



中华人民共和国国家标准

GB/T 38935—2020

光学遥感器在轨成像辐射性能 评价方法 可见光-短波红外

On-orbit radiometric characteristics assessment for
optical imaging remote sensor—VIS-SWIR

2020-07-21 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 评价对象和评价指标	2
4.1 评价对象	2
4.2 评价指标	2
5 评价方法	2
5.1 信噪比	2
5.2 辐射分辨率	3
5.3 动态范围	4
5.4 非线性度	7
5.5 盲元率	7
附录 A (资料性附录) 信噪比规定化方法	10
附录 B (资料性附录) 高空间分辨率光学遥感器在轨动态范围、非线性度评价地面靶标布设需求	11
参考文献	12

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由中国科学院提出。

本标准由全国遥感技术标准化技术委员会(SAC/TC 327)归口。

本标准起草单位:中国科学院光电研究院、中国资源卫星应用中心、国家卫星气象中心、北京空间机电研究所、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所。

本标准主要起草人:李传荣、李晓辉、王新鸿、高彩霞、唐伶俐、马灵玲、王宁、傅俏燕、方翔、伏瑞敏、马艳华、王钢、李伟、刘照言、赵永光、朱博、张静、朱家佳、刘耀开、钱永刚、邱实、周勇胜、朱小华、任璐。

光学遥感在轨成像辐射性能 评价方法 可见光-短波红外

1 范围

本标准规定了工作波长在可见光到短波红外范围(380 nm~2 500 nm)的星载成像光学遥感器的在轨成像辐射性能评价对象、评价指标和评价方法。

本标准适用于搭载在卫星平台上,采用线阵列探测器扫描成像的被动光学遥感器在轨运行过程中进行的辐射性能评价。其他类型星载被动光学遥感器的在轨外场辐射性能评价可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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 33988—2017 城镇地物可见光-短波红外光谱反射率测量

GB/T 36297—2018 光学遥感载荷性能外场测试评价指标

GB/T 36540—2018 水体可见光-短波红外光谱反射率测量

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 36297—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

辐射性能 radiometric characteristics

遥感器成像时获取与保持地物目标场景相对或绝对辐射能量分布的能力。

3.1.2

信噪比 signal-to-noise ratio

遥感器输出的有效信号功率与噪声功率之比。

3.1.3

辐射分辨率 radiometric resolution

遥感器感测(敏感)元件在接收波谱辐射信号时能分辨的最小辐射度差,或指对两个不同的辐射源的辐射量的分辨能力。

[GB/T 14950—2009,定义 4.103]

3.1.4

动态范围 dynamic range

光学遥感器输出能够随输入发生变化的最小入射辐射量和最大入射辐射量所界定的区间。

3.1.5

非线性度 non-linearity

在动态范围内,响应的实际值偏离对应拟合直线的最大偏差。

注 1：一般采用百分比表示。

注 2：改写 GB/T 17444—2013,定义 2.37。

3.1.6

盲元率 blind pixel ratio

遥感器的盲像元数占总像元数的百分比。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GSD 地面采样距离(ground sampling distance)

VIS-SWIR 可见光-短波红外(visible to short-wave infrared)

4 评价对象和评价指标

4.1 评价对象

本标准针对搭载于卫星平台上,工作波长在可见光到短波红外范围(380 nm~2 500 nm),采用线阵列探测器扫描成像的被动光学遥感器(如可见光全色相机、多光谱相机、高光谱成像仪等),利用其在轨运行时获取的图像数据进行遥感器辐射性能分析与监测。

4.2 评价指标

星载光学遥感器在轨成像辐射性能评价指标包括:信噪比、辐射分辨率、动态范围、非线性度、盲元率。

5 评价方法

5.1 信噪比

基于仅经过相对辐射校正处理的遥感器观测图像数据进行评价。具体步骤如下:

- a) 选取遥感器在相近时间段内获取的若干景受大气影响小的、具有不同灰度等级(灰度等级≥5)的大面积均匀场景的图像作为样本图像,如深海、湖泊等水体,南极或格陵兰等地区的大范围冰雪覆盖区域,沙漠、戈壁或均匀浓密植被覆盖区域等。图像中的均匀区域应尽可能大(至少大于 50 像素×50 像素),最好的情况是在沿遥感器阵列方向覆盖阵列所有像元,在沿遥感器阵列扫描方向(垂直遥感器阵列方向)大于或等于 100 像素。
- b) 对于样本图像的某一波段 $l(l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数),选取图像中满足信噪比评测要求的某一均匀区域(区域内所有像素的灰度均值为 $\bar{D}_{l,k}$,对应某一灰度等级 $k, k=1, 2, \dots, K, K$ 为参与评测的均匀场景灰度等级数)作为均匀区子图像 $I_{l,k}$ 。若遥感器采用阵列摆扫方式成像,则利用式(1)对均匀区子图像 $I_{l,k}$ 进行转置操作。

$$p_{i,j,l,k} = p_{j,i,l,k} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$p_{i,j,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 第 i 行第 j 列的灰度值。

$p_{j,i,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 第 j 行第 i 列的灰度值。

- c) 利用式(2)计算得到均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的差值图像。

$$d_{i,j,l,k} = p_{(i+1),j,l,k} - p_{i,j,l,k} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $d_{i,j,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的差值图像的第 i 行第 j 列的灰度值;
 $p_{(i+1),j,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 第 $i+1$ 行第 j 列的灰度值;
 d) 利用式(3)计算第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的每一列的列噪声。

$$\sigma_{j,l,k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M_{l,k}-1} (d_{i,j,l,k})^2}{2M_{l,k} - 3}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $\sigma_{j,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的第 j 列的噪声;
 $M_{l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的行数。

- e) 利用式(4)计算第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 每一列的信噪比。

$$R_{\text{SNR}_{j,l,k}} = \frac{1}{M_{l,k}} \frac{\sum_{i=1}^{M_{l,k}} p_{i,j,l,k}}{\sigma_{j,l,k}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $R_{\text{SNR}_{j,l,k}}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 第 j 列的列信噪比。

- f) 利用式(5)计算列信噪比的平均值作为第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的信噪比。

$$R_{\text{SNR}_{l,k}} = \frac{1}{N_{l,k}} \sum_{j=1}^{N_{l,k}} R_{\text{SNR}_{j,l,k}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- $R_{\text{SNR}_{l,k}}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的信噪比;

- $N_{l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的列数。

- g) 按照步骤 b)~f) 计算样本图像中第 l 波段所有灰度等级下的均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的信噪比。

- h) 利用步骤 g) 得到的信噪比 $R_{\text{SNR}_{l,k}}$ ($k=1, 2, \dots, K$, K 为参与评测的均匀场景灰度等级数目), 采用信噪比规范化方法(参见附录 A), 计算得到第 l 波段在某一参考入瞳辐亮度 $L_{0,l}$ 水平下的信噪比 $R_{\text{SNR}_{0,l}}$ 。

- i) 利用式(6)将步骤 h) 得到的信噪比 $R_{\text{SNR}_{0,l}}$ 转换为信噪比的功率表示。

$$R_{\text{DB-SNR}_{0,l}} = 20 \cdot \lg(R_{\text{SNR}_{0,l}}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- $R_{\text{DB-SNR}_{0,l}}$ ——第 l 波段在某一参考入瞳辐亮度水平 $L_{0,l}$ 下的信噪比的功率表示, 单位为分贝(dB)。

- j) 按照步骤 b)~i) 得到遥感器所有波段的信噪比 $R_{\text{DB-SNR}_{0,l}}$ ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数)。

- k) 以至少 1 年 1 次的频率, 按照步骤 a)~j) 计算遥感器各波段的信噪比。采用二维折线图形式(横轴为评价时段, 纵轴为信噪比), 显示遥感器各波段的信噪比随时间的变化特征与趋势(对于多光谱遥感器, 可以将不同波段的信噪比变化折线显示在同一张折线图中)。

5.2 辐射分辨率

采用噪声等效辐亮度或噪声等效反射率表示, 基于仅经过相对辐射校正处理的遥感器观测图像数据进行评价。具体步骤如下:

- a) 按照与信噪比评价相同的方法和要求, 选择样本图像, 同 5.1 中步骤 a)。

- b) 对于样本图像的某一波段 l ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数), 按照与信噪比评价相同的方法计算遥感器第 l 波段在某一参考入瞳辐亮度水平 $L_{0,l}$ 下的信噪比 $R_{\text{SNR}_{0,l}}$, 同 5.1 中步

骤 b)~h)。

c) 利用式(7)~式(9)计算第 l 波段的辐射分辨率。

$$R_{NE\Delta L_{0,l}} = \frac{L_{0,l}}{R_{SNR_{0,l}}} \dots\dots\dots (7)$$

$$R_{NE\Delta\rho_{0,l}} = \frac{\rho_{0,l}}{R_{SNR_{0,l}}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\rho_{0,l} = \frac{\pi L_{0,l} d^2}{E_{s,l} \cos\theta} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$R_{NE\Delta L_{0,l}}$ —— 传感器第 l 波段的噪声等效辐亮度,单位为瓦每平方米球面度微米[W/(m² · sr · μm)];

$R_{NE\Delta\rho_{0,l}}$ —— 传感器第 l 波段噪声等效反射率;

$L_{0,l}$ —— 传感器第 l 波段的参考入瞳辐亮度,单位为瓦每平方米球面度微米[W/(m² · sr · μm)];

$\rho_{0,l}$ —— 与 $L_{0,l}$ 对应的传感器第 l 波段的表观反射率值;

$R_{SNR_{0,l}}$ —— 传感器第 l 波段在参考入瞳辐亮度 $L_{0,l}$ 水平下的信噪比;

d —— 日地距离因子(天文单位);

$E_{s,l}$ —— 传感器第 l 波段的大气层顶太阳辐照度,单位为瓦每平方米微米[W/(m² · μm)];

θ —— 太阳天顶角,单位为度(°)。

d) 重复步骤 b)~ c),完成传感器的所有波段的辐射分辨率评测。

e) 以至少 1 年 1 次的频率,按照步骤 a)~d)计算传感器各波段的辐射分辨率。采用二维折线图形式(横轴为评价时段,纵轴为辐射分辨率),显示传感器各波段的辐射分辨率随时间的变化特征与趋势(对于多光谱传感器,可以将不同波段的辐射分辨率变化折线显示在同一张折线图中)。

5.3 动态范围

基于仅经过相对辐射校正处理的传感器观测图像数据进行评价。具体步骤如下：

a) 根据传感器的 GSD,选择地势平坦、表面均一性好、具有不同反射率的试验区域(通常为特定的辐射定标场、验证场)或地面靶标(适用于高空间分辨率的传感器,地面靶标的布设需求参见附录 B) t_1, t_2, \dots, t_K ($K \geq 4$);且符合下列要求：

- 1) 传感器响应输出达到饱和的高反射率试验区域或靶标至少有一个;
- 2) 传感器响应输出在动态范围内、未达到饱和的高反射率试验区域或靶标至少有一个、低反射率试验区域或靶标至少有一个;
- 3) 试验区域或靶标的尺寸要尽可能大,其在图像中对应的均匀区域至少大于 5 像素 × 5 像素。

b) 选择晴朗无云、大气干洁(一般情况下能见度应大于 23 km)天气,在传感器过境的同时开展星地同步试验,对试验区域或地面靶标进行地面参数数据和大气参量数据同步测量：

- 1) 按照 GB/T 33988—2017 和 GB/T 36540—2018 的规定,利用光谱测量仪对试验区域或靶标 t_1, t_2, \dots, t_K ($K \geq 4$)测量地表反射率光谱数据;
- 2) 利用太阳光度计、地基激光雷达等大气测量设备同步获取传感器成像时刻的大气水汽含量、气溶胶光学特性参数等大气参量数据。

c) 根据传感器成像时刻和卫星轨道相关参数,获取传感器对试验区域或靶标成像时的太阳天顶角、太阳方位角、观测天顶角、观测方位角、卫星平台高度等辅助参数。

d) 基于上述同步地面试验中测量的试验区域或靶标的地表反射率光谱数据,根据式(10)计算遥

传感器各波段的等效反射率:

$$\rho_{l,k} = \frac{\int_{\lambda_{l1}}^{\lambda_{l2}} \rho(\lambda) S_l(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{l1}}^{\lambda_{l2}} S_l(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$\rho_{l,k}$ —— 试验区域或靶标 t_k ($k=1, 2, \dots, K, K \geq 4$) 在传感器第 l ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为传感器波段数) 波段的等效反射率;

$\rho(\lambda)$ —— 光谱测量仪测量的试验区域或靶标的地表反射率光谱数据;

$S_l(\lambda)$ —— 传感器第 l 波段的归一化光谱响应函数;

$\lambda_{l1}, \lambda_{l2}$ —— 传感器第 l 波段的波长范围, 单位为微米 (μm)。

e) 基于上述同步试验获取和计算的地表反射率光谱数据、大气参量数据以及辅助参数(太阳天顶角、太阳方位角、观测天顶角、观测方位角、卫星平台高度等), 使用大气辐射传输模型模拟计算各试验区域或靶标 t_1, t_2, \dots, t_K 在传感器入瞳处各波段的模拟辐亮度 $L_{l,1}, L_{l,2}, \dots, L_{l,K}$ ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}$), 单位为瓦每平方米球面度微米 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$]。

f) 对同步试验中传感器获取的各试验区域或靶标的观测图像数据的某一波段 l ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为传感器波段数), 利用式(11)计算各试验区域或靶标 t_1, t_2, \dots, t_K 在图像中对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的平均灰度值 $\bar{D}_{l,k}$ ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}; k=1, 2, \dots, K, K \geq 4$);

$$\bar{D}_{l,k} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{l,k}} \sum_{j=1}^{N_{l,k}} p_{i,j,l,k}}{M_{l,k} \times N_{l,k}} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$\bar{D}_{l,k}$ —— 第 l 波段图像数据中第 k 个试验区域或靶标 t_k 对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的平均灰度值;

$p_{i,j,l,k}$ —— 第 l 波段图像数据中第 k 个试验区域或靶标 t_k 对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的第 i 行第 j 列灰度值;

$M_{l,k}$ —— 第 l 波段图像数据中第 k 个试验区域或靶标 t_k 对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的行数;

$N_{l,k}$ —— 第 l 波段图像数据中第 k 个试验区域或靶标 t_k 对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的列数。

g) 对波段 l , 选取位于载荷动态范围内、未达到饱和的试验区域或靶标 t_k ($k=1, \dots, J, J < K, K \geq 4$), 以横轴为传感器入瞳处的模拟辐亮度 L_l , 纵轴为试验区域或靶标图像的平均灰度值 \bar{D}_l , 将步骤 e) 中得到的各试验区域或靶标的第 l 波段的模拟入瞳辐亮度 ($L_{l,1}, L_{l,2}, \dots, L_{l,J}$), 与步骤 f) 中得到的传感器所获取的各试验区域或靶标图像的第 l 波段的平均灰度值 ($\bar{D}_{l,1}, \bar{D}_{l,2}, \dots, \bar{D}_{l,J}$) 进行最小二乘线性拟合, 在 (L_l, \bar{D}_l) 平面得到一条拟合直线 $\text{LINE}_l: \bar{D}_l = G_l \cdot L_l + B_l$, 该拟合直线即为传感器第 l 波段的线性响应曲线, 而参数 G_l 和 B_l 分别为传感器第 l 波段的增益和偏置, 如图 1 所示。

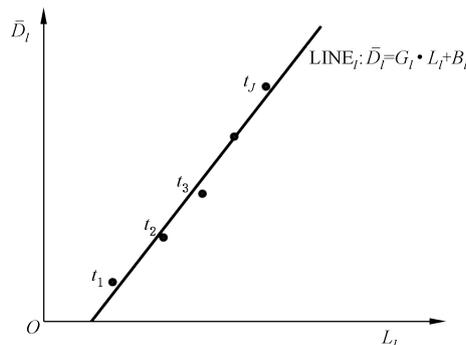


图 1 传感器第 l 波段线性响应曲线拟合示意图

- h) 对于步骤 g) 中拟合得到的直线 $LINE_l$, 利用式 (12) 计算其相关系数的平方可以表征传感器第 l 波段的拟合线性度。

$$R_l^2 = \frac{\sum_{k=1}^J (L_{l,k} - \bar{L}_l)(\bar{D}_{l,k} - \bar{D}_l)}{\sqrt{\sum_{k=1}^J (L_{l,k} - \bar{L}_l)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^J (\bar{D}_{l,k} - \bar{D}_l)^2}} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- R_l^2 ——拟合直线 $LINE_l$ 的相关系数的平方;
- J ——遥感器响应输出在动态范围内未达到饱和状态、参与直线拟合的试验区域或靶标的数目;
- $L_{l,k}$ ——使用大气辐射传输模型模拟计算的第 k ($k=1, 2, \dots, J$) 个试验区域或靶标在遥感器入瞳处的第 l 波段的模拟辐亮度, 单位为瓦每平方米球面度微米 [$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$];
- \bar{L}_l —— $L_{l,k}$ 的平均值, 单位为瓦每平方米球面度微米 [$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$];
- $\bar{D}_{l,k}$ ——第 l 波段图像数据中第 k 个试验区域或靶标对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的平均灰度值;
- \bar{D}_l —— $\bar{D}_{l,k}$ 的平均值。

- i) 在 (L_l, \bar{D}_l) 平面, 经过位于遥感器饱和区的点且平行于横坐标轴做一条直线, 该直线与步骤 g) 得到的拟合直线 $LINE_l$ 相交于点 $(L_{sat,l}, \bar{D}_{H,l})$, 则 $L_{sat,l}$ 为遥感器第 l 波段的饱和辐亮度, 亦即动态范围高端辐亮度值。将拟合直线 $LINE_l$ 延长与横坐标轴相交, 交点的横坐标 $L_{min,l}$ 即为遥感器第 l 波段的动态范围低端辐亮度值(此时对应的图像灰度值为 $\bar{D}_{L,l} = 0$), 表示为 $L_{min,l} = \frac{-B_l}{G_l}$ 。 $(L_{min,l}, L_{sat,l})$ 即为遥感器第 l 波段的动态范围, 单位为瓦每平方米球面度微米 [$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$], 如图 2 所示。

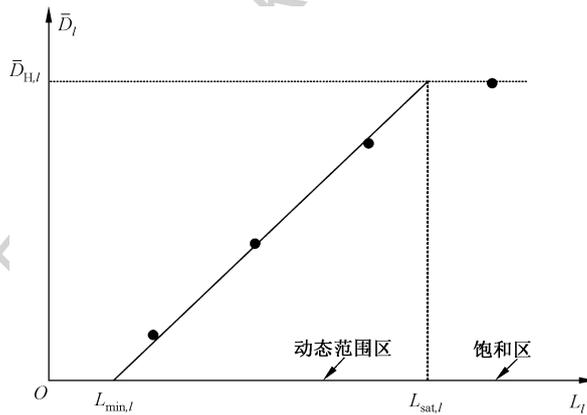


图 2 动态范围示意图

- j) 重复步骤 f) ~ i), 完成遥感器的所有波段的动态范围评测。
- k) 以至少 1 年 1 次的频率, 在相同试验场区开展遥感器动态范围测试外场试验, 按照步骤 a) ~ j) 计算遥感器不同波段下的动态范围高端与低端。采用二维折线图形式(横轴为评价时间, 纵轴为动态范围高端 $L_{sat,l}$), 显示遥感器各波段的动态范围高端 $L_{sat,l}$ 随时间的变化特征与趋势(对于多光谱遥感器, 可以将不同波段的动态范围高端 $L_{min,l}$ 显示在同一张图中); 采用二维折线图形式(横轴为评价时间, 纵轴为动态范围低端 $L_{min,l}$), 显示遥感器各波段的动态范围低端 $L_{min,l}$ 随时间的变化特征与趋势(对于多光谱遥感器, 可以将不同波段的动态范围低端 $L_{min,l}$ 显示在同一张图中)。

5.4 非线性度

基于仅经过相对辐射校正处理的遥感器观测图像数据进行评价。具体步骤如下：

- 按照与动态范围评价相同的方法,选择试验靶标、试验区域和试验日期进行同步地面试验获得试验区域或靶标的地表反射率光谱数据、大气参量数据以及辅助参数(太阳天顶角、太阳方位角、观测天顶角、观测方位角、卫星平台高度等),同 5.3 中步骤 a)~f)。
- 针对图像数据的某波段 $l(l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数),按照动态范围评价方法将那些遥感器响应输出在动态范围内未达到饱和状态的 J 个靶标对应的遥感器入瞳处的模拟辐亮度 L_l 与 \bar{D}_l 值进行线性拟合,在 (L_l, \bar{D}_l) 平面得到一条遥感器第 l 波段线性响应直线 $\text{LINE}_l: \bar{D}_l = G_l \cdot L_l + B_l$,同 5.3 中步骤 g)。
- 利用式(13)计算遥感器第 l 波段响应的非线性度。

$$R_{\text{NL},l} = \frac{\max\left(\left|\frac{\bar{D}_{l,k} - B_l}{L_{l,k}} - G_l\right|\right)}{G_l} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

式中：

$R_{\text{NL},l}$ ——遥感器第 l 波段的非线性度；

$L_{l,k}$ ——使用大气辐射传输模型模拟计算的第 $k(k=1, 2, \dots, J)$ 个试验区域或靶标在遥感器入瞳处的第 $l(l=1, 2, \dots, L_{\text{band}})$ 波段的模拟辐亮度,单位为瓦每平方米球面度微米 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})]$ ；

$\bar{D}_{l,k}$ ——第 l 波段图像数据中第 $k(k=1, 2, \dots, J)$ 个试验区域或靶标对应均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的平均灰度值；

G_l ——第 l 波段的增益；

B_l ——第 l 波段的偏置。

- 重复步骤 a)~c),完成遥感器所有波段的非线性度评测。

- 以至少 1 年 1 次的频率,在相同试验场区开展遥感器动态范围测试外场试验,在进行动态范围评价的同时,按照步骤 a)~d)计算遥感器不同波段下的非线性度。采用二维折线图形式(横轴为评价时间,纵轴为非线性度 $R_{\text{NL},l}$),显示遥感器各波段的非线性度 $R_{\text{NL},l}(l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数)随时间的变化特征与趋势(对于多光谱遥感器,可以将不同波段的非线性度 $R_{\text{NL},l}$ 显示在同一张图中)。

5.5 盲元率

基于仅经过解格式和解压缩处理、未经过相对辐射校正处理的遥感器观测图像数据进行评价。具体步骤如下：

- 选取遥感器在相近时间段内获取的若干景具有不同灰度等级(灰度等级 ≥ 3)的均匀场景图像作为样本图像,如深海、湖泊等水体,南极或格陵兰等地区的大范围冰雪覆盖区域,沙漠、戈壁或均匀浓密植被覆盖区域等。图像中的均匀区域应足够大,在沿遥感器阵列方向覆盖阵列所有像元,在沿遥感器阵列扫描方向大于或等于 50 像素。
- 对于样本图像的某一波段 $l(l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数),选取图像中的具有某一灰度等级 k 的均匀区域作为均匀区子图像 $I_{l,k}(k=1, 2, \dots, K, K$ 为参与评测的均匀场景灰度等级数, $K \geq 3; l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为遥感器波段数)。若遥感器采用阵列摆扫方式成像,按照式(1)对均匀区子图像 $I_{l,k}$ 进行转置操作。
- 按照式(14)计算第 l 波段灰度等级 k 下均匀子图像 $I_{l,k}$ 的灰度均值 $\bar{D}_{l,k}$ 。

$$\bar{D}_{l,k} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{l,k}} \sum_{j=1}^{N_{l,k}} p_{i,j,l,k}}{M_{l,k} \times N_{l,k}} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- $\bar{D}_{l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的灰度均值；
- $p_{i,j,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 第 i 行第 j 列的灰度值；
- $M_{l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的行数；
- $N_{l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 的列数。

d) 按照式(15)计算第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 每一列数据的平均值 $\bar{D}_{j,l,k}$ ($j=1, 2, \dots, N_{l,k}$)。

$$\bar{D}_{j,l,k} = \frac{1}{M_{l,k}} \cdot \sum_{i=1}^{M_{l,k}} p_{i,j,l,k} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\bar{D}_{j,l,k}$ ——第 l 波段灰度等级 k 下均匀区子图像 $I_{l,k}$ 第 j 列的灰度均值。

e) 对第 l 波段的第 j ($j=1, 2, \dots, N_l$) 个探测像元, 在 $(\bar{D}_{j,l,k}, \bar{D}_{l,k})$ 坐标平面内进行直线拟合, 如图 3 所示。拟合得到的直线斜率 $G_{j,l}$ 即为遥感器第 l 波段的第 j 个探测像元的响应增益。由于 $G_{j,l} \geq 0$, 若拟合得到的 $G_{j,l} < 0$, 则令 $G_{j,l} = 0$ 。

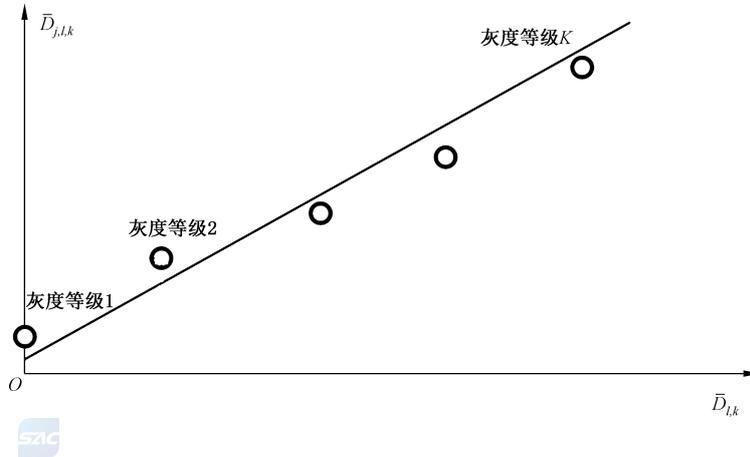


图 3 遥感器第 l 波段第 j 个探测像元的响应增益 $G_{j,l}$ 获得示意图

f) 按照步骤 e) 得到遥感器第 l 波段的每一探测像元的响应增益, 并按照式(16)计算第 l 波段的平均响应增益 \bar{G}_l 。

$$\bar{G}_l = \frac{1}{N_l} \cdot \sum_{j=1}^{N_l} G_{j,l} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- \bar{G}_l ——遥感器第 l 波段的平均响应增益；
- $G_{j,l}$ ——遥感器第 l 波段第 j 个探测像元的响应增益；
- N_l ——第 l 波段探测像元总数。

g) 按照式(17)对第 l 波段下所有探测像元的响应增益 $G_{j,l}$ ($j=1, 2, \dots, N_l$) 进行判断, 满足式(17)的探测像元记为有效像元, 不满足式(17)的探测像元记为盲像元。

$$A_L \times \bar{G}_l < G_{j,l} < A_H \times \bar{G}_l \dots\dots\dots (17)$$

式中：

A_L ——像元响应异常低端阈值；

A_H ——像元响应异常高端阈值。

h) 统计第 l 波段有效像元和盲像元的数目,分别记为 N_{E_l} 和 N_{B_l} ,且有 $N_{E_l} + N_{B_l} = N_l$, N_l 为第 l 波段探测像元总数。

i) 按照式(18)计算第 l 波段盲元率 B_l 。

$$B_l = \frac{N_{B_l}}{N_l} \times 100\% = \frac{N_{B_l}}{N_{B_l} + N_{E_l}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中:

B_l ——第 l 波段盲元率;

N_{B_l} ——第 l 波段盲像元数;

N_{E_l} ——第 l 波段有效像元数;

N_l ——第 l 波段探测像元总数。

j) 按照步骤 b)~i)得到遥感器所有波段的盲元率。

k) 以至少 1 年 1 次的频率,选择遥感器获取的相同地区的样本图像,按照步骤 a)~j)计算遥感器各波段的盲元率。采用二维折线图形式(横轴为评价时间,纵轴为盲像元率),显示盲元率随时间的变化特征与趋势(对于多光谱遥感器,可以将不同波段的盲元率显示在同一张图中)。



附 录 A
(资料性附录)
信噪比规定化方法

信噪比规定化是利用同一时期在不同入瞳辐亮度水平下计算的信噪比评测值拟合得到某一参考入瞳辐亮度水平下信噪比的过程。信噪比规定化的步骤如下：

a) 确定“参考入瞳辐亮度”及其对应的“参考灰度值”。

对传感器的第 l 波段 ($l=1, 2, \dots, N_{\text{band}}, N_{\text{band}}$ 为传感器波段数), 指定合适的“参考入瞳辐亮度” $L_{0,l}$ 。可以将中等程度大气条件和中等程度地表条件组合起来模拟得到的传感器入瞳处辐亮度值作为参考入瞳辐亮度值。

根据传感器第 l 波段的绝对辐射定标系数, 按照式(A.1)求出“参考入瞳辐亮度”对应的“参考灰度值” $D_{0,l}$, $D_{0,l}$ 应在所选的所有样本图像中第 l 波段的均匀区子图像的灰度变化范围内。

$$D_{0,l} = G_l \cdot L_{0,l} + B_l \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$L_{0,l}$ —— 传感器第 l 波段的参考入瞳辐亮度；

$D_{0,l}$ —— 传感器第 l 波段的参考入瞳辐亮度对应的参考灰度值；

G_l —— 传感器第 l 波段的绝对辐射定标系数(增益)；

B_l —— 传感器第 l 波段的绝对辐射定标系数(偏置)。

b) 计算第 l 波段均匀区子图像对应的入瞳处辐亮度。

计算第 l 波段在灰度等级 k ($k \geq 5$) 下的均匀区子图像的灰度均值 $\bar{D}_{l,k}$, 然后利用式(A.2)将灰度均值 $\bar{D}_{l,k}$ 转换为其所对应的入瞳处辐亮度值 $L_{l,k}$ ：

$$L_{l,k} = \frac{\bar{D}_{l,k} - B_l}{G_l} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$\bar{D}_{l,k}$ —— 传感器第 l 波段在灰度等级 k 下的均匀区子图像的灰度均值；

$L_{l,k}$ —— 传感器第 l 波段在灰度等级 k 下的均匀区子图像对应的入瞳处辐亮度值。

c) 计算所有灰度等级下均匀区子图像对应的入瞳处辐亮度。

重复步骤 b), 计算第 l 波段所有灰度等级下的均匀区子图像对应的入瞳处辐亮度值。

d) 拟合曲线。

在 (L, SNR) 平面下, 将第 l 波段所有灰度等级下得到的 $(L_{l,k}, R_{\text{SNR}_{l,k}})$ 点集进行曲线拟合, 获得曲线方程。

e) 计算参考入瞳辐亮度 $L_{0,l}$ 下的经过规定化后的信噪比 $R_{\text{SNR}_{0,l}}$ 。

根据步骤 d) 获得的曲线方程, 计算得到传感器第 l 波段在参考入瞳辐亮度 $L_{0,l}$ 下的经过规定化后的信噪比 $R_{\text{SNR}_{0,l}}$ 。

附录 B (资料性附录)

高空间分辨率光学遥感器在轨动态范围、非线性度评价地面靶标布设需求

对于高空间分辨率光学遥感器($GSD < 5\text{ m}$)的在轨动态范围、非线性度指标的评价,可采用布设地面靶标的方式。地面靶标的布设宜参照以下需求:

- a) 靶标宜布设在中纬度海拔较高的平坦开阔地区,大气干洁、气溶胶粒子少、全年云量少、晴空日数多,以便降低大气对遥感器动态范围与响应线性度评价的影响,且能以较高的频度获取数据进行指标评价。
- b) 靶标应选取漫反射特性良好、光谱变化平缓的材料制成,靶标材料的光谱反射率在遥感器的响应波段内应尽可能平滑,其间任意 100 nm 范围内的光谱反射率变化小于 10% , $500\text{ nm} \sim 900\text{ nm}$ 范围内的光谱反射率变化小于 20% ;靶标的反射率不易随时间变化。
- c) 靶标在图像中对应均匀区域的尺寸应不小于为 $5\text{ 像素} \times 5\text{ 像素}$,为了避免临近像元的相互影响、减少计算误差,在条件允许的情况下,布设靶标的尺寸越大越好。布设时,靶标之间需留有一定的间隔距离以避免相互影响。
- d) 不同靶标的反射率需有足够的差别,靶标应布设于黑色底衬之上,参见图 B.1。理想情况下,不同反射率靶标的数目越多越好,以便为遥感器响应曲线拟合与动态范围、响应线性度评估提供足够的数据。实际情况下,综合考虑靶标制作成本,位于遥感器动态范围内的靶标不宜少于 3 个,并且需保证位于遥感器响应饱和区附近的高反射率靶标至少有一个。

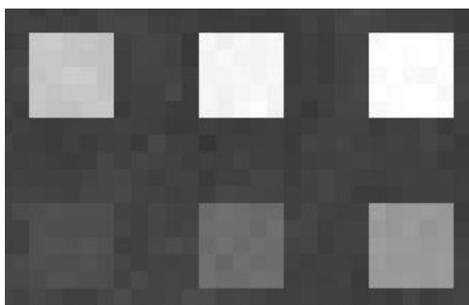


图 B.1 地面靶标布设示意图

参 考 文 献

- [1] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
- [2] GB/T 17444—2013 红外焦平面阵列参数测试方法
- [3] GB/T 36299—2018 光学遥感辐射传输基本术语
- [4] 李传荣. 无人机遥感载荷综合验证系统技术[M]. 北京:科学出版社, 2014.
- [5] LIANG Shun—lin. 定量遥感[M]. 范文捷, 等译. 北京:科学出版社, 2009.
- [6] 顾行发. 航天光学遥感器辐射定标原理与方法[M]. 北京:科学出版社, 2013.

