



中华人民共和国国家标准

GB/T 39624—2020

机载激光雷达水下地形测量技术规范

Technical specification for underwater topographic survey of airborne lidar

2020-12-14 发布

2020-12-14 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 缩略语 3

5 基本要求 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 空间基准 4

 5.3 时间基准 4

 5.4 投影和分幅 4

 5.5 图式符号 4

 5.6 点云密度要求 4

 5.7 点云平面精度 5

 5.8 点云高程精度 5

 5.9 元数据 6

6 准备工作 6

 6.1 需求分析 6

 6.2 资料收集 6

 6.3 现场踏勘 6

 6.4 仪器设备选择 6

 6.5 技术设计书编写 7

7 数据获取 7

 7.1 综合检校 7

 7.2 航线设计 9

 7.3 数据获取要求 9

 7.4 数据获取飞行 10

 7.5 数据补测 10

8 数据处理 11

 8.1 数据处理流程 11

 8.2 数据整理 11

 8.3 波形数据处理 12

 8.4 POS 数据处理 12

 8.5 点云数据处理 12

 8.6 成果制作 13

9 成果质量检查 13

9.1 成果质量检查与验收 13

9.2 原始采集成果的检查 13

9.3 后处理成果检查 13

10 成果整理与上交 14

10.1 成果提交要求 14

10.2 成果提交内容 14

附录 A（规范性附录） 波形成果元数据 15

附录 B（规范性附录） 点云成果元数据 17

附录 C（规范性附录） 安置角计算记录 19

附录 D（规范性附录） 偏心分量测量记录 20

附录 E（资料性附录） 偏心分量测量记录示例 21

附录 F（规范性附录） 飞行记录 22

参考文献 23



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准由全国地理信息标准化技术委员会(SAC/TC 230)归口。

本标准起草单位:北京四维空间数码科技有限公司、中国科学院电子学研究所、深圳大学、浙江省水利河口研究院、中国科学院上海光学精密机械研究所、长江水利委员会长江科学院。

本标准主要起草人:徐保龙、邵永社、李清泉、魏荣灏、贺岩、郑学东、汪驰升、任少华、邹双朝、高宏志、严冰、宋丽、郭锴、王婧、王朝霞、雷鑫。



引 言

机载激光雷达测量是一种快速获取空间高精度三维地理信息的新技术,集成激光雷达技术、高精度惯性导航测量技术和高精度动态 GNSS 差分测量技术为一体,较传统摄影测量技术具有更快速、更精确获取水下地貌和地物三维信息的优势。近年来,机载激光雷达测量技术得到了快速发展,并开始在海岸带、岛礁附近水域和内陆水域等水下地形测绘领域得到应用。

本标准面向水下地形测量需求,在分析现有技术的基础上,结合国内外机载激光雷达水下地形测量技术的发展水平和特点,对采用机载激光雷达进行水下地形测量作业提出规范化的技术要求。



机载激光雷达水下地形测量技术规范

1 范围

本标准规定了机载激光雷达水下地形测量的基本要求、准备工作、数据获取、数据处理、成果质量检查和成果整理与上交。

本标准适用于采用机载激光雷达测量技术进行深度不超过 50 m 水域的水下地形测量作业。

2 规范性引用文件



下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 12319 中国海图图式

GB 12327 海道测量规范

GB/T 13989 国家基本比例尺地形图分幅和编号

GB/T 17278 数字地形图产品基本要求

GB/T 18316 数字测绘成果质量检查与验收

GB/T 19710 地理信息 元数据

GB/T 20257(所有部分) 国家基本比例尺地图图式

GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收

GB/T 32067 海洋要素图式图例及符号

CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范

CH/T 8024—2011 机载激光雷达数据获取规范

CH/T 9008.2 基础地理信息数字成果 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000 数字高程模型

CH/T 9009.2 基础地理信息数字成果 1 : 5 000、1 : 10 000、1 : 25 000、1 : 50 000、1 : 100 000

数字高程模型

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

机载激光雷达 **airborne lidar**

搭载在航空平台上,集成了激光雷达设备、GNSS 和 IMU 等设备的激光探测和测距系统。

注:本标准特指用于水体水深测量的机载激光雷达测深系统,用于获取目标表面几何和物理特征。

3.2

水下地形测量 **underwater topographical survey**

采用水深测量方法对水下地貌以及地物直接与已知量或间接量进行比较的过程。

注:本标准中特指获取水底地形几何形态特征信息。

3.3

2000 国家大地坐标系 China Geodetic Coordinate System 2000; CGCS 2000

采用 2000 参考椭球,原点在地心的右手地固直角坐标系。 Z 轴为国际地球旋转局参考极方向, X 轴为国际地球旋转局的参考子午面与垂直于 Z 轴的赤道面的交线, Y 轴与 Z 轴和 X 轴构成右手正交坐标系。

[GB/T 14911—2008,定义 2.32]

3.4

1985 国家高程基准 National Vertical Datum 1985

1987 年颁布命名的,采用青岛水准原点和根据由青岛验潮站从 1952 年到 1979 年的验潮数据确定的黄海平均海面所定义的高程基准,其水准原点的起算高程为 72.260 m。

[GB/T 14911—2008,定义 2.24]

3.5

理论最低潮面 the lowest normal low water



我国海图深度基准面的具体实现形式,为理论上可能出现的潮汐最低水位,其高度从当地平均海平面起算。

[GB/T 17501—2017,定义 3.6]

3.6

平均海平面 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,按观测时长可分为日平均、月平均、年平均和多年平均海平面。

注: 改写 GB/T 15918—2010,定义 2.5.5。

3.7

当地平均海平面 local mean sea level

当地验潮站 19 年以上每小时的观测值求出的平均值。

3.8

检查航线 check line

与飞行采集航线垂直的航线。

注: 用于采集点云数据精度进行检查。

3.9

波形数据 waveform data

激光接收系统按照预设采样率对信号的回波进行离散化采样,所得的回波强度时间序列。

注: 波形数据的时间分辨率不大于激光脉冲宽度,保存了用于反演水体环境信息和空间地理信息的原始采样数据,由此可以获得精确的水下地形数据与丰富的水面及水体环境特征。

3.10

水下地形模型 underwater terrain model

以水下离散高程点为基础建立的规则格网或三角网等空间模型。

注: 用以模拟连续分布的水下地形空间位置等属性分布。

3.11

数字水深模型 digital bathymetric model

采用离散水深点数据建立的规则格网或三角网等空间模型。

注: 用以描述区域范围内连续水深变化的数字化空间模型。

3.12

水体漫衰减系数 **diffuse attenuation coefficient**

在单位长度水体中传输的光学辐照度变化量与光学辐照度的比值。

注：属于水体表观光学参数，表征水体中光学辐照度随水体传播距离的衰减情况，又称 K_d 值。

3.13

水底反射率 **bottom reflectivity**

水底反射光辐射度与水底接受辐照度的比值。

3.14

GNSS 偏心分量 **GNSS lever arms**

GNSS 天线相位中心在参考坐标系中的 3 个坐标分量。

3.15

IMU 偏心分量 **IMU lever arms**

IMU 设备原点在参考坐标系中的 3 个坐标分量。

3.16

激光雷达偏心分量 **lidar lever arms**

机载激光雷达原点在参考坐标系中的 3 个坐标分量。

3.17

安置角偏差 **boresight angles deviation**

机载激光雷达坐标系与 IMU 所在载体坐标系 3 个对应轴系间存在的系统性角度偏差。

3.18

点云密度 **point cloud density**

每平方米单位面积上激光测量点的平均数量。

3.19

最大测量水深 **maximum depth**

机载激光雷达能够测量到的水深最大值。

注：用被测水体在激光波长的漫衰减系数的倒数($1/K_d$)的倍数来表示。

3.20

条带宽度 **swath width**

机载激光雷达作业时垂直于飞行航线的测量宽度。

注：用航高的倍数表示。

3.21

测量速率 **measurement rate**

机载激光雷达单位时间获取的水底地形测量点数。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IMU: 惯性测量装置(Inertial measurement unit)

GNSS: 全球导航卫星系统(Global navigation satellite system)

POS: 定位定姿系统(Position and orientation system)

PPS: 秒脉冲(Pulse per second)

5 基本要求

5.1 一般规定

机载激光雷达水下地形测量应符合下列规定：

- a) 选用的机载平台的供电、载重、航时、航速、航高和下视窗口等参数应能满足激光雷达用于水下地形测量工作的要求；
- b) 机载激光雷达及相关辅助设备应在计量检定或校准的有效期内使用，并处于正常工作状态；
- c) 选用的机载激光雷达应透明提供波形、点云原始数据及相应的格式说明；
- d) 点云密度、平面精度、高程精度适用于海上环境同时满足三级及以下海况、三级及以下风力、 K_d 小于或等于 0.3 m^{-1} 和水底反射率大于或等于 15% 等。在困难海况条件下，不能满足该使用条件时，指标允许放宽 0.5 倍；
- e) 工作流程应包括准备工作、数据获取、数据处理、质量控制和成果整理与上交；
- f) 成果的生产、分发和使用应符合保密的相关规定。

5.2 空间基准

5.2.1 平面坐标系

平面坐标系统应采用 CGCS2000。如采用其他平面坐标系统，应与 CGCS2000 建立联系。

5.2.2 高程基准

高程基准应采用 1985 国家高程基准，如采用其他高程基准，应与 1985 国家高程基准建立联系，在远离大陆的岛、礁，其高程基准还应给出与当地平均海平面的关系。

5.2.3 深度基准面

深度基准面应采用理论最低潮面，根据工程需要采用其他基准面的，应给出所采用的基准面与理论最低潮面以及 1985 国家高程基准的关系，在远离大陆的岛、礁，其高程基准应给出与当地平均海平面的关系。

5.3 时间基准

日期应采用公元纪年，时间应采用北京时间。

5.4 投影和分幅

投影采用高斯-克吕格投影，测图比例尺大于或等于 $1:2\,000$ 采用 1.5° 带投影， $1:5\,000 \sim 1:10\,000$ 采用 3° 带投影，小于 $1:10\,000$ 采用 6° 带投影。也可根据实际需要采用其他投影。

未做特定规定时，应符合 GB/T 13989 的要求，有特定需要时，可自由任意分幅。

5.5 图式符号

表示海域的图式符号应符合 GB 12319 和 GB/T 32067 的要求，表示陆域的图式符号应符合 GB/T 20257 的要求。

5.6 点云密度要求

点云密度应满足生产数字高程模型和表 1 的要求。

表 1 点云密度要求

成果比例尺	数字高程模型成果格网间距/m	点云密度/(点/m ²)
1 : 500	0.5	≥16.00
1 : 1 000	1.0	≥4.00
1 : 2 000	2.0	≥1.00
1 : 5 000	2.5	≥1.00
1 : 10 000	5.0	≥0.25
1 : 25 000	10.0	≥0.05
<p>注 1: 按不大于 1/2 数字高程模型成果格网间距计算点云密度。</p> <p>注 2: 对有特殊要求的水下地形测量,可视工程的技术要求在技术设计书中明确密度。</p> <p>注 3: 点云密度是指水下地形测量点云的密度。</p>		

5.7 点云平面精度

点云平面中误差应符合表 2 的要求。

表 2 点云平面中误差 单位为米

成果比例尺	平面中误差
1 : 500	$\leq 0.5 + 0.025d$
1 : 1 000	$\leq 1.0 + 0.025d$
1 : 2 000	$\leq 2.0 + 0.025d$
1 : 5 000	$\leq 2.5 + 0.025d$
1 : 10 000	$\leq 5.0 + 0.025d$
1 : 25 000	$\leq 10.0 + 0.025d$
<p>注 1: 特殊水下地形测量工程的精度视具体工程技术要求而定。</p> <p>注 2: d 为水深(单位为米)。</p> <p>注 3: 点云平面精度以点云平面中误差的 2 倍作为限差。</p>	

5.8 点云高程精度

点云高程中误差应符合表 3 的要求。



表 3 点云高程中误差 单位为米

成果比例尺	高程中误差
1 : 500	$\leq \sqrt{0.05^2 + (0.005d)^2}$
1 : 1 000	$\leq \sqrt{0.1^2 + (0.005d)^2}$
1 : 2 000	$\leq \sqrt{0.15^2 + (0.005d)^2}$

表 3 (续)

单位为米

成果比例尺	高程中误差
1 : 5 000	$\leq \sqrt{0.17^2 + (0.005d)^2}$
1 : 10 000	$\leq \sqrt{0.3^2 + (0.005d)^2}$
1 : 25 000	$\leq \sqrt{0.5^2 + (0.005d)^2}$
注 1: 特殊水下地形测量工程的精度视具体工程技术要求而定。 注 2: d 为水深(单位为米)。 注 3: 点云高程精度以点云高程中误差的 2 倍作为限差。	

5.9 元数据

产品元数据可基于 GB/T 19710 确定具体元数据内容并进行生产,波形成果元数据应包含但不限于附录 A 的内容,点云成果元数据应包含但不限于附录 B 的内容。

6 准备工作

6.1 需求分析

项目启动前应进行需求分析,充分理解用户需求,与用户达成一致,确定测区范围、获取方式、成果类型、质量及成果形式等要求,形成需求分析报告。

6.2 资料收集

宜收集资料如下:

- 测区概况、自然地理、人文资料等信息;
- 水文气象、潮位、水深、底质、水体折射率、激光波长的水体漫衰减系数等信息;
- 已有的外业控制点成果;
- 测区及周边陆域部分的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;测区及周边水域部分海图或航道图等;
- 其他相关资料。

6.3 现场踏勘

现场踏勘要求如下:

- 对测区的 GNSS 基站位置进行现场踏勘;
- 对所收集资料的可靠性和准确性进行分析和现场判断;
- 条件允许的情况下,对测区的潮位、水体漫衰减系数等水体环境参数进行现场复核。

6.4 仪器设备选择

6.4.1 激光雷达

选择激光雷达应符合以下要求:

- 根据作业区域的水深概况、水底反射率和水体漫衰减系数,以及对激光点云密度和精度的要

- 求,选择合适的飞行平台和激光雷达,根据点云密度选择设备和飞机;
- b) 激光雷达应经过测距、测角和零位的检校。

6.4.2 POS 系统

选择 POS 系统应符合以下要求:

- a) 机载 GNSS 接收机应为高动态测量型双频 GNSS 接收机,具备高动态、高频率的数据接收能力和稳定的相位中心,采样频率不应低于 1 Hz;
- b) IMU 横滚角和俯仰角精度应优于 0.005° ,偏航角精度应优于 0.02° ;
- c) IMU 数据记录频率宜不低于 100 Hz ;
- d) 具有 PPS 输出接口,能够将 PPS 输出到激光雷达,提供时间同步;
- e) POS 系统存储器应满足长时间记录和存储 GNSS/IMU 数据、信号示标输入器数据及其他必要数据的要求。

6.4.3 地面 GNSS 接收机

选择地面 GNSS 接收机应符合以下要求:

- a) 地面 GNSS 接收机应与机载 GNSS 接收机性能匹配;
- b) 应为测量型双频 GNSS 接收机,采样频率不低于 1 Hz;
- c) 存储器容量的选择应满足最大飞行作业时间数据完整记录存储的要求;
- d) 电源的选择应满足最大飞行作业时间不断电的要求;
- e) GNSS 接收天线应带有抑径板或抑径圈,具有良好抗干扰能力。

6.5 技术设计书编写

技术设计时应依据项目的总体要求、已有资料的分析结果、项目的目标等编写设计书。技术设计书包含的主要内容如下:

- a) 通过需求分析形成关键任务指标;
- b) 任务来源或目的及测区概况;
- c) 已有资料及前期施测情况;
- d) 任务总体要求,包括测区范围、采用基准、测量比例尺、图幅和测量精度要求等;
- e) 测量装备及仪器检验项目与要求;
- f) 机载激光雷达飞行计划、实施,地面基站架设的要求;
- g) 数据处理的内容,包括对原始数据的处理、POS 数据处理、点云数据解算和航带拼接等;
- h) 飞行数据质量检查及成果评价的方法和内容;
- i) 成果提交及工作总结的要求。

7 数据获取

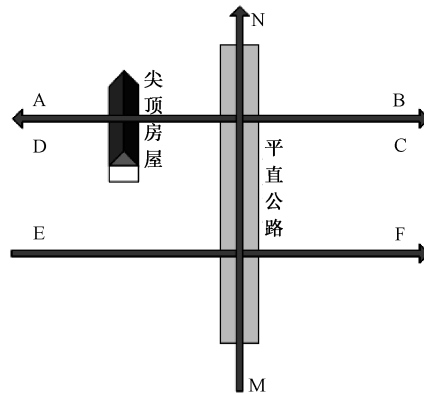
7.1 综合检校

7.1.1 检校场

检校场宜选择包含有尖顶房屋和平直公路的平坦路域。

7.1.2 安置角检校

安置角检校的飞行航线规划按照图 1 进行。



说明：

A、C、E、M —— 飞行航线的起飞点；

B、D、F、N —— 飞行航线的着陆点。

图 1 安置角检校飞行航线规划示意

检校飞行航线规划具体要求如下：

- 在垂直于平直公路方向规划飞行航线 AB 和 CD，AB 和 CD 为往返飞行的两条航线；
- 在规划的往返飞行航线 AB 和 CD 的航迹上宜有尖顶房屋；
- 同向飞行的 AB 和 EF 为两条平行航线，尖顶房屋应处于 AB 和 EF 航线的旁向重叠区域内；
- 沿平直公路方向架设 MN 航线；
- 平行航线旁向重叠度大于 60%。

根据测区情况，可选择其他飞行模式进行安置角检校。

7.1.3 飞行准备

飞行准备要求如下：

- 起飞前对所有设备进行加电和自检，保证所有设备工作正常；
- 起飞前检查所有设备存储介质，保证有足够的存储空间；
- 应符合 CH/T 8024—2011 的 7.1 相关规定。

7.1.4 综合检校飞行

综合检校飞行要求如下：

- 综合检校飞行的安置角计算结果应按附录 C 的表 C.1 填写；
- 按照 7.1.2 航线规划进行综合检校飞行；
- 应符合 CH/T 8024—2011 中 7.2 的相关规定。

7.1.5 综合检校报告

综合检校报告应包括如下内容：

- GNSS 偏心分量值、IMU 偏心分量值和激光雷达偏心分量值，应按附录 D 的表 D.1 填写。
- 应在表 D.1 中配图说明 GNSS、IMU 和激光雷达之间位置关系。其示例可参见附录 E 的表 E.1。
- 应给出安置角综合检校方法和检校结果。
- 应有检校参数使用方法说明。

7.2 航线设计

7.2.1 航线分区划分

航线分区划分要求如下：

- a) 应符合 CH/T 8024—2011 中 6.3 的相关规定；
- b) 航线分区应考虑岛屿、海岸线和湖泊的特点，合理进行航线分区。

7.2.2 航线设计

航线设计要求如下：

- a) 飞行航线设计兼顾 GNSS 基站布设和测区范围；
- b) 飞行高度的设计应综合考虑水下及沿岸陆地的点云密度和精度要求，兼顾激光雷达的有效测深、测距及飞行作业的有效扫描带宽；
- c) 检查航线垂直于采集航线，并至少通过每一条采集航线，长度不小于测区总采集航线的 1%；
- d) 应符合 CH/T 8024—2011 中 6.3 的相关规定。

7.2.3 航高与航速设计

数据获取的飞行航高、飞行速度与激光点云密度，应满足式(1)的关系：

$$P_d = \frac{f}{dhv} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- P_d ——点云密度，表示每平方米单位面积上激光测量点的平均数量，单位为点每平方米(点/m²)；
- f ——测量速率，表示单位时间获取的水底地形测量点数，单位为点每秒(点/s)；
- d ——条带宽度，表示作业时垂直于飞行航线的测量宽度(用航高的倍数表示)；
- v ——飞行速度，表示飞机平台的作业飞行速度，单位为米每秒(m/s)；
- h ——飞行航高，表示飞机平台的作业飞行高度，单位为米(m)。

7.3 数据获取要求

7.3.1 飞行时间选择

飞行时间选择要求如下：

- a) 选择气象、水域情况和光照条件最有利的飞行时间，应选择水域无结冰、无雨雪、三级及以下海况等时间，同时兼顾飞行时的云量、能见度等因素；
- b) 应符合 CH/T 8024—2011 的 6.2 相关规定。

7.3.2 点云数据获取要求

点云数据获取要求如下：

- a) 明确作业飞行区域、面积、水质和水下地形情况；
- b) 明确点云密度、平面精度和高程精度的数据质量要求；
- c) 明确 GNSS 信号和有效卫星数要求；
- d) 根据飞行环境、作业要求、激光雷达技术指标，确定作业飞行高度和速度；
- e) 根据测区内影响激光探测的水体光学参数变化，设置激光雷达的参数；
- f) 航带旁向重叠度不小于 10%，并根据航带内水下地形起伏情况适当提高航带旁向重叠度。

7.3.3 数据获取成果要求

数据获取成果要求如下：

- a) 数据获取成果包括：机载激光雷达原始数据、飞行航线和姿态数据、地面基站控制点坐标和基站 GNSS 数据；
- b) 激光雷达原始数据存储格式为配套解算软件支持的数据格式；
- c) POS 数据存储格式应符合 CH/T 8024—2011 中 8.2 的相关规定。

7.3.4 基站布设与测量要求

基站布设与测量要求如下：

- a) 当采用差分 GNSS 定位技术时应布设地面基站，无法布设基站时采用 GNSS 精密单点定位技术；
- b) 地面基站应靠近作业飞行区域，并与测线两端点的距离保持大致等距；
- c) 测区内任意位置与最近基站间距离应符合表 4 的规定。

表 4 测区内任意位置与最近基站间距离要求

成图比例尺	1：25 000	1：10 000	1：5 000	1：2 000	1：1 000	1：500
测区内任意位置与最近基站间距离/km	300		100		50	

7.4 数据获取飞行

数据获取飞行要求如下：

- a) 数据获取飞行的飞行记录表应按附录 F 的表 F.1 填写；
- b) 数据获取飞行应符合 CH/T 8024—2011 的 7.3、7.4 和 7.5 相关规定；
- c) 飞行过程实时监控各配套设备的运行、数据记录等工作状态，根据实际情况及时处理出现的问题；当检测到不符合飞行数据获取要求，或系统发生故障，应立即停止作业；
- d) 飞机停稳后，先关闭激光雷达和 POS 系统电源，再关闭飞机电源；
- e) 每个飞行架次后，应及时解算并检查数据情况，发现问题应查明原因并调整飞行计划；
- f) 结束飞行后，应及时将获取的所有数据备份于安全的存储介质。

7.5 数据补测

7.5.1 航线补测

以下情况应进行航线补测：

- a) 由于激光雷达、POS、水域情况等原因，无法获取该条航线内有效的激光点云数据或 POS 数据；
- b) 激光点云数据无法满足该条航线成果点云密度或精度要求。

7.5.2 遗漏补测

以下情况应进行遗漏补测：

- a) GNSS 短时失锁引起航线内局部数据无法满足要求；
- b) 因飞行姿态引起激光点云航线数据拼接时出现局部数据缺失；

c) 因水下复杂地形变化引起激光点云航线数据拼接时出现局部数据缺失。

8 数据处理

8.1 数据处理流程

机载激光水下地形测量数据处理的主要流程见图 2,必要时可根据实际需求进行适当调整。

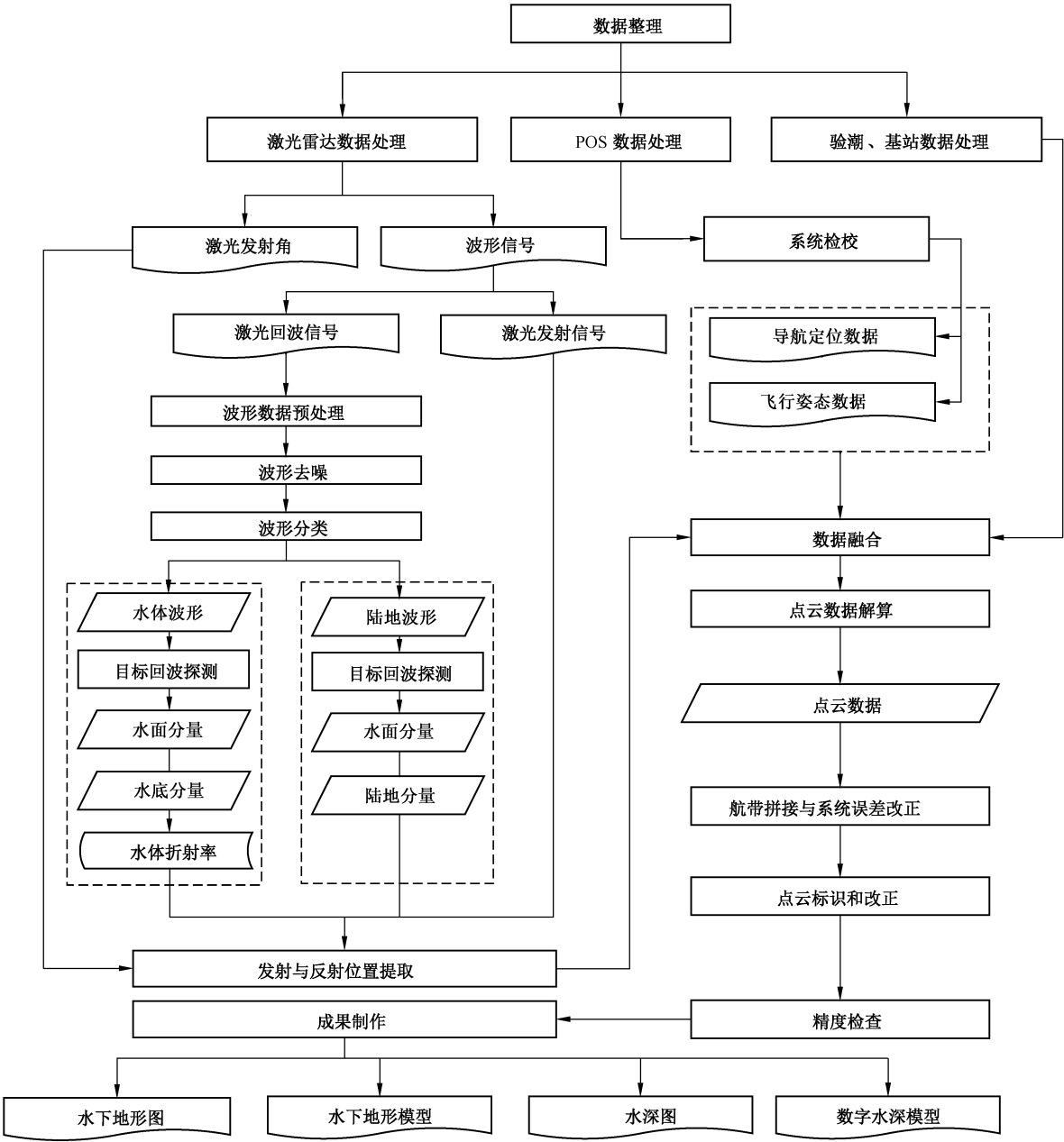


图 2 机载激光水下地形测量数据处理流程

8.2 数据整理

数据获取后,应对激光雷达、移动站 IMU/GNSS、基站 GNSS、飞行记录等数据进行整理并检查数据的完整性。整理后的数据应包括以下内容:

- a) 激光雷达原始数据；
- b) 移动站 IMU/GNSS 数据；
- c) 基站 GNSS 观测数据；
- d) 水体漫衰减系数、折射率、潮位等与数据处理及成果质量检核相关的其他数据信息。

8.3 波形数据处理

8.3.1 波形数据预处理

按照激光发射时序、航高、水深以及回波强度等统计特性,从回波波形数据中截取包含激光发射、海表反射、水体散射和水底反射信息的有效部分。

8.3.2 波形去噪

采用数字信号滤波等方法将系统硬件、传播介质以及背景等因素对回波波形强度所造成的随机干扰消除,确保处理后的回波波形平滑唯一。

8.3.3 波形分类

按照回波波形的时域、频域等特征,将回波波形分成陆地波形和水体波形。

8.3.4 发射和反射位置提取

根据激光发射信号的波形特征,提取激光发射位置。根据反射信号的波形特征,提取陆地波形的地表反射位置,以及水体波形的海表和水底反射位置,按照陆地、水体表面和水底对反射位置特征进行标识。

8.4 POS 数据处理

对 IMU/GNSS 数据和基站 GNSS 数据进行后处理,获得传感器高精度的位置和姿态数据。

8.5 点云数据处理

8.5.1 点云数据解算

根据激光的传播过程与系统内部各数据采集单元间的空间位置关系,在采集时间同步的条件下经过水体折射率改正计算测区范围内所得目标反射界面的空间位置,形成点云数据。按照 CH/T 8023 中点云数据解算要求进行。

8.5.2 航带拼接和系统误差改正

航带拼接时,不同航带间(含同架次和不同架次)点云数据同名点的平面位置中误差应小于平均点云间距,高程中误差应不大于表 3 规定中误差。

8.5.3 点云标识和改正

对解算后的点云数据进行标识,要求如下:

- a) 根据激光雷达反射位置特征标识,对点云数据按照水面、水底及陆面进行标识;
- b) 将明显低于水底/陆地地表的点、明显高于地表目标的点和明显高于水面且标识为水底的点进行剔除;
- c) 可根据海面点云拟合波浪形态,进行水底点云位置改正。

8.5.4 精度检查

经过数据编辑及各项改正后,采用检查航线和采集航线交叉比对的方式,检查水下激光点云对应的高程精度,高程中误差应不大于表 3 中高程中误差的 $\sqrt{2}$ 倍。

8.6 成果制作

8.6.1 水下地形图

水下地形图是按照一定投影标准与比例尺编绘,并以等高线表示水下地形起伏与地理空间位置的地图产品。水下地形图制作中地图注记、图式及图廓等具体要素应符合 GB/T 20257 中的相关要求。

8.6.2 水深图

水深图是按照一定投影标准与比例尺编绘,并以等深线表示区域水深变化与地理空间位置的地图产品。水深图制作中地图注记、图式及图廓等具体要素可按照 GB 12319 和 GB/T 32067 中的相关要求。

8.6.3 水下地形模型

水下地形模型采用格网及其交点上的高程数据描述区域范围内水下地形形态的空间分布,水下地形模型的制作应符合 CH/T 9009.2 和 CH/T 9008.2 中的相关要求。

8.6.4 数字水深模型

数字水深模型采用格网及其交点上的水深数据描述区域范围内水深变化及其空间分布,数字水深模型的制作应符合 CH/Z 9026 中的相关要求。

9 成果质量检查

9.1 成果质量检查与验收

成果质量检查验收应符合 GB/T 24356 和 GB/T 18316 的相关要求,且满足技术设计书的要求。

作业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生产委托方的验收。各级检查工作应独立进行,不应省略或代替。

各级在检查、验收中,如发现成果不符合要求时,应退回有关单位或部门处理。

9.2 原始采集成果的检查

原始采集成果的检查内容应包括:

- a) 激光雷达的综合检校参数的正确性;
- b) 波形数据的完整性;
- c) POS 数据的完整性;
- d) 点云的重叠度和完整性;
- e) 点云密度;
- f) 点云噪声;
- g) 点云数据的平面精度和高程精度。

9.3 后处理成果检查

9.3.1 水下地形图

水下地形图质量检查的内容应包括:

- a) 水下地形图特征点、等高线与点云数据符合性；
- b) 水下地形图高程数据与点云数据符合性；
- c) 水下地形图与水下数字地形模型的套合精度；
- d) GB/T 17278 规定的其他质量检查内容。

9.3.2 水深图

水深图质量检查的内容应包括：

- a) 基面转换关系的准确性；
- b) 水深图与水下地形图数据的符合性；
- c) 地物地貌的标注与位置的符合性；
- d) GB 12327 规定的其他质量检查内容。

9.3.3 水下地形模型

水下地形模型质量检查的内容应包括：

- a) 水下地形模型格网与点云数据符合性；
- b) 水下地形模型覆盖范围及格网尺寸的正确性；
- c) GB/T 17278 规定的其他质量检查内容。

9.3.4 数字水深模型

数字水深模型质量检查的内容应包括：

- a) 数字水深模型格网与点云数据符合性；
- b) 数字水深模型覆盖范围及格网尺寸的正确性；
- c) CH/Z 9026 规定的其他质量检查内容。

10 成果整理与上交

10.1 成果提交要求

成果提交应符合下列要求：

- a) 技术文档齐全、完整，内容真实、表述准确；
- b) 各项作业记录、技术资料和成果数据完整。

10.2 成果提交内容

成果提交内容主要包括：

- a) 技术设计书；
- b) 设备校验的相关资料；
- c) 测绘仪器检定证书；
- d) 原始数据及成果图件；
- e) 元数据；
- f) 技术总结；
- g) 检查报告与验收报告；
- h) 其他相关资料。

附 录 A
(规范性附录)
波形成果元数据

波形成果元数据的基本内容见表 A.1。

表 A.1 波形成果元数据

序号	数据项	数据类型	约束条件	填写说明
1	项目名称	字符串	必填	
2	项目编号	字符串	可选	
3	成果生产单位名称	字符串	必填	
4	仪器生产单位名称	字符串	必填	
5	仪器名称	字符串	必填	
6	仪器型号	字符串	必填	
7	仪器编号	字符串	必填	
8	仪器固件版本号	字符串	必填	Major.Minor.Release.Build 例如 2.0.1.3365
9	成果采集日期	字符串	必填	2019-09-04 09:09:00
10	测量条带编号	字符串	可选	
11	波形个数	字符串	必填	数据的波形个数
12	波形采样时间间隔 单位	字符串	必填	单位:纳秒(ns)
13	码盘分辨率	字符串	必填	单圈的码盘计数值
14	角度单位	字符串	必填	单位:度(°)
15	坐标单位	字符串	必填	单位:米(m)
16	波形通道数	字符串	必填	共有几个波形通道
17	波形通道描述	字符串	必填	通道一为红外通道,通道二为浅水通道, 通道三为深水通道
18	波形种类	字符串	必填	共有几种波形
19	波形种类描述	字符串	必填	陆地波形,无水底的水体波形, 有水底的水体波形
20	主波零位	字符串	必填	主波采样时刻对应的采样时间计数值
21	码盘零位	字符串	必填	扫描零位角对应的码盘计数值
22	波形数据格式	字符串	必填	

表 A.1（续）

序号	数据项	数据类型	约束条件	填写说明
23	大地基准	字符串	必填	
24	平面坐标系	字符串	必填	
25	高程基准	字符串	必填	
26	数据质量评分	字符串	必填	
27	数据质量检查单位	字符串	必填	
28	数据质量检查日期	字符串	必填	



附 录 B
(规范性附录)
点云成果元数据

点云成果元数据的基本内容见表 B.1。

表 B.1 点云成果元数据

序号	数据项	数据类型	约束条件	填写说明
1	项目名称	字符串	必填	
2	项目编号	字符串	可选	
3	成果生产单位名称	字符串	必填	
4	仪器生产单位名称	字符串	必填	
5	仪器名称	字符串	必填	
6	仪器型号	字符串	必填	
7	仪器编号	字符串	必填	
8	仪器固件版本号	字符串	必填	Major.Minor.Release.Build 例如 2.0.1.3365
9	成果采集日期	字符串	必填	2019-09-04 09:09:00
10	测量条带编号	字符串	可选	
11	点云个数	字符串	必填	数据的点云个数
12	灰度分辨率	字符串	必填	255
13	坐标单位	字符串	必填	单位:米(m)
14	点云分类数	字符串	必填	共有几种点云类型
15	点云类型描述	字符串	必填	陆地,水面,水底,水中
16	点云数据格式	字符串	必填	
17	大地基准	字符串	必填	
18	平面坐标系	字符串	必填	
19	高程基准	字符串	必填	
20	数据质量评分	字符串	必填	
21	数据质量检查单位	字符串	必填	
22	数据质量检查日期	字符串	必填	
23	项目名称	字符串	必填	
24	项目编号	字符串	可选	



表 B.1 (续)

序号	数据项	数据类型	约束条件	填写说明
25	成果生产单位名称	字符串	必填	
26	仪器生产单位名称	字符串	必填	
27	仪器名称	字符串	必填	
28	仪器型号	字符串	必填	

附 录 C
(规范性附录)
安置角计算记录

安置角计算记录表见表 C.1。

表 C.1 安置角计算记录

基本信息	检校场名称		飞机型号	
	激光雷达型号		IMU 型号	
	机载 GNSS 型号			
	备注：			
安置角	横滚角	俯仰角	偏航角	
单位(rad)				

测量人员：
年 月 日

审核人员：
年 月 日

附 录 D
(规范性附录)
偏心分量测量记录

偏心分量测量记录表见表 D.1。

表 D.1 偏心分量测量记录

基本信息	测区名称		飞机型号	
	激光雷达型号		IMU 型号	
	机载 GNSS 型号			
	备注：			
偏心分量	GNSS 偏心分量	IMU 偏心分量	激光雷达偏心分量	
航向/mm				
旁向/mm				
竖直向/mm				
激光雷达、IMU、GNSS 天线安装示意图 ^a 。				
^a 激光雷达、IMU、GNSS 天线安装示意图应由操作人员在实际操作过程中,根据各设备安装关系提供。				

测量人员：
年 月 日

审核人员：
年 月 日



附 录 E
(资料性附录)
偏心分量测量记录示例

偏心分量测量记录表示例见表 E.1。

表 E.1 偏心分量测量记录示例

基本信息	测区名称	宁夏××地区	飞机型号	PC-6
	激光雷达型号	ML3500	IMU 型号	IMU-21
	机载 GNSS 型号	Trimble GPS-16		
	备注:姿态与定位系统使用 POS AV610,IMU 和 GPS 为相应系统默认型号			
偏心分量	GNSS 偏心分量	IMU 偏心分量	激光雷达偏心分量	
航向/mm	912	—32	0	
旁向/mm	—16	25	0	
竖直向/mm	1 013	102	0	

激光雷达、IMU、GNSS 天线安装示意图：

说明：

O —— 激光雷达原点；

G —— GPS 原点；

I —— IMU 原点；

$X、Y、Z$ —— 参考坐标系坐标轴；

$X_g、Y_g、Z_g$ —— GNSS 坐标系坐标轴；

$X_i、Y_i、Z_i$ —— IMU 坐标系坐标轴。

如图所示,选择激光雷达原点 O 为参考点,参考坐标系坐标轴分别为 $X、Y$ 和 Z ,飞行方向近似平行于 X 坐标轴向。GPS 和 IMU 偏心分量为平行于参考坐标轴 $X、Y$ 和 Z ,分别测量 GPS 原点 G 和 IMU 原点 I 相对于原点 O 的偏移量。

测量人员:×××
××××年××月××日

审核人员:×××
××××年××月××日

附 录 F
(规范性附录)
飞 行 记 录

飞行记录表见表 F.1。

表 F.1 飞行记录表

项目名称				测区名称							
起飞时间				降落时间							
激光扫描参数(激光重频、转速等)											
参加人员				天气情况							
备注											
航线号		开机时间		关机时间		飞行速度		飞行高度		备注	

测量人员：
年 月 日

审核人员：
年 月 日

参 考 文 献

[1] GB/T 14911—2008 测绘基本术语
[2] GB/T 15918—2010 海洋学综合术语
[3] GB/T 17501—2017 海洋工程地形测量规范
[4] GB/T 21336—2008 地理信息 质量评价过程
[5] GB/T 21337—2008 地理信息 质量原则
[6] GB/T 27919—2011 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范
[7] CH/T 3014—2014 数字表面模型 机载激光雷达测量技术规程
[8] CH/T 8016—1995 全球定位系统(GPS)测量型接收机检定规程
[9] CH/T 8021—2010 数字航摄仪检定规程
[10] JT/T 790—2010 多波束测深系统测量技术要求
[11] IHO Standards for Hydrographic Surveys(S-44) 5th Edition, February 2008

