

# 利用飞马无人机的 实景三维数据生产与成果应用



成都市勘察测绘研究院

Chengdu Institute Of Survey & Investigation

成都市基础地理信息中心

Chengdu Geomatics Center



## ◆ 实景三维特点

- 真实精准：精度高、形状结构外观真实
- 清晰直观：三维立体的认知模式
- 用途广泛：有效反映城市的空间布局

## ◆ 成都市中心城区实景三维生产

- 成都市勘察测绘研究院2017-2018年完成了成都市中心城区420km<sup>2</sup>的实景三维生产
- 生产方式
  - 直升机平台倾斜航空摄影、激光扫描
  - 建筑、桥梁、重要设施单体化



## ◆ 两大问题

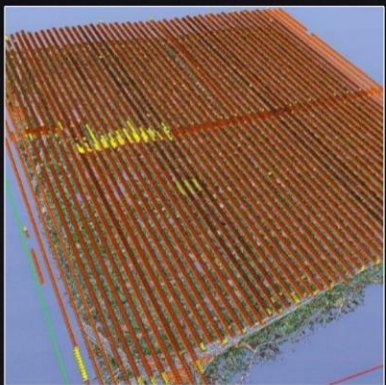
### ■ 如何建设

- 倾斜摄影、LiDAR、贴近摄影
- 移动测量、近景摄影
- 影像自动匹配、自动三维重建
- 单体化、逻辑单体化、切割单体化

### ■ 如何应用

- 城市规划
- 城市建设
- 公共管理
- 新区展示

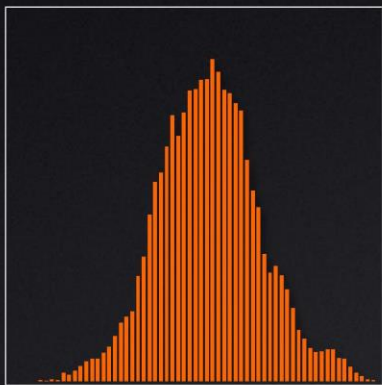




1

## 项目概述

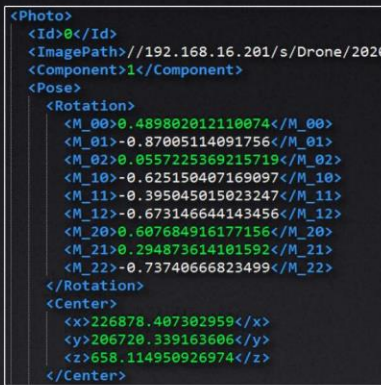
测区情况  
设备选型  
技术路线  
倾斜摄影  
激光扫描  
单体化



2

## 质量控制

飞行质量  
激光点云质量  
倾斜摄影质量  
单体化质量



3

## 优化措施

水准精化  
点云辅助单体化  
航线优化  
影像筛选  
DOM生产



4

## 成果应用

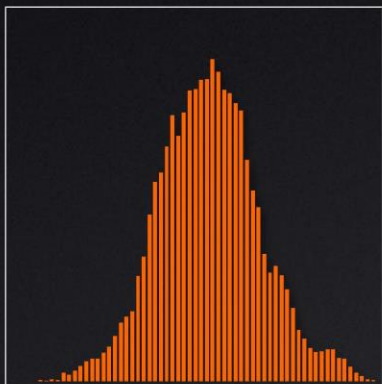
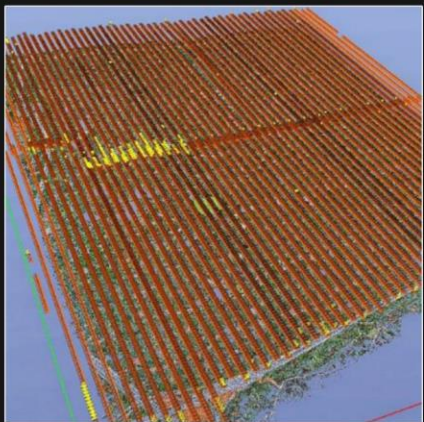
城市建设  
城市规划  
新区展示  
公共管理



5

## 经验总结

实施经验  
推广应用前景  
技术瓶颈



```
<Photo>
<Id>0</Id>
<ImagePath>///192.168.16.201/s/Drone/2026
<Component>1</Component>
<Pose>
  <Rotation>
    <M_00>0.489802012110074</M_00>
    <M_01>-0.87005114091756</M_01>
    <M_02>0.0557225369215719</M_02>
    <M_10>-0.625150407169097</M_10>
    <M_11>-0.395045015023247</M_11>
    <M_12>-0.673146644143456</M_12>
    <M_20>0.607684916177156</M_20>
    <M_21>0.294873614101592</M_21>
    <M_22>-0.73740666823499</M_22>
  </Rotation>
  <Center>
    <x>226878.407302959</x>
    <y>206720.339163606</y>
    <z>658.114950926974</z>
  </Center>
</Photo>
```



1

## 项目概述

测区情况  
设备选型  
技术路线  
倾斜摄影  
激光扫描  
单体化



2

## 质量控制

飞行质量  
激光点云质量  
倾斜摄影质量  
单体化质量

3

## 优化措施

水准精化  
点云辅助单体化  
航线优化  
影像筛选  
DOM生产

4

## 成果应用

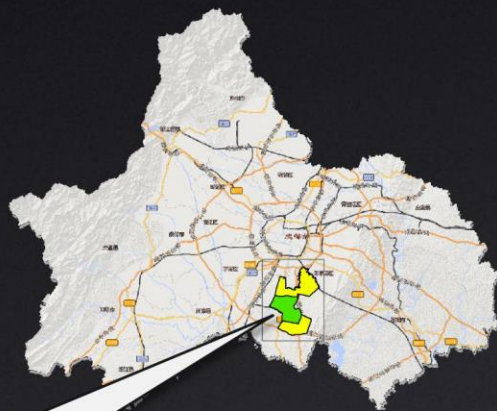
城市建设  
城市规划  
新区展示  
公共管理

5

## 经验总结

实施经验  
推广应用前景  
技术瓶颈

# 1.1 天府新区实景三维项目概述



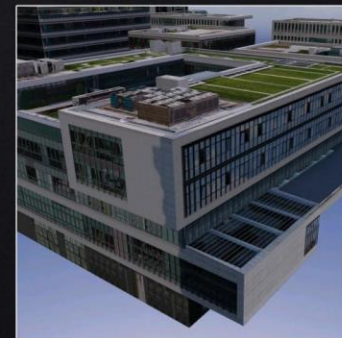
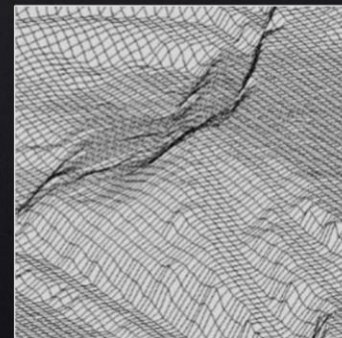
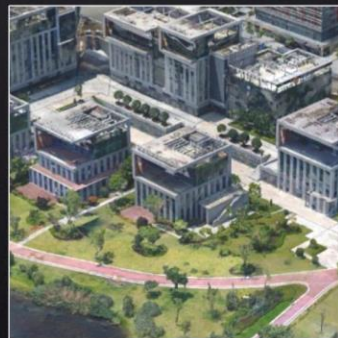
- 2019年测区
- 2020年测区

## ◆ 项目简述

- 为天府新区的城市规划建设、审批管理提供实景三维产品等基础测绘产品。
- 地点：天府新区成都直管区。
- 面积：
  - ① 2019年：天府核心区，面积77平方公里；
  - ② 2020年：向南北扩展，面积143平方公里。

## ◆ 项目成果

1. 建筑、设施、交通的单体化模型(LOD3);
2. 用于1: 500地形图生产的OSGB模型;
3. 1: 500的DOM、DEM。



# 1.2 项目难点、设备选取



## ◆ 项目难点

- 地形：丘陵地形为主、高差起伏超过100米
- 地表：植被覆盖茂密
- 地物：重点建筑项目众多、外观复杂



异形建筑



植被茂密

## ◆ 设备选取

- 飞马D200无人机
  - OP300倾斜摄影模块
  - D-LiDAR200激光扫描模块
- 设备特色
  - 一机多载荷：适应性强、减少硬件成本
  - RTK定位：航线稳定、减少像控点、无需地面基站
  - 变高飞行：适应地形起伏，数据采样率一致。

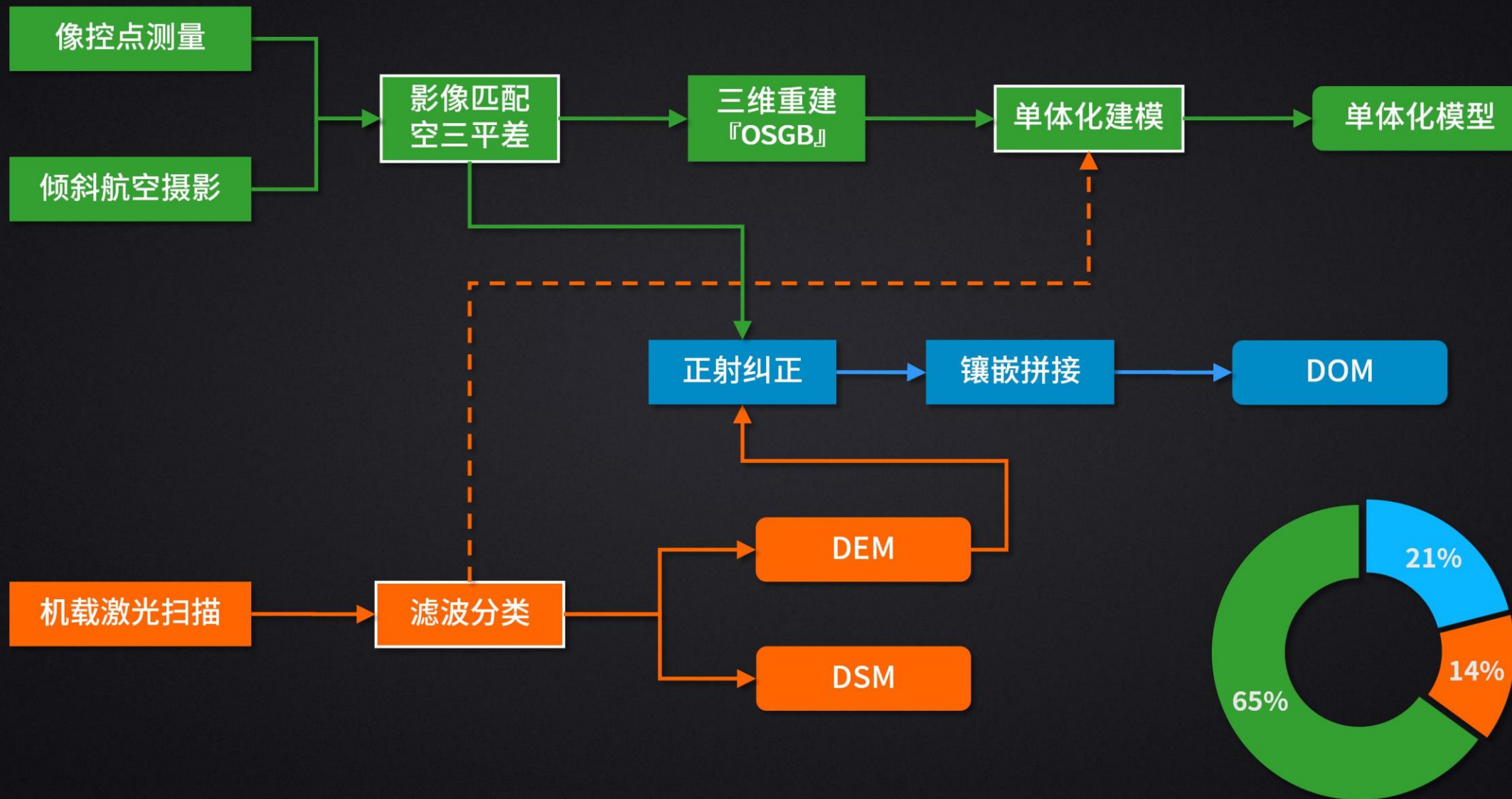


D200无人机及载荷

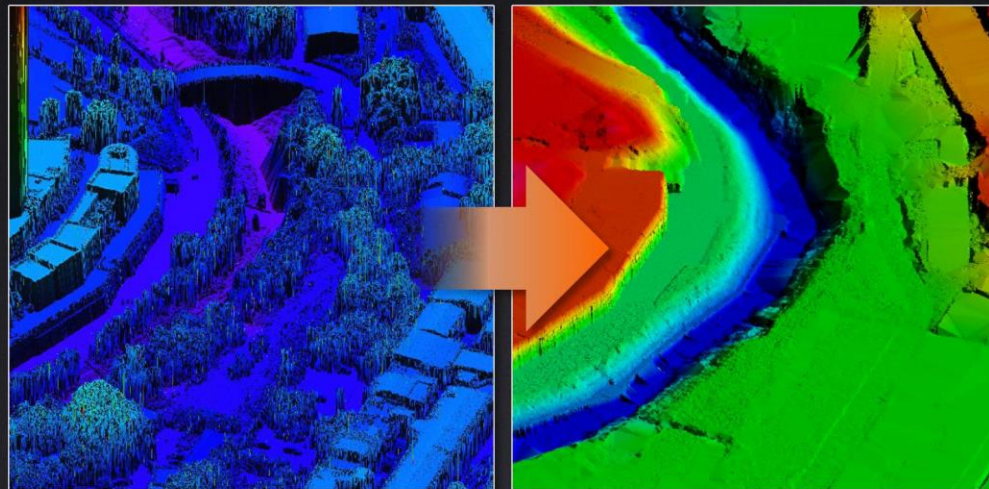


变高飞行

# 1.3 技术路线

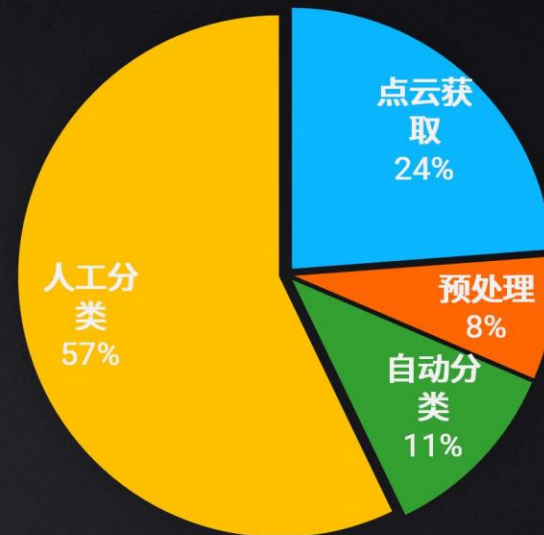


# 1.4 激光点云生产流程



分类前

分类后



## ◆ 无人机飞行作业

- 采样率7点/m<sup>2</sup>
- 重叠度30%、航高180m
- 按照设计航线和扫描参数自动获取。
- 利用似大地水准面精化成果完成点云的高精度高程转换。

## ◆ 滤波分类

- 预处理：高程校准、航带匹配
- 自动分类：根据形态自动分离地面点
- 人工分类：人工修改点云类别

## ◆ 生产效率

- 每架次获取约2.8km<sup>2</sup>
- 平均密度10点/m<sup>2</sup>
- 点云处理2.5km<sup>2</sup>/人/天



# 1.5 倾斜摄影生产流程



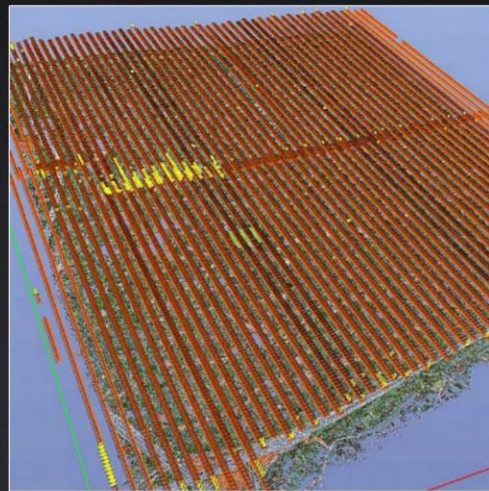
## ◆ 像控点测量

- 硬化地表绘制标记
- 非硬化地表布设标靶
- 均匀分布，平均密度16.2点/km<sup>2</sup>



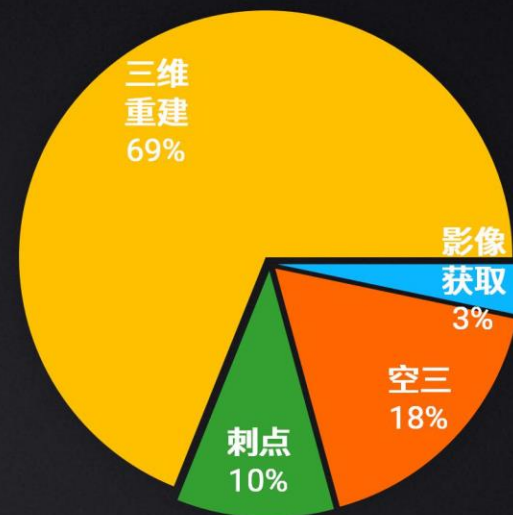
## ◆ 无人机航飞作业

- 分辨率2.4cm
- 重叠度80%/65~75%
- 设计航线自动飞行
- 利用似大地水准面精化成果完成像控点和POS的高精度高程转换。



## ◆ 倾斜影像处理

- 瞰景Smart3D
- 影像匹配、空三平差；
- 像控点标记（刺点）；
- 三维重建。



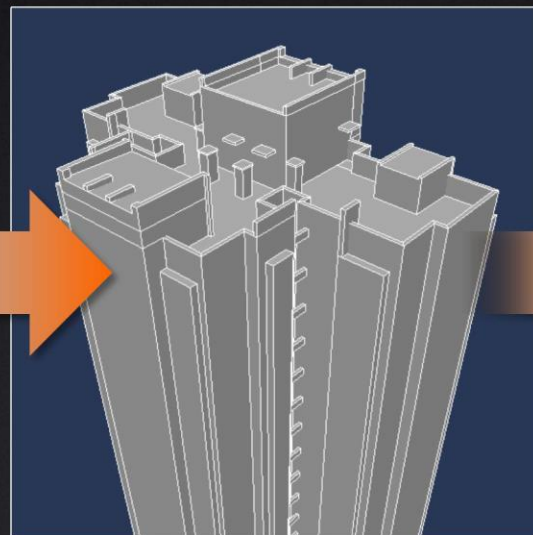
## ◆ 生产效率

- 每架次约4500张有效面积0.8km<sup>2</sup>
- 影像匹配3万张（5km<sup>2</sup>）8~13小时（3节点）
- 三维重建约2.3km<sup>2</sup>/天（6节点）

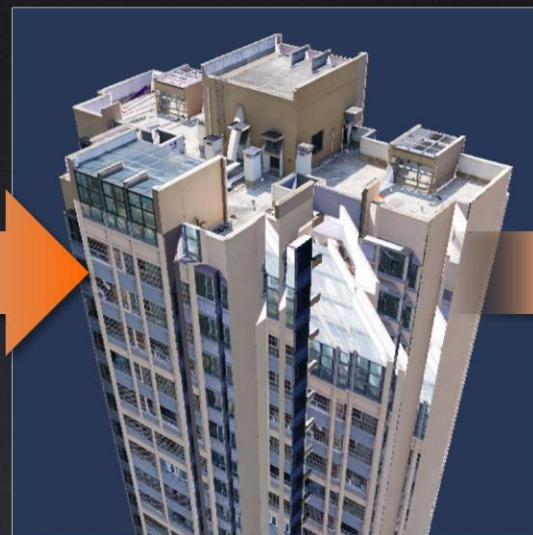
# 1.6 单体化建模



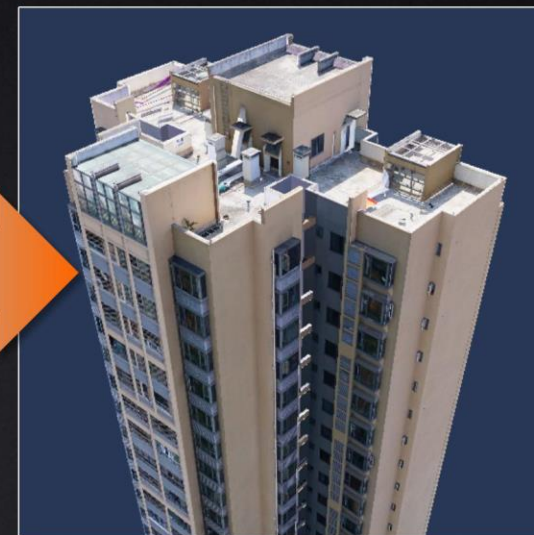
OSGB模型



基础模型



自动纹理



最终成果

## ◆ 基础模型制作

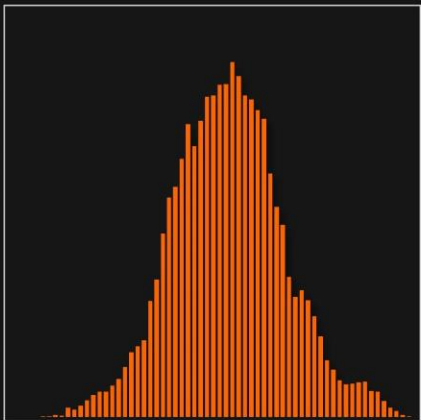
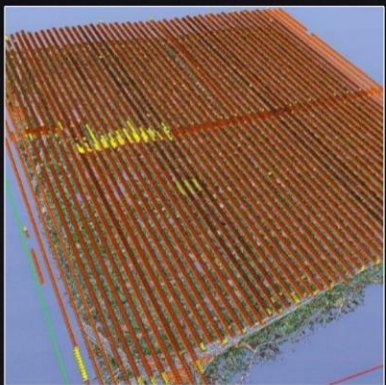
- 简单建筑点云自动建模
- 复杂建筑人工建模
- 以OSGB为参照，人工添加形状结构细节

## ◆ 纹理映射

- 自动纹理映射
- 不合格纹理人工调整影像或编辑纹理
- 重点建筑底层使用地面补拍纹理照片

## ◆ 生产效率

- 独栋普通居民楼4~6小时
- 基础模型制作时间40%
- 纹理编辑时间60%



```

<Photo>
<Id>0</Id>
<ImagePath>///192.168.16.201/s/Drone/2026
<Component>1</Component>
<Pose>
<Rotation>
<M_00>0.489802012110074</M_00>
<M_01>-0.87005114091756</M_01>
<M_02>0.0557225369215719</M_02>
<M_10>-0.625150407169097</M_10>
<M_11>-0.395045015023247</M_11>
<M_12>-0.673146644143456</M_12>
<M_20>0.607684916177156</M_20>
<M_21>0.294873614101592</M_21>
<M_22>-0.73740666823499</M_22>
</Rotation>
<Center>
<x>226878.407302959</x>
<y>206720.339163606</y>
<z>658.114950926974</z>
</Center>

```



1

2

3

4

5

## 项目概述

测区情况  
设备选型  
技术路线  
倾斜摄影  
激光扫描  
单体化

## 质量控制

飞行质量  
激光点云质量  
倾斜摄影质量  
单体化质量



## 优化措施

水准精化  
点云辅助单体化  
航线优化  
影像筛选  
DOM生产

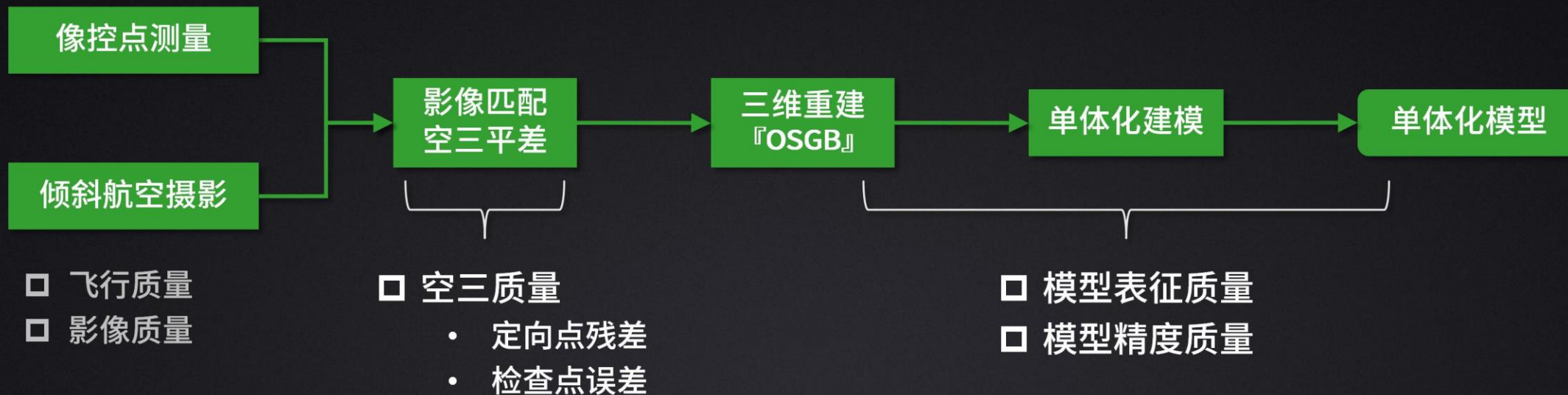
## 成果应用

城市建设  
城市规划  
新区展示  
公共管理

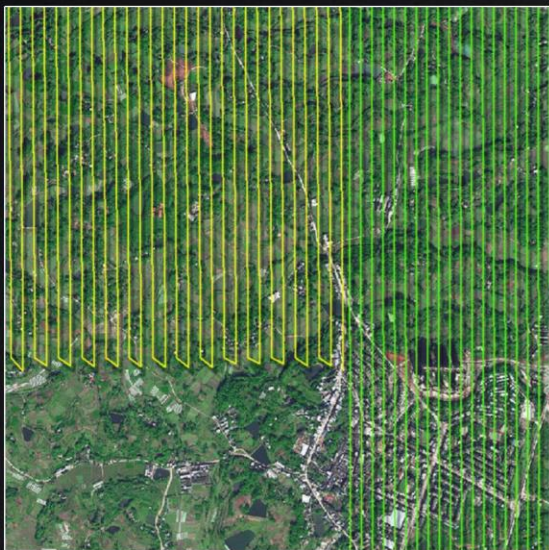
## 经验总结

实施经验  
推广应用前景  
技术瓶颈

## 2.1 质量检查环节



## 2.2 飞行质量检查



### ◆ 完整性检查

- 防止多架次、多机协同作业遗漏航线。

### ◆ 航线检查

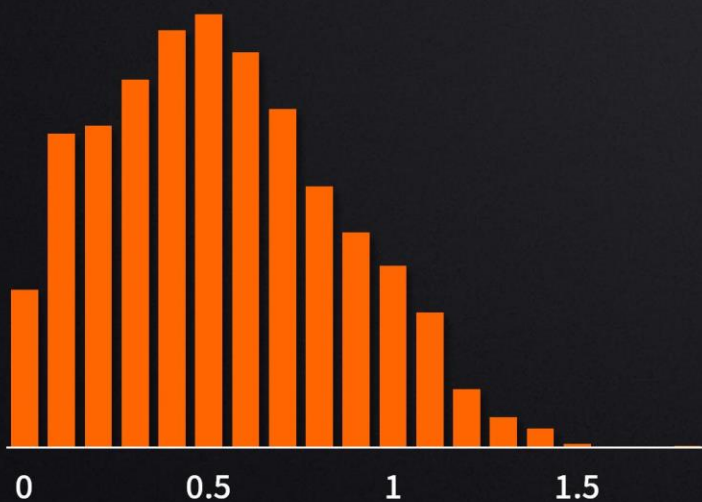
- 检查航线的准确性，同时检查旁向重叠度。

### ◆ 航高检查

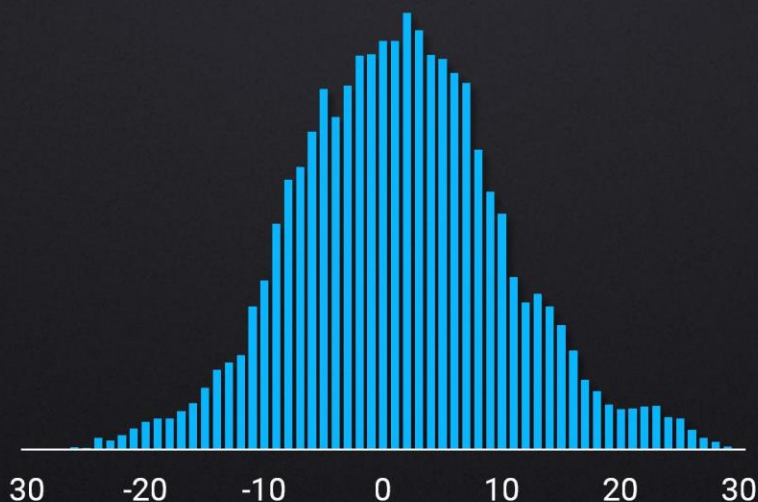
- 以DEM/DSM为基础，检查数据采样率。

### ◆ POS定位精度检查

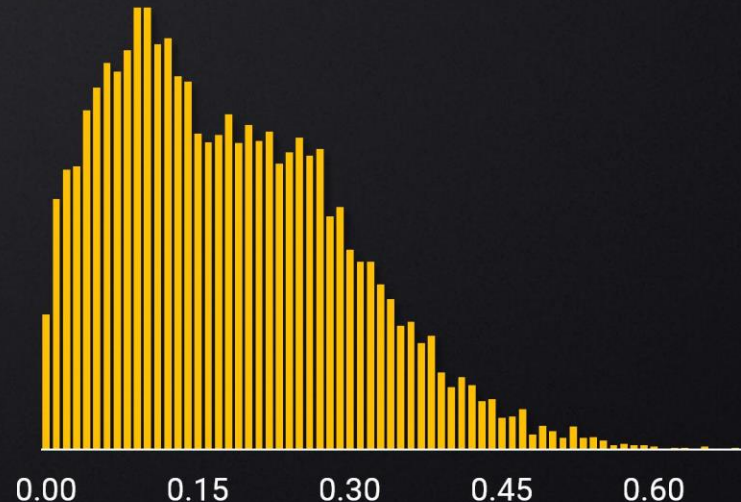
- 选定检校场、空三平差后回溯POS精度。



航线偏移量(m)



航高偏移量(m)



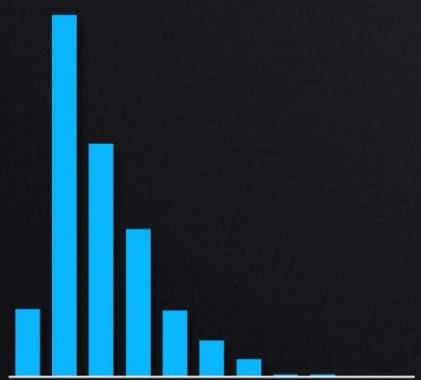
POS误差(m)

## 2.3 OSGB、激光点云质量检查

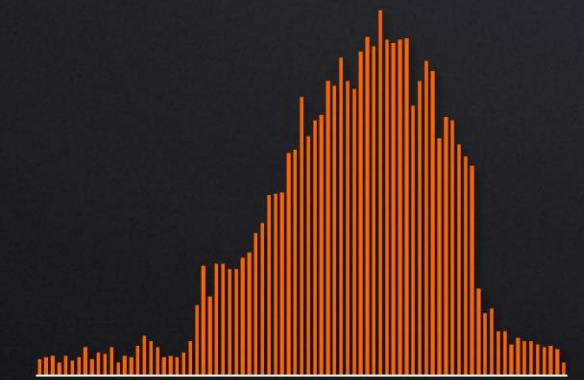


### ◆ OSGB模型质量检查

- 利用地面、地物特征点野外实测值检查精度
- 利用标记模型快速定位检查点位置
- 相比空三报告更能凸显误差，提高成果可靠性



平面误差(cm)



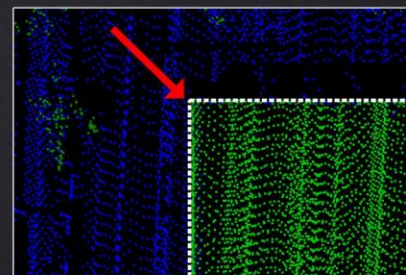
高程误差(cm)

### ◆ 位置精度检查

- 平面精度检查、高程精度检查
- 常见问题：整体偏差、航带分层
- 解决方法：重新匹配检校

### ◆ 滤波分类

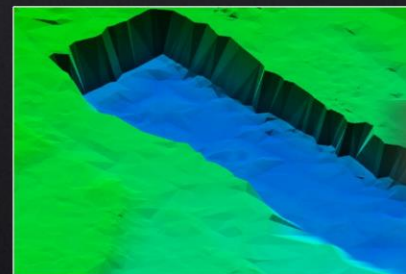
- 常见问题：陡坎等地形突变区域
- 解决方法：人工编辑点云类别



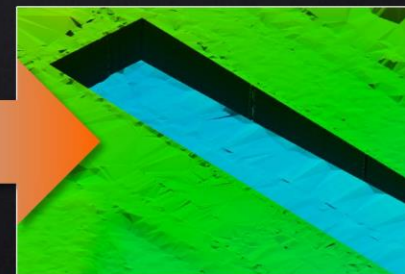
平面检查



高程检查



陡坎缺失

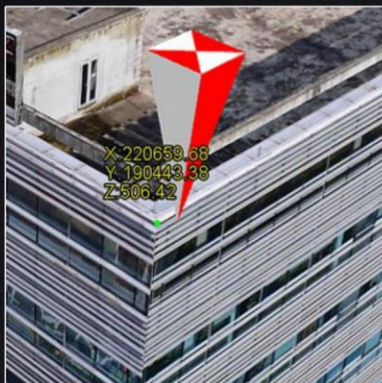


人工分类

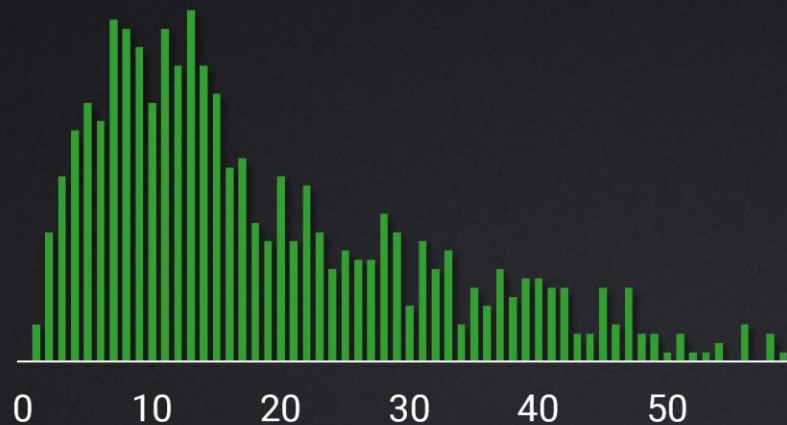
## 2.4 成果精度质量



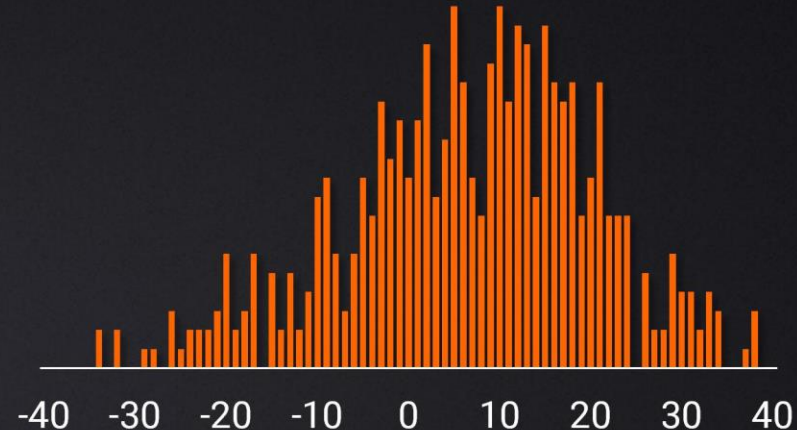
### ◆ 单体化模型精度质量



平面误差(cm)



高程误差(cm)



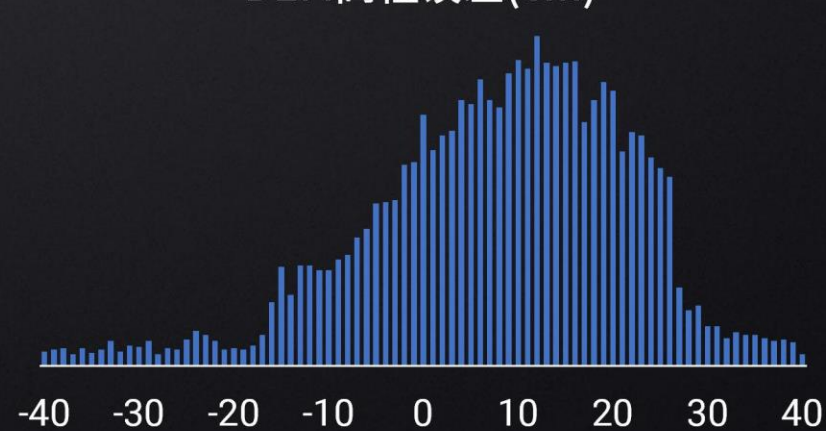
### ◆ DOM、DEM精度质量

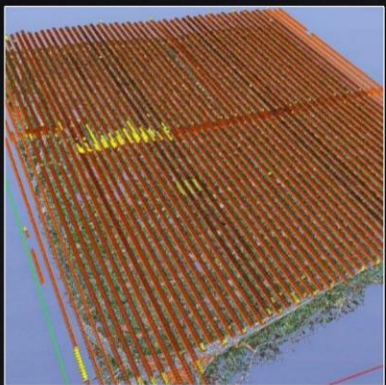


DOM平面误差(cm)



DEM高程误差(cm)

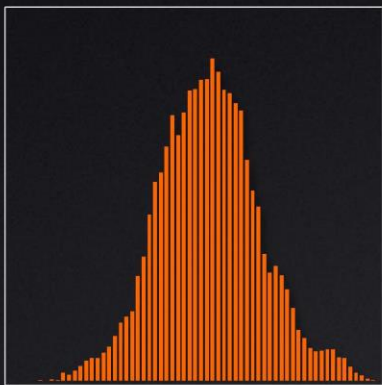




1

## 项目概述

测区情况  
设备选型  
技术路线  
倾斜摄影  
激光扫描  
单体化



2

## 质量控制

飞行质量  
激光点云质量  
倾斜摄影质量  
单体化质量

```
<Photo>
<Id>0</Id>
<ImagePath>///192.168.16.201/s/Drone/2026
<Component>1</Component>
<Pose>
  <Rotation>
    <M_00>0.489802012110074</M_00>
    <M_01>-0.87005114091756</M_01>
    <M_02>0.0557225369215719</M_02>
    <M_10>-0.625150407169097</M_10>
    <M_11>-0.395045015023247</M_11>
    <M_12>-0.673146644143456</M_12>
    <M_20>0.607684916177156</M_20>
    <M_21>0.294873614101592</M_21>
    <M_22>-0.73740666823499</M_22>
  </Rotation>
  <Center>
    <x>226878.407302959</x>
    <y>206720.339163606</y>
    <z>658.114950926974</z>
  </Center>
```

3

## 优化措施

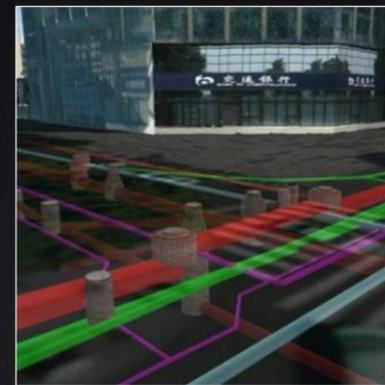
水准精化  
点云辅助单体化  
航线优化  
影像筛选  
DOM生产



4

## 成果应用

城市建设  
城市规划  
新区展示  
公共管理



5

## 经验总结

实施经验  
推广应用前景  
技术瓶颈



# 3.1 航线优化 影像筛选

## ◆ 航线优化

- 相邻分区之间的外扩航线会存在较多重叠。
- 新版无人机管家调整外扩参数，减少重复航线。
- 航线总里程减少10%左右。

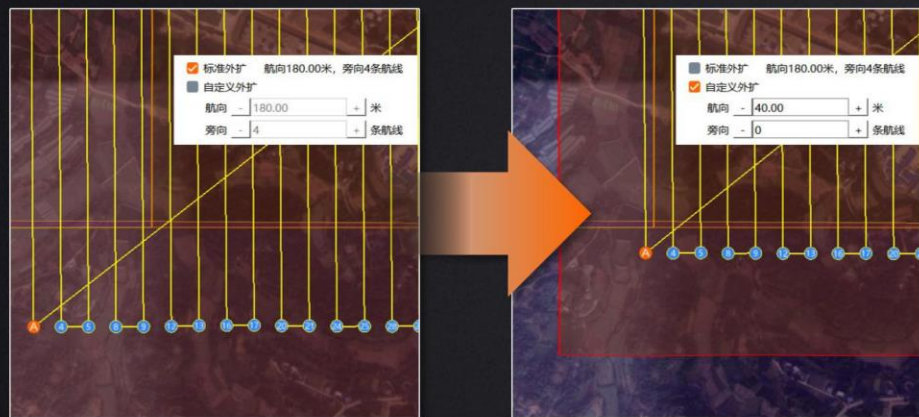
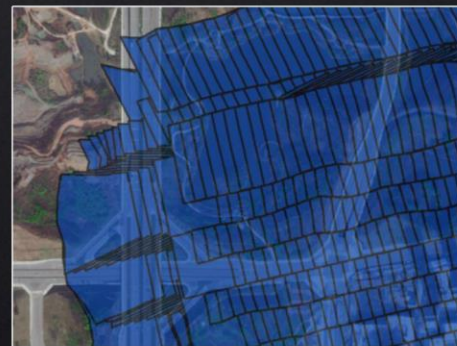
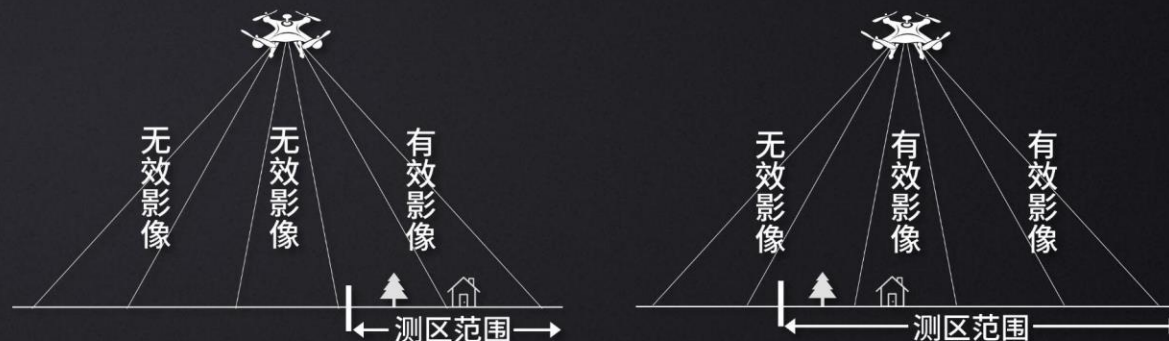


表1 55km<sup>2</sup>区域航线优化效果

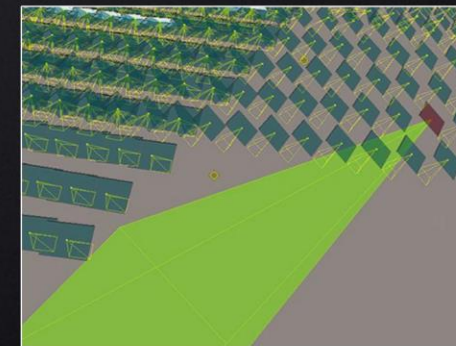
	预计飞行时间 (min)	总里程 (km)	曝光点数量
优化前	1793	1429.038	67548
优化后	1612	1278.993	61123

## ◆ 影像筛选

- 边界附近曝光点存在拍摄范围在测区外的无效影像。
- 影像筛选工具利用影像位置姿态计算影像的地面覆盖范围，识别出无效影像。
- 可减少10%~20%的影像数量，提高空三处理速度，降低处理失败几率。



地面覆盖范围计算



筛选后影像

# 3.1 航线优化 影像筛选

## ◆ 航线优化

- 相邻分区之间的外扩航线会存在较多重叠。
- 新版无人机管家调整外扩参数，减少重复航线。
- 航线总里程减少10%左右。

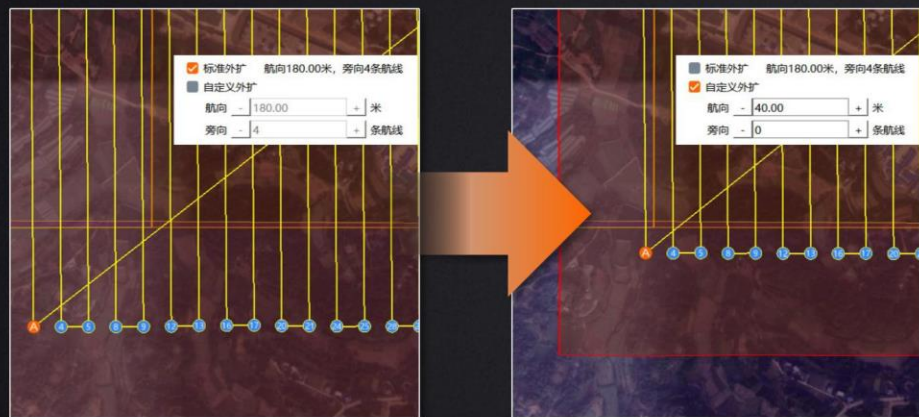


表1 55km<sup>2</sup>区域航线优化效果

	预计飞行时间 (min)	总里程 (km)	曝光点数量
优化前	1793	1429.038	67548
优化后	1612	1278.993	61123

## ◆ 影像筛选

- 边界附近曝光点存在拍摄范围在测区外的无效影像。
- 影像筛选工具利用影像位置姿态计算影像的地面覆盖范围，识别出无效影像。
- 可减少10%~20%的影像数量，提高空三处理速度，降低处理失败几率。

表2 55km<sup>2</sup>区域影像筛选效果

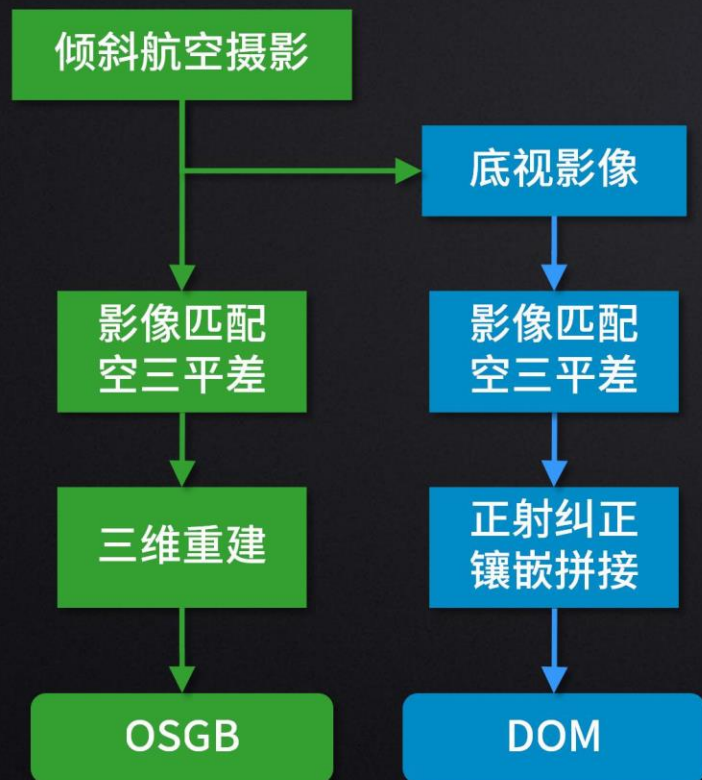
面积/km <sup>2</sup>	全部影像数量	筛选后影像数量	无效影像比重/%
9.3	61095	52262	14.46
7.7	50915	45514	10.61
13.3	82320	75950	7.74
8.6	53275	48304	9.33
5.0	34125	29825	12.60
6.3	45025	40740	9.52
6.8	44645	39931	10.56

## 3.2 利用倾斜影像空三成果的DOM生产

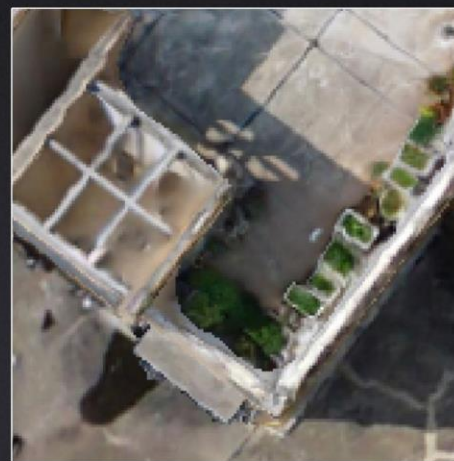


### ◆ 常规DOM生产流程

- 空三平差、正射纠正、镶嵌拼接
  - 重新做空三
- 倾斜摄影模型直出
  - 无需重新空三
  - 模型缺陷直接体现



### ■ 倾斜摄影模型输出TDOM



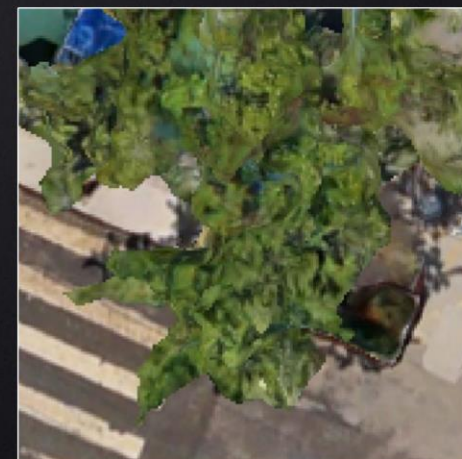
建筑边缘扭曲



道路扭曲



水面漏洞



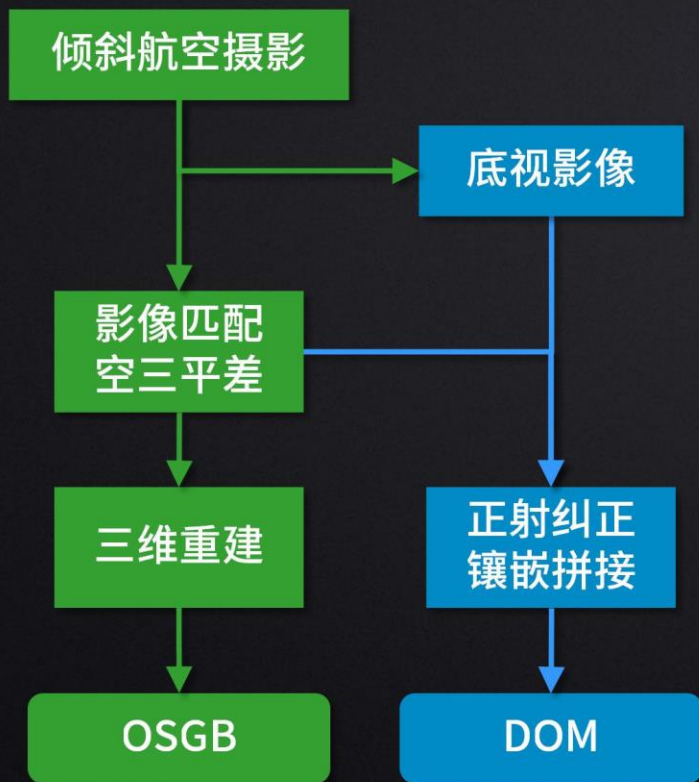
树木失真

# 3.2 利用倾斜影像空三成果的DOM生产



## ◆ 改进DOM生产流程

- 多基线、大基高比倾斜影像具有更高的定向精度
- 从倾斜影像空三成果中提取影像外方位元素
- 对旋转角系统进行转换，实现空三成果重复利用
- 定向精度高、无需再次空三处理
- 不同软件系统的影像姿态成果实现通用



## ■ 旋转角系统转换计算

```
<Photo>
  <Id>0</Id>
  <ImagePath>//192.168.16.201/s/Drone/2026
  <Component>1</Component>
  <Pose>
    <Rotation>
      <M_00>0.489802012110074</M_00>
      <M_01>-0.87005114091756</M_01>
      <M_02>0.0557225369215719</M_02>
      <M_10>-0.625150407169097</M_10>
      <M_11>-0.395045015023247</M_11>
      <M_12>-0.673146644143456</M_12>
      <M_20>0.607684916177156</M_20>
      <M_21>0.294873614101592</M_21>
      <M_22>-0.73740666823499</M_22>
    </Rotation>
    <Center>
      <x>226878.407302959</x>
      <y>206720.339163606</y>
      <z>658.114950926974</z>
    </Center>
  </Pose>
</Photo>
```

XML  
空三  
文件

角度  
计算

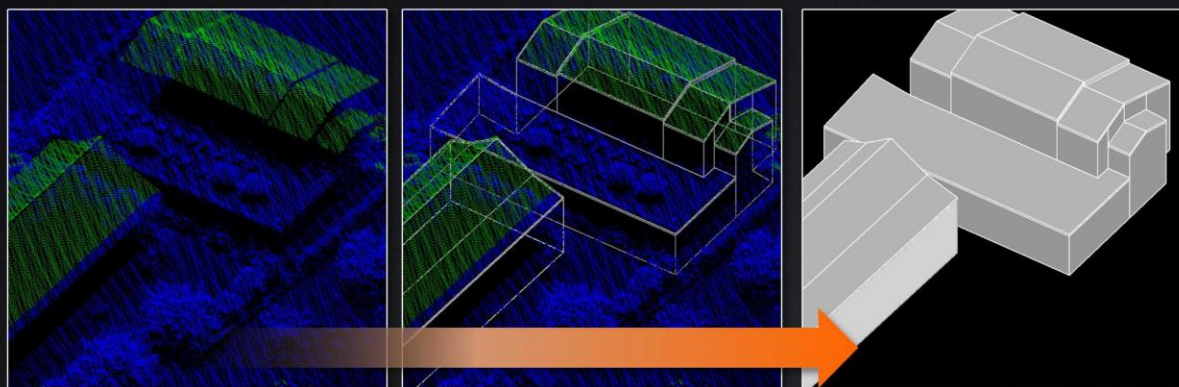
转换  
成果



$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \omega & 0 & \sin \omega \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \omega & 0 & \cos \omega \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & -\cos \varphi \end{bmatrix}$$

ID	C	East X	North Y	Height	Omega	Phi	Kappa
0804...	2288...	204497...	657...	5.4430	1.2461	37.2627	
0804...	2289...	204465...	658...	5.6964	2.3002	37.0667	
0804...	2289...	204434...	658...	6.0364	1.4833	36.8085	
0804...	2289...	204402...	657...	5.1692	1.9833	36.8693	
0804...	2289...	204371...	657...	6.7638	1.8497	37.1502	
0804...	2290...	204340...	657...	7.9700	1.7749	36.7033	

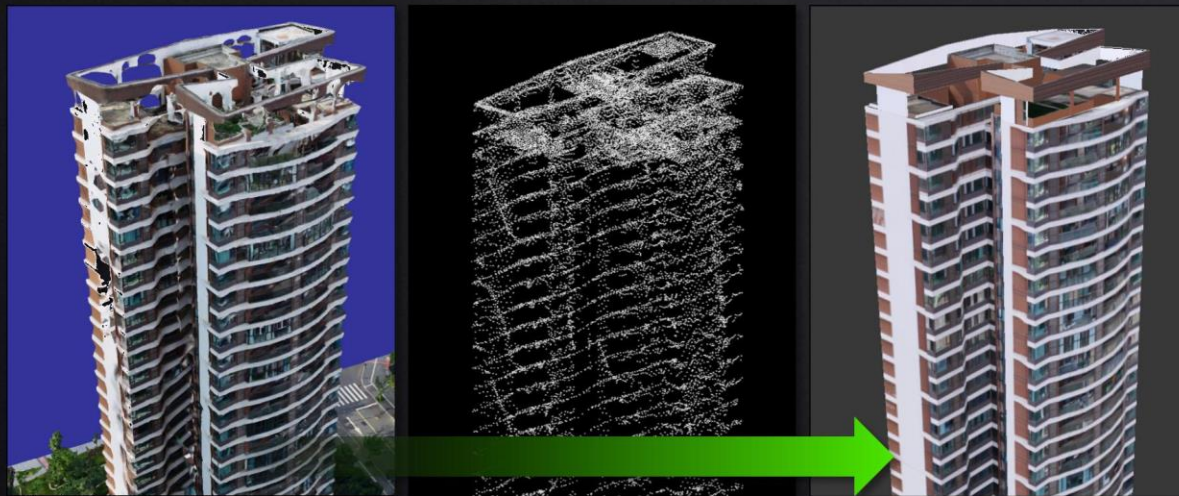
### 3.3 点云辅助单体化



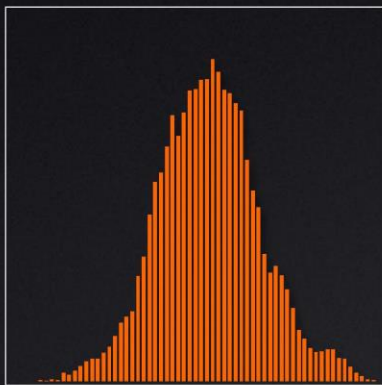
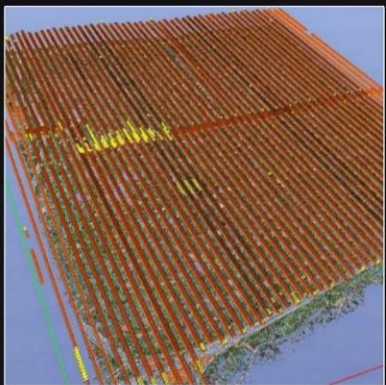
简单建筑自动单体化

#### ◆ 激光点云辅助单体化

- 利用点云自动建模，建模速度快、精度高
- 简单建筑单体化可以直接使用
- 复杂模型需要综合倾斜影像、地面影像、OSGB模型补充结构细节
- 倾斜影像三维重建前即可完成，减少单体化等待时间



复杂建筑综合单体化



```

<Photo>
  <Id>0</Id>
  <ImagePath>//192.168.16.201/s/Drone/2026
  <Component>1</Component>
  <Pose>
    <Rotation>
      <M_00>0.489802012110074</M_00>
      <M_01>-0.87005114091756</M_01>
      <M_02>0.0557225369215719</M_02>
      <M_10>-0.625150407169097</M_10>
      <M_11>-0.395045015023247</M_11>
      <M_12>-0.673146644143456</M_12>
      <M_20>0.607684916177156</M_20>
      <M_21>0.294873614101592</M_21>
      <M_22>-0.73740666823499</M_22>
    </Rotation>
    <Center>
      <x>226878.407302959</x>
      <y>206720.339163606</y>
      <z>658.114950926974</z>
    </Center>
  </Pose>
</Photo>

```



1

2

3

4

5

## 项目概述

测区情况  
设备选型  
技术路线  
倾斜摄影  
激光扫描  
单体化

## 质量控制

飞行质量  
激光点云质量  
倾斜摄影质量  
单体化质量

## 优化措施

水准精化  
点云辅助单体化  
航线优化  
影像筛选  
DOM生产

## 成果应用

城市建设  
城市规划  
新区展示  
公共管理

## 经验总结

实施经验  
推广应用前景  
技术瓶颈



## 4.1 城市建设



- 实景三维真实精准呈现城市各类地物的位置和外观现状，为市政建设提供精确三维基础数据。
- 成都市杉板桥路市政改造工程设计阶段BIM模型和实景三维叠加，精准评估工程与现状环境协调性，优化设计方案。



# 4.1 城市建设



- 实景三维真实精准呈现城市各类地物的位置和外观现状，为市政建设提供精确三维基础数据。
- 成都市杉板桥路市政改造工程设计阶段BIM模型和实景三维叠加，精准评估工程与现状环境协调性，优化设计方案。





## 4.1 城市建设



- 实景三维真实精准呈现城市各类地物的位置和外观现状，为市政建设提供精确三维基础数据。
- 成都市杉板桥路市政改造工程设计阶段BIM模型和实景三维叠加，精准评估工程与现状环境协调性，优化设计方案。



## 4.2 城市规划



- 天府新区地上地下一体化三维规划辅助决策系统
- 将规划报建三维模型和现状实景三维模型进行综合协同的三维展示和空间分析，实现真实周边环境的设计方案评审和对比，进而确保规划报建项目与周边环境的协调性，达到优化城市空间的目的。



## 4.3 重点区域展示



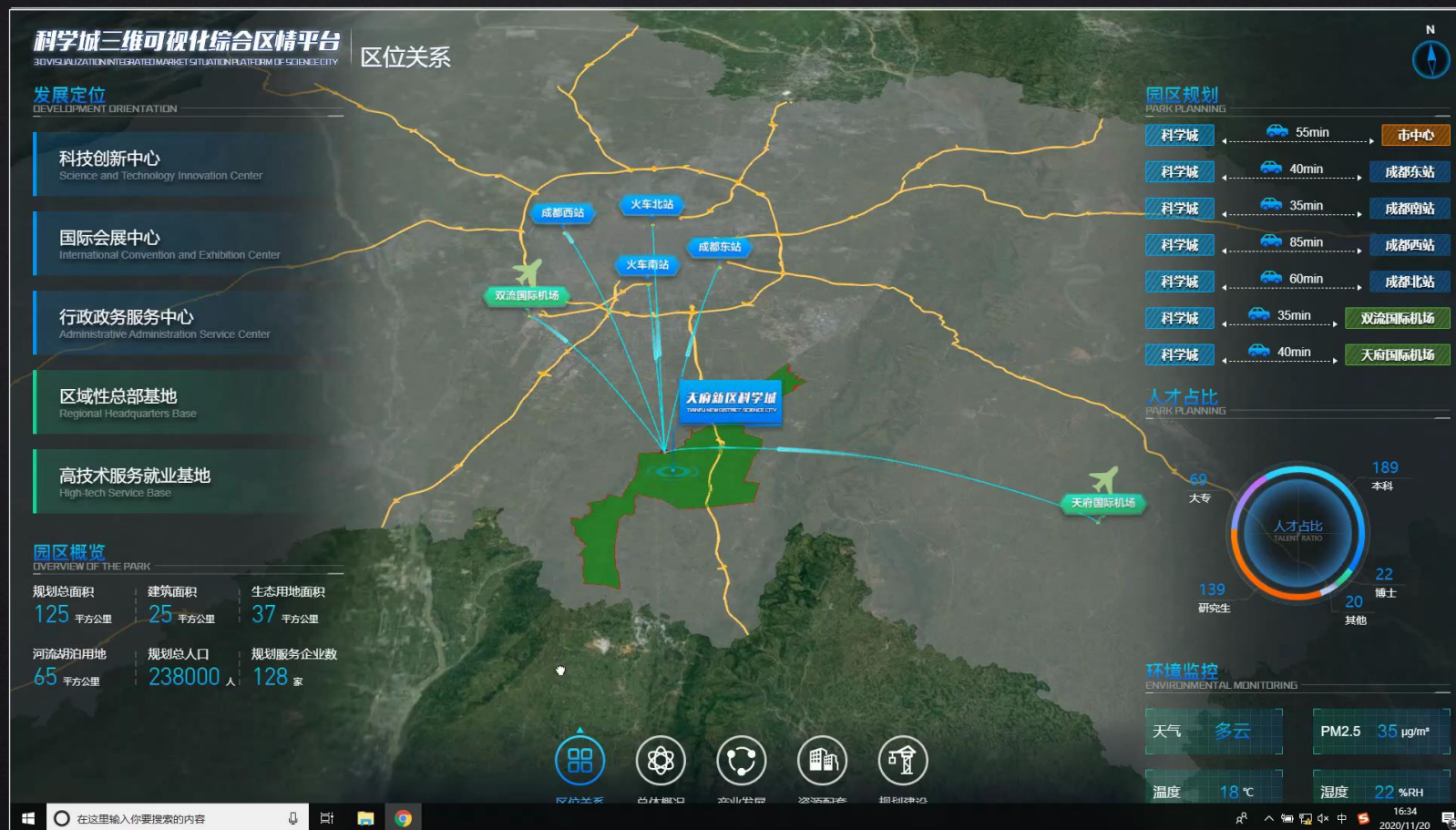
- 实景三维基础上增强建筑、水面、环境的光影效果，真实再现场景风貌。
- 具有更真实的体验感和互动性，可用于城市形象宣传、重点区域建设方案规划、推进重大项目落地。





## ◆ 城市管理——成都科学城三维可视化综合区情平台

- 实景三维数据成果为基础，计划建设成将城市的经济、建设、人文、政务信息、公众信息融合于一体的基础平台，为科学城功能区的城市规划、建设、管理工作，以及向企业和社会公众提供完善的综合信息服务。



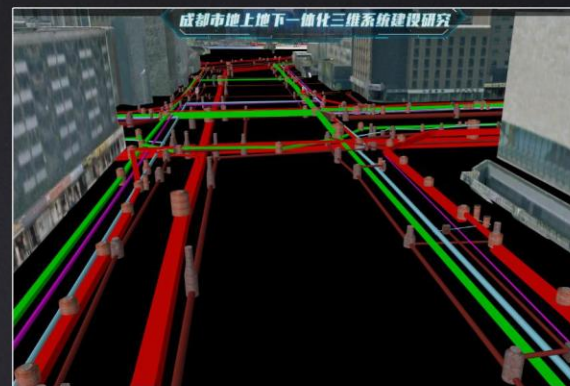


### ◆ 城市管理——成都市地上地下三维一体化信息系统

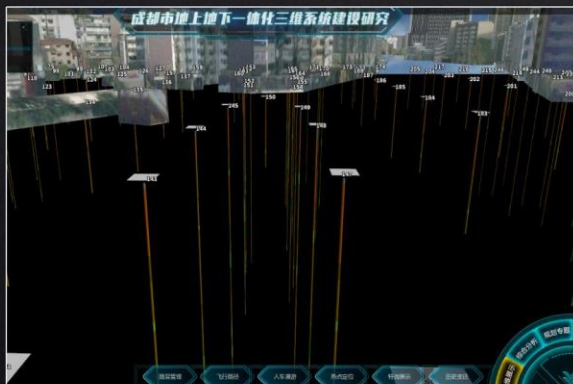
- 成都市地上地下三维一体化信息系统，集成了实景三维模型、规划模型、地下管线、地质数据等。
- 将三维数据对象从地表扩展至地下，实现城市整体面貌和全空间要素的全面感知。



三维查询



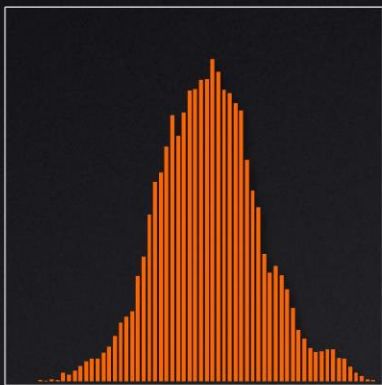
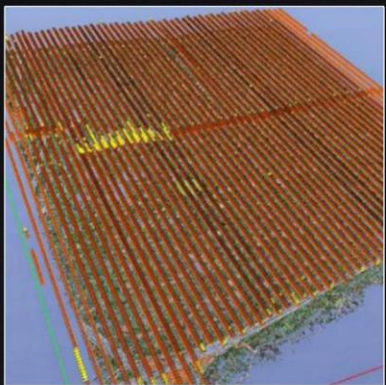
地下管线



地质钻孔



地质模型



```
<Photo>
<Id>0</Id>
<ImagePath>///192.168.16.201/s/Drone/2020
<Component>1</Component>
<Pose>
<Rotation>
<M_00>0.489802012110074</M_00>
<M_01>-0.87005114091756</M_01>
<M_02>0.0557225369215719</M_02>
<M_10>-0.625150407169097</M_10>
<M_11>-0.395045015023247</M_11>
<M_12>-0.673146644143456</M_12>
<M_20>0.607684916177156</M_20>
<M_21>0.294873614101592</M_21>
<M_22>-0.73740666823499</M_22>
</Rotation>
<Center>
<x>226878.407302959</x>
<y>206720.339163606</y>
<z>658.114950926974</z>
</Center>
```



1

2

3

4

5

## 项目概述

测区情况  
设备选型  
技术路线  
倾斜摄影  
激光扫描  
单体化

## 质量控制

飞行质量  
激光点云质量  
倾斜摄影质量  
单体化质量

## 优化措施

水准精化  
点云辅助单体化  
航线优化  
影像筛选  
DOM生产

## 成果应用

城市建设  
城市规划  
新区展示  
公共管理

## 经验总结

实施经验  
推广应用前景  
技术瓶颈





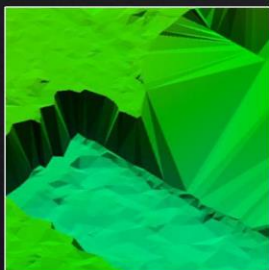
## ◆ 实施经验

- ☑ 飞马无人机在实景三维生产中具有较大的技术优势
- ☑ 机载激光扫描在植被茂密地区能确保地面的采样率
- ☑ 倾斜摄影中通过航线优化、影像筛选、空三成果复用等方式优化效率
- ☑ 点云自动建模可以减少单体化建模时间
- ☑ 各环节的质量控制有助于实景三维成果的质量与可靠性
- ☑ 挂接属性的单体化实景模型是建设智慧城市、城市信息系统(CIM)的必要条件



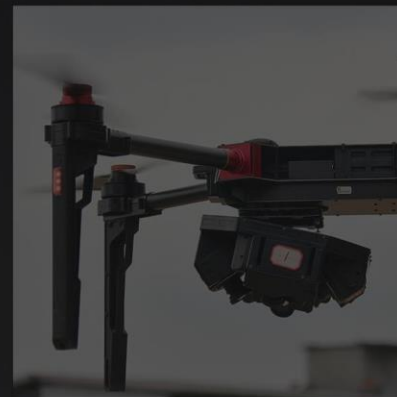
## ◆ 推广应用前景

- 在城市规划、建设、精细管理中均具有非常广阔的前景
- 更小颗粒度和更丰富属性的实景三维是新型三维地理实体体系中的重要基础
- 如何拓展实景三维成果应用的广度和深度，需要各行各业的深入的交流和研究



## ◆ 技术瓶颈

- 弱纹理区域的影像特征提取、特征匹配
- 激光点云自动分类算法准确性
- 模型单体化方式和生产效率。



分享完毕 恳请指正

