

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

数字水深模型数据生产技术要求

Technical requirement for producing digital bathymetric model data

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(报批稿)

(本草案完成时间：2024 年 04 月 09 日)

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施



目 次

前言..... II

1 范围..... 3

2 规范性引用文件..... 3

3 术语和定义..... 3

4 基本规定..... 3

    4.1 数学基础..... 3

    4.2 成果构成及要求..... 4

5 生产流程..... 4

6 生产准备..... 5

    6.1 技术设计..... 5

    6.2 数据准备..... 5

7 数字水深模型构建..... 6

    7.1 数据预处理..... 6

    7.2 特征数据选取..... 6

    7.3 数字水深模型生成..... 6

    7.4 拼接与裁切..... 6

    7.5 相关文件制作..... 7

8 质量控制与成果验收..... 7

    8.1 质量控制..... 7

    8.2 成果验收..... 7

9 成果整理与提交..... 7

附录 A（资料性）主要内插算法..... 9

    A.1 线性插值三角网法..... 9

    A.2 最小曲率法..... 9

    A.3 改进谢别德法..... 10

参考文献..... 12

## 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测绘分技术委员会（SAC/TC 230/SC2）归口。

本文件起草单位：广东省国土资源测绘院、自然资源部南海调查中心、武汉大学、自然资源部南海发展研究院、国家基础地理信息中心、中国测绘科学研究院、国家测绘产品质量检验检测中心。

本文件主要起草人：刘小丁、钟远军、赵建虎、王重平、丁华祥、张惠军、胡海驹、暴景阳、刘文建、白航、朱亚兵、周巨锁、曾纪胜、魏征、周昆、张文峰、梁亚朋、杨帆、王银霞、江林、谢敬谦。

# 数字水深模型数据生产技术要求

## 1 范围

本文件规定了基础地理信息数字成果数字水深模型数据生产的数学基础、成果构成及要求、生产流程、生产准备、模型构建、质量控制与成果验收、成果整理与提交。

本文件适用于基础地理信息数字成果 1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 数字水深模型数据的生产作业。

## 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 18316 数字测绘成果质量检查与验收  
GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收  
CH/T 1001 测绘技术总结编写规定  
CH/T 1004 测绘技术设计规定  
CH/T XXXX 数字水深模型数据成果质量检验技术要求  
CH/Z 9026 基础地理信息数字成果 数字水深模型

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**数字水深模型** digital bathymetric model

利用一组有序水深数字阵列表达区域水下地形的一种方式。

[来源：《测绘学名词》（第4版）]

### 3.2

**空白水域** blank water area

未获取或无水深数据的水域。

## 4 基本规定

### 4.1 数学基础

坐标系统宜采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000），采用依法批准的相对独立的平面坐标系统时，应与 CGCS2000 建立联系。

地图投影采用高斯-克吕格投影，1:500、1:1 000、1:2 000 数字水深模型宜采用 1.5° 分带，1:5 000、1:10 000 数字水深模型宜采用 3° 分带，1:25 000、1:50 000、1:100 000 数字水深模型宜采用 6° 分带。

高程基准采用 1985 国家高程基准。远离大陆的岛、礁，不便于与国家高程基准实施水准连测时，高程基准允许采用当地平均海面。

海洋和感潮河段应采用理论最低潮面作为深度基准面,内河航道宜采用航行基准面作为深度基准面,水库宜采用设计水位作为深度基准面,其他内陆水体可采用当地平均水位作为深度基准面。并应明确与1985国家高程基准之间的换算关系。

4.2 成果构成及要求

数字水深模型成果由数字水深模型数据、元数据及其他相关文件构成,其具体成果要求按照 CH/Z 9026 规定执行。数字水深模型成果数据精度按表 1 执行。

表1 数字水深模型成果精度指标

单位为米

比例尺	等级	中误差				
		0<H≤20	20<H≤30	30<H≤50	50<H≤100	H>100
1: 500	一级	±0.21	±0.25	±0.29	±0.52	$\pm\sqrt{0.15^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.34	±0.36	±0.39	±0.58	$\pm\sqrt{0.3^2+(H/100)^2}$
1: 1 000	一级	±0.21	±0.25	±0.29	±0.52	$\pm\sqrt{0.15^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.34	±0.36	±0.39	±0.58	$\pm\sqrt{0.3^2+(H/100)^2}$
1: 2 000	一级	±0.21	±0.25	±0.29	±0.52	$\pm\sqrt{0.15^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.34	±0.36	±0.39	±0.58	$\pm\sqrt{0.3^2+(H/100)^2}$
1: 5 000	一级	±0.25	±0.28	±0.32	±0.54	$\pm\sqrt{0.2^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.43	±0.45	±0.47	±0.64	$\pm\sqrt{0.4^2+(H/100)^2}$
1: 10 000	一级	±0.25	±0.28	±0.32	±0.54	$\pm\sqrt{0.2^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.43	±0.45	±0.47	±0.64	$\pm\sqrt{0.4^2+(H/100)^2}$
1: 25 000	一级	±0.34	±0.36	±0.39	±0.58	$\pm\sqrt{0.3^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.52	±0.54	±0.56	±0.71	$\pm\sqrt{0.5^2+(H/100)^2}$
1: 50 000	一级	±0.34	±0.36	±0.39	±0.58	$\pm\sqrt{0.3^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.52	±0.54	±0.56	±0.71	$\pm\sqrt{0.5^2+(H/100)^2}$
1: 100 000	一级	±0.34	±0.36	±0.39	±0.58	$\pm\sqrt{0.3^2+(H/100)^2}$
	二级	±0.62	±0.63	±0.65	±0.78	$\pm\sqrt{0.6^2+(H/100)^2}$
注: H 代表水深。						

5 生产流程

根据生产任务要求和数据情况进行生产准备,选择合适的算法,内插生成规则格网数字水深模型,按照规定的要求进行成果质量控制,对符合设计要求的成果进行整理和提交。数字水深模型作业流程如图1所示。

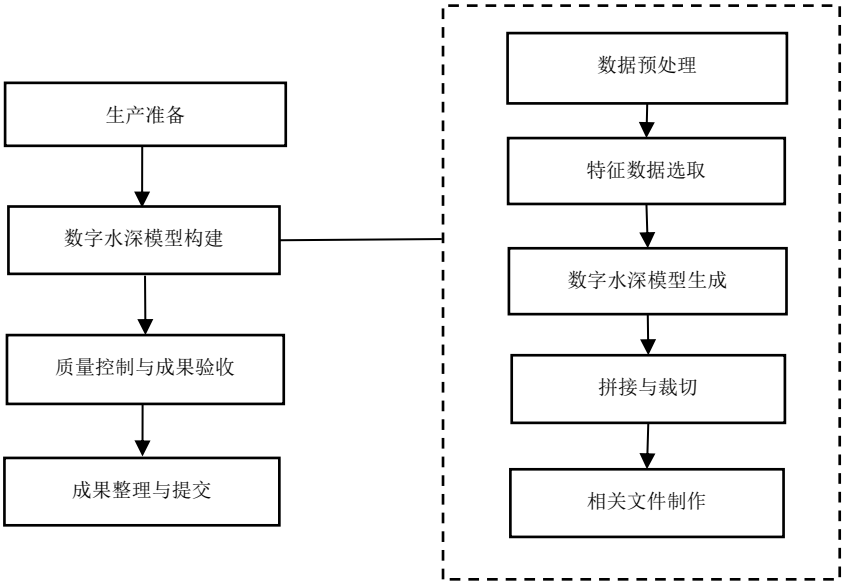


图1 生产流程图

6 生产准备

6.1 技术设计

技术设计主要要求如下：

- a) 技术设计书的编写要求及主要内容应符合 CH/T 1004 的规定；
- b) 根据项目总体要求、资料分析结果等编写技术设计书；
- c) 根据项目具体情况，技术设计书可以与水深数据采集合并编写，也可以单独编写；
- d) 对于技术指标、技术方法与标准要求不一致的，应在技术设计中进行说明。

6.2 数据准备

6.2.1 数据收集

收集数据时应注意数据的时效性，数据比例尺应不小于数字水深模型成果比例尺。数据收集一般包括以下内容。

- a) 测深杆、测深锤、单波束和多波束测深数据。收集水深成果数据及测量过程中的同步水位观测数据、定位数据等。同时，应收集技术设计书、技术总结、质量验收报告、设备检定报告等。
- b) 机载激光测深数据。收集水深成果数据及测量过程中的 POS 数据、点云数据、影像数据等。同时，应收集技术设计书、技术总结、质量验收报告、设备检定报告等。
- c) 海图数据和水下地形图件。收集海图数据和水下地形图件，包括其编号、图名、基准、投影方式、数据获取时间、范围、比例尺等。纸质图件可通过扫描仪、数字化仪等设备，配合栅格图像矢量化软件，获取其中的水深数据。

6.2.2 数据分析

对收集的数据进行整理和分析，内容如下：

- a) 水深测量过程及成果资料是否齐全，了解水深数据采集的基本情况，包括设备状况、测量单位、测量时间、测量依据、测量基准、比例尺、测线等；
- b) 对于纸质图件查看图纸成图时间和成图方法，图面是否完好、平整、无折皱、无污渍，色正、线条与注记是否清晰，印刷套合是否良好；
- c) 水深数据采用的坐标系统、高程基准和深度基准是否需要转换；
- d) 水深数据比例尺是否满足生产要求；

- e) 水深数据质量是否合格，水深数据质量不合格不能进行数字水深模型构建；
- f) 水深数据资料不齐全或缺少测量基准等重要测量要素的，不能进行数字水深模型构建。

## 7 数字水深模型构建

### 7.1 数据预处理

#### 7.1.1 格式转换

将已有数据转换为生产软件支持的数据格式。

#### 7.1.2 测绘基准统一

将已有水深数据基准转换至规定的测绘基准。

#### 7.1.3 多源水深数据融合

多源水深数据融合前，应检查水深数据的接边处，避免存在断层、跳变等异常情况。数据融合应根据其类型、精度以及现势性，在保持基础数据特征的前提下进行。多源水深数据融合应满足以下原则。

- a) 连续性原则：融合的水深数据应当在空间上具有连续性。
- b) 完整性原则：融合的水深数据应该包含尽可能多的水深信息，在进行数据融合时，应尽量填补数据缺失的部分，确保融合结果的完整性。
- c) 现势性原则：优先采用现势性更强的数据。
- d) 高精度原则：融合的水深数据几何表达精度不一致时，应以精度高的数据为准。

#### 7.1.4 特殊地物提取

独立礁石、沉船、桩柱等特殊地物对应的水深数据应单独存储，不参与数字水深模型构建。

### 7.2 特征数据选取

从融合数据中，选取潮沟、航道边坡、堤坝、码头边坡线、水下陡坎和大型沙丘等能突出地形变化的水深数据以及水边线和空白水域边缘的有效水深数据，作为特征数据。

### 7.3 数字水深模型生成

#### 7.3.1 内插建模

采用经过前期处理的水深数据，选择合适的算法，内插生成规则格网数字水深模型。内插建模应遵循以下要求：

- a) 所有水深数据和特征数据都应参与内插建模；
- b) 数字水深模型格网大小应符合 CH/Z 9026 的规定；
- c) 对预处理后的水深数据内插建模，内插算法可选用最小曲率法、改进谢别德法、线性插值三角网法等。常用内插算法见附录 A。

#### 7.3.2 数字水深模型编辑

利用特征数据对数字水深模型进行检查与编辑，使数字水深模型更加符合水下地形变化。

#### 7.3.3 空白水域及水深推测区处理

空白水域的格网水深值赋予-9999，数字水深模型中达不到规定精度的水域划为水深推测区。空白水域和水深推测区使用矢量面分别进行标识。

### 7.4 拼接与裁切

对生成的数字水深模型进行拼接和裁切，相同比例尺数字水深模型拼接与裁切应满足以下要求：

- a) 相邻数字水深模型拼接时，不少于 2 行（列）重合格网点；相邻数字水深模型拼接时，应对重合格网点水深差值进行检查，当差值不大于 2 倍数字水深模型成果中误差时，取重合格网点水深平均值作为格网点的最终水深值；当差值大于 2 倍数字水深模型成果中误差时，需查明原因进行处理直至符合要求，并保留接边精度报告；



- b) 跨投影带拼接时，将数字水深模型投影到同一分带，再进行拼接；
- c) 对数字水深模型进行拼接时，检查有无漏洞、缝隙；
- d) 根据成图比例尺，按照 CH/Z 9026 规定的范围对数字水深模型进行裁切，生成标准分幅的数字水深模型单元；裁切时，可根据设计要求外扩；
- e) 存储数字水深模型数据时，数据的存储格式应符合 CH/Z 9026 的规定。

## 7.5 相关文件制作

相关文件制作应符合以下要求：

- a) 从水深数据中提取的特殊地物和特征数据以点状、线状、面状要素文件分别存储；
- b) 对空白水域和水深推测区标识的结果以面状要素文件分别存储；
- c) 元数据的内容、结构和格式应符合 CH/Z 9026 的要求；
- d) 技术总结的编写应符合 CH/T 1001 的要求。

## 8 质量控制与成果验收

### 8.1 质量控制

检查验收和质量处理应按照 GB/T 18316 和 GB/T 24356 相关章节内容执行。数据成果质量应通过二级检查一级验收，即依次通过测绘单位作业部门的过程检查，测绘单位质量管理部门的最终检查和项目管理单位组织的验收或委托具有资质的质量检验机构进行质量验收。质量控制应有以下方面的内容：

- a) 测绘基准使用的正确性；
- b) 数据分析的合理性，分析记录的齐全性，分析结果准确性；
- c) 水深数据融合的规范性、正确性，融合后水深数据的时效性；
- d) 特殊地物和特征数据选取的准确性和齐全性；
- e) 内插建模算法的合理性；
- f) 模型编辑的正确性；
- g) 模型精度是否符合设计书要求；
- h) 空白水域及水深推测区处理的正确性；
- i) 模型拼接裁剪的正确性和合理性；
- j) 数字水深模型覆盖范围的完整性，格网尺寸的正确性；
- k) 元数据制作的规范性和正确性；
- l) 技术总结等文档资料编写的全面性和规范性；
- m) 提供成果资料的完整性。

### 8.2 成果验收

按照 CH/T XXXX 的规定对数字水深模型成果进行产品检验，出具验收报告。

## 9 成果整理与提交

成果资料按 CH/Z 9026 的规定进行整理，经检查无误后提交，主要包括：

- a) 数据文件
  - 1) 原始水深数据；
  - 2) 控制测量数据、水位资料；
  - 3) 数字水深模型数据；
  - 4) 特殊地物文件；
  - 5) 特征数据文件；
  - 6) 空白水域；

- 7) 水深推测区；
- 8) 元数据；
- 9) 图幅接合表。
- b) 文档资料
  - 1) 成果清单；
  - 2) 技术设计书；
  - 3) 技术总结；
  - 4) 质量检查报告；
  - 5) 验收报告。
- c) 其他相关资料。

## 附录 A

(资料性)

## 主要内插算法

## A.1 线性插值三角网法

线性插值三角网法是指在数据点间构建出 Delaunay 三角网, 拟合点值由所在三角形顶点值线性内插计算得到。该方法适用于中等数量的数据, 计算方法见公式 (A.1):

$$P = (1-u-v) \times P1 + u \times P2 + v \times P3 \quad (\text{A.1})$$

式中:

$P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ ——三角形的三个顶点;

$P$ ——三角形内的拟合点;

$u$ —— $P2$  对  $P$  点的权重贡献;

$v$ —— $P3$  对  $P$  点的权重贡献。

根据线性内插原理求解  $u$ 、 $v$ , 计算方法见公式 (A.2):

$$\begin{cases} P_{.x} = (1-u-v) \times P1_{.x} + u \times P2_{.x} + v \times P3_{.x} \\ P_{.y} = (1-u-v) \times P1_{.y} + u \times P2_{.y} + v \times P3_{.y} \end{cases} \quad (\text{A.2})$$

式中:

$P_{.x}$ 、 $P1_{.x}$ 、 $P2_{.x}$ 、 $P3_{.x}$ —— $P$ 、 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$  点的  $x$  轴坐标;

$P_{.y}$ 、 $P1_{.y}$ 、 $P2_{.y}$ 、 $P3_{.y}$ —— $P$ 、 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$  点的  $y$  轴坐标。

## A.2 最小曲率法

最小曲率法是指采用全区的数据进行网格化, 生成到各样点差值最小的拟合曲面。该方法适用于大量数据, 算法原理如下:

建立带张力的最小曲率微分方程, 具体见公式 (A.3):

$$(1-T_i) \nabla^2 (\nabla^2 Z) - (T_i) \nabla^2 Z = 0 \quad (\text{A.3})$$

式中:

$\nabla^2$ ——拉普拉斯算子;

$T_i$ ——内部张力系数, 取值区间为  $[0, 1)$ ;

$Z$ ——拟合曲面函数。

所满足的自然边界条件见公式 (A.4):

$$\begin{cases} (1-T_b) \frac{\partial^2 Z}{\partial n^2} + (T_b) \frac{\partial Z}{\partial n} = 0 \\ \frac{\partial (\nabla^2 Z)}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (\text{A.4})$$

式中:

$T_b$ ——边界张力系数, 取值区间为  $[0, 1)$ ;

$n$ ——边界线法方向。

在边界角点满足公式 (A.5):

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y} = 0 \quad (\text{A. 5})$$

式中：

$x$ ——边界角点  $x$  方向；

$y$ ——边界角点  $y$  方向。

### A. 3 改进谢别德法

#### A. 3.1 关键函数

改进谢别德法是指以反距离加权法为基础，改进了插值过程中的距离权重函数，使其只能在局部范围内起作用，其关键函数见公式（A. 6）：

$$\tilde{f}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n W_i(x) q_i(x)}{\sum_{i=1}^n W_i(x)} \quad (\text{A. 6})$$

式中：

$\tilde{f}(x)$ ——改进谢别德法插值函数；

$W_i(x)$ ——权重函数；

$q_i(x)$ ——局部近似函数；

$n$ ——全部的采样点个数。

#### A. 3.2 权重函数

各采样点权重函数的大小取决于到插值点的距离。当远于设定的影响半径时，权重函数为0，即只有离插值点近的采样点才会有权重。权重函数的计算方法见公式（A. 7）：

$$W_i(x) = \begin{cases} \left[ \frac{R_w - d_i(x)}{R_w d_i(x)} \right]^2 & d_i(x) < R_w \\ 0 & d_i(x) \geq R_w \end{cases} \quad (\text{A. 7})$$

式中：

$W_i(x)$ ——权重函数；

$d_i(x)$ ——点  $x_i$  到插值点的距离；

$R_w$ ——影响半径。

#### A. 3.3 局部近似函数

设  $f_i$  为三维空间内已知采样点  $x_i$  的属性值，用二次多项式构建局部近似函数  $q_i$ ，使  $q_i$  满足  $q_i(x_i) = f_i$ ，使用最小二乘法求取  $q_i$ ，计算公式见（A. 8）、（A. 9）：

$$\min \left\{ \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n w_{ki} [q_i(x_k) - f_k]^2 \right\} \quad (\text{A. 8})$$

$$w_{ki} = \begin{cases} \left[ \frac{(R_q^{(i)} - d_k(x_i))}{R_q^{(i)} d_k(x_i)} \right]^2 & d_k(x_i) < R_q^{(i)} \\ 0 & d_k(x_i) \geq R_q^{(i)} \end{cases} \quad (\text{A. 9})$$

式中：

$W_{ki}$ ——权重系数；

$d_k(x_i)$ ——点  $x_k$  到  $x_i$  之间的距离；

$R_q^{(i)}$ ——点  $x_i$  附近用于最小二乘拟合的半径。

## 参 考 文 献

- [1] 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
  - [2] GB 12327-2022 海道测量规范
  - [3] CH/T 1015.2-2007 基础地理信息数字产品 1: 10000 1: 50000 生产技術规程第 2 部分：数字高程模型（DEM）
  - [4] CH/T 7003 内陆水域水下地形测量技术规程
  - [5] CH/T 9020.2-2013 基础地理信息数字产品 1: 500 1: 1000 1: 2000 生产技術规程第 2 部分：数字高程模型（DEM）
  - [6] 张立华，贾帅东等.《数字水深模型构建理论与方法》. 北京：测绘出版社，2019年
-