

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

地质灾害机载激光雷达遥感调查规范

Specification for airborne LiDAR remote sensing survey of geological hazards

（报批稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、缩略语..... 1

 3.1 术语和定义1

 3.2 缩略语2

4 总则 2

 4.1 目的任务2

 4.2 原则2

 4.3 总体要求3

5 数据获取 3

 5.1 基础资料获取3

 5.2 激光点云数据获取.....4

 5.3 航飞影像数据获取.....6

 5.4 航线设计7

 5.5 补飞与重飞7

6 数据处理 7

 6.1 POS 数据处理7

 6.2 点云数据解算7

 6.3 点云滤波分类7

 6.4 DEM 制作.....7

 6.5 DOM 制作7

 6.6 数据处理质量检查.....8

7 遥感解译 8

 7.1 数据准备8

 7.2 三维解译环境构建.....8

 7.3 解译标志建立8

 7.4 解译要求8

 7.5 解译方法8

 7.6 孕灾地质背景解译.....9

 7.7 地质灾害解译9

 7.8 解译成果质量检查.....11

8 野外查证11

 8.1 资料准备11

 8.2 查证方法11

 8.3 查证要求11

 8.4 查证内容12

8.5 野外查证质量检查 13

8.6 资料整理 14

9 成果编制 14

9.1 图件编制 14

9.2 报告编写 14

9.3 成果归档 14

附 录 A （资料性） 数字高程模型（DEM）常见可视化方法 16

附 录 B （资料性） 典型孕灾地质背景及地质灾害机载 LiDAR 遥感影像特征 20

附 录 C （规范性） 机载 LiDAR 地质灾害遥感解译记录表 27

附 录 D （规范性） 机载 LiDAR 地质灾害调查野外查证记录表 28

附 录 E （资料性） 成果报告编写提纲 33

参 考 文 献 34

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：成都理工大学、四川省国土空间生态修复与地质灾害防治研究院、四川测绘地理信息局测绘技术服务中心、京创智慧科技有限责任公司、重庆地质矿产研究院、中铁二院工程集团有限责任公司、中国铁路设计集团有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、广西交通设计集团有限公司、自然资源部第三航测遥感院。

本文件主要起草人：许强、董秀军、马志刚、余金星、邓博、陈立川、廖露、吴章雷、刘先林、王栋、刘桂卫、李为乐、徐正宣、廖蔚茗、赵悦、沈富强。

引 言

地质灾害的精准识别是地质灾害防治的重要基础。卫星光学遥感、InSAR、无人机摄影测量等遥感技术在地质灾害早期识别领域应用较为广泛，但对植被茂密山区实施困难并存在缺陷，难以准确评估预测潜在风险。机载激光雷达技术突破这一局限，是目前最为有效可“穿透”植被获取林下精细地形的方法，可为查明植被茂密山区重大地质灾害孕灾背景、空间发育特征、诱发因素、威胁对象等提供重要支撑。

为规范机载激光雷达地质灾害遥感调查工作，在充分吸收以往工作经验的基础上，制定了本文件。

地质灾害机载激光雷达遥感调查规范

1 范围

本文件规定了地质灾害机载激光雷达遥感调查数据获取、数据处理、遥感解译、野外查证、成果整理等作业流程和技术要求。

本文件适用于采用机载激光雷达技术开展的以滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地裂缝为主的地质灾害遥感调查工作。

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档，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文档，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（1:50000）

GB/T 12328 综合工程地质图图例及色标

GB/T 26424-2010 森林资源规划设计调查技术规程 GB/T 40112-2021 地质灾害危险性评估规范

CH/T 3005-2021 低空数字航空摄影规范

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

DZ/T 0261-2014 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:50000)

DZ/T 0265 遥感影像地图制作规范(1:50000、1:250000)

DZ/T 0369-2021 遥感解译地质图图式图例

DZ/T 0438-2023 地质灾害风险调查评价规范 (1: 50000)

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

地质灾害 geological hazard

由于自然因素或者人为活动引发的危害人民生命、财产和地质环境安全的滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、地面塌陷等与地质作用有关的不良地质作用和现象。

3.1.2

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探测系统。

[来源：CH/T 8024—2011，3.4]

3.1.3

郁闭度 canopy density of vegetation

树冠在阳光直射下在地面的总投影面积（冠幅）与此林地（林分）总面积的比。

3.1.4

点云密度 density of point cloud

以高程方向为法向方向，单位面积上激光点的平均数量。

[来源：GB/T 36100—2018, 3.4, 有修改]

3.1.5

激光有效测距 effective laser range

激光雷达可探测的距离。

[来源：CH/T 8024—2011, 定义3.8]

3.1.6

解译标志 interpretation mark

在遥感图像上能直接或间接反映和判别地物或地质灾害信息的影像标志。

3.1.7

野外查证 field verification

依据可解译程度的高低，对室内解译的地质灾害和孕灾地质背景要素进行一定比例的实地调查以检查、修改和完善解译成果的工作。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DEM：数字高程模型（Digital Elevation Model）

DSM：数字表面模型（Digital Surface Model）

DOM：数字正射影像图（Digital Orthophoto Map）

InSAR：合成孔径雷达干涉测量（Interferometric Synthetic Aperture Radar）

LiDAR：激光雷达（Light detection and Ranging）

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

4 总则

4.1 目的任务

在已有地质资料及遥感影像的基础上，开展机载LiDAR地质灾害遥感调查工作，有效识别调查区孕灾地质背景条件，崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害，查明灾害发育分布特征、几何参数，分析地质灾害形成条件，编制机载LiDAR地质灾害遥感调查相关图件及报告，提升地质灾害主动防范能力和水平，降低因灾造成的伤亡和损失。

4.2 原则

4.2.1 根据地质灾害类型、规模、调查精度需求，宜将机载 LiDAR 遥感调查工作划分为地质灾害详细遥感调查和精细遥感调查。

4.2.2 地质灾害详细遥感调查针对不低于 1: 10000 比例尺的大面积、大区域的地质灾害区域性调查，适用于泥石流灾害详细调查，也适用于大面积开展地质灾害区域调查。

4.2.3 地质灾害精细遥感针对不低于 1: 2000 比例尺的小流域、小面积或者单点地质灾害遥感调查。适用于单点崩塌、滑坡地质灾害的精细化调查，也适用于小区域、小流域等重点区域的地质灾害调查。

4.2.4 调查比例尺的选择应综合考虑研究区植被条件、灾害规模及灾害特征等。

4.3 总体要求

4.3.1 平面坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000，CGCS2000）或依法批准的独立坐标系；高程基准应采用 1985 国家高程基准。

4.3.2 调查作业技术流程宜包括数据获取、数据处理、遥感解译、野外查证、成果编制，具体流程如图 1 所示。

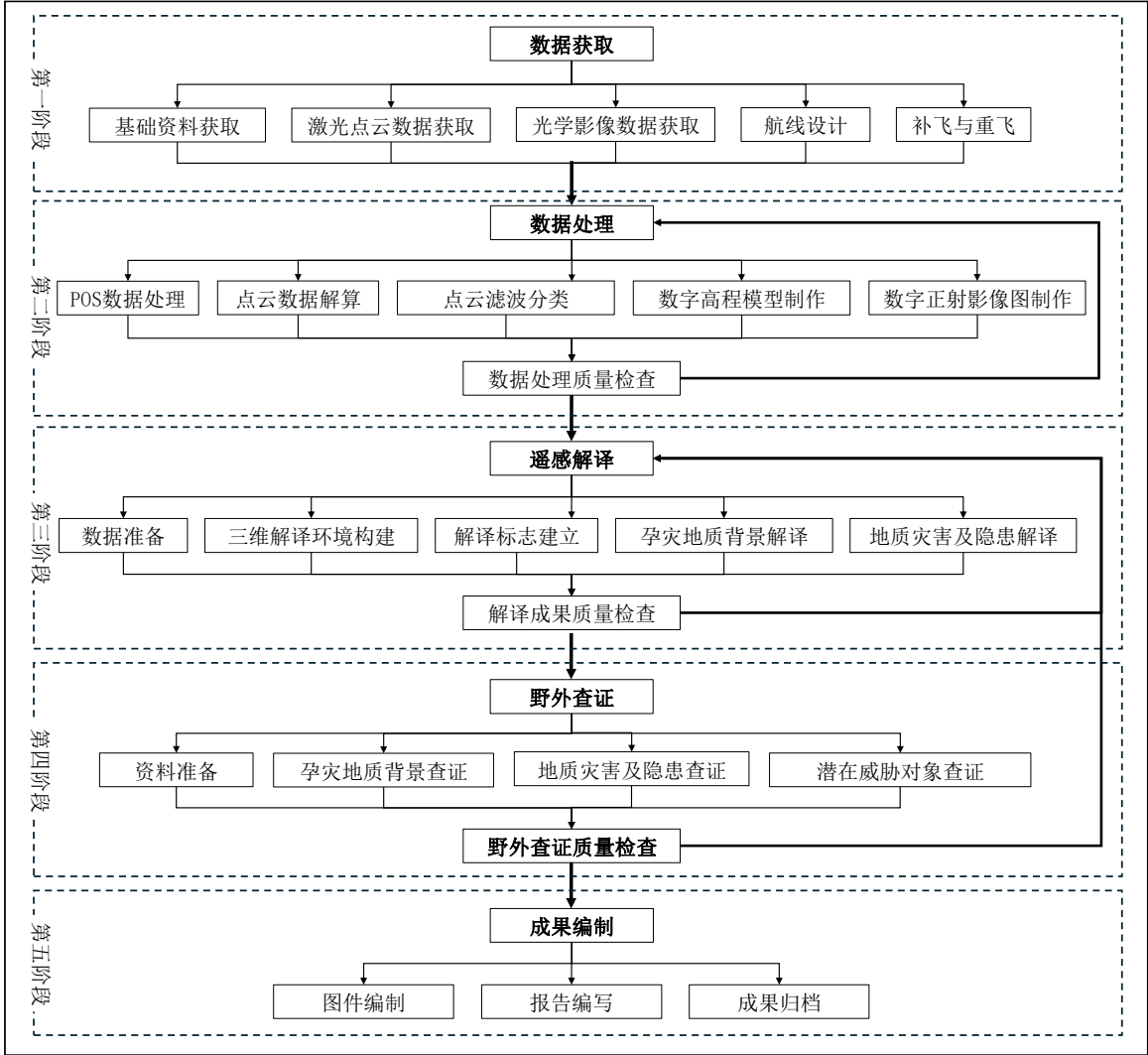


图1 地质灾害机载LiDAR遥感调查工作流程图

5 数据获取

5.1 基础资料获取

5.1.1 基础资料内容

5.1.1.1 与地质灾害形成条件和诱发因素相关的地质、地理资料，前人地质灾害调查、勘察成果资料以及工作区已有地质灾害入库数据。

5.1.1.2 已有的近期合成孔径雷达干涉（InSAR）形变监测成果数据、高分辨率卫星光学影像数据以及倾斜摄影测量与贴近摄影测量数据。

5.1.2 基本要求

- 5.1.2.1 掌握所收集遥感资料成像时间、经纬度、高差范围等技术参数；
- 5.1.2.2 重点收集与调查比例尺相当或者优于调查比例尺的地质资料，并与遥感影像数据进行对比分析。
- 5.1.2.3 纸介质图件资料应转换成栅格数据或矢量数据，对不同量纲的数据进行归一化处理。
- 5.1.2.4 将地层岩性组合、断裂构造分布、地下水类型分布、水系分布、地形地貌分布等数据投影变换到统一坐标系上。
- 5.1.2.5 收集的已有地质灾害资料宜按照分布范围、规模大小、灾害类型，进行分类整理，应区分已核销灾害与现有地质灾害。

5.2 激光点云数据获取

5.2.1 基本要求

- 5.2.1.1 不同地貌条件的 LiDAR 设备选型应满足表 1 中所列参数。
- 5.2.1.2 不同比例尺采用的平台、设备、技术参数均不同，机载 LiDAR 飞行计划、设备选用按照 CH/T 8024-2011 中 5.1~6.4 的规定执行。
- 5.2.1.3 数据获取优选秋冬交季或春夏交季，避免夏天树木茂盛或冬季积雪覆盖时期获取数据。
- 5.2.1.4 宜选择天气晴朗的正午时刻获取数据，避免因太阳高度角引起的影像阴影问题。

表1 LiDAR 设备选型

地形类别	激光有效测距 m	可回波次数 次
平原	大于等于200	大于等于2
丘陵	大于等于500	大于等于3
山地	大于等于1000	大于等于4
高山地	大于等于1500	大于等于4

注：依据地表高度的起伏变化（采用切割深度或起伏高度指标）划分地形类别，平原切割深度小于30米；丘陵起伏高度小于200米；山地起伏高度位于500至2500米之间；高山地起伏高度大于2500米。

5.2.2 点云密度要求

- 5.2.2.1 依据地质灾害调查比例尺和林分郁闭度设定不同的激光点云密度，点云密度要求见表 2。
- 5.2.2.2 林分郁闭度越大，相同调查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。
- 5.2.2.3 获取的点云数据密度应满足内插 DEM 数据的需求，平坦地区激光点云密度适当降低，地貌破碎地区适当加密。
- 5.2.2.4 气候条件复杂或高差巨大的困难区域，激光点云密度可适当降低要求。

表2 不同调查比例尺点云密度要求

调查比例尺	林分郁闭度	点云密度 点/m ²	航带接边 m
1:500	[0.7, 1]	[30, 60)	小于等于0.05

表 2(续)

调查比例尺	林分郁闭度	点云密度 点/m ²	航带接边 m
1:500	[0.2, 0.69)	[25, 30)	小于等于0.05
	[0, 0.2)	[16, 25)	
1:1000	[0.7, 1]	[25, 30)	小于等于0.1
	[0.2, 0.69)	[20, 25)	
	[0, 0.2)	[8, 16)	
1:2000	[0.7, 1]	[20, 25)	小于等于0.15
	[0.2, 0.69)	[15, 20)	
	[0, 0.2)	[4, 8)	
1:5000	[0.7, 1]	[15, 20)	小于等于0.2
	[0.2, 0.69)	[10, 15)	
	[0, 0.2)	[2, 4)	
1:10000	[0.7, 1]	[10, 15)	小于等于0.25
	[0.2, 0.69)	[5, 10)	
	[0, 0.2)	[1, 2)	

注：表2规定为最低点云密度要求，在实际条件允许情况下，应尽可能提高激光点云采集密度，保障有效地面点数量。

5.2.3 点云高程精度要求

点云数据高程精度应使用野外控制点数据进行检查，其高程中误差应符合表3的规定。

表3 不同调查比例尺点云数据高程精度要求

比例尺	地形类别	DEM成果高程中误差 m	点云数据高程中误差 m
1:500	平地	0.2	0.15
	丘陵地	0.4	0.25
	山地	0.5	0.35
	高山地	0.7	0.50
1:1000	平地	0.2	0.15
	丘陵地	0.5	0.35
	山地	0.7	0.50
	高山地	1.5	1.00
1:2000	平地	0.4	0.25
	丘陵地	0.5	0.35
	山地	1.2	0.85
	高山地	1.5	1.00
1:5000	平地	0.5	0.35
	丘陵地	1.2	0.85
	山地	2.5	1.75
	高山地	4.0	2.80

表 3(续)

比例尺	地形类别	DEM成果高程中误差 m	点云数据高程中误差 m
1:10000	平地	0.5	0.35
	丘陵地	1.2	0.85
	山地	2.5	1.75
	高山地	5.0	3.50
注：在植被覆盖密集区域、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，点云数据高程中误差在表3基础上可放宽0.5倍，最大允许误差为表3中误差的2倍。			

5.3 航飞影像数据获取

5.3.1 基本要求

- 5.3.1.1 地质灾害调查航飞影像是激光点云数据的有益补充，宜与点云数据同步获取，特殊困难区域可采用异步获取。
- 5.3.1.2 通过异步方式获取的点云和影像的时间间隔不宜超过 30 个自然日。
- 5.3.1.3 依据不同调查比例尺及地形类别确定航飞影像分辨率，影像质量应符合表 4 的规定。
- 5.3.1.4 针对不同类型地质灾害精细化调查如重大崩塌危岩体、滑坡灾害，宜采用倾斜摄影或贴近摄影等技术作为补充手段。

表4 航飞影像质量

调查比例尺	地形类别	影像分辨率 m	平面位置中误差 m
1:500	平原、丘陵	0.05	0.3
	山地、高山地	0.05	0.4
1:1000	平原、丘陵	0.1	0.6
	山地、高山地	0.1	0.8
1:2000	平原、丘陵	0.15	1.2
	山地、高山地	0.15	1.6
1:5000	平原、丘陵	0.2	2.5
	山地、高山地	0.2	3.7
1:10000	平原、丘陵	0.2	5
	山地、高山地	0.2	7.5
注：在植被覆盖密集区域、反射率较低如山地、高山地区域等特殊困难条件下，可适当降低影像分辨率标准，最大允许降低范围为表4中影像分辨率放宽1倍。			

5.3.2 影像质量要求

- 5.3.2.1 影像应清晰、层次丰富、反差适中、色调柔和。
- 5.3.2.2 地质灾害微地貌特征在航飞影像上应清晰可见。
- 5.3.2.3 影像上不应有影像拼接及重要地物判识的云、云影、烟雾、大面积曝光偏差、噪点等缺陷。
- 5.3.2.4 航飞影像航向重叠度和旁向重叠度应按 CH/T 3005-2021 中 8.1.1 的规定执行。

5.3.2.5 拼接后的影像应无明显模糊、重影和错位现象。

5.3.2.6 数字正射影像其他质量及规格应符合 CH/T 3005-2021 中 8.2 的要求。

5.4 航线设计

5.4.1 设计航线应在覆盖调查区的基础上，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。

5.4.2 起飞点与降落点应选择在开阔且远离桥梁、公路、杆塔和电站等磁场干扰的地区。

5.4.3 为保证获取的点云密度、点云高程精度和影像分辨率满足地质灾害调查精度要求，机载 LiDAR 数据获取宜采用变高（仿地）飞行。

5.4.4 综合考虑地形地貌、激光有效测距、林分郁闭度和飞行平台等因素确定变高（仿地）飞行航摄高度。

5.4.5 林分郁闭度确定按照 GB/T 26424-2010 中 9.2 的规定执行。

5.4.6 其他技术要求按照 CH/T 8024-2011 中 6.3 的规定执行。

5.5 补飞与重飞

5.5.1 点云无法完整覆盖调查区地质灾害所在的斜坡单元时需要补飞。

5.5.2 点云补飞需完全覆盖漏洞区域，接边精度需满足表 2 要求。

5.5.3 POS 数据的坐标和高程等参数记录有误或者丢失，导致与航摄影像不对应时，需要重飞。

5.5.4 航摄影像色调不一致、曝光过度或曝光严重不足，后期无法调色修复时需要重飞。

5.5.5 原始点云数据、POS 数据的补飞与重飞技术要求按照 CH/T 8024-2011 中 7.6 的规定执行。

5.5.6 补飞或重飞技术要求与成果质量不得降低执行标准。

6 数据处理

6.1 POS 数据处理

POS 数据处理方法和要求应按 CH/T 8024-2011 中 8.2 的规定执行。

6.2 点云数据解算

点云数据解算方法和要求应按 CH/T 8024-2011 中 8.4 的规定执行。

6.3 点云滤波分类

点云滤波分类流程中的噪声点去除、地面点提取、非地面点分类等处理流程应按 CH/T 8023-2011 中第 6 章的规定执行。

6.4 DEM 制作

完成点云数据采集及处理后，将点云中所有地面点作为特征点进行 DEM 构建，制作流程应按 CH/T 8023-2011 中第 7 章的规定执行。

6.5 DOM 制作

DOM的制作流程应按CH/T 8023-2011 中第8章的规定执行。

6.6 数据处理质量检查

分别对处理后的点云数据、DEM以及DOM进行质量检查，具体检查要求按照CH/T 8023-2011 中6.5、7.3和8.2的规定执行。

7 遥感解译

7.1 数据准备

应包括处理后的点云数据、航飞影像数据及收集的其他相关数据。

7.2 三维解译环境构建

7.2.1 通过 DEM 的可视化处理来表示真实地形的三维起伏状态，具体方法见附录 A。

7.2.2 采用可视化专业软件平台构建调查区三维地质解译环境。

7.2.3 将可视化栅格图层、DOM、已配准的地质资料、已有地质灾害矢量范围、土地利用矢量、承灾体矢量范围等数据配准叠加至三维地质解译环境，构建多源数据融合解译环境。

7.2.4 解译环境中加载的数据应图层化管理，可根据解译需求单独或叠加显示。

7.3 解译标志建立

应根据典型孕灾地质背景和已有地质灾害的影像特征，建立调查区内主要地质灾害、地质现象等室内解译标志，并及时进行野外验证及修正。各类典型地质灾害遥感解译特征见附录B。

7.4 解译要求

7.4.1 充分利用已有研究成果和相关资料，对基础地质工作程度较高的调查区孕灾地质背景进行必要的补充、修正，对相关孕灾背景资料较少的调查区开展较为详细的孕灾地质背景解译。

7.4.2 基于滤除植被后精细化地形、影像数据对比分析，提取与灾害形成有关的地貌特征、岩性特征、构造迹象等要素。

7.4.3 定位时，滑坡点定在滑坡后缘中部，崩塌点定在崩塌发生的前沿，泥石流点定在堆积扇扇顶，地面塌陷和地裂缝定在变形区中部。

7.4.4 遥感解译顺序主要宜采用从整体到局部，再从局部到整体的解译方法，循序渐进，反复解译，确保解译准确率。

7.4.5 所有解译地质灾害应按附录 C 规定填写《机载 LiDAR 地质灾害遥感解译记录表》。

7.5 解译方法

7.5.1.1 直接判读法：对原始激光点云、二维图像和三维模型中的明显灾害特征直接进行判读。

7.5.1.2 对比法：借用已知灾害属性的二、三维影像特征，在未知区对比解译同类地物。

7.5.1.3 逻辑推理法：借助于地物（或自然现象）之间的有机联系，利用逻辑推理间接判断某一地物属性。

7.5.1.4 历史比较法：在同一区域的不同时相影像之间进行历史比较，结合 InSAR 形变结果，得出解译区地物随时间而变化的有关信息。

7.5.1.5 综合分析法：当解译标志不明显，应考虑影像、点云、模型以及 InSAR 形变等要素信息，并结合地质灾害成因条件、内在机理综合分析。

7.6 孕灾地质背景解译

7.6.1 地形地貌

7.6.1.1 以地质灾害成因背景为依据划分调查区地貌单元，确定各种地形地貌的形态、成因类型及地貌分区界线。

7.6.1.2 提取陡坡、陡崖、冲沟等易形成灾害的微地貌位置、几何形态、坡向、影响范围等个体特征及组合特征。

7.6.2 地层岩性

7.6.2.1 结合基础地质资料收集情况，确定地层、岩性类别、岩层产状以及节理裂隙发育情况等信息。

7.6.2.2 划分区内岩（土）体的工程地质岩（层）组类型。

7.6.3 地质构造

7.6.3.1 利用滤除植被后的数字地形判别错断山脊、水系、连续的断层三角面等线状构造，确定断层构造的位置、长度和延伸方向。

7.6.3.2 利用岩层产状走向、山体出露方位等，确定褶皱的类型、规模、长度及延伸方向。

7.6.3.3 利用岩土体表面的粗糙程度差异，判别破碎带的性质、分布。

7.6.4 土地利用

结合自然资源、林草等部门最新土地利用分类、土地变更调查等数据，确定森林植被、地表水体、耕地、荒坡地、城镇、道路等用地类型和分布现状。

7.6.5 人类工程活动

解译工程切坡、水库库岸、露天采矿场、尾矿库、固体废物堆场等人工扰动区域范围、规模空间组合关系及其稳定性。

7.6.6 孕灾地质背景解译精度和要求

7.6.6.1 规定比例尺的纸质影像图上图斑面积大于 4mm^2 的孕灾地质体，长度大于 2mm 的形变线状地质体均应全部解译。

7.6.6.2 将人工目视判定矢量数据与光学影像不套合区域判定为变化区域，进行修改、新增或删除。

7.7 地质灾害解译

7.7.1 滑坡灾害

滑坡灾害遥感解译除考虑 DEM 形态特征外，应结合卫星 InSAR 形变特征、光学影像特征开展综合解译，具体解译内容如下：

- a) 滑坡体所处位置、范围、形态、坡度、地貌部位、前后缘高程、沟谷发育状况、植被发育状况等，判断滑坡是否为古、老滑坡或活动滑坡；
- b) 滑坡体主体滑动方向，滑坡与重要建筑物、构筑物的关系及影响程度等；
- c) 划分滑坡后壁、侧壁、滑坡舌、堆积体等组成要素信息；
- d) 识别滑坡拉裂缝、剪切裂缝、冲沟、陡坎等主要变形特征；

- e) 借助 DEM 和建立的数学模型，对比滑前地形，估算滑坡规模体积；
- f) 初步分析灾害的诱因、滑坡的稳定性、可能成灾范围以及威胁对象和威胁范围。

7.7.2 崩塌灾害

崩塌灾害在考虑 DEM 形态特征基础上，应充分结合卫星 InSAR 形变特征、倾斜摄影或贴近摄影测量技术生成的三维实景模型开展综合解译，具体解译内容如下：

- a) 崩塌所处位置、范围、几何形态、分布高程、绝对高差；
- b) 危岩体临空面坡度、中心线、滚动路径、块径大小、形状特征；
- c) 崩塌堆积体的边界、面积、坡度、变形特征、崩塌方向、崩塌堆积体植被类型；
- d) 借助 DEM 和建立的数学模型，对比崩塌发生前地形，估算崩塌堆积体体积与危岩体潜在失稳方量以及威胁对象；
- e) 初步分析灾害的诱因、崩塌的稳定性和可能成灾范围。

7.7.3 泥石流灾害

泥石流灾害在已有 DEM 形态特征基础上，应充分结合卫星 InSAR 形变特征、光学影像特征开展综合解译，具体解译内容如下：

- a) 泥石流边界、形态、主沟长度、主沟纵降比、弯道超高、流域面积、流域平均坡度和堆积物厚度；
- b) 划分泥石流物源区、流通区和堆积区，具体解译内容见表 5；
- c) 泥石流形成的堆积物包括沟道堆积物、坡面堆积物和崩滑堆积体等不同物源类型的范围、性质和厚度，以及物源区的变形特征；
- d) 通过对流通区、堆积区堆积物的综合分析，初步分析泥石流稳定性、灾害产生的诱因、可能成灾范围以及泥石流堆积扇形成演化关系。

表5 泥石流灾害分区解译调查内容

泥石流分区	调查内容
物源区	应进行地表景观变化、水源条件、水体分布、集水面积、地形坡度、岩层性质、区内植被覆盖程度及断裂、滑坡、崩塌、岩堆等不良地质现象的解译
流通区	应进行沟床的纵横坡度、冲淤变化、泥石流痕迹，阻塞地段堆积类型，以及跌水、急弯、卡口情况等解译
堆积区	应进行堆积物的分布范围、性质、层次堆积面积，堆积扇坡降、土地覆盖和厚度的解译

7.7.4 地面塌陷灾害

地面塌陷应结合DEM形态特征、光学影像特征以及卫星InSAR形变特征综合解译，具体解译内容如下：

- a) 地面塌陷的位置、形状、范围、面积、深度；
- a) 塌陷对地面设施的破坏程度和造成的成灾范围。

7.7.5 地裂缝灾害

地裂缝应结合DEM形态特征、光学影像特征以及卫星InSAR形变特征综合解译，具体解译内容如下：

- a) 地裂缝群体的总体分布范围、平面组合形态和展布方向等；
- b) 主要地裂缝单体的分布位置、长度、宽度，确定地裂缝的发育规模。

7.7.6 潜在威胁对象

潜在威胁对象具体解译内容如下：

- a) 受威胁的居民点；
- b) 受威胁的学校、医院等城镇构筑物；
- c) 受威胁的水电站、公路、铁路、河流、隧道、桥梁等重要基础设施；
- d) 受威胁的耕地、园地、林地等自然资源状况。

7.7.7 地质灾害解译精度和要求

地质灾害解译精度要求如下：

- a) 解译出的地质灾害，崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝的最小上图精度为 4 mm^2 ，地面塌陷为 2 mm^2 ；
- b) 图上面积大于最小上图精度时，应勾绘出其范围和边界，小于最小上图精度的用规定的符号表示，具体参照 DZ/T 0369-2021 中 5.4 的规定执行；
- c) 对于地表裂缝、下错台坎、灾害边界等要素宜充分参考原始激光点云信息特征。

7.8 解译成果质量检查

遥感初步解译地质图和遥感解译地质图编制完成后，应根据任务要求对相应比例尺解译图的图面要素、图层设置、精度等指标是否符合要求进行检查。

8 野外查证

8.1 资料准备

8.1.1 应结合收集到的区域内已有地质灾害点数据，综合分析基于机载 LiDAR、光学影像及 InSAR 形变成果解译出的地质灾害点及环境点，对新增地质灾害点进行标识和提取。

8.1.2 基于基础地理信息数据提取道路、地名等要素，并结合光学遥感影像，制作野外查证底图，开展地质灾害点野外查证工作。

8.1.3 针对不同调查比例尺精度应准备相同或更大比例尺的遥感影像底图作为野外查证资料，具体准备资料如下：

- a) 地质灾害机载 LiDAR 调查解译底图；
- b) 机载 LiDAR 地质灾害遥感解译记录表，按附录 C 规定执行；
- c) 相关地形图等资料。

8.2 查证方法

8.2.1 查证路线的确定应结合通行条件重点布设在解译出形变迹象明显点位、地质灾害分布较为集中地段、室内解译不能确定地段、解译标志不甚明显地段、综合分析存在重大地质灾害地段；

8.2.2 查证过程中应选择典型地段进行初步解译成果验证，然后进行整个任务区的查证；验证时，应确认是否为地质灾害，然后再核定地质灾害的边界范围、形态特征、规模大小、运动方式和危害程度等要素；

8.2.3 对典型地质灾害及其孕灾地质背景宜采用摄像或拍照的方式，作为与遥感影像对照、说明地质灾害特征的依据。

8.3 查证要求

8.3.1 查证方法应采用点、线、面相结合的方法进行调查，且满足以下要求：

- a) 对于解译效果好的地段以点验证为主；
- a) 对于解译效果中等的地段应布置一定代表性路线追索验证；
- b) 对于解译效果差的地段以面验证为主。

8.3.2 野外查证应涵盖所有的地物类型，验证比率依可解译程度的高低而不同，且满足以下要求：

- a) 对于遥感专题调查，可解译程度高的地区，验证比率不小于其图斑总数的 10%；
- b) 可解译程度中等地区，验证比率不小于其图斑总数的 30%；
- c) 可解译程度低的地区，验证比率不小于其图斑总数的 60%；
- d) 特殊地区或地质调查专题中的遥感地质工作，验证比率可适当降低；
- e) 新解译出的地质灾害点及重大地质灾害点应进行 100%野外查证；
- f) 解译结果与已有灾害点不一致时，应重点查证，判断已有灾害点是否发生变化。

8.3.3 野外查证时应逐一完善解译结果，填写《机载 LiDAR 地质灾害调查野外验证记录表》（格式按附录 D 规定执行），不应遗漏主要调查要素。

8.3.4 野外查证时，应对地质调查对象准确定位，对观察内容完成现场记录，同时对灾害点进行拍照或摄影，对重要地质的地质灾害或地质现象可根据需要绘制素描图、剖面示意图等。

8.3.5 野外查证需对遥感解译记录表中灾害体的所有特征要素进行查证，当调查发现解译有误时，应现场对遥感解译影像图进行修正，进一步完善解译标志，同时在遥感解译验证表中进行对应的描述和说明。

8.4 查证内容

8.4.1 孕灾地质背景查证

8.4.1.1 地形地貌：确定场地内微地貌与灾害发育分布情况、最大地形高差、山坡最大、最小及平均坡度，以及各种坡度级别所占的面积比率；

8.4.1.2 地层岩性：重点对易风化软弱层、构造破碎带，第四系分布状况和崩塌、滑坡灾害物质组成特征进行调查；

8.4.1.3 地质构造：确定灾害体在地质构造图上的位置，重点调查新构造运动对地形地貌、松散固定物质形成和分布的控制作用，阐明与灾害体活动的关系；

8.4.1.4 土地利用：调查场区内土地利用类型、植物组成和分布规律，了解主要树、草种及作物的生物学特性，确定各地段植被覆盖程度，圈定出植被严重破坏区；

8.4.1.5 人类工程活动：主要调查工程活动对地形地貌的改造以及各类工程建设所产生的固定废弃物（矿山尾矿、工程弃渣、弃土、垃圾）的分布、数量、堆放形式、特性；

8.4.1.6 气象水文：调查气温及蒸发的年际变化、年内变化以及沿垂直带的变化，降水的年内变化及随高度的变化，最大暴雨强度及年降水量等。

8.4.2 滑坡灾害查证

8.4.2.1 应查证滑坡规模、类型、形态、边界条件、变形迹象等基本特征，查证滑坡所在斜坡的地层岩性、地质构造、斜坡结构类型、水文地质条件等。

8.4.2.2 应查证滑坡上发育的阶地、裂缝、鼓丘、陡坎、地形挤压、扭曲等微地貌形态，以及滑坡的变形活动阶段。

8.4.2.3 应查证滑坡的诱发因素、发生发展历史、可能成灾范围以及人员伤亡、经济损失和环境破坏等现状，以及滑坡已有监测、工程治理措施等防治现状。

8.4.2.4 滑坡查证相关内容按 DZ/T 0261-2014 中 7.2~7.5 的规定执行，滑坡查证记录按附录表 D.1 规定填写。

8.4.3 崩塌灾害查证

8.4.3.1 崩塌灾害查证内容宜分为危岩体查证和崩塌堆积体查证。

8.4.3.2 应查证危岩体形态、分布、规模、主控结构面贯通程度、周边工程地质条件、变形发育史、形成因素及崩塌可能性。

8.4.3.3 应查证崩塌源位置、高程、规模、地层岩性；堆积体的分布范围、物质组成；堆积床形态、坡度、岩性；崩塌堆积体自身的稳定性和在上方崩塌体冲击荷载作用下的稳定性。

8.4.3.4 崩塌查证相关内容按 DZ/T 0261-2014 中 8.1~8.3 的规定执行，崩塌查证记录按附录 D 表 D.2 规定填写。

8.4.4 泥石流灾害查证

8.4.4.1 应查证泥石流成因类型、形成区的水源类型及汇水条件、物源条件、流通区几何形态特征与淤堵堆积情况、堆积扇形态及分布范围、堆积物性质、历史泥石流灾害情况。

8.4.4.2 应查证泥石流诱发因素、危害的对象、危害形式（淤埋和漫流、冲刷和磨蚀、撞击和爬高、堵塞或挤压河道）、可能危害的地区以及现有防治情况。

8.4.4.3 泥石流查证相关内容按 DZ/T 0261-2014 中 9.1~9.3 的规定执行，崩塌查证记录按附录 D 表 D.3 规定填写。

8.4.5 地面塌陷灾害查证

8.4.5.1 应查证地面塌陷的位置、面积、成因类型、影响范围、威胁对象、危险等级。

8.4.5.2 地面塌陷查证相关内容按 DZ/T 0438-2023 中 6.4.4 的规定执行，地面塌陷查证记录按附录 D 表 D.4 规定填写。

8.4.6 地裂缝灾害查证

8.4.6.1 应查证地裂缝发育地区的地层岩性、地质构造、水文地质条件，对高位远程、高山峡谷区域的植被茂密区域的山体进行针对性排查。

8.4.6.2 应查证地裂缝几何特征、变形迹象及变形历史、成因类型、威胁对象和水源侵蚀等情况。评估危险等级并提出防治建议。

8.4.6.3 地裂缝查证记录按附录 D 表 D.5 规定填写。

8.4.7 潜在威胁对象查证

8.4.7.1 应查证危害城镇、危害交通、危害水利水电事业、危害工矿企业和村庄、危害旅游事业、危害农田、危害人类生命安全等潜在威胁对象。

8.4.7.2 应查证对潜在威胁对象的危险性程度，对承灾体危险性程度按照 GB/T 40112-2021 中第 9 章的规定进行评价。

8.5 野外查证质量检查

8.5.1 野外查证工作结束后，应检查遥感解译地质图、遥感解译卡片与野外记录。

8.5.2 遥感解译地质图、遥感解译卡片与野外记录本现场记录情况的抽查不少于查证数量的 20%。

8.5.3 对野外调查点随机抽样检查的数量应不少于 3% 的查证数量，分析可靠性、准确性和数据质量，填写野外查证意见。

8.6 资料整理

- 8.6.1 野外查证结束后，应及时进行野外资料整理。
- 8.6.2 根据查证结果，应及时进行地质灾害类型及孕灾地质背景的修正。
- 8.6.3 对调查中存在的不足或遗漏的问题，应及时安排野外补充工作或现场解译验证。

9 成果编制

9.1 图件编制

- 9.1.1 机载 LiDAR 地质灾害遥感调查图应根据遥感解译以及野外查证结果进行编制。
- 9.1.2 机载 LiDAR 地质灾害遥感调查图的主要内容应在机载 LiDAR 获取的 DEM 或 DOM 基础上，依次叠覆可视化栅格图层、地貌分区、地层岩性、构造等区域地质环境要素图层以及符号化的地质灾害点类型、范围、失稳方向、潜在威胁范围。
- 9.1.3 所采用的比例尺应视具体调查要求而定，一般为 1:500~1:10000。
- 9.1.4 编制具体要求应按 GB/T 12328、GB/T 958、DZ/T 0265 规定的图式图例、符号等进行表示。

9.2 报告编写

- 9.2.1 成果报告应根据具体任务要求，以工作区遥感调查成果为基础，客观地反映问题，系统地总结地质灾害发育规律。
- 9.2.2 报告内容应做到简明扼要，重点突出，论据充分，结论明确，文、图、表齐全准确。
- 9.2.3 报告编写提纲见附录 E。

9.3 成果归档

9.3.1 原始资料汇交

原始资料应包含以下内容：

- a) 原始 LiDAR 点云成果；
- b) 原始航飞影像数据成果；
- c) 原始 POS 及影像外方位元素成果；
- d) 检查点成果；
- e) 地面站观测数据、飞行记录数据；
- f) 航迹线文件成果；
- g) 机载 LiDAR 航摄偏心分量测定表；
- h) GPS 静态观测记录表；
- i) 航摄飞行记录表；
- j) 机载 LiDAR 地质灾害遥感解译记录表；
- k) 机载 LiDAR 地质灾害调查野外验证记录表；
- l) 野外查证原始照片集。

9.3.2 成果报告及图件

成果报告及图件成果应包含以下内容：

- a) 机载激光 LiDAR 数据采集及数据处理相关文档材料；
- b) 地质灾害激光 LiDAR 数据解译项目设计书；

- c) 地质灾害遥感调查技术报告；
- d) 地质灾害遥感调查成果报告；
- e) 机载 LiDAR 地质灾害分布遥感调查图（含孕灾地质背景内容）；
- f) 公路、房屋等威胁对象的地物矢量化文件；
- g) 孕灾地质背景矢量化文件；
- h) 地质灾害解译矢量化文件；
- i) 机载 LiDAR 地质灾害遥感解译记录表；
- j) 机载 LiDAR 地质灾害野外查证记录表。

附 录 A

(资料性)

数字高程模型（DEM）常见可视化方法

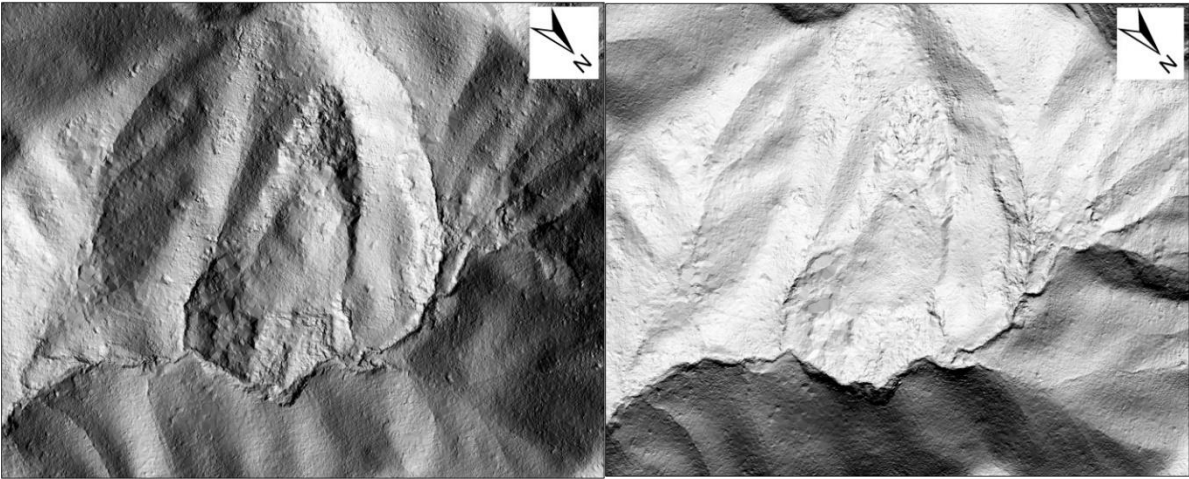
DEM可视化方法就是利用网格化高程数值生成一种或多种参数，通过颜色、对比度、亮度、清晰度等方面来突出体现地貌起伏特征的一种可视化手段；DEM数据的可视化是地质灾害遥感调查的关键步骤，其直接决定了三维解译环境的效果与质量。以下将介绍几种常用的DEM可视化方法，每种方法都有各自的优势及适用范围，因此在实际灾害解译过程中可以实现相互补充，并通过叠加融合以达到信息增强的目的。

常见 DEM 可视化方法

A.1 山体阴影图

山体阴影图是目前最通用的一种可视化方法，其原理是通过模拟太阳光对地面照射所产生的明暗程度，并用相应灰度或彩色得到随光度近似连续变化的色调，使地貌的分布、起伏和形态特征实现一种立体感增强显示的方法。这种方法的最大优点就是符合人眼观察实际地形的习惯，最接近真实地模拟了地形面。由于地面的凹凸起伏和阴影取决于太阳光的入射角和太阳高度角，在常规制图中常常根据人眼的视觉习惯，太阳方位角选择为 NW 方向，太阳高度角为45°。

图A.1 展示了太阳高度角均为45°，太阳光入射方向分别为NW、NE两个方向的山体阴影图。不难看出，调整太阳光的入射方向可以得到完全不同的凹凸感。而且沿太阳光入射方向由于较大的地形高差会产生面积不同的阴影，这些阴影可能会遮盖相对较小的地貌现象。因此，在实际地质灾害遥感解译中，需要不断地调整入射光的方向和太阳高度角来突显不同位置、不同大小的地貌现象。



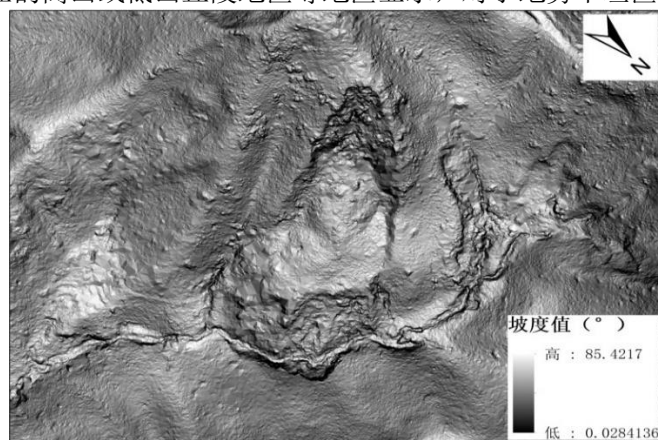
图A.1 不同光照入射角度下 DEM 山体阴影图可视化效果

A.2 坡度图

坡度图主要表现的是地表单元陡缓的程度。其原理是通过计算每个DEM像元从该像元到与其相邻的像元方向上的最陡坡降。在实际计算中，通常将DEM每一个像元与其相邻的八个像元之间距离的变化而产生的最大变化率作为该像元开始的最陡坡降。

图A.2 展示了通过灰度值显示坡度变化大小的可视化效果，每个像素的亮度与坡度角成反比关系，因此平坦区域为明亮区域，陡峭区域为暗区域。通过坡度计算后得到的图像外观类似于山体阴影图，但没有光照偏角产生的黑色阴影，因此坡度图的主要优点是不受光照角度影响，能够无差别

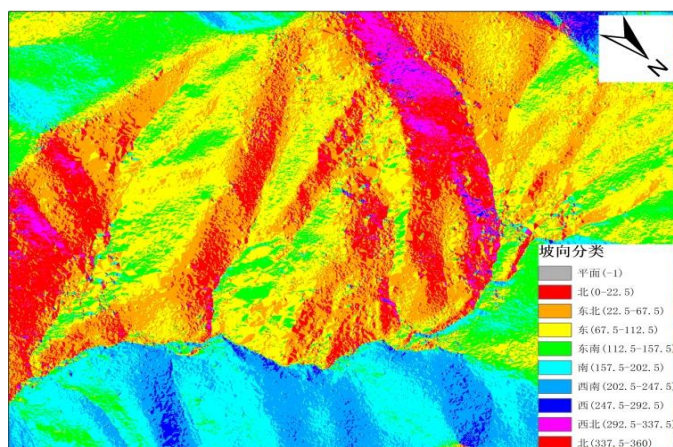
的体现地表起伏程度，同时与山体阴影图一样能够直观的显示地形三维特征。坡度图可视化方法主要适用于地形起伏明显的高山或低山丘陵地区等地区显示，对于地势平坦区域的可视化效果不强。



图A.2 灰度显示 DEM 坡度图的可视化效果

A.3 坡向图

坡向图主要表现的是地表高程由高到低变化率最大的下坡方向，通过坡向图能够直观的表达斜坡倾向方位。其主要原理是采用移动的窗口访问DEM栅格中的每个像元，每次位于窗口中心的像元的坡向值是首先通过计算窗口中所有像元在x, y两个方向的变化率，进而计算两个方向夹角的反正切值得到的。



图A.3 不同颜色显示 DEM 坡向图的可视化效果

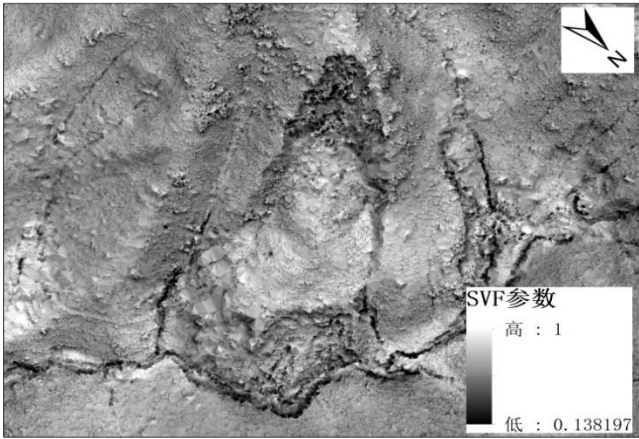
图A.3为通过不同颜色显示坡向方位变化的可视化栅格，栅格中各像元的值可指示出各像元位置处表面朝向的罗盘方向。将按照顺时针方向进行测量，角度范围介于 0（正北）到 360（仍是正北）之间，即完整的圆。坡向图主要优势是能够展现灾害在变形过程中可能发生失稳的方向，比如：根据坡向能够判断最先遭受泥石流袭击的居住区位置、判断冰川融化水流的方向和分布等。因此坡向图适用于山川沟谷复杂多支、河流方位多变等区域显示。

A.4 天空视域因子(SVF)图

天空视域因子（SVF）图是一种基于漫反射光照的可视化方法，其含义是DEM上某一点处对天空的可见度，反映了视线范围内天空被遮挡的程度。简单来说，假设整个天空半球都同样明亮，DEM上某一点的照度与从该点本身可见的天空部分成正比。可见天空的部分是一个可测量的物理量，被称为天空视图因子(SVF)。与坡度图效果类似，天空视域因子（SVF）用均匀漫射照明代替点光源同

样也可以避免因遮阳照明而产生的优先方向。SVF计算值是由可见天空的立体角(ω 天空)与照明半球的立体角(2π)之比得出的。

图A.4展示了通过灰度值显示地表SVF因子的变化大小，当 SVF= 0和SVF= 1意味着从取出的点上分别看不到半球的任何部分和整个半球。通过均匀漫射天空照明的可视化方法不仅解决了特征方向的问题，而且增强了对表面元素相对高度的感知。因此天空视域因子（SVF）图适用于地势陡峭、山体排列紧密等区域显示，亦或是平坦地区的小尺度三维特征显示。

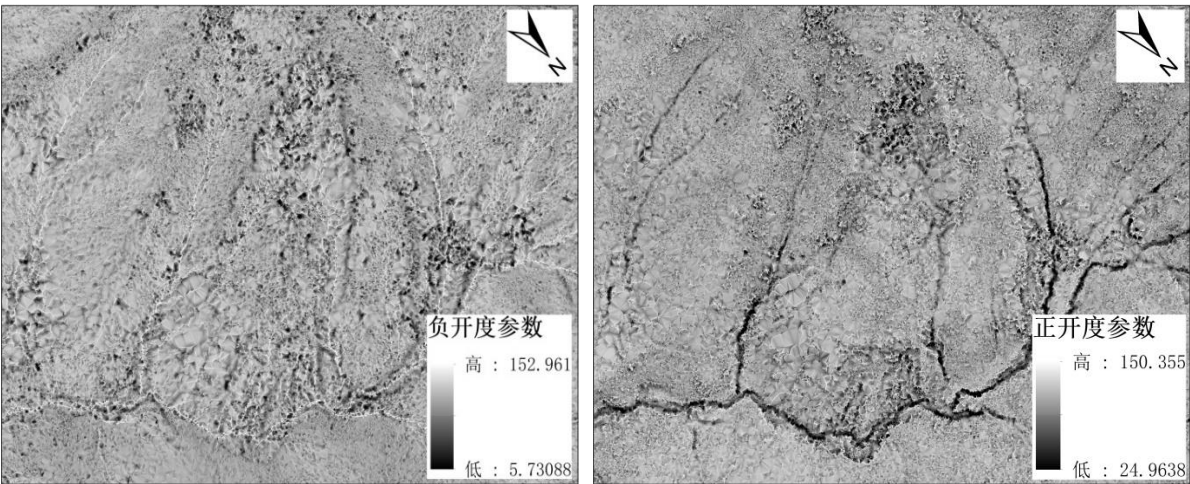


图A.4 灰度值显示 DEM 天空视域因子（SVF）图的可视化效果

A.5 红色地形(RRIM)图

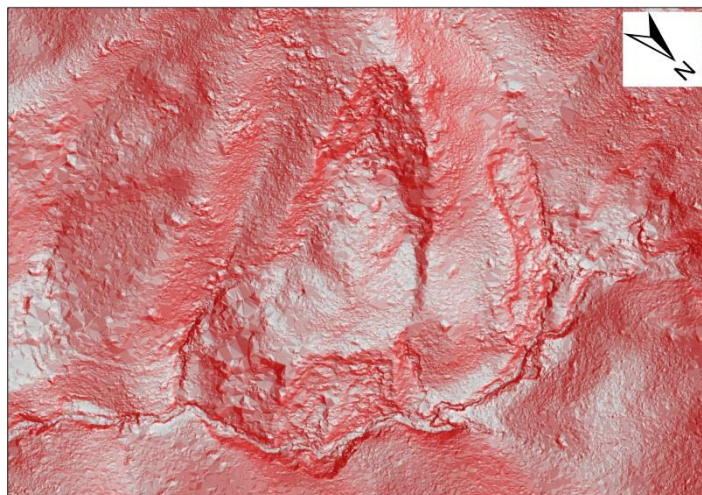
红色地形(RRIM)图是一种利用地形坡度与正负开放度图叠加融合成的一种可视化方法，其在很大程度上增强了三维数据二维显示时的立体感，既去除了光源条件的制约，又能根据研究尺度来凸显各种细微构造，这一方法对制图人的水平要求较高。

红色地形(RRIM)图引用了开放度的可视化因子，其计算原理与天空视域因子（SVF）类似，开放度（openness）图进一步定义了两个参数，分别为正开放度与负开放度，前者测量“地形对天空的开放度”，而后者测量“地下”开放度，正、负开放度与其他地貌参数最大的区别是分别突显了正、负地形。正开放度在峰顶和山脊上取值较高，负开放度在山谷、沟壑和火山口中取值较高。如图A.5所示，开放度本身具有与光源无关的特性，因此利用其制图就能够去除渲染图等可视化方法中地形阴影的制约因素，而且计算结果受 DEM 噪音干扰的影响要比其他参数小得多。



图A.5 灰度值显示 DEM 正、负开放度图的可视化效果

红色地形(RRIM)图引用了坡度的可视化因子,在RRIM图中用正负开放度参数差值的计算结果与地形坡度分别用灰度影像层、红色图层来表示。经验表明:红色对于人的眼睛来说有最丰富的色调,尤其是电脑下的色彩空间,因此能够最大限度地表现地貌信息。与其他可视化方法相比,红色地形(RRIM)图在细微构造的识别上具有较大优势。图A.6展示了DEM红色地形图的可视化效果,在实际应用中其不仅凸显了面状构造的边界信息,因此能够准确地勾勒出灾害面状构造的边界。对于需要重点分析的各种地貌识别标志,如线性山谷、水系断错、断层陡坎、断层三角面、河流阶地、冲洪积扇等,也可以很容易地进行判读。因此红色地形(RRIM)适用于大部分地区的地质灾害及孕灾地质背景的识别。



图A.6 显示 DEM 红色地形 (RRIM) 图的可视化效果

虽然RRIM图能有效地在二维平面上显示三维数据的立体感,但它缺少一定的定量化的信息,如高程、坡度、坡向等。因此在必要场景,可以将RRIM图与其他地形参数图层进行叠加融合以达到更好的识别效果。

附录 B

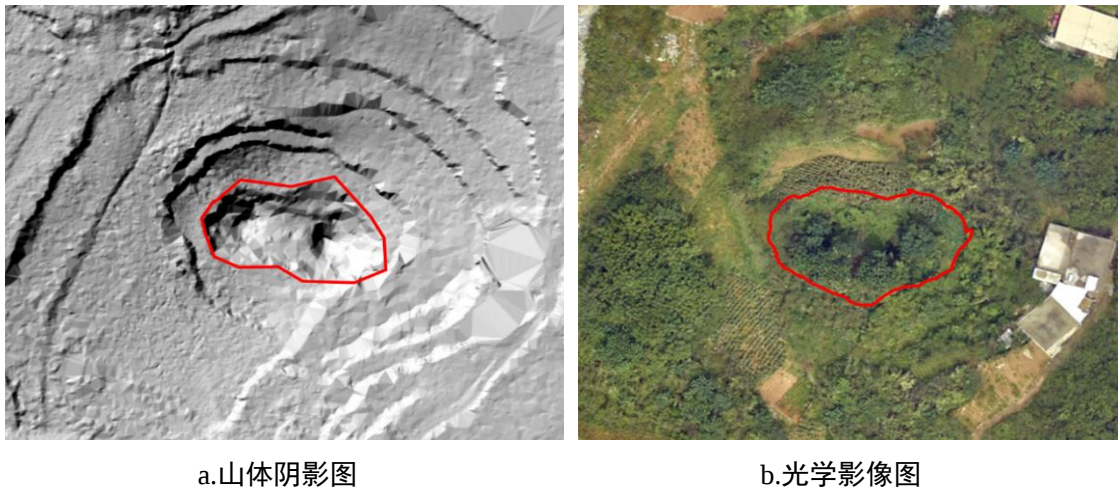
(资料性)

典型孕灾地质背景及地质灾害机载 LiDAR 遥感影像特征

B.1 孕灾地质背景

B.1.1 岩溶地貌解译标志

- a) 溶蚀漏斗：碳酸盐岩地区的圆形或椭圆形洼地，常成群出现，在遥感图像上呈斑点状纹理，色调与周围地物具有明显差别，通常在山体阴影图中较为明显，光学影像上较难分辨，如图 B.1 所示；
- b) 溶蚀洼地：比溶蚀漏斗规模更大的封闭洼地，形态更不规则，在遥感图像上呈斑状纹理；
- c) 坡立谷：比溶蚀洼地规模更大的负地形，一般呈长条状，受构造控制。其中有河流、居民点和耕地；
- d) 孤峰：分布于溶蚀洼地或波立谷内的孤立山峰，在图像上为斑点状纹理；
- e) 峰林：一般成排分布，在小比例尺图像上为密集的斑点状纹理，在大比例尺图像上一般为断续分布的棋盘格状纹理。

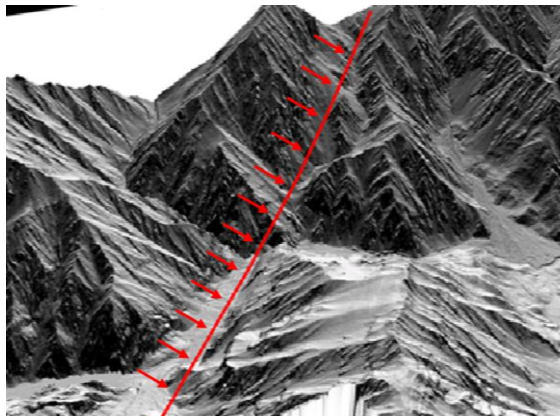


图B.1 溶蚀漏斗解译标志

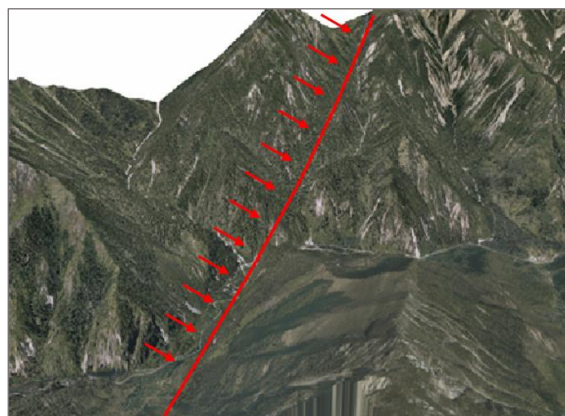
B.1.2 断裂构造解译标志

- a) 断裂构造解译标志主要有：直线型沟谷、河流急拐弯、地质体被错断、地貌单元突变、串珠状的鞍形脊或负地形、垄岗地形、菱形块体、水系和泉点的规律性变化、土壤植被的带状异常等，遥感影像特征见图 B.2 所示；
- b) 正断层：一般垂直于区域构造线方向延伸，在图像上多呈规模不等、断续延伸、宽窄变化较大的沟谷、断陷和锯齿状断线，常有岩墙、岩脉充填。规模较大的张性断裂，可形成宽窄不等的湖泊、盆地及宽阔的河谷。在大比例尺图像上，若断层面倾斜方向为新地层，一般可判定为正断层；
- c) 逆断层：多沿区域构造线方向呈舒缓波状产出，只有高角度逆冲断层的地表出露线较平直，规模较大。沿逆断层经常发育构造透镜体和片理化带等，一般不形成陡崖和三角面，如果两盘地形有明显高差，上升盘经常发生阶梯状崩塌。
- d) 平移断层：一般具有清晰平直的线性影像特征，断层两盘常有标志物的相对错位，牵引构造或派生扭动构造也是很好的解译标志。规模较大的平移断层可形成线性负地形,并对水系格局有一定的控制作用。

- e) 逆掩断层：地表出露迹线蜿蜒曲折，在遥感图像上可通过影像块体的叠置、不协调分布关系等加以判定，有时可以解译出“飞来峰”或“构造窗”等地质体叠置的现象；
- f) 韧性剪切带：断续分布的线(带)状纹理和状地形、大型 S-C 组构、菱块状结构和旋转构造是剪切带的重要解译标志。



a.山体阴影图

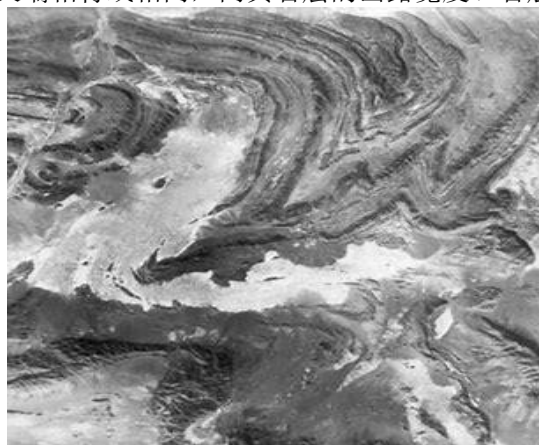


b.光学影像图

图B.2 断裂构造解译标志

B.1.3 褶皱构造解译标志

- a) 褶皱构造：主要通过岩层影像的对称或弯转进行解译，主要解译标志有：影像体的对称分布、圈闭、弯曲、倾伏或扬起。向心状、放射状、对称的水系等可作为间接标志使用，遥感影像特征见图 B.3 所示；
- b) 褶皱性质：可通过组成褶皱的岩层倾向或地层新老顺序来确定。通常情况下，背斜转折端的岩层向外倾斜，向斜转折端的岩层向内倾斜，褶皱两翼的岩层产状反映到地形上常常表现为一坡陡、一坡缓的类似单面山地形，这是利用图像判断背斜和向斜的重要依据之一；
- c) 直立水平褶皱和直立倾伏褶皱：岩层三角面或单面山地形沿褶皱轴线对称分布，三角面尖端相背或相向，倾向坡相背或相对。两翼岩层的出露宽度、岩层倾角、三角面形态等都大致相同或相似；
- d) 倾竖褶皱：主要根据地层的规律性弯转进行解译，两翼岩层的出露宽度、岩层倾角、三角面形态等都大致相同或相似；
- e) 斜歪水平褶皱和斜歪倾伏褶皱：岩层三角面或单面山地形沿褶皱轴线不对称分布，三角面尖端相背或相向，两翼岩层的出露宽度、岩层倾角等具有较大的差异。



图B.3 褶皱构造遥感影像解译标志（二者均为光学影像）

B.2 滑坡

B.2.1 滑坡的基本影像特征如下:

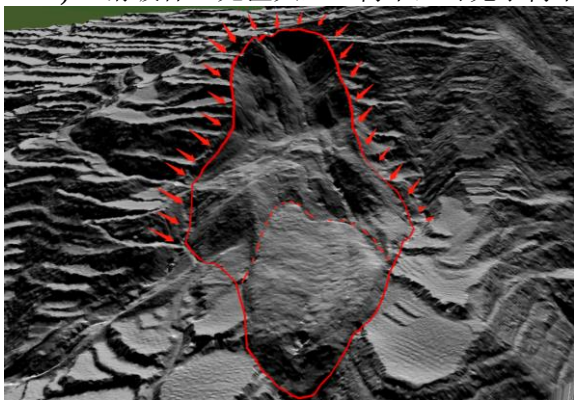
- 呈簸箕形、舌形、梨形等平面形态及不规则等坡面形态,可参见图 B.4,规模较大的可见到滑坡壁、滑坡台阶、滑坡鼓丘、封闭洼地、滑坡舌、滑坡裂缝等微地貌形态;
- 常表现为连续的地貌形态突然被破坏,由陡坡和缓坡两种地貌单元组成,坡体下方由于土体挤压,有时可见到高低不平的地貌,未受破坏的滑坡体前缘呈向前凸出的缓弧形,有平行分布的挤压性线性条纹,在自然斜坡地形中滑坡体后部往往形成局部凹陷缓坡,滑坡后缘可见裂缝或者陡坎,如图 B.5 所示;
- 滑坡多在峡谷中的缓坡、分水岭的阴坡、侵蚀基准面急剧变化的主沟与支沟交会处及其沟头等处发育;
- 土质滑坡的周界一般表现为圆滑的凸弧形、马蹄形、倒梨形,后壁圆滑,侧壁为大曲率弧形:岩质滑坡周界总体亦呈弧形,但不甚圆滑,有时呈直线或折线形。土质类滑坡多呈不规则形态,并发育平行于滑动方向的带状、斑点状纹理:岩质类滑坡多形成“箕”状坡谷,形成孤立残留堆积体。滑程较远的滑坡,可迫使河道向对岸迁移。

B.2.2 古滑坡影像特征如下:

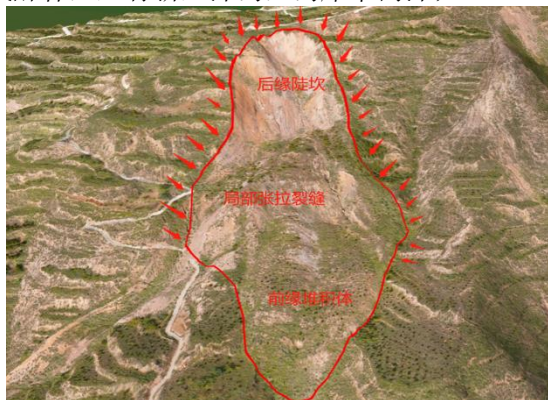
- 滑坡后壁一般较高,坡体纵坡较缓,有时生长树木;
- 滑体规模一般较大,表面平整,土体密实,无明显的沉陷不均现象,无明显裂缝,滑坡台阶宽大且已夷平;
- 滑体上冲沟发育,这些冲沟系沿古滑坡的裂缝或洼地发育起来的;
- 滑坡两侧自然沟割切较深,有时出现双沟同源;
- 滑坡前缘斜坡较缓,长满树木,滑体无松散坍塌现象,前缘迎河部分有时出现大孤石;
- 滑坡舌已远离河道,有些舌部处已有不大的漫滩阶地;
- 滑坡体上多辟为耕地,甚至有居民点、寺庙、电线杆等分布;
- 斜坡上部分坡体较周围地形平缓,但其可与侵蚀平台、阶地等区分;
- 部分缓坡后及两侧有陡壁及侧壁,大部分没有;
- 局部平缓斜坡有明显的界线与周围分割,这些界线可以是沟谷、陡坡下的突变缓坡等;
- 斜坡上局部存在平缓斜坡,但其上没有深沟,也没有明显的坚硬基岩形态(与稳定斜坡处的基岩对比)。

B.2.3 活动滑坡影像特征如下:

- 滑坡体地形破碎,起伏不平,斜坡表面有不均匀陷落的局部平台;
- 斜坡较陡长,虽有滑坡平台,但面积不大,有向下缓倾的现象;
- 有时可见到滑坡体上的裂缝,特别是粘土滑坡和黄土滑坡,地表裂缝明显,裂口大;
- 滑坡体地表湿地、泉水发育,呈斑状或点状深色调;
- 滑坡体上无巨大直立树木,可见小树木或醉林,且有新生冲沟,沟床窄而深;

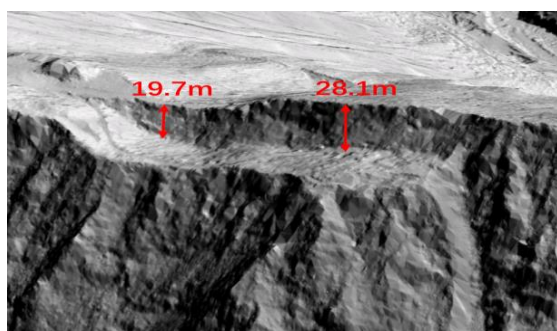


a.山体阴影图



b.光学影像图

图B.4 舌形滑坡解译标志 (a.山体阴影图 b.光学影像图)



a.山体阴影图

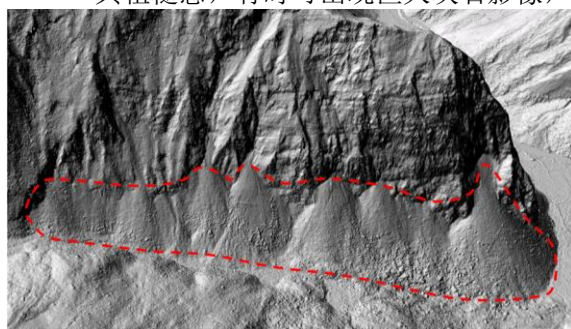


b.光学影像图

图B.5 滑坡后缘下错台坎解译标志

B.3 崩塌

- 崩塌壁在斜坡上呈条带状，在平面上呈锯齿状，其下方杂乱的崩塌堆积物在图像上呈斑点状纹理，植被较外围稀少或基本没有植被生长；
- 古老崩塌体上植被一般比较茂盛，由崩塌壁向倒石堆方向，坡度和地貌形态发生突变。崩塌体内水系类型复杂，与周围的水系特征截然不同；
- 崩塌体堆积在谷底或斜坡平缓地段，表面坎坷不平，影像具粗糙感，常见颗粒堆积，参照图 B.6；上部外围有时可见到张节理形成的裂缝影像；
- 一般位于陡峻的山坡地段，一般在 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 的陡坡前易发生，上陡下缓，表面坎坷不平，具粗糙感，有时可出现巨大块石影像，影像特征可参见图 B.7。

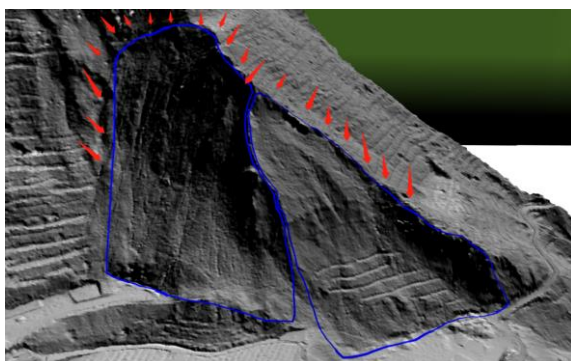


a.山体阴影图

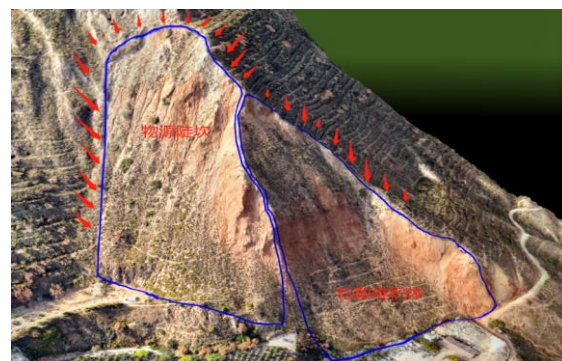


b.光学影像图

图B.6 崩塌堆积体颗粒堆积解译标志



a.山体阴影图

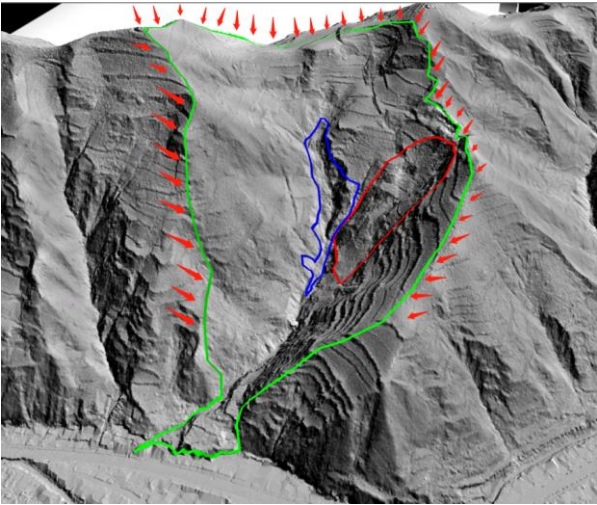


b.光学影像图

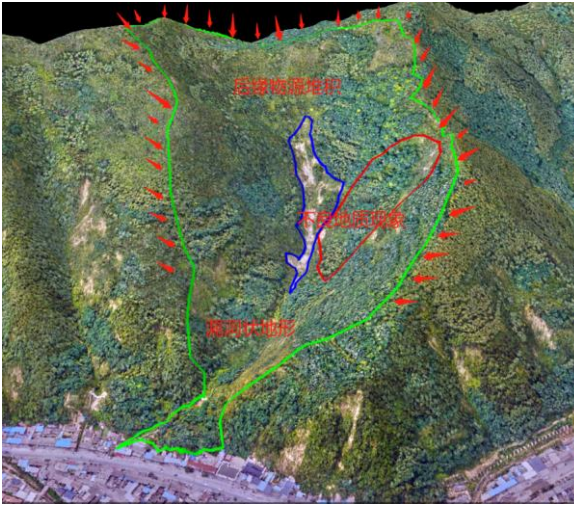
图B.7 陡坡崩塌解译标志

B.4 泥石流

- a) 标准型泥石流沟可清楚地看到物源区、流通区和堆积区三个区；
- b) 物源区山坡陡峻，岩石风化严重，松散固体物质丰富，是崩塌、滑坡发育的斜坡地段,后缘呈瓢形；泥石流沟谷相对平直或呈缓弧形；解译标志可参照图 B.8；
- c) 堆积区位于沟谷出口处，纵坡平缓，多呈不规则的条带状等紊流状纹理，边界一般呈不规则形状；泥石流前缘多为舌状或扇形；
- d) 泥石流扇体的形态与泥石流沟的出口形态关系密切，喇叭状的出口往往为条带状扇体，扇翼角较小；如果出口处呈瓶颈状，往往形成短轴状扇体，扇翼角较大，影像上可见半圆形特征，具体可参照图 B.9；
- e) 泥石流堆积扇与一般河流冲洪积扇的主要区别是，前者有较大的堆积扇纵坡，一般为 $5^{\circ}\sim 9^{\circ}$ ，部分达 $9^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ，后者一般在 $1^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 间。

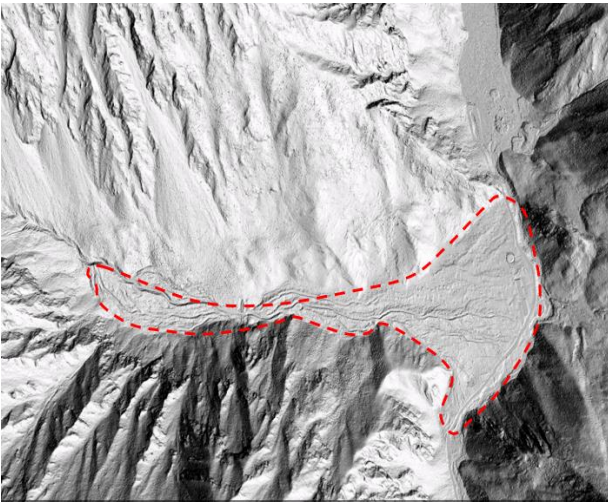


a.山体阴影图

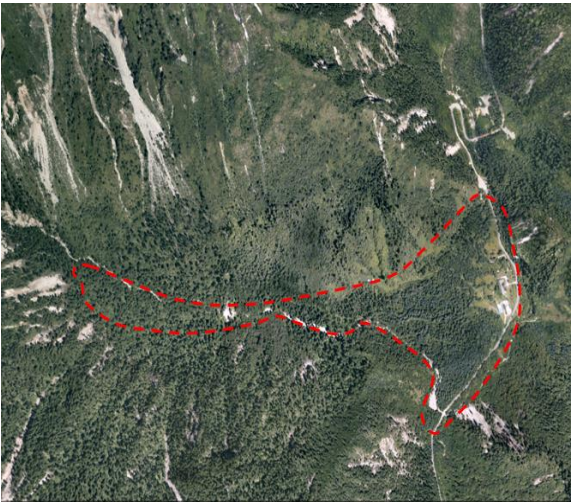


b.光学影像图

图B.8 泥石流整体解译标志



a.山体阴影图

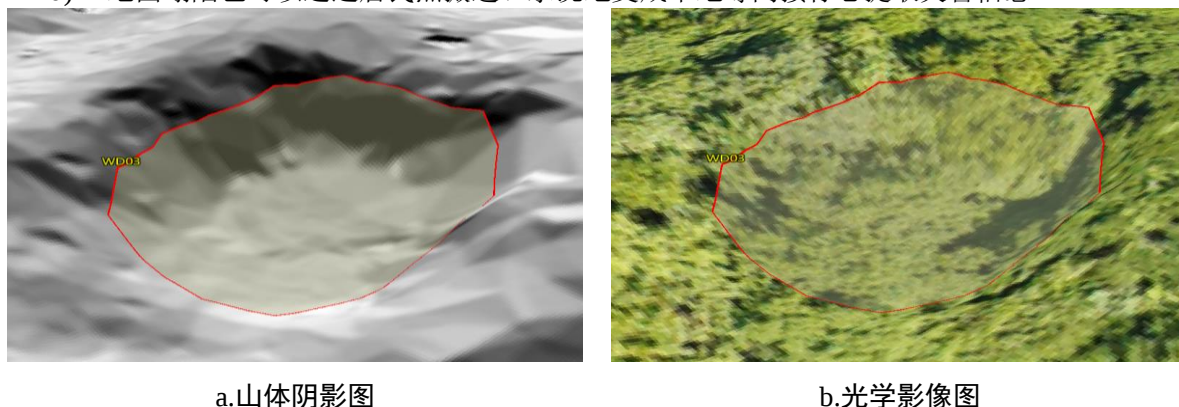


b.光学影像图

图B.9 泥石流扇形前缘堆积解译标志

B.5 地面塌陷

- a) 一般情况下，塌陷与地裂缝相伴而生。塌陷常呈圆形、长条形或不规则状，地裂缝总体呈直线、折线或蠕虫状；规模较小的塌陷坑多呈独立的环形或椭圆形斑点、斑块状，独立个体成群分布。较老的地面塌陷常形成洼地并积水，解译标志可参见图 B.10；
- b) 岩溶塌陷常与溶蚀洼地、坡立谷、盲谷、孤峰等伴生。矿产开采、地下工程等造成的塌陷以及与地震有关的部分塌陷，往往呈带状或串珠状分布，同时伴随同方向的地裂缝；地下水开采形成的塌陷一般以开采点为中心呈圆形分布，独立的岩溶塌陷，也呈圆形；
- c) 岩溶塌陷附近长满了灌丛、灌草，中间凹陷处往往生长蓼科植物，与周围耕地特征差异明显；山区采空塌陷坑，一般没有与其连接的道路，是区别于其他采矿活动的重要特征；
- d) 地面塌陷也可以通过居民点搬迁、水浇地变成旱地等间接标志提取灾害信息。

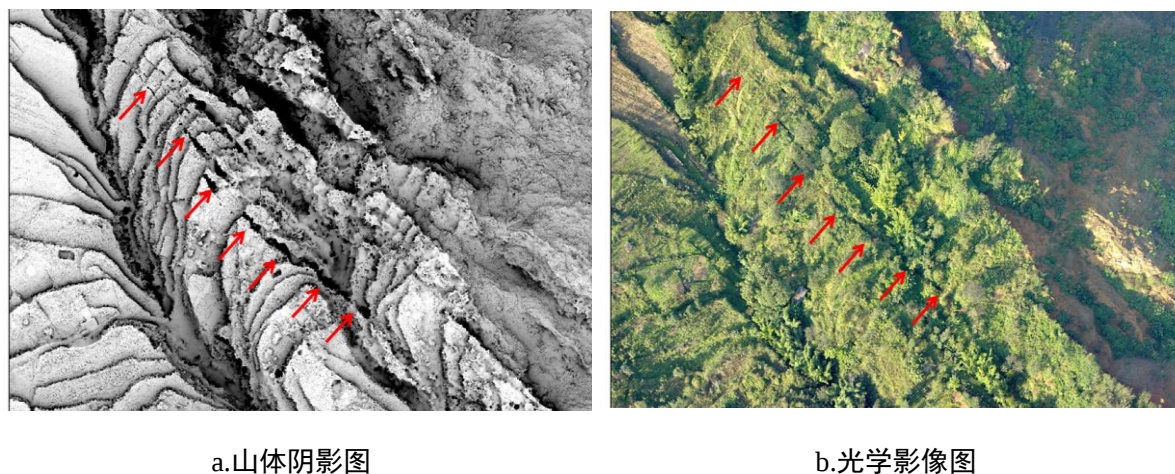


图B.10 地面塌陷洼地解译标志

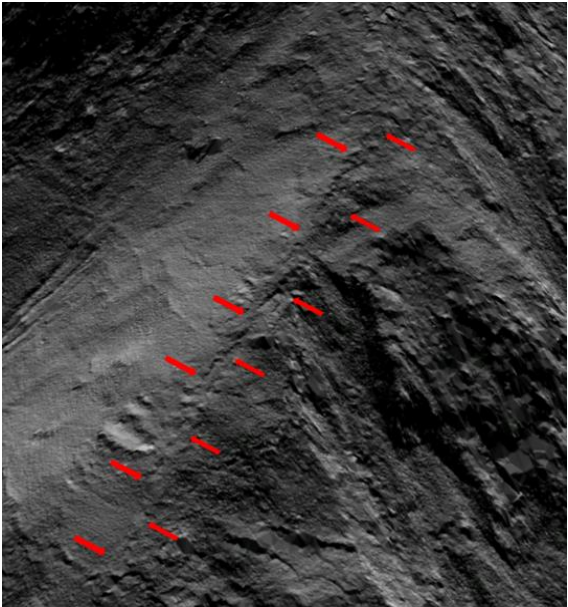
B.6 地裂缝

地裂缝影像特征如下：

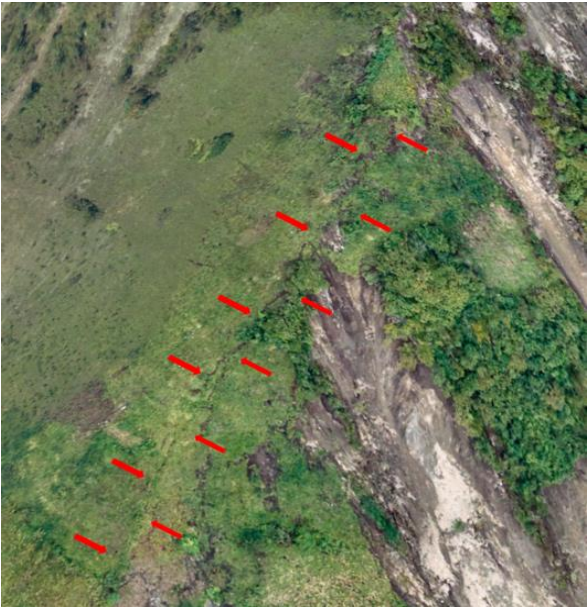
- a) 由于地裂缝处的地表和浅层土壤结构发生了变化，遥感影像上常形成色调纹理光谱差异。
- b) 山区规模较大的地裂缝呈条带状，规模较小的地裂缝，多呈折线状断续分布。
- c) 地裂缝与其他线状地物的区别：
 - 1) 地裂缝具有一定形态特征，直线型地裂缝，裂缝平直且延伸方向稳定；曲线型地裂缝呈弧形弯曲，大多数由工作面的一侧延伸至另一侧，具体影像特征参见图 B.11、图 B.12；
 - 2) 地裂缝的走向一般与地形地貌单元走向不一致，并可能切穿不同地形地貌单元；
 - 3) 其走向与农业耕作方向不一致，属非人工所为。



图B.11 曲线型地裂缝解译标志



a.山体阴影图



b.光学影像图

图B.12 直线型地裂缝解译标志

附录 C
(规范性)

机载 LiDAR 地质灾害遥感解译记录表

表C.1给出了机载LiDAR地质灾害遥感解译记录表。

表 C.1 地质灾害点机载 LiDAR 解译表

野外编号			解译编号		
灾害类型		尺寸/方量		坡向/坡度	
地理位置					
可解译程度		植被覆盖情况	☐ 稀疏 ☐ 较密集 ☐ 密集		
威胁对象	☐ 县城 ☐ 村镇 ☐ 居民点 ☐ 学校 ☐ 矿山 ☐ 工厂 ☐ 交通干线 其他_____				
光学影像：					
LiDAR 成果影像：					
灾害基本特征：					
解译人			解译日期		
验证人			验证日期		

附 录 D
(规范性)

机载 LiDAR 地质灾害调查野外查证记录表

表D.1～表D.5分别给出了各类地质灾害点野外查证记录表。

表D.1 滑坡灾害野外查证记录表

项目名称：图幅名：图幅编号：

野外编号		解译编号		地理位置	省	县（市）	乡	村	组
滑坡类型	☐ 推移式滑坡 ☐ 牵引式滑坡			滑体性质	☐ 岩质 ☐ 碎块石 ☐ 土质				
滑坡基本特征	地质环境	岩性	地层时代	岩层产状		结构面组			
				∠					
	斜坡结构类型	☐ 平缓层状斜坡 ☐ 顺向斜坡 ☐ 横向斜坡 ☐ 斜向斜坡 ☐ 反向斜坡 ☐ 特殊结构斜坡							
变形活动特征	现今变形迹象	☐ 拉张裂缝 ☐ 剪切裂缝 ☐ 地面隆起 ☐ 地面沉降 ☐ 剥、坠落 ☐ 树木歪斜 ☐ 建筑变形 ☐ 渗冒浑水							
	变形迹象描述								
	变形活动阶段	☐ 初始蠕变阶段 ☐ 加速变形阶段 ☐ 剧烈变形阶段 ☐ 破坏阶段 ☐ 休止阶段							
稳定性分析	诱发因素	☐ 降雨 ☐ 地震 ☐ 人工加载 ☐ 开挖坡脚 ☐ 坡脚冲刷 ☐ 坡脚浸润 ☐ 坡体切割 ☐ 风化 ☐ 卸荷 ☐ 动水压力 ☐ 爆破振动							
	目前稳定状况	☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定			发展趋势分析		☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定		
	潜在危害	威胁人数(人)				威胁财产(万元)			
		威胁对象	☐ 县城 ☐ 村镇 ☐ 居民点 ☐ 学校 ☐ 矿山 ☐ 工厂 ☐ 水库 ☐ 电站 ☐ 农田 ☐ 饮灌渠道 ☐ 森林 ☐ 公路 ☐ 大江大河 ☐ 铁路 ☐ 输电线路 ☐ 通讯设施 ☐ 国防设施 ☐ 其他：						
野外记录信息									

核查负责人：填表人：审核人：填表日期：年 月 日

调查单位：

表D.2 崩塌灾害野外查证记录表

项目名称:		图幅名:		图幅编号:		
野外编号		解译编号		地理位置	省 县(市) 乡 村 组	
崩塌类型	☐ 倾倒式 ☐ 滑移式 ☐ 鼓胀式 ☐ 拉裂式 ☐ 错断式					
崩塌基本特征	地层岩性			微地貌		
	地层时代	岩性	岩层产状	☐ 陡崖 ☐ 陡坡 ☐ 缓坡 ☐ 平台		
			∠			
	岩体结构					
	结构类型		厚度(m)	裂隙组数(组)	块度(长×宽×高) (m)	
	☐ 整体块状 ☐ 块裂 ☐ 碎裂 ☐ 散体					
	控制面结构					
	类型		产状	长度(m)	间距(m)	
	☐ 层理面 ☐ 片理或壁理面 ☐ 节理裂隙面 ☐ 覆盖层与基岩接触面 ☐ 层内错动带 ☐ 构造错动带 ☐ 断层		∠			
			∠			
		∠				
变形活动特征	现今变形破坏迹象	☐ 拉张裂缝 ☐ 剪切裂缝 ☐ 地面隆起 ☐ 地面沉降 ☐ 剥、坠落 ☐ 树木歪斜 ☐ 建筑变形 ☐ 冒渗混水				
	变形迹象描述					
稳定性分析	目前稳定状况	☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定		发展趋势分析	☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定	
	潜在危害	威胁人数(人)			威胁财产(万元)	
		险情等级	☐ 特大型 ☐ 大型 ☐ 中型 ☐ 小型			
		威胁对象	☐ 县城 ☐ 村镇 ☐ 居民点 ☐ 学校 ☐ 矿山 ☐ 工厂 ☐ 水库 ☐ 电站 ☐ 农田 ☐ 饮灌渠道 ☐ 森林 ☐ 公路 ☐ 大江大河 ☐ 铁路 ☐ 输电线路 ☐ 通讯设施 ☐ 国防设施 ☐ 其他:			
野外记录信息						

核查负责人: 填表人: 审核人: 填表日期: 年 月 日
 调查单位:

表D.3 泥石流灾害野外查证记录表

项目名称：图幅名：图幅编号：

野外编号		解译编号		地理位置	省	县(市)	乡	村	组
泥石流 基本特征	泥石流类型	☐ 泥流 ☐ 泥石流 ☐ 水石流 / ☐ 沟谷型 ☐ 山坡型							
	暴发频率(次/年)				冲出方量(m³)				
	水动力类型	☐ 暴雨 ☐ 冰川 ☐ 溃决 ☐ 地下水			泥砂补给途径		☐ 面蚀 ☐ 沟岸崩滑 ☐ 沟底再搬运		
	物源特征描述								
	沟口扇形地特征描述								
稳定性 分析	目前稳定状况	☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定			发展趋势分析		☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定		
	潜在危害	威胁人数(人)			威胁财产(万元)				
		险情等级	☐ 特大型 ☐ 大型 ☐ 中型 ☐ 小型						
		威胁对象	☐ 县城 ☐ 村镇 ☐ 居民点 ☐ 学校 ☐ 矿山 ☐ 工厂 ☐ 水库 ☐ 电站 ☐ 农田 ☐ 饮灌渠道 ☐ 森林 ☐ 公路 ☐ 大江大河 ☐ 铁路 ☐ 输电线路 ☐ 通讯设施 ☐ 国防设施 ☐ 其他：						
野外记录信息									

核查负责人：填表人：审核人：填表日期： 年 月 日

调查单位：

表D.4 地面塌陷灾害野外查证记录表

项目名称:		图幅名:		图幅编号:					
野外编号		解译编号		地理位置	省	县(市)	乡	村	组
地面塌陷 基本特征	塌陷类型	☐ 岩溶塌陷 ☐ 采空塌陷 ☐ 黄土塌陷 ☐ 其他 ()							
	塌陷岩性	☐ 岩石 ☐ 土体 ☐ 碎屑 ☐ 复合			规模等级	☐ 巨型 ☐ 特大 ☐ 大 ☐ 中 ☐ 小			
	单次事件最大塌陷坑直径 (m)				单次事件塌陷坑数量 (个)				
	单次事件塌陷坑群延伸长轴方向	单次事件塌陷坑群影响范围	塌陷坑最大深度	塌陷坑平均深度	塌陷坑最小深度	塌陷坑最大坑口面积	塌陷坑最大陷落体积		
	0~360°	m ²	m	m	m	m ²	m ³		
变形 活动 特征	活动状态	☐ 初始蠕变阶段 ☐ 加速变形阶段 ☐ 剧烈变形阶段 ☐ 破坏阶段 ☐ 休止阶段		诱发因素	☐ 重力 ☐ 降雨 ☐ 地震 ☐ 干旱 ☐ 振动 ☐ 加载 ☐ 水事活动 ☐ 地下工程施工 ☐ 矿产资源 开发 ☐ 其他 ()		塌陷地质模式	冒顶、土洞坍塌、沉陷、落水洞	
稳定性 分析	目前 稳定 状况	☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定			发展趋势分析		☐ 稳定 ☐ 较稳定 ☐ 不稳定		
	潜在危害	威胁人数(人)			威胁财产(万元)				
		险情等级	☐ 特大型 ☐ 大型 ☐ 中型 ☐ 小型						
		威胁对象	☐ 县城 ☐ 村镇 ☐ 居民点 ☐ 学校 ☐ 矿山 ☐ 工厂 ☐ 水库 ☐ 电站 ☐ 农田 ☐ 饮灌渠道 ☐ 森林 ☐ 公路 ☐ 大江大河 ☐ 铁路 ☐ 输电线路 ☐ 通讯设施 ☐ 国防设施 ☐ 其他:						
危害分析	地面塌陷导致人员伤亡、财产损失、地表水源枯竭、井巷突水、淹没等危害的历史记录;在塌陷影响范围内的人员、财产、设施等的可能损失及成灾模式分析,导致地表水源枯竭、地下水疏干、井巷突水等事故的可能性;								
野外记录 信息									

核查负责人: 填表人: 审核人: 填表日期: 年 月 日
调查单位:

表D.5 地裂缝灾害野外查证记录表

(与滑坡、崩塌、地面塌陷相伴生的地裂缝不再调查填表)

项目名称: 图幅名: 图幅编号:

野外编号		解译编号		地理位置	省 县(市) 乡 村 组					
地裂缝基本特征	裂缝类型			地裂缝扩展方式		□走向扩展延伸 □两侧扩展 □原位加剧 □其他 ()				
	裂缝岩性	□岩石 □土体 □碎屑 □复合		规模等级		□巨型 □特大 □大 □中 □小				
	单次事件裂缝延伸长度	m		单次事件裂缝数量		条				
	单次事件裂缝群延伸长轴方向	单次事件裂缝群影响范围	裂缝最大位错	裂缝平均位错	裂缝最小位错	裂缝最大宽度	最大单条裂缝影响范围			
	0~360°	m²	m	m	m	m²	m			
变形活动特征	活动状态	□初始蠕变阶段 □加速变形阶段 □剧烈变形阶段 □破坏阶段 □休止阶段		诱发因素		□重力□降雨□地震□干旱 □振动□加载□水事活动□ 地下工程施工□矿产资源 开发 □其他 ()		塌陷地质模式	冒顶、土洞坍塌、沉陷、落水洞	
	地裂缝发育部位	□盆山交界□断层沿线□地貌交界□ 漏斗边缘□古河道上方□黄土湿陷 区□基底起伏处□地下缺陷□其他 ()		伴生群缝排列方式	□平行□斜列 □环围 □杂乱无章		裂缝性质	□拉张□平移 □下错□逆冲 □其他 ()		
稳定性分析	目前稳定状况	□稳定 □较稳定 □不稳定		发展趋势分析		□稳定 □较稳定 □不稳定				
	潜在危害	威胁人数(人)			威胁财产(万元)					
		险情等级	□特大型 □大型 □中型 □小型							
		威胁对象	□县城 □村镇 □居民点 □学校 □矿山 □工厂 □水库 □电站 □农田 □饮灌渠道 □森林 □公路 □大江大河 □铁路 □输电线路 □通讯设施 □国防设施 □其他:							
危害分析	地裂缝导致人员伤亡、财产损失、地表水源枯竭,耕地破坏等危害的历史记录;在地裂缝、地表破裂影响范围内的人员、财产、设施等的可能损失及成灾模式分析;									
野外记录信息										

核查负责人: 填表人: 审核人: 填表日期: 年 月 日

调查单位:

附录 E (资料性) 成果报告编写提纲

第一章 序言

第一节 工程概况：包括项目背景、任务来源、政策法规等。

第二节 项目目标：包括以往调查程度、工作内容及目标。

第三节 执行标准。

第四节 已完成工作量：包括完成的工作量、取得的主要成果。

第二章 调查区基本情况及地质环境条件

第一节 区域环境地质背景：包括气象水文、地形地貌、地层岩性、地质构造、地震、水文地质、工程地质、人类工程经济活动等。

第二节 主要地质环境问题与地质灾害现状：工作区工程地质问题，地质灾害种类、分布、数量、规模与造成的危害及防治现状等。

第三章 机载 LiDAR 数据采集与处理

第一节 机载LiDAR数据获取技术流程：包括航摄规划、系统检校、LiDAR点云数据及光学影像数据获取方法及流程。

第二节 机载LiDAR数字地形产品构建：包括DSM、DEM、DOM制作。

第三节 质量检查：包括影像数据质量检查、POS数据质量检查、点云数据质量检查、DEM数据质量检查。

第四章 地质信息遥感识别与提取

第一节 解译环境构建：解译程序概述、三维解译环境构建、解译内容及精度要求、解译标志建立、解译成果分析内容要求。

第二节 孕灾地质环境识别结果与复核情况：包括地层岩性、地形地貌、断裂。

第三节 地质灾害识别与复核情况：包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等。

第四节 典型地质灾害描述等。

第五章 地质灾害发育特征与分布规律

第一节 地质灾害空间分布：包括与地形地貌、地层岩性、地质构造、河流水系、大气降雨等的关系。

第二节 地质灾害发育规律。

第六章 结论

第一节 调查工作的主要成果。

第二节 存在的问题、地质灾害防治工作建议。

参 考 文 献

- [1] 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
 - [2] DZ/T 0203-2014 航空遥感摄影技术规程
 - [3] DD 2011-03 遥感地质解译方法指南（1: 50000、1: 250000）
 - [4] DD 2015-01 地质灾害遥感调查技术规定
 - [5] GDEILB 007-2014 无人机数字航空摄影测量与遥感外业技术规范
 - [6] 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
 - [7] 《工程地质手册编委会》.工程地质手册（第五版）,中国建筑工业出版社,2018
-