

中华人民共和国水利行业标准

SL/T XXXX—20XX

流域下垫面激光雷达测量技术规范

specifications for underlying surface of basin survey using LiDAR

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

中华人民共和国水利部 发布

前 言

据水利技术标准制修订计划安排，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》和 SL/T 1-2024《水利技术标准编写规程》的要求，编制本标准。

本标准共 10 章，其主要技术内容有：

- 基本要求；
- 数据采集；
- 数据预处理；
- 地形信息提取；
- 数据质量控制；
- 成果整理与提交。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部信息中心

本标准解释单位：水利部信息中心

本标准主编单位：水利部信息中心

本标准参编单位：

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：XXX XXX XXX XXX XXX XXX XXX XXX
XXX XXX

本标准审查会议技术负责人：XXX

本标准体例格式审查人：XXX

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条 2 号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn；网址：<http://gjkj.mwr.gov.cn/jsjd1/bzcx/>）。

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 基本要求	2
5.1 工作流程	2
5.2 时空基准	2
5.3 装载方式	2
5.4 点云要求	2
6 数据采集	3
6.1 资料收集	3
6.2 现场踏勘	3
6.3 技术设计	3
6.4 仪器设备选择与检校	3
6.5 采集作业	3
7 数据预处理	4
7.1 处理流程	4
7.2 数据整理	4
7.3 POS 数据处理	4
7.4 点云数据处理	5
7.5 精度检查	5
7.6 点云成果要求	5
8 地形信息提取	5
8.1 DEM/DSM 数据制作	5
8.2 HDEM 数据制作	5
8.3 断面信息提取	9
8.4 地形高程变化信息提取	10
9 数据质量控制	12
9.1 基本要求	12
9.2 检查内容	12
10 成果整理与提交	12
10.1 成果整理	12
10.2 成果封装	12
10.3 成果提交	13
参 考 文 献	14

流域下垫面激光雷达测量技术规范

1 范围

本标准规定了流域下垫面激光雷达测量的基本要求、数据采集、数据预处理、地形信息提取、数据质量控制以及成果整理与提交。

本标准适用于采用激光雷达技术的流域下垫面地形信息提取。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

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 1004 测绘技术设计规定

CH/T 3020 实景三维地理信息数据激光雷达测量技术规程

CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T 9022 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 1:5000 1:10000数字表面模型

CH/T 9023 基础地理信息数字成果 1:25000 1:50000 1:100000数字表面模型

SL/T 837 数字孪生水利数据底板地理空间数据规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

流域 basin

指由分水线所包围的河流集水区。分地面集水区和地下集水区两类。

注：本标准中的流域特指地面集水区。

3.2

下垫面 underlying surface of basin

指由地表各类覆盖物所组成，并能影响水量平衡及水文过程的一个综合体，包括地表面的岩石、土壤、植被和液态水体直接接触的地表面等各种要素。

3.3

水利数字高程模型 hydraulic digital elevation model

适用于表达地表水流连通性的一种 DEM，其特征在于去除涵洞、桥梁、悬空管线等通水建（构）筑物高程信息，保留堤防、大坝、圩垸等挡水建（构）筑物高程信息，嵌刻水下地形模型，满足流域产汇流计算、洪水演进模拟等防洪应用需求。

[引用：SL/T 837-2025 的 3.5]

4 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

CGCS2000 2000 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)

CORS 连续运行基准站 (Continuously Operating Reference Station)

DEM 数字高程模型 (Digital Elevation Model)

DOM 数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map)

DSM 数字表面模型 (Digital Surface Model)

GNSS 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

HDEM 水利数字高程模型 (Hydraulic Digital Elevation Model)

IMU 惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit)

POS 定位测姿系统 (Position and Orientation System)

TIN 不规则三角形格网 (Triangulated Irregular Network)

WPIM 水利工程信息模型 (Water Conservancy projects information modeling)

5 基本要求

5.1 工作流程

宜包括数据采集、数据预处理、地形信息提取、数据质量控制和成果整理与提交。

5.2 时空基准

时空基准应满足以下要求：

- a) 大地基准、高程基准、时间基准应符合 SL/T 837 中 5.1 条的规定；
- b) 投影应采用高斯-克吕格投影，测图比例尺大于或等于 1:2000 宜采用 1.5° 带投影，1:5000~1:10000 宜采用 3° 带投影，小于 1:10000 宜采用 6° 带投影。也可根据实际需要采用其它投影。

5.3 装载方式

激光雷达装载方式的选择宜符合以下要求：

- a) 流域、蓄滞洪区、洪泛区、防洪保护区等广域范围数据采集宜采用机载式；
- b) 水域库岸被植被遮挡且机载式无法有效获取数据的区域宜采用船载式；
- c) 大坝变形监测、闸门安全监测、边坡稳定性监测等小区域精细化测量宜采用地面固定式；
- d) 涵洞、输水隧洞、管理用房等其他平台激光雷达不便施测区域或工程室内无 GNSS 环境下的测量宜采用便携式。

5.4 点云要求

激光雷达点云宜符合以下要求：

- a) 点云密度、点云精度宜参照 SL/T 837 中 6.4 条执行；
- b) 点云分类宜参照 CH/T 8023 中 5.6 条执行；
- c) 点类提取可根据实际应用场景需要提取不同点类数据，生成业务场景专题产品成果；
- d) 以上要求可根据作业区域的地形条件以及成果技术设计要求适当调整。

6 数据采集

6.1 资料收集

数据采集作业前，宜按需收集以下资料：

- a) 测区范围、行政区划、自然地理、人文、交通、气象等测区资料；
- b) 已有外业控制点成果、CORS 站资料等控制资料；
- c) 测区地形图、DEM、河道断面、DOM、地表覆盖、植被盖度等地理信息资料；
- d) 流域防洪、水资源管理与调配、水利工程建设与运行管理、河湖监管等水利业务数据；
- e) 其他相关资料。

6.2 现场踏勘

作业前，现场踏勘应符合以下要求：

- a) 应对测区的 GNSS 基站位置及飞行器起降场地、船舶停靠场地、地面架设点等作业相关场地进行现场踏勘，选择合适位置；
- b) 应实地了解测区水文、气象、自然地理、人文及交通情况；
- c) 应对所收集资料的可靠性和准确性进行分析和现场判断。

6.3 技术设计

技术设计应符合以下要求：

- a) 技术设计时应根据项目总体要求、已有资料分析结果、现场踏勘情况及相关规范编制技术设计书；
- b) 技术设计书的编制应符合 CH/T 1004 的规定，应经审核后实施。

6.4 仪器设备选择与检校

仪器设备选择与检校应符合以下要求：

- a) 根据作业区域的特点以及成果对点云密度及数据精度的要求，选择适宜的激光雷达和装载平台；
- b) 在项目实施前应进行设备检校，并应符合 CH/T 3020 中 5.4 条规定。

6.5 采集作业

采集作业应符合以下要求：

- a) 应选择气象、水域情况最有利时间的开展作业，优先在天气晴朗、空气质量优良且水面无结冰的情况下进行；
- b) 采集涉水建（构）筑物区及上下游影响区数据时，宜在调水调沙、排沙期后等水位较低时进行；
- c) 野外作业应配备安全生产所需的救生、消防和通讯系统等；
- d) 使用船载方式时，应评估水文条件，按规定向航行管理部门进行报备；使用机载方式时，应预先提出无人机飞行申请，经批准后方可实施；
- e) 不同装载方式的激光雷达数据采集要求应符合 CH/T 3020 第 6～9 章的相关规定。

7 数据预处理

7.1 处理流程

激光雷达数据预处理的主要流程见图 1，宜包括数据整理、POS 数据处理、点云数据处理和精度检查，必要时可根据实际需求进行适当调整。

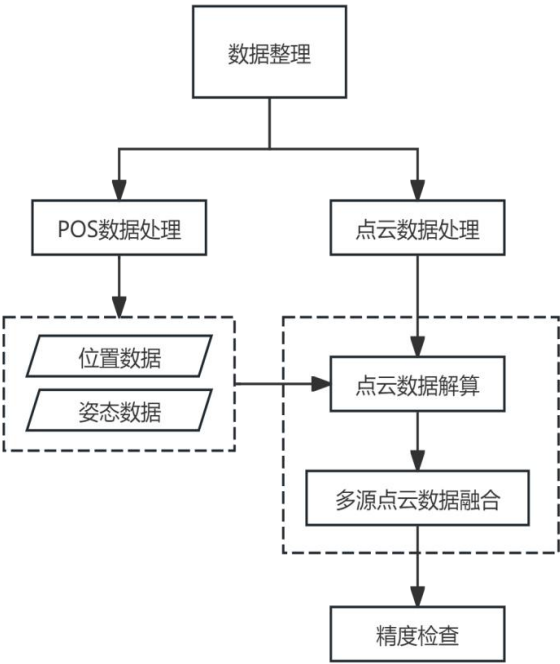


图 1 数据预处理流程图

7.2 数据整理

数据获取后，应根据后续数据处理需求对系统检校数据、激光测距数据、基站 GNSS 数据、POS 数据和点云数据等进行整理。

7.3 POS 数据处理

应对 IMU/GNSS 数据和基站 GNSS 数据进行处理，获得满足点云数据处理精度的位置和姿态数据。

7.4 点云数据处理

7.4.1 点云数据解算

点云数据解算要求如下：

- a) 应联合 POS 数据和激光测距数据，附加系统检校数据，进行点云数据解算，生成三维点云；
- b) 点云数据格式宜采用 LAS、ASCII 码或其他格式存储。

7.4.2 多源点云数据融合

多源点云数据融合要求如下：

- a) 利用机载式、船载式、地面固定式、便携式等不同装载方式激光雷达技术采集的多源点云时，应进行数据融合处理，融合处理宜包括点云坐标转换、格式转换、点云滤波、点云配准、点云分类等；
- b) 不同来源点云数据同名点的平面位置中误差应小于平均点云间距，高程中误差应遵循 5.4 条相关规定；
- c) 点云分类应分为地面点、非地面点、专题点，应遵循 5.4 条相关规定。

7.5 精度检查

预处理完成后，应采用特征点校核的方式检查点云数据的精度，编写点云数据精度检查报告。

7.6 点云成果要求

元数据、质量要求、分幅要求、文件命名等成果技术指标与规格宜满足 SL/T 837 中 5.6 和 6.4 条的规定。

8 地形信息提取

8.1 DEM/DSM 数据制作

8.1.1 DEM 制作流程

DEM制作流程应包括数据准备、提取地面点、特征线采集、TIN构建、规则格网生成、数据编辑、接边、裁切、存储。

8.1.2 DSM 制作流程

DSM 制作流程宜参考 8.1.1 条 DEM 的制作流程，在提取点云地面点的同时还应提取植被点、建（构）筑物点等其他地表点云作为构 TIN 的特征点。

8.1.3 DEM/DSM 成果要求

元数据、格网尺寸、数据格式、精度要求、数据接边、质量要求、分幅要求、文件命名等成果技术指标与规格应满足 SL/T 837 中 5.6 条和 6.2 条的规定。

8.2 HDEM 数据制作

8.2.1 点云制作 HDEM

8.2.1.1 制作流程

点云制作 HDEM 的主要流程见图 2，宜包括数据准备、涉水建（构）筑物点云分类、地形特征点（线）获取、数据融合、构建 TIN、规则格网生成、数据编辑、接边、裁切、存储，必要时可根据实际需求进行适当调整。

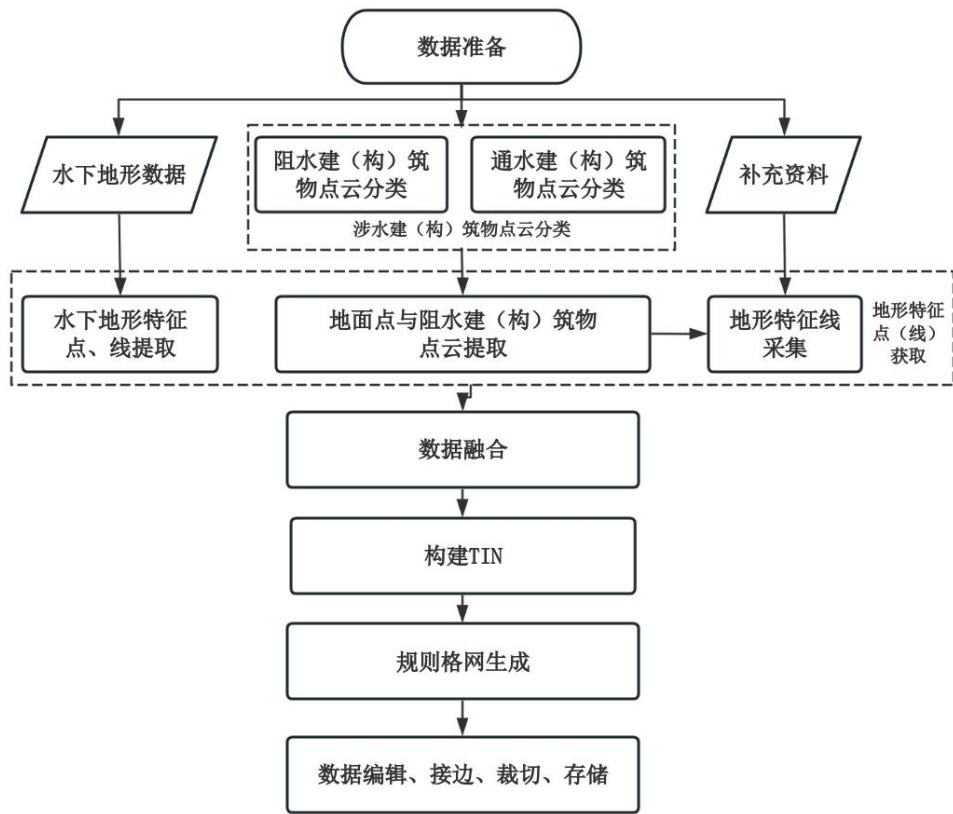


图 2 点云数据制作 HDEM 流程图

8.2.1.2 过程要求

点云制作 HDEM 过程要求如下：

a) 数据准备宜包括以下内容：

- 1) 基本资料宜包括点云成果数据、水下地形数据等，点云成果数据应满足 7.6 条的相关要求；
- 2) 补充资料宜包括辅助点云分类判读以及特征线采集的航空摄影测量区域网平差成果、4D 产品、倾斜摄影模型、WPIM、涉水建筑物位置和属性信息（如桥梁、涵洞、水闸、大坝等矢量位置和属性）等资料。

b) 涉水建（构）筑物点云分类应满足以下要求：

- 1) 各类型涉水建（构）筑物点云分类宜参照表 1 规定的通水或阻水特性执行。

表 1 涉水建（构）筑物通/阻水特性参照表

序号	涉水建（构）筑物类型	通/阻水特性
1	桥梁（含栈桥）	通水
2	涵洞	通水
3	索道	通水
4	悬空管线	通水
5	堤防、坡坎、埝等	阻水
6	围村堤、圩堤等	阻水
7	防洪墙	阻水
8	塘坝、橡胶坝等	阻水
9	水库大坝	阻水
10	挡水道路（公路和铁路）、撤退道路、过水道路等	阻水
11	避水台	阻水
12	水闸	按实际业务需求确定通阻水性
13	渡槽	按实际业务需求确定通阻水性
14	倒虹吸	按需保证自然河流或渠道通水
注：表中未列涉水建（构）筑物按实际通水或阻水特性参照执行。		

2) 涉水建（构）筑物的分类判读宜根据 DOM、倾斜摄影模型、WPIM、涉水建筑物位置和属性信息等补充资料辅助确定。

c) 地形特征点（线）获取应满足以下要求：

- 1) 应满足 CH/T 8023 中 7.1.1 条和 7.1.2 条的要求；
- 2) 在涉水建（构）筑物区域，若因特征点缺失而影响地形细节与精度，应采用航空摄影测量区域网平差成果、倾斜摄影模型和 WPIM 等补充资料进行特征线的采集；
- 3) 当补充资料无法满足时，应进行外业实测或补测，以确保地形特征点（线）的准确性与完整性。

d) 数据融合处理应满足以下要求：

- 1) 应保证地形特征线无缝连接、高程过渡合理；
- 2) 应保证地形特征线与点云特征点在重合区域高程值一致、合理；
- 3) 应保证陆地与水下特征点（线）无明显接边痕迹，数据过渡自然。

8.2.2 DEM制作HDEM

8.2.2.1 制作流程

DEM制作HDEM的主要流程见图3，宜包括数据准备、通水建（构）筑物去除、阻水建（构）筑物增补、HDEM生成、接边、裁切、存储，必要时可根据实际需求进行适当调整。

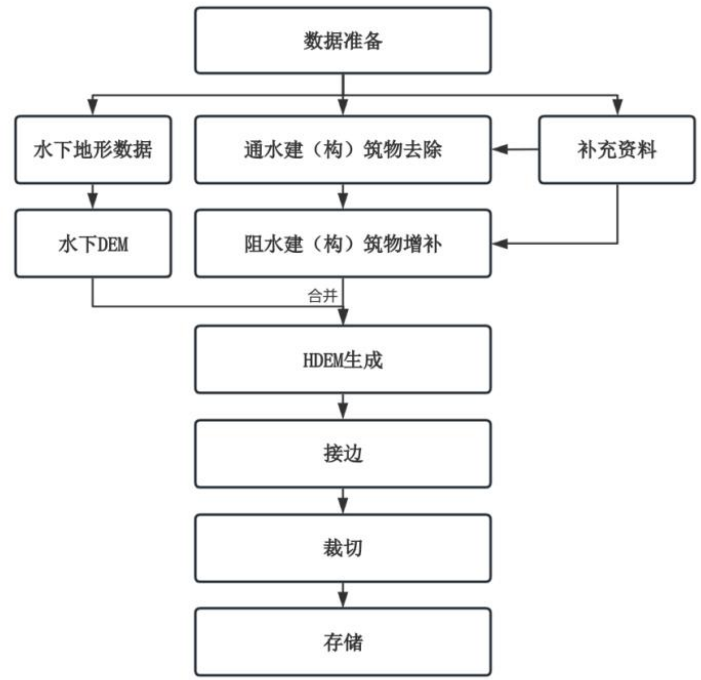


图3 DEM数据制作HDEM流程示意图

8.2.2.2 过程要求

DEM制作HDEM过程要求如下：

- a) 数据准备应包括DEM数据、水下地形数据及补充资料；补充资料除8.2.1.2条规定的内容外，宜包括点云成果数据。
- b) 涉水建（构）筑物去除、增补要求如下：
 - 1) 宜参照表1的规定确定各类涉水建（构）筑物的通水或阻水特性；
 - 2) 应直接编辑DEM数据，去除具有通水特性的涉水建（构）筑物，使其高程与周边地形基本一致、平滑过渡；
 - 3) 应利用具有阻水特性的建（构）筑物轮廓、高程信息，结合补充资料提供的位置、属性等数据进行DEM增补编辑，保证阻水建（构）筑物形状完整、空间位置和高程准确；
 - 4) 对于复杂的涉水建（构）筑物，应利用补充资料构建建（构）筑物高程模型，并与DEM进行叠加、融合；
 - 5) 已有补充资料无法满足去除、增补要求时，应采用激光雷达扫描测量、航空摄影测量或外业实测等手段采集阻水建（构）筑物信息，用于内业增补编辑。

- c) 水下 DEM 制作应充分利用水下点云数据、水下地形图、河道大断面、水下高程注记点、等深线等水下地形数据。
- d) HDEM 应利用去除、增补后的 DEM 数据与水下 DEM 接边、合并生成，并应满足 SL 837 中 6.2.3.3 和 6.2.3.4 的要求。

8.2.3 HDEM 成果要求

HDEM 成果应满足以下要求：

- a) 不同区域格网尺寸大小不宜低于表 2 的规定；
- b) 高程精度采用格网点的高程中误差表示，应满足表 2 的规定；

表 2 HDEM 格网尺寸及高程中误差要求（单位：m）

列项	区域	流域	防洪影响区 /保护区	蓄滞洪区 /圩垸	水库库 区	河道	渠道	堤防（围堤、 圩堤等）	水工构筑物（大 坝、水闸等）
HDEM 格网尺寸		10	5	2.5	2	1	1	0.5	0.5
HDEM 高程 中误差	平地	±0.5	±0.5	±0.5	±0.4	±0.2	±0.2	±0.1	±0.1
	丘陵	±1.2	±1.2	±1.2	±0.5	±0.5	±0.2	±0.1	±0.1
	山地	±2.5	±2.5	±2.5	±1.2	±0.7	±0.2	±0.1	±0.1
	高山 地	±2.5	±2.5	±2.5	±1.5	±1.5	±0.2	±0.1	±0.1

- c) 元数据、数据格式、数据接边、质量要求、分幅要求、文件命名等成果技术指标与规格应满足 SL/T 837 的规定。

8.3 断面信息提取

8.3.1 提取流程

断面信息提取的主要流程见图4，宜包括数据准备、断面位置点云分类、测点提取、数据整理、数据存储，必要时可根据实际需求进行适当调整。

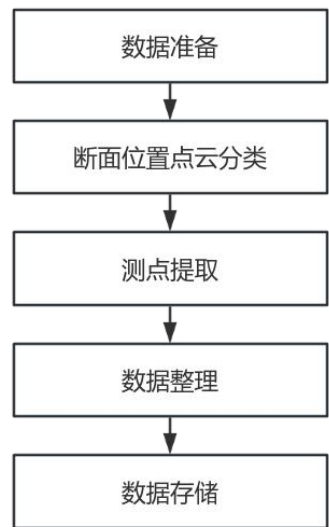


图 4 断面信息提取流程图

8.3.2 过程要求

断面信息提取过程要求如下：

- a) 数据准备应包括点云成果数据、水下地形数据、断面位置及辅助判别地物的航空摄影测量空三加密区域网平差成果、DOM、倾斜摄影模型等补充资料。
- b) 应保证地面点、地物端点、堤（坡）顶点，堤（坡）脚点、坡度变换处点云分类正确。
- c) 测点提取应满足以下要求：
 - 1) 地物轮廓的两端、堤（坡）顶点，堤（坡）脚点、坡度变换处、水边和水下深泓点若无点云或实测数据，应进行野外断面信息采集补充，并按照断面位置提取完整的断面测点数据；
 - 2) 断面测点提取也可先将点云分类数据、水下地形数据、实测数据等数据进行合并，构建 TIN 后提取；
 - 3) 断面测点偏离断面线的距离应符合 SL/T 837 中 6.5.3.1 条的规定。
- d) 数据整理应满足以下要求：
 - 1) 应按照断面基点顺序依次整理测点数据；
 - 2) 应结合点云分类数据、水下地形数据、实测数据及补充资料判定测点属性并进行属性赋值，如左右基点、深泓点、堤顶/堤角点、坡顶/坡底点等属性信息。

8.3.3 成果要求

元数据、数据格式、质量要求、文件命名等成果技术指标与规格应满足 SL/T 837 的相关规定。

8.4 地形高程变化信息提取

8.4.1 提取流程

地形高程变化信息提取的主要流程见图 5，宜包括数据准备、DEM/HDEM 数据预处理、叠加计算、高程变化信息获取、数据存储，必要时可根据实际需求进行适当调整。

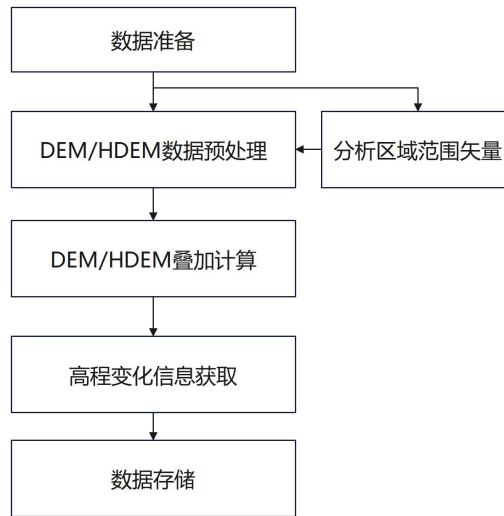


图 5 地形高程变化信息提取流程图

8.4.2 过程要求

地形高程变化信息提取过程要求如下：

- a) 数据准备宜包括以下内容：
 - 1) 点云地面点数据或 DEM、HDEM 等地形数据，范围完整覆盖监测区域，且至少包含两期数据；
 - 2) 变化提取区域范围矢量。
- b) DEM/HDEM 数据预处理应满足以下要求：
 - 1) 应将点云地面点转换为 DEM 数据；
 - 2) 应将不同时期的 DEM/HDEM 转换为统一的坐标系统、投影方式和高程基准，并应按照变化提取区域范围矢量进行裁剪对齐。
- c) DEM/HDEM 叠加计算应满足以下要求：
 - 1) 应将不同时期的 DEM 数据进行叠加，计算获取高程变化值、位移值、填挖方量和库容变化等信息；
 - 2) 应根据高程变化值分布和大小提取监测区域地形变化区域和变化量。
- d) 高程变化信息获取应根据叠加计算结果生成变化区域矢量范围、单点高程变化值、区域变化值分布和变化总值。

8.4.3 高程变化成果要求

高程变化成果应满足以下要求：

- a) 点云数据、DEM/HDEM 精度要求应满足 8.2.3 条中表 2 的相关规定；

- b) 地形变化信息成果格式应为矢量、表格或栅格等通用格式存储，便于统计、分析和使用。

9 数据质量控制

9.1 基本要求

数据质量控制应满足以下基本要求：

- a) 技术设计：技术设计内容应符合本标准的全部技术要求；
- b) 质检体系：每道工序完成后，须立即开展自检并记录结果。在自检基础上，分工序或分阶段实施互检，重点检查关键环节；
- c) 成果验收：质量检查与验收应符合 GB/T 24356、GB/T 18316 及技术设计书的规定。

9.2 检查内容

质量检查审核内容应包括以下方面：

- a) 完整性：审核原始数据、预处理成果及信息提取成果是否覆盖监测范围，数据成果内容是否完整无缺失；
- b) 规范性：审核数据成果坐标系统、投影参数、元数据格式、表述方式等是否与标准相符；
- c) 准确性：审核 GNSS、POS 数据的位置精度和姿态精度、成果数据的空间位置精度、属性准确性等是否满足标准精度要求；
- d) 合理性：审核挡水设施表达、水系连通性、区域高程值等是否合理。

10 成果整理与提交

10.1 成果整理

成果整理应符合以下要求：

- a) 应对成果资料进行整理，按以下内容逐项登记，编制成果清单，成果整理主要包括数据文件和文档资料；
- b) 数据文件应包括激光雷达采集数据、激光雷达预处理成果数据、流域下垫面地形信息提取成果数据、元数据等；
- c) 文档资料应包括成果清单、设备检校相关资料、观测记录资料、检查点数据、技术设计书、技术总结、检查报告与验收报告及其他相关资料。

10.2 成果封装

成果封装应符合以下要求：

- a) 原始记录材料保存原件一份；
- b) 数字成果应分类存储，存储格式应符合本规范的规定；

- c) 文档资料分别保存为纸质和电子（包括光盘或其他移动介质）各一份，电子文档命名与纸质文档相同；纸质文档应装订成册，并制作目录清单，随数字成果一起存储；
- d) 硬盘正面贴硬盘标签，采用硬盘盒包装，硬盘标签上应包括成果类型、传感器类型、数据格式、数据量、生产单位、制作日期等内容。

10.3 成果提交

成果提交应符合以下要求：

- a) 成果提交的目录和文件组织应满足技术设计书要求；
- b) 提交成果应经检查验收后，交下一工序使用；
- c) 上交的成果应准确、齐全、清楚。

参 考 文 献

- [1] GB/T 35650 国家基本比例尺地图测绘基本技术规定
- [2] GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范
- [3] GB/T 39624 机载激光雷达水下地形测量技术规范
- [4] CH/T 1007 基础地理信息数字产品元数据
- [5] CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- [6] CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
- [7] CH/T 3007 数字航空摄影测量测图规范
- [8] SL 197 水利水电工程测量规范
- [9] 水信息〔2022〕147 号 水利部关于印发《数字孪生流域建设技术大纲（试行）》的通知
- [10] 水信息〔2022〕148 号 《数字孪生水利工程建设技术导则（试行）》
- [11] 水信息〔2022〕397 号 水利部关于印发《数字孪生水网建设技术导则（试行）》的通知