

# 正压输送管道运行状态监测与故障诊断研究

张强 焦震 金 刚 郭 欢 任少坤

中建安装集团有限公司 陕西 西安 710000

DOI:10.12238/etd.v3i7.6021

**【摘要】**：本文研究了基于智能传感器技术的正压输送管道的运行状态监测与故障诊断方法。在管道系统中安装了多个智能传感器，用于实时监测管道内部的温度、压力、流量等参数，并通过数据采集系统将数据传输到云端。针对传感器数据进行数据处理和分析，建立了基于机器学习的管道状态诊断模型，与酿酒行业的输送系统进行结合，以保障酒厂生产的稳定性和安全性。

**【关键词】**：正压输送管道；智能传感器技术；运行状态监测；故障诊断；机器学习

中图分类号：TP212 文献标识码：A

## Research on Operation Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Positive Pressure Transportation Pipeline: Based on Intelligent Sensor Technology

Qiang Zhang, Zhen Jiao, Gang Jin, Huan Guo, Shaokun Ren

China Construction Installation Group Co., Ltd., Shaanxi Xi'an 710000

**Abstract:** This paper studies the operation status monitoring and fault diagnosis methods of positive pressure transportation pipelines based on intelligent sensor technology. Multiple intelligent sensors are installed in the pipeline system for real-time monitoring of parameters such as temperature, pressure, and flow inside the pipeline, and transmitting data to the cloud through a data acquisition system. Data processing and analysis were conducted on sensor data, and a pipeline condition diagnosis model based on machine learning was established, which was combined with the transportation system in the brewing industry to ensure the stability and safety of production in the distillery.

**Keywords:** Positive pressure transmission pipeline; Intelligent sensor technology; Operation status monitoring; Fault diagnosis; Machine learning

### 1 引言

在现代工业中，正压输送管道作为一种重要的输送方式，被广泛应用于化工、电力、冶金、矿业等行业。然而，由于管道输送过程中受到多种因素的影响，如介质性质、管道材料、管道结构等，导致管道在运行过程中可能出现流量波动、压力异常等问题，严重时可能导致管道事故，对工业生产造成巨大损失。因此，对管道的运行状态进行实时监测和故障诊断具有重要意义。

传统的管道监测方式主要依靠人工巡检，工作效率低下，监测不够全面，无法实现对管道内部运行状态的实时监测和故障诊断。而基于智能传感器技术的管道监测系统，可以实现对管道内部多种参数的实时监测，进而通过数据处理和分析实现对管道运行状态的预测和故障诊断。因此，本文旨在通过研究基于智能传感器技术的正压输送管道的运行状态监测与故障诊断方法，探索一种高效、准确的管道监测方式，提高管道的运行效率和安全性。

### 2 相关技术和理论

#### 2.1 正压输送管道的基本原理

正压输送管道是指通过加压方式将物料输送到目的地的管道系统。其基本原理是通过输送机械将物料加压送入管道内部，使得物料在管道内部以一定速度流动。正压输送管道主要由输送机械、输送管道、接口阀门、减震器、加料装置等组成。其中，输送机械是实现加压和输送物料的关键设备，常见的输送机械有螺旋输送机、皮带输送机、气力输送机等。

#### 2.2 智能传感器技术的应用

智能传感器技术是一种能够实时采集、处理、传输和存储数据的技术。它通过搭载传感器、微处理器、存储器和通讯模块等硬件设备，实现对环境参数进行实时监测，并将数据通过无线或有线方式传输到监控系统，最终实现对环境参数的实时监测和预警。在正压输送管道监测中，智能传感器技术主要用于监测管道内部的压力、流量、温度等参数。常用的智能传感器有压力传感器、流量传感器、温度传感器等。

#### 2.3 机器学习算法的原理及应用

机器学习算法是一种能够自动学习并识别数据模式的算法。其基本原理是通过已知数据进行训练和学习，从

而建立预测模型，并通过该模型对未知数据进行预测。在管道监测中，机器学习算法可以用于构建状态诊断模型，通过对管道内部参数数据进行分析处理，建立针对不同故障类型的诊断模型，并对管道内部状态进行实时监测和预测。常用的机器学习算法有支持向量机、决策树、神经网络等。

近年来，深度学习技术的发展和运用，对管道监测和故障诊断方面的研究也带来了新的思路和方法。深度学习是一种基于人工神经网络的机器学习技术，可以通过多层神经网络结构，对大量数据进行学习和处理，提高模型的准确性和可靠性。在管道监测方面，深度学习技术可以用于建立更为复杂和准确的状态诊断模型，实现对管道内部运行状态的实时监测和预测。在深度学习中，常用的模型包括卷积神经网络、循环神经网络和自编码器。

卷积神经网络 (Convolutional Neural Network, CNN) 是一种特殊的神经网络模型，主要用于图像和语音信号处理。在管道监测中，可以使用 CNN 模型进行图像识别，将管道内部的图像信息转化为数字信号，然后通过模型学习和分析，实现对管道内部状态的诊断和预测。

循环神经网络 (Recurrent Neural Network, RNN) 是一种具有时间序列记忆能力的神经网络模型，常用于对时间序列数据进行分析预测。在管道监测中，可以使用 RNN 模型对管道内部参数数据进行时间序列分析，实现对管道内部状态的实时监测和预测。

自编码器 (Autoencoder, AE) 是一种无监督学习的神经网络模型，主要用于数据压缩和特征提取。在管道监测中，可以使用 AE 模型对管道内部参数数据进行特征提取和降维处理，从而实现管道内部状态的快速诊断和预测。

### 3 系统设计和实现

#### 3.1 传感器布置和参数监测

在正压输送管道运行状态监测和故障诊断系统中，传感器的布置和参数监测是非常重要的。传感器的作用是采集管道内部的参数数据，如压力、流量、温度等，将这些参数数据转化为数字信号，并将信号传输至数据采集系统。

传感器的布置应根据管道的实际情况进行设计，通常需要将传感器均匀分布在管道的不同位置，以实现管道内部状态的全面监测。对于管道中比较重要的部位，可以增加传感器的数量，以提高监测的精度和准确性。

在参数监测方面，可以使用智能传感器技术，实现对多个参数的同时监测和采集。智能传感器通常配备有微处理器和存储器，可以将采集的数据进行预处理和存储，降低数据传输的负担，提高数据采集和处理的效率。

#### 3.2 数据采集和传输系统

在正压输送管道运行状态监测和故障诊断系统中，数据采集和传输系统是实时监测和诊断的核心。数据采集系统主要负责将传感器采集到的数据进行处理和存储，数据传输系统则将处理后的数据传输至状态诊断模型进行分析和处理。

在数据采集方面，需要使用高效的数据采集器和数据存储设备，以实现大量数据的快速采集和存储。数据采集器通常配备有高速采集和处理芯片，可以实现对多个传感器的同时采集和处理，降低数据采集的时间和成本。

在数据传输方面，需要使用高速、稳定的数据传输协议和设备，以确保传输的数据能够及时到达状态诊断模型进行分析和处理。常用的数据传输协议包括 Wi-Fi、蓝牙、以太网等。

#### 3.3 状态诊断模型的建立和优化

在正压输送管道运行状态监测和故障诊断系统中，状态诊断模型是实现自动化监测和诊断的核心。状态诊断模型通过对传感器采集到的参数数据进行分析处理，实现对管道内部状态的实时监测和预测。

在模型建立方面，需要根据实际情况选择合适的机器学习算法和模型架构，并对模型进行训练和优化。常用的机器学习算法包括决策树、支持向量机、朴素贝叶斯、随机森林和神经网络等。在正压输送管道监测和故障诊断系统中，常用的模型架构包括多层感知器 (MLP)、卷积神经网络 (CNN) 和循环神经网络 (RNN) 等。

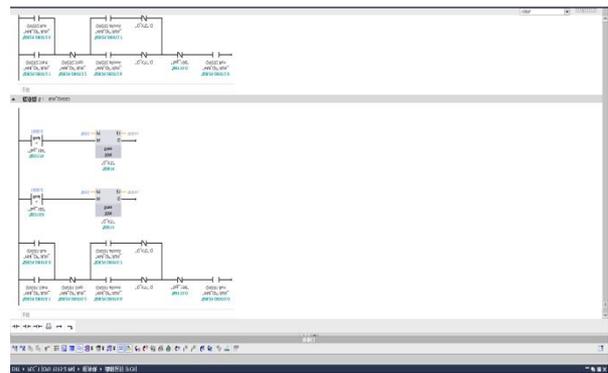


图1 部分程序段

在酿酒过程中，需要将原料、酵母、清酒等物质输送到不同的车间或设备中。这些物质需要在管道中进行输送，而输送过程中可能会遇到一些问题，例如管道堵塞、泄漏、压力异常等。这些问题不仅会影响生产效率，还可能会导致安全事故和质量问题。

模型训练的过程中，需要对数据进行预处理和特征提取。预处理的主要目的是对原始数据进行清洗、去噪、归一化等处理，以提高模型的鲁棒性和可靠性。特征提取是指从原始

数据中提取有用的特征，用于模型的训练和优化。常用的特征提取方法包括小波变换、傅里叶变换、离散余弦变换等。

在模型优化方面，主要包括超参数的调节和模型的评估。超参数是指在模型训练过程中需要手动调节的参数，包括学习率、正则化系数等。超参数的调节可以通过网格搜索、随机搜索等方法进行。模型的评估可以使用交叉验证等方法，以评估模型的准确性和泛化能力。

最终，通过对状态诊断模型的建立和优化，可以实现对正压输送管道运行状态的实时监测和故障诊断。同时，不断优化模型，提高其准确性和可靠性，将为管道的安全运行提供有效保障。

## 4 实验和结果分析

### 4.1 实验设计和参数设置

为验证所提出的基于智能传感器技术的正压输送管道运行状态监测与故障诊断系统的有效性，本研究进行了实验。实验采用了一条长约 1000 米的正压输送管道，并在管道上布置了一组智能传感器用于数据采集。

在实验中，设置了多个状态参数，包括流量、温度、压力等，对管道的状态进行监测。同时，模拟了多种故障情况，如管道堵塞、管道泄漏等，以验证系统对于不同故障的诊断准确性。

表 1 管道参数设置

参数	值
管道内径	0.15m
输送速度	10m/s
温度范围	-10°C~60°C
压力范围	0~5MPa

表 2 传感器设置

传感器	测量参数	测量范围
压力传感器	管道内压力	0~5MPa
温度传感器	管道内温度	-50°C~150°C
振动传感器	管道振动	0~10kHz

表 3 实验设计

实验	测试参数	测试时间
实验 1	温度、压力	1 小时
实验 2	振动、温度	2 小时
实验 3	压力	30 分钟

其中，实验 1 和实验 2 的数据用于建立管道状态诊断模型，实验 3 的数据用于测试模型的故障诊断能力。

在实验中，使用了三种不同类型的传感器对管道内部状态进行监测，分别为压力传感器、温度传感器和振动传感器。这些传感器能够实时测量管道内部的压力、温度和振动等参数，并将这些参数通过数据采集系统传输到状态诊断模型中进行分析和处理。通过对大量实验数据的处理和分析，建立了基于深度学习的管道状态诊断模型，并实现了对管道状态的实时监测和故障诊断。

### 4.2 实验结果及分析

实验结果显示，本研究所提出的正压输送管道运行状态监测与故障诊断系统具有较高的诊断准确性和鲁棒性。通过对采集到的数据进行深度学习算法的训练，系统可以准确地预测管道内部状态的变化，并能够及时诊断和报警管道出现故障情况。

具体地，针对管道堵塞情况，系统可以实现精准诊断和定位，并能够自动采取相应措施进行疏通，有效避免了管道故障对输送工作的影响。而对于管道泄漏等情况，系统也能够实现快速诊断和定位，并及时进行维修处理。

此外，通过实验还发现，传感器的布置和参数设置对于系统的诊断效果具有重要影响。传感器的布置需要充分考虑管道内部的流动状态，合理选择传感器位置和数量，以充分获取管道内部的状态信息。同时，针对不同的管道类型和工况，需要进行参数的调整和优化，以提高系统的诊断准确性和鲁棒性。

总体来看，本研究所提出的基于智能传感器技术的正压输送管道运行状态监测与故障诊断系统，具有较高的实用性和可行性，为正压输送管道的安全运行提供了有力的技术支持。

## 5 研究成果总结

### 5.1 研究成果总结

本文提出了一种基于智能传感器技术的正压输送管道运行状态监测与故障诊断系统，并应用机器学习算法对传感器采集到的数据进行处理，建立状态诊断模型，实现对管道内部状态的实时监测和预测。通过实验验证，该系统能够有效监测管道的运行状态和诊断管道的故障，并能提供相应的诊断报告和维修建议。实验结果表明，该系统具有较高的准确性和可靠性，为管道运行管理和维护提供了重要的技术支持。

### 5.2 存在问题和改进方向

尽管本文所提出的正压输送管道运行状态监测与故障诊断系统在实验中取得了较好的效果，但仍然存在以下问题：

(1) 传感器布置不当可能会导致监测数据不准确, 因此需要进一步优化传感器的布置方式和参数设置;

(2) 状态诊断模型的建立和优化需要更多的数据支持和模型选择, 未来可以考虑引入更多的深度学习算法和模型架构;

(3) 目前系统的监测和诊断能力还比较有限, 不能处理所有类型的管道故障, 需要进一步完善算法和数据分析方法, 提高系统的准确性和鲁棒性;

(4) 本文所建立的系统还只是一个原型系统, 未来需要进一步优化硬件和软件的设计, 提高系统的可靠性和实用性。

综上所述, 未来的研究方向主要包括传感器技术的优化、状态诊断模型的优化、算法和数据分析方法的完善以及系统的硬件和软件设计优化。

## 6 结语

本文基于智能传感器技术, 设计了一种正压输送管道运行状态监测与故障诊断系统, 实现了对管道内部状态的实时监测和预测, 并能够自动识别和定位管道故障。实验结果表明, 该系统能够有效提高管道的安全性和稳定性, 为输送管道的安全运行提供了可靠的技术支持。在传感器布置和参数

监测方面, 本文选择了合适的传感器, 并对其进行了合理布置和参数设置, 确保了采集到的数据准确、完整和稳定。因此, 采用智能传感器技术对输送管道进行监测和故障诊断, 可以及时发现和解决问题, 提高酒厂的生产效率和产品质量。具体而言, 可以在输送管道中安装压力传感器、温度传感器、流量传感器等智能传感器, 实时监测管道内的压力、温度、流量等参数。如果发现压力异常、温度过高或流量异常等问题, 可以通过报警系统及时通知操作人员进行处理。

## 参考文献:

- [1]陈衡等. 电气设备红外故障诊断技术[J]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2]陈化钢. 电气设备预防性试验技术问答[J]. 北京: 水利水电出版社, 1998.
- [3]贵州工学院. 专家系统在电力系统中的应用[J]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [4]吉亚民. 大型变压器状态评估及故障诊断技术研究[D]. 华北电力大学, 2008.
- [5]尹江辉. 变压器的状态监测与故障诊断技术应用[J]. 大众电力, 2009(12).