ICS 93.010
CCS P40

团　体　标　准

T/CI XX—2024

机载激光雷达水库岸坡安全巡检技术规程

Technical Specification for safety inspection of reservoir bank slopes using airborne LiDAR

（征求意见稿）

2024 - XX - XX 发布　　2024 - XX - XX

中国国际科技促进会　发布

目　次

前　言 1
引　言 2
1　范围 3
2　规范性引用文件 3
3　术语和缩略语 3
3.1 术语 3
3.2 缩略语 4
4　基本规定 5
5　技术准备 5
5.1 资料收集 5
5.2 现场踏勘 5
5.3 技术工作大纲 5
5.4 设备选型 6
6　巡检要求 6
6.1 巡检等级 6
6.2 巡检范围 8
6.3 巡检比例尺 9
6.4 点云密度 9
6.5 巡检频次 9
7　航线设计及数据获取 10
7.1 飞行设计 10
7.2 飞行准备 10
7.3 飞行实施 10
7.4 补飞与重飞 11
8　数据处理与解译底图制作 12
8.1 数据处理 12
8.2 数字高程模型制作 13
8.3 数字正射影像制作 13
8.4 专项产品制作 13

9 地质灾害解译 14
9.1 解译程序 14
9.2 解译内容 16
9.3 解译成果 17
10 成果验证 17
10.1 验证内容 17
10.2 验证方法 17
10.3 验证要求 17
10.4 滑坡验证 18
10.5 崩塌验证 18
11 水库岸坡危险性评价 19
11.1 危险性评估 19
11.2 地质灾害风险评价 19
11.3 单体地质灾害风险评价 20
12 成果编制与提交 20
12.1 质量检查 20
12.2 诊断报告编制 21
12.3 成果图件编制 21
12.4 成果归档与提交 21
附录 A 机载激光雷达数据采集记录表 22
附录 B 地质灾害解译卡片 23
附录 C 地质灾害解译验证表 24
参考文献 25

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。

本文件由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、成都理工大学、青海省水利水电勘测规划设计研究院有限公司、兰州交通大学

本文件主要起草人：

引　言

我国水利水电工程经过几十年的迅猛发展，诸多大江大河流域已经修建了众多水利水电工程，形成了一批具有代表性的高坝大库，且已蓄水运行多年，尤其西部山区水库岸坡高陡、地形落差大、交通条件极差、植被茂密且气候多变，水库岸坡长期受水位升降冲刷、浸泡及岩体强度弱化等影响，加之岸坡形态、地质构造、不利结构面组合等使得稳定性变差，容易引发一系列的地质灾害，给工程安全运行造成威胁，使得水库的正常效益难以发挥。

激光雷达技术是近年来在我国兴起的一项新技术，其借助高空平台，能快速、非接触、高精度和高密度获得高山峡谷区地表三维空间信息，已成为当前不可或缺的数据获取手段，在复杂环境下水库岸坡地质灾害调查和安全巡检等方面优势明显，可为水库安全运行发挥巨大作用。目前，国内市场上不同测程、不同精度的激光雷达产品众多，使用于水库安全巡检的设备性能差异较大，且国内尚无此类技术标准。

为规范机载激光雷达水库岸坡安全巡检技术要求，统一作业方法，确保成果质量，利用机载LiDAR技术获取水库施工期、运行期已有、潜在或新增地质灾害的规模、空间分布特征等信息，分析其形成条件，辅以适当的野外验证，为水库地质灾害危险性评价和防治提供基础资料，因此有必要制定一部水库岸坡安全巡检的技术标准。

机载激光雷达水库岸坡安全巡检技术规程

1 范围

本文件给出了机载激光雷达水库岸坡安全巡检的作业流程、工作内容和技术要求。

本文件适用于水利水电工程、抽水蓄能工程等新建、运行、改扩建等水库岸坡地质灾害的安全巡检工作，其他行业边坡工程可参照本文件执行。

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 958 区域地质图图例

GB 50026 工程测量标准

GB/T 12328 综合工程地质图图例及色标

GB / T 32864 滑坡防治工程勘查规范

GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范

DZ/T 0261 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范

DZ/T 0438 地质灾害风险调查评价规范（1:50000）

3 术语和缩略语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

机载激光雷达 airborne LiDAR

在航空平台上，集成激光雷达、定位定姿系统（POS）、数码相机和控制系统所构成的综合系统。包括无人机和有人机。

[来源：CH/T 8024-2011，有修改]

3.1.2

水库岸坡 reservoir bank slopes

水库蓄水前的自然岸坡及蓄水后库水位以上边坡（含消落带）的总称。

3.1.3

水库地质灾害 geological hazards of reservoir

是指水库区内已发生的或潜在的滑坡、崩塌、不稳定岩体、塌岸等不良地质现象的总称。

注：滑坡包含错落体，崩塌包含危岩、落石，不稳定岩体包含变形体、倾倒体、松动卸荷岩体等。

3.1.4

安全巡检 safety inspection

对水库岸坡地质灾害进行全面、或不稳定岸坡重点部位等进行定期或不定期的巡视检查活动。

3.1.5

点云密度 density of point cloud

单位面积内激光点的平均数量。

注：一般用（点/m^2）表示，反映点云的分布状况。

[来源：CH/T 8023-2011，定义 3.5]

3.1.6

地面点 ground point

点云中反映真实地表面形态的点。

[来源：CH/T 8023-2011，定义 3.7]

3.1.7

点云缺失 deficiency of point cloud

由于云、雪、雾等天气原因，密集植被、反射率较低等地表覆盖因素，陡峭山体、地形突变等要素，以及飞行设备故障、飞行姿态及扫描方式引起的点云密度明显低于设计要求的情况。

3.1.8

风险评价 risk assessment

是指库岸地质灾害在风险识别和估计的基础上，综合考虑地质灾害发生的概率、损失幅度以及其他因素，得出系统发生风险的可能性及其程度，并与公认的安全标准进行比较，确定库岸地质灾害的风险等级，由此决定是否需要采取控制措施，以及控制到什么程度。

3.2 缩略语

LiDAR——Light Detection and Ranging（激光雷达）

IMU——Inertial Measurement Unit（惯性测量单元）

POS——Positioning and Orientation System（定位定姿系统）

DOM——Digital Orthophoto Map（数字正射影像图）

DEM——Digital Elevation Model（数字高程模型）

CORS——Continuously Operating Reference Station（卫星导航定位基准站）

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

RTK——RealTime Kinematic（实时动态）

4 基本规定

4.0.1 水库岸坡安全巡检工作程序宜主要包括：技术准备、数据获取与处理、地质灾害解译、成果验证、危险性评价、图件绘制、诊断报告编制。

4.0.2 水库岸坡地质灾害安全巡检应充分利用工作区已有研究成果和基础资料。

4.0.3 应解译并复核水库运行期与地质灾害发育有关的地形地貌、地层岩性、地质构造等因素和关系，分析地质灾害发育的地质环境背景及特征。

4.0.4 水库安全巡检控制测量应符合下列规定：

a）空间基准应与工程前期测量资料系统保持一致；

b）已有或新建控制测量主要技术要求应符合 GB 50026 的相关规定。

4.0.5 库岸安全巡检宜结合其他调查手段，解译并确定地质灾害的类型、边界、规模、形态特征，分析地质灾害的成因和发育规律，评价库岸地质灾害危险程度、影响程度。

4.0.6 有人机或无人机操作人员应取得相应驾驶员资格。

4.0.7 解译使用的软件应通过鉴定或测试。

4.0.8 规划新建或地质资料缺少的水库，巡检精度或地质测绘比例尺应与勘测设计阶段要求相一致。

5 技术准备

5.1 资料收集

5.1.1 应充分收集水库岸坡已有地质灾害资料，主要包括：

a）水库区已有的地质测绘图件、地质灾害评价成果、变形监测资料、巡检诊断报告等资料；

b）收集工作区与地质灾害形成条件与诱发因素相关的地质地理资料，水库区气象、水文、地层与岩性、构造与地震、工程地质等；

c）区域内已有地质灾害数据库、文献地质灾害数据、地理国情数据库中的地质灾害数据等。

5.1.2 测量资料应收集工程区域内已有的控制点、卫星导航定位基准站位置分布等成果，以及精度较高且现势性好的地形图、DEM 数据、影像数据等。

5.1.3 机载激光雷达扫描作业前应收集作业区域航空管制信息，有人机作业还应收集作业区域附近可供使用的机场及往返航路的航空活动等相关资料。

5.2 现场踏勘

5.2.1 现场踏勘应主要包括下列内容：

a）地质灾害区域及周边地形、地貌、植被、交通等；

b）库岸地质灾害的规模、可能的运动方向及可能造成的灾变范围、危险程度等。

5.2.2 对于人员无法抵达或危险性较高的库岸，可利用轻型无人机获取地质灾害体表面影像或视频数据进行远程辅助踏勘。

5.3 技术工作大纲

5.3.1 技术工作大纲应依据地质灾害的调查要求及收集的已有资料，经分析整理后进行编制。

5.3.2 技术工作大纲应主要包括下列主要内容：

a）已有资料库岸地质灾害发育分布概况；

b）依据的标准或其他技术文件；

c）测量技术要求；

d）机载激光雷达巡检作业方案；

e）数据处理、底图制作与质量检查；

f）地质灾害解译及野外验证要求；

h）地质灾害危险性评价；

i）成果编制与归档等。

5.4 设备选型

5.4.1 飞行平台选型应综合考虑调查区范围大小、地形类别、调查比例尺、地质灾害规模、设备性能、工作便利等因素，选用适宜的无人或有人机。

5.4.2 当选用无人机时应符合下列要求：

a）应选用抗风等级≥6 级，续航时间≥30min 的无人机；海拔＞3500m 应选用高原型机载设备。

b）高陡区域的地质灾害调查应优先选用多旋翼无人机；

c）小区域、小流域等重点区域地质灾害调查应优先选用固定翼无人机。

5.4.3 激光雷达选型应根据水库岸坡地表植被、地形起伏、高差等情况确定，并符合下列规定：

a）应根据作业区地形高差及飞行分区划分情况确定激光雷达的最小测程；

b）应选用具有多回波性能的激光雷达；

c）丘陵地区域激光测距精度应优于 0.05m，山地、高山地区域激光测距精度应优于 0.1m。

5.4.4 相机系统应与激光雷达相匹配，并宜符合下列规定：

a）选择全画幅相机，有效像素大于 2000 万；

b）平地、丘陵地选择长焦距相机，山地、高山地选择短焦距相机。

6 巡检要求

6.1 巡检等级

6.1.1 水库岸坡安全巡检宜根据水库工程规模、地质环境条件复杂程度、影响区危害程度等确定巡检等级。

6.1.2 地质环境条件复杂程度划分方法应依据地形地貌、区域地质背景、地质构造、岩土体特性、水文地质条件、地质灾害发育现状及人类工程活动等因素，划分为复杂、中等、简单三个等级。地质环境条件复杂程度按表 6.1.2 确定。

表 6.1.2 地质环境条件复杂程度分类

分级 条件	类别		
	复　杂	中　等	简　单
区域地质背景	区域地质构造条件复杂，建设场地有全新世活动断裂，地震动峰值加速度＞0.20g	区域地质构造条件较复杂，建设场地附近有全新世活动断裂，地震动峰值加速度0.10g～0.20g	区域地质构造条件简单，建设场地附近无全新世活动断裂，地震动峰值加速度＜0.10g
地形地貌	地形复杂，相对高差＞200m，地面坡度以＞35°为主，地貌类型多样	地形较简单，相对高差50m～200m，地面坡度以15°～35°的为主，地貌类型较单一	地形简单，相对高差＜50m，地面坡度＜15°，地貌类型单一
地层岩性和岩土工程地质性质	岩性岩相复杂多样，岩土体结构复杂，工程地质性质差	岩性岩相变化较大，岩土体结构较复杂，工程地质性质较差	岩性岩相变化小，岩土体结构较简单，工程地质性质良好
地质构造	地质构造复杂，褶皱断裂发育，岩体破碎	地质构造较复杂，有褶皱、断裂分布，岩体较破碎	地质构造较简单，无褶皱、断裂，裂隙发育
水文地质条件	具多层含水层，水位年际变化＞20m，水文地质条件不良	有二至三层含水层，水位年际变化5m～20m，水文地质条件较差	单层含水层，水位年际变化＜5m，水文地质条件良好
地质灾害及不良地质现象	发育强烈，危害较大	发育中等，危害中等	发育弱或不发育，危害小
人类活动对地质环境的影响	人类活动强烈，对地质环境的影响、破坏严重	人类活动较强烈，对地质环境的影响、破坏较严重	人类活动一般，对地质环境的影响、破坏小
注1：每类条件中，地质环境条件复杂程度按“就高不就低”的原则，有一条符合条件者即为复杂类型。 注2：小于15°为缓坡、15°～35°为陡坡、35°～55°为峭坡、55°～90°为垂直壁。			

6.1.3 地质环境复杂程度可根据灾害体变形差异、物质组成差异、稳定性控制因素多少和致灾地质体或致灾地质作用所处地质环境复杂程度按表6.1.3划分。

表6.1.3　地质环境复杂程度划分

分级 判定因素	地质环境复杂程度		
	复杂	中等复杂	简单
变形差异	大	中等	小
物质组成差异	大	中等	小
稳定性控制因素	多	中等	少
作用所处地质环境	复杂	中等	简单

注：地质环境复杂程度应由复杂向简单推定，首先满足其中两项者即为该等级；当致灾地质体不明确时可直接按致灾地质作用所处地质环境复杂程度划分。

6.1.4 对水库工程规模分级应根据水库库容、坝高进行，并按表6.1.4确定，水库库容、坝高两项指标选其一高值，就高值确定。

表6.1.4　水库工程规模分级表

工程规模	水库库容（10^8m^3）	坝高（m）

大型	≥1	≥100
中型	1～0.1	50～100
小型	≤0.1	≤50

6.1.5 应根据水库影响区危害对象、破坏后果确定危害程度并按表 6.1.5 执行。

表 6.1.5 水库岸坡危害程度

危害对象	破坏后果	危害程度
城市、大型企业、重要设施和重要专项工程	很严重、严重	大
	不严重	中
集镇、中型企业和一般设施	很严重	大
	严重	中
	不严重	小
居民点、小型企业等	很严重	中
	严重、不严重	小

6.1.6 水库地质灾害应根据灾情或险情进行确定危害程度分级并按表 6.1.6 执行。

表 6.1.6 危害程度分级表

危害程度	灾 情 等 级		险 情 等 级	
	死亡人数 人	直接经济损失 万元	受威胁人数 人	潜在经济损失 万元
大	≥30	≥1 000	≥1 000	≥10000
	10 ～ 30	500 ～ 1 000	500 ～ 1 000	5 000 ～ 10 000
中	3 - 10	100 ～ 500	100 ～ 500	500 ～ 5 000
小	<3	< 100	< 100	< 500

注：1、灾情分级，即已发生的地质灾害灾度分级，采用"死亡人数" "直接经济损失"栏指标评价；

2、险情分级，即对可能发生的地质灾害危害程度的预测分级，采用"受威胁人数"或"潜在经济损失"栏指标评价；

3、危害程度采用"灾情"或"险情"指标评价。

6.1.7 水库岸坡安全巡检等级划分应按表 6.1.7 确定。

表 6.1.7 水库岸坡安全巡检等级

危害程度	地质环境复杂程度		
	复杂	中等	简单
大	一级	一级	二级
中	一级	二级	三级
小	二级	三级	三级

6.1.8 水库安全巡检等级应根据地质灾害危害程度、库周影响区威胁对象及时调整。

6.2 巡检范围

6.2.1 库岸安全巡检范围区应根据正常蓄水位和库周工程地质、水文地质条件以及水库蓄水过程和运行

后的水位消落变化，确定地质灾害类型的影响范围。

6.2.2 滑坡、崩塌评估范围应根据边界向外拓展 200m～500m，或以第一斜坡带为限。

6.2.3 对于可能得高速、远程滑坡涌浪影响区应根据首浪高度、多冲程影响范围等，在对岸斜坡高度应上扩 100m，水平长度扩大 500m。

6.2.4 水库塌岸区应根据塌岸预测范围，宽度应扩大到预测边线以外 200m 或至基覆界面，每段长度不宜大于 1000m。

6.3 巡检比例尺

6.3.1 对一级巡检，或大型水库、地质条件复杂、地质灾害发育时，宜采用一般性巡检，宜采用 1:500～1:1000 比例尺。

6.3.2 对二级巡检，或大中型水库、地质条件较复杂、地质灾害较发育时，宜采用 1:2000～1:5000 比例尺。

6.3.3 对三级巡检，或小型水库、地质条件简单、地质灾害不发育的水库，宜采用 1:5000 比例尺。

6.4 点云密度

6.4.1 地面点云应清晰完整反映地质灾害边界要素及结构面组合特征。

6.4.2 机载激光雷达水库岸坡安全巡检，DEM 与 DSM 格网间距、地表点云密度和影像分辨率应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 DEM 与 DSM 格网间距、地表点云密度和影像分辨率要求

比例尺	规则格网数据	地表点云数据		影像分辨率（m）
	格网间距（m）	平均点间距（m）	点云密度（点/m²）	
1：500	0.5	≤0.25	≥16	0.05
1：1000	1.0	≤0.5	≥4	0.1
1：2000	2.0	≤1.0	≥2	0.2
1：5000	5.0	≤2.0	≥1	0.5

6.4.3 当进行崩塌、滑坡、不稳定岩体等地质灾害体表面的裂缝、错台等特征识别时，地面点云密度不应小于 32 点/m²。

6.5 巡检频次

6.5.1 新建水库蓄水库可进行 1 次全面巡检，蓄水过程中可根据需要开展加密巡检。

6.5.2 对一级巡检，或大型水库、地质条件复杂、地质灾害发育时，宜每年进行 1 次巡检。

6.5.3 对二级巡检，或大中型水库、地质条件较复杂、地质灾害较发育时，宜 2-5 年进行 1 次巡检。

6.5.4 对三级巡检，或小型水库、地质条件简单、地质灾害不发育的水库，宜 5 年进行 1 次巡检。

6.5.5 当岸坡新增裂缝或错台、裂缝宽度扩展及范围加长时，加密巡检1次。

6.5.6 若出现超常暴雨、地震等工况时，应进行加密巡检。

7 航线设计及数据获取

7.1 飞行设计

7.1.1 航线设计应在已收集的DEM或地形图基础上结合地质灾害类型、地貌特征等进行规划。

7.1.2 飞行高度应综合考虑飞行平台性能、地形地貌、植被发育情况、激光有效距离、点云密度、测量精度、影像获取分辨率、作业条件、飞行安全高度及激光对人眼的安全性等的要求确定。

7.1.3 具备仿地飞行性能的无人机可依地质灾害体地形情况按变高飞行方案进行航线设计。

7.1.4 重点区域的地质灾害体应划分飞行分区。飞行分区航线设计应遵循下列原则：

a）连续布设若干个首尾相连的飞行分区，考虑基站布设情况以及飞行区域跨带等情况；

b）同一分区内高差不宜过大；

c）每一分区大小应充分考虑飞行航高及单架次飞行总航程；

d）各飞行分区有足够的重叠区域。

7.1.5 划分飞行分区应根据地质灾害体范围及周边地形起伏情况，机载设备飞行安全距离、激光有效距离、IMU误差累积所决定的最大直线飞行时间等综合确定。进入航线前，应先平飞后以左转弯与右转弯交替（S）或绕“8”飞行方式消除IMU误差累积。

7.1.6 地形起伏变化较大的山地、高山地，航带旁向重叠度不应小于20%；具备横滚补偿和可变视场角功能的机载激光雷达，航带旁向重叠度不应小于13%。

7.1.7 当机载机激光雷达同步获取数字影像时，航线设计的航带旁向重叠度不应小于30%。

7.1.8 航线设计时应根据不同航高、不同设备频率、最大视场角及飞机性能设计飞行速度。在同一分区内，飞行速度应尽量保持一致。

7.1.9 航线方向宜根据地质灾害发育特征，按平行裂缝走向或垂直主滑方向进行设计；或根据地质灾害发育范围，按最长矩形边进行设计。

7.2 飞行准备

7.2.1 飞行平台起降场地选择应符合下列要求：

a）大型有人机应从就近的机场起飞；

b）小型有人机、无人机起降场地应选择在开阔平坦且GNSS卫星信号良好的地方；

c）除旋翼无人机外，其他类型无人机起降场地上空还应有爬升盘旋的足够空间。

7.2.2 机载机激光雷达、数码相机等各部件组装完成后，应进行全面安全检查。

7.2.3 在开展飞行工作前，应按照空域管理规定申请空域，待空管部门审批后方可执行飞行任务。

7.3 飞行实施

7.3.1 机载设备的GNSS数据宜通过地面GNSS基站、CORS跟踪站等获取。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/026045114024010033