

# GIS技术在黄土高原退耕还林草工程中的应用

汤国安<sup>1</sup>, 杨玮莹<sup>1</sup>, 秦鸿儒<sup>2</sup>, 余松涛<sup>3</sup>

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069; 2. 水利部 黄委会 水土保持局, 河南 郑州 450003;  
3. 中国航空计算机技术研究所, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 坡耕地退耕还林(草)是我国黄土高原地区、特别是黄土丘陵沟壑区实施水土保持和生态环境建设的基本方法之一,如何快速了解区域土地利用现状是实施这一工程的关键所在,传统的统计法和图上量算法均无法满足科学高效的要求。结合黄土丘陵沟壑区地形特点,研究并探讨了应用 GIS 技术实现该地区土地利用状况快速清查的工作过程及关键技术,以期为在全区实现土地资源调查、规划、管理的科学化、自动化、标准化提供可供借鉴的方法和依据。

**关键词:** 水土流失; 退耕还林还草; 土地利用现状

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2002)05-0046-05

中图分类号: P231.5

## An Application of Using GIS Technology to Return Hillside Cultivated Land for Forestry and Grassland in Loess Plateau Region

TANG Guo-an<sup>1</sup>, YANG Wei-ying<sup>1</sup>, QIN Hong-ru<sup>2</sup>, YU Song-tao<sup>3</sup>

(1. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Yellow River Conservancy Commission Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450003, China;

3. Aetri, Aerospace Computer Technology Research Institute, Xi'an 710068, China)

**Abstract** One basic method for the soil and water conservation and ecologic environment constructions in the loess plateau, especially the loess hill and gully area is to return the hillside cultivated land for forestry and grassland. The key issue to execute the project is how to rapidly learn about the current land use situation of the area. The traditional statistical method and on-map measurement method are unable to meet the requirements of scientific high efficiency. Combined with the topographic features of the loess hill and gully area, the working process and key technologies of using GIS technology are studied and explored to realize the rapid inspection and checking on the land use situation so as to provide valid methods and basis to realize the automatization and standardization of scientific investigation, planning and management for the land resources in the whole area.

**Keywords** soil and water loss; return cultivated land for forestry and grassland; current land use situation

### 1 引言

黄河中游黄土高原地区的水土流失区域依据水土流失的程度可划分为严重流失区、局部流失区和轻微流失区 3 类,黄土丘陵沟壑区属严重流失区下的 2 级区,其特点是光山秃岭、坡陡沟深,水土流失十分严重,是水土保持工作的重点治理区。该地区生态破坏主要表现为陡坡耕地所造成的水土流失。正因为如此,国家明文规定,坡度超过 25°的耕地要逐步实现退耕还林还草。“退耕还林(草)”是黄土高原地区、特别是黄土丘陵沟壑区生态建设的必由之路,如何科学

地实施退耕还林还草的生态建设,直接关系到生态建设工作的成效。

地面坡度的大小,直接制约着地貌形态、地表径流及土壤侵蚀的形成和发展,影响着土壤的演化、植被的立地条件与土地质量,关系着土地利用方向和工农业生产建设布局等方面。退耕还林还草工程中急需掌握的信息是地面坡度与土地利用,特别是耕地的使用状况之间的关系。只有查清黄土丘陵沟壑地区土地利用类型的坡度组成状况,才能更好地开展水土流失综合治理工作,合理利用土地,提高农业生产力,发展经济,为治穷致富提供科学依据。

收稿日期: 2002-01-08

资助项目: 国家自然科学基金(49971065); 教育部资助优秀青年教师基金; 黄委会水土保持科研基金项目(hsbkj2000-02)

作者简介: 汤国安(1962-),男(汉族),浙江宁波人,教授,主要从事地理信息系统研究与教学。电话:(029)8302000

在土地利用类型坡度组成状况清查中,传统的方法主要是以地形图作为基本信息源,使用统计法和图上量算法进行。传统方法在实际应用中存在一系列的问题,主要体现在以下几点:(1)传统方法精度太低,坡度图的制作和面积量算工作量很大,往往产生相当大的粗差(汤国安,1994)。(2)传统方法效率太低,我国地域广大,地貌类型多样,地形变化复杂,难以快速获取国家急需数据与资料。(3)不同信息的快速叠置保证了数据应用的广泛性,传统方法无法(难以)实现多层信息的叠置。(4)数据现势性较低,同时难以进行后期数据的更新与管理。因此,将GIS方法技术引入退耕还林、还草工作中是十分必要的。20世纪80年代以来,GIS技术的开发和利用,为空间数据的管理、处理和分析提供了强有力的工具。这些,都为区域土地利用状况快速调查提供了技术保证。数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是地理信息系统中赖以进行地形分析的核心数据系统。利用不同地面分辨率DEM为基本信息源,实现对不同空间尺度土地利用状况进行准确、快速测定和科学计算,无疑是一次极其重要的尝试,对于最终实现项目的研究目标,具有十分重要的意义。

本次研究应用GIS技术,清查黄土丘陵沟壑区土地资源的类型、数量、质量、分布和利用状况,提交有关图件、土地利用清单和研究报告,研究制定退耕还林还草方案,为在全区实现土地资源规划、管理的科学化、自动化、标准化提供可借鉴的方法和依据。

## 2 研究工作基础

### 2.1 信息源

本研究的基本工作流程如图1所示。

本次试验采用陕西省测绘局编制的1:10 000(基本等高距为10m)及1:50 000(基本等高距为20m)地形图作为建立DEM的基本信息源,二者均采用1954年北京坐标系、高斯-克吕格投影。为保证实验结果的精确性与通用性,DEM的建立方法基本上建立采用国家测绘局所制定的DEM生产技术规范标准。但为便于试验分析的进行,根据黄土高原的实际,提高了所建DEM的空间分辨率。既将1:10 000 DEM的水平分辨率由12.5m提高到5m,1:50 000 DEM的水平分辨率由25m提高到5m。故其最终制作的结果是5m分辨率1:10 000 DEM和5m分辨率1:50 000 DEM。

数字化的土地利用现状图是同地面坡度信息进行叠合分析的重要信息源。本研究主要使用绥德县土地局于1997年制作的土地利用现状图,该方法按照

国家土地利用现状图的技术规范完成,专题最小图斑面积 $4\text{ m}^2$ ,图中所涉及的主要土地利用类型采用陕西省土地利用现状分类法进行分类及属性编码。

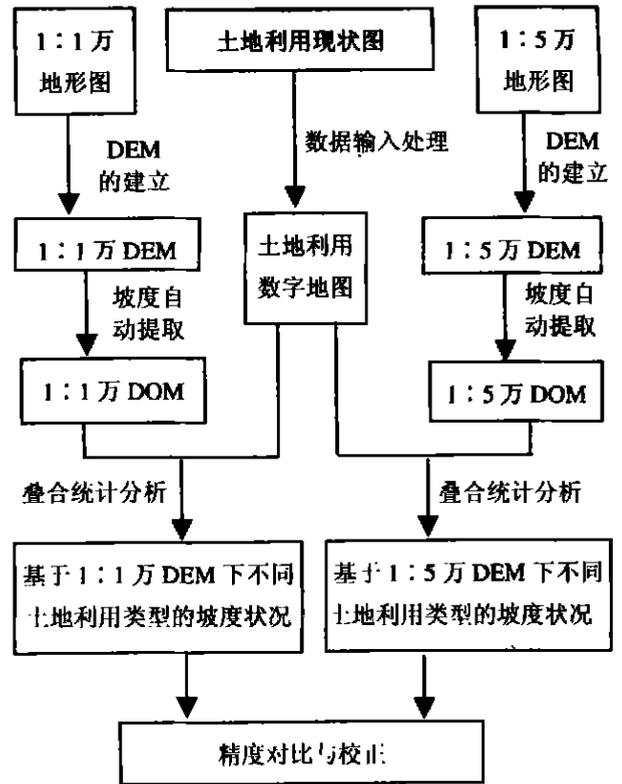


图1 工作流程示意图

### 2.2 实验样区

本次试验的样区设定为一单幅1:10 000地形图区域,实际使用的地图图号为J-49-89-(13),主要涉及陕西省绥德县刘家沟、韭园沟2条流域的部分区域,地理坐标为北纬 $37^{\circ}35'00''$ — $37^{\circ}37'30''$ ,东经 $110^{\circ}15'00''$ — $110^{\circ}18'45''$ ,面积 $25.5\text{ km}^2$ ,最高海拔高程1103.5m;该实验样区隶属于典型的黄土丘陵沟壑区,沟壑密度 $7.18\text{ km/km}^2$ ,地表平均坡度为 $28.7^{\circ}$ ,平均地面粗糙度为1.18。地面支离破碎,水土流失严重,土地利用各种类型较为齐全,属于国家水土流失重点治理区。以该地区作为典型样区,对该方法在全区的推广应用具有一定的示范作用。

### 2.3 实验软硬件条件

基于GIS的叠置比较分析为本试验的基本方法,故使用Arc/Info、Arc/View地理信息系统为本研究的主要软件平台。

### 2.4 实验方法

陡坡地退耕还林还草的核心问题是研究地面坡度与土地利用,特别是耕地的使用状况之间的关系。故本次研究着重于调查样区内主要土地利用类型(重

点是耕地,包括滩旱地、沟旱地、梯旱地和坡地)中的地表坡度组成状况。

(1) 采用国家测绘局所制定的地形图数字化建立 DEM 的技术规范标准制作 DEM,完成 1:50 000, 1:10 000 DEM 的水平分辨率均为 5 m (2) 依据高精度 DEM 生成黄土丘陵沟壑区地面坡度模型 (Digital Slope Model, DSM)。(3) 以 DSM 为基准,利用叠合分析方法提取土地利用类型中的坡度组成信息,同时比较不同精度 DSM 提取结果的差异。

### 3 研究工作的关键技术说明

#### 3.1 专题信息层面的建立

(1) DEM 的建立。数字高程模型 (DEM),是遥感与 GIS 中赖以进行三维空间数据处理与地形分析的核心数据。采用国家测绘局所制定的标准的 DEM 生产规范制作 1:10 000 及 1:50 000 DEM (2) 土地利用信息层面的建立土地利用专题信息是将实验区土地利用现状图数字化,编辑后,进行地图投影转换,并与该地区 DEM 套合而成。主要在 Arc/Info 系统下制作完成。方法步骤如图 2 所示。

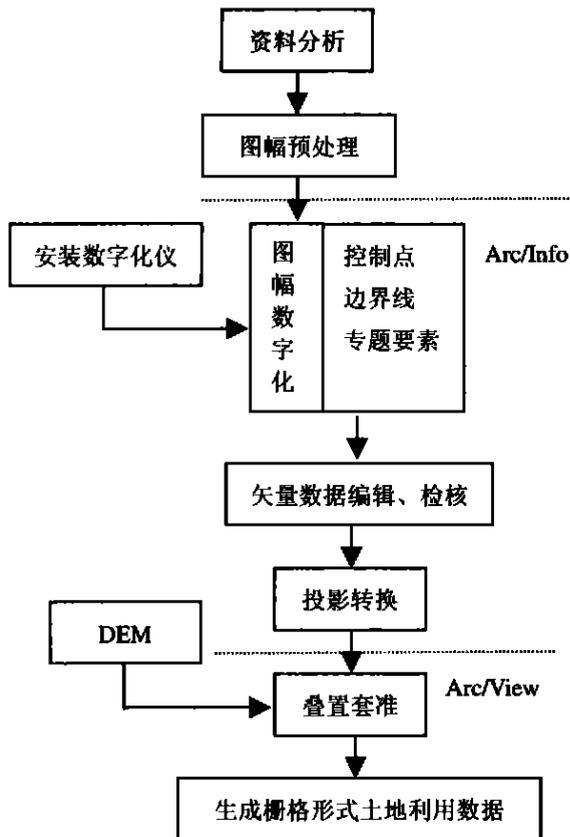


图 2 土地利用专题信息处理流程

#### 3.2 DEM 的坡度提取技术

地面坡度一般定义为地表水平面和实际地形表

面之间夹角的正切值 (李志林等, 2000); 目前, 利用 DEM 提取地面坡度的算法有较多种类, 本研究应用的 Arc/Info 地理信息系统软件平台采用 Burrough PA, (1986) 提出的窗口微分分析法。即坡度的计算在 3×3 个 DEM 格网窗口中进行。窗口在 DTM 数据矩阵中连续移动后完成整幅图的计算工作。

### 4 实验结果与分析

#### 4.1 黄土丘陵沟壑区坡耕地坡度现状分析

坡度分级系统需要结合黄土丘陵的坡度组合特点, 以坡度与土壤侵蚀及坡度生产建设的相关临界值作为划分的基本依据, 得出符合该地区实际并具有较高实用价值的坡度分级。黄土丘陵沟壑区的土壤侵蚀以面蚀和沟蚀为主, 土壤侵蚀量的大小受地面坡度大小的制约。根据多年试验结果, 黄土丘陵沟壑区地面坡度在 3°, 8°, 15°, 25°, 35° 是较为明显的土壤侵蚀临界坡度值; 3° 以下无明显侵蚀, 8° 以上的坡地细沟、浅沟普遍出现; 15° 是产沙的突然增大点, 小于 15° 的坡地, 土壤侵蚀相对较弱, 当坡度超过 15° 时产沙量突然增大, 侵蚀渐趋加剧, 坡面发育大量切沟; 25° 是土壤侵蚀方式的一个转折点, 25° 以上的坡地开始出现重力侵蚀, 并有冲沟发育; 35° 是黄土状堆积物的临界休止角, 大于 35° 的坡地侵蚀方式由以流水作用为主转变为以重力作用为主, 崩塌、滑坡、错落等重力侵蚀现象普遍出现, 侵蚀量达到最大值。在黄土丘陵沟壑区的土地利用中, 6°~25° 是可修筑梯田的地域范围, 也是主要的种植区域; 小于 6° 的耕地只要在耕作时采用水保耕作法便可以防止面蚀发生; 25° 以上的坡地应作为林牧用地, 是需进行退耕还林还草的区域。综上所述, 可以得到黄土丘陵沟壑区的坡度共有 5 级: <6°, 6°~15°, 15°~25°, 25°~35°, >35°。分别使用基于 1:10 000 DEM 和 1:50 000 DEM 生成的数字坡度模型与土地利用现状数据进行叠置分析, 对结果依上述坡度分级系统进行统计分类可快速获取各种土地利用类型的坡度组成状况, 见表 1 所示。

#### 4.2 在黄土丘陵沟壑区坡耕地研究中的效益分析

本次工作主要任务是为坡耕地退耕还林还草提供快速可靠基本信息, 应用 GIS 技术可迅速清查土地利用详细状况。退耕还林还草属水土保持中的生物措施, 其基本要求是 6°~15° 耕地作为主要种植区域; 15°~25° 耕地需加强工程措施以防止水土流失发生; 25° 以上坡地作为林牧用地区域, 需退耕还林还草; 35° 以上坡地是重点治理区域, 必需尽快进行治理。

依据高精度 DEM (基于 1:1 万比例尺地形图建立, 5 m 分辨率), 与土地利用现状信息叠置分析, 提

取耕地(本样区耕地类型为旱地,包括滩旱地、沟旱地、梯旱地和坡地 4类)坡度组成信息,结果如表 2所示。从表 2可知,该样区坡度在 25°以上需进行退耕还林还草的坡地面积约为 9.08 km<sup>2</sup>,占全区耕地总面积的 57.93%。

### 4.3 在黄土丘陵沟壑区坡耕地研究中的精度分析

不同比例尺与分辨率 DEM 在地形信息载量与精度上无疑存在着明显的差异,由于缺乏相应理论的指导,DEM 用户在应用中极可能造成盲从或失误。国家测绘部门最近完成的 1:50 000 DEM,虽然栅格空间分辨率达到 25 m,但是,由于地形图本身已经

过了相当程度的制图综合与取舍,特别在黄土丘陵沟壑区等地形起伏较大的地区,仍难以准确反映地面的实际变化结果。

图表中显示 1:50 000 DEM 所提取的地面坡度与同一地区 1:10 000 DEM 所提取的结果存在明显差距。假定后者为基准值,前者在估算样区大于 25°土地面积上将产生 2.63%的误差,在估算样区大于 25°耕地面积上将产生 4.26%的误差。与 1:10 000 DEM 相比,1:50 000 DEM 原始地形图制图综合的结果在总体的效果上使地面的起伏趋于平缓,沟壑减少、地形剖面曲率降低。

表 1 样区内各土地利用类型的坡度分析(面积百分比)

土地类型	DEM 信息源	< 6°	6°~ 15°	15°~ 25°	25°~ 35°	> 35°	合计
耕地	1: 10 000 DEM	1.13	5.41	19.33	19.74	15.88	61.49
	1: 50 000 DEM	2.44	5.26	15.55	25.28	12.96	61.49
园地	1: 10 000 DEM	0.08	0.21	0.64	0.81	0.85	2.59
	1: 50 000 DEM	0.08	0.29	0.66	0.91	0.65	2.59
林地	1: 10 000 DEM	0.56	2.48	8.02	9.58	11.18	31.82
	1: 50 000 DEM	1.10	2.53	6.98	12.82	8.37	31.80
牧草地	1: 10 000 DEM	0.01	0.03	0.11	0.08	0.10	0.33
	1: 50 000 DEM	0.01	0.02	0.05	0.14	0.09	0.31
居民点及工矿用地	1: 10 000 DEM	0.16	0.25	0.70	0.78	0.74	2.63
	1: 50 000 DEM	0.15	0.35	0.79	0.89	0.46	2.64
水域	1: 10 000 DEM	0.02	0.04	0.09	0.17	0.30	0.62
	1: 50 000 DEM	0.09	0.06	0.18	0.16	0.14	0.63
未利用土地	1: 10 000 DEM	0.04	0.08	0.09	0.14	0.20	0.55
	1: 50 000 DEM	0.03	0.08	0.19	0.12	0.11	0.53
合计	1: 10 000 DEM	1.98	8.51	28.98	31.30	29.23	100.00
	1: 50 000 DEM	3.90	8.60	24.40	40.33	22.77	100.00

表 2 耕地坡度组成

项目	< 6°	6°~ 15°	15°~ 25°	25°~ 35°	> 35°	合计
百分比 %	1.83	8.80	31.44	32.11	25.82	100.00
面积 /m <sup>2</sup>	287 024.74	1 379 148.74	4 928 170.51	5 034 745.41	4 048 221.31	15 677 310.72

表 3 实验样区坡度误差比较(面积百分比)

		< 6°	6°~ 15°	15°~ 25°	25°~ 35°	> 35°	合计
地表坡度组成	基于 1: 10 000 DEM	1.98	8.51	28.98	31.30	29.23	100.00
	基于 1: 50 000 DEM	3.90	8.60	24.40	40.33	22.77	100.00
耕地坡度组成	基于 1: 10 000 DEM	1.83	8.80	31.44	32.11	25.82	100.00
	基于 1: 50 000 DEM	3.96	8.56	25.29	41.12	21.07	100.00

## 5 结 论

本文介绍了应用 GIS 技术实现黄土丘陵沟壑区土地利用状况快速清查的工作过程及关键技术,为在全区实现土地资源规划、管理的科学化、自动化、标准化提供可借鉴的方法和依据。

(1) 在生态环境建设工程中,应用 DEM 以及土地利用现状信息提取土地利用类型的坡度状况,是一种高效可行的技术方法,对于在黄土丘陵地区开展实施沟坡地退耕还林还草有着重要帮助作用。

(2) 虽然 1:10 000 与 1:50 000 地形图同属于大比例尺地形图,但依据这 2 种地形图所建立的数字

高程模型,在黄土高原地区地形描述精度上仍存在着很大的差异。与 1: 10 000 DEM 相比,1: 50 000 DEM 所提取的地面坡度在统计结果上存在着较大的系统误差。直接利用 1: 50 000 DEM 数据进行区域坡耕地工作,其分析结果的可信度将是较低的。

(3) 在黄土高原地区实施生态环境建设工程项目时需要高精度地形数据的支持,而 1: 50 000 比例尺 DEM 难以满足某些应用的需要。在进行退耕还林还草工程规划时,可通过相应的坡度转换图谱(汤国安,2000)对 1: 50 000 DEM 进行有效纠正,以得到较为合理、可靠的结果。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Feliósimo A M. Parametric statistical method for error detection in digital elevation models [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1994, 49(4): 29- 33.
- [2] Wood J D. The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models [M]. Leicester University Press, 1996.
- [3] Bolstad P V, Stowe T. An evaluation of DEM accuracy Elevation, Slope, and Aspect [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994(11): 1327- 1332.
- [4] Carter J. The effect of data precision on the calculation of slope and aspect using gridded DEMs [J]. Carto-

graphica, 1992, 29(1): 22- 34.

- [5] Tang G. A research on the accuracy of digital elevation models [M]. Science Press, Beijing, 2000. 12.
- [6] 汤国安. 数字高程模型在黄土丘陵沟壑区地面坡度图制作中的应用 [Z]. 神府地区资源与环境遥感调查及制图. 科学出版社, 1994. 341- 349.
- [7] 陈述彭,等. 地学信息图谱研究及其应用 [J]. 地理研究, 2000.
- [8] 汤国安. DEM 地形描述误差空间结构分析 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2000.
- [9] 汤国安. 不同比例尺 DEM 提取地面坡度的精度研究 [J]. 水土保持通报, 2001.
- [10] 毛可标, 陈向东. 地形结构线自动生成方法研究 [J]. 测绘科技动态, 1995(3): 12- 18.
- [11] 蒋忠信. 流域沟壑密度理论极值数学模式商讨 [J]. 地理研究, 1999, 18(2): 220- 223.
- [12] 阎国年, 钱亚东. 黄土丘陵沟壑区沟谷网络自动制图技术研究 [J]. 测绘学报, 1998, 27(1): 131- 137.
- [13] 刘春, 丛爱岩. 基于“知识规则”的 GIS 水系要素制图综合推理 [J]. 测绘通报, 1999(9): 21- 24.
- [14] 余鹏, 刘丽芬. 利用地形图生产 DEM 数据的研究 [J]. 测绘通报, 1998(10): 16- 18.
- [15] 张金生. 地形图的精度对在图上求取对数据精度的影响 [J]. 测绘技术, 1994(2): 39- 42.
- [16] 李志林, 朱庆. 数字高程模型 [M]. 武汉测绘科技大学出版社, 2000.

(上接第 45 页)

Web LIS 是一种突破部门、组织、地域、时间限制的新型 LIS 体系, 广泛采用 TCP/IP 协议和 HTTP 传输协议, 实现了土地管理部门之间的信息共享。随着 Web LIS 技术的不断推广和应用, 我国土地信息管理工作将发生质的飞跃。Web LIS 作为一个开放的网络体系, 它应当紧跟信息技术、Internet 网络技术的发展, 结合土地管理部门的实际不断进行完善, 以符合土地管理的未来发展和需求。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks (Third Edition) [M]. Prentice Hall International, Inc, 1998.
- [2] 寇有观, 陈金, 萧术, 等. 土地信息系统引论 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996.
- [3] 宋其友, 杨喜敏, 李素轩, 等. 土地信息学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997.
- [4] 萨师焯, 王珊. 数据库系统概论(第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [5] 涂镇, 杨永侠, 朱德海. 基于客户/服务器体系的土地管理信息系统 [J]. 中国土地科学, 1997, 11(2): 30- 35.

- [6] 杨联安. 土地利用动态管理信息系统的构架初探 [J]. 测绘标准化, 1998(2): 15- 17.
- [7] 杨瑾, 袁勘省. 网络化土地信息系统及其设计 [J]. 地理信息世界, 2001. 1, 35- 38.
- [8] 荣芳, 杨成韞. 土地信息系统中若干技术问题的探讨 [J]. 中国土地科学, 1999, 13(2): 44- 47.
- [9] 荣芳, 杨成韞. 土地信息系统数据库分布式设计与实现 [J]. 计算机应用, 1999, 19(2): 35- 38.
- [10] 杨成韞, 荣芳, 彭子风. 基于客户/服务器结构的空间数据分布式处理研究 [J]. 计算机工程与应用, 2001. 8, 87- 89.
- [11] 王丽萍, 邱飞岳. 基于 Intranet 的土地信息系统的分析与设计 [J]. 计算机工程与应用, 1998, 7, 62- 64.
- [12] 李满春, 余有胜, 等. 土地利用总体规划管理信息系统的设计与开发 [J]. 计算机工程与应用, 2000. 8, 144- 146.
- [13] 蒋云良. 基于 GIS 的土地信息系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2000(11): 164- 166.
- [14] 范爱民. 组建面向 GIS 的 Intranet 方案 [J]. 测绘通报, 1999(2): 9- 11.
- [15] 中地公司. 中地软件 MAPGIS 系列产品说明 [M]. 2000. 2.