

# 基于场景理论的燃气物联智能感知生态系统形成机理研究

李静 洪波 曾世

中国电子科技集团公司第四十八研究所 湖南 长沙 410004

**【摘要】**：城市燃气安全关乎公共安全与民生，传统管控存在感知碎片化、处置滞后、治理粗放等问题，难以适应现代城市风险防控要求。本文以株洲市城市公用事业服务中心组织实施的燃气设施生命线工程为实证载体，系统探究燃气物联智能感知生态系统的形成机理。基于场景理论，明确燃气物联智能感知生态系统的概念与构成，分析其形成逻辑、动力机制与演化路径，结合株洲项目中核心场景建设实践，拆解智能感知生态从单点布设到系统联动、从数据孤岛到生态闭环的形成机理，提出针对性的优化路径。本研究旨在为国内同类城市燃气安全数字化转型提供理论参照与实践借鉴。

**【关键词】**：场景理论；燃气物联网；智能感知；生态系统；形成机理

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.011

## 1 引言

当前，我国城市燃气智能感知建设多侧重于单一设备布设与单项技术应用，场景适配性差、子系统割裂、数据不通、协同不足，难以形成立体化安全闭环。场景理论突破技术导向，以实际场景为核心，融合物理空间、数字技术、治理主体与业务流程，达成技术同需求，设备同场景，管控同处置的全面融合，给燃气物联智能感知生态系统创建赋予了新的理论视角。本文以该工程实践为基础，对燃气物联智能感知生态系统形成机理进行探究，确定场景驱动下生态系统的构成要素、联动机制和演化规律，丰富场景理论在城市公用事业领域的应用研究，为各地燃气生命线工程智能化建设提供可操作的实践指南。

## 2 核心概念与理论基础

### 2.1 燃气物联智能感知生态系统界定

燃气物联智能感知生态系统是以场景理论为指导，围绕城市燃气全生命周期安全管控需求，整合感知终端、网络、平台、治理主体与处置机制，覆盖场站、管网、密闭空间、用户等场景，具有全域感知、数据互通、智能分析、精准预警、联动处置、闭环优化等功能的有机生态整体。该系统不是简单的叠加多个感知设备，而是以场景为纽带，把感知层、传输层、平台层、应用层、处置层有机地联系在一起，形成技术赋能、主体协同、场景适配、闭环运行的生态体系，主要目的是破解燃气安全风险隐蔽性强、排查难、处置慢等难题，提高燃气行业的精细化、智能化治理水平。

### 2.2 场景理论与燃气智能感知的适配性

城市燃气安全管控具有场景多元性、主体多样性、环节复杂性等特征，风险分布零散、诱因错综复杂，这与场景理论的核心逻辑高度契合。一方面，燃气风险有明确的场景边界，地下阀井、调压设施、埋地管道、公共场所用户、居民家庭等不同的场景下，风险特征、感知需求、处置流程差别很大，需要根据场景来制定感知方案；另一方面，燃气安全治理需要政府

监管部门、燃气企业、终端用户等多元主体协同参与，人防、物防、技防相融合，场景理论可以很好地将各个主体和资源有效联系起来，打破条块分割的治理模式。场景驱动的建设方式能够实现感知数据同业务场景、处置流程的精准对接，杜绝无序投入的现象，提升风险防控的针对性与有效性。

## 3 基于场景理论的燃气物联智能感知生态系统构成与场景拆解

### 3.1 核心场景层

株洲燃气生命线工程聚焦中心城区安全痛点，涵盖五类核心场景：燃气管网压力监测场景，针对调压箱、调压柜、主干管网等设施，以压力异常作为管网泄漏、堵塞、破损的早期信号，实现实时监测与提前预警；燃气管网智能巡检场景，整合人工巡检、机械化巡检、无人机巡检等手段，重点解决传统巡检效率低、隐患漏检等问题；地下密闭空间监测场景，聚焦阀井、地下室等燃气易积聚区域，防范爆炸性混合气体形成；管道健康监测场景，防范管道腐蚀、第三方破坏、沉降等结构性风险；终端用户安全场景，覆盖居民及工商业用户户内燃气设施，实现泄漏报警与自动切断联动。

### 3.2 感知终端层

感知终端是生态系统里的“神经末梢”，株洲项目根据不同的场景风险特点，准确布置不同种类的智能感知设备，对关键指标展开全域监测，防止出现设备布置同场景需求相脱离的情况。在地下空间场景下，安装激光甲烷浓度探测传感装置，对可燃气体浓度进行实时监测；在压力监测场景中，加装压力变送器，同时对调压设施前后端的压力和泄漏浓度进行监测；巡检场景配备激光甲烷巡检车、无人机、手持式VOC检测仪、声波成像仪等设备；在管道健康场景中，部署智能阴保测试桩、分布式光纤振动传感系统、暗管探测仪、阀门内漏在线监测系统、管道沉降监测系统；在用户端场景中，安装激光家用报警器、智能立管阀，配备燃气切断阀和联动装置，构建起覆盖全场景的感知终端矩阵。

### 3.3 网络传输与平台层

网络传输层采用有线和无线相结合的方式进行传输，针对地下密闭空间、偏远地区、城区密集区等各种不同环境特点，保障感知数据可以稳定、及时上传到数据平台。数据平台层作为生态系统的“中枢神经”，融合物联网、云计算、大数据技术，构建一体化监测管控平台，实现多源感知数据的汇聚、清洗、分析、共享，冲破政府监管机构、燃气企业、终端用户之间的数据壁垒，具备数据存储、智能剖析、风险预估、消息推送、指挥调度等关键功能，给场景化处置赋予数据支撑。同时配备指挥中心显示设备、操作台座席、网络通信设备等日常办公和应急值班所用的一切设备。

### 3.4 治理应用层

治理应用层重在场景风险处置闭环的构建，确定政府监管部门、燃气企业、终端用户等各方面的职责划分，创建“智能感知+动态巡检+联动处置”三重保障体系。平台将预警信息分发给相应的主体，燃气企业对隐患进行排查并实施现场处置，政府部门开展监管督办工作，终端用户配合完成安全防护措施，从而达到风险从“产生—发出—处置—闭环”的过程管控效果，加强基层网格化管理的作用。

## 4 燃气物联智能感知生态系统形成机理——基于株洲项目实践解析

### 4.1 场景需求牵引与技术赋能双轮驱动

#### 4.1.1 场景风险防控需求是核心内生动力

传统模式下，地下泄漏、压力异常、管道腐蚀、用户风险等痛点突出，隐患排查依靠人工，预警迟缓、处置被动，重特大事故防控的压力大。株洲市以满足民生安全、城市稳定的需求为出发点，以破解各种场景的危险点为方向，启动燃气设施生命线工程，倒逼智能感知体系的建立，构成生态系统形成的原始动力。不同的场景风险特点、防控需求直接决定感知终端的类型选择、布设密度、数据传输及处置流程，即场景中缺少什么，系统就补齐什么，有效避免技术投入的盲目性。

#### 4.1.2 信息技术迭代升级是核心外生动力

物联网、激光传感、人工智能、分布式光纤、大数据分析等技术的成熟，给场景化智能感知提供技术可行性。激光甲烷检测技术实现微量泄漏进行精确监测，声学成像和 AI 算法实现阀门内漏、微小泄漏的智能判断，分布式光纤传感实现管道第三方破坏 24 小时监测，低功耗物联网技术保证终端长期稳定运行。株洲项目集成多种先进技术，为不同场景定制方案，实现技术与场景深度融合，为生态系统搭建提供硬件和软件的支持。

#### 4.1.3 政策导向与多方协同是保障动力

国家层面加强城市燃气基础设施建设和安全监管的要求，

地方政府承担民生保障和城市安全的要求，燃气企业提高运维效率、降低安全风险的需求，终端用户保证用气安全的诉求，多方主体协同推进，给生态系统创建赋予政策、资金、资源支撑，促使感知体系由单个技术应用转向全面生态协同。

### 4.2 要素互通与主体协同实现生态闭环

#### 4.2.1 感知终端与场景的精准联动

抛弃“一刀切”的设备布置方式，根据各类场景制定不同的感知方案，密闭地下空间使用激光甲烷传感器，主要防范气体积聚，埋地钢管使用阴保测试桩和分布式光纤，同时监测腐蚀和第三方破坏，用户端使用智能报警器和切断阀，实现泄漏报警和自动关阀联动。感知终端参数、安装位置、监测频率都和场景风险特征相对应，确保感知数据能真实的反映现场的风险状况。

#### 4.2.2 数据与业务的深度联动

一体化平台冲破各个子系统之间的数据壁垒，地下空间浓度数据、管网压力数据、管道腐蚀数据、巡检数据、用户端数据实时汇集到平台，平台借助 AI 算法展开多方面数据剖析，区分正常波动和实际危险，剔除环境干扰，缩减误报率，达成风险准确判定。数据同步对接燃气企业运维业务、政府监管业务，预警信息同相应的处置流程、责任人精准对应，形成从“数据采集—智能分析—预警推送—现场处置”的业务闭环。

#### 4.2.3 治理主体与防控防线的协同联动

构建“人防+物防+技防”三位一体的综合防控体系：技防依靠智能感知体系完成全域监测预警；物防借助感知设备、管道改造、切断阀等硬件构筑起防护根基；人防依靠网格化管理以及智能巡检落实现场处置。政府监管部门、燃气企业、终端用户三级联动，平台分级推送预警信息，明确各个方面的处置时限和责任，形成“统一监管、分级负责、快速响应”的治理格局，提高基层网格化管理效能，实现从被动处置向主动防控的根本转变。

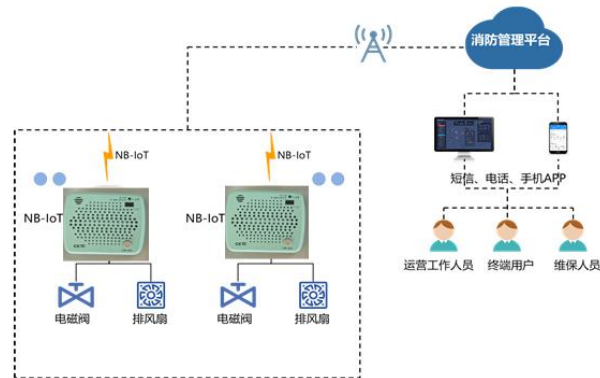


图 1 智能联动体系

### 4.3 从局部适配到全域优化的自我迭代

燃气物联智能感知生态系统不是一成不变的，它会根据场景运行数据以及实践反馈不断改进和升级，从而达到全域适配、高效运转的目的。株洲项目生态演化分为三个阶段：

第一个阶段：单点场景布设阶段，重点放在高风险场景上，完成核心感知终端的布设，实现单一场景的风险监测，重点解决“有没有”的问题。

第二个阶段：场景联动整合阶段，创建统一的数据平台，打通各个场景子系统，达成数据互通以及跨场景的风险分析，塑造出“智能感知+动态巡检”双重守护的态势，重点解决“通不通”的问题。

第三个阶段：全域生态优化阶段，依照长久运行数据，改善感知设备的布置情况，更新 AI 算法模型和处置流程，对新出现的风险场景开展感知范围拓展工作，促使生态系统得以自我迭代并不断升级，进而全面强化燃气安全监管能力，重点解决“优不优”的问题。

## 5 场景驱动下燃气物联智能感知生态系统建设优化路径

### 5.1 深化场景精细化适配，补齐感知盲区

针对老旧小区、城乡结合部、工业园区等区域，以及老旧管网、异形阀门等场景，制定差异化感知方案，提高感知终端的布置密度以及选择方式，消除感知盲区。加强便携式感知设备与固定终端之间的互相补充，加强对巡检盲区和临时危险源的手持式检测仪、声波成像仪等便携式检测仪器的使用力度，做到固定监测与流动巡检的全面覆盖。

### 参考文献：

- [1] 王学丹.基于信息技术的城镇燃气安全管理创新探讨[J].低碳世界,2025,15(05):190-192.
- [2] 韦育强,夏怡,尹生开,等.燃气泄漏智能感知技术在城市燃气管网安全运行中的应用[J].低碳世界,2025,15(02):52-54.
- [3] 严荣杰,柴军,唐伟辉,等.管道燃气智能自闭阀的智能感知研究[J].阀门,2024,(11):1330-1334.
- [4] 段平刚,李晓卉,丁月民,等.基于无线智能燃气抄表物联网的能量感知路由[J].计算机工程与设计,2020,41(10):2713-2717.

### 5.2 打通数据壁垒，强化平台中枢赋能

统一数据接口标准和传输协议，打破燃气企业内部系统、政府监管平台、终端用户终端之间的数据壁垒，把多种数据源融合起来并加以共享。改进平台 AI 算法模型，结合株洲当地气候、管网材质、用户用气习惯等特性来提高风险判定的准确性，减少误报、漏报的发生。增加风险溯源、趋势预测、隐患排查台账、应急调度指挥等功能模块，将监测预警提升为预判防控，将治理由粗放走向精细。

### 5.3 健全多方协同机制，提升治理效能

明确政府监管部门、燃气企业、终端用户三方权责界限，创建起常态化的协同处置体系，对预警等级实施分层响应，缩减隐患处置周期。推动基层网格化管理与智能感知融合，预警信息直达网格责任人，实现隐患闭环处置。对终端用户加强宣传引导，推广智能报警器使用和应急处置知识，提高用户参与度、配合度，形成全民参与的燃气安全治理格局。

## 6 结论

本文以场景理论为工具，结合株洲市燃气设施生命线工程实践，对燃气物联智能感知生态系统形成机理进行研究。研究表明，场景需求是内生动力，技术赋能是支撑，多元协同是保障；生态系统经过单点布设、场景联动、全域演化这三个阶段，依靠感知终端同场景、数据同业务、主体同防线的三重联动，慢慢塑造起闭环运行的有机整体；株洲项目实践证明了场景理论在燃气智能感知领域的适用性，以场景为引领的建设方式可以很好地解决传统燃气安全监管的不足之处，改善风险监测预警和隐患处置的能力，防止重特大安全事故的发生，守护城市公共安全。