

基于红外感应的廊道空调智能启停控制系统设计与实现

罗馥成

珠海市国际货柜码头（高栏）有限公司，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ERA.2026080015

摘 要： 针对港口码头廊道空调长期连续运行造成电能浪费、设备损耗大的问题，设计基于红外感应的智能启停控制系统。系统以人体红外传感器为核心，通过信号采集与逻辑判断，实现有人自动开空调、无人延时关闭。硬件采用工业级器件，程序模块化设计，具备手动自动切换、延时保护、故障自检等功能。系统融合成熟传感器应用与能量管理理念，实际应用可显著降低能耗、延长设备寿命，经济性与可靠性良好。

关 键 词： 红外感应；廊道空调；智能控制

Design and Implementation of Intelligent Start Stop Control System for Corridor Air Conditioning Based on Infrared Sensing

Luo Yucheng

Zhuhai International Container Terminal (Gaolan) Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： In response to the problems of energy waste and equipment loss caused by long-term continuous operation of air conditioning in port and dock corridors, an intelligent start stop control system based on infrared induction is designed. The system is centered around human infrared sensors, and through signal acquisition and logical judgment, it achieves automatic air conditioning on by someone and delayed shutdown by no one. The hardware adopts industrial grade components, with modular program design, and functions such as manual automatic switching, delay protection, and fault self checking. The system integrates mature sensor applications and energy management concepts, which can significantly reduce energy consumption and extend equipment life in practical applications, with good economy and reliability.

Keywords： infrared sensing; corridor air conditioning; intelligent control

引言

港口码头廊道空调长期连续运行，虽保障环境舒适，但造成严重电能浪费与设备加速老化。现有手动或定时控制难以匹配人员通行规律，无法实现按需供冷供热。红外感应技术检测精准、响应快、抗干扰强，已广泛应用于自动控制领域。将该技术用于廊道空调控制，可实时感知人员活动，使空调运行与需求匹配。结合港口设备改造中传感器应用与信号处理经验，设计适配港口环境的智能启停控制系统，对提升运行效率、降低运营成本具有重要意义。

一、系统总体设计

（一）该项目概述

项目借鉴了“4台 RTG 电池更换”与“龙吊称重超负荷计量及防吊起保护系统”两个项目的港口机电改造经验，针对廊道环境设计红外感应空调智能启停系统，实现按需供冷、节能降耗，并满足海洋性气候下的电气工艺与安全验收要求。

（二）设计目标与原则

本系统以节能降耗为核心，借助红外感应技术让廊道空调按需运行，减少无人时段空转损耗。系统可在人员进入感应区域后自动开启空调，人员离开后延时关闭，延时参数可灵活调整，同时支持手动与自动两种模式，满足特殊场景操作需求。控制装置

具备稳定抗干扰性能，可避免误触发引发的频繁启停，硬件适配港口盐雾、潮湿等复杂环境，保障长期稳定运行。系统遵循简洁实用、可靠耐用、便于维护的原则，以核心功能为导向，选用工业级成熟器件，搭配清晰的控制逻辑与模块化结构，便于故障排查与部件更换，维持整体高效运转。

（三）系统架构与工作流程

该系统由红外感应、信号处理、逻辑控制、执行与供电五大模块组成，各模块协同完成空调智能控制。红外感应模块监测人员活动并转换信号，信号处理模块过滤干扰并提取有效信息，逻辑控制模块依据预设参数判定启停时机，执行模块通过继电器调控空调电源，供电模块为系统提供稳定电力支撑。系统持续监测区域内人员状态，检测到人员时即刻启动空调，人员离开后进入

延时等待,延时无人员活动则关闭设备,检测到人员再次进入便重置计时,保障使用连续性与节能效果。

(四) 关键技术参数

系统关键技术参数结合廊道使用需求与设备运行特性进行设定。感应范围可覆盖宽度三米长度十米的廊道区域,人员进入入口便能及时触发。感应响应时间不超过零点五秒,空调启动不会出现明显滞后。延时关闭时间默认为五分钟,可随季节与使用频率在一到十五分钟之间调整。控制输出使用十安二百五十伏触点容量的继电器,能够满足常规空调的电源通断需求。系统工作温度在零下十摄氏度到五十五摄氏度之间,防护等级达到 IP54,可适应港口环境并实现防尘防潮^[1]。

二、硬件系统设计与选型

(一) 红外感应模块选型与设计

红外感应模块选用被动式热释电红外传感器作为核心检测元件,通过检测人体发射的红外线变化判断人员活动,具有功耗低、响应快、成本适中的优点。敏感元件采用双元或四元结构,可有效区分人体移动与环境温度变化,减少误触发。感应透镜选用菲涅尔透镜,将红外能量聚焦至敏感元件,并通过分区设计形成多个明暗交替的感应区,便于后续电路识别。

针对港口廊道存在的温度变化、气流扰动等干扰,模块增加温度补偿电路与带通滤波电路。温度补偿电路根据环境温度自动调整感应灵敏度,滤波电路抑制电磁干扰与机械振动带来的噪声信号,提升系统在复杂环境下的稳定性。

(二) 逻辑控制模块设计

逻辑控制模块选用工业级微控制器作为核心处理器,该器件具备低功耗、高抗干扰、丰富输入输出接口等特性。微控制器内部集成定时器、中断控制器、模数转换器等外设资源,无需额外扩展即可满足系统控制需求。控制程序固化于微控制器内部存储器,上电后自动运行,无需外部存储器件。

控制模块外围电路包括信号输入接口、延时设定接口、模式选择接口与输出驱动接口。信号输入接口接收红外感应模块输出的触发信号,经光耦隔离后送入微控制器,实现强弱电隔离,提高系统可靠性。延时设定接口采用多档位拨码开关,用户可根据实际需要选择延时时间,微控制器读取拨码开关状态后确定延时参数。模式选择接口提供手动/自动切换功能,手动模式下空调持续运行或持续关闭,自动模式下按感应逻辑运行。输出驱动接口接收微控制器发出的控制指令,驱动执行继电器动作^[2]。

(三) 执行模块与供电模块

执行模块选用小型电磁继电器作为开关执行元件,继电器触点容量满足空调压缩机与风机启动电流需求。继电器线圈由逻辑控制模块驱动,驱动电路采用晶体管加续流二极管的设计,防止继电器断电时产生的反向感应电动势损坏驱动器件。继电器输出端配置阻容吸收电路,减少触点通断时产生的电弧,延长继电器使用寿命。

供电模块采用开关电源方案,将现场交流 220V 电源转换为直

流 12V 与 5V,分别为红外感应模块、逻辑控制模块、执行模块提供工作电源。开关电源选用工业级产品,具备过压保护、过流保护、短路保护功能,输入电压范围覆盖交流 180V 至 264V,适应电网电压波动。电源输入端配置滤波器与压敏电阻,抑制电网瞬态过电压与高频干扰,保证控制电路稳定工作。

(四) 硬件可靠性设计

借鉴港口起重设备称重超负荷保护系统中传感器选型与防护设计的经验,本系统硬件设计充分考虑了港口环境的特殊性。所有电路板均进行三防涂覆处理,防潮、防盐雾、防霉菌,适应高湿度与盐雾环境。接线端子选用防腐型产品,电缆进出口采用防水接头密封,防止水分侵入。控制箱体选用不锈钢材质,厚度不小于 1.5 毫米,具备良好的耐腐蚀性能与机械强度。箱体结构设计为防雨型,箱门加装密封条,防护等级达到 IP55 标准。内部布线采用耐高温阻燃电缆,电缆芯线预留余量,端子处加装号码管标识,便于检修与维护^[3]。

三、软件系统设计与实现

(一) 控制程序设计思路

控制程序设计遵循模块化、结构化原则,将系统功能划分为若干独立功能模块,各模块间通过明确接口进行数据交换。主程序负责系统初始化与循环调度,定时中断服务程序负责感应信号采集与计时管理,外部中断服务程序负责处理模式切换等突发操作。程序逻辑力求简洁明了,避免复杂嵌套与循环,便于调试与维护。

借鉴锂电池动力系统电池管理单元对状态监测与逻辑判断的设计思想,控制程序采用了状态机架构,将系统工作状态划分为待机状态、启动状态、运行状态、延时等待状态、关闭状态等若干状态,各状态间的转移条件由感应信号与延时参数共同决定。状态机架构使控制逻辑清晰直观,便于故障定位与功能扩展。

(二) 核心控制逻辑

核心控制逻辑以人员检测和延时判断为基础。程序启动后先完成系统初始化,再进入待机模式。待机时系统持续监测红外感应信号,检测到有效触发就切换为启动状态并开启空调,同时启动延时计时。空调运行中持续监测人员活动,保持运行并重置计时。人员离开后进入延时等待,期间检测到人员就恢复运行并重新计时,延时结束无人员则关闭空调并回到待机。系统会在复位或切换模式时读取延时参数并转换存储。手动模式优先级更高,启用后直接通过手动操作控制空调启停,满足检修与特殊场景使用。

(三) 抗干扰与故障处理

针对港口复杂电磁环境与多干扰源问题,控制程序设置多重抗干扰措施。感应信号采集采用连续多次采样多数判决,仅多次结果一致才判定有效触发,规避瞬时干扰误动作。延时计时用定时器中断累加,不受主程序周期影响,保障计时精准。看门狗定时器定期监控,程序受干扰跑飞或死锁时,可自动复位系统恢复正常运行。

故障处理机制包括传感器故障检测、执行器故障检测与自恢复功能。程序监测红外感应模块输出信号的合理性，当信号长时间处于异常状态时，系统自动切换至定时运行模式，按预设时间表启停空调，并点亮故障指示灯。执行器驱动回路配置过流检测，当继电器驱动电流异常时，系统自动切断输出并报警。所有故障信息均通过指示灯编码方式输出，便于维修人员快速判断故障类型^[4]。

（四）数据记录与接口预留

为便于后期能耗分析与系统优化，程序增加了运行数据记录功能。系统实时记录空调累计运行时间、每日启停次数、感应触发频次等信息，存储于微控制器内部非易失存储器中，掉电后数据不丢失。管理人员可通过专用接口读取记录数据，分析廊道人员通行规律与空调能耗情况，为进一步节能优化提供数据支撑。

参照龙吊称重系统预留精密计量接口的做法，本系统预留了远程监控接口。接口采用标准 RS485 通信协议，支持与港口设备管理系统或楼宇自动化系统对接。通过远程接口可实现系统运行状态监测、控制参数修改、故障报警接收等功能，为后续智能化升级奠定基础。

四、系统安装调试与应用效果

（一）安装部署要点

系统安装遵循安全规范与实用原则。红外感应模块安装于廊道入口与主要通道的顶部或侧壁，安装高度距地面 2.5 米至 3 米，感应面朝向人员通行方向，避免阳光直射或强光源干扰。感应模块与空调控制箱之间采用屏蔽电缆连接，电缆穿金属管敷设，减少电磁干扰。控制箱安装于便于检修的位置，箱体可靠接地，进出线口加装防水接头。

借鉴龙吊保护系统安装调试中对码头繁忙程度与作业连续性的考量，本系统安装过程力求快捷高效，避免长时间影响廊道正常使用。安装作业安排在廊道使用低峰时段进行，单台系统安装调试时间控制在 4 小时内。安装前完成控制箱预组装与程序烧录，现场仅进行感应模块固定、电缆敷设、控制箱安装与功能测试，最大限度压缩现场作业时间。

（二）调试方法与步骤

系统调试分为硬件测试、功能验证与参数整定三个阶段。硬件测试阶段检查各模块供电电压是否正常、接线是否正确、继电器动作是否可靠、感应模块输出信号是否稳定。功能验证阶段模

拟人员进入、停留、离开等典型场景，观察空调启停响应是否符合预期，延时功能是否准确。参数整定阶段根据廊道实际使用情况调整感应灵敏度与延时时间，避免感应盲区或过度灵敏，确保系统稳定可靠运行^[5]。

调试过程中使用便携式测试仪器监测感应信号波形与继电器动作时序。信号波形分析可判断感应模块工作状态是否正常，继电器动作时序验证控制逻辑是否符合设计要求。针对可能出现的误触发或漏触发情况，调整感应模块安装角度与灵敏度设定，必要时增加感应模块数量，实现廊道全覆盖检测。

（三）应用效果分析

系统在港口码头廊道应用后，经运行数据监测分析，智能控制使空调日均运行时长从 24 小时降至 8 小时，节能率超 60%。单台空调年节电费用超 1.4 万元。压缩机启停次数略有增加，但总运行时长大幅减少，设备损耗显著下降，使用寿命可延长 2 至 3 年。

系统运行稳定性方面，连续运行三个月期间，未发生因误触发导致的空调误动作，感应盲区漏触发次数控制在 1% 以内，达到设计要求。延时时间设定为 5 分钟，可满足人员正常通行与短时停留需求，同时避免空调频繁启停。手动模式在设备检修期间发挥了良好作用，检修人员可方便地将系统切换至手动状态，检修结束后恢复自动运行。

借鉴锂电池项目中关于故障率与可靠性的考核指标，对本系统运行可靠性进行了评估。三个月运行期内，单套系统硬件与软件故障发生次数为零，系统平均无故障工作时间达到设计要求。感应灵敏度未出现明显漂移，无需频繁校准，维护工作量大幅降低。管理人员反映，系统投入使用后，无需人工干预即可实现廊道空调合理运行，既保证了廊道内温度舒适性，又避免了能源浪费。

五、结束语

基于红外感应的廊道空调智能启停控制系统，结合红外感应与自动控制技术，实现空调与人员活动联动响应。系统采用工业级硬件与模块化程序，具备手动自动切换、延时可调、故障自检等功能。针对港口高湿、盐雾、粉尘环境优化设计，可靠性与适应性强。实际应用节能显著，可延长设备寿命、降低维护量，投资低、回收期短，经济性与推广价值良好。未来可融合多传感器信息，拓展温控与照明联动，提升港口运行效率与节能水平。

参考文献

- [1] 王志华, 刘泉洲, 李志逢. 智慧眼感应在智能空调中的设计与实现 [J]. 日用电器, 2022(9): 52-55.
- [2] 刘珊珊. 教室智能空调节能控制系统设计 [J]. 低碳世界, 2023, 13(12): 79-81.
- [3] 李功捷, 张嘉佳, 胡定康, 等. 基于 STM32 的卧室空调智能控制系统设计 [J]. 科技创新与应用, 2024, 14(23): 120-124.
- [4] 高艺. 医院中央空调系统冷却塔节能优化和智能控制研究 [J]. 节能, 2020, 39(9): 1-4.
- [5] 王华秋, 谭佳豪. 多尺度通道注意力机制空调启停时间预测研究 [J]. 重庆理工大学学报, 2025, 39(5): 66-74.