

# 基于最小累计阻力模型的四湖流域景观生态规划研究

尹发能<sup>1</sup> 王学雷<sup>2</sup>

1. 湖北师范学院地理科学系, 黄石 435002; 2. 中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077

**摘要** 采用遥感和GIS技术对四湖流域景观空间格局特征及其形成原因进行了分析,利用最小累计阻力模型对四湖流域进行景观生态规划,在地理信息系统软件中分别计算得到湖泊、人工水面和城镇的阻力面,从而对湖泊、人工水面、水田、旱地和城镇等景观要素的面积和具体分布做出相应规划。

**关键词** 四湖流域; 景观生态规划; 最小累计阻力模型

**中图分类号** TU 986 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)02-0231-05

四湖流域地处江汉平原,位于东经120°00'~114°05',北纬29°21'~30°00'之间,是长江中游一级支流内荆河流域的别称,因境内总干渠开挖时贯穿长湖、三湖、白鹮湖、洪湖四大湖泊而得名。洪湖位于流域的下游,承接了整个流域的来水。四湖流域东南西三面滨临长江,北临汉江与东荆河,西北与荆门、江陵的漳河灌区相连,以漳河总干渠与三干渠为界。行政区划跨荆州、潜江、荆门3个地市,流域面积11 547.5 km<sup>2</sup>,其中内垸面积10 375 km<sup>2</sup>,外滩面积1 172.5 km<sup>2</sup>。

四湖流域生态环境问题严重,主要表现在洪涝灾害、水体污染和血吸虫病等3个方面,尤其是天然水域面积减小,湖泊湿地萎缩,生态功能退化,对洪水的滞纳能力和对污染物的净化能力减弱,湖泊河道淤塞,水流不畅,为钉螺的繁殖创造了条件。

四湖流域生态环境的综合治理和流域生态管理,需要通过全流域的景观生态建设,协调天然水域、人工水域、水田、旱地和城镇等各种景观要素的比例结构和空间布局,重建结构协调、功能完善的流域景观生态系统,缓解、消除目前存在的因景观生态结构失衡而引起的各种生态环境问题。

## 四湖流域景观格局分析

在遥感和地理信息系统的技术支持下,分别选取该区1997年和2003年的Landsat-TM(比例尺1:100 000)的假彩色合成像片,并且综合江汉平原

的土壤类型、地形图和土地利用图,通过判读、解译和编制工作,把遥感图像和其他地图资料输入地理信息系统中进行湿地类型判读解译,在ARCGIS9.0下进行地类勾绘和数据数字化和地图制作,完成相应面积计算和统计分析。

### 景观格局指数

为了更好地定量分析江汉平原四湖地区湿地景观格局的特征,选取了几个景观格局指数。对湿地景观空间格局的定量描述可分为2类指标进行,即基本空间格局指标(多样性、均匀度及优势度)、景观空间构型指标(聚集度、破碎化),各个指数的具体计算指标采用目前通用的量度公式进行<sup>[1-2]</sup>。

1) 景观多样性指数(H)。H值的大小反映景观要素的多少和各景观所占比例的变化。其计算公式为:  $H = - \sum P_k \ln P_k$ ,式中 $P_k$ 是某种景观类型占总面积的比例。

2) 均匀度指数(E)。均匀度一般用来描述景观中不同景观类型的分配程度,其计算公式为:

$$E = [ - \ln [ - \sum P_k \ln P_k ] / \ln m ] \times 100\%$$

$m$ 表示景观类型中生态类型总数。

3) 优势度指数(D)。优势度指数表示景观多样性对最大多样性的偏离程度,或描述景观由少数几个主要的景观类型控制的程度。其计算公式为:  $D = \ln m + \sum P_k \ln P_k$ , $\ln m$ 为研究区各类型景观所占比例相等时,景观拥有的最大的多样性指数。

4) 景观破碎化指数(FN<sub>1</sub>和FN<sub>2</sub>)。景观破碎

收稿日期:2009-03-31; 修回日期:2009-09-28

\*湖北省科技攻关项目(052005AA401C44)资助

尹发能,男,1972年生,博士,副教授。研究方向:湿地景观生态学。E-mail: yinfaneng@126.com

化指数的计算公式为：

$$FN_1 = (N_p - 1) / N_c$$

$$FN_2 = MPS ( N_f - 1) / N_c$$

式中,  $FN_1$  和  $FN_2$  是 2 个某一景观类型斑块破碎化指数。根据四湖地区湿地景观的分布情况,  $N_c$  为研究区域的总面积除以最小的斑块面积,  $N_p$  是景观中各类斑块的总数;  $MPS$  是景观里各类斑块的平均面积除以最小的斑块面积;  $N_f$  是景观中某一景观类型的总数。

5) 聚集度指数 ( $RC$ )。聚集度是表示景观里不同生态系统的团聚程度。其计算公式为：

$$RC = 1 - \{ [ N(i,j) / N_b ] \ln [ N(i,j) / N_b ] / m \ln m \}$$

式中  $N(i,j)$  是相邻生态系统  $i$  和  $j$  之间的共同边界长度,  $N_b$  是不同生态系统间边界的总长度,  $m$  是湿地景观里生态系统类型总数。

### 四湖流域景观分类与空间格局分析

在研究四湖流域湿地景观空间结构时, 首先必须确定湿地景观的基本单元。根据四湖地区湿地自然特征及其土地利用现状, 同时考虑到研究区不同地物的光谱特征及在遥感影像的反映, 将四湖流域景观类型划分为天然水面、人工水面、水田、旱地和城镇等 5 个景观类型, 构成了该地区的景观分类系统(表 1)。

表 1 四湖流域湿地景观分类系统

Table 1 Classification system of wetland landscape in Four-Lake basin

景观类型 Landscape type	景观类型意义 Landscape type illustration	土地类型 Land type
天然水域 Natural water	包括湖泊, 由于滩地是河湖平水期与洪水期之的土地, 这里也将滩地归入此类	湖泊、河流、滩地 Lake, river and beach
人工水域 Artificial water	包括水库、池塘等	水库、池塘 Reservoir and pond
水田 Paddy field	主要是水稻田, 分布在平原地势平坦区域的面积较大的平畲田, 以及分布在湖泊四周地势低洲的低湖田。近年来部分低湖田被开挖成精养鱼池或莲藕塘, 大多分布在水田区域或相邻地区, 也作为水田景观处理	水田 Paddy field
旱地 Dry land	主要是种植小麦、棉花的土地, 分布在本区地势高亢的河流冲积平原和四湖流域上区西北部丘陵地带, 海拔较高	旱地、林地 Dry land and forest land
城镇 Town	包括城镇、农村居民点的建筑用地和工矿用地等	城镇、农村居民点、工矿用地 Town, villages and land for industrial

表 2 四湖流域景观类型构成(现状)

Table 2 Landscape types of Four-Lake basin (present)

类型 Type	面积 Area/ $hm^2$	比例 Average/ %
湖泊 Lake	112 699.54	9.7
人工水面 Artificial water	72 034.76	6.3
水田 Paddy field	659 931.31	56.8
旱地 Dry land	303 243.08	26.0
城镇 Town	13 942.21	1.2
合计 Total	1 161 850.90	100.0

江汉平原四湖流域景观多样性指数为 1.144 56, 而在假定研究区的各种景观类型所占比例相等时拥有的最大景观多样性指数为 1.609 44, 2 个指数值相差约为 0.46, 这说明在四湖流域景观类型体系中, 各类景观类型所占比例差异较大。从优势度指数的涵义来看, 优势度指数越大, 则表明偏离程度越大。本区的优势度指数为 0.464 88, 说明区域内有占优势的景观类型; 而该区的均匀度指数不高, 为 0.592 40, 说明流域内景观分配不太均匀, 存在着少数景观类型控制整体的现象。因此, 从对流域景观多样性、优势度和均匀度 3 个指数的分析可以看出, 四湖流域景观差异较大, 水田景观类型在本区湿地景观中, 占支配地位, 其次为旱地景观和水域景观。四湖流域景观结构现状见图 1。

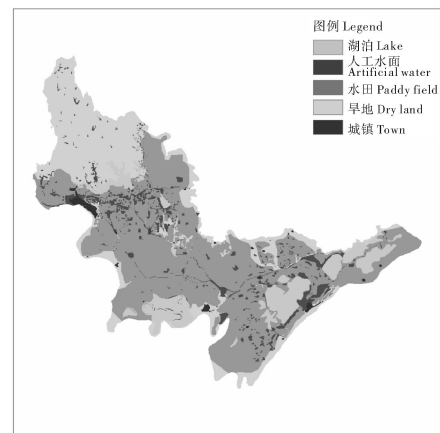


图 1 四湖流域景观结构现状图  
Fig. 1 Map of landscape structure in Four-Lake basin (present)

四湖流域景观破碎化程度较低, 流域景观整体较为完整, 这与该地区利用方式的实际情况相符。从该区各种景观类型的破碎度大小来看, 城镇用地集中成片; 而对于水域景观, 主要指湖泊和河流, 原来的一些小湖泊和其它类型的水面部分地被围垦成水田或其它用地, 目前的水域景观规则相对完整。

四湖流域景观聚集度指数为 0.811 36, 表明整个研究区是以少数大斑块为主体构建起来的, 这些大斑块包括大面积的水稻田、湖泊及旱地景观。这一结果反映出人类在该地区垦殖影响程度较强, 同时它与四湖地区土地详查资料及土地利用现状特征也是一致的。

景观空间格局研究是流域景观生态学的重要内容之一, 结合江汉平原典型的湖泊湿地区域, 在遥感和 GIS 技术支持下, 比较系统地量度流域景观空间格局各类指标, 进而对流域景观空间格局特征及其形成原因进行分析, 得出如下结论:

(1) 各类景观类型所占比例差异较大, 景观分配不太均匀, 水田景观类型在本区湿地景观中占支配地位, 其次为旱地景观和水域景观。

(2) 四湖流域景观的破碎化程度较低, 景观整体较为完整。各景观类型的破碎度均较低, 整个研究区是以少数大斑块为主体构建起来的, 这些大斑块包括大面积的水稻田、湖泊及旱地景观。水田和旱地景观的分维值相对较高, 而水域景观、林地景观和城乡景观则较低。

(3) 研究结果表明, 在长期湖区垦殖活动过程中, 人类改变了平原湖区的自然景观格局, 而将其改造为复合的人工湿地农业景观生态系统。

## 四湖流域景观生态规划

### 最小累计阻力模型

不同景观类型相互转化和景观格局的改变可以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, 而阻力面反映了空间运动的趋势<sup>[3]</sup>。最小累积阻力模型 (minimum cumulative resistance, 简称 MCR) 可以用来建立阻力面, 该模型考虑 3 个方面的因素, 即源、距离和景观介面特征<sup>[4-5]</sup>。基本公式如下:

$$MCR = f_{\min} (D_{ij} \times R_i)$$

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

这一公式根据地理信息系统中常用的耗费距离 (cost distance) 修改而来。 $D_{ij}$  是湖泊湿地从源  $j$  到空间某一点所穿越的某景观的基面  $i$  空间距离;  $R_i$  是某种景观类型对湖泊湿地的阻力。耗费距离计算从目标斑块到最近源斑块的累积费用距离, 耗费系数 (cost coefficient) 表示每个单元对于某种物体或现象运动通过时的摩擦系数, 其值的高低代表通过的难易程度。对于源点 (source point) 所在单元, 赋值为 1, 表示其对运动的阻碍最小<sup>[6]</sup>。

在湖泊湿地的保护与恢复方面, 耗费距离即为把不同景观类型恢复为湖泊湿地时所克服的累积阻力, 用四湖流域不同景观类型之间的转移概率矩阵来描述阻力值的大小。

### 源的确定

四湖流域主要包括湖泊 (天然水面)、人工水面、城镇、水田和旱地等 5 种景观类型, 本研究主要考虑湖泊 (天然水面)、人工水面和城镇 3 类景观的空间运动趋势。首先需要确定各种景观类型分别对湖泊湿地恢复、人工水面扩散以及城镇发展的阻力, 进而规划确定湖泊、人工水面和城镇的最终可能的分布范围和面积。本研究先在 ARCGIS 环境中将湖泊、人工水面、城镇、水田、旱地等现状要素栅格化, 便于空间计算与分析。

### 阻力系数的确定

四湖流域各种景观类型对湖泊恢复、人工水面扩展和城镇发展的阻力值可以根据各种景观类型之间的相互转化情况即转移概率来确定, 转移概率矩阵反映了不同景观类型之间相互转换的难易程度, 因而可以利用转移概率来计算各种阻力值。具体而言, 对于湖泊恢复, 城镇的阻力值最大, 取值 100, 人工水面次之, 取值 60, 旱地和水田分别为 55 和 45, 湖泊本身取值为 1; 对于人工水面扩展, 城镇的阻力值依然最大, 取值 100, 旱地、水田和湖泊分别为 75、45 和 40, 人工水面本身取值为 1; 对于城镇发展, 湖泊的阻力值最大, 取值 100, 人工水面次之, 取值 80, 旱地和水田分别为 55 和 45, 城镇本身取值为 1。

### 阻力面的建立和景观格局的重建

在以上研究和准备工作的基础上, 在 ARCGIS 中进行费用距离 (cost distance) 计算, 建立阻力线和阻力面, 提取有效数据, 形成图 2~4 所示的湖泊恢复、人工水面扩展和城镇发展阻力面。利用 ARCGIS 的分析叠加功能划分出水田和旱地的分布和面积。

阻力线封闭的区域为阻力面, 阻力面是反映湖泊、人工水面、城镇等要素运动的时空连续体, 类似地形表面。在最不易达到的地区阻力面呈峰 (peak) 突起, 阻力较低的地区阻力面呈谷 (vale) 下陷, 低阻力线内凹处形成槽线 (course), 高阻力线外凸处形成脊线 (ridge)<sup>[4]</sup>。在四湖流域, 源就是洪湖、长湖、白鹤湖、天鹅洲等天然水域, 以其为中心的一定范围内, 阻力面下陷成为谷地, 这里是湖泊恢复的低阻力区。随着距离湖泊中心 (源) 越来越远, 阻力值越来越大, 最终成为隆起的山峰形态, 湖泊恢复的阻力达

到最大,也就是说这些地区无法再重新恢复为湖泊。源间联结实际上是阻力面上相邻两源之间的阻力低谷,是湖泊恢复的高效通道和联系途径,实际上也指明了湖泊恢复活动的方向和路径。战略点从阻力面上看就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,也是湖泊等天然水面恢复过程中的重要联结点和枢纽,它对从总体上控制整个四湖流域湖泊恢复有着重要的意义。

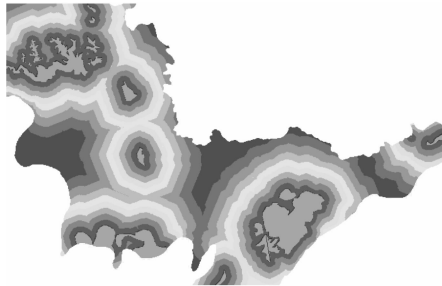


图 2 湖泊恢复阻力面

Fig. 2 Resistance surface of lakes



图 3 人工水面扩展阻力面

Fig. 3 Resistance surface of artificial water

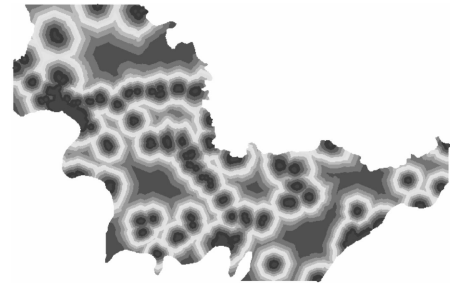


图 4 城镇发展阻力面

Fig. 4 Resistance surface of towns

为了确定未来的湖泊及其恢复区、人工水面及其扩展区、城镇及其发展区的分布和面积,首先必须确定湖泊、人工水面和城镇的缓冲区,缓冲区就是湖泊等景观要素的恢复、扩展区域。可以通过对以上图表进行分析,分别找出湖泊恢复、人工水面扩展和城镇发展阻力值比较小的区域,因为各景观类型总是趋向于沿着阻力值最小的方向扩展。洪湖原有水面 307.93 km<sup>2</sup>,缓冲区面积 318.24 km<sup>2</sup>,湖泊及缓冲区总面积 626.17 km<sup>2</sup>。其中,洪湖围堤以内面积 443.12 km<sup>2</sup>,缓冲区面积 135.19 km<sup>2</sup>,洪湖围堤以外面积 183.05 km<sup>2</sup>。长湖原有水面 154.40 km<sup>2</sup>,缓冲区面积 209.84 km<sup>2</sup>,湖泊及缓冲区总面积 364.24 km<sup>2</sup>。白鹭湖原有水面 12.27 km<sup>2</sup>,缓冲区面积 44.45 km<sup>2</sup>,湖泊及缓冲区总面积 56.72 km<sup>2</sup>。天鹅洲原有水面、滩地 180.82 km<sup>2</sup>,缓冲区 159.09 km<sup>2</sup>,水面、滩地、缓冲区总面积 339.91 km<sup>2</sup>。上述几个主要湖泊等天然水面连同缓冲区合计占四湖流域总面积的 11.90%。

表 3 主要湖泊及其缓冲区面积

Table 3 Area of lakes and buffer zone

湖泊 Lake	原有水面 Water area	缓冲区面积 Buffer zone	湖泊及缓冲区 Water area and buffer zone
洪湖 Honghu/ km <sup>2</sup>	307.93	318.24	626.17
长湖 Changhu/ km <sup>2</sup>	154.40	209.84	364.24
白鹭湖 Bailuhu/ km <sup>2</sup>	12.27	44.45	56.72
天鹅洲 Tianezhou/ km <sup>2</sup>	180.82	159.09	339.91
合计 Total/ km <sup>2</sup>	655.43	731.62	1387.05
占流域比例 Average/ %	5.60	6.30	11.90

通过计算得知,湖泊、人工水面、城镇的缓冲区面积分别为 85 407.07 hm<sup>2</sup>、57 719.01 hm<sup>2</sup>、120 484.02 hm<sup>2</sup>,占四湖流域总面积的比例分别为 7.4%、5.0%、10.4%,加上湖泊、人工水面和城镇原有的面积,则比例分别达到 17.1%、11.3%、11.5%。利用 ARCGIS 的分析叠加功能,把湖泊、人工水面、水田、旱地和城镇等 5 种景观类型相互叠加,分别计算每种景观类型的实际分布区域和具体面

积。考虑退田还湖等措施的实施,湖泊面积将显著扩大,相应的水田等景观类型的比例将降低,具体的各种景观类型面积分别为湖泊 164 982.83 hm<sup>2</sup>、人工水面 127 803.60 hm<sup>2</sup>、水田 522 832.91 hm<sup>2</sup>、旱地 241 664.99 hm<sup>2</sup>、城镇 104 566.58 hm<sup>2</sup>,所占比例分别为 14.2%、11.0%、45.0%、20.8%、9.0%,其中 59 254.40 hm<sup>2</sup> 的水田需要退田还湖,占四湖流域总面积的 5.1%。重建后的四湖流域景观格局规划图见图 5。

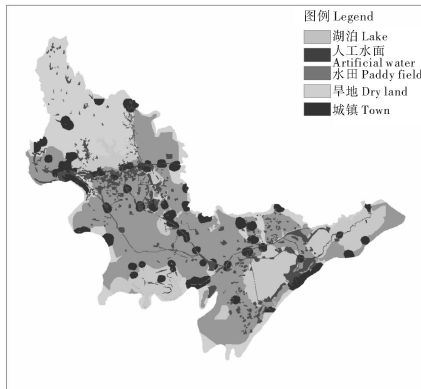


图5 四湖流域景观结构规划图

Fig. 5 Map of landscape structure planning in Four-Lake basin (lake restoration)

## 讨论

四湖流域的生态环境问题严重,通过景观空间格局分析,表明流域生态环境问题与景观结构有着密切的联系。流域的综合治理和生态管理,需要通过全流域的景观生态规划和生态建设,协调天然水域、人工水域、水田、旱地和城镇等各种景观类型的比例结构和空间布局。最小累计阻力模型提供了四湖流域景观生态规划的一种有效方法,通过计算缓冲区来确定退田还湖的面积和空间分布,提出了重

点湖泊湿地——洪湖、长湖、白鹤湖和天鹅洲的具体还湖规模。同时,模型还计算了其它景观类型——人工水域、水田、旱地和城镇在退田还湖背景下的规划面积,对四湖流域整体的景观空间格局作出了安排。

最小累计阻力模型是把不同景观类型相互转化和景观格局的改变看做景观要素通过克服阻力来实现,它反映了景观要素空间运动的趋势,因此利用该模型进行景观空间规划是有理论依据的,也是可行的。但是,各种景观要素的规划面积和空间位置还与其它因素有关,因而该模型还有待进一步完善。

## 参考文献

- [1] 陈康娟,王学雷. 人类活动影响下的四湖地区湿地景观格局分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 219-223.
- [2] 王学雷,吴宜进. 马尔柯夫模型在四湖地区湿地景观变化研究中的应用[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 288-291.
- [3] 俞孔坚. 论景观概念及其研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1987(4): 23-27.
- [4] 俞孔坚,李迪华,段铁武. 生物多样性保护的景观规划途径[J]. 生物多样性, 1998, 6(3): 205-212.
- [5] 俞孔坚,李迪华,吉庆萍. 景观与城市的生态设计: 概念与原理[J]. 中国园林, 2001(6): 3-9.
- [6] 李纪宏,刘雪. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2): 217-224.

## Ecological Landscape Planning of the Four-Lake Basin Based on Accumulative Minimum Resistance Model

YIN Fa-neng<sup>1</sup> WANG Xue-lei<sup>2</sup>

1. Geography Department, Hubei Normal University, Huangshi 435002, China;

2. Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China

**Abstract** In the Four-Lake basin, the serious problems of environmental ecology are closely related with the landscape structure and space pattern. The landscape structure of the Four-Lake basin was analyzed using the remote sensing and GIS. The result showed that the proportion of each landscape types varies greatly and the distribution of wetland landscape is uneven. The minimum accumulative resistance model was introduced into the landscape planning of the Four-Lake basin. The resistance surface diagrams of lakes, artificial water and towns by geography information system were calculated, and a corresponding planning of the area and concrete distribution of the landscape elements such as the lakes, the artificial water, paddy field, the dry land and towns was made.

**Key words** the Four-Lake basin; ecological landscape planning; accumulative minimum resistance model

(责任编辑:陆文昌)