

团体标准

T/YH 1029.2—2024

卫星遥感产品星地验证规范 第2部分：内陆水体悬浮物浓度

Specification for satellite-to-ground validation of satellite
remote sensing products – Part 2: inland suspended solid
concentration of water body



2024—09—25 发布

2024—11—01 实施

中国宇航学会标准化学会 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 场地选择 3

 5.2 样点布设 3

 5.3 同步测量 3

6 星地数据匹配 4

 6.1 检验产品数据选择 4

 6.2 地面数据筛选 4

 6.3 星地数据匹配方法 4

7 产品检验评价 5

 7.1 准确度 5

 7.2 不确定度 5

8 检验报告 5

附录 A （规范性）悬浮物浓度地面测量方法 6

附录 B （资料性）悬浮物浓度地面测量记录表 8

附录 C （规范性）准确度评价和不确定度公式 9

附录 D （资料性）检验报告简表格式 10

参考文献 11

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2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、生态环境部卫星环境应用中心、中国航天标准化研究所、南京信息工程大学。

本文件主要起草人：陶醉、顾行发、周翔、杨健、王雪蕾、吴永亮、谢勇、吕婷婷、张红明、杨红艳、王庆涛、周亚明、邵雯。

本文件关键字：内陆水体悬浮物浓度，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2部分：内陆水体悬浮物浓度

1 范围

本文件规定了内陆水体悬浮物浓度遥感产品（以下简称悬浮物浓度产品）星地验证的总体流程、地面数据获取、星地数据匹配、产品检验评价及检验报告等内容。

本文件适用于光学卫星内陆水体悬浮物浓度产品的星地验证。

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 11901—1989 水质悬浮物的测定 重量法

GB/T 39468—2020 陆地定量遥感产品真实性检验通用方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水体悬浮物浓度 suspended solid concentration of water body

悬浮在水中不溶于水中的无机物、有机物及泥砂、黏土、微生物等的固体物质的浓度。

3.2

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，以及再经更高级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]

3.3

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。

3.4

样点 sample point

地面测量采样的具体点位。

3.5

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]

3.6

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]

3.7

准确度 accuracy

测试结果或测量结果与真值间的一致程度。

[来源：GB/T 36296—2018，3.9]

3.8

不确定度 uncertainty

与测量结果相关联的一个参数，表征了被测量值的分散性，定量说明了测量结果的质量，用以指示测量结果的可信性、有效性的怀疑程度或不确定程度。

注：不确定度可以用标准（偏）差的倍数或说明了置信水准的区间来表示。

[来源：GB/T 36296—2018，3.10]

4 总体流程

以与卫星观测同步的地面测量数据作为相对真值，开展悬浮物浓度产品的星地验证。主要操作流程包括：

- a) 针对待验证的悬浮物浓度产品开展星地同步地面测量数据的获取；
- b) 开展地面测量数据与悬浮物浓度产品的匹配；
- c) 开展悬浮物浓度产品的星地验证评价；
- d) 完成悬浮物浓度产品星地验证检验报告的编制。

悬浮物浓度产品星地验证流程如图 1 所示。

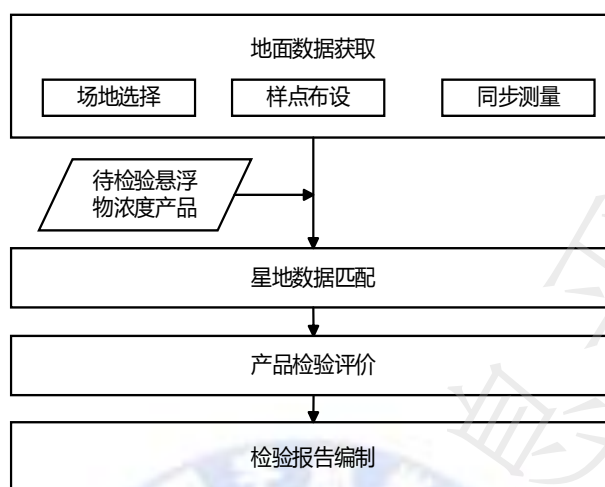


图1 悬浮物浓度产品星地验证流程

5 地面数据获取

5.1 场地选择

悬浮物浓度产品星地验证的检验场地选择要求如下：

- a) 场地内水面分布应连续；
- b) 场地大小应根据待检验产品的空间分辨率确定：
 - 1) 对于空间分辨率优于 10m 的待检产品，场地的边长应不小于待检产品空间分辨率的 100 倍；
 - 2) 对于空间分辨率在 10m~100m 的待检产品，场地边长应不小于待检产品空间分辨率的 50 倍；
 - 3) 对于空间分辨率低于 100m 的待检产品，场地边长应不小于待检产品空间分辨率的 20 倍。

5.2 样点布设

检验场地内的样点布设要求如下：

- a) 水体样点应涵盖该场地内高、中、低三种不同悬浮物浓度的水体；
- b) 样点的布设应符合走航船只的航行要求，可按“S”型或者“Z”型布设；
- c) 样点之间的间隔应依据所检测悬浮物浓度的空间分辨率进行测算：
 - 1) 对于空间分辨率优于 10m 的待检产品，样点间隔应不小于待检产品空间分辨率的 20 倍；
 - 2) 对于空间分辨率 10 m~100 m 的待检产品，样点间隔应不小于待检产品空间分辨率的 10 倍；
 - 3) 对于空间分辨率低于 100m 的待检产品，样点间隔应不小于待检产品空间分辨率的 5 倍。

5.3 同步测量

5.3.1 测量前勘察与准备

测量前勘察与准备包括：

- a) 场地勘察：实验前 1d 应对场地进行实地勘察，如涉及生态保护区或者航道避让等原因无法开展点位的观测，应改变点位的布设方案，记录点位的改变；
- b) 设备检查：实验前 1d 应对水质传感器、设备电池、北斗卫星定位系统、相机、数据记录表以及手持测量设备的标定情况等开展检查。

5.3.2 测量要求

水体悬浮物浓度地面测量环境要求如下：

- a) 测量时段天空条件应为晴天，能见度应大于 10km，大气状况稳定，风力应小于 4 级；
- b) 测量时间宜为卫星过境时间前后 1h；在晴天且无明显风浪的情况下可以扩展为前后 2h；
- c) 在不受降雨、降雪或者大风等天气影响条件下，避开赤潮、水华等浮游植物爆发期，在湖泊、水库等相对静态水域，悬浮物浓度的测量时间与卫星过境时间可有 1d~2d 的时间差；
- d) 测量样点位置应避开太阳耀斑的影响。

5.3.3 测量方法

水体悬浮物浓度的测量可采用原位测量和实验室测量，测量方法按照附录 A。水体悬浮物浓度测量时，应同步记录辅助观测信息，测量记录表见附录 B。

6 星地数据匹配

6.1 检验产品数据选择

参与检验的悬浮物浓度产品选择要求如下：

- a) 产品的云覆盖面积不应超过 20%，其中水面云覆盖面积不应超过 5%；
- b) 需剔除明显受到耀斑影响、数据条带缺失的产品。

6.2 地面数据筛选

地面数据采集后，需开展样本数据质量控制，去除不符合采集规范、异常以及无效的数据。具体筛选要求如下：

- a) 测量布设检查：根据待检产品特点，检查采样布设情况，将不满足场地选择和样点布设要求的地面测量数据作为无效数据进行去除；
- b) 仪器标定检查：检查仪器标定情况，将超出仪器标定合格适用期所测得的观测值作为无效数据去除；
- c) 数据质量检查：检查数据质量情况，将值域异常以及云和阴影下的数据予以去除。

6.3 星地数据匹配方法

应根据待检悬浮物浓度产品与悬浮物浓度地面相对真值之间尺度差异情况，采用不同的匹配方法：

- a) 当悬浮物浓度产品像元分辨率与地面真值采样间隔的比值小于 0.5h，可采用水面单点的地面真值直接检验遥感悬浮物浓度产品；

- b) 当悬浮物浓度产品像元分辨率与地面真值采样间隔的比值大于或等于 0.5h 且小于或等于 1h, 可采用最邻近地面真值或者多个邻近地面真值平均值检验遥感悬浮物浓度产品;
- c) 当悬浮物浓度产品像元分辨率与地面真值采样间隔的比值大于 1 时, 需对地面相对真值数据进行尺度转换才可用于悬浮物浓度产品的检验。

7 产品检验评价

7.1 准确度

可用的准确度评价指标包括:

- a) 平均误差 (ME): 待检悬浮物浓度产品样本数据与地面相对真值数据之间的平均差异;
- b) 平均绝对误差 (MAE): 待检悬浮物浓度产品样本数据与地面相对真值数据的绝对偏差平均值;
- c) 平均相对误差 (MRE): 待检悬浮物浓度产品样本数据与地面相对真值数据之间的波动程度;
- d) 均方根误差 (RMSE): 待检悬浮物浓度产品样本数据与地面相对真值数据之间的偏差程度。

关于准确度评价指标的计算方法见附录 C.1。

7.2 不确定度

关于不确定度评价指标的计算方法见附录 C.2。根据 GB/T 39468—2020 6.2, 不确定性来源分析与评价的主要内容可包括: 几何定位的不确定性、地面观测的不确定性和尺度转换的不确定性。可采用标准差进行不确定度评价, 具体计算方法见附录 C.2。

8 检验报告

检验报告应包括但不限于以下基本内容:

- a) 待检验遥感产品描述;
- 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。

悬浮物浓度产品星地检验报告简表格式见附录 D。

附 录 A
(规范性)
悬浮物浓度地面测量方法

A.1 原位测量法

原位观测是根据样点的布设方案,利用船只巡航到布设的站点位置,在预设点位开展一定时间范围内的采样。具体要求如下:

- a) 根据设定的样点布设方案,利用船只航行至样点处。测量人员选取远离船只螺旋桨或者划桨等受船体影响较小的部位,将悬浮物浓度测量仪器放入水中;
- b) 测量时,保持仪器传感器在水面以下 0.3m -0.5m 处,每个样点重复测量 5 次以上。测量人员应关注仪器的测量状态,如果出现数据缺失或者仪器故障等情况,应及时进行设备的检查;
- c) 测量数据的同时,要同步拍摄水面照片和天空照片,以便于后续测量数据信息的完善。为保障数据的完整性、可靠性,测量时可将测量数据及辅助信息填写在预先打印的记录表上,格式参见附录 B。

A.2 实验室测量法

实验室测量,是指根据设定的样点布设规划,利用船只航行至样点处,使用取水器进行水体的取样,保存并带回实验室;利用实验室相关分析测量仪器对水样中的悬浮物浓度开展测量工作。实验室测量法,主要用于无法现场实时完成站点测量,或同步开展仪器设备交叉验证以及标定的情况下开展。实验室测量的数据可以直接用于数据集的生产,也可以于水质仪器的测量精度标定。参考 GB/T 11901—1989 开展实验室测量,方法如下。

a) 水体取样

用洗涤剂清洗所用聚乙烯或硬质玻璃容器,再依次用自来水和蒸馏水冲洗干净。在采样之前,再用即将采集的水样冲洗三次。采集具有代表性的水体表层(0.3m ~0.5m)处水样 300 mL~500 mL,盖严瓶塞。采集的水样应尽快分析测定。如需放置,应贮存在 4℃冰箱中,但最长不得超过 7d。

b) 过滤前准备

滤膜在使用前应经过蒸馏水浸泡 24h,并更换 1 次~2 次蒸馏水。将滤膜正确地放在过滤器的滤膜托盘上,加盖配套漏斗,并用夹子固定好。以约 100 mL 蒸馏水抽滤至近干状态,以 50s~60s 为宜。

卸下固定夹子和漏斗,再用扁嘴无齿镊子小心夹取滤膜置于编了号的称量瓶内,盖好瓶盖,可露出小缝隙。将称量瓶连同滤膜一并移入 103℃~105℃度的烘箱中烘干 60min 后取出,置于干燥器内冷却至室温,称其重量;再移入烘箱中烘干 30 min 后取出,反复烘干、冷却、称量,直至两次称量的重量差值不大于 0.2mg 为止,这个重量记为 B。

c) 试样称重

工作环境要求：试样称重时要求称量室要保持湿度要恒定，最好提前打开空调，关好门窗。称量过程中极易吸潮，会引起较大的误差影响测定结果。

用蒸馏水冲洗经自来水洗涤后的抽滤装置。用扁嘴无齿镊子小心从恒重的称量瓶内夹取滤膜正确放于滤膜托盘上，再用蒸馏水简单湿润滤膜后，加盖配套漏斗，并用夹子固定好。

量取充分混合均匀的试样 100mL 于漏斗内，启动真空泵进行抽吸过滤。遇到水体混浊的样本，可以分开多次抽滤；对于 I 类水体，可取 200mL~500mL 试样抽滤。当水分全部通过滤膜后，再用每次约 10mL 蒸馏水冲洗量器 3 次，倾入漏斗过滤。然后，再以每次约 10mL 蒸馏水连续洗涤漏斗内壁 3 次，继续吸滤至近干状态。

停止抽滤后，小心卸下固定夹子和漏斗，用扁嘴无齿镊子仔细取出载有悬浮物的滤膜放在原恒重的称量瓶内，盖好瓶盖（可露出小缝隙）。将称量瓶连同滤膜样品摆放在白磁盘中，移入 103℃~105℃ 的烘箱中烘干 60min 后取出，置于干燥器内冷却至室温，称其重量；再移入烘箱中烘干 60min 后取出，反复烘干、冷却、称量，直至两次称量的重量差值不大于 0.4 mg 为止，这个重量记为 A。

d) 悬浮物浓度计算

按公式 (A.1) 计算悬浮物浓度。

$$C = \frac{(A-B) \times 10^6}{V} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

C——水中悬浮物浓度，单位为每升毫克（mg/L）；

A——悬浮物和滤膜与称量瓶重量，单位为毫克（mg）；

B——滤膜与称量瓶重量，单位为毫克（mg）；

V——试样体积，单位为毫升（mL）。

附录 B
(资料性)
悬浮物浓度地面测量记录表

悬浮物浓度地面测量记录表格式见图 B.1。

悬浮物浓度地面测量记录表											
天气： 测量人员： 样区编号： 风速： 记录人员：											
样点 序号	时刻		经度 (°)	纬度 (°)	样点读数						备注
	时	分			第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	
	悬浮物浓度				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
...											

图B.1 悬浮物浓度地面测量记录表格式

附录 C (规范性) 准确度评价和不确定度公式

C.1 准确度评价

定量表达待检悬浮物浓度产品准确度的可用指标包括：平均误差（ME）、平均绝对误差（MAE）、平均相对误差（MRE）、均方根误差（RMSE）和相关系数（r）。指标按公式（C.1）计算。

$$\left. \begin{aligned} \text{ME} &= \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)}{n} \\ \text{MAE} &= \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - y_i|}{N} \\ \text{MRE} &= \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - y_i}{y_i} \right)}{n} \times 100 \\ \text{RMSE} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N}} \\ r &= \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中：

x_i ——第 i 个待检悬浮物浓度产品的像元值，单位为每升毫克(mg/L)；

y_i ——第 i 个悬浮物浓度真值，单位为每升毫克(mg/L)；

$\bar{x}$ ——待检悬浮物浓度产品样本点的均值，单位为每升毫克(mg/L)；

$\bar{y}$ ——悬浮物浓度真值的均值，单位为每升毫克(mg/L)；

N ——样本数，无量纲。

C.2 不确定度分析

利用标准差（ σ ）定量表达待检悬浮物浓度产品的不确定度。各类不确定度可按公式（C.2）计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

式中：

x_i ——第 i 个样本观测值，无量纲；

$\bar{x}$ ——平均值，无量纲；

N ——样本数，无量纲。

附录 D
(资料性)
检验报告简表格式

悬浮物浓度产品星地检验报告简表格式见图 D.1。

待检 遥 感 产 品 描 述	产品名称			产品类型			数据来源(传感器)			
	地理参考(椭球、投影)									
	空间分辨率(m)				获取时间					
	空间范围	经度 (° ' ")			纬度 (° ' ")					
	探测水体深度(cm)				生产算法					
	产品快视图									
地面 数据 测量 描述	测量方法	☐ 人工测量 ☐ 自动测量 ☐ 其他								
	数据精度									
	地物类型描述									
	空间特征									
	时间特征									
	设备名称									
检验 方法 描述	像元尺度相对真值获取方法	☐ 像元尺度小于水体悬浮物浓度实测数据间隔尺度时								
		☐ 像元尺度与水体悬浮物浓度实测数据间隔尺度相同或者相近时								
		☐ 像元尺度等于或大于水体悬浮物浓度实测数据间隔尺度时								
检验 结果	准确度 评价结果	平均误差 (ME)			平均绝对误差 (MAE)			平均相对误差 (MRE)		
		均方根误差 (RMSE)			相关系数 (r)					
	不确定度 评价结果	标准差(σ)								
	待检验产品与地面测量数据散点图									
	验证结论									
检验 人员	检验人员				检验日期					
	审核人员				审核日期					

图 D.1 悬浮物浓度产品星地检验报告简表格式

参考文献

- [1] GB/T 36296—2018 遥感产品真实性检验导则

