

煤矿井下长距离乳化液管路监测系统

于远征

北京天玛智控科技股份有限公司, 北京

收稿日期: 2025年9月3日; 录用日期: 2025年10月10日; 发布日期: 2025年11月10日

摘要

针对煤矿井下长距离供液乳化液管路运行情况监控困难、泄漏难发现难处理问题, 本文设计并提出一种适用于长距离管路的液体泄漏、超压监控技术。通过对管路流量、温度、压力、振动等信息进行监测, 综合评判管路介质传输状态, 对管路连接点进行泄漏检测, 通过电控阀门及时控制分段管路开通/关闭, 减少发生泄漏时管路中乳化液损失。长距离乳化液管路监测系统预期在降低工作面开采停机方面带来直接经济效益, 预计在维护供液系统平稳运行具有重要现实意义。

关键词

长距离, 乳化液, 管路, 监测系统

Long-Distance Emulsified Liquid Pipeline Monitoring System in Coal Mines

Yuanzheng Yu

Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing

Received: September 3, 2025; accepted: October 10, 2025; published: November 10, 2025

Abstract

In response to the challenges of monitoring the operation of long-distance emulsion pipelines in coal mines, such as difficulties in detecting and addressing leaks, this paper designs and proposes a monitoring technology suitable for liquid leakage and overpressure in long-distance pipelines. By monitoring parameters such as pipeline flow, temperature, pressure, and vibration, the system comprehensively evaluates the medium transmission status of the pipeline, detects leaks at pipeline connection points, and promptly controls the opening/closing of segmented pipelines through electrically controlled valves. This helps reduce the loss of emulsion in the pipeline during leakage incidents. The long-distance emulsion pipeline monitoring system is expected to bring direct

文章引用: 于远征. 煤矿井下长距离乳化液管路监测系统[J]. 矿山工程, 2025, 13(6): 1309-1315.

DOI: 10.12677/me.2025.136146

economic benefits by minimizing downtime in mining operations and holds significant practical importance for maintaining the stable operation of the liquid supply system.

Keywords

Long-Distance, Emulsified Liquid, Pipeline, Monitoring System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,国内大部分煤矿依然选用传统式的“一面一站”分散化就地供液方式,即在每一个采煤工作面设定一个乳化液泵站,每一个站配备“四泵三箱”或“三泵一箱”[1]。但随着煤矿智能化开采技术向少人化和无人化方向发展,长距离供液因无需频繁移动设备列车,减少搬家倒面次数[2],减少工人移动管路工作量[3][4],提升安全性,已经成为综采工作面智能供液的重要方式。但同时因长距离供液方式具有较长的管路距离,通常在2千米以上[5],一旦出现管路泄漏,无法及时排查和维护。

为解决长距离管路运行状况实时监控问题,为保障管路故障及时排查和维护,降低乳化液泄漏损失,特研发长距离乳化液管路监测系统。

2. 必要性

2.1. 预防灾难性事故:液力冲击(水锤效应)与爆管

传统风险:乳化液泵站压力极高(通常30 MPa以上)。一旦工作面支架液压缸突然破裂或操作阀急剧关闭,管路中会产生巨大的液力冲击,形成压力波,极易导致管路爆裂、接头脱落。

系统作用:监测系统能实时捕捉到压力的瞬间异常尖峰,并可以联动控制系统,在极短时间内自动卸荷或停泵,从而吸收或避免液力冲击,从根本上杜绝因爆管引发的恶性事故。爆裂的高压乳化液射流威力极大,对附近人员是致命威胁。

2.2. 消除泄漏带来的次生风险

传统风险:管路长期腐蚀、磨损或受挤压导致泄漏不易被发现。高压乳化液泄漏会:

冲刷巷道:导致底板松软、巷帮坍塌,造成安全隐患。

污染环境:油液混合物污染井下水源和工作环境。

引发滑倒:造成人员滑倒摔伤。

系统作用:通过流量和压力监测,系统能快速精准地定位泄漏点(即使是很小的泄漏),并及时报警,通知人员维修,将问题消灭在萌芽状态。

2.3. 生产保障:确保连续高效开采的“生命线”

综采工作面每小时产煤量巨大,停产一分钟都会带来巨大的经济损失。液压支架是支护顶板、保障采煤作业空间安全的核心设备。其动作的初撑力、工作阻力完全依赖乳化液管路提供的压力。监测系统确保泵站出口压力和工作面末端的压力始终维持在额定范围内,从而保证每一个支架都有足够的支撑力,防止因压力不足导致顶板下沉或冒落,直接关系到工作面的正常推进和产量[6]。

2.4. 极大缩短故障排查时间

传统方式：一旦工作面压力不足，维护人员需要从数千米长的工作面一路排查，凭经验听声音、用手摸，耗时耗力，停产时间漫长。

系统优势：监测系统能精准定位故障段(例如：“第三顺槽 300 米处压力异常下降”)，维修人员可直击现场，效率提升 90%以上，最大限度地减少非计划停机时间。

3. 系统组成

目前的远距离供液系统方案，包括乳化液系统和喷雾系统。其中乳化液系统主要由地面乳化液配比站、配比液输送管路、井下远距离供液泵站、乳化液供液主管、乳化液供液支管、乳化液回液主管和乳化液回液支管等组成；喷雾系统主要由进水过滤站、喷雾水箱、喷雾增压过滤、喷雾蓄能器站、喷雾泵机组和喷雾供液管路等组成[7]。

长距离乳化液管路监测系统即为监测井下远距离供液泵站到工作面支架之间的乳化液供液主管路运行情况。

系统采用轻量化网络型控制器为采集枢纽，使用无线漏液监测传感器监测漏液情况，杜绝了现场布设线路杂乱难题，打造千米量级远距离供液的管路漏液、压力、流量、振动多维度的稳定监测。基于可靠的数据采集，通过智能化算法模式识别准确诊断漏液严重程度，及时报警提示用户，并根据严重程度提供针对性的差异化解决方案。

长距离乳化液管路监测系统由上位机、控制器、传感器和电控阀门四部分组成，整体发挥监测乳化液供液主管路功能，系统组成如图 1 所示。

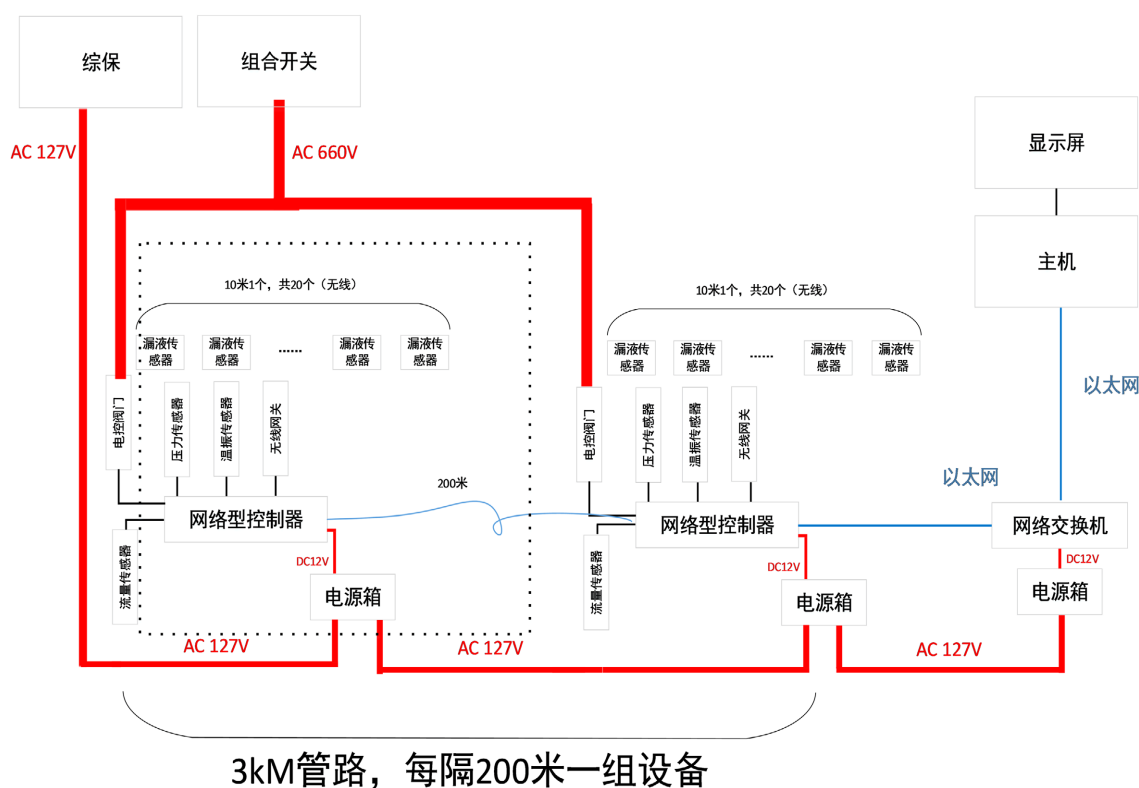


Figure 1. System composition

图 1. 系统组成

3.1. 上位机

长距离乳化液管路监测系统上位机硬件为一台隔爆主机，通过 LongMindWall6.0 远程供液综合管控平台，实现对液压支架和乳化泵站运行状态、压力、流量等实时数据的监测与管理，同时，显示支架进液与泵站出液历史数据趋势，结合实际状况分析等，以确保监控管理人员对整个供液过程做出正确干预以及处理。

3.2. 控制器

沿井下乳化液供液管路，每 200 米左右布设控制器一台，控制器之间数据串行至上位机。

控制器功能：

数据采集：控制器日常采集流量计、阀门打开程度信号、压力传感器压力信号、温振传感器的温度和 XYZ 三轴振动信号、无线网关的 20 个无线终端传来的开关量信号，并将所有信号传输至上位机进行展示和储存。

有效性：控制器可以对流量计、阀门、压力、温振传感器、无线网关有效性进行设置，及时屏蔽无效设备。

参数设置：控制器需能设置控制器总个数、泄漏时压力检测时间(s)、泄漏时压力警戒值(MPa)、泄漏流量损失警戒值(%)等参数。

显示功能：控制器日常显示该控制器连接的流量、阀门状态(开/关/开启程度%)、压力、温度、振动等。

报警功能：若发生泄漏，则控制器红灯亮起，并在控制器界面显示发生泄漏的漏液传感器编号。

3.3. 传感器

每台控制器上连接压力、流量、温振传感器和无线网关。另外，每两条 6 米管路连接处布设一个无线漏液传感器，每台漏液传感器将节点泄露信息汇总至最近的无线网关。

流量计：管路首尾各放置一台流量计，分别接至附近控制器，向控制器上报泵站输出流量和液压支架输入流量数据，作为泄漏严重程度判断依据。

漏液传感器：由防护罩和无线采集器终端 2 部分组成，每台管接头安装 1 个漏液传感器，防护罩将管接头完全覆盖，防止漏液水刀伤人，无线终端采集漏液信号传输至无线网关。

无线网关：每台控制器安装 1 台无线网关，可收集前后各 100 米范围内所有漏液传感器数据。

3.4. 电控阀门

每 1000 米布设电控阀门 1 台，当管路泄漏发生时，可由控制器控制泄漏点附近两台电控阀门闭合，减少乳化液泄漏，待工作人员处理完毕，打开电控阀门即可恢复供液。

4. 工作原理

4.1. 以漏液传感器为核心，判断泄漏

系统工作流程如图 2 所示。

当某处漏液发生时，最近的控制器通过无线网关收到某处无线终端开关量闭合信号，说明发生泄漏，控制器判断漏液严重程度：

① 严重：即该控制器直辖压力传感器 20 秒内压力均低于 15 MPa，且工作面支架入口流量小于泵站出口流量 50%，则向上位机上报漏液发生位置和严重程度，上位机报警并控制停泵和过滤站泄压，当系

统压力低于 10 MPa 时, 控制器控制漏液附近 2 台阀门关闭。待工作人员排除故障后, 集控室工作人员操作上位机按下故障恢复按钮, 控制器收到命令后打开阀门, 长距离供液系统恢复工作。

② 轻微: 非严重情况属于轻微泄漏, 控制器向上位机上报漏液发生位置和严重程度, 上位机报警提醒工作人员检查, 但无需停泵和控制阀门关闭, 只需工作人员巡查处理即可。

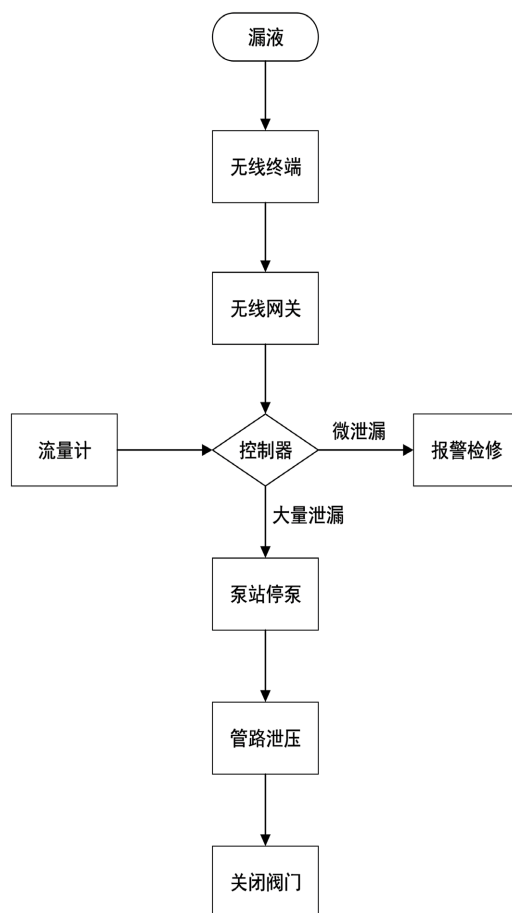


Figure 2. System workflow
图 2. 系统工作流程

4.2. 以压力传感器为核心, 判断泄漏情况, 系统工作原理如下

4.2.1. 数据采集

安装在泵站出口(A 点)和工作面最远端(B 点)的压力传感器, 实时将液体的压力信号转换为 4~20 mA 的标准电信号。

4.2.2. 信号传输

这些电信号被送至附近的控制器。控制器对信号进行数字化处理后, 通过工业总线上传至上位机。

4.2.3. 数据处理与分析

上位机上的监控软件实时接收 A、B 两点的压力数据 P_A 和 P_B 。根据流体力学原理, 在稳定流动状态下, A、B 两点的压力差 $\Delta P = P_A - P_B$ 应该是一个相对稳定的值, 其主要来源于管路的沿程阻力损失。软件持续计算这个压力差 ΔP 并监测其变化。

4.2.4. 状态判断与报警

正常状态： P_A 稳定在泵站设定压力附近， ΔP 在正常范围内波动。

泄漏判断：如果管路某处发生泄漏，相当于增加了一个额外的流出口，会导致管路中流量突然增加。

根据伯努利方程和流体阻力特性，流量增加会导致管路的沿程阻力损失急剧增大(阻力损失与流量的平方成正比)。

其外在表现就是： P_B 会急剧下降，同时 A、B 两点的压力差 ΔP 会显著增大。

爆管判断：如果是爆管等严重泄漏， P_B 会瞬间降至极低水平， ΔP 巨大。

堵塞判断：如果管路发生堵塞， P_A 会异常升高，而堵塞点后的 P_B 会下降，系统同样会报警。

4.2.5. 决策与执行

监控软件一旦判定发生泄漏(P_B 过低且 ΔP 超限)，立即触发报警。操作员可以在屏幕上根据报警位置和压力变化情况，快速定位泄漏区段。系统可以自动向泵站控制系统或管路电动阀门发送指令，执行停泵或关闭故障管段阀门的操作，将影响范围降到最低。

5. 实验测试

该系统目前已完成实验室测试，还未进行井下工业性试验。在实验室测试阶段，将控制器、传感器之间距离、线长等参数尽量模拟井下布设条件，模拟 3000 米管路监测，每 200 米布置控制器 1 台，每台控制器接收左右各 100 米的漏液传感器数据，测试共使用漏液传感器 300 台、流量计 2 台、控制器 15 台。

经实验，在发生微泄漏时，漏液积累在漏液传感器保护罩中，积累液位约 3 cm 后才能接触到传感触点，漏液传感器才能监测到漏液。标明系统对微泄漏反应需要一定时间，无法第一时间响应。

当发生大量泄漏时，漏液积累迅速达到 3 cm，漏液传感器响应时间 <5 s，经测试，从发生泄漏至系统控制阀门完成关闭时间 <10 s。

在地面环境下，漏液传感器与控制器通讯距离可达 1000 m 以上，相比井下漏液传感器与控制器布置相距 100 m 有极大冗余。

6. 井下适用性分析

6.1. 防爆防护要求

该电控系统应用于井下环境，所有电控设备均应具备安标证防爆证。且考虑可能有漏液喷溅情况发生，设备防护等级不得低于 IP54。

6.2. 故障自诊断

各控制器将每分钟广播发送问询，若未接收反馈，将把设备离线信息发送至上位机，用户可在上位机显示屏看到相应设备离线红灯亮起，及时处理。

6.3. 经济性

在井下布设该系统，将带来设备成本提高。但通过该系统能够避免管路大量泄漏乳化液带来的乳化液直接损失和重新配制乳化液造成的开采工作耽误间接损失。

7. 结论

在井下乳化液长距离供液系统应用长距离乳化液管路监测系统，预计可以直观地实时监控长距离管

路运行各维度数据情况，及时处理管路大量泄漏问题。虽有对微量泄漏反应不够灵敏和设备成本提高的问题，但预计将在故障处理、减轻工人劳动负担和保障工作面开采工作平稳进行具有重要意义。

参考文献

- [1] 巩炜, 李鸣, 陈劲. 高效集中供液系统技术在煤矿生产中的应用[J]. 煤矿机械, 2018, 39(4): 109-110.
- [2] 王波, 曹丹弟, 张宏斌, 邢旭东. 王家塔煤矿远距离智能恒压供液系统研究与应用[J]. 煤炭技术, 2021, 40(8): 178-180.
- [3] 李永明. 采煤工作面集中配液及远程供液系统应用[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(S1): 183-187.
- [4] 李然. 综采工作面智能供液技术及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(9): 203-207.
- [5] 庞义辉. 大采高综放工作面远距离供液供电技术[J]. 煤炭工程, 2017, 49(11): 17-20+24.
- [6] 赵继云, 曹超, 王浩, 泮延召, 黄笛, 韩静, 苗运江. 液压支架大功率供液系统的现状与智能化发展趋势[J]. 煤炭学报, 2025, 50(1): 676-693.
- [7] 魏洋. 煤矿井下综采工作面远距离供液系统设计与应用[J]. 价值工程, 2022, 41(36): 62-64.