

# 三维激光扫描技术在地铁保护监测中的应用研究

田萌<sup>1</sup> 潘桂奇<sup>2</sup>

1 江苏南京地质工程勘察院 2 苏州山湖测绘科技有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i5.1832

**[摘要]** 地铁隧道管片变形通常是由于隧道受内外力影响所致,变形的发生不仅会影响隧道正常使用,甚至会影响结构安全。三维激光扫描技术打破了传统变形监测方法的诸多局限,有采集速度快、获取全面、精度高等优点。本文结合工程实例,利用三维激光扫描技术对病害严重区域隧道进行扫描,获取管片收敛变形情况。通过与人工监测数据进行比对可知两种方法得到数据偏差较小,数据精确度较高。

**[关键词]** 三维激光扫描;运营期地铁;点云处理;收敛变形

**中图分类号:** TL25+3 **文献标识码:** A

## Application research of 3D laser scanning technology in subway protection monitoring during operation period

Meng Tian<sup>1</sup> Guiqi Pan<sup>2</sup>

1 Jiangsu Nanjing Geological Engineering Survey Institute

2 Suzhou Shanhu Surveying and Mapping Technology Co., Ltd

**[Abstract]** The deformation of subway tunnel segments is usually caused by the influence of internal and external forces on the tunnel. The occurrence of deformation not only affects the normal use of the tunnel, but also affects the structural safety. 3D laser scanning technology has broken many limitations of traditional deformation monitoring methods, with advantages such as fast acquisition speed, comprehensive acquisition, and high accuracy. This article combines engineering examples and uses 3D laser scanning technology to scan tunnels in severely damaged areas, obtaining the convergence and deformation of pipe segments. By comparing with manual monitoring data, it can be seen that the two methods have smaller data deviations and higher data accuracy.

**[Key words]** 3D laser scanning; Subway during operation period; Point cloud processing; Convergent deformation

### 引言

随着城市轨道交通的快速发展,投入运营的地铁线路逐年增长,在部分大城市地铁几乎覆盖到城市的每个角落。城市需要持续的发展,地铁周边的施工建设不可避免的会对已有地铁结构产生影响,一旦发生安全事故,产生的后果将不堪设想<sup>[1-2]</sup>。因此,在地铁运营期对隧道进行变形监测对于保障轨道交通的运行安全具有重大意义,现在主要的监测手段主要采用在地铁结构上布设监测点进行单点监测,存在效率低下、难以对整个隧道管片进行监测等缺点<sup>[3]</sup>。

三维激光扫描与传统测量方法相比,具有操作简便、自动化程度高、工作效率高、精度高、非接触式等一系列优点<sup>[4]</sup>,为地铁隧道提供一种高精度、高效的无损检测手段。它通过高速激光扫描测量的方法,大面积、高分辨率地快速获取物体表面各个点的三维坐标<sup>[5]</sup>、反射率、颜色等信息,利用这些大量、密集的点信息可快速构建出被测目标的三维模型及线、面、体等各种

图件数据。一次扫描即可获取海量点云数据,通过处理可以得到隧道结构的水平直径、全断面收敛、错台、净空断面等多类几何测量成果。且由于点云数据是无死角数据,其得到的水平收敛等数据相对于传统测量方法更加全面、准确<sup>[6]</sup>。本文基于架站式三维激光扫描技术对运营期地铁隧道进行三维激光扫描作业,快速获取隧道变形情况,旨在为地铁保护监测提供科学的数据支撑,同时为相关工程项目提供参考依据。

### 1 三维激光扫描技术原理

三维激光扫描系统主要由扫描系统、控制系统和计算机系统三部分组成<sup>[7]</sup>。

其本质是基于激光测距原理获取目标的三维空间坐标,三维激光扫描仪通过内置激光发射器发出激光脉冲信号,达到目标表面后反射回到信号接收器<sup>[8]</sup>。通过脉冲信号或相位差计算出扫描仪位置O与目标点P之间的距离S,此时内部模块记录激光脉冲信号的竖直角 $\alpha$ 与水平角 $\beta$ 。由距离S、竖直角 $\alpha$ 与水平

角 $\beta$ 即可计算出目标点P的三维坐标<sup>[9]</sup>。三维激光扫描仪获取坐标的计算原理如图1所示。

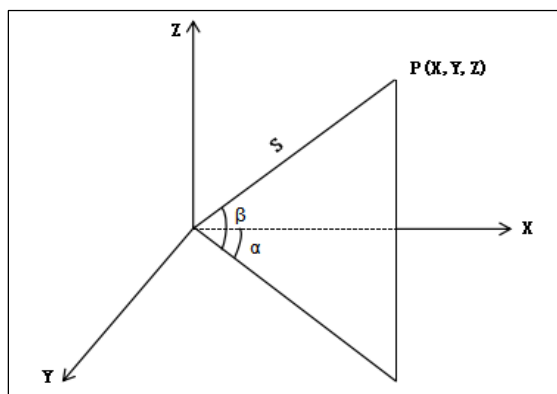


图1 扫描点坐标计算原理图

由几何计算可知,被测目标点 $P(X, Y, Z)$ 在仪器坐标系中的坐标为:

$$X = S \cos \alpha \cos \beta \quad (1)$$

$$Y = S \cos \alpha \sin \beta \quad (2)$$

$$Z = S \sin \alpha \quad (3)$$

## 2 工程应用

### 2.1 工程概况

某工程位于华东某市新城中心区域,拟建外部工程塔楼高88层,建筑高度400m;裙楼高7层,总高度约58m;整个场地内设满堂5层地下室,开挖基坑周长约677m,基坑面积约26000m<sup>2</sup>。场地位于长江漫滩,地层软弱,工程地质条件复杂,周边高层建筑林立。该建筑基坑距地铁隧道结构边线约53.0~63.0m,基坑底标高比地铁区间隧道底标高低3.8~7.8m。根据《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB50911-2013),该建筑位于地铁控制保护区范围内,施工期间需要对临近地铁结构的变形进行监测,掌握该项目在施工过程中对既有地铁结构造成的影响,及时判断既有轨道交通设施安全,对可能发生的事故提供及时、准确的预报,避免恶性事故的发生。

基坑完成四道支撑后便处于长期停工状态,期间对应区间隧道监测数据报警,隧道病害较多且有明显发展趋势。为获取准确的隧道管片变形情况,为后续隧道治理提供依据,故对该隧道区间进行三维扫描测量。

### 2.2 作业流程

#### 2.2.1 外业扫描

本次扫描采用Leica P40扫描仪,为了获得足够重叠度的点云数据,本次扫描在测区外扩10环处布设首站及末站,中间区段按每20环布设一个测站进行数据采集,将扫描仪安放在隧道中央,每一测站两侧10环的位置放置2个标靶用来提高点云拼接精

度。每站采集参数相同,采用全景扫描,扫描最大距离为120m,扫描分辨率为6.3mm/10m,每站采集时间约为2min。

#### 2.2.2 数据处理

点云数据处理主要包含以下内容:点云数据进行预处理、隧道断面进行提取和分析。

(1) 点云预处理。点云数据进行预处理的内容为点云拼接和去噪。

点云数据预处理在Cyclone中进行,首先将点云导入软件,对标靶进行识别、编号,前后两个测站通过共用的两个标靶实现高精度拼接,拼接完成后对拼接精度进行计算。拼接完成后剔除局外点、漂移点等无关的点云后导出。

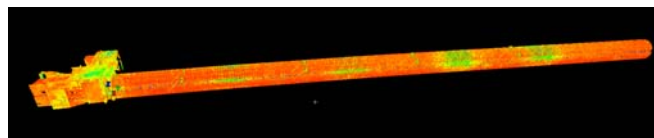


图2 点云预处理成果

(2) 断面提取与分析。断面提取与分析在专用的分析系统中进行,首先根据点云生成轨道中心线和隧道中心线,再计算起止里程及断面之间的间隔输入,软件即可自动完成断面切割,即按照隧道中心线的法线对点云断面进行切割。并对各断面上的离散点实施样条曲线拟合,可形成每个断面收敛、椭圆度等参数的形变状况分析图及其表格成果。

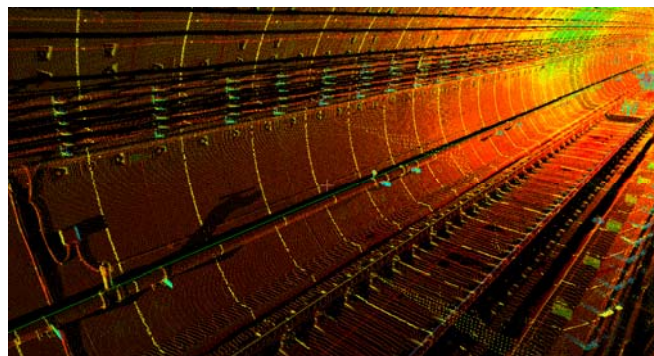


图3 断面提取

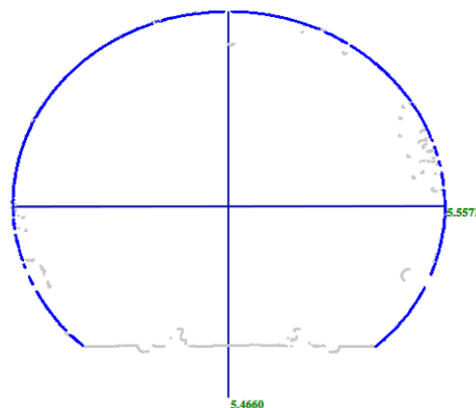


图4 收敛分析

## 2. 3 数据分析

### 2. 3. 1 水平直径检测

工程影响段隧道采用盾构法施工, 隧道顶埋深10.89m, 管片衬砌环外径6.2m, 内径5.5m, 管片宽度1.2m, 管片厚度35cm, 衬砌环由1个封顶块、2个邻接块、3个标准块组成。基于三维激光扫描技术对该区间隧道进行扫描, 并对水平收敛结果进行统计, 将扫描结果与设计标准隧道水平直径5.5m进行对比分析, 对其偏差进行统计分析, 结果如图5所示。

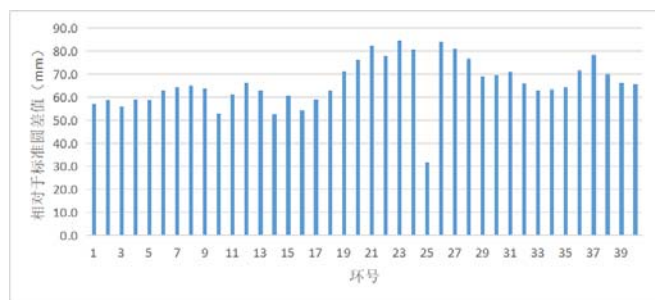


图5 水平直径相对于标准圆偏差结果

本次扫描共获取40环的水平直径, 由图5可知, 该段管片外扩严重, 相对于标准圆偏差最大值为84.8mm, 最小为31.7mm。其中相对于标准圆偏差大于80mm有5环, 介于70~80mm有8环, 介于60~70mm有17环, 介于50~60mm有9环。偏差最小的为第25环且明显小于周边管片, 经现场核实, 该环为钢环加固环。

### 2. 3. 2 收敛变形误差对比

为了检验三维激光扫描获取数据的准确性, 在同区段通过人工对同断面进行测量。

在隧道两侧腰线上布设一条水平基线, 首先利用长约1m水平尺竖向紧贴隧道腰线, 上下移动使水平尺上气泡居中, 其次利用卷尺水平方向量测出对应每环纵向中线, 最后水平方向移动水平尺使之与中线重合, 该点即为水平收敛监测点。

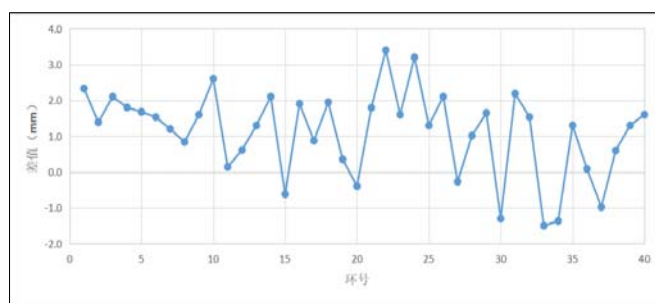


图6 三维扫描与人工测量偏差值

在一侧的腰线点上设置对中线, 安置红外线激光测距仪, 另一侧腰线点设置瞄准点, 利用红外线激光测距仪测量隧道两侧腰线点间的距离即为管片水平直径。

将三维扫描数据与人工测量数据对比分析, 二者偏差结果如图6所示。由图6可知, 三维扫描与人工测量数据最大偏差3.4mm, 最小偏差-1.5mm。偏差介于-2~2mm有32环, 介于2~3mm有6环, 大于3mm有2环。

## 3 结束语

三维激光扫描技术打破了传统测量方法的诸多局限, 并有采集速度快, 数据获取全面、精度高等优点, 为地铁隧道的检测带来了新的思路, 该方法检测效率高, 数据覆盖面广, 信息全面。收敛是地铁隧道常见的病害, 随着地铁隧道的运营及地质构造的长期变化, 及时、准确、有效地监测收敛变形并采取防控措施对隧道的安全运营至关重要。

本文结合工程实例, 对三维激光扫描技术在运营期地铁隧道保护监测中的应用进行研究, 通过三维激光扫描技术获取对应隧道收敛变形情况, 并通过与人工测量数据对比可知两种方法得到数据偏差较小, 数据精确度较高。

### [参考文献]

- [1]方立伟.三维激光扫描技术在隧道工程中的应用分析[J].测绘与空间地理信息,2023,46(02):163-165.
- [2]胡国金.三维激光扫描技术在地铁隧道收敛变形的应用研究[D].绍兴文理学院,2023.
- [3]李旭.三维激光扫描技术在地铁隧道竣工测量中的应用[J].测绘通报,2022(06):166-169.
- [4]胡炎.三维激光扫描在运营地铁隧道收敛变形监测中的应用[D].绍兴文理学院,2023.
- [5]黄晓阳.三维激光扫描测量技术在井架变形观测中的应用[D].山东科技大学,2012.
- [6]胡玉祥,赵亚波,张洪德,等.移动三维激光扫描系统在地下隧道工程病害检测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2022,45(12):230-232+235.
- [7]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(02):146-148.
- [8]杨伟.地下隧道三维激光扫描病害检测技术研究[D].西南交通大学,2022.
- [9]陈昌文.基于三维激光扫描技术的隧道渗漏水检测及裂缝识别[D].重庆交通大学,2024.