

地面三维激光扫描在厂区地形测绘中的实践

田士超

中煤湖北地质勘察基础工程有限公司 湖北 武汉 430000

摘要：针对厂区地形环境复杂、地物密集、传统测绘盲区多等问题，本文探讨了地面三维激光扫描技术在厂区地形测绘中的实践应用。阐述了该技术的工作原理与优势，分析了厂区测绘的特殊性与成果需求，系统梳理外业多站扫描采集方法与质量控制要点，重点研究了点云配准去噪、分类提取及三维模型构建等关键技术。结合工业园区改扩建工程实践案例，验证了该技术在复杂厂区地形测绘中的高效性与实用性，可为厂区全生命周期运维管理提供精准数据支撑。

关键词：地面三维激光扫描；厂区地形测绘；点云数据；三维建模

引言：厂区地形测绘是工业生产规划、改扩建工程设计及安全运维管理的重要基础工作。然而，厂区地形起伏不均、地物密集杂乱、动态遮挡严重，传统全站仪、GPS等测绘方式易出现测点盲区与数据缺失，难以满足高精度、全覆盖的成果需求。地面三维激光扫描技术凭借高密度、高效率、非接触等优势，为厂区复杂地形测绘提供了全新解决方案。本文围绕该技术在厂区地形测绘中的全流程实践展开研究，从外业采集、内业处理到工程应用进行系统分析，以为同类工程提供技术参考。

1 地面三维激光扫描技术基础

地面三维激光扫描（Terrestrial Laser Scanning, TLS）是一种主动式非接触测量技术，通过发射高频激光脉冲并接收目标表面反射信号，利用飞行时间法（ToF）或相位法精确计算测站至目标点的距离，同时记录水平角和竖直角，快速获取被测物体表面的三维坐标信息，即“点云”数据。该技术具有高精度、高密度、高效率的特点，单次扫描可在数分钟内获取数百万乃至上亿个点云数据，点间距可达毫米级，测距精度通常优于 $\pm 2\text{mm}$ 。扫描完成后，需经过点云拼接、去噪、配准等后处理，最终生成高精度三维模型^[1]。地面三维激光扫描广泛应用于地形测绘、建筑BIM建模、文化遗产数字化保护、变形监测、矿山测量及事故现场勘查等领域，已成为现代空间信息采集的核心技术之一，正与无人机、移动测量等技术融合，推动数字化测绘向智能化方向发展。

2 厂区地形测绘的特殊性与需求分析

2.1 厂区地形环境特征

厂区地形环境相较于普通野外地形更为复杂特殊，整体呈现地形起伏不均、地物密集杂乱、遮挡干扰严重的显著特征，大幅提升了传统测绘的作业难度。多数工业厂区内包含生产车间、办公楼、仓储库房等各类建

构筑物，同时密集分布管道、栈桥、设备基础、消防设施、围挡等附属设施，空间布局紧凑无序。厂区地面并非单一平整地形，存在道路边坡、排水沟槽、设备基坑、堆土区域等异形地形，高低落差无规律，局部区域地形破碎复杂。厂区常态化存在生产设备、运输车辆、物料堆放等动态遮挡因素，且部分工业区域存在粉尘、轻微振动、光线不均等环境干扰，传统全站仪、GPS测绘方式易出现测点盲区、数据缺失问题。

2.2 厂区测绘成果需求

厂区地形测绘成果需贴合工业生产、厂区改造、安全运维、工程验收等多元化应用需求，区别于常规地形测绘，具备精度高、内容全、维度多的核心要求。首先，基础地形数据需精准输出厂区地形等高线、高程数据、地物平面位置、道路坡度、边界坐标等基础测绘成果，满足厂区规划改造、改扩建工程设计的基础数据需求。其次，需完整采集厂区各类构筑物、工业设备、管线廊道的空间形态与位置信息，形成精细化地物数据，为设备运维、管线检修、安全隐患排查提供支撑。现代厂区测绘不再局限于二维平面成果，需构建三维可视化地形模型，直观呈现厂区整体空间布局、地形起伏、地物分布关系^[2]。另外，测绘成果需具备可溯源、可复用性，数据精度需符合工业测绘规范，能够适配后期工程量核算、变形监测、空间规划等延伸工作，保障成果可长期服务于厂区全生命周期的运维与改造工作。

2.3 三维激光扫描的适用场景

结合厂区地形环境与测绘成果需求，三维激光扫描技术可精准适配厂区各类复杂测绘场景，有效弥补传统测绘技术的短板。其一，适用于厂区整体地形全域测绘，针对厂区大范围地形起伏、分区布局复杂的特点，通过多站扫描快速获取全域点云数据，高效完成整体地形建

模与地形参数测算,大幅提升全域测绘效率。其二,适配厂区密集地物精细化测绘,可精准捕捉车间外立面、设备基础、管线支架、栈桥结构等细小构筑物的空间数据,解决传统测绘测点不足、细节缺失的问题。其三,适用于厂区改扩建、改造工程测绘,能够精准采集原有厂区地形与设备布局数据,为新旧工程衔接、方案设计提供精准依据。其四,可应用于厂区安全监测场景,通过定期扫描对比点云数据,监测边坡位移、设备沉降、地形形变等隐患问题。

3 厂区地形测绘外业数据采集方法

3.1 前期准备与测站规划

厂区三维激光扫描外业采集的前期准备与测站规划,是保障数据完整、精度达标、作业高效的核心前提,需结合厂区现场工况系统化开展。前期准备阶段需先收集厂区原有图纸、规划资料、地形台账,梳理厂区功能分区、重点测绘区域、高危作业区域,明确测绘范围与精度标准。同时完成设备校验调试,检查扫描仪测距精度、扫描角度、供电系统及配套标靶、支架设备,确保设备性能稳定,规避设备误差影响数据质量。现场勘查需排查作业区域遮挡物、通行障碍、生产干扰因素,划分安全作业区间。测站规划遵循“全覆盖、少重叠、无盲区”原则,结合厂区地物分布与地形特征布设测站点,开阔区域适当加大测站间距,设备密集、地形复杂区域加密测站。合理规划扫描视角与重叠区域,保障相邻测站点云重叠度达标,为后期点云配准拼接奠定基础。

3.2 多站扫描与数据采集流程

厂区地形测绘外业核心采用多站扫描采集模式,标准化作业流程可分为点位布设、设备架设、参数设置、分区扫描、数据核验五大环节,全程保障数据采集规范有序。首先依据前期测站规划,精准架设扫描仪与配套标靶,调平校准设备,确保仪器水平、位置稳固,减少作业偏差。随后根据测绘区域工况设置扫描参数,复杂精细区域调高扫描分辨率,开阔区域适当降低分辨率以提升作业效率,同时设定合理扫描视角,覆盖全部待测范围。完成参数设置后启动设备全自动扫描,逐站采集厂区地形、地物、设备的三维点云数据,逐区域推进作业,规避漏扫、错扫问题。单站扫描完成后及时核验数据完整性,检查是否存在大面积盲区、噪点过多、数据缺失等问题,不合格区域立即补扫。全部测站作业完成后,整理外业原始点云数据、测站记录、工况备注资料,分类归档保存,为后续内业数据处理、配准拼接、模型构建提供完整可靠的原始数据支撑。

3.3 外业质量控制要点

厂区三维激光扫描外业数据采集的质量控制,贯穿作业全流程,重点管控点位精度、数据完整性、环境干扰防控三大核心要点,杜绝不合格数据产生。点位布设阶段需严格把控测站与标靶布设精度,标靶需放置在不遮挡、稳定性强的位置,统一布设高度与角度,保障后续配准精度,测站点位需避开振动、沉降区域,防止设备偏移^[3]。扫描作业过程中,严控扫描参数规范性,根据厂区不同区域精度要求匹配分辨率、扫描距离,杜绝参数设置不当导致的精度偏差。同时实时规避现场干扰,及时清理作业区域临时遮挡的物料、车辆,避开厂区生产振动、强光、粉尘对扫描精度的影响。严格把控测站重叠区域比例,确保相邻测站点云重叠度满足规范要求,保障拼接无缝隙。作业完成后逐站核查数据,剔除明显异常噪点、缺失数据,对盲区、弱反射区域进行补扫复测。全程做好作业记录,标注特殊工况与数据偏差情况,从源头保障外业点云数据的真实性、完整性与高精度,为内业处理筑牢质量基础。

4 点云数据处理关键技术

4.1 数据预处理

外业采集的原始点云数据存在噪点、冗余数据、缺失漏洞、坐标偏差等问题,需通过预处理技术完成数据优化,是三维建模与数据分析的基础工序。预处理首要环节为点云配准,依托外业标靶控制点,将多站分散的点云数据统一转换至同一坐标系,消除多站扫描的位置偏差,实现全域点云无缝拼接。随后开展去噪处理,区分厂区不同噪点类型,自动剔除高空漂浮杂物、粉尘反射、临时车辆行人产生的散乱噪点,通过人工精细化清理设备周边、地形缝隙的局部异常点,保留有效地形与地物点云数据。同时进行冗余数据精简,在保障地形地貌、地物特征完整的前提下,均匀剔除重复密集点云,降低数据体量,提升后期处理效率。针对轻微数据漏洞,通过插值算法完成补全,修复地形起伏、设备边角的局部数据缺失问题。预处理全程兼顾数据精度与完整性,杜绝过度处理导致的特征丢失,优化后的点云数据规整、精准,满足后续分类提取与三维建模的规范要求。

4.2 点云分类与地物提取

点云分类与地物提取是实现厂区地形、地物数据精细化拆分的核心技术,可将混杂的全域点云数据按属性分类剥离,提取有效测绘信息。处理过程采用“自动分类+人工校核”的作业模式,依托专业点云处理软件,依据点云高程、密度、反射强度、形态特征构建分类规则。首先完成地形点与地物点的基础分类,精准分离厂区地面、边坡、沟槽等地形点云,以及建筑、设备、管线、

植被等地物点云,还原真实地形地貌数据。随后对地物进行精细化分层提取,逐一拆分厂房建筑轮廓、工业设备基础、管线廊道、道路边界、消防设施、围挡植被等不同类型地物数据,形成独立的分类点云图层。自动分类完成后,针对厂区复杂交界区域、细小管线、设备边角等易混淆点位,开展人工复核修正,纠正自动分类的错分、漏分问题。

4.3 三维模型构建

三维模型构建是点云数据可视化应用的核心环节,依托预处理与分类后的精准点云数据,搭建厂区全域精细化三维实体模型,直观还原厂区真实空间形态。建模流程首先基于纯净地形点云,通过曲面拟合、网格重构算法构建厂区数字地形模型,精准还原地形起伏、坡度、高程变化等基础地貌特征,生成规范等高线与地形剖面数据。随后依托分类后的地物点云数据,开展构筑物精细化建模,依次搭建厂房建筑、生产设备、管线栈桥、道路设施等实体模型,精准复刻地物的外形尺寸、空间位置、结构形态,保证模型与现场实景高度契合。建模过程中针对细小构件、异形结构进行精细化修补优化,修正网格漏洞、纹理错位、形态畸变等问题,提升模型完整性。最后叠加实景纹理贴图,优化模型视觉效果,完成厂区全域三维可视化模型构建。该模型可直观呈现厂区整体布局、地形特征与地物分布,支持空间量测、工况分析、改造模拟等多元化应用,为厂区工程设计与运维管理提供可视化数据支撑。

5 工程实践案例与分析

以工业园区改扩建地形测绘工程为实践案例,厂区总测绘面积约8万平方米,区域内包含生产车间、仓储库房、架空管线、设备堆场及起伏边坡,地形复杂、地物密集,传统测绘存在盲区多、效率低、精度不足的问题。本次工程全程采用地面三维激光扫描技术,结合厂区工

况制定专项作业方案,前期完成现场勘查与测站规划,布设42个测站、36个标准控制点,规避厂区生产干扰与遮挡问题,高效完成全域外业扫描采集。内业通过点云预处理、去噪配准、分类提取,精准剥离地形与各类地物数据,构建厂区精细化三维地形模型与构筑物实体模型,输出等高线图、地形高程数据表、地物布局图等全套测绘成果^[4]。工程实践结果表明,该技术有效解决了厂区复杂地形测绘的盲区难题,点位测量精度控制在毫米级,数据完整度达100%,作业效率较传统测绘提升60%以上。通过模型数据分析,精准排查出局部地形沉降、管线布局冲突等问题,为厂区改扩建方案设计、施工落地、后期运维提供了精准的数据支撑,充分验证了三维激光扫描技术在厂区地形测绘中的高效性与实用性。

结束语

本文系统研究了地面三维激光扫描技术在厂区地形测绘中的全流程实践,涵盖外业多站扫描采集、点云预处理与分类提取、三维模型构建等核心环节。工程实践表明,该技术可有效解决厂区复杂环境下的测绘盲区问题,点位精度达毫米级,数据完整度100%,作业效率较传统方式提升60%以上,充分验证了其高效性与实用性。未来,该技术与无人机、移动测量等多源数据融合,将进一步推动厂区数字化测绘向智能化、精细化方向发展。

参考文献

- [1]王月明.基于地面三维激光扫描的道路带状地形图测绘[J].科技创新与应用,2023,13(10):127-130.
- [2]王卫国,蒲进.山区工程测绘中地面三维激光扫描技术的信息提取研究[J].工程技术研究,2022,7(4):212-214.
- [3]李晨.地面三维激光扫描技术在变形监测中的应用[J].科学与信息化,2024(12):35-37.
- [4]苗磊磊.基于地面三维激光扫描下的精细地形测绘研究[J].国际援助,2022(13):118-120.