

ICS 07.040
CCS A 76
备案号: XXXX-XXXX

CH

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

内陆水域水下地形测量技术规程

Technical specification for underwater topography survey of inland water areas

报批稿

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	III
引言	IV
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 采用基准.....	2
4.2 精度要求.....	3
4.3 测图比例尺、投影、分幅.....	3
5 技术设计.....	3
5.1 资料收集.....	4
5.2 测区踏勘.....	4
5.3 技术设计书编制.....	4
6 控制测量.....	5
6.1 平面控制测量.....	5
6.2 高程控制测量.....	5
6.3 水位控制测量.....	5
7 水深测量.....	5
7.1 一般规定.....	5
7.2 测深线的布设.....	6
7.3 检查线布设.....	7
7.4 测深仪安装与校准.....	7
7.5 测深定位.....	8
7.6 声速测量.....	9
7.7 单波束测深.....	9
7.8 多波束测深.....	100
7.9 GNSS 三维水深测量	12
7.10 特殊水域测量.....	13
8 数据处理.....	13
8.1 一般规定.....	13
8.2 水位改正.....	14
8.3 吃水改正.....	14
8.4 声速改正.....	14
8.5 单波束数据处理.....	14
8.6 多波束数据处理.....	144
9 水下地形图绘制.....	15
9.1 一般规定.....	15
9.2 等高线绘制要求.....	15
9.3 与陆域的地形图接边.....	15
10 检查验收与资料提交.....	16
10.1 质量检查与验收.....	16
10.2 成果资料的提交.....	17

附录 A（资料性）专业技术设计书的内容和要求	18
A.1 任务概述	18
A.2 测区自然地理概况和已有资料情况	18
A.3 引用文件	18
A.4 主要技术指标	18
A.5 设计方案	18
A.6 安全保障措施和要求	19
A.7 质量保证措施和要求	19
A.8 成果资料提交	19
附录 B（资料性）外业观测记录表	20
附录 C（规范性）测深仪换能器动态吃水改正数测定方法	23
C.1 水准仪定点观测法	23
C.2 水准仪固定断面法	23
C.3 RTK 定位法	24
附录 D（规范性）声速改正的计算	25

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出并归口。

本文件起草单位：江苏省测绘工程院、广东省国土资源测绘院、自然资源部第一大地测量队、长江水利委员会水文局长江口水文水资源勘测局、自然资源部第六地形测量队、山东科技大学、江苏省工程勘测研究院有限责任公司、广东工业大学、中水珠江规划勘测设计有限公司。

本文件主要起草人：张爱明、朱晓武、方位达、黄博、熊晋健、白航、刘胜震、薛剑锋、张建、石波、司加强、张兴福、王小刚。

引 言

为了更好地获取和使用水下地形成果，并将新技术和生产中的经验应用于测绘生产，本文件在总结近年来我国水下地形测量工作的技术设计、控制测量、水深测量、数据处理、水下地形图绘制、检查验收与资料提交等工序经验的基础上，编制了本文件，以满足我国内陆水域水下地形测量的需要。

内陆水域水下地形测量技术规程

1 范围

本文件规定了在湖泊、水库、河流（含口门段）等内陆水域进行水下地形测量的技术指标、技术设计、控制测量、水深测量、数据处理、水下地形图绘制、检查验收与资料提交等方面的方法和要求。

本文件适用于内陆水域 1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000 比例尺的水下地形测量工作。

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 12327-1998 海道测量规范

GB/T 12898 国家三、四等水准测量规范

GB/T 13923 基础地理信息要素分类与代码

GB/T 13989 国家基本比例尺地形图分幅和编号

GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范

GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第 1 部分：1:500 1:1 000 1:2 000 地形图图式

GB/T 20257.2 国家基本比例尺地图图式 第 2 部分：1:5 000 1:10 000 地形图图式

GB/T 20257.3 国家基本比例尺地图图式 第 3 部分：1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图图式

GB/T 24356-2009 测绘成果质量检查与验收

GB 50026 工程测量规范

GB/T 50138 水位观测标准

CH/T 1004 测绘技术设计规定

CH/T 2009 全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水下地形测量 underwater topography survey

对水体覆盖下地物、地貌的测量工作。主要包括测深、定位、绘制地形图等。

[来源：GB/T 50228-2011， 4.4.2]

3.2

GNSS 三维水深测量 GNSS three-dimensional bathymetric survey

集成全球导航卫星系统（GNSS）与测深系统的水下地形点三维坐标获取方法，无需水位观测。

3.3

单波束测深 single beam sounding

通过换能器垂直向下发射短脉冲声波，声波遇到水底发生反射，反射声波被换能器接收，通过声波在换能器与水底之间双程旅行时间和水介质的平均声速来测量水深的方法。

3.4

多波束测深 multibeam sounding

采用发射、接收指向正交的两组声学换能器阵，获得垂直航向、由大量波束测深点组成的测深剖面，并在航行方向上形成由一系列测深剖面构成的测深条带，从而实现高分辨率水下地形测量的一种方法。

[来源：GB/T 12763.10-2007， 3.1]

3.5

水位观测 stage observation

观测河流或其他水体指定位置水位的作业。

[来源：GB/T 5009-2014， 4.4.1]

3.6

水位改正 correction of water level

将测量水深值改正到从规定的基准面起算的深度。

[来源：CH/T 7002-2018， 3.6]

4 总则

4.1 采用基准

4.1.1 大地基准应采用 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时，应与 CGCS2000 建立联系。

4.1.2 高程基准应采用 1985 国家高程基准。

4.1.3 感潮河段采用理论最低潮面或平均海平面作为深度基准面，内河航道宜采用航行基准面作为深度基准面。并应明确与 1985 国家高程基准之间的联系。

4.2 精度要求

4.2.1 图根点相对于邻近平面控制点的点位中误差不应大于图上 0.1 mm。

4.2.2 高程控制测量精度不应低于四等水准测量要求。

4.2.3 水下地形点的平面位置精度不应超过表 1 的规定，困难地区可放宽 0.5 倍。

表 1 水下地形点平面位置精度

测图比例尺	水下地形点平面中误差 m
1:500	0.45
1:1 000	0.90
1:2 000	1.80
1:5 000	3.75
1:10 000、1:25 000、1:50 000	7.50

4.2.4 深度测量中误差不应超过表 2 的规定。

表 2 深度测量中误差

水深深度 H m	测点深度中误差 m
$0 < H \leq 10$	± 0.15
$10 < H \leq 20$	± 0.20
$H > 20$	$\pm H \times 1\%$

4.3 测图比例尺、投影、分幅

4.3.1 应结合国家基本比例尺地图的比例尺系列，根据测量类别、测区范围、水底地貌的复杂程度、实际需要及经济性选用合适的测图比例尺。

4.3.2 宜采用高斯-克吕格投影方式，测图比例尺大于等于 1:10 000 宜采用 3° 带投影，小于 1:10 000 宜采用 6° 带投影，确有必要时，可采用任意带投影。

4.3.3 测图分幅和编号宜按照 GB/T 13989 的规定。也可根据工程需要采用自由分幅。自由分幅时应以较少图幅覆盖整个测区为原则，并按测区统一顺序编号。

5 技术设计

5.1 资料收集

水下地形测量的资料收集宜包括以下内容：

- a) 自然地理、气候气象、水文等；
- b) 交通、通讯、用船、港湾及避风设施等工作条件；
- c) 周边卫星导航定位基准站网、控制点和水准点位置及成果资料；
- d) 水位站（验潮站）点位及成果资料；
- e) 水域周边地形图资料、已有的水下地形（水深测量）资料等；
- f) 其他有关资料。

5.2 测区踏勘

5.2.1 测区踏勘前，宜根据交通情况拟定踏勘线路。

5.2.2 测区踏勘的内容包括：

- a) 测区行政区划、社会情况、自然地理、水文气象、通讯、交通运输、物资器材、医疗卫生、船舶港口、避险及避风港等；
- b) 已知控制点位置、标志类型及保存情况，必要时，实地勘选所需增设的控制点；
- c) 已有水位站（验潮站）的完备情况，必要时，实地勘选所需增设的水位站（验潮站）；
- d) 调查了解测区内障碍物情况；
- e) 测区内水产养殖分布情况；
- f) 其他应调查了解的内容。

5.2.3 宜根据测区情况，编制踏勘报告，踏勘报告的内容宜遵守 CH/T 1004 中的有关规定。

5.3 技术设计书编制

5.3.1 水下地形测量作业前，任务承担单位应进行项目设计（或专业技术设计）。

5.3.2 技术设计的程序应按 CH/T 1004 的要求执行。

5.3.3 项目技术设计书的内容按 CH/T 1004 的有关要求执行，并应考虑以下内容：

- a) 根据测区已知点情况、范围、测图比例尺及精度要求，选择合适的控制测量方法；
- b) 根据任务需要，结合现场踏勘情况，选择合适的测深方法、测深仪器和测量船只，并布设主测深线和测深检查线；
- c) 根据现场踏勘情况，确定水位站（验潮站）位置及水位改正方案；
- d) 根据测区特点和水深测量方法制定安全保障措施和应急预案。

5.3.4 水下地形测量专业技术设计书的内容应符合附录 A 的规定。

6 控制测量

6.1 平面控制测量

6.1.1 平面控制网的布设，应遵循从整体到局部，从高级到低级，逐级布设的原则。在保证精度要求的条件下，可跨级布设。

6.1.2 平面控制网的测量，应优先选用全球导航卫星系统（GNSS）定位测量方法，首级控制网等级不宜低于 E 级，主要技术要求及精度指标应符合 GB/T 18314 的相关规定。

在面积较小的水域，平面控制测量可选用导线测量、三角网测量等方法，首级控制网的等级分别不宜低于四等导线、四等三角网，主要技术要求及精度指标应符合 GB 50026 的相关规定。

可使用全球定位系统实时动态测量（RTK）方法布设图根控制点，主要技术指标应符合 CH/T 2009 的相关规定。

6.1.3 采用精度符合要求的基于卫星导航定位基准站网的网络 RTK 测量定位模式时，可不布设平面控制网。

6.2 高程控制测量

6.2.1 高程控制测量可采用水准测量、三角高程测量、GNSS 拟合高程测量、似大地水准面等方法。

6.2.2 采用水准观测方案时，主要技术要求应符合 GB/T 12898 的相关规定。

6.2.3 采用三角高程测量或 GNSS 拟合高程测量方法时，主要技术要求应符合 GB 50026 的相关规定。

6.2.4 对于已有区域性似大地水准面精化成果的地区，检核后精度符合要求时，可直接采用该成果。

6.3 水位控制测量

6.3.1 使用水位数据获取水底高程时，应进行水位观测。

6.3.2 水位站布设、水位观测应符合 GB/T 50138 的相关规定。

6.3.3 使用 GNSS 三维水深测量时，水位观测可作为检核验证。

7 水深测量

7.1 一般规定

7.1.1 水深测量前应检查平面和高程控制点，校对基准面与水尺零点或自记水位计零点的

关系。

7.1.2 水深测量宜采用有数字记录的单波束回声测深仪、多波束回声测深仪，在浅水区、水底树林和杂草丛生水域可以采用测深杆或测深锤。

7.1.3 测深前测量船应与水位站及定位站校对时间。当采用内外业一体化水深测量系统时，应进行导航时延校正。

7.1.4 水下地形测量开始前应了解测区的礁石、沉船、水流、险滩等水下情况。测深应在风浪较小的情况下进行。内河波高超过 0.4m 时，应停止作业。采用姿态传感器进行改正时可适当放宽。

7.1.5 一般情况下，测船航行宜保持基本匀速并按测深线航行，避免突进突退的现象。更换测深线或避让障碍物时，不宜短时间大角度地变换方向。

7.2 测深线的布设

7.2.1 当采用单波束测深仪测深时，测深线应按如下要求布设：

a) 主测深线方向宜垂直于等高线总方向，对于狭窄水域，测深线方向可与等高线成 45°角；

b) 沙嘴、岬角、石陂延伸处，一般应布设辐射线，如布设辐射线仍难以查明其延伸范围时，则应适当布设平行其轮廓线的测深线；

c) 重要湖（库）区的礁石与小岛周围应布设螺旋形测深线；

d) 锯齿形岸线，测深线应与岸线总方向成 45°角；

e) 码头处测深线可根据实际情况适当加密，以便反映码头的地形变化。

7.2.2 单波束测深时，不同测区应布设一条重合的测深线，不同时期测深的相邻测区应布设两条重合测深线。

7.2.3 单波束水下地形测深线间距宜为图上 1~2cm，测点间距宜为图上 0.8~1.5cm。地形变化显著地段应适当加密，以完善反映水底地形为原则。

7.2.4 当采用多波束测深系统测深时，主测深线方向原则上应平行于等高线的总方向（或河道走向），测深线间距应视测量船只、水下地形、作业目的及仪器标称指标等多种因素综合考虑。

7.2.5 使用多波束测深时，测深条带间的重叠应不小于 10%。

7.2.6 困难区域，可采用人工涉水或无人船搭载测深设备采集数据，测量路线设计时将测量的要求与测区的实际特点结合起来考虑。

7.3 检查线布设

- 7.3.1 检查线宜垂直于主测深线布设。
- 7.3.2 单波束检查线长度不应小于主测深线总长度的 5%，多波束检查线长度不应小于主测深线总长度的 1%。检查线的定位点间距可以根据测量比例，加密至在规定范围内与主测深线保证有重合点。检查线在测区内应分布均匀合理。
- 7.3.3 采用多波束进行检查线测量时，应使用中央区域的波束进行比对分析。
- 7.3.4 检查线测点点距应小于主测深线测点点距的 0.5 倍。
- 7.3.5 检查线与主测深线相交处，图上 1 mm 范围内水深点的深度比对互差应符合表 6 的规定，超限的点数不得超过参加比对总点数的 10%。

表 6 深度比对互差要求

水深 H m	深度比对互差 m
$H \leq 10$	≤ 0.30
$10 < H \leq 20$	≤ 0.40
$H > 20$	$\leq 0.02H$

7.3.6 主测深线与检查线比对超限，或虽未超限，但存在系统误差以及对测量成果质量有疑问时，均应分析原因正确处理，并将处理情况写入技术总结。

7.4 测深仪安装与校准

7.4.1 一般规定

- 7.4.1.1 测深仪换能器宜安装在距测量船船首 1/2-1/3 船长处，GNSS 天线宜安装在测深仪换能器的正上方且净空条件好。为后续计算方便，应通过图示记录准确描述测深仪换能器与 GNSS 天线的相对位置，换能器与 GNSS 天线在竖直方向上的距离需量取两次，两次测量的互差应小于 20 mm，在限差范围内取其均值作为测量结果。
- 7.4.1.2 船载测深系统安装后通电调试，应检查各仪器工作是否正常稳定，如果有影响系统正常工作的因素要排除干扰源或调整安装位置，直至系统正常。
- 7.4.1.3 测深仪换能器的静态入水深度（静吃水）为水面至换能器参考面的距离，每天测量前后应准确量取，测量过程中更换换能器时，也应及时量取并记录。
- 7.4.1.4 应根据现场实测的声速数据和静吃水正确设置测深仪的相应参数。
- 7.4.1.5 应选择代表性的区域进行测深仪检校，测深设备进行稳定性试验。比测板进行检校时，比测水深在不小于 2 m。

7.4.1.6 比测板应采用硬质或无伸缩性的材料制成，测前及测后应使用有效量程的量具进行长度校准。

7.4.2 多波束安装与校准

7.4.2.1 多波束测深系统作业前，应完成系统安装和系统校准，然后进行声速剖面测量并对实时测量质量进行监控。对于自校准多波束测深系统，可免于系统校准。

7.4.2.2 多波束测深系统安装应符合下列原则：

- a) 多波束测深系统换能器应固定安装在噪声低且不容易产生气泡位置；
- b) 姿态传感器安装位置尽可能靠近多波束换能器；
- c) 艏向测量仪宜安装在测量船的首尾（龙骨）线上，参考方向指向船首；
- d) 多波束换能器、姿态传感器及 GNSS 定位天线与参考点之间三维空间位置关系测量精确至 0.01m。

7.4.2.3 安装完毕后应对多波束测深系统进行校准：

- a) 校准测量前，实时采集校准区域声速剖面，对多波束测深系统进行实时声速改正；
- b) 永久固定安装在大型测量船上的多波束测量系统，长期连续执行测量任务期间，每年应进行不少于一次系统安装参数校准；非连续测量任务，每个测量任务实施前应进行系统安装参数校准；临时安装在小型测量船上的多波束测量系统，每次实施测量任务前应进行系统安装参数校准；
- c) 外业测量期间，除 GNSS 天线位置改变外，其他任何传感器位置发生变化，则应重新进行系统校准。

7.5 测深定位

7.5.1 根据设备和工作水域的情况，宜优先采用 GNSS 定位法。特殊情况下，也可采用交会法、极坐标法、断面索法等。

7.5.2 GNSS 定位法包括精密单点定位（PPP）、实时载波-相位差分定位（RTK）、后处理差分定位（PPK）等方法。PPP 和 PPK 不宜用于大比例尺地形图的导航定位。

7.5.3 使用 RTK 或 PPK 进行测量，应将流动站架设到未参与转换计算的控制点上进行检测比对，平面坐标互差不应大于 50 mm，高程互差应不大于 $30\sqrt{D}$ mm，D 为基准站到检查点的距离，小于 1 km 时以 1 km 计。采用网络 RTK 时，高程互差不应大于 0.1 m。

7.5.4 使用 PPK 进行测量时，基站数据采集时间需要包含流动站采集时段，并且宜在开始流动站记录至少 5 min 前开始测深记录，在结束测深记录至少 5 min 后再结束流动站记录，

保证流动站有一定的收敛时间。

7.5.5 测深定位中，应实时监控流动站状态，保证对四颗以上卫星的连续跟踪。一旦失锁，则需要等待重新锁定并收敛后再开始测量。

7.5.6 使用 RTK、星站差分等方式进行测量时，流动站的数据更新率不应小于 10Hz。

7.6 声速测量

7.6.1 声速测量有直接法和间接法两种。直接法采用声速仪或声速剖面仪直接测量水体的声速或声速剖面；间接法通过量测水体的温度、盐度、深度等变量，根据声速公式计算水体的声速或声速剖面（见附录 D）。

7.6.2 每次作业前应在测区内有代表性的水域测定声速剖面，每个声速剖面的控制区域半径不宜大于 20 km，每个声速剖面数据使用时间不大于 1 天，特殊水文条件下应适当增加声速剖面的测量。

7.6.3 声速剖面仪使用应遵循如下的要求：

- a) 声速剖面仪入水前应进行电源（电池）电压、水密性等检查，以确保设备状态良好。开始测量前应进行试测，以确保设备采集数据、导出文件等正常；
- b) 声速剖面仪应在空气环境下开启电源，测量前应在水面进行气压校正；
- c) 声速剖面仪入水后应保持停留 2 min 以上，以消除设备的空气环境温度影响，设备在水中下放及提升应保持缓慢匀速；
- d) 声速剖面仪测量数据宜采用从水底至水面的记录数据；
- e) 在测量前，操作人员应了解测区水深、水流及水下障碍物等分布情况，以确保选择合适安全的投放位置；
- f) 测量结束后应对声速剖面仪各传感器进行清洁、除湿后再装入设备箱。

7.7 单波束测深

7.7.1 使用单波束测量时，采集系统应满足下列规定：

- a) 作业前应对系统设置的投影参数、椭球体参数、坐标转换参数以及校准参数等数据进行检查；
- b) 应选择适用的自动采集系统，系统所采用的测深和定位设备的测量精度以及计算各参数的有效位数应符合规范要求；
- c) 每天作业前，应检查测量船的水舱和油舱的平衡情况，保持船舶的前后及左右舷的吃水一致；

d) 采集数据前, 船只应按预定的航速和航向稳定航行不少于 1 min;

e) 测量过程中, 应实时监测测深设备的运行状态, 发生故障时应停止作业, 现场质量监控的主要内容包括:

- 1) 观察系统状态显示和波束信息, 监视系统各传感器的工作状况和波束的质量;
- 2) 观察航迹显示, 监视定位数据是否出现异常;
- 3) 观察硬盘数据记录设备的工作是否正常, 确保测量数据的完整记录;
- 4) 随时查看测深线间距和测点间距是否达到要求, 防止出现漏测现象;
- 5) 测深线开始、结束时应各记录一次班报, 所有的参数设置及其更改应在班报中

记录; 遇到系统故障和航向、航速、水深突变等特殊情况, 要有记录;

6) 测深现场记录表(参见附录 B 表 B.1)需按要求填写完整, 包括: 测量日期、测深线号、测量人员、仪器设备信息、吃水深度等;

7) 测量过程中出现的异常情况, 如换能器吃水深度、天线高度变化等情况要详细记录在测深现场记录表中;

8) 每天工作结束后, 由专人负责及时备份全部原始数据及其归档数据管理。并对获取的原始数据和资料进行全面检查, 对有疑议的数据和资料应查明原因并改正。

7.7.2 测深时, 应进行定位和水深数据的实时综合采集与记录, 数据采集按等距方式采集。

7.7.3 单波束水深测量时, 以下情况应进行补测或重测:

- a) 测深线间距大于设计的 1.5 倍, 应进行补测;
- b) 测深仪信号不正常, 无法量取水深时, 应进行补测;
- c) 连续漏测 2 个以上定位点时, 应进行补测;
- d) 深度比对超限点数超过参加比对总点数的 10%时, 应进行重测;
- e) 确认有系统误差, 但又无法消除或改正时, 应进行重测;
- f) 主、检比对超过规范要求时, 应进行补测或重测;
- g) 水位观测不符合要求时, 应进行重测;
- h) 测深数据无法完整反映水下地形地貌时, 应进行补测或重测;
- i) 水下地形或拼接地带出现明显异常, 无法查明原因时, 应进行重测。

7.8 多波束测深

7.8.1 系统安装完成后, 应通电测试, 检查各个设备单元是否正常工作。采集软件配置坐标系统、船体文件、设备位置关系及导航背景文件等。

7.8.2 多波束扫测前、后应进行系统安装偏差校准。当扫测工作日较长时，应在扫测期间适当增加系统校准频次。扫测过程中发生仪器设备更换、维修、移位等情况时，应重新进行系统校准，对于有免校准系统可不考虑该项。

7.8.3 多波束校准是测定换能器的安装偏差角度，主要偏差参数为横摇、纵摇和艏向。目前对于没有时间同步技术的多波束系统，还应进行时延测定。横摇校准的位置应选择平坦河床水域，纵摇和艏向校准的位置选择河床面具有 10°以上的平顺斜坡或礁石、沉船等独立特征地物。

7.8.4 作业过程中，应实时监控多波束测深系统各传感器工作状态，任何设备出现异常时应立即停止作业。

7.8.5 对于高含沙量水域、流态底质河床，应在水流平缓时期进行多波束扫测，避开水流涨急、落急期。

7.8.6 作业过程中应现场填写现场记录表（见附录 B），并根据多波束测量系统质量监控功能监控实时测量质量，具体要求如下：

- a) 严密监视系统显示控制窗口，以监控系统各项波束数、实时姿态、位置、方位等信息及返回波束质量是否正常；
- b) 监控相邻测深线测量条幅覆盖是否符合要求，确保条幅覆盖不小于 10 % ；
- c) 监控数据实时记录介质记录状态及容量，确保能正确记录采集的多波束测深数据；
- d) 观察条幅剖面显示，监视声呐设置参数、横摇偏差补偿是否正确，条幅波束是否完整和表面声速是否失效；
- e) 观察航迹显示，监视定位数据是否出现异常；
- f) 观察硬盘数据记录设备的工作是否正常，确保测量数据的完整记录；

7.8.7 在多波束测深时还应注意以下事项：

- a) 对于固定安装的，宜对安装偏差每年标定一次，并在每航次正式测量前，至少测量一条长度为 2~3 km 的往返测深线，以确认其数值准确；
- b) 在确保回波信号质量和各种噪声水平较低的前提下，最大船速不应大于下列公式计算限值：

$$V = 2 \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \times (H_m - D) \times n \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

V ——最大船速，单位为米每秒（m/s）；

θ ——纵向波束角，单位为度（°）；

H_m ——测区某一测段的最浅水深，单位为米（m）；

D ——换能器吃水，单位为米（m）；

n ——多波束每秒钟的采样数，单位为赫兹（Hz）。

c) 当姿态传感器不能准确测出横摇或纵倾时应停止作业；

d) 测深线测量过程中应详细记录班报，所有的参数设置及其更改应在班报中记录；遇到系统故障和航向、航速、水深突变等特殊情况应准确记录在班报中。

7.8.8 多波束测深系统水下数据采集补测与重测应符合下列要求：

a) 测量区域内水深漏空或相邻测深线的重叠度宽度不符合规定，应进行补测；

b) 如发现覆盖不足或测量漏空、定位定姿系统（POS）信号质量不满足精度要求等情况，要及时进行补测或重测，出现以下情况应补测：

1) 条幅重叠率 $<10\%$ 的区块以及出现异常波束的区块面积累计超过测区总面积的 1% ；

2) 单个空白区块的宽度大于水深的 20% 。

c) 水深异常、信号质量不满足测深精度要求等情况，应进行重测；

d) 使用的系统未按规定校准或比对精度超限，应进行重测；

e) 声速数据不符合改正要求，应进行补测或重测；

f) 主测深线与检查线比对超限的点数超过参加比对总点数的 10% ，应进行补测或重测；

g) 相邻测深线或不同测量日期所测数据拼接误差超限，应进行补测或重测。拼接误差按照表6的要求执行；

h) 确认有系统误差，但又无法消除或改正，应进行重测。

7.9 GNSS 三维水深测量

7.9.1 实施 GNSS 三维水深测量应建立测区内大地高和正常高的转换模型，且不宜外扩使用。

7.9.2 高程转换模型宜优先选用区域似大地水准面模型。

7.9.3 用于求解高程转换模型参数的已知点应覆盖整个水深测量区域，且分布均匀；坐标转换的点位精度应优于 5 cm ，垂直基准转换的精度应优于 5 cm ；应避免在转换参数有效范围外实施测深作业。

7.9.4 当采用 RTK 测量时，应保持数据链的连续稳定，PDOP 值（位置精度因子）应小于等于 6。

7.9.5 当采用 PPK 测量时，基准站静态数据记录和流动站动态测量数据记录应连续稳定，测量过程中 GNSS 保持锁定状态，以便能在后处理中得到连续的固定解。

7.9.6 姿态传感器和罗经宜安装在换能器旁，并测定其与换能器、GNSS 接收机天线相位中心之间的位置关系，建立船体坐标系。

7.9.7 应准确测定 GNSS 接收机至换能器的垂直距离，读数到 1cm，以便计算测深点的大地高。

7.10 特殊水域测量

7.10.1 边滩浅水区水下地形测量

a) 边滩浅水区包括沿岸边滩和岛的边滩。测船难以航行时，应人工涉水施测，按照陆上地形碎部点测量方法施测；

b) 边滩浅水区应尽可能趁高水位时采用敞水区的作业方法实施，在水草或淤泥区可采用专业测深杆配合定位设备，人工定标并记录测深杆实测水深。

7.10.2 水产养殖区的水下地形测量

船只难以抵达的养殖区域，可适当调整测深线间距或增大测点间距离。

7.10.3 助航标志及航道等地形要素的采集

a) 助航标应在平潮时观测测区内所有助航标志。

b) 主航道内当采用单波束测深仪测深时，船行路线宜按“S”形，密集采集航道内的水底高程。

c) 主航道和边滩浅水区有部分高出水面隔堤，应在特征点处采集堤顶高程并采集航道两侧高出水面的隔堤线。

8 数据处理

8.1 一般规定

8.1.1 数据处理前，发现外业资料有矛盾、错误或可疑的问题时，应对有关资料进行校对，具体分析，正确处理，并把处理结果填入问题登记表，以备考查。

8.1.2 如使用有记录纸的测深仪，记录纸的填写和注记要求，按照 GB 12327-1998 中 6.8.2.2 的要求执行。

8.1.3 数据处理时，应结合外业测量记录对水深数据进行改正，包括水位改正、吃水改正、

声速改正等。

8.2 水位改正

水位改正方法按 GB/T 50138 中的要求执行。

8.3 吃水改正

8.3.1 外业测量时如果没有对水深数据进行实时吃水改正，后处理时应根据所记录的换能器吃水值对水深数据进行吃水改正，吃水改正应精确至 0.01m。

8.3.2 由于测量船自身重量改变引起的吃水改变，应根据测量前和测量后的吃水值，计算对应各时间的实际吃水值，当动态吃水变化大于 5 cm 时，应顾及动态吃水改正。动态吃水计算方法应符合附录 C 的规定。

8.4 声速改正

8.4.1 当设计声速（水深测量时输入测深仪的声速）与测点的平均声速差大于 3 m/s 时，应对水深测点进行声速改正。

8.4.2 如没有实测声速，应按照附录 D 进行声速改正，获取深度改正量。

8.4.3 声速变化不大时，可用平均声速进行声速改正，否则应分层改正。

8.5 单波束数据处理

8.5.1 对于连续记录水深数据的软件，应先根据连续测量数据进行测深数据滤波，剔除掉伪水深值，剔除数据率不应大于 10%。发现水深曲线突变等不符合变化规律时，应查找原因，必要时应对水深突变区域进行补测；对于非连续记录测量数据（仅记录定标时刻的测量数据）的软件，应对照测深记录，确认每一个测深数据的正确性。

8.5.2 水深无法判读及明显不合理的点应根据测量记事簿记录、相邻测点或相邻测深线水深平滑处理。

8.5.3 在没有涌浪滤波装置且受风浪影响而回波信号呈现波浪状时，连线应勾绘在回波信号的距波峰 1/3 处。

8.5.4 一般情况下，水深应保留至 0.01 m。

8.5.5 内插两定位点间的特殊水深点，插点标记线应平行于定位点标记线。检查线与主测深线之交点和所有特殊深度均不应遗漏，准确量取。

8.6 多波束数据处理

8.6.1 在数据转换、处理前，宜形成符合数据处理软件要求的文件目录结构，并依据需要

设置投影参数、椭球体参数、坐标转换参数、各传感器的参数等。

8.6.2 水深编辑时,应根据水底地形、各波束测得的水深数据的质量选择合理的参数滤波。

对于无法判断的点,应从作业水域、回波个数、信号质量等方面进行分析。

8.6.3 在水深数据经过编辑及改正后,应再次对所有水深数据进行综合检查,并进行评估,剔除不合理的水深数据。

9 水下地形图绘制

9.1 一般规定

9.1.1 水下地形图的要素及其相关注记,具体内容应符合 GB/T 13923 的有关规定,图廓整饰要素具体内容应符合 GB/T 20257.1、GB/T 20257.2、GB/T 20257.3 的有关规定。

9.1.2 地形要素之间应关系协调、层次分明,综合取舍合理。

9.1.3 图面清晰易读,符号、注记密度配置合理,且不应出现压盖现象,各符号之间的间隔不应小于图上 0.3 mm。

9.2 等高线绘制要求

9.2.1 同一幅图内宜采用一种等高距。

9.2.2 当水底平坦,基本等高线不能明确反映水底地貌时,可加绘助曲线和间曲线。计曲线间距小于图上 3 mm 时,不插绘首曲线。

9.2.3 等高线可在测深精度两倍范围内移动,勾绘成平滑的曲线。

9.2.4 计曲线以图上 0.2 mm 的实线表示;首曲线以图上 0.1 mm 的实线表示,辅助等高线以图上 0.1 mm 的虚线表示。

9.2.5 平坦水域有若干相同高程点时,等高线宜通过靠深的一侧勾绘,当等高线不符合地貌形态时,个别点的高程允许调整 0.1 m。

9.2.6 当两条等高线之间的距离小于图上 1 mm 时,应保持较浅等高线的完整,将较深的等高线中断在较浅的等高线附近;当近岸侧等高线无法精确勾绘时,等高线可在距岸图上 1~2 mm 位置中断在岸线附近。

9.3 与陆域的地形图接边

9.3.1 图幅地物最大接边误差应小于水下地形点中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍,接合处等高线的误差为高程中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍,并保证地物、地貌的相对位置和正确走向,地物、地貌拼接不得产生变形。

9.3.2 陆地等高线、水涯线与水下等高线用实线表示，根据项目需求水下等高线可用不同于陆地等高线的颜色实线表示。

10 检查验收与资料提交

10.1 质量检查与验收

10.1.1 检查验收和质量处理应按照 GB/T 24356 相关章节内容执行。

10.1.2 数据成果质量通过二级检查一级验收，成果应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，其要求如下：

a) 测绘单位宜实施测量成果质量的过程检查和最终检查。过程检查应采用全数检查。最终检查宜采用全数检查，涉及野外检查项的可采用抽样检查(样本量执行 GB/T 24356-2009 表 4 有关规定)，样本以外的应实施内业全数检查；

b) 验收宜采用抽样检查，样本量同最终检查有关规定。质量检验机构应对样本进行详查，必要时可对样本外的单位成果的重要检查项进行概查；

c) 各级检查验收工作应独立、按照顺序进行，不得省略、代替或颠倒顺序；

d) 最终检查应审核过程检查记录，验收应审核最终检查记录。审核发现问题作为资料质量错漏处理。

10.1.3 检查宜包括以下内容：

a) 控制测量资料的合理性、完整性和正确性；

b) 仪器选择的合理性及检定证书的完整性，仪器设备安装的正确性；

c) 水位站布设的合理性及设备的安装可靠性；

d) 水位站基准引测的正确性；

e) 测深线趋势、测深线间距及测点间距设置与测量的符合性；

f) 静吃水与动吃水、声速剖面、姿态改正及测量系统时延检测方法、记录及设置文件的正确性与合理性，水深处理、验算情况和计算结果的正确性；

g) 观测数据记录和处理的完整性、正确性；

h) 水深粗差剔除点及特征水深点选取方法的正确性、符合性；

i) 成果重测与取舍的正确性、合理性，重复观测成果的符合性；

j) 水下地形图绘制的正确性；

k) 技术总结内容的全面性；

- l) 提供成果资料项目的完整性。

10.2 成果资料的提交

水下地形测量根据项目要求，提交资料宜包括以下内容：

- a) 技术设计书；
- b) 仪器检定（校准或自检）资料；
- c) 计算资料；
- d) 外业观测手簿；
- e) 控制测量原始观测数据及成果表；
- f) 水位资料，包括水位站的水准连测资料、水位观测资料；
- g) 水深测量、处理记录和数据文件；
- h) 成果图件及图幅接合表；
- i) 技术总结；
- j) 检查报告和验收报告；
- k) 其他资料。

附录 A
(规范性)
专业技术设计书的内容和要求

A.1 任务概述

说明任务来源、测区范围、地理位置、行政隶属、内容、任务量等基本情况。

A.2 测区自然地理概况和已有资料情况

A.2.1 测区自然地理概况

根据需要说明与设计方案或作业有关的测区自然地理概况，内容可包括测区地理特征、水系、水文、居民地、交通、气候、风雨季节情况和困难类别等。

A.2.2 已有资料情况

说明已有控制资料的平面和高程基准、精度及其点位分布等；说明已有地形图资料采用的平面高程基准、比例尺、等高距、测制单位和年代等；说明已有水位观测、验潮资料的施测方法、测量精度、采用基准等。说明已有资料的主要质量状况和评价，利用的可能性和利用方案等。

A.3 引用文件

说明专业技术设计书编写中所引用的标准、规范或其他技术文件。文件一经引用，便构成专业技术设计书设计内容的一部分。

A.4 主要技术指标

说明项目控制测量应达到的精度指标，说明水下地形测量成果的坐标系、高程基准、投影方法、测深精度、数据质量要求，成果图件的比例尺、投影方式、分幅类型、等高距、成图方法、数据精度、格式、基本内容、图式，以及其他主要技术指标等。

A.5 设计方案

A.5.1 软硬件配置

规定作业所需的测量仪器的类型、数量、精度指标，以及对仪器校准或检定的要求，规定对作业所需的数据处理、存储与传输等设备的要求；

规定作业所需的专业应用软件及其他软、硬件配置方面需特别规定的要求。

A.5.2 技术路线和工作流程

规定任务开展的技术路线和流程。

A.5.3 控制测量

规定平面控制网、高程控制网和水位站点的布设、测量、数据处理、成果整理等的要求。

A. 5. 4 水深测量

规定测深线布设、测深系统组成及安装和校准、测深仪吃水测量、声速测量、导航延时测定、定位与水深测量等的技术流程和质量要求。采用新技术、新设备、新方法、新工艺时，应规定相关的技术要求，并规定必要的比测方法和精度要求。

A. 5. 5 水涯线测量

根据测区实际情况确定水涯线测量技术方法和手段，提出测量要求。

A. 5. 6 数据处理和资料整理

规定控制测量、水深测量、陆域地形测量的数据处理要求，明确数据改正内容和计算方法，规定水深测量成果转换为水下地形成果的技术流程和具体方案，规定控制测量、水深测量成果汇编要求以及地形图整饰要求等。

A. 6 安全保障措施和要求

规定水上作业安全生产基本要求，根据测区实际情况制定应急预案。规定作业中产生的原始测量数据、过程成果、最终成果等数据存储和备份要求，制定保密措施。

A. 7 质量保证措施和要求

规定任务开展的组织管理、资源管理、作业质量控制、各级检查及整改等要求。

A. 8 成果资料提交

包括资料上交和归档的内容、规格、数量等要求。

附录 B
(资料性)
外业观测记录表

表 B.1 为单波束测深现场记录表, 表 B.2 为多波束测深现场记录表, 表 B.3 为水位观测记录表。

表 B. 1 单波束测深现场记录表

项目名称			测量日期	
测船	船名		测量员	
测量设备	定位仪型号、编号		测深仪型号、编号	
	声速仪型号、编号			
比测	水深比测 (m)	仪 器: 比测板:		
仪 器 安 装	测深仪		定位仪	
	项目	数据	项目	数据
	静吃水 (m)		天线底部— 水面高(m)	
	声速仪值 (m/s)		定位模式及 差分信号源	
测 量 记 录	文件名	记事	文件名	记事

表 B.2 多波束测深现场记录表

测量项目:

测量区域:

测量日期:

测量船舶:

天气情况:

测量人员:

序号	文 件 名	上线时间	下线时间	航 向	航 速	备 注
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
声 速 测 量	测量时间	测量位置 (B, L)		表层声速	最深水深	备注
静吃水：采集模式：						
备注：						

表 B.3 水位观测记录表

[illegible]

观测:

审核:

附录 C
(规范性)
测深仪换能器动态吃水改正数测定方法

C.1 水准仪定点观测法

C.1.1 采用水准仪定点观测法测定测深仪换能器动态吃水改正数可按下列步骤进行：

- a) 选定合适的观测水域，其水深近似于测区水深，测设观测点位设浮标标定；
- b) 在岸上选择高度适当的观测站架设水准仪，其观测方向与测船计划航向的夹角不大于 50°；
- c) 水准尺竖立在换能器安装处的横向适当位置，并标定尺位；
- d) 使测船在观测点处于静止状态，用水准仪在测站上连续读取标尺读数 5 次以上，取其平均值作为静态观测值；
- e) 以测深时的船速连续通过观测点 5 次以上，用水准仪分别读取各次标尺读数，取其平均值作为动态观测值；
- f) 按第 d) 项的方法，再测定一次静态观测值；
- g) 测量期间同时观测水位，计算时消除水位变化的影响。

C.1.2 动态吃水改正数可按下式计算：

$$\Delta h = h_0 - \frac{h'_j + h''_j}{2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Δh ——动态吃水改正数，单位为米（m）；

h_0 ——动态观测值，单位为米（m）；

h'_j 、 h''_j ——分别为前后两次静态观测值，单位为米（m）。

C.2 水准仪固定断面法

C.2.1 采用水准仪固定断面法测定测深仪换能器动态吃水改正数可按下列步骤进行：

- a) 确定水准仪的视线高，并在岸上用导标或经纬仪视线标定；
- b) 使测船漂流通过观测断面，用水准法连续观测 2 次，测得测船通过断面时的水准尺读数的平均值；
- c) 调转测船，以测深时的船速连续往返通过观测断面 4 次，用水准仪读取每次通过断面时的标尺读数，用经纬仪读其视距；

d) 测量期间同时观测水位，计算时消除水位变化的影响。

C. 2. 2 动吃水改正数可按下式计算：

$$\Delta h = \bar{h}_2 - \bar{h}_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Δh ——动吃水改正数，单位为米（m）；

\bar{h}_1 ——测船漂流于观测断面时，船上水准尺读数的平均值，单位为米（m）；

\bar{h}_2 ——测船以测深时速度通过断面时，船上水准尺读数的平均值，单位为米（m）。

C. 2. 3 水准仪 i 角大于 6" 时，应用经纬仪读取视距，计算水准仪观测值改正数，采用改正后的观测值进行计算。两岸水位差大于 0.05 m 时，还应进行比降改正。

C. 3 RTK 定位法

C. 3. 1 采用 RTK 定位法测定测深仪换能器动吃水改正数可按下列步骤进行：

- a) 选择一个 RTK 定位设备可正常工作水域，且风浪较小的平潮时段；
- b) 测量期间同时观测水位，计算时消除水位变化的影响；
- c) 把流动站 GNSS 天线固定于换能器正上方；
- d) 在测船自由漂浮状态下记录 RTK 定位数据 1 min，定位更新率为 1 Hz；
- e) 测船加速至正常测量时的速度，再记录 RTK 定位数据 1 min。

C. 3. 2 动态吃水改正数应按下式计算：

$$\Delta h = \bar{h}_2 - \bar{h}_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Δh ——动吃水改正数，单位为米（m）；

\bar{h}_1 ——测船以测深时速度运动时，RTK 高程读数的平均值，单位为米（m）；

\bar{h}_2 ——测船自由漂流时 RTK 高程读数的平均值，单位为米（m）。

C. 3. 3 重复上述过程 3 次，取 3 次的平均值作为最终的动态吃水改正数。

附录 D
(规范性)
声速改正的计算

水中的声速按照下式计算：

潮汐河段、近海水域声速计算公式：

$$C=1449.2+4.6T-0.055T^2+0.000297T^3+(1.34-0.01T)(S-35)+0.017D \dots\dots\dots (4)$$

非潮汐河段、内陆水域等声速计算公式：

$$C=1410+4.21T-0.037T^2+1.14S \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- C ——水中声速，单位为米每秒 (m/s)；
 T ——水温，单位为摄氏度 (° C)；
 S ——盐度分数，单位为千分之一 (‰)；
 D ——深度，单位为米 (m)。

式 (4) 为计算某一水层声速时采用的公式。若计算从水面至某一深度的平均声速 C_m ，

式 (4) 中的 T 、 S 、 D 应以其平均值 T_n 、 S_n 、 D_n 代入计算，即得到计算平均声速的近似公式：

$$T_n = \sum_{i=1}^n d_i T_i / \sum_{i=1}^n d_i \dots\dots\dots (6)$$

$$S_n = \sum_{i=1}^n d_i S_i / \sum_{i=1}^n d_i \dots\dots\dots (7)$$

$$D_n = D / 2 \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- d_i ——各水层厚度，单位为米 (m)；
 T_i ——各水层的温度，单位为摄氏度 (° C)；
 S_i ——各水层的盐度分数，单位为千分之一 (‰)；

声速改正如下：

水深声速改正值应按式 (9) 计算：

$$\Delta H_c = \left[\frac{C_m}{C_0} - 1 \right] H \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

ΔH_c ——深度改正值，单位为米（m）；

H ——未改正水深值，单位为米（m）；

C_m ——平均声速，单位为米每秒（m/s）；

C_0 ——设计声速，单位为米每秒（m/s），即测量时输入测深仪的声速。
