

自然资源标准项目建议书

中文名称	星载 SAR 几何检校技术规程					
英文名称	Technical specification for spaceborne SAR geometric calibration					
标准层级	☐ 国家标准 ☒ 行业标准		标准性质		☒ 推荐性标准 ☐ 强制性标准	
标准类型	☐ 环保 ☒ 方法 ☐ 产品 ☐ 安全 ☐ 管理 ☐ 其他 ☐ 基础 ☐ 卫生					
制定/修订	☒ 制定 ☐ 修订		被修订标准号			
采用国际标准	☒ 无 ☐ ISO 确认的国际标准 ☐ ISO ☐ ISO/IEC ☐ IEC ☐ ITU		采用程度		☐ 修改 ☐ 等同 ☐ 非等效	
采标号			采标名称			
ICS	07.040		CCS		A77	
技术归口单位	全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会(TC230SC3)					
牵头起草单位	自然资源部国土卫星遥感应用中心					
参加起草单位	自然资源部国土卫星遥感应用中心、中国科学院空天信息创新研究院、江苏省测绘工程院、河南省遥感院、自然资源部第一大地测量队、中国地质环境监测院、自然资源陕西省卫星应用技术中心、中南大学、长安大学、同济大学					
联系人	姓名	李涛	职务/职称	副处长/副高	手机	18611375841
	电话	010-68412785	邮箱	rs_litao@163.com		
	所在单位	自然资源部国土卫星遥感应用中心				
项目周期	24 个月	是否采用快速程序	☐ 是 ☒ 否	快速程序代码	☐ B2 ☐ C3 ☐ B3 ☐ B4 ☐ B1	
目的、意义	目的: 本文件的目的是规定星载 SAR 几何检校的标准流程, 指导 SAR 卫星几何检校工作, 确保 SAR 卫星平面定位精度, 为 SAR 的行业化应用提供可靠的高精度数据。 意义: 合成孔径雷达具有全天时、全天候的对地观测能力, 是对地观测领域中不可或缺的工具, 在国民经济和国防军事的各个领域均有着广泛的应用。SAR 影像应用首要解决的是 SAR 影像地理定位精度的问题, 稳定可靠的定位精度是 SAR 影像应用的基础, 也是评价 SAR 系统性能的关键指标之一。几何检校技术可修正星载 SAR 影像成像过程中系统定位误差, 提高 SAR 卫星定位精度, 确保 SAR 卫星影像产品的可靠性, 保证充分有效的利用 SAR 影像信息。随着 SAR 影像的应用日渐广泛, SAR 的定位精度要求越来越高, 制定星载 SAR 几何检校技术规范将有助于几何检校处理流程和相关产品的统一化、标准化, 便于各行业了解和使用几何检校技术进行数据处理和产品生产。					

范围和主要技术内容	范围： 本文件适用于星载 SAR 影像的几何检校作业。机载 SAR 影像几何检校亦可参考。 主要技术内容： 本文件规定了星载 SAR 影像几何检校技术的总则、检校条件、检校项目和方法、检校精度验证、检校结果及检校周期、质量控制和记录要求等。 1) 星载 SAR 几何检校的数学基础包括大地基准、高程基准和地图投影，检校内容为方位向时间延迟以及斜距延迟； 2) 星载 SAR 几何检校条件主要包括卫星数据的获取以及控制数据的获取。其中控制数据主要为角反射器，本文件规定了角反射器的制作、选址、布设、测量等内容。 3) 星载 SAR 几何检校的项目主要为方位向时间延迟以及斜距延迟。检校方法为最小二乘平差。 4) 星载 SAR 几何检校精度一般使用 DOM 进行验证，验证过程中应充分利用控制数据的残差。 5) 星载 SAR 几何检校结果应提供给产品生产，检校周期不超过 3 个月。 6) 星载 SAR 几何检校质量控制按照测绘产品质量控制的有关规定执行，中间过程及关键参数应做好记录，并提供技术总结报告。
国内外情况简要说明	随着星载 SAR 影像的应用越来越广泛,对 SAR 影像定位精度的要求也越来越高,而星载 SAR 影像的几何检校是指利用 SAR 影像的成像参数和高精度的控制数据,基于 SAR 影像的定位模型实现 SAR 影像的高精度定位。 目前国内外 SAR 卫星经过几何检校处理后可达到较高的定位精度。如欧盟某单位基于 ERS SAR 卫星影像利用地面检校场进行几何检校后,无控定位精度为 20m;意大利的 COSMO-SkyMed 影像使用检校场进行几何检校后,无控定位精度为 15m;加拿大的 RADARSAT-2 SAR 影像利用角反射器进行几何检校后,无控定位精度优于 6m;德国的 TerraSAR--X 系列卫星 SAR 影像利用角反射器实现了高精度的几何检校,定位精度达到米级;日本的 ALOS-PALSAR 条带模式下的 SAR 影像经几何检校后,定位精度为 9.7m。我国多颗 SAR 卫星也逐步实现高精度定位,环境一号 C 星基于适用 ScanSAR 的等效 R-D 几何校正方法的无控定位精度可达 100m;高分三号 (GF-3) 卫星发射后,对 GF-3 卫星系统级几何定位误差源进行分析和校正,最后利用精密定轨和地面布设角反射器进行几何定位,最终系统级几何定位精度可达 3 m 左右;L 波段差分干涉 SAR 卫星经移动几何检校之后,平面定位精度优于 1.0 m。 各国卫星的 SAR 影像定位精度均达到了较高的水平,且取得了良好的成果。国内发表的相关行业标准规范包括:ISO/TS 19159-3:2018《地理信息 遥感影像传感器及数据的定标与验证 第 3 部分: SAR/InSAR》、CH/T 3016-2015《1:5000 1:10000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定》、CH/T 3011-2012《1:50000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定》、CH/T 3010-2012《1:50000 地形图合成孔径雷达摄影测量技术规定》、CH/T 3009-2012《1:50000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定》等。其中仅一项 SAR 定标相关标准,该标准较为概括的介绍了 SAR 辐射、极化、几何、干涉检校的基本原理,未给出几何检校的具体规范。其余标准以光学立体测量的方式为核心,兼顾干涉测量技术,是传统光学手段向 SAR 干涉方向的步进式改造。但是并未针对 SAR 的高精度几何定位原理以及技术手段开展详细描述。 综上所述,目前为止尚未制定和发布星载 SAR 影像几何检校技术产品生产的规范体系,尤其是国内 L 波段差分干涉 SAR 以及 1 米 C-SAR 等 SAR 卫星快速发展的同时,也极度缺乏标准的几何检校技术规范体系,无法为星载 SAR 影像高精度定位

	提供标准化服务，这极大的限制了 SAR 卫星在行业中的规模化高精度应用。		
有关法律法规和强制性标准的关系	遵循《中华人民共和国标准化法》，1989 年；《自然资源标准化管理办法》（自然资发〔2020〕100 号）		
经费预算说明	总经费：10 万，自筹。 所有经费均在 2023.7 – 2025.7 之间执行。		
时间进度安排	2023.07-2023.12 形成星载 SAR 几何检校技术规范初稿 2024.01-2024.06 形成星载 SAR 几何检校技术规范征求意见稿 2024.07-2024.12 形成星载 SAR 几何检校技术规范送审稿 2025.01-2025.07 完成星载 SAR 几何检校技术规范		
标准涉及的产品清单	S1A：单视复数影像；S1B 单视复数影像对； S2A：几何检校产品；S2B 干涉检校产品。		
是否有国家级科研项目支撑	☒ 是 ☐ 否	科研项目编号及名称	国家重点研发计划 (2021YFC3000405)
是否涉及专利	☐ 是 ☒ 否	专利号及名称	
是否由行标/地标/团标转化	☐ 是 ☒ 否	转化标准号及名称	
是否属于军民通用的标准项目	☐ 是 ☒ 否	协调情况	
牵头起草单位意见 (加盖公章)	该标准可提高星载 SAR 几何检校技术的规范化，对星载 SAR 的精度提升具有重要的意义，同意申报。		
备注	推荐单位意见 (加盖公章) 该标准可提高 SAR 卫星产品精度，在国内尚无相关标准，同意申报。		

CH

中华人民共和国测绘行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

星载 SAR 几何检校技术规程

Technical specification for spaceborne SAR geometric calibration

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(草案)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

目录

前 言 I

引 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 总则 4

 4.1 数学基础 4

 4.2 检校内容 4

 4.3 精度要求 4

 4.4 检校流程 4

5 检校条件 5

 5.1 卫星数据获取条件 5

 5.1.1 检校区域位置应满足以下条件： 5

 5.1.2 角反射器布设应满足以下条件： 6

 5.1.3 卫星拍摄条件要求如下： 6

 5.2 角反色器控制数据获取条件 6

 5.2.1 角反射器类型 6

 5.2.2 移动式角反射器的制作要求 6

 5.2.3 固定式角反射器的制作要求 6

 5.2.4 角反射器选址要求 6

 5.2.5 角反射器布设要求 6

 5.2.6 角反射器测量要求 7

 5.2.7 测量内容 7

6 检校项目和方法 7

 6.1 检校项目 7

 6.2 检校方法 7

7 检校精度验证 7

 7.1 检校后影像产品生产 7

 7.2 检校精度验证 7

8 检校结果及检校周期 8

 8.1 检校结果 8

 8.2 检校周期 8

9 质量控制和记录要求 8

 9.1 质量控制要求 8

 9.2 记录要求 8

附 录 A （资料性附录） 移动式角反射器实物样式 9

附 录 B （资料性附录） 固定式角反射器实物样式 10

附 录 C （规范性附录） 角反射器预设点位实地调查登记表 11

附 录 D （资料性附录） 角反射器布设与卫星飞行角度示意图 12

附 录 E （资料性附录） 几何检校方法 13

附 录 F （资料性附录） 检校结果示例 16

参 考 文 献 18

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、中国科学院空天信息创新研究院、江苏省测绘工程院、河南省遥感院、自然资源部第一大地测量队、中国地质环境监测院、自然资源陕西省卫星应用技术中心、中南大学、长安大学、同济大学。

本文件主要起草人：唐新明、李涛、邓云凯、张祥、张雪飞、禄競、窦显辉、丘晓枫、陈晨、刘大成、计启林、向卫、卢刚、方位达、张向军、李国鹏、郑文科、张鸣之、邢顾莲、张文龙、李志伟、李振洪、张磊。

本文件由自然资源部国土卫星遥感应用中心负责解释。

引 言

合成孔径雷达具有全天时、全天候的对地观测能力，是对地观测领域中不可或缺的星载测量工具，在国民经济和国防军事的各个领域均有着广泛的应用。SAR影像应用首要解决的是SAR影像地理定位精度的问题，稳定可靠的定位精度是SAR影像应用的基础，也是评价SAR系统性能的关键指标之一。几何检校技术可修正星载SAR影像成像过程中系统定位误差，提高SAR卫星定位精度，确保SAR卫星影像产品的可靠性，保证充分有效的利用SAR影像信息。随着SAR影像的应用日渐广泛，SAR的定位精度要求越来越高，制定星载SAR几何检校技术规程将有助于几何检校处理流程和相关产品的统一化、标准化，便于各行业了解和使用几何检校技术进行数据处理和产品生产。

本文件的目的是规定星载 SAR 几何检校的标准流程，指导 SAR 卫星几何检校工作，确保 SAR 卫星平面定位精度，为 SAR 数据的行业化应用提供可靠的高精度数据。

星载 SAR 几何检校技术规程

1 范围

本文件规定了星载合成孔径雷达几何检校的总则，以及几何检校的检校条件、检校项目和方法、检校精度验证、检校结果及检校周期、质量控制和记录要求等。

本文件适用于各种星载SAR几何检校。其他机载SAR几何检校技术亦可参考。

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。

CH/T 9009.3-2010 基础地理信息数字成果 1:5000 1:10000 1:25000 1:50000 1:100000 数字正射影像图

GB/T 24356-2023 测绘成果质量检查与验收

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

合成孔径雷达 synthetic aperture radar

以多普勒频移理论和雷达相干为基础，综合处理雷达回波振幅和相位数据的遥感系统。

[来源：GB/T 14950-2009, 4.151]

3.2

几何检校 geometric calibration

利用成像参数和高精度的控制数据，依据SAR影像的定位模型获取SAR影像系统级的距离向和方位向检校参数，从而实现SAR影像的高精度几何定位的过程。

3.3

大气延迟 atmospheric correction

电磁波通过大气层时由于电离层和对流层的影响导致传播速度变化和传播路线弯曲引起的时间延迟。

[来源：《测绘学名词》（第四版），有修改]

3.4

卫星影像 satellite image

装载在卫星上的传感器获取的影像。

[来源：GB/T 14950-2009, 6.56]

3.5

角反射器 corner reflector

使用一个或多个反射面构成的直角反射器。

3.6

距离-多普勒 range-doppler

卫星成像时刻的状态矢量与地面点坐标构成的距离方程和多普勒方程，表达了卫星影像像素与地面点之间的严密成像几何关系。

3.7

入射角 incidence angle

入射角是雷达波束与地表法线之间的夹角。

3.8

航向角 heading angle

卫星飞行角度，以正北方向为起始方向。

3.9

方位向 azimuth

合成孔径雷达数据处理中与卫星平台相对速度矢量一致的方向。

3.10

距离向 range

合成孔径雷达数据处理中与卫星平台视线向一致的方向。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GNSS：全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System）

R-D：距离-多普勒（Range-Doppler）

SAR：合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar）

WGS-84：世界大地坐标系统（World Geodetic System-1984 Coordinate System）

5 总则

5.1 数学基础

大地基准采用WGS-84世界大地坐标系。平面坐标采用大地经纬度，单位为度，小数点后面至少保留6位（0.000001）。确有必要时，可采用依法批准的其他坐标系，如2000国家大地坐标系。

时间系统采用世界协调时。

地图投影采用高斯克吕格投影。确有必要时，可采用依法批准的其他投影方式。

5.2 检校内容

检校内容主要为卫星的R-D方程。检校对象为方位向时间误差以及距离向延迟。检校过程中需判定两类参数的时间变化量，减小系统误差，并定期监测随时间的误差积累，提供高精度几何检校结果。

5.3 精度要求

SAR卫星的检校精度以方位向时间误差和距离向延迟表示。方位向时间误差应优于0.1 ms，距离向延迟误差应优于1 m。

5.4 检校流程

几何检校流程见图1，具体如下：

- a) 检校任务设计。根据SAR卫星的过境时间和测试角度以及具体任务需求，确定检校场范围，角反射器尺寸，制定成像计划，设计检校方案以及验证方法等。
- b) 布设角反射器。根据卫星的过境时间、入射角和航向角参数，获取角反射器的布设参数。在卫星过境之前，进行角反射器布设。
- c) 角反射器测量。卫星过境之后，即刻进行角反射器的测量，获取高精度角反射器坐标。
- d) SAR卫星影像获取。获取卫星过境时刻的SAR影像。
- e) 检校参数解算。根据角反射器的坐标、精轨数据以及SAR影像数据，结合环境参数解算方位向时间误差以及距离向延迟。
- f) 检校精度验证。利用地面控制点数据，对成像模型进行几何精度验证。
- g) 检校参数提供。编制检校报告，提供方位向时间误差以及距离向延迟，供数据处理和产品生产使用。

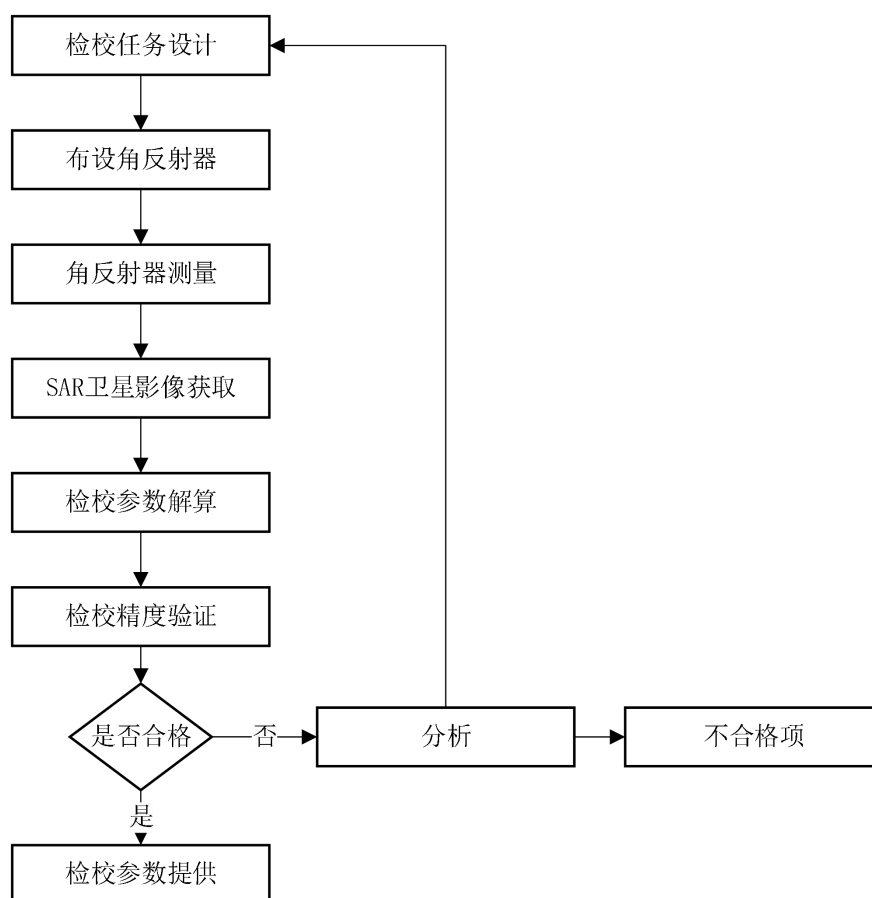


图1. 星载SAR卫星几何检校流程

6 检校条件

6.1 卫星数据获取条件

6.1.1 检校区域位置应满足以下条件：

- a) 检校区域应满足SAR卫星的波位覆盖情况；
- b) 检校区域应与SAR卫星对应成像模式的幅宽相当；
- c) 地形应选用平地，不会带来明显的阴影和叠掩；
- d) 周围地形稳定，在坐标测量完毕之前不发生明显沉降；

- a) 地物应单一，对角反射器无明显遮挡，对雷达信号无明显干扰；
- b) 场景内无较大的同频干扰源，如地面同频有源雷达，同频通讯基站等；
- c) 交通便利，有通讯信号。

6.1.2 角反射器布设应满足以下条件：

- a) 在影像覆盖区域中使用3×3的方式均匀布设，可依据实际情况进行加密布设；
- b) 远离雷达回波干扰源。建议20倍分辨率内无干扰目标，包括较粗（枝干直径与波长相当）的植被、露头岩石、建筑房屋、金属围栏、高压电塔等。

6.1.3 卫星拍摄条件要求如下：

卫星检校区域无大到暴雨，避免SAR信号受到干扰。

6.2 角反色器控制数据获取条件

6.2.1 角反射器类型

检校控制点必须是地面角反射器。角反射器可采用移动式或固定式。

6.2.2 移动式角反射器的制作要求

- a) 形状：角反射器需采用三面角形式。移动式角反射器实物样式见附录A。
- b) 信噪比：角反射器的信噪比应优于10 dB。
- c) 材质：角反射器应使用金属材质。
- d) 板间正交误差： $<0.2^\circ$ ；
- e) 板曲率： $<0.75\text{ mm}$ ；
- f) 表面不规则度： $<0.5\text{ mm}$ 。

6.2.3 固定式角反射器的制作要求

固定式角反射器除满足上述要求之外，还应满足以下要求：

- a) 具备7*24小时全天时观测运行能力；
- b) 可根据卫星航向角以及入射角调整角反朝向角和俯仰角。
- c) 建议加装透波天线罩，透波率达90%以上。固定式角反射器实物样式见附录B。

6.2.4 角反射器选址要求

角反射器的选址需记录相关资料保存，角反射器预设点位实地调查登记表见附录C。另应符合如下要求：

- a) 检校区域应满足SAR卫星的波位覆盖情况；
- b) 检校区域应与SAR卫星对应成像模式的幅宽相当；
- c) 地形应选用平地，不会带来明显的阴影和叠掩；
- d) 周围地形稳定，在坐标测量完毕之前不发生明显沉降；
- e) 地物应单一，对角反射器无明显遮挡，对雷达信号无明显干扰；
- f) 场景内无较大的同频干扰源，如地面同频有源雷达，同频通讯基站等；
- g) 交通便利，有通讯信号。

6.2.5 角反射器布设要求

角反射器的布设要求如下：

- a) 在影像覆盖区域中使用3×3的方式均匀布设，可依据实际情况进行加密布设；
- b) 远离雷达回波干扰源。建议20倍分辨率内无干扰目标，包括较粗（枝干直径与波长相当）的植被、露头岩石、建筑房屋、金属围栏、高压电塔等；
- c) 调整角反射器朝向角，确保卫星飞行方向与角反射器底板的非直角边平行，朝向角调整误差需小于 0.5° ，角反射器布设与卫星飞行角度示意图见附录D；

- d) 调整角反射器俯仰角，确保入射角与角反射器开口面垂直，俯仰角调整误差需小于0.5°，角反射器布设与卫星飞行角度示意图见附录D。

6.2.6 角反射器测量要求

- 卫星过境前，根据卫星过境情况，确定卫星的入射角和航向角；
- 卫星过境前1小时，完成角反射器的安装或调整，确保角反朝向角与俯仰角满足安装要求；
- 卫星过境后30分钟后，测量角反射器相位中心的三维坐标；
- 应对所有角反射器进行联测，提高观测精度；
- 建议使用GNSS静态测量，测量精度优于D级精度要求。

6.2.7 测量内容

测量记录内容如下：

- 角反射器朝向角、俯仰角、底边方位角；
- 角反射器相位中心的地理坐标。

7 检校项目和方法

7.1 检校项目

检校项目包括：

- 根据经纬度和时间信息获取大气延迟；
- 获取角反射器的像素坐标；
- 根据角反射器大地坐标以及像素坐标计算SAR影像的方位向时间误差；
- 根据角反射器大地坐标、像素坐标以及方位向时间误差计算距离向延迟；
- 根据角反射器大地坐标以及像素坐标对检校参数进行分析和验证。

7.2 检校方法

检校方法包括：

- 宜采用GNSS数据解算同地点同时刻的大气延迟；
- 基于距离-多普勒模型构建像素坐标与大地坐标之间的严密成像几何关系，使用最小二乘原理解算方位向时间误差以及距离向延迟；
- 解算方法参见附录E。

8 检校精度验证

8.1 检校后影像产品生产

检校后进行数字正射影像产品生产，产品应满足CH/T 9009.3-2010的要求。

8.2 检校精度验证

产品精度验证应满足以下要求：

- 产品精度利用解算得到的像素坐标与控制数据像素坐标，按中误差计算公式进行计算，并折算至方位向与距离向；
- 产品精度主要评价指标包括方位向定位精度 m_x 、距离向定位精度 m_y 、平面定位精度 m_{xy} 。其表达式分别为：

$$m_x = r_j \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - r_{i0})^2}{n}} \quad (1)$$

$$m_y = a_j \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a_{i0})^2}{n}} \quad (2)$$

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (3)$$

式中：

r_i, a_i ——由R-D模型解算的像素坐标，单位为像素；

r_{i0}, a_{i0} ——由控制点量测的像素坐标，单位为像素；

r_j, a_j ——距离向分辨率和方位向分辨率；

n ——检测点数，不少于9个，单位是个。

9 检校结果及检校周期

9.1 检校结果

检校结果应满足以下要求：

- 检校满足检校精度要求的可提供给数据生产使用；
- 检校结果不满足检校精度要求的应进行分析，并在报告中注明不满足精度的项目，确有必要时重新检校。

9.2 检校周期

SAR卫星传感器几何检校周期宜不超过3个月。检校条件允许时，宜适当缩短检校周期。

10 质量控制和记录要求

10.1 质量控制要求

- 几何检校质量控制应符合GB/T 24356-2023的有关规定执行；
- 质量检查应覆盖几何检校关键环节；
- 检校质量主要通过控制数据质量、沿线阵和轨道方向检校后残差分布进行控制；
- 几何检校作业过程应严格按照流程做好记录。

10.2 记录要求

- 角反射器的调整角度，记录表样例见附录F的F.1；
- 几何检校残差表，记录表样例见附录F的F.2；
- 角反射器量测记录，如角反射器环境图、观测手簿、计算结果等；
- 检查报告；
- 技术总结。

附 录 A
(资料性附录)
移动式角反射器实物样式

图A.1至图A.4分别给出了移动式角反射器四个朝向的实物样式。



图A.1 角反东向实物图片图



A.2 角反西向实物图片



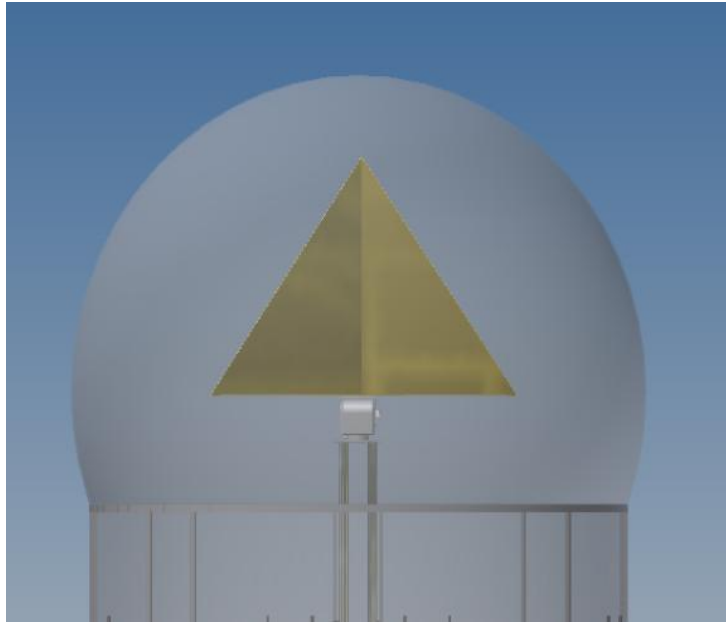
图A.3 角反南向实物图片图



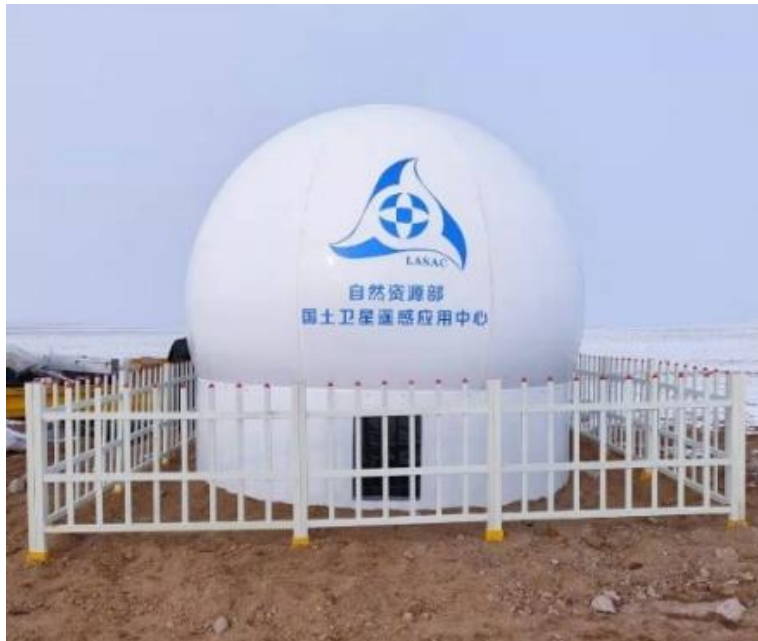
A.4 角反北向实物图片

附 录 B
(资料性附录)
固定式角反射器实物样式

图B.1、图B.2分别给出了固定式角反射器的实物样式。



图B.1 固定式角反射器示意图。其中三角形部分为角反射器本体，外部为天线罩。



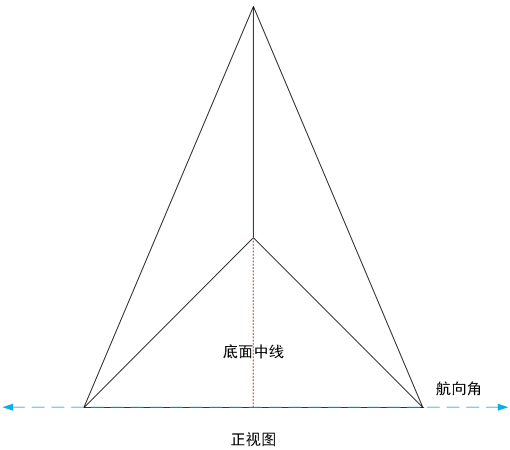
图B.2 固定式角反射器实物图。

附 录 C
(规范性附录)
角反射器预设点位实地调查登记表

点号		点名	
概略位置	纬度 (°′′′)	经度 (°′′′)	大地高 (m)
所在地	_____省_____ (县) _____ (镇) _____ (村)		
土地所有人	私人用地 ☐ 政府公共用地 ☐ 其他: _____		
点 位 情 况 说 明			
挪动情况	在设计点位_____ (填东、东南等具体方位) _____km。		
地势情况	满 足 ☐ 不满足 ☐	周围 (200 m 以内) 土地平坦, 坡度 (应小于 5°)。	
交通情况	方 便 ☐ 不方便 ☐	交通方便, 距离_____ (填道路名称如: S210) ____ m。	
手机信号	有 ☐ 无 ☐	有较好的三网通讯信号。	
遮挡物情况	有 ☐ 无 ☐	有无枝干直径超过 3 cm 的茂密植被遮挡, 有无栏杆遮挡、房屋遮挡等。	
强成像干扰物情况	有 ☐ 无 ☐	有无露头岩石、铁栅栏、高压电站、人工建筑等。	
远景照片 (东)			
远景照片 (南)			
远景照片 (西)			
远景照片 (北)			
调查单位			
调查者		日 期	
备 注			

附 录 D
(资料性附录)
角反射器布设与卫星飞行角度示意图

图D.1、D.2分别给出了角反射器底边与角反射器俯仰角的调整方式示意图。



图D.1 调整朝向角，使角反射器底边应与航向角平行。

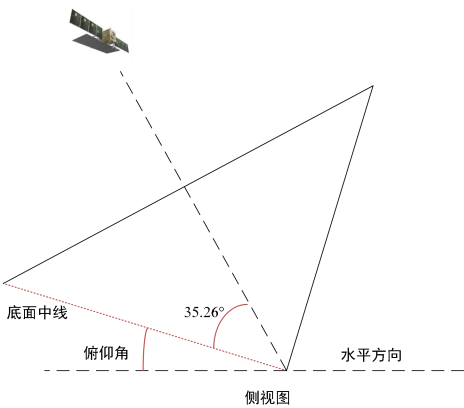


图 D.2 调整俯仰角，使角反开口方向与卫星入射方向平行。

附 录 E
(资料性附录)
几何检校方法

F.1 获取大气延迟参数。

F.2 构建每一行数据的状态矢量与成像时间之间的函数关系。

卫星状态矢量包括卫星的位置和速度，是 R-D 模型的重要解算基础。SAR 影像的头文件中包含了若干个时刻的 SAR 卫星状态矢量。卫星在任意时刻 t 的位置和速度矢量用多项式表示如下：

$$\begin{cases} X_s = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 \\ Y_s = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3 + b_4t^4 + b_5t^5 \\ Z_s = c_0 + c_1t + c_2t^2 + c_3t^3 + c_4t^4 + c_5t^5 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} V_{xs} = d_0 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3 + d_4t^4 + d_5t^5 \\ V_{ys} = e_0 + e_1t + e_2t^2 + e_3t^3 + e_4t^4 + e_5t^5 \\ V_{zs} = f_0 + f_1t + f_2t^2 + f_3t^3 + f_4t^4 + f_5t^5 \end{cases} \quad (2)$$

SAR 影像的像素坐标 (i, j) 与方位向时间 t 的关系表达为：

$$t = t_0 + t_i \cdot (i - 1) \quad (3)$$

式中：

t_0 ——SAR 影像方位向起始时间；

t_i ——SAR 影像方位向时间间隔；

i ——像素点的行号；

j ——像素点的列号。

F.3 构建每个像素的几何参数与方位向时间误差和距离向延迟误差的几何关系。

每一个像素的方位向时间以及斜距表达为：

$$\begin{cases} t_p = t'_0 + \Delta t_0 + t_i \cdot (i - 1) \\ r_p = r'_0 + \Delta r_0 + \Delta r_{atm} + r_j \cdot (j - 1) \end{cases} \quad (4)$$

式中：

t_p ——像素点的方位向时间；

r_p ——像素点的斜距；

Δt_0 ——方位向时间误差；

Δr_0 ——距离向延迟；

Δr_{atm} ——大气延迟；

r_j ——距离向分辨率；

r'_0 ——初始斜距；

t'_0 ——起始时间， $t_0 = t'_0 + \Delta t_0$ 。

F.4 构建条件方程。

根据斜距方程构建第一个条件方程：

$$F_1 = |\mathbf{S} - \mathbf{P}| - [r_0 + r_j \cdot (j-1)] \quad (5)$$

式中：

$\mathbf{S}$ ——成像时刻的卫星位置；

$\mathbf{P}$ ——角反射器的大地坐标；

根据多普勒方程构建第二个条件方程：

$$F_2 = -\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{(\mathbf{S} - \mathbf{P}) \cdot \mathbf{V}}{r_p} \quad (6)$$

式中：

$\mathbf{V}$ ——成像时刻的卫星速度。

条件方程线性化得：

$$\begin{cases} v_1 = \bar{F}_1 - F_1 + \frac{\partial F_1}{\partial r_0} \Delta \hat{r}_0 + \frac{\partial F_1}{\partial t_0} \Delta \hat{t}_0 \\ v_2 = \bar{F}_2 - F_2 + \frac{\partial F_2}{\partial r_0} \Delta \hat{r}_0 + \frac{\partial F_2}{\partial t_0} \Delta \hat{t}_0 \end{cases} \quad (7)$$

式中：

$\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ ——观测误差；

依据上式构建误差方程：

$$\mathbf{V} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{L} \quad (8)$$

式中：

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial r_0} & \frac{\partial F_1}{\partial t_0} \\ \frac{\partial F_2}{\partial r_0} & \frac{\partial F_2}{\partial t_0} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} F_1 - \bar{F}_1 \\ F_2 - \bar{F}_2 \end{bmatrix}。$$

F.5 构建法方程。

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{A}^T \mathbf{L} = 0 \quad (9)$$

F.6 解算法方程。

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L} \quad (10)$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 + \hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} r'_0 + \Delta \hat{r}_0 & t'_0 + \Delta \hat{t}_0 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

式中：

$\mathbf{X}_0$ ——检校参数初始值。

当参数的改正值 $[\Delta\hat{r}_0 \quad \Delta\hat{t}_0]^T$ 小于给定的阈值时（小于阈值 $\varepsilon = 10^{-6}$ ），停止迭代，获得系统级检校参数 $[\Delta r_0 \quad \Delta t_0]^T$ 。

附 录 F
(资料性附录)
检校结果示例

F.1 角反射器调整角度见表F.1.

表 F.1 角反射器调整角度示例

角反编号	朝向角	俯仰角
S1	344.97	18.26
S2	344.97	19.53
S3	344.97	20.83
S4	344.97	21.87
S5	344.97	18.26
S6	344.97	19.53
S7	344.97	20.83
S8	344.97	21.87
S9	344.97	18.26
S10	344.97	19.53
S11	344.97	20.83
S12	344.97	21.87
S13	344.97	18.26
S14	344.97	19.53
S15	344.97	20.83
S16	344.97	21.87

F.2 几何检校残差表见表F.2.

表F.2 几何检校残差表示例

角反编号	检校前			检校后		
	方位向残差	距离向残差	平面定位残差	方位向残差	距离向残差	平面定位残差
S1	41.17	14.95	43.80	-0.20	0.19	0.28
S2	40.68	15.22	43.44	-0.69	0.46	0.83
S3	42.01	15.04	44.62	0.64	0.28	0.70
S4	41.80	14.59	44.27	0.43	-0.17	0.46
S5	40.74	15.67	43.65	-0.63	0.91	1.11
S6	40.77	15.25	43.53	-0.60	0.49	0.78

S7	41.07	14.28	43.48	-0.30	-0.47	0.56
S8	41.42	15.18	44.11	0.05	0.43	0.43
S9	41.18	14.98	43.82	-0.19	0.23	0.30
S10	41.00	15.90	43.97	-0.38	1.14	1.20
S11	42.44	14.14	44.73	1.07	-0.62	1.23
S12	41.09	14.48	43.56	-0.28	-0.28	0.40
S13	41.78	15.55	44.58	0.41	0.80	0.90
S14	42.29	15.73	45.12	0.93	0.97	1.34
S15	41.42	14.51	43.89	0.05	-0.25	0.26
S16	41.10	15.02	43.76	-0.27	0.26	0.37

参 考 文 献

[1] GB/T 15968-2008 遥感影像平面图制作规范
[2] GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
[3] GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
[4] GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语
[5] GB/T 14911-2008 测绘基本术语
[6] GB/T 17694 地理信息术语
[7] GB/T 17798 地理空间数据交换格式
[8] ISO/TS 19159-3:2018 地理信息-遥感影像传感器及数据的定标与验证 第3部分：SAR/InSAR
[9] ISO 19130-2:2014 地理信息-影像传感器的地理定位模型 第2部分：SAR/InSAR, Lidar 和 Sonar
[10] CH/T 3010-2012 1:50000 地形图合成孔径雷达摄影测量技术规定
[11] CH/T 3009-2012 1:50000 地形图合成孔径雷达航天摄影测量技术规定
