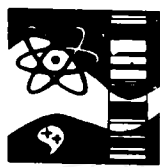


大气降水热液矿床铅同位素组成研究

张理刚

(地质矿产部宜昌地质矿产研究所)



同位素地质

大气降水热液矿床稳定同位素地球化学,尤其是氢、氧同位素地球化学研究,前人已做过很多工作 [1,2,3,4],但对硫、碳同位素,特别是铅同位素则尚缺乏系统的研究。最早, Doe (1966) [6] 研究美国现代大气降水成因的 Salton 湖含矿热卤水的铅、锶同位素组成,发现与当地第三纪沉积物的同位素组成一致,而与第三纪流纹岩不一样,从而提出铅、锶等金属物质来源于第三纪沉积物的认识。以后,虽有有关大气降水热液矿床铅同位素研究资料的零星报道,但很不系统。本文试图以已知氢、氧同位素资料为基础,从论述大气降水热液成因的矿床着手,探讨其铅同位素组成变化及其地质应用问题。

研究大气降水热液矿床的铅同位素,至少要回答下列问题:

① 矿石铅同位素组成的特点及其“模型年龄”的意义?

② 矿石与主岩(母源岩)铅同位素组成及其关系?

③ 矿石铅同位素组成变化的机理及意义?

④ “异常铅”的意义? 等等。

下面,我们按成矿时代讨论某些大气降水热液矿床的矿石铅同位素组成和应用问题。本文发表和引用的资料中,除柴河铅锌矿床外,铅同位素比值测定误差不大于0.2%。

第三纪大气降水热液矿床

(一) 桃林铅锌矿床

主矿体赋存于燕山期幕阜山花岗岩与板溪群之间的断裂破碎带内,矿脉一直延伸并穿入第三纪红层。由于幕阜山花岗岩系燕山期侵入,而成

矿时代为第三纪,因此,用燕山期岩浆水热液来解释矿床成因似有困难。该矿床11个方铅矿和2个长石铅的同位素组成很一致,且均在实验误差范围内(图1),具地壳正常演化的 μ 值。其“模型年龄”均为4亿年左右(丁梯平,1984),远大

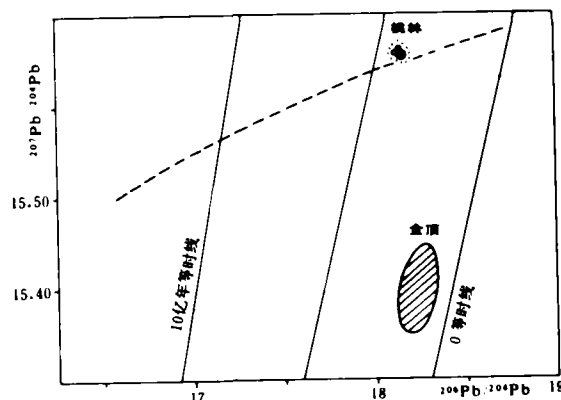


图1 新生代桃林和金顶铅锌矿床铅同位素组成对比

(生成曲线据 Doe, 1974, 下同)

于成矿地质时代和花岗岩体的 Rb/Sr 年龄(162 百万年)。根据成矿流体的氢、氧同位素资料及蚀变岩石贫 ^{18}O 的特点(丁梯平,1984),可解释为矿化与第三纪或以后的大气降水地下循环作用有关。由于花岗岩中长石的铅含量异常高,因而有可能是第三纪或以后的大气降水地下受热后从花岗岩中淋滤出金属物质而成矿。

(二) 金顶铅锌矿床

赋存于第三纪砂砾岩中,呈似层状产出。根据氢、氧同位素资料,认为该矿床至少经历过第三纪或以后大气降水的地下改造 [1,2]。该矿床10个方铅矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值在18.138~18.289, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.352~15.463, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为37.921~38.443(王强,1980)。从图1中看出,它们具有低 μ 值特征,暗示低U/Pb体系来源。其

“模型年龄”均小于1 亿年, 且有随层位变化而变化的趋势, 因而很可能是至少经历了晚第三纪、甚至第四纪大气降水地下流动和淋滤改造, 就地富集成矿的。

上述两例说明, 第三纪或以后大气降水热液矿床中的铅同位素组成, 可暗示主岩之间U/Pb体系的差别, 而它们的“模型年龄”并不代表矿石沉积或成矿地质年龄。

燕山期大气降水热液矿床(化)

(一) 赋存于岩浆岩中的矿床

1. 火山—次火山岩中的矿床 浙闽沿海及赣北地区的侏罗纪火山岩、次火山岩带中有大量铅锌矿床, 如福建莆田、屏南漳源、宁德白子山等; 浙江五步、大岭口、储家等; 江西东北部冷水坑、银山等。与这些矿床伴生的火山岩、次火山岩具有较高的 $\delta^{18}\text{O}$, 而蚀变岩石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值显著降低, 计算的W/R值可从0.3到1.5(原子%氧), 显示出中生代大气降水成矿作用的特点[2]。上述矿床矿体的产状及赋存位置有很大区别, 如银坑矿床主矿体呈似层状产于火山岩系的粗碎屑层中; 五步矿床为赋存于火山岩断裂体系中的脉状、透镜状矿体; 冷水坑矿区的矿体产于次火山岩接触破碎带内等。如果这些矿床的成矿物质来自同源及同期的岩浆, 那么它们的矿石铅和长石铅同位素组成理应彼此相同, 但事实并非如此。从图2

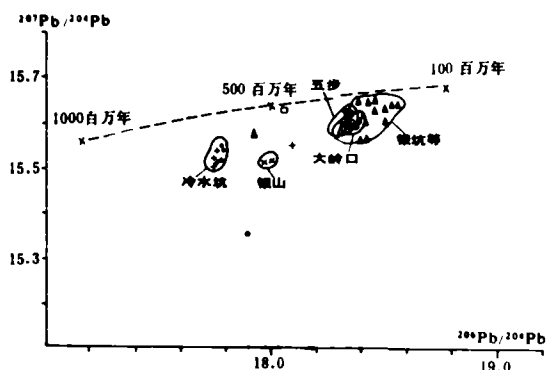


图2 中生代火山岩—次火山岩中铅锌矿床铅同位素组成对比

可以看出, 不同矿区的铅同位素组成截然不同, 就 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值而言, 银坑矿区除1个样品外,

13个样品平均约18.421; 五步矿床5个样品平均约18.323; 冷水坑矿区除1个样品外, 9个样品平均约17.762, 银山2个样品为18.002左右, 显示出不同区域之间有明显差异。此外, 它们的“模式年龄”可以从不到100百万年到600百万年之间变化。由于这些矿床均赋存于晚侏罗世火山—次火山岩中, 因此, 它们的“模式年龄”并非矿石沉积年龄。从图2看出, 冷水坑矿区的矿石铅和1个长石铅同位素组成很一致, 因而, 不同矿区矿石铅同位素组成上的差异, 可能暗示出不同区域岩浆具有不同的铅同位素组成和U/Pb体系的差别。

此外, 从图2还看出, 浙闽沿海火山岩带中的五步、大岭口、银坑等矿床, 其矿石铅同位素组成有一个相对集中区域, 而江西东北部深断裂带中与次火山岩有关的矿床, 如冷水坑、银山等, 其矿石铅同位素则有另一个相对集中区域, 进一步暗示出两者来源上的差异。如果说均来自侏罗纪火山—次火山岩本身, 那就表明两区域的岩浆来源于不同母源物质。

上述资料表明, 矿石铅与长石铅同位素组成一致, 而它们的“模型年龄”不能代表矿石沉积年龄, 矿石铅同位素组成取决于火山岩浆来源。

2. 花岗岩中的矿床 西华山、荡坪、漂塘等钨矿床矿石铅和长石铅同位素组成见图3。图中还标出了红岭钨矿床矿石铅同位素组成范围(陈志

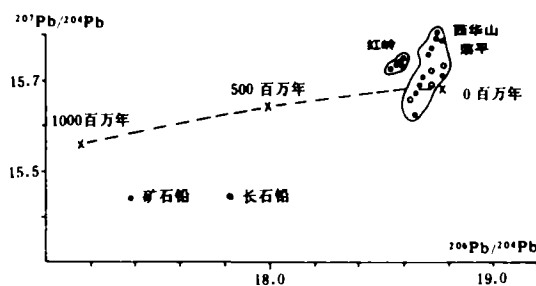


图3 中生代花岗岩中西华山矿田与红岭矿田脉钨矿床铅同位素组成对比

雄, 1985)。从图3看出, 在同一西华山—漂塘矿带中, 矿石铅和长石铅同位素组成很一致, 而另一成矿带中的红岭钨矿床的矿石铅同位素组成则有一定差异。这些钨矿床晚期硫化物阶段的氢、氧同位

素组成表明它们与大气降水活动有关 [1,2,8]。铅同位素组成的特点表明, 虽然与这些钨矿有关的花岗岩均具有高 ^{18}O 的特点 [9], 是地壳泥砂物质经反复熔融, 使铅同位素成分非常均一, 但各区域地壳深部被熔融的泥砂物质之间还是稍有差异。不管怎样, 它们的“模式年龄”也就不能代表成矿地质时代。

最近, 作者研究了山东十里铺、新城等金矿床的氢、氧同位素, 结果表明它们与中生代大气降水作用有关, 这些矿床蚀变体中具有很低的 W/R 值, 通常低于0.2 (原子%氧), 导致成矿热液的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高, 甚至大于+5‰。十里铺、新城、焦家等矿床矿石铅和长石铅具多阶段演化的异常铅, 彼此之间沿一直线展布 (图4)。

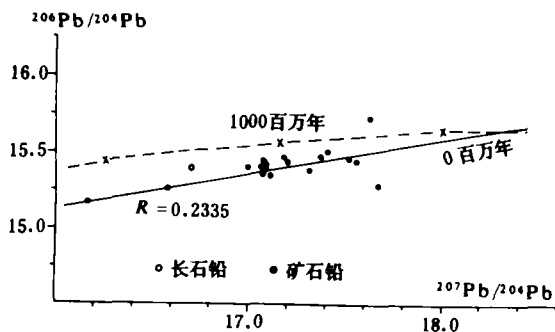


图4 中生代胶东金矿床铅同位素组成

综上所述, 赋存于花岗岩类岩石中的大气降水热液矿床 (化), 其矿石铅与主岩长石铅的铅同位素组成有成因联系, 或是彼此集中一起 (图3), 或是沿同一异常铅线展布 (图4)。但不管怎样, 它们的“模式年龄”不一定等于花岗岩体的侵入年龄, 因而不一定代表矿石的沉积年龄, 矿石铅的同位素组成仅能反映出主岩——花岗岩的 U , Th 含量及其源区物质 U/Pb 体系特点。

(二) 赋存于变质岩中的矿床

浙江遂昌—龙泉一带, 已发现有三种类型的金银矿床:

1. 乌坳层状含银 (金) 铅锌变质矿床: 赋存于前寒武纪变质岩—混合岩化黑云母斜长片麻岩中, 矿层与围岩产状一致, 随地层同步褶皱、断裂、变质。矿体具有与围岩平行的条带, 变质成因的脉石矿物同样为条带状。整个矿层连续性好, 为

明显的海底火山—喷气沉积变质成因 (罗镇宽等, 1983), 成矿时代应为前寒武纪。

2. 银坑山、冶岭头脉状金银矿床: 矿体产于前寒武纪片麻岩断裂带内, 并与中生代火山岩及喷发口有较密切的空间关系。一条被矿脉穿切的长英岩脉钾氩年龄为1.24亿年。

3. 八宝山金银矿床: 赋存于侏罗纪英安质安山碎屑岩中, 呈充填交代破碎带的含金银黄铁矿次生石英岩。

根据氢、氧同位素资料 [1,2], 八宝山、冶岭头矿床为中生代大气降水热液成因。表1中列出了上述矿床的铅同位素组成。从表中看出, 前寒武纪乌坳层状变质矿床的铅同位素组成, 与同一变质岩系断裂带中的冶岭头、银坑山等中生代大气降水热液矿床相比, 铅同位素组成完全一致, 而与中生代火山岩中的八宝山矿床完全不同。这就表明, 冶岭头、银坑山矿床的铅, 直接来自大气降水淋滤的前寒武纪变质岩, 也就是说, 中生代火山岩和脉岩的喷发和侵入活动, 有利于大气降水渗入深部受热, 并从变质岩中淋滤出金属物质而成矿; 如从火山岩中淋滤交代, 则形成八宝山矿床。值得注意的是, 八宝山矿床矿石铅同位素组成, 与图2中的五步、大岭口、银坑等火山岩中铅锌矿床铅同位素组成一致, 从而显示出同一构造带内火山岩浆来源上的一致性。

总之, 冶岭头、银坑山矿床的矿石铅同位素组成表明, 它们的“模式年龄”也不能代表矿石沉积年龄, 矿石铅同位素组成与来源岩石——变质岩的相近似。

(三) 赋存于沉积岩中的矿床

分为两类矿床:

1. 就地来源式矿床 矿体的赋矿围岩就是提供有用金属物质的主岩岩石。表2列出了本类矿床矿石铅的同位素组成。表中除金顶矿床为晚第三纪或第四纪大气降水热液改造成矿外, 其余矿床, 根据地质构造发展历史及有关资料, 推断它们是中生代的大气降水热液矿床 [1,2]。这些矿床矿石铅同位素组成变化范围较小, 其“模式年龄”大致等于或略小于主岩即围岩年龄, 这就说明主岩 (矿源层) 的 U , Th 含量极低, 同位素组

表 1

矿床	类 型	样 号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
乌 坳	前寒武纪海底—火山喷气 沉积变质矿床	W-14	18.187	15.655	38.844
		W-16	18.074	15.640	38.816
		W-22	18.177	15.690	38.931
		W-31	18.170	15.697	38.945
银坑山	变质岩中生代大气降水	32-2	17.960	15.620	38.570
泊岭头	热液矿床	80	18.047	15.698	38.785
八宝山	火山岩中生代大气降水热液矿床	47	18.410	15.600	38.630

(据张健等, 1983)

表 2

矿 床	主岩即围岩	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	样品数	模式年龄 (亿年)
金 顶 (Pb, Zn)	砂砾岩 (N)	18.138~18.298 (18.214)	15.352~15.463 (15.408)	37.921~38.443 (38.182)	10	1.0
吉水门 (Sn)	砂页岩 (J)	18.436~18.499 (18.463)	15.612~15.698 (15.654)	38.563~38.769 (38.630)	3	1.8 ±
凡 口 (Pb, Zn)	灰 岩 (C-D)	18.208~18.428 (18.382)	15.552~15.740 (15.690)	38.712~38.919 (38.793)	10	3.0 ±
厂 坝 (Pb, Zn)	灰岩、白云岩 (D)	17.884~18.066 (17.976)	15.420~15.679 (15.555)	38.014~38.336 (38.145)	7	4.2 ±

资料来源: 王强 (1981); 广东地质局科研所 (1984); 袁元杰 (1983)

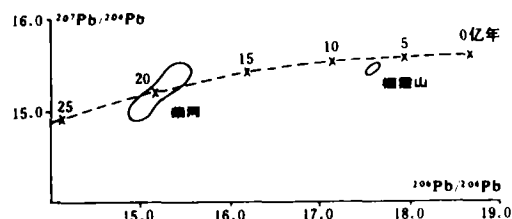
成均一。在这类矿床中, 一般不可能同时发育铀矿化作用。

另有一种情况, 由于主岩即围岩中有U, Th富集, 那么大气降水热液淋滤后沉积形成的改造富集矿床, 其矿石铅“模式年龄”就远低于主岩即围岩年龄, 甚至出现负年龄。如泗顶铅锌矿床, 其氢、氧同位素资料已证明为中生代大气降水热液改造矿床^[2,10]。该矿床赋存于泥盆纪地层的层间破碎带中。新测定的14个矿石铅同位素组成, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.497~18.616, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.736~15.843, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.697~39.248 (据曾允孚, 1984), 变化不大, 如果按平均值分别为18.580, 15.782和39.011考虑, 计算的“模式年龄”不到3亿年, 既老于地质成矿时代 (中生代), 又小于主岩即围岩地层时代。这一特点可能暗示矿床系大气降水淋滤富U, Th的围岩改造富集成矿, 而该矿床中确实存在铀矿化作用。

2. 基底来源式矿床 图5中标出了栖霞山铅锌矿床和柴河铅锌矿床方铅矿的铅同位素组成范围。据涂光炽等人 (1984)^[10]研究, 柴河矿床是

中生代形成的, 而栖霞山矿体已穿切侏罗纪砂页岩, 因而也是中生代形成的。两矿床的氢、氧同位素资料表明, 成矿作用与中生代时期大气降水的地下活动有关^[1,2,10,11]。图5表明, 赋存于晚古生代及侏罗纪地层中的栖霞山矿床, 矿石铅“模式年龄”为7亿年左右, 而赋存于震旦纪地层中的柴河矿床为20亿年左右, 它们均大大高于地质成矿年代。

已知资料表明, 柴河矿床的基底地层为富含铅的元古代辽河群, 而栖霞山矿区基底地层也是富含铅的震旦纪白云岩, 因此这两个矿床矿石铅的“模式年龄”与基底岩石地层时代非常吻合。由此推断, 中生代大气降水热液渗入深部贫铀的基

图 5 中生代柴河和栖霞山铅锌矿床
铅同位素组成对比

底地层,淋滤出金属物质,而在上覆盖层断裂、溶洞中沉积成矿。类似的矿床还有白云铺等 [12]。

上述各种性质围岩中的燕山期大气降水热液矿床,矿石铅的所谓“模型年龄”不能用来指示矿石沉积时代,但可用以判断来源岩石及U—Th—Pb体系特点。

加里东期大气降水热液矿床

沈谓州等(1984)报道的四堡期M岩体中376铀矿床的氢、氧同位素资料,表明为加里东期大气降水热液成因。该矿床矿石铅和长石铅同位素组成见表3。由表3作出图6中的异常铅二次等时线。不难看出,不仅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 之间有密切的线性关系,而且矿石铅与长石铅均具低K和W值的特点,且组成非常一致,暗示出来源上的一致性。相反,长石铅同位素组成已显示出主岩即花岗岩已相对富集铀。

表3

样号	测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
MP-1	钾长石	22.506	15.813	37.790
MP-2	"	20.074	15.706	37.902
MP-3	"	18.345	15.636	38.066
MP-4	方铅矿	92.173	21.395	38.051
MP-5	黄铁矿	44.606	17.303	38.111

(据沈谓州等,1984)

因此,在加里东期发生断裂活动时,大气降水渗入M岩体并淋滤出铀而成矿,根据表3资料,作者计算出二次等时线斜率为0.0784,如果按沥青铀矿年龄329百万年代表成矿年龄(t_2),则可求

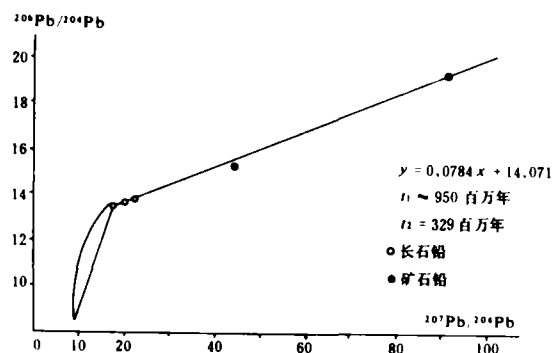


图6 加里东期376铀矿床铅同位素组成

得 $t_1 \approx 950$ 百万年,正好是该岩体的Pb—Pb等时线年龄(赵子杰等,1985)。

结 论

从以上研究资料,可得出如下结论:

1. 大气降水热液矿床中矿石铅的铅同位素“模式年龄”,不能代表矿石沉积年龄,或者说,“模式年龄”不能用来判定成矿地质时代。
2. 大气降水热液矿床矿石铅的铅同位素组成受来源岩石(主岩)组成,即U/Pb, Th/Pb比控制,如果源岩(主岩)具低U/Pb, Th/Pb比,那么矿石铅的铅同位素组成可代表源岩(主岩)铅同位素组成。
3. 如果大气降水热液矿床的矿质来自岩浆岩,那么矿石铅和长石铅的铅同位素组成关系极为密切,或者彼此极为一致(尤其是在低U/Pb, Th/Pb比条件下),或者彼此呈线性排列的异常铅。

主要参考文献

- [1] 张理刚:《国际交流地质学术论文集》,地质出版社,1985年
- [2] 张理刚:《稳定同位素在地质科学中的应用》,陕西科技出版社,1985年
- [3] Taylor, P.: Econ. Geol., 1974, v. 69, No. 6, p. 843 ~ 883
- [4] White, D. E.: Econ. Geol., 1974, v. 69, No. 6, p. 954 ~ 973
- [5] Oneil, J. R. and Silberman, M. L.: Econ. Geol., 1974, v. 69, No. 6, p. 902 ~ 909
- [6] Doe, B. B., et al.: Econ. Geol., 1966, v. 61, p. 462 ~ 483
- [7] Kuo, Saylee and Folinsbee, R. E.: Econ. Geol., 1974, v. 69, No. 6, p. 806 ~ 814
- [8] 张理刚等:《铀矿地质讨论会论文集》,地质出版社,1984年
- [9] 张理刚等:《国际花岗岩地质及其成矿关系讨论会》,江苏科技出版社,1985年
- [10] 涂光炽等:《中国层控矿床地球化学》,科学出版社,1984年
- [11] 郭晓山等:矿床地质,1985,第4卷,第1期
- [12] 陈好寿等:地矿部宜昌地质矿产研究所刊,1983,第7号,第101 ~ 113页