

# 四川省矿产资源规划开采区水土流失分析<sup>\*</sup>

李富程,王 青

(西南科技大学,四川 绵阳 621010)

**摘 要:**以水土流失通用方程为理论基础,运用数学模型和敏感性分析相结合的方法,选取降水敏感性、地形敏感性、土壤敏感性、植被敏感性作为因子建立了评价指标体系,将降水、地形、土壤和植被敏感性专题图与矿产资源规划开采区进行空间耦合,对矿产资源开采区进行水土流失分析与预测。结果显示:在 30 个开采区中,对开采区水土流失产生严重影响的有 10 个,中度影响 16 个,轻度影响 4 个,大部分中度和严重影响区位于中度以上水土流失区域,将这一评价结果与四川省水土流失敏感性指数图进行验证,两者具有高度的一致性。这说明在矿产资源开发过程中易诱发和加剧矿区水土流失。

**关键词:**四川省;矿产资源;水土流失;耦合;敏感性评价

**中图分类号:**S157

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2009)01-0018-04

## Analysis on the State of Soil Erosion in Mineral - Resource Planed Areas in Sichuan Province

LI Fu-cheng, WANG Qing

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

**Abstract:** Based on Universal Soil Loss Equation and mathematics model and sensitivity analysis, this paper chose the spatial sensitivity of precipitation, physiognomy, soil, and vegetation as factors to establish the evaluating indicator system, then analyzed and forecasted the impact degree of soil erosion in 5 years. The results showed all of mineral resources exploit activities can be triggered soil erosion in 30-mineral-resource planed areas in Sichuan. The specific data as follows: 10 of those present serious, 16 moderate, 4 slight. Finally, contrasted with index of spatial sensitivity of soil erosion in Sichuan province, the results of assessment is reasonable.

**Key words:** Sichuan province; mineral resources; soil erosion; coupling; sensitivity assessment

四川省位于我国西南内陆腹地,处于中西部交接带,是长江流域重要的生态屏障和水源区,是全国环境敏感区和生态环境脆弱区,处理好矿产资源开发与环境、人口、社会经济发展的关系,具有特别重要的示范作用和意义。2005 年采矿业工业总产值已占工业总产值的 7%,矿业经济在四川经济社会发展中的地位日益凸现;但同时也带来了诸多生态与环境问题。水土流失是影响四川省社会经济持续发展的头号环境问题<sup>[1]</sup>。为了从源头上预防矿产资源开发造成的水土流失,使矿产资源规划具有环境合理性和可行性,对矿产资源开发进行水土流失评

价具有重要的理论和现实意义。

水土流失敏感性分析是评价和预测人类活动对水土流失影响的重要方法。目前国内外对水土流失敏感性评价主要是根据研究区域的实际情况来选择评价模型,仍未出现应用范围较广,适用性较强的水土流失敏感性评价模型<sup>[2]</sup>。水土流失的敏感性是指自然因素所决定的生态系统对人为影响的反映敏感程度<sup>[3]</sup>。利用敏感性分析的方法研究人类活动干扰下的水土流失变化趋势仍处于起步阶段。本文选用降水敏感性、地形敏感性、土壤敏感性、植被敏感性作为评价指标,利用多目标线性加权函数评价模型

\* 收稿日期:2008-09-22

基金项目:四川省矿产资源规划环境影响评价

作者简介:李富程(1982-),男,吉林蛟河人,硕士研究生,主要研究方向:环境影响评价与规划。E-mail: lifucheng82@163.com

通信作者:王青(1967-),男,山西阳高人,博士,教授,主要从事环境影响评价与规划研究。E-mail: qingw@imde.ac.cn

分析和预测四川省第二轮矿产资源规划(以下简称《规划》)实施后对水土流失的影响。为合理开发矿产资源、有效遏制水土流失提供科学依据。

1 四川省水土流失现状

根据 2000 年长江上游土壤侵蚀遥感调查资料,四川省轻度以上水土流失面积达 20.28 万 km<sup>2</sup>,在长江上游 9 个省市中居首位,占四川省国土面积的 41.48%,其中水力侵蚀面积为 13.92 万 km<sup>2</sup>,占流失总面积的 68.64%,风力侵蚀面积 0.13 万 km<sup>2</sup>,占 0.64%,冻融侵蚀面积 6.23 万 km<sup>2</sup>,占 30.72%。在各种水土流失类型中轻度水土流失面积 8.32 万 km<sup>2</sup>,占流失总面积的 41.03%,中度水土流失 8.97 万 km<sup>2</sup>,占 44.23%,强度及以上 2.99 万 km<sup>2</sup>,占 14.74%。

水土流失不仅造成水土资源和土地生产力的破坏和损失,直接影响经济发展和脱贫致富,而且导致河流泥沙增加,淤积水库、污染水质,给河流中下游地区人民的生命和财产造成严重的威胁。

2 评价方法和模型

2.1 评价方法

建立水土流失敏感性评价指标体系和定量评价分级标准,将降水、地形、土壤和植被敏感性专题图与四川省矿产资源开发利用与保护规划图(比例 1:4 000 000)中的矿产资源规划开采区进行空间耦合,按照各评价因子的敏感性等级和定量评价标准分别对每个评价对象赋分,利用多目标线性加权函数评价模型进行评价,通过加权求和得到各评价对象的水土流失综合评分值,分值越小表示矿产资源开发对该区域的水土流失影响越大。

2.2 评价模型

采用多目标线性加权函数评价模型,定量评价和预测矿产资源规划方案实施后水土流失趋势。评价公式如式(1)。

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i$$

(1)

式中: $S$ ——水土流失综合评分值; $W_i$ ——指标  $i$  的权重,  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ ;  $I_i$ ——第  $i$  项指标等级分值;  $n$ ——指标数目。

3 水土流失分析与预测

3.1 评价对象筛选

《规划》方案划分了一系列开采分区、勘查分区、矿业经济区、恢复治理分区。由于规划方案实施后,

勘查分区仅影响很小的区域,恢复治理分区对环境有正影响,开采区直接影响生态环境,开采区范围大小适中,基本涵盖了主要大型矿山和主要矿种,故本次评价主要针对开采区。开采区地理位置见图 1。



图 1 开采区地理位置

3.2 评价指标体系的建立

在我国通用水土流失方程已经被广泛地应用在水土流失的预测和治理工作中<sup>[4]</sup>。以通用水土流失方程为理论基础,由方程可以看出,影响水土流失的因素主要有降水侵蚀力、土壤质地、地形、地表覆盖和水土保持措施。这些因素同样影响着—个区域对水土流失的敏感性。在考虑人类活动的情况下,各因素影响水土流失敏感性的方式是不同的。降水侵蚀力、土壤质地与人类活动的关系不大,主要是自然力所控制的。矿产资源开发对当地植被破坏较大,对局部地形有重塑作用,矿山的矿渣、废石及尾矿等固体废弃物堆积成山,且表面覆盖物稀少,水土流失严重。矿区常采用永久性植被带、稻草捆、沉沙池(坑)、砾石或沙袋等作为水土保持措施,其作用随坡度的增加迅速降低,因此,对水土流失影响较小,且与生态系统的自然敏感性关系不大,这里就不作考虑。

依据通用水土流失方程,在参照国内专家的相关研究成果的基础上<sup>[5-8]</sup>,选用地形敏感性、降水敏感性、土壤敏感性、植被敏感性作为评价指标,并采用层次分析法确定各指标的权重(见表 1),通过敏感等级评分赋值,分值范围为介于 0~100 的整数,敏感性越高,分值越小(见表 2)。

3.3 评价结果

应用“中国水土流失与生态安全综合科学考察”长江上游课题组绘制的降水、地形、土壤和植被敏感性专题图(附图 1—4)对开采区进行水土流失分析与预测,关于各评价指标敏感性的划分方法和计算方法见参考文献[9](表 3)。

4 结果分析与验证

4.1 结果分析

对开采区水土流失综合评分结果进行整理,按照分值大小划分为极严重影响、严重影响、中度影

响、轻度影响、微度影响五级,其中 0~19 为极严重影响,20~39 为严重影响,40~59 为中度影响,60~79 为轻度影响,80~100 为微度影响。规划开采区对水土流失影响程度见表 4。

表 1 判断矩阵及权重

| 重要度   | 降雨敏感性                                    | 地形敏感性 | 土壤敏感性                                 | 植被敏感性 | 权重   |
|-------|------------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|------|
| 降雨敏感性 | 1                                        | 1     | 2                                     | 1/2   | 0.23 |
| 地形敏感性 | 1                                        | 1     | 2                                     | 1/2   | 0.23 |
| 土壤敏感性 | 1/2                                      | 1/2   | 1                                     | 1/2   | 0.15 |
| 植被敏感性 | 2                                        | 2     | 2                                     | 1     | 0.39 |
| 一致性检验 | $C. I. = (I_{max} - n) / (n - 1) = 0.02$ |       | $C. R. = C. I. / R. I. = 0.022 < 0.1$ |       |      |

表 2 水土流失定量评价等级评分标准

| 分级    | 1 级  | 2 级   | 3 级   | 4 级   | 5 级  |
|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 降水敏感性 | 不敏感  | 轻度敏感  | 中度敏感  | 高度敏感  | 极敏感  |
| 地形敏感性 | 不敏感  | 轻度敏感  | 中度敏感  | 高度敏感  | 极敏感  |
| 土壤敏感性 | 不敏感  | 轻度敏感  | 中度敏感  | 高度敏感  | 极敏感  |
| 植被敏感性 | 不敏感  | 轻度敏感  | 中度敏感  | 高度敏感  | —    |
| 等级分值  | > 79 | 60~79 | 40~59 | 20~39 | < 20 |

表 3 水土流失综合评分结果

| 开采区      | 地形敏感性 | 降水敏感性 | 土壤敏感性 | 植被敏感性 | 综合评分 |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|
|          | 0.23  | 0.23  | 0.15  | 0.39  | 1    |
| 古叙开采区    | 55    | 25    | 60    | 60    | 51   |
| 筠连开采区    | 55    | 10    | 45    | 55    | 43   |
| 广元江油开采区  | 10    | 25    | 25    | 70    | 39   |
| 白玉呷村开采区  | 55    | 75    | 70    | 80    | 72   |
| 白马红格开采区  | 20    | 40    | 30    | 40    | 34   |
| 甘洛汉源开采区  | 25    | 35    | 55    | 70    | 49   |
| 九龙里伍开采区  | 10    | 50    | 50    | 70    | 49   |
| 丹巴杨柳坪开采区 | 10    | 70    | 55    | 70    | 54   |
| 会东开采区    | 30    | 30    | 15    | 50    | 36   |
| 盐源平川开采区  | 10    | 50    | 30    | 50    | 38   |
| 会理开采区    | 50    | 35    | 65    | 50    | 49   |
| 马边开采区    | 30    | 10    | 30    | 70    | 41   |
| 什邡绵竹开采区  | 15    | 25    | 25    | 60    | 36   |
| 康定呷基卡开采区 | 70    | 50    | 90    | 90    | 76   |
| 锅巴岩开采区   | 10    | 30    | 50    | 55    | 38   |
| 小金开采区    | 10    | 45    | 50    | 70    | 47   |
| 可尔因开采区   | 15    | 50    | 70    | 60    | 49   |
| 泸定荣经开采区  | 15    | 50    | 65    | 70    | 52   |
| 巴塘夏塞开采区  | 15    | 50    | 50    | 70    | 50   |
| 石棉县开采区   | 10    | 50    | 50    | 70    | 49   |
| 华蓥山开采区   | 70    | 10    | 30    | 30    | 35   |
| 成都平原开采区  | 90    | 10    | 90    | 90    | 72   |
| 芙蓉山开采区   | 30    | 15    | 45    | 50    | 37   |
| 威西开采区    | 90    | 10    | 30    | 50    | 47   |
| 牦牛坪开采区   | 10    | 50    | 50    | 60    | 45   |
| 大陆槽开采区   | 20    | 50    | 30    | 30    | 32   |
| 岔河开采区    | 10    | 30    | 30    | 50    | 33   |
| 虎牙开采区    | 10    | 50    | 40    | 70    | 47   |
| 松潘开采区    | 10    | 50    | 50    | 70    | 49   |
| 红原若尔盖开采区 | 80    | 75    | 50    | 70    | 70   |

表 4 规划开采分区与水土流失影响程度对照

| 影响程度 | 轻度影响                      | 中度影响                                                                      | 严重影响                                              |
|------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 开采区  | 白玉岷村、康定岷基卡、<br>成都平原、红原若尔盖 | 古叙、筠连、甘洛汉源、九龙里伍、会理、<br>丹巴杨柳坪、马边、可尔因、泸定荣经、<br>小金、巴塘夏塞、石棉县、虎牙、松潘、威<br>西、牦牛坪 | 广元江油、白马红格、盐源平川、会东、<br>什邡绵竹、锅巴岩、华蓥山、芙蓉山、大<br>陆槽、岔河 |

在未来 5 a 内,在 30 个开采区中,对开采区水土流失产生严重影响的有 10 个,中度影响 16 个,轻度影响 4 个,其中广元江油开采区、白马红格开采区、盐源平川开采区、会东开采区、什邡绵竹开采区、锅巴岩开采区、华蓥山开采区、芙蓉山开采区、大陆槽开采区、岔河开采区矿产资源开发对当地水土流失影响严重,水土流失恶化趋势将进一步加剧;白玉岷村开采区、康定岷基卡开采区、成都平原开采区、红原若尔盖禁止开采区对水土流失影响程度较小,属于轻度影响。

水土流失现状是各种人类扰动叠加在自然因素上的综合表现,是人类扰动和自然因素综合作用的结果。将评价结果与四川省水土流失现状比较,广元江油开采区、白马红格开采区、盐源平川开采区、会东开采区、什邡绵竹开采区、甘洛汉源开采区、九龙里伍开采区、马边开采区、会理开采区、石棉县开采区、虎牙开采区、松潘开采区、威西开采区、牦牛坪开采区、华蓥山开采区、芙蓉山开采区、岔河开采区水土流失已经较严重,矿产资源开发对这些地区的水土流失影响程度都在中度或严重影响。因此,《规划》实施后,四川省水土流失强度在点状或局域将呈现加速发展态势。

4.2 结果验证

利用 GIS 技术,在环境背景组成要素专题模型(附图 1 - 4)的基础上,将各单项数字模型通过图像处理中的主成份变换方法集成,在 ERDAS 软件支持下进行加权叠加计算获得水土流失敏感性指数数字模型<sup>[9]</sup>(见图 2),清晰地反映了土壤侵蚀环境背景特征的空间分异规律。亮度越高表示敏感性越高。四川盆地丘陵区及边缘山地和川西南山地属高度敏感区域,龙门山、邛崃山和岷山一带属中度至高度敏感区域。

将表 4 评价结果与四川省水土流失敏感性指数图对照,可以发现影响程度严重的开采区其水土流失敏感性也高,水土流失敏感性越强,矿产资源开发活动对水土流失的影响越严重,两者具有高度的一致性。

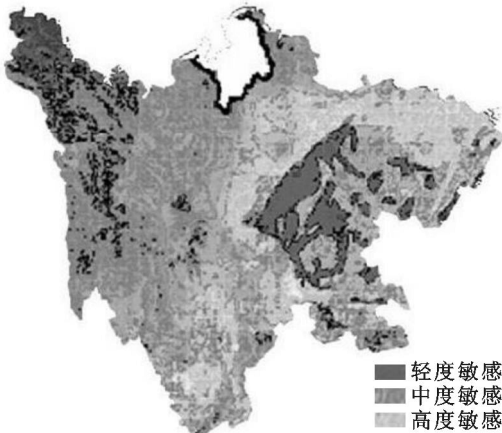


图 2 四川省水土流失敏感性指数图

5 结 论

通过对四川省矿产资源开发水土流失影响趋势的分析和预测,在未来 5 a 内,矿产资源规划开采区在开发过程中对广元江油开采区、白马红格开采区、盐源平川开采区、会东开采区、什邡绵竹开采区、锅巴岩开采区、华蓥山开采区、芙蓉山开采区、德昌大陆槽开采区、岔河开采区的水土流失影响程度较严重,白玉岷村开采区、康定岷基卡开采区、成都平原开采区、红原若尔盖开采区影响程度较小,属于轻度影响。在 30 个开采区中,对开采区水土流失产生严重影响的有 10 个,中度影响 16 个,轻度影响只有 4 个。因此,在矿产资源开发过程中要加强水土流失的治理与防护。

利用多目标线性加权函数评价模型分析和预测四川省水土流失变化,其评价结果与四川省水土流失敏感性指数图对照,两者具有高度的一致性。该评价方法方便、有效,且实用,结果具有较高的可信度,在实施生态环境保护和管理中具有一定的应用前景。

参考文献:

[1] 熊明彪,雷孝章,曹叔尤. 浅谈四川水土保持生态环境建设[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 67-70.  
[2] 陈艳红,潘文斌,蔡芜铭. 基于 RUSLE 的流域土壤侵蚀敏感性评价:以福建省吉溪流域为例[J]. 山地学报, 2007, 25(4): 490-496.

m<sup>3</sup>。根据水量均衡公式

$$(P_r + U + K_h) - (S + K) = \mu HF$$

式中： $P_r$ ——降雨入渗补给地下水量； $U$ ——水库渗漏补给量； $S$ ——潜水蒸发量； $K$ ——人工开采量(包括灌溉用水和人畜饮用水量)； $K_h$ ——灌溉回归水量； $\mu$ ——给水度,根据有关文献提供的测定值<sup>[8]</sup>取

0.15； $H$ ——均衡期内地下水位变化幅度； $F$ ——计算区面积。

对流域水资源进行均衡计算,均衡计算结果为正均衡,地下水储存变量 671.31 万 m<sup>3</sup>,地下水平均变幅为 0.15 m。表 6 为流域内观测井 2000 - 2003 年期间的水位埋深观测结果。

表 6 2000 - 2003 年地下水位观测表 m

| 机主姓名 | 2000 年 |       | 2001 年 |       | 2002 年 |       | 2003 年 | 2002 - 2003 |
|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------------|
|      | 1 月底   | 2 月底  | 1 月底   | 2 月底  | 1 月底   | 2 月底  | 4 月初   | 水位埋深变幅      |
| 田丰同  | 10.20  | 10.18 | 14.12  | 14.17 | -      | 10.92 | 10.0   | +0.92       |
| 马海   | 3.70   | 3.75  | 3.05   | 3.15  | 2.58   | 2.97  | 1.2    | +1.77       |
| 丁生奎  | 7.90   | 7.93  | 13.03  | 13.08 | 12.46  | 10.87 | 8.4    | +2.01       |
| 马进武  | 2.55   | 2.50  | 1.39   | 1.42  | 2.79   | 1.76  | 1.5    | +0.76       |
| 变电所  | 6.80   | 6.90  | 7.12   | 7.15  | 8.47   | 7.69  | 5.5    | +2.29       |
| 杨义清  | 4.70   | 4.81  | 5.27   | 5.32  | 7.35   | 6.13  | 3.0    | +3.13       |

与 2002 年初的水位埋深相比,2003 年初(未灌溉前)地下水位埋深减少 0.26 ~ 3.13 m,这与均衡分析结果在趋势上是一致的。证明 2002 年的潜水均衡分析结果是正确的,各个水文参数取值也是正确的。但是实测值偏大,分析有以下两个原因:(1)降雨入渗补给系数取为 0.252 偏保守,因此降雨入渗补给量偏小。(2)2001 年降雨量 238 mm,偏于丰水年,降雨入渗补给量相对稍大。

3 结 语

由于宁夏中部干旱风沙区降雨稀少,多集中在 7 - 9 月三个月,其余时间降雨量极小,因此年降雨入渗补给系数接近于次降雨入渗补给系数。通过试验区的地下水动态观测资料计算与长沙河流域 2002 年地下潜水均衡分析验证,宁夏中部干旱风沙区降雨入渗补给系数为 0.119 ~ 0.257,依据充分,可靠性强,可以为该地区今后的水资源评价工作提供依据。

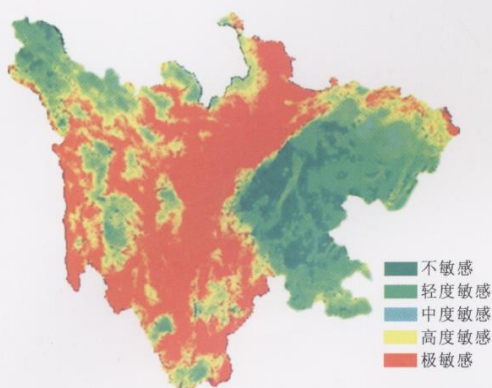
参考文献:

[1] 王志强. 江汉平原四湖地区地下水参数的分析[J]. 水文,1995(4):35-39.  
[2] 张平,李日运. 降雨入渗补给地下水的影响因素[J]. 辽宁大学学报自然科学版,1999(2):118-122.  
[3] 陈志辉. 黑河干流平原区大气降水入渗补给潜水机制的研究[J]. 甘肃地质学报,1997(6):37-40.  
[4] 齐仁贵. 用地下水动态资料分析降雨入渗对地下水的补给[J]. 武汉水利电力大学学报,1999,6(3):58-62.  
[5] 梁文彪. 应用回归分析方法推求降水入渗补给系数[J]. 地下水,2002,24(2):71-73.  
[6] 金光炎,汪家权等. 地下水计算参数的测定与估计[J]. 水科学进展,1997,8(1):17-24.  
[7] 张维江,李娟,王东,等. 宁夏中部风沙区地表径流预报模型研究[J]. 人民黄河,2004,26(2):35-37.  
[8] 全达人. 地下水利用(3 版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996:69-73.

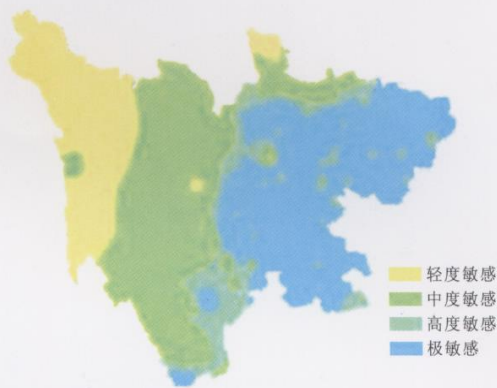
(上接第 21 页)

[3] 王小丹,钟祥浩,范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[J]. 地理学报,2004,59(2):183-188.  
[4] 杨勤科,李锐. 中国水土流失和水土保持定量研究进展[J]. 水土保持通报,1998,18(5):13-18.  
[5] 刘康,康艳,曹明明,等. 基于 GIS 的陕西省水土保持敏感性评价[J]. 水土保持通报,2004,18(5):168-170.  
[6] 陈建军,张树文,李洪兴,等. 吉林省土壤侵蚀敏感性评

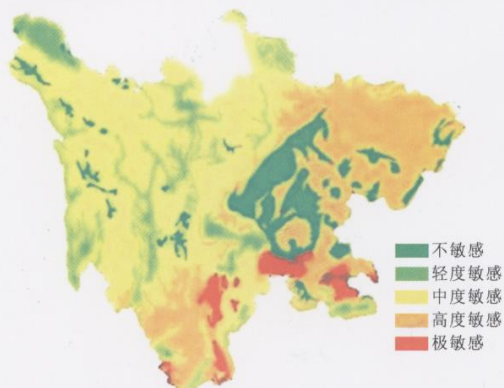
价[J]. 水土保持通报,2005,25(3):49-53.  
[7] 莫斌,朱波,王玉宽,等. 重庆市土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报,2004,24(5):45-59.  
[8] 卢远,华瑾,周兴,等. 基于 GIS 的广西土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持研究,2007,14(1):98-100.  
[9] 长江上游及西南诸河考察组. 长江上游及西南诸河水土流失与生态安全综合科学考察[M]. 北京:科学出版社,2008:60-80.



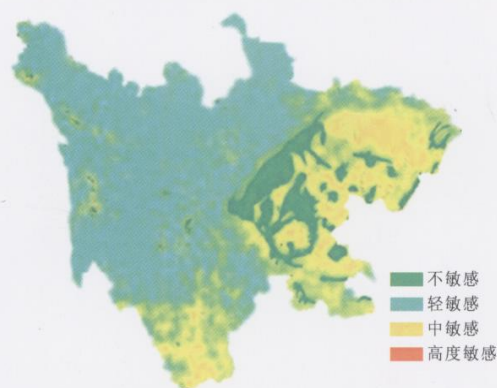
附图1 四川省地形的水土流失敏感性空间分异



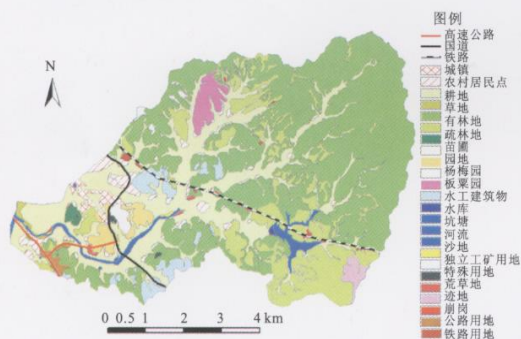
附图2 四川省降水的水土流失敏感性空间分异



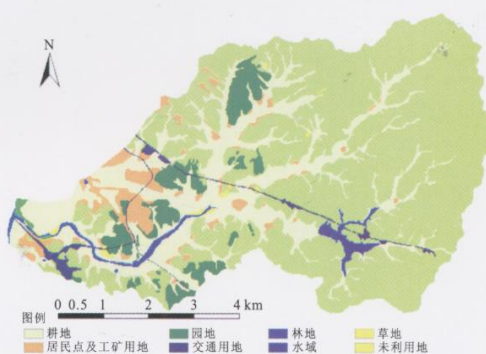
附图3 四川省土壤的水土流失敏感性空间分异



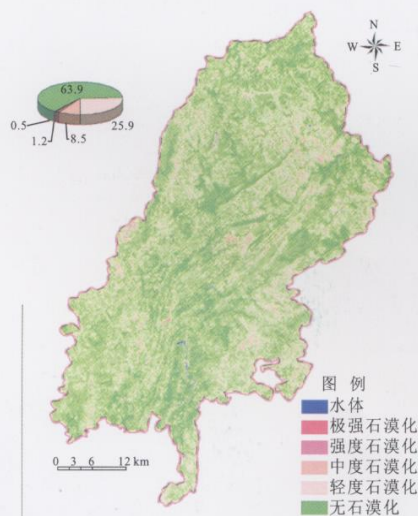
附图4 四川省植被的水土流失敏感性空间分异



附图5 朱溪河小流域土地利用现状图



附图6 朱溪河小流域土地利用景观图



附图7 石漠化信息提取图