

石漠化景观生态优化途径初探

——以贵州清镇王家寨小流域为例

周梦维^{1,2}, 王世杰^{1*}, 李阳兵³(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 贵州师范大学地理与生命科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要:以治理石漠化、维护喀斯特景观生态安全和土地资源的可持续利用为目标,以景观生态学理论为指导,选择西南典型喀斯特石漠化地区——贵州清镇王家寨流域为研究区,并建立了源于最小累计阻力模型的生态恢复耗费表面模型,其步骤如下:首先以2005年SPOT影像为基础,依托遥感和地理信息系统软件,对研究区土地类型进行分类,同时从数字高程模型中提取两种地形因子(坡度和坡向),并按其对生态的影响进行分级;其次对土地利用类型、坡度、坡向进行综合优先级评价;最后在IDRISI软件中建立生态恢复耗费表面模型。随后通过景观功能分区和生态廊道(这些廊道可组成一个生态网络)的构建,探讨了本小流域土地利用空间格局优化的途径和生态恢复模式。

关键词:石漠化景观;景观优化模式;生态恢复耗费表面模型**中图分类号:**P901;F301.24 **文献标识码:**A

0 引言

以往在生态优化模式研究中多关注土地利用宏观数量的设计,但如果要实现生态重建效益最大化,最佳选择莫过于是在调整现有植被结构的前提下,通过生态工程和植被的进行演替,不断扩大规模,形成良性生态安全格局。景观生态学侧重于基于生态过程的空间格局的研究,所以在生态优化应用方面具有明显优势。Forman首先提出了基于生态空间理论的景观整体布局,即“集中与分散相结合”及“必要格局”原则^[1]。俞孔坚用阻力面理论来识别景观生态安全格局的状态^[2,3]。张惠远等采用适应性评价与景观整体格局优化相结合的方法,利用遥感资料和GIS技术对山地景观生态规划进行了实践探索^[4]。为了丰富石漠化地区生态恢复途径等相关理论和实践问题,本文借鉴已有的景观规划研究成果,引入生态恢复面理论模型框架,在生态恢复综合优先级评价的基础上,建立生

态恢复耗费表面模型,通过景观功能分区和生态廊道的构建,进行了石漠化景观生态优化的初步尝试。

1 研究区概况

王家寨小流域位于喀斯特高原区的清镇市簸箩乡、贵州省最大的人工湖——红枫湖北湖上游麦翁河东侧,东经106°20'5"~106°21'8",北纬26°31'45"~26°30'27",面积约2.4km²,海拔最高点1451.1m,最低点1275m。地貌为典型喀斯特峰丛谷地,属亚热带季风湿润气候,多年平均降水量1200mm,主要集中在5—9月。小流域内喀斯特地表渗漏强烈,加上人类的长期破坏造成植被覆盖率较低。土地利用类型坝地中以耕地为主,峰丛上以灌木林地和草地为主,且物种比较单一,乔木主要为村寨风水林。土壤类型为石灰土、黄壤、水稻土等。区内石漠化强度级别发育完全,具有较大的代表性。

基金项目:国家重点基础研究发展(973)计划项目(2006CB403201)、中国科学院科技支黔工程项目、中国科学院知识创新前沿领域项目和贵州省最高科学成就奖科技匹配项目

第一作者简介:周梦维(1982—),女,硕士研究生,从事岩溶环境和地理信息系统研究。E-mail: zhouw04@mails.gucas.ac.cn.

收稿日期:2007-01-06

2 数据处理

2.1 数据来源

以中国科学院卫星遥感地面站提供的2005年2月4日1:1万SPOT5影像为基本数据源,在遥感软件ENVI支持下,采用非监督与监督分类相结合,参考地形图等资料,对土地利用类型进行目视解译,随

后在ARC/INFO中处理得到研究区土地利用类型图(图1)。此结果通过实地调查的方式进行检验,抽样点119个,精度达95.8%。借助MAPGIS6.5,数字化1986年出版的该区1:1万地形图,建立地面数字高程模型(图2),提取坡度、坡向图层。以上数据均参考克拉索夫斯基椭球,选用基准经线为105°,基准纬线为25°和47°的阿伯斯等积圆锥投影。

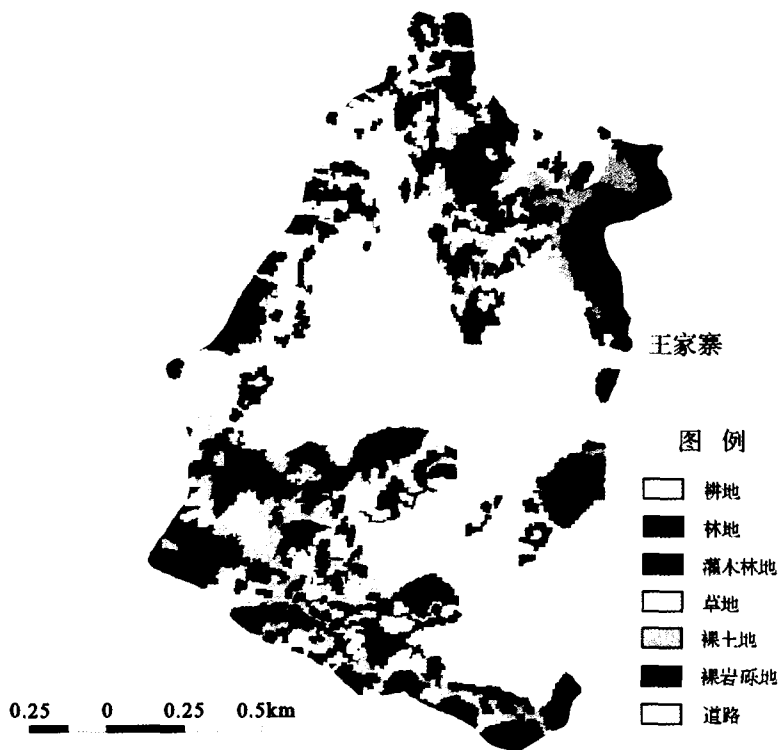


图1 2005年王家寨土地利用图

Fig. 1 Land use map in Wangjiazhai, 2005

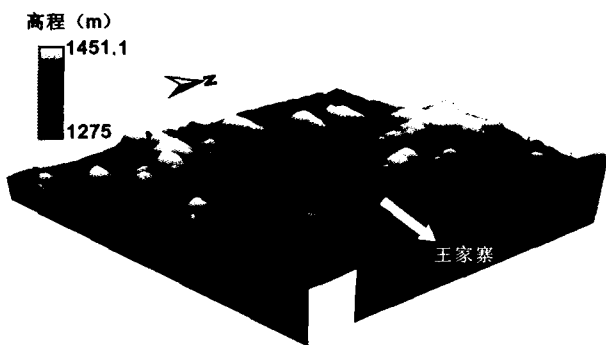


图2 王家寨地形3D示意图

Fig. 2 Three-dimensional relief map in Wangjiazhai

2.2 指标分类

在喀斯特山地地区,土地系统的稳定性较差,土

地利用类型和地形是影响景观分异的两个基本因子,它们控制着水文状况的分异、土壤的发育、植被类型的分布以及人类的活动,从而直接影响水土流失的发展,因此本文中采取该流域土地利用、坡度和坡向为指标对景观优化进行适宜性评价。结合实际工作需要,对土地利用图进行合理归并,最终参加评价的有农田、林地、灌木林、草地、道路、裸土地和裸岩砾地等7类单元(表1)。

以空间因子对石漠化景观格局影响的研究成果为基础^①,将坡度分为4级,即:S1: <10°; S2: 10°~25°; S3: 25°~35°; S4: >35°。坡向也分为4级:A4,为南东、南; A3,为平坦, A2,为南西、西、北西、北北西; A1,包括北北东,北东、东。

①周梦维,王世杰,李阳兵. 典型喀斯特石漠化小流域景观格局的空间因子分析——以贵州清镇王家寨小流域为例. (投往地理研究,已接收)

表1 土地利用类型

Tab. 1 Classification of land use

编号	类别	特征
T1	农田	耕地,包括旱地和水田
T2	林地	指有林地,包括用材林、经济林地
T3	灌木林地	指以灌木为主的灌丛地、灌草地
T4	草地	以草本植物为主的灌草地、草地
T5	道路	建设用地
T6	裸土地	地表土质覆盖,植被覆盖度在5%以下
T7	裸岩砾地	地表为岩石或石砾,植被覆盖面积在5%以下

3 研究方法

3.1 生态恢复综合优先级评价

优先级评价既要考虑生态系统安全的要求,也需兼顾到现有植被进展演替的难易程度。评价中遵循以下4条原则:(1)随坡度增加,土壤侵蚀危险性增大,生态恢复的优先级增加。(2)A4型坡面较其它坡面对防治水土流失具有更重要的意义,故有较高的优先级。(3)土地利用类型中,现有林地要作为最主要的保护和发展对象,具有最高的优先级;耕地,尤其是低坡度地区的缓坡耕地,迫于人口压力和经济需要,应作为基本农田加以保护,生态恢复优先级最低。(4)由于旱生演替系列中,岩石表面从无土壤到有土壤的过程会经历地衣和苔藓植物群落阶段,所需时间最长,草本到灌木阶段所需时间较短,到乔木阶段,其演替速度又开始放慢,参考土地利用类型进展演替的难易程度进行优先级的拟定^[5]。

综合优先级的评价过程如下:将坡度、坡向分级图与土地利用类型图进行空间叠置,依据上述原则,对生成的112种空间单元进行判别归并,得到以不同综合优先级系数为属性的景观单元;以此综合优先级系数作为各评价单元的阻力参数(综合优先级系数越低,生态恢复的阻力越小)(表2),形成栅格型的景观阻力表面(栅格大小为3m×3m)。

3.2 “源区”的确定

根据斑块尺度原理,只有大型的自然植被斑块才有可能承载更多的物种,并允许自然干扰的发生^[6]。研究区拥有丰富原生植被物种资源的有林地已基本退化,因此在景观优化的开始要先利用生态工程建立起足够的源区,具体做法是将面积较大(>300m²)、坡度大(S4型),并且坡向为南、南东的林地或植被盖度高的灌木林地确定为生态恢复的“源地”区域,其中

对选中的灌木林地先要靠生态工程学手段恢复成林地才能作为“源地”。选择的先锋种要选适宜的本地种,并兼顾物种多样性。这些源地由于位于山高坡陡处的峰丛,同时由于受人类干扰较小,可为景观整体保护土壤、涵养水源,进而成为具有空间可扩散性的能动主体。

表2 土地利用类型、坡度和坡向对景观单元的相对阻力

Tab. 2 Resistance of land-use type, slope gradient and slope aspect to landscape unit

坡度	坡向	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
S4	A4	13	0	4	10	10 000	13	100
	A3	13	0	4	10	10 000	13	100
	A2	17	0	4	10	10 000	17	100
S3	A1	17	0	8	10	10 000	17	100
	A4	13	0	4	10	10 000	13	100
	A3	17	0	4	10	10 000	17	100
S2	A2	17	0	8	10	10 000	17	100
	A1	17	0	8	16	10 000	17	100
	A4	10 000	0	4	10	10 000	17	100
S1	A3	10 000	0	8	10	10 000	17	100
	A2	10 000	0	8	16	10 000	17	100
	A1	10 000	0	8	16	10 000	17	100

3.3 生态恢复耗费表面模型

生态恢复被看作是植被在空间上的覆盖过程,具体来讲是依靠源地的扩张而实现,这个过程难易程度由植被在生态恢复时的阻力所决定。为了表达阻力在空间上的变化特性,引入最小累积阻力模型(minimum cumulative resistance,简称MCR)来建立阻力面,根据其在本文中的景观生态学意义,称之为生态恢复耗费表面模型。其计算公式为:

$$MCR = \min \sum_{j=m}^{i=n} (D_{ij} \times R_i)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m)$$

式中:MCR为区内某一单元植被顶级演替的最小耗费值; D_{ij} 为第*i*个单元与源地*j*的距离; R_i 为第*i*个单元的阻力值; m 为源地*j*到第*i*个单元所经过的单元的个数; n 为区内景观基本单元的总个数; $(D_{ij} \times R_i)$

的累积值可以被认为是区内的某一点顶级演替的阻力。其中从所有源到该点阻力的最小值被用来衡量该点顶级演替的可能性及趋势。

具体操作步骤如下:基于上述通过综合优先级评价得到的生态恢复阻力表面(friction surface),以林

地为源属性文件(source feature image),采取阻距增长的算法(costgrow algorithm)得到景观中从“源地”到每一个景观单元的最小耗费值,形成流域的生态恢复耗费表面(图3)。该过程在软件IDRISI中的耗费距离(cost distance analysis)模块中实现。

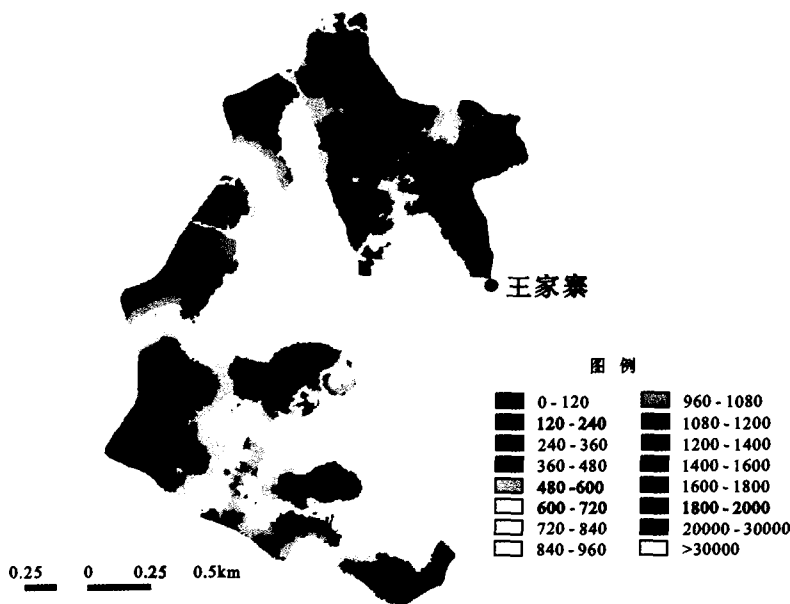


图3 生态恢复耗费表面

Fig. 3 The accessibility surface of landscape

3.4 景观格局分析

图3显示,源地向外围扩展,实现顶级演替的逐步增加,形成了不同耗费水平的缓冲区,这一方面表明顶级演替的难度变大,即使恢复也需投入越来越大的经济和人力成本;另一方面也体现了防治水土流失的有效性逐渐减小。据此进行生态功能的分区和廊道的构建。

3.4.1 景观功能分区

统计生态恢复耗费表面上各耗费水平的栅格的分布频率(图4),其序列在3 000之前有明显波动,3 000之后在低水平徘徊,>32 700后达到峰值(达106 289,因太大,图4中未能标出)。结合生态恢复耗费表面可知,3 000之前的变化表现了峰丛区植被进行演替的难易程度,3 000~32 700为峰丛与耕地的交界处(栅格数极少),>32 700后为耕地区。

将耗费值<3 000部分的序列放大(图5),可以发现植被进行演替的阻力随之增大,但增加的速度并不均匀,存在某些拐点——在景观生态学中称为门槛(threshold)。对应于景观空间格局,这些门槛值可以用来确定缓冲区的边界。其意义在于,所增加面积的生态

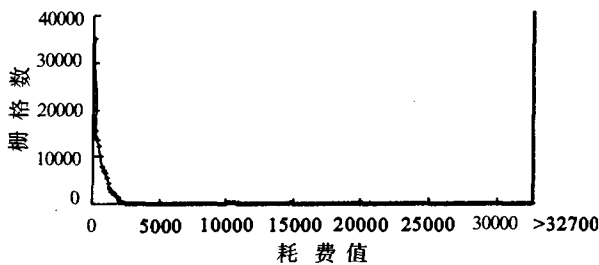


图4 生态恢复耗费表面各水平上栅格的分布频率

Fig. 4 Grid frequency according to the levels of the accessibility surface

态可恢复性及其防治水土流失的能力在门槛处会急剧下降。

经过观察发现 A1、A2、A3、A4 处栅格数明显减少,以各点所对应的耗费值为阈值,对景观进行功能分区。其中,Ⅰ区对应A1之前各耗费水平栅格所对应的区域;Ⅱ区为A1与A2间的区域;Ⅲ区为A2与A3间的区域;Ⅳ区为A3与A4间的区域,Ⅴ区为A4以后的景观区域。

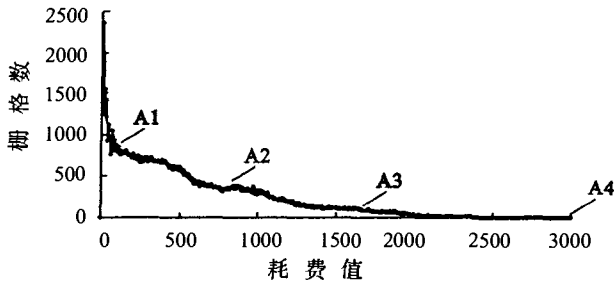


图5 生态恢复耗费表面的栅格分布频率及门槛
(耗费值为0~3 000部分)

Fig. 5 Grid frequency and the threshold points according to the levels of accessibility on the surface

源地和I区,随耗费水平的增加,可有效扩展的林地面积虽然急剧减少,但仍维持在较高的水平,是发展林地的潜力较大的地带,应作为生态恢复的最优先的核心区域。II区随耗费水平的增加,栅格数迅速减少,说明该区是恢复林地的低效地带,但可着重于灌木林地的进展演替;III区虽然序列的趋势未变,但对生态恢复敏感性有所降低,由于耗费水平更高,这部分区域可以发展草地为主,以上两区可作为支持生态恢复的缓冲区。IV区,耗费水平很高,已不宜于发展自然植被,即使进行生态恢复,也需要投入巨大的经济成本,可对该区采取暂不予利用的对策。V区之后处于高耗费水平,序列变化平缓,直至>327 000的区域主要处于现有的耕地区(该区包含土山,另作景观功能布局),基于社会经济安全的考虑,作为流域

内主要的农业耕种区。

3.4.2 生态廊道构建

构建通道,形成生态功能网络,提高格局连通度,是实现生态恢复的重要手段。本研究中采用了两种廊道,一种是选择相邻两源间最小耗费路径建立源间联结,它们是生态流之间的高效通道和联系途径;另一种是源向外围景观辐射的低阻力通道——辐射道,它们是阻力表面上自源向外发射的低阻力通道,形同枝状河流水系。

上述两种廊道可以借助生态恢复耗费表面的等值线的形态得到。生态恢复耗费面具有时空连续性,类似地形表面^[7],可用地形分析方法确定景观组分:耗费面上源区下陷,等值线分布稀疏,类似于地形图中的山谷区,两源间用谷地线相连,即得源间联结;辐射道则是源地为中心向外扩展的低阻力谷线^[8]。在具体操作中,一方面廊道的土地利用类型以林地为主,有利于林地物种在整个景观中的持续与扩散,另一方面廊道还必须保持相当的宽度,以巩固生态功能,理论上越宽越好(根据研究区的具体情况定为30m);其中对于那些暂时难以通过自然恢复或生态形成通道的地段,可通过保留或建立一些分散的小型林地斑块来替代廊道,以实现其生态功能。

将上述各种景观组分叠合在一起,就可以得到以整个小流域生态重建为目的的土地利用景观优化格局图(图6)。

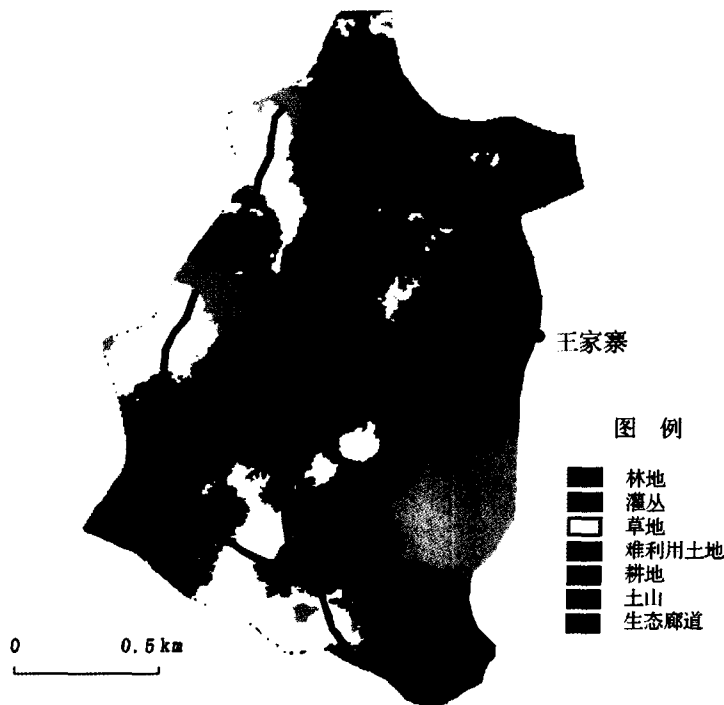


图6 土地利用景观优化格局图

Fig. 6 Map of the optimized land use pattern

4 具体措施

源区大多位于陡坡地上,生态环境脆弱,但森林资源潜能较大,维护以生态工程和封山护林相结合,加快其成林速度,可有效增加植被覆盖率,从而加强水源涵养林建设。在林下适当种植药材,以利于充分发挥系统生产潜力和提高经济效益。缓冲区中,阻力较小和较大区以自然演替为主,分别以对灌木、草地的抚育为重点。在景观恢复中灌丛和草地的作用不可忽视,灌丛可有效增加植被覆盖率,而草地可充分利用季节性降雨在土壤表层形成的短暂的高含水量层生长,同时草地的存在,可在作物的非生长季节,有效保护地表不被侵蚀^[8]。暂不宜利用区应加强管理,在本区主要指樵采和放牧,以防止裸岩砾地的进一步扩大,由于生态恢复效率低,可使其自然恢复为主。在各区选择先锋植物品种时应注意,采用耐干旱、喜钙、岩生的本地种,且应具有广泛的代表性,能充分反映保护地的多种生境特点。在需要新建林地作为廊道的地段,对林种的选择应以水土保持林及用材林为主。

洼地地势平低,土壤肥沃,灌溉条件优越,适宜多种作物生长且土地产出率较高,是流域中重要农业生产基地。今后应以改良品种为重点,最大程度地增加粮食产量。也可考虑种植一年生经济作物,增加村民经济收入。

土山土层比峰丛的厚,其上部可进行以经济林为主的林业生产,坡地上以果林为主,林下种植兼具绿肥、牧草(解决畜牧需求)、覆盖功能的植物,这样近表层的土壤中水分会在重力作用下,向坡下部的农地富集;利于最大限度地汇集降水,供给处于下部的农地的集中高效使用。庭院生态模式可参考畜牧—沼气型,解决能源需求问题,以保护现有植被,最大限度降低生态资源的压力^[6]。

通过实施各种策略,小流域内最终形成洼地水田、旱地—土山果园、经济林地—山地有林地的景观安全模式,使王家寨小流域实现由水土保持到水土资源的合理利用的转变。

5 结果与讨论

基于生态恢复耗费表面模型所形成的农林土地利用格局实际是将生态恢复过程作为一种植被对景观的控制过程来对待。其核心分配原则是较高生态价值的景观单元,如林地、灌丛等应受到保护;而在生产区内,经济价值较高的单元类型,如耕地等则要占据主导。

同时也应当认识到,由于喀斯特生态系统中影响生态恢复的因子十分复杂,出于对构建理想模型可行性的考虑,本文仅选取了土地利用类型和地形因子,但即使已使用的指标也还需要进行进一步的修正。而对于格局与功能的关系认识也需要在实践中加以进一步的观察验证,因此随生态演替的实际发展趋势,景观规划方案应当做相应的修正。

建议后续研究可对影响景观功能空间差异的相关因子(如小流域中水分供给条件、土壤理化性质、流域社会经济因素等)及其组合类型进行分析,得出更加准确的优化方案;另外可对优化配置前后的生态环境效益和村庄经济收入进行比较,得出量化的优化成果。

参考文献

- [1] Forman R. T. T. Some general principles of landscape and regional ecology[J]. *Landscape Ecology*, 1995, 10 (3): 133—142.
- [2] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. *生态学报*, 1999, 19 (1): 8—15.
- [3] 张惠远, 万军. GIS支持下的山地景观生态优化途径水土保持研究[J]. *水土保持研究*, 1999, 6(4): 69—74.
- [4] 张惠远, 王仰麟. 山地景观生态规划——以西南喀斯特地区为例[J]. *山地学报*, 2000, 18(5): 445—452.
- [5] 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 等. 基础生态学[M]. 高等教育出版社, 2002, 170—171.
- [6] 赖兴会. 云南岩溶地区石漠化生态恢复的思路[J]. *中南林业调查规划*, 2005, 14(1): 12—15.
- [7] 俞孔坚. 景观生态战略点识别方法与理论地理学的表面模型[J]. *地理学报*, 1998, 53(增刊): 11—20.
- [8] 张序强, 李华, 董雪旺. 旅游地阻力面理论初探——五大连池风景名胜区为例[J]. *地理科学*, 2003, 23(2): 240—244.

Study on optimization of landscape ecology in karst rocky desert —A case study in Wangjiazhai catchments, Qingzhen, Guizhou

ZHOU Meng-wei^{1,2}, WANG Shi-jie¹, LI Yang-bing³

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, Guizhou 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Department of Resource and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract: Aiming at management of karst rocky desertification, maintenance of the security of karst landscape ecology and sustainable use of regional land resources; under the guide of landscape ecology theory; taking Wangjiazhai catchments, a typical karst area in Southwest of China as a case, an accessibility surface of ecological restoration model which stems from minimum cumulative resistance (MCR) is constructed in this paper with the following processes: firstly, based on the image of SPOT5 in 2005, with the support of GIS and RS software, land use types in the study area are classified, and two terrain factors (slope gradient and slope aspect) are derived at the same time from the digital elevation model and graded according to ecological effects; secondly, priority order is evaluated on the basis of different land use types, slope gradient and slope aspect; thirdly, source's terrain are selected; and finally, accessibility surface of ecological restoration model is constructed in IDRISI. Then, on the basis of functional division to the landscape and construction of ecologic passage, the optimization of land use spatial pattern and the mode of ecological restoration on catchments scale are approached in the paper.

Key words: Karst rocky desertification landscape; model of landscape optimization; accessibility surface of ecological restoration model

书评

岩溶工作者的良师益友

——《中朝板块层序·事件·演化》读后感

由孟祥化和葛铭教授撰写的《中朝板块层序·事件·演化》一书受国家自然科学基金优秀成果专著出版基金和中国地质大学“211 建设工程”资助,于2004年由科学出版社出版。该书全面阐述了中朝板块从中元古代至第四纪的旋回层序、重大地质事件、沉积古地理、沉积地球化学和古构造演化。德高望重的杨遵仪院士称它是沉积学和古地理学方面的一本里程碑著作。岩溶学的任务是研究可溶性岩石在后生和风化阶段的演变情况,可溶岩沉积学顺理成章地成为其主要的地质知识之一。该书用翔实的基础地质资料提出并论证天文周期观沉积地质学新理论,融汇和发展前人多项层序地层学前沿的最新成就,向人们展现了中朝板块沉积学、沉积地球化学、古地理、古构造的一幅精细的全景图,使岩溶工作者大开眼界,从深度和广度上帮助我们开拓思路,推动学科发展。它所提供的基础地质理论新认识,在岩溶学中有广阔的应用前景。

(1)为岩组层次上的岩性岩溶学研究提供了全新和深厚的沉积学和古地理学理论基础。“岩溶”是一个具有层次结构的复杂巨系统,岩溶学从元素、矿物、岩石、岩组、流域、发生类型等不同层次上认识可溶性岩石在后生和风化阶段的演变。近半个世纪以来,中国岩溶水文地质学的一项重要成就是拓展前人思路,把不均质和各向异性的岩溶流域看成岩溶水活动和岩溶发生的基本单元,提出了一套建立流域水文地质结构模型的规范性方法。岩组(含水层)层次上的岩性岩溶学研究是其创建和继续完善的理论基础之一。岩组(含水层)在沉积学中称建造。岩溶工作者发现“沉积建造”的矿物岩石组成、组织结构、一些伴生矿物的含量对含水层在后生和风化期的岩溶发生及介质分异过程起着决定性作用。《中朝板块层序·事件·演化》一书在很大程度上填补了从沉积建造层次上认识

(下转第104页)