

三维激光扫描技术在城市地铁运营监测中的应用研究

Application of 3D Laser Scanning Technology in Urban Subway Operational Monitoring

杨祝华 张伟 王洪战

Zhuhua Yang Wei Zhang Hongzhan Wang

中铁第六勘察设计院集团有限公司 中国·天津 300308

China Railway Liuyuan Group Co.,Ltd,Tianjin, 300308, China

摘要: 本文根据地铁结构和运营环境的特点, 结合三维激光扫描技术相对于传统监测方法的优点, 提出了三维激光扫描技术在地铁运营监测中的应用, 并对该技术与传统监测技术的优劣进行了分析。

Abstract: According to the characteristics of subway structure and operation environment in this paper, and combined with the advantages of 3D laser scanning technology compared with traditional monitoring methods, proposing the application of 3D laser scanning technology in subway operational monitoring, analyzing the advantages and disadvantages of this technology and traditional monitoring technology.

关键词: 三维激光扫描技术; 地铁; 监测方法

Key words: 3D laser scanning technology; subway; monitoring method

DOI: 10.36012/etr.v2i9.2652

地铁作为一项重大的民生工程, 给人们的出行带来了方便, 但受外界影响易产生结构变形^{[1][2]}, 对人们的安全带来隐患。为保证地铁的运营安全, 常采用监测的方法对地铁结构的变形进行定期监控, 常规的监测方法有全站仪水平位移监测, 水准仪沉降监测, 收敛仪收敛监测等, 常规监测方法有精度高, 数据易处理等优点, 但随着技术的发展和市场的需要, 常规监测方法的缺点也逐渐暴露出来, 主要有: 只能获取监测点位置的变形, 无法获取地铁全断面变形情况; 监测信息单一, 一次只能采集一种变形特征; 数据追溯性差, 对于有问题的数据, 常采取重复测量的方式进行弥补等。为弥补这些问题, 通过三维激光扫描技术在有关工程^{[3][4][5]}中的应用分析, 发现该技术在远距离监测中的精度较差, 但在近距离监测中, 该监测方法具有毫米级精度, 能够很好的满足地铁运营监测的需要。

1 三维激光扫描技术在地铁运营监测中的优点

近些年, 三维激光扫描技术在各行业都得到了发展, 其监测精度高, 全范围扫描的特点也适用于地铁运营监测工作, 该技术相较于地铁传统监测方法有以下优点:

(1) 全景扫描, 数据全面, 无遗漏。相较于传统监测方法, 三维激光扫描技术能获取地铁隧道全断面的数据, 弥补传统监测方法仅能获取某一监测点变形信息的缺陷, 全面反映地铁结构的变形情况。

(2) 监测效率高。地铁停运天窗期每次可监测十余公里, 远高于传统监测方法仅 2-3 公里 / 次的工作效率。

(3) 数据可追溯性强。原始数据量大, 信息全, 可获取地铁结构的细节特征, 能反映测量时刻隧道状况。

2 三维激光扫描技术的监测项目和计算方法研究

根据对地铁结构稳定性的要求和监测的需要,结合三维激光扫描技术的特点,该技术可对隧道管片错台、隧道漏水、隧道椭圆度和水平直径等进行监测。

2.1 管片错台监测

对于盾构法施工的地铁隧道,是由无数个管片拼装而成,沿隧道行进方向的相邻管片随着高程的变化,必然会有错台现象,当管片错台变形太大时,将会出现渗漏水,管片掉块,甚至出现结构破损的危险。为监测管片错台,需要先确定环缝位置,可采用深度神经网络算法进行环缝位置识别。环缝识别完成后,再获取环缝线端点在图像坐标系下的X、Y坐标,采用点云投影方法,反向计算环缝线端点在三维空间中的实际位置,最后获得环缝附近一定宽度的点云,进行错台计算。

2.2 隧道漏水检测

隧道漏水常表现为隧道结构密封不严或随着变形影响,密封结构受到破坏,隧道外侧水渗漏、滴灌或涌流至隧道内部的现象,为保证隧道结构的安全,需要对不同情况的渗漏水进行跟踪和监测,情况严重时进行及时的治理。

2.3 管片椭圆度和水平直径检测

盾构法隧道的管片椭圆度,历来是地铁安全关注的

重点,随着外力影响,隧道椭圆度变形中会破坏管片间的密合性,造成管片漏水,严重时造成管片掉块,并影响着隧道的结构安全。计算时,可在算出管片接缝线之后,根据像素反算得到接缝线所在的里程值数据,然后根据里程值偏移管片宽度的一半,据此在三维点云数据中提取出相应的断面点云作为椭圆拟合的数据,再采用了具有最小截断二乘稳健初值的点云平面拟合算法,得到每环的椭圆度情况。

3 工程实例

3.1 工程概况

某城市轨道交通某区间为盾构法施工,需采用三维激光扫描技术进行扫描,扫描范围为:左线里程DK15+019.1~DK17+156.95,右线里程DK15+019.1~DK17+156.95,左右线累计全长4275.7m。

3.2 数据处理

(1) 扫描数据的导入

将外业采集的扫描数据导入的处理软件中,生成正射影像灰度图(图1)。

(2) 接缝提取

使用软件提取两个管片间的接缝,接缝位置确定后,选择分割环图片,再根据设置的接缝位置自动将每一环的图片提取出来(图1)。

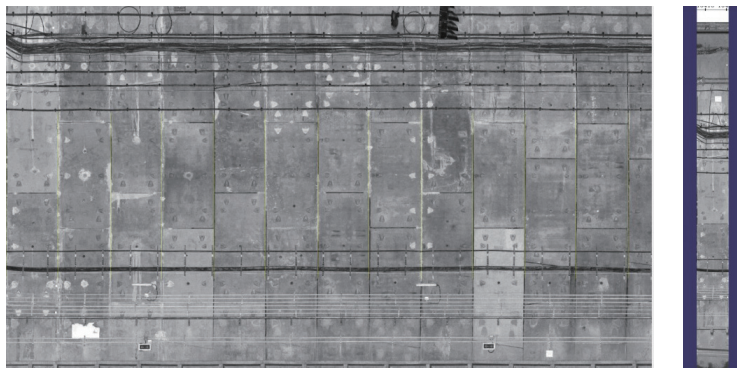


图1 正射影像灰度图和分割环图片

(3) 错台计算与分析

分割环图片之后,根据每一个接缝的位置提取两侧100mm处的点云数据,进行错台计算,并输出错台统计成

果。根据数据结果统计分析,左线管片错台超过 $\pm 20\text{mm}$ 有11环;右线管片错台超过 $\pm 20\text{mm}$ 有5环。具体统计表如下:

区间	错台值 (单位: mm)			
	总量 (环)	大于 ±20		
		数量 (环)	错台最大值 (mm)	最大错台范 围 (度)
左线	1438	11	-25mm (991 992)	326.5~347.5
右线	1424	5	-25mm (895 896)	331.5~359.5

(4) 椭圆拟合和水平收敛分析

提取环两侧点云之后, 进行椭圆拟合, 提取环片中间位置的点云拟合椭圆, 通过对拟合的椭圆进行水平收敛分析, 以右线数据为例: 根据数据结果统计分析, 本次扫描成果, 右线管片横向收敛变形≥70mm 的有 60 环, 变化量大于 ±5mm 的管片有 5 环。具体统计表如下:

≤ ±3mm	±3mm-±5mm	±5mm-±10mm	> ±10mm
1397	22	5	0

	成果分布			
	<50	50-70	70-100	》100
第一次	1153	224	47	0
第二次	1142	225	57	0
第三次	1142	223	59	0
第四次	1138	226	60	0

(5) 渗漏水区域选取与输出

生成灰度图后, 在图片上圈取渗漏水范围 (图 2), 对所有病害进行输出。

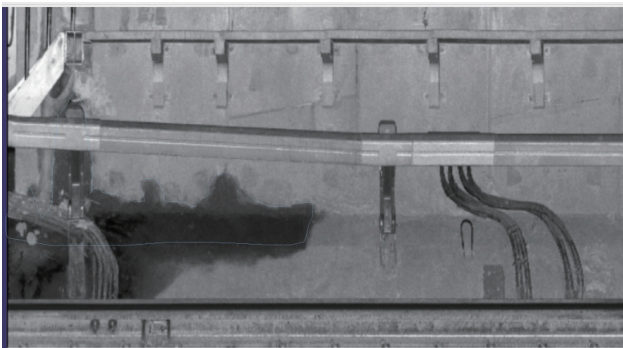


图 2 渗漏水示意图

区间右线隧道病害检测统计表

序号	里程	环号	病害类型	角度 (°)	渗水面积 (m ²)
1	15525.136--	337--339	渗水	110--140	2.97
	15529.211				
2	16039.935--	680--682	渗水	115--141	1.96
	16042.331				
3	16396.096--	917--918	渗水	226--266	0.56
	16396.506				
4	16438.097--	945--946	渗水	281--321	0.41
	16438.427				
5	16448.323--	952--953	渗水	218--241	0.81
	16449.858				
6	17075.266--	1384	渗水	248--283	0.64
	17075.836				

4 结论

根据工程实例得出, 三维激光扫描技术在相对精度, 数据全面性等方面拥有常规地铁监测技术所不具备的优势, 可以很好的弥补传统监测技术的不足, 但同时该技术又不能完全替代常规监测, 主要表现为: 三维激光扫描获得的更多是在小范围内的相对精度, 如隧道横断面收敛, 管片错台, 隧道椭圆度等, 在隧道水平位移, 沉降变化等长距离的变形监测中, 该技术尚无法满足监测的精度要求, 还需要依赖常规监测方法进行。

参考文献

- [1] 阮顺良, 胡士兵, 楼永良. 基坑工程对邻近地铁隧道影响及控制措施研究 [J]. 现代隧道技术, 2012, 49 (1): 100 ~ 104.
- [2] 谢银龙. 盾构始发期间小间距下穿既有运营地铁大断面隧道施工 [J]. 现代隧道技术, 2013, 50(1): 161 ~ 165.
- [3] 徐进军, 郭鑫伟, 廖华, 张洪波. 基于地面三维激光扫描的桥梁挠度变形测量 [J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37 (6): 609 ~ 613.
- [4] 徐进军, 王海城, 罗喻真, 王尚庆, 严学清. 基于三维激光扫描的滑坡变形监测与数据处理 [J]. 岩土力学, 2010, 31 (7): 2188 ~ 2196.
- [5] 陈致富, 陈得立, 杨建学. 三维激光扫描技术在基坑变形监测中的应用 [J]. 岩土工程学报, 2012, 34: 557 ~ 559.