

ICS 号
中国标准文献分类号

团体标准

T/CMEA XXXX-XXXX

城镇排水管道智能检测与评估规程

Specification for intelligent detection and evaluation of
urban drainage pipes

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。）

XXXX-XX-XX 发布

XX-XX-XX 实施

中国市政工程协会 发布

中国市政工程协会团体标准

城镇排水管道智能检测与评估规程

Specification for intelligent detection and evaluation of
urban drainage pipes

T/CMEA XXX-XXXX

（征求意见稿）

主编单位：郑州安源工程技术有限公司

郑州大学

批准单位：中国市政工程协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

中国 XX 出版社

202X.XX

前 言

根据《中国市政工程协会关于下达<2022 年度中国市政工程协会团体标准制（修）订计划>的通知》（中市协字[2022]53 号）的要求，本文件编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本文件。

本文件共分 7 章和 1 个附录，主要技术内容包括：1 总则、2 术语与符号、3 基本规定、4 管道缺陷智能检测、5 管周病害智能检测、6 评估分析、7 成果输出。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国市政工程协会管道检测和修复专业委员会归口管理，由郑州安源工程技术有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送至郑州安源工程技术有限公司（地址：郑州经济技术开发区腾达路 72 号，邮政编码：450016；电子邮箱：safekeyay@163.com），以便修订时参考。

主编单位：郑州安源工程技术有限公司

郑州大学

参编单位：XXXX

XXXX

XXXX

XXXX。

主要起草人：XXX XXX XXX XXX

主要审查人：XXX XXX XXX XXX

目 次

1 总则	1
2 术语与符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
2.3 缩略语	3
3 基本规定	4
4 管道缺陷智能检测	6
4.1 一般规定	6
4.2 模型构建与优化	6
4.3 检测数据预处理	7
4.4 检测结果	8
5 管周病害智能检测	9
5.1 一般规定	9
5.2 模型构建与优化	9
5.3 检测数据预处理	9
5.4 检测结果	10
6 评估分析	11
6.1 一般规定	11
6.2 管周土体状况评估	12
7 成果输出	15
7.1 影像资料	15
7.2 检测与评估报告	15
附录 A 管道缺陷智能检测成果样图、样表	17
附录 B 管周病害智能检测成果样图、样表	18
附录 C 检测影像资料版头格式和基本内容	19
附录 D 检测与评估成果表	20
本文件用词说明	22

引用标准名录	23
附：条 文 说 明	24

CONTENTS

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
2.3 Abbreviations	3
3 Basic Requirements	4
4 Intelligent Detection of Pipeline Defects	6
4.1 General Requirements	6
4.2 Model Construction and Optimization	6
4.3 Detection Data Preprocessing	7
4.4 Detection Result	8
5 Intelligent Detection of Perivascular Disease	9
5.1 General Requirements	9
5.2 Model Construction and Optimization	9
5.3 Detection Data Preprocessing	9
5.4 Detection Result	10
6 Assessment and Analysis	11
6.1 General Requirements	11
6.2 Soil Condition Assessment around the Pipe	12
7 Result Output	15
7.1 Image Data	15
7.2 Detection and Evaluation Report	15
Appendix A Sample Figure and Table of Pipeline Defect Intelligent Detection Results	17
Appendix B Sample Figure and Table of Intelligent Detection of Defects around Pipes	18
Appendix C Header Format and Basic Content of Detected Images	19
Appendix D Table of Detection and Evaluation Results	20
Explanation of Wording in This Specification	22
Normative Standard	23

Addition Explanation of Provisions	24
--	----

1 总 则

1.0.1 为提高城镇排水管道治理的经济效益，推动城镇排水管道检测的信息化、智能化，强化智能检测技术的规范性应用，制定本文件。

1.0.2 本文件适用于城镇排水管道缺陷和管周病害的智能检测与评估。

1.0.3 城镇排水管道智能检测与评估除应符合本文件外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 排水管道智能检测 intelligent detection

利用人工智能技术对采集的管道检测影像进行检测分析，自动判别管道缺陷信息并提取缺陷图片的过程。

2.1.2 准确率 accuracy

检测正确的样本数与所有检测样本数之比。

2.1.3 精确率 precision

检测结果中正确预测为正类的样本数与预测结果为正类的样本数的比值，其值越高系统性能越好。

2.1.4 召回率 recall rate

检测结果中正确预测为正类的样本数与实际系统中正类的相关样例总数的比值，其值越高系统性能越好。

2.1.5 精确率-召回率曲线 precision-recall curve

以召回率为横坐标，精准率为纵坐标绘制的曲线。

2.1.6 接受者操作特性曲线 receiver operating characteristic curve

反映敏感性和特异性连续变量的综合指标，用构图法揭示敏感性和特异性的相互关系，以横轴为假阳性率，以纵轴为真阳性率，简称 ROC 曲线。

2.1.7 超参数 hyper-parameter

超参数是模型外部的配置变量，在开始学习过程之前设置，需要通过经验不断手动调优，通常有学习率，动量系数，权重衰减系数等。

2.1.8 数据集 dataset

数据集是指一组相关的数据样本，用于训练和测试机器学习算法和模型。

2.1.9 置信度 confidence

置信度是统计学中衡量估计结果在一定置信水平下可信程度的指标，常用百分比表示。

2.2 符号

E——管道重要性参数；

EI——管段环境指数；

F1——模型 F1 分数；

H——管周土体病害参数；

K——地区重要性参数；

P——模型精确率；

R——模型召回率；

T——土质影响参数。

2.3 缩略语

IoU——交并比；

GPR——探地雷达；

CPU——中央处理器；

GPU——图形处理器；

ROC——接受者操作特性曲线。

3 基本规定

3.0.1 管道电视、潜望镜和雷达等检测技术可采用本文件进行智能检测。

3.0.2 数据检测结果评估应依据检测资料进行，可采取智能评估和人工评估相结合的方式。

3.0.3 采集管道影像数据的检测设备和检测方法标准应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ181）的有关规定。

3.0.4 管道检测影像数据宜按照“城市+道路+起始井号+‘-’+终止井号+日期时间”格式统一编号，视频与同源图片应具有统一的编号便于检索，编号应能反映出检测项目的名称。

3.0.5 智能检测准备资料应包括但不限于下列内容：检测的任务、范围、检测管道的概况（水文地质、管道竣工资料等）、检测方案及实施过程资料、管道检测影像数据。

3.0.6 检测原始记录应内容全面、数据详实、签署齐全，不得缺页、涂改，电子记录应与班报记录相对应并应及时汇编、整理、备份。

3.0.7 系统运行的硬件配置应符合下列规定：

- 1 宜选择基本频率频率高于 3.20GHz、总线程数大于 12 的 CPU；
- 2 宜选择显存容量大于 8G 的 GPU，内存的容量宜大于显存容量的 2 倍；
- 3 宜采用固态硬盘作为系统盘和训练数据存储盘，另外使用机械硬盘作为普通存储盘。

3.0.8 系统运行依赖的软件配置应符合下列规定：

- 1 智能检测模型的开发宜采用主流开发框架；
- 2 管道检测影像的样本训练宜采用 Linux 或 Windows 操作系统；
- 3 智能检测模型的搭建宜选用 Python 和 C++等语言。

3.0.9 智能检测与评估程序应包括以下 6 个部分：影像输入、智能检测预处理、影像清洗、缺陷判定、量化分析、成果输出。

3.0.10 智能检测模型构建应符合下列规定：

- 1 宜采用主流的网络结构；
- 2 网络节点输出值应选择合适的激活函数。

3.0.11 智能检测模型训练应符合下列规定：

1 将训练集的样本输入模型后，宜设定不同学习速率、训练周期、激活函数等超参数进行训练，通过对比模型训练过程中的损失函数及准确率的变化趋势来寻找最优超参数。

2 应记录训练集及验证集的损失函数曲线，若最低验证损失出现后经过 20 轮计算未出现更低的验证损失，则可选取当前模型为最优模型。

3.0.12 采用计算机软件进行的管道评估结果应由人工复核确认。

3.0.13 智能检测模型准确率不宜低于 85%，F1 分数不宜低于 0.85，置信度阈值应大于 0.6。

4 管道缺陷智能检测

4.1 一般规定

4.1.1 管道缺陷种类及位置描述方法应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ181）的规定。

4.1.2 检测视频宜包含起始管口、终止管口及疑似缺陷位置标识，并应包含镜头旋转、变焦等动作信息。

4.1.3 管道检测影像记录应连续、完整，录像画面上方应含有任务名称、起始井及终止井编号、管径、管道材质、检测时间、水流方向等内容，并宜采用中文显示。

4.2 模型构建与优化

4.2.1 数据集构建应符合下列规定：

- 1 各类缺陷图像的数量不应少于 800 张，管道缺陷图像标注应按照统一标准进行。
- 2 数据集图像或视频不应存在雾气、运动模糊等影响检测结果的噪声因素，图像的最小分辨率应大于 256×256 像素。

4.2.2 管道缺陷智能检测模型构建应符合下列规定：

- 1 宜采用主流的网络结构；
 - 2 宜使用小卷积核；
 - 3 宜采用卷积层和池化层；
 - 4 网络节点输入值应进行正则化计算；
 - 5 网络节点输出值应采用合理的激活函数。
- 4.2.3** 管道缺陷智能检测模型的构建和训练应包括以下步骤：数据准备、模型设计、训练配置、模型训练、模型保存、模型评估。
- 4.2.4** 宜设置不同的超参数，引入验证集图片测试，对比模型训练过程中的损失值及准确率的变化曲线，寻找最优超参数值。
- 4.2.5** 超参数优化的方法可采用网格搜索、随机搜索、强化学习、贝叶斯优化等。
- 4.2.6** 训练收敛后应停止训练。
- 4.2.7** 完成训练的模型应进行性能测试，每类缺陷对应的测试图片应不小于 200 张。
- 4.2.8** 模型对测试集图像的检测准确率应按下列公式计算：

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (4.2.8)$$

Accuracy——模型准确率；

TP——真阳性，模型将真实正类预测为正类的数量；

FP——假阳性，模型将真实负类预测为正类的数量；

FN——假阴性，模型将真实正类预测为负类的数量；

TN——真阴性，模型将真实负类预测为负类的数量。

4.2.9 精确率应按下列公式计算：

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4.2.9)$$

P——模型精确率。

4.2.10 召回率应按下列公式计算：

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.2.10)$$

R——模型召回率。

4.2.11 F1 分数应按下列公式计算：

$$F1 = \frac{2 \times P \times R}{P + R} \quad (4.2.11)$$

F1——模型 F1 分数。

4.2.12 管道缺陷智能检测模型选择应符合以下性能要求：

- 1 宜对所选模型进行多个视频测试，分析测试结果是否符合该工程要求，缺陷检测准确率达到 90%以上，则认为可选择该模型进行管道缺陷智能检测；
- 2 宜选择具有抗干扰能力的模型进行管道缺陷智能检测；
- 3 管道缺陷智能检测模型检测速度不宜低于管道检测视频的播放速度，一般为 8 帧/秒以上。

4.2.13 应对比不同模型的精确率-召回率曲线。

4.3 检测数据预处理

4.3.1 管道智能检测影像数据应能够在计算机上存储、回放和截图等操作。

4.3.2 智能检测前应检查影像数据是否存在卡顿、雾气、运动模糊、时间跳跃等噪声现象。如果存在，应采用相应的图像预处理方法消除噪声。

4.3.3 应对含有噪声的数据信息进行降噪处理，提高数据的信噪比。

4.3.4 应正确判断异常数据是由结构状态变化引起还是监测系统自身异常引起，应剔除由检测系统自身引起的异常数据。

4.4 检测结果

4.4.1 管道缺陷智能检测模式应符合下列规定：

1 采集到的数据可采用基于 TPU，NPU 的边缘计算，在开发板上进行现场检测，结果回传至终端显示；

2 采集到的数据可回传至服务器终端，基于 PC 端进行检测；

3 采集到的数据可上传至云端服务器，进行实时检测。

4.4.2 缺陷检测应以图片形式提交，当一张图像包含多类缺陷时，应分开分类检测。

4.4.3 管道缺陷智能检测模型检测缺陷后，应确定各缺陷等级、缺陷环向及纵向位置。

4.4.4 量化分析宜采用深度学习和传统图像分析等相结合的方法完成，总体准确率不宜低于 90%，对三、四级缺陷应给出缺陷等级的置信度。

4.4.5 检测报告正式提交前，应检查录入智能检测系统的项目管网资料、空间位置、属性是否对应，管网位置和属性有无错漏等。

4.4.6 检测报告正式提交前，应由具备一定经验专业技术人员对 3 级及以上管道缺陷检测结果进行复核。

4.4.7 智能检测完成后，应提供智能检测报告。报告应根据检测资料及项目的实际情况进行描述，文字应做到简洁清晰、重点突出、文理通顺、结论明确。

4.4.8 智能检测报告应符合附表 A 的规定。

4.4.9 检测影像结果应保存于录像光盘或其他外存储器，在光盘或其他外存储器封面上应写明任务名称、管段编号及检测单位等相关信息。

4.4.10 排水管道检测影像数据智能检测项目应归档，归档资料宜包括纸质文件、电子文件、信息化成果文件。

5 管周病害智能检测

5.1 一般规定

- 5.1.1 应采用探地雷达采集管周病害数据。
- 5.1.2 探地雷达数据采集和安全作业管理应符合现行行业标准《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T 7-2017）和《城市地下管线探测技术规程》（CJJ 61-2017）的规定。
- 5.1.3 管周病害应包含空洞、脱空、富水体等类型，用于智能检测的探地雷达图像中应能体现管周病害引起的走时、相位、频率等异常。
- 5.1.4 为降低或消除外界因素干扰，应对探地雷达原始数据进行预处理，包括背景去除、直流漂移去除、零时校正、滤波、增益等。
- 5.1.5 用于智能检测的探地雷达数据可为时间剖面，也可经时深转换后的深度剖面。
- 5.1.6 探地雷达检测记录应含有任务名称、测线布置详情、使用设备型号、检测频率、检测日期周边环境情况等内容，并应及时汇编、整理和备份。

5.2 模型构建与优化

- 5.2.1 应先对雷达数据进行质量评估，剔除存在坏道或缺失等不符合质量要求的数据。
- 5.2.2 用于管周病害智能检测的探地雷达原始数据和预处理后数据应及时归档并建立档案库，且应包含数据类型、中心频率、采样时窗等参数信息。
- 5.2.3 数据集应符合下列规定：
 - 1 所有数据应按统一方式进行裁剪，形成相同尺寸；
 - 2 对管周病害进行标注时，标注框应完全框选探地雷达图像中的被标注病害；
 - 3 用于训练的各类病害图片的样本数量不宜少于 1000 张；
 - 4 数据库宜按照 8: 1: 1 或 7: 2: 1 的比例划分训练集、验证集和测试集。
- 5.2.4 模型训练后，使用测试集评估其整体性能，应采用下列评价指标：1 准确率；2 精确率；3 召回率；4 F1 分数。
- 5.2.5 当训练后模型未通过测试集验证时，宜调整模型参数，重新进行测试，直至通过测试。

5.3 检测数据预处理

5.3.1 用于管周病害智能检测的探地雷达数据应能够在计算机上进行存储、显示、预处理和生成图像等操作。

5.3.2 检测数据的中心频率宜与模型训练所使用数据的中心频率保持一致。

5.3.3 智能检测前应检查探地雷达数据是否完整。如果存在缺失或坏道，应采用相应的数据处理方法进行剔除。

5.3.4 应对检测数据进行直流漂移去除、滤波、增益等预处理，提高数据的信噪比。

5.4 检测结果

5.4.1 管周病害检测应以图片形式提交。当同一图像包含多类病害时，检测结果可标注在同一图像中。

5.4.2 管周病害智能检测模型检测病害后，应标识病害的位置、深度和置信度。

5.4.3 应根据检测的管周病害对照检测数据相关信息和已有管网资料，确定管周病害的空间位置。

5.4.4 智能检测报告正式提交前，应由具备经验的专业技术人员对管周病害检测结果进行复核。

5.4.5 管周病害智能检测检测报告应包括下列内容：

- 1** 检测任务基本情况、检测实施基本情况和检测环境基本情况。
- 2** 所采用的仪器设备、模型算法和管周病害检测评价标准。
- 3** 其他所利用的已有成果资料。
- 4** 智能检测病害的探地雷达结果。

5.4.6 智能检测报告应符合附表 B 的规定。

6 评估分析

6.1 一般规定

6.1.1 管道评估应依据检测资料、设计资料或调查资料进行。

6.1.2 管道缺陷等级，结构性缺陷名称、代码、等级划分及分值，功能性缺陷名称、代码、等级划分及分值，特殊结构及附属设施名称、代码和定义，操作状态名称和代码，管段结构性和功能性缺陷等级的确定，管段结构性和功能性缺陷类型评估，地区重要性参数 K、管道重要性参数 E、土质影响参数 T，管段修复等级划分，管段的养护等级应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ 181）中的规定。

6.1.3 管道结构性状况和功能性状况应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ 181）中的规定。

6.1.4 管周土体病害等级应按表 6.1.4 的规定分类。

表 6.1.4 管周土体病害等级分类表

等级 病害性质	1	2	3	4
管周土体病害程度	轻微病害	中等病害	严重病害	重大病害

6.1.5 管周土体病害名称、代码、等级划分及分值应符合表 6.1.5-1 的规定，管周土体病害属性描述及缺陷定义应符合表 6.1.5-2 的规定。

表 6.1.5-1 土体病害名称、代码、等级划分及分值

名称	代码	病害因素	病害因素分类	因素分值	权重	病害分值		病害等级
土体病害	TB	属性	轻微疏松	1	0.291	$=\Sigma(\text{因素分值}\times\text{权重})$	分值 ≤ 1	1
			中等疏松	2				
			一般富水异常					
			严重疏松	5				
			严重富水异常					
			空洞	10				
		埋深	$H>5\text{m}$	1	0.231	$1<\text{分值}\leq 3$	2	
			$3\text{m}<H\leq 5\text{m}$	2				
			$1\text{m}<H\leq 3\text{m}$	5				
			$H\leq 1\text{m}$	10				
		面积	$S\leq 2\text{m}^2$	1	0.206			
			$2\text{m}^2\leq S\leq 4\text{m}^2$	2				
			$4\text{m}^2\leq S\leq 10\text{m}^2$	5				

			$S>10\text{m}^2$	10	0.160		3<分 值≤6	3
		深度	$h\leqslant 1\text{m}$	1				
			$1\text{m}\leqslant h\leqslant 2\text{m}$	2				
			$2\text{m}\leqslant h\leqslant 4\text{m}$	5				
			$h>4\text{m}$	10				
		地下水 影响	地下水位很低	1	0.112		分 值>6	4
			地下水位低于管 道	2				
			地下水偶尔超过 管道	5				
			地下水常年超过 管道	10				

表 6.1.5-2 管周土体病害属性定义及缺陷描述

	病害因素分类	定义	描述
属性	轻微疏松	疏松体：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，强度随疏松体的松散程度增大而降低；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。	轻微疏松：反射信号能量有变化，同相轴较不连续，波形结构较为杂乱、不规则
	中等疏松		中等疏松：反射信号能量变化较大，同相轴较不连续，波形较为杂乱、不规则
	一般富水异常		一般富水异常：顶面反射信号能量较强、下部信号衰减较明显；同相轴较连续、频率变化不明显。
	严重疏松		严重疏松：反射信号能量变化大，同相轴不连续，波形杂乱、不规则
	严重富水异常	富水体：相对周边土体均匀性较差、含水量高、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；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。	严重富水异常：顶面反射信号能量强、下部信号衰减明显；同相轴较连续、频率变化不明显。
	空洞		反射信号能量强，反射信号的频率、振幅、相位变化异常明显，下部多次反射波明显，边界可能伴随绕射现象。

6.2 管周土体状况评估

6.2.1 管周土体病害状况参数应按下列公式计算：

$$H=R_{\max} \quad (6.2.1-1)$$

式中： H ——管周土体病害参数；

$R_{\max}$ ——管周土体病害状况参数，管周土体病害最严重处的分值。

6.2.2 管周土体病害状况参数的确定应符合下列规定：

1 管周土体病害状况参数应按下列公式计算：

$$R=\frac{1}{l}\sum_{k=1}^l P_k \quad (6.2.2-1)$$

$$R_{\max} = \max \{P_k\} \quad (6.2.2-2)$$

式中：R——管周土体病害状况参数；

l——管周土体病害数量；

P_k ——本管段第 k 个病害的分值，按表 6.2 取值。

2 当管周存在土体病害时，土体病害密度应按下式计算：

$$R_M = \frac{1}{RL} \sum_{k=1}^l P_k l_k \quad (6.2.2-3)$$

式中： R_M ——管周土体病害密度；

L——管段长度（m）；

l_k ——第 k 个管周土体病害的长度。

6.2.3 管周土体病害等级的评定应符合表 6.2.3-1 的规定。管周土体病害类型评估可按表 6.2.3-2 确定。

表 6.2.3-1 管周土体病害等级评定

等级	病害参数	管周土体状况描述
I	$H < 1$	无或有轻微病害，对管道安全运行影响较小
II	$1 < H \leq 3$	土体病害程度中等，对管道安全运行构成一定影响
III	$3 < H \leq 6$	土体病害比较严重，对管道安全运行构成较大影响
IV	$H > 6$	土体病害很严重，对管道安全运行构成严重影响

表 6.2.3-2 管周土体病害类型评估

病害密度 R_M	< 0.1	$0.1 \sim 0.5$	> 0.5
管周土体病害类型	局部病害	部分或整体病害	整体病害

6.2.4 管段环境指数应按下列式计算：

$$EI = 0.7H + 0.1K + 0.05E + 0.05T \quad (6.2.4-1)$$

式中：EI——管段环境指数；

K——地区重要性参数；

E——管道重要性参数；

T——土质影响参数。

表 6.2.4 管段环境等级划分

等级	环境指数 EI	处理建议及说明
I	$EI \leq 1$	对管道安全运行无影响或影响较小，应定期巡查
II	$1 < EI \leq 4$	对管道安全运行构成一定影响，应加强重点巡查
III	$4 < EI \leq 7$	对管道安全运行构成较大影响，可能引发次生灾害，应制定处置计划并加强监测
IV	$EI > 7$	对管道安全运行构成严重影响，易引发严重次生灾害，应立即进行处置

7 成果输出

7.1 影像资料

- 7.1.1 影像资料版头应符合本文件附录 C 规定。
- 7.1.2 影像资料应根据项目要求统一编号，视频与同源图片应具有统一的编号便于检索，编号应能反映出检测项目的名称。
- 7.1.3 管道智能检测影像记录应连续、完整、清晰。
- 7.1.4 影像资料应保存于录像光盘或其他外存储器，在光盘或其他外存储器封面上应写明任务名称、管段编号及检测单位等相关信息。
- 7.1.5 影像资料应存储 10 年以上。
- 7.1.6 报告输出内容应符合现行标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ181）的相关规定。

7.2 检测与评估报告

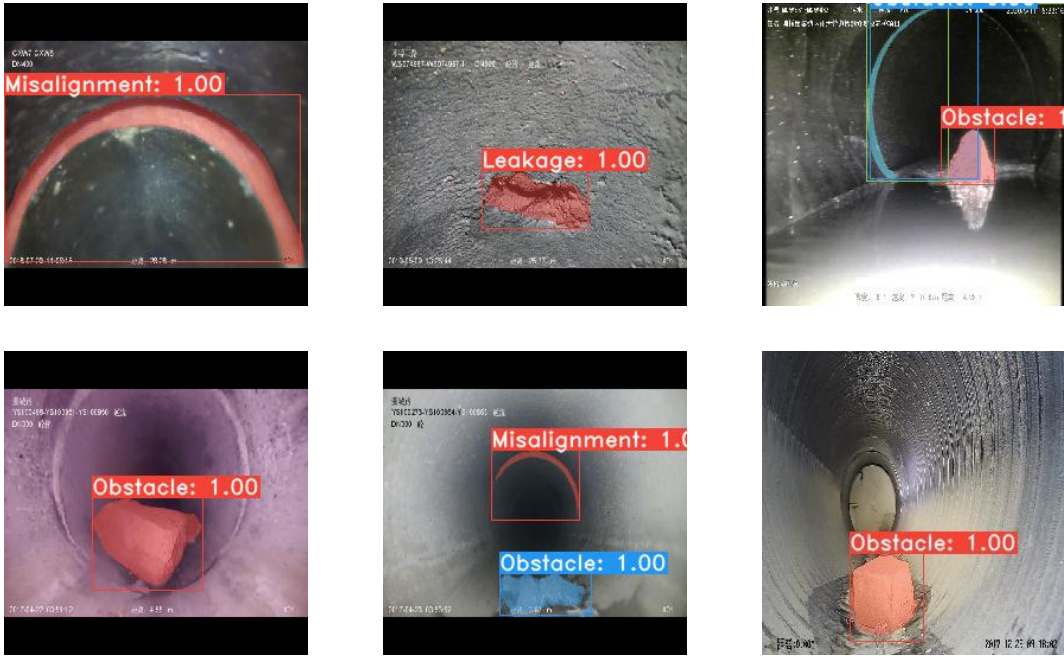
- 7.2.1 智能检测工作结束后，应编制并提交检测与评估报告。
- 7.2.2 智能检测成果宜存储人工标注的管道缺陷图像，并建议进行复核。
- 7.2.3 管道缺陷图片应记录模型识别的缺陷位置和范围。
- 7.2.4 检测与评估报告应包括下列内容：
 - 1 项目基本情况应包括检测任务基本情况、检测与评估的目的和要求、检测日期、检测时的天气和环境、主要参与人员的基本情况、实际完成的工作量等；
 - 2 管道概况应包括被检管段的平面位置图、被检管段的地理位置、地质条件等；
 - 3 现场作业和管道评估的标准依据，以及其他应说明的问题及处理措施；
 - 4 技术措施应包括所采用的仪器设备和技术方法、模型算法和管道检测评价标准；
 - 5 检测与评估成果应包含管段基本信息、管道缺陷类型、位置、等级、缺陷可信度、管道缺陷检测数据表、管道缺陷图片等内容，应按本文件附录 D 的要求填写排水管道缺陷统计表、排水管段状况评估表、排水管道检测与评估成果表；
 - 6 检测与评估的结论与建议。
- 7.2.5 排水管道智能检测与评估项目须归档，应符合下列规定：
 - 1 归档资料应完整、准确、系统，应包含但不限于现场图纸、检测原始记录、检测

影像数据、智能判读检测报告及开展智能判读形成的具有保存价值的其他形式的记录。

2 归档资料应按照纸质文件和电子文件进行分类归档保存、定期检查，保管期限不少于 10 年。

附录 A 管道缺陷智能检测成果样图、样表

A.0.1 管道缺陷智能检测成果样图

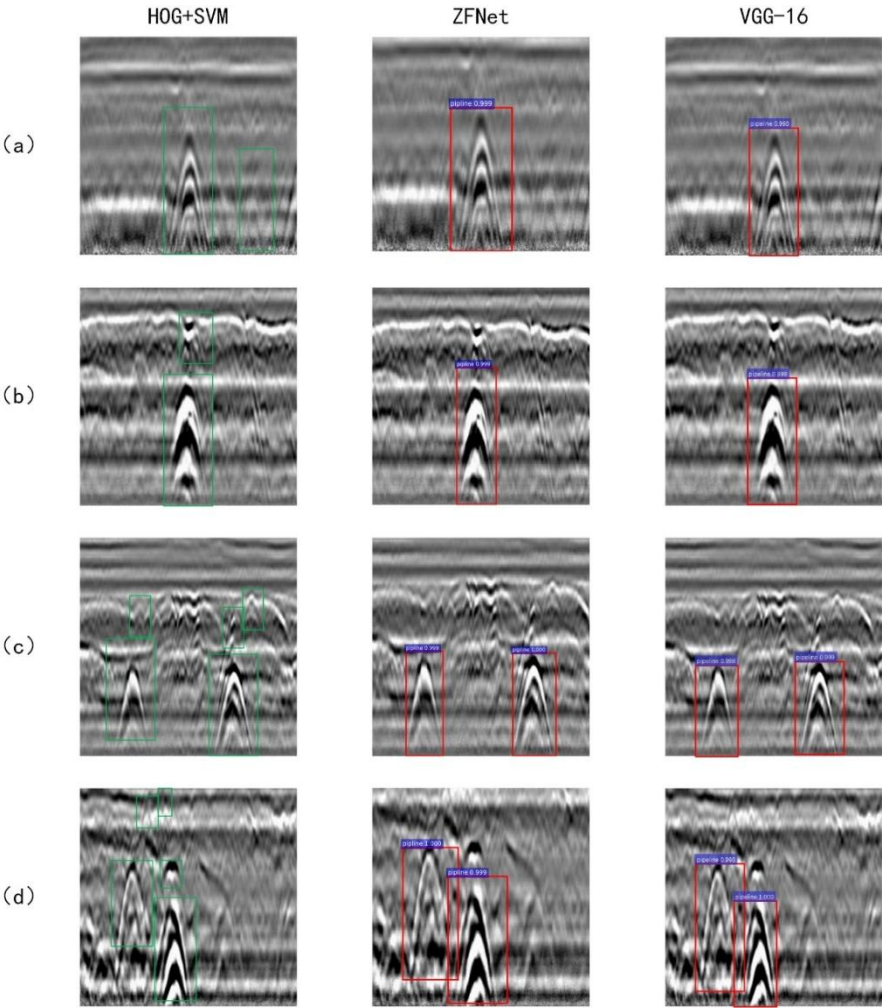


A.0.2 管道缺陷智能检测成果样表

序号	管段编号	管径	缺陷距离 (m)	缺陷类别	缺陷等级	检测结果图像

附录 B 管周病害智能检测样图、样表

B.0.1 管周病害智能检测成果样图



B.0.2 管周病害智能检测成果样表

序号	管段编号	缺陷距离（m）	缺陷深度（m）	缺陷类别	缺陷等级	检测结果图像

附录 C 检测影像资料版头格式和基本内容

C.0.1 当对每一管段摄影前，检测录像资料开始时，应编写并录制检测影像资料版头，对被检测管段进行文字标注，检测影像资料版头格式和基本内容应按下图编制。

任务名称/编号（RWMC/XX）：
检测地点（JCDD）：
检测日期（JCRQ）： 年 月 日
起始井编号-结束井编号：（ 号井~ 号井）
检测方向（JCFX）：顺流（SL），逆流（NL）
管道类型（GDLX）：雨水（Y），污水（W），雨污合流（H）
管材（GC）：
管径（GJ/mm）：
检测单位：
检测员：

图 C.0.1 检测影像资料版头格式和基本内容

附录 D 检测与评估成果表

D.0.1 排水管段状况评估表

任务名称

第 页 共 页

管段	管径 (mm)	长度 (m)	材质	埋深 (m)		结构性缺陷					功能性缺陷				
				起点	终点	平均值/ 最大值	缺陷 等级	缺陷 密度	修复 指数	综合 状况 评价	平均值 / 最大值	缺陷 等级	缺陷 密度	修复 指数	综合状 况评价

检测单位：

D.0.2 排水管道检测与评估成果表

序号：

检测方法：

录像文件		起始井号		终止井号	
敷设年代		起点埋深		终点埋深	
管段类型		管段材质		管段直径	
检测方向		管段长度		检测长度	
修复指数		养护指数			
检测地点				检测日期	
距离 (m)	缺陷名称代码	分值	等级	管道内部状况描述	照片序号或说明
备注：					
照片 1：				照片 2：	

检测单位：

本文件用词说明

- 1 为便于在执行本文件条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，可采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1、《爆炸性气体环境用电气设备》GB 3836;
- 2、《城镇排水管道维护安全技术规程》CJJ 6;
- 3、《城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程》CJJ 68;
- 4、《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ181

中国市政工程协会团体标准

城镇排水管道智能检测与评估规程

T/CMEA 34-2023

附：条 文 说 明

目 次

1 基本规定 26

2 术语与符号 27

 2.1 术语 27

3 基本规定 28

4 管道缺陷智能检测 30

 4.1 一般规定 30

 4.2 模型构建与优化 30

 4.4 检测结果 31

5 管周病害智能检测 32

 5.2 模型构建与优化 32

1 基本规定

1.0.2 适用于本文件的城镇排水管道包括管道本体和附属构筑物，管道本体是指收集、调蓄输送污水或雨水，或合流的管道，输送方式包括重力流及压力等级不超过0.1MPa的压力流。管道材质包括混凝土管、金属管、塑料管等，断面形状包括圆形、矩形及卵形等。附属构筑物是指排水管道系统中除了管渠之外的所有必需构筑物，包括检查井、跌水井、倒虹管、管桥、出水口等。

管道缺陷包括管道结构型病害、功能性病害、管周病害，结构性病害主要有：破损、变形、错口、脱节、橡胶圈脱落等。功能性病害主要有：沉淀、堵塞、泄漏、腐蚀等。管周病害主要有：土地沉降、树根侵入、障碍物、管道穿越等。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 本文件所指的排水管道智能检测是指采用 CCTV、QV 或雷达等技术采集排水管道检测数据，这些数据经过传输后在电脑上采用人工智能技术进行分析，可以自动判读诊断管道病害，检测结果还可以直观可视化展示，为管理人员提供依据，大大提升了管网维护的科学性和精准性。自动判别管道缺陷信息包括是否存在缺陷、缺陷位置、缺陷类型、等级等。

2.1.6 接受者操作特征曲线最初用于评价雷达性能，是从混淆矩阵衍生出来的图形，以真阳性率为纵坐标，假阳性率为横坐标绘制的曲线。其自变量（检验项目）一般为连续性变量，因变量一般为二分类变量。随着阈值的减小，更多的值归于正类，真阳性率和假阳性率也相应增加，因此，ROC 曲线呈递增趋势。45 度对角线是一条参照线，ROC 曲线要与之比较。

2.1.7 超参数是机器学习中用于控制模型训练过程和性能的参数。它们不像模型参数那样通过数据学习得到，而是需要在训练前人为设定。超参数的设置直接影响着模型的训练速度、收敛性、容量和泛化能力。超参数独立于模型参数，可以根据其作用被分为不同的类别例如网络参数，包括网络层之间的交互方式、卷积核数量和尺寸、网络层数（深度）及激活函数等，还有优化参数，包括学习率、批样本数量、不同优化器的参数等，最后是正则化参数，包括权重衰减系数和丢弃法比率（dropout）等。

2.1.8 城镇排水管道智能检测数据集包含管道缺陷和管周病害的所有图像和对应的标注数据。

3 基本规定

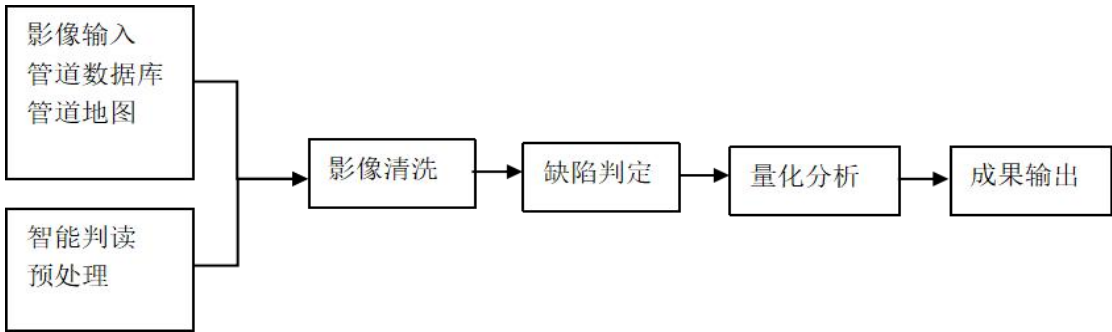
3.0.1 管道电视检测（Closed Circuit Television，CCTV）是指采用先进的管道内窥电视检测系统，在管道内自动爬行，对管道内的锈层、结垢腐蚀、穿孔、裂纹等状况进行探测和摄像，同时记录管道内的状况，从而将地下隐蔽管线变为在电脑上可见的内部录像，方便管理部门根据管道状况做出最合理的管道处理方案，依据检测技术规程再进行评估，为制定修复方案提供重要依据。

管道潜望镜检测（Pipe Quick View Inspection，QV）是一种采用管道潜望镜在检查井内对管道进行检测的方法，能够解决摄像距离满足不了管道长度以及上传速率太过缓慢不能同步的问题，而且能够准确判断管道材质缺陷、腐蚀程度及具体位置，其检测结果可以作为管道健康状况的评估依据。

雷达检测（Ground Penetrating Radar，GPR）又称地质雷达，透地雷达，是用无线电波来确定地下介质分布的一种无损探测仪器，通过发射天线向地下发射高频电磁波，通过接收天线接收反射回地面的电磁波，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发生反射，根据接收到的电磁波的波形、振幅强度和时间的变化等特征推断地下介质的空间位置、结构、形态和埋藏深度。

3.0.8 主流开发框架降低了编程难度，可以通过简单的模块搭建复杂的神经网络，也可以在已有模型的基础上增加自定义子网络。主要包括 TensorFlow、PyTorch、PaddlePaddle、Keras、Caffe 等。

3.0.9 智能判读利用人工智能技术对采集的管道检测影像进行分析，自动判别管道缺陷信息（包括：是否存在缺陷、缺陷位置、缺陷类型、等级等）并提取缺陷图片，包括以下步骤：



1 影像输入：宜优先选择有线传输，应保证影像传输的安全性，影像由客户端上传到服务器端时宜采用 RTSP 实时传输协议，影像传输宜在检测过程中实时传输，在不具备实时传输条件时，可将影像存储在本机，待事后传输。

2 智能判读预处理：宜对所选模型进行多个现场视频测试，分析测试结果是否符合该工程要求，模型缺陷判读准确率达到 90%以上，则认为可选择该模型进行管道缺陷智能判读；模型的分析判读速度不宜低于 8 帧/秒；模型判读评估要求应符合算法可靠性、正确性等相关要求。

3 影像清洗：影像质量要求应符合 CJJ 181 要求，对于不符合要求的影像应按 CJJ 181 处理。

4 缺陷判定：缺陷判定结果以图片形式提交，应选择具有特征明显的代表性缺陷图片，当一张图像包含多类缺陷时，应分开判定。

5 量化分析：管道缺陷智能判读模型识别缺陷后，应确定各缺陷等级、缺陷环向及纵向位置；量化分析宜采用深度学习和传统图像分析等相结合的方法，总体准确率不应低于 90%。

6 成果输出：智能判读完成后，应提供智能判读报告。管道概况应包括检测任务基本情况、检测实施基本情况和检测环境基本情况；智能判读成果输出宜包含管段基本信息、管道缺陷类型、位置、等级、缺陷可信度、管道缺陷判读数据表、管道缺陷图片等内容；技术措施应包括所采用的仪器设备、模型算法和管道检测评价标准。

4 管道缺陷智能检测

4.1 一般规定

4.1.1 依据现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》（CJJ181-2012），管道的结构性缺陷是指管体结构本身出现损伤，如破裂、变形、腐蚀、错口、起伏、脱节、接口材料脱落、支管暗接、异物穿入、渗漏等；管道的功能性缺陷是指影响排水管道过流能力的缺陷，如沉积、结垢、障碍物、残墙坝根、树根、浮渣等。管道缺陷所在环向位置用时钟表示的方法。

4.2 模型构建与优化

4.2.2 主流的网络结构经过大量的实验和实践验证，在不同的数据集和任务上都表现出了较好的泛化能力。这些结构的设计和工作原理相对清晰，易于理解和掌握。由于其广泛的应用和研究，对于主流卷积神经网络结构的调参和优化方法也有很多成熟的经验和技巧可供参考。因此，推荐使用主流的网络结构，如 YOLO 系列网络、SOLO 等。

通过堆叠多个小卷积核层，可以逐步从低层次的边缘、线条等简单特征，构建到高层次的复杂语义特征。这种多层次的特征提取方式有助于网络对数据有更深入、更全面的理解，从而提高模型的性能和泛化能力。

在训练过程中，模型可能会过度学习训练数据中的噪声和细节，导致在测试数据上表现不佳。正则化通过在损失函数中添加正则项，对模型的参数进行约束，限制模型的复杂度，使其不能过于拟合训练数据，从而提高模型的泛化能力。

激活函数是神经网络中非常关键的一个组成部分，负责在神经网络中引入非线性因素，使得网络可以学习和模拟更加复杂的函数映射。没有激活函数的神经网络仅能够表达线性映射。常见的激活函数主要包括 ReLU, Tanh, Sigmod 等非线性函数。

4.2.3 管道缺陷智能判读模型的构建和训练应包括以下步骤：

- 1 数据准备：从本地或 URL 读取数据，并完成数据预处理操作，保证模型可读取；
- 2 模型设计：完成智能检测网络结构设计；
- 3 训练配置：设定模型采用的求解方法，并指定计算资源；
- 4 模型训练：循环调用训练过程，每轮都包括前向计算、损失函数和后向传播三个

步骤；

5 模型保存：将训练好的模型保存，用于模型预测的调用；

6 模型评估：训练好的模型在测试集上进行评估，计算准确率，精确率，召回率等评价指标。

4.2.5 设置不同超参数时，应在验证集上检测模型表现，即准确率上升曲线的最大值和损失值下降曲线的平稳度和收敛性。

4.2.13 当一个判读模型的精确率-召回率曲线被另一个模型的精确率-召回率曲线完全包住，则可判断后者的性能优于前者。

4.4 检测结果

4.4.10 智能判读报告包括 4 个主要内容：

1 管道概况包括检测任务的基本情况，检测实施的基本情况和检测环境的基本情况；

2 智能判读成果汇总应包含管段的基本信息，管道缺陷类型、位置、等级；

3 智能判读输出结果应包括管道缺陷判读数据表、管道缺陷图片（png 格式或 jpg 格式）等文件；

4 技术措施包括所采用的仪器设备、模型算法和管道检测评价标准。

5 管周病害智能检测

5.2 模型构建与优化

5.2.3 数据尺寸应根据病害类型和显存等设定，不宜小于 256*256。当病害图像的样本数量较少时，可采用放大、缩小、移动、翻转等操作扩增样本数量。

5.2.5 在构建神经网络时，为了提高训练效果和模型性能，网络节点的输入值应进行归一化处理。归一化处理可以将输入数据调整到一个统一的范围（如 0 至 1 或 -1 至 1），从而减少不同特征之间的量级差异，避免梯度消失或爆炸的问题，加速模型的收敛。激活函数可以引入非线性特性，使得神经网络能够拟合和学习复杂的函数关系。常见的激活函数包括 Sigmoid 函数、Tanh 函数和 ReLU 函数等。激活函数的选择应根据实际任务的需求和网络结构来决定。