

引用格式: 李宁, 杨林, 沈姜威, 等. 聚落遗址迁移最优路径模拟[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(6): 836-843. [Li N, Yang L, Shen J W, et al. Simulating the optimal migration paths between prehistoric settlement sites[J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(6): 836-843.]
DOI: 10.12082/dqxxkx.2019.180540

聚落遗址迁移最优路径模拟

李 宁¹, 杨 林^{1,2*}, 沈姜威¹, 郑方子豪¹, 杨 晴¹

1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023;
2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

Simulating the Optimal Migration Paths between Prehistoric Settlement Sites

LI Ning¹, YANG Lin^{1,2*}, SHEN Jiangwei¹, ZHENG Fangzihao¹, YANG Qing¹

1. Key Laboratory of the Ministry of Education for Virtual Geographic Environment, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: As the relics of the ancients for production and other activities, prehistoric settlement sites reflected objectively the strong geographical features and differentiation patterns of long-term human-environment interactions. Due to the low productivity of the ancients, more natural factors were likely taken into account in between-settlement migration and resource exploration around their residences, which was consistent with the idea of "optimal path." This paper aimed to simulate the optimal path of the ancients in migrating between settlement sites, and to explore their behavioral pattern based on archaeological and geographic data. We emphasized the determination of migration cost, the integration of cost raster layers, and the optimal path analysis. The basic geographical and archaeological data of more than 1200 sites of the sequential cultural period, involving Daxi, Qujialing, and Shijiahe Cultures in the late Neolithic period in the middle reaches of the Yangtze River, were included for this study. Elevation, slope/slope direction, topographical relief, and distance from water were selected as the independent variables to analyze and construct the distribution model of the settlement sites in the study area, based on binary classification logistic regression model. To analyze the spatiotemporal evolution of the settlement groups, firstly, the clustering and centers of the settlement groups were identified based on the Expectation Maximization method and Voronoi algorithm; then, the natural factor coefficients in the distribution model were used as weights to generate the cost raster layers; lastly, the layers were input for simulating the optimal path of between-settlement migration constructed based on the cultural sequence. The results were consistent with the basic rule that the ancients were inclined to walk through valleys and hills in the process of migration at the lowest cost. The simulated path was proved reasonable when compared to the other available site information. The method proposed in this paper can address the limitation of relying on only subjective weighting in generating and integrating the cost raster layers, and can enhance the science of archaeological research. Our method and conclusion help explore the spatiotemporal evolution

收稿日期: 2018-10-22; 修回日期: 2018-12-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471102); 国家自然科学基金重点项目(41631175)。[**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41471102; Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.41631175.]

作者简介: 李 宁(1992-), 男, 河南新乡人, 硕士生, 研究方向为考古GIS、GIS应用研究。E-mail: 564031955@qq.com

*通讯作者: 杨 林(1976-), 女, 湖北武汉人, 博士, 教授, 研究方向为数字摄影测量、考古GIS。E-mail: yangcius@126.com

patterns of prehistoric settlement sites and human-environment relationship.

Key words: settlement sites; natural factors; migration; distribution model; optimal path; the middle reaches of the Yangtze River; spatiotemporal evolution

***Corresponding author:** YANG Lin, E-mail: yangcius@126.com

摘要:古遗址作为古人生产、生活的重要场所和文化遗存,客观反映了在长期的人地关系相互作用下的地理空间特征及其分异情况,但是由于史前人类生产力水平低下,在聚落迁移或对周边资源探索中更多地考虑自然环境因素,这种行为符合“最优路径”的思想。本文旨在基于考古调查和基础地理数据,模拟构建古人在聚落选择上的迁移最优路径,探讨古人行为模式,重点研究成本数据确定和成本栅格数据的集成方法及最优路径应用分析。以长江中游新石器晚期的大溪文化、屈家岭文化、石家河文化为连续研究文化期,对其中1200多处遗址的基础地理数据和考古数据进行分析;选取高程、坡度/坡向、地形起伏度、距水系距离等自变量,基于二分类逻辑回归模型,构建研究区史前聚落遗址分布模型。为分析聚落群的时空演变,首先基于期望最大化方法(EM算法)和Voronoi方法对聚落遗址数据进行聚类划分聚落群的中心点的确定,选取分布模型中的自然因子系数作为权重计算成本栅格数据,进而模拟聚落遗址按时序迁移的最优路径。研究结果符合古人类在迁移过程中多考虑以最低成本从山谷、丘陵中穿行的基本规律。并对比已探明的聚落遗址信息,验证模拟的最优路径具有一定的合理性。本文提出的方法,避免了人为选择权重生成成本栅格所带来的仅依靠主观因素的局限,提高了考古研究的科学性,其研究方法和结论对于探究史前聚落遗址时空演变规律和人地关系有一定的参考价值。

关键词:聚落遗址;自然因子;迁移;分布模型;最优路径;长江中游地区;时空演变

1 引言

最优路径是交通运输、人口迁移等交通网络分析中最基本的问题之一,也是地理信息系统(GIS)空间分析的重要功能,目前已广泛应用于城市道路交通、物流交通、通信技术和智慧旅游等领域^[1-4]。史前人类在发展之初由于生产力低下,在聚落迁移过程中对周边资源探索的行为都期望以最小的成本支出获取最大的收益^[5],符合“最优路径”的思想。考古学家将最优路径应用到聚落迁移中,期望通过最短路径分析可以找到聚落迁移过程中通达性最好的路线。例如,Whitley等^[6]对美洲地区史前人口迁移途径的考察,惠夕平^[5]对鲁东南地区新石器遗址在不同时期对区域内重要通道利用情况的研究等。在模拟生成最优路径时,成本数据是其最重要的一环,但在目前基本上还没有关于成本数据相关研究。

与遗址迁移有关的考古遗址分布模型起源于20世纪50年代末的美国新考古学运动(New Archaeology),是迄今GIS在考古中开展的最为主要的研究类型,也是考古研究的一个重要方向,已在世界范围内的考古工作中得到了充分应用。其基本方法是对研究区建立一个定量模型,利用一定的环境变量计算考古遗址的存在概率,通过对模型的解读,认识和推演史前人类与周围环境特征之间的交互关系^[7],因此适合被采用来约束“最优路径”中

的成本数据问题。目前,遗址分布模型已发展出了多种研究方法,如判别分析(Discriminant Analysis)、分类回归树(Classification and Regression Trees)及逻辑回归(Logistic Regression)等。逻辑回归是一种多元量化的统计学分析方法,通过建立逻辑回归的数学模型,研究分析因变量和自变量之间的关系,借助此模型来分布某种事物发生概率的可能性^[8]。逻辑回归没有对自变量分布的假设条件要求,从而避免了分析中面临各种难以满足前提的假设条件,适用范围更为广泛^[9]。Kvamme^[10]研究表明,二分类变量逻辑回归模型比许多其他统计方法更具有鲁棒性,应用最广泛。

长江中游地区位于中国腹心地带,是中华文明重要的起源地之一,发现了众多灿烂的史前文化遗址,探究此区域内聚落遗址的时空演变规律,对研究史前无文字记载期的环境演变和人地关系有重要科学意义。本文以聚落遗址分布模型中的自然因子系数作为权重计算成本栅格数据,着重减小成本数据中人为选择系数带来的主观误差的问题,使模拟生成的路线更合理,并以长江中游地区新时期晚期聚落遗址数据进行了验证。研究成果对解析古环境演变具有一定的参考价值。

2 研究区概况、数据源与研究方法

2.1 研究区概况

长江中游地区(26°56'N-33°34'N, 108°11'E-

依据逻辑回归建立的遗址分布模型,可以有效地将遗址存在的概率 P 的值域限制在0~1之间。

模型中以是否存在遗址作为因变量,其中存在遗址为1,不存在为0。非遗址点使用 ArcGIS 中的随机点工具随机生成,假定所有生成的随机点不存在遗址。一般情况下,自然地理方面的成本要素有地形地貌、河流水文等,常用的指标有坡度、坡向、地形起伏度等^[5]。结合考古遗址分布模型中常用的指标^[17-18],本文选择的自变量见表2。

表2 模型自变量描述及数据来源

Tab. 2 Descriptions and data source of the independent variables of the model

遗址属性	描述	数据来源
高程	地形分析重要因子	DEM数据
坡度	指示地表的形态起伏和结构特征	DEM数据(坡度工具)
坡向	受光照的面积	DEM数据(坡向工具)
地形起伏度	一定区域内地表的平整度	DEM数据(表面工具)
距水系距离	遗址与水源的距离	DEM数据(水文分析)

由于各自变量的单位与量纲不同,需要在建模过程之前,对自变量进行归一化处理,即对自变量采用min-max标准化处理,然后转化为栅格数据。

对处理好的实验区数据内大溪文化、屈家岭文

化和石家河文化时期的遗址建立二分类逻辑回归模型,采用向后逐步法筛选自变量,使自变量能通过显著性检验,从而最优化遗址模型拟合过程中的方程,结果见表3。

运用5次交叉验证的方法,各时期分布模型遗址点与非遗址点的平均分类正确率分别是大溪文化64.4%、屈家岭文化68.8%、石家河文化67.7%。

3 结果及分析

3.1 聚落遗址聚类

为更好地研究聚落迁移路线问题,首先将各时期的聚落遗址聚类为聚落群,再求取聚落群的中心点,以中心点代表聚落群,分析聚落群的时空演变,进而确定演变过程中迁移的“最优路线”。

本文基于期望最大化方法(EM算法)对聚落遗址数据进行聚类划分,并对聚类后的聚落遗址群建立泰森多边形,将遗址群多边形一层层剥落后求得聚落群的中心点,结果如下(图2-图5),其中q10表示q1群(屈家岭遗址群)的中心点,s10表示s1群(石家河文化遗址群)的中心点,d1群(大溪文化遗址群)因有2个中心点,故使用d10-1和d10-2表示,其他聚落群以此类推。

表3 三大文化遗址分布的逻辑回归模型

Tab. 3 Logistic regression models for the distribution of the three cultural sites

文化类型	自变量	回归系数	标准差	Z value	Pr(> Z)	显著性
大溪文化	常量	1.064	0.280	3.795	0.000	***
	高程	-3.672	1.846	-1.990	0.047	**
	坡向	-0.907	0.403	-2.248	0.024	**
	坡度	3.453	1.724	2.003	0.045	**
	距水系距离	-1.765	0.554	-3.184	0.001	***
	地形起伏度	-0.602	1.575	-0.382	0.025	**
屈家岭文化	常量	0.818	0.240	3.406	0.001	***
	高程	-2.321	1.531	-1.516	0.130	
	坡向	-0.156	0.349	-0.447	0.655	
	坡度	0.999	1.731	0.577	0.564	
	距水系距离	-0.515	0.438	-1.177	0.239	
	地形起伏度	-3.831	1.715	-2.234	0.025	**
石家河文化	常量	0.771	0.132	5.861	4.610e-09	***
	高程	-2.853	0.812	-3.511	0.000	***
	坡向	0.103	0.191	0.540	0.589	
	坡度	4.408	0.852	5.174	2.290e-07	***
	距水系距离	-0.776	0.263	-2.956	0.003	***
	地形起伏度	-6.293	0.887	-7.095	1.290e-12	***

注:***、**分别表示在1%、和5%的水平下显著。

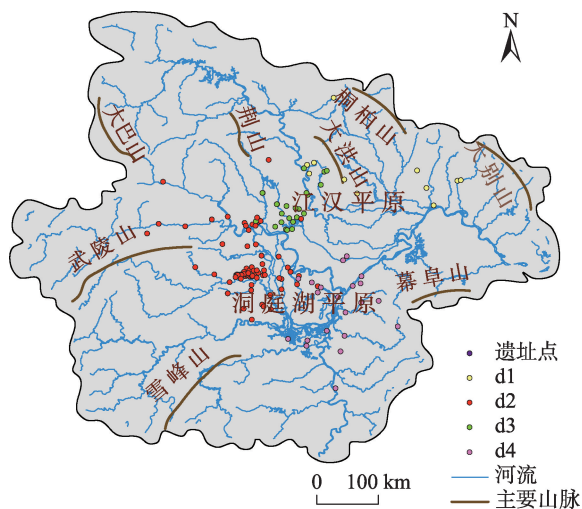


图2 大溪文化聚落遗址群划分

Fig. 2 Division of Daxi cultural settlement sites

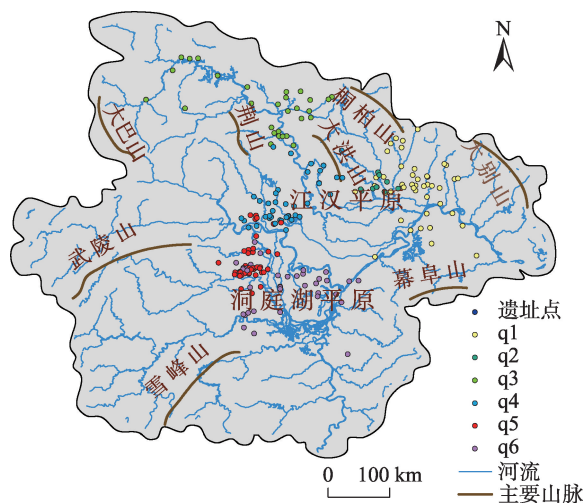


图3 屈家岭文化聚落遗址群划分

Fig. 3 Division of Qujialing cultural settlement sites

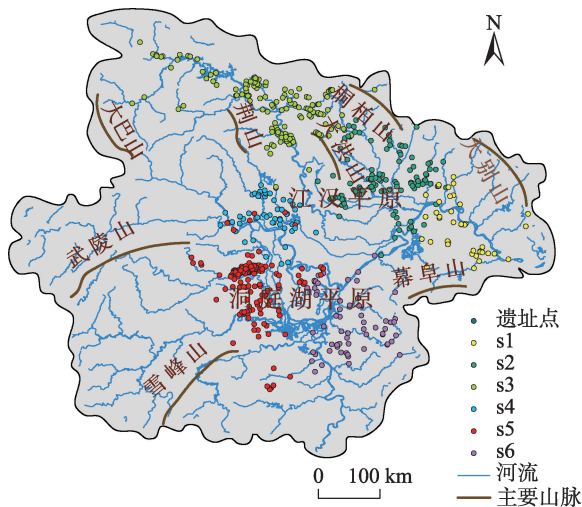


图4 石家河文化聚落遗址群划分

Fig. 4 Division of Shijiahe cultural settlement sites

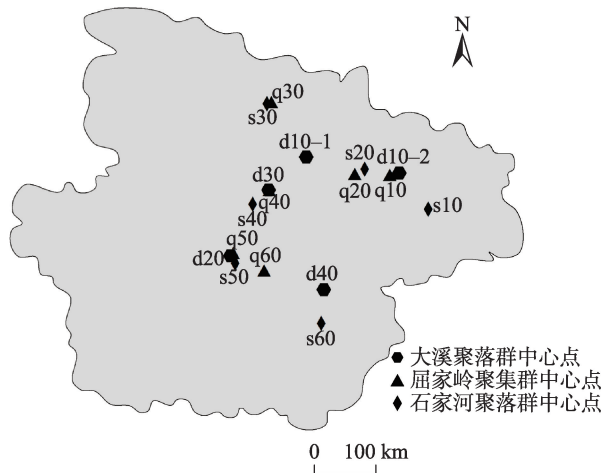


图5 各时期聚落群中心点

Fig. 5 Center points of settlement sites in various periods

三大文化遗址聚落群的具体分布和演变情况如下:

(1)大溪文化时期聚落遗址共聚类成4个聚落群,以d1-d4表示。聚落群d1位于江汉平原北部与大别山、桐柏山和大洪山交界处;聚落群d2位于洞庭湖西部丘陵地区;聚落群d3位于江汉平原西部;聚落群d4则环绕在洞庭湖的周围。

(2)屈家岭文化时期聚落遗址共划分为6个聚落群,以q1-q6表示。聚落群q1分布在江汉平原东北部与大别山交界处;聚落群q2分布范围较小,分布在聚落群q1西部,与之相接;聚落群q3位于汉水中游的河谷地;聚落群q4、q5分别分布于江汉平原西部和洞庭湖西部的丘陵地区;聚落群q6分布在洞庭湖平原和江汉平原的相接处。

(3)石家河时期聚落遗址共划分为6个聚落群,以s1-s6表示。此时期是新石器时代发展的鼎盛时期,聚落遗址数据剧增,范围比屈家岭时期更加广泛。聚落群s1分布于江汉平原与大别山、幕阜山交界处。聚落群s2分布于江汉平原北部与大别山交界处,相较于屈家岭时期,此处的聚落遗址增加并逐渐向江汉平原腹部深入。聚落群s3分布于汉水中游的河谷两岸。聚落群s4分布于江汉平原西部地区,较屈家岭时期聚落群范围略有收缩。聚落群s5和s6分别位于洞庭湖周边东西侧。

3.2 聚落演变中最优路径生成

聚落群的演变是聚落群中迁移路径生成的前提,本文利用 ArcGIS 软件中的距离分析工具,基

于栅格数据生成最优路径,其基本步骤如下:

(1)成本数据的准备。在确定生成最优路径之前,首先要根据研究区域的实际情况确定影响成本的因素。通常情况下,影响成本因素有地形、地貌和河流等。常用的因素指标有高程、坡度、曲率、地形起伏度和距水系距离等。

(2)成本栅格数据的集成。在确定好影响成本数据的指标后,首先对各指标栅格数据进行重采样,使用的是栅格数据处理工具的重采样技术;然后对重采样过后的栅格数据使用栅格计算器,以遗址分布模型的系数赋予各指标栅格数据权重并合并成成本栅格数据。

(3)最优路径的生成。利用上一步生成的成本栅格数据,执行距离分析工具中成本距离和成本路径生成最优路径。

按照上述流程,本研究将3个时期的聚落遗址聚群分析后,选取典型聚落群中心遗址,顾及聚落中心点相离的距离、地形、地貌等因素,共生成了大溪时期的d1群到屈家岭时期q2、q3群、d3群到q3群3条路径(图6)和屈家岭时期q1群到石家河时期的s1群、s3群的2条路径(图7)。其他聚落群中的路径因涉及到洞庭湖水域,环境条件会更加复杂,因此本文暂时选取研究区上半部的聚落群间生成路径。

3.3 结果分析

研究表明,史前人类在迁移过程中多考虑从山谷、丘陵中穿行,以此达到以最低成本获取更高收

益的目的^[5]。本文生成的迁移路线与此研究结果相符合,生成的路线在荆山、大洪山、桐柏山、大别山的山谷和丘陵地带。在图6和图7中,结合已经探明的已有聚落遗址信息,模拟出来的最优路径周边存在一定量的聚落遗址,也说明此路径具有一定的合理性。

(1)大溪文化时期处于全新世大暖期的鼎盛期,期间气候温暖,人类聚落遗址迅速增加。位于江汉平原西部地区的聚落群(d3群)也迅速向外扩张,但是由于此时江汉平原大部分地区还是湖群遍地的云梦泽地区,湖水泛滥不适合人类居住,而汉水中游地区以其优越的地理环境吸引人类去定居,故从江汉平原西部地区的d3聚落群沿着d30-q30路线到达汉水中游地区。同样,d1聚落群到q3聚落群的迁移路径同样是沿着汉水的d10-q30路线。

(2)位于汉水以东、大别山以西、长江以北、大洪山以南的丘陵岗地(q2聚落群),多为平坦的岗地平原地貌,又有众多小河流穿插其间,加之当时高温多雨的气候为此地区的农业生产提供了充足的条件,具备了人类生存的地理条件,故聚落群d1沿着大洪山与江汉平原交界处的d10-q20路线向聚落群q2迁移。

(3)屈家岭时期,由于优越的地理及生态条件,此地聚集了q1、q2两个聚落群,q2聚落群迅速发展,遗址数量增多,密度增大,聚落群范围不断向外扩张。在东部挤压q1聚落群,使得q1聚落群沿着q10-s10的路线向东南方向移动,逐渐演变为石家

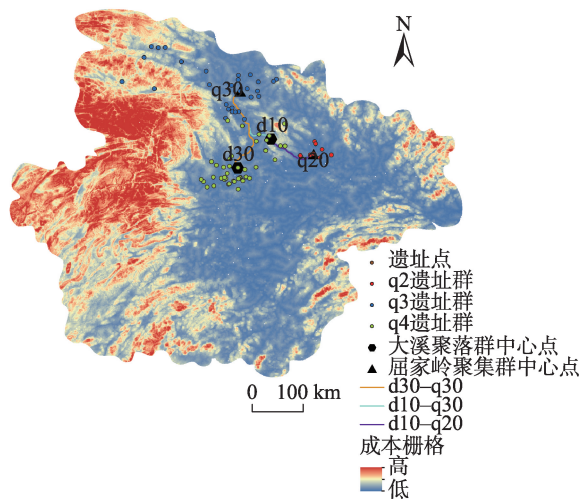


图6 大溪-屈家岭时期部分聚落群最优路径

Fig. 6 Optimal migration paths for partial settlement groups in the Daxi-Qujialing period

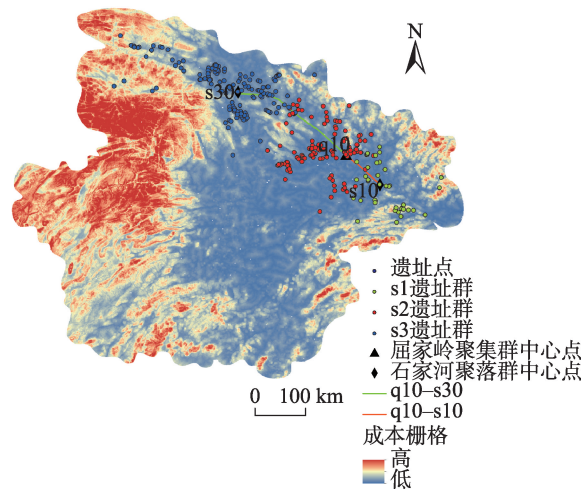


图7 屈家岭-石家河时期部分聚落群最优路径

Fig. 7 Optimal migration paths for partial settlement groups in the Qujialing-Shijiahe period

河时期的s1聚落群;西部则在大别山、桐柏山和大洪山的山谷地带沿着q10-s30路线向汉水中游地区扩张,最后发展成为石家河时期的s2聚落群。

4 结论与讨论

本文以长江中游地区新石器晚期聚落遗址为研究对象,通过对遗址建立分布模型,在分布模型系数的约束下生成成本栅格数据,最终模拟生成聚落迁移的最优路径,得出以下结论:

(1)由遗址分布模型可知,不同时期遗址选址侧重点不同。大溪文化时遗址分布与高程、坡向、距水系距离、地形起伏度呈负相关,与坡度呈正相关。大溪文化处于大暖期的鼎盛期,此时的自然条件非常利于人类发展,选址更加关注低高程、近水系但又有一定坡度的地区。相比之下,屈家岭文化遗址模型中高程系数、距水系距离系数和坡度系数减小,地形起伏度系数增大。在大溪文化晚期、屈家岭文化早期,此时的气候有一次降温事件发生,降温带来气候的反常,使得降水多寡不均,水旱灾害频繁,洪水位升高,湖群扩张,这都可能严重影响到稻作农业的发展。此时期的人类为了适应气温下降,居住地选择在高程因素上有所降低,洪水泛滥、湖群扩张使得居住地离水源更近,坡度减小与地形起伏度增加说明居住地关注更加平坦地区。在石家河时期,气候转向温凉,降水减少,湖群萎缩,此时期是新石器时期的鼎盛时期,人类活动逐步由丘陵地带向湖区平原和山地地区推进,遗址分布模型表现在,相比于屈家岭时期,高程、坡度、地形起伏因素增大。

(2)本文以遗址分布模型约束成本数据,在此成本数据下生成的迁移路线在荆山、大洪山、桐柏山、大别山的山谷和丘陵地带,符合史前人类在迁移过程中多考虑从山谷、丘陵中穿行,以此达到以最低成本获取更高收益的目的^[5]。需要指出的是,本文生成最优路径的目的是为了模拟各时期聚落遗址群演化过程中聚落迁移路线,其最优路径并不等于实际中的聚落群之间的迁移路线。本研究是生成成本数据方法的探讨,在成本数据的地理因素选择、遗址分布模型的算法上还有待改进。而通过模拟的最优路径与已有聚落遗址的空间分布关系(图6和图7),说明此路径具有一定的合理性。

参考文献(References):

- [1] 王美玲,潘允辉.基于GIS与约束条件下的最优路径规划研究[J].北京理工大学学报,2016,36(8):851-856. [Wang M L, Pan Y H. Research on optimal path planning with constraints based on GIS [J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2016,36(8):851-856.]
- [2] 原世伟,景海涛,李伟.基于GIS的现代物流管理系统设计与实现[J].测绘地理信息,2016,41(1):82-86. [Yuan S W, Jing H T, Li W. Design and realization of modern logistics management system based on GIS[J]. Journal of Geomatics, 2016,41(1):82-86.]
- [3] 刘慧丽.基于GIS的电力物资公司物流配送路径优化研究[D].北京:华北电力大学(北京),2016. [Liu H L. Research on optimization of logistics distribution path of the power supplies[D]. Beijing: North China Electric Power University(Beijing), 2016.]
- [4] 吴风华,贾雪珊,侯金亮.最短路径分析在旅游信息系统中的应用[J].地理空间信息,2017,15(10):55-56. [Wu F H, Jia X S, Hou J L. Application of the shortest path analysis in tourism information system[J]. Geospatial Information, 2017,15(10):55-56.]
- [5] 惠夕平.地理信息系统支持下的鲁东南沿海地区史前至汉代聚落考古研究[D].济南:山东大学,2011. [Hui X P. A study on the settlement archaeology in the coastal area of southeastern Shandong, China from prehistoric period to Han Dynasty supported by GIS[D]. Jinan: Shandong University, 2011.]
- [6] Whitley T G, Hicks L M. A geographic information systems approach to understanding potential prehistoric and historic travel corridors[J]. Southeastern Archaeology, 2003,22(1):77-91.
- [7] 倪金山.山东沭河上游流域考古遗址预测模型[J].地理科学进展,2009,28(4):489-493. [Ni J S. Predictive model of archaeological sites in the upper reaches of Shuhe River in Shandong[J]. Progress in Geography, 2009,28(4):489-493.]
- [8] 吴楷钊,吴波.基于空间相关的逻辑回归模型的城市扩展模拟[J].河南大学学报(自然版),2010,40(3):267-273. [Wu K Z, Wu B. Simulation of urban expansion based on logistic regression with the consideration of spatial correlation[J]. Journal of Henan University (Natural Science Edition), 2010,40(3):267-273.]
- [9] 梁巧倩,蒙伟光,林良勋,等.基于逻辑回归模型的雷电潜势预报方法[J].广东气象,2011,33(4):44-46. [Liang Q Q, Meng W G, Lin L X, et al. The method of lightning potential prediction based on logistic regression model[J]. Guangdong Meteorology, 2011,33(4):44-46.]
- [10] Kvamme K L. The fundamental principles and practice of

- predictive archaeological modeling[J]. Mathematics and information science in archaeology: A flexible framework, Studies in Modern Archaeology, 1990(3):297-305.
- [11] 何介钧.长江中游新石器时代文化[M].武汉:湖北教育出版社,2004. [He J J. Neolithic culture in the middle reaches of the Yangtze River[M]. Wuhan: Hubei Education Publishing House, 2004.]
- [12] 国家文物局.中国文物地图集:湖南分册[M].长沙:湖南地图出版社,1997. [State Administration of Cultural Heritage. Chinese Cultural Relics Atlas: Hunan fascicle[M]. Changsha: Hunan Cartography Publishing House, 1997.]
- [13] 黄传懿.中国文物地图集:湖北分册[M].西安:西安地图出版社,2002. [Huang C Y. State sdministration of cultural heritage[M]. Xi'an: An atlas of chinese cultural relics: Hubei fascicle[M]. Xi'an Cartography Publishing House, 2002.]
- [14] 杨瑞霞.中原地区数字环境考古研究[D].上海:华东师范大学,2009. [Yang R X. Archaeological Study of Digital Environment in Central Plains[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009.]
- [15] 笪浩波.长江中游新石器时代文化与生态环境关系研究[D].武汉:华中师范大学,2009. [Gu H B. The relationship between Neolithic culture and ecological environment in the middle reaches of the Yangtze River[D]. Whuhan: Central China Normal University, 2009.]
- [16] <http://www.gscloud.cn>.
- [17] 乔文文,毕硕本,王启富,等.郑洛地区龙山文化遗址预测模型[J].测绘科学,2013,38(6):172-174. [Qiao W W, Bi S B, Wang Q F, et al. Predictive model of archaeological sites of Longshan Culture in Zhengzhou-Luoyang area[J]. Science of Surveying and Mapping, 2013,38(6): 172-174.]
- [18] 尚南,于丽君,聂跃平.采用逻辑回归的汾河流域遗址分布研究[J].测绘科学,2015,40(8):47-52. [Shang N, Yu L J, Nie Y P. Study of distribution characteristics of archaeological sites in Fenhe River basin based on logistic regression[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015,40(8): 47-52.]