

彩色红外遥感航片在滑坡调查中的应用

杨 运 恒

(烟台师范学院地理系)

提 要

晋西三川河流域黄土区的滑坡,可根据“滑床”、“稳定性”和“滑坡体体积”三个指标分类、命名。调查滑坡可以1:100,000 MSS彩色合成卫片,1:50,000和1:100,000地形图以及地质、地貌、水系、植被和土壤侵蚀等图件作为主要信息源。然后,通过目视判读从彩色红外遥感航片上确定滑坡分布、滑坡类型、滑坡稳定性和滑坡的规模等。分析结果表明,滑坡体的面积与其长度、宽度之间有很高的相关性,用DBASE III数据库管理系统支配,把网格化的滑坡类型分布图的有关数据输入计算机,可计算出滑坡个数、面积和滑塌量,得到滑坡分布密度等10幅专题图件,为该流域的整治与开发提供滑坡方面的信息。

滑坡是斜坡土(岩)体沿一定滑床面整体下滑的现象。滑坡不仅对周围水系、地下水活动、土地利用以及道路选线、厂房和窑洞选址等有直接影响,而且作为一种重力侵蚀方式,是沟道产沙的重要来源之一。黄土高原地区沟谷重力侵蚀剧烈,滑坡灾害时有发生。对滑坡进行调查研究,摸清其发生、活动与分布规律,对滑坡灾害防治及土壤侵蚀治理具有十分重要的意义。

五十年代以来,我国科研工作者利用黑白航片在铁路工程等领域开展了大量的滑坡调查研究工作^{[1][2]}。1984年,中国科学院成都地理研究所利用彩色红外遥感航片对长江三峡地区的滑坡、崩塌进行了全面的调查。但利用彩色红外遥感航片对黄土高原地区的滑坡进行调查的工作较少介绍。1986年,我们结合“六五”国家重点科技攻关项目的研究工作,利用彩色红外遥感航片对晋西三川河流域的滑坡进行了全面的调查。本文介绍这项工作的研究方法、过程与结果。

一、研究地区自然概况

三川河流域地处吕梁山中段西麓。全流域跨晋西吕梁行署所属方山、离石、中阳和柳林4个县。三川河由北川河、东川河、南川河三大支流汇合而成,是黄河的一级支流。流域面积4,161平方公里。

根据地表组成物质差异的特点,三川河流域可以划分为基岩分布区(面积约1,500平方公里)和黄土分布区(包括土石过渡类型,面积约2,661平方公里)两大类型区。大面积的基岩主要分布于流域东部山地,成片的黄土主要分布于流域中部和西部。海拔高度一般在1,400米以下。

以基岩分布为主的流域东部,属吕梁山系褶皱断裂山地,构造抬升剧烈。以关帝山为中心,不同时期入侵的花岗岩及古老的变质岩、混合岩构成了吕梁背斜的核部,并且大面积出露。流域东南部背斜轴部两翼广泛分布寒武—奥陶系灰岩。基岩山地的地势较高,平均降水量在530毫米以上,其中关帝山高达700毫米。森林、灌木长势好,植被覆盖率一般在80%以上。

流域的中部和西部为黄土丘陵,梁峁广布,沟谷纵横,出露土(岩)层组合类型多变。马兰黄土分布于沟间地上,面积最广;离石黄土普遍出露于黄土沟坡中。店坪、离石、阳坡、张子山、

吴家崮、柳林等地区在构造上属向斜盆地或构造台地，黄土层厚达百米，并且沟谷普遍出露三趾马红土，主河道和各支流的中下游普遍切入基岩。本区地势较低，年平均降水量在450—530毫米之间。由于季风的影响，本区降雨多集中在夏季，6—9月的降雨量约占全年的74%，且以暴雨为主。吴家崮附近是流域的暴雨中心，平均24小时暴雨量大于70毫米，24小时最大暴雨量在650毫米以上。由于人类活动作用强烈，垦殖指数高达40—50%。植被稀少，覆盖率一般低于30%。

自然条件的差异，决定了黄土区与基岩分布区土壤侵蚀的不同。在基岩分布区，由于岩性的抗蚀性较强，植被覆盖度较高，因而土壤侵蚀程度较轻，年平均侵蚀模数一般小于1,000吨/平方公里，发生滑坡的机率较小。黄土分布区由于土质结构松散，沟谷出露土(岩)层组合类型多变，植被稀少，暴雨作用强烈，因而土壤侵蚀十分严重，滑坡时有发生，年平均土壤侵蚀模数高达10,000—20,000吨/平方公里。三川河流域平均每年输入黄河的泥沙高达3,910万吨，其中93—94%来自黄土分布区^[4]。根据本流域土壤侵蚀差异的特点，主要对黄土分布区的滑坡进行调查。

二、滑坡类型的划分

根据本流域滑坡发育的特点，以及滑坡类型在彩色红外遥感航片上的可判性，我们从土壤侵蚀的角度，采用三级指标对滑坡进行分类。滑坡分类系统如下。

I级分类（“滑床”指标）：

- 黄土床滑坡；
- 红土（三趾马红土）床滑坡；
- 基岩床滑坡。

II级分类（“稳定性”指标）：

- 稳定滑坡；
- 不稳定滑坡。

III级分类（“滑坡体体积”指标）：

- 大型滑坡（>60万立方米）；
- 中型滑坡（20—60万立方米）；
- 小型滑坡（<20万立方米）。

滑坡的命名采用“I级类型”+“II级类型”+“III级类型”的命名法，如红土床不稳定小型滑坡。

三、信息源的选择

我们采用山西农业遥感应用科学研究所1980年10月拍摄的1:20,000彩色红外遥感航片作为滑坡调查的主要信息源。红外摄影对地物温度差异十分敏感，土壤水分、植被和农作物等信息通过影像的色调特征反映明显。该航片的分辨率约1米，坡面上发育的细沟清晰可辨。与普通黑白航片相比，彩色红外遥感航片不仅可以从微地貌形态，而且还可以从色调特征对地物加以识别，信息量高出普通黑白航片好几倍。工作中，我们还利用了该流域的1:100,000MSS彩色合成卫片，1:50,000和1:100,000地形图以及地质、地貌、水系、植被、土壤侵蚀等图件。

四、滑坡类型的彩色红外遥感航片目视判读标志

在野外考察的基础上，利用彩色红外遥感航片，我们可以做如下工作：

- 1、首先确定一个地貌部位是否有滑坡分布。
- 2、根据滑坡的特征以及滑坡对周围景观的相互作用分析，确定滑坡类型。
- 3、根据滑坡体的几何形状，在航片上测量滑坡体的面积和平均厚度，然后根据实地考察的数据进行修正，最后估算滑坡的滑塌量。
- 4、利用不同时期的航片对同一地区的滑坡进行调查研究，可以探讨区域性滑坡的动态变化规律。

我们仅收集到一个时期的彩色红外遥感航片，因而仅做了前三个方面的工作。

(一) 滑坡存在与否的确定。无论何种类型的滑坡，在彩色红外遥感航片上都有如下影像特征，一般根据其中的一两条标志，即可确定一个地貌部位是否有滑坡分布。

- 1、滑坡一般分布于河谷、沟谷的谷坡或沟头。
- 2、滑坡体周界一般呈簸箕形。
- 3、陡峭的滑坡壁和它们形成的围谷，在航片上表现为弯曲的弧形影像。
- 4、滑坡体本身比周围稳定斜坡要低，有坡的转折现象。滑坡体向前伸入平地或河（沟）谷地，使滑坡体高出周围地形。
- 5、滑坡的微地貌，如滑坡舌、反向坡及其形成的台阶等清晰明显，并且滑坡前缘和滑坡台阶后缘的洼地土壤水分一般较好，在影像上呈暗色调。
- 6、滑坡的发生（特别是大中型滑坡）改变了河（沟）道的弯曲形状，并且使滑坡对岸发生冲刷，从而形成陡壁，个别地方还有滑坡堵塞河（沟）道，甚至形成积水（堰塞湖）现象。
- 7、滑坡周围斜坡上出现梯田的条带状不连续中断，或道路弧形改线的现象。
- 8、滑坡，特别是大型滑坡，明显改变了原来斜坡的地形，形成新的地貌形态，在1：10,000甚至1：50,000地形图上，有滑坡的地方等高线明显变化，表现为滑坡后壁等高线密集，滑坡体的等高线相对稀疏，并呈弧形凸出。

(二) 滑坡类型的判别。滑坡类型的判别分：

1、滑坡的滑床类型判别。要判别滑坡的滑床位置可在哪一层土（岩）层，首先要判别滑坡分布的沟谷斜坡上出露的地层组合类型，而沟谷出露地层的判别主要是岩性的判别问题。

我们在野外考察的基础上，利用1：100,000 MSS 4、5、7波段彩色合成卫星像片作为解译片，参考1：200,000区域地质图，作出三川河流域1：100,000地表组成物质分布图。以该图作宏观控制，在1：20,000彩色红外遥感航片上对分布滑坡的沟谷出露地层作微观判读。不同地层出露的地貌部位及其形成的微地貌、色调等的特征都不同，在彩色红外遥感航片上可以清晰分辨：

(1) 马兰黄土主要分布于沟间地上，色调浅黄、黄白，常有条带状梯田、坡耕地及农作物的浅红色调。离石黄土多出露于沟坡上，一般沟坡上部马兰黄土形成的垂直陡坎可以与坡度较缓的离石黄土分开。在离石黄土沟坡上，一般发育密集的细沟和悬沟。

(2) 三趾马红土出露于离石黄土之下部，在彩色红外遥感影像上呈土黄、金黄色调。红土沟坡较黄土沟坡平缓，坡面细沟、悬沟不甚发育。

(3) 黄土地区的基岩出露于沟（河）床或谷坡的最底部。基岩的出露与其上覆土状堆积物的厚度及沟谷切割的深度有关。本流域黄土地区出露的基岩主要是砂页岩和灰岩。砂页岩出露的沟谷一般有流水出现，而灰岩出露的沟谷一般地表水条件较差，但在彩色红外遥感影像上呈灰兰色调。

确定了滑坡分布沟谷出露的土（岩）层组合类型，也就确定了滑坡发生的可能滑床面，而确

定滑坡以那一层软弱结构面作滑床，则要考虑如下三点：

- 一是沟谷出露各土（岩）层的厚度及沟谷的切割程度；
- 二是滑坡分布的地貌部位；
- 三是滑坡的规模，特别是滑坡切割土层的深度。

2、滑坡的稳定性判断。稳定滑坡与不稳定滑坡各有不同的特征，在彩色红外遥感影像上，可以从滑坡形状、切割程度、现代侵蚀过程、土地利用以及影像色调等方面加以识别：

（1）稳定的滑坡后壁和滑坡体，往往有后期流水侵蚀的痕迹，人工或天然破坏严重，滑坡轮廓不明显；不稳定滑坡往往年代较新，滑坡保存完整，轮廓清楚。

（2）稳定滑坡的后壁一般有植被（灌木、草丛等）生长，彩色红外遥感影像呈浅红色调，而不稳定滑坡后壁往往有不断的崩塌发生，因而壁面新鲜，尚无植被生长，彩色红外遥感影像呈浅黄或白色调。

（3）稳定滑坡一般没有沟道流水的冲刷；而不稳定滑坡前缘一般仍受流水冲刷，并有崩塌或次生滑坡发生。

（4）稳定滑坡体多树木、灌木和草丛生长，或有耕地分布，甚至有居民点出现；不稳定滑坡的土地往往未被利用，或耕地分布紊乱（滑前的耕地），一般无居民点出现。

（5）稳定的大型滑坡，由于长期被流水侵蚀，滑坡体与滑坡壁之间形成“双沟同源”现象，而新滑坡一般表现为完整的围谷。

3、滑坡的规模类型的判断。根据滑坡体的长度与宽度估算滑坡体的面积；根据滑坡壁的高度，滑坡体表面起伏程度、坡度等估计滑坡体的平均厚度，最后估算滑坡体的体积；根据滑坡体的体积大小，确定滑坡所属的规模类型。

五、三川河流域滑坡调查过程与结果

（一）通过对航片的判读作出流域滑坡类型分布图。对流域黄土分布区内的630多张彩色红外遥感航片，按航带、航号顺序逐张判读。判读时采用航片中心有效部分，以减少对滑坡规模判断的误差。由于航片的比例尺和分辨率的限制，我们仅对面积大于20米×20米的滑坡进行调查。把从航片上判读的滑坡用类型符号定位标在1：100,000流域水系图上（1986年，山西农业遥感应用科学研究所与南京大学合作，根据1：100,000MSS卫片解译成图），最后作出1：100,000三川河流域滑坡类型分布图。

（二）滑坡抽样调查与分析。抽样调查的目的是通过对一定数量的、不同规模的滑坡体的长、宽、面积和体积的量测，统计出大中小不同规模滑坡体的平均面积和平均体积，据此估算整个流域滑坡发生的总面积和总滑塌量。

用透明薄膜纸解译出待抽样的滑坡体范围，然后量测滑坡体的最大长度、宽度和面积，利用左右视差杆在航片上量测滑坡后壁和滑坡体前缘的高度，并根据滑坡体的坡度和起伏程度估算滑坡体的平均厚度。我们抽样调查了共145个滑坡，根据野外实地调查的10个滑坡的数据对从航片上调查的数据进行修正，利用修正后的数据统计出大中小规模的滑坡体平均面积和体积（表1），我们还对滑坡体的面积与其长度、宽度作原点回归分析，相关模式如下：

$$\text{大型滑坡：} S = 0.7973L \cdot D \quad (r = 0.9902)$$

$$\text{中型滑坡：} S = 0.9079L \cdot D \quad (r = 0.9879)$$

$$\text{小型滑坡：} S = 0.9370L \cdot D \quad (r = 0.9763)$$

式中：S—平均面积；L—平均长度；D—平均宽度；r—相关系数。

表1

滑坡抽样分析结果

指 标	大型滑坡	中型滑坡	小型滑坡
平均长度(米)	355.8	168.2	88.2
平均宽度(米)	273.0	118.8	69.1
平均厚度(米)	31.2	25.7	15.8
平均面积(平方米)	89,184.6	18,223.5	6,117.6
平均体积(万立方米)	278.6	46.8	9.7

(三) 流域滑坡发生个数、面积和滑塌量的计算及计算机辅助制图。对1:100,000滑坡类型分布图网格化(1km×1km), 读出有滑坡出现方格的左下角座标以及各滑坡类型的滑坡个数(按三级类型的个数读取)。然后用DBASEⅢ数据库管理系统支配, 把网格化滑坡数据输入计算机, 生成SLPD·DBF数据库文件。流域边界、主要河流、县城用采样点方式提取数据, 分别生成SCHBG·DBF、RIVER·DBF和COUNTY·DBF数据库文件。根据滑坡网格化数据, 计算出全流域各类型滑坡的个体数, 把大中小各规模类型的滑坡总个体数分别与其平均面积和平均体积相乘, 得出全流域滑坡发生的面积和滑塌量(表2、表3、表4)。同时, 我们还作出滑

表2

三川河流域黄土分布区“滑床类型—稳定性类型”滑坡数据

类 型	黄土床滑坡	红土床滑坡	基岩床滑坡	合 计
稳 定 滑 坡	517	2,227	831	3,608
不 稳 定 滑 坡	235	1,545	131	1,914
合 计	782	3,772	963	5,522

表3

三川河流域黄土分布区“滑床类型—规模类型”滑坡数据

规 模	单 位	黄土床滑坡	红土床滑坡	基岩床滑坡	合 计
大型滑坡	个体数(个)	73.0	331.0	350.0	754.0
	面 积(平方公里)	6.5	20.5	31.2	67.2
	体 积(万立方米)	20,320.2	92,136.8	97,425.6	209,882.6
中型滑坡	个体数(个)	137.0	494.0	341.0	972.0
	面 积(平方公里)	2.5	9.0	6.3	17.8
	体 积(万立方米)	6,403.2	23,088.5	16,013.1	45,522.8
小型滑坡	个体数(个)	572.0	2,947.0	275.0	3,794.0
	面 积(平方公里)	3.5	18.0	1.7	23.2
	体 积(万立方米)	5,549.5	28,501.4	2,668.0	36,808.9
合 计	个体数(个)	782.0	3,772.0	968.0	5,522.0
	面 积(平方公里)	12.5	56.5	39.2	108.2
	体 积(万立方米)	32,272.9	143,816.7	116,124.7	292,214.2

表4

三川河流域黄土分布区“稳定性类型—规模类型”滑坡数据

规 模	单 位	稳 定 滑 坡	不 稳 定 滑 坡	合 计
大型滑坡	个体数 (个)	690.0	64.0	754.0
	面积 (平方公里)	61.5	5.7	67.2
	体积 (万立方米)	192,067.6	1,785.0	209,882.6
中型滑坡	个体数 (个)	826.0	148.0	974.0
	面积 (平方公里)	15.1	2.7	17.8
	体积 (万立方米)	38,605.6	6,917.2	45,522.8
小型滑坡	个体数 (个)	2,092.0	1,702.0	3,794.0
	面积 (平方公里)	12.8	10.4	23.2
	体积 (万立方米)	20,296.3	10,512.6	36,808.9
合 计	个体数 (个)	3,608.0	1,914.0	5,522.0
	面积 (平方公里)	89.4	18.8	108.2
	体积 (万立方米)	250,969.5	41,244.8	292,214.3

坡密度分布、滑塌量分布以及各种类型的滑坡密度分布共10幅专题图件。所有的滑坡数据计算、滑坡抽样数据分析以及滑坡专题图件的绘制等程序均用BASIC语言编写，在IBM-PC微型计算机上实现。把各个程序连接起来构成了一个完整的流域滑坡分析系统，其基本功能和结构如下：

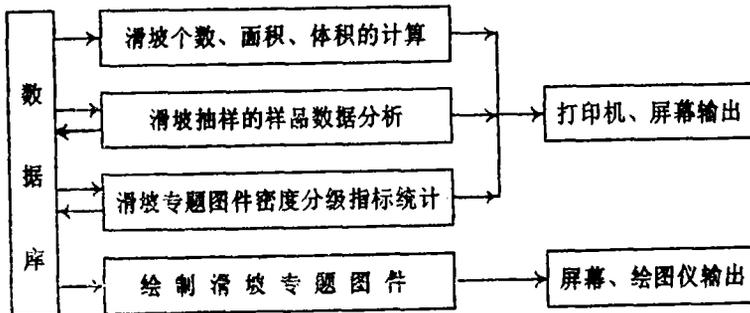


图1 三川河流域滑坡分析系统结构框图

六、两点结论

1、在野外考察的基础上，采用彩色红外遥感航片进行区域滑坡调查，不仅具有节省时间、人力和物力的优点，而且判读滑坡类型的准确性要比普通黑白航片高。

2、遥感与计算机手段相结合，建立区域滑坡分析系统，可以与区域地理信息系统连接，为区域整治与开发提供滑坡方面的信息。

本文承北京师范大学地理系赵济教授的悉心指导，特此致谢。

参考文献

- [1] 徐邦栋、王恭先：“铁路滑坡防治研究的回顾与展望”，《滑坡文集》第三集，人民铁路出版社，1982年。
- [2] 程玉章：“遥感图象在滑坡与崩塌调查研究中的应用”，《滑坡文集》第五集，中国铁道出版社，1986年。
- [3] 丁永齐等：“晋西三川河流域综合自然区划”，《晋西三川河流域农业自然资源综合考察文集》，山西省农业科学院农业自然资源和区划研究所编，1984年。
- [4] 山西省农业遥感应用科学研究所：“卫星遥感信息在山西省农业自然资源定量分析中的应用”（山西省农业区划委员会编：《“六五”国家重点科技攻关项目成果报告》）。

Application of the color infrared remote sensing pimage to the investigation of landsli

Yang Yunheng

(Department of Geography, Yantai Teachers College)

Abstract

Landslips in Sanchuanhe watershed in Shanxi Province are classified and named by three indices of "slipbed", "stability", and "slip volume". In the investigation, the color synthesized landsat images in scale of 1:100,000 maps in scale of 1:50,000 and 1:100,000, and the maps of geology, geomorphology, water system, plantation and soil erosion etc., are taken as the major resource of information. Then, by visual judgment the landslips are determined in existence, type, stability and scale. The result shows that the area of landslip are highly correlated with their lengthes and widths. If the concerned data from the classification map of landslips distribution transformed in net of landslip is input to computer, controlled with manage system of DBASE III data base, the number, area and volume of the slips could be calculated, and ten special maps such as that of distribution intensity could be obtained, which would provide the information needed for the regional renovation and development.