

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.24.002

杜塞尔多夫人工智能管道病害识别及评估应用研究

赵方方¹, 陈 灿², 徐 瑛³, SCHMALZL Valentin⁴,
SCHOPPEN Michael¹

(1. 德国杜塞尔多夫排水公司, 德国; 2. 北京雨人润科生态技术有限责任公司, 北京 100044; 3. 无锡市政公用环境检测研究院有限公司, 江苏 无锡 214061; 4. 德国慕尼黑排水公司, 德国)

摘 要: 排水管网检测是运维工作的重要组成部分,直接关系到污水收集率和排水安全保障。人工智能(AI)在排水管网检测评估工作中的应用是目前德国排水行业的主要研究方向之一。简要梳理了德国排水管网排查系统编码、赋值及量化评估体系,指出AI管网评估的前提条件是整体管网及其排查结果的数字化转换。介绍了杜塞尔多夫排水公司在此前提下开展的AI在排水管道病害识别及管道评估方面的尝试应用,通过对比不同排查设备以及不同工作环境下AI系统对管道病害的标定和管道状态评估结果,得出AI可以很好地识别并标定病害,并自动生成管道状态评估结果的结论,展示了AI在排水管网运维工作中的应用潜力。

关键词: 德国; 人工智能; 管道排查; 管道状态编码; 管道评估

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)24-0008-07

Research on the Application of Artificial Intelligence for the Sewer Defect Identification and Evaluation in Drainage Company Düsseldorf, Germany

ZHAO Fang-fang¹, CHEN Can², XU Ying³, SCHMALZL Valentin⁴,
SCHOPPEN Michael¹

(1. *Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf, Germany*; 2. *Beijing Yuren Raineco Technology Co. Ltd., Beijing 100044, China*; 3. *Wuxi Water Group Test Institute Co. Ltd., Wuxi 214061, China*; 4. *Münchener Stadtentwässerung, Germany*)

Abstract: Sewer inspection is an important part of the operation and maintenance of urban sewer networks, which is directly related to the wastewater collection rate and drainage safety. The application of artificial intelligence(AI) in the inspection and evaluation of sewer networks is currently one of the main research in the German drainage sector. This paper briefly introduces the coding, assignment, and quantitative evaluation standards of the sewer inspection work in Germany. Thereby, it clarifies that, the digitization of whole network and inspection results is the prerequisite for sewer evaluation through AI. Under this premise, this paper introduces the attempt to apply AI to identify defects and evaluate inspected sewers in the city drainage operation Düsseldorf (Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf). By comparing the evaluation results using AI under different inspection hardware systems and working environments, it is concluded that AI can effectively identify and mark defects, and automatically generate sewer condition assessment results. This demonstrates the application potential of AI in the operation and maintenance of sewer network systems.

Key words: Germany; artificial intelligence(AI); sewer system inspection; sewer coding; sewer evaluation

德国城市排水管网建设主要集中在20世纪七八十年代,在此后几十年间德国在管网运行维护方面做了大量卓有成效的工作。尽管如此,近10年来德国排水管网运维单位仍面临气候变化、人口结构变化、专业人员紧缺、管网运营管理数字化、标准化、智能化等挑战。目前,人工智能(AI)图像识别技术已在医疗、物流等领域得到广泛应用,但在排水管道状态评估领域应用的研究刚刚开始。如果能够实现管网的AI排查评估,将在极大程度上缓解上述问题。为顺应新时代管网运营要求,德国杜塞尔多夫排水公司开展了应用AI进行管道排查评估工作的大胆尝试。在过去3年中,德国各地管道运营单位都开展了相似的工作,推动了AI在管道评估中的应用。

1 德国排水管道排查评估规范

依据现行德国联邦水法 *Wasserhaushaltsgesetz* (WHG 2009)规定,德国排水管网运营单位有责任保证排水管道的构(建)筑物完整性、运行状态良好性及其密封性,在保障居民生活质量的同时,尽量降低对生态环境造成的负面影响^[1]。

1.1 管道排查及结果编码

针对管网排查结果的表述、记录以及排查数据的交换,德国水协(DWA)颁布了《DWA-M 149-2:内窥镜管网排查故障编码》(简称DWA-M 149-2)来规范市政管道排查工作的编码规则。DWA-M 149-2编码必须与DWA针对闭路电视(CCTV)内窥镜管网排查的工作指南《DWA-M 149-5:管道光学检测》同时使用。为了统一数据的传输、交换、存储以及管理,排查获得的数据格式应以《DWA-M 150:数据传输格式》为准。

DWA-M 149-2规定的编码将排查信息分为管道基本信息和独立信息两种。建设日期、管材、管径、埋深等描述管道整体特征的管道基本信息作为排查工作的前提条件,应保存在管网基本信息数据库内。独立信息即为主码,用于输出排查结果。主码包含4类编码,即:结构缺陷码、运行故障码、即时状态码和其他编码。表1列出了各主码所包含的检查项,其中有一些编码被DWA-M 149-2单独提出

并定义为过程控制码,用于描述排查工作进程,如检查开始、检查结束、终止检查、目标达到等。过程控制码指出排查操作过程中的重要节点,为描述各项排查结果确定时间和空间上的框架。

表1 DWA-M 149-2主码内容

Tab.1 Code content of DWA-M 149-2

主码类别	内容
结构缺陷码	形变,裂缝,破裂/塌陷,砖砌体管道破损,灰浆层缺失,表面破损,入管接口侵入管道,入管接口破损,密封圈侵入管道,接口错位,内衬管故障(如内衬脱落、内衬两端破损、内衬管褶皱、内衬管接口处损坏等),修复点损坏(如墙体缺失、修复材料缺失、修复材料堆积造成过流障碍等),焊接口损伤,管体腐蚀性多孔化,可见土壤,可见冲刷空洞
运行故障码	根系入侵,管壁粘连,沉积物,土壤入侵,其他过流阻碍物,外水渗入,污水渗出,害虫
即时状态码	接入管,修复点,管道拐点,开始点,结束点,无视野
其他编码	一般照片,一般备注,在结束点前中止检查工作,水面高度,接入管入流,管内气相环境

排查工作得到的管道状态编码由主码和特征编码两部分构成。主码负责定性描述管道状态或单个管道病害点。在主码后有具体量化故障或状态的特征编码,以更精确地描述病害点。特征编码能给出如管壁腐蚀或开裂等整段损伤的起止位置、单个病害点在管道截面的具体角度位置、开裂宽度等定量信息。当遇到编码和照片、视频等资料都不能完整体现特殊故障时,还应以文字描述形式予以备注。应用专业软硬件系统,配合照片、视频、文字描述,使排查人员更加全面和细致地描述管道状态。在实际排查工作中,由操作人员借助专业软件逐层选取菜单选项,无需自行查找或背诵编码,最终由软件给出编码。

管道排查结果直接影响管网状态评估工作,尽管应用专业软件为故障编码工作提供了支持,但实际排查工作对排查人员的资质要求仍然较高,因此排查人员必须定期接受相应的职业培训、实践和考核。

1.2 管网状态评估和修复需求的确定

故障编码的最终目的是实现管道具体状况的

定量评估。依据《DWA-M 149-3:内窥镜光学排查状态评估》(简称DWA-M 149-3)规定的方法,将排查得到的结果进行单个病害赋值,并进行综合运算,为整个排查对象(即管道或检查井)计算出整体状态评估值。计算方法采用数学权重思想,将所检测到的单个病害对管道的运行状态、建(构)筑物状态、密封性的负面影响分别进行评估赋值,之后进行加权运算,同时兼顾管道建设年代、管道溢满频率、管道埋深、地下水水位及其变化、管道所处土层的土质等其他影响因素。表2列出了以计算结果为标准的管道状态分级,亦即修复需求的紧急性分级。

表2 依据DWA-M 149-3确定的管道状态分级及修复需求

Tab.2 Condition grading and rehabilitation requirements of sewer system according to DWA-M 149-3

修复需求评估值	代表管道状态	状态级别	修复需求时限
0~5 000	无缺陷	5	完好,无修复需求
5 000~5 999	微小缺陷	4	无/微小修复需求
6 000~6 999	轻度缺陷	3	长期修复需求
7 000~7 999	中度缺陷	2	中期修复需求
8 000~8 999	严重缺陷	1	短期修复需求
≥ 9 000	非常严重的损坏/危险	0	立即修复需求

与故障编码一样,对管道状态的评估工作也通过专业软件实现了自动化。但DWA-M 149-3特别指出,为保证评估质量,有必要对自动计算出的评估结果进行人工复核。通常人工修正评估结果工作可以很好地与修复规划工作相结合。在实际操作中,有些管网运营单位不对软件评估进行人工修正,但是会在单个病害点修复的必要性评估及具体措施确定中由专业修复规划人员对软件评估结果进行单独复审。

管道状态评估是为了确定管道运维或修复的需求及其紧急性,对于充分利用有限资源对修复进行规划,以实现管网及时、有效、全面的修复,乃至固定资产保值增值,及管网排水功能保障具有重要意义。同时,评估工作的全面实施使得管网整体状态的量化得以实现,进而为下一步管网状态发展预测、状态发展有效管控甚至设备投资方向指导都提

供了前提条件。

2020年DWA最新的调查结果指出,德国18.7%的污水管网处于0~2的状态级别,应在中短期内进行修复^[2],由此可见管道修复市场潜力较大。

2 排水管道排查评估项目背景及区域

2.1 项目背景

德国北莱茵-威斯特法伦州(简称北威州)政府在联邦水法(WHG2009)要求的基础上,颁布了《北威州自我监控条例》^[3],要求联邦州内管道运营单位必须定期对管道进行排查。杜塞尔多夫排水公司在此要求下,有义务每年向主管部门提供管道检修报告及管网整体状态报告。在实际操作中,由外勤人员依照计划对管辖区域的管道进行系统清洗和CCTV内窥排查。排查数据反馈至评估部门,由评估人员进行评估并拟定初步修复方案。

尽管上述DWA工作标准试图在最大程度上实现排查评估工作的标准化,但评估结果仍受很多不可控因素的影响。目前,排查和评估工作方式对实际操作人员的依赖性很高,不同排查评估人员的主观判断、工作经验、身心状况等均会对排查评估结果产生较大影响。此外,排查检测设备的状况、检测车在管道内行驶的方向、检测工作时天气状况等都可能造成检测评估结果的偏差。

如何通过应用AI排除偏差因素,使排查评估工作最大程度上实现标准化,并解决专业人员人力不足问题,是该项目的研究重点。

2.2 项目区域

该项目试验区域为德国北威州首府杜塞尔多夫东部Vennhausen区,排水管道分布于居住区域Siedlung Freiheit。此居住区为单纯住宅小区,无工业废水。由于历史悠久,该区管道建成时间各异,类型多样,管网历经多次建设改造,构成复杂,非常适合测试各种管况下AI评估的可使用性以及准确性。

3 排水管道排查评估试验设计与实施

3.1 试验设备

目前,杜塞尔多夫排水公司开展管道排查工作主要应用IBAK公司生产的Argus 5型CCTV管道内窥摄像设备。该设备的机械臂可实现摄像头在排查工作过程中对管道病害点的多角度观察,生成的检测结果为管道排查视频。排查人员需在排查工

作中判断管道病害点,操作设备进行定点摄像,并进行人工编码。此次试验中也尝试了将未人工编码的排查视频进行AI编码并自动评估。

该研究项目使用的对比设备是同一厂家生产的Panoramo 4K型管道全景照相设备^[4],该设备反馈的排查结果为全景相片。排查人员无需判断管道病害点以及编码,所有管道信息以全景照相相片的形式发送至AI管道编码评估环节。

管道排查中使用的设备示意图1。



图1 管道排查设备

Fig.1 Photos of sewer inspection equipment

3.2 试验设计

试验目标是综合判断高压管道清洗、管径、管材、排水系统,以及排查方式等因素对AI管道状态评估的影响。为确定AI管道评估的适用性,并比较不同软硬件下排查结果的准确性,此次可行性试验设计为同一管段分别在高压冲洗前后分4次排查,两次应用Panoramo 4K型管道全景照相设备,两次应用Argus 5型CCTV管道内窥摄像设备。排查结果分别进行人工评估和AI评估,并对评估结果进行对比。试验过程设计如表3所示。

表3 排查评估试验过程设计

Tab.3 Design of experimental procedure for sewer inspection

试验序号	冲洗状态	排查设备	评估方法
1	清洗前	Panoramo 4K型管道全景照相设备	AI评估
2	清洗后	Panoramo 4K型管道全景照相设备	AI评估
3	清洗后	Argus 5型CCTV管道内窥摄像设备	AI评估
4	清洗后	Argus 5型CCTV管道内窥摄像设备	人工评估

为更加全面地测试AI管道评估的适用性,在试验区域内共选取总长为2.63 km的80个有代表性的管段进行试验。管段选取兼顾有代表性的管径、所有管材、雨水、污水及合流制排水管道,试验涉及的管型如表4所示。

表4 试验涉及的管型

Tab.4 Types of sewer in the experiment

管径	DN250, DN350, DN400, DN500, DN700, DN800, DN1 000, DN1 200		
管材	陶管	水泥管	砖砌管道
排水类型	雨水管	污水管	混流管

3.3 试验过程

依照表3设计的试验过程将试验区域内有代表性的管道逐一进行4次排查。由全景照相设备和内窥镜摄像设备各收集两次共4组数据。

3.3.1 弯管道排查

虽然绝大多数市政排水管道为直线设计,但在特殊地形或存在障碍物时,尤其在大口径管道中为减少水力损失,在转向或汇入主干管时会设计建设有弧度的管道。全景照相设备功能基于图像拼接技术,设备较长,不利于转向,不适合排查带有弧度的管道。内窥摄像设备较短,只要管道内空间允许,即可对带有弧度的管段进行排查。由此可见,目前阶段全景照相设备和内窥摄像设备互为必要补充。

3.3.2 排查速度

在排查速度上,全景照相设备相比于内窥摄像设备具有显著优势。全景照相设备平均排查速度可至25~30 cm/s。与之相比,内窥摄像设备由于摄像像素要求,管内行驶速度最高只能达到10~20 cm/s。此外,内窥摄像设备必须依靠排查人员人工识别管道病害,能够对病害点进行多角度定点拍摄,并进行人工录入。这就导致在对老旧管道进行排查尤其是病害点较多时,内窥摄像设备所需时间平均为全景照相设备的4倍。

在城市管网排查工作中尤其在交通密集街区必须考虑排查速度,以确定是否申请封路。某试验管段全景照相设备只需约30 min的排查时间,实操中未申请封路。但相同管段在应用内窥摄像设备排查时,由于管道状态差,病害点多,每次排查耗时均超过3 h,对当地交通造成了一定负面影响,因此必须申请封路。

3.4 病害点标注

使用全景照相设备时,病害点的标记需由AI在排查照片上传后完成。而应用内窥摄像设备时,病害点先由排查人员在排查过程中进行识别和定点摄像,之后由排查人员进行人工编码或通过AI自动

编码。

4 排水管道排查评估结果及讨论

由于AI病害标记基于图像识别技术,因此病害识别的准确性基于经验数据积累和机器学习。而人工病害识别基于现场工作人员的经验积累,与工作人员的自身状况紧密相关。可以预见的是,随着大数据的积累,AI病害识别将比人工病害标记更加精准。

由于全景照相设备反馈的排查结果为全景平面照片,可以推测AI病害识别可能存在无法识别管道小流量内渗、旁支管病害等无法通过光学照片区别的问题。而此类病害在应用内窥摄像设备检查时,需要人工操作摄像头多角度持续拍摄以准确判断管道病害状态。解释这些疑问是此次试验的目标之一。

4.1 试验结果

虽然AI管道评估技术仍处于起步阶段,但是经过3年的机器学习积累,管道病害识别已经达到令人满意的结果。AI扫描全景照片能够准确判断接口错位、管道壅水、管道沉积物、管道固化附着物、接管口损坏、根系入侵、管壁破损以及管道入渗等常见病害,并进行编码和赋值。

某管道AI病害标注如图2所示。

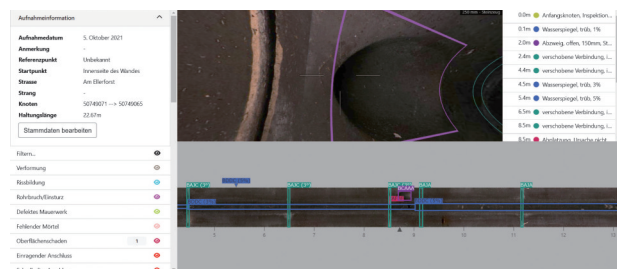


图2 某管道AI病害标注示意

Fig.2 Marking the defects of a drainage pipeline by AI

随着照明和摄影设备的技术升级,基于渗入过水面对光的不同折射,管道小流量入渗点也实现了基本准确判断(见图3)。

试验中,AI在判断无过水渗漏点时,因缺乏学习样本而出现少量判断失误。但是系统将未识别渗漏点标注成“不可识别病害”。同样,AI系统还对其他非常见病害进行了标注,并注明病害不可识别,以供工作人员复核时进行人工判定评估。同时,将不可识别病害及人工判定结果录入数据库进行机器学习,供今后机器判读参考。

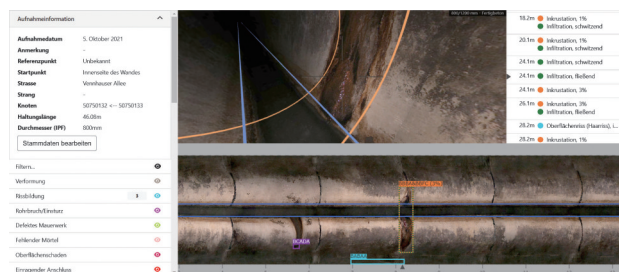


图3 AI基于反光对某管道入渗点标注示意

Fig.3 AI-based marking the infiltration points of a drainage pipeline using light reflection

4.1.1 基于内窥摄像设备的AI管道病害识别对比

应用内窥录像设备对管道进行排查时,如不对病害点进行多角度拍摄,AI图像识别系统则无法自动识别录像中的病害。在进行人工定点病害,并多角度拍摄的前提下,AI评估可以很好地对病害进行自动编码并赋值。如表3所示,内窥摄像系统的排查结果第一次采用AI编码并评估,第二次采用排查人员实地人工编码后由评估人员人工评估。

图4为AI评估和人工评估对13个内窥摄像系统排查管段的输出结果。红色表示管段内修复需求评估值高于9 000,即有重大病害需要马上维修。绿色表示修复需求评估值为0~5 000,即无维修需求。黄色及粉色为中间状态,评估值为5 000~8 999,可按实际情况确定修复时限,不需立即维修。

Haltung	D	S	B	SZ	Handlungsbedarf
50749065 50749071	2	4	5	7555	Mittelfristig
50749066 50749067	0	1	3	9873	Sofort
50749067 50749068	0	1	3	9876	Sofort
50749068 50749069	2	1	4	9763	Sofort
50749069 50749070	2	3	4	7656	Mittelfristig
50749071 50749070	5	5	5	0	Schadensfrei
50749074 50749075	2	4	4	7556	Mittelfristig
50749074 50749078	1	1	3	8867	Kurzfristig
50749075 50749065	1	1	4	8856	Kurzfristig
50749078 50749079	2	4	3	7657	Mittelfristig
50749079 50749080	2	3	4	7665	Mittelfristig
50749080 50749081	5	5	3	6555	Langfristig
50750109 50749066	0	0	3	10983	Sofort

a. AI评估结果

Haltung	D	S	B	SZ	Handlungsbedarf
50749065 50749071	5	5	5	0	Schadensfrei
50749066 50749067	1	1	4	8858	Kurzfristig
50749067 50749068	1	1	4	8865	Kurzfristig
50749068 50749069	2	1	4	8758	Kurzfristig
50749069 50749070	5	5	5	0	Schadensfrei
50749071 50749070	5	5	2	7555	Mittelfristig
50749074 50749075	3	4	4	6556	Langfristig
50749074 50749078	2	4	5	7556	Mittelfristig
50749075 50749065	2	5	4	7555	Mittelfristig
50749078 50749079	2	4	5	7556	Mittelfristig
50749079 50749080	5	5	5	0	Schadensfrei
50749080 50749081	5	5	5	0	Schadensfrei
50750109 50749066	2	3	4	7755	Mittelfristig

b. 人工评估结果

图4 同一管段管道状态的AI与人工评估对比

Fig.4 Comparison of AI evaluation and manual evaluation of the same sewer

AI管道评估结果明显比人工评估结果差,原因

是很多轻微裂纹的细小损坏被AI判断为管道的重大损伤,并为管段赋予较高的维修值。而在人工评估时,依据评估人员的经验判断,这些细小损害对管道状态无影响,可忽略不计。某些严格依据定义被AI判断为管道错位以及外接管损坏的管道病害,在人工排查时则经常被作为不影响管道正常运行的细微缺陷,予以忽略。

4.1.2 全景照相与内窥摄像管道病害识别对比

与内窥摄像管道病害识别结果相比,全景照相AI标注的病害点更多。在很多应用录像设备人工排查和评估中,根据经验而忽略的细小病害会被AI更加细致全面地标记出来,导致同一管段全景相片AI评估结果普遍劣于管道录像人工评估管道状态。人工排查时被判断为材料出厂时即存在的不影响管道密闭性的细微缺陷,并未做病害编码处理,也未进行管道状态评估。而在AI病害识别时,这些裂纹被判定为会引起污水外渗的管道开裂病害,并由此将该管段判定为有重大缺陷管道。类似现象还出现在入接管侵入主干管判定、接入口破损判定、管材接口错位判定、修复点损坏判定、过流阻碍物确定、沉积物或积水确定等方面。慕尼黑排水公司相似平行试验中的统计数据表明,在9.6 km管道排查试验中,除管壁破裂外,对于其他各种类病害,AI全景照片识别的病害点个数均明显多于管道摄像人工确定的病害点个数(见图5),进而导致AI计算出的管道状态值高于基于人工标注计算的状态值,即管道状态较差。可以预见的是,随着数据库的逐渐充实,以及对边界条件更加精确的界定,通过机器学习,AI在今后能够忽略这些应该被忽略的微小病害,使结果更加接近真实管道状况。

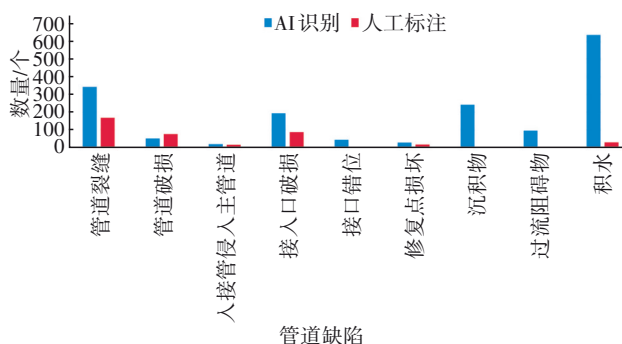


图5 德国慕尼黑排水公司某管道病害的AI与人工评估对比

Fig.5 Comparison of AI and manual assessment for pipeline defects at Munich drainage company, Germany

4.2 影响因素分析

4.2.1 高压管道清洗对AI管道病害识别的影响

对管道清洗前后两次排查结果进行对比可知,AI能够在清洗后的管道中识别出较多的细小裂缝或损坏点,对水泥管壁腐蚀的判断也更加准确。受未清洗前管内沉积物产生的光学影响,AI对接入管口处的破损或者沉积物性质做出了错误判断,未清洗管道中被判断为固化沉积物的污染物,在清洗后被判断为松散沉积物,而这对管道修复方法的确定具有决定性影响。

值得注意的是,对于某些特定管道病害,清洗对管道AI排查不一定产生正面影响。例如,原本为冲洗情况下可被识别的管壁小流量入渗点在管道清洗后不再被识别。原因是清洗后管壁潮湿造成光线反射发生改变,使AI无法再识别细小入渗点。

总体来说,未清洗管道的排查能够更加准确地反映管道的实际运行状态,但是清洗后管道的排查能够更好地发现并更准确判定细小病害。具体应用哪种方式对管网进行排查,需要管网运营单位综合管道实际情况及排查目的进行权衡。

4.2.2 管径和管材对AI管道病害识别的影响

通过对不同口径管道的排查,发现AI对小口径管道的判断更为全面准确,对管径在1 m以上的大管径的编码和评估出错率较高。旁支管和渗漏点漏标现象时有发生,尤其在未清洗大口径管道中错标漏标现象较常见。原因是全景摄像设备的重心偏低,虽然在排查工作中,通过对图像的矫正实现了视觉上的管道中轴线行驶排查,但是对大口径管道顶部的摄像效果仍有偏差,给AI识别造成了困扰。设备厂家建议为全景摄像设备加装抬高平台,以实现全景摄像设备在管道中轴线上行驶拍摄。由于杜塞尔多夫地区的大口径排水管道截面常为蛋形,管道下缘较窄,若加装抬高设备会影响摄像机在管道内行驶的稳定性和容易发生设备倾倒,所以排查实际操作人员比较排斥使用现有摄像机抬高设备。

在大多数情况下,管材对AI排查评估结果的正确率无明显影响,但在砖砌大口径管道排查中出现了对于砖缝内黏结砂浆冲蚀情况的错误判断。对于加筋水泥管中出现的钢筋裸露腐蚀现象,由于AI数据库中未有相似数据,故产生了错误标注。试验中发现的与管材相关的AI识别偏差均为通过机器学习

习可弥补的临时缺陷。

4.2.3 排水系统对AI管道病害识别的影响

对比排查结果可判断出管道种类,即雨水管、污水管或混合污水管,对AI病害识别评估准确性无明显影响。原因是通过长期有计划的日常运维工作,杜塞尔多夫排水公司管辖区内管网普遍状态较好,且管道充满率普遍低于10%。存在的问题是若管内液面超过一定高度,尽管AI会标注液面高度,但液面下的病害却无法有效标注。这也是在人工排查中不可避免的问题。

5 结语

AI管道状态评估的前提是完善成熟的管网信息系统和管道状态编码系统。相较于杜塞尔多夫排水公司目前相对传统的管道摄像及人工评估系统,应用管道全景照相及AI评估技术具有排查速度快、传输存储数据量少、病害评估标准化高的显著优点。无论是在错误点标注赋值速度,还是在前后多次检查结果的对比上,全景照片的AI标注都比录像数据人工标注具有显著优势。病害点的AI赋值评估相较于人工赋值显然更加符合日常管道排查工作标准化的要求。

试验项目中AI应用显现出来的缺点,如大口径管道中病害未能准确识别,以及病害点标注过于细致等问题均可以通过对参数的改变以及机器学习得到改善。

目前,管道全息照相及AI评估系统尚不能单独完成所有城市管网的排查任务,需与摄像系统及人工评估系统互为补充。杜塞尔多夫排水公司在项

目结束后已购入管道摄像设备以及AI管道评估服务项目,管道全景摄像设备及AI评估系统在管道运维工作中已经得到实际应用。

参考文献:

- [1] Bundesamt für Justiz. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz-WHG) [EB/OL]. [2009-07-31]. https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/index.html#BJNR258510009BJNE006103118.
- [2] BERGER C, FALK C, HETZEL F, *et al.* Zustand der Kanalisation in Deutschland: Ergebnisse der DWA-Umfrage 2020 [J]. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2020, 67(12): 939-953.
- [3] Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen-Selbstüberwachungsverordnung Abwasser-SüwVO Abw [EB/OL]. [2023-10-17]. https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=2&bes_id=24944&aufgehoben=N.
- [4] IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG. IBAK Kanalrohr- und Schachtinspektionssysteme [EB/OL]. [2023-11-10]. <https://www.ibak.de>.

作者简介:赵方方(1981-),女,山东德州人,博士,研究方向为排水管网排查修复、管网资产管理和智能化运营。

E-mail:fangfang.zhao@duesseldorf.de

收稿日期:2023-07-10

修回日期:2023-12-30

(编辑:丁彩娟)

珍惜地下水,珍视隐藏的资源