

文章编号:2095-6134(2021)04-0467-11

基于 GIS 的巴基斯坦北部文化遗址 时空分布特征及保护对策^{*}

姜纯^{1,2}, 骆磊^{1,3}, Shahina Tariq⁴, Muhammad Ali⁴, 姚娅¹, 王心源^{1,3†}

(1 中国科学院空天信息创新研究院 中国科学院数字地球重点实验室, 北京 100094; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心, 北京 100094; 4 COMSATS 信息技术学院, 伊斯兰堡 45550)

(2019 年 11 月 4 日收稿; 2020 年 1 月 9 日收修改稿)

Jiang C, Luo L, Shahina T, et al. Temporal-spatial distribution characteristics and protection countermeasures of cultural heritage sites in Northern Pakistan based on GIS spatial analysis method[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2021, 38(4): 467-477.

摘 要 巴基斯坦北部地区是历史上犍陀罗文化的中心区域, 拥有大量的印度教、佛教和伊斯兰教文化遗址。借助考古文献资料、数字高程模型以及野外实地调查与验证数据, 运用 GIS 空间分析方法, 对巴基斯坦北部地区印度教、佛教和伊斯兰教文化遗址的时空分布特征、保存现状进行研究, 并提出相应保护对策。结果表明: 巴基斯坦北部地区先后经历了印度教文化、佛教文化、伊斯兰教文化的传入、兴衰等演变过程。核密度估计显示 3 种文化遗址分布范围、聚集程度有所不同, 但都以伊斯兰堡周边区域聚集程度最高。基于高分辨率的 DEM 分析表明, 90% 以上的文化遗址距离河流小于 800 m, 反映其位置选择对于河流的依赖与需求。从分布的高程看, 3 种文化遗址大多数在 800 m 以下、坡度范围在 0°~10°之间, 主要沿河道和交通要道分布。统计数据表明: 伊斯兰教遗址数目最多, 佛教遗址次之, 印度教遗址最少, 反映遗址保存的数量随时间而变化。由于自然因素和人类活动, 一些文化遗址如古佩拉、维吉等保存状况较差, 亟待加大保护力度。针对遗址目前的保存状况与面临的风险, 提出对应的保护措施。

关键词 巴基斯坦; 文化遗址; 空间分析; 时空分布; 保存状况

中图分类号: P208 文献标志码: A doi:10. 7523/j. issn. 2095-6134. 2021. 04. 005

Temporal-spatial distribution characteristics and protection countermeasures of cultural heritage sites in Northern Pakistan based on GIS spatial analysis method

JIANG Chun^{1,2}, LUO Lei^{1,3}, SHAHINA Tariq⁴, MUHAMMAD Ali⁴, YAO Ya¹, WANG Xinyuan^{1,3}

(1 Key Laboratory of Digital Earth Science of CAS, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 International Centre on Space Technology for Natural and Cultural Heritage under the Auspices of UNESCO, Beijing 100094, China; 4 COMSATS University, Islamabad 45550, Pakistan)

Abstract The northern Pakistan is the central area of the Gandhara culture in history, where a large number of Hinduist, Buddhist and Islamic cultural heritage sites are located. Based on

^{*} 中国科学院 A 类先导科技专项(XDA19030502)资助

[†] 通信作者, E-mail: wangxy@radi.ac.cn

multisource data such as historical sources, DEM data, and field survey, the spatial and temporal distribution characteristics and preservation of Hinduist, Buddhist, and Islamic cultural heritage sites have been studied by using spatial analysis methods of GIS, and the reasonable protection countermeasures have been suggested. The research results indicate that Northern Pakistan has witnessed the coming, rising, and falling of Hinduist, Buddhist, and Islamic cultures. The kernel density estimate shows that these three types of cultural heritage sites have different distribution ranges and aggregation degree, but they all gather around Islamabad with the highest aggregation degree. High resolution DEM analysis shows that more than 90% of these three types of cultural heritage sites are no farther than 800 m away from the river, which confirms the great significance of the river in history when these culture sites were selected. It also can be known from DEM that the location of these three types of sites is mainly no higher than 800 m, and the slope range is mainly between 0° and 10° , along rivers and main roads. Of the statistical data, the number of Islamic sites is the largest, followed by Buddhist sites and Hinduist sites respectively, reflecting the change of the number of preserved sites over time. Due to nature factors and human activities, at present, many sites such as Bhera and Vijhi are in a bad condition, which demands more efforts and better strategies to preserve. As to the current preservation and risks of the cultural heritage sites in Northern Pakistan, the corresponding protection strategies are put forward.

Keywords Pakistan; cultural heritage sites; spatial analysis; temporal and spatial distribution; status of preservation

随着空间信息科学与技术的快速发展,遥感(remote sensing, RS)、地理信息系统(geographic information system, GIS)、全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)等技术深入应用于文化遗址的空间位置探测和分布特征分析,为文化遗址的探测、识别、调查、记录和制图等工作提供全方位的支持,逐渐成为文化遗址探测、监测与保护的重要支撑技术^[1-2]。近年来,国内外专家在此方面做了大量的研究工作。刘建国^[3]、李中轩等^[4]、公雪霜等^[5]借助多种 GIS 空间分析方法分别对中原地区西周以前的文化遗址、河南省史前文化遗址、辽宁省西部地区先秦时期聚落周边的形貌特征进行分析,揭示了古代不同时期遗址空间分布与自然环境的关系。Harrower^[6]和 Ullah^[7]通过 GIS 水文分析等对阿拉伯半岛一带的史前遗址和农业生产活动的关系进行探究; Dave 等^[8]、Garcia 等^[9]分别通过 GIS 空间分析和遥感影像解译,研究印度河及其支流的季节性摆动对印度河流域遗址的数量及空间分布等影响; Luo 等^[10]在甘肃河西走廊运用 RS、GIS、GNSS 技术对丝绸之路瓜州—沙洲段的驿站遗址进行考古探测研究,数字化重建唐代敦煌一带的邮驿系统;王心源^[11]在北非突尼斯综合运用空间信息技术并通过野外实地验证,发现突尼斯南部 10 处罗马

时期的重要遗址。

巴基斯坦是一个多文化、多民族、多语言的国家^[12],在古丝绸之路南段具有极其重要地位,拥有大量的印度教、佛教和伊斯兰教文化遗址。由于自然因素和人类活动的影响,相当多的文化遗址面临不同程度的威胁^[13]。迄今为止,不少国内外学者对巴基斯坦北部地区的文化遗址进行了调查与研究。Cunningham^[14-15]对塔克西拉(Taxila)、斯瓦特(Swat)河谷等区域的遗址进行了详细描述;Marshall^[16]对塔克西拉区域的皮卡丘(Bhir Mound)、希尔卡普(Sirkap)、希尔苏克(Sirsukh)3 座古城和众多的寺院等遗址进行考古发掘,出土了大量佛教艺术品;杨翠柏和刘成琼^[17]通过塔克西拉、白沙瓦(Peshawar)区域的遗址特征,分析犍陀罗(Gandhara)盆地的政治经济、历史文化、地理环境;王锡惠^[18]、邹飞^[19-20]分别对塔克西拉以及白沙瓦区域部分遗址的建筑风格和艺术进行详实论述。以上研究主要采用历史文献追踪、考古现场勘察等方法,而对于巴基斯坦北部地区文化遗址在时间和空间上的分布特征,及其所面临的自然和人为方面威胁的分析尚缺乏。

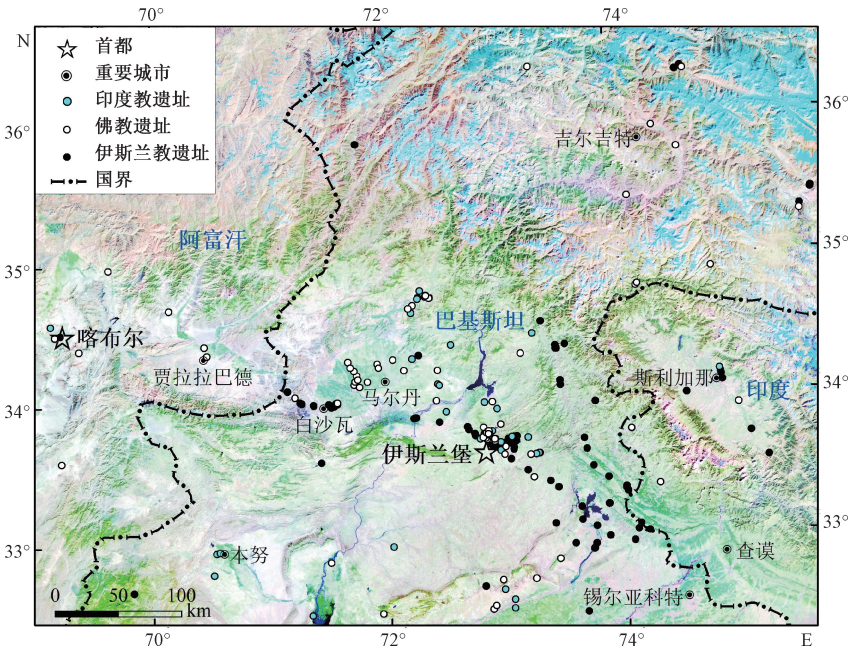
本文以巴基斯坦北部地区的文化遗址为研究对象,基于高分辨率数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据和野外实地调查数

据,结合考古文献资料,以核密度估计、河网提取等 GIS 空间分析方法为主要手段,对巴基斯坦北部地区印度教、佛教、伊斯兰教 3 种文化遗址在时间和空间上的分布特征进行研究;并结合时空分布特征,以古佩拉(Bhera)、维吉(Vijhi)等几处典型遗址的保存现状为例对其面临的威胁进行分析,并提出合理保护对策。同时,探讨印度教文化、佛教文化和伊斯兰教文化在巴基斯坦北部的演变过程,为推进巴基斯坦北部地区文化遗址的发掘和保护及其可持续发展提供科学参考,为“一带一路”倡议下的中巴走廊文化遗址保护与利用提供科学依据。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区域概况

研究区范围为 $N32^{\circ} \sim N37^{\circ}$, $E70^{\circ} \sim E76^{\circ}$, 面积约 20 万 km^2 , 西面、北面与阿富汗接壤,东临印度^[21](图 1)。该地区属于干旱—半干旱地区,地形以高原、山地、盆地为主,地势基本上由北向南逐渐降低,平均海拔 3 000 多米^[22],人口、城市主要集中在白沙瓦—马尔丹—伊斯兰堡一带的犍陀罗盆地。这里先后经历了史前、吹吠、波斯、希腊、帕坦、贵霜、伊斯兰等不同时期的文明,从而留下大量的印度教、佛教、伊斯兰教文化遗址^[23]。



底图为空间分辨率 15 m,采用 7、4、2 共 3 个波段假彩色合成的 1999—2003 Landsat 7 ETM+全球合成影像,影像源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)。

图 1 3 种文化遗址在巴基斯坦北部的分布图

Fig. 1 Distribution of three types of cultural heritage sites in Northern Pakistan

1.2 数据的来源及可靠性

基于《古印度地理》、《印度考古调查报告》等文献资料,结合维基百科中涵盖整个巴基斯坦 632 个文化遗址的数据集^[24],初步筛选得到巴基斯坦北部地区(盐岭以北)的 258 个文化遗址的空间坐标、年代等信息,按文化类型进一步将其分成 3 大类:印度教遗址(45 个)、佛教遗址(83 个)、伊斯兰教遗址(130 个)。随后将这些文化遗址在 Google Earth 上进行标注,并将生成的 KMZ 文件导入 ArcGIS 中,以便对其进行密度特征分析及空间—时间特征分析。

本文使用的高程数据是由 JAXA 提供的全球

空间分辨率为 12.5 m 的 ALOS DEM 数据,其垂直精度可达 10 m^[25],覆盖每种文化遗址超过 80% 的样本(共 216 个遗址),以便更详细地探究大部分遗址的高程、坡度和河网特征。高分辨率 DEM 数据和文化遗址数据均采用 UTM 投影下的 WGS84 坐标系统。

为了对研究文化遗址的时空分布提供可靠的证据,以便更有效地对文化遗址及周围的形貌特征和保存状况进行分析,2018 年 11 月 16—25 日,在巴方专家陪同下,本研究组对巴基斯坦北部地区的塔克西拉、罗赫达斯堡(Rohats)2 处世界遗产地以及拉瓦特城堡(Rawat Fort)等 10 处重要

文化遗址进行调研与踏勘,获得无人机影像、现场考察照片等野外实地调查数据。

2 研究方法与分析结果

2.1 文化遗址的空间分布特征

2.1.1 密度特征分析

核密度分析和点密度分析常用于估计空间分布状况以及在空间上的聚集区域,但核密度分析的结果更为平滑^[26]。本研究通过核密度估计法分析 3 种文化遗址的分布范围和集聚程度。利用 Clark 和 Evans^[27]提出的平均最邻近指数法,可以更加有效地分析 3 种文化遗址的空间分布特征。根据平均最邻近指数 R 与 1 的关系,可将文化遗址的空间分布特征分为随机型、均匀型和集聚型 3 类:空间点的平均最邻近指数大于 1 为随机型分布,小于 1 为集聚型分布,趋向于 1 为均匀型分布^[28]。其计算公式如下:

$$R = \frac{r_{\text{abs}}}{r_{\text{exp}}}, \tag{1}$$

$$r_{\text{abs}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \tag{2}$$

$$r_{\text{exp}} = 0.5 \sqrt{\frac{A}{n}}. \tag{3}$$

式中: n 表示文化遗址的数目, d_i 为每个遗址与其最邻近遗址的距离, A 表示包含所有遗址的最小外接矩形面积。

通过计算得到印度教、佛教和伊斯兰教文化遗址的最邻近指数 R 分别为 0.7、0.6、0.5,表明 3 种文化遗址的分布趋势均为集聚型,其集聚程度依次递增。

随后利用 Rosenblatt^[29]提出的核密度估计法研究 3 种文化遗址空间分布。根据地理学距离衰减规律,距离较近的对象,赋予较大的权重,可以直观、定量地刻画本研究区域的空间密度特征,进而客观准确地表达空间分布状况以及在空间上的聚集区域^[30]。本研究中搜索半径(带宽)是通过 ArcGIS 10.2 的核密度分析工具,默认为研究区宽度或高度的最小值除以 30 自动生成,假定输出范围与研究区范围相同,3 种文化遗址的搜索半径均接近 10 km,与其标准距离有一定的关系^[31]。不同搜索半径的选取对实验结果有一定的影响^[32],本研究中分别以 5、10、20 km 共 3 种搜索

半径做对比,分别对 3 种文化遗址进行核密度分析和比较,得出 10 km 为最佳搜索半径(图 2(a)、2(b)、2(c))。计算公式如下

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - x_i}{h}\right). \tag{4}$$

式中: k 为核密度的方程, h 为搜索半径, n 为落入在搜索半径内的遗址数目, $x - x_i$ 为估计遗址 x 到样本遗址 x_i 的距离。

通过对 3 种文化遗址进行核密度估计,以及用最佳搜索半径 10 km 分别对 3 种文化遗址进行点密度分析,得到的结果几乎一致(图 2(b)、2(d))。可以看出 3 种文化遗址的分布范围、聚集程度有所不同,但都在伊斯兰堡周边区域聚集程度最高。印度教遗址相对分散,呈多核分布,主要集中在白沙瓦—马尔丹—伊斯兰堡一带的犍陀罗盆地、盐岭南侧的山前冲积扇以及开伯尔—普赫图赫瓦省西南部的本努(Bannu)盆地一带。佛教遗址分布相对于印度教遗址明显集中,呈三核分布,主要分布在马尔丹、伊斯兰堡附近以及北部的斯瓦特河谷一带。伊斯兰教遗址主要处在白沙瓦周边区域和伊斯兰堡附近地区,呈双核分布,伊斯兰堡地区最为密集,而在伊斯兰堡的东北、东南方向分散开来。可见,伊斯兰堡及周边地区一直是印度教文化、佛教文化和伊斯兰教文化存在的主核心;佛教文化、伊斯兰教文化还各有一个副核心,分别在马尔丹附近地区和白沙瓦附近地区。

2.1.2 高程与坡度特征分析

将 216 个文化遗址与覆盖这些遗址的 ALOS DEM 数据进行叠加(图 3),然后对这些文化遗址的高程分别按照 <400 m、 $[400, 800)$ m、 $[800, 1600)$ m 和 ≥ 1600 m 共 4 个范围进行统计。由表 1 可以看出:在海拔 800 m 以下的高程范围,印度教、佛教、伊斯兰教遗址分别占 81.1%、70.6%、77.5%,其中近半数的遗址分布在 $[400, 800)$ m 的高程范围。依据巴基斯坦北部地区多山地的特征和人类居住的适宜程度,将从 DEM 数据中提取的坡度数据按照 $[0^\circ, 5^\circ)$ 、 $[5^\circ, 10^\circ)$ 、 $[10^\circ, 15^\circ)$ 和 $\geq 15^\circ$ 共 4 个等级进行分级^[33]。坡度为 10° 以下的区域,印度教、佛教、伊斯兰教遗址分别占 89.2%、79.4%、82.9%(表 1),表明人们主要居住在 10° 以下较为平坦的区域,这与其他地区人类居住对于坡度的选择一致^[33-34]。

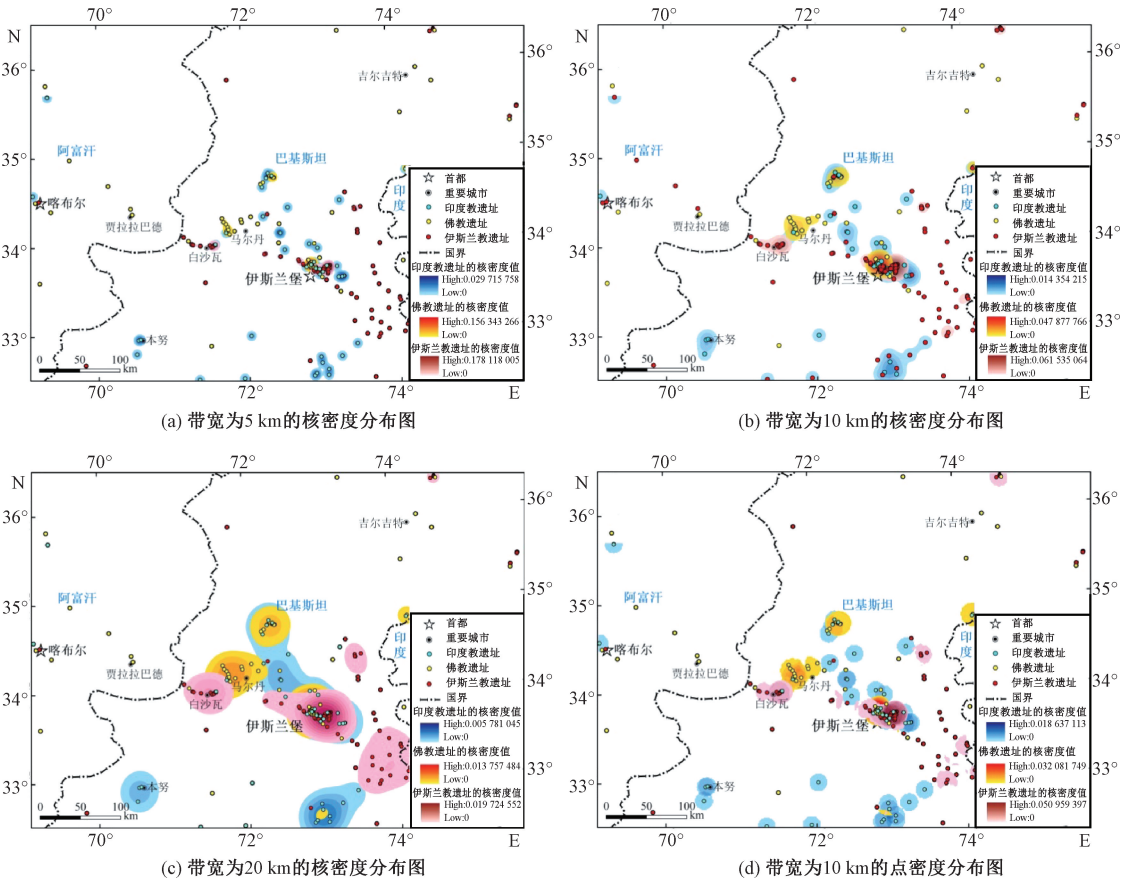


图 2 文化遗址的密度分布图

Fig. 2 Density distribution of cultural heritage sites

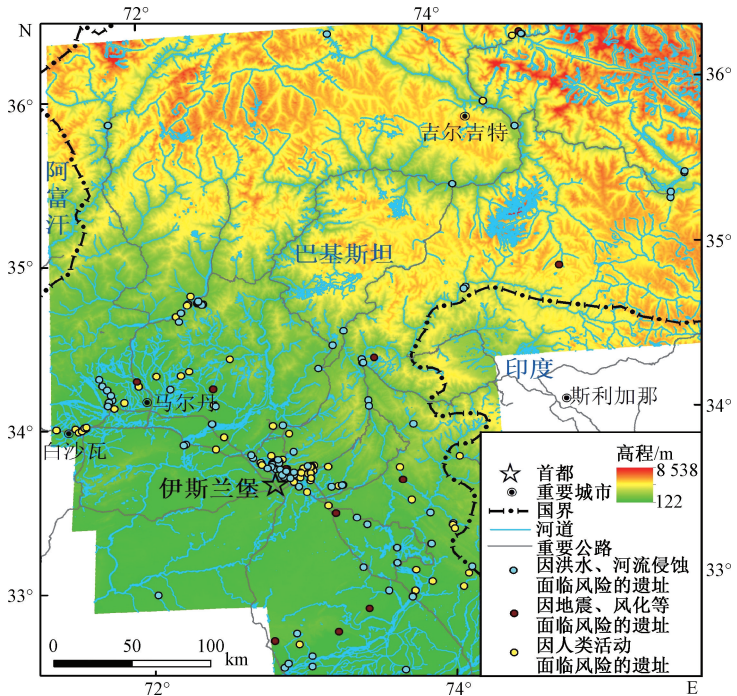


Fig. 3 Overlay map of DEM and river network in cultural heritage site distribution area

表 1 文化遗址的高程和坡度分布统计

Table 1 Statistics of elevation and slope distributions of cultural heritage sites %

	不同高程分布比例				不同坡度分布比例			
	<400 m	[400,800) m	[800,1 600) m	≥1 600 m	[0°,5°)	[5°,10°)	[10°,15°)	≥15°
印度教遗址	32. 5	48. 6	16. 2	2. 7	59. 5	29. 7	2. 7	8. 1
佛教遗址	26. 5	44. 1	19. 1	10. 3	51. 5	27. 9	7. 4	13. 2
伊斯兰教遗址	28. 9	48. 6	12. 6	9. 9	50. 5	32. 4	7. 2	9. 9

巴基斯坦北部地区文化遗址多分布在海拔不超过 800 m、坡度为 [0°,10°) 相对低平的犍陀罗盆地、盐岭山前冲积扇等区域,该区域光热充足、降水充沛,适合人们居住以及从事农业活动。随着海拔的增高,遗址比例逐渐减少,在高于 1 600 m 的高程范围内,佛教、伊斯兰教遗址的比例明显多于印度教遗址。对 3 种文化遗址的平均高程和方差的分析表明:佛教遗址的平均高程和方差最大(平均高程约 890 m,方差约为 26),伊斯兰教遗址次之(平均高程约 830 m,方差约为 25),印度教遗址最小(平均高程约 640 m,方差约为 20)。印度教遗址更倾向于分布在海拔更低、地势更为平坦的地方,其所在的高程、坡度范围也更小一些,说明印度教徒对自然条件的依赖程度较高。随着社会的发展和生产力水平的提高,佛教徒和伊斯兰教徒依赖自然条件的程度有所降低,对北部高海拔地区复杂多变的自然条件的抵抗能力逐渐增强,遗址多分布在更高和更广的高程范围。特别是在犍陀罗盆地以北的自然条件相对险恶的山地(海拔总体上高于 1 600 m),佛教、伊斯兰教遗址的比重明显大于印度教遗址。

2. 1. 3 水源地距离分析

基于 ALOS DEM 数据,利用 ArcGIS 10. 2 水文分析模块进行河网提取。通过 DEM 数据提取的水文信息更有利于还原古地形^[35]。为了避免在地势相对低平的区域产生伪河道,提取河网前先对 DEM 数据做了填洼处理。提取河网时将汇流量大于 5 000 的值提取出来,这一阈值经过多

次实验试错并结合巴基斯坦北部地区的水文环境特征得到。然后将提取结果对照 Google Earth 影像进行校正,并借助其平台量测被覆盖的 216 个文化遗址到其最邻近河道的距离(图 3)。影像空间分辨率为 1~2. 5 m,精度在 10 m 以内,可以更加直观清晰地理解这 3 类文化遗址的水源特征。

河流对文化遗址分布的影响较为重要。一般来说,为了满足人们生活、农业生产需求,文化遗址一般靠近河流,但又不紧临河流^[36-37]。将 216 个文化遗址到河流的距离,按照<200 m、[200,400) m、[400,600) m、[600,800) m、[800,1 000) m 和≥1 000 m 这 6 个范围进行统计。从表 2 可以看出:超过半数的遗址到河流的距离小于 200 m,印度教、佛教、伊斯兰教遗址到河流的距离小于 200 m 的比重分别为 54. 1%、55. 2% 和 52. 3%;多数遗址到河流的距离小于 400 m,印度教、佛教、伊斯兰教遗址到河流的距离小于 400 m 的比重分别为 75. 7%、80. 5% 和 73. 9%;绝大多数遗址到河流的距离小于 800 m,印度教、佛教、伊斯兰教遗址到河流的距离小于 800 m 的比重分别为 94. 6%、98. 4% 和 91. 9%;极少数遗址到河流的距离超过 1 km,印度教、佛教、伊斯兰教遗址距河流的最远距离分别约为 1. 3、1. 1 和 1. 2 km。随后对每一种文化遗址到河流的平均距离进行统计,印度教、佛教、伊斯兰教遗址距河流的平均距离分别约为 290、252、298 m,总体上差别不大。可见这 3 种文化遗址距河流比较近,反映人类对水源的需求(图 3)。

表 2 文化遗址到最近河流的距离统计

Table 2 Statistics on the distance from cultural heritage sites to the nearest river %

	<200 m	[200,400) m	[400,600) m	[600,800) m	[800,1 000) m	≥1 000 m
印度教遗址	54. 1	21. 6	16. 2	2. 7	0	5. 4
佛教遗址	55. 2	25. 3	10. 4	7. 5	0	1. 6
伊斯兰教遗址	52. 3	21. 6	12. 6	5. 4	4. 5	3. 6

利用高程、到水源地的距离等属性得到的叠加图(图 3),还可以直观地了解文化遗址所面临威胁的类型,有利于分析讨论对文化遗址的保护对策。

2. 2 时间特征分析

将 258 个文化遗址的年代信息进行标注和统计分析,结果如图 4 所示。

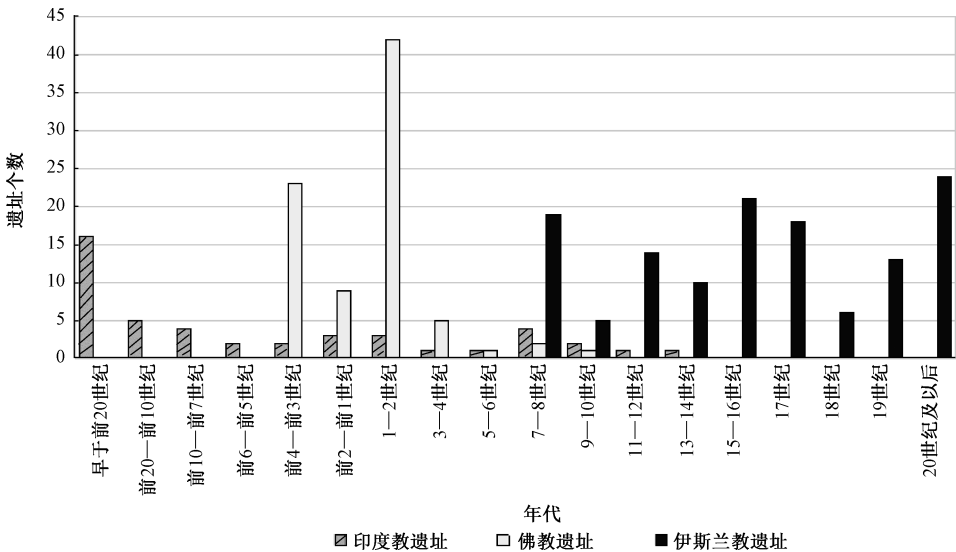


图 4 文化遗址的时间分布图

Fig. 4 Time distribution of cultural heritage sites

印度教遗址的时间跨度较大,从约 5 000 年前的印度河文明时期到公元 14 世纪均有分布,其中早于公元前 20 世纪的遗址数目最多,为 16 个。公元前 20 世纪到前 7 世纪遗址数目为 9 个,较印度河文明时期明显减少。从公元前 5—6 世纪到公元 1—2 世纪,遗址数目趋于平稳,约 2.5 个/2 世纪。公元 3—4 世纪和 5—6 世纪遗址数目均只有 1 个。公元 7—8 世纪遗址数目有所增多,公元 14 世纪以后,印度教文化在巴基斯坦北部地区基本消失^[38]。

佛教遗址的时间跨度较印度教遗址有所缩减。公元前 3—4 世纪,佛教遗址的数目为 23 个;公元前 1—2 世纪遗址数目降至 9 个。公元 1—2 世纪,佛教达到兴盛时期^[39],遗址数目迅速增长,达到 42 个。公元 3—4 世纪,遗址数目急剧减少,仅为 5 个。公元 5—6、7—8、9—10 世纪,遗址数目也稳定在一个很少的状态,分别为 1 个、2 个、1 个,主要在北部的高海拔地区。公元 10 世纪后,佛教文化在该区域内也基本消失^[38]。

伊斯兰教遗址的时间从公元 7 世纪至今。公元 7—8、15—16、17 世纪这几个时间段,伊斯兰教遗址的数目相对集中,每个时间段遗址数目均超过 15 个。公元 7 世纪后,随着伊斯兰王朝的侵入,佛教文化逐渐被伊斯兰教文化替代,公元 12 世纪后伊斯兰教文化遍布巴基斯坦全境,逐渐成为巴基斯坦的主导文化,伊斯兰教文化达到兴盛时期^[17]。公元 9—10、13—14 和 18 世纪这 3 个时间段内,遗址数目均相对较少,每个时间段的遗

址数目不超过 10 个。公元 20 世纪以后,遗址数目最多,达到 24 个,主要分布在白沙瓦、伊斯兰堡周边地区。

2.3 巴基斯坦北部文化遗址的保存现状与保护对策

巴基斯坦北部文化遗址留下了大量的数千年来人类生活、从事农业生产等活动的“物证”,有助于人们更好地认识该地区所经历的印度教文化、佛教文化和伊斯兰教文化多种文明的历史。但是,由于一些自然因素影响以及不合理的人类活动,这些珍贵遗址的保护面临威胁。结合文化遗址的时空分布特征以及图 3,对其面临的自然因素和人类活动方面的风险进行分析,并提出针对性的保护对策。

2.3.1 自然因素对文化遗产保护的威胁

除北部高山地区为高山高原气候外,巴基斯坦北部大部分地区为热带季风气候,3—5 月炎热干燥,6—9 月降水最为集中,洪涝灾害频发^[40]。同时,由于地处亚欧板块与印度洋板块的边缘地带,地震频发^[41]。洪水、地震是巴基斯坦北部地区文化遗址的主要威胁。

由于巴基斯坦北部地区的文化遗址距河流普遍较近,超过半数的文化遗址距河流小于 200 m,它们在降水集中的时段容易面临河流季节性摆动侵蚀或雨水冲刷的风险。特别是在犍陀罗盆地及盐岭山前冲积扇地带,河流及其支流由于热带季风引发的季节性摆动,对靠近古河道的土丘遗址造成不同程度的侵蚀、破坏,更容易崩塌(如古佩拉土丘,

图 5(a))。雨水的长期冲刷,造成部分土丘土质疏松,从而更容易被侵蚀(如维吉土丘,图 5(b))。北部高海拔地带以及盐岭山区的一些位于山巅的遗址,周边地势相对开阔,长期暴露在大自然中更易受到风化剥蚀的威胁(如马格拉山清真寺,图 5(c))。在犍陀罗盆地,因处在地震活跃地带,频发

的地震使部分遗址崩塌、损毁(如塔克西拉城希尔卡普的 3 层文化层,图 5(d))。由于印度教遗址以土质遗址为主,而且时间相对更长,更容易受河流季节性摆动的侵蚀和雨水的冲刷,保存状况较差;佛教遗址和伊斯兰教遗址主要是一些寺庙之类的石质建筑,保存状况相对好一些^[23-24]。



(a) 杰赫勒姆河季节性摆动造成侵蚀的古佩拉土丘



(b) 雨季降水冲刷造成陶片遍地的维吉土丘



(c) 受风化剥蚀的马格拉山清真寺



(d) 遭地震破坏的希尔卡普 3 层文化层

图 5 由于自然因素面临威胁的文化遗址

Fig. 5 Cultural heritage sites threatened by natural factors

2.3.2 人类活动对文化遗址的破坏

由于北部高海拔地区多为高山高原气候,气温偏低、降水稀少,不太适合人们居住,城镇扩张、基础设施建设等人类活动较少,文化遗址保存状况相对较好。而在南部的犍陀罗盆地、盐岭山前冲积扇以及西面的本努盆地等地区,土地相对平坦、水源较好,人口聚居程度较高。随着城镇扩张、农田开垦等人类活动的加快,使该地区的文化遗址面临着不同程度的破坏威胁。结合图 3 可以看出,因人类活动而面临威胁的遗址,大多数位于以犍陀罗盆地为核心的波特瓦尔高原以及盐岭山前冲积扇地带,特别是在 3 种文化遗址聚集程度高的白沙瓦—马尔丹—伊斯兰堡一带。在古佩拉地区,大面积的农田开垦与道路建设(图 6(a)、6(b)),破坏了古佩拉地区土丘遗址的墙基,增加了土丘遗址坍塌、消失的风险。同时,近年来不合理的居民地扩张与基础设施无序建设,使得遗址本体被严重破坏(图 6(c)、6(d))。

2.3.3 文化遗址保护对策

文化遗址是文化与文明传承的历史见证^[42-43],巴基斯坦北部地区的文化遗址见证了该地区数千年的发展历史。针对巴基斯坦北部地区的文化遗址存在的上述问题,提出以下保护对策:

1) 抓紧做好重要文化遗址的调查与状况评估。充分利用空间信息技术的无损探测、高效性等优势^[1],对北部地区文化遗址进行普查、重点调查,评估保护现状,以便有针对性地提出保护对策。

2) 积极做好修复与保护的国际合作研究。该地区的文化遗址修复与保护工作,可以引进国际合作团队,共同研究保护与修复措施。柬埔寨吴哥遗址^[44]和意大利古罗马城^[45]在这方面做出很好的示范。

3) 针对性做好有效的保护措施。对距河流 200 m 以内容易受到河流侵蚀造成坍塌的遗址,通过对其周边加固围坝的方式采取防治措施。对



图 6 由于人类活动面临威胁的文化遗址

Fig. 6 Cultural heritage sites threatened by human activities

因地震而坍塌、倒毁的遗址,可采用物理加固或者人工修复等措施。对位于北部高海拔地区以及盐岭山区长期暴露在自然界容易受到风化剥蚀的土遗址,其表面可采取物理或者化学加固措施。此外,对印度教土质遗址可以利用一些化学材料进行渗透加固。

4) 加强对人为不合理活动影响的管理。城镇扩张、耕地开垦等人类活动造成文化遗址越来越严重的破坏。特别在位于犍陀罗盆地、盐岭山前冲积扇等地带靠近居民点以及重要交通干线的遗址,人类活动强度较大,需要构建合理、完整的法律制度体系和监管制度^[46]。

5) 抓紧做好数字化保护。无论多么坚固的遗址,也总有消失的一天。对一些位于居民点内部因基础设施建设受到破损的遗址,抓紧做好数字化记录、虚拟再现,实现数字化的永久保存。例如通过三维激光雷达扫描技术对拉瓦特城堡进行虚拟复原。

3 结论与讨论

基于 GIS 空间分析的巴基斯坦北部地区文化遗址的时空分布特征,可以清楚地反映出印度教文化、佛教文化和伊斯兰教文化在该地区的演变过程以及面临的自然因素和人类活动方面的威

胁。主要研究结论如下:

1) 核密度分析表明,印度教遗址呈多核分布,佛教遗址呈三核分布,而伊斯兰教遗址呈双核分布。伊斯兰堡地区一直是印度教文化、佛教文化和伊斯兰教文化的主核心,马尔丹附近和白沙瓦附近分别为佛教文化和伊斯兰教文化的副核心。高分辨率 DEM 数据显示,3 种文化遗址分布的高程主要在 800 m 以下,坡度范围基本在 0°~10°,主要沿河道和交通要道分布,反映了人类对水源和交通的依赖。

2) 巴基斯坦北部地区先后经历了印度教文化、佛教文化和伊斯兰教文化的传入、兴衰等演变过程。统计数据显示,从公元前 4 世纪到公元 14 世纪相当长的一段时间内,该地区的部分遗址有 2 种或 3 种文化并存的现象,特别是公元 7—10 世纪,印度教文化、佛教文化、伊斯兰教文化同时存在。

3) 由于自然因素以及人类活动,许多文化遗址面临不同程度的风险。洪水、地震是该区文化遗址受到自然影响的 2 个主要因素;城镇扩张、耕地扩大是该区文化遗址受到人为影响的 2 个主要因素。特别是靠近居民点以及重要交通干线的遗址,更容易受到人类活动的影响,有关部门需加大对遗址及周边不合理人类活动的监管力度,处理

好人类活动与遗址保护的关系。

4) 由于缺乏足够的考古资料,进行文化遗址时空分布以及保存状况的分析仍然存在一定的局限性。未来需要借助地球大数据技术与理论,深入地探究该地区文化遗址的时空分布特征及遗址保存现状,进一步理解巴基斯坦北部地区不同时期文化传播与自然环境的关系,进而探讨人地关系的演变。针对巴基斯坦北部地区文化遗址面临的诸多风险,制订更加合理、科学的保护对策,实现巴基斯坦北部地区这些文化遗址的可持续发展,为推进中巴走廊沿线文化遗址的保护及可持续发展提供科学依据。

感谢巴基斯坦伊斯兰堡 COMSATS 大学的 Zain Ul Abedin 教授以及中国科学院空天信息创新研究院的时丕龙博士、于丽君博士、陈富龙研究员、周伟博士共同参与野外考察与富有建设性的讨论。

参考文献

[1] 王心源,郭华东. 空间考古学:对象、性质、方法及任务[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(3): 360-367.

[2] Luo L, Wang X Y, Guo H D, et al. Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: a review of the century (1907—2017) [J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 232: 111280.

[3] 刘建国. GIS 支持的聚落考古研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2007.

[4] 李中轩,朱诚,吴国玺,等. 河南省史前人类遗址的时空分布及其驱动因子[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1527-1537.

[5] 公雪霜,于丽君,聂跃平,等. 辽宁西部地区先秦时期聚落遗址空间格局分析[J]. 中国科学院大学学报, 2016, 33(3): 373-379.

[6] Harrower M J. Geographic Information Systems (GIS) hydrological modeling in archaeology: an example from the origins of irrigation in Southwest Arabia (Yemen) [J]. Journal of Archaeological Science, 2010, 37(7): 1447-1452.

[7] Ullah I IT. A GIS method for assessing the zone of human-environmental impact around archaeological sites: a test case from the Late Neolithic of Wadi Ziqiāb, Jordan [J]. Journal of Archaeological Science, 2011, 38(3): 623-632.

[8] Dave A K, Courty M A, Fitzsimmons K E, et al. Revisiting the contemporaneity of a mighty river and the Harappans: archaeological, stratigraphic and chronometric constraints [J]. Quaternary Geochronology, 2019, 49: 230-235.

[9] Garcia A, Orengo H, Conesa F, et al. Remote sensing and

historical morphodynamics of alluvial plains. The 1909 Indus flood and the city of Dera Ghazi Khan (province of Punjab, Pakistan) [J]. Geosciences, 2019, 9(1): 21.

[10] Luo L, Wang X Y, Liu C S, et al. Integrated RS, GIS and GPS approaches to archaeological prospecting in the Hexi Corridor, NW China: a case study of the royal road to ancient Dunhuang [J]. Journal of Archaeological Science, 2014, 50: 178-190.

[11] 王心源. 利用卫星遥感实现境外一带一路沿线考古发现[J]. 卫星应用, 2019, 7: 15-17.

[12] Ahmed C I. The Cultural Study of Pakistan [D]. Hefei: Anhui University, 2018.

[13] 施国庆,张锐连,彭胜平,等. 中国-巴基斯坦经济走廊投资社会风险探究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2017, 19(1): 59-64,90.

[14] Cunningham A. Ancient geography of India [M]. Varanasi: Indological Book House, 1979.

[15] Cunningham A. Report of a tour in the Punjab in 1878—79 [M]. Calcutta: Office of the Superintendent of Government printing, 1882.

[16] 约翰·马歇尔. 塔克西拉[M]. 秦立彦译. 昆明:云南人民出版社, 2002.

[17] 杨翠柏,刘成琼. 巴基斯坦史:清真之国的文化与历史发展[M]. 台北:三民书局, 2005: 93-96.

[18] 王锡惠. 印度早期城市发展初探[D]. 南京:南京工业大学, 2015.

[19] 邹飞. 塔克西拉佛教遗址发掘历程述论[J]. 敦煌学辑刊, 2017(3): 178-188.

[20] 邹飞. 丝绸之路南段查萨达佛教遗址的发掘:以 1902 年的发掘为中心[J]. 新疆大学学报(哲学·人文社会科学版), 2018, 46(1): 85-90.

[21] Muhammad Y, 张悦. 巴基斯坦市、县与乡级地区的发展均衡性研究[J]. 小城镇建设, 2018, 36(11): 56-65.

[22] 丁思洋,朱文泉,江源,等. 基于 RS 与 GIS 的中巴经济走廊生态现状评价[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(3): 358-365.

[23] Wick P, Rabens V. Religions and trade: religious formation, transformation and cross-cultural exchange between east and west [M]. Leiden: Brill, 2013: 46-65.

[24] Wikipedia contributors. Cultural heritage in Pakistan [G/OL]. (2019-07-12) [2019-08-30]. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cultural_heritage_in_Pakistan&oldid=905960969.

[25] 高志远,谢元礼,刘状,等. 陕北黄土区 SRTM DEM 精度对不同地形因子的响应[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 174-178.

[26] 武虹. 多因子影响下的史前西辽河流域聚落空间格局演变研究[D]. 福建泉州:华侨大学, 2017.

[27] Clark P J, Evans F C. On some aspects of spatial pattern in biological populations [J]. Science, 1955, 121(3142): 397-398.

[28] 张新红. 兰州城市贫困住区空间分异特征及其影响因素

- [J]. 中国科学院大学学报, 2017, 34(3): 362-370.
- [29] Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function [J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1956, 27(3): 832-837.
- [30] 涂唐奇, 陈江龙, 魏也华, 等. 南京市基础教育设施空间结构及其演化 [J]. 中国科学院大学学报, 2018, 35(1): 66-74.
- [31] 聂卫东. 甘南藏区聚落的空间分布及影响因素研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [32] 李娅, 刘亚岚, 任玉环, 等. 城市功能区语义信息挖掘与遥感分类 [J]. 中国科学院大学学报, 2019, 36(1): 56-63.
- [33] 李政委, 苏惠敏, 朱利涛, 等. 陕西省汉至唐时期历史文化遗址空间分布及其影响因素 [J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 118-124.
- [34] 毕硕本, 王军, 计晗, 等. 郑洛地区史前聚落遗址环境驱动因子分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(2): 115-120.
- [35] 姚娅, 宋国定. 基于GIS的济水古河道流路研究 [J]. 地域研究与开发, 2017, 36(6): 171-176.
- [36] 闫丽洁, 石忆邵, 杨瑞霞, 等. 借助GIS研究史前聚落遗址的空间分布特征 [J]. 地理信息世界, 2012, 10(2): 44-48.
- [37] 李志新, 王心源, 刘传胜, 等. 海南东寨港海底村庄遗址遥感观测与分析 [J]. 中国科学院大学学报, 2019, 36(6): 803-809.
- [38] 欧东明. 略论印度教与印度佛教的关系 [J]. 南亚研究季刊, 2004, 20(4): 63-67, 3.
- [39] 冀培林. 浅析古中亚贵霜佛教的影响 [J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2010, 24(S2): 101-103.
- [40] Bhutto S A. 1982—2015年巴基斯坦作物物候与气候控制的时空格局 [D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所), 2018.
- [41] 黄世芬. 中国—巴基斯坦国际公路通道建设研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [42] 王心源, 刘洁, 骆磊, 等. “一带一路”沿线文化遗产保护与利用的观察与认知 [J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 550-558.
- [43] 王心源, Lasaponara R, Tariq S, 等. “一带一路”文化遗产保护与利用的挑战与应对 [J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(Z1): 42-51.
- [44] Chen F, Guo H, Ma P, et al. Radar interferometry offers new insights into threats to the Angkor site [J]. Science Advances, 2017, 3(3): e1601284.
- [45] Cigna F, Lasaponara R, Masini N, et al. Persistent scatterer interferometry processing of COSMO-SkyMed StripMap HIMAGE time series to depict deformation of the historic centre of Rome, Italy [J]. Remote Sensing, 2014, 6(12): 12593-12618.
- [46] 潘运伟, 杨明, 刘海龙. 濒危世界遗产威胁因素分析与中国世界遗产保护对策 [J]. 人文地理, 2014, 29(1): 26-34, 65.