

# 泥石流灾害发育环境遥感分析——以沙坡头区为例

李樵民<sup>1</sup> 闫亚亚<sup>1</sup> 王文龙<sup>1</sup> 艾宁<sup>2</sup> 闫亭廷<sup>1</sup>

(1. 宁夏回族自治区遥感调查院 银川 750021; 2. 宁夏回族自治区减灾中心 银川 750001)

摘要: \*\*\*\*\*。

关键词: 遥感; 泥石流; 地质灾害; 发育环境

## 0 引言

20 世纪 90 年代, 我国利用遥感(RS)技术完成了约 10 万 km 的泥石流遥感调查<sup>[1]</sup>, 并先后开展了一些重点区域泥石流详细遥感调查<sup>[2]</sup>, 形成了遥感有效应用于泥石流调查的技术方法。国外遥感技术应用于地质灾害调查的研究水平较国内领先, 尤其在滑坡、泥石流的动态监测与快速评价方面有着丰富的经验<sup>[3]</sup>, 并在滑坡、泥石流的预警预报方面取得了较好的效果。地理信息系统(GIS), 特别是结合了遥感与 GPS 的 GIS 技术近年来被更多的地学工作者应用于地质灾害调查与研究领域, 并日渐成为地质灾害研究不可或缺的工具<sup>[4]</sup>。遥感技术通过对多源数据的整理、集成与挖掘, 可对高时间、空间、频谱分辨率的地表信息进行有效集成与分析。

### 1 研究区概况及数据源

#### 1.1 研究区概况

沙坡头区位于宁夏回族自治区中西部, 地处宁、甘、蒙三省交界地带, 是中卫市的政治、经济、文化中心, 总面积 6877 平方公里, 辖 11 个乡镇、165 个行政村和 22 个城镇社区, 地跨东经 104° 17' ~ 106° 10'、北纬 36° 06' ~ 37° 50', 东邻中宁县, 南与同心县、海原县及甘肃省靖远县交汇, 西接甘肃省景泰县, 北邻内蒙古自治区阿拉善左旗。

#### 1.2 数据源选取及预处理

本次工作所采用的数据源为沙坡头区高分二号卫星, 数据时相为 2021 年 10 月。高分二号(GF-2)卫星是我国自主研制的首颗空间分辨率优于 1 米的民用光学遥感卫星, 搭载有两台高分辨率 1 米全色、4 米多光谱相机 PMS。其数据时相自 2014 年 8 月 21 至今, 数据参数如表 3-1 所示。非遥感信息源主要包括数字高程 DEM 数据(USGS)、行政区划图及路网水系图等(OSM)。采用软件 PCI-GXL 对遥感数据依次进行辐射定标、大气校正、几何校正和影像裁剪, 研究所用数据均采用 WGS\_1984 坐标系与经纬度等间隔直接投影。

表 3-1 GF-2 数据参数

参数	1m 分辨率全色/4m 分辨率多光谱相机	
光谱范围	全色	0.45—0.90 μm
	多光谱	0.45—0.52 μm
		0.52—0.59 μm
		0.63—0.69 μm
		0.77—0.89 μm
空间分辨率	全色	1m
	多光谱	4m
幅宽	45km	
重访周期(侧摆时)	5 天	
覆盖周期(不侧摆)	69 天	

## 2 灾害发育环境遥感分析

### 2.1 河流网络提取

河网系统的分布一般是利用数字化地形图或其他地图通过水流线来获得。本次研究采用地表径流漫流模型方法, 又称为全

局法。

#### (1) DEM 预处理

DEM 是以有序数值阵列对地形表面的真实模拟, 但由于 DEM 本身误差或特殊地貌形态的存在, DEM 表面会出现凹陷区域, 称之为洼地。在原始 DEM 数据中, 洼地和平坦区域是普遍存在的。洼地区域会出现水流逆流的情况, 在确定水流方向时, 会导致水流方向不合理或出现错误。因此在河网提取之前, 必须对原始 DEM 进行预处理, 校正 DEM 中洼地和平坦区域的高程数据, 使洼地和平坦区域成为斜坡的延伸部分。

#### (2) 水流流向的确定

水流流向的确定是河网提取的关键步骤, 也是河网提取的基础环节。本研究采用 D8 算法确定水流流向。D8 算法的基础是假设每一个栅格的水流方向仅有 8 种可能, 即流向与之相邻的 8 个栅格。通过计算中心栅格与相邻栅格的最大距离权落差确定水流方向, 最大距离权落差法也称最大坡降法。该方法是指中心栅格与邻域栅格高程的差值与两个栅格之间的距离之比, 公式为:

$$\text{Slope}=(h_i-h_j)/D$$

其中  $h_i$  是中心栅格的高程值,  $h_j$  是邻域栅格的高程值,  $D$  是两个栅格之间的距离, 栅格之间的距离与流向有关, 当栅格的方向值为 2、8、32、128 时, 栅格之间的距离为  $\sqrt{2}$  倍的栅格大小, 除此以外栅格距离均为 1。将东、东南、南、西南、西、西北、北和东北 8 个方向定义为有效水流方向, 分别用 1、2、4、8、16、32、64 和 128 等 8 个有效特征码表示, 规定被处理栅格中心与邻近栅格中坡降最大栅格中心点连线为被处理栅格的水流方向, 并且用邻近栅格中坡降最大栅格的特征码表示。

#### (3) 汇流累积量计算

规定规则格网表示的数字地面高程模型的每个栅格都有一个单位水量, 按照水往低处流的自然规律, 沿坡度最陡原则确定的水流路径可以计算任何格网单元上的坡面集水面积, 其集水面积的量值以格网数目的多少表示, 从而每个格网单元的汇流数值代表了汇流到该格网上比其高程高的网格数目。

#### (4) 河网提取

汇流累计量数据是河网提取的基础。在汇流量栅格数据中, 当网格中的汇水量达到某一阈值后, 便可以判定这个网格有河网线穿过, 并由此跟踪搜索出流域中的全部河流网络。在土壤、植被、地形、地貌等因素的影响下, 不同研究区域的阈值存在一定差异。阈值越小, 提取的河流网络越稠密、结构越复杂; 反之提取的河网越稀疏、结构越简单, 过大或过小的阈值都会使所提取河流网络与实际不符, 需要通过大量实验和地形图分析等方法来确定所属研究区域的集水阈值大小。本研究在水文分析工具的支持下进行了大量实验, 最终确定集水阈值为 5000, 大于 5000 的为水流路径, 而小于 5000 或等于 5000 的栅格区域无数据, 所提取河流网络如图 7-11 和图 7-12 所示。

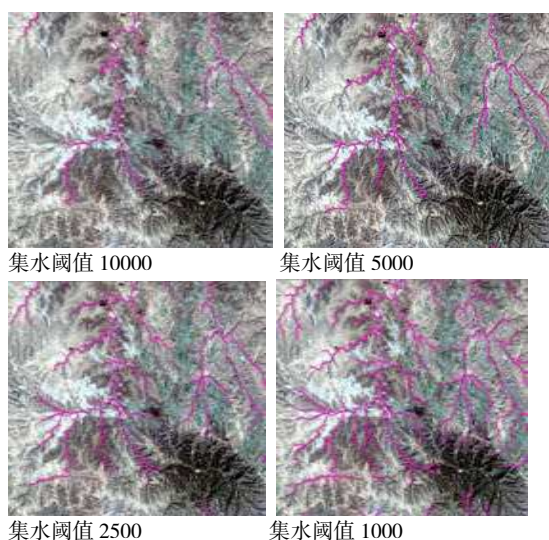


图7-11 沙坡头区不同集水阈值下河流网络提取结果对比



图7-12 沙坡头区河流网络图

## 2.2 流域边界划分

### (1) 河网分级

河网分级最初是由 Horton (1945)、Strahler (1952) 等人提出的, 是对线性河流网络以数字标示的形式划分等级, 表征对自然界河网系统几何特征上自相似性的系统总结。不同等级的河网所代表的汇流累积量不同, 级别越高, 汇流累积量越大, 一般为主流; 级别较低的河网一般为支流, 黄河为最高级 (5 级), 嘎峁子沟等次之为第 4 级。

### (2) 集水区域划分

流域又称为集水区域, 是指流经其中的水流和其他物质从一个共同的出水口流出而产生的比较集中的排水区域。每条河流都有所属流域, 一个大的流域可以根据河流的等级划分为多个小流域。

## 2.3 沟谷特征提取

### (1) 沟谷密度

沟谷密度也称为沟壑密度, 是评价流域受到沟谷侵蚀程度的指标, 沟谷密度越大, 流域越破碎。破碎的流域面起伏不平、斜坡较多, 同时会使地表物质稳定性降低, 从而地表径流对土壤的冲刷能力越强, 造成的沟谷侵蚀越快。沟谷密度是降水、地形发育、土壤渗透、地势高差和地表抗侵蚀能力的重要特征值, 受地形、气候、植被、岩性等因素的共同影响, 表征区域地貌形态。沟谷密度的计算, 对了解区域地形发育、水土流失情况和水土保持治理有着极为重要的意义。

沟谷密度就是指单位面积内沟谷的总长度, 以  $\text{km}/\text{km}^2$  为单位, 数学公式为:

$$D_s = \frac{\sum L}{A}$$

其中  $D_s$  表示沟谷密度;  $\sum L$  表示沟谷总长度, 单位为  $\text{km}$ ;  $A$  表示研究区域的面积, 单位为  $\text{km}^2$ 。

本研究基于经过整饰的河流网络图进行沟谷总长度计算, 所得沟谷总长度为  $2282.84\text{km}$ ; 研究区域总面积为  $5380.84\text{km}^2$ , 则研究区沟谷密度为  $0.4243\text{km}/\text{km}^2$ 。

### (2) 山谷线和山脊线

山脊线和山谷线构成了地形起伏变化的分界线 (骨架线), 对于地形地貌的研究具有重要意义。于水文地质研究而言, 山谷表示汇水线, 具有合水性特征; 山脊表示分水线, 具有分水性特征, 其提取本质上就是汇水线和分水线的提取。山谷线、山脊线、山顶点 and 鞍部点共同构成了地形起伏变化的主干结构。

由于山脊线同时是分水线, 其分水性特征表征水流起源点。而使用地表径流漫流模型所得水流方向都是流出方向, 无流入方向, 即对汇流累计量为零的栅格进行提取, 可得到分水线; 山谷线的提取, 可以使用反地形计算, 即用较大的数值减去原始 DEM 数值, 从而可以得到与原始 DEM 地形完全相反的地形数据, 使得原始 DEM 中的山脊线变成反地形中的山谷线, 而原始 DEM 中的山谷线变成反地形中的山脊线, 从而可以提取山谷线。

根据以上流程, 本研究对沙坡头区山谷线和山脊线进行提取, 所提取结果如图 7-17、图 7-18 所示。

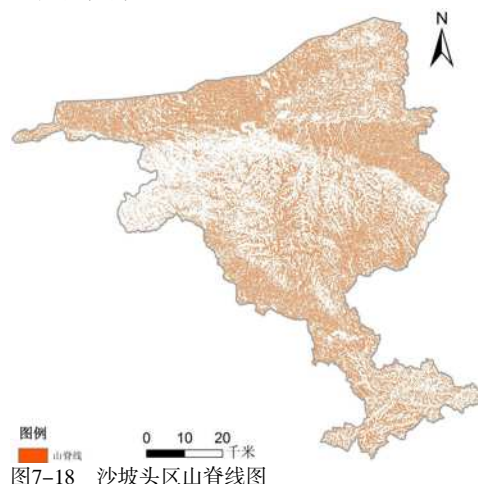


图7-18 沙坡头区山脊线图

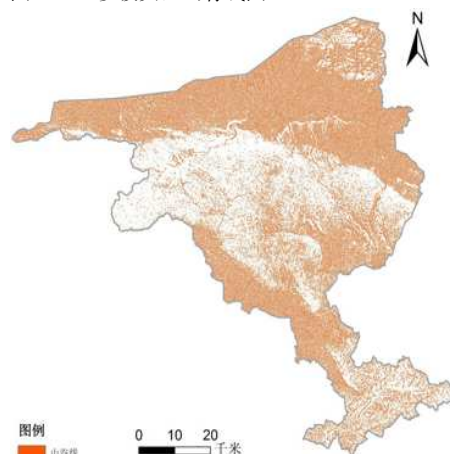


图7-19 沙坡头区山谷线图

## 3 结果与分析

利用遥感技术和已有资料的空间分析, 对沙坡头区沟谷特征信息进行提取研究, 进行了沙坡头区泥石流发育环境的遥感分析

工作。

(1) 泥石流易发流域

遥感分析数据显示,分布在沙坡头区黄河南岸的碾峁子沟、三个窑沟、阴洞梁沟、高崖沟等是泥石流灾害易发的流域。

沙坡头区境内有黄河及其支流长流水、清水河三条主要河流。黄河沿市域西北侧自西南向东北流过,穿黑山峡,至胜关出境,境内流程约182km,距市区约2km。流速分别为:洪水期2.2~4.0m/s,常水期1.7~3.0m/s,枯水期0.77~2.0m/s;平均水深:洪水期1.8~8.7m,常水期1.7~5.2m,枯水期1.6~3.7m。区内除黄河外,冰沟及上石棚沟有常年性地表水流,无其他天然地表水流。沟谷基本上均为季节性沟谷,平均径流深7.7mm,且为暴雨形成的山洪径流,难以利用,现有数据中河沟平均流速为1.47~6.21m/s。河沟洪峰流量为46.4~1780.0m<sup>3</sup>/s,其中碾峁子沟洪峰流量最大,为1780.0m<sup>3</sup>/s,艾湾沟洪峰流量较小,为46.4m<sup>3</sup>/s,各河沟洪峰流量及分布见图6-18、图6-19。

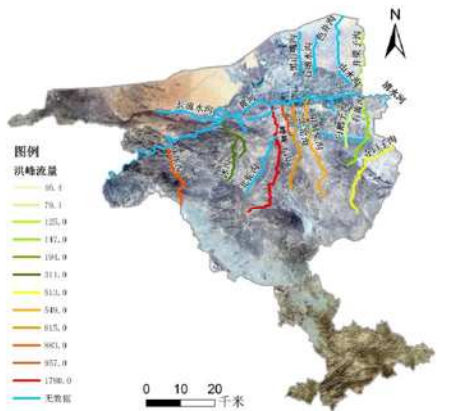


图6-18 沟谷洪峰流量示意图

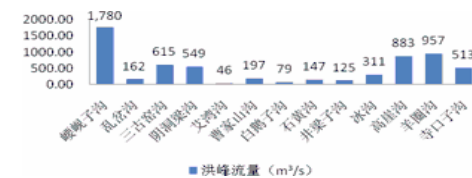


图6-19 沟谷洪峰流量

(2) 泥石流遥感特征与分布

按照泥石流流域特征,可分为坡面型泥石流和沟谷型泥石流。本次遥感解译的泥石流均属于沟谷型泥石流。从遥感影像上看,泥石流沿沟谷形成,上游树枝状、羽状地形发育,汇水面积有一定的规模。大部分流通区上游较狭窄,至下游地区变宽,沟底灰白色、蓝灰色松散碎屑物较多。香山山区基岩风化较强烈,山坡及沟谷中堆积的碎石为沟谷型泥石流提供了充足的物源。沟谷型泥石流的堆积区扇形地发育,扇形地的形态与泥石流沟出口的形态关系密切,喇叭状的出口往往为条带状或舌状扇体,扇翼角较小;出口呈瓶颈状,形成短轴状扇体,扇翼角较大,影像上可见半圆形。遥感影像上,在香山山麓地带泥石流异常发育,香山山区地形起伏,冲沟发育,地形切割破碎,为泥石流的形成提供了良好的地形条件,较大的沟谷均为泥石流沟,在香山北麓和南麓密集分布。在兴仁、蒿川一带,黄土地貌发育,地表植被覆盖率低,地形千沟万壑,多形成流通区较长而堆积区较小的泥石流沟。本次遥感解译泥石流地质灾害主要威胁公路、铁路、村庄

及农田等。

(3) 泥石流灾害易分区

沙坡头区泥石流高易发区主要分布在包兰铁路营盘水—甘塘、香山西麓及省道S202沿线、碱沟—五步台、香山东麓寺口子—曹台、兴仁镇东滩—薛家套子,约占全区总面积的10.94%。沙坡头区泥石流中易发区主要分布在黄河左岸南长滩—大柳树、南山台子(青驼崖—双井)、兴仁镇东滩—薛家套子、兴仁镇韩套—皮家川—宋套、沙坡头区南部黄土丘陵区,约占全区总面积的4.96%。沙坡头区泥石流低易发区主要分布在包兰铁路孤山子—照壁山、南山台子、香山东麓、香山西麓、沙坡头区南部黄土丘陵区,约占全区总面积的29.06%。沙坡头区泥石流极低易发区主要分布在沙坡头区北部风积沙地—东部冲积平原、香山腹地、香山西麓,约占全区总面积的55.04%。

4. 结论

(1) 遥感技术在泥石流防治工作中具有十分重要的技术支撑作用,但也应认识到,已有地质资料收集利用、地质灾害成灾机理分析、孕灾地质条件分析以及评价模型的建立均是该项工作能够顺利完成所不可或缺的工作内容。理论知识得以指导防灾、减灾、救灾实际工作,需要类似遥感等的技术支撑;遥感技术能够支撑防灾、减灾、救灾实际工作,同样也离不开灾害领域专业知识的指导。

(2) 以沙坡头区遥感技术在泥石流防治中的应用为例,该技术在各灾种中的应用广度、深度差异较大。表现在地质灾害为主,洪涝灾害次之,其他灾害为辅的特点。其原因一方面为遥感技术的起步发展来自自然资源部门的对地观测应用,上述部门对该技术的应用具有深厚的经验积累;另一方面遥感技术仍属于新兴的技术手段,具有一定的技术门槛,各灾种主责部门建立独立的遥感技术团队成本较大,具有一定难度。面向基层的遥感技术在自然灾害防治中的作用与应用模式推广十分必要。

(3) 随着遥感数据获取技术向多平台、多传感器、多角度和高空间分辨率、高光谱分辨率、高时相分辨率方向发展以及定量遥感向实用化发展,遥感技术在自然灾害防治中正在发挥越来越大的作用。适用于各地方的自然灾害管理遥感技术应用体系建立非常必要。

参考文献 (Reference):

[1]高玉欣. 北京大石河上游泥石流发育特征与判别模型研究[D].中国地质大学(北京),2019.  
 [2]尹占娥,殷杰,许世远. 城市自然灾害风险评估与实证研究[A]. 中国地理学会 (The Geographical Society of China). 中国地理学会百年庆典学术论文摘要集[C]. 中国地理学会 (The Geographical Society of China):中国地理学会,2009:1.  
 [3]付振东.和田县阿瓦提村泥石流发育特征及发育机理[J].四川地质学报,2019,39(01):97-100.  
 [4]安红艳.宁夏贺兰山区贺兰沟泥石流发育特征研究[J].内蒙古石油化工,2019,45(07):18-21.  
 [5]许晓君.四川省壤塘县石吾陇沟泥石流发育特征及堵河研究[D].西南交通大学,2019.

作者简介:李樵民,男,汉族,1990-10,工程师,硕士研究生学历,研究方向:资源与环境遥感。

(注:务必保留基金项目,国际刊)