

三维激光扫描技术在地铁运营监测中的应用

宋春刚

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

【摘要】三维激光扫描技术通过高密度点云数据与智能化分析,正成为地铁运营安全的“数字体检师”,推动行业向智慧化监测转型。本文通过论述地铁在运营期间的监测任务,分析利用三维激光扫描技术的优势;采用轨道交通设施系统,对地铁隧道全断面的高精度监测、地铁轨道关键参数监测以及利用正射影像图对设备设施状态监测,从而为运营的地铁保驾护航。

【关键词】三维激光扫描;地铁运营;监测;分析

Application of 3D laser scanning technology in subway operation monitoring

Song Chungang

Beijing Urban Construction Survey and Design Institute Co., Ltd

【Abstract】3D laser scanning technology is becoming a "digital health inspector" for subway operation safety through high-density point cloud data and intelligent analysis, promoting the industry's transformation towards intelligent monitoring. This article discusses the monitoring tasks of the subway during operation and analyzes the advantages of using 3D laser scanning technology; By adopting a rail transit facility system, high-precision monitoring of the entire cross-section of subway tunnels, monitoring of key parameters of subway tracks, and monitoring of equipment and facility status using orthophoto maps are carried out to ensure the smooth operation of the subway.

【Key words】3D laser scanning; Subway operation; monitor; analyze

1 引言

运营地铁隧道长期受列车振动、地质沉降、周边施工(如基坑开挖、盾构穿越)等因素影响,可能发生沉降、收敛(直径变化)、位移、裂缝等变形,若超过安全阈值可能引发结构破坏或运营事故。三维激光扫描是隧道变形监测的核心手段。三维激光扫描技术(也称“激光雷达扫描”)通过发射激光束对目标物体进行高密度、高精度采样,生成包含三维坐标、反射强度等信息的“点云数据”,可快速重建物体的三维形态。在运营地铁监测中,该技术凭借非接触式、高效率、高精度(毫米级)、全覆盖的优势,已成为保障地铁结构安全、运营稳定的关键技术之一。相比传统方法,如全站仪单点测量,三维扫描可覆盖隧道全断面,达到无死角监测,避免单点测量的“以偏概全”,且效率提升5-10倍,适合夜间空窗期作业。

2 地铁运营监测任务

(1) 轨道线路沉降监测

① 轨道线路沉降监测应测定隧道结构的沉降量、沉降差及沉降速度。

② 沉降监测数据警戒值。单次监测变化数据达 $\pm 2\text{mm}$ (相较于前一次)应进行密切关注并视情况及时增加监测次数。

③ 在监测过程中,如有隧道附近地表荷载突然增减、隧道内渗漏水突然加剧、隧道结构出现异常裂缝等情况,均应及时增加监测次数。当隧道突然发生大量沉降、不均匀沉降或严重裂缝时,应立即进行连续监测。如达到下列情况时,应采取相应措施:

a 当结构沉降累计变化量达到 5mm 时,应加密监测,必要时采取处理措施;

b 当结构沉降累计变化量达到 10mm 时,应组织相关单位、部门协商处理。

④ 对隧道的差异沉降应进行监测计算, 100m 范围内沉降差不宜大于 10mm 。

(2) 特殊区段轨道线路水平位移监测

① 轨道线路水平位移监测应测定隧道结构的位移量及

变化速度。

② 水平位移监测数据警戒值, 单次监测变化数据达到 $\pm 2\text{mm}$ 应进行密切关注并视情况及时增加监测次数。

③ 在监测过程中, 如有隧道附近地表荷载突然增减、隧道内渗漏水突然加剧、隧道结构出现异常裂缝等情况, 均应及时增加监测次数。当隧道突然发生大量运营、不均匀沉降或严重裂缝时, 应进行连续监测。如达到下列情况时, 应采取相应措施: 当结构水平位移累计变化量达到 5mm 时, 应加密监测, 必要时采取处理措施; 当结构水平位移累计变化量达到 10mm 时, 应组织相关单位、部门协商处理。

(3) 隧道断面收敛监测

① 隧道断面收敛监测应测定隧道结构断面的变化量及变化速度。

② 断面收敛监测数据警戒值单次监测数据达到 $\pm 5\text{mm}$ 应进行密切关注并视情况及时增加监测次数。

③ 在监测过程中, 如有隧道附近地表荷载突然增减、隧道内渗漏水突然加剧、隧道结构出现异常裂缝等情况, 均应及时增加监测次数。当隧道突然发生大量沉降、不均匀沉降或严重裂缝时, 应立即进行连续监测。

3 三维激光扫描监测

轨道是地铁列车运行的“骨架”, 其平顺性、高低差、方向偏差、轨距、超高等参数直接影响列车运行安全和舒适性, 三维激光扫描技术可实现轨道几何参数的全面监测。通过扫描获取轨道的点云数据, 提取钢轨顶面、轨头内侧等特征线, 计算出两轨内侧距离、沿轨道纵向的竖向偏差、沿轨道纵向的横向偏差、曲线轨道的倾斜度, 道床沉降等关键参数。

三维激光扫描技术改变了传统轨检车的部分不足, 例如轨检车侧重动态监测, 而三维扫描仪弥补了静态精细监测; 能够实现在夜间空窗期快速完成局部或

全线轨道状态评估; 同时通过细致扫描发现轨道病害, 如钢轨磨耗、道床翻浆、扣件松动, 为轨道养护提供数据支持。

轨道交通快速移动三维激光测量系统, 如图 1 所示。该系统集成了高精度三维扫描仪、GNSS/INS 组合定位定姿装置、线结构激光测量传感器以及高清全景相机等多种传感器于一体, 可以快速获取高质量的轨道及周围环境三维点

云、准确的里程位置、精密的钢轨廓形等信息。具有上道作业机动灵活、速度快、精度高、分辨率高、数据安全可靠及信息全面等特点。



图 1 轨道交通移动测量系统

4 扫描成果分析

将扫描数据与隧道初始设计模型或历史基准模型进行配准、叠加, 通过点云差分分析计算变量。

1) 地铁隧道三维点云成果及灰度正射影像图

通过融合解算得到隧道三维点云成果和正射灰度影像图, 如图 2、3 所示。通过隧道的正射灰度影像图, 可以得到隧道内整体情况和隧道内细节数据, 如图 4 所示。

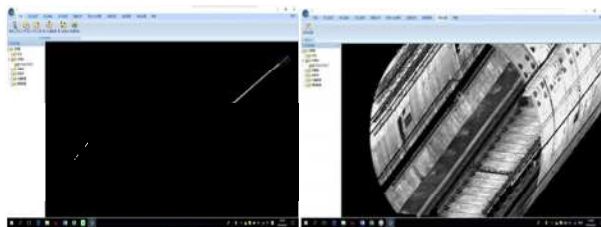


图 2 地铁隧道点云

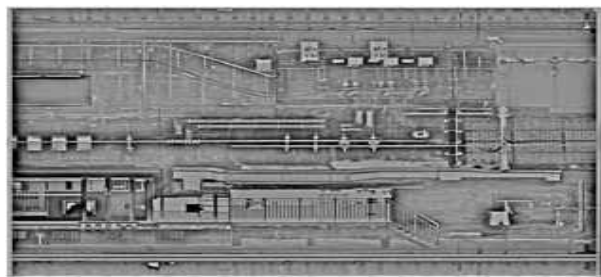


图 3 隧道灰度正射影像图



图 4 地铁隧道点云细节图

2) 隧道断面分析

分析统计隧道形变量, 并输出隧道断面分析报表。点云

自动识别环片,将每个环片进行切片,选取特定位置的断面分析,通过两条轨道连线的中点得到断面中心位置,并可以拟合出设计断面,将实际断面和设计断面进行比对,得到每环每个部分的变化情况,如图 5 所示。

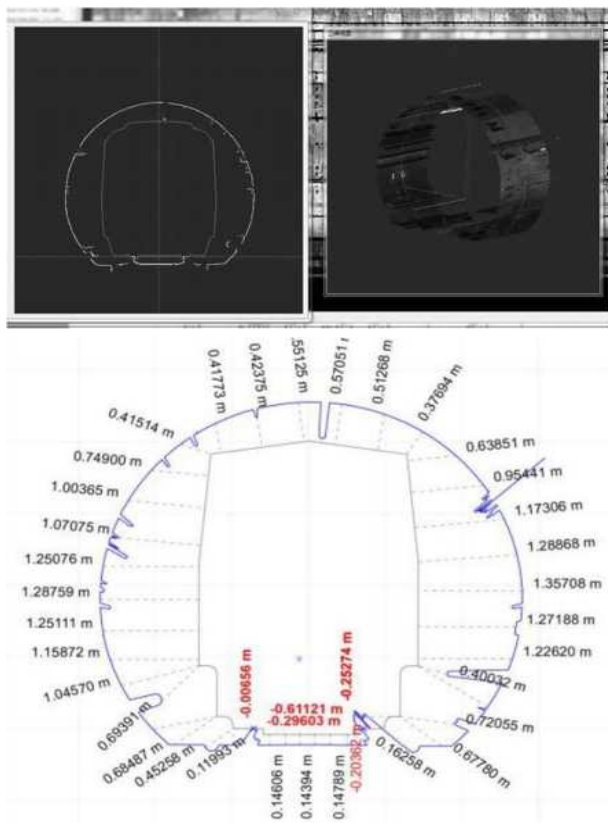


图 5 隧道横断面分析成果示意图

3) 隧道病害区域分析

通过对隧道点云分析,可提取隧道衬砌脱落的位置及面积,提取隧道渗水区域和裂缝区域的位置及面积。

4) 限界检测分析

对轨道净空进行快速精确检测,快速获得轨道高精度断面数据,根据铁路轨道的限界规定判定是否存在异物侵限。将设计给出的车辆边界线叠加到断面上可以得到每个环片的侵限位置以及侵限程度。

5) 隧道逐环半径收敛成果

利用轨道交通移动测量系统以 2km/h 的速度采集隧道数据,通过逐环管片统计隧道直径,隧道逐环直径收敛成果报表输出。

以椭圆度 0.005 为界限,得到椭圆度超过界限的环号和对应的净空收敛数据值。水平直径表示隧道在水平方向的形变数值,椭圆度表示隧道整体的变形程度,椭圆度越大,隧道变率越大。

5 结束语

三维激光扫描技术通过高精度、高效率的三维数据采集与分析,为地铁运营监测提供了“全断面、全要素、动态化”的解决方案,是智慧地铁建设中保障结构安全、提升运营效率的核心技术之一。随着数据处理技术的进步,其在地铁监测中的应用将更广泛、更智能化。本文研究了三维激光扫描技术在运营地铁隧道中的监测应用,经实测项目验证,该监测方法均能有效提高作业方式的作业效率和成果质量,在大幅降低作业时间成本和劳动强度的同时,采集的数据更为全面,精度更加精准。同时利用生成正射影像图来管理地铁隧道内部配套设施设备,查找运维轨道的各项误差和以及隧道内部区域的各项病害体。从而为维护地铁运营提供科学的数据以及详尽的监测资料,具有重要的意义。

参考文献

- [1]杨必胜,梁福逊,黄荣刚.三维激光扫描点云数据处理研究进展、挑战与趋势[J].测绘学报,2017,46(10):1509-1516.
- [2]任士峰.基于三维激光的工程测量技术研究[J].世界有色金属,2019(23):183-184.
- [3]唐万银.三维激光扫描技术在地铁隧道轴线复测中的应用[J].工程建设与设计,2020(2):60-62.
- [4]闵启忠,罗成鹏.三维激光扫描技术在规划竣工测绘中的应用[J].测绘通报,2021(S2):27-30.
- [5]曹英莉.三维激光扫描技术在矿山测量中的应用[J].世界有色金属,2019(21):14-15.
- [6]于海洋,罗玲,杨强,等.三维激光扫描技术在河道测量中的应用[J].测绘学报,2015,44(S1):49-53.
- [7]卢其堡.三维激光扫描技术在古建筑测绘中的应用[J].北京测绘,2020,34(5):623-627.
- [8]骆义,赵文举,张建.基于三维激光扫描技术的桥梁检测应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2020(3):14-18.

作者简介:宋春刚,男,高级工程师,主要从事勘察设计、地下工程监测等方面的研究。