

T/GSEA

广东省太阳能协会团体标准

T/GSEA xxx—2025

光伏电站无人机高光谱成像检测技术规范

Technical specifications for detection of unmanned aerial vehicle hyperspectral
imaging systems for photovoltaic power stations

（征求意见稿）

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

广东省太阳能协会 发布

目 次

目 次 I

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 高光谱 1

4 检测条件 2

 4.1 环境条件 2

 4.2 无人机系统 3

 4.3 采集设备 3

5 检测及数据采集流程 3

 5.1 主要流程 3

 5.1.1 参数选择前的准备事宜 4

 5.1.2 分辨率选取 4

按照以下对照表进行像素选择选择 4

 5.1.3 分区原则 4

 5.2 飞行参数设计 5

 5.2.1 飞行高度计算 5

 5.2.2 飞行速度计算 5

 5.2.3 飞行路径规划: 5

6 光谱数据处理 6

 6.1 数据预处理 6

 6.1.1 仪器噪声校正 6

 6.1.2 大气校正 6

 6.1.3 光谱和空间校正 6

 6.2 数据处理 6

 6.2.1 降噪 6

 6.2.2 维度降低 7

 6.2.3 光谱解混 8

 6.2.4 数据分类与融合 8

 6.2.5 目标检测与提取 9

 6.2.6 数据考核 9

 6.3 地理定位与校正 10

 6.3.1 控制点的选取 10

 6.3.2 畸变修正 10

 6.4 图像管理 11

 6.4.1 图像可靠性验证与评估 11

6.4.2 不同时间维度的数据处理	11
6.4.3 数据命名与管理	12
6.4.4 数据压缩	12
6.4.5 数据储存	13
附 录 A.....	14
附 录 B.....	15
参考文献	16

前 言

本文件依据GB/T 1.1-2020给出的规则编写。

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这些专利的责任。

本文件由广东产品质量监督检验研究院提出，广东省太阳能协会标准化技术委员会归口管理。

本文件起草单位：广东产品质量监督检验研究院、南方电网综合能源股份有限公司、大连海事大学、广州星博科仪公司、广东九州太阳能科技有限公司、润建股份有限公司。

本文件主要起草人：戴穗、李达、宋梅萍、胡振球、郑海兴、于纯妍、曾飞、罗旭东、刘书强、林荣超、李维娣、刘栋卓、雷占和、王玉磊、罗仕雄、周林。

光伏电站用无人机高光谱成像系统检测技术规范

1 范围

本规范规定了光伏电站进行无人机高光谱成像测试的方法，规定了现场数据采集、航摄路径规划、航摄实施、飞行质量和影像质量要求。

本规范适用于光伏电站的现场组件检测，使用推扫式低空高光谱航摄系统、以高光谱成像数据获取为主要目的的光伏电站低空数字航空摄影工作，框幅式低空高光谱航摄系统可参考执行。

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 27920.2 数字航空摄影规范 第2部分：推扫式数字航空摄影

CNCA/CTS 0016-2015 并网光伏电站性能检测与质量评估技术规范

3 术语和定义

GB/T 20000.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 高光谱

指成像光谱仪在电磁波谱的可见光、近红外、中红外和热红外波段范围内，获取许多非常窄的光谱连续的影像数据的技术。其光谱通道数可多达数十甚至上百个以上，而且各光谱通道间往往是连续的。突出特点是每个像元均可以形成连续的光谱反射率曲线，从而使之不仅具有较高的光谱分辨率，还形成了“图谱合一”的效果。

3.2 空间分辨率：

也叫分辨力或解像力，指图像上能够详细区分的最小单元的尺寸或大小，或指遥感器区分两个最小角度或线性距离的度量。共有三种表示法：像元、线对数和瞬时扫场（IFOV，指遥感器内单个探测原件的受光角度或观测视野）。空间分辨率的大小仅表明影响细节的可见程度，但真正的识别效果，还有考虑环境背景复杂性等因素的影响。

3.3 光谱分辨率：

指遥感器所选用的波段数量的多少，各波段的波长位置及波段间隔的大小，即选择的通道数、每

个通道的中心波长、带宽这三个因素共同确定光谱分辨率。光谱分辨率越高，专题研究的针对性越强，对物体的识别精度越高，遥感应用分析的效果也就可能越好。但是，大量波段信息及其提供的微小差异又使综合解译较为困难。

3.4 地物光谱曲线：

地物的反射、吸收、发射电磁波的强度是随波长而变化的，以光谱曲线的形式来表示地物的波谱特征，简称地物波谱或地物光谱。地物光谱谱可以通过光谱仪、辐射计等光谱测量仪器经实验室或野外测得。地物光谱特性受多种因素控制，其本身也因时因地在不断变化，是高光谱遥感基础研究和应用分析的基础。

3.5 假彩色合成图像

遥感图像彩色合成处理时，如果参与合成的三个波段的波长与对应的红、绿、蓝三种原色的波长不同，那么合成图像的颜色就不可能是地面景物的真实颜色，这种合成就是假彩色合成。

3.6 真彩色合成图像

遥感图像彩色合成处理时，如果参与合成的三个波段的波长与对应的红、绿、蓝三种原色的波长相同，那么合成图像的颜色即是地面景物的真实颜色，这种合成就是真彩色合成。

3.7 遥感图像解译

通过遥感图像所提供的各种识别目标的特征信息进行分析、推理和判断，最终达到识别目标或现象的目的。遥感图像解译可以说是遥感成像过程的逆过程，即从遥感对地面实况的模拟影响中提取遥感信息、反演地面原型的过程。主要分为目视解译和计算机数字图像处理两个过程。

3.8 目视解译

解译者根据专业知识、区域知识、遥感知识及经验介入到图像分析中去，根据遥感图像上目标及周围的影像特征及其空间组合关系，经推理和分析来识别目标。

4 检测条件

4.1 环境条件

现场检测应在下列环境条件下执行：

- a) 环境温度：5℃~40℃；
- b) 湿度：不大于95%，无凝露；
- c) 大气压力：80 kPa~106 kPa。

d) 光源稳定性（连续五分钟水平放置的辐照表最小值读数不小于最大值的98%，采集频率不低于15 s/次，推荐值为不小于600 W/m²；最小值不得低于300 W/m²）

e) 风力：地面风力小于等于4级

注：除另有规定，测试应在上述测试条件下执行，测试时将测试条件记录到测试报告中。

4.2 无人机系统

低空飞行器平台要求：

- A) 载重能力：飞行器应保证足够的载荷与空间以满足安装和操作微型高光谱成像仪。
- B) 抗风能力：航摄系统的抗风能力应具备5级风力气象条件下安全飞行的要求。
- C) 飞行速度：飞机的飞行速度应满足机载成像高光谱数据获取的技术要求。
- D) 飞行高度：飞行高度应满足机载成像高光谱数据获取的技术要求，且不出批准空域的限制。

4.3 采集设备

测试仪器仪表应满足下列要求：

- a) 常规气象检测仪器仪表应检定或校准合格，并在有效期内；
- b) 微型机载高光谱成像仪要求：

根据任务目标，选择符合要求、性能稳定的微型成像光谱仪，其性能应满足以下要求：

- 1) 谱段范围宜包含400 nm~900 nm；
- 2) 光谱分辨率宜优于10 nm；
- 3) 峰值信噪比优于400: 1；
- 4) 数据存储设备应满足至少一个架次数据存储要求；
- 5) 微型高光谱成像仪的各种数据显示和记录装置齐全；
- 6) 自稳云台能对微型高光谱成像仪俯仰角、横滚角和航偏角进行自动调整；
- 7) 控制设备能够按照航摄设计文件进行导航定位。

c) 太阳光谱仪部分

光谱范围：300-1700 nm，至少350-1100 nm

光谱采样间隔：不劣于0.6 nm @ 300-1100 nm; 3 nm @ 1000-1700 nm

探测器：提供光纤光信息传导器，CCD面阵传感器，不劣于2048x14个像素；InGaAs阵列传感器，不劣于256像素

光谱精度：不劣于0.2 nm

信噪比：不劣于500: 1

5 检测及数据采集流程

5.1 主要流程

主要流程包括拍摄参数选择和飞行参数设计环节两个阶段。

5.1.1 参数选择前的准备事宜

应按下列规定：

- 1) 确保所有设备仪器完成暗场校准、参考白板校准；
- 2) 确保无人机起降地点和飞行路径规划正确；
- 3) 确保天气条件和空域满足飞行要求。

5.1.2 分辨率选取

对于不同类型的电站，测试应按照下列对照表选取对应的空间分辨率：

表1 拍摄对象与推荐分辨率对照表

拍摄对象类型	最小分辨率	推荐的分辨率	单一图像覆盖面积
沙漠、滩涂等规则地形	1 级	2 级	<64000m ²
屋面/分布式项目	1 级	3 级	<16000m ²
不规则山地/屋顶局部	2 级	3 级	<4000m ²
局部数据采集	2 级	4 级	<100m ²

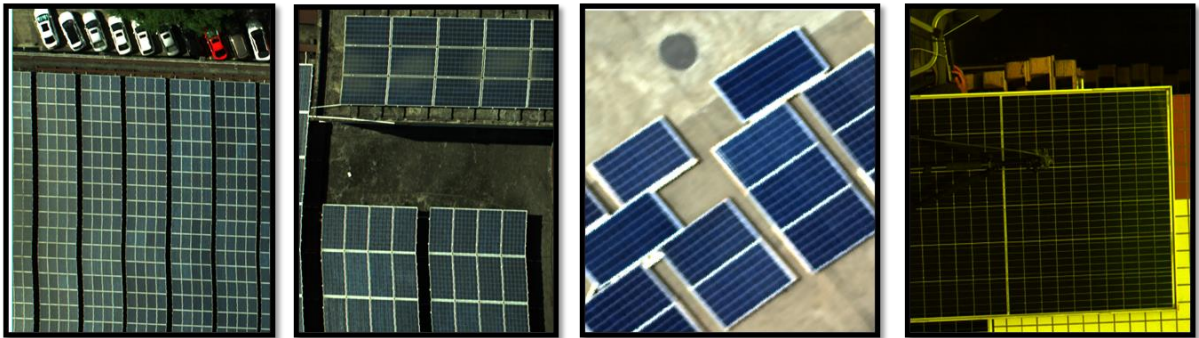


图 1：分级示意图（从左至右分别为 1、2、3、4 级）

按照以下对照表进行像素选择选择

表2 空间分辨率选取像素对照表

分级	对应类型	每米对应的像素点
1 级	地面电站大面积筛查	不少于 20 个（如左 1）
2 级	屋顶及分布式普查	不少于 50 个（如左 1）
3 级	组串及小阵列详查	不少于 100 个（如左 1）
4 级	精确的组件级图像拍摄	不少于 500 个（如左 1）

5.1.3 分区原则

- 1) 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；
- 2) 当测区过长时，按照地面卫星导航定位基站有效控制范围、航摄系统性能限制和气象条件等因素进行合理分区；

3) 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）分区。

4) 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.1。

5.2 飞行参数设计

5.2.1 飞行高度计算

飞行高度（相对航高、绝对航高）根据 5.1.3 所确定的空间分辨率和高光谱设备的瞬时视场确定，计算公式见附录 A.3。

5.2.2 飞行速度计算

飞行速度（地速）根据高光谱设备扫描周期和地面分辨率确定，具体计算公式参见附录 A 的 A.2。

5.2.3 飞行路径规划：

在合适的地图软件中通过多边形工具规划飞行区域和采集区域

按以下思路构建飞行路线

1) 照图形重复率不低于30%（航带旁向重叠度一般为20%~30%，具体应根据测区地形情况和飞行条件选择）；

2) 单次飞行时长不应超过20分钟。

3) 单次飞行地形高度差异不应超过飞行高度的5%。

4) 航线一般沿测区长轴方向，或综合考虑地貌条件、工作效率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；

5) 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；

6) 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；

7) 单条航线长度一般不超过 400m，最长不应超过 600m。

飞行后除电子数据外，需现场填写飞行文件记录表一份。



其中绿色矩形区域为飞行区域，飞行区域上的红色航线是由地面站软件生成的，五边形的红色区

域为采集区域，采集区域和飞行区域重叠的区域为实际的作业区域（实际采集高光谱数据的区域）。

注意事项：

- 1) 实际作业区域为采集区域与飞行区域重叠的区域，因此当重叠区域不变的情况下，任意修改采集区域的形状不影响实际采集的结果
- 2) 飞行区域两头需超出采集区域一段距离，从而保证高光谱成像仪在飞出采集区域后能够暂停采集，超出的距离以 5 秒*飞行速度为宜
- 3) 在陌生的地域进行数据采集时，往往无法在卫星图上找到自己所在的区域，可以通过手机 App，查看手机的 GPS 坐标，通过输入坐标找到自己当前的位置；
- 4) 为了防止野外将飞行区域和采集区域 kml 弄混淆，建议将采集区域画成五边形等容易区分的形状
- 5) 将飞行区域另存为.kml 文件，导入到无人机地面站软件中，进行航线规划
- 6) 将采集区域另存为.kml 文件，在高光谱软件的对应界面中导入到高光谱成像仪中

6 光谱数据处理

6.1 数据预处理

6.1.1 仪器噪声校正

利用平均滤波、中值滤波、小波变换和非局部均值等对采集到的受噪声干扰的数据进行校正。

6.1.2 大气校正

利用大气点扩散模型、暗目标、大气遥感模型和统计方法等对采集的数据进行大气校正。

6.1.3 光谱和空间校正

应符合下列规定：

a) 光谱校正：

光谱校正：室外获取的无人机高光谱数据的光谱质量会受到仪器本身限制、环境光照等因素的影响，进而可能影响后续处理的精度和准确性。通过使用已知光源的标准光谱对待处理数据进行光谱校正，可以改善后续图像处理的精度和准确性。

b) 空间校正：

光源均匀性校正：在高光谱成像过程中，光源可能存在不均匀性，导致图像中亮度的空间变化。通过使用均匀光源对样品进行扫描，可以确定光源的均匀性，并对图像进行校正，消除亮度差异。

感光元件响应度均匀性校正：高光谱成像仪器中的感光元件（例如，像素阵列）可能存在响应度不均匀性，这可能导致图像中亮度的空间变化。通过使用均匀光源对感光元件进行扫描，可以确定感光元件的响应度分布，并对图像进行校正。

6.2 数据处理

6.2.1 降噪

- 1) 宜采用下列测试方法：

a) 噪声分析：首先，需要对数据中的噪声进行分析。噪声可以由多种因素引起，例如传感器本身的噪声、环境干扰等。

b) 噪声估计：根据噪声的特点，可以采用不同的方法来估计噪声的统计特性，如均值、方差等。常见的估计方法包括基于激励响应的方法、基于邻域像素的方法等。

c) 降噪方法选择：根据噪声的特点和数据的要求，选择合适的降噪方法。

常用的降噪方法包括：

统计滤波器：如均值滤波、中值滤波等，通过对像素周围邻域的统计信息进行平滑来减少噪声。

小波变换：通过将信号转换到小波域，利用小波系数的特性进行噪声去除。

图像恢复算法：如总变差正则化、最小二乘法等，通过优化算法对图像进行恢复，减少噪声的影响。

2) 应满足下列要求：

a) 保留信号细节：降噪算法应该能够减少或去除噪声，同时尽可能地保留图像中的有用信号。重要的是确保降噪后的数据仍然包含原始数据中的关键特征和细节，尤其不产生明显的光谱失真，以便后续分析和应用。

b) 不引入额外的误差：降噪过程中，应该尽量避免引入额外的误差或伪影。降噪算法的设计和参数设置应该使得处理后的数据准确性和可靠性不受明显影响。此外，去噪应保持无噪声波段的原始特征，不破坏干净的空间和光谱信息。

c) 平衡降噪程度和图像质量：降噪算法应该平衡降噪程度和图像质量之间的关系。如果过度降噪，可能会导致图像模糊、细节丢失等问题；而如果不足降噪，则噪声仍然会对数据分析产生干扰。因此，要根据应用需求和数据特点，确定适当的降噪程度。

d) 鲁棒性：降噪算法应该具有一定的鲁棒性，对不同类型和程度的噪声有一定的适应性。它应该能够处理不同光谱波段、不同光照条件下的数据，并对不同噪声特征具有良好的抑制效果。

e) 计算效率：降噪算法应该具有较高的计算效率，能够在合理的时间内处理大规模高光谱数据。尤其在实时应用或大规模数据处理时，算法的计算速度和资源消耗是需要考虑的因素。

6.2.2 维度降低

维度降低应符合下列规定：

1) 保留主要信息：维度降低应该尽可能得保留原始数据的主要信息，即去除次要信息和噪声的同时，尽可能地保留有用的数据特征，以确保降维后的数据仍然具有原始数据的重要特征和结构。

2) 最大可分性：降维后的数据应该具有最大的类别可分性，使得在新的低维表示下不同类别之间的差异更为显著。

3) 最小冗余性：降维后的特征应该尽量避免冗余，即避免包含过多相似的信息，以提高数据的紧凑型和可解释性。

4) 考虑计算效率：降维方法应该是计算高效的，特别是在处理大规模高光谱数据时，以便更快速地进行分析和处理。

5) 物理可解释性：降维后的特征应该具有物理可解释性，使得降维后的数据在实际应用中更易理解和解释。

6.2.3 光谱解混

光谱解混是一种在遥感和光谱成像领域常用的技术，其目的是从混合像素中分离出各种不同的地物和材料的光谱信息及其含量。它可以从复杂的高光谱数据中提取出纯净的成分信息，以便更好地进行数据分析和应用。光谱解混一般包括以下几个步骤：

1) 选择光谱混合模型：光谱解混通常基于线性混合和非线性混合模型。模型假设混合像素的反射率是由各个地物或材质的反射率线性组合或者非线性混合而成。选择适当的混合模型对于解混的成功至关重要。

2) 获取端元：端元是地物或材质的纯净光谱，用于构建混合模型。端元可以通过地面采样、光谱库或者其他先验知识获取。端元的选择对解混的准确性有很大影响。

3) 构建混合模型：将混合像素通过使用光谱混合模型，表示为端元的线性或非线性组合，其中每个像素的光谱与其在混合像素中的比例有关。

4) 丰度估计：利用混合模型和混合像素的光谱，通过数学方法解混获取各个端元的混合比例。这通常涉及到数学优化方法，如最小二乘法等。

5) 结果分析：分析解混的结果，检查混合比例和端元的光谱，以确保它们在物理上和地物上是合理的。如果有必要，对结果进行后处理或优化。

6.2.4 数据分类与融合

在高光谱数据处理中，数据分类和融合是两个重要的任务，它们可以帮助我们从复杂的高光谱数据中提取出有用的信息和特征，以支持更好的数据分析和应用。下面分别介绍数据分类和融合的基本概念和方法：

a) 数据分类：数据分类是指将高光谱数据中的样本分为若干个类别或标签，以便更好地理解数据本身和进行后续的数据分析和应用。数据分类可以基于有监督学习或无监督学习的方法进行，常见的分类方法包括支持向量机、随机森林、卷积神经网络等。

数据分类时需要注意以下几点：

首先是特征选择，选择合适的特征对数据进行描述，以便更好地进行分类。特征选择的方法包括相关性分析、主成分分析、独立成分分析、卷积神经网络等。

其次是样本分布，高光谱数据在不同波段的分布可能存在差异，对分类结果会产生影响。因此，在分类前可以对数据进行分布纠正或均衡化，以保证分类的准确性和鲁棒性。

最后是分类模型的选择和参数设置，不同的分类模型适用于不同的数据场景和任务，需要根据具体情况选择合适的分类模型和调整相关参数。

b) 数据融合：数据融合是指将多个不同的高光谱数据源，或高光谱与其他数据源整合在一起，从而提高数据的表征能力和应用效果。常见的数据融合方法包括基于像素级别的数据融合、基于特征级别的数据融合、基于决策级别的数据融合等。

数据融合时需要注意以下几点：

首先是数据源的质量评估：不同数据源的质量可能存在差异，对融合结果会产生影响。因此，在进行数据融合前要对各个数据源进行质量评估，以确定数据源的权重和贡献度。

其次是融合方法的选择和参数设置：不同的融合方法适用于不同的数据场景和任务，需要根据具体情况选择合适的融合方法和调整相关参数。

最后是融合结果的评估：要对数据融合的结果进行评估和验证，以保证融合结果的准确性和可靠性。

6.2.5 目标检测与提取

1) 在高光谱数据处理中，目标检测和提取是重要的任务，它们可以帮助我们从复杂的高光谱数据中定位和提取出感兴趣的目标。下面分别介绍目标检测和提取的基本概念和方法：

2) 目标检测：目标检测是指在高光谱数据中自动识别和定位感兴趣的目标或物体。与传统的图像目标检测相比，高光谱数据的目标检测需要考虑更多的光谱信息和波段相关性。常见的目标检测方法包括：基于像素级别的方法，通过像素级分类或像素级聚类等技术，将目标从背景中分割出来。常用的方法包括约束能量最小化、ACE、随机森林等。基于特征级别的方法，通过提取目标的特征，并利用特征描述符进行目标的匹配和检测。常用的方法包括局部二值模式、主成分分析（PCA）、小波变换等。

3) 特征提取：特征提取是指从高光谱数据中提取出具有区分度和表征能力的特征，以便于后续的分类、识别和分析。

高光谱数据的特征提取一般包括以下几个步骤：

1) 预处理：对高光谱数据进行预处理，如波段选择、去噪、辐射校正等，以提高数据质量和减少噪声的影响。

2) 特征提取：利用选定的特征子集，通过统计、频域分析、空间滤波等方法，提取出具有区分度和表征能力的特征，包括空间特征和光谱特征。

3) 特征表示：将提取得到的特征进行适当的表示和编码，以便于后续的数据分析和应用。常见的特征表示方法包括直方图、向量化、基于字典学习的编码等。

6.2.6 数据综合考核

高光谱数据在进行预处理和后处理，包括辐射定标、大气校正、几何校正等步骤后，需要保证数据的准确性和可靠性。具体要求如下：

- 1) 数据完整性：高光谱数据应完整无缺，包括所有必要的波段和信息，没有遗漏或缺失。
- 2) 覆盖范围：数据的覆盖范围应足够广泛，能够反映研究区域的空间特征和变化。
- 3) 拼接效果：多景数据的拼接应平滑，无明显接缝。
- 4) 辐射准确性：数据的辐射值应准确反映地物的真实反射特性。
- 5) 几何准确性：数据的几何位置应与实际地物位置相符合，无明显的畸变或偏差。
- 6) 分类准确性：分类结果的准确性应达到一定的标准，如混淆矩阵、总体分类精度等。
- 7) 波段一致性：不同波段的数据应具有一致的统计特性，如均值、方差等。
- 8) 分类一致性：分类结果在不同数据源或不同分类方法下应具有一致性。

- 9) 时空一致性：同一地物在不同时间、不同空间的数据应具有一致的表现。
- 10) 空间分辨率：数据在空间上的分辨率应足够高，能够反映地物的细节特征。
- 11) 光谱分辨率：数据在光谱上的分辨率应足够高，能够区分不同地物的光谱特性。
- 12) 时间分辨率：数据在时间上的分辨率应足够高，能够反映地物的动态变化。
- 13) 数据格式：数据应采用标准、通用的数据格式，方便读取和转换。
- 14) 元数据完整性：元数据信息应完整、准确，能够为数据质量评价和使用提供有力支持。

6.3 地理定位与校正

6.3.1 控制点的选取

应按下列步骤执行：

- 1) 目标选择：确定需要采集高光谱数据的目标区域或目标对象。根据实际需求，选择合适的区域或对象进行采集。
- 2) 地面控制点布设：在目标区域内或周围布设地面控制点。地面控制点是已知位置和光谱信息的点，用于校正和定位高光谱数据。
- 3) 仪器准备：确保采集设备（如高光谱相机或光谱仪）处于正常工作状态，并进行校准和参数设置。
- 4) 数据采集方案确定：根据目标区域的特征和采集需求，确定数据采集方案，包括采集区域范围、采集高度、采集角度等。
- 5) 采集点选取：根据采集方案，在目标区域选择一系列采样点。这些采样点应该均匀分布在目标区域内，并代表区域内的不同特征。
- 6) 采集操作：按照采集方案和选定的采样点，使用高光谱设备采集数据。确保设备的稳定性和准确性，按照预定的采集步骤进行操作。
- 7) 数据记录和管理：将采集得到的高光谱数据与对应的地面控制点信息进行关联记录和管理，确保数据的准确性和可追溯性。
- 8) 数据处理与分析：根据采集得到的高光谱数据，进行数据处理、校正和分析，以获得目标区域的光谱特征和相关信息。

6.3.2 畸变修正

应按下列步骤执行：

- 1) 畸变校准板拍摄：使用相机或光谱仪，对畸变校准板进行拍摄。畸变校准板是一种特殊的标定板，上面包含了已知的畸变信息。
- 2) 畸变模型建立：通过对畸变校准板图像进行处理和分析，建立畸变模型。畸变模型是一种数学模型，用于描述相机或光谱仪在成像过程中产生的畸变情况。
- 3) 数据采集：使用相机或光谱仪采集目标区域的高光谱数据。由于相机或光谱仪本身存在畸变，采集得到的数据也会受到畸变的影响。

4) 畸变校正：根据建立的畸变模型，对采集得到的高光谱数据进行畸变校正。畸变校正的目的是将采集得到的数据从畸变状态下转换为无畸变状态下的真实数据。

5) 数据处理：经过畸变校正后，需要对数据进行进一步处理和分析。例如，进行数据配准、去噪、分类、提取特征等操作。

6.4 图像管理

6.4.1 图像可靠性验证与评估

图像可靠性验证与评估应按下列步骤执行：

a) 数据预处理：对原始高光谱数据进行预处理，包括去除噪声、校正非线性响应和辐射校正等，以确保数据的准确性和一致性。

b) 光谱特征提取：从预处理后的数据中提取有意义的光谱特征，这些特征可以用于后续的分析 and 评估。常见的特征提取方法包括主成分分析（PCA）、线性判别分析（LDA）等。

c) 图像质量评估：通过比较图像在不同波段上的一致性和连续性，评估图像的质量。常见的评估指标包括均匀性、对比度、信噪比等。

d) 数据校正与配准：对采集到的多个图像进行校正和配准，以消除不同图像之间的位置偏移和变形，确保数据的一致性和可比性。

e) 可重复性验证：通过重复采集相同区域的数据，并对比不同时间点或不同设备采集的数据，评估数据的可重复性和稳定性。这可以帮助确定数据采集的一致性和可靠性。

f) 地面真实值验证：将采集到的高光谱数据与地面真实值进行比对，验证数据的准确性和可信度。这可以通过在野外进行现场采样和实地测量来完成。

g) 数据分析与应用：在完成数据可靠性验证和评估后，可以使用高光谱数据进行进一步的分析和应用，如分类、目标检测、环境监测等。

6.4.2 不同时间维度的数据处理

在处理不同时间维度的高光谱数据时，通常需要考虑时间序列的特性和变化趋势。针对不同时间维度的高光谱数据的处理步骤如下：

a) 数据采集：针对不同时间点进行高光谱数据的采集，确保数据覆盖目标区域在不同时间段的光谱特征。

b) 数据预处理：对每个时间点的高光谱数据进行预处理，包括噪声去除、辐射校正、大气校正等，以确保数据的质量和可比性。同时，需要注意不同时间点数据的一致性，并进行必要的校正以消除时间变化带来的影响。

c) 变化检测：通过比较不同时间点的数据，可以进行变化检测分析，找出在时间上发生的光谱特征变化。这可以通过像素级的比较或者基于特征提取的方法来实现。

d) 时间序列分析：将不同时间点的高光谱数据构建成时间序列，通过时间序列分析方法，如平滑处理、周期性分析、趋势分析等，揭示数据随时间变化的规律和特征。

e) 特征提取与建模：针对时间序列数据，可以提取时间维度上的特征，如季节性、周期性等，并建立相应的模型进行分析和预测。

f) 多时相数据融合：将不同时间点的数据进行融合或叠加，增强数据的信息量，以便更全面地理解目标区域的光谱特征变化。

g) 数据验证与应用：最后，对处理后的数据进行验证和应用，比如验证模型的预测能力、检验时间序列分析的效果，或者将处理后的数据用于具体的应用领域，如农业监测、环境变化分析等。

6.4.3 数据命名与管理

在高光谱数据采集及处理中，数据命名与管理是非常重要的环节，它有助于保证数据的组织性、可追溯性和可管理性。以下是对高光谱数据的命名与管理步骤：

a) 采集数据命名规范：在采集阶段，为了确保数据的唯一性和识别性，需要建立一套数据命名规范。这些规范可能包括地理位置信息、采集日期、采集设备型号等元信息，以便后续的管理和分析。

b) 数据整理与归档：将采集到的原始数据整理归档，按照一定的目录结构和命名规范进行组织，确保数据的存储和检索方便快捷。

c) 数据备份与保护：建立数据备份机制，确保数据的安全性和完整性。可以考虑定期进行数据备份，并采取必要的措施来防止数据丢失或损坏。

d) 数据元信息记录：对每个数据集都应该记录相关的元信息，包括数据采集的条件、处理过程、质量评估结果等，以便后续的数据分析和应用。

e) 数据质量控制：建立数据质量控制的标准和流程，确保采集到的数据质量合格。这可能包括数据校正、质量评估、异常值处理等环节。

f) 数据标准化：对数据进行标准化处理，确保数据格式的统一和兼容性，以方便后续的数据处理和分析。

g) 数据权限管理：建立数据访问和使用的权限管理机制，确保数据的安全性和合规性。

h) 数据文档化：对数据的处理过程、分析方法、结果及应用情况进行文档化记录，以方便他人理解和复现研究成果。

6.4.4 数据压缩

数据压缩是常用的技术手段之一，它可以有效地减少数据的存储空间，加快数据传输速度，并降低数据处理的时间和成本。以下是数据压缩的步骤：

a) 数据预处理：在进行数据压缩之前，通常需要对高光谱数据进行预处理。这包括噪声去除、辐射校正、大气校正等处理步骤，以提高数据的质量和可压缩性。

b) 特征选择：高光谱数据通常包含大量的波段信息，而不是所有波段都对研究目的有重要意义。因此，在进行数据压缩时，可以通过特征选择方法选择最具代表性的波段或特征子集，以减少数据的维度和冗余，同时保留关键信息。

c) 压缩算法选择：根据数据的特点和应用需求，选择合适的压缩算法。常见的高光谱数据压缩算法包括无损压缩算法（如Huffman编码、Lempel-Ziv-Welch编码）和有损压缩算法（如基于小波变换的

压缩算法、主成分分析压缩算法、波段选择算法）等。无损压缩保留了数据的完整性，有损压缩可以进一步减小数据的体积但会引入信息损失。

d) 压缩参数设置：针对选择的压缩算法，需要根据具体情况设置相应的参数。例如，在有损压缩中，可以根据目标压缩比和保留的信息量来调整压缩参数，以平衡压缩效果和信息损失。

e) 数据压缩与解压缩：根据选择的压缩算法和参数，对高光谱数据进行压缩处理。在实际应用中，通常会将压缩后的数据保存为压缩文件或流形式，以便后续的存储、传输和处理。

f) 压缩效果评估：对压缩后的数据进行质量评估，以确保压缩后数据的质量满足应用需求。这可以通过比较压缩前后的数据差异、重建误差等指标进行评估。

6.4.5 数据储存

数据的储存是非常重要的环节，它直接关系到数据的安全性、可靠性和可访问性。以下是进行高光谱数据储存的步骤：

a) 确定储存需求：在进行数据储存之前，需要明确数据的储存需求，包括数据量大小、访问频率、数据保留期限等。这有助于选择合适的储存方案和资源规划。

b) 选择储存介质：根据数据量和访问需求，选择合适的储存介质。对于较小规模的数据集，可以选择使用硬盘或固态硬盘进行本地储存；对于大规模数据或者需要远程访问的情况，可以考虑使用网络存储、云存储等方案。

c) 制定储存结构：建立合理的储存结构和目录组织，以便对数据进行分类、归档和检索。可以按照项目、时间、数据类型等因素进行分类管理。

d) 数据备份：建立数据备份机制，确保数据的安全性和可恢复性。可以考虑定期进行数据备份，并保留多个备份版本以防数据丢失或损坏。

e) 数据安全控制：对储存的数据实施访问权限控制和加密保护，以确保数据的机密性和完整性。这包括对数据进行加密存储、访问权限设置、访问日志记录等措施。

f) 元数据管理：记录数据的元信息，包括数据采集条件、处理方法、质量评估结果等，以便后续的数据管理和分析。

g) 考虑长期存储需求：对于需要长期保存的数据，需要考虑数据格式的稳定性、介质的持久性等因素，确保数据能够长期保存并保持可访问性。

h) 数据文档化：对数据的存储位置、访问方法、使用规范等进行文档化记录，以便他人理解和利用数据。

附录 A
(规范性)
无人机飞行参数技术公式

A.1 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 ——微型高光谱成像仪扫描周期,单位为秒(s)。

A.2 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.3 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)。

附 录 B
(资料性)
高光谱数据采集现场记录表

机组人员 _____ 日期 _____ 从 _____ 时 _____ 分到 _____ 时 _____ 分

项目编号		摄 影 方 向		航 线 条 数		地 形 地 貌	
飞机型号		飞 机 编 号		项目地点			
高光谱相机型号		分辨率等级		备注信息			
航线飞行示意图							
备 注:							

填表人 _____ 现场项目组长 _____ 飞行数据接收人 _____

参 考 文 献

- [1] CQC3326-2018 《光伏电站用无人机系统检测技术规范》
 - [2] 《架空电力线路无人机多光谱扫描作业技术规程》（征求意见稿）
-