

胶莱盆地发云乔金矿床硫、铅同位素地球化学*

Sulfur and Lead Isotopic Studies of Fayunkuang Gold Deposit in North-East Margin of Jiaolai Basin, Eastern Shandong

曾庆栋 沈远超 刘铁兵 张连昌

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

Zeng Qingdong, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, Zhang Lianchang

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

摘 要 发云乔金矿位于中生代胶莱盆地东北边缘中生代莱阳组砾岩中, 金矿体产于层间滑动断层上盘次级断层中, 金矿床具有 3 层结构模式: 上层浅部(地表及近地表)控矿构造为小裂隙, 矿体规模小; 中部主矿带受次级断层控制, 矿体规模大; 底部矿体受层间滑动断层控制, 规模小, 产于元古宙荆山群变质岩系中。通过对金矿床硫、铅同位素组成研究, 金的成矿物质来源主要为元古宙荆山群变质岩, 并有部分深源物质。

关键词 胶莱盆地东北缘 发云乔金矿床 硫和铅同位素 矿床成因

发云乔金矿是近年来在胶莱盆地北缘确定的一种新类型的金矿, 对它的成因及类型划分有两种不同的观点, 一种认为其为层控型金矿(张竹茹等, 1999); 另一种认为其为裂隙充填式金矿, 与盆地底部层间滑动断层有关(曾庆栋等, 2001)。在中国科学院创新工程项目和重大项目资助下, 笔者对该金矿进行了地质、地球物理、地球化学综合研究, 取得了一些新的认识, 本文主要讨论其硫、铅同位素地球化学特征。

1 区域地质概况

发云乔金矿产于胶莱盆地东北缘北东向崖子断裂与北西向谭家层间滑动断层交汇部位, 它与本区其它金矿床不同, 既不产于花岗岩中, 也不产于老变质岩中, 而是产于中生代白垩纪莱阳组砾岩中(图 1)。

发云乔矿区出露地层由老到新有下元古宙荆山群、白垩纪莱阳组、及第四系(图 1)。下元古宙荆山群(Pt_{1j})以含石墨大理岩为主, 普遍发生硅化, 有一定程度的破碎, 其上与莱阳组杂色砾岩呈断层接触, 局部不整合接触。白垩纪莱阳组砾岩(K_{1l})分布于该区的南部, 为杂色砾岩, 砾石成分主要为: 黑云二长花岗岩, 花岗质糜棱岩、黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、长石石英岩、脉石英等。砾岩内裂隙带及附近, 砾岩胶结物普遍发生黄铁矿化、绢英岩化蚀变, 矿体主要赋存于砾岩的裂隙带中。

区内岩浆岩为中生代花岗岩及各类脉岩。西部为鹊山花岗岩, 主要岩性为片麻状二长花岗岩、黑云母花岗岩。东部为昆崙山片麻状二长花岗岩, 脉岩主要有闪长岩、闪长玢岩、煌斑岩、石英脉等。

区内构造发育, 不同方向均有产出。其中沿莱阳组砾岩与元古宙荆山群不整合面上, 发育沿盆地边缘产出的层间滑动断裂, 是区内金矿床的主要控矿、导矿构造。层间滑动断层在南部蓬家乔矿区近 EW 向产出(图 1), 倾向 S, 倾角 15~50°; 在盆地东部边缘沿大崮头-南地口一线 NE 向展布, 倾向 NW, 倾角 20~60°。在发云乔金矿区, 呈 NW 向展布, 倾向 SW, 倾角 40~50°, 主要特征为: ①层间滑动断层发育在盆地边缘莱阳组与荆山群之间, 发育层位为荆山群大理岩层; ②层间滑动断层北西向延伸展布于谭家一带, 倾向南西, 倾角 40°左右, 宽度在 50~100 m 之间。主要由角砾岩、碎裂岩、脉岩和糜棱岩组成, 角砾岩角砾为棱角状大理岩角砾。在深部, 层间滑动断层宽度在 20~60 m 之间, 倾角变缓, 至一 320 m 标高, 倾角

* 本文得到中国科学院创新工程项目(KZCX1-Y-03)和重大项目(KZ951-A1-404-02)研究的资助
第一作者简介 曾庆栋, 男, 1964 年生, 博士, 副研究员, 主要从事金属矿床地质及成矿预测工作。

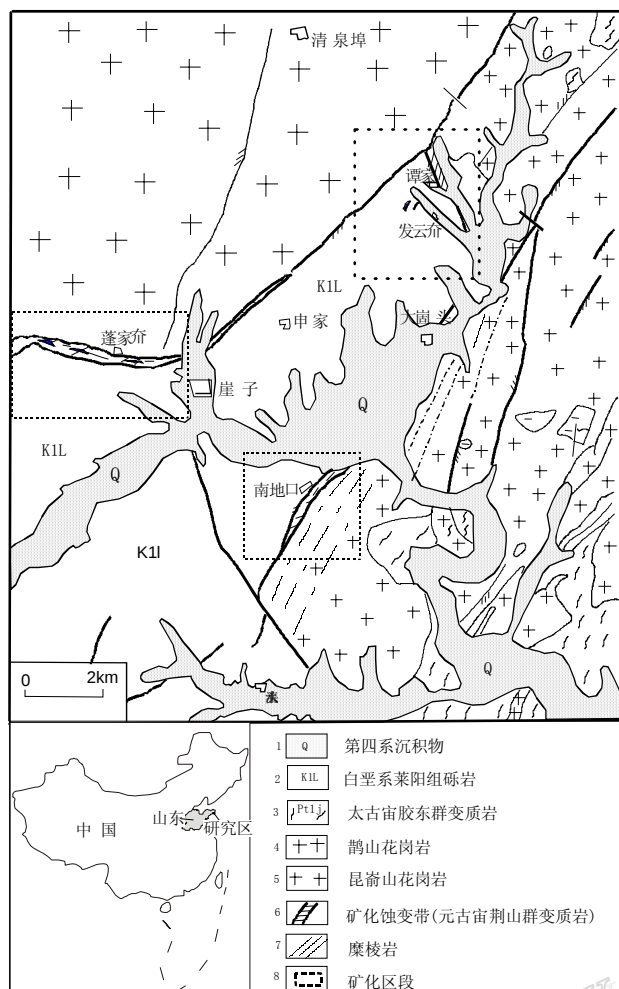


图1 发云乔金矿区域地质图

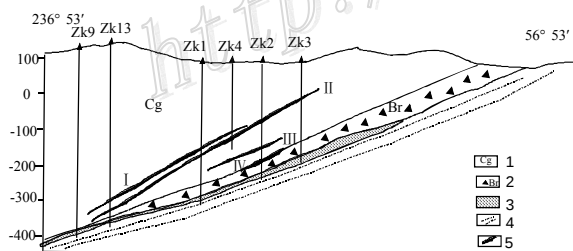


图2 牟平发云乔金矿区地质剖面图

为 5° 左右。断层带由角砾岩、糜棱岩和煌斑岩组成，煌斑岩厚度一般在 $2\sim 8\text{ m}$ 之间。在层间滑动断层上盘砾岩层中发育有一系列次级断层，产状与主断层产状一致。这些次级断层的地表处表现为裂隙（节理）系统。次级断层中形成主要工业金矿体。

2 矿床地质特征

发云乔金矿床矿脉（体）围岩为莱阳组砾岩，具有明显的分层结构特点，总体上可分3层结构。

浅部（上层）矿体：浅部（地表及近地表）矿体规模小，呈细脉状，数厘米~数米不等，长数米~数十米，矿化主要沿几组裂隙分布，地表规模稍大裂隙系统走向为 $30\sim 60^{\circ}$ ，品位一般在 $(7.39\sim 15.3)\times 10^{-6}$ 。

中部（中层）矿体：该层矿体位于 0 m 标高以下，是金矿已知的主要矿体，有五个隐伏矿体，产于莱阳组砾岩中，其中I-IV号矿体产状基本一致，总体走向NW，倾向SE，倾角较缓（图2），矿体呈似层状，走向 146° ，倾向 236° ，倾角 $18\sim 37^{\circ}$ ，矿体延深 $190\sim 510\text{ m}$ ，延长 $55\sim 220\text{ m}$ ，平均厚度 $1.41\sim 2.56\text{ m}$ ，平均品位 $3.87\times 10^{-6}\sim 12.91\times 10^{-6}$ 。V号矿体受NE向断裂裂隙带控制，倾向SE，倾角 62° 左右。脉状、梭状，厚度在 $1\sim 10\text{ m}$ ，品位在 $(1\sim 43)\times 10^{-6}$ 。

深部（下层）矿体：矿体位于底部层间滑动断层中，规模小，品位低。

矿石类型：矿石主要为黄铁矿化绢英岩化碎裂岩化砾岩，角砾状构造，胶结物以黄铁矿为主，少量石英及绢云母。矿石中角砾砾径一般小于 5 cm 。而上下盘围岩中砾石一般大于 10 cm 。矿石中金属矿物主要为黄铁矿，含量一般为 $3\%\sim 8\%$ ，个别达 $10\%\sim 20\%$ ，少数黄铜矿、褐铁矿及闪锌矿等，脉石矿物主要为石英、绢云母、长石、方解石等。围岩蚀变以绢云母化、硅化、绢英岩化、黄铁矿化、碳酸岩化为主。

3 硫、铅同位素分析

3.1 硫同位素

分析方法：硫化物矿样以 Cu_2O 作氧化剂制样；利用质谱计（型号：MAT251EM）测定；分析精度： $\pm 0.2\%$ ，由

中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室张福松测定。样品为角砾状构造矿石中黄铁矿。

矿区矿石及其围岩中黄铁矿的硫同位素组成列于表1。

硫同位素组成表明，发云乔金矿中黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $10.1\%\sim 13.6\%$ ，平均 11.8% 。矿区矿石和相邻蓬家乔金矿矿石中硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ （ 11.8% ）及围岩（荆山群）中硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ （ 9.9% ）基本一致，反映了这类金矿中硫的主要来源为荆山群地层。而与相邻石英脉型金矿中硫同位素、花岗岩中硫同位素组成（表1）则不一致，石英脉型金矿中硫的来源可能主要为花岗岩。

表 1 发云乔金矿矿石及围岩中黄铁矿的硫同位素组成

样号	采样位置	岩石、矿石	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	$\delta^{34}\text{S}$ 平均 /‰	资料来源
Fa52	发云乔矿区地表	金矿石	12.6		本文
F8	发云乔矿区地表	金矿石	13.0		本文
Fa9	发云乔矿区地表	金矿石	13.6	11.8	本文
Fa9-2	发云乔矿区地表	金矿石	12.9		本文
Fa9-5	发云乔矿区地表	金矿石	12.8		本文
Faw	发云乔矿区二中段	金矿石	10.4		本文
Fy-1	发云乔矿区二中段	金矿石	10.4		本文
Fy-2	发云乔矿区二中段	金矿石	10.4		本文
Fy-4	发云乔矿区二中段	金矿石	10.1		本文
2-1	蓬家乔金矿	矿石	9.6~13.0	11.8 (5)	杨金中等, 2001
	蓬家乔金矿	矿石	9.6~11.3	10.5(5)	张竹如等, 1999
	蓬家乔地区	地层围岩	9.4~10.7	9.9(6)	张竹如等, 1999
	矿区外围	昆崙山花岗岩	3.8~8.5	6.5(5)	安家桐等, 1988
	矿区外围	昆崙山花岗岩	4.9~8.8	6.20(5)	杨忠芳等, 1998
	金青项金矿	石英脉型矿石	5.6~7.7	7.5(7)	杨忠芳等, 1998
	金牛山金矿	石英脉型矿石	5.8~8.2	7.2(4)	杨忠芳等, 1998
	邓格庄金矿	石英脉型矿石	5.6~8.9	7.41(18)	杨忠芳等, 1998

表 2 发云乔金矿床铅同位素组成

样号	矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	备注	来源
Fa52	Py	17.3118	15.5582	37.9741	矿石	本文
F8	Py	17.2494	15.5062	37.8900	矿石	本文
Fa9	Py	17.4040	15.5128	38.1201	矿石	本文
Fa9-2	Py	17.0876	15.4054	37.5440	矿石	本文
Fa9-5	Py	17.3253	15.6265	38.2426	矿石	本文
Faw	Py	17.1898	15.4471	37.7542	矿石	本文
Fy-1	Py	17.1227	15.4218	37.7238	矿石	本文
Fy-2	Py	17.2247	15.4920	37.8514	矿石	本文
Fy-4	Py	16.9869	15.3067	37.4059	矿石	本文
Y-1	Kfs	17.189	15.444	37.570	花岗岩	杨敏之, 1996
Y-2	Kfs	16.964	15.406	37.371	花岗岩	杨敏之, 1996

本文数据由中国科学院地质与地球物理研究所同位素分析室测定。

3.2 铅同位素

分析方法：称黄铁矿或方铅矿样品约 100 mg，用王水分解矿样，加 1.5 ml 浓度为 6N 的 HCl，放置 30 min 后，再加入 0.5 ml 浓度为 7.5 N 的 HNO_3 ，低温分解 2~3 昼夜，蒸干，残渣加 0.5N 的 HBr 约 1.5 ml，离心分离，清液过 AG1X8B 阴离子交换树脂柱，提取纯化铅。用 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ （硅胶）做发射剂，在 VG345 固体源质谱仪上测定同位素组成，两次重复测定误差小于 3%。样品由中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室许荣华测定。

发云乔金矿中黄铁矿的铅同位素组成稳定（表 2）， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值的变化范围分别为 16.9869~17.4040、15.3067~15.6265 和 37.4059~38.2426，平均值分别为 17.2114、15.4752 和 37.8340。样品的投点落在地幔铅和造山带铅演化线之间（图 3），反映了铅的深源特点。在铅同位素 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中，样品投点构成一陡倾的混合铅带。

4 矿床成因讨论

硫源：金矿床矿石中 $\delta^{34}\text{S}$ 值多在 10.1%~13.6% 之间，均值为 11.8%；围岩地层的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值为 9.9%；两者 $\delta^{34}\text{S}$ 值特征基本一致，均正

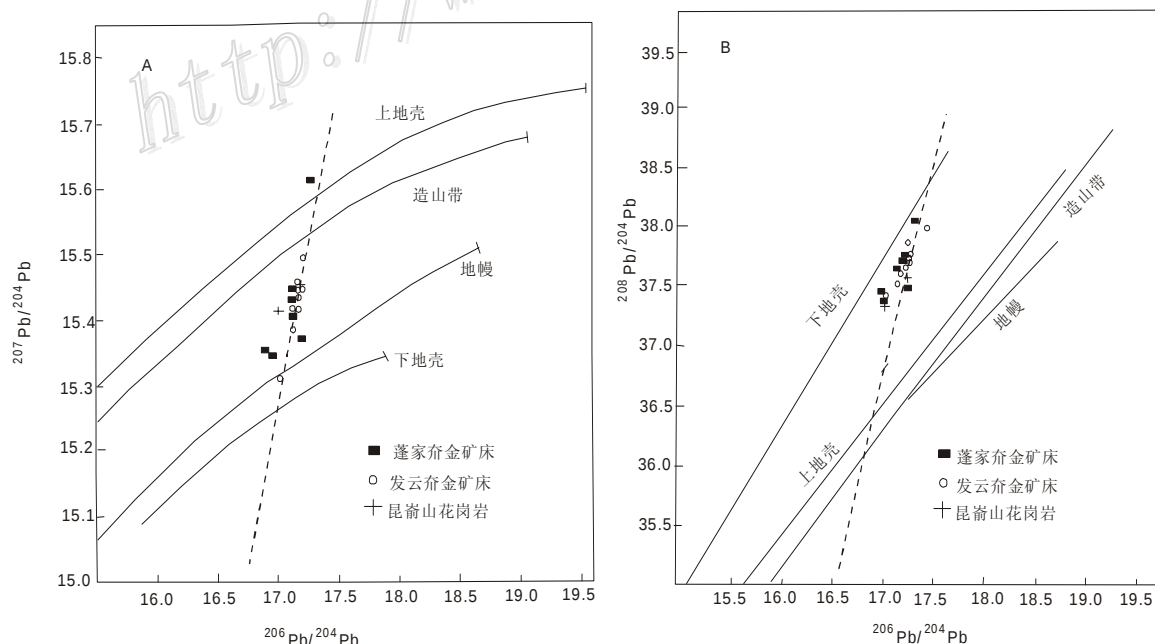


图 3 发云乔金矿床黄铁矿 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 对 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解 (A) 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 对 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解 (B)

向偏离陨石值,均高于中温热液金矿床(3.5%)(Phillips et al., 1986; Bohlke et al., 1988; Goldfarb et al., 1991)和岩浆硫(4%)(Taylor, 1987)的平均值,由此推断,该成矿带中各金矿床成矿流体中的硫不是岩浆硫,很可能来源于地层(围岩荆山群)。

铅源:在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上(图3A),各金矿床硫化物、燕山期花岗岩钾长石数据点构成一条陡倾混合铅带(图3A, B),分别于下地壳、地幔、造山带和上地壳铅演化线交切,暗示了铅来源的复杂性。由于本区主要地层为元古宙荆山群变质岩,主要火成岩为燕山期花岗岩、火山岩及其脉岩,以及铅多数投点位于地幔与造山带铅演化线之间,因此,我们推断本区铅为一种分别来自地幔和地壳的混合铅。

构造条件:金矿与层间滑动断层有关,滑动断层受特定的岩性层控制,主要是荆山群含碳层及大理岩层,由于含碳层的相对软弱性,使层间滑动构造沿此岩性层发生,并起到流体阻挡层的作用,而大理岩则相对刚性,在构造作用中形成角砾岩,因此,荆山群中不同岩性层的存在,及其刚性强度的差异,是该类金矿形成的重要条件。同时,由于伸展作用,在滑动断层上盘,也可产生一系列产状一致的次级断层,这也是金矿矿体就位的有利部位。

可能的成矿模式:元古宙时期区内形成火山岩-碳酸盐岩相沉积,经区域变质作用形成片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、石墨片岩、大理岩等,为金矿提供部分矿源层,并为层间滑动断层的产生提供了相应的构造界面和润滑层。进入中生代,由于古太平洋板块向NW方向欧亚板块的俯冲作用,强烈的岩浆活动形成钙碱性花岗岩,胶东地区地幔上隆,及郯庐断裂的左行走滑作用,胶莱盆地开始形成,盆地强烈下陷,形成巨厚的砂砾岩沉积,持续的伸展作用,在盆地中产生中性火山岩,与此同时,在盆地边缘特别是北缘地区沿能干性与非能干性地层发生层间滑动作用,形成低角度层间滑动断层。

火山活动晚期产生的热液携带了深部的成矿物质向盆地边缘有利构造部位-层间滑动断层运移,在断层带顶部碎粉岩或不透水层的屏蔽下,形成下盘还原环境下的热液循环系统。上盘系统中岩石的脆性破裂体系为地下水的深循环提供了通道,构成了一个氧化环境下的水溶液循环系统。两系统的热液循环萃取基岩中成矿物质,并在断层附近的物理化学条件突变带(上下水溶液循环系统的汇合处)沉淀下来,富集成似层状工业矿体。

5 结 论

(1)发云金矿床具有三层结构模式:上层浅部(地表及近地表)控矿构造为小裂隙,矿体规模小;中部主矿带受次级断层控制,矿体规模大;底部矿体受层间滑动断层控制,规模小,产于元古宙荆山群变质岩系中。

(2)发云金矿床硫同位研究表明,硫化物(黄铁矿)的 δS^{34} 值变化范围小,明显高于中温热液矿床和岩浆硫,并与围岩中硫相一致,反映了硫主要来源于矿区围岩-元古宙荆山群变质岩。

(3)发云金矿床铅同位素研究表明,铅的来源具有多源性。为来源于地幔和地壳的混合铅。

(4)发云金矿床成矿作用与胶莱盆地中火山-次火山岩浆活动有关。

参 考 文 献

- 安家桐,于东斌,沈昆,等.1998.山东牟平-乳山地区金矿控矿条件的研究.见:中国金矿主要类型区域成矿条件文集,5 胶东地区.北京:地质出版社,1~43.
- 杨金中,沈远超,刘铁兵,等.2001.胶东蓬家金矿床地质与地球化学特征.地质科学,36(1):51~63.
- 杨敏之,吕古贤.1996.胶东绿岩带金矿地质地球化学.北京:地质出版社.1~228.
- 杨忠芳,徐奎奎,赵仑山,等.1998.胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学.北京:地质出版社.1~157.
- 曾庆栋,沈远超,刘铁兵,等.2001.山东牟平发云金矿床综合地球物理找矿研究.湘潭矿业学院学报,(4).
- 张竹如,陈世桢.1999.胶东金成矿域胶莱盆地中超大型金矿找矿靶区.地球化学,28(3):203~211.
- Zartman R E and Haines S M. 1988. The plumbotectonic model for Pb isotope systematics among major terrestrial reservoirs-a case for bi-directional transport. Geochimica et Cosmochimica Acta, 52: 1327~1339.