|  |  |
| --- | --- |
| ICS  | 93.080 |
| CCS  | P 66 |

|  |
| --- |
|  DB42 |

湖北省地方标准

DB42/T XXXX—XXXX

公路无人机倾斜摄影测量技术规程

Technical specification for highway oblique photogrammetry of unmanned aerial vehicles

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

湖北省市场监督管理局  发布

目次

[前言 II](#_Toc202367741)

[1 范围 1](#_Toc202367742)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc202367743)

[3 术语和定义 1](#_Toc202367744)

[4 基本规定 1](#_Toc202367745)

[4.1 测量基准 1](#_Toc202367746)

[4.2 无人机设备性能 2](#_Toc202367747)

[4.3 倾斜数字航摄仪 2](#_Toc202367748)

[4.4 定位定姿系统 2](#_Toc202367749)

[4.5 工作流程 2](#_Toc202367750)

[4.6 精度要求 3](#_Toc202367751)

[5 航摄计划与设计 4](#_Toc202367752)

[5.1 资料收集和踏勘 4](#_Toc202367753)

[5.2 作业前准备 4](#_Toc202367754)

[5.3 航摄计划 4](#_Toc202367755)

[5.4 航摄范围 4](#_Toc202367756)

[5.5 航摄设计 5](#_Toc202367757)

[5.6 飞行速度 6](#_Toc202367758)

[5.7 像控点布设 6](#_Toc202367759)

[5.8 像控点测量 6](#_Toc202367760)

[6 航空摄影 7](#_Toc202367761)

[6.1 航摄前准备 7](#_Toc202367762)

[6.2 航摄实施 7](#_Toc202367763)

[6.3 飞行质量和影像质量要求 8](#_Toc202367764)

[6.4 补摄 8](#_Toc202367765)

[7 数据处理 8](#_Toc202367766)

[7.1 数据预处理 8](#_Toc202367767)

[7.2 空中三角测量 9](#_Toc202367768)

[7.3 实景三维建模 9](#_Toc202367769)

[7.4 模型分块与存储 9](#_Toc202367770)

[8 质量检查和资料提交 10](#_Toc202367771)

[8.1 质量检查 10](#_Toc202367772)

[8.2 资料提交 11](#_Toc202367773)

[附录A（资料性） 像控点标志形状 12](#_Toc202367774)

[附录B（资料性） 航摄飞行记录表 13](#_Toc202367775)

1. 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。

本文件由武汉综合交通研究院有限公司提出。

本文件由湖北省交通运输厅归口。

本文件起草单位：武汉综合交通研究院有限公司、湖北省交通规划设计院股份有限公司、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、中国建筑第二工程局有限公司、武汉大学测绘遥感信息工程全国重点实验室、武汉平旦智能科技有限公司、湖北省测绘质量监督检验站、中建铁路投资建设集团有限公司。

本文件主要起草人：雷莉、雷刚、李尚彬、王云安、韩飞、郑亮、曾凯波、吴鹏翔、杨德、苏维军、黄先锋、张帆、熊峰、黄海英、向晖、李强、杜筱璇、黄亚栋、陈振。

公路无人机倾斜摄影测量技术规程

* 1. 范围

本文件规定了公路无人机倾斜摄影测量的基本规定、航摄计划与设计、航空摄影、数据处理、质量检查和资料提交的内容、技术要求、精度指标要求。

本文件适用于各等级公路设计、施工和运营采用无人机倾斜摄影测量方法进行的实景三维模型生产。

* 1. 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 14912 基础地理信息数字成果规范

CH/T 3007.1 低空数字航空摄影测量外业规范

CH/Z 3005 无人机航空摄影技术规程

JTG C10 公路勘测规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

无人机 unmanned aerial vehicles

通过无线电遥控或自主程序控制的不载人飞行器，包括多轴旋翼、复合旋翼或固定翼等类型。

倾斜摄影 oblique photography

由一个垂直相机和多个倾斜相机组成的倾斜数字航摄仪，对地面进行多视角摄影的工作。

实景三维模型 real scene three-dimensional model

本文件中实景三维模型是利用倾斜摄影获取实景影像，经过影像密集匹配、三角网构建、纹理映射等处理后制作的可量测、具备实景纹理的三维场景模型。

* 1. 基本规定
		1. 测量基准

公路无人机倾斜摄影测量的基准应与公路工程测量的基准保持一致。

平面坐标系宜采用CGCS2000，采用其他平面坐标系时，应与CGCS2000建立联系。

高程系统宜采用1985国家高程基准，采用其他高程基准时应与1985国家高程基准建立联系。

* + 1. 无人机设备性能

倾斜摄影采用无人机作为飞行平台，性能应符合下列要求：

1. 应具备自动驾驶功能，可按照预设航线或远程控制信号自主飞行；
2. 多轴旋翼、复合旋翼无人机应具备5级风力气象条件下安全飞行的能力；
3. 固定翼无人机应具备6级风力气象条件下安全飞行的能力；
4. 搭载航摄仪时的续航时间不宜低于15分钟；
5. 宜具备低电量自动返航功能；
6. 多轴旋翼、复合旋翼无人驾驶航空器最大相对飞行高度不宜小于500m；
7. 固定翼无人机最大相对飞行高度不宜小于1000m。
	* 1. 倾斜数字航摄仪

倾斜数字航摄仪的性能应符合下列要求：

1. 采用定焦镜头相机；
2. 相机的内方位元素和畸变参数可精确标定；
3. 相机成像不宜低于2000万像素；
4. 能够稳定输出和记录曝光脉冲；
5. 航摄仪各相机之间的相对位置和姿态具有稳定的刚性关系；
6. 具备定点曝光功能，曝光间隔不大于1.5s，快门延时不大于10ms，各相机曝光时间差不大于120ms；
7. 倾斜影像的中心点地面分辨率不宜低于垂直影像的中心点地面分辨率。
	* 1. 定位定姿系统

采用GNSS辅助航空摄影或GNSS/IMU组合导航辅助航空摄影时，定位定姿系统性能应符合下列要求：

1. GNSS接收机应选用双频型，采样频率应不小于1Hz；
2. GNSS接收机定位精度平面应优于0.05m，高程应优于0.1m；
3. GNSS接收机应支持单北斗模式；
4. GNSS接收机应具备PPK或RTK功能，城市、网络覆盖良好的区域宜采用HBCORS等网络RTK模式，无网络覆盖的偏远地区应采用PPK模式或地面基准站的RTK模式；
5. IMU设备的俯仰角、侧滚角测量误差应不大于0.01°，航偏角测量误差应不大于0.015°，采样频率应不小于200Hz。
	* 1. 工作流程

公路无人机倾斜摄影测量工作流程见图1。



1. 工作流程图
	* 1. 精度要求
			1. 实景三维模型精度

实景三维模型平面、高程精度应分别符合表1和2的规定，植被茂密、隐蔽等困难区域的平面、高程中误差可放宽至1.5倍。

1. 实景三维模型平面精度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 平面中误差(m) | ≤0.10 | ≤0.30 | ≤0.60 |

1. 实景三维模型高程精度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 高程中误差(m) | 平原 | ≤0.10 | ≤0.15 | ≤0.20 |
| 微丘 | ≤0.25 | ≤0.50 |
| 重丘 | ≤0.67 | ≤0.67 |
| 山岭 | ≤1.00 | ≤2.00 |

* 1. 航摄计划与设计
		1. 资料收集和踏勘

资料收集和踏勘应包括下列内容：

1. 公路无人机倾斜摄影测量前应收集公路工程路线方案，测区范围；
2. 应了解测区空域管制要求，空域申请或空域报备办理流程规定；
3. 应收集沿线既有平面控制点和高程控制点资料，对既有控制点的可利用情况进行踏勘；
4. 应收集沿线既有数字地形图、数字影像图以及其他可利用的相关成果资料，对收集的成果资料进行分析；
5. 应现场踏勘，了解测区内气象条件、交通条件、建（构）筑物高度、机场、军事区域等，初步制定飞行计划、起降场地、安全保障措施等；
6. 应对搜集到的资料做详尽的分析检查。
	* 1. 作业前准备

作业前准备应包括下列内容：

1. 倾斜数字航摄仪、测量所使用的仪器设备应按有关技术规定进行检定，并在检定的有效期内使用；
2. 倾斜数字航摄仪经过大修或在使用和运输过程中产生剧烈震动后应进行检定；
3. 无人机作业人员应具备操控执照；
4. 无人机飞行应符合国家或测区当地相关法律法规要求，航飞前应取得相关部门许可；
5. 应根据资料收集和踏勘情况，编写倾斜摄影测量技术设计书，针对可能出现的紧急情况制定应急预案。
	* 1. 航摄计划

航摄计划的制定应包括下列内容：

1. 航摄时间、气象条件；
2. 航摄范围、地物地貌特征；
3. 无人机类型、技术参数；
4. 航摄仪型号、技术参数；
5. 影像地面分辨率、航线敷设、航向重叠度、旁向重叠度；
6. 提交的航摄成果、形式及数量等；
7. 安全保障措施和应急预案。
	* 1. 航摄范围

航摄范围应根据公路工程设计、施工、运营阶段的需求确定，覆盖公路工程红线范围，宜符合下列规定：

1. 路线方案中心线两侧采集的宽度宜符合表3的规定。
2. 倾斜摄影数据采集范围

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 公路类型 | 设计阶段 | 施工/运营阶段 |
| 新建、分离式扩建 | 直接拼宽扩建 |
| 高速、一级公路 | ≥600m | ≥300m | ≥200m |
| 二、三、四级公路 | ≥300m | ≥200m | ≥200m |

1. 用于设计阶段方案研究时，互通式立体交叉、服务区采集范围宜自工程范围线向外延伸100m，工程起、终点处采集范围，纵向应向外延伸。
	* 1. 航摄设计
			1. 航摄分区

航摄分区应遵循以下原则：

1. 公路工程倾斜摄影宜沿路线走向分段进行影像采集，每个分段长度宜为5km；
2. 航摄分区应兼顾航空器续航时间、飞行效率、飞行安全等因素；
3. 山区、建筑物密集区，航摄分区内地形、建筑物高差不宜过大；
4. 分区内高差不宜大于1/3相对航高；
5. 沿公路走向布设路线走向的主航线，确保道路主体影像连贯，减少航带拼接误差；
6. 在互通立交、匝道等复杂节点，宜采用多航带重叠设计，航带间重叠宽度≥2条基线，确保立体模型连续。
	* + 1. 分区基准面高度

分区基准面高度宜选取分区内低点平均高程为基准面高度。

* + - 1. 影像地面分辨率

影像地面分辨率应符合表5.5-1的规定。

1. 像控点布设要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 实景三维等级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 影像地面分辨率(m) | ≤0.03 | ≤0.05 | ≤0.10 |

* + - 1. 航线敷设

航线敷设应符合以下规定：

1. 航线应沿公路工程路线走向进行敷设；
2. 航摄分区的航向应向分区界线外延伸不少于2条摄影基线，旁向应向外延伸不少于1条航线；
3. 航摄分区重叠部位不应产生漏洞，应具有2条以上摄影基线；
4. 摄影区域包含水域时，宜减少垂直影像像主点落水。
	* + 1. 影像重叠度

垂直影像的航向重叠度不应小于60%，旁向重叠度不应小于50%，陡峭山区、高层建筑物密集区域航向重叠度不应小于70%，旁向重叠度不应小于60%。

* + - 1. 相对航高

相对航高根据影像地面分辨率、相机参数，按公式（1）计算。

  ()

式中：

——相对航高(m)；

——相机焦距(mm)；

——影像地面分辨率(m)；

——相机像元尺寸(mm)。

* + 1. 飞行速度

飞行速度应根据影像分辨率、相机曝光时间、像点位移，按公式（2）计算，像点位移不应大于1个像元。

  ()

式中：

——飞行速度(m/s)；

——像点位移(像元)；

——影像地面分辨率(m/像元)；

——相机曝光时间(s)。

* + 1. 像控点布设

像控点宜采用区域网布点，区域拐角处应布设平高控制点，像控点航向和旁向相邻像控点间距宜符合表5的规定。

1. 像控点布设要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 实景三维等级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 像控点间距(m) | ≤300 | ≤500 | ≤1000 |

像控点宜采用易于影像识别的材质实地敷设，亦可采用测区内具有明显位置特征且能在影像中准确识别的固定地物。像控点标志几何尺寸应根据影像分辨率大小确定，标志影像应能清晰辨识，标志形状宜符合本标准附录A的规定。

* + 1. 像控点测量

像控点测量应符合以下规定：

1. 像控点的平面位置测量可采用GNSS RTK、全站仪测量等方法，技术要求应符合现行《公路勘测规范》（JTG C10）的有关规定；
2. 像控点的平面点位中误差应符合表6的规定。
3. 像控点平面精度要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 平面位置中误差(m) | ≤0.05 | ≤0.10 |

1. 像控点的高程可采用GNSS RTK、水准测量和三角高程测量等方法进行，技术要求应符合现行《公路勘测规范》（JTG C10）的有关规定；
2. 像控点的高程中误差应符合表7的规定。
3. 像控点高程精度要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 高程中误差(m) | 平原 | ≤0.10 | ≤0.15 | ≤0.15 |
| 微丘 | ≤0.15 | ≤0.35 |
| 重丘 | ≤0.35 | ≤0.50 |
| 山岭 | ≤0.5 | ≤1.0 |

* 1. 航空摄影
		1. 航摄前准备
			1. 航摄时间选择

航摄时间的选择应符合以下规定：

1. 雨、雪、雾霾天气不宜进行航摄；
2. 宜选择太阳高度角大于40°或阴影倍数小于1.2的时段进行摄影，并避免地面强反光造成的影像细节损失；
3. 高层建筑物密集区域宜选择在正午前后各1h内或阴天时段摄影；
4. 补摄时应选择与原始航摄天气条件相近的时段进行摄影；
5. 山区气流复杂，需选择抗风性能≥6级的机型，飞行时优先选择上午10点至下午3点的稳定气流时段，避免低空湍流；
6. 湖泊区域作业选择阴天或日出后1小时内作业，避免正午强光反射；
7. 梅雨季节需避免连续阴雨天气航摄。
	* + 1. 航摄安全准备

航摄安全准备应符合以下规定：

1. 应按照相关规定获得空域许可；
2. 排查影响飞行安全的障碍物包括建（构）筑物、高压电线、高压铁塔等，确定航摄区域内的最高点和安全飞行高度；
3. 选择平坦、空旷场地作为起降点。
	* + 1. 设备检查

航摄前应对设备进行检查，包括以下主要内容：

1. 检查无人机、相机是否正常、参数设置是否正确，定位定姿系统、通讯系统、导航系统是否连通正常；
2. 检查无人机电量是否充足、桨叶安装是否正确、存储设备是否正常、系统报警提示是否正常等；
3. 采用GNSS RTK时，应检查网络信号是否正常。
	* 1. 航摄实施

航摄实施过程中应符合下列规定：

1. 宜利用飞控系统上传航线文件至飞行器，执行航摄任务；
2. 航摄过程中应实时监控飞行姿态和数据采集情况，确保飞行安全和数据采集有效性；
3. 无人机在视距范围内时，应注意飞行器与地物之间的距离，必要时应人工干预或停止飞行；
4. 无人机在视距范围外时，应利用飞控系统、地面站系统或无人机场系统提供的实时图传和飞行状态数据，监控飞行器的位置和姿态；
5. 每架次飞行结束，应填写航摄飞行记录表，格式宜按附录B的规定执行。
	* 1. 飞行质量和影像质量要求
			1. 航高保持

同一航线上相邻像片航高差不应大于20m，最大航高与最小航高之差不应大于30m，实际航高与设计航高之差不应大于50m。

* + - 1. 垂直影像倾斜角

垂直影像倾斜角不宜大于5°，最大不应大于10°。

* + - 1. 垂直影像旋偏角

垂直影像旋偏角不宜大于25°，最大不应大于35°。

* + - 1. 航线弯曲度

航线弯曲度不应大于3%。

* + - 1. 摄区、分区影像覆盖

摄区、分区影像覆盖应符合5.3.2和5.3.3的规定。

* + - 1. 影像质量要求

影像质量应符合下列要求：

1. 影像应清晰、反差适中、色调柔和，能辨认出与地面分辨率相适应的地物，能够建立清晰的立体模型；
2. 影像上不应有大面积的云、烟、反光等缺陷；
3. 曝光瞬间的像点位移一般不应大于1个像素,最大不应大于1.5个像素。
	* 1. 补摄

航摄实施过程中出现的相对漏洞和绝对漏洞均应及时补摄，补摄应符合下列规定：

1. 应采用前一次航摄相同型号的航摄仪；
2. 补摄应按照原设计要求进行；
3. 补摄航线的两端应超出漏洞之外不少于两条基线；
4. 光照条件宜与前一次航摄相同。
	1. 数据处理
		1. 数据预处理

数据预处理应符合下列规定：

1. 数据应按架次、相机镜头分别整理，定位定姿数据应与影像文件逐一对应；
2. 影像格式宜采用TIFF格式或JPG格式；
3. 宜对影像进行匀色匀光处理，影像整体色调应一致；
4. 宜对影像进行图像增强，增强影像细节。
	* 1. 空中三角测量
			1. 自由网平差

自由网平差应符合下列规定：

1. 自动匹配连接点中误差应不大于1个像素，最大残差应不大于3个像素；
2. 每个像对连接点应均匀分布，数量应大于30个点，每张影像的连接点数量不应少于200个；
3. 自动匹配点不能连接影像时，应人工添加连接点，人工连接点宜在影像距中心2/3幅面内；
4. 自由网平差后连接点坐标残差不应大于1个像素。
	* + 1. 区域网平差

区域网平差应符合下列规定：

1. 测区宜进行整体空三平差计算；
2. 分区处理时，区域接边宜选择在地形平坦处，且应有控制点分布；
3. 平差后每张影像连接点像元中误差应小于1个像素；
4. 控制点残差应小于1个像素；
5. 检查点误差应小于3个像素。
	* 1. 实景三维建模
			1. 影像密集匹配

应选取建模范围内最优影像组成像对，通过影像特征点密集匹配，获得地物表面的密集点云。

* + - 1. 三角网构建

采用密集点云构建的三角网表面几何模型应与实际对象表达一致，模型表面应平滑，宜恢复出更多的模型细节。

* + - 1. 纹理映射

同一测区模型纹理宜保持纹理色彩、色调的一致性，不同测区模型之间的纹理颜色宜保持一致。

* + - 1. 模型整饰

模型整饰应符合下列规定：

1. 实景三维模型应色彩真实、无明显色差；
2. 分区、分段的结合处应无缝衔接、过渡自然；
3. 面状地物应无波浪起伏和纹理拉花、塌陷等缺陷；
4. 线状地物应无断裂、错位、锯齿、波浪等缺陷；
5. 点状地物从不同视角显示的图像应与实际形状相符。
6. 遮挡部分应将遮挡的影像切除，并利用相似面模型进行贴图、修饰。
	* 1. 模型分块与存储

实景三维模型应分块存储，并符合下列规定：

1. 分块应以路线中心为原点，中心点坐标应取整数；
2. 分块应采用格网，根据公路工程需要，格网间距宜设置为100m×100m、200m×200m等大小，各分块之间的重叠度不宜超过1%；
3. 模型文件命名时，大块模型文件命名为“块名+文件扩展名”，多级化成果命名为“块名\_级\_索引号+文件扩展名”；
4. 纹理文件应与模型文件对应，大块模型纹理命名为“块名+文件扩展名”，多级化成果命名为“块名\_级\_影像索引号+文件扩展名”；
5. 实景三维模型文件格式应满足公路工程应用需求，宜采用osgb、obj等通用格式。
	1. 质量检查和资料提交
		1. 质量检查
			1. 检查内容和检查项

实景三维模型质量检查内容、检查项宜符合表8.1-1的规定，质量检查宜以不同的方式进行抽查检核。

1. 实景三维模型质量检查内容、检查项

|  |  |
| --- | --- |
| 检查内容 | 检查项 |
| 测量基准 | 平面坐标系 | 检查模型平面坐标系的符合情况 |
| 高程基准 | 检查模型高程基准的符合情况 |
| 位置精度 | 平面精度 | 检查模型平面位置点位中误差 |
| 高程精度 | 检查模型高程中误差 |
| 模型表达 | 轮廓数据精细度 | 检查模型几何形状的准确性和合理性 |
| 纹理精细度 | 检查模型纹理的准确性和合理性 |
| 属性精度 | 检查模型属性是否准确和完整 |
| 场景效果 | 完整性 | 检查场景内包含各类模型的完整性 |
| 协调性 | 检查场景内地物相对关系协调的程度 |
| 逻辑一致性 | 格式一致性 | 检查模型文件存储格式、命名、组织是否正确 |
| 文件可读性 | 检查模型文件是否能够有效、完整读出 |
| 附件质量 | 完整性 | 检查附属技术文档的完整性 |
| 准确性 | 检查附属技术文档是否存在内容错漏 |

* + - 1. 精度计算

位置精度检查时，可利用未参与空中三角测量平差的像控点或已有高精度测量成果作为检查点，抽检样本比例不宜少于模型分块的5%，检查点的平面中误差、高程中误差应分别按公式（3）计算。

  ()

式中：

——检查点平面中误差(m)；

——检查点高程中误差(m)；

——检查点平面较差(m)；

——检查点高程较差(m)；

——检查点个数。

* + 1. 资料提交
			1. 航空摄影成果

航空摄影成果提交资料应包含下列内容：

1. 倾斜航空摄影技术设计书；
2. 航摄仪检定报告；
3. 航摄飞行记录表；
4. 航摄数字影像；
5. 航线、像片结合图；
6. 航摄范围完成情况图；
7. GNSS/IMU数据；
8. 地面GNSS基准站观测数据；
9. 像控点资料。
	* + 1. 空中三角测量成果

空中三角测量成果提交资料应包含下列内容：

1. 影像外方位元素；
2. 畸变纠正后影像；
3. 加密分区图；
4. 空三加密精度报告。
	* + 1. 实景三维模型成果

实景三维模型成果提交资料应包含下列内容：

1. 分块接合图；
2. 实景三维模型文件；
3. 测量技术报告；
4. 其他相关资料。
	* + 1. 文档资料

文档资料应包含下列内容：

1. 技术设计书；
2. 测量技术报告；
3. 质量检查报告；
4. 其他相关资料。
5.
6. （资料性）
像控点标志形状



1. （资料性）
航摄飞行记录表
	1. 航摄飞行记录表

机组： 日期： 从 时 分到 时 分

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 摄区 | 摄区名称 |  | 摄区代号 |  | 航摄分区 |  | 影像地面分辨率 |  |
| 绝对航高 |  | 摄影方向 |  | 航线条数 |  | 地形地貌 |  |
| 飞行器 | 飞行器型号 |  | 飞行器编号 |  |
| 航摄相机 | 相机型号 |  | 相机编号 |  | 焦距 |  | 像片数量 |  |
| 人工补摄 | 相机型号 |  | 相机编号 |  | 焦距 |  | 像片数量 |  |
| 天气 | 天气状况 |  | 风向风速 |  |
| 班组人员 | （操控手、作业员） |
| 航摄飞行示意图 |
| 备注： |

航摄单位： 填表人：