

基于三维激光扫描技术的顶管施工邻近路面沉降变形监测

陈柳花, 王会丽, 李倩文

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433]

摘要: 随着城市的发展, 地下空间开发工程数量日益增多, 施工中下穿城市快速路的情况也越来越多, 但由于快速路车速快、车流量大且一直处于通行状态, 传统的监测方式无法满足施工监测的需求。利用三维激光点云扫描技术获取 S20 路面整体三维点云数据, 通过不同时段的点云数据比对获取路面沉降变形情况, 为施工中的路面沉降变形监测提供一定的数据支持, 也为以后的工程监测提供新的技术方法。

关键词: 快速路路面; 沉降监测; 三维激光扫描; 比对分析

中图分类号: U455.47; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0266-04

Monitoring of Pavement Settlement and Deformation Adjacent to Pipe Jacking Construction Based on 3D Laser Scanning Technology

CHEN Liuhua, WANG Huili, LI Qianwen

[Shanghai Highway and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

Abstract: With the development of cities, the number of underground space development projects is increasing day by day, and the situation where construction passes under urban expressways is also becoming increasingly common. However, due to the high speed, large traffic volume and constant traffic on expressways, the traditional monitoring methods cannot meet the needs of construction monitoring. The 3D laser point cloud scanning technology is used to obtain the overall 3D point cloud data of S20 pavement, and the settlement and deformation of pavement are obtained through the comparison of point cloud data at different periods, which provides certain data value for the monitoring of pavement settlement and deformation during construction, and also provides a new technical method for the engineering monitoring in the future.

Keywords: expressway pavement; settlement monitoring; 3D laser scanning; comparative analysis

0 引言

随着城市建设的快速发展, 地下空间的开发规模越来越大, 下穿城市快速路的施工工况日益频繁^[1-2]。由于快速路车流量大、车辆载重不同、车速快, 为保障通行安全, 施工中需严格控制路面沉降。为预防路面出现超出警戒值的隆起或沉降, 影响车辆的安全通行, 在施工中要严格监测路面的变形情况。由于道路一直处于通行状态, 传统的水准仪、全站仪等测量设备无法安设在道路上, 因此传统的布设棱镜或反光镜的三角高程测量方式只能监测路肩及中央隔离带区域的变形, 而对于最重要的行车道

区域的变形情况却无法监测^[3-4]。

本文采用三维激光点云这一非接触式的测量方式来进行道路沉降监测。三维激光扫描技术被称为“实景复制技术”, 是测绘技术史上又一次革新^[5-6]。三维激光扫描技术突破了传统意义上的单点测量技术, 在进行测量时不需要布设棱镜或者水准尺等对象目标。它通过三维激光扫描仪发射激光脉冲信号到物体表面再反射回扫描仪接收器, 通过计算角度及距离, 每秒可采集上百万个目标物体表面的空间三维坐标, 具有效率高、精度高、无接触和不受环境限制等优势, 可以有效解决传统测量仪器只能测量有限点位的弊端^[7-8]。

1 工程概况及难点

陆翔路—祁连山路贯通工程 II 标暗埋段采用

收稿日期: 2025-02-14

作者简介: 陈柳花(1988—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事市政桥梁及数字化工作。

9.90 m×8.15 m 土压平衡顶管方式施工,单条顶进长度为 445 m,共两条平行顶管。顶进方向为从北向南,纵坡比为 3‰。下穿顾村公园及上海市 S20 外环高速,顶管顶面距离 S20 路面仅 3.3~3.95 m,对 S20 沉降变形控制,是本工程的重点及难点。施工期间,为保证 S20 通行安全,需监测路面变形数据,因 S20 外环高速车流量大,监测工作不能影响高速的正常通行。为保障施工期间高速公路安全运行,本项目探索利用三维激光点云扫描技术,通过激光非接触的测量方式获取路面整体点云数据,通过数据处理分析得到路面的整体变形情况,为顶管施工及 S20 通行安全提供数据支持,如图 1 所示。

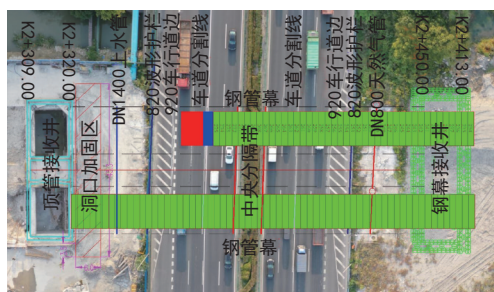


图 1 顶管下穿 S20 快速路现状

2 扫描策划

2.1 软件及硬件选择

本文选用 Trimble TX8 三维激光点云扫描仪进行路面监测。该扫描仪扩展测程达 340 m,有效扫描速度 1 百万点/s,误差小于 2 mm,其通过水平旋转基座上的竖直旋转镜扫描实现空间立体点云数据采集。

点云数据拼接采用天宝 realworks 软件进行点云数据处理。点云数据的比对分析采用 Geomagic 软件。

2.2 三维扫描的技术路线

为全面监测施工中的路面沉降情况,在顶管下穿 S20 前采集路面点云数据作为基准点云,随后在顶管下穿 S20 路面宽 1/2 位置处采集路面数据与基准点云数据对比,以此分析施工中整个路面沉降数值。具体技术路线如图 2 所示。

3 扫描实施

3.1 外业扫描标靶布设

为匹配各阶段扫描数据在同一坐标系下,需在现场布置标靶纸。标靶纸应选择两种反射强度差异大的颜色搭配,以黑白色为最佳。应采用干粉打印机打印,不同颜色间的分界线应清晰、平直^[9-10]。标

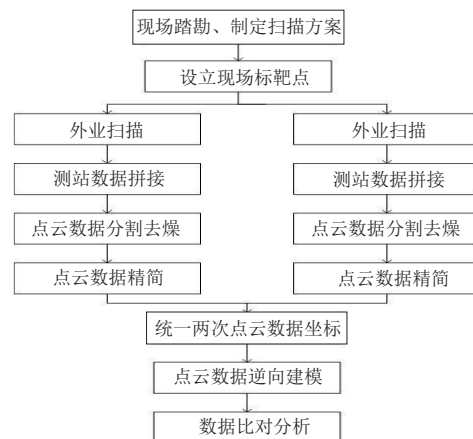


图 2 三维点云扫描技术路线

靶纸布设在施工影响范围外的稳定结构物上,如房屋、塔吊、电线杆等。布设数量应能包围被监测对象。图 3 为本项目标靶布设位置。标靶纸在整个监测时间段内不能出现移动、变形、掉色等情况,材质以 pvc 板为宜,大小宜不小于 A4 纸。

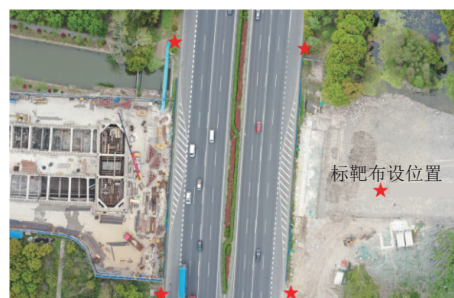


图 3 本项目标靶布设位置

3.2 外业扫描距离选定

现场架设三维扫描仪进行数据采集,扫描范围应完全覆盖监测对象及标靶纸。其中,扫描标靶纸时,扫描仪应尽可能靠近标靶,距离应在 10 m 以内,且扫描仪与标靶纸保持垂直,以满足统一扫描数据坐标时的坐标拟合精度要求,如图 4 所示。扫描时为覆盖监测范围,需要对监测对象进行多测站扫描,得到若干个测站的点云数据。同时,由于每次扫描时三维激光扫描仪都会建立一个新的坐标系,因此未经过拼接的测站数据都是孤立的,不能完整重现扫描目标的三维结构,各测站之间基于共有云点进行拼接处理,各测站之间距离应以满足点云重叠率、扫描范围内特征点形式等综合影响因素考虑。此外,由于 S20 高速车流量很大,为防止车辆遮挡导致点云数据稀疏而对点云后处理造成影响,选择在车流量少的时段进行扫描,并适当增加扫描站点数,如图 5 所示。

3.3 点云数据预处理

本项目采用天宝 realworks 软件进行点云数据处

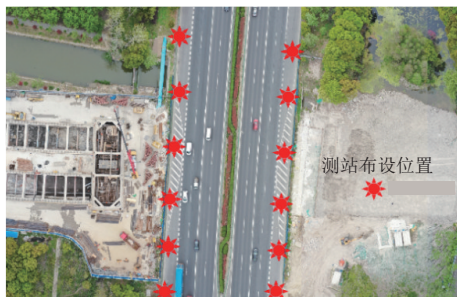


图4 本项目测站布置位置



图5 本项目现场扫描照片

理,将所有测站数据导入处理软件中,通过站点间共有的点云特征点进行数据拼接,将所有测站数据两两匹配拼接到一起。重复此步骤,直到将所有数据形成完整的点云模型^[11-12]。拼接完成的点云数据里包含大量的冗余数据,如果不对这部分数据进行处理,不仅影响工作效率,还会对后续的比对工作带来很大的影响。因此,数据的清理及优化必不可少,利用realworks的“分割”及“点云分类”功能,可以快速实现点云去噪,如图6和图7所示。

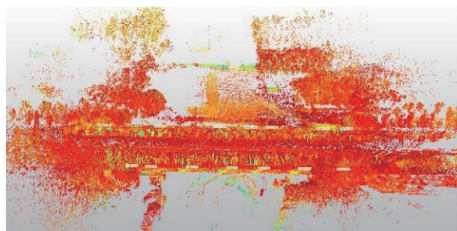


图6 去噪前的点云数据

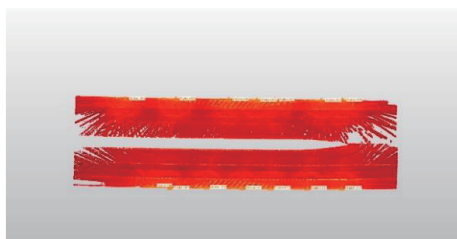


图7 去噪后的点云数据

3.4 点云坐标统一

为实现两次扫描数据的比对分析,需要将点云

数据统一在同一坐标下,提取第一次扫描数据的黑白标靶,通过软件拟合得到黑白标靶纸的中心坐标^[13-15]。将所有标靶坐标统计后导入到第二次扫描的数据,将坐标数据和第二次扫描的黑白标靶匹配,从而统一两次扫描数据的坐标。

3.5 点云数据封装

将扫描的点云数据导入Geomagic软件,对点云模型进行逆向建模。在软件中,这一步被称为“封装”。该操作主要是通过构造网格(如三角形网格等)对目标物体的表面进行拟合。值得注意的是,由于最终目的是使用该模型进行变形量的监测分析,在生成网格模型时越接近真实,比对的精度相对越高。因此,在封装操作时,应避免勾选“删除组件”“优化点云数据”等自动优化封装效果的选项。

3.6 点云数据比对

将两次点云数据导入软件中,设置第一次数据设为参考,第二次数据设为测试。因为两次坐标系已统一,两次数据完成自动对齐,选择3D比较,软件进行数据自动比较,得到比对结果,如图8所示。

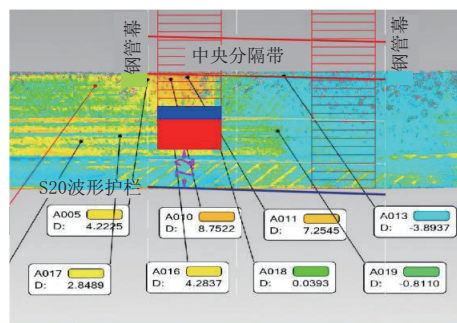


图8 数据分析比对图

4 沉降变形分析

选取沿道路行进方向长度160 m范围进行比对,通过软件处理得到的点云比对色谱图,可以任意点选点云数据,即可得到两次点云数据之间的距离,也就是路面整体的变形数据,得知:

(1) S20北半幅路面变形量平均值为 $-3.65 \sim 4.46$ mm,标准偏差为4.91 mm。顶管范围类变形较大,达15.9 mm。

(2) S20南半幅路面变形量平均值为 $-2.44 \sim 2.66$ mm,标准偏差为3.69 mm,顶管范围类变形达8.7 mm。

(3)第三方传统监测的数据为:北半幅路面靠近机头位置呈现隆起趋势,第三方监测数据部分点变形达21 mm;南半幅路面靠近机头位置呈现隆起趋

势,第三方监测数据部分点变形达12 mm。点云数据分析的路面变形趋势与第三方监测数据变化趋势基本一致,且偏差很小,说明点云数据精度可以满足施工沉降变形监测的需求。

5 结 论

本文通过采用Trimble TX8三维扫描仪采集顶管下穿S20路面不同阶段的三维点云数据,并及时进行数据的比较分析,从而得到S20路面的沉降变形情况。由此可以看出在顶管施工过程中,顶管上方路面出现隆起变形,达到16 mm,与传统水准测量监测的结果趋势基本一致,变形没有超过施工控制范围,路面行车安全可控。

三维激光点云这一非接触式的测量方式突破了传统单点测量的局限性,在路面沉降变形的监测中具有一定的实用性,对于指导施工有一定的应用价值,但由于S20车流量大,且大车、重车多,在点云扫描过程中产生振动、遮挡等诸多干扰,会对数据精度造成不利的影响。此外,由于点云数据量巨大,数据处理所需时间较长,对于施工监测来说,数据不能满足及时性的需求。因此,后续研究可以考虑通过优化扫描方式、改进数据处理方式等方法来解决这些问题,以此将三维激光点云扫描作为施工监测中的常规工具,让其发挥全面的数据价值。

参考文献:

- [1] 曾聪,常青,唐钰涵.基于地面三维激光扫描技术的公路路面平整度检测[J].科学技术创新,2025(5):146-149.
- [2] 冯健贤,邱锦安,洪庆仁,等.三维激光扫描在地面沉降监测中的应用研究[J].资源信息与工程,2024,39(4):68-72.
- [3] 黄冬勇,范世超.地面三维激光扫描技术及运用分析[J].科学技术创新,2024(12):13-16.
- [4] 林成行.地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用[J].工程技术研究,2023,8(20):222-224.
- [5] 任鲜.车载激光雷达路面检测方法[D].北京:北京建筑大学,2023.
- [6] 徐建,黄昌狄,吴凯,等.地面激光扫描仪空间距离示值误差校准结果不确定度评定[J].工业计量,2023,33(6):88-90;95.
- [7] 张莞玲,赵莲莲.基于三维激光扫描的公路沉降监测研究[J].自动化与仪器仪表,2022(5):74-78.
- [8] 王致民.三维激光扫描技术在市政道路工程中的应用[J].运输经理世界,2021(4):20-21.
- [9] 邓伟强.沥青路面平整度施工控制及现场检测技术探究[J].交通节能与环保,2020,16(3):101-104.
- [10] 成枢,朱玉明,牛英杰,等.三维激光扫描技术在高速公路沉降监测中的应用[J].矿山测量,2020,48(3):20-23;40.
- [11] 张建莉,陈榕峰,姚岢.公路路面不平度对汽车振动的影响分析[J].公路交通科技,2019,36(11):129-133.
- [12] 张飞,张建坤,曹伍富.三维激光扫描技术在道路沉降监测中的应用探讨[J].工程勘察,2019,47(5):53-57.
- [13] 贺健.三维激光扫描测量系统的应用及解析[J].中国新技术新产品,2019(21):15-16.
- [14] 王水明.地面三维激光扫描技术在工程测绘中的应用[J].四川水泥,2017(1):108.
- [15] 梁周雁,赵富燕,孙文潇,等.基于三维激光扫描技术的地表变形监测方法研究[J].测绘与空间地理信息,2017,40(6):213-216;219.

(上接第252页)

复核一次吊篮,做到换手多次校核;勤纠要做到根据成型管片实测姿态第一时间进行调整,缓纠要做到每环垂直和水平姿态调整量不得超过5 mm。

第三,时常对比分析各参数之间的相互影响和制约关系,针对工况特点,分阶段调整到最佳参数掘进状态。

其四,必须深入施工现场,记录与总结施工时各参数之间的相互关系,随时做出调整,才能攻坚克难,

不断提高施工水平,保证隧道的顺利贯通。

参考文献:

- [1] 项瀚仪.盾构275 m小半径隧道始发施工技术[J].市政技术,2010(增刊2):133-136.
- [2] 王岚.小转弯半径隧道盾构施工技术探讨[J].河南建材,2012(1):169-170.
- [3] 陈大因,郑学峰.小曲率半径隧道盾构推进的轴线控制[J].城市道桥与防洪,2009(5):132-136.
- [4] 郑鸷能.盾构区间施工小半径急曲线段施工工艺探讨[J].隧道建设,2018,23(5):74-76.