

滇西地区下地壳铅同位素的组成及其意义

祝朝辉^{1,2}, 刘淑霞¹, 张乾², 谷德敏¹

(1. 河南省国土资源科学研究院, 郑州 450053;

2. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 550002)

[摘要]滇西地区新生代碱性侵入岩中广泛分布的麻粒岩包体可以代表该地区的下地壳岩石,为了确定滇西下地壳岩石的铅同位素组成,我们系统采集了该区碱性岩中的麻粒岩包体,挑选出其中的长石、石榴子石等造岩矿物,测定了其铅同位素组成,在 Zartman 等的铅构造演化模式图上,剔除个别异常的铅同位素组成,圈出投影于下地壳铅同位素演化趋势线上及附近的铅同位素分布范围,由此确定了该区下地壳的铅同位素组成的区域,并进一步结合作者先前确定的该区上地壳及上地幔铅同位素组成,构建了该区三维岩石圈铅同位素组成,并将这一结果用于滇西金顶超大型铅锌矿床的成矿物质来源的研究中,发现颇受争议的金顶铅锌矿床中的铅并非来自上地幔,而相当于下地壳来源的铅与兰坪盆地沉积岩铅二者的混合铅。

[关键词]碱性岩 下地壳 多金属矿床 铅同位素组成 滇西

[中图分类号]P618.42 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2009)05-0509-07

Zhu Chao-hui, Liu Shu-xia, Zhang Qian, Gu De-min. Pb Isotopic Compositions of Lower Crust and Its Implication, Western Yunnan Province[J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(5): 509-515.

0 前言

地处滇西北的兰坪盆地是我国中-新生代陆内沉积盆地,以产出大量铜、铅、锌、银矿床而成为具有特殊成矿地质背景的大型矿集区,其中有我国唯一上千万吨级铅锌金属量的金顶超大型铅锌矿床以及众多铜、银矿床。到目前为至,已有众多学者从不对角度对该区进行了研究^[1-15]。但是,关于兰坪盆地多金属矿床的成矿物质来源一直存在壳源与幔源之争,以及居于两者之间的壳幔混合源观点。各种观点的主要依据为:对某一矿床,全部或部分矿石铅同位素组成看上去具有低而均一的同位素比值者,大多被认为是地幔或深源岩浆来源,具有高而分散的铅同位素组成者多被认为来自地壳沉积岩,而当矿石铅同位素成分散且部分样品具有低而均一的同位素比值时,则认为地幔也提供了部分成矿物质。

在过去的时间内,对兰坪-思茅盆地多金属矿床成矿物质来源的判断,基本上就是这种局面。问题的症结所在是滇西地区一直未获得三维岩石的铅同位素组成背景范围,缺少直接对比的依据。基于此,张乾等^[16]和 Zhang et al.^[17]确定了滇西地区上地幔与上地壳两个端员的铅同位素组成,发现金顶矿床的铅同位素组成与上地幔铅并不吻合,而与仅有的两个麻粒岩包体长石铅相同,由此推测矿石铅主要来自下地壳岩石,但是,样品太少代表性不够。

滇西地区分布有众多的新生代基性-超基性岩和碱性岩体,许多学者都认为它们是上地幔岩浆作用的产物^[18-24]。碱性岩体中常见石榴透辉岩、石榴辉石岩、辉石麻粒岩及麻粒岩等来自下地壳的岩石包体,我们以其中的斜长石、石榴石等为对象,测定了铅同位素组成,以期探讨该区深部地壳岩石的铅同位素组成特点,并与金顶矿床的铅同位素组成对

[收稿日期]2009-04-29; **[修订日期]**2009-07-01。 **[责任编辑]**孙 赫

[基金项目]中国科学院创新项目(批准号:KZCX2-YW-111)和国家基础重点规划(973)项目(批准号:2007CB411408)。

[第一作者简介]祝朝辉(1978年—),男,工程师,2008年毕业于中国科学院地球化学研究所,获理学博士学位,矿物学、岩石学、矿床学专业。

通讯作者:张乾(1955—),男,研究员,博士生导师,1981年毕业于成都理工大学矿产地质及勘探专业,获学士学位,现主要从事矿床地球化学研究。

比,提供该矿床成矿物质来源新认识。

1 区域地质背景及矿床分布特点

兰坪盆地是陆内断陷盆地,形成于中生代末至新生代初,发育于第三纪,第三纪末至第四纪初褶皱隆起。盆地西界为澜沧江深大断裂带,东以金沙江—哀牢山断裂带为界,南至无量山,北至德钦。

盆地自中生代至第三纪处于接受沉积状态,三叠纪以海相碳酸盐岩—碎屑岩沉积为主,伴随有海相中酸性火山喷发作用,侏罗纪至白垩纪为陆相—海陆交互砂岩—细碎屑岩沉积,第三纪为陆相湖泊红色含盐碎屑沉积,第三纪末隆起为山。盆地基底除前寒武系变质岩外,早古生界及晚古生界地层零星分布。其中第三系为金顶铅锌矿床的主要赋矿层位,三叠系至侏罗系为脉状多金属矿床的赋矿层位,二叠系为盆地边缘与火山—岩浆作用有关的矿床的赋存层位。前寒武系和古生界地层中尚未发现有较大经济意义的矿床。多金属矿床的分布如图1所示,羊拉铜矿床位于盆地北缘的二叠系玄武岩—碎屑岩地层中,矿床规模达大型;盆地内部沿澜沧江断裂带东侧,有金满、水泄、小格拉、科登洞、甸尾桥、富隆厂等近200处铜矿床(点),它们主要产于三叠系至白垩系地层中,矿床受断裂带控制,呈脉状;盆地中部为铅锌银矿床分布区,从德钦至兰坪一带,有金顶、南佐、菜子地、三山等铅锌矿及白秧坪银矿床,金顶铅锌矿为层状矿体,赋矿地层为老第三系,超大型铅锌规模,伴生超大型锑和镉,其余矿床主要为脉状矿体,赋矿地层以三叠系和侏罗系为主;再往东及往盆地东南部至大理—永平一带,分布有汞锑矿床(点),近年来在兰坪至云龙一带也发现有汞锑矿化。

岩浆活动主要限于盆地边缘及周边地区,盆地中心地带(维西—兰坪一带)为多金属矿床集中分布区很少有岩浆岩出露。往北至德钦县城以北有大量中生代中酸性、基性岩浆岩出露,盆地东缘丽江至大理一带,分布有大量新生代碱性岩、基性—超基性岩,北衙金矿的形成就与碱性岩关系密切。

2 样品采集及分析方法

滇西地区没有出露中下地壳岩石,由于采样的困难,一直是研究的薄弱环节,20世纪90年代以来,碱性岩中的深源岩石包体引起了地质学家的关注,自蔡新平^[25]对北衙富碱斑岩中深源包体的研究

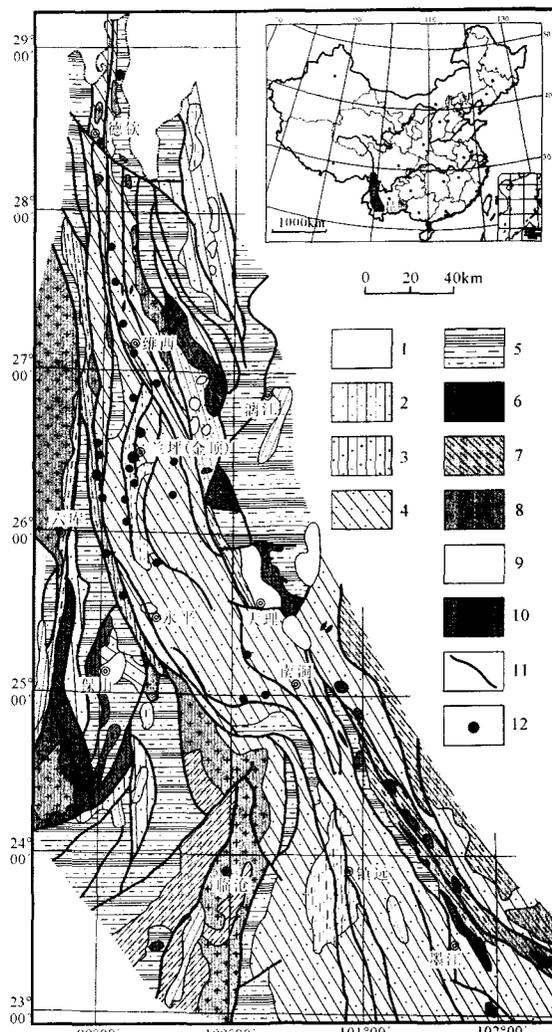


图1 滇西兰坪盆地区域地质及矿床分布图^[33]
Fig. 1 Sketch map of the geology and deposit distribution of the Lanping basin

- 1—第四纪;2—上第三系;3—下第三系;4—白垩系—侏罗系;5—三叠系—二叠系;6—石炭系—寒武系;7—前寒武系(苍山群、崇山群、石鼓群、高黎贡山群);8—中生代中酸性岩浆岩;9—新生代中酸性岩浆岩;10—新生代基性—超基性岩;11—断裂;12—矿床(点)
- 1—Quaternar; 2—Neozoic; 3—Eogene; 4—Cretaceous—Jurassic; 5—Triassic—Permian; 6—Carboniferous—Cambrian; 7—Precambrian (Cangshan group, Chongshan group, Shigu group and Gaoligongshan group); 8—Mesozoic neutral—acidic magmatic rock; 9—Cenozoic neutral—acidic magmatic rock; 10—Cenozoic basic—ultrabasic rock; 11—fault; 12—deposit

开始,张玉泉^[22]、邓万明^[26]、吕伯西^[27]、刘显凡^[28]、孙志明^[29]和王建^[30]等人对滇西地区部分岩体中的深源包体进行了研究,从而有力地促进了该区深部地壳的研究进程,对该区深部地壳的组成及其地球

化学特征有了初步的认识。但至今未取得一致意见,分歧主要集中在包体的性质以及与寄主岩的关系等问题上,概括起来有如下三种观点:①含石榴子石和透辉石的超镁铁质包体为原始地幔部分熔融的结晶产物,包体中的微晶玻璃来自包体成岩后地幔去气产生的交代流体,流体中聚集了碱质、大离子亲石元素以及成矿元素,也孕育了碱性岩浆。②这套岩石包体为一套下地壳变质岩类。③碱性岩和辉石岩包体代表的是富集地幔顶部——二辉橄榄岩部分熔融形成的碱性超基性-基性岩、钙碱性岩片和楔形体。但总的说来,缺乏系统性且没有涉及到与该大型矿集区形成的关系。刘志浩^[31]对滇西碱性岩中的各种深源包体进行了系统研究,结果表明:该区域的深部地壳岩石组成类型主要为麻粒岩、片麻岩及角闪岩类岩石。

为了确定区域下地壳的铅同位素组成,我们采集了剑川、六合、北衙、姚安等地碱性岩中的麻粒岩等深源包体(图1)。经显微镜下鉴定,挑选出新鲜未蚀变的样品,从中提纯出长石、石榴子石等矿物。矿物颗粒较大的样品,破碎至60~80目,利用重液分选和体视显微镜挑选及检验;矿物颗粒细小的样品,破碎至100目以下,分级洗净烘干,利用不同矿物比重及介电性能的差异分选出所需矿物,然后用X-射线衍射法检验其纯度。共选出13个矿物及全岩样品,其中单矿物样品的纯度都在95%左右,能够满足铅同位素分析的要求。

为了得到可靠的分析结果,样品经化学前处理后,分别在中国科学院地质与地球物理研究所同位素室VG354质谱仪和中国地质科学院宜昌同位素研究与测试中心的MAT261质谱仪上进行了铅同位素分析。同位素比值用NBS2981标准样重复测定结果($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.923 \pm 3$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.467 \pm 3$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.733 \pm 6$)所确定的每原子质量0.1%的分馏系数进行了校正,分析的总体误差 $< 0.05\%$,Pb总体空白值小于1ng。同一样品在两台仪器上的分析结果接近,误差在10%以内。为了查证全岩、长石和石榴石样品中U、Th对铅同位素组成的影响,我们用ICP-MS测定了这些样品的U、Th和Pb含量,检出限为 1×10^{-6} 。分析结果显示,全岩及长石、石榴石单矿物样品含Pb $(18 \sim 28) \times 10^{-6}$, U、Th低于 1×10^{-6} 。同时,这些岩石的侵入时代一般为中生代晚期至新生代,其时代为30~70 Ma^[21, 22]。因此,岩石形成后放射性元素衰变产生的放射成因铅可以忽

略,后文的解释中直接采用测定结果。分析结果见表1。

表1 滇西地区下地壳包体岩石及矿物的铅同位素组成
Table 1 The Pb isotopic compositions of lower crust in Western Yunnan province

样品	岩石及矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(2\sigma)$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(2\sigma)$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(2\sigma)$
LH-65	榴辉岩,石榴石	18.182(9)	15.333(4)	37.575(12)
LH-38	榴辉岩,石榴石	18.124(10)	15.371(9)	37.581(20)
LH-8	透辉斜长片麻岩,斜长石	18.217(6)	15.386(3)	37.594(11)
LH-2	古铜辉石麻粒岩,斜长石	18.158(32)	15.326(10)	37.881(38)
LH-5	透辉麻粒岩,斜长石	18.378(35)	15.421(44)	38.380(45)
LH-11	黑云斜长片麻岩,斜长石	18.243(11)	15.361(21)	37.862(22)
LH-42	古铜辉石麻粒岩,斜长石	18.064(24)	15.268(30)	37.598(59)
LH-46	斜长角闪片麻岩,斜长石	18.492(16)	15.485(19)	38.333(24)
LH-47	辉石麻粒岩,斜长石	18.218(76)	15.353(82)	37.865(84)
LH-75	辉石麻粒岩,斜长石	18.464(33)	15.491(61)	38.019(61)
JC-4	透辉麻粒岩,斜长石	18.418(123)	15.363(142)	37.745(148)
JC-11	麻粒岩,斜长石	18.260(70)	15.393(102)	37.663(118)
JC-15	透辉麻粒岩,斜长石	18.131(53)	15.371(66)	38.108(74)

注:括号内的数值为测试误差(2σ)。

3 滇西下地壳铅同位素组成的确定

我们曾在项目的执行过程中取得了下地壳麻粒岩和榴辉岩中三个石榴石样品的铅同位素组成, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.135 \sim 18.187$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.335 \sim 15.388$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.836 \sim 37.899$,与上地壳和上地幔的铅同位素组成完全不同,初步认为该区下地壳也具有低的同位素比值^[16, 17]。本次研究所采集的部分来自下地壳的岩石包体所对应铅同位素比值分别为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.064 \sim 18.418$,平均值18.217; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.268 \sim 15.421$,平均值15.359; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.575 \sim 38.380$,平均值37.805(表1),与前述造岩矿物的铅同位素组成非常接近。在Zartman等的铅构造图上(图2),上述不同地点、不同岩性样品的铅同位素组成,都位于下地壳铅演化线上或沿该演化线的延长方向分布,勾画出的变

化范围其长轴方向与下地壳铅演化线一致。因此,我们以现有的资料在图2中初步确定了可以代表该区晚古生代以来下地壳岩石铅同位素组成的区域。张理刚^[32]认为,Zartman等的铅构造模式中,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb - ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb图不适合中国大陆铅的演化,因此,在图2中我们给出²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb - ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb图。

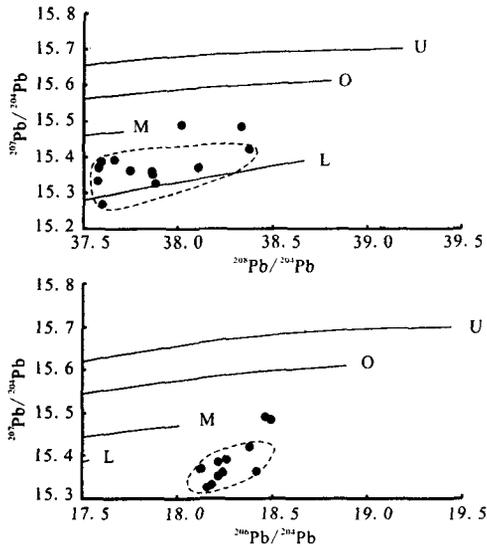


图2 滇西下地壳铅同位素组成

Fig. 2 The Pb isotopic compositions of the lower crust in Western Yunnan Province

M—地幔铅;O—造山带铅;U—上地壳铅;L—下地壳铅;虚线区域:滇西下地壳铅

M—upper mantle; O—orogenic belt; U—upper crustal; L—lower crustal; the dashed-line surrounded area: lower crustal lead data in the region of Western Yunnan Province

滇西深源包体的种类均非常丰富,且成岩物源并不一致,其中大部分变质岩的原岩很可能为古老地壳重熔后,在高温高压环境下变质而成的产物。同时,其中也有一部分很可能为幔源岩浆底侵于深部地壳并经过壳幔相互作用经变质作用形成。在Zartman的铅构造演化图上(图2),处于地幔铅演化趋势线延伸方向的样品(LH-46和LH-75)的铅同位素组成可能代表了幔源岩浆岩包体。

4 滇西下地壳铅同位素组成在金顶超大型铅锌矿床铅源判断中的应用

金顶铅锌矿床位于云南省西部兰坪县境内,是我国超大型铅锌矿床之一。累计探明铅锌合计储量1610.6万t,其中铅263.53万t、锌1347.07万t,是

我国迄今探明的铅锌储量最多,矿床规模最大的超大型矿床,居全国之首。此外,共伴生银、镉、铊、硫铁矿、天青石、石膏等矿产也均达到大型规模(矿床地质特征见文献^[9, 12, 16-17, 33])。关于兰坪盆地多金属矿床成矿物质来源一直存在多种认识^[33-35]。利用铅同位素组成确定成矿物质来源,关键在于矿石铅与有关地质体铅同位素组成的对比。本文收集了金顶铅锌矿床56个硫化物矿物的铅同位素组成(具体数据及采样位置见张乾等^[16]),其中14个样品为张乾等所测,其它的42个样品为云南省地质矿产分析结果,二者一致,说明二者的数据均是可靠的。

在Zartman铅构造演化图上,金顶超大型铅锌矿床的铅同位素组成的确绝大部分样品都位于造山带铅演化线以下(图3)。但是,基于初步厘定的滇西地区下地壳铅同位素组成的地球背景值范围,以及张乾等^[16]和Zhang et al.^[17]已确定的该区上地幔及上地壳铅同位素组成的地球背景值范围的数据,这一整套滇西地区铅同位素组成的完整的参考体系。以下几点使我们对上地幔提供铅的结论产生了怀疑:①金顶矿床的铅同位素组成并不均一,1/3的样品为富放射成因铅,²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb三组同位素比值分别为18.394~18.600、15.585~15.767、38.321~39.046;具有低同位素比值的样品其²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb三组同位素比值变化范围都很大(分别为18.138~18.552、15.345~15.552、37.803~38.443);②样品呈不具等时性的线性分布,这使我们相信,铅的来源不是单一的;③显然,56个样品可以分为两组,一组具有较高的同位素比值,分布于造山带铅演化线及其以上,位于区域上地壳铅范围内,可以认为,这部分样品的铅的主体来自区域地层;另一组具有较低的同位素比值,位于造山带铅演化线以下;④上述第二组样品尽管有一部分位于区域上地幔铅范围内,但样品的整体展布方向与区域上地幔铅范围的轴向极不一致,而与下地壳范围具有相似的铅同位素演化趋势。我们认为,具有最低同位素比值即位于图3中最下方样品的铅受区域地层铅的污染最少。显然,这部分铅的主体更象是下地壳来源的铅;⑤图3b中一部分样品(包括前述第一组样品)沿AC线分布,另一组样品沿BC线分布,两条直线相交于C点,沿BC分布的样品基本上都位于滇西上地幔铅范围以下,且靠近下地壳铅演化线,呈线性分布说明这部分铅并非全部为下地壳铅,而是仍有少

量上地壳铅混入,而C点所代表的同位素组成才可能是下地壳铅的最初来源。由此,我们认为金顶矿床的铅并非来自上地幔,铅的主体来自下地壳,不同程度地混入了上地壳铅。这一结论得到了该矿床不存在幔源氮、幔源硫及幔源锶及由深源包体所厘定的下地壳 Pb 同位素组成特征等地球化学证据的支持。

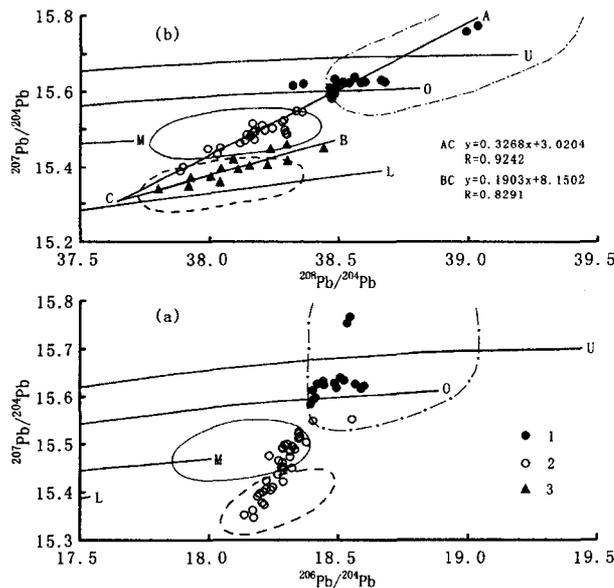


图3 金顶铅锌矿床铅同位素组成

Fig. 3 The Pb isotopic compositions of the Jinding deposit

M—地幔铅;O—造山带铅;U—上地壳铅;L—下地壳铅;实线区域:滇西上地幔铅;点线区域:滇西上地壳;虚线区域:滇西下地壳铅;1—第一组样品;2—3—第二组样品

M—upper mantle; O—orogenic belt; U—upper crustal; L—lower crustal; the solid-line area: upper mantle lead in the region of western Yunnan; the dotted-line area: lead data of upper crustal in the region of Western Yunnan; the dashed-line surrounded area: lower crustal lead data in the region of western Yunnan; 1—samples of the first group; 2 & 3—samples of the second group

5 结论

1) 初步确定了滇西地区下地壳铅同位素组成的地球化学背景值范围,与 Zhang et al.^[17] 利用地幔岩及地层岩石中铅同位素组成所确定的滇西地区上地幔及上地壳铅同位素组成的地球化学背景值范围一起,构成了一套滇西地区上地幔至上地壳不同圈层铅同位素组成的地球化学背景值范围系统,为利用铅同位素示踪滇西巨型矿集区内矿床的矿质来源提供了重要的参考标准;

2) 金顶矿床的铅并非来自上地幔,铅的主体来自下地壳,不同程度地混入了上地壳铅。

[参考文献]

[1] 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽, 袁牢山. 金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究[J]. 岩石学报, 1987, (1): 17-25.
Zhang Yu-quan, Xie Ying-wen, Tu Guang-zhi. Preliminary studies of the alkali-rich intrusive rock in the Ailaoshan-Jinshajiang belt and their bearing on rift tectonics[J]. Acta Petrologica Sinica, 1987, (1): 17-25.

[2] 王立全, 潘桂堂, 李定谋, 徐强, 林仕良. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 206-218.
Wang Li-quan, Pan Gui-tang, Li Ding-mou, Xu Qiang, Lin Shi-liang. The Spatio-temporal Framework and Geological Evolution of the Jinshajiang Arc-Basin Systems[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(3): 206-218.

[3] 李光勋. 兰坪盆地某些逆冲推覆构造研究[J]. 云南地质, 1994, 13(2): 203-212.
Li Guang-xun. A preliminary study of some thrust-nappe structures in Lanping basin[J]. Yunnan Geology, 1994, 13(2): 203-212.

[4] 吕伯西, 段建中, 潘长云. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 70-262.
Lv Bo-xi, Duan Jian-zhong, Pan Chang-yun. Granitoid and its mineralization specialization in Sanjiang regional[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993, 70-262.

[5] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
Tu Guang-zhi. Geochemistry of stratabound deposit (Part 1)[M]. Beijing: Science Press, 1984, 110-230.

[6] 白嘉芬, 王长怀, 纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征[J]. 矿床地质, 1985, 4(1): 1-10.
Bai Jia-fen, Wang Chang-huai, Na Rong-xian. Geological characteristics of the Jinding lead-zinc deposit in Yunnan with a special discussion on its genesis[J]. Mineral Deposits, 1985, 4(1): 1-10.

[7] 尹汉辉, 范蔚茗, 林舸. 云南兰坪-思茅地洼盆地矿化的深部因素及幔-壳复合成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 1990, 14(2): 113-124.
Yin Han-hui, Fan Wei-ming, Lin Ge. Deep processes and mantle-crust compound mineralization in the evolution of the Lanping-Simao Mesozoic-Cenozoic diwa basin in Western Yunnan, China[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 1990, 14(2): 113-124.

[8] 罗君烈, 杨友华, 赵准. 滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1992, 157-214.
Luo Jun-lie, Yang You-hua, Zhao Zhun. Evolution of Tethys and mineralization of main metal deposit in Western Yunnan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992, 157-214.

[9] 王京彬, 李朝阳. 金顶超大型铅锌矿床 REE 地球化学研究[J]. 地球化学, 1991, (4): 359-365.
Wang Jing-bin, Li Chao-yang. REE geochemistry of the Jinding superlarge Pb-Zn deposit[J]. Geochimica, 1991, (4): 359-365.

- [10] 肖荣阁, 李朝阳. 云南兰坪坳井温泉喷流沉积矿化体的发现及其地质意义[J]. 地质论评, 1993, 39(1): 73-78.
Xiao Rong-ge, Li Chao-yang. The discovery of a mineralized body in spurting fluid deposits of the Lajing hot spring, Lanping, Yunnan, and its geological implications[J]. Geological Review, 1993, 39(1): 73-78.
- [11] 季宏兵, 李朝阳. 兰坪金满铜矿床地质地球化学特征及成因机理[A]. 欧阳自远, 彭汝明. 矿物岩石地球化学新探索[M]. 北京: 地震出版社, 1993, 208-209.
Ji Hong-bing, Li Chao-yang. Geology and Geochemistry characteristics and genesis of Jinman deposit in Lanping basin[A]. In: Oyang Zi-yuan, Peng Ru-ming. New Exploration of mineral, petrology and geochemistry[M]. Beijing: Earthquake Press, 1993, 208-209.
- [12] 王太平. 云南省金顶铅锌矿床地球化学特征[J]. 地质研究, 1988, (2): 36-38.
Wang Tai-ping. The geochemical characteristics of the Jinding Pb-Zn deposit in Yunnan[J]. Research of Geology, 1988, (2): 36-38.
- [13] Hu Rui-zhong, Turner G, Burlard P G, Zhong Hong, Ye Zao-jun, Bi Xian-wu. Helium and argon isotopic geochemistry of Jinding superlarge Pb-Zn deposit [J]. Science in China (Series D), 1998, 41(4): 442-448.
- [14] 潘家永, 张乾, 李朝阳. 滇西羊拉铜矿稀土元素地球化学[J]. 矿物学报, 2000a, 20(1): 44-49.
Pan Jia-yong, Zhang Qian, Li Chao-yang. REE geochemistry of the Yangla copper deposit in Western Yunnan[J]. Acta mineralogica Sinica, 2000a, 20(1): 44-49.
- [15] 潘家永, 张乾, 李朝阳. 滇西羊拉铜矿床的稳定同位素地球化学研究[J]. 矿物学报, 2000b, 21(4): 385-389.
Pan Jia-yong, Zhang Qian, Li Chao-yang. Stable isotope geochemical characteristics of the Yangla copper deposit in Western Yunnan Province[J]. Acta mineralogica Sinica, 2000b, 20(4): 385-389.
- [16] 张乾, 邵树勋, 刘家军, 刘志浩. 兰坪盆地大型矿集区多金属矿床的铅同位素组成及铅的来源[J]. 矿物学报, 2002, 22(2): 147-154.
Zhang Qian, Shao Shu-xun, Liu Jia-jun, Liu Zhi-hao. lead isotopic composition and lead source of the polymetallic deposit in the large ore-assembly district in the Lanping basin [J]. Acta mineralogica Sinica, 2002, 22(2): 147-154.
- [17] Zhang Qian, Liu Jia-jun, Shao Shu-xun, Liu Zhi-hao. An estimate of the lead isotopic compositions of upper mantle and upper crust and implications for the source of lead in the Jinding Pb-Zn deposit in Western Yunnan, China[J]. Geochemical Journal, 2002, 36:271-287.
- [18] 涂光炽. 关于富碱侵入岩[J]. 矿产与地质, 1989, 13(3): 1-4.
Tu Guang-zhi. On the alkali-rich intrusive rocks[J]. Mineral Resources and Geology, 1989, 13(3): 1-4.
- [19] Eby GN. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos, 1990, 26: 115-134.
- [20] Turner S P, Foden I D, Morrison R S. Derivation of some A2type magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the Padthaway Ridge, South Australia[J]. Lithos, 1992, 28: 151-179.
- [21] 赵振华, 周玲棣. 我国某些富碱侵入岩的稀土元素地球化学[J]. 中国科学(B辑), 1994, 24(10): 1109-1120.
Zhao Zhen-hua, Zhou Ling-li. The REE geochemistry of some alkali-rich intrusive rocks in China[J]. Science in China (Ser. D), 1994, 24(10): 1109-1120.
- [22] 张玉泉, 谢应雯. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和Nd、Sr同位素特征[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(4): 289-293.
Zhang Yu-quan, Xie Ying-wen. Geochronology of Ailaoshan-Jinshajiang alkali-rich intrusive rocks and their Sr and Nd isotopic characteristics[J]. Science in China (Ser. D), 1997, 27(4): 289-293.
- [23] 边千韬. 地球壳幔结构构造与老王寨超大型金矿床形成关系探索[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(4): 303-309.
Bian Qian-tao. Preliminary study on the relationship between the crust-mantle structure and the formation of Laowangzhai superlarge gold deposit[J]. Science of China (Ser. D), 1998, 28(4): 303-309.
- [24] 徐平, 贾秀琴, 钱青, 韩松, 张旗. 云南金平县镁-超镁铁岩岩床群的地球化学特征[J]. 地质科学, 1999, 34(2): 233-241.
Xu Ping, Jia Xiu-qin, Qian Qing, Han Song, Zhang Qi. The geochemical constraints on mafic-ultramafic sill swarms from Jinping area, Yunnan[J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(2): 233-241.
- [25] 蔡新平. 扬子地台西缘新生代富碱斑岩中的包体及其意义[J]. 地质科学, 1992, (2): 183-189.
Cai Xin-ping. Discovery of deep-derived xenoliths in Cenozoic alkali-rich porphyries along the margin of the Yangtze Platform and its significance[J]. Scientia Geologica Sinica, 1992, (2): 183-189.
- [26] 邓万明, 黄萱, 钟大赉. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因[J]. 地质科学, 1998, 33(4): 412-425.
Deng Wan-ming, Huang Xuan, Zhong Da-lai. Petrologic characteristics and genesis of Cenozoic alkali-rich porphyry in West Yunnan, China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(4): 412-425.
- [27] 吕伯西, 钱祥贵. 滇西新生代碱性火山岩富碱斑岩深源包体岩石学研究[J]. 云南地质, 1999, 18(2): 127-143.
Lv Bo-xi, Qian Xiang-gui. A petrographic study on the hypogenic enclaves in Cenozoic alkalic volcanics and rich alkalic porphyry of Western Yunnan[J]. Yunnan Geology, 1999, 18(2): 127-143.
- [28] 刘显凡, 战新志, 高振敏, 刘家军, 李朝阳, 苏文超. 云南六合深源包体与富碱斑岩成岩成矿的关系[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(5): 413-420.
Liu Xian-fan, Zhan Xin-zhi, Gao Zhen-min, Liu Jia-jun,

- Li Chao - yang, Su Wen - chao. Deep xenoliths in alkalic porphyry, liuhe, Yunnan, and implications to petrogenesis of alkalic porphyry and associated mineralizations [J]. Science in China (Ser. D), 1999, 29(5): 413 - 420.
- [29] 孙志明, 李兴振, 江新胜, 杜德勋. 滇西小桥头岩体中深源包体的发现及其意义[J]. 特提斯地质, 1999, 23: 81 - 87.
- Sun Zhi - ming, Li Xing - zhen, Jiang Xin - sheng, Du De - xun. The discovery and significance of the deep - seated enclaves from the Xiaoqiaotou rock body in Shigu, Western Yunnan [J]. Tethyan Geology, 1999, 23: 81 - 87.
- [30] 王建, 李建平, 王江海, 马志红. 滇西剑川 - 大理地区新生代钾玄岩系中深源包体的地质意义[J]. 矿物学报, 2002, 22(2): 113 - 125.
- Wang Jian, Li Jian - ping, Wang Jiang - hai, Ma Zhi - hong. Geological implication for the mafic enclaves deep derivation from enozoic shoshonitic rock in Jiachuan - Dali area, Western Yunnan [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2002, 22(2): 113 - 125.
- [31] 刘志浩. 滇西北中下地壳岩石地球化学及成矿贡献——来自深源岩石包体的信息[D]. 中国科学院地球化学研究所硕士论文, 2003.
- Liu Zhi - hao. Middle - Lower crust rock geochemistry and their contribution to the mineralization of the Cu - Pb - Zn deposit, in Northwestern Yunnan, China [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences dissertation, 2003.
- [32] 张理刚. 铅同位素地质研究现状及展望[J]. 地质与勘探, 1992, 28(4): 21 - 29.
- Zhang Li - gang. Present status and aspects of lead isotope geology [J]. Geology and Exploration, 1992, 28(4): 21 - 29.
- [33] 张乾. 云南金顶超大型铅锌矿床的铅同位素组成及铅来源探讨[J]. 地质与勘探, 1993, 29(5): 21 - 28.
- Zhang Qian. Pb isotopic composition of the Jinding super - large Pb - Zn deposit in Yunnan province and discussion on the source of lead [J]. Geology and Exploration, 1993, 29(5): 21 - 28.
- [34] 李志明, 刘家军, 秦建中, 廖宗廷, 何明勤, 刘玉平. 兰坪盆地白秧坪铜钴银多金属矿床成矿物质来源研究[J]. 地质与勘探, 2005, 41(1): 1 - 6.
- Li Zhi - ming, Liu Jia - jun, Qin Jian - zhong, Liao Zong - ting, He Ming - qin, Liu Yu - ping. Ore - forming material sources of the Baiyangping copper - cobalt - silver polymetallic deposit in Lanping basin, Western Yunnan [J]. Geology and Exploration, 2005, 41(1): 1 - 6.
- [35] 刘家军, 李朝阳, 潘家永, 刘显凡, 张乾, 刘玉平. 兰坪 - 思茅盆地砂页岩中铜矿床成矿物质来源研究[J]. 地质与勘探, 2000, 36(4): 16 - 19.
- Liu Jia - jun, Li Chao - yang, Pan Jia - yong, Liu Xian - fan, Zhang Qian, Liu Yu - ping. Ore - forming material sources of the Copper deposit from sandstone and shale in Lanping - simao basin, Western Yunnan and their genetic implications [J]. Geology and Exploration, 2000, 36(4): 16 - 19.

Pb Isotopic Compositions of Lower Crust and Its Implication, Western Yunnan Province

ZHU Chao - hui^{1,2}, LIU Shu - xia¹, ZHANG Qian², GU De - min¹

(1. Scientific Academy of Land and Resources of Henan Province, Zhengzhou 450053

2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract: The extensive granulite inclusions in alkaline intrusive rocks are considered as materials of lower crust in the region of western Yunnan. In order to reveal the Pb isotopic composition of lower crust in this region, the authors systematically collected samples of the granulite inclusions in alkaline intrusive rocks and selected the plagioclase and garnet et al. from them. Then the Pb isotopic composition of these minerals was determined. In the diagram of Zartman et al., the data points of almost all samples fall on the lower crust Pb evolution line or are distributed in the extending direction along this evolution line except for several samples. Eliminating the Pb isotopic compositions of anomaly samples, the variation range so defined is well consistent with the lower crust Pb evolution line along the long axis. Based on the Pb isotopic composition of upper crust and mantle having been determined, the authors build the Pb isotopic composition of three - dimensional lithosphere in the region of western Yunnan. And by comparing the Pb isotopic composition of Jinding Pb - Zn deposit, the authors discovered that Pb in the Jinding Pb - Zn deposit is not the upper mantle Pb; it may be derived from the lower crust and sedimentary rocks in the Lanping Basin.

Key words: alkaline rock, lower crust, polymetallic deposit, lead isotopic composition, western Yunnan Province