

引用格式:王子桢,卫俊杰,邱俊杰,左昕昕,靳建辉. 福建城村汉城遗址城壕沉积记录的河流地貌过程[J]. 山地学报, 2024, 42(6): 765-780.

WANG Zian, WEI Junjie, QIU Junjie, ZUO Xinxin, JIN Jianhui. Fluvial geomorphic processes recorded by moat sedimentation at the Chengcun Hancheng Site, Fujian, China [J]. Mountain Research, 2024, 42(6): 765-780.

福建城村汉城遗址城壕沉积记录的河流地貌过程

王子桢^{1a}, 卫俊杰^{1a,2}, 邱俊杰^{1a,3}, 左昕昕^{1a,1b,1c}, 靳建辉^{1a,1b,1c*}

(1. 福建师范大学 a. 地理科学学院; b. 东南环境考古中心; c. 闽台区域研究中心, 福州 350117;

2. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000; 3. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 环壕是古代聚落重要的功能性设施, 其多利用天然河道并加以人工改造而形成, 可以实现农业灌溉和军事防御等多重功能。城村汉城遗址是秦末汉初的闽越国城址, 具有完备的环壕系统, 为深入了解闽北地区秦汉时期人地关系演变提供了契机。本研究在遗址环壕的不同河段选取 4 个钻孔作为研究对象, 通过年代测试和粒度分析, 结合钻孔岩性和现代地貌特征, 重建遗址环壕的水文沉积过程, 并探讨闽越国城址建立前后水文环境的变化机制。结果表明: (1) 城村汉城环壕沉积过程大致可划分为三个阶段, 即晚更新世晚期至末次冰盛期的沉积缓慢期 (约 50 ka BP ~ 26 ka BP)、末次冰盛期至全新世早期的沉积间断期 (约 26 ka BP ~ 12 ka BP) 和全新世中晚期的沉积增强期 (约 12 ka BP ~)。 (2) 西水门外侧的 HC2 钻孔记录了晚全新世以来的沉积变化 (2.9 ka BP ~ 0.6 ka BP)。这一变化反映了宫城兴建与废弃过程中, 西水门对来自西南方向的河流流量的调节作用; 宫城西门附近的 HC3 钻孔主要是早-中全新世的流水沉积 (9.4 ka BP ~ 3.8 ka BP), 反映了晚全新世以来, 即城村汉城兴废前后, HC3 附近的河流水文过程由河流沉积为主转为河流侵蚀为主。 (3) 闽越国宫城存续期 (202 BC ~ 110 BC), 基于天然河道改造修筑的环壕及其相关设施, 是防范洪水灾害的重要手段。通过对西水门的控制, 可达到调节河流的目的。丰水期打开水门, 使上游的水流通过环壕流入崇阳溪以泄洪; 平水期关闭水门, 可使流水减少汇入环壕, 以达到调节环壕水量的目的。本研究成果可为研究古人类活动相关的环境演变提供科学依据。

关键词: 释光年代学; 粒度; 水文地貌过程; 城村汉城遗址

中图分类号: P531

文献标志码: A

环壕聚落是古代城市起源的重要前驱形式。环壕常常利用天然沟渠并加以人工改造而形成, 承担着边界划分、防洪、引水灌溉、军事防御等多重功能^[1-2]。分析测试环壕沉积物, 可以复原环壕内堆积物的形成环境与后期改造过程, 进而为研究史前

人类活动提供依据。

国外学者对环壕沉积物进行了环境指标测试, 旨在重建古环境并复原遗址的形成过程。例如, 在对西班牙东北部 Cabezo de la Cruz 遗址^[3]、波兰中部 Rozprza 遗址^[4]、泰国东北部遗址群^[5]等研究中

收稿日期 (Received date): 2024-11-04; **改回日期** (Accepted date): 2024-12-07

基金项目 (Foundation item): 福建省科技厅公益类科研院所基本科研专项 (2024R1038); 福建省自然科学基金面上项目 (2024J01444); 国家自然科学基金 (41301012)。[Basic Scientific Research Special Project of Fujian Science and Technology Department of Public Welfare Research Institutes (2024R1038); Natural Science Foundation General Project of Fujian Province (2024J01444); National Natural Science Foundation of China (41301012)]

作者简介 (Biography): 王子桢 (2000 -), 男, 山西晋中人, 硕士研究生, 主要研究方向: 释光测年与环境演变。[WANG Zian (2000 -), male, born in Jinzhong, Shanxi Province, M. Sc. candidate, research on luminescence dating and environmental change] E-mail: wangzian000318@163.com

*** 通讯作者** (Corresponding author): 靳建辉 (1981 -), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 风沙地貌过程与环境演变、释光年代学方法与应用。[JIN Jianhui (1981 -), male, Ph. D., associate professor, research on the process of aeolian geomorphology and environmental change, luminescence chronology] E-mail: geojjh@fjnu.edu.cn

发现,这些环壕多用于蓄水,在城址建设中发挥水资源供应的缓冲作用。

中国环壕聚落的历史可追溯到新石器时期,主要分布在北方地区、中原地区和南方地区三大区域^[6],其功能随着时间的推移也逐步拓展。尽管不同区域的自然环境条件与文化特质存在显著差异,但城市的起源均与环壕有直接关联^[6-8]。

八十垱遗址(8 ka BP)^[9]坐落于湖北省涪水北岸,是一座典型的环壕聚落。勘探分析表明,该遗址的环壕窄浅,是在自然地貌的基础上稍加人工改造而成,对比同时期山东小荆山遗址的环壕^[10-11]和内蒙古兴隆洼遗址的环壕^[12],规模普遍较小,反映这一阶段的环壕尚不具备完善的军事防御功能,而是更突出标识领地的作用,并具有一定蓄水用水功能^[13]。

凌家滩遗址(5 ka BP)^[14]位于安徽省含山县。与同时期的山东大汶口文化的焦家遗址^[15]类似,该遗址的规模显著扩大,环壕与城墙修筑紧密相连,其内壕与外壕的双重结构不仅增强了防洪灌溉能力,还赋予了军事防御的新功能,这一时期古城防御体系的强化^[16]指示环壕聚落间领地矛盾的加剧。

城村汉城遗址^[17-18](2.2 ka BP)位于福建省武夷山市兴田镇城村,是西汉初年闽越王无诸受封时营建的一座王城^[19-20],是迄今为止中国南方发现的面积最大、保存最好的汉代城址。已出土的水稻和滨稔种子,揭示了西汉早期闽越先民的农业生产活

动,其对水资源的需求大大增加^[19]。秦末汉初社会动荡、战争连绵,在修筑大型城郭时,如何改造水环境和利用水资源,需要进一步研究探索。福建武夷山城村汉城遗址的发现为深入了解闽北地区秦汉时期的社会进程与入地关系演变提供了契机。

本研究以城村汉城遗址的环壕为研究对象,在汇入崇阳溪的东水门外、东水门-西水门之间河段和西水门外依次钻取4个沉积钻孔,通过石英单片再生剂量法构建沉积年代序列,同时对钻孔沉积物开展粒度测试反映沉积环境,探讨研究区在人类干预背景下的河流沉积与河流环境演变过程,并在此基础上分析人类活动对遗址水门的水文调控功能,为研究古人类活动相关的环境演变提供科学依据。

1 研究区概况

研究区地处闽北武夷山系与闽中大山系之间的政和-大埔断裂带^[21],丘陵山地地貌广泛发育,地势呈西北向东南倾斜状,山间盆地沿溪河交替分布(图1)。山脉多呈东北-西南走向,武夷山位于南平西北部,向西南延伸,为闽赣边界。境内河流水系纵横发达,主要河流有闽江、建溪、富屯溪、崇阳溪、南浦溪、松溪等。

城村汉城遗址位于福建省武夷山市兴田镇城村,东、西、北三面被崇阳溪环绕,面积为 $4.8 \times 10^5 \text{ m}^2$,

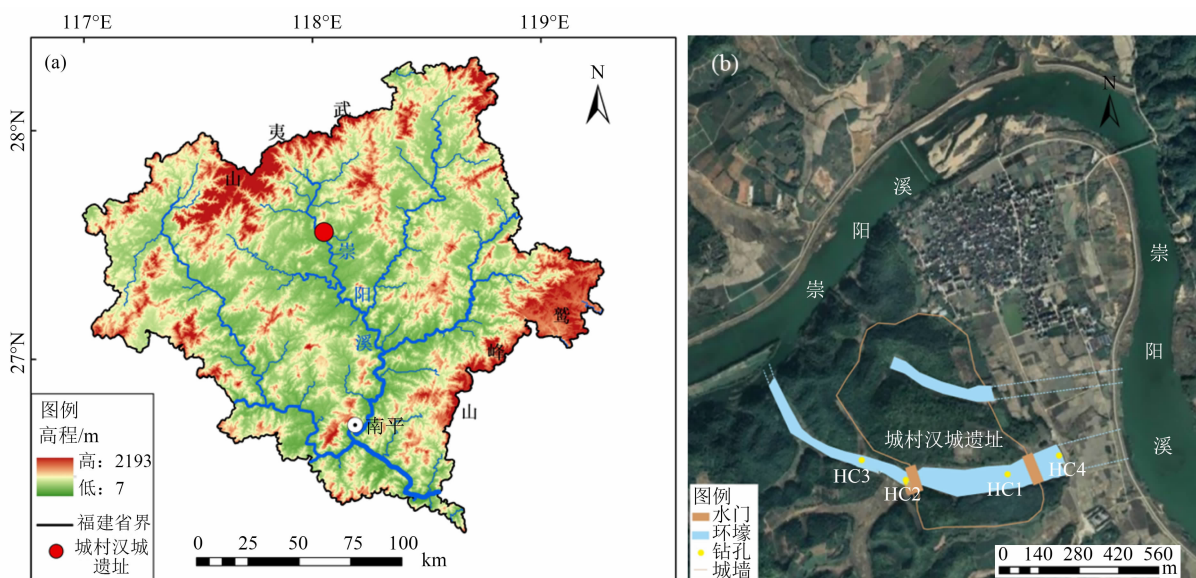


图1 研究区概况图:(a)研究区位置;(b)钻孔位置分布

Fig. 1 General map of the study area: (a) location; (b) distribution of borehole positions

环壕处于汉城遗址南缘,长约 1500 m、宽约 10 m、深约 5 m,海拔在 172 ~ 180 m 范围内,地理坐标为 27°32′43.36″ N、118°2′41.46″ E。气候类型为亚热带季风气候,总体上温暖,降水充足,平均气温为 18.3 ℃;干湿两季分明,冬夏两季分别盛行偏北风和偏南风,年平均降水量为 1500 ~ 2000 mm,大部分地区植被覆盖率较高,土壤类型以红壤为主^[22]。

2 材料与方法

2.1 样品采集

2022 年 12 月在武夷山城村汉城遗址开展野外考察和采样工作,遗址地形以丘陵为主,地势由西北向东南倾斜,从东水门东侧至西水门西侧,共钻取 4 根深度分别为 5.0 m (HC1)、4.0 m (HC2)、4.9 m (HC3)和 4.0 m (HC4)的钻孔岩芯(图 1)。本研究在钻孔中共采集 14 个光释光 (Optically stimulated luminescence, OSL)测年样品,采样信息见表 1。间隔 10 cm 采集粒度指标样,共采集 163 个样品。

2.2 光释光年代测试

为避免曝光对结果的影响,测定的样品前处理及测试均在暗室红光条件(中心波长为 655 ± 30 nm)下进行^[23]。样品等效剂量(Equivalent dose, De)的测试采取单片再生剂量法(Single-aliquot Regenerative-dose, SAR)^[24-26],所使用的仪器为丹麦国家实验室生产的光释光测量仪(型号为 Risø TL/OSL-DA 20 C/D),该仪器配置的激发光源为蓝光(波长为 470 ± 10 nm),搭配 7.5 mm 厚滤光片 U-340。环境剂量率(D)的测定采取间接测量法对 D 值进行计算^[27],使用 U、Th、K 转换系数^[28-30],根据 Prescott^[31]等提出的公式计算宇宙射线对样品 D 值的贡献,样品含水率使用 10% ± 5%。离散度(Over Dispersion, OD)可以用于反映同一个样品不同测片 De 值之间的分散程度,本研究参考 OD 值等

于 20%^[32]的标准对年龄模型进行选择,在 DRAC 计算器中^[33]分别用中值年龄模型(Central Age Model, CAM)和最小年龄模型(Minimum Age Model, MAM)计算样品年龄。

2.3 粒度测试

粒度测试采用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪,取适量样品于烧杯,加入浓度为 10% 的过氧化氢以去除有机质,再加入浓度为 10% 的盐酸以去除碳酸钙;浸泡 24 h 以上使其充分反应不再有气泡产生,之后加蒸馏水中和。上机测试前样品中加入 10 mL 0.1 mol · L⁻¹的六偏磷酸钠溶液,于超声清洗机中振荡 10 min,用 2 mm 的筛子筛去样品中较粗的砾石,每个样品测试 3 次,取平均值。本研究根据乌登-温特沃斯(Udden-Wentworth)土壤粒度分级标准^[34],把钻孔样品粒度分为 6 个粒级:<2 μm(黏土),2 ~ 63 μm(粉砂),63 ~ 125 μm(极细砂),125 ~ 250 μm(细砂),250 ~ 500 μm(中砂),>500 μm(粗砂)。

以上实验在福建师范大学释光年代学实验室和粒度分析实验室完成。

3 结果分析

3.1 钻孔年龄特征

典型样品的光释光信号衰减曲线如图 2 所示,样品的石英 SAR-OSL 信号在 2 s 内快速衰减至本底,表明释光信号由快组分主导。同时,剂量响应曲线呈一阶饱和指数增长,显示石英具有良好的释光测年属性^[35]。图 3 为典型样品的等效剂量分布图,图形接近正态分布。本研究的样品属于河流沉积物,沉积物在河道内搬运距离较短或者细颗粒在水流过程中以团聚体形式搬运^[36]会导致晒退不充分。CAM 和 MAM 是计算年龄时较为常用的年龄模型,本研究大多数样品的离散度大于 20%,等效剂量值分

表 1 城村汉城遗址钻孔岩芯采样信息
Tab. 1 Rock sampling information from boreholes at the Chengcun Hancheng Site

钻孔	经度/(°)	纬度/(°)	高程/m	深度/m	释光样品/个
HC1	118.05	27.55	177.00	5.00	3
HC2	118.04	27.55	188.00	4.00	4
HC3	118.04	27.55	186.00	4.90	4
HC4	118.05	27.55	172.00	4.00	3

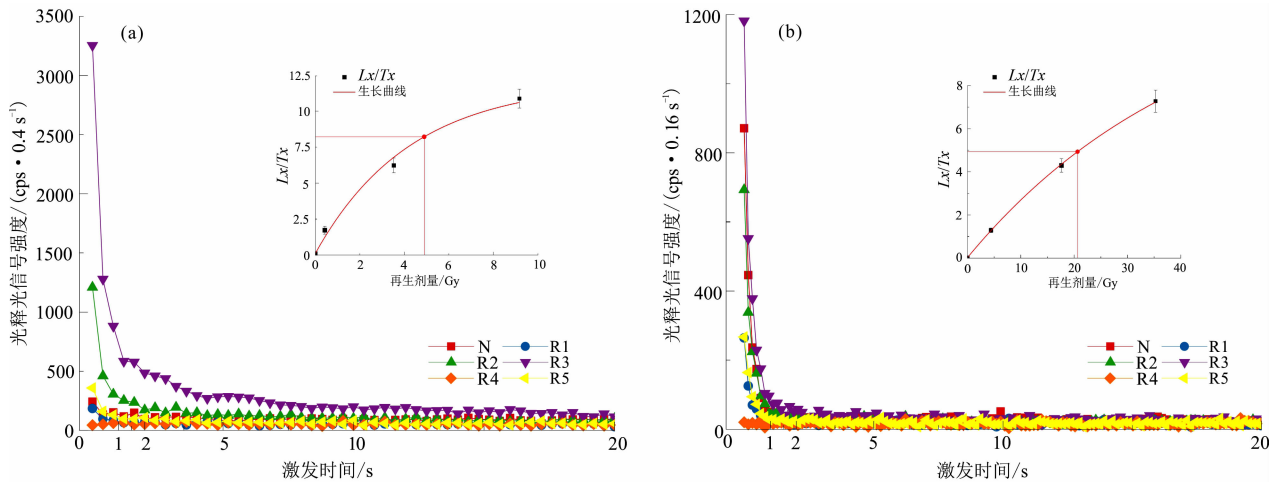


图 2 城村汉城遗址典型样品的衰变曲线和生长曲线:(a) 样品编号 2023018;(b) 样品编号 2023020

Fig. 2 Decay and growth curves of samples from the Chengcun Hancheng Site: (a) sample No. 2023018;(b) sample No. 2023020

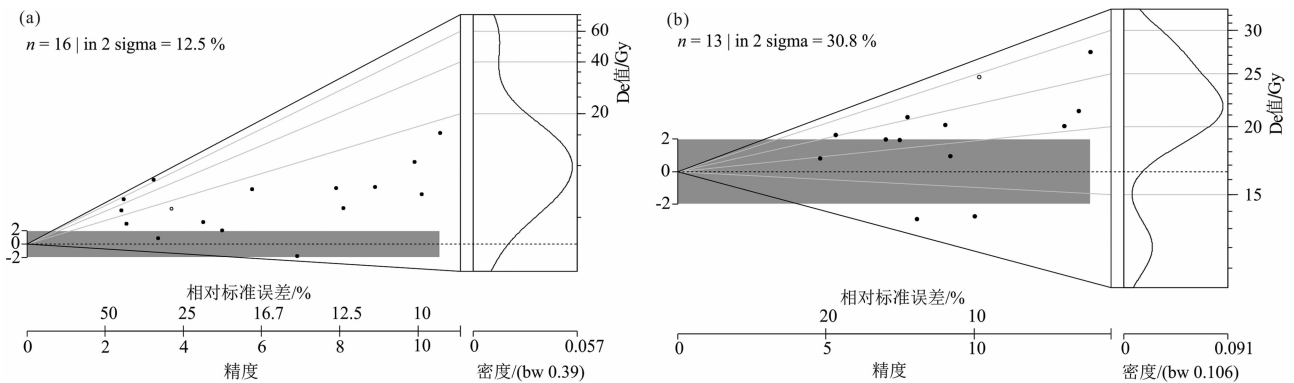


图 3 城村汉城遗址典型样品的 De 值分布图:(a) 样品编号 2023018;(b) 样品编号 2023020

Fig. 3 Distribution of De values for samples from the Chengcun Hancheng Site: (a) sample No. 2023018;(b) sample No. 2023020

布较为分散,意味着样品中的部分颗粒在埋藏前没有经过充分的晒退或者在埋藏期间经历了扰动,导致颗粒内累积的信号不均一。在这种情况下,选择 MAM 进行年代计算是为了排除那些可能受到干扰、没有充分晒退的颗粒,从而避免年代的高估^[37]。

光释光样品主要是以粉砂与极细砂为主的冲洪积物,故选用 38 ~ 63 μm 中颗粒组分进行样品前处理和样片制备^[38]。城村汉城遗址样品测年结果如表 2 所示,HC1 钻孔采集 3 个光释光样品,年代结果显示该钻孔底部沉积物形成于 $44.70 \text{ ka} \pm 10.98 \text{ ka}$,发育于晚更新世晚期,中部 2.8 m 沉积年龄为 $11.27 \text{ ka} \pm 0.97 \text{ ka}$,顶部粉砂质黏土形成时代为 $0.35 \text{ ka} \pm 0.03 \text{ ka}$,沉积速率由 $0.067 \text{ m} \cdot \text{ka}^{-1}$ 增加到 $0.15 \text{ m} \cdot \text{ka}^{-1}$;HC2 钻孔采集 4 个光释光样品,年代结果显示该钻孔底部沉积物形成于 $2.85 \text{ ka} \pm 0.55 \text{ ka}$,为闽越国宫城建城前后的主要沉积,其顶

部粉砂质黏土形成时代为 $0.56 \text{ ka} \pm 0.09 \text{ ka}$;HC3 钻孔采集 4 个光释光样品,年代结果显示该钻孔底部沉积物形成于 $9.42 \text{ ka} \pm 1.47 \text{ ka}$,顶部粉砂质黏土形成时代为 $3.84 \text{ ka} \pm 0.56 \text{ ka}$,以早中全新世沉积为主,闽越国宫城建城后,西水门的调控可能使得河流水文过程由河流沉积为主转为河流侵蚀为主,导致晚全新世沉积缺失;HC4 钻孔采集 3 个光释光样品,年代结果显示该钻孔下部沉积物形成于 $27.28 \text{ ka} \pm 3.16 \text{ ka}$,为晚更新世沉积,2.0 m 以上主要是 $1.63 \text{ ka} \pm 0.18 \text{ ka}$ 至 $0.5 \text{ ka} \pm 0.05 \text{ ka}$ 的沉积,沉积速率由 $0.039 \text{ m} \cdot \text{ka}^{-1}$ 增加到 $1.4 \text{ m} \cdot \text{ka}^{-1}$,表明汉城遗址所在的崇阳溪边滩是隋唐暖期至小冰期期间的河流侧向堆积过程形成的。整体而言,钻孔的石英光释光年代在误差范围内与地层序列基本一致,随着地层深度的增加而增大。环境剂量率结果基本在 $3 \sim 6 \text{ Gy} \cdot \text{ka}^{-1}$ 范围内(表 2),样品均为河流

表 2 城村汉城遗址样品光释光测年结果

Tab. 2 Results of luminescence dating of samples from the Chengcun Hancheng Site

样品编号	样品名称	离散度/%	环境剂量率/ (Gy · ka ⁻¹)	CAM(中值年龄模型)		MAM(最小年龄模型)	
				等效剂量/Gy	年龄/ka	等效剂量/Gy	年龄/ka
2023015	HC1-2(1.2~1.3 m)	15.30 ± 1.00	4.92 ± 0.21	1.70 ± 0.10	0.35 ± 0.03	1.80 ± 0.10	0.37 ± 0.03
2024124	HC1-3(2.8~2.9 m)	17.00 ± 4.00	4.17 ± 0.19	47.20 ± 1.27	11.32 ± 0.55	47.01 ± 3.58	11.27 ± 0.97
2023016	HC1-5(4.7~4.8 m)	32.00 ± 3.20	4.46 ± 0.19	276.80 ± 33.10	62.13 ± 7.86	199.15 ± 48.22	44.70 ± 10.98
2023017	HC2-1(0.9~1.0 m)	34.20 ± 1.60	4.91 ± 0.20	4.10 ± 0.40	0.84 ± 0.09	2.77 ± 0.44	0.56 ± 0.09
2024057	HC2-3(2.1~2.2 m)	34.00 ± 7.00	3.35 ± 0.14	6.06 ± 0.82	1.81 ± 0.35	4.53 ± 0.66	1.21 ± 0.36
2023018	HC2-4(3.7~3.8 m)	43.80 ± 3.10	3.52 ± 0.15	10.10 ± 1.40	2.87 ± 0.42	6.83 ± 1.27	1.94 ± 0.37
2023019	HC2-4(3.9~4.0 m)	51.80 ± 2.50	3.58 ± 0.15	19.80 ± 2.70	5.54 ± 0.79	10.18 ± 1.93	2.85 ± 0.55
2023020	HC3-1(0.6~0.7 m)	26.60 ± 1.50	4.59 ± 0.19	23.30 ± 1.70	5.08 ± 0.43	17.62 ± 2.46	3.84 ± 0.56
2024059	HC3-3(2.1~2.2 m)	15.00 ± 3.00	4.43 ± 0.18	22.91 ± 0.23	5.17 ± 0.22	21.74 ± 1.38	4.91 ± 0.37
2024060	HC3-3(2.9~3.0 m)	15.00 ± 3.00	2.85 ± 0.12	19.34 ± 0.18	6.78 ± 0.35	18.42 ± 1.28	6.46 ± 0.56
2023021	HC3-5(4.9~5.0 m)	46.20 ± 2.40	2.99 ± 0.12	52.70 ± 6.50	17.64 ± 2.30	28.15 ± 4.22	9.42 ± 1.47
2023022	HC4-1(0.5~0.6 m)	6.90 ± 1.30	5.68 ± 0.24	2.80 ± 0.10	0.49 ± 0.03	2.84 ± 0.25	0.50 ± 0.05
2024125	HC4-3(2.0~2.1 m)	34.00 ± 6.00	5.95 ± 0.25	6.27 ± 0.08	2.19 ± 0.12	4.64 ± 0.45	1.63 ± 0.18
2023023	HC4-3(2.9~3.0 m)	37.30 ± 2.70	5.95 ± 0.25	196.20 ± 23.60	32.98 ± 4.20	162.29 ± 17.51	27.28 ± 3.16

注:括号内为样品的深度。

相沉积,风化程度较低,变化范围合理, U 、 Th 没有出现自上而下的迁移和富集^[27]。

3.2 钻孔岩性与粒度特征

3.2.1 钻孔岩性与粒径变化

根据粒度测试结果(图 4),4 个钻孔的黏土含量均在 4% 以下且变化不明显,而粉砂和砂组分含量变化波动明显,其粒径和岩性变化具体表现如下。

HC1 钻孔粒径以粉砂为主,平均粒径(Φ 值)变化范围为 1.82~5.56,平均值为 4.14。钻孔整体质

地较黏重,自上而下平均粒径显示出细—粗—细的变化特征,深度为 2.6~3.2 m 时粒径突然变粗,层位存在石英砾石。钻孔层位自上而下依次为棕色黏土层、红褐色极细砂层、棕灰色粉砂层、深棕灰色粗砂夹粉砂薄层、橄榄色极细砂层、黄色粉砂层。

HC2 钻孔粒径以粉砂和极细砂为主,平均粒径(Φ 值)变化范围为 2.95~6.53,平均值为 4.12。钻孔粒径变化明显,深度为 0.3~2.5 m 时表现为较暗的灰棕色粉砂颗粒,2.5~4.0 m 为以细砂和中砂

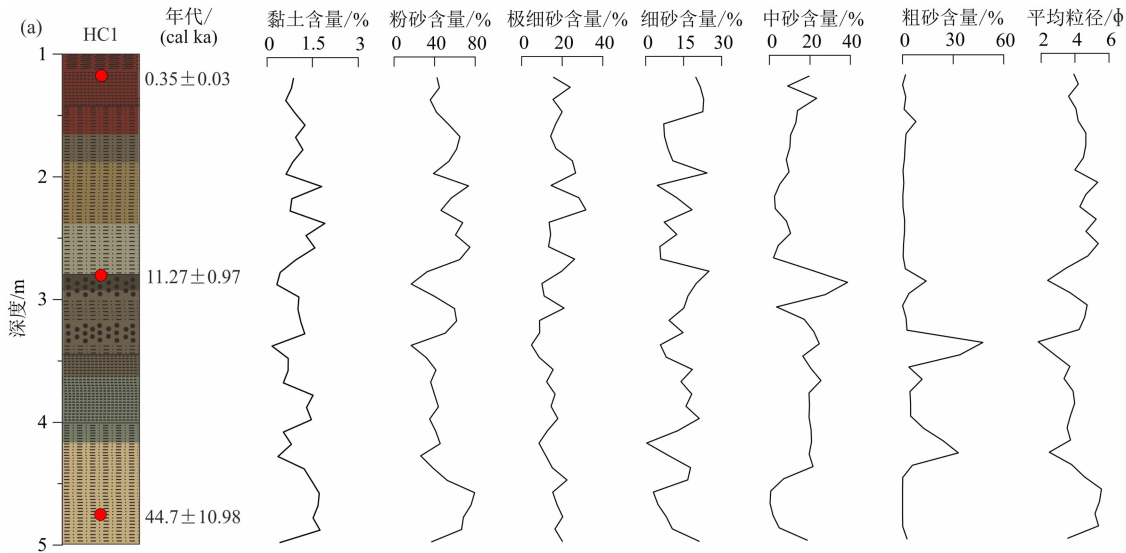


图 4 钻孔平均粒径及组分含量百分比:(a) HC1 钻孔;(b) HC2 钻孔;(c) HC3 钻孔;(d) HC4 钻孔

Fig. 4 Average grain size and component content percentage: (a) HC1 borehole; (b) HC2 borehole; (c) HC3 borehole; (d) HC4 borehole

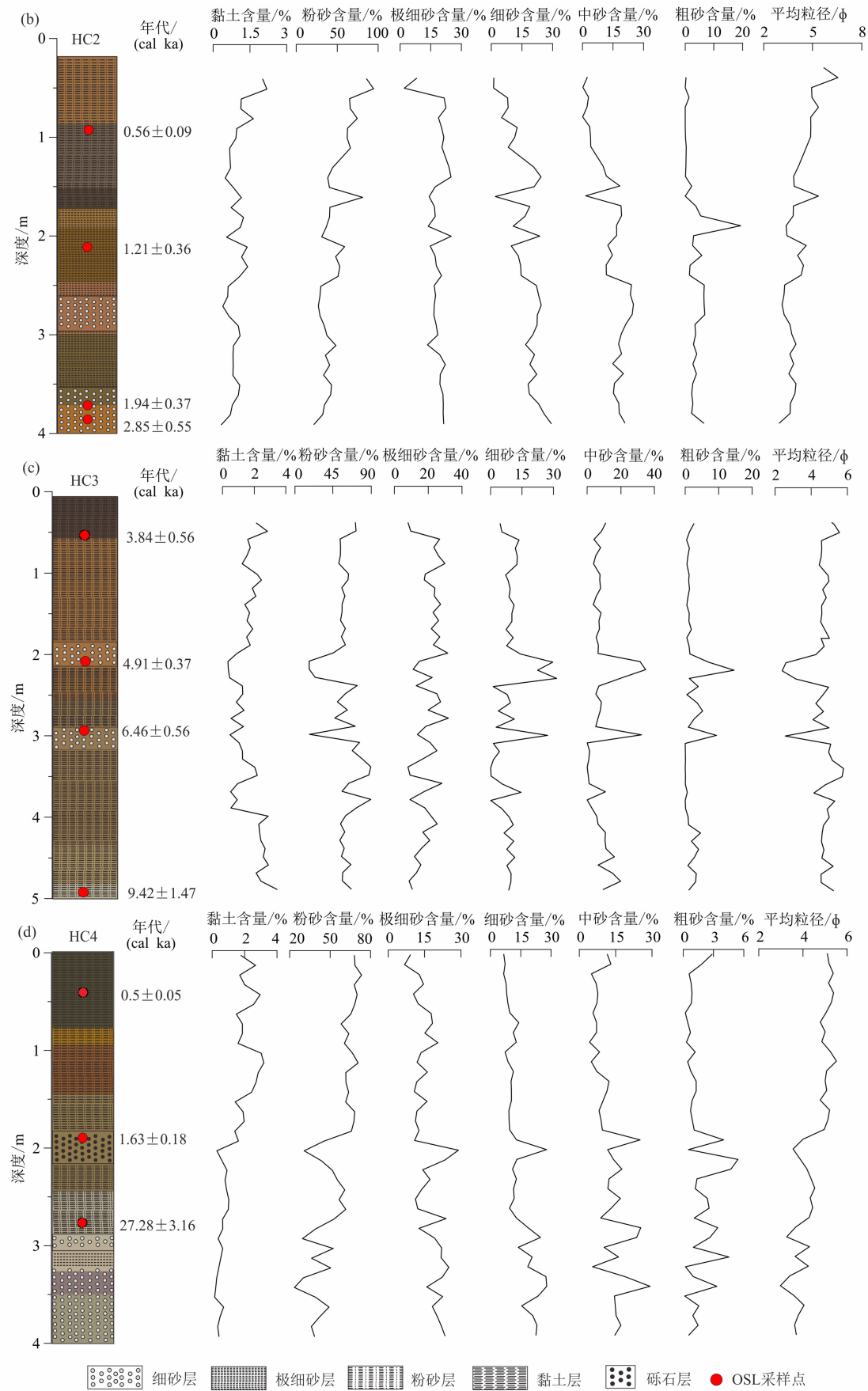


图4 (续)

为主的红棕色砂粒,自上而下平均粒径显示出细—粗的二元结构。钻孔层位自上而下依次为黄棕色粉砂层、棕色极细砂层、棕红色细砂层、浅褐色极细砂夹青灰色黏土层、棕红色细砂层。

HC3 钻孔粒径以粉砂为主,砂含量很少,平均粒径(Φ 值)变化范围为 2.40 ~ 5.71,平均值为 4.64。粒径整体偏细,深度为 1.8 ~ 2.2 m 和 3.0 ~ 3.2 m 时粒径突然变粗,可能指示短期的洪水事件。钻孔层位自上而下依次为深褐色粉砂层、棕色细砂层、包含一定量黏土颗粒的浅棕色粉砂层、浅棕色细砂层、灰黄色粉砂层。

HC4 钻孔粒径以粉砂为主,平均粒径(Φ 值)变化范围为 2.98 ~ 5.52,平均值为 4.47。深度为 0 ~ 2.0 m 时表现为暗棕色的粉砂,粒径波动稳定,2.0 ~ 4.0 m 时细砂和中砂含量增多,粒径波动明显,自上而下平均

粒径显示出细—粗的二元结构,1.9 ~ 2.2 m 存在石英砾石。钻孔层位自上而下依次为深橄榄色粉砂层、有红色网纹化土壤发育的黄棕色粉砂层、棕色粉砂层、棕灰色细砂层、棕灰色极细砂与紫色细砂交互层。

3.2.2 粒度端元特征与沉积相划分

粒度端元分析是通过数学方法将这些混合态沉积物分解成具有特定特征、相互独立的粒度组分,从而提高对沉积物来源与动力条件的识别^[39]。HC2 与 HC3 处于城壕南缘和西缘,保留了全新世以来的沉积,因此本研究采用 Matlab 软件,通过运行 AnalySize 程序并选择 Gen. Weibull 方法^[40]对 HC2、HC3 钻孔共 80 个样品的粒度数据进行参数化端元分析。根据拟合度(R^2) > 0.8 和角度偏差(θ) < 5° 的原则^[40],端元数量选择尽量少,因此选择 3 个端元对数据进行分析(图 5)。

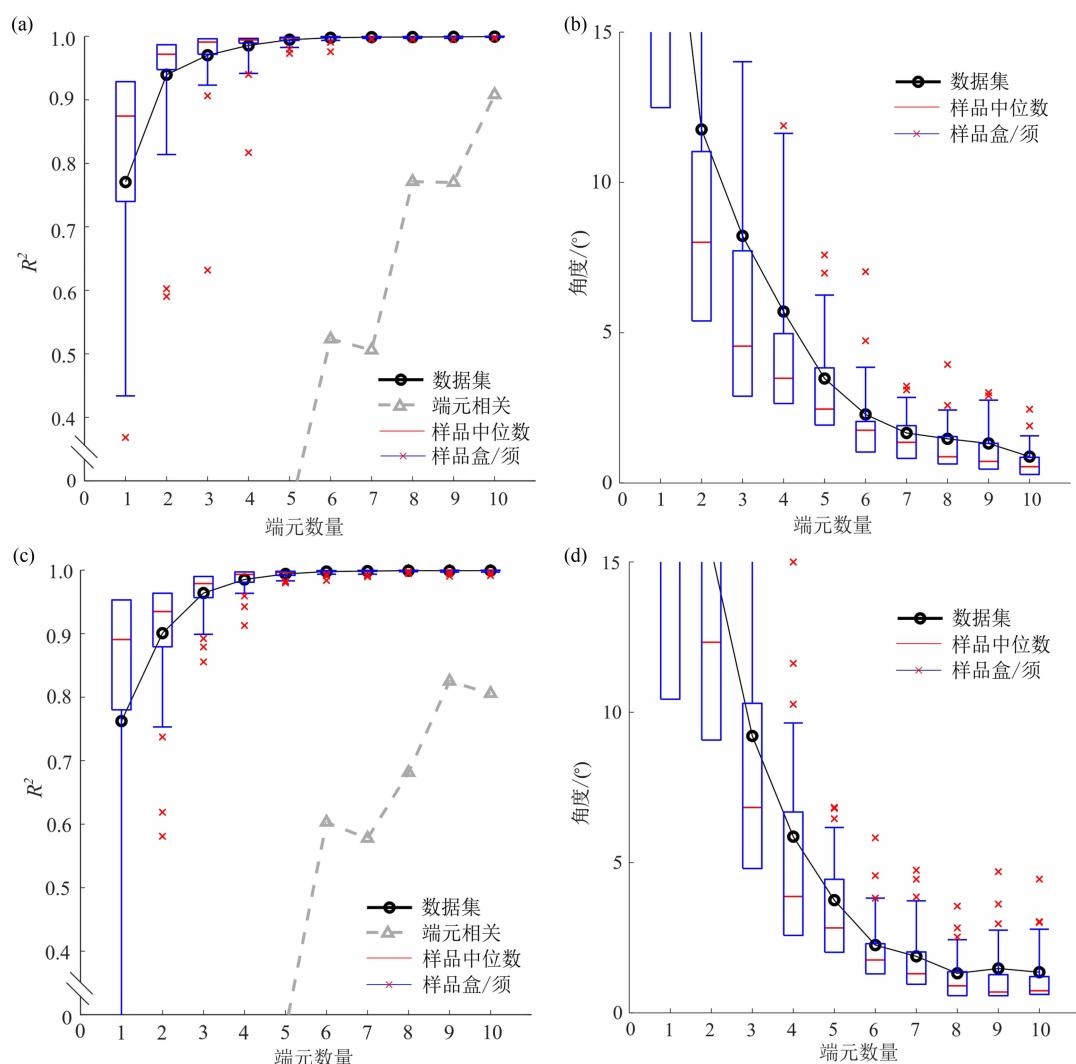


图5 钻孔参数化端元的线性相关系数:(a) HC2 钻孔拟合度;(b) HC2 钻孔角度;(c) HC3 钻孔拟合度;(d) HC3 钻孔角度

Fig. 5 Linear correlation coefficient of parameterized end members: (a) HC2 fitting degree; (b) HC2 angle; (c) HC3 fitting degree; (d) HC3 angle

如图 6 显示,钻孔沉积物的端元频率曲线符合河流沉积物的粒度分布特征^[41-42],说明环壕沉积是典型的河流作用的产物。粒度端元频率分布曲线大多为一主峰和一微弱的次峰,接近正态分布,表明沉积物的来源具有明显差异^[43]:一方面可能来自河流的输沙作用形成的冲积物,另一方面可能是在短暂性流水过程中形成的沉积物。如表 3 所示,HC2 的 EM1 和 EM2 平均粒径为 10 μm 左右,代表细粉砂粒级,含量分别达 67.79% 和 86.10%,黏土和砂粒级含量较少,EM2 的砂粒级含量仅为 1.63%;EM3 的平均粒径为 65.72 μm,属于极细砂,砂粒级含量最多,占比为 54.14%,粉砂粒级占比为 45.69%。这 3 个端元组分的平均粒径从 EM1 到 EM3 逐步增大,与端元分布曲线中的峰值有一定的对应性。各组分标准差系数不稳定,分选性较差;EM1 偏度为

0.15,其余曲线的偏度均为负偏,峰度值均大于 0。HC3 的 EM1 和 EM2 平均粒径分别为 8.56 μm 和 20.63 μm,属粉砂粒级,含量为 78.03% 和 90.93%,砂含量很少,EM1 的黏土含量为 20.85%;EM3 的平均粒径为 44.61 μm,主要为粗粉砂粒级,砂组分含量占比为 57.25%,粉砂粒级占比为 34.40%。EM1 到 EM3 的标准差系数变化明显,分选性较差;偏度均为负偏,峰度值均大于 0。

城村汉城遗址环壕地势低洼,上游为山溪性河流,沉积物搬运距离较短,河流侵蚀次数较少,洪水期水流漫溢天然堤,流速降低,使上游河流悬浮沉积物在环壕内大量堆积。河床相沉积以砂和砾石为主,河水将上游搬运来的、从河底基岩侵蚀的砾石等粗碎屑物质留在河床底部,形成滞留砾石层;河漫滩相沉积主要为粉砂和黏土,粒径是河流沉积中最细

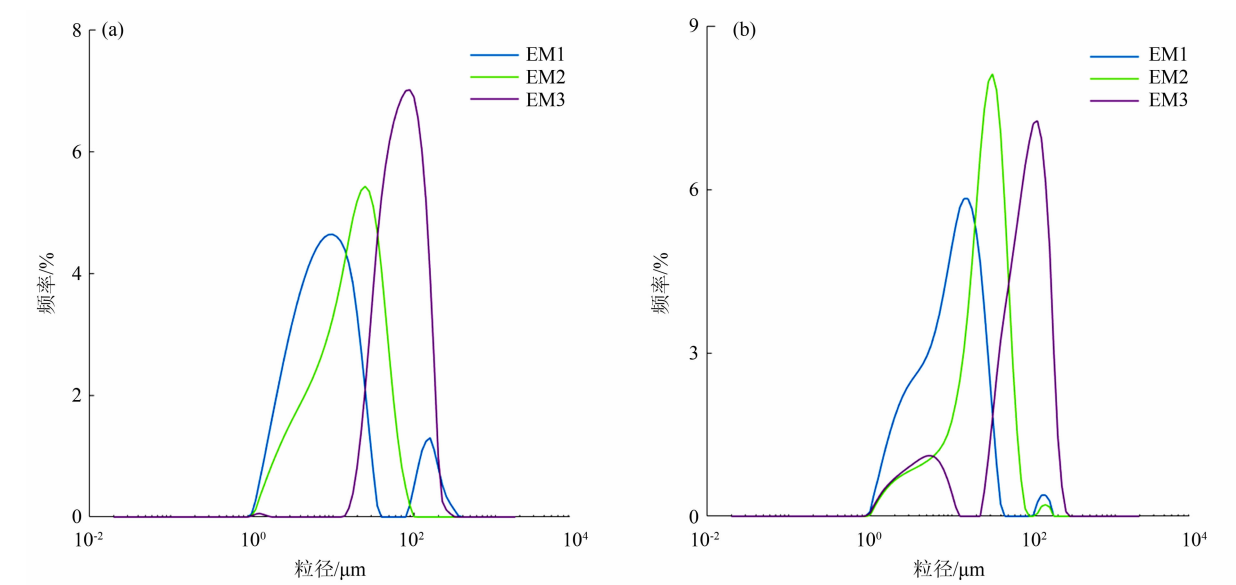


图 6 钻孔粒度端元频率分布曲线: (a)HC2 钻孔; (b)HC3 钻孔
Fig. 6 Frequency distribution curve of grain size end members: (a) borehole HC2; (b) borehole HC3

表 3 城村汉城遗址 HC2、HC3 钻孔粒度端元的参数特征

Tab. 3 Parameter characteristics of grain size end members in HC2 and HC3 at the Chengcun Hancheng Site

钻孔	端元	平均粒径/μm	标准差系数	偏度	峰度	黏土含量/%	粉砂含量/%	砂含量/%
HC2	EM1	7.75	3.07	0.15	1.35	23.96	67.79	8.26
	EM2	13.94	2.60	-0.25	0.95	12.27	86.10	1.63
	EM3	65.72	1.78	-0.07	0.86	0.17	45.69	54.14
HC3	EM1	8.56	2.40	-0.24	0.89	20.85	78.03	1.33
	EM2	20.63	2.24	-0.39	1.34	7.35	90.93	1.72
	EM3	44.61	3.54	-0.59	1.65	8.35	34.40	57.25

的,垂向分布于河床相沉积之上;漫洪相沉积物的特点是粗细颗粒交替,常见较细颗粒的砂、粉砂和黏土堆积^[44]。综合钻孔岩性及粒度特征可以看出,沉积物以粉砂为主,表明以钻孔代表的环境壕沉积环境以河漫滩沉积环境为主,偶见粗细颗粒交替的漫洪相沉积,中粗砂及石英砾石存在的层位以河床沉积环境为主。

4 讨论

4.1 粒度特征指示环境壕沉积环境变化

上述结果分析可以明确,城村汉城遗址环境壕不同时期沉积相不同,利用钻孔沉积物的年龄以及沉积厚度进行沉积速率比较,可以获取钻孔粒度组分的变化,从而推测其沉积环境的演变。通过图 7a 可以看出,4 个钻孔河床相沉积较少(<6%),分布于晚更新世晚期,说明环境壕河道较为固定^[45];河漫滩相沉积为主导(>94%),在钻孔中发育有厚达 2~3 m 的河漫滩相沉积物,多分布于全新世时期,说明全新世时期环境壕河床不断侧向移动、水流周期性泛滥形成河漫滩相沉积^[45],并在河流侧向摆动和河漫滩沉积速度较快时形成漫洪沉积,沉积物的堆积大于侵蚀,使得环境壕河道可以发育二元相结构,底部以粗粒的河道充填沉积发育,垂向发育细粒堆积。

通过对比城村汉城遗址的环境壕沉积速率和区域内的气候资料,发现环境壕沉积过程对气候变化呈现较好的响应,即在相对暖湿的全新世环境壕沉积较厚,而在相对冷干的冰期,环境壕沉积缓慢,甚至出现沉积间断(图 7c)。

整体来看,城村汉城环境壕沉积过程大致可划分为三个阶段。

(1) 晚更新世晚期至末次冰盛期(约 50 ka BP~26 ka BP),河道沉积速率缓慢。该阶段(MIS3)气候温凉较干,钻孔的年龄-深度变化趋势表明泥沙淤积速率缓慢,HC1 和 HC4 钻孔底部的年代学结果显示,两支钻孔分别是 44.7 ka 和 27.28 ka 以来的沉积,砂占主导地位。尽管在温凉的气候条件下,年平均降水量趋于变小,但季节性降水可以促使区域冲积扇的发育^[47-48]。HC1 钻孔地处遗址东西水门之间,3.0 m 左右存在砾石层,而 HC4 钻孔地处环境壕下游,2.3 m 左右存在砾石层,根据钻孔海拔及前文结论判断,此层为河床沉积,表明环境壕河道

形成于晚更新世晚期的自然堆积。

(2) 末次冰盛期至全新世早期(约 26 ka BP~12 ka BP),河道出现沉积间断。该阶段(MIS2)干冷的气候造成河流活动性减弱^[49],上游河流携带的泥沙物质大大减少。末次冰盛期期间,降水量呈现下降的趋势,年均径流量逐渐减小,受河流侵蚀基准面下降影响,环境壕河流开始下切侵蚀,是导致沉积间断的主要原因。

(3) 全新世中晚期(约 12 ka BP~),河道沉积速率显著加快。该阶段(MIS1)全球气候相对暖湿,但干湿冷暖波动比较频繁,年代分布出现高频率时期,表明河流活动性增强。中国三宝洞的石笋氧同位素记录(图 7c)显示此时期夏季风增强,亚热带山区泥炭重建的降水资料也表明 12 ka BP 以来区域降水增多^[50],引起河流流量增大,横向侵蚀和搬运堆积过程强烈,沉积速率加快,河漫滩相沉积发育强烈。HC2 钻孔和 HC3 钻孔位于西水门西侧,均为全新世的沉积。其中,端元分析(图 7b)表明 HC2 钻孔 0.8 m 以上 EM1 占比增加,河流携带能力减弱,为河流沉积物自山区上游至遗址下游粒级逐渐变细所致;0.8~2.5 m EM2 占比最高,中值粒径变化范围大,随着气候渐变干燥,河流水量减小,溢岸洪水垂向堆积转为缓流搬运悬移质泥沙堆积,形成河漫滩沉积^[51];2.5~4.0 m EM3 占比最高,细砂和中砂含量增加,中值粒径波动较小说明水动力条件强且稳定^[46],有漫洪沉积与河漫滩沉积的沉积相变化,汛期水动力较强时漫溢河道两侧低地,洪水退去后携带的细砂沉积在粗颗粒沉积之上,形成粗细颗粒混合的漫洪沉积^[52]。总体上看,HC2 钻孔为二元结构的河漫滩沉积,沉积时期为由湿向干过渡的全新世晚期,城村地处湿润亚热带,雨季持续时间长,湿润年份山区上游溪流汇聚成河,在河流的搬运作用下粗颗粒沉积物被携带进入西水门附近沉积^[43];温干年份河流流速变缓,细颗粒物沉积导致沉积速率显著加快。

HC3 钻孔中值粒径变化较小,端元分析(图 7b)表明 EM2 占绝对优势,证明流经 HC3 钻孔的环境壕水动力稳定,易成河漫滩沉积^[44];2.0~3.0 m EM3 占比较高,可能是 4.91 ka 和 6.46 ka 前后出现短暂的洪水期形成的,洪水带来的悬浮载荷形成粉砂,在潮湿条件下可发展成河漫沼泽^[53]。HC3 钻孔沉积时期属于全新世大暖期(图

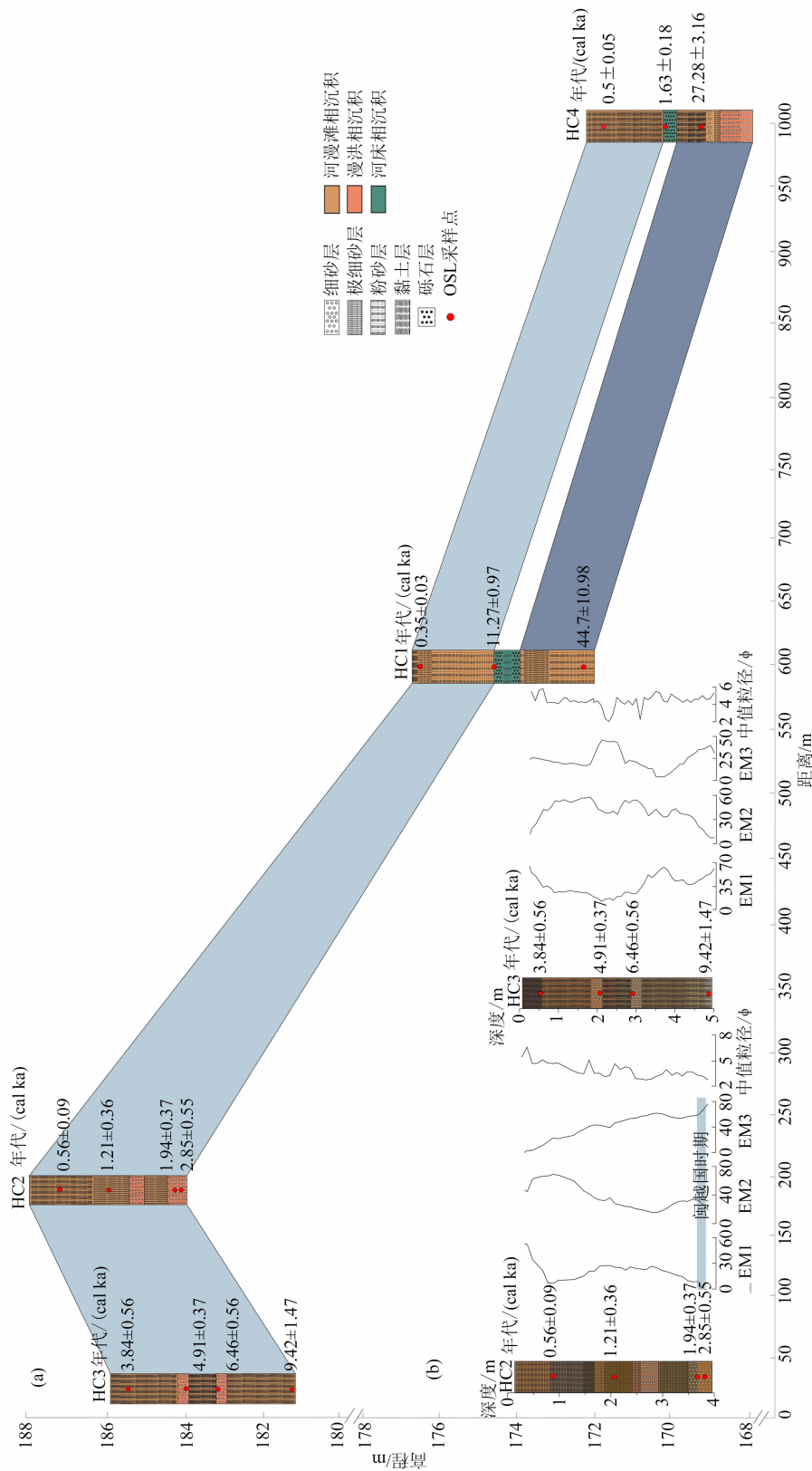


图 7 钻孔沉积年龄与气候变化关系:(a)城村汉城遗址 4 个钻孔的沉积相时空分布;
(b)城村汉城遗址不同粒度端元-深度分布;(c)中国三宝洞石笋记录的氧同位素变化^[54]与年龄分布
Fig. 7 Relationship between boreholes sediment age and climate change:(a)spatial and temporal distribution of facies models
in 4 boreholes at Chengcun Hancheng Site;(b)end member depth distribution of different grain sizes
at the Chengcun Hancheng Site;(c)changes in oxygen isotopes in San Bao Cave, China^[54] and age distribution

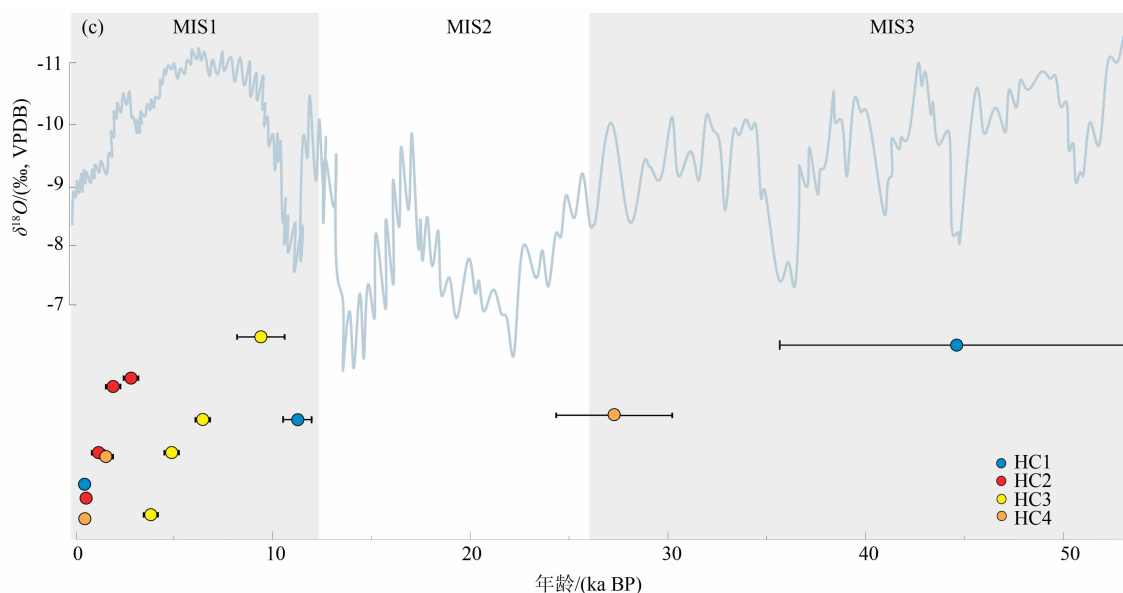


图7 (续)

7c), 气候湿润,但在 8.3 ka、7.6 ka、6.0 ka、5.2 ka 存在夏季风减弱的波谷^[43], 夏季风减弱阶段可能伴随着河流的下切侵蚀(冬季风盛行—夏季风盛行)和河流侧蚀(夏季风盛行—冬季风盛行)的交替过程,使城村所在的崇阳溪右岸迂回扇堆积了较厚的全新世沉积物。

4.2 环壕河流水文变化与人类活动关系

城村汉城遗址环壕是闽越国抵御外敌的重要水利设施,先民对西水门的合理运用也是保护城址的重要措施。前人已有研究^[55-56],城村汉城为闽北重要的军事堡垒,毗邻崇阳溪,《汉书》曾对城村汉城记载:“处溪谷之间,篁竹之中,习于水斗,便于用舟,地深昧而多水险”,表明闽北先民秦汉时期具备水战的能力,汉越对峙时期城村地区具有较高的战略地位。此外,距城村东北约 80 km 的浦城金鸡山遗址^[57]挖掘出纹样各式的陶片及筒瓦,均属于西汉闽越国的陶器残片,表明闽越国各地区文化交流密切,先民活动范围不断扩大。

根据前人研究^[58]及本文结果分析,环壕内河流水文变化可能与人类活动有关。HC2 钻孔可反映闽越国城址存续期(202BC ~ 110BC)为 EM3 所主导的高能沉积时期(图 7b),在此建城大兴土木,破坏植被,汛期可能导致河道上游河流泛滥形成洪水,河流侧向堆积使其粒径变粗^[59],西南部山地水流汇集在西水门附近形成较厚河流相沉积。丰水期城址下游的居民打开西水门泄洪保护城址,河流通过护城

河道向东流入崇阳溪;平水期西水门关闭,河流可能会改道从西北方向经 HC3 钻孔流入崇阳溪(图 8), HC3 钻孔顶部沉积年代为 3.84 ka,可能是河流侵蚀导致晚全新世沉积缺失,进一步佐证西水门对城村山溪性河流有调控作用。遗址所在的位置正是崇阳溪右岸迂回扇形成的凸岸,并不断向左岸发育。原来的左岸离王城可能比现在更近,随着河流边滩和迂回扇的进一步发育而逐渐拓宽^[60]。

城村汉城遗址处于闽江上游,闽江流域的众多遗址主要分布在闽江及其支流周边,从史前至历史时期,沿河城壕一直是人类聚居的重要场所^[60]。例如,位于长江中游的走马岭遗址,通过遗址的正射图和已测得的古城墙^[61],推测走马岭遗址人工调控环壕功能与城村汉城遗址相似^[62],汛期打开西水门泄洪,将多余的水排入上津湖中,旱季时关闭西水门,将城内蓄水池的水引入沟渠和古河道里,从而提供生活和生产用水。位于珠江流域的南越国木构水闸遗址同样为秦汉时期遗址^[63],水闸具有防洪防潮及排水的功能,洪水季开闸将城内积水排向城外,珠江潮水升高时关闸防止河水倒灌,枯水季开闸汲水入城^[64],这项工程表明秦汉时期南方地区先民已可以根据地形水系建造良好的水利设施。城村汉城西水门遗址最新的植物考古调查^[19]也发现,西水门附近的冲-洪积物中能浮选出大量的植物遗存,其中不乏需要灌溉条件的农作物植物遗存,也佐证了西水门具有调节河流水量和农业灌溉的功能。

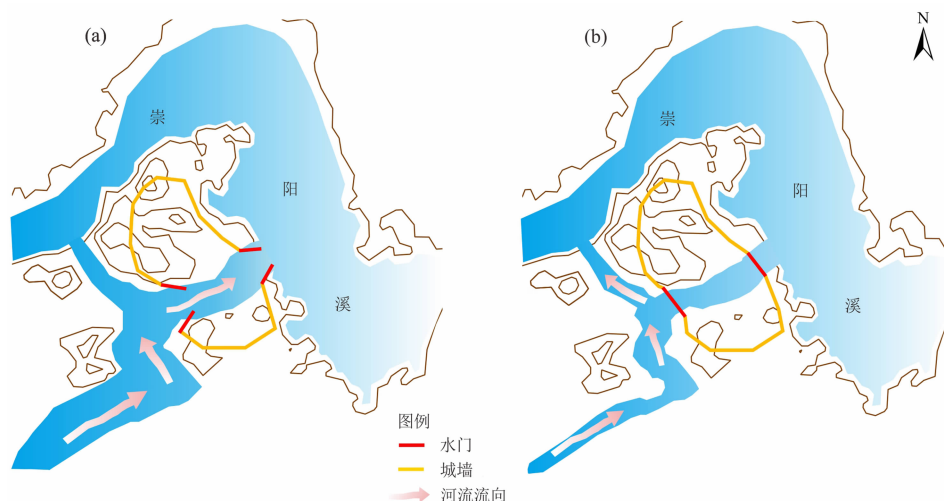


图8 城村汉城遗址环境河流水文调控变化示意图:(a)丰水期(水门打开);(b)平水期(水门关闭)

Fig.8 Hydrological schematic diagram of moat at the Chengcun Hancheng Site:

(a) flood season (water gate opened); (b) normal season (water gate closed)

5 结论

城村汉城遗址所在位置临近崇阳溪,依托人工改造的自然河道作为宫城聚落的环境是先民建城的主要策略之一。通过对环壕及附近的4个钻孔进行光释光测年建立年代框架,综合其他环境代用指标,探讨了在人类干预背景下城村汉城遗址环壕的河流沉积过程与环境演变,初步得出以下结论。

(1) 钻孔测年样品的释光特征显示,等效剂量(De)离散系数整体偏大,应是河流沉积物在搬运沉积过程中晒退不充分造成的,间接指示了福建山溪性河流沉积物的中-短距离搬运特点。通过最小年龄模型对De值进行了计算,4个钻孔年代结果分布于 $0.35 \text{ ka} \pm 0.03 \text{ ka} \sim 44.70 \text{ ka} \pm 10.98 \text{ ka}$ 。

(2) 钻孔为河流相沉积,环壕整体为河床-河漫滩沉积。HC1、HC2和HC4钻孔以粉砂和极细砂为主,HC3钻孔以粉砂为主,反映了晚更新世晚期以来湿润亚热带地区山溪性河流的侵蚀-堆积过程。其中,晚更新世晚期至末次冰盛期(约 $50 \text{ ka BP} \sim 26 \text{ ka BP}$),河道沉积速率缓慢;末次冰盛期至全新世早期(约 $26 \text{ ka BP} \sim 12 \text{ ka BP}$),出现沉积间断;全新世中晚期(约 $12 \text{ ka BP} \sim$),河流沉积速率显著加快。

(3) HC2和HC3钻孔的沉积过程和粒度端元特征证明闽越先民可通过对西水门的控制,达到调

节河流水文环境的目的。宫城存续期间,河流水位上升极易出现洪泛。水流增大时,西水门开启泄洪以达到保护城址的目的;后期废弃后植被生长发育水流变缓,沉积速率加快,西南部山地汇水可能也会随着河道向西北流入崇阳溪。

参考文献(References)

- [1] 钱耀鹏. 中国史前防御设施的社会意义考察[J]. 华夏考古, 2003(3): 41-48. [QIAN Yaopeng. A study of the social significance of defense works in prehistoric China [J]. Huaxia Archaeology, 2003(3): 41-48] DOI: 10.16143/j.cnki.1001-9928.2003.03.007
- [2] ZHUANG Yijie, DING Pin, FRENCH C. Water management and agricultural intensification of rice farming at the Late-Neolithic site of Maoshan, Lower Yangtze River, China [J]. The Holocene, 2014, 24: 531-545. DOI: 10.1177/0959683614522310
- [3] PENA-MONNA J L, RUBIO-FERNABDEZ V, GONZALEZ-PEREZ J R, et al. Geoarchaeology of defensive moats: Its importance for site localization, evolution and formation process reconstruction of archaeological sites in NE Spain [J]. Journal of Archaeological Science, 2014, 50: 383-393. DOI: 10.1016/j.jas.2014.07.026
- [4] KITTEL P, SIKORA J, ANTCHAK O, et al. The palaeoecological development of the Late Medieval moat-Multiproxy research at Rozprza, central Poland [J]. Quaternary International, 2018, 482: 131-156. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.03.026
- [5] SCOTT G, O'REILLY D. Rainfall and circular moated sites in north-east Thailand [J]. Antiquity, 2015, 89: 1125-1138. DOI: 10.15184/aqy.2015.130

- [6] 陈冬仿. 环壕的发展与城的起源[J]. 中原文物, 2015(6): 42-45. [CHEN Dongfang. The development of moat and the origin of city [J]. Cultural Relics of Central China, 2015(6): 42-45]
- [7] 中国科学院考古研究所, 陕西省西安半坡博物馆. 西安半坡[M]. 北京: 文物出版社, 1963: 49+52. [Chinese Academy of Social Sciences, Shanxi Xi'an Banpo Museum. Xi'an Banpo [M]. Beijing: Cultural Relics Press, 1963: 49+52]
- [8] 张学海. 城起源研究的重要突破—读八十垱遗址发掘简报的心得, 兼谈半坡遗址是城址[J]. 考古与文物, 1999(1): 36-43. [ZHANG Xuehai. An important breakthrough on study of origin of city (abstract) [J]. Archaeology and Cultural Relics. 1999(1): 36-43]
- [9] 郭伟民. 新石器时代澧阳平原与汉东地区的文化和社会[M]. 北京: 文物出版社, 2010: 141-142. [GUO Weimin. The culture and society of the Liyang Plain and the Eastern Han area during the Neolithic age [M]. Beijing: Cultural Relics Press, 2010: 141-142]
- [10] 王守功, 宁荫堂. 山东章丘市小荆山后李文化环壕聚落勘探报告[J]. 华夏考古, 2003(3): 3-11. [WANG Shougong, NING Yintang. Exploration report on the HouLi Culture moated settlement in Xiaojingshan, Zhangqiu, Shandong [J]. Huaxia Archaeology, 2003(3): 3-11] DOI: 10.16143/j.cnki.1001-9928.2003.03.001
- [11] 陈魁, 秦超超. 裴李岗时代环壕聚落壕沟功用研究[J]. 文物季刊, 2024(1): 72-81. [CHEN Kui, QIN Chaochao. Research on the function of the moated settlement in the Pei Ligang Era [J]. Journal of Chinese Antiquity, 2024(1): 72-81] DOI: 10.3969/j.issn.1009-1092.2024.01.007
- [12] 朱永刚. 中国东北先史环壕聚落的演变与传播[J]. 华夏考古, 2003(1): 32-42. [ZHU Yonggang. Evolution and spread of Xianshi Huanhao settlements in northeast China [J]. Huaxia Archaeology, 2003(1): 32-42] DOI: 10.16143/j.cnki.1001-9928.2003.01.005
- [13] 赵成双. 长江中下游地区全新世中期人类文化演化的环境背景研究[D]. 北京: 北京大学, 2021: 54-59. [ZHAO Chengshuangping. The mid-holocene environmental background of human cultural evolution in the middle and lower reaches of the Yangtze River [D]. Beijing: Peking University, 2021: 54-59]
- [14] 甘创业. 凌家滩遗址环壕浅析[J]. 常州文博论丛, 2023(1): 23-27. [GAN Chuangye. A brief analysis of the Lingjiantan Site moat [J]. Chang Zhou Wen Bo Lun Cong, 2023(1): 23-27]
- [15] 饶宗岳, 王芬, 庄奕杰, 等. 焦家遗址大汶口文化城墙与壕沟使用过程的地学考古观察[J]. 南方文物, 2022(1): 140-151. [RAO Zongyue, WANG Fen, ZHUANG Yijie, et al. Geoarchaeological observations on the use of the wall and moat at Jiaojia Site of the Dawenkou Culture [J]. Cultural Relics in Southern China, 2022(1): 140-151] DOI: 10.3969/j.issn.1004-6275.2022.01.015
- [16] 郭伟民. 城头山城墙、壕沟的营造及其所反映的聚落变迁[J]. 南方文物, 2007(2): 70-76. [GUO Weimin. The construction of Chengtoushan city wall and moat and the reflection of settlement changes [J]. Cultural Relics in Southern China, 2007(2): 70-76] DOI: 10.3969/j.issn.1004-6275.2007.02.009
- [17] 许清泉, 曾凡, 林玉山, 等. 福建崇安城村汉城遗址试掘[J]. 考古, 1960(10): 1-9+52+3. [XU Qingquan, ZENG Fan, LIN Yushan, et al. Trial excavation of ruins in Chengcun, Chongan, Fujian Province [J]. Archaeology, 1960(10): 1-9+52+3]
- [18] 丁海祥, 高绍萍, 赵福凤, 等. 城村汉城遗址考古与保护概述[J]. 福建文博, 2011(1): 2-6. [DING Haixiang, GAO Shaoping, ZHAO Fufeng, et al. Overview of Chengcun Hancheng seoul archaeological and conservation sites [J]. Fu Jian Wen Bo, 2011(1): 2-6]
- [19] 葛威, 鄢宇倩, 羊泽林, 等. 福建武夷山市城村汉城植物考古及年代学新资料[J]. 南方文物, 2020(6): 122-129. [GE Wei, YAN Yuqian, YANG Zelin, et al. New data of plant archaeology and chronology of Chengcun, Wuyishan, Fujian Province [J]. Cultural Relics in Southern China, 2020(6): 122-129] DOI: 10.3969/j.issn.1004-6275.2020.06.017
- [20] 丁海祥. “闽越国”腹地的神秘古城——城村汉城[J]. 大众考古, 2014(3): 51-55. [DING Haixiang. "Minyue Country" hinterland of the mysterious ancient city—Chengcun Hancheng [J]. Popular Archaeology, 2014(3): 51-55]
- [21] 吴淦国, 张达, 陈柏林, 等. 中国东南大陆中生代构造域的转换及其与成矿的关系——以闽西南地区为例[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2000, 25(4): 390-396. [WU Ganguo, ZHANG Da, CHEN Bailin, et al. Transformation of mesozoic tectonic domain and its relation to mineralization in southeastern China: An evidence of southwestern Fujian Province [J]. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(4): 390-396]
- [22] 王雨灼. 福建省第四纪地层的划分[J]. 福建地质, 1990(4): 289-306. [WANG Yuzhuo. The classification of Quaternary strata in Fujian Province [J]. Geology of Fujian, 1990(4): 289-306]
- [23] LAI Zhongping. Testing the use of an OSL standardised growth curve (SGC) for De determination on quartz from the Chinese Loess Plateau [J]. Radiation Measurements, 2006, 41(1): 9-16. DOI: 10.1016/j.radmeas.2005.06.031
- [24] WINTLE A G, MURRAY A S. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols [J]. Radiation Measurements, 2006, 41(4): 369-391. DOI: 10.1016/j.radmeas.2005.11.001
- [25] 张克旗, 吴中海, 吕同艳, 等. 光释光测年法: 综述及进展[J]. 地质通报, 2015, 34(1): 183-203. [ZHANG Keqi, WU Zhonghai, LYU Tongyan, et al. Review and progress of OSL dating [J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(1): 183-

- 203] DOI: 10.3969/j.issn.1671-2552.2015.01.015
- [26] MURRAY A S, WINTIE A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol [J]. *Radiation Measurements*, 2000, **32**(1): 57-73. DOI: 10.1016/S1350-4487(99)00253-X
- [27] 张克旗. 释光测年中环境剂量率影响因素研究[J]. *地质力学学报*, 2012, **18**(1): 62-71. [ZHANG Keqi. Quantitative calculations of environmental dose rate at different influencing factors in luminescence dating [J]. *Journal of Geomechanics*, 2012, **18**(1): 62-71] DOI: 10.3969/j.issn.1006-6616.2012.01.007
- [28] ADAMIEC G, AITKEN M J. Dose-rate conversion factors: Update [J]. *Ancient TL*, 1998, **16**(2): 37-50.
- [29] GUERIN G, MERCIER N, ADAMIEC G. Dose-rate conversion factors: Update [J]. *Ancient TL*, 2011, **29**(1): 5-8. DOI: 10.26034/la.atl.2011.443
- [30] LIRITZIS I, STAMOULIS K, PAPACHRISTODOULOU C, et al. A re-evaluation of radiation dose-rate conversion factors [J]. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 2013, **13**(3): 1-15.
- [31] PRESCOTT J R, HUTTON J T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations [J]. *Radiation Measurements*, 1994, **23**(2): 497-500. DOI: 10.1016/1350-4487(94)90086-8
- [32] JAIN M, MURRAY A S, BOTTER-JENSEN L. Characterisation of blue-light stimulated luminescence components in different quartz samples: Implications for dose measurement [J]. *Radiation Measurements*, 2003, **37**(4): 441-449. DOI: 10.1016/S1350-4487(03)00052-0
- [33] DURCAN J A, KING G E, DULLER G A T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating [J]. *Quaternary Geochronology*, 2015, **28**: 54-61. DOI: 10.1016/j.quageo.2015.03.012
- [34] UDDEN J A. Mechanical composition of clastic sediments [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1914, **25**(1): 655-744. DOI: 10.1130/GSAB-25-655
- [35] AITKEN M J. An introduction to optinal dating [M]. London: Academic Press, 1985: 97-99.
- [36] ZHAO Hua, LIU Zhe, SONG Lei, et al. OSL dating of flood sediments in the North China Plain [J]. *Quaternary Geochronology*, 2019, **49**: 101-107. DOI: 10.1016/j.quageo.2018.07.010
- [37] BAILEY R M, ARNOLD L J. Statistical modelling of single grain quartz De distributions and an assessment of procedures for estimating burial dose [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**: 2475-2502. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.09.012
- [38] 赖忠平, 欧先交. 光释光测年基本流程[J]. *地理科学进展*, 2013, **32**(5): 683-693. [LAI Zhongping, OU Xianjiao. Basic procedures of optically stimulated luminescence (OSL) dating [J]. *Progress in Geography*, 2013, **32**(5): 683-693] DOI: 10.11820/dlkxjz.2013.05.001
- [39] WELTJE G J, PRINS M A. Muddled or mixed? Inferring palaeoclimate from size distributions of deep-sea clastics [J]. *Sedimentary Geology*, 2003, **162**(1): 39-62. DOI: 10.1016/S0037-0738(03)00235-5
- [40] PATERSON G A, HESLOP D. New methods for unmixing sediment grain size data [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2015, **16**(12): 4494-4506. DOI: 10.1002/2015GC006070
- [41] XIAO Jule, CHANG Zhigang, FAN Jiawei, et al. The link between grain-size components and depositional processes in a modern clastic lake [J]. *Sedimentology*, 2012, **59**(3): 1050-1062. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2011.01294.x
- [42] XIAO Jule, FAN Jiawei, ZHOU Lang, et al. A model for linking grain-size component to lake level status of a modern clastic lake [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, **69**: 149-158. DOI: 10.1016/j.jseas.2012.07.003
- [43] 方艳秋, 王子璇, 王艺霖, 等. 武威黄羊河剖面始新世湖相沉积物粒度端元组分及其沉积机制[J]. *地球环境学报*, 2022, **13**(3): 296-307. [FANG Yankui, WANG Zixuan, WANG Yilin, et al. Grain size end-member components and sedimentary mechanism of Eocene lacustrine sediments in Huangyang River section of Wuwei Basin [J]. *Journal of Earth Environment*, 2022, **13**(3): 296-307] DOI: 10.7515/JEE222011
- [44] 张金亮, 谢俊. 储层沉积相[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 75-77. [ZHANG Jinliang, XIE Jun. Reservoir facies models [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 75-77]
- [45] MIALD A D. The geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology [M]. Berlin: Springer, 2013: 42.
- [46] 王娜, 许清海, 张生瑞, 等. 白洋淀地区晚冰期以来的气候和环境演变[J]. *地理学报*, 2022, **77**(5): 1195-1210. [WANG Na, XU Qinghai, ZHANG Shengrui, et al. Climatic and environmental evolution of the Baiyangdian area since the Lateglacial [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, **77**(5): 1195-1210] DOI: 10.11821/dlxb202205011
- [47] KASSE C, BOHNCKE S J P, VANDENBERGHE J, et al. Fluvial style change during the Last Glacial-interglacial transition in the Middle Tisza Valley (Hungary) [J]. *Proceedings of the Geologists' Association*, 2010, **121**: 180-194. DOI: 10.1016/j.pgeola.2010.02.005
- [48] LEIGH D S, SRIVASTAVA P, BROOK G A. Late Pleistocene braided rivers of the Atlantic Coastal Plain, USA [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2004, **23**(1-2): 65-84. DOI: 10.1016/S0277-3791(03)00221-X
- [49] 王中波, 张江勇, 梅西, 等. 中国陆架海 MIS5 (74~128 ka) 以来地层及其沉积环境[J]. *中国地质*, 2020, **47**(5): 1370-1394. [WANG Zhongbo, ZHANG Jiangyong, MEI Xi, et al. The

- stratigraphy and depositional environments of China's sea shelves since MIS5(74–128)ka [J]. *Geology in China*, 2020, **47**(5): 1370–1394] DOI: 10.12029/gc20200506
- [50] 曾瑶瑶, 赵琳, 饶志国. 中国亚热带山地泥炭记录的全新世古气候变化[J/OL]. 微体古生物学报. [ZENG Yaoyao, ZHAO Lin, RAO Zhiguo. Holocene climate changes recorded in subtropical mountain peatlands of China[J/OL]. [2024-05-31] *Acta Micropalaeontologica*] DOI: 10.16087/j.cnki.1000-0674.20241115.001
- [51] 田晴映, 郑文俊, 张冬丽, 等. 构造活动和气候变化对河流阶地发育的影响——以祁连山北缘洪水坝河和马营河为例[J]. 地震地质, 2017, **39**(6): 1283–1296. [TIAN Qingying, ZHENG Wenjun, ZHANG Dongli, et al. Influence of tectonics and climate on the evolution of fluvial terraces: A case study of the Hongshuibai and Maying Rivers in the northern margin of the Qilian Mountains [J]. *Seismology and Geology*, 2017, **39**(6): 1283–1296] DOI: 10.3969/j.issn.0253-4967.2017.06.013
- [52] 冷勇辉, 李长安, 刘辉, 等. 湖北松滋关洲遗址沉积环境演化及长江河道变迁[J]. 地球科学, 2020, **45**(3): 764–775. [LENG Yonghui, LI Chang'an, LIU Hui, et al. Sedimentary environment evolution and Yangtze River channel change in Guanzhou Site, Songzi City, Hubei Province [J]. *Earth Science*, 2020, **45**(3): 764–775] DOI: 10.3799/dqkx.2019.076
- [53] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 77–103. [REN Mingda, WANG Nailiang. Introduction to modern sedimentary environments [M]. Beijing: Science Press, 1981: 77–103]
- [54] WANG Yongjin, CHENG Hai, EDWARDS R L, et al. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224000 years [J]. *Nature*, 2008, **451**: 1090–1093. DOI: 10.1038/NATURE06692
- [55] 欧潭生. 闽越文化的几个问题——兼论武夷山汉城不是闽越王城[C]//福建省闽学研究. 探索福建文化重要源头的闽越文化学术研讨会论文集. 福建省昙石山博物馆, 2001: 238–248. [OU Tansheng. Several issues on the Minyue Culture—discussing why the Hancheng City in Wuyi Mountain is not the Minyue Kingdom's City [J]. *Fujian Minxue Research Association. Proceedings of the Academic Symposium on the Minyue Culture: An Important Source of Fujian Culture*. Fujian Tanshishan Museum, 2001: 238–248]
- [56] 杨琮. 论闽越国重镇——闽北及武夷山闽越王城[C]//福建省炎黄文化研究会, 中共南平市委宣传部. 武夷文化研究——武夷文化学术研讨会论文集. 福建省博物馆, 2002: 20–35. [YANG Cong. The key towns of the Minyue Kingdom—northern Fujian and the Minyue City at Wuyi Mountain [C]. *Fujian Yanhuang Culture Research Association, Publicity Department of the CPC Nanping Municipal Committee. Wuyi Culture Studies: Proceedings of the Wuyi Culture Academic Semina*. Fujian Museum, 2002: 20–35]
- [57] 高绍萍, 林瑞明. 福建闽越国时期遗址分布概述[J]. 福建文博, 2011(1): 66–70. [GAO Shaoping, LIN Ruiming. Overview of the distribution of Minyue Kingdom Sites in Fujian [J]. *Fu Jian Wen Bo*, 2011(1): 66–70]
- [58] 陈名实. 闽越国时期福建古道及城堡、关隘[J]. 福建史志, 2018(5): 16–21+63. [CHEN Mingshi. The ancient roads and castles of Fujian during the period of Minyue Kingdom [J]. *Fu Jian Shi Zhi*, 2018(5): 16–21+63]
- [59] PENG Fei, KASSE C, PRINS M A, et al. Paleoflooding reconstruction from Holocene levee deposits in the lower Meuse Valley, the Netherlands [J]. *Geomorphology*, 2020, **352**: 1–49. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.107002
- [60] 钱耀鹏. 关于环壕聚落的几个问题[J]. 文物, 1997(8): 57–65. [QIAN Yaopeng. Several problems concerning the moated settlement [J]. *Cultural Relics*, 1997(8): 57–65] DOI: 10.13619/j.cnki.cn11-1532/k.1997.08.009
- [61] SHAN Siwei, HE Limin, YAO Shuai, et al. The emergence of walled towns in prehistoric middle Yangtze River valley: Excavations at the Zoumaling Site [J]. *Archaeological Research in Asia*, 2021, **26**: 100285. DOI: 10.1016/j.ara.2021.100285
- [62] 陈官涛. 湖北石首市走马岭新石器时代遗址发掘简报[J]. 考古, 1998(4): 16–38+101–104. [CHEN Guantao. Brief report on the excavation of the Zoumaling Neolithic Site in Shishou City, Hubei [J]. *Archaeology*, 1998(4): 16–38+101–104]
- [63] 王慧. 南越国番禺城城市考古初论[J]. 东南文化, 2024(4): 84–92+190+192. [WANG Hui. Preliminary study on the urban archaeology of Panyu City in the Nanyue Kingdom [J]. *Southeast Culture*, 2024(4): 84–92+190+192]
- [64] 郑浩伟, 张家欣, 谢达垣. 南越国木构水闸遗址: 见证历史 千年不朽[N]. 中国水利报, 2024-03-07(005). [ZHENG Haowei, ZHANG Jiaxin, XIE Dahuan. The wooden Water Gate Site of the Nanyue Kingdom: A testament to history, immortal for millennia [N]. *China Water Resources News*, 2024-03-07(005)]

Fluvial Geomorphic Processes Recorded by Moat Sedimentation at the Chengcun Hancheng Site, Fujian, China

WANG Zian^{1a}, WEI Junjie^{1a, 2}, QIU Junjie^{1a, 3}, ZUO Xinxin^{1a, 1b, 1c}, JIN Jianhui^{1a, 1b, 1c*}

(1. *a. Institute of Geographical Science; b. Southeast Environmental Archaeology Center; c. Regional Research Center of Fujian and Taiwan, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China; 2. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China*)

Abstract: Moats were significant functional facilities in ancient settlements, often created by utilizing and modifying natural waterways to achieve multiple functions such as agricultural irrigation and military defense. The Chengcun Hancheng Site, dating from the late Qin to the early Han Dynasty, is the palace of the Minyue Kingdom and features a complete moat system, providing a reference to reconstruct the evolution of human-land relationships in the northern Fujian of the Qin-Han Period.

In this study, four boreholes were selected for sampling from different sections of the moat system at the Site as research objects. Through age testing and grain size analysis, combined with the lithology of the boreholes and modern geomorphological characteristics, the hydro-geomorphological processes of the moat system were reconstructed, and the mechanisms of changes in the hydrological environment before and after the establishment of the palace of Minyue Kingdom were explored.

(1) The sedimentation process of the moat at the Chengcun Hancheng Site could be roughly divided into three stages: a slow sedimentation period from the Late Pleistocene to the Last Glacial Maximum (about 50 ka BP – 26 ka BP); a sedimentation hiatus period from the Last Glacial Maximum to the early Holocene (about 26 ka BP – 12 ka BP); and an enhanced sedimentation period in the middle and late Holocene (about 12 ka BP – present).

(2) Borehole HC2, located outside the Western Water Gate, recorded sedimentation changes since the late Holocene (2.9 ka BP – 0.6 ka BP). This change reflected the regulatory effect of the Western Water Gate on the flow of the river from the southeast direction during the construction and abandonment of the palace. Borehole HC3, near the west gate of the palace, mainly contained fluvial sediments from the early to middle Holocene (9.4 ka BP – 3.8 ka BP), indicating that since the late Holocene, i. e., before and after the rise and fall of Minyue Kingdom at the Chengcun Hancheng Site, the fluvial hydrological process near HC3 had changed from deposition-dominated to erosion-dominated.

(3) During the presence of the palace of the Minyue Kingdom (202 BC – 110 BC), the moat system and its related facilities, built based on modifications to natural river courses, were necessary means to prevent flood disasters. By controlling the Western Water Gate, the purpose of regulating the river can be achieved. During flood season, the water gate was opened to allow upstream water to flow into the Chongyang River (a present river in the vicinity) through the moat system for flood discharge; during dry season, the water gate was closed to reduce the inflow of water into the moat system, thereby regulating its water volume in the moat system.

The results of this study can provide a scientific basis for the study of ancient environmental evolution with human activities.

Key words: luminescence chronology; grain size; hydro-geomorphological process; the Chengcun Hancheng Site

(责任编辑 朱颖彦 钟雨倩)