

# 城市燃气管网监测与预警系统在生命线工程中的关键作用探讨

文 / 潘凌涛 杭州市城乡建设设计院股份有限公司

**摘要：**本文围绕城市燃气管网监测与预警系统展开，先概述燃气管网埋地管、架空管等类型的系统构成，再阐述系统实时数据采集（精度高、传输快）、风险识别评估（多维度分析、分级报告）、分级预警响应（多方式通知、快速联动）的核心功能。进而分析系统在生命线工程中提升安全性（缩短事故发生时间、减少事故数）、保障能源供应稳定（控制中断时长）、降低经济损失（减少直接与间接损失、节省巡检成本）、维护公共安全的关键作用。最后提出完善传感器覆盖、提升算法精度、加强多系统协同的优化方向，为管网安全运维提供支撑。

**关键词：**城市燃气管网；监测预警系统；生命线工程；关键作用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.121

## 引言

城市燃气管网是联系气源和用户的基础设施，它关系到居民生活、工业生产和公共安全，属于城市生命线工程的重要组成部分。城市化发展步伐加快，燃气管网规模增大，老旧管网增多，复杂工况频发，跨部门应急联动需求突出等情况，使得燃气管网的安全运行陷入困境。传统的人工巡检模式效率低下，事故发生迟缓，难以符合现代化管网管理需求。在此背景下，创建起高效的燃气管网监测与预警系统变得十分必要，该系统可以随时把握管网的运行情况，准确辨识危险，迅速应对紧急状况，对于守护生命线工程安全、稳定、经济运行有着重大意义。

## 一、城市燃气管网系统概述

城镇燃气管网，也就是从门站到用户家的基础设施，整个供气管道包含门站，储气设施等部分。①埋地管道这种管道基本上是通过埋入地下的方式，在燃气管需要经过铁路等特殊地段的时候，就需要设置套管或者管沟，通过直接或间接埋设的方式铺设管道。②架空管在工厂内，障碍物附近，建筑内部铺设管道的时候，需要使用的架空铺设的方式。③长距离输气管线可以传送大量的天然气，是用在天然气田，人工燃气和用气地区之间的输气管线，其主干道，支管末端都是和城市，工业企业相连，也就是供气的气源点。④炉前燃气管道将燃气从支管中传送到炉上的所有燃烧设备中。在城镇燃气管网的整体运行体系中，各类管道并非独立存在，而是通过阀门站、调压站等关键节点实现有效连接与压力调控，其中调压站能将门站输送来的高压燃气降至适合用户使用的低压或中压，保障用气安全稳定；门站作为燃气进入城镇管网的“入口”，除了具备接收气源的功能，还配备过滤、计量、加臭等装置，过滤可去除燃气中的杂

质，计量能精准统计供气量，加臭则是为了在燃气泄漏时便于用户及时察觉。储气设施在管网中起着“缓冲”作用，当用气高峰来临，可释放储存的燃气补充供气量，避免气压过低影响用户使用，而在用气低谷时，又能储存多余燃气，确保气源稳定；同时，整个燃气管网还需定期进行巡检与维护，工作人员会借助专业设备检测埋地管道是否存在泄漏隐患，对架空管的支架、防腐层等进行检查，对炉前燃气管道的接口密封性进行排查，通过全方位的管理，保障从气源点到用户家的每一段管道都能安全、高效地输送燃气，满足城镇居民生活与工业生产的用气需求。

## 二、城市燃气管网监测与预警系统的核心功能

### （一）实时数据采集与传输

系统在燃气管网的关键节点，比如阀门，管道接口，调压站等处安装压力传感器，流量传感器，温度传感器以及腐蚀监测传感器，从而做到对管网运行参数展开即时搜集。压力传感器的测量精确度可以达到正负0.2kPa，流量传感器的分辨率为0.01m<sup>3</sup>/h，腐蚀监测传感器可以随时察觉到管道内壁的腐蚀速率，最小监测数值为0.001mm/a，搜集来的数据借助4G/5G，LoRa等无线通讯技术传送到云端管理平台。传输时延被限定在5秒之内，这样就能保证平台随时得到管网的运行状况，为之后的剖析和警报给予数据根基。

### （二）风险识别与隐患评估

云端管理平台配备专业数据分析算法，对采集的压力、流量、温度、腐蚀数据实施多维度分析，找出管网运行中的异常状况。当管道压力在10分钟内波动超出5kPa的时候，系统就会自动判断成压力异常。当流量连续30分钟偏离正常范围10m<sup>3</sup>/h以上的时候，触发流量异常警报。系统把管网敷设年限，地质情况等基本数据

同管道腐蚀程度，第三方破坏风险一同考量，给出风险等级报告，分成低，中，高三个级别，清楚显示隐患位置和 risk 程度，给运维人员给予准确的排查方向<sup>[1]</sup>。

### （三）分级预警与应急响应

按照风险评估结果，系统创建分级警报机制，通过平台弹窗，手机短信，电话等途径向运维人员发出警报信息。低风险警报主要针对小范围参数变动，提醒运维人员留意接下来的数据变动，中风险警报针对潜藏的危险状况。例如，轻度腐蚀，压力缓慢异常等，运维人员需在 24 小时内到现场展开排查，高风险警报针对紧急情况，像管道泄漏，压力突然下降等，可以在 1 分钟内触发应急响应流程，自动把隐患地点的坐标推送给运维车辆导航系统，而且与应急指挥中心联动，启动抢险预案，缩减应急处理时间。

## 三、在生命线工程中的关键作用

### （一）提高燃气管网运行安全，减少事故发生几率

安全性是生命线工程的首要要求，燃气管网监测与预警系统可以实时监测、精准预警，降低事故发生概率。根据相关数据显示，没有监测与预警系统的燃气管网，其泄漏事故的平均发现时间为 8 小时，安装监测与预警系统的管网可以将这一时间缩短到 15 分钟以内，燃气管网泄漏事故的早期发现率达到 95% 以上<sup>[2]</sup>。并且，系统可以实时监测管道腐蚀情况，在 2-3 年前就及时发现管道腐蚀情况，避免因腐蚀引起的管道破裂事故的发生，每年可减少全国百万公里管网因腐蚀造成的管道破裂事故 600 起/年。针对第三方破坏，如施工挖掘，系统通过振动传感器和视频监控的联动，在机械靠近管道 5 米范围时发出预警，防止第三方破坏造成的管网事故，每年可减少第三方破坏管网事故 300 多起，有效提高燃气管网运行的安全性，为生命线工程筑起安全屏障。

### （二）确保能源供应稳定，生命线工程连续性

燃气管网属于能源输送通道，其出现中断运行情况，居民生活，工业生产以及公共设施（医院，交通枢纽）等都会受到影响。生命线工程的连续性被破坏，城市燃气管网监测与预警系统对流量，压力实施实时调控，保证管网运行参数维持在合理范围之内，某个区域用气量突然增多。比如，冬季供暖期，系统借助流量数据随时察觉需求变动，提早 1 小时给调压站发出指令，调节供气压力，防止因为压力不够造成供气中断。统计数据表明，装有该系统的城市，燃气管网年均供气中断时长为 2 小时以内，比未装系统的城市（年均中断时长为 15 小时）少 13 小时，保障了能源供应稳定<sup>[3]</sup>。系统对管网故障

的快速定位（定位精度在 10 米以内），使故障修复时间由传统的 4 小时缩短到 1.5 小时，减少能源供应中断对生命线工程的影响，保持城市正常运转。

### （三）减少事故经济损失，增强生命线工程经济性

燃气管网事故造成的人员伤亡以及直接经济损失（管道维修、燃气泄漏损失）和间接经济损失（工业停产、交通管制）。城市燃气管网监测与预警系统通过减少燃气管网事故的发生频率和事故处置时间，降低燃气管网事故造成的经济损失。根据计算，一次燃气管网泄漏事故（无人员伤亡）的直接经济损失约 5 万元（包括燃气泄漏量、管道维修费用），间接经济损失约 20 万元（包括周边区域停产、交通拥堵等）。有了监测预警系统之后，年均泄漏事故发生率可以降低 40%，拿某城市 1 万公里燃气管网（年均泄漏事故 100 起）来说，每年能减少直接经济损失 200 万元，间接经济损失 800 万元，总共少花 1000 万元，而且系统准确找出隐患所在，不让人工巡检瞎跑，每年能省下 300 万元巡检钱（按照人工巡检人均每天 500 元，巡检周期 7 天算），让生命线工程更省钱。

## 四、系统应用中的优化方向

### （一）完善传感器覆盖范围

当下，在城市供水管网、燃气管网等基础设施运行监测方面，一些建成时间长、老化严重且位置偏僻、维护困难的老旧管网及区域，存在传感器部署密度低的现象，形成多个监测盲区，不能及时、准确地获取管网压力、流量、泄漏情况等关键运行数据。管网安全运行潜藏着隐患，故障若未及时发现就会造成资源浪费，甚至诱发安全事故。以后要将老旧管网改造同智慧监测体系建设紧密结合起来。一方面加大老旧管网的更新改造力度，替换掉锈蚀、破损的管道，改善管网总体构造，另一方面根据实际情况提升传感器部署数量，着重保障管网关键节点，也就是管道弯头、阀门井、流量调节处等容易出现故障的部位的传感器覆盖率达到百分之百，通过科学布局达成监测网络全域覆盖，从而清除监测盲区，而且要借助数据传输和分析技术<sup>[4]</sup>。让系统能够即时捕捉到管网运行动态，从而做到监测的全面性和精确性，为管网安全运维、故障迅速处理给予有力支撑。

### （二）提升数据分析算法精度

当下管网监测系统里的现存算法，在应对暴雨洪涝造成管道外部压力陡增，严寒冻胀致使管道破裂，管网负荷骤变，早晚用水高峰流量突然增大。工业用户短时间内大量用气引起压力波动等复杂工况的时候，受制于数据训练样本涵盖范围有限，模型对动态变量的适应能

力较差，风险识别精确度有明显欠缺，时常会发生误报现象，也就是把正常的压力波动当作泄漏风险来对待，或者出现漏报情况，就是没有及时察觉到极端低温条件下管道存在的隐患，很难达到管网安全运行的即时警报标准。未来要深度融合人工智能技术，依靠大量历史运行数据和即时监测数据，改善数据分析模型的特征提取和决策逻辑，着重加大极端工况下多场景模拟训练的力度。通过创建高温，暴雨，负荷突变等特殊场景的专属算法模块，提升模型应对复杂环境的适应性以及抗干扰能力，保证系统在各种复杂工况下仍然可以精确识别泄漏，堵塞，压力异常等风险。切实减小误报，漏报率，务必把误报率牢牢控制在 5% 以下，从而给管网故障的快速反应和精准处理赋予可靠的算法支撑，见图 1。

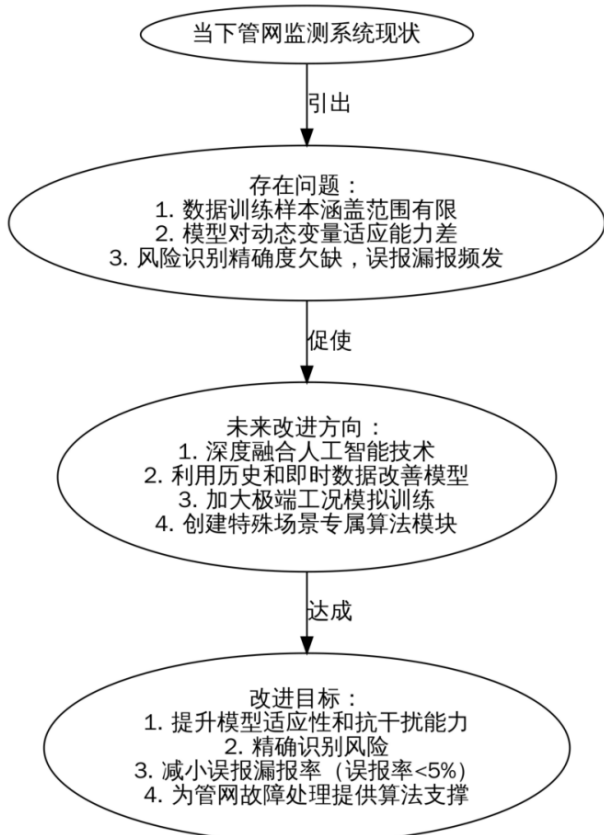


图 1 管网监测系统算法性能与优化方向流程图

### (三) 加强多系统协同联动

当下燃气管网监测与预警系统在实际运作当中，同城市消防指挥系统，交通管控系统，医疗急救系统这些关键的应急体系之间，存在着数据壁垒没有打通，协同机制不健全的情况，于是就造成协同联动能力非常不足，燃气管网一旦出现泄漏，爆燃之类的隐患，监测系统可以发出预警。但是不能把管网的具体位置，泄漏等级，

影响范围等重要信息迅速同步给消防，交通，医疗等部门，各个系统往往处于“各自为战”的状况，既要靠人工反复沟通来确认信息，又要担心交通疏导不及时，耽误应急车辆抵达，医疗资源调配滞后，影响救援效率，整体应急响应速度受到很大限制。未来要以破除部门数据壁垒为重点，创建起统一的跨部门数据共享平台，制定出统一化的数据交互标准，达成燃气管网监测系统同各个应急系统的实时数据互通<sup>[5]</sup>。并且要创建起自动化联动机制，当系统察觉到高风险事故的时候，可以自动发出联动指令，把事故消息即时推送给消防，医疗部门，而且联动交通系统开辟应急通道。从而做到消防车辆，救护车等应急资源的快速调度和精准布置，进一步削减从事故预警到现场处理的时间，改进燃气管网事故应急处理的总体效能。

### 结语

城市燃气管网监测与预警系统依靠其及时的数据采集传输、精确的风险识别评估、分级的应急响应等主要功能，在生命线工程中起到了关键作用。燃气管网的安全性得到了提高，事故的发生率以及造成的经济损失被大大降低，能源供应的稳定性也得到了保障，公共安全得以维护，其经济与社会价值十分明显。但是系统在传感器覆盖范围、算法准确性、多个系统协同等方面还有改进之处。将来完善传感器布置，消除监测盲区，融合 AI 技术以增强算法对复杂工况的应对能力，搭建起跨部门平台加强应急联动，就可以进一步改善系统性能，给城市燃气管网安全运作和生命线工程高质量发展给予更加稳固的保障。

### 参考文献

[1] 巩玉峰，王凯. 城市燃气管网老化问题及其预防和修复技术研究 [J]. 石化技术, 2025, (08): 378-379.  
 [2] 黄家阳. 城市燃气管网设计优化与智能调度方法研究 [J]. 石化技术, 2025, (07): 125-127.  
 [3] 任小龙. 城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术分析 [J]. 城市管理与科技, 2025, (03): 48-50.  
 [4] 金达银. 城市燃气管网安全运行管理研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(06): 181-184.  
 [5] 毛宁宁. 城市燃气管网运行重大安全隐患分析与防范对策研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, (04): 73-75.

作者简介：潘凌涛，1977 年 5 月，男，汉族，浙江省杭州市，能源工程安全咨询所所长，高工，学士，研究方向：城镇燃气、安全咨询。