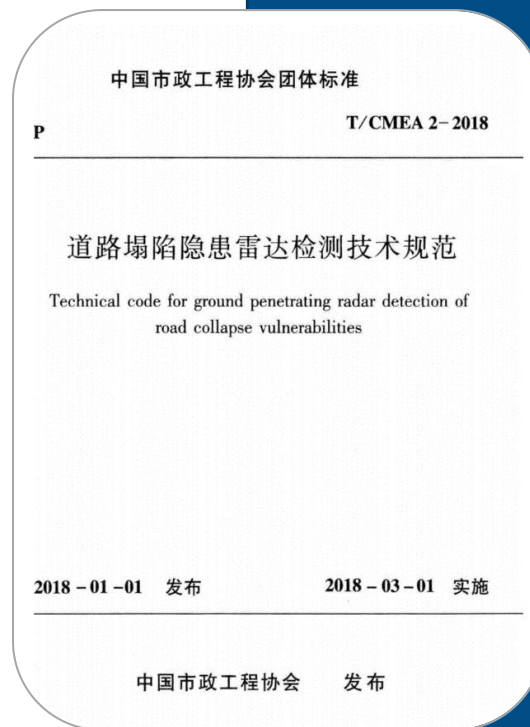
2023年，盘锦市住房和城乡建设局印发《关于进一步加强城市道路、桥梁、路灯、综合管廊、排水等市政基础设施维护安全管理工作的通知》，提出**推进城市更新改造，开展防范城市道路塌陷整治**。

《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》 (JGJ/T437-2018)

《道路塌陷隐患雷达检测技术规范》 (T/CMEA2-2018)

《道路三维探地雷达探测技术规程》 (T/CAS516-2021)

探地雷达法、高密度电阻率法、微动勘探法、地震映像法、瞬变电磁波法。



非破坏性



高分辨率



高效快速



精准识别



数据可视化



探地雷达



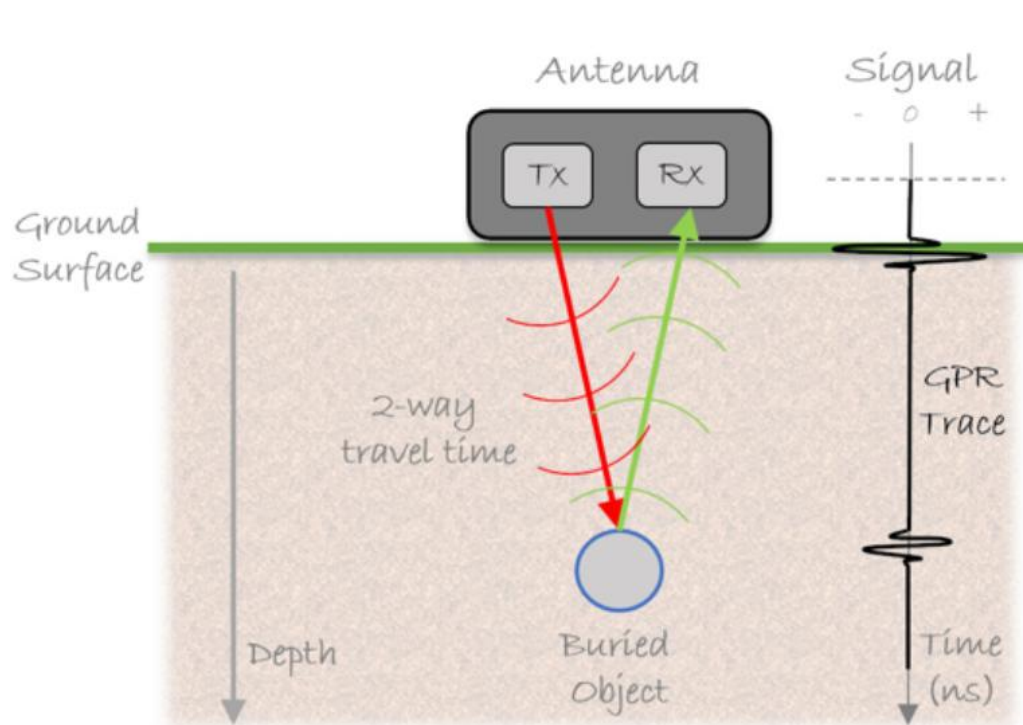
《沈阳市城市道路改造和维护工作导则》：

- **城市快速路、主次干路应定期进行地下病害体检测，检测频率为每2年~3年一次；**
- **城市地面发生严重变形或塌陷事故、地下管线发生变形或破损时，应立即开展；**
- **城市重大社会活动涉及的道路、广场、地下管线周边等区域，宜在活动举办前开展；**
- **对于年代久远的地下基础设施，宜定期开展；**
- **当存在地下工程施工时，宜分别在施工前、竣工后开展；**
- **在汛期前后，宜对排水管涵周边、河道周边开展地下病害体探测与风险评估工作；**
- **其它存在地下病害体潜在安全风险的区域，宜择机开展。**



Part 02 技术方法

探地雷达是以宽频带短脉冲的形式向介质内发射**高频电磁波**，当其遇到不均匀体会反射部分电磁波，通过对雷达主机所接收的反射与折射信号进行处理和图像解译，可以得到病害体的位置形状和性质等信息。反射系数R由介质的介电常数决定，当电磁波从介电常数为 ϵ_1 的介质经过介电常数为 ϵ_2 的介质时，介电常数差值越大，振幅越大。



材料	介电常数
空气	1
水	80
面层	4
基层	9
路基层	12
PVC管	3
金属管	∞

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

R为反射系数
 ϵ_1 为出发介质的介电常数
 ϵ_2 为射入介质的介电常数

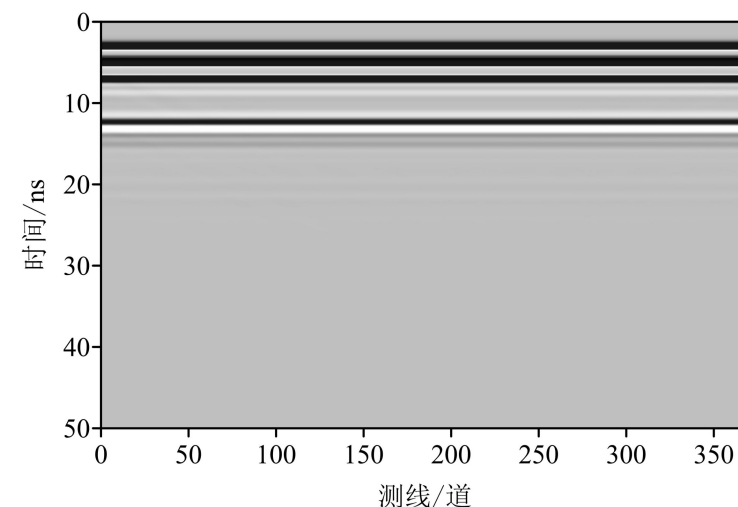
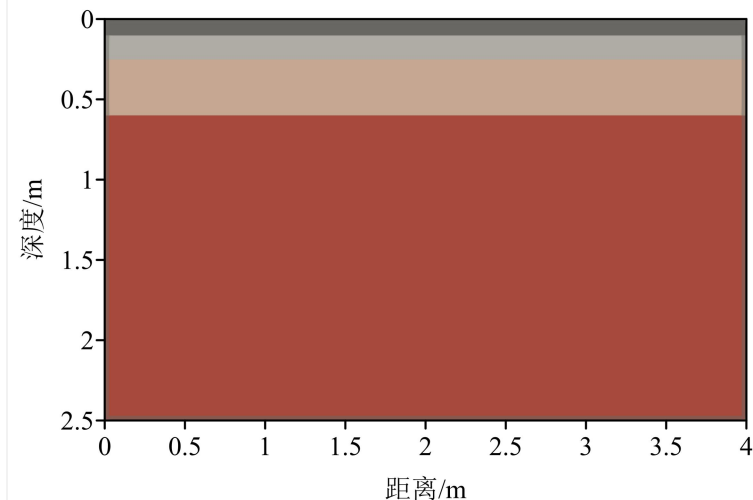
面层
基层
路基层

GprMax，该软件是基于**时域有限差分法（FDTD）**和**边界吸收条件（PML）**，将麦克斯韦方程式转化为Yee型网络中的微分方程，在时间上迭代求解。

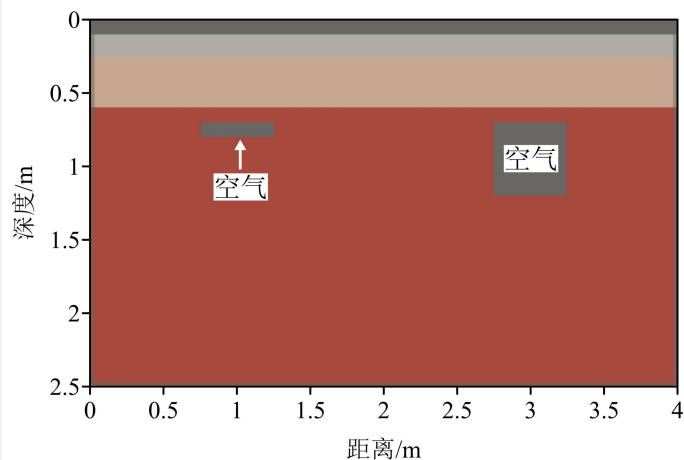
由于雷达检测过程中会与道路存在间隙，建立四层均匀的道路结构模型。

- **第一层为空气层，厚度为0.1m；**
- **第二层为沥青构成的面层，厚度为0.15m；**
- **第三层为混凝土构成的基层，厚度为0.35m；**
- **第四层为黏土和砂砾构成的路基层，厚度为1.9m。**

在GprMax中对道路结构模型进行正演。正演的中心频率设为400MHz，时窗为50ns，激励源为Ricker子波，天线步距0.01m，测线道数为370道，正演模拟空间为4m×2.5m，网格间距为0.0025m×0.0025m。



不同尺寸空洞

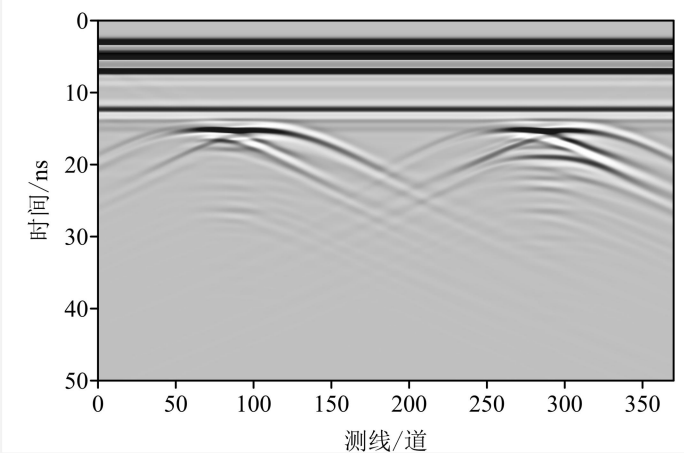


模型结构

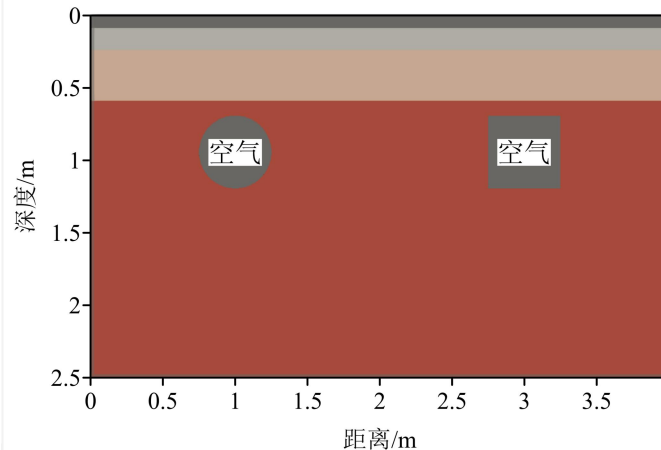
0.5m×0.2m的方形;
0.5m×0.5m的方形;
顶界面距地表0.6m。

正演模拟

顶部反射波似平板状,左右两侧均存在绕射波,波形相位相同,雷达图谱呈现“白黑白”的特征。尺寸越大,多次波越明显。



不同形状空洞

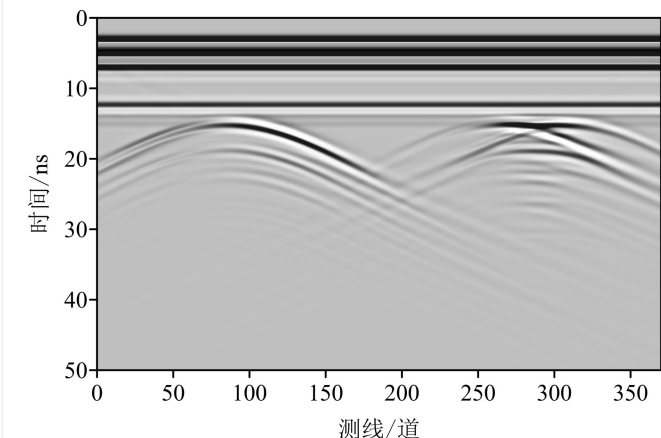


模型结构

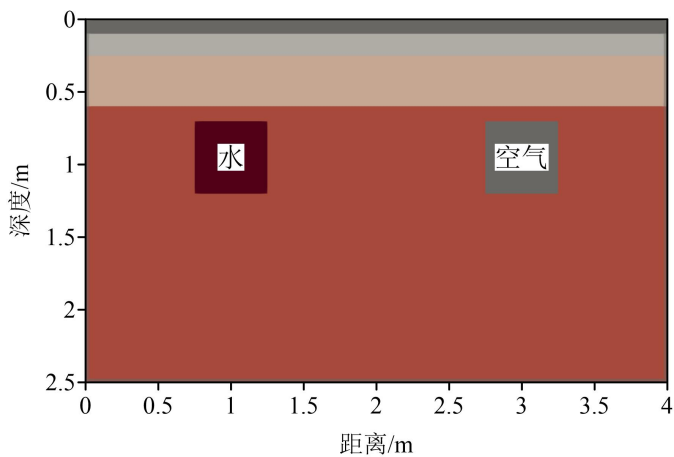
直径为0.5m的圆形;
0.5m×0.5m的方形;
顶界面距地表0.6m。

正演模拟

圆形: 反射波为双曲线形态,左右两侧绕射波不明显,图谱形态与方形空洞存在明显差异。



不同介质空洞

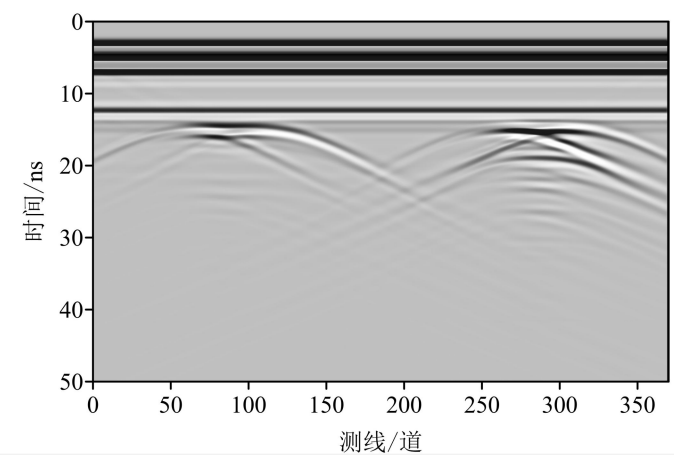


模型结构

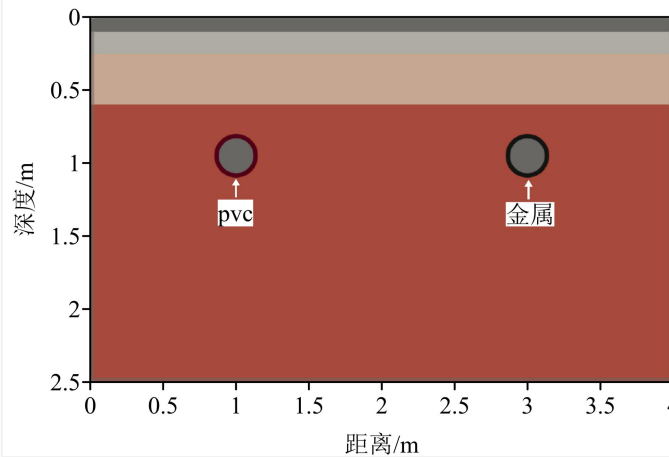
0.5m×0.5m的方形；
介质为水和空气；
顶界面距地表0.6m。

正演模拟

顶部反射波似平板状，
左右两侧均存在绕射波，
当电磁波从路基层
穿透到水中时，波
形相位相反，雷达图
谱呈现“黑白黑”的
特征。



不同材质管线

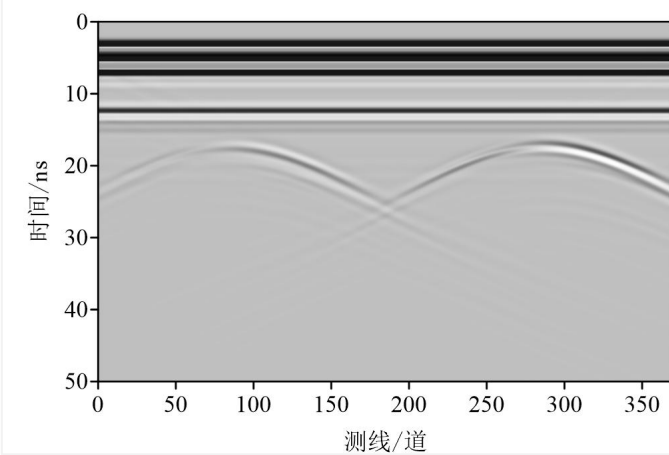


模型结构

直径为0.3m的圆形；
材质为PVC何金属；
顶界面距地表0.7m。

正演模拟

反射波呈现双曲线形
态，介电常数方面，
PVC材质<路基<金属，
PVC材质呈现“白黑
白”的特征；金属材
质呈现“黑白黑”的
特征。



二维

- 二维探地雷达仪器是SIR-4000，天线中心频率为400MHz，采样点数512，采样时窗100ns



三维

- 三维探地雷达仪器是Stream-X，它是一种车载式、单极化天线的三维探测雷达，通道数15，通道间距12cm，扫描宽度1.8m，天线中心频率为200MHz
- 单次覆盖范围大，采集效率高



三维探地雷达初测

圈定疑似目标异常体

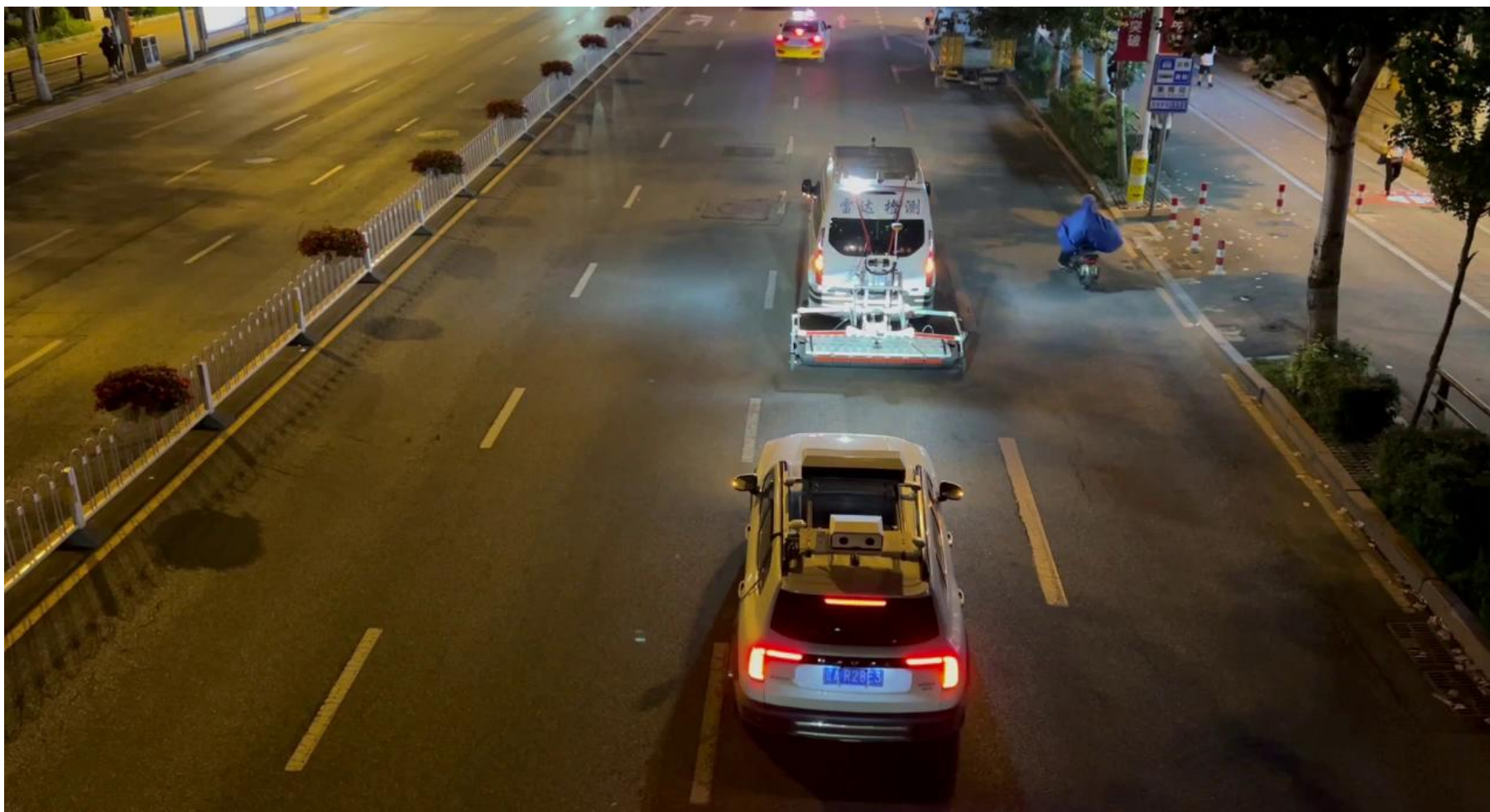
二维探地雷达复测

排除虚假异常体

电钻钻孔，内窥镜观测

确定异常体属性

分析原因



基于探测流程和相关行业标准，对探测到的地下病害体进行归纳总结，编制成果报告，报告包含项目概况、检测目的、检测方法、数据处理验证、结论建议、地下病害体信息卡、病害体风险评价信息表等内容。

风险等级	说明	控制对策
I	风险很低	1 定期巡视，巡视频率不低于1次/3月， 2 定期探测，探测频率不低于1次/6月；
II	风险较低	1 定期巡视，巡视频率不低于1次/月， 2 定期探测，探测频率不少于1次/3个月；
III	风险一般	1 建议工程处理，处理前进行定期巡视和探测； 2 巡视频率低1次/15天， 3 定期探测，频率不低于1次/月；
IV	风险较高	1 限制使用，工程处理，处理前进行定期巡视和探测； 2 巡视频率不低于1次/3天， 3 探测频率不低于于1次/7天；
V	风险极高	禁止使用，工程处理；

附表1 地下病害体信息卡

地下病害体信息卡		
道路名称	正新路	病害编号
病害属性	空洞	风险等级
平面尺寸	1.0m*1.2m (面积 1.2 m ²)	X
影响深度	0.3m~0.5m (净空 0.2m)	Y
病害位置描述	正新路与望花北路交叉口东 64 米处	
备注图像	现场照片	
电子地图		
前期分析及处置建议	经复核验证，为道路水稳层下方主体不受影响，建议对该病害停止使用，并交相关区域进行工程处理。	

◆信息卡

附表2 病害体风险评价计算表

风险发生可能性等级					
病害编号	一级指标	二级指标	权重 (W ₁)	权重 (W ₂)	取值
01	基本因子 P1	范围 P11	1.00	0.40	90-105
		施工干扰 P12	0.25	60-80	
		周边环境 P2	0.20	30-50	
		环境因子 P3	0.40	70-105	
	周边环境 P3	地表水作用 P31	0.15	40-70	
		地下水作用 P32	0.15	40-70	
		周边构筑物 P33	0.15	60-105	
		周边管线 P34	0.15	30-60	
	周边环境 P4	周边环境 P41	0.15	30-60	
		周边环境 P42	0.15	30-60	
周边环境 P5	周边环境 P51	0.10	30-60		
	周边环境 P52	0.10	30-60		
总分					72.4

◆评价信息表

附表3 病害体风险评价计算表

风险后果等级					
病害编号	一级指标	二级指标	权重 (W ₁)	权重 (W ₂)	取值
01	病害范围 C1	范围 C11	0.30	90-105	
		范围 C12	0.25	60-80	
		范围 C13	0.20	30-50	
		范围 C14	0.25	30-60	
社会影响 C4	社会影响 C41	0.15	30-60		
	社会影响 C42	0.15	30-60		
	社会影响 C43	0.15	30-60		
	社会影响 C44	0.15	30-60		
人员影响 C5	人员影响 C51	0.10	30-60		
	人员影响 C52	0.10	30-60		
总分					65.43

◆评价信息表

源：《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》(JGJ/T437-2018)



沈阳市勘察测绘研究院有限公司

Shenyang Geotechnical Investigation & Surveying Research Institute Co., Ltd.

Part 03 **工程实例**

定期检测

大东区、于洪区、皇姑区、铁西区的道路病害体年度探测任务，累计探测车道长度达**3300**余公里。

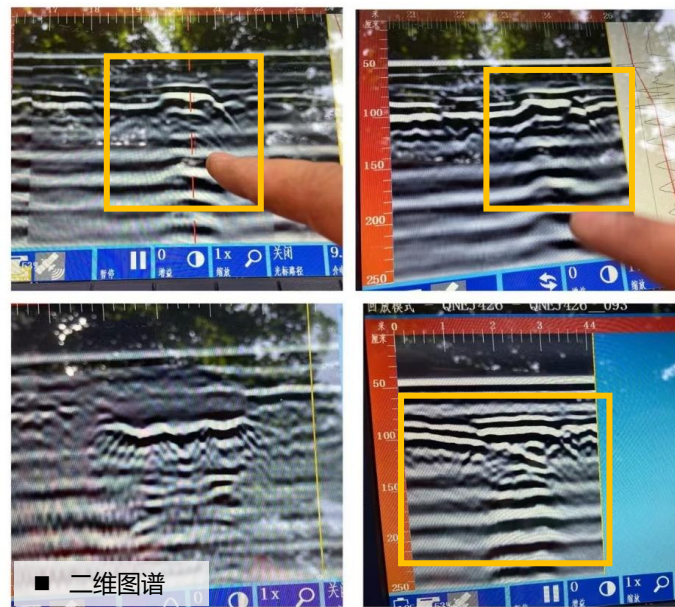
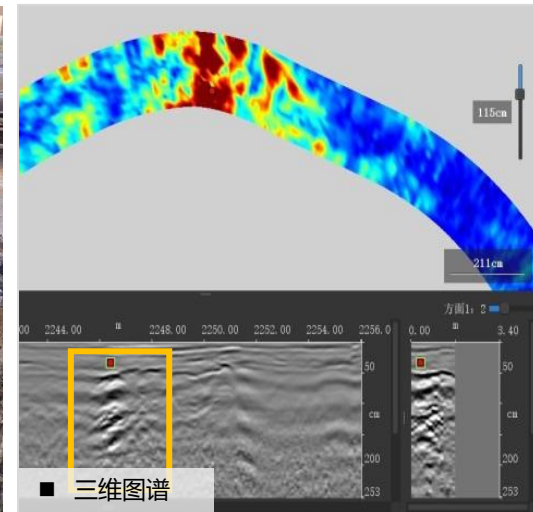
重大活动

多次承接了沈阳市主城区相关部门负责维护的道路安全探测保障任务，为**重要政务活动**、“**迎接烈士回家**”活动及皇姑区马拉松赛事提供了安全保障服务，累计完成保障任务**14**次，探测车道长度达**500**余公里。

应急服务

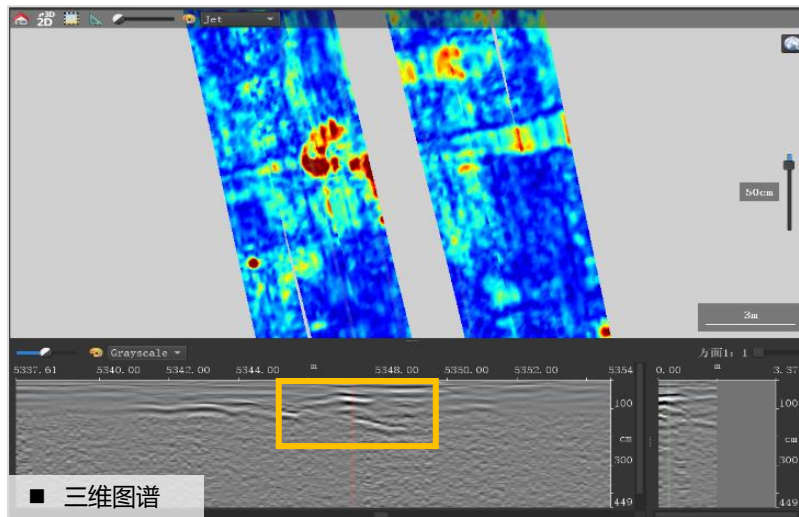
沈阳各级城市管理部门提供道路塌陷应急探测服务**20**余次，地铁建造前期隧道上方道路病害体探测服务**15**次。





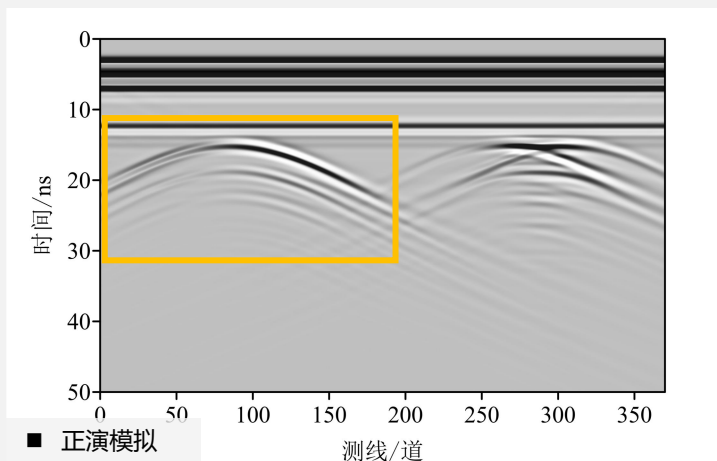
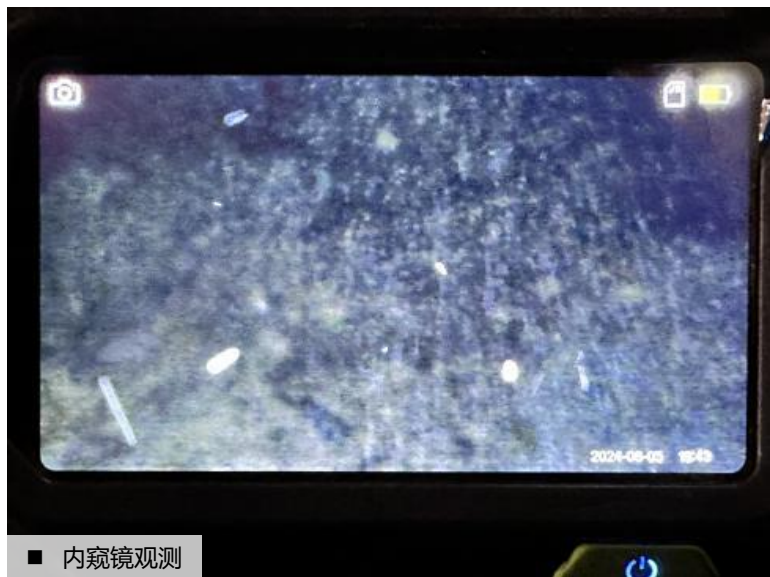
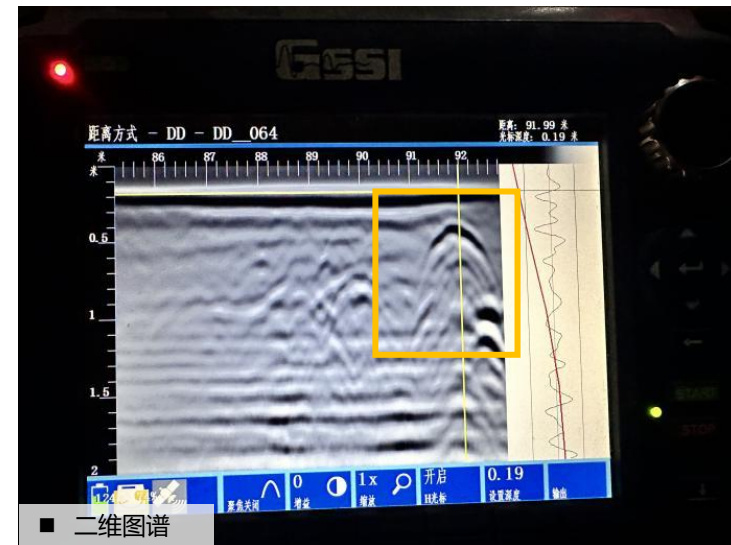
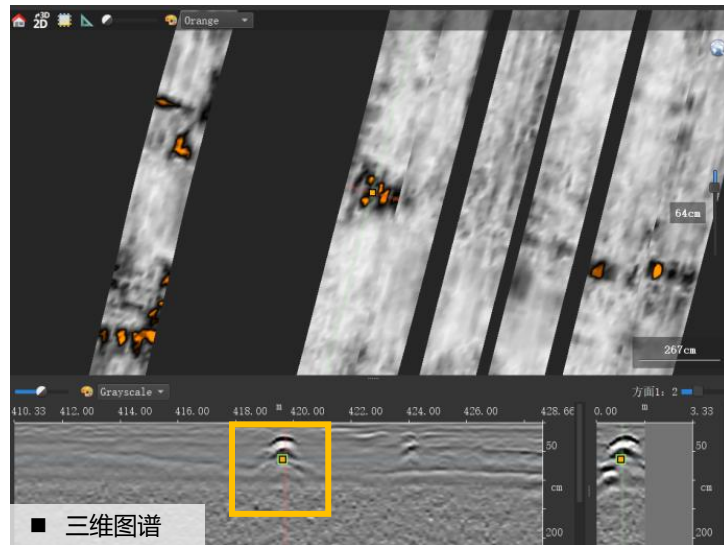
长	10	宽	4.3
埋深	0.4-1.3	净空	0.9
面积	43	体积	38.7

最大空洞



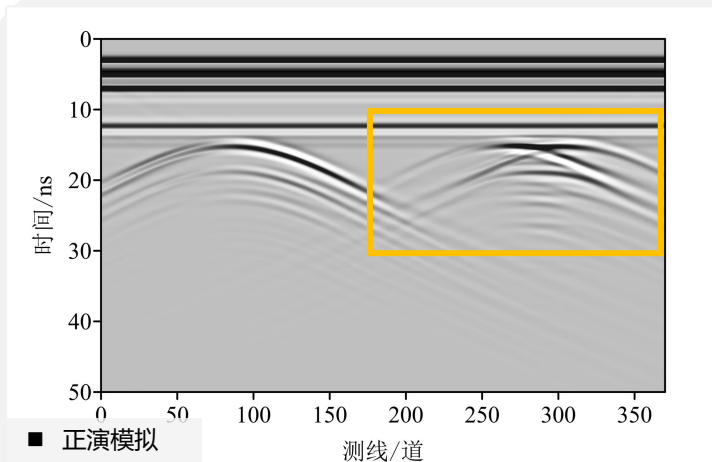
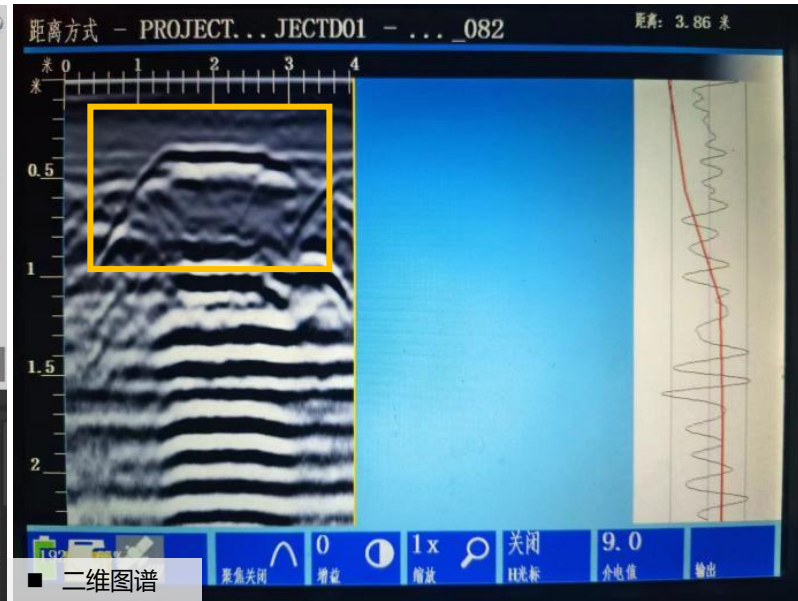
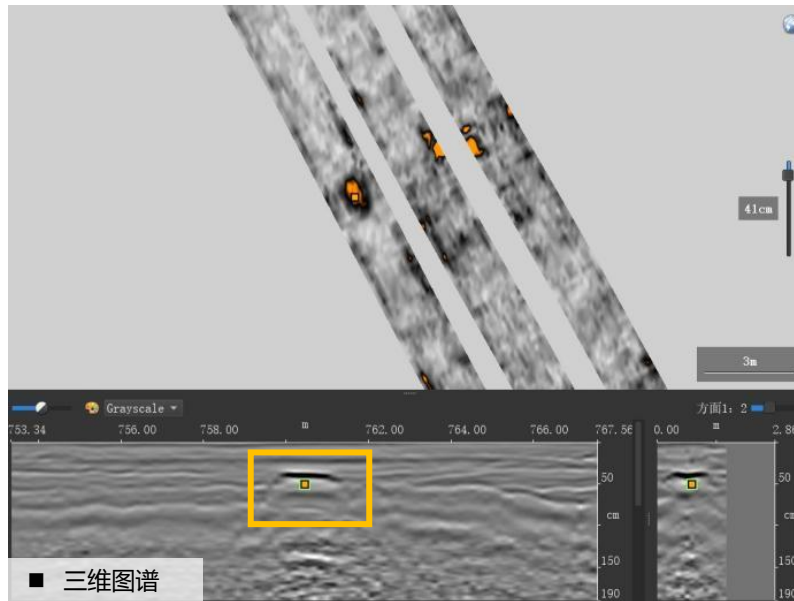
长	1.4	宽	1.4
埋深	0.5-1.4	净空	0.9
面积	1.96	体积	1.764

沈阳重要干道上发现的一处空洞，工作人员第一时间到现场进行处置。



长	1.3	宽	1.3
埋深	0.3-0.85	净空	0.55
面积	1.69	体积	0.93

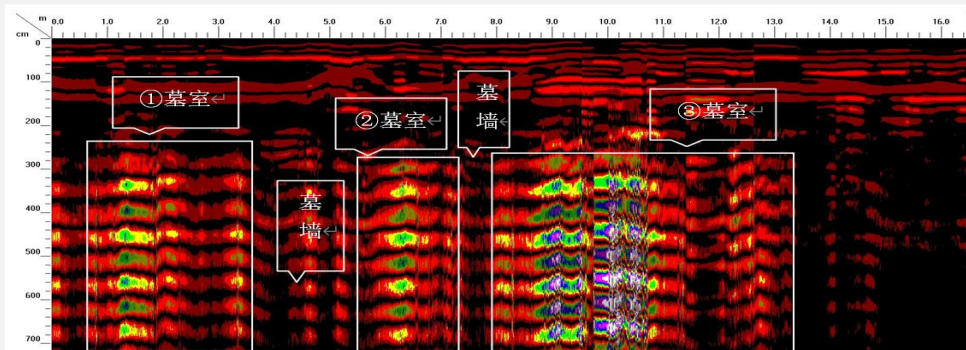
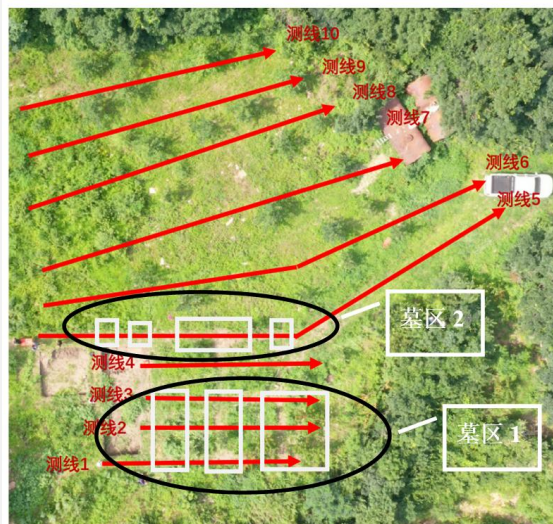
典型圆形空洞



长	2.0	宽	1.2
埋深	0.4-0.6	净空	0.2
面积	2.4	体积	0.48

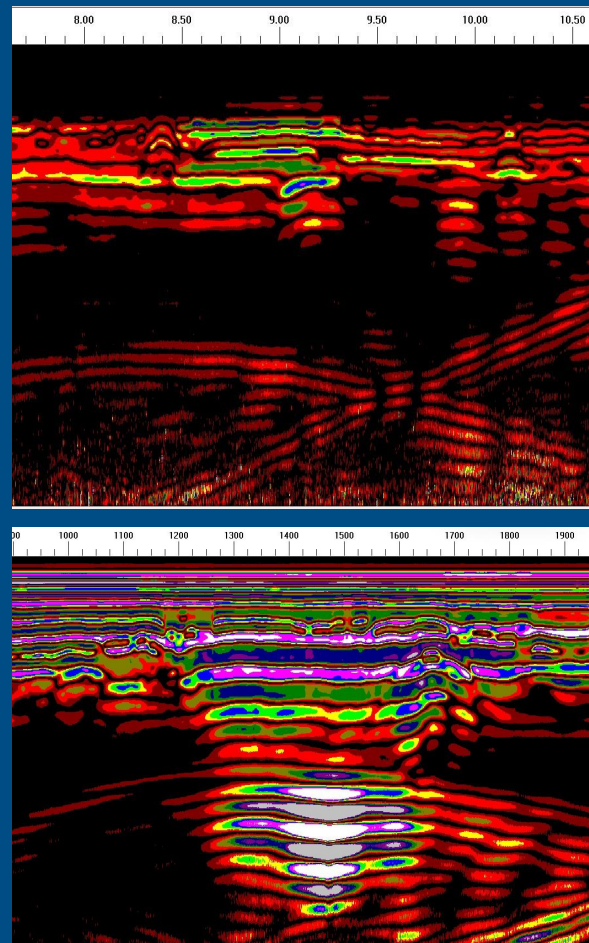
典型方形空洞

古墓探测



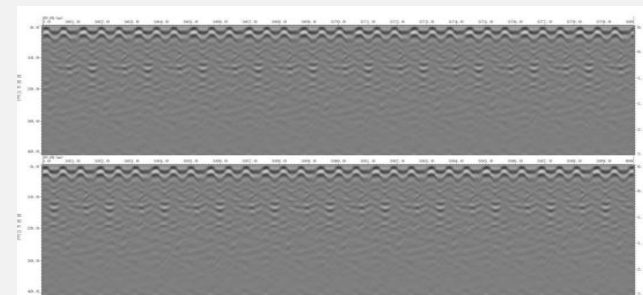
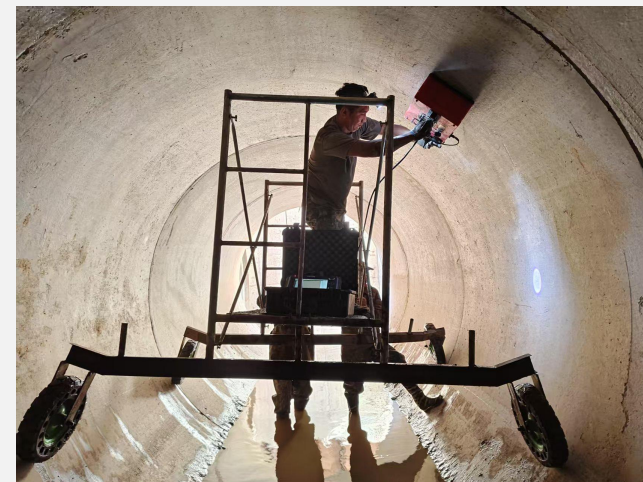
阜新市青龙山辽墓雷达探测项目

阜新市地下人防设施探测项目



人防

顶管



于洪区赤山路片区雨水系统提标改造工程（滨江街~西江街路段）顶管道路检测



Part 04
展望未来

三维车载式探地雷达为城市道路保驾护航

地图杂志 2025年03月17日 17:58 北京

点击关注我们

近年来，我国城市地面塌陷灾害频发，造成了人民生命财产的重大损失和严重的社会影响，全国范围内的城市地面塌陷灾害防治形势严峻，城市公共安全与可持续发展正经历着前所未有的考验。国家高度重视此类预防工作，相继出台系列政策文件，为灾害防治与风险评估工作提供了明确指导和坚实的政策保障。沈阳市城市精细化管理工作领导小组于2022年3月印发了《沈阳市城市道路塌陷隐患排查工作导则》，要求按照道路隐患“四早”：早发现、早预防、早介入、早处置要求，对路面下的空洞、脱空、疏松等病害体进行排查。

沈阳市勘察测绘研究院有限公司积极响应上级号召，于2022年4月打造出集生产与科研功能于一体的三维车载式探地雷达系统⁹，同时组建了三维车载式探地雷达团队，并成立了道路塌陷灾害探测应急抢险小组，精心编制了《道路塌陷灾害探测应急抢险预案》，为协助政府应对突发道路塌陷灾害提供了有力组织保障和技术支撑。

经过近三年的不懈努力与发展，三维车载式探地雷达团队已成长为一支技术成熟、人员充足、响应迅速、敢于攻坚克难的技术服务保障团队。团队的专业能力不仅得到了任务委托单位的高度认可，还获得了中国测绘学会地下管线专业委员会评定的“地下病害体探测作业能力II级”证书，标志着沈阳市勘察测绘研究院有限公司在城市道路塌陷灾害防治领域迈上了新的台阶。

截至2025年1月，沈阳市勘察测绘研究院有限公司先后完成了大东区、于洪区、皇姑区、铁西区的道路病害体年度探测任务，累计探测车道长度达3300余公里。期间，沈阳市勘察测绘研究院有限公司多次承接了沈阳市主城区相关部门负责维护的道路安全探测保障任务，为重要政务活动、“迎接烈士回家”活动及皇姑区马拉松赛事提供了安全保障服务，累计完成保障任务14次，探测车道长度达500余公里。同时，沈阳市勘察测绘研究院有限公司还为沈阳市各级城市管理部门提供道路塌陷应急探测服务20余次，地铁建造前期隧道上方道路病害体探测服务15次。

展望未来，沈阳市勘察测绘研究院有限公司将以创新为引领，以市场需求为导向，不断提升三维车载式探地雷达系统的技术水平和服务质量，持续加强与相关部门的合作，筑牢城市道路安全防线，守护城市的每一寸通途。



- 地下病害体探测作业能力II级
- 得到中国地图出版社有限公司官方公众号地图杂志的认可。
- 受辽宁省文物考古研究院的诚挚邀请，参与了由中央广播电视总台华语环球节目中心推出的大型纪录片《大东北》第一集《何以东北》关于牛河梁遗址考古研究的录制工作。

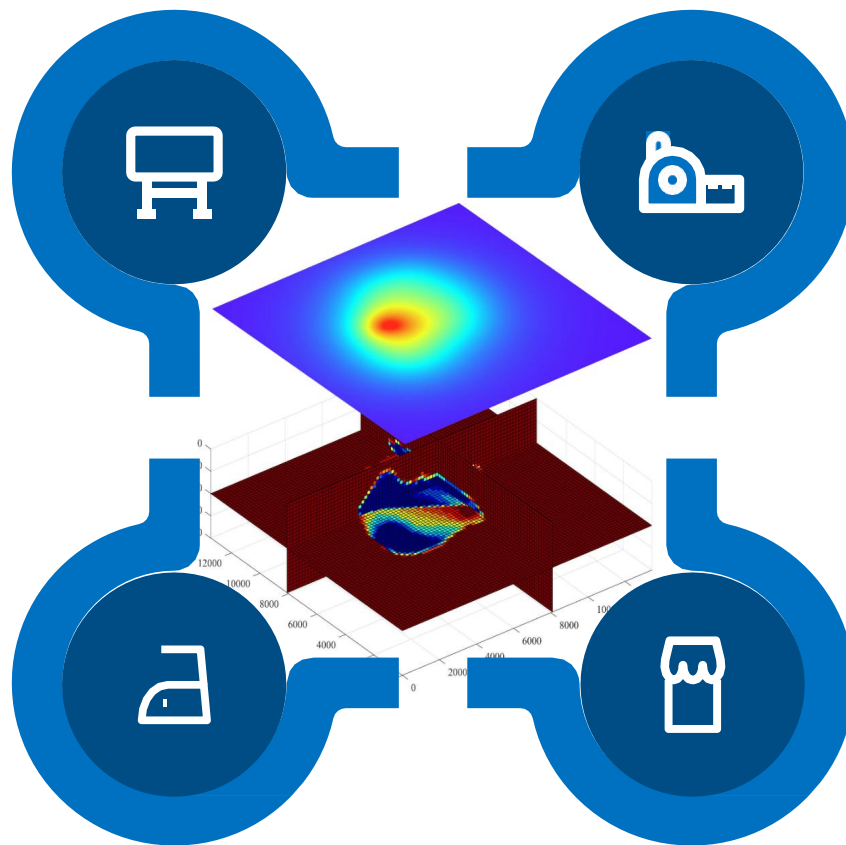


技术方法

- 二、三维探地雷达
- 高密度电阻率法
- 瞬态面波法
- 微动勘探法

科研能力

- 联合多种物探方法研究沈阳地区地下非金属管线和异常介质
- 基于数据驱动的地球物理成像——数值模拟



市场业务

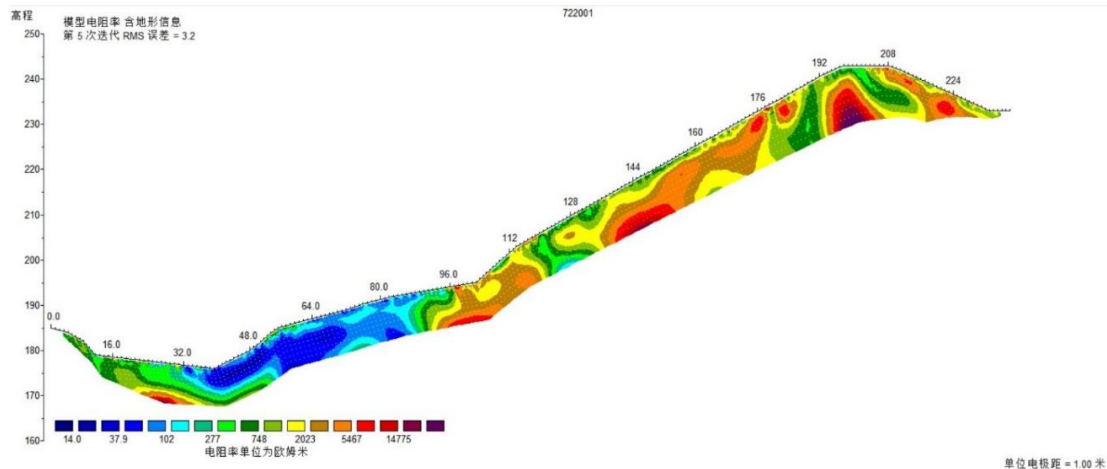
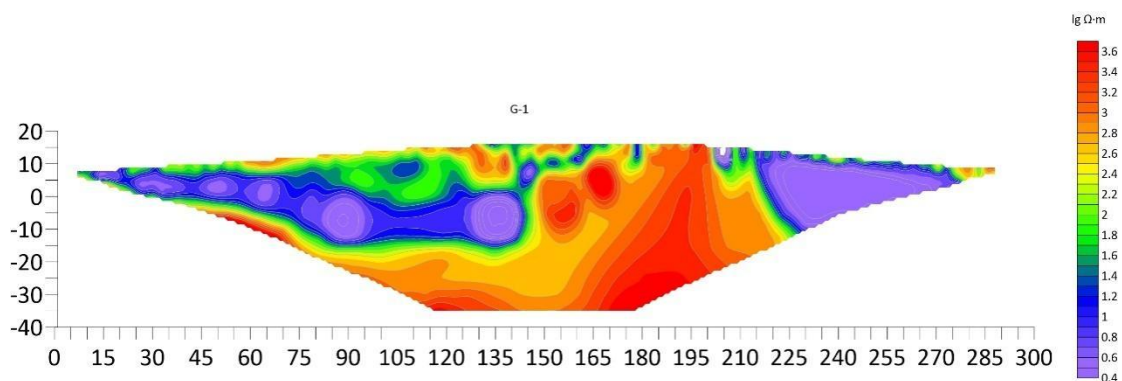
- 山体滑动面推测
- 地下管线探测
- 尾矿库、采空区等地层结构分析

探测水平

- 多角度分析
- 多业务融合
- 多方法利用

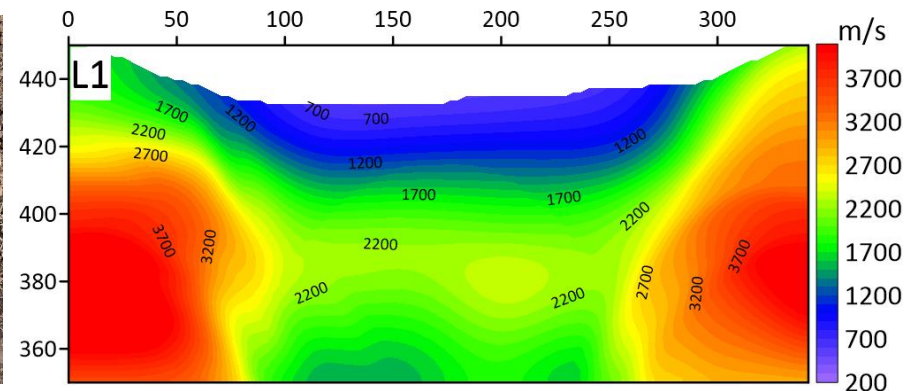
高密度电阻率法

- 菁华家园小区山体地下渗水整治及修复项目
- 辽宁某山区易发生滑坡地区进行调查，推测滑动面。



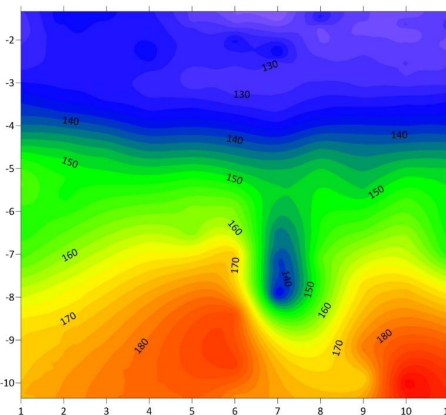
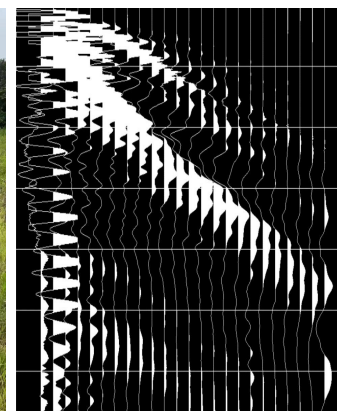
微动勘探法

- 微动勘探法应用于尾矿库及排土场、采空区、露天矿山等



瞬态面波法

- 南阳湖瞬态面波法地层分层及管线探测



空天地海 网一体化

天遥地巡 网联业融



岩土工程

- 岩土工程勘察、设计、施工、检测监测
- 工程物探、水利水电施工等

测绘服务

- 摄影测量与遥感、工程测量、海洋测绘、地图编制等

生态工程

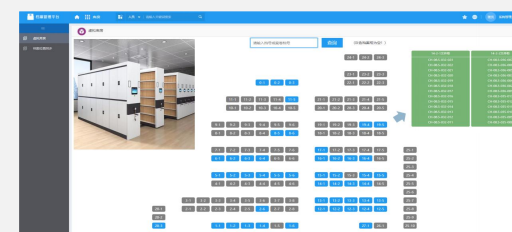
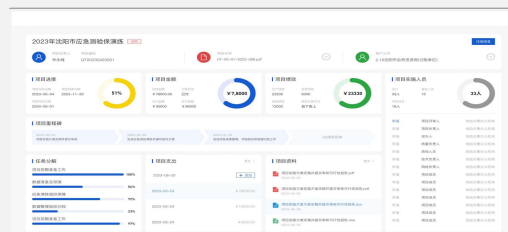
- 地灾和压覆评估
- 环评水保、矿山修复治理等

自然资源

- 自然资源调查监测、自然资源确权、规划设计、开发利用等

地理信息系统 与集成服务

- 地理信息软件开发
- “实景三维中国”建设
- “CIM+”智慧产品开发等





沈阳市勘察测绘研究院有限公司

Shenyang Geotechnical Investigation & Surveying Research Institute Co., Ltd.

感谢聆听 欢迎交流

联系人：夏思茹 联系方式：18810400976（微信同步） 电子邮箱：xiasiru0401@163.com

