引文格式：许诗旋. 徕卡 RTC360 在地铁站点三维建模中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(9): 104-107. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.09.022

徕卡RTC360在地铁站点三维建模中的应用

许诗旋[1]
（1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司，湖北 武汉 430063）

摘 要：徕卡RTC360三维激光扫描仪集TruRTC实景复制技术、VIS视觉追踪技术、SmartReg智能拼接技术于一体，无需人工干预即可在2 min内完成单站点云和高清影像的采集，并实时拼接点云，极大地提高了内外业工作效率。将其应用于城市轨道交通领域，建立融合三维激光点云和高清影像的数字实景模型，简单高效、数据全面、细节丰富。以三阳路地铁站为例进行实验，结果表明利用RTC360建立的模型能满足轨道交通管理的可视化需求，为土建维保工作提供数据支撑，提高工作效率。

关键词：三维激光扫描；点云拼接；影像转换；数字实景模型
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）09-0104-04

Application of Leica RTC360 in 3D Modeling of Subway Stations

XU Shixuan[1]
(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: Leica RTC360 3D laser scanner combines three core technologies, such as TruRTC reality replication technology, VIS visual tracking technology and SmartReg intelligent stitching technology. It can complete the collection of single station point cloud and high-definition images in two minutes, and perform real-time point cloud stitching at the same time without manual intervention, which can greatly improving the efficiency of internal and external work. It is applied to the field of urban rail transit to establish a digital real scene model integrating 3D laser point cloud and high-definition image, which is simple, efficient, comprehensive in data, and rich in details. Taking Sanyang Road metro station for example, we conducted an experiment. The result shows that the model established by RTC360 can meet the visualization needs of rail transit management, provide data support for civil engineering maintenance work, and improve work efficiency.

Key words: 3D laser scanning, point cloud stitching, image conversion, digital real scene model

作为近年来快速发展的新型测绘技术，三维激光扫描已逐步在三维建模、变形监测等领域展现出巨大的应用潜力[1-4]。三维激光扫描技术将点测量升级为面测量，实现了高效率、高质量、低成本的海量空间数据获取，并能充分展现测量目标的特征信息[5]。同时，以其独特的“实景复制”能力，快速、完整地获取原始测量数据，进而实现高精度的实体重建[6]。随着计算机技术的进步，强大的平台为点云大数据处理提供了支持，点云自动拼接三维激光扫描仪有效解决了内业处理的难题，技术的发展使得三维激光扫描技术能更加便捷地应用于测绘场景，在地形测量、桥梁测量、公路测量、大型建筑监测、灾害监测、古建筑测量、文物保护等领域得到了广泛应用[7-14]。全景技术作为测绘地理信息新技术应用的重要领域，是当前城市信息化发展的主要方向之一。三维全景能够直观、真实地向人们提供全方位场景的各种信息，给用户带来沉浸式体验。本文首先采用徕卡RTC 360三维激光扫描仪获取武汉地铁三阳路站的三维点云和全景影像数据；再利用徕卡Cyclone Register 360智能拼接软件和Cyclone点云处理软件处理原始点云，形成三维点云模型，并配合高清全景照片，建立现场数字实景模型。通过该方法构建的模型能满足轨道交通管理单位对现场可视化管理的要求，成为土建维保工作管理的数据底座，提高工作效率。

1 徕卡RTC 360三维激光扫描仪

1.1 硬件组成

徕卡RTC 360三维激光扫描仪由三维激光扫描头、5个专用的VIS相机、3个HDR相机、内置IMU和多种传感器组成，同时配备了一部平板电脑，提供远程操作和实时查看扫描数据的功能。

1.2 核心技术

1）TruRTC实景复制技术。采用3个HDR相机，

收稿日期：2024-04-23。
项目来源：中铁第四勘察设计院集团有限公司科研课题资助项目（KY2023055S）。
作者简介：许诗旋（1991—），硕士研究生，高级工程师，主要从事城市轨道交通测量与监测工作，E-mail：341449701@qq.com。

单相机1 200万像素，全景像素超4亿，扫描+拍照速度更快，每站2 min，点云更精确、图像更清晰、细节更逼真。

2）VIS视觉追踪技术。VIS通过5个内置相机和IMU实时计算两个连续站点间的相对位置，无需标靶、公共点和人工干预，提供全自动精准点云拼接，完全智能化拼接。

3）SmartReg智能拼接技术。利用徕卡专业软件，经拖放、导入、发布3步即可实现点云数据的智能拼接，简单方便[15]。

1.3　设备性能

徕卡RTC360三维激光扫描仪融合了WFD波形数字化技术、惯导技术、HDR图像技术、VIS视觉追踪技术、GNSS技术，扫描距离可达130 m，视场角为360°× 300°，可提供完整的现场数据，扫描速率高达2 000 000点/s。其距离精度为1 mm+10 ppm；角度精度为18″/18″（垂直/水平）；噪音精度为0.5 mm；点位精度为1.9 mm@10 m。内置同轴相机可快速获取低反差、色彩绚丽、细节层次明显的照片，使测量更加简单精确[16]。

2　作业流程

采用徕卡RTC360三维激光扫描仪建立地铁车站三维实景模型的主要工作流程包括现场踏勘、数据采集（控制点、三维点云、全景影像）、数据处理（点云拼接、点云坐标转换、全景影像转换）、数据发布等步骤。

3　项目实施

3.1　测区选择

三阳路站位于湖北省武汉市江岸区，是武汉轨道交通1号线和武汉轨道交通7号线的换乘站。武汉轨道交通1号线正线全长38.54 km，设站32座，三阳路站属于1号线一期工程，为高架站。武汉轨道交通7号线一期工程线路长30.86 km，全为地下线，设站19座。三阳路站—徐家棚站区间为过江段，与市政三阳路越江隧道合建。三阳路越江隧道主要服务于汉口滨江商务区和武昌岸临江商务区，承担着均衡中心区过江交通客流与车流、完善城市道路网与轨道网、缓解青岛路隧道和长江二桥交通压力、支撑两岸均衡发展的功能。三阳路站是武汉轨道交通高架站与地下站同站换乘的车站，且与武汉长江公铁隧道直接连通，属于轨道交通车站的典型工程，其站内要素众多、三维建模难度较大，因此本文选取其作为实验区域。

3.2　现场踏勘

现场踏勘的主要目的是了解扫描区域的现场情况，并合理规划扫描路线，提高外业操作效率，避免实际工作时来回搬站、遗漏或重复扫描。进入车站，首先应找到车站平面图（图1），根据平面图掌握站内结构情况，合理安排扫描轨迹。

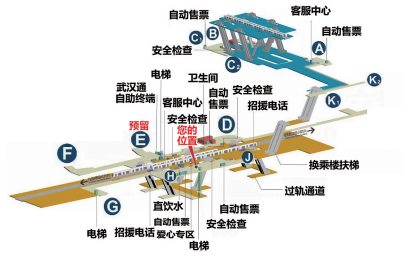


图1　三阳路站设施布置图

3.3　数据采集

综合地铁车站三维建模的点云密度需求以及平台点云数据存储和处理能力，本项目扫描参数选择低密度+拍照的模式，时长1 min26 s。具体作业流程为：①在地铁口选择特征点作为控制点，利用RTK获取控制点坐标，作为模型坐标转换基准；②扫描控制点，将带有黑白标靶的对中杆放置在提前选取的特征点上，对中整平后使用RTC360扫描；③按照事先规划的路线进行扫描，在车站站口或其他不通视的地方，应减少设站距离，增加设站频率，确保没有扫描盲区；④扫描至下一个控制点（特征点）时，应做好标记，并保证两个控制点间隔1 m以上；⑤在隧道内扫描时，由于光线较暗，需布设黑白标靶，以便后续相邻测站拼接。

扫描时应注意以下事项：①相邻两站之间必须通视；②每一站距离宜保持在15~20 m，可根据现场情况适当调整；③架站时尽量避免放置在抖动、移动的平面上；④尽量选择夜晚或人员较少时段扫描，避免遮挡影响点云和影像质量；⑤在站台与站厅连接的楼梯或其他结构衔接不明确的区域，扫描时需详细记录测站信息，以便后期模型处理时使用。

3.4　数据处理

1）点云拼接处理采用Leica Cyclone Register 360软件，作业流程与注意事项为：①将点云导入Cyclone Register 360软件开始自动拼接（图2）；②检查拼接质量，查看拼接误差和有无错层，为确保拼接质量，应从多视图、多角度检查点云重叠度、强度、点群误差等技术指标，确保拼接误差在2 mm内；③发布点云，软件支持原始坐标下LAS、LGS、E57、

PTS、RCP等数据格式的导出。在点云拼接过程中软件可生成精度报告，应检查整体点云拼接精度，若精度不满足项目需求，则需进行补充扫描调整点云质量，得到高精度点云。

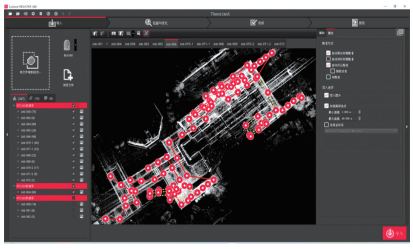


图2 Cyclone Register 360自动拼接

2）点云坐标转换。为实现数据的统一管理和便于后续模型位置信息的使用，本文以武汉2000坐标系为统一坐标基准。车站点云数据采用Leica Cyclone软件处理，处理时需将同一车站的全部点云数据放在同一个工程文件下，并配合测站信息将点云拼接成一个整体。将工程独立坐标系下的点云转换到武汉2000坐标系下的流程为：①将Cyclone Register 360的点云成果导入Leica Cyclone，将相同区域的点云数据放在同一个工程文件；②配合外业数据采集时记录的测站信息，将整个车站的公共区域和管理区拼接成一个整体；③利用带有绝对坐标的控制点或标靶点的原始点云进行坐标转换，检查拼接误差和控制点误差（图3）；④利用控制点进行其他原始点云的坐标转换，直至全部点云均为绝对坐标；⑤修剪点云、去噪，处理前后点云对比见图4；⑥可输出不同格式的点云数据。

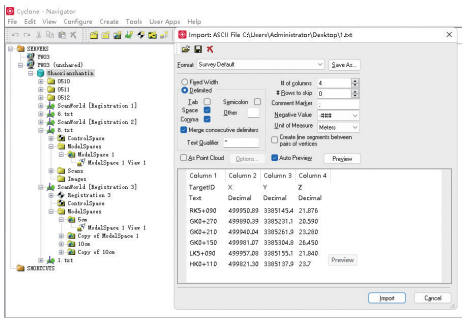


图3 引入控制点坐标

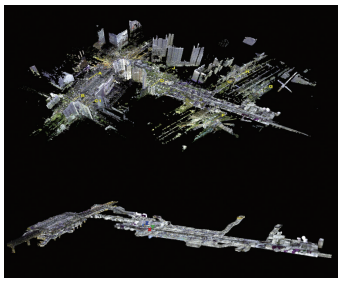


图4 三阳路站点云去噪前后对比

3）全景影像转换。数据采集时，每个站点的三维激光点云数据与全景影像数据在工程独立坐标系下一一对应。将点云数据转换到绝对坐标系下后，可根据点云数据与影像数据间的对应关系实现全景影像的坐标转换。RTC360的拍照功能可生成扫描区域内一一对应的全景影像（图5）和位置文档，位置文档中包括位置参数Position和四元数参数Orientation。将处于工程独立坐标系下的全景影像与武汉2000坐标系下的三维点云进行配准，需要将全景影像对应的位置文档参数也转换到武汉2000坐标系下。全景影像转换可根据点云数据转换前后车站同名点的坐标求得点云转换参数，再利用该转换参数对每幅影像的位置参数和四元数参数进行转换。

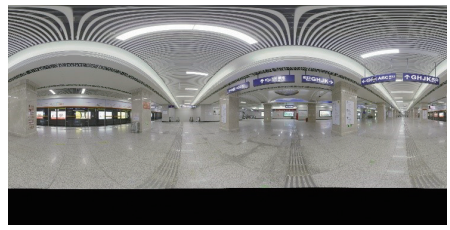


图5 车站全景影像

全景影像的转换流程为：①计算旋转矩阵，车站数据处理时已将工程独立坐标系下的点云数据转换到武汉2000坐标系，根据点云数据转换前后同名点的两套坐标，选择4对或以上的同名点，计算点云数据从工程独立坐标系到武汉2000坐标系的旋转矩阵；②位置参数转换，利用旋转矩阵将位置参数转换为武汉2000坐标系的位置参数；③四元数参数转换，利用旋转矩阵，将四元数参数转换为武汉2000坐标系下的四元数参数；④在扫描过程中，一个完整的车站通常是由几个独立的工程组合而来，对于每个独立的工程，都应按步骤①~③计算出工程独立坐标系的旋转矩阵，再转换每一张全景影像对应的位置文档。

3.5 数据发布

将处理后的RTC360点云和影像数据上传至三维模型展示平台，即可实现车站数字实景模型的浏览（图6）。根据平台的扩展功能，可实现模型的场景展示、实时量测、病害查看、病害标记、病害统计、数据统计、附件管理等操作，将三维模型应用于轨道交通管理中。模型的点云和全景图模式浏览对比效果见图7。

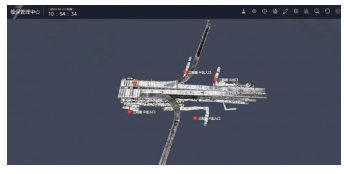


图6 三阳路站模型



图7 点云/全景图模式对比

3.6　精度验证

通过本文方法建立的三维实景模型主要用于轨道交通管理单位对现场的可视化管理，典型场景为病害场景定位和病害范围测量，因此模型的精度要求为厘米级。本文分别在点云模式（图8）和全景模式下（图9）对车站内部广告牌、墙砖、地砖等已知尺寸特征物体进行量测，并将模型量测值与特征物体实际值进行对比，以检验三维实景模型的精度。根据三维模型与特征物实际尺寸的对比检核，模型精度见表1，可以看出，测量尺寸偏差均在厘米级范围内，因此通过本文方法构建的模型能满足作为轨道交通工作管理数据底座的要求。

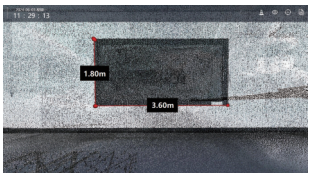


图8　点云模式长度测量

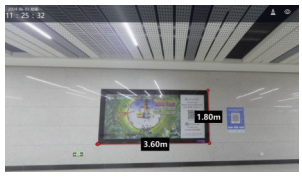


图9　全景模式长度测量

表1　三维模型与实际尺寸对比/m

特征物体	模式	实际尺寸（长×宽）	测量尺寸（长×宽）
广告牌	点云模式	3.60×1.80	3.60×1.80
	全景模式	3.60×1.80	3.60×1.80
墙砖	点云模式	1.20×0.60	1.21×0.62
	全景模式	1.20×0.60	1.20×0.59
地砖	点云模式	0.80×0.80	0.78×0.79
	全景模式	0.80×0.80	0.81×0.81

4　结　语

本文采用徕卡RTC 360三维激光扫描仪在武汉地铁三阳路站进行实验，经过现场踏勘、数据采集、数据处理、数据发布等主要作业流程，利用在扫描过程中统筹规划测站轨迹、合理把控站间距离、严格控制点云拼接质量等关键手段，得到的最终成果证明徕卡RTC 360三维激光扫描仪应用于城市轨道交通三维建模，具有设备轻巧方便、外业操作便捷、内业处理智能、数据全面精准的特点，其成果能满足轨道交通运营维护对于三维模型基础数据的要求。

随着城市轨道交通建设的不断发展和土建结构使用年限的逐渐增长，维保工作中土建结构病害问题日益凸显[17]。在地铁项目管理中，根据实际需要选择合适的项目有针对性地设计技术方案，以点云数据和全景影像为基础搭建数字实景模型，实现高效的三维场景交互功能，能为工作人员在处理业务时提供空间参考信息，大大降低地铁维保管理业务难度，提高地铁维保管理业务效率。随着智慧城市建设的快速推进，将数字实景模型应用于城市轨道交通的日常运维管理，以数字化驱动质量提升，在优化交通环境、提升效能效益方面具有显著意义。

参考文献

[1] 朱曙光,何宽,周建郑. 徕卡三维激光扫描系统在建筑物精细建模中的应用[J]. 测绘通报,2018(2):154-156

[2] 胡洋,韩扬,梁文鹏. 三维激光扫描技术在桥梁变形监测中的应用[J]. 测绘通报,2024(3):179-182

[3] 鄂明曦. 基于多源数据的城市实景三维模型建立[J]. 智能城市,2024,10(2):43-45

[4] 尹相宝,周永生,闫鲁雁,等. 基于移动式三维激光扫描技术的管片错台快速检测[J]. 测绘技术装备,2024,26(1):181-186

[5] 张宇贝. 基于三维激光扫描的复杂管线BIM几何模型构建与应用研究[D]. 北京:北京建筑大学,2018

[6] 李强. 三维激光扫描技术在城市建筑物高精度建模中的应用[J]. 城市勘测,2019(3):83-86

[7] 冯仕超,郭兴平,韩彦伟,等. 基于三维激光扫描技术在崖墓保护中的应用[J]. 地理空间信息,2022,20(2):57-59

[8] 闫晓楠,宋洪英,徐奇,等. 三维激光扫描技术在隧道限界中的应用[J]. 地理空间信息,2023,21(2):146-148

[9] 胡玉祥,李勇,张洪德,等. 地面三维激光扫描技术在建筑物立面测绘中的应用[J]. 城市勘测,2019(3):87-91

[10] 张灯军. 三维激光扫描技术在矿山边坡变形监测中的应用[J]. 西部资源,2019(4):49

[11] Zong F,Zhang J,Guo B,et al. Research of Mini Steak Tube with Planar Image Plane for Laser Three-dimensional Scanning LiDAR[J]. Optik,2019,185:1 157-1 162

[12] 高溪溪,周东明,崔维久. 三维激光扫描结合BIM技术的古建筑三维建模应用[J]. 测绘通报,2019(5):158-162

[13] 董景利. 徕卡RTC360三维激光扫描仪在建筑立面改造中的应用[J]. 测绘通报,2020(2):163-166

[14] 李楠,方余铮,府伟娟,等. 基于三维激光扫描的历史建筑测绘应用研究[J]. 地理空间信息,2022,20(8):55-58

[15] 谈嵘,曹媛媛,朱俊峰. 新型激光三维扫描仪在建筑物竣工中的应用研究[C]//江苏省测绘地理信息学会2020年学术年会论文集,2020

[16] 夏金周. 移动式三维激光扫描技术在地铁隧道变形监测中的应用研究[D]. 南京:东南大学,2019

[17] 张学华,杨建龙. 地铁运营期隧道结构检测方法[J]. 现代城市轨道交通,2009(4):69-71