

引用格式:徐佳燕,靳建辉,吕锦燕,邱俊杰,卫俊杰. 福建旧石器遗址的释光年代学及其人地耦合关系[J]. 山地学报, 2025, 43(1): 1-12.
XU Jiayan, JIN Jianhui, LYU Jinyan, QIU Junjie, WEI Junjie. Optically stimulated luminescence chronology of Paleolithic sites and its human-land coupling relationship: A case study of Hushanmiao Site in northwestern Fujian Province, China [J]. Mountain Research, 2025, 43(1): 1-12.

福建旧石器遗址的释光年代学及其人地耦合关系

徐佳燕^{1, 2a, 2b}, 靳建辉^{1, 2*}, 吕锦燕³, 邱俊杰^{1, 2a}, 卫俊杰^{1, 2a}

(1. 福建师范大学地理研究所, 福州 350117; 2. 福建师范大学

a. 福建省亚热带资源与环境重点实验室; b. 湿润亚热带生态-地理过程教育部重点实验室;

c. 福建省两岸融合发展研究院, 福州 350117; 3. 福建省考古研究院, 福州 350001)

摘要: 福建是大陆与南岛旧石器文化交汇的重要地带。在华南湿润热带/亚热带气候背景下,且受限于测年材料的特殊性,福建旧石器遗址年代学证据不足,导致区域文化序列构建滞后于中国其他地区。虎山庙遗址,坐落于福建西北部的山地丘陵区域,前期研究确认为典型华南砾石工业文化特征,但其续存年代始终悬而未决,精准确定其年代对于揭示中国南方旧石器文化的传播脉络及古人类活动轨迹具有深远意义。本研究基于虎山庙遗址探沟剖面系统采集的7个样品,提取中颗粒(38~63 μm)石英,借助光释光(OSL)测年技术中的单片再生剂量法(SAR法)进行年代测定,并深入探讨了福建地区旧石器时期的人类活动与自然环境的相互作用关系。获得以下认识:(1)石英SAR法在福建西部晚更新世红土沉积中展现出优良适用性,并首次确立虎山庙遗址年代为 $53.08 \text{ ka} \pm 3.74 \text{ ka} \sim 35.04 \text{ ka} \pm 13.57 \text{ ka}$,填补了闽西北旧石器中期遗址的编年空白。(2)遗址活跃期与东亚季风强化期(MIS3阶段)密切相关,温暖湿润气候为旧石器时代砾石工业的持续发展提供了生态承载力。(3)构建的时空扩散模型显示,旧石器遗址分布呈现从西北山地丘陵(200 ka~27 ka)向东南沿海平原(30 ka~10 ka)的迁移特征,表明末次冰盛期至全新世早期的气候转型是驱动人类栖居模式改变的关键因素。本研究不仅为填补福建史前年代学研究的空白,而且为华南旧石器文化传播路线研究提供了精确时空坐标。

关键词: 虎山庙遗址;旧石器时期;释光年代;人地关系;福建

中图分类号: P534.63

文献标志码: A

作为第四纪年代学的核心方法之一,光释光测年技术(Optically stimulated luminescence, OSL)在史前遗址的绝对年代学研究中具有不可替代的作用。其原理基于矿物晶体埋藏后因辐射累积产生的释光信号归零与再积累特性,通过测定信号强度反推沉积物埋藏时间。全球OSL测年体系主要依托

石英与长石两类载体,其中石英因信号晒退彻底(晒退率>95%)、衰退特性稳定等技术优势,成为旧石器遗址测年的参照标尺^[1-5],推动了现代人类起源与扩散研究^[6]。

中国北方旧石器遗址中,基于石英OSL测年技术已建立完善的年代学体系。例如,西白马营遗址

收稿日期(Received date): 2024-08-01;改回日期(Accepted date): 2025-01-16

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(2024J01444);福建省两岸融合发展研究院“揭榜挂帅”项目(LARH24JB07)。[Basic Scientific Research Special Project of Fujian Science and Technology Department of Public Welfare Research Institutes (2024R1038); Natural Science Foundation of Fujian Province (2024J01444); ‘Unveiling and Commanding’ Project of Fujian Institute for Cross-Straits Integrated Development (LARH24JB07)]

作者简介(Biography): 徐佳燕(2001-),女,四川成都人,硕士研究生,主要研究方向:释光测年与环境演变。[XU Jiayan (2001-), female, born in Chengdu, Sichuan Province, M.Sc. candidate, research on luminescence dating and environmental change] E-mail: xujiayan0227@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

(46 ka \pm 3 ka) 与黄泥梁遗址 (59 ka \pm 4 ka ~ 54 ka \pm 4 ka) 的年代序列通过石英 OSL 测年技术得以确立^[7-8]。

中国南方旧石器遗址的 OSL 测年技术实践面临挑战。在中国东南地区的湿热气候环境下,强烈化学风化作用导致沉积物中长石矿物显著流失(长石质量占比仅约 6%),石英 OSL 测年技术成为主要的年代学技术路径^[9-10]。然而,湿热环境引发的矿物蚀变、遗址的埋藏特点及人为扰动因素,常导致石英颗粒年剂量率估算偏差和等效剂量(Equivalent dose, De)的离散度(Over dispersion, OD)异常(OD 值可达 70% ~ 78%)^[10-12],对实验设计精度与方法的适用性调整、数据分析方法提出更高要求。尽管如此,石英 OSL 测年技术在南方旧石器年代学中取得了丰硕成果,成功构建了枫树嘴遗址(100 ka ~ 70 ka)、江西上湖遗址(47 ka ~ 30 ka)及汉江流域遗址群(191 ka ~ 65 ka)的年代框架^[9,12-13],这为区域文化演化研究提供了关键时间标尺。

福建作为东亚大陆与南岛语系旧石器文化交汇的关键过渡带^[14],虽然旧石器时代考古研究起步较晚,但已发掘成果彰显出深厚的历史文化内涵^[15]。自 1990 年莲花池山遗址(福建省首个旧石器旷野遗址)发掘以来,全省已发现 60 余处旧石器时代早、中、晚期的遗址^[16],多分布于低海拔河流阶地^[17],文化内涵呈现典型的南方砾石工业传统特征^[18]。这些遗址揭示出晚更新世以来热带-亚热带森林环境适应下的持续性工业演化轨迹,其晚期文化更展现出技术多样性特征,可能与气候波动及区域微环境异质性密切相关^[16,18-19]。

福建史前人类活动研究长期受限于年代学证据的匮乏。福建地区发现的旧石器时期遗址数量有限(仅 60 余处),且 85% 遗址缺乏可靠年代数据。这种困境主要源于亚热带气候环境的制约:强烈化学风化导致古生物化石和适用碳屑有机质难以保存,传统¹⁴C 测年体系在此类遗址中适用性严重受限^[10],而多数遗址尚未开展系统 OSL 测年研究,致使区域文化序列构建与跨区域对比研究长期停滞^[20]。

对缺乏¹⁴C 测年物质或年代超出¹⁴C 测年范围的遗址而言,石英 OSL 测年技术逐渐成为破解福建旧石器年代学难题的核心手段^[21]。最初,福建省旧石器遗址的年代主要依靠石器的类型、制作技术以及文化层对应的区域地质地层的年龄来推断。例

如,对沿海地区“老红砂”台地的 OSL 测年研究为区内旧石器遗址的年代确定提供了更精确的定年参考^[9,22]。莲花池山遗址的发掘,首次应用 OSL 测年技术测定了遗址的埋藏年代(60 ka ~ 26 ka)^[23];之后有研究系统使用 OSL 单片再生剂量法(Single-aliquot regenerative-dose, SAR)成功测定了将乐龙灯山(54.65 ka ~ 27.09 ka)和井陇山(56 ka)旧石器时期遗址的石英埋藏年代^[10,24]。这些旧石器遗址文化层埋藏年代研究能为其年代确定提供直接参考,但现有数据仍难以支撑区域文化传播路线的精细化重建。

本研究聚焦福建西北丘陵区的虎山庙遗址,该遗址文化层埋藏于受强化学风化作用的红土中,出土了与黄泥山遗址相似的砾石工业遗存(石核、砍砸器、石球等)^[18],前期研究确认为典型华南旧石器文化特征^[14],这为探讨华南旧石器文化传统空间分布提供了新切入点,但其精确年代始终悬而未决。本研究系统开展文化层石英颗粒 SAR-OSL 测年,旨在达成三重目标:(1)验证石英 SAR 法在华南红土型旧石器地层的适用性;(2)构建虎山庙遗址可靠年代框架,厘清其与周边文化遗存的时间关系;(3)结合古气候代用指标,揭示遗址存续期的环境背景及其对区域旧石器技术演化的潜在影响。研究成果不仅有望填补福建史前年代学研究的空白,更可为探索中国南方与东南亚旧石器文化互动提供关键时空坐标。

1 材料与方法

1.1 地层划分与样品采集

虎山庙遗址(117°58'58"E、27°40'2"N)位于福建省武夷山东南缘山间低地,临近崇阳溪,属中亚热带海洋性季风气候区。本研究的样品均采自探沟 1(TG1),依据考古地层的划分标准,探沟东南壁剖面自上而下可划分为 7 层(图 1),各地层的堆积特征如表 1 所示。

使用不锈钢取样管从剖面上采集了 7 个 OSL 样本,取样后立即使用避光塑料袋封装,管体接缝处以黑色胶带缠绕,以防止曝光和水分流失。其中,东南壁(ES)系统采集样品 5 个,分别位于③A 层(埋深 60 cm)、③B 层(85 cm)、④层(140 cm)、⑤层(215 cm)及⑦层(230 cm),采样点位如图 1 所示。

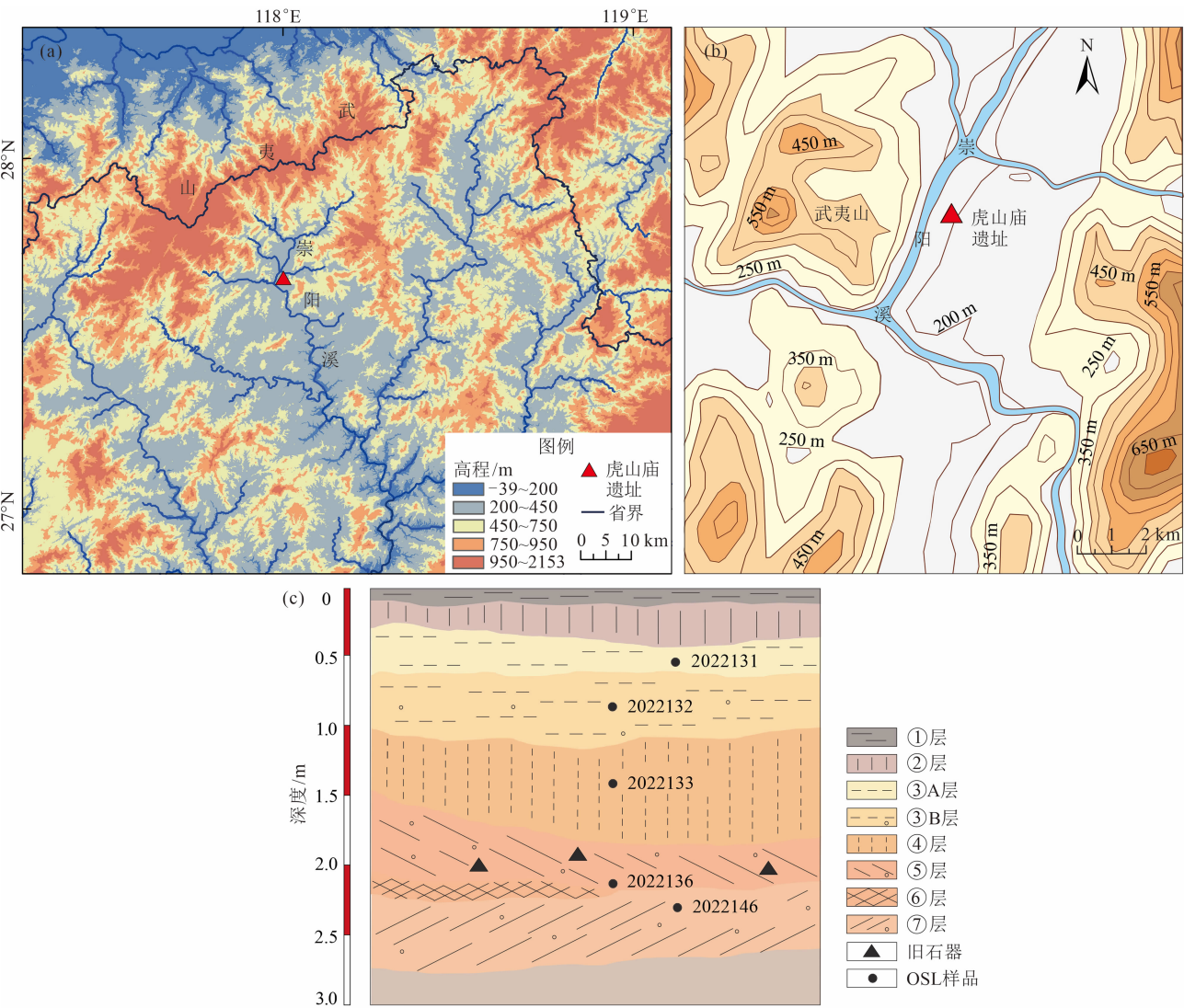


图1 虎山庙遗址的地理位置与采样剖面

Fig.1 Geographic location of the Hushanmiao Site and sampling profile

表1 剖面的地层堆积情况

Tab.1 Stratigraphic accumulation conditions of the profile

地层编号	质地层次	颜色	厚度/cm	其他
①	表土层,疏松	灰褐色	15	多植物根系
②	黏土层,较疏松	杂色	25	
③	黏土层,较致密	红黄色(7.5YR6/8)	60	分为A、B上下两层
④	黏土层,较致密、质地纯、土粒细	红黄色(5YR6/8)	50~75	下接触面不整合
⑤	黏土层,含砂砾	黄红色(5YR5/8)	30~50	含旧石器时期石器遗存
⑥	黏土层	黄红色(5YR5/8)	10	存在间断
⑦	黏土层,含砂砾	黄红色(5YR5/8)	55	生土层

⑤层为含文化遗存的文化层,为构建可靠年代框架,另在西北壁(NW)190 cm处(编号2022134样品)和东北壁(NE)195 cm处(编号2022135样品)增采2

组平行样本。

1.2 粒度测试

本研究的粒度测试使用激光粒度分析仪

(Malvern Mastersizer 2000 型, 英国 Malvern 公司)。样品依次加入浓度 10% 的盐酸 (24 h) 和过氧化氢 (48 h) 去除碳酸盐和有机质; 再使用去离子水清洗至中性, 加入 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 六偏磷酸钠分散剂; 超声震荡 15 min (40 kHz) 后上机器测试。

粒度分布特征显示 (图 2), 7 个样品主要呈现三峰模式, 其中峰 I $< 1 \mu\text{m}$, 峰 II 分布于 $1 \sim 75 \mu\text{m}$ 的范围内, 而峰 III 集中于 $200 \mu\text{m} \pm 30 \mu\text{m}$ 。目前常规测年粒级划分为细颗粒 ($4 \sim 11 \mu\text{m}$)、中颗粒 ($38 \sim 63 \mu\text{m}$)、粗颗粒 ($90 \sim 180 \mu\text{m}$)^[25]。各样品的中细颗粒组分占比最大 ($46\% \pm 14\%$), 粗颗粒组分占比不足 8%。

细颗粒矿物在测年应用中存在三方面局限性: 沉积后易发生淋溶迁移 (本区表现出强风化淋溶特征); α 剂量率受到土壤结构的显著影响; 制样过程中易产生颗粒堆积现象而导致辐照不均^[26]。而中颗粒矿物具有辐射场均匀性和环境剂量率稳定性, 因此本研究将其选作 De 值的测试对象。华南地区沉积物粒径较细、长石含量低, 难以浮选出足量长石颗粒测年^[27], 最终对 7 个样品进行 $38 \sim 63 \mu\text{m}$ 石英组分提取。

测年样品的制备均在暗室红光 (中心波长约为 $655 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$) 中进行。样品依次经浓度 10% 的盐酸 (24 h) 和过氧化氢 (48 h) 处理; 随后通过湿筛法提取 $38 \sim 63 \mu\text{m}$ 的中颗粒组分; 采用浓度 40% 氢氟酸对样品刻蚀 30 min, 以去除石英颗粒表面 α 射线辐照层及长石, 然后以浓度 10% 盐酸去除氟化物残留; 最后样品经中和、低温 ($< 40^\circ\text{C}$) 烘干, 并在测

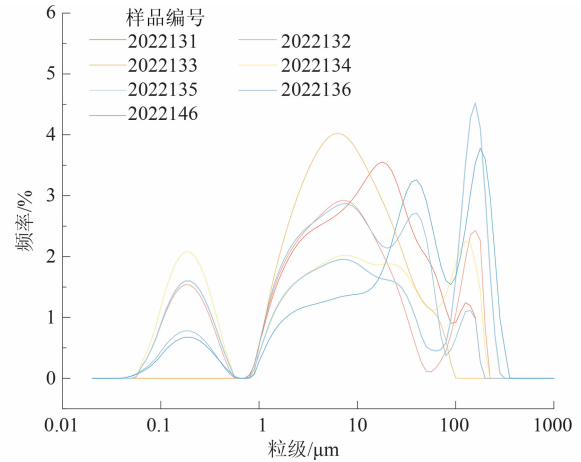


图 2 样品的粒度频率分布特征

Fig. 2 Characteristics of particle size frequency distribution of the samples

试前使用强磁铁去除磁性矿物。

1.3 年代测试

De 值的测试采用 SAR 法, 为确保测试条件适宜, 需对预热温度和剂量恢复进行检验^[28]。本研究对编号 2022132 样品进行了预热坪实验和剂量恢复实验。De 值在 $240^\circ\text{C} \sim 280^\circ\text{C}$ 范围内存在良好坪区, 故选择 260°C 作为预热温度; 剂量恢复比均为 $0.9 \sim 1.1$ (图 3), 表明样品适用于 SAR 法测年。本研究使用的 OSL 测量仪产自丹麦国家实验室 (型号为 Risø TL/OSL-DA 20 C/D), 配置蓝光激发光源和 U-340 滤光片。

环境剂量率采用间接测量法计算^[29]。含水率使用实测数据并设置 5% 的误差值, 宇宙射线剂量根据 Prescott 提出的公式进行校正^[30], 并结合

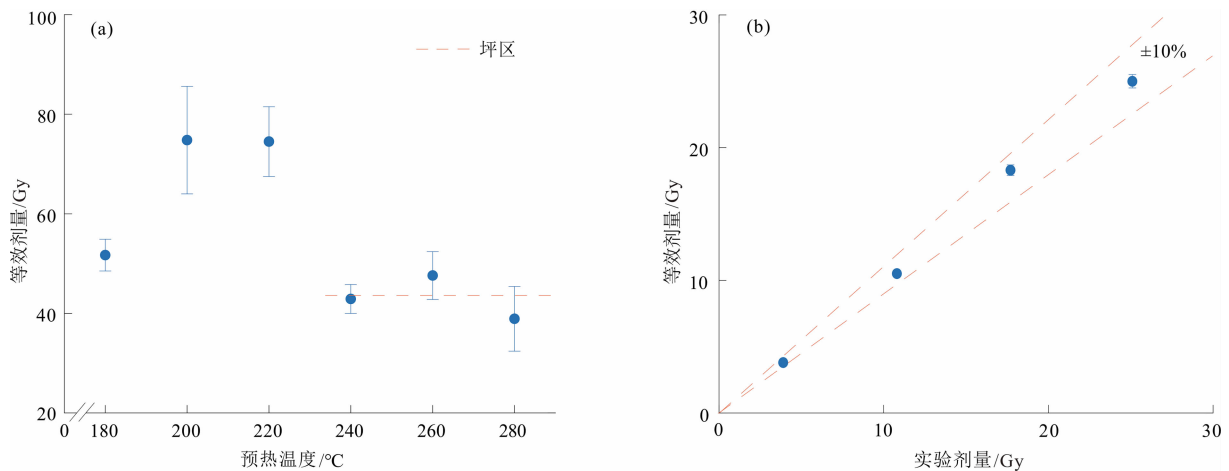


图 3 预热坪实验与剂量恢复实验: (a) 预热坪实验; (b) 剂量恢复实验

Fig. 3 Preheat plateau experiment and dose recovery experiment: (a) preheat plateau experiment; (b) dose recovery experiment

Adamiec^[31]等提出的 U、Th、K 的转换系数,最终计算得出环境剂量率。

年龄模型的选择对 De 值计算具有重要影响。OD 值可反映同一样品不同测片 De 值的分散程度,本研究以 OD 值 = 20% 为阈值^[32],OD 值 < 20% 的样品采用中值年龄模型(Central age model, CAM)进行计算,其余采用最小年龄模型(Minimum age model, MAM)。基于 LDAC(v1.2)程序^[33],最终获得 OSL 年代。

2 结果分析

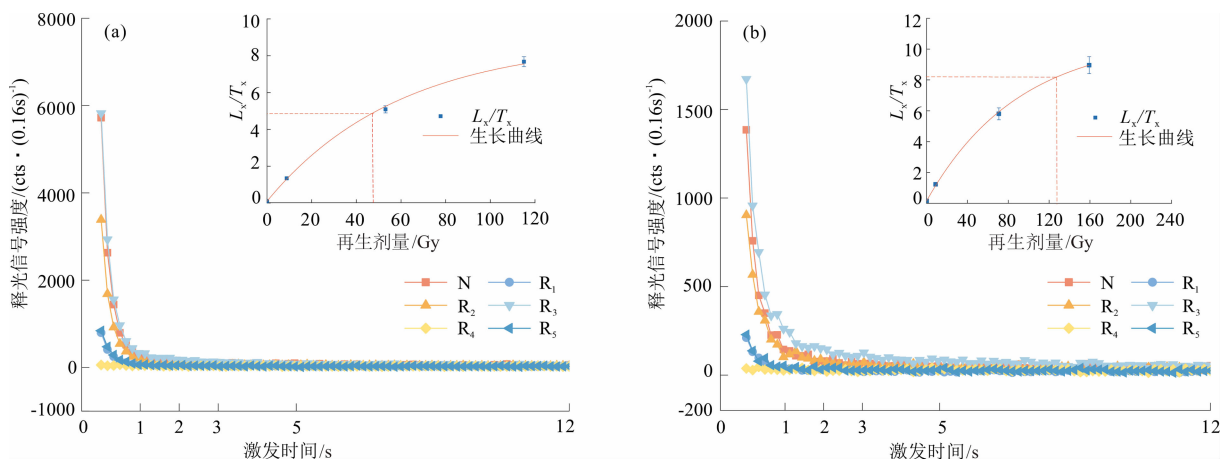
2.1 释光信号特征

样品的 OSL 信号在 2 s 内迅速衰减至背景值(图 4)。组分分析显示,初始 OSL 信号中快组分占

比 > 80% (图 5),表明信号以快组分为主。基于一阶饱和和指数拟合,建立 De 值生长曲线(图 4)。

2.2 环境剂量率与年代结果

所有测年样品的环境剂量率为 $3.01 \text{ Gy} \cdot \text{ka}^{-1} \pm 0.12 \text{ Gy} \cdot \text{ka}^{-1} \sim 3.24 \text{ Gy} \cdot \text{ka}^{-1} \pm 0.13 \text{ Gy} \cdot \text{ka}^{-1}$ (表 2), OSL 年代结果为 $12.75 \text{ ka} \pm 0.82 \text{ ka} \sim 53.08 \text{ ka} \pm 3.74 \text{ ka}$ (表 3)。剖面中出现两处年龄倒置现象,分别为 1.9 m (编号 2022134 样品) ~ 1.95 m (编号 2022135 样品) 范围内以及 2.15 m (编号 2022136 样品) ~ 2.3 m (编号 2022146 样品) 范围内。其中较深层的年龄倒置(0.75 ka)位于误差范围之内,而⑤层文化层内倒置显著,上部样品的年代结果为 $38.80 \text{ ka} \pm 3.83 \text{ ka}$,下部样品的年代结果为 $28.99 \text{ ka} \pm 3.61 \text{ ka}$,其原因需进一步探讨。



L_x 表示天然或再生剂量的信号; T_x 表示试验剂量的信号; N 表示天然信号; $R_1 \sim R_5$ 表示再生剂量的信号。

图 4 部分样品的衰减曲线与生长曲线:(a)编号 2022133 样品;(b)编号 2022135 样品

Fig. 4 Decay and growth curves of some samples:(a) sample No. 2022133;(b) sample No. 2022135

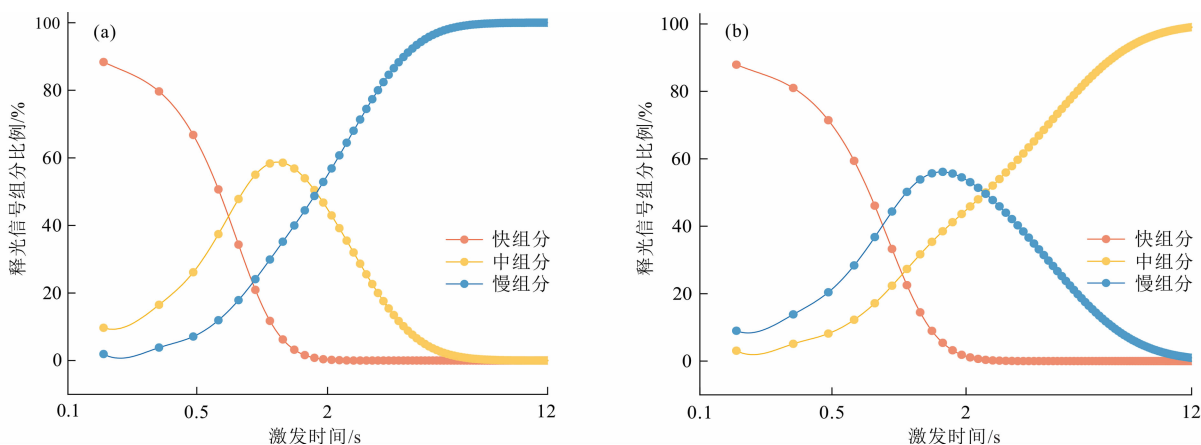


图 5 部分样品的组分特征:(a)编号 2022133 样品;(b)编号 2022135 样品

Fig. 5 Component characteristics of some samples:(a) sample No. 2022133;(b) sample No. 2022135

表 2 样品的环境剂量率
Tab. 2 Environmental dose rate of the samples

样品编号	采样记录	U 的质量分数 $\times 10^{-6}$	Th 的质量分数 $\times 10^{-6}$	K 的质量分数/%	含水率/%	环境剂量率/(Gy \cdot ka ⁻¹)
2022131	TG1-③A 层(0.6 m)	3.75 \pm 0.19	20.4 \pm 1.02	0.92 \pm 0.05	14 \pm 5	3.07 \pm 0.13
2022132	TG1-③B 层(0.8 m)	3.79 \pm 0.19	20.4 \pm 1.02	0.86 \pm 0.04	14 \pm 5	3.01 \pm 0.12
2022133	TG1-④层(1.4 m)	4.11 \pm 0.21	22.1 \pm 1.11	0.93 \pm 0.05	15 \pm 5	3.20 \pm 0.13
2022134	TG1-⑤层 NW(1.9 m)	3.96 \pm 0.20	21.9 \pm 1.10	0.95 \pm 0.05	16 \pm 5	3.14 \pm 0.13
2022135	TG1-⑤层 NE(1.95 m)	3.8 \pm 0.19	21.5 \pm 1.08	0.92 \pm 0.05	16 \pm 5	3.05 \pm 0.13
2022136	TG1-⑤层(2.15 m)	4.06 \pm 0.20	23.1 \pm 1.16	0.97 \pm 0.05	16 \pm 5	3.24 \pm 0.13
2022146	TG1-⑦层(2.3 m)	3.99 \pm 0.20	23.3 \pm 1.17	1.00 \pm 0.05	17 \pm 5	3.23 \pm 0.13

表 3 样品的 OSL 年代结果
Tab. 3 OSL dating results of the samples

样品编号	测片	OD 值/%	CAM		MAM		选定模型	年龄/ka
			De 值/Gy	年龄/ka	De 值/Gy	年龄/ka		
2022131	16/17	19 \pm 4	39.17 \pm 1.94	12.75 \pm 0.82	34.73 \pm 2.73	11.11 \pm 0.95	CAM	12.75 \pm 0.82
2022132	17/18	19 \pm 3	44.44 \pm 2.06	14.77 \pm 0.92	39.35 \pm 2.59	13.18 \pm 1.04	CAM	14.77 \pm 0.92
2022133	10/14	38 \pm 9	125.68 \pm 15.25	39.23 \pm 5.03	84.98 \pm 7.93	26.53 \pm 2.71	MAM	26.53 \pm 2.71
2022134	11/17	21 \pm 6	138.01 \pm 9.76	43.98 \pm 3.61	121.74 \pm 10.90	38.80 \pm 3.83	MAM	38.80 \pm 3.83
2022135	10/14	32 \pm 8	124.67 \pm 13.23	40.83 \pm 4.66	88.51 \pm 10.40	28.99 \pm 3.61	MAM	28.99 \pm 3.61
2022136	13/16	19 \pm 4	172.24 \pm 9.80	53.08 \pm 3.74	160.74 \pm 13.30	49.54 \pm 4.60	CAM	53.08 \pm 3.74
2022146	10/14	19 \pm 5	169.28 \pm 11.06	52.33 \pm 4.05	153.96 \pm 13.96	47.60 \pm 4.74	CAM	52.33 \pm 4.05

3 讨论

3.1 年代结果的可靠性

张克旗^[25]等指出,样品沉积埋藏前的晒退程度是影响 OSL 测年可靠性的关键因素。OD 值可反映样品晒退程度的差异,通常晒退良好的样品 OD 值小于 20%^[34]。本研究中编号 2022131、2022132、2022136 和 2022146 的样品 OD 值均小于 20%(表 3),表明其晒退程度较好。由 De 值分布辐射图(图 6)可知:编号 2022136 样品的 13 个测片中,7 个(53.8%)De 值位于 ± 2 sigma 范围内,晒退集中;编号 2022134 样品 OD 值略高于 20%,11 个测片中 5 个(45.5%)De 值在 ± 2 sigma 范围内,晒退程度一般;而编号 2022133 和 2022135 样品 OD 值均 >30%,其中编号 2022133 样品的 10 个测片中仅 3 个(30%)De 值位于 ± 2 sigma 范围内,晒退较差。总之,超过 70% 的样品晒退良好,也存在个别样品晒退不充分的情况。

根据生长拟合曲线(图 4),OSL 信号呈现良好的生长趋势,指数函数拟合效果理想,且样品的 De

值均低于 2 倍 D₀ 值,说明 OSL 信号未达到饱和^[35],计算得出的年代数据可信,不存在低估的现象。

环境剂量率是 OSL 年代计算的关键参数之一。如表 2 和图 7 所示,所有样品的 U、Th 和 K 的质量分数在误差范围内保持一致,未出现明显富集或缺失。U 与 Th 的质量分数比值可有效指示化学风化强度,值越小表明风化程度越高^[36]。本研究遗址剖面的 U 与 Th 的质量分数比值范围为 0.17 ~ 0.19,变化较小,与闽西龙灯山遗址(0.16 ~ 0.18)^[10]相近,风化强度略高于中国中部旧石器遗址(0.19 ~ 0.21)^[37],显著高于北方遗址(0.31 ~ 0.45)^[7]。上述特征表明,剖面经历了较强的化学风化,但元素活化与迁移对环境剂量率的影响有限,未出现因 U、Th 富集导致的年代低估,因此 OSL 年代结果更接近实际埋藏年代。

年龄倒置现象出现在考古层⑤层。编号 2022134 样品的 OD 值较小,晒退充分,其 MAM 与 CAM 年龄均符合地层层序,表明年代可靠。然而,编号 2022135 样品的 MAM 年龄(28.99 ka \pm 3.61 ka)较上部的编号 2022134 样品(38.80 ka \pm 3.83 ka)年轻约 10 ka,

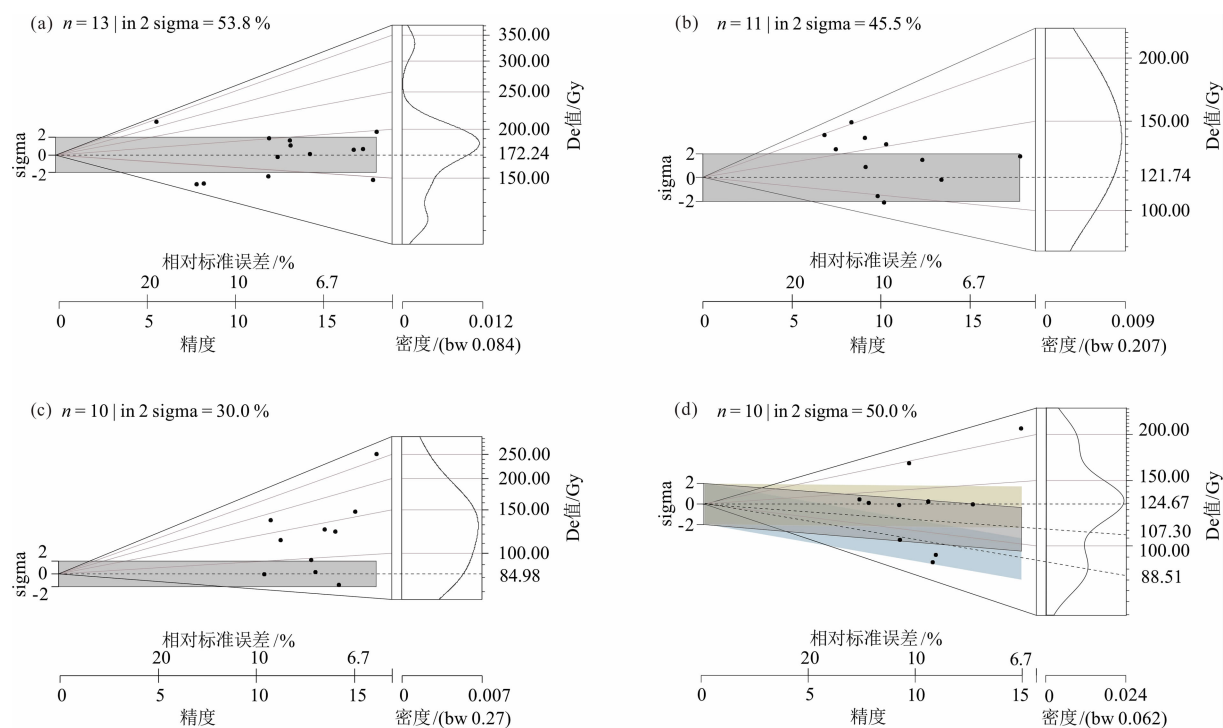


图 a ~ c 中, 灰色阴影为选定模型的相应年龄; 图 d 中黄色阴影为中值年龄, 灰色阴影为加权平均年龄, 蓝色阴影为最小年龄。

图 6 部分样品的 De 值分布图:

(a) 编号 2022136 样品; (b) 编号 2022134 样品; (c) 编号 2022133 样品; (d) 编号 2022135 样品

Fig. 6 Distribution of De values of some samples:

(a) sample No. 2022136; (b) sample No. 2022134; (c) sample No. 2022133; (d) sample No. 2022135

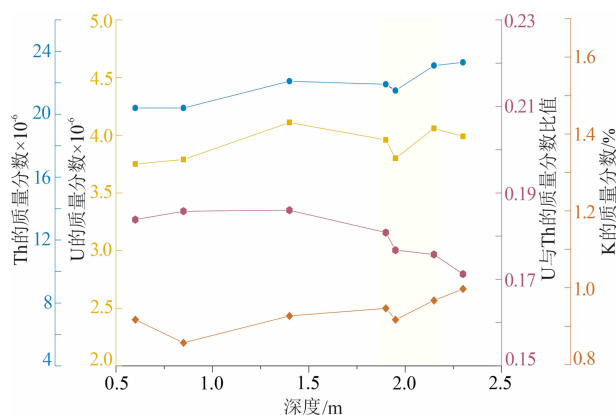


图 7 样品的 U、Th、K 的质量分数以及 U 与 Th 的质量分数比值分布图

Fig. 7 Distribution of U, Th, K, and U/Th values of the samples

与层序不符。这表明以 OD 值 20% 作为模型选择标准可能不适用于编号 2022135 样品, 该样品的 De 值呈宽峰正态分布 (图 6), 可能因古人类活动导致不同年龄单元的颗粒混合。采用加权平均法计算其埋藏年代为 $35.04 \text{ ka} \pm 13.57 \text{ ka}$ 。尽管仍存在年龄倒置, 但仅比上部样品年轻 3.76 ka , 且在误差范围内,

表明该年龄可有效反映真实考古年龄。

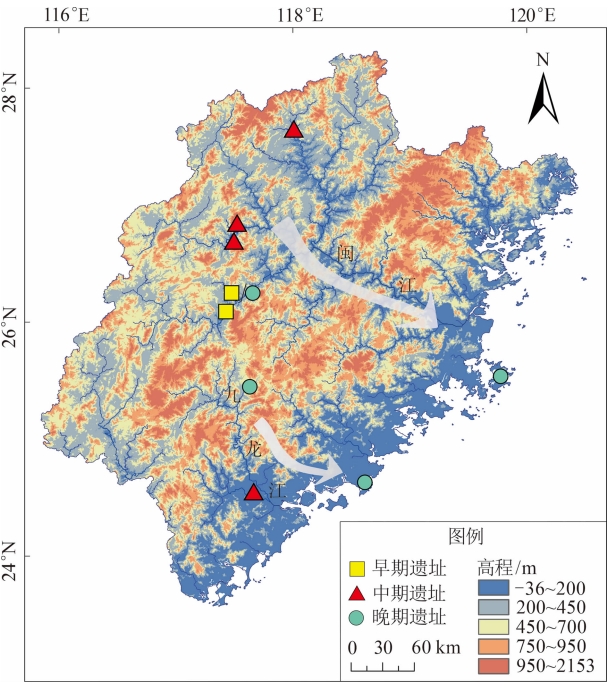
虎山庙遗址 OSL 样品的年代结果可靠性较高。尽管剖面存在两处年龄倒置, 但均在误差范围内, 整体呈现从上到下递增的趋势, 符合沉积地层学规律。遗址包含一个旧石器时代文化层 (探沟⑤层), 三个样品的 OSL 年代为 $38.80 \text{ ka} \pm 3.83 \text{ ka}$ 、 $35.04 \text{ ka} \pm 13.57 \text{ ka}$ 和 $53.08 \text{ ka} \pm 3.74 \text{ ka}$ 。OSL 年代反映埋藏年代, 表明遗址的古人类活动至少始于 $53.08 \text{ ka} \pm 3.74 \text{ ka} \sim 35.04 \text{ ka} \pm 13.57 \text{ ka}$, 与文化层考古估计的相对年代 ($30 \text{ ka} \sim 50 \text{ ka}$)^[14] 一致。

3.2 遗址存续期与福建省史前人类活动

福建省旧石器遗址按地貌单元可分为沿海、山区和潮间带类型; 按埋藏位置可分为洞穴、旷野露天和水下类型^[38]。虎山庙遗址属于闽西北山区旷野露天类型。福建省已发现 60 余处旧石器遗存^[16], 但测年工作较为薄弱, 仅有少数遗址具备准确测年结果。本文统计了 10 处 (包含本研究) 具有绝对年代数据和地层埋藏学研究的遗址, 其概况及空间分布见表 4 和图 8。

表 4 福建省旧石器遗址的概况信息
Tab. 4 Overview information of Paleolithic sites in Fujian

旧石器时期	地点名称	地貌类型	埋藏类型	年代数据	断代方法
早期 (距今 2600 ka ~ 124 ka)	永安黄衣院遗址	闽西山区	旷野露天	距今约 200 ka ^[20]	地层学研究
	万寿岩灵峰洞遗址	闽西山区	洞穴	距今约 200 ka ^[39,40]	铀系定年
中期 (距今 124 ka ~ 50 ka)	莲花池山遗址	闽东南沿海	旷野露天	距今 60 ka ~ 26 ka ^[23]	OSL 测年
	井陇山遗址	闽西北部山区	旷野露天	距今约 56 ka ^[24]	OSL 测年
	龙灯山遗址	闽西北部山区	旷野露天	距今 54.65 ka ~ 27.09 ka ^[10]	OSL 测年
	虎山庙遗址	闽西北部山区	旷野露天	距今 53.08 ka ~ 35.04 ka (本研究)	OSL 测年
晚期 (距今 50 ka ~ 10 ka)	万寿岩船帆洞遗址	闽西山区	洞穴	距今 40 ka ~ 37ka ^[41] 和 30 ka ~ 29ka ^[41]	¹⁴ C 测年
	平潭岛遗址群	闽东沿海	旷野露天	距今 30 ka ~ 10ka ^[38] 和 25 ka ~ 10ka ^[42]	OSL 测年与地层学研究
	晋江深沪湾遗址	闽东南潮间带	水下	距今 25 ka ~ 10ka ^[22]	¹⁴ C 测年与地层学研究
	漳平奇和洞遗址	闽西北部山区	洞穴	距今 17 ka ~ 13ka ^[43]	¹⁴ C 测年



图中白色箭头指示古人类可能的迁移方向。

图 8 福建旧石器时期遗址分布图

Fig. 8 Distribution of Paleolithic sites in Fujian

遗址存续期与全球气候变化密切相关。旧石器时代中晚期,遗址数量增加,年代对应 MIS3 阶段(深海氧同位素 3 阶段,约距今 60 ka ~ 26 ka)虎山庙遗址与井陇山、龙灯山遗址相似(图 9),均属闽西北部山区旧石器时代中晚期的旷野遗址。孢粉记录表明,福建在 MIS3 阶段为温暖湿润的亚热带气

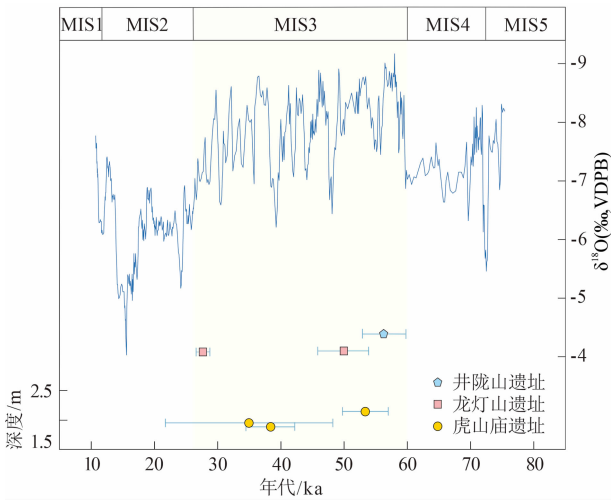


图 9 福建西北山地丘陵地区主要的旧石器遗址年代学分布^[10,24]与葫芦洞 $\delta^{18}\text{O}$ 记录对比^[46]

Fig. 9 Comparison of OSL age distribution of major Paleolithic sites in the mountainous areas of northwestern Fujian^[10,24] and the $\delta^{18}\text{O}$ record of the Hulu cave^[46]

候^[23,44-45]。葫芦洞 $\delta^{18}\text{O}$ 记录显示, MIS3 阶段是末次冰期中的“间冰阶”,气候适宜、食物丰富,为古人类提供了生存空间^[10]。该阶段全球古人类技术显著进步、遗址数量增加、活动范围扩大^[23]。有研究表明^[47],华南地区(含福建)在 MIS3 阶段的气候波动较华北及全球更平缓,相对稳定的暖湿气候可能是该区域旧石器遗址集中分布的关键因素。

旧石器时代晚期,全球处于 MIS2 阶段(末次盛

冰期,约距今 26 ka ~ 11 ka),东亚夏季风减弱,气候寒冷干燥,森林植被南移,生态系统受到影响^[48]。气候变冷可能促使古人类向低纬地区迁移或转向洞穴居住,以抵御寒冷和动物威胁,这可能是虎山庙遗址仅存一个旧石器文化层的原因。MIS2 阶段以来的晚期遗址多分布于闽东南沿海或洞穴中,与更新世华南亚热带石器地点分布趋势一致^[19],表明气候变化是居住形态转变的重要驱动因素。福建地区旧石器遗址的时空分布表现出沿闽江、九龙江由西北的丘陵山地向东南沿海的平原扩散的趋势。

4 结论

(1)福建西部晚更新世红土沉积因强烈的化学风化作用,矿物粒径偏细且长石含量极低,采用中颗粒(38 ~ 63 μm)石英进行 SAR 法测试,可获取可靠的释光年代数据。并首次确定虎山庙遗址文化层年代为距今 53.08 ka \pm 3.74 ka ~ 35.04 ka \pm 13.57 ka,填补了闽西北旧石器中期遗址的年代空白,对区域古人类活动历史重建具有重要学术意义。

(2)遗址活跃期与东亚季风强化期(MIS3 阶段)密切相关,闽西地区温暖湿润且气候波动相对平缓的环境条件为古人类提供了稳定的生态支持,推动了技术体系的进步与活动范围的扩展,从而促进了旧石器时代砾石工业的持续发展。

(3)时空扩散模型显示,旧石器遗址分布呈现沿闽江、九龙江从西北山地丘陵(200 ka ~ 27 ka)向东南沿海平原(30 ka ~ 10 ka)的迁移特征,表明末次冰盛期至全新世早期的气候转型是驱动史前人类栖居模式变化的关键因素。

参考文献(References)

- [1] ATHANASSAS C, BASSIAKOS Y, WAGNER G A, et al. Exploring paleogeographic conditions at two paleolithic sites in Navarino, southwest Greece, dated by optically stimulated luminescence [J]. *Geoarchaeology*, 2012, **27**(3): 237 – 258. DOI: 10.1002/gea.21406
- [2] ARNOLD L J, DEMURO M, NAVAJO M, et al. OSL dating of the Middle Palaeolithic Hotel California site, Sierra de Atapuerca, north-central Spain [J]. *Boreas*, 2013, **42**(2): 285 – 305. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2012.00262.x
- [3] FROUIN M, LAHAYE C, VALLADAS H, et al. Dating the Middle Palaeolithic deposits of La Quina Amont (Charente, France) using luminescence methods [J]. *Journal of Human Evolution*, 2017, **109**: 30 – 45. DOI: 10.1016/j.jhevol.2017.05.002
- [4] KIM M J, CHOI J H, HONG D G. Optically stimulated luminescence and radiocarbon dating of samples from two Palaeolithic sites (Hahwagye-ri and Hwadae-ri) in the middle part of Korean Peninsula [J]. *Geosciences Journal*, 2011, **15**(1): 65 – 70. DOI: 10.1007/s12303-011-0007-y
- [5] GODFREY-SMITH D I, HUNTLEY D J, CHEN W H. Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1988, **7**(3-4): 373 – 380. DOI: 10.1016/0277-3791(88)90032-7
- [6] ROBERTS R G, JACOBS Z, LI Bo, et al. Optical dating in archaeology: Thirty years in retrospect and grand challenges for the future [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2015, **56**: 41 – 60. DOI: 10.1016/j.jas.2015.02.028
- [7] GUO Yujie, LI Bo, ZHANG Jiafu, et al. New ages for the Upper Palaeolithic site of Xibaimaying in the Nihewan Basin, northern China: Implications for small-tool and microblade industries in north-east Asia during Marine Isotope Stages 2 and 3 [J]. *Journal of Quaternary Science*, 2017, **32**(4): 540 – 552. DOI: 10.1002/jqs.2949
- [8] NIAN Xiaomei, CHEN Fuyou, LI Feng, et al. Optical dating of a Paleolithic site near the eastern coastal region of Shandong, northern China [J]. *Quaternary Geochronology*, 2015, **30**: 466 – 471. DOI: 10.1016/j.quageo.2015.02.009
- [9] ZHANG Jiafu, LI Yiyuan, HAN Yesong, et al. Luminescence dating of weathered sediments from the Paleolithic site of Fengshuzui in northern Hunan Province, China [J]. *Quaternary Geochronology*, 2019, **49**: 211 – 217. DOI: 10.1016/j.quageo.2018.07.003
- [10] JIN Jianhui, WANG Xiaoyang, ZHOU Zhenyu, et al. OSL chronology of a Palaeolithic site in a humid subtropical mountainous area of southeast China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2021, **18**(8): 2012 – 2023. DOI: 10.1007/s11629-021-6701-y
- [11] 张家富,袁宝印,周力平. 福建晋江“老红砂”的释光年代学及对南方第四纪沉积物释光测年的指示意义[J]. *科学通报*, 2007, **52**(22): 2646 – 2654. [ZHANG Jiafu, YUAN Baoyin, ZHOU Liping. Luminescence chronology of “Old Red Sand” in Jinjiang and its implications for optical dating of sediments in south China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, **52**(22): 2646 – 2654] DOI: 10.3321/j.issn:0023-074x.2007.22.011
- [12] 刘剑刚,文欢,于禄鹏,等. 江西上湖遗址的石英光释光年代及其信号晒退研究[J]. *盐湖研究*, 2024, **32**(4): 25 – 31. [LIU Jiangang, WEN Huan, YU Lupeng, et al. Quartz optically stimulated luminescence dating and signal bleaching of the Shanghu site, Jiangxi Province [J]. *Journal of Salt Lake Research*, 2024, **32**(4): 25 – 31] DOI: 10.3724/j.phy.2024016
- [13] 郭小奇,孙雪峰,王社江,等. 秦岭汉江流域新发现旧石器遗

- 址的地层与释光年代[J]. 人类学学报, 2022, **41**(2): 319 – 333. [GUO Xiaoqi, SUN Xuefng, WANG Shejiang, et al. Pedostratigraphy and luminescence dating of the newly discovered Paleolithic sites along the Hanjiang River Valley, central China [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2022, **41**(2): 319 – 333] DOI: 10.16359/j.1000-3193/aas.2021.0037
- [14] 国家文物局. 中国文物地图集—福建分册 [M]. 福州: 福建省地图出版社, 2007: 1 – 5 + 602. [National Cultural Heritage Administration. Atlas of Chinese cultural relics (Fujian branch) [M]. Fuzhou: Fujian Map Publishing House, 2007: 1 – 5 + 602]
- [15] 范雪春. 福建漳州旧石器调查报告[J]. 人类学学报, 2005, **24**(1): 25 – 31. [FAN Xuechun. Preliminary report on the paleolithic remains from red clay of Zhangzhou, Fujian Province [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2005, **24**(1): 25 – 31] DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2005.01.003
- [16] 王晓阳. 福建旧石器工业类型及相关问题的研究[G] //2013 年海峡两岸考古遗存与海洋文化学术研讨会论文集. 福州: 福建教育出版社, 2013: 43 – 68. [WANG Xiaoyang. Study on the types and related problems of Paleolithic industry in Fujian Province [G] //2013 Symposium on archaeological remains and marine culture across the Taiwan Strait. Fuzhou: Fujian Education Press, 2013: 43 – 68]
- [17] 王幼平. 砾石工业传统与华南旧石器晚期文化[J]. 南方文物, 2021(1): 91 – 97. [WANG Youping. The gravel industrial tradition and the Late Palaeolithic culture in south China [J]. *Cultural Relics in Southern China*, 2021(1): 91 – 97] DOI: 10.3969/j.issn.1004-6275.2021.01.013
- [18] 范雪春. 福建旧石器时代考古初步研究[J]. 东方考古, 2012(1): 1 – 30. [FAN Xuechun. The preliminary research of the Palaeolithic Archaeology in Fujian Province [J]. *East Asia Archaeology*, 2012(1): 1 – 30]
- [19] 王幼平. 更新世环境与中国南方旧石器文化发展[M]. 北京: 北京大学出版社, 1997: 1 – 170. [WANG Youping. Pleistocene environments and progress of Palaeolithic culture in south China [M]. Beijing: Peking University Press, 1997: 1 – 170]
- [20] 陈子文, 李建军. 福建永安黄衣垄旧石器遗址发掘报告[J]. 人类学学报, 2008, **27**(1): 23 – 32. [CHEN Ziwen, LI Jianjun. A report on the excavation of the Huangyilong Paleolithic Site, Yong'an, Fujian [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2008, **27**(1): 23 – 32] DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2008.01.007
- [21] 张家富. 旧石器和古人类遗址释光测年技术的可靠性和测年上限[J]. 人类学学报, 2022, **41**(4): 712 – 730. [ZHANG Jiafu. Reliability and upper age limit of luminescence dating for the Paleolithic and palaeoanthropological sites [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2022, **41**(4): 712 – 730] DOI: 10.16359/j.1000-3193/AAS.2022.0032
- [22] 范雪春, 吴金鹏, 黄运明, 等. 福建晋江深沪湾潮间带旧石器遗址[J]. 人类学学报, 2011, **30**(3): 299 – 306. [FAN Xuechun, WU Jinpeng, HUANG Yunming, et al. A late Paleolithic site discovered at Shenhui Bay, Jinjiang City, Fujian Province [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2011, **30**(3): 299 – 306] DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2011.03.004
- [23] 彭菲, 范雪春, 夏正楷. 福建莲花池山旧石器遗址孢粉记录的古环境初步分析[J]. 第四纪研究, 2011, **31**(4): 705 – 714. [PENG Fei, FAN Xuechun, XIA Zhengkai. Preliminary study on the paleoenvironment of the Lianhuachishan Palaeolithic site, Fujian Province, China [J]. *Quaternary Sciences*, 2011, **31**(4): 705 – 714] DOI: 10.3969/j.issn.1001-7410.2011.04.14
- [24] JIN Jianhui, QIU Junjie, LING Zhiyong, et al. Luminescence chronology of reticulated laterites in the humid subtropical mountains of south China [J]. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 2023, **38**(11): e2022PA004603. DOI: 10.1029/2022PA004603
- [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] 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
- [27] 黄先可, 罗泊宁, 周力平. 旧石器遗址强烈化学风化沉积物细粒混合矿物的光释光信号特征及其测年应用[J]. 第四纪研究, 2019, **39**(2): 438 – 447. [HUAN Xianke, LUO Boning, ZHOU Liping. Luminescence signals from polymineral fine-grains in strongly chemically-weathered sediments from a Paleolithic site and their usefulness for dating [J]. *Quaternary Sciences*, 2019, **39**(2): 438 – 447] DOI: 10.11928/j.issn.1001-7410.2019.02.16
- [28] MURRAY A S, WINTLE A G. The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability [J]. *Radiation Measurements*, 2003, **37**(4-5): 377 – 381. DOI: 10.1016/S1350-4487(03)00053-2
- [29] 赵俊香. 释光测年综述[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 2012(1): 163 – 169. [ZHAO Junxiang. Review of luminescence dating [J]. *Bulletin of the Institute of Crustal Dynamics*, 2012(1): 163 – 169]
- [30] 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**(2-3): 497 – 500. DOI: 10.1016/1350-4487(94)90086-8
- [31] ADAMIEC G, AITKEN M J. Dose-rate conversion factors: Update [J]. *Ancient TL*, 1998, **16**(2): 37 – 50. DOI: 10.26034/la.

- atl. 1998. 292
- [32] JAIN M, MURRAY A S, BØTTER-JENSEN L. Characterisation of blue-light stimulated luminescence components in different quartz samples: Implications for dose measurement [J]. *Radiation Measurements*, 2003, **37**(4-5): 441-449. DOI: 10.1016/S1350-4487(03)00052-0
- [33] LIANG Peng, FORMAN S L. LDAC: An excel-based program for luminescence equivalent dose and burial age calculations [J]. *Ancient TL*, 2019, **37**(2): 21-40. DOI: 10.26034/la.atl.2019.536
- [34] OLLEY J M, DE DECKKER P, ROBERTS R G, et al. Optical dating of deep-sea sediments using single grains of quartz: A comparison with radiocarbon [J]. *Sedimentary Geology*, 2004, **169**(4): 175-189. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2004.05.005
- [35] 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
- [36] GU Z Y, LAL D, LIU T S, et al. Weathering histories of Chinese loess deposits based on uranium and thorium series nuclides and cosmogenic ^{10}Be [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, **61**(24): 5221-5231. DOI: 10.1016/S0016-7037(97)00313-X
- [37] GUO Xiaoqi, SUN Xuefeng, FENG Xiaobo, et al. Luminescence dating of the Jigongshan Paleolithic site in Hubei Province, southern China [J]. *Quaternary International*, 2020, **554**: 36-44. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.08.014
- [38] 周振宇, 范雪春, 羊泽林, 等. 福建平潭岛新发现旧石器时代遗存及初步研究[J]. *南方文物*, 2019(5): 27-34. [ZHOU Zhengyu, FAN Xuechun, YANG Zelin, et al. A study of newly discovered Paleolithic remains in Pingtan Island, Fujian Province [J]. *Cultural Relics in Southern China*, 2019(5): 27-34] DOI: 10.3969/j.issn.1004-6275.2019.05.004
- [39] 福建省文物局, 福建博物院, 三明市文物管理委员会. 福建三明万寿岩旧石器时代遗址: 1999—2000、2004 年考古发掘报告 [M]. 北京: 文物出版社, 2006: 1-185. [Cultural Relic Bureau of Fujian Province, The Museum of Fujian Province, The Cultural Relic Administrative Office of Sanming City, Fujian Province. Wanshouyan Paleolithic Cave Site in Sanming, Fujian Province: Report on excavating in 1999-2000 and 2004 [M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 2006: 1-185]
- [40] 李建军, 陈子文, 余生富. 灵峰洞——福建省首次发现的旧石器时代早期遗址[J]. *人类学学报*, 2001, **20**(4): 247-255. [LI Jianjun, CHEN Ziwen, YU Shengfu. Lingfengdong—the site lower Paleolithic site found in Fujian Province [J]. *Acta Anthropologica*, 2001, **20**(4): 247-255] DOI: 10.3969/j.issn.1000-3193.2001.04.001
- [41] 赵举兴, 陈泉霖, 张书光, 等. 福建省万寿岩遗址船帆洞植硅体组合特征及其环境意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2023, **43**(2): 192-199. [ZHAO Juxing, CHEN Quanlin, ZHANG Shuguang, et al. Phytolith assemblages and their environmental significance in the Chuanfan Cave, Wanshouyan Site, Fujian [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2023, **43**(2): 192-199] DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022110101
- [42] JIN Jianhui, WEI Junjie, LING Zhiyong, et al. Optically dating of a Paleolithic site in coastal regions of south China and its correlation with the late Pleistocene environment evolution [J]. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2025, **61**: 104887. DOI: 10.1016/j.jasrep.2024.104887
- [43] 范雪春, 黄运明, 危长福, 等. 福建漳平市奇和洞史前遗址发掘简报[J]. *考古*, 2013(5): 7-19. [FAN Xuechun, HUANG Yunming, WEI Changfu, et al. Brief excavation report of the Qihedong Site, Zhangping City, Fujian Province [J]. *Archaeology*, 2013(5): 7-19]
- [44] YUE Yuanfu, ZHENG Zhuo, HUANG Kangyou, et al. A continuous record of vegetation and climate change over the past 50,000 years in the Fujian Province of eastern subtropical China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, **365**: 115-123. DOI: 10.1016/j.palaeo.2012.09.018
- [45] 于俊杰, 彭博, 兰佑, 等. 孢粉证据揭示 MIS5a 以来福建东北沿海地区人类活动、海平面及气候变化[J]. *地球科学*, 2021, **46**(1): 281-292. [YU Junjie, PENG Bo, LAN You, et al. Palynological record revealed anthropogenic deforestation, sea level and climate changes since Marine Isotope Stage 5a in the northeastern coast of Fujian Province [J]. *Earth Science*, 2021, **46**(1): 281-292] DOI: 10.3799/dqkx.2019.264
- [46] WANG Yongjin, CHENG Hai, EDWARDS R L, et al. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China [J]. *Science*, 2001, **294**(5550): 2345-2348. DOI: 10.1126/science.1064618
- [47] 任永青, 靳建辉, 左昕昕, 等. 闽江流域史前聚落遗址时空分布特征及其环境影响因素[J]. *地球环境学报*, 2021, **12**(1): 68-83. [REN Yongqing, JIN Jianhui, ZUO Xinxin, et al. Spatial and temporal distribution of prehistoric settlement sites in Minjiang River Basin and their relationship with environmental factors [J]. *Journal of Earth Environment*, 2021, **12**(1): 68-83] DOI: 10.7515/JEE202012
- [48] 郑秋凤, 张茂恒, 李吉均, 等. 大九湖钻孔记录的神农架地区中更新世晚期以来的气候环境变化[J]. *地理研究*, 2014, **33**(6): 1167-1177. [ZHENG Qiufeng, ZHANG Maoheng, LI Jijun, et al. The climate and environment change of Shennongjia area recorded in the core of Dajiuhu Basin since the late Middle Pleistocene [J]. *Geographical Research*, 2014, **33**(6): 1167-1177] DOI: 10.11821/dlyj201406016

Optically Stimulated Luminescence Chronology of Paleolithic Sites and Its Human-Land Coupling Relationship: A Case Study of Hushanmiao Site in Northwestern Fujian Province, China

XU Jiayan^{1, 2a, 2b}, JIN Jianhui^{1, 2*}, LYU Jinyan³, QIU Junjie^{1, 2a}, WEI Junjie^{1, 2a}

(1. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China;

2. a. Key Laboratory for Subtropical Resources and Environment of Fujian Province;

b. Key Laboratory for Humid Subtropical Eco-geographical Processes, the Ministry of Education;

c. Fujian Institute for Cross-Straits Integrated Development, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China;

3. Fujian Provincial Archeology Institute, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Fujian Province is a crucial convergence zone between the mainland Paleolithic culture and the Austronesian Paleolithic culture. Under the humid tropical/subtropical climate of South China and due to the scarcity of datable materials, the chronological evidences for Paleolithic sites in Fujian Province, China remains insufficient, resulting in a delay in constructing the regional cultural sequence compared to other regions in China. The Hushanmiao Site, located in the mountainous and hilly regions of northwestern Fujian, had been confirmed in previous studies as a direct exhibition of typical South China Paleolithic cultural features. However, the chronological period of its persistence remains unresolved. Precise dating of the Site holds profound significance for elucidating the dissemination pathways of Paleolithic cultures and ancient human activities in southern China.

In this study, it extracted medium-grained quartz (38 ~ 63 μm) samples collected from the prospecting trench profiles at the Hushanmiao Site. The single aliquot regenerative-dose (SAR) method of optically stimulated luminescence (OSL) dating technology was employed for chronological determination, and the interaction between human activities and the natural environment during the Paleolithic period in Fujian was thoroughly discussed.

(1) The quartz SAR method demonstrated excellent applicability in the late Pleistocene laterite deposits of northwestern Fujian. For the first time, the cultural layers of the Hushanmiao Site were dated to $53.08 \text{ ka} \pm 3.74 \text{ ka}$ to $35.04 \text{ ka} \pm 13.57 \text{ ka}$, filling the chronological gap for middle Paleolithic sites in northwestern Fujian.

(2) There was a close association between the active period of the Site and the intensified East Asian monsoon (MIS3 stage), with the warm and humid climate providing ecological carrying capacity for the continuous development of the Paleolithic gravel industry.

(3) Spatio-temporal diffusion modeling revealed a migration pattern in Paleolithic site distribution, shifting from northwestern mountainous regions (200 ka ~ 27 ka) to southeastern coastal plains (30 ka ~ 10 ka). This indicates that climatic transitions from the Last Glacial Maximum to the early Holocene were key drivers of changes in human settlement patterns.

This study not only contributes to filling the gap in prehistoric chronological research in Fujian but also provides precise spatio-temporal coordinates for the study of the dissemination routes of the Paleolithic culture in South China.

Key words: the Hushanmiao Site; Paleolithic period; OSL dating; human-environment interaction; Fujian

(责任编辑 朱颖彦 钟雨倩)