

无人机高速倾斜摄影应用

肖铭

【杭州精测科技有限公司】

1 项目概述

1.1 项目简介

浙江某高速公路起于宁波绕城高速宁波西枢纽，终于杭金衢高速傅村枢纽，沿线经过宁波、绍兴、金华三地，与上三高速（嵊州东枢纽）、杭绍台高速（甘霖枢纽）、诸永高速（怀鲁枢纽）、规划义东高速（湖田枢纽）、义乌疏港高速（何宅枢纽）、规划义松龙高速（徐村互通改建徐村枢纽）相交，路线全长约 185.3Km（宁波约 42.1km（鄞州区 9.6km，奉化市 32.5km，本次改扩建采集约 145Km），绍兴约 71.4km（新昌县 5.9km、嵊州市 65.5km），金华约 71.8km（东阳 35.6km、义乌 31.8km、金东区 4.5km））。

项目按双向四车道高速公路标准建设，受地形等影响，起点宁波西枢纽至溪口东互通（16km）、黄泽互通至终点傅村枢纽（115.1km）设计速度采用 100Km/h，路基宽度 26m；溪口东互通至黄泽互通（54.2km）设计速度采用 80Km/h，路基宽度 24.5m。

项目全路段桥梁约 15km，隧道约 11km，桥隧比约 14%，现状设 15 处一般互通立交(规划新增金庭互通)，7 处枢纽式互通立交，2 处服务区。



图 1 项目交通示意图

1.2 测区基本情况

测区地属亚热带季风气候，季风显著，四季分明，年气温适中，雨量丰沛，空气湿润，雨热季节变化同步，气候资源配置多样，影响本项目最大气候原因是降雨。测区呈带状分布，总体地势高

低起伏不定，为丘陵和平原结合。需前期做好项目现场勘查，为无人机飞行做充分准备。测区内水系发达，涉及多条流域，对项目像控布设有一定影响，需要在江河密集处增加像控量。

1.3 项目内容与要求

本项目已按下列要求圆满完成全部工作内容。

项目内容与要求如下：

- (1) 采用低空摄影测量方法，完成高速公路范围内总计 145Km 的倾斜摄影及三维建模工作。
- (2) 平面坐标系统：项目独立坐标系，中央子午线 120° 30' 。
- (3) 高程系统：国家 85 高程基准。
- (4) 实景三维模型：优于 3 厘米影像分辨率。

1.4 项目工作量

设计工作量与实际完成工作量见下表：

表 1 设计与实际完成工作量一览表

序号	项目名称及内容	计量单位	设计工作量	实际工作量
1	无人机数字航空摄影航拍数据采集（3cm 区域）	km	145km	145km
2	航测相片总数	张	74 万	74.069 万
3	像控点量测	点	881	881
4	倾斜三维模型内业制作与修饰	km	145km	145km

2 项目执行情况

2.1 施工时间

2021 年 1 月 7 日开始实施高速倾斜摄影项目，2021 年 1 月 20 日完成全部外业航飞数据采集及像控测设，2021 年 3 月 10 日完成内业数据处理，公司质检工作最终于 2021 年 3 月 12 日完成。

2.2 实施概况

根据项目要求，按照飞行计划开展。

本次总计投入 6 个作业组，其中 4 个外业飞行组兼像控采集，2 个三维数据处理组。

主要仪器采用安全可靠的飞马 D2000 四旋翼无人机，像控测设采用天宝 GPS、处理软件采用 ContextCaptureCenter。

3 测区概况和已有资料利用情况

3.1 已有资料利用情况

浙江省 CORS 系统覆盖全测区，本项目利用浙江省 CORS 进行像控点测量、精度检测点测量等工作。

4 技术路线及作业流程

4.1 技术路线

为应对较复杂的测区现状和高精度的成果要求，本项目具体实施包括前期准备工作、低空摄影测量、像控摄影测量，本项目的总体技术路线如图 2 所示。

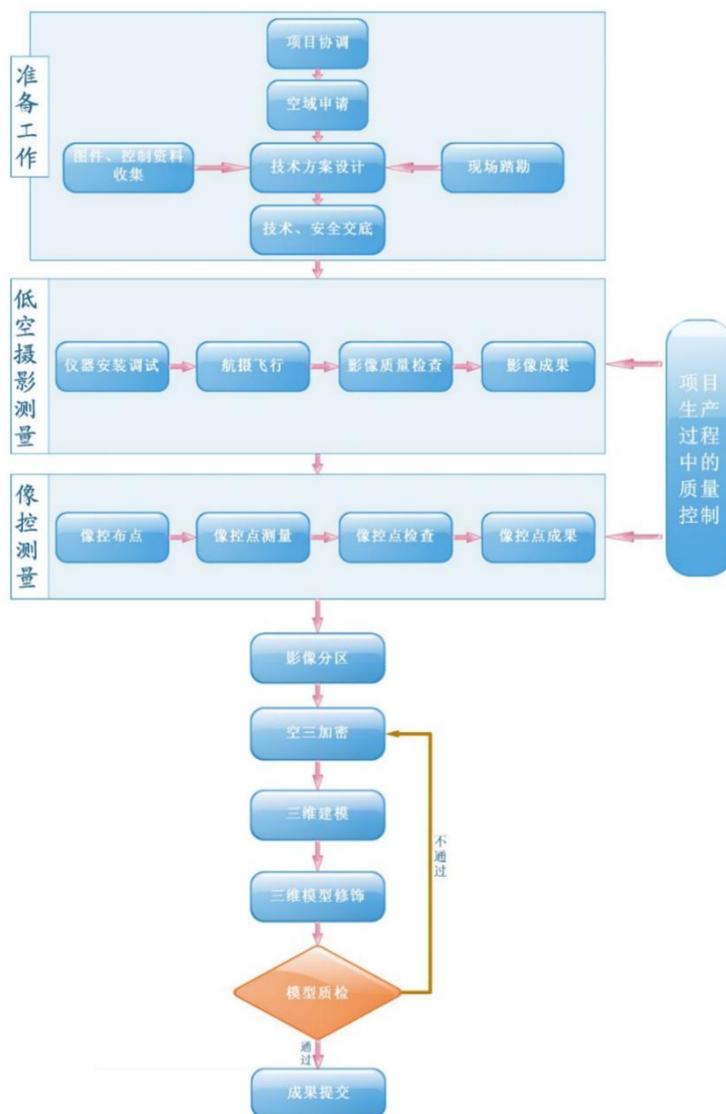


图 2 总体路线图

4.2 仪器设备和飞行准备

本项目所使用的飞马 D2000、D200 四旋翼无人机，航摄仪为飞马 OP-3000 倾斜相机。

数据处理软件使用国际知名厂商 Bentley 公司的全自动三维建模软件 ContextCaptureCenter。

4.2.1 仪器设备

(1) 飞行平台

飞马多旋翼无人机由深圳飞马机器人科技有限公司生产。该公司生产的 D200、D2000 无人机设备是民用领域集成化程度较高的旋翼无人机，其飞行姿态稳定，续航能力强，在较恶劣的天气情况下也能完成任务，能获取高清影像原始数据，本项目采用飞马旋翼无人机航空摄影测量系统对甬金高速带状区域测区进行航空摄影，取下视分辨率优于 0.03m 的影像数据。

如图 3 和图 4 所示。



图 3 飞马 D200 无人机



图 4 飞马 D2000 无人机

(2) 航摄仪

无人机搭载 OP 系列相机采集数据。如图 5 所示。



图 5 OP 系列相机

表 2 相机参数

传感器	SONY A6000	有效像素	2100 万
相机焦距	35mm	改装部位	定焦镜头
传感器类型	Exmor CMOS	辅助设备	稳定云台

4.3 低空摄影测量

4.3.1 航线设计

- (1) 对整个测区进行实地勘察，对高楼、山体、特殊地区进行标记。确保后期飞行安全。
- (2) 整条线路将使用飞马 D200、D2000，根据不同地形，飞行设计航高 180 米。根据路线情况，飞行分段飞行，初步分为 5KM 一段，整体重叠率为，航向重叠率 80%，旁向重叠率 75%。
- (3) 航高控制：飞马无人机均带有 RTK 模块，定位精度厘米级。航线各个方向外扩 5 条航线，保证设计测区内所有建筑都有全部 5 个角度的倾斜视角影像覆盖。

具体见测区任务区块如图 6 所示。

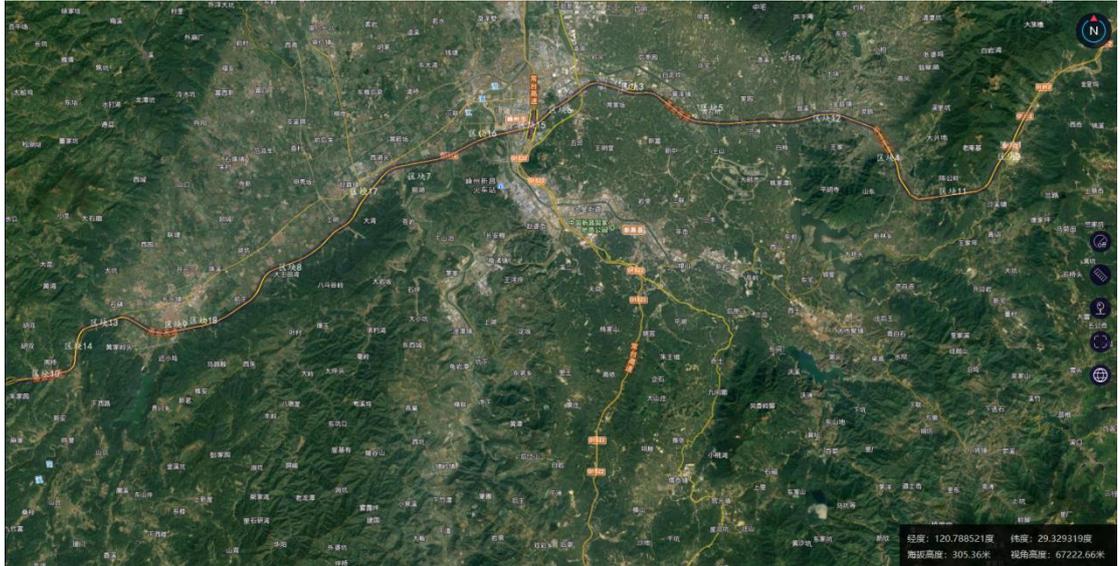


图 6 航测任务区块

表 3 航线设计参数

项目	倾斜摄影要求
影像分辨率	0.028 米
航高设计	180
航向重叠	80%
旁向重叠	75%
影像倾斜角度	下视 90°，前后左右视 45°（水平参考面）
影像倾斜角度改变量	不大于 5°，最大不超过 12%
摄影分区	根据项目作业范围及测区情况划定
测区边界覆盖	航向超出边界不少于两条基线，旁向覆盖超出测区边界线不少于 5 条航线，保证影像全覆盖
拍摄时间	选择测区最有利气象条件，保证影像质量
补摄与重摄	出现相对漏洞和绝对漏洞应补摄
影像质量	影像清晰、层次丰富、反差适中、色调柔和

(4) 对于部分地形起伏较大的地区，可以采用变高飞行，保证所拍摄范围是相同的分辨率。

倾斜摄影数据航拍按规划好的航线进行倾斜数据航拍采集，实际飞行架次，获取测区范围内航摄影像数据并在航飞工作期间及时进行数据处理。

4.3.2 航线设计示意图

使用飞马无人机管家设计带状航线，自行选择外扩航带，航线超过一定距离自行分块，快速、便捷。

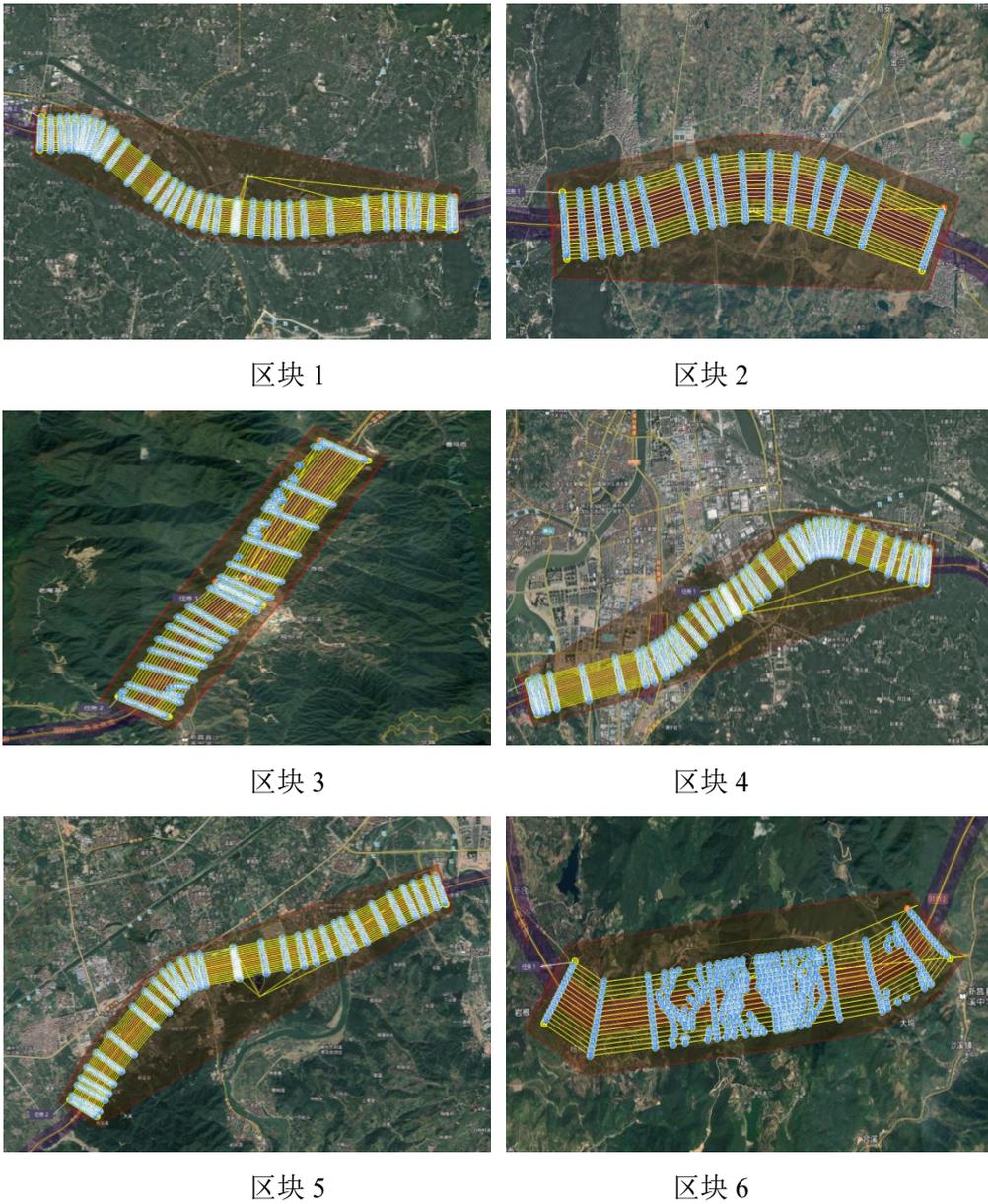


图 7 倾斜航拍航线示意图

测区为典型丘陵地貌，海拔高差最大 600 米，使用无人机管家编辑的变高航线，方便的解决了高差问题，使飞行效率明显提升。避免了以前山区需要飞行多个不同航高的复杂设计。也提升了飞行的安全性。

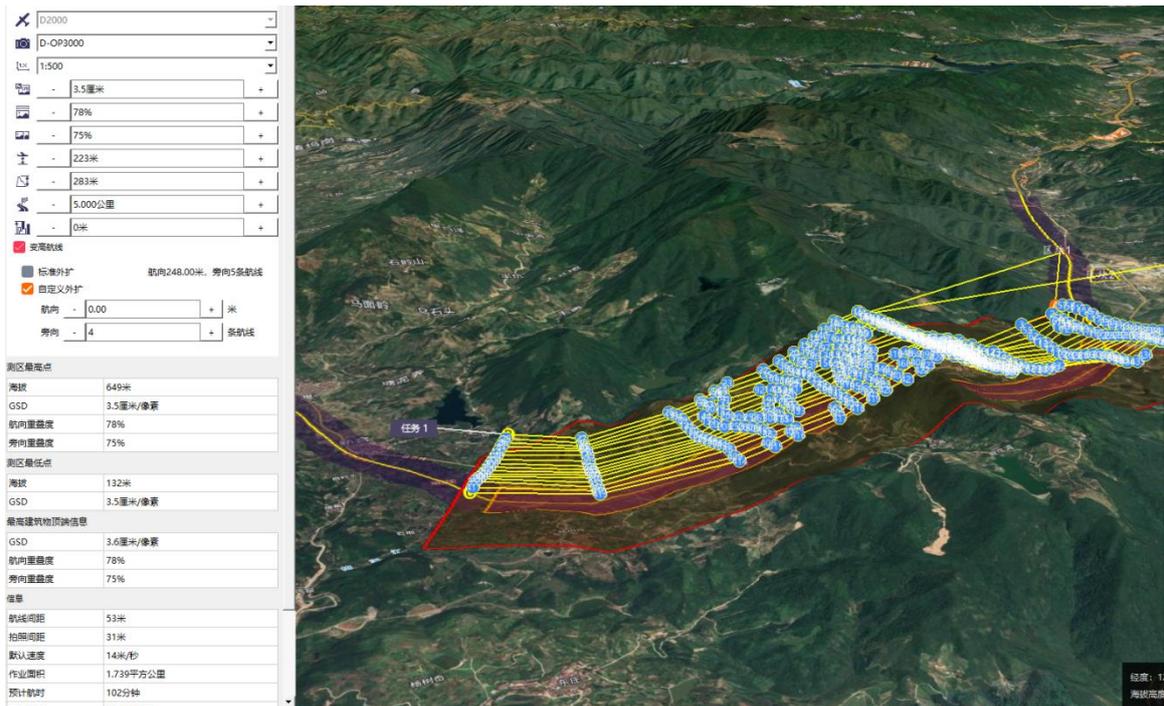


图 8 变高航线示意图



图 9 现场工作照

4.4 像控点测量

4.4.1 像控点布点方案

倾斜摄影区域按照平高区域网的方式布设像片平高控制点；按照目标优于 3 厘米分辨率要求，结合 D200、D2000 无人机带有差分 POS，POS 精度在 5 厘米以内，所以像控点布置密度在 800 米至 1000 米，困难地区不超过 2 千米。

像控点沿着公路两侧均匀分布，平均每千米像控不少于 5 个。



图 10 5KM 像控点位分布示意图



图 11 像控测设工作照

像控坐标测设统一采用浙江省 CORS 测设，测量控制点时每个控制点观测 2 次，每次 20 个历元，每次采样间隔重启仪器，两次测设点位满足平面点位互差 $\leq 3\text{cm}$ ，两次高程互差 $\leq 5\text{cm}$ ，不符合则重新测设，满足限差要求的取两次测量中数作为最终结果，利用 GNSS 接收机采用网络 RTK 方式进行观测。

4.5 数据处理

4.5.1 影像预处理

航摄飞行获取的原始影像数据使用与相机镜头配套的专业系列软件进行图像后处理。对每架次飞行获取的影像数据进行及时、认真地检查和预处理，严格按照匀光、匀色步骤去对航摄影像进行调整生成，最终获得最佳成像效果的影像数据。所有成果进行自身质量检查合格后整理归档，得到最终航摄成果。

我们结合以往倾斜摄影测量数据处理的经验，可在影像质量检查阶段和 Mosaic 阶段对影像颜色进行调整，改善摄区局部因为天气影响导致的有雾、反差较大等颜色问题，以消除因为雾气、反差等因素的影像。数据预处理的质量控制流程如图 12 所示：

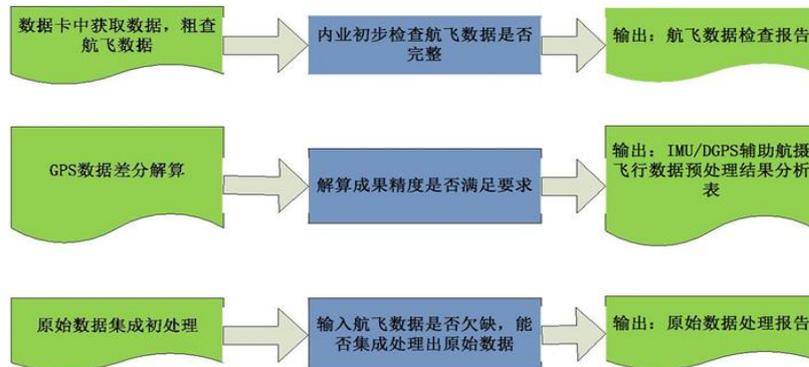


图 12 数据预处理流程图

4.5.2 空三加密

本项目利用空三解算软件 ContextCaptureCenter 进行三维实景建模，该软件自动提取影像匹配特征点、整体平差一体化的自动空中三角测量。通过该软件进行控制点加密解算，获取高精度的像对定向点；空三处理包括影像区域网平差和单像机影像区域网平差，平差方法采用光束法区域网平差。

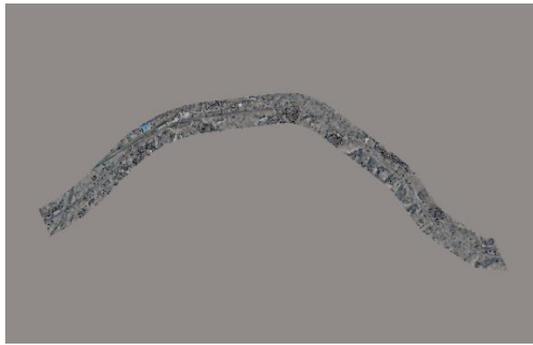
通过空三加密过程，对于内业检核无误的外业像控成果，直接使用外业测量数据提供下工序使用；对于外业无法获得的像控成果，使用空三加密后的成果资料提供下工序使用；对于空三加密过程中发现的精度超限点位，分析原因，确认外业成果有误的情况下，若像控点位于加密区内部，可以舍去。

在项目空中三角测量运算中，出现空中三角测量计算，最终使空中三角测量顺利完成。

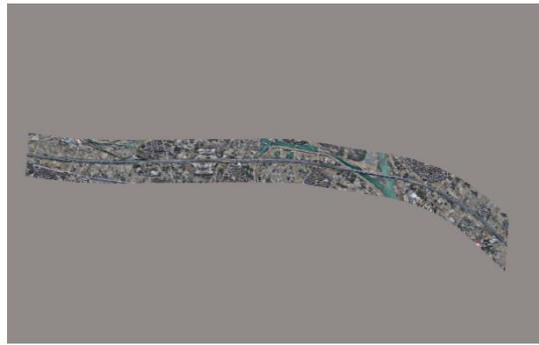
(1) 控制点空三报告

4.6 三维建模

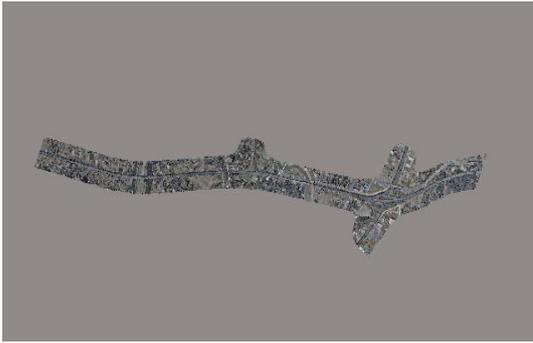
在空三加密的基础上，生成点云数据、自动纹理贴图、最终生成三维模型。模型建立采用全自动化的生产方式，模型生产周期短、成本低，获得倾斜影像后，经过匀光匀色等步骤，通过专业的自动化建模软件 ContextCaptureCenter 生产三维模型，并经过多视角影像的几何校正、联合平差等处理流程，运算生成基于影像的超高密度点云，点云构建 TIN 模型，并以此生成基于影像纹理的高分辨率倾斜摄影三维模型，因此具备倾斜影像的测绘级精度。



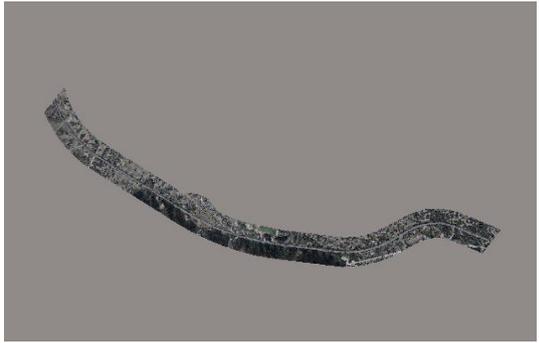
YJGS-K49+500-K60+380



YJGS-K60+380-K67+150



YJGS-K74+880-K84+950



YJGS-k95+130-K105+040

图 13 地理信息数据倾斜模型（部分）





图 14 地理信息数据倾斜模型（局部）

4.7 三维模型修饰

在三维建模的过程中，由于水面等特殊地物在空三加密时无法匹配到正确的连接点，会导致生成的三维模型出现漏洞。我们需要对这些模型漏洞进行编辑与修补。

从三维模型成果中挑选出有漏洞的模型分块，将有漏洞的模型分块导入第三方软件中进行修补；将修补完漏洞后，将模型重新导入 ContextCapture Center Master 软件中，将原漏洞的位置贴上应有的纹理，如图 15 所示：



图 15 模型修饰前



图 16 模型修饰后

并在首批三维数据成果场景生成后采用“反复处理修补——质量控制——再生产”的模式，直到生产出满足要求的三维成果数据。重点在成果中对相关水域，路面杂波等情况进行优化处理。