

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX—XXXX

浅海水深多光谱遥感探测技术规范

Technical specifications for bathymetry detection in shallow waters by multi-spectral  
remote sensing

报批稿

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	2
4.1 基本原则 .....	2
4.2 工作内容 .....	2
4.3 数学基础 .....	2
4.4 技术流程 .....	2
4.5 处理结果 .....	3
5 数据收集 .....	3
5.1 基础资料 .....	3
5.2 遥感影像 .....	3
6 数据处理 .....	4
6.1 基础资料处理 .....	4
6.2 遥感影像处理 .....	4
7 水深反演 .....	5
7.1 技术要求 .....	5
7.2 反演流程 .....	5
附录 A（规范性）元数据文件格式 .....	7
附录 B（资料性）水深遥感反演的经典模型 .....	8
附录 C（规范性）水深反演过程记录表 .....	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。

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。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：自然资源部第一海洋研究所。

本文件主要起草人：马毅、张靖宇、任广波、王建步、吴培强、胡亚斌。

# 浅海水深多光谱遥感探测技术规范

## 1 范围

本文件规定了浅海水深多光谱遥感探测的总则、数据收集、数据处理和水深反演等要求与方法。

本文件适用于基于多光谱卫星遥感数据的浅海水深遥感探测，基于多光谱航空遥感数据的浅海水深遥感探测可参照使用。

注：本文件中浅海主要指水深20 m以浅的海域。

## 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 19710 地理信息元数据

## 3 术语和定义

GB/T 14950和GB/T 19710界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**多谱段遥感 multispectral remote sensing**

多光谱遥感

将物体反射或辐射的电磁波信息分成若干波谱段进行接收或记录的遥感。

[来源：GB/T 14950-2009，3.7]

### 3.2

**空间分辨率 spatial resolution**

在扫描成像过程中一个光敏探测元件通过望远镜系统投射到地面上的直径或对应的视场角度。

[来源：GB/T 14950-2009，4.104]

### 3.3

**大气校正 atmospheric correction**

消除或减弱卫星遥感影像在获取时在大气传输中因吸收或散射作用引起的辐射畸变。

[来源：GB/T 14950-2009，5.191]

### 3.4

**几何校正 geometric correction**

为消除影像的几何畸变而进行投影变换和不同波段影像的套合等校正工作。

[来源：GB/T 14950-2009，5.190]

### 3.5

**地面控制点 ground control point**

对卫星遥感影像进行几何校正时，通过实地测量获取的三维地理坐标地面点。

### 3.6

### 潮汐校正 **tide correction**

为去除遥感图像成像时刻瞬时水深与深度基准面水深之间的差异而进行的校正工作。

## 3.7

### 元数据 **metadata**

关于数据的数据，即数据的标识、覆盖范围、质量、空间模式、时间模式、空间参照系和分发等信息。

[来源：GB/T 19710-2005，4.5]

## 4 总则

### 4.1 基本原则

浅海水深多光谱遥感探测应保证其所用数据的现势性，数据处理过程遵守质量控制和管理要求，统一水深遥感探测中记录表格的样式，保证最终结果的科学性和实用性。

### 4.2 工作内容

#### 4.2.1 基础资料收集和遥感影像获取

收集作业区域内具有现势性的海图或实测水深资料等基础地理数据；根据作业区域内海岛海岸带的地理特征，获取中高空间分辨率的多光谱遥感影像。不宜获取水体光学特性受影响的影像，如赤潮、绿潮、溢油和浮冰等情形。

#### 4.2.2 基础资料和遥感影像处理

根据基础资料的类型，对收集的资料进行扫描、几何校正、矢量化和潮汐校正等处理；对遥感影像进行辐亮度计算、大气校正、几何校正、太阳耀斑校正和水陆掩膜等处理。

#### 4.2.3 浅海水深遥感反演

利用处理后的遥感影像及基础资料，选取水深遥感反演模型，开展浅海水深反演并进行精度验证。若精度不满足技术要求，则须继续优化模型参数或重新选取模型，若精度满足技术要求，利用潮汐资料将水深反演结果换算至以深度基准面为参考的水深。

### 4.3 数学基础

浅海水深多光谱遥感探测需要下列数学基础：

——投影采用高斯-克吕格投影；

——大地坐标系采用 2000 国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000，CGCS2000）；

——高程基准采用 CGCS2000 椭球高或作业区域的当地高程基准；

——深度基准采用理论深度基准面或作业区域当地的深度基准面。

### 4.4 技术流程

浅海水深多光谱遥感探测的技术流程主要包括：数据收集，通过质量控制选出合格的遥感影像和基础资料，开展数据处理，选取反演模型进行反演计算，评价水深反演精度。水深遥感反演技术流程见图1。

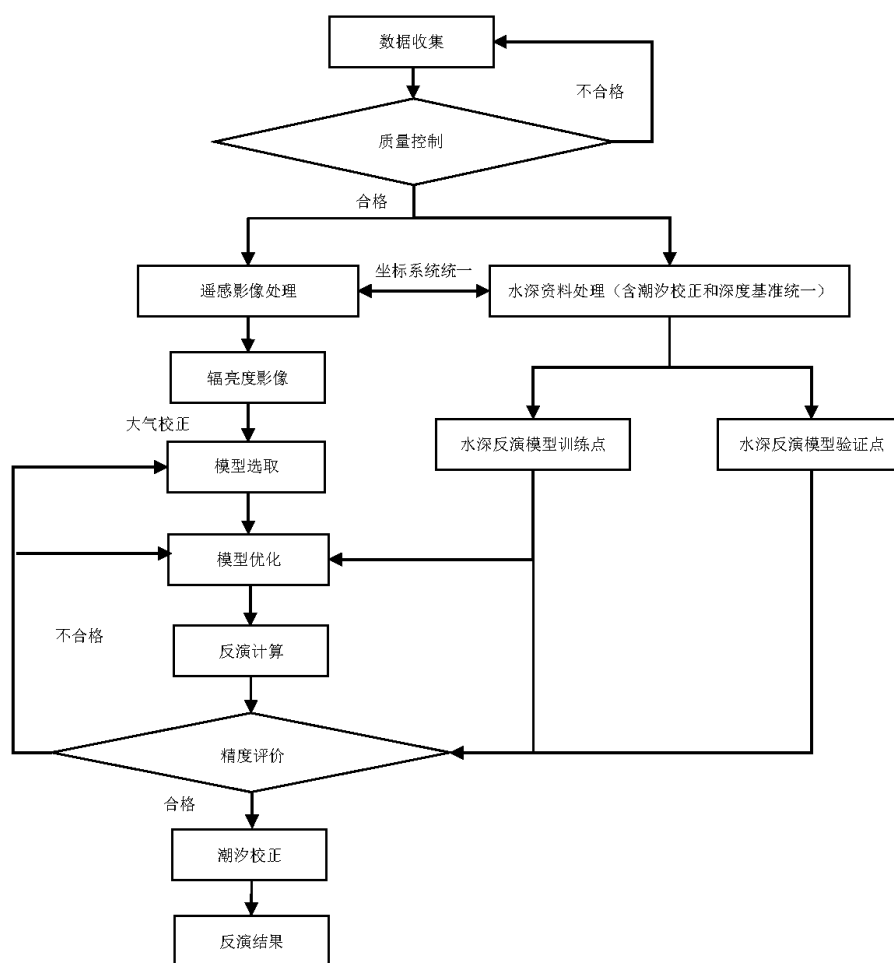


图1 水深遥感反演技术流程

## 4.5 处理结果

### 4.5.1 遥感影像资料

包括辐亮度影像、大气校正影像和几何校正影像等。

### 4.5.2 浅海水深反演结果

作业范围水深反演数据。

## 5 数据收集

### 5.1 基础资料

浅海水深多光谱遥感探测的基础资料包括：

- 实测水深数据、海图；
- 潮汐表或验潮数据；
- 历史调查报告和成果图集；
- 其他数据。

### 5.2 遥感影像

### 5.2.1 影像类型

宜采用空间分辨率优于30 m的多光谱遥感影像。

### 5.2.2 影像要求

光学遥感影像的总云量不应超过10%，且水深反演区域不宜有云；影像清晰，信息丰富，无明显噪声、斑点和坏线；对于遥感影像格式，宜采用地理标记图像文件格式（Geographic Tagged Image File Format, GeoTIFF）等标准产品格式。

## 6 数据处理

### 6.1 基础资料处理

#### 6.1.1 坐标系统统一

海图或其他实测水深数据应与遥感影像的坐标系统统一。

#### 6.1.2 水深反演模型训练点和验证点选取

选择一定数量的水深反演模型训练点和验证点，宜在空间和水深段上均匀分布。其中，水深反演模型训练点用于建立水深反演模型，水深反演模型验证点用于反演精度评价。若作业区域存在多种底质和水质情形，则宜在各种情形上均有水深反演模型训练点分布。

#### 6.1.3 潮汐校正

利用潮汐表或验潮资料，查找作业区域遥感影像成像时刻的潮高，将以深度基准面起算的水深反演模型训练点和验证点水深值，转换为遥感影像成像时刻的水深。

### 6.2 遥感影像处理

#### 6.2.1 辐亮度计算

利用传感器数字化输出值与其所对应的视场中辐射亮度值之间的定量关系，对所采用的多光谱遥感影像进行辐亮度计算。

#### 6.2.2 大气校正

宜采用暗目标法或基于辐射传输模型的方法进行大气校正，消除或减弱由大气影响所造成的辐射误差。

#### 6.2.3 几何校正

根据作业范围内地面控制点的情况进行几何校正。

a) 对于有地面控制点或稀少地面控制点的情况，几何校正的技术要求如下：

- 地面控制点在每景影像上的点位宜覆盖整景影像，宜在空间上分布均匀；
- 对于能够形成区域网的多景影像，地面控制点布设时应保证在相邻两景的重叠区域有2个至3个公共的地面控制点；
- 应布设一定数量的验证点；
- 地面控制点平面中误差不大于半个像元；
- 遥感影像几何校正中误差小于2个像元。



- b) 对于无地面控制点的情况，利用较高自主定位精度的遥感影像或其他资料，参考有地面控制点的几何校正技术要求，开展遥感影像定位精度评价及几何校正。

#### 6.2.4 太阳耀斑校正

若多光谱遥感影像存在太阳耀斑，宜进行耀斑校正处理。

#### 6.2.5 水陆掩膜

宜结合实际情况，选取适合于水体和陆地分离的遥感指数生成水陆掩膜。

#### 6.2.6 数据记录

遥感影像处理完毕后，按照附录A的要求，填写处理后遥感影像元数据格式表。

### 7 水深反演

#### 7.1 技术要求

在0 m~10 m范围内，水深反演的平均绝对误差应不大于2 m；在10 m~20 m范围内，反演平均相对误差应不大于20%。

面向航海需求，可采用置信区类别表（Category of zones of confidence in data, CATZOC）对水深反演模型训练点和验证点开展位置精度和深度精度评估。置信区类别表见表1。

表1 CATZOC 表

单位为米

置信区类别	位置精度	深度精度	
A1	$\pm 5 + 5\%$ 深度	0.50 + 1% 深度	
		深度	精度
		10	0.6
		20	0.7
A2	$\pm 20$	1.00 + 2% 深度	
		深度	精度
		10	1.2
		20	1.4
B	$\pm 50$	1.00 + 2% 深度	
		深度	精度
		10	1.2
		20	1.4
C	$\pm 500$	2.00 + 5% 深度	
		深度	精度
		10	2.5
		20	3.0

#### 7.2 反演流程

### 7.2.1 模型选取

根据遥感影像波段特征及作业区域特点，选择合适的水深反演模型，目前广泛使用的水深反演模型见附录B。

### 7.2.2 模型优化

基于水深反演模型训练点的对应像元波段值，计算作业区域水深遥感反演模型的待定参数。

### 7.2.3 反演计算

对海水区域进行图像运算，反演各个像元的水深。

### 7.2.4 精度评价

选取水深反演模型训练点和验证点相应位置上的反演水深，与训练点和验证点实测水深比对，采用平均相对误差和平均绝对误差评价反演精度。平均相对误差的具体算法见公式（1）。

$$\delta_{MRE} = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Y_i / Z_i)}{n} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\delta_{MRE}$  ——平均相对误差；

$Z_i$  ——第*i*个水深反演模型训练点或验证点的实测水深值，单位为米（m）；

$Y_i$  ——第*i*个水深反演模型训练点或验证点的反演水深值，单位为米（m）；

$n$  ——水深反演模型训练点或验证点数量。

平均绝对误差的具体算法见公式（2）。

$$\delta_{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_i - Y_i|}{n} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\delta_{MAE}$  ——平均绝对误差，单位为米（m）；

$Z_i$  ——第*i*个水深反演模型训练点或验证点的实测水深值，单位为米（m）；

$Y_i$  ——第*i*个水深反演模型训练点或验证点的反演水深值，单位为米（m）；

$n$  ——水深反演模型训练点或验证点数量。

根据作业要求，若精度不满足技术要求，则须继续优化模型参数或重新选取模型。

### 7.2.5 潮汐校正

若水深反演精度满足技术要求，利用潮汐资料将水深反演结果换算至以深度基准面为参考的水深，出现负值应当删除。

### 7.2.6 反演过程记录

按照附录C的要求，填写水深反演过程记录表。

附 录 A  
(规范性)  
元数据文件格式

表 A.1 规定了处理后遥感影像元数据文件格式。

表A.1 处理后遥感影像元数据文件表

序号	项目	内容
1	影像文件名	影像文件名应按照“区域+卫星+多光谱校正影像+成像日期.tif”命名，如“蜈支洲岛 Landsat-8 多光谱校正影像 20100220.tif”
2	卫星名称	填写所用的遥感卫星名称，如“Landsat-8”
3	传感器名称	填写所用的遥感卫星传感器名称，如“OLI”
4	波段信息	填写所用遥感影像的波段信息，如“4 波段，依次为蓝、绿、红和近红外”
5	空间分辨率 (m)	填写所用遥感影像的空间分辨率，保留一位小数，如“30.0 m”
6	成像时间	UTC 时间，YYYYMMDDHHMM
7	影像数据格式	填写处理后遥感影像的数据格式，如“*.tif”
8	覆盖区域	填写作业区域标识，如“海南蜈支洲岛”
9	坐标系名称	CGCS2000
10	投影名称	高斯-克吕格
11	中央经线	填写作业区域的中央经线，如“111 °E”
12	几何校正方法	填写遥感影像几何校正所采用的方法，如“正射校正/多项式法”
13	定位误差 (m)	保留一位小数，如“0.8 m”
14	处理人	实际处理人
15	处理单位	单位全称
16	处理日期	YYYYMMDD
17	检查人	技术负责人
18	检查单位	单位全称
19	检查日期	YYYYMMDD

附录 B

(资料性)

水深遥感反演的经典模型

B.1 单波段模型

单波段模型是在假设底质反射率为常数、大气和海况相同、其他光学背景影响单一的前提下得到的。假设底质反射率和漫衰减系数为常数，单波段模型的具体算法见公式 (B.1)。

$$Z = A_0 + A_1 X_1 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$Z$  ——水深，单位为米 (m)；

$A_0$ 、 $A_1$  ——待定参数，可以根据最小二乘法，通过实际水深值和影像灰度值统计回归求得；

$X_1$  ——表示为 $\ln[R_\omega(\lambda) - R_\infty(\lambda)]$ ， $R_\omega(\lambda)$ 和 $R_\infty(\lambda)$ 分别为该波段反射率和光学深水处反射率。

B.2 双波段模型

双波段模型可一定程度上消除底质变化对水深探测的影响。双波段模型的具体算法见公式 (B.2)。

$$Z = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

$Z$  ——水深，单位为米 (m)；

$A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  ——待定参数，可以根据最小二乘法，通过实际水深值和影像灰度值统计回归求得；

$X_1$ 、 $X_2$  ——表示为 $\ln[R_\omega(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)]$ ， $R_\omega(\lambda_i)$ 和 $R_\infty(\lambda_i)$ 分别为*i*波段反射率和光学深水处反射率。

该模型常利用两个对水体有较强穿透能力的波段来反演水深。

B.3 多波段模型

多波段模型利用多个波段的线性组合求解水深，对于光学遥感影像数据，该算法对底质反射率差异的影响有一定的抑制。多波段模型的具体算法见公式 (B.3)。

$$Z = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i X_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$Z$  ——水深，单位为米 (m)；

$A_0$ 、 $A_i$  ——待定参数，可以根据最小二乘法，通过实际水深值和影像灰度值统计回归求得；

$X_i$  ——表示为 $\ln[R_\omega(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)]$ ， $R_\omega(\lambda_i)$ 和 $R_\infty(\lambda_i)$ 分别为*i*波段反射率和光学深水处反射率；

$n$  ——模型采用的波段数量，多波段模型中 $n \geq 3$ 。

B.4 对数转换比值模型

对数转换比值模型能有效避免对数线性模型中波段反射率减去深水区反射率出现负值的情况，且经自然对数转换后的不同波段反射率值间的比值对水体深度的变化更为敏感。对数转换比值模型的具体算法见公式 (B.4)。

$$Z = m_1 \frac{\ln[nR_\omega(\lambda_i)]}{\ln[nR_\omega(\lambda_j)]} + m_0 \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

$Z$  ——水深，单位为米 (m)；

$m_1$  ——待定参数，用于按比例缩放深度；

$m_0$  ——待定参数，代表 $Z = 0$ 时的偏移量；

$n$  ——待定参数，为保证对数在任何条件下都为正，并且该比率将产生随深度的线性响应，取值在500~1500之间；

$R_{\omega}$  ——对应波段 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 的反射率。

公式（B.4）中的待定参数均可根据最小二乘法，通过实际水深值和影像灰度值统计回归求得。

### B.5 多调节因子对数转换模型

光的离水辐射与水体类型和底质有直接关系，尤其在近岸极浅水域（通常水深小于5 m），水体叶绿素浓度和悬浮物浓度相对较高，且底质复杂，在极浅水复杂水质和底质情形下，可利用多调节因子对数转换水深反演模型，具体算法见公式（B.5）。

$$Z = m_1 \frac{\ln[nR_{\omega}(\lambda_i)+a]}{\ln[mR_{\omega}(\lambda_j)+b]} + m_0 \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

$Z$  ——水深，单位为米（m）；

$m_1$  ——待定参数，用于按比例缩放深度；

$m_0$  ——待定参数，代表 $Z = 0$ 时的偏移量；

$a$ 、 $b$ 、 $m$ 、 $n$  ——待定参数；

$R_{\omega}$  ——对应波段 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 的反射率。

公式（B.5）中的待定参数均可根据最小二乘法，通过实际水深值和影像灰度值统计回归求得。

### B.6 光谱波段比值法

光谱波段比值法能够消除不同底质类型对水深反演带来的影响，一定程度上可减少太阳高度角、水面波动及卫星姿态、扫描角等变化而产生的影响。光谱波段比值法的具体算法见公式（B.6）。

$$Z = A \ln \frac{L_1}{L_2} - B \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

$Z$  ——水深，单位为米（m）；

$L_1$ 、 $L_2$  ——分别为遥感影像两个波段的光谱值；

$A$ 、 $B$  ——待定参数，可以根据最小二乘法，通过实际水深值和影像灰度值统计回归求得。

附 录 C  
(规范性)  
水深反演过程记录表

表 C.1 规定了水深反演过程记录表格式。

表C.1 水深反演过程记录表

序号	项目	内容
1	影像文件名	影像文件名应按照“区域+卫星+多光谱校正影像+成像日期.tif”命名，如“蜈支洲岛 Landsat-8 多光谱校正影像 20100220.tif”
2	卫星名称	填写所用的遥感卫星名称，如“Landsat-8”
3	传感器名称	填写所用的遥感卫星传感器名称，如“OLI”
4	影像空间分辨率（m）	填写所用遥感影像的空间分辨率，保留一位小数，如“30.0 m”
5	成像时间	UTC 时间，YYMMDDHHMM
6	成像时刻潮高（m）及来源	填写成像时刻的潮高及数据来源，如“1.3 m，潮汐表”
7	水深反演模型训练点和验证点来源说明	来源、比例尺和测量时间等，若使用海图还应标明图号，如“海图 1366，1:60000 比例尺，1987 年”
8	反演模型	填写采用的反演模型名称，如“双波段模型”
9	模型参数	填写模型中的待定参数，如“ $A_0 = 3.2$ ， $A_1 = 0.4$ ， $A_2 = 7.0$ ”
10	水深反演模型训练点数量	填写参与反演模型训练的水深点个数，如“19 个”
11	水深反演模型训练点平均绝对误差（0 m~10 m）、平均相对误差（10 m~20 m）/CATZOC 置信区类别	填写水深反演模型训练点在 0 m~10 m 水深范围的平均绝对误差和 10 m~20 m 水深范围的平均相对误差，如“1.2 m、18.5%”；或填写水深反演模型训练点的 CATZOC 置信区类别，如“A2”
12	水深反演模型验证点数量	填写参与反演模型验证的水深点个数，如“10 个”
13	水深反演模型验证点平均绝对误差（0 m~10 m）、平均相对误差（10 m~20 m）/CATZOC 置信区类别	填写水深反演模型验证点在 0 m~10 m 水深范围的平均绝对误差和 10 m~20 m 水深范围的平均相对误差，如“1.2 m、18.5%”；或填写水深反演模型验证点的 CATZOC 置信区类别，如“A2”
14	提取人	实际工作人员
15	提取单位	单位全称
16	提取日期	YYYYMMDD
17	检查人	技术负责人
18	检查单位	单位全称
19	检查日期	YYYYMMDD

## 参 考 文 献

- [1] International Hydrographic Organization, IHO transfer standard for digital hydrographic data (Edition 3.1.3): S-57. Monaco: IHO, 2014.
- [2] Lyzenga D R. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features[J]. Applied optics, 1978, 17: 379-383.
- [3] Lyzenga D R. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data[J]. International journal of remote sensing, 1981, 1: 71-82.
- [4] Lyzenga D R. Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data[J]. International Journal of remote sensing, 1985, 6: 115-125.
- [5] Stumpf R P, Holderied K, Sinclair M. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types[J]. Limnology and oceanography, 2003, 48(1, part 2): 547-556.
-