

基于 GIS 与 RS 小流域空间数据挖掘

江青龙¹, 谢永生^{1,2}, 张应龙¹, 赵婷²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 针对小流域基础空间数据复杂多样, 且难以管理等问题, 选取河北省平泉县东北沟小流域为研究对象, 运用 GIS 与 RS 技术, 利用 1: 10 000 比例尺、5 m 分辨率的 DEM 与空间分辨率为 0.61 m 的 Quickbird 影像, 对水文、地形、土地利用等多种流域空间数据进行挖掘, 并结合二者建立了小流域三维空间模型, 同时创建了空间数据库对其进行统一高效管理。结果表明: GIS 与 RS 技术能够为小流域数据空间获取, 流域规划建设及管理提供高效的技术手段。

关键词: 地理信息系统; 遥感技术; 数字小流域; 空间数据库

中图分类号: TP79; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0064-04

The Spatial Data Mining for Small Watershed Based on GIS and RS

JIANG Qing-long¹, XIE Yong-sheng^{1,2}, ZHANG Ying-long¹, ZHAO Ting²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Dongbeigou watershed, in Pingcuan county of Hebei province, was selected as the case study area in terms of complicated and various spatial data of small watershed, which is difficult to be managed. The spatial data of hydrology, topography, land use and many others were mined using GIS and RS based on Quickbird remote sensing image with 0.61 m spatial resolution and DEM with 1: 10 000 scale and 5 m resolution. Meanwhile, the 3D model of the small watershed was set. And the geography database was also established to manage the spatial data. The results show that the technology of GIS and RS can be the high efficient methods for obtaining spatial data and the construction and management of the small watershed.

Key words: geography information system; remote sensing; digital small watershed; spatial database

小流域(Watershed)是一封闭的地形单元,该单元内有溪流(沟道)或河川排泄某一断面以上全部面积的径流区域;同时,小流域也是一个水文单元。人们经常把小流域作为一个生态经济系统进行经营管理^[1]。因此,它不仅是人们生产生活的主要区域,又是水土保持规划与生态环境建设的基本单元。在小流域规划建设以及日常管理中,涉及土壤、大气、地貌、植被及人类活动等多种因子,其信息具有明显的时间性和空间性,采用传统的数据采集和分析手段严重影响了规划建设以及数据管理效益的充分发挥。地理信息系统(GIS)技术以其强大的数据分析功能,以及出色的数据管理功能,并结合 RS 技术提供的实时海量的空间数据,为小流域空间数据库的建立与管

理,以及小流域规划建设提供了高效的技术手段。目前 GIS 和 RS 技术在小流域的研究与应用已经十分成熟,主要表现在利用二者提取水系、坡度、坡向等主要流域信息^[2-4],结合各项指标系统对资源、环境等进行监测、评价,并结合各种模型对小流域降雨径流以及土壤侵蚀等进行分析^[5-8],同时基于 GIS 的二次开发,为流域管理服务提供解决方案^[9-10]。但是基于两大技术,充分挖掘流域基础空间数据,全面系统阐述如何创建小流域基础空间数据库的研究还不是很多。

本文利用 GIS 与 RS 技术,就如何充分挖掘流域基础空间数据的原理与技术进行系统阐述,同时结合二者创建出小流域三维空间模型,形象直观的展示整个小流域,以期小流域的规划建设与管理提供数据

收稿日期: 2010-06-05

资助项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(200901051); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 中国科学院农业项目(kscx2-yw-N-46-04); 国家科技支撑计划项目(2006BAD15B01-03)

作者简介: 江青龙(1985-),男(苗族),湖北省宣恩县人,硕士研究生,从事 GIS 与水土保持研究。E-mail: gisfresher@nwsuaf.edu.cn

通信作者: 谢永生(1960-),男(回族),河南省开封市人,研究员,从事水土保持、土地资源及环境评价等方面研究。E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn

支持, 为“数字流域”基础数据的获得提供科学参考。

1 研究区概况

研究区域为东北沟小流域(118°33′09″–118°37′09″E, 41°03′07″–41°06′19″N), 位于河北省平泉县王土房乡东北沟村, 小流域面积为 19.483 km², 海拔在 593~1 179 m, 小流域地貌类型以土石山地为主, 植被类型以温带针叶阔叶混交林为主, 气候类型为北温带半湿润半干旱大陆性季风气候。

2 空间数据库的建立

本研究采取的资料为小流域 1:10 000 的 DEM, 栅格单元大小为 5 m×5 m, 小流域 2009 年 QuickBird 全色波段遥感影像, 空间分辨率为 0.61 m。采用 ArcGIS 9.3、ERDAS 8.5 对数据进行分析处理, 充分挖掘小流域基础空间数据, 并在 ArcGIS 9.3 中创建 Geodatabase 对数据进行统一存储和管理。

2.1 基于 DEM 提取空间数据

2.1.1 数字河网提取 河网是流域基础空间数据的主要内容, 同时河网的提取是数字流域、分布式水文模型、土壤侵蚀模型建立等的关键技术环节, 其核心技术是路径算法, 路径算法赖以分析的基础是数字高程模型(DEM)^[11], 由 O’Callaghan 和 Mark 在 1984 年提出来的基于 DEM 的坡面汇流累积算法得到了广泛的运用^[4]。ArcGIS 9.3 中的 ArcToolBox 集成了 Hydrology 水文分析工具, 利用汇流累积算法提取水系, 其提取过程如下如图 1。

(1) DEM 预处理。DEM 被认为还是比较光滑的地形表面模拟, 但是由于内插等原因致使 DEM 表面存在凹陷, 使得进行水流流向进行计算时获得错误或者不合理的水流流向, 因而要对 DEM 进行预处理, 即填洼处理, 生成无洼 DEM。在 ArcGIS 9.3 中利用 Sink 工具找出洼地所在处, 并计算洼地深度, 用 Fill 工具进行洼地填充。

(2) 计算水流向矩阵。水流流向算法是采用最大距离权落差来计算的, 即通过计算栅格与邻域栅格最大距离权落差来确定, 距离权落差是指中心栅格与邻域栅格的高程差除以两栅格间的距离。在 ArcGIS 9.3 中利用无洼 DEM, 调用 Flow Direction 工具, 采用最大距离权落差计算水流方向。

(3) 计算汇流累积量。汇流累积量是基于水流方向数据计算而来, 其大小代表其上游有多少个栅格的水流方向最终汇流经过该栅格, 汇流累积数字越大, 该区域越容易形成地表径流。根据无坑洼 DEM 水流方向栅格图层, 应用水文分析库下的汇流累积工

具, 进行栅格汇流累积量的计算。

(4) 设置汇水面积阈值。汇水面积阈值是河系网络提取的关键因子^[12], 将大于阈值的栅格定为河网单元。根据孔凡哲等^[13]提出的依据汇水面积阈值和河流总长度的关系确定阈值的方法, 并对比高分辨率的遥感影像, 同时结合区域实际调查情况, 发现在汇水面积阈值为 3 000 的时候, 提取的河网符合实际情况。

(5) 生成流域水系。以设定的汇水面积阈值为标准, 通过栅格运算, 提取河系栅格图层。凡是汇流累积量大于等于汇水面积阈值的栅格即被定义为河道, 并将栅格水系转换成矢量水系。生成水系图如图 2。

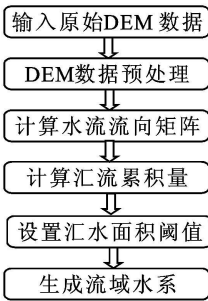


图 1 水系提取步骤

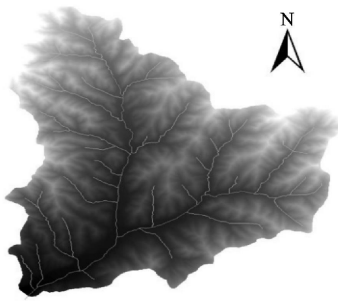


图 2 小流域水系图

2.1.2 流域面积统计 由于使用的是规则格网的 DEM, ArcGIS 9.3 中将 DEM 的每个格网分解成三角形, 使用海伦公式计算三角形的面积, 进而求和得到整个区域的地表面积为 19.483 km²。

2.1.3 沟壑密度 沟壑密度是反映地表破碎程度的重要因子, 在土壤侵蚀、地貌演变研究中具有重要作用。它是表征在一个特定区域内, 地表单位面积内沟壑的总长度, 可以用沟壑总长度与其单位面积之比求算。

$$D_s = \frac{\sum L}{A} \tag{1}$$

式中: D_s ——沟壑密度值(km/km²); $\sum L$ ——研究区域沟壑总长度(km); A ——研究区域面积(km²)。

在 ArcGIS 9.3 中, 将生成的河流栅格水系转换成矢量数据之后, 在矢量数据的属性表中统计河流水系长度, 求得东北沟小流域沟壑总长度为 39.949 km, 并通过沟壑密度计算公式, 结合小流域面积值, 得出东北沟小流域的沟壑密度为 2.758 km/km², 依据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190–2007), 该小流域土壤侵蚀强度属于中度。

2.1.4 坡度坡向提取 坡度和坡向是两个最常用的基本地形因子, 在土壤侵蚀、土地资源评价中都是十分重要的因子。坡度的计算方法可归纳为 5 种: 四块法、空间矢量分析法、拟合平面法、拟合曲面法和直接解法。经证明, 拟合曲面法是求坡度的最佳方法, 一般采用二次曲面^[14], 其求解公式如式(2)、式(3)。

$$S = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \tag{2}$$

$$A = \arctg\left(\frac{f_y}{f_x}\right) \quad (3)$$

式中: S ——坡度; A ——坡向; f_x —— x 方向上的高程变化率; f_y —— y 方向上的高程变化率。在 ArcGIS 9.3 中利用 Spatial Analysis 工具下的 Slope 和 Aspect 工具提取坡度和坡向。

2.1.5 像元坡长的提取 坡长是决定坡面水流能量大小, 影响径流和侵蚀的重要地貌因素, 像元坡长亦是侵蚀模拟的重要因子, 因此, 基于 DEM 提取像元坡长具有十分重要的意义。其计算公式如式(4)。

$$L = \begin{cases} 0.5D & (\text{区域内的最高点或者像元坡向为 } 0) \\ D & (\text{像元单元坡向为东、南、西、北}) \\ 1.414D & (\text{像元单元坡向为东北、西北、西南、东南}) \end{cases} \quad (4)$$

式中: L ——像元坡长; D ——栅格单元边长^[15]。在 ArcGIS 9.3 中没有直接提取坡长的工具, 需要将坡向重分类, 分为东、南、西、北、东北、西北、西南、东南等 9 种情况, 并找出小流域内最高点, 然后基于式(4)通过栅格运算获得像元坡长。

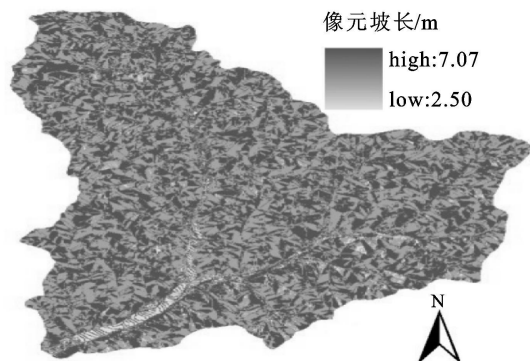


图 3 小流域像元坡长图

2.1.6 剖面曲率与水平曲率 地形表面曲率反映了地形结构和形态, 同时也影响着土壤有机物含量的分布, 在地表过程模拟、水文、土壤等领域有着重要的应用价值和意义。它分为剖面曲率与水平曲率, 剖面曲率是对地面坡度沿最大坡降方向地面高程变化率的度量。

$$K_v = - \frac{p^2 r + 2pq s + q^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (5)$$

水平曲率描述的是地表曲面沿水平方向的弯曲、变化情况, 也就是该点所在的地面等高线的弯曲程度。

$$K_h = - \frac{q^2 r - 2pq s + p^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (6)$$

式中: K_v ——剖面曲率; K_h ——水平曲率; p —— x 方向高程变化率; q —— y 方向高程变化率; r ——对高程值在 x 方向上的变化率进行同方向求算变化率, 即 x 方向高程变化率的变化率; s ——对高程值在 x 方向上的变化率进行 y 方向上求算变化率, 即 x 方

向高程变化率在 y 方向的变化率; t ——对高程值在 y 方向上的变化率同方向上求算变化率, 即 y 方向高程变化率的变化率。在 ArcGIS 9.3 中基于以上原理, 利用 3D 分析中的 Curvature 工具可以同时计算剖面曲率与水平曲率。

2.1.7 地表粗糙度 地表粗糙度能够反映地形的起伏变化和侵蚀程度的宏观地形因子。在区域性研究中, 地表粗糙度是衡量地表侵蚀程度的重要量化指标, 在研究水土保持及环境监测时研究地表粗糙度也有很重要的意义。

$$R = 1/\cos(s) \quad (7)$$

式中: R ——地表粗糙度; s ——坡度值。在 ArcGIS 9.3 中在空间分析模块下, 计算坡度值, 然后在栅格运算工具里面编写公式, 获得地表粗糙度。

2.1.8 流域复合地形属性提取^[15]

(1) 地形湿度指数。地形湿度指数是对静态土壤含水量的最常用的指标, 它被广泛应用于土壤湿度、水位深度、土壤含沙量、植被生态等研究之中。

$$\omega = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \quad (8)$$

式中: ω ——地形湿度指数; A_s ——单位汇流面积; β ——坡度。在 ArcGIS 9.3 中没有直接求单位汇流面积的工具, 需要在栅格运算工具里编写公式计算, 然后结合坡度, 再次做栅格运算获取地形湿度指数。其中单位汇流面积计算方法为: 单位汇流面积 = 汇流累积面积 / 水流宽度。汇流累积面积为汇流累积量与栅格单元面积乘积, 水流宽度依据水流方向与栅格单元边长可以计算得出。

(2) 水流强度指数。水流强度指数描述地表水流的侵蚀力, 具有很直接的应用意义, 可以用来确定自然坡度上由于水流汇集而形成的强水流路径和可能出现沟头侵蚀的地点, 从而有的放矢的部署水土保持措施, 以减少水流的侵蚀力。

$$\Omega = A_s \tan\beta \quad (9)$$

式中: Ω ——水流强度指数; A_s ——单位汇流面积; β ——坡度。在 ArcGIS 9.3 实现过程同上。

2.2 基于 Quickbird 影像的小流域土地利用的提取

利用 ERDAS 8.5 对 Quickbird 影像进行几何精校正, 均方根误差为 0.42 m, 最大点位误差 0.75 m, 达到精度要求。土地利用分类依照国家土地利用现状分类标准 (GB/T 21010-2007), 并根据研究区实际情况进行概括、综合。其中一级地类分为耕地、林地、草地和水域及水利设施用地 4 类, 二级地类分为旱地、有林地、灌木林地、其他林地、农村宅基地以及河流水面等 6 类, 同时由于小流域实际规划建设需

要, 又将旱地划分为坡旱地、川旱地、沟谷条旱地、梯旱地等 4 类。由于大比例尺的土地利用调查对分类的精度要求较高, 故采用人工目视判读, 然后通过现场调查, 检校目视解译成果^[17], 检校精度为 97%, 满足预定精度要求。

2.3 流域三维模型的建立

(1) 制作正射影像(DOM)。在 ERDAS 8.5 软件中, 打开 DataPrep 模块, 使用 ImageGeometric Correction 纠正功能, 选择 QuickBirdRPC 方式纠正, 输入随产品发布的 RPC 参数, 调入 DEM 进行纠正, 得到该小流域的 DOM^[18]。

(2) 利用遥感影像获取房屋、道路等资料, 并添加字段, 记录房屋高度。

(3) 在 ArcScene 中加载 DOM、DEM、房屋和道路等图层。在空间分析模块下, 将 DEM 转换成 TIN, 设置 DOM、房屋、道路等 Base Heights 属性都是基于 TIN 拉伸, 然后房屋图层继续按照依据房屋高度, 再次拉伸, 并给不同的房屋不同的颜色, 最终得到小流域三维空间模型(效果图如图 4), 同时可以在 ArcScene 中对其进行浏览和管理。



图 4 小流域三维空间模型效果图

3 结论

(1) ArcGIS 9.3 中提供了水文分析工具以及强大的空间分析功能, 应用该软件, 在数字高程模型基础上提取河流水系、坡度、坡向、像元坡长、水平曲率、剖面曲率、地表粗糙度, 以及复合地形属性等流域空间数据, 同时分析了各种空间数据在流域建设中的作用, 为流域规划建设、资源环境评价等提供强大的数据支持; 利用 Quickbird 高分辨率影像提取小流域最新的土地利用数据, 不仅方便快捷, 而且精度高。

(2) 利用 DEM 和 Quickbird 影像在 ArcScene 中制作小流域的三维模型, 能够对流域进行三维空间浏览, 使流域规划管理变得更加形象直观。

(3) 利用 GIS 和 RS 能够为流域空间数据的获取

与建立空间数据库统一管理, 提供高效的技术手段, 能够为“数字流域”的建设提供科学参考。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 孙庆艳, 余新晓, 胡淑萍, 等. 基于 ArcGIS 环境下 DEM 流域特征提取及应用[J]. 北京林业大学学报, 2003, 30(增刊 2): 144-147.
- [3] 谢顺平, 都金康, 罗维佳, 等. 基于 DEM 的复杂地形流域特征提取[J]. 地理研究, 2006, 25(1): 97-102.
- [4] 郑子彦, 张万昌, 邵庆国. 基于 DEM 与数字化河道提取流域河网的不同方案比较研究[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1730-1739.
- [5] 齐晓君, 王恩德, 贾三石. 基于 GIS 和 RS 的抚顺市土壤侵蚀动态研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(9): 1342-1345.
- [6] 黄金良, 洪华生, 张路平. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报, 2010, 18(5): 75-79.
- [7] 秦伟, 朱清科, 张岩. 基于 GIS 和 RUSLE 的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 157-163.
- [8] 郭旭东, 邱扬, 连纲. 基于 PSR 框架, 针对土壤侵蚀小流域的土地质量评价[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1884-1894.
- [9] 周林飞, 王庆, 高云彪, 等. 基于 GIS 的大凌河流域水土保持小流域信息系统建立[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 112-114.
- [10] 周林飞, 高云彪, 郭成久. 基于 GIS 技术的小流域信息系统研究[J]. 水利水电技术, 2004, 35(8): 119-121.
- [11] 刘学军, 卢华兴, 卞璐, 等. 基于 DEM 的河网提取算法的比较[J]. 水利学报, 2006, 37(9): 1133-1141.
- [12] Jenson S K, Domingue J O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998, 54(11): 1593-1600.
- [13] 孔凡哲, 李莉莉. 利用 DEM 提取河网时集水面积阈值的确定[J]. 水电能源科学, 2005, 23(4): 65-67.
- [14] 翁明华, 姚成, 李致家. 数字化流域及流域信息提取方法研究[J]. 水文, 2009, 29(5): 13-17.
- [15] Robert Hickey. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS[J]. Cartography, 2000, 29(1): 1-14.
- [16] 周启明, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [17] 潘竟虎, 董晓峰. 基于 GIS 与 QuickBird 影像的小流域土壤侵蚀定量评价[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2): 1-5.
- [18] 赵丽荣, 王丹. 基于 ERDAS 软件对 QuickBird 影像的正射纠正[J]. 测绘与空间地理信息, 2009, 32(6): 144-145.