

219-226

碧口地体中元古代构造属性

p 544
p 53丁振举^{1,2)} 姚书振²⁾ 周宗桂²⁾ 方金云²⁾

1) (中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

2) (中国地质大学, 武汉 430074)

摘 要 有关中元古界碧口岩群的成岩构造环境及中元古代碧口地体构造属性长期存在争议。本文综合火山岩、硅质岩所反映的构造信息, 认为碧口地体中元古代曾发育过裂谷—有限洋盆构造环境, 是在扬子陆缘基础上伴随元古代伸展构造作用发展和演化的。

关键词 大地构造环境, 构造属性, 中元古代, 碧口地体

地体

碧口地体现今位于扬子陆块北缘勉略第二缝合带南侧, 以断裂与周围地质单元相接, 经历了长期而复杂的构造演化。现今的地层以岩片形式存在, 已失去了原始地层层序的含义。由于对该区地层时代和层序的不同认识, 因而长期以来围绕碧口地体元古代碧口岩群性质、及其所代表的构造环境等基础问题存在着不同的认识。主要有包括碧口岩群在内早中元古代火山沉积岩是伸展构造之产物, 代表裂谷与小洋盆并存的环境[1995, 张国伟等; 1996, 张国伟等]; 碧口火山岩主体为碧口岛弧与扬子克拉通之间碧口洋盆向北俯冲消减过程中产生的岛弧火山岩组合[1994, 秦克令等]; 碧口岩群为“类蛇绿岩套组合”, 是洋盆化的裂陷海槽, 并不存在真正的古大洋[1993, 严克明等]; 碧口岩群为蛇绿岩套组合, 发育完整的沟弧盆体系[1993, 陶洪祥等]; 碧口岩群等扬子陆块北缘元古代火山岩具大陆裂谷火山岩与大陆溢流玄武岩性质, 是扬子克拉通北缘张性环境之产物[1996, 夏林祈等]等不同观点。为进一步厘定碧口地体与周围地质单元之间的关系, 本次以岩组为单位, 综合火山岩、硅质岩反映的成岩及构造古地理信息, 从动态、演化的观点来考察碧口地体元古代构造属性。

1 研究区地质概况及地质特征

研究区内主要地层系统主要为太古代鱼洞子岩群、中元古代碧口岩群、晚元古代横丹群、豆坝群、雪花太坪群(图1)。其中鱼洞子岩群以变质程度较深、达角闪岩相为特征, 是本区的最

· 本文受地矿部九五攻关项目(95-02-002)和国家杰出青年科学家基金(19625304)联合资助。

丁振举, 男, 1965年生, 博士, 主要从事与成矿有关的科研和教学工作。

1997年11月23日收稿, 1998年4月6日改回。

古老的变质基底;晚元古代横丹群、豆坝群、雪花太坪群以其变质程度浅、脆性变形为主而有别于碧口岩群。碧口岩群以变质达绿片岩相、强韧性变形为特征,是本区的主体及火山岩发育层位。碧口岩群按其相对新老关系细分为红岩沟组、白水街组、姚渡组及阳坝组,各岩组之间以断层相接触。

2 赋矿火山岩成岩大地构造环境

2.1 火山岩空间分布、系列、组合及类型

碧口岩群火山岩沿勉县-阳平关-平武一带分布,为一套细碧岩、角斑

岩和火山碎屑岩组成的火山岩系,细碧岩大多保留枕状构造,显示海相火山岩特征。火山岩熔岩由勉(县)略(阳)宁(强)小三角区往西经阳坝逐渐减少,而碎屑岩、沉积岩比例逐渐增多。自下而上由基性火山岩与酸性火山岩互层逐渐变为以基性火山岩为主,呈现过渡性变化。火山岩系列除红岩沟组出现少量碱性系列外,其余各岩组均为钙碱系列。

2.2 火山岩产出的构造环境

火山岩的形成受所处构造环境的构造体制制约,不同构造环境和构造发展的不同阶段发育不同类型、系列、组合的火山岩,因而可以利用火山岩的某些特征来研究其成岩的大地构造环境。考虑到碧口岩群火山岩经过了绿片岩相变质作用,常量元素在变质过程中可能会发生迁移,因而本次主要利用不活泼微量元素、稀土元素岩石化学特征来研究碧口岩群火山岩的成岩大地构造环境。

2.2.1 微量元素地球化学特征

碧口岩群不同岩组火山岩在 Pearce(1982)Zr-Y 图解(图 2)中主要落于板内和洋中脊玄武岩范围,从图可以看出自下部红岩沟组到上部姚渡组、阳坝组其产出的构造环境逐渐过渡。红岩沟组、白水街组主要为板内玄武岩,阳坝组、姚渡组跨越板内、洋中脊玄武岩过渡区。在 Muschede(1982)Nb-Zr-Y 环境判别图解(图 3)中碧口岩群白水街组火山岩落于板内拉斑玄武岩(A II、C),而姚渡组火山岩主要落于洋中脊(MORB)拉斑玄武岩区。碧口岩群火山岩在微量元素蜘蛛网图上显示右倾, $(Rb)_N/(Yb)_N > 1$,富 La,亏损 Nb 和 Ti,具大陆拉斑玄武岩特征。

由微量元素特征可以看出,碧口岩群火山岩是以大陆板内火山岩为主,为伸展构造体制下的

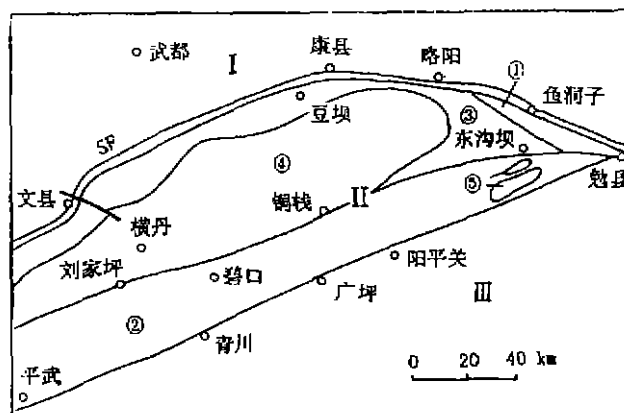


图 1 研究区地质略图

SF—勉略缝合带; I—秦岭微板块; II—碧口地体; III—扬子古陆块

①—鱼洞子岩群; ②—碧口岩群; ③—豆坝岩群;

④—横丹岩群; ⑤—雪花太坪群

Fig. 1 Sketch of the study region

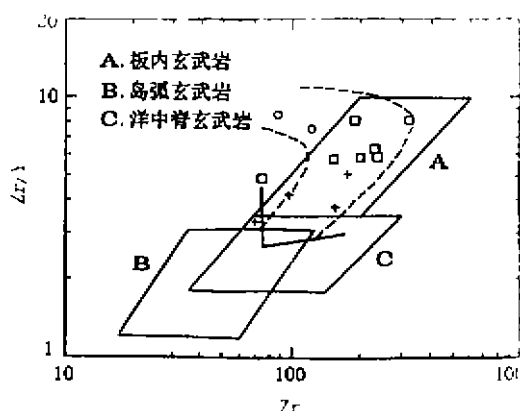


图2 碧口岩群火山岩 Zr-Y 构造环境判别图解

(据 Pearce, 1982)

Fig. 2 Diagnostic diagram of Zr-Y from volcanic rock of the Bikou Group

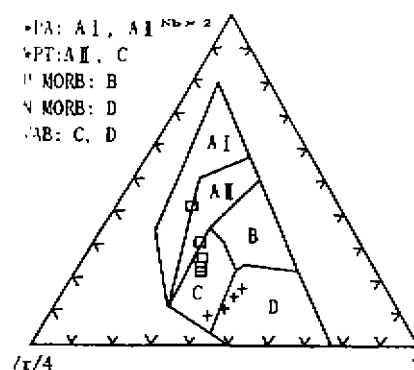


图3 碧口岩群火山岩 Nb-Zr-Y 构造环境判别图解

(据 Muschede, 1982)

Fig. 3 Diagnostic diagram of Nb-Zr-Y from volcanic rock of the Bikou Group

2.2.2 稀土元素地球化学特征

碧口岩群不同岩组的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图4)显示,不同岩组稀土元素呈渐变特征,稀土总量由下而上逐渐降低,配分曲线斜率由陡右倾→平坦→左倾,LREE由富集逐渐变为亏损。红岩沟组火山岩显示明显右倾, ΣREE 为 $85.65 \sim 331.26 \times 10^{-6}$, $(\text{La})_N/(\text{Yb})_N$ 为 $6.0 \sim 55.4$,中、基性岩石配分曲线近似,Eu为负异常到强烈负异常;白水街组火山岩稀土总量较红岩沟组低, ΣREE 为 $28.55 \sim 152.73 \times 10^{-6}$, $(\text{La})_N/(\text{Lu})_N$ 为 $2.19 \sim 6.10$,Eu无异常到弱负异常,配分曲线形式与洋岛玄武岩近似;姚渡组火山岩LREE轻度富集, ΣREE 为 $43.74 \sim 114.34 \times 10^{-6}$, $(\text{La})_N/(\text{Lu})_N$ 为 $1.09 \sim 1.20$,介于N型洋中脊玄武岩与洋岛玄武岩之间,与P型洋中脊玄武岩类似;阳坝组火山岩稀土总量最低, ΣREE 为 $22.69 \sim 96.31 \times 10^{-6}$, $(\text{La})_N/(\text{Lu})_N$ 为 $0.41 \sim 0.99$,曲线平坦稍显左倾,与N型洋中脊玄武岩极为类似。稀土元素配分曲线特征表明,早期火山岩来自轻稀土富集的地幔,随着岩浆不断从地幔中抽取出来,剩余的地幔岩石轻稀土变得越来越亏损,逐渐演化成类似洋中脊玄武岩稀土特征。由此可以推断,碧口岩群火山岩是在大陆裂谷初期有限熔融基础上,伴随伸展作用的不断加剧和地壳减薄,火山岩源岩熔融比例逐渐增加的大陆裂谷→洋盆化过程的产物。

综合火山岩的岩性变化特征、微量元素及稀土元素反映的构造信息,可以认为碧口火山岩形成于伸展体制下大陆裂谷到有限洋盆的构造环境。

3 硅质岩构造古地理环境

硅质岩作为分布广泛的内源沉积岩,可出现在包括深海、浅海陆棚等各种海洋环境之中。然而不同环境的硅质岩在岩石外观、矿物组成、化学成分、结构构造上都比较相似,因而经常遇到如何正确判别硅质岩生成环境的难题。硅质岩作为板块构造结合带岩石组合、蛇绿岩套的重要组成部分,其环境的识别对分析古板块构造格架和板块构造演化史具有重要意义。随着深海

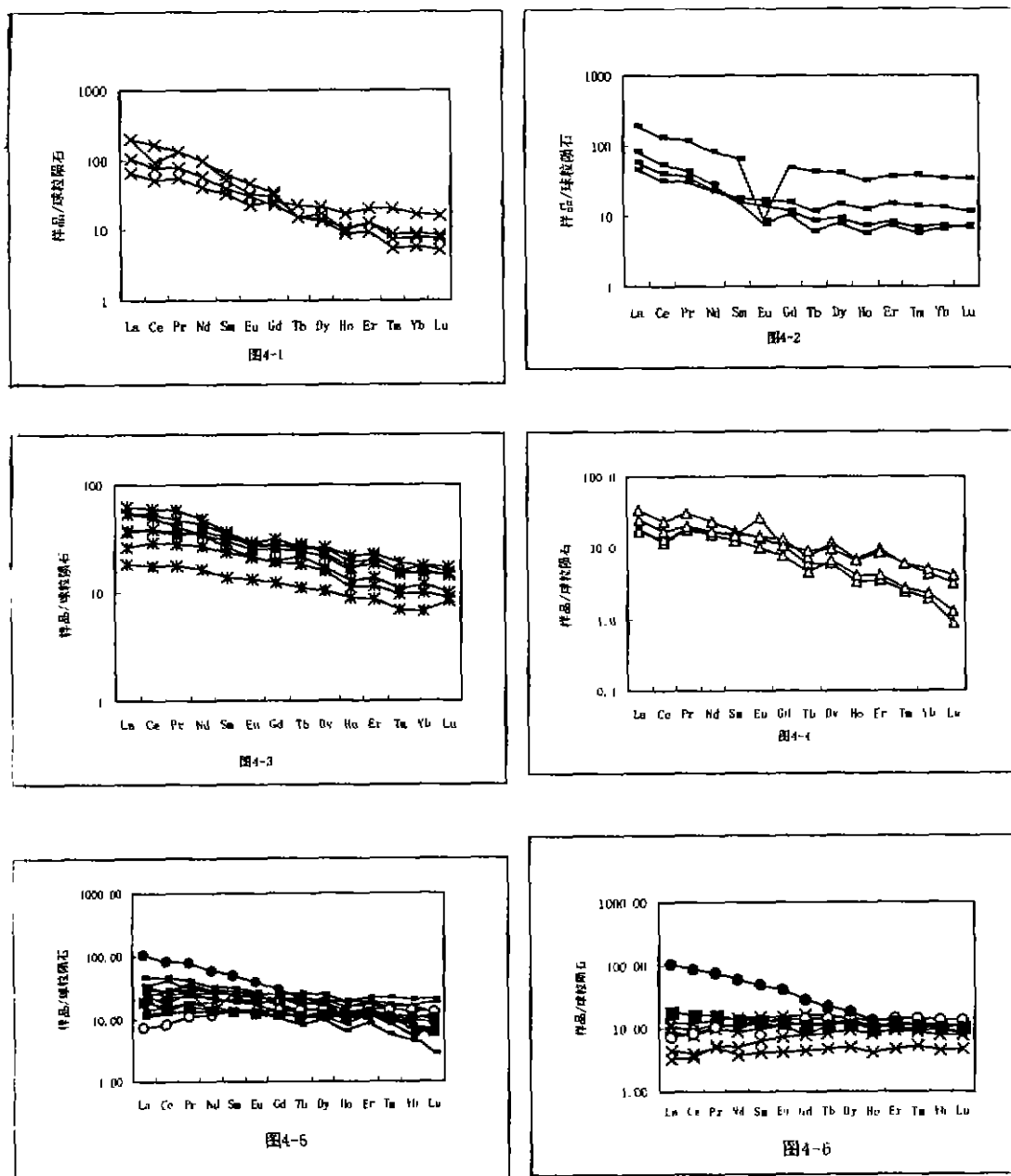


图4 碧口火山岩球粒陨石标准化稀土配分曲线

1-1—红岩沟组基性火山岩; 1-2—红岩沟组中酸性火山岩; 1-3—白水街组基性火山岩; 1-4—白水街组中酸性火山岩;
1-5—姚渡组基性火山岩; 1-6—阳坝组基性火山岩; ●—洋岛火山岩; ■—E-MORB; ▲—N-MORB

Fig. 4 REE distribution pattern of the Bikou volcanic rock normalized by chondrite

钻探计划(DSDP)和大洋钻探计划(ODP)的相继实施,地质学家已对现代大洋不同成因、不同来源、不同环境的硅质岩总结出了一些判别标志[1994, Murray;1984, Karl;1984, Sugisaki;1993, Jafari;1977, Shimizu;1990, Murray;1992, Murray;1987, Yamamoto]。特别是稀土元素的应用为硅质岩形成环境判别提供了一种简便、直观而且定量化的分析指标。稀土元素研究结果表明,Ce异常是沉积环境良好的指示剂,不同环境硅质岩Ce异常表现出规律性变化[1994, Murray;1993, Jafari;1977, Shimizu;1990, Murray;1992, Murray],并且不随时间变化,在岩石不发生部分熔融的变质作用时不改变REE的配分形式[1986, Taylor]。稀土元素的这些特殊性质,为研究造山带硅质岩形成环境提供了一种有力的工具。本文将主要依据碧口岩群不同层位硅质岩稀土特征来厘定其形成的古地理环境。

3.1 硅质岩产出的层位、岩石特征

碧口岩群硅质岩产于火山岩系的顶部层位,现今以大的透镜体存在于碧口岩群中。火山岩多已发生绿片岩相变质作用,并遭受较强烈的变形改造。硅质岩作为强能干层变形微弱,整体性保存较好,内部以脆性变形为主,与其生的黄铁矿纹层尚有保存。主要矿物成分主要为石英与磁铁矿或赤铁矿,仍保存碧玉岩外貌。本次对采自广坪黑窝子、大茅坪白水街组硅质岩、碧口筏子坝姚渡组硅质岩、阳坝铜矿坡、周家坡、苍社铜矿梁阳坝组硅质岩分别作常量、微量、稀土元素分析。 SiO_2 含量在62%~82%之间, Fe_2O_3 含量在5.27%~27%左右, FeO 为2.08%~9.85%,其主要成分为硅铁质。硅质岩稀土含量较低, ΣREE 为 $2.115\sim 10.676\times 10^{-6}$,明显低于下伏火山岩的稀土丰度及总量。其硅质岩稀土元素含量见表1。

表1 硅质岩稀土含量($\times 10^{-6}$)

Table 1 REE content of siliceous rock ($\times 10^{-6}$)

样品	层位	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
Fa-2	姚渡组	5.154	3.252	0.373	0.973	0.219	0.254	0.170	0.031
Pd22-4	白水街组	0.151	0.442	0.087	0.263	0.112	0.023	0.183	0.041
H1	白水街组	1.058	1.682	0.231	0.924	0.306	0.110	0.365	0.069
Yb10-2	阳坝组	0.736	1.319	0.215	0.869	0.311	0.107	0.474	0.092
Yb558-1	阳坝组	0.379	1.000	0.186	0.622	0.182	0.202	0.159	0.036
Zs-1	阳坝组	0.305	1.110	0.117	0.146	0.153	0.064	0.145	0.026
样品	层位	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	总量	
Fa-2	姚渡组	0.111	0.027	0.052	0.008	0.015	0.009	10.676	
Pd22-4	白水街组	0.241	0.058	0.186	0.036	0.242	0.045	2.115	
H1	白水街组	0.459	0.108	0.308	0.053	0.294	0.050	6.013	
Yb10-2	阳坝组	0.516	0.119	0.250	0.039	0.191	0.030	5.30	
Yb558-1	阳坝组	0.121	0.041	0.104	0.026	0.130	0.027	3.211	
Zs-1	阳坝组	0.105	0.025	0.062	0.012	0.051	0.010	2.553	

数据由地矿部武汉岩矿测试中心分析,采样地点:Fa-2 筏子坝,Pd22-4 大茅坪,H1 黑窝子,Yb10-2 周家坡,Yb558-1 铜矿坡,Zs-1 铜矿梁

3.2 硅质岩稀土元素地球化学特征及构造古地理环境

Murray 等(1992)研究了 DSDP 和 ODP 取得的全球范围不同时代、不同颜色、不同环境的硅岩样品的地球化学特征,其中 Ce 异常 Ce/Ce^* ($Ce/Ce^* = (Ce_{样品}/Ce_{北美页岩})$) 不随 SiO_2 矿物相态或岩类而改变。全球范围的结核状硅质岩 Ce/Ce^* 值范围 0.12~1.69,并且明显分成三组 $Ce/Ce^* \leq \sim 0.5$, $\sim 0.5 < Ce/Ce^* \leq \sim 0.80$, $\sim 0.80 < Ce/Ce^* \leq \sim 1.30$,分别对应着太平洋盆地、大西洋盆地、南极洲高纬度区被动大陆边缘三种不同类型盆地的沉积环境。太平洋盆地代表远离大陆有较少陆源物质供应的盆地,具最低的 Ce/Ce^* 值;南极洲周围的被动陆缘有充足的陆源物质供应, Ce/Ce^* 接近于 1;而作为中等大小盆地的大西洋介于上述二者之间,具过渡性质。 Ce/Ce^* 主要反映硅质岩吸收溶于海水的 REE 和由陆源物质提供的 REE 相对特征,是陆源区物质供应程度的函数。Murray 等(1990)对美国西海岸加利福尼亚侏罗-白垩纪燧石所作的 REE 研究表明,覆盖于枕状玄武岩之上洋中脊环境的红色富锰燧石,Ce 具有明显负异常,平均值为 0.30;形成于洋底环境与页岩互层的薄层燧石,Ce 具中等负异常,平均值为 0.55;形成于大洋边缘环境被杂砂岩覆盖的绿色燧石,Ce 负异常不明显甚至为正异常,其值在 0.79~1.54 之间。

碧口岩群不同层位硅质岩稀土元素北美页岩标准化配分曲线(图 5)显示,本区硅质岩 LREE 亏损,除姚渡组硅质岩有明显 Ce 负异常外,其余各组为不明显负异常到正异常。其特征参数见表 2。由 Ce 异常特征可以看出,姚渡组硅质岩 Ce/Ce^* 值近似于洋底环境,白水街组、阳坝组硅质岩 Ce/Ce^* 接近于大陆边缘环境。结合硅质岩产出的层位及 Ce/Ce^* 反映的陆源信息可以看出,南带大茅坪、黑窝子为代表的白水街组硅质岩(Ce/Ce^* 为 0.777~0.792)其物源有较多的陆源成分,推测其源区为南侧的扬子古陆块;位于中间地带以筏子坝为代表的姚渡组硅质岩(Ce/Ce^* 为 0.433)受陆源物质影响较小,预示着其远离陆源供应区,代表着一种相对开阔的洋盆环境;北带铜矿坡、周家坡、铜矿梁为代表的阳坝组硅质岩(Ce/Ce^* 为 0.720~1.251)亦反映有较多的陆源物质混入。考虑到洋盆演化过程的连续性,中间有姚渡组硅质岩为代表的较开阔洋盆相隔,阳坝组硅质岩的陆源物质不可能由南侧的扬子古陆块提供,应有另外的陆源供应区。结合本区区域地质特点,北带北侧尚有太古代-早元古代鱼洞子、佛坪杂岩为代表的变质基底发育,因而推测它们很可能是北带硅质岩陆源物质的供应区。

综上所述,碧口岩群硅质岩形成于以大陆边缘为主局部远洋环境的构造古地理环境中,也同样佐证碧口地体确曾有过类似远洋环境的阶段。

表 2 硅质岩特征参数及环境对比

Table 2 Characteristic parameters of siliceous rock and indication to sedimentary environment

地 点	筏子坝	铜矿坡	周家坡	铜矿梁	黑窝子	大茅坪
层 位	姚渡组	阳坝组	阳坝组	阳坝组	白水街组	白水街组
Ce/Ce^* (NASC)	0.433	0.776	0.720	1.251	0.792	0.777
沉积环境	远 洋	大陆边缘	大陆边缘	大陆边缘	大陆边缘	大陆边缘
共生的火山岩 成岩环境	裂谷-有限洋盆	裂谷-有限洋盆	裂谷-有限洋盆	裂谷-有限洋盆	板内裂谷	板内裂谷

注: NASC 为北美页岩标准化

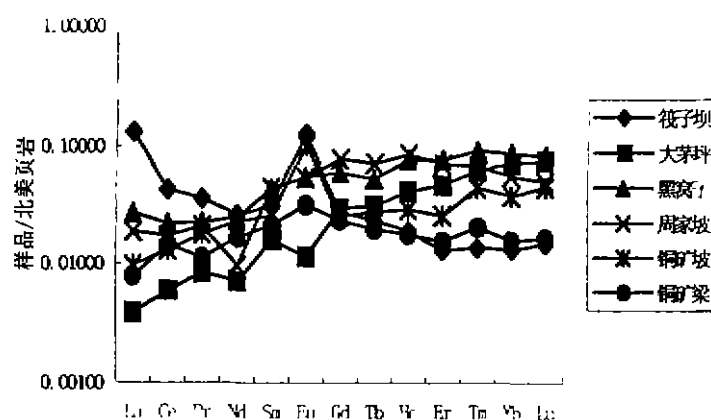


图5 碧口地体硅质岩北美页岩标准化稀土配分曲线

Fig. 5 REE distribution pattern normalized by NASC for siliceous rock in the Bikou terrance

4 结 论

由碧口地体中元古代碧口岩群火山岩及其共生的含铁硅质岩所提供的成岩大地构造环境及构造古地理信息推断,碧口岩群形成于扬子古陆块北缘基础上,伴随着裂谷→洋盆化过程不断发展及陆壳的不断减薄,盆地由初始陆壳为基底逐渐过渡到洋壳性质的基底,盆地由陆壳基础上的非成熟盆地逐渐向洋壳基础上的成熟盆地发展。碧口地体中元古代曾发育过一以扬子古陆块和鱼洞子微陆块为大陆边缘的有限洋盆。

参 考 文 献

- 1977 Shimizu H, Masuda A. Cerium in chert as indication of marine environment of its formation. *Nature*, 226: 316~318
- 1981 Karl S M. Sedimentologic, diagenetic, and geochemical analysis of upper Mesozoic ribbon cherts from the Franciscan assemblage at the Marin Headlands, California. In: M. C. Blake, Jr (Editor), *Franciscan geology of Northern California*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Pac. Sect., 43: 71~88
- 1984 Sugisaki R. Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific Ocean-floor sediments deposited since the Middle Cretaceous: basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments. *J. Geol.*, 92: 237~259
- 1986 Taylor S R, Rudnick R L, Mellenan S M *et al.* Rare earth elements patterns in Archean high-grade metasediments and their tectonic significance. *Geochim Cosmochim Acta*, 50: 2267~2273
- 1987 Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Slumante Terrances. *Sediment. Geol.*, 52: 65~108
- 1990 Murray R W, ten Brink M R B, Jones D L *et al.* Rare earth elements as indicators of different marine depositional environment in chert and shale. *Geology*, 18(3): 265~271
- 1992 Murray R W, ten Brink M R B, Gerlach D C *et al.* Inter-oceanic variation in rare earth, major and trace element depositional chemistry of chert: perspective gained from the ODP and ODP record. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,

- 56; 1997~1913
- 1993 Jafri S H, Balaram V, Govil P K. Depositional environment of Cretaceous radiolarian an cherts from Andaman-Nicobar Island, northeastern Indian Ocean. *Marine geology*, 112; 291~301
- 1993 严克明, 耿树方. 秦巴及邻区构造研究的新进展和新认识. *中国区域地质*, (1); 289~301
- 1993 陶洪祚, 何叔亚, 王全庆等. 扬子板块北缘构造史. 西安: 西北大学出版社, 1~40
- 1994 Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert; general principles and applications. *Sedimentary Geology*, 90; 213~232
- 1994 秦克令, 金浩甲, 赵东宏. 鲁中古岛弧带构造演化与成矿. *河南地质*, 12(4); 241~254
- 1995 张国伟, 孟庆任, 赖少聪. 秦岭造山带的结构构造. *中国科学(B辑)*, 25(9); 994~1003
- 1996 张国伟, 孟庆任, 于在平等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. *中国科学(D辑)*, 26(3); 193~200
- 1996 夏林析, 夏祖春, 徐学义. 南秦岭中-晚元古代火山岩性质与前寒武纪大陆裂解. *中国科学(D辑)*, 26(3); 237~243

TECTONIC ATTRIBUTE OF THE MID- PROTEROZOIC BIKOU TERRANE

DING Zhenju¹⁽²⁾ YAO Shuzhen²⁾ ZHOU Zonggui²⁾ and FANG Jinyun²⁾

1) (*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002*)

2) (*China University of Geosciences, Wuhan 430074*)

ABSTRACT

The tectonic setting and attribute of the Bikou Terrane related to the Proterozoic Bikou Group have been disputed. Structure information from volcanic rock and siliceous rock in the Bikou Group is synthesized in this paper. We make conclusion that a rift-limited ocean basin had been developed on the basis of the Yangtze continental margin in the mid-Proterozoic accompanying the extension. In the Bikou terrane existed a limited ocean basin between the Yangtze paleo-continent plate and the Yudongzi micro-continent.

KEY WORDS tectonic setting, tectonic attribute, mid-Proterozoic, Bikou Terrane