

# 燃气视觉技术的概念、关键技术与应用场景

陆阳<sup>1,2</sup>, 唐万斌<sup>1,2</sup>, 林浩<sup>1,2</sup>, 延旭博<sup>1,2</sup>

1.河北省燃气管网智慧管控技术创新中心; 2.河北省天然气有限责任公司

**摘要:** 基于人工智能、大数据、物联网等技术在燃气行业深入应用的背景下,探讨了计算机视觉技术与燃气行业深度融合形成的“燃气视觉技术”的概念和内涵,分析了其关键技术体系,包括基于可见光、热成像、激光等多源数据采集,以及图像处理、特征提取与智能识别等核心算法。最后,重点探讨了该技术在智能巡检、安全监控以及与数字孪生融合等场景的应用,并对其发展趋势进行了展望,以期计算机视觉技术服务燃气系统安全高效运行提供参考和支持。

**关键词:** 燃气视觉技术; 燃气安全; 计算机视觉; 智能检测; 技术展望

## Concept, Key Technologies, and Application Scenarios of Gas Vision Technology

LU Yang<sup>1,2</sup>, TANG Wanbin<sup>1,2</sup>, LIN Hao<sup>1,2</sup>, YAN Xubo<sup>1,2</sup>

1. Hebei Technology Innovation Center for Intelligent Management and Control of Gas Pipeline Network;

2. Hebei Natural Gas Company Limited

**Abstract:** Against the background of the in-depth application of technologies such as artificial intelligence, big data, and the Internet of things in the gas industry, this paper explored the concept and connotation of “gas vision technology” formed by the deep integration of computer vision technology and the gas industry and analyzed its key technology system, including multi-source data acquisition based on visible light, thermal imaging, and laser, as well as core algorithms such as image processing, feature extraction, and intelligent recognition. Finally, this paper mainly explored the application of this technology in scenarios such as intelligent inspection, safety monitoring, and integration with digital twin and prospected its development trend, so as to provide reference and support for computer vision technology to serve the safe and efficient operation of the gas system.

**Keywords:** gas vision technology; gas safety; computer vision; intelligent detection; technology prospect

## 1 引言

燃气安全对于保障能源供应和人民生命财产安全具有重要意义。2021年湖北十堰“6·13”重大燃气爆炸事故、2023年宁夏银川“6·21”特别重大爆炸事故、2024年河北燕郊“3·13”爆炸事故等案例,警示燃气企业要高度重视燃气系统的安全,及时消减各类风险,预防事故发生。

传统的燃气系统巡检和监测方法存在效率低、

实时性差、数据误差大、经验依赖等问题,已无法适应现代化城市管理要求。近年来,人工智能技术的兴起,视频监测设备的普及,计算机视觉技术得到了广泛应用,基于视觉的燃气系统检测方法展现出独特优势。在燃气领域,视频监控在燃气站场、高风险区域的监控场景有一定规模的应用基础。上述背景下,越来越多的研究人员开展视觉技术在燃气系统的应用研究,以提高燃气系统的巡检效率和准确性,实现对燃气系统的智能感知,保障燃气安全。

[第一作者简介] 陆阳, 河北省天然气有限责任公司总经理, 正高级工程师, 从事燃气管理、研发工作。

## 2 燃气视觉技术的概念

燃气视觉技术是在人工智能技术的框架下,利用机器学习、深度学习、模式识别及数字图像处理等方法,融合计算机视觉的理论、技术、方法和燃气行业专有知识、场景、需求,用于解决燃气行业中视觉问题的行业人工智能技术。该技术对燃气设施全生命周期的各类影像,如焊缝底片、无人机、巡检机器人和监控设备影像、激光光谱、红外影像、三维等影像,进行智能识别,从而对燃气系统的信息、风险进行感知和判断。燃气视觉技术路线如图1所示。

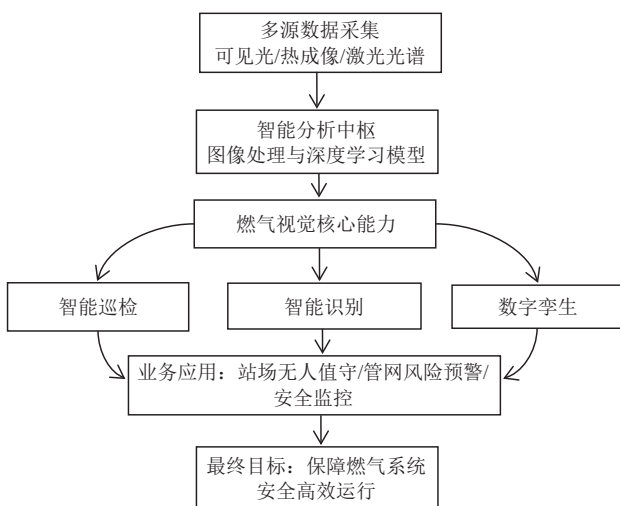


图1 燃气视觉技术路线图

燃气视觉的提出,主要是面向燃气管网的日益迫切的高效准确巡检、风险识别和设备状态感知需求,其主要涵盖了智能巡检、智能识别、数字孪生等3部分。智能巡检是指利用不同载体(如无人机、无人车、视频监控杆等)搭载摄像头,获取燃气管网和设施的视频和图片等,并利用边缘计算或云端算力开展识别和分析,从而替代传统的人工巡检。智能识别是采用各类光学成像、数字图像处理、模式识别、深度学习等多学科知识对采集的视频和图片等信息进行识别和处理,从而获得管道周边施工机械、作业人员合规性、站场设备参数等信息,从而实现燃气系统的状态感知和风险预警。数字孪生是通过无人机倾斜摄影或激光扫描等方法,形成燃气管网和输气站场三维模型,并关联设

备状态、参数、风险预警等信息。上述3个方面各有侧重同时又互为补充,最终实现了燃气系统的无人化管理目标。

## 3 燃气视觉的关键技术

### 3.1 图像采集技术

#### 3.1.1 可见光成像技术

燃气视觉中最为通用和普遍是可见光成像,其成本低、技术和算法成熟、信息直观,数据接口标准化程度高,但缺点也较为明显,即受光照、气象条件影响大,如在夜间或大雾天气,视频监控设备的图像清晰度会受到严重干扰。可见光成像的应用场景较为广泛,图像直观,易于理解和标注,因此对于其相关分析和识别的算法研究也较丰富。如YOYO系列算法在识别管道周边施工机械<sup>[1]</sup>、压力表参数读取<sup>[2]</sup>、铭牌信息提取、管道缺陷识别、安全行为监控<sup>[3]</sup>等方面均有较好的应用效果。

#### 3.1.2 热成像技术

热成像(红外成像)近年在燃气行业也有一定的应用。其原理是通过检测物体表面的红外辐射强度,将其转换为温度值,形成以不同颜色表示温度分布的热力图。其优点是不受可见光影响,可在夜间等环境工作,同时可直观显示泄漏、设备热异常等缺陷,但其设备成本高于普通可见光相机,且成像比较模糊,分辨细节的能力较差。适用于夜间无人机巡检、第三方施工机械的识别和泄漏检测<sup>[4]</sup>等场景。

#### 3.1.3 三维扫描和重构

三维扫描和重构技术利用激光雷达,通过发射激光束并测量反射波返回的时间,精确计算到每个点的距离,从而获取海量三维点云数据,进而为整个燃气站或管道走廊建立高精度的三维模型,作为数字孪生、仿真模拟和运维管理等的基础。三维扫描和重构技术数据量大、软件专业性强,但通过多个角度的数据融合,可以提供精准的几何和空间信息,对于燃气站场建模场景较为适用。

#### 3.1.4 激光光谱技术

近年来,激光光谱技术在燃气管网泄漏检测方面有了一定的应用基础,其原理是通过激光器发

射特定波长范围的探测激光，在光路中如果有特定目标气体（如甲烷）存在，将会对激光产生吸收，通过对吸收量和目标气体浓度的函数关系推演，得到目标气体的浓度。激光器可以架设在车载或站内云台，一般配合可见光相机共同使用，以快速确定泄漏点<sup>[5]</sup>。

### 3.2 图像处理技术

燃气视觉的图像处理技术主要包括几何变换、图像增强、目标识别等方面。因燃气系统环境的复杂性，原始图像中存在噪声、失真，通过处理可以改善图像质量，突出检测目标，抑制背景和噪声。

#### 3.2.1 几何变换

几何变换用于校正因镜头或视角造成的图像畸变、旋转或透视变形。如采用无人机对燃气管网巡检时，需要对无人机拍摄的管道全景图进行几何校正，消除广角镜头带来的畸变。

#### 3.2.2 图像增强

图像增强是通过直方图均衡化、对比度增强和颜色调整等方法，使目标特征更加显著，增强图像的可读性和识别率。如对在光照不佳条件下拍摄的压力表图像进行对比度增强和锐化，使表盘和指针更清晰。

### 3.3 特征提取技术

特征提取技术可以从采集到的图像中提取出燃气系统状态的关键信息，常用的方法包括基于颜色特征、纹理特征和形状特征的提取技术。

#### 3.3.1 颜色特征

颜色特征是最直观的特征之一，通过分析图像的颜色直方图或颜色矩，可以实现对目标物的快速定位。如在热成像的影像中，燃气泄漏区域往往因节流导致温度异常降低，呈现出特定的颜色分布。

#### 3.3.2 纹理特征

纹理特征可以反映区域的表面结构特性，采用灰度共生矩阵、小波变换等方法可以有效提取纹理特征，进而减少目标区域背景干扰。

#### 3.3.3 形状特征

形状特征非常适合识别具有固定形状的物体，如阀门的手轮、法兰的圆形、管道周边的施工车辆等。

### 3.4 模式识别技术

模式识别是据上一步提取的特征向量，对目

标进行识别、分类或描述。在应用中可以使用训练好的“分类器”或“模型”，将输入的特征向量映射到一个具体的类别标签上。如将阀门图像中提取的特征向量“圆形度=0.15, 主要线条角度=90°”作为输入，分类器根据这个向量判断：圆形度很低，且有一条垂直的主要线条，这不符合开启的阀门的特征（通常是圆形且无突出线条），更符合关闭的阀门的特征（手柄呈杆状）；即可得到输出：类别标签“阀门关闭”。

### 3.5 数据融合与智能算法

数据融合和智能算法在燃气视觉的应用是当前研究的热点，主要是通过多源数据融合，使特征分析更具有代表性或实现对同一目标的多形式定位。如使用无人机搭载激光甲烷泄漏检测仪进行燃气泄漏监测时，不仅需要融合可见光影像，还需要同步坐标信息、高度等，以对泄漏点有效定位。

## 4 燃气视觉技术的应用场景

### 4.1 燃气系统智能巡检

#### 4.1.1 燃气站场巡检

燃气站场一般由工作人员2h巡检一次，检查设备状态、参数和泄漏情况，并用巡检仪打卡，人员不仅需要在高风险区域作业，还需要夜间工作。采用巡检机器人搭载可见光摄像头，可以对仪表指针、流量计数据、阀门状态等进行识别，并使用激光甲烷检测云台（可见光+激光）覆盖站内全区域，实施24h不间断扫描，替代人工巡检，同时泄漏检出率大幅提高，定位更加精准，结合自动分输等工艺，可以实现燃气站场的无人值守，将工作人员从繁重、重复的巡检工作中解放出来，从而将精力投入安全提升、运行优化等工作中。

此外，采用巡检机器人+激光云台的方式，巡检数据实现了数字化、可追溯、可分析，为设备预测性维护、运行调试优化等提供了丰富的数据基础。

#### 4.1.2 燃气管网巡检

通过在燃气管网周边部署视频监控设备，或者通过小区物业、公安监控、铁塔等视频资源，对燃气管网周边的第三方施工行为进行监控，配合云计算或边缘计算，可以有效识别挖掘机、铲车等施

工机械，从而针对性的巡检。这种方式技术成熟，但受部署成本、监控杆占地、资源协调等制约，规模化应用还有难度，重点部署在人口密集或穿越越等燃气高风险管段。

近年来，随着无人机、无人车技术的成熟，燃气公司已开展利用无人机、无人车搭载摄像头等设备开展无人巡检的试点应用，如图2、图3所示。通过云台将视觉采集设备集成，可以实现1次巡检采集多种数据，如国内已有将可见光+激光甲烷+红外等设备集成在同一云台的应用，配合边缘计算模块，实现对燃气管网周边的第三方施工、地形地貌、泄漏情况、温度场等的探测。

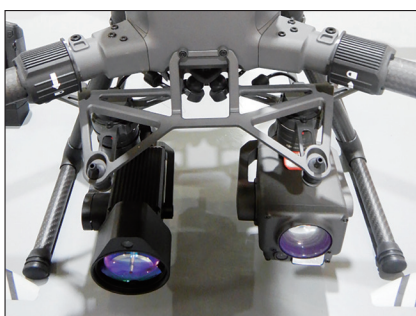


图2 搭载激光+可见光的巡检无人机



图3 无人巡检车

## 4.2 安全风险管控

### 4.2.1 行为识别

当前大部分燃气站场都完成了摄像头覆盖，但依赖人员监控识别效率低、实时性差，因此可以考虑采用轮巡方式将视频资源统一引接至中心数据库，在后端部署AI识别算法，识别劳保穿戴、人员行为（如吸烟、使用手机等），节约单个配置边缘计算设备的费用。

此外，可以将传统的进站宣传栏与AI识别结合，对进站人员劳保穿戴自动识别，实现无人化监督和记录，如图4所示。



图4 AI识别进站人员劳保穿戴

### 4.2.2 户内安全检查

户内安全检查工作量大、对工作人员的专业知识要求高，如户内管道的材质、安全间距等，采用燃气视觉方法辅助，判断是否存在管道锈蚀、软管穿墙、间距不足、随意搭接等隐患，可降低对人员技术和经验的依赖，未来若政策允许，还可以考虑由用户自行上传用气环境、设施的影像，降低入户安全检查的工作量。

### 4.3 数字孪生

应用三维扫描和重构技术，生成具有真实物理参数和逼真外观的实景三维模型，叠加数据库中各类参数信息，构建燃气站场、管廊等的数字孪生体，实现物理世界与数字空间的同步。如图5所示。

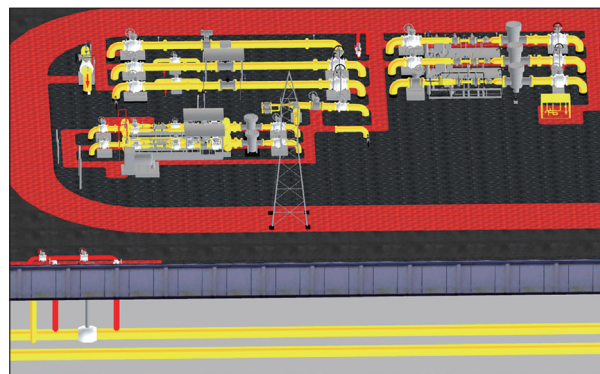


图5 三维数字输气站

同时，燃气视觉技术可以利用站场的摄像头，将站内人员、作业车辆等实时投射在数字孪生体中，

# 基于厌氧发酵-气化耦合的酒糟废气制取生物天然气技术与经济性研究

肇焘煜

贵州燃气集团股份有限公司

**摘要:** 酱香白酒酿造过程中产生的大量酒糟,在堆放与烘干过程中,会产生大量富含甲烷与VOCs的废气,这些废气具有污染环境与成为生物质能源的双重特性。本文以某制酒集团酒厂为例,针对其酒糟产生的废气资源化利用不足的问题,系统分析了酒糟废气的特性及对废气回收再利用的不足,在此基础上,尝试建立以“厌氧发酵-气化耦合”技术为核心,将废气转化为高品质生物天然气(BNG)的技术路线,并从技术可行性及经济适用性方面对其能否作为城市燃气供应系统的后备力量进行深入探讨。

**关键词:** 酒糟; 生物天然气; 厌氧发酵; 城市燃气

## Technical and Economic Study on Production of Bio-Natural Gas from Distiller's Grain Waste Gas Based on Anaerobic Fermentation and Gasification Coupling

ZHAO Taoyu

Guizhou Gas Group Corporation Limited

**Abstract:** A large amount of distiller's grain produced in the brewing process of sauce-flavor Baijiu generates a massive amount of waste gas rich in methane and VOCs during stacking and drying processes. This waste gas has the dual characteristics of polluting the environment and acting as a biomass energy source. To address

实现对管控区域的动态划分和风险的实时判断。

此外,对于复杂工艺设备,如电动调节阀、调压器等,通过数字孪生建模,可以构建可VR拆解、装配的精细模型,实现人员培训的数字化<sup>[6]</sup>。

## 5 结论

燃气视觉技术是随着计算机视觉技术在燃气行业深度应用而兴起的技术,是打造韧性燃气和城市生命线的重要基础,有广阔的发展前景。当前的研究集中在高精度检测算法开发、多模态数据融合、智能化分析系统构建方面,随着技术的发展,燃气视觉技术将会集成更多的理论、技术和功能,为行业的安全、高效发展提供有力支持。

### 参考文献

- [1]杨双双,李杨.计算机识别技术在无人机燃气管道智能巡检中的应用[J].信息与电脑(理论版),2024,36(16):19-21.
- [2]孙峻礁.基于深度学习的指针式仪表读数识别方法研究[D].北京工业大学,2022.
- [3]王文想.计算机视觉技术在燃气厂站安全管控的应用[J].煤气与热力,2022,42(10):44-46.
- [4]刘云波.施工现场燃气泄漏应急预案与保卫技术防范研究[J].石化技术,2025,32(01):106-108.
- [5]汪洋,曾云帆,高玥,等.川东北山区天然气管道无人机集成应用[J].天然气勘探与开发,2022,45(S1):33-43.
- [6]颜丹平,李夏喜,赵欣,等.三维激光扫描技术在北京燃气技能培训和数字化管理的应用[J].城市燃气,2013,(05):18-20.

[第一作者简介] 肇焘煜, 数智化管理岗, 从事燃气安全信息及数字化智能化发展工作。