

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

接触交代夕卡岩型多金属矿床铅源新认识

张 乾 潘 家 永

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)



本文研究的接触交代夕卡岩型多金属(铜-铅-锌)矿床是与燕山期中一酸性岩浆作用有密切关系的矿床工业类型, 传统上认为成矿物质是岩浆分异的产物。文中用矿石铅、岩浆岩铅及围岩铅同位素组成, 探讨了三者之间的关系, 阐明了该类矿床矿石铅的三种来源, 即单一的岩浆源、岩浆与围岩混合源及多元(三种以上)混合源, 认为在运用铅同位素研究矿石成因时, 既要研究矿石铅, 也要研究岩浆岩长石铅和围岩(沉积岩)铅的同位素组成, 并考虑其铀、钍、铅含量。

关键词 多金属矿床 接触交代类型 铅同位素组成 铅的来源

接触交代夕卡岩型多金属(铜-铅-锌, 下同)矿床是与中一酸性侵入岩有关的矿床工业类型, 矿床数目多, 分布广, 在国民经济中占有重要地位。传统矿床学认为, 成矿物质是岩浆分异的产物。赵斌认为, 该类矿床的成矿物质有岩浆源与地层源, 前者包括该类型的绝大多数矿床, 后者以八家子矿床为代表^[1]。笔者研究发现, 该类矿床铅的来源是复杂的。

1 主要地质特征

接触交代夕卡岩型多金属矿床的地质特征已有大量文献详细介绍。因此, 本文仅将我国10余个矿床的主要特征列于表1并择其主要加以叙述。

在我国, 绝大多数接触交代夕卡岩型多金属矿床形成于中生代。产出的大地构造背景以环太平洋岩浆作用带和华南中生代构造-岩浆活动带为主, 其它地区也有零星分布如西北的花牛山、内蒙古的白音诺等。在区域性构造上, 该类矿床常位于地台及地槽隆起带的边缘、沉降带及断陷盆地边缘、深大断裂带两测及端部等构造部位。

与该类矿床有关的岩浆岩主要为燕山期中浅成的中一酸性侵入岩, 除桓仁矿床的岩浆岩为偏基性的辉石闪长岩外, 其它矿床主要为花岗闪长(斑)岩、花岗(斑)岩、石英斑岩等。岩浆岩体从大岩基(东坡)到岩株岩脉(如桓仁、香乔、佛子冲等)都有。其成因主要有三种, 即幔源(桓仁)、壳源(夏山、黄沙坪等)及壳幔混合源(香乔、水口山、康家湾、武山、城门山等)。与矿床有关的岩浆岩都含有数倍于克拉克值的铅, 这可能意味着原始岩浆含铅较高。

矿床围岩以碳酸盐岩地层为主, 少数矿床如佛子冲主要为泥砂质沉积岩中的碳酸盐岩夹层。围岩时代从中元古代到晚古生代都有。据远矿围岩采样分析, 少数矿床围岩含铅在 20×10^{-6} 以下, 多数矿床围岩含铅都较高, 为克拉克值的1—30倍。

接触交代夕卡岩矿床最突出的特征就是有夕卡岩体的存在。通常，夕卡岩体沿岩浆岩与围岩的接触带分布，尤其向围岩（外接触带）方向更为发育，形态常呈不规则脉状、透镜状、囊状等，个别矿床如佛子冲，夕卡岩体位于接触带附近的灰岩夹层中，顺层产出呈似层状。夕卡岩按矿物组成可大致分为两种，其一包括石榴石、透辉石、绿帘石、阳起石、硅灰石、符山石、透闪石等一系列夕卡岩矿物中的部分或全部，可简称为复杂夕卡岩，绝大多数夕卡岩型矿床都属于这种类型。其二，少数矿床夕卡岩体仅由一种或两种夕卡岩矿物组成，可简称为简单夕卡岩，如佛子冲矿床的夕卡岩几乎全由透辉石组成，形成单一的透辉石夕卡岩。一般认为，夕卡岩是岩浆与围岩发生接触交代接触变质的产物，据一些矿床研究发现，石榴石、阳起石等夕卡岩矿物中存在大量流体包裹体，均一温度大于 350℃，包裹体成分与热液阶段石英中包裹体成分类似，都具有高矿化度。这说明形成夕卡岩的接触交代变质作用是一种有热液流体参与的“湿交代”。

绝大多数接触交代夕卡岩型多金属矿床的矿体与夕卡岩体是一致的。在离开夕卡岩体的围岩中有时分布有脉状热液充填矿床，一般规模较小。如佛子冲矿床，岩浆气液顺层交代碳酸盐岩夹层形成似层状夕卡岩及矿体，另外沿断裂充填形成热液脉状矿体。矿床的金属元素组合复杂，有 Pb-Zn、Cu-Zn、Cu-Pb-Zn、Pb-Zn-Cu-Fe、Sn(W)-Cu-Pb-Zn 等。有些矿床锡、钨、银等均综合利用或为主元素。由于金属矿物晶出的阶段性明显，如夕卡岩化阶段晶出磁铁矿，高温热液阶段晶出锡石、黑钨矿等，中低温热液阶段主要晶出硫化物，因此，不少矿床元素及矿物呈现明显的空间分带特征。围岩蚀变复杂，形成温度高，硫同位素组成均一，以岩浆源硫为主，成矿时代与岩浆侵入时代接近或稍晚。

2 铅同位素组成特征

为了克服只凭矿石铅同位素组成判断铅源的多解性和不确定性，笔者在分析和收集矿石铅同位素的同时，对表 1 所列大部分矿床测定了岩浆岩长石及沉积围岩全岩的铅同位素组成，测定结

表 1 接触交代夕卡岩型多金属矿床主要特征
Table 1 Main characteristics of contact metasomatic skarn type polymetallic deposits

矿床	大地构造背景	岩浆岩特征	围岩特征	夕卡岩特征	矿床元素组合
桓仁	燕辽沉降带东端	辉石闪长岩，幔源，K-Ar: 124Ma, 含 Pb 32×10^{-6} — 82×10^{-6}	寒武系灰岩，含 Pb $< 20 \times 10^{-6}$	接触带夕卡岩，矿物组成：石榴石、透辉石、绿帘石、阳起石、绿泥石、符山石、黝帘石、硅灰石，矿体产于夕卡岩中	深部及内带：磁铁矿，中部及接触带：Fe-Cu-Zn，外带及上部：Pb-Zn
夏山	闽浙沿海隆起带西缘、华夏台隆南缘	花岗斑岩，壳源，K-Ar: 140Ma, 含 Pb 30×10^{-6} — 90×10^{-6} ，平均 47×10^{-6}	龙北溪群片岩、片麻岩中大理岩夹层，含 Pb 8.3×10^{-6}	接触带夕卡岩，矿物组成：石榴石、透辉石、绿帘石、黝帘石、透闪石、阳起石、蔷薇辉石、硅灰石，矿体位于夕卡岩中	Pb-Zn
武山城门山	长江中下游江南台隆北缘	花岗岩，壳幔混合型	泥盆系—石炭系碳酸盐岩	接触带夕卡岩，矿物组成：石榴石、透辉石、透闪石、阳起石、符山石，矿体有夕卡岩型、斑岩型、热液型，本文只讨论夕卡岩型	Cu-Pb-Zn

续表 1

矿床	大地构造背景	岩浆岩特征	围岩特征	夕卡岩特征	矿床元素组合
黄沙坪	湘南郴来坳陷南部	花岗斑岩, K-Ar: 162—165 Ma, 石英斑岩, 壳源	石炭系石碇子组灰岩, 含 Pb 9×10^{-6} — 16×10^{-6}	接触带夕卡岩, 矿物组成: 石榴石、透辉石、透闪石、阳起石、钙铁辉石、富铁钠闪石、绿帘石, 矿体产于夕卡岩中	Pb-Zn
香乔	鲁中深断裂以东、栖霞复背斜北翼	花岗闪长斑岩, 壳幔混合型, K-Ar: 140Ma, 含 Pb 33×10^{-6} — 302×10^{-6}	元古界蓬莱群香乔组灰岩, 含 Pb 30×10^{-6} — 500×10^{-6}	接触带夕卡岩, 矿物组成: 透辉石、绿帘石、石榴石、透闪石、符山石、硅灰石、长石, 矿体产于夕卡岩体中	岩体内: Mo矿化, 内带: Cu-Zn 外带: Pb-Zn
佛子冲	云开隆起区西北缘	花岗闪长岩, 壳源, K-Ar: 75Ma	志留系—奥陶系碎屑岩及碳酸盐岩夹层, 含 Pb 平均 80×10^{-6}	岩体与围岩接触带附近, 交代围岩中碳酸盐岩夹层而成的似层状透辉石夕卡岩, 夕卡岩型矿体产于夕卡岩体内, 热液型矿体沿断裂充填	Pb-Zn
八家子	华北陆台北部、燕山准地槽东南边缘	黑云母石英闪长岩, 壳源	中元古界高干庄组、雾迷山组碎屑岩、灰岩	接触带夕卡岩, 矿物组成: 透辉石、石榴石、绿帘石、符山石, 矿体产于夕卡岩体中	Pb-Zn
水口山康家湾	郴来坳陷北部、衡阳盆地南缘	花岗闪长岩, 壳幔混合型, 同位素年龄 150Ma 含 Pb 50×10^{-6} — 152×10^{-6}	二叠系栖霞组茅口组灰岩, 含 Pb 5×10^{-6} — 159×10^{-6}	接触带夕卡岩, 矿物组成: 钙铝榴石、透辉石、符山石、绿帘石、绿泥石、透闪石, 矿体产于夕卡岩中	Pb-Zn-Au
东坡	郴来坳陷东缘	黑云母花岗岩, 同位素年龄 139—172Ma, 花岗斑岩, 66—129Ma, 壳源, 含 Pb 40×10^{-6} — 100×10^{-6}	中泥盆统棋梓桥组灰岩, 含 Pb 16×10^{-6} — 53×10^{-6}	接触带夕卡岩, 矿物组成: 石榴石、透辉石、绿帘石、符山石、绿泥石等, 矿体产于夕卡岩及围岩中	内带: W-Si-Cu, 外带: Pb-Zn-Cu
拉么	江南地轴西南缘、海西—印支坳陷北缘	黑云母花岗岩, Rb-Sr: 149Ma, 壳源	中上泥盆统灰岩	接触带夕卡岩, 矿物组成: 石榴石、透辉石、硅灰石、符山石、阳起石、绿帘石、纤闪石、透闪石、黑柱石, 矿体产于夕卡岩中	Cu-Zn
铜山岭	湘中南辽远坳陷中部	花岗闪长岩, 壳幔混合型, 同位素年龄 173—176 Ma, 含 Pb 39×10^{-6} — 111×10^{-6}	中、上泥盆统余田桥组、棋梓桥组灰岩, 含 Pb 20×10^{-6} — 40×10^{-6}	接触带夕卡岩, 矿物组成: 硅灰石、石榴石、透辉石、符山石、阳起石、绿帘石, 矿体产于夕卡岩中	Cu-Pb-Zn

果列于表 2。

2.1 岩浆岩的铅同位素组成

从表 2 可以看出, 岩浆岩 (长石) 铅同位素组成因不同矿床而异, 即使同一矿床, 岩性不同, 铅同位素组成亦不同, 如黄沙坪、东坡等矿床。

岩浆岩的铅同位素组成有区域性分布特点。八家子矿床的黑云母石英闪长岩三组铅同位素比值在所有 10 余个矿床中最低, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值 (α) 小于 17, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值 (β) 小于 15.4, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值 (γ) 小于 37; 桓仁矿床的辉石闪长岩 α 值小于 18, β 值小于 15.5, γ 值小于 38; 位于胶东

表 2 接触交代夕卡岩型多金属矿床的铅同位素组成

Table 2 Pb isotopic compositions of contact metasomatic skarn type polymetallic deposits

矿床及 代号	地质体类型	样品 数	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		资料来源
			范 围	平均	范 围	平均	范 围	平均	
1 恒仁	矿 石 岩 浆 岩 围 岩	5	17.303—17.386	17.351	15.419—15.446	15.438	37.917—38.040	37.995	本 文
		5	117.250—17.411	17.350	15.367—15.423	15.405	37.411—37.713	37.535	
		1		18.399		15.603		38.512	
2 夏山	矿 石 岩 浆 岩	5	18.486—18.534	18.512	15.591—15.635	15.612	38.624—38.784	38.700	本 文
		2	18.498—18.501	18.500	15.510—15.660	15.586	38.615—38.644	38.630	
3 武 山 城山山	矿 石 岩 浆 岩 围岩中黄铁矿	5	17.840—18.009	17.886	15.510—15.554	15.530	37.743—38.131	37.936	〔2〕
		3	17.800—18.042	17.932	15.536—15.572	15.554	37.557—38.180	37.943	
		1		18.625		15.695		38.590	
4 黄沙坪	矿 石 花岗斑岩 石英斑岩	23	18.450—18.626	18.521	15.550—15.764	15.670	38.575—39.249	38.797	本文及〔3〕
		2	18.519—18.622	18.571	15.598—15.600	15.599	38.454—39.237	38.846	
		2	18.657—19.302	18.980	15.675—15.905	15.790	38.438—38.807	38.623	
5 香 芥	矿 石 岩 浆 岩 围 岩	3	17.539—17.883	17.695	15.529—15.704	15.610	38.186—38.727	38.425	本 文
		3	17.449—17.665	17.553	15.476—15.598	15.524	37.818—37.992	37.905	
		2	17.991—18.006	17.999	15.752—15.777	15.765	39.044—39.105	39.075	
6 佛子冲	矿 石 岩 浆 岩 围 岩	11	18.593—18.808	18.694	15.684—15.843	15.733	38.984—39.468	39.170	
		4	18.080—18.482	18.284	15.586—15.663	15.621	38.424—38.691	38.606	
		3	19.182—19.473	19.305	15.881—15.926	15.903	39.443—39.657	39.570	
7 八家子	矿 石 岩 浆 岩 围 岩 同沉积硫化物 基 底	32	16.116—16.674	16.252	15.149—15.550	15.263	36.310—37.580	36.631	〔4〕
		38	16.247—16.870	16.439	14.990—15.334	15.171	35.626—36.695	36.359	
		7	16.452—17.871	16.779	15.216—15.348	15.279	36.584—37.102	36.825	
		11	16.556—17.205	16.720	15.524—15.964	15.651	36.140—37.700	37.225	
		6	14.456—15.666	15.040	14.880—15.248	14.938	34.446—36.052	34.816	
8 水口山 康家湾	矿 石 岩 浆 岩 围 岩	14	18.100—18.730	18.413	15.181—15.887	15.556	38.409—39.352	38.829	文本及〔3〕
		1		18.559		15.677		38.889	
		1		18.063		15.508		39.077	
9 东坡	矿 石 花 岗 岩 花岗斑岩 围 岩	11	18.504—18.843	18.616	15.598—15.786	15.704	38.715—39.350	38.899	
		4	18.610—18.755	18.696	15.529—15.794	15.726	38.388—39.167	38.939	
		1		18.775		15.735		39.005	
		1		18.273		15.692		38.786	
10 拉么	矿 石 岩 浆 岩 围 岩	4	18.532—18.798	18.632	15.676—15.910	15.792	38.540—38.789	38.618	本 文
		3	18.345—18.403	18.372	15.685—15.964	15.855	38.808—39.239	39.121	
		2	18.940—19.616	19.278	15.566—15.980	15.773	38.560—38.622	38.591	
11 铜山岭	矿 石	13	18.080—18.980	18.490	14.940—15.970	15.420	37.860—40.390	39.020	〔3〕

半岛的香乔矿床的花岗闪长斑岩铅同位素比值高于桓仁矿床的,而位于长江中下游的武山、城门山矿床,岩浆岩铅同位素比值略高于香乔矿床的。华南地区是接触交代夕卡岩型多金属矿床的集中分布区,有关的岩浆岩铅同位素组成与华北不同,变化大,放射成因铅较高, α 值均大于18, β 值均大于15.5, γ 值大于38。

图1 a反映了岩浆岩的 β 值和 γ 值对 α 值的变化关系。可以看出,从东北地区向南推移,岩浆岩的三组同位素比值都逐步升高。尽管这些矿床的岩浆岩成因不尽相同,但是铅同位素比值从北到南逐步升高的特点与我国东部新生代玄武岩铅同位素组成从北到南的变化完全一致^[5]。形成这种分布格局的原因可能主要与不同地块具有不同的地质发展史有关^[6]。

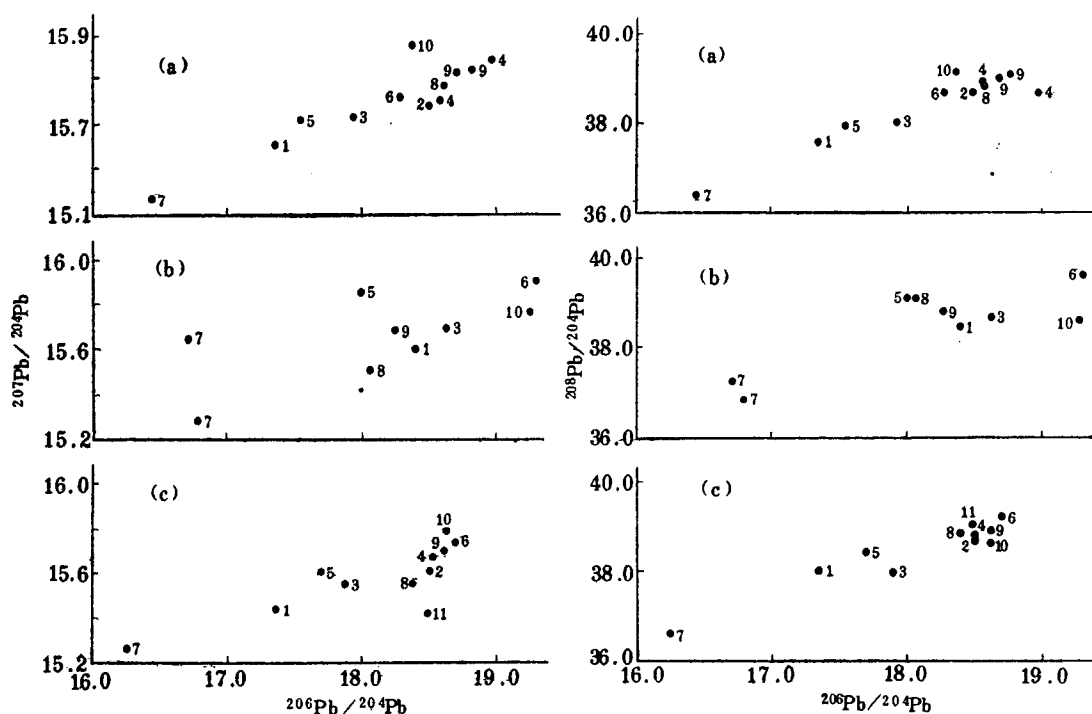


图1 接触交代夕卡岩型多金属矿床岩浆岩、围岩及矿石铅同位素组成

Fig. 1 Pb isotopic compositions of magmatic rock, country rock and ore of contact metasomatic skarn type polymetallic deposits

(a)—岩浆岩; (b)—围岩; (c)—矿石 (矿床代号同表2)

(a)—Magmatic rock; (b)—country rock; (c)—ore (deposit symbols are the same as Table 2)

2.2 围岩的铅同位素组成

从表2及图1 b可以看出,围岩铅同位素组成有以下特点:1. 尽管不同矿床的围岩都为碳酸盐岩,但同位素组成变化很大,以八家子和佛子冲为围岩铅同位素比值最低和最高的两个端元矿床,其它矿床的围岩铅均在此二者之间变化。2. 围岩铅同位素组成与其沉积时代之间无明显的规律可循,如桓仁矿床寒武系灰岩的 α 值大于香乔矿床蓬莱群香乔组灰岩的 α 值,而后的 β 值和 γ 值大于前者;东坡和拉么矿床同为泥盆系灰岩,但二者铅同位素组成相差甚远;水口山、康家湾矿床围岩时代最新(二叠纪,表1),而 α 值、 β 值比大部分时代更老的矿床围岩的 α 与 β 值还低。3. 围岩铅同位素组成不存在象岩浆岩铅那样明显的区域性分布特点。

2.3 矿石铅同位素组成及与岩浆岩铅和围岩铅的关系

2.3.1 矿石铅同位素组成特点

与岩浆岩和围岩铅同位素组成一样, 矿石铅同位素组成也因不同矿床而异(表2)。总的来看, 与幔源及壳幔混合源岩浆作用有关的矿床, 矿石的 α 值小于18.5, β 值多小于15.6, γ 值变化较大, 如桓仁、香乔、水口山等矿床; 与壳源岩浆作用有关的矿床如夏山、黄沙坪、佛子冲、东坡、拉么等, 矿石的 α 值大于18.5, β 值大于15.6, γ 值变化大。例外的是, 八家子矿床的矿石铅具有较低的同位素比值。由图1c可见, 从东北到华南, 矿石铅同位素比值也有升高的趋势, 这种现象与岩浆岩铅的变化趋势类似, 可能表明了该类矿床与岩浆作用的密切关系。

2.3.2 矿石铅与岩浆岩铅的关系

当把每一个矿床的矿石铅与岩浆岩铅进行对比时, 便出现以下几种情形:

1. 矿石铅与岩浆岩铅非常接近, 如桓仁、武山、城门山、夏山、黄沙坪矿床。这些矿床矿石与岩浆岩每组铅同位素比值差别很小, α 差值为0.001—0.050, β 差值为0.024—0.069, γ 差值为0.007—0.460。

2. 矿石铅同位素比值(部分或全部)明显大于岩浆岩的相应比值, 如佛子冲、香乔、拉么矿床。佛子冲、香乔矿床矿石铅同位素比值都大于岩浆岩, 拉么矿床矿石的 α 值大于岩浆岩, 而 β 值和 γ 值小于岩浆岩。

3. 矿石铅同位素比值(部分或全部)低于岩浆岩的相应比值, 如东坡、水口山、八家子矿床。其中东坡、水口山矿床三组矿石铅同位素比值都低于岩浆岩, 而八家子矿床 α 值低于岩浆岩, β 及 γ 值略高于岩浆岩。

2.3.3 矿石铅与围岩铅的关系

1. 矿石铅同位素比值低于围岩的相应比值, 如桓仁、香乔、武山、城门山、佛子冲、八家子、拉么矿床。其中拉么矿床矿石的 α 值明显低于围岩的相应比值, 而 β 值及 γ 值略高于围岩。

2. 矿石铅同位素比值高于围岩的相应比值, 如东坡、水口山矿床。其中水口山矿床矿石的 α 和 β 值高于围岩的相应比值, 而 γ 值略低于围岩。

除武山、城门山矿床外, 其它矿床围岩铅同位素组成都是用全岩测定的现代值。若以矿床形成时代(近似于岩浆岩侵入时代)为基点, 测定值中既包括到矿床形成为止围岩中已有的铅, 也包括矿床形成至今由放射性元素衰变而成的铅。矿石铅与成矿时的围岩铅对比才有理论意义。因此, 利用围岩的铀、钍、铅含量及铅同位素演化模式, 对围岩铅测定值进行校正(表3)。

表3 围岩的铀、钍、铅含量($\times 10^{-6}$)及校正后的围岩铅同位素组成

Table 3 U, Th, Pb contents ($\times 10^{-6}$) of country rock and Pb isotopic compositions of country rock after ractifying

矿床	样品数	U	Th	Pb	μ	ω	t(Ma)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
桓仁	2	1.9	8.4	18	6.76	30.11	124	18.268	15.596	38.327
香乔	2	2.6	9.7	23	7.24	27.21	140	17.840	15.757	38.886
佛子冲	3	3.3	15	39	5.44	24.97	150	19.177	15.892	39.384
水口山	1	2.8	5.3	21	8.54	39.12	150	17.871	15.500	38.799
东坡	2	0.8	7.8	27	1.90	23.37	139	18.232	15.690	38.625
拉么	3	4.1	2.6	32	8.21	12.59	149	19.086	15.764	38.498

注: 1. U, Th: 中子活化; Pb: 原子吸收光谱; 分析者为方秀英、郭安贞。

2. 同位素在自然界的丰度: $^{238}\text{U} = 99.274\%$, $^{235}\text{U} = 0.720\%$, $^{232}\text{Th} = 100\%$, $^{204}\text{Pb} = 1.55\%$ 。

铅同位素演化模式: $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t = (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{实测}} - \mu(e^{\lambda_1 t} - 1)$; $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t = (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{实测}} - \mu/137.88(e^{\lambda_1 t} - 1)$; $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t = (^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{实测}} - \omega(e^{\lambda_2 t} - 1)$ 。

由表3可见,校正后的围岩铅比值比实测值有所降低,降低的幅度因不同矿床而异。围岩铅校正值与矿石铅对比仍符合前述两种情形,只是第一种情形矿石铅与围岩铅差别缩小,第二种情形矿石铅与围岩铅差别增大。

如果将矿石、岩浆岩及围岩(以校正值为准,下同)三者的铅同位素组成综合对比,如图2所示,大致可出现以下几种情形:

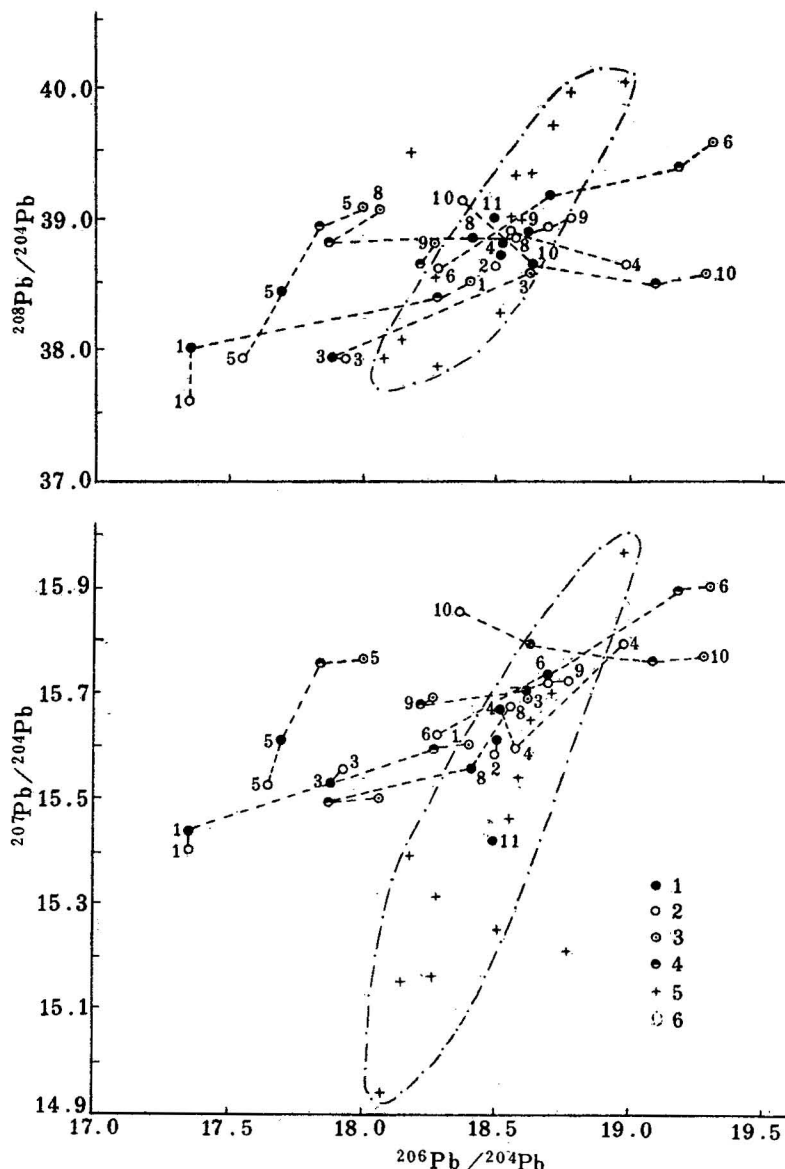


图 2 接触交代夕卡岩型多金属矿床的铅同位素组成

Fig. 2 Pb isotopic compositions of contact metasomatic skarn type polymetallic deposits

1—矿石; 2—岩浆岩; 3—围岩; 4—校正后的围岩铅; 5—铜山岭矿石铅; 6—铜山岭矿石铅分布范围(矿床代号同表2)

1—Ore; 2—magmatic rock; 3—country rock; 4—ractedified country rock lead; 5—ore lead of Tongshanling;

6—ore lead region of Tongshanling (deposit symbols are the same as Table 2)

1) 矿石铅与岩浆岩铅一致,与围岩铅差别很大,如桓仁、武山、城门山矿床。夏山和黄沙

坪矿床虽缺少围岩铅资料, 但矿石铅与岩浆岩铅非常接近, 也可归于这种类型。

2) 矿石铅介于岩浆岩铅与围岩铅之间, 其同位素比值(部分或全部)大于岩浆岩铅而小于围岩铅。香乔、佛子冲、拉么等矿床属之。

3) 矿石铅介于岩浆岩铅与围岩铅之间, 其同位素比值大于围岩铅而小于岩浆岩铅, 水口山、康家湾、东坡矿床属之。

4) 矿石的 α 值既小于岩浆岩铅又小于围岩铅, β 值和 γ 值大于岩浆岩铅而小于围岩铅, 如八家子矿床。

另外, 铜山岭矿床缺少岩浆岩及围岩铅资料, 矿石铅的显著特点是其组成极不均一, 三组同位素比值变化范围很大, 在图2中的投点很分散。

3 铅的来源问题讨论

接触交代夕卡岩型多金属矿床的矿质来源, 曾以单一岩浆源被人们所接受。不少文献将矿石铅投入某种全球性铅演化模式, 从而得出铅来自地球某个圈层的结论, 进而引伸出铅来自与其有关的岩浆作用。毫无疑问, 该类矿床的形成与岩浆作用有着密切关系。生成于地球深部的岩浆上侵于地壳浅部, 岩浆气液与围岩发生接触交代作用时才有可能形成夕卡岩型矿床。因此, 确定铅的来源时, 矿石、岩浆岩、围岩三者应当同时予以考虑。

矿石铅与岩浆岩铅及围岩铅关系的几种不同情形, 可能代表了该类矿床铅的不同来源。

1. 矿石铅与岩浆岩铅一致而与围岩铅差别很大的矿床, 可以认为矿石铅是岩浆分异的产物。属于这种情形的矿床, 围岩含铅低, 如桓仁、夏山、黄沙坪等矿床, 未受蚀变影响的围岩含铅均小于 20×10^{-6} , 接触交代范围内的围岩铅即使有一部分进入矿液, 因其量小而不足以影响岩浆源铅的同位素组成。

2. 矿石铅介于岩浆岩铅与围岩铅之间, 且其比值(部分或全部)大于岩浆岩铅而小于围岩铅的矿床如香乔、佛子冲、拉么等, 矿石铅可能为岩浆源铅与围岩铅的混合铅。这些矿床的围岩具有比矿石和岩浆岩高的铅同位素比值, 且铅含量相当高, 如香乔矿床围岩含铅 $30 \times 10^{-6}—500 \times 10^{-6}$, 佛子冲矿床围岩平均含铅 80×10^{-6} 。假定有 0.5 km^3 围岩被交代成夕卡岩, 每吨围岩中有 10×10^{-6} 铅进入成矿热液, 那么 0.5 km^3 围岩将提供3750吨围岩铅给矿石。对于一个中等规模的矿床, 这足以引起矿石铅与岩浆岩铅之间的差异。

香乔、佛子冲等矿床校正后的围岩铅同位素组成即成矿时围岩的铅同位素比值仍比矿石的相应比值高得多, 这可以排除矿石铅全部来自围岩的可能性。

3. 矿石铅小于岩浆岩铅而大于围岩铅的矿床如东坡、水口山等, 矿石铅也可能是岩浆源铅与围岩铅混合的结果, 只不过与佛子冲等矿床的情况相反。张理刚(1989)研究东坡矿田时发现矿石铅同位素比值低于岩浆岩铅比值, 而长石中铀、钍含量极微, 因此长石铅的高出部分不可能是铀、钍衰变造成的, 而可能是含更低放射成因的铅加入矿石的结果^[7]。东坡、水口山等矿床围岩铅同位素比值低于岩浆岩, 当这种铅被交代进入矿石并与岩浆源铅混合, 极有可能使矿石铅比值低于岩浆岩。

4. 八家子矿床矿石铅小于岩浆岩铅及围岩铅, 部分样品 β 值较高, 引入基底下地壳铅及区域中与围岩同时代的沉积硫化物铅(如区域上与高板河等矿床类似的铅)后, 矿石铅正好处于由基底下地壳铅、岩浆岩-围岩铅及沉积硫化物铅组成的三角形中, 据此, 蒋少涌等(1992)认为矿石铅是多种来源铅的混合铅^[4]。

同一组铅同位素比值的最高值与最低值之差与该比值平均值之比的百分数表示矿石铅同位素

组成的稳定程度,可称为铅同位素变化率。从表4所列10余个矿床铅同位素变化率结合前面的讨论可知,矿石铅来自岩浆的矿床如桓仁、夏山、黄沙坪、武山、城门山,铅同位素变化率小,大多低于1%。凡是矿石铅中既有岩浆源铅又有围岩铅的矿床,铅同位素组成变化较大,变化率多在1%以上。铜山岭矿床矿石铅同位素组成变化很大, α 值变化率为4.9%, β 值变化率为6.68%, γ 值变化率为6.49%。根据上述特点判断,该矿床矿石铅可能并非全由岩浆作用提供,至少是岩浆源铅与围岩铅的混合铅。

表4 矿石铅同位素变化率(%)

Table 4 The changing proportion (%) of ore lead isotopes

矿 床	α	β	γ	矿 床	α	β	γ
桓 仁	0.50	0.20	0.32	八 家 子	3.27	2.63	3.47
夏 山	0.30	0.28	0.41	水口山、康家湾	3.42	4.56	2.42
武山、城门山	0.95	0.28	1.02	东 坡	1.82	1.20	1.63
黄 沙 坪	0.95	1.06	1.70	拉 么	1.43	1.48	0.65
香 芥	1.90	1.12	1.41	铜 山 岭	4.87	6.68	6.49
佛 子 冲	1.20	1.00	1.24				

综上所述,本文研究的10余个接触交代夕卡岩型多金属矿床,铅的来源有岩浆源、岩浆与围岩混合源及多元混合源三种类型。在数量上,以岩浆与围岩混合源的矿床居多。围岩铅进入矿液的方式可能以岩浆侵入引起的热变质(如大理岩化)及岩浆气液对围岩的交代(形成夕卡岩)为主。10余个矿床中未发现铅全部由围岩提供的例子,原因之一是交代范围内的围岩含铅有限,并且不可能全部进入矿液;原因之二是岩浆气液或多或少含有铅,即使围岩能够提供一部分铅,必然要与岩浆来源的铅发生混合。这也是大部分接触交代夕卡岩型多金属矿床的铅并非单一岩浆来源的主要原因。只有在围岩含铅很低或其它来源的铅很少时,矿石铅才有可能显示与岩浆岩铅相同的特点。

参 考 文 献

- 1 赵斌. 中国主要夕卡岩及夕卡岩型矿床. 北京: 科学出版社, 1989, 97—102页, 216—242页.
- 2 黄恩邦, 张道堂, 罗钊生. 城门山、武山铜矿床成因. 矿床地质, 1990, 9(4): 291—300.
- 3 王育民, 朱家鳌, 余琼华. 湖南铅锌矿地质. 北京: 地质出版社, 1988, 19—117页.
- 4 蒋少涌, 丁悌平, 魏菊英, 苏琪. 辽宁八家子铅锌矿床的铅同位素研究. 地质论评, 1992, 38(2): 120—130.
- 5 解广轰, 涂勤, 王俊文, 张明, Martin F J Flower. 中国东部新生代玄武岩铅同位素组成的地理分布特征和成因意义. 科学通报, 1989, 34(10): 772—775.
- 6 张理刚. 长石铅和矿石铅同位素组成及其地质意义. 矿床地质, 1988, 7(2): 55—62.
- 7 张理刚. 湖南东坡千里山花岗岩和钨多金属矿床稳定同位素地球化学. 桂林地质学院学报, 1989, 9(3): 259—267.

NEW KNOWLEDGE OF THE LEAD SOURCE OF CONTACT METASOMATIC SKARN TYPE POLYMETALLIC DEPOSITS

Zhang Qian and Pan Jiayong

(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang, Guizhou*)

Abstract

Ore-forming materials of contact metasomatic skarn type Cu-Pb-Zn polymetallic deposits which occur in the contact zone of igneous rocks and country rocks are considered traditionally as the result of magmatic differentiation. According to the Pb isotopic composition, four types of relationships among ore lead, magmatic rock lead and country rock lead may be distinguished: (1) ore lead is consistent with magmatic rock lead and very different from country rock lead; (2) ore lead ratios are higher than those of magmatic rock lead and lower than those of country rock lead; (3) ore lead ratios are lower than those of magmatic rock lead and higher than those country rock lead; (4) the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratio of ore is lower than those of magmatic rock lead and country rock lead. Ore lead of type 1 deposits is derived from magma; ore leads of types 2 and 3 deposits are the mixture of magmatic rock lead and country rock lead, and ore lead of type 4 deposits is the mixture of magmatic rock lead, country rock lead and lower crust lead.

Key words: polymetallic deposits, contact metasomatic type, Pb-isotopic composition, lead source

作者简介

张乾, 生于1955年11月, 甘肃秦安人。1981年毕业于成都地质学院矿产地质及勘探专业。现为中国科学院地球化学研究所副研究员, 从事矿床地球化学研究。通讯处: 贵阳市观水路73号中国科学院地球化学研究所, 邮政编码: 550002。