

城镇燃气系统安全运行智慧化监测技术研究

赵现晖

中石油昆仑燃气有限公司江苏分公司, 江苏 南京 211100

[摘要]城镇燃气系统是城市的供能基础设施之一,在燃气系统安全有效运转的同时也保障着人民群众的生命安全和社会的和谐发展,但随着城镇燃气使用量不断增加以及管线逐渐增多,传统的手工检查方式及管理方法已经不能满足日益严峻的安全隐患形势需要。为此文章以城镇燃气安全生产智能化监控技术为核心内容进行论述,并对智慧燃气检测系统的四个层次结构进行了详细介绍,同时详细介绍了传感器技术和物联网及大数据技术、AI 智能技术和数字模拟仿真等先进技术的应用情况以及应用途径,最后提出提高终端客户安全管理能力的方法措施。研究发现,建立包括感知、传输、平台、应用在内的立体化监测防护网络,在综合应用多种智能化技术的基础上,可以做到从被动治理到事先警报的根本转变,给城镇燃气的安全稳定运行奠定基础。

[关键词]城镇燃气; 智慧监测; 物联网; 数字孪生; 安全运行

DOI: 10.33142/sca.v9i3.19378

中图分类号: TU996

文献标识码: A

Research on Intelligent Monitoring Technology for Safe Operation of Urban Gas System

ZHAO Xianhui

Jiangsu Branch of PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211100, China

Abstract: Urban gas system is one of the energy supply infrastructure in cities. While the gas system operates safely and effectively, it also ensures the safety of people's lives and the harmonious development of society. However, with the increasing use of urban gas and the gradual increase of pipelines, traditional manual inspection and management methods can no longer meet the increasingly severe safety hazards. This article discusses the intelligent monitoring technology for urban gas safety production as the core content, and provides a detailed introduction to the four hierarchical structures of the smart gas detection system. It also introduces in detail the application of advanced technologies such as sensor technology, Internet of Things, big data technology, AI intelligent technology, and digital simulation, as well as their application approaches. Finally, it proposes methods and measures to improve the safety management capabilities of end customers. Research has found that establishing a three-dimensional monitoring and protection network that includes perception, transmission, platform, and application, based on the comprehensive application of various intelligent technologies, can achieve a fundamental transformation from passive governance to advance warning, laying the foundation for the safe and stable operation of urban gas.

Keywords: urban gas; smart monitoring; Internet of Things; digital twin; safe operation

引言

燃气是城市的主要能源之一,在整个城区中广泛分布着,燃气的安全与否直接影响到老百姓的人身财产安全,必须引起高度重视,近年来,我国天然气消耗量逐年增加,用气量越来越大,燃气管道就好似城市的“毛细血管”,长达数千公里遍布各个社区以及家庭之中,但是由于城市建设和发展的需要,管道老化,第三施工作业造成破坏,材料老化等原因引发的事故时有发生,现有的燃气管理方式已经不能适应当前城市的管理需要;伴随着物联网、大

数据等新兴事物的发展,城市燃气系统正由原先简单粗放式的管理模式逐步过渡为全生命周期,全面化的智能管理系统。运用可靠的、有效的、实用的自动化在线检测方法来提高燃气公司生产经营管理的质量,已经成为行业发展的一个趋势。

1 城镇燃气智慧化监测系统建设

1.1 感知层

感知层是燃气管网监控系统的核心环节,也是系统的基本数据源,感知层对燃气管网监测参数进行采集。感知

层主要由各类的物联网节点组成：智能式燃气表、压力计以及温度计等，它们的主要作用就是采集现场的实际数据。其中感知层主要包含无线气体报警器、IoT Gateway 以及其他传感器等，可靠地通信网络对所获取的数据进行远距离传输。感知节点可以实时的对燃气管网状态进行监控，比如是否有泄漏、环境的温度的变化状况、压力的变化情况等。保证数据的完整性。在选择技术方面，选用低功耗广域网技术 LoRa、NB-IoT 等，具备长距离、低功耗、低成本的优势，适用于大批量安装。除了普通的传感器之外，在感知层也加入了智能化煤气表、智能电磁阀控制器等装置，不仅可以记录信息并且可以下达指令来进行远端调控，从而更好的监控以及操控燃气设备。

1.2 传输层

传输层是信息传输的重要部分，在整个传输过程中担当着至关重要的作用。网络层主要是由不同的有线、无线通信方式组成，例如 LoRa、NB-IoT、5G 等手段来保障信息的有效传输。在网络的应用方面主要是使用 lora、4G、5G 这些通信网络。针对燃气监控的特点，传输层的设计就一定要做到及时性的准确可靠的安全性。同时在一些比较偏远的或者不容易进行布线的地方就可以通过低功耗广域网的技术使得传感器能够正常运行起来。伴随着 5G 商用时代的来临，它所包含的高速率、低延迟、大规模连接的优势也为燃气监控的信息实时传输提供更好的方案选择。传输层需要对数据进行加密的功能，所有的在网络中传送的数据都要使用加密算法加以保护，避免数据被监听或者篡改。

1.3 平台层

平台层汇集了大数据处理、云计算、AI 算法等一系列技术，对接收到的来自感知层的数据进行清洗、存储、分析、挖掘，给予上层应用所需支撑。服务层是以物联网设备管理系统为主体的服务端，实现了数据汇聚及管理的功能，在为管网监控平台、其他的应用平台提供专业的、方便的数据接口服务的同时也充当着整个智慧燃气系统的大脑角色，承担着处理大量感知信息的任务。从物联网感知层采集到的第一手信息通常比较混乱，需要经过数据清洗、去除重复、格式转化等一系列前处理工作才能得到清晰的结构化的有用数据，方便进一步的数据分析研究^[1]。云计算数据中心对大数据量进行存储、备份、分析等，是数据计算的核心，而边缘计算位于边缘节点与云服务器间，在物联网感知层与云平台上架设一个过渡层，它可以及时地处理并反馈一些信息给云平台从而减少了云平台的压力并且减少数据传输的时间。

1.4 应用层

应用层建立在平台层之上，包括智能化调度、安全管理、客户服务等一系列子系统，最贴近业务的需求、贴近最终用户。以智慧管网云平台配合智能控制器来实现对设备的管理、报警信息的管理、大数据的挖掘以及水力模型分析、管网分析等一系列的服务。应用层是智慧燃气的应用价值所在层，在这个层面上把数据变成可以进行决策的依据。在功能的设计方面，应用层允许用户设置不同重要性的点位预警上下限值，基于云平台的逻辑判断能力来设定，一旦管网数据或者某个设备出现故障等情况时，自动触发报警提示管理者。报警手段有云平台推送、电话、APP 推送、本地声音灯光提示等方式。此外，利用组态场景及 GIS 电子地图的功能展示了系统内管网监控场景，清晰了解系统各个模块的运作状态；在应用层面上还有数据分析的功能，可以查询到以前的数据并加以分析，在检测环境中各个指标的变化状况，可以比较不同时间段内的几个指标曲线趋势等，可以查询出各参数的最大值、最小值、均值等相关信息。

表 1 城镇燃气智慧化监测系统四层架构及功能对比

系统层级	核心功能	关键技术手段	典型设备/平台
感知层	数据采集与前端感知	MEMS 传感技术、激光检测、超声波计量、低功耗设计	智能燃气表、压力传感器、可燃气体报警器及温度传感器、物联网网关
传输层	数据传输与网络连接	NB-IoT、5G、LoRa、4G、数据加密、边缘网关	物联网网关、通信基站、工业路由器、无线中继器、RTU 测控终端
平台层	数据汇聚与处理分析	云计算、边缘计算、大数据存储、AI 算法、数据清洗	物联网设备管理平台、云计算中心、GIS 地理信息系统、数据中台
应用层	业务应用与决策支持	水力模型、可视化展示、移动互联、智能报警、应急指挥	SCADA 系统，应急指挥系统，管网仿真系统，手机 APP，大屏可视化

2 城镇燃气系统中安全监测技术的应用

2.1 传感器技术的应用

传感技术是智能燃气探测的基础，传感器的技术好坏直接影响到采集的数据是否精确可靠，在对燃气管线的监测上，设备应用了各种各样的传感器：气体浓度传感器，温度传感器，压力传感器以及湿度传感器等；压力监测仪用来检测运行管线的压力变动情况，带有电池供电，超低能耗，嵌入式计算，IP68 防护等级，无线通讯，多种类型传感器接入，数据存贮、数据异样报警输出功能，可以随时监控运行管线的压力数值，在运行管线压力低于设定值的情况下能够立刻发送提醒给监控室，方便巡检人员尽快找到故障点并进行解决。可燃气体探测器是指能够对泄露出来的可燃

气体做出反应，并自动发出报警信号并且将报警信号以及泄露出来的可燃气体浓度传递给可燃气体报警控制器的一种装置。它们遍布整个管网区域，形成了一张密布的监测网，可靠的传输网络使得他们可以远程传递所收集的数据。

2.2 物联网与大数据的安全监测应用

物联网技术和大数据技术相结合，使孤立的感知终端组成了物联网，并且让庞大的监测数据有了用处。智慧燃气管网监控系统解决方案运用物联网技术，以智能化传感器为基础建立燃气管网全方位监控的实时探测网路，在线监测燃气管的压力、流速、密闭环境、燃气泄露等相关信息并记录与分析相关管网运行状况信息，对管网的地理信息及运行状态进行整合并且实现实时的安全监督，同时对管网的运行状况做到实时的把控。在数据分析方面，燃气管网监控系统管理系统，可以对燃气管网的数据进行统一的管理并且能够对燃气管网日常检修维护、突发事件调度等工作进行精细的管控，从而能够为后续新增建设、扩容重建工程提供依据。为提升燃气管网系统的管理能力，应对现阶段的问题及潜在的风险，保证人民群众的日常生活^[2]。利用物联网、大数据相结合的方式，系统自行测算出泄露几率以及可疑区域位置，在 GIS 地图上精准锁定泄露地点，出具处理意见，让其泄漏的时间由“小时级”变成“分钟级”，精确定位到管段级别，大幅减少重大事故的发生概率。

2.3 人工智能推动精准调度、智能决策

人工智能技术对燃气系统运维管理模式带来颠覆式的冲击，实现由经验决定到智能判断的跨越，在管线巡检环节中，L4 级别的自动驾驶设备可以探测到空气中百万分之一体积的比例的甲烷及乙炔气体，已经完成在超过二十座城市的四万多公里的燃气管网安全巡检任务。福州燃气低空巡检示范点部署了数架装有摄像机及气体感应器的无人机依次升空，在空中航线中辨别出施工围挡内机械设备以及燃气管道被压迫、燃气微量泄漏等问题，并即

时上传到 AI 后台进行分析研判，若有隐患则会一键生成工单发给一线人员，实现由感知、到预判、再到处置的全链条闭环管控。以前一个人工巡检一个小时的工作量，现在借助无人机以及人工智能识别分析，仅仅几分钟就做完了，简直就是为管线安上了一对“天眼”。对于客户服务，“燃气管家”APP 已经覆盖到华润燃气全国 41 家分公司，每天最高可以处理 149000 单业务，还利用智慧客服等一系列数字化方式做到“让数据多跑‘路’，群众少跑腿”。

2.4 利用大数据对智慧燃气安全运行进行预测和故障预警

大数据预测性报警技术让燃气安全监管由“事后抢修”转变为“提前干预”。运用人工智能技术构建起燃气装置完好性模型，做到能及时发现问题并报警管道开裂、泄露、超压等情况，使安全监管由“事后抢修”变为“提前干预”。实际使用时对进口压力、出口压力、温度、机器状况等重要指标进行实时监测，利用过往资料训练出设备运行良好程度分析模型，预报检修时间，设备故障预警精度达 95% 以上，节省维修费用 30% 左右。在沙坪坝区数字化燃气管网的应用上，工作人员通过对数字化燃气管网特色应用的开发，在全区内各学校对燃气设施及管道进行巡查，结合数字孪生、AI 仿真、3D 建模、大数据模型等技术打造燃气管网体征指标、动态监测、风险处置、多维评价 4 类智能化模块，用数字化巡查代替了低风险区域人工巡查，把人从简单重复的工作中解放出来，投入到更重要的地方去，提高工作效率超过 40%。

2.5 数字孪生技术助力全生命周期智能管理

数字孪生技术是基于建立燃气管网的数字化镜像，从而达到物理空间与信息化空间的高度统一，新奥能源“燃气管网数字孪生系统”，以对管网运行状态进行动态仿真，实现对泄漏风险分析及管网优化的智能化决策。新天科技自主创新研发智慧燃气监控管理系统高度集成物联网监

表 2 城镇燃气安全监测关键技术应用对比

技术类型	主要应用场景	核心价值	预期效果
传感器技术	管网压力监测、泄漏点探测、流量计量、阴极保护监测	实现“人防”向“技防”转变，弥补人工巡检盲区	实时了解管网运行情况，对微小漏水及压力波动做到早察觉、早处理，准确率达到管段级别
物联网与大数据	海量终端数据采集、设备远程监控、运行状态分析、GIS 集成	打通数据孤岛，构建全域感知网络	做到管网运行状态全方位透明化，报警响应速度由“小时级”优化到“分钟级”。
人工智能	无人机智能巡检、施工行为识别、气量精准预测、智能客服	从经验判断转向模型驱动，提升决策效率	巡检效率提高，调度响应速度加快了，应急指挥更加准确，AI 客服业务受理量增加
大数据预测预警	管网腐蚀趋势分析、设备故障诊断、健康度评估	从事后处置转向事前预防，构建风险预警模型	设备故障报警正确率达到 95% 以上；降低了 30% 的维护费用；危险源精确划分等级。
数字孪生技术	管网全生命周期管理、仿真模拟演练、负荷预测、规划设计	虚实映射、仿真推演，实现科学决策	管网资产数字化、应急演练费用减少、规划设计更加合理、做到动态精准模拟

测和数字孪生技术,做到管网、厂站、入户全方位智能检测与信息集成,运用人工智能技术开展泄漏准确定位以及负荷预报工作,形成“检测-观察-判断”的智能化管理流程^[3]。数字孪生技术的应用,使得城市燃气管网管理工作由过去的静态记录转变为实时模拟仿真,进行管网空间管路解析,区分不同的管网拓扑结构的问题,判断管网状况的好坏程度,增强对燃气管网的管理水平以及效率。

3 提升燃气用户端的安全管控水平

用户侧是整个燃气系统最末梢部分以及最容易出现事故的薄弱环节,提高用户侧的安全管理水平是智慧燃气监控系统中的重要内容,在居民用户的家中各地区尝试摸索有效的管理模式,对于“多次到访未遇”的居民政企联手加大整治力度,累计入户安检近3万余户,迅速处置好胶管破裂老化、灶具破损老化以及接口处漏气等问题隐患3000余起,安全隐患做到“排查即整改”。加快实施“瓶改管”工作,形成了“政府总牵头,街道抓落地,企业具体做”的三级联动工作机制,借助原有的燃气网格化管理体系,采取“地毯式”排查出潜在的“瓶改管”用户1200余家^[4]。智慧服务方面:推出“燃气便民小铺”,每周开展“燃气安全进社区”宣传活动,把服务窗口搬到居民家门口;线上更新“智慧服务”,实行“一次填报”的信息共享,在报装、缴费、修换等方面推广“一码办理”,30余项高频业务实现“一屏通办”。继续推行“银龄安居”服务,把2000余名“窗帘之约”老人纳入保障,对103名孤寡老特残用户一对一帮扶,免费为其安装物联网燃气表和联网报警器,让困难群体用气安全得到数智化保护。

4 结语

城镇燃气系统的安全稳定直接影响市民的生命财产

安全以及城市的和谐稳定,智能化检测技术的发展正悄然改写着燃气行业管理模式。本文通过对系统结构及技术的应用来探究智慧燃气监测系统的建立方式,结论为在感知层、传输层、平台层、应用层四方面配合下,结合传感器技术、物联网技术、大数据技术和人工智能技术、数字孪生等多个先进技术就可以实现对于燃气管网运行情况进行全方位的监测、准确预报并做出合理判断;从最初燃气泄漏被发现的时间由“小时级”到现在的“分钟级”,再到目前设备出现故障报警准确率达到95%以上,智慧化监测技术让燃气管理实现了由被动响应式向主动预防性的转变。展望未来,在5G、AI大模型、边缘计算等新技术不断发展的背景下,智慧燃气检测将会朝着覆盖面更大、融合度更高、智能化程度更高的趋势发展,从而更好地为打造一个安全可靠、运行高效的绿色环保城市能源系统保驾护航。

[参考文献]

- [1]杜文广.城镇燃气系统安全运行智慧化监测技术应用研究[J].中国房地产业,2025(33):34-37.
- [2]李振悦.城镇燃气自控系统安全防雷措施探究[J].机电信息,2021(17):63-64.
- [3]韦永金,文红.城镇燃气户内安全切断装置技术研究[J].甘肃科技,2026,42(2):81-85.
- [4]刘硕.城镇燃气管网安全运行存在的问题与对策研究[J].石化技术,2025,32(12):431-433.

作者简介:赵现晖(1994.1—),毕业院校:东北石油大学,所学专业:自动化,当前就职单位:中石油昆仑燃气有限公司江苏分公司,职务:生产调运岗高级专员,职称级别:工程师。