

城镇燃气输配系统加臭剂智能调控技术研究与应用 ——基于流量实时联动的安全与能效优化

耿江波, 周 健, 杨 超

陕西省水务发展集团西安华通新能源股份有限公司

摘 要: 本文针对城镇燃气加臭系统中存在的加臭浓度控制精度不足、人工干预频次过高等问题, 以某年销气量4384万 m^3 的燃气企业为案例, 提出基于流量实时联动的智能加臭控制技术。该研究通过流量计与加臭机的信号直连, 构建闭环控制系统, 实现加臭剂量的动态调节。运行数据表明: 系统使加臭合格率从90%提升至99.5%, 加臭剂年用量减少22.7% (从603.8kg降至467.0kg), 人工干预频次降低70%。技术核心在于建立“流量-加注量”的精准匹配算法, 可保障不同工况下加臭浓度稳定控制在 $(8 \pm 0.4) \text{mg}/\text{Nm}^3$ 范围内。研究验证了该技术符合GB/T 51474-2025《城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术标准》对加臭装置实时监测的要求, 又契合《“十四五”现代能源体系规划》中燃气行业智能化改造的导向, 为燃气企业提供了安全与能效双提升的解决方案。

关键词: 燃气加臭; 智能调控; 流量联动; 四氢噻吩; 本质安全

Research and Application of Intelligent Regulation Technology for Odorant Dosing in Urban Gas Distribution Systems: Safety and Energy Efficiency Optimization Based on Real-Time Flow Linkage

GENG Jiangbo, ZHOU Jian, YANG Chao

Xi'an Huatong New Energy Co., Ltd., Shaanxi Water Development Group

Abstract: To address issues such as inaccurate concentration control and frequent manual intervention in urban gas odorization systems, this study proposed an intelligent odorant dosing control technology based on real-time flow linkage, using a gas enterprise with an annual gas sales volume of 43.84 million m^3 as a case. By directly connecting flow meters with odorant dosing devices, a closed-loop control system was constructed to achieve dynamic adjustment of odorant dosage. Operational data show that the system increases odorant compliance from 90% to 99.5%, reduces annual odorant usage by 22.7% (from 603.8 kg to 467.0 kg), and decreases manual intervention by 70%. The core of the technology lies in establishing an accurate algorithm for “flow-dosing volume” to ensure stable odorant concentration within the range of $(8 \pm 0.4) \text{mg}/\text{Nm}^3$ under varying operating conditions. This study verifies that the technology meets the requirements for real-time monitoring of odorization devices specified in GB/T 51474-2025 Technical Standard for Operation, Maintenance, and Emergency Repair of Urban Gas Facilities, while also aligning with the intelligent transformation goals outlined in the 14th Five-Year Plan for Gas Development. It provides gas enterprises with a solution that enhances both safety and energy efficiency..

Keywords: gas odorization; intelligent regulation; flow linkage; tetrahydrothiophene; intrinsic safety

[第一作者简介] 耿江波, 安全总监, 注册安全工程师, 从事燃气安全管理工作。

1 引言

某燃气公司2011年11月实现通气点火,服务终端用户3万户,2015年投运调压门站一座,截至2024年末,公司年销气量4 384万 m^3 ,已敷设高、中压管网242km。受历史客观条件限制及城市的不断更新发展,初期的管网敷设并没有同步更新和优化,复杂的管网及用户规模对输配系统的加臭功能提出了更高的要求。燃气加臭是保障用户用气安全的重要手段,通过向无色无味的天然气中添加适量合规且具有强烈气味的加臭剂(四氢噻吩),可使泄漏时能够被用户及时察觉,进而防范爆炸、中毒等安全事故。因此,保障天然气加臭效果达标、行为合规至关重要。

2 存在问题及原因

2.1 加臭不足无法察觉

根据GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》(2020版)、CJJ/T 148-2010《城镇燃气加臭技术规程》规定:城镇燃气应具有可以察觉的臭味,无毒燃气泄漏到空气中,达到爆炸下限的20%时,应能察觉;以爆炸下限为5%的天然气为例,则 $5\% \times 20\% = 1\%$,对应天然气终端加臭剂浓度不应低于 $8\text{mg}/\text{Nm}^3$,该浓度可实现99%以上人员的有效察觉(至少99%的察觉概率)。当管道流量突增时,固定加臭量被稀释,若加臭剂量低于阈值(如四氢噻吩 $< 8\text{mg}/\text{Nm}^3$),终端用户将无法感知泄漏,尤其在夜间睡眠或密闭环境中,泄漏燃气一旦聚集至5%~15%的爆炸浓度范围,遇明火即发生爆炸,直接危及用户生命财产安全。

2.2 加臭过量资源浪费与设备腐蚀

在传统独立加臭模式下,加臭机通过控制系统设定固定的加臭频率(如1次/min~100次/min可调),单次输出固定剂量的臭剂(如 $20\text{mg}/\text{次} \sim 400\text{mg}/\text{次}$),并按预设时间间隔执行加臭动作,当夜间用气量降至低谷时,固定加臭量会造成臭剂浓度超标,既增加企业生产运行成本,过量含硫加臭剂还会导致阀门、密封圈腐蚀。此外,加臭剂过量会产生硫化氢类腐蛋味,易引发用户恐慌与投诉。

2.3 监测不及时

加臭剂以液态形式滴进燃气管道,易出现浓度分

布不均的问题;加臭剂在长距离的燃气管道中发生吸附,且低温环境下挥发性降低,同时无法实时反馈调整后的加臭剂浓度,线路巡检工在燃气管道末端定期检测加臭剂浓度,一旦出现浓度异常,通常需要十余个小时至1天才能反映调整后的真实浓度,在此响应滞后期间,加臭剂浓度不足的风险持续存在,安全窗口期失效,极易引发安全事故。

3 解决措施

3.1 联动原理

加臭装置与流量计的联动,可实现依据燃气流量变化实时调节加臭剂注入量的闭环控制。流量计模拟信号的数据采集与通信传输性能决定了加臭剂注入量的准确性与及时性,由加臭机对燃气流量进行线性化数据采集,控制器接收流量计输出的流量信号,为自动加臭方式提供计算依据,汇总得到总流量控制泵的输出频率,再将其转换成脉冲信号传递至加药泵,通过连续控制电磁泵脉冲频率向燃气管道注入四氢噻吩,最终实现加臭剂量随燃气流量变化自动调整的自动控制功能。

3.2 加臭机选型

加臭装置为某公司生产的RL-B型加臭机,防爆加臭机装置由电磁驱动隔膜式柱塞计量泵、带液位计的计量罐、控制器、配电箱、设备柜组成,该计量泵控制自动调节频率为1次/min~60次/min,单次注入量为 $0.02\text{ml}/\text{次} \sim 1.5\text{ml}/\text{次}$ 。该加臭装置的四氢噻吩依据日用气量分时段加注,在与流量计实现联动前,无法控制四氢噻吩的瞬时加注量。

3.3 流量计选型

门站使用某公司生产的TBQZ-150A型防爆气体涡轮流量计实施计量,流量计精度等级为 $\pm 1\%$,集传感器和体积修正仪于一体,可对温度、压力和压缩因子自动跟踪修正。流量计通过RS485接口构建网络通信系统,可输出 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 模拟信号以实现自动化管理,其RS485通信协议符合MODBUS规范。

3.4 加臭机联动流量计改造

从TBQZ-150A型流量计的 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 输出端引双绞屏蔽电缆,将流量计1路~2路瞬时流量数据转换为模拟电流信号 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 模拟电流信号,传输

给RL-B加臭机控制器的信号接收端（需标注正负极），加臭机控制器可采集2路以内燃气流量模拟量信号，对瞬时流量及累积量进行精确计量，经内循环调试，调节柱塞泵行程螺母完成单次注入量标定，切换至自动模式，设定信号转换比例，输入流量量程及目标加臭浓度，按比例输出脉冲信号驱动加臭泵，确保末端加臭剂浓度符合技术规范要求。

4 改造后的效果

4.1 精确控制

自动系统通过流量计的模拟信号实时获取燃气流量数据，并将其转换为脉冲信号控制加臭泵，确保加臭量与燃气流量严格按比例同步调整，无需人工干预，可有效抑制加臭浓度波动，提升精度，同时消除加臭机手动模式下因信号漂移导致的“无臭区间”，使误差控制在±5%，加臭合格率从90%提升至99.5%。此外，解决了复杂管网中加臭剂会因吸附、管材等因素衰减的问题，保障终端用户加臭剂浓度稳定在标准值范围内。

4.2 成本优化

自动系统按用气量加注，避免因手动估算误差导致的加臭剂过量或不足，经过同期比对，该公司改造后加臭剂年使用量同比减少22.7%，由年均17.9mg/m³降低至10.6mg/m³，原手动加臭需场站人员每日巡检、记录和调节，而自动系统支持无人值守，人工操作强度降低70%，人力成本节约10%，加臭成本降低约

表1 某燃气公司联动前后加臭剂使用量情况表

时间	2023年销气量 (万m ³)	2023年未联动加臭剂用量 (kg)	2024年销气量 (万m ³)	2024年联动后加臭剂用量 (kg)
1月份	586.5	106.0	776.6	85.9
2月份	421.7	80.6	639.9	66.0
3月份	191.9	35.7	438.3	42.3
4月份	111.2	19.4	262.6	27.3
5月份	114.0	19.1	246.7	26.1
6月份	107.2	16.2	161.3	16.5
7月份	108.5	17.6	211.0	21.5
8月份	147.3	25.7	211.4	22.4
9月份	196.9	29.4	196.2	19.9

(续表)

时间	2023年销气量 (万m ³)	2023年未联动加臭剂用量 (kg)	2024年销气量 (万m ³)	2024年联动后加臭剂用量 (kg)
10月份	241.2	40.2	214.1	22.1
11月份	417.7	72.8	325.3	31.3
12月份	728.0	141.1	700.6	85.8
累计量	3 372.3	603.8	4 384.1	467.0

30%，用户侧事故率降低2%，见表1。

4.3 安全升级

自动系统将泄漏风险从“事后处理”转为“事前预防”，满足GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》（2020版）对泄漏浓度（爆炸下限20%）的实时监测要求；同时降低对阀门垫片等易损件腐蚀性，维护频次降低，故障停机时间减少90%，加臭设备使用寿命延长30%，低流量工况下故障率降低50%以上。

5 总结

上述加臭机及流量计联动控制方案在实际运行中得到了有效验证，符合2025年10月1日起实施的GB/T 51474-2025《城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术标准》中燃气加臭装置的运行、维护要求，联动后燃气安全效能大幅提升，避免了加臭不足导致的安全隐患，促进加臭技术从传统机械式向智能化方向转型升级。

参考文献

- [1] GB 50028-2020,城镇燃气设计规范[S].
- [2] CJJ/T 148-2010,城镇燃气加臭技术规程[S].
- [3] GB/T 51474-2025,城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术标准[S].
- [4] 住房和城乡建设部."十四五"城市燃气发展规划[Z], 2022.
- [5] 应急管理部.城镇燃气安全专项整治三年行动实施方案[Z],2021.
- [6] 王建国,等.燃气加臭技术及设备选型手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2021.
- [7] IEC 60381-1,过程控制系统的模拟信号标准[S]. 2010.
- [8] 周晓峰,等.基于MODBUS协议的工业设备通信优化[J]. 自动化仪表, 2022,43(5):67-71.