

ICS 07.040

CCS A44

团 体 标 准

T/ZGDLXH XXX—2024

煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范

Code of practice for mining landslide monitoring in coal mine
by comprehensive remote sensing

(征求意见稿)

XXXX-xx-xx 发布

XXXX-xx-xx (年-月-日) 实施

中国地理学会 发布

目 次

目 次.....	II
前 言.....	IV
引 言.....	V
煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范.....	1
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和缩略语.....	1
4 目的与总体要求.....	3
4.1 目的任务.....	3
4.2 工作流程.....	3
4.3 总体要求.....	3
5 数据获取.....	3
5.1 SAR 数据.....	3
5.2 光学遥感数据.....	4
5.3 采掘活动资料.....	5
6 地表形变特征提取.....	5
6.1 InSAR 形变数据处理方法选择.....	5
6.2 D-InSAR 数据处理.....	5
6.3 Stacking-InSAR 数据处理.....	6
6.4 DS-InSAR 数据处理.....	6
6.5 多期光学影像亚像素偏移量追踪分析.....	6
6.6 InSAR 时序分析.....	7
6.7 形变聚集区提取.....	7
7 地形变化分析.....	7
7.1 光学遥感数据处理.....	7
7.2 解译内容.....	8
7.3 解译方法.....	8
7.4 解译要求.....	8

8 采动滑坡综合判识与监测	8
8.1 初步判识	8
8.2 隐患综合判识	8
8.3 隐患信息提取	9
8.4 采掘-变形联动分析	9
9 野外查证	9
9.1 查证目的	9
9.2 查证内容	10
9.3 资料准备	10
9.4 查证方法	10
9.5 查证要求	11
9.6 成果修正	12
表 1 采动滑坡灾害隐患要素类属性字段表	11
表 2 形变集中区要素类属性字段表	11

前 言

本标准依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本标准为首次制定。

考虑到本标准中的某些条款可能涉及专利，中国地理学会不负责对其任何该类专利的鉴别。

本标准由中国地理学会提出并归口。

本标准起草单位：西北大学，中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司，中煤航测遥感集团有限公司，西安科技大学，中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所，四川农业大学。

本标准起草人：邱海军，唐柄哲，杨冬冬，聂闻，强建华，黄栋，蒋先刚，刘子敬，皇甫文超，朱亚茹，刘雅，杨国庆，赵凯亮。

引 言

为规范煤矿采动滑坡遥感监测工作，统一工作方法与技术要求，确保遥感监测工作方案科学、技术先进、成果可靠、经济合理，结合煤矿采动滑坡特征，制定本文件。本文件在充分调研国内外煤矿采动滑坡遥感监测技术标准、应用效果的基础上，总结了煤矿采动滑坡遥感监测实践经验和科研成果，并广泛征求了有关单位和专家的意见。

煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范

1 范围

本文件确立了煤矿采动滑坡遥感监测的工作流程。规定了基础资料与数据获取、地表形变特征提取、灾害要素光学遥感解译、隐患综合判识与监测、野外查证等主要环节的技术要求。本文件适用于煤矿采动滑坡的综合遥感识别，其他类型地质灾害隐患识别与调查工作可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。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 27920.1—2011 数字航空摄影规范 第1部分：框幅式数字航空摄影

GB/T 27920.2—2012 数字航空摄影规范 第2部分：推扫式数字航空摄影

GB/T 44146—2024 基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范

CH/T 3003—2021 低空数字航空摄影测量内业规范

CH/T 3005—2021 低空数字航空摄影规范

CH/T 3007—2011 数字航空摄影测量 测图规范

CH/T 6006—2018 时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范

CH/T 9008.3—2010 基础地理信息数字成果 1: 500、1: 1000、1: 2000 数字正射影像

CH/T 9009.3—2010 基础地理信息数字成果 1: 5 000、1: 10 000、1: 25 000、1: 50 000、1: 100 000 数字正射影像图

DD2015—01 地质灾害遥感调查技术规定

DZ/T 0261—2014 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范（1: 50000）

DZ/T 0265—2014 遥感影像地图制作规范（1: 50000、1: 250000）

3 术语、定义和缩略语

GB/T 44146—2024 和 DD2015—01 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 44146—2024 和 DD2015—01 中的某些术语和定义。

3.1 采动滑坡 mining landslide

采动滑坡是指在地下开采影响下，由于上覆岩体变形破坏而引起的山体滑坡。

3.2 采掘活动参数 mining activity parameters

描述煤矿地下采掘活动的定量指标，包括工作面推进速度、采深、采厚、采动次数等。

3.3 滑坡隐患综合遥感识别 potential landslide identification with integrated remote sensing technology

综合应用 InSAR、光学遥感、无人机摄影测量等对地观测技术获取滑坡灾害隐患相关的孕灾环境、外部形态、地表形变、变形破坏迹象等信息，分析判识滑坡灾害隐患的位置、类型、活动范围和潜在风险的工作。

3.4 形变聚集区 deformation accumulation zone

地质体上发生移动、变形和破坏的区域。

3.5 孕灾地质环境 geological environment of geohazard

采动滑坡灾害形成和发育的地质环境条件。

3.6 合成孔径雷达 synthetic aperture radar; SAR

利用雷达与目标的相对运动，把尺寸较小真实天线孔径用信号处理方法合成为一个较大等效天线孔径的成像雷达。

3.7 合成孔径雷达干涉测量 interferometric synthetic aperture radar; InSAR

利用两幅经配准的 SAR 复图像共轭相乘得到的干涉相位以获取图像覆盖区域地面高程或地表形变信息的一种空间对地观测技术。

3.8 合成孔径雷达差分干涉测量 differential InSAR; D-InSAR

对覆盖同一地区的两期及以上 SAR 图像进行干涉处理，得到图像间同名像元点的相位差，并联合外部 DEM 等参考数据去除地形、平地相位贡献，以得到卫星雷达视线方向上距离变化信息的一种 InSAR 处理方法。

3.9 分布式散射体干涉合成孔径雷达 distributed scatterer InSAR; DS-InSAR

基于分布式散射体的时序 InSAR 技术，通过统计假设检验识别同质像元并优化相位，旨在提高地表形变监测点密度和测量精度的方法。

3.10 合成孔径雷达时序干涉测量 time series InSAR; TS-InSAR

同一颗或编队 SAR 卫星对同一地区以相同的成像模式、入射角和极化方式获取的多次重复观测 SAR 图像序列，进行干涉处理，通过时序分析，估计并削弱轨道误差、地形数据误差、大气延迟等影响，以得到长时序地表形变信息的一种 InSAR 处理方法。

3.11 偏移量追踪 offset tracking

基于 SAR 或光学影像强度图的互相关分析，提取地表在距离向和方位向二维位移场的方法，适用于大变形梯度导致常规 InSAR 失相干的场景。

3.12 野外查证 field verification

对综合遥感识别确定的疑似采动滑坡灾害隐患开展现场核查确认并反馈识别效果的工作。

3.13 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)

DOM: 数字正射影像 (Digital Orthophoto Map)

SAR: 合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar)

SLC: 单视复数影像 (Single Look Complex)

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

D-InSAR: 合成孔径雷达差分干涉测量 (Differential InSAR)

DS-InSAR: 分布式散射体干涉合成孔径雷达 (Distributed scatterer InSAR)

TS-InSAR: 合成孔径雷达时序干涉测量 (Time series InSAR)

4 目的与总体要求

4.1 目的任务

综合利用多源遥感技术及其观测数据,开展煤矿采动滑坡特征识别分析与综合监测,获取隐患的位置、类型、范围、形变特征、威胁对象等信息,支撑采动滑坡监测与风险管控。

4.2 工作流程

煤矿采动滑坡综合遥感监测的工作流程包括:基础资料与数据获取、地表形变特征提取、灾害要素光学遥感解译、野外查证。

4.3 总体要求

4.3.1 监测对象

煤矿采动滑坡隐患为主,兼顾地裂缝、地面塌陷等地质灾害隐患。

4.3.2 数据资料

以 SAR 卫星数据、光学遥感影像、DEM 为主要数据源,并获取煤矿采动滑坡区域降雨、植被、地形地貌、地层、地质构造、水文及水文地质数据,同时系统收集采掘活动相关资料。

4.3.3 监测步骤

a) 地表形变特征提取:利用星载 InSAR 识别发生地表形变的区域,确定形变部位、范围,获得滑坡平均形变速率和时间序列形变等信息。将采掘活动参数与 InSAR 形变监测结果进行时空关联分析,揭示变形与采掘进度的响应关系。

b) 地形变化分析:利用无人机摄影测量,获得重要煤矿采空区的多期高分辨率 DEM。结合光学遥感影像与 DEM 数据,解译采动滑坡地形变化,获取滑坡关键地形参数的演变特征。综合采动滑坡的地表形变和变形破坏迹象特征,以及其地形地貌、基础地质等孕灾背景条件,确认采动滑坡的空间分布,并分析其活动程度和潜在威胁对象。

c) 野外查证:基于煤矿采动滑坡综合遥感识别成果开展野外核查验证,分析并反馈隐患识别的正确性。

5 数据获取

5.1 SAR 数据

5.1.1 数据选择原则

选择的 SAR 数据应满足以下基本要求:

a) 具备良好的相干性,即波长一致、极化方式相同、入射角相近、脉冲重复频率一致。b) 能够生成高质量干涉图,准确反映地表形变。c) 以单视复数 (SLC) 格式为优选数据源。

5.1.2 波段选择

SAR 数据波长应根据监测区地表覆盖特征选择：

a) 植被覆盖较高或地形起伏较大的地区，应优先选择长波长、穿透能力强的数据，依次为 L 波段、C 波段。b) 裸露地表或植被覆盖较少的区域，可选择 C 波段或 X 波段数据。c) 对于需要高分辨率监测的采动滑坡单体，可采用 X 波段数据。

5.1.3 重访周期与数据量

a) 应选择重访周期较短的 SAR 卫星（如 Sentinel-1，重访周期 ≤ 12 天），以保证监测的时间分辨率。b) 区域采动滑坡普查宜选取存档数据累积量较多的数据源（如 Sentinel-1），累计数据量不宜少于 20 景。c) 针对单个煤矿或采动滑坡单体的精细监测，宜选用重访周期短、空间分辨率高的数据（如 TerraSAR-X、COSMO-SkyMed）。

5.1.4 入射角与轨道选择

a) SAR 数据入射角应遵循视线向与最大位移方向夹角最小原则，以最大化形变可观测度。b) 地形起伏较大的山区，应采用升轨和降轨数据联合观测，以减小叠掩、阴影等几何畸变的影响。c) 对于多工作面开采的矿区，宜同时获取升轨和降轨数据，提高形变场解算的完整性。

5.1.5 干涉像对基线控制

a) 干涉组合时应优先选择垂直基线小于 1/3 临界基线的像对。b) 时间基线应根据采掘推进速度确定，宜控制在采掘工作面推进半个工作面宽度的时间范围内。c) 对于 D-InSAR 分析，应至少选取一对形变前后的影像，并采用外部 DEM 去除地形相位。

5.1.6 数据覆盖与重叠度

a) 单景 SAR 影像应覆盖目标采动滑坡区域及周边至少 2 km 的缓冲区。b) 同轨多景拼接时，相邻两景影像的重叠度应大于影像长度的 10%。c) 跨轨数据拼接时，相邻影像的重叠度应大于影像幅宽的 10%。

5.1.7 辅助数据

应收集与 SAR 数据配准和地形校正所需的高精度 DEM（分辨率优于 30 m），推荐使用机载 LiDAR 或高精度光学立体像对生成的 DEM。

5.2 光学遥感数据

5.2.1 分辨率要求

a) 面向采动滑坡隐患普查，宜选用空间分辨率优于 10 m 的光学遥感数据（如 Sentinel-2、Landsat）。b) 面向典型采动滑坡区或单体的精细监测，应优先选用空间分辨率优于 1 m 的光学遥感数据（如 WorldView、GeoEye、Pleiades、国产高分系列）。c) 对于变形破坏迹象（裂缝、垮塌等）的识别，建议采用分辨率优于 0.5 m 的航空摄影数据。

5.2.2 时相要求

a) 光学遥感数据的获取时相应与 SAR 监测周期相匹配，宜不超过 1 年。b) 对于多期对比解译，应至少获取采掘活动前、中、后三个时相的影像。c) 局部地区数据难以满足时相要求时，可放宽至 2 年，但需在报告中说明局限性。

5.2.3 数据获取方式

a) 大区域煤矿滑坡监测以星载光学遥感数据为主。b) 针对典型区和采动滑坡单体的重点监测，应根据解译比例尺要求，采用航空摄影测量方式获取高精度 DOM 和 DEM。航空摄影技术要求应符合 GB/T 27920.1—2011、GB/T 27920.2—2012 和 CH/T 3005—2021 的规定。

5.2.4 影像质量要求

a) 光学遥感数据的云、雪、阴影覆盖率不宜大于 5%，且不得覆盖采动滑坡隐患关键区域。b) 影像应层次清晰、色调均匀、反差适中，无明显条带、噪声或坏线。c) 对于多期影像，应确保辐射一致性和几何配准精度（配准误差优于 1 个像素）。

5.2.5 多期数据获取

a) 针对采动滑坡集中发育的矿区或具有重大风险的采动滑坡隐患,应获取不少于 3 期(含 3 期)的光学遥感数据,以开展时间序列对比解译。b) 多期数据宜选择相同的传感器和相近的成像季节,以减少植被和光照差异带来的解译误差。

5.2.6 数据预处理

光学遥感数据应经过辐射定标、大气校正、正射校正和融合处理,生成标准 DOM 产品。DOM 成果应根据比例尺分别满足 CH/T 9008.3—2010 或 CH/T 9009.3—2010 的要求。

5.3 采掘活动资料

5.3.1 为准确解译遥感监测数据所反映的采动滑坡变形特征,应系统收集监测区煤矿采掘活动相关资料,作为遥感数据解译与综合分析的基础依据。该类资料不属于遥感监测数据,但应作为变形机理分析和隐患判识的必要输入。

5.3.2 资料内容应包括但不限于:

a) 工作面布置与采掘进度:采掘工程平面图、工作面推进速度、回采起止时间。b) 采空区参数:采空区范围、开采厚度、采深、采动次数(单层/重复采动)。c) 采煤方法与顶板管理:采煤方法(如长壁垮落法、充填开采等)、顶板管理方式。d) 覆岩结构特征:关键层位置、岩性组合(如可获得)。e) 井工矿辅助资料:井下矿压监测数据(如有)、地表移动观测站数据(如有)。

5.3.3 资料用途:

a) 变形时空演化特征的机理分析。b) InSAR 形变信号与采动沉陷、滑坡变形的区分解译。c) 预警阈值动态调整的参考条件。d) 采动滑坡隐患风险等级判定的辅助依据。

5.3.4 数据获取与保密:

a) 监测实施单位应与煤矿企业建立采掘资料定期交换机制。b) 涉及井下具体坐标、采掘进度的敏感信息,可在监测单位内部以脱敏后形式使用,对外发布的监测报告仅表述趋势性信息。c) 确实无法获取详细资料的,应在监测报告中说明局限性,并基于时序 InSAR 形变特征间接推断采动影响程度。

6 地表形变特征提取

6.1 InSAR 形变数据处理方法选择

6.1.1 根据应用目标与可用的 SAR 数据,在平衡有效测量信息、计算能力与处理效率、测量精度与覆盖完整性的基础上确定 InSAR 形变数据处理方法。

6.1.2 煤矿采动滑坡监测应根据 SAR 数据情况和地表变形特征选择合适的方法:

a) 对于变形梯度较小的区域,在 SAR 数据量不足时优先选择 D-InSAR 方法提取相对变形量,在 SAR 数据量丰富时选择时序相位叠加技术(Stacking-InSAR)提取形变速率,表征工作区地表形变分布状况。b) 对于变形梯度较大(如单日形变超过厘米级)的区域,应优先采用偏移量追踪(Offset Tracking);必要时可结合分布式散射体 InSAR(DS-InSAR)等技术提高监测点密度;多期光学影像的亚像素偏移量追踪可作为 InSAR 的补充,用于大变形区域的监测。

6.2 D-InSAR 数据处理

6.2.1 D-InSAR 方法适用于采动滑坡监测中具备两期或少量 SAR 数据、地表变形梯度适中的场景,尤其适用于:

a) 采动初期地表形变快速识别。b) 单次强降雨或采掘扰动后的突发变形评估。c) 多源 SAR 数据交叉验证。

6.2.2 处理流程为：数据预处理、数据配准、干涉相位和相干系数计算、差分干涉计算、差分干涉相位滤波、相位解缠、趋势相位去除、大气延迟相位校正、视向（LOS）形变计算、地理编码。具体处理流程和方法按照 GB/T 44146—2024 相关技术要求执行。

6.2.3 对于煤矿采动区变形梯度较大的区域，应优先选择短时空基线像对，并注意以下事项：

a) 垂直基线宜控制在 1/5 临界基线以内。b) 时间基线不宜超过采掘工作面推进半个工作面宽度所需的时间。c) 对解缠误差进行多级质量评估，必要时进行人工编辑修正。

6.3 Stacking-InSAR 数据处理

6.3.1 Stacking-InSAR 方法适用于具备多期 SAR 数据、需要获取区域地表年平均形变速率的场景，尤其适用于：

a) 大范围采动滑坡隐患普查。b) 采动沉陷盆地边界勾勒。c) 多工作面采动叠加效应的初步评估。

6.3.2 处理流程为：参考影像选取、干涉像对组合、差分干涉图集生成、相位叠加（Stacking）处理、相位叠加结果地理编码。具体处理流程和方法按照 GB/T 44146—2024 相关技术要求执行。

6.3.3 干涉像对组合应遵循以下原则：

a) 优先选择短时空基线像对，剔除受严重大气延迟或失相干影响的像对。b) 像对数量不宜少于 15 对。c) 时间跨度应至少覆盖一个完整的采掘循环周期（如一个工作面的回采周期）。

6.4 DS-InSAR 数据处理

6.4.1 散射体 InSAR（Distributed Scatterer InSAR，DS-InSAR）方法适用于植被覆盖区或部分失相干区域的地表形变监测，尤其适用于：

a) 黄土覆盖的煤矿采动滑坡区。b) 季节性植被影响的采动沉陷区。c) 常规 PS-InSAR 点密度不足的区域。

数据源应优先选用重访周期短、存档数据量大的 SAR 数据（如 Sentinel-1），数据量宜不少于 20 景；同一监测区宜同时获取升轨和降轨数据。

6.4.2 处理流程

a) 数据预处理：SLC 影像配准、干涉像对组合。b) 同质点识别：采用统计假设检验（如 KS 检验、Anderson-Darling 检验）识别统计同质像元。c) 相位优化：基于特征值分解或最大似然估计，优化同质子区相位。d) 干涉相位生成：对优化后的相位生成干涉图。e) 时序分析：采用 PS-InSAR 类似方法（如 StaMPS、SNAP）进行时序形变解算。f) 地理编码与成果输出。

6.4.3 注意事项或原则

a) 同质像元识别窗口大小宜为 15×15 像素至 31×31 像素，显著性水平 α 宜取 0.05，同质样本数下限不宜少于 20 个像元。b) 应采用相位稳定性指标筛选高质量散射体，并与相邻 PS 点形变速率进行交叉验证。c) 对低相干区应注明监测不确定性。d) 成果应标明 DS-InSAR 方法及参数设置。

6.5 多期光学影像亚像素偏移量追踪分析

6.5.1 多期光学影像亚像素偏移量追踪方法适用于：

a) InSAR 失相干严重、且需要获取二维/三维形变场的采动滑坡区。b) 历史滑坡变形回溯（利用多期光学存档影像）。c) 超大变形区域（单次 > 10 m）的补充监测。

数据源应优先选用高分辨率光学影像（如 WorldView、GeoEye、Pleiades、SPOT、Landsat、Sentinel-2），空间分辨率宜优于 5 m；两期影像应具有相近的太阳高度角、观测角度和时相（季节），云覆盖率均宜小于 10%。

6.5.2 处理流程

a) 数据预处理：辐射定标、大气校正、正射校正、配准。b) 主从影像选择：以质量较好、时相居中的影像为主影像。c) 亚像素偏移量计算：可采用频域互相关（如 COSI-Corr）、光流法（如 TV-L1）、特征匹配等方法。d) 偏移量滤波：采用中值滤波或高斯滤波去除异常值。e) 位移场转换为地表形变：结合 DEM 进行投影转换。f) 成果输出与精度评估。

6.5.3 注意事项或原则

a) 互相关计算窗口大小宜根据影像分辨率和地表特征尺度确定，推荐 32×32 至 128×128 像素；步长宜为窗口大小的 $1/4$ 至 $1/2$ ，信噪比阈值宜大于 0.7。b) 亚像素偏移量追踪的水平位移监测精度宜优于 0.2~0.5 像素；与 InSAR 结果重叠区域应进行交叉验证，相对偏差不宜超过 20%；无 InSAR 验证的大变形区域应采用实测点（GNSS 等）进行精度评估。c) 本方法适用于裸露地表或低植被覆盖区域；高山阴影、水体、积雪覆盖区域应标记为监测盲区；强地形起伏区（采动陡坎发育区）应结合 DEM 进行阴影校正。

6.6 InSAR 时序分析

处理流程为：时序 InSAR 数据预处理、相干目标识别、相干目标时序分析、形变序列结果地理编码。具体处理流程和方法按照 CH/T 6006—2018 相关技术要求执行。

6.7 形变聚集区提取

6.7.1 无效区域剔除

综合利用 SAR 卫星轨道信息、DEM、SAR 相干图与强度图、光学影像等数据剔除水域、阴影、叠掩等无效观测信息，生成有效观测区模板，一般以 *shp 文件表示。

6.7.2 地表形变结果生成

利用有效观测区模板对地表形变结果进行掩膜处理，得到剔除无效观测的形变结果，以矢量文件或图像文件表示。Stacking-InSAR 形变速率结果以图像表示，时序 InSAR 形变结果以矢量文件表示，属性表中应包含地表形变速率，形变序列及其他过程质量控制信息。矢量文件和图像文件按照地表形变值分级设色表示。

6.7.3 形变聚集区探测

通过交互解译或热点图、形变梯度探测、深度学习等方法探测并识别形变聚集区。根据形变聚集区背景条件（斜坡、平地等自然背景或人为影响因素）判断隐患类型与产生原因。对于与采掘工作面推进方向、速度呈时空相关性的形变聚集区，应重点标记并纳入采动滑坡隐患重点排查范围。

6.7.4 形变信息提取

基于生成的地表形变结果和形变聚集区文件，通过空间叠加分析，计算形变聚集区的形变速率等信息，并对 SAR 数据源、监测周期、处理方法、升/降轨道等信息进行标记。

7 地形变化分析

7.1 光学遥感数据处理

7.1.1 基于光学遥感数据，通过计算机数字图像处理，提高光学遥感图像质量，制作工作区 DOM，最大限度地反映采动滑坡灾害隐患及其孕灾背景信息。

7.1.2 卫星光学遥感数据的处理流程和方法按照 DZ/T0265—2014 相关技术要求执行，航空光学遥感数据处理流程和方法按照 CH/T 3003—2021、CH/T 3007—2011 相关技术要求执行。

7.1.3 制作获取的 DOM 成果根据比例尺不同应分别满足 CH/T 9008.3—2010、CH/T 9009.3—2010 所规定的成果要求。

7.2 解译内容

7.2.1 解译采动滑坡相关的变形破坏迹象。

7.2.2 解译形变集中区和变形破坏迹象分布的山体及周边区域的采动滑坡和孕灾地质背景。孕灾地质背景解译包含采煤活动、地形地貌、地质构造、地层岩性、土地利用等要素，具体内容参照 DD2015—01 执行。

7.3 解译方法

7.3.1 解译应在二维与三维结合的平台环境下，在原始分辨率影像上以交互解译为主，计算机信息提取为辅的方式进行。

7.3.2 变形破坏迹象解译侧重与采动滑坡孕育、发生、发展有关的地表异常及其变化，包括地表裂缝、坡面溜滑、岩体崩落、局部坍塌等。

7.3.3 采动滑坡典型变形破坏迹象的遥感影像特征：

a) 斜坡体地表破碎、起伏不平，斜坡表面有不均匀陷落的局部平台和陡坎。b) 斜坡体上可见地表裂缝，色调、纹理与周围地物差异显著，有时呈环状或羽状分布，特别是土质滑坡，地表裂缝明显，裂口大。c) 斜坡体上可见明显的局部滑动、垮塌，边界清晰，形成的堆积体色调浅亮，纹理粗糙，无植被发育，周边伴生地表裂缝。d) 斜坡体上建筑物可见破坏受损特征，如道路错断偏移等，在高分辨率航空遥感影像上可见公路、院场地面的开裂。e) 斜坡体上可见与采动裂隙贯通的拉张裂缝，裂缝多呈台阶状或弧形分布，延伸方向与工作面推进方向具有相关性。f) 斜坡体前缘可见因采动水平牵引力导致的挤压鼓胀或局部滑移，堆积体呈现“外凸”形态。

7.3.4 采动滑坡灾害解译在形变集中区和变形破坏迹象分布的地质体及周边区域开展，具体解译方法按照 DD 2015-01 执行。

7.3.5 孕灾地质背景解译，若前期基础地质工作程度较高，应充分利用已有的资料，对孕灾地质背景进行必要的补充、修正；如果基础地质工作程度较低或无相关孕灾背景资料，则应开展较为详细的孕灾地质背景解译。土地利用、人类工程活动解译应采用多期次光学遥感影像对比解译相关地物的动态变化。

7.4 解译要求

7.4.1 面向普查识别或者解译精度低于 1:10000 时，变形破坏迹象解译仅勾绘变形破坏迹象所在地质体边界；面向详细识别或者解译精度不低于 1:10000 时，变形破坏迹象解译应勾绘地表裂缝、坡面溜滑、岩体崩落、局部坍塌等地物的边界。

7.4.2 采动滑坡灾害及变形破坏迹象在原始分辨率影像上解译，应以线、面要素方式进行勾绘。

8 采动滑坡综合判识与监测

8.1 初步判识

基于地表形变特征提取和灾害要素遥感解译成果，结合孕灾地质背景条件，综合分析形变集中区或变形破坏迹象所在地质体是否具备形成滑坡、地面塌陷地质灾害的条件，若具备则判断为采动滑坡灾害隐患，并提取其地理位置、类型、范围、运动方向、活动程度、威胁对象等属性。

8.2 隐患综合判识

8.2.1 综合地表形变特征提取的形变集中区，灾害要素遥感解译获取的变形破坏迹象和孕灾地质要素，分析形变集中区形变特征、变形破坏迹象发育程度、两者之间的时空关系以及孕灾地质背景

条件，结合工作区采动滑坡灾害分布规律和发育条件，判断所在区域是否具备形成采动滑坡灾害的条件。

8.2.2 判识依据

孕灾地质背景：形变集中区或变形破坏迹象所在斜坡及周边地区的孕灾地质背景符合工作区滑坡、崩塌的形成发育条件。

综合遥感特征：（1）斜坡体上分布有形变集中区，形变集中区边界基本不超过斜坡边界，分布于斜坡前缘、中部、后缘或者整体。（2）斜坡体上分布有滑坡相关变形破坏迹象，空间展布和动态发展与形变集中区具有时空相关性，或在多时序解译中呈现发展趋势。（3）采掘-变形联动特征：形变集中区的时空演化与采掘工作面推进具有明确的相关性，如形变启动时间与工作面回采起止时间对应、形变加速期与采掘高峰期吻合、形变中心与采空区位置具有空间对应关系等。

8.2.3 若地质体具备形成采动滑坡灾害的条件，分析其物质运移方式、影响范围和可能威胁对象。尤其应重视高位远程和链式灾害及其影响范围和威胁对象的分析。

8.2.4 具有潜在威胁对象的地质体判断为采动滑坡灾害隐患，绘制采动滑坡灾害可能触发边界作为采动滑坡灾害隐患图斑。

8.2.5 未被识别为采动滑坡灾害隐患的地质体，删除其上的形变集中区提取和变形破坏迹象解译成果。

8.3 隐患信息提取

8.3.1 采动滑坡灾害隐患图斑应提取地理位置、高程、类型、是否新增、面积、运动方向、有无形变、光学遥感数据源、威胁对象等信息。

8.3.2 形变集中区图斑应提取面积、所处部位、雷达数据源、监测时间、平均形变速率、形变速率极值等信息。

8.3.3 变形破坏迹象图斑应提取类型、面积、长度，时相等信息。

8.3.4 信息提取基于光学遥感数据、地表形变 InSAR 监测成果、地形数据和采动滑坡灾害调查成果等，借助 GIS 交互量测、空间分析计算、编辑输入等方式实现。

8.3.5 提取过程中应填写采动滑坡灾害隐患综合遥感识别记录表，记录表格式参照附录 A 执行。

8.4 采掘-变形联动分析

8.4.1 对于已识别为采动滑坡隐患的图斑，应开展采掘-变形联动分析，包括但不限于：

- a) 形变时序与采掘进度的相关性分析（定性或定量）。
- b) 形变速率变化与工作面推进速度变化的关系分析。
- c) 多煤层重复采动区的形变累积效应分析。
- d) 采掘活动暂停或结束后形变趋缓或持续发展的判断。

8.4.2 联动分析结果应作为滑坡稳定性评价和预警阈值动态调整的依据。

9 野外查证

9.1 查证目的

9.1.1 调查所识别采动滑坡隐患的孕灾环境、发育特征、诱发因素、承灾体、发展趋势等情况，确定采动滑坡的活动程度。

9.1.2 验证采动滑坡隐患边界勾绘的准确性。

9.1.3 修改完善采动滑坡隐患识别成果。

9.2 查证内容

9.2.1 孕灾环境调查

调查采动滑坡发育形成的背景环境条件，包括地形地貌、地质构造、工程地质岩组、水文地质、气象气候、植被覆盖、土地利用等。

9.2.2 发育特征调查

采动滑坡隐患的边界形态、坡面形态、堆积体分布、现今破坏变形迹象及其出现时间等，判断采动滑坡灾害隐患的活动性。

9.2.3 诱发因素调查

调查触发采动滑坡灾害形成的可能影响因素，包括自然因素（降雨、地震、河流冲蚀等）和采动因素（采掘进度、采空区垮落、重复采动等）。采动因素的调查应结合第 5 章收集的采掘资料进行现场核对。

9.2.4 承灾体调查

调查采动滑坡灾害隐患影响范围内危害对象的类型、数量和特征属性，如人员的结构特征、房屋的建筑类型等，定性评价采动滑坡灾害隐患的危害性。

9.2.5 隐患识别

正确性判定根据采动滑坡灾害隐患野外调查情况，判断综合遥感识别成果的正确性。

9.3 资料准备

野外查证前应准备采动滑坡综合遥感调查记录表、采动滑坡综合遥感识别成果图件及野外待填写的采动滑坡灾害隐患野外查证记录表（附录 B）。

9.4 查证方法

9.4.1 野外查证点选择应重点考虑以下内容：

a) 存疑采动滑坡隐患点。b) 新增采动滑坡隐患点。c) 与隐患库信息差异显著的已知隐患点。d) 规模大或具有重大威胁的采动滑坡隐患。e) 综合遥感特征突出的采动滑坡隐患点。

9.4.2 野外查证应准备必要的仪器工具，包括：GPS、测距仪、卷尺、罗盘、数码照相机、摄像机、无人机摄影测量系统等。野外调查采用目视观测与现场量测方式，针对采动滑坡单体，通过现场徒步穿越方式，沿路观察、记录描述，记录方式包括相机拍摄、无人机航空摄影、现场文字记录等。

9.4.3 现场照片采集应获取采动滑坡点整体及周边区域全景照片不低于 1 张，局部特征位置照片不低于 3 张，局部照片应详细记录拍摄位置、拍摄时间、变形特征等信息。

9.4.4 隐患发育特征调查中，应重视形变集中区和隐患解译图斑范围内变形破坏迹象的调查，以便与隐患综合遥感识别成果进行对比分析。

9.4.5 充分重视对调查点当地群众的访问复核，将访问信息与实地核查的信息相互印证，以保证调查精度。访问内容包括调查点处是否为己发采动滑坡灾害及灾害规模、危害、可能诱发因素等信息；各类地表变形特征的发育历史，特别是难以到达区域内裂缝和垮塌的类型、规模、趋势等特征；现场调查未见明显变形特征点的灾害发育情况。

9.4.6 孕灾地质背景、诱发因素及采动滑坡灾害隐患活动性、危害性和风险评价方法参照 DZ/T 0261—2014 执行。

9.4.7 隐患识别正确的判断依据应同时满足以下条件：a) 野外调查识别的采动滑坡灾害隐患范围内确认发育采动滑坡灾害，且灾害范围大部分落在隐患范围内。b) 具有明确的承灾体。

9.4.8 采动滑坡灾害隐患综合遥感识别空间数据集采用 ArcGIS 进行组织，数据集中包含命名为“采动滑坡灾害隐患”和“形变集中区”的 2 个要素类。要素类的字段参照《地质灾害隐患综合遥

感识别技术规程》设置，见表 1、表 2。

表 1 采动滑坡灾害隐患要素类属性字段表

序号	字段名称	字段编码	字符类型	长度	是否必填	备注
1	隐患编码	YHBM	TEXT	10	是	
2	隐患类型	YHLX	TEXT	10	是	
3	是否新增	SFXZ	TEXT		是	
4	经度	JD	TEXT	10	是	
5	纬度	WD	TEXT	20	是	
6	前缘高程	QYGC	Int		是	
7	后缘高程	HYGC	Int		是	
8	面积	MJ	Double		是	
9	行政单元	XZDY	TEXT	30	否	
10	煤矿名称	MKMC	TEXT	30	是	
11	威胁对象	WXDX	TEXT	50	是	
12	光学数据源	GXSJ	TEXT	20	是	
13	光学时相	GXSX	TEXT	30	是	
14	光学特征描述	GXMS	TEXT	300	否	
15	雷达数据源	LDSJ	TEXT	20	是	
16	雷达时相	LDSX	TEXT	30	是	
17	形变特征描述	XBMS	TEXT	300	否	

表 2 形变集中区要素类属性字段表

序号	字段名称	字段编码	字符类型	长度	是否必填	备注
1	形变编码	XBBM	TEXT	10	是	
2	所属隐患	SSYH	TEXT	10	是	
3	形变面积	XBMJ	Double	8	是	
4	所处部位	SCBW	TEXT	20	是	
5	平均形变速率	PJSL	Double	8	是	
6	形变速率极值	JZSL	Double	8	是	
7	备注	BZ	TEXT	300	否	

9.5 查证要求

9.5.1 野外查证点总数应不低于隐患识别数目的 40%，新增采动滑坡灾害隐患识别点的查证率应不低于 60%。

9.5.2 针对每处查证点应填写采动滑坡灾害隐患遥感识别野外查证记录表，表格内容及填写方式按照附录 B。

9.6 成果修正

野外查证后结束应按照查证结果修改初步识别成果，包括隐患类型、范围、威胁对象和风险等级等，使识别成果更加客观、准确。

附录 A
(规范性)

采动滑坡隐患综合遥感识别监测记录表

隐患 识别编码		隐患类型	面积	行政位置	煤矿名称	经纬度	前缘高程	后缘高程
孕灾背景								
采掘活动 背景	工作面 编号	工作面名称	采深 (m)	采厚 (m)	采动次数	推进速度 (m/月)	采煤方法	数据来源
	1							
	2							
	3							
隐患综合遥 感特征	地表形变特征				形态特征			
	雷达数 据源		升/降轨		光学数据源		时相	
	监测周 期		有无形变					
	形变特征图				光学特征图			
	形变特征描述				光学特征描述			
威胁对象								
识别结果	新增隐患点 <input type="checkbox"/> 已知采动滑坡灾害点 <input type="checkbox"/> ，已知点编号或名称：							
识别人：	识别时间：			检查人：		检查时间：		

附录 B
(规范性)

采动滑坡隐患综合遥感监测野外查证记录表

隐患识别编码		野外查证编码	
坐标		高程	
隐患识别类型		隐患查证类型	
风险等级初判		查证风险等级	
采动滑坡发育特征			
形变特征			
孕灾环境特征			
主要诱发因素			
发育趋势			
主要威胁对象			
现场照片			
验证结果	<input type="checkbox"/> 正确 <input type="checkbox"/> 不正确		
	备注		
核查人		核查时间	
检查人		检查时间	
核查单位:			

附录 C

(资料性)

采动滑坡隐患综合遥感监测成果报告提纲

第一章 绪论

第一节 任务来源及目标任务

第二节 工作部署与完成情况

第三节 取得的主要成果

第二章 区域地质环境背景

第一节 自然地理

第二节 地层岩组

第三节 地质构造

第四节 新构造运动与地震

第五节 采煤活动

第六节 地质灾害

第三章 技术路线与工作方法

第一节 技术路线

第二节 工作方法

1、资料收集与分析

论述收集的基础地理数据、遥感数据、孕灾背景数据以及煤矿采掘活动资料（包括采掘工程平面图、工作面推进速度、采空区参数、采煤方法与顶板管理、覆岩结构特征等）。对资料的来源、时相、完整性进行说明。若部分采掘资料无法获取，应说明局限性及替代分析方法。

2、地表形变 InSAR 监测

论述采用的雷达遥感数据源、InSAR 数据处理算法、工作流程和监测成果等。

3、光学遥感解译

论述采用的光学遥感数据源、主要解译内容和建立的解译标志等。

4、采掘-变形联动分析

论述采掘活动参数（工作面推进位置、速度、采深、采厚、采动次数等）与地表形变结果进行时空关联分析，包括分析方法（定性或定量）、关键发现和结论。

5、采动滑坡灾害隐患判识与监测

论述采动滑坡灾害隐患判识与监测的依据。

6、野外查证与分析

论述野外查证点的数量、比例、选点分布、验证精度，对识别错误的点进行原因分析。

7、成果编制

第四章 工作区采动滑坡灾害隐患综合遥感识别成果

第一节 概述

论述工作区采动滑坡灾害隐患的总体情况，包括数量、空间分布、类型、遥感判识依据、新增情况等。

第二节 分区/分类型识别成果

对不同地区、类型的采动滑坡灾害隐患的特征进行分类说明。

第三节 隐患地质环境背景分析

通过对不同类型采动滑坡灾害隐患的地质环境背景要素分析，总结不同环境下采动滑坡灾害隐患的识别情况。

第五章 典型采动滑坡灾害隐患综合遥感分析与评价

综合多源遥感特征、采掘-变形联动分析成果、野外查证成果、基础资料等，对工作区典型（区段）中的采动滑坡灾害隐患进行综合论述，重点说明其变形演化与采掘活动的响应关系、发育过程、威胁对象和风险程度，提出防治建议。

第六章 结论与建议

第一节 结论

第二节 建议

参考文献

- [1] GB/T 27920.1—2011 数字航空摄影规范 第1部分:框幅式数字航空摄影
- [2] GB/T 27920.2—2012 数字航空摄影规范 第2部分:推扫式数字航空摄影
- [3] GB/T 44146—2024 基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范
- [4] CH/T 3003—2021 低空数字航空摄影测量内业规范
- [5] CH/T 3005—2021 低空数字航空摄影规范
- [6] CH/T 3007—2011 数字航空摄影测量 测图规范
- [7] CH/T 6006—2018 时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范
- [8] CH/T 9008.3—2010 基础地理信息数字成果 1: 500、1: 1000、1: 2000 数字正射影像
- [9] CH/T 9009.3—2010 基础地理信息数字成果 1: 5 000、1: 10 000、1: 25 000、1: 50 000、1: 100 000 数字正射影像图
- [10] DD2015—01 地质灾害遥感调查技术规定
- [11] DZ/T 0261—2014 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范 (1: 50000)
- [12] DZ/T 0265—2014 遥感影像地图制作规范(1: 50000、1: 250000)

ICS号 07.040

中国标准文献分类号 A44

关键词: 采动滑坡、遥感监测、InSAR、煤矿
