

# 基于 Markov 的福建省溪南半岛植被景观动态变化预测

郭娜<sup>1</sup>, 刘剑秋<sup>2</sup>, 潘志斌<sup>1</sup>

(1. 福建生物工程职业技术学院中药系, 福建福州 361000; 2. 福建师范大学生命科学学院, 福建福州 350108)

**摘要** 在遥感和地理信息系统技术的支持下, 利用 1994 和 2008 年两个时期的影像图作为信息源, 获取福建省溪南半岛各景观要素类型的转化数据, 确定相应的转移概率矩阵, 并应用马尔科夫模型原理, 运用 MATLAB 7.0 软件定量预测出未来 2022、2036、2050、2064 年植被景观情况。结果表明, 溪南半岛林地的恢复状况形势好转, 生态条件将有所提高, 溪南半岛的植被景观生态将向着和谐的方向发展, 为“海西宁德工业区”的规划、管理及其资源使用与保护提供科学的指导。

**关键词** 植被景观; 马尔科夫; 动态变化

**中图分类号** S181.3; Q94 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)23-07913-04

## Prediction of Vegetation Landscape Dynamic Changes in Xi'nan Peninsula in Fujian Based on Markov Process Model

GUO Na, LIU Jian-qiu et al (Department of Chinese Materia Medica, Fujian Vocational College of Bioengineering, Fuzhou, Fujian 361000; College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350108)

**Abstract** Based on remote sensing and geographic information system, utilizing the remote sensing data in 1994 and 2008 as the information source, conversion data of landscape element in Xi'nan Peninsula in Fujian Province was obtained, the transition probability matrices were determined. Based on the principle of Markov Model, the vegetation landscape in 2022, 2036, 2050 and 2064 was forecasted with MATLAB 7.0. The result shows that the recovering undergrowth vegetation of Xi'nan Peninsula is improving, ecological condition would be improved, the vegetation landscape in Xi'nan Peninsula will develop in the harmonious direction, providing scientific instruction for planning, management, resource use and protection of western strait Ningde zone.

**Key words** Vegetation landscape; Markov; Dynamic changes

福建省溪南半岛属闽东南丘陵地形区, 多数区域海拔在 400 m 以下, 主要为丘陵地貌、冲海积平原, 少数为低山地貌。根据《中国植被》分区, 溪南半岛属于中国东部湿润森林区、亚热带常绿阔叶林带、南亚热带季风常绿阔叶林地带, 其植被较为丰富, 成分较为复杂, 是复合景观生态系统的基质, 对景观具有控制作用。研究区植被景观格局除了受自然演替的影响, 如生态习性、立地条件、自然灾害等, 随着经济的快速发展, 城镇规模逐年扩张以及“海西宁德工业区”的规划建设, 该研究区受人为干扰力度不断增强, 地带性原生植物已不复存在, 使原来单一的植被景观生态结构发生了较大的变化, 日趋复杂。因此, 分析该区域的植被景观格局动态以实现其监测、规划、管理十分必要。目前, 有关植被景观格局动态变化预测的研究鲜见, 主要集中在农业景观、湿地景观、流域景观、城市与城郊景观等。有鉴于此, 笔者试图以福建省溪南半岛为例, 结合景观生态学原理和“3S”技术, 利用 Markov 对当地的植被景观进行动态模拟和预测, 以探讨未来时段植被景观格局的动态变化, 为溪南半岛中长期的发展规划与有效保护提供参考。

## 1 研究区概况

福建省溪南半岛位于霞浦县西南部, 地理坐标为 119°47'~120°00' E, 26°38'~26°49' N, 地处长三角、海峡西岸和台湾三大经济区的核心纽带地区, 主要包括以溪南镇为主体的并含沙江镇和盐田乡部分行政村的溪南半岛, 属于中亚热带湿润海洋性季风气候区, 四季分明、雨量充沛、温暖湿润、夏长冬短、光照充足。自然植被景观仅在少数区段有分布,

主要为次生季风常绿阔叶林、暖性针叶林(地带性植被)、竹林、灌草丛和草丛、红树植物群落、互花米草盐沼等; 人工植被景观主要为经济林植被和农作植被, 为研究区最主要的植被类型。非植被景观主要包括水体、滩涂和建筑用地 3 类景观, 作为溪南半岛景观的嵌块体。

## 2 数据来源与分析方法

**2.1 数据来源与图像预处理** 该研究选用的遥感数据主要为 1994、2008 两个时段的 TM/ETM+ 图像, 其影像均比较清晰, 没有云雾, 从而为影像的解译提供了良好的基础。非遥感数据主要有溪南半岛的行政区划图、林相图; 地类控制点野外调查数据; 1:10 000 地形图; 森林资源二类调查数据等。

数据预处理是遥感应用的第一步, 其将直接影响遥感数据的质量, 从而影响了图像分析的精度。故该研究以经过坐标配准的研究区的 1:10 000 的地形图为准, 应用遥感图像处理软件 ERDAS IMAGE 8.7 中数据处理(Data prep)模块下的几何纠正命令(Geometric correction)分别对 1994、2008 年 TM/ETM+ 影像进行了几何精校正。

此外, 由于景观分类是景观格局和功能研究的基础, 是景观生态规划与管理的前提<sup>[4]</sup>。笔者进行了研究区的遥感影像分类, 为动态变化预测提供基础数据。鉴于现有遥感影像图难以有效区分出不同树种的林分空间分布, 但可以分辨针叶、阔叶树种和纯林、混交林等森林类型特点, 以此构建分类体系, 将研究区植被分为暖性常绿针叶林、季风常绿阔叶林、灌丛和疏生草丛、暖性竹林、经济林植被、草丛盐沼、农作植被 7 类, 同时结合研究区实际需要, 将非植被景观分为水体景观、滩涂景观和建筑景观(图 1、图 2)。

**2.2 景观动态预测方法** 景观动态模拟是指研究景观格局发展的动态, 分析景观功能、景观要素的变化, 生物量与生

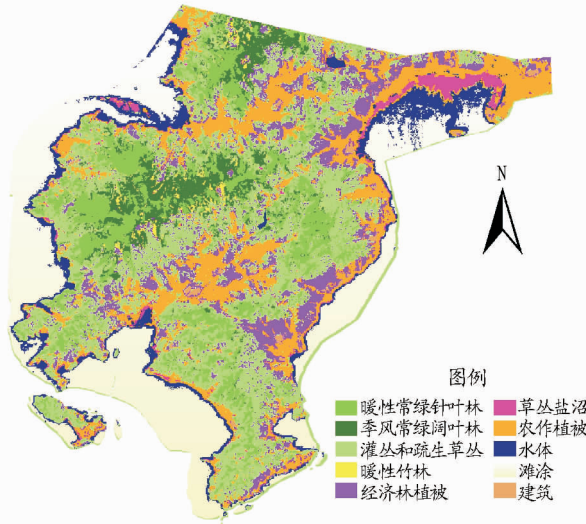


图1 溪南半岛1994年植被景观分类

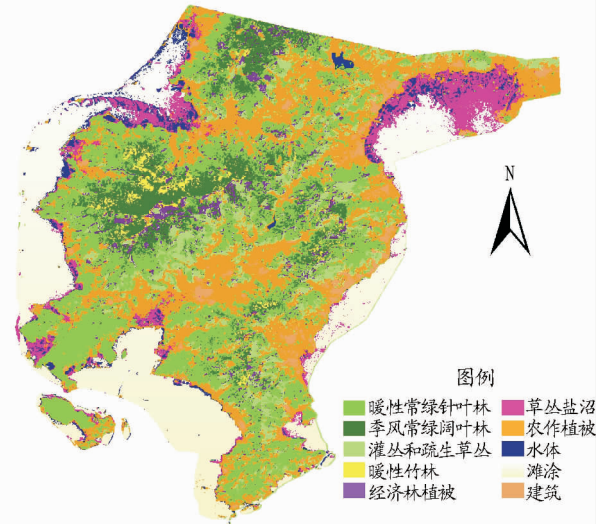


图2 溪南半岛2008年植被景观分类

产力的变化等,常见的景观动态模拟有马尔柯夫模型、转移镶嵌体模型、元胞自动机模型等<sup>[1]</sup>,其中马尔科夫模型通常利用转移矩阵来模拟景观斑块从一种类型转变为另一种类型的动态规律,是最常用的景观空间动态模型。随着景观生态学的发展,马尔柯夫模型逐渐被广泛用于解决植被生态预测与景观变化<sup>[2]</sup>。

马尔科夫过程是无后效性的一种特殊的随机运动过程<sup>[3-7]</sup>。如果随机过程  $X(n)$  在时刻  $t+1$  状态的概率分布只与时刻  $t$  的状态有关,而与  $t$  以前的状态无关,则称随机过程  $X(n)$  为一个马尔柯夫链。在  $t$  时刻它处于状态  $X_i$ ,  $t+1$  时刻,它将以概率  $P_{ij}$  处于状态  $X_j$ ,而转移概率  $P_{ij}$  则反映了各种随机因素的影响。

$$P\{X(n+1)=j/X(n)=i\}=P_{ij}(n) \quad (1)$$

式中,  $P_{ij}(n)$  为在时刻  $t$  的一步转移概率。

### 3 结果与分析

**3.1 研究区植被景观格局** 景观的结构特征是由斑块、廊道、基质等景观要素类型、大小(面积)、形状、密度、结构、纹理、数量和组合关系等特征决定的,其中面积变化是基本和最易识别的,是景观要素稳定性和演替的缩影<sup>[8]</sup>。

溪南半岛植被景观类型非常丰富,14年来各植被景观类型面积比例变化明显(表1)。

1994~2008年,暖性常绿针叶林由1994年的3 746.69  $\text{hm}^2$  增加至2008年的6 211.86  $\text{hm}^2$ ,年平均增加了176.08  $\text{hm}^2$ ,形成了马尾松广泛分布的植被景观格局。农作植被年

表1 研究区1994~2008年各植被景观类型面积

| 植被景观类型  | 1994年              |         | 2008年              |         | 1994~2008年变化           |
|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|------------------------|
|         | 面积// $\text{hm}^2$ | 所占比例//% | 面积// $\text{hm}^2$ | 所占比例//% | $\text{hm}^2/\text{A}$ |
| 暖性常绿针叶林 | 3 746.69           | 17.28   | 6 211.86           | 28.66   | 176.08                 |
| 季风常绿阔叶林 | 707.36             | 3.26    | 1 676.57           | 7.73    | 69.23                  |
| 灌丛和疏生草丛 | 5 335.81           | 24.61   | 1 502.48           | 6.93    | -273.81                |
| 暖性竹林    | 162.47             | 0.75    | 279.27             | 1.29    | 8.34                   |
| 经济林植被   | 1 817.02           | 8.38    | 665.44             | 3.07    | -82.26                 |
| 草丛盐沼    | 977.76             | 4.51    | 1 284.29           | 5.92    | 21.89                  |
| 农作植被    | 3 375.97           | 15.57   | 4 665.45           | 21.52   | 92.11                  |
| 水体      | 373.24             | 1.72    | 586.59             | 2.71    | 15.24                  |
| 滩涂      | 5 036.28           | 23.23   | 4 294.46           | 19.81   | -52.99                 |
| 建筑      | 144.78             | 0.67    | 510.97             | 2.36    | 26.16                  |
| 合计      | 21 677.37          | 100     | 21 677.37          | 100     |                        |

变化为92.11  $\text{hm}^2$ ,至2008年为4 665.45  $\text{hm}^2$ ,所占比例为21.52%,为研究区的主要群落。总体看来,植被景观所占的面积分别为74.38%、75.12%,为复合景观生态系统的基质,对景观具有控制作用,而非植被景观整体变化幅度不是很大。

**3.2 马尔科夫预测** 根据马尔科夫随机过程理论,可以利用初始状态概率矩阵模拟出某一初始年后若干年的各景观要素类型的面积比例。

**3.2.1 初始状态矩阵的确定。**以1994年溪南半岛遥感影像分类图统计出各景观要素的面积,计算出初始状态概率,生成初始状态矩阵:

$$\text{初始状态矩阵 } A(0) = \begin{pmatrix} \text{灌丛和疏生草丛} \\ \text{草丛} \\ \text{建筑} \\ \text{经济林植被} \\ \text{季风常绿阔叶林} \\ \text{农作植被} \\ \text{水体} \\ \text{滩涂} \\ \text{暖性常绿针叶林} \\ \text{暖性竹林} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 24.61 \\ 4.51 \\ 0.67 \\ 8.38 \\ 3.26 \\ 15.57 \\ 1.72 \\ 23.23 \\ 17.28 \\ 0.75 \end{pmatrix}$$

**3.2.2 转移概率矩阵。**研究以年为单位,把溪南半岛的景观变化分成一系列离散的过程,把灌丛和疏生草丛景观转移为其他景观类型的转移概率作为第一行,草丛盐沼景观转化

为其他景观类型的转移概率作为第二行,依此类推,建立初始转移概率矩阵(步长为 1a),如表 2 所示。

**表 2 研究区 1994~2008 年各植被景观要素类型转移概率矩阵**

| 植被景观类型  | 灌丛和疏生草丛 | 草丛盐沼  | 建筑    | 经济林植被 | 季风常绿阔叶林 | 农作植被  | 水体    | 滩涂    | 暖性常绿针叶林 | 暖性竹林  |
|---------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 灌丛和疏生草丛 | 93.85   | 0.03  | 0.05  | 0.40  | 0.37    | 1.48  | 0.01  | 0     | 3.78    | 0.04  |
| 草丛盐沼    | 0.05    | 95.88 | 0.13  | 0.01  | 0       | 1.56  | 1.27  | 0.26  | 0.85    | 0     |
| 建筑      | 0.03    | 0.16  | 98.37 | 0     | 0       | 1.31  | 0     | 0.02  | 0.11    | 0     |
| 经济林植被   | 1.44    | 0.01  | 0.61  | 93.06 | 0.13    | 2.63  | 0.01  | 0     | 2.11    | 0     |
| 季风常绿阔叶林 | 0.40    | 0     | 0     | 0.58  | 96.04   | 0.38  | 0     | 0     | 1.58    | 1.01  |
| 农作植被    | 0.44    | 0.41  | 0.41  | 0.03  | 0.01    | 97.64 | 0.13  | 0.01  | 0.93    | 0     |
| 水体      | 0.01    | 2.46  | 0.18  | 0     | 0       | 1.13  | 94.70 | 0.69  | 0.82    | 0     |
| 滩涂      | 0       | 0.73  | 0.01  | 0     | 0       | 0.16  | 0.36  | 98.66 | 0.07    | 0     |
| 暖性常绿针叶林 | 0.26    | 0.01  | 0     | 0.42  | 1.89    | 0.36  | 0     | 0     | 96.76   | 0.29  |
| 暖性竹林    | 0.33    | 0     | 0     | 1.48  | 3.64    | 0.12  | 0     | 0     | 1.04    | 93.39 |

由表 2 可知,溪南半岛中的各种植被景观要素类型在不同程度地转入和转出,但是总体变化不大,各景观要素类型比例均保持在 90% 以上。其中,灌丛和疏生草丛主要转变为暖性常绿针叶林,暖性常绿针叶林和暖性竹林主要是转变为季风常绿阔叶林,这是自然演替的结果;草丛盐沼和经济林植被主要转变为农作植被,是人工垦殖为耕地的结果;非植被景观在这 14 年来,转出面积为 926.87 hm<sup>2</sup>,占非植被景观总面积的 16.94%,说明非植被景观之间的演替不是很明显,主要转出为草丛盐沼(11.60%),是互花米草繁殖能力强,大量蔓延的结果。因此,近 14 年来,溪南半岛景观具有较强的抗性,景观格局处于相对稳定状态。

**3.2.3 景观要素动态模拟和预测。**利用初始状态和各景观要素类型的转移概率矩阵(表 2),借助 Matlab7.0 软件,预测了在保持人为干扰不变的情况下,经过 n = 14 步转移到 2008 年,得到 2008 年预测的转移概率。

为了检验其精确度和可行性,研究运用 X<sup>2</sup> 检验,即将 2008 年的景观要素类型的实测数据和预测数据进行比较分析,如表 3 所示:

$$X^2 = \frac{\sum (X - X')^2}{X} = 6.253701 \quad (2)$$

**表 3 研究区 2008 年各景观要素类型实测与预测面积比例**

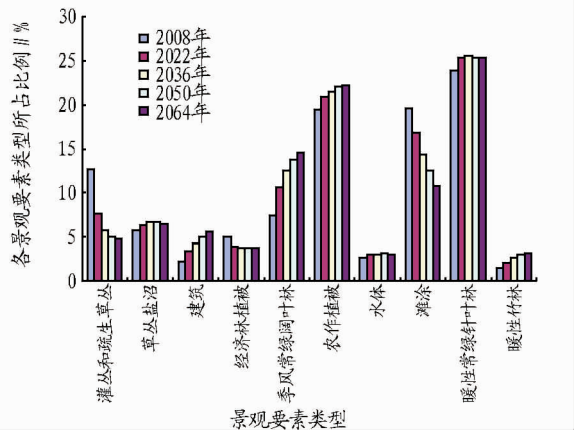
| 景观类型    | 2008(实测)X | 2008(预测)X' | X - X' | (X - X') <sup>2</sup> |
|---------|-----------|------------|--------|-----------------------|
| 灌丛和疏生草丛 | 6.93      | 12.58      | -5.65  | 31.876260             |
| 草丛盐沼    | 5.92      | 5.70       | 0.23   | 0.052103              |
| 建筑      | 2.36      | 2.21       | 0.15   | 0.021333              |
| 经济林植被   | 3.07      | 5.03       | -1.96  | 3.853642              |
| 季风常绿阔叶林 | 7.73      | 7.51       | 0.22   | 0.049368              |
| 农作植被    | 21.52     | 19.43      | 2.09   | 4.381523              |
| 水体      | 2.71      | 2.52       | 0.19   | 0.035689              |
| 滩涂      | 19.81     | 19.62      | 0.19   | 0.035643              |
| 暖性常绿针叶林 | 28.66     | 23.94      | 4.71   | 22.202580             |
| 暖性竹林    | 1.29      | 1.46       | -0.17  | 0.029245              |

查随机处理数据的附表可得:λ = X<sub>0.05</sub><sup>2</sup>(9) = 16.92。X<sup>2</sup> < λ,由结果可知,预测数据与实测数据吻合情况较好,二者差异不显著,即利用马尔科夫模型来预测研究区植被景观格局变化趋势是可靠的。用同样方法,依次求出 2022、2036、

2050、2064 年各景观要素类型的转移矩阵,见表 4、图 3 所示。

**表 4 2008~2064 年各景观要素类型面积百分比预测**

| 景观类型    | 2008 年 | 2022 年 | 2036 年 | 2050 年 | 2064 年 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 灌丛和疏生草丛 | 12.58  | 7.72   | 5.81   | 5.11   | 4.88   |
| 草丛盐沼    | 5.70   | 6.36   | 6.63   | 6.67   | 6.57   |
| 建筑      | 2.21   | 3.39   | 4.31   | 5.06   | 5.67   |
| 经济林植被   | 5.03   | 3.95   | 3.68   | 3.67   | 3.74   |
| 季风常绿阔叶林 | 7.51   | 10.59  | 12.55  | 13.77  | 14.53  |
| 农作植被    | 19.43  | 20.85  | 21.49  | 21.90  | 22.24  |
| 水体      | 2.52   | 2.91   | 3.06   | 3.08   | 3.02   |
| 滩涂      | 19.62  | 16.72  | 14.36  | 12.42  | 10.81  |
| 暖性常绿针叶林 | 23.94  | 25.39  | 25.47  | 25.37  | 25.36  |
| 暖性竹林    | 1.46   | 2.14   | 2.63   | 2.96   | 3.17   |



**图 3 2008~2064 年各景观要素类型面积百分比分布**

预测结果表明,在未来的 56 年间,人为干扰将继续在溪南半岛的植被演替中起着重要的作用,将导致当地的植被景观更加破碎化。同时由于溪南半岛三面滨海,山地众多,交通不便,给了当地植被恢复充足的时间,暖性常绿针叶林、季风常绿阔叶林、暖性竹林的面积呈增加趋势,灌丛和疏生草丛的面积则下降,这种群落结构的演替符合该研究区域的生物学特性和生态习性,是良性的发展。因此,合理调控溪南半岛所受到的干扰,促使其长期发展,科学配置该研究区的植被景观格局,促进研究区生物多样性的保护和生态环境的建设。

#### 4 讨论与结论

1994、2008年植被景观所占的面积分别为74.38%、75.12%，为复合景观生态系统的基质，非植被景观整体变化幅度较小，表明该研究区的自然植被景观演变是在人为干扰下缓慢进行着。

14年来，溪南半岛中的各种植被景观要素类型在不同程度地转入和转出，但是总体变化不大，各景观要素类型比例均保持在90%以上，景观格局处于相对稳定状态。

利用初始状态和各景观要素类型的转移概率矩阵在保持人为干扰不变的情况下，预测了未来的56年间，林地的恢复状况形势将朝着和谐的方向发展，生态条件将有所提高。

福建省溪南半岛具有优越的区位和港口资源优势，省委、省政府规划将溪南半岛建设成为石油储备、天然气利用、油气深加工、冶金、机械装备等项目及其产业配套园区、港口物流园区、配套商贸生活服务区的“海西宁德工业区”。因此随着项目建设全面开展，决策者和开发者必须对溪南半岛原有的植被景观采取必要的保护措施，注重植被景观的系统建设与保护，不断扩大植被生态防护景观。同时根据景观美学的要求，对研究区景观所受到的干扰进行合理的调控和长期的规划，尽量使工业区的规划与周围自然景观达到协调状态，使其成为镶嵌景观斑块，既可以降低其脆弱性，保证溪南半岛生态系统的稳定性，又可以增强溪南半岛的自然性，做到经济、生态和环境的协调发展。

研究主要采用了马尔科夫模型进行了溪南半岛的植被景观动态预测，通过 $X^2$ 检验增加了数据的可靠性。同时，笔者主要采用两个时期的影像对溪南半岛植被景观变化进行了分析研究，若有多时相长期监测的数据可进一步做景观格

局演变过程的模拟及其驱动机制的研究，这将有助于对未来景观格局演变方向的把握和对其进行定量预测预报，为“海西宁德工业区”的规划与管理资源使用与保护提供更为科学的指导。

在1994~2008年，溪南半岛内各植被景观要素主要受到了人为和自然驱动因子的综合作用，比如城市化进程的加快、海西宁德工业区的建设以及各植物本身生态习性、气候条件、立地条件等，形成了以暖性常绿针叶林为基质，其他景观类型镶嵌于其中的具有较强的稳定性的植被景观，同时在预测的56年间，该植被景观也将保持着良性的发展，因此在工业区的规划、建设、生产运行以及服务期满后等各个阶段中，决策者都应该尽可能地依山设置各功能区，不要大量开荒，大开大挖，避免给当地植被景观造成不可挽回的损失。

#### 参考文献

- [1] TRANI M K, GILES J R H. An analysis of deforestation: Metrics used to describe pattern change [J]. *Forest Ecology and Management*, 1999, 114 (23): 459-470.
- [2] 王斌, 刘华, 张硕新, 等. 基于马尔柯夫模型的火地塘林区景观格局变化研究 [J]. *林业科学*, 2005, 21 (9): 124-128.
- [3] 朱海涌, 李新琪, 仲嘉亮. 基于 CA - Markov 模型的艾比湖流域平原区景观格局动态模拟预测 [J]. *干旱环境监测*, 2008, 22 (3): 134-139.
- [4] 高志强, 刘纪远. 基于遥感和 GIS 的中国土地潜力资源的研究 [J]. *遥感学报*, 2000, 4 (2): 136-140.
- [5] 元兴兰, 刘健, 余坤勇, 等. 基于 RS 与 GIS 的闽江流域森林景观格局分析 [J]. *福建林学院学报*, 2006, 26 (1): 36-40.
- [6] PAWLOWSKI C W, CHRISTOPHER MCCORD. A Markov model for assessing ecological stability properties [J]. *Ecology Modelling*, 2009, 220 (2): 86-95.
- [7] WILLIAMS B K. Markov decision processes in natural resources management: Observability and uncertainty [J]. *Ecological Modelling*, 2009, 220 (6): 830-840.
- [8] 刘学录, 董旺远, 林慧龙. 景观要素的形状指数与形状特征的关系 [J]. *甘肃科学学报*, 2000, 12 (3): 17-20.

(上接第7907页)

只有互相融合、彼此呼应，环境中的主体雕塑才能达到审美效果上的舒适。所以必须斟酌雕塑的体量及与周边景观元素的比例关系，考虑雕塑在空间平面上的布局关系，考量雕塑在竖向高度上的位置关系。

落到实处来看，“数鸭蛋”、“董糖铺”、“中市口茶水炉”三组雕塑皆为真人比例，设计安置于穿心河北端的广场空间，此广场是穿心河景观带的入口，视线较为开敞，其中还有石碑一块、景亭一座，周边种植落叶乔木若干，为了达到将雕塑融入环境中、融入往来游览的市民中去的目的，将三组雕塑皆不设基座而安置于地面，其中“中市口茶水炉”紧邻景观亭，置于广场北侧，在其南侧约40 m处的石桥旁，安置雕塑“董糖铺”，向西约10 m处则是雕塑“数鸭蛋”。如此一来，游人在广场之外即可望见这几组雕塑，萌生出靠近看个究竟的念头，进入广场之后发现雕塑就在身边，与周围环境浑然一体，毫无违和感，更能进一步体验和玩味雕塑所传达出的老高邮浓郁的地方生活气息。“王氏父子”也采用了真人比例进行制作，但考虑到其特殊的纪念与宣扬意义，以及所处的纪念馆前广场的环境特点，采用了高远型竖向布局形式，为

其设计了一座高80 cm的方形底座，适当加强了其空间表现力，收到了良好的效果。

#### 4 结语

城市河道景观空间设计的优劣之于城市功能、城市文化、城市生态都有着极其重要的意义，环境雕塑是其景观空间中的重要元素，独具匠心的设计可以大幅提升整个景观空间的品质。研究借用对高邮穿心河改造工程中雕塑实例的分析，探讨了在景观雕塑创作中如何深入挖掘城市历史，结合场所精神与文脉主义进行主题定位，从空间处理上考量雕塑体量设计与布局，最终设计出令人满意的环境雕塑。以此拙作抛砖引玉，期望能为今后国内城市景观雕塑的设计提供些许参考。

#### 参考文献

- [1] 沈军, 王开彩, 郭承波. 马踏无痕还是雁过留声——谈淮安市高速公路雕塑南船北马的设计 [J]. *美术大观*, 2009 (9): 18-19.
- [2] 孙永. 浅谈城市雕塑与环境的关系 [J]. *华章*, 2010 (8): 47-50.
- [3] 华予. 现代公园景观小品设计研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [4] 于俊峰. 环境雕塑的空间建构 [J]. *美术研究*, 2010 (1): 86-88, 97-98.
- [5] 许正龙. 雕塑学 [M]. 沈阳: 辽宁美术出版社, 2001.