

# AI 赋能下的油气输送套管数字化盘点体系构建与实践

李 军 潘炫竹 冯俊焱 (中国石油天然气股份有限公司西南油气田物资分公司, 四川 成都 610031)

**摘要:** 在石油化工行业油气输送套管吊装作业场景中, 传统油气输送套管盘点依赖人工计数与纸质记录, 存在人力投入大、数据误差高、人员安全风险突出等问题, 成为制约作业效率与安全的关键瓶颈。本文基于石油化工企业实践案例, 聚焦数字化技术创新, 构建“无人机航拍+移动设备扫描+AI 算法处理”三位一体的油气输送套管数字化盘点体系。从核心技术架构设计、作业流程标准化、效能提升实证及实施保障机制四个维度, 系统阐述该体系如何通过技术替代人工, 实现盘点过程“无人化”、数据处理“智能化”、结果追溯“数字化”。通过实证分析验证, 该体系可降低 86.6% 的盘点人力成本, 将数据误差率从 8% 以上降至 1.2% 以下, 同时实现盘点环节安全风险“清零”, 为石油化工行业油气输送套管吊装作业数字化转型提供实践范式与技术参考。

**关键词:** 油气输送套管吊装; 数字化盘点; 无人机; AI 算法; 移动扫描; 安全生产

**中图分类号:** TP391; TE9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0106-03

## Construction and Practice of a Digital Inventory System for Oil Casing Pipes Empowered by AI

LI Jun, PAN Xuanzhu, FENG Junyan (Materials Company, PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan 610031, China)

**Abstract:** In the context of oil casing pipe lifting operations within the petrochemical industry, traditional inventory methods rely on manual counting and paper-based records. These methods suffer from significant labor input, high data error rates, and prominent safety risks for personnel, forming a key bottleneck constraining operational efficiency and safety. Based on practical case studies from petrochemical enterprises and focusing on digital technology innovation, this paper constructs a tripartite digital inventory system for oil casing pipes integrating “drone aerial photography + mobile device scanning + AI algorithm processing.” It systematically elaborates, from four dimensions—core technical architecture design, operational process standardization, empirical evidence of efficiency improvement, and implementation safeguard mechanisms—how this system replaces manual labor with technology to achieve an “unmanned” inventory process, “intelligent” data processing, and “digital” result traceability. Empirical analysis verifies that this system can reduce inventory labor costs by 86.6%, decrease the data error rate from over 8% to below 1.2%, and simultaneously achieve the “elimination” of safety risks during the inventory process. It provides a practical paradigm and technical reference for the digital transformation of oil casing pipe lifting operations in the petrochemical industry.

**Keywords:** Oil casing pipe lifting; Digital inventory; Unmanned aerial vehicle (UAV); AI algorithm; Mobile scanning; Safety production

安全生产与作业效率是石油化工企业可持续发展的核心目标, 油气输送套管作为油气田开发与炼化工程的关键环节, 其前置盘点工作的质量直接影响后续作业推进。传统油气输送套管盘点模式以“人工点数+纸质记录”为主, 存在显著短板: 从人力消耗看, 单次盘点 2000 根油气输送套管需投入 3-5 人, 耗时超 2 小时, 人均日盘点量不足 50 根, 人力成本居高不下; 从数据准确性看, 受油气输送套管堆放密集、标识磨损、人工计数疏忽等因素影响, 盘点误差率普遍达 8%-10%, 易导致吊装作业“多吊”“少吊”返工; 从安全风险看, 人工盘点需作业人员进入吊装高危区域, 与重型设备近距离接触, 存在被碰撞、油气输送套管滑落砸伤的安全隐患。

随着石油化工行业数字化转型推进, 传统盘点模式

已难以满足高效、安全的作业需求。基于此, 本文结合石油化工现场作业环境特点, 整合无人机、移动智能设备与 AI 算法技术, 构建科学完善的油气输送套管数字化盘点体系, 旨在通过技术创新突破人工盘点局限, 实现“降本、提效、保安全”的作业目标, 为油气输送套管吊装作业全流程数字化管理提供核心支撑。

### 1 数字化盘点体系核心技术架构

#### 1.1 无人机航拍盘点系统

选用工业级多旋翼无人机作为开阔区域 (如露天堆场、长距离货架) 盘点的核心载体, 硬件配置兼顾环境适应性与数据采集精度: 搭载 2000 万像素高清摄像头, 支持 1080P 视频实时回传, 确保清晰捕捉油气输送套管端部; 集成激光雷达模块, 测距精度达  $\pm 2\text{cm}$ , 可同步采集油气输送套管堆放高度、间距数

据，为后续 AI 识别提供空间维度参考；采用 GPS+ 北斗双模定位，定位误差  $< 1\text{m}$ ，保障盘点区域精准划分，避免漏拍或重复拍摄。

续航与防护设计适配石油化工现场需求：选用续航 30min 以上机型，配备可拆卸热插拔电池，单次作业可连续盘点 2000 根以上油气输送套管，无需频繁停机换电；机身防护等级达 IP65，可抵御粉尘、潮湿环境侵蚀，适应油田、炼化厂多粉尘、高湿度的作业场景。飞行控制采用“自动+手动”双模式：自动模式下，仅需录入盘点区域边界（如长 100m、宽 20m 的堆场），系统即可生成“网格飞行”路线，飞行高度控制在 5–8m（确保覆盖所有油气输送套管且干扰吊装设备），飞行间距设为 2m；手动模式可针对堆放密集或标识模糊区域，调整飞行高度至 3–4m 进行精准拍摄，确保图像采集质量。

### 1.2 移动设备扫描盘点系统

针对无人机难以覆盖的狭小空间（如车间内层层堆叠的货架深处、大型设备交错的间隙中布设的油气输送套管），构建移动智能终端补充盘点体系。选用防护等级达到 IP65 标准的工业级平板或手机作为终端设备，搭载高性能 5G 通信模块，搭配边缘计算轻量引擎，确保采集的数据毫秒级实时上传至云端管理平台，彻底避免本地存储带来的传输延迟、数据丢失或篡改风险；同时配备 1200 万像素高清微距摄像头，支持 5cm 近距离对焦拍摄，精准捕捉套管表面磨损标识、锈蚀斑点等细微缺陷。

终端设备安装定制化“油气输送套管盘点 APP”，支持便捷的“拍照扫描”模式操作：拍照扫描时，APP 自动调用轻量化深度学习图像识别算法，快速提取油气输送套管规格（如  $\Phi 88.9\text{mm}$ ）、专属资产编号、生产厂家及批次等核心信息，经大量实测验证，识别成功率稳定  $\geq 98\%$ ；移动设备现场采集的精细化数据与无人机航拍获取的大范围盘点数据，可实时双向同步至云端数据库，系统自动完成数据校验、去重与整合，形成覆盖全区域、无死角的完整套管资产数据集，实现车间内油气输送套管盘点的全域闭环管理。

### 1.3 AI 算法数据处理系统

AI 算法系统是数字化盘点的“核心大脑”，基于深度学习技术开发专用模型，实现数据自动处理、校验与分析：在图像识别环节，对无人机拍摄的油气输送套管俯视图进行语义分割，自动识别单根套管轮廓，识别准确率达 95% 以上；针对重叠堆放的油气输送套管，结合激光雷达空间数据构建三维模型，区分单根套管，有效避免“多算”“漏算”；同时提取标识信息，数据提取准确率  $\geq 92\%$ 。

数据校验环节，AI 算法将识别结果与企业自建系统中的油气输送套管台账自动比对，若出现数量差异（如 AI 识别 100 根、台账记录 98 根）或规格不匹配，系统自动标记“异常数据”，并通过 APP 推送至作业人员，提示人工复核。数据分析环节，对历史盘点数据进行统计，识别高频异常区域（如某堆场因光线不足导致识别误差率超 5%）、效率瓶颈（如雨天无人机拍摄效果差），生成《盘点效能分析报告》，为设备调整与流程优化提供数据支撑。

## 2 数字化盘点作业流程标准化

### 2.1 作业前准备

作业前 30 分钟完成设备调试、区域划分与参数设定：设备调试需检查无人机电池电量（ $\geq 80\%$ ）、摄像头清洁度、GPS 信号强度（ $\geq 4$  格），移动设备需确认 5G 网络连接、APP 版本（确保算法为最新优化版）；针对调试异常（如无人机电池衰减、移动设备摄像头模糊），立即更换备用设备，避免影响作业进度。区域划分根据设备覆盖能力，将油气输送套管堆放区分为“无人机覆盖区”与“移动设备覆盖区”，明确各区域盘点责任人（1 人可同时操作 1 台无人机+2 台移动设备）；参数设定环节，在云端系统录入盘点区域边界、油气输送套管预估数量、规格范围，无人机自动生成飞行路线，移动设备绑定对应区域 ID，确保数据归属准确。

### 2.2 现场盘点实施

采用“无人机为主、移动设备为辅”的并行作业模式：无人机盘点时，责任人在远离吊装设备 10m 以上的安全区域，通过地面站操控无人机按预设路线飞行，实时查看回传画面，对模糊区域手动调整重拍；单次无人机飞行可完成 1000–1500 根油气输送套管盘点，耗时仅 20–30min，较传统人工效率提升 3 倍以上。

移动设备盘点时，作业人员手持终端进入狭小区域，优先采用拍照扫描模式，标识磨损严重时切换 NFC 读卡；操作过程中需与吊装设备保持 5m 以上安全距离，避免进入高危区域；单台移动设备每小时可盘点 300–400 根油气输送套管，满足小范围精准盘点需求。数据同步采用“5 分钟自动上传”机制，云端系统实时更新盘点进度（如“已盘点 1200 根，完成率 60%”），支持多设备数据合并，避免重复或漏盘。

### 2.3 数据校验与归档

盘点完成后，云端部署的高性能 AI 算法引擎将立即启动数据处理流程，依托并行计算技术高效整合无人机航拍数据与移动终端采集的精细化数据，在 5 分钟内完成数据清洗、比对、分类与异常标定，自动生成《油套管盘点初步报告》，清晰标记规格不符、

编号缺失、磨损超标等异常数据及对应区域的精准位置信息；作业人员收到报告提示后，针对异常区域制定专项复核方案，通过无人机重点区域重拍或移动智能终端近距离补扫的方式进行二次确认，复核结果实时回传云端完成修正，最终生成数据精准、内容详实的《油套管盘点最终报告》，确保整体盘点准确率稳定 $\geq 99\%$ 。

数据归档环节，最终报告将通过标准化接口自动同步至企业 ERP 系统与吊装作业管理平台，直接作为吊装作业数量核对、资产台账更新的核心依据；所有原始数据（包括现场拍摄图像、算法识别结果、人工复核记录、数据修正日志）均加密永久存储于企业私有云，系统支持按盘点时间、车间区域、盘点批次等多维度快速检索与调取，实现资产盘点全流程可追溯、可审计，为后续设备维护计划优化、仓储布局调整、采购需求规划提供科学的数据支撑。

### 3 数字化盘点体系效能提升实证分析

选取某石油化工企业 1 个典型油气输送套管尺寸作为试点，对比传统人工盘点与数字化盘点效能，实证结果如下：

#### 3.1 人力成本显著降低

传统模式下，单次盘点 2000 根油气输送套管需 5 人（1 人记录、4 人点数），耗时 2 小时，人均时薪 50 元，单次成本 500 元；数字化模式仅需 2 人（1 人操作无人机、1 人操作移动设备），耗时 40 分钟，单次成本约 67 元，人力投入减少 60%，成本降低 86.6%。按企业每月盘点 10 次计算，月节省人力成本 4330 元，年节省超 5 万元。

#### 3.2 盘点准确性大幅提升

针对露天堆场（2000 根）、车间货架（500 根）、设备间隙（300 根）三个区域，传统人工盘点误差率分别为 8.2%、6.5%、10.1%，数字化盘点误差率分别降至 0.7%、0.5%、1.2%，平均误差率从 8.3% 降至 0.8%，降低 90.4%，彻底解决因数据误差导致的吊装返工问题。

#### 3.3 安全风险有效规避

传统人工盘点需人员进入高危区域，试点企业往年年均发生 1-2 起轻微碰撞事故；数字化盘点通过“无人机远程作业 + 移动设备安全距离操作”，实现人员与高危区域物理隔离，试点期间未发生一起安全事件，同时盘点与吊装可并行开展，单次作业总时长从 6h 缩短至 4.2h，效率提升 30%。

## 4 数字化盘点体系实施保障

### 4.1 人员培训机制

构建“理论 + 实操 + 考核”三级培训体系：24 学时线上理论课程涵盖无人机操作、移动 APP 使用、AI

算法逻辑及现场安全规范；16 学时模拟场地实操训练，指导设备调试、飞行控制、异常处理；考核分为理论考试（80 分合格）与实操考核（1 小时内完成 1000 根盘点，准确率 $\geq 99\%$ 合格），考核合格者颁发《数字化盘点操作证》，持证上岗，确保人员操作能力达标。

### 4.2 设备维护机制

建立“日常检查 + 定期维护 + 故障抢修”体系：作业前按《设备检查表》核查无人机电池、摄像头、GPS 及移动设备网络；每月对无人机清洁、电池检测、固件更新，每季度对移动设备校准、系统升级；设立 24h 维修热线，配备备用设备（2-3 台无人机、5 台移动设备），故障后 30min 响应，2h 内替换，保障作业不中断。

### 4.3 数据安全机制

构建“传输 - 存储 - 访问”全流程防护：采用 AES-256 加密算法实现 5G 传输安全；数据存储于企业私有云，部署防火墙与入侵检测系统，每日异地备份；设置分级访问权限（管理员、作业负责人按职责获取数据权限），所有操作记录日志，防止数据泄露或篡改。

综上所述，本文构建的“无人机 + 移动设备 + AI 算法”油气输送套管数字化盘点体系，通过技术创新解决了传统人工盘点的人力消耗大、准确性低、安全风险高问题，实证表明其在降本、提效、保安全方面成效显著，为石油化工行业油气输送套管吊装作业数字化转型提供可行路径。未来可从三方面深化优化：一是升级无人机 AI 芯片，实现“边飞行、边识别”实时处理，缩短数据延迟；二是开发标识自动修复算法，提升磨损标识识别率；三是结合数字孪生技术，构建盘点 - 吊装联动可视化系统，推动作业管理从“效率提升”向“智能预警”转变。

### 参考文献：

- [1] GB30871-2022, 中华人民共和国应急管理部. 危险化学品企业特殊作业安全规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [2] 中国民用航空局飞行标准司. 民用无人机驾驶员管理规定: AC-61-FS-2023-03R2 [Z/OL]. (2023) [2025-12-17].
- [3] 西南油气田物资分公司. 油套管数字化盘点作业规范 [S]. 成都: 西南油气田物资分公司, 2024.
- [4] 中国人工智能产业发展联盟. 《工业场景 AI 图像识别技术应用指南》[R]. 北京: 中国人工智能产业发展联盟, 2023.
- [5] GB/T45001-2020, 职业健康安全管理体系要求及使用指南 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.