

# 低成本无人设备在再生金属堆场体积测算中的应用

王凤岩

西安外事学院，陕西省西安市，710077；

**摘要：**低成本无人设备在再生金属堆场体积测算中的应用，对经济效益、安全管理和智能化转型具有关键意义，无人机免像控航测、3D 雷达扫描机器人进一步突破粉尘干扰限制，实现大型料堆毫米级误差测量，未来结合边缘计算可降低本地算力成本，加速行业普及。低成本无人设备通过“降本-提效-控险-赋能”闭环，成为再生金属堆场精细化管理的核心工具，也是实现绿色制造的必要技术路径。

**关键词：**低成本无人设备；再生金属堆场；体积测算；应用

**DOI：**10.69979/3041-0673.26.01.023

再生金属堆场体积测算需根据堆场结构、物料特性及测量技术综合计算。建议根据堆场实际形态选择合适方法，若涉及金属回收需结合密度参数（如铁块体积可通过浸水法测量），并遵循行业安全规范。

## 1 无人机体积测算技术介绍

以下是无人机体积测算技术的核心要点总结，综合高可信度资料整理而成：

### 1.1 技术原理与流程

数据采集，设备配置：无人机搭载五镜头倾斜相机、激光雷达（LiDAR）或 ToF 传感器，通过预设航线网格飞行，航向重叠率 $\geq 80\%$ 、旁向重叠率 $\geq 60\%$ 以保障精度。定位技术：结合 GNSS 与 IMU 实现厘米级定位，部分设备支持 5G 实时传输点云数据至云端平台。环境适应性：激光雷达可穿透植被，适用于露天矿等复杂地形；ToF 传感器在低空飞行时提供稳定高度数据。数据处理，点云生成：原始数据经 Pix4D、Agisoft Metashape 等软件去噪滤波（剔除鸟类、云层噪声），并通过布料模拟滤波（CSF）分离地面与非地面点。模型构建：基于点云插值算法（克里金法/TIN 三角网）生成数字表面模型（DSM）或数字地形模型（DTM），作为体积计算基础。体积计算，对比分析法：对比历史与当前 DSM 数据，通过“体积差法”计算填挖方量。基底标记法：在三维点云中标记堆体基底顶点，系统自动输出体积值，误差可控制在 $\pm 0.1\%$ 内。

### 1.2 精度保障关键因素

像控点布设，每平方公里 $\geq 5$ 个控制点，地形复杂区域需加密分布，避免模型翘曲，提升绝对定位精度。飞行高度，高度与 GSD（地面分辨率）正相关，公式  $H \approx 36.5 \times GSD$ （例：5cm 分辨率需 182 米高度）。GSD 越

小精度越高，可达厘米级。重叠率，航向 $\geq 80\%$ 、旁向 $\geq 60\%$ ，减少连接点匹配错误，提升模型连续性。环境干扰，避开 5 级以上大风、大雨天气；粉尘环境启用镜头自清洁与噪点过滤算法，保障影像清晰度与点云质量。

### 1.3 技术优势与局限

优势：效率：1 小时可完成传统人工数天工作量，工期缩短 70%；成本：消费级无人机（如大疆精灵系列）即可作业，人力成本降低 60%；安全：替代人工攀爬高危堆体，避免安全事故。局限：复杂天气（强降水、浓雾）影响传感器精度；室内狭小空间需改用手持 SLAM 扫描仪，成本较高。

### 1.4 典型应用场景

露天堆场（矿石、再生金属），激光雷达+摄影测量融合，适应不规则堆体形态，体积误差 $\leq 1\%$ 。土方监测，动态对比多期 DSM 数据，实现填挖方量进度管控。灾害评估，滑坡体快速建模与运动轨迹分析，支持应急决策。技术选型建议：大型露天堆场优选无人机摄影测量（性价比高），室内/高危环境推荐激光扫描（精度优先）。当前 AI 算法（如 WRTH-BP 模型）已实现堆体边界自动识别，进一步减少人工干预。

## 2 低成本无人设备在再生金属堆场体积测算分析重要性

### 2.1 显著降低运营成本

人力成本节约：无人设备（如无人机、自动扫描仪）可取代传统人工测量，单次扫描耗时仅为 10-30 分钟，效率提升 3-5 倍，人力投入减少约 60%。例如武钢转底炉项目通过智能化改造，年节省人工成本约 120 万元。设备损耗减少：非接触式测量避免人工踩踏或设备碾压导致的堆体坍塌，降低物料损耗。规模化经济性：无人

机搭载激光雷达技术成熟，单次覆盖面积可达5万m<sup>2</sup>，且设备复用率高，长期使用成本更低。

## 2.2 提升安全性与作业适应性

高危环境作业：再生金属堆场常含粉尘、高温或毒性气体，无人设备可规避人员攀爬风险，保障作业安全。全天候灵活作业：不受光照、天气限制，支持24小时连续测量，适应复杂堆场环境。复杂地形覆盖：手持式设备应对狭小空间，车载或无人机系统适用于露天大场景，兼容金属碎料、废渣等不规则堆体。

## 2.3 保障数据精准与决策价值

毫米级精度：激光扫描技术单点定位精度达1-2毫米，整体体积误差率≤1%，满足金属贸易结算的高标准要求。动态监测能力：定期扫描生成堆体三维模型，对比历史数据实现库存趋势分析，预警原料异常损耗。数据可追溯性：数字化模型支持审计与合规检查，为成本核算、税务申报提供可靠依据。

## 2.4 推动智能化与绿色转型

技术融合升级：结合AI算法自动识别金属堆体边界与凹陷区域，5G实时回传数据加速决策响应。循环经济支撑：精准测算金属废料体积，优化熔铸配料（如中铝瑞闽项目），减少资源浪费，助力碳足迹追踪。行业标杆应用：中煤集团、紫金矿业等项目验证无人方案在4000米高海拔、极寒环境的可行性，为再生金属行业提供复制模板。

## 3 无人机体积测算技术实现

以下是无人机体积测算技术的核心实现细节，综合高可信度资料整理：

### 3.1 数据采集关键参数

传感器配置，相机类型：五镜头倾斜相机（精度±3厘米）或激光雷达（LiDAR，穿透性强），消费级设备（如大疆精灵系列）需搭配GNSS/IMU模块实现厘米级定位。飞行参数：航向重叠率≥80%、旁向重叠率≥60%（保障三维重建连续性）；地面分辨率（GSD）与高度关系：飞行高度 $H \approx 36.5 \times GSD$ （例：5cm分辨率需182米高度）。环境适应性：激光雷达可穿透植被；ToF传感器增强低空高度稳定性。定位与校准，每平方公里布设≥5个地面控制点（GCP），地形复杂区域需加密，避免模型翘曲；采用实时动态定位（RTK）技术，定位误差≤2厘米。

### 3.2 点云处理核心技术

点云生成，原始影像通过Pix4D或Agisoft Metashape生成密集点云，耗时约80分钟/平方公里；去噪算法：布料模拟滤波（CSF）分离地面与非地面点；中值平均滤波法消除雷达点云漂移噪声。三维建模，表面重建：Delaunay三角网（TIN）构建数字表面模型（DSM），通过三角化顶点计算体积；克里金插值法生成数字高程模型（DEM），适配露天矿等复杂地形。AI优化：WRTH-BP模型自动识别堆体边界，减少人工编辑。

### 3.3 体积计算核心方法

基底标记法，在点云中手动标记堆体基底顶点，系统自动输出体积值（误差≤±0.1%）。体积差法，对比历史与当前DSM高程差异，公式： $\Delta V = \sum [(H_{current} - H_{base}) \times \text{单元格面积}]$ 适用于土方动态监测。分层累加法，按高程分层切割TIN模型，逐层计算三棱柱体积并累加（精度>99%）。

### 3.4 精度控制实操要点

天气干扰，避开强降水/浓雾；粉尘环境启用镜头自清洁与噪点过滤算法。植被覆盖，LiDAR穿透植被层获取真实地表高程。堆体形态，复杂堆体采用弓字形航线+边缘图像优化，提升边界覆盖率。误差验证，全站仪实测控制点校验；入库数据对比（平均误差<5%）。

## 4 实现低成本无人机测量体积的关键因素

### 4.1 硬件低成本化

消费级无人机替代专业设备，采用大疆M300 RTK等搭载RTK模块的消费级无人机，结合五镜头倾斜相机，平面精度可达2cm，高程精度3cm以内，成本较传统激光扫描（LiDAR）降低70%以上。轻量化便携设备，使用便携式激光扫描仪（如GoSLAM），在复杂地形中单堆体扫描仅需10-30分钟，人力成本减少60%。

### 4.2 数据处理与算法优化

智能航线规划，通过优化航高（距目标5-80m）、重叠度（航向60%-80%/旁向15%-60%）及飞行速度（≤11m/s），平衡效率与精度。点云高效处理，降噪与补全：滤除金属粉尘干扰点云，补全数据缺失区域。AI边界识别：自动分割不规则金属堆体，剔除卡车等干扰物。体积计算模型创新，采用改进红尾鸢算法优化BP神经网络，体积预测误差压缩至2%以内，较传统方法提速3倍。

### 4.3 环境适应性改进

抗干扰设计，姿态稳定性：MEMS器件结合卡尔曼滤

波,抑制气流扰动导致的姿态误差。复杂地形扫描:轻量化设备适应金属堆场粉尘环境,非接触测量规避安全风险。动态校准技术,利用5G实时传输点云数据,云端自动拼接多区块扫描结果,消除规模化拼接误差。

#### 4.4 成本与精度平衡

传感器,全画幅相机( $\geq 4200$ 万像素)替代专业航摄影仪,全局快门防运动模糊。GSD达5cm,硬件成本降60%。软件,开源工具(Pix4D)替代工业软件,结合自动建模平台。80分钟内完成建模,授权费降90%。作业模式,无人机集群协同(如50台风机/8小时),边缘计算实时处理数据。效率提升3-5倍,单次测量成本百元级。

### 5 低成本无人设备在再生金属堆场体积测算中的应用

低成本无人设备在再生金属堆场体积测算中的应用已形成成熟技术路径,主要依托无人机摄影测量与三维扫描技术实现高效精准测量,具体应用如下:

#### 5.1 核心技术方案

无人机摄影测量,通过搭载五镜头倾斜相机或普通摄像头的无人机采集堆场影像,配合Pix4D、Agisoft Metashape等软件生成三维点云和数字表面模型(DSM),直接计算体积。精度可达厘米级(平均高程差2.8厘米),体积误差 $\leq 0.1\%$ ,单次作业覆盖面积达数平方公里。低成本优势:使用消费级无人机(如大疆精灵系列)即可实现,硬件投入较低;数据处理时间约80分钟/次,大幅降低人工测绘成本。三维激光扫描技术,采用手持或车载激光扫描仪非接触获取点云数据,精度达毫米级,体积误差率 $< 1\%$ 。适用于室内仓库、狭小空间及复杂地形堆场,单堆体扫描仅需10-30分钟,效率较传统方法提升3-5倍。动态监测:支持周期性扫描,通过历史数据对比分析库存变化趋势,实现堆场智能化管理。

#### 5.2 关键创新应用

AI算法优化,欧冶链金开发基于无人机点云的WRTH-BP预测模型,通过改进红尾鸢算法优化神经网络权重,输出废钢堆存体积值,解决传统测量中的噪声干扰问题。光德三维结合AI自动识别堆体边界与凹陷区域,生成体积变化报告,大幅减少人工干预。多技术融合,无人机与激光雷达(LiDAR)集成:高空快速扫描大面积堆场,适应再生金属堆场的复杂形态。5G实时传输:扫描数据同步至云端,支持远程监控与决策。

#### 5.3 实际效益

效率提升:每平方公里测量耗时约1小时,较人工方式效率提升60%以上。成本节约:免除人工攀爬风险,减少安全防护投入;单项目可降低60%人力成本。合规性保障:精准体积数据助力符合《再生钢铁原料》(GB/T 39733-2020)等标准的分类型号管理要求。

#### 5.4 成本与效率优势

投入成本降低,相比激光扫描(LIDAR),无人机摄影测量硬件成本减少70%以上,且免去高精度定位基站部署。开源处理软件替代专业工业软件,授权费用节约显著。作业效率提升,每平方公里堆场内外业总耗时约1小时,较传统全站仪测量效率提高3-5倍。结合遗传算法优化取料路径,堆场作业效率提升30%。精度验证可靠,与激光扫描结果对比:高程差平均值2.8厘米,体积误差仅0.1%。实际入库数据校验:多区域体积测量相对误差控制在 $\pm 5\%$ 内。

#### 5.5 实施挑战与对策

堆料特性影响,再生金属形状不规则且成分混杂,需通过点云编辑剔除干扰物(如卡车、杂物)。对策:引入AI边界识别算法,自动分割不同材质堆体。规模化应用瓶颈,超大型堆场需分区块扫描,数据拼接可能引入误差。对策:采用5G实时传输技术,云端自动校准点云数据。

再生金属堆场因物料成分复杂(如合金钢、铸铁需分类测算),无人设备通过多光谱传感器可进一步区分金属类型,推动“无废城市”建设中固废资源化监管。未来趋势将深度融入智慧物流系统,实现装载-运输-体积测算全流程自动化,无人机与AI算法的深度集成将进一步压缩成本,如通过联邦学习优化跨厂区模型泛化能力,实现百元级单次测量成本。

#### 参考文献

- [1]李瑞. RTK和TPS在矿料堆体积测量中的对比分析[J]. 城市勘测. 2022
- [2]吴雨. 料堆体积与质量的测量方法及误差分析[J]. 冶金测绘. 2022
- [3]秦喜庆. 利用计算机辅助测量技术测量料堆体积[J]. 北京科技大学学报. 2022
- [4]李墨. 基于无人机和SfM的天津港堆场散料体积测量[J]. 2022