

T/GXAS

团 体 标 准

T/GXAS 1316—2026

森林土壤有机碳 GF-5 高光谱影像反演技术 规程

Technical code of practice for GF-5 hyperspectral image inversion of
organic carbon in forest soil

2026 - 05 - 15 发布

2026 - 05 - 21 实施

广西标准化协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 反演原理	3
5 反演操作流程	3
6 高光谱影像准备	4
6.1 高光谱影像条件	4
6.2 影像选择	4
7 建模数据收集	4
7.1 采样点布设	4
7.2 样品采集和处理	4
7.3 土壤有机碳含量测定	4
8 高光谱影像数据预处理	4
8.1 影像获取	4
8.2 影像裁剪	5
8.3 其他高光谱数据预处理	5
9 光谱数据采集与预处理	5
9.1 光谱数据采集	5
9.2 光谱数据预处理	5
10 特征波段筛选	5
10.1 相关性分析	5
10.2 算法筛选	5
11 反演模型构建	6
11.1 数据集划分和模型训练	6
11.2 模型评价指标	6
12 反演模型验证	6
13 反演结果报告	6
14 档案管理	6
附录 A (资料性) 反演结果报告表	7

前 言

本文件参照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。

本文件由广西壮族自治区林业科学研究院提出和宣贯。

本文件由广西标准化协会归口。

本文件起草单位：广西壮族自治区林业科学研究院、南宁师范大学、桂林理工大学、广西壮族自治区森林资源与生态环境监测中心、广西华沃特集团股份有限公司、四川省林业科学研究院、中国林业科学研究院亚热带林业研究所、中南林业科技大学、广西大学、广西壮族自治区林业勘测设计院、中国林业科学研究院热带林业实验中心。

本文件主要起草人：石媛媛、唐健、宋贤冲、唐小兰、赵隽宇、潘桂颖、邓昀、吴立潮、覃祚玉、柯琴、邹润彦、卢峰、刘毅、陈利军、陈守学、蒙检、张攀峰、韦维、罗蔚生、杨梅、陈冬、杨凌、倪张林、陈琳、蒋湖波、罗蜜、何功秀、王嘉琛、韩小美。

森林土壤有机碳 GF-5 高光谱影像反演技术规程

1 范围

本文件界定了森林土壤有机碳高分五号卫星（GF-5）高光谱影像反演涉及的术语和定义，确立了利用GF-5高光谱影像反演森林土壤有机碳含量的程序，规定了高光谱影像准备、建模数据收集、高光谱影像数据预处理、光谱数据采集与预处理、特征波段筛选、反演模型构建、反演模型验证、反演结果报告出具等操作指示，描述了反演操作过程信息的追溯方法、反演原理。

本文件适用于利用GF-5高光谱影像反演森林土壤有机碳含量。

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 14950 摄影测量与遥感术语
- GB/T 36301 航天高光谱成像数据预处理产品分级
- CH/T 3037 IMU/GNSS辅助低空高光谱遥感数据获取技术规范
- NY/T 1121.6 土壤检测 第6部分：土壤有机质的测定
- T/GXAS 1315 森林土壤有机碳含量可见-近红外光谱反演技术规程

3 术语和定义

GB/T 14950、GB/T 36301界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

GF-5 高光谱影像 GF-5 hyperspectral imagery

由高分五号卫星（GF-5）搭载的高光谱成像仪获取的包含连续窄波段、覆盖可见光-近红外-短波红外波段（400 nm~2 500 nm）和空间分辨率为30 m的光学遥感影像。

3.2

高光谱反演 hyperspectral inversion

基于高光谱影像的光谱特征与森林土壤有机碳之间的定量关系，通过数学模型估算目标区域森林土壤有机碳值的过程。

4 反演原理

采用的GF-5高光谱影像反演技术，基于GF-5卫星高光谱影像的连续窄波段光谱特征与森林土壤有机碳含量之间的响应关系，通过光谱数据预处理、特征波段筛选、数学模型构建与验证等步骤，建立光谱信息与森林土壤有机碳含量的定量映射关系，实现目标区域森林土壤有机碳含量的估算。

5 反演操作流程

见图1。

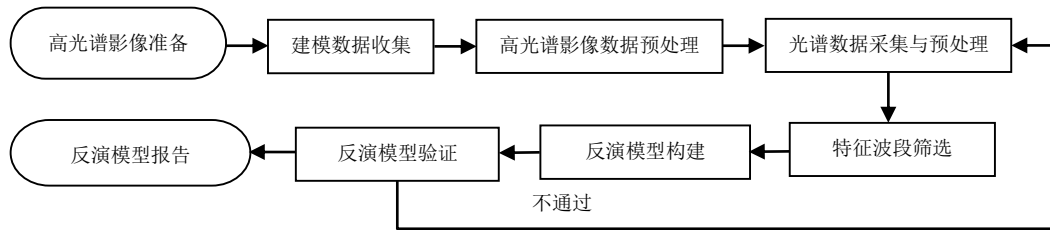


图1 反演操作流程

6 高光谱影像准备

6.1 高光谱影像条件

选用GF-5卫星高光谱成像仪传感器获取的Level 2级（辐射定标后）或Level 3级（辐射定标+大气校正后）产品。波段范围覆盖（400 nm~2 500 nm），波段数 ≥ 330 个，空间分辨率30 m。时相选择结合区域特征：

- 热带、亚热带地区：优先选择植被生长季前期（3~4月）或枯落物分解较快的秋季（10~11月），避开雨季（6~8月）；
- 温带地区：选择春季（4~5月）植被萌发前或秋季（9~10月）枯落物覆盖较少时段，避开冬季积雪期（12~2月）。

6.2 影像选择

宜选择重叠缓冲区 ≥ 500 m包含目标森林且边界完整区域的影像；影像获取时间与地面采样时间间隔 ≤ 3 个月，且影像无严重条带、噪声或云覆盖（云量 $\leq 10\%$ ）。

7 建模数据收集

7.1 采样点布设

- 采用网格化布点与典型抽样相结合的分层布设方法，覆盖目标森林土壤类型、植被类型及地形梯度：
- a) 基础网格布设：利用地理信息系统软件，基于研究区数字高程模型和土壤类型图，划分1 km \times 1 km基础网格，若研究区地形复杂（坡度 $> 25^\circ$ ），网格大小可调整为0.5 km \times 0.5 km；
 - b) 典型抽样补充：在每个基础网格内，全覆盖该网格内所有主要森林类型、林分年龄及土壤质地类型，若不同类型样本数量差异超过20%，需在样本量较少的类型中补充采样；总采样点数包含重复验证样本，重复样本占总采样点数的比例为10%~15%；
 - c) 样本数量要求：总采样点数量 ≥ 100 个，且满足样本数/模型参数个数 > 5 ，若采用复杂模型，样本数宜 ≥ 200 个。

7.2 样品采集和处理

按T/GXAS 1315的规定执行。

7.3 土壤有机碳含量测定

按NY/T 1121.6的规定执行。

8 高光谱影像数据预处理

8.1 影像获取

使用专业软件对下载的影像压缩包进行解压，提取研究区400 nm~2 500 nm可见光-近红外波段数据，影像数据应与7.1规定的Level2/3级产品要求一致。

8.2 影像裁剪

根据研究区边界矢量数据，裁剪影像至目标森林区域、保留 ≥ 500 m缓冲区。

8.3 其他高光谱数据预处理

按CH/T 3037的规定执行。

9 光谱数据采集与预处理

9.1 光谱数据采集

使用专业软件提取研究区覆盖400 nm~2 500 nm可见光-近红外波段的光谱数据。依据地面土壤样点的地理坐标，采用3×3或5×5像元窗口均值法采集对应像元光谱数据，避开云、阴影、植被密集覆盖的异常像元。

9.2 光谱数据预处理

9.2.1 噪声去除

去除光谱两端（ < 400 nm和 $> 2 400$ nm）噪声较大的波段。

9.2.2 平滑处理

采用离散小波变换降噪、多元散射校正、平滑去噪等方法对光谱数据进行平滑处理。

9.2.3 数学变换

根据GF-5高光谱数据特性和土壤有机碳光谱响应特征，选择以下1~2种数学变换方法增强光谱特征。

——一阶导数(FDR)：

- 窗口大小：宜使用9~15点窗口（对应GF-5的10 nm光谱分辨率）；
- 平滑方法：Savitzky-Golay滤波结合；
- 适用波段：宜选用土壤有机碳在1 450 nm~1 625 nm、2 200 nm~2 300 nm波段的特征吸收区。

——对数一阶导数：

- 先对反射率取自然对数，再进行一阶导数计算；
- 宜用于弱吸收特征增强效果。

——标准正态变量变换：

- 逐像元计算：对每个像元的光谱曲线进行中心化和标准化；
- 适用场景：适用于不同采样点的光谱数据标准化。

——连续统去除：

- 关键参数：凸包拟合节点数设为10~15个，节点选择在光谱反射率峰值处；
- 适用波段：适用于620 nm~810 nm有机碳敏感波段。

10 特征波段筛选

10.1 相关性分析

计算土壤有机碳含量与预处理后的光谱反射率及其变换形式的相关系数，筛选出相关性显著（ $P < 0.05$ ）的波段作为候选特征波段。

10.2 算法筛选

采用递归特征消除（RFE）、随机森林特征（RF）算法等方法对候选特征波段进一步筛选，确定最优特征波段组合，记录最优波段数量（30~50个）和对应的波长区间。

11 反演模型构建

11.1 数据集划分和模型训练

按T/GXAS 1315的规定进行数据集划分和模型训练。

11.2 模型评价指标

采用交叉验证的确定系数 (R^2) 和交叉验证 (RMSE) 评价模型精度。 R^2 越接近1, 模型拟合度越好; RMSE越小, 模型估算能力越强。同时, 计算预测值与观测值的相对分析误差 (RPD), $RPD > 2$ 时, 表明模型具有较好的预测能力。

12 反演模型验证

按T/GXAS 1315规定的模型训练结果调取和代入模型, 计算验证集的决定系数 (R^2) 和RMSE。当 $R^2 \geq 0.7$ 且RMSE较小时, 模型可用于森林土壤有机碳含量反演。

13 反演结果报告

以表格形式形成 (见附录A), 但不限于以下内容:

- 高光谱影像信息: 高光谱影像条件、所在区域、影像获取时间等;
- 土壤数据: 土壤取样地点、采样点坐标范围等;
- 处理方法: 光谱数据预处理、特征波段筛选及模型类型;
- 反演结果: 土壤有机碳含量 (平均值±标准差) 及模型评价指标 (R^2 、RMSE)。

14 档案管理

应建立高光谱影像数据与预处理、光谱采集与预处理、反演模型构建与验证等反演过程的电子和纸质档案, 长期保存。

附 录 A
(资料性)
反演结果报告表

反演结果报告表见表A. 1。

表A. 1 反演结果报告表

高光谱影像信息	
高光谱影像条件	
所在区域	
影像获取时间	
土壤数据	
土壤取样地点	
采样点坐标范围	
处理方法	
建模方法	
预处理方法	
反演结果	
土壤有机碳含量	
R^2	
RMSE	

G
广西标准化协会

中华人民共和国团体标准
森林土壤有机碳GF-5高光谱影像反演技术规程
T/GXAS 1316—2026
广西标准化协会统一印制
版权专有 侵权必究