ICS 编号
CCS 编号

团　体　标　准

T/CTESGS XXX—2024

激光雷达水道陆域观测技术规程

LiDAR Survey Technical Specifications for Land Areas of Waterway

（报批稿）

2024-XX-XX 发布　　2024-XX-XX 实施

长江技术经济学会　发布

目　　次

前　言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 2
4　缩略语 4
5　总则 4
5.1　一般规定 4
5.2　水道地形观测 4
5.3　固定断面观测 5
5.4　激光点云及模型 6
6　技术准备 7
6.1　资料准备 7
6.2　技术设计 7
6.3　仪器设备及检校 8
6.4　机载激光雷达飞行计划 10
6.5　船/车载激光雷达路线计划 11
6.6　背包/手持三维激光扫描系统路线计划 12
7　数据获取 12
7.1　基准站设测 12
7.2　机载激光雷达外业实施 12
7.3　船/车载激光雷达外业实施 14
7.4　背包/手持三维激光扫描系统外业实施 14
7.5　地面三维激光扫描系统外业实施 15
7.6　外业数据检查与检测 16
8 数据处理与产品制作 18
8.1　数据处理 18
8.2　产品制作 19
9　质量控制 20
9.1　质量控制依据 20
9.2　数学精度 20
9.3　数据质量要求 21
9.4　质量检查与评价 23

10　成果提交与归档 23
附录　A 25
A　偏心分量测定表 25
附录　B 26
B.1　机载激光雷达作业记录表 26
B.2　船/车载激光雷达作业记录表 27
B.3　地面三维激光扫描系统作业记录表 28
B.4　背包/手持三维激光扫描系统作业记录表 29
附录　C 30
C.1　机载激光雷达测量作业流程图 30
C.2　船/车载激光雷达测量作业流程图 30
C.3　地面三维激光扫描系统测量作业流程图 31
C.4　背包/手持三维激光扫描系统测量作业流程图 31
附录　D 32
D.1　点云密度的计算 32
D.2　点云高程中误差的计算 32
D.3　点云相对高程中误差的计算 33
D.4　点云航带拼接高程误差的计算 33
D.5　点云平面精度的计算 34
D.6　点云粗差率的计算 34
D.7　DEM 高程精度的计算 35
参考文献 36

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。

本文件共分为 10 章和 4 个附录，主要技术内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、缩略语、总则、技术准备、数据获取、数据处理与产品制作、质量控制、成果提交与归档。

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。

本文件由长江技术经济学会归口。由长江水利委员会水文局负责具体技术内容解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈给长江技术经济学会（地址：湖北省武汉市江岸区黄浦大街 23 号，邮编：430010，电子邮箱：tb@cjxh.org.cn），以供今后修订时参考。

本文件为全文推荐。

本文件主编部门：长江水利委员会水文局。

本文件参编部门：武汉大学、上海华测导航技术股份有限公司、长江上游水文水资源勘测局、长江中游水文水资源勘测局、长江下游水文水资源勘测局、长江口水文水资源勘测局。

本文件主要起草人：梅军亚　刘世振　陈长军　张　雄　张振军　聂金华　杨　松　冯国正
王宝成　解祥成　魏　猛　何　良　何友福　赵洪星　杨　柳　董丽梅
胡　立　郭志金　付　强　王　露　刘　杰　赖修尉　付　康　赵春霞
李　腾　李启涛　琚泽强　冉中鑫　黎　鹏　李　聪

本文件主要审查人：陈松生　许永辉　董先勇　周丰年　樊　云　梁武南　张　潇　李吉涛
叶　松　夏　婧　李海亮　肖　文

激光雷达水道陆域观测技术规程

1 范围

1.0.1 本文件规定了激光雷达技术在水道陆域观测中的各项指标及数据获取、数据处理、质量控制、成果提交等方面的要求。

1.0.2 本文件适用于河流、湖泊、水库、人工河渠、受潮汐影响的水道及近海等陆域地形与断面观测、三维建模等工作。

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。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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 18314 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范

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

GB/T 36100 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法

GB/T 39624 机载激光雷达水下地形测量技术规范

GB/T 41452 车载移动测量三维模型生产技术规程

SL 197 水利水电工程测量规范

SL 257 水道观测规范

CH/T 1004 测绘技术设计规定

CH/T 2009 全球定位系统实时动态（RTK）测量技术规范

CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范

CH/Z 3005 低空数字航空摄影规范

CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程

CH/T 8021 数字航摄仪检定规程

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 9008.1 基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字线划图

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

CH/T 9008.3 基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字正射影像图

CH/T 9009.1 基础地理信息数字成果 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 第 1 部分：数字线划图

CH/T 9009.2 基础地理信息数字成果 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 数字高程模

型

CH/T 9009.3　基础地理信息数字成果 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 数字正射影像图

数字孪生流域数据底板地理空间数据规范（试行）[水利部文件 办信息〔2022〕325 号]

3　术语和定义

3.0.1

水道观测　waterway survey

以水道水体及其边界为对象进行测量，获取水道三维空间地理信息，进行图件编制、水道量算、资料分析，并采集相关水力泥沙要素的工作。

[来源:SL 257,3.3,有修改]

3.0.2

水道陆域　land area of waterway

水道未被水体覆盖的部分。

3.0.3

固定断面　fixed section

在水道上固定其位置及名称，并长期、连续观测的断面。

[来源:SL 257,3.9,有修改]

3.0.4

激光雷达　LiDAR

发射激光束并接收回波获取目标三维信息的装置。

[来源:GB/T 14950,4.150,有修改]

3.0.5

机载激光雷达系统　airborne LiDAR system

以飞行器为平台，集成激光雷达、定位定姿系统、控制系统等多种传感器所构成的综合系统。

[来源:CH/T 8024,3.4,有修改]

3.0.6

船/车载激光雷达系统　shipborne/vehicular LiDAR system

以船只/机动车为载体，通过一体化集成激光雷达、定位定姿系统、控制系统等多种传感器所构成的综合系统。

3.0.7

背包/手持三维激光扫描系统　backpack/handheld three dimensional laser scanning system

以人员为载体，通过一体化集成定位、激光雷达、惯性测量装置等多种传感器所构成的综合系统。

3.0.8

地面三维激光扫描系统　terrestrial three dimensional laser scanning system

基于地面固定站的一种通过发射激光获取被测物体表面三维坐标、反射光强度等多种信息的非接触式主动测量系统。

[来源:CH/Z 3017,3.1.1,有修改]

3.0.9

点云密度　density of point cloud

单位面积上激光点的平均数量，一般用每平方米的点数表示。

[来源:CH/T 8024,3.7,有修改]

3.0.10

断面点云密度 density of point cloud section

断面线两侧宽度各 0.5m 区域内激光点个数与该区域（水域除外）面积之比，一般用每平方米的点数表示。

3.0.11

植被郁闭度 vegetation canopy density

指植被在阳光直射下在地表形成的投影面积与地表面积之比，它反映地表植被覆盖的密度。

3.0.12

激光有效距离 effective range of the laser

激光扫描仪可以探测的最远有效距离。

[来源:CH/T 8024,3.8,有修改]

3.0.13

反射率 reflectivity

投射到物体上被反射的辐射能与投射到物体上的总辐射能的比率。

[来源:CH/T 8024,3.9,有修改]

3.0.14

扫描角度 scan angle

扫描角度又称视场角，表示激光束的扫描角，指激光束通过扫描装置所能达到的最大角度范围。

3.0.15

旁向重叠度 lateral overlap

相邻航线的相邻像片上具有同一地区影像的部分，本文件中也指激光雷达相邻航带获取的点云重叠区域，通常以百分比表示。

[来源:GB/T 14950,4.54,有修改]

3.0.16

分辨率 resolution

指数据在细节方面的反映能力，本文件中指点云密度、DEM 格网间距及 DOM 地面分辨率等方面的指标。

3.0.17

噪点滤波 noise filtering

对正在采集或处理后信号进行各种滤波处理，去除外界噪声，提高数据质量的方法。

3.0.18

数据精化 data refinement

通过消除点云噪点、减小分层、降低厚度，控制点纠正及减少数据冗余等处理手段，提高点云数据精度和质量，增强数据可用性及可靠性的过程。

3.0.19

空间分辨率 spatial resolution

描述影像数据在空间维度上细节表现能力的一个度量指标，即空间上两个相邻像素中心之间的距离，单位一般为 cm/像素或 m/像素。如果为地面影像，空间分辨率称为地面分辨率，也可称为地面采样距离（GSD）；如果为人工建筑和构建物顶面或侧面影像，则称为空间分辨率。

3.0.20

激光点云模型 LiDAR point cloud model

由激光点云等数据创建的三维模型，为实景水道场景构建提供统一的三维空间定位框架和分析基础。

按照数据精度和适用范围分为L1、L2、L3三级，L1级是数字孪生流域大尺度建模数据；L2级是数字孪生流域重点区域精细建模数据；L3级是进行数字孪生流域重要实体场景建模数据。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CORS：连续运行卫星定位导航服务系统（Continuous Operational Reference System）

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

DEM：数字高程模型（Digital Elevation Model）

DLG：数字线划图（Digital Line Graphic）

DOM：正射影像图（Digital Orthophoto Map）

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

GSD：地面采样距离（Ground Sampling Distance）

IGS：国际GNSS服务组织（International GNSS Service)

IMU：惯性测量装置（Inertial Measurement Unit）

OSGB：开放场景图二进制格式（Open Scene Graph Binary）

POS：定位定姿系统（Position and Orientation System）

RTK：实时动态测量（Real Time Kinematic）

SLAM：同步定位与制图（Simultaneous Localization and Mapping）

S3M：空间三维模型（Spatial 3D Model）

TIN：不规则三角网（Triangulate Irregular Network）

5 总则

5.1 一般规定

5.1.1 空间基准

大地基准应采用CGCS2000，高程基准应采用1985国家高程基准；确有需要采用其他的平面和高程基准时，应与CGCS2000、1985国家高程基准建立联系。

5.1.2 时间基准

时间系统采用公元纪年和北京时间。当采用其他时间系统时，应与北京时间建立联系。

5.2 水道地形观测

5.2.1 数据分辨率要求

激光雷达获取的水道陆域地形数据分辨率应符合表1的要求。

表1 水道陆域地形数据分辨率要求

比例尺	点云密度/（点/m²）			DEM格网间距/m	DOM地面分辨率/m
	植被稀疏	植被较茂密	植被茂密		
1：500	≥22	≥52	≥84	0.5	≤0.05
1：1000	≥6	≥52	≥84	1.0	≤0.1
1：2000	≥6	≥36	≥52	2.0	≤0.2
1：5000	≥2	≥28	≥36	2.5	≤0.5

1：10000	≥1	≥28	≥36	5.0	≤1.0

注 1：表中“点云密度”指的是点云分类前的点云密度。

注 2：“植被稀疏”指 20%以下的测图区域被植被覆盖（郁闭度 0.2 以下）；“植被较茂密”指 20%～80%的测图区域被植被覆盖（郁闭度 0.2～0.8）；“植被茂密”指 80%以上的测图区域被植被覆盖（郁闭度 0.8 以上），下同。

注 3：对于植被极其茂密，激光雷达无法穿透的区域，应采用其他观测方式观测。

注 4：比例尺小于 1：10000 的水道地形按照表中 1：10000 要求执行。

5.2.2 数据精度要求

水道陆域地形观测的数据精度应符合表 2 的要求。

表 2 水道陆域地形数据精度要求

比例尺	地形类别	点云高程中误差/m	DEM 中误差/m	DOM 平面中误差/m
1：500	平原	0.15	0.20	0.3
	山区	0.33	0.40	0.4
1：1000	平原	0.15	0.20	0.6
	山区	0.33	0.50	0.8
1：2000	平原	0.15	0.40	1.2
	山区	0.33	0.50	1.6
1：5000	平原	0.25	0.50	2.5
	山区	0.67	1.20	3.7
1：10000	平原	0.25	0.50	5.0
	山区	0.67	1.20	7.5

注 1：平原是指水道陆域大部分地面倾角＜6°；山区是指水道陆域大部分地面倾角≥6°，下同。

注 2：在植被茂密区域（郁闭度 0.8 以上）、反射率较低区域（如水域、光滑表面等易形成镜面反射的区域）等特殊困难地区，点云高程中误差可在表中基础上放宽 0.5 倍。

注 3：当平原水道地形观测比例尺小于 1：10000 时，数据精度按照表中 1：10000 山区要求执行。

5.2.3 地形特征点提取

5.2.3.1 对于地形特征点，应在点云数据或 DEM 上提取地表点；沿堤顶、堤脚、坎顶、坎脚等地性线提取地形特征点，相邻点间距不应大于图上 0.02m。

5.2.3.3 水边线平面位置可根据该河段 DOM 解译，水边点高程应采用航飞时段的水面高；当采用机载激光雷达观测时，水边点高程可在水边线附近具备代表性水面高的激光点云中提取。

5.3 固定断面观测

5.3.1 数据分辨率要求

采用激光雷达观测固定断面时，宜同步采集 DOM，获取的断面点云密度、DOM 地面分辨率应符合表 3 的要求。

表 3 固定断面数据分辨率要求

比例尺	断面点云密度/（点/m²）			DOM 地面分辨率/m
	植被稀疏	植被较茂密	植被茂密	
1：500	≥44	≥66	≥96	≤0.05
1：1000	≥12	≥66	≥96	≤0.1
1：2000	≥12	≥44	≥66	≤0.2
1：5000	≥4	≥32	≥44	≤0.5

1：10000	≥2	≥32	≥44	≤1.0
注 1：表中“断面点云密度”指的是点云分类前的点云密度。 注 2：对于植被极其茂密或地貌复杂的地区点云密度应加密。				

5.3.2 数据精度要求

固定断面观测的数据精度应符合表 4 的要求。

表 4 固定断面数据精度要求

比例尺	地形类别	点云高程中误差/m	点云平面中误差/m
1：500	平原	0.15	0.50
	山区	0.33	0.75
1：1000	平原	0.15	0.50
	山区	0.33	0.75
1：2000	平原	0.15	0.50
	山区	0.33	0.75
1：5000	平原	0.20	0.50
	山区	0.67	0.75
1：10000	平原	0.20	0.50
	山区	0.67	0.75

5.3.3 固定断面特征点提取

5.3.3.1 应在点云数据中沿固定断面方位准确提取地表点作为岸上断面点。

5.3.3.2 对于固定断面上的堤顶、堤脚、坎顶、坎脚、水边等特征点应在激光点云中准确提取，其属性宜在 DOM 上提取或外业调绘。

5.4 激光点云及模型

5.4.1 数据格式

激光点云数据格式可为 LAS、PCD 等格式；激光点云模型数据格式可为 OSGB、S3M 等格式。

5.4.2 点云密度

不同适用范围的分级激光点云模型点云密度要求应符合表 5 的要求。

表 5 不同适用范围的分级激光点云模型点云密度要求

分级	适用范围	点云密度/（点/m²）
L2 级	流域防洪等重要业务重点关注区	≥32
L3 级	水利工程管理和保护范围	
	重点水工建（构）筑物区域	≥64

5.4.3 点云精度

点云精度分为平面位置精度和高程精度，平面位置精度采用明显地物点平面中误差表示，高程精度采用点云提取点与检测点的高程中误差表示，具体指标应符合表 6 的要求。

表 6　激光点云模型精度要求

分级	平面中误差/m		高程中误差/m	
	平原	山区	平原	山区
L2 级	0.6	0.8	0.33	0.67
L3 级	0.3	0.4	0.15	0.33
注：在植被覆盖茂密、反射率较低（如水域、光滑表面易形成镜面反射的区域）等困难地区，点云模型高程中误差可放宽 0.5 倍。				

5.4.4　空间分辨率

不同适用范围模型的空间分辨率要求应符合表 7 的要求。

表 7　不同适用范围模型的空间分辨率要求

分级	适用范围	空间分辨率/m
L2 级	流域防洪等重要业务重点关注区	≤0.2
L3 级	水利工程管理和保护范围	
	重点水工建（构）筑物区域	≤0.1

6　技术准备

6.1　资料准备

6.1.1　作业区域的行政区划、通讯、交通和自然地理等情况。

6.1.2　作业区域及邻近地区内已有大地测量资料，如大地控制资料、高程控制资料、似大地水准面成果、像控成果、CORS 站等。

6.1.3　作业区域的航飞条件、地形类别、地面覆盖类型、植被郁闭度、水文条件等情况。

6.1.4　作业区域内 DEM、DOM、地形图等相关资料。

6.1.5　实地查勘获取的相关资料及信息。

6.2　技术设计

6.2.1　应依据工作总体要求、成果应用的需求等开展技术设计，技术设计要求及主要内容应符合 CH/T 1004 的规定。

6.2.2　技术设计内容

6.2.2.1　采用机载激光雷达测量时，应了解作业区域的空域管制情况，制定飞行计划，选择飞行时间，规划航线和分区，细化实施方案，对设备检校、飞行航高、飞行速度、飞行姿态、测量精度，补飞和重飞等作出规定，其技术流程宜按照附录 C.1 执行。

6.2.2.2　采用船/车载激光雷达测量时，应制定航行计划、选择测量时间、规划航线及分区、细化实施方案，对设备检校、观测距离、船/车速、测量精度，补测和重测等作出规定，其技术流程宜按照附录 C.2 执行。

6.2.2.3　采用地面三维激光扫描系统测量时，应对地面扫描站布设、反射标靶布设、控制点和检查点的布设、数据采集、数据处理等作出规定，其技术流程宜按照附录 C.3 执行。

6.2.2.4　采用背包/手持三维激光扫描系统测量时，应对作业区域、测量范围、行进路线等作出规定，其技术流程宜按照附录 C.4 执行。

6.2.2.5　对基准站选址、基准站布设等作出规定。

6.2.2.6　对原始数据的整理、POS 数据处理、点云数据解算、航带平差等作出规定。

6.2.2.7　对检查范围、检查项目等数据质量检查要求作出规定。

6.2.2.8　对成果数据的提交内容、提交方式等作出规定。

6.3　仪器设备及检校

6.3.1　一般要求

6.3.1.1　激光雷达系统应通过综合检校方可投入使用；用于测量的 GNSS、量测型相机等仪器应在检定有效期内使用。

6.3.1.2　机载、船载、车载激光雷达测程优于 400m，点频不少于 50 万点，测距精度不小于 0.02m（100m 处），在植被茂密区域回波次数不低于 8 次，在植被较茂密区域回波次数不低于 5 次；地面激光测程优于 400m，点频不少于 30 万点，测距精度不小于 0.01m（100m 处），回波次数不低于 8 次；背包/手持激光雷达测程优于 100m，点频不少于 30 万点，测距精度不小于 0.03m（50m 处），回波次数不低于 2 次。

6.3.1.3　POS 应采用具备高动态、高精度双频或多频数据接收能力的 GNSS 接收机，且具有稳定的相位中心，GNSS 采样频率不小于 5Hz，IMU 数据频率不宜小于 100Hz，GNSS/IMU 后处理融合精度翻滚角 Roll、俯仰角 Pitch 不宜小于 0.025°，偏航角 Heading 不宜小于 0.05°，在船/车载等低速载体上宜采用 GNSS 双天线提高航向精度。

6.3.1.4　基准站应采用高精度双频或多频数据接收能力的 GNSS 接收机，采样频率不小于 1Hz，且具有良好的精度及抗干扰能力，GNSS 接收机的检定应符合 GB/T 18314 的规定。

6.3.1.5　量测型数码相机及其检定应符合 CH/T 8021 的有关规定；非量测型数码相机及其检校应符合 CH/Z 3005 的有关规定。

6.3.2　系统综合检校

6.3.2.1　设备出厂或返厂维修后应检定并出具检定报告。

6.3.2.2　在使用过程中，宜每年开展一次系统综合检校。在校验飞行中发现精度超限应查找原因并重新进行检校，出具检校报告。

6.3.2.3　设备受过严重冲击或数据出现显著异常时，应综合检校。综合检校不合格必须返厂维修及检校。

6.3.2.4　GNSS 天线和 IMU 为非固定安装的激光雷达系统，应量测 IMU 与 GNSS 接收机的三维偏心分量，各分量允许误差为 0.01m，激光雷达系统安装偏心分量测定记录表格样式应符合附录 A 的有关规定。

6.3.3　机载激光雷达检校方案

6.3.3.1　机载激光雷达检校场应符合下列要求：

a）　检校场包含平坦裸露地形，有用于检校的建筑物或明显凸出地物；

b）　检校场内目标应具有较高的反射率，存在明显地物点（如道路拐角点等）或人工标志物，样式见图 1。

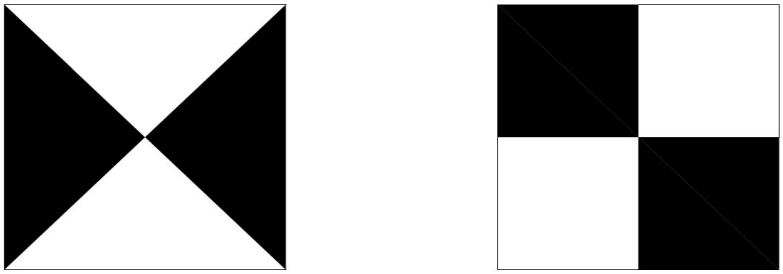


图 1　人工标志样式

6.3.3.2 机载激光雷达检校方案：

a） 飞行航线为井字型，旁向重叠度大于 50%，按照图 2 方案进行检校飞行；

b） 根据实际情况和不同的机载激光雷达设备也可选择其他检校飞行方案。

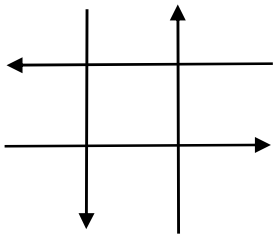


图 2 井字型航线检校图

6.3.3.3 检校场地控制点的布设及测量应符合下列要求：

a） 在检校场内布设地面控制点（含检查点）进行控制点测量，每项工作起始和结束宜通过特征物或布设标靶对系统精度进行检测，检测精度应满足表 2、表 4 要求，检测点数不宜少于 16 点且分布均匀，相邻点间距不小于 20m；

b） 用于高程精度检校的控制点应布设在裸露的平坦地面上，用于平面精度检校的控制点根据需要可布设为三维地面标志点；

c） 地面控制点（含检查点）平面位置精度与高程精度均应不低于 0.05m。

6.3.3.4 检校报告应包括下列内容：

a） 系统各个部分检校的内容和结果；

b） 采取的检校航线图；

c） 检校参数使用方法说明；

d） 检校参数使用后改正说明。

6.3.4 船/车载激光雷达检校方案

6.3.4.1 IMU 和激光雷达集成式设备，宜每两年检校一次；IMU 和激光雷达非集成式设备，可自行检校。

6.3.4.2 船/车载激光雷达检校场应符合下列要求：

a） 检校场宜选择顺直、存在固定建筑物或具有明显特征地物的区域；

b） 检校场内目标应具有较高的反射率，存在明显地物点或人工标志物作为检测点，样式见图 1，检测点数不少于 20 点，相邻点间距不小于 30m。

6.3.4.3 船/车载激光雷达宜采用如下检校方案：

a） 选择检校场长度不小于 1km，同方向、同速度测量 2 次；

b） 根据仪器操作要求，选择最佳测量距离、速度进行检校。

6.3.4.4 系统精度检测

项目起始和结束宜通过特征物或布设标靶对船/车载激光雷达进行综合检校，检校精度应满足表 2、表 4 要求。

6.3.4.5 检校报告内容同 6.3.3.4。

6.3.5 背包/手持三维激光扫描系统检校方案

6.3.5.1 背包/手持三维激光扫描系统检校场应符合下列要求：

a） 宜选取室内、外 30m（长）/30m（宽）/15m（高）的检校场地，也可选取两侧有房屋（房屋的高度不应小于 15m），且地面为平坦的硬化路面；

b） 室外检校场宜选取地面平坦、建筑立面平整、空间规则方正的场地；不宜选取具有大体积动态物体经过、大面积玻璃或其他镜面反射强、植被密等场景的场地。

6.3.5.2 数据采集应符合下列要求：

a） 应将背包/手持激光雷达设备安置平稳，保持近似水平的姿态及朝向后方可进行数据采集；

b） 数据采集时设备需朝向居中，采集时间不应少于 1min；

c） 通过已采集数据与检校标靶之间的差值更新标定参数；

d） 采集完标定数据后，再按照正常数据采集流程，采集 1min 数据作为验证。

6.3.5.3 项目工作起始和结束宜通过特征物或布设标靶对系统精度进行检测，检测精度应满足表 2、表 4 要求，检测点数不少于 20 点。

6.3.6 **地面三维激光扫描系统检校方案**

6.3.6.1 项目工作起始和结束应利用固定物、标靶、靶球等检测点布置检校场，对地面三维激光扫描仪进行综合检校，检测点数不少于 20 点。

6.3.6.2 检测点的测量精度应不低于图根点的要求。

6.3.6.3 利用检测点的实测坐标与固定物提取点云坐标、标靶或靶球拟合的几何中心坐标进行精度比对，计算中误差，检测精度应满足表 2、表 4 要求。

6.3.6.4 如精度不满足要求，应返厂检校。

6.4 机载激光雷达飞行计划

6.4.1 计划制定

6.4.1.1 机载激光雷达点云数据获取

a） 飞机型号、飞机起降场地、飞行区域和飞行面积（飞行范围应以略图表明）；

b） 需要提供的资料名称和数量；

c） 执行飞行任务时间和期限；

d） GNSS 信号和有效卫星数要求；

e） 机载激光雷达点云数据密度要求；

f） 航线布设、旁向重叠度要求；

g） 机载激光雷达设备类型、技术参数和附属仪器参数；

h） 点云数据精度检测要求；

i） 其他相关要求。

6.4.1.2 数字影像获取

a） 数码相机类型、技术参数和附属仪器参数；

b） 影像分辨率要求；

c） 影像航向、旁向重叠度要求；

d） 摄影质量要求；

e） 其他相关要求。

6.4.2 测量条件选择

6.4.2.1 根据机载激光雷达的性能选择合适的飞行时间，应同时考虑 GNSS 卫星数量及信号强度、电离层活跃程度等因素；需要获取数字影像的，还应选择有利于航摄的条件。

6.4.2.2 选择气象条件有利的时间飞行，宜选择地面无积雪（水）、地面植被枯萎或树木落叶的时间，同时应考虑风、云、雾、霾等影响因素；有历史测次的，宜与历史测次测量季节保持一致。

6.4.3 航线设计与分区

6.4.3.1 航线设计与分区

a） 航线设计和划分分区时，应根据 IMU 误差积累的指标确定每条航线的直线飞行时间，并兼顾 GNSS 基准站布设和测区范围；

b） 分区应基于激光有效距离及地形起伏等情况进行设计，并考虑 GNSS 基准站布设、测区跨带

等问题；

c） 航线可按照东西或者南北直线布设，也可根据河湖岸线、固定断面走向进行设计，按照飞行区域的面积、形状，并考虑到安全和经济性等实际情况选择飞行方向；

d） 如需生产 DOM，在满足点云数据精度要求的前提下，还应符合 CH/Z 3005 的规定；

e） 航线规划时，转弯部分应分布在测区外；

f） 相邻分区重叠区域宜大于单航带宽度的 30%。

6.4.3.2 分区航线覆盖

a） 地形测量时，航向起始和结束应超出航向转弯半径的 2 倍，测区边缘应至少保证有一条航线覆盖；

b） 断面测量时，航向起始和结束应超出断面起、止点 20m。

6.4.3.3 重叠度

a） 断面测量时，沿断面方向点云数据覆盖宽度不宜小于 60m；机载激光雷达断面观测，应重复（往返）飞行至少 2 个航带，且旁向重叠度应大于 60%；对需飞行多个架次的长断面，相邻航带间航向重叠应大于 200m；

b） 地形测量时，机载激光航线旁向重叠应大于 20%；

c） 应保证飞行倾斜姿态变化较大情况下不产生数据覆盖漏洞，山区水道航线设计时应适当加大旁向重叠度。

6.4.3.4 航高与总航程

a） 航高的确定应考虑飞行安全。当测区高差起伏较大，或存在电塔、桥梁等高大构筑物时，应根据现场情况选择安全的航高，并考虑激光对人眼的安全性要求；

b） 航高的确定应综合考虑点云密度和精度、旁向重叠度、激光有效距离等要求；

c） 在满足成果数据技术要求和精度要求的前提下，在同一分区内各航线可以采用不同的相对航高；地形起伏较大的测区可采用 DEM 依地形起伏逐点设计航线；

d） 每个飞行架次的设计航程不应大于无人机续航里程的 85%，风速较大时要根据不同的机型、载荷相应减少设计航程。

6.5 船/车载激光雷达路线计划

6.5.1 路线计划制定

船载激光雷达观测路线宜顺岸布设，车载激光雷达观测路线宜顺道路布设。

6.5.2 测量条件选择

测量条件选择参照 6.4.2 的要求执行。

6.5.3 路线设计与分区

6.5.3.1 路线设计

a） 船载激光雷达观测路线设计应满足测船吃水等航行安全有关要求，车载激光雷达观测路线设计宜选择平稳、顺直道路；

b） 船/车载激光雷达观测路线应根据交通情况、仪器性能及观测精度要求等选择合适的观测距离；

c） 根据仪器操作要求，观测过程中不宜急变速或急转弯。

6.5.3.2 路线分区

a） 路线设计和划分分区时，应根据 IMU 误差积累的指标确定每条路线的直线行进时间，并兼顾 GNSS 基准站布设和测区范围；

b） 遇较大支汊/岔路时可单独分区；

c） 各分区之间应重复测量，重叠区不应小于 200m。

6.6 背包/手持三维激光扫描系统路线计划

6.6.1 路线计划制定

在 GNSS 信号质量良好的作业环境，可采用 RTK 定位实时校准 SLAM 位置和姿态，线路规划以待测目标为主，自由规划路线。

6.6.2 测量条件选择

测量条件选择参照 6.4.2 的要求执行。

6.6.3 路线设计与分区

6.6.3.1 在 GNSS 信号质量不佳或缺失区域，不大于 300m 路线长度无需回环；大于 300m 路线长度应回环，回环重叠距离应大于路线长度的 20%。

6.6.3.2 测量区域较大时，可先构建整体定位地图，局部再以小回环路线详细扫描，直至覆盖整个测区。

6.6.3.3 测量区域较小时，可按小于 300m 路线分区采集数据，直至覆盖整个测区。

7 数据获取

7.1 基准站设测

7.1.1 当采用差分 GNSS 定位技术时应布设基准站或获取 CORS 站数据。

7.1.2 根据测区大小、成图比例尺合理布设基准站，基准站覆盖距离应以保证相应测量精度为前提。

7.1.3 基准站选址

7.1.3.1 地面基础稳定，易于点的保存，交通方便并有利于其他测量手段扩展和联测。

7.1.3.2 周围应便于安置、操作接收设备，视野开阔，视场内障碍物的高度角宜不大于 15°。

7.1.3.3 附近不应有强烈反射卫星信号的物体（如大型建筑物等）；距大功率无线电发射源（如电视台、电台、微波站等）的距离应大于 200m；距高压输电线和微波无线电信号传送通道的距离应大于 50m。

7.1.3.4 宜利用符合要求的已有控制点。

7.1.4 基准站测量

7.1.4.1 基准站位置选定后，应制作中心标识，要求地基稳固、标识清晰、便于仪器架设和对中，同时应保证整个测量期间内安全稳定。

7.1.4.2 应拍摄基准站现场照片。

7.1.4.3 基准站宜采用 RTK 测量，平面精度不低于一级控制点，高程精度不低于等外高程控制点。

7.2 机载激光雷达外业实施

7.2.1 像控点布测

7.2.1.1 像控点点位

a） 像控点的目标影像应清晰，易于判别，如选在交角良好（30°～150°）的细小线状地物的交点、明显地物拐角点或水工建（构）筑物特征点，其点位中心在影像上的尺寸宜小于 3×3 像素，且易于量测；

b） 测区内合适的像控点目标不足时，应参照图 1 的样式制作人工地面标志。

7.2.1.2 像控点测量

像控点测量精度应优于图根控制精度。当采用 RTK 方法施测像控点时，流动站应使用三角架架设，并严格对中整平。像控点测量点位应现场拍照存档。

7.2.1.3 像控点布设方案

a） 无人机航空摄影的 POS 点位信息应进行实时差分或后差分处理。对于搭载 IMU / GNSS 设备的航摄系统，可以间隔 2km 布设一对像控点或 Z 字形间隔 1km 布设一个像控点；

b） 高精度实时差分航摄系统，其成图精度基本满足无像控测图要求，可在测区范围均匀布设不少于 5 个像控点。

7.2.2 **飞行要求**

7.2.2.1 飞行器起降点四周视野应开阔，场地应平坦坚硬，避免泥泞、沙土地面。上空无电线、树木等影响飞行的障碍物，视场内障碍物的高度角不应大于 40°，避免 GNSS 信号失锁。

7.2.2.2 机载激光扫描作业时应保证现场通信畅通，不得使用干扰飞行平台、通信导航系统的便携式电子设备，应避开发电厂、高压变压器等强电磁干扰区。

7.2.2.3 机载激光扫描作业应选择合适的气象条件，风速不宜大于 14m/s 且不能超过无人机抗风能力，能见度好，被观测地物有明显水覆盖应停止作业。

7.2.2.4 作业人员应熟悉测区内地形、高差、气候环境，并根据作业区的环境特点提前做好飞行应急预案。

7.2.2.5 按照附录 B.1 要求填写机载激光作业记录。

7.2.3 **飞行准备**

7.2.3.1 机载设备在起飞前应进行部件紧固性检查，电池电压检查，提前开机，进行预热、自检；落地后待设备静置完成，再切断设备电源进行设备收纳。

7.2.3.2 所有基准站应先完成电源、存储系统等检查，做好观测准备；在飞行前 15 分钟进入静态观测状态；在测量过程中应保持连续静态观测状态。

7.2.3.3 由于客观原因导致飞行困难，应及时调整飞行计划。

7.2.4 **飞行质量**

7.2.4.1 航高保持

同一航线上相邻像片的航高差不应大于 30m，最大航高与最小航高之差不应大于 50m（变高飞行不做要求），实际航高与设计航高之差不应大于 50m。

7.2.4.2 飞行速度

a）飞行速度应综合考虑数据精度要求、地形起伏、地表反射率、扫描频率、扫描角度以及载体的性能等参数确定；

b）整个作业区域内，飞行速度宜保持一致；

c）在一条航线内，飞机上升、下降速率不应大于该机型标称升降速率的 70%。

7.2.4.3 飞行姿态

a）航线俯仰角、翻滚角不宜大于 5°，最大不超过 10°；

b）飞机转弯时，坡度不宜大于 15°，最大不超过 22°；

c）航线弯曲度不宜大于 3%；

d）作业过程中，应进行动态校准；

e）飞机降落停稳后，确保 IMU 与 GNSS 数据记录完整。

7.2.4.4 摄影测量像片倾角和旋角要求

a）像片倾角不宜大于 5°，最大不超过 12°；

b）像片旋角不宜大于 15°，最大不超过 30°；

c）像片倾角和像片旋角不应同时达到最大值。

7.2.4.5 重叠度要求

a）低空航摄时航向重叠度宜为 60%～80%，最小不应小于 53%；低空航摄时旁向重叠度宜为 15%～60%，最小不应小于 8%；

b）机载激光航线旁向重叠度宜大于 20%，最小不应小于 13%。

7.2.4.6 漏洞补测

出现的漏洞应及时补测，补测设备型号应与前一次使用的相同，补测边界航线应超出漏洞之外 10m。

7.3 船/车载激光雷达外业实施

7.3.1 系统安装

7.3.1.1 船/车载激光雷达测量系统集成各传感器应相对稳定，且设备与载体应保证牢固安装，长时间行进震动不应发生位移，测量载体应配备稳定的供电系统。

7.3.1.2 船/车载激光测量系统各传感器应贴近安装，安装平台设计应明确各传感器坐标系设置，使得各传感器坐标系重合或平行。

7.3.1.3 系统初始安装完成后，建立以 IMU 坐标系为基准的测量坐标系，开展系统检校。

7.3.2 作业准备

7.3.2.1 作业前应根据系统要求设置椭球体参数、投影参数、坐标转换参数以及校准参数等参数信息。

7.3.2.2 根据测区地势情况、测量比例尺、航行计划、测量载体速度等信息设置激光扫描频率，点云密度应满足表 1 规定。

7.3.3 数据采集

7.3.3.1 系统所有设备稳定后方可进行作业。

7.3.3.2 作业过程中应进行动态校准。

7.3.3.3 两相邻测段应进行重叠测量，重叠距离不应小于 200m。

7.3.3.4 数据采集过程中应避免载体速度和方向剧烈变化。

7.3.3.5 应实时监控各传感器运转、数据记录以及覆盖情况和数据信号的质量等，当现场观测质量不符合要求或系统发生故障应立即停止作业，待查明原因并对相关设备进行检测和校准后方可继续作业。

7.3.3.6 漏洞补测时边界航线应超出漏洞之外 10m，确保漏洞全覆盖。

7.3.3.7 作业过程中应现场填写船/车载激光扫描外业采集记录，记录外业测量中发生的重要事件及系统的关键参数设置，样式参照附录 B.2。

7.3.3.8 每日测量结束后应备份测量数据，核对系统的参数并检查数据质量。

7.4 背包/手持三维激光扫描系统外业实施

7.4.1 作业准备

7.4.1.1 明确任务目的，熟悉作业测区范围，评估工作量并做好路线规划。

7.4.1.2 收集测区已有控制资料、坐标转换参数、检测点资料。

7.4.1.3 根据任务要求设定设备参数。

7.4.1.4 数据采集前，应检查设备软、硬件的完整性和可用性。

7.4.2 数据采集

7.4.2.1 数据采集过程应符合下列规定：

a） 应防止碰撞等造成设备损伤；

b） 应平稳行进，避免快速转向晃动，使得 SLAM 算法前后帧无法匹配，导致数据无法解算；

c） 测量目标距离应小于设备测程；

d） 应直立正对扫描目标，减小噪点，保障数据的完整性；

e） 应通过转动设备朝向的方式，避开大量移动物体；

f） 采集速度宜为 2～5km/h，保证点云密度满足需求；

g） 不同场景作业，应保证 10%扫描重叠率。

7.4.2.2 控制点标靶应均匀布设于扫描区域，标靶数量不宜少于 4 个。

7.4.2.3 反射标靶应布设在视野开阔、视线良好、易于从点云或影像识别的位置，应避开有强反射背景的区域。

7.4.2.4 可利用易于识别的陡壁、建筑物、桥梁以及线杆等具有棱角的固定地物特征点代替标靶。

7.4.2.5 标靶及固定地物特征点的坐标联测精度应优于图根点精度，联测宜与激光扫描同步进行。

7.5 地面三维激光扫描系统外业实施

7.5.1 扫描站设测

7.5.1.1 扫描站的布设

a） 依据测区地形地势、扫描距离、入射角度等确定扫描站的位置；

b） 扫描站位置应坚实、稳定，不宜选在大型作业机械和车辆活动区域；视野开阔，便于安置设备和操作；

c） 根据作业目的、精度要求、范围大小、测区地形、交通状况及作业效率综合考虑扫描站的布设方案；

d） 在布设站点时，应避免阳光直射，如果无法避免，可以使用遮光设备或选择在阳光较弱的时间段进行扫描。

7.5.1.2 按照要求填写扫描站记录，样式参照附录 B.3。

7.5.1.3 扫描站的坐标联测应符合 SL 197 的有关规定。

7.5.2 标靶布设与联测

7.5.2.1 地面三维激光扫描可采用有标靶及无标靶两种扫描作业方式。

7.5.2.2 无标靶扫描作业方式，采用明显特征的地物作为公共联测点自动匹配拼接点云。

a) 作业前设计好扫描站的位置，相邻扫描站应有 30%的点云重叠度，重叠区域宜分布在两个扫描站点连线的两侧，重叠区域沿两个扫描站点连线的宽度不低于两个扫描站点距离的 1/4；

b） 扫描范围内应具有明显特征的地物，如建筑物及人工构建物的边缘、角落或突出的结构、地面标线、人工喷涂标记，这些区域在扫描过程中可以作为配准的依据，相邻扫描站应具有 3 个及以上的公共特征点；

c） 宜采用“蛇形”或“环形”方式布设扫描站；应通过拍照和绘制草图记录每个扫描站的位置和角度信息，以便在后续的数据处理中准确配准各个站点。

7.5.2.3 有标靶扫描作业方式，利用反射标靶拼接点云数据。反射标靶制作应符合下列规定：

a） 宜选择球形标靶和圆形标靶；

b） 应根据精度要求、扫描站间距、扫描仪测程及背景条件等确定反射标靶的尺寸规格，标靶的直径应大于该处预计扫描点间距的 3～5 倍；

c） 标靶制作宜选择反射强、不易褪色、表面光滑、颜色鲜艳的材质；

d） 标靶的颜色应与被扫描物体形成较大反差，可选用白、黑、红、蓝等单色或两色相间的标志；

e） 相邻扫描站应具有 3 个及以上的反射标靶，相邻扫描站应有 10%的点云重叠度。

7.5.2.4 反射标靶应布设在视野开阔、视线良好、易于从点云或影像识别的位置，避开有强反射背景区域，并确保其在作业期间稳定和可见。采用圆形标靶时，扫描线与标靶平面夹角宜保持在 30°以上。

7.5.2.5 可利用易于识别的陡壁、建筑物、桥梁，以及线杆等具有棱角的固定地物特征点代替标靶。

7.5.2.6 标靶的坐标联测精度应不低于图根点精度，联测宜与激光扫描同步进行。

7.5.3 数据采集

7.5.3.1 扫描点间距、按最大扫描距离计算的点云精度应符合表 2、表 4 相关规定。

7.5.3.2 扫描仪应在设备规定的环境条件下使用，开机后应预热和静置 3～5min 再开始扫描工作。

7.5.3.3 获取同一目标的点云数据时，扫描测程、点间距、扫描频率等有关参数设置宜保持一致。

7.5.3.4 扫描作业应符合下列规定：

a） 标靶与地表的扫描应同时完成，其间不宜有断电、仪器重设等操作；

b） 扫描仪的激光头不得近距离直接对准棱镜、镜面玻璃、大面积荧光屏等强反射物体；

c） 扫描期间应避免扫描仪受到震动；

d） 室外扫描作业应避开大风、雾霾等恶劣天气环境，宜选择在扫描目标体表面干燥时进行扫描。

7.5.3.5 被扫描目标的色彩影像宜与激光扫描同步获取，也可在天气状况良好时从各扫描站获取。

7.5.3.6 每站扫描作业结束，应检查确认获取的点云数据完整无误，方可迁站。

7.5.3.7 被扫描区域的各类属性要素应进行调绘，调绘工作应符合下列要求：

a） 调绘以扫描站为单位，以草图形式注记相应区域的要素信息；

b） 按照相应比例尺的测图要求，调绘扫描区域内的地物地貌及植被等信息。

7.5.4 数据拼接

7.5.4.1 对架设已知点的扫描仪，且无基准标靶扫描时，应对仪器双轴倾斜进行补偿倾斜改正。对有基准标靶扫描时，补偿倾斜改正可视测量精度要求和仪器性能情况而定。

7.5.4.2 点云数据的拼接方法如下：

a） 采用标靶拼接方式时，可选择链式拼接和环式拼接。拼接宜按扫描次序依次进行，拼接时应选择观测质量较好的标靶或固定地物特征点，数量不应少于 3 个；

b） 带有对中整平装置且有定向功能的扫描仪，采用直接拼接时，可在已知控制点上设站，通过定向功能，获取目标物真实的三维坐标，直接拼接。

7.5.4.3 点云数据拼接完成后，应对其进行平差处理。点云数据拼接允许中误差应符合表 2、表 4 相关规定。

7.5.5 色彩纹理映射

7.5.5.1 若需要色彩信息，应对扫描获取的影像和点云进行匹配映射。

7.5.5.2 色彩纹理映射应符合下列要求：

a） 映射模型数据量巨大时，应按影像区域进行分块；

b） 对非同期获取的影像，因外界气象因素造成的色差应进行适当的匀光、匀色处理；

c） 将映射完毕的分块模型进行合并拼接成整体模型。

7.6 外业数据检查与检测

7.6.1 数据检查

7.6.1.1 点云数据检查

a） 点云是否有效覆盖测区地表；

b） 重叠度是否满足要求；

c） 点云噪声是否影响成果制作；

d） 点云数据密度是否满足要求；

e） 点云数据精度是否满足要求。

7.6.1.2 影像数据检查

a） 影像外观检查方法

1） 将影像放大 1～2 倍，核查影像纹理的清晰度、完整性；

2） 核查影像中噪声、条纹、积雪、云、云影、烟、反光、雾霾、阴影等对地表要素表征的影响程度；

3） 核查影像的色调、色彩饱和度、反差是否自然。

b） 影像完整性检查方法

1） 以目视方式检查影像是否存在遮挡、无效像元；

2） 影像数据与定位定姿数据一一对应，并确保完整性。

c） 地面分辨率检查

使用 GNSS/IMU 数据解算或空中三角测量解算的空间位置数据，逐影像计算地面分辨率，核查比对基准面地面分辨率、最低点地面分辨率、地面分辨率超限面积占比的符合性。

d） 有效影像覆盖度

使用测区范围线内有效影像覆盖区域面积和测区面积，计算有效影像覆盖度，核查有效影像覆盖度的符合性。

e） 像点位移不宜大于 0.5 个像素，最大不应大于 1 个像素。

f） 影像无明显模糊、重影和错位现象。

7.6.2 数据检测

7.6.2.1 检测技术路线

数据及成果的数学精度检测内容、方法及流程参照图 3 执行。

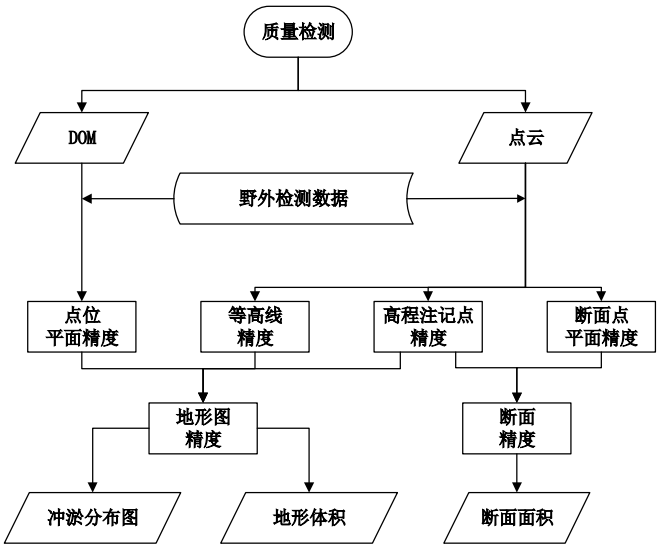


图 3 数据及成果数学精度检测技术路图

7.6.2.2 检测对象与形式

a） 检测对象包含激光雷达点云数据、DOM、地形成果、断面成果等；

b） 成果的检测形式主要为碎部点检测，断面成果检测形式还包括断面面积检测。

7.6.2.3 检测方法

a） 检查点应包含高程检查点和平面检查点；

b） 机载激光雷达地形观测时，每架次检测点不应小于 3 点且尽量分布均匀；船/车载激光雷达作业时，单航带每 2km 检测点不应小于 1 点；其他形式激光雷达作业时，参照船/车载激光雷达作业要求执行；

c) 每航次间应对航线重叠部分的点云进行内符合性检测，在相邻航次的点云重叠部分首、中、尾截取点云剖面，各剖面不同航次间的点云高程互差不应大于 0.20m；

d） 激光雷达断面测量时，检测点要求参照 b）执行，并同时保证每个架次检测点不应小于 1 点；

e） 平面检查点应布设于点云强度对比度大的特征点、高程突变的目标地物等明显标识处，对于特征点少的河段宜设置人工标靶；

f） 标靶尺寸应能够在影像和点云上可准确辨认和量测，样式详见图 1；

g） 现场无布设平面检查点的条件时，可用高程检查点代替平面检查点；

h） 检查点测量方法按碎部点测量要求执行。

8 数据处理与产品制作

8.1 数据处理

8.1.1 POS 数据处理

8.1.1.1 根据 GNSS 基准站、GNSS 流动站、IMU 的数据进行组合导航解算得到航迹文件。

8.1.1.2 数据处理的要求如下：

a） 采用 GNSS 基准站、IGS 站星历和钟差等相关数据，联合 IMU 观测数据，采用基准站数据联合解算并按照后处理精密动态测量模式进行处理，获取作业过程中各时刻的 POS 数据；

b） 剔除质量不佳的 GNSS 数据，保证差分数据质量；

c） 输入系统检校已量测的偏心分量值后，完成 GNSS 差分数据与 IMU 数据耦合处理；

d） 后处理差分或者实时差分，均需查看处理精度报告，包括位置精度、IMU 处理状态、姿态、位置分离等，确认无误后输出航迹文件。

8.1.2 数据解算及点云精化

8.1.2.1 联合激光测距数据与航迹文件，附加系统检校数据，进行点云数据初步解算处理，生成带有三维坐标信息的点云数据。点云数据格式可采用 LAS 格式、ASCII 码格式或其他格式存储。

8.1.2.2 对于存在较多噪点，整体厚度较大的点云数据，可通过去噪和平差等方式精化。

8.1.2.3 对于绝对精度误差超限的点云数据，可通过控制点坐标进行误差调整、与控制点对应的点云同名点坐标系统转换等方式精化。

8.1.3 航带平差

点云数据初步解算完成后，检查航带拼接误差，如果中误差超限且存在系统误差，应进行航带平差。

8.1.4 影像数据解算

将影像数据、POS 数据、像控数据进行原始影像拼接、纠正、POS 辅助空三加密、同名点匹配影像数据处理等形成 DOM。影像数据应进行畸变纠正，具体处理方法应符合 CH/T 3003 的相关规定。

8.1.5 坐标系统转换

将点云数据的源坐标系统转换至成果坐标系统。

8.1.6 点云滤波分类

8.1.6.1 点云分类流程参照图 4 执行。

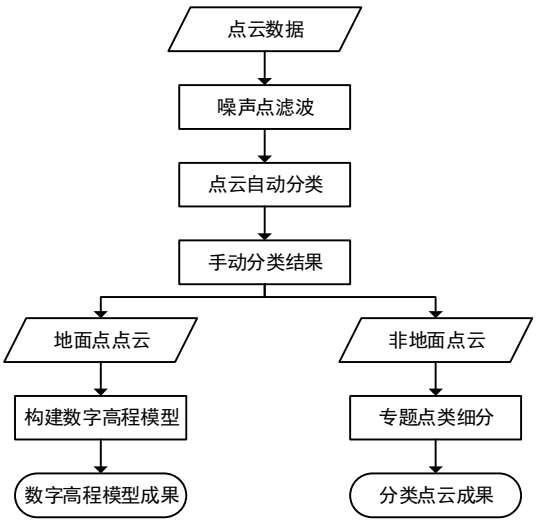


图 4 点云分类流程图

8.1.6.2 噪声点滤波

在进行地面点分类之前，应首先将噪声点分离滤除。

8.1.6.2 点云分类

a） 自动分类。根据地表形态、反射强度、回波次数、地物形状等特征对点云数据进行自动分类；

b） 地面点提取。根据测区地形、地物特征，选择合适算法、设置参数，提取地面点；

c） 非地面点分类。根据点云分布的形状、密度、坡度及高程特征，对非地面点云进行分类。对于形状规则、空间特征明显的地物，可通过参数设置，自动提取建筑物、树木、杆、塔等地物；

d） 手动分类。目视检查自动分类后的点云，将存在错误分类的点云进行人工精细分类。对高程突变的区域，调整参数或算法，重新分类；结合人工交互编辑，对分类错误的点重新进行分类。

8.2 产品制作

8.2.1 DEM 制作

8.2.1.1 DEM 制作应满足 CH/T 9008.2、CH/T 9009.2 要求。

8.2.1.2 采用地面点云作为特征点进行 DEM 构建，可选择带有高程信息的道路特征线、河流边线、面状水域（湖泊、水库、池塘等）范围线等参与 DEM 生成。

8.2.1.3 DEM 制作步骤如下：

a） 直接利用所采集的地面点云、道路特征线、河流边线、面状水域范围线构 TIN。将 TIN 与影像匹配进行检查。对匹配性差的区域应加测特征点线，用测量点内插的方式消除误差，然后重新构 TIN，最终使所构 TIN 的每个三角形都贴于地面，且无不合理的三角形；

b） 按表 1 规定的网格间距，由 TIN 通过插值处理生成规则格网的 DEM；

c） 对相邻分区的 DEM 进行镶嵌、接边处理，应选取不低于 2 排同名格网点，检查有无漏洞，确保无缝拼接；

d） 根据需求，可按照不同河段或分区对 DEM 进行裁切输出，生成完整测区范围内的 DEM 成果，并制作索引图。

8.2.2 DOM 制作

8.2.2.1 DOM 制作应满足 CH/T 9008.3、CH/T 9009.3 要求。

8.2.2.2 DOM 制作步骤如下：

a） 利用转换参数将 POS 数据的源坐标系转换为成果坐标系；

b） 整理检查原始影像数据，确保参数完整、图像清晰、无大面积条纹、云和积雪等；

c） 利用原始影像数据联合 POS 数据、像控点数据等进行空中三角测量加密解算；

d） 基于影像的内、外方位元素和 DEM，对原始影像数据进行纠正，去除影像畸变差，生成 DOM；

e） 对相邻分区的 DOM 进行镶嵌、接边处理，接边精度不应大于 2 个像素；

f） 根据需求，可按照不同河段或分区对 DOM 进行裁切输出，生成完整测区范围内的 DOM 成果，并制作索引图。

8.2.3 DLG 制作

8.2.3.1 DLG 制作应满足 CH/T 9008.1、CH/T 9009.1 要求。

8.2.3.2 等高线生成

基于地面点云或 DEM，根据成图比例尺、地形类别和等高距，生成等高线。

8.2.3.3 高程注记点采集

基于地面点云或 DEM 采集高程注记点。根据成图比例尺，高程注记点的采集应符合 SL257 的相关

规定。

8.2.3.4　地物要素采集

根据实际需求情况，基于点云及 DOM 对地物要素进行综合取舍。要素综合取舍应以满足用图需要为前提，以要素重要程度、图面负载量，以及保持实地特征、兼顾地域特点为原则。

8.2.3.5　地形图整饰

结合 DOM、点云、调绘等数据，将地物、地貌、等高线、高程点等统一编绘、整饰，经检查合格后，即可生成标准的地形图成果。

8.2.4　固定断面制作

固定断面制作宜根据断面桩点，从点云中提取断面点，点云切片的宽度不宜大于 1m；固定断面成果应符合 SL 257 的相关规定。

8.2.5　点云模型制作

8.2.5.1　点云模型制作可参照 GB/T 41452 执行。

8.2.5.2　获取数据的有效范围可根据覆盖范围、点云密度、数据精度等通过人机交互等方式确定，同时根据有效范围进行数据冗余去除。

8.2.5.3　点云分类应满足不同业务的数据需求。

8.2.5.4　数据完整覆盖目标区域，树冠、建（构）筑物形状完整无明显漏洞，能支撑构建完整的三维激光点云场景。

8.2.5.5　数据无噪点，水面区域保证无点云。

8.2.5.6　具有丰富的色彩信息和反射强度信息，应反映地物真实色彩。

8.2.5.7　多源点云数据匹配及融合应符合下列要求：

a）　应统计同一区域不同平台系统获取的激光点云同名点匹配误差；

b）　利用轨迹线或控制点确定各平台所获数据精度，可直接以同区域精度较高的点云数据为参考纠正其他平台所获点云数据；

c）　匹配完成后，应利用精度检测点检查点云数据平面精度和高程精度是否满足技术设计要求；

d）　应以反映大范围信息的平台所获取的点云数据为基准，对经匹配后的多平台点云数据反射强度进行调整；

e）　对匹配后的点云数据进行综合去噪；

f）　对多平台获取的影像数据和点云数据进行高精度匹配后进行融合处理；

g）　根据需要进行真彩色点云数据制作。

9　质量控制

9.1　质量控制依据

9.1.1　工作依据的规范性文件。

9.1.2　经批准的设计书及补充技术文件。

9.1.3　委托书、合同书、任务书。

9.1.4　检查验收委托文件。

9.2　数学精度

9.2.1　高程精度检测、平面位置精度检测及相对位置精度检测，检测点应分布均匀、位置明显。检测点数量视地物复杂程度、比例尺等具体情况确定。

9.2.2　检测点数量小于 20 个时，以误差的算术平均值代替中误差；当数量不少于 20 个时，按中误差统计。

9.2.3　高精度检测时，在允许中误差 2 倍以内（含 2 倍）的误差值均参与精度统计，超过允许中误差 2 倍的误差视为粗差。

9.2.4　同精度检测时，在允许中误差 $2\sqrt{2}$以内（含 $2\sqrt{2}$倍）的误差值均参与精度统计，超过允许中误差 $2\sqrt{2}$倍的误差视为粗差。

9.2.5　粗差率应不高于 5%。

9.3　数据质量要求

9.3.1　激光雷达点云数据

9.3.1.1　点云密度

激光雷达点云密度是全测区（水域除外）激光点个数与全测区（水域除外）面积的比值，其计算方法按附录 D.1 规定执行。点云密度应符合 5.2-5.4 中对点云密度的规定。

9.3.1.2　点云高程精度

a）　水道陆域点云高程精度评价指标主要包括高程中误差、相对高程中误差、航带拼接高程误差。

b）　高程中误差用于评价激光雷达点云数据的高程与其真实的地面高程之间的差别，其计算方法按附录 D.2 规定执行。高程中误差应符合 5.2-5.4 中对点云高程中误差的规定；

c）　相对高程中误差用于评价激光雷达点云数据的高程与平均高程之间的差别，其计算方法按附录 D.3 规定执行。相对高程中误差不应大于 5.2-5.4 中点云高程中误差规定的 $1/\sqrt{2}$；

d）　航带拼接高程误差用于评价相邻航带间激光雷达点云数据的高程差别，采用相邻航带重叠区域激光雷达点云数据进行评定，其计算方法按附录 D.4 规定执行。可采用点云后处理软件计算航带间高程较差，再按附录 D.4 式（D.6）统计计算拼接高程误差；航带拼接高程误差不应大于 5.2-5.4 中点云高程中误差规定的 $1/\sqrt{2}$。

9.3.1.3　点云平面精度

a）　平面位置中误差用于评价激光雷达点云的平面位置与其真实的地面位置之间的差别，其计算方法按附录 D.5 规定执行；

b）　点云平面位置中误差应符合 5.3.2 中对点云平面中误差的规定。

9.3.1.4　点云粗差率

a）　在全测区范围内通过滤波去噪或人工识别判断点云粗差，并统计粗差点个数，计算测区的激光点云粗差率，其计算方法按附录 D.6 规定执行；

b）　点云粗差率不高于 5%。

9.3.1.5　点云强度质量

点云强度质量评价指标包括强度信息熵、强度信噪比，需要评价时其计算方法按 GB/T 36100 规定执行。

9.3.2　DEM

9.3.2.1　格网尺寸

a）　利用程序自动检查或调用数据核查分析格网尺寸的正确性；

b）　格网尺寸应满足 5.2-5.4 中对 DEM 格网间距的规定。

9.3.2.2　高程精度

a）　DEM 高程中误差统计：利用测区野外检查点进行评定，计算同名点中误差，其计算方法按附录 D.7 规定执行；

b）　高程中误差应满足 5.2-5.4 中对 DEM 中误差的规定。

9.3.3　DOM

9.3.3.1 地面分辨率

a） 利用程序自动检查或调用数据核查分析影像地面分辨率是否符合要求；

b） 地面分辨率应满足 5.2-5.4 中对 DOM 地面分辨率的规定。

9.3.3.2 平面精度

a） 利用采集的测区野外检查点进行评定，计算出同名地物点平面位置中误差，其计算方法按附录 D.5 规定执行；

b） 平面位置中误差应满足 5.2-5.4 中对 DOM 平面中误差的规定。

9.3.4 DLG

9.3.4.1 地形图精度质量评价指标主要有地物点平面位置精度、高程注记精度、等高线精度等。精度要求应符合 SL 257 的相关规定。

9.3.4.2 地物点平面位置精度

a） 利用采集的测区野外检查点进行评价，计算出同名地物点平面位置中误差，其计算方法按附录 D.5 规定执行；

b） 当地物矢量利用 DOM 采集时，其平面位置精度可视为 DOM 平面精度。

9.3.4.3 高程注记精度

a） 利用采集的高程检测点与成果中同名点高程比较，计算高程注记点中误差，计算公式同附录 D.7 式（D.14）；

b） 高程注记点由点云提取，则点云高程中误差即为高程注记点精度。

9.3.4.4 等高线精度

a） 采用等高线插值计算野外测点处高程值，将插值计算的高程与实测高程较差来评定等高线高程中误差，计算公式同附录 D.7 式（D.14），其中Δ_i为插值计算的高程与实测高程较差；

b） 采用点云制作地形图时，等高线应采用点云生成。

9.3.5 **断面成果**

9.3.5.1 断面成果精度质量评价指标含陆上断面点平面位置精度、陆上断面点高程精度、断面面积较差等。

9.3.5.2 断面点平面位置精度

利用采集的野外检查点进行评价，计算同名点的平面位置中误差，其计算方法按附录 D.5 规定执行。

9.3.5.3 断面点高程精度

a） 利用采集的野外检查点进行评价，计算同名点的高程中误差，计算公式同附录 D.7 式（D.14）；

b） 采用点云制作断面时，平面位置精度和高程精度即为点云的平面和高程精度。

9.3.5.4 断面面积较差

a） 陆域断面面积指断面线与测时水位向陆域的延伸线所包围的面积，对于陆域全断面检测的断面，可同时进行陆域断面面积较差计算；

b） 面积较差应满足表 8 要求。

表 8 断面面积较差要求

断面图上面积S（mm^2）	允许较差	备注
$S \leq 100$	3%	图上面积甚小时适当放宽
$100 < S \leq 400$	2%	
$400 < S \leq 1000$	1%	
$1000 < S \leq 3000$	7‰	

$3000 < S \leq 5000$	5‰	
$S > 5000$	4‰	

9.4 质量检查与评价

9.4.1 成果检验要求

9.4.1.1 断面检验

在测区内均匀抽取不低于断面总数 10%的断面，抽取检验断面的地形地貌、植被覆盖度应具有代表性，检测点应分布于不同植被覆盖度，每断面检测不应少于 10 点。

9.4.1.2 地形检验

在测区内开展地形检验，检测点应根据测区地形地貌、植被覆盖度均匀分布，检测总点数不应少于测区总图幅数量的 5 倍。

9.4.2 质量等级

成果质量等级采用优、良、合格、不合格四级评定。

9.4.3 质量检查

9.4.3.1 质量检查一般先进行总体检查，再采用详查和概查相结合的方式，对样本进行详查，根据需要对样本外成果进行概查；根据需要对样本外成果进行概查时，一般只记录 A 类、B 类错漏和普遍性问题。当单位成果未检出 A 类错漏且 B 类错漏个数少于 4 个时，判概查合格；否则判概查为不合格。错漏分类按 GB/T 24356 规定执行。

9.4.3.2 总体检查出现表 9 所列任一质量问题，总体检查结果为不合格。

表 9 总体检查质量问题

检查项	质量问题
成果资料齐全性和规整性	a）施测设计书缺失； b）设计书不符合要求，缺少主要内容，严重影响实施； c）数据文件大小异常、无法读取或丢失造成无法使用，严重影响下工序作业； d）IMU/GNSS 记录文档资料缺失造成无法解算，严重影响下工序作业； e）成果组织、文件命名混乱，严重影响下工序作业。
覆盖完整性	分区覆盖不完整，或漏洞补摄不符合要求，致使下工序无法作业。
检定（检测）资料	系统未按规定检定（检测），或检定（检测）的精度不符合要求。
数据解算精度	成果精度超限，严重影响下工序作业。
其他	其他严重错漏。

9.4.3.3 详查和概查，成果质量元素及权重划分按 GB/T 24356 规定执行。权重可根据工作特点及需求进行适当调整。

9.4.4 质量评定

9.4.4.1 成果中检出 A 类错漏，或质量元素、质量子元素得分小于 60 分，则评定成果质量不合格。

9.4.4.2 最终检查检验质量等级评定按 GB/T 24356 规定执行。

10 成果提交与归档

10.0.1 原始记录材料保存原件一份；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；数据资料进行硬盘分类存档。

10.0.2 成果上交的目录和文件组织由技术设计书明确规定。

10.0.3 通过验收的成果按以下内容逐项登记整理并上交：

a） 成果清单；
b） 设备检校相关资料；
c） 原始数据（POS 数据、激光测距数据、影像数据、GNSS 数据、测区范围及航线规划数据、激光雷达作业记录表等）；
d） DOM；
e） 点云成果；
f） DEM；
g） DLG；
h） 点云模型数据；
i） 固定断面成果；
j） 技术文件；
k） 其他相关资料。

附录 A

（规范性）

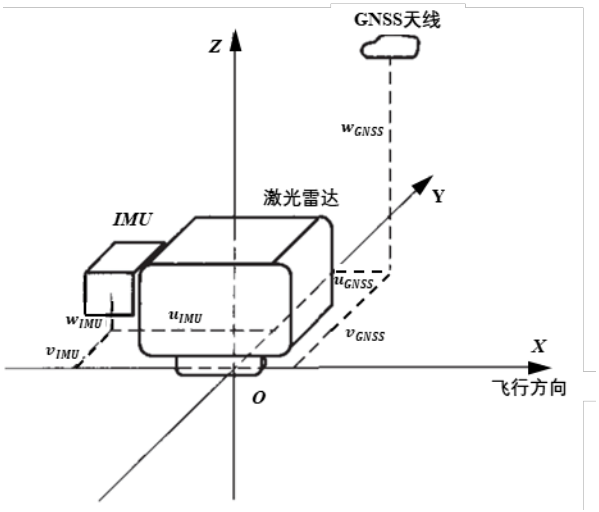
偏心分量测定表的内容

A 偏心分量测定表

偏心分量测定表

基本信息	摄区代号		摄区名称	
	载体（飞机/船）型号		载体（飞机/船）编号	
	IMU 型号		IMU 编号	
	机载 GNSS 接收机型号		机载 GNSS 天线型号	
	相机型号		相机编号	
	备注：			

分量类型 / 分量方向	GNSS 偏心分量	IMU 偏心分量	相机偏心分量
航向 u(mm)			
旁向 v(mm)			
竖直方向 w(mm)			



偏心分量坐标系定义

测量员： 检查员：

年 月 日 年 月 日

附录 B
（规范性）
机载激光雷达作业记录表

B.1 机载激光雷达作业记录表

机载激光雷达作业记录表

测量日期：　　测段名称：

测量人员：　　系统型号：

航区名称	架次	起止时间	基准站	备注

注：①断面测量时，应在备注栏记录所测断面起止号；
②自设基准站时，应量取基准站天线高并记录。

B.2　船/车载激光雷达作业记录表

船/车载激光雷达作业记录表

测量日期：　　测区名称：

测量人员：　　系统型号：

测段	文件名	起止时间	基准站	备注

注：①断面测量时，应在备注栏记录所测断面起止号；
②自设基准站时，应量取基准站天线高并记录。

B.3　地面三维激光扫描系统作业记录表

地面三维激光扫描系统作业记录表

测量日期：　　测区名称：

测量人员：　　系统型号：

工程名	测站名	起止时间	仪器高	备注
注：断面测量时，应在备注栏记录所测断面起止号。				

B.4 背包/手持三维激光扫描系统作业记录表

背包/手持三维激光扫描系统作业记录表

测量日期：　　测区名称：

测量人员：　　系统型号：

工程名	起止时间	基准站	备注

注：①断面测量时，应在备注栏记录所测断面起止号；
②自设基准站时，应量取基准站天线高并记录。

附录 C
（资料性）

C.1 机载激光雷达测量作业流程图

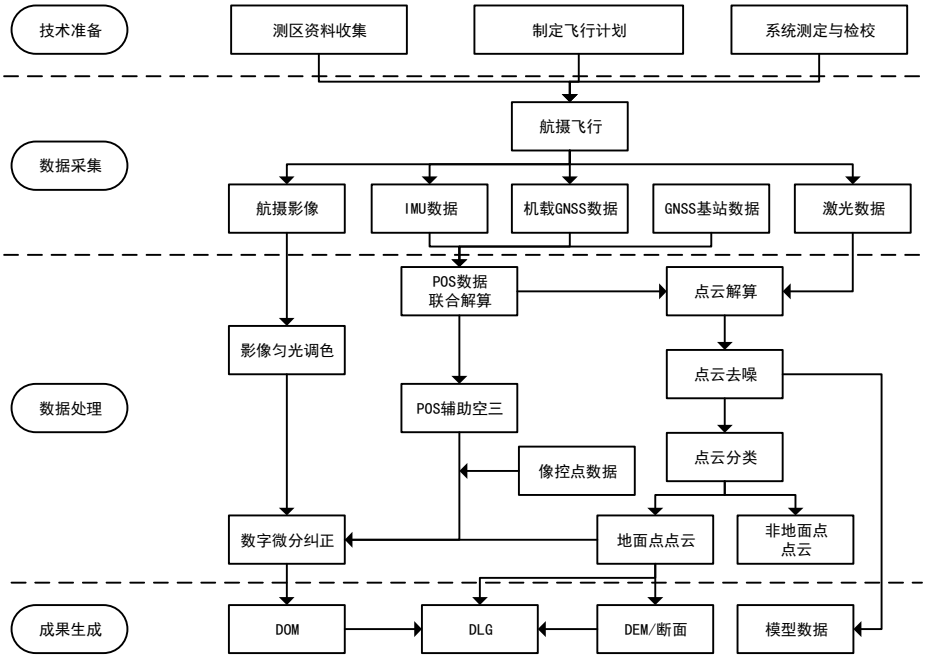


图 C.1 机载激光雷达测量作业流程图

C.2 船/车载激光雷达测量作业流程图

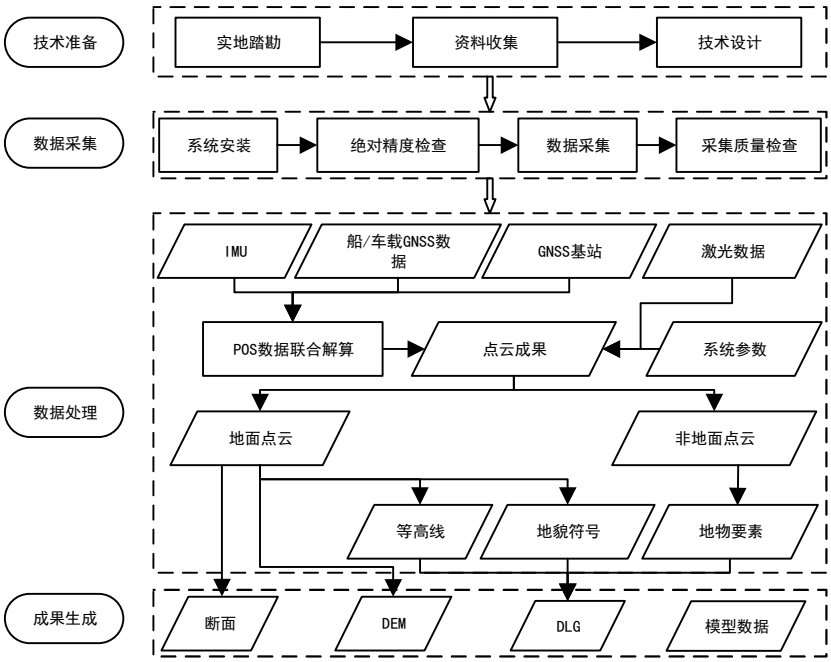


图 C.2 船/车载激光雷达测量作业流程图

C.3　地面三维激光扫描系统测量作业流程图

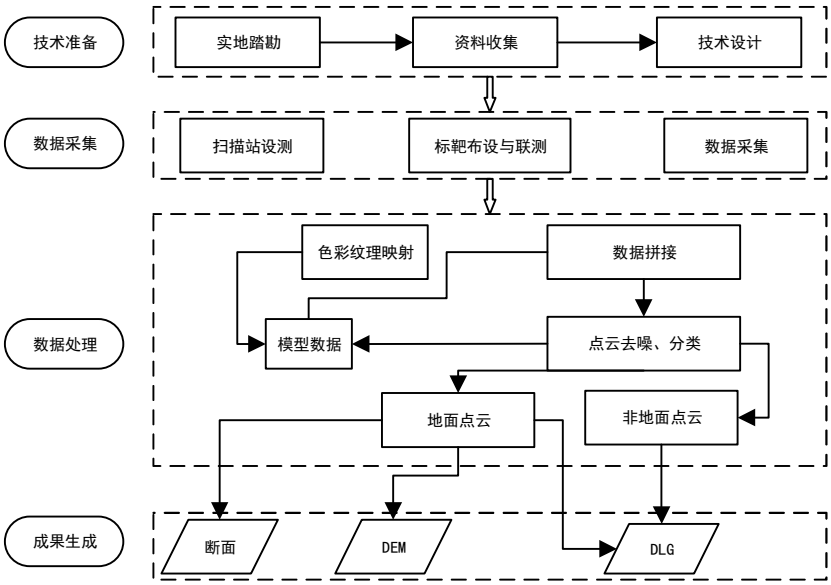


图 C.3　地面三维激光扫描系统测量作业流程图

C.4　背包/手持三维激光扫描系统测量作业流程图

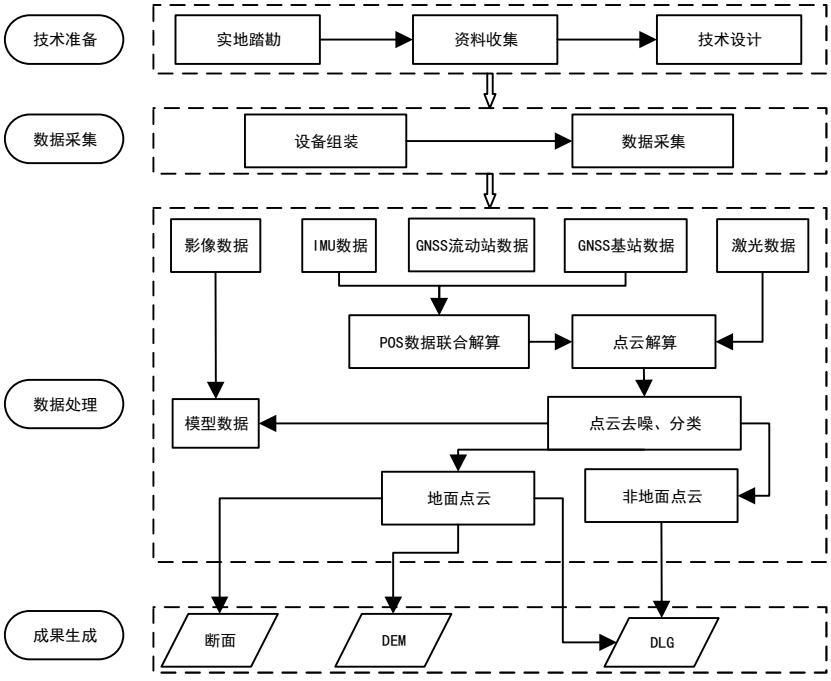


图 C.4　背包/手持三维激光扫描系统测量作业流程图

附录 D
（资料性）

D.1 点云密度的计算

利用全测区（水域除外）激光点个数与全测区（水域除外）面积按式（D.1）计算激光雷达点云密度：

$$\rho = \frac{n - \sum_{i=1}^{m} n_i}{A - \sum_{i=1}^{m} A_i} \tag{D.1}$$

式中：

ρ ——激光雷达点云密度，单位为个每平方米（个/m^2）；

n ——测区内激光雷达点云总点数，单位为个；

n_i ——第 i 个水域内激光雷达点云点数，单位为个；

m ——测区内水域个数，单位为个；

A ——全测区激光雷达点云覆盖的面积，单位为平方米（m^2）；

A_i ——第 i 个水域激光雷达点云覆盖的面积，单位为平方米（m^2）。

D.2 点云高程中误差的计算

利用以检查点为中心的邻近激光点内插出检查点位置的高程，按式（D.2）、（D.3）进行高程中误差的计算。利用测区野外检查点数据进行评定，检查点的数量及分布应符合 9.3 的规定。

同精度检测的高程中误差 H_{RMS} 按式（D.2）计算：

$$H_{RMS} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_i - \hat{H}_i\right)^2}{2n}} \tag{D.2}$$

高精度检测的高程中误差 H_{RMS} 按式（D.3）计算：

$$H_{RMS} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_i - \hat{H}_i\right)^2}{n}} \tag{D.3}$$

式中：

H_{RMS} ——高程中误差，单位为米（m）；

H_i ——第 i 个检查点对应的激光点内插高程值，单位为米（m）；

n ——检查点个数，单位为个；

$\hat{H}_i$ ——第 i 个检查点的实测高程值，单位为米（m）。

D.3 点云相对高程中误差的计算

利用裸露的平面作为检测平面进行评定，平面上激光点数量视激光雷达点云密度等具体情况确定，不宜少于 15 点/平方米。按式（D.4）计算检测平面内激光点的高程平均值，使用激光雷达点云高程值与均值的差值来按式（D.4）计算激光雷达点云相对高程中误差。对于高程值与高程平均值之差大于 2 倍相对高程中误差的激光点应进行校核，判断该点是否属于检测平面。将不属于检测平面的点去除后，再次计算相对高程中误差，避免非检测平面点造成的误差。

$$\overline{H}=\frac{\sum_{i=1}^{n}H_i}{n} \tag{D.4}$$

$$H_\sigma=\pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(H_i-\bar{H})^2}{n-1}} \tag{D.5}$$

式中：

H_σ ——相对高程中误差，单位为米（m）；

H_i ——第 i 个激光点的高程值，单位为米（m）；

n ——检查平面中激光点个数，单位为个；

$\bar{H}$ ——激光雷达点云高程平均值，单位为米（m）。

D.4 点云航带拼接高程误差的计算

选取重叠区域内一定数量（不宜少于 15 处）的裸露平面作为检测平面，检测平面应分布均匀。分别计算检测平面的单航带激光雷达点云的高程平均值以及相邻航带激光雷达点云的高程平均值，计算高程平均值的差值，所有检测平面差值的平均值即为航带拼接高程误差。计算前需对检测平面激光点数据进行分析，对高程值与高程平均值之差大于 2 倍高程中误差的激光点进行校核，判断该点是否属于检测平面。将不属于检测平面的点去除后，再计算高程平均值，避免非检测平面点造成的误差。航带拼接高程误差按式（D.6）计算：

$$A_Z=\frac{\sum_{1}^{m}(\overline{H_j}-\overline{H_j}')}{m} \tag{D.6}$$

式中：

A_Z ——航带拼接高程误差，单位为米（m）；

m ——选取检测平面个数，单位为个；

$\overline{H_j}$ ——为单航带激光雷达点云在第 j 个检测平面的高程平均值，单位为米（m）；

$\overline{H_j}'$ ——相邻航带激光雷达点云在第 j 个检测平面的高程平均值，单位为米（m）。

高程平均值按式（D.5）计算。

D.5 点云平面精度的计算

同精度检测的平面位置中误差按式（D.7）计算：

$$P_{RMS}=\pm\sqrt{{X_{RMS}}^2+{Y_{RMS}}^2} \tag{D.7}$$

$$X_{RMS}=\pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\hat{x}_i\right)^2}{2n}} \tag{D.8}$$

$$Y_{RMS}=\pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2}{2n}} \tag{D.9}$$

高精度检测的平面位置中误差按式（D.10）计算：

$$P_{RMS}=\pm\sqrt{{X_{RMS}}^2+{Y_{RMS}}^2} \tag{D.10}$$

$$X_{RMS}=\pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\hat{x}_i\right)^2}{n}} \tag{D.11}$$

$$Y_{RMS}=\pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2}{n}} \tag{D.12}$$

式中：

P_{RMS} ——激光点云或影像平面位置中误差，单位为米（m）；

X_{RMS} ——激光点云或影像在X方向上的平面位置中误差，单位为米（m）；

Y_{RMS} ——激光点云或影像在Y方向上的平面位置中误差，单位为米（m）；

n ——检查点个数，单位为个；

x_i ——激光点云或影像在X方向上的平面位置，单位为米（m）；

$\hat{x}_i$ ——检查点在X方向上的实际平面位置，单位为米（m）；

y_i ——激光点云或影像在Y方向上的平面位置，单位为米（m）；

$\hat{y}_i$ ——检查点在Y方向上的实际平面位置，单位为米（m）。

D.6 点云粗差率的计算

在全测区范围内通过滤波去噪或人工识别判断点云粗差，并统计粗差点个数，按式（D.13）计算测区的激光点云粗差率：

$$r=\frac{n_r}{n}\times 100\% \tag{D.13}$$

式中：

r ——激光点云粗差率；

n_r ——激光点云粗差点数，单位为个；

n ——激光点云总点数，单位为个。

D.7 DEM 高程精度的计算

同精度检测的高程中误差M_h按式（D.14）计算：

$$M_h = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \triangle_i^2}{2n}} \tag{D.14}$$

高精度检测的高程中误差M_h按式（D.15）计算：

$$M_h = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \triangle_i^2}{n}} \tag{D.15}$$

式中：

M_h ——DEM 高程中误差；

n ——检测点数量；

$\triangle_i$ ——高程较差。

参考文献

[1] GB 55018　工程测量通用规范

[2] CH/T 6003　车载移动测量数据规范

[3] CH/T 6004　车载移动测量技术规程

[4] NB/T 35109　水电工程三维激光扫描测量规程