

# 三维扫描技术在工业园区改造测绘的应用研究

王绍雨 徐朋祥 李晓龙 赵逸凡 王春友

北京首钢国际工程技术有限公司 北京市冶金三维仿真设计工程技术研究中心

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1853

**[摘要]** 传统地形图测绘都是依托全站仪、GPS等设备进行单点数据采集工作,不仅耗时耗力,而且成果单一。随着三维扫描技术的普及,采用三维激光扫描技术代替传统测绘方式进行地形图测绘作业逐渐成为可能。本文以首钢迁钢工业园区为例,针对工业园区复杂、面积大、危险因素众多等特点,为高效、快速、准确的采集现场点云数据,本次采用地面式三维激光扫描仪+ SouthLiDar等软件相结合的方式采集、绘制基础地形图与工艺单体平立剖图,对新型基础测绘方法进行了深入研究。研究表明:三维激光扫描技术在复杂工业园区大面积测图当中获取海量三维点云数据的应用,对比传统测绘具有降低成本、降低作业危险性、提高效率、便于园区取用数据等突出优势,在打造数字园区、智慧园区等诸多应用中具有广阔前景。

**[关键词]** 三维激光扫描; 复杂工业园区; 点云数据; 新型基础测绘

**中图分类号:** P2 **文献标识码:** A

## Research on the Application of 3D Scanning Technology in Surveying and Mapping of Industrial Park Renovation

Shaoyu Wang Pengxiang Xu Xiaolong Li Yifan Zhao Chunyou Wang

Beijing Shougang International Engineering Technology Co., Ltd

Beijing Metallurgical 3D Simulation Design Engineering Technology Research Center

**[Abstract]** Traditional topographic mapping relies on equipment such as total stations and GPS for single point data collection, which is not only time-consuming and labor-intensive, but also results in limited results. With the popularization of 3D scanning technology, it is gradually becoming possible to use 3D laser scanning technology instead of traditional surveying methods for topographic mapping operations. Taking Shougang Qiangang Industrial Park as an example, this article focuses on the complex, large area, and numerous risk factors of the industrial park. In order to efficiently, quickly, and accurately collect on-site point cloud data, a combination of ground mounted 3D laser scanners and software such as SouthLiDar was used to collect and draw basic topographic maps and process unit vertical and horizontal sections. A new type of basic surveying and mapping method was deeply studied. Research has shown that the application of 3D laser scanning technology in obtaining massive 3D point cloud data in large-scale mapping of complex industrial parks has outstanding advantages over traditional surveying, such as reducing costs, reducing operational risks, improving efficiency, and facilitating data access in parks. It has broad prospects in creating digital parks, smart parks, and many other applications.

**[Key words]** 3D laser scanning; Complex industrial parks; Point cloud data; New Basic Surveying and Mapping

### 引言

三维激光扫描技术,又称实景复制技术,出现于20世纪90年代中期,由激光雷达技术发展而来,能够非接触、全自动、快速、精度高、大面积、全方位、高分辨率地获取物体表面的三维坐标数据和数码照片。<sup>[1]</sup>我国引进三维激光扫描技术属于起步阶段,对于三维激光扫描技术的应用发展还处在研究和探索时期。

本文以首钢股份公司迁安钢铁公司(简称迁钢公司)工业园区为实例,以满足工厂的厂容厂貌改造需求为目的,介绍在工业建筑单体分散、结构复杂的工厂测绘环境下,快速实现以三维激光扫描技术为主线的成果交付流程,对比传统测绘方法,三维激光扫描技术较好地实现了三维立体数据采集,建立场景三维点云模型,对三维空间关系进行可视化表达。即便是在数据量大、

空间结构复杂的工业园区当中，也能将物体的空间结构完整地展现出来，同样，在超大体量的空间场景和结构复杂的建构建筑物局部细节描述上，也达到了令人满意的效果，呈现出较好的应用前景。因为其通用性，对相关工程的建设也有很好的参考借鉴价值。

### 1 工程简介

迁钢公司位于河北省迁安市境内，是首钢实施战略结构调整，实现可持续发展的“希望工程”，集中了国内外钢铁工业的先进技术，采用短流程设计，园区设备设施布局紧凑，园区内部高烟囱林立、管道纵横，车辆往来穿梭，困难类别为复杂。

园区为对接环保节能设计改造，需对老旧建构建筑物及设备设施详尽的三维数据进行测绘。测区面积 $0.8\text{km}^2$ ，包含烧结、料场等区域，测绘内容包含1:500地形图测绘，转运站、通廊等20个建筑单体的平立剖面图绘制。

### 2 项目特点、难点

迁钢园区为工业建成区，为满足园区内部设计改造，及时提供基础地形图及相关设备设施的结构、布局、平立剖面数据，对园区测区的特点、难点进行了分析，具体如下：

(1) 迁钢测区内包含各种异形工业设备，以及林立交错的管道支架，对于此类项目测绘，依靠全站仪、RTK的传统测绘方法根本无法开展作业。三维激光扫描技术可以解决大面积且复杂的测绘难题。通过点云成果数据共享还能大大提升方案设计的效率，减少不同专业相互沟通的冗余时间。

(2) 需测项目涉及建筑、结构、工艺、总图等多专业。设计人员不能全数到场，指认不全，随着设计需求深化以及数据内容增加，测绘内容容易缺漏。

(3) 传统的二维图纸表达已不能达到设计人员对成果多样化的要求。

(4) 运营中的工厂环境下，各类建构建筑物及生产设备设施密集呈现，交通繁忙。不确定因素较多，对测绘活动的干扰较大。

(5) 园区内部作业危险程度较高，常规作业需要协调的事情多，人员投入量大。

(6) 项目时间紧迫且园区内异形设备较多，按照常规测绘作业完成任务所需时间，不能满足项目工期要求，并且测绘任务容错率低，责任重大。

(7) 建构建筑物单体结构复杂且测绘位置到达困难，内部道路昏暗狭窄，无照明设备。

### 3 工程案例

#### 3.1 技术路线

根据设计需求，通过现场踏勘，结合现场实际条件，制定项目测绘技术路线图，见图1。

#### 3.2 技术指标

坐标系统：1954北京坐标系、1956黄海高程系。

控制等级及形式：平面二级、高程三等，导线网形式。

点云精度：建筑单体单站有效距离点间距5mm以内，拼接精

度小于10mm；地形图单站有效距离点间距5mm以内，整体拼接精度小于20mm。

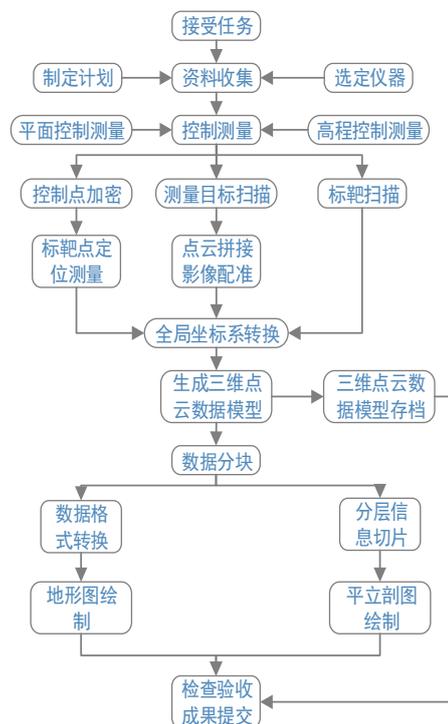


图1 技术路线图

成果精度：地形图测绘，成图比例1:500，平面误差不大于0.05m，高程误差不应大于0.03m。

建构建筑物平立剖面图：成图比例1:100，每个单体提供立面图4个，剖切面不少于4个，并进行尺寸标注。

#### 3.3 方案实施

采用全站仪及水准仪布设导线控制网；站式扫描仪进行三维数据采集，具体参数见表1；数据处理上以SCENE为点云后处理软件，3DReshaper为点云格式转换工具，SouthLiDAR、天正建筑为成果绘制工具，CASS为成果后处理软件；质量检查在起始阶段介入，在关键工序上及时核验、把关。

表1 扫描仪主要参数

设备	设备参数
FARO 3D X330 站式三维激光扫描仪	扫描范围：0.6~330m 测距精度：±2mm 测量速度：122000~976000点/s 激光等级：1级
FARO Focus S350 站式三维激光扫描仪	扫描范围：0.6~350m 测距精度：±1mm 测量速度：122000~976000点/s 激光等级：1级

#### 3.3.1 控制测量和标靶布设



图2 成品仓区域三维点云配准成果

共布设二级导线控制点52个,三等水准路线总长度约8.6km。在每个控制点周围对不同高度、不同角度、易于保存的位置进行标靶纸、标靶盘布设,布设标靶个数不少于4个,利用全站仪进行标靶数据采集,使点云数据得到真实的三维坐标,并对控制点周围的特征建筑物位置、高程进行校核,可以有效控制整体扫描数据拼接精度,避免数据分层。<sup>[2]</sup>工程布设标靶纸和标靶盘共计246个。

采用南方PA2005软件对控制数据进行解算。

### 3.3.2 细部数据采集

依靠三维激光扫描技术进行全方位、多角度、高密度、覆盖式全自动外业数据采集工作,形成高精度的三维点云数据和影像数据,有效提高数据采集的效率。根据本工程技术设计的需求,将单站有效距离点间距控制在5mm以内,多站叠加的点密度控制在20mm以内。

数据采集分为整体地形扫描和工艺单体扫描两种,其中整体地形扫描部分共计架设965站,拼接后的数据量达1.1TB;单体扫描部分共计架设49站,拼接后数据量达52.6G。

(1)整体地形扫描。按照测绘范围分为烧结北侧停车场区域、烧结区域、料场区域三个区域,每个区域以其内部主干道为作业主线,主干道两侧的小路为作业支线,并对每一条支线进行闭环扫描。分别对上述三个区域的点云进行拼接处理,再通过公共部分将三个独立区域拼接成整体。相比一次性全部拼接,此拼接方式的优点是提高拼接效率和精度。

(2)工艺单体扫描。工艺建筑单体当中皮带机的机头、机尾、中心线以及与皮带机对应的建构物的位置关系属于设计要求的重点,在整体地形扫描方案的基础上,为保证数据的精度,对工艺单体数据采集进行如下调整。

——将扫描仪分辨率设置为1/4,质量设置为4x。

——所有工艺单体都采用标靶球(规格均为 $d=14\text{cm}$ )进行扫描。

——所有工艺单体建构物都与控制点进行标靶盘联测。

——室内工艺单体与室外地形数据连接扫描,使室内室外数据形成一个整体。

### 3.3.3 点云数据处理

点云数据拼接的好坏直接影响点云数据的质量与精度,本工程点云数据处理在SCENE软件内完成。

(1)数据预处理:外业扫描获取了海量的点云数据,在数据使用前,需要检查数据的完整性。对多种设备共同完成的成果,需要检查数据的一致性,进行数据格式的规范化。对点云中的冗余数据、噪点信息,需要进行识别和剔除。点云数据预处理是三维扫描作业中至关重要的一环。<sup>[3]</sup>

(2)数据配准:即点云单站拼接。数据拼接主要有三种方法,基于云、基于目标、基于俯视图。在本项目中,对地形区域数据与建筑工艺单体数据采用了不同的拼接方法。园区地形整体扫描采用三者结合的方法,工艺单体数据的拼接采用基于目标和基于云相结合的方法。地形区域整体数据拼接精度平均为7.6mm,工艺数据拼接精度平均为2.2mm。拼接完成的成品仓区域三维点云配准成果见图2。

(3)坐标系转换:数据拼接完成后,导入已知控制点、标靶点、房角点坐标,进行坐标转换,把独立点云整体坐标转换成工程坐标。

(4)切割导出:按成果制作要求对点云数据进行切割导出。导出过程中,可以通过对点云的抽稀、重采样、格式转换等操作,来匹配加工体量、精度、软件要求。

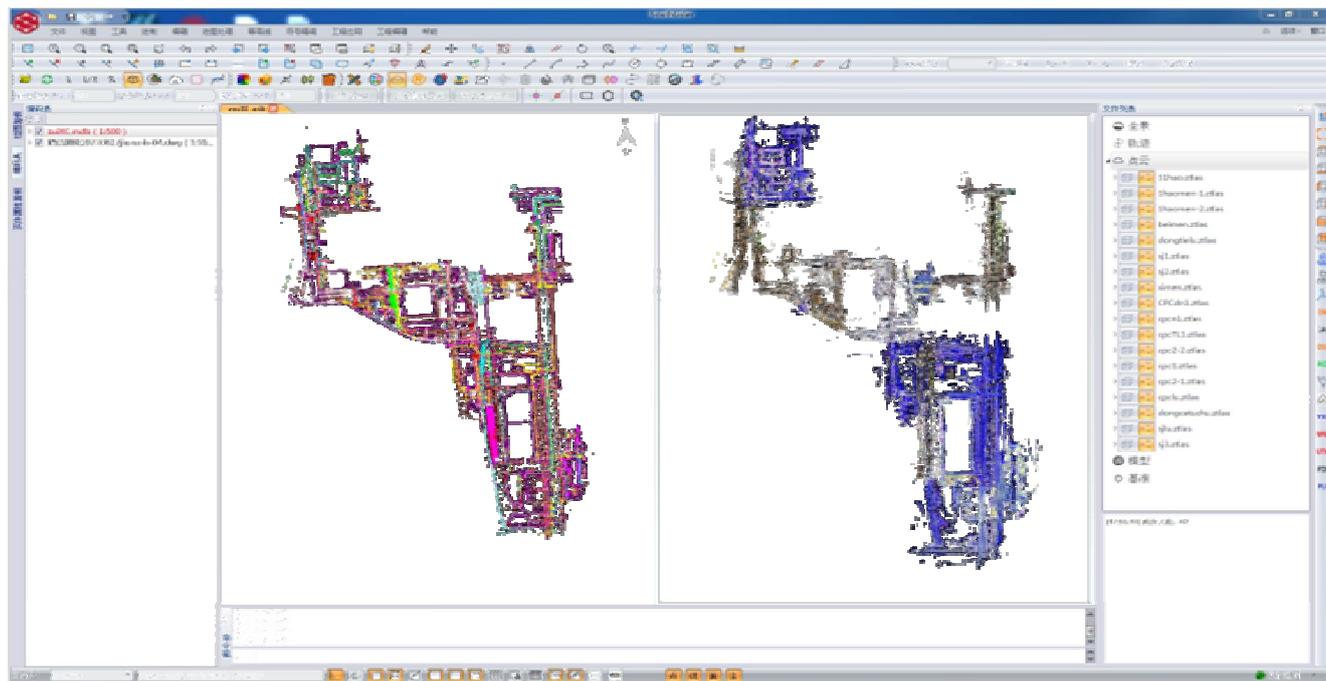


图3 SouthLiDAR地形成果图(左侧为线画图,右侧为点云数据)

### 3.3.4 图形绘制

通过SouthLiDAR、天正建筑等绘图软件,依照点云数据及裁切影像进行园区地形图、工艺单体图及立面图的图形绘制。

(1) 数据轻量化: 首先将数据拼接形成的点云数据(格式为fls)利用SCENE软件以xyz格式导出,通过3DReshaper格式转换软件,将点云xyz的数据格式转换为更加轻量化的las的数据格式,软件支持点云的格式有las、pcd、ply等多种,在点云质量不变的情况下las数据格式是数据量最小的。

(2) 点云切块: 在SouthLiDAR软件内可以通过场景生成规则的矩形格网进行点云切块,防止加载的点云数据数据量太大,便于提高电脑性能利用效率,节约绘图时间。

(3) 点云水平切片: 点云在软件中以三维立体点云进行显示,为方便绘制地形图,在软件中对需要绘制的地物(比如道路、支架)选取特征高度,利用SouthLiDAR软件中点云切片工具进行点云水平切片,以提高工作效率。

(4) 地形图绘制: 在SouthLiDAR点云绘图软件内部建立格式为mdb的数据文件,加载测绘范围及点云数据,依照软件内部的建构物、设备设施、铁路、树木等图例符号详细绘制园区内部地形图。<sup>[4]</sup>绘制成果见图3。

(5) 工艺单体及立面绘制: 利用SCENE软件通过对工艺单体的设备、结构等特征位置、高度进行影像切片,成为带有建构物及设备清晰轮廓的影像(格式为tif);利用天正建筑软件绘制准确、详尽的建筑单体的平立剖图以及特殊位置的立面图。

(6) 成果导出: 将绘制完成的地形图、立面图及工艺单体图,分别通过SouthLiDAR和天正建筑软件进行图形输出,生成符合成图要求的dwg格式的CAD图形。

### 3.4 成果检核

依据三维点云、全景影像图以及全站仪、钢尺、手持激光测距仪等多种方式采集的数据,对迁钢工业园区成果进行检核,水准全线复核,钢尺、手持激光测距仪量校工艺单体结构尺寸48处,相对较差最小为0mm,最大为3mm,全部小于1/200;利用全站仪对既有建构物测点362个,相对较差最小为5mm,最大为27mm,精度全部符合规范要求。同时将三维原始数据留存。部分成果检核见表2。

表2 部分成果检核表

校核位置	现场实际量测值/mm	三维激光扫描值/mm	较差/mm	相对较差
3F3柱子尺寸	长 600	长 602	2	2/602
	宽 620	宽 617	3	3/603
溶燃1机头尺寸	长 1370	长 1372	2	2/602
	宽 2310	宽 2309	1	1/602
	高 1930	高 1932	2	2/602
返-7柱子尺寸	长 600	长 602	2	2/602
	宽 420	宽 420	0	0/602

## 4 技术优势分析

三维激光扫描技术在迁钢工业园区的应用,是真实场景的数字重现,本文以三维激光扫描为技术手段,以SCENE软件、SouthLiDAR软件等为数据处理途径,对复杂工业园区大面积地形图测绘,满足了设计的需求。对比传统测绘方式三维激光扫描

技术具有以下优势。

(1) 测绘方式革新: 地形测绘由点采集到全景采集, 由单纯的三维坐标数据, 变为色彩、灰度、影像相叠加的表现形式, 实现了二维向三维的转化, 突破了传统的测绘方式, 提高了外业测绘效率, 丰富了成果信息, 是一种全新的数据获取手段。

(2) 三维点云数据库: 成果以三维点云数据进行入库存档, 提供了立体、可视化、海量信息的点云数据, 点云数据库可导出 xyz、e57、fls、cpe、xyb 等多种数据格式, 结合建模软件实现 3D 网格、管道模型、钢结构或建筑模型的创建, 为数字园区、智慧园区建设提供了强有力的数据支撑。

(3) 为规划、改造、设计提供有力支撑: 三维扫描技术实现了全方位、覆盖式数据自动采集, 无需人工记录数据、绘制草图。依据三维点云以及可视化全景影像数据, 设计人员可以快速对图上任意位置进行量测和坐标抓取, 使得数据成果更加直观、立体, 数据应用更加高效便捷。基于数据的完整性, 对规划、设计、改造的不同需求无须反复到现场补测, 一次性采集数据, 需要哪里细化哪里。

(4) 降低危险性: 三维扫描技术实现了远距离数据采集, 降低了危险性, 对于园区这种结构复杂、危险系数高的作业环境, 可以根据现场情况选择合适的摆站位置, 不需要爬上爬下亦可完成工作任务, 更好地保障了作业人员的人身安全。

## 5 结语

三维激光扫描技术在复杂工业园区进行测绘, 这是一种新型基础测绘方式解决传统测绘痛点的成功案例, 为数字园区、智慧园区提供了强有力的基础数据支撑。并推广了云平台应用, 共享了直观、立体的三维数据, 为园区设计、改造、转型提供了更加清晰的思路, 同时促进了三维设计建设, 对其他工业园区具有明确的参考价值和推广价值。

### [参考文献]

- [1] 周刚, 谭天贵, 吴伟. 三维激光扫描技术在山林地形测绘中的应用[J]. 江西科学, 2021, 39(06): 1051-1055.
- [2] 周京兵. 地面三维激光扫描技术在工程测量中的应用[J]. 智能城市, 2018, 4(19): 52-53.
- [3] 韩晓川. 三维激光扫描点云数据处理与应用技术探讨[J]. 智能城市, 2020, 6(19): 76-77.
- [4] 李尧. 基于地面三维激光扫描的大面积 1:2000 地形图测绘技术[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023, (12): 51-53.

### 作者简介:

王绍雨(1992--), 男, 汉族, 河北邯郸人, 本科, 工程师, 北京首钢国际工程技术有限公司, 从事工程测量、三维扫描及三维 GIS 相关工作。