

ICS 49.020

CCS V70

团体标准

T/YH 1029.6—2024

卫星遥感产品星地验证规范 第6部分：后向散射系数

Specification for satellite-to-ground validation of satellite
remote sensing products – Part 6: backscattering coefficient



2024—09—25 发布

2024—11—01 实施

中国宇航学会 标准化分会 发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体流程 2

5 地面数据获取 3

 5.1 地面设备要求 3

 5.2 场地选择与设备布设 4

 5.3 同步测量设备调试 4

 5.4 地面数据记录要求 4

6 星地数据匹配 5

 6.1 检验产品选择 5

 6.2 地面数据筛选 5

 6.3 星地数据匹配方法 5

7 产品检验评价 7

 7.1 检验评价方法 7

 7.2 不确定度 7

 7.3 准确度 7

8 检验报告 8

附录 A（资料性）地面数据记录表 9

附录 B（规范性）三面角反射器雷达截面积计算 11

附录 C（规范性）检验报告简表模板 12

参考文献 13

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。

本文件是T/YH 1029《卫星遥感产品星地验证规范》的第6部分。T/YH 1029已经发布了以下部分：

- 第1部分：地表反射率；
- 第2部分：内陆水体悬浮物浓度；
- 第3部分：土地覆被；
- 第4部分：叶面积指数；
- 第5部分：土壤水分；
- 第6部分：后向散射系数。

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。

本文件由中国宇航学会标准化分会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院空天信息创新研究院、国家卫星海洋应用中心、自然资源部国土卫星遥感应用中心、应急管理部卫星减灾中心、中国资源卫星应用中心、中国空间技术研究院、中科卫星（山东）科技集团有限公司、中国航天标准化研究所。

本文件主要起草人：张凤丽、焦雅楠、刘晓晨、黄绮琪、李璐、田维、原君娜、李坤、吕婷婷、魏秋方、邵芸、周翔、顾行发、吴永亮、明峰、李亮、梁维斌、袁新哲、李涛、李素菊、刘龙飞、王爱春、刘杰、刘磊、高贺利、路兴强、韦海军、肇启明。

本文件关键字：后向散射系数，卫星遥感产品，星地验证。

联系方式：

中国宇航学会标准化分会秘书处(中国航天标准化研究所)：010-88108206,tc425@spacechina.com。

引 言

为保障卫星遥感产品质量，推动其业务化应用，在充分考虑卫星载荷特点以及编制单位前期业务应用基础上，提出了适用于地表反射率等卫星遥感产品星-地验证的相关标准。T/YH 1029拟由十部分构成：

- 第1部分：地表反射率；
- 第2部分：内陆水体悬浮物浓度；
- 第3部分：土地覆被；
- 第4部分：叶面积指数；
- 第5部分：土壤水分；
- 第6部分：后向散射系数；
- 第7部分：干涉测量地表形变；
- 第8部分：土壤盐碱度；
- 第9部分：水体遥感反射率；
- 第10部分：水体表面温度。

卫星遥感产品星地验证规范 第6部分：后向散射系数

1 范围

本文件规定了星载合成孔径雷达后向散射系数遥感产品星地验证的总体流程、地面数据获取、星地数据匹配、产品检验评价、检验报告等内容。

本文件适用于利用布设在地面的有源定标器、角反射器进行星载合成孔径雷达（以下简称SAR）后向散射系数遥感产品的星地验证。

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 18314—2024 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范

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; SAR

利用与目标作横向相对运动的小孔径天线，采用相参信号处理方法产生一等效的长天线效应来获取高方位分辨力的相参成像雷达。亦称综合孔径雷达，一般搭载在运动平台上。

[来源：GB/T 3784—2009，2.1.3.37]

3.2

雷达截面积 radar cross section; RCS

雷达入射方向上单位立体角内返回散射功率与目标截获的（入射）功率密度之比，是雷达入射方向上目标散射雷达信号能力的度量。

3.3

后向散射系数 backscattering coefficient

入射方向目标单位截面积的雷达反射率，或目标单位面积的平均雷达散射截面，表示入射方向上的散射强度，是雷达遥感定量应用的关键参数。

3.4

遥感产品 remote sensing products

通过遥感方式获取并被生产出来以满足特定需求的产物，包括遥感传感器获取的数据、模型反演得到的参量结果，以及再经更高层次处理后满足行业应用需求的应用结果。

[来源：GB/T 36296—2018，3.1]

3.5

星地验证 satellite-to-ground validation

利用卫星过境期间的地面同步实地测量数据评价待检遥感产品的准确度和检验流程不确定度的过程。

3.6

有源定标器 active radar calibrator

接收SAR发射信号，经过放大、延迟后再发射回卫星的SAR信号转发装置。还可具有单接收模式和/或单发射模式，分别作为地面标准接收机或地面标准发射机使用。主要包括射频单元、控制单元、接收/发射天线和伺服平台。

3.7

角反射器 corner reflector

由两个或多个金属平面组成，雷达发射的电磁波经角反射器多次反射返回至雷达天线时会产生很强的回波信号，因此常被用作地面参考目标。常用的角反射器主要有二面角反射器、三面角反射器等。

3.8

全球卫星导航系统 global navigation satellite system; GNSS

能在全球范围内提供导航服务的卫星导航系统的通称。

[来源：GB/T 39267—2020，2.1.9]

3.9

真值 true value

在一定条件下，遥感产品理论上客观存在且无任何误差的实际值。

注：该值为理想值，通常无法确切获得，只有在所有引起误差的原因可消除时才可准确得到。

[来源：GB/T 36296—2018，3.3]

3.10

相对真值 relative true value

一个接近真值的值，它与真值之差可忽略不计。对于给定的目的，可用其来代替真值。

[来源：GB/T 36296—2018，3.4]

4 总体流程

以对地面同步测量数据进行星地匹配后获得的地面数据作为相对真值，实现后向散射系数遥感产品的星地验证。主要操作流程包括：

- a) 地面数据获取：针对待检的产品开展星地同步数据采集工作，主要包括地面设备选择、场地选择与设备布设、同步测量设备调试、地面数据记录等内容；

- b) 星地数据匹配：在后向散射系数遥感产品图像上，以点目标所在位置为中心，根据点目标 SAR 图像特征提取点目标的 RCS 值，作为后向散射系数遥感产品真实性检验评价的地面相对真值；
 - c) 产品检验评价：计算评价指标并对检验结果进行评定；
 - d) 检验报告编制：按照检验报告模板完成后向散射系数遥感产品检验报告的编制。
- 具体流程如图1所示：

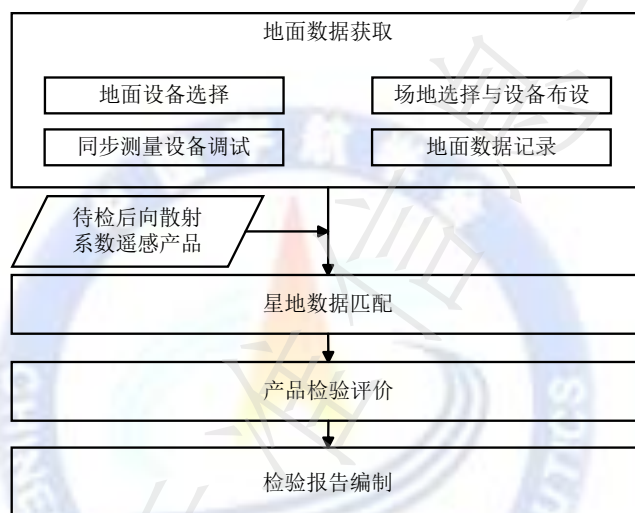


图1 后向散射系数遥感产品星地验证流程

5 地面数据获取

5.1 地面设备要求

5.1.1 有源定标器

有源定标器要求如下：

- a) 工作频率和带宽应满足 SAR 信号频带要求；
- b) 能模拟 RCS 已知的地面点目标；
- c) RCS 可调节，精度、稳定性和调节范围应满足地面检验精度要求；
- d) 具有时间同步功能；
- e) 接收/发射天线方位指向和俯仰指向可调，指向精度和调节范围应满足地面检验精度要求；
- f) 具有延时及延时可调功能。

5.1.2 角反射器

角反射器要求如下：

- a) 能模拟 RCS 已知的地面点目标；
- b) RCS 精度和稳定性应满足地面检验精度要求；
- c) 方位指向和俯仰指向可调，指向精度和调节范围应满足地面检验精度要求。

5.2 场地选择与设备布设

场地选择与设备布设要求如下：

- a) 地面检验设备应位于 SAR 成像覆盖范围内且尽量沿距离向-方位向均匀布设。操作中可根据实际情况进行点位调整，但应在测绘带宽内分散分布，并按照 GNSS 的 D 级点测量标准获取设备的坐标信息，具体精度要求按 GB/T 18314—2024 中 5.3 执行；
- b) 检验设备间的距离应避免相互干扰；
- c) 检验设备周边地势应平坦、背景均匀且后向散射强度低，点目标信杂比达到 30 dB；
- d) 布设点位应易于设备运输车辆通行；
- e) 布设点位应具有较好的安全性，保证检验设备工作期间不受人为等因素干扰。

5.3 同步测量设备调试

5.3.1 设备调试通用流程

地面检验设备调试流程如下：

- a) 根据卫星轨道参数和 SAR 成像参数计算卫星过顶时刻和覆盖区域；
- b) 根据覆盖区域范围和检验场地面情况，确定地面设备的布设方案；
- c) 根据卫星过顶时刻和地面设备位置计算设备应设参数；
- d) 在卫星过顶前完成所有设备布设和工作参数设置；
- e) 记录地面设备实际工作参数和工作状态信息；
- f) 设备调试完成后，人员、车辆及其他保障设备需撤离至不影响检验设备在卫星上成像的位置。

5.3.2 有源定标器调试流程

有源定标器调试流程如下：

- a) 检查有源定标器，保证其工作状态正常；
- b) 根据卫星过境时间和观测参数信息，利用控制软件设置有源定标器工作时间、工作波段、工作模式、RCS 值、延时、方位角、俯仰角等。

5.3.3 角反射器调试流程

角反射器调试流程如下：

- a) 检查角反射器，保证其工作状态正常；
- b) 根据卫星过境时间和观测参数信息，调整角反射器的方位角、俯仰角等。

5.4 地面数据记录要求

检验设备数据记录应至少包含以下要素：

- a) 设备类型和编号；
- b) 检验设备精确位置；

- c) 设备工作时的方位角、俯仰角；
- d) 检验设备标称 RCS 地面真值；
- e) 有源定标器延时值；
- f) 卫星过境时的气象条件；
- g) 设备调试场景照片。

记录表样例见附录 A。

6 星地数据匹配

6.1 检验产品选择

待检的后向散射系数遥感产品应满足如下要求：

- a) SAR 数据应包含成像模式、极化方式、分辨率、波段和入射角等信息；
- b) 数据覆盖区域中点目标应满足 5.2 中的设备布设要求。

6.2 地面数据筛选

用作地面真值的数据应满足如下要求：

- a) 地面设备位于 SAR 图像范围内，设备精度、布设场地、设备调试等满足 5.1~5.3 中的要求；
- b) 地面设备记录表应满足 5.4 中的记录要求。

6.3 星地数据匹配方法

根据地面设备工作状态信息，标记工作正常的点目标作为检验设备。以工作正常的点目标所在位置为中心，提取 $(2^K \times 2^K)$ 大小的矩形区域数据。其中 K 为正整数，用于确定积分区域的大小。实际情况中，常以峰值点为中心截取 $(16 \times 16 \sim 64 \times 64)$ 的区域。图 2 是以 $K=5$ 为例的点目标能量积分区域矩形窗口结构图，P 代表像素。中间十字形区域为能量积分区域，其中 1 区为主瓣区域，2 区和 3 区为距离向旁瓣区域，4 区和 5 区为方位向旁瓣区域，四角为背景区域，在计算前对矩形积分窗口图像进行插值。

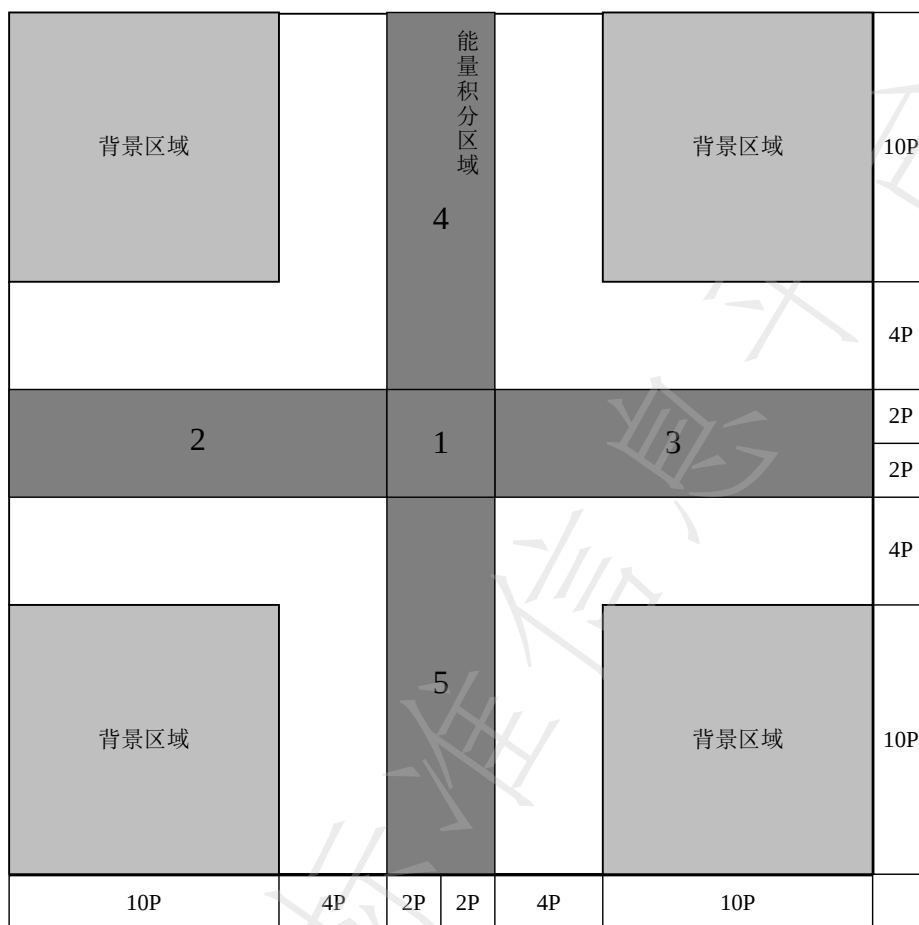


图 2 点目标积分区域矩形窗口结构图

- a) 按照公式 (1) 计算点目标的 SCR 值, SCR 大于 30 dB 作为有效点目标进入后续检验。

$$SCR = \frac{\sigma^T}{\langle \sigma^C \rangle} = \frac{\sigma^T \sin \theta}{\langle \sigma_0 \rangle \delta_a \delta_r} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

σ^T ——点目标的 RCS 测量值, 单位为平方米 (m^2);

$\langle \sigma^C \rangle$ ——点目标周围背景杂波的平均 RCS 值, 单位为平方米 (m^2);

$\langle \sigma_0 \rangle$ ——点目标周围背景杂波的平均后向散射系数值, 无量纲;

θ ——点目标的局部入射角, 单位为度 ($^\circ$);

δ_a ——方位向采样间隔, 单位为米 (m);

δ_r ——距离向采样间隔, 单位为米 (m)。

b) 按照公式 (2) 计算每个点目标对应的 RCS。

$$\hat{\sigma} = \left(\sum_{i \in A}^{N_A} \sigma_{0i} - \frac{N_A}{N_B} \sum_{i \in B}^{N_B} \sigma_{0i} \right) \delta_a \delta_r \dots \dots \dots (2)$$

式中:

$\hat{\sigma}$ ——基于积分法计算得到的点目标 RCS 测量值, 单位为平方米 (m^2);

σ_{0i} ——积分窗口内第 i 个像元的后向散射系数值, 无量纲;

N_A ——点目标能量积分区域包含的像元总个数, 无量纲;

N_B ——背景区域包含的像元总个数, 无量纲。

7 产品检验评价

7.1 检验评价方法

将图像提取的点目标 RCS 与标称 RCS 进行对比, 生成 SAR 图像的辐射检验指标, 评价图像特性, 其中三角角反射器标称 RCS 理论值计算方法见附录 B。

7.2 不确定度

7.2.1 相对误差

按照公式 (3) 计算同类点目标之间的相对误差 $\Delta\sigma_R$ 。

$$\Delta\sigma_R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\hat{\sigma}_i - \bar{\sigma}_T)^2}{N-1}} \dots \dots \dots (3)$$

式中:

N ——用于检验的点目标数量, 无量纲;

$\hat{\sigma}_i$ ——基于积分法计算得到的第 i 个点目标的 RCS 测量值, 单位为分贝平方米 (dBm^2);

$\bar{\sigma}_T$ —— N 个点目标对应的 RCS 测量值均值, 单位为分贝平方米 (dBm^2)。

7.3 准确度

7.3.1 平均偏差

按照公式 (4) 计算平均偏差 $Bias$ 。

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{\sigma}_i - \sigma_i)}{N} \dots \dots \dots (4)$$

式中:

σ_i ——第 i 个点目标的 RCS 标称值, 单位为分贝平方米 (dBm^2)。

7.3.2 平均绝对误差

按照公式 (5) 计算平均绝对误差 MAE :

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |\hat{\sigma}_i - \sigma_i|}{N} \dots \dots \dots (5)$$

7.3.3 绝对误差

按照公式（6）计算绝对误差 $\Delta\sigma_A$ ：

$$\Delta\sigma_A = \text{Max}|\hat{\sigma}_i - \sigma_i| \dots\dots\dots (6)$$

8 检验报告

检验报告应包括但不限于以下基本内容：

- a) 待检遥感产品描述；
- b) 地面数据测量描述；
- c) 检验方法描述；
- d) 检验结果；
- e) 检验人员。

后向散射系数遥感产品星地检验报告简表格式见附录 C。

附 录 A
(资料性)
地面数据记录表格式

A.1 三面角反射器数据记录表格式

三面角反射器数据记录表格式见图 A.1。

参数	内容
角反编号	
布设地点	
地理位置（经纬度）	
卫星过顶时间（北京时间）	
卫星成像模式	
方位角（°）	
俯仰角（°）	
角反边长（m）	
卫星对应的标称 RCS/dB	
天气情况	
设备状态	

图 A.1 三面角反射器数据记录表格式

三面角反射器状态图见图 A.2。



图 A.2 三面角反射器状态图

A.2 有源定标器数据记录模板

有源定标器数据记录表格式见图 A.3。

参数	内容
有源定标器编号	
布设地点	
地理位置（经纬度）	
卫星过顶时间（北京时间）	
卫星成像模式	
方位角（°）	
俯仰角（°）	
延时(us)	
卫星对应的标称 RCS/dB	
天气情况	
设备状态	

图 A.3 有源定标器数据记录表格式

有源定标器状态图见图 A.4。



图 A.4 有源定标器状态图

附录 B (规范性) 三面角反射器雷达截面积计算

B.1 三面角反射器工作原理

三面角反射器由三块相互垂直的等腰直角三角形金属板组成，其工作方式为以角反射器顶点为中心旋转三面角反射器的方位角 θ 和俯仰角 ψ ，使法线指向与雷达入射波束重合，确保角反射器回波信号最强。在 SAR 影像中，角反射器呈现十字形亮点，且十字中心处的像素值最大，也即角反射器的相位中心。

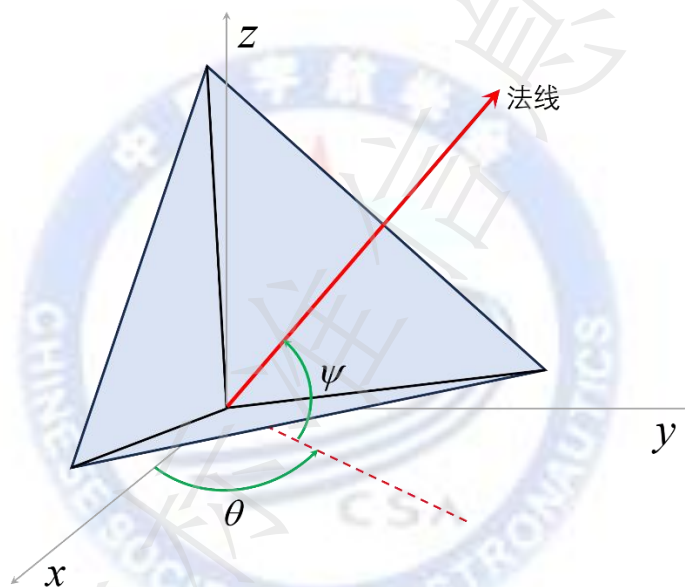


图 B.1 三面角反射器示意图

B.2 相关参数计算

按照公式 (B.1) 计算三面角反射器的峰值 RCS。

$$\sigma_{ref} = \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

σ_{ref} ——三面角反射器标称 RCS，单位为平方米 (m^2)；

a ——三面角反射器直角边边长，单位为米 (m)；

λ ——SAR 卫星载波波长，单位为米 (m)。

附录 C
(规范性)
检验报告简表格式

后向散射系数遥感产品星地检验报告简表格式见图 C.1。

待检遥感产品描述	产品名称	后向散射系数遥感产品	数据来源（卫星）	
	成像模式		过境时间	
	波段		极化方式	
	空间范围	经度		纬度
	产品快视图			
地面数据测量描述	设备类型			
	设备精度			
	设备数量			
检验方法描述				
检验结果	不确定度评价结果	相对误差($\Delta\sigma_R$)		
	准确度评价结果	平均偏差($Bias$)		
		平均绝对误差(MAE)		
		绝对误差($\Delta\sigma_A$)		
检验人员	检验人员		检验日期	
	审核人员		审核日期	

图 C.1 后向散射系数遥感产品星地检验报告简表格式

参考文献

- [1] GB/T 3784—2009 电工术语 雷达
- [2] GB/T 36296—2018 遥感产品真实性检验导则
- [3] GB/T 39267—2020 北斗卫星导航术语

