

# 青海南部二叠纪火山岩 Sr、Nd、Pb 同位素特征及地质意义

马丽艳, 牛志军, 白云山, 段其发, 王建雄

宜昌地质矿产研究所, 湖北宜昌 443003

**摘要:** 对青海南部治多—杂多一带二叠纪火山岩进行了全岩 Sr、Nd、Pb 同位素分析, 样品的  $I_{Sr} = 0.70333 \sim 0.70417$ ,  $\epsilon_{Nd}(t) = 4.1 \sim 5.5$ ,  $^{206}Pb/^{204}Pb = 17.547 \sim 17.986$ ,  $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.476 \sim 15.584$ ,  $^{208}Pb/^{204}Pb = 37.778 \sim 37.976$ 。结合岩石学、地球化学研究表明, 该套火山岩为 OIB 型, 形成于板内伸展拉张的裂谷环境, 属于青藏高原及邻区晚古生代裂谷系统, 原始岩浆可能来自亏损的古软流圈, 裂解机制与古地幔柱活动有关。样品铅同位素的  $V_1 = 31.39 \sim 46.78$ ,  $V_2 = 22.38 \sim 42.45$ , 落入扬子铅同位素省区域, 表明早二叠世青海南部地区具亲扬子性, 揭示出昌都地块在晚古生代属于特提斯区, 为泛华夏陆块群或扬子板块的一个组成部分。

**关键词:** 二叠纪; 火山岩; Sr、Nd、Pb 同位素; 青海。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2007)01-0022-07

收稿日期: 2006-03-11

## Sr, Nd and Pb Isotopic Geochemistry of Permian Volcanic Rocks from Southern Qinghai and Their Geological Significance

MA Li-yan, NIU Zhi-jun, BAI Yun-shan, DUAN Qi-fa, WANG Jian-xiong

*Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China*

**Abstract:** Isotopic ratios of Sr, Nd and Pb were analyzed for the Permian volcanic rocks in the Zhiduo and Zaduo areas of southern Qinghai which is located at the Qamdo block. The analytical results of the sample rocks are as follows:  $I_{Sr} = 0.70333 \sim 0.70417$ ,  $\epsilon_{Nd}(t) = 4.1 \sim 5.5$ ,  $^{206}Pb/^{204}Pb = 17.547 \sim 17.986$ ,  $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.476 \sim 15.584$ ,  $^{208}Pb/^{204}Pb = 37.778 \sim 37.976$ . Combined with lithological and geochemical research findings, the above results indicate that the volcanic rock is of OIB type and came into formation in the stretching rift tectonic environment. It falls into the Late Palaeozoic rift system of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent areas. The primitive magma might have originated from the depleted asthenosphere and the continental breakup is related to the activity of mantle plume. With the  $V_1$  and  $V_2$  of the lead isotopic ratios ranging from 31.39 to 46.78, 22.38 to 42.45 respectively, the lead isotope of the rock samples can be labeled the Yangtze lead isotopes, which indicates that the Qamdo block belonged to Tethyan realm during Late Palaeozoic and was a part of the Pan-Cathaysian continental group or Yangtze Plate.

**Key words:** Permian; volcanic rock; Sr, Nd and Pb isotopes; Qinghai.

青海省南部及藏北地区在大地构造上属东特提斯构造域, 处于金沙江结合带与龙木错—澜沧江结合带之间的昌都地块中部(任纪舜等, 1999), 早二叠世火山活动十分强烈, 火山岩分布广、厚度大、相变快, 在火山活动间歇期沉积含鲕类的碳酸盐岩。由于

高寒缺氧、交通不便等自然因素的制约, 与昌都地块西部龙木错、茶布—查桑一带及东部毗邻的三江昌宁—孟连地区相比(李才等, 1995; 潘桂棠等, 1997; 尹集祥等, 1998; 莫宣学等, 2001; 沈上越等, 2001; 赵政璋等, 2001; 王成善等, 2001; 魏启荣等, 2003a, 2003b),

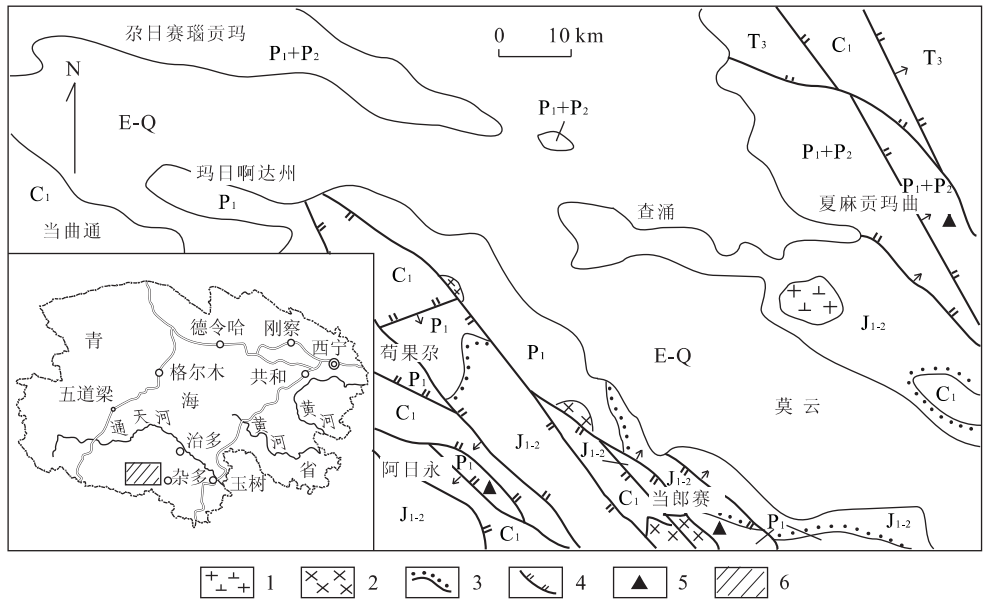


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map in studying area

1. 花岗闪长岩; 2. 辉绿岩; 3. 角度不整合; 4. 断层; 5. 采样点; 6. 研究区; E-Q. 古近系—第四系; C<sub>1</sub>. 下石炭统; P<sub>1</sub>. 下二叠统; P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>. 下、中二叠统(合并); T<sub>3</sub>. 上三叠统; J<sub>1-2</sub>. 下—中侏罗统

青海南部的火山岩研究显得较为薄弱,而记述火山岩相对较多的区域地质调查报告中,主要以岩石学、岩石地球化学、地质时代、大地构造背景等研究为主,对于同位素地球化学的研究尚未见报道。

2003—2004 年宜昌地质矿产研究所在青海南部地区开展 1 : 25 万直根尔卡幅(东经 93°00′ ~ 94°30′, 北纬 33°00′ ~ 34°00′) 区域地质调查时(图 1),对二叠纪火山岩测制了 6 条剖面。本文通过对火山岩锶、钕、铅同位素地球化学特征的系统研究,结合岩石地球化学、生物古地理学等特征,来探讨昌都地块二叠纪火山岩的物质来源及其构造背景。

## 1 地质概况

青海南部二叠纪火山岩主要产于早二叠世诺日巴杂日保组、杂笛考组,尤以杂笛考组最为发育,厚度最大可达 2 431. 94 m。岩性组合为灰—灰绿色厚层状、块状中基性火山岩、火山碎屑岩夹浅灰色中厚层状生物灰岩、砂岩、泥岩等。火山岩岩石类型复杂,主要有火山集块岩、火山角砾岩、玄武岩、橄榄玄武岩、粗玄岩、杏仁状玄武安山岩、岩屑晶屑凝灰岩等。玄武岩在研究区中分布最广,呈深灰绿色;斑状结构,基质为间粒间隐结构。斑晶主要为由假象辉石、假象橄榄石、斜长石、普通辉石等,基质则由中拉长

石、斜长石、绿泥石、普通辉石、方解石和金属矿物组成,基质间隙中充填绿泥石、钛铁矿(白铁矿)、磁铁矿和方解石,以及脱玻化产物。气孔状、杏仁状构造发育。本次所做样品均是此类玄武岩。

在火山活动间歇期沉积的灰岩中生物化石丰富,计有瓣类 *Misellina* cf. *sphaerica* Chang, *M. sp.*, *Parafusulina* cf. *splendens* Dunbar et Skinner, *Pseudofusulina vulgaris* Schellwien, *P. krafftii magna* Toriyama, *Schwagerina cushmani* Chen, *S. cushmani longa* Zhou, *Schubertella rara* Sheng, *Wutuella wutuensis* (Kuo) 等及非瓣有孔虫、珊瑚、菊石、双壳类等,瓣类动物群产出层位与贵州南部(肖伟民等, 1986)、西秦岭等地(曾学鲁等, 1996)的 *Misellina* 带大体相当,地质时代为早二叠世栖霞期。

## 2 同位素测试结果

### 2.1 实验流程

全岩样品的 Sr、Nd、Pb 同位素组成测定在宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室测定。全部化学分离流程(中华人民共和国地质矿产部, 1997)均在超净化实验室中进行,全流程本底 Sr

表 1 青海南部二叠纪火山岩 Sr、Nd 同位素成分分析结果

Table 1 Analytic results of Sr and Nd isotope components from Permian volcanic rocks in southern Qinghai

样号	x-3t	x-8t	x-14t	x-18t	x-25t	x-32t	MYD-4/3	MYD-4	MYD-4/1	MYD-4/2
Rb( $10^{-6}$ )	3.245	8.597	15.73	20.55	23.83	46.04	1.934	2.85	18.84	1.727
Sr( $10^{-6}$ )	360.9	828.1	661.2	663.4	832.4	704.7	849.1	829.7	195.6	888.4
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.025 92	0.029 92	0.069 6	0.089 27	0.082 51	0.188 3	0.006 562	0.009 899	0.277 6	0.005 603
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.703 55	0.703 54	0.703 76	0.703 67	0.703 99	0.704 59	0.703 55	0.703 77	0.705 24	0.703 56
$\pm 2\sigma^*$	9	4	8	3	5	2	2	8	7	5
$I_{\text{Sr}}$	0.703 45	0.703 42	0.703 49	0.703 33	0.703 67	0.703 86	0.703 52	0.703 73	0.704 17	0.703 54
$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$	-10.4	-10.7	-9.8	-12.1	-7.2	-4.5	-9.3	-6.4	-0.2	-9.1
Sm( $10^{-6}$ )	7.017	3.267	6.23	5.089	7.139	6.347	12.24	10.99	12.5	
Nd( $10^{-6}$ )	33.06	13.74	31.27	25.87	36.83	32.04	62.28	57.19	64.25	
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.128 4	0.143 9	0.120 6	0.119 0	0.117 3	0.119 8	0.118 9	0.116 3	0.117 7	
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512 797	0.512 815	0.512 722	0.512 722	0.512 700	0.512 713	0.512 713	0.512 712	0.512 711	
$\pm 2\sigma^*$	7	8	5	6	7	6	10	9	10	
$I_{\text{Nd}}$	0.512 569	0.512 560	0.512 508	0.512 511	0.512 492	0.512 500	0.512 502	0.512 506	0.512 502	
$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	5.5	5.3	4.3	4.3	4.0	4.1	4.2	4.2	4.2	

\* 所示误差为小数点的末末位数。

表 2 青海南部二叠纪火山岩 Pb 同位素分析结果

Table 2 Analytic results of Pb isotope components from Permian volcanic rocks in southern Qinghai

样号	样品	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$	$V_1$	$V_2$
MYD-4	玄武岩	17.766 $\pm$ 0.001	15.476 $\pm$ 0.002	37.875 $\pm$ 0.004	43.82	10.42	22.40	39.42	31.25
MYD-4/2	玄武岩	17.547 $\pm$ 0.002	15.515 $\pm$ 0.002	37.778 $\pm$ 0.006	30.96	12.97	19.78	31.39	22.38
MYA-1	玄武岩	17.986 $\pm$ 0.008	15.524 $\pm$ 0.006	37.944 $\pm$ 0.011	56.75	13.56	24.26	46.78	42.45
MYA-1/1	玄武岩	17.876 $\pm$ 0.012	15.584 $\pm$ 0.011	37.976 $\pm$ 0.032	50.29	17.47	25.12	44.71	38.01

注:参数的意义及测算据朱炳泉等(1998)和朱炳泉(2001)。

为  $1 \times 10^{-9}$  g, Nd 为  $2.13 \times 10^{-10}$  g, Pb 为  $2 \times 10^{-9}$  g. 质谱分析在 MAT261 多接收质谱计上完成,用  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.375 2$  和  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.721 9$  对 Sr 和 Nd 作质量分馏校正,计算机自动处理数据,采用国际标准样 NBS987(Sr)、NBS981(Pb)和本实验室标准 ZkbzNd(Nd)控制仪器工作状态,国家一级标准物质 GBW04411(Rb-Sr)和 GBW04419(Sm-Nd)监控分析流程. 本批样品实际测定标准样品的结果如下: (1) GBW04411: Rb =  $249.35 \times 10^{-6}$  g, Sr =  $157.95 \times 10^{-6}$  g,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.759 8 \pm 0.001 8$ ; (2) GBW04419: Sm =  $3.018 \times 10^{-6}$  g, Nd =  $10.08 \times 10^{-6}$  g,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512 719 \pm 0.000 008$ ; (3) NBS987:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710 32 \pm 0.000 15$ ; (4) NBS981:  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.914 2 \pm 0.000 5$ ; (5) ZkbzNd:  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511 564 \pm 0.000 010$ , 精度  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  好于  $1\%$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  好于  $0.5\%$ , Pb 好于  $0.033\%$ , 衰变常数采用  $\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ ,  $\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$ ,  $\lambda(^{238}\text{U}) = 1.551 25 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ,  $\lambda(^{235}\text{U}) = 9.848 5 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ,  $\lambda(^{232}\text{Th}) = 4.947 5 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ .

## 2.2 测试结果

本批样品实际测定标准样品的结果在误差范围内与标准值(中华人民共和国地质矿产部,1997)一致,所有测试结果均用 GeoKit 软件(路远发,2004)进行了处理. 在杂笛考组灰岩夹层中产早二叠世栖霞期 *Misellina* 筴类动物群,同时我们在火山岩中获得单颗粒锆石年龄为  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = (283 \pm 12)\text{Ma}^{\text{①}}$ ,与  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = 293 \text{ Ma}$  的年龄基本一致,属于和谐年龄. 取上限 271 Ma 作为火山岩形成年龄,可与筴类化石很好地吻合. 对放射成因锶、钨进行扣除和测算铅同位素各项参数,得到锶和钨的同位素初始比值,分别用  $I_{\text{Sr}}$  和  $I_{\text{Nd}}$  表示. 钨同位素测定结果以  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  表示(表 1). Pb 同位素测定结果及据此测算的各种参数见表 2. 从表 1 可以看出:所有样品  $I_{\text{Sr}}$  变化在  $0.703 33 \sim 0.704 17$  范围内,  $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$  变化在  $-12.1 \sim -0.2$  范围内,样品的  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  比是  $0.116 3 \sim 0.143 9$ , 平均值为  $0.110 2$ ,  $I_{\text{Nd}}$  变化在  $0.512 492 \sim 0.512 569$  之间,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  变化在  $4.0 \sim 5.5$

①样品号:MYD4,由宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室测定,测试者:吕红.

之间,平均值为 4.5,总体来说变化很小.从表 2 可以看出: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  分别变化在 17.547~17.986、15.476~15.584、37.778~37.976 范围内,总体来说变化非常小. $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$ 、 $V_1$ 、 $V_2$  分别变化在 30.96~56.75、10.42~17.47、19.78~25.12、31.39~46.78、22.38~42.45 范围内, $V_1$  与  $V_2$  之间呈正相关关系.

### 3 讨论

#### 3.1 火山岩物质来源

火成岩的 Sr、Nd 同位素初始比可以反映它们的源区特征.大量已发表的数据表明:现代大洋玄武岩即现代上地幔的  $I_{\text{Sr}}$  值变化在 0.702~0.706 之间,其中 Rb 亏损强度最大的上地幔区域为 0.702,大洋岛屿下上地幔为 0.704,而根据大陆年轻玄武岩确定的大陆上地幔  $I_{\text{Sr}}$  比值较高,为 0.706(李志昌等,2004).本次所测 10 个玄武岩的  $I_{\text{Sr}}$  值明显介于 Rb 亏损强度最大的上地幔与大洋岛屿下上地幔之间.在  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - I_{\text{Sr}}$  图解(夏林圻等,2004)(图 2)中,样品落入第二象限的地幔线附近,显示明显的亏损地幔源区特征.朱炳泉等(1998)研究认为现代亏损地幔派生的铅的  $\Delta\alpha < 65$ ,  $\Delta\beta < 15$ ,  $\Delta\gamma < 30$ ,而本次所测 4 个样品铅的  $\Delta\alpha = 30.96 \sim 56.75$ ,  $\Delta\beta = 10.42 \sim 17.47$ ,  $\Delta\gamma = 19.78 \sim 25.12$ ,除 1 个样品的  $\Delta\beta$  值高于 15 外,其他数据均在这个范围内,铅同位素特征也表明形成火成岩的岩浆为亏损地幔型.

样品的 Sr、Nd 同位素组成均落在 OIB 型范围内,这暗示其岩浆源区与地幔柱有关(Wilson and

Downes, 1991; 魏启荣等,2003a; 张招崇和王福生,2003).在特提斯及相邻地区,与地幔柱作用相关的典型实例以天山石炭纪及峨眉山二叠纪的玄武岩研究最为详细.

大多数天山中段和东段石炭纪火山岩为 OIB 型,具有较低的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$  比值(0.7035~0.7053)、较高的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值(3.1~6.3)和特征的大洋 Pb 同位素比值  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(t) = 17.6 \sim 18.1$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(t) = 15.4 \sim 15.6$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.1 \sim 38.1$ .夏林圻等(2004)研究认为,这些数值特征是国际地学界当作地幔柱或软流圈组分的标志性特征(Saunders *et al.*, 1992).笔者此次所做样品的这些参数值(表 2)均在这个范围之内.可见青海南部二叠纪火山岩的原始岩浆与大多数天山中段和东段石炭纪火山岩一样,极有可能来自于亏损的古软流圈地幔柱.

近年来,研究峨眉山玄武岩与地幔柱作用之间的关系成为热点.张招崇和王福生(2003)研究表明,峨眉山玄武岩的  $I_{\text{Sr}}$  为 0.70437~0.70757,  $I_{\text{Nd}}$  为 0.51231~0.51253,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 -4.0~+4.4,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 17.898~18.499,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.522~15.584,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.101~38.460,并认为峨眉山玄武岩的源区是由地幔柱交代的富集型岩石圈地幔以及地壳组分混合而成.笔者此次所测的青海南部二叠纪火山岩的 Sr、Nd、Pb 同位素数据与峨眉山玄武岩的同位素数据并不完全一致,相对变化范围较小,反映了火山岩的源区较为单一. Sr、Nd、Pb 多元同位素组成图上样品仅落入 OIB 范围内,与峨眉山玄武岩落入 OIB 和 MORB 两个区域有所不同.然而由于二者在地质时代上相近,同属于特提斯区(参见下文),它们之间是否存在联系值得关注.

该套火山岩的岩石类型属碱性玄武岩系列.岩石地球化学表现为高  $\text{FeO}^*$ 、强烈富集  $\text{TiO}_2$ 、较高  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  值、低  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{Mg}''$  值,高  $\Sigma\text{REE}$ ,配分型式为 LREE 富集型,在 2Nb-Zr/4-Y、Ti-Zr-Y 图解上,样品均落入板内玄武岩区(另文发表).这些特征均表明形成于板内伸展拉张的构造环境,这是由于深部地幔物质上涌,从而导致裂谷型火山的喷发.青海南部二叠纪裂谷呈带状展布,构成青藏高原及邻区晚古生代裂谷系统(尹集祥,1997;王成善等,2001)的一个组成部分,这种具全球意义的裂解显然与古地幔柱的上涌活动相关,但需

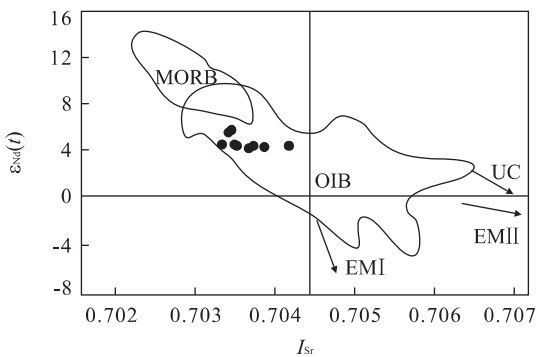


图 2  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - I_{\text{Sr}}$  同位素相关图(夏林圻等,2004)

Fig. 2  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - I_{\text{Sr}}$  isotope correlation diagram

MORB. 洋中脊玄武岩; OIB. 洋岛玄武岩; UC. 上地壳; EM I. I 型富集地幔; EM II. II 型富集地幔

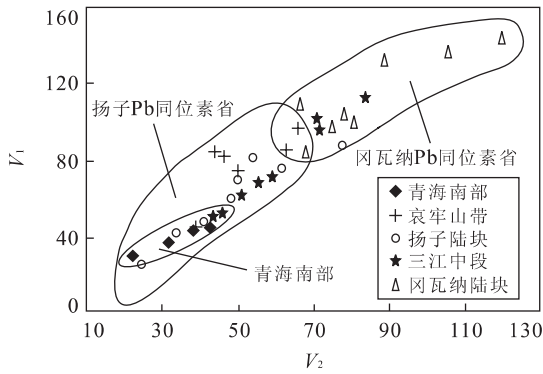


图 3  $V_1-V_2$  相关图(沈上越等, 2001)

Fig. 3  $V_1-V_2$  correlogram

要更多的同位素地球化学数据的支持。

### 3.2 昌都地块构造归属

研究区位于昌都地块南缘,关于晚古生代昌都地块的构造归属,目前尚存在较多不同的认识。部分学者认为昌都地块属于冈瓦纳大陆北缘(Sengor, 1984;王乃文,1984;赵政璋等,2001)或受冈瓦纳影响弱的中间过渡陆块(尹集祥,1997),或者属于特提斯区欧亚大陆(黄汲清等,1987;李才等,1995;王成善等,2001)或华夏陆块群(潘桂棠等,1997)等。上述众多学者多是从生物古地理学、岩石学、大地构造学等方面论述,然而关于铅同位素地球化学的研究与对比在青海南部尚未见报道。

铅同位素的块体效应明显,同一块体内部具有相似的铅同位素组成特征,不同构造块体具有各自独特的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化范围,而与岩石成因及类型无关,据此可对大陆岩石圈的构造块体进行划分(张宏飞等,1996;朱炳泉,1998)。沈上越等(2001)在研究三江中段特提斯古陆与冈瓦纳古陆同位素地球化学边界时,认为以 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.5$ , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.65$ , $V_1=75$ , $V_2=65$ 为分界线,低于该铅同位素分界线的属扬子铅同位素省,相反则属冈瓦纳铅同位素省。魏启荣等(2003b)在研究三江中段两古陆铅同位素地球化学边界时也有相近的结论。研究区的二叠纪玄武岩的 4 个样品铅同位素的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (17.547~17.986)、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (37.778~37.976)、 $V_1$ (31.39~46.78)和 $V_2$ (22.38~42.45)数据均小于界线值,在 $V_1-V_2$ 图解(图 3)上,样品点均落在扬子铅同位素省区域内,表明早二叠世青海南部地区与扬子地块有亲缘关系。

同时,结合玄武岩岩石化学特征来看,在杂多县当郎赛一带所采的 30 个样品中, $\text{TiO}_2$ 含量为

1.99%~6.13%,平均 4.3%,仅 3 个样品小于 2.5%,其余均大于 3%,属高 Ti 玄武岩。莫宣学等(2001)在研究西南三江地区火山岩—构造组合时指出,很高的  $\text{TiO}_2$  含量是扬子板块和亲扬子的微陆块中板内玄武岩的一个明显的主元素标志。另外,在青海南部的沱沱河(刘广才和田琪,1993)、玉树(张遴信,1991)、各拉丹冬(牛志军等,2004)及研究区的古生物学研究表明,自早石炭世至晚二叠世瓣类生物群均表现为暖水型,与华南地区可很好地对比,表明生物古地理区属特提斯大区华夏特提斯区(尹集祥等,1998;Metcalf, 2002)。

综上所述,从铅同位素地球化学特征,结合岩石化学、生物古地理学来看,青海南部所在的昌都地块在晚古生代应属于特提斯区,为泛华夏陆块群(潘桂棠等,1997)或扬子板块(殷鸿福等,1999)的一个组成部分。

致谢:本文是在青藏高原野外区域地质调查的材料基础上完成的,特此向参加野外工作的宜昌地质矿产研究所区调队全体同仁和后勤人员表示感谢。在成文过程中得到了李华芹研究员、李志昌研究员和路远发研究员的悉心指导和审阅,在此表示衷心谢意。

### References

- Faure, G., 1986. Principles of isotope geology (2nd ed.). John Wiley and Sons Press, New York, 160—230.
- Huang, J. Q., Chen, B. W., 1987. The evolution of the Tethys in China and adjacent regions. Geological Publishing House, Beijing, 1—109 (in Chinese).
- Li, C., Cheng, L. R., Hu, K., et al., 1995. Study on the paleotethys suture zone of Longmu Cuo-Shuanghu, Tibet. Geological Publishing House, Beijing, 1—131 (in Chinese).
- Li, Z. C., Lu, Y. F., Huang, G. C., 2004. Methodology and progress in radioactivity isotope geology. China University of Geosciences Press, Wuhan, 17—145 (in Chinese).
- Liu, G. C., Tian, Q., 1993. New data of Permian strata in the central sector of the Tanggula Mountains, Qinghai. *Regional Geology of China*, (2): 113—120 (in Chinese with English abstract).
- Lu, Y. F., 2004. GeoKit—A Geochemical toolkit for microsoft Excel. *Geochimica*, 33(5): 459—464 (in Chinese with English abstract).
- Metcalf, I., 2002. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, (20): 551—566.

- Ministry of Geology and Mineral Resources of the People's Republic of China, 1997. The standards of the geology and mineral resources of the People's Republic of China—The isotope analysis methods of geological samples DZ/T0184. 1—0184. 22—1997. China Standards Press, Beijing, 16—55 (in Chinese).
- Mo, X. X., Deng, J. F., Dong, F. L., et al., 2001. Volcanic petroectonic assemblages in Sanjiang orogenic belt, SW China and implication for tectonics. *Geological Journal of China Universities*, 7(2): 121—138 (in Chinese with English abstract).
- Niu, Z. J., Yao, H. Z., Zeng, B. F., et al., 2004. Late Permian Fusulinid assemblages from Geladandong in the source region of Yangtze River, Qinghai. *Journal of Stratigraphy*, 28(3): 270—275 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., et al., 1997. Geological-tectonic evolution in the eastern Tethys. Geological Publishing House, Beijing, 1—218 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. S., Wang, Z. X., Chen, B. W., et al., 1999. From global to look over the Chinese geotectonic—An outline of the geotectonic map of China and neighbors. Geological Publishing House, Beijing, 1—50 (in Chinese).
- Saunders, A. D., Storey, M., Kent, R. W., et al., 1992. Consequences of plume-lithosphere interaction. In: Storey, D. C., ed., *Magmatism and causes of continental breakup*. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, London, 68: 41—60.
- Sengor, A. M. C., 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasian. *Geo. Soc. America, Spec. Paper*, 195: 1—82.
- Shen, S. Y., Wei, Q. R., Mo, X. X., 2001. A preliminary study of the geochemical provinces in the central part of Sanjiang region. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(2): 171—179 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. S., Yi, H. S., Li, Y., et al., 2001. The geological evolution and prospective oil and gas assessment of the Qiangtang basin in northern Tibetan Plateau. Geological Publishing House, Beijing, 18—59 (in Chinese).
- Wang, N. W., 1984. Qingzang-India palaeocontinent and its welding to Cathaysia. In: Li, G. C., Mercier, J. L., eds., *Sino-French cooperative investigation in Himalayas*. Geological Publishing House, Beijing, 39—62 (in Chinese).
- Wei, Q. R., Shen, S. Y., Mo, X. X., et al., 2003a. Characteristics of Nd-Sr-Pb isotope systematic of the source in paleo-Tethyan volcanic rocks in the Sanjiang area. *J. Mineral. Petrol.*, 23(1): 55—60 (in Chinese with English abstract).
- Wei, Q. R., Shen, S. Y., Mo, X. X., et al., 2003b. Determination of Pb isotopic geochemical boundary between Yangtze and Gondwana continental blocks in the middle part of Sanjiang region, southwestern China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(2): 143—149 (in Chinese with English abstract).
- Wilson, M., Downes, H., 1991. Tertiary-Quaternary extension-related alkaline magmatism in western and central Europe. *Journal Petrol.*, 32: 811—849.
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Xu, X. Y., et al., 2004. Carboniferous Tianshan igneous megaprovinces and mantle plume. *Geological Bulletin of China*, 23(9—10): 903—910 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, W. M., Wang, H. D., Zhang, L. X., et al., 1986. Early Permian stratigraphy and faunas in southern Guizhou. The People's Publishing House of Guizhou, Guiyang, 1—364 (in Chinese).
- Yin, H. F., Wu, S. B., Du, Y. S., et al., 1999. South China defined as part of Tethay archipelagic ocean system. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(1): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Yin, J. X., 1997. Stratigraphic geology of Gondwana facies of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and adjacent areas. Geological Publishing House, Beijing, 1—206 (in Chinese).
- Yin, J. X., Deng, W. M., Wen, S. X., et al., 1998. Pre-Jurassic structural evolution of the transitional continental blocks in Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its adjacent area. In: Pan, Y. S., Kong, X. R., eds., *Lithosphere structures, evolution and dynamics of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau*. Guangdong Sciences & Technology Press, Guangzhou, 217—332 (in Chinese).
- Zeng, X. L., Zhu, W. Y., He, X. Y., et al., 1996. Permo-Carboniferous biostratigraphy and sedimentary environment of West Qinling. Geological Publishing House, Beijing, 1—334 (in Chinese).
- Zhang, H. F., Ouyang, J. P., Ling, W. L., et al., 1996. Tectonic division of Douling massif of East Qingling by Pb isotopic compositional characteristics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(5): 487—490 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. X., 1991. Carboniferous and Lower Permian fusulinids from Yushu area, Qinghai. In: Qinghai Institute of Geological Sciences & Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, eds., *Devonian-Triassic stratigraphy and palaeontology from Yushu region of Qinghai, China*. Nanjing University Press, Nanjing, 21—30 (in Chinese).
- Zhang, Z. C., Wang, F. S., 2003. Sr, Nd and Pb isotopic char-



acteristics of Emeishan basalt province and discussion on their source region. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(4): 431–439 (in Chinese with English abstract).

Zhao, Z. Z., Li, Y. T., Ye, H. F., et al., 2001. The tectonic characteristics of the Qinghai-Tibet Plateau and basin evolution. Science Press, Beijing, 102–106 (in Chinese).

Zhu, B. Q., 2001. Geochemical provinces and geochemical steep zones. Science Press, Beijing, 24–34 (in Chinese).

Zhu, B. Q., Li, X. H., Dai, T. M., et al., 1998. Theory and application of the isotopic systematics in the earth sciences. Science Press, Beijing, 125–235 (in Chinese).

### 附中文参考文献

黄汲清, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化. 北京: 地质出版社, 1–109.

李才, 程立人, 胡克, 等, 1995. 西藏龙木错—双湖古特提斯缝合带研究. 北京: 地质出版社, 1–131.

李志昌, 路远发, 黄圭成, 2004. 放射性同位素地质学方法与进展. 武汉: 中国地质大学出版社, 17–145.

刘广才, 田琪, 1993. 青海唐古拉山中段地区二叠纪地层新资料. 中国区域地质, (2): 113–120.

路远发, 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包. 地球化学, 33(5): 459–464.

中华人民共和国地质矿产部, 1997. 中华人民共和国地质矿产行业标准——同位素地质样品分析方法 DZ/T0184. 1~0184. 22–1997. 北京: 中国标准出版社, 16–55.

莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等, 2001. 西南三江造山带火山岩—构造组合及其意义. 高校地质学报, 7(2): 121–138.

牛志军, 姚华舟, 曾波夫, 等, 2004. 长江源各拉丹冬地区晚二叠世—早三叠世乌丽群筳类生物组合. 地层学杂志, 28(3): 270–275.

潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1–218.

任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等, 1999. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明. 北京: 地质出版社, 1–50.

沈上越, 魏启荣, 莫宣学, 2001. 三江中段地球化学省初探. 岩石矿物学杂志, 20(2): 171–179.

王成善, 伊海生, 李勇, 等, 2001. 西藏羌塘盆地地质演化与油

气远景评价. 北京: 地质出版社, 18–59.

王乃文, 1984. 青藏印度古陆与华夏古陆的并合. 见: 李光岑, J. L. 麦尔西叶, 中法喜马拉雅考察成果. 北京: 地质出版社, 39–62.

魏启荣, 沈上越, 莫宣学, 等, 2003a. 三江地区古特提斯火山岩源区物质的 Nd-Sr-Pb 同位素体系特征. 矿物岩石, 23(1): 55–60.

魏启荣, 沈上越, 莫宣学, 等, 2003b. 三江中段两古陆同位素地球化学边界的厘定. 岩石矿物学杂志, 22(2): 143–149.

夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等, 2004. 天山石炭纪大火成岩省地幔柱. 地质通报, 23(9–10), 903–910.

肖伟民, 王洪第, 张遴信, 等, 1986. 贵州南部早二叠世地层及其生物群. 贵阳: 贵州人民出版社, 1–364.

殷福鸿, 吴顺宝, 杜远生, 等, 1999. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. 地球科学——中国地质大学学报, 24(1): 1–12.

尹集祥, 1997. 青藏高原及邻区冈瓦纳相地层地质学. 北京: 地质出版社, 1–206.

尹集祥, 邓万明, 文世宣, 等, 1998. 青藏高原及邻区中间过渡陆块前侏罗纪构造演化. 见: 潘裕生, 孔祥儒编, 青藏高原岩石圈结构演化和动力学. 广州: 广东科学技术出版社, 217–332.

曾学鲁, 朱伟元, 何心一, 等, 1996. 西秦岭石炭纪、二叠纪生物地层及沉积环境. 北京: 地质出版社, 1–334.

张宏飞, 欧阳建平, 凌文黎, 等, 1996. 从 Pb 同位素组成特征论东秦岭陡岭块体的构造归属. 地球科学——中国地质大学学报, 21(5): 487–490.

张遴信, 1991. 青海玉树地区石炭纪及早二叠世的筳. 见: 青海省地质科学研究所和中国科学院南京地质古生物研究所编, 青海玉树地区泥盆纪—三叠纪地层和古生物(下册). 南京: 南京大学出版社, 21–30.

张招崇, 王福生, 2003. 峨眉山玄武岩 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其物源探讨. 地球科学——中国地质大学学报, 28(4): 431–439.

赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等, 2001. 青藏高原大地构造特征及盆地演化. 北京: 科学出版社, 102–106.

朱炳泉, 2001. 地球化学省与地球化学急变带. 北京: 科学出版社, 24–34.

朱炳泉, 李献华, 戴樟谟, 等, 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用. 北京: 科学出版社, 125–235.