

山地景观生态规划 ——以西南喀斯特地区为例

张惠远¹, 王仰麟²

(1. 北京大学环境科学中心, 北京 100871; 2. 北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

摘 要: 综合目前景观生态规划研究的理论与方法, 针对西南喀斯特地区碎裂化的景观特征和严重的水土流失, 以及贫困落后的山区社会经济状况, 利用遥感资料和地理信息系统(GIS)的空间信息处理技术, 采用适宜性评价与景观整体格局优化相结合的方法, 探讨山地景观生态规划的实践途径。其中如何将维护山地景观整体生态质量与水土流失的防治相结合, 以及如何将贫困落后的山区社会经济状况纳入规划方案的确定之中, 是本研究力图解决的两大核心问题。

关键词: 山地景观; 生态规划; 喀斯特

中图分类号: P901; P642.25

文献标识码: A

以水土流失为主要形式的土地退化是我国广大山区普遍存在的环境问题, 因而有关山地环境问题的研究多围绕水土流失的防治来展开。导致水土流失的直接原因在于地表覆盖向不利于水土保持的方向转化, 如耕地过垦、林地减少和退化、草场过牧等。但需要特别提出的是土地退化的本质体现不仅在于某些地表覆盖类型的退化, 更重要的是景观空间结构与功能的退化, 从而导致景观整体生态质量下降, 如水循环不畅、生物多样性降低、珍稀动植物资源丧失, 以及抗干扰(包括人为和自然干扰)能力的降低等。这些问题往往又与相对过剩的人类需求, 尤其是土地资源需求相伴生, 更造成了规划管理的难度。

西南喀斯特山地区, 地面破碎, 土壤瘠薄, 土地资源匮乏, 是我国由水土流失导致的土地荒漠化极为严重的地区^[1,2]。由于长期处于十分封闭的环境中, 经济发展水平低下, 科技文化落后, 是国家重点扶持的贫困地区之一^[3]。在这种自然条件恶劣和社会经济落后的双重压力下, “越穷越垦, 越垦越穷”的恶性循环越来越难以摆脱。为此, 需要针对以喀斯特山地为代表的山地区所特有的自然与社会经济状况, 寻求科学、合理地利用土地资源的实践途径, 以维护山地景观的生态安全和土地资源的可持续利用。

以土地利用调整为核心的景观生态规划是完成上述任务的基本途径。但以往的有关研究中对景观利用中的生态过程, 尤其是水平生态过程重视不够^[4], 缺乏维护景观整体生态质量与防治水土流失相结合的山地景观生态规划的有效方法。近年来, 景观生态学的发展和在景观规划中的应用, 以及由此形成的景观生态规划方法^[5], 为合理规划山地景观提供了有力支持。本文将以此为基础, 选择喀斯特山地为示范区, 进行山地景观生态规划的实践探索。

1 资料与方法

1.1 资料收集与处理

经实地考察与资料分析, 我们选择位于贵州省中西部的普定县一个乡级地域(坪上乡)作为研究样

收稿日期: 2000-01-19; 改回日期: 2000-06-20

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(59890200)和国家自然科学基金项目(49571006)资助。

作者简介: 张惠远(1969-), 男(汉族), 新疆伊犁人, 北京大学环境科学中心博士后。1996年获北京师范大学资源与环境科学系自然地理学硕士学位。1999年6月获北京大学城市与环境学系自然地理学博士学位并于同年7月开始博士后研究工作。目前主要从事环境生态学、景观规划等方向的研究。近年来在国内外重要学术刊物发表论文10余篇。

区。该样区国土总面积107.9 km²,地貌类型以低中山山地和低中山丘陵为主,以岩溶丘陵、峰林、峰丛等典型喀斯特地貌为主的山地丘陵约占土地面积的80%以上。人类活动以农业生产为主,形成自然与农业景观共存的景观类型。地貌特征与景观类型均具典型的喀斯特山地特征。

考虑到当地土地普查资料的短缺,本研究以TM影像数据作为基本资料来源,收集了景观样区1990年代中期(1997—09)1:5万TM影像数据。数据来源为中国科学院卫星遥感地面站。通过实验分析,选取TM4、TM3、TM2三波段假彩色合成影像为基本数据源。

为辅助图像的景观单元分类分析并弥补遥感影像中所存在的“同物异谱”和“同谱异物”等问题,本研究还收集了研究区1:1万地形图和研究区1:5万地形图;研究区1992年1:5万土地利用图及其它土地普查资料。数据来源分别是贵州省测绘局和贵州省普定县统计局。

基于景观样区地形图和遥感影像资料,借助地理信息系统(GIS)技术,形成样区的数字高程模型(DEM)和几何配准后的景观单元分类图(处理过程及检验详见文献[6])。

1.2 规划方法

景观利用在“垂直”方向不适宜的匹配(如陡坡垦殖)和在“水平”方向不合理的空间布局(如景观破碎化),构成喀斯特山地景观退化的主要问题,也是本文景观综合规划关注的焦点。而且,探索将垂直方向的资源匹配与水平方向的格局优化综合考虑,以及如何将在欧美发展起来的景观生态规划方法及模式与我国国情结合起来的规划途径,也是目前国内景观生态规划发展的一个重要方向^[7,8]。

综合已有各种生态规划理论与实践^[4,9~11],采用适宜性评价和格局优化相结合的综合规划方法进行喀斯特山地退化景观的生态规划,实现的主要步骤如图1所示。其中,适宜性评价主要考虑景观利用的“垂直”匹配,通过多个限制因子量化图层的空间叠加,实现景观资源的“适地适用”;格局优化主要关注景观单元在空间分配上的生态合理性,本文将借助GIS的空间信息处理技术,依据运筹学中的最小耗费原理,通过景观功能分区和生态廊道的构建,以及关键地段的识别等环节来实现。

景观生态规划

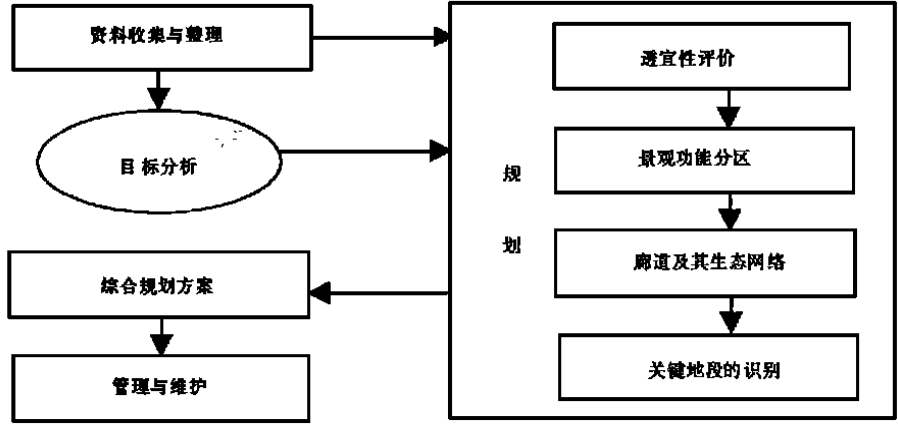


图1 景观生态规划的方法框架

Fig. 1 The technology framework of ecological landscape planning

2 喀斯特山地规划实践

2.1 目标分析

在喀斯特山地区,为防治水土流失,不仅需要保护现有的以林地为主的自然植被以涵养水源、调节局地气候,更有必要大面积增加植被,尤其在那些裸石裸土分布和陡坡开垦地带。但为满足人类生存和经济发展的需要,不仅基本的农田需要保护,有些非宜农地和陡耕地也迫于人口压力而必须保留。同

时, 为维护景观整体生态的良性发展, 并将其与人类的生存与发展相协调起来, 我们所面临的选择也只能是在极有限地调整或增加自然植被面积的条件下, 主要通过景观的空间格局和增强自然栖息地间的生态联通程度, 使景观维持在一个较高质量的生态水平之上。这就产生了一系列问题, 如哪些土地应用来发展自然植被? 哪些耕地应立即退耕还林? 哪些非宜农地可通过一定工程或生物措施开发利用? 如何构建生态廊道, 使它能最大限度地避开人类干扰, 并起到维持景观的生态连续性和缓解水土流失的双重生态作用? 针对这些问题的解决, 本文以发展自然植被(这里以林地为主要形式)为手段, 通过下述规划步骤进行喀斯特山地景观生态规划的实践尝试。

2.2 适宜性评价

在喀斯特山地区, 地形和地表覆盖类型是影响景观分异和变化的两个基本因素, 它们不仅控制着土壤发育、水文状况的分异, 以及直接影响水土流失的发生发展, 还决定着土地利用的空间分异。如从山地到沟谷盆地常形成缓坡旱耕地—低丘、岗台园地—山地有林地这样的随地势呈带型层叠分布的土地利用配置。为识别发展林地的关键地段, 本文以高程、坡度和覆盖类型为指标对景观样区进行发展林地的适宜性评价。评价原则主要考虑如下 4 条: ①高海拔的山地较低海拔地区及沟谷地带具有较高发展林地的优先级(即较高的适宜性或较低的阻力); ②随坡度的增大, 发展林地的优先级增加; ③现有林地和陡坡荒地作为主要的保护对象应作为发展林地的优先地段; ④缓坡耕地, 尤其是低海拔地区的缓坡耕地, 应作为基本农田加以保护。

景观样区的海拔高程主要集中在 1 100 m ~ 1 700 m。其中沟谷洼地主要分布在海拔 1 200 m 以下, 主要集镇基本位于海拔 1 400 m 以下的高程范围。耕地也集中在 1 200 m ~ 1 400 m。以此为依据并考虑地貌组合的完整性, 这里按高程将景观分为: $> 1 600$ m、 $1 400$ m ~ $1 600$ m 和 $< 1 400$ m 三级; 根据地方的坡度分级标准, 将坡度分为: $< 10^\circ$ 、 $10^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $25^\circ \sim 35^\circ$ 、 $> 35^\circ$ 五级; 覆盖类型以前述景观分类为基础, 将其中荒草地与裸石裸土地合并为荒地, 参加评价的有灌丛、林地、水体、草地、荒地、旱地、水田和建设用地 8 类。

评价采用空间叠置法。首先依据前述评价因子和分级标准, 基于景观样区的数字高程模型(DEM), 分别生成景观高程分级图和坡度分级图; 坡度分级图与景观分类图进行叠加, 生成 40 种以坡度和类型两项指标标识的空间单元; 基于前述原则, 按发展林地的优先程度分别对这 40 种单元进行差别分析和类型归并、排序, 得到按优先级排序的 15 种空间单元(优先级越低, 其发展林地的阻力越小); 将合并后的图层与高程分级图以乘积的形式进行叠加, 得到以发展林地的相对优先级为属性的空间单元, 以此优先级系数作为各评价单元的阻力参数, 形成以栅格方式(栅格大小为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$)存储的景观阻力表面(图略)。

2.3 景观功能分区

以往对景观的功能划分中多以定性分析为主, 不仅在各功能区段的空间定位上具有很大的不确定性, 而且对于各区段的空间范围、形态及其间的边界等都难以给出明确而合理的界定。这里提出如下途径对景观进行功能划分。

2.3.1 确定景观生态保护的“核心区”

山地景观中, 那些山高坡陡的地段, 常常是周围地区地表地下水系的发源地, 又为水土流失的易发多发地带, 是景观中涵养水源和防止水土流失的关键地段。而且, 这些地段多难以开发利用, 具备进一步发展自然植被的空间条件。同时, 由于受人为干扰的影响较小, 这些地段的自然植被保存相对较好, 并且拥有丰富的本地物种和稀有物种, 是景观中物种流动的主要“源”和“汇”。对这些地段自然植被的保护将会对景观整体的水循环和其它物质(如野生动植物)流动产生关键作用。为此, 本文以高程、集镇和农耕地集中分布地带的距离、土地覆盖类型为指标, 同时考虑地貌组合等其它因素, 利用 GIS 中的空间扩散和叠加技术, 确定那些具有一定地域代表性且面积相对较大的现存林地斑块作为景观生态保护的“核心区”, 作为进一步发展自然植被的“源地”。

2.3.2 生成景观耗费表面

基于上述通过适宜性评价得到的景观阻力表面, 借助 IDRISI 软件, 采用公式^[4]

$C_l = \min \sum (D_k \times R_k) (l = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, m)$, 计算景观中从“源地”到每一个景观单元的最小耗费值, 形成景观耗费表面如图 2 所示。式中, C_l 为第 l 个单元到源地的最小耗费; n 为景观基本单元的总个数; m 为源地到第 l 个单元所经过单元的个数; D_k 为第 k 个单元与源地的距离, R_k 为第 k 个单元的阻力值。

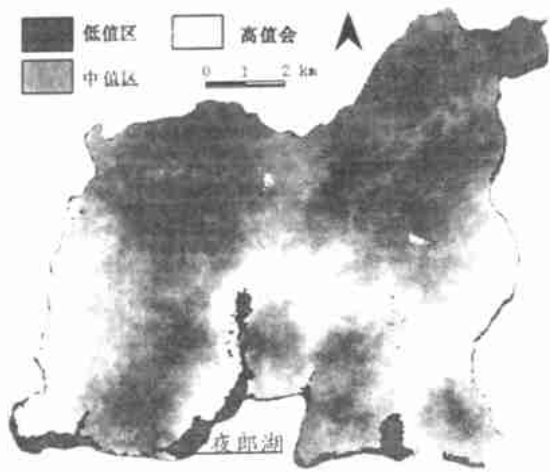


图 2 景观耗费表面

Fig. 2 The accessibility surface of landscape

这里的“耗费”意义有三: 一是指从保护区核心(低值区)到人类活动的集中区(高值区), 为发展自然植被所需付出的“代价”(即宜农地和现有耕地的损失); 二指从生物扩散的“源地”到人类干扰的高值区, 发展自然栖息地所需克服的景观“阻力”。三是指防治水土流失的有效性, 由耗费表面的低值区向高值区逐渐减小。

图 2 显示, 自各保护“源地”向外, 发展自然植被(林地)的“耗费”逐渐增大, 并围绕源地形成不同耗费水平的缓冲区。当耗费值在耕地和居民地集中的地带达到最高值时, 意味着若在这些地带重建自然植被, 需要以失去高产农田甚至居住地为代价。

2.3.3 景观功能分区

统计上述景观耗费表面中各耗费水平的格点频率并计算其滑动平均值(如图 3), 可见其变化序列分别在 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 发生明显转折, 我们将这些点称为拐点。以这些拐点处的耗费为临界值, 将景观进行功能分区(图 4)。其中, I 区对应图 3 中拐点 a_1 之前各耗费水平栅格总数所对应的景观区域; II 区对应 a_1 与 a_2 间的景观区域; III 区为 a_2 与 a_3 间的区域; IV 区为 a_3 与 a_4 间的区域; V 区为 a_4 与 a_5 间的区域; VI 区则对应 a_5 以后的景观区域。

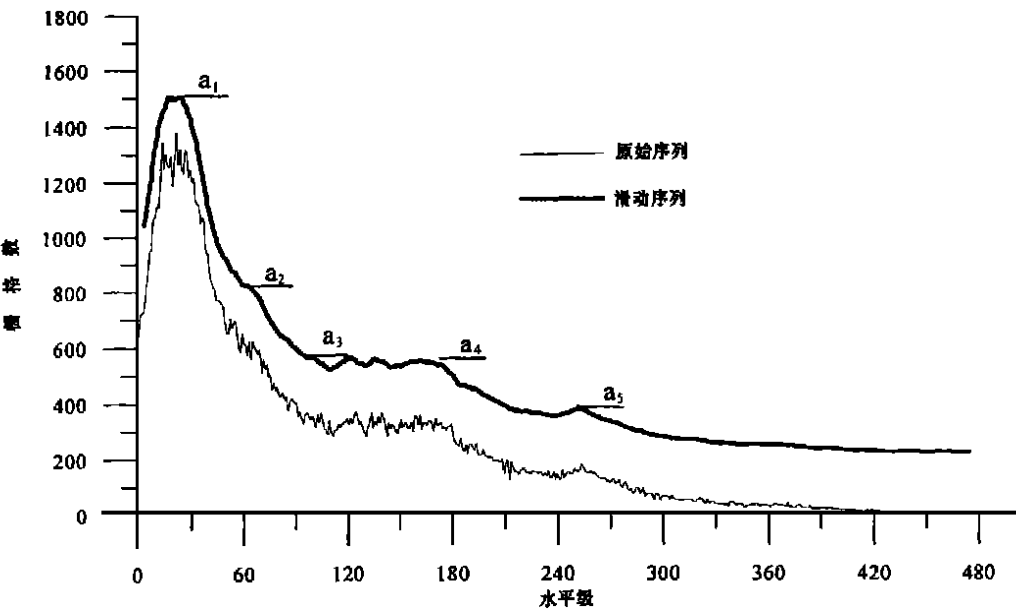


图 3 景观耗费表面的格点频率序列及拐点(将耗费表面分为 480 个水平级)

Fig. 3 The accessibility-area and the threshold points according to the change of slope

图 3 中, 在拐点 a_1 之前, 随耗费水平的增加, 可扩展林地面积迅速增大, 意味着较小的耗费即可获得很大的面积, 是发展林地的最有效地带, 应作为景观规划的主要生态保护区; 在拐点 a_2 之前, 随耗费水平的增加, 可扩展林地面积却急剧减少, 是发展林地的低效地带。反之, 随耗费水平的降低, 即随人类对非宜农区的开发, 又将造成可发展林地的大面积丧失。可见, 这一地带无论对开发还是保护均很敏感, 即不易作为保护区, 也不应开发为农耕地。但由图 4 可见, 它对于维护景观的连通性却具有关键性作用; a_2 之后, 虽然序列的趋势未变, 却已明显趋于缓和, 表明对开发的敏感性有所降低。但由于耗费水平较高, 已不宜于发展自然植被; a_3 之后, 序列变化平和且波动小, 由于处于高耗费水平, 且对人类干扰的敏感性较低, 可主要服务于人类的开发和利用; a_4 之后, 随耗费水平的继续提高, 发展林地的效率更趋减小, 直至 a_5 之后, 发展自然植被的效率趋于零增长。

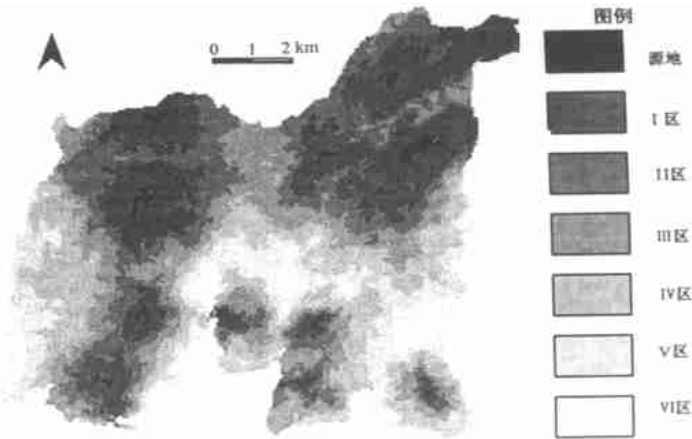


图 4 景观功能分区

Fig. 4 The functional sub-areas of representative landscape

依据上述各耗费水平面积频率序列的变化特点, 各景观功能分区的组成及功能如下:

1. 保护区 包括“源地”和 I 区。由于远离人类活动的集中地带, 它们对于林地的发展, 既具备较大的潜力, 也具有较高的效率, 应作为景观保护濒危物种、涵养水源、提高植被盖度和协调、维护整体生态的核心地带。

2. 耕作区 由 IV 区组成。由于发展林地的耗费较高, 且对于人类的开发不敏感, 可作为景观主要的农业耕种区。

3. 生活区 由 VI 区构成。这一地带因为是景观中基本农田和人类居住、生活的主要集中地而成为景观耗费面的高值区。由于地形条件较优越, 也为进一步促进景观利用的集约化程度, 该区应作为景观中人类活动的核心地带。

4. 调和区 包括 II 区、III 区和 V 区。其中 II 区处于景观保护区的外侧, 对维护保护区的生态整体性具有关键作用, 可作为保护区的生态缓冲区; III 区处于耕作区与生态缓冲区的过渡地带, 对于发展林地效率较低, 同时, 抗干扰能力较低, 因此, 可作为耕作区的生态缓冲带; V 区处于耕作区与生活区的过渡地带, 既是高效的农耕地, 也是景观进一步集约利用的发展地带。

上述分区基本体现了 Forman 所倡导的景观总体布局原则^[9], 即景观单元分别按功能所属集中展布, 在保护区内, 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、建设用地等则要占据主导。

2.4 生态廊道构建

增强源地之间的连通度, 是维护景观整体生态功能的有效途径^[10, 12], 而廊道的构建则是实现这一目的的重要手段。在景观样区中, 为充分构建生态廊道并兼顾防治水土流失的目的, 同时, 又能以最小

的人类利益损失为代价, 应选择耗费表面中两“源地”间的最小耗费通道建立廊道。对于廊道的宽度, 仍以前述保护“源地”缓冲区的临界点(a_1)为限定, 并以廊道为“源”, 在耗费表面上进行扩散, 所达到的最大距离即可作为廊道的缓冲带宽度。结果见图 5。

2.5 关键地段识别

所谓的“关键地段”是指那些对维持景观的生态连续性具有战略意义或瓶颈作用的景观地段^[4]。在这些地段, 增加一块林地或使原有的自然植被转变为耕地或居住、交通用地, 将使景观的连通性发生显著改变。景观样区中, 主要有这样几种地段应予以格外重视(图 5): ①能使两个或多个保护区通过缓冲区直接相连的最小耗费地段(图中 2、3、10); ②多条廊道或扩散路径的交汇处(图中 3、4), 经过该点的廊道数目越多, 其重要性越大; ③生态廊道与道路、水系的交汇处(图中 2、5、6 等); ④生态廊道穿越阻力高值区的地段(图中 11、14、15)。

将上述规划过程中所得到的各景观组分图层进行叠加, 便得到研究样区的景观综合规划图(图 5)。

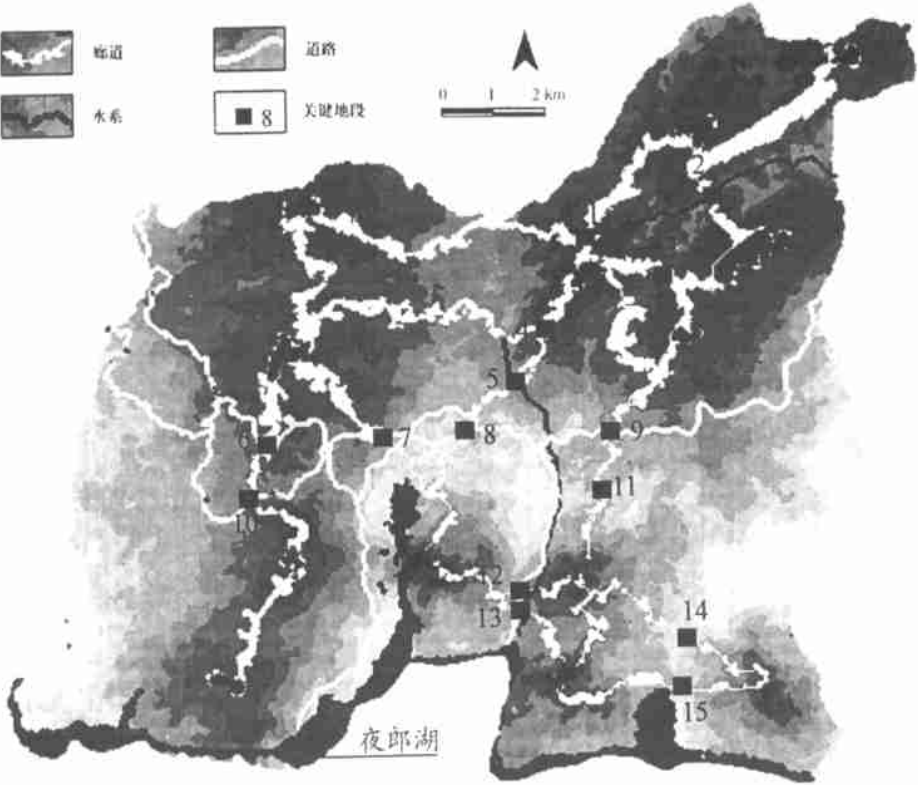


图 5 景观综合规划图(分区图例同前)
Fig. 5 The integrated map of landscape ecological planning

2.6 景观管理建议

对于上述规划方案中各景观组分的设计与维护, 在实施过程中应遵循因地制宜的原则, 针对具体地段采取合理的技术和措施进行设计与维护。这里针对主要的景观组分就如下几方面提出几点建议:
保护区作为防治土壤侵蚀、涵养水源的核心地带和本地生物的“种源地”, 多位于景观中的难利用地带, 维护应以自然恢复为主。对于退化较严重地带, 可采用一定的工程手段如人工植树、飞播造林等加快自然植被的恢复, 但树种应选择本地品种。另外, 对保护区中的耕地, 也应逐步退耕还林。

缓冲区是位于保护区和耕作区之间起生态调和作用的景观地段, 由于用来生产的效率相对较低, 可进行以用材林、薪炭林、经济林为主的林业生产。但在不影响景观连续性的地段, 可用于经营园地和发

展畜牧业, 其中有些较适宜开垦的地段, 也可进行局部性农业生产活动。

廊道主要服务于维护景观的生态连续性, 同时也兼顾涵养水土。为此, 廊道的设计不仅要考虑它的持久性、稳定性, 也要注意保持相当的宽度。因而在需要新建林地以作为廊道的地段, 对林种的选择应以水土保持林及用材林为主; 由于研究区野生动物以中小型为主, 廊道的宽度应至少保持在几百米左右; 对于那些难以通过自然恢复或新建成林的廊道地段, 可通过保留或新建一些“散置”的小型自然植被斑块以替代廊道的功能; 在经过高密度耕作区的廊道地段, 可借助树篱或林带网以保持廊道的连通性。

关键地段既是野生动物临时栖息地, 更是物种迁移的瓶颈。因此, 在设计时不仅要合理选择能持久、稳定存在的林种、树种, 也要使其具有较为广泛的物种适宜性和足够的空间。在道路或水系与生态廊道的交汇处, 应采用相应的技术手段(如拓宽廊道、控制运输流量、建立交桥等)使道路或水系尽可能避免成为生物迁移的屏障。

3 讨 论

本研究旨在探讨山地景观生态规划的实践途径, 其中如何将山地景观整体生态质量与水土流失防治相结合, 及如何将贫困落后的山区社会经济状况纳入规划方案的确定之中, 是本研究力图解决的两大核心问题。但由于反映土地资源状况和景观利用的生态影响所涉及的因素及表征指标很多, 一些景观空间特征(如多样性)和适宜性评价指标(如土壤质地、土层厚度等)未能给予考虑, 而对于格局与功能的关系认识(如景观连通性与生物多样性的关系)也需要进一步的验证。本文采用适宜性评价和格局分析相结合的景观生态规划方法仅是基于现有资料 and 目前认识的尝试性探索。随着资料的完备和有关研究理论的深入, 会有更精确的结果。本研究成果的基本认识和方法, 可作为进一步研究的基础和参考。

参考文献:

- [1] 张建平. 西南石灰岩山区土地资源、土地利用的特点、问题及对策[A]. 见: 周性和等. 中国西南部石灰岩山区资源开发研究[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990. 50~57.
- [2] 赵名茶. 脆弱环境与贫困——桂西北喀斯特山区研究. 见: 赵桂久等. 生态环境综合整治和恢复技术研究[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1995. 118~134.
- [3] 蔡运龙. 中国西南喀斯特石山贫困地区的生态重建[J]. 地球科学进展, 1996, 11(6): 602~606.
- [4] Yu Kongjian. Security patterns and surface model in landscape ecological planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1996, 36: 1~17.
- [5] Naveh, Z. and Lieberman, A. S.. *Landscape Ecology: Theory and Application*[M]. Springer, New York, 1994.
- [6] 张惠远, 蔡运龙, 万军. 基于 TM 影像的喀斯特山地景观变化研究[J]. 山地学报, 2000, 18(1): 18~25.
- [7] 肖笃宁, 李晓文. 试论景观规划的目标、任务和基本原则[J]. 生态学杂志, 1998, 17(3): 46~52.
- [8] 俞孔坚, 李迪华. 城乡与区域规划的景观生态模式[J]. 国外城市规划, 1997, (3): 27~31.
- [9] Haber, W.. Using landscape ecology in planning and Management[A]. In: Zonneveld, I. S. and Forman, R. T. T. (eds.). *Changing Landscapes: an Ecological Perspective*[M]. Springer-Verlag, New York, 1990, 217~231.
- [10] Forman R. T. T.. *Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Regions*[M]. Cambridge University Press, 1995.
- [11] McHarg I. L.. *Design with Nature*. Doubleday, Garden City[M]. NY, 1969.
- [12] 陈利顶, 傅伯杰. 景观连接度的生态学意义及其应用[J]. 生态学杂志, 1996, 15(4): 37~42.

**A PRACTICAL APPROACH OF ECOLOGICAL
PLANNING OF MOUNTAIN LANDSCAPE**
——A CASE STUDY OF KARST
MOUNTAIN AREAS OF SOUTHERN-WESTERN CHINA

ZHANG Hui-yuan¹, WANG Yang-lin²

(1. *Institute of Environmental Engineering, Peking University, 100871 PRC;*

2. *Department of Urban and Environment, Peking University, 100871 PRC*)

Abstract: Taking the Karst mountain areas of Southern-Western China as the case, and based on the character of land resource and social-economic condition of the poor mountain areas, a practical approach of ecological planning of mountain landscape is put forward and realized in this paper. The manner utilized here is an integrated planning method combining the suitability evaluating with optimizing of landscape pattern, which is composed of evaluating of suitability, selecting sources of protecting, constructing accessibility surface of the representative landscape, functionally dividing of landscape based on the accessibility surface, building corridors and network being made of these corridors, identifying key site of landscape, etc.. The remote sensing data of TM image and the contour maps in 1 : 50 000 scale are the major data source. The image processing techniques of geography information system (GIS) is used extensively for data storage, analysis and display. Moreover, meaning of the concept of land degradation and administrative means of the planning scheme, are discussed in this paper. Two questions have been concerned particularly in this study, one is how to combine the prevention of soil erosion with keeping ecological continuity of the whole landscape, and the another is how to bring the poor and undeveloped social-economic state into the ecological planning of mountain areas.

Key words: mountain landscape; ecological planning; karst