

输油管道站场消防泵火灾报警联动技术开发与应用

段安琪 (国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司, 广东 广州 510620)

摘要: 本文介绍了一种基于单片机的输油管道站场消防泵火灾报警联动系统。该系统通过监测可燃气体浓度和火灾信号, 实现自动启动消防泵的功能, 解决了传统输油站消防系统中人工启动消防泵导致延误的问题, 显著提高了消防系统的应急响应速度, 保障了输油站的安全运行。系统具备智能化监测与自动控制功能, 能够在火灾发生的第一时间启动消防泵, 为火灾扑救争取宝贵时间。实际应用表明, 该系统运行稳定, 有效缩短了消防泵启动时间, 提升了输油站的消防安全水平。

关键词: 输油管道; 单片机; 消防泵; 火灾报警; 联动控制; 应急技术

中图分类号: X511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 023-0153-03

National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Limited Company South China Branch

Duan Anqi (China Oil & Gas Pipeline Network Corporation (PipeChina) South China Branch, Guangzhou, Guangdong 510620, China)

Abstract: This article introduces a fire alarm linkage system for fire pumps in oil pipeline stations based on a single-chip microcomputer. This system monitors the concentration of combustible gases and fire signals to automatically start the fire pumps. It solves the problem of delays caused by manual starting of fire pumps in traditional fire protection systems of oil transportation stations. It significantly improves the emergency response speed of the fire protection system and ensures the safe operation of the oil transportation station. The system has intelligent monitoring and automatic control functions, enabling it to start the fire pumps at the first moment of a fire, thus winning precious time for fire fighting. Practical applications have shown that the system operates stably, effectively shortening the starting time of the fire pumps and enhancing the fire safety level of the oil transportation station.

Keywords: Oil pipeline; Single-chip microcomputer; Fire pump; Fire alarm; Linkage control; Emergency technology

输油管道站场作为石油储运的关键节点, 储存和输送大量易燃易爆的石油产品, 火灾风险极高。石油储运行业作为高危行业, 其火灾事故具有突发性强、蔓延迅速、扑救困难等特点。据统计, 2015-2020年间我国输油站场火灾事故中, 37.6% 因消防系统响应延迟导致灾情扩大^[1]。火灾报警与消防泵联动控制是现代消防系统的关键环节。在输油管道站场等高危场所, 快速、可靠的消防响应至关重要。近年来, 国内外学者在此领域开展了大量研究。例如, Smith 等人提出了一种基于 PLC 的消防泵控制系统, 但其成本较高且扩展性不足^[2]。Liu 等利用 ZigBee 技术实现了分布式火灾监测, 但存在信号传输延迟问题^[3]。传统输油站消防系统依赖人工操作, 易因响应延迟导致火灾蔓延。为此, 本研究提出一种基于单片机的低成本、高可靠性解决方案, 通过集成多传感器数据融合与自动控制逻辑, 实现快速响应的消防泵联动控制。

1 系统设计与开发

1.1 总体设计

1.1.1 系统架构

系统主要由火灾报警控制器、单片机控制模块、消防泵驱动电路、压力监测装置等组成(图1)。其中,

单片机作为核心控制器, 接收传感器数据并执行逻辑判断, 按照预设逻辑控制消防泵驱动电路启动消防泵。火灾报警控制器负责实时监测输油站内的火灾信号。压力监测装置用于检测消防泵的出口压力, 以判断消防泵是否正常工作, 并及时反馈给单片机控制模块。

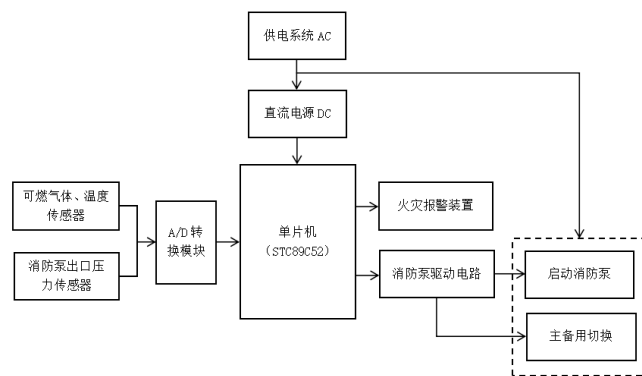


图1 消防系统控制模块设计架构图

1.1.2 工作原理

系统采用分级响应策略, 具体流程如下:

一级报警与主泵启动: 当火灾报警控制器检测到可燃气体浓度超过爆炸下限 25%、温度超过 60℃ 或烟雾浓度超过预设阈值时, 触发一级报警, 并向单片机

发送启动信号。单片机立即输出高电平信号至主消防泵驱动电路，启动主泵。

压力监测与主备切换：主泵启动后，压力传感器实时监测出口压力。若5秒内压力达到 0.8MPa ^[4]，判定主泵启动成功，系统进入持续监测状态；若压力未达标，单片机发送信号关闭主泵，启动备用泵，并重新开始压力监测。

二级报警与人工干预：若备用泵启动后压力仍未达标，系统触发二级报警，通过声光报警器和远程通讯模块通知值班人员，同时记录故障信息以便排查。

1.2 硬件设计

单片机选型：选用STC89C52单片机，其具备4KB Flash存储器和32个I/O端口，支持多任务处理。其具有体积小、功耗低、可靠性高、易于扩展等优点，与Arduino相比，其成本更低且抗干扰能力更强，适合工业环境^[5]。单片机负责接收火灾报警信号、控制消防泵驱动电路、处理压力监测信号以及执行逻辑判断和故障报警等功能。

火灾报警控制器：火灾报警控制器采用智能型火灾探测器，实时监测输油站内的烟雾浓度、温度、可燃气体浓度等火灾参数。当监测到的参数超出设定阈值时，控制器迅速发出火灾报警信号，气体监测采用MQ-2传感器，温度监测采用DS18B20数字温度传感器，将信号传输给单片机控制模块。控制器具备高灵敏度和快速响应能力，确保火灾信号的及时准确传输。

消防泵驱动电路：消防泵驱动电路接收单片机发出的控制信号，驱动消防泵电机启动。电路设计考虑了电机的启动电流和运行电流，采用继电器和保护器件，本涉及选用ULN2003达林顿阵列驱动继电器，确保消防泵能够可靠启动并正常运行。同时，驱动电路具备短路保护、过载保护等功能，防止电机因故障损坏。

压力监测装置：压力监测装置安装在消防泵的出口管道上，采用压力传感器实时监测消防泵的出口压力。压力传感器将压力信号转换为电信号，传输给单片机控制模块。单片机根据预设的压力阈值判断消防泵的工作状态，实现主备泵的自动切换和故障报警功能。

1.3 软件设计与开发

1.3.1 控制程序流程

系统软件采用模块化设计，主要包含初始化模块、火灾信号接收模块、消防泵控制模块、压力监测模块、故障报警模块等。并引入模糊PID控制算法调节消防泵转速，避免压力突变。控制程序流程（图2）如下：

①初始化传感器与通信模块，设置单片机的各个

端口和寄存器，准备接收火灾报警信号。

②实时监测火灾报警控制器传输的火灾信号，实时采集数据并进行卡尔曼滤波。

③若火灾信号触发，启动模糊PID控制输出PWM信号，立即发出启动主消防泵的指令，并启动计时器。

④在设定时间内监测消防泵出口压力，若压力正常，继续监测火灾信号；若压力异常，则自动切换至备用消防泵，并重新监测压力。同时，根据压力反馈动态调整占空比，确保压力稳定。

⑤若备用泵启动仍不成功，发出故障报警信号，提醒工作人员进行处理。

⑥在整个过程中，实时记录系统运行状态和相关数据，便于后续分析和维护。

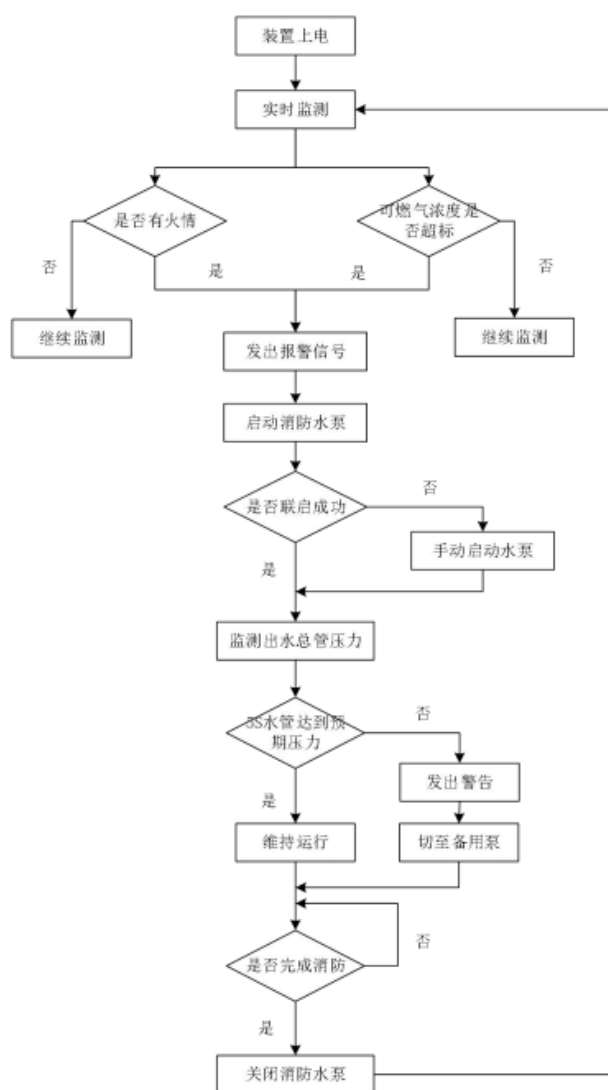


图2 控制程序流程图

1.3.2 逻辑判断与控制算法

采用基于阈值比较的逻辑判断方法。单片机根据

预设的火灾报警阈值和压力阈值，对输入信号进行判断。当火灾报警信号达到阈值时，启动消防泵；当消防泵出口压力达到设定值时，判断消防泵启动成功。若压力未达到设定值，则按照预设逻辑进行主备泵切换或报警。这种逻辑判断方法简单可靠，能够快速响应火灾信号并执行相应的控制操作。

2 系统测试与应用

2.1 安装与测试

该系统在输油站进行试验投用（图3），为了验证系统的性能和可靠性，本文进行了多项测试，包括火灾报警信号传输测试、消防泵启动时间测试、压力监测准确性测试、主备泵切换测试、故障报警测试等。在实际测试中模拟各种火灾场景，检测系统对火灾信号的响应速度、消防泵的启动时间、压力监测的准确性以及主备泵切换的可靠性。



2.2 测试结果与分析

测试结果（表1）表明，系统能够在接收到火灾报警信号后的5秒内启动消防泵，平均泵启时间4.64秒，满足快速响应的要求。压力监测装置能够准确检

测消防泵的出口压力，主备泵切换功能正常，故障报警及时有效。系统在多次测试中表现稳定，主备泵切换时压力波动<5%，符合GB 27898-2011标准^[6]，各项性能指标均达到设计要求。在实际应用中，该系统成功应用于多个输油管道站场，有效提高了消防系统的应急响应能力，保障了输油站的安全运行。

3 结论与展望

本研究开发的系统通过硬件集成与软件设计优化，实现了输油站消防泵的智能化控制，系统具有快速响应、自动控制、可靠性高等优点，有效提高了输油站的消防安全水平，具有显著的社会经济效益。未来结合输油站场的发展需要工作可以进一步优化系统硬件和软件设计，提高系统的抗干扰能力和可靠性，降低误报率和故障率；拓展系统的功能，增加远程监控和管理功能，通过网络将多个输油站的消防系统进行集中监控和管理，提高消防管理的效率和水平。

参考文献：

- [1] 国家应急管理部. 危险化学品事故统计年报 [R]. 北京: 应急管理出版社, 2021.
- [2] Smith J, Brown T. PLC-based fire pump control system design[J]. Fire Safety Journal, 2018, 45(3): 112-120.
- [3] Liu Y, Wang H. Wireless sensor network for fire monitoring in industrial areas[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020, 16(5): 2987-2995.
- [4] NFPA 20. Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection[S]. 2021.
- [5] STC89C52 Datasheet[Z]. STC Microcontroller Co., 2019.
- [6] GB 27898-2011. 固定消防给水设备 [S]. 中国标准出版社, 2011.

作者简介：

段安琪 (1992-) 女，汉族，山东省德州市人，硕士研究生，中级，研究方向：安全生产。

表1 火灾场景测试统计表

序号	报警信息	火灾主机状态				消防泵状态		火灾主机动作时间 (s)	泵启时间 (s)
		火警	启泵故障	发启泵指令	泵启反馈	1# 主泵	2# 备用泵		
1	手报触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	1.8	4.6
2	手报触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	1.9	4.7
3	手报触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	2.2	4.4
4	火焰触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	2.1	4.8
5	火焰触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	2.0	4.9
6	火焰触发火警	√	/	√	启泵成功	×	√	1.9	4.7
7	可燃触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	1.8	4.4
8	可燃触发火警	√	/	√	启泵成功	√	×	1.7	4.5
9	可燃触发火警	√	/	√	启泵成功	×	√	1.8	4.8