

智能化技术在燃气施工管理中的应用研究

刘庆东

青岛新奥新城燃气工程有限公司 山东 青岛 266000

摘要：随着城市化进程加速和能源结构优化，燃气作为清洁能源在居民生活与工业生产中扮演着日益重要的角色。然而，燃气工程施工具有高风险、高复杂性和高专业性等特点，传统管理模式在安全、效率、质量及成本控制方面面临诸多挑战。近年来，以物联网（IoT）、大数据、人工智能（AI）、数字孪生（Digital Twin）、建筑信息模型（BIM）等为代表的智能化技术迅猛发展，为燃气施工管理提供了全新的解决方案。本文系统梳理了燃气施工管理的主要痛点，深入分析了各类智能化技术在施工全过程中的应用场景与价值，并结合典型案例进行验证，最后探讨了当前应用中存在的问题与未来发展趋势。研究表明，智能化技术能够显著提升燃气施工的安全性、效率与精细化管理水平，是推动行业高质量发展的关键驱动力。

关键词：燃气工程；施工管理；智能化技术；物联网；数字孪生；BIM；人工智能

引言

天然气作为一种清洁、高效、便捷的能源，在我国“双碳”战略目标下，其在一次能源消费结构中的比重持续提升。根据国家能源局数据，截至2024年底，全国城镇燃气管道总里程已超过120万公里，年均新增敷设量超10万公里。如此庞大的基础设施建设规模对施工管理提出了前所未有的要求。然而，传统的燃气施工管理主要依赖人工经验、纸质图纸和分散的信息系统，存在信息孤岛、响应滞后、安全隐患多、协同效率低等问题。尤其是在地下管线交叉复杂、施工环境动态变化的城市区域，一旦发生施工误操作或管理疏漏，极易引发燃气泄漏、爆炸等重大安全事故，后果不堪设想。在此背景下，以数字化、网络化、智能化为核心的新一代信息技术正深刻重塑工程建设行业的管理模式。将智能化技术深度融入燃气施工全生命周期，不仅是提升本质安全水平的迫切需要，也是实现精益建造、绿色建造和智慧建造的必由之路。因此，系统研究智能化技术在燃气施工管理中的应用路径与效能，具有重要的理论价值与现实意义。

1 燃气施工管理的主要痛点分析

1.1 安全风险高，隐患识别难

燃气具有易燃、易爆、有毒的特性，施工过程中涉及动火作业、密闭空间作业、高压管道焊接等高危环节。传统安全管理依赖人工巡检和事后处理，难以实现对人员行为、设备状态、环境参数的实时监控与预警，导致隐患发现不及时、处置不精准。

1.2 信息割裂，协同效率低

燃气工程涉及设计、施工、监理、业主、政府监管

等多个参与方，各阶段数据标准不一、系统互不联通，形成“信息孤岛”。施工图纸变更、材料进场、工序交接等关键信息传递滞后，易造成返工、窝工，影响整体进度。

1.3 质量控制依赖经验，缺乏过程追溯

在传统施工模式下，燃气管道焊接质量、防腐层完整性、压力试验结果等关键质量指标多依赖现场技术人员的经验判断，缺乏客观、连续、可量化的数据支撑。例如，焊缝外观检查常凭肉眼观察，无损检测结果依赖人工判图，容易因疲劳或经验差异产生误判。更严重的是，一旦工程投运后出现泄漏或失效问题，由于施工过程数据记录不完整、不可追溯，难以精准定位责任环节，既影响整改效率，也削弱了用户对工程质量的信任^[1]。这种“黑箱式”质量管理模式已难以满足现代工程对全生命周期可追溯性的要求。

1.4 成本与进度管控粗放

燃气施工项目的成本控制通常基于静态预算和阶段性核算，材料损耗、机械台班使用、人工投入等关键成本要素的数据采集滞后，无法实现动态监控与实时纠偏。同时，施工进度计划多以甘特图形式呈现，与实际执行情况脱节，缺乏可视化手段进行偏差分析。当遇到天气变化、地下障碍物或供应链中断等扰动因素时，管理者难以快速调整资源配置，往往导致项目超支或延期。这种粗放式的管控模式不仅浪费资源，也削弱了企业的市场竞争力。

2 智能化技术体系及其在燃气施工中的应用场景

2.1 物联网（IoT）技术：构建全域感知网络

物联网技术通过在施工现场广泛部署气体浓度传感

器、温湿度传感器、位移监测仪、高清视频摄像头以及集成定位功能的智能安全帽等终端设备，构建起覆盖“人、机、料、法、环”五大要素的全域感知网络。这一网络能够实时采集人员位置、设备运行状态、环境参数及作业行为等多维数据，并通过无线通信技术上传至云端平台。例如，在沟槽开挖或阀井作业过程中，气体检测仪可连续监测甲烷、硫化氢等有害气体浓度，一旦超标即触发声光报警并自动启动通风装置；UWB或北斗定位系统则能精确追踪施工人员轨迹，结合电子围栏技术防止其误入高危区域；AI视频分析算法还能自动识别未佩戴安全帽、违规吸烟等不安全行为，实现从“人防”向“技防”的转变。此外，通过为管材、阀门等关键物资加装RFID标签，可实现从出厂、运输到现场安装的全流程追踪，有效防止错用、混用或盗窃，大幅提升物资管理的透明度与可控性。

2.2 建筑信息模型（BIM）与数字孪生（Digital Twin）：打造虚拟映射与协同平台

建筑信息模型（BIM）技术通过建立燃气工程的三维数字化模型，不仅包含几何信息，还集成了材料属性、施工工艺、工期计划等丰富数据，为全生命周期管理奠定基础。在此基础上，数字孪生技术进一步融合物联网实时数据，构建物理工地与虚拟模型之间的双向动态映射。在施工前期，BIM模型可与既有地下管线数据库（如电力、通信、给排水）进行碰撞检测，提前发现路由冲突并优化设计方案，避免盲目开挖造成的损失；通过4D/5D BIM模拟，可直观展示施工进度与资源投入的匹配关系，辅助制定更科学的施工组织方案^[2]。施工过程中，技术人员可通过AR（增强现实）设备将复杂节点的装配工艺叠加至真实场景，指导工人精准作业，减少技术交底误差。更为重要的是，竣工后的BIM模型可无缝移交至运营管理系统，作为未来巡检、抢修、改造的数字底座，真正实现“建管一体”，打破建设与运维之间的壁垒。

2.3 人工智能（AI）与大数据分析：赋能智能决策

人工智能与大数据技术通过对历史项目数据、实时传感数据及外部环境数据的深度融合与挖掘，赋予施工管理以预测性与主动性。在安全管理方面，系统可基于历史事故案例、天气预报、人员资质、设备健康状态等多维特征，训练风险预测模型，提前识别高风险作业时段或区域，并向相关责任人推送预警信息，实现从“事后处理”向“事前预防”的转变。在质量控制领域，计算机视觉技术可对焊接过程视频进行实时分析，自动识别焊缝成形不良、飞溅过多、咬边等缺陷；结合X射线或超声波检测图像，深度学习模型还能辅助判级，显著提

升无损检测的效率与准确性。在进度与成本管理方面，系统可基于BIM进度计划与IoT采集的实际完成量，利用时间序列分析或机器学习算法动态预测项目完工时间与成本超支风险，为管理者提供科学的决策依据，实现精细化调控。

2.4 移动互联网与云平台：实现移动化协同管理

基于云计算架构的施工管理平台，结合移动互联网技术，彻底打破了传统办公场所的时空限制，实现了多方在线协同与移动化作业。施工班组可通过智能手机或平板电脑上的专用APP，实时上传工序自检照片、视频及检测数据，监理人员在线审核确认，大幅缩短验收周期，提高流程效率。所有施工日志、隐蔽工程记录、压力试验报告等资料均以电子化形式归档于云端，支持按关键词、时间、责任人等多维度检索，并保留完整版本历史，既满足审计合规要求，又便于后期追溯^[3]。在应急响应方面，一旦发生燃气泄漏等突发事件，指挥中心可通过平台一键启动应急预案，迅速调取事发点的实时视频、人员定位信息、周边管线布局及最近应急资源分布，实现快速、精准的指挥调度，最大限度降低事故损失。

3 当前应用中存在的问题与挑战

3.1 技术标准与数据接口不统一

尽管智能化技术应用前景广阔，但目前行业内缺乏统一的技术标准与数据交换协议。不同厂商提供的传感器、软件平台和BIM工具往往采用私有数据格式和通信协议，导致系统之间难以互联互通。例如，某项目采购的气体监测设备无法与施工管理平台对接，需额外开发中间件进行数据转换，不仅增加集成成本，还可能引入数据丢失或延迟风险。这种“碎片化”生态严重制约了智能化系统的规模化推广与价值最大化。

3.2 初期投入成本较高

智能化系统的部署涉及硬件采购（如传感器、边缘计算网关）、软件开发（如BIM建模、平台定制）、网络建设（如5G专网）及人员培训等多项支出，初期投资门槛较高。对于资金实力有限的中小型施工企业而言，高昂的成本成为其采纳新技术的主要障碍。尽管长期来看智能化可带来显著的效益回报，但在短期财务压力下，许多企业仍倾向于维持传统管理模式，导致技术普及速度受限。

3.3 复合型人才培养

智能化施工管理要求从业人员既熟悉燃气工程的专业知识，又具备一定的信息技术素养，能够理解BIM模型、操作数据分析工具、解读AI预警信息。然而，当前高校培养体系与企业培训机制尚未有效衔接，导致此类

复合型人才培养。一线技术人员对新技术接受度不高，管理人员又缺乏技术背景，造成“有系统不会用、用了不会深挖价值”的尴尬局面，制约了智能化应用的深度与广度。

3.4 数据安全与隐私保护风险

施工现场采集的大量数据，包括精确地理位置、人员身份信息、管网拓扑结构等，具有高度敏感性。一旦这些数据在传输或存储过程中遭遇黑客攻击、内部泄露或非法篡改，不仅可能引发商业机密外泄，还可能被用于恶意破坏关键基础设施，带来严重的公共安全风险。当前部分项目在数据加密、访问控制、灾备机制等方面投入不足，安全防护体系尚不健全，亟需引起高度重视。

4 未来发展趋势与建议

4.1 构建统一标准体系

为破解系统互操作难题，建议由行业协会牵头，联合龙头企业、科研机构共同制定燃气工程智能化施工的数据标准、接口规范与评价体系。重点推动BIM模型交付标准、物联网设备通信协议、施工数据元定义等方面的统一，构建开放、兼容、可扩展的技术生态，实现“即插即用”式的系统集成，降低企业应用门槛。

4.2 推广“轻量化”智能解决方案

针对中小企业成本敏感的特点，应鼓励开发模块化、低成本、易部署的“轻量化”智能套件。例如，集成多种传感器与边缘计算能力的一体化安全监测箱，支持扫码登录的移动端BIM模型查看器，或基于SaaS模式的施工管理云服务等^[4]。通过降低初始投入与运维复杂度，让更多企业能够以较低成本享受到智能化带来的管理红利。

4.3 加强人才培养与知识融合

教育层面，应在高校工程管理、安全工程、土木工程等专业课程中增设智能建造、BIM技术、数据分析等交叉内容；企业层面，应建立常态化跨领域培训机制，组织IT人员学习工程知识，工程人员掌握数字工具，培育兼具技术理解力与业务洞察力的复合型团队，为智能化转型提供人才支撑。

4.4 深化AI与边缘计算融合

随着边缘计算能力的提升，未来可将部分AI推理任

务（如视频行为识别、气体浓度趋势预测）下沉至现场边缘设备执行，减少对云端的依赖，降低网络带宽压力与响应延迟。这种“云-边-端”协同架构不仅能提升系统实时性与可靠性，还能在弱网或断网环境下维持基本智能功能，增强系统鲁棒性。

4.5 探索区块链技术保障数据可信

针对施工数据易篡改、难追溯的问题，可探索将区块链技术应用于关键环节数据存证。例如，将焊接参数、无损检测结果、压力试验报告等不可逆的关键质量数据上链存储，利用其不可篡改、时间戳清晰、多方共识的特性，构建可信的数据证据链，为质量责任追溯、保险理赔、司法鉴定等提供坚实依据。

5 结语

智能化技术正在深刻变革燃气施工管理模式。通过物联网构建全域感知，BIM与数字孪生实现虚实融合，人工智能驱动智能决策，云平台支撑高效协同，形成了覆盖施工全链条的智能化解决方案。该模式能显著提升安全水平、施工效率与质量可控性，具有良好的经济与社会效益。未来，随着5G、AI大模型、低功耗广域网等新技术的成熟，燃气施工管理将向更高阶的“自主感知、自主决策、自主执行”方向演进。行业各方应积极拥抱变革，加强标准建设、降低成本门槛、培育复合人才，共同推动燃气工程迈向安全、高效、绿色、智能的新时代。

参考文献

- [1]马彬,王生平,袁理想,等.城镇燃气作业现场智能化安全监管[C]//中国城市燃气协会标准工作委员会.2025中国城市燃气协会标准工作委员会年会暨标准引领燃气安全运营和智慧建设研讨会论文集.北京市燃气集团有限责任公司,;2025:275-280.
- [2]官玉凯,朱冬银.复杂地形条件下城镇燃气高压管道智能化设计与施工技术[J].石化技术,2025,32(07):390-391.
- [3]于乃松.市政燃气工程中PE燃气管道施工智能化监控应用研究[J].智能城市,2025,11(07):153-156.
- [4]苗青秀.燃气行业技术创新与智能化发展趋势[J].今日财富,2025,(17):19-21.