

立体空间下供水设施的测绘与信息化应用

——以济南海云世界一期为例

魏志杰 李玉洁* 李跃 彭喆 熊永周

济南水务集团有限公司 济南普利给水工程设计院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i10.1978

[摘要] 立体空间管线基础数据资料是管线运行、维护、管理的前提。目前传统的测量方法很难满足当前信息化需求,本文采用架站式三维激光扫描仪、手持式SLAM三维激光扫描仪和传统的测量方法对试验区立体空间内的给水管线进行测量,通过建立的模型比较采集数据的精度,分析各种方法的优缺点。试验表明,三维激光扫描技术相对于传统测量方法在效率上有较大的优势,手持式三维激光扫描仪高程中误差精度为0.071m,高程中误差精度可达0.057m,相同点位高程互差可达0.015m。已建立的三维数据模型,可为后期管线的运行维护奠定基础。综合考虑,三维激光扫描技术具有可大规模运用到立体空间管线测量的良好前景。

[关键词] 立体空间管线; 三维激光扫描技术; 室内定位; 精度

中图分类号: TN820.2 文献标识码: A

Survey and information application of water supply facilities in three-dimensional space: A case study of Hairyun World Phase I in Jinan

Zhijie Wei Yujie Luan* Yue Li Zhe Peng Yongzhou Xiong

Jinan Water Group Co., Ltd. Jinan PuLi Water Supply Engineering Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] The basic data of three-dimensional space pipeline is the precondition of pipeline operation, maintenance and management. At present, the traditional measurement methods are difficult to meet the current information needs, in this paper, the water supply pipeline in the three-dimensional space of the test area is measured by the stand-up three-dimensional laser scanner, the hand-held SLAM three-dimensional laser scanner and the traditional measuring method, through the established model to compare the accuracy of data acquisition, analysis of the advantages and disadvantages of various methods. The experiment shows that the 3D laser scanning technology has a great advantage in efficiency compared with the traditional measuring methods. The accuracy of the handheld 3D laser scanner is 0.071 m in elevation and 0.057 m in elevation, the height difference of the same point is 0.015 m. The established three-dimensional data model can lay a foundation for later pipeline operation and maintenance. In general, the three-dimensional laser scanning technology has a good prospect of large-scale application to three-dimensional space pipeline measurement.

[Key words] three-dimensional space pipeline; three-dimensional laser scanning technology; indoor positioning; accuracy

引言

随着社会生产的发展和城市化进程的加快,人们为充分利用,将城市管网体系中供水、排水、燃气、通信、暖气等管线铺设于地下,有效节省了有限的空间,但随之而来的是这些综合管线变得纵横交错。为适应现代化发展的需求,便于各类管线科学管理,为政府制定合理的规划和决策,城市立体空间管线探测也在相继进行。

在立体空间下,由于GNSS接收的卫星信号被遮挡,很难通过卫星定位进行室内测量,尤其是地下车库内的供水、消防和暖气等管线面临测量困难,成本较高效率低,结果呈现难度大等问题,对此国内外学者相继开展对立体空间测量技术的研究。传统的常规测量方法精度虽然较高,但受到空间环境的影响,在地形起伏较大的区域需架设多个站点可能导致作业效率较低。处于试验阶段的室内定位方法虽然有很多,包括地磁定位^[1]、WIFI

定位^[2]、行人航迹推算^[3]等,但国内外仍然没有一项较为成熟的技术可以作为标准来应用于室内定位,究其原因为虽然学者们对室内定位技术已研究多年,提出了多种室内定位的方法,但由于室内环境复杂,且存在信号的干扰,不通视、多路径效应等诸多因素,导致室内定位精度较低^[4]。比较成熟的技术有三维激光扫描技术,其特点为非接触测量,数据采样速度和分辨率高,数据信息丰富,不受场景约束。室内空间属性设施可利用三维激光扫描仪进行数据采集,通过数据处理和坐标系转换得到空间内的位置信息,是室内建模的一种有效方法。

本文将利用架站式三维激光扫描法和便携式三维激光扫描法对试验区地下车库的供水管线进行数据采集,运用不同的处理方式进行数据处理得到数字化模型。利用传统测量方法采集数据,通过对两个模型精度检核和误差分析,讨论激光扫描仪在不同载体下的精度,从人力物力、精度、效率等方面综合考虑最佳的测量方式用于立体空间测量。

1 立体空间下供水设施测量方法

1.1 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术工作原理如下:

以单个点位为例,假设激光发射中心点到该点的距离为S;三维激光扫描系统的水平角为 α ,竖直角为 β ,则该点的在该坐标系下的坐标可用以下公式表示:

$$\begin{cases} x = S \cos \theta \cos \alpha \\ y = S \cos \theta \sin \alpha \\ z = S \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

1.2 传统测量方法

传统地下空间测量方法一般为平面控制测量和高程控制测量,具体实施分为以下几个步骤:

(1) 布设地面平面控制点。利用GNSS接收机进行控制测量,采用静态相对定位的测量方法,即利用多台GNSS接收机在相同的时间段内同时跟踪相同的卫星组,实现同步观测,各接收机点位组成同步图形。通过数据的粗加工、预处理、基线向量解算、网平差等GNSS测量数据处理,得到地面平面控制点。控制点位采用2000国家大地坐标系和1985国家高程基准。(2) 布设地下导线点。为得到地下空间已知控制点,通过布设导线利用全站仪将点位平面坐标信息传递至立体空间,并结合水准仪进行水准测量将点位高程信息传递到立体空间,通过布设附合导线对导线边长和转折角进行观测,结合附合导线内业计算,平差后得到地下空间已知点,最后,利用已知点数据在试验区域进行立体空间内的碎部点信息数据采集。

2 试验数据及结果分析

2.1 研究区域及方法

海尔云世界一期,位于济南市天桥区,西至西洛河东路、北邻小清河南路,将该小区西侧地下车库出入口到东侧地下车库出入口之间的立体空间区域作为试验区域。

首先,利用手持式的三维激光扫描技术、架站式的三维激光扫描技术分别进行地下车库供水管线测量,得到相应的供水管线模型。

然后,利用GNSS控制网观测的数据进行处理,得到控制点信息,通过布设附合导线,利用全站仪进行导线边长和角度观测,通过内业处理得到地下空间内的导线节点平面位置信息;利用水平仪进行高程信息传递,初步得到地下空间导线节点的高程信息,进一步地利用平差单一附合水准路线平差,得到地下空间内的导线节点高程信息。

最后通过传统的碎部采集的测量方法得到:立体空间下自来水管线的点位信息。以传统测量方法采集的信息数据为依据与三维激光模型进行精度对比。

2.2 数据采集及处理

2.2.1 架站式三维激光扫描技术数据采集及处理。首先,利用徕卡TRC360三维激光扫描仪进行外业点云数据采集;然后,利用Cyclone FIELD 360软件对采集的数据进行自动预拼接、数据导出,对四组控制点坐标进行坐标转换,得到2000国家大地坐标系和1985国家高程基准下的点云数据。最后,利用建模软件进行模型建立。

2.2.2 手持式激光扫描技术数据采集及处理。首先,利用型号为GEO SLAM HORIZON手持式三维激光扫描仪进行地下车库供水管线采集工作。确认测区范围和室外控制点,然后利用GEO SLAM三维激光扫描仪外业扫描。

然后,利用GEO SLAM HUB软件进行内业解算,对采集控制点进行坐标转换。

将去除坐标后的点云数据导入3D MAX三维建模软件,全程遵照点云中物体1:1尺寸来建模。

利用3D MAX进行模型成果输出并加上坐标值,建立最终的带有地理坐标信息的供水管线模型。

2.2.3 传统测量方法数据采集。利用传统测量方法进行外业数据采集时,首先进行控制点的布设,在车库两侧出入口附近各布置两个控制点(如图1),将控制点坐标信息引入立体空间,并进行地下车库供水管线测量。

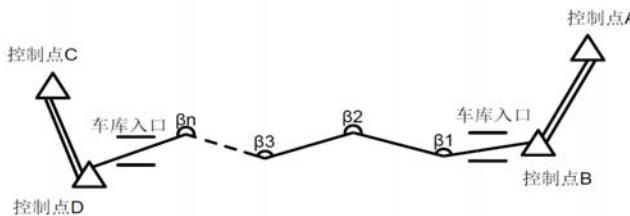


图1 室外控制点布设

2.3 试验结果及精度分析

2.3.1 试验结果。通过外业数据采集和内业数据处理,建立地下车库供水管线模型。将手持式三维激光扫描数据建立的模型记为Model-1,架站式三维激光扫描数据建立的模型记为Model-2。

2.3.2 精度分析。此次精度对比分别把SLAM手持扫描仪转换后的绝对点云数据与架站式三维激光扫描仪转换后的绝对点云数据导入到点云精度对比软件中,然后再融入全站仪测量的检核点坐标与点云数据进行高程比对,结果如下:

表1 SLAM扫描模型和全站仪测量17个检核点结果精度对比

点号	平面位置X	平面位置Y	全站仪采	Model-1	高程误差	高程相对	中误
			集高程/m	高程/m	绝对值/m	误差/%	差/m
5	501575.027	4063180.74	24.621	24.681	0.06	0.244	
9	501583.143	4063181.109	24.803	24.793	0.01	0.040	
15	501545.553	4063177.291	24.928	25.026	0.098	0.393	
17	501538.708	4063176.964	24.932	25.035	0.103	0.413	
18	501538.364	4063177.253	24.937	24.998	0.061	0.245	
19	501536.095	4063176.795	24.788	24.785	0.003	0.012	
20	501535.829	4063177.017	24.772	24.694	0.078	0.315	
25	501529.738	4063176.206	25.068	25.1	0.032	0.128	
26	501529.487	4063175.925	25.074	25.175	0.101	0.403	0.071
27	501529.213	4063175.769	25.067	25.084	0.017	0.068	
32	501503.411	4063176.723	25.259	25.341	0.082	0.325	
33	501503.392	4063177.06	25.261	25.265	0.004	0.016	
34	501503.334	4063177.354	25.262	25.307	0.045	0.178	
36	501476.008	4063175.805	24.905	25	0.095	0.381	
37	501475.744	4063175.76	24.905	24.991	0.086	0.345	
38	501471.562	4063171.799	24.945	25.036	0.091	0.365	
39	501471.847	4063171.539	24.935	25.015	0.08	0.321	

表2 在11个检核点,架站式扫描模型和全站仪测量结果精度对比

点号	平面位置X	平面位置Y	全站仪采	Model-2	高程误差	高程相对	中误
			集高程/m	高程/m	绝对值/m	误差/%	差/m
9	501583.143	4063181.109	24.803	24.808	0.005	0.02	
10	501552.665	4063181.096	24.691	24.757	0.066	0.267	
11	501552.695	4063180.986	24.667	24.75	0.083	0.336	
13	501546.163	4063176.699	24.918	24.974	0.056	0.225	
14	501545.898	4063176.951	24.921	24.937	0.016	0.064	
15	501545.553	4063177.291	24.928	24.952	0.024	0.096	0.057
16	501538.907	4063176.772	24.916	24.995	0.079	0.317	
17	501538.708	4063176.964	24.932	24.999	0.067	0.269	
33	501503.392	4063177.06	25.261	25.317	0.056	0.222	
35	501476.29	4063175.845	24.916	24.998	0.082	0.329	
39	501471.847	4063171.539	24.935	24.955	0.02	0.08	

以传统测量方法获取的坐标点位结果为比较对象,选取17个明显特征点进行Model-1精度检验。其中,高程误差绝对值超过0.1m的点位为17号点,和26号点,差值分为0.103m和0.101m;高程误差绝对值优于0.01m的点位包括19号点、33号点和9号点,对应的高程误差绝对值分别为0.003m,0.004m和0.01m;高程相对误差超过0.4%的点位有17号点和26号点,高程相对误差为0.413%和0.403%;检核点中误差为0.071m。

选取11个明显特征点进行Model-2精度检验。其中,高程差值超过0.08m的点位为11号点,和35号点,差值分为0.083m和

0.082m;高程误差绝对值优于0.01m为9号点,高程误差绝对值为0.005m;高程相对误差超过0.3%的点位有11号点、16号点和35号点,高程相对误差为0.0336%、0.317%和0.329%;检核点中误差为0.057m;在9号点上,三维激光扫描技术采集的两组高程数据互差可达0.015m。以传统测量方法采集的数据为参考,架站式扫描模型Model-2的精度优于SLAM扫描模型Model-1的精度;但手持SLAM三维激光扫描仪的外业采集效率要优于架站式三维激光扫描仪的外业采集效率,而传统测量法采集数据的效率最低。

3 结论

通过实验数据分析对比,可以得到如下结论:

(1)采用手持SLAM三维激光扫描仪对地下车库给水管线进行扫描建模与传统全站仪测量相比,外业数据采集效率高,操作简便;内业可生产点云与三维模型等成果数据,能直观的呈现给水管线的分布与走向;精度满足要求。(2)采用架站式三维激光扫描仪对地下车库给水管线进行扫描建模与传统全站仪测量相比,外业数据采集效率略高,内业可生产点云与三维模型等成果数据,能直观的呈现给水管线的分布与走向;精度满足要求。(3)采用传统方式全站仪对地下车库给水管线测量,外业数据采集效率低,耗时耗力,需要多人配合才能完成;内业数据单一,仅能提供点位三维坐标,通过三维坐标点绘制二维线画图,无法建立三维模型,给水管线的分布与走向只能用二维线画图呈现。(4)三维激光扫描仪的工作效率、操作的便捷性相对于传统的测量方法带来了很大的提升,得到的信息也更加丰富,是未来立体空间测量的一种趋势。通过已建立三维点云数据模型和三维可视化模型,为后期管线的运行维护打下基础。

因此采用三维激光扫描技术对地下车库给水管线测量,无论从外业数据采集效率,还是从内业数据生产方面较传统的全站仪测量方式优势明显,精度稳定可靠,可应用到水务的实际生产中去。

参考文献

[1]汪金花,张博.井下巷道地磁匹配特征的CEA卷积增强的分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,47(09):1422-1431.

[2]罗日,李燕君,金志昂,等.融合WiFi与可穿戴惯导模块的室内定位方法[J].仪器仪表学报,2022,43(03):267-276.

[3]陈锐志,钱隆,牛晓光.基于数据与模型双驱动的音频/惯性传感器耦合定位方法[J].测绘学报,2022,51(07):1160-1171.

[4]王凯时,胡正伟,赵富燕.三维激光扫描技术在地下空间三维建模中的应用[J].测绘地理信息,2020,45(03):78-80.

作者简介:

魏志杰(1992--),男,河南周口人,中级工程师,工学硕士,2021年6月毕业,山东科技大学,大地测量与测量工程,研究方向:工程测量、卫星测高、供水设计方向。

通讯作者:

栾玉洁(1995--),女,山东济南人,中级工程师,工学硕士,2021年6月毕业,山东科技大学,大地测量与测量工程,研究方向:工程测量、灾害监测、供水设计方向。