

文章编号: 1000-0550(2014)02-0306-08

汉江上游尚家河段全新世古洪水事件光释光测年研究^①

马玉改 黄春长 周亚利 庞奖励 查小春 周亮 张玉柱 刘建芳

(陕西师范大学旅游与环境学院 西安 710062)

摘要 汉江上游是南水北调中线工程重要的水源区。通过对汉江上游河谷的详细调查,在郧县尚家河段全新世黄土-古土壤剖面上部发现一层典型古洪水滞流沉积物,对其进行了年代学和沉积学的研究。对于系统采集的样品,进行粒度分析测定,证明其为典型的古洪水滞流沉积物(SWD),记录了古洪水事件发生的气候水文信息。采用古洪水水文学方法恢复推算出这次特大古洪水事件的洪峰流量为 $63\ 720\ \text{m}^3/\text{s}$,其规模大于实测最大洪水。应用光释光测年(OSL)技术中的单片再生剂量法(SAR),测得样品的年龄在 $940 \pm 140 \sim 3\ 190 \pm 100\ \text{a}$ 之间,确定古洪水 SWD 是汉江上游发生在 $1\ 000 \sim 900\ \text{a B.P.}$ 期间的特大洪水事件的沉积物。这期古洪水事件的发生年代对应于我国北宋/辽时期的气候恶化阶段,由于东亚夏季风环流异常变化,降水变率大,气候处于不稳定期,出现旱涝灾害频繁发生的现象。研究结果对于深入揭示河流水文系统对于全球变化的响应规律提供了新的证据。

关键词 全新世 古洪水事件 光释光测年 汉江上游

第一作者简介 马玉改 女 1987 年出生 硕士研究生 自然地理学 E-mail: mayugai@126.com

通讯作者 黄春长 教授 E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

中图分类号 P512.31 **文献标识码** A

古洪水滞流沉积物(SWD)作为古洪水事件的主要信息载体,在古洪水水文学研究当中受到重视。对于古洪水事件的断代主要依赖于对古洪水 SWD 的年代测定。目前,确定古洪水 SWD 年代的方法主要有地层对比法、考古断代法、放射性¹⁴C 测年和光释光(OSL)测年等^[1-2]。虽然放射性¹⁴C 测年技术比较成熟,精度也比较高,但是在古洪水 SWD 及其相关地层剖面很难找到可用于测年的有机质材料。即使利用从土壤和沉积物当中提取的有机质进行¹⁴C 测年,因其受到植物根系发育等影响,测年结果与样品的沉积年龄有时相差也会很大^[3]。而 OSL 测年技术已经被用于古洪水 SWD 及其相关的黄土古土壤地层剖面的测年,获得了可靠的结果^[4-5]。其中单片再生剂量法(SAR)在国内外应用最为广泛^[6]。

我们对汉江上游河谷进行了古洪水沉积学和水文学调查,在第一级阶地的黄土-古土壤覆盖层当中发现了古洪水 SWD。通过深入观察分析,系统地采取了沉积物样品,进行 OSL 测年研究,在安康段立石村(LSC)发现了北宋时代后期的古洪水,郧县段前坊村(QFC)及辽瓦店(LWD)发现了东汉时期的古洪水,白河段焦家台(JJTZ)、旬阳段新滩村(XTC)及郧西段鹿家湾(TJW)发现了全新世中

期-晚期转折阶段($3\ 200 \sim 2\ 800\ \text{a B.P.}$)时期的古洪水^[7-12]。这些研究成果为汉江上游全新世气候水文事件的研究提供了可靠的测年数据。

1 研究地点及地层剖面

汉江全长 $1\ 577\ \text{km}$,流域面积为 $15.9 \times 10^4\ \text{km}^2$,是长江最长支流。汉江发源于陕西省宁强县潘家山,东南流经陕西,再注入湖北丹江口水库,出库向东南流,最终由武汉市汇入长江。主流丹江口以上为汉江上游,是我国南水北调工程中线的水源区,主流全长约 $925\ \text{km}$,集水面积为 $9.52 \times 10^4\ \text{km}^2$,地处秦岭以南的秦巴山地,河道多为蜿蜒曲折的峡谷,是有名的暴雨中心区(图 1)。汉江上游水系发达,为羽毛状水系,植被覆盖茂密,河谷阶地有风成黄土覆盖,低阶地发育黄褐土类土壤,海拔较高的缓坡为棕壤。汉江上游流域属于北亚热带的北部,处于东亚季风区,气候温暖湿润,多年平均气温为 $14^\circ\text{C} \sim 16^\circ\text{C}$,降水量较丰沛,年平均降水量为 $800 \sim 1\ 200\ \text{mm}$ 。夏秋季受东南季风和西南季风影响,降水量年际变化较大,年内分配不均匀,汛期集中于 $6 \sim 10$ 月,夏季会出现历时短、强度大的暴雨,秋季则会出现全流域长时间的连阴雨,这些短时间高强度

^①国家自然科学基金重点项目(批准号:41030637)与国家自然科学基金面上项目(批准号:41271108/41371029)联合资助
收稿日期:2012-11-28;收修改稿日期:2013-03-19

暴雨往往能够引发造成较大的洪水事件^[13]。汉江上游丹江口站多年平均流量为 1 200 m³/s, 年平均径流总量为 37.80×10⁹ m³, 在 1958 年 6 月曾出现洪峰流量为 61 000 m³/s 的特大洪水, 在 1983 年 10 月曾出现洪峰流量为 34 200 m³/s 的特大洪水。

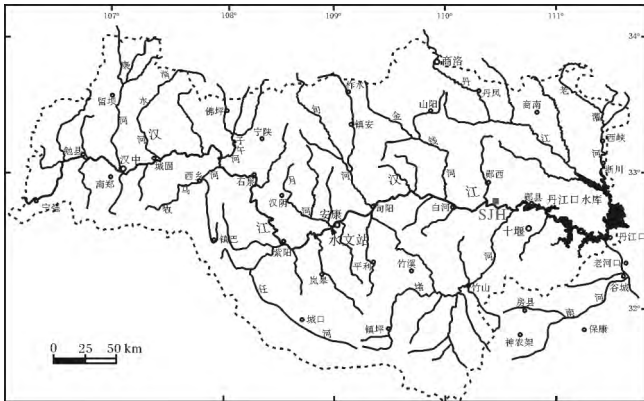


图 1 汉江上游郧西—郧县段水系图及研究地点 (SJH) 位置图
Fig.1 Map of Yunxi-Yunxian reach in the upper Hanjiang River and the location of the study SJH site

我们对汉江上游进行详细调查, 在湖北郧县尚家河段汉江第一级阶地前沿发现具有代表性的全新世黄土—古土壤剖面(图 2)。将地层剖面表层进行清除, 露出新鲜原生沉积层位, 采集 10 个沉积学样品, 用于粒度成分的测定。粒度分析采用美国 Backman Coulter 公司生产的 LS 系列激光粒度仪进行测定。对剖面 (SJH) 进行详细观察, 对其性质特点做了细致的土壤学—沉积学描述(表 1)。在该剖面发现在现代代表土层 (MS) 与全新世晚期黄土层之间 (L₀) 夹有一层厚度为 20 cm 的古洪水沉积物。从宏观的沉积学特征来看, 它具有河流古洪水滞流沉积物 (SWD) 的典型特征, 由灰白色粉砂质细砂构成, 质地均匀, 松散, 在剖面垂直方向上, 其结构、构造、颜色和粒度成分发生突变, 并且向着坡上方向尖灭。通过粒度成分分析测定, 发现它主要由粉砂和细砂构成, 沉积学分类确定为细砂质粉砂(图 3)。其粒度成分与汉江上游现代特大洪水 SWD 性质完全相同。可以断定这层沉积物为汉江上游古洪水 SWD^[14]。它是汉江特大洪水溢出主河槽, 在第一级阶地前沿高水位滞流情况之下由悬移质泥沙沉积形成。

此外, 在关键层位用直径为 5 cm 不锈钢钢管在现代代表土层 (MS) 下部古洪水 SWD 之上、古洪水 SWD 中部、古洪水 SWD 之下全新世晚期黄土层

(L₀) 的顶部及 L₀ 之下全新世中期古土壤层的顶部 (S_{0上}) 分别采集了 OSL 测年样品。



图 2 汉江上游郧县尚家河 (SJH) 剖面及采样位置
Fig.2 Photo of the SJH profile in the Yunxi-Yunxian reach of the upper Hanjiang River valley

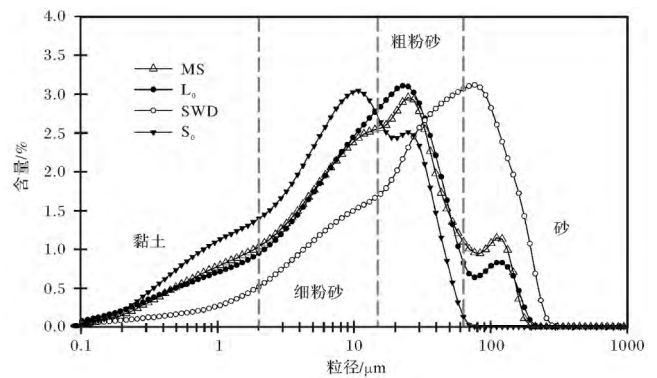


图 3 汉江上游郧县尚家河 (SJH) 剖面
粒度分布频率对比曲线

Fig.3 The comparison of grain-size distribution in the SJH profile in the upper Hanjiang River valley

2 OSL 测年

2.1 样品前处理

前处理的目的是获取适合光释光测年的石英

表 1 汉江上游尚家河 (SJH) 全新世剖面地层划分及描述

Table 1 Pedo-stratigraphic subdivision and descriptions of the SJH Holocene profile in the upper Hanjiang River valley

深度/cm	地层	土壤学和沉积学特征描述
70~0	现代表土层 (MS)	浊棕色表土层, 粉砂质地, 典型的团粒构造, 疏松多孔, 多蚯蚓孔洞, 多植物根系, 发育良好的现代土壤。
90~70	古洪水 SWD	灰白色细砂质粉砂层, 质地均匀, 松散, 汉江古洪水滞流沉积层, 向坡上方向尖灭。
120~90	全新世晚期黄土层 (L ₀)	浊黄橙色风成黄土, 粉砂质地, 团粒—团块状构造, 受到成壤改造。其顶部含有一些红色、灰色陶片、瓦片、木炭屑和烧土块等。
200~120	全新世中期古土壤层 (S ₀)	暗棕色古土壤, 黏土质粉砂质地, 典型的棱块状构造, 坚硬, 裂隙面有大量暗棕色黏土胶膜沉淀, 属于黄褐土类型。

颗粒。此过程是在暗室安全光源下进行。首先, 剥去不锈钢管两端 2 cm 厚的见光部分, 用于 U、Th 和 K 及含水量的测定, 以确定样品的年剂量; 其次, 将不锈钢管中部未曝光的部分用 10% HCl 及 30% H₂O₂ 分别浸泡, 除去碳酸盐类物质及有机质, 并将样品洗至中性; 再次, 用湿筛分法分离出 90~125 μm 的样品, 并 37°C 恒温烘干。然后, 将 90~125 μm 的样品用 37% 的 HF 溶蚀 40 min 左右, 以除去长石颗粒, 并加入 10% 的 HCl 除去溶蚀过程中产生的氟化物, 以提纯石英颗粒, 再用清水洗致中性, 37°C 恒温烘干; 最后, 用红外 (IR) 检测样品中长石颗粒的纯度, 制作样片 (测试样片直径大小采用 9.8 mm) 进行样品等效剂量值 (D_e) 的测量。

2.2 等效剂量 (D_e) 的测定

等效剂量 (D_e) 测试在陕西师范大学旅游与环境学院 TL/OSL 实验室的全自动 Risø TL/OSL-DA-20 释光仪上完成。人工 β 辐射源为 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y 源。光释光信号通过 EMI 9235QB PMT 进行检测, 滤光片为 7.5 mm 厚的 Hoya U-340 滤光片, 蓝光激发光源波长为 470±20 nm, 红外激发光源波长为 870±40 nm。

等效剂量 (D_e) 的测定采用 Murray 和 Wintle 提出的单片再生剂量法 (SAR) [15]。此方法的优点在于, 石英颗粒的感量变化可通过检验剂量的释光信号进行校正。六个再生剂量包括一个零剂量和两个重复剂量, 其中零剂量用来检测因频繁加热和辐照电子迁移情况, 重复剂量用来检验感量变化是否校正成功。用校正后的光释光信号与再生剂量作图得到释光信号的生长曲线 (图 5), 将校正后的自然光释光信号强度投影到生长曲线上, 内插法得到样品的 D_e 值。

2.3 剂量率 (Dose-rate) 的测定

剂量率主要与 U、Th、K 等放射性核素, 宇宙射

线产生的辐射以及样品含水量等有关。本文样品中 U、Th、K 含量的测定采用中子活化法在中国原子能研究院测定。宇宙射线与地理纬度、海拔高度等有关, 主要根据 Prescott 和 Hutton [16] 提供的公式计算。由于样品自埋藏之后, 随气候的变化其含水量不断变化, 很难确定其精确值, 需对此进行校正。因此, 本文在测量样品自然含水量的基础上, 参考前人关于土壤含水量的研究结果, 进行了校正, 其不确定度约为 10% [7, 17]。最后利用 Aitken [18] 提供的参数计算出剂量率。

3 研究结果

3.1 预热温度坪区检验和剂量恢复实验

频繁的激发和预热可以使不易晒褪的陷获电子发生热转移, 使得 OSL 信号增强, 因此得到的 D_e 值偏大。所以要进行预热温度坪区检验和剂量恢复 (Dose-recovery) 实验。本文以古洪水沉积样品 SJH-1-2 为代表性样品, 将预热温度坪区检验和剂量恢复 (Dose-recovery) 实验设计为一个测试程序, 进行测试条件的选择。先将样品彻底晒退, 然后对所有测片辐照实验室剂量 9.62 Gy, 选择的预热温度 (Preheat) 范围在 180°C~300°C, 间隔 20°C 进行预热温度坪区的检验。结果如图 (4) 所示, 样品在 180°C~300°C 之间出现了良好的坪区, 等效剂量在 9.01~11.7 Gy 之间变化。SJH-1-2 的循环比 (第五个再生剂量校正后的信号强度与第一个再生剂量校正后的信号强度的比值) 在 0.91~1.11 之间变化, 说明样品的感量变化得到了很好的校正。样品的回授 (校正的 0 Gy 再生剂量的释光信号与校正的自然释光信号的比值) 都在 5% 以下, 说明样品的回授效应对等效剂量测定影响不大, 可以忽略不计。剂量恢复 (Dose-recovery) 实验表明 (图 4b), 在

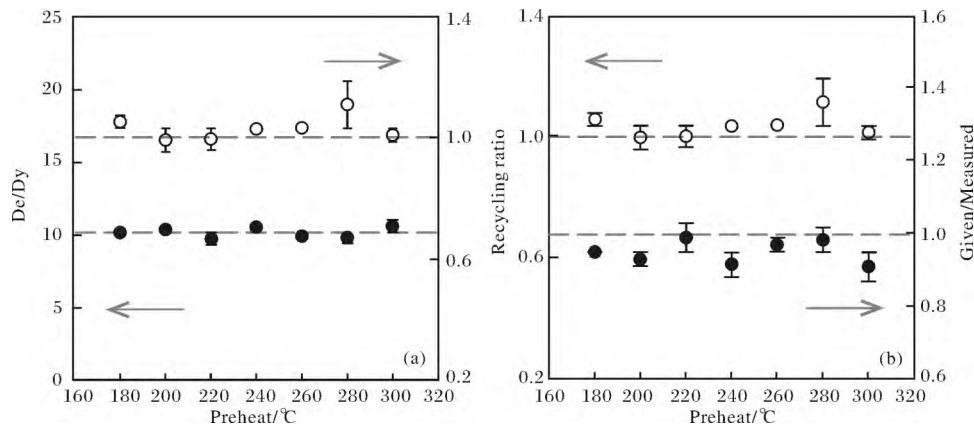


图 4 样品 SJH-1-2 预热坪区检验 (a) 和剂量恢复实验 (b)

Fig.4 Tests of preheat plateau (a) and thermal transfer (b) of SJH-1-2

180℃~300℃之间,恢复的样品等效剂量在9.01~11.7 Gy之间,Given/Measured 比值介于0.91~0.99之间。由以上结果,本文选择等效剂量的测试条件为预热温度(Preheat) 220℃,检验剂量的预热温度(Cutheat) 180℃。

3.2 等效剂量的测定

信号积分时间的区间选择,一般是在250个通道中利用前5个通道信号(0~0.8 s)减去最后25个通道信号(36~40 s)的平均值^[19]。但初始信号和背景信号的积分区间选择不可避免的对 D_e 值的计算影响重大。基于此,本文中信号积分时间的区间选择为,在250个通道中利用1~5的通道信号值(0~0.8 s)减去6~10的通道信号值(0.9~1.6 s),以便消除中速部分的影响。图5标明了SJH-1-1、SJH-1-2和SJH-1-4的等效剂量值相对于感量校正后的自然释光信号的离散图、释光衰退曲线及释光生长曲线分布图。从图中可知样品的等效剂量值离散度很大,这可能与样品物源的复杂性及样品埋藏前的晒退程度等有关^[20]。样品的离散度可以用相对标准偏差(RSD)表示,单片的等效剂量、自然光释光和第一次再生剂量光释光信号的离散度分别用 RSD_{D_e} 、 RSD_{N-OSL} 和 RSD_{R-OSL} 表示。本文采用Zhang *et al.*^[21]的方法挑选出晒退较彻底的样片的等效剂量值。通过对比自然光释光信号与第一个再生光释光信号的相对标准偏差大小,选择出晒退比较彻底的样片与晒退不彻底的样片。晒退比较彻底的样片的等效剂量的平均值则为样品的等效剂量。SJH-1-1、SJH-1-2和SJH-1-4的等效剂量与感量校正后的自然光释光信号相关性介于80%~92%之间,说明样品晒退不彻底,不均一,样品的年龄选择虚线

左边(挑选后的晒退比较彻底的样片)所有单片 D_e 值的平均值。此外,释光衰退曲线的形状可以用于判断样品埋藏之前的晒退情况。从图5中可以看出,挑选出后的样片,释光信号衰退速率很快,快速部分占很大比例,说明沉积物沉积前晒退彻底。这些晒退比较彻底的样片的平均值是比较接近样品的真实埋藏剂量。最后,按照Aitken提供的年龄计算公式计算得出样品的光释光年龄结果(表2)。

4 讨论

4.1 古洪水事件年龄的可靠性分析

汉江上游河谷SJH黄土—古土壤剖面测得的样品光释光(OSL)年龄值在 $0.94 \pm 0.14 \sim 3.19 \pm 0.10$ ka之间,数据不确定度为3%~15%。该剖面样品的光释光(OSL)年龄数据与地层顺序一致,即下部地层老,上部地层新(图6)。古洪水SWD上界的光释光(OSL)断代年龄为 1030 ± 120 a, SJH-1-3取自于SWD底界,光释光(OSL)断代年龄为 1150 ± 110 a,因此可界定SWD年代的下限,并且,古洪水SWD光释光(OSL)断代年龄为 940 ± 140 a。由此综合考虑地层关系和OSL年龄值,可以确定古洪水SWD代表的特大古洪水事件,发生在1000~900 a B.P.(AD 1010~1110)之间,相当于我国历史上北宋/辽时期。另外, SJH剖面古洪水SWD层之下,即全新世晚期黄土层(L_0)层位顶部,含有一些属于唐宋时代的红色、灰色陶片和瓦片等,也印证了光释光(OSL)测年结果的可靠性^[22]。

4.2 古洪水事件发生的气候背景

全新世古水文学研究表明,古洪水事件多发生在全局性的气候转折期或气候不稳定期^[1,14]。汉江

表 2 汉江上游郧县尚家河 (SJH) 剖面样品的 OSL 测年结果

Table 2 OSL dating results of the sample from the SJH site in the upper Hanjiang River valley

样品编号	深度 / m	U / mg · kg ⁻¹	Th / mg · kg ⁻¹	K / %	含水量 / %	剂量率 / Gy/Ka ⁻¹	等效剂量 / Gy	年龄 / ka
SJH-1-1	0.650	2.21±0.09	11.5±0.32	2.00±0.06	18.2	3.03±0.06	3.14±0.37	1.03±0.12
SJH-1-2	0.775	2.36±0.10	11.1±0.30	1.89±0.06	18.5	2.92±0.06	2.75±0.43	0.94±0.14
SJH-1-3	0.900	1.95±0.08	10.6±0.30	1.93±0.06	18.8	2.83±0.06	3.27±0.31	1.15±0.11
SJH-1-4	1.250	2.30±0.10	12.4±0.35	2.14±0.06	19.2	3.18±0.06	10.15±0.24	3.19±0.10

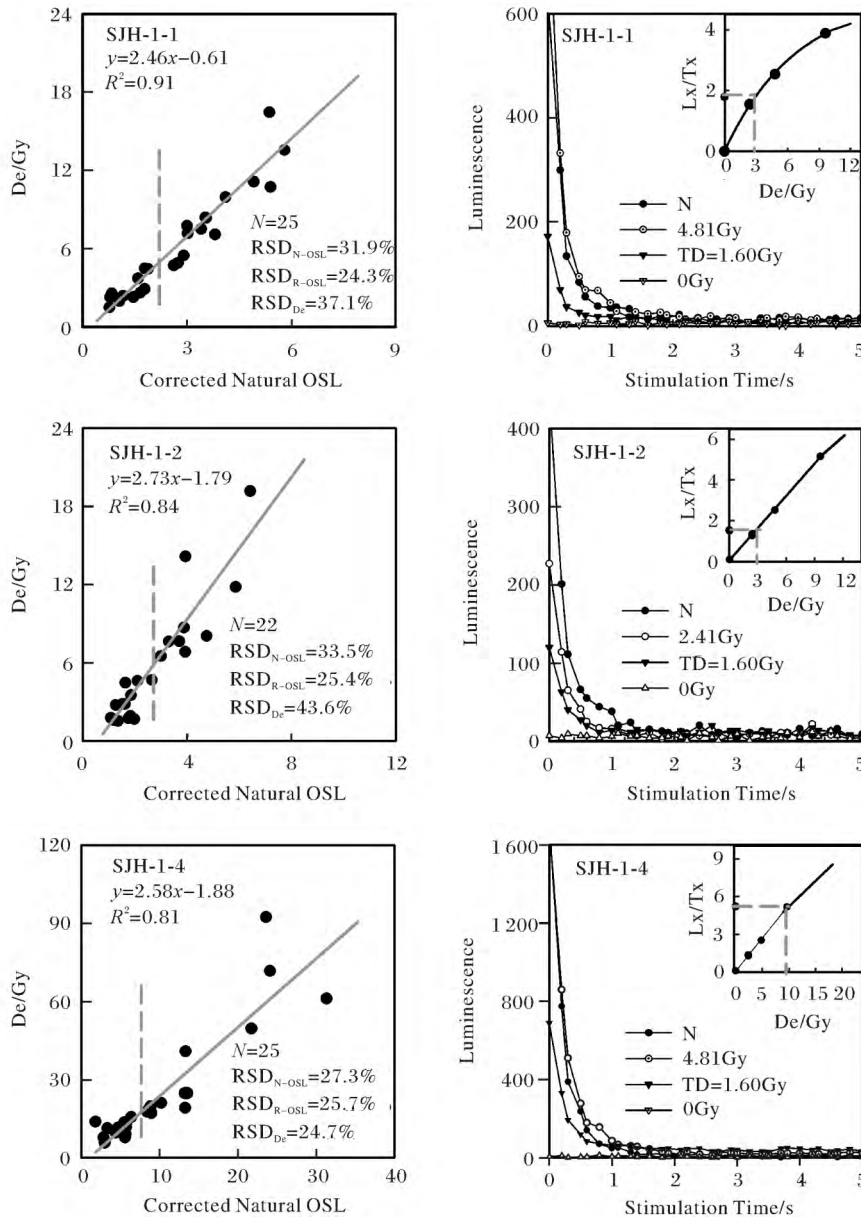


图 5 等效剂量相对于感量校正后的自然光释光信号分布图和释光衰退曲线(内插图为释光生长曲线)

Fig.5 The distribution of D_e value versus corrected natural OSL and decay curves of OSL

(The insets show the growth curve)

上游 SJH 剖面记录的北宋/辽时期特大暴雨洪水事件,气候发生突变,降水变率大,特大洪水事件与严重干旱事件同时发生。并且,汉江上游安康东段峡

谷口的立石村(LSC)剖面也记录了这次古洪水事件^[9]。此外,汉江上游流域因受全球气候变化和季风环流异常的影响,在 2010~2011 年既有严重干旱

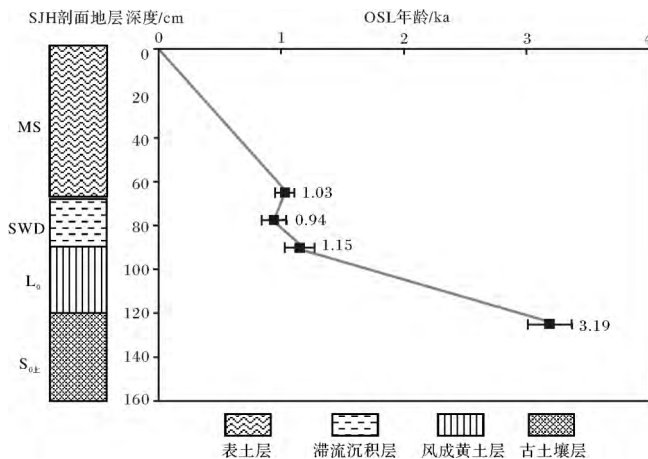


图6 汉江上游尚家河(SJH)剖面光释光年龄与深度关系曲线图

Fig.6 Date/depth curve of the SJH Holocene profile in the upper Hanjiang River valley

事件,导致丹江口水库出现前所未有的极低水位,又有两次特大洪水事件,洪峰流量分别达到 $21\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $25\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 。这就更进一步证明了该论断的正确性。汉江上游南部湖北神农架地区,多个洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录 AD 1 010~1 110 期间季风强度变化大,降水变率大,气候处于不稳定期,存在旱涝灾害频繁交替现象^[23,24]。青藏高原中东部树木年轮资料记载 AD 1 010~1 110 期间,气候逐渐恶化并出现了突变^[25]。中国古里雅冰芯序列记录,11~12 世纪期间处于气候的干冷期^[26]。欧洲阿尔卑斯山树轮重建的夏季温度在 AD 1 030~1 120 期间明显偏低^[27]。格陵兰 GISP2 冰芯古气候代用指标 $\delta^{18}\text{O}$ 序列记录 AD 1 010~1 110 期间,气候温暖湿润但气候波动强度大,并且 AD 1 059 前后,出现了大于 50 a 的强烈降温阶段^[28]。西欧各地历史气候记录推断 AD 1 090~1 179 期间,气候的寒冷程度类似小冰期^[29]。由此可见汉江上游这次古洪水事件与季风环流强度的异常变化和气候变率大等因素密切相关。综合全球各地区及各种信息载体的高分辨率研究结果,我们可知在 AD 1 010~1 110 期间(北宋/辽时期)的气候恶化时期,汉江上游河谷发生了特大暴雨洪水事件。通过采用古洪水水文学方法恢复推算出这次古洪水事件的洪峰流量为 $63\,720\text{ m}^3/\text{s}$ 。

5 结论

古洪水滞流沉积物(SWD)作为古洪水事件的

研究信息载体,有效的记录了特大暴雨洪水事件。应用光释光测年(OSL)技术中的单片再生剂量法(SAR)对汉江上游SJH剖面进行了光释光测年研究,结果表明古洪水滞流沉积物(SWD)代表的古洪水,发生在1 000~900 a B.P. (AD 1 010~1 110)之间,即北宋/辽时期,其洪峰流量可达 $63\,720\text{ m}^3/\text{s}$ 。这个洪水期对应着全球气候突变和转折时期,气候状态不稳定、降水变率大,降水量年内分配不均,易发生暴雨洪水和干旱等事件。这个阶段的特大古洪水事件与季风环流强度的异常变化和气候变率大等因素密切相关。这对于深入揭示水文系统对于全球变化的响应规律,以及水资源和水能源开发利用等,都具有十分重要的科学意义。

参考文献(References)

- Huang C C, Pang J L, Huang P, et al. Holocene climatic events on the Loess Tableland in the western Guanzhong Basin, China[J]. Arid Land Geography, 2002, 25: 10-15
- 詹道江, 谢悦波. 洪水计算的新进展——古洪水研究[J]. 水文, 1997(1): 1-6 [Zhan Daojiang, Xie Yuebo. New advance in flood calculation-paleoflood study[J]. Hydrology, 1997(1): 1-6]
- 周亚利, 鹿化煜, 张家富, 等. 高密度光释光测年揭示的晚第四纪毛乌素和浑善达克沙地沙丘的固定与活化过程[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 342-350 [Zhou Yali, Lu Huayu, Zhang Jiafu, et al. Active and inactive phases of sand-dune in Mu Us and Otindag sandlands during Late Quaternary suggested by OSL dating[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 342-350]
- 王恒松, 黄春长, 周亚利, 等. 关中西部千河流域全新世古洪水事件光释光测年研究[J]. 中国科学, 2012, 42(3): 390-401 [Wang Hengsong, Huang Chunchang, Zhou Yali, et al. OSL Dating of the Holocene Paleoflood Events on the Qianhe River in the Guanzhong Basin, China[J]. Science China, 2012, 42(3): 390-401]
- 顾洪亮, 黄春长, 周亚利, 等. 汉江上游湖北段低阶地风成黄土—古土壤释光测年研究[J]. 第四纪研究, 2012, 32(3): 516-526 [Gu Hongliang, Hang Chunchang, Zhou Yali, et al. OSL Dating of the Holocene Eolian loess and palaeosol on the low terrace land in the upper Hanjiang River Valley [J]. Quaternary Sciences, 2012, 32(3): 516-526]
- Lai Z P. Chronology and the upper dating limit for loess samples from Luoquan section in the Chinese Loess Plateau using quartz OSL SAR protocol[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37: 176-185
- 周亮, 黄春长, 周亚利, 等. 汉江上游安康东段古洪水事件光释光测年研究[C]//中国地理学会、河南省科学技术协会. 中国地理学会2012年学术年会学术论文摘要集. 中国地理学会、河南省科学技术协会, 2012: 1 [Zhou Liang, Huang Chunchang, Zhou Yali, et al. OSL dating of the palaeoflood events in the Ankang East Reach in the Upper Hanjiang River Valley [C]// Annual of the Geographical Society of China, 2012: 1]

- 8 乔晶, 庞奖励, 黄春长, 等. 汉江上游郧县前坊段全新世古洪水水文学研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(5): 533-539 [Qiao Jing, Pang Jiangli, Huang Chunchang, *et al.* Palaeoflood hydrological study in the Qianfang Section of Yunxian County in the upper reaches of the Hanjiang River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(5): 533-539]
- 9 吴帅虎, 庞奖励, 黄春长, 等. 汉江上游郧县辽瓦店全新世古洪水研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 182-186 [Wu Shuaihu, Pang Jiangli, Huang Chunchang, *et al.* Palaeoflood study in Liaowadi-an Site of Yunxian County in upper reaches of Hanjiang River [J] Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(6): 182-186]
- 10 李晓刚, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游白河段万年尺度洪水水文学研究[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 971-978 [Li Xiaogang, Huang Chunchang, Pang Jiangli, *et al.* Palaeoflood hydrological study in the Baihe Reach in the upper reaches of Hanjiang River[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(8): 971-978]
- 11 王龙升, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游旬阳段古洪水水文学研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 40(1): 88-93 [Wang Longsheng, Huang Chunchang, Pang Jiangli, *et al.* Hydrological study in the Xunyang Reach in the upper reaches of the Hanjiang River [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2012, 40(1): 88-93]
- 12 查小春, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游郧西段全新世古洪水事件研究[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 671-680 [Zha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli, *et al.* The Holocene palaeoflood events in the Yunxi Reach in the upper reaches of Hanjiang River [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(5): 671-680]
- 13 Huang C C, Pang J L, Zha X C, *et al.* Extraordinary floods of 4100~4000 a B.P. recorded at the Late Neolithic Ruins in the Jinghe River Gorges, middle reach of the Yellow River, China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010, 289: 1-9
- 14 张玉柱, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江与渭河大洪水滞流沉积物性质对比分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 101-105 [Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, *et al.* Comparative study of the modern flood slackwater deposits in the Hanjiang and Weihe River Valleys [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(1): 101-105]
- 15 Murray A S, Wintle A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol [J]. Radiation Measurements, 2000, 32: 57-73
- 16 Prescott J R, Hutton J T. Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR [J]. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, 1998, 14: 223-227
- 17 赵景波, 杜娟, 周旗, 等. 陕西咸阳人工林地土壤干层研究[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 322-328 [Zhao Jingbo, Du Juan, Zhou Qi, *et al.* Dry layer of soil below artificial forest near Xianyang in Shaanxi [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 322-328]
- 18 Aitken M J. An Introduction to Optical Dating: The dating of Quaternary sediments by the use of photo-stimulated luminescence [M]. New York: Oxford University Press, 1998: 7-47
- 19 Banerjee D, Murray A S, Botter Jensenal, *et al.* Equivalent dose estimation using a single aliquot of polymineral fine grains [J]. Radiation Measurements, 2001, 33(1): 73-94
- 20 Packman S C, Mauz B, Rousseau D D, *et al.* Implications of broad dose distributions obtained with the single-aliquot regenerative-dose method on quartz fine-grains from loess [J]. Quaternary Geochronology, 2007, 2: 39-44
- 21 Zhang J F, Zhou L P, Yue S Y. Dating fluvial sediments by optically stimulated luminescence: selection of equivalent doses for age calculation [J]. Quaternary Science Review, 2003, 22: 1123-1129.
- 22 黄文娟, 曾桂莲, 杨磊, 等. 湖北郧县中台子遗址发掘报告[J]. 江汉考古, 2011(1): 3-41 [Huang Wenjuan, Zeng Guilian, Yang Lei, *et al.* Hubei Yun County table excavation report [J]. Jiangnan Archaeological, 2011(1): 3-41]
- 23 李偏, 张茂恒, 孔兴功, 等. 近 2000 年来东亚夏季风石笋记录及与历史变迁的关系[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4): 201-209 [Li Pian, Zhang Maoheng, Kong Xingong, *et al.* A stalagmite-record of East Asian summer monsoon in the last 2000 years and its correlation with historical records [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(4): 201-209]
- 24 张春霞, 张茂恒, 李偏, 等. 2592~1225a B.P. 湖北神农架石笋氧同位素记录及区域气候意义[J]. 地理科学, 2010, 30(6): 951-954 [Zhang Chunxia, Zhang Maoheng, Li Pian, *et al.* Stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ Record 2592-1225 yr B.P. from Mt. Shennongjia and its regional climate significance [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(6): 951-954]
- 25 刘禹, 蔡秋芳, 宋慧明, 等. 青藏高原中东部 2485 年来温度变化幅度、速率、周期、原因及未来趋势[J]. 科学通报, 2011, 56(25): 2042-2051 [Liu Yu, Cai Qiufang, Song Huiming, *et al.* The 2485 years temperature changes, rate, cycle, causes and future trends of Qinghai-Tibet Plateau in the eastern part [J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(25): 2042-2051]
- 26 姚檀栋. 古里雅冰芯近 2000 年来气候环境变化记录[J]. 第四纪研究, 1997, 2(1): 52-61 [Yao Tandong. Climatic and environmental record in the past about 2000 years from the Guliya Ice Core [J]. Quaternary Science, 1997, 2(1): 52-61]
- 27 Buntgen C, Tegel W. European tree-ring data and the Medieval Climate Anomaly [J]. PAGES News, 2011, 19(1): 14-15
- 28 Meese D A, Gow A J, Grootes P, *et al.* The accumulation record from the GISP2 Core as an indicator of climate change throughout the Holocene [J]. Science, 1994, 266: 1680-1682
- 29 Pfister C, Luterbacher J, Schwarz-zanetti G, *et al.* Winter air temperature variations in western Europe during the early and high middle ages (AD 750-1300) [J]. The Holocene, 1998, 8(5): 535-552

OSL Dating of the Palaeoflood Event in the Shangjiahe Reach in the Upper Hanjiang River Valley

MA Yu-gai HUANG Chun-chang ZHOU Ya-li PANG Jiang-li
ZHA Xiao-chun ZHOU Liang ZHANG Yu-zhu LIU Jian-fang
(College of Tourism and Environmental Sciences , Shaanxi Normal University , Xi'an 710062)

Abstract: Paleohydrological investigations were carried out in the upper reach of the Hanjiang River , which is the source of the “South-to-North Water Diversion Project”. During the fieldwork , typical palaeoflood slackwater deposit (SWD) was identified in the Holocene eolian loess-soil profile on the river banks in the Shangjiahe reach in Yunxian county of Hubei province. Sediment and OSL dating samples were taken from the profile. Laboratory analysis of the grain-size distribution and the magnetic susceptibility show that the SWD was deposited from floodwater during an extraordinary palaeoflood event. The peak flood discharge was estimated to be $63\ 720\ \text{m}^3/\text{s}$, which is much larger than the recorded floods. OSL dating on quartz grains separated from the samples was carried out by using the single aliquot regenerative-dose (SAR) protocol. The measured ages of the samples are between 940 ± 140 and $3\ 190 \pm 100$ a. The extraordinary palaeoflood event recorded by the SWD is therefore dated to between 900 a B.P. and 1000 a B.P. , corresponding to the Northern Song/Liao Dynasty. This is a period with abnormal changes of climate and increased monsoonal variability. Both the serious droughts and extraordinary floods occurred during this period. This result is of great significance in understanding the river's hydrological response to global climatic change.

Key words: Holocene; palaeoflood event; OSL dating; upper Hanjiang River