

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.009

# 基于三维实景技术的既有污水厂逆向建模BIM应用

王晓杰<sup>1</sup>, 徐亚男<sup>2</sup>, 姜天凌<sup>2</sup>, 杜恺忻<sup>2</sup>, 李旭<sup>2</sup>, 张怡芳<sup>2</sup>

(1. 四川省生态环境科学研究院, 四川 成都 610041; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

**摘要:** 鹅公岭污水处理厂建设时间较早,其间经多次提标改造,存在档案资料不全、信息缺乏共享等问题。采用倾斜摄影和激光点云技术校核现有基础数据,并完善资料缺失的BIM模型数据,在此基础上进行逆向建模,借助自主开发插件贴附模型信息,形成高精度BIM信息模型,实现既有重要水务基础设施的可视化管理与数字资产存档。同时将各类模型切片数据融合在GIS平台,构建BIM+GIS场景,可拓展BIM模型的应用价值。

**关键词:** 既有污水处理厂; 三维实景; 逆向建模; BIM; 倾斜摄影; 激光点云

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0058-06

## Application of BIM for Reverse Modeling of an Existing Wastewater Treatment Plant Utilizing 3D Reality Technology

WANG Xiao-jie<sup>1</sup>, XU Ya-nan<sup>2</sup>, JIANG Tian-ling<sup>2</sup>, DU Kai-xin<sup>2</sup>, LI Xu<sup>2</sup>, ZHANG Yi-fang<sup>2</sup>

(1. Sichuan Academy of Eco-Environmental Sciences, Chengdu 610041, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

**Abstract:** The construction of Egongling Wastewater Treatment Plant dates back to an early period, and it has undergone multiple upgrading and reconstruction since then. This led to issues such as incomplete documentation and insufficient information sharing. Utilizing oblique photography and laser point cloud technology, the existing basic data were verified, and the incomplete BIM model data were supplemented. On this foundation, reverse modeling was conducted, and model information was appended through self-developed plugins to create a high-precision BIM information model. This enabled the visual management of existing critical water infrastructure and the archiving of digital assets. Various model data were integrated on the GIS platform to construct BIM+GIS scenarios, thereby enhancing the application value of the BIM model.

**Key words:** existing wastewater treatment plant; 3D reality; reverse modeling; BIM; oblique photography; laser point cloud

逆向建模是对既有建构筑物创建数字模型的过程,该过程对测量数据的要求相对较高,否则会影响模型的精度。为准确完成既有污水处理厂的

BIM建模,可采用倾斜摄影、激光点云等三维实景技术获取模型数据,校核现有基础数据,并完善基础资料缺失位置的BIM模型。目前,三维实景建模技

通信作者: 王晓杰 E-mail: 2398847763@qq.com

术在国内外已被广泛应用,其模型数据已逐渐成为城市空间数据框架的重要组成部分<sup>[1]</sup>。但综合分析发现,逆向建模在大规模水务设施中的应用还较少,尚未形成完善的规范流程,因此探究逆向建模技术在既有水务设施的应用流程和技术路线具有较大的市场和发展空间。以鹅公岭污水处理厂为例,通过逆向建模技术,创建完善的BIM模型,积累了既有水务设施BIM数据资产,构建了数字化虚拟污水处理厂,可以为污水处理厂智慧运维奠定基础。

## 1 工程简介

鹅公岭污水处理厂位于深圳市龙岗区,设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,规划规模为 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,污水收集范围主要包括平湖街道中东部,服务面积约 $12.7 \text{ km}^2$ 。该污水厂主体工艺采用A<sup>2</sup>/O,于2011年8月正式投入运行,污水处理设备运转良好。鹅公岭污水处理厂于2019年进行提标改造,工程主要新增建设内容为高密度沉淀池(含中间提升泵房)、综合加药间、海绵城市部分、变配电间和风机等设备。

由于鹅公岭污水处理厂建设时间较早,其间经多次提标改造,在项目资料存档和管理过程中存在档案资料不全、信息缺乏共享交流等问题。在逆向建模的实施过程中,存在以下难点:①工期紧,任务重,需在短期内完成资料收集、现场踏勘、数据核对、模型建立、信息贴附、模型审核以及平台交付诸多工作内容;②现场环境复杂,基础设施破旧,原有构筑物图纸缺失,现场人工复测耗时长、效率低,单体之间空间关系表达差,数据可靠性低。因此,选择倾斜摄影和激光点云等三维实景建模技术解决以上难点。

## 2 逆向建模技术

### 2.1 逆向建模技术路线

采用倾斜摄影、激光点云对厂区数据进行采集,获得实景模型数据和激光点云数据。

倾斜摄影技术获取数据速度快,数据量小,同时数据包含空间位置信息,具有自动化程度高、成本低和覆盖范围完整等优势,但由于该技术采用可见光进行测量,对天气要求较高,且对植被覆盖下的地形和细小物体的建模能力不足,因此在大范围建模和对精度要求不高的工程中较为适用。而激光点云技术的特点是能快速获取高密度、高精度的激光点云数据,具备穿透植被测量植被覆盖下地形

的能力,适用于高精度工程测量,但激光雷达不能获取被测对象的纹理和颜色,需要后期进行内业贴图,工作量较大,且设备昂贵。由于成像机制不同,点云模型较倾斜摄影模型精度更高,但会增加数据量、工作量和成本。

在该项目中,为保证建模精度并节约成本,采用激光点云技术获取如加药间、高密池及鼓风机房等工艺管线和设备较为复杂单体的点云模型,作为图纸缺失单体BIM建模的主要参照数据;采用倾斜摄影技术获取整个厂区的倾斜摄影模型,作为各单体空间位置关系、BIM建模以及检查实模一致性的补充依据。

用于污水厂的BIM建模软件主要有Bentley、Revit和ArchiCAD,这3款软件各有优劣<sup>[2]</sup>,其中,Revit软件二次开发生态较为完善,自主开发插件周期相对较短,故该项目选用Revit作为BIM建模软件。在Revit中将点云模型作为参照底图,依靠完备的企业图库进行BIM模型创建,采用基于Revit的自主开发插件对BIM模型快速贴附信息,将信息模型上载到GIS平台,可实现对既有污水处理厂的高效运维。该项目采用的软件如下:倾斜摄影模型处理采用ContextCapture软件,点云模型处理采用FARO SCENE软件,点云模型格式转换采用Recap软件,BIM建模采用Revit软件,实模一致性检查采用Das Viewer软件。逆向建模技术路线见图1。

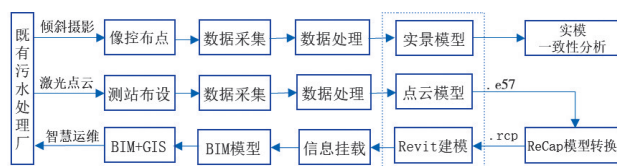


图1 逆向建模技术路线

Fig.1 Technical route of reverse modeling

### 2.2 三维实景建模技术

#### 2.2.1 基于倾斜摄影的三维实景建模

通过无人机倾斜摄影技术,可以进行大面积测量,获取既有污水处理厂地理位置坐标信息及纹理信息,并且可以精细地表达单体构筑物的细节特征。基于倾斜摄影的三维实景建模包括外业数据采集和内业数据处理两部分,数据处理主要有数据预处理、空中三角测量、三维模型重建与修正等步骤。鹅公岭污水处理厂整个厂区的倾斜摄影关键过程如下:

## ① 数据采集

摄影采用多旋翼无人机,搭载五镜头倾斜相机。

a. 设备及参数。飞行平台技术指标及三维航空摄影参数见表1。

表1 飞行平台技术指标及三维航空摄影参数

Tab.1 Technical indicators of flying platform and parameters for 3D aviation photography

技术指标		具体参数
机动性能	平飞速度/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	17 ~ 23
	实用升限/m	5 000
	最大续航时间/min	55
三维航空摄影参数	相对航高/m	75
	地面分辨率/cm	1.2
	航向重叠度/%	80
	旁向重叠度/%	75
	采样间隔/m	9.5
	航线间隔/m	17.6
	飞行速度/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	8
	正射张数/张	1 567
	倾斜张数/张	6 268

b. 地面像控点。像片控制点是航测加密和测图的依据,应选择利于影像清晰、易于判别处,同时该处的高程变化应较小,以便准确定位和测量。由于鹅公岭污水处理厂厂区形状较不规则,为保证像控点的布置能包围住整个厂区,使边缘处的精度得到保证,将像控点均匀布设于污水厂边缘,且避开房顶角、屋檐下、树下、斜坡等方位,厂区中心可少设或不设。在满足精度要求的前提下,可减少像控布设数量,该厂区共设像控点3个,采用GPS-RTK技术获取像控点的坐标和高程,并将其冠以“XK”统一编号。鹅公岭污水处理厂的像控点布置见图2。



图2 鹅公岭污水处理厂像控点布置

Fig.2 Image control points of Egongling WWTW

c. 平面坐标系及高程系统。平面坐标系统采用CGCS2000国家大地坐标系,高程采用1985国家

高程基准。

d. 执行飞行。选择合适的起飞地点,进行起飞前检查,上传航线后,无人机开始执行航线任务,飞行中密切关注飞行状态、高度、速度、卫星数、遥控器信号及电池电量等。

## ② 内业数据处理

a. 原始数据下载及预处理。对数据进行拷贝,检查航线完整性,对原始数据进行预处理。

b. 空中三角测量。采用ContextCapture软件进行空中三角测量。将外业成果进行转刺和约束平差解算,将区域网纳入精确的大地坐标系统中,完成绝对定向,并确保精确度满足要求。

在测量过程中,由于多相位拍摄存在遮挡,以及植被、水面等缺少明显特征点使同名影像匹配较少,导致模型出现变形、错位等情况。对于这类问题,可将不符合要求的数据删除,重新进行空中三角解算,辅助使用ContextCapture软件的模型修正功能,以此保证空中三角解算的准确性。

空中三角测量平差处理最重要的是将垂直下视影像和倾斜影像进行混合平差,使用ContextCapture软件的三维重建功能,合理设置软件参数,有效滤除影像中的阴影和云影,调整残差值相对较大的点,将调整后的结果作为基本依据,重新进行计算连接,重复操作不少于6次,在平差报告数值稳定时停止操作,以此提高建模精度。

c. 三维模型重建与修正。采用多机多节点并行运算的ContextCapture软件进行建模。技术人员将处理的空中三角成果,经划分模型格网、设置格网大小、贴图、转换坐标等过程,输出模型成果,并对有漏洞的、道路不平的模型及水面进行修补。鹅公岭污水处理厂的倾斜摄影模型见图3。



图3 鹅公岭污水处理厂倾斜摄影模型

Fig.3 Oblique photography model of Egongling WWTW



### 2.2.2 基于激光点云的三维实景建模

基于激光点云的三维实景建模包括扫描方案策划、现场扫描记录及内业处理等步骤。以加药间、高密池及中间提升泵房为例,鹅公岭污水处理厂的激光点云建模关键过程如下:

#### ① 扫描方案策划

a. 控制测量。遵循“从整体到局部、分级布设”的原则进行控制网的布设。单体目标物扫描通过标靶进行闭合时,可不布设控制网,但扫描成果应与已有空间参考系建立联系。加药间、高密池及中间提升泵房的标靶布设示意图图4。

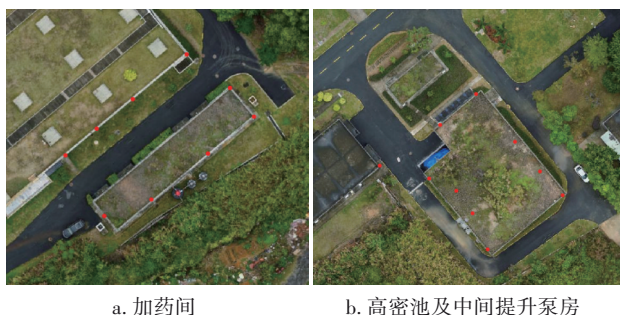


图4 单体标靶布设示意

Fig.4 Schematic diagram of structure target setting

b. 扫描站布设。根据《地面三维激光扫描作业技术规程》(CH/Z 3017—2015),扫描站布设原则如下:扫描站应设置在视野开阔、地面稳定的安全区域;扫描站扫描范围应覆盖整个扫描目标物,均匀布设,且尽量减少设站数目;目标物结构复杂、通视困难或线路有拐角的情况应适当增加扫描站;必要时可搭设平台架设扫描站。

根据扫描站布设要点,加药间架设24站,高密度沉淀池和中间提升泵房由于结构更加复杂,站数稍有增多,布设36站。扫描站布设示意图图5。

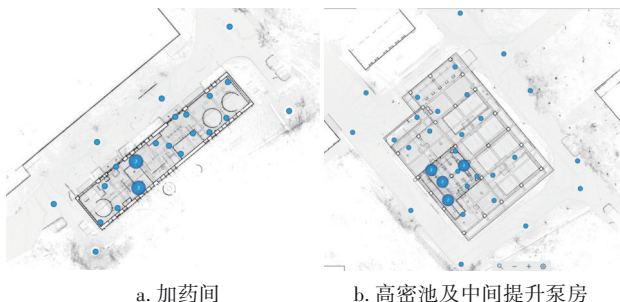


图5 扫描站布设示意

Fig.5 Schematic diagram of scanning station setting

#### ② 现场扫描记录

a. 作业前准备。在开始作业前,观察作业场地

是否留有足够的作业空间以及移动空间,并对扫描视场内如车窗、玻璃等不能为激光提供反射的透视区域进行遮挡,移除作业场地内容易被移动的物体,以免对扫描结果产生影响。准备工作完成后,架设三脚架,开启扫描仪。

b. 仪器参数设置。根据扫描距离在配置中选择室外20 m以外或室内10 m以外。设置仪器的分辨率、扫描质量以及扫描时间后,开始彩色扫描,扫描仪在扫描时间基础上每站需增加3 min的拍照时间,扫描获取的点云数据将被赋予RGB信息。在传感器选项中,将倾角仪、罗盘、高度计以及GPS调至开启状态。

c. 数据扫描。在扫描仪作业过程中,作业人员应在扫描仪附近以保证仪器安全,但需注意躲避扫描仪的镜头,以免在点云数据中生成杂点。等待单站作业完成后,查看该站扫描成果,检查是否有移动的人影、物体等造成的噪声。扫描过程中通过草图记录每站的实际点位,方便内业点云处理。

#### ③ 内业处理

a. 点云拼接。利用SCENE处理软件对外业扫描获取的数据进行自动拼接,若外业有部分测站自动拼接失败,则需要对其进行手动配准拼接,拼接完成后对点云进行滤波、抽稀处理。自动进行数据的预处理包括点云数据的去噪、抽稀、过滤、查找标靶球、创建扫描点云及自动拼接等操作并保存。整体点云模型见图6。



图6 整体点云模型

Fig.6 Overall point cloud model

b. 坐标转换。导入控制点后,在点云模型中找到已采集坐标信息的靶标位置,将靶标名称与控制点名称对应,重置扫描,将拼接后的整体点云配准到绝对坐标系。

c. 点云导出。添加裁切框,将框以外的点云删除,导出.e57格式的点云数据。

### 2.3 基于Revit软件的二次开发

根据信息模型分类和编码标准,自主开发针对性插件,从而可以在模型构件上添加编码、规格、型

号、生产厂家、构件标识等属性信息。自主开发插件支持按照规范统一命名、手动或批量贴附属性信息,并可以实现对模型信息贴附的一键查漏。

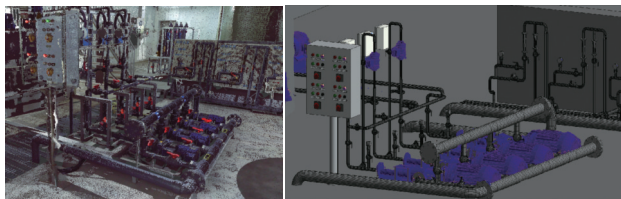
## 2.4 BIM+GIS 融合技术

以 GIS 平台为依托,将各类模型进行 3D Tile 格式的转换后,可将 BIM 模型、倾斜摄影模型、点云模型以及影像等切片数据融合在 GIS 平台,进行 BIM+GIS 场景构建,可实现模型定位、信息展示、模型剖切、分类浏览等三维可视化功能,为后期污水厂的智慧运维奠定基础。

## 3 “BIM+”集成技术应用

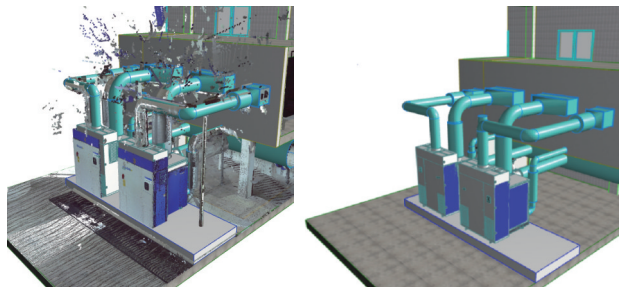
### 3.1 逆向建模 BIM 模型创建过程

点云模型成果文件的格式为 .e57,将此格式点云文件转换为 .rcs 或 .rcp 格式后,可将点云模型作为参照参考到 Revit 软件中辅助构建 BIM 模型。模型建立主要利用 Revit 的原生建模功能,并借助完善的企业水工艺图库,可满足污水厂各单体各级别的模型建立要求。依据点云模型绘制的 BIM 模型见图 7。



a. PAM 加药间点云模型

b. PAM 加药间 BIM 模型



c. 鼓风机房点云模型

d. 鼓风机房 BIM 模型

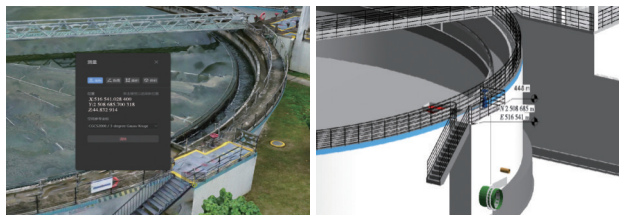
图 7 依据点云模型绘制的 BIM 模型

Fig.7 BIM model drawn based on point cloud model

### 3.2 模型检查

对模型进行碰撞检测和反复校准,并将其与实际情况结合进行校核。尤其是基于现有图纸进行建模的单体,通过对比 BIM 模型和倾斜摄影模型,可对参考 BIM 模型进行高程、尺寸及外观颜色的进一步细化调整,从而获得更准确的模型。依据倾斜摄影模型进行二沉池的图模一致性检查,结果如图

8 所示。



a. 二沉池倾斜摄影模型坐标

b. 二沉池 BIM 模型坐标及高程点

图 8 图模一致性检查

Fig.8 Consistency check of graphic and model

### 3.3 信息贴附及模型总装

校核无误后,对模型进行信息贴附等信息化处理。依据相关模型交付指引及信息模型分类和编码标准,应用自主开发插件(见图 9),按照统一格式对模型各个构件进行族名称和族类型命名并进行信息贴附,生成信息模型。



图 9 应用自主开发插件进行信息贴附

Fig.9 Applying self-developed plugins for information attachment

一体化泵站贴附模型数据见图 10。对单个模型进行总装后,即可得到整个厂区的信息模型。

名称	编码	类型	型号	实际尺寸	材质	制造商
1. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
2. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
3. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
4. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
5. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
6. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
7. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
8. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
9. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/
10. 蝶阀	14-67.14.27	蝶阀	DN200	14-67.14.27	不锈钢	/

图 10 一体化泵站贴附模型数据

Fig.10 Model data attached to the integrated pumping station

### 3.4 BIM+GIS 集成技术应用

将倾斜摄影、点云及 BIM 模型格式转换后,可对多种模型数据进行融合,倾斜摄影和 BIM 模型的



融合效果见图11。



图11 多种模型数据融合效果

Fig.11 Fusion effect of data from multiple models

依据污水厂智慧运维特点,可进一步对平台进行定制化开发,实现厂区土建、设备的动态可视化管理。

## 4 结语

### 4.1 逆向建模技术总结

在对鹅公岭污水处理厂进行逆向建模的过程中,提出了BIM协同工作基本流程,借助企业完备的设备图库进行逆向建模,自主开发信息贴附插件对模型进行信息挂载,采用倾斜摄影和激光点云技术校核并完善模型数据,形成具备完整属性信息的全专业BIM模型,并通过构建BIM+GIS场景,为污水厂智慧运维奠定基础。

### 4.2 展望

未来,在数字中国和智慧城市的浪潮中,数据资源将成为城市发展的战略性资源,既有水务设施

的数字化也是城市数据资源的重要组成部分,依托逆向建模技术打造的高精度BIM模型以及构建的BIM+GIS大场景,势必将在智慧城市的建设中发挥重要作用,帮助决策部门和运营机构提升决策能力和管理水平。

## 参考文献:

- [1] 王海兵,邓剑,朱磊森,等. 倾斜摄影建模在聂耳公园海绵化改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(12):112-116.  
WANG Haibing, DENG Jian, ZHU Leisen, *et al.* Application of oblique photographic modeling in sponge renovation of Nie'er Park[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(12): 112-116 (in Chinese).
- [2] 李文秋,王晓杰,徐亚男,等. 基于Bentley二次开发的污水厂提标改造“BIM+”集成技术应用[J]. 中国给水排水, 2023, 39(20):77-82.  
LI Wenqiu, WANG Xiaojie, XU Yanan, *et al.* Application of “BIM+” integrated technology for upgrading and renovation of wastewater plant based on Bentley's secondary development[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(20):77-82 (in Chinese).

**作者简介:**王晓杰(1993—),女,河南鹤壁人,硕士,工程师,主要从事市政给排水工程设计、BIM技术及智慧市政研究、水污染防治及水生态保护修复等工作。

**E-mail:**2398847763@qq.com

**收稿日期:**2023-11-09

**修回日期:**2023-12-25

(编辑:沈靖怡)

**强化依法治水,携手共护母亲河**