

文章编号: 0258-7106(2007)05-0550-07

与峨眉地幔柱有关年代学研究的新进展及其意义*

王登红¹, 李建康¹, 王成辉², 屈文俊³, 付小方⁴, 傅德明⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院研究生部, 北京 100037; 3 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 4 四川省地质调查院, 四川 成都 610050)

摘要 研究表明, 云南白马寨铜镍硫化物矿床中矿石的 Re-Os 等时线年龄($(249 \pm 32) \text{Ma}$)、四川杨柳坪外围麦约尔苦橄质基性-超基性岩中金云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄($(250.2 \pm 1.9) \text{Ma}$)及攀枝花铁矿层中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄($(256.85 \pm 2.69) \text{Ma}$)都与峨眉山玄武岩的年龄一致, 表明它们的形成时代基本相同。在空间上, 这些矿床与峨眉山玄武岩及同时期形成的基性-超基性岩密切相关, 因此可以认为, 它们都是峨眉地幔柱在古生代与中生代之交达到活动高峰期的产物。

关键词 地球化学; 峨眉地幔柱; 铜镍硫化物矿床; 钒钛磁铁矿; 铂矿; 同位素年代

中图分类号: P618.41; P618.63; P597

文献标识码: A

New advances in geochronologic study related to Emei mantle plume and their significance

WANG DengHong¹, LI JianKang¹, WANG ChengHui², QU WenJun³, FU XiaoFang⁴ and FU DeMing⁴

(1 Institute of Mineral Resources, GAGS, Beijing 100037, China; 2 Graduate School of CAGS, Beijing 100037, China; 3 National Analytic Center of Geology, Beijing 100037, China; 4 Sichuan Geological Survey, Chengdu 610050, Sichuan, China)

Abstract

This paper reports some new advances in the geochronologic study of ores and rocks related to the Permian Emei mantle plume in Southwest China. The Re-Os isochron age of Cu-Ni massive sulfide ores from Baimazhai, Yunnan, is $(249 \pm 32) \text{Ma}$, the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ apparent age of phlogopite from the Maiyue'er picritic mafic-ultramafic rocks close to the Yangliuping Cu-Ni massive sulfide deposit in Danba, Sichuan, is $(250.2 \pm 1.9) \text{Ma}$, and the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ apparent age of biotite from the No.9 ore zone from the famous Panzhihua V-Ti-bearing magnetite deposit in Sichuan is $(256.85 \pm 2.69) \text{Ma}$. All of these results agree with the age of the Emeishan basalts, which are distributed widely in Southwest China. Taking into account the same ages shared by Emeishan basalts, the Cu-Ni ores from Baimazhai, the iron ores from Panzhihua and the mafic-rocks from Danba, this paper suggests that the Emeishan basalts, the massive Cu-Ni ores and the V-Ti-bearing Fe deposits distributed widely in Southwest China were formed at the end of Permian and related to the Emei mantle plume genetically.

Key words: geochemistry, Emei mantle plume, Cu-Ni massive sulfide deposit, V-Ti-magnetite deposit, PGE, geochronology

* 本文得到国土资源部百名优秀青年科技人才计划项目(我国西南部地区铂族元素矿床成矿系列与成矿规律)和地质大调查项目(铂钯等新型矿产资源勘查技术方法成矿规律与资源潜力评价(No. 200310200002)我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估(No. 200420190004)中国成矿体系综合研究(No. 1212010634002)及我国重要矿产和区域成矿规律研究(No. 1212010633903))的共同资助

第一作者简介 王登红,男,1967年生,研究员,博士生导师,主要从事成矿学与地幔柱及相关研究。

收稿日期 2007-03-26; 改回日期 2006-07-01。李德先、张绮玲编辑。

峨眉地幔柱是中国最典型、研究程度最高的地幔柱，它既是引发古生代与中生代之间一系列地质事件的重要原因，也是导致大规模成矿作用发生的根本原因(王登红,1998;张招崇等,2003)。但是，哪些矿床与峨眉地幔柱有关，还需进一步深入探讨。本文通过对云南白马寨、四川攀枝花和丹巴等不同类型矿区的基性-超基性岩同位素年代学的研究，从成岩成矿与峨眉地幔柱活动同时性的角度，探讨了在峨眉地幔柱影响范围内，成岩成矿作用发生的机理及其找矿意义。

1 白马寨铜镍硫化物矿床的成矿时代

白马寨硫化镍矿床位于云南金平县城西北约 27 km 处，矿床产于 NW 向白马寨背斜倒转的南西翼部的基性-超基性复合岩体中。其中 II 号岩体是赋存白马寨硫化镍矿床的主要岩体。样品均采自白马寨矿区 800 m 中段，为致密块状-稠密浸染状块状铜镍硫化物矿石，矿石主要由磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿及脉石矿物辉石等组成。对样品进行了 Re-Os 同位素年代测定，测试方法及技术流程参见文献(陈世平等,2005)中的描述。并获得 Re-Os 同位素组成和等时线年龄(表 1 和图 1)。

测试结果表明，铜镍硫化物矿石形成于二叠纪末期，大约 (249 ± 32) Ma，与峨眉山玄武岩大规模喷发的主阶段是一致的。由此推断，白马寨含铂族元素铜镍硫化物矿床应属于峨眉地幔柱矿床成矿系列中的一个典型矿床(王登红等,2007)。

2 攀枝花钒钛磁铁矿的成岩成矿时代

攀枝花是中国最大的钒钛磁铁矿矿床，矿体赋存于辉长岩体的中下部，在成因上属于晚期岩浆矿床，成岩年龄基本上代表了成矿年龄。辉长岩体呈

NE 向分布，长 19 km，宽 2 km，倾向 NW。岩体被断层和金沙江切割，自北东向南西，包含朱家包包、兰家火山、尖包包、倒马坎、公山、纳拉箐等 6 个矿段，其中，朱家包包、兰家火山、尖包包、倒马坎等 4 个矿段，矿层较厚，矿石质量佳，其储量占总储量的 95% (中国矿床发现史编委会,1996)。

样品采自攀枝花露天采场 IX 号矿带，属于韵律条带状磁铁矿辉长辉石岩。从辉长岩条带中选取片状黑云母(黑云母呈片状，片径 2~4 mm)，利用快中子活化法测定的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 (256.85 ± 2.69) Ma，MSWD = 3.36；等时线年龄为 (254.89 ± 4.55) Ma，MSWD = 2.94(表 2,图 2)。这表明，攀枝花的含矿岩体(以辉长岩为主)主要形成于二叠纪晚期，虽然略早于峨眉山玄武岩的喷发高峰期(250 Ma)，但总体上均属于晚古生代末期峨眉地幔柱的产物。另外，从含矿辉长岩的侵入到玄武岩的大规模喷发仅相隔约 5 Ma，这也符合地幔柱活动的基本规律，即大量的基性-超基性岩及其喷发岩在短期内快速、大量的喷发和侵入。数字模拟研究表明，峨眉地幔柱的主活动期集中在 10 Ma 的短期内(李

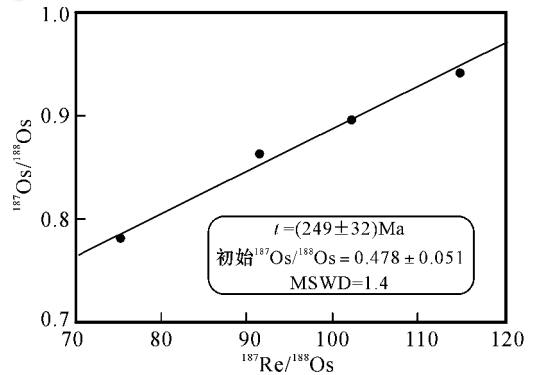


图 1 云南白马寨含铂铜镍矿中铜镍矿石的 Re-Os 同位素等时线年龄

Fig. 1 Re-Os isochron of Cu-Ni ores from the Baimazhai mine, Yunnan Province

表 1 云南白马寨铜镍硫化物矿床中矿石的 Re-Os 同位素组成

Table 1 Re-Os isotopic composition of Cu-Ni ores from the Baimazhai mine, Yunnan Province

样品号	样品特点	Os/ 10^{-9}	Re/ 10^{-6}	普 ^{188}Os (ng/g)	^{187}Os (ng/g)	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$
bm7551	铜镍矿石	1.3187	25.4	0.15721	0.1413	101.3566	0.8991
bm7552	铜镍矿石	0.9221	17.7	0.10950	0.1020	101.3163	0.9314
bm7553	铜镍矿石	1.0453	18.0	0.12513	0.1082	90.6106	0.8647
bm7556	铜镍矿石	5.5700	79.6	0.67346	0.5264	74.3346	0.7817
bm7558	铜镍矿石	0.7453	16.0	0.08838	0.0834	113.8386	0.9436

注：由中国地质科学院国家地质实验测试中心 2003 年 3 月 20 日完成分析测试。

建康等, 2004)。此外, 在 246.6 Ma 及 220.8~218.5 Ma 期间(表 2), 含钒钛磁铁矿的辉长岩体可能受到了强烈的改造, 这与大量区调工作观察到的现象是吻合的。

3 丹巴基性-超基性岩的成岩时代

位于四川西北丹巴一带的杨柳坪铜镍硫化物矿床通常也被认为是峨眉地幔柱的产物, 但由于该矿区的基性-超基性岩已经强烈蚀变(有些已完全蚀变为蛇纹岩), 而矿体本身由于位于杨柳坪热穹隆构造

的核部, 利用 Re-Os 法和石英单矿物 Ar-Ar 法均未获得理想的等时线(王登红等, 2003a), 这可能是由于矿体及含矿围岩在热穹隆的长期活动过程中已经不具备同位素体系封闭条件的缘故。尽管如此, 在丹巴县城西北巴底村、大渡河以北的麦约尔一带仍存在有偏碱性的基性-超基性岩^①。2003年7月和2005年7月, 笔者两次对这些偏碱性的基性-超基性岩进行了研究, 尽管未找到原始露头, 但山坡及坡角残积层和泥石流堆积体中仍存在未风化的碱性基性岩和苦橄质辉石岩的样品, 而且蚀变很弱。从中挑选出未风化的大片状云母样品(片径4mm)进行

表 2 攀枝花钒钛磁铁矿Ⅸ号矿带辉长岩中黑云母的氩同位素测试结果

Table 2 Ar isotopic composition of biotite from No.9 ore zone of the Panzhihua V-Ti-Fe mine, Sichuan Province

加热	$^{36}\text{Ar}(a)$	$^{37}\text{Ar}(ca)$	$^{38}\text{Ar}(cl)$	$^{39}\text{Ar}(k)$	$^{40}\text{Ar}(r)$	$^{39}\text{Ar}k/\%$	$^{40}\text{Ar}r/\%$	t/Ma	$\pm 2\sigma/\text{Ma}$
700℃	0.00012	0.00018	0.00000	0.00028	0.00000	0.11	0.00	0	0.00
780℃	0.00027	0.00083	0.00004	0.00303	0.01350	1.14	14.68	40.89	6.41
840℃	0.00063	0.00068	0.00025	0.02043	0.51093	7.70	73.31	218.49	2.25
900℃	0.00089	0.00085	0.00037	0.03082	0.77957	11.62	74.73	220.83	2.09
940℃	0.00024	0.00040	0.00028	0.02402	0.68354	9.05	90.60	246.66	1.48
980℃	0.00033	0.00048	0.00041	0.03495	0.99457	13.18	90.98	246.65	1.32
1020℃	0.00011	0.00021	0.00008	0.00688	0.18492	2.59	85.45	233.89	3.95
1060℃	0.00015	0.00072	0.00042	0.03606	1.06149	13.60	95.96	254.55	2.48
1100℃	0.00016	0.00146	0.00064	0.05654	1.68915	21.32	97.27	258.09	1.31
1150℃	0.00007	0.00070	0.00029	0.02545	0.75842	9.60	97.28	257.46	1.34
1220℃	0.00003	0.00030	0.00011	0.00981	0.29223	3.70	97.22	257.31	1.42
1300℃	0.00001	0.00043	0.00015	0.01405	0.41413	5.30	99.11	254.88	1.72
1400℃	0.00000	0.00007	0.00003	0.00292	0.08554	1.10	100.00	253.42	3.81

注: 由中国科学院地质与地球物理研究所桑海清测试。2006年5月22日发报告。照射参数 $J = 0.005148$, 坪年龄 $t = (256.85 \pm 2.69)\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 3.36$ 。 $^{36}\text{Ar}(a)$ 为经空气扣除的 ^{36}Ar , $^{40}\text{Ar}(r)$ 为放射性成因的 ^{40}Ar , $^{37}\text{Ar}(ca)$ 为经过 Ca 扣除的 ^{37}Ar , $^{38}\text{Ar}(cl)$ 为经过 Cl 扣除的 ^{38}Ar , $^{39}\text{Ar}k$ 为放射产生的 ^{39}Ar 百分比, $^{39}\text{Ar}(k)$ 为经过 K 扣除的 ^{39}Ar , $^{40}\text{Ar}r$ 为放射产生的 ^{40}Ar 百分比。

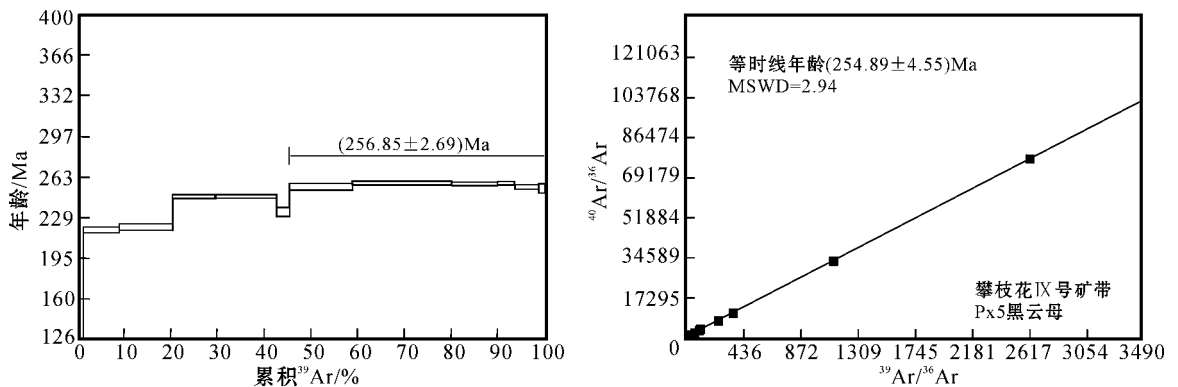


图 2 攀枝花Ⅸ号矿带辉长岩中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法坪年龄和等时线年龄

Fig. 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ apparent age spectra and isochron diagram of biotite from the Panzhihua mine

了 Ar-Ar 法同位素年龄的测试,获得了 250.2 Ma 的坪年龄(表 3,图 3)。

分析测试结果表明,麦约尔样品(MYE-3)中金云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(250.2 ± 1.9)Ma(图 3),高温阶段(1240~980℃)的等时线年龄为(251.1 ± 4.6)Ma,反等时线年龄为(251.2 ± 3.7)Ma,1190~980℃阶段的等时线年龄和反等时线年龄分别为(250.6 ± 4.8)Ma(图 3)和(250.7 ± 2.7)Ma。由于上述年龄是在 980℃ 以上的高温阶段获得的,这样的高温已经超过了一般的区域变质温度(丹巴区域变

质温度不超过 610℃^①),因而可以认为这些样品保存了岩浆结晶时期的信息。金云母的坪年龄(250.2 Ma)也代表了麦约尔超基性岩的成岩年龄,而 250 Ma 正好是二叠纪末期峨眉山玄武岩大规模喷发的主要时期。据此推测,丹巴的古生代基性-超基性岩与杨柳坪—铜炉房一带的二叠纪玄武岩具有内在的成因联系,有可能都是二叠纪峨眉地幔柱的产物。尤其重要的是,该二叠纪超基性岩和碱性岩有可能是峨眉地幔柱北部的一个“根”,是铜炉房大石包组二叠纪玄武岩喷出的通道。

表 3 四川丹巴麦约尔苦橄质岩中金云母的氩氩法快中子活化法测试结果

Table 3 Ar isotopic composition of phlogopite from picritic rocks in Maiyue'er, Sichuan Province

$t/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	F	$^{39}\text{Ar}/(\times 10^{-14}\text{mol})$	^{39}Ar 积累 %	t/Ma	$\pm 1\sigma/\text{Ma}$
400	18.0694	0.0438	1.9764	0.1038	5.2706	8.72	0.13	116.0	15.0
500	15.4211	0.0293	1.4215	0.0647	6.8594	16.53	0.38	148.6	7.0
600	16.9513	0.0362	1.9039	0.0810	6.3829	9.45	0.52	139.0	16.0
700	13.6127	0.0251	2.3123	0.0585	6.3730	40.61	1.13	138.5	4.5
800	12.5936	0.0131	1.3103	0.0404	8.8304	53.54	1.94	189.1	3.6
900	12.5925	0.0037	0.3292	0.0200	11.5239	166.91	4.45	243.1	2.8
980	12.4372	0.0018	0.0919	0.0153	11.9011	605.95	13.56	250.5	2.4
1040	12.0916	0.0006	0.0250	0.0138	11.9114	1522.32	36.45	250.7	2.4
1090	12.1443	0.0008	0.0247	0.0137	11.9069	1605.58	60.59	250.6	2.4
1140	12.2398	0.0011	0.0268	0.0140	11.9056	1306.12	80.22	250.6	2.4
1190	12.1569	0.0009	0.0367	0.0141	11.8937	1010.49	95.42	250.4	2.4
1240	12.2611	0.0016	0.1284	0.0163	11.7842	304.76	100.00	248.2	2.4

注:由中国地质科学院地质研究所同位素氩氩法实验室测试,2005年6月13日发报告。表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值,全熔年龄 = 248.5 Ma, F 为放射性成因⁴⁰Ar 与³⁹Ar 的比值。样重 57.64 mg, J = 0.012517。

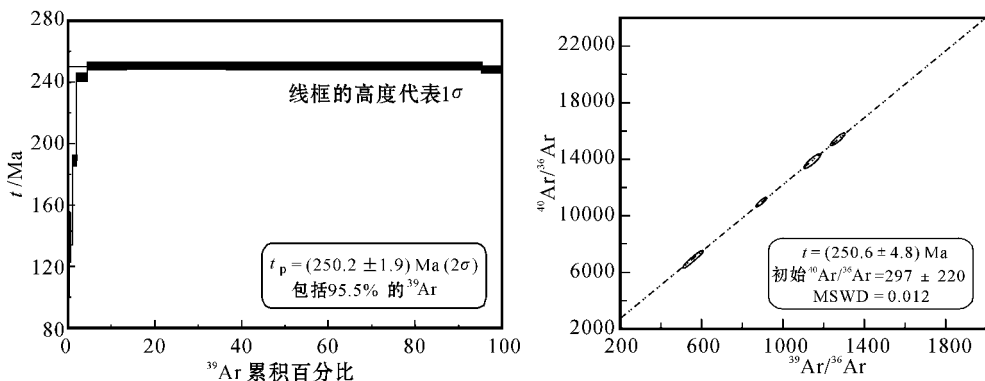


图 3 四川丹巴麦约尔苦橄质岩中金云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄和等时线年龄图

Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar apparent age spectra and isochron diagram of phlogopite from Maiyue'er, Sichuan Province

① 侯立玮, 邓志明, 付小方, 等. 1996. 中华人民共和国地质图(1:5万)说明书·丹巴幅.

4 讨论

上述3个地区代表了峨眉地幔柱影响范围内北部(麦约尔)、中部(攀枝花)和南部(白马寨)三个地区,其样品分别在3个不同的实验室完成,但获得的数据一致。这一方面,有助于查明白马寨、攀枝花等矿床的成矿时代;另一方面,也为探讨峨眉地幔柱的成矿机制提供了新资料。

4.1 铜镍硫化物矿床的成矿问题

中国西南部地区已知的钒钛磁铁矿、铜镍硫化物矿床和铂族元素矿床有元古宙形成的,也有古生代和中生代形成的,不同时代的铂族元素矿床形成于不同的构造环境,其中古生代的此类矿床有比较充分的依据表明它们与峨眉地幔柱有关(王登红等, 2003b)。石贵勇等(2006)获得的白马寨矿区铜镍硫化物矿石的Re-Os等时线年龄为259 Ma,与本研究中得到的白马寨铜镍矿Re-Os等时线年龄相近,属于峨眉山玄武岩同一时期的产物,与峨眉地幔柱存在密切的成因联系。

4.2 攀枝花钒钛磁铁矿的成矿时代问题

关于攀枝花钒钛磁铁矿的成矿时代,前人作过不少研究,但众说纷纭,至今没有统一的认识。

邢无京(1985)根据攀枝花岩体“在金沙江以南,辉长岩体有部分穿入上三叠系,在兰家后山矿区西部山沟中,辉长岩对三叠纪地层有烘烤现象”,认为层状基性-超基性岩形成于印支期以后。四川省地质局第一地质测量大队^①根据在毛狮子沟和白草板房箐一带见红格岩体与峨眉山玄武岩呈相变关系;在安宁村、米易新街、新农村康家箐等地见辉长岩体侵入到峨眉山玄武岩中或震旦系灯影组与峨眉山玄武岩之间;在红格矿区辉长岩中见玄武岩捕虏体、印支期碱性正长岩又侵入到玄武岩和层状岩体中等现象,认为层状岩体形成于海西晚期。四川省地质局攀枝花综合地质研究大队等^②根据含矿岩体往往侵入到灯影组灰岩、部分同位素年龄为334~375 Ma,认为层状岩体形成于海西早期。冯本智等(1985)根据攀枝花岩体中辉石K-Ar年龄[(1 508 ± 5) Ma],认

为层状岩体形成于前震旦纪,并认为岩体的流状构造(即矿物的定向排列)、片麻状构造属于变质作用的产物。袁海华等(1985)报道了红格辉长岩全岩Rb-Sr等时线年龄为(566.86 ± 56.99) Ma和(343.48 ± 56.99) Ma,认为存在两次岩浆侵入活动。卢纪仁等(1986)^③认为不可能是两次岩浆侵入,他们利用K-Ar法测得攀枝花岩体朱家包包Ⅲ号矿带辉长岩中辉石年龄为483.05 Ma,攀枝花Ⅲ矿带辉长岩中斜长石年龄为577.31 Ma(第一次测)和645.83 Ma(第二次测);红格岩体路枯北矿区辉石岩含矿带中辉石年龄为498.75 Ma(第一次测)和483.19 Ma(第二次测),认为层状岩体侵位于加里东期。

上述各研究成果的差异其原因可能是多方面的。总体上,从地质历史的角度看,攀枝花岩体于晚古生代侵入的可能性比较大,但同位素年龄值以早古生代数据偏多,可能与20多年前同位素年代测试精度不够或方法不合适有关。本次研究对攀枝花Ⅸ号矿带也进行了Rb-Sr法的研究,但未获得等时线,而黑云母样品的⁴⁰Ar/³⁹Ar法快中子活化分析结果表明,其形成于256.85 Ma,略早于峨眉山玄武岩的喷发,但可能在234 Ma和220 Ma左右受到过印支运动的影响。而印支运动在扬子地台西缘的影响是极其广泛的,有可能使含矿岩体发生构造变动(倾斜、错动等),以至于产生一些“烘烤”、“穿切”、“包裹”峨眉山玄武岩,甚至三叠纪地层的现象。

4.3 地幔柱的通道问题

苦橄质岩石和科马提岩常常被认为是地幔柱尾部的产物,因此,寻找到此类岩石对于界定一个地幔柱的影响范围及其对地壳的改造(包括热侵蚀和后期的剥蚀)程度,具有重要的意义。由于丹巴一带地质、成矿作用非常复杂,构造演化历史悠久,尤其是中生代陆内造山运动和热穹隆构造运动的强烈影响,导致前寒武纪和古生代地层均不同程度地受到区域性变质的改造,原始岩浆岩和沉积岩的同位素体系多次被破坏而不能保持封闭状态,因此尽管前人多进行了不同方法的年代学研究,但仍未取得太大进展^④。张招崇等(2003)曾经报道过云南丽江一带存在苦橄岩,本研究也发现四川丹巴地区的辉

① 地质部四川省地质局第一地质测量大队, 1966. 中华人民共和国区域地质调查报告·米易幅。

② 四川省地质局攀枝花综合地质研究大队, 106地质队, 地质科学院矿床研究所, 1980. 攀枝花-西昌地区钒钛磁铁矿共生矿物质成分研究报告。

③ 卢纪仁, 等, 1986. 攀西层状火成岩。

④ 李云泉, 等, 2000. 丹巴地区中深变质岩同位素年代及贵金属成矿条件。

石岩含镁高达 29.81% ,具有苦橄质特征。由此推测丹巴一带有可能存在与峨眉地幔柱有关的另外一个通道。因此,应该进一步调查该区基性-超基性岩的分布,围绕麦约尔“通道”四周,有可能找到更多的杨柳坪式的铜镍硫化物矿床。

4.4 找矿前景问题

三个研究区分布在扬子地台西南缘广阔的范围,从南部的白马寨经中部的攀枝花再到北部的杨柳坪,直线距离约 1 000 km。在这一近南北向狭长区域内,广泛地分布着与基性-超基性岩有关的铜镍硫化物矿床和钒钛磁铁矿矿床,尽管其中有一部分属于前寒武纪和早古生代,与峨眉地幔柱没有直接的成因联系(王登红等 2007),但是,250 Ma 左右基性-超基性岩的广泛侵入和大规模成矿作用的发生,尤其是几乎同时发生,其原因就是在古生代末期可能存在一个“峨眉地幔柱”,它在二叠纪向三叠纪过渡期间,达到了其活动的高峰期,既引发了峨眉山玄武岩的大规模喷发,也带来了一系列的矿产资源。因此,在这一区域内,无论是钒钛磁铁矿、铜镍硫化物矿床,还是铂族元素矿床,都具有很大的找矿前景。目前迫切需要研究的是这些矿床的找矿技术方法,如,针对杨柳坪式的铜镍硫化物矿床需要注意在热穹隆构造区的物化探异常;针对白马寨式的铜镍硫化物矿床需要注意构造剪切带中被错动上来的小岩体的含矿性,即“沿河找矿”。王登红等(2007)针对攀枝花式的钒钛磁铁矿,认为需要注意综合评价,尤其是注意在特定层位存在硫化物矿层的可能性。

5 结 论

上述研究成果表明,在峨眉地幔柱分布区,自南向北,无论是云南白马寨的铜镍硫化物矿床的年龄[(249 ± 32)Ma],四川攀枝花的铁矿层的年龄[(256.85 ± 2.69)Ma],还是四川杨柳坪外围麦约尔苦橄质基性-超基性岩的年龄[(250.2 ± 1.9)Ma],都与峨眉山玄武岩的年龄一致,表明这些矿床与峨眉山玄武岩具有一定的成因联系。考虑到它们在空间上也与峨眉山玄武岩及同时期形成的基性-超基性岩密切相关,可以认为它们都是峨眉地幔柱在古生代与中生代之交达到活动高峰期的产物。此外,峨眉地幔柱除了在 250 Ma 前后强烈活动之外,其对应的岩浆通道可能不止一处。今后应加强对岩浆通道的调查,从而推动铜镍硫化物矿床、钒钛磁铁矿矿床

和铂族元素矿床等的找矿工作。

致 谢 感谢审稿人和主编的仔细审阅及修改意见。

References

- Chen S P, Wang D H, Qu W J, Chen Z H and Gao X L. 2005. Geological features and ore-forming time of the Hulu Cu-Ni sulfide deposit in Eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 23(3): 230~233 (in Chinese with English abstract).
- Feng B Z, Yang T Q and Jiang X D. 1985. The new apprehend to layered rock body ore in Panzhihua area[J]. Journal of Changchun University of Geology, (2): 102~108 (in Chinese with English abstract).
- Li J K and Wang D H. 2004. The preliminary research on the numerical simulation of the Emei mantle plume[J]. Acta Geoscientica Sinica, 25(5): 509~514 (in Chinese with English abstract).
- Shi G Y, Sun X M and Wang S W. 2006. Re-Os isotopic dating of Baimazhai Ni-Cu sulfide deposit and its constraints on the ore genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(10): 2451~2456 (in Chinese with English abstract).
- The Writing Committee of Chinese Deposits. 1996. The discovery history of Chinese deposits · Sichuan part[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 55~58 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Li Z W, Luo J L, Liu H L and Jiang C X. 2003a. Basic problems in prospecting for platinum group element in Yunnan[J]. Yunnan Geology, 22(3): 250~259 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Liu F S, Chu Y S, Luo Y N, Fu D M and Luo F X. 2003b. The Emei Mantle Plume and the Yangliuping Cu-Ni-PGE deposit in Sichuan, China[M]. Beijing: Weaponary Industry Press. 1~78 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Luo Y N, Qu W J, Li Y Q, Fu D M, Li Y G, Li C J, Chen Z Y and Fu X F. 2007. Geology, geochemistry and prospecting of PGE deposits in SW China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~335 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H. 1998. Mantle plume and mineralization[M]. Beijing: Seismic Press. 1~160 (in Chinese).
- Xing W J. 1985. The age of Kangding Group[J]. Sichuan Acta Geologica Sinica, 5(2): 1~5 (in Chinese with English abstract).
- Yuan H H. 1985. The preliminary research on isotopic dating of magnetite in Panzhihua-Xichang rift zone[A]. In: The anthology of Panzhihua-Xichang rift zone[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 121~128 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z C, Hao Y L and Wang F S. 2003. Picaites in large igneous provinces and their implications[J]. Earth Science Frontiers, 10: 105~114 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈世平,王登红,屈文俊,陈郑辉,高晓理. 2005. 新疆葫芦铜镍硫化

- 物矿床的地质特征与成矿时代[J]. 新疆地质, 23(3): 230~233.
- 冯本智, 杨天奇, 姜修道. 1985. 攀枝花层状含矿岩体形成时代的新认识[J]. 长春地质学院学报(3): 103~108.
- 李建康, 王登红. 2004. 峨眉地幔柱动力学数值模拟的初步研究[J]. 地球学报, 25(5): 509~514.
- 石贵勇, 孙晓明, 王生伟. 2006. 云南白马寨铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(10): 2451~2456.
- 王登红, 李志伟, 罗君烈, 刘和林, 蒋成兴. 2003a. 云南铂族元素找矿基础问题[J]. 云南地质, 22(3): 250~259.
- 王登红, 刘凤山, 楚萤石, 骆耀南, 傅德明, 罗辅勋. 2003b. 峨眉地幔柱与杨柳坪铜镍铂族元素矿床[M]. 北京: 兵器工业出版社. 1~78.
- 王登红, 骆耀南, 屈文俊, 李云泉, 傅德明, 李佑国, 李纯杰, 陈振宇, 付小方. 2007. 中国西南铂族元素矿床地质、地球化学与找矿[M]. 北京: 地质出版社. 1~335.
- 王登红. 1998. 地幔柱及其成矿作用[M]. 北京: 地震出版社. 1~160.
- 邢无京. 1985. 关于康定群时代问题[J]. 四川地质学报, 5(2): 1~5.
- 袁海华. 1985. 攀西裂谷岩浆岩同位素地质年代学初步研究[A]. 中国攀西裂谷文集[C]. 北京: 地质出版社. 121~128.
- 张招崇, 郝艳丽, 王福生. 2003. 大火成岩省中苦橄岩的研究意义[J]. 地学前缘, 10: 105~114.
- 中国矿床发现史编委会. 1996. 中国矿床发现史·四川卷[M]. 北京: 地质出版社. 55~58.

<http://www.kcdz.ac.cn/>