

宜昌地区第四纪沉积物中玄武岩砾石特征及其与长江三峡贯通的关系

向芳¹, 朱利东¹, 王成善², 杨文光¹

(1. 成都理工大学 沉积地质研究所, 四川 成都 610059; 2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

[摘要] 通过对宜昌地区第四纪沉积物中峨眉山玄武岩砾石的寻找和研究, 可以确定三峡以西物质搬运至宜昌地区的时间, 从而为长江三峡贯通时间的确定提供参考。在详细研究宜昌地区第四纪沉积物的沉积特征和沉积相基础上, 分析不同沉积环境、不同时代沉积物中玄武岩砾石的岩石学、稀土及微量元素特征, 从而发现 0.7 Ma 以前云池组和善溪窑组的扇三角洲及湖相沉积物中, 不存在来自三峡西侧的峨眉山玄武岩, 而在 0.7 Ma 以后的阶地沉积及现代河床中却可以找到该玄武岩砾石。结果表明, 在 0.7 Ma 以前不存在贯通三峡的长江。

[关键词] 玄武岩砾石; 微量元素; 稀土元素; 峨眉山玄武岩; 长江三峡; 贯通时间; 宜昌地区

[中图分类号] P534 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)02-0006-05

Character of Basaltic Gravels in Quaternary Sediments in Yichang Area and Its Relationship with Formation of Yangtze Three Gorges

XIANG Fang¹, ZHU Li dong¹, WANG Cheng shan², YANG Wen guang¹

(1. Institute of Sedimentology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract Via searching and finding the E' mei Mountain basalt gravels in the Quaternary sediments in the Yichang area, the cutting through time of the Three Gorges can be determined. On the basis of detailed research to sedimentary characteristics and sedimentary facies of the Quaternary sediments in Yichang area, the petrography, chemistry, rare earth elements and trace elements characteristics of basaltic gravels in sediments of different sedimentary environments and different ages show that the E' mei Mountain basalts from areas to the west of the Three Gorges do not exist in the fan delta and lacustrine sediments of the Yunchi and Shanxiyao Formations before 0.7 Ma, but do exist in the fluvial terraces after 0.7 Ma and in the present riverbed sediments. This result proves that there was no the Yangtze River cut through the Three Gorges before 0.7 Ma.

Key words: basaltic gravels; trace element; rare earth element; E' mei mountain basalt; Yangtze Three Gorges; cutting through time; Yichang area

0 引言

长江三峡的形成与演化长期以来都是长江演化史研究中备受关注的难点问题, 也是学术界长期

争论的焦点问题^[1]。关于长江三峡的成因一直就有先成谷^[2-4]和叠置谷^[5-6]的争论, 而关于长江三峡形成的时间则有如下不同的观点: 燕山运动期或侏罗—白垩纪^[5-6]、早第三纪以前^[7]、第三纪后期^[2]、30~10 Ma 以前^[8]、200 万年前^[9]、150~100 万年

[收稿日期] 2005 07 05

[基金项目] 教育部重大项目(重大 0213); 国土资源部专项基金项目(200101020403); 同济大学教育部海洋地质重点实验室开放基金项目

[作者简介] 向芳(1974-), 女, 重庆万县人, 讲师, 博士, 从事沉积学与第四纪地质地貌学教学和研究。

Fig. 1 Position of Observation Sections

其中构成的近三角形间隙中充填有隐晶-玻璃质。可见硅化现象。

(4) 017-5 样品: 蚀变的杏仁状玄武岩, 采自 017 剖面。手标本呈灰色, 风化严重, 整个砾石质地疏松, 且被一层铁膜所包裹。砾石呈圆状, 大小约 3.5 cm×3 cm。

(5) S_x-19 样品: 绿泥石化玄武安山岩, 采自 017 剖面。手标本为黄棕色。偏光显微镜中可见砾石具有玻晶交织结构, 其中的斑晶为具有聚片双晶的斜长石, 基质为隐晶-微晶。

(6) S_x-13 样品: 绿泥石化的玄武安山岩, 采自 017 剖面。手标本为土黄色, 风化严重。显微镜下可见砾石具有间隐结构, 斜长石微晶杂乱分布, 在其中构成的近三角形间隙中充填有隐晶-玻璃质, 可见长石构成的斑晶。

(7) 022-3 样品: 蚀变的球粒玄武岩, 采自 022 剖面。手标本中, 砾石呈浅灰绿色, 风化严重。显微镜下长石和辉石呈纤状, 组成束状和放射状的集合体, 局部可见被石英及绿泥石充填的杏仁体。

(8) 00B-5 样品: 蚀变(硅化)杏仁状玄武岩, 采自 00B 剖面。手标本为深灰绿色, 致密状, 次

圆-次棱角状, 大小约 3 cm×3 cm。薄片可见长石呈纤状杂乱分布, 具有间隐结构, 可见硅化形成的晶粒较大的石英。

(9) 025-2 样品: 新鲜的玄武岩, 采自 025 剖面。岩石为灰绿色, 新鲜干净, 砾石呈圆状, 长径约 4 cm。薄片可见间粒结构, 长条状的斜长石微晶间充填有粒状的辉石和隐晶质铁质成分。

(10) Fit-1 样品: 新鲜的玄武岩, 采自 025 剖面。岩石为灰绿色, 新鲜干净, 可见长石斑晶。

1.2 稀土及微量元素特征

10 个样品的稀土和主要微量元素的分析测试由四川省冶金地质岩矿测试中心完成。样品先在 60 ℃条件下烘干, 然后用高铝瓷衬颚式破碎机进行粗碎和中碎, 最后采用玛瑙质无污染设备细碎至 200 目。为了保证分析样品的精度, 采用了国家 I 级标准物质进行监控, 对其进行的分析项目均达到国家级质量合格标准。同时, 在分析中采用了平行测定法, 所有分析项两次测定的误差均符合质量要求, 其中 Th 采用了比色分析法, Zr、Nb、Ta、Hf 采用了光谱分析法, Sc 和稀土元素(包括 Y 在内的 15 项)采用了 ICP-光谱法, 分析结果见表 1。

表 1 玄武质砾石的稀土及部分微量元素分析结果

Tab. 1 Analysis Results of Rare earth Element and Part Trace Element of Basaltic Gravels											w _B /10 ⁻⁶
样品编号	Tm	La	Yb	Y	Gd	Ho	Lu	Tb	Dy	Sm	Er
015-5	0.85	230	15.0	110	22.0	15.00	0.75	2.00	21.0	32.0	17.0
015-6	0.30	26	2.6	21	4.0	0.90	0.30	0.70	4.2	5.2	2.3
SX-2	0.25	65	5.6	50	14.0	4.00	0.40	1.25	12.0	18.0	5.0
SX-13	0.26	56	1.3	50	13.0	4.00	0.20	1.20	10.0	1.3	6.0
SX-19	0.60	56	21.0	39	20.0	4.50	0.50	1.20	14.0	13.0	11.0
017-5	0.56	16	3.5	35	5.5	2.00	0.42	0.80	6.0	5.2	3.2
022-3	0.40	56	3.2	60	12.0	4.40	0.30	1.30	10.0	13.0	4.0
00B-5	0.70	42	7.2	39	7.6	4.00	0.50	1.10	13.0	7.6	6.0
Fit-1	0.28	56	3.5	29	6.0	2.00	0.28	1.20	6.0	9.0	2.8
025-2	0.45	56	3.2	39	8.8	2.00	0.35	1.30	9.0	13.0	3.0
Em-1	0.50	48	2.1	26	8.2	1.60	0.20	1.10	7.0	11.0	2.8
样品编号	Eu	Nd	Pr	Ce	Nb	Sc	Zr	Cr	Ta	Hf	Th
015-5	5.00	188	30.0	200	110	7.0	440	11	9.21	30.50	32.40
015-6	1.10	22	4.5	70	19	9.0	250	35	1.73	4.96	7.44
SX-2	4.20	80	16.0	140	19	25.0	370	20	3.08	9.32	6.98
SX-13	3.20	60	15.0	140	17	25.0	250	27	0.77	6.61	12.90
SX-19	4.40	58	10.0	90	18	17.0	380	23	1.91	9.03	9.87
017-5	1.20	20	4.5	50	15	25.0	190	36	2.26	4.53	0.72
022-3	3.20	80	12.0	100	13	28.0	170	70	0.83	6.33	2.03
00B-5	1.80	24	7.5	100	14	15.0	170	80	1.59	4.11	1.43
Fit-1	1.50	44	8.5	120	23	2.5	350	15	1.67	7.05	14.80
025-2	3.60	70	12.0	110	11	19.0	200	80	4.68	7.94	7.00
Em-1	2.80	50	10.0	90	13	18.0	250	42	3.39	9.10	6.06

利用稀土元素原子序数从小到大为横坐标, 相应的值经里德球粒陨石标准化后的值为纵坐标, 做出了样品的稀土分配模式图(图 2)。用于标准化的里德球粒陨石的稀土元素丰度(10^{-6})分别为: La 0.378、Ce 0.976、Pr 0.136、Nd 0.716、Sm 0.230、Eu 0.086 6、Gd 0.311、Tb 0.058 9、Dy 0.390、Ho 0.088 8、Er 0.255、Tm 0.038 5、Yb 0.249、Lu 0.038 7。

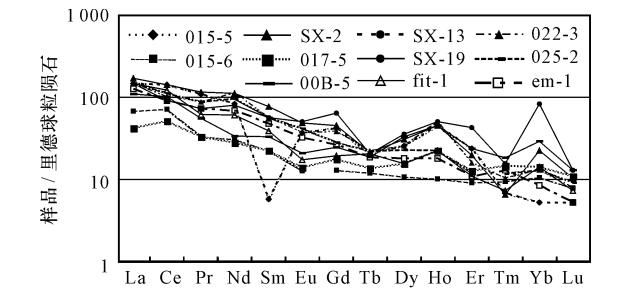


图 2 玄武质样品的稀土元素分配模式

Fig. 2 Rare earth Element Allocation Model of Basaltic Samples

从图 2 看出, 025-2 样品的稀土分配模式与采自峨眉山清音电站的玄武岩 Em-1 具有相同的模式形态, 均为向右倾斜的曲线, 轻稀土相对富集, 稀土元素整体分馏不太明显, Nd、Ho 略显高值, Er 略出现低值。00B-5 样品和 Fit-1 样品的稀土分配模式相似, 仍然为一条向右倾斜的曲线, 表明了轻稀土相对富集, 重稀土元素相对亏损。总体稀土元素有较明显的分馏现象, 同时表现出 Pr、Eu、Tm 的相对亏损和 Ho、Yb 的相对富集。Sx-2、Sx-19、022-3 样品的稀土分配模式较为相似, 均表现为轻稀土元素的相对富集, 但分馏程度较小, 而重稀土的分馏较为明显。总体上, 出现 Nb、Gd、Ho、Yb 的富集, Tb、Tm 的相对亏损。015-6 和 017-5 样品的稀土特征与 L R Cullers 及 J L Graf^[18] 提供的大陆拉斑玄武岩的稀土元素范围型式较为一致, 两个样品的稀土元素变化趋势也大致相同, 但 015-6 样品的重稀土分馏不明显, 而 017-5 样品出现 Gd、Ho 的相对富集。015-5 和 Sx-13 样品较为特殊, 015-5 样品的稀土元素总体值较高, 稀土元素的分馏现象较为明显, 出现 Ho 的强烈富集; Sx-13 样品的稀土元素分馏现象也非常明显, 同时出现 Sm 的强烈亏损。

Pearce 等^[19-20] 在研究玄武岩类型与构造环境之间关系时, 给出了利用微量元素来研究不同环境下喷发玄武岩的方法: 横坐标利用 Sr、K、Rb、Ba、Th、Ta、Nb、Ce、P、Zr、Hf、Sm、Ti、Y、Yb、Sc、Cr 元素, 纵坐标采用对数坐标, 其取值为样品相应元素值

经洋中脊玄武岩(MORB) 标准化以后的结果, 其中用于标准化的 MORB 值(除注明者外, 均为 10^{-6}) 为: Sr 120、K₂O 0.15%, Rb 2、Ba 20、Th 0.2、Ta 0.18、Nb 3.5、Ce 10.0、P 0.12%, Zr 90、Hf 2.4、Sm 3.3、TiO₂ 1.5%、Y 30、Yb 3.4、Sc 40、Cr 250。由于 Sr、K、Rb、Ba 容易受风化、蚀变的影响, 因此, 对于不新鲜的样品, 这 4 个元素值不可靠^[18]。基于此, 在研究中不考虑 Sr、K、Rb、Ba 4 个元素, 而主要分析对比后 13 种元素的变化特征(表 1, 图 3)。

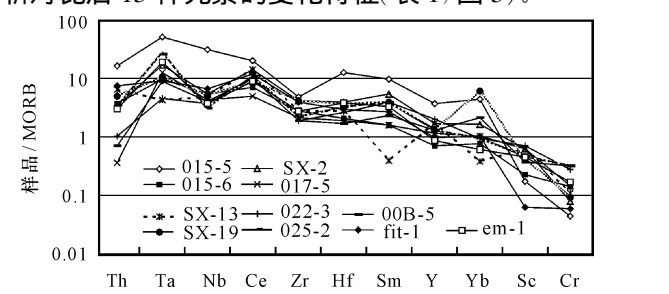


图 3 玄武质砾石样品的微量元素分布模式

Fig. 3 Trace Element Distribution Pattern of Basaltic Samples

由图 3 可以看出, 025-1 和 Em-1 样品具有相同的微量元素分布模式, 表现为 Y、Yb、Sc、Cr 元素的亏损和其他元素的富集, 并且都出现 Ta、Ce、Sm 的相对高值。00B-5 和 Fit-1 样品的微量元素分布模式相似, 出现 Sc、Cr 元素的亏损和其他元素的富集, 同时两个样品的 Ta、Ce 具有相近的数值。但是, 00B-5 样品还出现了 Th 的亏损, 同时, 元素分布型式上具有更大的波动范围。015-6、Sx-19、Sx-2 样品具有相近似的分布模式, 均出现 Sr、Cr 的亏损, Ta、Ce、Sm、Yb 的高值和 Th、Nb、Y、Cr 的低值, 但 015-6 样品同时也存在有 Y、Yb 的亏损。对于 017-5、022-3、015-5、Sx-13 样品来说, 则各具特色: 017-5 出现 Th、Sc、Cr 的亏损, Zr、Hf、Sm、Y、Yb 分馏不明显。022-3 样品出现 Sc、Cr 的亏损, 而其他元素具有很明显的分馏效应, 出现 Ta、Ce、Sm 的高值和 Th、Zr 的相对低值。015-5 样品的元素分馏也比较明显, 出现比较特殊的 Zr 的低值。Sx-13 样品同样存在分馏明显的元素分配模式, 并且出现较明显的 Ce 高值和 Sm、Yb、Cr 的亏损。

2 结果分析及讨论

综上所述, T4 阶地中的玄武岩砾石与现代河床中的玄武岩砾石具有相同的稀土元素特征, 同时现

代河床的玄武岩砾石存在有与峨眉山玄武岩相同的稀土元素特征。而对于宜昌地区第四纪早期的扇三角洲沉积来说,其中发现的玄武岩质砾石均表现出与阶地、现代河床、峨眉山地区的玄武岩不同的稀土分配模式,从而说明了物源的不同。对于扇三角洲沉积中玄武岩质砾石之间的稀土元素差异,其原因一方面可能是由于具体岩石类型的不同,如 015-5 为粗面质玄武岩,015-6 为玄武安山岩;另一方面,可能存在同一物源区不同岩石层位或岩体部位具有不同稀土特征的现象,并且由于后期风化、蚀变的不同,也会造成相对稳定的稀土元素出现活化、改变的现象。

11 个样品的微量元素(包括部分稀土元素)特征也表明,扇三角洲沉积中的玄武岩砾石具有与阶地、现代河床、峨眉山地区玄武岩物质不同的元素分配模式,因此反映了物质来源方面存在着差异。事实上,通过沉积物的风化特征、出露的位置及部分样品的 ESR 年代测定数据发现,云池组、善溪窑组中的扇三角洲和顶部的湖相沉积形成的时代晚于阶地形成的年代,其中的分界时间为 0.7 Ma 左右^[17]。因此,相应说明了阶地形成前后存在物源区的差异。同时,结合前面对样品稀土元素所做的分析可知,云池组、不同地点的善溪窑组中具有在微量元素、稀土元素分配模式上相似的玄武岩砾石,而这些砾石在阶地、现代河床中没有找到,因此说明云池组和善溪窑组沉积时的水系分布特征与阶地形成以后的水系不同,同时也说明云池组和善溪窑组沉积时存在相同的玄武岩物源区。

通过对岩浆岩研究资料可知,离宜昌地区最近没有发生变质的玄武岩岩石主要分布在扬子地台区的神龙架地区。由区域资料可知^[21],神龙架地区的中一晚元古代早期火山岩主要由粗面玄武岩、玄武质火山角砾岩、玄武岩、玄武质凝灰岩、玄武安山岩构成。其中,玄武岩呈暗绿色,具玻基斑状结构、间隐结构、间粒结构、球粒结构,气孔构造、杏仁构造。矿物成分以细长柱状斜长石、辉石、基性玻璃为主,通常见黝帘石化、绿泥石化和碳酸盐化。玄武质火山角砾岩中的火山角砾以玄武岩和杏仁状玄武岩为主,有时可见少量陆源碎屑岩和板岩碎片,胶结物为熔浆和火山凝灰。玄武质火山角砾岩中除有大量的玄武岩、杏仁状玄武岩细碎屑以外,还可见晶屑、玻屑。其中的玻屑虽然经重结晶后有明显的脱玻化作用,但仍然可见鸡骨状、撕裂状,月牙状等复杂的形

态残迹,而这些特征在云池组和善溪窑组中找到的玄武岩砾石中均有体现。

对位于现代长江上游、三峡以西的大面积分布峨眉山玄武岩来说,则具有不同的特点。峨眉山玄武岩出露于四川、云南、贵州 3 省约 $(30 \sim 50) \times 10^4 \text{ km}^2$ 的广大区域,对于其玄武岩的性质,现在普遍认为是晚二叠世形成的与板内裂谷有关的大陆溢流玄武岩。林建英^[22]认为晚二叠世的火山喷发作用可以分为 3 个旋回:

(1) 早期为碱性岩浆作用阶段,形成霞石玄武岩、碱性玄武岩和其他 SiO_2 未饱和的岩类。

(2) 中期为玄武岩喷溢的主要阶段,形成峨眉山玄武岩的主体,出现(石英)拉斑玄武岩和碱性玄武岩交替喷溢。

(3) 晚期形成正长斑岩、粗面岩、流纹岩。

在所有剖面中,均未见到安山质岩石。熊舜华等^[23]对于峨眉山清音电站剖面研究的结果表明,该剖面类型为玄武岩主要为弱碱性(斜斑)玄武岩和高碱(无斑)拉斑玄武岩。

因此,根据上述岩石学、稀土元素和微量元素特征的讨论可以发现,在宜昌地区,长江阶地形成前后的沉积物中具有不同岩性和地化特征的玄武岩砾石。结合区域上玄武岩的分布特征、神龙架地区玄武质岩石的岩石学特征、样品的手标本和显微特征,可以认为,在长江阶地形成以前的沉积物中的玄武岩砾石与峨眉山玄武岩无关,而可能主要来自于神龙架地区的中一晚元古代早期基性火山岩。同时,根据对云池组和善溪窑组沉积所做的古水流分析也说明,宜昌地区第四纪早期沉积物的物源主要位于北西—北北西方向。另外,神龙架地区为中山地区^[24],是现代长江水系与汉水水系的分水岭,因此,也可能成为古长江与其他水系的分水岭。同时,在宜昌一带,现代长江水系中存在北—南向分布的较大河流:黄柏河和沮水,特别是沮水的上游几乎延伸到了神龙架地区,因此,不排除可能存在古老水系沿此流向和流路将神龙架地区的玄武质岩石带到宜昌地区。据此可以认为,在宜昌地区发现的云池组和善溪窑组中的玄武岩砾石应该主要来自神龙架地区,而长江阶地沉积物中的玄武岩砾石,则主要来自于峨眉山玄武岩。这也相应说明,形成现今阶地沉积的长江应该是在云池组和善溪窑组结束沉积 0.7 Ma 以后贯通三峡的。

(下转第 24 页)

Sea level Events[J]. *Geology*, 1999, 27(6): 551 - 554.

[35] 胡修棉. 特提斯喜马拉雅晚白垩世富氧问题探讨[D]. 成都: 成都理工大学, 1999.

[36] Hallam A. Phanerozoic Sea level Changes[M]. Columbia Univ Press, 1992.

[37] Denison R E, Koepnick R B, Burke W H, et al. Construction of the Cambrian and Ordovician Seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Curve[J]. *Chem Geol*, 1998, 152: 325 - 340.

[38] Remane J, Faure Muret A, Odin G S. 国际地层表[J]. 金玉环, 王向东, 王 钊, 译. 地层学杂志, 2001, 24(增刊): 321 - 340.

[39] 汪品先. 大洋钻探与青藏高原[J]. 地球科学进展, 1995, 10(3) 254 - 257.

[40] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1569 - 1574.

[41] 钟大赉, 丁 林. 青藏高原隆升过程及其机制的探讨[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(4): 289 - 295.

[42] 施雅风, 汤懋苍, 马玉贞. 青藏高原二期隆升与亚洲季风孕育关系探讨[J]. 中国科学: D 辑, 1998, 26(4): 278 - 285.

[43] Davies T A, Hay W W, Southam J R, et al. Estimates of Cenozoic Oceanic Sedimentation Rates[J]. *Science*, 1977, 197: 53 - 55.

[44] 王成善, 向 芳. 全球气候变化—新生代构造隆升的结果[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 173 - 178.

[45] Zachos J C, Opdyke B N, Quinn T M, et al. Early Cenozoic Glaciation, Antarctic Weathering, Seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: is there a link? [J]. *Chem Geol*, 1999, 161: 165 - 180.

[46] Miller K G, Fairbanks R G, Mountain G S. Tertiary Oxygen Isotope Synthesis, Sea Level History, and Continental Margin Erosion[J]. *Paleoceanography*, 1987, 2: 1 - 19.

(上接第 10 页)

[参 考 文 献]

[1] Chen Z, Yu L Z, Gupta A. The Yangtze River: an Introduction[J]. *Geomorphology*, 2001, 41: 73 - 75.

[2] 李四光. 峡东地质及长江之历史[J]. 中国地质学会志, 1924, 3(3/4): 351 - 391.

[3] 叶良辅, 谢家荣. 扬子江流域巫山以下地质构造与地文发育史[J]. 地质汇报, 1925, 7: 22 - 30.

[4] 李承三. 长江发育史[J]. 人民长江, 1956(12): 3 - 6.

[5] 李春昱. 长江上游河谷之发展[J]. 中国地质学会志, 1933(3): 107 - 117.

[6] 任美镔. 长江三峡概况[J]. 地理知识, 1958(3): 1 - 6.

[7] 沈玉昌. 长江上游河谷地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1965.

[8] Clark M K, Schoenbohm L M, Royden L H, et al. Surface Uplift, Tectonics, and Erosion of Eastern Tibet from Large scale Drainage Pattern[J]. *Tectonics*, 2004, 23: 1 - 20.

[9] 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 - 57.

[10] 李长安, 张玉芬. 一次重要的第四纪构造运动及环境效应[J]. 地质科技情报, 1999, 18(4): 42 - 46.

[11] 杨达源, 阎国年. 长江三峡贯通的时代及其地质意义的研究[C] //刘东生, 安芷生主编. 黄土第四纪地质. 全球变化: 第 3 辑. 北京: 科学出版社, 1992.

[12] Jijun Li, Shiyou Xie, Mingsheng Kuang. Geomorphic Evolution of the Yangtze Gorges and the Time of Their Formation, Geomorphic Evolution of the Yangtze Gorges and the Time of Their Formation[J]. *Geomorphology*, 2001, 41(2/3): 125 - 135.

[13] 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.

[14] 田陵君, 李平忠, 罗 雁. 长江三峡河谷发育史[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1996.

[15] 赵 诚. 长江三峡河流袭夺与河流起源[J]. 长春地质学院学报, 1996, 26(4): 419 - 433.

[16] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

[17] 向 芳. 长江三峡的贯通与江汉盆地西缘及邻区的沉积响应[D]. 成都: 成都理工大学档案馆, 2004.

[18] 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 变质岩原岩图解判别法[M]. 北京: 地质出版社, 1987.

[19] Pearce J A, Cann J R. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Investigated Using Trace Element Analyses[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1973, 19: 290 - 300.

[20] Pearce J A. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries[C] // In Thorpe R S(ed.). *Andesites*. New York, John Wiley and Sons, 1982.

[21] 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.

[22] 林建英. 中国西南三省二叠纪玄武岩的时空分布及其地质特征[J]. 科学通报, 1985, 30(12): 929 - 932.

[23] 熊舜华, 李建林. 峨眉山区晚二叠世大陆裂谷边缘玄武岩的特征[J]. 成都地质学院学报, 1984, 11(2): 43 - 57.

[24] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995.