

安塞县纸坊沟小流域道路网系分布与土地利用的关系

梁婵芬, 曹龙熹, 张科利

(北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 流域道路对侵蚀产流产沙有着重要的影响, 研究小流域道路分布与土地利用的关系对于模拟小流域路网有重要意义。通过对陕西省安塞县纸坊沟小流域两时期遥感图像中道路的提取, 结合对应时期小流域土地利用类型分布图, 利用 GIS 空间分析方法, 研究了不同等级道路分布位置和长度与土地利用类型的关系。研究表明, 不同级别道路分布受土地利用类型的影响程度不同, 3, 4 级路受土地利用类型的影响比 2 级路显著; 4 级路长度与各土地利用类型的面积及其对人类活动的吸引程度存在线性回归关系。

关键词: 小流域; 道路侵蚀; 土地利用; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0201-05

中图分类号: U491.1

Relationship Between Road Distribution and Landuse Type in Zhifanggou Watershed of Ansai County

LIANG Chan fen, CAO Long-xi, ZHANG Ke li

(State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Road networks may greatly influence hydrologic and geomorphic processes in a watershed. The relationship between road distribution pattern and landuse type is crucial for the quantization of road network characteristics in a small watershed. This study was conducted to explore the manner in which landuse type affects road network distribution pattern. Road networks in different periods(1982 and 2002) were extracted based on high resolution remote sensing images of Zhifanggou watershed in the central Loess Plateau. In turn, the road networks were overlaid with the landuse types in corresponding periods. GIS spatial analysis and statistic methods were used to study the correlation of road segment position and length with the changed landuse types. Results show that in a watershed, the changed landuse may influence road network significantly. Nevertheless, roads in different levels receive different effects from changed landuse type. Roads of the third and fourth levels are influenced more greatly than the second level roads. Linear function may be used to describe the relationship between the fourth level road length and the area of land blocks. An equation optimized by the landuse type affection degree to human activity is proposed to get road length based on land block areas.

Keywords: small watershed; road erosion; landuse; the Loess Plateau

道路网系作为一种特殊的土地利用方式, 既是产流产沙源地, 又会对地表径流过程产生深刻影响。研究道路侵蚀、评价道路网系对流域汇流产沙的作用, 对小流域侵蚀模型建立至关重要。自 20 世纪 70 年代以来, 国外学者就开始关注道路侵蚀问题。相继开展了道路侵蚀特征及影响因子、道路建设所引起的水文和泥沙过程变化、道路侵蚀预报和公路水土流失防治措施评价等方面的研究^[1-4]。国内对道路侵蚀研究

相对较少, 郑世清等通过在黄土高原的沟坡道路侵蚀观测, 对道路侵蚀分类、影响道路侵蚀的因素以及防止措施进行了综合分析^[5-7]。邱荣祖等用标桩法和野外调查法对福建山地林道的土壤侵蚀进行了研究^[8-9]。还有一些学者针对公路与铁路工程中土壤侵蚀特点、影响因素以及侵蚀预报模型做了研究^[10]。但相对于农地而言, 目前关于道路侵蚀研究还存在很多问题。特别是在道路侵蚀量估算模型方面, 很少在

收稿日期: 2009-11-15

修回日期: 2010-01-02

资助项目: 地表过程与资源生态国家重点实验室基金“农田小流域道路侵蚀评价模型研究”(2008ZZ-03); 国家自然科学基金“小流域道路侵蚀及路网对侵蚀产沙影响的研究”(40671112); 西部交通建设科技项目“公路建设对地表水系及水文特征影响评价技术”(200731822313)

作者简介: 梁婵芬(1985—), 女(汉族), 湖北省天门市人, 在读硕士, 研究方向为土地资源利用与保护。E-mail: liangchanfen@mail.bnu.edu.cn。

通信作者: 张科利(1963—), 男(汉族), 陕西省宝鸡市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: keli@bnu.edu.cn。

流域尺度上考虑路网对流域水沙过程的影响。流域内道路分布主要受地形和人类活动影响,地形对道路网分布的影响已有研究者做了研究^[11],但对人类活动与道路网分布的关系还未见报道。本文通过对纸坊沟流域两期航空和卫星影像解译,从不同层面分析小流域道路分布与土地利用类型的关系,以期为小流域道路路网系计算和生成提供依据。

1 研究区概况及方法

1.1 研究区概况

纸坊沟流域位于陕西省安塞县,东经 $109^{\circ}13'46''$ — $109^{\circ}16'03''$,北纬 $36^{\circ}42'42''$ — $36^{\circ}46'28''$,属黄土丘陵沟壑区,是延河支流杏子河下游的一级支沟。流域呈南北向狭长形,面积 8.27 km^2 。年均气温 $8.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 549.1 mm ,降水年际变化大,且年内分配不均,主要集中在 7—9 月间。年蒸发量大于 1463 mm 。流域地形破碎,沟壑密度 8.06 km/km^2 ,水土流失严重,多年平均侵蚀模数达 14000 t/km^2 。流域先后经历了植被严重破坏期(1938—1958 年)、继续破坏期(1959—1973 年)、不稳定期(1974—1983 年)、稳定恢复改善期(1984—1990 年)和良性生态初步形成期(1991 年至今),土地利用格局发生了较大的变化^[12]。

1.2 研究方法

本研究获取了纸坊沟流域 1987 年航空影像和 2002 年 IKONOS 卫片(3 波段融合影像,分辨率为 1 m);1987 年和 1999 年的土地利用图及 2006 年使用 GPS 接收机 Trimble 4600 DGPS 测量的道路网系。不同时期的道路网系分别从 1987 年的航空影像和 2002

年的 IKONOS 卫片中人工提取,提取时以 2006 年实测纸坊沟道路作为参考并校正影像^[13]。对照 1987 年和 1999 年的土地利用图,参考 2002 年 IKONOS 卫片,在 1999 年土地利用图的基础上,解译得到 2002 年的土地利用图。将不同时期的道路与相应的土地利用斑块图叠加,通过 GIS 的空间量算功能,分别计算不同土地利用类型上道路的长度、密度。通过 GIS 的空间查询与叠加计算功能,做出两时期的土地利用转移矩阵,然后分别分析土地利用变化处的道路变化情况。本文中使用的道路分级及依据标准沿用我们前期成果,将黄土高原小流域道路分为 4 级。1 级路指通行所有机动车辆的油路,这是流域内最高级别的道路,路面较宽,对流域地形改变较大,且由于路面物质的特殊性,对侵蚀产沙过程有着独特的影响,但该级别道路一般沿着较高级别的水系分布,在小流域内并不多;2 级路指能通行汽车等较大型机动车辆的土石路,这类道路是大多数小流域内的主要道路,宽度小于 1 级路,路面侵蚀比较严重;3 级路是指仅能通行拖拉机等小型机动车辆的道路,这种道路一般是人们在特定生产需求(如耕种、采石)驱动下形成的;4 级路指只能供行人或农具(架子车、犁耙等)通过的道路,路面较窄^[11]。

2 小流域道路分布与土地利用

2.1 不同时期土地利用变化

纸坊沟流域 1987 年和 2002 年的土地利用类型统计结果见表 1。可以看出,2002 年土地利用类型与 1987 年相比,减少了挂坡旱坡地、荒草地、裸岩 3 种土地利用类型;增加了草田间作、人工草地、岩石坡草地 3 种土地利用类型。

表 1 纸坊沟流域 1987 年与 2002 年土地利用类型二级分类

| 1987 年土地利用类型二级分类 | | 2002 年土地利用类型二级分类 | |
|------------------|------------------------|------------------|-----------------------|
| 分类 | 包括的土地利用类型 | 分类 | 包括的土地利用类型 |
| 耕地 | 沟旱地、梯田、坡耕地、滑坡旱坡地、挂坡旱耕地 | 耕地 | 沟旱地、梯田、坡耕地、滑坡旱坡地、草田间作 |
| 果园 | 果园 | 果园 | 果园 |
| 林地 | 有林地、灌木林地、疏林地、幼林地 | 林地 | 有林地、灌木林地、疏林地、幼林地 |
| 草地 | 天然草地、改良草地、荒草地 | 草地 | 天然草地、改良草地、人工草地、岩石坡草地 |
| 居民地 | 居民地 | 居民地 | 居民地 |
| 裸岩 | 裸岩 | | |

两时期二级分类土地利用类型面积在流域的分布百分比见表 2。由表 2 可以看出,流域的主要土地利用类型从 1987 年的以耕地为主,变为以草地为主,林地和果园的面积都有增加,居民地则没有变化。

2.2 道路总长度变化

由影像提取的 1987 年和 2002 年的道路数据,通

过 ArcGIS 的统计功能,与 2006 年实测的道路数据相比较,得到纸坊沟流域 3 个时期不同级别道路总长度的变化情况(见表 3)。从表 3 可以看出,2 级路的长度 1987 年最短,2002—2006 年几乎没有变化(因为表 3 中的 2 级路数据没有差别,所以论述要与表中保持一致);3 级路的长度从 1987—2006 年逐渐增加;4 级路

的长度则从 1987—2006 年逐渐减少。结合 3 种等级道路的特点^[11], 2 级路的增加能说明流域整体生产生活水平提高, 对能通行汽车等较大型机动车辆的土路的需求量加大; 由于耕地面积减少, 3 级路的增加说明流域内采石活动增强; 而 4 级路的减少可能是由于退耕还林, 使得原有的 4 级路逐步废弃。

表 2 1987 年与 2002 年各土地利用类型面积百分比 %

| 年份 | 耕地 | 果园 | 林地 | 草地 | 居民地 | 裸岩 |
|------|-------|------|-------|-------|------|------|
| 1987 | 41.33 | 3.81 | 14.75 | 27.63 | 0.74 | 9.24 |
| 2002 | 17.30 | 6.70 | 23.90 | 48.85 | 0.74 | 0 |

2.3 道路变化与土地利用变化关系分析

为了进一步明确土地利用类型对道路分布长度和位置的影响, 将两时期道路变化与土地利用变化结合起来分析, 从变化中找出土地利用与道路分布之间稳定的规律。首先通过 1987 和 2002 年的土地利用

类型, 在 ArcGIS 统计分析功能支持下, 得到了两时期存在道路变化的土地利用斑块的变化转移矩阵(表 4)。进一步计算, 得到存在道路变化的土地利用斑块占该类型变化斑块的面积比重(表 5), 可以看出, 绝大部分土地利用斑块的变化都伴随着道路的变化, 其中果园等 5 种土地利用类型有超过 90% 的变化斑块的长度上存在着道路长度的改变, 说明土地利用变化对道路的变化影响较大。

表 3 流域 3 个时期不同级别道路长度

| 道路级别 | 道路长度/km | | |
|------|---------|--------|--------|
| | 1987 年 | 2002 年 | 2006 年 |
| 2 级路 | 5.96 | 9.14 | 9.14 |
| 3 级路 | 3.70 | 7.54 | 9.86 |
| 4 级路 | 37.89 | 31.08 | 25.25 |
| 总长度 | 47.55 | 47.76 | 44.25 |

表 4 1987—2002 年存在道路变化的土地利用转移矩阵

hm²

| 土地类型 | 梯田 | 坡耕地 | 滑坡旱坡地 | 草田间作 | 果园 | 有林地 | 灌木林地 | 疏林地 | 幼林地 | 天然草地 | 改良草地 | 人工草地 | 岩石坡草地 |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 沟旱地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.41 | 0 | 0.23 | 0 | 1.13 | 0.96 | 0 | 0 |
| 梯田 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.86 | 0.72 | 0 | 0 | 0 | 0.57 | 0 | 0 | 0 |
| 坡耕地 | 11.42 | 0 | 1.73 | 20.83 | 10.95 | 0.61 | 0.46 | 0.82 | 0 | 7.92 | 43.78 | 4.3 | 0 |
| 滑坡旱坡地 | 17.48 | 1.21 | 0 | 0 | 2.33 | 1.17 | 0 | 0.71 | 0.20 | 1.76 | 1.58 | 0 | 0.44 |
| 挂坡旱坡地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19.21 | 0 | 0 | 0 |
| 果园 | 0 | 0 | 0.9 | 0 | 0 | 0.36 | 0 | 0.31 | 0 | 0 | 1.11 | 0 | 0 |
| 有林地 | 0 | 1.01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 灌木林地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.37 | 0 | 25.31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 疏林地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.73 | 2.20 | 0 | 0 | 0 | 0.32 | 0 | 0 |
| 幼林地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.84 | 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 天然草地 | 0.92 | 0 | 0.56 | 0 | 1.36 | 9.97 | 0.58 | 15.48 | 0 | 0 | 10.20 | 9.8 | 2.08 |
| 荒草地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.34 |
| 裸岩 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.55 | 0 | 3.73 | 3.28 | 0.85 | 0 | 0 | 58.27 |

表 5 存在道路变化的土地变化斑块面积占总土地利用变化斑块面积的比重

%

| 沟旱地 | 梯田 | 坡耕地 | 滑坡旱坡地 | 挂坡旱坡地 | 果园 | 有林地 | 灌木林地 | 疏林地 | 幼林地 | 天然草地 | 荒草地 | 裸岩 |
|------|------|------|-------|-------|-----|-----|------|------|-----|------|-----|------|
| 95.6 | 68.7 | 69.1 | 63.5 | 30.5 | 100 | 50 | 69 | 60.6 | 93 | 44.3 | 100 | 96.3 |

本研究统计上述存在道路变化的土地利用变化斑块上不同等级道路长度的变化情况(见表 6)。在坡耕地转换为其它类型土地处, 4 级路减少最多, 为 5.52 km, 2 级路增加最多, 为 0.97 km; 在天然草地转换为其它类型土地处, 3 级路增加最多, 为 0.34 km。由于流域道路变化并非完全因为土地利用类型变化而引起, 进一步统计了由于土地利用类型变化而引起的道路变化占总道路长度变化的百分比见图 1。

由图 1 可以看出, 土地利用变化对 4 级路的变化影响最为显著, 对 2 级路变化影响最小。

2.4 不同类型土地利用上道路通达度

为了分析不同类型土地利用对道路分布的吸引程度, 本文构建了一个道路通达度指标, 用来描述各土地利用类型斑块上道路的分布情况。各土地利用类型上的道路通达度= 有道路到达的斑块数目/总斑块数目。由 ArcGIS 的空间分析功能得到 1987 年和

2002 年各土地利用类型上的道路通达度(表 7)。可以看出,两时期耕地的道路通达度都在 60%左右;果园在 80%左右;林地在 40%左右;由于裸岩在 2002 年大都变成了岩石坡草地,使得 2002 年草地的通达度相比 1987 年有较大变化。

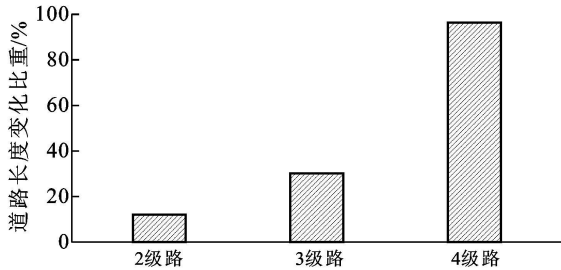


图 1 由土地利用变化而引起的道路长度变化占总道路长度变化的比重

表 6 土地利用类型变化斑块上的道路长度变化情况

| 土地利用类型 | 道路长度/km | | |
|--------|---------|---------|---------|
| | 4级路 | 3级路 | 2级路 |
| 沟旱地 | + 0.056 | + 0.014 | - 0.080 |
| 梯田 | 0 | + 0.110 | + 0.080 |
| 坡耕地 | - 5.520 | + 0.160 | + 0.970 |
| 滑坡旱坡地 | + 0.470 | - 0.096 | + 0.052 |
| 挂坡旱坡地 | + 0.020 | + 0.080 | 0 |
| 果园 | - 0.240 | - 0.104 | 0 |
| 有林地 | 0 | 0 | 0.093 |
| 灌木林地 | - 0.970 | + 0.160 | + 0.080 |
| 疏林地 | - 0.011 | - 0.022 | 0 |
| 幼林地 | + 0.280 | 0 | 0 |
| 天然草地 | - 1.340 | + 0.340 | - 0.014 |
| 荒草地 | + 0.015 | 0 | - 0.037 |
| 裸岩 | + 0.710 | + 0.410 | - 0.710 |

表 7 1987 年与 2002 年各类型土地利用的道路通达度 %

| 年份 | 耕地 | 果园 | 林地 | 草地 | 居民地 | 裸岩 |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
| 1987 | 68.39 | 86.67 | 41.99 | 13.85 | 100 | 73.81 |
| 2002 | 59.98 | 80.39 | 42.37 | 40.40 | 100 | 0 |

2.5 不同类型土地利用类型道路长度分布

由于 2 级路的变化受土地利用变化影响较小,本研究只统计分析 3 级路和 4 级路在不同类型土地利用上的长度分布(表 8)。1987 年居民地处 3 级路的长度为 0.17 m,可以看作没有 3 级路分布,3 级路主要为采石路,故在 1987 年裸岩处分布最长,而到 2002 年,裸岩处大都变为岩石坡草地,故此时在草地处 3 级路最长。在退耕还林前,4 级路的长度分布是耕地 > 草地 > 林地 > 裸岩 > 果园 > 居民地,退耕还林以后,大部分耕地都变成了林草地,而原来位于耕地上的道路有部分并没有消失。因此林草地处 4 级路的长度增加,耕地处的长度减少。

表 8 1987 年与 2002 年各类型土地利用上 3, 4 级路长度

| 年份 | 道路级别 | 耕地 | 果园 | 林地 | 草地 | 居民地 | 裸岩 |
|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 1987 | 3 级 | 0.97 | 0.22 | 0.05 | 0.19 | 0.00 | 2.23 |
| | 4 级 | 18.10 | 1.75 | 4.77 | 9.02 | 0.50 | 3.71 |
| 2002 | 3 级 | 1.37 | 0.59 | 1.48 | 3.42 | 0.20 | 0.00 |
| | 4 级 | 5.17 | 4.91 | 7.21 | 12.46 | 0.83 | 0.00 |

2.6 4 级路长度与土地利用类型关系分析

由于流域 4 级路受土地利用影响较大,为了达到定量描述土地利用对 4 级路的影响,需要构建一个指标来描述各种土地利用类型对 4 级路的吸引程度。结合前述对各类型土地利用上 4 级路长度的统计分析,对 1987 年和 2002 年流域共有的 10 种土地利用类型对 4 级路的吸引程度分为 10 级,分别赋予 0.1~1 之间 10 个数值(表 9)。若不考虑土地利用类型,统计 1987 年和 2002 年各类型土地利用的面积及其对应的 4 级路的长度,得到的回归结果见图 2。若将不同土地利用类型对 4 级路的吸引程度考虑进去,得到的回归结果见图 3。由图 3 可以看出,将吸引程度因素考虑进去之后, R^2 由 0.753 5 变为 0.897 2, 回归效果显著增加。这样,根据图 3 中的回归方程 $y = 0.07566x + 0.1118$, 在道路分布未知的小流域,在了解土地利用类型及其对应的面积的前提下,结合表 6 给出的各土地利用类型对 4 级路的吸引程度指数,就可以推算该种土地利用类型上 4 级路的分布长度。

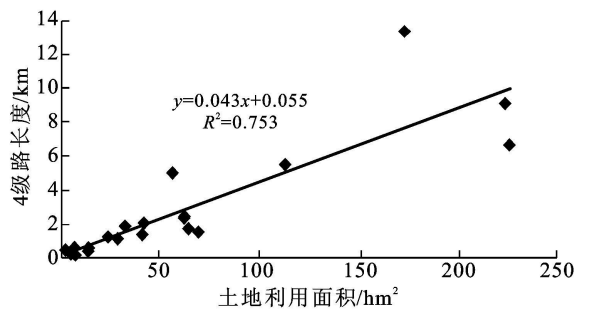


图 2 4 级路的长度与土地利用面积关系

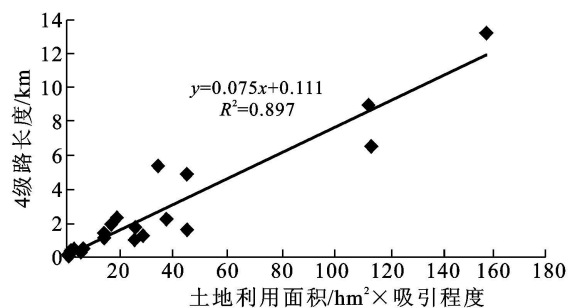


图 3 4 级路长度与土地利用面积 × 吸引程度关系

表9 各类型土地利用对4级路的吸引程度

| 幼林地 | 疏林地 | 有林地 | 灌木林地 | 天然草地 | 滑坡旱坡地 | 梯田 | 果园 | 坡耕地 | 沟旱地 |
|-----|-----|-----|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |

3 结论

小流域农田道路分布主要受地形、土地利用和居民点控制,在地形和居民点保持不变、只有土地利用方式变化时,道路变化随土地利用变化而变化。只要建立道路变化与土地利用变化间的定量关系,就可以根据土地利用分布生成和统计道路分布。通过对研究流域两期道路分布特征与土地利用关系的分析,得到以下结论:

(1) 黄土高原实施退耕还林导致土地利用发生重大变化后,小流域道路发生了显著变化。1987年,2002年和2006年三期不同级别道路长度变化表明,3级路有所增加,4级路则减少,特别是分布于坡面上的4级路变化最为显著。

(2) 不同土地利用类型对道路的吸引程度不同。在退耕还林前,4级路的长度分布为耕地>草地>林地>裸岩>果园>居民地;实施退耕还林以后,大部分耕地都变成了林草地,而原来位于耕地上的道路有部分并没有消失。林草地上4级路长度增加,耕地上长度减少。

(3) 道路长度与土地利用类型对道路的吸引程度和土地利用面积之间存在回归关系。以对土地利用最为敏感的4级路为例,道路长度和土地利用类型面积间存在回归关系式: $y = 0.07566x + 0.1118$, 相关系数 R^2 达 0.8972。

[参 考 文 献]

- [1] 张科利,徐宪利,罗丽芳. 国内外道路侵蚀研究回顾与展望[J]. 地理科学, 2008, 2(1): 119-123.
- [2] Megahan W F, Wilson M, Monsen S B. Sediment pro-

duction from granitic cutslopes on forest roads in Idaho, USA [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26: 153-156.

- [3] Jones J A, Grant G E. Peak flow responses to clear cutting and roads in small and large basins, western cascades, Oregon [J]. *Water Resources Research*, 1996, 32: 959-974.
- [4] Patrick N J L, Sheridan G J. Impact of an unsealed forest road stream crossing: water quality and sediment sources [J]. *Hydrological Processes*, 2002, 16: 2599-2612.
- [5] 郑世清, 周宝林, 赵克信. 长武王东沟试验区沟坡道路侵蚀及其防治措施 [J]. *水土保持学报*, 1994, 8(30): 29-35.
- [6] 郑世清. 黄土高原沟壑区沟坡道路修筑技术及其防蚀体系 [J]. *水土保持通报*, 1997, 17(1): 33-42.
- [7] 郑世清, 霍建林, 李英. 黄土高原山坡道路侵蚀与防治 [J]. *水土保持通报*, 2004, 24(1): 46-48.
- [8] 邱荣祖, 方金武. 山地林道土壤侵蚀及其防止措施的研究 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(4): 50-54.
- [9] 邱荣祖. 山地林道网对林地环境的影响 [J]. *山地学报*, 2001, 19(1): 38-43.
- [10] 李凤英, 何小武, 金伟, 等. 公路工程土壤侵蚀预测方法评述 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(36): 1165-1167.
- [11] 曹龙熹, 张科利, 张卓栋, 等. 黄土高原小流域道路特征及影响因素 [J]. *地理研究*, 2008, 27(6): 1271-1280.
- [12] 温仲明, 焦峰, 张晓萍, 等. 纸坊沟流域近60年来土地利用景观变化的环境效应 [J]. *生态学报*, 2004, 24(9): 1903-1909.
- [13] 史文中, 朱长青, 王昱. 从遥感影像中提取道路特征的方法综述与展望 [J]. *测绘学报*, 2001, 30(3): 257-262.