

# 小型压制去污喷洒机控制系统设计

马新宝, 李 坚, 吴中坚, 谢薇薇

(61489 部队, 河南 洛阳 471023)

**摘要:** 针对核应急救援中狭窄区域放射性污染压制去污作业困难、存在较大安全隐患等问题, 开展了小型压制去污喷洒机改进技术研究, 对喷洒机控制系统进行了优化设计; 系统以 PLC 为控制核心, 以触控屏为现场控制终端, 进行了汽油机启停控制改装, 重点解决了汽油机状态信号采集技术难题, 介绍了总体电路设计情况; 采用单步执行的方式对控制系统进行了试验测试, 试验结果表明, 系统启停正常、状态指示准确、人机界面友好、易于操作使用。

**关键词:** 核应急; 喷洒机; 控制系统; 压制去污; PLC

## Design of Control System for Small Decontamination Spraying Machine

Ma Xinbao, Li Jian, Wu Zhongjian, Xie Weiwei

(Troops 61489, PLA, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of the difficulty of decontamination of radioactive pollution in the narrow areas and the existence of great security hidden dangers during nuclear emergency rescue, the research on the improvement of small decontamination spraying machine is carried out, and the control system of spraying machine is optimized. The system is controlled by PLC and uses the touch screen as the site control terminal. After modifying the control of the petrol engine, the signal acquisition of gasoline engine is emphatically solved, and the overall circuit design is introduced. The control system is tested by single step, and the experimental results show that the system is operating normally with accurate status display, and the man-machine interface is friendly and easy to use.

**Keywords:** nuclear emergency; small spraying machine; control system; decontamination; PLC

## 0 引言

核武库、核电站等重要场所因袭击或事故出现核泄漏、核扩散等突发事件时, 需要立即采取措施, 防止核污染的蔓延<sup>[1]</sup>。核应急<sup>[2]</sup>压制去污的目的就是通过有效措施, 快速实现事故中沾染人员、设备和物资的放射性污染消除, 控制高辐射放射性污染大面积扩散, 并最终实现现场污染的控制和消除, 恢复环境安全<sup>[3]</sup>。压制去污喷洒机/车是用于核应急救援的专用特种设备, 它可将压制去污剂喷洒在介质表面, 有效压制、吸附包埋放射性颗粒并形成具有一定机械力学性能的膜体<sup>[4]</sup>, 可有效抑制放射性污染物随近地表空气传播, 为救援人员及设备的进入开辟快速通道。

在实际应用中, 核应急压制去污喷洒车以作业面积大、范围广、效率高等优点在综合处置演练中取得了良好的效果<sup>[5]</sup>。但是, 对于狭窄区域如人行便道、洞库、坑道、体育场馆、建筑物内部地面和墙壁等小范围内的压制去污则显得无能为力。为此, 研制了一种小型压制去污喷洒机, 填补了原有系统的功能缺失。本文主要对该喷洒机的控制系统设计进行详细阐述。

## 1 总体结构及原理

### 1.1 系统工作原理

喷洒机基本工作原理是通过专用泵将特种材料喷洒到指定区域, 实现核事故现场的放射性沉降物和气溶胶的快速压制和固定。模拟汽车工作原理, 对喷洒机进行了结构设计, 选用汽油机作为能量输出设备, 并在泵的连接端安装离合器, 实现了

作业过程的流畅控制, 工作原理如图 1 所示。该装备的使用需要两名操作人员配合完成, 第一操作员负责控制系统操作和喷洒机行驶, 第二操作员负责现场作业。整个作业过程可分为作业准备、喷洒作业、撤收装备、清洗入库 4 个过程。

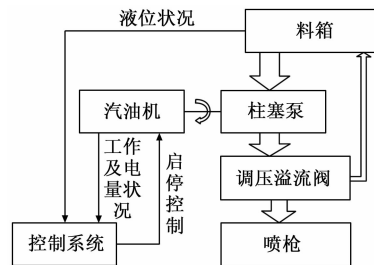


图 1 喷洒机工作原理

### 1.2 系统结构设计

喷洒机总体结构如图 2 所示, 包括: 料箱、陶瓷柱塞泵、汽油机、控制面板、高压胶管及绞盘等。料箱上部设置有进料口, 用于加注液料, 在接近料箱顶部和底部的位置安装有液位传感器, 可监测液料使用情况, 并提供报警信息。选用陶瓷柱塞泵为喷洒泵, 该泵适用于输送具有一定粘度的流体, 设备磨损小、使用时间长、便于清洗和保养。汽油机为喷洒作业提供动力, 使用皮带与陶瓷柱塞泵连接, 为方便操作及监视, 对汽油机启停控制和状态反馈进行了改造, 使用控制面板的触控屏代替汽油机启动钥匙, 实现了机械控制向电气控制的转换。控制面板内嵌在箱体上, 对作业过程进行集中监视与控制。高压胶管及绞盘用于喷洒管路的快速展开与回收, 可显著缩短作业准备时间, 大幅提升作业效率, 胶管头部安装有快速接头, 作业时直接与喷枪连接。

收稿日期: 2017-09-30; 修回日期: 2017-10-30。

作者简介: 马新宝 (1983-), 男, 河南濮阳人, 硕士, 工程师, 主要从事电气控制及自动化方向的研究。

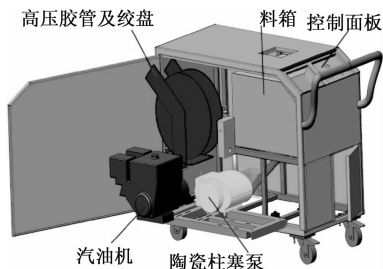


图 2 喷洒机总体结构图

## 2 控制系统硬件设计

喷洒机系统整体结构复杂，有多个被控对象，对控制逻辑和控制可靠性有较高要求，因此本系统采用 PLC 与触控屏相结合的控制方式。控制系统的硬件结构框图如图 3 所示。控制系统除了 PLC 和触控屏外，还包括继电器模块和外围部件。

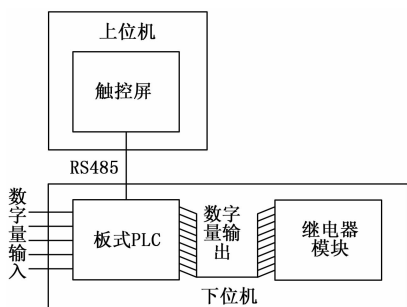


图 3 控制系统结构框图

本系统中，触控屏选用深圳步科公司的 MT5323T 为上位机，与 PLC 使用 RS485 通信接口连接，按 Modbus RTU 协议通信<sup>[6]</sup>。该触控屏显示尺寸 5.7"，32-bit 520 MHz RISC CPU，16 M FLASH+32 MSDRAM 存储空间，2 个 COM 通信口。PLC 选用一种集成型小型板式 PLC，型号为 FX1S-14MR，共有 14 个点，其中 8 个输入点、6 个继电器输出点。继电器模块带有 4 路输出，输出模式为 24 V，10 A，用于增强 PLC 的输出驱动能力<sup>[7]</sup>。外围部件包括：液位传感器、信号采集模块、供电电源和开关等。液位传感器选用鸭嘴式浮球开关，适用于一定粘度流体的液位监测，是一种结构简单、安全可靠的液位控制器件，信号采集模块是专门为汽油机状态采集设计的模块。控制系统硬件设计中，关键工作是汽油机启停控制、汽油机状态采集和总体线路设计。

### 2.1 汽油机启停控制设计

研究汽油机启动钥匙接线原理及启停操作可知，汽油机启停由两个过程组成，即启动和停止。汽油机启动时，需要将启动线与启动电源（12 V DC）持续连接，直到汽油机正常运转，方可将启动线断开。汽油机停止时，只需将停止线与汽油机外壳（外壳与启动电源负极短接）连接。

### 2.2 汽油机状态信号采集电路设计

汽油机状态在喷洒机作业中具有重要作用。首先，汽油机启动过程中，它可以用来判断汽油机是否启动成功，并自动断开启动回路，保护启动电源；其次，为避免汽油机带大负载启动造成故障，离合器需要在汽油机正常运转后吸合，汽油机状态是重要的判断条件。最后，汽油机状态可为操作人员指示设备工作状态，有利于及时发现运行故障，并采取紧急措施，还

可作为后期无人化升级的重要依据。但是，汽油机本体并没有状态反馈信号，需要通过加装传感器或电路优化等方法采集信号。喷洒机研制中，考虑了两个方案。方案一：加装传感器，通过主动轮转速征汽油机工作状态。但是，该方案需要在汽油机主动轮加装转速传感器，对设备改装工作量大，影响设备整体可靠性；方案二：根据汽油机启动前后电参数变化表征汽油机状态。改装汽油机启停控制时，有一根棕色线未能使用，用万用表测量可得到汽油机启动前后其对地电压有微小变化，经多次测量，得到启动后电压升高 0.5 V。经分析汽油机电路结构，得知该线为汽油机启动电源反向充电线，汽油机启动后带动充电装置运转产生反向充电电压，该电压比启动电源工作电压要高一些。根据此原理，设计了汽油机状态信号采集电路，如图 4 所示。

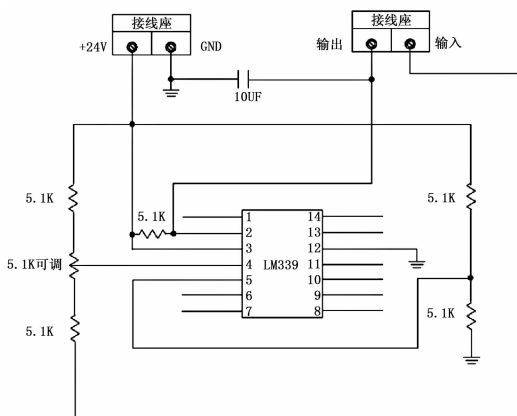


图 4 汽油机状态信号采集电路

LM339 为增益不可调运算放大器，每个比较器有两个输入端和一个输出端<sup>[8]</sup>。两个输入端电压差别大于 10 mV 就能确保输出能从一种状态可靠地转换到另一种状态，因此，LM339 常用在弱信号检测场合。LM339 内部装有 4 个独立的电压比较器，该电压比较器有以下特点：1) 失调电压小，典型值为 2 mV；2) 对比较信号源的内阻限制较宽；3) 共模范围大；4) 差动输入电压范围较大，大到可以等于电源电压；5) 输出端电位可灵活方便地选用<sup>[9]</sup>。如图 5 所示，使用 5.1 K 的电位器调整比较电压精度和灵敏度，保证汽油机启动前输出管饱和，输出端接低电位，输出为低电平。汽油机启动后输出管截止，通过上拉电阻输出一个高电平。将输出信号接入板式 PLC 数字量输入点，从而可以判断汽油机运行状态。

### 2.3 总体线路设计

总体线路设计以下位机为核心，将上位机与外围部件连接起来，总体线路设计如图 5 所示。其中，12 V 电源为汽油机原装启动电源，24 V 电源为控制系统供电电源，两电源作共地处理。两电源不宜用一块电池+变压器/逆变器代替，由于汽油机启动电流大，共用电源将导致控制系统工作不稳定<sup>[10]</sup>。开关和急停按钮为机械按钮，用于启动控制系统和处理紧急事件。LED 模块用于监视控制系统电源电量，并通过充电器补充电量。信号采集板与 PLC 分开设置，避免信号干扰。下位机控制盒选用航空接头作为信号输入输出接口，电源线与信号线、通信线隔离设置，有效避免了线缆间的相互干扰。

## 3 控制系统软件设计

控制系统软件是整个作业过程的神经中枢，它的先进与否

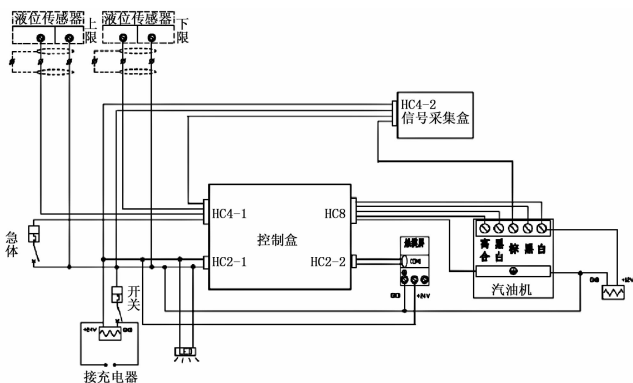


图 5 总体线路设计

直接决定了喷洒机智能化水平的高低, 喷洒机的各种功能均在其统一协调下实现, 控制系统的控制策略也决定了喷洒机的功能特点和可拓展性。按照功能需求和实际条件相结合的原则, 本文设计的喷洒机控制系统的功能包括: 电源监视与控制、汽油机启停和状态检测、喷洒泵启停和调速控制、液料液位检测、故障显示与报警等。软件设计主要包括以下两部分: PLC 控制程序和人机界面程序, 系统程序流程如图 6 所示。

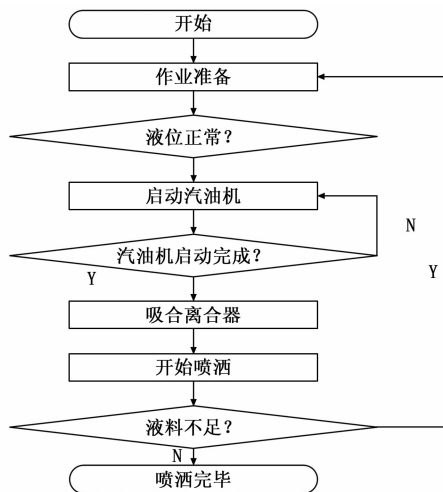


图 6 程序设计流程图

### 3.1 PLC 控制程序

PLC 控制程序基于 GX Developer 软件开发, 采用模块化编程思想, 主要包括汽油机控制、离合控制、液位指示与报警控制等。为避免装备作业过程中料箱振荡造成液位误报警, 在控制中加入了时间延时, 确保控制准确可靠。同时, 为建立与人机界面的状态关联, 在液位动态显示及报警中, 用 D0、D1 两个双字节内部变量作为静态和动态的指示变量, 按照逻辑运算结果分别将一定的数值赋值给 D0、D1, 并传输至上位机, 用以控制液料报警, 显示液位动画。

### 3.2 人机界面程序

人机界面程序在 Kinco HMIware 软件环境下组态。Kinco HMIware 组态编辑软件是步科公司为 MT4000/5000 系列 HMI 开发的专用人机界面组态编辑软件, 具有控件齐全, 界面制作精细的优势。通过将按钮、状态显示控件、实体图片等在开发环境中进行系统集成, 分区规划设置, 完成操作界面组态。与 PLC 的通信不需要专门编制通信接口程序, 可使

用 Kinco HMIware 组态软件直接进行通信链路搭建及参数设置, 使用触控屏的 COM1 口连接板式 PLC 进行数据通信。

系统操作界面由操作按钮区、作业过程动态演示区、液位显示及报警区三部分组成。操作按钮区用于控制汽油机、喷洒泵启停和紧急情况的急停控制。作业过程动态演示区可模拟系统运行并动态显示各个工作步骤下各组件的工作情况, 方便操作人员观察工序流程和检查故障。液位显示及报警区可直观显示液位情况, 并以画面置顶的形式弹出报警对话框, 提醒操作人员及时采取措施, 避免液位缺少及溢出。

## 4 试验测试与分析

控制系统试验测试的重点是设备工作的稳定性、可靠性, 采用单步执行的方式对动作执行、状态显示、动态作业指示、故障报警以及连锁控制等进行了试验测试, 测试结果如图 7 所示。

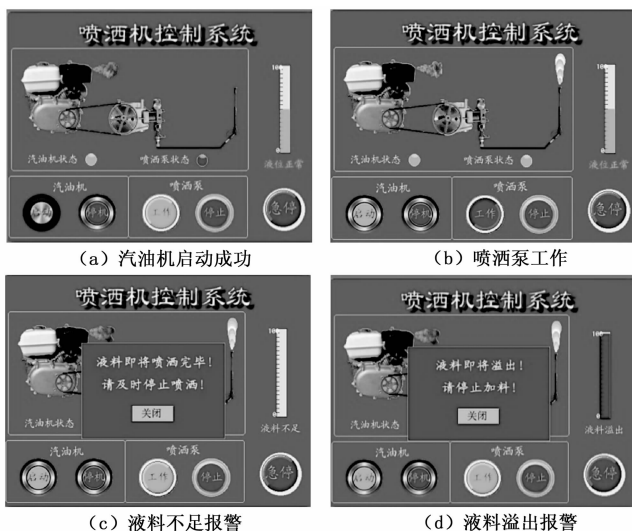


图 7 控制系统运行测试结果

1) 汽油机启动。启动前, 【启动】按钮为激活状态 (绿色)。启动成功后, 【启动】按钮为锁定状态 (灰色), 【汽油机状态】指示灯由红变绿, 汽油机排烟动画开始播放。如图 8 (a) 所示。

2) 喷洒泵启动。启动前, 【工作】按钮为激活状态 (绿色)。启动成功后, 【工作】按钮为锁定状态 (红色), 【喷洒泵状态】指示灯由红变绿, 皮带转动动画和喷枪喷射动画开始播放, 如图 8 (b) 所示。

3) 液位报警。液料正常状态下, 液位显示为绿色。液料不足情况下, 液位显示为灰色, 并弹出报警窗口。如图 8 (c) 所示。液料添加即将溢出时, 液位显示为红色, 并弹出报警窗口。如图 8 (d) 所示。

4) 紧急事件处理。为确保设备运行安全可靠, 进行了紧急停机的冗余设计, 分别在人机界面和操作面板上设置了软、硬【急停】按钮, 用于切断所有动作, 恢复到初始状态。人机界面的【急停】按钮通过给 PLC 内部地址位发送命令, 清除所有执行动作。操作面板上的机械急停按钮用于触控屏故障情况下, 直接给 PLC 输入端发送指令, 停止所有执行动作。

经多次单步执行动作测试及优化, 上述 4 类控制功能均能可靠完成。最后, 进行了整机联调联试, 系统启停正常, 功能 (下转第 119 页)