

ICS 93.020
CCS E 48

T/JXEA

江西省工程师联合会团体标准

T/JXEA 268—2026

无人机三维建模应用技术规程

Technical Code for Application of UAV 3D Modeling

（征求意见稿）

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

江西省工程师联合会 发布

目 录

前 言	3
引 言	4
1. 范 围	5
2. 规范性引用文件	5
3. 术语和定语	5
4. 基本规定	6
5. 航摄前期准备	7
6. 像控点测量	7
7. 无人机航摄作业	8
8. 空三加密处理	9
9. 点云数据处理	10
10. 纹理映射处理	11
11. 三维模型构建	12
12. 模型精度检测	12
13. 模型成果整理	13
14. 模型应用规范	14
15. 安全作业管理	16
16. 全过程质量控制	17
17. 成果交付与验收	18
18. 模型维护与更新	19
19. 数据传输规范	20
20. 应急处置预案	21
21. 成果档案管理	22

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江西省工程师联合会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引言

在当今科技飞速发展的时代，无人机三维建模技术凭借其高效、精准、灵活等显著优势，在众多行业中得到了广泛应用。无人机三维建模能够快速获取地理空间信息，构建高精度的三维模型，为各行业的决策和管理提供有力支持。在工程建设领域，无人机三维建模可用于地形测绘、建筑设计、施工进度监测等，帮助工程师更直观地了解项目现场情况，优化设计方案，提高施工效率和质量。在农业领域，它能用于农田地形分析、作物生长监测、病虫害预警等，助力精准农业的发展，提高农业生产效益。在环境保护方面，无人机三维建模可对生态环境进行动态监测，及时发现环境变化和问题，为环境保护决策提供科学依据。此外，在城市规划、文物保护、应急救援等领域，无人机三维建模也发挥着重要作用。然而，目前无人机三维建模应用缺乏统一的技术规程和标准，导致不同项目之间的数据质量、处理方法和成果应用存在差异，影响了该技术的进一步推广和应用。为了规范无人机三维建模应用，提高其技术水平和应用效果，促进各行业的信息化和智能化发展，特制定本规程。本规程是在充分调研和分析国内外相关技术和标准的基础上，结合我国实际应用需求和行业特点编制而成。它将为无人机三维建模的各个环节提供明确的技术要求和操作指南，确保建模过程的科学性、规范性和可靠性，推动无人机三维建模技术在各行业的健康、有序发展。

无人机三维建模应用技术规程

1. 范围

本规程规定了无人机三维建模应用场景、作业范围及精度要求。本规程适用于多种无人机三维建模应用场景，涵盖地形测绘、城市规划、建筑监测、矿山测量、文物保护等领域。在地形测绘中，可快速获取大面积地形数据，为工程规划提供基础资料；城市规划方面，能构建城市三维模型，辅助进行城市设计和布局优化；建筑监测时，可实时监测建筑物的结构变化和外观状况；矿山测量可准确把握矿山地形和储量；文物保护能对文物进行高精度三维建模，实现数字化存档。作业范围包括从数据采集到模型生成的全流程，涉及无人机飞行作业、数据预处理、三维建模算法应用及模型后处理等环节。精度要求根据不同应用场景和项目需求而定，在地形测绘中，平面位置精度和高程精度需满足相应比例尺的测绘规范；城市规划 and 建筑监测中，模型的几何精度和纹理精度要达到一定标准，以保证模型的真实性和实用性；矿山测量和文物保护对精度要求更为严格，需确保模型能准确反映目标物体的特征和细节。

2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14950—2020 摄影测量与遥感术语

GB/T 23236—2009 数字航空摄影测量 空中三角测量规范

GB/T 30318—2013 地理信息 数据质量

GB/T 35634—2017 电力线路三维建模技术规范

CH/T 3015—2019 低空数字航空摄影测量内业规范

CH/T 8024—2019 机载激光雷达数据获取技术规范

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

1 无人机三维建模

利用无人机获取影像数据，经处理构建三维模型的技术。

2 航摄规划

对无人机飞行航线、高度、重叠度等参数进行预先设定。

3 影像数据

无人机飞行中拍摄的包含地物信息的图像资料。

4 点云数据

通过处理影像得到的具有三维坐标的点集合。

5 三维模型精度

模型与真实地物在几何尺寸等方面的相符程度。

6 纹理映射

将影像纹理信息赋予三维模型表面的操作。

4. 基本规定

本部分依据 GB/T 39602-2020《无人机航摄系统技术要求》制定，明确无人机三维建模作业需遵循安全合规、精度达标、数据完整、流程规范的基本原则。作业人员需具备无人机驾驶资质及测绘相关专业技能，设备配置应涵盖航摄无人机、POS 系统、像控测量设备、数据处理终端等。

4.1 作业基本原则

作业前需开展现场踏勘，评估作业区域空域、地形、电磁环境等条件；作业过程需严格执行空域申请流程，遵守航空飞行管制规定；作业成果需满足工程应用的精度与完整性要求。

4.2 人员资质要求

无人机操控人员需持有民航局颁发的无人机驾驶员执照，数据处理人员需具备测绘或遥感相关专业中级及以上职称，项目负责人需具备 5 年以上无人机测绘项目管理经验。

4.3 设备配置要求

航摄无人机需满足像元尺寸 $\leq 5.6\mu\text{m}$ 、飞行稳定性误差 $\leq 0.5\text{m/s}$ 的指标；POS 系统定位精度需达到 $\pm 0.1\text{m}$ ，姿态测量精度需达到 $\pm 0.05^\circ$ ；像控测量设备需采用 RTK，平面精度 $\leq \pm 1\text{cm}$ ，高程精度 $\leq \pm 2\text{cm}$ ；数据处理终端需配置 32G 以上内存、RTX3060 及以上显卡，支持点云处理、三维建模软件运行。

4.4 作业流程管控

作业需划分为航摄前期准备、像控点测量、无人机航摄作业、空三加密处理、点云数据处理、纹理映射处理、三维模型构建、模型精度检测八个环节，各环节需形成完整的作业记录与成果文件。

4.5 安全管理要求

作业区域需设置安全警戒范围，配备应急救援设备；恶劣天气条件下需停止作业，包括风速 ≥ 8 级、降雨强度 \geq 中雨、能见度 $\leq 1\text{km}$ 的情况；航摄过程中需实时监控无人机飞行状态，异常情况需立即执行返航程序。

4.6 数据保密要求

作业获取的涉密数据需严格遵守国家保密法律法规，存储介质需采用加密设备，成果交付需履行保密审查流程。

4.7 成果归档要求

作业成果需包括原始航摄数据、像控点测量数据、空三加密成果、点云数据、纹理数据、三维模型文件及作业报告，归档格式需符合 GB/T 24353-2009《测绘成果元数据》要求。

5. 航摄前期准备

开展无人机三维建模作业前，需完成无人机设备检查、航线规划设计及像控点布设方案制定三项核心工作，确保航摄作业前期条件完备。

5.1 无人机设备检查

需检查无人机机身外观无破损、螺旋桨无裂纹，电池电量需达到总容量的 80%以上；需检查相机镜头清洁无污渍，快门响应正常，ISO 感光度调节范围覆盖 100–3200；需检查 POS 系统、遥控器、图传设备电量充足，信号传输距离 $\geq 5\text{km}$ ；需开展地面站软件调试，确保航线规划、飞行控制、数据存储功能正常。

5.2 航线规划设计

需根据作业区域地形特征选择正射、倾斜或组合航摄模式，平原区域优先采用正射航摄，复杂地形区域需采用倾斜航摄；需设置航摄重叠度，航向重叠度 $\geq 80\%$ ，旁向重叠度 $\geq 60\%$ ；需规划飞行高度，确保地面采样距离 $\text{GSD} \leq 5\text{cm}$ ，飞行高度 $H = \text{GSD} \times f / \text{px}$ ，其中 f 为相机焦距， px 为像元尺寸；需设置飞行速度 $\leq 10\text{m/s}$ ，转弯半径 ≥ 2 倍飞行高度，航线覆盖范围需超出作业区域边界 10%以上。

5.3 像控点布设方案制定

需根据作业区域大小及精度要求确定像控点数量，每平方公里布设 3–5 个像控点，区域网布点需设置平高控制点及高程控制点；像控点需选在视野开阔、无遮挡的位置，距离建筑物、树木等遮挡物 $\geq 5\text{m}$ ；像控点标志需采用黑白棋盘格图案，尺寸 $\geq 50\text{cm} \times 50\text{cm}$ ，固定在地面或建筑物顶部；需记录像控点的精确位置、编号及现场照片，形成像控点布设记录表。

5.4 作业区域踏勘

需提前开展现场踏勘，收集作业区域的地形图、卫星影像、空域使用批复等资料，记录作业区域内的高压线、通信基站、机场等空域限制因素，制定针对性的飞行安全预案。

5.5 设备校准准备

需在作业前开展相机校准，包括内方位元素校准、镜头畸变校正，校准结果需满足相机内方位元素误差 $\leq 0.01\text{mm}$ ，镜头畸变校正误差 ≤ 0.5 像素；需开展 RTK 设备校准，确保平面校准误差 $\leq \pm 0.5\text{cm}$ ，高程校准误差 $\leq \pm 1\text{cm}$ 。

5.6 物资准备

需准备足够的航摄电池、存储卡、像控点标志材料、急救设备等物资，存储卡需采用 UHS-I 及以上等级，容量 $\geq 128\text{G}$ ，单张存储卡存储数据量不得超过总容量的 70%。

6. 像控点测量

本部分规定像控点的测量方法、精度指标及数据处理要求，确保三维建模的空间定位精度符合工程应用要求。

6.1 测量方法

像控点测量需采用 RTK 静态测量模式，观测时间 ≥ 30 分钟，卫星截止高度角 $\geq 15^\circ$ ；需采用 GNSS 静态测

量方法，在基准站设置参考点，基准站与流动站的距离 $\leq 10\text{km}$ ；需开展像控点的平面坐标与高程测量，平面坐标需采用 2000 国家大地坐标系，高程需采用 1985 国家高程基准。

6.2 精度指标

平高控制点的平面精度需 $\leq \pm 2\text{cm}$ ，高程精度需 $\leq \pm 3\text{cm}$ ；高程控制点的平面精度需 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程精度需 $\leq \pm 3\text{cm}$ ；像控点的相对精度需 $\leq \pm 1\text{cm}$ ，区域网平差后的平面误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程误差 $\leq \pm 8\text{cm}$ 。

6.3 数据处理要求

像控点测量数据需采用专业测绘软件进行预处理，包括数据剔除、坐标转换、误差修正；需将像控点坐标导入空三加密软件，建立像控点与影像的对应关系；需开展像控点的粗差检测，剔除残差大于 3 倍中误差的像控点数据；需形成像控点测量成果报告，包括测量数据、精度报告、像控点分布图。

6.4 像控点选点要求

像控点需选在作业区域的中心及周边位置，确保覆盖整个航摄区域；像控点需避开车辆、人员活动频繁的区域，避免标志被破坏；像控点标志需清晰可见，在航摄影像上的像素尺寸 ≥ 10 像素。

6.5 测量记录要求

需记录像控点的测量时间、观测人员、仪器型号、卫星数量等信息，卫星参与数量 ≥ 8 颗，PDOP 值 ≤ 2.0 ；需拍摄像控点的现场照片，包括全景照片、特写照片，照片需清晰显示像控点标志及周边环境。

6.6 成果验收要求

像控点测量成果需经第三方检测机构验收，检测比例 $\geq 10\%$ ，检测结果需满足精度指标要求；验收合格后方可进入后续航摄作业环节。

表 1 GNSS 像控点外业观测记录表

点号	观测日期	开始时间	结束时间	观测时长(min)	仪器型号	卫星数	PDOP 值	备注
GCP-01	2026-05-14	09:00	09:35	35	Trimble R10	12	1.2	测区中心
GCP-02	2026-05-14	09:10	09:45	35	Trimble R10	10	1.5	东北角
GCP-03	2026-05-14	09:20	09:55	35	Trimble R10	11	1.3	西南角
CHK-01	2026-05-14	10:00	10:30	30	Trimble R10	9	1.8	检核点

7. 无人机航摄作业

本部分规范航摄参数设置、数据采集流程及现场作业安全要求，确保航摄数据的完整性、准确性与安全性。

7.1 航摄参数设置

需设置相机曝光时间，确保影像亮度均匀，曝光误差 $\leq \pm 10\%$ ；需设置相机 ISO 感光度，优先采用低感光度，最高不得超过 1600；需设置航摄时间，优先选择上午 10 点至下午 4 点的时段，避免强光阴影影响影像质量；需设置飞行模式，采用自动航摄模式，人工干预仅在紧急情况下使用。

7.2 数据采集流程

需开展起飞前检查，确认无人机、相机、POS 系统状态正常，空域申请批复有效；需执行起飞操作，待无人机爬升至预定航高后开启相机拍摄；需按照规划航线开展航摄作业，实时监控飞行状态、相机状态及数据存

储情况；需在航摄结束后执行返航操作，待无人机降落后关闭相机及电源，回收存储设备。

7.3 现场作业安全要求

作业现场需设置警戒区域，距离作业区域 $\geq 50\text{m}$ ，禁止无关人员进入；需配备现场指挥人员，负责航摄作业的调度与安全管理；需制定应急处置预案，包括无人机失联、电池故障、空域冲突等突发事件的处置流程；需在作业区域内设置避障标识，避免无人机碰撞障碍物。

7.4 航摄数据检查

需在航摄过程中实时检查影像质量，确保影像清晰、无模糊、无过曝或欠曝情况；需检查影像重叠度，确保航向重叠度 $\geq 80\%$ ，旁向重叠度 $\geq 60\%$ ；需检查数据存储情况，确保每张存储卡存储的影像数据完整，无丢失或损坏情况。

7.5 飞行状态监控

需通过地面站软件实时监控无人机的飞行高度、速度、位置、姿态等参数，发现异常情况立即采取措施；需监控 POS 系统的定位精度，确保 POS 数据的平面精度 $\leq \pm 0.5\text{m}$ ，姿态精度 $\leq \pm 0.1^\circ$ ；需监控电池电量，当电池电量低于 20%时需立即执行返航程序。

7.6 数据备份要求

航摄作业完成后需立即将影像数据、POS 数据、像控点数据备份至至少两个存储介质，备份数据需进行校验，确保数据完整性；备份存储介质需远离磁场、高温、潮湿环境，存储温度控制在 $10\text{--}30^\circ\text{C}$ 之间。

8. 空三加密处理

本部分阐述空中三角测量的作业流程、精度控制及成果验收标准，实现影像的空间定位与姿态参数解算。

8.1 作业流程

需开展影像数据导入，将航摄获取的影像、POS 数据、像控点数据导入空三加密软件；需开展影像匹配，自动提取影像特征点，特征点数量 ≥ 5000 个/影像，匹配误差 $\leq \pm 1$ 像素；需开展相对定向，解算影像间的相对姿态参数，相对定向残差 $\leq \pm 0.3$ 像素；需开展绝对定向，导入像控点坐标，解算影像的绝对姿态参数与比例尺；需开展区域网平差，优化所有影像的姿态参数与坐标，平差后单位权中误差 $\leq \pm 1$ 像素。

8.2 精度控制要求

相对定向的残差需控制在 ± 0.3 像素以内，超过阈值需重新开展影像匹配；绝对定向的残差需控制在 ± 0.5 像素以内，超过阈值需检查像控点坐标与影像匹配结果；区域网平差后的平面精度需 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程精度需 $\leq \pm 8\text{cm}$ ，区域网平差的最大残差不得超过 2 倍中误差；需开展粗差检测，剔除残差大于 3 倍中误差的影像与像控点数据。

8.3 成果验收标准

空三加密成果需包括相对定向参数、绝对定向参数、区域网平差报告、影像特征点文件；需检查区域网平差的单位权中误差，需 $\leq \pm 1$ 像素；需检查像控点的残差，平面残差 $\leq \pm 2\text{cm}$ ，高程残差 $\leq \pm 3\text{cm}$ ；需检查影像匹配的完整性，所有影像均需完成匹配，无遗漏影像。

8.4 软件操作要求

空三加密处理需采用专业测绘软件，包括 Pix4Dmapper、ContextCapture 等，软件版本需为最新稳定版；需按照软件操作手册开展作业，严格设置参数，确保处理结果一致性；需记录空三加密处理的每一步骤，形成操作日志，便于追溯与检查。

8.5 数据处理优化

若区域网平差结果不满足精度要求，需增加像控点数量或调整像控点布设位置；需检查影像质量，剔除模糊、过曝、欠曝的影像，重新开展影像匹配；需检查 POS 数据质量，修正 POS 数据的误差，重新开展绝对定向。

8.6 成果归档要求

空三加密处理成果需包括所有中间处理文件、最终成果文件及处理报告，归档格式需符合测绘成果元数据标准；需将空三加密成果导入三维建模软件，为后续点云数据处理提供基础数据。

9. 点云数据处理

本部分包括点云滤波、分类、拼接及三维表面重建的技术要求，实现从影像数据到三维点云的转换与优化。

9.1 点云滤波

需采用滤波算法剔除点云中的噪声点、异常点及地面以外的非目标点，滤波算法包括统计滤波、半径滤波、体素滤波；需设置滤波参数，统计滤波的邻域点数 ≥ 20 ，半径滤波的半径 $\geq 0.5\text{m}$ ，体素滤波的体素大小 $\geq 0.05\text{m}$ ；滤波后的点云噪声残留率 $\leq 1\%$ ，点云密度保持在原密度的 90%以上。

9.2 点云分类

需采用分类算法将点云分为地面点、建筑物点、植被点、车辆点等类别，分类算法包括基于规则的分类、基于机器学习的分类；需设置分类参数，建筑物点的高程阈值 $\geq 1.5\text{m}$ ，植被点的反射率阈值 ≤ 0.3 ；分类后的点云分类准确率 $\geq 90\%$ ，无明显分类错误。

9.3 点云拼接

需采用配准算法将多个测站的点云数据拼接为整体点云，配准算法包括 ICP 算法、NDT 算法；需设置配准精度，配准误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ；拼接后的整体点云无明显拼接缝隙，点云连续性良好。

9.4 三维表面重建

需采用表面重建算法生成三维模型的表面网格，表面重建算法包括泊松重建、Delaunay 三角剖分；需设置网格分辨率，网格大小 $\geq 0.1\text{m}$ ；重建后的三维模型表面无孔洞、无重叠，表面精度 $\leq \pm 10\text{cm}$ 。

9.5 点云密度调整

需根据工程应用要求调整点云密度，精细建模区域的点云密度 ≥ 100 点/ m^2 ，粗略建模区域的点云密度 ≥ 10 点/ m^2 ；需对点云数据进行降采样处理，减少数据量，提高处理效率，降采样后的点云数据保留关键特征。

9.6 数据质量检查

需检查点云数据的完整性，确保无数据丢失、无异常跳变；需检查点云数据的精度，确保点云的平面精度 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程精度 $\leq \pm 8\text{cm}$ ；需检查点云数据的分类结果，确保分类结果符合工程应用要求。

9.7 成果处理要求

点云数据处理完成后需生成点云数据报告，包括点云密度、精度、分类结果、表面重建质量等内容；需将点云数据导入纹理映射处理软件，为后续纹理映射提供基础数据。

表 2 点云滤波参数设置与效果验证表

测区编号	原始点数(万)	滤波算法	关键参数设置	处理后点数(万)	噪声残留率(%)	密度保持率(%)	判定结果
Area-A	5,200	统计滤波	邻域点数: 25	4,850	0.5%	93.2%	合格
Area-B	6,100	半径滤波	半径: 0.6m	5,720	0.8%	93.7%	合格
Area-C	4,800	体素滤波	体素大小: 0.05m	4,450	0.4%	92.7%	合格

10. 纹理映射处理

本部分规范纹理数据采集、匹配及模型表面纹理优化的作业流程，实现三维模型的真实感纹理覆盖。

10.1 纹理数据采集

需采用高分辨率相机开展纹理数据采集，相机分辨率 ≥ 2000 万像素，地面采样距离 $GSD \leq 3\text{cm}$ ；需按照与航摄相同的航线开展纹理采集，确保纹理影像与三维模型表面的对应关系准确；需设置纹理采集的重叠度，航向重叠度 $\geq 70\%$ ，旁向重叠度 $\geq 50\%$ ，避免纹理影像出现空白区域。

10.2 纹理数据匹配

需采用匹配算法将纹理影像与三维模型表面进行匹配，匹配算法包括 SIFT、SURF、ORB 等；需设置匹配精度，匹配误差 $\leq \pm 2$ 像素；匹配后的纹理影像与模型表面无偏移、无错位，纹理覆盖完整。

10.3 模型表面纹理优化

需采用纹理优化算法修正纹理影像的亮度、对比度、色彩偏差，优化算法包括直方图均衡化、色彩校正、去噪处理；需设置优化参数，亮度调整范围 $\pm 20\%$ ，对比度调整范围 $\pm 15\%$ ；优化后的纹理影像色彩均匀、无明显瑕疵，与真实场景一致。

10.4 纹理分辨率调整

需根据三维模型的应用要求调整纹理分辨率，精细建模区域的纹理分辨率 $\geq 2048 \times 2048$ 像素，粗略建模区域的纹理分辨率 $\geq 1024 \times 1024$ 像素；需对纹理影像进行拼接处理，将多张纹理影像拼接为整体纹理文件，拼接后的纹理文件无明显拼接痕迹。

10.5 纹理映射检查

需检查纹理映射的完整性，确保三维模型表面无空白纹理区域；需检查纹理映射的精度，确保纹理影像与模型表面的匹配误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ；需检查纹理影像的质量，确保纹理影像清晰、无模糊、无过曝或欠曝情况。

10.6 成果处理要求

纹理映射处理完成后需生成纹理映射报告，包括纹理采集数据、匹配结果、优化参数、纹理分辨率等内容；需将纹理映射后的三维模型导入三维模型构建软件，完成最终模型的整合。

11. 三维模型构建

本部分明确三维模型的建模流程、细节修复及整体精度控制要求，实现高精度、高真实感的三维模型成果。

11.1 建模流程

需开展点云数据导入，将处理后的点云数据导入三维建模软件；需开展三维表面重建，基于点云数据生成三维模型的表面网格；需开展纹理映射，将纹理影像映射至三维模型表面；需开展模型整合，将多个局部模型拼接为整体模型；需开展模型优化，对模型的细节、精度、性能进行优化。

11.2 细节修复

需采用建模软件的修复工具修复模型表面的孔洞、重叠、裂缝等缺陷，修复工具包括孔洞填充、网格平滑、边缘修复；需设置修复参数，孔洞填充的半径 $\geq 0.5\text{m}$ ，网格平滑的迭代次数 ≥ 5 次；修复后的模型表面无明显缺陷，表面连续性良好。

11.3 整体精度控制

需采用精度检测工具对三维模型的精度进行检测，检测内容包括平面精度、高程精度、模型尺寸精度；需设置精度控制指标，模型的平面精度 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程精度 $\leq \pm 8\text{cm}$ ，模型尺寸误差 $\leq \pm 3\%$ ；若精度不满足要求，需重新开展点云数据处理或纹理映射处理。

11.4 模型格式转换

需将三维模型转换为工程应用所需的格式，包括 OBJ、FBX、LAS、OSGB 等格式；需设置格式转换参数，确保模型的精度、纹理、坐标系统保持不变；转换后的模型文件需进行校验，确保文件完整性与可用性。

11.5 模型轻量化处理

需采用轻量化算法减少三维模型的数据量，轻量化算法包括网格简化、纹理压缩、细节层次控制；需设置轻量化参数，网格简化率 $\leq 50\%$ ，纹理压缩率 $\leq 30\%$ ；轻量化后的模型数据量减少 $\geq 50\%$ ，模型精度保持在原精度的 90%以上。

11.6 模型整合处理

需将多个局部模型拼接为整体模型，拼接算法包括 ICP 配准、坐标转换；需设置拼接精度，拼接误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ；拼接后的整体模型无明显拼接缝隙，模型连续性良好。

11.7 成果检查要求

需检查三维模型的完整性，确保所有区域均已建模，无遗漏区域；需检查三维模型的精度，确保满足工程应用要求；需检查三维模型的真实感，确保纹理映射准确、色彩均匀、无明显瑕疵。

11.8 成果归档要求

三维模型构建完成后需生成模型构建报告，包括建模流程、细节修复记录、精度控制指标、模型格式等内容；需将三维模型及相关成果文件归档，归档格式需符合团体标准要求。

12. 模型精度检测

本部分规定模型精度的检测方法、指标及合格判定标准，确保三维模型满足工程应用的精度要求。

12.1 检测方法

需采用全站仪、RTK、激光扫描仪等设备开展模型精度检测，检测点数量 ≥ 50 个/平方公里；需选取模型表面的特征点作为检测样本，特征点包括建筑物角点、道路交叉口、地形拐点等；需将检测点的实测坐标与模型对应点的坐标进行对比，计算平面误差与高程误差。

12.2 检测指标

模型的平面精度需 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程精度需 $\leq \pm 8\text{cm}$ ；模型的尺寸误差需 $\leq \pm 3\%$ ，模型的整体误差需 $\leq \pm 10\text{cm}$ ；检测点的残差需 $\leq \pm 2$ 倍中误差，超过阈值的检测点比例不得超过5%。

12.3 合格判定标准

若所有检测点的平面误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程误差 $\leq \pm 8\text{cm}$ ，且超过阈值的检测点比例 $\leq 5\%$ ，则模型精度合格；若超过阈值的检测点比例 $> 5\%$ ，则模型精度不合格，需重新开展三维模型构建或精度修正。

12.4 检测区域划分

需根据作业区域的大小及复杂程度划分检测区域，每个检测区域的面积 ≤ 1 平方公里；需在每个检测区域内均匀布设检测点，确保检测点覆盖整个作业区域；需记录每个检测点的位置、实测坐标、模型坐标、误差值等信息。

12.5 检测数据处理

需采用专业测绘软件对检测数据进行处理，计算平面误差、高程误差、中误差等指标；需绘制检测误差分布图，直观显示模型精度的分布情况；需生成模型精度检测报告，包括检测方法、检测指标、合格判定结果等内容。

12.6 检测结果应用

若模型精度不合格，需分析精度不合格的原因，包括像控点布设不合理、航摄参数设置不当、点云数据处理有误等；需针对原因采取整改措施，重新开展相关作业环节，直至模型精度合格。

12.7 成果验收要求

模型精度检测成果需经建设单位、监理单位及第三方检测机构共同验收，验收合格后方可交付使用；验收过程需提供检测数据、检测报告、模型成果等相关文件，确保验收流程合规。

13. 模型成果整理

模型成果整理包括模型格式转换、元数据编制及成果存储介质要求。

13.1 模型格式转换

支持 OBJ、FBX、OSGB、LAS 等通用格式转换，转换后模型拓扑关系完整，纹理映射偏差不大于 0.5 像素。

13.2 元数据编制

包含作业时间、飞行参数、建模精度、覆盖范围等 12 项核心元数据，元数据字段符合 GB/T 39614-2020 相关要求。

13.3 成果存储介质

采用 SSD 固态硬盘或企业级硬盘，单盘存储容量不小于 8TB，存储介质读写速度不低于 200MB/s。

13.4 格式校验

转换后需进行模型面数统计、纹理分辨率检测，面数误差率控制在 $\pm 3\%$ 以内。

13.5 元数据审核

元数据需经作业人员、审核人员双签字确认，确保字段填写完整率达 100%。

13.6 存储介质测试

存储前需进行坏道检测，坏道占比不得超过 0.1%，确保数据存储稳定性。

13.7 成果备份

采用异地双备份机制，备份数据与原数据一致性校验通过率不低于 99.9%。

13.8 模型成果整理二级项

模型格式转换规范；元数据编制细则；成果存储介质选型；格式校验流程；元数据审核要求；存储介质检测；异地备份规范；成果归档前整理

13.9 模型格式转换规范

将建模软件生成的原生格式转换为通用三维格式，转换过程中保留模型空间坐标信息，坐标偏移误差不超过 0.05 米；

13.10 元数据编制细则

按照统一模板填写作业单位、飞行高度、建模分辨率等信息，每个元数据字段长度不超过 255 个字符；

13.11 成果存储介质选型

优先选用工业级存储介质，工作温度范围覆盖 -20°C 至 60°C ，满足户外作业存储需求；

13.12 格式校验流程

使用专业三维模型校验工具，检测模型法线方向一致性、纹理缺失情况，异常项处理率达 100%；

13.13 元数据审核要求

采用双人交叉审核方式，审核周期不超过 2 个工作日，审核记录留存归档；

13.14 存储介质检测

使用磁盘检测工具扫描存储介质，记录坏道位置及大小，坏道区域不得用于存储模型数据；

13.15 异地备份规范

备份介质与原介质存储距离不小于 50 公里，备份数据更新周期不超过 7 个自然日；

13.16 成果归档前整理

将模型文件、元数据文件、作业报告打包为 ZIP 压缩包，压缩包完整性校验值与原文件一致

14. 模型应用规范

模型应用规范明确无人机三维模型在测绘、城建、文旅等领域的应用要求。

14.1 测绘应用

模型平面精度不低于 0.1 米，高程精度不低于 0.15 米，满足 1:500 比例尺测绘要求。

14.2 城建应用

模型需包含建筑高度、占地面积、容积率等属性信息，属性信息更新频率不超过 30 天。

14.3 文旅应用

模型纹理分辨率不低于 2K，支持场景漫游、语音导览功能，加载延迟不超过 2 秒。

14.4 应用精度验证

每季度开展一次应用精度抽检，抽检比例不低于总应用场景的 10%。

14.5 应用权限管理

根据应用场景设置不同访问权限，涉密场景模型仅允许内部人员访问。

14.6 应用效果评估

每年开展一次应用效果评估，评估内容包括精度符合性、功能完整性、用户满意度。

14.7 模型应用规范二级项

测绘领域应用要求；城建领域应用要求；文旅领域应用要求；应用精度验证；应用权限管理；应用效果评估；跨领域应用协同；应用场景适配

14.8 测绘领域应用要求

模型坐标系统一采用 2000 国家大地坐标系，数据格式符合测绘行业标准 CH/T 1032-2018，满足地形图测绘需求；

14.9 城建领域应用要求

模型需叠加国土空间规划数据，支持城市更新规划编制、违建排查等业务，数据更新周期不超过 30 天；

14.10 文旅领域应用要求

模型需添加景点介绍、游览路线等交互元素，支持 VR 全景展示功能，展示画面帧率不低于 30fps；

14.11 应用精度验证

采用全站仪检测模型平面坐标，检测点数量不少于 50 个，检测结果与模型坐标偏差不得超过 0.1 米；

14.12 应用权限管理

通过身份认证系统管控模型访问，敏感区域模型需进行脱敏处理，脱敏后敏感信息识别率为 0；

14.13 应用效果评估

采用百分制评分体系，评分指标包括精度、完整性、易用性，评分低于 80 分的应用场景需进行模型优化；

14.14 跨领域应用协同

建立多部门数据共享机制，实现模型数据在测绘、城建、文旅等部门的实时共享，共享数据加密传输；

14.15 应用场景适配

针对不同应用场景调整模型细节层次，城建规划场景保留建筑细节精度不低于 0.05 米，文旅展示场景可适当降低非核心区域面数

15. 安全作业管理

安全作业管理规定无人机航摄及建模作业中的飞行安全、数据安全要求。

15.1 飞行安全

作业前需进行空域申请，飞行高度不得超过 120 米，避开机场、变电站等敏感区域。

15.2 数据安全

航摄数据需实时加密存储，存储设备不得连接互联网，防止数据泄露。

15.3 人员资质

航摄操作人员需持有无人机驾驶员合格证，建模人员需具备三维建模专业技能证书。

15.4 设备检查

作业前需检查无人机电池、相机、遥控器等设备，设备故障率不得超过 5%。

15.5 飞行监控

作业过程中需实时监控无人机飞行状态，异常情况处置响应时间不超过 10 秒。

15.6 数据保密

涉密航摄数据需存储在涉密计算机中，涉密数据传输需采用专用加密通道。

15.7 安全作业管理二级项

飞行安全管控；数据安全防护；人员资质管理；设备检查维护；飞行状态监控；涉密数据保密；应急安全准备；作业区域排查

15.8 飞行安全管控

作业前划定飞行禁区，使用电子围栏限制无人机飞行范围，飞行禁区内自动触发返航程序；

15.9 数据安全防护

航摄数据采用 AES-256 加密算法加密，存储介质需进行物理隔离，禁止在非涉密设备上读取航摄数据；

15.10 人员资质管理

航摄操作人员需持有民航局颁发的无人机驾驶员合格证，证书有效期不低于 1 年，每年进行一次技能考核；

15.11 设备检查维护

每次作业前检查无人机电机、螺旋桨、相机镜头，螺旋桨磨损量不得超过原厚度的 10%；

15.12 飞行状态监控

采用地面站实时显示无人机飞行高度、速度、剩余电量，剩余电量低于 20%时自动触发低电量返航；

15.13 涉密数据保密

涉密航摄数据不得存储在云端，仅允许在涉密内网中传输，传输过程中进行全程审计；

15.14 应急安全准备

配备应急返航设备，制定飞行故障应急预案，每年开展一次应急演练，演练参与率达 100%；

15.15 作业区域排查

作业前使用地图软件排查作业区域内的高压线路、通信基站等障碍物，障碍物间距不小于无人机安全飞行半径的 1.5 倍

16. 全过程质量控制

全过程质量控制建立从作业准备到成果交付的全流程质量管控体系。

16.1 作业准备

审核作业方案、人员资质、设备状态，审核通过率不低于 95%。

16.2 航摄阶段

检查飞行航线规划、相机参数设置，航线偏差不得超过 0.5 米，相机曝光误差不超过 $\pm 0.3\text{EV}$ 。

16.3 建模阶段

检测模型纹理质量、几何精度，纹理清晰度不低于 2K，几何精度偏差不得超过 0.1 米。

16.4 成果审核

组织第三方机构进行成果审核，审核不合格项整改率达 100%。

16.5 质量追溯

建立质量管控台账，记录每个环节的作业人员、时间、检测结果，追溯覆盖率达 100%。

16.6 全过程质量控制二级项

作业准备质量管控；航摄阶段质量管控；建模阶段质量管控；成果审核管控；质量追溯管理；工序交接检验；异常情况处理；质量考核评价

16.7 作业准备质量管控

审核作业方案中的飞行航线、建模精度要求，作业方案审核周期不超过 3 个工作日，审核意见整改率达 100%；

16.8 航摄阶段质量管控

每 10 条航线抽取 1 条进行影像质量检测，影像模糊率不得超过 2%，影像重叠度满足航向 60%、旁向 30% 的要求；

16.9 建模阶段质量管控

采用多视影像匹配算法生成模型，模型纹理拼接误差不超过 0.3 像素，模型整体误差不超过 0.08 米；

16.10 成果审核管控

第三方审核机构需具备相应资质，审核内容包括模型精度、元数据完整性、格式规范性，审核报告留存期限不少于 5 年；

16.11 质量追溯管理

建立质量管控信息系统，每个作业环节生成唯一追溯码，扫描追溯码可查看全流程作业记录；

16.12 工序交接检验

每道工序完成后需进行交接检验，检验不合格的工序不得进入下一道环节，交接检验通过率不低于 98%；

16.13 异常情况处理

作业过程中发现质量异常需立即停止作业，制定整改方案，整改完成后重新进行检验，异常情况处置率达

100%;

16.14 质量考核评价

每月对作业质量进行考核，考核指标包括精度合格率、整改及时率，考核结果与作业人员绩效挂钩

17. 成果交付与验收

成果交付与验收规定模型成果的交付内容、验收流程及合格判定条件。

17.1 交付内容

包含三维模型文件、元数据文件、作业报告、质量检测报告，交付文件完整性达 100%。

17.2 验收流程

分为初步验收、详细验收两个阶段，初步验收周期不超过 5 个工作日，详细验收周期不超过 10 个工作日。

17.3 合格判定条件

模型精度符合要求、元数据完整、格式规范，三项指标均合格方可判定为合格。

17.4 交付格式

采用 ZIP 压缩包格式，压缩包内文件目录结构符合统一规范，文件命名规则为“作业单位-作业时间-模型名称”。

17.5 验收抽样

验收抽样比例不低于交付模型总量的 5%，抽样样本覆盖不同作业区域。

17.6 成果交付与验收二级项

交付内容规范；验收流程设置；合格判定标准；交付格式要求；验收抽样规则；异议处理流程；验收报告编制；交付清单管理

17.7 交付内容规范

交付文件包括 LOD1 到 LOD3 三个细节层次的模型文件，每个细节层次模型面数分别不超过 100 万、50 万、20 万面；

17.8 验收流程设置

初步验收检查交付文件完整性，详细验收采用抽样检测方式检测模型精度，详细验收不合格的成果需在 7 个工作日内完成整改；

17.9 合格判定标准

模型平面精度偏差不超过 0.1 米，高程精度偏差不超过 0.15 米，元数据字段完整率达 100%，格式转换无错误，四项指标均合格；

17.10 交付格式要求

压缩包内包含单独的模型文件夹、元数据文件夹、报告文件夹，每个文件夹内文件按统一规则命名，文件总大小不超过 500GB；

17.11 验收抽样规则

按照作业区域分层抽样，每个作业区域抽样数量不低于 2 个，抽样检测点数量不少于 30 个；

17.12 异议处理流程

委托方对验收结果有异议的，需在 3 个工作日内提出复检申请，复检周期不超过 7 个工作日，复检结果为最终结论；

17.13 验收报告编制

验收报告包含验收时间、验收人员、检测结果、合格判定结论，验收报告需加盖验收专用章，留存期限不少于 3 年；

17.14 交付清单管理

交付清单包含每个交付文件的名称、大小、格式、校验值，清单与交付文件一并交付，校验值一致性达 100%

18. 模型维护与更新

模型维护与更新明确三维模型的日常维护、更新周期及数据迭代要求。

18.1 日常维护

每月开展一次模型完整性检查，检查内容包括纹理缺失、模型变形情况，异常修复率达 100%。

18.2 更新周期

基础地形模型更新周期不超过 1 年，建筑模型更新周期不超过 6 个月，临时建筑模型更新周期不超过 1 个月。

18.3 数据迭代

更新后的模型需保留历史版本，版本追溯覆盖率达 100%，迭代数据量不超过总数据量的 20%。

18.4 维护记录

建立模型维护台账，记录维护时间、维护内容、维护人员，台账留存期限不少于 5 年。

18.5 模型维护与更新二级项

日常维护流程；更新周期规定；数据迭代管理；版本追溯机制；维护记录管理；精度复测流程；更新效果评估；数据备份更新

18.6 日常维护流程

使用三维模型浏览软件检查模型纹理、几何结构，发现纹理缺失立即进行修复，修复后纹理与原纹理色差不超过 5 个色阶；

18.7 更新周期规定

城市核心区域建筑模型每 6 个月更新一次，城市郊区建筑模型每 12 个月更新一次，临时建筑在拆除后 7 个工作日内完成模型更新；

18.8 数据迭代管理

更新模型时仅修改发生变化的区域，不得改动未变化区域的模型数据，迭代数据与原数据叠加后无明显接

缝；

18.9 版本追溯机制

每个模型版本分配唯一版本号，版本号包含更新时间、更新内容标识，可通过版本号回溯任意历史版本模型；

18.10 维护记录管理

维护记录包含维护前状态、维护措施、维护后效果，记录保存格式为 PDF，存储在专用维护数据库中；

18.11 精度复测流程

每次模型更新完成后需进行精度复测，复测点数量不少于 20 个，复测结果与设计精度偏差不超过 0.1 米；

18.12 更新效果评估

更新完成后开展用户满意度调查，调查样本量不低于 50 个，用户满意度得分不低于 85 分；

18.13 数据备份更新

模型更新前需对原模型进行全量备份，备份数据存储期限不少于 2 年，更新失败时可快速恢复原模型

19. 数据传输规范

数据传输规范规定无人机航摄数据及模型成果的传输格式、安全保密要求。

19.1 传输格式

航摄数据采用 RAW 格式或 JPEG2000 格式，模型成果采用 OSGB 格式或 LAS 格式，传输文件压缩率不低于 30%。

19.2 安全保密

传输过程采用 SSL/TLS 加密协议，敏感数据传输需添加二次加密，加密密钥长度不低于 256 位。

19.3 传输速率

单文件传输速率不低于 100MB/s，传输成功率不低于 99.5%。

19.4 传输校验

传输完成后需进行 MD5 校验，校验值一致性达 100%，校验失败的文件需重新传输。

19.5 数据传输规范二级项

传输格式要求；安全加密机制；传输速率控制；传输校验流程；传输权限管理；异常传输处理；传输日志留存；跨区域传输规范

19.6 传输格式要求

航摄原始影像采用 JPEG2000 格式压缩，压缩比控制在 10:1 以内，模型成果采用 OSGB 格式打包，单个模型文件大小不超过 10GB；

19.7 安全加密机制

传输前对敏感数据进行国密 SM4 算法加密，传输通道采用 VPN 加密隧道，传输过程中数据明文暴露时间为 0；

19.8 传输速率控制

根据传输网络带宽调整传输速率，最大传输速率不超过网络带宽的 80%，避免影响其他业务数据传输；

19.9 传输校验流程

传输前生成文件 MD5 校验值，传输完成后由接收方重新生成校验值，两次校验值一致方可确认传输成功；

19.10 传输权限管理

仅授权具备相应权限的人员进行数据传输，传输操作记录留存不少于 1 年，传输操作可追溯；

19.11 异常传输处理

传输中断后自动断点续传，续传次数不超过 3 次，3 次续传失败需手动排查网络故障，故障排除后重新传输；

19.12 传输日志留存

记录每次传输的时间、文件名称、大小、传输速率、校验结果，日志文件存储期限不少于 3 年，日志不可篡改；

19.13 跨区域传输规范

跨区域传输需采用专用数据专线，传输延迟不超过 50ms，传输过程中进行全程流量监控，防止数据丢包

20. 应急处置预案

应急处置预案明确作业过程中突发状况的应急处理流程及处置措施。

20.1 无人机故障

无人机出现动力不足、信号丢失等故障时，自动触发返航程序，返航响应时间不超过 5 秒。

20.2 数据泄露

发现航摄数据泄露时，立即切断数据传输通道，排查泄露源头，泄露事件处置时间不超过 24 小时。

20.3 天气突变

遭遇大风、暴雨等恶劣天气时，立即降落无人机，降落地点选择在开阔安全区域。

20.4 人员受伤

作业人员出现受伤情况时，立即停止作业，拨打急救电话，急救响应时间不超过 15 分钟。

20.5 应急处置预案二级项

无人机故障处置；数据泄露处置；恶劣天气应对；人员受伤处置；应急物资准备；应急演练计划；应急通信保障；事后复盘分析

20.6 无人机故障处置

动力不足时优先返航至起飞点，信号丢失时启用备用遥控器信号，备用信号覆盖范围不小于原信号范围的 80%；

20.7 数据泄露处置

立即上报单位安全管理部门，对泄露数据进行脱敏处理，通知相关受影响人员，泄露事件调查报告在 7 个

工作日内完成：

20.8 恶劣天气应对

风力达到 5 级以上时立即停止作业，无人机降落时远离建筑物、树木等障碍物，降落区域平整度误差不超过 0.1 米；

20.9 人员受伤处置

轻微受伤可现场进行应急处理，严重受伤需转移至安全区域等待急救，急救人员到达前持续监测伤员生命体征；

20.10 应急物资准备

配备应急返航设备、急救箱、通信设备等应急物资，应急物资定期检查，检查周期不超过 1 个月；

20.11 应急演练计划

每半年开展一次应急演练，演练内容包括无人机故障处置、数据泄露应对等，演练参与率不低于 90%；

20.12 应急通信保障

配备专用应急通信设备，确保作业过程中通信畅通，通信信号覆盖范围不小于作业区域半径 1 公里；

20.13 事后复盘分析

每次应急事件处置完成后 7 个工作日内开展复盘分析，总结处置经验，优化应急处置预案，预案更新周期不超过 1 年

21. 成果档案管理

成果档案管理规定模型成果的归档流程、存储期限及查阅权限要求。

21.1 归档流程

作业完成后 30 个工作日内完成成果归档，归档文件完整性达 100%。

21.2 存储期限

基础测绘模型存储期限不低于 30 年，城建规划模型存储期限不低于 20 年，文旅展示模型存储期限不低于 10 年。

21.3 查阅权限

内部人员查阅需提交申请，外部人员查阅需经单位负责人批准，涉密模型查阅需经保密部门批准。

21.4 归档介质

采用离线存储介质，存储介质寿命不低于 10 年，归档数据进行双备份，备份介质异地存放。

21.5 成果档案管理二级项

归档流程规范；存储期限规定；查阅权限管理；归档介质选型；数据备份归档；归档目录管理；查阅登记制度；到期档案处置

21.6 归档流程规范

作业成果需经审核通过后提交归档，归档文件包含模型文件、元数据、验收报告等，归档材料审核通过率

不低于 98%;

21.7 存储期限规定

基础地形模型永久保存, 城建规划模型保存至规划变更后 5 年, 文旅展示模型保存至展示项目结束后 3 年;

21.8 查阅权限管理

内部人员查阅需填写查阅申请单, 注明查阅用途、时间, 外部人员查阅需提供单位介绍信, 涉密模型查阅需进行身份登记;

21.9 归档介质选型

采用蓝光光盘或磁带库作为归档介质, 蓝光光盘存储容量不低于 50GB, 磁带库存储容量不低于 10TB;

21.10 数据备份归档

归档前对成果数据进行全量备份, 备份数据与原数据一致性校验通过率不低于 99.9%, 备份介质存储温度控制在 18℃-22℃;

21.11 归档目录管理

建立归档目录数据库, 记录每个归档文件的名称、存储位置、归档时间, 目录数据库定期备份, 备份周期不超过 6 个月;

21.12 查阅登记制度

每次查阅需登记查阅人员、时间、用途, 查阅记录留存不少于 5 年, 查阅过程中不得擅自复制模型数据;

21.13 到期档案处置

存储期限到期的模型成果需进行鉴定, 鉴定通过的可继续存储, 鉴定不通过的需进行销毁处理, 销毁过程需有 2 人以上监销