

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2026.01.011

# 智慧燃气管网建设的机遇、挑战及未来趋势研究

张师毅

秦皇岛华润燃气有限公司

**摘要:** 在全球能源结构深度调整与数字技术革新的双重驱动下,智能燃气管网建设已成为燃气行业实现高质量发展的核心路径。本文系统梳理了智慧燃气管网发展面临的政策支持、技术突破与市场需求,深入剖析了当前存在的标准体系缺失、数据安全隐患、资金投入压力及专业人才短缺等现实挑战,并结合山东章丘、福建三明等典型工程案例提出了系统性解决策略。研究基于行业实践与技术演进趋势,对未来燃气管网在氢能混合输配、多能协同互联、智能运维体系等方面的发展方向进行了前瞻性预测,以期为行业转型提供理论参考与实践指导。

**关键词:** 智能燃气管网; 数字化转型; 氢能输配; 多能互联; 智能运维

## Research on Opportunities, Challenges, and Future Trends in Smart Gas Pipeline Network Construction

ZHANG Shiyi

Qinhuangdao China Resources Gas Co., Ltd.

**Abstract:** Driven by the dual forces of deep global energy restructuring and digital technology innovation, the construction of smart gas pipeline networks has become a core pathway for the high-quality development of the gas industry. This paper systematically outlined the policy support, technological breakthroughs, and market demand driving the development of smart gas pipeline networks, while providing an in-depth analysis of current practical challenges such as the lack of standardized systems, data security risks, financial investment pressures, and shortages of specialized talent. Combined with typical project cases from Zhangqiu District in Shandong Province and Sanming City in Fujian Province, it proposed systematic solutions. Based on industry practices and technological evolution trends, the study offered forward-looking predictions on the future development directions of gas pipeline networks in areas such as hydrogen-blended transmission and distribution, multi-energy collaborative interconnection, and intelligent operation and maintenance systems, aiming to provide theoretical references and practical guidance for industry transformation.

**Keywords:** smart gas pipeline network; digital transformation; hydrogen energy transmission and distribution; multi-energy interconnection; intelligent operation and maintenance

## 1 引言

随着全球能源低碳化转型进程的加快和智慧城市建设的深入推进,作为城市基础设施重要组成部分的燃气管网,其智能化升级已成为必然趋势。根据《中国城市燃气发展报告(2024)》统计,我国燃气用户规模已突破6亿户,但传统管网管理模式在安全性、

运行效率和环境适应性等方面的短板日益突出。智慧燃气管网通过物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合,不仅能将管网泄漏预警准确率提升至95%以上,大幅提升运行安全性,还能有力推动能源系统向绿色低碳方向转型。本文立足行业实际,全面分析智慧燃气管网建设的机遇与挑战,并对未来发展趋势作出前瞻性研判。

[第一作者简介] 张师毅,信息技术主管,机电工程师,从事燃气设备管理、技术研发等工作。

## 2 智慧燃气管网建设的发展机遇

### 2.1 政策体系构建与红利释放

近年来，国家层面持续加强对能源基础设施智能化改造的政策支持力度。《“十四五”能源领域科技创新规划》明确将“智慧燃气”列为重点发展方向，《全国城镇燃气安全专项整治工作方案》进一步提出“2025年底前完成重点地区智慧管网示范建设”的具体要求。地方政府也纷纷出台配套支持政策，如江苏省设立10亿元智慧管网专项基金，对示范项目给予20%的资金补贴。这些政策组合拳为行业发展提供了坚实的制度保障和资金支持，极大地增强了企业开展智能化改造的信心。

### 2.2 技术创新驱动产业变革

物联网技术的成熟应用使管网监测实现了“全覆盖、实时化”的目标。以上海某燃气公司的试点项目为例，通过在管网关键节点部署压力、流量等传感器，并结合5G网络实现数据的秒级传输，配合数字孪生技术构建的管网三维模型，使管网运行状态的可视化程度提升了80%以上。人工智能算法的深度应用更是实现了风险预判能力的突破，基于LSTM-Attention混合模型构建的泄漏预警系统，可提前72h识别潜在异常，将误报率控制在3%以下，推动行业从传统的“事后处置”模式向“事前预防”模式跨越。

### 2.3 市场需求爆发与规模扩容

在城镇化进程加速与“双碳”目标的双重推动下，智慧燃气管网市场需求呈现井喷式增长。数据显示，我国现有20万km老旧管网中，约60%需要进行智能化改造，而新建城区智慧管网的渗透率已达75%。行业预测数据表明，2025年—2030年期间，智慧燃气管网市场规模将以年均23%的速度持续扩张，到2030年有望突破1 500亿元大关，其中氢能管网改造、智能监测设备等细分领域将成为投资热点。

## 3 行业发展的现实挑战

### 3.1 标准体系缺失与集成壁垒

当前行业面临的一个突出问题是缺乏统一的技术标准体系，不同厂商生产的传感器采用的通信协议（如Modbus、OPCUA等）兼容性较差，导致系统

集成成本增加15%~20%。某城市燃气调度中心的运行数据显示，在12家设备供应商提供的监测设备中，有30%的数据因协议不统一而无法实时接入系统，“信息孤岛”现象普遍存在，严重制约了行业的规模化发展。

### 3.2 数据安全风险与防护薄弱

2023年发生的某燃气企业遭黑客攻击事件，导致10万用户信息泄露，直接经济损失超过1 200万元，这一事件暴露出行业在数据安全防护方面的短板。调查显示，仅43%的企业采用了国密算法进行数据加密，70%的企业未实现数据访问的分级授权管理。更为严峻的是，管网控制数据一旦被篡改，可能引发严重的安全事故，但目前仅有15%的企业部署了工业级防火墙，整体网络安全防护体系亟待完善。

### 3.3 资金投入压力与回报周期

智慧管网建设属于资金密集型项目，1个百万人口规模城市的管网智能化改造需要投入3亿元—5亿元，而投资回收期长达8年—10年。对于中小燃气企业而言，融资能力有限是主要瓶颈。某地级市燃气公司的统计数据显示，设备采购成本占项目总投资的62%，系统开发成本占28%，而企业自有资金仅能覆盖30%的建设成本，融资渠道单一问题突出。

### 3.4 复合型人才短缺与培养滞后

行业对既懂燃气工艺又掌握数字技术的复合型人才需求迫切，但市场供给严重不足。调研数据显示，燃气行业招聘1名合格的大数据工程师平均需要6个月时间，且薪资成本较传统岗位高出50%以上。某头部燃气企业的内部数据表明，其智慧化团队中同时具备燃气和IT背景的人才占比不足12%，人才缺口已成为制约技术落地的关键因素。

## 4 系统性解决策略与实践探索

### 4.1 标准化体系构建与行业协同

针对标准缺失问题，中国城市燃气协会牵头组织编制《智慧燃气管网技术规范》，对传感器接口、数据传输协议等12项关键指标进行统一规范。华为、阿里云等科技企业参与了标准制定工作，推动建立“设备-平台-应用”全链条兼容的技术体系。某试点项目应用该规范后，系统集成成本降低了18%，数据接入率提升至95%，效果显著。

## 4.2 数据安全立体防护体系建设

深圳燃气与360集团合作搭建了AI态势感知平台，通过机器学习技术实时识别网络攻击行为，并结合“红蓝对抗”演练机制，使数据泄露风险降低了70%以上。同时，采用“数据加密+区块链存证”技术，实现了关键数据全生命周期的安全保护，目前已有20余家省级燃气企业采用了这一防护模式。

## 4.3 多元化融资模式创新

行业积极探索多元化融资渠道，北京某燃气企业通过发行8亿元绿色债券筹集管网改造资金，成都则采用PPP模式引入央企资本参与项目建设。江苏省的专项基金已带动社会投资超过50亿元，形成了“财政补贴+低息贷款+产业基金”的多元融资体系，有效缓解了企业的资金压力。

## 4.4 校企协同人才培养机制

中国石油大学与昆仑能源合作开设“智慧燃气”方向硕士班，课程设置涵盖管网建模、AI预测等前沿内容，首批120名学员已进入行业关键岗位。新奥燃气建立企业大学，开发VR实训系统，通过模拟管网泄漏处置、智能设备操作等场景，使员工技能培训效率提升了40%，为行业培养了大批实用型人才。

## 5 典型案例分析

### 5.1 章丘模式：老旧管网智能化改造范本

山东章丘针对300km老旧管网，采用“三维测绘+数字孪生+智能感知”的改造方案，建立了全要素管网模型，并部署了4 000个电子标识器和2 700套监测设备，实现了“一物一码”的精细化管理。其自主研发的智能监测系统将泄漏定位精度提升至1m，系统运行两年来，成功预警7起泄漏事故，使管网事故率下降了82%，成为北方城市老旧管网改造的标杆项目。

### 5.2 三明实践：多能协同智慧管理体系

福建三明构建了“GIS+SCADA+AI”一体化监管平台，整合了6大系统数据，实现了管网运行、用户服务全流程的数字化管理。在老旧小区改造中，创新采用“同步施工”模式，将燃气管道改造与水电、道路工程统筹推进，减少重复施工成本30%。尤为值得一提的是，为1.6万户居民免费安装智能燃气报警器，当检测到泄漏时，系统可自动关阀并同时通知用

户、物业和监管平台，将应急响应时间缩短至3min，极大提升了安全保障能力。

## 6 未来发展趋势预测

### 6.1 氢能-天然气混合输配的规模化渗透

随着全球氢能产业的加速发展，燃气管网将从传统的单一天然气输配向“气氢混输”模式转型。荷兰已建成全球首条商业级氢混气管网（氢气掺混比例15%），德国规划到2030年实现天然气管网30%的氢气掺混比例。我国张家口氢能示范城市正在推进20%氢混管网试点项目，预计到2028年，管材抗氢脆、热值自适应调节等核心技术将逐步成熟，2030年重点城市群天然气管网可实现10%~15%的氢气掺混，带动氢能终端利用成本下降40%。根据《中国氢能基础设施发展路线图》预测，2035年我国氢混管网覆盖里程将达30万km，形成“西氢东送”的主干输配网络。

### 6.2 多能互联系统枢纽的协同化发展

未来智慧燃气管网将突破单一能源载体的属性，向“气-电-热-氢”多能互联系统枢纽演进。以上海虹桥商务区多能互补项目为例，燃气轮机与光伏、储能系统通过AI调度实现了85.3%的综合能效，较传统系统提升12%。具体来看，未来发展将呈现以下3大趋势。

**电网-燃气管网协同调峰：**在夏季电力负荷高峰时段，燃气分布式能源站可根据电网信号实现自动启停（响应时间<10s），预计2030年大型城市燃气调峰电源占比将达8%~10%；

**热力-燃气管网热协同：**北方城市冬季可利用燃气余热供暖，北京城市副中心试点项目显示，该模式可减少热力管网投资30%，同时降低18%的碳排放；

**综合能源服务平台：**预计2025年将建成国家级多能互联系统枢纽，实现跨能源网络的负荷预测、潮流计算与优化调度，误差率控制在5%以内。

### 6.3 全链路智能运维的无人化突破

人工智能与机器人技术的深度应用将推动管网运维从“人工巡检”向“自主运维”模式跨越。

**(1) 智能检测装备升级：**搭载激光雷达与红外成像技术的管道机器人（如德国PII公司的Rosen检测系统）可识别0.1mm级的微小裂纹，预计2027年国产机器人市场占有率将超过60%；

(2) 数字孪生深度应用：基于物理引擎构建的管网数字孪生模型（如Bentley公司的SYNCHRO平台）可精准模拟极端工况下的泄漏扩散情况，预测准确率达92%以上；

(3) 无人化运维体系：深圳前海智慧管网已实现“无人机巡检+机器人抢修”的无人化运维模式，将故障处置时间从传统的4h缩短至45min，预计2030年一线城市无人化运维覆盖率达70%。

#### 6.4 区块链赋能的可信化生态构建

区块链技术将重塑燃气行业价值链，主要体现在以下3个方面。

(1) 绿证与碳交易溯源：基于联盟链构建的燃气碳足迹追踪系统（如国网区块链平台）可实现“气源-管网-用户”全链条碳排放的精准核算，误差率小于2%；

(2) 分布式能源交易：成都试点的“燃气-电力”点对点交易平台，允许用户通过区块链技术结算多余的燃气发电量，交易效率提升3倍；

(3) 设备供应链金融：利用区块链智能合约，实现燃气传感器、阀门等设备的供应链融资自动化，某央企试点项目将融资周期从15d大幅缩短至3d。

#### 6.5 柔性管网与动态调控的智能化演进

面对新能源波动与氢能掺混需求，管网将向“柔性输配”方向转型。

(1) 自适应调压技术：采用磁悬浮压缩机与智能阀门（如Emerson公司的Fisher调节阀），可实现管网压力的动态调节，调节精度达 $\pm 0.5\%$ ；

(2) 可扩展管网架构：模块化预制管网（如日本东京燃气的Plug&Play系统）使新建管网施工周期缩短40%，便于氢能管网的分期改造；

(3) 虚拟管网技术：通过需求侧响应机制（如用户端智能燃气表参与调峰），可减少实体管网投资15%~20%，英国国家电网已验证该模式的可行性。

#### 6.6 安全韧性体系的主动化升级

针对网络攻击与极端天气威胁，智慧管网将构建“主动防御”体系。

(1) 量子加密通信：在关键节点部署量子密钥分发设备（如国盾量子的QKD系统），确保控制指令传输的绝对安全，预计2028年在国家级管网项目中示范应用；

(2) 极端工况模拟系统：基于超级计算机构建的灾害仿真平台（如中国科学院的EarthLab）可模拟地震、冰冻等极端场景下的管网失效模式，提前优化韧性设计；

(3) 分布式应急电源：在管网关键场站部署氢燃料电池备用电源（如Ballard公司的FCwave系统），确保极端天气下持续供电时间不少于72h。

### 7 结论与建议

综合来看，智慧燃气管网的未来发展将呈现“技术融合深化、服务边界拓展、安全韧性强化”的鲜明特征。为推动行业健康发展，建议从以下3方面重点布局：一是建立“氢混输配技术创新中心”，集中攻克管材兼容性、混合燃烧等核心技术；二是推动“多能互联标准体系”建设，统一不同能源网络的接口协议；三是构建“国家智慧燃气安全大脑”，整合全网监测数据与应急资源。通过前瞻性的技术布局与系统性的生态构建，推动燃气管网从传统的“城市生命线”升级为“能源互联网核心节点”，为“双碳”目标的实现提供坚实的基础设施支撑。

#### 参考文献

- [1]国家能源局.《"十四五"能源领域科技创新规划》[Z].2021.
- [2]中国城市燃气协会.中国智慧燃气管网发展白皮书(2023)[R].北京:中国建筑工业出版社,2023.
- [3]李明,王强.基于数字孪生的燃气管网安全预警系统研究[J].煤气与热力,2024,44(3):12-18.
- [4]International Energy Agency. Smart Grids for Gas: Technology and Policy Trends [R]. Paris: IEA, 2023.
- [5]刘芳,赵宁.氢能与天然气混合输配的技术经济分析[J].天然气工业,2024,44(1):105-112.

城市燃气

#### 订阅方法：

敬请登录杂志社官方网站  
[www.gas800.com](http://www.gas800.com)

