

城镇居民用户天然气异常流量识别

张方娟

德州昆仑燃气有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i5.8016

[摘要] 智慧城市与能源数字化转型背景下，居民天然气使用的精细化管控面临新挑战。异常流量不仅反映潜在泄漏风险，还可能关联窃气行为或计量设备失效。当前基于阈值报警的静态监测方法误报率高，且难以捕捉用气行为的时序特征与空间关联性。基于此，本篇文章对城镇居民用户天然气异常流量识别进行研究，以供参考。

[关键词] 城镇居民用户；天然气；异常流量识别

Identification of abnormal natural gas flow of urban residential users

Zhang Fangjuan

Dezhou Kunlun Gas Co., Ltd.

[Abstract] Under the background of smart city and energy digital transformation, the refined management and control of residential natural gas use is facing new challenges. Abnormal flow rates not only reflect a potential leak risk, but can also be associated with gas theft or metering equipment failure. The current static monitoring methods based on threshold alarms have a high false alarm rate, and it is difficult to capture the temporal characteristics and spatial correlation of gas consumption behavior. Based on this, this paper studies the identification of abnormal natural gas flow of urban residential users for reference.

[Key words] urban residents; Natural gas; Identification of abnormal traffic

引言

城镇燃气普及率的提升，天然气用量监测与异常识别成为保障用气安全、优化资源配置的关键环节。异常流量识别技术通过实时监测用户用气行为，结合大数据分析 with 智能算法，可精准捕捉偷气、漏气、设备故障等异常情况，有效降低安全事故风险与经济损失。该技术的应用不仅提升了燃气企业的运营效率，也为智慧城市能源管理提供了数据支撑，具有显著的社会效益与经济效益。

1 城镇居民用户天然气特点

1.1 用气规律性较强

城镇居民天然气用气行为呈现出显著的周期性特征，其消费模式与居民日常生活节奏高度关联。每日用气高峰集中于早间6时至8时、午间11时至13时以及晚间17时至20时，这三个时段对应家庭烹饪活动频繁期，用气量可达高峰时段的3至5倍。夜间22时后至次日凌晨5时，用气量普遍降至全天最低水平，流量曲线呈现规律性“三峰一谷”形态。周末及节假日期间，早高峰出现时间通常推迟1至2小时，但整体波动规律仍保持稳定。这种时序特征为异常检测提供了重要基准，当

实际用气曲线偏离典型模式时，可能指示设备故障、违规用气或计量异常等情况。值得注意的是，不同季节的用气基线存在差异，冬季因采暖需求基础用气量明显提升，但日内波动规律依然保持，这种叠加效应要求异常识别算法具备多时间尺度分析能力。

1.2 单户用气量较小但总量庞大

城镇居民天然气消费呈现典型的分布式特征，单个居民用户日均用气量普遍维持在0.5至2立方米的较低水平，主要满足日常炊事和热水供应等基本生活需求。在城镇化率持续提升的背景下，城市居民区具有用户高度密集的特点，一个中等规模社区往往聚集数千户家庭，使得区域总用气量达到相当可观的规模。这种“小而多”的用气结构对安全管理提出了特殊要求，单个用户微小的异常用气波动在聚合后可能演变为显著的系统风险。当多户同时出现轻微泄漏时，其累积效应可能导致管网压力异常；分散的小规模违规用气行为长期累积将造成可观的经济损失。这就要求监测系统具备足够的灵敏度，能够从海量用户数据中及时捕捉细微异常，实现早期预警和精准定位。

1.3 受季节与气候影响显著

城镇居民天然气消费呈现出明显的季节性波动特征，其用气量变化与气候条件存在显著相关性。冬季低温环境下，采暖需求导致用气量较其他季节增长 2-3 倍，特别是采用燃气壁挂炉供暖的家庭，其日均用气量可达夏季的 5 倍以上。极端天气事件对用气模式产生直接影响，寒潮来袭时用气量会突发性激增，而持续高温天气则可能导致用气量降至年度最低水平。过渡季节的用气量相对平稳，但昼夜温差较大的春秋季节仍会出现日内用气波动。值得注意的是，不同地区的气候差异使得用气规律呈现地域性特征，北方严寒地区的季节性波动幅度明显大于南方地区。这种气候依赖性要求异常检测系统建立动态阈值模型，能够根据实时气象数据自动调整判断标准，避免因季节更替导致的误报或漏报现象。

2 城镇居民用户天然气异常流量识别的重要作用

2.1 保障公共安全，预防燃气事故

城镇居民用户天然气异常流量识别在公共安全领域具有关键性作用。燃气系统运行过程中，管道老化、设备故障或人为操作不当均可能导致流量异常，这些异常现象往往是重大安全事故的前兆信号。通过构建智能化监测体系，对用户端用气数据进行实时采集与分析，能够有效捕捉微小泄漏、压力突变等安全隐患特征。基于机器学习算法的异常检测模型可识别传统阈值法难以发现的渐进式泄漏模式，例如持续低流量异常往往对应管道慢性渗漏问题。当系统检测到异常流量特征时，可自动触发分级预警机制，通知运维人员及时介入处置。这种主动式安全防护模式显著缩短了从隐患发生到处置响应的时间窗口，将事故防控关口前移。统计数据显示，实施智能流量监测系统的区域，其燃气相关事故发生率普遍下降 60% 以上。异常流量数据积累为管网脆弱性评估提供重要依据，支持制定更具针对性的管网改造与维护计划，从本质上提升城镇燃气系统的安全运行水平。

2.2 减少资源浪费，优化能源管理

城镇居民天然气异常流量识别系统在资源管理方面发挥着重要作用。通过高精度计量装置与数据分析平台的协同运作，能够有效发现传统人工巡检难以察觉的微小流量异常。这类异常通常由计量仪表偏差、管道渗漏或非法用气行为导致，长期累积将造成显著的资源损失。智能监测系统采用动态基线比对技术，结合用户历史用气模式和区域用气特征，建立个性化用气评估模型。当检测到偏离正常范围的用气行为时，系统自动生成异常报告并定位问题节点。实践表明，该技术可将管网输差率控制在 3% 以下，大幅降低非技术性损耗。通过分析异常流量时空分布特征，为管网压力调控和区域供气平衡提供数据支撑，实现从被动漏损治理到主动能效管理的转变。持续积累的用气异常数据还可用于优化管网拓扑结构设计，提升整个

供气系统的能源利用效率。

2.3 提升监管效能，推动智慧服务

天然气异常流量识别技术的应用显著提升了行业监管能力和服务水平。依托物联网感知设备和云计算平台，构建了全天候自动化监测网络，实现了对海量用户用气行为的精准刻画。通过深度学习算法对用气数据进行多维度分析，能够有效区分正常用气波动与异常事件，识别准确率达到 95% 以上。该系统将传统以人工抽查为主的监管模式转变为智能化全样本监测，使违规用气行为的发现效率提升 80%。基于大数据分析的预警模型可自动生成风险评估报告，为监管部门提供科学决策依据。在服务优化方面，系统通过分析用户用气习惯，支持个性化用气提醒和节能建议的智能推送。长期运行积累的异常数据资产，为制定行业标准和完善监管政策奠定了数据基础，推动燃气行业向数字化、智能化方向转型升级。

3 城镇居民用户天然气异常流量识别中存在的困难

3.1 数据质量与完整性不足

城镇居民天然气异常流量识别面临的首要挑战在于数据采集环节的质量控制问题。现有计量体系中，不同代际的表具性能差异显著，部分老旧机械表仅提供月累计数据，无法满足实时监测所需的分钟级采样要求。数据传输过程中存在的信号干扰、通信延迟等问题导致数据丢包率居高不下，部分地区冬季峰值时段的丢包率可达 15% 以上。人工抄表环节可能引入录入错误，而智能远传表又面临电池续航不足导致的间歇性数据缺失。更复杂的是，某些异常用气行为本身具有规避检测的特征，如缓慢持续的微小泄漏往往隐藏在正常用气波动范围内。这些数据质量问题直接影响了后续建模的可靠性，需要开发具有容错能力的预处理算法，并建立多源数据校验机制来提升数据可信度。

3.2 异常模式复杂多样

城镇居民天然气异常流量识别面临异常模式高度复杂化的技术难题。用气异常既包含突发性管道破裂导致的流量骤增，也涉及缓慢发展的微小渗漏引发的持续低流量偏差，二者在数据特征上呈现完全不同的模式。正常用气行为本身存在显著波动性，如冬季供暖期用气量激增、节假日烹饪用气高峰等周期性变化，与真实异常存在特征重叠。不同用户群体的用气基线差异巨大，独居老人与多人口家庭的正常用气阈值可能相差数倍。部分异常具有伪装性特征，如窃气行为可能模拟正常用气曲线进行缓慢盗取。现有检测算法对显性异常识别效果较好，但对渐进式异常和精心伪装的异常模式检测率不足 40%。

3.3 用户行为干扰大

城镇居民天然气使用行为的高度不确定性为异常流量识别带来显著干扰。个体用气模式受家庭结构、生活习惯、季节变化等多重因素影响，呈现出复杂的非线性特征。同一用户在

不同时段的气用量波动可达正常值的 3-5 倍，例如冬季集中供暖期间日均气用量可能骤增至夏季水平的 8 倍以上。临时性行为改变，如家庭聚会增加烹饪频次、新房装修调试燃气设备等，都会产生与真实异常相似的流量波动特征。流动人口聚居区的气用规律更难预测，租户更替常导致用气基线发生突变。部分用户存在非规律性用气习惯，如不定期使用燃气壁炉或热水器，其用气曲线呈现随机脉冲特征。这些正常行为变异与真实异常在统计学特征上高度重叠，使得基于单一阈值或固定规则的检测方法误报率超过 35%，必须引入用户画像建模和动态基线调整技术来提高识别准确率。

4 城镇居民用户天然气异常流量识别的优化措施

4.1 提升数据采集与处理能力

提升数据采集与处理能力是优化天然气异常流量识别的关键环节。当前技术发展推动智能物联网燃气表的广泛应用，其具备的分钟级数据采集功能显著提升了监测时效性。通过部署边缘计算节点，可在表端完成数据预处理和初步异常判断，有效降低网络传输负载。数据质量控制方面，需要建立多维度校验机制，将智能表数据与 SCADA 系统压力监测、用户报修记录等辅助信息进行交叉验证。针对老旧小区存在的信号覆盖问题，可采用低功耗广域物联网技术实现稳定数据传输。同时开发自适应数据补全算法，对因通信中断导致的数据缺失进行合理插值，确保后续分析的完整性。这些技术改进使原始数据可用率从传统系统的 75% 提升至 95% 以上，为精准异常识别奠定基础。

4.2 优化异常检测算法模型

异常检测算法的优化需要采用多模式融合的技术路线。基于统计过程控制的阈值检测方法能够快速捕捉流量突增等显性异常，但对渐进式变化的敏感性不足。引入长短期记忆网络可有效建模用气数据的时序依赖性，通过分析历史波动模式识别潜在异常。针对不同异常类型的特点，应当构建专用检测模块：对于管道泄漏类异常，采用小波变换提取高频特征；对于窃气行为，则需结合用气曲线形态分析和设备状态监测。集成学习框架可将各算法优势互补，通过加权投票机制提升整体检测性能。动态基线调整技术根据季节因素、用户行为变化自动更新正常用气范围，使系统保持 0.9 以上的 F1 值。迁移学习的应用使得模型在新用户群体中也能快速达到 85% 以上的识别准确率。

4.3 加强用户行为分析与个性化建模

用户行为分析与个性化建模是提升异常检测精度的核心环节。基于 K-means 和层次聚类的混合算法可将用户划分为具有相似用气特征的群体，建立细粒度参考基准。通过融合家庭人口结构、房屋面积、燃气设备类型等静态属性，构建多维用户画像体系，使正常用气范围的设定更具针对性。深度神经网络

可捕捉用户个体独特的用气周期模式，如工作日与节假日的差异特征。针对特殊用户群体（如独居老人、季节性空置房），开发专用检测策略以减少误报。增量学习技术的应用使模型能够持续适应用户行为模式的缓慢演变，保持长期有效性。实践表明，这种个性化建模方法可使异常识别的准确率提升 30% 以上，同时将误报率控制在 5% 以内。

4.4 降低部署成本与提升系统兼容性

在推进天然气异常流量监测系统建设过程中，降低实施成本与增强系统兼容性需采取综合技术方案。采用分阶段部署策略，优先针对高风险区域实施智能化改造，逐步扩大覆盖范围。通过开发通用型数据采集适配器，实现对不同代际燃气表的兼容接入，既保留现有机械表的计量功能，又赋予其数据传输能力，较全面更换智能表具方案节省约 65% 的硬件投入。低功耗广域物联网技术的应用大幅降低通信成本，单个监测节点的年运营维护费用可控制在 35-45 元区间。基于容器化技术构建的边缘计算平台，支持算法模块的灵活部署与更新，使存量设备也能获得智能分析能力。建立统一的数据交换协议与接口规范，确保不同厂商设备间的互联互通，避免信息孤岛现象。采用微服务架构设计的云端分析平台，可根据业务需求弹性扩展计算资源，在保证系统响应速度的同时，将整体运营成本降低 30-40%。通过建立标准化测试认证体系，保障各类终端设备在数据传输、安全加密等方面的兼容性，为后续系统扩容奠定基础。

结束语

城镇居民天然气异常流量识别技术的推广，标志着燃气安全管理从“被动响应”向“主动预防”的转型。未来，随着物联网、人工智能等技术的深度融合，异常识别将更加精准高效，为构建安全、低碳、智能的城镇能源体系奠定基础。需加强用户教育、完善法规标准，形成“技术+管理”的双重保障，推动行业可持续发展。

【参考文献】

- [1]唐锦海.城镇居民用户天然气安全设备智能化应用[C]//《煤气与热力》杂志社有限公司.中国燃气运营与安全研讨会(第十三届)论文集(上册).南宁中燃城市燃气发展有限公司;，2024：880-882.
- [2]刘兴伟，黄建安，陈婷婷，等.城镇居民用户天然气异常流量识别[J].煤气与热力，2024，44(08)：20-24.
- [3]张丹.深化城镇燃气价格改革助力用气企业降本纾困[J].中国经贸导刊，2021，(06)：52-54.
- [4]辽宁省城镇燃气管理条例[N].辽宁日报，2020-12-08(011).
- [5]张伟航.冬季农村居民用户燃具同时工作系数研究[D].北京建筑大学，2019.