

城市道路塌陷隐患雷达检测技术规范

1 范围

本文件规定了城市道路塌陷隐患雷达检测的术语和定义、总体原则、检测系统、检测方法、检测成果、风险评估的要求。

本文件适用于乌鲁木齐市建成区范围内城市道路、广场及地下基础设施沿线等区域的道路塌陷隐患雷达检测。

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 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
 CJJ 36 城镇道路养护技术规范
 CJJ/T 210 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程
 JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程
 JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准
 DB 6501/T 007-2018 城市道路养护维修技术规范
 T/CMEA 2-2018 道路塌陷隐患雷达检测技术规范
 RISN-TG 024 道路塌陷隐患雷达检测技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市道路塌陷隐患 urban road collapse vulnerabilities

对城市道路运行安全造成危害的地下空洞、脱空、土体疏松和富水体等不良地质体。

3.2

脱空 pavement void

净空高度小于0.5 m的道路路面结构层局部范围与路基不连续接触的现象，常见于水泥混凝土路面、半刚性基层沥青混合料路面以及“白改黑”路面下方。

3.3

空洞 cavity

净空高度大于或等于0.5 m的脱空以及地下发育的具有一定规模的洞穴，易引发地面塌陷和变形。

3.4

土体疏松 unconsolidated soil

地下局部范围土体密实度明显低于周边土体，局部相对松散的现象，属易引发地面变形甚至地面塌陷等的不良地质体。

3.5

富水体 water-rich soil

地下局部范围内的含水率明显高于周边土体的松散土体。

3.6

道路塌陷隐患验证 verification of the potential safety hazard of the ground collapse

在道路塌陷隐患雷达检测成果的基础上,采取钻探、开挖、触探等方法对查明的塌陷隐患进行验证,当不满足上述验证手段的实施条件时,可采用其他物探方法进行验证。

3.7

电磁波遥感 electromagnetic wave remote sensing

运用传感器或遥感器发射电磁波,根据物体的电磁波辐射、反射特性进行非接触的、远距离的探测技术。

3.8

探地雷达(GPR) ground penetrating radar

利用短脉冲电磁波探测地下介质分布的一种高分辨率的探测设备。发射天线将短脉冲电磁波以宽频带短脉冲的形式发射到地下,电磁波在地下介质中传播时,遇到存在电性差异的分界面时会发生反射,反射信号被接收天线接收,经数字信号处理后即可得到反映地下介质电性分布的雷达图像。

3.9

测线 survey line

在工作状态下,单位数量探地雷达发射天线从起点到终点的位移轨迹。

3.10

雷达天线 radar antenna

探地雷达辐射电磁波的装置,分为发射天线和接收天线。

3.11

距离测量装置(DMI) distance measure instrument

一种通过转动来测量距离的装置,每转动一圈产生固定的脉冲数,实际测距时根据脉冲数和测量轮的周长可以确定距离。

3.12

异常区域 abnormal area

介电常数存在较大差异,并能够在探地雷达图谱中通过电磁反射波振幅、同相轴及反射波频谱变化等特性明显显示出来的目标体(或地质体)。

3.13

地理信息系统(GIS) geographic information system

在计算机硬、软件系统支持下,对整个或部分地球表层(包括大气层)空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。

3.14

定位系统 positioning system

通过卫星对地面目标进行准确定位的集合体或装置(部件),包括北斗卫星导航系统(BDS)、全球卫星定位系统(GPS)和全球卫星导航系统(GLONASS)、惯性导航系统、全站仪等。

4 总体原则

4.1 道路塌陷隐患雷达检测应遵循客观、系统、科学的原则,依据城市道路实际情况,并综合考虑影响道路雷达检测工作的因素,制定道路雷达检测方案。

4.2 道路塌陷隐患检测属于技术服务，应采用雷达检测技术。

4.3 检测单位应具备测绘资质（摄影测量与遥感）或工程勘察专业类资质（含岩土工程（物探测试检测监测）资质）或 CMA 检验检测机构资质（含道路病害及塌陷隐患（空洞、脱空、疏松、富水）项目）。

4.4 道路塌陷隐患雷达检测应遵循以下规定：

- a) 当发生严重地面变形或路面塌陷事故、地下管线发生变形或破损时，应立即对周边影响区域进行检测；
- b) 城市快速路、主干路、次干路、支路、广场及重点管线区域，应定期进行检测，检测周期应小于 2 年；
- c) 地铁沿线道路和 BRT 沿线车道，应定期进行检测，检测周期应小于 1 年；
- d) 建设单位向管养单位移交道路前，应进行检测；
- e) 采空区上方道路，应使用频率小于或等于 100 MHz 的低频雷达进行检测；
- f) 排水管涵、供水管涵、热力管涵及河道周边区域道路，应在冻土春融后、冬季降雪前进行检测；
- g) 地铁隧道、基坑、管涵（明挖、顶进等）等地下工程建设时，应在施工前、施工过程中、竣工后分别对施工影响区域内道路进行检测，其中施工过程中雷达检测应增加检测频次；
- h) 城市重大社会活动涉及的重要道路、广场、地下管线周边区域，应在活动举办前进行检测；
- i) 黄土台地工程地质区（涉及水磨沟区、米东区、高新区及经（头）区）道路检测，应注意黄土土质在雷达图像上的多解性，配备专职数据分析人员进行图像解译；
- j) 在河滩快速路、二环路等穿越多个工程地质区的快速路及主干路进行雷达检测时，应充分收集工程地质、水文地质资料，结合道路工程施工特点（如道路结构层信息等），配置合理的设备、人员，并注重不同地质区的参数测定；
- k) 道路塌陷隐患经修复后，应对其进行雷达复测；
- l) 其他存在道路塌陷隐患的区域，应择机进行检测。

4.5 检测单位宜优先选择掌握本地主要道路雷达数据基础资料，或在地质条件类似地区承担过道路塌陷隐患雷达检测项目工作的单位，雷达检测负责人应具备 5 年以上道路塌陷隐患雷达检测经验，作业人员应经技术、安全培训并考核合格后方可上岗。

5 检测系统

5.1 一般规定

5.1.1 检测系统应包括检测设备和数据软件。

5.1.2 检测设备应包括下列内容：

- a) 操作平台 and 控制系统；
- b) 车载式探地雷达系统（应包括二维多通道探地雷达或三维多通道探地雷达，宜包括二三维一体化多通道探地雷达）；
- c) 便携式探地雷达；
- d) 定位设备；
- e) 辅助设备。

5.1.3 检测设备应经过周期比对核查或校准，确保性能完好，方可投入使用。在使用、运输和保管过程中应防水、防潮、防尘、防高温、防寒等。

5.1.4 数据软件应包括下列内容：

- a) 数据采集软件；
- b) 数据解译软件。

5.2 车载式二维多通道探地雷达

5.2.1 车载式二维多通道探地雷达系统应配备不同频率天线，天线阵列布局应合理，以满足不同探测深度要求。雷达天线中心频率选择应符合表 1 的规定。

表1 理论最大探测深度与天线中心频率对应关系

最大探测深度/m	中心频率/MHz
1.0	>500
1.0~2.0	200~500
2.0~5.0	100~200
>5	≤100

5.2.2 车载式二维多通道探地雷达系统参数符合下列规定：

- a) 扫描速率应大于或等于 300 线/s；
- b) 探测时窗应为 0 ns~512 ns；
- c) 信噪比应大于或等于 90 dB；
- d) 测距误差应小于或等于 0.1%；
- e) A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- f) 配置天线应具备屏蔽功能。

5.3 车载式三维多通道探地雷达

5.3.1 车载式三维多通道探地雷达系统天线阵列应至少具有 8 个通道，应能实现三维采集，具有坐标定位和测距功能，自带三维电磁波数据处理、解释软件包。

5.3.2 车载式三维多通道探地雷达系统参数符合下列规定：

- a) 天线的横向测线间距应小于或等于 14 cm；
- b) 天线阵列主频应为 200 MHz~500 MHz；
- c) 信噪比应大于或等于 90 dB；
- d) 测距误差应小于或等于 0.1%；
- e) A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- f) 配置天线应具备屏蔽功能。

5.4 车载式二三维一体化多通道探地雷达

5.4.1 车载式二三维一体化多通道探地雷达系统应同时具备采集二维和三维数据的功能，应配置至少 2 种频率的天线，实现二维雷达数据和三维雷达数据相互融合，满足不同探测深度要求。雷达天线中心频率选择应符合本文件表 1 的规定。

5.4.2 车载式二三维一体化多通道探地雷达系统参数符合下列规定：

- a) 三维雷达天线阵列与二维雷达天线阵列布局应合理，由同一控制单元控制，保证工作时互不干扰；
- b) 扫描速率应大于 200 线/s；
- c) 探测时窗应为 0 ns~512 ns；
- d) 信噪比应大于或等于 90 dB；
- e) 测距误差应小于或等于 0.1%；
- f) A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- g) 外壳防护等级应大于或等于 IP54；

h) 配置天线应具备屏蔽功能。

5.5 便携式探地雷达

5.5.1 便携式探地雷达应设计小巧，轻便灵活，适应交叉路口、巷道、人行道等车载式探地雷达不便到达的区域的检测。

5.5.2 便携式探地雷达宜配备两种不同频率天线进行探测，天线布局应合理，以满足不同探测深度要求，雷达天线中心频率选择应符合表 1 的规定。

5.5.3 便携式探地雷达参数符合下列规定：

- a) 扫描速率应大于或等于 300 线/s；
- b) 探测时窗应为 0 ns~512 ns；
- c) 信噪比应大于或等于 90 dB；
- d) 测距误差应小于或等于 0.1%；
- e) A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- f) 配置天线应具备屏蔽功能。

5.6 定位设备

5.6.1 定位设备应能在道路塌陷隐患雷达检测中快速、实时为检测系统定位，提供目标、雷达和运载平台的空间位置及检测时的运行轨迹。

5.6.2 定位设备应包括下列功能：

- a) 定位设备应能与检测设备进行关联，检测设备通过获取定位设备端口、波特率、数据位长、停止位、奇偶校验等信息，可将地理信息系统连接到选定的定位设备，对定位数据进行管理显示；
- b) 雷达检测时，定位设备应能同步记录下每个检测点的 X、Y、Z 空间坐标，将该坐标导入到地理信息图形显示系统后，可实现检测工作的定位、导航；
- c) 定位设备应能显示检测点轨迹线，应能读取异常点坐标信息。

5.6.3 定位设备应符合下列规定：

- a) 定位设备的选定应根据测量的精度和移动速度确定；
- b) 定位数据平面精度应小于或等于 500 mm；
- c) 数据采样间隔应小于或等于 0.2 s。

5.7 辅助设备

5.7.1 辅助设备的电源供电方式应包括车体供电、蓄电池供电及两者兼用三种供电方式。

5.7.2 同步控制系统应由距离测量装置（DMI）进行触发，并可单独控制各设备的触发间隔。

5.7.3 视频设备宜由摄像机、传输线缆、视频监控平台组成，可对雷达检测活动进行全程记录，并监测路况，辅助判别雷达异常区域。摄像机安装和使用应符合 T/CMEA 2-2018 和 RISN-TG 024 的规定。

5.8 数据采集软件

5.8.1 数据采集软件应能实现对检测系统的控制，包括对雷达数据和定位数据的实时采集、存储与显示。

5.8.2 数据采集软件应具备下列功能：

- a) 二维多通道探地雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- b) 三维多通道探地雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- c) 二三维一体多通道探地雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；
- d) 定位设备参数设置，数据实时采集、存储和显示；

- e) 基于地理信息系统的实时检测轨迹显示;
- f) 雷达数据、视频数据同步回放;
- g) 雷达数据、视频数据关联定位;
- h) 对作业设备及周边环境进行实时监测;
- i) 对采集的数据进行导出。

5.9 数据解译软件

5.9.1 数据解译软件应能实现对雷达数据和定位数据的处理，以识别并定位道路塌陷隐患疑似点。

5.9.2 数据解译软件应具备下列功能：

- a) 对文件进行管理，包括数据打开、数据存储、项目管理、位图输出；
- b) 对参数进行设置，包括文件编辑、数据显示方式设置、标记编辑；
- c) 对数据进行预处理，包括数据合并与分割、剖面翻转；
- d) 对雷达数据进行处理，包括去噪、滤波、反褶积、偏移、零点校正和增益放大等；
- e) 对定位数据进行处理；
- f) 同时回放雷达数据、视频数据和检测轨迹；
- g) 层位追踪和厚度计算；
- h) 道路塌陷隐患的识别、分析和定位。

6 检测方法

6.1 一般规定

6.1.1 道路塌陷隐患雷达检测应包括下列内容：

- a) 现场踏勘与资料收集；
- b) 检测方案制定；
- c) 现场数据采集；
- d) 雷达数据解译；
- e) 疑似隐患定位与复测；
- f) 成果验证；
- g) 成因分析与处置建议；
- h) 检测报告编写与提交。

6.1.2 道路塌陷隐患雷达检测流程应按图 1 进行。

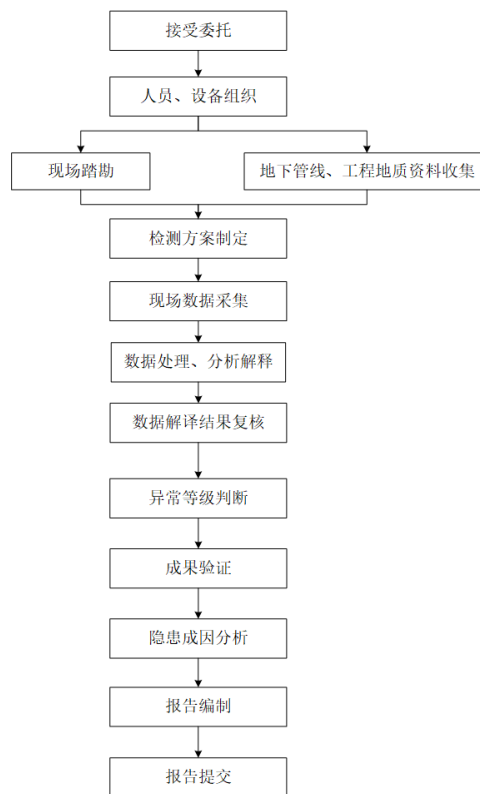


图1 道路塌陷隐患雷达检测流程图

6.1.3 测线布设应符合下列规定：

- a) 测线布设应完整、连续；
- b) 首次检测测线布设应达到检测区域全面覆盖的目标，测线宜与车道平行；
- c) 重点检测区域或复查异常区域，测线应加密布设或交叉布设。

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

- a) 应选择频率为 80 MHz~500 MHz 的屏蔽天线进行检测，获得雷达数据信息，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；
- b) 对于检测的重点区域和普测中确定的重点异常区域复测，应选择至少两种不同主频的天线进行组合检测，兼顾深部与浅部检测，更准确地探明道路塌陷隐患。

6.2 检测准备工作

6.2.1 雷达检测工作应避免在路面积水或积雪时进行，检测环境温度应为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.2 道路塌陷隐患雷达检测的技术准备工作应包括资料收集、现场踏勘、编写检测方案等内容。

6.2.3 资料收集应包括下列主要内容：

- a) 检测区地形图和测量控制点资料；
- b) 检测区内的地下管线现状资料、已有的各类地下管道检测成果资料、给排水管道漏水检测成果资料；
- c) 检测区内的道路工程、各类地下工程的设计和施工资料；
- d) 检测区内岩土工程、工程地质和水文地质勘察资料；
- e) 检测区内既有道路的塌陷隐患检测资料及其修复的设计及施工资料；
- f) 乌鲁木齐本地资料可参考附录 A，并根据检测区分布做进一步细化补充。

6.2.4 应进行现场踏勘以了解工作环境条件及典型干扰源的分布、地形地貌及其变化情况，核实已收

集资料的完备性及可利用程度，评估现场作业条件及风险。

6.2.5 检测方法应根据工作要求、道路塌陷隐患属性、场地干扰因素和作业条件等选择。

6.2.6 检测方案应包括但不限于下列内容：

- a) 项目概况：包括项目来源、检测目的及内容、检测依据（相关法律法规、规范及技术标准、参考技术资料）、检测范围及工作量；
- b) 工程地质条件与工作环境分析：包括检测区内气象、水文、地形地貌、地质构造概况、岩土体特征、道路结构信息等；
- c) 检测重难点分析及应对措施；
- d) 检测方法与仪器设备：包括检测技术方法及要求、检测参数、检测精度、采用的验证方法、投入的仪器设备类型及数量；
- e) 检测组织管理：包括管理机构、进度计划及工期保障措施；
- f) 检测质量和安全保障措施；
- g) 提交的成果资料：包括技术设计书、检测报告、原始检测数据、测线布设示意图、道路塌陷隐患平面分布图等。

6.2.7 检测工作开始前，应进行检测方案技术交底及相关安全培训。

6.3 雷达数据采集

6.3.1 雷达检测范围的设定应符合下列规定：

- a) 检测范围应达到检测区域全面覆盖的目标，道路交叉口、渠化岛弯道、港湾式公交站、小区出入口等区域应适当扩大检测范围；
- b) 测线末端宜超过检测区域边缘 10 m；
- c) 使用便携式雷达进行隐患复测时，应加密测线或交叉测线，测线间距不应大于 1 m。

6.3.2 检测参数设定应符合下列规定：

- a) 检测参数设定应能满足项目检测要求，并达到最佳检测效果；
- b) 检测参数应包括中心频率、探测时窗、采样频率和其它常用参数；
- c) 检测参数设定应在检测准备阶段进行，根据设备性能、检测环境及技术要求，实地测试后确定，采样频率计算应采用附录 B 的相关方法；
- d) 探测时窗宜根据最大探测深度和地下介质的电磁波传播速度综合确定，可按式(1)计算：

$$T = K 2D/v \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T ——记录时窗，单位为纳秒（ns）；

K ——加权系数，取1.3~1.5；

D ——最大探测深度，单位为米（m）；

v ——电磁波速度，单位为纳秒每米（m/ns）。

- e) 信号的增益宜使信号幅值不超过信号监视窗口的 3/4；
- f) 采样率不应低于所采用的天线主频的 20 倍；
- g) 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；
- h) 调试测量参数，校检测量精度；
- i) 普测时道间距不应大于 5 cm，复测时道间距不应大于 2 cm。

6.3.3 地下介质的电磁波速度计算可采用宽角法、已知深度目标换算法或迭代偏移处理法，具体可参考附录 C 进行计算。

6.3.4 检测数据采集应符合下列规定：

- a) 数据采集工作时间应综合考虑检测区域内交通车流、设施障碍的影响，宜选择在夜间 23:00 至次日凌晨 6:00 期间进行；
 - b) 应注意车行道和人行道对检测设备的客观限制，车行道宜选用车载式探地雷达进行检测，人行道应选用便携式探地雷达进行检测；
 - c) 当采用距离测量装置触发时，采集前应对其进行标定；
 - d) 天线的移动速度应均匀，并应与仪器的扫描率相匹配；
 - e) 应及时记录信号异常，并应分析异常原因，必要时进行复测；
 - f) 应及时记录各类干扰源及地面积水、积雪、变形等环境情况；
 - g) 当发现疑似道路塌陷隐患时，应进行标记；
 - h) 检测系统工作时，应采取必要的安全防护措施，相关安全防护措施应符合 DB6501/T 007-2018 中 13.2 条的规定。
 - 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测；
 - j) 数据采集过程中应按本文件附录 D 中表 D.1 进行道路塌陷隐患雷达检测记录；
 - k) 当采用差分 GPS 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。
- 6.3.5 检测数据质量管理应符合下列规定：
- a) 在检测过程中，检测单位应加强自查自纠工作，视检测进度，定期进行过程检查及资料审核；当原始资料不完整或质量不合格时，应及时进行补测或重测；对遗漏路段，应进行补测；
 - b) 原始数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
 - c) 数据预处理应符合信号保真性原则，有效信号深度应符合技术要求，预处理结果应满足解译需要；
 - d) 重复观测的数据与原始数据应一致性良好；
 - e) 现场记录应完整，且与检测数据保持一致；
 - f) 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；
 - g) 数据剖面上不应出现连续的坏道。

6.4 雷达数据解译

6.4.1 雷达数据解译应包括下列内容：

- a) 数据处理；
- b) 异常识别；
- c) 数据解译。

6.4.2 雷达数据处理应包括雷达检测、定位测量等数据的处理。

6.4.3 雷达数据处理应符合下列规定：

- a) 数据处理前，原始数据应完整、可靠、有效，发现问题应重新检测或补测；
- b) 采集的数据应采用下列方法进行背景去除处理，去除干扰信号：
 - 1) 采用二维滤波处理，消除地上物体反射干扰；
 - 2) 根据电磁波遥感雷达数据频率分布，设定滤波参数，进行滤波处理；
 - 3) 对特定地下目标进行增益、偏移成像处理。
- c) 多通道探地雷达或三维探地雷达应寻找各通道数据之间的相关性；
- d) 比对地表特征和雷达数据，排除人工埋藏物干扰；
- e) 比对雷达图像和典型雷达图谱，确定异常点；
- f) 结合定位数据和视频数据，确定雷达异常点在道路上的准确位置；
- g) 原始数据应及时归档，保证能够溯源。

6.4.4 雷达数据异常识别要素应包括反射波能量、背景回波、波形的相似性、波形的连续性。

6.4.5 雷达数据综合解译应结合水文地质资料、地上和地下建筑物、构筑物资料及道路设施状况，剔除检测结果粗差，获取异常信息，并应解译该异常信息。

6.4.6 雷达数据异常点解译结果应包括地下空洞、脱空、土体疏松及富水体。

6.4.7 参考 T/CMEA 2-2018 中 5.4.7 的相关规定，不同类型的异常点识别应按表 2 的规定进行解译，雷达图像异常等级应按表 3 划分。

表2 道路塌陷隐患雷达图谱特征

道路塌陷 隐患类型	波组特征	振幅	相位与频谱
空洞	1 似球形空洞反射波组表现为倒悬双曲线形态； 2 似方形空洞反射波表现为正向连续平板状形态； 3 多次波明显； 4 绕射波明显	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场
脱空	1 顶部形成连续的同向性反射波组，表现为似平板状形态； 2 多次波明显	整体振幅强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场
土体疏松	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 多次波较明显； 3 绕射波较明显； 4 内部波形结构杂乱	整体振幅较强	1 顶部反射波与入射波同向，底部反射波与入射波反向； 2 频率高于背景场
富水体	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 绕射波不明显； 3 底部反射波不明显	顶部反射波振幅强，衰减快	1 顶部反射波与入射波反向，底部反射波与入射波同向； 2 频率低于背景场

表3 道路塌陷隐患等级划分、物理特征

道路塌陷 隐患类型	隐患等级	介电特征	工程特征
空洞	IV	1 相对介电常数为1	1 分离净空大于或等于 0.5 m 及土体内部产生的空腔； 2 位于地基土中，其土基内部土体大量流失； 3 上部一般为脱空，下部为土体疏松，对上部土体结构的稳定性构成威胁
脱空	III	1 相对介电常数为1	1 埋深较浅，结构层与土基之间产生分离，分离净空小于0.5 m
土体疏松	II	1 相对介电常数小于周边土体； 2 疏松程度越高，相对介电常数越小	1 土层孔隙率大、不密实、结构不均匀； 2 松散程度大，强度低，压缩性强
富水体	I	1 相对介电常数大于周边土体； 2 含水量越高，相对介电常数越大	1 路基含水量增大，强度低，压缩系数大，承载力低； 2 土体结构弱化，其上部容易发展为空洞

- 6.4.8 应根据雷达数据解译结果，确定道路塌陷隐患的平面轮廓及埋深。
- 6.4.9 应根据定位信息，确定道路塌陷隐患的坐标和相对位置，并进行编号。
- 6.4.10 道路塌陷隐患雷达图谱解释，具体可参考附录 E。

6.5 疑似隐患定位与复测

- 6.5.1 道路塌陷隐患位置信息应由定位设备确定。
- 6.5.2 道路塌陷隐患位置信息应包括坐标信息、影像信息、位置的文字描述信息和现场标注信息，并将信息汇总到道路塌陷隐患疑似目标信息汇总表（附录 D 中表 D.2）。
- 6.5.3 雷达复测测线布设应符合下列规定：
- 采用网格化加密布设测线；
 - 沿道路轴线方向的加密测线长度应超过异常区域(沿道路轴线方向)两边各不小于 10 m 范围；
 - 垂直道路轴线方向的加密测线宜根据实际道路条件宜尽可能延长；
 - 加密测线的间距确保不应大于 1 m；
 - 超出异常区域范围外仍应布设不少于 2 条测线。

6.6 塌陷隐患成果验证

- 6.6.1 道路塌陷隐患雷达检测成果的验证应确定塌陷隐患的类型、埋深等属性。
- 6.6.2 成果验证点应根据塌陷隐患类型、场地条件和危害对象的重要性等因素进行选择。
- 6.6.3 成果验证点的数量应符合下列规定：
- 空洞、脱空隐患应 100%验证；
 - 其他类型塌陷隐患的验证数量不应少于总数的 20%，且不宜少于 3 处。
- 6.6.4 应根据岩土特性选择验证方法，可参考表 4 确定，且应符合下列规定：
- 应优先选用钻探、挖探、触探等方法；
 - 验证点应布设在塌陷隐患的雷达数据异常反应最强部位或中心部位；
 - 当验证塌陷隐患边界时，宜在塌陷隐患边缘增设验证点；
 - 当不具备钻探、挖探、触探等作业条件时，可选用其他物探方法进行验证。

表4 道路塌陷隐患验证方法的适用性建议表

验证方法	岩土特性				有效验证深度 D
	全土层	土层，有混凝土地面	土层，少砾石	土层，多砾石	
人工开挖	●	—	●	○	$D < 2.0 \text{ m}$
机械开挖	●	●	●	●	$D \leq 4.0 \text{ m}$
钻探	●	●	●	●	$D \leq 30.0 \text{ m}$
轻型动力触探	●	—	○	—	$D \leq 5.0 \text{ m}$
重型动力触探	●	—	●	○	$D \leq 30.0 \text{ m}$
挖探	●	—	—	—	$D \leq 5.0 \text{ m}$

注：●推荐 ○可用 —不推荐

- 6.6.5 当采用钻探法进行验证时，现场作业应符合下列规定：

- a) 钻探前应对拟钻孔位置进行现场标注；
- b) 钻探前，应查明地下管线情况，不得损坏或影响原有地下管线的运行和维护；
- c) 钻探前，应及时对存在道路安全隐患区域进行围挡并放置安全警示标志；
- d) 应在指定位置钻探；
- e) 应测量道路塌陷隐患规模，并拍摄隐患内部影像资料存档；
- f) 钻探结果应汇总到道路塌陷隐患钻探验证结果表（附录 D 中表 D.3）；
- g) 钻探验证结束后，应及时封孔。

6.6.6 成果验证结果的判定应符合下列规定：

- a) 当钻探过程中发生掉钻时，结合内窥镜影像，宜判定隐患类型为空洞或脱空；
- b) 当钻探过程中钻进速率加快、标准贯入或动力触探击数减低、挖探揭露的土体不密实时，宜判定隐患类型为土体疏松；
- c) 当提取土样稠度为软塑-流塑或含水量变大时，宜判定隐患类型为富水体。

6.6.7 钻探、挖探、触探验证完成后应按 JGJ/T 87 的规定进行回填。

6.6.8 成果验证完成后应根据验证结果修正相关检测结论，确认塌陷隐患类型、规模及性状等特征。

6.7 成因分析及处置

6.7.1 应根据塌陷隐患的类型、规模，结合隐患周边岩土、水文、地下管线、地铁工程等信息，判断道路塌陷隐患成因。

6.7.2 道路塌陷隐患处置应参考道路塌陷隐患的类型、等级、深度、面积、位置等信息，参考 T/CMEA 2-2018 和 RISN-TG 024，应符合表 5 的规定。

表5 道路塌陷隐患处置意见

隐患类型	规模	位置	危害程度	紧急程度	处置建议
空洞	规模较大	快速路及主干路	危害严重	应立即处理	1 查明原因，消除诱因； 2 开挖、回填、碾压密实； 3 其他处置方式
空洞	规模较小	快速路及主干路	危害较大	应立即处理	1 查明原因，消除诱因； 2 开挖、回填、碾压密实； 3 其他处置方式
空洞	规模较大	次干路及支路	危害较大	应立即处理	1 查明原因，消除诱因； 2 开挖、回填、碾压密实； 3 其他处置方式
空洞	规模较小	次干路及支路	危害一般	应尽快处理	1 查明原因，消除诱因； 2 开挖、回填、碾压密实； 3 其他处置方式
脱空	—	—	危害一般	应尽快处理	1 查明原因，消除诱因； 2 开挖、回填、碾压密实； 3 其他处置方式
富水体	—	—	危害一般	应尽快处理	1 调查水源； 2 排水疏干； 3 专项探测
土体疏松	—	—	危害较小	应安排处理计划	1 开挖、回填、碾压密实； 2 其他处置方式

6.7.3 根据道路塌陷隐患类型,结合隐患路段现场施工条件,应因地制宜选择开挖修复或非开挖修复,并应符合下列规定:

- a) 道路进行开挖修复应符合 CJJ 36 和 DB 6501/T 007 的规定;
- b) 管道进行开挖维修应符合 GB 50268 的规定;
- c) 管道进行非开挖修复应符合 CJJ/T 210 的规定。

6.8 塌陷隐患动态管理

6.8.1 道路塌陷隐患应进行动态管理。隐患根据本文件表 5 提出的处置意见进行处理后,应按照不同的周期进行复测,依据周期复测结果重新评定隐患等级,并给出后续处置建议。周期复测结果满足对应条件后,塌陷隐患可降低等级或注销,相关条件参照表 6,周期复测信息记录参照附录 D 中表 D.4。

表6 隐患复测周期、降级和注销条件

隐患类型	隐患等级	复测周期	隐患降级和注销条件
空洞	IV	3个月	塌陷隐患处理后连续2次周期复测无异常,降为II级
脱空	III	3个月	塌陷隐患处理后连续2次周期复测无异常,降为II级
土体疏松	II	6个月	塌陷隐患处理后连续2次周期复测无异常,注销
富水体	I		塌陷隐患处理后连续2次周期复测无异常,注销

7 检测成果

7.1 一般规定

- 7.1.1 道路塌陷隐患雷达检测成果应遵循解译正确、科学有据、结论明确的原则。
- 7.1.2 道路塌陷隐患雷达检测成果应包括文字报告、成果图件和数据资料。
- 7.1.3 报告编写应根据检测项目任务书、设计书及有关标准进行。
- 7.1.4 报告附图、附件应清晰明了,目的明确。

7.2 检测成果编制

- 7.2.1 检测报告编制内容应详细、清晰、完整地反映整个检测过程。
- 7.2.2 检测报告应包括但不限于下列内容:
 - a) 项目概况;
 - b) 技术依据;
 - c) 检测区域概况;
 - d) 数据处理与解释;
 - e) 检测成果;
 - f) 成果验证;
 - g) 道路塌陷隐患成因分析;
 - h) 结论及处置建议;
 - i) 附图和附表。
- 7.2.3 道路塌陷隐患疑似目标信息汇总表应包括隐患编号、经纬度大地坐标、位置、规模尺寸及等级等,记录应符合附录 D 中表 D.2 的规定。
- 7.2.4 道路塌陷隐患信息卡应包括隐患编号、类型、位置、埋深、净深、雷达图谱、初步成因分析等,记录应符合附录 D 中表 D.6 的规定。

7.2.5 道路塌陷隐患平面分布图应根据塌陷隐患类型采用统一的代号、颜色和图例编制。

7.2.6 成果解释剖面图绘制应标明塌陷隐患的空间位置、形态及类型。

7.3 成果提交

7.3.1 检测成果应包括文档类成果、数据类成果及图件类成果。

7.3.2 文档类成果应包括下列内容：

- a) 检测方案；
- b) 检测报告。

7.3.3 数据类成果应包括下列内容：

- a) 原始检测数据；
- b) 雷达数据图像电子文件。

7.3.4 图件类成果应包括下列内容：

- a) 道路塌陷隐患平面分布图；
- b) 成果解译图册；
- c) 测线布设图。

7.3.5 相关检测成果提交和项目实施要点可参考附录 F。

8 城市道路塌陷隐患风险评估系统

8.1 一般规定

8.1.1 城市道路塌陷隐患宜建立信息系统，对检测数据进行查询、统计分析与管理。

8.1.2 城市道路塌陷隐患风险评估系统宜包括数据管理、数据库、风险评估模块。

8.1.3 城市道路塌陷隐患管理宜建立风险预警系统。

8.2 数据管理

8.2.1 数据采用的坐标系应与道路塌陷隐患所在地基础地理信息采用的坐标系一致。

8.2.2 各类数据的数据结构应包括字段数量、字段名称、字段类型、字段长度、小数位数、完整性约束及说明等。

8.2.3 数据应以电子文件形式提供，文件类型可包括文本文件、雷达数据、GPS 数据、图像文件、图形文件、视频文件等，文件格式应符合表 7 的规定。

表7 电子文件类型与格式

文件类型	文件格式
文本文件	TXT、DOC、PDF、XLS、XML
雷达数据	SGY、DZT、GDH、GDD、DT、DT1、DAT、TXT、BIN
GPS数据	STH、COR、CSV、TXT、XLS
图像文件	JPEG、TIFF、PNG、BMP、PSD
图形文件	DWG、CRD、SVG
视频文件	MPG、AVI

8.2.4 数据种类应包括道路类型、路面状况、管线、地下构筑物、地面设施、工程设施、岩土体、地面积水、地下水位、隐患分布、历年塌陷、交通状况、雷达检测历史数据等。

8.2.5 雷达数据应包括雷达扫描获取的原始信号数据、数据处理后得到的雷达影像、雷达测线、测线

的特征点以及钻探验证点等数据，并应符合下列规定：

- a) 雷达信号数据应以文件的形式存储于数据库中，以其测线的编号进行命名，且应与测线一一对应；
- b) 当雷达图像数据存储于雷达测线数据表中时，可不单独建表。

8.3 数据库

8.3.1 数据库建立应符合下列规定：

- a) 数据入库前应进行质量检查，发现有错误、缺失或冗余数据应查明原因，并做相应改正；
- b) 数据应及时更新，保证其准确性与有效性，并做好历史数据备份；
- c) 数据库应对时态数据进行存储和管理；
- d) 数据的安全保密应符合国家现行相关标准的规定；
- e) 数据库建立应结合项目需求和相关标准规范的要求，满足系统高效运行和查询检索的需要。

8.3.2 数据库管理系统应符合下列规定：

- a) 应具有空间数据存储管理能力；
- b) 应支持空间数据和属性数据的统一存储；
- c) 数据库字段应支持雷达数据、定位数据、视频数据、矢量数据、多媒体数据、电子文档数据等的存储；
- d) 应具有可靠的数据备份和恢复机制。

8.3.3 数据库系统安全设计应符合 GB/T 22239 的有关规定。

8.4 风险评估

8.4.1 道路塌陷隐患风险评估系统应以单个塌陷隐患为评价对象，在隐患综合探测的基础上，结合周边环境信息，确定其风险等级，提出风险控制对策。

8.4.2 道路塌陷隐患风险评估系统应包括风险影响因素调查、风险发生可能性评价、风险后果评价及风险等级评定。

8.4.3 道路塌陷隐患风险影响因素调查应包含下列内容：

- a) 隐患类型、规模、位置等；
- b) 隐患影响范围内道路、地下管线、地下建构筑物、地面设施等的类型、规模、状态，及周边设施与隐患之间的相对位置关系；
- c) 隐患周边工程地质条件、水文地质条件；
- d) 隐患影响范围内地面道路出现的变形、沉陷、裂缝、坑槽、积水等异常情况及其严重程度，以及历史塌陷情况；
- e) 隐患影响范围内的地下管线及管井淤堵、变形、破损等异常情况及其严重程度；
- f) 隐患影响范围内的地面开挖、地下工程和邻近建筑工程施工等现状及历史状况；
- g) 隐患影响范围内的建（构）筑物、人员分布等情况，包括商场、医院、学校、体育馆、领事馆、地标性建筑、居民住宅区等建构筑物情况，及地铁站、公交车站、过街天桥或通道等人员密集场所，并评价人员、财产密集程度；
- h) 其他有关资料。

8.4.4 风险发生可能性和风险后果评价宜采用指标体系法，具体应符合 JGJ/T 437 的规定。

8.4.5 风险评估指标及权重应综合考虑塌陷隐患特征、地质环境、建（构）筑物、人员分布、社会影响等因素确定，指标应具有代表性、针对性和全面性，具体应符合 JGJ/T 437 的规定。

8.4.6 应根据道路塌陷隐患风险发生可能性与风险后果判定结果，通过风险矩阵，将塌陷隐患风险等级划分为 I（很低）、II（较低）、III（中等）、IV（较高）、V（极高）5 个等级，具体应符合 JGJ/T

437 的规定。

8.5 风险预警系统

8.5.1 构建风险预警系统应先构建基于指标体系法的风险评估系统,对指标类别加以分析处理;其次,依据预警模型,对风险评估系统进行综合评判;最后,依据评判结果设置预警区间,并采取相应对策。

8.5.2 城市道路塌陷风险预警系统应符合下列规定:

- a) 包括数据管理、数据分析、风险预警模块;
- b) 具有大数据、人工智能分析技术;
- c) 可实时监测道路单元塌陷隐患风险。

8.5.3 城市道路塌陷风险预警系统应具备以下功能:

- a) 城市道路、雷达检测数据统一管理、分析;
- b) 进行历年道路塌陷隐患雷达检测数据对比;
- c) 对城市道路单元进行风险评估、预警、分级。

8.5.4 城市道路塌陷风险预警系统宜满足市、区两级联动功能,实现全市道路塌陷风险统一管理。

附 录 A

（资料性）

乌鲁木齐市整体概况

A.1 地理环境

乌鲁木齐市位于中国西北、新疆中部、亚欧大陆腹地，地处北天山北麓、准噶尔盆地南缘。地处东经 $86^{\circ} 37' 33'' \sim 88^{\circ} 58' 24''$ ，北纬 $42^{\circ} 45' 32'' \sim 45^{\circ} 00' 00''$ 。全市辖7个区、1个县，总面积1.38万平方公里。乌鲁木齐市地势起伏大，山地面积大，山地面积占总面积的60%以上，平原面积占总面积不足40%。

A.2 气候特点

乌鲁木齐市地处欧亚大陆腹地，属温带大陆性干旱气候，具有温差大，寒暑变化剧烈；降水量少，且分布不均；蒸发强烈，干燥多风等特点。年平均气温 7.0°C ，7月平均气温 23.7°C ，极端最高气温 38.8°C ，1月平均气温 -11.7°C ，极端最低气温 -30.0°C 。最冷月和最热月月均温差 35.4°C ，冬夏极端温差高达 68.8°C 。

乌鲁木齐市降水分布具有明显的地区差异性，特点是平原区少，山区多；东部少，西部多；背风坡少，迎风坡多。年平均降水量 298.3 mm ，降水量集中在春夏季（4月~7月），连续最大四个月降水量占全年降水量的48.3%。

A.3 水文地质

乌鲁木齐市共有河流46条，根据河流的发源、运移、消散区域划分，主要分为五个水系，即乌鲁木齐河水系、头屯河水系、柴窝堡湖水系、白杨河水系和阿拉沟水系。其中，乌鲁木齐河进入市区河床已建成河滩快速路。

乌鲁木齐地下水资源比较丰富，按地质情况可划分为达坂城—柴窝堡洼地、乌鲁木齐河谷和北部倾斜平原三个区域。城市用水以地下水为主，地下水主要有天山融雪水补给、乌鲁木齐河（和平渠）潜流水系和渗漏补给；其次是农灌水回渗以及降水回渗补给。

A.4 岩土工程地质

乌鲁木齐市中心城区面积150平方公里，地处河谷。山地岩土地区的二级分区，主要是依据饱和单轴抗压强度，分为坚硬地基段、较坚硬地基段、软弱地基段。平原区地基土成因类型作为二级分区的依据，因为不同成因类型的地基土，其粒度成分物理力学性质差异甚大，可将乌鲁木齐城区分为基岩地质区、乌鲁木齐河冲洪积卵石（圆砾）工程地质区、山麓及山前残丘波状平原粗颗粒土（角砾）工程地质区和黄土台地工程地质区，其中黄土台地工程地质区主要分布于乌鲁木齐东部丘陵及乌鲁木齐河阶地冲洪积扇，可分为两个亚区：黄土台地湿陷性黄土亚区和黄土台地冲洪积扇湿陷性黄土亚区。

黄土台地湿陷性黄土亚区分布于乌鲁木齐河东岸，其南端可达水磨沟的雪莲山高尔夫俱乐部一带，向北延伸经六道湾、七道湾直抵红光山卡子湾地区，并延伸到米东区的东端。其厚度及湿陷性特点在水平方向及竖直方向上有很大变化，其最大厚度可达30 m以上，多具I-II级自重湿陷性。

黄土台地冲洪积扇湿陷性黄土亚区分布于乌鲁木齐河西岸的河北路、苏州路一带，为冲、洪积成因类型的湿陷性黄土，不具备典型黄土的特点。其厚度及湿陷性特点在水平方向及竖直方向上有很大变化，多具I-II级非自重湿陷性。

A.5 煤矿采空区

乌鲁木齐市周边煤矿大量开采，留下了多片大面积的采空区，其中对城区道路安全威胁最大的两片采空区主要是六道湾煤矿采空区和西山骑马山煤矿采空区。

六道湾煤矿采空区从河滩路开始，一路向北，东穿水磨沟河延伸到八道湾、东山区芦草沟和米泉铁厂沟。沿煤层采空区已经形成了条带状的地面塌陷区。六道湾煤矿采空区西面距离友好商圈2 km。

西山骑马山采空区规模较小，但也形成了一条横穿骑马山的断裂带，局部地区出现过深度20 m左右的塌陷大坑。

A.6 地下工程建设

截至2021年底，乌鲁木齐市在线运营地铁线路1条，线路长度27.615 km，共设车站21座。在建地铁线路3条，为二号线1期、三号线1期、四号线1期，在建线路总长61 km。远景规划地铁线路共10条，线路总长度340 km。

乌鲁木齐市城区道路地下管线主要管材是混凝土管道，自2015年开始大范围使用聚乙烯双壁波纹管。地下管线施工大多使用明挖回填方式，较少使用顶管施工。城区快速路和主干路沿线地下管线埋深为2.5 m~5 m，次干路和支路沿线地下管线埋深1.5 m~2.5 m，以避免冬季冻土的不利影响。

附录 B

(资料性)

雷达采样频率计算方法

B.1 在满足探测深度的前提下,综合考虑检测场地及环境要求,使用较高频率的天线,探测深度与天线中心频率的关系见正文中表1。

B.2 在探测深度允许的情况下,应尽量选择较大的采样频率,以保证探测目标清晰成像。采样频率按式(B.1)估算:

$$S_p \geq 20f \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

S_p ——采样频率,单位为吉赫兹(GHz);

f ——天线中心频率,单位为兆赫兹(MHz)。

B.3 城市道路雷达检测应选用100 MHz、200 MHz和500 MHz天线。常用参数如表B.1所示。

表B.1 雷达常用参数

中心频率	100 MHz	200 MHz	500 MHz
天线种类	背向屏蔽式地面耦合天线	背向屏蔽式地面耦合天线	背向屏蔽式地面耦合天线
采样频率	5 GHz~8 GHz	5 GHz~8 GHz	5 GHz~8 GHz
采样点数	1024	1024	512
数据累加	可调	可调	可调
触发间距	可调	可调	可调

附录 C

(资料性)

地下介质电磁波速度计算方法

地下介质电磁波速度的获取是雷达数据资料解释的重要内容，也是深度转化的重要参数，其准确与否直接关系到解译结果的准确程度。本文件推荐使用宽角法、已知深度目标换算法或迭代偏移处理法计算地下介质电磁波速度。

C.1 宽角法

当地下存在一反射面时，保持一个雷达天线固定在地面某一点上不动，而另一个天线沿测线移动，记录地下各个不同层面反射波的双程走时，这种测量方法称为宽角法，主要用来求取地下介质的电磁波传播速度。宽角法示意如图C.1所示。

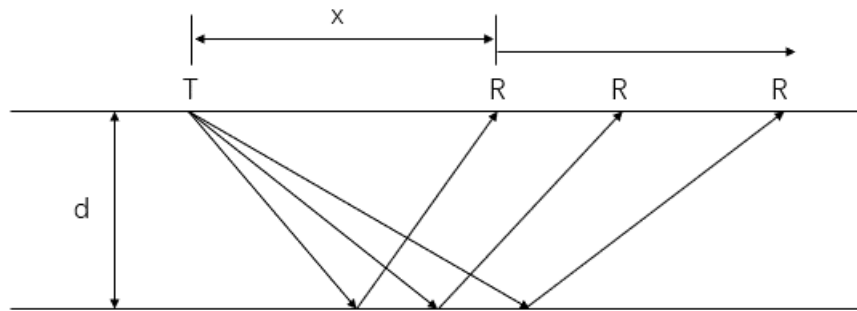


图 C.1 宽角法示意图

地下深度为 d 的水平界面的反射波的双程走时：

$$t^2 = \frac{x^2}{v^2} + \frac{4d^2}{v^2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

x ——发射天线与接收天线之间的距离，单位为米（m）；

d ——反射界面的深度，单位为米（m）；

v ——电磁波的传播速度，单位为米（m）。

地表直达波可看成是 $d=0$ 时的反射波。上式中，当地层电磁波速度不变时， t^2 与 x^2 呈线性关系，亦即若以 t^2 为纵坐标， x^2 为横坐标，则宽角法所得的反射波走时线为直线，直线的斜率为速度，纵坐标的截距为反射界面的深度（以时间表示），所以，宽角法的测量结果可以用来确定地层等效电磁波速度以及反射面的深度。

C.2 已知深度目标换算法

已知深度目标换算法是最简单的方法，同时也是常用的方法。该方法采用地下已知深度的目标体，根据电磁波的传播平均时间进行计算，然后利用获得的速度来推断没有钻孔或已知目标区域地质体的深度。

C.3 迭代偏移处理法

偏移归位处理要求提供正确的速度，否则聚焦成像就不好，处理后的图像效果不好。由此，可以根据偏移处理的结果来反推选取速度的准确性。对一张雷达剖面选取不同的速度进行多次偏移处理实验，找到处理结果最好的速度；还可以根据不同深度的对象和层次选取不同的速度，由浅到深一层层地校准速度，最后可以得出反映速度变化规律的速度谱。

表 D.2 道路塌陷隐患疑似目标信息汇总表

填报单位：

序号	隐患编号	道路名称	中心坐标位置		位置描述	塌陷隐患区域情况						
			经度	纬度		长度(m)	宽度(m)	面积(m ²)	埋深(m)	净深(m)	隐患类型/ 隐患等级	处置意见
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
备注：												
记录人：			审核人：			时间：			第_页 共_页			

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/125034022110011131>