

ICS 07.040

CCS A 77

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

全极化 SAR 电离层效应校正技术规范

Technical specifications for ionospheric effect correction of fully
polarimetric SAR
(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

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 总则 2

 5.1 算法选用基本要求 2

 5.2 波段处理强制规则 2

 5.3 预处理前置约束 2

 5.4 批量处理管控要求 2

 5.5 基础计算精度控制 2

6 电离层效应与技术指标 2

 6.1 各波段电离层误差基准参数 2

 6.2 产品分级校正残差限值 3

 6.3 极化串扰控制指标 3

7 校正技术方法 3

 7.1 TEC 外部观测校正法 3

 7.2 极化矩阵自估校正法 3

 7.3 TEC 观测+矩阵自估组合校正法 4

8 校正作业流程 4

 8.1 原始数据入库质检 4

 8.2 基础预处理处理 4

 8.3 电离层辅助数据时空匹配 4

 8.4 电离层畸变校正运算 4

 8.5 中间质量抽样检验 4

 8.6 极化矩阵后处理 4

 8.7 成果标准化输出 4

9 精度检验评定 4

 9.1 检验真值数据源 4

 9.2 核心检验指标 5

 9.3 分级评定规则 5

 9.4 检验抽样规则 5

10 成果归档管控 5

 10.1 归档成果组成 5

10.2 存储格式规范 5

10.3 数据留存周期 5

10.4 质量抽查管控 5

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

全极化 SAR 电离层效应校正技术规范

1 范围

本文件规定了全极化SAR电离层效应校正的缩略语、总则、电离层效应与技术指标、校正技术方法、校正作业流程、精度检验评定、成果归档管控。

本文件适用于L波段、P波段星载全极化SAR单视、多视观测数据电离层校正处理。

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 32453 卫星对地观测数据产品分类分级规则

GB/T 44491.1 地理信息 数字数据和元数据保存 第1部分：基础

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全极化 SAR full polarimetric synthetic aperture radar

可同步发射、接收水平、垂直极化电磁波，完整获取 HH、HV、VH、VV 四通道复数值极化散射矩阵的合成孔径雷达。

3.2

法拉第旋转角 Faraday rotation angle

线极化电磁波穿透电离层磁化等离子体时极化矢量平面产生的旋转角度，单位 rad，数值与路径 TEC、地磁场强度正相关，与雷达载波频率平方负相关。

3.3

电离层相位延迟 ionospheric phase delay

电离层自由电子改变电磁波传播速度，使雷达回波产生额外相位偏移，偏移量随路径 TEC 增大线性升高。

3.4

极化串扰 polarimetric cross-talk

法拉第旋转畸变作用下，同极化通道与交叉极化通道散射能量相互泄漏，破坏散射矩阵互易对称特性。

3.5

极化相干矩阵 polarimetric coherence matrix

由四通道极化散射矩阵构建的 4 阶二阶统计矩阵，电离层畸变会造成矩阵非对角元失真，降低极化分解定量反演精度。

4 缩略语

- 下列缩略语适用于本文件。
- IGRF: 国际地磁参考场 (International Geomagnetic Reference Field)
 - GIM: 全球电离层格网模型 (Global Ionosphere Map)
 - GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)
 - TEC: 总电子含量 (Total Electron Content)
 - VTEC: 垂直总电子含量 (Vertical Total Electron Content)

5 总则

5.1 算法选用基本要求

- 5.1.1 中低纬度电离层平稳区域的全极化 SAR 数据校正应优先采用外部 TEC 观测辅助校正法, 该方法校正残差最低, 满足一级定量遥感产品生产精度要求。
- 5.1.2 无外部 TEC 辅助数据、地表散射均匀平坦区域的全极化 SAR 数据, 可采用极化散射矩阵自估校正法; 城市、山地、人工金属设施密集区域不可单独使用该算法。
- 5.1.3 高纬度地磁扰动区、磁赤道电离层活跃区、太阳活动峰值时段观测的全极化 SAR 数据, 宜采用外部 TEC 观测与极化矩阵自估组合校正方案, 抵消单一算法带来的系统偏差。
- 5.1.4 自主研发定制校正算法处理全极化 SAR 数据前, 应提交第三方权威机构出具的精度验证报告, 校正后法拉第旋转残差、相位延迟残差不得超出本文件 6.2 规定限值, 经技术评审通过后方可使用。

5.2 波段处理强制规则

- 5.2.1 P 波段、L 波段全极化 SAR 原始观测数据应完整执行全套电离层校正流程; 地磁暴、太阳活动高年观测数据在校正完成后应增加一次法拉第旋转角残差复检。
- 5.2.2 C 波段、X 波段 SAR 数据可省略电离层校正工序; 若开展厘米级高精度地表形变监测, 宜补充 TEC 误差定量评估。

5.3 预处理前置约束

- 5.3.1 全极化 SAR 电离层校正运算开展前, 应依次完成辐射定标、几何粗校正、系统硬件极化串扰补偿三项预处理, 预处理不合格的数据不得进入校正计算环节。
- 5.3.2 原始全极化 SAR 数据系统固有极化串扰高于 -25dB 时, 应优先完成硬件串扰补偿, 再执行电离层畸变校正, 防止硬件串扰与电离层诱导极化串扰叠加放大总误差。

5.4 批量处理管控要求

- 5.4.1 同一轨道、同一观测区域批量全极化 SAR 数据宜采用统一 VTEC 插值窗口、IGRF 地磁模型版本、旋转角计算步长、多视处理窗口, 保障批量产出产品的一致性与可比性。
- 5.4.2 校正全流程原始全极化 SAR 影像、电离层 TEC 辅助格网、参数配置文件、中间散射矩阵、程序运行日志、精度检测报表、最终极化产品均应完整留存, 禁止删减、覆盖、删除中间过程文件, 文件命名格式符合 GB/T 44491.1 要求。

5.5 基础计算精度控制

- 5.5.1 VTEC 空间插值计算应采用双线性插值, 插值网格分辨率不低于 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。
- 5.5.2 法拉第旋转角计算数值保留 4 位小数, 电离层相位延迟计算数值保留 3 位小数。

6 电离层效应与技术指标

6.1 各波段电离层误差基准参数

雷达载波频率直接决定电离层畸变强度, 单位 TECU 下不同波段法拉第旋转角、相位延迟基准参数见表 1。

表 1 各波段电离层误差基准参数

波段	中心频率/MHz	1 TECU 法拉第旋转角/rad	10 TECU 相位延迟/rad	50 TECU 最大旋转误差/rad
P 波段	430	0.0980	1.245	4.9000
L 波段	1250	0.0120	0.156	0.6020
C 波段	5300	0.00068	0.007	0.0340
X 波段	9600	0.00021	0.002	0.0100
注：C、X 波段电离层畸变微弱，常规应用无需开展本文件规定的全极化校正操作。				

6.2 产品分级校正残差限值

本文件按照遥感数据应用精度将校正后全极化 SAR 产品划分为一级、二级、三级，分级依据符合 GB/T 32453 的规定，校正后法拉第旋转角、电离层相位延迟残差分级控制指标如下：

- a) 一级定量产品（森林生物量反演、毫米级地表形变监测专用）校正后法拉第旋转残差应 $\leq 0.005\text{rad}$ ，电离层相位延迟残差应 $\leq 0.02\text{rad}$ ；
- b) 二级通用遥感产品（国土监测、海洋分类、常规地表观测）校正后法拉第旋转残差宜 $\leq 0.015\text{rad}$ ，电离层相位延迟残差宜 $\leq 0.08\text{rad}$ ；
- c) 三级快速预览产品（应急快速成像、粗分类参考）校正后法拉第旋转残差可 $\leq 0.03\text{rad}$ ，电离层相位延迟残差可 $\leq 0.15\text{rad}$ 。

6.3 极化串扰控制指标

校正完成后全极化 SAR 交叉极化通道极化串扰度应满足：

- a) 一级产品优于 -30dB ；
- b) 二级产品宜优于 -25dB ；
- c) 三级产品可优于 -20dB 。

注：极化串扰超标代表法拉第旋转补偿不完全，应重新迭代校正。

7 校正技术方法

7.1 TEC 外部观测校正法

7.1.1 适用场景

具备高精度外部电离层 TEC 辅助数据的常规中低纬度全极化 SAR 观测区域。

7.1.2 输入数据源

GPS 电离层 VTEC 格网产品、GIM 全球电离层模型、区域电离层观测站实测 TEC 数据，数据时间分辨率不低于 1h，空间分辨率不低于 0.5° 。

7.1.3 计算步骤

步骤如下：

- a) 匹配全极化 SAR 成像时刻、成像区域 VTEC 网格；
- b) 调用 IGRF 地磁模型获取观测路径地磁场参数；
- c) 逐像素计算视线方向法拉第旋转角；
- d) 构建极化散射矩阵逆旋转补偿模型消除极化串扰；
- e) 同步补偿电离层相位延迟项。

7.2 极化矩阵自估校正法

7.2.1 适用场景

无外部 TEC 辅助数据、地表散射均匀、无强人工散射体的平坦农田、林地、草原区域的全极化 SAR 数据；城市、山区、港口等散射复杂区域禁止单独使用。

7.2.2 技术原理

基于理想地表散射矩阵互易对称特性，通过最小化 HV、VH 通道能量差值全局估算法拉第旋转角，对散射矩阵做反向旋转补偿，消除电离层诱导极化串扰。

7.2.3 精度约束

单独使用该方法处理全极化 SAR 数据时，校正残差仅能满足二级、三级产品限值，不可用于一级定量产品生产。

7.3 TEC 观测+矩阵自估组合校正法

7.3.1 适用场景

高纬度磁扰区、磁赤道电离层扰动剧烈区域、太阳活动峰值时段、地磁暴期间采集的全极化 SAR 观测数据。

7.3.2 操作要求

以外部 VTEC 数据计算法拉第旋转角作为基础值，利用极化矩阵对称约束迭代修正估算误差，两种方法相互约束，降低单一算法系统偏差，校正精度可达到一级产品指标。

7.3.3 强制使用场景

观测区域地磁指数 $K_p \geq 4$ 时，处理全极化 SAR 数据应采用组合校正方案，禁止单独使用矩阵自估法。

8 校正作业流程

8.1 原始数据入库质检

核查全极化 SAR 原始数据完整性、辐射定标系数有效性、四通道数据信噪比、系统极化串扰指标，不合格数据退回预处理环节。

8.2 基础预处理处理

依次执行辐射定标、几何粗校正、系统硬件极化串扰补偿，输出预处理后标准极化散射矩阵。

8.3 电离层辅助数据时空匹配

提取全极化 SAR 成像 UTC 时间、成像地理范围，插值匹配对应时段、区域 VTEC 格网与 IGRF 地磁参数，获取区域 TEC 分布数据。

8.4 电离层畸变校正运算

根据观测区域地磁、电离层扰动情况，选用对应校正算法逐像素完成极化矩阵补偿、电离层相位延迟修正，抑制法拉第旋转带来的极化串扰。

8.5 中间质量抽样检验

随机抽取不少于 10% 影像像元区域检验法拉第旋转残差、电离层相位残差、极化串扰度，指标超出分级限值则重新调整参数迭代校正。

8.6 极化矩阵后处理

多视平滑、极化相干矩阵生成、极化分解参数计算。

8.7 成果标准化输出

生成校正后散射矩阵、极化相干矩阵、极化分解产品，配套输出校正参数日志、精度检验报表。

9 精度检验评定

9.1 检验真值数据源

检验真值可选用高精度地面极化定标场同步观测全极化 SAR 数据、多波段同步 SAR 比对观测数据、无电离层影响机载低频同步观测数据。真值数据与待检全极化 SAR 成像时间差不应超过 30min，地理范围完全重合。

9.2 核心检验指标

检验指标包含三项强制参数：法拉第旋转残差、电离层相位延迟残差、交叉极化通道极化串扰度。所有指标判定均以 6.2、6.3 规定的一、二、三级产品限值作为依据。

9.3 分级评定规则

9.3.1 三项指标全部满足 6.2、6.3 中一级产品限值，判定为一级合格校正产品，该批次全极化 SAR 数据可用于高精度定量反演业务。

9.3.2 指标满足二级限值、不满足一级限值，判定为二级合格校正产品，适用于常规国土、海洋遥感监测全极化 SAR 业务。

9.3.3 指标满足三级限值、不满足二级限值，判定为三级合格校正产品，对应全极化 SAR 数据仅可用于快速预览、粗分类应急应用。

9.3.4 任意一项指标超出三级限值，判定为不合格产品，应更换校正参数或校正算法重新处理全极化 SAR 数据，复检仍不合格则标注原始数据受强 TEC 扰动影响，禁止对外交付使用。

9.4 检验抽样规则

批量全极化 SAR 数据处理时抽样比例不低于 10%；单景高精度一级产品应全幅逐块检验，无抽样豁免。

10 成果归档管控

10.1 归档成果组成

归档成果应完整包含下列三类文件：

- a) 原始基础数据：原始全极化 SAR 观测数据、VTEC 电离层辅助数据、IGRF 地磁模型参数文件；
- b) 校正过程文件：校正配置参数、中间散射矩阵文件、全流程处理日志；
- c) 输出与检验文件：精度检验报表、校正后标准化极化产品、产品元数据说明文档。

注：归档文件应完整记录每景全极化 SAR 数据对应的 TEC 匹配参数、法拉第旋转角计算结果。

10.2 存储格式规范

所有成果存储格式、目录层级、文件命名规则应严格遵循 GB/T 44491.1 相关条款，原始全极化 SAR 数据与校正后成果分区独立存储，禁止混存覆盖。

10.3 数据留存周期

10.3.1 一级定量全极化 SAR 产品全套原始数据、处理记录、检验报告留存周期不应少于 10 年，二级、三级遥感产品留存周期不应少于 5 年。

10.3.2 不合格校正产品原始全极化 SAR 数据留存周期不少于 3 年，用于后续 TEC 校正算法迭代验证。

10.4 质量抽查管控

10.4.1 归档完成后每半年开展一次存量全极化 SAR 成果质量抽查，抽查比例不低于 5%。

10.4.2 重点复核法拉第旋转残差、电离层相位残差、极化串扰三项指标与日志完整性，抽查不合格批次应重新完成精度复检并补充归档记录。