

ICS XXX
X XX

DB1331

雄 安 新 区 地 方 标 准

DB1331/T XX—XXXX

城市道路塌陷隐患雷达检测技术标准

Technical standard for radar detection of urban road collapse hazards

联合发布

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

河北雄安新区管理委员会建设和交通管理局
河北雄安新区管理委员会综合执法局

雄安新区地方标准

城市道路塌陷隐患雷达检测技术标准

Technical standard for radar detection of urban road collapse hazards

DB1331/T XX—XXXX

批准部门：河北雄安新区管理委员会综合执法局

施行日期：xxxx 年 xx 月 xx 日

前言

根据河北雄安新区管理委员会建设和交通运输局《关于下达2024年工程建设标准制修订计划项目(第一批)的通知》的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,结合雄安新区实际情况,在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本指标体系的主要技术内容是:本标准按照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。旨在结合雄安新区地域特点,同时结合机器人平台、AI智能识别等前沿技术,对城市道路塌陷隐患雷达检测技术进行深入研究,从术语和定义、总体原则、检测系统、检测方法、检测成果、风险评估等方面给出详细技术要求。

本标准由河北雄安新区管理委员会建设和交通运输局负责管理,雄安新区建设工程质量安全检测服务中心负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议,请寄送至雄安新区建设工程质量安全检测服务中心(地址:河北雄安新区白洋淀大道办公区,邮编:071700)。

主编单位:雄安新区建设工程质量安全检测服务中心

河北雄安京翼质量检测服务有限公司

参编单位:中科神探(河北雄安)科技有限公司

中国科学院武汉岩土力学研究所

武汉中岩科技股份有限公司。

主要起草人员:周海成、齐杰、李亚川、陈耀辉、周焯、程同华、李旭东、梅岩辉、袁飞、王耀辉、杨永波。

主要审查人员:

目录

1 总 则	- 1 -
2 规范性引用文件	- 2 -
3 术语和定义	- 3 -
3.0.1 城市道路塌陷隐患	- 3 -
3.0.2 脱空	- 3 -
3.0.3 空洞	- 3 -
3.0.4 土体疏松	- 3 -
3.0.5 富水体	- 3 -
3.0.6 道路塌陷隐患验证	- 3 -
3.0.7 电磁波遥感	- 3 -
3.0.8 探地雷达	- 3 -
3.0.9 测线	- 3 -
3.0.10 雷达天线	- 3 -
3.0.11 距离测量装置	- 4 -
3.0.12 异常区域	- 4 -
3.0.13 人工智能解译系统	- 4 -
3.0.14 人工智能解译置信度	- 4 -
3.0.15 普查	- 4 -
3.0.16 详查	- 4 -
3.0.17 CCTV 检测	- 4 -
4 基本规定	- 5 -
5 检测系统	- 6 -
5.1 一般规定	- 6 -
5.2 车载式探地雷达	- 6 -
5.3 便携式探地雷达	- 6 -
5.4 管中地质雷达	- 7 -
5.5 数据采集软件	- 8 -

5.6 数据解译软件	- 9 -
6 检测方法	- 10 -
6.1 一般规定	- 10 -
6.2 检测准备工作	- 11 -
6.3 雷达数据采集	- 12 -
6.4 雷达数据解译	- 14 -
6.5 疑似隐患定位与复测	- 15 -
6.6 塌陷隐患成果验证	- 16 -
6.7 成因分析、处置、复测及动态管理	- 17 -
7 检测成果	- 18 -
7.1 一般规定	- 18 -
7.2 检测成果编制	- 18 -
7.3 成果提交	- 18 -
8 城市道路塌陷隐患风险评估系统	- 20 -
8.1 一般规定	- 20 -
8.2 数据管理	- 20 -
8.3 数据库	- 20 -
8.4 风险评估	- 21 -
8.5 风险预警系统	- 22 -
附录 A 雄安新区整体概况	- 23 -
附录 B 雷达采样频率计算方法	- 24 -
附录 C 探地雷达数据人工智能解译系统基本要求	- 25 -
附录 D 智能图像识别法评价道路塌陷风险指标的不确定度	- 29 -

1 总 则

1.0.1 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。

1.0.2 本文件适用于雄安新区范围内城市道路、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

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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
GB50268	给水排水管道工程施工及验收规范
GB/T27418	测量不确定度评定和表示
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
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
DB1331/T 025.5	雄安新区关键质量指标体系：地下空间工程

3 术语和定义

3.0.1 城市道路塌陷隐患

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。

3.0.2 脱空

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。

3.0.3 空洞

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。

3.0.4 土体疏松

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。

3.0.5 富水体

地下局部范围内的含水率明显高于周边土体的松散土体。

3.0.6 道路塌陷隐患验证

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。

3.0.7 电磁波遥感

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。

3.0.8 探地雷达

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。

3.0.9 测线

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。

3.0.10 雷达天线

探地雷达辐射电磁波的装置，分为发射天线和接收天线。

3.0.11 距离测量装置

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。

3.0.12 异常区域

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）。

3.0.13 人工智能解译系统

采用计算机视觉和深度学习算法，自动分析雷达图像并识别路面缺陷，对各种地下病害体的探地雷达数据进行建模学习与推理计算，建立探地雷达数据自动解译的人工智能分析系统。

3.0.14 人工智能解译置信度

人工智能计算机系统对检出的地下病害体及类型建立置信区间分布模型，给出被解译对象的可信程度范围。

3.0.15 普查

指为某一特定目的而专门组织的一次性的全面调查。

3.0.16 详查

指对某一特定问题进行更加深入、具体的搜索，目的是获取详细、准确的信息。

3.0.17 CCTV 检测

管道 CCTV 检测是采用先进的 CCTV 管道内窥电视检测系统，在管道内自动爬行，对管道内的锈层、结垢腐蚀、穿孔、裂纹等状况进行探测和摄像，同时记录管道内的状况，从而将地下隐蔽管线变为在电脑上可见的内部录像，为管道评估及修复方案的制定提供重要依据。

4 基本规定

4.0.1 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。

4.0.2 道路塌陷隐患检测应采用雷达检测技术。

4.0.3 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)。

4.0.4 道路塌陷隐患雷达检测应遵循以下规定：

1 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；

2 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，检测周期不得超过 2 年；

3 地铁沿线道路，应定期进行检测，检测周期不得超过 1 年；

4 建设单位向管养单位移交道路前，应进行检测；

5 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；

6 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，其中施工过程中应增加检测频次；

7 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；

8 道路塌陷隐患经修复后，应对其进行复测；

9 其他存在道路塌陷隐患的区域，应择机进行检测。

4.0.5 道路塌陷病害可采用普查和详查相结合的方式，并应符合下列规定：

1 普查应对测区进行全面探测，并应确定重点探测区；

2 详查应对重点探测区进行探测，并应查明地下病害体的属性。

4.0.6 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。

5 检测系统

5.1 一般规定

5.1.1 在地下水位深较浅或回填松、含铁磁性等探地雷达信号衰减明显区域，应考虑其对探测深度的影响，设计探测深度不宜大于 3.0m。

5.1.2 检测系统应包括检测设备和数据软件。

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：

- 1 数据采集软件；
- 2 数据解译软件。

5.2 车载式探地雷达

5.2.1 探地雷达主机应满足下列要求：

- 1 应具有实时监测显示功能；
- 2 信噪比应大于或等于 90dB；
- 3 信噪比不应低于 110dB，动态范围不应小于 120dB；
- 4 测距误差应小于或等于 0.1%；
- 5 A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- 6 配置天线应具备屏蔽功能。

5.2.2 车载探地雷达系统宜由承载车辆、多通道探地雷达系统、定位设备、视频记录设备等组成，并应符合下列规定：

- 1 车载探地雷达系统探地雷达天线支架设计牢固、拆卸方便；
- 2 车载探地雷达系统承载车辆车尾及车四周宜安装明显警示闪光系统；
- 3 车载探地雷达系统宜不少于四通道，采用不同频段天线组合，满足道路地下病害连续探测要求；

4 车载探地雷达系统采用差分 GNSS 进行测线轨迹定位时，更新频率不应小于 10Hz；宜可同步触发、同步采集。

5.3 便携式探地雷达

5.3.1 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。

5.3.2 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。

5.3.3 便携式探地雷达参数符合下列规定：

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

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

1 探地雷达探测深度及分辨率取决于天线频率，并应符合表 5.3.4 的要求，当多种频率的天线均能满足探测深度要求时，宜选择频率相对较高的天线。

表 5.3.4 天线频率与最大探测深度和分辨率的关系

天线频率 (MHz)	最大探测深度 (m)	分辨率 (cm)
800	1	10
400	2	20
200	3	40
100	5	80

- 2 当电磁干扰不明显且探测深度较大时，可选择非屏蔽的低频天线
- 3 重点区域及普查中确定的重点异常区探测宜选用多种频率天线。

5.4 管中地质雷达

5.4.1 管中地质雷达应自带动力可在管道中行进，可上下伸缩调节高度，并可环向沿管壁 360°旋转，适用于埋深较大、地下管线环境复杂、隐患点较小等地表探地雷达测试效果较差的区域的检测。

5.4.2 管中地质雷达参数应符合下列规定：

- 1 信噪比应大于或等于 90 dB；
- 2 A/D 转换的位数应大于或等于 16 位；
- 3 配置天线应具备屏蔽功能。

5.4.3 管中地质雷达系统宜由行进机构、地质雷达搭载平台、地质雷达、绕线车、摄像头、

控制终端等组成，并应符合下列规定：

1 行进机构应具有强大动力，可适应管内行进条件，并应该具有越障、爬坡等功能和姿态调整、防倾覆等保护功能；行进机构应能记录行进距离，可配备高精度惯性导航模块对行进方位进行测量。

2 地质雷达搭载平台应设计牢固、拆卸方便，可快拆速装。

3 地质雷达宜采用单通道采集，根据不同的检测要求，可快速更换雷达天线，天线主频选择可参考本规范 5.3.4 条。

4 绕线车应采用高精度编码器对地质雷达在管道内的行进距离进行测量。

5 摄像头应能清晰查看行进机构在行进过程中前后方向的视频图像。

6 控制终端应能同时控制行进机构、地质雷达、绕线车和摄像头。

5.4.4 管中地质雷达系统可通过主控制器，控制天线载体在管道内行走，根据管径大小不同，调整平台高度，保证天线表面与管道内壁紧贴；地质雷达天线可沿管道轴向和径向两个方向进行检测；

5.4.5 管中地质雷达系统应实时记录保存视频、雷达数据及其他各种辅助参数。

5.4.6 管中地质雷达系统行进机构的行进速度应与雷达检测速度相匹配。

5.5 数据采集软件

5.5.1 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。

5.5.2 数据采集软件应具备下列功能：

1 二维多通道探地雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；

2 三维多通道探地雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；

3 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；

4 管中地质雷达参数设置，数据实时采集、存储和显示；

5 定位设备参数设置，数据实时采集、存储和显示；

6 基于地理信息系统的实时检测轨迹显示；

7 雷达数据、视频数据同步回放；

8 雷达数据、视频数据关联定位；

9 对作业设备及周边环境进行实时监测；

10 对采集的数据进行导出。

5.6 数据解译软件

5.6.1 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。

5.6.2 数据解译软件应具备下列功能：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 对数据进行预处理，包括数据合并与分割、剖面翻转；
- 4 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；
- 5 对定位数据进行处理；
- 6 同时回放雷达数据、视频数据和检测轨迹；
- 7 层位追踪和厚度计算；
- 8 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：

- 1 现场踏勘与资料收集：
- 2 检测方案制定：
- 3 现场数据采集：
- 4 雷达数据解译：
- 5 疑似隐患定位与复测：
- 6 成果验证：；
- 7 成因分析与处置建议：
- 8 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 6.1.2 进行。

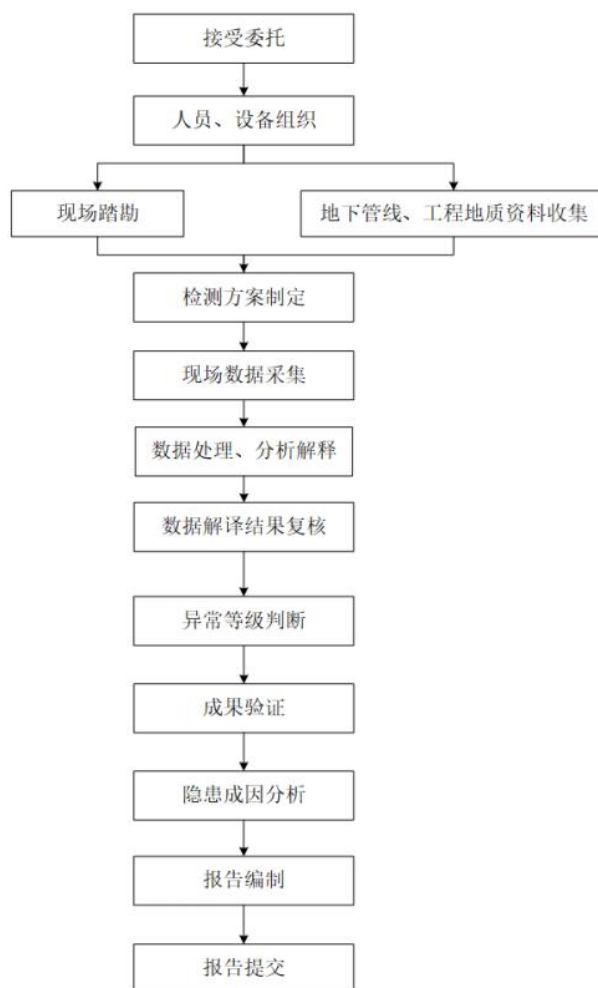


图 6.1.2 道路塌陷隐患雷达检测流程图

6.1.3 测线布设应符合下列规定：

- 1 测线布设应完整、连续；
- 2 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，相邻测带旁向重叠不宜小于 10%；
- 3 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：

- 1 应选择频率为 100MHz~800 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；
- 2 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-20℃~45℃。

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：

- 1 检测区地形图和测量控制点资料；
- 2 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、给水管道漏水检测成果资料；
- 3 检测区内的道路工程、各类地下工程的设计和施工资料；
- 4 检测区内岩土工程、工程地质和水文地质勘察资料；
- 5 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；
- 6 雄安新区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 开展检测前，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 检测设备及参数应根据工作要求、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：

- 1 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；

- 2 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；
- 3 检测重难点分析及应对措施；
- 4 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；
- 5 检测组织管理：包括管理机构、进度计划及工期保障措施；
- 6 检测质量和安全保障措施；
- 7 提交的检测报告应包含：检测结论、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：

- 1 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扩大检测范围；
- 2 测线末端宜超过检测区域边缘 10m；
- 3 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 1m。

6.3.2 检测参数设定应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 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（6.3.2）计算：

$$T = K \frac{2D}{V} \dots\dots\dots (6.3.2)$$

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 ——电磁波速度，m/ns。

- 5 信号的增益宜使信号幅值不超过信号监视窗口的 3/4；
- 6 采样率不应低于所采用的天线主频的 20 倍；
- 7 宜采用叠加采集的方式提高信号的信噪比；
- 8 调试测量参数，校检测量精度；
- 9 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 检测数据采集应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 采用管中雷达检测法的检测区，检测前需评估管道采用雷达检测的适宜性，并对管道内部进行 CCTV 检测，评估是否可以进行管中雷达检测，不符合时则需对管道进行预处理，以达到管中雷达检测的条件。
- 4 当采用距离测量装置触发时，采集前应对其进行标定；
- 5 天线的移动速度应均匀，并应与仪器的扫描率相匹配；
- 6 应及时记录信号异常，并应分析异常原因，必要时进行复测；
- 7 应及时记录各类干扰源及地面积水、积雪、变形等环境情况；
- 8 当发现疑似道路塌陷隐患时，应进行标记；
- 9 检测系统工作时，应采取必要的安全防护措施。
- 10 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；
- 11 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。

6.3.4 检测数据质量管理应符合下列规定：

- 1 在检测过程中，检测单位应加强自检自查工作，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；
- 2 原始数据的信噪比应满足数据处理、解释的需要；
- 3 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；

- 4 重复观测的数据与原始数据应一致性良好；
- 5 现场记录应完整，且与检测数据保持一致；
- 6 数据信号削波部分不宜超过全剖面的 5%；
- 7 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 开展探地雷达数据解译工作时，宜优先采用人工智能解译系统对探地雷达数据进行分析，人工智能解译系统应符合附录 C 的要求。人工智能解译系统识别出的异常应由技术人员进行确认。在首次采用人工智能解译系统或者解译系统版本更新后，宜对人工智能解译系统解译结果的不确定度进行评定，评定可按附录 D 进行。

6.4.2 雷达数据解译应包括下列内容：

- 1 数据处理；
- 2 异常识别；
- 3 数据解译。

6.4.3 雷达数据处理应包括雷达检测、定位测量等数据的处理。

6.4.4 雷达数据处理应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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：
 - a) 采用二维滤波处理，消除地上物体反射干扰；
 - b) 根据电磁波雷达数据频率分布，设定滤波参数，进行滤波处理；
 - c) 对特定地下目标进行增益、偏移成像处理。
- 3 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；
- 4 管中地质雷达可结合管中视频图形进行辅助分析；
- 5 比对地表特征和雷达数据，排除人工埋藏物干扰；
- 6 比对雷达图像和典型雷达图谱，确定异常点；
- 7 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；
- 8 原始数据应及时归档，保证能够溯源。

6.4.5 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。

6.4.6 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。

6.4.7 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。

6.4.8 不同类型的异常点识别应按表 6.4.7 的规定进行解译。

表 6.4.7 道路塌陷隐患雷达图谱特征

道路塌陷隐患类型		波组形态	振幅	相位与频谱
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
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 绕射波明显； 4 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
疏松体	严重疏松体	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
	一般疏松体	1 顶部形成连续的同向性反射波组； 2 多次波不明显； 3 绕射波不明显； 4 内部波形结构较杂乱	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

6.4.9 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。

6.4.10 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。

6.5 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。

6.5.3 雷达复测测线布设应符合下列规定：

- 1 采用网格化加密布设测线；
- 2 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

10m 范围；

- 3 垂直道路轴线方向的加密测线宜根据实际道路条件延长；
- 4 加密测线的间距不应大于 1m；
- 5 超出异常区域范围外应布设不少于 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：

- 1 空洞、脱空隐患应 100%验证；
- 2 其他类型塌陷隐患的验证数量不应少于总数的 20%，且不应少于 3 处。

6.6.4 应根据岩土特性选择验证方法，可参考表 6.6.4 确定，且应符合下列规定：

- 1 应优先选用钻探、挖探、触探等方法；
- 2 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；
- 3 当验证塌陷隐患边界时，宜在塌陷隐患边缘增设验证点；
- 4 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 6.6.4 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
	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 m
机械开挖	●	●	●	●	D≤4.0 m
钻探	●	●	●	●	D≤30.0 m
轻型动力触探	●	—	○	—	D≤5.0 m
重型动力触探	●	—	●	○	D≤30.0 m
挖探	●	—	—	—	D≤5.0 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：

- 1 钻探前应对拟钻孔位置进行现场标注；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 应在指定位置钻探；
- 5 应测量道路塌陷隐患规模，并拍摄隐患内部影像资料存档；

- 6 钻探结果应汇总到道路塌陷隐患钻探验证结果表；
- 7 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：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 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、处置、复测及动态管理

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、深度、面积、位置等信息。

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：

- 1 道路进行开挖修复应符合 CJJ36 的规定；
- 2 管道进行开挖维修应符合 GB 50268 的规定；
- 3 管道进行非开挖修复应符合 CJJ/T210 的规定。

6.7.4 道路塌陷隐患应进行动态管理。隐患处置按照相关规范要求进行处理后，应按照不同的周期进行复测，依据周期复测结果开展后续处置或养护工作。复测周期参照表 6.7.4。

表 6.7.4 隐患复测周期

隐患类型	复测周期
空洞	3 个月
脱空	3 个月
疏松体	6 个月
富水体	

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：

- 1 项目概况；
- 2 技术依据；
- 3 检测区域概况；
- 4 数据处理与解释；
- 5 检测成果；
- 6 成果验证；
- 7 道路塌陷隐患成因分析；
- 8 结论及处置建议；
- 9 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。

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。

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：

- 1 检测方案；

2 检测报告。

7.3.3 数据类成果应包括下列内容：

- 1 原始检测数据；
- 2 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：

- 1 道路塌陷隐患平面分布图；
- 2 成果解译图册；
- 3 测线布设图。

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、位置数据、图像文件、图形文件、视频文件等，文件格式宜符合表 8.2.3 的规定。

表 8.2.3 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
位置数据	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、地下建构筑物、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：

1 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；

2 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：

1 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；

- 2 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；
- 3 数据库应对时态数据进行存储和管理；
- 4 数据的安全保密应符合国家现行相关标准的规定；
- 5 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：

- 1 应具有空间数据存储管理能力；
- 2 应支持空间数据和属性数据的统一存储；
- 3 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；
- 4 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/T22239 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：

- 1 隐患类型、规模、位置等；
- 2 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；
- 3 隐患周边工程地质条件、水文地质条件；
- 4 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；
- 5 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；
- 6 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；
- 7 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、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；

8 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/T437 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：

- 1 包括数据管理、数据分析、风险预警模块；
- 2 具有大数据、人工智能分析技术；
- 3 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：

- 1 城市道路、雷达检测数据统一管理、分析；
- 2 进行历年道路塌陷隐患雷达检测数据对比；
- 3 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，实现新区道路塌陷风险统一管理。

附录 A 雄安新区整体概况

A.0.1 地理环境

雄安新区位于河北省中部，地处北京、天津、保定腹地，东接廊坊市固安县、霸州市、文安县，西与保定市清苑区、徐水区接壤，南邻高阳县、任丘市，北与定兴县、高碑店市相连，起步区面积约 100 平方千米，中期发展区面积约 200 平方千米，远期控制区面积约 2000 平方千米。

A.0.2 气候特点

雄安新区地处北纬中纬度地带，属暖温带季风型大陆性气候，四季分明，春旱多风，夏热多雨，秋凉气爽，冬寒少雪。年均气温 11.9℃，最热七月平均气温 26.1℃，最冷 1 月平均气温 -4.9℃；年日照 2685 小时，年平均降雨量 522.9 毫米。无霜期 191 天左右，最长 205 天，最短 180 天。

A.0.3 水文地质

雄安新区有南拒马河，大清河，白沟引河等河流，华北平原最大的淡水湖泊——白洋淀位于雄安新区东南部。白洋淀系大清河水系各支流冲积扇的前缘洼地，上承九河（潞龙河、孝义河、唐河、府河、漕河、萍河、杨村河、瀑河及白沟引河），下流入海，是雄安新区地势最为低洼的区域。

A.0.4 地形地貌

雄安新区位于太行山东麓、冀中平原中部、南拒马河下游南岸，在大清河水系冲积扇上，属太行山东麓平原向冲积平原的过渡带。全境西北较高，东南略低，海拔标高 7~19 米，自然纵坡千分之一左右，为缓倾平原，土层深厚，地形开阔，植被覆盖率很低，境内有多处古河道。

A.0.5 地下工程建设

合理开发利用地下空间，是雄安新区规划纲要明确提出的重要任务，其中提到要优先布局基础设施，在城市干路、高强度开发和管线密集地区，根据城市发展需要，建设干线、支线和缆线管廊等多级网络衔接的市政综合管廊系统。雄安新区规划建设综合管廊约 300 公里，截止到 2022 年 5 月，雄安新区综合管廊单舱投运已达 100 公里。

附录 B 雷达采样频率计算方法

B.0.1 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 5.3.4。

B.0.2 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.2）估算：

$$S_p \geq 20f \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

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

表 B.3 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 探地雷达数据人工智能解译系统基本要求

C.0.1 探地雷达数据人工智能解译适用于海量采集数据的人工智能自动解译,可显著提高探地雷达数据的解译效率和精度,避免人为因素导致地下病害体的漏检和误检。

C.0.2 探地雷达数据人工智能解译,应满足下列要求:

- 1 人工智能解译速度不应低于 80 公里/小时(以 8 通道雷达数据为例)。
- 2 对于直径 20cm 及以上空洞病害体的检出率应大于 95%。
- 3 每公里车道的人工智能解译缺陷类型误检数不宜多于 3 处。
- 4 人工智能解译软件应通过不同地质条件、不同道路结构的试验段进行验证,满足技术要求后方可使用。

C.0.3 探地雷达人工智能解译软件功能,应满足下列要求:

- 1 雷达波图像转换:将雷达接收到的反射波在各个时点的电磁波矢量按灰度表示,转换成黑白雷达图像;或用不同颜色表示的不同相位段,转换为彩色雷达图像。
- 2 雷达图像预处理:通过增益调整、频率滤波、噪声去除、反褶积、偏移等数据处理方法,获得最佳信噪比的雷达图像。
- 3 GIS 地图与雷达图像展现:通过集成 GIS 系统,在地图上展现雷达测线分布、不同深度的雷达水片切片图像、解译的疑似病害位置等信息。
- 4 人工智能自动解译:通过人工智能技术自动处理雷达图像,返回解译的目标物及其类型、位置、面积、埋深、人工智能解译置信度等信息。目标物类型应包含病害类和非病害类,病害类包含空洞、脱空、富(集)水体、疏松体等,非病害类包含管线(管涵)、窨井或其它人工埋设物等。
- 5 辅助人工复核:应提供增加、删除、修改、查循等功能,便于检查人员对自动解译的目标物进行人工复核筛查,进一步确认。
- 6 解译成果自动导出:以人工智能解译病害卡的形式,自动导出各类疑似地下病害体的详细数据。
- 7 验证结果反馈:应包含验证结果录入功能,通过现场经验证的空洞等病害信息,反馈回解译软件中,然后将病害样本追加到样本库,通过机器学习形成新的人工智能模型,不断提高解译准确率。

C.0.4 人工智能解译的实施步骤:

- 1 人工智能解译流程如图 C.4。

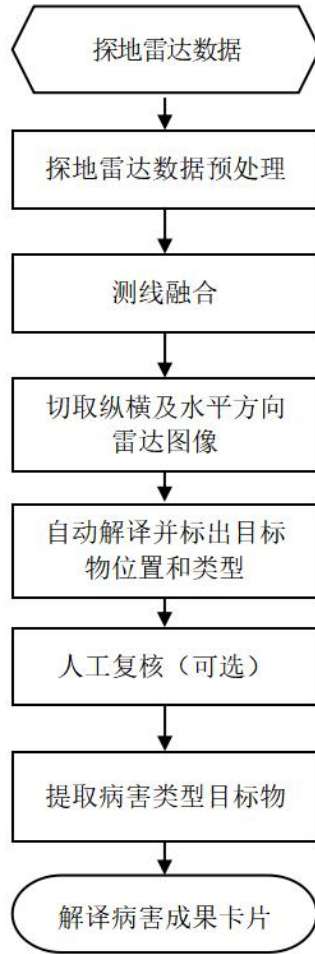


图 C.4 人工智能解译流程图

- 2 现场采集的探地雷达数据进行数据处理。
- 3 处理后的各测线数据，以路段为单位按坐标进行测线融合。
- 4 以路段为单位，通过道路纵向、横向和水平方向切取探地雷达数据形成雷达图像合成。
- 5 人工智能解译道路纵向、横向和水平方向的雷达图像，标示检出目标物的位置、类型及人工智能解译置信度等信息。
- 6 对人工智能解译结果进行人工复核确认，修改经复核后的解译结果。
- 7 提取地下病害体解译成果，由解译软件自动导出解译目标类型为空洞、脱空、富（集）水体、疏松体等地下病害体，输出人工智能解译地下病害体信息卡，详见表 C.4。

表 C.4 人工智能解译地下病害体信息卡

地下病害体编号			地下病害体类型	
地下病害体深度			地下病害体面积	
数据 位置	所在测线号		地理坐标	x (m)
	所在测线距离			y (m)
地下病害体雷达图像				
纵断面图像				
横断面图像				
水平切面图像				

C.0.5 地下病害体验证结果反馈及样本学习流程，宜符合下列规定：

1 人工智能解译成果经详查和验证后，宜将地下病害体验证结果反馈给解译软件，完善地下病害体样本库，经机器学习后形成新的人工智能解译模型，不断提高解译精度，处理流程宜按图 C.5 过程进行。

- 2 进行人工智能解译成果的详查与验证。
- 3 地下病害体验证结果在输入解译软件时，应与之前解译的目标物位置匹配，在提取样本时，该地下病害体样本类型应为验证后的类型。
- 4 人工智能解译软件的机器学习周期宜按每季度一次定期进行。
- 5 经机器学习生成的新模型应通过验证后，方可更新至解译软件。

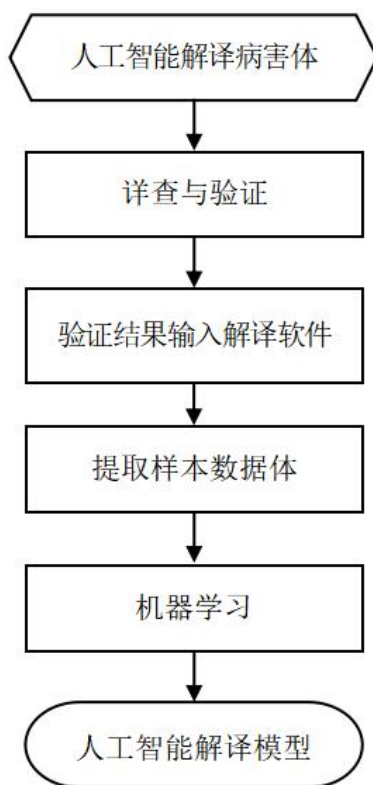


图 C.5 样本追加处理流程图

附录 D 智能图像识别法评价道路塌陷风险指标的不确定度

D.0.1 智能图像识别技术在地质雷达法探测路基缺陷过程中,其评价结果与专家评价结果的不确定度,应以风险分值形式给出。可按照 GB/T27418《测量不确定度评定和表示》中的方法进行不确定度的 A 类评定。

D.0.2 应选取具有代表性的雷达图像样本作为数据来源,确保样本覆盖常见的路基缺陷类型。

D.0.3 对每个数据样本,应分别由评价版本的智能图像识别系统和专家按 JGJ/T437 的要求进行评价,按塌陷风险由低到高在 0~100 范围内给出风险分值。进行人工识别时,每个样本应至少由两位专家对同一样本进行多次识别,确保专家识别的独立性和一致性。每次不确定度评价采用的样本数量不应少于 100 个。

D.0.4 不确定度评定,智能图像识别的标准偏差 $S(q)$ 可按下式计算:

$$S(q) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ai} - P_{ei})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (D.4)$$

式中: n ——样本数量;

P_{ai} ——智能图像识系统给出的塌陷风险分值 (0~100);

P_{ei} ——专家给出的塌陷风险分值 (0~100);

D.0.5 将标准偏差 S 作为不确定度的估计值 u 。评估智能图像识别方法的准确性和可靠性,分析可能的误差来源,不确定度仅对所评定版本有效。

D.0.6 智能图像识别系统出现修改或升级时,应重新进行不确定度评定,宜在评定中添加新的数据来源,评定得到的不确定度仅对所评定版本有效。

D.0.7 不确定度评定宜出具评定报告,评定报告宜包含以下内容:

- 1 样本选择与准备情况;
- 2 智能图像识别系统版本及修改情况;
- 3 专家选择情况;
- 4 智能图像识别与专家识别结果的对比分析;
- 5 塌陷风险重复评价过程与数据记录;
- 6 不确定度评定方法与计算结果;
- 7 系统准确可靠性分析与建议。