

中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡识别编目及特征数据集

ISSN 2096-2223

CN 11-6035/N

苏晓军^{1,3,4}, 孟兴民^{2,3,4*}, 张毅^{2,3}, 赵富萌^{1,3,4},

岳东霞^{1,3,4}, 郭富赞⁵, 周自强⁶



文献 CSTR:

32001.14.11-6035.csd.2022.0007.zh

文献 DOI:

10.11922/11-6035.csd.2022.0007.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.j00001.00374

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2022-01-19

开放同评: 2022-03-09

录用日期: 2022-05-25

发表日期: 2022-06-30

1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000
2. 兰州大学地质科学与矿产资源学院, 兰州 730000
3. 甘肃省环境地质与灾害防治技术创新中心, 兰州 730000
4. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000
5. 甘肃省地质环境监测院, 兰州 730050
6. 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 兰州 730000

摘要: 本数据集是基于地表形变速率监测、光学遥感解译、野外实地调查验证进行滑坡识别, 综合应用哨兵1号 (Sentinel-1A) 数据、数字高程模型 (DEM)、地质图、地震分布、降水与植被等数据得到的最新中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡分布及特征数据集。滑坡编目数据通过地表形变监测与室内遥感解译、野外逐一调查验证、内业修正及属性提取而获得。本数据集中, 喀喇昆仑公路沿线滑坡总体分布范围为 34.5°N–39.5°N, 72.5°E–76.0°E, 编目了中巴喀喇昆仑公路两侧十公里缓冲区内 762 处滑坡。本数据集包含 4 个文件: 1) 以中巴喀喇昆仑公路十公里缓冲区内为研究区的矢量边界文件; 2) 滑坡多边形矢量文件; 3) 滑坡点矢量文件; 4) 统计每处滑坡属性特征的文档, 其属性参数 (字段) 包括: 编号, 滑坡类型、面积、经度、纬度、高差、坡度、坡向、岩性、降水、归一化植被指数 (Normalized vegetation index, NDVI)、距断层距离、距震中距离、距水系距离、距喀喇昆仑公路 (Karakoram Highway, KKH) 距离等。对遥感识别工作进行了评定, 发现 InSAR 监测结合光学遥感解译识别的 968 处斜坡中有 78.7% (762 处) 得到了准确验证。本数据集是目前中巴喀喇昆仑公路全线最新的滑坡编目及特征数据集, 数据具有良好的现势性, 是未来深入定量研究中巴喀喇昆仑公路沿线乃至中巴经济走廊滑坡灾害及风险的必要数据。

关键词: 中巴经济走廊; 滑坡数据集; SBAS-InSAR; 地表形变; 早期识别; 发育特征

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡识别编目及特征数据集
数据通信作者	孟兴民 (xmmeng@lzu.edu.cn)
数据作者	苏晓军, 孟兴民, 张毅, 赵富萌, 岳东霞, 郭富赞, 周自强
数据时间范围	2017–2019年
地理区域	中巴喀喇昆仑公路 (34.5°N–39.5°N、72.5°E–76.0°E, 主要沿中巴喀喇昆仑公路)
数据量	~3.20 MB

* 论文通信作者

孟兴民: xmmeng@lzu.edu.cn

数据格式	*.shp、*.xls
数据服务系统网址	http://www.doi.org/10.11922/sciencedb.j00001.00374
基金项目	国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(41661144046); 甘肃省科技计划(重点研发计划)国际科技合作项目(18YF1WA114); 甘肃省科技重大专项(19ZD2FA002); 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2021-ey05)。
数据库(集)组成	本数据集由4个数据文件夹组成, 其中: (1) Landslides datasets along the KKH.rar是中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡编目数据多边形矢量文件, 数据量2.25 MB; (2) Landslides points along the KKH.rar 为中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡编目数据点矢量文件, 数据量296 KB; (3) Landslide attributions.rar 为单独存为*.dbf 和*.xls格式的滑坡特征属性表, 数据量432 KB。 (4) Buffer of 10km along KKH.rar 为研究区: 中巴喀喇昆仑公路10 km缓冲区, 数据量244 KB。

引言

中巴喀喇昆仑公路(Karakoram Highway, KKH)东起新疆喀什, 途经红其拉甫口岸, 穿越喀喇昆仑山脉、兴都库什山脉、喜马拉雅山脉和帕米尔高原北缘, 抵达巴基斯坦北部塔科特, 全长1224公里, 属中巴经济走廊北段, 是中国和中亚、南亚、西亚、北非等地区交流合作的陆路通道, 也是一带一路建设和中巴合作重要组成部分, 对于中国经济发展、能源安全、国家安全等具有十分重要的战略意义。

中巴喀喇昆仑公路沿线区域地质构造复杂, 地形陡峻, 地震频发, 降雨集中, 使得沿线地质灾害极为发育。中巴公路建成以来, 因地质灾害影响, 常年需要维护或部分重建, 严重影响中巴两国之间的国际合作交流。2008年中国政府启动了对喀喇昆仑公路全面改建和扩建工程, 将原三级公路改、扩建为高速公路。而沿线密集发育的地质灾害成为公路建设和运营的主要制约因素, 从而也影响着中巴经济走廊的全面建成^[1-4]。尤其在巴基斯坦北部段, 显著的气候变化、强烈的构造活动及多年的人类工程活动促进和诱发了大量滑坡灾害, 造成了严重的灾害和损失^[5-8], 引起了广泛关注^[5,9]。为解决滑坡灾害防治问题, 国内外相关单位和学者在此地区陆续开展了滑坡、冰川、泥石流及碎屑流等灾害的调查研究^[10-12]。也有研究在喜马拉雅山区、洪扎河谷基于卫星影像进行滑坡识别编目与评价^[6-7,13]。Hussain 等^[14] (2021)利用高分辨率遥感影像解译和多元统计等方法对中巴经济走廊巴基斯坦北段的滑坡易发性进行了评价, 获得了较为全面的历史滑坡数据^[11,15], 但由于前期研究所用数据年代较早、数据来源单一等问题, 其研究深度和研究成果难以有力地支持和服务于中巴经济走廊的建设。

基于此, 为了全面查清公路沿线滑坡灾害的发育形势, 本研究利用2017年20 m×5 m(方位向×距离向)分辨率Sentinel-1A合成孔径雷达数据和30 m分辨率SRTM DEM数据(来源于USGS)开展基于合成孔径雷达干涉短基线集测量(Small Baseline Subset InSAR, SBAS-InSAR)的喀喇昆仑公路沿线地表形变监测, 利用高分辨率光学遥感数据解译为补充(Google Earth), 进行喀喇昆仑公路沿线十公里范围内的地表形变区域解译圈定; 基于初步圈定的结果, 开展现场调查与验证, 完成滑坡地质灾害编目。结合以上两方面的工作, 完成了区域滑坡调查识别。并收集Landsat 8影像、地质构造、地层岩性、2000年以来主要地震分布等数据资料, 通过区域统计分析, 完成了中巴喀喇昆仑公

路沿线滑坡识别编目及特征数据集，为中巴喀喇昆仑公路滑坡灾害防治及经济走廊建设运营提供科学参考和数据支持。

1 数据采集与处理方法

本研究数据处理与分析主要包括 4 个步骤：数据采集、地表形变速率监测和初步解译、潜在滑坡现场调查验证与编目、滑坡特征参数提取。合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）数据处理、滑坡识别编目、属性特征提取综合技术流程如图 1 所示。

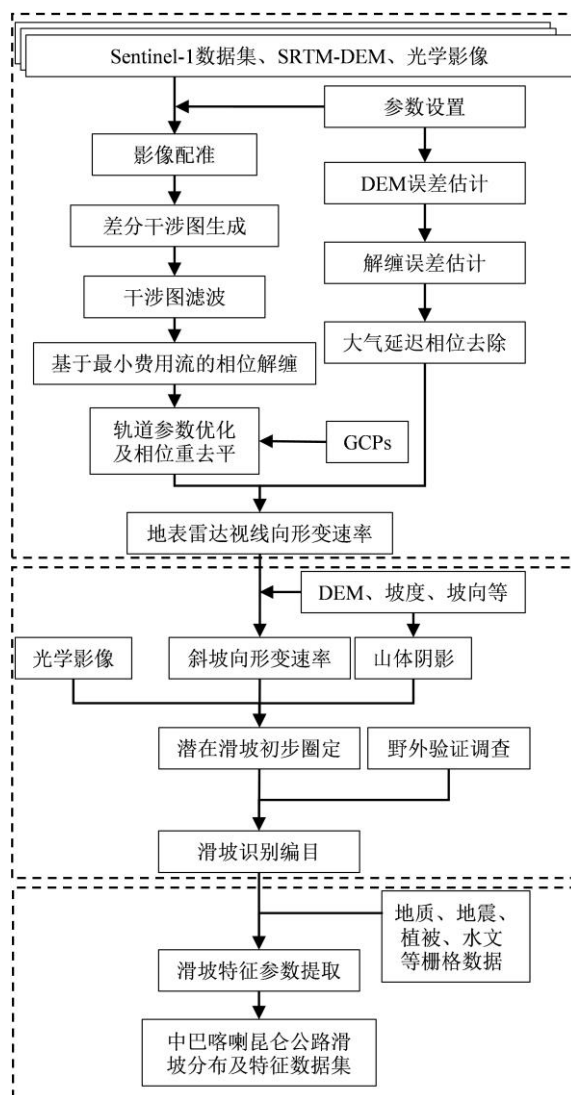


图 1 滑坡编目及特征数据集生成主要流程

Figure 1 Procedure of landslide cataloging and feature data set generation

1.1 数据采集

滑坡编目与特征数据集的完成主要基于 8 种数据：完全覆盖中巴喀喇昆仑公路的数字高程模型 SRTM DEM(30 m)、喀喇昆仑公路沿线 2017 年覆盖的 20 m×5 m（方位向×距离向）分辨率 Sentinel-1A 数据、Google Earth 影像、地质图（1: 200 000）、2017 年 5-6 月的 Landsat 8 OLI、2000 年以来研究区及周边的地震震中（来源于 USGS: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>）、2017 年年降水量（来

源于 NASA 官网^[16])。研究保证了关键数据时空一致性。

具体地, Sentinel-1A 来源于欧空局 (<https://scihub.copernicus.eu/>), 主要数据轨道信息、时间、空间覆盖范围等如表 1 所示。C 波段成像的 Sentinel-1A 干涉宽幅单视复数 (Single Look Complex, SLC) 数据几何分辨率为 20 m×5 m。高差、坡度、坡向等地形地貌因子利用 SRTM DEM 数据基于 ArcGIS 平台的空间分析之地形表面分析工具获得。归一化植被指数 (Normalized difference vegetation Index, NDVI) 用以指示研究区内植被覆盖及长势, 由 2017 年夏季为主的 Landsat-8 OLI 数据反演计算得到, 个别区域由于云量过大, 采用 2016 年相近时期的数据作为补充 (表 2)。断层、岩性分布等地质背景数据参考地质图及 Searle 等^[17](1999)以及 Fraser 等^[18](2001)的研究结合野外调查获得, 根据区内岩性软弱程度, 划分为六组^[1,3] (表 3), 岩性由 1: 200 000 矢量地质图转为 30 m 分辨率栅格。并参考前人有关滑坡与地震关系研究的经验^[19-20], 从美国地质调查局获取了 2000 年以来里氏震级 4.0 以上的震中数据 (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>)。年降水量数据利用 2017 年度 0.25° TRMM (<https://doi.org/10.5067/TRMM/TMPA/MONTH/7>)日降水数据计算得到。根据以上数据计算了距断层、震中、水系的距离因子。

表 1 Sentinel-1A 数据覆盖时间和数量统计表

Table 1 Statistical table of monitoring date and acquired image numbers of Sentinel-1A datasets

数据轨道	监测时间	影像数量	覆盖位置
27 (1)	20160106-20171214	28	国内段 (喀什至塔什库尔干县)
27 (2)	20170124-20180119	29	中巴边境红其拉甫
27 (3)	20170124-20180119	29	国外段 (吉尔吉特至奇拉斯)
107	20170319-20180419	33	国外段 (奇拉斯至塔科特)
100	20170117-20171231	26	国外段 (阿塔巴德至贝沙姆)

表 2 Landsat 8 数据获取条带号及成像日期

Table 2 Data strip number and acquisition date of Landsat 8

条带号	获取日期
150033	20160618
149033	20170630
149034	20170630
150035	20170520
149035	20170630
150036	20170520
149036	20170529

1.2 数据处理方法

1.2.1 SBAS-InSAR 原理及处理流程

SBAS-InSAR (Small Baseline Subset-InSAR) 方法为了减小卫星视角差异造成的误差和失相干, 设定一定的空间基线与时间基线阈值连接 SAR 影像, 建立若干小基线集合。SBAS-InSAR 技术关键处理包含: 单视复数影像配准、单视复数影像预滤波、干涉图生成、相位解缠、轨道参数优化与重

去平地效应、滤波去除大气相位、地理编码等步骤，在 ENVI SARscape 软件平台上实现 SAR 数据的处理。首先，设置距离向和方位向多视因子为 4 和 1，以完成所有影像重采样并生成小基线集；在生成干涉图后，以相干阈值为 0.35 设置 Goldstein 滤波器^[21-22]进行滤波处理，以提高信噪比和干涉对相干性。再利用最小费用流（MCF）算法进行相位解缠^[23-24]。进一步通过精炼、重去平和反演估算残余高程相位和形变信息，通过时空域滤波去除大气相位^[25-29]。由于 SBAS 技术处理中组合了多个子集，因此使用奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)来估计每个监测日期的形变信息^[23, 26]。最后以 0.4 为相干性阈值反演获得雷达视线向地表年平均形变速率。

表 3 研究区岩性归类表

Table 3 Lithology classification in the study area

岩组代号	主要岩性	分布面积 (km ²)
1	花岗岩、闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、角闪岩	3792.3948
2	辉长岩、闪长岩、石榴石辉长岩、蛇绿岩	2607.1056
3	钙质粉砂岩、石英砂岩、含黄铁矿晶体碎屑岩	530.2071
4	泥岩、砂岩，砂质泥岩、灰岩，泥质粉砂岩，碎屑岩偶加粉砂岩，板岩，白云岩、泥岩互层	3421.7451
5	片岩、片麻岩、千枚岩、石英岩、大理岩	3340.5246
6	冰川沉积物、冲洪积物、河流沉积物、湖相沉积物、火山沉积物	4373.1936

1.2.2 潜在滑坡解译与调查验证

综合应用 Sentinel-1A SAR 数据监测地表形变速率、光学遥感解译、野外实地调查验证进行潜在滑坡识别^[3]。

滑坡形变多数表现为沿着斜坡方向发生拉裂、滑移和堆积。InSAR 监测获得的主要是地表斜坡的形变，为滑坡识别提供了基本数据。由于研究区较大，充分利用 ArcGIS 及 Google Earth 等平台，将形变结果与截至 2018 年的多年光学遥感影像、DEM 以及山体阴影等反应地物及地形特征的图层要素叠加，进行内业目视解译分析，可根据不同地物在光学影像中不同的纹理、色彩、亮度等特征、地形地貌特征等判断滑坡发育迹象，比如较明显、易解译的拉张裂缝、堆积平台、前缘隆起、挤压河道等特征，形变结果与遥感影像特征、地形特征较为吻合的斜坡可以进行初步圈定，从而初步确定潜在的滑坡区域。

在野外现场调查验证中，根据初步圈定结果，逐一对斜坡产生形变的位置、区域、潜在滑坡的拉张陡坎与裂缝、剪切侧界裂缝、边界等滑坡典型特征进行现场调查与验证，并作必要的核对修改。综合以上室内外解译与核查中的滑坡特征，保留具备前述滑坡识别特征的圈定结果，完成滑坡编目。最终建立滑坡等 762 处滑坡编目数据集，其中，复合型滑坡 57 处，崩塌型滑坡 126 处，碎屑流 167 处，不稳定斜坡 412 处（图 2）；滑坡主要集中分布在巴基斯坦红其拉甫以南、洪扎河谷（图 2a）和中国塔县塔什库尔干河谷、盖兹河谷等区段（图 2b），同时，呈现出巴基斯坦段沿线滑坡规模较大（最大面积~11 km²）、而国内段沿线滑坡规模小的特征（面积~3 km²）（具体见数据集属性表）。

1.2.3 滑坡特征发育因子提取

滑坡的发育受到地形地貌、地质构造、水文植被等因素的综合作用与控制，本数据集通过 GIS、

RS 等技术获取了滑坡面积、所处地理位置、地形地貌、地层岩性、地质构造、植被水文等特征要素，包括：面积、经度、纬度、类型、高差、坡度、坡向、岩性、降水、NDVI、距断层距离、距震中距离、距水系距离、距 KKH（喀喇昆仑公路，Karakoram Highway, KKH）距离等 14 个内外因子，作为其属性信息。此外，为了区别于 GIS 数据库 FID (Feature Identity, FID) 字段，对每一个滑坡赋予唯一编号 ID (Identity)。综上，本数据集共有 16 个属性字段（表 4）。具体提取方法包括：面积、经度、纬度属性直接在 ArcGIS 中对设置投影坐标系信息的滑坡多边形数据提取；高差属性通过提取滑坡最大、最小高程值求差获得；利用 DEM 数据生成坡度、坡向，并利用 Landsat 8 OLI 在 ENVI 中处理计算得到 NDVI 后提取每个滑坡的平均值作为相应属性；由 TRMM 生成降水栅格数据后，提取每个滑坡对应的最大值作为相应属性；在 ArcGIS 中，根据地层岩性分布划分岩组（表 3），提取最大值为滑坡所在斜坡的属性，根据断层线数据、震中、水系、KKH 生成距各中心的欧式距离，提取每个滑坡对应的最小值作为相应属性。

表 4 中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡识别编目及特征数据集中的属性名称和说明

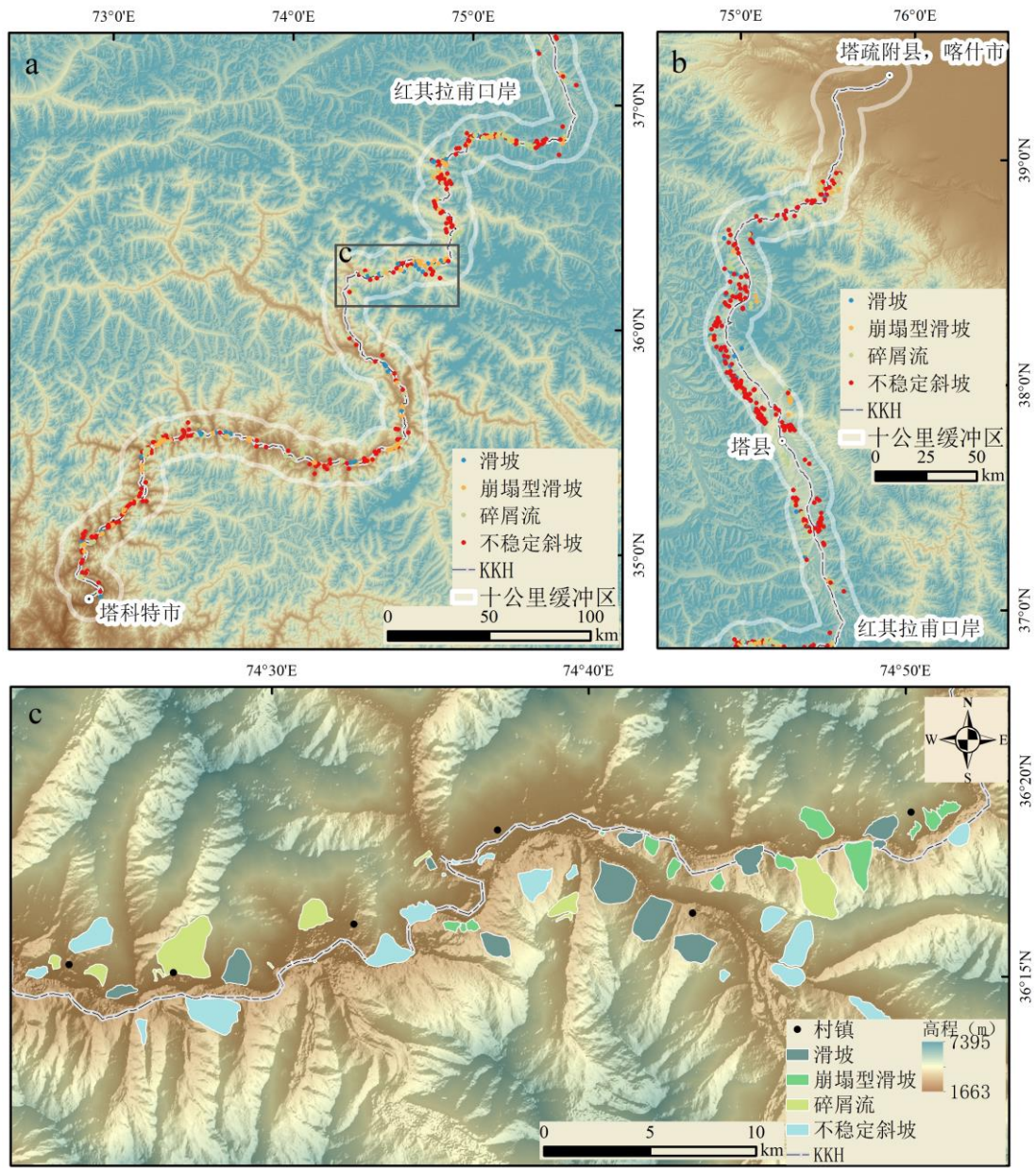
Table 4 Field names and descriptions of landslide catalogs and feature datasets along China-Pakistan Karakoram Highway

序号	属性名称	数据类型	属性说明
1	FID	长整型	要素内部编号
2	ID	长整型	滑坡自编号
3	Latitude	双精度（单位：°）	滑坡中心纬度
4	Longitude	双精度（单位：°）	滑坡中心经度
5	Type	字符串	滑坡类别
6	Relief	双精度（单位：m）	滑坡高差
7	Area	双精度（单位：m ² ）	滑坡面积
8	Aspect	双精度（单位：°）	滑坡体坡向
9	Slope	双精度（单位：°）	滑坡体坡度
10	Lithology	长整型	滑坡所处斜坡岩性岩组类别
11	Dis_to_Fau	双精度（单位：m）	滑坡距断层最小距离
12	Dis_to_Epi	双精度（单位：m）	滑坡距震中最小距离
13	NDVI	双精度	归一化植被指数
14	Precipitat	双精度（单位：mm）	年降水量
15	Dis_to_Dra	双精度（单位：m）	滑坡距水系最小距离
16	Dis_to_KKH	双精度（单位：m）	滑坡距 KKH 最小距离

2 数据样本描述

本数据集的中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡分布如图 2 所示。矢量数据采用坐标系为 GCS_WGS_1984。滑坡数据集特征属性包括：要素内部编号、滑坡自编号、滑坡中心纬度、滑坡中心经度、滑坡类别、滑坡高差、滑坡面积、滑坡体坡向、滑坡体坡度、滑坡所处斜坡岩性岩组类别、滑坡距断层最小距离、滑坡距震中最小距离、归一化植被指数、年降水量、滑坡距水系最小距离、

滑坡距 KKH 最小距离等。滑坡数据集属性表中字段分别为：FID、ID、Latitude、Longitude、Type、Relief、Area、Aspect、Slope、Lithology、Dis_to_Fau、Dis_to_Epi、NDVI、Precipitat、Dis_to_Dra、Dis_to_KKH。具体滑坡等灾害编目数据集 16 个属性字段及其说明见表 4。



a, 中巴喀喇昆仑国外段滑坡; b, 中巴喀喇昆仑国内段滑坡; c, 巴基斯坦 Hunza 河谷滑坡

图 2 中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡分布图

Figure 2 Distribution of landslides along China-Pakistan Karakoram Highway. a, Landslides along the KKH in Pakistan part; b, Landslides along the KKH in China part. c, Landslides in Hunza valley of Pakistan

3 数据质量控制

本数据集所编目的滑坡，其质量控制主要从两个方面保证。一方面，为了获得可靠的潜在滑坡数据，研究利用了观测范围广、不受云雾影响的 145 景哨兵数据做了时序形变 InSAR 监测，在 InSAR

监测结果初步数字化形变斜坡边界的基础上,通过实地逐一调查,综合参考 InSAR 监测形变、形态几何、影像特征和斜坡坡体岩性、物质特征,对潜在滑坡进行野外现场调查、验证和最终圈定,保证了数据采集和处理流程的完整、科学。另一方面,为了评估 InSAR 监测结果的有效性和可靠性,比较了识别的滑坡和初步数字化形变区域之间的差异,如图 3 所示。统计最终验证的潜在滑坡和 InSAR 监测形变区域的数量比来评定,结果显示 78.7% 的 InSAR 监测到形变的斜坡被纳入到滑坡编目中。表明 InSAR 监测与光学遥感解译、野外调查验证相结合是潜在滑坡识别的高效技术方法。对于滑坡编目中得到验证的每个潜在滑坡,其形变速率最大的区域对应于现场和遥感图像中观察到的斜坡形变最活跃区域^[8,30]。此外,在基础数据的搜集和处理中,搜集了与地表形变监测同期的云量小于 15% 的 6 景 2017 年 5 月或 6 月和 1 景 2016 年 6 月(补充) Landsat 8 影像,经过辐射校正、大气校正、影像镶嵌等处理并计算了 NDVI。

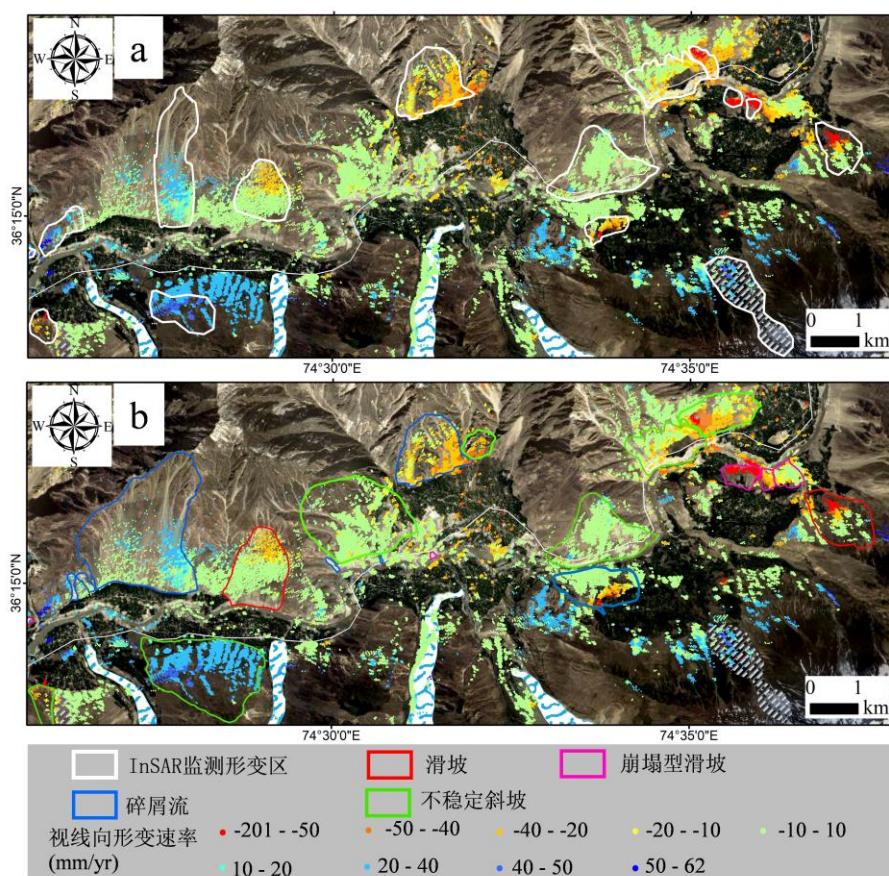


图 3 调查验证前遥感监测识别的形变区域(a)与野外调查修正之后滑坡识别编目(b)对比

Figure 3 The comparison between the deformation areas identified by remote sensing monitoring before the survey (a) and the landslide identification catalogs after field survey and modification (b)

4 数据价值及使用建议

本数据集是基于 SBAS-InSAR 监测地表形变获得的整个中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡编目及特征数据,考虑了现阶段地表形变状况、地形地貌特征,数据具有良好的现势性,是目前最新的中巴喀喇昆仑公路全线的滑坡识别编目及特征数据集。

本数据集不仅可以为未来中巴喀喇昆仑公路沿线地质灾害针对性防治和工程规划提供具体参考,

为滑坡灾害多发区段重点监测和风险研究、喀喇昆仑公路沿线资产易损性、灾害风险定量研究提供基础数据。同时为喜马拉雅山脉、喀喇昆仑山脉等地质灾害多发、威胁程度较大的类似区域提供技术参考和支持,为区域生态文明与安全、可持续发展提供科学技术与理论数据支撑。研究中设计并顺利应用的技术思路和数据处理流程可为类似复杂山地区灾害识别业务和工程防灾工作提供借鉴。

致 谢

感谢欧空局(European Space Agency, ESA)提供 Sentinel-1A 影像数据(<https://scihub.copernicus.eu/>), 美国地质调查局的地震震中数据 (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>), Google Earth 提供影像数据, 以及美国国家航空和航天局(NASA)提供的 SRTM DEM 数据、TRMM 数据和 Landsat 8 影像数据。

数据作者分工职责

苏晓军(1995—),男,青海互助人,博士研究生,研究方向为环境遥感、地质灾害识别、监测与评价。主要承担工作:数据采集、处理、野外调查验证和质量控制。

孟兴民(1963—),男,甘肃武威人,博士,教授,研究方向为环境遥感与地质灾害、地质灾害防治与监测预警。主要承担工作:野外调查、数据质量控制。

张毅(1991—),男,博士,讲师,研究方向为环境遥感与地质灾害。主要承担工作:数据质量控制。

赵富萌(1995—),女,博士研究生,研究方向为环境遥感与地质灾害。主要承担工作:数据质量控制工作。部分数据采集、处理、野外调查验证。

岳东霞(1969—),女,博士,研究方向为环境遥感与地质灾害。主要承担工作:野外调查验证。

郭富赞(1970—),男,博士,研究方向为水工环地质和地质灾害防治。主要承担工作:野外调查验证。

周自强(1965—),男,博士,研究方向为环境地质与地质灾害。主要承担工作:野外调查验证。

参考文献

- [1] ZHAO F M, MENG X M, ZHANG Y, et al. Landslide susceptibility mapping of Karakorum highway combined with the application of SBAS-InSAR technology[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019, 19(12): 2685. DOI:10.3390/s19122685.
- [2] 赵富萌, 张毅, 孟兴民, 等. 基于小基线集雷达干涉测量的中巴公路盖孜河谷地质灾害早期识别[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(1): 142 - 152. DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201902020. [ZHAO F M, ZHANG Y, MENG X M, et al. Early identification of geological hazards in the Gaizi valley near the Karakoram Highway based on SBAS-InSAR technology[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(1): 142-152. DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201902020.]
- [3] SU X J, ZHANG Y, MENG X M, et al. Landslide mapping and analysis along the China-Pakistan Karakoram Highway based on SBAS-InSAR detection in 2017[J]. Journal of Mountain Science, 2021, 18(10): 2540-2564. DOI:10.1007/s11629-021-6686-6.
- [4] QING F, ZHAO Y, MENG X M, et al. Application of machine learning to debris flow susceptibility mapping

- along the China-Pakistan karakoram highway[J]. Remote Sensing, 2020, 12(18): 2933. DOI:10.3390/rs12182933.
- [5] SHAFIQUE M, VAN DER MEIJDE M, KHAN M A. A review of the 2005 Kashmir earthquake-induced landslides; from a remote sensing prospective[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 118: 68–80. DOI:10.1016/j.jseas.2016.01.002.
- [6] AHMED M F, ROGERS J D, BAKAR M Z A. Hunza River watershed landslide and related features inventory mapping[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(6): 523. DOI:10.1007/s12665-015-5172-2.
- [7] BACHA A S, SHAFIQUE M, VAN DER WERFF H. Landslide inventory and susceptibility modelling using geospatial tools, in Hunza-Nagar valley, northern Pakistan[J]. Journal of Mountain Science, 2018, 15(6): 1354–1370. DOI:10.1007/s11629-017-4697-0.
- [8] REHMAN M U, ZHANG Y, MENG X M, et al. Analysis of landslide movements using interferometric synthetic aperture radar: a case study in hunza-Nagar valley, Pakistan[J]. Remote Sensing, 2020, 12(12): 2054. DOI:10.3390/rs12122054.
- [9] ALI S, SCHNEIDERWIND S, REICHERTER K. Structural and climatic control of mass movements along the karakoram highway[M]//Advancing Culture of Living with Landslides. Cham: Springer International Publishing, 2017: 509–516. DOI:10.1007/978-3-319-53485-5_60.
- [10] AHMED M F, ROGERS J D. First-approximation landslide inventory maps for northern Pakistan, using ASTER DEM data and geomorphic indicators[J]. Environmental & Engineering Geoscience, 2014, 20(1): 67–83. DOI:10.2113/gseegeosci.20.1.67.
- [11] YANG Z, ZHU Y, ZOU D H S, et al. Activity degree evaluation of glacial debris flow along international Karakorum highway (KKH) based on fuzzy theory[J]. Advanced Materials Research, 2011, 261/262/263: 1167–1171. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.261-263.1167.
- [12] YANG Z Q, ZHU Y Y, QIAN S G, et al. Types and space distribution characteristics of debris flow disasters along China-Pakistan highway[J]. Electronic Journal of Engineering Geology, 2016, 21: 191–200.
- [13] MARTHA T R, VAN WESTEN C J, KERLE N, et al. Landslide hazard and risk assessment using semi-automatically created landslide inventories[J]. Geomorphology, 2013, 184: 139–150. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.12.001.
- [14] HUSSAIN M L, SHAFIQUE M, BACHA A S, et al. Landslide inventory and susceptibility assessment using multiple statistical approaches along the Karakoram highway, northern Pakistan[J]. Journal of Mountain Science, 2021, 18(3): 583–598.
- [15] ALI S, BIERMANN S P, HAIDER R, et al. Landslide susceptibility mapping by using a geographic information system (GIS) along the China-Pakistan Economic Corridor (Karakoram Highway), Pakistan[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2019, 19(5): 999–1022. DOI:10.5194/nhess-19-999-2019.
- [16] Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (2011), TRMM (TMPA/3B43) Rainfall Estimate L3 1 month 0.25 degree x 0.25 degree V7, Greenbelt, MD[DS/OL]. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). DOI: 10.5067/TRMM/TMPA/MONTH/7.
- [17] SEARLE M P, KHAN M A, FRASER J E, et al. The tectonic evolution of the Kohistan-Karakoram collision belt along the Karakoram Highway transect, north Pakistan[J]. Tectonics, 1999, 18(6): 929–949. DOI:10.1029/1999tc900042.

- [18] FRASER J E, SEARLE M P, PARRISH R R, et al. Chronology of deformation, metamorphism, and magmatism in the southern karakoram mountains[J]. Geological Society of America Bulletin, 2001, 113(11): 1443–1455. DOI:10.1130/0016-7606(2001)113<1443: codmam>2.0.co;2.
- [19] BONTEMPS N, LACROIX P, LAROSE E, et al. Rain and small earthquakes maintain a slow-moving landslide in a persistent critical state[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 780. DOI:10.1038/s41467-020-14445-3.
- [20] KEEFER D. Investigating landslides caused by earthquakes—A historical review[J]. Surveys in Geophysics, 2002, 23: 473–510. DOI:10.1023/A: 1021274710840.
- [21] GABRIEL A K, GOLDSTEIN R M, ZEBKER H A. Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry[J]. Journal of Geophysical Research, 1989, 94(B7): 9183. DOI:10.1029/jb094ib07p09183.
- [22] GOLDSTEIN R M, WERNER C L. Radar interferogram filtering for geophysical applications[J]. Geophysical Research Letters, 1998, 25(21): 4035–4038. DOI:10.1029/1998gl900033.
- [23] BERARDINO P, COSTANTINI M, FRANCESCHETTI G, et al. Use of differential SAR interferometry in monitoring and modelling large slope instability at Maratea (Basilicata, Italy)[J]. Engineering Geology, 2003, 68(1/2): 31–51. DOI:10.1016/S0013-7952(02)00197-7.
- [24] COSTANTINI M. A novel phase unwrapping method based on network programming[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(3): 813–821. DOI:10.1109/36.673674.
- [25] BERARDINO P, FORNARO G, LANARI R, et al. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(11): 2375–2383. DOI:10.1109/TGRS.2002.803792.
- [26] HOOPER A. A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches[J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35(16): L16302. DOI:10.1029/2008gl034654.
- [27] LANARI R, ZENI G, MANUNTA M, et al. An integrated SAR/GIS approach for investigating urban deformation phenomena: a case study of the city of Naples, Italy[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(14): 2855–2867. DOI:10.1080/01431160310001647750.
- [28] SCHMIDT D A, BÜRGMANN R. Time-dependent land uplift and subsidence in the Santa Clara valley, California, from a large interferometric synthetic aperture radar data set[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2003, 108(B9): 2416. DOI:10.1029/2002jb002267.
- [29] ZHAO C Y, ZHANG Q, HE Y, et al. Small-scale loess landslide monitoring with small baseline subsets interferometric synthetic aperture radar technique—case study of Xingyuan landslide, Shaanxi, China[C]//2016: 026030. DOI:10.1117/1.JRS.10.026030.
- [30] LIU X J, ZHAO C Y, ZHANG Q, et al. Integration of Sentinel-1 and ALOS/PALSAR-2 SAR datasets for mapping active landslides along the Jinsha River corridor, China[J]. Engineering Geology, 2021, 284: 106033. DOI:10.1016/j.enggeo.2021.106033.

论文引用格式

苏晓军, 孟兴民, 张毅, 等. 中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡识别编目及特征数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2022, 7(2). (2022-06-28). DOI: 10.11922/11-6035.csd.2022.0007.zh.

数据引用格式

苏晓军, 孟兴民, 张毅, 等. 中巴喀喇昆仑公路沿线滑坡识别编目及特征数据集[DS/OL]. Science Data Bank, 2022. (2022-03-09). DOI: 10.11922/sciencedb.j00001.00374.

A dataset of catalog and characteristics of landslides along the China-Pakistan Karakoram Highway

SU Xiaojun^{1,3,4}, MENG Xingmin^{2,3,4*}, ZHANG Yi^{2,3}, ZHAO Fumeng^{1,3,4},
YUE Dongxia^{1,3,4}, GUO Fuyun⁵, ZHOU Ziqiang⁶

1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, P.R. China
2. School of Earth Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, P.R. China
3. Technology & Innovation Centre for Environmental Geology and Geohazards Prevention, Lanzhou 730000, P.R. China
4. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou 730000, P.R. China
5. Geological Environment Monitoring Institute of Gansu Province, Lanzhou 730050, P.R. China
6. Institute of Geological Hazards Prevention, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P.R. China

*Email: xmmeng@lzu.edu.cn

Abstract: This is the latest dataset of landslide distribution and characteristics along the China-Pakistan Karakoram Highway based on ground deformation rate monitoring, optical remote sensing interpretation, field survey, and verification, with the comprehensive application of the Sentinel-1A data, digital elevation model (DEM), geological map, seismic distribution, precipitation, and vegetation data. The landslide inventorying data come from ground surface deformation monitoring and remote sensing interpretation, field survey verification and correction. In this dataset, the overall distribution range of landslides along the Karakoram Highway is 34.5°N–39.5°N, 72.5°E–76.0°E. It is divided into four subsets recording 762 landslides in the 10-km buffer zone on both sides of the China-Pakistan Karakoram Highway in a catalogue, namely 1) a vector boundary file with the 10-km buffer zone of China-Pakistan Karakoram Highway as the study area; 2) landslides boundary vector file; 3) landslides points vector file; 4) documents of attribution characteristics of each landslide. The attribute parameters (fields) include ID, type, acreage, longitude, latitude, relief, slope, aspect, lithology, precipitation, NDVI, distance to fault, distance to the epicenter, distance to drainage, distance to KKH, etc. According to the evaluation of the remote sensing-based identification work, 78.7% of the deformation slopes identified by InSAR monitoring and optical remote sensing interpretation are accurate. This dataset is the latest one of landslide inventory and characteristics all along the China-Pakistan Karakoram Highway. The data are of a good current situation and can be used as necessary data for in-depth quantitative study on landslide disasters and risks along the China-Pakistan Karakoram Highway and even the China-Pakistan Economic Corridor in the future.

Keywords: China-Pakistan Economic Corridor; landslide inventory; SBAS-InSAR; Earth surface deformation; early identification; development characteristics

Dataset Profile

Title	A dataset of catalog and characteristics of landslides along China-Pakistan Karakoram Highway
Data corresponding author	MENG Xingmin (xmmeng@lzu.edu.cn)
Data authors	SU Xiaojun, MENG Xingmin, ZHANG Yi, Zhao Fumeng, YUE Dongxia, Guo Fuyun, ZHOU Ziqiang
Time range	2017 to 2019
Geographical scope	China-Pakistan Karakoram Highway (34.5°N–39.5°N、72.5°E–76.0°E), specific areas of 10 km buffer along the Karakoram Highway.
Data volume	~3.20 MB
Data format	*.shp、*.xls
Data service system	< http://www.doi.org/10.11922/sciencedb.j00001.00374 >
Sources of funding	National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41661144046), the Science and Technology Planning Project of Gansu Province (Grant No. 18YF1WA114), the Science and Technology Major Project of Gansu Province (Grant No. 19ZD2FA002), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (Grant Nos. lzujbky-2021-ey05).
Dataset composition	The dataset is composed of 4 subsets in total: (1) “Landslides datasets along the KKH.rar”, containing vector data of landslides boundary, with a data volume of 2.25 MB; (2) “Landslides points along the KKH.rar”, containing vector data of landslides points, with a data volume of 296 KB. (3) “Landslide attributions.rar”, containing *.dbf and *.xls excel data of the landslide catalog and attributes data, with a data volume of 432 KB; (4) “Buffer of 10km along KKH.rar”, containing study area data, namely the 10-km buffer zone of China-Pakistan Karakoram Highway.