

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T 492—2024

地面坍塌隐患探地雷达检测技术规范

Technical specification for detecting potential ground collapse hazard
by ground penetrating radar

2024-08-28 发布

2024-10-01 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
4.1 工作内容	3
4.2 工作方法	3
4.3 工作流程	3
4.4 检测区域	3
4.5 检测范围	3
4.6 检测时机和周期	4
4.7 质量检查	4
4.8 检测监理	4
4.9 新技术、新方法	4
5 仪器设备	4
5.1 一般规定	4
5.2 探地雷达设备	5
5.3 其他设备	5
6 工作准备	6
6.1 概述	6
6.2 人员和组织	6
6.3 设备和设施	6
6.4 资料收集	6
6.5 现场踏勘	6
6.6 方案编制	6
7 现场数据采集	6
7.1 一般规定	6
7.2 测线布设	7

DB4403/T 492—2024

7.3	二维探地雷达检测	8
7.4	三维探地雷达检测	9
7.5	管道探地雷达检测	9
7.6	测线定位与测量	10
7.7	现场巡视与调查	10
8	数据处理和隐患识别	10
8.1	一般规定	10
8.2	数据处理	11
8.3	隐患识别	12
9	地面坍塌隐患复核与验证	14
9.1	一般规定	14
9.2	隐患复核	14
9.3	隐患验证	15
10	地面坍塌隐患等级评定	16
10.1	一般规定	16
10.2	地面坍塌隐患等级评定	16
11	成果资料及管理	177
11.1	一般规定	17
11.2	成果资料内容	17
11.3	成果资料归档	188
11.4	成果的信息化管理	18
附录 A (规范性)	项目检测方案大纲	19
附录 B (资料性)	地面坍塌隐患探地雷达检测常见介质的物理量	20
附录 C (资料性)	探地雷达检测现场记录单	21
附录 D (资料性)	现场巡视与调查记录单	22
附录 E (资料性)	典型地面坍塌隐患及地下构筑物探地雷达图像	23
附录 F (资料性)	地面坍塌隐患现场复核验证记录单	26
附录 G (资料性)	地面坍塌隐患信息卡	27
附录 H (资料性)	地面坍塌隐患信息统计表	28
	参考文献	29

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由深圳市规划和自然资源局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市地面坍塌防治工作领导小组办公室、北京市勘察设计研究院有限公司、深圳市自然资源和不动产评估发展研究中心、深圳市建设工程质量安全检测鉴定学会、深圳地质建设工程公司、吉林大学、深圳市水务科技发展有限公司、深圳市勘察测绘院（集团）有限公司、深圳市工勘岩土集团有限公司、深圳市勘察研究院有限公司、深圳市市政设计院有限公司、太科技术有限公司。

本文件主要起草人：陈昌彦、雷呈斌、施秋华、张辉、贾辉、苏兆锋、肖兵、耿光旭、曾昭发、吴奇、曹炼鹏、赵家福、周谟炜、李胜强、胡朝辉、曾奇、曾成刚、胡雍、章哲辉、吴昌广、杨健君、阮文保、张军、王生奥、何思城、洪昊平、孙帅、党建伟。

引 言

为规范深圳市地面坍塌隐患探地雷达检测工作，统一探地雷达检测标准，提高地面坍塌隐患检测技术水平和成效，防控地面坍塌风险，根据《深圳市加强地面坍塌事故防范治理工作方案》的要求，在参考有关现行国家标准、行业标准和地方标准的基础上，结合深圳市现状需求，编制本规范。

本文件在编制过程中，编制组对深圳市地面坍塌防治工作现状、地面坍塌隐患检测工作环境条件、技术构成及存在的问题进行了广泛的调查研究，结合工程实践对地面坍塌隐患主要检测技术开展了试验分析，对地面坍塌隐患的等级评价进行了专项研究，同时借鉴了国内其他城市开展地面坍塌隐患探地雷达检测的相关经验和资料，积极采纳了地面坍塌防治相关的政府部门、从事隐患检测的企事业和科研单位的意见和建议，总体体现了标准的针对性、实用性、先进性和可操作性。

本文件的实施有利于规范深圳市地面坍塌隐患探地雷达检测工作，提高检测质量，助力地面坍塌防范和城市安全治理。

地面坍塌隐患探地雷达检测技术规范

1 范围

本文件规定了地面坍塌隐患探地雷达检测相关基本规定、仪器设备、工作准备、现场数据采集、数据处理和隐患识别、地面坍塌隐患复核和验证、隐患等级评定、成果资料等环节的技术要求。

本文件适用于深圳市公路、市政道路（机动车道、人行道）、街坊路、公园道路、广场的地面坍塌隐患探地雷达检测，也适用于地下管线工程、轨道交通工程、基坑工程等施工影响范围内的地面坍塌隐患探地雷达检测，其他情形的地面坍塌隐患检测可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 33453 基础地理信息数据库建设规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB/T 50585 岩土工程勘察安全标准
- GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
- CJJ/T 8 城市测量规范
- CJJ/T 100 城市基础地理信息系统技术标准
- CJJ 181 城镇排水管道检测与评估技术规程
- JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准
- JJG（测绘）2301 全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机RTK检定规程
- SJG 05 基坑支护技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地面坍塌 ground collapse

地下给排水管道（渠）等市政管网设施由于自身工程质量问题、管养不到位或因其他建设工程施工导致管道（渠）结构破坏或渗漏，或者道路由于自身工程质量问题或因其他工程开挖回填不密实，或者因地下建设工程施工扰动等人类工程活动，形成地下空洞并发展到地面，引发地面垮塌的一种现象或过程。

3.2

地面坍塌隐患 ground collapse hazard

可能引发地面坍塌的地下空洞、脱空和疏松体。

3.3

空洞 cavity

发育在地面工程结构层内部或结构层与下部地基土体之间净深大于30 cm或发育在地面工程结构层以下土体内的洞体。

3.4

脱空 cavity underneath pavement

发育在地面工程结构层内部或结构层与下部地基土体之间净深不大于30 cm的洞体。

3.5

疏松体 loosely infilled cavity

地面下方局部发育的密实程度明显低于周边介质的相对松散的土体,在不利因素作用下可能进一步发育成空洞或脱空。

3.6

二维探地雷达检测 two dimensional ground penetrating radar detection

采用单一频率或组合频率天线的探地雷达采集系统,通过检测获得单条或多条时间(深度)剖面的探地雷达检测方法。

3.7

三维探地雷达检测 three dimensional ground penetrating radar detection

采用阵列天线技术实现对检测区域的高密度探地雷达检测,形成三维数据体的探地雷达检测方法。

3.8

管道探地雷达检测 pipeline ground penetrating radar detection

将探地雷达设备搭载于管道爬行设备上,从管道内部实现对管道周边土体检测的探地雷达方法。

3.9

测线束 line beam

三维探地雷达单幅全部通道的测线集合。

3.10

单幅检测宽度 single detection width

三维探地雷达单个测线束所能覆盖被探测区域的宽度。

3.11

水平时间(深度)切片 horizontal time slice

采用三维探地雷达检测时,形成的水平方向不同时间(深度)的雷达图像。

3.12

纵剖面 longisection

采用三维探地雷达检测时,沿检测方向不同通道的时间(深度)雷达图像。

3.13

横剖面 cross section

采用三维探地雷达检测时,垂直检测方向不同通道的时间(深度)雷达图像。

3.14

地面坍塌隐患复核 ground collapse hazard recheck

通过探地雷达或其他物探方法对解译的地面坍塌隐患进行复测,进一步明确地面坍塌隐患的位置、范围及类型等属性信息的过程。

3.15

地面坍塌隐患验证 ground collapse hazard verification

通过钻探、挖探、动力触探等方法，辅以影像采集，对判定的地面坍塌隐患进行检验，确定隐患类型、规模和隐患内部发育状况等属性特征的过程。

3.16**地面坍塌隐患等级 ground collapse hazard level**

根据地面坍塌隐患的类型、面积、净深等因素确定的隐患等级。

4 基本规定**4.1 工作内容**

应在充分搜集分析测区内岩土工程、市政设施、水文气象、历史坍塌等资料的基础上开展地面坍塌隐患检测、复核及验证，查明一定深度范围内发育的地面坍塌隐患的属性特征、形成原因，确定隐患等级。

4.2 工作方法

地面坍塌隐患检测工作应根据检测对象、环境特性、检测深度和可能致塌因素等，选择二维、三维探地雷达或组合的方式进行检测，地下排水管道密集分布的隐患多发区域，宜结合管道探地雷达方法进行管道周边隐患检测。

4.3 工作流程

地面坍塌隐患检测工作宜按照现场踏勘、方案设计、现场工作、数据处理和隐患识别、复核与验证、隐患等级评定、成果编制和管理等流程开展工作；当开展应急检测或检测工作规模较小时，可简化相关流程。

4.4 检测区域

应根据致塌条件和易发性等因素综合确定地面坍塌隐患检测区域，下列区域宜确定为重点检测区域：

- a) 地面坍塌易发区和历史地面坍塌事故多发区；
- b) 建成年代久远、运行状况较差或存在频繁开挖修复的地下管线区域；
- c) 存在三级以上变形或二级以上错口、脱节、破裂、渗漏、异物穿入等结构性缺陷的排水管道及暗渠化河道上方区域；
- d) 地下工程或建（构）筑物基坑工程施工影响区域；
- e) 高填方区、软土发育区及大范围填海区；
- f) 人口密集区域或重大社会活动举办地及其周边区域。

4.5 检测范围**4.5.1 地下工程施工区**

地下工程施工区包括轨道交通工程、基坑工程、穿越工程等，检测范围应为施工影响区范围，施工影响区按GB 50911及SJG 05的规定确定。

4.5.2 排水管道

针对排水管道（含暗渠化河道）区域，应对管涵结构工程及其两侧2.0 m~3.0 m范围对应地面位置进行检测，必要时宜开展管道探地雷达检测。

4.5.3 道路工程

道路工程检测范围包括机动车道、非机动车道和人行步道。

4.6 检测时机和周期

地面坍塌隐患检测应建立定期检测机制，除应满足JGJ/T 437规定外，检测周期和检测时机应结合城市运行、隐患发育特征和致塌因素类型等综合确定，并符合下列规定：

- a) 当地面发生严重变形或坍塌事故、地下管线发生变形或破损时，应立即进行应急检测；
- b) 城市主干道路、BRT沿线车道、广场、商业繁华区、老旧工业区及学校、医院周边道路，检测周期宜为1年~2年；
- c) 埋藏年代较久的地下基础设施区域、管线复杂分布区域，检测周期不宜大于1年；
- d) 较厚填土、软土等不良地质发育区、地下管线工程多期施工回填区、历史坍塌多发区域等重点检测区，检测周期不宜大于1年，并结合季节性气象条件动态调整；
- e) 对于排水管道、河道周边等重要路段和坍塌易发区域，宜在汛期前、汛期后进行检测。
- f) 地下工程宜在施工前和竣工后3年~5年内对影响范围内区域进行检测；穿越道路的管渠工程，宜在施工前和竣工后1年~3年内对影响范围内的区域进行检测；基坑工程宜在竣工后1年~2年内对其施工影响范围内的周边区域或道路进行检测；
- g) 城市重大社会活动涉及的道路、广场、地下管线周边等区域，宜在活动举办前进行检测；
- h) 地面坍塌隐患区域处理后应进行检测，对处理效果进行评价；
- i) 其他存在地面坍塌隐患风险区域，宜择机进行检测。

4.7 质量检查

地面坍塌隐患检测工作实施过程中宜采取自检、互检和抽检等有效的质量管控措施，检查、评估数据的采集质量。

4.8 检测监理

可根据项目规模和类型等特点，对地面坍塌隐患检测工作的质量、安全和进度等开展第三方监理工作。

4.9 新技术、新方法

地面坍塌隐患检测宜积极采用和推广经实践检验有效的新技术、新方法，采用的新技术、新方法应能满足检测目的和要求，且效果不宜弱于现行方法，同时应在检测工作方案中应予以说明，必要时应向委托方提供检测细则和标准。

5 仪器设备

5.1 一般规定

5.1.1 仪器设备及其配件应性能稳定、防潮、抗震和绝缘性能良好，且具有一定的防尘、防水功能。

5.1.2 仪器设备性能应符合本规范要求，并应在检定有效期内使用。设备使用前，应经检查调试处于正常状态。

5.2 探地雷达设备

5.2.1 探地雷达仪器的主要性能指标满足下列要求：

- a) 系统增益不应小于150 dB；
- b) 信噪比不应低于110 dB，动态范围不应小于120 dB；
- c) 采样分辨率不应大于5 ps；
- d) 长时间稳定性不应大于3%；
- e) A/D转换位数应不小于16位。

5.2.2 二维探地雷达设备除满足第5.2.1条的规定外，并满足下列要求：

- a) 若使用多通道数据采集仪器，各通道应一致性良好；
- b) 具备现场实时显示、数据回放、信号叠加、增益控制、实时滤波、位置标记等功能；
- c) 配备满足精度要求的测距装置，并定期对测距装置进行标定；
- d) 数据处理软件具备处理1 GB数据量以上的能力。

5.2.3 三维探地雷达设备除应满足第5.2.1条的规定外，并满足下列要求：

- a) 单一频率天线的通道数不少于8个，双频或多频天线的通道数不少于15个；
- b) 各通道一致性良好；
- c) 具备探地雷达数据、测线定位数据实时同步采集功能，探地雷达数据、测量定位数据之间能够同步显示时间或空间对应关系；
- d) 宜具备控制或监视数据采集和定位测量系统运行状态的功能；
- e) 数据采集软件宜具备实时控制或监视雷达采集数据、定位测量数据、环境影像数据的功能；
- f) 数据采集软件中宜设置与测量设备相适应的通讯方式和参数；
- g) 数据采集速度不小于20 km/h；
- h) 数据处理软件宜具备处理1 GB数据量以上的能力，同时具备综合可视化显示，三维切片和立体显示等功能。

5.2.4 管道探地雷达设备除应满足第5.2.1条、第5.2.2条的规定外，并满足下列要求：

- a) 驱动设备应具有前进、后退、变速、停止等功能；
- b) 主控制器具有在显示器上同步显示日期、时间、管径、在管道内行进距离等信息的功能，并同步显示管道探地雷达图像；
- c) 驱动设备宜适应相应管径的管道，以保证管道探地雷达检测设备在被探测管道中稳定行进；
- d) 宜根据检测目的选择管道探地雷达检测设备，当仅检测管道壁后隐患时可采用单一的管道探地雷达，当需要查明管道缺陷时，可采用搭载有电视检测（CCTV）装置的管道探地雷达；
- e) 天线与爬行器之间的连接装置宜具备一定的伸缩调节功能，以使探地雷达天线贴近管壁探测；
- f) 搭载的CCTV装置宜配备同步测距装置，测量精度不低于测量长度的1%，且最大误差不超过0.3 m，并应定期对测距装置进行标定。

5.3 其他设备

5.3.1 测量仪器应满足数据采集和测线定位的精度要求，并应符合GB 50026的相关规定。当采用实时动态载波相位差分技术（RTK）测量时，接收设备满足下列规定：

- a) 接收设备宜包括双频接收机、天线和天线电缆、数据链设备、数据采集器等；

- b) 接收设备的动态标称精度、平面测量定位误差不超过10 mm、比例误差系数不超过2 mm/km；
高程测量定位误差不超过20 mm、比例误差系数不超过4 mm/km。
- c) 接收设备的检验应符合现行检定规程JJG（测绘）2301的规定，并在检定期内使用。

5.3.2 检测中采用的其他物探设备应符合JGJ/T 437的相关规定。

5.3.3 隐患验证钻机应具备安全可靠、操作简单、对周边环境扰动小的特点，可采用取芯钻机。

5.3.4 用于隐患原因排查的管道缺陷检测设备应符合CJJ 181的相关规定。

6 工作准备

6.1 概述

地面坍塌隐患检测工作准备包括人员组织及培训、设备配备、资料收集、现场踏勘、检测方案编制等。

6.2 人员和组织

应根据项目特点和规模配备相关专业项目人员，建立项目人员组织机构，明确人员岗位和职责，对参与检测工作人员开展技术、安全交底及培训。

6.3 设备和设施

应根据项目特点和规模配置设备和安全生产设施，对拟投入设备进行检查保养，确保设备的工作状态正常；对需要检定或校准的设备，应确保设备在检定或校准有效期内。

6.4 资料收集

应根据项目特点和要求，收集检测区域工程地质和水文地质资料，检测区域管线、暗渠化河道及其他地下构筑物等分布资料，检测区域道路、地下管线养护、维修资料，检测区域历史地面坍塌事故资料、历史检测成果资料，检测区域及周边地下工程建设施工情况等。

6.5 现场踏勘

现场踏勘时应核查检测区域位置及分布特点，了解检测区域内的工作条件，调查可能影响检测工作的因素和干扰源，核查已收集资料的现势性及可利用程度，调查检测区域地面修补、沉陷、变形情况等。

6.6 方案编制

应在资料收集和现场踏勘的基础上，根据项目要求编制项目检测工作方案，内容应包括项目概况、方案编制依据、工程环境及重难点分析、工作流程和技术路线、工作技术方法和措施、检测组织、项目实施保障措施、成果资料内容及形式等，内容应符合附录A要求。

7 现场数据采集

7.1 一般规定

7.1.1 在前期工作准备基础上，根据检测方案开展现场数据采集工作，现场数据采集宜遵循测线布设、现场试验、参数设置、数据采集、测线定位测量、数据检查与评价的流程开展工作。

7.1.2 应根据现场环境条件和工作目的，合理选择二维或三维探地雷达法，必要时应结合二维和三维探地雷达进行综合检测，地面探测时有效探测深度不宜小于3 m。

7.1.3 宜采用车载探地雷达全面检测，不具备车载条件时，应采用人工方式检测。

7.1.4 现场探测过程中，应选择代表性区域或已知地下目标体埋设状态区域，进行探地雷达测试与目标体解译识别，根据已知目标体埋设深度反演计算地下介质的介电常数或电磁波速度，作为相应区段探地雷达解译识别的介电常数取值依据。

7.1.5 数据采集过程中应注重数据质量的检查和评价，检测数据的信噪比应满足数据处理和解译的需要。

7.1.6 数据采集过程中应控制检测作业安全，并应符合GB/T 50585的相关规定。

7.1.7 数据采集工作结束后，应及时进行数据存储和备份。

7.2 测线布设

7.2.1 探地雷达测线、测网布设方案除应符合JGJ/T 437的相关规定外，还应根据检测区域分布特点和现场工程测试条件等因素，并符合下列规定：

- a) 测线长度和测网密度满足检测范围全覆盖的要求；
- b) 测线长度保证检测目标的完整，并具有足够的背景场；
- c) 不同频率、不同设备的测线保持重合，以便进行对比分析；
- d) 对局部重点区域，网格状布设测线。

7.2.2 市政道路、广场区域的测线布设除应满足第7.2.1条规定外，并符合以下要求：

- a) 探地雷达测线沿机动车道、非机动车道或人行道行进方向布设；
- b) 在广场开展测试时，可依据测试条件采用网格状测线，并对广场下市政设施区域的测线加密布设；
- c) 采用二维探地雷达法普查时，测线间距应根据天线中心频率确定，80 MHz~200 MHz频率天线的测线间距不大于2.0 m，高于200 MHz频率天线的测线间距不宜大于1.0 m；对局部隐患进行复核时测线间距不大于1.0 m；
- d) 采用三维探地雷达法检测时，根据天线的单幅检测宽度设计测线间距，进行全覆盖检测。

7.2.3 地下工程施工区域的测线布设应根据施工工法、施工影响区和施工过程中的异常状况综合确定。针对轨道交通工程，测线布设除应满足第7.2.1条规定外，并符合以下要求：

- a) 明挖基坑工程的测线在基坑影响区内地面位置进行布设，测线间距不大于2.0 m；
- b) 矿山法区间、联络通道和车站附属工程（出入口，风道等）的测线沿隧道工程结构上方以及工程结构外沿的地面位置进行布设，测线间距不大于2.0 m，工程结构以外范围的测线间距为2.0 m~3.0 m；
- c) 暗挖车站主体工程检测范围宜为断面宽度加两侧各10.0 m范围内地面位置进行布设，必要时可扩大检测范围；测线沿线路走向方向布设，测线间距不大于2.0 m；
- d) 盾构区间测线沿隧道走向在地面上方布设，中间一条测线位于隧道中心线对应的地面位置，两侧再各布设其他测线，测线间距不大于2.0 m；
- e) 对于施工过程中出现的局部土体塌方、超挖等异常现象区域，视为重点检测区域，并加密布设测线；
- f) 远离施工影响区时，可根据实际情况，不进行测试。

7.2.4 排水管道（含暗渠化河道）区域的测线宜沿排水结构物走向在相应地面位置布设，二维探地雷达法测线间距不宜大于2.0 m，三维探地雷达法测线应根据天线有效覆盖宽度，以实现检测区域的全覆盖为原则进行测线布设。

7.2.5 针对建筑基坑工程，测线布设应符合第7.2.3条之第 a) 款之规定。

7.2.6 针对穿越道路工程，测线宜沿道路行进方向布设，测线间距不宜大于2.0 m。

7.2.7 在管道内针对管道周边坍塌隐患开展探地雷达检测时，宜沿管道的顶部、底部、两腰及腰线上方45°角位置布设测线，管道探地雷达测线的轴向布置应根据时钟表示法，按起始井至终止井方向标明测线位置。

7.2.8 地面坍塌事故应急检测时，应网格状布设测线，测线长度应外延至坍塌影响范围以外不少于10.0 m。

7.3 二维探地雷达检测

7.3.1 数据采集前应针对不同的工程环境条件，选择典型区域开展有效性试验和参数调试，确定天线主频、介电常数、扫描率、记录时窗、增益等有效工作参数。

7.3.2 检测区域内地面不宜存在大范围金属构件，大范围高导电屏蔽层或较强电磁干扰，检测区域若有上述情形，应准确记录干扰源的类型、位置、分布等信息。

7.3.3 探地雷达天线主频的选择应符合检测深度和精度的要求，并应符合下列规定：

- a) 当在地面检测时，选择主频为80 MHz~400 MHz的屏蔽天线，在满足检测深度前提下，选择相对较高频率的天线；
- b) 当检测深度较大时，选择低频天线；
- c) 对于重点异常区，检测时采用多种频率天线组合检测。

7.3.4 数据采集时关键参数的设置应符合下列规定：

- a) 记录时窗根据最大检测深度和地下介质的电磁波传播速度综合确定，按公式（1）计算；

$$T=K \frac{2D}{v} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T ——记录时窗（ns）；

K ——加权系数，取 1.3~1.5；

D ——最大探测深度（m）；

V ——地下介质电磁波速度（m/ns），见附录 B。

- b) 信号的增益使信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4，且使信号削波部分不超过全剖面 5%；
- c) 采样率不低于所采用天线主频的 10 倍；
- d) 普查时道间距不大于 5.0 cm，详查时道间距不大于 2.5 cm；
- e) 采用点测时，结合检测深度和精度等因素，测点间距不大于 20 cm。

7.3.5 现场数据采集符合下列规定：

- a) 采用距离测量控制模式采集时，检测前应对测距装置进行标定，人工测试时标定距离不小于 30 m，车载检测时标定距离不小于300 m，取3次标定的平均值作为最终标定值；
- b) 在数据采集过程中，应根据干扰情况、图像效果等调整采集参数；
- c) 天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；采用距离测量控制模式时，天线移动速度应使采集数据不出现丢道现象；当采用自由连续采集时，天线移动速度应符合水平分辨率的要求；
- d) 采用低于200 MHz频率天线时，移动速度不宜大于10 km/h；采用200 MHz~400 MHz频率天线时，移动速度不宜大于20 km/h；
- e) 为减少测线定位、定距的误差，单条测线的长度宜控制在1000 m以内；

- f) 点测时,应在天线静止时采集数据,当使用收发分离天线点测时,调整天线间距以使采集的信号最强,可采用垂直叠加采集方式提高信号的信噪比;
- g) 数据剖面上不应出现连续的白道现象;
- h) 应及时标记出现信号异常的位置,并分析异常原因,必要时进行复测;
- i) 当检测区域局部不满足检测条件时,应记录其位置和范围,待具备检测条件后补充检测。

7.3.6 对现场采集的数据进行质量检查和评价,其工作要求除满足JGJ/T 437的相关规定外,并符合下列规定:

- a) 质量检查可选择重复观测、系统检查等方法;
- b) 用于检查和评价的探地雷达数据资料应经过初步编辑,宜包括测线编号、测线长度、剖面深度等;
- c) 重复观测数据与原始数据一致性良好;
- d) 检查发现雷达图像信噪比不能满足解译需要时,应调整参数后重新检测;
- e) 当检查发现记录长度、记录深度不满足要求时,应调整参数后重新检测。

7.3.7 应对现场测试数据信息进行记录,记录格式见附录C,记录内容宜包括测试位置(道路名称及起止点)、测试参数、文件编号、测试过程中的异常情况。

7.4 三维探地雷达检测

7.4.1 数据采集前,应结合检测范围内工程地质和水文地质条件、气象条件、道路分布特点、检测目的和要求以及已知目标体等因素开展有效性试验检测,确定雷达天线频率、有效检测深度、电磁波传播速度、采集时窗、信号叠加次数等采集参数。

7.4.2 三维探地雷达天线主频应根据拟检测的隐患深度确定,天线主频不宜高于600 MHz,当多种频率的天线均能满足检测深度要求时,宜选择频率相对较高的天线。

7.4.3 三维探地雷达数据采集参数的设置除应符合本文件第7.3.4条的规定,各通道采集参数宜保持一致。

7.4.4 三维探地雷达在进行数据采集时,除应符合本文件第7.3.5条的相关规定外,还应对所有通道进行调试和一致性校验,保持各通道工作的有效性和一致性。

7.4.5 三维探地雷达的数据采集与测线定位应同步,探地雷达数据、测量定位数据、环境图像数据之间具有直接对应关系。

7.4.6 数据采集过程中如果定位测量信号较差时,宜在测线束的起止点、测线转弯点、地面明显变形异常点等关键点位采用其他方式进行定位测量。

7.4.7 三维探地雷达数据的检查除应符合本文件第7.3.6条的规定外,还应对检测范围内测线覆盖程度进行检查,对未能全覆盖的区域应进行补充检测,当不具备补充检测条件时,应进行记录和说明。

7.4.8 应对现场测试数据信息进行记录,内容宜包括道路名称及起止点等测试位置、测试参数、文件编号、测试过程中的异常情况,记录格式见附录C。

7.5 管道探地雷达检测

7.5.1 管道探地雷达的数据采集除应符合本文件第6.3节的相关规定外,还满足下列要求:

- a) 管道探地雷达检测不带水作业;
- b) 根据需要采用单向触发或双向触发的采集模式;
- c) 管道探地雷达均匀移动,行进速度不超过0.1 m/s,同时满足探地雷达数据分辨率和视频影像清晰度的要求;
- d) 管道探地雷达宜沿管道中轴线行进,偏离度不大于管径的10%;

DB4403/T 492—2024

- e) 数据采集时,管道探地雷达天线与管壁贴合,受管壁因素不能实现贴合时,离开管壁的距离不大于5 cm;
- f) 采样点间距视所采用的天线主频,取1.0 cm~2.5 cm。

7.5.2 检测过程中有下列情形之一时,应中止检测工作:

- a) 爬行机器人在管道内无法行走;
- b) 当管道探地雷达与CCTV同时进行检测,由于管道内部作业环境导致搭载的CCTV无法工作或所采集的影像数据不能满足使用;
- c) 其他原因无法正常检测。

7.5.3 管道探地雷达搭载的CCTV现场数据采集应符合CJJ 181的相关规定。

7.6 测线定位与测量

7.6.1 关于测线、测点和地面坍塌隐患点的定位测量精度和方法应满足JGJ/T 437和CJJ/T 8的相关规定。

7.6.2 车载探地雷达检测时宜优先采用实时定位的方式,当采用RTK进行测线轨迹定位时,宜合理设置基准站,并应进行定点测量验证。

7.6.3 当数据采集过程中GNSS信号较差时,测量结果不能满足测量精度时,宜选择全站仪、井盖、路灯和已知管线等地物校核测线位置。

7.6.4 当采用单点定位测量时,应对测线的起止点、基点、转折点、异常点、地形突变点以及其他重要的点位进行定位测量。

7.6.5 室内数据分析及现场异常复核时,宜利用测区内已知位置的井盖、路灯或管线等明显地物的雷达标志图像校核测线定位。

7.6.6 需要测量的测网控制基点应联测测量控制点,其点位和高程测量精度应符合CJJ/T 8的要求。

7.7 现场巡视与调查

7.7.1 地面坍塌隐患检测中,应注重现场巡视与调查工作,通过巡视与调查发现路面沉陷、裂缝、坑洞等异常区域,结合地下介质情况分析,为探地雷达检测和确定数据分析重点提供依据。

7.7.2 巡视和调查中应注重对异常区域内地下结构物、地下管线、地下工程施工、周边工程施工等资料进行调查和分析。

7.7.3 首次现场巡视与调查时应测区进行全面巡查,巡查过程中发现的地面坍塌、沉降等隐患情况应及时报送相关单位,相关信息记录格式见附录D;当发现的异常区域具备条件时,应开展探地雷达检测。

7.7.4 降雨后、重大活动开展前宜对项目检测区域进行巡查,对于前期检测中初步判定的异常区应作为重点巡查区域。

7.7.5 针对查明的地面坍塌隐患,在进行处置之前宜按相关要求定期开展现场巡视,对隐患上方地面变形情况进行记录;对于已处置的地面坍塌隐患区域,宜进行处置效果巡视。

8 数据处理和隐患识别

8.1 一般规定

8.1.1 数据处理应使用质量检查合格的检测数据。

8.1.2 数据处理应达到压制干扰、提高信噪比、凸显异常和高保真等目的，避免数据处理引起的雷达数据信号的畸变。

8.1.3 参与解译的探地雷达图像应清晰，信噪比高，数据解译时应识别干扰源，剔除假异常，并结合地质、环境调查、地下基础设施、历史坍塌等资料进行综合分析解译。

8.2 数据处理

8.2.1 探地雷达数据处理包括数据预处理、常规处理、高级处理、可视化处理等，具体方法和步骤可参照图1。

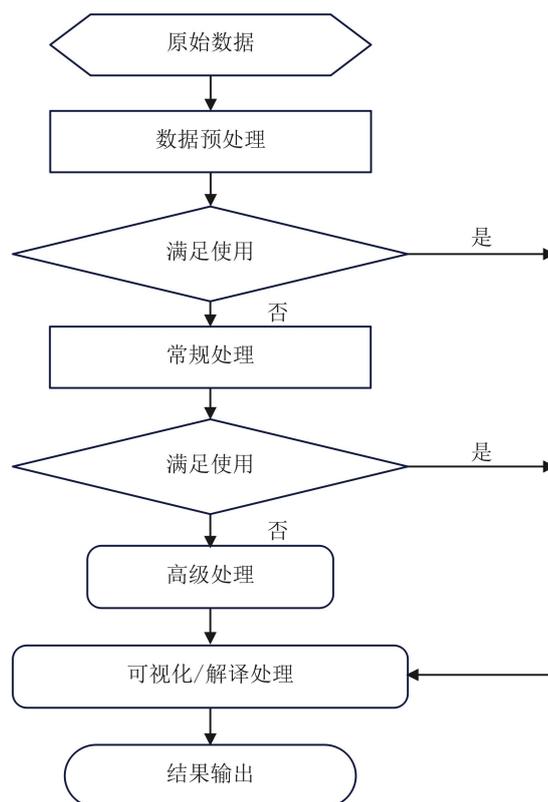


图1 探地雷达数据处理流程

8.2.2 探地雷达检测的数据预处理符合下列规定：

- a) 自由连续采集的数据进行水平距离归一化处理；
- b) 增益调整时曲线不得出现拐点，尽可能保持数据的相对振幅关系及动力学特征；
- c) 预处理应进行位置和距离校正，删除无用道；
- d) 零点校正确定地面反射点的位置。

8.2.3 二维探地雷达数据处理方法宜根据数据质量及解译要求确定，并符合下列规定：

- a) 根据数据处理的目的是可选取增益调整、频率滤波、反褶积、偏移归位、空间滤波、数据平滑等常规处理方法；
- b) 在数据处理各阶段可应用频率滤波方法，消除某一频段的干扰波；
- c) 当反射信号弱、信噪比低时不宜对数据记录进行反褶积、偏移归位处理；
- d) 可用反褶积压制多次反射波干扰，反射子波选择最小相位子波；
- e) 可采用空间滤波的有效道叠加或道间差方法，提高异常信号的连续性、独立性和可解译性；

- f) 可采用平滑数据的点平均法消除信号中的高频干扰，参与计算的点数最大值小于采样率与低频频率之比；
 - g) 若改变反射信号的振幅特征时宜完成其他方法处理后进行。
- 8.2.4 三维探地雷达检测的数据处理除满足第8.2.3条的规定外，并符合下列规定：
- a) 图像显示的色标调整以突出有效异常体为目的，达到最佳视觉效果；
 - b) 滤波前对数据进行频谱分析，得到较为准确的频率分布范围；
 - c) 偏移处理时，使绕射波收敛，无画弧现象。
- 8.2.5 管道探地雷达数据处理除满足第8.2.3条的规定外，应对CCTV视频资料进行信号同步处理。

8.3 隐患识别

- 8.3.1 二维探地雷达检测的资料解译流程可参照图2，并应符合下列规定：
- a) 根据信号的能量强弱、同相轴及相位、频率等变化特征提取异常信号；
 - b) 识别干扰源，剔除干扰异常；
 - c) 结合地下岩土特征、道路环境状况、地下管线、地下基础设施情况、历史坍塌等资料进行综合解译；
 - d) 在剖面图像上标出异常的范围；
 - e) 结合相邻测线检测结果确定地面坍塌隐患的位置和范围。

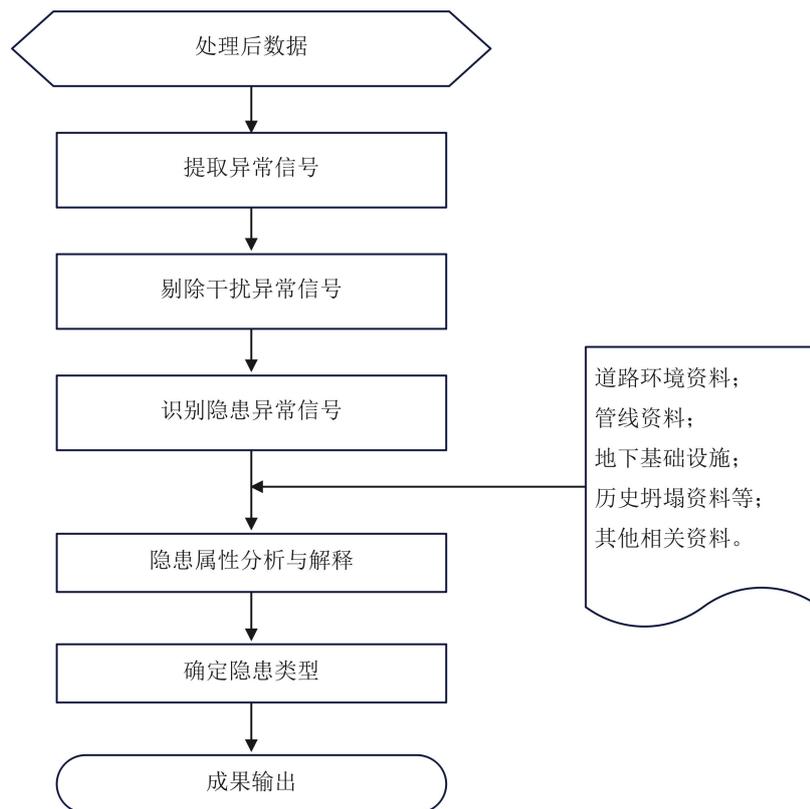


图2 二维探地雷达资料解译流程

- 8.3.2 三维探地雷达检测的资料解译流程可参照图3，并符合下列规定：
- a) 根据纵剖面、横剖面的同相轴、振幅、相位和频率等属性特征提取异常体；
 - b) 对纵剖面、横剖面、水平切片切取异常体数据并形成图像；

- c) 对于重点异常体，除采用纵剖面、横剖面、水平切片外，还可结合任意方向切取的剖面，识别异常体的空间分布特征；
- d) 识别干扰源，剔除干扰异常；
- e) 结合地下岩土体条件、道路环境状况、地下管线和地下基础设施情况、历史坍塌等资料进行综合解译确定异常体隐患类型；
- f) 确定隐患体的位置、尺寸、埋深，并在雷达切片上进行注释。

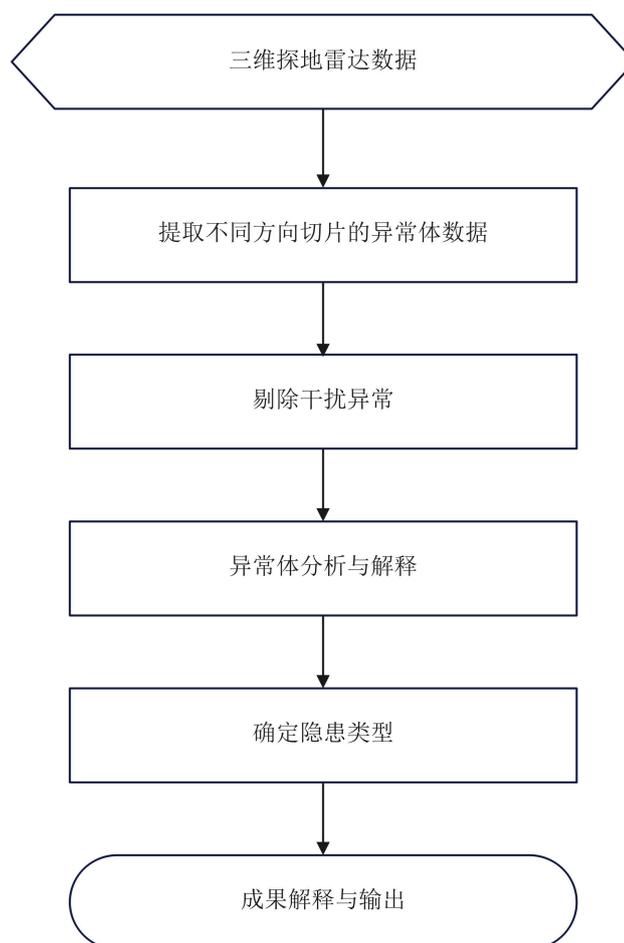


图3 三维探地雷达资料解译流程

8.3.3 管道探地雷达检测的资料解译除满足第8.3.1条的规定外，宜同步结合CCTV视频图像进行数据综合解译，必要时可结合CCTV检测评估结果确定隐患属性特征。

8.3.4 城市地面坍塌隐患检测中常见典型干扰源的分类及特征图谱参照JGJ/T 437，典型地面坍塌隐患及地下构筑物探地雷达图像见附录E。

8.3.5 地面坍塌隐患的解译特征可根据探地雷达的波组形态、振幅与衰减、相位和频谱结构等特征指标，参照JGJ/T 437规定和表1方法识别各类地面坍塌隐患。

表1 地面坍塌隐患探地雷达特征识别

隐患类型	三维水平切片	二维波组形态/ 三维垂直剖面	振幅特征	相位与频谱特征
脱空	1. 顶部呈与脱空水平形状相近的闭合图形； 2. 脱空图形内部色系单一、发育在路面结构层内的脱空体呈少量雪花状。	1. 顶部形成连续的同向性反射波组，以似平板状形态特征为主； 2. 多次波明显； 3. 两侧绕射波明显。	振幅很强、衰减慢	1. 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2. 频率明显高于背景场。
空洞	1. 图像异常整体形状与空洞隐患体的形状相似，边界清晰； 2. 顶部表现为与空洞形状相似的闭合图形，随着时间、深度变大，向深部图像形状趋于闭合，随着空洞的变化而变化； 3. 空洞内部的雷达图像色系单一，结构均匀，随着时间、深度变大，图像内部逐渐呈雪花状。	1. 波组整体形状受空洞隐患体的形状影响而变化； 2. 近似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线； 3. 近似方形空洞反射波组表现为正向连续平板状双曲线； 4. 多次波明显； 5. 两侧绕射波很明显。	振幅很强、衰减慢	1. 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2. 频率明显高于背景场。
疏松体	1. 图像异常整体形状与疏松隐患体的形状相似，顶部呈闭合形状，随着时间、深度变大，深部图形形状随着疏松体的变化而变化； 2. 图像内部呈雪花状、结构变化不均匀。	1. 顶部形成连续的同向性反射波组； 2. 内部波形结构较杂乱，波形同相轴不连续； 3. 多次波发育较发育； 4. 两侧绕射波现象轻~较明显，与疏松程度相关。	振幅较周边强、衰减慢	1. 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2. 频率较背景场高。

9 地面坍塌隐患复核与验证

9.1 一般规定

9.1.1 地面坍塌隐患复核与验证工作实施前，应根据推断的隐患体规模、埋深以及上覆地层承载能力等因素，评估复核与验证工作致灾的可能性，采取安全保护措施，避免引发地面坍塌事故。

9.1.2 应根据推断的地面坍塌隐患的规模、地球物理场特征和周边作业环境等因素，选取合理的地球物理勘探方法对隐患体进行复核，确定地面坍塌隐患的类型、规模等属性参数。

9.1.3 宜选取钻探、挖探、动力触探等方法，辅以内窥镜等手段对解译的空洞、脱空、疏松体等地面坍塌隐患进行验证，确定隐患体的隐患类型、隐患内部性状等，查明其顶部埋深、底部埋深和净深等参数。

9.1.4 地面坍塌隐患验证前应调查周边环境情况，查明隐患影响区域内地下管线和其他设施分布情况，避免因验证工作破坏地下设施，产生次生事故同时为地面坍塌隐患的成因分析提供相关信息。

9.1.5 地面坍塌隐患复核验证点的位置应根据复核验证目的、隐患体顶底埋深及其稳定性等综合确定，并保障安全实施。

9.1.6 对复核或验证确认的地面坍塌隐患，应做好现场定位标记。

9.2 隐患复核

9.2.1 宜采用不同中心频率探地雷达对初步判定的地面坍塌隐患进行复核和对比，确定隐患的平面位置、类型和规模等；地面坍塌隐患埋深较大时可结合现场条件选用微动勘探法、地震映像法或瞬态面波法等物探方法进行复核。

9.2.2 地面坍塌隐患周边存在排水管线时，宜结合实施条件采用管道探地雷达复核管线自身及其管外的隐患发育情况。

9.2.3 隐患复核时应按照不同检测方法和工程性质及时填写现场记录，记录内容应清晰、准确、完整，记录格式见附录F。

9.2.4 可优先采用地震映像法复核隐患体边界，有关数据采集、处理和解译应符合JGJ/T 437的相关规定外，测线应网格化布设，条件允许时应补充斜十字交叉方式布设测线；测线布设间距应不大于1.0 m，测线长度应超出隐患影响范围两侧至少5.0 m。

9.2.5 当采用微动勘探法复核深部地面坍塌隐患时，数据采集、处理和解译应符合JGJ/T 437的相关规定外尚应符合下列要求：

- a) 根据隐患的影响深度、范围和管线的位置关系，并结合现场环境条件选取合适的台阵观测方式；
- b) 当隐患周边存在管线设施时，数据采集时间避开管线的运行高峰期，降低震动干扰；
- c) 结合隐患的埋设深度和规模综合设计微动台阵的半径、间距等参数。

9.3 隐患验证

9.3.1 空洞、脱空验证比例宜为100%，疏松体验证数量不宜少于其总数的20%。

9.3.2 采用钻探或挖探方式进行验证时，除应符合JGJ/T 437的相关规定外，还宜对隐患体内部土体结构、发育规模、含水状态等情况进行影像采集。

9.3.3 验证点布设应符合下列要求：

- a) 应结合隐患体附近区域的探地雷达图谱特征设计钻孔位置，对于平板状图谱特征的隐患体宜布设在探地雷达图谱异常反映最强部位或中心部位；对于抛物线图谱特征的隐患体，钻孔布设在抛物线顶点位置；
- b) 隐患规模较大时，应结合异常体的特征增加验证点数量；
- c) 当验证隐患体的边界时，可根据探地雷达图像反映的边界位置，在所检测的边界两侧0.5 m~1.0 m分别布设验证点。

9.3.4 当不具备钻探、挖探等施工条件时，宜根据现场检测条件采用地震映像法、瞬态面波法或微动勘探法等其他物探手段交叉进行复核，确认隐患的类型及相关属性特征。

9.3.5 验证工作实施前，应根据隐患体规模、埋深以及地面结构特征等因素，评估验证实施工作对引发隐患体坍塌的可能性，据此确定验证点的位置与实施方法，避免因验证设备荷载或施工影响引发隐患体坍塌。

9.3.6 成果验证完成后应根据验证结果及时修正初始检测结论，确认地面坍塌隐患类型、影响范围及性状，两者偏差较大时，应及时分析原因并修正相关结果。

9.3.7 隐患验证时应记录地面坍塌隐患的详细位置、起止深度、岩土体性状、土体湿度状况、周边环境、验证过程施工的异常现象等，并且准确、完整填写现场隐患点验证记录单，记录格式见附录F。

9.3.8 采用带水钻探方式进行验证时，应结合地面坍塌隐患的特点，控制钻探用水方式，避免钻探用水对隐患特征识别造成干扰。

9.3.9 钻探验证结束后，应对隐患顶部以上、道路结构层部分的钻孔深度段进行封堵，封堵材料宜采用水泥和膨润土等材料制成浆液或水泥浆。

9.3.10 隐患验证时应验证人员和设备进行安全防护，设置专门的安全防护设备和设施，安排专人负责交通安全疏导。

9.3.11 隐患验证完成后宜编制隐患验证总结，内容宜包括项目概况、验证方法、验证结果、结论和建议、相关成果图表等。

10 地面坍塌隐患等级评定

10.1 一般规定

10.1.1 应根据检测出的隐患类型、规模大小等情况，评定地面坍塌隐患等级。

10.1.2 地面坍塌隐患等级由高到低划分为 I 级（特别重大级）、II 级（重大级）、III 级（较大级）和 IV 级（一般级）。

10.1.3 地面坍塌隐患检测中，应根据隐患等级及时通报隐患信息，对 III 级及以上隐患即时通知相关各方，采取应急处置措施。

10.1.4 应根据隐患等级、形成原因与施工条件等因素确定处置时机和处置方法。

10.1.5 地面坍塌隐患等级具有动态发展特征，应根据最新隐患等级采取相应的处置对策。

10.2 地面坍塌隐患等级评定

10.2.1 空洞和脱空宜根据隐患面积和净深按照表2确定隐患等级。

表 2 空洞和脱空隐患等级评定表

面积	净深					
	$H \leq 0.2m$	$0.2 < H \leq 0.5m$	$0.5 < H \leq 1m$	$1 < H \leq 2m$	$2 < H \leq 4m$	$H > 4m$
$S < 3m^2$	IV	IV	IV	IV	III	III
$3 \leq S < 10m^2$	IV	IV	IV	III	III	II
$10 \leq S < 15m^2$	IV	III	III	III	III	II
$15 \leq S < 30m^2$	IV	III	III	III	II	I
$30 \leq S < 100m^2$	IV	III	III	II	I	I
$S \geq 100m^2$	IV	III	II	I	I	I

10.2.2 疏松体原则上不进行等级评定，但当疏松体隐患处于在建地下工程强烈影响区、雨污水管道周边、暗渠化河道周边等区域时，可参照第10.2.1条规定评定隐患等级，并不超过III级。

10.2.3 当城市举行重大社会活动时，对于活动涉及道路或其他相关区域，可将隐患等级提高一级进行风险防控。

10.2.4 宜根据深圳市现行的地面坍塌隐患防治相关管理办法开展地面坍塌隐患的处置工作。

10.2.5 对处置后的地面坍塌隐患区域宜进行处理效果检测，经过检测和评估后该区域不具有地面坍塌隐患特征时可消除相应隐患体。

11 成果资料及管理

11.1 一般规定

11.1.1 地面坍塌隐患检测报告应根据搜集的资料、现场检测结果和验证信息、综合分析评价成果等，结合工程特点和要求进行编制，同时宜根据管理单位需要，按相关管理要求制作数字化成果，开展信息化管理。

11.1.2 检测成果应根据不同的地面坍塌隐患类型，对检测出的隐患体进行成因分析及隐患等级评定，提出相关处置建议。

11.1.3 地面坍塌隐患检测成果应建立统一的数据格式和成果格式，形成相应的电子信息，应满足相关地面坍塌隐患信息管理的要求。

11.2 成果资料内容

11.2.1 成果资料应按照规定的统一格式进行编制，具体包括成果报告、成果图件、成果表等。

11.2.2 成果报告宜包括下列内容：

- a) 项目概况，包括项目背景、工作目的与内容、工作范围、项目实施情况、工作区环境条件分析等；
- b) 项目实施标准和依据；
- c) 工作方法，包括工作流程、主要探测技术方法、数据采集与处理、隐患解译识别等；
- d) 现场检测组织，包括检测工作组织实施、人员和设备投入情况等；
- e) 质量检查与评价；
- f) 工作量统计；
- g) 隐患验证统计，包括复核验证工作流程、验证工作方法、验证工作比例、复核验证结果等；
- h) 检测成果统计分析，对检测成果中地面坍塌隐患的类型、发育特征、分布位置、处置跟踪情况等统计，分析形成原因等；
- i) 结论与建议；
- j) 后期服务计划和措施。

11.2.3 成果表的编制宜满足下列要求：

- a) 成果表包括工作量汇总表、地面坍塌隐患等级评定表、地面坍塌隐患信息汇总表、地面坍塌隐患信息卡等；
- b) 地面坍塌隐患信息包括：编号、位置、坐标、面积、净深、埋深、类型、隐患等级、成因类型等，记录格式见附录G、附录H；
- c) 地面坍塌隐患位置信息采用2000国家大地坐标系。

11.2.4 成果图件应包括检测工作布置图、地面坍塌隐患分布图、成果解译剖面图等。

11.2.5 工作布置图应根据检测方法采用统一的代号和图例编制，检测方法代号和图例参照JGJ/T 437规定执行，并应符合下列规定：

- a) 工作布置图标明测线、测点、验证点、剖面起讫点等的平面位置、编号；
- b) 测线特征点、测点等由检测方法代号和阿拉伯数字组成，且保证同一测区唯一；
- c) 验证工作布置按规定的代号、颜色和图例统一编号绘制。

11.2.6 地面坍塌隐患平面分布图应根据地面坍塌隐患类型采用统一的代号、颜色和图例编制，地面坍塌隐患在平面图的标注方法、代号和图例参照JGJ/T 437规定执行。

11.2.7 成果解译剖面图表述内容参照JGJ/T 437规定执行。

11.3 成果资料归档

11.3.1 成果归档资料应真实、完整、安全、有效。

11.3.2 成果归档资料应包括纸质文件和电子文件，纸质成果报告应是经过审核通过后的最终文件，电子文件应与纸质文件内容一致。

11.3.3 成果资料应在审核后根据相关要求进行了资料归档。

11.4 成果的信息化管理

11.4.1 地面坍塌隐患成果的信息化管理宜基于基础地理信息平台，输入统一格式的隐患资料和周边环境资料，构建信息管理系统，动态跟踪地面坍塌隐患的发展趋势。

11.4.2 地面坍塌隐患检测测线轨迹和数据库的构建除应符合现行国家标准GB/T 33453和JGJ/T 437的相关规定外，尚应包括隐患的空间信息和属性信息，其中空间信息应包括隐患坐标和埋深等，属性信息应包括隐患类型、规模、风险等级和处置状态等。

11.4.3 地面坍塌隐患数据库宜根据隐患的检测、监测和工程处理结果及时更新，并保留历史数据。

11.4.4 地面坍塌隐患信息管理系统应具备数据输入、编辑、查询、统计、分析等基本功能，宜具备三维可视化、数据交换服务等应用功能。

11.4.5 地面坍塌隐患信息交换与应用服务应符合现行行业标准CJJ 100和JGJ/T 437的相关规定。

11.4.6 地面坍塌隐患信息管理系统的的核心设计应符合现行国家标准GB/T 22239的相关规定。

附 录 A
(规范性)
项目检测方案大纲

地面坍塌隐患检测项目检测方案包括但不限于以下内容：

- a) 项目概况，包括概述、工作目的与内容、工作范围和工作量、项目要求等；
- b) 方案编制依据；
- c) 工程环境、重难点分析，包括工程环境分析、项目重点、项目难点等；
- d) 工作流程和技术路线，包括项目工作流程和项目技术路线等；
- e) 工作技术方法和措施，包括探地雷达检测、数据处理和解译、坍塌隐患点的复核及验证、坍塌隐患的风险评定及处置建议、项目重点、难点应对措施等；
- f) 检测组织，包括项目人员组织机构及人员配置、项目设备配置、项目进度计划安排等；
- g) 项目实施保障措施，包括项目质量保障措施、项目进度保障措施、项目安全生产及文明施工保障措施、突发应急预案等；
- h) 成果资料内容及形式。

附录 B

(资料性)

地面坍塌隐患探地雷达检测常见介质的物理量

采用探地雷达法进行地面坍塌隐患检测时，相对介电常数、电磁波速度等是影响探测精度和解译准确性的关键参数，对应不同介质可见表B.1进行取值。

表 B.1 地面坍塌隐患探地雷达检测常见介质的物理量

介质	电导率 σ (S/m)	相对介电常数 ϵ_r	电磁波速度 v (m/ns)	电磁波衰减系数 a (dB/m)
花岗岩(干)	10^{-8}	5	0.15	0.01~1
花岗岩(湿)	10^{-3}	7	0.10	0.01~1
灰岩(干)	10^{-9}	7	0.11	0.4~1
灰岩(湿)	2.5×10^{-2}	8	-	0.4~1
砂(干)	$10^{-7} \sim 10^{-3}$	4~6	0.15	0.01
砂(湿)	$10^{-4} \sim 10^{-2}$	30	0.06	0.03~0.3
黏土(湿)	$10^{-1} \sim 1$	8~12	0.06	1~300
土壤	$1.4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-2}$	2.6~15	0.13~0.17	20~30
混凝土	-	6.4	0.12	-
沥青	-	3~5	0.12~0.18	-
冰	-	3.2	0.17	0.01
纯水	$10^{-4} \sim 3 \times 10^{-2}$	81	0.033	0.1
海水	4	81	0.01	1000
空气	0	1	0.3	0

附 录 C
(资料性)
探地雷达检测现场记录单

探地雷达现场检测时记录项目及测线的相关信息，包括项目信息、设备信息、采集参数、测线位置信息及异常情况备注等，格式见表 C.1。

表 C.1 探地雷达检测现场记录单

项目名称：_____ 项目地点：_____ 天气：_____
仪器型号/编号：_____ 天线主频 (MHz)：_____ 时窗 (ns)：_____ 采样点数：_____

文件号	测线方向	测线位置	测线起点	测线终点	测线长度 (m)	备注/异常情况
现场 草图						
说明						

操作：

记录：

日期：

第 页/共 页

附 录 D
(资料性)
现场巡视与调查记录单

探地雷达检测项目实施过程中，根据需要开展现场巡视和调查，并对巡视和调查的信息进行记录，具体内容和格式见表 D.1。

表D.1 现场巡视与调查记录单

项目名称：_____ 项目地点：_____ 天气：_____

巡查时间	
位置描述	(道路名称+详细位置描述)
巡查问题	(空洞、坍塌、沉陷、裂缝等)
位置示意图	
环境调查情况	(问题区域规模，管井分布情况、历史修补情况等)
现场照片	

记录：

检查：

日期：

第 页/共 页

附录 E

(资料性)

典型地面坍塌隐患及地下构筑物探地雷达图像

地面坍塌隐患及地下构筑物的探地雷达图像因其形态变化而变化,不同地面坍塌隐患的二维探地雷达图像与三维探地雷达图像也存在一定差异。本文件给出了部分典型地面坍塌隐患(图 E.1~图 E.6)和地下构筑物(图 E.7、图 E.8)的探地雷达图像。

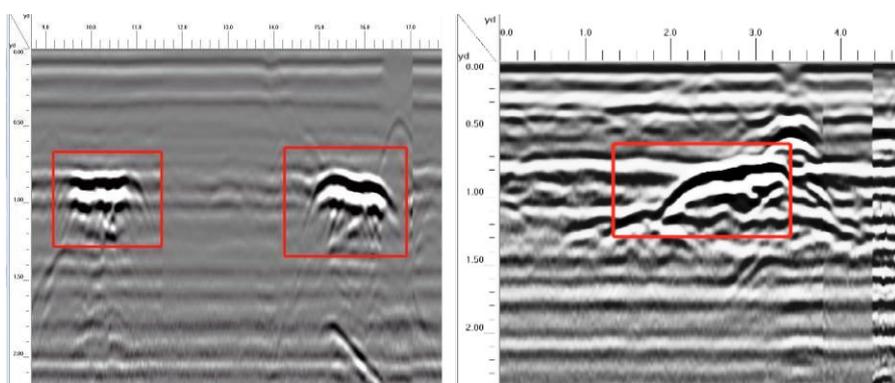


图 E.1 典型空洞探地雷达图像(二维探地雷达)

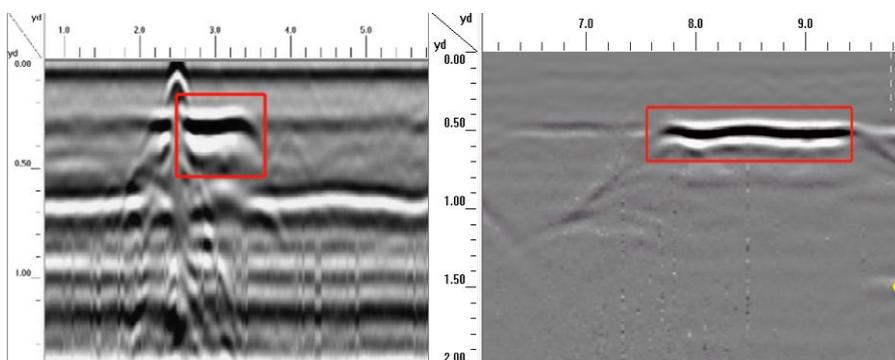


图 E.2 典型脱空探地雷达图像(二维探地雷达)

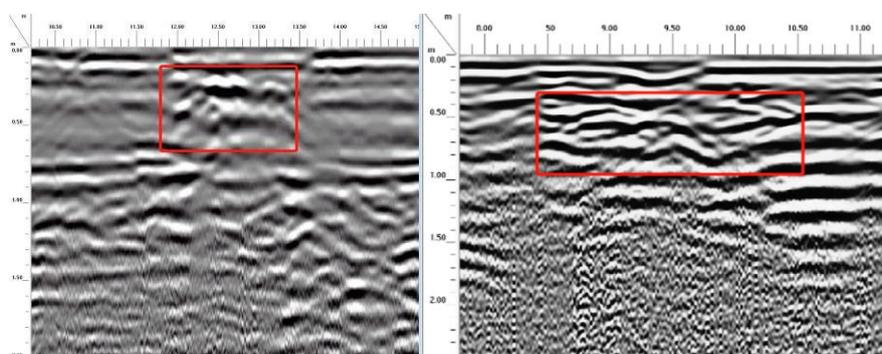


图 E.3 典型疏松体探地雷达图像(二维探地雷达)

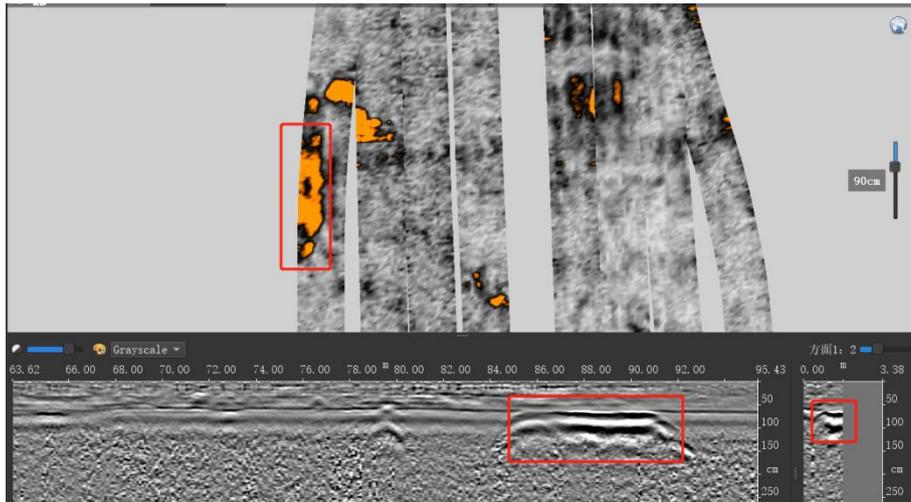


图 E.4 典型地下空洞三维探地雷达图像

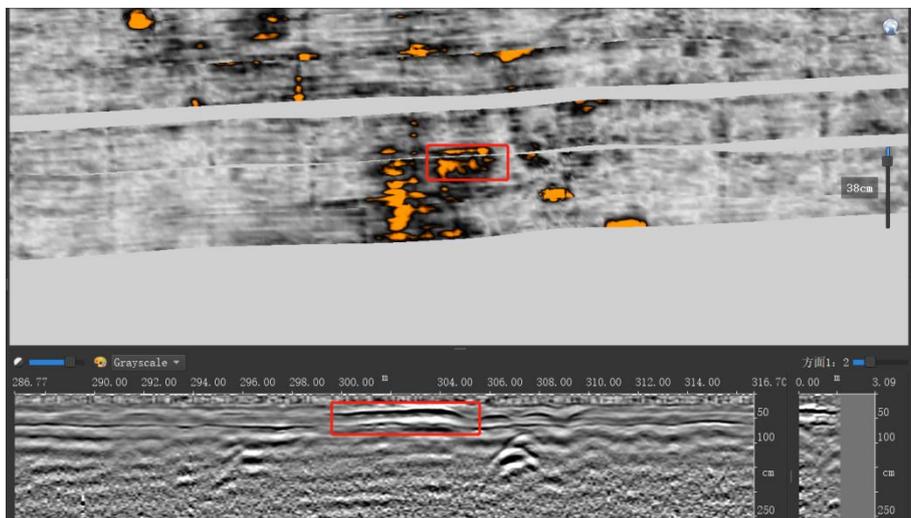


图 E.5 典型脱空三维探地雷达图像

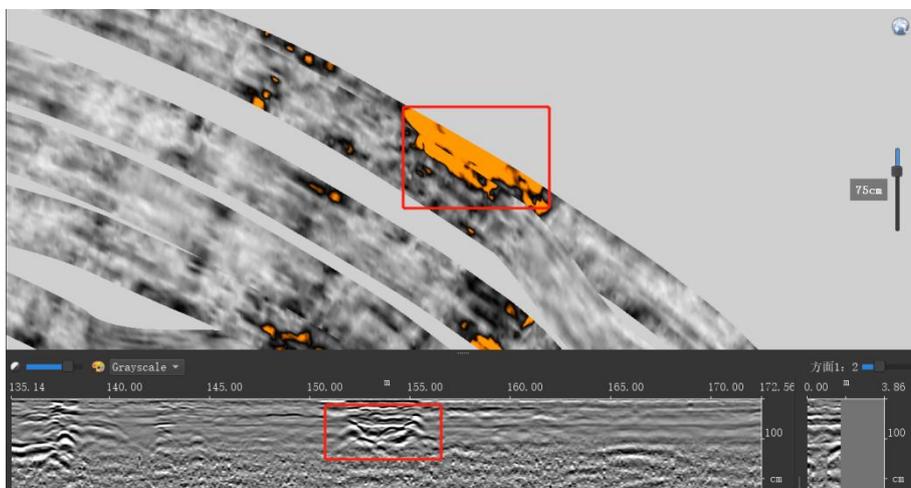


图 E.6 典型疏松体三维探地雷达图像

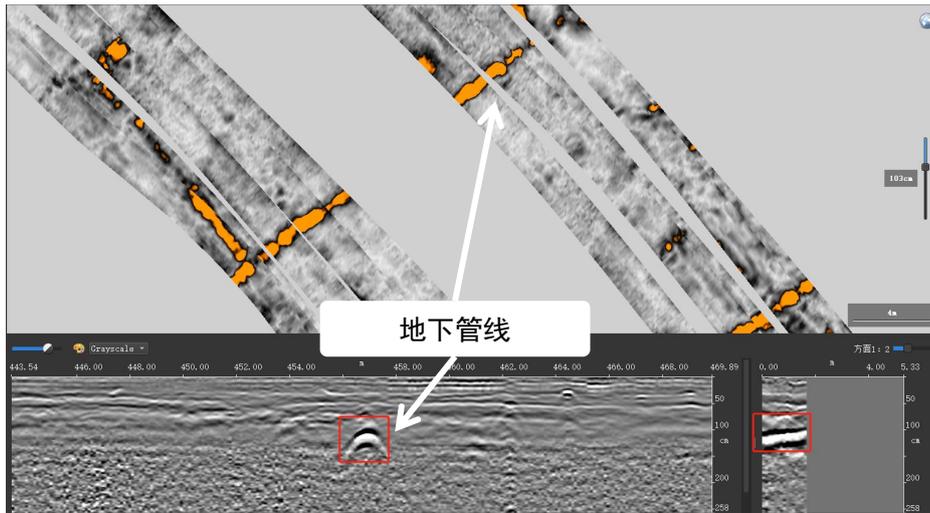


图 E.7 典型地下管线三维探地雷达图像

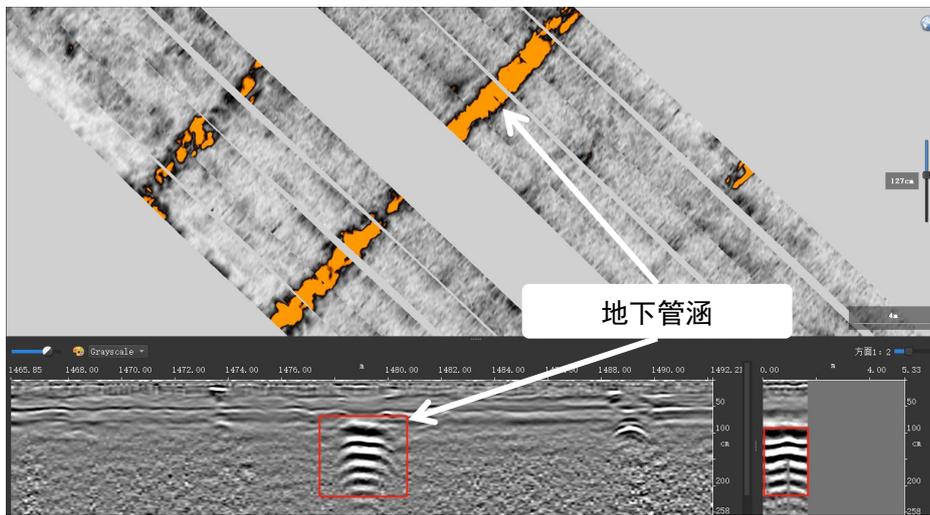


图 E.8 典型地下管涵三维探地雷达图像

附 录 F
(资料性)
地面坍塌隐患现场复核验证记录单

根据本文件规定对初步判定的地面坍塌隐患进行复核及验证，现场记录复核及验证的相关信息，具体内容和格式见表F.1。

表F.1 地面坍塌隐患现场复核验证记录单

项目名称：_____ 项目地点：_____ 天气：_____

隐患（异常）编号		隐患（异常）类型		埋深/净深（m）	
隐患位置					
隐患点坐标					
初判雷达图像	（二维、三维雷达图谱）				
现场复核、调查	探地雷达复核描述		隐患与周边管线分布示意图 （现场调查）		
	天线型号： 复核测线编号及方向：				
现场验证	验证方式、设备		验证深度（m）		
	验证过程描述	（钻进难易程度、掉钻情况、土体性质、含水量情况等）			
隐患验证结果	隐患类型		埋深/净深 （m）		
	平面规模 （m×m）				
	其他描述				
验证负责人		验证时间			

记录：

检查：

日期：

第 页/共 页

附 录 G
(资料性)
地面坍塌隐患信息卡

对最终判定的地面坍塌隐患以单个隐患为单位形成地面坍塌隐患信息卡，信息卡中包括隐患编号、类型、位置、规模、风险等级、雷达图谱、隐患成因、隐患处置建议及其他情况，格式见表 G.1。

表 G.1 地面坍塌隐患信息卡

项目名称：_____

编号 ^a				隐患类型		隐患等级	
天气		路面材质		验证时间			
长 (m)		宽 (m)		雷达型号			
埋深 (m)		净深 (m)		天线主频 (MHZ)			
面积 (m ²)		体积 (m ³)		经纬度坐标		E	
位置描述						N	
雷达图谱 1 (____MHZ)		雷达图谱 2 (____MHZ)			雷达图谱 3 (____MHZ)		
现场照片 1		管线分布示意图			位置信息		
成因初步分析							
初步处置建议							
钻探及其他验证结果							
^a 行政区名拼音首字母+道路名拼音首字母+车道编号+隐患点编号，其中车道编号根据车道行驶方向分为 NS、SN、EW 和 WE，非正南北或正东西向行驶车道按方位角最接近的方向归类到上述四类，每个方向从内车道到外车道依次编号，如大鹏区海港路北往南第一车道第一个隐患点为 DP-HGL-NS01-001，隐患点编号为每个隐患的顺序编号。							

检测单位：

联系人：

联系方式：

参 考 文 献

- [1] GB 50021 岩土工程勘察规范（2009年版）
 - [2] CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准
 - [3] DB11/T 1399 城市道路与管线地下病害探测及评价技术规范
 - [4] 深圳市规划和自然资源局. 深圳市地面坍塌隐患等级及认定暂行办法. 2020年
 - [5] 深圳市规划和自然资源局. 深圳市地面坍塌隐患检测技术导则（试行）. 2020年
 - [6] 中国建筑工业出版社. 工程地质手册（第五版）. 2018年
-