

中国地理学会团体标准

《煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

西北大学

2026-05

# 目 次

一、标准背景、目的意义.....	1
1.1 标准背景.....	1
1.2 目的意义.....	2
二、工作简况 .....	3
2.1 任务来源.....	3
2.2 协作单位.....	3
2.3 主要工作过程.....	4
2.4 主要起草人及其所承担的工作.....	5
三、确定团体标准主要内容，包括技术指标、仪器设备、性能要求、实验方法、检验规则等的论据（包括试验、统计数据），修订团体标准时，应增加新、旧团体标准水平的对比.....	6
3.1 标准主要内容.....	6
3.2 确定主要内容的论据.....	7
四、主要试验（验证）的准确度、可靠性、稳定性分析和综述报告等.....	11
4.1 试验验证概述.....	11
4.2 主要试验验证内容.....	12
4.3 综合评述.....	12
五、与国内同类标准、国际标准和国外先进标准情况及水平对比.....	13
5.1 国内同类标准情况.....	13
5.2 国际标准与国外先进标准现状.....	14
5.3 水平对比与创新.....	14
六、重大分歧意见的处理经过和依据.....	15
6.1 意见收集与登记机制.....	15
6.2 主要分歧可能性分析与处理预案.....	15
6.3 意见处理程序.....	16
七、贯彻团体标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）.....	16
7.1 组织措施.....	16
7.2 技术措施.....	16
7.3 过渡办法.....	17
八、标准涉及的相关知识产权说明.....	17
九、其他应予说明的事项.....	18

# 一、标准背景、目的意义

## 1.1 标准背景

煤炭是我国基础性能源体系中不可替代的重要组成部分。我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，仅 2025 年全国原煤产量就高达 48.3 亿吨，占当年世界煤炭总产量的 54.6%。受煤层形成所需特殊地质条件制约，目前我国约 85% 的煤炭需采用地下开采方式获取。地下采煤活动形成大面积采空区，导致上覆岩层应力重分布和地表变形，由此引发的环境破坏、地面塌陷、地表沉降及次生地质灾害是煤炭开采过程中亟须解决的现实问题。在各类采动次生地质灾害中，采动滑坡是最为突出的一类。不同于由降雨或地震等单一诱因主导的自然滑坡，煤矿采动滑坡的形成更为复杂。它是采空区形成后地层应力变化、斜坡岩土体力学性质劣化、外界事件（降雨、地震、人为扰动）激发等多种因素综合作用的产物。采动滑坡往往具有变形量大、持续时间长、空间范围广、链生效应显著等特点，这些特征使得采动滑坡的监测预警面临极大挑战。

当前，针对煤矿采动滑坡的监测手段主要包括地面位移监测（GNSS、全站仪）、地下倾斜/应力监测以及遥感监测等。然而，传统地面监测方法存在点位稀疏、覆盖范围有限、难以获取全域形变场等问题，无法满足大范围、高精度、动态化的监测需求。随着星载合成孔径雷达干涉测量（InSAR）、高分辨率光学遥感、无人机摄影测量等遥感技术的快速发展，综合遥感监测已成为采动滑坡调查与监测的主流手段。InSAR 技术能够实现大范围、全天候、毫米级的地表形变监测，光学遥感可直观识别滑坡形态和变形破坏迹象，无人机可获取高分辨率地形和影像数据。但单一遥感手段均有其局限性，InSAR 在大变形区易失相干，光学遥感受天气和植被影响大，无人机难以实现常态化大范围覆盖。因此，只有通过多尺度、多维度、多角度的综合遥感监测，才能覆盖采动滑坡发生、发育及发展的全过程。

尽管近年来我国在矿区地质灾害遥感监测方面积累了一定经验，但相关技术标准仍存在明显不足。现有的《采空塌陷勘查规范》《矿山地质环境监测技术规程》等规范宽泛地对采空区不同类型地质灾害监测进行了定义，但没有针对性地根据煤矿采动滑坡特点提出综合遥感监测技术方法，使得采动滑坡的早期识别、

范围判识、影响分析等环节相互独立，不能有机结合。此外，由于煤矿采动滑坡综合遥感监测涉及地理学、测绘学、地质学、计算机科学等多学科知识，技术人员往往难以同时掌握多项专业技能，对采动滑坡的预判、识别、分布与发育特征的理解存在差异，难以形成统一的、正确的、全面的结果。因此，推进煤矿采动滑坡的综合遥感监测技术规范建设，对于提升矿山安全管理水平、保障矿区及周边地区人民生命财产安全具有重要的现实意义。

## 1.2 目的意义

本标准制定的目的在于针对煤矿采动滑坡综合遥感监测领域长期缺乏专门技术规范的突出问题，建立一套覆盖数据获取、地表形变特征提取、地形变化分析、综合判识与监测、野外查证等全流程的科学、完整、可操作的技术标准体系。其一是统一技术方法，解决当前不同监测单位在采动滑坡监测中存在的 InSAR 数据处理、形变识别、滑坡判识等环节方法不一、成果不可比的问题，通过规范 SAR 数据选择、InSAR 处理流程、光学解译标志等，实现监测成果的标准化和可复用性。其二是创新性地将采掘活动资料纳入综合分析框架，设置“采掘-变形联动分析”条目，将井下采掘进度、采空区参数等与地表形变进行时空关联分析，揭示变形与采掘活动的响应关系，为滑坡变形研究和预警阈值设定提供科学依据，体现采动滑坡监测的行业特色。第三是针对采动滑坡变形量级差异大的特点（从毫米级蠕滑到米级突发滑动），规定了差异化的监测技术路线，小变形区采用 Stacking-InSAR、D-InSAR 等方法，大变形区采用偏移量追踪或多期光学影像亚像素偏移量追踪，并强调升降轨联合观测和多源数据交叉验证，提升监测的科学性与可靠性。最终，为自然资源管理部门、煤矿企业和地质灾害防治机构提供权威技术支撑，实现采动滑坡隐患的早发现、早判识、助力煤矿安全生产和防灾减灾事业。

本标准的制定具有重要的科学意义、实践意义和政策意义。在科学意义层面，本标准是对采动滑坡综合遥感监测技术方法的规范化提升。针对采动滑坡不同于自然滑坡的灾害发育特征，在标准层面构建了多源遥感监测体系，在煤矿采动滑坡监测中，将 InSAR、光学遥感等多种手段统筹纳入统一技术框架，体现了现代地质灾害监测由单一手段向多源协同的转变。同时，创新引入采掘-变形联动分析，推动滑坡研究从“地表形态描述”走向“地下-地表过程耦合”的探索，丰

富了采动地质灾害学的技术内涵。在实践意义层面，本标准通过制定统一的技术流程和精度要求，可显著提升监测成果的可比性和复用性，减少因方法差异导致的结果分歧，避免重复工作和资源浪费。在政策意义层面，本标准积极响应自然资源部《全国地质灾害防治“十四五”规划》中“科技信息能力显著提升”的要求，是推动全国地质灾害防治工作的关键一环，也是助力煤矿安全生产、指导矿区生态恢复的重要依据。随着国产高分卫星、SAR 卫星、北斗导航系统及人工智能等技术的迅猛发展，综合遥感监测正走向平民化、自动化、智能化，本标准为这些新技术的规范化应用提供了制度保障，推动我国采动滑坡监测技术保持国际先进水平。

## 二、工作简况，包括任务来源、协作单位、主要工作过程、主要起草人及其所做的工作等

### 2.1 任务来源

根据中国地理学会《关于 2024 年中国地理学会团体标准(第一批)立项的公示》，团体标准《煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范》(T/ZGDLXH JH-004-2024)被列入立项名单，中国地理学会正式委托西北大学牵头完成本规范的编制工作。

### 2.2 协作单位

本标准由西北大学牵头，联合国内多家在煤矿地质灾害监测、遥感技术应用和地质灾害防治领域具有深厚研究基础的企事业单位共同起草，形成了“产-学-研-用”深度融合的标准编制团队。

主要起草单位为：

西北大学（牵头单位）；

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。

## 2.3 主要工作过程

### (1) 预研阶段（2024 年 1 月-6 月）

标准编制组开展了大量的资料收集、文献调研和试验分析工作，系统梳理了国内外采煤沉陷区综合遥感监测的现状和存在问题。编制组赴陕西、青海、新疆等主要煤炭产区的典型采煤沉陷区进行了实地调研，对煤矿采空区地质灾害发育特征和现有监测技术方法的成效进行了系统评估，针对存在问题进行了深入分析，形成标准的三级框架提纲。

### (2) 初稿编制阶段（2024 年 6 月-8 月）

基于前期研究成果，标准编制组通过视频会议、现场研讨等形式多次召开技术交流会，邀请参与煤矿采动滑坡易发区综合遥感监测的相关技术人员共同研讨。重点围绕标准编制的总体原则、主要内容、技术流程和关键方法达成共识，初步确定了标准起草的参与单位和主要起草人，并于 8 月初完成标准初稿。根据中国地理学会发布《关于 2024 年中国地理学会团体标准（第一批）申报工作的通知》，提交了标准项目建议书和标准初稿。

### (3) 立项阶段（2024 年 8 月-12 月）

标准初稿经中国地理学会组织专家评审，编制组根据评审意见进行了系统修改完善，顺利通过立项评审。中国地理学会印发《关于 2024 年中国地理学会团体标准（第一批）立项的公示》，《煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范》标准制定任务正式纳入 2024 年度中国地理学会团体标准制定工作计划。

### (4) 启动阶段（2025 年 1 月-2026 年 5 月）

2025 年 1 月-7 月，在立项基础上，编制组进一步深化了关键技术研究。先后在陕西省神府矿区、青海木里矿区、乌鲁木齐采空区等典型区域开展了 InSAR 形变监测和光学遥感解译的试验验证，完善了煤矿采动滑坡多源遥感监测技术方法，并对标准中的关键技术指标进行了验证与修正。

2025 年 8 月，西北大学等主参编单位通过线下（西安）和线上会议结合的方式组织了“中国地理学会团体标准《煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范》编制工作启动会暨第一次工作组会议”，工作组学习了相关标准化文件，与会专家针对围绕规范初稿（第一稿）的章节架构、适用范围界定、术语规范化以及文本格式标准化等问题进行了深入讨论，提出了多项建设性修改意见。经过充分论证与交

流，专家组一致认为编制团队在前期研究基础、技术方案设计、协作机制构建及政策依据整合等方面展现出扎实的工作基础，同意该标准正式启动。

2025年9月-12月，针对启动会上专家对标准初稿提出的建议，编制组在规范初稿（第一稿）的基础上，与各参编单位通过线上线下结合的方式开展研讨，并结合实践应用，对各章节内容进行了梳理完善，形成规范第二稿。

2026年1月至5月，编制组在广泛吸收专家反馈意见的基础上，持续深化资料调研与内部讨论，对标准草案进行多轮修订与完善。与此同时，同步完成《标准编制说明》的撰写，最终形成《煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范（征求意见稿）》，并提交至中国地理学会团体标准工作组进行审查。

## 2.4 主要起草人及其所承担的工作

标准主要起草人及在标准编制中承担的主要工作分工如下：

表 1 标准主要起草人及其所承担工作列表

序号	姓名	单位	主要工作
1	邱海军	西北大学	项目负责，总体负责标准编制全过程的技术调研、内容框架设计、试验分析、标准起草与修改、意见征集以及各环节的组织协调。
2	唐柄哲	西安科技大学	参与标准框架设计，确定煤矿采动滑坡地表形变监测环节技术流程和相关指标的确定。
3	杨冬冬	西北大学	负责地表形变监测技术调研、试验分析和相关章节的起草与修改。
4	聂闻	中钢集团马鞍山矿山研究院股份有限公司	负责技术调研、标准框架设计和技术流程提出。
5	强建华	中煤航测遥感集团有限公司	参与技术调研、标准框架设计和技术流程提出。
6	黄栋	中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所	参与技术流程提出、地表形变监测环节和光学遥感解译章节的起草。
7	蒋先刚	四川农业大学	参与光学遥感解译技术调研、试验分析和相关章节的起草和修改。
8	刘子敬	西北大学	参与隐患综合遥感判识章节的起草。
9	皇甫文超	西北大学	参与总体要求和野外查证章节的起草。
10	朱亚茹	西北大学	参与野外查证的技术调研、实践总结。
11	韦英东	西北大学	负责意见征集和汇总分析。
12	刘雅	西北大学	参与地表形变监测相关章节修改。
13	杨国庆	西北大学	参与意见征集和文本校对。
14	赵凯亮	西北大学	参与地表形变监测相关章节修改。

三、确定团体标准主要内容，包括技术指标、仪器设备、性能要求、实验方法、检验规则等的论据（包括试验、统计数据），修订团体标准时，应增加新、旧团体标准水平的对比

### 3.1 标准主要内容

标准共分为十一个部分，涵盖煤矿采动滑坡综合遥感监测的全流程技术内容，主要包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义与缩略语、目的与总体要求、数据获取（含 SAR 数据、光学遥感数据和采掘活动资料收集）、地表形变特征提取（D-InSAR、Stacking-InSAR、DS-InSAR、偏移量追踪、时序 InSAR、形变聚集区提取）、地形变化分析（光学遥感数据处理、解译内容、方法与要求）、采动滑坡综合判识与监测、以及野外查证、附录、参考文献等。标准体系完整、层级清晰、可操作性强。

#### （1）范围

给出了煤矿采动滑坡遥感监测的工作流程，明确了本标准的适用范围。

#### （2）规范性引用文件

给出对于本标准的应用是必不可少的规范性引用文件，主要涉及遥感数据采集处理、InSAR 地表形变监测等方面共 12 项。

#### （3）术语、定义和缩略语

给出了煤矿采动滑坡综合遥感监测工作涉及的常用或容易引起歧义的术语，包括采动滑坡、采掘活动参数、滑坡隐患综合遥感识别、形变聚集区、孕灾地质环境、合成孔径雷达、合成孔径雷达干涉测量、合成孔径雷达差分干涉测量、分布式散射体干涉合成孔径雷达、合成孔径雷达时序干涉测量、偏移量追踪、野外查证，共计 12 条。给出适用于本文件的缩略语，包括 DEM、DOM、SAR、SLC、InSAR、D-InSAR、DS-InSAR、TS-InSAR，共计 8 条。

#### （4）目的与总体要求

规定了煤矿采空区采动滑坡遥感监测工作的目的任务、工作流程和总体要求，总体要求包括监测对象、数据资料、监测步骤等 3 方面内容。

#### （5）数据获取

规定了煤矿采空区采动滑坡遥感监测所采用的 SAR 数据、光学遥感数据和采掘活动等基础资料的选择依据、获取方式和质量控制要求。

#### (6) 地表形变特征提取

规定了地表形变特征涉及的地表形变 InSAR 方法选择、D-InSAR、Stacking-InSAR、DS-InSAR、多期光学影像亚像素偏移量追踪分析、InSAR 时序分析、形变聚集区提取。

#### (7) 地形变化分析

规定了灾害要素光学遥感解译工作涉及的光学遥感数据处理、解译内容、解译方法和解译要求,尤其明确了煤矿采动滑坡隐患相关变形破坏迹象的解译方法。

#### (8) 采动滑坡综合判识与监测

规定了采动滑坡综合判识与监测的内容及其涉及的初步判识、隐患综合判识、隐患信息提取、采掘-变形联动分析,共 4 个步骤的具体操作方法和依据。

#### (9) 野外查证

规定了采动滑坡综合遥感监测涉及的野外查证工作的查证目的、查证内容、资料准备、查证方法、查证要求和成果修正相关的基本要求和具体方法。

#### (10) 附录

包括采动滑坡隐患综合遥感识别监测记录表、采动滑坡隐患综合遥感监测野外查证记录表、采动滑坡隐患综合遥感监测成果报告提纲 3 项内容。

#### (11) 参考文献

给出了本标准中所引用的资料性文件。

### 3.2 确定主要内容的论据

本标准主要内容的确定以现行地质灾害调查规范、矿山地质环境监测标准和 InSAR 技术标准为基础,结合我国多个主要煤炭产区多年来的采动滑坡综合遥感监测试验分析和规模化应用成果,通过广泛的技术研讨和专家咨询,总结分析了煤矿采动滑坡综合遥感监测技术的应用成效和技术特点,研究确定了本标准的主要内容。以下按标准章节分别说明确定依据。

#### (1) 范围

依据煤矿采动滑坡遥感监测的示范验证和广域应用效果,结合地表形变 InSAR 数据处理、光学遥感解译等技术的特点、优势和不足,经专家深入交流研讨确定。本标准主要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。之所以将适用范围聚焦于采动滑坡,是因为地下

采煤活动引发的滑坡在变形特征、监测重点和判识依据上与自然滑坡存在显著差异（如需要采掘-变形联动分析），本标准专门针对这一特殊类型制定了技术规范。同时考虑到通用性，允许其他地质灾害类型参照执行。

## （2）规范性引用文件

为保证本标准的科学性和协调性，引用的规范性文件主要涉及三个方面：一是遥感数据采集与处理标准（如 GB/T 27920 系列航空摄影规范、CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范等）；二是 InSAR 地表形变监测标准（GB/T 44146—2024、CH/T 6006—2018）；三是地质灾害调查与遥感调查标准（DD2015—01、DZ/T 0261—2014 等）。这些文件均为现行有效标准，与本标准内容直接相关，确保了标准之间的协调统一，避免分歧和矛盾。

## （3）术语、定义和缩略语

针对煤矿采动滑坡综合遥感监测工作的实际需求，经过多次会议研讨和意见征求，为避免与现行地质灾害调查、矿山监测相关术语混淆，研究提出了工作涉及的常用或容易引起歧义的术语，共计 12 条，体现了煤矿采动滑坡监测的行业特色和技术前沿。缩略语共 8 条，均为正文中出现频次较高的专业缩写，经专家论证确有必要予以统一说明。

## （4）目的与总体要求

依据《全国地质灾害防治“十四五”规划》中“科技信息能力显著提升”的要求，以及自然资源部关于地质灾害隐患遥感识别工作的总体部署，结合前期在陕西神府矿区、青海木里矿区等地的广域应用实际成效，确定了煤矿采动滑坡综合遥感监测的目标任务。总体要求中的监测对象、数据资料和监测步骤三个方面，是在总结 2019-2025 年间多个煤矿采动滑坡监测项目（如杨伙盘煤矿沉陷区监测、木里矿区 InSAR 监测、乌鲁木齐采空区塌陷识别等）实践经验基础上，经专家研讨确定。特别强调了采掘活动资料的收集，这是区别于一般滑坡监测规范的核心特色。

## （5）数据获取（SAR 数据、光学遥感数据、采掘活动资料）

### 1) SAR 数据

SAR 数据的选择依据主要来自三个方面：一是工作区自然条件（地形、植被覆盖、气候等）。编制组在黄土覆盖区（陕西神府矿区）的试验表明，C 波段 Sentinel-1 数据在植被覆盖区相干性较好，而 L 波段数据（如 ALOS-2）穿透能力

更强，适用于高植被覆盖区。二是应用需求（工作层次、测量精度、监测周期）。普查阶段采用中等分辨率的 Sentinel-1 即可满足要求；单体精细监测需采用高分辨率的 TerraSAR-X 或 COSMO-SkyMed 数据，以识别裂缝等微细变形。三是地表形变状况。编制组在乌鲁木齐采空区的对比试验显示，当形变速率超过 2 mm/天时，常规 D-InSAR 失相干严重，需要采用短基线像对或偏移量追踪方法。质量控制指标参照 GB/T 44146—2024 并结合采动区特点确定。

## 2) 光学遥感数据

光学遥感数据的分辨率要求依据解译精度确定。普查识别（比例尺 1:50 000）采用优于 10 m 分辨率数据（如 Sentinel-2）即可满足要求；详查识别（比例尺 1:10 000）需优于 1 m；变形破坏迹象识别（裂缝、垮塌等）需优于 0.5 m。这一分级依据来源于全国地质灾害高中易发区隐患识别业务中积累的经验，优于 0.5 m 的影像可清晰识别宽度 0.2 m 以上的裂缝，而 10 m 分辨率影像仅能识别规模较大的滑坡形态。多期数据获取要求基于采动滑坡变形演化的阶段性特征确定，编制组在神府矿区的时序监测显示，采掘活动前、中、后三个时相的影像对比可以有效揭示滑坡发育过程。

## 3) 采掘活动资料

采掘活动资料的纳入是本标准的创新点。其确定依据为编制组在杨伙盘煤矿的系统监测中发现，采动滑坡的变形速率与工作面推进速度呈显著正相关，形变启动时间与工作面回采起止时间高度吻合。若仅依靠遥感数据，无法解释变形加速与采掘高峰期的对应关系。经专家研讨，将采掘资料定位为“辅助解译与综合分析的必要基础资料”，既解决技术需求，又避免与“遥感监测”的名称冲突。资料内容的选取（工作面布置、采空区参数、采煤方法等）参考了《采煤沉陷区卫星遥感动态监测技术规程》（GB/T 45979—2025）和矿山安全监管部门的实际需求。

## （6）地表形变特征提取

### 1) InSAR 形变数据处理方法选择

本标准根据不同变形梯度选择差异化方法，其依据来源于编制组在多个矿区的试验数据。小变形区采用 Stacking-InSAR 或时序 InSAR。在木里矿区（年形变约 30 mm）的对比试验中，两种方法均能稳定提取形变场，Stacking-InSAR 计算效率更高，时序 InSAR 可获取形变历史。中等变形区采用短基线 D-InSAR。在

神府矿区的试验中，常规 D-InSAR 干涉图相干性较好，但需控制垂直基线。大变形区采用偏移量追踪。在乌鲁木齐采空区的试验中，D-InSAR 完全失相干，而偏移量追踪成功提取了形变场。

## 2) D-InSAR、Stacking-InSAR、DS-InSAR、偏移量追踪等方法

各方法处理流程的确定主要依据 GB/T 44146—2024 和 CH/T 6006—2018，同时针对煤矿采动区的特殊要求进行了补充。DS-InSAR 的纳入是考虑到在黄土覆盖区（陕北）的试验中，常规 PS-InSAR 监测点密度较小，而 DS-InSAR 通过同质像元识别大幅提升监测点密度，显著提高了形变监测的空间分辨率。偏移量追踪：在神府矿区滑坡前缘大变形区的验证中，偏移量追踪获取的位移场与 GNSS 实测点对比，误差小于 0.1 m，满足工程监测需求。

## 3) 形变聚集区提取

形变聚集区是隐患判识的核心依据。其提取方法（基于全国地质灾害隐患识别业务中积累的经验。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，这一要求的提出源于编制组在多个矿区的统计，采动滑坡隐患点与采掘活动存在明显的时空关联。

## （7）地形变化分析

光学遥感数据处理的流程和方法主要引用现行标准，以确保成果的规范性和可比性。解译内容的确定基于煤矿采动滑坡的典型变形破坏迹象。编制组通过对神府矿区、木里矿区等地的遥感影像和野外调查数据进行分析，总结出 6 类典型影像特征（地表破碎、裂缝分布、局部滑动、建筑物破坏、采动裂隙贯通、前缘挤压鼓胀），这些特征在多次验证中的识别准确率较高。解译方法的层级划分（普查识别与详细识别）参照了地质灾害精细化调查的技术要求。

## （8）采动滑坡综合判识与监测

### 1) 初步判识与隐患综合判识

判识依据的确定基于地质灾害隐患识别领域专家共识和编制组的多轮研讨。建立了“孕灾地质背景+综合遥感特征+采掘-变形联动特征”三位一体的指标体系。其中，“采掘-变形联动特征”是本标准的特色条款，其依据为：在杨伙盘煤矿等地的监测中，形变启动时间与工作面回采起止时间的对应关系是判断采动滑坡的关键指标，相较于单独依靠遥感特征（形变集中区+变形破坏迹象），加入采掘-变形联动特征后判识准确率会大幅提高。

## 2) 采掘-变形联动分析

该条目内容（形变时序与采掘进度相关性、形变速率与推进速度关系、多煤层重复采动效应、采掘暂停后的变形趋势判断）源于编制组多年的研究成果。例如，在神府矿区多煤层重复采动区的监测显示，二次采动后的形变速率比初次采动大幅增加。

### （9）野外查证

野外查证的目的、内容和方法主要参照现行地质灾害调查规范（DZ/T 0261—2014），但针对采动滑坡的特点进行了调整。查证比例的确定（隐患总数 40% 以上、新增隐患 60% 以上）来源于全国地质灾害隐患识别业务的统计；新增隐患因缺乏历史资料，需要更高比例（60%）以保证可靠性。采动因素的调查要求（结合采掘资料进行现场核对）是为了验证遥感判识的采掘-变形关联是否属实。

## 10、附录

附录 A、B、C 的格式和内容参考了《地质灾害隐患综合遥感识别技术规程》的附录设计，同时根据煤矿采动滑坡的特点进行了调整。附录 A 中增加了“采掘活动背景”记录行，附录 C 中明确了采掘-变形联动分析报告要求。这些调整经编制组内部研讨和专家咨询确定，确保实用性和可操作性。

## 四、主要试验（验证）的准确度、可靠性、稳定性分析和综述报告等

### 4.1 试验验证概述

随着国内外雷达卫星数量的增加、应用领域的拓展，从业人员和研究成果也越来越多，而基于 InSAR 和多源遥感技术取得的滑坡形变监测成果，即使在同一地区，使用相同数据，获得的处理结果都有一定的差异。如有新的任务，需要从头开始，造成极大的浪费。说明在 InSAR 数据处理过程中，存在起点不统一，形变单位不统一，使用参数不统一的问题。因此，在采动滑坡遥感监测中，如何制定统一的综合遥感监测技术标准，完成对监测进行标准化处理，实现监测成果的统筹利用、重复利用。煤矿采动滑坡综合遥感监测技术自提出以来，为确保本标准所确定的各项技术指标的准确性和可靠性，编制组分别在陕北黄土高原矿区、青藏高原东北缘木里矿区、新疆乌鲁木齐采空区等典型煤矿采动滑坡发育区开展了系统的综合遥感监测试验验证工作。

## 4.2 主要试验验证内容

### (1) 陕西神府矿区杨伙盘煤矿试验（2019 年至今）

试验区域位于陕西省榆林市神府矿区杨伙盘煤矿，属于黄土高原典型的采煤沉陷区。试验综合应用了多时相高分辨率光学遥感影像（WorldView-3, 0.31 m 分辨率）、Sentinel-1 SAR 数据（升/降轨联合）、机载 LiDAR（点密度 8 点/m<sup>2</sup>）、三维倾斜摄影测量（5 cm 地面分辨率）以及地基合成孔径雷达（GB-InSAR）等手段。试验结果表明：D-InSAR 方法在矿区导水裂隙带发育区和采动影响边界识别的形变速率为 15-28 mm/年；偏移量追踪方法成功识别了滑坡前缘大变形区，单次形变最大达到了 0.48 m，有效弥补了常规 InSAR 在采动滑坡大变形区的监测不适应性；DS-InSAR 方法在黄土覆盖区监测点密度达到常规 PS-InSAR 的 3-4 倍，显著提高了滑动区域的监测空间分辨率。

### (2) 青海木里矿区聚乎更矿区监测（2020 年至今）

试验区域位于青海省木里矿区聚乎更矿区，地处青藏高原东北缘，海拔超过 4 000 m，常年冻土发育。采用 Sentinel-1 SAR 数据、TerraSAR-X 高分辨率数据和无人机摄影测量（大疆经纬 M300 RTK）开展综合监测。试验结果为矿区环境治理工程的安全施工提供了关键支撑证据。同时，寒冷区冻土退化对采动滑坡形变的影响也得到深入研究，编制组团团队同期研究表明，寒冻区域冻土退化滑坡的增长速率明显快于较温暖地区。

### (3) 乌鲁木齐采空区塌陷综合遥感识别（2021 年-2025 年）

试验由乌鲁木齐市自然资源局组织，将 InSAR 形变监测、光学遥感解译、野外调查三方面工作有机衔接、相互印证。成功识别了采空区塌陷隐患的具体位置和范围，建立了地质灾害隐患的动态监控体系。该试验还推动了该地区地质灾害隐患综合遥感识别技术的发展，为标准的制定奠定了方法论基础。

## 4.3 综合评述

上述试验验证表明，本标准确立的煤矿采动滑坡综合遥感监测技术路线和方法体系是科学可行的。从数据获取、地表形变提取、光学解译、综合判识到野外查证，整个框架科学完整、逻辑严密；多源遥感监测体系已被验证适用于我国煤炭主产区的黄土覆盖区、高寒冻土区和干旱荒漠区的采煤沉陷区滑坡监测，技术方法普适性强；并且，各项技术参数的设置基于大量实测数据统计分析，能够满

足工程应用对精度的基本要求。

## 五、与国内同类标准、国际标准和国外先进标准情况及水平对比

### 5.1 国内同类标准情况

(1) 国家标准层面：

《基于 InSAR 技术的地壳形变监测规范》(GB/T 44146—2024)：制定了 InSAR 技术在形变监测中的统一技术方法，但对于煤矿采动滑坡涉及的大变形区（偏移量追踪）和采掘-变形特征分析未作覆盖。

《采煤沉陷区卫星遥感动态监测技术规程》(GB/T 45979—2025)：规定航天遥感技术对采煤塌陷区的动态监测，聚焦地表沉陷监测，未涉及滑坡隐患的滑坡形态。

《露天煤矿边坡变形监测技术规范》(GB/T 37697—2019)：适用于露天煤矿采场边坡及排土场边坡监测，不适用于地下开采引发的采动滑坡。

《采煤沉陷区地质环境调查技术规范》(GB/T 46548—2025)：规定了采煤沉陷区地质环境调查内容与方法，但不涉及滑坡隐患的综合遥感识别。

(2) 行业标准层面：

《矿山地质环境监测技术规程》(DZ/T 0287—2015)：涵盖地表形变监测 (InSAR)，但未对采动滑坡专门设章。

《滑坡崩塌泥石流灾害调查规范 (1:50000)》(DZ/T 0261—2014)：适用于滑坡灾害的区域调查，未涉及综合遥感监测技术方法。

《矿山环境遥感监测技术规范》(DZ/T 0392—2022)：适用于采矿损毁土地和生态修复监测，未系统覆盖滑坡隐患识别。

《地质灾害遥感调查技术规定》(DD2015—01)：规定了地质灾害遥感调查的一般流程，但未针对采动滑坡做专门性扩展。

(3) 地方标准和团体标准层面：

《地质灾害隐患综合遥感识别技术规程》(DB61/T 1920—2024，陕西省)：总结滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷的遥感识别流程，但未针对采动滑坡制定专门技术指标。

中关村绿色矿山产业联盟等团体已发布若干绿色矿山标准，涉及矿区生态修

复和环境监测，但尚无专门针对采动滑坡综合遥感监测的标准。

## 5.2 国际标准与国外先进标准现状

经系统检索与调研，目前国际标准化组织（ISO）和国外发达国家尚无专门针对“煤矿采动滑坡综合遥感监测”的专项标准。但在通用型地质灾害标准框架（ISO 20074:2019）、废弃矿区治理指南（德国）、泛欧地质灾害信息服务（ESA TerraFirma 项目）以及各国地质调查机构的技术实践等方面已形成较丰富的积累，为本标准在框架设计和技术方法选择上提供了参考。然而，上述国际标准和项目均在各自特定领域或区域框架下开展，尚未形成一套专门针对煤矿采动滑坡的多源遥感监测全流程技术规范。本标准在继承和吸收上述国际先进经验的基础上，结合中国煤矿采动滑坡的发育规律和地质特点，进一步形成了具有中国本土特色的煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范，填补了该细分领域的国际标准空白。

## 5.3 水平对比与创新

### （1）采掘-变形联动理念方法创新

本标准在国际上首次将采掘活动参数（工作面推进速度、采深、采厚等）系统纳入滑坡综合遥感监测标准，要求 InSAR 形变信息与井下采掘进度进行半定量-定量空间关联分析，突破了遥感数据的地表视向性局限。这一理念对煤矿边坡滑坡和地下开采诱发边坡变形都具有重要的实践指导意义，体现了采动滑坡区别于自然滑坡的工程主因。

### （2）全变形量级、全媒介的监测技术覆盖

传统规范主要面向中低量级形变，本标准同时纳入偏移量追踪和多期光学影像亚像素偏移量追踪方法，将超大形变区监测能力提升至 10 m/景量级，覆盖采动滑坡成灾前、发育中、突变前的全生命周期监测。同时本标准的监测媒介涵盖星载 SAR、光学遥感等多种手段，并通过“第 5 章 数据获取”、“第 6 章 地表形变特征提取”的系统性技术规定，确保多源遥感手段协同的实施路径标准化。

### （3）对我国采动滑坡灾害发育类型的现实指导性

我国是世界上滑坡灾害最严重的国家之一，编制组成员长期从事中国西部（尤其是黄土高原和青藏高原）地质灾害研究，积累了丰富的技术成果与实地经验，使标准内容更具针对性和现实指导性。标准中的各项技术指标和判识依据均基于中国典型采动滑坡区的大数据样本统计确定，尤其适用于黄土高原煤矿区、

高寒冻土矿区等特殊地质环境下的采动滑坡监测，填补了国内外相关技术指南中对我国西部地质景观下采动滑坡监测认识的空白。

## 六、重大分歧意见的处理经过和依据

根据标准制定实施流程和团体标准编制要求，在标准征求意见稿阶段，编制组将广泛收集来自自然资源管理部门、煤矿企业、科研院所、高等院校等单位和专家学者的反馈意见。对收集到的每一条意见将进行逐一登记、分类汇总和充分研讨。

### 6.1 意见收集与登记机制

编制组将建立标准化意见反馈渠道，通过信函、电子邮件或专题研讨会等形式广泛征集意见，所有反馈意见均将被正式登记在《团体标准征求意见处理表》中，并妥善存档。

### 6.2 主要分歧可能性分析与处理预案

根据编制组前期的研讨经验，拟于本文件征求意见稿阶段，重点收集和处理以下潜在分歧：

#### （1）关于采掘资料的获取与保密问题

部分煤矿企业可能对井下采掘进度、采空区范围等数据存在保密顾虑。标准的最终措辞采用“辅助解译与综合分析基础资料”的定位，并增加“脱敏使用”“局限性说明”等条款，兼顾技术需求与数据安全。这一处理方式在启动会上已获得与会专家的普遍认可，预计不会形成重大分歧。

#### （2）关于 InSAR 方法的标准化与成本考量

标准的资源门槛（ $\geq 20$  景 SAR 数据、需购买高分辨率商业 SAR 数据、多轨道联合解算等）可能会对偏远地区或经济性指标敏感的企业构成成本压力。标准已在条文中提出了具体技术要求和精度目标，同时设置“若部分采掘资料无法获取，可说明局限性及替代分析方法”和“累计数据量不宜少于 20 景”等灵活性条款，既确保数据可信度，又维护了适当的经济可承受性。

#### （3）关于 DS-InSAR 和偏移量追踪的精度的适用性局限

对于 DS-InSAR 和偏移量追踪的适用性问题上，标准在 6.4 和 6.5 条款中明确界定了 DS-InSAR “适用于植被覆盖区或部分失相干区域”和偏移量追踪“对

于超大变形区域可采用光学影像偏移量追踪作为补充”，未予过度推广。对于不适用场景，标准建议使用其他互补手段，对低相干区注明监测不确定性。

### 6.3 意见处理程序

编制组将按照以下步骤对每一条意见进行全面、透明、规范的处理，从评估意见的合理性与技术可行性、编制组内部集体研讨、与提出方进一步沟通确认、协商一致后正式采纳并修改标准文本到最终编制《标准征求意见汇总处理表》提交归口单位备案。

鉴于本标准在先行试验与预研阶段积累了大量实地数据并征求了领域骨干专家与单位的关键意见，预期本文件征求意见阶段不会出现无法协调的重大分歧。

## 七、贯彻团体标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）

### 7.1 组织措施

（1）建立健全归口管理与宣贯机构。在中国地理学会团体标准工作组牵头成立标准宣贯培训专家组的领导下，开展该标准在全国范围内的推广应用指导。建议各省（区、市）自然资源主管部门、地质环境监测机构和煤炭行业协会将本标准纳入本辖区、本系统地质灾害防治和矿山安全管理的技术标准体系。

（2）推动部门协同与数据共享。建议建立自然资源、矿山安全监管、地质调查和煤矿企业之间的信息共享平台，实现 InSAR 形变监测数据、光学遥感影像数据、井下采掘活动等非保密数据的互通共享，促进采掘-变形联动分析的规范化落地。

（3）鼓励企事业单位参与。引导区域内承担煤矿地质灾害监测任务的第三方技术服务机构、科研院所积极采用本标准。相关部门可按照国家及地方有关团体标准采用的有关要求，鼓励招标、中标项目优先参考或对照执行本标准。

### 7.2 技术措施

（1）技术培训教材与平台建设。标准发布后，标准编制团队将组织编写《煤矿采动滑坡综合遥感监测技术规范实施指南》，面向全国煤矿地质监测与地质灾害防治技术人员普及标准内容和技术要点。标准实施指南应包含标准技术规定的

全流程解读、典型煤矿采动滑坡区 InSAR 处理流程演示、采掘-变形联动分析案例解析、野外查证（核查点位分类标记规范）等主要内容。

(2) 配套软件工具与统一处理流程建设。建议相关部门和技术机构基于本标准规定的 D-InSAR/Stacking-InSAR/DS-InSAR/偏移量追踪等多方法协同流程开发权威的“采动滑坡综合遥感监测形变处理流程指南”，面向不同滑坡阶段、不同数据量的用户提供标准参数模板和最优流程建议，保证成果的互认和复用性。

(3) 建立案例库和质量监督机制。逐步建立全国主要煤矿采动滑坡区的综合遥感监测案例库（包含监测区域 SAR 和光学数据源信息、InSAR/偏移量追踪方法参数和处理流程、采掘活动参数、野外调查成果），为标准修订和参数调整提供数据支撑。建议自然资源、矿山安全监管部门将标准执行情况纳入对地方煤矿地质灾害监测工作的技术审查，确保标准落地实施。

### 7.3 过渡办法

(1) 过渡期设置。鉴于本文件为首次制定的团体标准且在煤矿采动滑坡领域具有首创性，建议自标准发布之日起设置 12 个月的过渡期。过渡期内，建议各省、市、县及煤炭企业根据本单位技术条件和人员配置自主安排标准宣贯和培训工作，标准中的各项技术规定在此期间可参照执行但非强制性要求。

(2) 已建监测系统的衔接。对于过渡期内在采动滑坡区已然建立的监测网络或信息系统（如地基合成孔径雷达监测网络、北斗/GNSS 监测站网），建议其在保证监测数据质量和数据统一性的基础上，通过补充数据处理流程和采掘-变形分析模块的方式逐步与标准要求对接。

(3) 小企业特别支持。对于经济条件较差、技术队伍薄弱的偏远地区小型矿区企业，建议相关主管部门通过技术援助、资源共享、标准培训费减免等过渡保障措施，帮助其逐步过渡到标准要求。

(4) 持续修订改进。标准实施后，主管部门和相关单位应及时收集实施过程中的问题和建议，及时启动标准修订程序，用标准动态维护确保持续指导力和活力。

## 八、标准涉及的相关知识产权说明

无。

## 九、其他应予说明的事项

无。