

ICS 07. 040

CCS A 76

备案号：xxxxx—xxxx

CH

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

高程基准与深度基准转换技术规范

Technical specification for marine vertical datum transformation

(报批稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

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 基本要求	2
4.1 采用基准	2
4.2 高程/深度基准转换技术流程	2
4.3 基础模型精度与分辨率	3
5 数据预处理	3
5.1 一般要求	3
5.2 卫星测高数据	3
5.3 验潮站观测数据	3
5.4 GNSS 观测数据	4
5.5 高程控制测量数据	4
5.6 深度基准面数据	4
6 基础模型构建	4
6.1 一般要求	4
6.2 (似) 大地水准面模型	4
6.3 平均海面高模型	4
6.4 海面地形模型	5
6.5 深度基准面模型	5
7 基准转换步骤	6
7.1 深度基准转换至高程基准	6
7.2 高程基准转换至深度基准	6
7.3 大地高成果转换至深度基准	7
8 质量控制与精度评价	7
8.1 质量控制	7
8.2 精度评价	7
9 成果汇交	7
附录 A (资料性) 高程/深度基准转换技术流程	8
附录 B (资料性) 13 个主要分潮的基本信息	9
附录 C (规范性) 理论最低潮面的定义算法	10
附录 D (规范性) 分潮的精度评估	13
附录 E (资料性) 高程基准面与深度基准面的空间相互关系	14
参考文献	15

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：自然资源部第一海洋研究所、海军海洋测绘研究所、山东科技大学、中国测绘科学研究院、山东省国土测绘院、国家基础地理信息中心。

本文件主要起草人：冯义楷、黄辰虎、许军、薛树强、付延光、毛继军、杨龙、陈义兰、李杰、周东旭、柯宝贵、丁仕军、李志才。

高程基准与深度基准转换技术规范

1 范围

本文件规定了高程基准与深度基准转换的基本要求、数据预处理、基础模型构建、基准转换步骤、质量控制与精度评价、成果汇交等内容。

本文件适用于我国管辖海域的高程基准与深度基准转换。

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 12898 国家三、四等水准测量规范
- GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB/T 39619 海道测量基本术语
- CH/T 1021 高程控制测量成果质量检验技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 地球参考椭球面 surface of the earth reference ellipsoid

代表地球形状和大小的旋转地球椭球表面，是地面和空间任意一点大地高的参考面。

3.2 平均海面 mean sea level

高程等于海洋水位观测结果平均值的平静的理想海面。

[来源：GB/T 15918-2010, 2.5.5]

3.3 大地水准面 geoid

假设没有外力作用，静止的海洋表面将与旋转地球椭球面的等势面一致，该等势面称为大地水准面，它是一个延伸到全球的静止海平面，也是一个地球重力等位面，确定大地水准面是取验潮站长期观测资料计算出来的平均海面。

[来源：GB/T 15918-2010, 2.5.1]

3.4 似大地水准面 quasi-geoid

从地面一点沿正常重力线按正常高相反方向量取高至正常高所得端点所构成的曲面。

[来源：GB/T 17159-2009, 5.30]

3.5

高程基准 height datum

由特定验潮站平均海面确定的测量高程的起算面以及依据该面所决定的水准原点高程。

[来源：GB/T 39619-2020，2.26]

3.6

深度基准 sounding datum

海图及各种水深资料的深度起算面。

[来源：GB/T 14911-2008，2.21]

3.7

海面地形 sea surface topography

以大地水准面为参考面的平均稳态海面形态，由稳态平均海面与大地水准面之间的垂直差距表示。

3.8

深度基准面 chart datum

海图及海洋水深资料的测量深度的起算面。

[来源：GB/T 15918-2010，2.5.6]

3.9

深度基准面 L 值 chart datum value

根据分潮调和常数按照深度基准面定义计算得到的深度基准值。

3.10

平均海面高模型 mean sea surface height model

以地球参考椭球面为参考面的平均海面分布模型，即平均海面的大地高模型，常以网格的形式给出平均海面大地高及其空间变化。

3.11

海面地形模型 sea surface topography model

以大地水准面为参考面的平均海面分布模型，即平均海面的高程模型，常以网格的形式给出海面地形及其空间变化。

3.12

潮汐模型 tide model

主要分潮的调和常数(振幅与迟角)分布模型，常以网格的形式给出各分潮调和常数及其空间变化。

3.13

深度基准面模型 chart datum model

以平均海面为参考面的深度基准面分布模型，常以网格的形式给出深度基准面 L 值及其空间变化。

4 基本要求

4.1 采用基准

4.1.1 大地基准应采用 2000 国家大地坐标系统。

4.1.2 高程基准应采用 1985 国家高程基准。

4.1.3 深度基准应采用理论最低潮面。

4.1.4 时间基准应采用北京时间。

4.1.5 重力基准应采用 2000 国家重力基本网。

4.2 高程/深度基准转换技术流程

高程/深度基准转换技术流程见附录 A，过程中收集的资料宜尽可能完整，成果性资料应进行考证

或评估。

4.3 基础模型精度与分辨率

- 4.3.1 基础模型包含（似）大地水准面模型、平均海面高模型、海面地形模型与深度基准面模型。
- 4.3.2 基础模型的精度应由格网值相对于验潮站处对应垂直基准的中误差评估。
- 4.3.3 模型分辨率应由模型采用的等角网格间距表示。
- 4.3.4 模型的精度和分辨率应不低于表 1 的规定。

表 1 基础模型的精度和分辨率

模型	分辨率 ,	精度 m
(似) 大地水准面模型	2.5×2.5	± 0.10
平均海面高模型	2.5×2.5	± 0.05
海面地形模型	2.5×2.5	± 0.15
深度基准面模型	2.5×2.5	± 0.10

4.3.5 大陆沿岸的（似）大地水准面模型可参照 GB/T 23709 的精度要求。

4.3.6 对入海河口、群岛及潮汐不规则地区等困难区域，基础模型精度可放宽至表 1 要求精度的 2 倍。

5 数据预处理

5.1 一般要求

5.1.1 基础模型的构建和精度评估宜收集模型覆盖区域内卫星测高数据、验潮站数据、验潮站 GNSS（Global Navigation Satellite System）联测数据、重力数据、沿岸 GNSS 水准数据等资料。

5.1.2 GNSS 控制点的大地高精度应满足 CH/T 1021-2010 的精度要求。

5.1.3 高程控制点的高程精度应满足 GB/T 12898-2009 的精度要求。

5.2 卫星测高数据

5.2.1 卫星测高数据收集应包括国际主流的多源多代卫星测高数据，并按数据编辑标准实施预处理。

5.2.2 在沿岸浅水区，宜采用改正模型、波形重构等辅助措施提高海面高数据精度。

5.3 验潮站观测数据

5.3.1 验潮站分布

5.3.1.1 大陆沿岸相邻验潮站间的距离宜在 50km 内，在湾顶、入海河口、沿海群岛等潮汐变化复杂区域或验潮站稀疏区域应增加布设一定数量临时验潮站。

5.3.1.2 选择一定数量近岸岛礁，布设临时验潮站，验潮站水位数据可参与模型构建或精度检核。海岛验潮站宜采用精密跨海高程测量，对联测困难岛礁，也可采用当地平均海面作为验潮站水位起算面。

5.3.2 水位数据时长

5.3.2.1 长期验潮站的实测水位数据连续时长应不小于 1 年。

5.3.2.2 用于提取潮汐调和常数的短期验潮站，实测水位数据连续时长应不小于 30 天。仅用于传递确定垂直基准面关系的短期验潮站，应与邻近长期验潮站连续同步实测 7 天以上。

5.3.3 潮汐调和常数

5.3.3.1 长期验潮站的调和常数应包含 S_a 、 S_{sa} 、 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等 13 个主要分潮，分潮的基本信息见附录 B。

5.3.3.2 短期验潮站的调和常数应包含 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等 11 个主要分潮，可采用差分订正技术由临近长期验潮站实施订正。

5.4 GNSS 观测数据

5.4.1 本文件 GNSS 数据仅限于在验潮站进行的 GNSS 静态观测获取的精确大地高数据，并能将点位大地高与验潮零点和 1985 国家高程基准间建立垂直基准转换关系。

5.4.2 GNSS 数据采集及数据处理应按照 GB/T 18314 执行。

5.4.3 当验潮基准点和水准点已有大地高数据且满足精度要求时，可不进行 GNSS 数据采集。

5.5 高程控制测量数据

5.5.1 沿岸长期验潮站的水准点高程应与国家水准网点进行水准连测，连测等级宜采用二等；对收集的长期验潮站高程成果数据，应对水准连测实施的时间、等级以及已知点等信息进行复核。

5.5.2 海岛礁验潮站的水准点高程可采用水准测量、三角高程测量、同步水位法等方法中的一种或多种方法联合测定。

5.6 深度基准面数据

5.6.1 长期验潮站的深度基准面 L 值应采用验潮站管辖单位提供的值。

5.6.2 收集国家海图出版单位使用的 L 值，对收集的资料进行检核评估后可作为验潮站的深度基准面 L 值数据。

5.6.3 对于布设的验潮站，深度基准面 L 值宜通过周边长期验潮站开展同步水位观测后传递确定。

6 基础模型构建

6.1 一般要求

6.1.1 基础模型宜采用国家已有的基础模型。

6.1.2 当采用国际或区域基础模型时，应评估合格后方可采用。

6.1.3 对于新构建的基础模型，应经验收合格后方可采用。

6.2 (似) 大地水准面模型

6.2.1 利用区域(似)大地水准面模型成果时，应在沿海区域对模型进行精度评估。当已有模型精度满足规范要求时，可直接利用模型成果；当模型精度不满足要求时，应按照 GB/T 23709 对模型进行局部精化。

6.2.2 确需构建区域(似)大地水准面模型时，按照 GB/T 23709 执行。

6.3 平均海面高模型

6.3.1 平均海面高模型构建

6.3.1.1 应根据卫星测高、验潮站数据建立平均海面高模型。

6.3.1.2 在沿岸浅水区，宜参考长期验潮站数据，提高卫星测高数据的精度。

6.3.2 平均海面高模型的精度评估

6.3.2.1 新构建的平均海面高模型应与公开的全球平均海面高模型进行比较，评估模型的可靠性。

6.3.2.2 新构建的平均海面高模型可由长期验潮站的平均海面大地高成果进行外符合精度评估。

6.3.3 可采用（似）大地水准面精化过程中由卫星测高数据确定的平均海面高模型。

6.3.4 公开的全球平均海面高模型，精度与分辨率满足表 1 要求时，转换至 2000 国家大地坐标系统后方可采用。

6.4 海面地形模型

6.4.1 海面地形模型宜采用国家或国际已有的模型；新构建的模型经验收合格后方可采用。

6.4.2 海面地形模型精度由长期验潮站的平均海面高程进行评估。

6.5 深度基准面模型

6.5.1 一般要求

6.5.1.1 深度基准面模型应与潮汐的空间变化规律相一致。

6.5.1.2 深度基准面模型应与海图所维持及采用的深度基准面保持最低潮意义一致。

6.5.2 技术要求

6.5.2.1 对于一般海域，宜采用以下技术要求：

a) 以潮汐模型为基础，由理论最低潮面的定义算法（按附录 C 执行）计算潮汐模型各网格点处的深度基准面 L 值，构建初步模型；

b) 以长期验潮站、海图所用验潮站等的深度基准面 L 值对初步模型实施订正，构建成果模型。

6.5.2.2 对于入海河口、群岛等潮汐受周边地形影响较大区域，可通过周边验潮站处深度基准面 L 值，采用空间插值构建深度基准面模型。

6.5.2.3 对于范围较小海域，可由周边国家长期验潮站及内部验潮站处深度基准面 L 值，采用空间内插构建深度基准面模型。验潮站网应覆盖目标海域，分布密度应能反映海域的潮汐空间变化特征。

6.5.3 潮汐模型的基本要求

6.5.3.1 应包含 S_a 、 S_{sa} 、 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等 13 个主要分潮，分潮的基本信息见附录 B。

6.5.3.2 13 个主要分潮的总体综合预报中误差（按附录 D 执行）应不大于 0.1m。

6.5.3.3 分辨率与深度基准面模型的分辨率一致，指标要求见表 1。

6.5.4 潮汐模型的构建

6.5.4.1 潮汐模型的构建应符合下列基本要求：

a) 长周期分潮 (S_a 、 S_{sa}) 可由验潮站和卫星测高数据提取的调和常数，采用基于空间内插的经验法构建；

b) 半日分潮、全日分潮和浅水分潮的构建宜以验潮站和卫星测高数据提取的调和常数为控制，采用潮波流体动力学数值模拟与数据同化技术构建；

c) 可采用全球潮汐模型或多个模型组合的方式构建。

6.5.4.2 在潮汐模型构建过程中采用的水深格网应符合下列要求：

a) 水深模型的格网分辨率宜与潮汐模型的格网分辨率一致；

b) 沿岸浅水区宜以实测水深数据或海图成果水深数据为数据源，水深点的分布密度应满足潮汐模型的分辨率要求；远离大陆的深水区可采用公开的水深模型；

c) 水深模型格网宜充分覆盖海域，保持陆地和岛礁的海岸线形状基本不变；

d) 应将水深模型格网数据进行基准统一归算至当地平均海面。

6.5.4.3 对于采用验潮站和卫星测高数据提取的调和常数应符合下列要求：

a) 验潮站的调和常数宜采用实测水位数据经潮汐分析的结果，对于收集的调和常数成果，应考证其所用的水位数据、潮汐分析方法等信息；

b) 用于潮汐分析的卫星测高数据宜为执行精密重复轨迹任务的测高卫星数据，时间长度宜为有效

观测数据的最高时长，应用除海洋潮汐改正与逆气压改正之外的其它必要改正，最后求解沿迹潮汐调和常数。

6.5.4.4 对构建的潮汐模型应按照下列要求进行精度评估：

- a) 以未参与模型构建的验潮站对潮汐模型进行精度评估，评估指标采用单分潮的综合预报中误差与多分潮的总体综合预报中误差，按附录 D 执行；
- b) 精度评估后，应将所用验潮站调和常数参与模型构建，实现潮汐模型的精化。

6.5.5 深度基准面初步模型的构建

对于潮汐模型的每个有效网格点，由 13 个主要分潮的调和常数按理论最低潮面的定义算法（按附录 C 执行）计算深度基准面 L 值。

6.5.6 深度基准面成果模型的构建

在深度基准面初步模型构建的基础上，按照下列要求进行深度基准面成果模型的构建：

- a) 收集长期验潮站、海图所涉验潮站的深度基准面 L 值，应进行考证；
- b) 计算初步模型在各验潮站处的差值；
- c) 根据差值的空间分布规律，采用空间插值方法计算各网格点处的差值，差值在验潮站间应平滑分布；
- d) 差值与初步模型叠加组合为深度基准面的成果模型。

6.5.7 深度基准面模型精度评估

深度基准面模型精度评估，应包括：

- a) 以长期验潮站的调和常数重新计算理论最低潮面，并传递确定相邻短期验潮站的 L 值，以各站重新计算值评估初步模型描述深度基准面空间变化的精度，应优于 0.1m；
- b) 由验潮站分布的密度与空间结构，评估维持深度基准系统的统一性。

7 基准转换步骤

7.1 深度基准转换至高程基准

对于任一水深点（高程基准面与深度基准面的空间相互关系见附录 E），按以下步骤进行转换：

- a) 由深度基准面模型内插出深度基准面 L 值；
- b) 由海面地形模型内插出海面地形值；
- c) 水深点处的高程按公式（1）计算。

$$H_{85} = \zeta - L - D \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

式中：

H_{85} ——水深点在 1985 国家高程基准下的高程，1985 国家高程基准零点向下为负值；

ζ ——海面地形，由海面地形模型内插，平均海面向下为正值；

L ——深度基准面 L 值，由深度基准面模型内插，为正值；

D ——从深度基准面起算的水深值，基准面向下为正值。

7.2 高程基准转换至深度基准

7.2.1 高程基准转换至深度基准仅适用于海岸线附近点的高程基准转换；对于岛礁，由深度基准面模型计算岛礁范围内深度基准面 L 值间的最大差异，应小于深度基准面模型的精度指标。

7.2.2 对于陆上任一点，按以下步骤进行转换：

- a) 由深度基准面模型内插出深度基准面 L 值;
- b) 由海面地形模型内插出海面地形值;
- c) 高程点处的水深按公式（2）计算。

$$D = \zeta - L - H_{85} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

7.3 大地高成果转换至深度基准

大地高成果转换至深度基准按以下步骤进行转换：

- a) 由平均海面高模型内插出平均海面的大地高;
- b) 由深度基准面模型内插出深度基准面 L 值;
- c) 大地高成果点处的水深值按公式（3）计算。

$$D = -H + MSL - L \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中：

H ——大地高成果，基准面向上为正值；

MSL ——平均海面的大地高，基准面向上为正值。

8 质量控制与精度评价

8.1 质量控制

8.1.1 高程基准与深度基准转换应开展多种数据交叉检验，重点开展潮汐模型与验潮站观测、（似）大地水准面模型与 GNSS/水准观测数据、深度基准面模型与潮汐模型等交叉检验，统计基础模型值偏差及中误差等统计信息，剔除异常观测数据。

8.1.2 预留不少于全部观测数据 5% 的观测作为外部检测点，评价基础模型的精度和可靠性；检测点宜在空间上均匀分布。

8.1.3 上述检验合格后，可将符合要求的外部检核点一并用于模型构建。

8.2 精度评价

8.2.1 基础模型精度评价宜采用外部检核精度指标。

8.2.2 在基础模型精度统计分析基础上，按照误差传播定律计算基准转换的理论精度。

8.2.3 高程/深度基准转换的精度可采用陆海测图成果数据的拼接进行精度检验。

9 成果汇交

高程基准与深度基准转换工作完成后应进行成果汇交，汇交的成果主要包括：

- a) 技术设计书；
- b) 观测数据；
- c) 高程基准-深度基准转换成果；
- d) 技术总结；
- e) 精度检验报告。

附录 A
(资料性)
高程/深度基准转换技术流程

高程/深度基准转换技术流程见图 A.1。

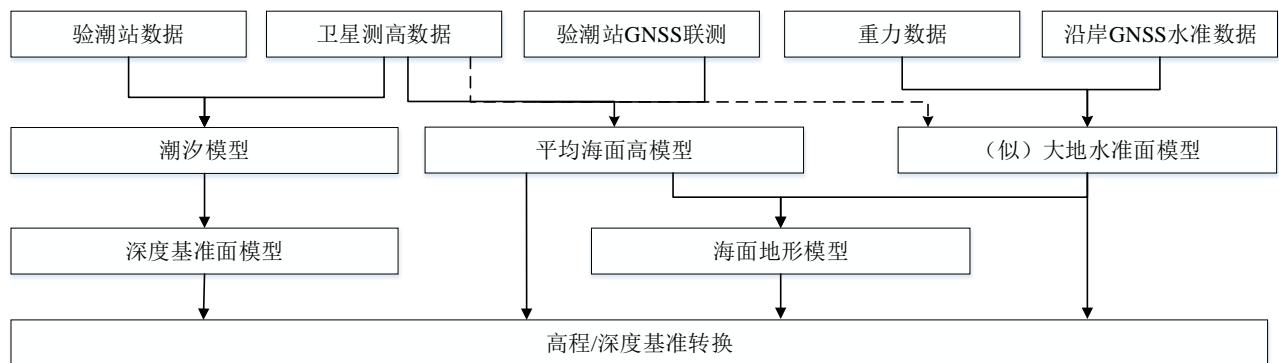


图 A.1 高程/深度基准转换技术流程图

附录 B
(资料性)
13个主要分潮的基本信息

S_a、S_{sa}、Q₁、O₁、P₁、K₁、N₂、M₂、S₂、K₂、M₄、MS₄、M₆等13个主要分潮的基本信息见表B.1所示。

表B.1 13个主要分潮的基本信息

类型	分潮	名称	杜德逊编码	μ_0	角速率(°h)	周期/h
长周期分潮	S _a	年周期气象分潮	056.555	0	0.041068	8765.949
	S _{sa}	半年周期气象分潮	057.555	0	0.082137	4382.921
全日分潮	Q ₁	太阴椭率主要全日分潮	135.655	-1	13.398661	26.868
	O ₁	太阴主要全日分潮	145.555	-1	13.943036	25.819
	P ₁	太阳主要全日分潮	163.555	-1	14.958931	24.066
	K ₁	太阴太阳赤纬全日分潮	165.555	1	15.041069	23.934
半日分潮	N ₂	太阴椭率主要半日分潮	245.655	0	28.439730	12.658
	M ₂	太阴主要半日分潮	255.555	0	28.984104	12.421
	S ₂	太阳主要半日分潮	273.555	0	30.000000	12.000
	K ₂	太阴太阳赤纬半日分潮	275.555	0	30.082137	11.967
浅水分潮	M ₄	太阴浅水1/4日分潮	455.555	0	57.968208	6.210
	MS ₄	太阴太阳浅水1/4日分潮	473.555	0	58.984104	6.103
	M ₆	太阴浅水1/6日分潮	655.555	0	86.952313	4.140

附录 C (规范性) 理论最低潮面的定义算法

采用弗拉基米尔斯基算法，由 S_a 、 S_{sa} 、 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等 13 个分潮叠加计算在理论上可能的最低潮面。计算公式见 (C.1)。

$$\begin{aligned}
L = & (fH)_{K_1} \cos \varphi_{K_1} + (fH)_{K_2} \cos(2\varphi_{K_1} + 2g_{K_1} - 180^\circ - g_{K_2}) \\
& - \sqrt{[(fH)_{M_2}]^2 + [(fH)_{O_1}]^2 + 2(fH)_{M_2}(fH)_{O_1} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_1)} \\
& - \sqrt{[(fH)_{S_2}]^2 + [(fH)_{P_1}]^2 + 2(fH)_{S_2}(fH)_{P_1} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_2)} \\
& - \sqrt{[(fH)_{N_2}]^2 + [(fH)_{Q_1}]^2 + 2(fH)_{N_2}(fH)_{Q_1} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_3)} \\
& + (fH)_{M_4} \cos \varphi_{M_4} + (fH)_{MS_4} \cos \varphi_{MS_4} + (fH)_{M_6} \cos \varphi_{M_6} \\
& - (fH)_{S_a} |\cos \varphi_{S_a}| + (fH)_{S_{Sa}} \cos \varphi_{S_{Sa}}
\end{aligned} \quad \dots \quad (C.1)$$

式中：

L ——理论最低潮面在平均海面下的垂直距离，单位为厘米；

f —— S_a 、 S_{sa} 、 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等13个分潮的交

点因子，由表 B.1 查出；

H 、 g —— S_a 、 S_{sa} 、 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等 13 个分潮的调

和常数， H 的单位为厘米， g 的单位为 度 ；

α_1 、 α_2 、 α_3 ——自定义变量，按式(C.2)计算；

φ —— S_a 、 S_{sa} 、 Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 等 13 个分潮的相角, 单位为°; 其中, φ_{M_2} 按式 (C.3) 或 (C.4) 计算, φ_{S_2} 按式 (C.5) 或 (C.6) 计算, φ_{M_4} 按式 (C.7) 计算, φ_{MS_4} 按式 (C.8) 计算, φ_{M_6} 按式 (C.9) 计算, φ_{S_a} 按式 (C.10) 计算, $\varphi_{S_{sa}}$ 按式 (C.11) 计算。

自定义权重 α_1 、 α_2 、 α_3 按公式 (C.2) 计算:

M_2 分潮的相角 φ_{M_2} 的计算分为以下两种情况：

1) 当 $(fH)_{M_2} \geq (fH)_{O_1}$ 时, 按公式 (C.3) 计算:

$$\varphi_{M_2} = \tan^{-1} \left[\frac{(fH)_{O_1} \sin(\varphi_{K_1} + \alpha_1)}{(fH)_{M_2} + (fH)_{O_1} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_1)} \right] + 180^\circ \quad \dots \dots \dots \quad (C.3)$$

2) 当 $(fH)_{M_2} < (fH)_{O_1}$ 时, 按公式 (C.4) 计算:

$$\varphi_{M_2} = \varphi_{K_1} + \alpha_1 - \tan^{-1} \left[\frac{(fH)_{M_2} \sin(\varphi_{K_1} + \alpha_1)}{(fH)_{O_1} + (fH)_{M_2} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_1)} \right] + 180^\circ \quad \dots \dots \dots \quad (C.4)$$

S_2 分潮的相角 φ_{S_2} 的计算分为以下两种情况:

1) 当 $(fH)_{S_2} \geq (fH)_{P_1}$ 时, 按公式 (C.5) 计算:

$$\varphi_{S_2} = \tan^{-1} \left[\frac{(fH)_{P_1} \sin(\varphi_{K_1} + \alpha_2)}{(fH)_{S_2} + (fH)_{P_1} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_2)} \right] + 180^\circ \quad \dots \dots \dots \quad (C.5)$$

2) 当 $(fH)_{S_2} < (fH)_{P_1}$ 时, 按公式 (C.6) 计算:

$$\varphi_{S_2} = \varphi_{K_1} + \alpha_2 - \tan^{-1} \left[\frac{(fH)_{S_2} \sin(\varphi_{K_1} + \alpha_2)}{(fH)_{P_1} + (fH)_{S_2} \cos(\varphi_{K_1} + \alpha_2)} \right] + 180^\circ \quad \dots \dots \dots \quad (C.6)$$

M_4 分潮的相角 φ_{M_4} 按公式 (C.7) 计算:

$$\varphi_{M_4} = 2\varphi_{M_2} + 2g_{M_2} - g_{M_4} \quad \dots \dots \dots \quad (C.7)$$

MS_4 分潮的相角 φ_{MS_4} 按公式 (C.8) 计算:

$$\varphi_{MS_4} = \varphi_{M_2} + \varphi_{S_2} + g_{M_2} + g_{S_2} - g_{MS_4} \quad \dots \dots \dots \quad (C.8)$$

M_6 分潮的相角 φ_{M_6} 按公式 (C.9) 计算:

$$\varphi_{M_6} = 3\varphi_{M_2} + 3g_{M_2} - g_{M_6} \quad \dots \dots \dots \quad (C.9)$$

S_a 分潮的相角 φ_{S_a} 按公式 (C.10) 计算:

$$\varphi_{S_a} = \varphi_{K_1} - \frac{1}{2}\varphi_{S_2} + g_{K_1} - \frac{1}{2}g_{S_2} - g_{S_a} - 90^\circ \quad \dots \dots \dots \quad (C.10)$$

S_{sa} 分潮的相角 $\varphi_{S_{sa}}$ 按公式 (C.11) 计算:

$$\varphi_{S_{sa}} = 2\varphi_{K_1} - \varphi_{S_2} + 2g_{K_1} - g_{S_2} - g_{S_{sa}} + 180^\circ \quad \dots \quad (\text{C.11})$$

由 13 个分潮的调和常数及式 (C.2) 至式 (C.11)，将式 (C.1) 简化为 K_1 分潮相角 φ_{K_1} 的单自变量函数。 φ_{K_1} 从 0° 至 360° 变化以适当间隔离散取值，求得 L 的最小值，取其绝对值。

上述式中各分潮的交点因子 f 由表 C.1 查出。

表 C.1 交点因子数值表

分潮	月球升交点经度 N	
	0°	180°
S_a	1.000	1.000
S_{sa}	1.000	1.000
Q_1	1.183	0.807
O_1	1.183	0.806
P_1	1.000	1.000
K_1	1.113	0.882
N_2	0.963	1.038
M_2	0.963	1.038
S_2	1.000	1.000
K_2	1.317	0.748
M_4	0.928	1.077
MS_4	0.963	1.038
M_6	0.894	1.118

依潮汐类型由表 C.1 选取交点因子：

- (1) 规则日潮类型，交点因子选取 $N = 0^\circ$ 时的值；
- (2) 规则半日潮类型，交点因子选取 $N = 180^\circ$ 时的值；
- (3) 混合潮类型（不规则日潮与不规则半日潮类型），交点因子分别选取 $N = 0^\circ$ 与 $N = 180^\circ$ 时的值，由 (C.1) 式计算两组结果，选取绝对值大者为结果。

附录 D
(规范性)
分潮的精度评估

分潮的精度评估指标分为单分潮的综合预报中误差 (Root Mean Squares, RMS) 与多个分潮的总体综合预报中误差 (Root Sum Squares, RSS)。相对于分潮振幅、迟角的中误差指标, RMS 反映了振幅和迟角误差对预报潮位的影响, 对于某个分潮 k 定义为公式 (D.1)。

$$RMS_k = \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [(H_k^S - \bar{H}_k^S)^2 + (H_k^C - \bar{H}_k^C)^2]} \quad \dots \dots \dots \quad (D.1)$$

式中:

N ——比对点的个数;

\bar{H}_k^S 、 \bar{H}_k^C ——基准成果 (如验潮站水位数据的潮汐分析成果) 在 k 分潮的正弦和余弦分量;

H_k^S 、 H_k^C ——被评估成果 (如潮汐模型) 在 k 分潮的正弦和余弦分量。

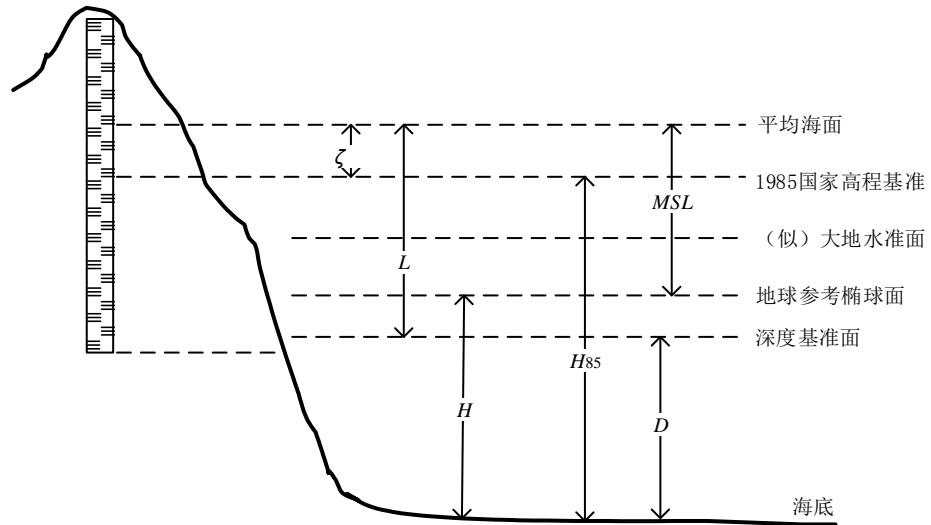
顾及 M 个分潮的 RSS 由公式 (D.2) 计算。

$$RSS = \sqrt{\sum_{k=1}^M RMS_k^2} \quad \dots \dots \dots \quad (D.2)$$

对于某一比对点而言, 式 (D.1) 中取 $N = 1$, 计算各分潮 RMS, 进而由式 (D.2) 计算 RSS。

附录 E
(资料性)
高程基准面与深度基准面的空间相互关系

高程基准面与深度基准面的空间相互关系见图E.1所示。



注 1: H_{85} 表示水深点在 1985 国家高程基准下的高程, 1985 国家高程基准零点向下为负值;

注 2: ζ 表示海面地形, 由海面地形模型内插, 平均海面向下为正值;

注 3: L 表示深度基准面 L 值, 由深度基准面模型内插, 为正值;

注 4: D 表示从深度基准面起算的水深值, 基准面向下为正值;

注 5: H 表示大地高成果, 基准面向上为正值;

注 6: MSL 表示平均海面的大地高, 基准面向上为正值。

图E.1 高程基准面与深度基准面的空间关系示意图

参 考 文 献

- [1] GB 12327 海道测量规范
 - [2] GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
 - [3] GB/T 14911-2008 测绘基本术语
 - [4] GB/T 15918-2010 海洋学综合术语
 - [5] GB/T 17159-2009 大地测量术语
 - [6] GB/T 17501 海洋工程地形测量规范
 - [7] GB/T 17941 数字测绘成果质量要求
 - [8] GB/T 18316 数字测绘成果质量检查与验收
 - [9] GB/T 23709 区域似大地水准面精化基本技术规定
 - [10] GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
 - [11] CH/T 1040 区域似大地水准面精化精度检测技术规程
-