ICS

CH

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T ××××—××××

低空数字航空摄影规范

Specifications for Low-Altitude Digital Aerial Photography

（征求意见稿）

201×-××-××发布　　201×-××-××实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目　　次

前言.....错误!未定义书签。
引言.....II
1　范围.....1
2　规范性引用文件.....1
3　术语.....1
4　工作流程.....1
5　航摄系统准备.....2
6　航摄计划与航摄设计.....3
7　航空摄影实施.....5
8　飞行质量与影像质量要求.....5
9　成果质量检查.....6
10　整理验收与上交成果.....7
附录A（资料性附录）　旋角计算示意图.....10
附录B（资料性附录）　航摄分区和航线示意图.....11
附录C（资料性附录）　相机安装示意图.....12
附录D（资料性附录）　航摄资料移交书.....14
附录E（资料性附录）　航摄飞行记录表.....15
附录F（资料性附录）　低空数字航摄常用计算公式.....16

前　　言

本标准规定了无人机低空数字航摄标准的适用范围、基本术语、总体流程、航摄系统要求、航摄计划与航摄设计、航摄实施、质量检查、成果整理与验收等重大问题，是开展低空数字航空摄影的主要技术依据。

本标准由原测绘行业指导性技术文件《低空数字航空摄影规范》CH/Z 3005-2010 升级而来，主要根据科研技术进步和生产实践，做了如下主要改动：

——删除了与航空摄影无关的对飞行平台的指标要求，增加了飞行器飞行速度与传感器快门协调。

——改动了航摄分区原则和技术指标，由原来的高差 1/6 航高，放宽到 1/4,高山地放宽至 1/3；明确了基准面设计地面分辨率、设计重叠度问题。

——增加了 GNSS 和 IMU 等新测量技术。

——提升了传感器指标，增加了视场角 27°限制和检校模型和内容要求；

——明确了航摄季节和时间原则；

——删除了临时过渡的 B 类地理信息产品相关要求，保持了与其他地理信息产品国标的一致性。

——修订了资料性附录部分细节，增加了 GNSS 和 IMU 偏心量示意图。

本标准和低空数字航空摄影测量内业标准、低空数字航空摄影测量外业标准共同组成系列标准。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

引　　言

随着我国无人机技术飞速发展，以无人飞行器为代表的低空飞行平台搭载小像幅航空数码测量相机的航空摄影得到各行业广泛应用。为推进这类技术产业应用和规范发展，针对其数据获取和处理工作需要制定本规范。

本标准根据国内无人飞行器航摄系统的技术水平、应用情况及相关软硬件生产现状，参照有关航空摄影标准制定，对低空航空摄影工作进行规范。

低空数字航空摄影规范

1 范围

本标准规定了低空数字航空摄影生产的航摄系统要求、航摄计划与航摄设计要求、飞行质量和影像质量要求、成果整理和验收要求。

本标准适用于采用无人飞行器航摄系统，以生产数字基础地理信息产品为目的的低空数字航空摄影工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 23236-2009 数字航空摄影测量 空中三角测量规范

GB/T 27919 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范

GB/T 27920.1-2011 数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影

CH/T 2009-2010 全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范

CH/T 3006-2011 数字航空摄影测量 控制测量规范

CH/T CCCC 低空数字航空摄影测量外业规范

3 术语

3.1

定点曝光（fixed-point exposure）

根据预先设计的航线和曝光点位置，触发传感器曝光的控制方法。

3.2

等距曝光（equidistant exposure）

根据预先设计的航线和固定曝光空间间隔距离，触发传感器曝光的控制方法。

3.3

等时曝光（equal interval time exposure）

根据预先设计的航线和固定曝光时间间隔，触发传感器曝光的控制方法。

4 工作流程

低空数字航空摄影流程工作流程见图 1。

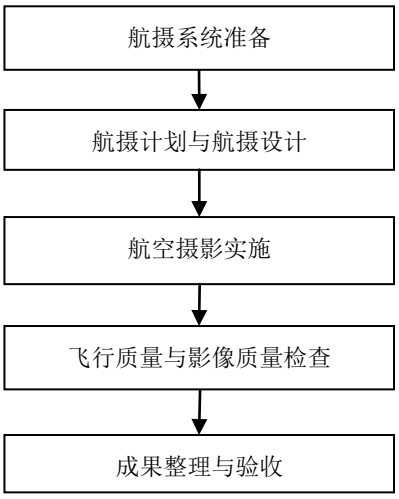

图 1 低空数字航空摄影流程图

5 航摄系统准备

5.1 飞行平台要求

5.1.1 任务载荷要求

5.1.1.1 飞行平台应具备足够的载荷能力，除油料、电池、机载发电机等之外，有效载荷须保证承载传感器及其辅助系统，空间充足，不遮挡视场，不影响接线和插卡等动作。
5.1.1.2 搭载稳定云台的，需协调保证运动空间，云台运动范围内传感器无视场遮挡现象。
5.1.1.3 飞行平台发动机、电机运行过程中固有振动频率应与传感器协调，采取减震措施避免振动引起成像模糊，尤其应避免传感器出现角元素形式的振动。

5.1.2 抗风能力

5.1.2.1 固定翼无人飞行器应具备不低于 5 级风力气象条件下安全飞行能力。
5.1.2.2 多轴旋翼机及其他类型无人飞行器应具备不低于 4 级风力气象条件下安全飞行能力。

5.1.3 飞行速度

5.1.3.1 飞行平台应与其搭载的传感器协调配合，保证安全飞行的前提下，尽量选择巡航速度低的飞行平台，以保证像移和运动变形在较低的范围内。低空航空摄影时飞行平台巡航速度一般不大于 160km/h，1：500 成图比例尺航摄时，巡航速度一般不大于 100 km/h。
5.1.3.2 采用具备像移补偿功能的传感器或者云台的低空航摄系统，可不受 5.1.3.1 指标限制，补偿后残差不超过 0.5 个像素。

5.1.4 自动驾驶仪

自动驾驶仪应具备基本飞行控制功能。为满足航空摄影需求，还应具备以下功能和要求：

a) 具备接收预设航线和曝光控制信息的功能，可输出控制航摄相机曝光的电控信号。
b) 具备定点曝光控制或等距曝光控制功能。
c) 具备记录和下载实际曝光点位置和姿态等信息的功能。

5.1.5 测姿定位系统

当采用双频 GNSS 或 IMU/GNSS 辅助航空摄影测量时，应满足以下要求：

a) 需选用双频 GNSS，数据记录频率不小于 5HZ。

b) 测角精度值应达到横滚角、俯仰角不大于 0.01°，航偏角不大于 0.02°。

5.2 航摄数码相机要求

5.2.1 基本要求

5.2.1.1 相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远。

5.2.1.2 镜头与相机机身，以及相机机身与成像探测器之间稳固连接。

5.2.1.3 相机最高快门速度应不慢于 1/800s。

5.2.1.4 连接双频 GNSS 和惯性测量装置时，相机应具备曝光信号反馈功能。

5.2.1.5 视场角不小于 27° 以保证物方高程观测精度。

5.2.2 检校要求

航摄相机须进行成像几何检校，检校应满足以下要求：

a) 通过摄影测量平差方法解算相机检校参数，包括主点坐标、主距、畸变参数、像元尺寸、面阵大小等，并提供检校数学模型。

b) 主点坐标中误差不应大于 10μm，主距中误差不应大于 5μm，残余畸变差不应大于 0.3 像素。

c) 当航摄相机出现大修、关键部件更换、或者遭受剧烈振动和冲击等情况下，应重新检校。

d) 航摄相机应定期检校，一般不超过 2 年，采用弹射伞降起降方式等频繁使用的相机检校期原则上不超过 1 年。

5.2.3 数据动态范围

5.2.3.1 影像每通道的数据动态范围不应小于 8bit。

5.2.3.2 原始记录影像可采用压缩格式，压缩倍率一般不应大于 10 倍。

6 航摄计划与航摄设计

6.1 航摄计划

根据航摄任务需求制定航摄计划，航摄计划应包括以下内容：

a) 摄区范围；

b) 测图比例尺和摄影地面分辨率；

c) 航线敷设方法、像片航向和旁向重叠度；

d) 航摄相机类型、技术参数和辅助设备参数；

e) 需提供的航摄成果名称和数量；

f) 执行航摄任务的季节和期限；

g) 其他技术要求。

6.2 航摄设计

6.2.1 设计用基础地理数据的选择

设计用基础地理数据应选择摄区最新制作的地形图、影像图或数字高程模型，地形图、影像图比例尺不低于 1:1 万，数字高程模型比例尺不低于 1:5 万。

6.2.2 基准面地面分辨率的选择

各航摄分区基准面的地面分辨率应根据不同比例尺航摄成图的要求，结合分区的地形条件、测图等高距、航摄基高比及影像用途等，在确保成图精度的前提下，本着有利于缩短成图周期、降低成本、提高测绘综合效益的原则在表 1 的范围内选择。

表 1 航摄基准面设计地面分辨率范围

测图比例尺	地面分辨率值（cm）
1：500	≤5
1：1 000	≤10，宜采用 8
1：2 000	≤20，宜采用 16

6.2.3 航摄分区的划分和基准面确定

无人机航摄分区划分应遵循以下原则：

a) 分区应兼顾考虑成图精度、飞行安全高度、以及飞行效率、飞行方向等因素。
b) 平地和山地分区内的高差不应大于 1/4 相对航高；高山地分区内的高差不应大于 1/3 相对航高；特殊困难区域，分区内高差限制可适当放宽，最低点分辨率不应低于设计值的 1.5 倍，或者分辨率超限面积占比不超过 10%。
c) 航摄基准面一般应取分区内高程占比加权平均值。方法参见 GB/T 27920.1-2011 数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影附录 A7。
d) 在地形高差符合 b）条规定，分区的跨度应尽量划大，且完整覆盖摄区。

6.2.4 重叠度设计

6.2.4.1 航摄分区基准面上设计航向重叠度，无人机低空数字航摄一般取 60%-90%，宜采用 70%，高山地和高大建筑物密集区宜采用较大航向重叠度，对高程精度要求较高的，宜采用 60%-70%设计航向重叠度。

6.2.4.2 航摄分区基准面上设计旁向重叠度，无人机低空数字航摄一般取 20%-60%，宜采用 40%。对于城市地区三维建模、带状地物需要旁向构建立体模型、以及部分海岛礁测绘等情况下，宜采用较大旁向重叠度设计方案。

6.2.5 飞行器飞行速度与传感器快门协调指标

航摄设计阶段，所选无人机飞行器的飞行速度和传感器采用的快门速度应匹配，必要时协调指标，降低巡航空速，或者提高快门速度，遵循以下原则：

a) 采用中心快门的传感器，仅考虑像移，飞行器飞行速度一般不超过 0.5 像素像移对应的巡航速度；
b) 采用帘幕快门的传感器，除满足 a)之外，快门速度一般不慢于 1/1000 秒，飞行器应尽可能采用低速水平稳定姿态飞行，减少帘幕快门运行周期内的影像运动变形。

6.2.6 航线敷设方法

航线敷设应遵循以下原则：

a) 航线一般按测区形状的长边平行敷设，亦可按照东西或者南北向飞行，或沿线路、河流、海岸、境界等方向飞行；
b) 曝光点应尽量采用数字高程模型依地形起伏设计，采用定点曝光或等距曝光控制方法，不宜采用等时曝光控制方法；
c) 进行水域摄影时，应尽可能减少像主点落水，要确保所有岛屿达到完整立体观测覆盖。
d) 需要时可增加构架航线，与正常航线尽量垂直、航高近似。

6.2.7 像片控制点预先布标

对于缺乏特征地物（如森林、戈壁、沙漠、滩涂等）或者需要重复监测的区域，需在航摄实施之前布设人工标志并测量坐标，具体方法依据 CH/T CCCC 低空数字航空摄影测量外业规范。

6.2.8 航摄季节、气象、时间条件的选择

6.2.8.1 除应急状态外，低空航摄应尽量避免积雪、洪水、扬沙、烟雾等对摄影和地理信息产品生产造成不利影响，确保航摄影像能够详实地显现地物细部；
6.2.8.2 以测制地形图为目的的低空航摄，宜选择冬季植被覆盖较低时节航摄，减少植被对地形测制的不利影响；对于注重光谱信息或者需要考虑景物彩色效果的航摄任务、宜选取非冬季时节航摄。
6.2.8.3 航摄时间选择，应避免地物对太阳光造成强反射，减少阴影对地物细节的影响。在沙漠、戈壁、河流湖泊、海洋、大面积的盐滩、盐碱地、滩涂等水域上空航摄时，尽量减少影像上产生强烈反射光斑而损失地物细节，航摄不宜选择正午时间，应采取提前或推后 1-2 小时摄影；在陡峭山区和高大建筑物密集的城镇地区宜在正午前后各 2 小时内摄影，减少阴影对地物细节影响，条件允许时，可实施低空云下摄影。

7 航空摄影实施

低空无人机航摄实施过程中，应遵循以下原则性要求：
a) 使用机场时，应按照机场相关规定飞行；不使用机场时，应根据飞行器的性能要求，选择起降场地和备用场地。
b) 航摄实施前应制定详细的飞行计划，且应针对可能出现的紧急情况制定应急预案。
c) 在保证飞行安全的前提下可实施云下摄影。
d) 采用 GNSS 辅助航空摄影时，可布设地面基站，方法参 GB/T 27919 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范，采用 RTK 技术时，参照 CH/T 2009-2010 全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范第 5 第 6 条执行。
e) 航摄实施期间需填写航摄飞行记录表（见附录 E）
f) 采用 GNSS 或 IMU/GPS 辅助航空摄影时，需拷贝机载记录文件，并使用地面检校场计算偏心量，方法参 GB/T 27919 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范。

8 飞行质量与影像质量要求

8.1 飞行质量

8.1.1 像片重叠度

8.1.1.1 航向重叠度一般为 60%-80%，实际飞行结果最小不应小于 53%。连续出现 53%不得超过 3 张航

片。
8.1.1.2 旁向重叠度一般为 15%-60%，实际飞行结果最小不应小于 8%。连续出现 8%不得超过 3 张航片。

8.1.2 像片倾角和旋角

8.1.2.1 实际飞行结果像片倾角一般不超过 12°，最大不超过 15°。
8.1.2.2 实际飞行结果像片旋角一般不超过 15°，最大不超过 25°。
8.1.2.3 像片倾角和像片旋角不应同时达到最大值。

8.1.3 摄区边界覆盖保证

航向覆盖超出分区边界线应不少于两条基线。旁向覆盖超出整个摄区和分区边界线一般应不少于像幅的 50%。

8.1.4 航高保持

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

8.1.5 漏洞补摄

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，应采用同型号相机补摄，补摄航线的两端应超出漏洞之外两条基线。

8.2 影像质量

8.2.1 影像应清晰，层次丰富，反差适中，色调柔和；应能辨认出与地面分辨率相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型；
8.2.2 影像上不应有云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷。虽然存在少量缺陷，但不影响立体模型的连接和测绘，可以用于测制线划图；
8.2.3 确保因飞机地速的影响，曝光瞬间造成的基准面上像点位移一般不应大于 0.5 个像素，地形最高点最大不应大于 1 个像素；

9 成果质量检查

9.1 检查范围

航摄执行单位应按本标准第 8 章的要求对飞行质量和影像质量进行检查。

9.2 检查项目和方法

9.2.1 像片重叠度

利用专用重叠度检查软件检查，可手工选取同名点或自动匹配同名点计算。

9.2.2 像片倾角

通过无人机记录的姿态角元素检查，取像片的横滚角和俯仰角中的较大者作为对应像片的像片倾角。

9.2.3 像片旋角

通过人工或者用软件辅助检查相对旋角，具体检查方法图解描述参见附录 A。

9.2.4 影像质量

9.2.4.1 目视观察，检查影像清晰度、动态范围，反差和色调情况，以及是否存在缺陷等；
9.2.4.2 像点位移根据飞机飞行速度、曝光时间和影像地面分辨率，利用附录 F 相应公式计算。最大像点位移通过航摄分区最高点处计算。

9.2.5 空中三角测量精度验证

为便于航摄单位与内业处理单位交接资料，避免出现精度问题，例如数码相机几何结构变动、更换了未与相机匹配过的飞行平台等情况，可增加空中三角测量精度验证，从摄区影像中选取 3 条航线×8 张像片组成的区域进行空三自由网平差，具体指标可根据比例尺在技术设计书中规定，需提供自由网空三报告，包含像点残差，匹配点位截图等。

10 整理验收与上交成果

10.1 整理

10.1.1 数字航片整理

10.1.1.1 预处理

低空数字航片预处理主要包括以下内容：

a）格式转换

为归档资料或后处理的需要，将不同低空航摄系统获取的专用影像数据格式转换为通用格式。

b)旋转影像

低空数字航片影像应保持与航摄相机参数的一致性，一般不做旋转指北处理，通过标明飞行方向、起止像片编号的航线示意图(参见附录 B)，以及航摄相机在飞行器上安装方向示意图(参见附录 C)，建立对应关系。

c)畸变差纠正

根据后续处理作业的技术条件和要求，可采用专用软件对原始数字航片数据进行畸变差纠正，输出无畸变影像和对应纠正后影像的相机参数。

d)增强处理

在不影响成果质量和后续处理的范围内，对光照欠佳、阴天有雾等原因引起的影像质量较差的数字航片，可做拉伸、锐化、匀光匀色等增强处理。

10.1.1.2 航片编号

航片编号方法为：

a） 航片编号由 12 位数字构成，采用以航线为单位的流水编号。航片编号自左至右 1～4 位为摄区代号，5～6 位为分区号，7～9 位为航线号，10～12 位为航片流水号，其中没有摄区代号的可自行定义摄区代号，航片流水号可与原始影像流水号后三位数字保持一致。

b） 一般以飞行方向为编号的增长方向；

c） 同一航线内的航片编号不允许重复；

d） 当有补飞航线时，补飞航线的航片流水号在本航线原流水号基础上加 500。

10.1.1.3 航片存储

按照摄区、分区、航线建立目录分别存储，一般应采用硬盘或光盘等存储。

10.1.1.4 外包装

硬盘或光盘等和其包装盒标签的注记内容应包括：

a） 总体信息部分：
   1） 摄区、分区名称；
   2） 相机型号及其编号；
   3） 相机主距；
   4） 航摄时间；
   5） 飞行器型号；
   6） 航线数和航片数；
   7） 摄区面积；
   8） 地面分辨率；
   9） 航摄单位。

b） 本盘装载内容部分：
   1） 盘号（分盘序号/总盘数）；
   2） 影像类型；
   3） 航线号；
   4） 起止片号；
   5） 备注。

10.1.2 文档资料整理

10.1.2.1 纸质文档资料的整理

纸质文档资料应按以下要求整理：

a） 所有文档应单独装订成册，存放在 A4 幅面的档案盒内。

b） 每份案卷中应包含卷内资料清单。

10.1.2.2 电子文档资料的整理

电子文档资料应按以下要求整理：

a） 电子文档的名称和内容应与纸质文档一致，无电子格式的纸质文档应扫描成电子文档。

b） 电子文档的存储介质为硬盘或光盘等。盒外注明摄区名称，摄区代码和资料名称。

c） 概略曝光点坐标文件中影像编号应与 10.1.1.2 中航片编号一致。

10.2 验收

10.2.1 验收程序

验收应按照以下程序执行：

a） 航摄执行单位按本规范和摄区合同的规定对全部航摄成果资料逐项进行检查，并填写检查记录手簿；

b） 航摄执行单位质检合格后，将全部成果资料整理齐全，移交航摄委托单位代表验收；

c） 航摄委托单位代表依据本规范和航摄合同规定对全部成果资料进行验收，双方代表协商处理

检查验收工作中发现的问题，航摄委托单位代表最终给出成果资料的质量评定结果；

d） 成果质量验收合格后，双方在移交书上签字，并办理移交手续。

10.2.2 验收报告

航摄委托单位代表完成验收后，应写出验收报告。报告的内容主要包括：

a） 航摄的依据——航摄合同和技术设计；

b） 完成的航摄像片数和摄区面积；

c） 对成果资料质量的基本评价；

d） 存在的问题及处理意见。

10.3 上交成果

上交的成果资料应包括：

a） 影像数据；

b） 标明飞行方向、起止像片编号的分区示意图、航线示意图(参见附录 B)；

c） 航摄相机在飞行器上安装方向示意图(参见附录 C)；

d） 航空摄影技术设计书；

e） 航摄飞行记录表 (参见附录 F) ；

f） 相机检定参数报告；

g） 航摄资料移交书(参见附录 D)；

h） 航摄军区批文；

i） 航摄资料审查报告；

j） 实际曝光点坐标或姿态角记录文件；

k） 其它有关资料。

附录A
（资料性附录）
旋角计算示意图

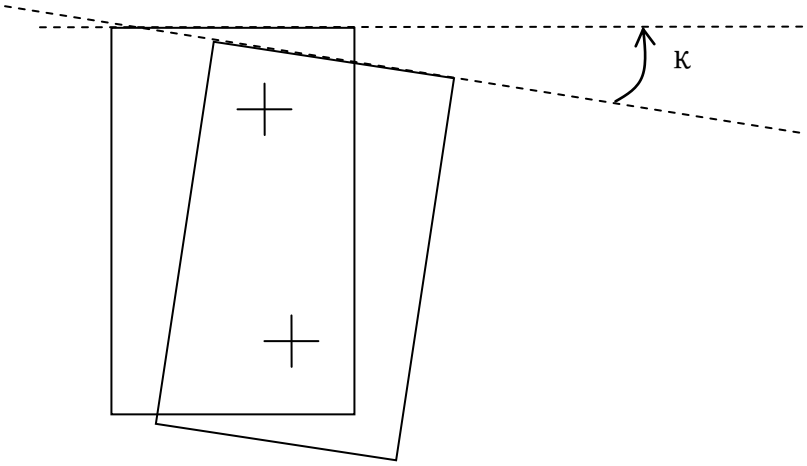

图 A.1

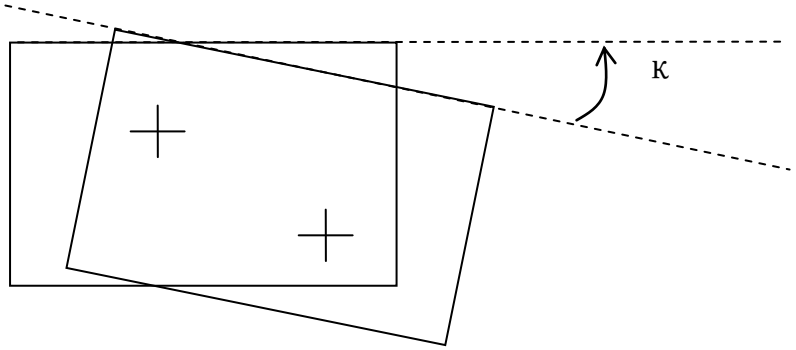

图 A.2

选取两个同名点后，计算像片旋角 κ 值。本方法适用于低空数字航空摄影系统框幅式数字影像的飞行质量检查中的旋角检查。

附录B
（资料性附录）
航摄分区和航线示意图

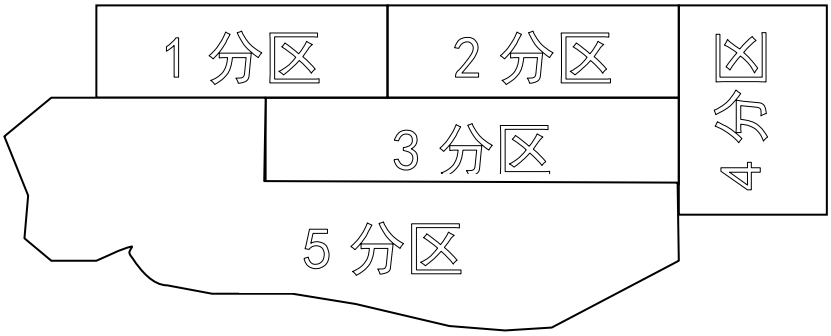

图 B.1 面状摄区航摄分区示意图

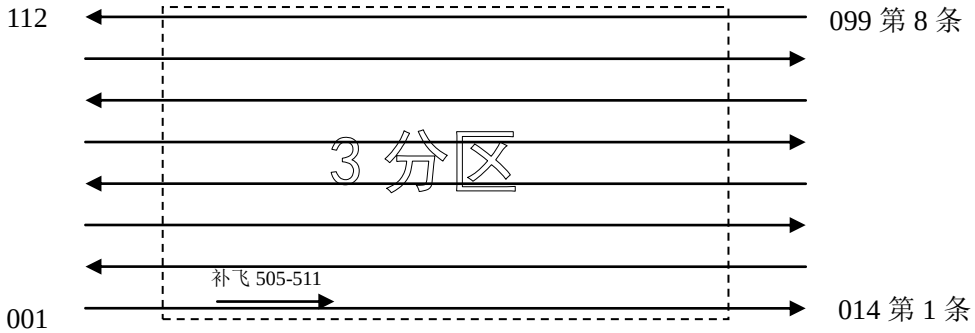

图 B.2 面状摄区分区航线示意图（简写标注分区号、飞行方向、航线号及航片流水号）

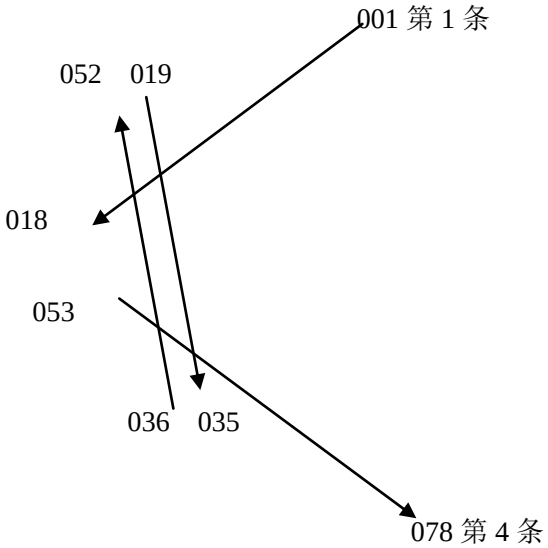

图 B.3 线状摄区航线示意图（简写标注分区、飞行方向、航线号及航片流水号）

附录C
（资料性附录）
相机安装示意图

相机与像空间坐标的关系如图 C 标明：

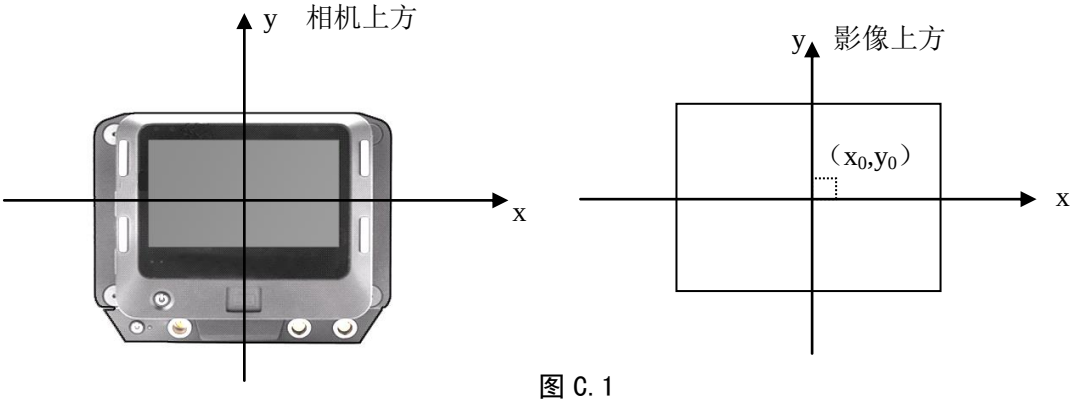

图 C.1

影像上方采用箭头标明与飞行方向的关系：

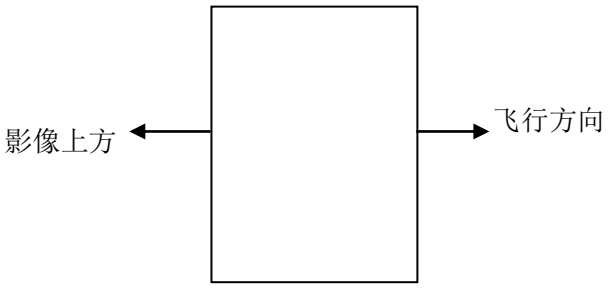

图 C.2

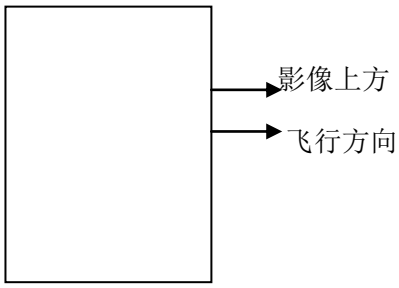

图 C.3

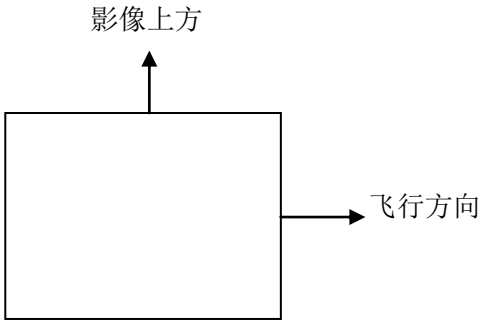

图 C.4

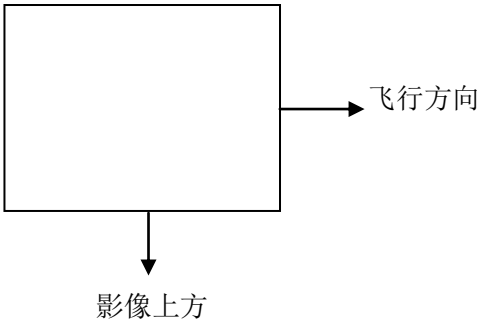

图 C.5

IMU/GNSS 系统空间位置关系示意如图 C.6 说明

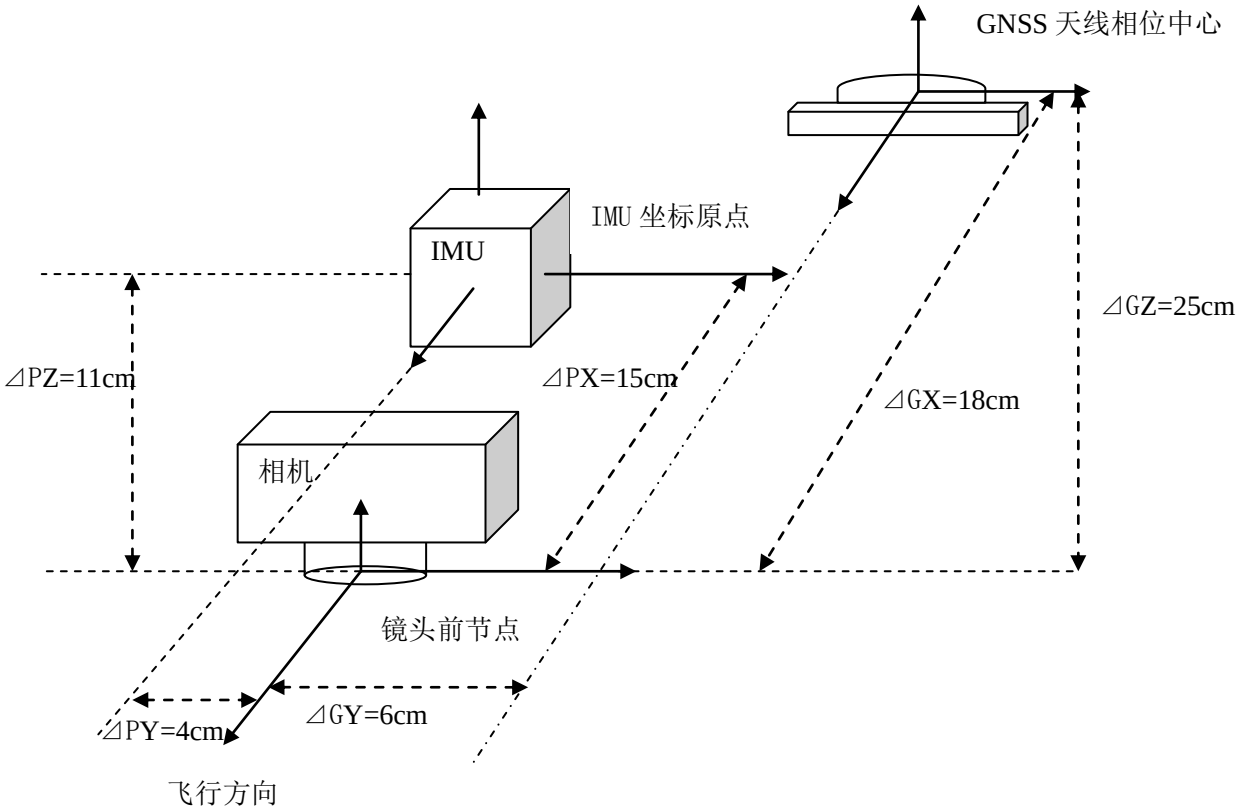

图 C.6 IMU/GNSS 与相机位置关系说明

附录D
（资料性附录）
航摄资料移交书

航摄资料移交书应包括航摄任务说明和航摄资料移交表。表格具体格式和内容如下：

根据____年____月____日_____

合同执行 _____摄区航空摄影任务，完成航摄面积_____ 平方公里及移交资料如下表：

表 D.1 航摄资料移交表

项目	规格	单位	份数	数量	备注
航摄影像		套			
航摄分区、航线示意图		张			附电子文档
相机安装示意图		张			附电子文档
相机检校参数报告		张			附电子文档
航摄技术设计书		本			附电子文档
航摄资料移交书		本			附电子文档
航摄飞行记录		本			附电子文档
实际曝光点坐标记录文件		本			附电子文档
航摄批文		套			附电子文档
航摄资料审查报告		套			附电子文档
其他					

以上经甲、乙双方代表确认，并核实清点无误。

接收单位(章)　　交出单位(章)

验收代表　　交出代表

接收代表　　负责人

年　月　日　　年　月　日

附录E
（资料性附录）
航摄飞行记录表

机组 _____ 日期 _____ 从 _____时_____分到_____时

摄区	摄 区 名 称		摄 区 代 号		航 摄 分 区		地面分辨率	
	绝 对 航 高		摄 影 方 向		航 线 条 数		地 形 地 貌	
飞机	飞 机 型 号		飞 机 编 号		导 航 仪			
航摄仪	航摄仪型号		航摄仪编号		镜 头 号 码		焦 距	
	滤 光 镜		光 圈		曝 光 时 间		感光度	
影像	盘 号				摄 影 时 间			
	摄影前试片				摄影后试片			
天气	天 气 状 况		水平能见度		垂直能见度			
机组	操 控 手		地面站人员		摄影测量员		机 械 师	
航 线 飞 行 示 意 图								
备 注：								

填表人 _____ 送片人 _____ 接片人 _____

附录F
（资料性附录）
低空数字航摄常用计算公式

F.1 像点位移

$$\delta = \frac{v \times t}{GSD} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (F.1)$$

式中：

v ——航摄飞机飞行速度,单位为米/秒(m/s)；

t ——曝光时间，单位为秒(s)；

GSD ——地面分辨率，单位为米（m)；

δ ——像点位移，单位为像素。

F.2 航高

$$H = \frac{f \times GSD}{a} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (F.2)$$

式中：

H ——摄影航高，单位为米（m)；

f ——镜头焦距，单位为毫米（mm)；

a ——像元尺寸，单位为毫米（mm)；

GSD ——地面分辨率，单位为米（m)。

F.3 摄影基线和航线间隔

$$\begin{aligned} b_X &= L_X(1-p_X) \\ d_Y &= L_Y(1-q_X) \end{aligned} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (F.3)$$

$$\begin{aligned} B_X &= b_X \times \frac{H}{f} \\ D_Y &= d_Y \times \frac{H}{f} \end{aligned} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (F.4)$$

式中：

b_X ——像片上的摄影基线长度，单位为毫米（mm)；

B_X——实地上的摄影基线长度，单位为米（m)；

d_Y ——像片上的航线间隔宽度，单位为毫米（mm)；

D_Y——实地上的航线间隔宽度，单位为米（m)；

L_X、L_Y ——像幅长度和宽度，单位为毫米（mm)；

p_X、q_Y ——像片航向和旁向重叠度（以百分比表示)；

f ——焦距，单位为毫米（mm)；

H ——摄影航高，单位为米（m)。

F.4 像片重叠度

$$p_X = p'_X + (1 - p'_X)\Delta h / H$$
$$q_Y = q'_Y + (1 - q'_Y)\Delta h / H \qquad \cdots\cdots (F.5)$$

式中：

p'_X、q'_Y ——航摄像片的航向、旁向标准重叠度（以百分比表示）；

Δh ——相对于摄影基准面的高差，单位为米（m）。

F.5 相邻像片的曝光时间间隔

$$\Delta t = \frac{B_X}{W} \qquad \cdots\cdots (F.6)$$

式中：

Δt ——相邻像片曝光时间间隔，单位为秒（s）；

W ——飞机飞行时的地速，单位为米每秒（m/s）。

F.6 航线弯曲度

$$E = \frac{\Delta l}{L} \times 100\% \qquad \cdots\cdots (F.7)$$

式中：

E ——航线弯曲度；

Δl ——像主点偏离航线首末像主点连线的最大距离，单位为毫米（mm）；

L ——航线首末像主点连线的长度，单位为毫米（mm）。

F.7 摄影分区基准面高程

摄影分区基准面高程是将分区个别突出最高点与最低点舍去不计外，使分区内高点平均高程与低点平均高程面积各占一半的平均高程平面。

采用DEM设计时，摄影分区基准面高程计算公式

$$h_{基} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{n} \qquad \cdots\cdots (F.8)$$

式中：

$h_{基}$ ——摄影分区基准面高程，单位为米（m）；

h_i ——分区内 DEM 格网点的高程值，单位为米（m）；

在地形图上选择高程点计算分区平均平面高程公式。

F.7.1 在平原和地形高差不大的平缓地区，用下式计算：

$$h_{基} = \frac{h_{最高} + h_{最低}}{2} \qquad \cdots\cdots (F.9)$$

式中：

$h_{基}$ ——摄影分区基准面高程，单位为米（m）；

$h_{最高}$ ——分区内最高高程，单位为米（m）；

$h_{最低}$ ——分区内最低高程，单位为米（m）。

F.7.2 在丘陵和地形起伏较大的地区，用下式计算：

$$h_{基} = \frac{h_{高平均} + h_{低平均}}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（F.10）$$

$$h_{高平均} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_{i高}}{n} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（F.11）$$

$$h_{低平均} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_{i低}}{n} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（F.12）$$

式中：

$h_{高平均}$ ——分区内高点平均高程，单位为米（m）；

$h_{低平均}$ ——分区内低点平均高程，单位为米（m）。