

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.002

适于复杂运维场景的新型城市排水装备技术与应用

黄艳雄, 张舒凡, 谢棣慧

(广州市城市排水有限公司, 广东 广州 510700)

摘要: 城市排水管网作为城市基础设施的重要部分,其日常运维尤为重要。目前,在管网清淤过程中仍存在城中村等源头管网以及泵站清淤的痛难点。为解决上述清淤问题,广州市城市排水有限公司研发了小型清淤装备和水下智能(不停产)清淤机器人。小型清淤装备根据不同使用场景定制底盘,采用双独立电源系统,配备强力清淤系统以及安全保护装置;水下智能(不停产)机器人集合了多种设备单元,采用倒V型底盘结构,对前铲、智能控制系统进行优化,加入多波束二维声呐成像技术。系统验证表明,研发的装备清淤效果较好。与传统人工清淤方式相比,研发设备投入运维后,城中村清淤效率提升3倍,每米排水管网的运维成本平均降低约72%,同时泵站可实现不停产清淤,清淤更加环保、高效、安全,可为其他城市泵站和城中村机械化清淤提供经验参考。

关键词: 城市排水管网; 管网养护; 新型城市排水装备; 自主研发; 复杂运维场景

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0007-06

Technology and Application of New Urban Drainage Equipment for Complex Operation and Maintenance Scenarios

HUANG Yan-xiong, ZHANG Shu-fan, XIE Di-hui

(Guangzhou Urban Drainage Co. Ltd., Guangzhou 510700, China)

Abstract: As an important component of urban infrastructure construction, the routine operation and maintenance of urban drainage networks are particularly important. There are still pain points and difficulties in the dredging process of source pipelines, such as urban villages and pump stations. To solve the above-mentioned dredging issues, Guangzhou Urban Drainage Co. Ltd. has developed small dredging equipment and underwater intelligent non-stop dredging robots. The small dredging equipment is customized with a chassis according to different usage scenarios. It is equipped with a dual independent power system, a powerful dredging system, and a safety protection device. The underwater intelligent non-stop robot integrates multiple equipment units, adopts an inverted V-shaped chassis structure to optimize the front shovel and intelligent control system, and incorporates multi-beam two-dimension sonar imaging technology. Good dredging effects have been obtained through system verification and application. Compared with the traditional manual dredging method, after the drainage equipments are put into operation and maintenance, the efficiency of dredging in urban villages has increased three times, and the average maintenance cost per meter of the drainage pipe network has decreased by about 72%. Meanwhile, the pump station can achieve non-stop dredging, which is more environmentally friendly, efficient, and safety of the process, and can provide experience reference for other urban pump stations

and mechanized dredging in urban villages.

Key words: urban drainage pipe network; pipe network maintenance; new urban drainage equipment; independent research and development; complex operation and maintenance scenarios

排水管网作为城市重要的基础设施,是城市运行与发展的重要支撑。地下排水管网不仅范围大,而且错综复杂,其建设和养护关乎城市运行安全。目前,我国的管网行业正从人工向机械化发展,而在这一进程中管网的疏通技术成为整个行业的核心。

管网清淤是不可忽视的一项重要工作,目前在清淤过程中仍存在城中村管网清淤、泵站清淤导致污水溢流的痛难点。广州市城市排水有限公司对新型城市排水装备进行自主研发,创新性地提出了针对复杂运维场景的定制解决方案,自研小型清疏装备和水下智能(不停产)清淤机器人,同时针对城中村以及泵站的场景特点,对装备外廓结构、动力系统等进行成套装备设计,取得了较好的清淤效果,可为排水复杂运维场景提供参考。

1 国内排水管网运维装备概况

1.1 国内排水管网运维装备现状

目前,我国排水装备整体发展较为成熟,管道修复、管网疏通以及应急抢险等不同运维场景均有较为成熟的产品,如大流量排水抢险车、吸污车、抓斗车、高压清洗车等先进维护抢险机械装备,推动了我国排水事业向机械化发展。排水主要运维装备见表1。

表1 排水主要运维装备

Tab.1 Main operation and maintenance equipment for wastewater drainage

装备名称	适用场景
高压清洗车	用于排水管网沉积物等淤积严重的清疏,主要适用于管径为200~1 500 mm管道的疏通
抓斗车	用于大、中、小城市的地下清淤、排污排涝等工作,也适用于城市社区、工厂的化粪池和沼气池的沉淀物清理
吸污车	用于排水管网污水和污泥的抽吸、运输、卸装等作业,还可用于小型河道清淤和疏通,以及突发环境污染事故应急处理
联合一体吸污车	适用于污水污泥的抽吸、清洗、输送,以及城市环卫废弃物、工业废液的排放

1.2 国内排水管网运维存在的问题

目前,管网养护装备整体发展较为成熟,但管

网日常运维复杂,存在城中村等源头管网以及泵站清淤难的问题。

近年来,城中村和泵站排水管网养护需求大幅提高,但城中村排水管网受窄街窄巷环境限制,现有设备无法进入内部作业,因此城中村管网缺乏高效的养护设备。目前,城中村排水管网运维仍以传统人工清疏方式为主,养护效率较低,尚无机械化的小型清疏设备^[1]。同时,泵站作业时申请泵站停运,由工人下池作业,泵房淤积时间过长容易引发安全事故、停运污水外溢污染河涌等问题,还会给设备维护带来隐患,严重影响作业工人的生命安全和周边居民的生产生活安全。

2 新型城市排水装备技术研发

针对实践管网清淤过程中的痛难点,广州市城市排水有限公司持续进行关键技术攻关,整合日常运维过程中智能化、机械化、小型化的需求,自研小型清疏装备和水下智能(不停产)清淤机器人,以彻底解决城中村管网及泵站清淤难的问题,提升排水管网养护效率。

2.1 小型清疏装备

为高效解决城中村内窄街巷管网中存在的堵塞问题,广州市城市排水有限公司开发了小型轮式抓斗车(见图1)和小型履带式水冲装备(见图2),在满足功能使用的前提下,整机更加紧凑,且具备工况适应性强、作业灵活、绿色节能等优势,大幅提高了城中村管网养护的工作效率,降低了人员的劳动强度。



图1 小型轮式抓斗车

Fig.1 Photograph of small wheeled grab truck



图2 小型履带式水冲车

Fig.2 Photograph of small tracked water flushing vehicle

2.1.1 装备概况

小型履带式水冲车凭借其履带底盘,能够有效应对复杂多样的路面状况。通过控制高压水泵的启动与停止,能产生高压射流,推动水冲头进入排水管道并带动管道内的堵塞物排出,从而完成排水管网的疏通作业。小型轮式抓斗车通过操控装备抓斗的升降与舒张闭合、操控吊臂的旋转与伸缩,实现将井底淤泥采集至装备的货斗内,再将货斗内的淤泥倾倒在大型运输车内,从而实现管网淤泥清掏到处理整个过程中作业人员与淤泥的“零”接触。小型轮式抓斗车设计见图3,小型履带式水冲车设计见图4。

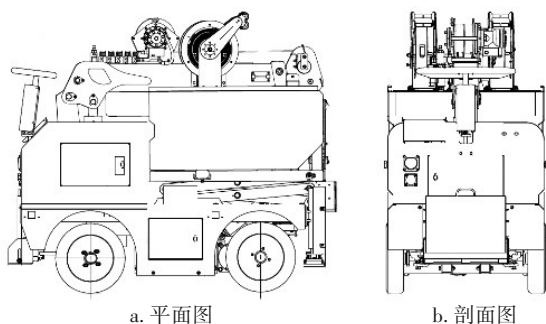


图3 小型轮式抓斗车设计示意

Fig.3 Design drawing of small wheeled grab truck

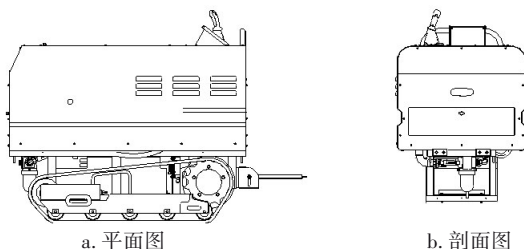


图4 小型履带式水冲车设计示意

Fig.4 Design drawing of small tracked water flushing vehicle

2.1.2 核心单元设计

① 底盘结构

针对使用场景进行实际分析,小型履带式水冲车在上游将淤积物疏通,小型轮式抓斗车在下游将淤积物抓取并转运至常规抓斗车上,考虑到两款产品在转向灵活性及快速转场要求上的侧重点不同,打造了不同的底盘。小型履带式水冲车底盘采用双电机差速控制和转速随动技术,可实现原地 360° 转向及直线行走,且履带式结构可通过20 cm高度的台阶,便于在城中村街巷中开展管网疏通作业。小型轮式抓斗车采用四轮电动底盘,通过电动助力转向装置的设计及轴距,实现转弯半径小于1.8 m。两款装备在底盘设计过程中均运用结构强度分析方法,通过AI工具模拟装备运行状态,提高了装备作业与行驶的续航时间。

② 清淤系统

小型履带式水冲车设有强力水冲清淤系统,通过电源、电机、水泵、喷头的匹配及系统参数优化,在有限空间内实现了水冲清淤系统水冲作用力最大化,水冲作用力可达77.8 N,满足城中村污水井清淤需求。该设备高压管管径为3/8英寸(1英寸=2.54 cm),可实现40 m的疏通长度,且接头适配性强,可选择小型链条、穿刺等特种喷头。小型轮式抓斗车作业深度超过15 m,采用两瓣式抓斗,可对小口径污水井进行清掏;采用一体式回转支承,吊装装置回转平稳流畅,实现左右 135° 摆转,作业范围大;货斗可升降卸料,最大卸料高度达2 m,实现淤泥清掏转运全流程作业。

③ 动力系统

两款装备驱动系统设置两套独立电源:下装车身配备独立电源,续航里程60 km;上装装备作业亦设置独立电源,满足连续6 h作业续航能力。双套独立电源可保障装备作业的延续性,确保动力互不干扰。两款装备均采用安全性较高的磷酸铁锂电池作为动力源,电池底部配置导热装置,使其能够在广泛的温度范围内稳定工作,同时还对其内部空间进行了科学规划,使电池容量达到101.38 Ah(72 V),作业时长高达10 h。此外,电机的运行噪声被严格控制在70 dB以下,完全符合日间施工作业噪声的限制标准。

④ 安全保护装置

小型履带式水冲车高压水箱设置低水位报警

连锁,水位低于警戒值时可连锁中止水泵运转,防止干转对高压泵的损坏。当装备从行驶模式切换到水中作业模式后,自动启动履带电磁抱箍锁死,确保作业模式下处于静止状态。小型轮式抓斗车按作业流程设置多个安全互锁,避免操作失误导致装备部件之间的冲突和损伤;配有防过卷警报,防止钢丝绳过卷,保障吊装装备安全。操作系统采用无线遥控与显示器两种操作方式,冗余控制,根据不同工况可选择遥控跟随和人机一体两种操控模式,互为应急系统;装备配置充电保护装置,保障充电安全。

2.2 水下智能(不停产)清淤机器人

为有效解决泵站清淤停运时污水溢流河涌的污染风险,广州市城市排水有限公司研发了水下智能(不停产)清淤机器人(见图5),实现了泵站不停产清淤作业。传统人工清淤和智能机器人清淤示意图见图6。



图5 水下智能(不停产)清淤机器人

Fig.5 Photograph of underwater intelligent non-stop dredging robot

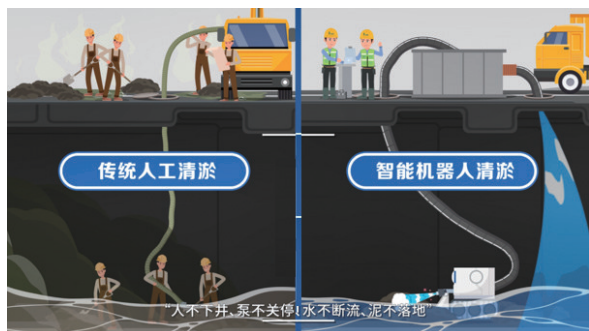


图6 传统人工清淤和水下智能(不停产)机器人清淤示意

Fig.6 Schematic diagram of traditional manual dredging and underwater intelligent non-stop robot dredging

适用于渠箱、泵站泵房、污水池等设施的水下智能(不停产)清淤机器人能够替代传统的人工清

淤,提高了箱涵清淤效率,具有强大的市场需求和广阔的应用前景,重点是能解决目前清淤作业人员的安全问题,排解污水外溢导致的社会不良影响及政府监管压力等问题^[2]。

2.2.1 装备概况

水下智能(不停产)清淤机器人分为上位机操作平台和下位机控制系统,地面上位机操作平台负责控制机器人的动作及渣浆泵、水枪泵、液压箱、卷缆机和卷管机等主要设备,下位机控制系统主要接收上位机的指令并对机器人对应的液压系统等进行操作。操作员通过地面操作面板控制机器人的朝向和位置,使前挡及抽淤管口对准淤泥进行抽吸。高压水枪将硬泥冲散后,抽泥管将其抽吸到地面沉淀池进行沉淀。水下智能(不停产)清淤机器人的设计思路见图7。

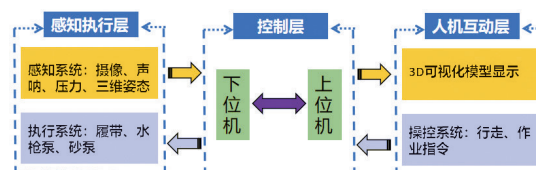


图7 水下智能(不停产)清淤机器人设计思路

Fig.7 Design ideas for underwater intelligent non-stop dredging robot

2.2.2 核心单元设计

① 履带底盘结构设计

机器人履带在沙石密布的区域或者弧形的圆管中作业时,可能受到环境中反作用力的挤压,使履带前进阻力加大且受力不均,有可能造成链子被卡或者脱链的风险。因此,设计了倒V型可外倾的底盘结构,实现控制履带 $0^{\circ} \sim 37^{\circ}$ 的自由调节。采用可调节倒V型底盘结构的机器人通过改变底盘的角度,进而改变履带的受力方向,尽早对各种不利风险做出规避动作,解决履带阻力大和脱链等问题。

② 前铲系统结构

传统前铲在清淤过程中容易出现垃圾过多导致前铲卡住的情况,结合实践情况对前铲进行升级改造,优化后在泵站清淤过程中呈现更好的清淤效果。前铲主体为长约1.6 m、高0.6 m的组合金属架构,能将沉积物聚拢在吸污口前,提高吸污效率。高压水枪结合高压喷嘴达到对聚集淤泥冲散的效果;同时设计拦污栅以拦截体积超过渣浆泵入口最

大直径的物体进入泵体,以免泵体堵塞甚至损坏;前铲主体铲起泵池板结底泥,配合水枪对固化的淤泥、砂等进行冲刷和打散,增强渣浆泵吸污效果,吸污口通过软管连接到渣浆泵,将泥水混合物抽吸到地面^[3]。

③ 智能控制系统

机器人智能控制系统将感知执行层、控制层、人机互动层之间的数据、指令交互,最终实现机器人的系统功能。感知层将水下距离、图像、压力等数据传输至控制层,控制层将机器人的状态信息、环境信息、监测信息集成化显示到人机互动层,操作人员整体把握机器人的作业状态、在人机互动层下达相应工作指令至控制层,控制层执行相关指令进行前、后、左、右、开泵、关泵等动作,实现高效的人机交互的智能控制。

④ 多波束二维声呐成像技术

增加多波束二维声呐成像技术,观察水下智能清淤机器人前端方向的水下结构位置、形状、大小和是否产生形变,周边结构继续采用360°声呐测试,确认机器人在泵池中的位置。由于多波束二维声呐扫描角度为固定130°,在同一位置只能扫描对应角度图像,无法实现多次扫描,因此设计一个云台,将多波束二维声呐成像技术配搭在该云台上,实现扫描多种角度图像。水下云台由两个水下舵机组成,可实现上下左右四轴转动。在清淤过程中,通过云台控制声呐的观察角度,实时观察水下淤积物的高度及形状,了解清淤过程中水下局部情况的变化。

3 实际应用成效

目前,广州市城市排水有限公司研发的城中村小型清疏装备和水下智能(不停产)清淤机器人均已投入应用,取得了良好成效,提升了城中村以及泵站的养护效率,节约了管网的运维成本。

3.1 城中村小型清疏装备

广州市城市排水有限公司作为负责广州市主城区市政排水管网设施养护单位,权属养护排水管网长度超 2×10^4 km,其中超过60%的排水管网分布在城中村、社区等狭窄环境内,每年投入巨大的养护成本。为验证小型清疏装备在城中村清淤的应用成效,选择广州市白云区某村进行实景试验。

试验村内窄巷多,楼房密集,人车流量大,排水

管网清淤无合适的装备,长期以来只能依靠人工方式养护。小型清疏装备投入运行后,可进出城中村内近70%的窄街窄巷环境展开作业,满足预期环境应用。该设备养护村内管网约40 km,极大降低了人工劳动强度,提升了养护效率。两种清淤方式对比见表2。

表2 城中村传统人工清疏与小型装备清疏对比

Tab.2 Comparison between traditional manual dredging method and small equipment dredging method in urban villages

项目	小型清疏装备	传统人工清淤
作业卫生安全性	可实现淤泥清疏、清掏、转运全流程处理,作业人员无需接触淤泥	作业人员直接接触淤泥,需爬上泥车倒泥桶,卫生安全无法保障
适用场景	清理井口浮渣、淤泥,可疏通管网内部严重淤堵	清理井口浮渣、淤泥,无法疏通管网内部淤堵
作业效率/ ($\text{km} \cdot \text{组}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	0.6	0.2
人员投入/ ($\text{人} \cdot \text{组}^{-1}$)	3	4
清淤单价/ ($\text{元} \cdot \text{m}^{-1}$)	4.45	16
作业强度	通过简单的遥控操作完成,作业强度小	主要依靠人工清掏方式,体力消耗大

综上所述,城中村小型清疏装备通过简单的遥控操作,即可实现淤泥清疏、清掏、转运全流程处理,可疏通管网内部淤堵,无需接触淤泥,极大提升一线工作人员的作业卫生安全性。使用机械化清疏,养护费用平均节省11.55元/m,成本比人工清疏降低72%,作业效率提升超过3倍,同时小型清疏装备采用新能源供电作为动力来源,夜间路面施工现场噪声测试表明,噪声在70 dB以下,可实现零排降噪,为夜间响应处置突发清淤作业提供了更多便利。实践证明,小型清疏装备将极大促进城中村排水设施管网养护机械化进程,提升城市排水管网设施养护效率,保障排水管网的高效运行。

3.2 水下智能(不停产)清淤机器人

为验证水下智能(不停产)清淤机器人在泵站清淤的应用成效,选择广州市某输送泵站进行实景验证。该泵站吊泵口长约1.9 m、宽1.45 m,泵房面积约120 m^2 ,共6台泵(4用2备),每台泵流量800 m^3/h 。泵站积淤厚度约1.5~2.5 m,积砂板结程度高。正

常开启3台泵的情况下,不停产清淤5 d,清淤量约为130 m³,无污水溢流,泵房结构、设备无损坏,成功解决了泵站清淤污水溢流问题。泵站泵房不停产清淤过程见图8。

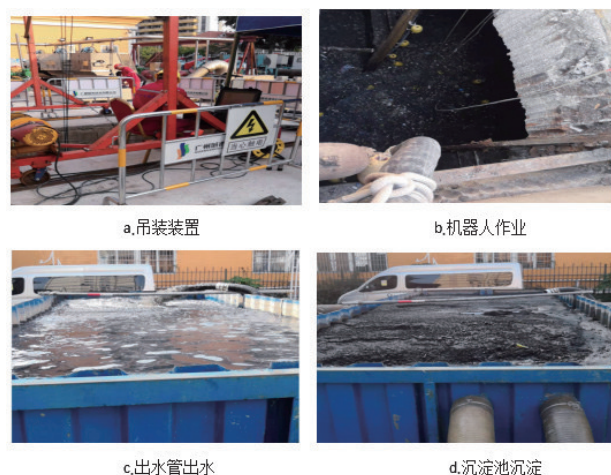


图8 泵站清淤过程示意

Fig.8 Schematic diagram of dredging process in pump station

目前,水下智能(不停产)清淤机器人已全面投入使用,年度完成19座泵站的清淤工作,清淤效果统计见表3。

表3 水下智能(不停产)清淤机器人清淤效果统计

Tab.3 Statistics on the dredging effect of underwater intelligent non-stop dredging robot

项目	完成清淤 泵站/座	减少污水 溢流量/ (10 ⁴ m ³ ·a ⁻¹)	减排 COD/ (t·a ⁻¹)	减排 氨氮/ (t·a ⁻¹)	污水厂增加 水量收益/ (万元·a ⁻¹)
数值	19	754	1 534	182	1 734

水下智能(不停产)清淤机器人成功应用于泵站泵房清淤,有效解决了传统清淤面临的污水外溢、安全性低、作业效率低等痛难点,且无需停产,作业无需向当地政府部门提出审批申请,无任何环境影响,有效提升了清淤的安全性以及工作效率,减少了人员投入。该机器人替代人工在泵站等有限空间中开展清淤作业,实现了清淤环保、高效、零事故的目标。

4 结论

针对清淤过程中的复杂运维场景,研发了城中村小型清淤装备以及水下智能(不停产)清淤机器

人,填补了泵站和城中村的机械化清淤空白。经试验,两款装备均取得良好成效,并成功应用于日常管网清淤。小型清淤装备极大降低了人工劳动强度,提升了城中村排水管网设施养护的效率,降低了管网运维成本。清淤机器人保障了日常清淤作业的安全,防止污水溢流河涌,并且解决了泵房清淤不可见的问题,实现了高效高质清淤。下一步小型清淤装备将进行动力能源改良,并优化装备操控,提升越障能力;后续清淤机器人将实现对清淤池体的三维模型构建,对池内环境精确识别,使清淤更加智能化。同时,未来将对两款装备进行量产,实现城中村和泵站机械化清淤全覆盖。

参考文献:

- [1] 林茂锋,李万权,甘虎,等. 管网清淤及污泥脱水集成工法及设备研究[J]. 绿色环保建材, 2019(11): 24-25.
LIN Maofeng, LI Wanquan, GAN Hu, *et al.* Research on integrated construction methods and equipment for pipeline dredging and sludge dewatering [J]. Green Environmental Protection Building Materials, 2019 (11): 24-25(in Chinese).
- [2] 饶虹,黄清强,叶云. 浅谈机器人在箱涵清淤中的研究和应用[J]. 中国设备工程, 2021(19): 191-193.
RAO Hong, HUANG Qingqiang, YE Yun. Research and application of robots in box culvert dredging [J]. China Plant Engineering, 2021 (19): 191-193 (in Chinese).
- [3] 饶虹,黄清强,余昀. 不停产清淤机器人在污水提升泵房中的工程应用[J]. 市政技术, 2022, 40(7): 246-251.
RAO Hong, HUANG Qingqiang, YU Yun. Application of non-stop dredging robots in sewage lifting pump house [J]. Municipal Engineering Technology, 2022, 40 (7): 246-251(in Chinese).

作者简介:黄艳雄(1989—),男,广东梅州人,本科,工程师,主要研究方向为排水领域信息与装备的智慧化管理。

E-mail:936659957@qq.com

收稿日期:2024-05-30

修回日期:2024-07-19

(编辑:丁彩娟)