

# 管道清淤机器人在高密度建成区老旧给排水系统中的应用研究

李建涛

深圳市光明区建筑工务署工程五部 广东深圳 518107

**【摘要】**随着城市化进程的加速，老旧建成区的现状给排水系统非开挖类的维护工作一直是个难题，传统的清淤始终有操作困难、精度不足、成本较高的问题。管道清淤机器人作为一种新型的智能清淤工具，在给排水系统中的应用逐渐受到关注。本文旨在探讨管道清淤机器人在城市给排水系统中的应用现状、存在问题及应对策略，为相关领域的研究与实践提供参考。

**【关键词】**管道清淤机器人；水利工程；给排水系统；智能清淤

## 引言

随着城市化进程的快速推进，城市现状给排水系统需日常维护的内容诸多，其中清淤疏通工作显得尤其重要，必要时可有效提高产能或减少隐患。传统的清淤方法往往存在局限性、效率低下、劳动强度大、安全隐患多等问题，难以满足现代城市给排水系统高效、安全、环保的维护需求。管道清淤机器人作为一种集成了先进机械、电子、传感器等技术的智能化设备，其在给排水系统中的应用逐渐受到广泛关注。本文旨在深入探讨管道清淤机器人在城市给排水系统中的应用现状、存在的问题以及应对策略，以深圳市某区的城市管网提质增效项目清淤工作为案例，为相关领域的研究与实践提供有益的参考和启示，推动清淤技术的创新发展，为城市水利工程建设与管理贡献智慧与力量。

## 1 管道清淤机器人在水利工程给排水系统中的应用现状

### 1.1 管道清淤机器人的技术原理与特点

管道清淤机器人的技术原理主要基于先进的机械设计与自动化控制技术，通过遥控或自主导航方式，使机器人能够在复杂的管道环境中灵活移动。它配备有高清摄像头和多种传感器，能够实时获取管道内部的图像信息，精准识别并避开障碍物。同时，机器人还搭载专业的清淤装置<sup>[1]</sup>，如高压水枪、旋转刷头等，能够高效清除管道内的淤泥和杂物。其特点在于高度智能化、作业效率高、操作简便且安全环保，能够显著提升管道清淤工作的效率和质量，降低人工操作的风险和成本。如图1-1所示。

### 1.2 机器人在给排水系统中的应用场景

管道清淤机器人在给排水系统中的应用场景十分广泛。

首先，在城市排水管道的日常维护和清淤工作中，机器人能够深入管道内部，对积累的淤泥和杂物进行有效清除，保障排水系统的畅通无阻。其次，在污水处理厂的进水管和出水管中，机器人能够协助监测管道状况，及时发现并处理堵塞问题，确保污水处理流程的顺畅进行。此外，在给水管中，机器人也可用于检测管道的泄漏情况，以及清除管道内壁的锈蚀和附着物，保证供水质量。同时，对于老旧小区排水管道改造工程，机器人也能发挥重要作用，提高改造效率，降低施工难度。如某城市管网提质增效工程，在上游端老城区的污水管中，因管径较小，

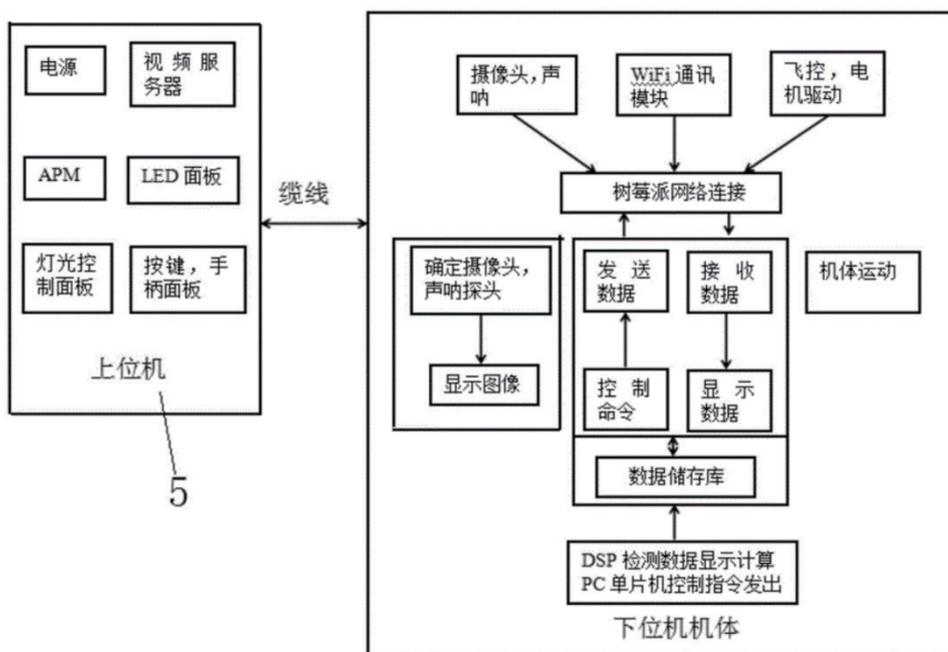


图1-1 一种管道清淤机器人技术原理

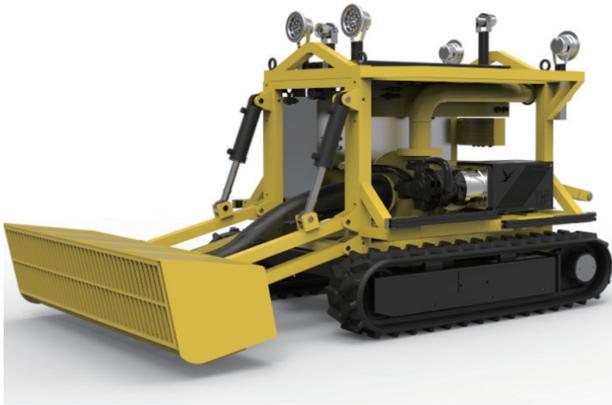


图1-2 管道清淤机器人参数模型

驱动方式	全液压
行走速度	0-13m/min
清淤绞龙宽度	1.5M
水下渣浆泵	扬程25m, 水平传输距离150m, 流量100m <sup>3</sup> /h, 功率15.5kw, 泵送最大颗粒直径25mm
观测系统	4*200w像素水下摄像机
照明系统	4*50w LED水下照明灯
总功率	电压: 380VCA, 总功率: 30KW
工作压力	10Mpa
工作长度	110m
工作水深	5-15米
尺寸	2900*1500mmx1500mm
设计重量	≥1800kg (空气中)
材料结构	锰钢, 表面做防腐防锈处理

埋设不规范, 预留的检查井少且存在有暗井情况, 需使用高效的小机器人进行清淤。因此, 管道清淤机器人在给排水系统中的应用, 不仅提升了维护工作的效率和质量, 也保障了城市水资源的合理利用和环境保护。如图1-2所示。

## 2 管道清淤机器人在应用中存在的问题分析

### 2.1 技术瓶颈与限制

(1) 机器人作业深度限制。机器人作业深度限制是一个显著的技术瓶颈。由于机器人设计和材料强度的限制, 随着作业深度的增加, 水压、水温等环境因素对机器人的影响愈发显著。过深的水压可能导致机器人结构变形或密封失效, 而水温的变化也可能影响机器人的电子元件和电池性能<sup>[2]</sup>。因此, 在实际应用中, 机器人的作业深度往往受到严格限制, 以确保其安全和有效作业。

(2) 复杂管道结构适应性不足。管道清淤机器人在面对复杂多变的管道结构时, 其适应性成为一大挑战。复杂管道结构包括弯曲、分支、狭窄等多种形态, 这些结构特点对机器人的机械结构、导航系统和清淤能力都提出了高要求。目前市场上的机器人往往难以完全适应这些复杂结构, 导致作业效率降低, 甚至无法完成作业任务。因此, 提高机器人在复杂管道结构中的适应性, 是提升清淤效率和质量的关键所在。

(3) 恶劣环境下的稳定性问题。恶劣环境对管道清淤机器人的稳定性构成了严重威胁。在高温、低温、高湿、腐蚀等恶劣环境下, 机器人的电子元件、机械部件和密封性能都可能受到影响, 导致机器人出现故障或性能下降。此外, 恶劣环境还可能对机器人的通信和控制系统造成干扰, 影响机器人的远程操控和作业精度。因此, 在恶劣环境下确保机器人的稳定性是确保清淤作业顺利进行的关键问题之一。

### 2.2 操作与维护难题

#### (1) 操作复杂性与精度要求

管道清淤机器人的操作复杂性和精度要求是影响其应用效果的重要因素。由于机器人集成了多种先进技术, 其操作往往涉及复杂的控制系统和精细的调节步骤。操作人员需要具备一定的专业知识和技能, 才能准确控制机器人

的行进路径、作业速度和清淤力度, 确保清淤作业的高效和安全。同时, 清淤作业对机器人的精度要求也较高, 需要精确识别管道内的障碍物和淤泥分布, 避免对管道造成损伤。因此, 提高操作简便性和降低精度要求是当前管道清淤机器人研发中需要重点解决的问题。

#### (2) 维护成本与维护周期

管道清淤机器人的维护成本和维护周期也是影响其应用的重要因素。机器人的维护成本包括设备更换、部件维修、软件更新等方面的费用, 这些费用往往较高, 增加了机器人的使用成本<sup>[3]</sup>。同时, 维护周期的长短也直接影响到机器人的使用效率。如果维护周期过长, 可能会导致机器人长时间无法使用, 影响清淤作业的进度。因此, 降低维护成本、缩短维护周期, 提高机器人的可靠性和耐用性, 是推广和应用管道清淤机器人的关键所在。

### 2.3 安全与环保挑战

(1) 机器人作业安全风险控制。在管道清淤机器人的作业过程中, 安全风险控制至关重要。由于机器人需要在复杂多变的管道环境中工作, 可能面临各种潜在的安全风险, 如管道破裂、气体泄漏等。为了确保作业安全, 必须采取一系列风险控制措施。这包括定期对机器人进行安全检查和维修, 确保其机械结构和电子元件的完好性; 在作业前对管道环境进行充分评估, 识别并排除潜在的安全隐患; 制定详细的应急预案, 以便在发生紧急情况时能够迅速响应和处理。通过这些措施, 可以有效降低机器人作业的安全风险, 保障作业人员的安全和作业的顺利进行。

(2) 环保清淤技术与材料研发。随着环保意识的不断提高, 环保清淤技术与材料的研发也日益受到重视。传统的清淤方法往往会对环境造成一定的污染, 而环保清淤技术则旨在降低这种影响。在材料研发方面, 注重使用环保、可降解的材料来制造清淤工具和设备, 减少对环境的负担<sup>[4]</sup>。同时, 研发更加高效的清淤技术, 如物理清淤、生物清淤等, 以减少对化学药剂的依赖, 降低对水质和土壤的影响。通过环保清淤技术与材料的研发, 不仅可以提高清淤作业的效率和质量, 还能够更好地保护生态环境, 实现可持续发展。

## 3 应对策略与建议

### 3.1 技术创新与突破

(1) 深度作业技术研发。通过深入研究水下机械、高压密封、耐压材料等关键技术, 提出几个解决的思路: 一是可提高机器人承受深水压力能力, 使其作业深度范围增大;

二是依靠稳定高效控制系统和精准导航算法,寻求解决不同水下环境的通信和导航问题;三是加大机器人的动力装置,不同场景利用不同驱动,如模拟蠕虫的爬行、履带式、轮子式的;这些技术的突破将为管道清淤机器人在深海、湖泊、受限制的小管径等场景的作业提供有力支持。

(2) 管道适应性优化。管道适应性优化是提升管道清淤机器人性能的重要方向。通过对机器人机械结构的改进,考虑增强其在弯曲、分支、狭窄等复杂管道结构中的通过性和灵活性,结合图像识别和大数据的预判处理技术,机器人能够更精准地识别管道内的障碍物类别或淤泥分布情况,实现智能避障和高效清淤。结合不同的管道材料和结构特点形成的管道环境作业条件,针对性开发不同动力且适用性强的清淤装置和工具。同时,还应提高管道清淤机器人数据记录与分析能力,确保其可以将管道作业中涉及的数据进行详细记录,能根据作业过程中搜集的数据信息,准确判断管道的情况,调整作业方案等,以提高其在管道内作业的高效性。

(3) 稳定性与耐久性提升。提升管道清淤机器人的稳定性与耐久性是确保其长期有效作业的关键。要考虑机器人材料、结构、动力装置、控制系统等,围绕抗冲击、抗振动的能力下功夫,采用精密的制造工艺提高耐用性和可靠性,降低了机器故障率,必要时应设置机器人本身的监控和预警系统,是机器人长期稳定运行的保障。

### 3.2 操作与维护流程优化

(1) 简化操作流程。一款可傻瓜式操作且功效强大的管道清淤机器人,应有简易便利的操作界面,也能适用不同作业场景。通过优化控制系统设计,使操作界面更加直观友好,降低操作难度,不同工况实现一键式启动、自动导航和智能清淤等功能,减少了繁琐的手动操作步骤。通过操作指南和视频教程快速帮助作业人员掌握技能,从而提高作业效率。同时,还应为操作人员提供个性化设置模块,操作人员可以根据管道清淤机器人的常用环境、应用模式等进行系统设置,并保存,在有需要时可以直接根据前期的设置,直接选择所需的管道清淤模式。这样操作人员可以减少设置次数,提高管道清淤机器人的应用便捷性。

(2) 降低维护成本。降低维护成本是提升管道清淤机器人经济性的重要措施。通过优化机器人的设计,采用耐磨、耐腐蚀的材料和部件,减少故障发生的概率。同时,加强机器人的日常维护和保养,定期进行性能检测和维修,确保机器人的正常运行。此外,可提供经济实惠的维护方案和配件,降低了用户的维护成本,提高了机器人的使用效益。为了方便后去检查与维修,还应重视管道清淤机器人的维修便利性,预留检修窗口等,使工作人员可以轻松进行机器人的情况检查、分析,减少设备检查与维修方面的时间耗费。

(3) 延长使用寿命。为了延长管道清淤机器人的使用寿命,一是在设计和制造过程中,要注重使用高质量的材料和工艺,确保机器人的耐用性和可靠性;二是需加强机器人的防水、防尘、防腐等性能,提高其在恶劣环境下的

适应能力;三是专业的定期技术支持和维护服务,及时解决机器人在使用过程中遇到的问题,也是长期稳定运行关键措施;四是提供机器人升级服务,在现代科技高速发展的过程中,管道清淤机器人的功能、技术也在不断优化,由于机器人造价较高,若是购买后期无法升级,则会加大使用成本,因此,应提供机器人升级服务,保障机器人后续应用升级顺利进行。通过以上措施,可有效延长了管道清淤机器人的使用寿命。

### 3.3 安全与环保措施加强

(1) 安全风险识别与防控。管道清淤机器人的研发与应用过程中,对安全风险识别与防控提高重视。通过对历史案例的分析以及实时数据的监控,有效精准识别出机器人在作业过程中可能面临的安全风险,如管道破裂、气体泄漏、电击等。针对这些风险,对应一套完善的风险防控措施,包括加强机器人的结构强度、优化电气设计、配备安全检测装置等,确保机器人在任何作业环境下都能保持高度的安全性。另外,定期的安全培训,加强操作人员的安全意识与应急处理能力,作业过程的安全可控。

(2) 环保材料与技术推广。在追求清淤效率的同时,我们也注重环保材料与技术的推广与应用。我们积极采用环保型材料制造机器人及其配件,确保在生产和使用过程中减少对环境的影响。此外,研发环保清淤技术,如生物清淤、物理清淤等,这些技术不仅能够有效清除管道内的淤泥和杂物,还能减少对化学药剂的依赖,降低对水质和土壤的污染。

**结论:** 本文详细探讨了管道清淤机器人在技术原理、特点以及应用中所面临的挑战,并针对这些挑战提出了相应的解决方案。通过深度作业技术研发、管道适应性优化、稳定性与耐久性提升等多方面的努力,机器人技术在管道清淤领域取得了显著进步。然而,面对复杂的作业环境和日益严格的清淤要求,机器人仍需不断创新和优化,以适应未来更高的作业需求。因此,本文认为,虽然管道清淤机器人技术已经取得了重要进展,但仍需持续研发和改进,以实现更高效、更安全、更环保的管道清淤作业。

#### 参考文献:

- [1] 冯宇,张宇飞. 新型排水管道清淤机器人的结构设计与分析[J]. 中国设备工程, 2023, (08): 130-132.
- [2] 刘峰华,李琛,刘文黎,等. 城市排水管道运维机器人研究进展[J]. 给水排水, 2022, 58 (03): 147-154.
- [3] 郭昆鹏,赵银江,汤家源,等. 水下管道清淤疏浚机器人研究综述[J]. 科技创新与应用, 2021, 11 (16): 21-23.
- [4] 刘峰华,李琛,刘文黎,等. 城市排水管道运维机器人研究进展[J]. 给水排水, 2022, 58 (03): 147-154.

**作者简介:** 李建涛(1989.8—),男,籍贯广东惠东,本科学历,研究方向:水利水电工程管理,在深圳市光明区建筑工务署负责诸多水务项目的实施,特别是城市市政管的建设及修复上,主持过干管、支管的系统性工程。