

周老镇钻孔砾石层重矿物特征及地质意义

王秋良^{1,2} 胡思辉³ 李长安¹

(1. 中国地质大学工程学院,湖北 武汉 430074; 2. 中国地震局地震研究所,湖北 武汉 430071;
3. 信阳师范学院,河南 信阳 464000)

摘要:利用江汉平原周老镇钻孔的岩心样品,分析研究了钻孔岩心沉积物 10 层砾石层中填充物的重矿物组分及分布特征。结果显示周老镇钻孔 10 个砾石层自下而上可以分为 3 个矿物段。对比 3 个阶段稳定重矿物、非稳定重矿物的变化特征;阶段Ⅰ、阶段Ⅱ,沉积物主要以近源物质为主,含有少量的远源物质;而阶段Ⅲ,沉积物主要以远源物质为主,含有少量的近源物质。结合周老镇钻孔岩性及钻孔砾石含量和江汉平原第四系岩相剖面特征,判断在阶段Ⅲ,深度 112.30~109.05 m(1.17~1.12Ma B.P.)处,钻孔沉积环境发生了重大改变,江汉平原水系发生重要调整,长江三峡贯通形成。

关键词:江汉平原;周老镇钻孔;重矿物;长江三峡贯通

中图分类号:P571 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)04-0878-07

长江的形成演化历史一直以来是学术界争论的焦点和研究的难点,其研究区主要集中在:上游云南石鼓的长江第一弯和形成强烈切割峡谷地貌的三峡地区。对于三峡段的成因演化问题,先后有国内外众多著名学者做过深入的研究^[1-15]。归纳起来,主要有先成谷和次成谷的观点。在其形成的时间认识上也存在着很大差异,有燕山运动期或侏罗纪—白垩纪,古近纪,新近纪,2 Ma 前,1.2 Ma 前,0.7~1 Ma 前,0.3~0.6 Ma 前或 0.15~0.2 Ma 前。然而流域、特别是大河流域,其形成演化发展的过程不仅仅记录在新老河谷中,同时也反映在河流沉积物发生卸载的盆地中。江汉平原的前身——江汉盆地作为长江流出三峡以后进入的第一个大型卸载盆地,必然记录了有关长江及长江三峡形成演化过程的历史。同时江汉平原在中国大地貌上是二级与一级阶梯的衔接处,是长江中游的沉积中心,也是中国中东部的构造沉降—沉积中心之一^[16,17]。分析过去一系列水文钻探和物探资料,发现周老镇钻孔位于江汉平原的沉积中心(图 1),晚新生代以来沉积连续,对于揭示长江切开三峡

的时间,以及巨水系演化的关系研究有着重要意义,也是极佳的理想场所。

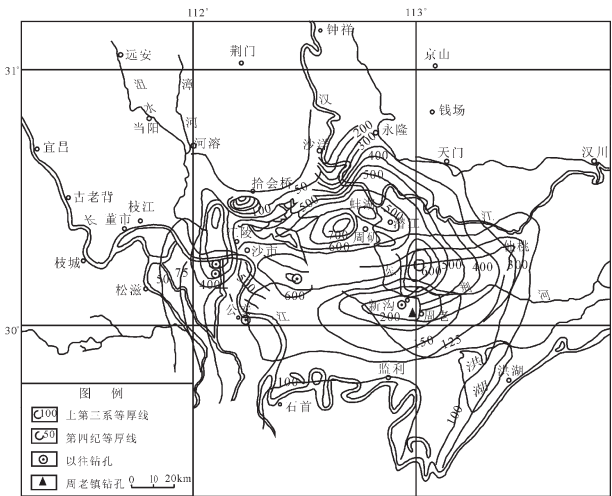


图 1 江汉平原新近纪、第四纪等厚线及钻孔位置 (据张德厚^[20])

Fig.1 Neogene and Quaternary isopachous map of Jianghan plain, showing location of the boreholes (from Zhang^[20])

母岩风化作用的产物包括矿物碎屑和岩石碎屑两种类型,密度超过 2.86 g/cm³ 的矿物属于重矿物。重矿物一般耐磨蚀、稳定性强,能较多地保留其母岩的特征,是物源区的重要标志。重矿物及其组合判别沉积物的物源是一种简单常用的方法,地质学家很早就根据重矿物的物性特征(如颜色、形态、粒度、硬度、稳定性等)及其组合关系来判别物源^[18,19]。由于水系变化的一个重要结果表现为物源区的变化,反映在保存下来的沉积物中就会形成不同矿物,特别是重矿物的组合特征。由于填隙物粒度较细,能够代表来自更远、更广泛地区的物源信息,因此在沉积物物源研究中,砾石层中充填的砂-粉砂级物质的重矿物研究是解决物源判定的较为有效的方法,也是最为重要的依据。据此,笔者通过对江汉平原周老镇钻孔 10 层砾石层中重矿物特征的研究,结合岩心地层特征和前人对江汉平原沉积环境的研究成果,探讨长江三峡贯通的时间信息。

1 钻孔剖面样品采集与实验分析

江汉平原周老镇钻孔位于湖北省监利县境内,钻孔全长 300.49 m,平均取心率达到 85%以上,并且岩心较为完整。周老镇钻孔自下而上共有 10 层砾石层,每个砾石层的填隙物中各采集 1 个重砂样,共采集 10 个样品(图 2)。所有样品由河北省廊坊市地质服务有限公司地质矿产实验室内处理和鉴定完成,试验误差为 3 %~5 %。其重矿物分选过程如下:

(1)筛样。取适量的原样用去离子水和双氧水浸泡两天,再放入 0.125~0.063 mm 的筛子中过筛后,用去离子水清洗 2~3 遍,然后在恒温箱中低温(< 60℃)烘干,称重。

(2)重液分离。将烘干样品放入装有重液(三溴甲烷 CHBr₃,密度为 2.88 g/cm³ 的定制分离仪器中,充分搅拌、静置,直至没有重矿物下沉为止。分别取出上面的轻矿物和下面的重矿物,用酒精冲洗干净后烘干、称重,放入样品袋中备用。

(3)磁选。将重矿物薄薄的铺在玻璃板上,用薄纸包住强磁铁在矿物薄层上缓慢移动,反复多次将磁性矿物完全吸出后,将分离出的磁性矿物和无磁性矿物分别称重,放入样品袋中备用。

(4)镜下鉴定。经上述过程样品被分成轻矿物、重矿物(磁性组和无磁性组)几个部分,分别进行镜下鉴定。每个样品在镜下鉴定 300 粒矿物,计算每个

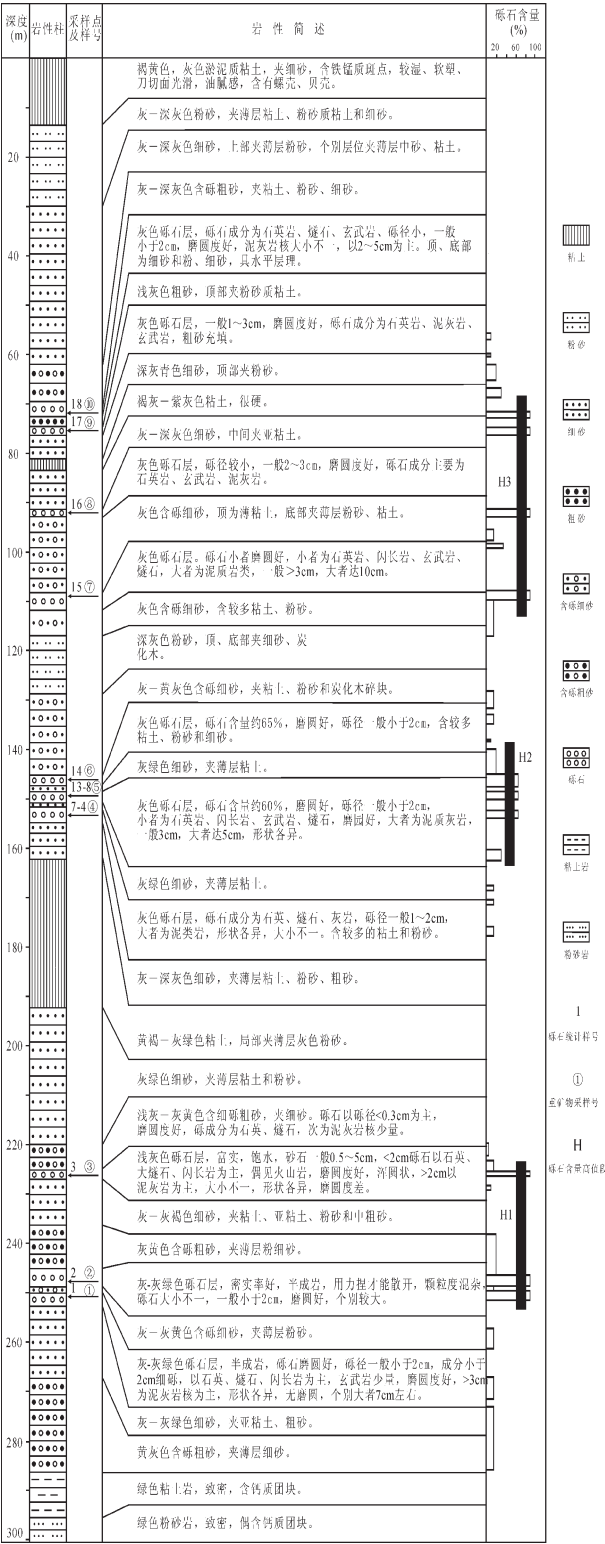


图 2 江汉平原周老镇钻孔综合柱状图
Fig.2 Composite columnar section of Quaternary strata in the borehole of Zhoulaotown, Jiangnan plain

样品每种矿物的颗粒百分含量和重量百分含量。结果如图 3 所示。

2 周老镇钻孔重矿物及其形态特征

周老镇钻孔 10 个样品沉积物中已鉴定出的重矿物有 21 种,包括锆石、磷灰石、黄铁矿、电气石、榍石、蓝晶石、绿帘石、角闪石、辉石、白钛石、海绿石、绿泥石、金红石、锐钛矿、石榴石、钛铁矿、褐铁矿、磁铁矿、透闪石、褐帘石和尖晶石。基本上与前人对 QR7 孔沉积物重矿物的鉴定结果^①相近。主要重矿

物形态特征如下:
钛铁矿:粒状、板状、圆粒状,铁黑色、褐黑色,强金属光泽,条痕黑色,具弱磁性。有些晶体表面覆盖有白色或淡褐黄色的白钛石薄膜,次棱角状,是重矿物中平均含量最多的矿物种。含量变化范围为 41.00%~3.00%,平均值 17.70%。
绿帘石:粒状、短柱状、次棱角状,常呈黄绿色、浅褐绿色,玻璃-暗淡光泽。平均含量居第二位,含量为 37.33%~9.10%,平均 16.48%。
绿泥石:多为绿、深绿色和灰黑绿色,片状、板

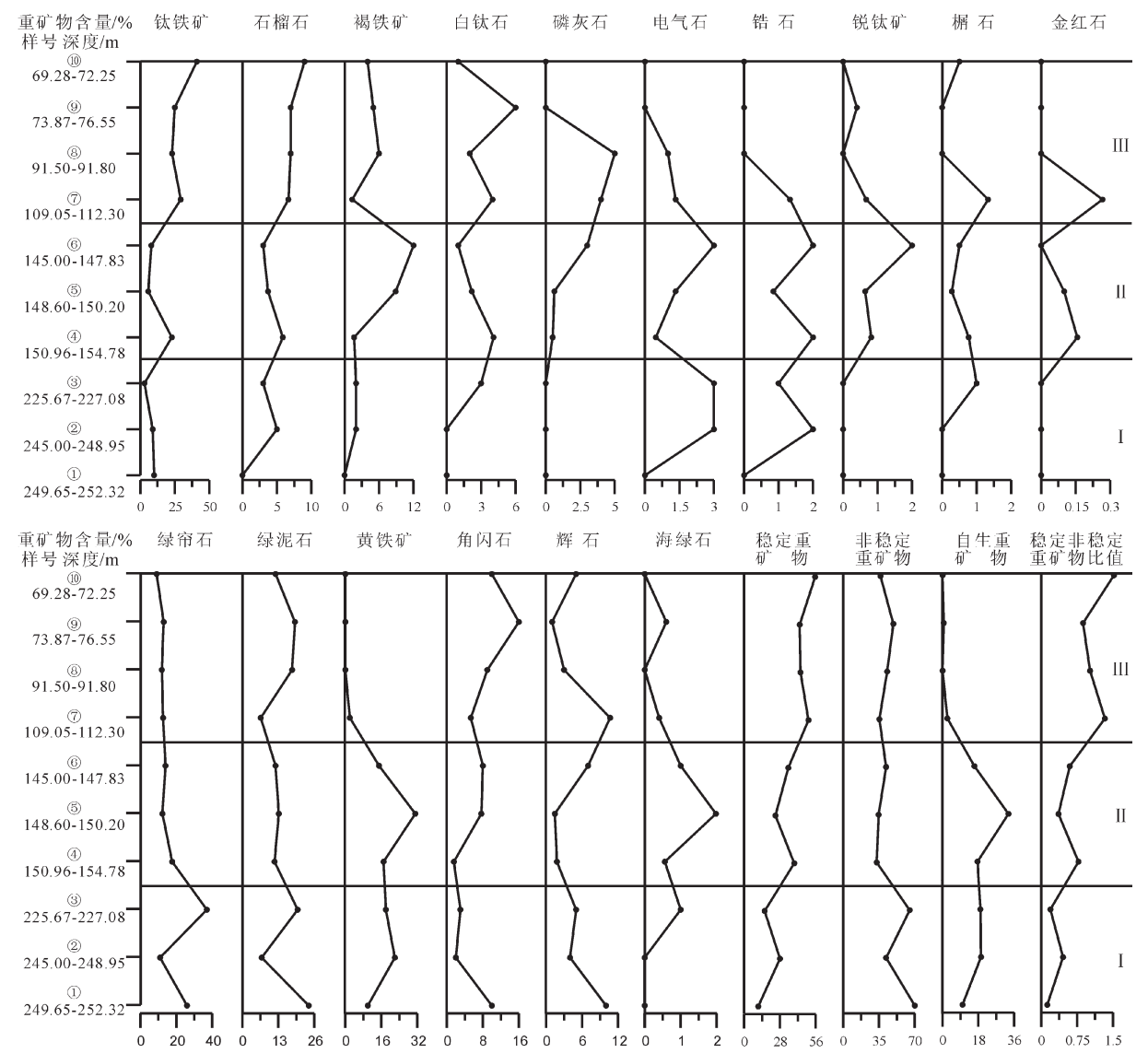


图 3 周老镇钻孔砾石层填充物重矿物分布特征
Fig.3 Heavy mineral distribution features of fillings in pebble layers within the borehole in Zhoulao Town

①湖北省水文地质工程地质大队.湖北省江汉平原第四纪地质调查报告,1985.

状、次滚圆粒状。含量范围 24.00%~6.67%,平均值 14.35%。

自生黄铁矿:为暗黄色,块状、粒状或结核状、莓球状和细粒集合体状。金属光泽,无磁性,条痕绿黑色。含量变化大,为 0~31.13%,平均 11.51%。

普通角闪石:常呈绿色、墨绿色和褐色,柱状,板柱状,晶体多呈次棱角状,表面新鲜,一般无次生蚀变矿物。含量范围 16.00%~1.57%,平均 7.26%。

石榴石:浅粉红色,油脂光泽,不规则粒状、碎屑状,尖棱角状。含量变化范围为 9.00%~0,平均值 5.05%。

辉石:绿色、浅绿色、黑绿色,次棱角短柱状或稍浑圆的粒状,柱面解理较闪石类差,玻璃-油脂光泽,多色性弱。易风化,表面混浊,常含磁铁矿包体。平均含量 4.89%。

褐铁矿:黄褐、褐红、砖红色,土状、次滚圆粒状,半金属或暗光泽,硬度低,易压碎,条痕浅黄褐色。含量变化较大,为 0~12.00%,平均 4.29%。

白钛石:灰白、黄-灰褐色,次滚圆粒状;电气石:茶褐绿色,次滚圆粒状、次棱角短柱状;磷灰石:白色,次棱角、次滚圆柱及粒状;锆石:浅-深玫瑰色,次棱角柱状、滚圆粒状;海绿石:蓝绿色,次滚圆粒状;锐钛矿:黄、褐黄、灰蓝色,次滚圆粒状;榍石:黄色,次滚圆粒状、扁平信封状;透闪石:白、黄、浅绿色,棱角柱状;金红石:红、黑红色,次棱角柱状、粒状。除白钛石 (2.33%)、电气石 (1.31%) 和磷灰石 (1.31%) 外,其他重矿物含量都很低。

3 周老镇钻孔重矿物在垂向上的变化特征及地质意义

稳定重矿物抗风化能力强,分布广,远离母岩区含量相对升高;不稳定重矿物抗风化能力弱,分布不广,远离母岩区含量相对减少。从周老镇钻孔共鉴定出的 20 多种重矿物,其中稳定矿物有钛铁矿、褐铁矿、石榴石、锆石、金红石、磷灰石、电气石和榍石等,不稳定矿物有角闪石、绿帘石、海绿石、辉石和绿泥石等,自生矿物主要指自生黄铁矿。重矿物种类在钻孔砾石层中有较大的变化,但主要重矿物组成相对稳定。出现率在 90% 以上的重矿物有 7 种,石榴石、钛铁矿、褐铁矿、绿帘石、角闪石、辉石和绿泥石,其中钛铁矿、绿帘石和绿泥石含量最高。出现率在 50%~90% 的重矿物有锆石、磷灰石、电气石、榍石、白钛

石、锐钛矿、黄铁矿和海绿石 8 种。而其他一些矿物(如褐帘石、金红石、透闪石、尖晶石等)一般在鉴定样品中偶尔出现,含量很低。

根据主要重矿物百分含量变化曲线,结合钻孔剖面稳定重矿物、非稳定重矿物和自生矿物百分含量变化特征,将周老镇钻孔 10 个砾石层自下而上可以分为 3 个矿物段(图 3):

阶段 I: 对应①~③号样品,矿物组合以绿帘石-绿泥石-黄铁矿为主。钛铁矿、石榴石、电气石、褐铁矿、辉石和角闪石等矿物含量较少,白钛石、锆石、榍石、磷灰石、锐钛矿、金红石、海绿石和透闪石等矿物很少见。绿帘石在本阶段含量为 14.67%~37.00%,平均 25.89%,为最高值段。绿泥石分布也较连续,平均含量为 21.11%,仅次于绿帘石,在⑩号样处达到峰值(24%)。钛铁矿、辉石和角闪石分布连续,但含量低,平均为 5%~10%。该矿物段以不稳定矿物为主,含量可达 70%,平均 59.00%;稳定矿物的含量较低,在 30% 以内;自生矿物的含量也很低,基本上均在 20% 以内。稳定矿物与非稳定矿物的比值较低,均值 0.26。说明本阶段的沉积物主要接受的是近源物质,含有较少的或不含远源物质。

阶段 II: 对应④~⑥号样品,矿物组合发生了一定的变化,以黄铁矿-绿帘石-绿泥石-钛铁矿为主。自生黄铁矿含量增加,在⑥号样品处达到最大值(31.13%)。钛铁矿、褐铁矿、白钛石、磷灰石、电气石、锆石、锐钛矿和榍石等矿物含量较前段都略有增加。绿帘石和绿泥石含量明显减少,平均含量分别为 14.68% 和 12.28%。角闪石、辉石、海绿石分布连续,含量略有降低,透闪石和金红石零星分布。自生矿物含量较阶段 I 增加,平均含量 21.04%,稳定矿物有所增加(24%~30%),不稳定矿物含量明显低于阶段 I。稳定矿物与非稳定矿物的比值高于前段,均值 0.58。说明本阶段的沉积物以近源物质为主,但含有较多的远源物质。

阶段 III: 对应⑦~⑩号样品,矿物组合以钛铁矿-绿泥石-绿帘石-角闪石为主。钛铁矿和石榴石含量在本段⑩号样处达到最大值(分别为 41.00% 和 9.00%),平均为 29.58% 和 7.42%,为整孔砾石层的最高值。白钛石、绿泥石、角闪石和辉石含量也有所增加,绿帘石和黄铁矿含量减少,为整个砾石层的低值段。本段总的来看,稳定矿物含量较高,达 50% 以上;不稳定矿物含量次之,为 25%~50%;自生矿物含量

很少,在 5%以内。稳定矿物与非稳定矿物的比值为整孔的最高值段,均值 1.19。说明本阶段的沉积物主要以远源物质为主,含有少量的近源物质。

由此可见,阶段Ⅲ所代表的砾石层填充物的重矿物特征明显不同于阶段Ⅰ、阶段Ⅱ的重矿物特征。阶段Ⅲ以稳定重矿物为主,说明此阶段较前两个阶段,江汉平原沉积物发生了明显的改变,不再以近源物质为主,而是有大量的远源物质加入。这也进一步充分说明阶段Ⅲ研究区水动力条件、水系和沉积环境都发生了巨大变化。

4 江汉平原沉积物特征与长江三峡贯通的关系探讨

前人以 QR7 钻孔资料为基础,综合其他 8 个钻孔剖面绘制成江汉平原第四系岩相剖面略图^①。从图中可以看出,长江在宜昌以下发育了一套向东南、东北方向延伸并贯穿了江汉平原的大型砂砾石层,并且沿延伸方向逐渐变薄,砾径逐渐减小。杨达源^[1]研究也认为,湖北沙市附近沉积有巨大的砾石堆积体,自湖北枝江七星台经沙市往东呈扇形展布。将图 2、图 3 和以上资料对比,图 2 的砾石含量高值段、图 3 的三个阶段与江汉平原第四系岩相剖面略图的三大层砂砾石层一一对应,图 3 的Ⅲ阶段对应江汉平原第四系岩相剖面略图的大型冲积扇,表明在Ⅲ阶段长江已贯通三峡。此外,由新沟孔岩性及粒度资料沉积环境的分析结论来看^②,在新沟孔深度 109.15~98.82 m 沉积着厚层灰色砾石层,砾石的砾径明显大于其他的砾石层,最大砾径>10 cm,磨圆度差异大,也同样证实了上述大型沉积扇的存在。说明江汉平原在此期间发生了重大的沉积事件,即长江切穿三峡,江汉平原的水动力条件、水系和沉积环境随即都发生了巨大变化。通过以上分析,结合周老镇钻孔岩性及新沟孔的研究结论^[2],可以看出在 112.30~109.05 m 深度处,周老镇钻孔沉积环境发生了重大改变,这和大型冲积扇的底部深度基本相符。由内插法得到周老镇钻孔 112.30~109.05 m 处的古地磁年龄为 1.17~1.12 Ma B.P.^[15]。

“长江中游主要水患区第四纪地质及新构造运动对水患形成的影响专项调查”项目(2002)对分布于江

汉盆地边缘丘陵区、长江干流及主要支流两岸丘陵区的最高阶地砾石层的形成时代进行了研究,发现其地质时代非常接近,形成于 1.6~0.8 Ma B.P.。

吴锡浩^[7]研究青藏高原东南部地貌边界及金沙江水系发育指出,元谋运动(尤其是中更新世初期,距今 1.2 Ma)以来,长江才逐步成为一条名副其实的大河。长江的贯通及其东流入海,是中国地势由西低东高最终转变成西高东低的主要标志。杨达源^[1]通过对三峡阶地的全面研究发现,从中更新世(第Ⅳ阶地)起,三峡东西两侧的河谷阶地才可以系统地对比。唐贵智^[23]研究认为,三峡的河谷地貌,表现为地壳急剧抬升下切的幼壮年河谷特征,不存在古老长江自西东流的遗迹,其形成年龄不超过 1.0 Ma B.P.。李吉均^[23]研究青藏高原隆起与环境变化时认为,发生在 1.7Ma 的青藏运动 C 期很重要,黄河和长江都是在这次运动之后才从高原上奔流而下形成泱泱大川的。李吉均、谢世友等^[24]进一步研究现代长江三峡河谷阶地时,认为长江河谷分布有 7 级河流阶地,最高的第七级河流阶地时代为 1.16 Ma B.P.。陈华慧等^[25]对江汉平原下更新统卢演冲组的沉积环境分析表明,下更新统时才开始形成由宜昌向平原方向流动的水系。李长安^[10]等人根据地质、沉积和古地理资料,指出中国的主要水系(长江、黄河等)均形成于早更新世末(1.2~1.0 Ma B.P.)。并且通过对区域地质、地貌的发展演化分析,认为中国主要水系的贯通是新华夏构造体系活动的结果。

5 结 论

以上的研究成果都表明,长江三峡在 1.2 Ma B.P.左右才贯通,从而形成滚滚东流的万里大江。周老镇钻孔砾石层填充物重矿物分析结果也证实,长江三峡贯通时,在江汉平原携带的大量粗颗粒远源物质出现的沉积层位在砾石层阶段Ⅲ,时间为 1.17~1.12 Ma B.P.。

参考文献(References):

[1] Willis, B. Washington Press of Gibson Brothers [J]. Research in China,1907, (1):278-339.
[2] Barbour G B. The physiographic period of the Yangtze Valley [J].

①湖北省水文地质工程地质大队.湖北省江汉平原第四纪地质调查报告, 1985.
②王秋良.江汉平原第四纪沉积环境演变与长江三峡贯通研究[D].武汉:中国地质大学档案馆,2007.

- Geol. Soc. China Bull, 1935, (14):1-15.
- [3] 李四光. 陕东地质及长江之历史 [J]. 中国地质学会志, 1924, (3): 351-391.
- Li Siguang. Geology of Eastern Yangtze Gorges and History of Yangtze River [J]. Geology Bulletin of the Geological Society of China, 1924, (3):351-391(in Chinese).
- [4] 李春昱. 长江上游河谷之发展[J]. 中国地质学会志, 1933, (3):107-117.
- Li Chunyu. The development of river valley in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Geology Bulletin of the Geological Society of China, 1933, (3):107-117(in Chinese).
- [5] 任美镔. 长江三峡概况[J]. 地理知识, 1957, 3:1-6.
- Ren Mei'e. A Survey of Yangtze Three Gorges [J]. Geography Knowledge, 1957, 3:1-6(in Chinese).
- [6] 袁复礼. 长江河流发育史的补充研究[J]. 人民长江, 1957, 2:1-9.
- Yuan Fuli. A Supplementary Study on Evolutionary History of Yangtze River[J]. Yangtze River, 1957, 2:1-9(in Chinese).
- [7] 吴锡浩. 青藏高原东南部地貌边界与金沙江水系发育 [J]. 山地研究, 1989, 7(2):75-84.
- Wu Xihao. On morphologic boundary of the south-eastern Qinghai-Xizang plateau and development of Jinsha river system[J]. Mountain research, 1989, 7 (2):75-84 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张叶春. 长江三峡贯通的时代及意义[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 1995, 31(2):52-56.
- Zhang Yechun. Formation of Yangtze Gorges and its significance[J]. Journal of Northwest Normal University(Natural Science), 1995, 31 (2):52-56(in Chinese with English abstract).
- [9] 赵诚. 长江三峡河流袭夺与河流起源 [J]. 长春科技大学学报, 1996, (4):428-433.
- Zhao Cheng. River capture and origin of the Yangtze Gorges [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1996,(4):428-433(in Chinese with English abstract).
- [10] 李长安, 张玉芬. 中国主要水系贯通和洪灾形成的地质因素分析[J]. 大自然探索, 1997, 59(1):61-65.
- Li Chang'an, Zhang Yufen. Geoscientific factors analyses on the through cutting of main drainages and the formation of flood damage in China[J]. Exploration of Nature, 1997, 59(1):61-65(in Chinese with English abstract).
- [11] 杨达源, 李徐生. 长江三峡的起源与演化[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2000, 23(4):230-235.
- Yang Dayuan, Li Xusheng. The genesis and evolution of Yangtze Gorges [J]. Journal of Nanjing University (Natural Science), 2000, 23(4):230-235(in Chinese with English abstract).
- [12] 范代读, 李从先, Yokoyama K. 等. 长江三角洲晚新生代地层独居石年龄与长江贯通时间研究[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(11): 1015-1022.
- Fan Daidu, Li Congxian, Yokoyama K, et al. Monazite age spectra in the Late Cenozoic strata of the Changjiang delta and its implication on the Changjiang run-through time [J]. Science in China(Series D), 2004, 34(11):1015-1022(in Chinese).
- [13] 向芳, 王成善, 李国忠, 等. 宜昌地区第四纪沉积物重矿物特征及其与三峡贯通的关系 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2006, 33(2):117-121.
- Xiang Fang, Wang Chengshan, Li Guozhong, et al. Character of heavy minerals in Quaternary sediments in Yichang area and its relationship with cut-through of the Yangtze Three Gorges, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology(Natural Science), 2006, 33(2):117-121(in Chinese with English abstract).
- [14] 马永法, 李长安, 王秋良. 江汉平原周老镇钻孔砾石统计及其与长江三峡贯通的关系[J]. 地质科技情报, 2007, 26(2):40-45.
- Ma Yongfa, Li Chang'an, Wang Qiuliang. Statistics of gravels from a bore in Zhoulao Town, Jiangnan plain and its relationship with cut-through of the Yangtze three gorges, China [J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26 (2):40-45 (in Chinese with English abstract).
- [15] Zhang Yufen, Li Chang'an, Wang Qiuliang, et al. Magnetism parameters characteristics of drilling deposits in Jiangnan Plain and indication for forming of the Yangtze River Three Gorges [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(4):484-590.
- [16] 谢远云, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原江陵地区近 9 ka B.P. 以来的气候演化:有机碳同位素记录[J]. 中国地质, 2006, 33(1):98-103.
- Xie Yuanyun, Li Chang'an, Wang Qiuliang, et al. Climatic change over the past 9 ka in the Jiangling area, Jiangnan plain:Records of organic carbon isotopes[J]. Geology in China, 2006, 33(1):98-103(in Chinese with English abstract).
- [17] 王秋良, 李长安, 谢远云, 等. 江陵剖面沉积物的粒度特征及其古气候意义[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1406-1410.
- Wang Qiuliang, Li Chang'an, Xie Yuanyun, et al. Grain-size characteristics and their paleoclimatic significance of the Jiangling section sediments[J]. Geology in China, 2006, 33(6):1406-1410(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈丽蓉, 徐文强, 申顺喜, 等. 南海北部大陆架和北部湾沉积物中的矿物组合及其分布特征[J]. 海洋科学, 1986, 10(3):6-10.
- Chen Lirong, Xu Wenqiang, Shen Shunxi, et al. Mineral assemblages and their distribution pattern in the sediments from the north continental shelf of the South China Sea and the Beibu Gulf [J]. Marine Sciences, 1986, 10 (3):6-10 (in Chinese with English abstract).
- [19] 孙白云. 黄河、长江和珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1990, 10(3):23-34.
- Sun Baiyun. Detrital mineral assemblages in the Yellow, Changjiang and Pearl River delta sediments [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1990, 10 (3):23-34 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张德厚. 江汉盆地新构造与第四纪环境变迁 [J]. 地壳形变与地震, 1994, 1:74-80.
- Zhang Dehou. The new structure and Quaternary environmental change of Jiangnan Basin [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1994, 1:74-80(in Chinese with English abstract).

- [21] 唐贵智, 陶明. 论长江三峡形成与中更新世大姑冰期的关系[J]. 华南地质与矿产, 1997, 4:9-16.
Tang Guzhi, Tao Ming. Discussion on relationship between the middle pleistocene glaciation and formation of the Yangze Gorges [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1997, 4:9-16 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李吉均. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1):1-12.
Li Jijun. Studies on the geomorphological evolution of the Qinghai Xizang (Tibetan) plateau and Asian monsoon[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19 (1):1-12 (in Chinese with English abstract).
- [23] Li J J, Xie S Y, Kuang M S. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation [J]. Geomorphology, 2001, 41:125-135.
- [24] 陈华慧, 马祖陆. 江汉平原下更新统 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1987, 12(2):129-135.
Chen Huahui, Ma Zulu. Lower Pleistocene series in Jiangnan plain [J]. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 1987, 12(2):129-135 (in Chinese with English abstract).

Heavy mineral characteristics of gravel layers in the Zhoulao Town borehole

WANG Qiu-liang^{1,2}, Hu Si-hui³, LI Chang-an¹

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, Hubei, China; 3. Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: A borehole was drilled at Zhoulao Town in Jiangnan plain, and then ten gravel layers in core sediments were analyzed in order to study heavy mineral components and distribution characteristics of the fillings. The results show that the ten gravel layers can be divided into three mineral stages from bottom to top. A comparative study of the stable and unstable heavy minerals of the three stages has revealed that the variation characteristics are as follows: sediments of stage 1 and 2 are composed mainly of distal materials with a small amount of proximal materials, whereas the major sediments of stage 3 are distal materials mixed with a certain amount of proximal materials. Based on core lithology and gravel contents as well as Quaternary lithofacies features of Jiangnan plain, the authors hold that at the depth of 112.30~109.05 m in the borehole (1.17-1.12 Ma.B.P., namely stage 3), the sedimentary environment changed remarkably, and the water system of the Jiangnan plain underwent considerable variation, which finally led to the formation of the Three Gorges on the Yangtze River.

Key words: Jiangnan plain; borehole in Zhoulao Town; heavy mineral; formation of the Three Gorges on the Yangtze River

About the first author: WANG Qiu-liang, male, born in 1972, doctor, engages in the research of Quaternary geology and earthquake geology; E-mail: wql0703@sohu.com.