

文章编号: 1000-5641(2008)06-0032-08

浙江常山国家地质公园芙蓉峡河段 河流袭夺现象研究

胡小猛, 王杜涛, 陈敏, 李怡

(上海师范大学 旅游学院地理系, 上海 200234)

摘要: 芙蓉峡是常山国家地质公园内一具独特地貌景观的山区河段-狭窄的河床、陡峭的谷坡和宽广的阶地. 本文从地貌、沉积、年代和构造四方面对导致该景观的地貌事件, 从事件过程、事件发生时间和事件发生原因等方面进行了初步调查研究. 研究结果显示: 正是由于芳村溪袭夺了金源溪上游及所引发的河流强烈下切, 才形成了芙蓉峡段这种地貌景观; 这次河流袭夺发生的年代估计在52.38~33.6 ka B. P. 期间, 发生的原因可能与区域-NE向断裂在这期间的一次强烈活动有关.

关键词: 常山; 国家地质公园; 芙蓉峡; 河流袭夺

中图分类号: P542 **文献标识码:** A

Study on the river piracy in Furong Gorge in Changshan National Geopark, Zhejiang Province

HU Xiao-meng, WANG Du-tao, CHEN Min, LI Yi

(Department of Geography, College of Tourism, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Furong Gorge in Changshan National Geopark is a spectacular section with a special alluvial terrace. Based on the sediment characteristics, the landform and the datings on some sediment samples, this paper analyzed the process, the time and the reason of the river piracy which caused such phenomena. The result showed it was the Fangcun River that pirated the Furong River which originally flowed into Jinyuan River. This geomorphologic event may be the result of the movement of the faults with NE and NNW stikes in the region, which took place during 52.38~33.6 ka B. P.

Key words: Changshan County; national geopark; Furong Gorge; river piracy

0 引 言

常山国家地质公园位于浙江省西部的衢州常山县境内,是国土资源部于2002年批准成

收稿日期: 2008-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40671018); 上海市教委“地理学与城市环境”重点学科建设基金项目(J50402)

第一作者: 胡小猛, 男, 博士, 副教授, 研究方向为地貌与第四纪地质学. E-mail: hxm@shnu.edu.cn.

立的. 公园内具较高科学价值的地质遗迹有黄泥塘“金钉子”剖面、西阳山组标准剖面、华严寺组标准剖面、三衢山组标准剖面和蒲塘口滑塌堆积岩剖面等. 其中黄泥塘“金钉子”剖面是世界地质学界认定的最完整的奥陶系达瑞威尔阶(4.6亿年前)全球界线层型剖面^[1]. 除此之外, 公园内还保存有系列具有一定特色和科学价值的地貌遗迹, 如典型的 Karst 地貌、独特的河谷地貌等. 但目前对这些地貌遗迹的关注和研究很不足, 还仅停留于地貌形态的描述上. 由于对区域这些地貌遗迹缺乏科学的认识, 当地政府在建设、保护和开发该地质公园过程中, 所能依据的基础地质学数据很不全面.

芳村溪和金源溪是区域干流常山港的两条重要支流(见图 1). 其中芳村溪上游修书-井河村段是一长约 7 km 的弯曲峡谷-芙蓉峡. 该峡谷宽约 20 m, 深达 55 m, 谷壁垂直陡峭. 但在其两侧基岩谷坡上却广泛发育着一级宽阔平坦的阶地. 阶地面宽度愈 1 km, 上覆一套磨圆程度极高的冲积砾石和粉砂粘土层, 厚约 3~4 m. 这是一个地貌现象非常奇特的山区河段. 该现象自 2002 年由浙江省地质调查院发现后, 对其成因一直莫衷一是. 为了挖掘出该地貌现象背后的科学蕴涵, 进一步丰富公园内地学科学内容和地学旅游资源. 作者于 2006 年和 2007 年两次对该河段进行了实地考察和野外采样, 对该河段地貌发育的过程、阶段和原因进行了深入分析. 本文是这次研究的成果.

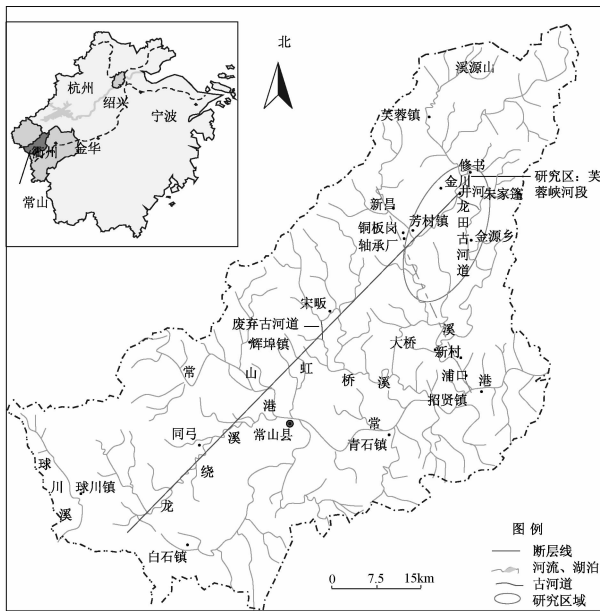


图 1 常山国家地质公园水系分布及芙蓉峡位置图(注:断层信息来源于文献[1])

Fig. 1 The sketch map showing the river pattern and the location of the Furong Gorge

1 芙蓉峡及其上下游河段的阶地地貌特征

芳村溪发育于常山东北部的溪源山山地之中, 在浦口附近汇入了常山港, 全长约 150 km. 溪流在流向上呈“Z”字形, 由北东和北北西两个主导向河段构成. 从源头的溪源山至芙蓉镇段为北东流向, 芙蓉镇至修书村段为北北西流向, 修书村至井河村(芙蓉峡段), 一直到芳村又折为北东向, 芳村-浦口段再变为北北西向(见图 1). 整个流域内发育了三级阶地 T_1 , T_2 和 T_3 .

1.1 芙蓉峡段河流阶地序列及特征

芙蓉峡段仅见一级发育特别完好的基座阶地 T_2 (见图 2). 野外在阶地的上下游选取了两个剖面点, 对其砾石层进行了特征统计, 对上覆砾石层的粉砂粘土层进行了化学成分分析采样.

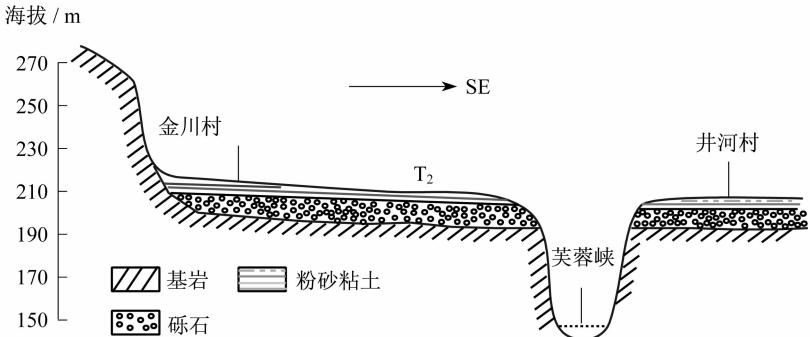


图 2 芳村溪芙蓉峡段河谷横剖面

Fig. 2 The cross profile of the alluvial landform in Furong Gorge section

第一个剖面点选在修书村的河对岸 ($N 29^{\circ}05'58.0''$, $E 118^{\circ}39'31.2''$), 海拔 209 m, 河拔 (与河床的高差) 39 m. 寒武纪炭质页岩基座之上的阶地砾石层厚约 2 m, 上覆 70 cm 厚的粉砂粘土层, 呈淡红色. 剖面点的最大特点是砾石的磨圆程度高, 平均磨圆度达 4 级. 砾石粒径 3~6 cm. 岩性的统计结果 (随机选取 100 颗砾石计, 下同): 细砂岩和粉砂岩占 67%, 泥岩和角岩 13%, 花岗岩 (含花岗斑岩) 15%, 页岩 1%, 凝灰岩 4%. 扁平砾石 ab 面的主导倾向为 $330^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 表明水流方向来自于北西-北东向.

第二剖面点选在井河村的公路边 ($N 29^{\circ}05'10.3''$, $E 118^{\circ}39'01.2''$), 海拔 198 m, 河拔 55 m. 该剖面中的这套砾石层磨圆仍达 4 级, 岩性统计结果是: 砂岩 64%, 泥岩和角岩 14%, 细粒花岗岩 14% (含少量花岗斑岩), 页岩 2%, 凝灰岩 4%, 霏细岩 2%, 与修书河对岸剖面点基本相同. 扁平砾石 ab 面的主导倾向 $300^{\circ}\sim 15^{\circ}$, 指示这里的水流流向为南或东南方向.

1.2 芳村段河流阶地序列及特征

芳村溪在芳村段是两条溪流汇合地段, 一支来自于北东方向的芙蓉峡, 一支出自于西北侧的新昌乡. 该河段谷地宽阔, 达 1 300 m, 其中发育了两级阶地 T_2 、 T_3 , 且都为基座阶地 (见图 3).

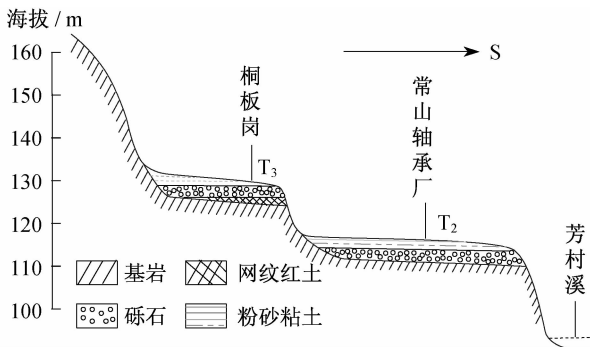


图 3 芳村溪芳村段河谷横剖面

Fig. 3 The cross profile of the alluvial landform in Fangcun section

高一级的阶地 T_3 分布在谷地的边缘. 在桐板岗村的南村口 ($N 29^{\circ}03'01.8''$, $E 118^{\circ}35'54.5''$), 见一冲积砾石层剖面, 海拔 125 m, 河拔 23 m. 砾石层厚约 1 m, 粒径 1~3 cm, 磨圆 1~2 级, 以泥岩页岩为主 (含少量石英岩), 已高度风化. 上覆 1.5 m 厚的粉砂粘土层, 已成

均质红土. 阶地的基座为蠕虫状花纹构造发育的网纹红土层, 其中夹杂着一些砾石.

低一级阶地 T_2 海拔 117 m 左右, 河拔 15 m, 也是基座阶地, 在谷地中广泛分布. 常山轴承厂东侧 100 m 处的一剖面(N 29°02′40.5″, E 118°36′10.0″)显示着该阶地的特征. 剖面高度 2.5 m, 其中砾石层厚 1.5 m, 松散, 其间充填着黄色粉砂粘土; 之上覆盖着粉砂粘土层, 厚近 1 m, 色淡红, 同芙蓉峡段 T_2 阶地上部粘土层(取了化学成分分析样). 阶地砾石的粒径 4~20 cm, 磨圆 2~3 级; 岩性统计结果是: 砂岩 54%, 泥岩 34%, 石英岩 8%, 凝灰岩 4%; 扁平砾石 ab 面主导倾向 345°~15°, 指示着当时水流来向为北或西北方向. 与芙蓉峡段阶地砾石层相比, 其显著差异表现在磨圆度低, 缺失花岗岩, 但富含泥岩.

芳村段现代河床的砾石岩性统计结果是: 细砂岩和粉砂岩 50%, 泥岩和角岩 12%, 花岗岩 12%, 页岩 10%, 千枚状板岩 6%, 石英岩 2%, 灰岩和泥灰岩 8%. 岩性构成与河段 T_2 阶地砾石明显不同, 但与芙蓉峡段阶地砾石层相近.

1.3 大桥—浦口段河流阶地序列及特征

大桥—浦口段为芳村溪的下游, 河段上普遍发育了 3 级阶地. 在海拔 100~110 m 的高度上, 发育了一级基座阶地 T_3 (见图 4). 这级阶地的典型特点是阶地砾石层覆盖在网纹红土层之上, 且其下半部已被网纹化; 顶部堆积着均质红土. 大桥镇北边 1 km 处一剖面显示(N 28°58′45.6″, E 118°38′31.3″, 海拔 101 m, 河拔 21 m): 砾石层厚约 2 m, 其下半部分砾石已被网纹化; 砾石以砂岩、泥岩成份为主, 大都已强烈风化. 上部覆盖着厚约 1 m 的均质红土; 下伏奥陶纪泥岩层作为基座. 与芳村段的高阶地同期.

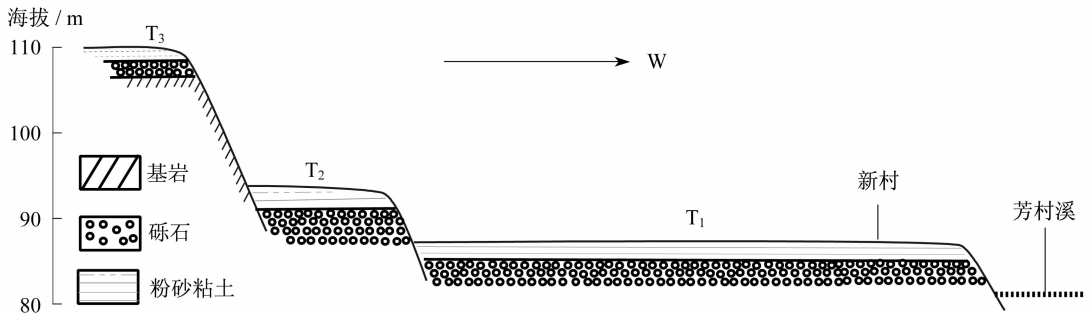


图 4 大桥—浦口段河谷横剖面

Fig. 4 The cross profile of the alluvial landform in Daqiao-Pukou section

在海拔 90 m 的高度上, 发育着阶地 T_2 . 该级阶地为一堆积阶地. 新村公路段附近的一剖面显示(位置 N 28°57′52.8″, E 118°37′48.6″, 海拔 92 m, 河拔 12 m): 阶地砾石层可见厚度 1.2 m, 以砂岩和粉砂岩为主, 一般较新鲜, 风化不强烈; 砾石层之上覆盖着 1 m 多厚的浅红色粉砂粘土层. 该阶地与芙蓉峡段、芳村段的 T_2 阶地虽同期, 但类型已发生了改变.

在海拔 86 m 左右的高度上还分布着最新的一级堆积阶地(河拔约 6 m). 河谷两侧的村庄大多坐落在该阶地上.

2 芙蓉峡段地貌发育成因—河流袭夺事件

芙蓉峡段的地貌现象显示: 宽阔的阶地面和高磨圆度砾石指示着 T_2 阶地砾石层堆积时期, 区段水流稳定、侧向侵蚀强烈; 而深达 55 m 的峡谷, 又说明在 T_2 砾石层堆积的后期,

河段发生了一次强烈的水流下切侵蚀。 T_2 阶地砾石堆积后期,这里为何会发生强烈的水流下切?本文认为是因发生了芳村溪对金源溪上游的袭夺。

2.1 河流袭夺的地貌证据

芳村溪的东侧与其相邻的有另一河流-金源溪,两溪源头不同,但流到下游的大桥镇,相汇注入了同一河流。在中上游的井河村与朱家蓬村之间,有一连接着两溪流的山间古河道-龙田古河道(见图1)。该古河道 SE 向延伸,宽约 40~100 m,长逾 3 km,谷地较平坦,现尚有小量溪水向东流入金源溪。由于古河道两侧基岩谷坡的崩塌滑坡,谷底目前广泛覆盖着厚层残坡积角砾石。但在其地下约 5 m 处可挖到大量磨圆极好的冲积砾石,表明在该谷地中以前曾发育过一条稳定的河流。目前谷地的谷底海拔约 205 m,地下的冲积砾石层海拔约 200 m,与芙蓉峡处的 T_2 阶地砾石层海拔高度相近。

在金源溪中,河谷谷坡上也广泛发育着一级阶地。龙田古河道与金源溪交汇处的朱家蓬村西头,出露着这级阶地的一个剖面。阶地面的海拔约 187 m,河床高度仅 5 m,为一堆积阶地。根据阶地砾石层的层位关系(下伏在砾石层之下的沉积层中没有网纹红土层)、胶结情况(胶结一般)以及其上覆粘土层的风化情况(黄红色)推断,该级阶地与芙蓉峡 T_2 阶地是同时代的。

从 T_2 这级阶地的海拔高度看,在芙蓉峡-龙田古河道-金源溪朱家蓬这一不到 4 km 的区段,由 200 m 缓慢下降到 187 m,这是一个正常的山区河床坡降。而芙蓉峡段与其目前的下游芳村段相距还不到 5 km,但 T_2 阶地的高差却达 92 m。

从 T_2 这级阶地的河床高度看,在芙蓉峡为 55 m,在朱家蓬只有 5 m。这指示着: T_2 级阶地砾石堆积后期的河流下切作用,在两个河段上差异巨大。

地貌上的这些现象可初步显示:在 T_2 这级阶地砾石堆积时期,芙蓉峡谷地与龙田古河道和金源溪很可能是同一条水系,而与芳村段分属两个水系;在 T_2 阶地砾石层堆积后期,区域发生了河流袭夺,芙蓉峡水流被袭才流入到西侧的芳村溪。这次河流袭夺直接导致了芙蓉峡河段河流的强烈溯源侵蚀,形成了峡谷和 T_2 这级阶地。目前这种溯源侵蚀在芙蓉峡干流和一些支流中仍在强烈进行并形成了多级裂点,如干流修书村附近的多级跌水、井河村附近支沟中的一些瀑布等,抢夺了芙蓉峡的水流,芳村溪流量大增,显著增强的河流下切,形成了该河段的 T_2 基座阶地。而在金源溪中,由于上游水流被夺,水流减少,河流的下切能力极大削弱,从而只能形成堆积阶地。

除在区域地貌上留下了这些遗迹,在河流沉积上这次河流袭夺事件也留下了很多证据。

2.2 河流袭夺的沉积证据

前文已述,芳村段的 T_2 基座阶地砾石层与芙蓉峡段的 T_2 阶地砾石层,无论在磨圆度上、粒径上还是岩性构成上,差异都是很大的。除此之外,覆盖在两处阶地砾石层之上的漫滩相粉砂粘土物质化学组分也不一样。

利用美国伊诺斯公司生产的 AS-4000 便携式土壤金属测量仪,对两处剖面中粉砂粘土层的金属元素含量进行了测定,结果显示它们间的某些元素含量差异很大(见表1)。其中 Ca 元素,芙蓉峡段明显高于芳村段;而 K, Fe, Ti 和 Mn 元素,明显低于芳村段。

在相距不到 5 km 的两个河段上(其间并无其它支流汇入),两处阶地的形成时代、所处的地貌条件几乎相同,沉积物所经历的风化程度相近,但它们的元素含量却差异明显,这说明了一个问题:两处粉砂粘土沉积物的母质是不相同的,两河段以前曾各具不同的物源区,属于不同的水系。

表1 芙蓉峡与芳村段上覆 T₂ 阶地的粉砂粘土层化学组分Tab. 1 The chemical components of the overlying fine sand and clay on T₂ in Furong

		Gorge and Fangcun section							mg · kg ⁻¹
部分金属元素		Ca	K	Ti	Ba	Cr	Mn	Fe	Co
芙蓉峡段	剖面上部	2 292	15 118	5 883	460	101	421	43 968	456
	剖面中部	2 347	14 457	5 603	512	100	455	42 468	371
	剖面下部	2 043	13 962	5 698	455	93	451	39 092	390
	剖面平均值	2 227	14 512	5 728	475	98	442	41 842	408
芳村段	剖面上部	1 709	14 979	6 773	451	100	1 007	46 374	488
	剖面中部	1 801	15 114	6 773	457	105	899	46 576	466
	剖面下部	1 472	15 626	6 979	463	106	756	46 078	509
	剖面平均值	1 660	15 239	6 842	457	104	887	46 342	487

在金源溪中,现代河床砾石的96%是花岗岩成份,少量凝灰岩.但在阶地砾石层中,除花岗岩以外,还含有一定量的炭质页岩和砂岩成份.而这些类型岩石在现代溪流源头的汇水区域内是没有的(现代沟谷的源头为花岗岩广泛分布区).在芙蓉峡及其上游河段,炭质页岩和砂岩却是广泛存在.这显示着两河段间曾经的物源联系.

依据上述这些地貌和沉积证据,我们有理由推定,芙蓉峡 T₂ 阶地的形成是该河段被芳村段河流袭夺后造成的.早期,芙蓉峡水流是经龙田古河道入金源溪的,为金源溪的一重要河源.后期,芳村溪袭夺了芙蓉峡水流,成为了它的源头;而金源溪则失去了这一支流.这一水系格局的改变,使得芳村段现代河床砾石的岩性构成明显不同于河段上 T₂ 阶地砾石层,而与芙蓉峡段的阶地砾石相近;金源溪也因袭夺事件的发生而失去了炭质页岩和砂岩成份的来源.

3 芙蓉峡河流袭夺发生的年代和原因分析

3.1 芙蓉峡河流袭夺发生的年代

这次河流袭夺产生了 T₂ 阶地,因此, T₂ 阶地的形成年代成为这次河流袭夺时代的最好指示.阶地的形成要经过阶地沉积物堆积和河流下切侵蚀两个阶段,因此,阶地的形成年代实际是有两个数据:沉积物堆积年代和河流下切年代.对区域 T₂ 阶地形成年代的判断,我们采用了由 T₃ 和 T₁ 阶地年龄来控制以及直接测定 T₂ 阶地粉沙层年龄两种方法.

第四纪中晚期,我国南方特别是长江中下游地区广泛发育着网纹红土层和均质红土层.杨浩、蒋复初的研究表明:网纹红土层的形成年代在 730~400 ka B. P. [3,4],覆盖在网纹红土层之上的均质红土层年代为 400~100 ka B. P. [3].从芳村河流域的 T₃ 阶地沉积剖面特征看,阶地的下部砾石中仅部分出现了网纹化现象,而顶部覆盖着均质红土层.这说明导致 T₃ 阶地形成的河流下切年代应该是晚于 400 ka B. P. 而早于 100 ka B. P. .

野外我们利用 60 cm 长的钢管作为采样器,分别在井河村和芳村两处 T₂ 阶地沉积物中提取了两个光释光(OSL)样品.样品的年代测定在中国国家地震局新生代测年实验室完成,结果分别为(112.11 ± 12.34) ka B. P. (井河村样)和(52.38 ± 4.49) ka B. P. (芳村样).所获得的这两个测年数据反映的是 T₂ 阶地砾石层的堆积年代.

与区域 T₃ 阶地年龄比较,这两个测年数据应是可信的.只有形成 T₃ 阶地的河流下切发生后,构成 T₂ 阶地的河流冲积层才开始堆积. T₂ 阶地砾石层的堆积年代应在中更新世末

期或晚更新世。

导致 T_2 阶地形成的河流下切时代是区域河流袭夺发生的年代。在流域内有一石灰岩山地,其中发育了多级处在不同海拔高度上的水平石灰岩溶洞。我们对与 T_1 阶地年龄相当的最低一级水平溶洞进行了测年。溶洞内的石钟乳非常发育,我们完整地截取了一根直径约 4 cm 的实心石钟乳测年样品(石钟乳乳心受后期裂隙水的影响可能性较小)。样品被送至中国科学院地质与地球物理研究所古地磁与年代学实验室进行了 U 系法的年代测定,结果为 $(33.6 \pm 2.0) \sim (11.5 \pm 2.0)$ ka B. P. (从核部至外侧)。依此我们推断:区域 T_1 阶地的堆积年龄大致也在 $(33.6 \pm 2.0) \sim (11.5 \pm 2.0)$ ka B. P. 期间。

综合上述测年结果分析,芙蓉峡河流被袭夺这个事件可能发生在 52.38~33.6 ka B. P. 期间。

3.2 芙蓉峡河流袭夺发生的原因分析

相邻两水系溯源侵蚀能力的差异是导致河流袭夺的根本原因^[6],而构造运动、特别是断裂构造运动往往会诱发或促使河流袭夺的快速发生。

受燕山运动及其以后各期次构造运动的影响,区域内的地质构造以北东向(或北北东)和北北西向褶皱和断裂为特征。地质图和遥感图象均显示,区域内自修书—芳村—宋畈—同弓一线是一条大的 NE 向断裂带^[2]。很多河流河段均沿着该断裂带发育延伸(见图 1),如龙绕溪、宋畈附近的河段等。芳村溪的芳村河段和芙蓉峡河段则完全是沿着这一断裂发育的。而自新昌—芳村—浦口一线是一 NNW 向断裂带,与上述 NE 向断裂带相交于芳村河段。

在两组断裂的影响下,芳村溪芳村段河谷基岩比较破碎,易于水流侵蚀,从而形成了宽广且海拔高度较低的河谷,与其东侧的芙蓉峡河谷有着很大的高差。但虽然如此,由于两河段间的分水岭存在,在区域 T_2 阶地形成以前,它们一直是分属两水系的。而如果上述 NE 向断裂带发生强烈活动,则会破坏分水岭基岩的完整性,易于引发芳村段水流循着破碎的断裂带基岩快速溯源侵蚀。据此分析,我们推断:很可能是由于区域这一 NE 向断裂在 52.38~33.6 ka B. P. 期间的某一次大幅活动后,使得芳村段指向芙蓉峡的一支沟谷强烈的溯源侵蚀,最终蚀穿了其间的分水岭,引发了这次河流袭夺事件。

实际上,这次断裂的大幅活动在宋畈附近也引发了河流袭夺现象,使得原先 NNW 向流的河流在这里顺着断裂线近乎 90° 拐弯而折向了 NEE(见图 1)。而在废弃的下游古河道内和谷坡上分别残留着与区域 T_2 和 T_3 阶地年代相当的冲积砾石层。

4 芙蓉峡地貌旅游资源的开发思路

芙蓉峡独特的山区河流地貌景观为我们探索常山国家地质公园内流水地貌演化问题提供了一个良好场所。从服务于旅游开发角度出发,芙蓉峡的主要社会服务价值在于:为人们提供了一个能认知自然界河流地貌的各种特征、并探密自然界河流变迁的现实场景。因此,其旅游服务对象应着眼于大中专学校野外实习和科普夏令营,以及科学考察类游客群体。

为帮助游客了解和认识区域河谷地貌景观的特征及其形成发育过程规律,科学的景区解说标识系统是必需的。河流袭夺发生后,地貌上有袭夺河、被夺河和断头河之分。芳村及其以下河段为袭夺河,芙蓉峡及其以上河段是被夺河,金源溪为断头河;井河村附近是个袭夺弯,龙田古河道为废弃河道所遗留下的风口地形。袭夺发生后所留下的大量地貌遗迹在整个芳村溪上都可见到,但最典型、最集中的河段是在修书、芳村、龙田古河道和朱家蓬这个区

段.这几个地点的解说标识系统要全面清楚地把河流袭夺发生后的地貌遗迹、沉积物遗迹、袭夺发生的过程、发生的原因介绍给大家.

[参 考 文 献]

- [1] 世界数据中心中国地质科学数据中心[J/OL]. [2007-9-1]. <http://www.wdgeo.net/>.
Data Center of Geology Science of China, World Data Center[J/OL]. [2007-9-1]. <http://www.wdgeo.net/>.
- [2] 蒋复初,吴锡浩,方华国,等.九江地区网纹红土的时代[J].地质力学学报,1997,3(4):27-32.
JIANG F C, WU X H, FANG H G, et al. The age of the vermiculated red soil in Jiujiang area, Central China[J].
Journal of Geomechanics, 1997, 3(4): 27-32.
- [3] 杨浩,赵其国,李小平,等.安徽宣城风成沉积-红土系列剖面 ESR 年代学研究[J].土壤学报,1996,33(3):
293-300.
YANG H, ZHAO Q G, LI X P, et al. ESR dating of eolian sediment and red earth series from Xuancheng profile
in Anhui Province[J]. Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 293-300.
- [4] 杨景春,李有利.地貌学原理[M].北京:北京大学出版社,2006:54-59.
YANG J C, LI Y L. The Principle of Geomorphology[M]. Beijing: Peking University Press, 2006: 54-59.
-
- (上接第8页)
- [10] 吴辉,朱建荣.长江河口北支倒灌盐水输送机制分析[J].海洋学报,2007,29(1):17-25.
WU H, ZHU J R. Analysis of the transport mechanism of the saltwater spilling over the North Branch in the
Changjiang Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 29(1): 17-25.
- [11] 朱建荣,胡松,傅德健,等.河口环流和盐水入侵 I:模式及控制数值试验[J].青岛海洋大学学报,2003,33(2):180-
184.
ZHU J R, HU S, FU D J, et al. Estuarine circulation and saltwater intrusion I: model and control numerical ex-
periment [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(2): 180-184.
- [12] WU H, ZHU J R, CHEN B R, et al. Quantitative relationship of runoff and tide to saltwater spilling over from
the North Branch in the Changjiang Estuary; a numerical study estuarine[J]. Coastal and Shelf Science, 2006, 69:
25-132.
- [13] 傅利辉,朱建荣,吴辉.枯季长江河口南槽没冒沙区域淡水带形成动力机制研究[J].海洋学报,2008,已录用.
FU L H, ZHU J R, WU H. Studying on formation dynamic mechanism of the freshwater zone near the Mei-
maosha in the Changjiang Estuary [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, accepted.
- [14] 朱建荣,朱首贤. ECOM 模式的改进及在长江河口中的应用[J].海洋与湖沼,2003,34(4):364-388.
ZHU J R, ZHU S X. Improvement of the ECOM with application to the Changjiang River Estuary, Hangzhou Bay
and adjacent waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34: 364-374.
- [15] 朱建荣,丁平兴,朱首贤.黄海东海夏季环流的数值模拟[J].海洋学报,2002,24(Supp.1):123-133.
ZHU J R, DING P X, ZHU S X. Numerical simulation of the circulation in the Huanghai Sea and the East China
Sea in summertime [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2002, 24(Supp. 1): 123-133.
- [16] 海洋图集编委会.渤海黄海东海海洋图集(水文)[Z].北京:海洋出版社,1992:13-168.
Editorial Board for Marine Atlas. Marine Atlas of Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea (Hydrology) [Z]. Bei-
jing: China Ocean Press, 1992: 13-168.