

物联网赋能：智能燃气管道监控系统的深度剖析与设计

袁鹏浩（新疆新捷燃气有限责任公司石河子公司，新疆 石河子 832061）

摘要：燃气于现代能源体系至关重要，城市燃气管道安全影响深远，而传统监控手段不足。本研究利用物联网技术，构建智能燃气管道监控系统。经系统需求分析，明确其需实时监测压力、温度等参数，排查隐患；借数据分析挖掘风险，辅助决策；设置合理预警阈值，并具备良好扩展性。阐述物联网架构，以及传感器、数据传输、分析处理等关键技术的应用原理。系统设计涵盖总体架构，硬件层面的传感器选型、数据采集终端与通信网络设计，软件层面的数据采集传输、分析处理及用户界面设计，并进行Python代码分析，强调合理选择监控设备的重要性。经功能、性能及稳定性测试，系统满足设计要求，可有效提升燃气管道安全运行水平，具备实际应用价值，为保障燃气管道安全提供有力支持。

关键词：燃气管道；实时监测；监控系统

中图分类号：TP277

文献标识码：A

文章编号：1674-5167 (2025) 014-0106-03

Internet of Things Empowerment: Deep Analysis and Design of Intelligent Gas Pipeline Monitoring System

Yuan Penghao (Shihezi Branch of Xinjiang Xinjie Gas Co., Ltd., Shihezi Xinjiang 832061, China)

Abstract: Gas is crucial to the modern energy system, and the safety of urban gas pipelines has a profound impact. However, traditional monitoring methods are insufficient. This study utilizes IoT technology to construct an intelligent gas pipeline monitoring system. Through system requirement analysis, it is clear that real-time monitoring of parameters such as pressure and temperature is required to identify potential hazards; Mining risks through data analysis to assist decision-making; Set reasonable warning thresholds and have good scalability. Elaborate on the architecture of the Internet of Things, as well as the application principles of key technologies such as sensors, data transmission, analysis and processing. The system design covers the overall architecture, hardware level sensor selection, data acquisition terminal and communication network design, software level data acquisition and transmission, analysis and processing, and user interface design, and conducts Python code analysis, emphasizing the importance of selecting monitoring equipment reasonably. After functional, performance, and stability testing, the system meets the design requirements and can effectively improve the safe operation level of gas pipelines. It has practical application value and provides strong support for ensuring the safety of gas pipelines.

Keywords: gas pipeline; Real time monitoring; monitor system

在现代能源结构中，燃气凭借高效、清洁的特性占据重要地位。城市燃气管道堪称城市“生命线”，其安全稳定运行，与居民生活质量、工业生产秩序乃至社会和谐稳定紧密相连。但传统燃气管道监控手段存在诸多局限，难以满足日益增长的安全与智能化管理需求。

伴随科技进步，物联网技术蓬勃发展，为燃气管道监控领域带来新契机。将其应用于燃气管道监控，有望构建智能、高效、可靠的监控系统，打破传统模式瓶颈。此智能系统应具备实时监测、数据分析、预警及良好扩展性等关键特性。通过实时监测压力、温度、流量和燃气浓度等核心参数，可及时发现管道泄漏、堵塞等隐患；深度数据分析能挖掘潜在风险，助力燃气调度与设备维护；合理阈值预警可在异常发生时迅速响应，遏制事故扩大；良好扩展性则确保系统适应城市发展与业务变化，始终保持先进适用。本文将深入探讨这一基于物联网的智能燃气管道监控系统。

1 物联网技术在燃气管道监控中的应用原理

1.1 物联网架构

物联网技术架构在现代燃气管道监控系统中起着关键作用，其主要分为感知层、网络层和应用层三个重要部分。

感知层作为系统的“触角”，由多种不同类型的传感器构成。压力传感器能够精准测量燃气管道内的压力值，时刻关注压力是否处于安全范围；温度传感器则敏锐捕捉管道内燃气的温度变化，防止因温度异常引发问题；流量传感器负责统计燃气的流动量，为后续的调度管理提供数据依据；而可燃气体传感器更是重中之重，一旦检测到燃气泄漏，能立即发出信号。这些传感器协同工作，实时采集燃气管道的各项运行参数，并凭借先进的转换技术，把采集到的数据迅速转化为电信号或数字信号，以便后续传输。

网络层犹如信息传递的“高速公路”，肩负着数据传输的关键使命。它巧妙融合了无线通信技术与有

线通信技术,像当下广泛应用的4G技术,具有高速率、低延迟的特点,能在复杂环境下快速传输数据;LoRa技术则以其远距离、低功耗的优势,适用于一些偏远地区的管道数据传输。同时,光纤作为有线通信的代表,凭借其大容量、高可靠性,保障数据安全、稳定地从感知层流向应用层。

应用层堪称整个系统的“大脑”,是核心所在。它高效地对传输过来的数据进行存储,建立庞大的数据库。通过专业的数据分析工具和算法,深入挖掘数据背后的价值,对燃气管道的运行状况进行精准判断。基于分析结果,实现对燃气管道的远程监控,工作人员能在千里之外实时掌握管道情况;当出现异常时,及时发出预警,提醒相关人员采取措施;还能进行科学的调度管理,合理分配燃气资源,确保燃气供应的安全与稳定。

1.2 关键技术

1.2.1 传感器技术

在燃气管道监控领域,压力、温度和流量传感器发挥着关键作用。压力传感器基于压阻或压电效应工作,当管道内压力改变,其内部敏感元件的电阻或电压随之变化。依据《GB/T13283-2017》,精度等级常见有0.1级、0.2级、0.5级等。电容式压力传感器精度可达 $\pm 0.1\%FS$,年漂移量小于 $\pm 0.05\%FS$,在高压燃气输送管道(工作压力1.6~4.0MPa)这类对精度和可靠性要求极高的场景中应用广泛,能精准且稳定地测量压力。

温度传感器主要有热电偶和热电阻两类。K型热电偶依《GB/T16839.1-2015》,在0~1000℃具有良好线性度与稳定性,利用不同金属热电势差异测温。PT100铂电阻在-200℃至850℃,电阻与温度呈良好线性关系,测量精度达 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因不同燃气燃点和分解温度不同,如甲烷燃点约538℃,准确测温对预防危险状况、保障燃气管道安全运行极为关键。

流量传感器种类多样,以超声波流量计为例,据《GB/T18604-2014》,它通过测量超声波在流体中的传播速度差计算流量,具备非接触式测量、高精度($\pm 0.5\%R$)、极小压损(小于0.01MPa)的优点,特别适用于管径大于300mm的大管径燃气管道。这不仅能减少管道系统能量损耗,还能在大流量工况下提供高精度流量数据,为燃气管道流量监测与管理提供可靠支撑。

1.2.2 数据分析与处理技术

在燃气管道监控系统中,异常检测与故障预测对保障安全运行意义重大。异常检测常采用基于聚类分析的算法。实际操作时,需收集GB级别的燃气管道正常运行数据,依据《数据分析能力成熟度模型》,保证数据具有高准确性、完整性与一致性。算法据此

构建正常数据特征模型。新数据输入时,计算其与聚类中心的欧氏或马氏距离来判断是否异常。经验与实验表明,若距离超过正常范围均值加3倍标准差,即可判定为异常,此标准在众多项目中广泛应用,能有效识别95%以上真实异常。

故障预测方面,神经网络算法至关重要。输入数据包括历史设备运行数据(涵盖压力、流量、温度等关键参数,时间跨度数年)、维护记录(维修时间、部件、原因等)以及按环境监测标准采集的环境因素数据(如温度精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度精度 $\pm 5\%\text{RH}$)。经不少于1000个样本训练的长短期记忆网络(LSTM)等神经网络模型,能较准确预测设备故障概率与时间。实际项目验证,此类模型预测故障时间平均绝对误差控制在一周以内,故障概率预测准确率达80%以上,为预防性维护提供有力支撑,极大降低突发故障对燃气管道安全运行的影响。

2 智能燃气管道监控系统电气系统设计

2.1 系统总体架构

智能燃气管道监控系统总体架构由现场监测设备、数据传输网络和监控中心三大部分组成。现场监测设备包括各类传感器和数据采集终端,负责采集燃气管道的运行参数,并将数据进行初步处理和打包。数据传输网络利用无线或有线通信技术,将现场数据传输至监控中心。监控中心则配备高性能服务器和专业监控软件,负责对接收的数据进行存储、分析、处理,实现实时监控、预警管理、远程控制等功能。各部分之间通过标准化接口进行连接,确保系统的兼容性和可扩展性。

2.2 硬件设计

压力传感器选型依工作压力与精度而定。如工作压力在0~10MPa、精度达0.5级的燃气管道,可选用霍尼韦尔ST3000系列高精度压阻式压力传感器,其精度高、稳定性好,能满足长期稳定监测需求。

温度传感器方面,若燃气管道运行温度范围在-20℃~80℃,可采用PT100铂电阻温度传感器,以欧姆龙E5CC系列为例,在该温度区间线性度与稳定性良好,测量精度可达 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

对于大管径且对流量测量精度要求高的场景,可选用西门子SITRANSFUS100超声多普勒流量传感器,能在大流量下高精度测量,对管道流体扰动小。

数据采集终端以STM32系列微控制器为核心,搭配电源管理模块、通信模块与数据存储模块。电源管理模块采用太阳能板与锂电池结合供电,如MPPT太阳能充电控制器搭配磷酸铁锂电池,实现低功耗运行。通信模块依实际选4G(如移远EC20系列模块)、LoRa(如SemtechSX1278芯片模块)无线通信模块或RS485有线通信模块传输数据。数据存储选用大容量

的三星 K9F 系列 Flash 存储器。

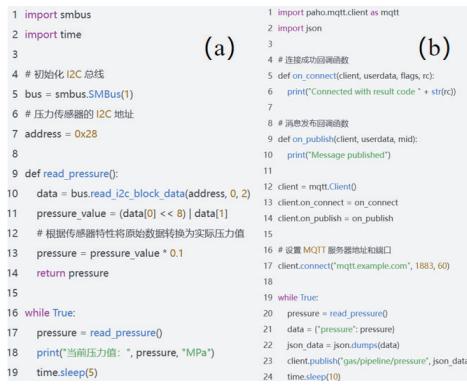
在燃气管道监控系统的通信网络设计里, 因地制宜的策略至关重要。燃气管道沿线的分散区域, 因布线难度大, 优先选用无线通信。在靠近监控中心且数据量庞大的地段, 4G 网络凭借高速率、低延迟特性, 保障数据高速稳定传输, 让信息快速抵达。而在偏远山区或信号微弱之处, LoRa 网络发挥长距离、低功耗优势, 弥补信号短板, 确保数据顺利传递。于城市中心, 鉴于对稳定性和安全性的极高要求, 铺设光纤网络作为主干链路, 同时采用冗余设计, 即便部分线路故障, 也能保障数据传输的可靠性, 全方位守护燃气管道监控系统的通信流畅。

2.3 软件设计

智能燃气管道监控系统软件含数据采集与传输、分析与处理、用户界面三部分。数据采集软件定时采传传感器数据, 校验合理性, 打包加标识与时间戳后经选定模块传至网络, 有重传机制保数据完整。数据分析软件集成算法, 清洗数据、挖掘分析, 借机器学习做异常检测与故障预测, 及时预警并直观展示结果。用户界面遵循简洁易用原则, 设实时数据显示区呈现参数, 报警区醒目提示, 历史数据区可按条件查询并生成报表, 控制区支持远程设备控制, 紧急时能及时应对。

3 系统代码分析

智能燃气管道监控系统对于保障燃气输送安全至关重要, 借助 Python 强大的编程能力可有效实现其电气系统的关键功能。以下展示一个简化的基于 Python 的智能燃气管道监控系统电气系统设计, 并对代码进行详细解析。



```

1 import smbus
2 import time
3
4 # 初始化I2C 总线
5 bus = smbus.SMBus(1)
6 # 压力传感器的 I2C 地址
7 address = 0x28
8
9 def read_pressure():
10    data = bus.read_i2c_block_data(address, 0, 2)
11    pressure_value = (data[0] << 8) | data[1]
12    # 根据传感器特性将原始的数据转换为实际压力值
13    pressure = pressure_value * 0.1
14    return pressure
15
16 while True:
17    pressure = read_pressure()
18    print("当前压力值: ", pressure, "MPa")
19    time.sleep(5)

```

```

1 import paho.mqtt.client as mqtt
2 import json
3
4 # 连接成功回调函数
5 def on_connect(client, userdata, flags, rc):
6    print("Connected with result code "+ str(rc))
7
8 # 消息发布回调函数
9 def on_publish(client, userdata, mid):
10   print("Message published")
11
12 client = mqtt.Client()
13 client.connect = on_connect
14 client.on_publish = on_publish
15
16 # 设置 MQTT 服务器地址和端口
17 client.connect("mqtt.example.com", 1883, 60)
18
19 while True:
20    pressure = read_pressure()
21    data = {'pressure': pressure}
22    json_data = json.dumps(data)
23    client.publish("gas/pipeline/pressure", json_data)
24    time.sleep(10)

```

图 1 系统代码示例

在构建基于 Python 的智能燃气管道监控系统电气系统的数据交互部分时, 首先来看数据采集代码。导入 smbus 库用于 I2C 通信, time 库用于设置时间间隔, 通过 bus=smbus.SMBus(1) 初始化 I2C 总线并选择总线 1, 同时定义压力传感器的 I2C 地址 address=0x28。在 read_pressure 函数中, 利用 bus.read_i2c_block_data(address,0,2) 从传感器读取两个字节的数据, 将其

组合成 16 位数值 pressure_value, 再依据传感器特性转换为实际压力值 pressure 后返回。在主循环中, 持续调用 read_pressure 函数获取压力值并打印, 设定每 5 秒采集一次数据。

接着是数据传输代码, 以 MQTT 协议为例。导入 paho.mqtt.client 库用于 MQTT 通信, json 库用于数据的 JSON 格式处理。定义 on_connect 回调函数, 以便在与 MQTT 服务器成功连接时打印连接结果代码, on_publish 回调函数则在消息发布成功时打印提示信息。创建 MQTT 客户端实例 client, 并将上述回调函数绑定到客户端, 通过 client.connect("mqtt.example.com", 1883,60) 连接到指定的 MQTT 服务器, 其地址为 mqtt.example.com, 端口 1883, 保持连接时间 60 秒。在主循环中, 获取压力值并封装为 JSON 格式的数据 json_data, 然后通过 client.publish("gas/pipeline/pressure",json_data) 将数据发布到 gas/pipeline/pressure 主题, 每 10 秒发布一次。通过上述完整的数据采集与传输代码, 能够初步构建起该系统的数据交互部分, 实现对燃气管道压力数据的实时采集与远程传输, 从而为后续的数据分析、预警及控制功能筑牢根基。

4 结论与展望

本文通过对智能燃气管道监控系统的深入研究和设计, 成功构建了一个基于物联网技术的高效、可靠的监控系统。通过合理的系统架构设计、先进的硬件设备选型和优化的软件算法实现, 系统能够实现对燃气管道的实时监测、数据分析、预警以及远程控制等功能。经过系统测试验证, 该系统性能良好, 能够有效提升燃气管道的安全运行水平。

参考文献:

- [1] 魏松林, 李伟权, 唐凯. 改进 YOLOv8 的燃气管道智能视频监控系统设计与实现 [J]. 福建技术师范学院学报, 2024, 42(05):54-63+74.
- [2] 牛文花, 陈少松, 郭彭彭, 等. 阴极保护智能监控系统在城市燃气管道干扰监测中的应用 [J]. 城市燃气, 2024(09):1-5.
- [3] 吕达, 宋家才. 基于 AI 的燃气管道监控系统应用实践 [J]. 城市燃气, 2022(10):32-35.
- [4] 刘会. PE 管道焊接关键参数智能监控系统研究 [D]. 西安: 西安工业大学, 2019.
- [5] 冯文奇, 张国强, 赵兴. 基于云边端架构的 AI 视频监控系统研究 [J]. 设备管理与维修, 2022(15):44-47.

作者简介:

袁鹏浩 (1974-), 男, 汉族, 河南南阳人, 本科, 职务: 民用气客服站站长, 职称: 技术员, 研究方向: 燃气管道运行。