

ICS 07.060  
CCS A 45

**HY**

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T ××××—20××

## 船载海陆地形地貌一体化调查技术要求

Technical requirement for terrain and topography integration survey of land-ocean transitional zone

(报批稿)

20××-××-××发布

20××-××-××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 总则.....	2
4.1 目的.....	2
4.2 船载一体化调查系统组成.....	2
4.3 船载一体化调查内容.....	2
4.4 采用基准.....	2
4.5 时间系统.....	2
4.6 测量要求.....	3
4.7 质量要求.....	3
5 技术设计.....	4
5.1 技术设计依据.....	4
5.2 项目设计.....	4
5.3 专业设计.....	4
5.4 调查实施计划.....	5
6 调查实施.....	5
6.1 测前准备.....	5
6.2 外业采集.....	7
7 成果制作及质量检查.....	7
7.1 预处理内容.....	7
7.2 点云坐标计算.....	8
7.3 投影转换.....	8
7.4 垂直基准转换.....	8
7.5 点云编辑.....	8
7.6 点云分类.....	8
7.7 数字高程模型制作.....	8
7.8 质量检查.....	9
8 资料整理与归档.....	10
8.1 归档要求.....	10
8.2 归档内容.....	10
附录 A（资料性）系统检校方法.....	11
A.1 概述.....	11
A.2 室内粗检校.....	11
A.3 室外精检校.....	12
附录 B（资料性）船载海陆地形地貌一体化调查班报.....	13
附录 C（资料性）测点的位置归算.....	18
C.1 相关坐标系的定义.....	18
C.2 传感器坐标系到载体坐标系的转换.....	19
C.3 载体坐标系到当地水平坐标系的转换.....	19
C.4 当地水平坐标系到大地坐标系的转换.....	20
参考文献.....	22

## 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/TC283）归口。

本文件起草单位：山东科技大学、自然资源部第二海洋研究所、交通运输部天津水运工程科学研究院、青岛秀山移动测量有限公司。

本文件主要起草人：阳凡林、石波、吴自银、杨鲲、李国玉、卢秀山、李守军、尚继宏、隋海琛、亓超、赵获能、崔晓东、李丁硕。

# 船载海陆地形地貌一体化调查技术要求

## 1 范围

本文件规定了船载海陆地形地貌一体化调查的总则、技术设计、调查实施、成果制作及质量检查和资料整理与归档等技术要求。

本文件适用于1:500~1:2 000船载海陆过渡带区域地形地貌一体化调查，其他性质的海陆地形地貌调查工程可参照执行。

## 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 12763.2—2007 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测

GB/T 12898—2009 国家三、四等水准测量规范

GB/T 17501—2017 海洋工程地形测量规范

CH/T 8023—2011 机载激光雷达数据处理技术规范

CH/T 9008.2—2010 基础地理信息数字成果1:500、1:1000、1:2000数字高程模型

## 3 术语和定义

CH/T 8023—2011界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**海陆过渡带** land-ocean transitional zone

受潮汐涨落海水影响的潮间带及其两侧一定范围的陆地和浅海，一般各不超过1 km。

### 3.2

**垂直基准** vertical datum

地理空间信息在垂直方向的起算面或参考基准面。

注：包含高程基准、深度基准、重力基准和平均海平面等，本文件涉及高程基准、深度基准和平均海平面。

### 3.3

**组合定位定姿系统** integrated positioning and orientation system; integrated POS

利用全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）和惯性导航系统（Inertial Navigation System, INS）直接确定传感器空间位置和姿态的组合系统。

### 3.4

**船载一体化调查系统** integrated shipborne survey system

以水面船只（含无人船）等为载体，通过一体化集成激光扫描仪、多波束测深仪、组合定位定姿系统等多种传感器，进行海陆过渡带地形地貌调查的系统。

### 3.5

#### 点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

[来源：CH/T 8023—2011，3.3]

### 3.6

#### 工业测量系统 industrial measuring system

利用高精度电子经纬仪，对物面上的测点按一定程序进行方位和距离测量，并利用数据处理后给出的点云形成被测物形状或数学模型的测量系统。

## 4 总则

### 4.1 目的

统一船载海陆地形地貌一体化调查技术要求，保证测量成果的质量可靠性和数据适用性，保证测量工作的安全性，降低测量项目的经济风险性。

### 4.2 船载一体化调查系统组成

#### 4.2.1 主要设备

主要包括激光扫描仪、多波束测深仪、组合定位定姿系统等。

#### 4.2.2 辅助设备

主要包括声速剖面仪、表层声速仪、验潮仪等。

### 4.3 船载一体化调查内容

主要包括海陆过渡带地形地貌测绘、平面和高程控制测量、水位测量等。

### 4.4 采用基准

#### 4.4.1 平面坐标系

采用2000国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000）。采用其他坐标系时，应与CGCS2000建立转换关系。

#### 4.4.2 高程基准

采用1985国家高程基准。采用其他独立的高程基准时，应与1985国家高程基准建立转换关系。

#### 4.4.3 深度基准

采用平均海平面。采用其他深度基准时，应与平均海平面建立转换关系。

#### 4.4.4 投影方式

采用高斯-克吕格3°分带。根据工程要求，可自定义更小分带的投影。

### 4.5 时间系统

采用北京时间和世界协调时 (Universal Time Coordinated, UTC)。当采用其他时间系统时, 应建立与北京时间和UTC的换算关系。

#### 4.6 测量要求

##### 4.6.1 GNSS 卫星状态要求

GNSS系统采用差分定位模式输出导航信息, 截止高度角 $15^\circ$ 以上的卫星数目应不少于5颗, 点位精度因子 (Position Dilution of Precision, PDOP) 值不能大于4。

##### 4.6.2 系统检校参数要求

正式作业前应进行轴向旋转角 (横摇、纵倾、艏向) 偏差以及各个传感器位置偏移量检校。水上部分: 轴向旋转角偏差应优于 $0.02^\circ$ , 偏移量应优于 $0.005\text{ m}$ 。水下部分: 轴向旋转角偏差应优于 $0.05^\circ$ , 偏移量偏差应优于 $0.010\text{ m}$ 。

##### 4.6.3 测区覆盖要求

应保证全覆盖测量, 相邻测幅的重叠率不小于20%, 必要时可分别在高潮和低潮时进行外业采集。

##### 4.6.4 调查海况要求

调查作业海况应小于四级, 海况等级表见GB/T 12763.2—2007中8.2.1.2。

##### 4.6.5 调查船舶要求

海陆地形地貌一体化调查作业以水面船只 (含无人船) 为载体, 满足如下要求:

- a) 调查作业船只应为木制或钢制, 易于传感器等的安装, 船体长度宜不小于 $3\text{ m}$ , 船体吃水深度不大于 $1\text{ m}$ ;
- b) 应有调查所需电源;
- c) 可在不同航速下连续作业;
- d) 应有航海安全、消防和通讯系统, 保证航行安全;
- e) 水面船只的船长及船员应具有相应职位的资质证书, 熟悉本职业务, 明确调查任务对船舶的作业要求, 配合调查人员完成调查任务;
- f) 无人船驾驶员应具有相应资质证书, 明确调查任务对船舶的作业要求, 配合调查人员完成调查任务;
- g) 调查船舶上的设备应处于良好状态。

#### 4.7 质量要求

##### 4.7.1 高程精度

水位站的工作水准点、水尺零点和海岸地形测量的高程控制精度应不低于GB/T 12898—2009中4.2规定的四等水准测量精度。

##### 4.7.2 水位改正精度

水位改正精度应满足GB/T 17501—2017中9.5.5.2相关要求。

##### 4.7.3 成果质量要求

#### 4.7.3.1 点云质量要求及高程不符值限差

为系统地确定船载海陆地形地貌一体化调查的点云质量及高程不符值限差，应将其分为水上激光、水下多波束点云精度两部分描述，具体要求见表1。对有特殊要求的海陆地形地貌一体化调查，应以工程项目设计书中具体要求的点云精度为准。

表1 点云质量要求及高程不符值限差表

点云	比例尺	点云平面精度 m	点云密度 points/m <sup>2</sup>	高程不符值限差 m
水上激光	1:500	0.2	≥5.0	0.3
	1:1000	0.4	≥2.5	0.4
	1:2000	0.8	≥1.5	0.8
水下多波束	1:500	0.2	≥4.0	0.3
	1:1000	0.4	≥2.0	0.4
	1:2000	0.8	≥1.0	0.5

注：点云平面精度指的是点云平面中误差。

#### 4.7.3.2 数字高程模型质量要求

数字高程模型的制作质量应符合CH/T 9008.2—2010中第六章相关要求，具体要求见表2。在特殊困难地区，格网间距可放宽2倍，高程中误差放宽0.5倍。

表2 数字高程模型质量要求

比例尺	格网间距 m	高程中误差 m
1:500	0.5	0.4
1:1000	1.0	0.6
1:2000	1.5	0.8

### 5 技术设计

#### 5.1 技术设计依据

技术设计主要依据是任务书、合同，有关的法规、规范和技术标准，以及现场踏勘、技术装备情况。

#### 5.2 项目设计

项目设计的主要内容为：

- a) 确定测区范围、测图比例尺和划分图幅；
- b) 明确实施测量工作中的主要技术方法和措施；
- c) 编写项目设计书；
- d) 绘制相关图件。

#### 5.3 专业设计

##### 5.3.1 测区资料收集与分析

应全面系统地对测区进行资料收集，对所收集资料的可靠性和精确性进行分析，并对资料能否采用做出判断。具体收集测区材料如下：

- a) 测区概况、人文自然地理资料等信息；
- b) 测区水文气象、水位站资料等信息；

- c) 测区及周边各种比例尺的地形图及相关成果，如数字高程模型、正射影像图、地形图、行政区划图、交通图等；
- d) 已知平面控制点、水准点及其说明；
- e) 其他与测量有关的资料。

### 5.3.2 专业设计内容

#### 5.3.2.1 平面控制

根据测量精度、测区已知点情况及测图比例尺，选择平面控制测量的方法及所要达到的精度。

#### 5.3.2.2 高程控制

根据测量精度、测区已知水准点，确定其至待测高程控制点或水位点的施测方法及所要达到的精度。

#### 5.3.2.3 船载海陆地形地貌一体化测量

船载海陆地形地貌一体化测量设计中应遵循以下内容：

- a) 根据需要，结合现场踏勘情况，选择合适的测量船和测量仪器；
- b) 确定船载海陆地形地貌一体化系统的检校方法；
- c) 根据测图比例尺、已知资料等深线的走向、公共覆盖率等确定测线布设方案；
- d) 确定水位站的位置和水位改正方案，若一体化成果点云的高程采用1985国家高程基准或工程要求的地方高程基准，且已知测区的垂直基准转换模型，可不进行水位测量；
- e) 根据需要，确定平面坐标和垂直基准转换方案。

### 5.4 调查实施计划

确定外业实施计划应考虑如下因素：

- a) 调查实施时间；
- b) 主要仪器的检校与装配；
- c) 调查人员的选定及分工；
- d) 交通工具及测量船；
- e) 按项目设计书要求，进行技术准备工作；
- f) 调查实施期间的质量控制措施与安全应急预案。

## 6 调查实施

### 6.1 测前准备

#### 6.1.1 测线布设

##### 6.1.1.1 主测线布设

在保证安全的情况下，利用现有最新版海图等资料，根据海陆过渡带的具体地形沿海岸对主测线进行布设。主测线布设应遵循以下原则：

- a) 采用平行于地形走向布设；
- b) 应保证全覆盖测量，相邻测幅的重叠率不小于20%，必要时可分别在高潮和低潮时进行外业采集；



- c) 在地形起伏较大的海陆过渡带区域，应加密测线，加密程度以能完善地反映海陆地形地貌变化为原则。

#### 6.1.1.2 检查线布设

检查线布设应遵循以下原则：

- a) 检查线应垂直于主测线；
- b) 分布均匀，确保能普遍检查主测线；
- c) 检查线的长度不小于主测线总长的5%；
- d) 检查线应覆盖一些特征地物。

#### 6.1.2 系统检校

正式测量开始前应对船载一体化系统进行系统检校。获得激光扫描仪光学中心、多波束测深仪声学中心、GNSS天线相位中心到惯性导航系统（Inertial Navigation System, INS）中心的偏移量以及轴向旋转角偏差误差。应遵循以下要求：

- a) 各检校参数每年度至少检校一次；
- b) 当系统中各个传感器有更换或相对位置关系发生变化时，应重新检校；
- c) 室外精检校应参照6.2.1进行，具体可参照附录A中的系统检校方法执行检校。

#### 6.1.3 仪器安装

仪器安装应遵循以下原则：

- a) 船载一体化系统水下部分应按照 GB/T 17501—2017 中 9.2.6.4 要求执行；
- b) 船载一体化系统水上部分激光扫描仪与组合定位定姿系统应按系统检校时的相对位置关系安装；
- c) 应确保各部件的固连，保证各传感器间的空间关系保持不变；
- d) 应保证各传感器所有连接线连通；
- e) 仪器安装完成后，应进行水下多波束换能器吃水测量，并填写记录表，模板见附录 B 中的表 B.1。

#### 6.1.4 基准站架设

##### 6.1.4.1 选点

选点应符合GB/T 17501—2017中第6章要求。若测区附近无已知控制点，应利用周边已知控制点进行联测。

##### 6.1.4.2 仪器准备

仪器包括三脚架、基座、GNSS天线与接收机、钢尺等。

##### 6.1.4.3 基准站架设技术要求

基准站架设应满足如下技术要求：

- a) 基准站宜选在测区相对较高的位置，以保证差分信号覆盖整个测区；
- b) 基准站应架设稳固，保证整个调查实施过程的定位数据的准确性，当长期使用时，宜埋设有强制对中的观测墩；

c) 应填写基准站架设记录表，模板见附录B中的表B.2。

## 6.2 外业采集

### 6.2.1 地形地貌数据采集

船载海陆地形地貌一体化调查数据采集步骤如下：

- a) 依次对组合定位定姿系统设备、激光扫描仪、多波束测深仪进行开机操作，各传感器数据应使用统一时间系统记录；
- b) 打开数据采集软件，通过软件监控端界面配置多波束测深仪、激光扫描仪和组合定位定姿系统设备；
- c) 依次进行惯性导航系统对准设置、激光扫描仪参数设置和多波束测深仪参数设置；
- d) 设置完成后，对惯性导航系统进行初始化，初始化完成应以惯性导航系统的初始对准完成指令为准（初始化时间宜为 10 min~15 min）；
- e) 激光扫描仪和多波束测深仪开始采集数据，根据所布设测线完成测区的水上水下一体化地形地貌数据采集工作，以此来获取 GNSS/INS 数据、激光扫描仪测距数据和多波束测深仪测深数据，并应做好班报记录，班报模板见附录 B 中的表 B.3；
- f) 数据采集完成后，应继续采集 10 min 组合定位定姿系统的数据，然后断开连接；
- g) 导出各个传感器的数据，并将多波束测深仪、激光扫描仪、组合定位定姿系统等设备进行关机操作。

### 6.2.2 辅助数据采集

#### 6.2.2.1 水位测量

水位测量应按照GB/T 17501—2017中9.1.9执行，做好测量记录，记录模板见附录B中的表B.4。

#### 6.2.2.2 声速剖面测量

声速剖面测量除应按照GB/T 17501—2017中9.2.6.6相关要求执行之外，还应满足以下要求：

- a) 声速剖面测量点应均匀分布于测区；
- b) 当测区存在入河口、湾口等声速不稳定区域，应加密测量声速剖面；
- c) 声速剖面测量记录表见附录B中的表B.5。

## 7 成果制作及质量检查

### 7.1 预处理内容

#### 7.1.1 粗差剔除

对多波束测深仪、激光扫描仪、组合定位定姿数据进行质量检查，剔除由仪器、环境或者人为操作失误等原因而产生的粗差。

#### 7.1.2 数据整理

应建立数据存储逐级文件夹索引规范、不同传感器和不同分级产品的命名规范和相关说明文档的书写内容规范。将不同传感器的数据转化到成图及其他软件能够匹配识别的格式。

#### 7.1.3 数据检查

在点云位置计算之前，应检查投影参数、椭球体参数、坐标转换参数、系统检校参数、声速剖面数据、水位数据等相关数据的准确性。若因某个或多个传感器故障导致数据出现问题，应进行补测或者重测。

## 7.2 点云坐标计算

### 7.2.1 水上点云坐标计算

#### 7.2.1.1 数据融合

通过与组合定位定姿数据、激光扫描仪与INS之间的安置参数、检校参数进行融合解算，得到激光扫描仪坐标系下点云的坐标。

#### 7.2.1.2 激光点的位置归算

应将激光扫描仪坐标系下激光点坐标归算到CGCS2000，具体转换过程可参照附录C执行。

### 7.2.2 水下点云坐标计算

#### 7.2.2.1 数据融合

通过与组合定位定姿数据、多波束换能器与INS的安置参数、检校参数进行融合解算，以得到测深传感器坐标系下点云的坐标。

#### 7.2.2.2 测深点的位置归算

应将测深传感器坐标系下测深点坐标归算到CGCS2000，具体转换过程可参照附录C执行。

## 7.3 投影转换

将CGCS2000下的一体化点云的大地坐标投影到高斯平面直角坐标系上。

## 7.4 垂直基准转换

根据工程需求，如需得到高程基准（深度基准）下的成果，应按照本节执行相应的垂直基准转换：

- a) 若已知测区的垂直基准转换模型，船载一体化调查可采用CGCS2000参考椭球面作为（区域）海陆统一垂直基准面，通过垂直基准转换模型将基准转换到1985国家高程基准或工程要求的地方高程基准，以确保海陆高程数据的垂直基准统一；
- b) 若无测区的垂直基准转换模型，应在测区布设适当数量的临时水位站，根据水位站的垂直基准转换关系和水位计算模型进行垂直基准转换，具体应按照GB/T 17501—2017中9.5.5.2要求执行。

## 7.5 点云编辑

点云数据中存在异常点、孤立点时，应采用人机交互或者自动滤波的方式进行编辑。

## 7.6 点云分类

制作海陆过渡带数字高程模型应将点云中的地面（海底）点与非地面（非海底）点分离，采用自动分类或人工交互的方式进行分类。

## 7.7 数字高程模型制作

### 7.7.1 地面点和海底点数据处理要求

### 7.7.1.1 数据空白区处理要求

针对地面和海底空白区域数据的处理要求如下：

- a) 对于非地面点和非海底点的无数据区域，根据数据实际情况设置较大的格网距离来制作数字高程模型，保证插值结果反映完整地形，不应出现插值漏洞；
- b) 为保证地形细节完整，对不满足要求的区域（如地物遮蔽严重区域），插值后影响数字高程模型精度，在条件允许的情况下，宜进行实地补测三维空间信息。

### 7.7.1.2 特殊地物数据处理要求

堤坝、海底隧道、码头等水上水下相连接的构筑物，应保留其点云数据。

### 7.7.2 数字高程模型生成

点云中所有地面点和海底点均作为特征点进行数字高程模型构建。根据实际情况，可选择带有高程信息的码头、海岸线、海底特殊地物（如沉船、古城遗迹等）等参与数字高程模型生成。数字高程模型成果的生成应按照CH/T 9008.2—2010中第六章要求执行。

## 7.8 质量检查

### 7.8.1 检查方法

#### 7.8.1.1 点云

水上水下点云数据的检查方法主要包括：

- a) 利用所布设主测线与检查线，实现对海底特征地形局部测量点的重复观测，计算出主测线与检查线交叉点高程/深度不符值及中误差，并进行统计分析；
- b) 若已采集高潮和低潮时的地形地貌外业数据，应计算并检查高潮和低潮时所分别采集的特征地形的点云质量及高程不符值限差。

#### 7.8.1.2 数字高程模型

通过三维透视及晕渲，检查数字高程模型的可靠性。对模型不连续、不光滑处应重新核实点云分类的可靠性。

### 7.8.2 检查内容

#### 7.8.2.1 一体化点云

水上水下点云数据检查的主要内容包括：

- a) 点云坐标计算和垂直基准转换结果是否正确；
- b) 点云是否连续；
- c) 点云密度是否符合要求；
- d) 点云精度是否符合要求，水下多波束主测线与检查线交叉点高程/深度不符值是否满足4.7.3.1要求；
- e) 点云分类是否正确。

#### 7.8.2.2 数字高程模型

数字高程模型检查的主要内容包括：

- a) 数字高程模型覆盖范围及格网尺寸的正确性；
- b) 地面点云和海底点云使用的准确性；

- c) 特征目标点云的合理性和高程的准确性;
- d) 数字高程模型精度是否符合要求;
- e) 海陆过渡带高程值应从岸边到海域降低。

## 8 资料整理与归档

### 8.1 归档要求

资料整理与归档的一般要求如下:

- a) 上交的各种资料的内容必须真实、准确,装订整齐有序,标示清晰;
- b) 各级检查应形成相应的质量检查报告,与成果资料一并归档;
- c) 上交的纸质文档、图件应与电子成果一致;
- d) 各类数据应提供格式说明,并提交文本格式的数据文件。

### 8.2 归档内容

船载海陆地形地貌一体化调查完成后,应整理并归档以下内容:

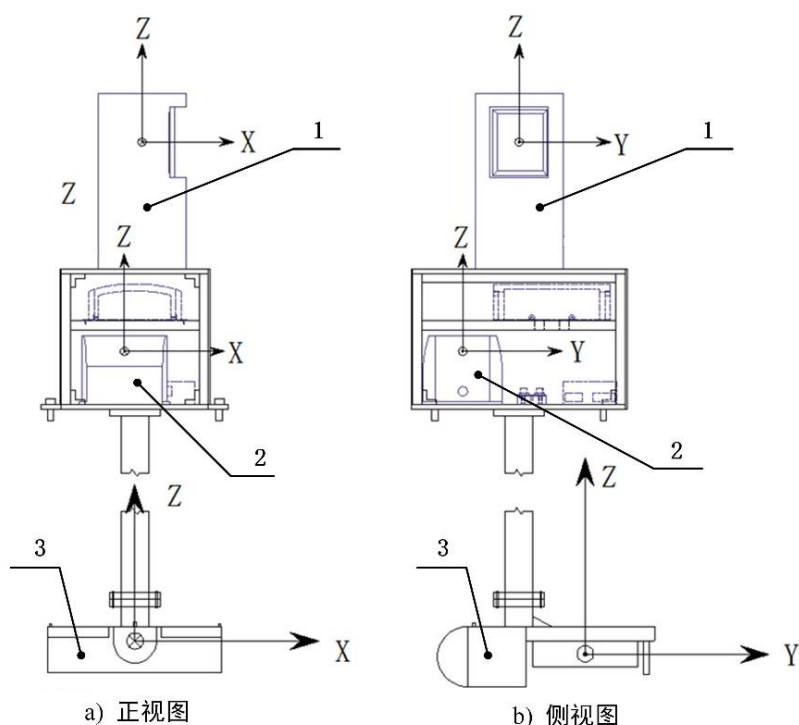
- a) 技术设计书、实施方案及任务合同书等相关文件;
- b) 检校参数、原始组合定位定姿数据、原始地面基准站观测数据、原始激光扫描仪数据、原始多波束测深仪数据、声速数据、水位数据;
- c) 外业实施原始观测记录表,包括多波束换能器吃水记录表、基准站架设记录表、水上水下一体化调查班报表、水位测量记录表、声速剖面测量记录表;
- d) 测线资料及测量航迹图;
- e) 主、检比对资料;
- f) 基准转换参数;
- g) 点云分类成果数据;
- h) 数字高程模型数据;
- i) 数字水深图;
- j) 内业数据处理记录;
- k) 检查报告;
- l) 技术总结;
- m) 其他相关资料。

附录 A  
(资料性)  
系统检校方法

A.1 概述

在系统装船前,在陆上空间将船载海陆地形地貌一体化调查系统的水上、水下部分进行一体化组装,并利用工业测量系统对一体化调查系统进行室内粗检校。在保障一体化调查系统水上、水下部分重复组装装配精度的前提下,可将上述检校结果作为一体化调查系统水上、水下部分拆解,并重新组装后的系统检校参数。

系统室内粗检校参数应满足4.6.2要求,否则应再进行室外精检校。粗检校由于传感器内部不可视,导致轴向旋转角偏差较大。因此,室外精检校只需对一体化调查系统轴向旋转角偏差进行高精度检校即可。



标引序号说明:  
1——三维激光扫描仪;  
2——INS;  
3——多波束测深仪。

图A.1 多传感器坐标系关系

A.2 室内粗检校

室内粗检校的过程如下:

- a) 使用工业测量系统三台及以上(通常为三台)电子经纬仪分别对INS、多波束测深仪、激光扫描仪和GNSS天线上所构建的各传感器坐标系特征点以及用于各传感器之间坐标系转换所布设的公共点进行测量;

- b) 基于上述点位构建各传感器单体坐标系，并确定用于各传感器之间坐标系转换所布设的公共点在相应单体坐标系下坐标；
- c) 在一体化调查系统集成组合状态下，拆掉设备外壳，保证 INS、多波束测深仪、激光扫描仪（例：若为三维激光扫描仪，则通过软件控制三维激光扫描仪旋转到  $0^\circ$ ，并利用断电的方式保证仪器在测量过程中不会有旋转）和 GNSS 天线保持固定；
- d) 利用工业测量系统，在观测坐标系下对用于各传感器之间坐标系转换所布设的公共点进行联测，得到其在观测坐标系下的坐标；
- e) 分别基于公共点在各传感器单体坐标系以及集成组装状态观测坐标系下的坐标，通过公共点坐标转换方式，获得各传感器坐标系转换参数，完成船载一体化调查系统整体检校工作，得到多波束测深仪中心、激光扫描仪中心、GNSS 天线相位中心到 INS 中心的偏移量、轴向旋转角偏差。

### A.3 室外精检校

#### A.3.1 水上部分

##### A.3.1.1 检校场的要求

在建立高精度GNSS控制网基础上，利用高精度全站仪对用于检校的平面进行测量，每个用于检校的平面上应均匀分布不少于25个测量点，平面长、宽宜大于2 m，每个检校平面拟合后测量点的残差中误差优于5 mm，平面个数应多于6个，具有不同的朝向（即法向量方向不同），且有至少3个平面的朝向接近垂直。此外，载体应以不同路线、不同距离（载体与检校平面之间）分别进行检校数据采集，路线应至少包含一对相反方向，不同距离的间隔宜大于1 m。

##### A.3.1.2 检校方法

水上部分的室外精检校过程如下：

- a) 建立面模型检校场，测量面模型检校场的点云数据并精确提取各个特征平面；
- b) 以已知特征平面方程为控制，根据激光点云定位方程及平面的几何模型建立平差模型；
- c) 利用非线性最小二乘优化方法得到轴向旋转角偏差参数。

#### A.3.2 水下部分

水下部分轴向旋转角偏差检校参照GB/T 12763.10—2007中6.3.2要求执行。





表 B.2 基准站架设记录表

任务名称 \_\_\_\_\_ 调查海区 \_\_\_\_\_

	记录类型	参数记录	备注
<b>基准站 架设</b>	1: 基准站架设起止时间	至	
	2: 基准站位置与坐标		
	3: 基准站仪器高		
	4: 基准站架设人员		

记录员 \_\_\_\_\_ 负责人 \_\_\_\_\_

第 \_\_\_\_\_ 页 共 \_\_\_\_\_ 页

表 B.3 水上水下一体化调查班报表

调查海区\_\_\_\_\_ 调查船\_\_\_\_\_ 任务名称\_\_\_\_\_

调查海况\_\_\_\_\_ 日期\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 调查设备及编号\_\_\_\_\_

测线名	文件名	开始时间 hh:mm	开始位置		航向 °	船速 kn	PDOP	卫星 数	结束时间 hh:mm	结束位置		测线长度 km	备注
			纬度(N) ° ' "	经度(E) ° ' "						纬度(N) ° ' "	经度(E) ° ' "		
总计													

记录员\_\_\_\_\_ 负责人\_\_\_\_\_

第\_\_\_\_页 共\_\_\_\_页

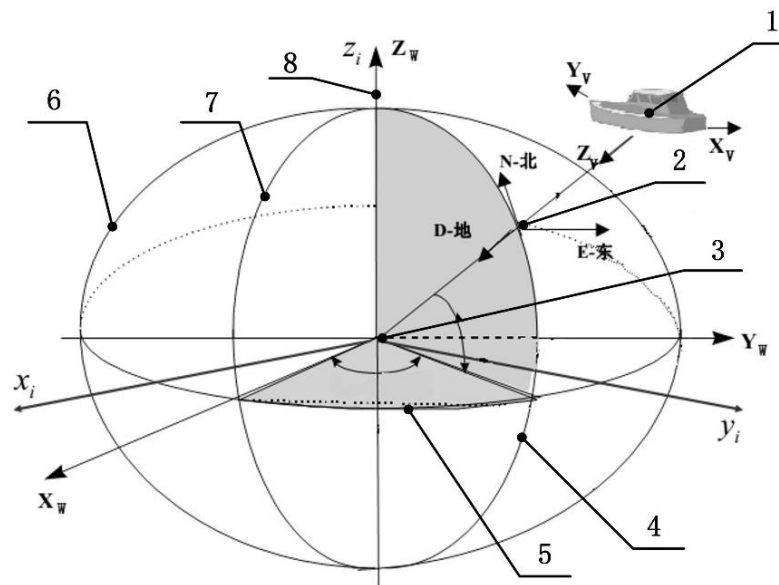
注：出现新的惯性导航系统文件，应使用新记录表，重新开始记录。





附录 C  
(资料性)  
测点的位置归算

测点的位置归算涉及多个坐标参考系。系统测量直接得到的是传感器坐标系（包括测深传感器坐标系和激光扫描仪坐标系）下的点云坐标，根据系统检校得到的传感器之间的检校参数，通过坐标转换，实现测点在传感器坐标系、载体坐标系至当地水平坐标系和大地坐标系（CGCS2000）下的归算。坐标转换如图 C.1 所示。



- 标引序号说明：
- 1——载体坐标系；
  - 2——当地水平坐标系；
  - 3——大地坐标系；
  - 4——当地子午线；
  - 5——赤道平面；
  - 6——参考椭球体；
  - 7——格林尼治子午线；
  - 8——北极轴。

图C.1 坐标转换示意

### C.1 相关坐标系的定义

各个坐标参考系的定义为：

#### a) 传感器坐标系

以发射传感器声（光）学中心为坐标原点的右手坐标系。其包括测深传感器坐标系和激光扫描仪坐标系。在传感器平面内，水平向船艏方向为  $Y$  轴，水平向右为  $X$  轴， $Z$  轴垂直向上。

#### b) 载体坐标系

以载体的质心为坐标轴原点的右手坐标系。坐标轴与载体几何轴向固连，X 轴指向载体的右舷，Y 轴沿载体船艏，而 Z 轴则垂直于载体向上。

c) 局部坐标系

以 INS 中心为坐标原点的右手坐标系。X 轴、Y 轴在水平面内，Z 轴垂直向下，其中，X 轴指向船艏，Y 轴垂直于 X 轴指向右舷。

d) 当地水平坐标系

以站心为坐标系原点的三维空间直角坐标系。坐标系原点宜选择 INS 几何中心，X 轴指向东方向，Y 轴指向北方向，Z 轴与椭球法线重合，向上为正（天向），也称为当地东北天坐标系、站心坐标系。

### C.2 传感器坐标系到载体坐标系的转换

两个坐标系的转换关键需要确定其3个角元素和3个原点平移参数。在理想安装情况下，传感器坐标系应与载体坐标系三轴平行，由于不平行而造成的轴与轴之间的偏差即为安装误差，可以通过测深传感器安装校准的方法求得校准参数，即横摇偏差角、纵摇偏差角、船艏向偏差角，这就是3个角元素；而平移参数则是传感器坐标系与载体坐标系之间的原点差，即传感器坐标系的原点在载体坐标系中的坐标值，可以在仪器安装后通过全站仪测量、钢尺量取或间接推算得出。考虑到转换方向，则：

$$X_v = X_l + R_v X_T \dots\dots\dots(C.1)$$

式中：

$X_v$ ——观测点云在载体坐标系下的坐标；

$X_l$ ——平移参数；

$R_v$ ——旋转矩阵；

$X_T$ ——观测点云在传感器坐标系下的坐标。

$$R_v = R_x(\phi)R_y(-\omega)R_z(\kappa)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \omega \cos \kappa & -\cos \omega \sin \kappa & \sin \omega \\ \sin \phi \sin \omega \cos \kappa + \cos \phi \sin \kappa & -\sin \phi \sin \omega \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & -\sin \phi \cos \omega \\ -\cos \phi \sin \omega \cos \kappa + \sin \phi \sin \kappa & \cos \phi \sin \omega \sin \kappa + \sin \phi \cos \kappa & \cos \phi \cos \omega \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.2)$$

式中：

$R_x(\phi)$ ——横摇偏差角矩阵；

$\phi$ ——横摇偏差角；

$R_y(-\omega)$ ——纵摇偏差角矩阵；

$\omega$ ——纵摇偏差角；

$R_z(\kappa)$ ——船艏向偏差角矩阵；

$\kappa$ ——船艏向偏差角。

### C.3 载体坐标系到当地水平坐标系的转换

载体坐标系到当地水平坐标系的转换同样需要确定其3个角元素和3个原点平移参数，其中3个角元素主要是测船的瞬时姿态变化。为处理问题的方便，设载体坐标系的原点与当地水平坐标系的原点重合，这样不考虑平移参数。根据船艏向、船位和姿态参数计算载体坐标系和当地水平坐标系之间的转换关系，并直接将载体坐标系下的水底观测测量坐标转化为地理坐标。

$$X_L = X_V^I + R(r, p, h)X_V \dots\dots\dots(C.3)$$

式中：

$X_L$ ——测点的当地水平坐标（或地方坐标、地理坐标）；

$X_V^I$ ——INS中心在载体坐标系下的坐标；

$R(r, p, h)$ ——载体坐标系与当地水平坐标系之间的旋转矩阵；

$r$ ——横摇欧拉角；

$p$ ——纵摇欧拉角；

$h$ ——航向欧拉角；

$X_V$ ——观测点云在载体坐标系下的坐标。

$$R(r, p, h) = R_x(r)R_y(-p)R_z(h) = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos p \cos h & -\cos p \sin h & \sin p \\ \sin r \sin p \cos h + \cos r \sin h & -\sin r \sin p \sin h + \cos r \cos h & -\sin r \cos p \\ -\cos r \sin p \cos h + \sin r \sin h & \cos r \sin p \sin h + \sin r \cos h & \cos r \cos p \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.4)$$

对于多波束测深系统而言，考虑声线弯曲的影响，应通过波束发射角、安装角、姿态角等信息计算实际的波束三维入射角，根据声速剖面进行声线跟踪，直接计算测点在局部坐标系下的侧向距和航向距，然后再变换到当地水平坐标系。通过二维坐标旋转（航向角  $h$ ），实现局部坐标系与当地水平坐标系的转换。两者垂直方向的坐标绝对值是相同的，平面坐标转换关系为：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_L = \begin{bmatrix} \cos h & -\sin h \\ \sin h & \cos h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_P \dots\dots\dots(C.5)$$

式中：

$(x, y)_L^T$ ——波束脚印的当地水平坐标；

$h$ ——航向欧拉角；

$(x, y)_P^T$ ——波束脚印在局部坐标系下的坐标。

这里定义当地水平坐标系垂直轴的方向是沿椭球法线方向向上，因此坐标转换后应将垂直坐标反号。与多波束测深系统不同，针对激光扫描仪可直接按照公式(C.3)将测点从载体坐标系转换到当地水平坐标系即可。

#### C.4 当地水平坐标系到大地坐标系的转换

当地水平坐标系经过旋转平移可转换到大地坐标系中。首先将当地水平坐标系统E轴逆时针旋转  $90^\circ - B$ ，然后绕U轴顺时针旋转  $90^\circ + L$ ，此时当地水平坐标系与地球空间直角坐标系平行。设水上水下观测在空间直角坐标系下的坐标值为  $(x_s, y_s, z_s)^T$ ，则有以下关系式：

$$X_s = R_w X_L + \Delta X \dots\dots\dots(C.6)$$

式中：

$X_s$ ——空间直角坐标系下的坐标；

$R_w$ ——关于大地经度和纬度的旋转矩阵；

$X_L$ ——当地水平坐标系下的坐标；

$\Delta X$ ——平移量，即 INS 中心的空间直角坐标。

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = R_w \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.7)$$

式中：

$(x_s, y_s, z_s)^T$ ——空间直角坐标系下的坐标；

$R_w$ ——关于大地经度和纬度的旋转矩阵；

$(x_L, y_L, z_L)^T$ ——当地水平坐标系下的坐标；

$(\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$ ——平移量，即 INS 中心的空间直角坐标。

$$R_w = R_B \cdot R_L \dots\dots\dots(C.8)$$

$$R_B = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ - B) & 0 & -\sin(90^\circ - B) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(90^\circ - B) & 0 & \cos(90^\circ - B) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.9)$$

$$R_L = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ + L) & \sin(90^\circ + L) & 0 \\ -\sin(90^\circ + L) & \cos(90^\circ + L) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(C.10)$$

式中：

$R_w$ ——关于大地经度和纬度的旋转矩阵；

$R_B$ ——大地纬度旋转矩阵；

$R_L$ ——大地经度旋转矩阵；

$B$ ——大地纬度；

$L$ ——大地经度。

空间直角坐标与大地坐标可相互转换。当测点表示在大地坐标系中时，即可通过投影转换实现其到高斯平面直角坐标系的转换。



## 参考文献

- [1] GB 12327—1998 海道测量规范
  - [2] GB 18523—2001 水文仪器安全要求
  - [3] GB/T 12763.10—2007 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查
  - [4] GB/T 18314—2009 全球定位系统（GPS）测量规范
  - [5] 地理学名词（第二版）[M]. 科学出版社, 2006
  - [6] 测绘学名词[M]. 科学出版社, 2010
  - [7] 高分辨率海底地形地貌——探测与处理理论技术[M]. 科学出版社, 2017
  - [8] 水下地形测量[M]. 武汉大学出版社, 2017
-