



张宇程, 何捷. 基于最大熵模型的通天河流域岩画景观分布研究 [J]. 风景园林, 2021, 28 (11) : 44-50.

基于最大熵模型的通天河流域岩画景观分布研究

Maxent Modeling for Distribution of Rock Art Landscape in Tongtian River Basin

张宇程 何捷 *

ZHANG Yucheng, HE Jie*

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



中图分类号: TU986; K85

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2021)11-0044-07

DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.11.0044.07

收稿日期: 2021-05-23

修回日期: 2021-09-09

张宇程 / 男 / 天津大学建筑学院在读硕士研究生 / 研究方向为景观考古学中的 GIS 空间分析、景观影像分析、文化景观
ZHANG Yucheng is a master student in the School of Architecture, Tianjin University. His research focuses on GIS spatial analysis in landscape archaeology, landscape image analysis, and cultural landscape.

何捷 / 男 / 博士 / 哈尔滨工业大学 (深圳) 建筑学院教授 / 研究方向为空间历史大数据、景观考古学与文化景观遗产、大数据与空间行为、地理设计与户外游憩
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): hejie2021@hit.edu.cn
HE Jie, Ph.D., is a professor in the School of Architecture, Harbin Institute of Technology (Shenzhen). His research focuses on spatial historical big data, landscape archaeology and cultural landscape heritage, big data for spatial behavior, geodesign and outdoor leisure activities.

摘要: 景观考古视角下岩画的价值不仅仅是图像语义本身, 更是先民与环境互动产生的遗迹, 尤其是岩画的分布特征可以作为理解历史环境变迁和入地关系演化的重要切入点。以通天河流域岩画作为研究对象, 根据考古调查报告对已发现岩画点进行整理, 利用 GIS 平台构建岩画数据库; 然后运用 K 均值聚类法将岩画依据空间位置划分为 4 个岩画群, 进一步选取影响岩画分布的 8 个潜在变量, 综合运用成本表面分析法、累积可视域法等方法计算并提取对应变量的空间属性信息; 运用最大熵模型对通天河流域岩画整体和各岩画群分别建立考古遗址预测模型。结果显示: 该地区各岩画群彼此间分布特征差异大, 但岩画群内部具有相似性。从上游早期至下游晚期的岩画, 其分布受河流、遗址点可达性的影响逐渐减小, 受高程、植被覆盖等因素的影响增大, 这种变化是对该地区早期人类迁徙与适应环境过程的反映。最后, 结合预测结果绘制出各岩画群潜在分布概率图, 可作为岩画景观保护范围划定的依据。

关键词: 景观考古学; 最大熵模型; 岩画; 空间分析; 考古遗址预测模型; 通天河; 入地关系

基金项目: 国家自然科学基金 (编号 51978448); 高等学校学科创新引智计划 (编号 B13011)

Abstract: From the perspective of landscape archaeology, the value of rock art is not only graphical semantics itself, but more importantly a relic of hunter-gatherers' interaction with their living environment. The spatial distribution of rock art can be considered as a key indicator to understand the change of the historical environment and the evolution of human-environment relationship. This research investigates the rock art sites in Tongtian River basin of Yushu region, Qinghai Province. It firstly establishes a rock art GIS database with the data collected from archaeological reports. After dividing the sites into four groups according to their locations through the K-means analysis, eight parameters which may affect the spatial distribution of the rock art to test their influences are introduced. The spatial attributes of these parameters are derived from the database in various spatial analysis approaches, including the cost surface analysis and cumulative viewshed analysis. Then the Maxent archaeological predictive models are established for all the sites and each individual group of rock art, in order to calculate the relationship between the rock art distribution and the effecting parameters. The analytical results show that although the key factors are largely different in each location, there are still similarities among the rock art sites within each group. Compared to the earlier upstream sites, the site selection of the later downstream rock art is less influenced by accessibility to rivers and archaeological habitation sites, but more influenced by elevation and vegetation cover. The changes in the spatial distribution of rock art reflect the migration and adaptation to the environment of the early humans. The archaeological predictive model is finally introduced to predict the potential distribution of undiscovered rock art locations. The predictive maps can also serve as a guidance to designate the protection areas.

Keywords: landscape archaeology; Maxent model; rock art; spatial analysis; archaeological predictive models; Tongtian River; human-environment relationship

Fund Items: The National Natural Science Fund of China (No. 51978448); Programme of Introducing Talents of Discipline to Universities (No. B13011)

景观考古学 (landscape archaeology) 是“从大的区域内人类活动的宏观角度来关照单个遗迹或聚落”^[1]的方法。早期的景观考古学强调对遗址外的空间及生态环境的关注,而随后过程主义 (post-processual) 考古学的兴起,逐渐转向对景观空间文化和象征意义的解读^[2]。发展至今,景观考古学已成为一项区域性的综合研究,它以描述地表构成空间结构为基础,关注于景观现象与人类空间认知和社会实践活动之间的互动关系^[3]。景观考古学的发展同样影响到了有关岩画的研究。岩画的价值不仅仅在于对图像意义的考释,还在于对岩画所处环境的研究,而后者也日益受重视^[4]:一方面,岩画被嵌入环境之中,其不可移动性直接将它的创作与环境联系在一起^[5];另一方面,岩画与其他遗址在选址上的一致性被认为反映着早期人类对于环境的依赖^[6]。岩画与周边环境所构成的岩画景观,通过铭刻于岩石之上的视觉标记对特定空间的社会建构形式予以呈现^[7]。在此背景之下,与岩画相关的自然要素被认为是遗产本体构成要素之一,成为岩画景观整体保护的重要组成部分^[8]。因此对于岩画环境的研究,将有助于理解岩画的创作用途与古人类对环境的利用方式,进而了解早期的人类行为活动,同时也有助于保护岩画景观的整体性和真实性。

考古遗址预测模型作为考古 GIS 研究中最广泛的研究类型^[9],可以通过分析已知遗址点与环境、社会、文化等多方面变量的关系,建立定量模型,对未知遗址点的发现概率进行预测^[9],用于指导田野调查、文化资源管理、遗址保护规划等相关工作^[10];同时,它还可以从景观考古学研究的视角揭示自然、文化因素对遗址空间分布特征的影响^[9]。在有关研究中,岩画作为一种文化现象被引入考古遗址预测模型,用于对预测结果的再评估^[11];同时,岩画自身也可以作为预测建模的对象,用于探讨早期社会的人地关系^[12]及文化遗产管理与保护^[13]工作。

本研究关注青海玉树通天河流域岩画的分布特征。首先,采用 K 均值聚类方法对岩画分布的空间聚类特征进行提取;其次,选取影响岩画分布的潜在影响因素,运用空间

分析技术提取相关变量信息,构建各岩画群遗址预测的最大熵 (maximum entropy, Maxent) 模型,通过不同岩画群分布的影响因素变化揭示通天河流域早期人类生活变迁与对环境的适应情况;最后,根据岩画分布预测结果,对通天河流域可能存在岩画的区域进行保护范围的划定。

1 研究区域与对象

通天河为青海省玉树藏族自治州境内长江源头的干流河段,流经玉树、称多县、治多县、曲麻莱县 4 个县、市,流域为楚玛尔河河口以下至玉树市巴塘河的集水区域,海拔多在 4 000 m 以上。该地区古人类的活动历史悠久,在河流沿岸留下大量岩画、墓葬、细石器遗址等古遗存^[14]。这些遗存是对该流域作为高原早期部落迁徙与驻足生息通道的重要反映^[15],也是解读该地区早期人类活动与人地关系的重要途径。

1.1 通天河流域岩画概况

通天河流域岩画首次发现于 2011 年,随后又开展了多次岩画调查工作,且不断有新的岩画点陆续被发现。岩画主要分布于通天河及其支流流域,数量众多且分布区域广阔。该岩画的发现填补了青海及藏北高原岩画衔接上的缺环,使“羌塘”岩画带向东延伸数百千米,成为青藏高原古羌人迁徙与活动的重要历史见证^[16]。

通过实地调研以及对相关考古调查报告成果和文献资料^[16-18]的整理,最终确定为研究对象的岩画共计 45 处,岩面数 320 个,图像数 2 281 个,自上游至下游绵延数百千米(图 1)。通过 GIS 平台构建岩画数据库,记录的信息包括岩画点的经纬度坐标、高程以及岩面与图像数量等。

1.2 通天河流域岩画群划分

通天河流域岩画分布具有明显的空间聚集性特征,采用 K 均值聚类法可以对该流域的岩画群进行空间区分。K 均值聚类是一种无监督学习算法,可以将包含多个样本的给定集合划分为若干子集,每个子集代表一个聚类,各样本会被划分至其最近均值的聚类中,从而使同一聚类中样本间实现高度相

似性。误差平方和 (sum of the squared errors, SSE) 可用于确定 K 均值聚类最佳分组数。根据计算结果(图 2-1)可知,当聚类数为 4 时分类效果最佳,因此将岩画自上游至下游划分为 4 组聚合的岩画群(图 2-2)。这种结果与考古学家结合岩画分布及风格差异所推断的划分结果相吻合^[17]。且根据各岩画群的风格特点推断,各组岩画的创作时期又可按照顺流而下的次序划分为早、中、晚 3 个时间段,距今约 3 500~2 000 年不等^[17]。岩画的空间分布、时间分期和风格分类具有耦合性。

因岩画多分布于通天河支流汇入点周边区域,所以根据汇入支流名称将各岩画群分别命名为楚玛尔河汇入点岩画群、登额曲河汇入点岩画群、细曲河汇入点岩画群以及称多河汇入点岩画群。为了进一步了解岩画群空间分布特征上的差异,本研究在以通天河流域作为岩画整体研究区域的基础上,综合各岩画群分布情况和古人类潜在活动范围,以岩画群周边 60 km × 60 km 范围作为各自的分析区域(图 3)。

2 研究方法

本研究通过选取影响岩画分布的潜在变量,采用最大熵软件构建考古遗址预测模型,揭示不同时期和区域岩画的分布特征,并进一步预测岩画分布的可能性。

2.1 模型变量

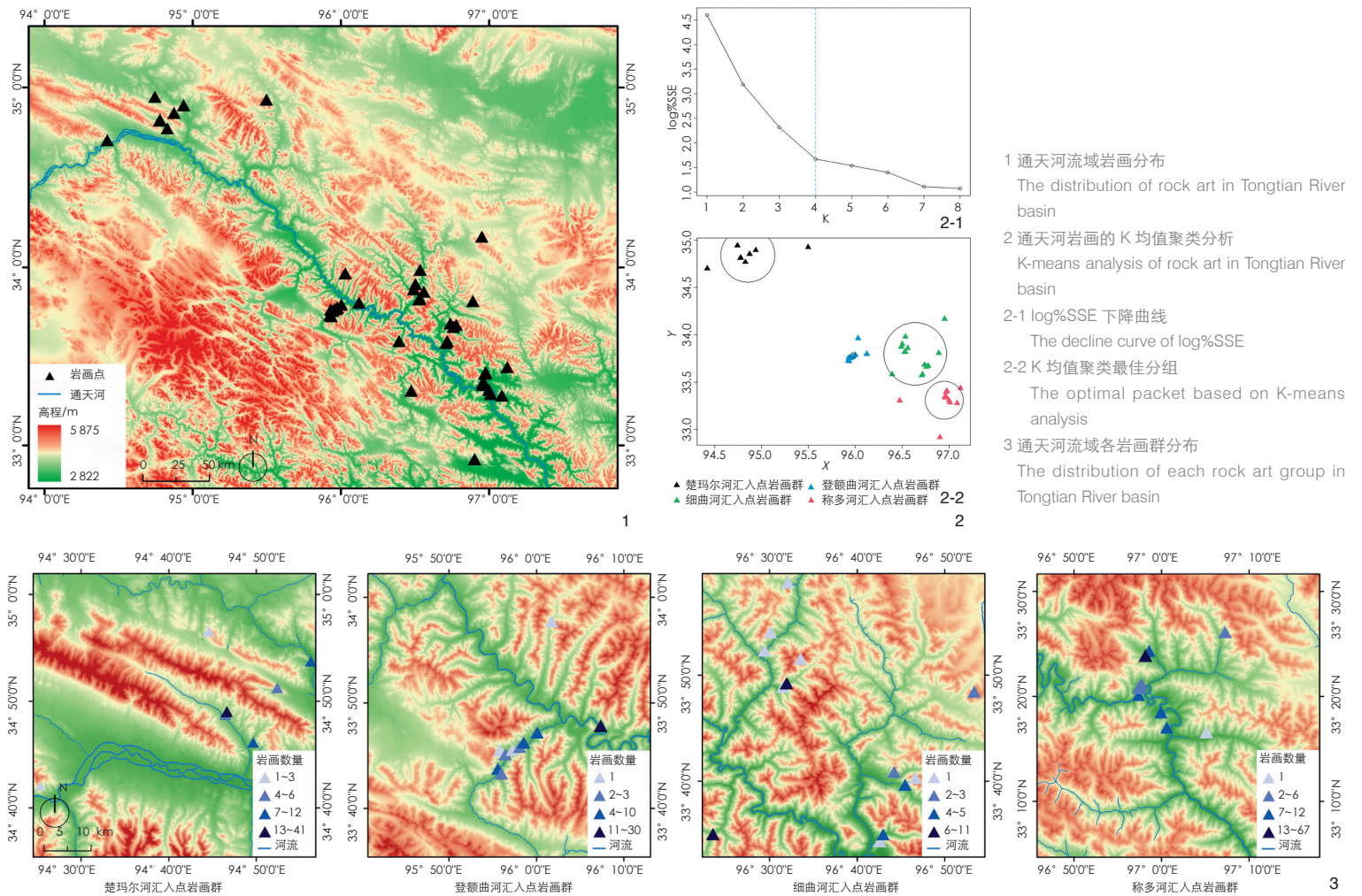
通过田野调查及对过往文献的梳理,研究中选取了高程、坡度、地形起伏度、坡度变率、河流可达性、遗址点可达性、视域和植被 8 个对岩画分布可能存在影响的变量。

2.1.1 高程、坡度、地形起伏度和坡度变率

地理环境对古人类活动有着重要的限制作用,影响着岩画创作的选址。在研究中,分析了通天河流域的地理环境特征,地形数据采用 ASTER GDEM V2 数字高程数据(水平精度为 30 m),从中提取出高程、坡度、地形起伏度及坡度变率等相关信息。

2.1.2 河流可达性和遗址点可达性

通天河流域岩画多分布于河流两岸,这种选址与河流的关系通常被认为会受到早期人类依水而居理念的影响,也是人类对河水



1 通天河流域岩画分布
The distribution of rock art in Tongtian River basin
2 通天河岩画的 K 均值聚类分析
K-means analysis of rock art in Tongtian River basin
2-1 log%SSE 下降曲线
The decline curve of log%SSE
2-2 K 均值聚类最佳分组
The optimal packet based on K-means analysis
3 通天河流域各岩画群分布
The distribution of each rock art group in Tongtian River basin

的精神依赖的反映^[6]。同时，通天河流域已发现的岩画多与其他遗存共存一处，被认为共同代表“一种目前尚不明晰的地域性考古学文化”^[15]。因此，本研究主要考虑河流及遗址点 2 方面的可达性。

本研究的 GIS 分析中，河流数据包括线状水系数据与面状湖泊数据，遗址点数据通过整理《玉树州文物志》^①中记录的距今约 6 000~2 000 年前的新石器时代至青铜时代遗址点和细石器点共计 77 处，采用成本表面分析法 (cost surface analysis)^[18-19] 计算研究区域内各位置到达河流或遗址点所需的时间。在考古学研究中，可达性是对遗址资源域 (site catchments)^[20] 的反映，与古人类的生存生活模式密切相关。通常设定从事狩猎采集活动的资源域为环绕遗址周边步行 2 h 范围，农业聚落则为步行 1 h 范围^[21]。

2.1.3 视域

岩画作为被固定在岩石上的视觉标记，反映着特定的社会空间建构形式，因而有着可视性层面的需求^[7]，且这种需求会因用途及题材差异而有所不同^[22]。本研究采用累积可视域法 (cumulative viewshed analysis)^[23]，依据人对物体的辨别程度分别计算近、中、远景下的累积视域值^[24]，叠加计算得到综合累积视域，从而模拟先民对通天河流域地理环境的视觉感知情况。

2.1.4 植被

通天河流域的岩画题材多以畜牧、射猎等为主，是对早期人类生产活动的反映^[17]，而这类活动与该地区的植被、草场分布情况密切相关。因此，本研究采用归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 的月合成数据^[25] (水平数据精度为 500 m) 间

接反映早期人类生产生活模式对岩画选址的影响。

通天河流域气候类型属高原寒带半湿润、半干旱区，西部上游高海拔地区以高山草甸为主，而东南部下游地区岭谷间高差较大，气候、植被垂直分布特征显著^[26]。尽管历史上该地区的气候整体上较现在相对温和^[27]，但根据景观考古学中通常使用的自然景观外部影响力在小区域内的影响呈“均质性”的假设^[2]，认为在各研究区域内的植被间差异在长时段气候变化中相对稳定，因此 NDVI 数据也可以在一定程度上反映历史环境下的植被差异。

2.2 变量相关性分析

为避免共线性对建模与结果解释的影响，使用斯皮尔曼等级相关系数 (Spearman's rank correlation coefficient, SRCC) 分析各变量之间

表 1 变量的斯皮尔曼等级相关系数
Tab. 1 The Spearman's rank correlation coefficient of variables

变量	高程	坡度	地形起伏度	坡度变率	NDVI	河流可达性	遗址点可达性	视域
高程	1.000	-0.096	-0.068	-0.186	0.135	0.566**	0.115	-0.073
坡度	-0.096	1.000	0.805**	0.185	-0.153	0.109	-0.069	0.116
地形起伏度	-0.068	0.805**	1.000	0.254	0.071	0.231	0.002	0.111
坡度变率	-0.186	0.185	0.254	1.000	-0.038	-0.191	-0.133	-0.027
NDVI	0.135	-0.153	0.071	-0.038	1.000	0.380*	0.528**	-0.118
河流可达性	0.566**	0.109	0.231	-0.191	0.380*	1.000	0.601**	-0.168
遗址点可达性	0.115	-0.069	0.002	-0.133	0.528**	0.601**	1.000	-0.096
视域	-0.073	0.116	0.111	-0.027	-0.118	-0.168	-0.096	1.000

注: **表示在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著; *表示在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著。

的相关性。由表 1 可以看出, 坡度与地形起伏度 2 个变量间的相关系数超过 0.8, 存在较强相关性, 而其余变量间不具有很强的相关性, 故仅保留坡度变量用于建模。

2.3 最大熵模型

研究采用最大熵软件 Maxent 3.4.1^[28] 构建考古遗址预测模型。该模型早期被广泛用于生物种群分布的预测, 随后在考古遗址预测中也有成功的应用^[29-30]。相比于遗址预测常用的逻辑回归分析模型 (Logistic Regression, LR)^[9], 最大熵模型在遗址样本数量较少时被证明有着更好的预测效果^[31]。通天河流域发现的岩画尽管数量众多, 但就构建预测模型需求而言仍旧不足, 特别是需要进一步根据空间聚类结果对各岩画群进行分析, 因此采用最大熵模型更为适合。在模型的参数设置中, 重复运行的模式设置为 25 次, 以提高预测的精度。预留 15% 的已知点作为样本来检验预测结果, 并采用二次采样的采样方法。

3 岩画分布预测模型

在研究中, 对通天河流域岩画整体及各岩画群分别构建最大熵模型, 根据建模结果深入分析各变量对岩画分布的影响情况。接着, 进一步结合岩画图像所描绘的内容, 解释岩画空间分布格局以及古人类与环境间的互动关系。

3.1 流域总体特征

以岩画岩面作为分析样本, 最终选取岩画 45 处, 共计 320 个岩面参与建模。最大熵模型采用受试者工作特征曲线下面积 (area under the curve, AUC) 来评价分析模型的精度^[32]。AUC 取值范围为 [0, 1], 与模型预测精度

呈正相关。而通天河流域岩画整体建模结果 AUC 值仅为 0.622, 预测结果较差。推测是因为整个通天河流域岩画的创作时间差异大且分布范围广, 彼此间存在巨大差异。通天河流域岩画图像的多样性反映出该地区早期人群的流动与聚合具有一定规模与持续时间^[4], 而岩画分布特征的多样性同样也验证了这一点。

3.2 岩画群特征

因整体建模精度较差, 故改为对通天河流域的 4 个岩画群分别使用最大熵软件进行建模。精度检验结果证明, 在采用按岩画群建模的方式后, 模型精度显著提高 (表 2), 说明通天河流域的 4 个岩画群彼此之间差异较大, 而各岩画群内部分布特征具有一定相似性。

最大熵软件所提供的刀切法 (Jackknife) 的检验结果 (图 4) 可反映各变量对岩画分布的贡献大小, 该检验方法提供了在“无此变量”“仅此变量”“所有变量”3 种情况下进行模拟的训练增益, 其中“仅此变量”训练增益越高, 对预测岩画分布贡献越大。同时, 最大熵软件还可以绘制变量与存在概率间的响应曲线, 该曲线横轴为变量的取值, 纵轴为预测分布概率, 可以反映出一定分布概率下变量对应的取值范围。各岩画群主导变量的响应曲线如图 5 所示。

3.2.1 楚玛尔河汇入点岩画群

楚玛尔河汇入点岩画群位于通天河上游长江北源楚玛尔河汇入点周边, 以高原草甸地形为主, 河流两岸开阔、河床宽浅。由刀切法检验结果 (图 4) 可以发现: 遗址点可达性是影响该岩画群分布最关键的因素, 其训练增益超过 1.5; 而河流可达性、高程和坡度

表 2 各岩画群预测模型的平均 AUC 值
Tab. 2 The average AUC values in each rock art group prediction model

岩画群	AUC	标准差
楚玛尔河汇入点岩画群	0.948	0.040
登额曲河汇入点岩画群	0.982	0.027
细曲河汇入点岩画群	0.874	0.086
称多河汇入点岩画群	0.989	0.003

变率的训练增益超过 1.0。由主导变量的响应曲线 (图 5) 可以看出, 该岩画群在高程在 4 200~4 400 m 的地区分布概率较高, 且多分布在距遗址点 60 min 可达、距河流 30 min 可达的范围内。

3.2.2 登额曲河汇入点岩画群

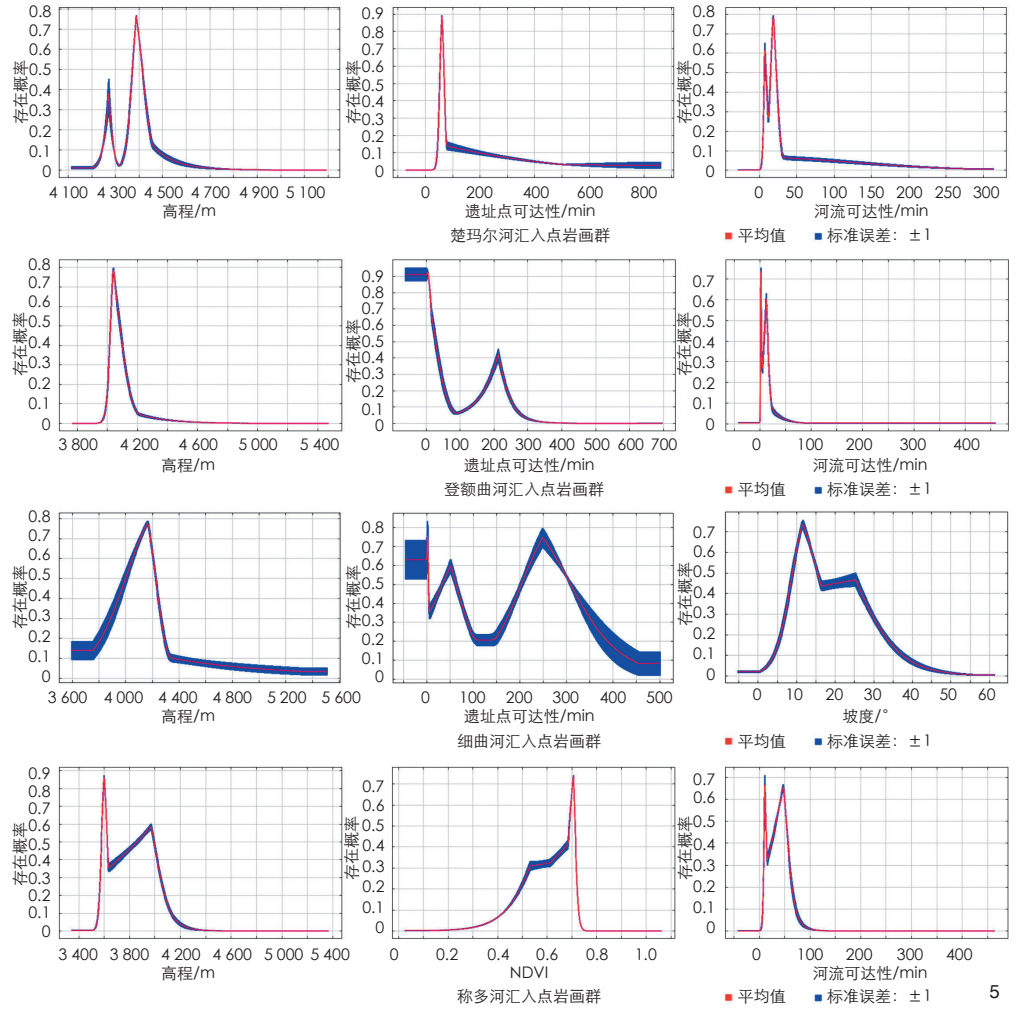
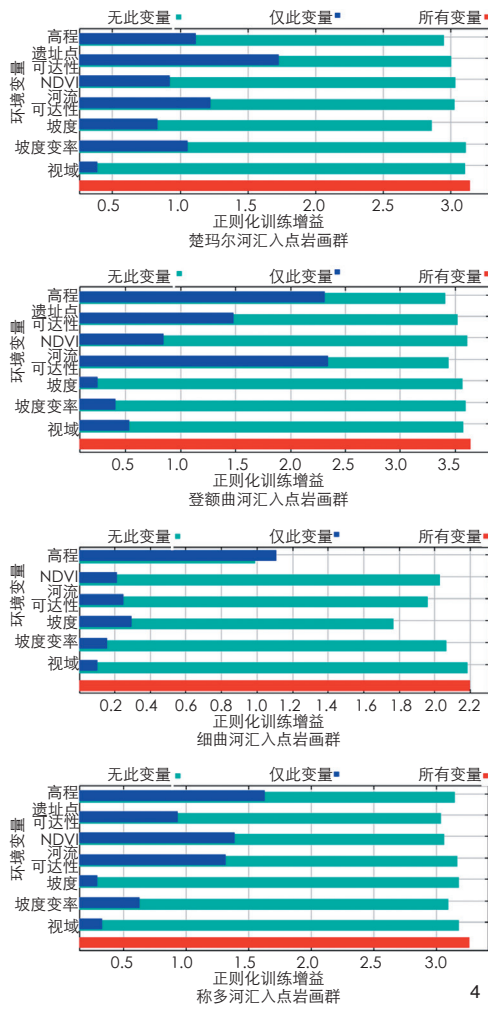
登额曲河汇入点岩画群多分布于通天河支流登额曲河的下游河段, 地形由上游开阔的高原草甸逐渐向高山峡谷转变。河流可达性、高程是影响该岩画群分布的最大因素, 训练增益均超过 2.0; 而遗址点可达性训练增益接近 1.5 (图 4)。岩画群多分布于高程在 4 000 m 左右, 距河流 30 min 可达, 距遗址点 60 min 可达的范围内 (图 5), 特别是区域内气候温暖的登额曲河谷内, 且与河谷内的细石器遗址点关系密切。

3.2.3 细曲河汇入点岩画群

细曲河汇入点岩画群主要分布于孕朵乡的细曲河汇入点周边, 以高山峡谷地貌为主。区域内尚未发现有其他遗址点分布。高程对该岩画群分布的影响程度远超其他变量, 训练增益超过 1.0 (图 4)。岩画群多集中于高程在 3 800~4 300 m 的河谷区域 (图 5), 可能是由于该区域地形高差变化大造成的。

3.2.4 称多河汇入点岩画群

称多河汇入点岩画群分布于通天河在称文镇附近的蛇曲地带, 为高山峡谷地貌。高程是对该岩画群分布影响最大的因素, 训练增益超过 1.5, 而 NDVI 和河流可达性对其分布也有一定的影响 (图 4)。岩画群多分布于高程在 3 600 m 左右, 气候温和, 且具有中、高植被覆盖度的河谷地区 (图 5)。



4 刀切法检验中变量对各岩画群分布影响的重要性
The importance of variables to each rock art group by Jackknife analysis

5 各岩画群主导变量的响应曲线
The response curve of the leading variable to each rock art group

表3 各岩画群的变量贡献率比较
Tab. 3 Comparison of the contribution of variables of each rock art group

变量	楚玛尔河汇入点岩画群	登额曲河汇入点岩画群	细曲河汇入点岩画群	称多河汇入点岩画群
高程	15.0	19.7	56.8	37.7
坡度	23.3	5.4	15.6	4.9
坡度变率	10.4	7.2	5.8	10.1
遗址点可达性	24.1	11.7	0.0	14.8
河流可达性	18.4	49.9	11.8	7.2
NDVI	7.2	1.5	9.3	24.0
视域	1.6	4.6	0.6	1.3

3.3 岩画分布变化解释

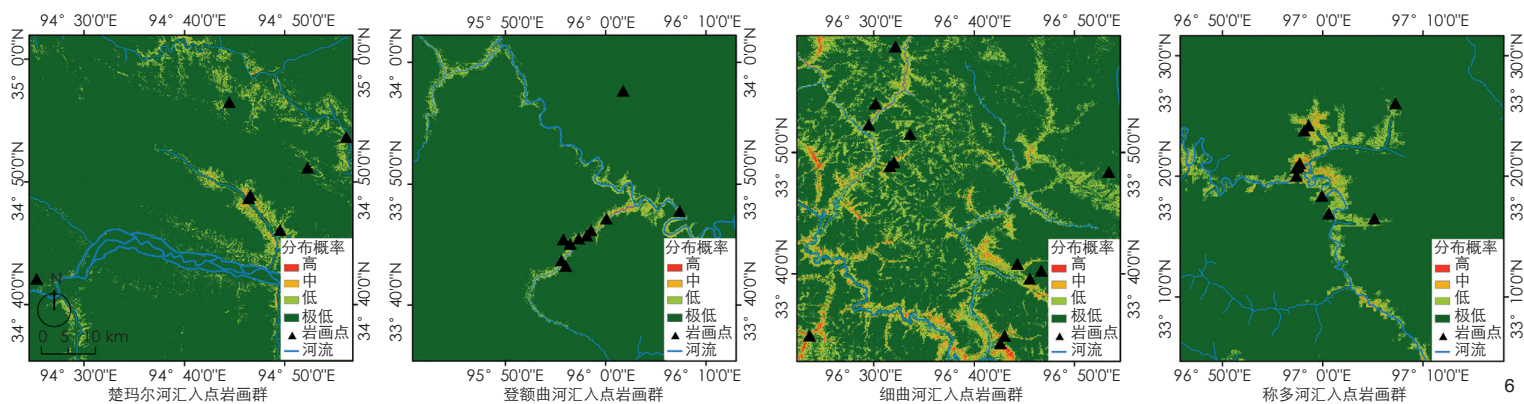
最大熵软件在进行建模时还会对各变量影响的贡献率进行评估, 贡献率指各变量的百分比贡献。通天河流域4个岩画群分布影

响因素贡献率的变化, 在一定程度上可以反映出该地区古人类活动的演变以及对环境的适应过程(表3)。

高程、坡度和坡度变率对通天河流域4个

岩画群的分布均有一定影响, 其中高程的影响最为显著, 且从上游到下游贡献率逐渐增加。这反映出相较于上游平缓的地形, 下游高山峡谷的地形使得岩画选址对高程的变化更为敏感。

河流可达性也是影响岩画分布的重要因素之一, 通天河岩画大多沿河分布, 反映了该地区先民沿河而居的特征。河流提供了人类生产生活所必需的水资源, 以及可作为食物的水产资源, 同时也有助于抵御外族部落的侵扰^[33], 因此早期人类活动的场所多在河流沿岸。而河流可达性对通天河下游岩画分布的贡献率显著减小, 贡献率均低于15%, 一定程度上反映出后期人类对自然环境的适应能力增强、活动范围扩大的特征。



6 通天河流域各岩画群分布预测

Predictive maps for each rock art group in Tongtian River basin

遗址点可达性对通天河上游岩画群分布的影响大于下游岩画群。上游岩画图像题材多反映早期游牧狩猎的生活模式^[17], 而岩画的分布也与遗址点联系紧密, 可能是当时周边从事放牧或狩猎的先民在活动时所创作的产物。下游岩画多出现宗教符号^[17], 可能是出于宗教祭祀的需求, 会远离日常生活的聚落而选址在一些地貌特殊的神圣地点^[6]。同时, 下游岩画的创作时间晚于上游, 也反映出后期人类的环境适应力增强, 有条件将岩画创作在距聚落较远的地区。

NDVI 对通天河下游岩画分布影响更大, 对称多河汇入点岩画群的贡献率达到 24%。对植被特别是对草场资源的依赖可以在一定程度上反映出生产模式的差异: 由于通天河流域植被垂直分布显著, 上游高原草场资源丰富, 因而以游牧、狩猎为主; 而下游则为山地灌木草场, 可利用的草场资源相对较少^[34], 生产生活转而以定居的农耕模式为主。这种上下游植被覆盖状况的差异在一定程度上影响了古人类生产方式以及活动区域的变化, 也间接导致了通天河岩画分布的变化。

视域对各岩画群分布的贡献率均低于 5%, 未体现显著影响。这排除了该地区岩画作为领地标识、向导的作用, 因为这类岩画往往需要位于较为醒目的位置^[22]。而结合岩画的图像内容, 通天河岩画也多以日常记录为主, 而非符号标记, 因此较少考虑视域需求。

通天河流域岩画分布特征与图像内容存在一定关联性。例如, 以往研究中对通天河

流域岩画中牦牛图像演变分析指出, 通天河流域岩画图像风格的变化是对自然环境不断适应的表现^[35]。这种演变也体现在岩画分布上: 上游早期岩画与河流可达性、遗址点可达性等因素关系紧密, 反映出早期人类对于自然环境的依赖, 生产模式则以游牧和狩猎为主, 岩画可能被用以记录日常生活, 就近创作于生活或工作的场所; 下游晚期创作的岩画对河流、遗址点的日常可达性需求减弱, 体现出了随着技术发展, 人类的活动范围扩大的特征。同时, 地形、植被覆盖等因素的影响增加, 体现了人类在下游温暖湿润的河谷地区生产生活方式发生转变, 改为农耕定居为主兼及放牧畜牧的模式。

4 岩画分布预测与模型应用讨论

景观考古学的发展使得考古遗址整体以及周边环境的综合性保护日益受到重视, 但相关工作的开展仍面临着提高考古调查效率以及科学界定保护范围等诸多方面的问题。考古遗址预测模型则可预测潜在遗址分布的可能性, 所绘制的考古遗址预测地图不仅是科学模型的可视化成果, 同时也是指导规划决策的图纸^[36]。荷兰政府就通过以考古遗址预测模型为基础的“考古价值示意地图”(荷兰语: Indicatieve Kaart Archeologische Waarden, IKA) 项目, 明确界定了“考古边界”(archaeological boundaries), 从而成为在空间规划编制中判断考古调查必要性的重要依据^[37]。美国北卡罗来纳州交通部门则在所开

发高速公路规划决策支持系统中运用考古预测模型识别潜在考古遗址区, 减少了开发过程中考古调查的成本^[38]。考古遗址预测模型为文化遗产管理工作提供了明确可界定的考古预测范围, 同时也减少了盲目的田野调查工作, 有效地节约考古调查和开发建设中的时间和经济成本。

通天河流域范围广阔, 岩画数量众多但分布相对零散, 给岩画的调查和保护工作造成较大的困难。而本研究结合最大熵模型预测结果, 在各研究区域内按岩画分布概率(P)将其划分为 4 类等级: 极低($P \leq 0.05$)、低($0.05 < P \leq 0.33$)、中($0.33 < P \leq 0.66$)、高($P > 0.66$), 相应分布范围如图 6 所示。对于岩画景观的保护应打破岩画点独立保护区划的限制, 划定统一范围对岩画及周边景观进行整体保护, 从而最大限度地保护岩画景观的真实性和完整性^[8]。不同分布概率区域的划定正可以作为岩画保护范围划定的参考, 特别是在岩画分布中, 高概率区应考虑禁止一切损害崖壁、危害山体、破坏景观的行为, 限制开发建设活动以及放牧、农垦等生产经营活动, 及时对已发现岩画点和地质脆弱区域开展监测、保护工作, 并组织在重点区域内开展岩画调查工作, 从而实现该地区在岩画景观保护和城乡发展间的平衡。

5 结论与展望

本研究运用最大熵模型分析通天河流域岩画空间分布特征, 验证了该模型可以有效

地预测岩画分布的概率并揭示不同变量对遗址分布的影响,同时也是指导文化遗产保护、划定相应保护规划范围的有效工具。对于岩画景观的研究有助于更好地理解该地区早期人类创作岩画的动机和原始社会生活图景,也有助于探索青藏高原早期的文化传播和交流以及民族迁徙。

景观考古研究受复杂的环境因素影响,需要深入挖掘考古环境数据,而本研究受制于数据的获取精度以及现代环境资料的局限性,结果仍可能存在一定程度的偏差。在后续工作中,须结合田野调查对预测结果进行进一步验证。此外,通过无人机倾斜摄影、三维建模等现代测绘技术,以及水土侵蚀模型等模拟方法,可以改进对考古环境数据的获取、重现、解译方式,从而更真实细致地反映历史环境,极大地提高模型预测精度,进一步拓展景观考古理论与GIS技术在文化景观保护方面的应用前景。

致谢 (Acknowledgments):

感谢青海省文物局和玉树藏族自治州文物管理局,特别是玉树藏族自治州文物管理局索南旦周副局长对本项目田野工作及考古资料的支持;感谢联合国教科文组织遗产中心专员兼天津大学建筑学院教授林志宏老师的指导;感谢天津大学建筑学院博士研究生许超然作为项目管理员的组织协调,以及城乡规划专业软件实习课程中马聪、聂月、张真同学协助岩画数据录入工作。

注释 (Notes):

① 数据引自2019年玉树藏族自治州文物管理局《玉树州文物志》(未刊稿)。

参考文献 (References):

[1] RENFREW C, BAHN P. Archaeology: Theories, Methods and Practice[M]. 7th ed. New York: Thames and Hudson Inc., 2016.
 [2] 张海. GIS与考古学空间分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014.
 [3] 张海. 景观考古学: 理论、方法与实践[J]. 南方文物, 2010(4): 8-17.
 [4] ROBINSON D W. Land Use, Land Ideology: An Integrated Geographic Information Systems Analysis of Rock Art Within South-central California[J]. American Antiquity, 2010, 75(4): 792-818.
 [5] FAIRÉN-JIMÉNEZ S. British Neolithic Rock Art in Its Landscape[J]. Journal of Field Archaeology, 2007, 32(3): 283-295.

[6] 张亚莎. 岩画与江水: 左江流域独特的岩画遗址类型[J]. 歌海, 2016(6): 14-20, 27.
 [7] ACEVEDO A, FIORE D, FERRARI A A. Rock Art Landscapes. A Systematic Study of Images, Topographies and Visibility in South-central Patagonia (Argentina)[J]. Journal of Anthropological Archaeology, 2019, 56: 101101.
 [8] 王喆. 左江花山岩画保护规划的意义与特点[J]. 中国文化遗产, 2016(4): 70-81.
 [9] 倪金生. 山东沂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.
 [10] BALLA A, PAVLOGEORGATOS G, TSIAFAKIS D, et al. Recent Advances in Archaeological Predictive Modeling for Archeological Research and Cultural Heritage Management[J]. Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 2014, 14(4): 143-153.
 [11] RIDGES M. Regional Dynamics of Hunting and Gathering: An Australian Case Study Using Archaeological Predictive Modeling[M]//MEHRER M W, WESCOTT K L. GIS and Archaeological Site Location Modeling. New York: CRC Press, 2006: 115-134.
 [12] RUIZ-GÁLVEZ M, BOKBOT Y, GIRALDO H C, et al. Rock Art, Landscape and Prehistoric Settlement at the High Atlas (Morocco)[C]//CONTRERAS F, FARJAS M, MELERO F J. CAA 2010: Fusion of Cultures. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Granada, Spain, April 2010. London: British Archaeological Reports, 2013: 287-290.
 [13] AUBRY T, LUÍS L, DIMUCCIO L A. Nature vs. Culture: Present-day Spatial Distribution and Preservation of Open-air Rock Art in the Côa and Douro River Valleys (Portugal)[J]. Journal of Archaeological Science, 2012, 39(4): 848-866.
 [14] 何元洪, 蔡林海, 李佩, 等. 青南高原早期先民的足迹: 通天河流域细石器遗存调查记[N]. 青海日报, 2015-04-17(15).
 [15] 李永宪, 马春燕. 青南通天河流域发现古代岩画[N]. 中国文物报, 2014-10-24(8).
 [16] 尼玛江才. 玉树岩画·通天河卷: 探索/发现/解读[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2016.
 [17] 拉日·甲央尼玛. 玉树岩画考察[M]. 成都: 四川民族出版社, 2018.
 [18] LLOBERA M. Understanding Movement: A Pilot Model Towards the Sociology of Movement[M]//LOCK G. Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies. Amsterdam: IOS Press, 2000: 65-84.
 [19] TOBLER W. Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling: Non-Isotropic Modeling; Speculations on the Geometry of Geography; and Global Spatial Analysis (93-1)[R]. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, 1993.
 [20] VITA-FINZI C, HIGGS E S, STURDY D, et al. Prehistoric Economy in the Mount Carmel Area of Palestine: Site Catchment Analysis[J]. Proceedings of the Prehistoric Society, 1970, 36: 1-37.
 [21] ROPER D C. The Method and Theory of Site Catchment Analysis: A Review[J]. Advances in Archaeological Method and Theory, 1979, 2: 119-140.
 [22] FAIRÉN S. Mobility, Visibility and the Distribution of Schematic Rock Art in Central Mediterranean Iberia[C]//NICCOLUCCI F, HERMON S. Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past: Proceedings of CAA 2004. Budapest: Archaeolingua, 2010: 152-155.

[23] LLOBERA M. Extending GIS-based Visual Analysis: the Concept of Visualscapes[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2003, 17(1): 25-48.
 [24] HIGUCHI T. The Visual and Spatial Structure of Landscapes[M]. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1986.
 [25] 中国科学院计算机网络信息中心. 地理空间数据云平台[EB/OL].[2019-11-04]. http://www.gscloud.cn.
 [26] 石硕. 论康区的地域特点[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2012, 33(12): 1-5.
 [27] 吴祥定, 林振耀. 历史时期青藏高原气候变化特征的初步分析[J]. 气象学报, 1981, 39(1): 90-97.
 [28] PHILLIPS S J, DUDÍK M, SCHAPIRE R E. Maxent Software for Modeling Species Niches and Distributions (Version 3.4.1)[EB/OL].[2019-12-15]. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent.
 [29] 于丽君. 太湖流域新石器时期考古遗址空间分析与遥感探测研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.
 [30] 吴瑞娟, 甘淑, 于丽君, 等. 最大熵模型的巴基斯坦遗址预测分布研究[J]. 测绘科学, 2021, 46(3): 96-103.
 [31] WACHTEL I, ZIDON R, GARTI S, et al. Predictive Modeling for Archaeological Site Locations: Comparing Logistic Regression and Maximal Entropy in North Israel and North-east China[J]. Journal of Archaeological Science, 2018, 92: 28-36.
 [32] PHILLIPS S J. A Brief Tutorial on Maxent[EB/OL].[2019-12-15]. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
 [33] 高超, 王心源, 金高洁, 等. 巢湖西岸新石器: 商周遗址空间分布规律及其成因[J]. 地理研究, 2009, 28(4): 979-989.
 [34] 玉树藏族自治州地方志编纂委员会. 玉树州志(上)[M]. 西安: 三秦出版社, 2005.
 [35] 王永军. 玉树通天河流域岩画中牦牛图像研究[J]. 中国藏学, 2018, (1): 77-88.
 [36] VAN LEUSEN M. Archaeological Predictions Contested: the Role of the Dutch Indicative Map of Archaeological Values (IKAW) in Local Planning Procedures[M]//KAMERMANS H, VAN LEUSEN M, VERHAGEN P. Archaeological Prediction and Risk Management. Alternatives to Current Practice. Leiden: Leiden University Press, 2009: 49-62.
 [37] MEFFERT M. The High Price or the First Prize for the Archaeological Predictive Model[M]//KAMERMANS H, VAN LEUSEN M, VERHAGEN P. Archaeological Prediction and Risk Management: Alternatives to Current Practice. Leiden: Leiden University Press, 2009: 33-40.
 [38] MADRY S, COLE M, GOULD S, et al. A GIS-based Archaeological Predictive Model and Decision Support System for the North Carolina Department of Transportation[M]//MEHRER M W, WESCOTT K L. GIS and Archaeological Site Location Modeling. New York: CRC Press, 2006: 292-309.

图表来源 (Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制。

(编辑/王一兰 李卫芳)