ICS 07.040
CCS A78

TB

团　　体　　标　　准

T/CSGPC XXX-202X

水库泥沙淤积测量规程

Specification for measuring sediment deposition in reservoirs

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布　　202X-XX-XX 实施

中 国 测 绘 学 会　发 布

目　　次

前言 I
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　总体要求 3
5.1　测量基准 3
5.2　测量精度 3
5.3　测量要求 4
5.4　安全要求 7
6　测深方法 8
6.1　一般要求 8
6.2　单波束测深 8
6.3　多波束测深 10
6.4　机载激光雷达测深 11
7　作业流程 12
8　技术准备 13
8.1　资料收集 13
8.2　现场踏勘 14
8.3　技术设计 14
9　控制测量 14
9.1　新建水库控制测量 14
9.2　已建水库控制测量 15
10　断面布测与编绘 16
10.1　断面布设 16
10.2　断面测量 16
10.3　断面编绘 17
11　地形测绘 18
11.1　一般要求 18

11.2 陆域地形测量 18
11.3 水下地形测量 18
11.4 地形图绘制 18
11.5 DEM 制作 19
12 淤积量计算与分析 19
12.1 一般要求 19
12.2 断面法计算 19
12.3 DEM 法计算 19
12.4 等高线法计算 20
12.5 淤积分析 21
13 数据管理系统建设 22
13.1 系统建设要求 22
13.2 系统功能要求 22
13.3 系统实施与维护 22
14 资料整编与检查验收 22
14.1 资料整理 23
14.2 报告编制 23
14.3 检查验收 23
附录 A（规范性）船载测深数据采集记录表 25
附录 B（规范性）机载激光雷达测深数据获取记录表 26
参考文献 28

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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件主要起草单位：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

水库泥沙淤积测量规程

1 范围

本文件规定了水库泥沙淤积测量的总体要求、测深方法、作业流程、技术准备、控制测量、断面布测与编绘、地形测绘、淤积量计算与分析、数据管理系统建设、资料整编与检查验收等要求。

本文件适用于新建水库蓄水前的本底测量，已建水库泥沙—库岸滑塌复合淤积测量工作。

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/T 12898 国家三、四等水准测量规范

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收

GB/T 42640 多波束水下地形测量技术规范

GB 50026 工程测量标准

GB/T 50138 水位观测标准

CH 1016 测绘作业人员安全规范

NB/T 35029 水电工程测量规范

NB/T 35116 水电工程全球导航定位系统（GNSS）测量规范

SL 197 水利水电工程测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水库泥沙淤积 reservoir sedimentation

水流挟带的泥沙、库岸滑落的土石等在水库库底沉积的现象。

3.2

多波束测深 multibeam echosounding

利用声学波束技术通过一次声信号发射和接收，能同时获得多个水深点，进行水下条带深度测量的回声测深工作。

3.3

机载激光雷达测深 airborne LiDAR echosounding

利用机载平台搭载绿光波段的激光雷达系统，通过发射高频率激光脉冲穿透水体并接收水底反射信号获取水深数据的工作。

3.4

固定横断面 fixed cross-section

位置固定且垂直于某一基准线或走向而设置的剖面。

3.5

断面基点 cross-section base piont

设置在固定横断面两端的永久性测量基点。

[来源：NB/T 10969-2022，2.0.5，有修改]

3.6

本底测量 background survey

在水库蓄水前或运行初期，对库区范围内开展的测量工作。包括陆域地形测量、水下地形测量或断面测量。

3.7

水深 depth

水体的自由水面到水底床面的竖直距离。

[来源：GB/T 50095-2014，4.5.1，有修改]

3.8

断面套绘图 cross-section overlay drawing

将不同测次的同一位置的横断面图数据以同一基点绘制在同一个图上的图形。

3.9

DEM 差值模型 DEM difference model

通过计算同一区域不同时期的 DEM 之间的高程差异，生成反映地表变化或地形演变的三维分析模型。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CORS 卫星导航定位连续运行基准站 Continuously Operating Reference Station

DEM 数字高程模型 Digital Elevation Model

DTM 数字地形模型 Digital Terrain Model

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

IMU 惯性测量单元 Inertial Measurement Unit

LiDAR 激光雷达 Light Detection and Ranging

POS 定位定姿系统 Positioning and Orientation System

RTK 实时动态载波相位差分技术 Real-Time Kinematic

TIN 不规则三角网 Triangulated Irregular Network

5 总体要求

5.1 测量基准

5.1.1 平面坐标系统应与设计阶段协调一致，并与2000国家大地坐标系建立转换关系。

5.1.2 高程基准应与设计阶段保持一致，并与1985国家高程基准建立转换关系。

5.1.3 所有测量记录及成果的时间系统日期采用公元纪年，时间采用24小时制北京时间（UTC+8）。

5.2 测量精度

5.2.1 水库淤积测量基本控制测量等级应根据水库工程规模、干流与支流长度、地形复杂度、精度要求等综合确定，并符合表1的规定。

表1 控制测量等级和精度要求

控制类型	工程规模	干流长度 km	支流长度 km	测量等级	精度要求
平面控制	大型水库	≥100	≥50	三等或四等	最弱相邻点的点位中误差不得大于0.05M，单位为mm； 1:500及以上大比例尺地形图，最弱相邻点的点位中误差不得大于50mm
	中型水库	50～100	20～50	四等	
	小型水库	＜50	＜20	四等或一级	
高程控制	大型水库 中型水库	-	-	四等	最弱点高程中误差不得大于1/20h，单位为m； h不大于0.5m时，最弱点高程中误差不得大于1/16h，单位为m
	小型水库	-	-	五等	
注1：M为地形图比例尺分母；h为基本等高距，单位为m。 注2：地形复杂度分为复杂、中等和简单，复杂地形宜提高1个等级。					

5.2.2 水库陆域地形测量基本精度应符合表2的规定。

表2 水库陆域地形测量基本精度

点位中误差 mm		高程中误差 m	
重要地物	次要地物及地形点	重点地区	一般地区

点位中误差 mm		高程中误差 m	
0.6*M*	0.8*M*	*h*/3	*h*/2
注：*M* 为比例尺分母；*h* 为等高距，单位为 m。			

5.2.3　水下地形点的平面位置精度不应超过表 3 的规定。

表 3　水下地形点的平面位置精度

比例尺	平面中误差 m
1：200	0.30
1：500	0.45
1：1000	0.90
1：2000	1.80
注：困难区域可放宽 0.5 倍。	

5.2.4　水深测量中误差不应超过表 4 的规定。

表 4　水深测量中误差

测深方法	水深 H m	测深中误差 m
单波束测深	1＜H≤10	0.15
	10＜H≤20	0.20
	H＞20	H×1.5%
多波束测深	3＜H≤20	0.20
	H＞20	H×1%
机载激光雷达测深	H≤20	0.20

5.2.5　水位测量精度应优于 5cm，宜读记至 1cm。

5.3　测量要求

5.3.1　新建水库蓄水前应对水库正常蓄水位以下范围、淹没影响区及潜在滑坡体区域开展本底测量，并满足下列要求：

a)　本底测量可采用断面法、地形法中的任意一种或两种结合方法进行；

b)　断面测量应设置固定横断面，两岸布置断面基点；

c)　控制测量、地形测量和断面测量应满足本文件的要求。

5.3.2　已建水库蓄水前未开展本底测量而需要开展泥沙淤积测量时，应先按照本底测量要求对水库进行一次测量，以补全基础数据。

5.3.3 水库泥沙淤积测量是库容复核的核心技术手段，宜基于初始本底测量数据或补全的基础数据进行重复观测，通过重复测量数据对比，精确计算泥沙淤积量及库容变化，分析泥沙淤积情况。

5.3.4 水库运行期出现下列情况时，宜开展水库泥沙淤积测量工作：

a) 泥沙含量大的流域水库；

b) 崩塌、滑坡、泥石流隐患点密集且常有土石滑落的水库；

c) 遭遇特大洪水或强烈地震的水库；

d) 其他有要求的水库。

5.3.5 水库泥沙淤积测量频次宜符合下列规定：

a) 水库首次蓄水至设计正常蓄水位后，运行初期大型水库 3 年～5 年内、中型水库 2 年～4 年内、小型水库 1 年～3 年内，宜每年开展不少于 2 次断面测量，宜每 2 年开展 1 次地形测量；

b) 水库运行期，大、中型水库宜每 1 年～3 年开展 1 次固定断面测量，每 5 年～10 年开展 1 次地形测量，或总库容变化超过 3%时开展地形测量；小型水库宜每 3 年～5 年开展 1 次断面测量，每 10 年开展 1 次地形测量，或总库容变化超过 5%时开展地形测量；

c) 泥沙含量大的大、中型水库，宜每年在汛前、汛期和汛后分别开展 1 次断面测量；坝前、尾水区宜每年在汛后开展 1 次地形测量；

d) 库岸土石滑落严重的大、中型水库，应在土石滑落后及时开展滑落体本体及周边影响范围的地形测量。

5.3.6 水库泥沙淤积水深测量宜采用单波束测深、多波束测深、机载激光雷达测深、测深杆或测深锤测深等方法，测深点定位宜采用 GNSS RTK 测量法，也可采用全站仪测量法等。测深方法适用范围应满足下列要求：

a) 单波束测深宜在水深大于 1 m 的水域使用；

b) 多波束测深宜在水深大于 3 m 的水域使用；

c) 机载激光雷达测深宜在水质清澈且水深不宜超过 20 m 的水域使用；

d) 在水底林草丛生的浅水区水域不宜使用单波束或多波束测深，宜采用机载激光雷达测深、测深杆或测深锤。

5.3.7 水库泥沙淤积地形测量的比例尺宜根据测量范围和需要进行选择，可选用 1:200、1:500、1:1000 或 1:2000。地形图比例尺、等高距和 DEM 格网间距应符合表 5 的规定。

表 5 地形比例尺、等高距、影像分辨率和 DEM 格网间距要求

水库区域	地形图比例尺		等高距 m	DEM 格网间距 m
	陆域	水下	陆域、水下	陆域、水下
坝前、尾水 滑坡/崩坍区	1：200	1：200	0.5	0.5
	1：500	1：500	0.5	0.5

水库区域	地形图比例尺		等高距 m	DEM 格网间距 m
	陆域	水下	陆域、水下	陆域、水下
水库全域	1：1000	1：1000	0.5 或 1.0	1.0
	1：2000	1：2000	1.0 或 2.0	2.0
注 1：同一比例尺选用一种等高距。 注 2：DEM 格网间距为最大间距要求。				

5.3.8　水库泥沙淤积测量的纵、横断面的测量比例尺、地形点间距应符合表 6 的规定。

表 6　断面测量比例尺、地形点间距要求

水库区域	纵断面		横断面	
	比例尺	水下地形点间距 m	比例尺	陆域、水下 地形点间距 m
坝前、尾水 滑坡/崩坍区	1：1000	≤10	1：200	≤3
	1：2000	≤20	1：500	≤5
水库全域	1：5000	≤50	1：1000	≤10
	1：10000	≤100	1：2000	≤15

5.3.9　水位测量应满足下列要求：

a）　通过水位数据换算获取水底高程或水库纵断面调制需要同时水位时，应进行水位观测；

b）　水位站布设和水位观测应符合 GB/T 50138 的相关规定。

c）　GNSS 三维水深测量时，水位观测可作为检核验证。

5.3.10　声速剖面测量应符合下列规定：

a）　声速剖面仪测量精度应优于 0.5m/s，测程还应大于作业水域最大水深；

b）　声速剖面测量位置应有足够的密度并均匀分布于作业水域，在有代表性的水域位置测定声速，准确记录施测时间和位置；

c）　每次作业前应测定声速，每个声速控制区域半径不宜大于 5km，每个声速剖面数据使用时间不大于 8h，特殊水文条件下应适当增加声速剖面的测量；

d）　温差变化较大水域，每间隔 1h～2h 加测声速剖面，并及时修正声速参数；

e）　声速剖面仪入水后应保持停留 2min 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；

f）　声速剖面仪测量数据宜采用从水底至水面的记录数据。

5.3.11　测量所使用仪器设备应具有法定检验机构出具的检定证书，并在检定有效期内使用；使用的软件应通过测试或验证。

5.3.12　涉密水库及涉密资料的使用与管理应符合国家保密法律、法规的相关规定。

5.4 安全要求

5.4.1 水库泥沙淤积测量工作应依据安全生产措施和应急预案，制定专门的测绘应急预案，并持续完善。

5.4.2 水库泥沙淤积测量应选择安全可靠、性能良好的搭载平台，并满足下列要求：

a） 搭载平台应便于测深设备的安装和固定，确保与测深设备的尺寸、重量及功能相匹配；

b） 采用有人船时，应持有有效的船舶检验合格证书，并按规定配备救生衣、救生圈、灭火器、急救包等应急设备，同时确保船员具备相应的操作资质；

c） 采用无人船时，应具备防撞、避障功能和 IP68 级防水能力，作业前应对其机电设备、电池、通信模块、导航系统等进行全面检查，确保其处于正常状态；

d） 采用无人机时，应具备稳定的飞行性能和抗风能力。在高海拔地区作业时，应选用高原型无人机，并对其电池续航能力和飞行控制系统进行专项测试；

e） 所有搭载平台在作业前均应进行安全检查，确保其性能满足测量任务要求。

5.4.3 水深测量作业前，应与当地海事、医疗、应急救援等部门建立畅通的应急联络机制，明确各方联系人及联系方式，并制定详细的应急响应预案；遇突发险情时，应立即启动撤离程序，优先保障人员生命安全，同时及时向相关部门报告险情并请求支援，确保应急处置高效有序。

5.4.4 采用有人船进行水深测量作业时，应严格遵守下列安全规定：

a） 船上应指定专职安全员，负责对周边水域的通航环境、气象水文条件、船舶动态等安全要素实施全程动态监控，并做好记录；

b） 配备专用通信设备，与岸上监控人员保持双向实时联络，确保通信畅通，发现异常情况时应立即通报并采取相应措施；

c） 作业期间应按预定频次向岸上监控人员报送实时位置、作业状态及安全情况信息，必要时增加报送频次；

d） 作业结束后，应及时向岸上监控人员报告作业完成情况，并确认所有人员及设备安全撤离。

5.4.5 在复杂水域使用有人船或无人船进行测量作业时，应采取下列安全措施：

a） 在水面上设置醒目的浮标警示标志，明确标识作业区域边界，并分段实施测量，确保作业范围清晰可控；

b） 在水流湍急区域作业前，应对水流速度、水深、障碍物分布等现场条件进行全面勘察，评估安全风险，并采取相应的安全防护措施，经确认安全后方可开展作业；

c） 作业期间应安排专人实时监控水域环境变化，发现异常情况应立即暂停作业并采取应急措施。

5.4.6 每次开始测量前，应对作业区域的天气情况进行实时监测和评估，当风速超过 4 级或浪高超过 0.5m 时，应立即中止作业，组织人员及设备迅速撤离至岸上安全地带，并做好记录和报告；同时，应持续关注天气变化，待条件符合安全要求后方可恢复作业。

5.4.7 水库泥沙淤积测量的安全作业除符合上述规定外，还应执行 CH 1016 的规定，并应满足现场的

安全管理和环境保护要求。

6 测深方法

6.1 一般要求

6.1.1 单波束测深和多波束测深的搭载平台可根据作业环境、测量精度及安全要求，选用有人船或无人船；机载激光雷达测深搭载平台宜选用无人机，并确保其飞行稳定性、载荷能力及续航性能满足测量任务需求。

6.1.2 单波束测深和多波束测深定位宜采用 GNSS 三维水深测量方式，并确保定位精度满足测量任务要求。当需要利用水位进行水深改正时，水位观测和水位改正应符合现行国家标准 GB/T 50138 的有关规定，水位改正应遵循“同步观测、实时改正”的原则，确保水深数据的准确性和可靠性。

6.1.3 无人船作业应满足下列要求：

a) 确保无线遥控设备与无人船建立稳定、可靠的通讯链路，优先选用抗干扰能力强、传输距离远的专业级遥控装置，并配备备用通讯设备以应对突发情况；

b) 作业全程应保持无人船在操控人员目视范围内，实时监控信号强度、设备状态及航行轨迹，发现通讯中断、设备故障或航行异常时，应立即启动应急返航程序；

c) 预设航线后应保持匀速航行，航速波动率不大于 10%，直线航迹偏移量控制在±0.5m 范围内；航向偏角动态偏差不大于 5°，转弯半径宜大于 3 倍船长，并避免急转弯或频繁转向；

d) 作业前应对无人船的导航系统、动力系统、传感器及通讯设备进行全面检查，确保其处于正常工作状态。

6.1.4 在数据采集过程中，若出现测深信号质量不满足精度要求、数据覆盖不足、水深漏空或数据异常等情况，应及时分析原因并采取相应措施；对于局部区域的数据问题，应在现场进行补测；对于大面积数据问题，应重新规划测线并实施重测。

6.1.5 船载测深数据采集记录应按测线进行，记录格式见附录 A；机载激光雷达测深数据获取应按架次进行，记录格式见附录 B。

6.2 单波束测深

6.2.1 单波束测深宜配备 GNSS 卫星定位及相关辅助设备，可根据测深精度选择配备姿态传感器。

6.2.2 测深线布设

6.2.2.1 河道宽阔水域，测深线宜布设成垂直于河道中心线的直线；河道狭窄水域，测深线可布设成与等深线相交的斜直线，最小夹角不小于 45°。

6.2.2.2 河心岛水域，测深线应布设成螺旋形，并与该处河道测深线形成重叠交点。

6.2.2.3 不同作业区应布设一条重合的测深线，不同时期测深的相邻作业区应布设两条重合测深线。

6.2.2.4 单波束测深线间距应符合表 7 的规定。

表 7　单波束测深线间距

比例尺	测深线间距 m
1：200	3～5
1：500	5～10
1：1000	10～20
1：2000	15～30

6.2.2.5　测深检查线宜垂直于测深线，在检查水域应均匀、合理分布，检查线长度不宜小于测深线总长度的 5%。检查测点间距应小于测深线测点间距的 1/2，并与测深线相交处有重合或邻近点，邻近范围半径为 $1.0\times M$ mm，深度比对互差不应超过本文件表 4 规定的水深中误差的 2 倍。

6.2.4　单波束系统安装

6.2.4.1　测深仪换能器安装应满足下列要求：

a)　换能器的安装位置应选择在距船首 1/3～1/2 船长处，并避开球鼻艏下方区域。静吃水深度以 0.3m～0.8m 为宜，安装精确度为 1cm；

b)　换能器安装时应确保发射波束严格竖直向下，辐射面倾斜度须控制在±3°范围内，并保持前高后低的姿态；

c)　安装支架应具备足够刚度，与船体连接应稳固牢靠，避免因振动或水流冲击导致换能器抖动；

d)　换能器表面需保持清洁无油污，周边区域应避开船体排水口及螺旋桨气泡干扰区。

6.2.4.2　GNSS 接收机安装应满足下列要求：

a)　在未配备姿态补偿系统时，接收机宜安装于换能器支架正上方，纵向位置偏差应控制在±0.5m 范围内，横向偏差不超过±0.3m，并确保无桅杆、天线等遮挡物影响信号接收；

b)　当系统集成姿态传感器时，需通过全站仪测定定位天线、换能器及姿态传感器在船体坐标系下的三维坐标，定位精度应达厘米级。各设备坐标系转换参数须经专业软件校准，纵摇/横摇补偿残差不超过 0.1°。

6.2.4.3　多源传感器与定位系统应实现时间同步，时钟偏差控制在 10ms 以内。安装完成后需进行动态校准试验，验证设备间空间关系参数的准确性。

6.2.5　数据采集

6.2.5.1　数据采集前应设置并检查系统参数数据，主要包括投影参数、椭球体参数、坐标转换参数以及校准参数等。

6.2.5.2　每次测量前后应在作业水域水面平静、流速较小的区域对测深仪进行测深校准。用比对板校准测深仪时，测深仪应处于正常工作状态，测量船应处于稳定状态，实测水深与测深仪数据差值应小于 0.1m。

6.2.5.3　正式测量前应按设计航速直线匀速航行不少于 1min，航速波动率应小于 10%，航向偏差不大于 5°，确保定位系统与测深仪达到稳定工作状态。

6.2.5.4　数据采集过程中船体前后左右摇摆幅度不宜过大，当风浪引起测深偏差大于 0.3m 时，应暂停水深测量作业。

6.2.6　**数据处理**

6.2.6.1　测深处理数据应进行吃水改正和声速改正，有姿态传感器时还应进行姿态改正。吃水改正应按下列公式进行：

$$H = d + D \cdots\cdots (1)$$

式中：

H——水面至水底的深度（m）；

d——换能器测量深度（m）；

D——换能器吃水深度（m）。

6.2.6.2　GNSS 定位数据处理应满足下列要求:

a)　剔除异常定位点；

b)　当 GNSS 定位中心与测深中心的平面位置不重合时，应对测深点位置进行归算。

6.2.6.3　水深数据处理应剔除跳点，数据提取除满足点间距要求外，还应提取地形特征点和关键点。

6.3　多波束测深

6.3.1　系统配置

多波束测深系统应配备 GNSS 定位设备、姿态传感器、声速剖面仪及运动传感器，系统应具备实时数据采集、处理和质量监控功能。

6.3.2　测深线布设

6.3.2.1　主测深线宜平行于等深线或河道走向布设。

6.3.2.2　测深线间距应视测船大小、水下地形复杂程度、多波束开角等综合确定。

6.3.2.3　相邻测深条带的重叠率不应小于 10%。

6.3.2.4　测深检查线宜垂直于测深线，并在检查水域均匀、合理分布，检查线长度不宜小于测深线总长度的 1%。测深检查数据应使用中央区域的波束数据进行比对分析。

6.3.3　多波束系统安装与校准

6.3.3.1　换能器安装应符合本文件 6.2.4.1 的规定，姿态传感器安装位置应靠近换能器，换能器、姿态传感器及 GNSS 定位天线之间采用刚性连接。

6.3.3.2　GNSS 定位天线应安装在测量船的上部开阔位置。

6.3.3.3　当换能器采用倾斜安装时，倾斜角度不宜大于（$180°-\alpha$）$/2$，α为多波束开角差（°）。

6.3.3.4　安装完成后，应测量换能器、姿态传感器及 GNSS 定位天线与参考点之间的相对位置偏差，位置测量较差不应大于 0.02m。

6.3.3.5　多波束系统校准应符合现行国家标准 GB/T 42640 的有关规定。

6.3.4 数据采集

6.3.4.1 数据采集过程中，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。

6.3.4.2 数据采集时，宜实时调整量程、滤波、发射功率和接收增益、声波脉冲宽度等参数，记录作业过程中的参数设置、更改的操作时间，原始测量数据文件应及时备份并予以注记。

6.3.4.3 在测深线切换、船只掉头或转急弯期间，不宜进行数据采集记录。

6.3.5 数据处理

6.3.5.1 多波束测深数据应进行数据改正，包括吃水改正、声速改正和姿态改正，并符合下列规定：

a) 吃水改正应按本文件 6.2.6.1 给出的公式（1）进行计算；

b) 声速改正宜选用离作业水域较近且与水深测量时间接近的声速剖面数据。

c) 姿态改正应采用每个波束对应的测量船瞬时姿态。

6.3.5.2 GNSS 定位数据应剔除有明显异常的定位点，并根据相邻点的航速内插新的定位点，用新的位置数据对波束的位置重新归算。

6.3.5.3 波束点云数据滤波应符合下列规定：

a) 利用计算机采用统计法结合坡度门限、水深门限、信噪比阈值、标准偏差等指标对波束点云数据进行滤波处理，剔除不合格的水深数据。

b) 根据相邻条带重叠率的实际情况，剔除不能达到要求的边缘波束数据。

6.3.5.4 对满足质量要求的水深点数据应根据比例尺和数据用途在保留特征点的基础上进行精简，精简密度应根据制作产品的需要确定。

6.4 机载激光雷达测深

6.4.1 航线规划

6.4.1.1 航线应结合水库区地形、GNSS 基站及作业范围等进行合理设计。河道宽阔水域应布设成平飞航线，河心岛水域宜布设成仿地螺旋航线。

6.4.1.2 飞行高度应根据激光雷达的有效测程和水深、点云密度等确定。

6.4.1.3 相邻采集航线旁向重叠度不应小于 30%。

6.4.1.4 检查航线应垂直于采集航线，且不少于一条，并穿过每一条采集航线，长度不应小于总采集航线长度的 1%。

6.4.2 数据获取

6.4.2.1 无人机飞行过程中应根据激光探测的水体光学参数，及时修正激光雷达的参数。

6.4.2.2 飞行全程应实时监控无人机、激光雷达测深等系统的各项工作状态，出现连续数据缺失或者系统发生故障，应立即停止作业。

6.4.2.3 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。

6.4.2.4　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。

6.4.3　**波形数据处理**

6.4.3.1　波形数据预处理应按照激光发射时序、航高、水深以及回波强度等统计信息，从波形数据中截取激光发射、水面反射、水底散射和水底反射等信息的有效部分。

6.4.3.2　波形去噪宜采用数字滤波等方法将系统硬件、传播介质以及外部因素导致的波形随机噪声消除，确保波形平滑。

6.4.3.3　宜采用高斯分解法、最大期望法等方法获取波形水面反射和水底反射位置。

6.4.3.4　结合激光发射初始位置、水面反射和水底反射的精确位置计算激光传播距离得到测距数据。

6.4.4　**POS 数据处理**

6.4.4.1　各基站观测数据处理成果的测量基准应一致。

6.4.4.2　机载 GNSS 观测数据应与地面 GNSS 基站进行精密动态后处理，或利用 CORS 进行坐标转换，获取机载 GNSS 飞行过程中的三维坐标数据。

6.4.4.3　每架次应联合机载 GNSS 解算的三维坐标数据、IMU 数据和偏心分量数据生成对应架次的一个航迹文件成果。

6.4.4.4　POS 数据成果质量应通过双向解算成果差值、GNSS 定位精度和数据质量因子等指标进行综合判定。

6.4.5　**点云数据解算**

6.4.5.1　应对每架次原始扫描数据进行解码。

6.4.5.2　应联合航迹文件成果、扫描数据解码成果及系统检校数据，解算生成水底三维点云。

6.4.5.3　点云数据存储格式宜采用 LAS、ASCII 码或其他格式。

6.4.6　**航带拼接**

6.4.6.1　在水底平坦区选择不同航带重叠区内特征明显的点云作为特征点，后进行航带拼接。

6.4.6.2　当点云数据存在系统误差时，应以检查航线获取的航带数据为基准，计算采集航带与检查航带之间的变换矩阵进行航带偏移纠正。

6.4.6.3　相邻航带拼接宜对点云数据进行去冗处理。

6.4.7　**点云改正**

6.4.7.1　将明显低于水底点和明显高于水面且标识为水底的点进行剔除。

6.4.7.2　根据水面点云拟合水面波浪形态，进行水底点云位置的改正。

6.4.8　**点云分类**

采用分类算法，结合水底地形特征分析，通过合理设置参数，精确提取水底点云数据。

7　作业流程

水库泥沙淤积测量工作流程包括技术准备、控制测量、断面布测与编绘、地形测绘、淤积量计算与

分析、数据管理系统建设、资料整编与检查验收等，其流程如图 1 所示。

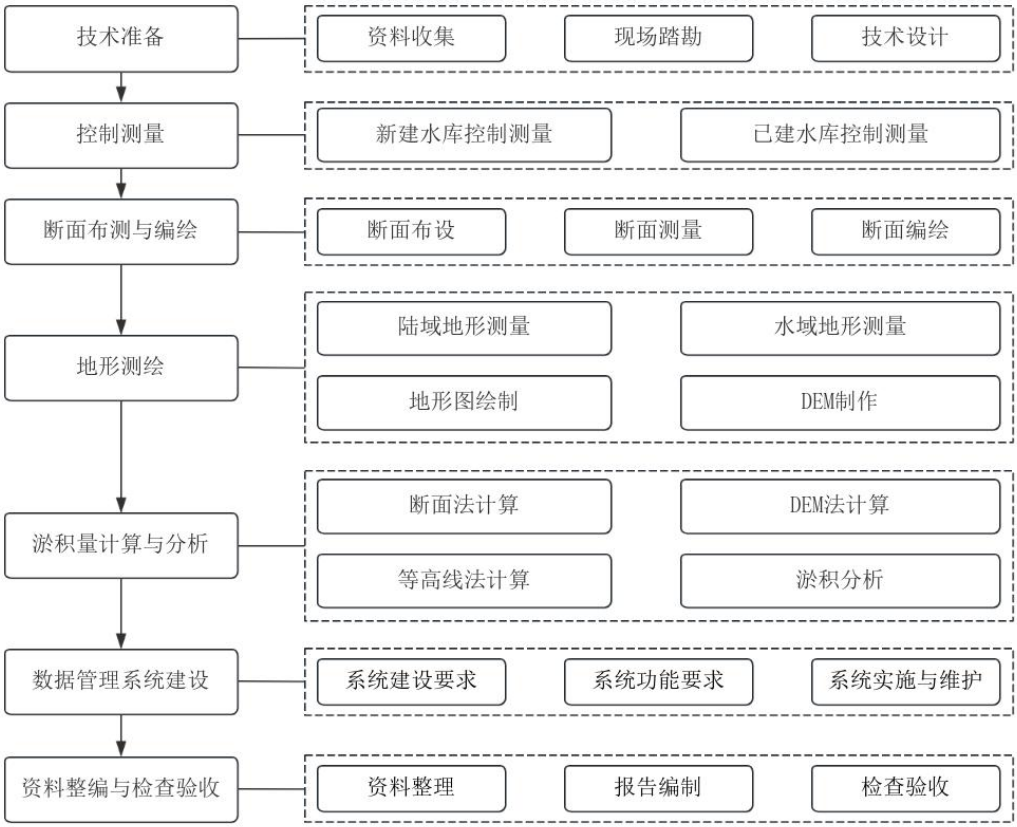

图 1　水库泥沙淤积测量工作流程

8　技术准备

测量作业前应收集和分析工程资料、进行现场踏勘、编写技术设计书。测量作业过程中应执行设备操作规定，进行质量控制，并采取安全防范措施。

8.1　资料收集

水库淤积测量宜收集下列资料:

a)　水库概况、自然地理、气候气象、人文资料等；

b)　交通、通讯、用船及避风设施、飞行平台等工作条件；

c)　已有控制点成果、似大地水准面精化、坐标转换参数、卫星导航定位连续运行基准站（CORS）、水位等成果资料；

d)　水库已有影像、地形图、断面及相关成果，如实景三维模型、数字高程模型、正射影像图、地形图、断面等；

e)　无人机飞行应收集水库区及周边空域信息；

f） 其他相关资料。

8.2 现场踏勘

8.2.1 现场踏勘前，宜在地图上结合交通情况合理规划踏勘路线。

8.2.2 现场踏勘应对所收集资料的可靠性和准确性进行分析和现场判断，踏勘不限于下列内容：

a） 已有控制点保存情况；

b） 已有水位站的完备情况；

c） 水库通航、障碍物、已有码头等情况；

d） 水库内水产养殖及分布情况；

e） 采用机载激光雷达测深时，应了解水库区及周边通讯、输电线路、高耸构建筑物等现场环境及条件；

f） 其他应调查了解的内容。

8.3 技术设计

技术设计书应在分析已收集资料的基础上编制，并包括下列内容：

a） 工程概况应包括水库规模、地形地貌、气候特征、水文条件、所在位置、交通通信条件等；

b） 测量目的和任务要求；

c） 已有测量资料及其分析；

d） 技术依据、测量基准、测量方法、精度等级；

e） 控制测量、水位测量、陆域或水下地形测量、断面测量等所需的仪器设备类型、精度及软件要求；

f） 控制测量方法、控制点布设与测量及数据处理；

g） 陆域地形测量方法，飞行计划、飞行实施、数据采集与处理等工序的要求；

h） 水下地形测量方法，根据测量模式和方法确定实施要求，如测线规划、数据采集与处理等工序的作业方法和要求；

i） 断面测量方法和要求，水位站布设与测量等；

j） 淤积量计算与分析方法和要求；

k） 质量检查；

l） 相关附图、附表等。

9 控制测量

9.1 新建水库控制测量

9.1.1 新建水库开展本底测量前，应按下列要求进行测量控制点布设：

a) 测量控制网应纳入国家大地控制网坐标系统，确保测量基准统一；

b) 遵循“统一规划、同步实施”原则，通过精度分析、可靠性评估及经济性比选等环节，确定最优控制网设计方案；

c) 宜采用一次布设到位方式；确需分级实施时，宜按 1～2 级分层布设控制网，各层级控制网间严密衔接。

9.1.2 控制点选型与布设宜优先选用平高一体化控制点，按“点对式”构网布设，相邻控制点间双向通视。

9.1.3 平面控制网与高程控制网应整体覆盖水库干流段、一级支流交汇区及库周影响区，控制网密度与精度需满足水库泥沙淤积断面测量、地形测量需求。

9.1.4 控制点选址应符合下列规定：

a) 点位应布设在正常蓄水位高程线以上稳定区域，距正常蓄水位垂直距离不小于 5m；

b) 避开滑坡体、塌岸区、冲沟发育带等不良地质地段，与危险区域边界保持 2 倍坡高距离；

c) 优先选用基岩标石或深埋混凝土标石，标石埋设深度应穿透冻土层。

9.1.5 平面控制测量应满足下列要求：

a) 两岸峡谷地形开阔、卫星信号接收条件优良的水库区域，应优先采用全球导航定位系统（GNSS）测量方法，主要技术要求及精度指标应符合 NB/T 35116 的相关规定；

b) 两岸峡谷狭窄、卫星信号遮蔽显著的水库区域，可选用导线测量、三角形网测量等方法，主要技术要求及精度指标应符合 SL 197、NB/T 35029 的相关规定。

9.1.6 高程控制测量可采用电磁波测距三角高程测量、GNSS高程测量、水准测量、似大地水准面等方法，并应满足下列要求：

a) 采用电磁波测距三角高程测量时，主要技术要求应符合 NB/T 35029 的相关规定；

b) 采用 GNSS 拟合高程测量时，主要技术要求应符合 GB 50026、NB/T 35116 的相关规定；

c) 采用水准测量时，主要技术要求应符合 GB/T 12898 的相关规定；

d) 对于已有区域性似大地水准面精化成果的区域，经检核满足精度要求时，可直接采用该成果。

9.2 已建水库控制测量

9.2.1 已建水库未建立控制点时，应按新建水库控制测量要求执行建立。

9.2.2 已建水库已有控制网点时，应进行控制网普查和复测。

9.2.3 控制网点普查宜采用无人机辅助，并结合实地核查开展。原有控制点保持完好或无明显损坏时，根据使用情况进行校核或复测；当发现原有控制点有灭失、破损、孤点等情况时，应对点位进行修复后进行局部复测或整网复测，并满足下列要求：

a) 灭失点宜在原址重新埋设新点，保持控制网原网形完整；

b) 破损点宜在不破坏稳定性前提下进行表面清理、美化，修复或更换标志；

c) 孤点应进行清障处理，无法清障时，应在周边新建控制点，并埋设在历史最大洪水位线以上稳

固的地方；

d) 当采用 GNSS 测量时，应对点位周围障碍物进行清理。

9.2.4 当原有控制点精度和密度无法满足水库泥沙淤积测量要求时，应按下列方式进行处理：

a) 精度不符合要求的，应重新布设控制网并进行测量；

b) 密度不足的，应在原有控制网基础上进行加密测量；

c) 重新测量和加密测量工作均应满足本文件规定的技术要求。

9.2.5 控制网点复测应按原等级和原方案进行，并符合本文件的相关规定。

10 断面布测与编绘

10.1 断面布设

10.1.1 固定横断面布设应满足下列要求：

a) 固定横断面宜基于地形图或三维模型进行初步设计，应实地踏勘最终确定，并确保其与水库库区中心线垂直；

b) 固定断面布设范围应覆盖从坝址至库尾最远淤积末端上游 1～2 个断面之间的整个库区。对于相互衔接的梯级水库，下级水库首部断面应与上级水库的尾水断面保持水力衔接；

c) 固定横断面布设应完整覆盖河道典型河势单元，包括但不限于弯道顶点、卡口段、扩散段、收缩段、深潭段、陡坡段、最大展宽段及束窄段。

10.1.2 固定横断面布设应遵循以下原则：

a) 水库干流与支流应分别建立独立观测系统，主槽区断面间距宜采用 0.5km～1km 控制值；

b) 黄土地区水库应结合沟壑密度调整布设密度，维持 0.5km 左右基准间距；

c) 潜在滑坡体库岸带应保证至少 1 条控制断面穿越滑体主轴；

d) 特殊敏感地段可加密至 0.3km 间距；

e) 断面网络应三维控制库区平面转折点、纵剖面变坡点等地形特征点，精确表征淤积三维形态。

10.1.3 断面基点埋设和测量应符合下列规定：

a) 每条断面两端宜各布设 1 个断面基点，采用实体桩和电子桩双介质配置，实体桩设置在水库正常蓄水位以上稳固的地方；

b) 陡峭峡谷困难地段可采用电子桩；

c) 断面基点平面测量等级不应低于一级，高程等级不应低于五等。

10.1.4 纵断面宜能反映库底变化情况，取主槽的深泓点和固定横断面深泓点。

10.2 断面测量

10.2.1 纵、横断面测量时应同步进行水位观测，水位记录在测前 10min 开始，测后 10min 结束。

10.2.2 固定横断面测量应符合下列规定：

a) 断面特征点应全覆盖测量，包括地物轮廓端点、地形坡度转折点、水陆分界点、水下地形特征点等；

b) 固定横断面水域采用单波束测深时，应往返测量，往测与返测过水面积相对误差应小于 2%。合格后取均值或以最靠近断面线的一条走线为主绘制断面图；

c) 固定横断面陆地采用机载激光雷达测量时，应在点云数据上提取断面点三维坐标；采用 RTK 或全站仪测量时，可直接采集断面点三维坐标。

10.2.3 纵断面测量应符合下列规定：

a) 纵断面深泓点及水位点应实测，现测固定横断面可直接取点，河床变化处应实测加密；

b) 相邻固定横断面间距纵断面点不应少于 4 点，关键控制点包括固定横断面轴线交点、水尺上下游 50m 范围、支流汇入口、水工建筑物（隧洞进出口、桥梁轴线上下游 30m 范围）等位置应有深泓点及水位点；

c) 纵断面里程可利用固定横断面坐标资料获取，也可在比例尺不小于 1:10000 数字线划图上量算。

10.3 断面编绘

10.3.1 纵、横断面整编资料应包括成果表和断面图，并提供成果施测说明和纵、横断面位置图。

10.3.2 纵、横断面制图比例尺应根据绘制的内容、断面长度、测点密度及地形高差确定，其选用范围应符合表 8 的规定。

表 8 纵、横断面制图比例尺

断面图类别	比例尺	
	水平	竖向
纵断面图	1:25000～1:100000	1:200～1:1000
横断面图	1:1000～1:5000	1:100～1:200

10.3.3 横断面以面向水库干流、支流下游划分左、右，断面累计距离应以左端为零，向右端累计，调制横断面成果表。成果表应包括序号、点号、间距、累距、高程、测点处的属性，以及横断面名称、测量基准、断面基点坐标和高程、方位角、施测日期、编制、校核等内容。

10.3.4 横断面图绘制应符合下列规定：

a) 横断面长度或比高相差较大时，可选用不同的绘图比例尺，同一条断面不宜绘在两张图纸上。

b) 横断面左端点应绘在图纸的左边，由左至右逐点绘制。

10.3.5 纵断面成果表和图的编绘应符合下列规定:

a) 纵断面里程的零点宜设于下游某一明显地物点处，里程应由下游向上游递增。里程应在地形图上沿水库干流、支流中心线或深泓线上量取，读数应精确至图上 0.1mm。每段里程应独立量测两次，两次量测长度较差与长度之比不应大于 2%，在限差内取平均值。

b) 纵断面成果表应包括高程基准、日期、点号、间距、累距、高程、属性等内容。

c） 纵断面图里程的零点应在图纸的左边。

11 地形测绘

11.1 一般要求

11.1.1 水库地形测量分为陆域地形测量和水下地形测量，陆域和水下可分别测量，也可水上水下一体化测量。

11.1.2 水陆交界区域地形数据应相互衔接或重叠，重叠区同位置的平面和高程偏差均不应超过 0.1m。

11.2 陆域地形测量

可采用机载激光雷达、地面三维激光扫描、低空摄影测量或全站仪、GNSS RTK 测量等单一或联合方法，主要技术要求应符合 NB/T 35029 的相关规定。

11.3 水下地形测量

11.3.1 水下地形测量应根据水深、流速、流态、河宽、河床、水位等状况确定拟采用的仪器设备并制定方案。

11.3.1 水库 1:200 水下地形宜采用多波束测深方法进行测量。

11.3.2 水库水下陡立区宜采用多波束测深，并将多波束测深仪换能器倾斜安装实施测量。

11.3.3 坝后冲坑、消力池等特殊区域，应布设十字交叉测线，并应进行重复测量。

11.3.4 水工建筑物的进水口、出水口等关键部位，应沿轴线方向布设测线，并至少完成一次往返测量。

11.4 地形图绘制

11.4.1 地形图高程注记点取位应根据地形图比例尺确定，1:200、1:500 应取位至 0.01m，1:1000、1:2000 时应取位至 0.1m。

11.4.2 陆域地形图与水下地形图宜分别编绘，陆域等高线、水边线用实线表示，水下等高线用蓝色虚线表示。

11.4.3 地形图编制可采用下列方法进行：

a） 利用测绘成图软件构建数字地面模型（DTM），通过自动生成等高线后，进行矢量化编辑与地形特征修正；

b） 利用 DEM 数据提取初始等高线，经等高线平滑处理、拓扑关系校核等工序，最终整合形成地形图。

11.4.4 陆域地形图与水下地形图应合并成为整体，陆地与水下地形岸线接合处应有 4mm 的重叠。接合处地物允许误差为地物中误差的$2\sqrt{2}$倍，等高线允许误差为高程中误差的$2\sqrt{2}$倍，接合处现状地物不应改变其真实形状，地貌的拼接不应产生变形。

11.5 DEM 制作

宜将陆域和水下地形离散高程点数据融合拼接形成整体，重叠融合数据的平面、高程偏差应符合本文件 11.1.2 的规定。通过离散点生成不规则三角网（TIN）、规则三角网或规则格网。以正常蓄水位或实测水位为界分层分级设色，水下区域可按深度分级蓝调显示。

12 淤积量计算与分析

12.1 一般要求

12.1.1 水库淤积量采用间接法计算得到，利用水库运行期间不同时间的库容曲线变化推算淤积量，对比本底测量库容或相邻测次库容与当前库容曲线的差异计算淤积体积。

12.1.2 库容计算宜采用断面法、等高线法、DEM 法等，按水位 0.1m 间隔生成水位—库容对照表，并绘制出水位与其相应库容关系曲线，库容曲线以水位为纵坐标，以库容为横坐标。

12.2 断面法计算

断面法库容计算根据断面分级高程和各断面的间距进行计算。

当$\frac{A-B}{A}$≤40%且 $A>B$ 时，采用梯形公式（2）进行分级高程面间库容计算：

$$V_i = \frac{L}{2}(A+B) \cdots\cdots (2)$$

当$\frac{A-B}{A}$>40%且 $A>B$ 时，采用截锥公式（3）进行分级高程面间库容计算：

$$V_i = \frac{L}{3}(A+B+\sqrt{A\times B}) \cdots\cdots (3)$$

总库容按公式（4）进行计算：

$$V = \sum_{i=1}^{n} V_i \cdots\cdots (4)$$

式中：

A、B——分别两断面两分高程之间面积（m^2）；

L——相邻两高程面的高差（m）；

V_i——相邻两分级高程面间库容（m^3）；

V——总库容（m^3）。

12.3 DEM 法计算

12.3.1 不规则三角网法计算库容应按公式（5～9）进行。

$$l = \frac{a_{12}+a_{23}+a_{31}}{2} \cdots\cdots (5)$$

$$a_{ij}=\sqrt{（x_i-x_i）^2+（y_i-y_i）^2} \quad \cdots\cdots（6）$$

$$S=\sqrt{l（l-a_{12}）（l-a_{23}）（l-a_{31}）} \quad \cdots\cdots（7）$$

$$V_k=\frac{S（h'_1+h'_2+h'_3）}{2} \quad \cdots\cdots（8）$$

$$V=\sum_{k=1}^{n}V_k \quad \cdots\cdots（9）$$

式中：

l——三角形的半周长（m）；

x_i、y_i——三角网点坐标；

a_{ij}——单个三角形的边长（m）；

S——单个三角形的投影面积（m^2）；

V_k——单个三角形的库容（m^3）；

h'_1、h'_2、h'_3——单个三角形每个角点的水深值（m）；

V——总库容（m^3）。

12.3.2　规则三角网法计算库容应按公式（10）和公式（11）进行。

$$V_k=\frac{l_k^2（h'_1+h'_2+h'_3）}{2} \quad \cdots\cdots（10）$$

$$V=\sum_{k=1}^{n}V_k \quad \cdots\cdots（11）$$

式中：

l_k——规则格网间距（m）；

h'_1、h'_2、h'_3——单个三角形每个角点的水深值（m）；

V_k——单个三角形的库容（m^3）；

V——总库容（m^3）。

12.3.3　规则格网法计算库容应按公式（12）进行。

$$V=\sum_{i=0}^{n}s_i（h-h_i） \quad \cdots\cdots（12）$$

式中：

V——总库容（m^3）；

i——模型格网序号；

n——模型格网总数；

s_i——第i个模型格网的面积（m^2）；

h_i——第i个模型格网的高程（m）；

h——库容计算的水位（m）。

12.4　等高线法计算

等高线法库容计算依地形坡度可采用梯形公式（13）或截锥公式（14）和公式（15）计算：

当$\frac{A-B}{A}$≤40%且$A>B$时，采用梯形公式（13）进行相邻两封闭高程面间的库容计算：

$$V_i=\frac{(A+B)\times\Delta h}{2}\cdots\cdots(13)$$

当$\frac{A-B}{A}$>40%且$A>B$时，采用截锥公式（14）进行相邻两封闭高程面间的库容计算：

$$V_i=\frac{(A+B+\sqrt{A\times B})\times\Delta h}{2}\cdots\cdots(14)$$

总库容按公式（15）进行计算：

$$V=\sum_{i=1}^{n}V_i\cdots\cdots(15)$$

式中：

A、B——相邻两封闭高程面的面积（m^2）；

Δh——相邻两高程面的高差（m）；

V_i——相邻两封闭高程面间的库容（m^3）；

V——总库容（m^3）。

12.5 淤积分析

12.5.1 泥沙淤积量计算应按公式（16）进行。

$$\Delta v=V_t-V_{t-1}\cdots\cdots(16)$$

式中：

Δv——泥沙淤积变化量（m^3），正号表示冲刷，符号表示淤积；

V_t、V_{t-1}——第 t 次、第 t-1 次测量的库容（m^3），t 为正整数且 t≥2。

12.5.2 将多期或相邻测次库容曲线叠加制作成库容曲线套合图，可直观反映库容变化趋势。

12.5.3 断面冲淤分析应满足下列要求：

a) 多期测量的横断面图绘图比例尺应保持一致；

b) 宜将多期或相邻测次横断面图进行叠加制作成断面套绘图，不同测次断面线采用不同颜色显示；

c) 根据断面套绘图可直观反映出断面线上的冲淤变化量和变化趋势，对发生冲刷或淤积的部位做出判断。

12.5.4 地形冲淤分析应符合下列规定：

a) 应采用专业 GIS 软件对相邻期次 DEM 数据进行空间叠加分析，构建 DEM 差值模型，通过水底高程时空变化量值解析，揭示水库冲刷、淤积空间分布特征及演变趋势；

b) 基于上一期次 DEM 数据，以本期测量离散点作为的平面控制点，通过软件提取出上一期次 DEM 对应平面位置上的高程，将同位置的两次高程作差求得冲淤变化值，绘制冲淤厚度等值线图，进行水库冲淤变化趋势分析；

c) 水库冲淤厚度等值线图的等高距应依据冲淤强度梯度分级确定，最大级差不应超过 1.0m，分

级梯度应与冲淤强度分布特征相匹配；

d) 采用三维可视化技术表达冲淤分布时，淤积区域宜采用 R＞200 的暖色调渲染，冲刷区域宜采用 B＞200 的冷色调表征，色阶过渡应保证地形突变区色彩辨识度。

13 数据管理系统建设

水库泥沙淤积测量数据的管理宜建立专门的数据管理系统或将其纳入现有的水库库容管理分析平台，可以有效提升数据的管理效率和应用价值。

13.1 系统建设要求

13.1.1 水库泥沙淤积测量数据管理系统应采用先进、适用、可扩展的技术架构，基于主流地理信息系统平台和数据库管理系统，确保系统的稳定性、可扩展性和兼容性。

13.1.2 系统管理的数据应包括控制测量数据、水位数据、陆域地形数据、水下地形数据、断面数据、淤积量数据、库容曲线数据等。

13.1.3 系统应与现有的水库库容管理分析平台实现数据共享、交换和协同，确保数据的一致性和可用性。数据接口应符合相关标准，支持多种数据交换格式。

13.1.4 系统应建立有效的数据更新机制，确保数据的时效性和准确性。数据更新应包括定期更新和实时更新两种方式，并建立数据校验机制。

13.1.5 系统应建立完善的信息安全管理机制，包括数据加密、访问控制、日志记录和数据备份等措施，确保数据的保密性、完整性和可用性。信息安全应符合现行国家标准 GB/T 22239 的相关要求。

13.2 系统功能要求

系统应具备下列基本功能：

a) 数据录入与导入；

b) 数据查询与检索；

c) 数据可视化与分析，包括 DEM 构建、淤积分布展示等；

d) 用户权限管理。

13.3 系统实施与维护

13.3.1 系统实施应包括需求分析、系统设计、开发、测试、部署和培训等阶段，确保系统功能满足水库泥沙淤积管理分析的需求。

13.3.2 系统应定期进行维护和升级，确保其稳定运行和功能优化。维护内容包括数据备份、性能优化、漏洞修复等。

14 资料整编与检查验收

14.1 资料整理

水库泥沙淤积测量工作完成后，应整理下列资料：

a) 技术设计书；

b) 控制测量资料；

c) 断面测量、地形测量资料；

d) 纵、横断面图，地形图、DEM 等；

e) 淤积量计算资料、成果表、库容曲线图及库容曲线套合图；

f) 淤积量分析资料、断面套绘图、DEM 差值模型或等值线图等；

g) 技术报告。

14.2 报告编制

水库淤积测量技术报告编制应能准确反映测量情况、淤积量计算与分析等情况，包括文字说明、附图、附表等。报告内容宜包括：

a) 工程概况、任务来源、测量目的等；

b) 作业依据、测量仪器设备的主要参数；

c) 控制测量；

d) 断面测量、水位测量等；

e) 陆域、水下地形测量，包括测线/航线设计、数据采集与处理、地形图绘制、DEM 制作等；

f) 淤积量计算与分析；

g) 结论和建议。

14.3 检查验收

14.3.1 水库泥沙淤积测量工作应实行“两级检查、一级验收”的质量控制制度，两级检查应按照“内业全数检查、外业重点抽查”相结合的方式组织实施。

14.3.2 水库泥沙淤积测量项目成果检查验收内容宜包括技术设计书、仪器检定证书及检验资料、控制测量资料、断面或地形资料、淤积量计算与分析资料及技术报告等。

14.3.3 针对检查中发现的质量问题，应按以下要求处理：

a) 及时出具书面整改意见，明确整改要求和完成时限；

b) 建立质量问题台账，实行销号管理，确保问题逐一整改到位；

c) 整改完成后，由责任单位提交整改报告，并组织现场复验；

d) 复验不合格的，责令限期重新整改，直至满足要求。

14.3.4 成果验收应依据下列主要文件进行：

a) 项目来源文件，包括合同书、任务书、委托书等；

b) 技术设计文件，含技术大纲、实施方案等；

c） 现行有效的技术标准，包括国家标准、行业标准及地方标准；

d) 相关法律法规及规范性文件。

14.3.5 成果验收应满足下列条件：

a） 工作内容已全面完成，符合合同约定及任务书要求；

b） 成果资料完整规范，已按要求完成系统整理和归档；

c） 各级检查发现的质量错漏已按规范要求整改到位，并经复核确认合格。

14.3.6 成果验收宜由项目委托方组织实施，成果检查验收与质量评定应符合现行国家标准 GB/T 24356 的有关规定。

附　录　A

（规范性）

船载测深数据采集记录表

船载测深数据采集记录表见表 A.1。

表 A.1　船载测深数据采集记录表

项目名称：_____　　测量日期：_____年____月____日

<table>
<tr><td rowspan="2">测量船</td><td>□有人船</td><td colspan="2">船　长：
监控员：
测量员：</td><td>船型号</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>□无人船</td><td colspan="2">操作员：</td><td>船型号编号</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>测深仪器</td><td colspan="3">□单波束　□多波束</td><td>仪器型号</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>测量区域</td><td colspan="3">经度：　°　′　″ 纬度：　°　′　″
经度：　°　′　″ 纬度：　°　′　″
经度：　°　′　″ 纬度：　°　′　″
经度：　°　′　″ 纬度：　°　′　″
描述：_____</td><td>水位状况</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>测 线 名</td><td>开始时间</td><td>结束时间</td><td>航行速度（m/s）</td><td>环境情况</td><td>备注</td></tr>
<tr><td></td><td>_____时____分</td><td>_____时____分</td><td></td><td>风速：　m/s
浪高：　m
水温：　℃
盐度：　‰</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>_____时____分</td><td>_____时____分</td><td></td><td>风速：　m/s
浪高：　m
水温：　℃
盐度：　‰</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>_____时____分</td><td>_____时____分</td><td></td><td>风速：　m/s
浪高：　m
水温：　℃
盐度：　‰</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>_____时____分</td><td>_____时____分</td><td></td><td>风速：　m/s
浪高：　m
水温：　℃
盐度：　‰</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>_____时____分</td><td>_____时____分</td><td></td><td>风速：　m/s
浪高：　m
水温：　℃
盐度：　‰</td><td></td></tr>
</table>

记录：　　校核：　　日期：　　年　月　日

附　录　B

（规范性）

机载激光雷达测深数据获取记录表

B.1　有人机激光雷达测深数据获取记录表见表B.1。

表B.1　有人机激光雷达测深数据获取记录表

机场：_____日期：_____年____月____日____时____分起飞至____时____分降落

项目名称			航摄分区		
飞机型号			飞机编号		
LiDAR	型　　号: 编　　号: 视 场 角： 扫描频率：		相　　机	型　　号: 编　　号: 焦　　距：　　mm	
设计绝对航高（m）			设计航线条数（条）		
天气状况			能 见 度	水平能见度：　　m 垂直能见度：　　m	
开设备时间	时　　分		关设备时间	时　　分	
机　　长		飞 行 员		航 摄 员	
航 线 号	原始LiDAR编号	影像起止编号	飞行速度（m/s）	飞行高度（m）	备注

记录：　　校核：　　日期：　　年　月　日

B.2　无人机激光雷达测深数据获取记录表见表 B.2。

表 B.2　无人机激光雷达测深数据获取记录表

日期：　　年　　月　　日　　时　　分起飞至　　时　　分降落

项目名称			航摄分区		
无人机型号			无人机编号		
LiDAR	型　　号: 编　　号: 视 场 角: 扫描频率:		相　　机	型　　号: 编　　号: 焦　　距:　　mm	
设计绝对航高（m）			设计航线条数（条）		
天气状况			能 见 度	水平能见度:　　m 垂直能见度:　　m	
开设备时间	时　　分		关设备时间	时　　分	
飞行操控员			地面站人员		
航 线 号	原始 LiDAR 编号	影像起止编号	飞行速度（m/s）	飞行高度（m）	备注

记录：　　校核：　　日期：　　年　月　日

参 考 文 献

[1] GB/T 12898—2009 国家三、四等水准测量规范

[2] GB/T 22239—2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

[3] GB/T 24356—2023 测绘成果质量检查与验收

[4] GB/T 39624—2020 机载激光雷达水下地形测量技术规范

[5] GB/T 42640—2023 多波束水下地形测量技术规范

[6] GB 50026—2020 工程测量标准

[7] GB/T 50138—2010 水位观测标准

[8] CH 1016—2008 测绘作业人员安全规范

[9] CH/T 8023—2011 机载激光雷达数据处理技术规范

[10] CH/T 8024—2011 机载激光雷达数据获取技术规范

[11] NB/T 11560—2024 水电工程多波束地形测绘技术规范

[12] NB/T 35029—2023 水电工程测量规范

[13] NB/T 35116—2018 水电工程全球导航卫星定位系统（GNSS）测量规范

[14] SL 197—2013 水利水电工程测量规范

[15] SL 339—2006 水库水文泥沙观测规范