

深圳市地面坍塌隐患探地雷达检测技术规范（试行）
Technical Specification for Detecting Potential Ground
Collapse Hazard by Ground Penetrating Radar in
Shenzhen(Tentative)

深圳市规划和自然资源局
深圳市地面坍塌防治工作领导小组办公室
2023 年 8 月

前 言

根据《深圳市市场监督管理局关于下达 2022 年深圳市地方标准计划项目任务的通知》要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规范。

本规范的主要内容有：1.总则；2.术语、符号；3.基本规定；4.仪器设备；5.工作准备；6.数据采集；7.数据处理和隐患识别；8 地面坍塌隐患复核与验证；9 地面坍塌隐患风险等级评定及处置；10 成果资料。

本规范由深圳市规划和自然资源局（深圳市地面坍塌防治工作领导小组办公室）负责管理，由北京市勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送深圳市规划和自然资源局（地址：深圳市福田区红荔西路 8006 号规划大厦，邮编：518034）。

本规范主要编制单位：深圳市规划和自然资源局

北京市勘察设计研究院有限公司

本规范参编单位：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

太科技有限公司

本规范主要起草人员：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 杨 帆

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

本规范主要审查人员：余海忠 杨 进 龚淑云 侯小明 周献琦

目 次

1 总 则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	5
3 基本规定	6
4 仪器设备	10
4.1 一般规定	10
4.2 探地雷达设备	10
4.3 其他设备	12
5 工作准备	14
6 数据采集	16
6.1 一般规定	16
6.2 测线布设	16
6.3 二维探地雷达检测	19
6.4 三维探地雷达检测	21
6.5 管道探地雷达检测	22
6.6 测线定位与测量	23
6.7 现场巡视与调查	24
7 数据处理和隐患识别	25
7.1 一般规定	25

7.2 数据处理	25
7.3 隐患识别	27
8 地面坍塌隐患复核与验证	30
8.1 一般规定	30
8.2 隐患复核	31
8.3 隐患验证	32
9 地面坍塌隐患等级评定及处置	34
9.1 一般规定	34
9.2 地面坍塌隐患等级评定	34
10 成果资料	36
10.1 一般规定	36
10.2 成果资料内容	36
10.3 成果资料归档	38
10.4 成果的信息化管理	38
附录 A 项目检测方案大纲	40
附录 B 探地雷达检测现场记录单	42
附录 C 现场巡视与调查记录单	43
附录 D 地面坍塌隐患现场复核验证记录单	44
附录 E 地面坍塌隐患信息统计表	45
附录 F 地面坍塌隐患信息卡	46
附录 G （资料性附录）典型地面坍塌隐患及地下构筑物探地雷达图谱	47

附录 H 地面坍塌隐患探地雷达检测常见介质的物理量	50
引用标准名录	51

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	5
3	Basic Requirements	6
4	Instruments and equipment	10
4.1	General Requirements	10
4.2	Ground Penetrating Radar Equipment	10
4.3	Other Equipment	12
5	Technical Preparation	14
6	Data Acquisition	16
6.1	General Requirements	16
6.2	Line Layout	16
6.3	Two Dimensional Ground Penetrating Radar Detection	19
6.4	Three Dimensional Ground Penetrating Radar Detection	21
6.5	Pipeline Ground Penetrating Radar Detection	22
6.6	Line Positioning and Measurement	23
6.7	The Field Inspection and Investigation	24
7	Data Processing and Hazard Identification	25
7.1	General Requirements	25
7.2	Data Processing	25
7.2	Hazard Identification	27
8	Hazard Recheck and Verification	30
8.1	General Requirements	30
8.2	Hazard Recheck	31
8.3	Hazard Verification	32
9	Hazard Level Evaluation and Disposal	34

9.1	General Requirements	34
9.2	Hazard Level Evaluation	34
10	Data of Results	36
10.1	General Requirements	36
10.2	Contents of Results Data	36
10.3	Archiving of Results	38
10.4	Information Management of Results	38
	Appendix A Outline of Project Implementation Plan	40
	Appendix B Field Record Sheet for GPR	42
	Appendix C Field Inspection and Investigation Sheet	43
	Appendix D Field Hazard Recheck and Verification Sheet	44
	Appendix E Hazard Information Statistical Table	45
	Appendix F Hazard Information Card	46
	Appendix G Typical GPR Image of Ground Collapse Hazard and Structures	47
	Appendix H Physical Quantities of Common Media	50
	List of Quoted Standards	51

1 总 则

1.0.1 为规范深圳市地面坍塌隐患探地雷达检测工作，统一检测标准，提高地面坍塌隐患检测工作成效，防控地面坍塌风险，助力防灾减灾，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于深圳市公路、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考本规范执行。

1.0.3 采用探地雷达检测地面坍塌隐患除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准及管理规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 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不当等人类工程活动，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。

2.1.2 地面坍塌隐患 ground collapse hazard

可能引发地面坍塌的地下空洞、脱空和疏松体等称为地面坍塌隐患。

2.1.3 空洞 cavity

发育在地面工程结构层内部净深大于 20cm 或发育在地面工程结构层以下土体内的洞体。

2.1.4 脱空 cavity underneath pavement

地面工程结构层内部或结构层与下部地基土体之间脱开形成净深小于等于 20cm 的洞体。

2.1.5 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。

2.1.6 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。

2.1.7 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，形成三维立体电磁波集成数据的探地雷达检测方法。

2.1.8 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。

2.1.9 测线束 line beam

三维探地雷达单幅全部通道的测线集合。

2.1.10 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。

2.1.11 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）的电磁波响应剖面。

2.1.12 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）电磁波响应剖面。

2.1.13 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）电磁波响应剖面。

2.1.14 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。

2.1.15 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。

2.1.16 地面坍塌隐患等级 ground collapse hazard level

根据地面坍塌隐患类型、规模及可能造成的危害等所确定的隐患等级。

2.2 符号

T ——探地雷达检测时的记录时窗（ns）；

K ——探地雷达检测时记录时窗加权系数；

D ——探地雷达最大检测深度（m）；

ε_r ——相对介电常数；

σ ——电导率（S/m）；

v ——地下介质等效电磁波速度（m/ns）；

α ——电磁波衰减系数（dB/m）；

S ——地面坍塌隐患面积（m²）；

H ——地面坍塌隐患净深（m）。

3 基本规定

3.0.1 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。

3.0.2 地面坍塌隐患检测区域应根据致塌条件和易发性等因素综合确定，宜按下列原则确定重点检测区域，并根据地面坍塌隐患发展趋势及应急防控工作需要动态更新。

- 1 较厚填土、软土等不良地质易发区以及大范围填海工程建设区；
- 2 人口密集区域或重要大型活动举办地周边区域或道路；
- 3 历史坍塌多发区域；
- 4 建成时间较长，健康运行状态较差、频繁开挖修复的地下管线或暗渠化河道周边区域和道路；
- 5 存在错口、脱节、破裂、渗漏、异物穿入等二级以上结构性缺陷的排水管网周边区域；
- 6 在建或竣工运行 3~5 年的各类地下管线、地下工程、穿越道路工程及基坑等工程影响区域或沿线道路；
- 7 地下管线分布复杂区域或道路；
- 8 地面坍塌易发区所在的交通主干道、生命线工程系统、老旧工业区及商业活动场地；
- 9 其他可能坍塌的区域或道路。

3.0.3 地面坍塌隐患检测应建立定期检测机制，除应满足《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437 规定外，检测周期和检测时机尚应结合城市运行、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：

1 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；

2 下列区域应进行定期进行检测：

1) 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 1~2 年；

2) 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；

3) 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；

4) 对于排水管涵、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。

3 下列施工影响区域的检测时机宜根据施工工法和主体工程埋设深度等因素综合确定：

1) 地下工程宜在施工前和竣工后 3~5 年内对影响范围内区域或道路进行检测；

2) 穿越道路的管渠工程，宜在施工前和竣工后 1~3 年内对影响范围内的区域或道路进行检测；

3) 基坑工程宜在竣工后 1~2 年内对其施工影响范围内的周边区域或道路进行检测。

4 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；

5 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；

6 其他存在地面坍塌隐患风险区域，宜择机进行检测。

3.0.4 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、成果编制和数据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。

3.0.5 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，选择二维或三维探地雷达进行检测，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。

3.0.6 地面坍塌隐患检测工作实施过程中宜建立有效的自检、互检和抽检的质量管控措施，检查、评估数据的采集质量。

3.0.7 探地雷达检测判定的各类隐患体，应采用钻探、挖探、触探或其他物探方法进行复核和验证。

3.0.8 对检测确定的空洞、脱空等隐患体应评定地面坍塌隐患等级。

3.0.9 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。

3.0.10 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，并应符合下列规定：

1 采用的新技术、新方法应能满足检测目的和要求，并经工程实践检验有效；

2 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。

3.0.11 地面坍塌隐患检测从业人员应通过相关专业技术培训并经考核合格后，方可从事相关工作。

3.0.12 地面坍塌隐患检测成果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。

4 仪器设备

4.1 一般规定

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

4.1.2 仪器设备应经检定合格或校准，并在有效期内使用。设备使用前，应经检查调试处于正常状态。

4.1.3 应授权有相应专业能力的人员操作、使用和维护仪器设备。

4.2 探地雷达设备

4.2.1 探地雷达仪器的主要性能指标应满足下列要求：

- 1 系统增益不应小于 150dB；
- 2 信噪比不应低于 110dB，动态范围不应小于 120dB；
- 3 采样分辨率不应小于 5ps；
- 4 长时间稳定性 $\leq 3\%$ ；
- 5 A/D 转换位数应不小于 16 位。

4.2.2 二维探地雷达设备除满足第 4.2.1 条的规定外，宜满足下列要求：

- 1 多通道数据采集仪器的各通道应一致性良好；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 数据处理软件具备处理 1GB 数据量以上的能力。

4.2.3 三维探地雷达设备除应满足第 4.2.1 条的规定外，尚应满足下列要求：

- 1 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；
- 2 各通道一致性良好；
- 3 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；
- 4 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；
- 5 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；
- 6 数据采集软件中应设置与测量设备相适应的通讯方式和参数；
- 7 数据采集速度不小于 20km/h；
- 8 数据处理软件具备处理 1GB 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。

4.2.4 管道探地雷达设备除应满足第 4.2.1 条、第 4.2.2 条的规定外，尚宜满足下列要求：

- 1 驱动设备应具有前进、后退、变速、停止等功能；
- 2 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；
- 3 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；

4 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 CCTV 装置的管道探地雷达；

5 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；

6 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 0.3m，并应定期对测距装置进行标定。

4.3 其他设备

4.3.1 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《工程测量标准》GB 50026 的相关规定。当采用 RTK 测量时，接收设备应满足下列规定：

1 接收设备应包括双频接收机、天线和天线电缆、数据链设备、数据采集器等；

2 接收设备的动态标称精度应符合下列规定：

1) 平面测量定位误差不超过 10mm、比例误差系数不超过 2mm/ km；

2) 高程测量定位误差不超过 20mm、比例误差系数不超过 4mm/ km。

3 接收设备的检验应符合现行行业标准《全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程》JJG（测绘）2301 的规定，并在检定期内使用。

4.3.2 检测中采用的其他物探设备应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的相关规定。

4.3.3 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。

4.3.4 用于隐患原因排查的管道缺陷检测设备应符合《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的相关规定。

5 工作准备

5.0.1 地面坍塌隐患检测工作准备应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。

5.0.2 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，配备相关的安全设备和设施，对参与检测工作人员开展技术、安全交底及培训。

5.0.3 应根据项目特点和规模配置设备，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。

5.0.4 收集的资料宜包括以下内容：

- 1 检测区域工程地质、水文地质资料；
- 2 检测区域管线、暗渠化河道及其他地下构筑物等分布资料，重点关注排水管道（渠）及相关检测资料；
- 3 检测区域历史坍塌及道路、地下管线养护、维修资料；
- 4 检测区域同类历史检测成果资料；
- 5 检测区域及周边地下工程建设施工情况等。

5.0.5 现场踏勘应包括以下工作内容：

- 1 核查检测区域位置及分布特点；
- 2 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；
- 3 核查已收集资料的现势性及可利用程度；
- 4 调查检测区域或道路地面修补、沉陷、变形情况等；
- 5 调查检测工作条件与干扰源等。

5.0.6 根据检测计划、目的和现状，结合本规范第 3.0.2 条规定，确定重点检测区域。

5.0.7 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，详细内容可参考附录 A。

6 数据采集

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.1.3 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。

6.1.4 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释识别，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释识别的介电常数取值依据。

6.1.5 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释的需要。

6.1.6 数据采集过程中应控制检测作业安全，并应符合《岩土工程勘察安全规范》GB 50585 的相关规定。

6.1.7 数据采集工作结束后，应及时进行数据存储和备份。

6.2 测线布设

6.2.1 探地雷达测线、测网布设方案除应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》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，尚应符合下列规定：

- 1 测线长度和测网密度应满足检测范围全覆盖的要求；
- 2 测线长度应保证检测目标的完整，并具有足够的背景场；
- 3 不同频率、不同设备的测线宜保持重合，以便进行对比分析；
- 4 对局部重点区域，宜网格状布设测线。

6.2.2 针对市政道路，测线布设除应满足第 6.2.1 条规定外，还应符合以下要求：

- 1 探地雷达测线宜沿机动车道、非机动车道或人行道行进方向布设；
- 2 采用二维探地雷达法普查时，测线间距应不大于所采用中心频率天线的测试范围；80~200MHz 频率天线的测线间距不宜大于 2.0m，高于 200MHz 频率天线的测线间距不宜大于 1.0m；对局部隐患进行复核时测线间距不宜大于 1.0m；

3 采用三维探地雷达法检测时，应根据天线的单幅检测宽度设计测线间距，进行全覆盖检测。

6.2.3 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 6.2.1 条规定外，还应符合以下要求：

1 检测范围应为施工影响区范围，施工影响区可参考《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 及深圳市《基坑支护技术标准》SJG 05 的规定确定；

2 明挖基坑工程的测线宜在基坑影响区内地面位置进行布设，测线间距不大于 2.0m；

3 矿山法区间、联络通道和车站附属工程（出入口，风道等）的测线宜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，测线间距不宜大于 2.0m，工程结构以外范围的测线间距宜为 2.0~3.0m；

4 暗挖车站主体工程检测范围宜为断面宽度加两侧各 10.0m 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，测线间距不宜大于 2.0m；

5 盾构区间测线宜沿隧道走向在地面上方布设，中间一条测线应位于隧道中心线对应的地面位置，两侧再各布设其他测线，测线间距不宜大于 2.0m；

6 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，宜视为重点检测区域，并加密布设测线；

7 远离施工影响区时，可根据实际情况，不进行测试。

6.2.4 针对排水管涵（含暗渠化河道）区域，应对管涵结构工程及其两侧 2.0~3.0m 范围对应地面位置进行检测，测线宜沿排水结构物走向布设，二维探地雷达法测线间距不宜大于 2.0m，三维探地雷达法测线应根据天线有效覆盖宽度，以实现对检测区域的全覆盖为原则进行测线布设。

6.2.5 针对建筑基坑工程，测线布设应符合第 6.2.3 条之第 2 款规定。

6.2.6 针对穿越道路工程，应开展穿越工程对道路的影响区内的地面坍塌隐患检测，测线宜沿道路行进方向布设，测线间距不宜大于 2.0m。

6.2.7 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。

6.2.8 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 10.0m。

6.3 二维探地雷达检测

6.3.1 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。

6.3.2 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，应准确记录干扰的位置、分布等信息。

6.3.3 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：

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

6.3.4 数据采集时关键参数的设置应符合下列规定：

- 1 记录时窗宜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，可按下式计算：

$$T = K \frac{2D}{v} \quad (6.3.4)$$

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——地下介质等效电磁波速度（m/ns）。

- 2 信号的增益宜使信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4，且使信号削波部分宜不超过全剖面 5%；

- 3 采样率不应低于所采用天线主频的 20 倍；

4 普查时道间距不宜大于 5.0cm，详查时道间距不宜大于 2.5cm；

5 采用点测时，应结合检测深度和精度等因素，测点间距不宜大于 10~20cm。

6.3.5 现场数据采集应符合下列规定：

1 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，标定距离宜选取 100m~300m，取 3 次标定的平均值作为最终标定值；

2 在数据采集过程中，可根据干扰情况、图像效果等调整采集参数；

3 天线的移动速度应均匀，并应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；

4 采用低于 200MHz 频率天线时，移动速度不宜大于 10km/h；采用 200MHz~400MHz 频率天线时，移动速度不宜大于 20km/h；

5 为减少测线定位、定距的误差，单条测线的长度宜控制在 1000m 以内；

6 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，应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；

7 数据剖面上不应出现连续的坏道现象；

8 应及时记录信号异常，并应分析异常原因，必要时应进行复测；

9 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。

6.3.6 应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《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的相关规定外，还应符合下列规定：

- 1 提供检查和评价的探地雷达数据资料应经过初步编辑，编辑内容宜包括测线编号、测线长度、剖面深度等；
- 2 检查观测的图像应与原始雷达图像的形态与位置基本对应；
- 3 重复观测数据与原始数据应一致性良好；
- 4 检查发现雷达图像信噪比不能满足解释需要或记录长度、记录深度不满足要求时，应调整参数后重新检测。

6.3.7 应对现场测试数据信息进行记录，可参考附录 B 的格式，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。

6.4 三维探地雷达检测

6.4.1 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。

6.4.2 三维探地雷达天线主频应根据拟检测的坍塌隐患深度确定，天线主频不宜高于 600MHz，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。

6.4.3 三维探地雷达数据采集参数的设置应符合本规范第 6.3.4 条的规定，各通道采集参数宜保持一致。

6.4.4 三维探地雷达在进行数据采集时，除应符合本规范第 6.3.5 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。

6.4.5 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。

6.4.6 数据采集过程中如果测量信号较弱时，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人工方式进行测量定位。

6.4.7 三维探地雷达数据的检查除应符合本规范第 6.3.6 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，当不具备检测条件时，应进行记录和说明。

6.4.8 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等，记录格式可参考附录 B 的规定。

6.5 管道探地雷达检测

6.5.1 管道探地雷达的数据采集除应符合本规范第 6.3 节的相关规定外，还应满足下列要求：

- 1 管道探地雷达检测不宜带水作业；
- 2 根据需要采用单向触发或双向触发的采集模式；
- 3 管道探地雷达应均匀移动，行进速度不宜超过 0.1m/s，应同时满足探地雷达数据分辨率和视频影像清晰度的要求；
- 4 管道探地雷达宜沿管道中轴线行进，偏离度不宜大于管径的 10%；
- 5 数据采集时，管道探地雷达天线应与管壁贴合，受管壁因素不能实现贴合时，离开管壁的距离不得大于 5cm；
- 6 采样点间距宜为 1cm，存在异常的管段应加密采样。

6.5.2 检测过程有下列情形之一时，应中止检测工作，排除问题后再继续检测：

- 1 爬行机器人在管道内无法行走；

2 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；

3 其他原因无法正常检测。

6.5.3 管道探地雷达搭载的 CCTV 现场数据采集应符合《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的相关规定。

6.6 测线定位与测量

6.6.1 关于测线定位测量、地面坍塌隐患的测量定位精度和方法应满足《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 的相关规定。

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

6.6.3 当 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。

6.6.4 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。

6.6.5 采用测量轮定距时，每公里测线的距离误差应控制在 $\pm 0.5\text{m}$ 以内。

6.6.6 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进行校核。

6.6.7 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《城市测量规范》CJJ/T 8 的要求。

6.6.8 检测点位在相应比例尺平面图上的点位中误差和高程中误差，应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定。

6.7 现场巡视与调查

6.7.1 地面坍塌隐患检测中，应注重现场巡视与调查工作，通过调查与巡视发现道路路面沉陷、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。

6.7.2 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。

6.7.3 首次现场巡视与调查时应对测区进行全面巡查，巡查过程中发现的地面坍塌、沉降等隐患情况应按附录 C 整理，及时报送相关单位；对发现的异常区域具备条件时，应开展探地雷达检测。

6.7.4 降雨后、重大活动开展前宜对项目检测区域进行巡查，坍塌隐患检测中初步判定的异常区应作为重点巡查区域。

6.7.5 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；对于已经过处置的地面坍塌隐患，宜定期进行处置后效果巡视，评价处置效果。

7 数据处理和隐患识别

7.1 一般规定

7.1.1 数据处理应使用质量检查合格的检测数据。

7.1.2 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。

7.1.3 参与解释的探地雷达图像应清晰，信噪比高，数据解释时应识别干扰源，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释。

7.2 数据处理

7.2.1 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考图 7.2.1 确定。

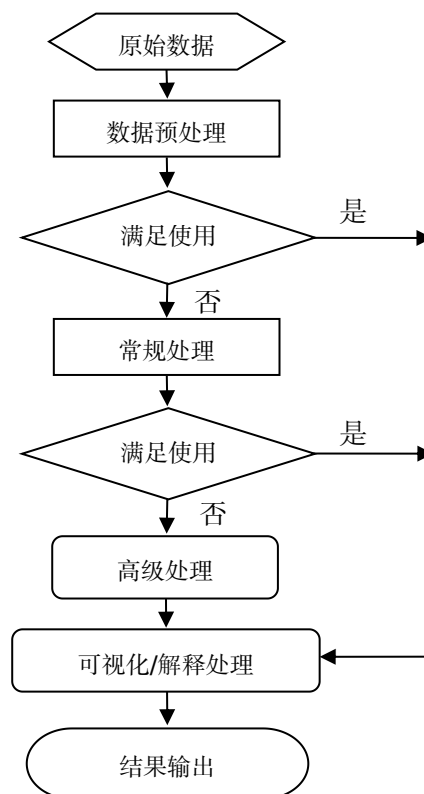


图 7.2.1 探地雷达数据处理流程

7.2.2 探地雷达检测的数据预处理应符合下列规定：

- 1 自由连续采集的数据，应进行水平距离归一化处理；
- 2 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；
- 3 预处理应进行桩号校正，删除无用道；
- 4 零点校正确定地面反射点的位置。

7.2.3 二维探地雷达数据处理方法宜根据数据质量及解释要求确定，并应符合下列规定：

- 1 根据数据处理的目的可选取增益调整、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；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 可用反褶积压制多次反射波干扰，反射子波宜选择最小相位子波；
- 5 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、独立性和可解释性；
- 6 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宜小于采样率与低通频率之比；
- 7 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。

7.2.4 三维探地雷达检测的数据处理除满足第 7.2.3 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 图像显示的色标调整应以突出有效异常体为目的，达到最佳视觉效果；
- 2 滤波前应对数据进行频谱分析，得到较为准确的频率分布范围；
- 3 噪声衰减过程中，应注意保持振幅能量的相对关系，衰减的噪声数据中应无明显的有效信号；

4 偏移处理时，应使绕射波收敛，无画弧现象。

7.2.5 管道探地雷达数据处理除满足第 7.2.3 条的规定外，应对 CCTV 视频资料进行同步处理。

7.3 隐患识别

7.3.1 二维探地雷达检测的资料解释流程可参考图 7.3.1，并应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 识别干扰源，剔除干扰异常；
- 3 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释；
- 4 在剖面图像上标出异常的范围；
- 5 结合相邻测线检测结果确定地面坍塌隐患的位置和范围。

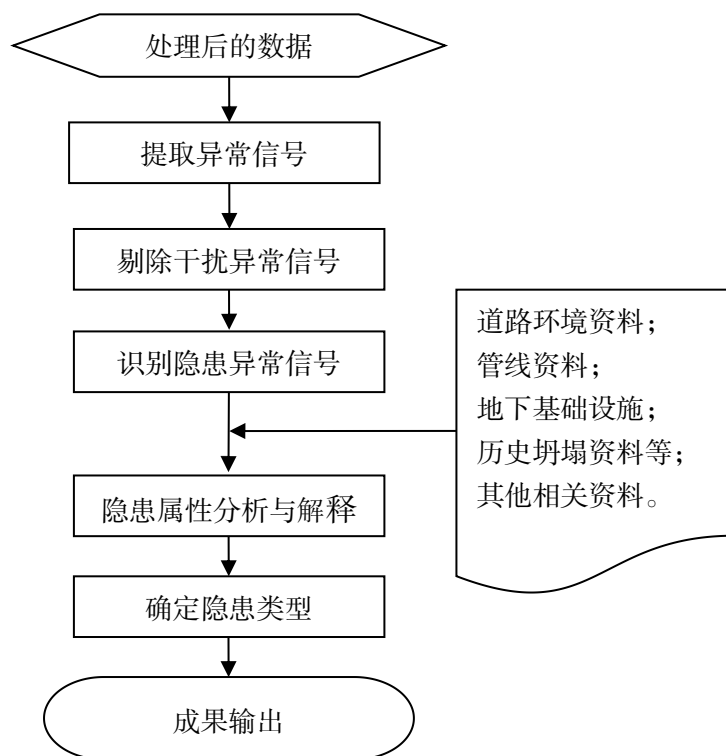


图 7.3.1 二维探地雷达资料解释流程

7.3.2 三维探地雷达检测的资料解释流程可参考图 7.3.2，并应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 对纵剖面、横剖面、水平切片切取异常体数据并形成图像；
- 3 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；
- 4 识别干扰源，剔除干扰异常；
- 5 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释确定异常体隐患类型；
- 6 确定隐患体的位置、尺寸、埋深，并在雷达切片上进行注释。

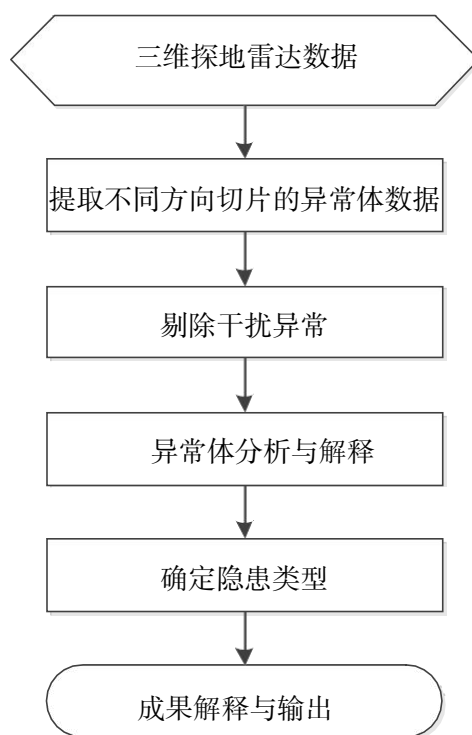


图 7.3.2 三维探地雷达资料解释流程

7.3.3 管道探地雷达检测的资料解释除满足第 7.3.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 宜同步结合 CCTV 视频图像进行数据综合解释；
- 2 必要时可结合 CCTV 检测评估结果确定隐患属性特征。

7.3.4 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可参考《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 有关规定进行解释识别。

7.3.5 地面坍塌隐患的解释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《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T 437 规定和表7.3.5方法识别各类地面坍塌隐患。

表 7.3.5 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.多次波发育； 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.多次波发育； 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。

8 地面坍塌隐患复核与验证

8.1 一般规定

8.1.1 地面坍塌隐患复核与验证工作实施前，应根据判定的隐患体规模、埋深以及上覆地层承载能力等，评估复核与验证工作致灾的可能性，制定安全保护措施，避免引发地面坍塌事故。

8.1.2 应根据判定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。

8.1.3 宜选取钻探、挖探、动力触探等方法对解释的空洞、脱空、疏松体等地面坍塌隐患进行验证，确定隐患体的真实性、隐患类型、隐患内部性状等。

8.1.4 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，产生次生灾害，同时为地面坍塌隐患的成因分析提供相关信息。

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

8.1.6 采用钻探、挖探、动力触探等方法进行验证时，宜查明地面坍塌隐患的顶部埋深、底部埋深、和净深等参数。

8.1.7 对复核或验证确认的地面坍塌隐患，应做好现场定位标记。

8.2 隐患复核

8.2.1 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深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。

8.2.2 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。

8.2.3 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，记录格式可参考附录 D。

8.2.4 可优先采用地震映像法复核隐患体边界，有关数据采集、处理和解释应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》JGJ/T 437-2018 的相关规定外尚应符合下列要求：

- 1 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；
- 2 测线布设间距应不大于 1.0m，测线长度应超出隐患影响范围两侧至少 5.0m。

8.2.5 当采用微动勘探法复核深部管线周边的地面坍塌隐患时，数据采集、处理和解释应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》JGJ/T 437-2018 的相关规定外尚应符合下列要求：

- 1 宜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；
- 2 数据采集时间应避开管线的运行高峰期和测点附近的持续强震动干扰，降低管线运行造成的干扰；
- 3 应结合隐患的埋设深度和规模综合确定微动台阵的半径、间距。

8.3 隐患验证

8.3.1 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%。

8.3.2 采用钻探或挖探方式进行验证时，除应符合《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》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。

8.3.3 验证点布置宜符合下列要求：

1 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，钻孔宜布设在抛物线顶点位置；

2 隐患规模较大时，应结合异常体的特征增加验证点数量；

3 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，宜在所检测的边界两侧 0.5~1.0m 分别布设验证点。

8.3.4 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。

8.3.5 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，评估验证实施工作对引发隐患体坍塌可能性影响，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。

8.3.6 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。

8.3.7 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，记录可参考附录 D。

8.3.8 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。

8.3.9 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。

8.3.10 隐患验证时应对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。

8.3.11 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。

9 地面坍塌隐患等级评定及处置

9.1 一般规定

9.1.1 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。

9.1.2 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）。

9.1.3 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。

9.1.4 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。

9.1.5 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。

9.2 地面坍塌隐患等级评定

9.2.1 空洞和脱空宜根据隐患面积和净深按照表 9.2.1 确定隐患等级。

表 9.2.1 空洞和脱空隐患等级评定表

净深 面积	$H \leq 0.2m$	$0.2 < H \leq 0.5m$	$0.5 < H \leq 1m$	$1 < H \leq 2m$	$2 < H \leq 4m$	$H > 4m$
$S < 3m^2$	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

9.2.2 疏松体原则上不进行等级评价，但当疏松体隐患临近雨污水管线和暗渠化河道、在施地下工程强烈影响区等周边致塌因素发育区时，可参照 9.2.1 条规定评价隐患等级。

9.2.3 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。

9.2.4 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。

9.2.5 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。

10 成果资料

10.1 一般规定

10.1.1 地面坍塌隐患检测成果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。

10.1.2 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。

10.1.3 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。

10.2 成果资料内容

10.2.1 成果资料须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。

10.2.2 成果报告宜包括下列内容：

1 项目概况

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。

2 项目实施标准和依据

3 工作方法

工作流程、主要探测技术方法、数据采集与处理、隐患解释识别等。

4 现场检测组织

检测工作组织实施、人员和设备投入情况等。

5 质量检查与评价

6 工作量统计

7 隐患验证统计

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。

8 检测成果统计分析

宜对检测成果中地面坍塌隐患的类型、发育特征、规模与等级、分布位置、隐患移交与处置等进行统计，分析形成原因，评估危害对象及范围，进行典型案例分析报告。

9 结论与建议

10 后期服务计划和措施

10.2.3 成果表的编制宜满足下列要求：

1 成果表宜包括工作量汇总表、地面坍塌隐患等级评定表、地面坍塌隐患信息汇总表等；

2 地面坍塌隐患信息宜包括：编号、位置、坐标、面积、净深、埋深、类型、隐患等级、成因类型等，记录可参考附录 E；

3 地面坍塌隐患位置信息宜采用 2000 国家大地坐标系。

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

10.2.5 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宜按《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》JGJ/T 437 规定执行，并应符合下列规定：

1 工作布置图应标明测线、测点、验证点、剖面起讫点等的平面位置、编号；

2 测线特征点、测点等宜由检测方法代号和阿拉伯数字组成，且保证同一测区唯一；

3 验证工作布置应按规定的代号、颜色和图例统一编号绘制。

10.2.6 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、代号和图例宜按《城市地下病害体综

合探测与风险评估技术规程》JGJ/T 437 规定执行。

10.2.7 成果解释剖面图表述内容宜按《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》JGJ/T 437 规定执行。

10.3 成果资料归档

10.3.1 成果归档资料应真实、完整、安全、有效。

10.3.2 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。

10.3.3 成果资料应在审核后根据相关要求进行了资料归档。

10.4 成果的信息化管理

10.4.1 地面坍塌隐患成果的信息化管理应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，动态管理地面坍塌隐患的发展趋势。

10.4.2 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《基础地理信息数据库建设规范》GB/T 33453 和《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》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。

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

10.4.4 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。

10.4.5 地面坍塌隐患信息交换与应用服务应符合现行行业标准《城市基础地理信息系统技术标准》CJJ 100 和《城市地下病害体综合探测与风险评估技术规程》JGJ/T 437 的相关规定。

10.4.6 地面坍塌隐患信息管理系统的安全设计应符合现行国家标准《信息系统安全等级保护基本要求》GB/T 22239 的相关规定。

附录 A 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。

1 项目概况

1.1 概述

1.2 工作目的和内容

1.3 工作范围和工作量

1.4 项目要求

2 方案编制依据

3 工程环境、重难点分析

3.1 工程环境分析

3.2 项目重点

3.3 项目难点

4 工作流程和技术路线

4.1 项目工作流程

4.2 项目技术路线

5 工作技术方法和措施

5.1 探地雷达检测

5.2 数据处理和解释

5.3 坍塌隐患点的复核及验证

5.4 坍塌隐患的风险评定及处置建议

5.5 项目重点、难点应对措施

6 检测组织

6.1 项目人员组织机构及人员配置

6.2 项目设备配置

6.3 项目进度计划安排

7 项目实施保障措施

7.1 项目质量保障措施

7.2 项目进度保障措施

7.3 项目安全生产及文明施工保障措施

7.4 突发应急预案

8 成果资料内容及形式

附录 B 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 C 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+位置描述)
巡查问题	(空洞、坍塌、沉陷、裂缝等)
百度位置示意图	
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 D 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 E 地面坍塌隐患信息统计表

项目名称：

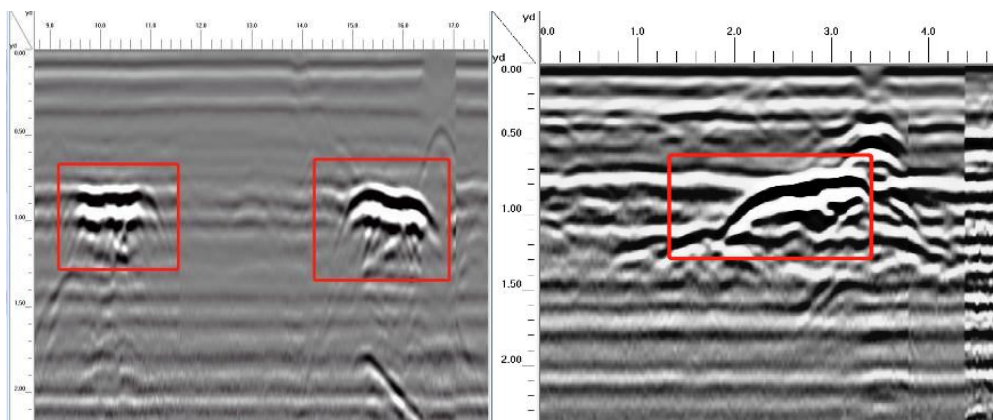
序号	隐患编号	隐患类型	隐患位置	隐患点坐标		隐患规模					隐患等级	是否验证	地表现状	成因分析	处置建议	备注
				E	N	长 (m)	宽 (m)	隐患面积 (m ²)	顶部埋深 (m)	净深 (m)						

附录 F 地面坍塌隐患信息卡

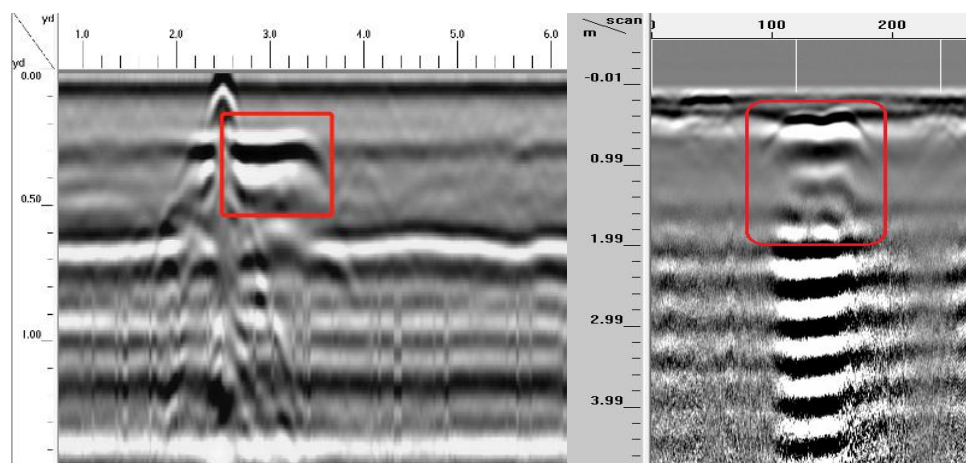
项目名称：

隐患编号				隐患类型		隐患等级	
长(m)		宽(m)		路面类型与变形情况			
面积 (m ²)		体积 (m ³)		埋深(m)		净深(m)	
位置描述				中心点坐标	E		
验证时间					N		
雷达图谱 1		雷达图谱 2			雷达图谱 3		
现场照片 1		管线分布示意图			位置信息		
成因初步分析							
危害对象							
初步处置建议							
钻探及其他验证结果							

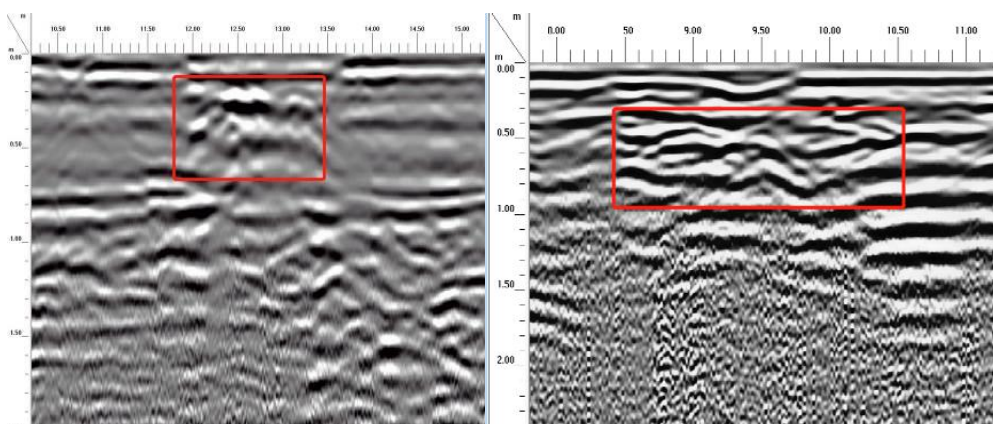
附录 G （资料性附录）典型地面坍塌隐患及地下构筑物探地雷达图谱



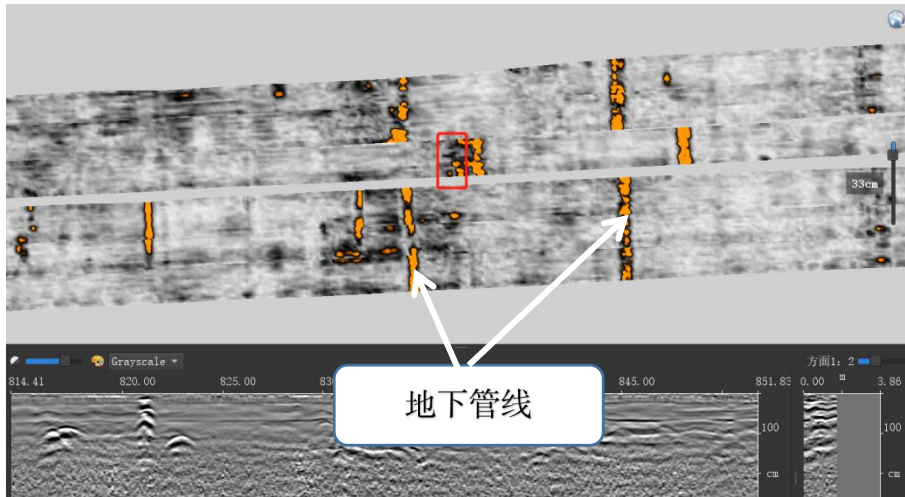
典型空洞探地雷达图像（二维探地雷达）



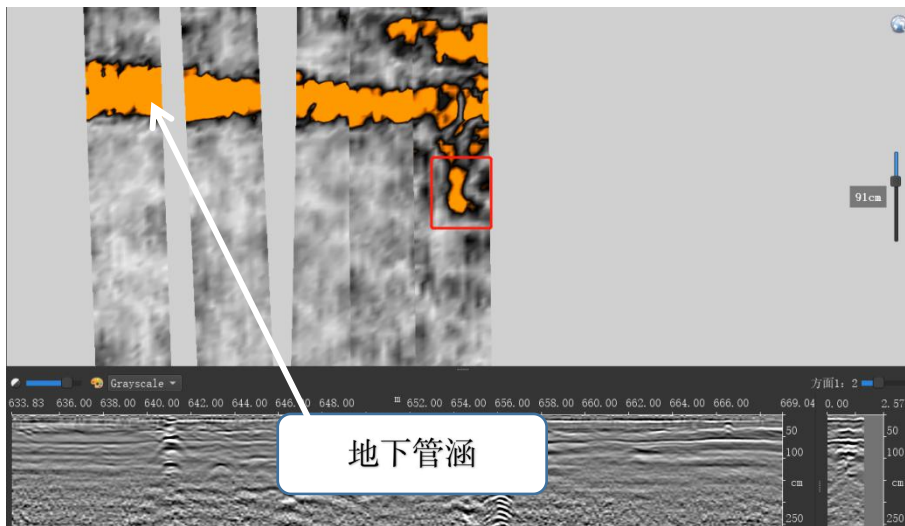
典型脱空探地雷达图像（二维探地雷达）



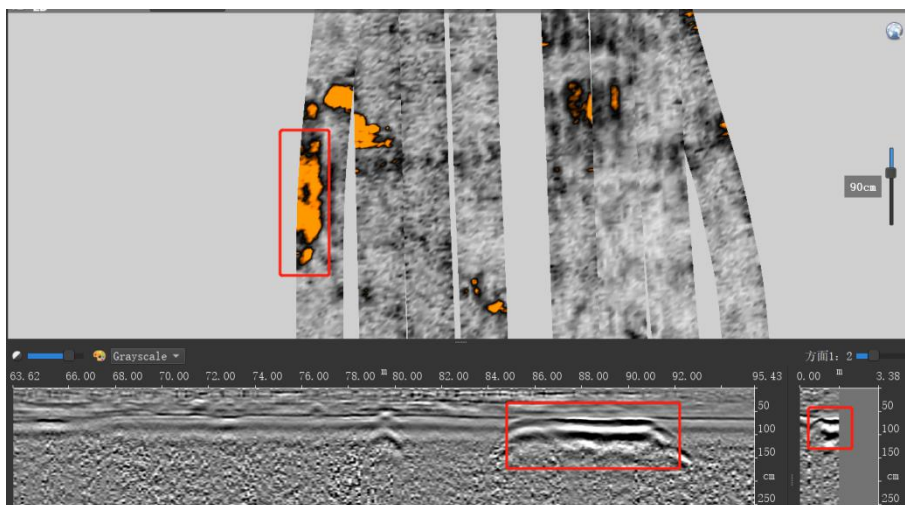
典型疏松体探地雷达图像（二维探地雷达）



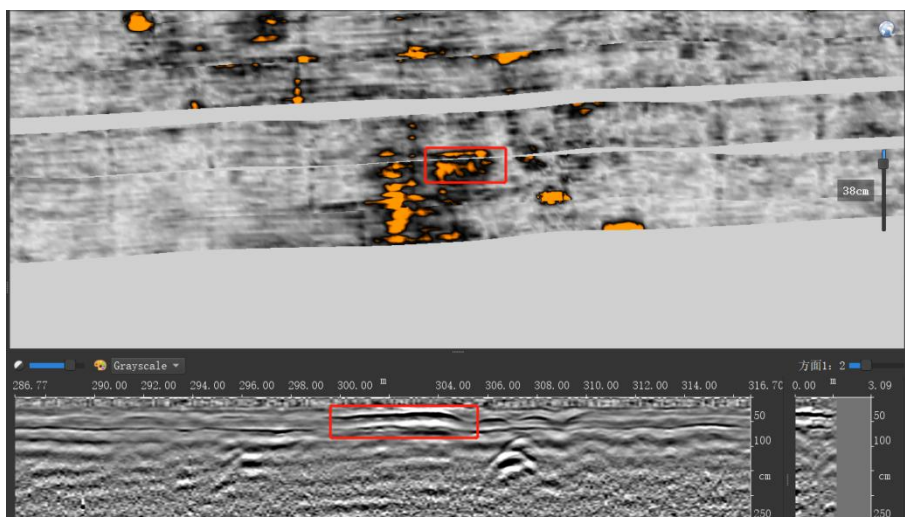
典型地下管线三维探地雷达图谱



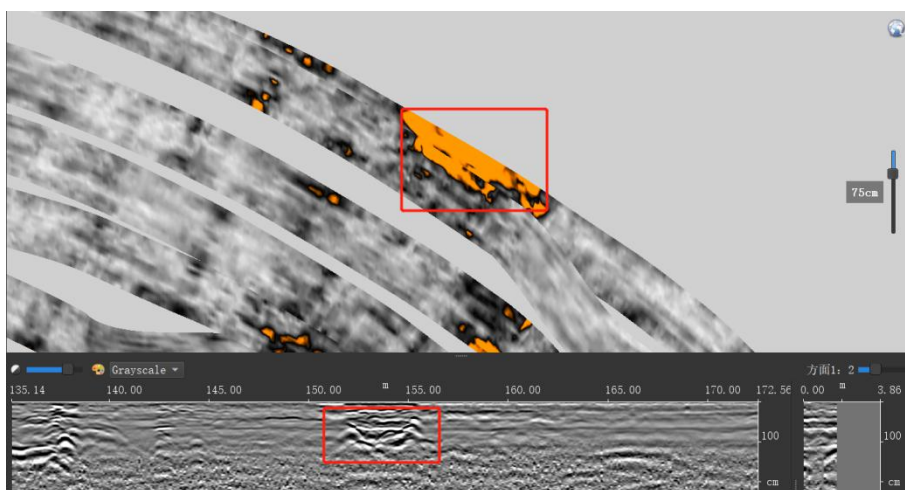
典型地下管涵三维探地雷达图谱



典型地下空洞三维探地雷达图谱



典型脱空三维探地雷达图谱



典型疏松体三维探地雷达图谱

附录 H 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 α (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

注：依据《工程地质手册》（第五版）。

引用标准名录

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