

栖霞金矿铅同位素组成特征和成因机制*

徐光平 翟建平 胡 凯

(南京大学地球科学系, 南京大学成矿机制研究国家重点实验室, 南京)

提 要: 栖霞金矿床的铅同位素组成具有两阶段异常铅的特征, 二阶段等时线与 $\mu = 7.95$ 单阶段增长曲线的上交点和下交点年龄分别与金矿床和胶东群变质岩的年龄相一致。金在变质过程中的活化预富集和深部隐伏花岗岩体热驱动大气降水深循环淋滤作用, 是金矿床形成的主要原因。

关键词: 铅同位素 异常铅 金矿成因 栖霞金矿

1 矿床概况

栖霞地区发育大量的含金石英脉, 但主要是一些小型矿床或矿化点, 较有代表性的有栖霞 (又称马家窑)、金冠顶、盘子涧、百里店、流口金矿等 (图 1)。其中栖霞金矿的开采历史最久, 矿床规模相对也较大, 作为产在胶东群变质岩中的金矿床典型, 研究程度也较高, 但对栖霞金矿床的成因, 目前还存在着不同的认识^[1-6]。

栖霞金矿区内出露的地层比较简单, 除少量第四系外, 均为胶东群蓬乔组, 岩性主要为角闪黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩及黑云变粒岩夹白云母片岩。未在矿区及附近见有较大的火成岩体出露, 但脉岩十分发育, 有石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩、煌斑岩和辉绿岩等。在矿区东南唐家泊附近 (图 1), 出露有牙山花岗闪长岩岩体 (亦称唐家泊岩体), 其形成时代属燕山晚期^[1]。在栖霞金矿区广泛发育的脉岩中, 常可见到岩性与牙山岩体相类似的花岗闪长岩捕虏体, 并结合其它一些地质资料, 推测牙山岩体可能向 NW 方向延伸隐伏于栖霞金矿区深部^[2]。

栖霞金矿床主要由 I 号和 II 号两组矿脉组成, 在地表 I 号矿脉出露近千余米, 呈连续带状分布, 延走向和垂向均有膨胀收缩、分枝复合特征。I 号矿体平均品位较高, 厚度较大且变化稳定, 开采效益相对较高。II 号矿体由三个单脉组成, 呈雁行式排列, 矿体不连续、呈透镜状或扁豆状, 平均品位比 I 号矿体的低。矿区围岩蚀变不甚强烈, 蚀变带宽度不大, 明显局限于矿脉两侧。矿床内主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、银金矿、磁铁矿、辉钼矿、黑钨矿、菱铁矿等。黑钨矿的电子探针成分分析表明, 其含 FeWO_4 分子高达 90% 左右^[2,3], 属于钨铁矿。矿床地球化学研究表明^[3], 石英流体包裹体均一温度范围较宽, 绝大部分在 120~310℃ 区间内变化, 属中低温热液矿床; 成矿流体的成分与典型的大气降水热液组分相类似; 矿床的氢、氧同位素值很好地反映了大气降水在不同的温度和 W/R 比值条件下与胶东群变质岩交换后的分布特征, 成矿作用以 W/R 比值较低为特点; I 号矿体黄铁绢英岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 125.8×10^6 a, ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.7168。

* 南京大学现代分析中心测试基金资助

徐光平, 男, 23 岁, 硕士研究生, 从事矿物岩石矿床地球化学方面的学习和研究。邮政编码: 210093

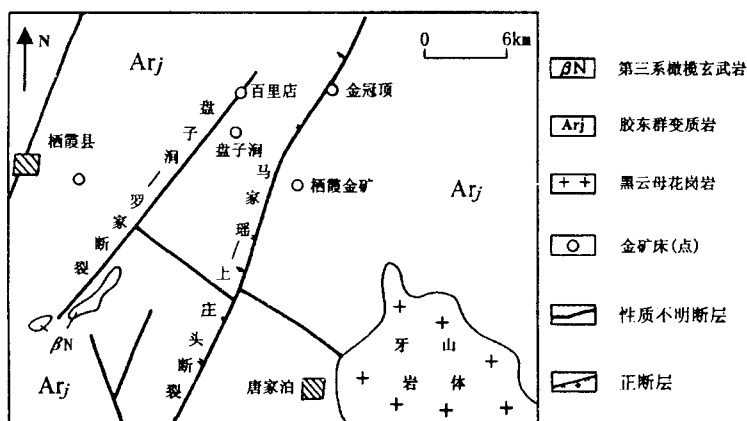


图1 栖霞地区金矿床分布示意图

2 铅同位素地球化学

许多单位分别对栖霞金矿床的铅同位素组成进行了测定^[1,4,5], 其结果一并列于表1。栖霞金矿床各个样品的铅同位素组成变化比较明显, 按单阶段演化模式所计算的模式年龄变化较大(表1), 没有实际地质意义, 而且在²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb图解中(图2), 样品投影点呈现较好的线性排列, 这些均表明矿床的铅同位素体系经历了多阶段演化, 属异常铅^[8]。由于高级变质作用使胶东群变质岩的铅同位素组成发生了充分的均一化, 栖霞金矿床赋存在胶东群变质岩中, 而且规模较小, 矿床的铅同位素样品应该具有相同(近)的初始铅同位素比值; 它们是在近乎同一时间内形成的; 样品均很新鲜, 表明这些样品自形成后一直保持铀、钍和铅的封闭体。有了这3个基本前题, 因此可用铅同位素两阶段模式对矿床的异常铅作出解释。

设 t_1 为铅从第一阶段 μ_0 体系分离并进入第二阶段 μ_1 体系的时间, t_2 为铅从 μ_1 体系中分离并形成矿物的时间, 则 t_2 时第二阶段铅的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb和²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb分别为:

$$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_2} = (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_1} + \mu_1 (e^{\lambda_1 t_1} - e^{\lambda_1 t_2})$$

$$(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_2} = (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_1} + \frac{\mu_1}{137.88} (e^{\lambda_2 t_1} - e^{\lambda_2 t_2})$$

将上述二式合并整理后即可得两阶段铅等时线公式, 等时线斜率 R 为:

$$R = \frac{1}{137.88} \left(\frac{e^{\lambda_2 t_1} - e^{\lambda_2 t_2}}{e^{\lambda_1 t_1} - e^{\lambda_1 t_2}} \right)$$

栖霞金矿的铅同位素样品在图2中形成较好的线性排列, 采用最小二乘法所拟合的异常铅等时线斜率 $R = 0.189316$, 以该矿床的Rb-Sr等时线年龄 $125.8 \times 10^6 \text{ a}^{[3]}$ 作为 t_2 , 将 R 和 t_2 代入两阶段铅等时线公式计算, 求得 $t_1 = 2689 \times 10^6 \text{ a}$, 这个年龄值与胶东群变质岩的年龄 $2670 \times 10^6 \text{ a}^{[6]}$ 颇为一致, 证明上述的假设是合理的, 栖霞金矿床的异常铅是典型的两阶段铅。

表 1 栖霞金矿床的铅同位素组成

序号	样 品	^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄 /(10^6 a)
1	方铅矿	1.4131	24.1820	21.7180	52.7409	17.07	15.37	37.32	292.9
2	方铅矿	1.4225	23.6690	21.8061	53.1023	16.64	15.33	37.33	612.0
3	方铅矿	1.4128	24.0042	21.5880	52.9952	16.99	15.28	37.51	247.5
4	方铅矿	1.4353	23.5682	21.7884	43.1606	16.42	15.18	37.07	613.4
5	方铅矿	1.4136	24.1624	21.6258	52.7566	17.05	15.37	37.32	315.1
6	方铅矿	1.4316	23.6221	21.8325	53.1138	16.50	15.25	37.10	632.0
7	黄铁矿	1.4239	23.6729	21.7075	53.1958	16.63	15.25	37.36	520.9
8	黄铁矿	1.4251	23.7138	21.7757	53.0854	16.64	15.28	37.25	550.1
9	黄铁矿	1.4215	23.4115	21.7626	53.4044	16.47	15.31	37.57	730.0
10	闪锌矿	1.4078	24.1693	21.6501	52.7728	17.17	15.38	37.49	225.1
11	闪锌矿	1.4290	23.4496	21.7634	53.3581	16.41	15.23	37.34	684.0
12	黄铜矿	1.4222	23.7179	21.7685	53.0915	16.68	15.31	37.33	553.6
13	黄铜矿	1.4051	23.7600	21.6102	53.2247	16.91	15.38	37.88	446.9

注：所用参数： $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 9.307$, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 10.294$, $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 29.476$, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88$
 $\lambda_1 (^{238}\text{U}) = 0.155125 \times 10^{-9} \text{a}^{-1}$, $\lambda_2 (^{235}\text{U}) = 0.98485 \times 10^{-9} \text{a}^{-1}$, t (地球年龄) = 4570×10^6 a

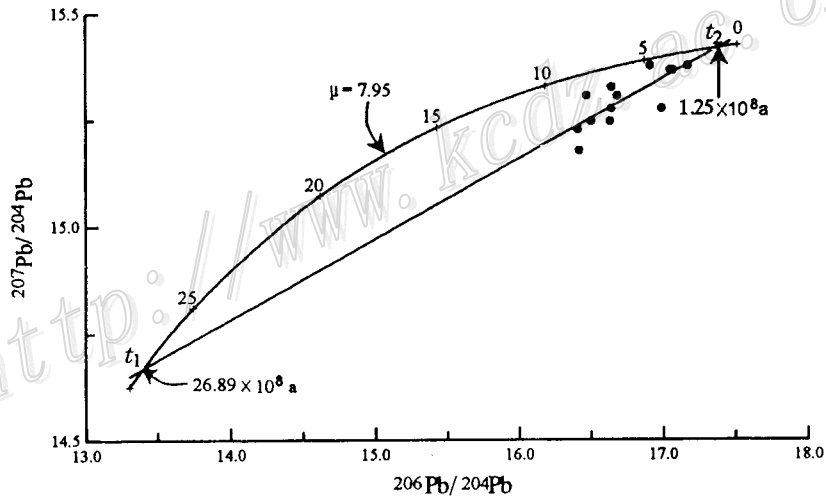


图 2 栖霞金矿床的铅同位素组成

图中单阶段增长曲线的年龄单位为 10^8 a, 构成本图所使用的参数与表 1 同

在图 2 中，栖霞金矿床两阶段铅等时线与 μ 为 7.95 的单阶段增长曲线相交，上交点 t_2 与下交点 t_1 的年龄值分别与金矿床和胶东群变质岩的年龄相当，这表明胶东群变质岩的 μ 值 (7.95) 与幔型单阶段铅的 μ 值 (7.86~7.94)^[7] 相近，栖霞金矿的铅源自胶东群变质岩系，即矿床中的铅是由成矿溶液在成矿过程中从胶东群变质岩中淋滤出来的，而且没有明显的其它来源铅的加入。

3 矿床成因机制讨论

栖霞金矿围岩胶东群蓬乔组的变质年龄为 $2670 \times 10^6 \text{ a}^{[6]}$, 金矿床 Rb-Sr 等时线年龄仅为 $125.8 \times 10^6 \text{ a}$, 而且该矿的 I 号矿体在地表沿走向延续近千余米, 不受变形构造所控制。因此, 用变质热液模式解释栖霞金矿的成因比较困难。据卫片解译和物化探资料, 矿区深部显示明显的环状影像, 在脉岩中常可见到花岗闪长质包体, 这些事实表明在栖霞金矿区深部可能有隐伏岩体存在^[4]。但是, 在矿区已完成的钻探工程表明, 矿化主要集中在浅部, 深部矿化不好或尖灭, 目前最深的钻孔也未出现任何可能已靠近深部岩体的迹象, 即使深部有岩体存在, 其隐伏也很深, 与金矿化之间相隔甚远。因此, 深部的隐伏岩体能否产生足够的岩浆热液以及岩浆热液是否能够运移如此大的距离在外接触带成矿, 这都是很难确定的。矿床中发现的黑钨矿成分属于钨铁矿, 表明其形成于较低的温度条件下^[9], 这用岩浆热液也不好解释。而且, 栖霞金矿床成矿流体的盐度、成分和氢、氧同位素特征也与岩浆热液的明显不同^[3]。

目前所进行的许多研究工作表明, 胶东群变质岩中的原中基性岩系即蓬乔组是胶东地区金矿化的原始矿源层, 在新太古代 ($2600 \times 10^6 \text{ a}$ 左右) 胶东群遭受了大规模区域变质作用^[6], 在形成各种变质岩的同时, 使得原分散赋存在胶东群中的金发生了活化转移和局部预富集。白垩纪以来, 类似于牙山岩体的花岗岩类在栖霞金矿区较深部位侵入, 同时伴随有各种岩脉在金矿区产出。以红盆为标志的拉张环境使得大气降水广泛渗入, 受深部隐伏岩体的热驱动, 大气降水可长时间地深循环对流并与流经的岩石相互作用, 从中萃取大量的成矿物质, 带至适宜场所逐步富集, 即可形成类似于栖霞金矿等赋存在变质岩中的石英脉状金矿床。由于隐伏花岗岩体埋藏甚深, 因此其对金矿化仅起了热驱动作用, 成矿物质均来自胶东群变质岩系, 矿床的铅同位素研究证实了这一点, 对矿床所进行的其它研究^[3], 得出的结论也与此相一致。

参 考 文 献

- 1 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京: 地质出版社, 1996, 1~228.
- 2 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆: 重庆出版社, 1989, 1~452.
- 3 翟建平, 徐光平, 胡凯. 栖霞金矿床的矿物学、流体成分和同位素特征及成因意义. 矿床地质, 1998, 17 (4).
- 4 鲍庆忠. 马家窑金矿地质特征及成因. 沈阳地质矿产研究所刊, 1990, 21: 34~51.
- 5 李兆龙, 张连营, 肖秀梅等. 胶东马家窑金矿地质地球化学特征及矿床成因. 地质找矿论丛, 1990, 5 (3): 36~48.
- 6 裘有守, 王孔海, 杨广华等. 山东招县—掖县地区金矿区域成矿条件. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1988, 1~268.
- 7 陈毓蔚, 朱炳泉. 矿石铅同位素组成特征与中国大陆地壳的演化. 中国科学 (B辑), 1984, (3): 269~277.
- 8 Faure G. Principles of isotope geology. John Wiley and sons, 1986, 1~458.
- 9 Kwak T A P. W-Sn skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids. Elsevier Science Publishers B. V., 1987, 55~97.