

※内容提要

城市发生道路塌陷、道路渍水、地下水污染等灾害，多因地下排水管道出现堵塞、渗漏、开裂引起，排水管道的检测评估现已成为城市管道管理运营、关系城市百姓生命与财产安全的一项重要工作。目前常用的排水管道检测技术有管道闭路检测系统、声纳、潜望镜、红外线温度记录分析技术及透地雷达等，各种检测技术适用于不同的环境。本节以潜望镜与机器人作为主要检测设备展开介绍，同时推荐由三江学院土木工程学院自主开发的《城市排水管道健康评估与非开挖修复》虚拟仿真实验系统（扫码获取资源），供相关专业方向的学生和工程技术人员自主学习。

※实验指导

一、实验目的与原理

- (1) 熟悉城市排水管网健康检测基本流程。
- (2) 掌握 QV 潜望镜与 CCTV 机器人的操作要领。
- (3) 掌握管道检测数据数据处理与分析的基本方法。

二、实验设备与场景

(1) PEEK-HD 型高清无线潜望镜

整套检测设备包括防爆摄像主机、主机电池、智能触控终端、中继、多合一充电箱、激光测距模块、伸缩杆、伸缩杆套筒、探针、包装箱等，如图 6.17 所示。



图 6.17 PEEK-HD 型高清无线潜望镜附件组成

(2) Dolphin-L2 管网检测机器人

整套检测设备包括爬行器、线缆车、专用触控终端、拆装工具箱、线缆车充电器、包装箱等，如图 6.18 所示。



图 6.18 Dolphin-L2 管网检测机器人附件组成

(3) 常见实验场景

雨污排水管道检测工作环境通常均为室外，如图 6.19 所示，



a) 潜望镜检测

b) 机器人检测

图 6.19 管道检测工作场景

三、实验内容与操作流程

管道检测实验内容通常包括检查井、雨水口、排水管道等主要部分。主要操作流程如图 6.20 所示。

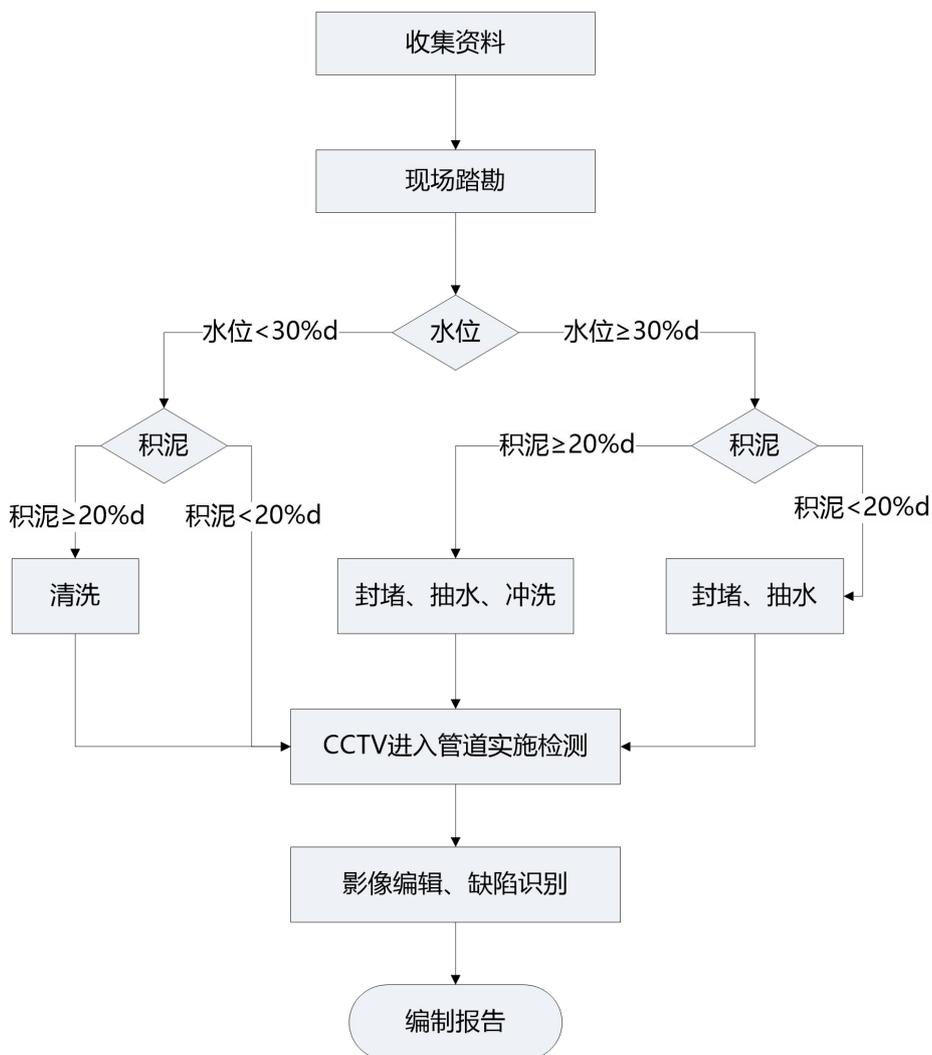


图 6.19 管道视频检测流程示意图

四、管道检测评估依据与结论

(1) 管道检测评估及建议依据

《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ181-2012)和《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技
术规程》(CJJ68-2016), 根据本规程: 管道允许积泥深度为 20%。

(2) 结构性缺陷的名称、代码、等级划分及分值应符合表 6.8 的规定

表 6.8 结构性缺陷的名称、代码、等级划分及分值

缺陷名称	缺陷代码	定义	等级	缺陷描述	分值
破裂	PL	管道的外部压力超过自身的承受力致使管子发生破裂。其形式有纵向、环向和复合 3 种	1	裂痕—当下列一个或多个情况存在时: 1) 在管壁上可见细裂痕; 2) 在管壁上由细裂缝处冒出少量沉积物; 3) 轻度剥落。	0.5
			2	裂口—破裂处已形成明显间隙, 但管道的形状未受影响且破裂无脱落。	2
			3	破碎—管壁破裂或脱落处所剩碎片的环向覆盖范围不大于弧长 60°。	5
			4	坍塌—当下列一个或多个情况存在时: 1) 管道材料裂痕、裂口或破碎处边缘环向覆盖范围大于弧长 60°; 2) 管壁材料发生脱落的环向范围大于弧长 60°。	10
变形	BX	管道受外力挤压造成形状变异	1	变形不大于管道直径的 5%。	1
			2	变形为管道直径的 5%~15%。	2
			3	变形为管道直径的 15%~25%。	5
			4	变形大于管道直径的 25%。	10
腐蚀	FS	管道内壁受侵蚀而流失或剥落, 出现麻面或露出钢筋	1	轻度腐蚀—表面轻微剥落, 管壁出现凹凸面。	0.5
			2	中度腐蚀—表面剥落显露粗骨料或钢筋。	2
			3	重度腐蚀—粗骨料或钢筋完全显露。	5
错口	CK	同一接口的两个管口产生横向偏差, 未处于管道的正确位置	1	轻度错口—相接的两个管口偏差不大于管壁厚度的 1/2。	0.5
			2	中度错口—相接的两个管口偏差为管壁厚度的 1/2~1 之间。	2
			3	重度错口—相接的两个管口偏差为管壁厚度的 1~2 倍之间。	5
			4	严重错口—相接的两个管口偏差为管壁厚度的 2 倍以上。	10
起伏	QF	接口位置偏移, 管道竖向位置发生变化,	1	起伏高/管径 ≤ 20%。	0.5
			2	20% < 起伏高/管径 ≤ 35%。	2
			3	35% < 起伏高/管径 ≤ 50%。	5

		在低处形成洼水	4	起伏高/管径>50%。	10
脱节	TJ	两根管道的端部未充分接合或接口脱离	1	轻度脱节—管道端部有少量泥土挤入。	1
			2	中度脱节—脱节距离不大于 20mm。	3
			3	重度脱节—脱节距离为 20mm ~50mm。	5
			4	严重脱节—脱节距离为 50mm 以上。	10
接口材料脱落	TL	橡胶圈、沥青、水泥等类似的接口材料进入管道	1	接口材料在管道内水平方向中心线上部可见。	1
			2	接口材料在管道内水平方向中心线下部可见。	3
支管暗接	AJ	支管未通过检查井直接侧向接入主管	1	支管进入主管内的长度不大于主管直径 10%。	0.5
			2	支管进入主管内的长度在主管直径 10%~20%之间。	2
			3	支管进入主管内的长度大于主管直径 20%。	5
异物穿入	CR	非管道系统附属设施的物体穿透管壁进入管内	1	异物在管道内且占用过水断面面积不大于 10%。	0.5
			2	异物在管道内且占用过水断面面积为 10%~30%。	2
			3	异物在管道内且占用过水断面面积大于 30%。	5
渗漏	SL	管外的水流入管道	1	滴漏—水持续从缺陷点滴出，沿管壁流动。	0.5
			2	线漏—水持续从缺陷点流出，并脱离管壁流动。	2
			3	涌漏—水从缺陷点涌出，涌漏水面的面积不大于管道断面的 1/3。	5
			4	喷漏—水从缺陷点大量涌出或喷出，涌漏水面的面积大于管道断面的 1/3。	10

(3) 功能性缺陷的名称、代码、等级划分及分值应符合表 6.9 的规定

表 6.9 功能性缺陷的名称、代码、等级划分及分值

缺陷名称	缺陷代码	定义	缺陷等级	缺陷描述	分值
沉积	CJ	杂质在管道	1	沉积物厚度为管径的 20%~30%。	0.5

		底部沉淀淤积	2	沉积物厚度在管径的 30%~40%之间。	2
			3	沉积物厚度在管径的 40%~50% 。	5
			4	沉积物厚度大于管径的 50% 。	10
结垢	JG	管道内壁上的附着物	1	硬质结垢造成的过水断面损失不大于 15% ； 软质结垢造成的过水断面损失在 15%~25%之间。	0.5
			2	硬质结垢造成的过水断面损失在 15%~25%之间； 软质结垢造成的过水断面损失在 25%~50%之间。	2
			3	硬质结垢造成的过水断面损失在 25%~50%之间； 软质结垢造成的过水断面损失在 50%~80%之间。	5
			4	硬质结垢造成的过水断面损失大于 50% ； 软质结垢造成的过水断面损失大于 80% 。	10
障碍物	ZW	管道内影响过流的阻挡物	1	过水断面损失不大于 15% 。	0.5
			2	过水断面损失在 15%~25%之间。	2
			3	过水断面损失在 25%~50%之间。	5
			4	过水断面损失大于 50% 。	10
残墙、坝根	CQ	管道闭水试验时砌筑的临时砖墙封堵，试验后未拆除或拆除不彻底的遗留物	1	过水断面损失不大于 15% 。	1
			2	过水断面损失为在 15%~25%之间。	3
			3	过水断面损失在 25%~50%之间。	5
			4	过水断面损失大于 50% 。	10
树根	SG	单根树根或是树根群自然生长进入管道	1	过水断面损失不大于 15% 。	0.5
			2	过水断面损失在 15%~25%之间。	2
			3	过水断面损失在 25%~50%之间。	5
			4	过水断面损失大于 50% 。	10
浮渣	FZ	管道内水面上的漂浮物（该缺陷需记入检测记录表，不参与计算）	1	零星的漂浮物，漂浮物占水面面积不大于 30%	—
			2	较多的漂浮物，漂浮物占水面面积为 30%~60%	—
			3	大量的漂浮物，漂浮物占水面面积大于 60%	—

(4) 结构性状况评估

1) 管段结构性缺陷参数应按下列公式计算：

当 $S_{max} \geq S$ 时， $F = S_{max}$

当 $S_{\max} < S$ 时, $F = S$

式中: F ——管段结构性缺陷参数;

S_{\max} ——管段损坏状况参数, 管段结构性缺陷中损坏最严重处的分值;

S ——管段损坏状况参数, 按缺陷点数计算的平均分。

2) 管段损坏状况参数 S 的确定应符合下列规定:

①管段损坏状况参数应按下列公式计算:

$$S = \frac{1}{n} \left(\sum_{i_1=1}^{n_1} P_{i_1} + \alpha \sum_{i_2=1}^{n_2} P_{i_2} \right)$$

$$S_{\max} = \max \{ P_i \}$$

$$n = n_1 + n_2$$

式中: n ——管段的结构性缺陷数量;

n_1 ——纵向净距大于 1.5m 的缺陷数量;

n_2 ——纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 的缺陷数量;

P_{i1} ——纵向净距大于 1.5m 的缺陷分值, 按表 2.2 取值;

P_{i2} ——纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 的缺陷分值, 按表 2.2 取值;

α ——结构性缺陷影响系数, 与缺陷间距有关。当缺陷的纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 时, $\alpha = 1.1$ 。

②当管段存在结构性缺陷时, 结构性缺陷密度应按下列公式计算:

$$S_M = \frac{1}{SL} \left(\sum_{i_1=1}^{n_1} P_{i_1} L_{i_1} + \alpha \sum_{i_2=1}^{n_2} P_{i_2} L_{i_2} \right)$$

式中: S_M ——管段结构性缺陷密度;

L ——管段长度 (m);

L_{i1} ——纵向净距大于 1.5m 的结构性缺陷长度 (m);

L_{i2} ——纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 的结构性缺陷长度 (m)。

3) 管段结构性缺陷等级的确定应符合表 6.10 的规定。管段结构性缺陷类型评估可按表 6.11 确定。

表 6.10 管段结构性缺陷等级评定对照表

等级	缺陷参数 F	损坏状况描述
I	$F \leq 1$	无或有轻微缺陷, 结构状况基本不受影响, 但具有潜在变坏的可能
II	$1 < F \leq 3$	管段缺陷明显超过一级, 具有变坏的趋势
III	$3 < F \leq 6$	管段缺陷严重, 结构状况受到影响
IV	$F > 6$	管段存在重大缺陷, 损坏严重或即将导致破坏

表 6.11 管段结构性缺陷类型评估参考表

缺陷密度 S_M	<0.1	0.1~0.5	>0.5

管段结构性缺陷类型	局部缺陷	部分或整体缺陷	整体缺陷
-----------	------	---------	------

4) 管段修复指数应按下列式计算:

$$RI=0.7 \times F + 0.1 \times K + 0.05 \times E + 0.15 \times T$$

式中: RI —— 管段修复指数;

K——地区重要性参数,可按表 6.12 的规定确定;

E——管道重要性参数,可按表 6.13 的规定确定;

T——土质影响参数,可按表 6.14 的规定确定。

表 6.12 地区重要性参数 K

地区类别	K 值
中心商业、附近具有甲类民用建筑工程的区域	10
交通干道、附近具有乙类民用建筑工程的区域	6
其他行车道路、附近具有丙类民用建筑工程的区域	3
所有其他区域或 $F < 4$ 时	0

表 6.13 管道重要性参数 E

管径 D	E 值
$D > 1500\text{mm}$	10
$1000\text{mm} < D \leq 1500\text{mm}$	6
$600\text{mm} \leq D \leq 1000\text{mm}$	3
$D < 600\text{mm}$ 或 $F < 4$	0

表 6.14 土质影响参数 T

土质	一般土层 或 $F=0$	粉砂 层	湿陷性黄土			膨胀土			淤泥类土		红粘土
			IV级	III级	I, II级	强	中	弱	淤泥	淤泥质土	
T 值	0	10	10	8	6	10	8	6	10	8	8

5) 管段的修复等级应符合表 6.15 的规定。

表 6.15 管段修复等级划分

等级	修复指数 RI	修复建议及说明
I	$RI \leq 1$	结构条件基本完好,不修复
II	$1 < RI \leq 4$	结构在短期内不会发生破坏现象,但应做修复计划
III	$4 < RI \leq 7$	结构在短期内可能会发生破坏,应尽快修复
IV	$RI > 7$	结构已经发生或即将发生破坏,应立即修复

(5) 功能性状况评估

1) 管段功能性缺陷参数应按下列公式计算:

当 $Y_{max} \geq Y$ 时, $G = Y_{max}$

当 $Y_{max} < Y$ 时, $G = Y$

式中: G ——管段功能性缺陷参数;

Y_{max} ——管段运行状况参数, 功能性缺陷中最严重处的分值;

Y ——管段运行状况参数, 按缺陷点数计算的功能性缺陷平均分。

2) 运行状况参数的确定应符合下列规定:

①管段运行状况参数应按下列公式计算:

$$Y = \frac{1}{m} \left(\sum_{j_1=1}^{m_1} P_{j_1} + \beta \sum_{j_2=1}^{m_2} P_{j_2} \right)$$

$$Y_{max} = \max \{ P_j \}$$

$$m = m_1 + m_2$$

式中: m ——管段的功能性缺陷数量;

m_1 ——纵向净距大于 1.5m 的缺陷数量;

m_2 ——纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 的缺陷数量;

P_{j_1} ——纵向净距大于 1.5m 的缺陷分值, 按表 2.3 取值;

P_{j_2} ——纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 的缺陷分值, 按表 2.3 取值;

β ——功能性缺陷影响系数, 与缺陷间距有关; 当缺陷的纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 时, $\beta = 1.1$ 。

②当管段存在功能性缺陷时, 功能性缺陷密度应按下列公式计算:

$$Y_M = \frac{1}{YL} \left(\sum_{j_1=1}^{m_1} P_{j_1} L_{j_1} + \beta \sum_{j_2=1}^{m_2} P_{j_2} L_{j_2} \right)$$

式中: Y_M ——管段功能性缺陷密度;

L ——管段长度;

L_{j_1} ——纵向净距大于 1.5m 的功能性缺陷长度;

L_{j_2} ——纵向净距大于 1.0m 且不大于 1.5m 的功能性缺陷长度。

3) 管段功能性缺陷等级评定应符合表 6.16 的规定。管段功能性缺陷类型评估可按表 6.17 确定。

表 6.16 功能性缺陷等级评定

等级	缺陷参数	运行状况说明
I	$G \leq 1$	无或有轻微影响, 管道运行基本不受影响
II	$1 < G \leq 3$	管道过流有一定的受阻, 运行受影响不大
III	$3 < G \leq 6$	管道过流受阻比较严重, 运行受到明显影响
IV	$G > 6$	管道过流受阻很严重, 即将或已经导致运行瘫痪

(2) 管道缺陷汇总一览表

管道编号		起始井号			终止井号	
管段类型		管段材质			管段直径	
检测方向		管段长度			检测长度	
距离(m)	缺陷名称代码	分值	等级	管道内部状况描述		照片
备注信息						
图片 1				图片 2		

(3) 管道结构性缺陷统计表

缺陷名称		缺陷级别				小计
		1 级(轻微)	2 级(中等)	3 级(严重)	4 级(重大)	
缺陷数量		缺陷个数	缺陷个数	缺陷个数	缺陷个数	
结构性缺陷	(AJ) 支管暗接					
	(BX) 变形					
	(CK) 错口					
	(CR) 异物穿入					
	(FS) 腐蚀					
	(PL) 破裂					
	(QF) 起伏					
	(SL) 渗漏					
	(TJ) 脱节					
	(TL) 接口材料脱落					
合计						

(4) 管道功能性缺陷统计表

缺陷名称		缺陷级别				小计
		1级(轻微)	2级(中等)	3级(严重)	4级(重大)	
功能性缺陷	(CJ) 沉积					
	(CQ) 残墙、坝根					
	(FZ) 浮渣					
	(JG) 结垢					
	(SG) 树根					
	(ZW) 障碍物					
合计						

