

三维激光扫描技术在基坑变形监测中的应用

陈致富, 陈德立, 杨建学

(福建省建筑科学研究院, 福建 福州 350025)

摘要: 介绍了三维激光扫描系统的原理、误差成因及基坑监测中的数据处理方法。对三维激光技术在基坑变形监测中的应用进行了初步研究。讨论并分析了三维激光扫描系统在基坑监测中的技术优势和存在的问题, 对三维激光扫描系统在基坑监测中的实际应用具有指导意义。

关键词: 三维激光扫描系统; 变形监测; 基坑; 应用

中图分类号: TU460 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)S0-0557-03

作者简介: 陈致富(1984-), 男, 湖南双峰人, 硕士, 研究方向为精密工程测量。E-mail: zhifufeng@163.com。

Application of three-dimensional laser scanning technique in deformation monitoring of excavations

CHEN Zhi-fu, CHEN De-li, YANG Jian-xue

(Fujian Academy of Building Research, Fuzhou 350025, China)

Abstract: The principles of three-dimensional laser scanning system, causes of error and data processing methods in monitoring of excavations are introduced. A preliminary study on the application of three-dimensional laser technology in deformation monitoring of excavations is conducted. The technical advantages and the problems of three-dimensional laser scanning system in the excavation monitoring are discussed and analyzed. It is of guiding significance for the practical application of excavation monitoring.

Key words: three-dimensional laser scanning system; deformation monitoring; excavation; application

0 引言

近年来, 经济的高速发展, 城市建设中基坑工程项目繁多, 为保证建设过程中人员和财产的安全, 基坑监测意义重大。在现行的基坑监测中, 仍以传统的测量仪器和方法为主。在基坑监测过程中, 特别是城市中心的基坑, 由于施工场地小, 各种材料堆积, 人员的高流动性, 很容易造成监测点的破坏和遮挡, 给监测工作的开展带来极大的不便, 劳动强度大, 并且效率低下。另外, 传统监测手段是单点式监测, 其监测点少, 难以发现无监测点区域的变形情况, 而一旦破坏会严重影响成果的连续性。三维激光扫描系统以其高精度, 高效率, 无需接触目标物就可以获得被测量物体表面大量的三维点云数据, 改变了传统的单点变形观测模式, 使传统的“点测量”方式变为“面测量”方式。因此, 将三维激光扫描技术应用于基坑监测工作, 具有传统测量方法无法比拟的优势, 具有重要的现实意义。

1 三维激光扫描系统的原理及误差分析

1.1 三维激光扫描系统的原理

三维激光扫描仪是一种集成了多种高新技术的新型三维坐标测量仪器, 采用非接触式高速激光测量方式, 以点云形式获取地形及复杂物体表面的阵列式几何图形的三维数据。仪器主要包括激光测距系统、扫描系统和支架系统, 同时也集成 CCD 数字摄影和仪器内部校正等系统。

目前, 三维激光扫描仪主要采用 TOF 脉冲测距法 (Time of Flight), 是一种高速激光测时测距技术, 采用脉冲测距法的三维激光点坐标计算方法, 如图 1 所示。三维激光扫描仪通过脉冲测距法获得测距观测值 S , 精密时钟控制编码器同步测量每个激光脉冲横向扫描角度观测值 α 和纵向扫描角度观测值 θ 。三维激光扫描测量一般使用仪器内部坐标系统, X 轴在横向扫描面内, Y 轴在横向扫描面内与 X 轴垂直, Z 轴与横向扫描面垂直。由此可得三维激光脚点 P 坐标 (X_s , Y_s , Z_s) 的计算公式:

$$\begin{cases} X_s = S \cos \theta \cos \alpha, \\ Y_s = S \cos \theta \sin \alpha, \\ Z_s = S \sin \theta. \end{cases} \quad (1)$$

1.2 三维激光扫描系统的误差分析

从误差产生理论分析, 激光扫描系统测量误差可分为系统误差和偶然误差。系统误差引起三维激光扫描点的坐标偏差, 而偶然性误差是一些随机性误差的综合体现。三维激光扫描系统扫描过程中, 导致误差的影响因素较多, 大致可分为三类: 仪器系统误差、与扫描目标相关的误差及受外界环境条件影响产生的误差。

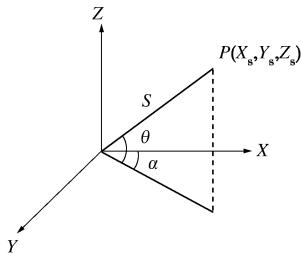


图 1 采用脉冲测距法的三维激光点坐标

Fig. 1 3D laser point coordinates using TOF method

仪器系统误差包括系统内轴系之间的相互旋转等引起的测距和测角误差; 与扫描目标相关的误差主要有目标物体反射面与扫描激光光束交角过小和物体表面粗糙度影响等; 外界环境条件影响主要包括温度、气压、空气质量等因素。

激光测距的影响。激光测距信号在处理的各个环节都会带来一定的误差, 特别是光学电子电路中激光脉冲回波信号处理时引起误差, 主要包括扫描仪脉冲计时的系统误差和测距技术中不确定间隔的缺陷引起的误差。

扫描角的影响。扫描角的影响包括激光束水平扫描角度和竖直扫描角度测量精度。扫描角度引起的误差是扫描镜的镜面平面角误差、扫描镜转动的微小震动、扫描电机的非均匀转动控制等的综合影响。

扫描目标物体反射面倾斜及反射表面粗糙程度的影响。由于扫描目标的反射面与扫描光束交角较小时, 激光光斑等影响测距及定位造成误差相对要大。另外, 三维激光扫描点云的精度与物体表面的粗糙程度有密切关系。由于三维激光回波信号有多值性特点, 将造成测量位置偏差。

另外, 温度、气压及空气质量等外界环境条件的影响。温度、气压等外界环境条件对激光扫描的影响主要表现为温度变化对仪器的细微影响、扫描过程中风对仪器造成的微动、激光在空气中传播的方向等。

还有, 值得提出的是基于激光脉冲的时间测量或脉冲测量的激光扫描仪, 由于激光束固有的发散特性, 使得激光束到达实体表面的光斑大小影响着回波的分辨率和定位的不确定性。

2 三维激光扫描技术在变形监测中的应用现状

三维激光扫描技术经过几十年的不断发展, 硬件

技术问题已得到了基本解决, 国外出现了不少成熟的商用三维激光扫描硬件系统和三维激光扫描数据后处理软件, 并在各个领域得到了广泛的应用, 特别是在医学研究和应用领域、工业模具制造及工业逆向工程领域中, 三维激光扫描的仪器设备、数据处理的理论与方法已经比较成熟。

而在国内, 三维激光扫描技术相对比较落后, 还没有真正的国产的三维激光扫描仪器和数据处理系统, 但引起了国内多家企业对三维激光扫描技术的重视, 像南方等多家企业正在研制自己的三维激光扫描系统。另外, 近年来, 三维激光扫描技术在古建筑物和文物保护、城镇规划、交通等各个领域都有广泛的应用和研究, 取得了不少的成果。

在变形监测方面, 国内学者对其应用也进行了研究和实验: 长安大学地测学院空间定位技术与信息研究所利用 Leica Scanstation2 地面三维激光扫描仪进行了黄河小浪底枢纽工程二号滑坡体的变形监测等工作。罗德安等^[1]分析了三维激光扫描技术在变形监测领域内应用的可行性、技术优势和存在的问题, 提出了基于三维激光扫描技术的整体形变监测。郑德华等^[2]从仪器误差、与目标物体反射面有关的误差和外界环境条件三个方面, 分析了三维激光扫描系统的测量误差影响。赵群等^[3]应用激光扫描法对国家体育馆大跨度钢屋架滑移过程变形监测与分析。徐进军等^[4]进行了基于三维激光扫描系统的室内滑坡监测试验和实地滑坡监测试验, 模拟了三峡库区的典型堆积层滑坡, 变形值与传统监测测量结果对比, 具有极好的一致性。

从三维激光扫描技术的应用现状来看, 主要集中在滑坡和构筑物监测, 而在基坑监测方面还没有具体的应用实例, 因此研究三维激光扫描技术在基坑监测中应用的可行性具有一定的现实意义。

3 三维激光扫描技术在基坑中的应用

利用徕卡 Scanstation C10 对某基坑施工现场墙面的墙体变形进行监测。基坑监测实景如图 2 所示。

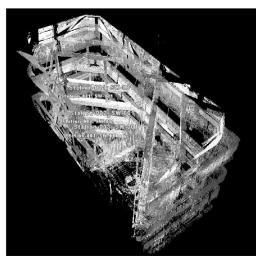


图 2 基坑现场实景

Fig. 2 Real scene of excavation

根据基坑的形状(口型), 在基坑中央采用标靶拼接(Station1-Satation3), 采用 10 cm @100 m 的中等

密度扫描, 以减少外业工作量和扫描时间。在不干扰现场施工作业情况下, 利用 HDS3 英寸标靶布置若干监测点, 并用全站仪测出这些监控点坐标。用三维激光扫描仪对这些监测点以及检测墙体进行扫描, 然后一段时间后进行复测, 获得两次基坑墙面的点云数据。再通过仪器自带的数据处理软件 cyclone 和第三方软件 Geomagic 对点云数据进行处理, 两次数据对比, 就能获取墙体变形数据。数据处理成果如下图:



Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
3NC_1	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0000	(0.000, 0.000, 0.000) m
3NC_x1	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0010	(0.000, -0.001, 0.001) m
3NC_x2	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0010	(0.000, 0.000, -0.001) m
3NC_x3	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0000	(0.000, 0.000, 0.000) m
3NC_x4	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0010	(0.000, 0.000, 0.000) m
3NC_x5	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0000	(0.000, 0.000, 0.000) m
3NC_x6	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0000	(0.000, 0.000, 0.000) m
3NC_x7	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0000	(0.000, 0.000, 0.000) m
3NC_x8	Station:00...	Station:00...	Coincident: Vertex -	On	1.0000	0.0000	(0.000, 0.000, 0.000) m

图 3 拼接后的基坑点云模型和拼接精度表

Fig. 3 Point cloud model for excavation after spliced and splicing accuracy table

通过 Geomagic 软件, 将前后两站数据进行比对, 通过颜色条来显示基坑墙体的变形量, 直观、简洁。另外, Geomagic 会自动计算出这些提取的数值的 XYZ 轴方向上的误差值。如图 4, 图 5 所示。

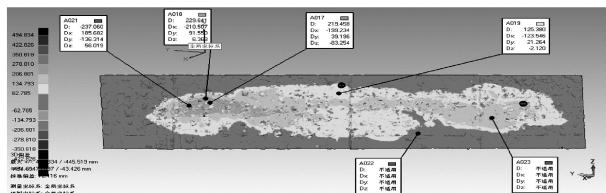


图 4 颜色条显示的基坑墙体变形量

Fig. 4 Wall deformation shown by color bar

点号	点名	扫描点	上云点	下云点	点名 X	点名 Y	点名 Z	点名 W	点名 X	点名 Y	点名 Z	点名 W	点名 X	点名 Y	点名 Z	点名 W	
1	A037	210438			16932.796	-9573.821	2747.125	21.000	1692.234	10.106	-81.234	16735.340	-9554.825	2465.871	-0.008	0.179	-0.179
2	A038	226461			16968.697	-89424.610	2918.247	21.000	1713.507	81.350	6.360	16731.106	-8850.085	2324.813	-0.367	0.399	0.028
3	A039	125480			16968.697	-89424.610	2918.247	21.000	1713.507	81.350	6.360	16731.106	-8850.085	2324.813	-0.367	0.399	0.028
4	A021	2317200			17268.535	-95132.672	2647.198	21.000	1713.548	11.164	-3.639	16730.392	-12395.613	3126.399	-0.781	0.375	-0.205
5	A022	14727030			144184.572	-141384.572	1461.054	21.000	165.682	138.214	96.028	17041.240	-609.885	2710.228	-0.781	0.375	-0.205
6	A023	13641387			16932.796	-9573.821	2747.125	21.000	1692.234	10.106	-81.234	16735.340	-9554.825	2465.871	-0.008	0.179	-0.179

图 5 监测点误差值数据表

Fig. 5 Error data table at monitoring points

4 结语

从上面的数据成果来看, 三维激光扫描技术获得的数据量大, 变形量直观简洁, 但数据误差比较大,

只能够反映基坑墙体的变形趋势, 这可能是扫描仪本身及扫描过程的误差过大所致, 如, 选择的是中等的扫描密度, 在三维激光扫描仪工作时有其他机器设施的运行, 产生的振动对三维扫描仪获取的数据精度也有一定影响, 另外物体表面粗糙度影响以及监测点数据提取的误差等因素有关。另一方面, 在扫描的过程中, 被扫物体遮挡的问题也比较突出。

从应用的初步情况, 三维激光扫描技术应用在基坑工程中的精度还不够高, 还不能够用其完全代替传统的测量方法, 但是可以和传统的测量方法共同作业, 发挥各自的优势。

三维激光扫描技术作为一项全新的测量技术, 其相关的精度评定和误差理论等都还在探索过程中, 将三维激光扫描技术应用到变形监测领域具有良好的应用前景, 是未来发展的趋势。

参考文献:

- [1] 罗德安, 朱光, 陆立, 等. 基于 3 维激光影像扫描技术的整体变形监测[J]. 测绘通报, 2005(7): 40 - 42. (LUO De-an, ZHU Guang, LU Li, et al. Whole object deformation monitoring based on 3D laser scanning technology[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2005(7): 40 - 42. (in Chinese))
- [2] 郑德华, 沈云中, 刘春. 三维激光扫描仪及其测量误差影响因素分析[J]. 测绘工程, 2005, 14(2): 32 - 34. (ZHENG De-hua, SHEN Yun-zhong, LIU Chun. 3D laser scanner and its effect factor analysis of surveying error[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2005, 14(2): 32 - 34. (in Chinese))
- [3] 赵群, 刘键, 陈金科. 应用激光扫描法对国家体育馆大跨度钢屋架滑移过程变形监测与分析[J]. 测绘科学, 2007, 32(3): 110 - 111. (ZHAO Qun, LIU Jian, CHEN Jin-ke. Deformation monitoring and analysis on gliding process of national gymnasium large-span steel roof with laser scanning[J]. Surveying and Mapping, 2007, 32(3): 110 - 111. (in Chinese))
- [4] 徐进军, 王海城, 罗喻真, 等. 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 - 2191. (XU Jin-jun, WANG Hai-cheng, LUO Yu-zhen. Deformation monitoring and data processing of landslide based on 3D laser scanning[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(7): 2188 - 2191. (in Chinese))