

# 泥石流灾害隐患区（沟）卫星遥感（TM） 预测研究

乔彦肖

（河北省环境地质勘查院，石家庄 050021）

**摘要：**应用卫星遥感 Landsat-TM 图像研究泥石流隐患区（沟），选择冀西北地区的崇礼、赤城和冀北地区的兴隆县作为试点，首先对影响泥石流发育的所有因素分析研究，对它们对泥石流发育影响的重要性进行排序，建立泥石流发育影响因素分类体系。然后研究它们的遥感光谱属性特征，并据此进行定性或定量的判释。在试点区约 10800km<sup>2</sup> 范围内，圈定出极有可能和很有可能在适宜的降水条件下发生泥石流的隐患区（沟）112 处。

**关键词：**卫星遥感（Landsat-TM）；泥石流隐患区（沟）；影响因素

## 0 引言

泥石流历来是河北省山区突发性地质灾害中发生区域广、危害最严重的灾害。近十几年来，泥石流发生的区域、规模、频率以及造成的危害呈不断增加的趋势。1988 年秦皇岛地区、1994 年承德地区、1996 年太行山南段、1998 年兴隆县、2000 年石家庄西部地区都曾发生大范围、危害严重的区域性泥石流灾害。小范围和小规模的泥石流几乎每年都有发生。泥石流造成的经济损失少则数百数千万元，多则达数亿至数百亿元，有时还出现人员伤亡。严重的泥石流灾害已引起各级政府的关注，泥石流调查和防治工作正在积极开展之中。河北省遥感中心在取得利用卫星遥感（TM）调查泥石流成功的基础上，在陆续分片开展的地质环境综合调查中，从地质灾害防治以预防为主的原则出发，选择冀西北地区的崇礼、赤城和冀北地区的兴隆县，附带开展了利用 Landsat-TM 图像圈定泥石流隐患区（沟）的试点应用研究，企图实现利用卫星遥感（TM）技术预测泥石流灾害、达到有效地防治和避免或减少灾害损失的目的。

## 1 研究区概况

崇礼、赤城两县属于冀西北地区的张家口市管辖，两县相毗邻，面积约 7600km<sup>2</sup>，地貌上属中山区，海拔大多在 800 - 1600 米，山峦起伏，谷地狭窄，山体切割强烈。该区属大陆性季风气候，寒冷、干燥、多风，多年平均降水量 441.1mm，属河北省少雨区。植被分布不均，平均覆盖率约 20%。岩性以麻粒岩相变质岩、高角闪岩相变质岩、中性喷发岩类碎屑岩、陆相沉积碎屑岩以及各类侵入岩为主。兴隆县位于燕山腹地，面积 3123km<sup>2</sup>，地貌类型以中山、低山为主，丘陵区次之，平均海拔多在 600 - 1200 米。中低山区地势陡峭，沟谷深切多呈 V 字型。该区属寒温带半湿润大陆性季风气候，冬季寒冷干燥，夏季炎热多雨，多年平均降水量 776mm，属河北省多雨区。本区植被分布较不平衡，林场及森林公园可达 70% 以上，其它大部分地区在 20% 以下，区内岩性以碳酸盐岩、各类碎屑岩、各类变质岩以及正长岩为主。

## 2 影响泥石流发育的因素分析

影响泥石流发育的因素是十分复杂的，且不同的地区各有特点。根据我们对河北省泥石

流的研究，那些复杂的影响泥石流发育的因素可归为两大类，即物源因素和动力因素。其中物源包括 8 项基本因素，动力因素又分为降水和地形地貌两亚类，二者总共也由 8 项基本因素构成，其分类组织结构如图 1。

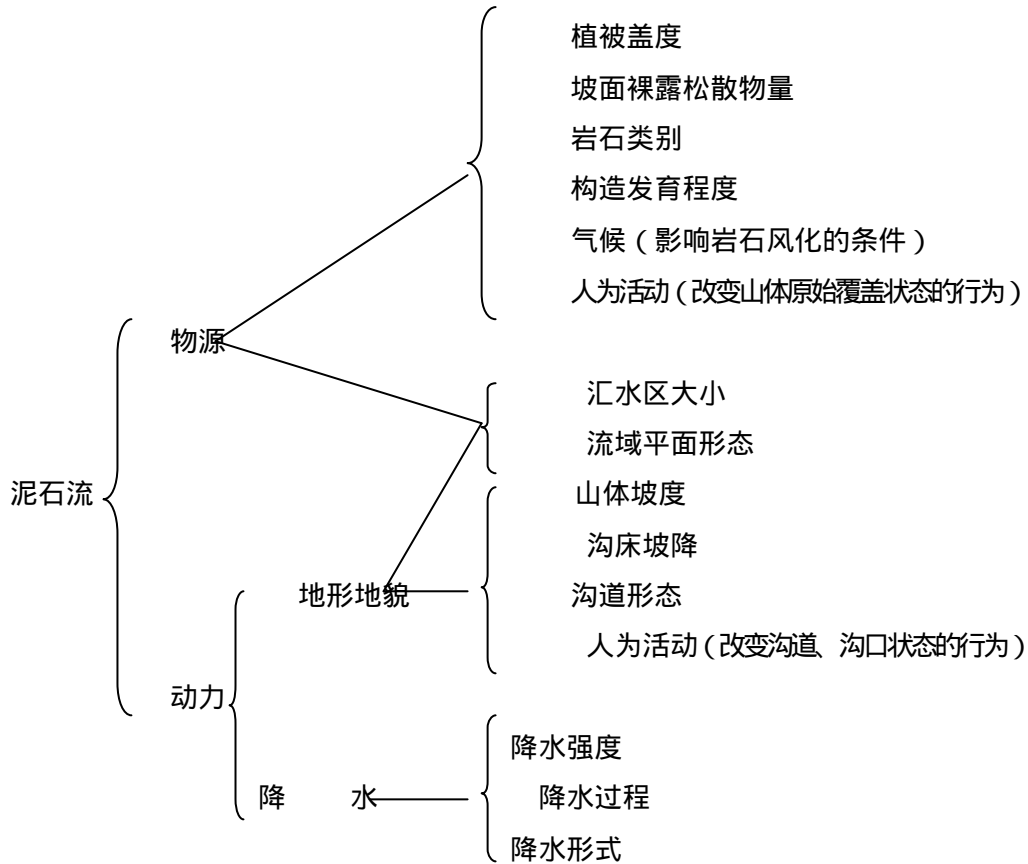


图 1 泥石流发育影响因素分类结构图示

在如图 1 所示两大类 15 种基本因素中，有 9 种可直接利用卫星遥感 (TM) 图像解译获取。它们是植被盖度、坡面裸露松散物量、岩石类别、构造发育程度、人为活动、汇水区大小、流域平面形态、山体坡度、沟道形态。降水强度、过程和形式则不能由遥感图像解译，沟床坡降可采用地形图与遥感图像解译相结合的方式获取。对两大类因素对泥石流发育的影响程度，在河北省范围内，我们认为它们二者处于同等重要的地位，只具备其中一项的沟谷是不可能成为泥石流沟的。但对 15 种基本因素而言，它们对泥石流的发育是有差别的，根据我们的初步研究，它们对泥石流发育的影响程度排序如下（按重要性从大到小的顺序）：植被盖度、坡面松散物量、岩性、构造发育程度、山体坡度和沟床坡降、汇水区大小、流域平面形态、人为活动、气候（包括降水和影响岩石风化的条件）。

### 3 基于遥感图像特征的泥石流隐患区（沟）发育因素分析

对两个试点区开展的泥石流隐患区（沟）遥感研究，是在遥感 (TM) 对已发生泥石流研究取得重大技术突破的基础上对泥石流遥感研究的深入<sup>[1]</sup>。已发生泥石流区（沟）与泥石流隐患区（沟）在遥感影像特征上存在很大程度的共通性，但它们二者在一些方面又存在一定的差异。因此，利用卫星遥感图像 (TM) 判断泥石流隐患区（沟），是以隐患区与已发生区存在的共通性特征为基础，结合地理分析法，运用形象思维，建立起泥石流隐患区（沟）遥感图像特征，然后综合考虑这些特征，对一个小流域（或一条沟）是否是泥石流隐患区（沟）作出判断。

(1) 植被盖度。植被盖度是影响泥石流发育的最重要的因素,因为它控制着坡面松散物是否能转化成为泥石流物源。坡面松散物的多少只是为发生泥石流准备了可能的物源,但能否成为物源在一般情况下取决于植被的发育状态。根据我们对张家口地区 300 余条泥石流沟植被发育状况的遥感调查和统计,植被超过 70%的流域,发生泥石流的概率只有 13%;植被盖度 30% - 7%的流域,泥石流发生概率是 25%;植被盖度小于 30%的流域,泥石流发生概率为 63%。由此可得出结论,植被盖度小于 30%的沟谷,在其它发生泥石流的条件同时具备时,极易发生泥石流;而植被盖度大于 70%的流域,尽管具备其它泥石流发生条件,也极不易发生泥石流,而介于二者之间的流域,则应结合其它条件谨慎推断。

(2) 坡面裸露松散物量。坡面裸露松散物量是指没有植被覆盖的松散物的多少,松散物量在 TM 图像上由面积大小表示。裸露松散物面积越大,表明有越多的松散物将成为泥石流物源。实际上,坡面松散物面积的多少主要是由岩石类别和构造发育程度所决定的。而在一条沟或一个小流域这样一个不大的区域,岩类和构造发育程度的变化是不大的。故裸露松散物在大多情况下呈大面积整条沟(或流域)分布状态,植被或裸岩与成片裸露松散物呈插花分布的情况很少见。而在坡面几乎全被裸露松散物覆盖的沟谷中,如地形地貌也适宜泥石流的发生,这样的沟谷几乎全部是泥石流沟。

(3) 岩石类别和构造。岩性和构造决定着岩石的耐风化程度和岩石的破碎程度。耐风化性弱的岩类和构造发育的地方易形成多的松散物,从而为泥石流的发生提供必要的物源条件。通过遥感解译崇礼、赤城和兴隆县的岩石类别和构造,统计计算泥石流沟与岩类和构造发育程度的关系,得出如下结论:泥石流沟密度最高的岩类是中碱性侵入岩类,其它依次为:高角闪岩相变质岩、麻粒岩相变质岩、碳酸盐岩、酸性喷发岩、中性喷发类碎屑岩。构造发育程度按断裂密度分为高、中、低三个级别(45km/100km<sup>2</sup>、20 - 45 km/100km<sup>2</sup>、< 20 km/100km<sup>2</sup>),高密度区泥石流沟占其总数的 50%,中密度和低密度区泥石流沟分别占其总数的 31%和 19%。

(4) 山体坡度和沟床坡降。山体坡度和沟床坡降可在 TM 图像上粗略判断,更精确地分级则要相应比例尺的地形图配合。遥感图像可将山坡分为缓坡、较陡坡和陡坡,大致相当于 < 20°、20° - 45° 和 < 45°。在两个试区中,泥石流都发生在山坡坡度大于 20°的沟谷中,抽样统计结果为:较陡坡泥石流沟为 70%,而陡坡泥石流沟为 30%。通过对 35 条泥石流沟沟床坡降的统计,最小坡度为 2°,最大坡度为 17°,3° - 9°的占总数的 80%。

(5) 汇水区大小。汇水区大小直接关系到物源的多少及汇聚的降水量的多少。汇水区可很方便地从 TM 图像上圈定出来。发生泥石流的汇水区变化范围很大,本次试区内最小面积为 0.6km<sup>2</sup>,最大可达 25km<sup>2</sup>。抽样统计结果是 1 - 3km<sup>2</sup>者占泥石流沟总数的 45% (< 1、1 - 2、2 - 3km<sup>2</sup>呈均匀分布状态),4 - 6km<sup>2</sup>者占总数的 26%,7 - 8km<sup>2</sup>者占总数的 7%,其余的 22%为 9 - 25km<sup>2</sup>者所占有。

(6) 流域平面形状。流域平面形状用流域的长与宽之比值来表征。该比值定量反映了流域的基本形状,这对于考虑物源区形状有一定价值,它很容易从 TM 图像上获取。比值大,说明流域狭长;比值接近于 1,则说明流域形态近似于圆形。在河北省泥石流发生区中,在其它条件相同时,越近于圆形的流域(沟谷),发生泥石流的概率越大。

(7) 人为活动。人为活动对泥石流的发育有十分重要的影响。诸如砍伐植被、陡坡开荒、采矿等活动都可能造成大量泥石流物源或使沟道形态改变,从而导致泥石流发生。这些人为活动在 TM 图像上可以很好地识别,如成片砍伐的林木、堆积在山坡或沟床中的矿渣堆、采矿造成的坡面形态改变、陡坡上开发的农田等,都会在 TM 图像上以形态、色调和影纹结构等与周围环境的强烈反差表现出来。由人为活动导致或加剧泥石流发生的情况近十年来有不断向严重方向发展的趋势。因此,人为活动应作为判断隐患泥石流区(沟)的一项重要内

容，特别是在矿业发达地区更应特别注意。

#### 4 泥石流隐患区（沟）遥感研究中气候因素的考虑

除了前述的根据遥感图像研究的影响泥石流发育的因素外，气候条件中如降水的强度、形式、过程和时空分布，干湿冷暖变化等还不能从遥感图像上直接获取。气候对泥石流发育的影响在不同的纬度带最为明显，而在一个不大的地区中这种影响是相对均衡的，其差别仅在于山坡的朝向和特殊的地形条件。在河北省太行山和燕山山地中，阳坡较阴坡降雨量偏大，相同类型的岩石沟谷，阳坡较阴坡岩石风化强烈，而所谓的特殊的地形条件是指暴雨易发地区的地形特征。由山坡朝向不同而出现的岩石风化程度的差异，可直接由坡面裸露松散物这个易于从遥感图像上判释的因素来表征。而对降雨量在泥石流隐患区（沟）的判别上的处理要困难的多。降雨量的时空分布具有多变性，这种多变性完全控制着泥石流的规模和频率，而根据目前的资料对降雨量还不能做到像其它因素那样准确划分其空间分布和等级。在两个试点区中，我们采用现有降雨量等值线图 and 野外实地访问的方式大致确定小流域内降雨量的大小，并根据近几年河北省山区泥石流发生情况，粗略地确定出不同降雨量和降雨过程对泥石流规模的影响。

#### 5 结果与存在问题

在完成两个试点区泥石流发育影响因素分析特别是完成这些因素在遥感图像上的表现特征分析后，我们试图总结出两个试点区泥石流发育的规律，建立泥石流隐患区（沟）判别模式。但由于本项研究属附带性的，在很多方面还存在缺憾，故而要实现这个目的还存在一定的困难。因此，在现有研究基础上，我们把繁杂的泥石流发育影响因素分级归并成有限几项能在遥感图像上得到明显反映的泥石流发育的综合特征作为判断泥石流隐患区（沟）的标志。它们是：第一种情况；植被盖度小于 15%、裸露松散物面积达 50%、坡面坡度大于 35°、沟床坡降大于 12°，流域长宽比为 1 - 2、沟道顺直呈 V 字型；第二种情况：植被盖度小于 30%、裸露松散物面积达 40%、坡面坡度小于 35°、沟床坡降大于 7°，流域的长宽比约为 3、其它条件同第一种情况。根据这两种情况圈定出的泥石流隐患区（沟），在前期降雨量达到 60mm，24 小时降雨量超过 100mm 的情况下，极有可能和很有可能发生严重泥石流，在 24 小时降雨量达到 200mm 的情况下，必将出现严重泥石流（图 2）。这样的泥石流隐患区（沟）在崇礼、赤城共圈定出 70 处<sup>[2]</sup>，在兴隆县圈定出 42 处<sup>[3]</sup>。对这百余处泥石流隐患区（沟），会同当地地质环境主管部门，选择出可能对交通干线、村镇、矿山、旅游区造成危害的 12 处（约总数的 10%）进行野外实地验证，其中 10 处被确认为泥石流严重隐患区（沟），并将其列入当地汛前地质灾害防治预案中。

本次属附带性的泥石流隐患区（沟）的遥感研究只是个开端，有许多地方仍需在进一步的工作中改进、深化和细化。本次研究存在的问题主要有：泥石流发育影响因素的遥感量化研究不够，没有做到全部因素定量化，即使做了定量研究的项别，其分级也较粗略。泥石流发育影响因素之间的相关性应得到数理统计的支持。降水条件（主要是降水量）应以更详细准确的分级参与到泥石流隐患区的预测中，结合山体坡度、沟床坡降等条件，在计算出物源量的基础上，估算泥石流发生的临界动力值，据此推算泥石流发生的频率和规模大小。



## 参考文献

- [1] 乔彦肖 卫星遥感 (Landsat-5TM) 对河北省太行山南段泥石流灾害调查的可行性研究 [A] 陈毓川 第 31 届国际地质大会中国代表团学术论文集[C] 北京 地质出版社 2001
- [2] 乔彦肖 张家口市地质灾害遥感调查报告[R] 石家庄 河北地勘局 2001
- [3] 乔彦肖 郭庆十 河北省环境地质遥感调查报告[R] 石家庄 河北地勘局 1999