

生物保护的景观生态安全格局

俞孔坚

(北京大学城市与环境学系 北京大学景观规划设计中心 北京 100871)

摘要 景观中有某些潜在的空间格局,被称为生态安全格局(Security patterns,简称SP),他们由景观中的某些关键性的局部,位置和空间联系所构成.SP对维护或控制某种生态过程有着异常重要的意义.SP的组分对过程来说具有主动、空间联系和高效的优势,因而对生物保护和景观改变具有重要的意义。

生物的空间运动和栖息地的维护需要克服景观阻力来完成,所以,阻力面(流动表面)反映了生物扩散和维持的动态.SP可以根据流动表面的空间特性来判别。一个典型的生物保护安全格局由源、缓冲区、源间联结、辐射道和战略点所组成,这些潜在的景观结构与过程动态曲线上的某些门槛相对应。揭示了一般流动表面模型的点和线的特征与景观生态学和保护生物学中的景观结构之间的关系,证实了生态过程动态与趋势中某些门槛值的存在以及应用这些门槛值定义SP的可能性.SP可作为捍卫生物安全、维护生态过程的相对高效的空间战略。

关键词 景观安全格局,生物保护,生态规划,景观生态,空间分析。

LANDSCAPE ECOLOGICAL SECURITY PATTERNS IN
BIOLOGICAL CONSERVATION

YU Kong-Jian

(The Center for Landscape Planning, Department of Urban and Environmental Sciences,
Beijing University, Beijing, 100871, China)

Abstract Potential spatial patterns, which are called security patterns (SP), exist in landscapes. They are composed of strategic portions and positions of a landscape which have critical significance in safeguarding and controlling certain ecological processes. To a certain process, components of the security patterns have the advantages of being initiative, coordinative and efficient. Therefore, they are strategically important in biological conservation and landscape change.

Species movement and maintenance are taken as processes of control in a landscape that occur at the expense of overcoming landscape resistance. A resistance surface (accessibility surface) represents the dynamics of species movement. SP can be identified according to the properties on a general surface of flows. Four strategic landscape portions and positions are identified on a potential surface; buffer zones, inter-source linkages, radiat-

国家自然科学基金(批准号 59778010和39870147)和国家教委留学回国人员启动基金资助项目。

哈佛大学 Carl Steinitz, Richard Forman 和 Stephen Ervin 教授给予悉心的指导和帮助。部分建模和机算过程在美国环境系统研究所(ESRI)完成。

收稿日期:1997-04-17,修改稿收到日期:1997-12-16。

ing routes and strategic points. These components are associated with the threshold-type quality of the dynamics of the process, together with the identified sources (native habitats), and compose the ecological SP at various security levels.

It demonstrates the relationship between the spatial properties of a general surface model discussed in theoretical geography and the landscape representation model used in landscape ecology and conservation biology. SP could be used as comparatively effective spatial strategies in safeguarding the ecological processes.

Key words biological conservation, landscape ecology, landscape planning, spatial analysis.

有一些基本的景观改变和管理措施被认为是有利于生物保护的,包括核心栖息地的保护、缓冲区、廊道的建立和栖息地的恢复等^[1~7]。问题是如何定义缓冲区,如何设廊道或在何处引入栖息地斑块,才能最有效地影响生态过程,实现生物保护的目。这些问题对自然保护区的管理和规划以及更大范围内的景观区域生态规划都具有战略意义,而在国际上引起重视。

比较而言,有两类生态过程,垂直生态过程和水平生态过程。前者发生在某一地域单元之内,过程之状态直接反应其所依赖的资源分布,如发生在某一地域单元内的地质、水文、植被和动物群落之间的生态过程。在处理这种垂直生态过程时,景观规划专业已发展了一整套的生态规划方法,集中体现为适宜性和可行性分析模型,它最早可以追溯到生态学先驱和规划家 Patrick Geddes 或更早^[8,9]。这一模式到 L. McHarg^[10,11]发展到了高峰,并被称为“千层饼”模式。对垂直生态过程的控制可以直接通过资源本身的改变来完成。水平生态过程则是发生在景观单元之间的流动或相互作用,如物种的空间运动,干扰和灾害的空间扩散,他们的空间动态很难通过“千层饼”模式来表达。

生态学家和地理学家发展了众多的模型来描述水平生态过程^[12~14],如引力模型(gravity model)和潜在模型(potential model)。更具体的模型诸如树木种子的扩散模型^[15,16],虫害扩散和火灾蔓延模型^[14]。这些模型都可以形象地用潜在表面(potential surface)^[17]或趋势表面(trend surface)^[18]通过等值线来表达,如表示动物空间运动的潜在可能性和可达性表面(surface of accessibility),所以,要改变景观以控制水平生态过程,一条可能的途径是通过潜在表面判别和设计某种高效的景观格局。

在19世纪 Reech 等人工作的基础之上,理论地理学家 Warntz 对流动表面进行了较全面的研究^[17,19,20]。他将表面用4种点的特征:峰(peak)、陷(pit)、关(pass)和鞍(pale);两种线的特征:谷线(coures)和脊线(ridge);以及3种面的特征:即丘(hill)、洼(dale)和域(territory)来描述。这一点、线、面模型是基于流动过程来建立的,反映流的聚合、离散关系,因而在景观生态分析和景观改变中有可能具有重要意义。

尽管景观生态学以研究景观格局与水平生态流之间的关系为目的^[6,21,22],但正如有学者所批评的,关于景观生态的研究或多或少地只研究生物与已存在于景观中的某一元素(如斑块、廊道等)之间的关系^[23],或只记载已存在的景观元素和格局。少数例外之一是 Knaapen 等人的研究^[24],他们提出了用最小累计阻力(minimum cumulative resistance, MCR)来作为景观改变的依据。采用这一技术,研究人员建议将新引入的斑块设计在低阻力区域,以便能更有效地实现生态保护的功能。这项研究的贡献在于其认识到生物空间运动的潜在趋势与景观格局改变之间的关系。但更系统的研究还待进一步开展。

系统地研究(流动)表面特征与生态改变格局之间的关系将是非常有意义的。这种系统研究可能会回答篇首所提出的问题,即:如何在景观中划分生物保护缓冲区,如何建立廊道,如何建立保护斑块等。因而在生物保护,景观和区域生态管理和规划等诸方面都具有重大的理论和实践意义。

本研究假设:景观中存在着某种潜在的空间格局,它们由一些关键性的局部、点及位置关系所构成。这种格局对维护和控制某种生态过程有着关键性的作用,这种格局被称为安全格局(security patterns,简称

SP^[25~30])。本文进一步设想:通过对生态过程潜在表面的空间分析,可以判别和设计景观生态安全格局,从而实现对生态过程的有效控制。本文将以广东丹霞山风景区内的生物保护规划为例,探讨生态安全格局的理论与方法。案例本身只作为说明用,用于实际保护工作前还需作进一步实地观察。

1 方法

1.1 景观安全格局概念

不论景观是均相的还是异相的,景观中的各点对某种生态的重要性都不是一样的。其中有一些局部,点和空间关系对控制景观水平生态过程起着关键性的作用。如上所述,这些景观局部、点及空间联系构成景观生态安全格局。它们是现有的或是潜在的生态基础设施(ecological infrastructure)。在一个明显的异质性景观中,SP组分是可以凭经验判别到的,如一个盆地的水口,廊道的断裂处或瓶颈,河流交汇处的分水岭^[2,6,21,31]。但是在许多情况下,SP组分并不能直接凭经验识别到。在这种情况下,对景观战略性组分的识别必须通过对生态过程动态和趋势的模拟来实现。SP组分对控制生态过程的战略意义可以体现在以下3个方面:

(1)主动优势(initiative):SP组分一旦被某种生态过程占领后就有先人为主的优势,有利于过程对全局或局部的景观控制。

(2)空间联系优势(co-ordination):SP组分一旦被某种生态过程占领后有利于在孤立的景观元素之间建立空间联系。

(3)高效优势(efficiency):某SP组分一旦被某生态过程占领后,就使生态过程控制在全局或局部景观时,在物质、能量上达到高效和经济。从某种意义上讲,高效优势是SP的总体特征,它也包含在主动优势和空间联系优势之中^[37]。以生物保护为例,一个典型的安全格局包含以下几个景观组分^[25~27]:

①源(source):现存的乡土物种栖息地,他们是物种扩散和维持的元点。

②缓冲区(buffer zone):环绕源的周边地区,是物种扩散的低阻力区。

③源间联接(inter-source linkage):相邻两源之间最易联系的低阻力通道。

④辐射道(radiating routes):由源向外围景观辐射的低阻力通道。

⑤战略点(strategic point):对沟通相邻源之间联系有关键意义的“跳板”(stepping stone)。除了辐射道和战略点以外,SP的其它景观组分在景观生态学及生物保护学中多有论及,本论文的讨论重点是如何根据生态过程动态表面的空间特征来判别这些潜在的战略景观组分,以指导景观生态设计和景观改变。

1.2 景观生态安全格局识别步骤

1.2.1 第一步 源的确定 在大多数情况下,景观生态规划的保护对象是多个物种和群体,而且它们应具有广泛的代表性,能充分反映保护地的多种生境特点。在区系成分调查的基础上,可以确定作为主要保护对象的物种和相应的栖息地(源)。

1.2.2 第二步 建立阻力面 物种对景观的利用被看作是对空间的竞争性控制和覆盖过程。而这种控制和覆盖必须通过克服阻力来实现。所以,阻力面反映了物种空间运动的趋势。如前所述,有多种模型可能用于阻力面(趋势面)的建立。本文的案例研究中以最小累积阻力模型(minimum cumulative resistance,简称MCR^[24,26])来建立阻力面。该模型考虑3个方面的因素,即源、距离和景观介面特征。基本公式如下:

$$MCR = f \min \sum_{j=1}^{n-1} (D_{ij} \times R_i)$$

这一公式根据 Knaapen 等人^[34]的模型和地理信息系统中常用的费用距离(cost distance)^[52]修改而来。其中 f 是一个未知的正函数,反映空间中任一点的最小阻力与其到所有源的距离和景观介面特征的正相关关系。 D_{ij} 是物种从源 j 到空间某一点所穿越的某景观的介面 i 空间距离; R_i 是景观 i 对某物种运动的阻力。尽管函数 f 通常是未知的,但 $(D_{ij} \times R_i)$ 之累积值可以被认为是物种从源到空间某一点的某一路径的相对易达性的衡量。其中从所有源到该点阻力的最小值被用来衡量该点的易达性。因此,阻力面反映了物种运动的潜在可能性及趋势。

1.2.3 根据阻力面来判别安全格局 阻力面是反映物种运动的时空连续体,类似地形表面。阻力面可以

用等阻力线表示为一种矢量图(图1)。用理论地理学家 Warntz 的术语^[17,19,20],这一阻力表面在源处下陷(dip),在最不易达到的地区阻力面呈峰(peak)突起,而两陷之间有低阻力的谷线(course)相联,两峰之间有高阻力的脊线(ridge)相连。每一谷线和脊线上都各有一鞍(在这里不妨把 pass 和 pale 两者都称为鞍),他们是谷线或脊线上的极值(最大或最小)。根据阻力面,进行空间分析可以判别缓冲区、源间联接、辐射道和战略点。

1.2.3.1 缓冲区的判别 到目前为止,对缓冲区的划分,国际上没有一个科学的方法,本研究则为解决问题提供了一条新的途径。在 MCR 阻力面基础上,可以作两种曲线,一种曲线是从某一源到最远离源的某一点作一条垂直于阻力线的剖面曲线,得到的是 MCR 与离源距离的关系曲线。另一条曲线是 MCR 值与面积的关系曲线。在一般情况下,可以假设这两种曲线都有某些阶段性门槛(threshold)的存在(见案例研究)。也就是说,随着缓冲区边界向外圈的扩展,景观对物种的阻力随之增加,但这种增加并不是均匀的,有时是平缓而有时则非常陡峻(图1)。对应于空间格局,缓冲区的有效边界就可以根据这些门槛值来确定,这可以实现缓冲区划分的有效性。

1.2.3.2 源间联结 源间联结实际上是阻力面上相邻两源之间的阻力低谷。根据安全层次的不同,源间联结可以有一条或多条(图1)。它们是生态流之间的高效通道和联系途径。

1.2.3.3 辐射道 从图1中还可以识别以某源为中心向外辐射的低阻力谷线。他们形同树枝状河流成为物种向外扩散的低阻力通道。这里,物种运动被当作是能动的对景观的控制过程来认识,而不是被动的保护对象。这对保护对象的未来发展和进化是必要的,而保护生物的进化过程在生物保护中具有非常重要的意义^[33,34]。

1.2.3.4 战略点 战略点的识别途径有多种,其中直接从阻力面上反映出来的是以相邻源为中心的等阻力线的相切点,对控制生态流有至关重要的意义。

将上述各种存在的和潜在的景观结构组分叠加组合,就形成某一安全水平上的生物保护安全格局,不同的安全水平要求有各自相应的安全格局。但每一层次的安全格局都是根据生态过程的动态和趋势的某些门槛值来确定的,而这些门槛值可以通过分析阻力面的空间特性来求得^[25,27]。

2 应用——一个案例研究

上述景观生态安全格局方法论被用于广东丹霞山国家风景名胜区的生物保护规划中,研究范围300多平方公里,位于亚热带和中亚热带的过渡性地区,生物多样性很高。研究通过 ARC/INFO 地理信息系统(GIS)来完成,本案例的生物保护安全格局的判别步骤如下。

2.1 源的确定

本案例研究中选用3类有代表性的物种作为保护对象,包括中型哺乳类、雉类和两栖类^[25-27]。通过以他们作为假想目标,目的是为了保护生境的多样和潜在的景观生态基础设施。限于篇幅,本文只介绍林中雉类的保护安全格局的判别方法,作为林中雉类的源是风景区内现有的7个残遗自然斑块,属保存完好的淮南亚热带季雨林斑块(图2)

2.2 阻力面的建立

如前所述,阻力面是运用最小累积阻力模型来建立的,首先是对景观根据其对保护对象空间运动的阻

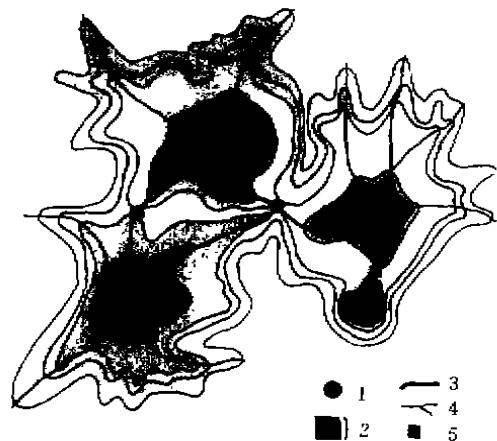


图1 阻力面与生态安全格局假设模型

Fig. 1 Resistance surface and the schematic model of security pattern

①源 Source, ②阻力面和等阻线 Resistance surface and isolines, ③源间通道 Inter source linkage, ④辐射道 Radiating route, ⑤战略点 Strategic point

力进行等级的划分^[25]。景观对物种的相对阻力是参照有关文献来确定的^[21,23]。在本案例中,有理由认为植被类型与残遗栖息地斑块的植被特征越接近,其对物种运动的阻力就越小。为此,根据植被受人为活动干扰的强度划分为6个等级、从受干扰强度最大的农田、到草地、灌丛、针叶林、混交林和人为干扰强度最小的季雨林残遗斑块。在上述阻力分级评价基础上,再将生态源与距离的因素考虑进去,运用 MCR 计算方法,便得到一个反映物种运动时空动态和趋势的阻力表面(图3)。

2.3 根据阻力面的空间特征判别生态安全格局

除了已确定的源以外,生态安全格局的其它各组分都可以根据阻力面的空间特征来判别。

2.3.1 缓冲区 从 MCR 阻力面上(图3),可以得到两类曲线,第一类是反映离源距离和 MCR 值关系的剖面曲线(图4),这一曲线上反映了多级门槛值的存在,证实了上一章的假设。另一种(一条)曲线则综合反映 MCR 值与面积的关系(图5),正如所设想的,其中也反映了一些门槛值。图5曲线上的点 $b_1 \sim b_5$ 是一些可识别的门槛值。在这些点附近随着缓冲区范围的扩大或减少, MCR 值发生急剧性变化。所以,如果将缓冲范围扩展到一定边界之后,所增加的面积的可利用性及其保护意义会急剧下降,则这样的一些门槛值可作为缓冲区划分的依据。如,有关研究表明,全区内至少有50%以上的土地应作为保护区才有利于物种的空间运动不受景观破碎化的影响^[26]。为此,可以确定图5中的点 b_1 是一个比较理想的、用来确定缓冲区范围的门槛值,这时缓冲区范围内的面积可达到52%。这一缓冲区的边界与图4剖面曲线上的点 a_1 门槛值相对应。得到如图6的相应的缓冲区形状和格局。如果降低安全标准,则可以用图4中的 a_2 和图5中的 b_2 点为门槛值划分缓冲区,则相应地得到如图7的缓冲区和分布。

2.3.2 源间联接 每一源和其它任一源都有一条或多条低累积阻力谷线,其中有一条是最小阻力谷线。多一条联接就可以为某一源的保护多一份保险。安全层次就可提高。如果使每一源与其任何相邻的源都有一联接通道,则可得

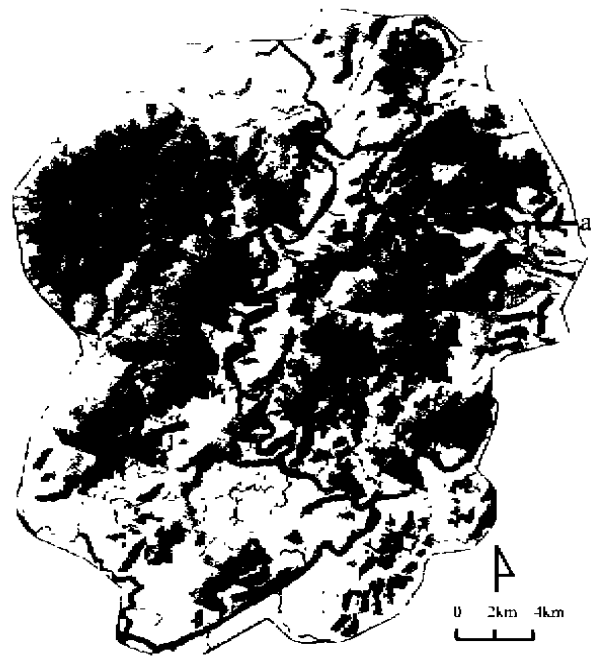


图2 丹霞山全景及残遗斑块(准南亚热带季雨林斑块作为保护源)

Fig. 2 The overall landscape of the Red Stone National Park and the remnant patches (monsoon forest) patches as the sources of ecological processes)

a. 残遗南亚热带季雨林斑块 Remnant monsoon forest patches

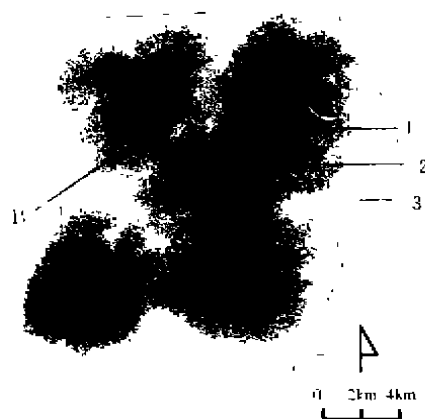


图3 林内雉鸡运动阻力面

Fig. 3 Resistance surface for the movement of pheasants

(1) 残遗自然斑块 Remnant forest patch, (2) 低阻力区 Low resistance surface, (3) 高阻力区 High resistance surface

到如图6的高度安全的源间联系。如果降低安全标准,则可选择如图7的源间联接。这种情况下,每一联结至少被同时用于3个源之间的联系。

2.3.3 辐射道 辐射道是阻力表面上自源向外发射的低阻力谷地,形同枝状河流水系。这是生物以原有栖息地为基地,向外围景观扩散的有效途径。高度安全的保护格局应具有这种景观组分(图6)。

2.3.4 战略点 景观点略点有多种^[7],这里只介绍一种,即鞍部战略点,它们是相邻源等阻线的相切点,起源间“跳板”的作用(图6,图7)。

将上述各种安全水平上的战略性景观局部和位置及空间联系组合在一起,就构成了两种不同安全水平上的景观生态安全格局:高度安全的生物保护安全格局(图6)和中等安全水平的生物保护格局(图7)。这些以单一物种或某一群物种保护为目的的景观生态安全格局再经叠加,可以得到以保护多个类型生物群体为目的的生态安全格局^[11]。

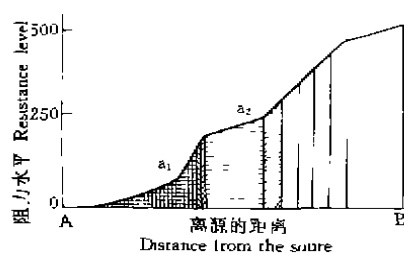


图4 阻力方面一典型剖面(图3中的A点到B点)

Fig. 4 A cross section from a source A to a point B at the far end of the resistance surface (refer to figure 3 for the location)

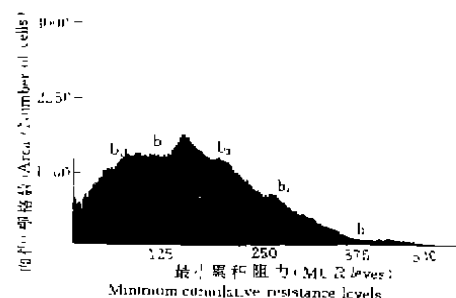


图5 面积与阻力直方图显示门槛值的存在

Fig. 5 The area-resistance level histogram suggests the existence of step-wise thresholds



图6 高度安全水平的雉类保护安全格局

Fig. 6 Security pattern for the protection of pheasants at a highly secure level

①缓冲区 Buffer, ②残遗自然斑块 Remnant forest patch (source), ③战略点 Strategic point, ④源间联结 Inter-source linkage, ⑤辐射道 Radiating route

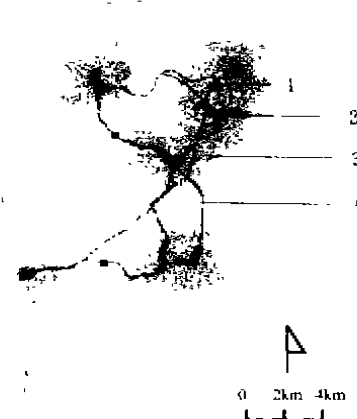


图7 中等安全水平的雉类保护安全格局

Fig. 7 Security pattern for the protection of pheasants at a moderately secure level

①战略点 Strategic point, ②残遗自然斑块 Remnant forest patch (source), ③缓冲区 Buffer, ④源间联结 Inter-source linkage

3 讨论

本研究将水平生态过程作为一种对景观的控制过程来对待,通过对关键性景观局部、位置和空间联系的控制,和栖息地的布置形成某种战略性格局,有可能形成超越于实际存在的景观元素以外的强有力的生态势力圈(ecological influence sphere)从而使某种生态过程的健康与安全得以有效的维护.SP方法旨在判别、维护和强化景观生态基础设施.判别SP是为了指导景观改变而不仅仅是对现存景观的描述,理论地理学的表面模型对判别保护区生态安全格局有启发意义。

本文揭示了一般表面模型的点和线的特征与景观生态学和生物保护学中的景观结构之间的关系,证实了生态过程动态趋势中某些门槛值的存在,并进一步讨论了如何应用这些门槛值定义缓冲区.从而为缓冲区的划分提供了一条新途径。

安全格局的功能组分基本上与景观生态学的景观分析模型相对应,如斑块、廊道和基质模型(6),一个安全格局意味着如何选择、维护和在某些潜在的战略部位引入斑块,使他们成为“跳板”,意味着如何来构筑源间联系廊道和辐射道,导致生态安全格局部分或全部破坏的景观改变对于某种生物保护安全水平说是不能接受的,因为它将导致生态过程的急剧恶化.一个可接受的生态规划和景观改变就意味着维护和强化生态安全格局.这有利于减少景观改变决策失误所导致的不可逆转的后果.本研究将安全、格局和改变等概念结合起来的本质意义在于把生物保护规划作为一个可辩护的、空间交易和发生在多个利益辩护者之间的博弈过程。

本文讨论的表面模型计算方法在很大程度上是带有假设性的,具体应用时可能需要更复杂或更简单的模型.在这一理想化的计算模型中,只考虑了源的位置、空间距离和景观基面特征,其它因素如源本身的结果和组成,驱动力因素的存在等都有可能影响阻力面的生成.本文还着重强调了SP方法与传统生态规划的叠加模式之间的不同点,而着重讨论水平生态过程.实际上,两种方法是可以互为补充的.尽管论文只讨论了林中雉类空间运动及其保护的安全格局,方法同样适用于其它动物的保护,也适用与其它生态过程如火灾的蔓延,虫灾的扩散等安全格局的判别.最后需声明的,案例研究只作为方法论的说明,作为实际应用还不成熟。

参 考 文 献

- 1 Frankel O H and Soule M E. *Conservation and Evolution*. Cambridge University Press, 1981
- 2 Harris L D. *The Fragmented Forest: Island Biogeography Theory and Preservation of Biotic Diversity*. University of Chicago Press, Chicago, IL, 1984
- 3 Noss R H and Harris L D. Nodes, networks, and MUMs: Preserving diversity at all scales. *Environmental Management*, 1986, 10(3): 299~309
- 4 WRI, IUCN and UNEP. *Global Biodiversity Strategy: Guidelines For Action to Save, Study and Use Earth's Biotic Wealth Sustainably and Equitably*, 1992, WRI/IUCN/UNEP
- 5 Smith D S and Hellmund P C S. (Editors). *Ecology of Greenways*. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN, 1993, 69~104
- 6 Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, 10(3): 133~142
- 7 俞孔坚, 李迪华. 城乡与区域规划的景观生成模式. *国外城市规划*, 1997, 3: 27~31
- 8 Faludi A. *Decision-centered View of Environmental Planning*. Pergamon Press, 1987
- 9 Steiner F, Young G and Zube E. Ecological planning: Retrospect and prospect. *Landscape Journal*, 1987, (7): 31~39
- 10 McHarg I. *Design With Nature*. John Wiley & Sons, Inc. 1969 (1992 edition)
- 11 McHarg I. Human ecological planning at Pennsylvania. *Landscape Planning*, 1981, (8): 109~120
- 12 Olsson G. *Distance and Human Interaction: A Review and Bibliography*. Regional Science Research Institute, Philadelphia, 1995
- 13 Bartlett M S. *The Statistic Analysis of Pattern Pattern* (1st edition). Chapman and Hall, London, 1975
- 14 Sklar F H and Costanza R. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: A review and progn-

- sis. In: Turner M G and Gardner R H S. (Editors), *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York, 1990
- 15 Johnson W C. Estimating dispersibility of *Acer*, *Fraxinus* and *Tilia* in fragmented landscapes from patterns of seedling establishment. *Landscape Ecology*, 1998, 1(3): 178~187
- 16 Frelich L E. Calcote R R and Davis M B. Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. *Ecology*, 1993, 74(2): 513~527
- 17 Warntz W. The topology of a social-economic terrain and spatial flows. In: (Thomas M D S), *Papers of The Regional Science Association*. University of Washington, Philadelphia, 1966, 47~61
- 18 Chorley R J and Haggett P. Trend-surface mapping in geographical research. In: Berry B J L and Marble D F. (Editors). *Spatial Analysis: A reader In Statistical Geography*. Prentice-Hall, Inc. , Englewood Cliffs, New Jersey, 1968, 195~217
- 19 Warntz W. Geography of prices and spatial interaction. In: *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 1957, 118~129
- 20 Warntz W. Geography and The Properties of Surfaces, Spatial Order—Concepts and Applications. *Harvard Papers in Theoretical Geography*, 1967, (1)part I
- 21 Forman R T T and Godron M. *Landscape Ecology*. John Wiley, New York, 1986
- 22 Turner M G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on processes. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1986, 20: 171~197
- 23 Laver C J. and Haines-Young R H. Equilibrium landscapes and their aftermath: Spatial heterogeneity and the role of the new technology. In: Haines-Young, R, Green D R and Cousins S. (Editors), *Landscape Ecology and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, London, 1993, 57~74
- 24 Knaapen J P, Scheffer M and Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. *Landscape and Urban Plann.* 1992, (23): 1~16
- 25 Yu, K-J. *Security Patterns in Landscape Planning: With a Case In South China*. Doctoral Thesis, Harvard University, 1995
- 26 Yu K-J. Ecological security patterns of landscapes: concept, method and a case. In: *Proceedings for International Symposium of Geoinformatics' 95*, Hong Kong, 1995, 396~405
- 27 Yu K-J. Ecological security patterns in landscape and GIS application. *Geographic Information Sciences*. 1995, 1(2): 88~102
- 28 Yu K-J. Security patterns and surface model in landscape planning. *Landscape and Urban Plann.* 1996, 36(5): 1~17
- 29 Yu K-J. Security patterns: a defensive approach toward landscape and environmental planning. In: Sellis T and Georgoulis D (eds.), *Proceedings, Athens International Conference, Urban Regional Environmental Planning and Informatics to Planning in An Era of Transition*. National Technical University of Athens, Faculty of Architecture Dept. of Urban and Regional Planning. 1997, 453~463
- 30 Yu K-J. Ecologists, farmers, tourists-GIS support planning of Red Stone Park, China. In: Craglia M and Hellen C (Eds.), *Geographic Information Research: Bridging the Atlantic*. Taylor & Francis, 1997, 480~494
- 31 Merriam G. Connectivity: a fundamental characteristic of landscape pattern. In Brandt J and Agger P (Editors), *The First International Seminar on Methodology in Landscape Ecological Research and Planning*. Roskilde Universitets-folag GeoRuc, Roskilde, Denmark, 1984, 5~15
- 32 ESRI, Environmental Systems Research Institute, *Cell-based Modeling with GRID*, Relands, CA 1991
- 33 Soule M E. Thresholds for survival, Maintaining Fitness and evolutionary potential. In: Soule M E. and Wilcox B A. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sinauer Associates, Inc. , Sunderland, MA, 1980, 151~169
- 34 Erwin T L. An evolutionary basis for conservation strategies. *Science*, 1991, (253): 750~52
- 35 Selman P H and Doar N R. A landscape ecological approach to countryside planning. *Planning Outlook*, 1991, 34(2): 83~88
- 36 Franklin J F and Forman R T T. Creating landscape patterns by forest cutting, Ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, 1987, 1(1): 5~18