



三维激光扫描技术在北江航道沿线水上物 外观测量中的应用

江木春，袁锐，牛作鹏

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司，湖北 武汉 430071)

摘要：针对北江航道沿线水利枢纽、桥梁和丁坝等建筑物结构复杂、常规测量施测困难和测量精度偏低的问题，对三维激光扫描测量技术进行了研究。依托北江某段航道项目，采用三维激光扫描技术，获得航道沿线水上物外观高精度三维点云数据，为航道扩能升级设计提供精细地形图，并建立三维可视化模型，为依托项目 BIM 设计提供了精细、丰富的测绘成果数据。研究表明，三维激光扫描技术可为航道设计提供丰富的测绘成果，具有良好的技术优势。

关键词：三维激光扫描；点云；三维建模；BIM 设计

中图分类号：U 612.2

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)11-0160-05

Application of 3D laser scanning technology in appearance measurement of aquatic objects along Beijiang channel

JIANG Mu-chun, YUAN Rui, NIU Zuo-peng

(CCCC Second Harbor Consultants Co. Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: Due to the complex structure of the buildings, such as hydro-junctions, bridges, and spur dikes, along the Beijiang channel, the conventional measurement technologies are difficult to implement and offer low measurement accuracy. To overcome these problems, this study investigates a three-dimensional(3D) laser scanning measurement technology. Relying on a project in a certain section of the Beijiang channel, this study uses the 3D laser scanning technology to obtain high-precision 3D point cloud data of the appearance of aquatic objects along the channel and thereby provide fine topographic maps for channel capacity expansion and upgrading design. Then, it builds a 3D visual model, providing fine and rich surveying and mapping result data for the building information modeling(BIM) design of the project the study relies on. The results show that the 3D laser scanning technology can provide rich surveying and mapping results for channel design and thus offers favorable technical advantages.

Keywords: 3D laser scanning; point cloud; 3D modeling; BIM design

北江航道建于 20 世纪 90 年代，是粤北地区连接珠江三角洲及港澳地区唯一的水运通道，下游为内河 V 级航道，航道尺度 $1.3 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 260 \text{ m}$ (航深 \times 航宽 \times 转弯半径)，中游为内河 VI ~ VII 级航道，维护水深在 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$ 。北江(韶关—乌石段)航道扩能升级工程全长 41km，自韶关市至曲江县乌石镇，东经 $113^{\circ}30' \sim 113^{\circ}36'$ ，北纬 $24^{\circ}32' \sim 24^{\circ}45'$ ，以内河 III 级、通航 1 000 吨级船舶标准设计

建设，通航保证率 98%，设计航道尺度为 $2.5 \text{ m} \times 60 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ 。设计代表船型为：1 000 吨级内河干货船，尺度为 $67.5 \text{ m} \times 10.8 \text{ m} \times (2.0 \sim 2.2) \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 吃水)；1 000 吨级多用途集装箱船，尺度为 $49.9 \text{ m} \times 12.8 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 吃水)。航道扩能升级改造工程主要包括航道浅滩整治、岸坡治理、桥梁加固或改扩建加固桥梁通航孔防撞、船闸升级和改造等，重要结点包括：新建孟洲坝枢纽和

蒙浬枢纽 1 000 吨级二线船闸, 船闸有效尺度均为 $220\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ (长×宽×门槛水深); 以及航道沿线百旺大桥、京港澳高速北江大桥、G240 白土北江大桥、广乐高速白土北江大桥和广乐高速乌石北江大桥桥梁加固或改扩建加固桥梁通航孔防撞设计等。在航道测量中, 采用三维激光扫描技术对现有桥梁、水利枢纽和丁坝等建筑物进行全方位、多角度测量, 获取高精度三维点云数据, 全面分析建筑物结构, 为精细地形测绘、建立三维空间的可视化模型和工程 BIM 设计提供全方位的空间数据。三维激光扫描的精确测绘技术不但具有不接触测量的优势, 而且更加精确、快速、安全。

1 地面三维激光扫描系统工作原理

三维激光扫描技术是一种非接触式自动测量方法, 可进行大面积、高密度空间三维数据的采集, 具有采集空间点精度高、点位密度大、速度快等特点, 融合激光反射强度和物体色彩等信息, 识别目标属性, 在常规地形测绘、变形观测、三维模型构建、虚拟现实等领域, 可弥补常规测量用于特殊领域的不足^[1-2]。三维激光扫描技术现已发展了多种方式, 包括地面三维激光扫描技术、车载三维激光扫描技术和无人机机载三维激光扫描技术, 多用于智慧城市、文物保护、道路和桥梁改扩建等领域, 用于航道升级改造的高精度测量研究则较少。

新型三维激光扫描仪携带方便, 可多角度、多方位测量, 通过触屏进行操作, 测量精度高, 25 m 距离精度达 2 mm , 以 97.6 万点/s 的速度构造毫米级三维影像和三维彩色扫描。最高分辨率在 10 m 处点间距 0.9 mm , 视角范围为水平 360° 、垂直 320° 。通过采集物体表面空间立体坐标及其他属性信息, 采样点的空间立体坐标集合为点云。地面三维激光扫描系统的工作过程是采集空间信息数据和处理空间信息数据的过程, 采用特定的独立坐标系统, 具体定义如下: X 轴在横向扫描面内; Y 轴在横向扫描面内垂直于 X 轴; Z 轴在竖向扫描面内垂直于 X 、 Y 轴。通过对目标发射激光, 目标的部分漫反射光会依原路径返回, 被接

受装置接受, 通过激光发射与接受的时间差计算出仪器中心与目标的距离 S , 根据水平和垂直角, 求出目标的三维坐标。激光测量单元从左到右、从上到下进行全自动步进扫描测量, 形成多条扫描断面, 地面三维激光扫描系统工作原理^[3-4]见图 1。

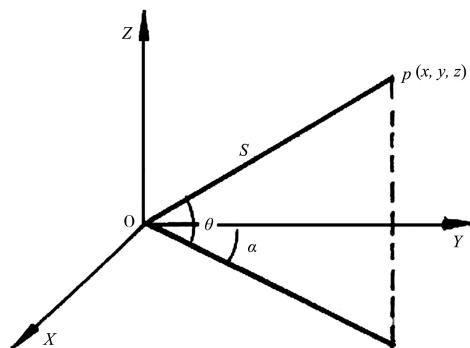


图 1 地面三维激光扫描系统工作原理

2 三维激光扫描数据采集

2.1 水利枢纽的扫测

蒙浬枢纽船闸升级改造是北江(韶关—乌石)航道扩能升级最关键的工程之一, 位于蒙浬枢纽右岸, 主要包括新建 1 000 吨级船闸以及相应的航道工程、配套工程和现有船闸的新结构安装、部分设施更换和加固。拟建船闸为Ⅲ级, 与现有船闸相邻平行布置。为满足蒙浬船闸改造工程设计、施工、维护和建立船闸 BIM 模型的需要, 设计要求精度高, 测绘成果需信息丰富。蒙浬枢纽施工期间还需发挥防洪、发电和正常通航功能, 采用三维激光扫描技术, 对蒙浬枢纽(主要是现有船闸)进行高精度扫测, 获取全方位空间数据, 建立了 BIM 模型, 为工程设计和施工提供科学数据。

蒙浬枢纽坝顶全长 994.7 m , 现有船闸有效尺度为 $140\text{ m} \times 14\text{ m} \times 10\text{ m}$, 经对蒙浬枢纽工作区周围环境踏勘分析, 设置扫描参数, 确定采样点密度等多项观测参数, 扫描时应全覆盖并尽量少布设扫描站, 以减少数据冗余, 并对重点区域拍照, 便于后期的内业处理, 以坐标配准精度为原则进行扫描站之间靶标的布置。以蒙浬枢纽坝体及船闸两侧闸墙为基本轴线, 设置靶标, 架设仪器布设扫描站, 为避免出现盲区, 对蒙浬枢纽重点位置如闸门、闸墙、控制室和泄洪道等进行多角度

扫描, 相邻测站所测数据的重合度超过 10%, 重合区均有多处明显的标识物, 共采集到 8.9G 原始数据, 包括点云数据 6.4G, 影像数据 2.5G, 也包括植被、施工机械、运动人员和车辆、电线等地形干扰信息等。经数据拼接、去噪、过滤处理后获得扫描点云数据, 包括蒙浬枢纽下游广乐高速乌石北江大桥, 见图 2。

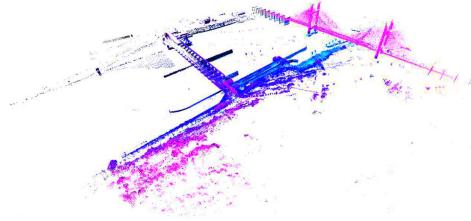


图 2 蒙浬枢纽和广乐高速乌石北江大桥点云数据

2.2 桥梁的扫测

航道建设需考虑航道升级扩能后, 通航船舶尺度增大导致通航船舶吨位显著提升, 船舶通航流量大幅增加导致跨航道桥梁桥区水域条件发生显著变化, 船舶通航条件得到改善的同时, 桥梁被来往船泊碰撞风险大幅增加^[5], 通航净空尺度应适度增加, 需建设桥梁的防撞设施进行防撞保护。北江航段经整治由Ⅳ级提升为Ⅲ级后, 通过对已建成 5 座桥梁进行现场调研, 分析存在较大船撞风险的桥梁及航道两侧的桥墩, 确定防船撞保护区域, 其中 3 座桥梁由于建设时间较早, 如百旺大桥、京港澳高速北江大桥和 G240 白土北江大桥存在较大的碰撞风险, 需在桥梁航道两侧通航孔上下游设立防撞设施, 对桥梁进行保护。

在桥梁上下游两岸选择合适的位置, 在能最大范围看到桥面下部结构的位置设置测站, 在桥面合适位置对桥面上的结构进行多角度、多方位扫测, 出现扫测盲区时需增加测站。以 G240 白土北江大桥为例, 该桥建于 20 世纪 80 年代, 造型优美, 结构复杂, 是北江上有名的景观, 由于建设年代较早, 现已成为危桥, 禁止货车通行, 北江航道扩能升级工程对该桥影响最大, 由于航道扩能升级不涉及桥梁改建, 需对现有桥梁结构数据进行详细测量, 为航道的设计提供详细数据, 包括每个桥墩位置、几何立体形状、桥孔分布、

每个桥孔的宽度、净空等, G240 白土北江大桥扫测点云见图 3。通过三维激光扫描技术测得的点云数据结合水深测量的水深成果, 可建立三维有限元仿真模型以提供高精度、信息丰富的数据, 为上下行航道位置的布设、防撞优化方案等提供良好的基础数据, 设置各类桥型的防撞保护区域, 并结合各桥的结构及周围地形特点, 分别提出了各桥防撞措施的推荐方案。

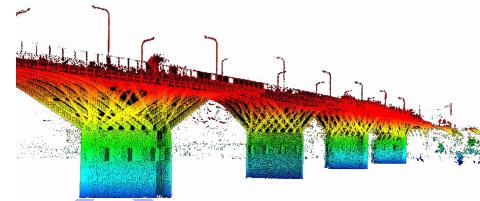


图 3 G240 白土北江大桥点云数据

2.3 航道丁坝的扫测

在岸滩、礁石和丁坝等大比例尺、复杂、危险地形的测量工作中, 地形地物极不规则, 杂草、荆棘丛生, 蛇虫等有害生物威胁无处不在, 使用全站仪、GNSS 和航空摄影测量等技术测绘地形图往往达不到测量精度和点密度要求。常规测量主要是对建筑物的特征点进行数据采集, 包括端点、角点、最高点和最低点等, 同时受测图比例尺限制, 测点间距偏大, 不能真实反映建筑物局部细微的变化; 二维平面图难以准确反映现有建筑物的真实情况, 现场调查往往采用现场拍照和录像的方法进行辅助说明, 难以与实地情况一一对应。

航道丁坝区主要位于蒙浬枢纽下游, 由于下游枢纽与蒙浬枢纽之间回水不衔接, 蒙浬枢纽下泄流量不均衡将导致航道出浅, 特别是枯水季节和干旱年份, 随着上游来水减少和枢纽发电的需要, 下游枢纽水位下降导致蒙浬枢纽下游段航道水深不足导致碍航塞船。为了改善航道条件, 在 20 世纪 90 年代, 北江两侧建设了 11 个丁坝组成丁坝群, 左岸 3 个, 右岸 8 个, 达到减小航道宽度、满足航道水深的目的, 见图 4。经过多年运行和洪水冲刷, 大部分丁坝出现严重的破损和变形, 周围的地形也出现较大的变化, 岸滩出现淤积和局部冲刷情况。随着蒙浬枢纽右岸船闸的升级改造, 新建船闸位于现有船闸的右侧, 新建航道也

相应向右侧移动, 丁坝群范围内需进行 1:500 的地形测量, 重点区域需进行 1:200 大比例尺高精度地形测量。根据丁坝的分布情况, 采用三维激光扫描技术对丁坝群进行扫描, 结合常规水深测量对现有的丁坝情况测量, 获取详细的地理信息数据, 为航道改线方案设计、现有丁坝的利用或改建提供完整丰富的成果数据。通过 GNSS RTK 高程检测与对比分析可知, 地面三维激光扫描地形图的精度指标满足 1:200 地形图测量的精度要求^[6]。



图 4 濡里枢纽下游丁坝群

3 三维数据处理

点云数据处理包括点云拼接、合并、降噪等, 将采集的各站点云数据进行拼接, 以靶标作为标志点, 不同测站的同一标志点作为公共点, 根据扫描区域内的公共点点云坐标和工程坐标求取坐标转换参数, 得到各站扫描点云的坐标转换模型, 对各站扫描点云进行坐标变换, 统一到工程测量坐标系中, 拼接成完整点云成果。三维激光扫描技术采集 360°全视景范围内可见面域的点云数据和影像数据, 经过数据拼接、去噪、过滤、建模 DEM 和生成等高线等^[7], 根据特征标记识别不同的地物地貌, 绘制地物符号, 进行图面检查, 生成数据成果。空间信息数据后处理包括点云滤波、配准不同站点数据、获取地物地貌数据、绘制地形图、三维建模和纹理贴图等工作内容。

基于地形地物的坐标数据和属性特征, 根据其坐标、长度、大小等数学特性结合色彩、纹理特性等, 对地物特征线(点)进行编辑, 包括: 濡里枢纽的坝体、起重机、泄洪道等, 现有船闸的闸墙、入口、出口、两端的闸门、主控制室等; 桥梁的上/下部结构、支座和附属构造物的立体结

构, 桥墩或桥台的支承, 桥墩、桥台、墩台基础几何形状和位置等信息; 丁坝的坝头、坝身和坝根立体结构, 破损情况, 冲刷和淤积情况等。

通过比对 GNSS RTK 采集的及三维激光扫描系统测得的地物特征点、地形高程点三维坐标, 进行数据统计和精度评定, 主要评价指标是地物点位中误差等数学精度。分析误差并计算中误差, 检测点宜为均匀分布在扫描区域内无粗差的点, 每个工点检测点抽样大于或等于 50 个, 共检测 160 点。利用 GNSS RTK 技术抽查检测地物点坐标、地貌点高程, 分别计算它们与三维激光扫描技术获取的地形图中地物点坐标的较差, 其中高程较差 ΔH 最大为 0.2 m, 坐标较差 ΔX 、 ΔY 均小于 0.3 m, 测量精度满足 JTS 131—2012《水运工程测量规范》和 GB 50026—2020《工程测量标准》要求^[8]。

4 BIM 模型建立

三维激光扫描技术可获得各种大型、复杂和不规则的实体或实景的三维点云数据, 构建实体三维模型, 获得三维空间的点、线、面、体等各种制图数据。三维建模是构建一定的数学模型、实现几何空间对象简化、抽象描述和管理, 用点、多边形、曲线、曲面等形式将立体模型描述出来^[9]。基于现场照片、三维激光扫描仪扫测的点云数据, 通过三维建模软件完成建筑体量模型构建, 并适当进行手动建模补充, 以濡里枢纽为例, 其三维模型见图 5。

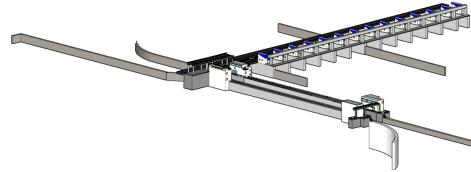


图 5 濡里枢纽三维模型

BIM 模型的建立需融合其他测量方法获得的周围地形数据和处理好的三维点云数据, 将船闸模型导入 BIM 设计软件中, 充分利用建模的严谨精准性和绘图的高自由度, 高精度点云数据可准确提供构件位置和尺寸信息, 模型误差达到厘米级, 满足 BIM 设计需要, 濡里枢纽的 BIM 模型包

括现有船闸、蒙浬枢纽坝体、广乐高速乌石北江大桥等，见图 6。

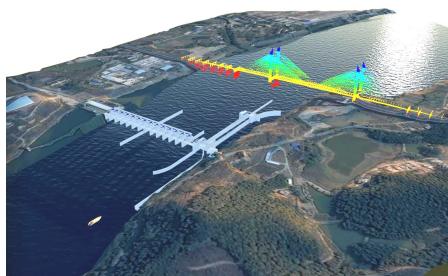


图 6 蒙浬枢纽和广乐高速乌石北江大桥 BIM 模型

5 结论

1) 采用三维激光扫描技术用于航道测量，对现有水利枢纽、桥梁和丁坝等重要建筑物进行扫测，基于获取的高精度点云数据生成了精细地形图、三维可视化模型等测绘成果，由于激光在水中穿透性差，三维激光扫描技术适用于水面以上复杂地物，水面下建筑物数据可采用多波束测量等传统方式获取，综合建立完整的水上建筑物的结构模型，为码头、丁坝、水利枢纽和桥梁等维修加固和升级改造提供完整数据和建筑模型，可为 BIM 设计和施工提供全方位地理信息数据。

2) 三维激光扫描技术是对常规测绘技术手段的有益补充，在复杂地形和危险测区，其自动化程度高和无需接触测量等特点既可保障人员安全，又能保证测量精度，具有良好的技术优势。

(上接第 144 页)

- [7] 李天宏,薛晶,夏炜,等.组合赋权法-木桶综合指数法在长江生态航道评价中的应用[J].应用基础与工程科学学报,2019,27(1):36-49.
- [8] 匡舒雅,李天宏.五元联系数在长江下游生态航道评价中的应用[J].南水北调与水利科技,2018,16(5):93-101.
- [9] 中交第一航务工程局有限公司,福建省交通基本建设工程项目监督检测站.水运工程质量检验标准: JTS 257—2008[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [10] 吴华林,邱健华.长江水上交通安全状况综合评价模型研究[J].航海技术,2000(5):3-7.
- [11] 上海海事局,上海海事大学.海区航标效能验收规范: JT/T 759—2009[S].北京:人民交通出版社,2009.

3) 基于高精度点云数据实现建筑物的三维仿真模型创建，可辅助设计人员完成 BIM 设计工作，进一步拓展测绘和设计技术的融合发展，为航道工程项目测设一体化增加新的实现手段。

参考文献:

- [1] 戴升山,李田凤.地面三维激光扫描技术的发展与应用前景[J].现代测绘,2009,32(4):11-12,15.
- [2] 牛作鹏.地面三维激光扫描技术在港口可视化的应用研究[J].港工技术,2016,53(4):101-104.
- [3] 袁国志.三维激光扫描技术原理及应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2014(5):1-4.
- [4] 范兆娟,任云峰.浅谈规划竣工测量的三维测绘与成果表示[J].现代测绘,2013,36(6):28-29.
- [5] 王召兵,徐奎,吴俊,等.AASHTO 概率模型在船桥碰撞风险评估中的应用[J].水运工程,2017(10):179-185.
- [6] 陈岳涛,谢宏全,赵芳,等.利用背负式移动激光扫描系统测绘地下空间地形图[J].淮海工学院学报(自然科学版),2018,27(4):74-77.
- [7] 孙超.基于三维激光扫描技术的地形测绘[J].数字化用户,2018(5):63.
- [8] 郭琳娜,张吉平,柳永全,等.利用地面三维激光扫描技术进行地形测绘[J].中国科技论文,2015,10(9):1014-1018.
- [9] 刘春,杨伟.三维激光扫描对构筑物的采集和空间建模[J].工程勘察,2006(4):49-53. (本文编辑 王传瑜)
- [12] 南京水利科学研究院.河湖健康评价指南(试行)[R].南京:南京水利科学研究院,2020.
- [13] 国家海洋环境监测中心.近岸海洋生态健康评价指南: HY/T 087—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [14] 沈新强,袁骐,王云龙,等.长江口、杭州湾附近渔业水域生态环境质量评价研究[J].水产学报,2003,27(S1):76-81.
- [15] 郑权明.浅谈群决策层次分析法[J].中国设备工程,2019(16):215-217.
- [16] 於家,陈芸,刘静怡,等.基于 OAT 的空间多准则决策中的权重敏感性分析[J].资源科学,2014,36(9):1870-1879.

(本文编辑 王璁)