

文章编号: 1000- 6524 (2003) 02- 0143- 07

# 三江中段两古陆铅同位素地球化学边界的厘定

魏启荣<sup>1,2</sup>, 沈上越<sup>2</sup>, 莫宣学<sup>3</sup>, 路凤香<sup>2</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074;  
3. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:** 根据三江中段及周边邻区火成岩铅同位素数据, 确认了三江中段扬子陆块与冈瓦纳古陆的边界。两古陆的铅同位素地球化学边界为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.583$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.575$ 和 $V_1=60$ 、 $V_2=52$ , 低于界线值的属扬子陆块, 高于界线值的属冈瓦纳古陆。三江中段两古陆的铅同位素地球化学边界在地理上对应于德钦鲁春- 红坡牛场一线, 以东属扬子陆块, 以西为冈瓦纳古陆; 在构造上对应于德钦- 字呷断裂带; 在构造- 岩浆带上对应于金沙江构造岩浆带与澜沧江构造岩浆带的分界线; 在成矿上则对应于德钦羊拉- 鲁春- 红坡牛场铜多金属成矿带。

**关键词:** 铅同位素地球化学边界; 扬子陆块; 冈瓦纳古陆; 三江中段

中图分类号: P597

文献标识码: A

## Determination of Pb isotopic geochemical boundary between Yangtze and Gondwana continental blocks in the middle part of Sanjiang region, southwestern China

WEI Qi\_rong<sup>1,2</sup>, SHEN Shang\_yue<sup>2</sup>, MO Xuan\_xue<sup>3</sup> and LU Feng\_xiang<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on Pb isotopic data of volcanic rocks from the middle part of Sanjiang ( Nujiang, Lancangjiang and Jinshajiang) and adjacent areas, the authors have determined the Pb isotopic geochemical boundary between Yangtze and Gondwana continental blocks in the middle part of Sanjiang region, southwestern China. The geochemical boundary has the values of  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.583$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.575$  and  $V_1=60$ ,  $V_2=52$ . Compared with standard geochemical boundary values, Yangtze and Gangwana blocks have lower and higher values, respectively. The Pb isotopic geochemical boundary separates Yangtze block in the east from Gangwana block in the west, it corresponds to Luchun- Hongponiuchang belt geographically, to Deqin- Ziga fault tectonically, to the boundary between Jinshajiang and Lancangjiang in terms of tectonic- magmatic belt, and to the Yangla- Luchun- Hongponiuchang polymetallic ore-forming belt metallogenetically.

**Key words:** Pb isotopic geochemical boundary; Yangtze continental block; Gondwana continental block; middle part of Sanjiang region

陆块之间的边界不仅是不同大陆体系之间物质 和能量交换的重要场所, 而且通常也是大规模成矿

收稿日期: 2002- 04- 01; 修订日期: 2003- 01- 07

基金项目: 国土资源部“九五”科技攻关资助项目(95- 02- 001- 02); 国家科委“九五”科技攻关资助项目(96- 914- 01- 03); 中国博士后科学基金资助项目

作者简介: 魏启荣(1964- ), 男, 副教授, 从事岩石学、矿物学、地球化学和无机非金属材料方面的研究。

作用发生的重要部位(朱炳泉, 1998a, 1998b; 陈义贤等, 1999; 涂光炽, 2000), 如环太平洋成矿带和扬子西南缘成矿带。陆块之间边界的确定主要依靠地质、地球物理和地球化学方法, 地球化学方法还可细分为元素和同位素地球化学方法。由于铅同位素法具有明显的块体效应, 且能克服地质方法仅反映地壳浅部信息和地球物理方法解释的不确定性等缺陷, 因此在块体边界确定中具有重要的地位。前人对运用铅同位素进行块体边界划分已有相当深入的研究, 最具代表性的成果有: Doe(1967) 根据全岩铅同位素组成最早将美国西部火成岩划分为落基山脉型和海岸山脉型; Zartman(1974) 将美国西部科迪勒拉山脉划分成3个铅同位素省; Hart(1984) 利用玄武岩全岩铅同位素对全球地幔不均一性进行了卓越的研究, 并划定了著名的北半球铅参考线(NHRL); 张理刚等(1995) 以中生代花岗岩长石铅的同位素数据为基础将华北和扬子划分为两个铅同位素省; 张本仁等(1996) 对秦岭造山带内块体归属进行研究之后认为南秦岭基本上属于扬子构造-地球化学省; 朱炳泉(1990, 1993, 1998a)、朱炳泉等(1995) 和 Doss 等(1999) 据块体的铅同位素特征将全球陆块划分成东冈瓦纳、西冈瓦纳、太平洋和劳亚4种类型; 朱炳泉(1990, 1993, 1998a, 1998b) 还将中国大陆细分为华南区、西藏区(东冈瓦纳的组成部分)、扬子区、华北区、新疆北部区和佳木斯区。

三江(金沙江、澜沧江、怒江)中段地处特提斯构造域东段、冈瓦纳古陆与扬子陆块之间的结合部(刘增乾等, 1993; 莫宣学等, 1993; 李兴振等, 1999)。朱炳泉等在该地区有限的铅同位素数据基础上初步确认金沙江-红河带可能为扬子陆块和冈瓦纳古陆的界线(朱炳泉, 1990, 1993, 1998a, 1998b; 常向阳等, 2000), 但因同位素数据量的限制, 这种划分属小尺度性质, 因此还难以确定该界线在三江中段的确切位置, 从而制约了三江中段地质研究和找矿勘探的深入开展。本文通过对三江中段古特提斯时期火成岩的铅同位素研究, 拟阐明两陆块边界在研究区内的具体位置, 同时结合地质学研究成果, 讨论该边界在地质及成矿作用上的表现。

## 1 地质背景

三江中段从东到西可划分为10个构造-岩浆单元(图1): 扬子陆块(I)、甘孜-理塘洋脊型火山

-沉积岩带(II)、义敦岛弧(III)、中咱微陆块(IV)、金沙江-哀牢山洋脊/洋岛火山-沉积岩带(V)、金沙江火山弧(VI)、昌都-思茅微陆块(VII)、妥坝-盐井-阿登各-飞来寺-南佐陆缘弧(VIII)、营盘-白济汛洋脊火山-沉积岩带(IX)和冈瓦纳古陆(X)

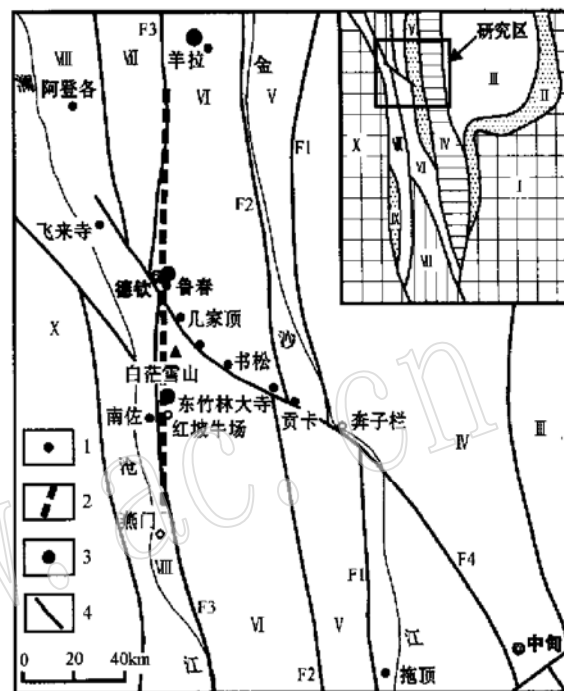


图1 三江中段地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the middle part of Sanjiang region

1—铅同位素采样点; 2—两古陆铅同位素地球化学边界(界线以东属扬子陆块, 界线以西属冈瓦纳古陆); 3—铜多金属矿点; 4—断裂带: F1—金沙江主断裂带, F2—羊拉-鲁甸断裂带, F3—德钦-字呷断裂带, F4—中甸-德钦断裂带; I—扬子陆块, II—甘孜-理塘洋脊型火山-沉积岩带, III—义敦岛弧, IV—中咱微陆块, V—金沙江-哀牢山洋脊/洋岛火山-沉积岩带, VI—金沙江火山弧, VII—昌都-思茅微陆块, VIII—妥坝-盐井-阿登各-飞来寺-南佐陆缘弧, IX—营盘-白济汛洋脊火山-沉积岩带, X—冈瓦纳古陆

1—Pb isotopic sampling locations; 2—Pb isotopic geochemical boundary between two palaeocontinents; 3—Cu polymetallic deposits; 4—fault; F1—Jinshajiang main fault; F2—Yagra-Ludian fault; F3—Dêqên-Zigar fault; F4—Zhongdian-Dêqên fault; I—Yangtze continental block; II—Garzê-Litang oceanic ridge type volcanic-sedimentary rock belt; III—Yidun island arc; IV—Zongza microcontinental block; V—volcanic-sedimentary rock belt in Jinshajiang-Ailaoshan oceanic ridge/oceanic island; VI—Jinshajiang volcanic arc; VII—Qamdo-Simao microcontinental block; VIII—Toba-Yanjing-Adeng'er-Feilaisi-Nanzuo continental marginal arc; IX—volcanic-sedimentary rock belt in Yingpan-Baijixun oceanic ridge; X—Gandwana palaeocontinent

(刘增乾等, 1993; 莫宣学等, 1999, 李兴振等, 1999)。研究区主要跨越了 IV、V、VI、VII、VIII 和 X 6 个构造- 岩浆单元。其中, 单元 V 在中甸- 德钦断裂 (F4) 以北夹持于金沙江主断裂 (F1) 和羊拉- 鲁甸断裂 (F2) 之间, 在中甸- 德钦断裂 (F4) 以南夹持于金沙江与断裂 F2 之间; 单元 VI 夹持于断裂 F2 与德钦- 字呷断裂 (F3) 之间; 单元 VIII 在 F4 断裂以北夹持于昌都陆块西界与澜沧江之间, 在 F4 断裂以南夹持于断裂 F3 与澜沧江之间; 单元 VII 由北往南延伸至德钦县城附近, 但在地表未见出露 (图 1)。莫宣学等 (1993) 和刘增乾等 (1993) 根据沉积、岩浆、变质和构造作用的特点及对比将单元 II、III 和 IV 划归扬子陆块。韩乃仁等 (1991) 根据澜沧老厂有扬子型和冈瓦纳型的混生现象将昌宁- 孟连带 (单元 IX 的南部) 划归为冈瓦纳古陆。罗建宁等 (1992) 根据古生物群组合将单元 IV 划为扬子陆块; 昌都陆块 (单元 VII 的北段) 有很强的冈瓦纳型和扬子型古生物群的混生现象, 据此可将其划归为冈瓦纳古陆。

## 2 铅同位素组成

在金沙江洋脊/洋岛火山- 沉积岩带、金沙江弧火山- 沉积岩带和澜沧江陆缘弧火山- 沉积岩带内采集了 15 件具有“深部探针”意义的火成岩样品 (图 1), 其岩性为玄武岩、玄武安山岩、安山岩和英安岩, 样品时代为早石炭世至晚三叠世。测试所获得的 15 件火山岩的 Pb 同位素数据列于表 1。为了能更清晰反映研究区两块体各自的铅同位素特性, 剔除了可能涉及两陆块物质同时参与的陆壳碰撞型流纹岩的铅同位素数据。将样品用干净的水清洗, 除去表面的污染物, 再用常规方法将样品粉碎至 200 目以下, 用于铅同位素分析。铅同位素样品的化学制备及测试在中国地质大学 (武汉) 国土资源部壳- 幔体系组成物质交换及动力学开放实验室超净化室及其 MAT261 质谱计上完成, 全分析流程 Pb 本底约为  $1 \times 10^{-9} \text{g}$ 。与本次样品同时测定的 NBS- 981 标样

表 1 三江中段火山岩铅同位素组成及  $V_1$ 、 $V_2$  值

Table 1 Pb isotopic components and  $V_1$  and  $V_2$  values of volcanic rocks in the middle part of Sanjiang region

样品编号	样品名称	产地	时代	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\pm 2\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\pm 2\sigma$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\pm 2\sigma$	$V_1$	$V_2$	资料来源
LT- 2	玄武岩	洛沙- 拖顶	C <sub>1</sub>	18.439	2	15.685	2	38.609	4	54.9	47.5	本文
LT- 4	玄武岩	洛沙- 拖顶	C <sub>1</sub>	18.221	7	15.622	6	38.380	16	43.9	38.8	本文
LT- 6	玄武岩	洛沙- 拖顶	C <sub>2</sub>	18.390	4	15.557	3	38.475	9	50.5	44.5	本文
LT- 15	玄武岩	洛沙- 拖顶	P	18.403	5	15.566	5	38.485	12	51.1	45.2	本文
GL- 2	玄武岩	贡卡	P <sub>1</sub>	18.199	9	15.572	7	38.270	19	40.7	37.8	本文
GL- 5	玄武安山岩	东竹林大寺	P <sub>1</sub> <sup>2</sup>	18.248	6	15.578	5	38.555	14	48.8	37.2	本文
GL- 10	玄武安山岩	东竹林大寺	P <sub>1</sub> <sup>2</sup>	18.215	8	15.589	7	38.316	16	42.2	38.5	本文
SS- 11	英安岩	书松	P <sub>2</sub>	18.449	5	15.632	4	38.613	12	55.3	47.5	本文
BM- 1	玄武岩	白茫雪山	P <sub>1</sub>	18.110	4	15.584	3	38.200	9	36.8	34.6	本文
YJ- 8	玄武岩	几家顶	T <sub>3</sub>	18.234	3	15.602	3	38.355	9	43.7	39.3	本文
LCN- 9	流纹岩	鲁春	T <sub>3</sub>	18.259	10	15.580	8	38.413	20	45.7	39.4	本文
LCN- 11	玄武岩	鲁春	T <sub>3</sub>	18.068	8	15.547	7	38.131	17	34.1	32.5	本文
FD- 6	玄武安山岩	飞来寺	P <sub>1j</sub>	18.796	8	15.659	7	39.191	16	78.0	58.6	本文
LA- 5	安山岩	阿登各	P <sub>1j</sub>	18.825	6	15.643	6	39.367	15	82.9	57.7	本文
LA- 11	英安岩	阿登各	P <sub>1j</sub>	18.298	6	15.616	5	38.650	12	52.3	39.5	本文
NZB3	凝灰岩	德钦南佐	P <sub>1j</sub>	18.657		15.633		38.830		65.8	55.3	陈式房等, 1991
NZB7	凝灰岩	德钦南佐	P <sub>1j</sub>	18.626		15.633		38.624		60.1	56.0	陈式房等, 1991
NZB8	凝灰岩	德钦南佐	P <sub>1j</sub>	18.927		15.815		39.256		82.8	67.8	陈式房等, 1991
NP4- B19	玄武岩	德钦南佐	P <sub>1j</sub>	18.865		15.910		39.431		85.5	65.0	陈式房等, 1991
NPD2- B4	角斑岩	德钦南佐	P <sub>1j</sub>	18.592		15.714		38.967		67.4	52.4	陈式房等, 1991
Le- 12	凝灰岩	澜沧老厂	C	19.227		15.822		40.115		111.0	73.0	叶庆同等, 1993
Le- 23	凝灰岩	澜沧老厂	C	18.723		15.700		39.623		86.7	51.7	叶庆同等, 1993
Le- 14	玄武岩	澜沧老厂	C	19.491		15.940		39.965		114.1	90.2	叶庆同等, 1993
Le- 25	玄武岩	澜沧老厂	C	19.508		15.915		39.992		115.2	90.1	叶庆同等, 1993
YG- 25	玄武岩	铜厂街	C <sub>1</sub> ~ P <sub>2</sub>	19.288		15.667		39.471		97.2	79.6	钟大赉, 1998
ZH- 48	玄武岩	铜厂街	C <sub>1</sub> ~ P <sub>2</sub>	18.931		15.620		39.030		77.5	66.1	钟大赉, 1998

测定值为:  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.731 \pm 7$  ( $2\sigma$ , 下同),  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.445 \pm 3$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.923 \pm 3$ 。具体分析方法可参见朱茂旭等(1998)。

为了克服时间效应以便能将不同时代的铅同位素数据进行块体属性的对比, 笔者采用朱炳泉提出的铅同位素比值三维空间矢量  $V_1 - V_2$  的拓扑方法(朱炳泉, 1993, 1998b)进行块体划分和确定边界。

### 3 讨论

#### 3.1 两陆块铅同位素地球化学边界

在确定两陆块的铅同位素地球化学边界时, 除采用研究区内单元 V、VI 和 VIII 所获得的 15 件火山岩铅同位素数据(表 1)外, 还引用了前人发表的 93 件火成岩铅同位素数据。所引用的铅同位素数据分布于单元 I、III、V 和 X 中(马鸿文, 1990; 陈吉琛等, 1991; 陈式房等, 1991; 叶庆同等, 1992; 林方成, 1995; 马振东等, 1996; 张本仁等, 1996; 钟大赉等, 1998; 朱炳泉, 1998b; 战明国等, 1999), 大多都是 90 年代以来的测试结果, 可信度均较高。

朱炳泉(1998b)认为  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值具有明显的块体效应, 而  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值主要反映物质是壳源还是幔源, 块体效应不明显。鲁春及其以东地区火成岩(图 1 中洛沙-拖顶 C~P 玄武岩、贡卡、白茫雪山  $P_1$  玄武岩、东竹林大寺  $P_1^2 \sim P_2$  玄武安山岩、书松  $P_2$  英安岩、羊拉印支期花岗岩闪长岩体、几家顶  $T_3$  玄武岩和鲁春  $T_3$  玄武岩-流纹岩)的铅同位素组成(表 1 和图 2、3、4)以较低的铅同位素比值和低的  $V_1$ 、 $V_2$  值为特征; 鲁春以西地区火成岩(图 1 中飞来寺  $P_2$  玄武安山岩和阿登各  $P_2$  安山岩

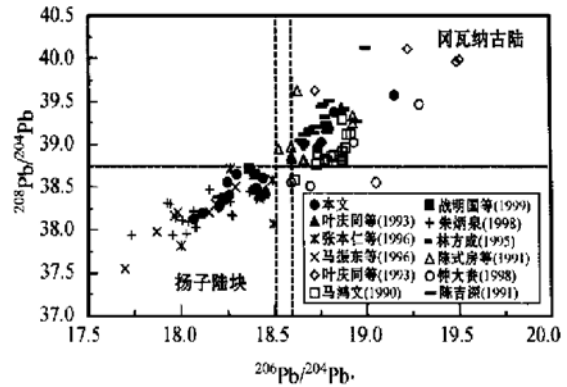


图 3  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  相关图

Fig. 3  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  correlation diagram

- 英安岩)的铅同位素组成则以高的铅同位素比值和高的  $V_1$ 、 $V_2$  值为特征。

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图(图 2)和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图(图 3)上, 鲁春及其以东地区火成岩的铅同位素数据落在扬子陆块铅同位素比值范围之内, 表明该地区 Pb 同位素组成具有扬子陆块的特征。鲁春以西火成岩的铅同位素数据则落在冈瓦纳古陆的铅同位素比值范围之内, 表明该地区铅同位素组成具有冈瓦纳古陆的性质。在  $V_1 - V_2$  图解(图 4)上, 鲁春及其以东地区的火成岩铅同位素数据同样落在扬子陆块的铅同位素比值范围之内; 鲁春以西地区的火成岩铅同位素组成则落在冈瓦纳古陆的铅同位素比值范围之内。根据火成岩的铅同位素组成特征, 可以确定三江中段两陆块的界线。

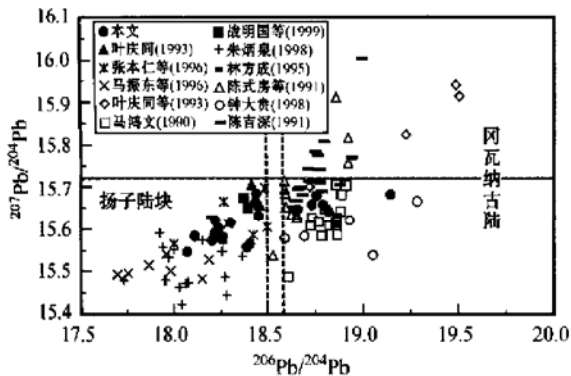


图 2  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  相关图

Fig. 2  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  correlation diagram

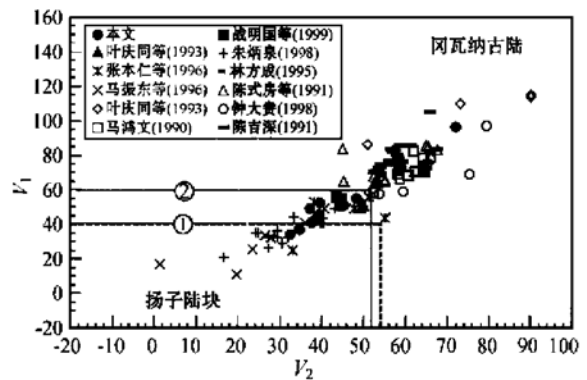


图 4  $V_1 - V_2$  关系图

Fig. 4  $V_1$  versus  $V_2$  correlation diagram

① 据本文  $V_1$  和  $V_2$  值划分的界线; ② 据朱炳泉(1998a)

$V_1$  和  $V_2$  值划分的界线

① the boundary of  $V_1$  and  $V_2$  values after author; ② the boundary of  $V_1$  and  $V_2$  values after Zhu Bingquan(1998a)

从图 2 和 3 看出, 三江中段火成岩的铅同位素组成具有明显的块体亲缘性。以  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.583$  和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.575$  为分界线, 低于该铅同位素分界线的属扬子陆块, 高于分界线的则属冈瓦纳古陆。在图 4 上, 扬子陆块和冈瓦纳古陆在三江中段以  $V_1 = 60$  和  $V_2 = 52$  为分界线, 低于这条界线值的属扬子陆块, 高于这条界线值的属冈瓦纳古陆。三江中段的两大陆块铅同位素地球化学边界在地理上对应于德钦鲁春- 红坡牛场一线(图 1 中的粗虚线), 该界线以东属扬子陆块, 以西属冈瓦纳古陆。图 2 3 和 4 还表明三江南段的哀牢山带火成岩的铅同位素并不显示冈瓦纳古陆的铅同位素的特点, 反而强烈地表现出扬子陆块的铅同位素特征。因此, 从铅同位素看, 哀牢山带应归属扬子陆块而非冈瓦纳古陆。

### 3.2 铅同位素地球化学边界在地质和成矿上的显示

莫宣学等(1993)、刘增乾等(1993)和李兴振等(1999)认为, 在古特提斯洋时期( $C_1 \sim P_1$ ), 三江中段古构造格局从东到西为金沙江洋盆- 昌都陆块- 澜沧江洋盆。在早二叠世晚期, 金沙江洋盆发生了向西的洋内俯冲, 形成了由洋内弧火山- 沉积岩带、碰撞弧火山- 沉积岩带和滞后弧火山- 沉积岩带组成的金沙江火山弧(VI)。在早二叠世, 澜沧江洋壳则开始向东俯冲于昌都陆块之下, 形成了妥坝- 盐井- 阿登各- 飞来寺- 南佐陆缘弧火山- 沉积岩带(VIII)。在德钦- 燕门一带发育一条走向近南北的强变质变形岩带, 其岩性主要为绿片岩、石英片岩和二云片岩。前人将该火山- 沉积变质岩系的时代定为前泥盆纪(云南地矿局, 1990)。但离开该岩带往东或往西, 火山- 沉积岩系的变质变形则立即变得十分微弱。这一强变质变形岩带的出露位置在构造上对应于三江中段的德钦- 字呷断裂带(图 1 中的 F3 断裂)。

火山岩的同位素组成能反应深部地质作用的信息。图 1 显示, 在三江中段, 两古陆的铅同位素地球化学边界完全对应于金沙江构造岩浆带与澜沧江构造岩浆带的分界线, 说明三江中段确实是两大物质体系(冈瓦纳体系和扬子体系)的交汇处, 暗示了金沙江构造岩浆带与扬子陆块有较强的亲缘性, 而澜沧江构造岩浆带则有较强的亲冈瓦纳古陆的特征。这与金沙江构造岩浆带和澜沧江构造岩浆带的形成背景和演化历史及其古生物群的组合特征是相吻合

的(韩乃仁等, 1991; 罗建宁等, 1992; 刘增乾等, 1993; 莫宣学等, 1993; 李兴振等, 1999)。因此, 在两大体系背景上形成的火山岩在铅同位素组成上留下了各自体系的铅同位素组成烙印。

在成矿作用上, 德钦鲁春- 红坡牛场一带目前已发现了鲁春和红坡牛场两个至少是中型的铜- 多金属矿床。而这两个中型矿床正好位于三江中段两古陆的铅同位素地球化学边界上(图 1), 且在该边界的北延方向附近的东侧已发现羊拉大型铜- 多金属矿床。因此, 沿着该铅同位素地球化学边界有明显的成矿作用显示。

## 4 结 论

(1) 三江中段在铅同位素组成上明显存在一条铅同位素地球化学边界, 其值为  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.583$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.575$  和  $V_1 = 60$ 、 $V_2 = 52$ , 低于该界线值的属扬子陆块, 高于该界线值的属冈瓦纳古陆。

(2) 三江中段两古陆铅同位素地球化学边界在地理上对应于德钦鲁春- 红坡牛场一线, 以东属扬子陆块, 以西为冈瓦纳古陆; 在变质变形作用上对应于德钦- 燕门强变质变形岩带; 在构造上对应于德钦- 字呷断裂带; 在构造- 岩浆作用上对应于金沙江构造岩浆带和澜沧江构造岩浆带的分界线; 在成矿作用上则对应于羊拉- 鲁春- 红坡牛场铜多金属成矿带。

(3) 三江中段两古陆铅同位素地球化学边界的存在从同位素体系上佐证了三江中段是扬子陆块与冈瓦纳古陆的交汇部位, 表明三江中段也具有明显的铅同位素块体效应。

**致 谢:** 在本文的写作过程中, 朱炳泉研究员和王江海研究员提出了宝贵的意见和建议, 特此致谢。

## References

- Chang Xiangyang, Zhu Bingquan, Zou Ri. 2000. Lead isotopic exploration intersecting mineralization zones for the depth forecast of concealed deposits- A case from Longbohe Cu deposit, Jinping, Yunnan Province[J]. Science in China (Series D), 30(1): 33~ 39(in Chinese).
- Chen Jishen, Lin Wenbei, Chen Liangzhong. 1991. Series and unit research on Tin-bearing granites of Tengchong- Lianghe area[J].

- Yunnan Geology, 10(3): 241~ 289 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shifang, Liu Yilai, Bao Yuxiou, *et al.* 1991. Research into metallogenic law and deposit types of Deqin- Xiaguang Lead- zinc ore Zone[J]. Yunnan Geology, 10(2): 119~ 144 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yixian, Zhu Bingquan, Zhang Jinglian, *et al.* 1999. Generation Environment and Evolution of Crude Oil in Liaohe Fault Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Doe B R. 1967. The bearing of lead isotope on the source of granitic magma[J]. J. Petrology, 8: 51~ 83.
- Doss L, Bougault H, Langmuir C, *et al.* 1999. The age and distribution of mantle heterogeneity along the Mid Atlantic Ridge (31~ 41° N)[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 170: 269~ 286.
- Han Nairen, Ouyang Chengfu, Li Wenhua, *et al.* 1991. New views on the Carbo- Permian strata in Laochang and Langcang of Yunnan [J]. Journal of Stratigraphy, 15(1): 56~ 58 (in Chinese).
- Hart S R. 1984. A large-scale isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle[J]. Nature, 309: 753~ 757.
- Hofmann A W. 1997. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism[J]. Nature, 385(16): 219~ 229.
- Li Xingzhen, Liu Wenjun, Wang Yizhao, *et al.* 1999. The Tectonic Evolution and Metallogenesis in the Tethys of the Nujiang- Lancangjiang- Jinshajiang Area, Southwestern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 23~ 167 (in Chinese with English abstract).
- Lin Fangcheng. 1995. Lead isotopic compositions and genesis of the lead- zinc deposits on the eastern margin of the Kong- Dian axis[J]. Tethyan Geology, 19: 131~ 139 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zengqian, Li Xingzhen, Ye Qingtong, *et al.* 1993. Division of Tectono- magmatic Zones and the Distribution of Deposits in the Sanjiang Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 6~ 89 (in Chinese with English abstract).
- Luo Jianning, Zhang Zhengui. 1992. Tethyan Sedimentary Geology and Mineralization in the Nujiang - Lancangjiang - Jinshajiang Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 31~ 78 (in Chinese with English abstract).
- Ma Hongwen. 1990. Granites and Mineralization of Yulong Porphyry Copper Ore Belt in Tibet[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 116 (in Chinese with English abstract).
- Ma Zhendong, Shan Guangxiang. 1996. The background of regional lead isotopic compositions and its application in the lower and middle reaches of the Yangtze river and neighbouring areas[J]. Acta Geologica Sinica, 70(4): 324~ 334 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, *et al.* 1993. Tethyan Volcanism and Mineralization in the Nujiang- Lancangjiang- Jinshajiang Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 7~ 177 (in Chinese with English abstract).
- Tu Guangchi. 2000. Superlarge Mineral Deposits in China(1)[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Ye Qingtong, Hu Yunzhong, Yang Yueqing, *et al.* 1992. The Background of Regional Geochemistry and Mineralization of Au- Ag- Cu- Pb- Zn in Sanjiang Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 171~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Regional Geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 542~ 597 (in Chinese with English abstract).
- Zartman R E. 1974. Lead isotope province in Cordillera of the western United States and their geological significance[J]. Econ. Geol., 69: 792~ 805.
- Zhan Mingguo, Lu Yuanfa, Cheng Shifang, *et al.* 1999. Yangla Copper Ore in Western Yunnan[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 60~ 127 (in Chinese).
- Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan, *et al.* 1996. Geochemical division and evolution of crustal- mantle in the eastern Qinling and neighbouring and its tectonic significance[J]. Science in China, 26(3): 201~ 208 (in Chinese).
- Zhang Hongfei, Zhang Benren, Ling Wenli, *et al.* 1997. Late Proterozoic crustal accretion of south Qinling: Nd isotopic study from granitic rocks[J]. Geochemica, 26(5): 16~ 24 (in Chinese).
- Zhang Ligang, Liu Jingxiu, Wang Kefa, *et al.* 1995. Block Geology of Eastern Asia Lithosphere- Isotope Geochemistry and Dynamics of Upper Mantle, Basement and Granite[M]. Beijing: Science Press, 234~ 235 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Dalai. 1998. Paleotethys Orogenesis Belts in the western of Yunnan and Sichuan Provinces[M]. Beijing: Science Press, 56~ 170 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan. 1990. Evidence of isotopic systematics from crust and mantle for chemical heterogeneities[J]. Chinese Science Bulletin, 35: 1653~ 1655 (in Chinese).
- Zhu Bingquan. 1993. Tridimension spacial topological diagrams of ore lead isotopes and their application to the division of geochemical provinces and mineralizations[J]. Geochemica, 91(3): 209~ 215 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan, Chang Xiangyang, Wang Huifen. 1995. The geochemical boundary between South China and Yangtze blocks and its constrain on the formation of super large deposits[J]. Science in China (Series B), 25(9): 1004~ 1008 (in Chinese).
- Zhu Bingquan. 1998a. Study on chemical heterogeneities of mantle- crustal systems and geochemical boundaries of blocks[J]. Earth Science Frontiers, 5(1): 72~ 82 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan. 1998b. Theory and Application of Isotopic Systematics in Earth Sciences[M]. Beijing: Science Press, 10~ 235 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Maoxu, Luo Tingchuan, Zhang Hongfei. 1998. Pb, Sr and Nd isotopic geochemical characteristics of Dongjiangkou plutons in southern Qinling belt and constrains on their sources[J]. Geology Geochemistry, 1: 30~ 36 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 常向阳, 朱炳泉, 邹日. 2000. 铅同位素系统剖面化探与隐伏矿床预测评价——以云南金平龙勃河铜矿为例[J]. 中国科学(D辑), 30(1): 33~39.
- 陈吉琛, 林文倍, 陈良忠. 1991. 腾冲-梁河地区含锡花岗岩序列表元研究. 云南地质, 10(3): 241~289.
- 陈式房, 刘仪来, 包育秀, 等. 1991. 德钦-下关铅锌矿带矿床类型成矿规律研究. [J]. 云南地质, 10(2): 119~144.
- 陈义贤, 朱炳泉, 张景廉, 等. 1999. 辽河断陷原油生成环境与演化[M]. 北京: 石油工业出版社, 86~98.
- 韩乃仁, 欧阳甫甫, 李文桦, 等. 1991. 云南澜沧老厂石炭-二叠系地层新见[J]. 地层学杂志, 15(1): 56~58.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 23~167.
- 林方成. 1995. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅同位素组成特征及其成因意义[J]. 特提斯地质, 19: 131~139.
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等. 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 6~89.
- 罗建宁, 张正贵. 1992. 三江特提斯沉积地质与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 31~78.
- 马鸿文. 1990. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 116.
- 马振东, 单光祥. 1996. 长江中下游及邻区区域铅同位素组成背景及其应用[J]. 地质学报, 70(4): 324~334.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 7~177.
- 涂光炽. 2000. 中国超大型矿床(I)[J]. 北京: 科学出版社, 91~94.
- 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等. 1992. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 171~238.
- 云南省地矿局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 542~597.
- 战明国, 路远发, 陈式房, 等. 1999. 滇西德钦羊拉铜矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 60~127.
- 张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 等. 1996. 东秦岭及邻区壳幔地球化学分区和演化及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑), 26(3): 201~208.
- 张宏飞, 张本仁, 凌文黎, 等. 1997. 南秦岭新元古代地壳增生事件: 花岗岩岩石钨同位素示踪[J]. 地球化学, 26(5): 16~24.
- 张理刚, 刘敬秀, 王可法, 等. 1995. 东亚岩石圈块体性质——上地幔基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学[M]. 北京: 科学出版社, 234~235.
- 钟大赟. 1998. 滇川西部古特提斯造山带[J]. 北京: 科学出版社, 56~170.
- 朱炳泉. 1990. 从壳幔同位素体系看不同地体的化学不均一性[J]. 科学通报, 35: 1653~1655.
- 朱炳泉. 1993. 矿石Pb同位素三维空间拓扑图解用于地球化学省与矿种区划[J]. 地球化学, 91(3): 209~215.
- 朱炳泉, 常向阳, 王慧芬. 1995. 华南-扬子地球化学边界及其对超大型矿床形成的控制. [J]. 中国科学(B辑), 25(9): 1004~1008.
- 朱炳泉. 1998a. 壳幔化学不均一性与块体地球化学边界研究[J]. 地学前缘, 5(1): 72~82.
- 朱炳泉. 1998b. 地球科学中同位素体系理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 10~235.
- 朱茂旭, 骆庭川, 张宏飞. 1998. 南秦岭东江口岩体群Pb、Sr和Nd同位素地球化学特征及其对物源的制约[J]. 地质地球化学, (1): 30~36.