

三峡井水湾遗址的光释光测年

裴树文^① 张家富^{②*} 高星^① 周力平^② 冯兴无^① 陈福友^①

(^① 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; ^② 北京大学环境学院地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871. * 联系人, E-mail: jfzhang@pku.edu.cn)

摘要 井水湾遗址埋藏于三峡地区长江右岸第二级河流阶地内, 遗址石器工业是以砾石和大石片加工的砍砸器和刮削器等为特征的中国南方砾石石器主工业传统. 遗址堆积物为河流沉积物, 本文应用光释光技术中的单片再生剂量法对这些河流沉积物中的石英颗粒进行了定年, 结果表明古人类在该遗址活动的年代发生在晚更新世早期, 距今约 7 万年前. 该年代结果是三峡乃至华南地区旧石器时代考古和古人类研究在测年上的一项突破, 有助于建立华南旧石器考古年代框架和文化发展序列, 为探讨该地区晚更新世早期人类活动的环境、技术发展和生存模式演变奠定了基础, 对中国现代人类起源研究有重要意义.

关键词 三峡井水湾遗址 光释光测年 河流阶地 现代人类起源

三峡地区位于中国大地貌单元第二级阶梯中间的枢纽地段, 长江上游向中游的过渡地带, 是研究人类在中国的起源及其文化发展的重要区域. 自 1993 年底开展旧石器时代考古调查以来, 已发现石器和动物化石地点 69 处, 主要分布在长江沿岸的河流阶地内^[1]. 1995 年以来中国科学院古脊椎动物与古人类研究所会同重庆自然博物馆和遗址所在区、县的文管所等单位对其中的 17 个地点进行了 26 次系统发掘, 出土了一批丰富的古人类文化遗物和动物化石, 使三峡库区由旧石器时代考古的贫瘠区而跃升为富集区, 为研究古人类在三峡地区的适应、开发过程和该地区更新世环境演变提供了珍贵的资料^[2]. 井水湾遗址是目前在三峡地区发现的最重要的遗址之一, 也是迄今为止发掘面积最大、连续工作时间最长、出土遗物最丰实的旧石器时代考古遗址^[3].

井水湾遗址埋藏于长江右岸的第二级河流阶地内, 属旷野遗址. 该遗址中的地层剖面厚度大, 是三峡地区遗址中最为完整的剖面. 然而, 该遗址的年代测定一直没有解决, 堆积物中缺失有机质, 不能用 ¹⁴C 法测年; 地层中的钙质结核和钙板层结晶程度不高, 达不到铀系测年的要求. 新近发展起来的光释光测年技术为该遗址的准确定年提供了新的手段.

光释光技术是近年发展起来的一种测年技术, 它在第四纪沉积物的定年中已得到了广泛的应用^[4], 尤其对一些超过 4 万年或不含有有机碳物质的沉积物定年, 更显示出它的优越性^[5-7]. 该技术是利用样品中的石英或钾长石碎屑颗粒作辐射剂量计, 记录从

环境中吸收的电离辐射剂量. 在实验室通过测量样品的光释光强度来估算出样品自最后一次见光或加热(测年事件)以来吸收的辐射剂量即古剂量或等效剂量. 样品的等效剂量除以样品每年吸收的辐射剂量(年剂量)即为样品最后一次见光或加热事件到现在的埋藏年龄. 该遗址的堆积物为河流沉积物, 本文通过对这些河流沉积物进行光释光年龄测定, 得出该遗址从埋藏到现在的时间.

1 遗址的地质背景和文化遗存

井水湾遗址位于重庆市丰都县三合镇新湾村二社(北纬 29°52'38", 东经 107°43'05") (图 1). 该遗址于 1994 年 3 月 19 日被发现, 1998~2002 年期间共进行了 5 次系统发掘, 揭露面积 2121 m².

遗址位于长江右岸的第二级阶地. 该阶地属基座阶地, 基座为侏罗系长石砂岩、粉砂岩和页岩; 河床相砾石层基本缺失, 只是在基座局部的洼地保留少量砾石; 上部河漫滩相细颗粒沉积物主要为黏土质细砂、粉砂、粉砂质亚黏土, 厚约 16 m, 阶地前缘海拔高 168 m, 高出长江低水位约 43 m. 遗址地层剖面(剖面 A)由上到下为:

1. 灰-土灰色耕土层 0.5 m
2. 土黄色粉砂质亚黏土同褐红色亚黏土互层, 其间夹多层钙质结核层 5~8 m
3. 上部土黄色粉砂质亚黏土层, 下部为褐红色亚黏土层 2.5 m
4. 钙结核夹土黄色细砂层 1.2 m
5. 土黄色粉砂质亚黏土层, 局部发育水

- 平层理 2.0 m
- 6. 灰白色钙质结核层, 下部为灰黄色砂砾层夹粉砂质砂层 1.5~2.0 m
- 7. 土黄-土灰色砂质粉砂层和粉砂质砂层, 底部夹紫红色黏土层, 基岩面局部低洼处沉积河卵石. 文化层, 出土大量石制品、动物化石 0.5~2.0 m
~~~~~ 侵蚀不整合面 ~~~~~
- 8. 侏罗系长石砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩同页岩互层. 未见底

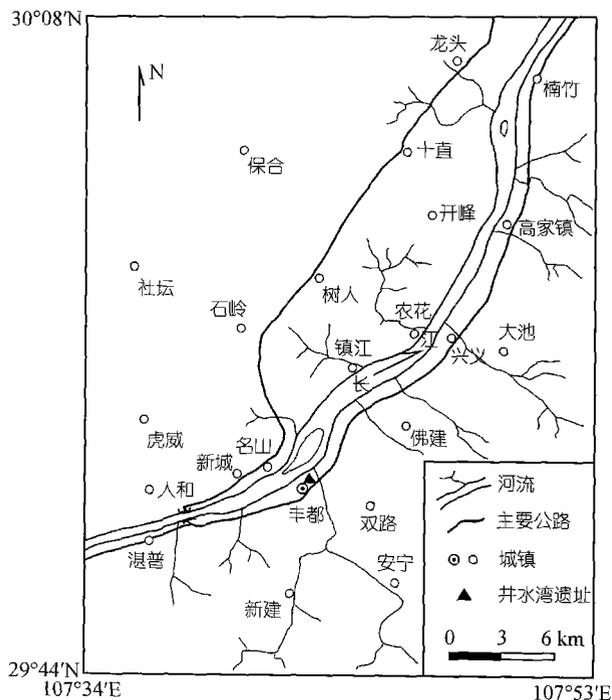


图1 井水湾遗址地理位置图

遗址共出土遗物 968 件, 包括石制品 910 件, 动物化石 58 件. 石制品可分为石核 304 件, 石片 382 件, 石器 118 件, 断块 102 件, 还有 4 件锤击石锤. 原料取自磨圆度较高的河卵石, 石制品绝大多数 (85.8%) 为打片和加工石器过程产生的石核、石片和断块等, 加工成器的标本共 118 件, 占石制品总数的 12.9%. 石器组合简单, 以砍砸器和刮削器为主体, 辅以尖状器和凹缺器.

由于南方土壤偏酸性, 出土的哺乳动物化石较破碎, 其中较完整的多为牙齿化石, 还有大哺乳动物破碎肢骨和几件牙齿残片, 初步认为属大熊猫-剑齿象动物群成员, 大致有如下种类: 东方剑齿象 (*Stegodon*

*orientalis*) 1 枚完整门齿和 5 枚完整臼齿, 鹿科 (*Cervidae*) 牙齿若干件和牛科 (*Bovidae*) 牙齿若干件等.

## 2 实验方法

### 2.1 测年样品的采集与处理

在发掘过程中, 作者对 2000 年度 (剖面 A) 和 2001 年度 (剖面 B) 地层剖面的文化层及上覆地层进行了光释光样品的采集 (图 2), 两剖面相距 40 m, 同属一个发掘区的东西两壁, 地层连续. 取样时, 将不透明 PVC 管一端密封, 将另一端水平打入地层内, 取出后将两端用胶带纸密封, 以保证样品在运输中不损失其中的水分.

在实验室暗室中, 削去装样 PVC 管两头表层样品, 保留中心部位; 用  $H_2O_2$  和 HCl 分别去除样品中的有机质和碳酸盐类物质; 用水冲洗掉样品中的泥质成分, 保留碎屑颗粒; 干燥后筛取合适粒径的粗颗粒组份; 用 40% 的 HF 溶液浸蚀样品去除长石成分, 浸蚀时间为直到样品中的红外释光信号为可忽略为止. 最后, 将得到的纯石英颗粒样品用硅胶黏在直径约 0.97 cm 左右的圆铝片上用作等效剂量测量.

### 2.2 年剂量测量

样品吸收的放射性能量主要来自地质环境和样品本身中的  $^{235}U$ ,  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$  及它们的子体和  $^{40}K$  的衰变. 在本次测年中, 样品的铀、钍和钾含量在中国原子能研究院通过中子活化分析得到. 宇宙射线对年剂量的贡献根据样品所在地点的经纬度、高程、样品埋藏深度和沉积物的密度, 通过有关方程计算<sup>[8]</sup>得到的. 样品的含水量是在实验室对干燥前后的样品称重获得的, 含水量表示为样品中水与干样品重量的百分比, 不确定度指定为 10%. 最后, 根据样品中放射性元素含量和含水量, 以及测量样品的颗粒大小等, 按有关转换参数<sup>[9,10]</sup>求出测量样品的年剂量.

### 2.3 等效剂量测量

等效剂量的测量均在北京大学环境学院释光测年实验室的热释光/光释光测量仪 (Risø-TL/OSL-15)<sup>[11]</sup> 上进行, 激发光源为蓝光 ((470±10) nm), 探测滤光片为 U-340. 仪器的释光信号由 EMI 9235QA 光电倍增管测量. 所有的人工放射性辐照由安装在该仪器上的放射性  $\beta$  源 ( $^{90}Sr/^{90}Y$ ) 来完成.

样品的等效剂量用单片再生剂量法测量<sup>[12]</sup>, 过程如下: (i) 在某一温度下预热样品 10 s; (ii) 在 125℃

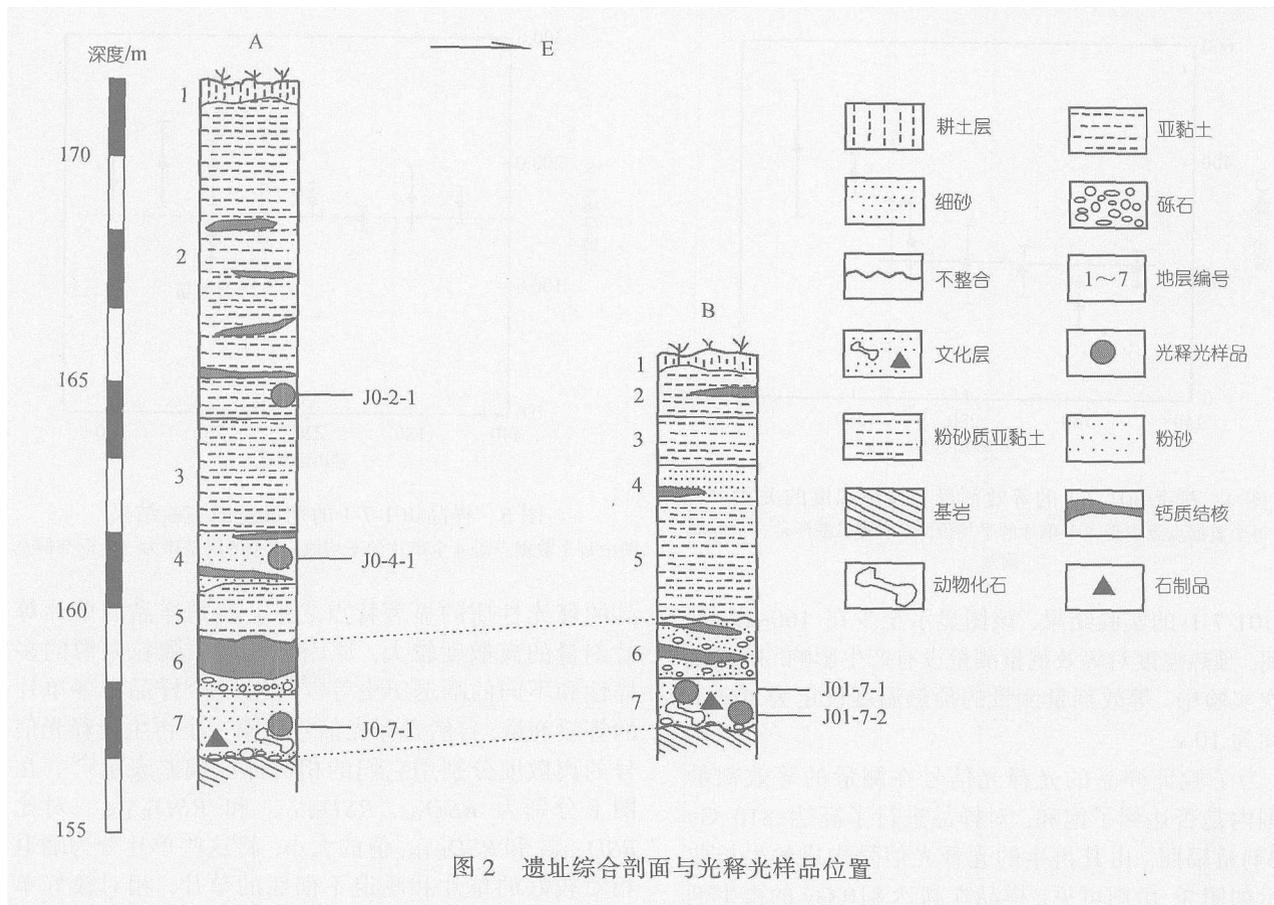


图 2 遗址综合剖面与光释光样品位置

时测量样品的光释光信号 40 s, 得到光释光的衰减曲线(图 3 中的插图); 为了监控在测量过程中样品的光释光灵敏度变化, 随后(iii)给样品辐照一个小剂量; (iv) 加热样品到 160℃ 去掉不稳定信号; (v) 在 125℃ 时测量由小剂量产生的光释光信号 40 s. 上述过程测量了样品的自然光释光强度, 第(ii)与(v)步的光释光信号强度相除即为灵敏度校正后的光释光强度. 在自然光释光测量后, 分别给样品辐照不同的再生剂量, 重复上述(i)~(v)的过程, 测量不同再生剂量产生的光释光信号. 根据灵敏度校正后的再生光释光强度作出该单片的光释光生长曲线, 用内插法根据自然光释光的强度求出该单片的等效剂量(图 3).

### 3 测年结果

#### 3.1 等效剂量的预热坪区与光释光信号的饱和度检验

为了找到合适的等效剂量测量条件, 观察样品在预热时电子转移的情况, 对样品进行了等效剂量预热坪区实验. 实验是分别在温度 160, 180, 200, 220, 240, 260 和 280℃ 下对单片预热 10 s, 测量单片的等效剂量, 在每个温度点至少测量 4 个单片. 图 4 是样

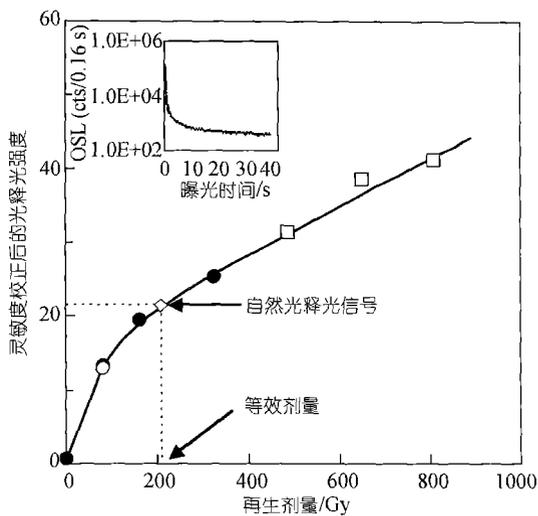


图 3 应用单片再生剂量法测量样品 J01-7-2 的等效剂量 (见正文)

样品的预热温度和时间分别为 200℃ 和 10 s, 小剂量为 1.6 Gy, 所加的再生剂量值依次为 81.0, 162.0, 324.0, 0 和 81.0 Gy. 经灵敏度校对后的再生光释光信号构成了测量样品的生长曲线, 用内插法得到该单片的等效剂量为 208.5 Gy. 为了检验样品自然光释光信号是否达到饱和, 又增加了 3 个大的再生剂量 481.0, 648.0 和 810.0 Gy. 图中的插图为样品的自然光释光衰减曲线

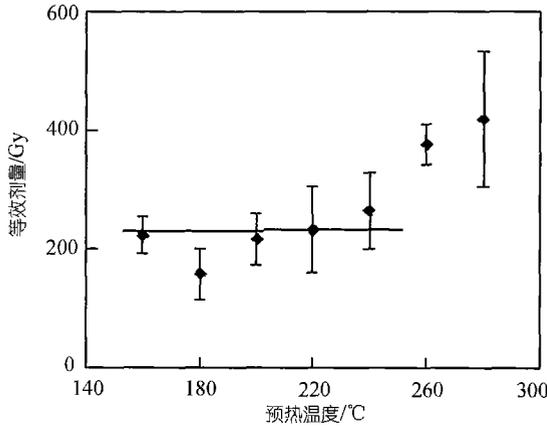


图 4 样品 J01-7-1 的等效剂量与预热温度的关系  
图中每个数据点至少是 4 个单片的平均值, 图中的误差棒是一个标准偏差

品 J01-7-1 的实验结果. 该图显示至少在 160~220 °C 区间, 预热温度对等效剂量测量没有产生影响. 所以在本次实验中, 等效剂量测量的预热温度设定为 200 °C, 时间为 10 s.

为了验证样品的光释光信号在测量的等效剂量范围内是否达到了饱和, 对样品进行了高达 810 Gy 的  $\beta$  剂量辐照, 由其再生的光释光信号构成的生长曲线示如图 3. 由图可见, 样品在高达 810 Gy 的再生剂量时仍未达到饱和, 表明样品的光释光年龄在可测量的范围内.

### 3.2 剂量复原实验

为了验证等效剂量测量的可靠性, 进行了剂量复原实验. 实验过程是先用释光测量仪中的蓝光将样品中的自然光释光信号完全晒退, 然后给样品辐照一个剂量(给定剂量), 我们假设该剂量为古剂量, 然后应用上述的单片再生剂量法对其进行测量, 得出测量剂量. 实验条件与等效剂量预热坪区实验一样, 实验结果示于图 5. 图 5 表明该样品剂量复原实验结果与上述的等效剂量预热坪区实验结果基本一致, 在等效剂量预热坪区, 样品的测量剂量在误差范围内与给定剂量基本一致, 这表明样品的等效剂量测量是可靠的.

### 3.3 等效剂量

样品的单片等效剂量测量结果示于图 6. 河流样

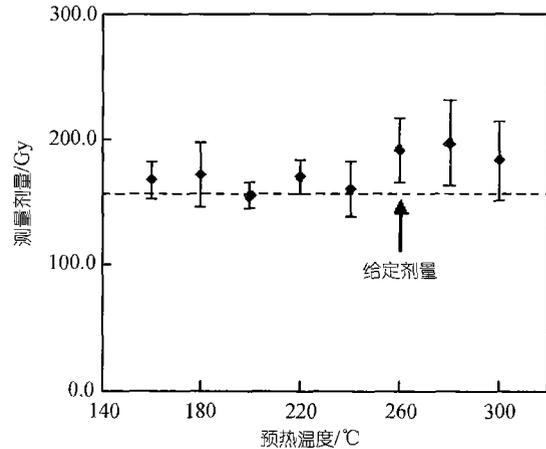


图 5 样品 J01-7-1 的剂量复原实验结果  
图中每个数据点是 4 个单片的平均值, 图中的误差棒为一个标准偏差

品的释光性质的显著特点之一, 就是样品的单片等效剂量的离散度较大, 原因是样品中颗粒来源的多样性和不同的晒退历史等<sup>[13-16]</sup>. 一个样品中各单片的等效剂量、自然光释光信号和第一个再生光释光信号的离散度分别用它们的相对标准偏差表示<sup>[14]</sup>, 在图上分别为  $RSD_{De}$ ,  $RSD_{N-OSL}$  和  $RSD_{R-OSL}$ . 对比  $RSD_{N-OSL}$  和  $RSD_{R-OSL}$  值的大小, 将这些单片分为晒退相对较好的单片和晒退不彻底的单片. 相对较好单片的平均等效剂量和所有测量单片的等效剂量值列于表 1. 由于一个单片的释光信号主要来自少数较亮的颗粒<sup>1)</sup>, 所以一个单片的释光在一定程度上代表了少数颗粒的释光信号. 晒退相对较好的单片的等效剂量的平均值被认为最接近样品的埋藏剂量. 图 6 和表 1 表明这些样品的所有测量单片的等效剂量平均值和相对晒退较好的单片等效剂量平均值相似, 进一步说明对老的河流样品, 光释光信号的晒退程度对测年的影响是不明显的, 这与 Zhang 等<sup>[14]</sup>的结论是一致的.

### 3.4 光释光年龄

所有测量有效单片的等效剂量平均值以及通过评价认为晒退较好单片的平均值、与年剂量有关的参数列于表 1. 等效剂量除以年剂量得到样品的光释光年龄, 计算是通过 AGE.EXE<sup>2)</sup>程序计算的, 由每个样品的两个等效剂量平均值得到两个光释光年龄值, 由所有测量单片的等效剂量值的平均值计算出的年

1) Zhang J F. Development and application of luminescence dating to Quaternary sediments from China. Dissertation for the Doctoral Degree. HongKong: Hong Kong University, 2000

2) Grün R. Age.exe, Computer program for the calculation of luminescence dates. Unpublished Computer Program. RSES, Canberra. 2003

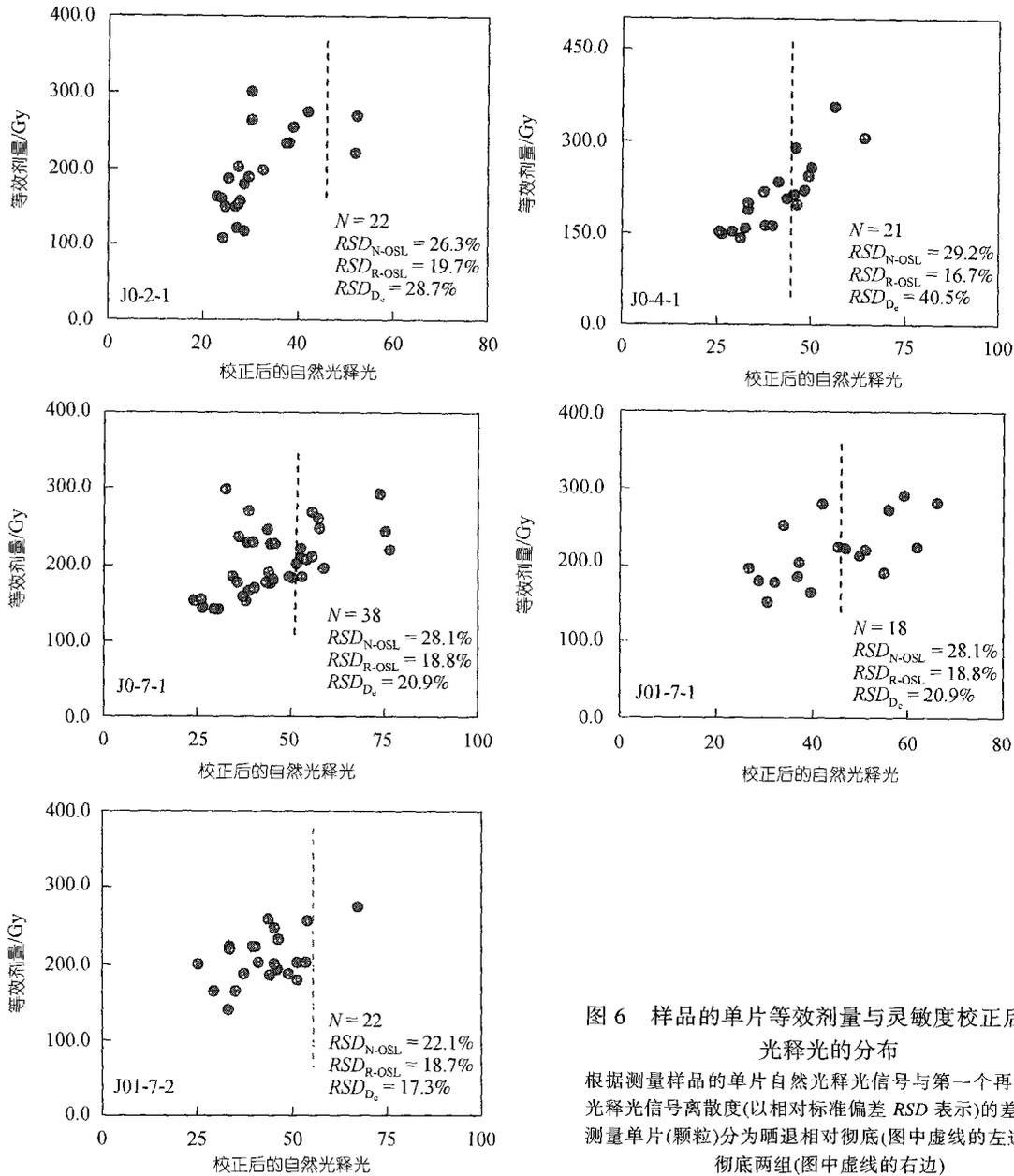


图 6 样品的单片等效剂量与灵敏度校正后自然光释光的分布

根据测量样品的单片自然光释光信号与第一个再生剂量光释光信号离散度(以相对标准偏差  $RSD$  表示)的差异,将测量单片(颗粒)分为晒退相对彻底(图中虚线的左边)和不彻底两组(图中虚线的右边)

龄可认为是样品的最大值,而由晒退较好单片计算的年龄被认为比较接近样品的埋藏年龄。文化层三个样品 J0-7-1, J01-7-1 和 J01-7-2 的释光年龄表明三峡井水湾遗址文化层的年代大约为 7 万年,即该遗址的文化层堆积物从埋藏到现在经历约为 7 万年。文化层上覆的河流堆积物样品 J0-2-1 和 J0-4-1 的光释光年龄与文化层年龄相似,表明该阶地的堆积速度较快。

#### 4 讨论

井水湾遗址埋藏于长江二级河流阶地内,地

貌部位清楚,地层剖面保存完好,石制品和动物化石等文化遗物出土于晚更新世早期的砂质粉砂层和粉砂质砂层内,其上被多层钙质结核层覆盖,文化层保留了遗址形成后的原始状态,是一处重要的古人类活动遗址,光释光测年结果表明古人类在该遗址的活动年代为距今约 7 万年前。

井水湾遗址的年代测定结果是华南古人类学和旧石器时代考古年代学的一次重要尝试。长期以来,年代测定一直是华南地区更新世人类起源与技术发展研究的一项难题<sup>[17,18]</sup>,因酸性土壤无法保存有机

表1 光释光测年结果<sup>a)</sup>

| 样品编号     | 采样号     | 岩性      | 深度/m | 粒径/ $\mu\text{m}$ | U/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ | Th/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ | K/%       | 含水量/% |
|----------|---------|---------|------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|
| PKU-L056 | J0-2-1  | 黏质粉砂    | 6.7  | 90~112            | 2.80±0.14                            | 14.60±0.38                            | 1.74±0.07 | 23.7  |
| PKU-L057 | J0-4-1  | 粉砂质细砂   | 9.8  | 112~160           | 2.48±0.13                            | 10.60±0.32                            | 2.07±0.09 | 21.0  |
| PKU-L058 | J0-7-1  | 粉砂质细砂   | 12.1 | 112~160           | 2.35±0.13                            | 13.00±0.33                            | 2.11±0.08 | 22.0  |
| PKU-L60  | J01-7-1 | 黏土质粉砂细砂 | 7.2  | 112~160           | 2.37±0.13                            | 12.10±0.33                            | 2.06±0.09 | 18.3  |
| PKU-L061 | J01-7-2 | 黏土质粉砂细砂 | 7.2  | 112~160           | 2.27±0.13                            | 12.70±0.34                            | 2.01±0.09 | 24.6  |

| 样品编号     | 年剂量<br>/Gy · ka <sup>-1</sup> | 所有测量的单片 |            |          | 晒退相对较好的单片 |            |          |
|----------|-------------------------------|---------|------------|----------|-----------|------------|----------|
|          |                               | 测量单片个数  | 平均等效剂量/Gy  | 年龄/ka    | 测量单片个数    | 平均等效剂量/Gy  | 年龄/ka    |
| PKU-L056 | 2.71±0.11                     | 22(25)  | 193.9±11.8 | 71.6±5.2 | 20        | 188.9±12.4 | 69.8±5.3 |
| PKU-L057 | 2.71±0.10                     | 20(23)  | 208.7±13.1 | 76.9±7.5 | 12        | 175.0±8.9  | 64.5±4.1 |
| PKU-L058 | 2.82±0.10                     | 38(41)  | 203.8±6.9  | 72.2±3.7 | 25        | 191.3±8.5  | 67.8±3.9 |
| PKU-L60  | 2.81±0.10                     | 18(22)  | 217.4±9.5  | 77.3±4.3 | 10        | 200.5±12.8 | 71.1±5.2 |
| PKU-L061 | 2.68±0.10                     | 25(29)  | 206.3±7.1  | 77.1±3.8 | 20        | 203.1±6.8  | 75.9±3.7 |

a) 括号中的数字是实际测量的单片, 由于一些单片的灵敏度校正不好(重复测量时>10%)和回复(recuperation)信号较大(与自然信号相比>5%), 在计算时被去掉了. 文中的等效剂量偏差是一个平均标准偏差

物, 相应的测年手段无法应用, 许多遗址的年代只能依据生物地层加以宽泛的对比、推测; 新兴的 TIMS 铀系法提供了新的手段和机会, 但该方法对碳酸盐岩样品的纯度要求较高, 更适合对洞穴的年代测定. 本项目对南方古人类文化遗址进行光释光测年, 取得了令人鼓舞的结果, 与遗址的地貌、地层和遗存信息相吻合, 为其他与其近似而缺乏年代依据的遗址提供了年代参照. 该方法以石英碎屑颗粒为测试材料, 这些材料在埋藏古人类化石和文化遗存的堆积物中普遍存在, 许多旷野遗址的形成过程满足光释光测年的条件, 因此该方法在南方旷野遗址中有广泛的应用前景, 可望与 TIMS 铀系法相互补充, 相互验证, 从根本上改变中国华南古人类-旧石器遗址测年的困境.

井水湾遗址的年代测定结果对建立华南旧石器时代文化序列意义重大. 以往三峡乃至更大范围的华南地区旧石器时代早期<sup>[19,20]</sup>和晚期<sup>[1]</sup>均有代表性遗存, 但中期的遗址一直因测年的困难而无法确定, 该阶段的人类技术、文化面貌和生存方式因而无从探讨, 区域性文化发展序列也因中间环节的缺失而无法建立. 井水湾遗址的光释光测年首次确证古人类于晚更新世早期在三峡乃至华南地区的存在, 确立了一处该地区旧石器时代中期的代表性文化遗址, 从而使该地区旧石器时代早→中→晚期文化发展序列得以构建. 井水湾遗址处在以粗大的砾石和大石片加工成的石器为代表的南方主工业分布区内, 显示出砾石工业传统的鲜明特点<sup>[21]</sup>, 但其石器类型与

技术蕴含了新的发展因素, 中型石制品比例达到36%, 片状毛坯达到73.6%, 出现了个体较小的刮削器和加工相对精致的凹缺器和尖状器<sup>[3]</sup>. 这些特点在南方旧石器晚期工业中较为普遍. 井水湾的材料表明这种石器制作转向依赖片状毛坯、工具小型化、精致化的发展趋势其实在晚更新世早期既已开始, 从而说明该区域文化与技术的发展是一个逐步、渐进的过程. 这对研究华南石器工业传统的形成过程与发展趋势和古人类生存方式的演变, 具有重要意义.

井水湾遗址的年代测定结果对探索中国现代人类的起源具有重要的启示. 近来分子生物学技术在现代人类起源研究方面异军突起, 提出中国乃至东亚现代人类的祖先在约10~5万年前从非洲迁入, 依据之一是此时段内中国乃至东亚几无人类化石和文化遗存<sup>[22-24]</sup>. 三峡地区地处青藏高原东部、长江上游向中游的过渡地带, 更新世以来气候条件适宜, 生活资源丰富, 适于人类的持续生存和繁衍, 近年来该地区相继发现多处更新世古人类遗址<sup>[25,26]</sup>, 说明人类一直在此生存和繁衍. 井水湾遗址测定在距今7万年前, 正处于分子生物学界定的中国现代人类起源的敏感时段<sup>[27]</sup>, 该遗址年代的确定不仅反证了中国境内缺乏距今10~5万年前人类化石和文化遗存的论断, 而且表明该地区古文化从更新世早期至晚期存在连续性, 其发展模式是承袭与渐进, 不存在文化的中断和突变, 进而说明其文化的创造者的生存方式和演化繁衍是连续的, 不存在本土人类的灭绝和外来人种的替代. 因而, 井水湾遗址的文化遗存和时代强劲

支持中国乃至东亚的古人类演化是连续的, 中国现代人类是本土起源的。

**致谢** 本工作受国家自然科学基金项目(批准号: 40472016, 40471010 和 49925307)资助。

### 参 考 文 献

- 1 卫奇, 林圣龙, 李毅, 等. 三峡库区的旧石器遗存及古人类与古脊椎动物考察. 见: 《中国三峡建设年鉴》编纂委员会. 中国三峡建设年鉴(1997). 宜昌: 中国三峡建设年鉴社, 1997. 100—109
- 2 裴树文, 冯兴无, 陈福友, 等. 三峡地区旧石器考古新进展. 见: 邓涛, 王原主编. 第八届中国古脊椎动物学学术年会论文集. 北京: 海洋出版社, 2001. 197—208
- 3 裴树文, 高星, 冯兴无, 等. 井水湾旧石器遗址初步研究. 人类学学报, 2003, 22 (4): 261—278
- 4 Aitken M J. An Introduction to optical dating: the dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence. Oxford: Oxford University Press, 1998
- 5 Pavlov P, Svendsen I, Indrelid S. Human presence in the European Arctic nearly 40000 years ago. *Nature*, 2001, 413: 64—67
- 6 Christopher S H, Francesco D E, Royden Y, et al. Emergence of modern human behavior: middle stone age engravings from south Africa. *Science*, 2002, 295: 1278—1280
- 7 Bowler J M, Johnston H, Olley J, et al. New ages for human occupation and climatic change at Lake Mungo, Australia. *Nature*, 2003, 421: 837—840
- 8 Prescott J R, Hutton J T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiat Meas*, 1994, 23: 497—500
- 9 Adamiec G, Aitken M J. Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL*, 1998, 16: 37—50
- 10 Mejdahl V. Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains. *Archaeometry*, 1979, 21: 61—72
- 11 Bøtter-Jensen L, Bulur E, Duller G A T, et al. Advances in luminescence instrument systems. *Radiat Meas*, 2000, 32: 523—528
- 12 Murray A S, Wintle A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiat Meas*, 2000, 32: 57—73
- 13 Zhang J F, Li S, Tso M-Y W. Assessment of bleaching of K-feldspar grains. *Radiat Meas*, 2001, 33: 103—108
- 14 Zhang J F, Zhou L P, Yue S Y. Dating fluvial sediments by optically stimulated luminescence: selection of equivalent doses for age calculation. *Quat Sci Rev*, 2003, 22: 1123—1129
- 15 Wallinga J. Optically stimulated luminescence dating of fluvial deposits: a review. *Boreas*, 2002, 31: 303—322
- 16 Li S H. Optical dating: insufficiently bleached sediments. *Radiat Meas*, 1994, 23: 563—567
- 17 陈铁梅. 中国旧石器考古年代学的进展与评述. *考古学报*, 1988, 3: 357—367
- 18 沈冠军. 中国现代人类起源: 来自南方化石地点的年代学证据. *地学前缘*, 2004, 11(2): 543—548
- 19 冯兴无, 裴树文, 陈福友. 烟墩堡遗址研究. *人类学学报*, 2003, 22 (3): 177—191
- 20 Huang W, Ciochon R, Gu Y M, et al. Early *Homo* and associated artifacts from Asia. *Nature*, 1995, 378: 275—278
- 21 张森水. 近 20 年来中国旧石器考古学的进展与思考. *第四纪研究*, 2002, 22 (1): 11—19
- 22 Jin L, Su B. Natives or immigrants: modern human origin in East Asia. *Nature Genet*, 2000, 1: 126—133
- 23 Ke Y, Su B, Song X, et al. African origin of modern humans in East Asia: A tale of 12000 Y chromosomes. *Science*, 2001, 292: 1151—1153
- 24 柯越海, 宿兵, 李宏宇, 等. Y 染色体遗传学证据支持现代中国人起源于非洲. *科学通报*, 2001, 46(5): 411—414
- 25 Huang W P, Gu Y M, Ciochon R, et al. Whose teeth? *Nature*, 1996, 381: 202
- 26 高星, 黄万波, 徐自强, 等. 三峡兴隆洞出土 12~15 万年前的古人类化石和象牙刻划. *科学通报*, 2003, 48(23): 2466—2472
- 27 Wu X Z. On the origin of modern humans in China. *Quat Int*, 2004, 117: 131—140

(2005-11-22 收稿, 2006-02-23 接受)