

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2209132

挂轨式管道泄漏检测机器人设计*

景丽晔¹ 耿明² 凌人³ 周明翔²(1.南京航空航天大学自动化学院 南京 210016; 2.中铁第四勘察设计院集团有限公司 武汉 430063;
3.宁波市轨道交通集团有限公司 宁波 315100)

摘要: 地下管廊中管道的泄漏检测是管廊安全运行的重要保障之一,为了实现管廊的自动化运行,并针对传统检测方法的灵活性不足、信息交互性差的缺点,本文基于 STM32F103 设计了一种挂轨式管道泄漏检测机器人。机器人搭载 MIC 声音传感器作为泄漏检测装置,将采集到的信号利用神经网络进行音频特征的识别,监控主机对判断结果做出报警或其他措施。经过管道泄漏检测系统实验平台测试,机器人系统运行稳定,对于管道泄漏的检出率达到 93%,满足实际应用需求。

关键词: 管廊;管道泄漏检测;挂轨式机器人;声音传感器

中图分类号: U216.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

Design of a rail-mounted pipeline leak detection robot

Jing Lixuan¹ Geng Ming² Ling Ren³ Zhou Mingxiang²(1. School of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China;
3. Ningbo Rail Transit Group Co., Ltd., Ningbo 315100, China)

Abstract: Leak detection of pipes in underground pipe gallery is one of the important guarantees for the safe operation of pipe gallery. In order to realize the automatic operation of pipe gallery, and for the shortcomings of insufficient flexibility and poor information interaction of traditional detection methods, this paper designs a new method based on STM32F103. Rail-mounted pipeline leak detection robot. The robot is equipped with a MIC sound sensor as a leak detection device, and the collected signal uses a neural network to identify the audio features, and the monitoring host makes an alarm or other measures on the judgment result. After the test of the pipeline leakage detection system experimental platform, the robot system runs stably, and the detection rate of pipeline leakage reaches 93%, which meets the practical application requirements.

Keywords: pipe gallery; pipeline leak detection; rail-mounted robot; round sensor

0 引言

地下综合管廊的发展为城市建设带来极大便利^[1],但由于管廊中管道所运输物质的特殊性,如燃气、石油等,一旦发生泄漏,可能导致火灾、爆炸等安全事故。因此,管道的泄漏检测是管廊安全运行的重要保障之一。目前对于管道泄漏的检测方法主要是在管道上安装各类传感器,将传感器采集的数据上传至计算机,并对泄漏情况做出判断。如在管道突然发生泄漏时,由于泄漏,该部位会产生向上下游传播的减压波,称之为负压波。由放置在两端的压力传感器接收到负压波,就可以判断泄漏,并通过计算管道两端

压力传感器接收到负压波的时间差,就可以对泄漏点进行定位。然而这种方法的检测对象非常局限,仅适用于长直管道,对于微小缺陷的检测也存在一定的问题^[2-3]。除在管道上设置各类传感器外,也可通过在管道外壁设置电缆进行泄漏检测,电缆法的精度高,检测效果好。但电缆法缺点是造价高且不可重复利用^[4]。

对于管道泄漏检测方法,专家学者们已做出了大量研究。针对传统声波法对输气管道泄漏的定位精度不高及干扰因素较多等问题,郑晓亮等^[5]提出了一种线性阵列两部定位法,该方法在干扰较小的情况下定位误差率可达到小于 1%。赵越等^[6]提出一种基于 EEMD 的压力管道泄漏声

收稿日期:2022-03-02

* 基金项目:国家重点研发计划(2018YFB2100903)、科技部创新方法工作专项(2020IM020800)资助

源定位方法,实验证明该方法可有效去除泄露信号中的噪声,提高声源定位精度。张梅等^[7]利用广义互相关法计算相邻传感器节点间的时延,结合定位模型提出管道泄漏的次声源定位算法,任武昆^[8]基于对次声波的检测实现了对油井套管缺陷的检测,谭建勇^[9]采用声波检测技术完成了对供水管道的泄漏检测与定位。

传统管道泄漏检测方法的特点是传感器位置固定且分散,造成检测设备的灵活性不足,信息的交互性较差。分散性设备也会加大设备维护人员的工作量,并且管廊中复杂的环境也会对巡检人员的健康造成威胁^[10]。因此利用巡检机器人搭载检测设备对管道泄漏实时监测成为推进管廊自动化、智能化运行的重要方法^[11]。

目前我国对巡检机器人的研究也有了一定发展,如李新海等^[12]通过集成应用挂轨行驶驱动技术、巡检定位技术、自动采集信息技术、红外防撞技术、直流载波通信技术等关键技术研制了变电站挂轨机器人智能巡检系统。李昌等^[13]将深度学习的 SSD 目标定位方法和电力机器人作业进行结合,使机器人能够对故障位置进行精准定位。范李平等^[14]针对传统变电站开关室巡检困难问题,设计了一种悬挂式轨道机器人,较好地解决了开关室巡视困难、效率低下等问题。Miro 等^[15]设计了一种金属管道剩余壁厚的自动检测机器人,其检测通过机器人的无损检测传感功能实现。本文提出一种将管道泄漏检测装置搭载至挂轨式机器人的设计方案,避免了陆地式巡检机器人因地面环境限制而产生的影响,同时促进管廊智能化管理。

1 整体结构设计

本文所设计的挂轨式管道泄漏检测机器人整体系统结构如图 1 所示。

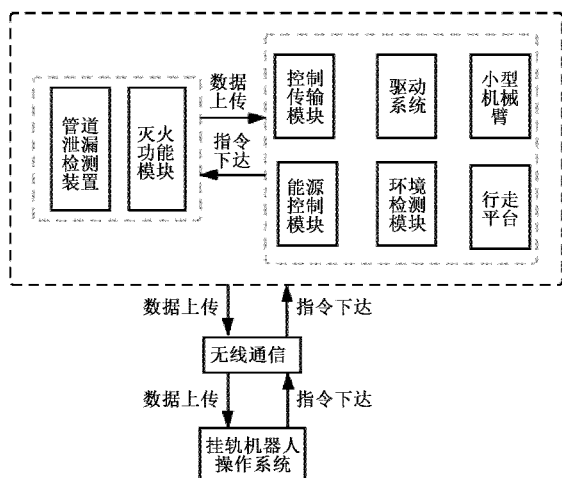


图 1 机器人整体系统结构

挂轨巡检机器人的主要部件包括机器人行走平台、机器人控制系统、检测系统、机械臂、能源系统。机器人行走平台主要包含驱动装置和车体;作为机器人控制中心,其核

心控制系统包含驱动控制系统、定位系统、网络传输系统以及数据采集处理。STM32F103 微处理器的特点是速度快、性能高并且成本较低,故将其应用于本设计,作为主要控制单元。机器人检测系统主要包含温湿度传感器、可见光、气体传感器、声音传感器,其中声音传感器用于管道泄漏的检测;能源控制模块经控制转换交流电后,为控制系统提供可用的直流电。机器人结构实物如图 2 所示。

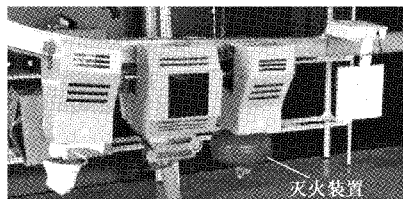


图 2 机器人结构实物图

其中驱动装置位于中间部分,同时联动左右两部分。左侧部分搭载图像检测模块以及红外摄像头,通过图像检测识别要检测的管道。中间部分通过控制机械臂运动,使泄漏检测装置移动至检测位置,进行泄漏检测。为了保障安全,右侧车体设计了灭火装置,如图 2 所示。

2 行走平台设计

机器人行走平台基于悬挂式轨道设计,包括了轨道、驱动装置、车体、升降平台;如图 3 为机器人行走平台结构三维图示。

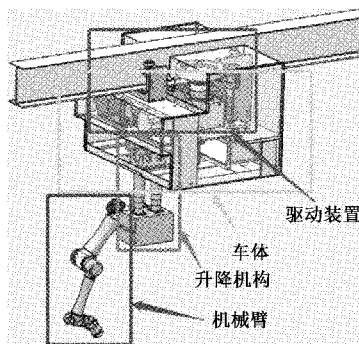


图 3 机器人行走平台三维图

机器人由电机驱动行走,行走速度 0~1.2 m/s 连续可调,坡道采用在轨道上镶嵌爬升装置,满足大角度爬坡。RGV 选用两个独立伺服减速电机作为驱动电机。驱动轮选用聚氨酯材料,同时驱动轮系统通过弹性对夹的形式,为机器人驱动系统提供足够的摩擦力。对于电机驱动器,L298N 性能稳定且操作简单,较适用于机器人的设计。本设计即选用 L298N 作为电机驱动。机器人运动控制系统设计原理如图 4 所示。

由图 4 可知,主控单元由无线通讯与上位机连接,主控单元接收控制命令后,对 L298N 发送信号驱动电机运行,通过电机编码器反馈,控制单元改变 PWM 调整转速。

机器人沿轨道行驶,通过编码器进行里程计算,并通过

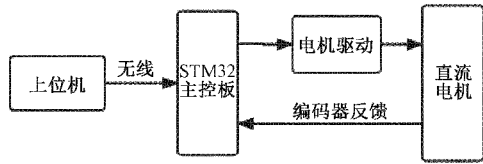


图 4 机器人运动控制系统

在机器人工作路径的特定地点预先设置的二维条码对编码器计算进行校准,实现机器人的定位导航。如图 5 为机器人定位原理图。

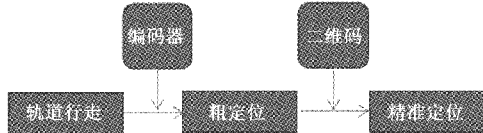


图 5 机器人定位原理

3 泄漏检测系统设计

在管道发生泄漏时会使得管壁发生振动,检测系统通过检测振动所产生的声音信号,即可实现对管道泄漏的检测和定位。在机器人上搭载基于 MIC 声音传感器的智能空气声呐系统,空气声呐工作时可以实时采集受检测管道中的声音,并在后台进行实时声纹比对分析,当检测到异常声音时,系统会在后台实时报警,结合机器人的位置信息则可以快速确定异常位置,并可从后台实时监听现场的声音信息,进行快速排查。系统工作原理如图 6 所示。

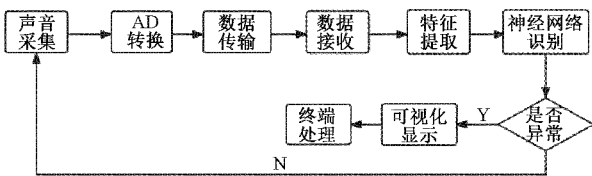


图 6 声音监测原理

受监测管道环境噪声经声呐模块的声传感器采集、AD 转换,经由网络传输,经过光纤传输,将现场音频传送到后台主机并进行频谱分析以及特征量的提取,通过神经网络对所接收特征数据进行识别,判断现场管道环境噪声状态,同时监控主机针对判定结果给出相应处理措施。其中声音采集的流程如图 7 所示,空气声呐对 MIC 采集的声音信号进行预处理以及 A/D 转换后由 MCU 进行采集传输,经由网络发送至后台监控服务器端,在后端可以进行实时存储。

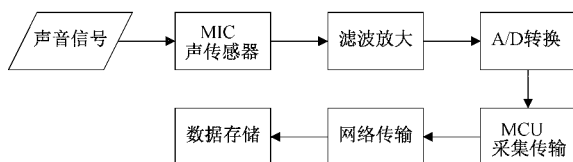


图 7 采集存储流程

4 实验测试与结果分析

图 8 为对机器人行走平台运行稳定性的现场测试图,经过测试,机器人行走速度可达到 0~1.2 m/s 连续可调,定位精度在±20 mm,爬坡能力 10°,并可对机械臂实现远程操作,测试过程机器人运行稳定,满足实际巡检要求。

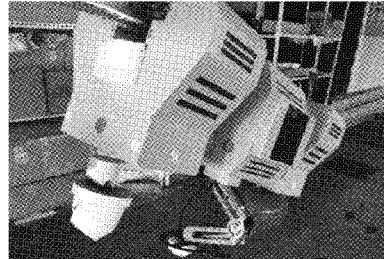


图 8 机器人现场运行图

管道泄漏检测系统实验平台包括管道系统和泄漏检测系统,其中管道系统通过在管道中开孔,安装可控泄漏装置实现。如图 9 管道泄漏检测系统,并基于此系统进行模拟实验分析。

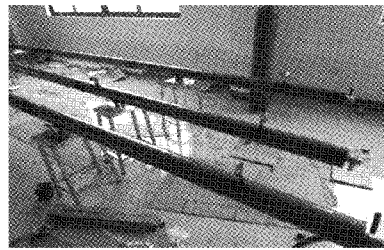
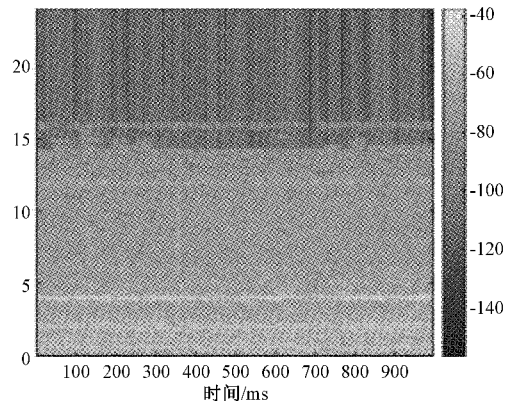


图 9 管道系统组成实物图

图 10 展示了管道设备声音状态正常情况(图 10(a))与发生偏离时(图 10(b))的声纹图对比,圆圈标注的区域则是设备异常时出现的声音分量。可以看出,在设备噪声状态发生明显偏离时,在声纹图上可以清晰捕获偏离所产生的噪声分量。根据此分量的强弱特征可以判断系统声音是否发生异常以及是否需要预警。经过多次测试得到管道泄漏检测系统对于泄漏的检出率达到 93%,定位精度最高达 1.8 m。



(a) 正常状态声纹

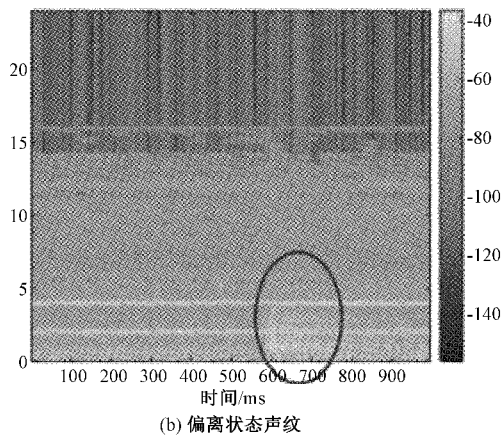


图 10 声音状态对比图

5 结 论

本文提出了一种挂轨式管道泄漏检测机器人设计方案,以 STM32 为控制核心,利用机械臂加声音传感器的方式对管道进行泄漏检测,采用无线传输实时将数据传输给监控主机,并通过实验对机器人运行的稳定性以及泄漏检测装置进行了测试。结果表明,在搭建的实验平台下,本文所设计的机器人已达到实际检测要求。由于实验在搭建平台下完成,故对于真实现场实验需进一步进行测试。

参考文献

- [1] 张骋,阮倩,易琨. 城市地下综合管廊建设发展现状探究[J]. 建筑工人, 2020, 41(10): 6-9.
- [2] 黎晨. 基于声发射信号的管道泄漏检测及定位方法研究[D]. 西安:西安理工大学, 2021.
- [3] 胡月. 基于负压波原理的输油管线泄漏监测技术研究[D]. 长春:长春理工大学, 2016.
- [4] 闫晓瑾. 输气管道泄漏检测技术及其发展趋势[J]. 石油工业技术监督, 2022, 38(1): 42-45.
- [5] 郑晓亮,王强,薛生. 输气管道泄漏的线性阵列两步定

位方法[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(6): 171-178.

- [6] 赵越,赵英亮,王黎明,等. 基于 EEMD 的压力管道泄漏声源定位[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(7): 128-132.
- [7] 张梅,张双双,袁宏永,等. 燃气管道泄漏的次声源定位算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(3): 187-194.
- [8] 任武昆. 基于次声波的油井套管缺陷检测技术研究[D]. 西安:西安石油大学, 2020.
- [9] 谭建勇. 供水管道泄漏检测与定位系统的设计与实现[D]. 南京:南京邮电大学, 2018.
- [10] 张志浩,孙银娟,杨涛,等. 长庆油田小口径管道内检测机器人研究与应用[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(1): 93-97.
- [11] ZHANG H, SHA S, WILLIS C, et al. Feasibility study of pinhole inspection via magnetic flux leakage and hydrostatic testing in oil & gas pipelines[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1043(2): 22-53.
- [12] 李新海,徐宝军,肖星,等. 变电站挂轨机器人智能巡检系统技术研究[J]. 电气传动, 2021, 51(19): 43-49.
- [13] 李昌,朱婷. 地下管廊小型巡检机器人设计研究[J]. 电子制作, 2021(10): 5-7.
- [14] 范李平,熊威,吴喜春,林锋. 一种高压开关室悬挂轨道式智能巡检机器人的设计与应用[J]. 电气开关, 2021, 59(4): 14-18.
- [15] MIRO J V, ULAPANE N, SHI L, et al. Robotic pipeline wall thickness evaluation for dense nondestructive testing inspection[J]. Journal of Field Robotics, 2018, 35(8): 1293-1310.

作者简介

景丽暄,硕士研究生,主要研究方向为电磁检测,仪器与测试。

E-mail: 1443412111@qq.com