

## 构建“数字流域”的试验研究

李壁成<sup>1,2</sup>, 李晓燕<sup>3</sup>, 李世华<sup>4</sup>, 闫慧敏<sup>5</sup>

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

3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012;

4. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

5. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 以宁夏固原上黄试验示范区为例, 对数字流域构建与应用作了尝试。构建“数字流域”主要包括: 数据采集及预处理、基础数据库的建立、基础空间信息框架的建立、空间信息的图形库管理、“数字流域”网络化管理与维护五大步骤。“数字流域”加速了流域信息化, 为土壤侵蚀及水土保持领域动态模拟、监测提供全新的数据支持平台和虚拟环境, 具有重要的理论和实际意义。

**关键词:** 数字流域; 空间数据基础框架; 矢栅叠加

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)03-0107-03

## Study on the Way of Digital Watershed Construction

LI Bi-cheng<sup>1,2</sup>, LI Xiao-yan<sup>3</sup>, LI Shi-hua<sup>4</sup>, YAN Hui-min<sup>5</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR;

2. Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun, Jilin 130012, China;

4. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

5. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The way and use of digital watershed construction is showed taking the Shanghuang experimental area in Ningxia as an example. Construction of digital watershed includes five steps, data collection and preprocess, construction of basic database, construction of basic frame for spatial data, graphic management of spatial information and the web management and maintenance. Digital watershed construction offers a new supporting platform and virtual environment for monitoring and modeling in the fields of soil erosion or water and soil conservation, and accelerate the informationization process of watershed, which has very important significance both in practice and theory.

**Key words:** digital watershed; basic frame of spatial data; vector-grid overlap

“数字地球”、“数字中国”、“数字黄土高原”、“数字流域”等概念的提出和第四代 GIS 三维可视化技术、虚拟现实技术的发展, 为数字流域的实现提供了全新的技术平台和发展空间, GPS 精确定位技术与 DPS(全数字摄影测量系统)的高度发展, 为数字流域信息的高质、高速获取提供了有效手段。“4D”技术作为“3S”技术集成而生成的高精度数字化可视产品, 正发展成为地学数字化产品的基本模式, 这是数字流域建设的理想基础数据源。为此, 我们以黄土高原西部的宁夏固原上黄为样点, 进行“数字流域”的试验研究。

### 1 工作基础

固原上黄试区创建于 1982 年, 从“六五”至“十五”连续

承担了国家及宁夏自治区科技攻关项目, 在水土保持与生态农业等方面取得一批重大科技成果的同时, 也较早开展了遥感应用与数字流域的试验研究。科研人员与研究生“八五”开始就对试区土地利用与生态环境进行了遥感监测研究, 1997 年以 Visual Foxpro 语言为工具对流域数据库研究进行了探索, 建立了流域数据库管理系统, 实现了流域自然、经济、社会数据的计算机自动查询。1998 年对试区红外外航片(1995 年航摄)进行了 GPS 象控测量、全数字测图与 4D 技术的试验研究, 利用“3S”技术和美国 LH System 的 DPW(digital Photogrammetry workstation)制作了流域 DOM、DEM 等“4D”产品。2000 年在此基础上以 3D-MAPER 为平台, 利用虚拟现实的理论和技术建立了流域三维景观图。至此, 成

<sup>1</sup> 收稿日期: 2004-12-22

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关课题(2001BA606A-4)

作者简介: 李壁成(1945-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持与流域生态管理 3S 应用研究及生态农业综合研究。

功地完成了试区 4D 技术及其产品的研究与开发, 总结并建立了水土保持领域 RS- GPS- DPS- 流域三维景观重建系统(PhotoMaps- 3D) 开发及应用的高精度实用化的“4D”产品技术系统与作业程序。“4D”产品比较全面的反映区域土地利用现状信息、水土流失现状、植被状况等, 为水土保持规划、水土保持动态监测、构建信息系统和土壤侵蚀预测等提供数字化可视产品, 为流域基础研究提供了重要的基础资料, 加速了流域的数字化进程。通过长期的试验研究, 在流域水土保持、生态建设、土壤侵蚀等方面积累的丰富的实践经验和翔实的资料数据, 形成的一系列分类方法、原则和技术规则, 为数字流域的建立奠定了科技基础。

## 2 数字流域构建流程与方法

“数字流域”的构建主要包括: 流域数据采集及预处理、流域基础数据库的建立(包括空间和属性数据库)、流域基础空间信息框架的建立、流域空间信息的图形库管理、“数字流域”网络化管理与维护, 五大步骤(见图 1)。

### 2.1 数据采集及预处理

#### 2.1.1 资料采集

主要包括研究区的遥感影像、GPS 像控测量数据资料、已有地形图及专题图件、实验研究数据、社会与经济调查统计资料等。

#### 2.1.2 专题图制作

采用扫描矢量化法, 通过图象处理、智能识别、手动或自动矢量跟踪, 得到地图要素。在 Photoshop 图像处理软件中对扫描图像进行去污处理和色阶调整, 使灰度图变得黑白清晰, 保存为 .tif 格式, 在 MapGIS 软件配准模块中转为 .msi 栅格格式。\* .msi 文件是 MapGIS 特有的栅格文件形式, 它的显示速度较其它图像快, 可以提高采集的速度。矢量化时遵循由长到短、宁长勿短、分类输入、及时存盘的原则。为了便于管理和分析, 对各层数据分类型保存。空间数据的质量直接影响到信息系统的可用性, 它包括数据完整性、数据逻辑一致性、数据位置精度、数据属性精度、数据时间精度以及一些关于数据的说明。应针对空间数据关键环节进行精度控制和改错, 以保证空间数据的质量。在检查和修改时应特别注意交点的质量控制、噪声弧段的剔除、重叠弧段的删除等。结构是用来表示地理实体的点、弧段、多边形之间连通性或相邻性关系的一种数据方法。利用拓扑关系的建立可将单纯的矢量线段定义为具有一定地理意义的数据组织结构。

线转弧→弧拓扑查错→清除微短弧段→清弧重叠坐标及自相交→重叠弧段检查→拓扑→线转弧→线转弧→

#### 2.1.3 高程数据的生成

高程数据作为特殊形式的空间数据, 是流域基础定位的控制线。系统提供四种网格化方法: 距离幂函数反比加权网格化、稠密数据中值选取网格化、稠密数据高斯距离权网格化、King 泛克立格网格化。King 泛克立格网格化是地学中最常用的插值方法, 很适合地形地貌的表现。首先根据网格大小确定网格格数为 420×411, 采用无漂移线性模型、几何异向性椭圆轴 1= 轴 2= 2.931.1303; 然后确定搜索窗口: 在搜索圆范围内寻找插值点的邻近点进行插值, 插值点在各个方向的邻近点数确定为 24, 最少有效点数为 5, 最大空方向允许数为 1; 最后将转换后的\* .TXT 文件保存为\* .GRD 文件。对已网格化文件中的未知点采用邻域均插值, 以未知

数据点周围已知的高程值均插出未知点的高程值, 最后生成流域 DEM。流域 DEM 具有广泛的用途, 可以自动绘制等高线图、生成彩色立体图、派生许多其它图件和地形数据, 如以生成的 high. GRD 为基础, 进行沟脊提取分析、坡度、坡向等分析, 并将结果保存为 gj. GRD、slope. GRD、px. GRD, 通过图件绘制分析, 可生成相应的沟脊、坡度、坡向图(\* .wt、\* .wl、\* .wp)基础图件。

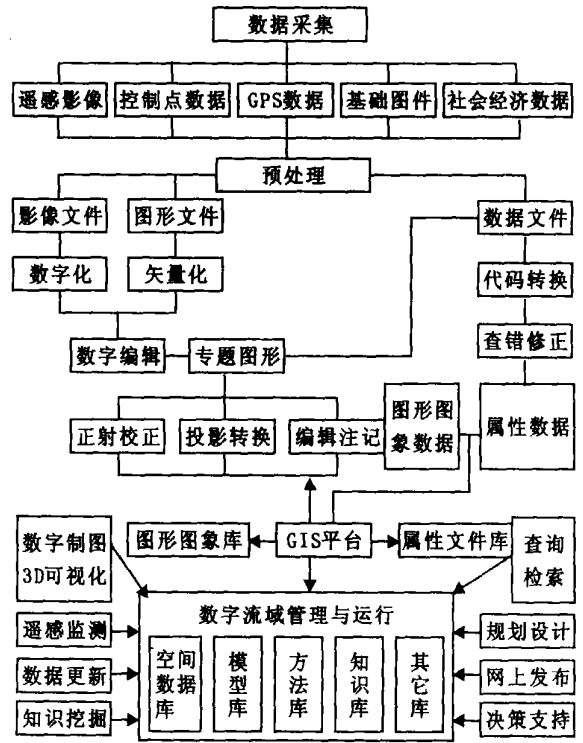


图 1 数字流域构建与应用流程图

#### 2.1.4 属性数据

流域自然、社会经济统计资料, 本次研究中对直接数字化的各专题图属性采用直接输入法, 在建立资源信息库时采用了链接法。数据项是关系型数据库中的一个字段, 数据库数据项确定是主要考虑了目标对数据的要求和数据本身的特点。

### 2.2 流域基础数据库的建立

以土地资源单元作为流域数字化信息采集的基本地理单元, 采用矢栅叠加获取基础单元图斑图, 通过对一系列矢量叠加后过渡图层的属性表操作来获取属性数据。

#### 2.2.1 本底图的形成

(1) 单元图斑的确定。从 DEM 上提取沟脊线作为主控线, 在“图形编辑子系统”中, 依次与同比例尺的土地类型图、土地利用图相叠加并交互矢量化, 通过对重要线形地物的提取并进行边界协调, 生成土地资源斑块图, 作为数据库的基础底图。

(2) 景观单元图制作。在已生成的 DEM 上, 利用沟脊线分析功能提取沟脊线, 保存。在“图形编辑”模块中, 进行编辑和图形概括。以沟脊线作为控制线与土地类型图相叠加, 提取重要的地形线。然后将矢量化后的图形再分别与更新后的土地利用现状图叠加, 在对边界以一定原则取舍的基础上进行矢量化, 生成的单元图作为数据库的单元底图。(3) 编码原则与方法 本着惟一性、简单性、可扩充性、易识别性、完整性的原则, 设计编码。地理单元编码采用土地类型和土地利用

的混合编码,以六位代码表示一个单元。土地类型采用三级分类以三位表示,土地利用采用二级分类,以两位表示。专题属性编码:单元属性码共10位,前3位表示地貌属性分别表示坡度、坡向、高程的等级,后7位表示土壤性质。此外对于一些重要线状地物的也要编码。

### 2.2.2 属性数据的获取

(1) 过渡图层的生成:将土地资源本底图与土地类型图、土地利用图、坡度分级图、有效磷、氮、钾、土壤类型图等基础图件叠加,叠加后不必对“边缘现象”和内部多边形碎块作后期处理,直接生成过渡图层。

(2) 数据库数据源创建 由于 MAPGIS 系统不提供修改外部数据库结构的功能,外部数据库的创建和修改由相应的数据库系统完成。为了使系统能够浏览、编辑、外挂数据库表,必须创建相应的 ODBC 数据源。

### 2.2.3 数据库集成

全面实行对研究目标所有信息的管理、查询和分析,必须对存放在不同数据库中的空间数据和非空间数据进行链接。链接可以通过标识码或指针表方法进行链接。我们用字段链接的方法将属性表与本底图进行属性连接操作,利用系统连接外接数据表功能,以单元图区号作为公共项将汇总的数据导入图形数据,这样属性值与相应的图形就连成为一个有机的整体。由于各种数据层之间存在着组织和查询的纽带,基于这些关系进行集成,就形成了有机的、可用的、完整的空间数据库。

### 2.2.4 数据库点位精度评价

数字化建库中误差主要来源于数据源误差、扫描数字化误差、矢量化点位跟踪误差及图形编辑误差等。经反复实验比较,采用 300 dpi(约 12 个点/mm)的分辨率扫描,独立点间距离的相对精度为 1.4/1 000 左右,每个像素相当于图上 0.09 mm,不仅可以满足精度的要求,而且数据量相当。数字化综合精度按下式计算:

$$M_{\text{综}} = M_{\text{定}}^2 + M_{\text{仪}}^2 + M_{\text{矢}}^2$$

式中:  $M_{\text{综}}$ ——数字化的综合精度;  $M_{\text{定}}$ ——工作底图定向误差;  $M_{\text{仪}}$ ——扫描仪精度;  $M_{\text{矢}}$ ——矢量化误差。研究中  $M_{\text{定}} = 0.12 \text{ mm}$ ,按 300 dpi 计算,  $M_{\text{仪}} = 0.09 \text{ mm}$ ,  $M_{\text{矢}} = 0.1 \text{ mm}$ ,则  $M_{\text{综}} = 0.18 \text{ mm}$ ,高于规范要求精度。

### 2.3 流域基础信息框架的建立及应用

美国从 1994 年起推行“地球空间数据框架”的建库方案。该框架以数字正射影像为主,在生产数字正射影像的同时,生产数字高程模型,另外再叠加大地控制点、交通、水系、行政边界等矢量数据。我国对地理空间数据应用的研究结果表明:这些数据主要包括交通、行政边界、高程、水文和地籍数据及正射影像和大地测量控制等。这些框架信息必须是符合标准的,保证质量的可靠数据,不仅要包括高分辨率(大比例尺)数据,也要包括低分辨率(小比例尺)数据。空间信息框架建立的目的是为了便于数据共享、集成和互操作,减少重复工作,提高生产效率,开拓新的应用。

流域空间数据基础框架包括流域基本的空间数据集。空间数据框架一方面为研究和观察流域以及地理分析提供最基本和公用的数据集,另一方面也可以为用户添加各种与空间位置有关的信息提供地理坐标参考。空间信息框架包括两方面的内容,一是空间信息内容,即框架的基础空间数据和专题数据,二是空间信息服务,即提供对空间信息的共享、集

成和互操作的功能和接口。

### 2.3.1 框架基础数据的获取

框架数据可以分为三类:数字正射影像、数字地面模型和矢量数据。矢量数据采集有多种比较成熟的生产技术,研究中采用识别法、屏幕数字化技术、人机交互从数字正射影像上直接提取所需地物。道路和水系这两层数据是 GIS 中最重要的地理要素,而且这两种要素可以直接在影像或航片上采集,不需要野外判读,符合快速高效的原则。流域界线与村界吻合,从原有专题图上提取矢量界线,添加到基础数据集中。MapGIS 软件具有对数字影像进行多种增强处理的能力,可以把栅格图象和矢量图象完美地结合在一起,并且其线划输入方式多,编辑修改灵活方便,是良好的图象屏幕数字化工具。以 DOQ 为数字化基底在 MapGIS 软件环境下进行特征要素的提取,精度和效率有很大提高。

### 2.3.2 基础框架的元数据

元数据是“关于数据的数据”,为数据目标或空间数据交换、共享提供信息。流域框架数据的元数据描述了流域基础地理要素的内容、质量、条件、来源和其他特征,目的是减少数据共享的技术障碍,为专题地理空间信息的发布和搜索提供基础。根据建立空间元数据标准及行业标准建立元数据文档。元数据可以帮助需要使用地理空间数据的用户快速找到所需的数据,便于不同部门在信息使用过程中对原始信息的认识达成一致,使各应用部门通过对元数据的检索来了解和获取已存在的空间数据,建立空间数据转换标准,使不同的应用部门采用不同系统建立的空间数据能够相互转换。

### 2.4 流域空间信息的图形库管理

#### 2.4.1 图形库的作用

地图数据是地理现实世界的多面模型,它既是流域空间信息的核心,也是流域空间信息应用分析的前提。地图数据库是对图形数据进行库管理。它接受通过各种方式输入的各类地图数据,并根据用户需要,派生出不同类型的信息产品。

#### 2.4.2 图形库的管理方法

对于图库数据的管理有两种不同的方法:多图层法和多图幅法。多图层主要解决同一地理空间纵向信息的分布,而多图幅则是针对信息的横向展布而言的。由于“数字流域”的目的,一是为流域管理、信息化服务;二是为数字黄土高原的建立提供数据支持。对海量地图采用多图层多图幅的方式进行管理:可以以距形、梯形或任意形状进行分幅,并设计图库中图幅的数目,不同图幅的地图在统一投影类型、坐标类型、椭球体参数、比例尺及单位的前提下可进行拼接,并以接图表形式显示,实现多图幅管理,适于黄土高原全貌的体现;对于某个流域信息的具体管理,可采用层类的设计方法,每个图幅由若干层组成,这使得图库管理兼具纵横空间信息,不仅体现了宏观分布规律,而且使流域管理更有层次感,更具条理性。MapGIS 系统提供等高宽的矩形分幅、等经纬度的梯形、不定形的任意分幅三种方法,要求分幅输入图幅参数与数据库在同一坐标系下并且数据单位一致。我们以土地利用图的层类设置为对图形的层管理及参数设置进行实验研究。在统一的空间基底,选择等高宽的矩形分幅方: X 经向坐标: Y 纬向坐标: 图幅高度: 500, 宽度 500, 图幅数: 50 × 50。

通过图库层类维护管理器选择层类开关及优先级,对一

- [6] Liu J, Chen J M, et al. Net Primary Productivity Mapped for Canada at 1- km resolution [J]. *Globe Ecol. Biogeogr.*, 2002, 11: 1- 15- 129.
- [7] Potter C S, J T Randerson, C B field, et al. Klost er. Terrestrial ecosystem production: a process model based on globe satellite and surface data[J]. *Globe Biogeochemical Cycle*, 1993, 7: 811- 841.
- [8] Hunt, E R, S C Piper, R Nemani, et al. Global net carbon exchange and intra- annual atmospheric transport model[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1996, 10: 431- 456.
- [9] 松下文经, 杨翠芬, 陈晋, 等. 广域空间尺度上植被净初级生产力的精确推算[J]. *地理学报*, 2004, 59(1): 80- 87.
- [10] 王军邦, 牛铮, 胡秉民, 等. 定量遥感在生态学研究中的基础应用[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 152- 157.
- [11] 郭妮. 植被指数及其进展[J]. *干旱气象*, 2003, 21(4): 71- 75.
- [12] Chen J M, Cihlar J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images[J]. *Remote sensing of Environment*, 1996, 55: 153- 162.
- [13] Chen J M, Cihlar J. Plant canopy gap size analysis theory for improving optical measurements of leaf area index [J]. *Applied Optics*, 1995, 34: 6211- 6222.
- [14] 方秀琴, 张万昌. 叶面积指数(LAI)的遥感定量方法综述[J]. *国土资源遥感*, 2003, (3): 58- 62.
- [15] 刘云, 宇振荣, 孙丹峰, 等. 冬小麦遥感冠层温度监测土壤含水量的试验研究[J]. *水科学进展*, 2004, 15(3): 352- 356.
- [16] 邓辉, 周清波. 土壤水分遥感监测方法进展 [J]. *中国农业资源与区划*, 2004, 25(3): 46- 49.
- [17] Liu J, Chen J M, Cihlar J, et al. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62: 158- 175.

(上接第 109 页)

些具有定位性质的图元, 例如线图元中的道路、河流放在叠加图层的上层, 并设置\* MSI 图形库作为图库管理的显示底图, 选择流域数字正射影像图作为显示底图, 可以清楚地看到各类图斑内的图像形状、纹理。系统提供对数据库类层的浏览、编辑、查询及输出, 可方便进行库管理。

## 2.5 小流域信息网络化管理

近几年来 Internet/Intranet 技术及其应用飞速发展, 特别是 WWW 技术和超媒体(Hyper text Media)技术的发展和广泛应用, 使各种数据信息, 其中包括 GIS 的数据信息, 在网上传输成为现实。空间数据具有多源性、多语义性、多时空性、多尺度和获取数据手段的复杂性等特点, 这就决定了空间数据表达的复杂性。尤其是在网络环境下如何对空间数据采用规范化的编码使得分布在网络下所有用户都可以无缝地获取、访问、浏览空间数据还存在着很大的技术问题。现有 GIS 服务器价格昂贵且多为英文版, 而小流域用户多属区域性, 由此构建的网络系统不具有实用性。Java 编程语言是基于网络(应用)开发、面向对象的新一代计算机编程语言它具有对象封装、多态性和继承性等面向对象语言的基本特征, 绝大部分数据类型都是以对象形式出现。由于 Java 无全程

### 参考文献:

- [1] 陈述彭. 数字地球百问[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 第一届国际数字地球会议. “数字地球”北京宣言[J]. *遥感信息*, 1999, (4): 9- 10.
- [3] 李德仁. 国家信息技术设施、国家空间数据基础设施与“数字地球”[J]. *测绘学报*, 1999, 12(1): 13- 16.
- [4] 林宗坚. 关于构建数字地球基础框架的思考[J]. *测绘软科学研究*, 1999, (4): 2- 4.
- [5] 徐冠华. 构筑“数字地球”, 促进中国和全球可持续发展[J]. *遥感信息*, 1999, (4): 10- 12.
- [6] 张书焯, 吕良寿, 等. 全数字摄影测量与 4D 技术探讨[J]. *遥感信息*, 2000, (4): 12- 17.
- [7] 杨勤科, 李锐. 论数字黄土高原建设的若干问题[J]. *水土保持通报*, 2000, 20(1): 33- 36.
- [8] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [9] AL Gore. The Digital Earth Understanding Our Planet in the 21st Century[R]. Los Angeles CA: the California Science Center, 1998.
- [10] National Academy of Public Administration. Federal Government's Needs and Programs for Geographic Information [J]. *Surveying and Land Information System*, 1997, 57(4): 110- 115.

变量和主函数, 它的封装性很强。因采用虚拟机技术, Java 语言程序实现了目标代码级与平台无关的特性。同时具有支持 Internet/ Intranet 网络模式下的数据分布与计算分布的特性。利用 Java 编程语言调用 MapGIS 控件建立 Web 系统是流域网络化的最好途径, 但目前实现有一定困难。我们利用 Photoshop、dreamwave 等网页制作软件, 实现流域信息网络传输。对于图形数据以位图显示, 初步实现流域信息的网络化管理, 当具备一定开发条件时, 只要对信息系统进行更新即可。此外, XML 标准是 Dreamwave 发展的必然趋势, XML 支持任意复杂空间实物的描述, 包括多维图形、图像的描述, 并支持 Java 编程。

流域信息网站共包括六大部分内容: 流域概况、空间数据库、科技动态、生态旅游及相关网站链接六大部分。流域概况反映试区的自然、社会、经济状况; 空间数据库即为流域 4D 数据库; 科技动态介绍流域研究的现状、进展及创新情况; 生态旅游是流域未来发展经济的一个方向, 介绍流域主要景点及开展生态旅游的前景。通过这些充分反映流域现在、将来的发展动态, 打破流域封闭的历史, 初步实现流域信息共享。