

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

IMU/GNSS 辅助低空
高光谱数据获取技术规范

Specifications for IMU/GNSS supported data acquisition of low-altitude
hyperspectral aerial photography

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2023 年 7 月)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术流程	2
5 工作准备	2
5.1 航摄平台和系统准备	2
5.2 航摄规划	3
5.3 空域使用申请	4
5.4 飞行前准备	4
6 数据获取	5
6.1 基本要求	5
6.2 地面 GNSS 基站数据获取	6
6.3 地面定标场光谱测量	6
6.4 地物光谱测量	6
6.5 原始数据质量检查	6
7 数据预处理	7
7.1 光谱校正	7
7.2 几何校正	7
7.3 条带拼接处理	8
7.4 预处理质量检查	8
8 数据产品分级与质量检查	8
8.1 预处理产品分级	8
8.2 预处理产品检查	8
9 成果整理与移交	9
9.1 成果整理	9
9.2 资料移交	9
附录 A（资料性）航摄常用计算公式	10
附录 B（资料性）飞行测量记录表	12

附录 C（资料性）地面作业记录表 15

附录 D（资料性）航带原始数据信噪比 16

附录 E（资料性）反射率计算方法 17

附录 F（资料性）航线示意图 18

附录 G（资料性）航摄资料移交书 19

参考文献 20

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会测绘分技术委员会（SAC/TC 230/SC2）归口。

本文件起草单位：广东省国土资源测绘院、核工业北京地质研究院、江苏省地质勘查技术院、华南师范大学、南京工业大学、广州星博科仪有限公司。

本文件主要起草人：付振华、刘洪成、刘金沧、王斌、黄岩、黄小川、罗文斐、李琴、张广运、张洋、赵国凤、叶发旺、夏进亮、戴诗涛、梁森、鲁纳川、刘文建、白航、陆迪雄。

引 言

本文件根据国内低空高光谱航摄系统的技术水平、应用情况及相关软硬件生产现状，参照有关高光谱数据获取标准制定，对IMU/GNSS辅助低空高光谱数据获取工作进行规范。

本文件中的“低空高光谱数据获取”非严密概念，仅作为代名词以区别于机载成像高光谱遥感数据获取、传统数字航空摄影，其特点如下：

1. 相对航高较低，一般在1000 m以下；
2. 采用高光谱成像仪作为传感器进行数据获取工作；
3. 国内低空高光谱数据获取传感器系统以推扫式为主，本文件主要针对推扫式低空高光谱数据获取方式，框幅式低空高光谱数据获取方式可根据本文件参考执行。

IMU/GNSS 辅助低空高光谱数据获取技术规范

1 范围

本文件规定了IMU/GNSS辅助低空高光谱数据获取的工作准备、数据获取、数据预处理、预处理产品分级及质量、成果整理与移交的基本要求。

本文件适用于自然资源领域的低空高光谱数据获取工作，生态环境、应急管理、精准农业等领域的低空高光谱数据获取可参考执行。

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 27919-2011 IMU/GPS辅助航空摄影技术规范

GB/T 27920.1 数字航空摄影规范 第1部分：框幅式数字航空摄影

GB/T 27920.2 数字航空摄影规范 第2部分：推扫式数字航空摄影

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

IMU inertial measurement unit

惯性测量单元，用于测量高光谱数据获取瞬间影像的姿态参数。

3.2

GNSS global navigation satellite system

全球导航卫星系统，用于测量高光谱数据获取瞬间摄影中心的位置参数。

3.3

高光谱数据 hyperspectral data

从成像光谱仪获取的，光谱通道狭窄、光谱分辨率一般优于10 nm、光谱范围可覆盖从可见光到近红外，甚至到中远红外、并且光谱连续的数据。

3.4

峰值信噪比 peak signal-to-noise ratio

信号与噪声的最大可能功率谱之比。

3.5

辐射定标 radiometric calibration

将高光谱图像的数字量化值转化为辐射亮度值的处理过程。

3.6

GNSS 偏心分量 GNSS lever arms

在以摄影中心为原点、摄影主光轴方向为Z轴（天顶方向为正）、航线方向为X轴（飞行方向为正）、垂直于XOZ方向为Y轴的右手坐标系中，GNSS天线相位中心的三维坐标。

[来源：GB/T 27920.2-2012，3.3]

3.7

光谱漂移 spectral shift

高光谱遥感器的通道中心因位置变化导致的波长漂移。

3.8

光谱重建 spectral reconstruction

将高光谱图像辐射亮度值转为地表反射率数据的处理过程。

4 技术流程

IMU / GNSS辅助低空高光谱数据获取技术流程包括工作准备、数据获取、数据预处理、数据产品分级与质量检查以及成果整理与移交，技术流程图见图1。

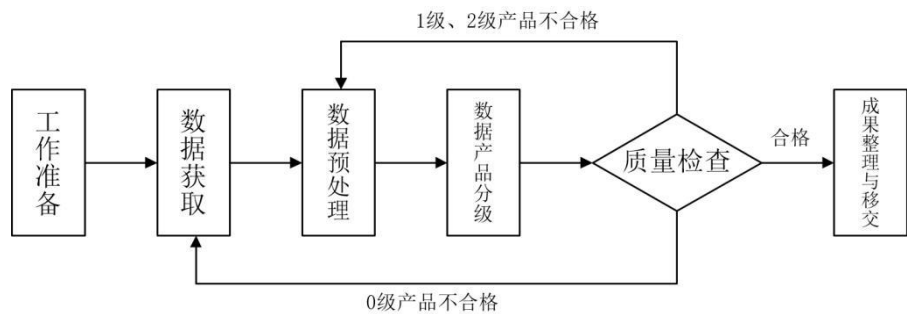


图 1 IMU/GNSS 辅助低空高光谱数据获取技术流程图

5 工作准备

5.1 航摄平台和系统准备

5.1.1 低空飞行平台

低空飞行平台应符合以下要求：

- a) 应有足够的载荷能力，满足安装成像光谱仪及相关配套设备的要求；
- b) 保证卫星导航定位信号接收正常；
- c) 应配有充足的电池或电源供电系统；
- d) 满足工作环境温度要求。

5.1.2 高光谱成像仪

根据任务目标，选择符合要求、性能稳定的高光谱成像仪，其性能应满足以下要求：

- a) 推扫式高光谱成像仪谱段范围宜包含 400 nm～2500 nm，框幅式高光谱成像仪谱段范围宜包含 400 nm～1000 nm；
- b) 谱段范围(VNIR)400 nm～1000 nm，光谱分辨率应优于 10 nm；谱段范围(SWIR)1000 nm～2500 nm，光谱分辨率应优于 15 nm；
- c) 可见光近红外(VNIR)峰值信噪比优于 200:1，短波红外(SWIR)峰值信噪比优于 100:1；
- d) 性能稳定，工作前应经过辐射定标。

5.1.3 IMU/GNSS 装置

IMU/GNSS系统应符合以下要求：

- a) GNSS 接收机应为动态多频 GNSS 接收机，采样间隔不应大于 0.2s；
- b) GNSS 天线应采用航空型产品，具有动态多频接收能力，并有精确定义和稳定的相位中心，能在低空、低速飞行状态下正常工作；
- c) 推扫式高光谱成像仪 IMU 数据记录频率以不小于 200 Hz，框幅式高光谱成像仪 IMU 数据记录频率以不小于 64 Hz 为宜；
- d) IMU/GNSS 联合解算测角中误差：横滚角和俯仰角不应大于 0.3°，航偏角不应大于 0.3°。

5.1.4 地面 GNSS 基站

地面GNSS基站应符合以下要求：

- a) 基站 GNSS 接收机应为测量型多频 GNSS 接收机，最小采样间隔不大于 0.5s；

- b) GNSS 天线应带有抑径板或抑径圈，具有多频接收能力；
- c) 应配有足量的电池或电源系统，能保证高光谱数据获取过程中供电不间断；
- d) 应配有能适应满架次作业所需地面观测数据存储要求的存储器。

5.1.5 地物波谱仪

地物波谱仪的性能应满足以下要求：

- a) 谱段范围为可见光—短波红外，波长为 400 nm~2500 nm；
- b) 可见光范围光谱分辨率优于 3 nm；短波红外范围光谱分辨率优于 7 nm；
- c) 光谱采集视场角为 1° ~25° ；
- d) 地物波谱仪性能稳定，配带标准定标板。

5.2 航摄规划

5.2.1 资料收集

5.2.1.1 测区资料

航摄前进行测区地理、地形和气象等资料的收集，作为航摄规划的依据。

5.2.1.2 底图资料

飞行设计底图应选择满足任务需要的相应比例尺地形图、数字正射影像图（DOM）或数字高程模型（DEM）。对于低空高光谱数据获取，底图比例尺宜优于1：5000。

5.2.2 地面分辨率

地面分辨率应根据测区的地物目标大小和地形特点，在确保满足影像用途和数据精度的前提下，本着有利于缩短作业周期、降低成本、提高测量综合效益的原则，在表1的范围内选择。也可根据待识别地物目标的尺寸而定，分辨率不宜低于待识别目标地物尺寸大小的50%。

表 1 地面分辨率

测图比例尺	地面分辨率/cm
1:500	≤5
1:1000	≤10
1:2000	≤20
1: 5000	≤50
1: 10000	≤100

5.2.3 测区分区

5.2.3.1 分区原则

- a) 应根据测区大小、形状、地形条件等因素，结合实际应用需求进行合理分区；
- b) 当测区过长时，按照地面卫星导航定位基站有效控制范围、高光谱成像仪性能限制和气象条件等因素进行合理分区；
- c) 当地形起伏较大时，按照测区高差不大于五分之一相对航高（以分区的平均高程为基准）进行分区设计。

5.2.3.2 分区编号

根据分区原则，在设计底图上将测区划分为若干个分区，并按从左到右、自上而下的顺序进行编号。

5.2.3.3 分区基准面高度

依据分区地形起伏和飞行安全条件等确定分区基准面高度，具体计算公式参见附录A中的A.1。

5.2.4 航线设计

5.2.4.1 设计原则

- a) 航线一般沿测区长轴方向，或综合考虑地貌条件、工作效率、气象条件和具体工作需要等因素而定，或者沿地理南北、东西方向飞行；
- b) 旁向重叠度一般不低于30%，在陡峭山区、高大建筑物密集的城镇地区、海岛、道路、管线、河流等摄区航摄时，旁向重叠度设计宜适当加大；框幅式高光谱成像仪航向重叠度一般不低于65%。具体应根据测区地形情况和飞行条件选择；
- c) 位于测区边缘的首末航线应设计在测区边界线上或边界线外；
- d) 每条航线首尾应超出数据采集区域至少一个航线间距的长度。

5.2.4.2 飞行速度计算

飞行速度（地速）根据高光谱成像仪扫描周期和地面分辨率确定，具体计算公式参见附录A中的A.2。

5.2.4.3 飞行高度计算

飞行高度（相对航高、绝对航高）根据5.2.2所确定的空间分辨率和高光谱成像仪的瞬时视场确定，具体计算公式参见附录A中的A.3。

5.2.4.4 设计内容

航线设计内容包括：

- a) 测区代号；
- b) 分区编号；
- c) 航线及编号；
- d) 测区角点坐标；
- e) 重要城镇、河流、湖泊；
- f) 国界及禁飞区；
- g) 航线长度。

5.2.4.5 飞行方案编写、审批

根据数据采集任务需要和本方案要求，编写飞行方案，并经委托方审批同意后，方可执行。

5.3 空域使用申请

查询空域管制区范围，根据工作任务和航线参数计算的结果，依法向空域管理部门申请空域使用。

5.4 飞行前准备

5.4.1 野外踏勘

野外踏勘应开展以下工作：

- a) 应选定基站架设地和飞行器起降场地，初步确定同步观测点。航空飞行器起降场地应远离高压线，周围视野开阔且无高塔、高楼、大树等阻挡物，应远离住宅楼；
- b) 查实研究区是否在禁飞区范围内。

5.4.2 定标场选择

5.4.2.1 选择标准

在飞行实施前，应根据以下要求选择定标场：

- a) 应选择合格的定标板/布作为定标场；
- b) 定标板/布应具有光谱均匀性；

- c) 定标板/布要均匀、平整，具有良好的朗伯体特性；
- d) 定标场应分别选择反射特性均匀、面积宜不小于当前地面分辨率下 5×5 个像元的黑板/布、白板/布或灰板/布；白板反射率大于 0.7，白布反射率大于 0.5，黑板/布反射率小于 0.3，灰板/布反射率介于白板/布与黑板/布之间；
- e) 定标场宜设置在测区内或测区附近的醒目平坦处，宜采用移动定标场来保证每个架次都有对应的定标场。

5.4.2.2 定标场航线

根据定标场位置、地形起伏和飞行效率等，必要时需特别设计定标场航线。

5.4.2.3 定标场航线要求

计算定标场航线起始点和终止点的坐标（经纬度），应保证航线经过定标场。

5.4.3 仪器安装与检查

高光谱成像仪安装与检查应满足以下要求：

- a) 安装前确保飞行器电源电量充足，能够持续稳定供电，电流、电压满足设备正常工作需要；
- b) 按照仪器设备操作手册正确安装高光谱成像仪、自稳云台、IMU、GNSS 等所有部件；
- c) 检查高光谱成像仪镜头视野是否正常，记录镜头安装的方向；检查电缆连接是否正确；
- d) 安装完毕，对仪器设备进行测试，检查仪器设备运行、数据记录和存储是否正常；
- e) 按照 GB/T 27920 测量设备的 GNSS 偏心分量并录入飞行记录表；
- f) 起飞前再次检查高光谱成像仪及其它设备状态，确保仪器设备正常工作；
- g) 高光谱成像仪每次拆卸安装，或设备各部件相对关系发生改变后，均应重新进行检校；
- h) 检查完成后填写检查记录表（见附录 B 中的表 B.1）。

5.4.4 基站布设

基站性能应符合 5.1.4 要求。基站的布设和测量应符合 GB/T 27919-2011 的规定。

5.4.5 其他准备

起飞前，应按飞行设计方案要求上传航线设计图、设置好飞行参数。其中积分时间应通过数据试采集进行确定。

6 数据获取

6.1 基本要求

6.1.1 飞行环境要求

飞行环境应符合以下要求：

- a) 天气晴朗、光照良好、无云且风力较小，太阳光辐射强度大于等于 5000 lux，能见度大于 15 km，风力不宜大于 5 级；
- b) 太阳高度角应大于 30° ，以 10 点到 15 点为宜；地物主体为水域时以 9 点到 11 点，14 点到 15 点为宜。

6.1.2 飞行质量要求

飞行质量应满足以下要求：

- a) 旁向重叠度一般不小于 15%，最小不得小于 8%。框幅式高光谱成像仪航向重叠度一般不小于 60%，最小不得小于 53%；
- b) 航线弯曲度小于等于 3%，应不影响成果几何校正精度；
- c) 航线飞行俯仰角小于等于 3° ，且不大于自稳云台的可调整角度范围；
- d) 航线飞行横滚角小于等于 6° ；

- e) 飞行上升、下降的速率小于等于 10 m/s;
- f) 航线内航高变化不应超过相对航高的 5%，分区内实际航高不应超过设计航高的 5%;
- g) 进入航线飞行过程中，飞行地速应按照 GB/T 27920 执行;
- h) 摄区边界覆盖应按照 GB/T 27920 执行;
- i) 测区范围内数据采集不完整或有漏洞，应补飞；原始数据图像不清晰，图像亮度有过曝和或者过暗的现象，应重飞；单航带云和阴影面积大于 5%，应重飞；数据采集中出现的相对漏洞和绝对漏洞均应及时补摄，应采用前一次航摄飞行的高光谱成像仪补摄，补摄航线的两端应超出漏洞之外两个扫描带宽的长度；定标场不合格时，应重飞；
- j) 每次飞行结束，应填写航摄飞行记录表，航摄飞行记录表格式参见附录 B 中的表 B.3。飞行记录表要求清晰、准确、完整，内容齐全，参数设置与飞行设计一致，飞行航迹数据满足飞行方案设计要求。

6.1.3 高光谱数据获取要求

高光谱数据获取应满足以下要求：

- a) 每日作业任务开始前需填写飞行任务书，格式见附录 B 中的表 B.2，并由数据采集现场负责人向飞行员（领航员或操作员）详细说明当日飞行任务，双方签字确认；
- b) 起飞前数据采集根据无人机定位设备的需要，在起飞前静止状态下采集定位数据；
- c) 数据采集过程中，操作人员应监测航迹、航高、航速是否符合要求，同时监测气象条件（云量、能见度），填写飞行记录表（见附录 B 中的表 B.3）。如不符合设计要求，及时进行重飞，重飞按原设计要求进行；
- d) 每架次数据采集应进行定标场航线的飞行，以获取定标场光谱数据；
- e) 飞行结束后，根据无人机定位设备的需要，在静止状态下收集满足定位要求的数据后，及时备份数据。

6.2 地面 GNSS 基站数据获取

使用地面 GNSS 基站数据做后差分计算时，飞行前半小时应打开地面基站，在卫星导航定位基站搜索卫星成功后，采用静态测量模式记录数据。飞行结束半小时后停止记录，关闭地面基站，导出基站数据并备份。

6.3 地面定标场光谱测量

地面定标场光谱数据应满足以下条件：

- a) 飞行测量过程中，应采用地物波谱仪进行地面定标场或同步航线地面光谱测量；
- b) 明暗地物或黑白布辐射定标场的同步或准同步地面光谱测量，测点应均匀分布于定标场，每一定标场地光谱测量不少于 30 个测点；
- c) 同步或准同步航线地面光谱测量的采集路线应兼顾飞行路线条件与地面地物条件，每条航线范围内至少一个地面光谱采集点，每个采集点的纯净地物面积应不小于 3×3 像元；
- d) 测量过程中应记录地面定标场所在的位置和对应的架次及航带；
- e) 地物采集避免房屋建筑、树木等遮挡，同一地物采集光谱不少于 5 条；
- f) 采集同步地物光谱应填写《飞行同步地物波谱采集记录表》，表格样式见附录 C 中的表 C.1。

6.4 地物光谱测量

地物光谱测量应满足以下条件：

- a) 应在数据采集过程中进行飞行区内定标板/布以及典型地物的光谱数据采集；
- b) 地物光谱测量应避免房屋建筑、树木等遮挡，每个采集点的纯净地物面积应不小于 3×3 像元，同一地物采集光谱不少于 3 条；
- c) 光谱测量同时应进行坐标测量和现场拍照；
- d) 采集地物光谱应填写《地物光谱采集记录表》，表格样式见附录 C 中表 C.2。

6.5 原始数据质量检查

6.5.1 飞行质量检查

飞行质量检查的主要内容包括：

- a) 检查飞行记录中的参数设置与飞行设计的一致性；
- b) 飞行航迹数据与飞行方案设计航迹的一致性；
- c) 对每架次的惯导定位数据进行完整性、准确性检查。

6.5.2 高光谱原始数据质量检查

高光谱原始数据质量检查的主要内容包括：

- a) 测区范围内数据采集完整性，如有漏洞，漏洞面积占比应不大于 1%；
- b) 原始数据影像清晰度、影像亮度不存在过饱和或过暗的现象；
- c) 统计各条带的云量、阴影的百分比情况，单航带云和阴影面积应小于 5%；
- d) 图像重建波谱与经重采样后的同名地物实测地物光谱或标准光谱库光谱相似度不低于 80%，典型吸收特征的位置光谱漂移小于光谱分辨率；
- e) 不同条带之间应有较好的光谱一致性，消除光照等因素带来的影响；
- f) 波长在 660 nm 处的信噪比应大于 400，波长在 2120 nm 处的信噪比应大于 100，信噪比的计算方法参见附录 D。

6.5.3 其他检查

其他检查的主要内容包括：

- a) 应检查基站数据的准确性和内容的完整性，检查记录中的参数设置与设计的一致性；
- b) 对质量不合格航带应及时补飞或重飞。

7 数据预处理

7.1 光谱校正

7.1.1 辐射亮度转换

根据传感器定标参数，将经过初步处理的机载高光谱数据 DN 值转换为辐射亮度值，公式为：

$$SR_{ij} = DN_{ij} \times g_{ij} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

SR_{ij} 为波段 i 的第 j 个像元辐射亮度值；

DN_{ij} 为波段 i 的第 j 个像元灰度值，该值经过校正（去除暗电流、内部散射、帧转换损失、电子偏置）；

g_{ij} 为定标的波段 i 的第 j 个像元校正参数。

7.1.2 光谱重建

对经过辐射亮度转换的机载高光谱数据进行光谱重建，生成反射率数据。反射率计算可采用经验线性模型法或改进型经验线性模型法，具体计算公式参见附录 E。

7.2 几何校正

7.2.1 几何粗校正

a) 将机上定位与姿态测量数据与地面卫星导航定位基站数据或其它数据结合差分处理，生成影像几何校正所需要的空间定位与姿态测量文件，文件应包含以下信息：时间、经度、纬度、高程、俯仰角、横滚角、航向角；

b) 进行坐标投影转换，将地理坐标转换为平面投影坐标；

c) 根据空间定位与姿态测量文件，将辐射亮度转换或反射光谱重建后的数据赋予坐标信息，进行几何畸变的粗校正处理。如果工作区地形高度差大于飞行高度的1/10，需要结合数字高程模型进行正射校正，消除地形因素的影响。

7.2.2 几何精校正

在几何粗校正的基础上，利用采集的控制点对所有航带进行几何精校正。

7.3 条带拼接处理

- a) 拼接的条带应具有相同空间分辨率和光谱分辨率，且在同一坐标系下；
- b) 同一地物在相邻条带间的光谱差异小，保证拼接后的影像反差一致；
- c) 条带拼接后形成的镶嵌影像上同名点几何位置应对齐。

7.4 预处理质量检查

- a) 几何粗校正后，影像中的地物目标没有严重的变形和缺失，几何中误差小于 6 个像元。如不符合需要重新进行几何粗校正；
- b) 几何精校正后，影像中的地物目标没有严重的变形和缺失，几何中误差小于 3 个像元。如不符合需要重新进行几何精校正；
- c) 在每条航线选取应不少于 3 种地物的检查点，获取检查点的光谱反射率曲线，与实测地面光谱或光谱库中的标准光谱进行对比，要求二者光谱曲线形态和变化趋势一致、谱带位置和谱带特征无明显变异。如不符合需要重新计算光谱反射率。

8 数据产品分级与质量检查

8.1 数据产品分级

数据产品分级见表 2。

表 2 数据产品分级表

产品分级	产品名称	产品说明
0 级	原始数据产品	未经任何处理的飞行原始数据，辅助数据。
1 级	系统辐射校正产品	经系统辐射校正的数据。
2 级	系统几何校正产品	经系统辐射校正、系统几何校正和投影变换的数据。

8.2 数据产品质量检查

8.2.1 总则

采用自检和同行业专家抽检两种方式进行质量检查，自检率100%，抽检率不得低于30%，对检查发现的问题必须及时修正，检查完成后填写数据产品质量检查报告。

8.2.2 各级数据产品质量检查方法

8.2.2.1 0 级产品

目视检查原始数据图像是否清晰、完整，获取图像直方图，目视检查图像直方图是否正常。在每条航线选取10个以上均匀分布的检查点，获取检查点的光谱曲线，目视检查光谱曲线是否连续、平滑；统计每条航线云和阴影的面积，检查数据日志信息是否完整。

8.2.2.2 1 级产品

目视检查图像是否清晰，获取图像的直方图，目视检查图像直方图是否正常。在每条航线选取10个以上均匀分布的检查点，获取检查点的光谱曲线，目视检查光谱曲线是否连续、平滑。

8.2.2.3 2级产品

在每条航线选取10个以上均匀分布的检查点，获取检查点的光谱曲线，目视检查光谱曲线是否连续、平滑。

8.2.3 各级数据产品质量要求

8.2.3.1 0级产品

合格产品为预览过程中的原始数据图像清晰、亮度正常；光谱曲线连续、平滑；云和阴影面积应小于5%，没有出现漏洞；数据日志信息完整、准确。如以上内容有不符合项为不合格产品，需要进行重飞。

8.2.3.2 1级产品

合格产品为图像清晰完整，图像的光谱和直方图处于正常合理的范围。如以上内容有不符合项为不合格产品，需要重新进行系统辐射校正。

8.2.3.3 2级产品

合格产品为图像清晰完整，图像的光谱和直方图处于正常合理的范围；单条带图像中的地物目标没有严重的变形和缺失。如以上内容有不符合项为不合格产品，需要重新进行系统几何校正。

9 成果整理与移交

9.1 成果整理

成果整理的内容应包括：

- a) 符合质量要求的原始数据、辅助数据和分级数据产品；
- b) 飞行方案（包括航线敷设图、航空飞行主要技术参数表）；
- c) 飞行记录；
- d) 检查记录；
- e) 产品清单。

9.2 资料移交

移交的资料应包括：

- a) 原始数据、辅助数据和分级数据产品；
- b) 标明飞行方向、起止影像扫描线编号的航线示意图（参见附录F）；
- c) 航空摄影技术设计书；
- d) 飞行记录表（参见附录B中的表B.3）；
- e) 航摄资料移交书（参见附录G）；
- f) 其它有关资料。

附录 A (资料性) 航摄常用计算公式

A.1 摄影分区基准面高程

A.1.1 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。

A.1.2 采用 DEM 设计时，摄影分区基准面高程计算公式

$$h_{\text{基}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中：

$h_{\text{基}}$ ——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）；

n ——分区内 DEM 格网点数。

A.1.3 在地形图上选择高程点计算分区平均平面高程公式。

A.1.3.1 在平原和地形高差不大的平缓地区，用下式计算：

$$h_{\text{基}} = \frac{h_{\text{最高}} + h_{\text{最低}}}{2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

式中：

$h_{\text{基}}$ ——摄影分区基准面高程，单位为米（m）；

$h_{\text{最高}}$ ——分区内最高高程，单位为米（m）；

$h_{\text{最低}}$ ——分区内最低高程，单位为米（m）。

A.1.3.2 在丘陵和地形起伏较大的地区，用下式计算：

$$h_{\text{基}} = \frac{h_{\text{高平均}} + h_{\text{低平均}}}{2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

$$h_{\text{高平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{i\text{高}}}{n} \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

$$h_{\text{低平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{i\text{低}}}{n} \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中：

$h_{\text{高平均}}$ ——分区内高点平均高程，单位为米（m）；

$h_{\text{低平均}}$ ——分区内低点平均高程，单位为米（m）。

A.2 飞行地速

$$GS \leq \frac{GSD}{CT} \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中：

GS ——地速，单位为米/秒(m/s)；

GSD ——地面分辨率，单位为米(m)；

CT ——高光谱成像仪扫描周期，单位为秒(s)。

A. 3 航高

$$H = \frac{f \times GSD}{a} \dots\dots\dots (A. 7)$$

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)。

A. 4 航线间隔

$$d_Y = L_Y(1 - q_Y) \dots\dots\dots (A. 8)$$

$$D_Y = d_Y \times \frac{H}{f} \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中：

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_Y ——像幅宽度，单位为毫米(mm)；

q_Y ——像片旁向重叠度(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)。

A. 5 航线弯曲度

$$E = \frac{\Delta l}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中：

E ——航线弯曲度，%；

Δl ——扫描线中心点偏离航线首末扫描线中心点连线的最大距离，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)。

附 录 B
(资料性)
飞行测量记录表

表 B.1 仪器检查记录表

测区号：		工作日期：		年	月	日	架次号：	
检查项目				状态		备注		
供电系统	电源供电			电压	伏			
仪器准备情况检查	短波红外相机	镜头		☐ 打开	☐ 封闭			
	可见光相机	镜头		☐ 打开	☐ 封闭			
	数据收录电脑	网线		☐ 完好	☐ 破损			
	GPS 定位设备	主天线插头		☐ 插紧	☐ 脱落			
		从天线插头		☐ 插紧	☐ 脱落			
设备加电状态检查	短波红外相机	状态		☐ 正常	☐ 异常			
	可见光相机	状态		☐ 正常	☐ 异常			
	惯导设备	状态		☐ 正常	☐ 异常			
	稳定云台	状态		☐ 正常	☐ 异常			
	数据收录电脑	系统启动		☐ 正常	☐ 异常			
测量结束	数据拷贝情况			VNIR ☐ 已拷贝 ☐ 未拷贝				
				SWIR ☐ 已拷贝 ☐ 未拷贝				
				POS ☐ 已拷贝 ☐ 未拷贝				
				IMU ☐ 已拷贝 ☐ 未拷贝				
	仪器电源状态			☐ 已关 ☐ 未关				
	镜头盖			☐ 已关 ☐ 未关				
	系统防水、防火等措施			☐ 已做 ☐ 未做				

检查人：

审核人：

表 B.2 飞行任务书

测区名称：飞行日期：年 月 日

起降坪位置		架次号		飞行路线示意图
航线公里		飞行时长		
飞行高度		飞行速度		
飞行任务：				
注意事项：				

任务编制者：接收任务者：项目负责人：

表 B.3 航摄飞行记录表

机组 _____ 日期 _____ 从 _____ 时 _____ 分到 _____ 时 _____ 分

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	
飞行器型号		飞行器编号		导航仪			
航摄仪型号		航摄仪编号		焦距/mm		基站名	
偏心分量	μ/m:		v/m:		ω/m:		
天气状况		水平能见度		垂直能见度			
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 C
(资料性)
地面作业记录表

表 C.1 飞行同步地物波谱采集记录表

测区名称：

起飞时间： 着陆时间： 日期：

天气情况： 能见度： 温度：

操作员： 记录员： 审核人：

点号	记录时间	坐标位置			地物名称	波谱文件名	照片编号	备注
		X	Y	Z				

表 C.2 地物光谱采集记录表

日期： 天气： 温度： 风力： 能见度：

设备型号： 仪器平台： 波长范围： 视场角： 标定日期：

操作员： 记录员： 预处理人： 审核人：

采样 编号	文件名	观测 时间	目标 名称	坐标位置			测量方式			描述	照片编号
				X	Y	Z	高度	次数	方向		

附 录 D
(资料性)
航带原始数据信噪比

分别对航带波长为 660 nm、750 nm、1100 nm、1310 nm、1640 nm、2120 nm 几个波段进行信噪比计算，计算公式如下：

$$SNR = \frac{M}{SD} \dots\dots\dots (D.1)$$

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N DN_i \dots\dots\dots (D.2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (DN_i - M)^2} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：
SNR——信噪比；
M——灰度平均值；
SD——灰度的标准差；
DN_i——第*i*个像元的灰度值；
N——样本数量。

附 录 E (资料性) 反射率计算方法

E.1 经验线性模型法

本方法适用于以下工况：天气晴朗，万里无云，在同一天内完成航拍作业。

该模型是假定地面辐射亮度与反射率之间呈线性关系,通过线性回归每个波段的记录值和实际测量值，得到一个线性增益系数和偏差值，从而校正其它值。成像光谱仪探测器获得的信号与反射率的换算关系如下：

$$D_n = K \times R + b \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

D_n ——波段上给定像元的辐射亮度值；

R ——该像元所对应的地面目标的反射率值；

K ——影响值的倍增项，如大气透过率与仪器因子；

b ——加性因子，如大气程辐射和传感器的零响应。

E.2 改进型经验线性模型法

本方法适用于以下工况：天气晴朗，连续多天航摄作业。

本方法在前述经验线性模型法的基础上，增加固定的地面监测仪器进行实时监测，根据匹配出的地面实时观测光谱数据和筛选出的同步航线地面光谱数据，建立航空高光谱辐射亮度值与反射率之间的线性模型。

附 录 F
(资料性)
航线示意图

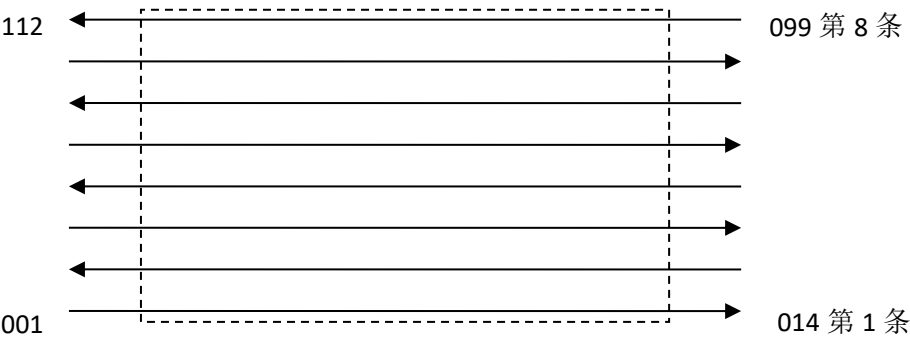


图 F. 1 面状摄区

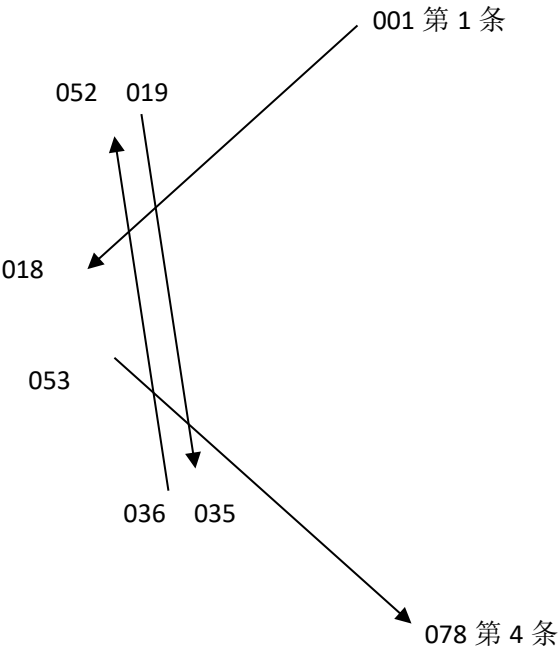


图 F. 2 线状摄区

附 录 G
(资料性)
航摄资料移交书

航摄资料移交书应包括航摄任务说明、航摄面积统计表和航摄资料统计表。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，完成航摄面积及移交资料（见表 G. 1、表 G. 2）。

表 G. 1 航摄面积统计表

地区类别	完成航摄面积（km ² ）	地面分辨率（m）	影像类型	像幅	旁向重叠	备注

表 G. 2 航摄资料统计表

项目	规格	单位	份数	数量	备注
航摄影像		套			
航线示意图		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
航摄军区批文		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

参考文献

- [1] GB/T 39612-2020 低空数字航摄与数据处理规范
 - [2] CH/T 3005-2021 低空数字航空摄影规范
 - [3] DB32/T 4123-2021 生态地质环境调查航空高光谱遥感技术规程
 - [4] DB43/T 1496-2018 1:500 1:1000 1:2000 基础数据 数字航空摄影规范
 - [5] DD2014-14 机载成像高光谱遥感数据获取技术规程
 - [6] DD 2014-13 岩矿波谱测试技术规程
-