

# 遥感技术在小流域规划治理中的应用研究

——以北京市南湾小流域为例

李霞<sup>1</sup>, 化相国<sup>2</sup>, 焦一之<sup>2</sup>, 熊志明<sup>1</sup>, 张波<sup>1</sup>

(1. 二十一世纪空间技术应用股份有限公司, 北京 100096; 2. 北京市水土保持工作总站, 北京 100036)

**摘要:**生态清洁小流域在规划治理的过程中,需要现势、宏观、详细、准确的基础信息,遥感技术为基础信息数据的获取提供了快速有效的技术手段。以高分辨率遥感影像和数字高程模型数据为主要数据源,运用遥感技术和数学模型,监测与分析了北京市延庆县南湾小流域的土地利用、坡度、沟道、植被覆盖、土壤侵蚀等基础信息的空间布局。通过对基础信息的叠加、缓冲和路径等空间分析,辅助划定了南湾小流域生态保护区 31.41 hm<sup>2</sup>,生态治理区 348.04 hm<sup>2</sup>,生态修复区 1 788.38 hm<sup>2</sup>,其中重点治理区域面积 212.93 hm<sup>2</sup>,占小流域总面积的 9.8%。最后结合现场调查,辅助布设了封禁、经济林、节水灌溉等 9 项小流域治理措施,研究结果可为小流域规划治理初步设计提供科学依据。

**关键词:**遥感技术;生态清洁小流域;规划治理

**中图分类号:**TP79

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)01-0127-05

## Research on Remote Sensing Technology Application to Planning Management of Small Watershed

—Example of Nanwan Small Watershed in Yanqing County of Beijing

LI Xia<sup>1</sup>, HUA Xiang-guo<sup>2</sup>, JIAO Yi-zhi<sup>2</sup>, XIONG Zhi-ming<sup>1</sup>, ZHANG Bo<sup>1</sup>

(1. Twenty First Century Aerospace Technology Co., Ltd., Beijing 100096, China;

2. General Station of Soil and Water Conservation of Beijing, Beijing 100036, China)

**Abstract:** Ecologic and clean-type small watershed needs present, macroscopical, detailed, and accurate basic information during the process of planning and management. Remote sensing technology provides a fast and effective technical means for the acquisition of fundamental information. Using high resolution remote sensing image and digital elevation model data as the main data source, remote sensing technology and mathematical modeling were applied to monitor and analyze the spatial layout of land use, slope, channel, vegetation coverage, soil erosion and other basic information of Nanwan watershed in Yanqing County, Beijing. By conducting the spatial analysis techniques including overlay, buffer, path planning, etc. on these information, the ecological preserve zoon(31.41 hm<sup>2</sup>), ecological management zoon(348.04 hm<sup>2</sup>) and ecological rehabilitation zoon(1 788.38 hm<sup>2</sup>) for Nanwan watershed was delimited. Main management zoon covers an area of 212.93 hm<sup>2</sup>, which accounts for 9.8% of the total area of the small watershed. Combined with field survey, this work auxiliary designed 9 control measures including setting prohibited area, economic forest, water-saving irrigation, etc. Results can provided scientific basis for the planning management primary design of small watershed.

**Key words:** remote sensing technology; ecologic and clean-type small watershed; planning management

近年来,北京市在保护水源、改善生态环境的实践中不断探索、创新,提出了构筑“生态保护、生态治理、生态修复”三道防线的清洁小流域治理思路<sup>[1]</sup>。

不断加大生态清洁小流域的建设力度,截至 2011 年末,北京市建成生态清洁小流域 185 条,起到了保护山区水源、防止水土流失、发展沟域经济的作用。准

确、合理的小流域规划治理,将直接影响小流域综合治理效益的发挥。规划治理对象的多元化决定了规划的高度综合性特点,而传统的经验定性方法对繁杂信息处理分析具有一定的局限性。为了更加高效、科学地制定清洁小流域规划治理方案,北京市水务局在小流域治理工作中引入了遥感技术手段,利用遥感对地强大的观测能力和空间分析能力,开展遥感技术辅助清洁小流域规划治理研究。

本文基于 GIS 技术,利用多源遥感数据,对北京市延庆县南湾小流域开展遥感监测,建立小流域全要素信息数据库<sup>[2-3]</sup>(包括土地利用、植被覆盖、地表水资源、坡度地形、沟道分布、土壤侵蚀等),利用 GIS 的空间分析技术,完成辅助小流域规划治理工作,建立一套基于遥感技术的小流域规划治理应用模式,为建设生态清洁小流域治理提供科学依据。

## 1 研究区概况

南湾小流域位于延庆县四海镇西北部,属于密云水库上游的潮白河水系,是密云水库上游重点水土保持防治区域,属于密云水库生活饮用地表水水源地三

级保护区。该小流域涉及南湾村、前山村、王顺沟村、黑汉岭村、楼梁村、大胜岭村、四海村、大吉祥村 8 个行政村,其地理坐标为 40°34′18″—40°34′34″N,116°19′17″—116°24′19″E,总面积 21.68 km<sup>2</sup>。南湾小流域属燕山山脉,海拔高程 685.6~966.8 m,地形高差起伏不太大。属大陆性季风气候,温带与中温带、半干旱与半湿润的过渡地带。春季干旱多风,夏季多有冰雹,秋季比较凉爽,冬季少雪,多年平均降水量为 503.8 mm,年平均温度为 9℃。流域土质以淋溶褐土和耕作褐土为主,土壤中性微酸。流域内水土流失类型以水蚀为主,间有风蚀,主要侵蚀形式为面蚀和沟蚀。

## 2 研究方法

### 2.1 数据资料及预处理

遥感影像主要数据源采用了空间分辨率为 0.5 m 的 QuickBird 遥感数据和空间分辨率为 5 m 的 Rapideye 多光谱数据。基础地理数据采用了该区域 1:1 万数字高程模型(DEM)数据,1:5 万土壤数据以及北京市行政区划界、小流域边界的矢量数据。数据源详细来源及用途见表 1。

表 1 研究使用的数据源及用途

数据	空间分辨率 或比例尺	类型	影像时间	用途
Quick Bird	0.5 m	遥感	2010 年	土地利用信息提取
RapidEye	5 m	多光谱	2010 年 9 月	植被覆盖度提取
DEM	1:10000	栅格	—	沟道、坡度等信息提取
土壤数据	1:50000	矢量	—	辅助植被覆盖度提取
小流域边界	—	矢量	—	确定监测范围

遥感影像预处理主要包括影像纠正、配准和裁切等操作,制作符合生产要求的数字正射影像图。以 1:1 万数字地形图为准,挑选 2010 年 QuickBird 影像和地形图上有明显特征的同名地物点为纠正控制点,并采用有理多项式模型进行影像纠正。最后以纠正的 2010 年 QuickBird 影像为基准,将 2010 年 QuickBird 影像和 RapidEye 影像配准<sup>[4]</sup>。

### 2.2 土地利用/覆盖分类体系及提取方法

小流域土地利用遥感监测分类体系根据土地利用/覆盖现状分类标准(GB/T21010-2007),并参照水利普查中的土地利用指标进行整合细分,划分为耕地、园地、林地、草地等 9 个一级类和水田、水浇地、旱地、果园等 41 个二级类。研究各监测指标在高分辨率影像上的光谱特征,并建立解译标志;在建立解译标志过程中,需要判断各地类的可区分性,针对不易区分的细类,需要采用试验研究与外业结合的方法,研究判读该细类在影像上的纹理、颜色等特征。参照解译标志,进行人机互译<sup>[5]</sup>,提取小流域土地利用/覆

盖数据。

### 2.3 坡度、沟道分级及提取方法

根据《水土保持综合治理规划通则 GB-T15772-2008》中的技术规定,小流域坡度分级标准为:微坡为<5°,较缓坡为 5°~8°,缓坡为 8°~15°,较陡坡为 15°~25°,陡坡为 25°~35°,急陡坡为>35°。采用 DEM 数据,借助 ArcGIS 软件坡度分析模块,提取小流域坡度数据并分级。

沟道网络生成主要采用 DEM 数据,借助 GIS 软件水文分析模块进行水系提取,并参照米级高分遥感影像修正沟道边界。再经过无洼地的 DEM 生产、流向分析、流水累积量计算、栅格沟道提取、矢量沟道生成以及基于遥感影像的矢量沟道修正等流程<sup>[6]</sup>,完成沟道数据的提取。

### 2.4 植被覆盖度计算模型

植被具有截流降雨、减缓径流、防沙治沙、保土固土等功能,是生态系统的主要组分。利用遥感技术计算 NDVI(归一化植被指数),建立 NDVI 同植被覆盖

度之间关系的经验公式,来计算植被覆盖度,公式如下:

$$F_{cover} = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2)$$

式中: $F_{cover}$ ——植被覆盖度; $NDVI_{veg}$ ——研究区域植被 NDVI 的最大值(或相对最大值); $NDVI_{soil}$ ——研究区域裸土 NDVI 的最小值(或相对最小值);NIR, RED——影像中近红外和红光波段的反射率数据。

采用 2010 年 9 月的 RapidEye 多光谱影像先计算其归一化植被指数 NDVI 值,然后在北京市范围内(增加模型的统计样本量),将土地利用/覆盖数据合并成耕地、有林地、灌木林地、草地、建设用地和水体、其他未利用地七大类型,统计分析不同土地类型的  $NDVI_{veg}$  最大值。再采用土壤类型数据,统计分析不同土壤类型的  $NDVI_{soil}$  最小值。最后,通过公式(1)利用遥感图像处理软件建立模型,反演出植被覆盖度数据。

表 2 土壤侵蚀遥感监测 38 类分级指标

地类		地面坡度/(°)					
		<5	5~8	8~15	15~25	25~35	>35
非耕地林草覆盖度/%	>75	1	7	13	19	25	31
	60~75	2	8	14	20	26	32
	45~60	3	9	15	21	27	33
	30~45	4	10	16	22	28	34
	<30	5	11	17	23	29	35
坡耕地		6	12	18	24	30	36
建筑用地					37		
水体					38		

根据北京市坡地径流场的观测资料,结合遥感对土壤侵蚀的 38 类分级调查结果,并参考《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)侵蚀模数的重新计算和归类,针对北京市区域特征,将土壤侵蚀强度划分为微度、轻度、中度、强度侵蚀 4 个等级,从而建立北京市土壤侵蚀面蚀分级标准<sup>[9]</sup>。

2.6 小流域综合治理区域划分方法

在生态清洁型小流域规划前需要划分“三道防线”和重点治理区域。根据三道防线和重点治理区域的布局分别布设相应的小流域治理措施。遥感具有空间性、全覆盖、准确监测等特点,可以将实际地物展绘到空间上,结合监测的土地利用、坡度地形、土壤侵蚀、植被覆盖度等数据,通过空间叠加分析、缓冲区分析和路径分析,划分“三道防线”和重点治理区域。

其中,将坡度>25°的山区,远离人类活动,土地利用类型合并类为林草非耕地的区域划分为生态修复区;将坡度<25°的坡脚及平原地带,远离河道,人

2.5 土壤侵蚀模型

对土壤侵蚀的监测和评价是制定水土保持规划、确定小流域综合治理方案、方法和措施的基础。传统的土壤侵蚀监测方法费时费力,受人员经验、资料详实等因素影响较大,且缺乏动态时效性;定点样区或站点监测虽可通过模拟实验或实际侵蚀分析进行定量测定,但无法代表整体区域的土壤侵蚀情况。通过研究利用遥感技术方法,综合利用上述操作提取的土地利用/覆盖、植被覆盖度、坡度等信息,利用水土保持地面观测站的监测信息,参考中华人民共和国水利部的土壤侵蚀分级行业标准,分析建立北京市地方土壤侵蚀面蚀分级标准,实现对小流域土壤侵蚀的遥感调查<sup>[7-8]</sup>。

首先,通过遥感监测技术,在水利部土壤侵蚀分类分级标准《面蚀分级标准表》的基础上,建立土壤侵蚀遥感监测 38 类分级指标(表 2),然后利用上述提取的土地利用、植被覆盖、地面坡度数据,根据数据源情况进行数据尺度统一后,建立 3 个因子的土壤侵蚀计算模型,计算出分辨率为 5 m 的土壤侵蚀 38 类分级结果。

为活动频繁地区(如城镇居民点、工矿用地、农业种植用地等),土地利用类型合并类为耕地、建设用地的区域划分为生态治理区;将河道、河道两侧地带及水库周边,土地利用类型合并类为水体的区域划分为生态保护区。将土壤侵蚀强度在中度侵蚀以上、坡度>25°、并且植被覆盖度<30%的区域划分为重点治理区。

3 结果与分析

3.1 南湾小流域基础信息布局与分析

(1) 土地利用。通过对南湾小流域土地利用空间布局进行遥感监测,发现 2010 年南湾小流域现有土地总面积 2 167.82 hm<sup>2</sup>。其中耕地 409.53 hm<sup>2</sup>、园地 29.06 hm<sup>2</sup>、林地 1 641.72 hm<sup>2</sup>、草地 2.11 hm<sup>2</sup>、其他农用地 16.77 hm<sup>2</sup>、居民点及独立工矿用地 50.3 hm<sup>2</sup>、交通用地 15.66 hm<sup>2</sup>、水域及水利设施用地 1.11 hm<sup>2</sup>、其他土地 1.56 hm<sup>2</sup>,分别占土地面积的

18.89%,1.34%,75.73%,0.10%,0.77%,2.32%,0.72%,0.05%,0.07%,具体二级类型监测面积见表 3。

土地利用中存在的主要问题是:耕地占有率较小,大部分为山地,农业经济收入主要依靠林果产品,生产力较低;林木生长受到限制,生产潜力和生态潜力还有待进一步开发。应该开展水土流失治理、节水灌溉等,以提高土地的生产力和生态潜力。

表 3 南湾小流域土地利用/覆盖类型面积 hm <sup>2</sup>			
一级类	面积	二级类	面积
耕地	409.53	旱地	409.53
		果园	27.5
园地	29.06	其他园地	1.56
		有林地	1113.26
林地	1641.72	灌木林地	507.4
		疏林地	1.34
		其他林地	19.72
		人工草地	1.22
草地	2.11	其他草地	0.89
		畜禽饲养地	5.00
其他农用地	16.77	设施农用地	11.77
		农村居民点	46.81
居民点及独立工矿用地	50.30	独立工矿用地	2.26
		商服、公共用地	1.23
交通用地	15.66	公路用地	15.66
		水库水面	0.75
水域及水利设施用地	1.11	坑塘水面	0.03
		水工建设用地	0.05
		沟渠	0.28
其他土地	1.56	空闲地	0.97
		裸土地	0.59

(2) 坡度。坡度信息提取结果显示,南湾小流域内<5°的坡地面积为 341.28 hm<sup>2</sup>、5°~8°坡地面积为 136.37 hm<sup>2</sup>、8°~15°坡地面积为 295.84 hm<sup>2</sup>、15°~25°坡地面积为 502.65 hm<sup>2</sup>、25°~35°坡地面积为 593.58 hm<sup>2</sup>、大于 35°坡地面积为 304.60 hm<sup>2</sup>,分别占总面积的 15.70%,6.27%,13.61%,23.12%,27.30%,14.01%(图 1)。流域内以 15°~25°较陡坡、25°~35°陡坡为主。南湾小流域属潮白河水系,基于 DEM 数据,应用水文分析模块自动提取沟道,并参照 2010 年空间分辨率为 0.5 m 的 QuickBird 高分辨率遥感影像人工修正沟道空间分布信息。统计得到沟道长度,流域内沟道长 45.19 km,汇水面积 21.68 km<sup>2</sup>,沟壑密度 2.08 km/km<sup>2</sup>。

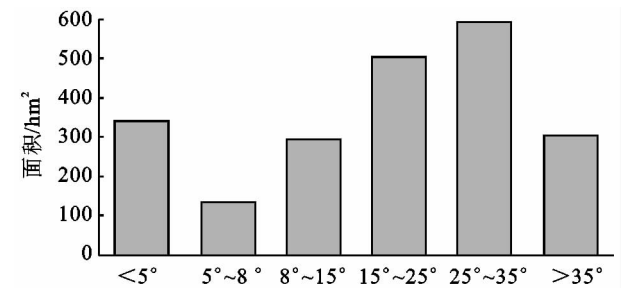


图 1 南湾小流域坡度分级

(3) 植被覆盖度。植被覆盖度提取结果显示,南湾小流域植被覆盖度主要集中在 60%~75%之间,约占总面积的 56.27%;植被覆盖度小于 30%的区域面积约占总面积约 2.16%;植被覆盖度在 30%~45%的区域面积约占总面积的 4.86%;植被覆盖度在 45%~60%的区域面积约占总面积的 20.89%;植被覆盖度大于 75%的区域面积约占总面积的 15.82%。从数据中可以看出,南湾小流域植被覆盖率较好。

(4) 土壤侵蚀。按照北京市土壤侵蚀面蚀分级标准,利用模型计算、获取南湾小流域微度侵蚀面积为 465.87 hm<sup>2</sup>、轻度侵蚀面积为 1 290.94 hm<sup>2</sup>、中度侵蚀面积为 364.32 hm<sup>2</sup>、强度侵蚀面积为 46.69 hm<sup>2</sup>,分别占总面积的 21.49%,59.55%,16.81%,2.15%,一般微度侵蚀可以作为一个地区的土壤允许流失量,因此此次研究不将微度侵蚀面积列入土壤侵蚀总面积内,南湾小流域轻度及轻度以上侵蚀面积为 1 701.95 hm<sup>2</sup>,占总面积的 78.51%,土壤侵蚀级别主要集中在轻度侵蚀。中度及中度以上侵蚀面积为 411.01 hm<sup>2</sup>,占总面积的 18.96%。

3.2 南湾小流域规划治理布局与分析

南湾小流域生态保护区 31.41 hm<sup>2</sup>,生态治理区 348.04 hm<sup>2</sup>,生态修复区 1 788.38 hm<sup>2</sup>。重点治理区域面积 212.93 hm<sup>2</sup>,占小流域总面积的 9.8%;其中生态修复区重点治理面积 78.97 hm<sup>2</sup>,生态治理区重点治理面积 129.36 hm<sup>2</sup>,生态保护区重点治理面积 4.60 hm<sup>2</sup>。

结合南湾小流域存在的主要问题:土壤侵蚀严重地带位于小流域北部、西南部、东部的裸露坡耕地;流域内有数条天然河道汇水,河道有不同程度的垃圾堆放,淤泥淤积堵塞河道的情况;流域内村民的日常生活垃圾随意堆放,影响村容村貌,同时可能造成流域水环境的污染。在进行了细致的小流域现状分析后,在各道防线的重点治理区域有针对性地布设小流域综合治理措施<sup>[10]</sup>。

在生态修复区的重点治理区域,采取封禁措施,并在进山的路口侧醒目位置修建封禁标牌,该封禁区域位于南湾村南部,区域坡度范围为 30°~65°,植被

覆盖度大于 30%, 植被生长较好; 通过全封方式对灌木林地进行封育保护, 能够有效减少人为活动的破坏, 促进林灌草的生长, 美化山区自然景观, 保护生态环境免遭人为干扰。在生态治理区的重点治理区域, 营造经济林, 对散生果树修建树盘防治水土流失。该区域位于王顺沟村北向阳山坡, 平均坡度为  $50^{\circ}$ , 影像上可清晰地识别出该区域分布有乔灌木和草本植被, 经济林营造需要考虑对原有乔灌木植被的保护和恢复。同时, 该地块地势较高, 在秋冬季穴状整地过程中, 要对开挖的松散土壤采取干草覆盖等保护措施, 避免刮风天气造成扬尘。对有条件的耕地修建节水灌溉措施, 营造高产田, 该项措施共布设 4 个地块, 包括梁前东南地块、王顺沟南地块、前山东南地块和大胜岭南地块, 措施地块边界在设计时需要考虑自然地形和耕地的边界, 措施地块面积在 GIS 软件统计时需要去除林地、园地等非耕地类型的面积; 从 QuickBird 0.5 m 分辨率的高分影像上识别出梁前东南地块西南角有一条宽度约 3 m 的农路、王顺沟南地块西南角有一条宽度约 3 m 的农路、前山东南地块有两条南北走向的田间道路, 可以考虑作为节水灌溉施工的临时道路。村庄美化工程设计目标是绿化道路和生活垃圾处理, 使村庄环境美化, 从 QuickBird 0.5 m 分辨率的高分辨率影像上可以清晰识别村庄道路以及绿化现状, 大胜岭村村内南北走向道路较为通畅, 东西走向道路路面宽度小, 通达率不高, 道路周边绿化率较低(附图 3)。

在生态保护区的重点治理区域, 对河道采取沟道清理措施, 在不破坏原始自然河道的前提下, 可以对部分影响行洪地段河(沟)道内的垃圾进行清理, 让其恢复行洪能力, 趋于原始、自然。从 QuickBird 0.5 m 高分辨率的影像上识别出该沟道清理工程位于南湾村南部, 沟道北面紧邻南湾村, 南面为农耕地, 沟道内目前无常流水, 沟道宽度在 10~15 m 之间, 沟道较浅。

## 4 结 论

(1) 利用遥感监测技术快速、精确地获取小流域

基础信息的空间分布数据, 能够有效地克服传统外业基础调查资料不足、耗时费力的缺点。同时, 可通过对各基础信息的空间叠加, 分析评价各个地块的土地适宜性。

(2) 结合小流域基础信息数据, 利用 GIS 空间分析技术, 实现对小流域综合治理区域的划分。根据治理措施布局原则, 针对不同区域分析治理措施的合理性, 辅助小流域综合治理的规划设计。

(3) 以高分辨率遥感影像、大比例尺 DEM 数据为基础, 进行小流域基础信息提取与综合治理分析, 实现以地块为单元的监测调查与措施分析模式, 从而提高分析结果的准确性与科学性。

研究表明, 遥感技术在生态清洁小流域建设过程中, 能够为小流域规划治理的领导决策提供全面、科学的依据, 有效提高小流域规划治理的效率, 具有广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 杨坤. 北京市生态清洁小流域治理模式研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 4-6.
- [2] 李中源, 黄栋. GIS 支持下的小流域水土保持应用研究[J]. 测绘科学技术学报, 2007, 24(增刊): 1-4.
- [3] 李中源. 基于 GIS 的小流域水土保持监测系统构想[J]. 中国水土保持, 2006(11): 46-47.
- [4] 杨晰等. ERDAS 遥感数字图像处理试验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [5] 赵俊华. “3S”技术在芒康县小帮达沟小流域水土保持规划中的应用[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 85-86.
- [6] 曾超, 赵景峰, 李旭娇. GIS 支持下岷江上游水文特征空间分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 5-9.
- [7] 刘宝元, 毕小刚, 符素华, 等. 北京土壤流失方程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [8] 倪含斌, 张丽萍, 倪含辉. 基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究进展[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 66-77.
- [9] 路炳军, 刘洪鹄, 张波, 等. 基于 GIS 的北京市土壤侵蚀量计算[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(2): 24-27.
- [10] 王礼先. 小流域综合治理的概念与原则[J]. 中国水土保持, 2006(2): 16-17.