

# 油套管管端图像识别技术研究

## ——基于智能终端的成堆管材清点系统设计与实现

潘炫竹 文亚川 杨 寒 (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:** 针对石油勘探开发领域中油套管清点依赖人工计数效率低、误差大、安全风险高, 以及传统激光计数设备便携性差、成本高的问题, 本文提出一种基于智能终端 (智能手机、平板、无人机等) 的油套管管端图像识别清点技术。该技术通过智能终端采集成堆油套管的管端图像, 结合图像预处理、轻量化目标检测与重叠管端分割算法, 实现对堆叠油套管数量的自动统计; 同时, 依托非接触式清点方式减少作业人员与危险区域的接触, 兼顾效率与安全管理需求。该技术无需额外专用设备, 依托现有智能终端即可落地, 显著降低油套管清点成本与安全风险, 提升作业综合效益。

**关键词:** 油套管; 图像识别; 智能终端; 目标检测

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 035-0108-03

## Research on Image Recognition Technology for Tubing and Casing Pipe Ends

——Design and Implementation of a Counting System for Piled Pipes Based on Intelligent Terminals

Pan Xuanzhu, Wen Yachuan, Yang Han (Materials Company of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu Sichuan 610031, China)

**Abstract:** In response to the issues in petroleum exploration and development associated with manual counting of tubing and casing, such as low efficiency, significant errors, and high safety risks, as well as the poor portability and high cost of traditional laser counting equipment, this paper proposes a counting technique based on image recognition of tubing and casing pipe ends using intelligent terminals (e.g., smartphones, tablets, drones). This technique involves capturing images of the pipe ends of piled tubing and casing using intelligent terminals. By integrating image preprocessing, lightweight object detection, and overlapping pipe end segmentation algorithms, it enables the automatic counting of stacked tubing and casing. Simultaneously, the non-contact counting method reduces personnel exposure to hazardous areas, addressing both efficiency and safety management requirements. This technology does not require additional specialized equipment and can be implemented using existing intelligent terminals, significantly reducing the cost and safety risks associated with tubing and casing counting, thereby enhancing overall operational benefits.

**Keywords:** Tubing and Casing; Image Recognition; Intelligent Terminal; Object Detection

### 1 智能终端成堆油套管清点的概述

本文围绕“智能终端成堆油套管清点”的“效率-精度-安全”三维需求, 开展五项核心研究: 一是构建多场景油套管管端图像数据集, 新增“堆叠倾斜”“地面油污”等安全场景样本, 夯实数据基础; 二是设计融合安全距离适配的图像预处理流程, 通过透视校正解决 2-5m 远距离拍摄的畸变问题; 三是改进 YOLOv11 模型 (命名为 YOLOv11-OCT), 在轻量化优化以适配端侧部署的同时, 新增“堆叠边缘倾斜度检测”分支; 四是提出“距离变换+轮廓约束”的重叠管端分割算法, 攻克堆叠计数误差难题; 五是开发集成安全功能的智能终端 APP, 实现“计数+安全指引+风险预警”一体化, 并完成现场验证。

### 2 相关技术基础

#### 2.1 图像预处理技术

油田现场拍摄需兼顾“图像质量”与“安全距离”:

2-5m 远距离拍摄易产生透视畸变, 自然光变化与地面油污反光会降低图像清晰度。因此, 预处理流程在传统操作基础上新增“安全距离适配的透视校正”: 一是采用高斯滤波 (抑制高频噪声) 与中值滤波 (消除椒盐噪声) 结合的方式去噪, 保留管端边缘特征; 二是通过 CLAHE 算法实现光照均衡, 解决灰度不均问题; 三是基于管端四边形轮廓与预设安全距离参数模型, 将倾斜图像校正为正视图, 消除圆形管端变椭圆形的畸变。

#### 2.2 轻量化目标检测模型 (YOLOv11)

YOLOv11 原始参数约 14MB, 推理速度快, 适合端侧部署, 核心结构包括: 一是 Backbone 采用 CSPDarknet53-tiny, 通过跨阶段部分连接减少计算量, 保留梯度信息, 支撑“管端检测+倾斜度分析”双任务; 二是 Neck 采用 PANet, 融合多尺度特征图, 提升远距离小目标检测精度; 三是 Head 在“位置+置信度”

输出基础上,新增“堆叠边缘倾斜角”输出分支,为安全预警提供数据。

### 2.3 重叠目标分割技术与安全风险识别

成堆油套管易出现“部分重叠”或“完全粘连”(如图1所示),单纯目标检测无法准确计数。本文采用“距离变换+轮廓约束”分割思路:一是对管端区域进行距离变换,将灰度图像转为距离图像,重叠区域的距离极值点对应单根管端中心;二是基于管端圆形特征,对极值点聚类,结合预设油套管平均半径,确定管端轮廓范围,实现重叠分割。



图1 成堆油套管部分重叠或完全粘连

## 3 基于智能终端的油套管清点系统设计

### 3.1 系统总体架构

系统采用“智能终端端侧推理”架构,无需云端支持,实现离线一体化处理,分为四层(如图2所示):一是图像采集层,通过终端摄像头采集图像,支持自动对焦与补光,实时提示安全距离(< 2m 弹窗警告, 2-5m 显示“最佳距离”);二是预处理层,执行去噪、光照均衡与透视校正,输出优化图像与堆叠倾斜角初步结果;三是核心算法层,包含 YOLOv11-OCT 检测、重叠分割、风险识别(倾斜角 > 5° 判定高风险),同步输出计数与风险等级;四是结果展示层,在 APP 界面显示计数(彩色框选管端)与风险等级,支持历史记录存储与 Excel 格式导出(关联安全日志)。

#### 智能终端端侧推理(计数+安全一体化离线处理)架构图

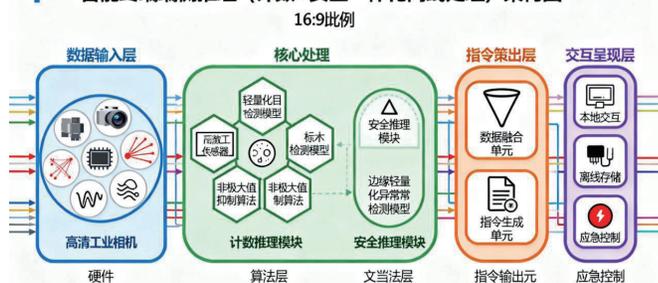


图2 基于智能终端的油套管清点系统总体架构

### 3.2 关键模块设计

#### 3.2.1 轻量化管端检测模型改进(YOLOv11-OCT)

针对“计数+安全”双需求,对 YOLOv11 进行

三项改进:一是在 Backbone 最后一层加入“圆形注意力+边缘斜率分析”双分支,前者提升管端与背景区分度,后者为倾斜角计算提供特征;二是通过 TensorRT 量化(32位→8位)与通道剪枝,将模型参数从 14MB 压缩至 6MB,推理速度提升 40%;三是针对  $\Phi 88.9\text{mm}$  主流油套管重新聚类锚框(2组),嵌入“安全距离-透视校正”参数映射表,实现自适应校正。

#### 3.2.2 重叠管端分割与安全风险联动算法

两者协同执行流程(如图3所示):一是基于 YOLOv11-OCT 检测结果,裁剪管端候选区域,标记倾斜风险轮廓段;二是对候选区域二值化(Otsu 阈值),执行距离变换,通过  $3 \times 3$  窗口检测局部极大值,确定管端中心;三是以中心为圆心、预设半径生成圆形轮廓(像素占比超 80% 计 1 根),计算轮廓倾斜角, > 5° 则触发 APP 红色弹窗与震动预警。



图3 重叠管端分割与安全风险识别协同执行流程(以2根重叠管端为例)

#### 3.2.3 智能终端 APP 开发(集成安全管理功能)

APP 基于 Android8.0 及以上系统开发,除基础功能外,新增安全管理模块:一是安全作业指引,实时显示拍摄距离,标注“禁止站立区域”(堆叠正下方 1.5m 内),提供操作教程;二是堆叠风险预警,检测到倾斜角 > 5° 或管端轮廓不完整时,触发声光预警并提示处理建议;三是安全日志记录,自动存储风险等级、拍摄距离、预警记录,支持导出至油田 HSE 系统。

## 4 实验验证与结果分析

### 4.1 实验环境与数据集构建

#### 4.1.1 实验环境

硬件方面,智能终端采用小米 12(骁龙 8Gen1, 5000 万像素),对比设备包括 3 名熟练人员人工计数、某品牌 LS-200 激光计数器(精度  $\pm 1$  根);软

件方面, APP 基于 AndroidStudio 开发, 模型推理用 TensorFlowLite 框架; 实验场景涵盖单排堆叠 (50 根, 无风险)、交叉堆叠 (80 根, 30% 重叠)、密集堆叠 (100 根, 50% 重叠)、倾斜堆叠 (60 根, 7° 倾斜, 高风险) 四类。

#### 4.1.2 数据集构建

采集 1500 幅管端图像 (含 300 幅安全场景样本), 分辨率 1920 × 1080, 用 LabelImg 标注管端信息, 按 7:2:1 划分为训练集 (1050 幅)、验证集 (300 幅)、测试集 (150 幅)。训练集新增 “3° -10° 倾斜角模拟” 增强, 提升模型泛化能力。

#### 4.2 实验指标与对比方案

##### 4.2.1 评价指标

除传统 “计数准确率” “处理时间” “漏 / 误检率” 外, 新增三项安全指标: 一是安全距离达标率 (拍摄 ≥ 2m 次数占比); 二是风险识别准确率 (高风险场景判定吻合度); 三是预警响应时间 (检测到风险至触发预警的时长)。

##### 4.2.2 对比方案

设置四组对比: 方案 1 为人工计数; 方案 2 为传统机器视觉 (霍夫圆变换 +NMS, 无安全功能); 方案 3 为原始 YOLOv11 (无端侧轻量化与安全功能); 方案 4 为本文 YOLOv11-OCT (含轻量化与安全功能)。

#### 4.3 实验结果与分析

##### 4.3.1 不同场景下的计数与安全性能对比

表 1

实验场景	实际数量 N <sub>truc</sub>	方案 1 (人工)	方案 2 (霍夫圆)	方案 3 (YOLOv11)	方案 4 (YOLOv11-OCT)
场景 1 (单排)	50	准确率 98.0% 安全距离达标率 30%	准确率 94.0% 无安全功能	准确率 98.5% 无安全功能	准确率 99.2% 安全距离达标率 100%
场景 2 (交叉)	80	准确率 95.0% 安全距离达标率 25%	准确率 82.5% 无安全功能	准确率 95.0% 无安全功能	准确率 98.8% 安全距离达标率 100%
场景 3 (密集)	100	准确率 92.0% 安全距离达标率 20%	准确率 75.0% 无安全功能	准确率 95.0% 无安全功能	准确率 98.5% 安全距离达标率 100%
场景 4 (倾斜)	60	准确率 93.0% 安全风险识别率 0%	准确率 80.0% 无安全功能	准确率 95.0% 无安全功能	准确率 98.3% 风险识别率 100% 预警响应时间 0.2s 准确率 95%
平均性能	-	准确率 94.5% 安全距离达标率 23.8%	准确率 82.9% 无安全功能	准确率 95.0% 无安全功能	安全距离达标率 100% 风险识别准确率 100%
平均处理时间	-	15min/次	1.2s	1.5s	0.7s

由表 1 由实验数据可知, 方案 4 在所有场景下平均计数准确率超 95%, 高于人工计数 (94.5%)、霍夫圆变换 (82.9%); 安全距离达标率 100%, 远高于人工计数 (23.8%), 且能 100% 识别倾斜风险, 预警响应时间仅 0.2s, 其他方案无安全功能。

##### 4.3.2 模型轻量化与安全功能兼容性分析

表 2

模型版本	模型参数 (MIB)	推理速度 (FPS)	验证集 准确率 (%)	风险识别 准确率 (%)
原始 YOLOv11	14.2	18	95	-
原始 YOLOv11-OCT (剪枝)	8.5	25	96	98.2
YOLOv11-OCT (量化 + 剪枝)	6.1	32	96.8	99.5

由表 2 可知, 通过对模型版本的升级, 剪枝与量化, 模型参数从 14.2MB 压缩至 6.1MB, 推理速度从 18FPS 提升至 32FPS, 计数准确率能达 95% 以上, 风险识别准确率达 98.2% 以上, 说明 “轻量化优化” 与 “安全功能” 可兼容, 且安全功能的特征分支未增加端侧推理负担。

##### 4.3.3 现场应用安全效益验证

在油田现场 1 周验证 (50 次清点, 含 8 次倾斜场景) 显示: 系统与激光计数仪误差率仅 0.8%; 作业人员与堆叠平均距离从 0.5m 增至 2.5m, 安全达标率 100%, 8 次倾斜场景均有效预警, 无安全事件 (人工清点同期平均 1 起轻微事故); 人员 5min 可掌握操作, 单次清点时间从 15min 缩至 1min 内。

综上所述, 本文技术通过 “计数算法 + 安全功能” 协同设计, 解决传统清点问题。后续将从四方面优化: 一是拓展多风险识别; 二是构建安全数据闭环; 三是探索多终端协同拍摄, 提升超大堆叠 (超 200 根) 处理能力; 四是嵌入 《油套管现场检验规范 (SY/T6890-2021) 》, 实现安全规范与功能深度融合。

#### 参考文献:

- [1] 张建军, 李刚, 王强. 基于激光线扫描的钢管自动计数系统设计 [J]. 仪器仪表学报, 2020,41(5):189-196.
- [2] 刘辉, 陈明, 赵伟. 基于霍夫圆变换的钢管计数算法改进 [J]. 计算机工程与应用, 2019,55(12):231-235.
- [3] 王浩, 李娜, 张伟. 基于模型剪枝的 YOLOv11 手机端实时检测 [J]. 计算机应用, 2022,42(8):2456-2462.
- [4] 中国石油天然气集团公司. 油套管现场检验规范 (SY/T6890-2021) [S]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
- [5] 中国石油化工集团公司. 石油钻采作业安全规程 (Q/SH0698-2022) [S]. 北京: 中国石化出版社, 2022.

#### 作者简介:

潘炫竹 (1983-), 男, 汉族, 重庆忠县人, 本科, 经济师, 研究方向: 安全。