

中国测绘学会团体标准

XX/T XXXXX—XXXX

三维激光扫描 危岩崩塌监测规程 (征求意见稿)

Regulations for monitoring dangerous rock fall using 3D laser
scanning

XX—XX—XX 发布

XX—XX—XX 实施

中国测绘学会 发 布

目 录

前 言	1
引 言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 总则	4
4.1 目的任务	4
4.2 基本规定	4
4.3 监测内容	5
4.4 监测要求	5
4.5 监测流程	6
5. 监测准备	7
5.1 资料准备	7
5.2 技术准备	8
5.3 设备检校	8
5.4 现场调（勘）查	8
6 地面三维激光扫描监测	9
6.1 作业规定	9
6.2 扫描站布设	9
6.3 标靶布设	10
6.4 监测数据采集	11
6.5 监测数据处理	11
6.7 质量检查	12
7 机载三维激光扫描监测	13
7.1 作业规定	13
7.2 航摄数据采集	14
7.3 航摄数据处理	14
7.4 质量检查	15
8 监测成果制作	15
8.1 数字高程模型	15
8.2 危岩体表面模型	15
8.3 模型配准叠加	16
8.4 模型检查	16
9 监测信息提取	16
9.1 危岩识别	16
9.2 几何信息	16
9.3 节理信息	16

9.4 形变信息	17
9.5 监测分析	17
10 监测报告编制	18
10.1 一般规定	18
10.2 编制要求	18
11 质量控制	18
12 成果整理与归档	18
12.1 数据成果	18
12.2 成果报告及图件	19
12.3 成果归档要求	19
附录 A 三维激光扫描崩塌监测设计方案编写内容	20
附录 B 地面三维激光扫描监测手簿扫描记录格式	21
附录 C 三维激光扫描监测报告编制内容	22

前 言

本文件按照 GB/T1.1—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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

本文件针对当前危岩体（带）高位、隐蔽、危险、难以开展有效、全面监测的现状，提出应用地面三维激光扫描、机载三维激光扫描及其相结合的方式开展危岩体（带）崩塌监测。

本文件根据国内地面三维激光扫描技术、机载三维激光扫描技术在地质灾害调查领域的技术水平、应用情况等，参照有关地面三维激光测量、机载激光雷达测量标准、以及地质灾害调查标准，对三维激光扫描监测的数据获取、数据处理、监测成果制作、成果整理等工作进行规范。

本文件适用于植被覆盖率高、存在视线遮挡、顶部存在张拉裂缝等情况下危岩崩塌监测。

基于三维激光扫描的危岩崩塌监测技术指南

1 范围

本文件规定了危岩崩塌监测工作的总则、监测方案、地面三维激光扫描监测、机载三维激光扫描监测、监测成果制作、监测信息提取、监测报告编制、质量控制、成果整理与归档、附录等。

本文件适用于利用地面和机载相结合的方式开展危岩体（带）崩塌监测工作。

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 36100-2018 机载激光雷达点云数据质量评价指标与计算方法
GB/T 24356-2023 测绘成果质量检查与验收
GB/T 40112-2021 地质灾害危险性评估规范
CH/T 3017-2015 地面三维激光扫描作业技术规程
CH/T 3004-2010 低空数字航空摄影测量外业规范
CH/T 3014-2014 数字表面模型机载激光雷达测量技术规程
CH/T 8023-2011 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技术规范
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
DZ/T 0261-2014 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:50000)
DZ/T 0221-2006 崩塌、滑坡、泥石流监测规范
DB11/T 1677-2019 地质灾害监测技术规范
DB51/T 2695-2020 四川地质灾害调查机载激光雷达数据获取技术规范
DB41/T 2429-2023 地质灾害调查无人机低空摄影测量技术规程
DB45/T 1625-2024 地质灾害危险性评估规程
DB64/T 1990-2024 黄土地区滑坡地质灾害无人机遥感监测技术规程
T/CAGHP 018-2018 地质灾害地面三维激光扫描监测技术规程

3 术语和定义

3.1 地面三维激光扫描 terrestrial three dimensional laser scanning

基于地面固定站的一种通过发射激光获取监测对象表面三维坐标、反射强度等多种信息的非接触式测量技术。

[T/CAGHP 018-2018，定义 3.1，有修改]

3.2 机载三维激光扫描

基于航空平台的一种通过发射激光脉冲并接收回波获取监测对象表面三维信息的非接触式测量技术

[CH/T 8023，定义 3.1，有修改]

3.3 扫描监测 scan monitoring

利用三维激光扫描技术，对监测对象在一定时段内完成的周期性测量工作。

[T/CAGHP 018-2018，定义 3.2]

3.4 危岩

陡坡或悬崖上被多组结构面切割分离的岩体或陡坡上的浮石、孤石。

[DB45/T 1625，3.2]

3.5 崩塌 rock fall

陡坡上的岩土体在中立或其他外力作用下，突然脱离母体，发生以竖直位移为主的运动，并对地在坡脚的地质灾害，包含可能以落石形式发生失稳破坏的危岩体。

[DZ/T 0261，定义 3.2，有修改]

3.6 点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

[CH/T 8023，定义 3.3]

4 总则

4.1 目的任务

利用地面、机载三维激光扫描及其相结合的技术开展危岩体崩塌监测，获取危岩体的空间位置、几何尺寸、边界范围、控制性结构面产状等地质信息，掌握危岩体变形的时空动态，为地质灾害崩塌防治提供基础资料。

4.2 基本规定

4.2.1 崩塌监测等级

根据危害程度和稳定性综合确定，分为一级、二级、三级。危岩体的稳定性或危害程度发生变化时，监测等级可作相应调整。

表 1 崩塌危害程度划分

危害程度	受威胁人数/人	潜在经济损失/万元	威胁对象
大	>100	>500	乡镇居民聚集区；县级以上重要设施（包含公路、水源、供电、供水等设施）
中	10~100	100~500	村组居民聚集区；乡镇以上重要设施（包含公路、水源、供电、供水等设施）
小	<10	<100	村组居民聚集区（≤5 户）；村组以上重要设施（包含公路、水源、供电、供水等设施）

表 2 崩塌监测等级划分

稳定性	危害程度		
	大	中	小
不稳定	一级	一级	二级
欠稳定	一级	二级	三级

稳定	二级	三级	三级
----	----	----	----

4.2.2 崩塌监测范围

应包含危岩体及其外围地质体、崩塌底座及崩塌堆积体斜坡。

4.2.3 崩塌监测方法

应根据危岩体植被覆盖情况选择地面三维激光扫描、机载三维激光扫描及其相结合的方式。崩塌监测点应安设在崩塌体表面不稳定地块或对崩塌稳定性起关键作用的块段、控制崩塌变形的裂缝、岩性明显差异的部位、及其他变形明显部位。

4.2.4 崩塌监测频次

应根据监测等级、稳定状态、环境气候条件等综合因素确定，不稳定状态的崩塌应每天至少监测 1 次，欠稳定状态的崩塌应每周至少监测 1 次，稳定状态的崩塌宜每季度 1 次；汛期、冻融期应加密监测，也可根据变形速率适当调整监测频次。

4.3 监测内容

4.3.1 崩塌监测主要为位移监测，分为绝对位移和相对位移监测。绝对位移监测崩塌的三维位移量、位移方向和位移速率；相对位移监测崩塌重点变形部位裂缝、崩塌面（带）两侧点与点之间的相对位移量。

4.3.2 采用地面、机载三维激光扫描设备，对危岩体进行连续或定期重复的扫描测量工作，获取危岩体三维激光点云数据，开展危岩体特征数据提取，分析危岩体上点、线、面（体）多角度变形特征。

4.3.3 监测过程中应定期开展现场巡查。

4.3.4 应及时整理监测资料，分析监测点和特征点水平位移、垂直位移等动态变化，编制危岩体崩塌三维激光扫描监测成果报告，并按要求归档。

4.4 监测要求

4.4.1 监测精度要求

本规程以中误差作为衡量扫描监测精度的标准。一级监测水平、垂直位移中误差不超过 5mm；二级监测水平、垂直位移中误差不超过 8mm；三级监测水平、垂直位移中误差不超过 10mm。

4.4.2 监测方法和设备建议

根据监测等级以及危岩体表面形态、地形条件等，选择适宜的监测方法和设备。

表 3 监测方法

监测等级	监测方法	目标距离	设备要求	适用范围
一级	地面三维激光扫描	≤ 300	角度分辨率 $\leq 30\text{urad}$ ；标称测距中误差 $\leq \pm 2@D$ ；标称点位中误差 $\leq \pm 3@D$ ；激光发散度 $\leq 350\text{urad}$ ；有效点云范围 $\leq D$ 且 $\leq 1/2S$ ； 扫描角度范围 $-40 \sim +40$	适用于植被覆盖率不高、地面三维激光可作业的区域
二级	地面三维激光扫描	≤ 500	角度分辨率 $\leq 50\text{urad}$ ；标称测距中误差 $\leq \pm 5@D$ ；标称点位中误差 $\leq \pm 8@D$ ；激光发散度 $\leq 500\text{urad}$ ；有效点云范围 $\leq 1.5D$ 且 $\leq 1/2S$ ；扫描角度范围 $-50 \sim +50$	

三级	地面三维激光扫描	≤ 1000	角度分辨率 $\leq 80\mu\text{rad}$ ；标称测距中误差 $\leq \pm 5@D$ ；标称点位中误差 $\leq \pm 10@D$ ；有效点云范围 1/2S；扫描角度范围 $-60 \sim +60$	
	机载三维激光扫描	-	抗风等级 ≥ 6 级、升限 $\geq$ 海拔 5000 米、续航时间 ≥ 30 分钟、载重 ≥ 2 千克；激光有效测距 $\geq 200\text{m}$ ；回波次数 ≥ 3 ；激光测距精度 $\leq 0.05\text{m}$	适用于地面三维激光无法作业或植被覆盖率高、存在视线遮挡、顶部存在张拉裂缝等情况

- (1) 监测仪器、设备选型应满足监测精度要求，适应环境条件，便于维护。
- (2) 地面三维激光扫描设备应优先选择具有双轴补偿的扫描仪；对于植被覆盖较高的区域应选择具有多回波技术的扫描仪。
- (3) 设备应具有良好的可靠性和稳定性，具有防风、防雨、防潮、防震、防雷、防腐等对环境的适应性和抗干扰能力。
- (4) 采用机载三维激光扫描时，优先采用多旋翼无人机平台；其他设备包含 GNSS 接收机、POS 系统等设备要求参照 CH/T8024 规范要求执行。

4.5 监测流程

监测工作流程包括监测准备、数据采集、数据处理、成果制作、信息提取、质量控制与成果归档，监测流程见图 1。

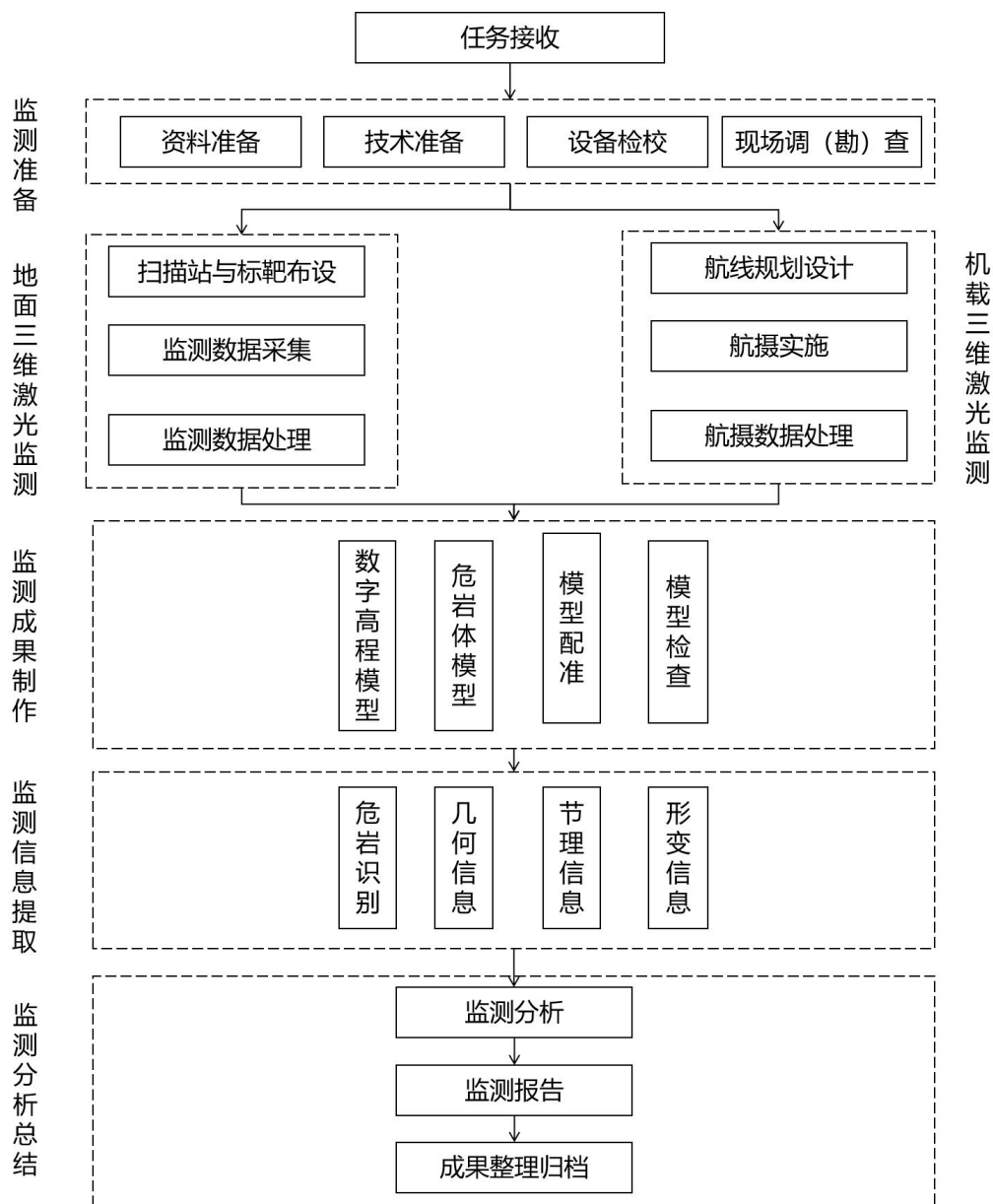


图 1 三维激光扫描监测工作流程

5.监测准备

5.1 资料准备

5.1.1 搜集已有的崩塌调查、监测、防治等成果资料，分析危岩崩塌类型、边界、规模、空间形态、影响范围。

5.1.2 搜集地质构造、地形地貌、地层岩性、气候、降雨、地震等调查成果资料，初步分析危岩崩塌发育规律和区域环境特征，基本掌握危岩崩塌的孕灾条件、诱发因素、失稳模式、活动特征等。

5.1.3 搜集大比例尺地形图、地质图、交通图、遥感影像、禁飞区范围、数字高程模型等基础资料。遥感影像数据现势性不宜超过 1 年，宜采用由于 1m 分辨率的遥感影像和优于 25m 的数字高程模型

5.1.4 搜集测区林分郁闭度成果数据。

5.1.5 搜集已有的控制点、监测站点、监测数据等。

5.1.6 搜集基础地理等其他相关资料。

5.2 技术准备

5.2.1 利用已有资料，结合现场调查情况，编制三维激光扫描崩塌监测设计方案，方案应包括概述、监测点概况、已有地质及崩塌监测调查相关资料、引用文件及作业依据、技术设计、技术指标、作业方法、作业人员配置、质量保障与安全措施等。崩塌监测设计方案编写提纲见附录 A。

5.2.2 监测设计方案编写应在明确监测范围、监测等级、监测环境等基础上进行。

5.3 设备检校

5.3.1 扫描设备应在检定有效期内开展扫描监测工作。若扫描设备受到意外损伤、强烈撞击等维修后，或部件更换后，应送国家计量部门进行检定。

5.3.1 地面三维激光扫描仪检校

(1) 扫描仪一般检查：仪器设备外观完好无破损，各部件及附件齐全、匹配，设备型号正确，设备各部件连接紧密且稳定，激光镜头清洁无污渍和浮尘。

(2) 扫描仪通电检查：设备通电后能正常获取并存储数据，电源容量和存储容量符合作业时间要求，指示灯、按键、显示系统能正常工作，具有激光对中、双轴补偿功能的设备作业前应进行功能检查。

(3) 扫描仪相机检查：内置同轴相机进行照片和点云匹配检核，排除照片与点云之间的误差；外置相机应定期进行相机主距、像主点、畸变参数、安装姿态等参数的标定和校准，更新校准参数；相机图像分辨率应不低于 2000 万像素。

(4) 辅助设备检查：应定期检查标靶，若发现标靶损毁、涂层缺失或变形、开裂等情况应及时更换。标靶的重复安装误差不应大于监测精度要求的 1/10，标靶的识别精度不应低于监测精度要求的 1/3。

5.3.2 机载三维激光扫描仪检校

(1) 激光扫描仪检查：仪器设备外观完好无明显磕碰、划痕、破损，各部件及附件齐全、匹配，设备型号正确，激光镜头清洁无污渍和浮尘，设备通电后能正常运行，激光测距精度和扫描测角精度已经过检校，系统零点位置已经过检校。

(2) POS 系统检查：稳定、牢固固定于飞行平台；电源系统应满足长时间不间断作业要求，机内移动存储器应满足长时间记录和存储所有数据的容量，具有良好的抗加速能力；POS 系统具有信号标输入器接口，能够将数码相机开门开启脉冲通过接口准确写入 GPS 数据流。

(3) 地面 GNSS 接收机检查：应与机载 GNSS 接收机性能匹配，具有带抑径板或抑径圈的 GPS 接收天线，并具有良好的抗干扰能力；电源应能满足长时间不间断工作；配备能满足满架次飞行作业所需地面观测数据存储要求的存储器。

(4) 数码相机检查：相机镜头无遮挡并用无尘布擦拭干净，相机间相对位置和姿态关系刚性稳定，各相机曝光时间差不大于 120ms。

(5) 系统综合检校：POS 系统与激光扫描仪、数码相机之间的位置和角度关系，在项目实施前需进行系统综合检校。机载激光雷达检校参照 CH/T8024 的 5.2.6 相关规定执行，相机检校参照 DB41/T2429—2023 的 5.5.2 相关规定执行。

5.4 现场调（勘）查

现场调（勘）查包含以下内容，并遵循 DZ/T0448-2023 中 9.2 的要求。

(1) 调查崩塌类型、位置、发育形态、规模大小、稳定状况及威胁对象, 评估崩塌危害情况, 确定崩塌监测的重点部位;

(2) 调查崩塌及周边地质构造、地层岩性、地形地貌、岩土体结构、地面坡度、植被覆盖等情况;

(3) 调查工作区监测环境、气候条件、交通状况及周边机场等重要设施情况;

(4) 调查崩塌变形发育史、诱发因素及可能的运动方式;

(5) 核查控制点的准确性。

(6) 根据现场情况设置控制网、航线方式及选择扫描站位置、无人机起降场地。

6 地面三维激光扫描监测

6.1 作业规定

6.1.1 扫描监测作业时应避开大风、冰雪、严寒、高温、风沙、扬尘、雾霾、降雨等恶劣天气。

6.1.2 风速 $>8\text{m/s}$ 或能见度 $<500\text{m}$ 时应暂停作业; 温度超出设备工作范围($-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$)时需采取防护措施。

6.1.3 严禁激光头近距离直接对准强光、镜面玻璃、大面积荧光等强烈反射物体。

6.1.4 扫描仪开机后, 应预热和静置 $3\text{min}\sim 5\text{min}$ 再开始扫描作业。

6.1.5 扫描作业前对基准标靶和监测标靶安置状况进行检查。

6.1.6 扫描监测过程中, 应同期采集记录干温、湿温、气压等气象元素。干湿温度计悬挂应与扫描激光发射器保持在同一高度。

6.1.7 扫描期间应防止人员和其他设备在仪器周围、标靶附近移动或振动, 禁止造成遮挡或触碰仪器及标靶。

6.1.8 扫描监测作业结束并确认获取的点云数据完整无误且满足要求后, 应将扫描激光头归置原位, 规整设备和线缆装箱, 方可迁站。

6.1.9 扫描过程中若出现移位、振动、死机、断电等异常情况, 应重启设备进行扫描。

6.1.10 当某测站标靶数据不完整、不能识别或者识别的坐标点明显偏离靶心时, 应重测该测站。

6.1.11 高陡边坡作业时需设置警戒区并佩戴坠落防护装备。

6.2 扫描站布设

6.2.1 布设要求

(1) 依据地形地貌、扫描距离、角度等环境条件, 合理确定扫描站。

(2) 扫描测站应布设在危岩体失稳的影响区外围, 且视野开阔、基础稳固、易于到达、便于安全保护的高处。

(3) 扫描站点的布设数量应根据危岩体空间分布、规模大小, 以及扫描设备的水平扫描角度和垂直扫描角度范围而确定。

(4) 单站扫描作业的布设位置应使扫描区域最大程度地覆盖危岩体监测区域。

(5) 多站扫描作业应合理布设扫描站位置, 在保证扫描成果满足任务要求的前提下减少设站数量;

(6) 多站扫描时相邻站点扫描的目标体重叠度应不低于 30%, 困难地区重叠度应不低于 15%, 重叠部位应选择光滑、规则、裸露条件较好的部位。

(7) 危岩体表面形态复杂、通视条件困难或扫描路线有拐角时,应增加扫描站。对于“三角状孤立型”地貌地形类型,应不少于 4 个扫描站点;对于“凸型”地貌地形类型,应不少于 2 个扫描站点;对于“凹凸相间型”地貌地形类型,应不少于 3 个扫描站点。

(8) 对已有成果资料的控制点应对其适用性进行分析,当其位置、等级、坐标系统等符合扫描监测要求时,可作为扫描测站使用。

6.2.2 扫描站的测量精度应符合下列要求:

- (1) 扫描站的测量精度应不低于本规程扫描监测精度。
- (2) 扫描站基准值(初始值)应使用全站仪或 GNSS 设备,连续独立观测两次,合格后采用均值作为基准值。
- (3) 应定期或视损毁程度对扫描站三维坐标进行测量或复测。
- (4) 所有扫描站点坐标应采用 CGCS2000 坐标系或一致的独立坐标系。

6.3 标靶布设

6.3.1 一般规定:

- (1) 标靶应布设在视野开阔、易于寻找、视线良好处,且扫描激光宜垂直入射标靶。
- (2) 应根据扫描监测的距离确定标靶大小,严禁布设过远、激光反射强度衰减或无法到达标靶。
- (3) 标靶应强制紧固安置,并应采取安全防护措施。
- (4) 标靶的主要类型和制作要求参照 T/CAGHP018—2018 的 6.3.1 相关规定。

6.3.2 基准标靶布设:

- (1) 基准标靶应布设在远离并可能失稳的危岩体之外的稳固、安全区域。
- (2) 基准标靶布设应在均匀分布在危岩体四周且高低错落有致,应确保不受遮挡影响,并宜覆盖扫描监测对象的范围。
- (3) 严禁基准标靶布设在一条直线或偏向一侧,宜在扫描站点周围且构成一定的空间几何图形。
- (4) 基准标靶数量根据危岩体的规模大小、表面特征、地形条件而定,基准标靶应进行编号,一般基准标靶不少于 4 个。
- (5) 利用基准标靶作为数据拼接时,相邻两扫描站的公共基准标靶个数不少于 3 个。
- (6) 基准点的坐标宜采用全站仪进行测定。
- (7) 应定期或视损毁程度对基准标靶三维坐标进行测量或复测。

6.3.4 监测标靶布设:

(1) 监测剖面 and 监测标靶点组成了危岩体地面三维激光扫描崩塌监测网,监测网以能够充分控制危岩体整体变形为原则,同时兼顾崩塌底座及崩塌堆积体斜坡变形。

(2) 监测剖面布置根据崩塌类型、监测等级确定。倾倒式崩塌监测剖面一般应沿着崩塌倾倒方向布置;滑移式崩塌监测剖面一般应沿着崩塌滑移方向布置;坠落式崩塌应垂直于拉裂缝布置。一级监测在危岩体中轴及两侧布置监测剖面;二级监测由中部向两侧对称布设监测剖面;三级监测在中轴布置监测剖面。

(3) 监测标靶的布置应根据地质灾害的范围大小、变形特征、失稳模式、地质环境、地形地貌特征进行布设。

(4) 监测标靶应布置在被裂缝切割的重要块体表面、临空面顶部和崩塌堆积体斜坡,并尽可能布置在监测剖面上,一般距剖面应不超过 5m,施测条件限制时,可单独布点。

(5) 每条监测剖面的监测标靶数量根据危岩体变形特征具体确定,一般不宜少于 3 个。对于一级监测,监测剖面不应少于 3 条,监测标靶不少于 5 个;对于二级监测,监测剖面不少于 2 条,监测标靶不少于 4 个;对于三级监测,监测剖面不少于 1 条,监测标靶不少于 3 个。

(6) 监测标靶的网型应能满足监测要求,对于平面狭窄、范围不大、崩塌主滑方向明显的危岩体,监测标靶沿主轴方向、垂直主轴方向布设成“十字型”或“丰字型”;对于通视条件较好、范围不大的危岩体,以固定扫描站为原点按放射状布设测线,监测标靶沿着测线布设成“放射型”;对于地质结构复杂、范围较大、具有分区或分块的崩塌群,宜布设多条纵、横测线,监测标靶布设在测线交点形成“方格型”;对于垂向岩土体结构变化大、垂向存在次滑面崩塌的危岩体,监测标靶按“多层型”布设在不同高程、不同层位;对于需要重点部位进行监测,却无法布设以上网型的危岩体,监测标靶对标布设在滑带、裂缝两侧,后缘标靶布设在稳定岩体表面。

(7) 对于坠落式或倾倒式崩塌,监测标靶应在危岩体上部加密布置;对于滑塌式崩塌,应在危岩体下部加密布置监测标靶。

(8) 困难区域,明显的地物特征点亦可作为监测标靶使用。

6.4 监测数据采集

6.4.1 点云数据采集

(1) 选择合格的扫描仪、扫描站点、基准标靶,设置扫描范围、采样点间距等相关参数,按照 7.2 要求进行扫描测量,获取得到危岩体激光点云数据,点云精度应符合表 4 规定;

表 4 点云精度要求

监测等级	特征点间距中 误差/mm	采样点间距 /mm	最大点间距 /mm	点云配准精度 /mm
一级	≤3	≤3	5	≤3
二级	≤5	≤5	10	≤5
三级	≤8	≤8	15	≤8

(2) 按照监测频次,保证相关参数一致或接近,对危岩体进行扫描监测,得到多期的危岩体激光点云数据;

(3) 每期扫描应绘制草图或利用地形图,标注测站位置与基准标靶的相对位置关系,填写地面三维激光扫描监测手簿。监测手簿扫描记录格式应满足附录 B 要求。

(4) 对已失稳崩塌的危岩体,应采集破坏区和堆积区的三维激光点云数据。

(5) 扫描完成后应将扫描数据及时导入电脑,检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性和可用性。

6.4.2 纹理图像采集

(1) 扫描时应同期采集危岩体表面彩色影像,纹理图像采集应符合表 5 规定。

表 5 纹理分辨率等级

等级	一级	二级	三级
像元大小	≤3mm	≤10mm	≤25mm

(2) 图像拍摄角度应保持镜头正对目标面,无法正面拍摄全景时,应分幅正面拍摄;

(3) 纹理图像采集应选择光线柔和、均匀的环境下进行拍摄,避免逆光拍摄,能见度过低或光线过暗时不宜拍摄。

(4) 采集纹理图像时宜绘制图像采集点分布示意图,相邻两幅图像的重叠度不宜低于 30%。

6.4.3 漏洞补测

对缺失或异常监测区域的点云数据应进行补扫或补测,补测的数据范围应与扫描的点云数据有一定的重合。

6.5 监测数据处理

6.5.1 点云配准

(1) 点云配准和坐标转换应建立统一的空间坐标系，可选择标靶、特征点作为配准点进行点云配准，通过配准点的空间坐标计算坐标转换参数和残差；也可选择已有的控制点进行点云配准和坐标转换，归算至统一坐标系。

(2) 一二级监测应选择标靶进行点云配准，三级监测可选择特征点进行点云配准，配准点个数应符合表 6 规定。

(3) 采用标靶配准时，标靶点应分布均匀，靶心拟合和转换后的坐标残差应小于表 4 相应等级的点位中误差的 1/2。

(4) 采用特征点配准时，特征点不应共线或共面，配准点和独立检核点个数应符合表 7 规定，配准后同名点精度应小于表 5 相应等级的特征点间距中误差的 1/2。

(5) 连续传递配准的次数应符合表 7 规定。

(6) 配准后相邻站点云重叠度不宜低于 20%。

(7) 点云配准整体精度应符合表 4 规定。

表 6 每站配准点和独立检核点个数及多站连续配准次数规定

等级	每站配准点/检核点个数/个			多站连续配准次数
	标靶配准点	特征配准点	独立检核点	
一级	≥5	-	≥1	≤3
二级	≥4	-	≥2	≤5
三级	≥3	≥7	≥3	≤10

6.5.2 分类与降噪

(1) 对于扫描监测点云数据，可分为植被和噪音点、灾害体点云和地物特征点三大类。

(2) 对于获取的点云数据应进行降噪处理，指去除脱离扫描面的异常点、孤立点，包含明显低于或高于地表面的植被、建（构）筑物等的孤点或点群，以及数据获取过程中偶然因素导致的空中漂浮粉尘、飞虫、人员移动等噪点。

(3) 点云数据分类和降噪处理宜采用自动和手工结合的人机交互方式。利用滤波函数，通过设置反射强度、回波次数、RGB、点云空间组织结构等参数，对点云进行自动分类；对自动分类未能判别分离或分类错误的点云采用人工编辑方式。

6.5.3 拼接与坐标转换

参照 T/CAGHP018—2018 的 8.2 相关规定执行。

6.6.4 数据抽稀

点云抽稀应不影响危岩体特征识别与提取，抽稀后的点云精度应满足相应监测等级成果制作要求。

6.6.5 纹理图像处理

(1) 图像出现曝光过度、曝光不足、阴影、相邻图像间的色彩差异等现象时，应进行色彩调整，保持图像反差适中、色彩一致，并保证图像细节清晰，无镶嵌缝隙。

(2) 因视角或镜头畸变引起图像变形，应对图像的变形部分作纠正处理。

(3) 处理后的纹理图像应与实地情况相符。

(4) 利用相机与扫描仪几何参数将图像映射到点云，图像重叠区域应无明显色彩差异。

6.6.6 彩色点云处理

选择点云对应的图像数据，根据相机与扫描仪的姿态参数制作彩色点云，彩色点云在图像重叠区域应无明显色彩差异。

6.7 质量检查

6.7.1 检查内容包含点云数据检查、纹理检查。

6.7.2 点云数据检查包括点云重叠度、完整性、点云密度、点云噪声、点云相对精度、绝对精度、点云颜色信息等。

7.7.3 纹理检查内容包括纹理细节、纹理色彩。

7 机载三维激光扫描监测

当地面三维激光无法作业或存在植被覆盖率高、视线遮挡、顶部张拉裂缝等情况时，采用机载三维激光扫描作为监测辅助手段。

7.1 作业规定

7.1.1 一般规定

(1) 应避免雨、雾、霾等能见度低及其他恶劣气象条件，以及积雪、洪水、扬尘等各种覆盖物的不利影响。

(2) 在陡峭山区宜在正午前后各 2h 内摄影，减少阴影对地物细节的影响。

(3) 根据作业区域的地形条件、点云密度和数据精度要求，选择适宜的激光扫描设备，并确定回波次数、扫描角度、扫描频率等相关参数。

(4) 按照点云数据和影像数据质量要求，同步采集激光点云数据和影像数据。点云数据获取和点云质量应满足 GH/T 8024 规范要求，影像获取和影像数据质量应满足 CH/Z3005 规范要求。

7.1.2 林分郁闭度

向行业主管部门申请林分郁闭度成果数据或按照 GB/T26424 规范要求采用样地法、目测法、航片估测法、卫片估测法测定林分郁闭度。

7.1.3 点云密度设定

(1) 点云密度设定参考 DB51/T 2695-2020 进行设定。其与林分郁闭度的关系：林分郁闭度越大，相同比例尺条件下需要采用的点云密度越大；林分郁闭度越小，则获取时采用的点云密度越小。

(2) 植被穿透率与激光点云密度存在正比关系。相同比例尺条件下，点云密度越大，获取地面点云数据越多，但林分郁闭度较大或存在乔灌木混交林的情况时，点云密度与植被穿透率不一定成正比。

(3) 机载激光三维扫描获取的点云数据密度应能满足监测需求，平坦地区点云密度可适当放宽，地貌破碎地区适当加严。

(4) 特殊困难区域，点云密度不满足要求时，应沿航线重复飞行获得高密度点云数据。

7.1.4 航线设计

(1) 航线按照监测对象的特点采用“之”字型或“井”字型进行设计。

(2) 航线应在覆盖监测区的基础上，根据现场实际情况适当扩大航线边缘范围，避免边缘数据缺失。

(3) 航高一般为 50~200m，为保证获取的点云满足监测要求，机载激光雷达数据获取宜采用仿地飞行，具体航高综合考虑激光雷达有效距离、点云密度、林分郁闭度、飞行平台和飞行安全的要求确定。

(4) 航线旁向重叠度应不小于 30%，在丘陵山地地区，航线旁向重叠度 50%~80%。

(5) 同一监测区、多期监测所布设的航线、航高、飞行速率和飞行姿态应保持一致。

(6) 其他技术要求参照 CH/T8024 规范要求执行。

7.1.5 起飞场地选择

(1) 起降场地应选择相对平坦、通视良好，视场内障碍物高度角应不大于 20°。

(2) 起降场地远离人口密集区, 半径 200m 范围内不能有高压线、高大建筑物, 重要设施。

(3) 起降场地附近应无正在使用的雷达站、微波中继、无限通信等干扰源, 在不能确定的情况, 应测试信号频率和强度, 若对系统设备有干扰, 须改变起降场地。

7.2 航摄数据采集

7.2.1 控制网布设与测量

(1) 应建立无人机机载激光雷达控制基准站, 基站点宜选在监测区周围地面基础稳定且视野开阔的地方。

(2) 基站点架设技术要求参照 GB/T18314 规范要求执行。

(3) 同一监测区, 多期监测周期内应使用相同 GNSS 接收机架设在同一控制点上。

(4) 航摄时应将基站点与监测对象同步进行观测, 保证其数据准确性。

7.2.2 航摄实施

(1) 航摄作业前, 应按照空域管理相关规定申请空域, 批复后方可进场作业。

(2) 飞行起飞前, 应做好飞行检查, 检查设备组装是否正确, 设备连接是否紧密, 电量是否充足, 电源、存储系统等工作状态是否正常, 所有基站是否进入观测状态。

(3) 飞机进入测区开始作业前, 应先平飞 3~5min, 再做“8”字形飞行。

(4) 飞机作业过程中, 操作人员应密切监视航飞情况, 关注航高、航速、飞行轨迹等情况, 如遇突发紧急情况应立即操控返航。同时应及时观察系统工作情况, 关注激光雷达工作状态、POS 系统信号状况、回波接收状况、数据质量状况、实时天气状况等。

(5) 飞机飞行的实际航高变化不应超过设计航高的 5%~10%。

(6) 一条航线内, 无人机飞行速率不大于 15m/s, 飞机上升、下降速率不大于 10m/s; 整个作业区内, 无人机飞行速率尽可能保持一致。

(7) 飞行过程中, 航线俯仰角、侧翻角一般不大于 2°, 最大不超过 4°; 飞机转弯时坡度不大于 15°, 最大不超过 22°; 航线弯曲度不大于 3%。

(8) 飞机返回降落停稳后, 应等候 5min, 保证 IMU 与 GPS 数据记录完整, 待激光雷达设备电源关闭后, 方可关闭飞机电源; 待地面基站关闭后方可导出航摄数据。

(9) 航摄结束后, 应参照 CH/Z3005 规范填写航摄飞行记录表。

(10) 其他航摄技术要求按照 CH/T8024 规范执行。

7.2.3 数据检查

航摄任务结束后, 应立即检查点云、影像、POS 数据的质量, 对不符合要求的数据, 需及时进行补摄。检查内容包括: 点云数据、影像质量、航带重叠、覆盖范围满足要求, 无绝对漏洞; 影像数据与 POS 数据的对应性等。

7.2.4 航线补摄

(1) 点云无法完整覆盖危岩体时需要补摄。

(2) 航线补摄技术要求与成果质量不得降低。

(3) 补摄时飞机起飞高度、相对航高、飞行速率、飞行姿态等应与前次飞行保持一致。

7.3 航摄数据处理

7.3.1 数据预处理

包括 POS 数据处理、点云数据解算、影像数据预处理。

(1) POS 数据处理参照 CH/T8024 规范要求执行。

(2) 点云数据可采用 LAS、PLY、VTK 等格式存储。由 POS 数据、激光测距数据、系统检校数据联合解算生成。

(3) 影像数据预处理参照 CH/Z3005 规范要求执行。

7.3.2 点云拼接

将不同航带（含同架次和不同架次）点云数据进行拼接处理，检查是否存在空洞。

7.3.3 坐标系系统转换

利用基站点的 GNSS 静态数据和基站点已知坐标，或通过监测区域布设的控制网，将点云数据转换至成果坐标系。

7.3.4 点云数据处理

包括噪声点去除、点云分类。

（1）将明显低于地面的点或点群、明显高于地表目标的点或点群、移动地物点、架空管线等进行分离剔除。

（2）利用基于反射强度、回波次数、地物形状等的算法或算法组合，对点云数据进行分类，分别提取出地面点类、非地面点类。

（3）对于高程突变区域或分类错误的点云以人工编辑方式进行修正。

（4）具体处理方法参照 CH/T8023、CH/T3014 规范要求执行

7.4 质量检查

7.4.1 质量检查包含航迹与 POS 数据检查、点云数据检查、影像数据检查，检验内容参照 CH/T3023-2019 规范要求。

7.4.2 航迹线弯曲度、航速、航高的质量检查要求参照 CH/T8024 规范要求执行。

7.4.3 POS 数据记录的连续性、缺失性、失锁情况和干扰情况的质量检查参照 CH/T27919 规范要求执行。

7.4.4 点云数据检查包括点云数据覆盖度、点云密度、航带接边精度、点云数据精度、点云噪声情况等，参照 CH/T8024 规范要求执行。

7.4.5 影像数据检查包括影像数据完整性、分辨率、清晰度等，参照 CH/Z 3005 规范要求执行。

7.4.6 飞行质量检查包括航摄设计、航带重叠度、覆盖完整性、飞行速度、航高保持、飞行姿态、相片重叠度等。

7.4.7 IMU/GNSS 质量检查包括 IMU 偏心分量、IMU/GNSS 融合数据、曝光时标信号等，参照 CH/T 3023-2019 规范要求执行。

8 监测成果制作

将地面和机载三维激光扫描获取的点云数据进行融合，制作数字高程模型、危岩体表面模型。

8.1 数字高程模型

将点云中所有地面点作为特征点，采用不规则三角网进行数字高程模型构建，模型制作流程按照 CH/T8023、CH/T3014 规范执行，模型质量要求按照 CH/T9008.2 规范要求执行。

8.2 危岩体表面模型

（1）对不同期次崩塌降噪后的点云数据分别构建危岩体三维模型，模型制作参照 CJJ/T157 规范要求执行。

（2）模型分为规则模型和不规则模型。规则模型利用点云数据采用拟合方法制作；不规则模型构建应采用三角网建模，并对表达不合理的局部细节特征进行编辑修改；表面为光滑曲面的宜采用曲面片划分、轮廓线探测编辑、曲面拟合等方法。

（3）纹理映射可采用在模型和图像上选定同名点对方式进行，同名点对不少于 4 对，应选择明显、特征突出、分布均匀的同名点，同名点应不在同一条直线上或近似同一平面内。

纹理映射后模型与图像应无明显偏差，模型纹理清晰、层次丰富、色调均匀、反差适中。

(4) 模型精度应满足监测精度的要求。

(5) 模型制作其他要求：模型格式使用 OSGB、OGB、3DML 等常用格式；模型色彩模式采用真彩色模型；模型应完整，避免出现缺损、变形、错位、漏洞等情况。

8.3 模型配准叠加

(1) 将不同期次的危岩三维模型以基准标靶作为参照点进行配准叠加，得到崩塌不同时段的地表变形模型。

(2) 多期三维数据模型叠加后，应统一公共监测区域和边界。

(3) 对叠加后的多期数据模型，应通过基准标靶对叠加模型精度进行检查。

8.4 模型检查

8.4.1 数字高程模型检查

(1) 模型与点云数据符合性

(2) 模型细节表达合理性

(3) 模型表面完整性

(4) 模型纹理

(5) 模型高程精度

(6) 模型覆盖范围及格网尺寸

(7) CH/T8023 规定的其他数字高程模型质量检查内容

8.4.2 危岩体三维模型检查

(1) 模型与点云数据符合性

(2) 模型细节表达合理性

(3) 模型表面完整性

(4) 模型纹理

(5) 模型精度

(6) CJJ/T157 规定的其他三维模型质量检查内容

9 监测信息提取

9.1 危岩识别

(1) 基于激光点云和高分辨率影像进行危岩识别。

(2) 危岩地质形态和影像纹理表征为：裸露的基岩区，坡面不平整，具有粗糙感，坡度陡峻；植被不发育，反射率高，影像多呈浅色调，亮度值较高；岩体节理、裂隙发育，结构面多张开，存在深而陡、平行于坡面的张裂隙。

9.2 几何信息

(1) 危岩体位置：基于点云数据结合现场调查情况勾画危岩体的边界，绘制危岩体范围平面分布图。

(2) 几何尺寸：基于点云数据提取危岩几何尺寸数据，包含危岩长、宽、高、坡度、相对高差等。

(3) 体积量测：基于点云数据（降噪抽稀后）进行三角网格化处理，测算封闭网格体积。

9.3 节理信息

(1) 对于出露明显的结构面采用三点法进行结构面拟合，对于以一定面状出露的结构

面采用多点拟合法进行结构面拟合,根据平面法向量计算结构面产状,获取得到坡向、层面、裂隙等数据。

(2) 同步获取不同组结构面的间距和迹线长信息,绘制节理迹线投影图。

(3) 在点云上布设间距测线,测量层面间距和裂隙间距。

(4) 在点云数据中切取剖面,采用导入剖面控制点方式或点云中随机布设剖面线,获取危岩剖面图。

9.4 形变信息

应提取点、线、面的变形数据,以便对崩塌的整体、重要分区、重点部位等位移形变量、形变速率、形变方向进行综合分析。

9.4.1 变形点

(1) 变形点包含监测标靶点、岩石尖角点等易于识别的特征点,采用拟合方式获取变形点三维坐标。

(2) 监测标靶由软件自动计算拟合生成监测标靶点的靶心三维坐标。

(3) 地表特征点采用人工指定方式,通过拟合获取地表特征点的三维坐标。

9.4.2 变形剖面线

(1) 监测剖面线为按要求布设监测标靶的固定剖面线,由多期数据模型叠加后软件识别生成。

(2) 采取人工指定剖面位置或在多期数据模型上随机布设或者按照一定间隔选取的剖面线,量测地质灾害多期地表剖面线三维坐标。

(3) 根据剖面线三维坐标,绘制剖面图。

(4) 计算多期地表线状目标,或者一定间隔的剖面线三维坐标变化量。

9.4.3 变形面(体)

(1) 不同期次三维数据模型(面与面)叠加,或变形点与三维数据模型(点与面)叠加,提取变形面(体)模型。

(2) 监测区域应包括地质灾害周边稳固区和变形区。

(3) 量测多期危岩体模型表面的重心坐标,计算三维坐标变化量。

9.5 监测分析

9.5.1 扫描监测点云数据分析

(1) 扫描成果的可靠性,扫描基准、基准标靶的稳定性。

(2) 多期监测点、线、面的累计变形量及相邻测次的相对变形量、模型变化等值线图误差及可靠性分析。

(3) 不利影响因素的作用分析。

(4) 采用多种拟合方法对数据处理精度进行分析。

9.5.2 变形点监测分析

(1) 应根据监测标靶或地面特征点数据,分析相邻测次变形点的历时变形量、累计变形量及其变化规律。

(2) 计算形变水平和垂直变化速率、位移变形量、位移合成矢量方向。

(3) 对崩塌的变形阶段作定量分析。

9.5.3 变形剖面线监测分析

(1) 按监测剖面和分析剖面类型,根据多期或相邻测次扫描监测剖面线提取成果。

(2) 计算监测剖面线上的地质灾害变形量,分析变形趋势。

(3) 对发生变形破坏或堆积的部位做出判断。

9.5.4 变形面(体)监测分析

(1) 根据多期或相邻测次扫描监测面或模型提取变形面（体）成果，直观反映地质灾害的局部细节或整体变形趋势。

(2) 通过软件计算或色阶图谱得到变形面或模型间的变形量值，绘制垂直位移等值线图，进行不同部位变形趋势分析。

9.5.5 多期扫描监测综合分析

(1) 多期扫描监测资料分析应采用比较法、曲线图法、特征值统计法和模型法等综合分析方法。

(2) 应按点、线、面的变形分析数据，对地质灾害的整体、重要分区、重点部位等位移变形量、变形速率、变形方向进行综合、定量评价。

(3) 对危岩体崩塌的变形阶段作定性分析。

(4) 为危岩体崩塌安全预警、预报提供依据资料。

10 监测报告编制

10.1 一般规定

10.1.1 监测分析应与监测频次对应，必要时提交监测分析综合报告。

10.1.2 监测报告可根据需要按季度/年度周期编制，突发变形阶段（日变形速率 $\geq 5\text{mm}$ ）应加密至周报。应急响应期实行日报制度，日报需包含实时点云数据差分分析结果。

10.1.3 监测报告除形成纸质版报告外，还应生成标准格式电子文档。

10.2 编制要求

10.2.1 扫描监测报告编制内容应包括文字说明、附图、附表等。

10.2.2 监测报告文字说明及要求应符合下列规定：

- (1) 内容丰富全面、章节条理清晰、结构层次合理、重点描述突出。
- (2) 点云数据处理及建模方法妥当、计算分析合规、结论意见可信、文字简洁顺畅。
- (3) 主要编制内容应符合附录 C 要求。

10.2.3 监测报告附图、附表及要求应符合下列规定：

- (1) 获取的点云数据资料来源有据可查、真实可靠。
- (2) 图表清晰美观、结构合理。
- (3) 统一分类编号。

11 质量控制

扫描监测质量控制应符合下列规定：

- (1) 扫描监测作业成果检查、验收应遵循“两级检查、一级验收”的原则。
- (2) 满足监测设计方案的要求。
- (3) 质量检查验收应符合 GB/T 18316、GB/T 24356 的规定。

12 成果整理与归档

12.1 数据成果

- (1) 三维点云数据（激光雷达点云成果、地面三维激光点云）
- (2) 三维模型成果（数字高程模型、危岩体三维模型）
- (3) 影像数据（航飞影像、地面扫描影像）

- (4) 控制点、扫描测站、基准标靶、监测标靶、检查点测量数据
- (5) POS 数据成果、地面站观测数据、飞行记录数据、航迹线文件成果
- (6) 扫描测量相关记录表（机载激光雷达航摄偏心分量测定表、GNSS 静态观测记录表、航摄飞行记录表等）
- (7) 现场调查记录表和实地照片

12.2 成果报告及图件

- (1) 点云数据精度检查报告
- (2) 崩塌监测设计方案
- (3) 崩塌监测成果报告
- (4) 监测分析综合报告
- (5) 危岩范围分布图、地质剖面图
- (6) 水平位移、垂直位移矢量图及其累计矢量图、位移历时曲线图
- (7) 仪器检校证书（含有效期标注）
- (8) 气象环境记录表（温度、湿度、风速同步采集数据）
- (9) 伦理审查证明（涉及敏感区域数据时）
- (10) 其他相关资料

12.3 成果归档要求

- (1) 数据采集、数据处理等作业方法应规范、齐全
- (2) 检查验收记录完整，各项指标明确
- (3) 技术文档齐全、完整，内容真实、表述准确
- (4) 各项作业记录、技术资料和成果应签署完整
- (5) 涉密数据存储应符合《测绘地理信息管理工作国家秘密范围的规定》

附录 A

三维激光扫描崩塌监测设计方案编写内容

A.1 前言

主要包括：项目来源、目的任务、监测现状、编制依据、监测等级、监测范围、监测频次等。

A.2 监测区概况

主要包括：监测区地理及社会经济概况、工程地质与水文地质条件、气候环境条件、地形地貌及植被发育状况、危岩发育现状等。

A.3 资料收集与准备

主要包括：已有崩塌调查、监测、防治等成果资料，地质构造、地形地貌、地层岩性、气候、降雨、地震等调查成果资料，大比例尺地形图、影像图等基础资料，已有控制点等资料收集情况；人员技术准备情况；现场调（勘）查情况；监测仪器选择情况等。

A.4 地面三维激光扫描监测设计

主要包括：扫描站、标靶布设方案，地面三维激光扫描监测工作方法和技术路线、地面三维激光监测点云数据处理方法与要求、质量控制与检查要求等。

A.5 机载三维激光扫描监测设计

主要包括：航线规划与设计方案、无人机起飞场地选择、控制网布设方案、航摄实施作业要求、航摄数据处理方法、航摄质量控制与检查要求等。

A.6 监测成果制作

主要包括：监测成果类型和要求、模型配准方案、模型质量检查要求等。

A.7 监测信息提取

主要包括：危岩几何、节理等信息提取方法，危岩点、线、面的变形数据提取方法，变形监测数据分析方法等。

A.8 质量检查与验收

主要包括：成果质量控制手段与方法。

A.9 预期成果

主要包括：扫描监测应提交的文字报告、图表、数据模型等资料成果内容。

A.10 工作量

主要包括：监测工作整体部署和各类实物工作量。

A.11 经费预算

A.12 组织机构与人员安排

主要包括：监测承担单位的技术组织力量和项目分工。

A.13 项目保障与安全措施

主要包括：保障扫描监测工作完成的技术、装备、质量、安全及劳动保护等措施。

附录 B

地面三维激光扫描监测手簿扫描记录格式

地面三维激光扫描每个扫描测站应填写扫描记录，扫描记录格式见表 B.1。

B.1 地面三维激光扫描监测手簿

项目名称：

扫描日期： 年 月 日 天气：

扫描仪器名称/ 型号		扫描仪高度	
监测站点名称		观测点类型	
基准标靶编号		标靶类型	
监测标靶编号		标靶类型	
干温		气压	
湿温			
站点位置描述		标靶位置描述	
测站与标靶位置 示意图			
相邻测站		相邻测站位置 关系图	
扫描作业情况说明	(相关参数、粗扫描、精扫描、扫描区域等情况说明)	影像采集情况说明	(重叠度、纹理、数量及其他)
其他情况说明			
扫描单位：		作业员：	记录员：

附录 C

三维激光扫描监测报告编制内容

C.1 前言

主要包括：监测任务、工程概况、监测工作部署、完成的工作量及提交的成果资料等。

C.2 监测方法与技术路线

主要包括：监测准备、监测数据采集、监测数据处理、监测成果制作、质量检查等。

C.3 监测数据分析

主要包括：监测信息提取、监测点云数据分析、变形点、变形剖面线、变形面（体）等的监测分析。

C.4 结论与建议

主要包括：监测工作主要成果、存在的问题、危岩崩塌防治工作建议等。

C.5 报告附图、附表

主要包括：灾害区工程地质、水文地质、灾害分布位置图；灾害原始地形地貌影像图、失稳前后影像图；扫描监测站点、基准标靶、监测标靶布置图；监测位移矢量图；模型叠加分析图；各变形监测记录表；其他图表及影像资料等。