

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.021

三维激光扫描技术用于城镇排水暗涵排查

赵延岭, 吕宝雄, 杨振胤, 许立媛, 郭永亚
(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710100)

摘要: 暗涵作为城镇排水系统的重要组成部分,在黑臭水体治理过程中对其进行排查和整治尤为关键。通过非接触式三维激光扫描技术解决了传统排查方式存在的暗涵定位精度低、二维成果形式单一和不满足GIS入库需求等问题。总结了三维激光扫描技术在城镇排水暗涵排查中的技术路线和方法。以深圳市宝安区大空港片区为例,介绍了三维激光扫描技术在暗涵排查中的应用。该技术能够快速获取暗涵内部的真实情况,获得精准的激光点云数据,进而实现暗涵的三维数字化。结果表明,采用三维激光扫描技术能够高效可靠地进行暗涵排查,成果丰富多样,精确度更高,在城镇黑臭水体治理中具有一定的推广应用价值。

关键词: 非接触式三维激光扫描; 城镇排水暗涵; 排查整治; 结构性缺陷; 功能性缺陷; 黑臭水体治理; 三维数字化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0124-06

Application of 3D Laser Scanning Technology in Urban Drainage Culvert Investigation

ZHAO Yan-ling, LÜ Bao-xiong, YANG Zhen-yin, XU Li-yuan, GUO Yong-ya
(PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710100, China)

Abstract: As an important part of urban drainage system, culverts' investigation and regulation are particularly important in the treatment of black and odorous water bodies. The non-contact three-dimensional (3D) laser scanning technology solves the problems of traditional investigation method, such as low position accuracy, single 2D output form, and not meeting GIS database requirements. The technical approach and method of 3D laser scanning technology in urban drainage culvert investigation are summarized. With the example of Dakonggang area in Bao'an District of Shenzhen, the application of 3D laser scanning technology in culvert investigation is introduced. This technology can quickly obtain the true situation inside culverts, obtain accurate laser point cloud data, and achieve the 3D digitization of culverts. The results show that using the 3D laser scanning technology can yield more efficient and reliable culvert investigation, with richer and more diverse output, and higher accuracy. Therefore, the technology has broad application value in the treatment of urban black and odorous water bodies.

Key words: non-contact 3D laser scanning; urban drainage culvert; investigation and regulation; structural defect; functional defect; treatment of black and odorous water body; 3D digitization

通信作者: 赵延岭 E-mail: 18092397916@163.com

随着城镇化步伐的加快和工业化程度的提高,城市河流污染日益严重,水体黑臭问题已经成为我国许多大中城市共同面临的困境。对于城市黑臭水体整治,业内普遍认为:黑臭在水里,根源在岸上,关键是排口,核心是管网。因此应查清、查准问题根源“对症下药”,要特别重视临河小区的污水直排口、混错接雨水排口的排查。在黑臭水体整治初期一定要有重点、有针对性地开展排水管网问题排查^[1-3]。然而,传统排查方式如人工调查、QV、CCTV等存在定位精度低、二维成果形式单一和不能满足GIS入库需求等问题。

以深圳市宝安区(大空港片区)排水暗涵三维激光扫描排查工程为例,通过应用非接触式三维激光扫描技术以解决传统排查手段存在的问题,并总结归纳了三维激光扫描技术在城镇排水暗涵排查中的方法、技术路线和成果内容等。

1 三维激光扫描技术暗涵排查

1.1 排查方法

暗涵作为城市普遍存在的一种排水构筑物,是污水直排、雨污水混接错接的重灾区,也是排水系统改造的难点^[4]。暗涵为封闭或半封闭有限空间,环境复杂,存在诸如淤泥堆积、自然通风不良、恶臭熏天、积聚大量有害气体、氧含量不足等问题;另外,宝安区西部的感潮河流受潮涨潮落的影响,导致海水倒灌入河,作业“窗口期”有限,使得暗涵内部工况极其复杂。

针对以上难点和特点,采用非接触、环境适应能力强的三维激光扫描技术对暗涵进行排查。有限空间作业按“先通风、再检测、后作业”原则执行,入涵时通风时长不少于30 min。采用静态式三维激光扫描仪自由设站作业,通过连续、具有一定重叠的扫描点云拼接组成完整的相对全局点云,联测定位标靶(不少于3个)即可对全局点云的坐标进行转换,实现绝对坐标的引入。最后对点云数据进行处理和解译,获取暗涵的位置、平剖面图、暗涵内排口和缺陷识别等。

1.2 技术路线

根据暗涵的特征,结合三维激光扫描技术特点,为确保三维激光扫描新技术在暗涵排查方面具备高度的可行性和精准性,制定了相应的工作流程,具体见图1。

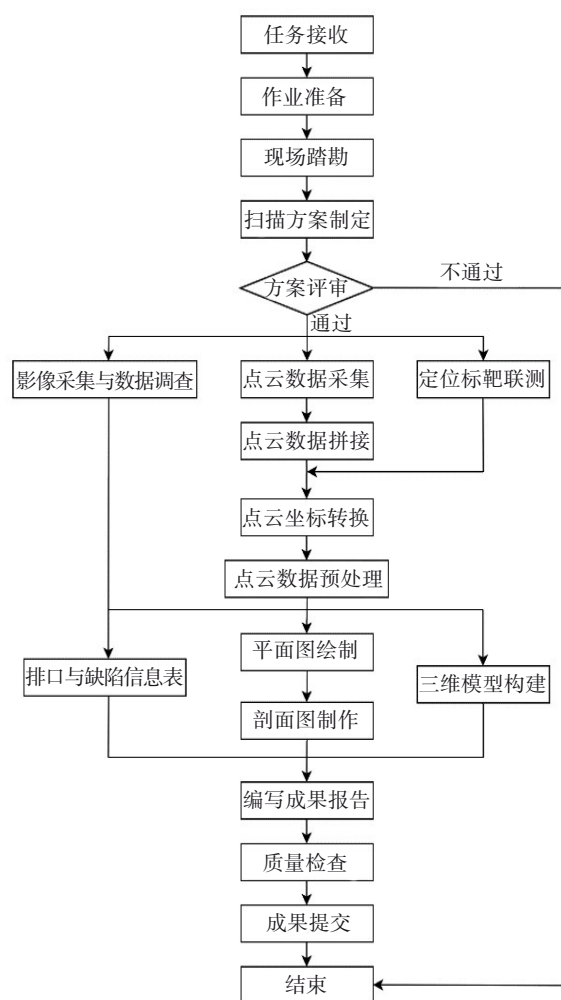


图1 三维激光扫描暗涵排查工作流程

Fig.1 Workflow of culvert inspection using 3D laser scanning

1.3 排查内容

本次暗涵排查工作包含暗涵本征尺寸调查,暗涵内排水口排查,暗涵起止端、检查井位置排查和暗涵的缺陷识别与评估,主要工作内容及要求如下:

- ① 暗涵的位置、规格、材质、埋深、淤积厚度、涵室数量(单涵、双涵、三涵)、纵横剖面图等基本信息;
- ② 暗涵内排口的位置、规格、材质、排水属性信息;
- ③ 暗涵三维模型制作;
- ④ 暗涵的缺陷识别与评估(结构性缺陷包括渗漏、支管暗接、异物穿入、接口材料脱落、脱节、起伏、错口、腐蚀、变形、破裂等;功能性缺陷包括沉积、结垢、障碍物、残墙、坝根、树根、浮渣等)。

2 应用案例

2.1 工程概况

该工程位于深圳市宝安区,范围为大空港片区,涉及福永、福海、航城及沙井4个街道,面积111.3 km²。大空港片区是宝安区经济圈的核心,西侧紧邻前海,区内分布有大量工业区和城中村,“握手楼”众多、交通拥挤,大量河道被挤占铺盖变为封闭或半封闭的暗涵,与工业区、城中村穿越交织,错综复杂。暗涵分布面广,片区内共9条河道上游暗涵和18条小微水体暗涵,其中,9条河道暗涵总长度为12.4 km,18条小微水体暗涵总长度为33.86 km。

2.2 控制测量

该工程控制测量成果坐标系统采用深圳独立坐标系,高程系统采用1956年黄海高程系。

① 控制测量。平面控制网布设为D级GPS控制网,所包含的50个控制点较为均匀地分布于各条暗涵周边。高程控制网布设为水准网,等级为三等,分北线、南线、东线等三条水准线路,总长度为37.166 km。控制网解算前必须对起算点进行一致性检验,满足要求后方可使用。

② 联系测量。一般情况下通过暗涵进、出口联测坐标转换标靶,进行大地坐标转换;但当暗涵一端封闭或者暗涵长度超过500 m时,需要通过检查井进行联系测量,将大地坐标传递到暗涵内。

2.3 数据获取与处理

2.3.1 作业前准备

作业前,对作业人员进行岗前安全培训和技术交底,办理入涵审批手续。到达现场后,打开检查井,做好施工围挡及安全警示并在来车方向的前方配专人进行交通疏导。对暗涵先通风30 min,再进行气体检测,检测合格后方可入涵作业。

2.3.2 作业实施

作业人员穿戴好防护服,携带供氧设备后进入暗涵内部。该工程采用FARO Focus M70三维激光扫描设备进行点云数据采集,采集过程中遇到排水口及缺陷的位置,作业人员对水深和淤泥深度进行测量并记录,同时采集对应的影像数据。

FARO Focus M70主要性能指标见表1。地下暗涵一般呈狭长条状,作业过程中扫描测站沿涵内中心线布设,扫描测站间距通常为5~8 m,同时在排水口及缺陷正前方、检查井下方和定位标靶前后的

2~3 m处架设扫描仪进行数据采集,相邻扫描站之间点云重叠度不小于30%。

表1 FARO Focus M70性能参数

Tab.1 Performance parameters of FARO Focus M70

扫描距离/m	0.6~70
扫描精度/mm	±3
扫描速率/(10 ⁴ 点·s ⁻¹)	50
视场角(水平/垂直)/(°)	360/300
倾斜补偿/(°)	±2
工作温度/°C	-20~55
质量/kg	4.2

2.3.3 数据处理

① 点云去噪

数据处理采用专门为Focus三维激光扫描仪设计的配套软件SCENE和开源软件CloudCompare,可以使用实时现场配准、自动对象识别、扫描图像配准和定位功能,轻松而高效地处理和管理扫描后的数据。

将采集到的点云数据导入软件,首先采用双边滤波算法对点云数据进行降噪处理,纠正点云的小型噪声^[5]。然后,以暗涵横剖面尺寸距离为参数剔除无效数据,距离参数一般设置为暗涵宽度的6~8倍。该工程选择单次扫描测站不超过20 m距离内的点云数据作为有效数据。

② 点云拼接

暗涵内作业环境复杂,野外作业时采用无标靶形式进行扫描,内业数据拼接时采用全自动数据拼接方法,对两个测站的点云数据进行数据拼接,且误差应小于2 mm。最后将多站无序扫描数据拼接成整体。

③ 坐标转换

在数据拼接完整后,得到整个暗涵的相对位置关系。为了得到暗涵精确的大地坐标,采用暗涵内、外点云数据联合坐标转换,利用扫描定位标靶的大地坐标对接完整的点云数据进行坐标转换,从而得到整条暗涵点云数据的大地坐标。

2.4 成果制作

在成果信息中,应包含以下内容:排水口类型(雨水、污水、合流)、材质、尺寸、淤泥厚度、水深、三维坐标;缺陷类型(结构性、功能性)并评定其缺陷等级;三维模型,变径处或指定位置剖面,以及各种

信息的平面展示图。为确保成果信息的全面性和可读性,需对信息进行细致的归类和标注,并采用清晰明了的图表或示意图展现相关参数,确保信息的易读性和易理解性。

2.4.1 成果信息表

内业人员通过解译三维灰度全景影像和点云数据(见图2),可以对暗涵内部排口位置进行测量并提取输出,完成排口位置定位及尺寸测量、材质及属性分析。

根据外业调查结果及内业量测、计算结果制作成果暗涵内排口成果见表2。

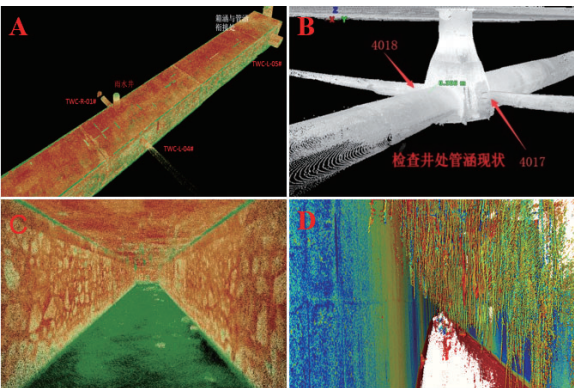

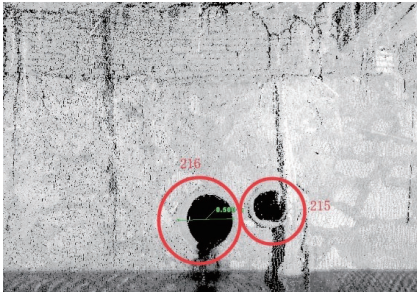


图2 点云数据解译

Fig.2 Interpretation of point cloud data

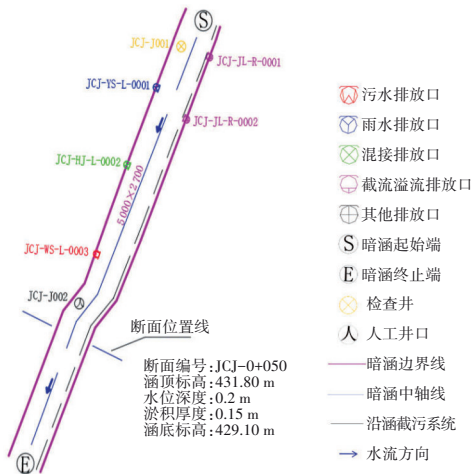
表2 暗涵内排口成果

Tab.2 Result of inner conduit drainage outlet

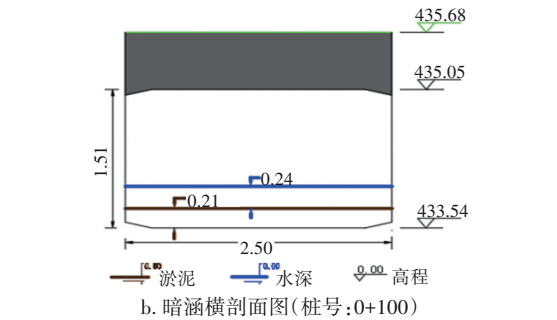
管段编号	编号	类型	排口类型	尺寸/ mm	埋深/mm	材质	淤积厚度/ mm	位置(X,Y,Z)/m	水深/ mm
2-15-YFL-3	R-215	排口	污水	326	1 786	混凝土	300	35 417.239, 88 669.156, 2.446	600
2-15-YFL-3	R-216	排口	污水	500	1 991	混凝土	300	35 417.795, 88 669.260, 2.202	600
描述	位置为排口内底坐标;埋深为地面至排口内底深度								
<div></div>									

2.4.2 成果图件

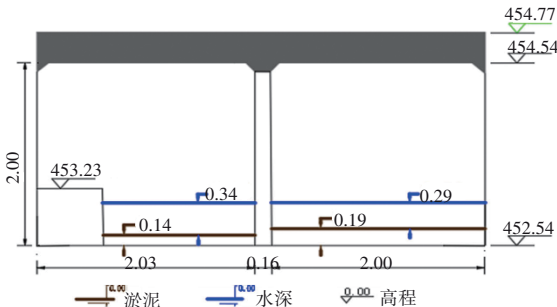
点云数据拼接及坐标转换完成后,依据暗涵点云轮廓绘制暗涵平面图,依据暗涵点云截面数据绘制暗涵横剖面图和纵剖面图,如图3所示。



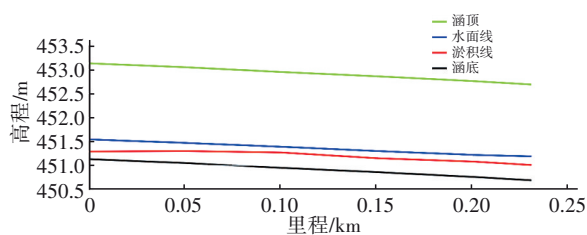
a. 暗涵平面图



b. 暗涵横剖面图(桩号:0+100)



c. 暗涵横剖面图(桩号:0+250)



d. 暗涵纵剖面图

图3 暗涵的平面图、横剖面图和纵剖面图

Fig.3 Plan cross-section and longitudinal section of culvert

2.4.3 三维模型

根据工程要求,针对不同暗涵分别制作三维模型。对暗涵的原始点云数据进行插值与修补处理,采用统计滤波去除干扰点云,精简点云数据量,然后重构点云的mesh网格模型^[6]。规则模型可直接根据点云或提取的轮廓线、特征线进行交互式建模,不规则模型则通过点云建立三角网模型进行建模,并通过细化、光滑处理等优化三角网模型。

三支渠暗涵(福围路)的三维模型成果见图4。

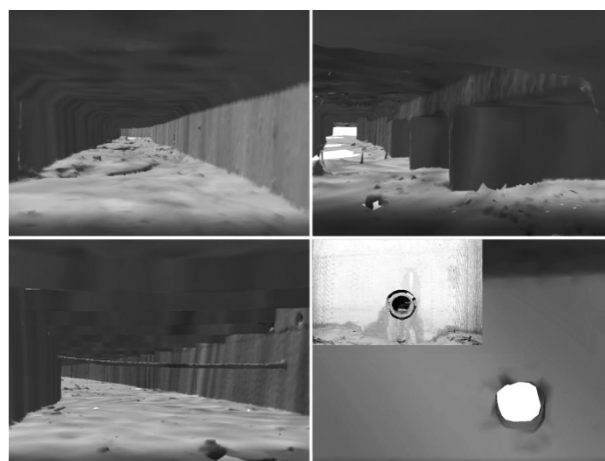


图4 三支渠暗涵的三维模型

Fig.4 3D model of Sanzhi culvert

2.5 暗涵评估

评估应根据排查资料进行,综合暗涵缺陷、环境、影响范围以及整改难度等实际情况,对暗涵的缺陷进行分类和定级^[7],从而为暗涵修复和养护等工作提供依据。部分河道上游暗涵缺陷统计见表3。

表3 河道上游暗涵(部分)缺陷统计

Tab.3 Partial statistics of culvert defects in the upstream of the river

处

项 目	结构性缺陷												功能性缺陷							
	破裂			变形		支管暗接			腐蚀		变形		障碍物		树根		沉积		浮渣	
	1级	2级	3级	1级	2级	1级	2级	3级	1级	2级	2级	3级	2级	3级	1级	2级	2级	3级	2级	3级
孖庙涌上游暗涵	5	11	4		1	2						1	3	2					1	
塘尾涌			2														2			
三支渠暗涵(福围路)	4	4	2				3	1	2	1	1	1	2	1	2		1	2	2	4
三支渠暗涵(福永路)	3		2	1	1	1					2				1		2			
三支渠暗涵(福新路)	5	6	5	2			2	1		1	3		4	15			2	4	6	4
三支渠暗涵(灶下路)	3	5		2	2	2	6	1			1	2	1	13	2	1	1		7	2

本次检测共发现结构性缺陷143处,其中Ⅰ级65处(无或有轻微缺陷,结构状况基本不受影响,但具有潜在变坏的可能);Ⅱ级55处(管段缺陷明显超过一级,具有变坏的趋势);Ⅲ级20处(管段缺陷严重,结构状况受到影响);Ⅳ级3处(管段存在重大缺陷,损坏严重或即将导致破坏)。此外,共发现功能性缺陷68处,其中Ⅰ级10处(无或有轻微影响,管道运行基本不受影响);Ⅱ级24处(管道过流受阻,对运行影响不大);Ⅲ级8处(管道过流受阻比较严重,运行受到明显影响);Ⅳ级26处(管道过流受阻很严重,即将或已经导致运行瘫痪)。

3 结论

① 非接触式三维激光扫描技术可以对大管

径排水暗涵进行排查,该技术能够快速获取暗涵内型面阵列式的点云数据和属性等信息数据,高密度点云可以完整地呈现涵内真实情况。

② 三维激光扫描技术解决了传统排查方法定位不准和难以检查大管径暗涵的难题。相较于传统方法,该技术检测成果精度更高,同时实现了三维数字化,展现效果丰富多样。这样丰富的成果资料能为暗涵施工改造提供更加准确、多样化的依据,有效避免对人员、设备和暗涵本身结构的损害,从而为工程的成功实施提供重要保障。

③ 三维激光扫描技术的成功应用推动了暗涵探查技术的发展。该技术为暗涵排查提供了新思路和新方法,进一步拓展了暗涵探查的应用范围,有助于更好地服务于更多水环境治理工程建设。

参考文献:

- [1] 唐建国,张悦,梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水, 2019, 45(4): 30-38.
TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 30-38(in Chinese).
- [2] 唐建国,王家卓,马洪涛. 完善城市排水系统,巩固和提升黑臭水体整治成效[J]. 给水排水, 2018, 44(1): 1-7.
TANG Jianguo, WANG Jiazhao, MA Hongtao. Complete the urban drainage system, consolidate and improve the effect of black smelly water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(1): 1-7(in Chinese).
- [3] 张月,方帅,王阳,等. 九江黑臭水体治理与提质增效技术的阶段性总结[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 77-80.
ZHANG Yue, FANG Shuai, WANG Yang, *et al.* Phased summary of black and odorous water body management and the quality and efficiency improvement technology in Jiujiang [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 77-80(in Chinese).
- [4] 邵宇航,楼少华,唐颖栋,等. 深圳茅洲河流域暗涵雨污分流改造实践[J]. 中国给水排水, 2021, 37(6): 122-127.
SHAO Yuhang, LOU Shaohua, TANG Yingdong, *et al.* Practice of stormwater and sewage diversion reformation at culverts in Maozhou River basin of Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 122-127(in Chinese).
- [5] 马先明,李永树,谢嘉丽. 利用双边滤波法进行点云去噪的试验与分析[J]. 测绘通报, 2017(2): 87-89.
MA Xianming, LI Yongshu, XIE Jiali. Experiment and analysis on point cloud denoising using bilateral filtering method [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2017(2): 87-89(in Chinese).
- [6] 胡燕威,王建军,范媛媛,等. 基于激光雷达的空间物体三维建模与体积计算[J]. 中国激光, 2020, 47(5): 1-10.
HU Yanwei, WANG Jianjun, FAN Yuanyuan, *et al.* LiDAR-based three-dimensional modeling and volume calculation for space objects [J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(5): 1-10 (in Chinese).
- [7] 住房和城乡建设部. 城镇排水管道检测与评估技术规范: CJJ 181—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 21-26.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical Specification for Inspection and Evaluation of Urban Sewer: CJJ 181-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 21-26 (in Chinese).

作者简介:赵延岭(1988—),男,陕西西安人,硕士,工程师,主要研究方向为城市水环境治理、三维激光扫描数据处理。

E-mail:18092397916@163.com

收稿日期:2023-05-15

修回日期:2023-06-19

(编辑:衣春敏)

优化国土空间开发保护格局 加强生态环境分区管控