

CH

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXX—XXXX

高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程

Code of practice for quality inspection and evaluation of  
hyperspectral satellite image

(送审稿)

XXXX—XX—XX 实施



# 目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	2
5 总体要求.....	2
5.1 两级检查一级验收.....	2
5.2 检查记录.....	2
5.3 检查报告和检验报告.....	2
6 工作流程.....	3
7 质量元素.....	3
8 过程检查.....	3
8.1 检查要求.....	4
8.2 检查前准备.....	4
8.3 数据规格检查.....	4
8.4 波段选择.....	5
8.5 几何质量检查.....	5
8.6 云量检查.....	6
8.7 辐射质量检查.....	6
8.8 结果处理.....	9
9 最终检查.....	9
9.1 检查要求.....	9
9.2 检查前准备.....	9
9.3 数据规格检查.....	9
9.4 波段选择.....	9
9.5 几何质量检查.....	9
9.6 云量检查.....	9
9.7 辐射质量检查.....	9
9.8 质量评价.....	9
9.9 结果处理.....	11

10 验收.....	11
10.1 验收要求.....	11
10.2 验收前准备.....	11
10.3 抽样.....	11
10.4 样本内单位成果详查.....	12
10.5 样本外单位成果概查.....	12
10.6 单位成果质量评价.....	12
10.7 批成果质量判定.....	12
10.8 结果处理.....	12
附录 A（规范性） 检查记录表格式.....	13
附录 B（资料性） 常见高光谱卫星传感器校正影像辐射异常示例.....	14
参考文献.....	16

# 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卫星应用分技术委员会（SAC/TC230/SC3）归口。

本文件起草单位：自然资源部国土卫星遥感应用中心、江苏省地质调查研究院、陕西省地质调查院、湖南省第二测绘院、国家测绘产品质量检验检测中心、中国自然资源航空物探遥感中心。

本文件主要起草人：暂略。



# 高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程

## 1 范围

本文件规定了高光谱卫星影像质量检查和评价的总体要求、工作流程、质量元素、过程检查、最终检查和验收等内容。

本文件适用于高分五号卫星、高光谱观测卫星、高光谱综合观测卫星、5米光学卫星01星和5米光学卫星02星等卫星的高光谱传感器校正影像的质量检查和评价，其他色散推扫型高光谱卫星传感器校正影像的质量检查和评价可参照使用。

## 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 18316—2008 数字测绘成果质量检查与验收

GB/T 24356—2023 测绘成果质量检查与验收

## 3 术语和定义

GB/T 18316—2008界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**传感器校正影像** sensor corrected image

卫星原始影像经辐射校正、探测器排列误差和光学系统畸变改正处理，构建影像成像几何模型，实现分片 CCD 影像无缝拼接后的影像产品。

### 3.2

**云量** cloud cover ratio

卫星影像上云覆盖范围面积占影像面积的比例。

### 3.3

**盲元/闪元** blind pixel/flickering pixel

探测器存在死像元、过热像元或闪烁像元等缺陷像元导致卫星影像上某些列无纹理或出现异常高亮、过暗纹理的辐射异常现象。

### 3.4

**影像缺失** image loss

卫星影像上全部或部分区域无纹理信息的辐射异常现象。

### 3.5

**影像噪声** image noise

卫星影像上存在颗粒状或条带状不规则信号的辐射异常现象。

### 3.6

**干涉条纹** interference fringe

CCD入射光来回反射导致卫星影像上存在明暗相间条纹的辐射异常现象。

### 3.7

**CCD 片间色差** chromatic aberration between CCD chips

多片 CCD 之间能量响应的不一致导致卫星影像上存在色调差异的辐射异常现象。

### 3.8

**值域** range of value

卫星影像上各像元灰度最大值和最小值所组成的取值范围。

### 3.9

#### 单位成果 item

为实施检查、验收而划分的基本单位。

注：宜以“景”为单位。

[来源：GB/T 18316—2008，2.1，有修改]

### 3.10

#### 批成果 lot

同一技术设计要求下生产的单位成果集合。

[来源：GB/T 18316—2008，2.2，有修改]

### 3.11

#### 详查 all entry inspection

对单位成果质量要求的所有检查项的检查。

[来源：GB/T 18316—2008，2.7]

### 3.12

#### 概查 specific entry inspection

对单位成果质量要求的特定检查项的检查。

[来源：GB/T 18316—2008，2.8]

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CCD：电荷耦合器件（Charge-Coupled Device）

RPC：有理多项式系数（Rational Polynomial Coefficient）

## 5 总体要求

### 5.1 两级检查一级验收

高光谱卫星传感器校正影像应依次通过卫星影像采集单位作业部门的过程检查、卫星影像采集单位质量管理部门的最终检查和生产委托方组织的验收。各级检查工作应独立进行，不应省略或代替。

### 5.2 检查记录

检查记录应符合下列要求：

- a) 过程检查、最终检查和验收均应填写检查记录表，内容应包括各检查项的检查结果、检查出的质量问题、错误及其处理情况等，检查记录表格式应符合附录A的规定；
- b) 检查记录表不应随意更改、增删，内容填写应及时、完整、规范、清晰；
- c) 检查记录应随成果一并归档。

### 5.3 检查报告和检验报告

检查报告和检验报告应符合下列要求：

- a) 最终检查应编制检查报告，内容应包括检查工作概况、受检成果概况、检查依据、检查内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计及质量综述等，检查报告格式见GB/T 24356—2023中的附录B；
- b) 验收应编制检验报告，内容应包括检验工作概况、受检成果概况、检验依据、抽样情况、检验内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计及质量综述等，检验报告格式见GB/T 24356—2023中的附录C；
- c) 检查报告和检验报告应随成果一并归档。

## 6 工作流程

高光谱卫星影像质量检查和评价工作流程见图1。

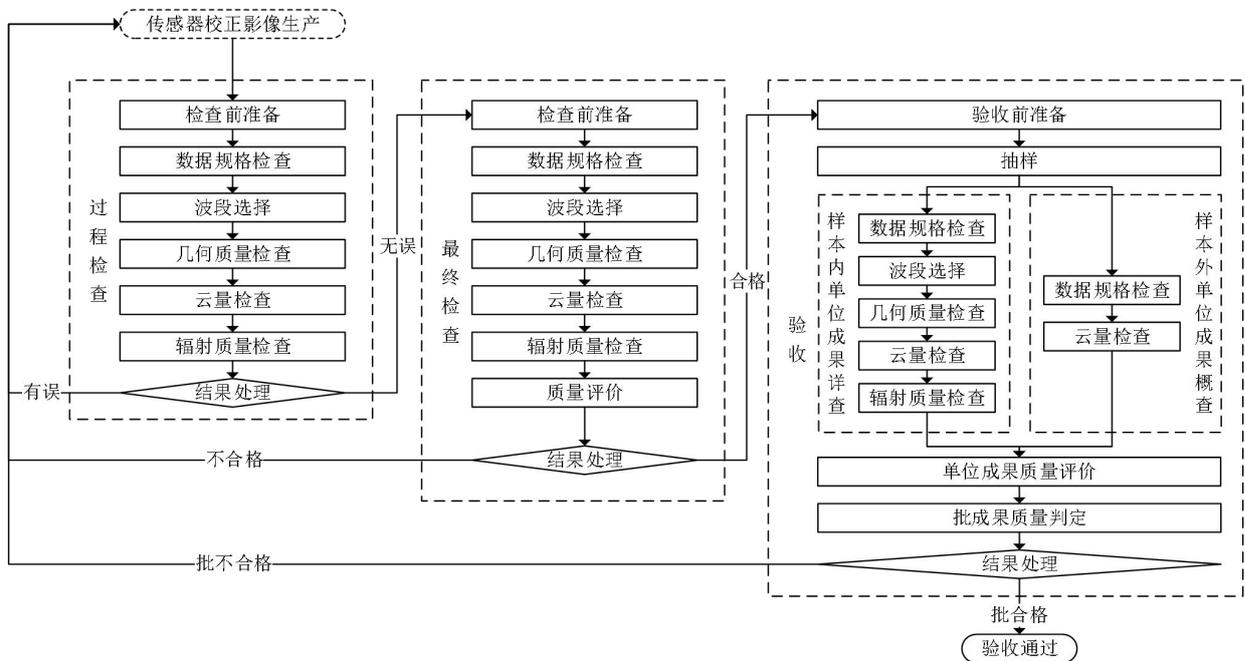


图 1 高光谱卫星影像质量检查和评价工作流程

## 7 质量元素

高光谱卫星影像质量元素、质量子元素及检查项内容见表1。

表 1 高光谱卫星影像质量元素

质量元素	质量子元素	检查项
数据规格	数据规格	数据一致性
		数据完整性
		元数据质量
几何质量	空间参考	坐标系统
	定位精度	平面定位精度
		波段间配准精度
云量	云量	云量
辐射质量	辐射异常	盲元/閃元
		影像缺失
		影像噪声
		干涉条纹
	CCD 片间色差	
	灰度特征	值域

## 8 过程检查

## 8.1 检查要求

8.1.1 过程检查由卫星影像采集单位生产作业部门负责。

8.1.2 过程检查应逐单位成果详查，不做单位成果质量评价。

8.1.3 各检查项的检查结果、检查出的质量问题、错误及处理情况应填写检查记录表，格式见表 A.1。

## 8.2 检查前准备

8.2.1 收集高光谱卫星影像处理和应用的的相关标准、产品说明书、项目合同要求等相关技术文件。

8.2.2 确定过程检查的内容和方法，准备过程检查所需的软、硬件环境，编制过程检查技术方案。

## 8.3 数据规格检查

### 8.3.1 数据一致性

对照产品说明书，按以下步骤检查单位成果的数据一致性：

- 检查数据文件命名是否符合规定的格式：卫星名\_载荷名\_中心经度\_中心纬度\_观测日期\_轨道号\_产品号.后缀名；
- 检查数据是否能够被正确打开和读取；
- 检查数据范围与提供的矢量落图是否一致。

若以上检查结果均为“是”，则单位成果的数据一致性检查结果为“符合”，否则为“不符合”。

### 8.3.2 数据完整性

对照产品说明书，按照以下步骤检查单位成果的数据完整性：

- 检查数据文件是否完整，常见高光谱卫星影像数据文件要求见表2；

表 2 常见高光谱卫星影像数据文件要求

文件类型	常用文件格式			
	高分五号卫星	5米光学卫星 01星	高光谱观测卫星、 高光谱综合观测卫星	5米光学卫星 02星
观测数据文件	*_VN.geotiff、*_SW.geotiff	*_VN.tiff、*_SW.tiff	*_VN.tif、*_SW.tif	*_VN.tif、*_SW.tif
元数据说明文件	*.xml	*.xml	*.xml	*.xml
RPC 参数文件	*_VN.rpb、*_SW.rpb	*_VN.rpb、*_SW.rpb	*_VN.rpb、*_SW.rpb	*_VN.rpb、*_SW.rpb
浏览图文件	*.Browse.jpg、*.Browse.jgw	*.jpg	*.jpg	*.jpg
矢量文件	*.dbf、*.prj、*.shp、*.shx	*.dbf、*.prj、*.shp、*.shx	*.dbf、*.prj、*.shp、*.shx	*.dbf、*.prj、*.shp、*.shx
观测几何角度文件	*_OGP.tiff	*_OGP.tiff	*_OGP.tif	*_OGP.tif
辐射定标系数文件	*_SWIR_RadCal.raw、*_VNIR_RadCal.raw	*_SWIR_RadCal.raw、*_VNIR_RadCal.raw	*_RadCal_SWIR.raw、*_RadCal_VNIR.raw	*_SWIR_RadCal.raw、*_VNIR_RadCal.raw
光谱响应函数文件	*_SWIR_Spectralresponse.raw、*_VNIR_Spectralresponse.raw	*_SWIR_Spectralresponse.raw、*_VNIR_Spectralresponse.raw	*_Spectralresponse_SWIR.raw、*_Spectralresponse_VNIR.raw	*_SWIR_Spectralresponse.raw、*_VNIR_Spectralresponse.raw

- 检查波段数量是否完整，常见高光谱卫星影像波段数量要求见表3。

表 3 常见高光谱卫星影像波段数量要求

卫星名称	波段总数	可见光近红外谱段波段数量	短波红外谱段波段数量
高分五号卫星、高光谱观测卫星、高光谱综合观测卫星	330	150	180
5米光学卫星 01 星、5米光学卫星 02 星	166	76	90

若以上检查结果均为“是”，则单位成果的数据完整性检查结果为“符合”，否则为“不符合”。

### 8.3.3 元数据质量

对照产品说明书，按照以下步骤检查单位成果的元数据质量：

- a) 检查元数据包含的字段是否完整；
- b) 检查元数据各字段是否有赋值；
- c) 检查元数据各字段赋值是否准确。

若以上检查结果均为“是”，则单位成果的元数据质量检查结果为“符合”，否则为“不符合”。

### 8.4 波段选择

在检查几何质量、云量和辐射质量时，宜从全部波段中选择出 $n$ 个波段作为受检波段（ $n$ 为受检波段总数），并以受检波段的质量代表单位成果的质量。波段选择要求如下：

- a) 在可见光近红外谱段和短波红外谱段分别选择 $n_V$ 、 $n_S$ 个波段作为受检波段（ $n = n_V + n_S$ ）， $n_V$ 、 $n_S$ 应分别不少于可见光近红外谱段和短波红外谱段波段数量的5%；
- b) 受检波段应均匀分布，且尽量完整覆盖光谱范围；
- c) 受检波段应规避由于水汽强吸收等原因造成图像质量下降的谱段范围。

注：水汽吸收谱段主要在1360nm~1500nm和1840nm~2020nm附近。

### 8.5 几何质量检查

#### 8.5.1 坐标系统

检查单位成果的坐标系统是否采用2000国家大地坐标系或1984世界大地坐标系，必要时，也可采用经批准的其他坐标系。

若检查结果为“是”，则单位成果的坐标系统检查结果为“符合”，否则为“不符合”。

#### 8.5.2 平面定位精度

按照以下步骤检查单位成果的平面定位精度：

- a) 根据数据范围选择并加载参考影像、控制点等参考基准资料；
- b) 在数据范围内选取不少于50个平面定位精度检查点，检查点应分布均匀，位置易于辨认，如独立地物点、线状地物或脊谷的交叉点、地物的角点或拐点等；
- c) 加载第 $a$ 个受检波段（ $a = 1, 2, 3, \dots, n$ ），分别获取各检查点在该波段和参考影像的地面坐标，按照公式(1)计算该波段的平面定位精度 $m_a$ ：

$$m_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p [(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2]}{p}} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $m_a$ ——第 $a$ 个受检波段的平面定位精度；
- $p$ ——平面定位精度检查点总数，应不小于50；
- $x_i$ ——第 $i$ 个平面定位精度检查点在 $a$ 波段的 $x$ 坐标；
- $x'_i$ ——第 $i$ 个平面定位精度检查点在参考影像的 $x$ 坐标；
- $y_i$ ——第 $i$ 个平面定位精度检查点在 $a$ 波段的 $y$ 坐标；
- $y'_i$ ——第 $i$ 个平面定位精度检查点在参考影像的 $y$ 坐标。

- d) 逐波段重复步骤c), 分别计算各受检波段的平面定位精度, 并按公式(2)计算单位成果的平面定位精度 $m$ ;

$$m = \max(m_a) \quad (a = 1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $m$  ——单位成果的平面定位精度;  
 $n$  ——受检波段总数。

- e) 检查 $m$ 是否超出平面定位精度限值 $m_0$  ( $m_0$ 宜取值100m)。  
 若 $m$ 未超出 $m_0$ , 则单位成果的平面定位精度检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

### 8.5.3 波段间配准精度

按照以下步骤检查单位成果的波段间配准精度:

- a) 选择并加载受检波段中的一个波段作为基准波段, 其余 $n - 1$ 个波段作为配准波段;  
 b) 在数据范围内选取不少于50个波段间配准精度检查点, 检查点应分布均匀, 位置易于辨认, 如独立地物点、线状地物或脊谷的交叉点、地物的角点或拐点等;  
 c) 加载第 $a$ 个配准波段, 采用亚像素级配准方法分别获取各检查点在 $a$ 波段和基准波段上的坐标, 按照公式(3)计算 $a$ 波段的波段间配准精度, 单位为像元;

$$M_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^P [(X_i - X'_i)^2 + (Y_i - Y'_i)^2]}{P}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $M_a$  ——第 $a$ 个配准波段的波段间配准精度;  
 $P$  ——波段间配准精度检查点总数;  
 $X_i$  ——第 $i$ 个波段间配准精度检查点在 $a$ 波段的 $x$ 坐标;  
 $X'_i$  ——第 $i$ 个波段间配准精度检查点在基准波段的 $x$ 坐标;  
 $Y_i$  ——第 $i$ 个波段间配准精度检查点在 $a$ 波段的 $y$ 坐标;  
 $Y'_i$  ——第 $i$ 个波段间配准精度检查点在基准波段的 $y$ 坐标。

- d) 逐波段重复步骤c), 分别计算各配准波段的波段间配准精度, 并按公式(4)计算单位成果的波段间配准精度 $M$ ;

$$M = \max(M_a) \quad (a = 1, 2, 3, \dots, n - 1) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $M$  ——单位成果的波段间配准精度。  
 e) 检查 $M$ 是否超出波段间配准精度限值 $M_0$  ( $M_0$ 宜取值0.3个像元)。  
 若 $M$ 未超出 $M_0$ , 则单位成果的波段间配准精度检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

### 8.6 云量检查

按照以下步骤检查单位成果的云量:

- a) 识别影像中的云覆盖范围;  
 b) 按照公式(5)计算单位成果的云量;

$$c = \frac{A_c}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $c$  ——单位成果的云量;  
 $A_c$  ——云覆盖范围面积;  
 $A$  ——影像面积。  
 c) 检查 $c$ 是否超出云量限值 $c_0$  ( $c_0$ 宜取值60%)。  
 若 $c$ 未超出 $c_0$ , 则单位成果的云量检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

### 8.7 辐射质量检查

#### 8.7.1 检查内容

辐射质量检查内容包括辐射异常和灰度特征两个质量元素，其中辐射异常质量元素包含盲元/闪元、影像缺失、影像噪声、干涉条纹、CCD片间色差共5个检查项，灰度特征质量元素包含值域1个检查项。常见高光谱卫星传感器校正影像辐射异常示例见附录B。

### 8.7.2 盲元/闪元

按照以下步骤检查单位成果的盲元/闪元：

- a) 加载第 $a$ 个受检波段，检查该波段存在盲元/闪元的列数，按照公式(6)计算第 $a$ 个受检波段的盲元/闪元率；

$$B_a = \frac{N'_a}{R} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $B_a$  ——第 $a$ 个受检波段的盲元/闪元率；  
 $N'_a$  ——第 $a$ 个受检波段存在盲元/闪元率的列数；  
 $R$  ——影像的列数。

- b) 逐波段重复步骤a)，分别计算各波段的盲元/闪元率，并按照公式(7)计算单位成果的盲元/闪元率；

$$B = \max(B_a) \quad (a = 1,2,3,\dots,n) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$B$  ——单位成果的盲元/闪元率。

- c) 检查 $B$ 是否超出盲元/闪元率限值 $B_0$  ( $B_0$ 宜取值3%)。  
 若 $B$ 未超出 $B_0$ ，则单位成果的盲元/闪元检查结果为“符合”，否则为“不符合”。

### 8.7.3 影像缺失

按照以下步骤检查单位成果的影像缺失：

- a) 加载第 $a$ 个受检波段，检查该波段存在影像缺失的面积，按照公式(8)计算第 $a$ 个受检波段的影像缺失率；

$$L_a = \frac{A'_a}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $L_a$  ——第 $a$ 个受检波段的影像缺失率；  
 $A'_a$  ——第 $a$ 个受检波段存在影像缺失的面积。

- b) 逐波段重复步骤a)，分别计算各波段的影像缺失率，并按照公式(9)计算单位成果的影像缺失率；

$$L = \max(L_a) \quad (a = 1,2,3,\dots,n) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$L$  ——单位成果的影像缺失率。

- c) 检查 $L$ 是否超出影像缺失率限值 $L_0$  ( $L_0$ 宜取值3%)。  
 若 $L$ 未超出 $L_0$ ，则单位成果的影像缺失检查结果为“符合”，否则为“不符合”。

### 8.7.4 影像噪声

按照以下步骤检查单位成果的影像噪声：

- a) 加载第 $a$ 个受检波段，检查该波段是否存在影像噪声；  
 b) 逐波段重复步骤a)，分别检查所有受检波段是否存在影像噪声，并统计存在影像噪声的波段数量；  
 c) 按照公式(10)计算影像噪声率；

$$N = \frac{nN}{n} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- $N$  ——单位成果的影像噪声率；  
 $nN$  ——存在影像噪声的受检波段数。

- d) 检查 $N$ 是否超出影像噪声率限值 $N_0$  ( $N_0$ 宜取值60%)。  
若 $N$ 未超出 $N_0$ , 则单位成果的影像噪声检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

### 8.7.5 干涉条纹

按以下步骤检查单位成果的干涉条纹:

- a) 加载第 $a$ 个受检波段, 检查该波段是否存在干涉条纹;  
b) 逐波段重复步骤a), 分别检查所有受检波段是否存在干涉条纹, 并统计存在干涉条纹的波段数量;  
c) 按照公式(11)计算干涉条纹率:

$$I = \frac{n_I}{n} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$I$  ——单位成果的干涉条纹率;

$n_I$  ——存在干涉条纹的受检波段数。

- d) 检查 $I$ 是否超出干涉条纹率限值 $I_0$  ( $I_0$ 宜取值60%)。  
若 $I$ 未超出 $I_0$ , 则单位成果的干涉条纹检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

### 8.7.6 CCD片间色差

仅对使用CCD片拼接成像的受检波段检查CCD片间色差, 检查步骤如下:

- a) 加载第 $a$ 个受检波段, 检查相邻CCD片拼接处两侧的同质性地表, 若有明显的颜色差异, 则认为该波段存在CCD片间色差;  
b) 逐波段重复步骤a), 分别检查短波红外谱段的所有受检波段是否存在CCD片间色差, 并统计存在CCD片间色差的波段数量;  
c) 按照公式(12)计算CCD片间色差率:

$$C = \frac{n_C}{n'} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中:

$C$  ——单位成果的CCD片间色差率;

$n_C$  ——存在CCD片间色差的受检波段数;

$n'$  ——使用CCD片拼接成像的受检波段数。

- d) 检查 $C$ 是否超出CCD片间色差率限值 $C_0$  ( $C_0$ 宜取值100%)。  
若 $C$ 未超出 $C_0$ , 则单位成果的CCD片间色差检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

### 8.7.7 值域

按照以下步骤检查单位成果的值域:

- a) 加载第 $a$ 个受检波段, 统计该波段所有像元灰度值的最小值和最大值;  
b) 逐波段重复步骤a), 分别统计所有受检波段的像元灰度最小值和最大值, 并计算单位成果的像元灰度最小值和最大值, 计算见公式(13)和公式(14):

$$v = \min(v_a) \quad (a = 1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots (13)$$

$$V = \max(V_a) \quad (a = 1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$v$  ——单位成果的像元灰度最小值;

$v_a$  ——第 $a$ 个受检波段的像元灰度最小值;

$V$  ——单位成果的像元灰度最大值;

$V_a$  ——第 $a$ 个受检波段的像元灰度最大值。

- c) 检查 $[v, V]$ 是否超出像元灰度最小值和最大值限值 $[v_0, V_0]$  ( $v_0$ 宜取值0,  $V_0$ 宜取值 $2^b - 1$ ,  $b$ 为影像的量化位数)。

若 $[v, V]$ 未超出 $[v_0, V_0]$ , 则单位成果的值域检查结果为“符合”, 否则为“不符合”。

## 8.8 结果处理

8.8.1 对于检查出的错误应修改或重新生产后再提交过程检查，经复查无误方可提交最终检查。

8.8.2 将检查记录随单位成果一并提交最终检查，并进行档案管理。

## 9 最终检查

### 9.1 检查要求

9.1.1 单位成果通过过程检查后，才能进行最终检查。

9.1.2 最终检查由卫星影像采集单位质量管理部门负责。

9.1.3 最终检查应逐单位成果详查，并逐景评价单位成果质量等级。

9.1.4 同 8.1.3。

### 9.2 检查前准备

9.2.1 收集高光谱卫星影像处理和应用的的相关标准、产品说明书、项目合同要求等相关技术文件，以及过程检查的检查记录。

9.2.2 确定最终检查的内容和方法，准备最终检查所需的软、硬件环境，编制最终检查技术方案。

9.2.3 审核过程检查记录，如果存在下列情况应停止最终检查，并退回过程检查：

- 过程检查未完成；
- 过程检查记录不规范。

### 9.3 数据规格检查

按照8.3的规定执行。

### 9.4 波段选择

按照8.4的规定执行。

### 9.5 几何质量检查

按照8.5的规定执行。

### 9.6 云量检查

按照8.6的规定执行。

### 9.7 辐射质量检查

按照8.7的规定执行。

### 9.8 质量评价

#### 9.8.1 质量评价指标

高光谱卫星影像质量评价指标按照表4的规定执行。

表4 高光谱卫星影像质量评价指标

质量元素	质量子元素	检查项	检查结果	技术要求	计分方法	质量元素分值 $s_i$	备注
数据规格	数据规格	数据一致性	符合/不符合	按技术方案执行	$s = \begin{cases} 100 & \text{符合} \\ 0 & \text{不符合} \end{cases}$	取s的最小值	s为检查项的分值
		数据完整性	符合/不符合	按技术方案执行	$s = \begin{cases} 100 & \text{符合} \\ 0 & \text{不符合} \end{cases}$		
		元数据质量	符合/不符合	按技术方案执行	$s = \begin{cases} 100 & \text{符合} \\ 0 & \text{不符合} \end{cases}$		
几何质量	空间参考	坐标系	符合/不符合	按技术方案执行	$s = \begin{cases} 100 & \text{符合} \\ 0 & \text{不符合} \end{cases}$	取s的最小值	
	定位精度	平面定位精度	$m$	$m_0=100$ 米	$s = \begin{cases} 100 & M \leq 0.3m_0 \\ 60 + 40 \times \frac{m_0 - m}{0.7 \times m_0} & 0.3m_0 < m \leq m_0 \\ 0 & m > m_0 \end{cases}$		$m$ 为平面定位中误差; $m_0$ 为平面定位中误差限值
		波段间配准精度	$M$	$M_0=0.3$ 个像元	$s = \begin{cases} 100 & mb \leq 0.3M_0 \\ 60 + 40 \times \frac{M_0 - M}{0.7 \times M_0} & 0.3M_0 < M \leq M_0 \\ 0 & M > M_0 \end{cases}$		$M$ 为波段间配准中误差; $M_0$ 为波段间配准中误差限值
云量	云量	云量	$c$	$c_0=60\%$	$s = \begin{cases} 60 + 40 \times (c_0 - c)/c_0 & c \leq c_0 \\ 0 & c > c_0 \end{cases}$	$s$	$c$ 为云量; $c_0$ 为云量限值
辐射质量	辐射异常	盲元/闪元	$B$	$B_0=3\%$	$s = \begin{cases} 60 + 40 \times (B_0 - B)/B_0 & B \leq B_0 \\ 0 & B > B_0 \end{cases}$	取s的最小值	$B$ 为盲元/闪元率; $B_0$ 为盲元/闪元率限值
		影像缺失	$L$	$L_0=3\%$	$s = \begin{cases} 60 + 40 \times (L_0 - L)/L_0 & L \leq L_0 \\ 0 & L > L_0 \end{cases}$		$L$ 为影像缺失率; $L_0$ 为影像缺失率限值
		影像噪声	$N$	$N_0=60\%$	$s = \begin{cases} 60 + 40 \times (N_0 - N)/N_0 & N \leq N_0 \\ 0 & N > N_0 \end{cases}$		$N$ 为影像噪声率; $N_0$ 为影像噪声率限值
		干涉条纹	$I$	$I_0=60\%$	$s = \begin{cases} 60 + 40 \times (I_0 - I)/I_0 & I \leq I_0 \\ 0 & I > I_0 \end{cases}$		$I$ 为干涉条纹率; $I_0$ 为干涉条纹率限值
		CCD片间色差	$C$	$C_0=100\%$	$s = 60 + 40 \times (C_0 - C)/C_0$		$C$ 为CCD片间色差率; $C_0$ 为CCD片间色差率限值
	灰度特征	值域	$v, V$	$v_0 = 0$ $V_0 = 2^b - 1$	$s = \begin{cases} 100 & v \geq v_0 \wedge V \leq V_0 \\ 0 & v < v_0 \vee V > V_0 \end{cases}$		$v, V$ 分别为像元灰度最小值、最大值; $v_0, V_0$ 分别为像元灰度最小值、最大值限值; $b$ 为量化位数
注1: 当检查结果为百分比数值时, 取小数点后一位, 不四舍五入。 注2: 分值 ( $s_i$ ) 指该质量元素的分值, 取小数点后一位, 不四舍五入, $i$ 为代码的数值。							

9.8.2 质量元素分值计算

根据单位成果质量检查结果, 按照表4的规定计算各质量元素的分值s。

9.8.3 单位成果质量分值计算

根据各质量元素分值计算单位成果质量分值, 计算方法见公式(15)。

$$S = \min(s_i) \quad (i = 1,2,3,4) \dots \dots \dots (15)$$

式中:

S ——单位成果质量分值;

$s_i$  ——第*i*个质量元素的分值。

#### 9.8.4 单位成果质量等级评价

根据单位成果质量分值评价单位成果质量等级，质量等级划分为优、良、合格、不合格四级。单位成果质量等级评价按照表5的规定执行。

表5 单位成果质量等级评价

质量分值	质量等级
$90 \leq S \leq 100$	优
$75 \leq S < 90$	良
$60 \leq S < 75$	合格
$S < 60$	不合格

#### 9.9 结果处理

9.9.1 最终检查不合格的单位成果应退回处理，处理后再进行最终检查，直至检查合格为止。

9.9.2 最终检查合格的单位成果方可提交验收。

9.9.3 最终检查完成后应编制检查报告，将检查记录和检查报告随单位成果一并提交验收，并进行归档管理。

#### 10 验收

##### 10.1 验收要求

10.1.1 单位成果最终检查全部合格后，才能进行验收。

10.1.2 验收由生产委托方负责。

10.1.3 验收可采用抽样检验，应评价单位成果质量，并判定批成果质量。

10.1.4 样本内的单位成果应逐一详查，样本外的单位成果根据需要进行概查。概查只执行数据规格检查和云量检查。

10.1.5 同 8.1.3。

##### 10.2 验收前准备

10.2.1 收集高光谱卫星影像处理和应用的的相关标准、产品说明书、项目合同要求等相关技术文件，以及最终检查的检查记录和检查报告。

10.2.2 确定验收的内容和方法，准备验收所需的软、硬件环境，编制验收技术方案。

10.2.3 审核最终检查记录和检查报告，如果存在下列情况应停止验收，并退回最终检查：

- 最终检查未完成；
- 最终检查不合格；
- 最终检查记录不规范；
- 检查报告不规范。

##### 10.3 抽样

###### 10.3.1 组成批成果

批成果应由同一技术方案指导生产的同等级、同规格的单位成果组成。可根据卫星数据源、传感器、采集或生产日期、产品数量等条件划分并组成批成果。

### 10.3.2 确定样本量

按照GB/T 18316—2008中表1的规定确定样本量。

### 10.3.3 抽取样本

按照以下规则抽取样本：

- a) 按确定抽取的样本比例采用随机抽样的方法从批成果中抽取样本；
- b) 提取样本相关资料，包括但不限于相关技术文件、检查记录、检查报告等。

## 10.4 样本内单位成果详查

### 10.4.1 数据规格检查

按照8.3的规定执行。

### 10.4.2 波段选择

按照8.4的规定执行。

### 10.4.3 几何质量检查

按照8.5的规定执行。

### 10.4.4 云量检查

按照8.6的规定执行

### 10.4.5 辐射质量检查

按照8.7的规定执行。

## 10.5 样本外单位成果概查

### 10.5.1 数据规格检查

按照8.3的规定执行。

### 10.5.2 云量检查

按照8.6的规定执行。

## 10.6 单位成果质量评价

样本内单位成果质量评价按照9.8的规定执行。

按需概查的样本外单位成果质量评价只评价合格、不合格两级，当各检查项结果均为“符合”时，则单位成果质量评价为合格，否则为不合格。

## 10.7 批成果质量判定

根据单位成果质量评价结果，按照GB/T 18316—2008中5.3的规定判定批成果质量。

当划分为多个批次检查时，应分别判定各批次批成果质量。各批次批成果质量均合格时，方可判定该批成果质量为“批合格”，否则为“批不合格”。

## 10.8 结果处理

验收结果处理要求如下：

- a) 验收合格的批成果通过验收；
- b) 验收不合格的批成果应退回卫星影像采集单位处理，并重新提交验收，重新验收时应重新抽样；
- c) 验收完成后应编制检验报告，将检查记录和检验报告随成果一并归档管理。

附录 A  
(规范性)  
检查记录表格式

检查记录表格式见表A.1。

表 A.1 检查记录表格式

第\_\_页 共\_\_页

资料名称:		资料编号:					
<input type="checkbox"/> 过程检查 <input type="checkbox"/> 最终检查 <input type="checkbox"/> 验收		<input type="checkbox"/> 详查 <input type="checkbox"/> 概查					
上一级检查的审核情况:							
波段选择情况:							
质量元素	质量子元素	检查项	检查结果	质量问题	处理意见	修改情况	复查情况
数据规格	数据规格	数据一致性					
		数据完整性					
		元数据质量					
几何质量	空间参考	坐标系统					
	定位精度	平面定位精度					
		波段间配准精度					
云量	云量	云量					
辐射质量	辐射异常	盲元/闪元					
		影像缺失					
		影像噪声					
		干涉条纹					
		CCD片间色差					
	灰度特征	值域					
备注:							
检查人员: 日期:				复查人员: 日期:			

附录 B  
(资料性)  
常见高光谱卫星传感器校正影像辐射异常示例

常见高光谱卫星传感器校正影像辐射异常示例见图B.1~图B.5。

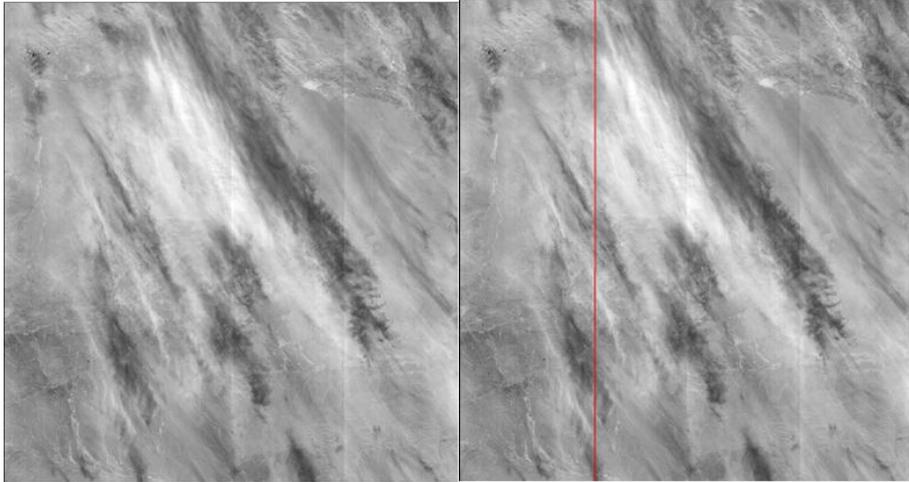


图 B.1 盲元/闪元示例

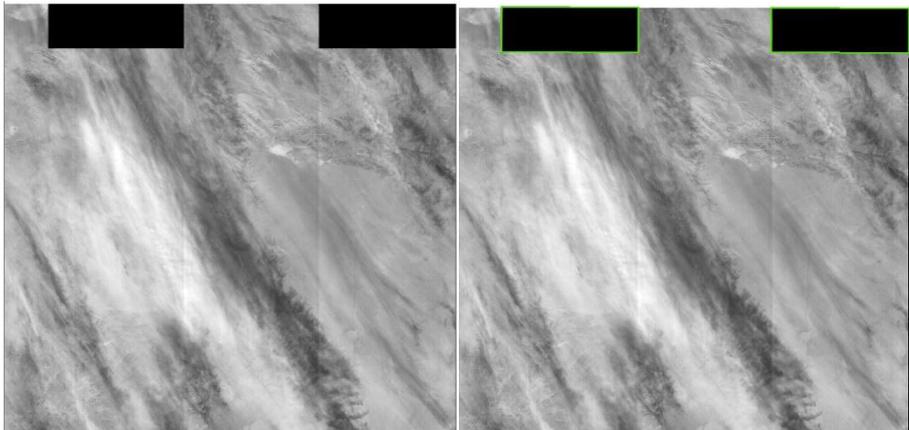


图 B.2 影像缺失示例

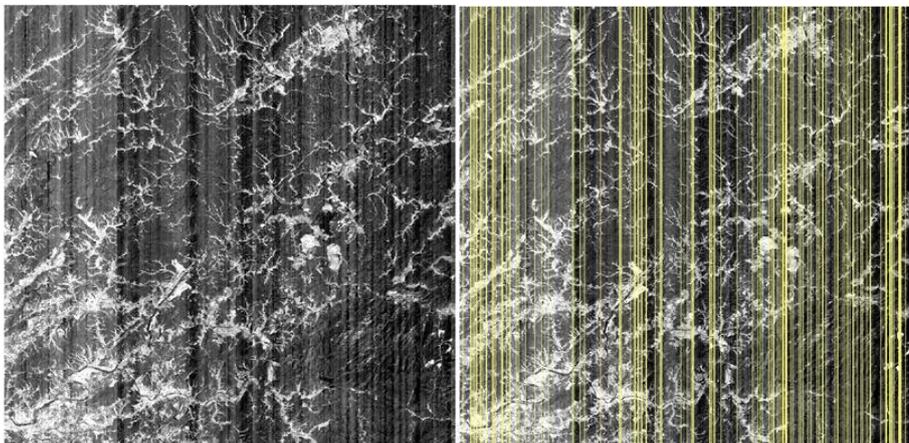


图 B.3 影像噪声示例

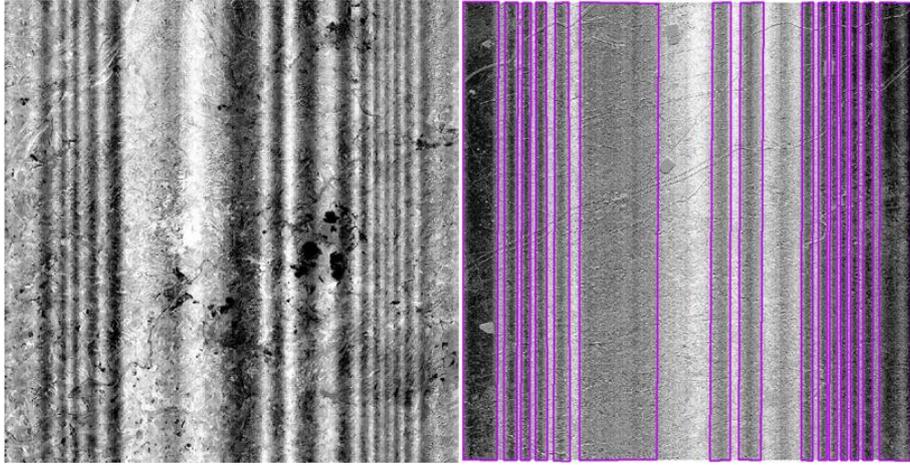


图 B. 4 干涉条纹示例

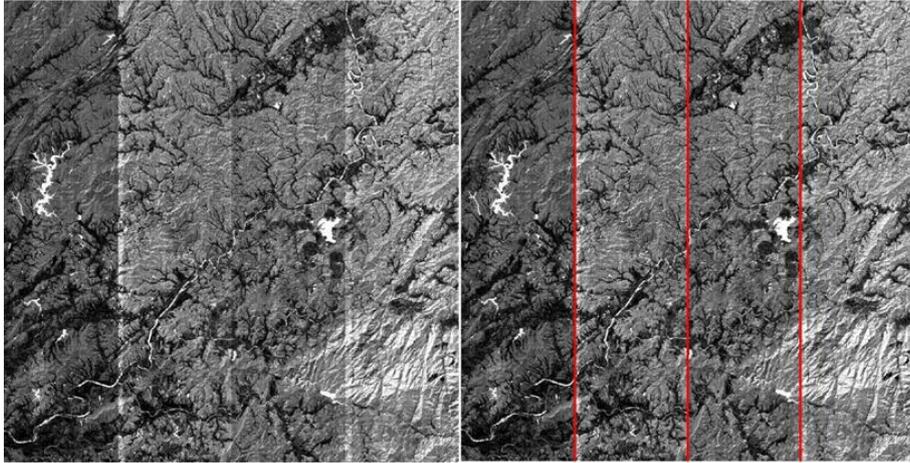


图 B. 5 CCD 片间色差示例

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
  - [2] GB/T 33990—2017 月球数字地图质量检查与验收
  - [3] GB/T 35642—2022 1:25 000 1:50 000光学遥感测绘卫星影像产品
  - [4] GB/T 36301—2018 航天高光谱成像数据预处理产品分级
  - [5] GB/T 41449—2022 时序卫星影像数据质量检查与评价
-

# 《高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程》 编制说明

行业标准项目名称：高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程

行业标准项目编号：202133005

送审行业标准名称：

(此栏送审时填写)

报批行业标准名称：

(此栏报批时填写)

承担单位：自然资源部国土卫星遥感应用中心

当前阶段：征求意见 送审稿审查 报批稿报批

编制时间：二零二四年五月

# 高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程 编制说明

## 一、概况

### 1.1 任务来源

2021年10月25日，自然资源部下达《自然资源部办公厅关于印发2021年度自然资源标准制修订工作计划的通知》（自然资办发〔2021〕60号），本标准是自然资源部发布的2021年自然资源卫星应用行业标准计划项目之一，项目编号：202133005，标准计划名称《高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程》。本标准由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会归口，由自然资源部国土卫星遥感应用中心牵头起草。计划周期：24个月。

### 1.2 目的意义

卫星遥感凭借丰富准确的时、空、谱信息内涵和周期性、大范围、高效率的数据采集与服务特点，在国民经济各行业应用中发挥着重要作用，以卫星影像为代表的遥感数据源是摸清山水林田湖草沙等自然资源家底、资源调查与常态化监测、国土空间规划与管制、整体修复和保护工作顺利实施的前提和基础。利用规范的技术流程和评价体系，科学准确的对卫星遥感影像的时、空、谱信息质量进行检查和评价，是卫星遥感高质量应用和服务的保障。

高分五号卫星、高光谱观测卫星、高光谱综合观测卫星是《国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015-2025年）》中部署建设的高光谱卫星，分别于2018年5月9日、2021年9月7日、2022年12月9日成功发射。高分五号卫星是世界上第一颗同时对陆地和大气进行综合观测的卫星，其所搭载的可见短波红外高光谱相机是国际上首台同时兼顾宽覆盖和宽波段的高光谱相机，在60

千米幅宽和 30 米空间分辨率下，可以获取从可见光至短波红外（400~2500nm）光谱颜色范围里，330 个光谱颜色通道，颜色范围比一般相机宽了近 9 倍，颜色通道数目比一般相机多了近百倍，其可见光谱段光谱分辨率为 5 纳米。5 米光学卫星 01 星、02 星是《国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015-2025 年）》中部署建设的高光谱业务卫星，分别于 2019 年 9 月 12 日和 2021 年 12 月 26 日成功发射，以等相位方式组网运行在太阳同步轨道上，单星轨道回归周期为 55 天，组网条件下可实现最快 2 天的全球对地重访观测，其特点是大幅宽观测和定量化遥感信息获取，高光谱相机可实现高信噪比条件下的 166 个波段辐射信息获取，可支撑地物的精细化光谱信息调查，满足新时期自然资源监测与调查需求。高光谱卫星可对内陆水体、陆表生态环境、蚀变矿物、岩矿类别进行有效探测，为环境监测、资源勘查、防灾减灾等行业提供高质量、高可靠的高光谱数据，进一步拓展了我国自然资源调查监测技术手段，大幅度提高了山水林田湖草沙等自然资源定量化调查监测能力，利于及时掌控自然资源数量、质量、生态状况及变化趋势，是推动自然资源事业高质量发展的重要科技支撑，并可广泛应用于应急管理、生态环境、住房与城乡建设、交通运输、农业农村、林业草原等相关领域。

随着高光谱卫星的业务化运行，我国高光谱卫星技术步入快速发展期，高光谱卫星数据在多个领域得到广泛应用。质量检查和评价是实现高光谱遥感应用服务的重要环节，也是保证高光谱卫星影像质量水平的主要技术途径，但目前数据质量检查和评价的内容、方法、流程及指标等方面尚无标准规范，导致卫星数据在使用中降低了效率，增加了使用难度，制约了我国高光谱卫星数据的业务化应用。

本标准对高光谱卫星影像质量检查和评价的任务、要求和程序等内容进行

了说明，规定了高光谱卫星影像质量检查和评价的总体要求、工作流程、质量元素、过程检查、最终检查和验收等。本标准的制定将填补高光谱数据质量检查和评价规范的空缺，对高光谱数据的高效使用和推广具有重要的意义，更是对现行测绘地理信息标准化工作的必要补充。

### 1.3 主要起草人及工作分工

编制任务下达后，自然资源部国土卫星遥感应用中心作为牵头单位成立了编制组。编制组成员由牵头单位和测绘成果产品质量检验检测单位、卫星遥感技术研发单位、高光谱影像和产品应用与服务单位的技术和生产骨干人员组成，编制组成员均长期从事航空、航天高光谱影像数据采集、生产、处理的研究和应用工作，各位成员分工合作开展标准各章节的编写。编制组主要人员组成及分工见表 1。

表 1 编制组人员分工

序号	姓名	单位	任务分工	备注
1	樊文锋	自然资源部国土卫星遥感应用中心	项目组长，总体统筹标准编制起草、论证、统稿、报批等工作	
2	翟浩然	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责标准（征求意见稿）的征求意见、修改等工作	
3	随欣欣	中国自然资源航空物探遥感中心	负责标准主体框架设计和论证工作	
4	徐航	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责标准组织协调、审查报批等工作	
5	王玉军	江苏省地质调查研究院	参与标准编制、验证工作	
6	谢玲琳	湖南省第二测绘院	参与标准编制、验证工作	
7	付垒	陕西省地质调查院	参与标准编制、验证工作	
8	张一帆	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准调研、编制工作	
9	梁树能	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准编制、论证、完善工作	
10	梁雪莹	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准调研、编制、完善工作	
11	谭海	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准调研、编制工作	
12	韩晓彤	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准调研、编制工作	
13	王晶晶	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准编制、完善工作	
14	曹里	湖南省第二测绘院	参与标准调研、验证工作	
15	张贵春	沐城测绘（北京）有限公司	参与标准标志、验证工作	

16	雷帆	湖南省第二测绘院	参与标准调研、验证工作	
17	赵颖	国家测绘产品质量检验检测中心	参与标准编制、论证、完善工作	
18	詹雅婷	江苏省地质调查研究院	参与标准调研、验证工作	
19	郝恩德	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准调研、编制工作	

## 1.4 主要工作过程

### 1.4.1 立项阶段

2019年，主编单位自然资源部国土卫星遥感应用中心作为工程法人单位组织实施了我国首颗高光谱业务卫星5米光学卫星01星的在轨测试工作，卫星正式交付后，国土卫星遥感应用中心承担了卫星数据优化处理、数据产品质量检查评价、业务化分发保障和典型应用服务工作。四年来，累计完成了68万景高光谱卫星影像数据的质量检查和评价生产工作，研制了高光谱影像优化处理、产品生产、质量检查和监测应用等一系列软件系统，开展了高光谱影像在植被、水体和土壤质量等方面的监测示范应用，在高光谱卫星数据产品的处理、质量检查、应用和保障服务技术领域积累了丰富的经验。

2020年，国土卫星遥感应用中心联合有关测绘成果质量检验检测、遥感地理信息产品生产与技术应用、遥感卫星运行服务和遥感地质调查等单位，编制《高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程》标准申报书上报标准化技术委员会，并参加了标准立项评估会。2021年10月25日，《自然资源部办公厅关于印发2021年度自然资源标准制修订工作计划的通知》（索引号：000019174/2021-00009）印发，《高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程》标准获得批准立项。之后，主编单位成立了标准编制课题组。课题组广泛收集国内外相关资料、认真分析、积极讨论，就标准所涉及到的技术内容和方法进行了大量的理论研究和试验，并在广泛征询国内相关领域专家意见的基础上，确定了标准的编制大纲和工作计划。

## 1.4.2 起草阶段

2021年11月-2022年12月，课题组成立标准起草组，制定了详细的工作计划，集体学习了《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）。进一步了解了国内外高光谱卫星影像应用和质量发展现状，在编制大纲指导下，对国内外高光谱卫星运行和应用现状、高光谱卫星影像数据产品标准、技术指标、质量检查业务开展和技术标准等工作进行了调研、分析。

2023年1-4月，编制组内部召开多次讨论会，讨论确定了高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程的提纲，实施了规程的起草和修改完善工作，形成了标准征求意见稿草案。

## 1.4.3 征求意见稿阶段

2023年5月，以征求意见稿草案为基础，编写组以现场研讨、电话和视频会议等形式与国土、地质调查、林业和测绘等领域的生产作业单位、高校、科研院所的技术专家和生产专家进行交流探讨，对标准的主要内容进行逐条重新梳理和完善，综合专家意见对标准草案各部分进行修改完善，于2023年6月形成了标准征求意见稿和编制说明。

2023年6月20日，全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会秘书处以《关于征求〈高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程〉（征求意见稿）意见的函》（SAC/TC230/SC3 [2023]5号文）函请各省、市、自治区自然资源主管部门和有关行业专家对《高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程（征求意见稿）》及其编制说明提出意见和修改建议。截止2023年8月31日，共计收到9家省（市、区）自然资源主管部门、12家卫星技术研究和应用行业单位、8位行业专家反馈115条，其中修改意见、建议104条，无意见11条。编制组

对意见和建议进行了详细梳理、研讨，全部进行了有针对性的修改和处理（详见“（征求意见稿）意见汇总处理表”），其中，92 条意见和建议采纳，1 条意见和建议部分采纳，22 条意见和建议未采纳。其中，主要修改包括：

- (1) 在术语与定义中增加“传感器校正影像”“云量”“值域”等。
- (2) 遵循 GB/T 18316-2008 的规定，过程检查不编写报告，最终检查编写检查报告，验收编写检验报告。
- (3) 取消“质量检查”一条，各质量元素检查与“检查前准备”“结果处理”等流程并列，并将“波段选择”调整到“数据规格检查”之后。
- (4) 在“几何质量”检查中增加了“空间参考”质量元素，对应检查项“坐标系统”。
- (5) 修改了“盲元/闪元率”和“影像缺失率”的计算方法：先计算各受检波段的盲元/闪元率、影像缺失率，再以各波段的最大值作为单位成果的盲元/闪元率、影像缺失率。
- (6) 修改了云量、辐射异常各检查项的计分方法公式。
- (7) 修改了最终检查、验收的结果处理方法：最终检查合格的单位成果经复核无误方可提交验收；最终检查不合格的单位成果应退回处理，不提交验收；验收合格的批成果通过验收；验收不合格的批成果应退回卫星地面系统单位处理，并重新提交验收。
- (8) 增加了附录 B “检查报告格式”和附录 C “检验报告格式”。

2023 年 11 月 14 日，全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会秘书处组织专家召开《高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程》送审稿预审会，就送审讨论稿、编制说明和标准征求意见的采纳处理情况进行了技术审查研讨。会上，共收到与会专家共提出的意见 33 条。编制组对意见和建议进行

了详细梳理、研讨，全部进行了有针对性的修改和处理（详见“送审讨论稿”审查会修改意见及处理情况对照表”），其中，26条意见和建议采纳，1条意见和建议部分采纳，6条意见和建议未采纳。其中，主要修改包括：

- (1) 删除了“引言”。
- (2) 增加了“GB/T 24356-2023 测绘成果质量检查与验收”作为规范性引用文件。
- (3) 在术语和定义中刚增加了“单位成果”“批成果”“详查”“概查”等，并修改了其他部分定义。
- (4) 修改了过程检查、最终检查、验收中结果处理原则，不再出现“终止检查”的情况。
- (5) 在验收中增加了“样本内成果应逐一详查，样本外的单位成果根据需要进行概查。”，并规定了详查和概查的要求。
- (6) 删除了原附录 B “检查报告格式”和附录 C “检验报告格式”，增加了新附录 B，“常见高光谱卫星传感器校正影像辐射异常示例”。

## 二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

### 2.1 标准编制原则

#### (1) 一致性

本标准的编制参考了《数字测绘成果质量检查与验收》(GB/T 18316-2008)、《测绘成果质量检查与验收》(GB/T 24356-2023)及其他相关行业标准。标准中的部分术语和定义沿用了《数字测绘成果质量检查与验收》(GB/T 18316-2008)的内容，与相关国家标准和测绘行业标准协调，部分影像的质量元素的定义和描述与现行国家标准和行业标准保持一致，避免新制定标准与已经颁布实施或正在报批的相关标准之间的冲突和矛盾。

## (2) 规范性

本标准编制的所有阶段均遵守国家标准《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）的规定，保证标准编制的规范性。

## (3) 科学性

本标准的指标和方法能够科学、准确、合理地指导高光谱卫星影像质量检查和评价，遵循科学性原则。

## (4) 实用性

本标准与已有的国家标准和测绘行业标准相比，其内容对高光谱卫星影像而言，检查和评价方法等方面具有更强的针对性和适宜性，能够满足未来一定时期内的高光谱卫星影像质量检查和评价要求，具有实用性。

## (5) 先进性

本标准制订参考了国内外高光谱卫星影像质量检查和评价相关的研究成果，使标准满足先进性要求。

## (6) 通用性

本标准面向高光谱卫星影像的质量特点，检查和评价项目包括了数据规格、几何质量、云量、辐射质量等基本且普遍适用的技术指标和要求，使之既可涵盖绝大部分高光谱卫星影像，又可适用于不同特点的数据源。

## 2.2 国内外调研情况

本标准在制定过程中，广泛收集并分析了相关的国家标准和行业标准，作为本标准制定的参考和借鉴依据。已颁布的数字测绘成果质量检查与验收标准主要包括《数字测绘成果质量检查与验收》（GB/T 18316-2008）、《测绘成果质量检查与验收》（GB/T 24356-2023）。以上标准的服务对象主要是数字测绘成果的质量检查与验收，高光谱卫星影像是数字影像成果之一，因此本标准是对以上

标准的继承与细化。

高光谱遥感技术兴起于上世纪 80 年代，它融合了成像技术和光谱技术，可实现空间信息、光谱信息和辐射信息的综合观测，提升了遥感观测的信息维度，极大地推动了遥感技术革命与发展，其应用领域目前已经涵盖了地球科学的各个方面，成为地质制图、植被调查、海洋遥感、农业遥感、大气研究、环境监测等领域的重要手段<sup>[1,2]</sup>。我国的高光谱卫星遥感事业起步相对较晚，高分五号卫星于 2018 年 5 月 9 日成功发射，是我国第一颗高光谱综合观测卫星；5 米光学卫星 01 星于 2019 年 9 月 12 日成功发射，是我国第一颗业务化运行的高光谱卫星；高光谱观测卫星于 2021 年 9 月 7 日成功发射，是继高分五号卫星之后的又一颗实现对大气和陆地综合观测的全谱段高光谱卫星；5 米光学卫星 02 星于 2021 年 12 月 26 日成功发射，继承 01 星的成熟设计并与 01 星组网运行；高光谱综合观测卫星于 2022 年 12 月 9 日成功发射。由于成像系统、硬件水平、处理算法、传输媒介和储存设备的不完善，加之成像瞬间周围环境的影响，数据质量不可避免的存在一定下降和失真。因此，在对数据进行处理和分析之前，质量检查和评价是高光谱影像处理中不可缺少的关键步骤，也是数据应用的前提和保障<sup>[3-7]</sup>。

目前，国内外对于高光谱数据的质量评价，主要是围绕高光谱载荷的技术性能进行评价，缺乏面向应用的、对数据产品本身进行评价的方法；高光谱数据的评价指标大都是针对多光谱数据产品发展起来的指标，主要使用常规二维遥感影像的评价方法，如辐射和几何特征等，缺乏针对高光谱数据特性的专门评价指标和方法。虽然也有学者发展了一些符合高光谱数据特点的质量评价指标和方法，但多是针对数据某一方面的特性，缺乏普遍的实用性和拓展性，难以对高光谱影像的质量进行完整的、系统的检查和评价<sup>[5-7]</sup>。

经国家标准、行业标准共享服务平台检索，尚未有关于高光谱卫星影像质量检查和评价的行业标准、国家标准、国际标准和国外同类标准。由于当前尚无行业或国家标准可循，该领域存在作业流程不统一、精度要求不明确等问题，严重制约着高光谱卫星影像的数据处理与应用。因此，亟需制定技术规程来指导高光谱卫星影像质量检查和评价的科学性与规范性，保证成果的有效性和可靠性。

## 2.3 主要技术内容的说明

### 2.3.1 总体要求

#### (1) 两级检查一级验收

高光谱卫星影像是由天基遥感平台观测采集，经卫星地面系统单位传感器校正生产而来的数字测绘成果，其质量检查和评价的基本原则依据是《数字测绘成果质量检查与验收》（GB/T 18316-2008）和《测绘成果质量检查与验收》（GB/T 24356-2023）所规定的过程检查、最终检查和验收，其中过程检查由卫星影像采集单位作业部门负责，最终检查由卫星影像采集单位质量管理部门负责，验收由生产委托方负责，各级检查工作应独立进行，不能省略或相互代替。同时，最终检查以过程检查工作完成并通过为前提条件，验收以最终检查工作完成并通过为前提条件。

#### (2) 检查记录

过程检查、最终检查和验收均应填写检查记录表，检查记录的内容应包括各检查项的检查结果、发现的质量问题及处理情况，检查记录的格式应符合附录 A 的要求；检查记录表不应随意更改、增删，内容填写应及时、完整、规范、清晰；检查记录表应随成果一并归档。

#### (3) 报告

最终检查应编制检查报告，内容应包括检查工作概况、受检成果概况、检查依据、检查内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计及质量综述等，格式按 GB/T 24356-2023 附录 B 执行；验收应编制检验报告，内容应包括检验工作概况、受检成果概况、检验依据、抽样情况、检验内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计及质量综述等，格式按 GB/T 24356-2023 附录 C 执行；检查报告和检验报告应随成果一并归档。

### 2.3.2 工作流程

规定了高光谱卫星影像质量检查和评价的工作流程，主要分为过程检查、最终检查和验收三个阶段，如图 1。

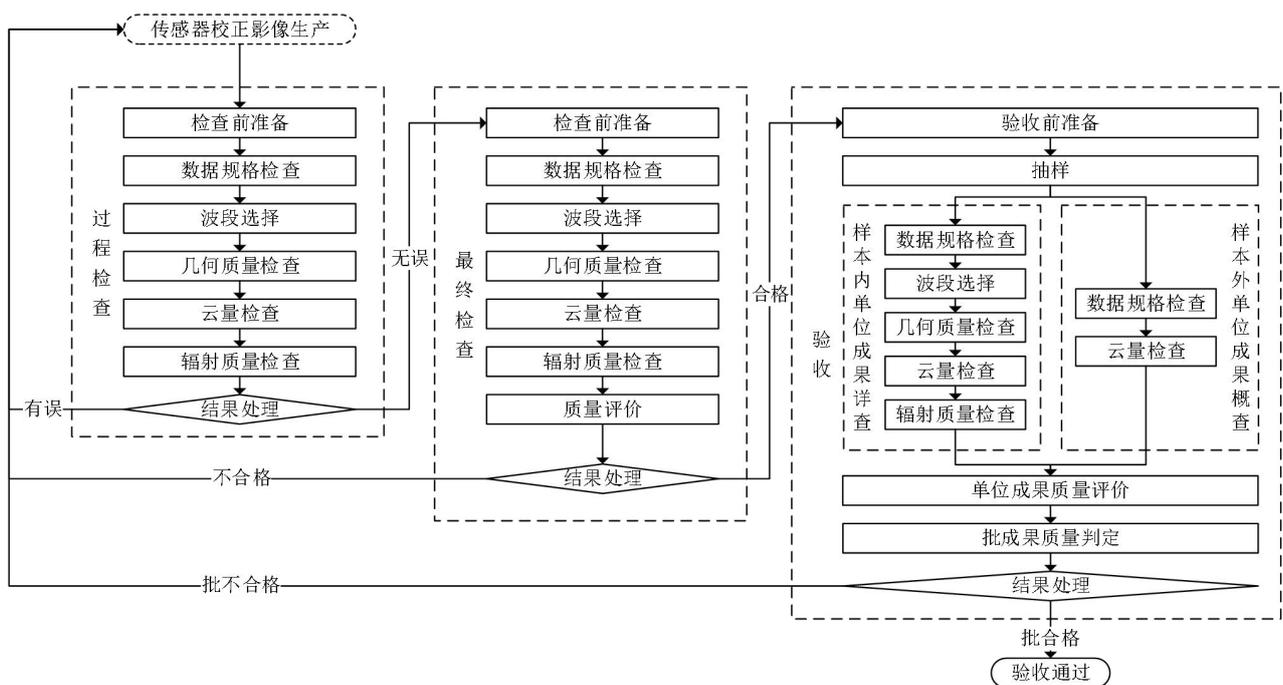


图 1 高光谱卫星影像质量检查和评价工作流程

过程检查应逐单位成果详查，不进行单位成果质量等级评价。最终检查应逐单位成果详查，并逐景评价单位成果质量等级。验收可采用抽样检验，应评价样本内单位成果质量，并判定批成果质量。样本内成果应逐一详查，样本外的单位成果根据需要进行概查。以上过程中，详查包括数据规格检查、波段选

择、几何质量检查、云量检查、辐射质量检查，概查只执行数据规格检查和云量检查。

### 2.3.3 质量元素

规定了高光谱卫星影像质量元素、子元素及检查项的内容，见表 2。共从数据规格、几何质量、云量、辐射质量等角度选取了 4 个质量元素、6 个质量子元素、13 个检查项用于高光谱卫星影像的质量检查和评价。

表 2 高光谱卫星影像质量元素

质量元素	质量子元素	检查项
数据规格	数据规格	数据一致性
		数据完整性
		元数据质量
几何质量	空间参考	坐标系统
	定位精度	平面定位精度
		波段间配准精度
云量	云量	云量
辐射质量	辐射异常	盲元/闪元
		影像缺失
		影像噪声
		干涉条纹
		CCD 片间色差
	灰度特征	值域

### 2.3.4 过程检查

#### 2.3.4.1 检查要求

规定了过程检查由卫星影像采集单位生产作业部门负责。8.1.2 过程检查应逐单位成果详查，不做单位成果质量评价。过程检查中各检查项的检查结果、检查出的质量问题及处理情况应填写检查记录。

#### 2.3.4.2 检查前准备

过程检查前，应收集高光谱卫星影像处理和应用的相關标准、产品说明书、项目合同要求等相关技术文件，确定过程检查的内容和方法，准备过程检查所需的软、硬件环境，编制过程检查技术方案。

### 2.3.4.3 数据规格检查

数据规格检查包括数据一致性、数据完整性及元数据质量检查。数据规格检查是其他质量要素检查和评价的前提，一旦数据规格出现错误，则意味着数据无法被正确解析和读取，进而导致后续检查、处理及应用等环节均无法顺利开展，因此这一质量元素对于数据质量尤其重要。

数据一致性首先检查数据文件的命名格式是否正确，正确的数据应符合以下命名格式：卫星名\_载荷名\_中心经度\_中心纬度\_观测日期\_轨道号\_产品号.后缀名。随后检查数据文件是否能够被打开和读取，检查数据范围与提供的矢量落图范围是否一致。

数据完整性首先检查单位成果的数据文件是否完整，完整的数据文件应包含观测数据文件、元数据说明文件、RPC 参数文件、浏览图文件、矢量文件、观测几何角度文件、辐射定标系数文件、光谱响应函数文件等。随后检查波段数量是否完整，高分五号卫星、高光谱观测卫星、高光谱综合观测卫星应包含 150 个可见光近红外波段和 180 个短波红外波段，共计 330 个波段；5 米光学卫星 01 星、5 米光学卫星 02 星应包含 76 个可见光近红外波段和 90 个短波红外波段，共计 166 个波段。

元数据质量检查元数据包含的字段是否完整、各字段是否有赋值、各字段赋值是否准确。

### 2.3.4.4 波段选择

由于具备较高的光谱分辨率，波段数量丰富是高光谱影像区别于其他卫星

影像的主要区别之一。由于卫星数据量巨大，即使采用自动化检查手段，业务化的质量检查和评价生产中通常不会逐波段、遍历式、全覆盖的进行检查生产。高光谱卫星影像波段众多，且相邻波段间存在较强的相似性，基于各波段数据同平台、同时间采集，各波段数据技术状态基本一致的特点，为提升检查效率，通常在上百个波段中选择出若干波段作为受检波段，并以受检波段的质量代表单位成果的质量。除数据规格检查外，在检查单位成果的几何质量、云量和辐射质量前，宜对单位成果进行波段选择。根据业务生产实践中总结得到的经验，选择 5%的波段可以代表整景影像的质量，同时保证了质量检查的效率。

波段选择时一般应遵循以下原则：受检波段数量应在可见光近红外和短波红外谱段总数中分别选取不少于 5%的比例；一般应均匀分布，且尽量完整覆盖光谱范围；应尽量规避无效波段，规避由于水汽强吸收等原因造成图像质量下降的谱段范围（水汽吸收谱段主要在 1360nm~1500nm 和 1840nm~2020nm 附近）。

#### **2.3.4.5 几何质量检查**

遥感影像的几何属性是其区别于普通数字图像的最大特征，通过将影像中的像素坐标与地理坐标进行关联，图像中每个像素均可以转换为实际的地理坐标，遥感影像的几何信息对于目标的准确定位与识别、地图制图与测量等具有重要意义。对于高光谱影像，几何质量包括空间参考、平面定位精度和波段间配准精度。

空间参考主要检查影像的坐标系统等参数信息的正确性。高若影像的空间参考错误，则影像无法被正确定位，进而影响后续的分析及应用。光谱卫星影像的坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系或 1984 世界大地坐标系，必要时，也可采用经批准的其他坐标系，如 84 世界大地坐标系等。

平面定位精度检查影像与真实地物定位的精度。由于来自传感器自身的结构及性能等内部因素，和卫星轨道及姿态的变化、地球自转、地形起伏、大气折射等外部因素的共同影响，遥感影像中地物的几何形状、位置与其真实情况往往存在偏差。利用成像瞬间传感器的空间位置和姿态等信息可以对遥感影像进行几何校正后，可以在很大程度上改善这种畸变，但地物的影像坐标与实际地理坐标仍存在一定差异，即平面定位误差。检查时，首先应加载参考影像、控制点等参考基准资料，通过选取同名点的方式，分别计算各受检波段的平面定位精度，最后以各受检波段中平面定位精度的最大值作为单位成果的平面定位精度。根据高光谱卫星研制总要求，结合质检业务工作实际，将平面定位精度限值设定为 100m。

波段间配准精度主要检查各波段之间像素偏移和错位的程度。在成像过程中，由于平台稳定性、分光元件导致的光路偏差、探测器元件微小变形等因素的影响，不同谱段之间或者相同谱段的各波段之间往往存在一定的空间错位。当存在此种问题时，从影像提取的地物光谱曲线也可能会出现误差，从而影响高光谱数据的处理与使用。检查时，首先选择一个受检波段作为基准波段，其他波段则作为配准波段，通过选取同名点的方式，分别计算各配准波段的波段间定位精度，最后以各受检波段中波段间定位精度的最大值作为单位成果的波段间定位精度。结合质检业务工作实际，将波段间配准精度限值设定为 0.3 像素。

#### **2.3.4.6 云量检查**

云对下垫面地物的识别与分类，对遥感影像信息提取、计算与应用均造成困难。云量是卫星影像产品质量检查和评价中重要的评价因子，是影响影像质量判定的重要因素。云量检查的内容为识别云覆盖范围，并计算云覆盖范围面积之和与整景影像总面积的比值，这一比值即是单位成果的云量。由于云的光

学厚度、几何形态、纹理特征及空间分布不同，高光谱卫星影像上的云表现为厚云、薄云、薄雾、霾、云阴影等多种类型，通常首先采用深度学习等人工智能方法自动化识别云覆盖范围并计算云量，然后通过人工目视判读方法进行云量复核最终确定云量。结合质检业务工作实际，将云量限值设定为 60%。

#### 2.3.4.7 辐射质量检查

高光谱遥感影像通过获取地物表面的辐射信息进行成像，元器件问题或数据存储、传输过程中出现的错误等因素会使高光谱遥感影像会产生辐射质量问题，因此需要检查和评价高光谱遥感影像的辐射质量。结合高光谱遥感影像质检业务工作实际，我们将业务工作中最常见的辐射异常问题归纳为盲元/闪元、缺失、噪声、干涉条纹、CCD 片间色差 5 类，此外还需检查灰度特征中的值域。

根据不同辐射异常的特点，各检查项的检查方式也略有差异。当影像存在“盲元/闪元”和“影响缺失”时，一般表现为影像上个别波段的部分列或部分区域的存在异常，但影像上不存在异常的部分仍具有应用价值，因此“盲元/闪元”和“影响缺失”两个检查项采用检查各波段中存在异常的区域的比例，再以各波段中的异常比例最大值代表单位成果的辐射异常比例的方式进行检查。当影像存在“影像噪声”“干涉条纹”“CCD 片间色差”等情况时，一般表现为影像整体的辐射异常，并非影像内某个区域的具体问题，难以进行具体异常面积的量化，因此“影像噪声”“干涉条纹”“CCD 片间色差”三个检查项采用存在辐射异常的波段占待检波段的比例的方式进行检查。

盲元/闪元定义为探测器存在死像元、过热像元或闪烁像元等缺陷像元导致卫星影像上某些列无纹理或出现异常高亮纹理的辐射异常现象。检查时，首先在受检波段上识别盲元/闪元的列数，并计算该波段的盲元/闪元率，最后以各波段盲元/闪元率中的最大值作为单位成果的盲元/闪元率。结合质检业务工作实际，

将盲元/闪元率限值设定为 3%。

影像缺失定义为卫星影像上全部或部分区域无纹理信息的辐射异常现象。检查时，首先在受检波段上识别影像缺失的面积，并计算该波段的影像缺失率，最后以各波段影像缺失率中的最大值作为单位成果的影像缺失率。结合质检业务工作实际，将影像缺失率限值设定为 3%。

影像噪声定义为卫星影像上存在颗粒状或条带状不规则信号的辐射异常现象。检查时，首先识别各受检波段是否存在影像噪声，再以存在影像噪声的受检波段占全部受检波段的比例作为单位成果的影像噪声率。结合质检业务工作实际，将影像噪声率限值设定为 60%。

干涉条纹定义为 CCD 入射光来回反射导致卫星影像上存在明暗相间条纹的辐射异常现象。检查时，首先识别各受检波段是否存在干涉条纹，再以存在干涉条纹的受检波段占全部受检波段的比例作为单位成果的干涉条纹率。结合质检业务工作实际，将干涉条纹率限值设定为 60%。

CCD 片间色差定义为 CCD 拼接处能量的不一致导致卫星影像上存在色调差异的辐射异常现象。由于相机成像机理的不同，部分谱段不使用 CCD 片拼接成像，因此检查时仅对使用 CCD 片拼接成像的受检波段进行检查。检查时，首先识别各受检波段是否存在 CCD 片间色差，再以存在 CCD 片间色差的受检波段占全部受检波段的比例作为单位成果的 CCD 片间色差率。结合质检业务工作实际，将 CCD 片间色差率限值设定为 100%。需要说明的是，由于片间色差率限值设定为 100%，此项检查不存在“不符合”的情况。虽然检查结果均为“符合”，但 CCD 片间色差率仍存在高与低的差异，这在质量评价中的打分结果中会有所体现，因此此项检查具有参考意义。

值域定义为卫星影像上各像元灰度最大值和最小值所组成的取值范围。卫

星成像系统在设计时对影像的值域有技术要求，一般情况下，高光谱卫星影像上各像元灰度值的取值范围是 $[0, 2^b - 1]$ ，其中 $b$ 为影像的量化位数，若影像中存在部分像元值超出此范围，则认为单位成果存在质量问题，无法正常使用。

#### **2.3.4.8 结果处理**

规定了检查结果的处理方式：对于检查出的错误应修改或重新生产后再提交过程检查，经复查无误方可提交最终检查。将检查记录随单位成果一并提交最终检查，并进行归档管理。

### **2.3.5 最终检查**

#### **2.3.5.1 检查要求**

规定了单位成果通过过程检查后，才能进行最终检查。最终检查由卫星影像采集单位质量管理部门负责。最终检查应逐单位成果详查，并逐景评价单位成果质量等级。最终检查中各检查项的检查结果、检查出的质量问题及处理情况应填写检查记录。

#### **2.3.5.2 检查前准备**

最终检查前，应收集高光谱卫星影像处理和应用的相关标准、产品说明书、项目合同要求等相关技术文件，以及过程检查的检查记录。确定最终检查的内容和方法，准备最终检查所需的软、硬件环境，编制最终检查技术方案。应审核过程检查的检查记录，过程检查未完成、过程检查记录不规范的，应停止最终检查，并退回过程检查。

#### **2.3.5.3 质量检查**

最终检查中的数据规格检查、波段选择、几何质量检查、云量检查、辐射质量检查等质量检查环节与过程检查中相应环节的要求相似。

#### **2.3.5.4 质量评价**

在最终检查及验收中，除对批成果中的单位成果进行质量检查外，还需逐景评价单位成果质量等级。

### (1) 质量元素分值计算

在进行质量评价时，首先根据各检查项的检查结果，对照该技术要求和计分方法分别计算各检查项的得分。数据规格检查中，若某一检查项不符合技术要求，则直接影响该单位成果的正常读取或使用，因此各检查项采取二值计分，即符合则记 100 分，不符合则记 0 分。几何质量检查中，空间参考若存在错误则影像数据的正常读取或使用，因此采用二值计分；平面定位精度和波段间配准精度则沿用《数字测绘成果质量检查与验收》(GB/T 18316-2008)的计分方法，采用弹性计分。云量检查中，若影像中存在一定云覆盖，则会使影像的可用范围减少，但影像中未被云覆盖的部分仍具有使用价值，因此云量检查的计分方法为弹性计分，当云量在 0 和限值之间时，根据云量大小适当扣分。辐射质量检查中，辐射异常以各检查项错误率进行弹性计分；值域若不符合技术设计中的限值要求，则代表该数据产品存在异常，因此采用二值计分。

检查项得分完成后，根据各检查项得分计算质量元素得分。在同一质量元素中，若某一检查项存在较严重问题，则说明该质量元素存在较严重的问题，因此以每个质量元素中各检查项得分的最小值作为该质量元素的最终得分。

### (2) 单位成果质量分值计算

对于单位成果，首先取质量元素内各检查项得分的最小值作为该质量元素的得分，再取数据规格、几何质量、云量和辐射质量四个质量元素得分的最小值，即为单位成果的最终得分。

### (3) 单位成果质量等级评价

根据单位成果质量分值评价对应的质量等级，按 90 分、75 分、60 分三个

阈值将质量等级分为优、良、合格、不合格四级，分级方法遵循《数字测绘成果质量检查与验收》（GB/T 18316-2008）的相关规定。

### **2.3.5.5 结果处理**

规定了检查结果的处理方式：最终检查不合格的单位成果应退回处理，处理后再进行最终检查，直至检查合格为止。最终检查合格的单位成果方可提交验收。最终检查完成后应编制检查报告，将检查记录和检查报告随单位成果一并提交验收，并进行档案管理。

## **2.3.6 验收**

### **2.3.6.1 检查要求**

规定了单位成果最终检查全部合格后，才能进行验收。验收由生产委托方负责。验收可采用抽样检验，应评价单位成果质量，并判定批成果质量。样本内的单位成果应逐一详查，样本外的单位成果根据需要进行概查。概查只执行数据规格检查和云量检查。验收中各检查项的检查结果、检查出的质量问题及处理情况应填写检查记录。

### **2.3.6.2 检查前准备**

验收前，应收集高光谱卫星影像处理和应用的相关标准、产品说明书、项目合同要求等相关技术文件，以及最终检查的检查记录和检查报告。确定验收的内容和方法，准备验收所需的软、硬件环境，编制验收技术方案。应审核最终检查的检查记录，最终检查未完成、最终检查记录不规范、最终检查报告不规范的，应停止验收，并退回最终检查。

### **2.3.6.3 抽样程序**

在进行验收前，应对批成果按规则进行抽样，规定了组成批成果、确定样本量的方法以及抽样的规则。应按照 GB/T 18316-2008 中表 1 的规定确定样本量。

#### **2.3.6.4 单位成果质量检查**

验收中样本内的单位成果应逐一详查，样本外的单位成果根据需要进行概查。样本内单位成果详查执行数据规格检查、波段选择、几何质量检查、云量检查、辐射质量检查，样本外单位成果概查只执行数据规格检查和云量检查。数据规格检查、波段选择、几何质量检查、云量检查、辐射质量检查等质量检查环节与过程检查中相应环节的要求相似。

#### **2.3.6.5 单位成果质量评价**

样本内单位成果质量评价与最终检查中质量评价的要求相同。按需概查的样本外单位成果只评价合格、不合格两级。当各检查项结果均为“符合”时，则单位成果质量评价为合格，否则评价为不合格。

#### **2.3.6.6 批成果质量判定**

在完成单位成果质量评价后，应根据质量评价结果判定批成果质量，判定方法遵循《数字测绘成果质量检查与验收》（GB/T 18316-2008）的相关规定。

#### **2.3.6.7 结果处理**

规定了验收结果的处理方式：验收合格的批成果通过验收；验收不合格的批成果应退回卫星影像采集单位处理，并重新提交验收，重新验收时应重新抽样。验收完成后应编制检验报告，将检查记录和检验报告随成果一并归档管理。

### **三、验证试验的情况和结果**

#### **3.1 验证内容**

自 2019 年以来，自然资源部国土卫星遥感应用中心接收了中国资源卫星中心推送的 68 万余景经过传感器校正的高分五号卫星、5 米光学卫星 01 星、高光谱观测卫星、5 米光学卫星 02 星等高光谱卫星影像初级产品。面向这些影像数据的质量检查和评价需要，中心收集了以上高光谱卫星影像数据的产品说明，

在对国内外高光谱卫星影像生产和质量控制技术标准调研分析基础上，从数据规格性检查、几何质量检查、云量检测、辐射质量检查和质量评价等几个方面设计并研制了高光谱卫星影像数据产品质量检查和评价软件，采用软件自动化检查和人机交互检核相结合的方式对接收高光谱卫星影像进行了质量检查。四年来质量检查和评价生产实践表明，在数据规格、几何质量、云量、辐射质量等质量元素的设计、技术指标确定和评价方法的设计上，本技术规程草案的相关规定可以指导、保障高光谱卫星影像的质量检查和评价工作，评价的结果科学可信，可以为用户使用高光谱卫星影像产品提供可靠的质量信息依据。

### **3.2 验证方法**

高光谱卫星影像质量检查和评价技术规程内容的验证方法为：采用质检软件自动化检查评价和人机交互检核的方式进行卫星影像质量检查评价，然后通过省级卫星应用技术中心和遥感监测应用单位在卫星影像应用服务中对数据质量信息的准确性使用进行验证。

### **3.3 验证结果**

验证结果显示，对于大多数高光谱卫星影像，波段选择规则既有效提高了检查工作的效率，又使所选波段具有较好的代表性；质量元素设定合理，能够从不同角度全面评价影像质量的优劣，且具有较强的可操作性，同时体现了高光谱卫星影像相较于其他光学卫星影像的质量特点；质量评价规则设置合理，影像数据的质量等级评价结果准确、可靠。

## **四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况**

经国家标准、行业标准共享服务平台检索，尚未有相关国家标准、行业标准、国际标准、他国国家标准记录情况，因此本标准填补了相关标准的空白。

## 五、与现行法规、标准的关系

本标准依据《中华人民共和国测绘法》《中华人民共和国标准化法》修订，符合我国现行法律、法规有关规定。本标准发布后将成为推荐性卫星遥感行业标准，可以为用户开展高光谱卫星影像数据的质量检查和评价生产、应用、研究、交流等提供技术指导和作业规范。本标准预期达到国内先进水平。

## 六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 七、废止现行有关标准的建议

建议作为推荐性标准发布实施。

## 八、实施标准的要求和措施建议

本标准颁布实施后，编制组将根据全国地理信息标准化技术委员会及其卫星应用分技术委员会的安排，积极做好标准的宣传贯彻培训等工作。此外，为发挥本标准作为高光谱影像产品质量检查与评价领域标准作用，建议今后有关国家标准、行业标准制修订时，应做好与本标准之间的协调。

## 九、其他应予说明的事项

无。

## 十、参考文献

- [1] 孙允珠, 蒋光伟, 李云端, 等. “高分五号”卫星概况及应用前景展望[J]. 航天返回与遥感, 2018, 39(03): 1-13.
- [2] 童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感——原理、技术与应用[J]. 中国科学院遥感应用研究所, 2006.
- [3] 董胜越. 高分五号全谱段光谱成像仪影像数据质量评价研究[D]. 中国石油大学(华东), 2019.

- [4] 董胜越, 孙根云, 杜永明, 等. 高分五号全谱段光谱成像仪影像数据质量评价研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(02): 381-388.
- [5] 覃帮勇. 高光谱遥感数据质量评价体系及方法研究[D]. 中国科学院大学, 2014.
- [6] 马德敏. 高光谱图像质量评价[J]. 红外, 2004, (07): 18-23.
- [7] 马德敏, 孙凡, 金星, 等. 机载高光谱图像质量定量化评价方法的研究[C]. 成像光谱技术与应用研讨会, 中国云南昆明, 2004.