

Research on the Composition and Field Application of Explosion-proof Four-wheel Inspection Robot in Chemical Plant

Zhidong Cui

Nanjing North Road Intelligent Control Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211161, China

Abstract

This paper discusses the composition structure, key technology and practical application of chemical plant explosion-proof four-wheel inspection robot and its practical application in chemical plant. Firstly, it introduces the research background and significance of the inspection robot, and then the design principle of its mechanical structure, control system, sensor system and communication and navigation system are expounded in detail. By analyzing the application scenarios of the robot in the practical chemical plant environment, including daily inspection, emergency response and data management, it shows its advantages in improving safety, efficiency and management level. Finally, we summarize the shortcomings of current research and explore future research directions.

Keywords

chemical plant; explosion-proof; four-wheel inspection robot; composition; field application

化工厂防爆四轮巡检机器人的组成及现场应用研究

崔志东

南京北路智控科技股份有限公司, 中国 · 江苏 南京 211161

摘 要

论文深入探讨了化工厂防爆四轮巡检机器人的组成结构、关键技术及其在化工厂中的实际应用。介绍了巡检机器人的研究背景与意义, 详细阐述了其机械结构、控制系统、传感器系统以及通信与导航系统的设计原理。通过分析机器人在实际化工厂环境中的应用场景, 包括日常巡检、应急响应和数据管理等方面, 展示了其在提升安全性、效率和管理水平方面的优势, 总结了当前研究的不足之处, 并展望了未来的研究方向。

关键词

化工厂; 防爆; 四轮巡检机器人; 组成; 现场应用

1 概述

1.1 研究背景与意义

随着化工行业的快速发展, 生产规模不断扩大, 生产过程中涉及的危险因素也日益增多。化工厂作为典型的高危生产环境, 其安全问题尤为重要。传统的人工巡检方式存在效率低、风险高、成本大等问题, 难以满足现代化工企业对安全生产的需求。因此, 研发一种高效、安全、智能的巡检方式成为亟待解决的问题。防爆四轮巡检机器人作为一种新兴的智能化设备, 具有自主导航、实时监测、远程控制等功能, 能够有效替代人工进行危险区域的巡检工作, 提高巡检效率和准确性, 降低安全事故发生率。

1.2 国内外研究现状

目前, 国内外学者和企业对巡检机器人进行了广泛的研究和开发。其他国家在巡检机器人领域起步较早, 技术较为成熟, 已有多种类型的巡检机器人应用于实际场景中。中国虽然起步较晚, 但发展迅速, 特别是在防爆技术领域取得了显著成果。然而, 针对化工厂特殊环境的防爆四轮巡检机器人研究仍相对较少, 且现有产品在性能、稳定性和适应性方面仍有待提高。

1.3 研究内容与方法

论文主要研究内容包括: ①分析化工厂环境特点及巡检需求; ②设计适用于化工厂的防爆四轮巡检机器人机械结构; ③开发高效的控制系统和传感器系统; ④实现可靠的通信与导航功能; ⑤通过实验验证机器人的性能和应用效果。研究方法采用理论分析与实验相结合的方式, 运用机械设计、电子工程、计算机科学等多学科知识进行综合研究。

【作者简介】崔志东 (1978-), 男, 中国河南新乡人, 本科, 工程师, 从事煤矿及化工机械自动化研究。

2 化工厂防爆四轮巡检机器人的组成结构

2.1 机械结构设计

2.1.1 车体框架

车体框架是巡检机器人的基础支撑结构，需具备足够的强度和刚度以承受各种复杂环境下的应力。考虑到化工厂可能存在的腐蚀性气体和液体，车体材料应选用耐腐蚀性强的不锈钢或经过特殊处理的铝合金，或者是高强度的复合材料，此外，为了适应不同的地面条件，车体底部可设计为可调节高度的结构，以保证机器人在不平坦地面上的稳定性。

2.1.2 驱动系统

驱动系统负责提供机器人的行走和移动的动力。通常由驱动电机、减速器、驱动轴、防静电胶轮等组成。在本设计中，采用四个独立驱动的电动轮作为动力源，每个轮子均由独立的电机控制，可以实现灵活的转向和移动。电机选择防爆型伺服电机，以确保在易燃易爆环境中的安全运行。同时，配备高精度编码器用于速度和位置反馈，保证驱动系统的精准控制。

2.1.3 悬挂系统

悬挂系统对于提高机器人在不同地形上的通过性和稳定性至关重要。本设计采用独立悬挂结构，每个车轮都装有弹簧减震器，可以有效吸收地面震动，减少对车体的冲击。此外，悬挂系统还应具有一定的调节功能，以便根据实际需要调整车身高度和姿态。

2.2 控制系统设计

2.2.1 硬件组成

控制系统的硬件部分主要包括主控制器、电源模块、驱动电路、通信接口等。主控制器选用高性能嵌入式处理器，负责整个系统的运算和控制任务。电源模块采用隔爆型设计，确保在爆炸性环境中的安全供电。驱动电路用于控制电机的运动，而通信接口则负责与其他设备的数据交换。

整车控制器 VCU (Vehicle control unit) 作为新能源车中央控制单元，是整个控制系统的核心。

VCU 采集电机及电池状态 (通常是通过 CAN，或者 CANFD 通讯直接和 BMS，MCU 信号交互)，同时也通过自身的 IO 口，采集加速踏板信号、制动踏板信号、执行器及传感器信号。

根据驾驶员的意图综合分析做出相应判定后，监控下层的各部件控制器的动作，它负责汽车的正常行驶、制动能量回馈、整车驱动系统及动力电池的能量管理、网络管理、故障诊断及处理、车辆状态监控等，从而保证整车在较好的动力性、较高经济性及可靠性状态下正常稳定的工作。

2.2.2 软件架构

软件架构采用模块化设计思想，将整个控制系统分为多个功能模块，包括数据采集模块、数据处理模块、决策控制模块、通信模块等。每个模块之间通过内部总线进行通信，协同完成各项任务。此外，还引入了实时操作系统来管理和

调度各个任务，确保系统的高效运行 (见图 1)。

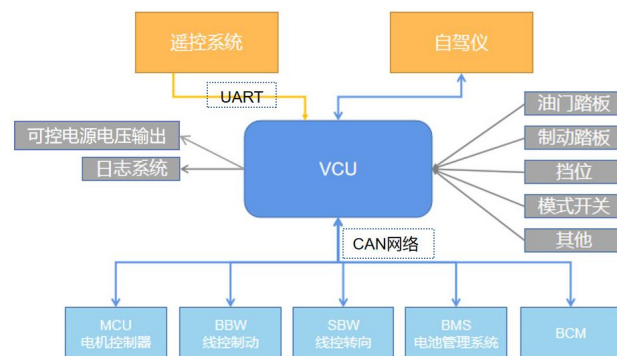


图 1 软件架构

2.3 传感器系统设计

2.3.1 温湿度传感器

温湿度传感器用于监测环境中的温度和湿度变化。这些参数对于评估设备的运行状态和环境条件至关重要。在本设计中，选用高精度的数字式温湿度传感器，并将其安装在机器人顶部易于空气流通的位置，以提高测量准确性。

2.3.2 气体检测传感器

气体检测传感器用于检测空气中的有害气体浓度，如可燃气体、有毒气体等。这些传感器能够及时发现潜在的安全隐患，为预防事故提供重要依据。本设计中采用的是电化学原理的气体传感器，具有灵敏度高、响应快的特点。

2.3.3 视觉传感器

视觉传感器主要用于图像识别和视频监控，可以帮助管理人员远程查看现场情况。在本设计中，选用高分辨率的工业相机作为视觉传感器，并配备红外补光装置，以便在光线不足的情况下也能获得清晰的图像。

2.3.4 自动充电组件

本设计采用非接触式充电技术。部分自动充电装置采用无线充电技术，通过电磁感应原理实现能量传输，避免了物理接触可能带来的安全隐患。这种非接触式充电方式不仅提高了充电安全性，还减少了接口损坏和设备故障率，大大提高了使用寿命。

2.4 通信与导航系统设计

2.4.1 无线通信模块

无线通信模块负责实现机器人与上位机或其他设备之间的数据传输。本设计采用的是 Wi-Fi 和蓝牙双模通信方式，既保证了高速率的数据传输，又兼顾了短距离的便捷连接。同时，通信模块还需具备抗干扰能力强的特点，以应对复杂的工业环境。

2.4.2 GPS 定位模块

GPS 定位模块用于获取机器人当前的位置信息。通过集成全球定位系统接收机，可以实现室外环境下的精确定位。但在室内或信号不佳的区域，则需要结合其他定位技术 (如惯性导航) 来辅助确定位置。

2.4.3 激光雷达导航

激光雷达是一种先进的测距技术，通过发射激光束并接收反射回来的信号来计算目标物体的距离和方位。在本设计中，激光雷达主要用于构建环境地图和避障导航。结合SLAM算法，可以实现机器人在未知环境中的自主定位和路径规划。

3 化工厂防爆四轮巡检机器人的关键技术

3.1 防爆技术

防爆技术是确保巡检机器人在化工厂等易燃易爆环境中安全运行的关键。这包括但不限于以下几个方面：

本质安全设计：从源头上避免产生火花或高温，例如使用无火花电机、低电压电路、本质安全型设计等。

隔爆型外壳：对于可能产生火花的设备，如电池、传感器等，采用隔爆型外壳封装，即使内部发生爆炸也不会影响外部环境。

防静电措施：所有外露的非金属部件均需采用阻燃防静电材料，避免静电积累引发火花。

3.2 自主导航与定位技术

自主导航与定位技术使巡检机器人能够在无人干预的情况下完成预定路线的巡检任务。关键技术包括：

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)：同步定位与地图构建技术，允许机器人在未知环境中边移动边绘制地图，并在此过程中不断更新自身位置。在化工厂中SLAM技术能够帮助机器人精确感知周围环境，包括设备布局、障碍物位置等，从而规划出最优路径。

路径规划：基于地图信息，先进的路径规划算法能够考虑多种因素，机器人的运动能力、环境约束以及任务优先级等，以确保机器人能够安全、高效地完成巡检任务。

多传感器融合：整合激光雷达、超声波传感器、摄像头、红外热成像等多种传感器数据，提高定位精度和环境感知能力。

3.3 数据处理与分析技术

数据处理与分析技术用于解析传感器采集到的信息，并做出相应的判断和决策。关键技术包括：

机器学习算法：训练模型识别异常模式，如温度突变、气体泄漏等，从而实现早期预警。

大数据分析：收集历史数据进行分析，找出潜在的规律和趋势，为优化巡检策略提供依据。

云计算平台：借助云端强大的计算能力和存储资源，实现数据的远程处理和备份。

4 化工厂防爆四轮巡检机器人的现场应用

4.1 应用场景分析

4.1.1 日常巡检应用

在日常巡检中，防爆四轮巡检机器人可以按照预设的

时间表自动执行巡检任务，覆盖生产线、储存区、装卸区等多个区域。机器人能够检测温湿度、气体浓度等关键指标，并将数据实时传输回控制中心。此外，还可以利用视觉传感器记录现场图像和视频，供后续审查使用。

4.1.2 应急响应应用

当发生紧急情况时，如火灾、泄漏等，巡检机器人可以迅速响应，前往事故现场进行侦查。通过搭载的热成像仪、烟雾探测器等专用设备，机器人可以在恶劣条件下工作，帮助救援人员了解现场状况，制定救援方案。

4.1.3 数据管理与分析应用

搭载红外热成像仪、高清摄像头等传感器的巡检机器人能够全面检测设备状态，捕捉微小变化，智能识别设备信息，提供准确的巡检报告。此外，机器人还能够通过图像建模识别技术和机器深度学习算法，准确识别现场各种数字、指针仪表、阀门、液位计等设备状态。

通过对巡检数据的长期积累和分析，可以发现设备运行中的潜在问题，预测故障发生的概率。结合历史维修记录和维护周期，可以制定更加科学合理的维护计划，延长设备使用寿命，降低运营成本。

4.2 应用案例研究

在石油化工行业中，巡检机器人被广泛应用于油罐区、反应器、管道等关键设备的巡检。例如，在某老牌A股化工企业的制氯厂中，巡检机器人承担起“巡检员”的重要角色，负责对设备仪表和生产环境进行全面巡检。通过前期建模、拍照识别、气体检测和后台设定，机器人能够完成所有人工巡检内容，有效减少因人员误操作、违规违章操作和经验不足造成的安全隐患。

在化工园区中，巡检机器人能够实现对园区各个监控点的自主巡逻和对特定目标的检测和识别。例如，在某甲醇厂投入使用后，防爆轮式巡检机器人采用5G通讯技术，融合了驱动控制、SLAM、自主避障、智能识别、远程交互等关键技术，使甲醇厂重点、关键的危险化工工段实现了无人巡检

经过一段时间的应用后，取得了以下成效：

提高了巡检效率：相比传统人工巡检方式，机器人每天可完成多次全面巡检，大幅缩短了巡检周期。

增强了安全保障：机器人能够在高温、高压、有毒有害等极端环境下稳定工作，减少了人员伤亡风险。

降低了运营成本：长期来看，机器人的引入减少了人力成本支出，并且由于及时发现并处理问题，避免了因事故造成的更大损失。

4.3 面临的挑战与解决方案

尽管防爆四轮巡检机器人在化工厂中的应用前景广阔，但仍面临一些挑战：

环境适应性：化工厂环境复杂多变，如何确保机器人在各种恶劣条件下都能正常工作是一个难题。解决这一问题

需要不断优化机械结构和防护措施，同时加强传感器的选择和布局。

通信稳定性：在大型厂区内，无线信号可能会受到干扰或遮挡，影响数据传输质量。为此，可以采用多跳路由技术增强信号覆盖范围，或者部署专用的网络基础设施。

维护成本高：机器人的日常维护和故障修复需要专业技术人员进行操作，增加了企业的运营负担。通过建立标准化的操作流程和培训体系，可以提高维修效率，降低维护难度。

5 结论与展望

5.1 研究结论

论文详细介绍了化工厂防爆四轮巡检机器人的组成结构及其关键技术，并对其在现场的应用情况进行了分析。研究表明，这种新型的巡检方式不仅能够提高巡检效率和质量，还能有效保障人员安全，降低运营成本。然而，要充分发挥其优势，还需要克服一系列技术和管理上的挑战。

5.2 未来发展方向

未来的研究可以从以下几个方面展开：

①**智能化升级：**进一步集成人工智能技术，提升机器人自主决策的能力。

②**功能集成：**除了基本的巡检功能外，还可以考虑增加消防灭火、物资运输等功能模块。

③**网络化协同：**构建多机器人协同作业系统，实现更大规模的自动化巡检网络。

④**标准化建设：**推动行业内外的标准制定工作，促进产品的规范化生产和广泛应用。

参考文献

- [1] 赵克全,陈殿阁,王磊,等.化工场所防爆特种机器人[J].化工安全环境,2018,314(6):47-50.
- [2] 杨俊勇.智能巡检机器人系统在带式输送故障识别中设计应用[J].机械研究与应用,2023,36(2):108-110+114.
- [3] 张万里,高贵军.巡检机器人2自由度弹性缓冲机构的设计与研究[J].煤炭技术.2024,43(11):232-237.