

DOI: 10.11973/wsdc201810017

基于声纳、雷达和管道内窥仪的多手段 管道淤积检测

袁明道^{1,2}, 刘金涛^{1,2}, 徐云乾^{1,2}, 刘建文^{1,2}, 张旭辉^{1,2}, 李思平^{1,3}

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广州 510635; 2. 广东省大坝安全技术管理中心, 广州 510635;

3. 广东省河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广州 510635)

摘要: 管道淤积是造成城市内涝问题频发的重要因素。针对现阶段广泛采用的人工检测或单一仪器检测技术的不足, 探讨了管道声纳检测系统(X4)、探地雷达(加拿大 EKKO)和管道内窥仪(CCTV)联合检测技术的运用, 并进行了实际管道淤积测试试验。试验结果表明: 与传统单一检测方法相比, 在无检修并且无法进行人工检测的排水管道淤积检测中, 联合检测方法应用效果显著, 具有无损、检测速度快以及结果可靠等优点。为今后水务管道淤积检测工程的技术选用提供了新的检测方法。

关键词: 城市内涝管道淤积检测; 管道声纳检测; 探地雷达; 管道内窥检测

中图分类号: TG115.28; TV3; TV91

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2018)10-0073-04

Pipeline Silting Detection Based on Sonar, Radar and Closed Circuit Television

YUAN Mingdao^{1,2}, LIU Jintao^{1,2}, XU Yunqian^{1,2}, LIU Jianwen^{1,2}, ZHANG Xuhui^{1,2}, LI Siping^{1,3}

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China;

2. Guangdong Province Dam Safety Technology Management Center, Guangzhou 510635, China; 3. Guangdong Province Hekou Water Conservancy Technology National Local Joint Engineering Laboratory, Guangzhou 510635, China)

Abstract: The accumulation of silt in pipelines is an important factor that causes frequent problems in urban areas. This article addresses the deficiencies of manual detection or single instrument detection technique that is widely used at the present stage, explores the combined use of pipeline sonar detection system (X4), ground penetrating radar (Canada EKKO) and pipe endoscopy (CCTV), and carries out the actual pipeline test. The experimental results of the pipeline deposition test show that the combined detection method has a significant effect as compared with the traditional single detection method while with no inspection wells and with difficulty in performing artificial detection of the accumulation of drainage in pipelines. It is of a nondestructive detection and has rapid detection speed and the advantages of reliable results. It will provide a new detection method for the selection of technology for water pipeline silt detection in the future.

Key words: detection of pipeline fouling in urban areas; pipeline sonar detection; ground penetrating radar; pipeline endoscopy detection

城市内涝是指由于降水超过城市排水能力致使城市内产生积水灾害的现象。近年来, 城市内涝事

故频发, 给城市带来经济损失甚至危及人身安全的同时, 也造成严重的水污染与水生态问题^[1]。

城市排水管道系统是现代化城市不可或缺的重要市政基础设施, 同时也是一个城市排渍、排涝以及防洪的骨干工程^[2]。管道淤积是可能导致城市排水不畅的一个重要因素, 淤积问题多是管道系统中的泥沙以及悬浮固体沉积所引起的^[3]。当排水管道淤

收稿日期: 2018-03-09

基金项目: 广东省海堤工程建设关键技术研究(2011-09)

作者简介: 袁明道(1972—), 教授级高级工程师, 主要从事水利工程、岩土工程的设计, 咨询及安全评估等方面的研究

通信作者: 刘金涛, 1498882598@qq.com

积到一定程度时,其排水能力会急剧下降,最终造成管道堵塞^[4-5]。ASHLEY与NALLURI的研究表明,淤积物的存在会增加排水管道中的水流阻力,从而减小排水管道的过流能力,造成管道排水不畅。此外,管道过度淤积还会对环境造成影响,淤积物中的有机物在微生物的作用下会产生H₂等毒害气体^[6-7],并最终转化成酸性物质腐蚀管道^[8],进而破坏管道,使其产生渗漏而污染地下水。因此,研究管道淤积检测技术,不仅有利于掌握城市排水管网的淤积程度与指导排水管道的清淤工作,更能一定程度上对城市内涝、地下水污染等问题的缓解提供有力的技术支持。

在我国,华南地区多地发生过排水管道淤积导致排水不畅的事故。以广东省四会市为例,管道淤积严重段位于该市中心位置的商场房屋正下方,传统的方法无法对管道内的淤积情况进行有效检测。笔者提出采用声纳、雷达、管道内窥仪联合检测技术,探究该联合检测技术是否能更准确地反映管道内的淤积情况,以期在缓解当地城市内涝、水污染等问题的同时,能够为今后大型管道淤积检测技术的选用提供借鉴与指导。

1 多手段仪器联合测试方法

1.1 声纳检测系统检测方法

声纳管道检测系统采用了声学原理检测管道,检测时将传感器头浸入水中,声纳头快速旋转向外发射声纳信号并经管道反射显示管道的横断面图,从而实现管道的检测。系统能提供准确的管道内部状况的量化数据,并标识出反射界面的类型从而检测到管道的淤积情况。由于能量的不足,声纳信号通常不能穿透坚硬的表层,所以该方法无法得知管壁厚度及管线周围土壤的性质等信息。

1.2 管道内窥仪(CCTV)检测方法

CCTV(Closed Circuit Television)检测技术也称管道内窥摄像检测技术,检测时只需要将管道检测机器人放在管道口,即可操纵机器人爬入管道内进行检测,是目前国际上用于管道状况检测的有效、安全的手段。检测的管道缺陷主要有:管道接口渗漏、错口、管道腐蚀、管身穿孔、支管、障碍物和淤积等。但CCTV检测技术受限于仪器尺寸,要求检测空间不小于30 cm净空。

1.3 探地雷达检测方法

探地雷达(GPR)方法,利用高频电磁波

(1 MHz~1 000 MHz),以脉冲形式通过发射天线被定向地送入地下并将电磁波传回。雷达波在地下介质中传播遇到分界面时会发生反射,电磁波反射能量的强弱与分界面两侧的介电常数的值有关:当两个分界面的介质介电常数相同时,波形不会出现反射;当两个分界面的介质介电常数相差很大时,雷达波波形出现强反射,反射界面两侧的电性差异越大,反射图像越清晰。根据接收到的雷达波波形、强度、电性及几何形态特征,可推断地下地层(或目标体)的情性质。

电磁波在特定介质中的传播速度是不变的,因此可根据地质雷达记录的电磁波的传播时间 ΔT ,计算出地层厚度 ΔH_i 。

$$\Delta H_i = V_i \cdot \Delta T / 2 \quad (1)$$

$$V_i = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_i \mu_i}} \quad (2)$$

式中: V_i 为电磁波在介质中的传播速度; c_0 为电磁波在真空中的传播速度($c_0=0.3 \text{ m} \cdot \text{ns}^{-1}$); ϵ_i 为第*i*层地层的介电常数; μ_i 为第*i*层地层的磁导率。

2 测试结果分析

2.1 声纳检测系统检测结果

采用的仪器设备为X4管道声纳检测系统,对某段管道横断面的检测结果如图1所示,图中圆点为发射信号源的声纳头,上部轮廓为平直水面线,下部轮廓为淤泥的淤积线。

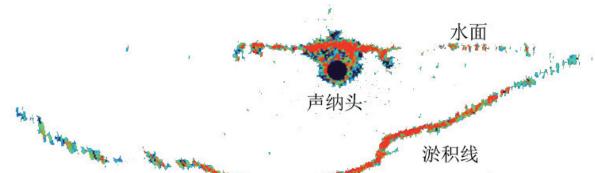


图1 某管段的声纳检测结果

由图1可清晰地看到该段涵管的淤积深度和淤积形态,管道的两侧淤积多,中间淤积少。根据设计图纸标注的管道断面尺寸,推求出管道的平均淤积深度约为1.62 m。

2.2 CCTV管道内窥仪检测结果

管道内窥仪的检测结果如图2所示。

由图2(a)可以清晰地看到管道上的盖板钢筋锈胀严重,混凝土表层大面积脱落,结构存在严重的安全隐患;由图2(b)可以看出,管道内水位偏高且基本无流动,横梁结构存在阻水现象,说明管道内淤积已十分严重,应尽快进行清淤工作。这两张图片



(a) 图片一



(b) 图片二

图 2 某管段的 CCTV 检测结果

直观地反映了管道的结构安全状态和淤积现状,进一步验证了声纳检测系统的检测效果。

2.3 探地雷达检测成果

采用加拿大 EKKO 专业雷达对管段进行检测,探地雷达管道横断面检测结果如图 3 所示。

由图 3 可以明显地看出,雷达检测到的土层数为 6 层,分别为楼板层、空气层、污水层、淤泥层、渠

底层和基础层等,层与层之间分界明显,以此为依据可以计算出管道的淤积深度,各层数特征及参数如表 1 所示,表中雷达波传播时间为雷达波接触到地层并反射回接收器的总时间。

由图 3 可见,管道底部混凝土层较为清晰,混凝土下填土回波较弱,介质介电常数变化不大,填土质量较好,管道无明显渗漏。根据计算可得管道的平均淤积深度为 1.58 m。

2.4 综合分析

(1) 声纳检测系统能检测到管道内淤积情况的表观数据,管道内窥仪能直观地显示管道内的结构安全状态和表面淤积情况,两者均不能反映管道管底和基础的结构现状。探地雷达则可以对管道下的土层结构进行深层检测,雷达波的波形可反映出管道的淤积情况以及结构的完整度,也可通过周围地层含水率的变化推测管道有无明显的渗漏现象。

(2) 将声纳检测结果与雷达检测结果融合在一起(见图 4,图中蓝色线代表探地雷达所测波形,红色线为声纳检测得到的数据)发现,二者相似度极高,因此确定检测成果准确可靠。

(3) 将声纳检测系统、管道内窥仪和探地雷达 3 者结合在一起进行综合分析,得到了更为立体、准确、直观的数据,即多源数据相互配合、相互印证,检测结果科学可信。

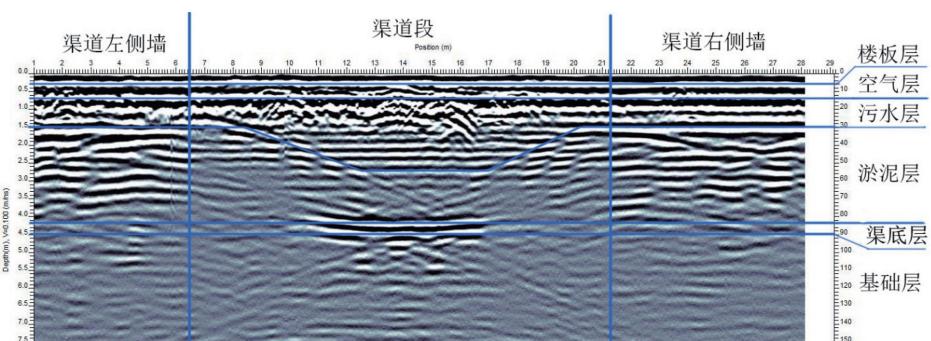


图 3 某管段的雷达检测结果

表 1 雷达检测各层数据表

层别	雷达波特征	雷达波传播速度/(m·nm ⁻¹)	雷达波传播时间/nm	该层厚度/m
楼板层	分层明显,同相轴连续,雷达波回波较强	0.10 ^[9] (混凝土)	6	0.30
空气层	雷达波回波同相轴不连续,波形较为混乱	0.30(空气)	8	1.20
污水层	雷达波回波较弱,同相轴连续,可清晰看到分层的雷达波	0.033(水)	28	0.46
淤泥层	雷达波回波最弱,基本无回波	0.075(湿润的土)	42	1.58
渠底层	雷达波回波较强,同相轴连续	0.10(混凝土)	6	0.30
总计			90	3.84

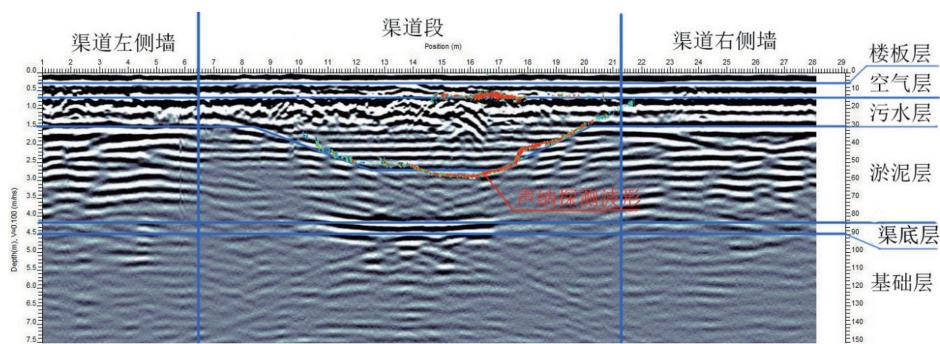


图 4 某管段的雷达与声纳检测结果对比

(4) 该管道盖板钢筋锈胀严重,混凝土大面积脱落,存在严重的安全隐患,而管道底部混凝土连续性较好,无明显渗漏。应立即清淤处理后对结构破损管道开展除险加固。

(5) 探地雷达检测结果为淤积深度约 1.58 m,与声纳检测系统的检测结果 1.62 m 基本相符,因此前后检测成果可信度较高,最终结果取两者的平均值 1.60 m。

3 结论

(1) 声纳、雷达、管道内窥仪多手段联合检测管道淤积方法,适用于城市水务地下排水管道无检修并且无法进行人工检测的情况;相比单一检测手段,其能更好地检测管道的淤积深度、结构的安全状态以及有无渗漏等情况,具有检测速度快,检测结果可信度高等特点,是无损检测方法在水务管道检测中的融合创新。

(2) 声纳检测系统能检测到管道内淤积情况的表现数据;管道内窥仪能直观地显示管道内的结构安全状态和表面淤积情况;探地雷达可以对管道下的土层结构进行深层检测,雷达波的波形能反映管道的淤积情况以及结构的完整度,也可通过周围地层含水率的变化推测管道有无明显的渗漏现象。

(上接第 72 页)

方向上 TMCP 钢的折射角比碳钢小 $1^\circ \sim 2^\circ$;用 70° 探头检测时,平行轧制方向上 TMCP 钢的折射角比碳钢大 $2^\circ \sim 3^\circ$,垂直轧制方向上 TMCP 钢的折射角比碳钢小 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。TMCP 钢材的厚度越大,横波折射角与普通碳钢的折射角差值就越大。

试验结果为 TMCP 钢横波检测中最关键的步骤之一——折射角的修正提供了方法和数值参考,可以指导检测人员正确进行 TMCP 钢折射角的修正。

参考文献:

- [1] 黄泽钧. 关于城市内涝灾害问题与对策的思考[J]. 水科学与工程技术, 2012(1):7-10.
- [2] 李华飞. 大管径排水管道水力清淤技术研究[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
- [3] 李茂英. 城市排水管道沉积物沉积状况及赋存污染物特性研究[D]. 北京:北京建筑工程学院, 2008.
- [4] 杨丽华. 城市排水体制中存在的问题及对策[J]. 山西建筑, 2003, 29(16):68-69.
- [5] 王淑芝, 马秀凤. 城市排水管道堵塞的原因与防治措施[J]. 森林工程, 2000, 16(2):58-59.
- [6] LAHAV O, SAGIV A, FRIEDLER E. A different approach for predicting H_2S emission rates in gravity sewers[J]. Water Research, 2006, 40(2):259-266.
- [7] ZHANG L, DE S P, DE G B, et al. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: a review[J]. Water Research, 2008, 42(1):1-12.
- [8] BOON A G. Septicity in sewers: causes, consequences and containment[J]. Water & Environment Journal, 2010, 6(3):79-90.
- [9] 郭秀军, 张盟, 罗辉, 等. 南水北调东线渠道衬砌混凝土厚度 GPR 快速无损检测[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(6):282-285.

参考文献:

- [1] 宋立新,石继程,田建峰.浅谈 TMCP 钢在近海工程中的应用[J].中国造船,2010(20):292-296.
- [2] 尹润朋,王贺.TMCP 钢声速与折射角的修正[J].无损检测,2012,34(8):44-46.
- [3] 张贵锋,米运卿,张建勋,等.超细晶粒钢制备工艺及机制与传统控扎控冷钢的异同[J].材料导报,2004,18(8):53-55.