

胶东大庄子构造角砾岩型金矿床地质地球化学特征及成矿流体来源探讨*

邹为雷¹, 李光明², 张连昌²

(1 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘 要 大庄子金矿受胶莱盆地边缘发育于荆山群内的顺层状低角度断裂带控制, 以大理岩质碎裂岩及角砾岩等张性构造岩胶结物发生矿化为特点。容矿岩石与成矿流体具有强烈的物质交换, 矿化与 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 及 As、Cd、Hg、Cu、Pb 等元素关系密切。矿石具有富集轻稀土元素、铕正异常的特征, 其稀土元素特征和基性脉岩具有一定的相似性, 又具有原岩的一些特点, 表明容矿岩石受到了深部成矿流体的影响。硫、铅、碳-氧及氢-氧等同位素地球化学及流体包裹体研究显示, 成矿物质较复杂, 成矿流体来源于地壳深部或上地幔的岩浆热液, 在成矿作用中, 萃取了部分围岩, 并与围岩发生了强烈反应。

关键词 地球化学; 成矿流体; 构造角砾岩; 大庄子金矿

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Geological and geochemical characteristics and origin of ore-forming fluids in Dazhuangzi tectonic breccia type gold deposit, eastern Shandong Peninsula

ZOU WeiLei¹, LI GuangMing² and ZHANG LianChang²

(1 China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract

The Dazhuangzi gold deposit is controlled by a low-angle fault zone along the marble strata of the Jingshan Group in the margin of the Jiaolai Basin. Gold mineralization occurs in the cements of the siliceous marble tectonic breccias and cataclastic rocks within the ore-controlling fault structure. Geochemical characteristics fully imply strong exchange of materials between the host rocks and the ore-forming fluid. Gold mineralization is closely related to SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O and such elements as As, Cd, Hg, Cu and Pb. Ores assume LREE enrichment and Eu positive anomaly. REE values have some similarities between the mafic dikes and show ore inheriting characteristics of the protolith. These features suggest that the host rocks were affected by deep fluid. S, Pb, C-O and H-O isotopes and fluid inclusions indicate that ore-forming materials were derived from the upper mantle and the lower crust, which exhibit features of multiple sources. Ore-forming solutions originated mainly from magmatic water and were accompanied by the participation of meteoric water. The ore-forming solutions there experienced strong deep fluid-wall rock interaction during the mineralization. The deep fluid extracted par-

* 本文得到中国科学院创新工程项目“金矿资源战略接替基地若干靶区预测”(KZCX1-Y-03)和中国科学院黄金“九五”重大项目“山东省重要金矿区的成矿模式及找矿预测”(KZ951-A1-404)的联合资助

第一作者简介 邹为雷, 男, 1971年生, 博士, 高级工程师, 主要从事金矿地质研究及物化探解释。Email: zouweilei@agrs.cn

收稿日期 2009-10-23; 改回日期 2009-12-14。李德先编辑。

tial materials from the wall rocks to participate in mineral fluid circulation.

Key words: geochemistry, ore-forming fluid, tectonic breccia, Dazhuangzi gold deposit

近年来,在胶莱盆地北缘陆续发现了包括大庄子金矿在内的多个大中型金矿床及一批具有找矿前景的金矿化地段(沈远超等,2001a;2001b;刘于旺等,2002;徐述平等,2003;朱洪岭等,2006;曲少飞,2007)。这些金矿均产出于盆地边缘部位,控矿断裂及矿化岩石等成矿地质特征相似,是发生在同一地质背景下的同期金矿化作用的产物。这些金矿与胶东地区典型的玲珑石英脉、焦家蚀变岩型金矿在赋存部位、控矿构造等诸多方面均具有较大的差别。大庄子金矿是其中的典型代表,目前,对于该矿床的成因及成矿物质来源存在不同的认识,前人曾认为与韧性剪切带有关,成矿物质为深源(朱大岗等,1999;毛景文等,2005;连国建等,2005),或为层控矿床,胶东群、荆山群为其矿源层(郭百创等,2002;宋玉财等,2004)。因此,阐明其地质及地球化学特征,厘清金矿类型,不仅是对成矿理论的有益补充,对于确定该类金矿的找矿标志和勘查方向也具有重要的意义,可为胶莱盆地乃至华北地区具有相似地质背景的沉积盆地边缘寻找该类金矿提供依据。

1 矿床地质特征

1.1 成矿地质背景

大庄子金矿处于胶西北隆起西南缘,郯庐断裂中段,即沂沭断裂东侧的胶莱盆地边缘(图1)。高精度卫星遥感TM影像解译表明,大庄子金矿恰处于该盆地西北锯齿状凸出边缘附近(荆林海等,2001)。

胶莱盆地为中生代期间形成的菱形陆相走滑拉分盆地,盆地多以断裂为边界,长轴呈北东向,面积约14 000 km²。盆地基底主要为上太古界胶东群、下元古界荆山群和上元古界粉子山群,岩性主要为变粒岩、斜长角闪岩、片麻岩、大理岩、片岩、长石石英岩等。盖层主要由白垩系莱阳组、青山组及王氏组等陆相沉积碎屑岩及部分火山岩、火山碎屑岩等构成(陆克政等,1994)。

矿区露地层主要为下元古界荆山群(图1),其岩性主要为大理岩、透闪片岩、斜长角闪岩、黑云变粒岩和黑云角闪斜长片麻岩等,呈北北东向条带状展布。由于矿区大面积被第四系覆盖,未见到其他盖层。根据遥感影像解译,大庄子村东-邵家村东-侯

家村东-四甲村东一线两侧遥感影像特征明显不同,推测盆地边缘应位于此位置,在第四系覆盖层之下应有盆地盖层(邹为雷,2001)。矿区发育北北东向、北东向、北西向和近东西向4组断裂,以早期北北东向断裂为主。区内岩浆岩不发育,有少量黑云母花岗岩和伟晶岩脉、闪长岩脉及煌斑岩脉产出。

1.2 控矿构造带特征

勘探工程揭露表明,控矿构造蚀变带已控制长度达3 000 m,地表宽度一般为20~60 m,走向NE10~15°,倾向南东,倾角一般为20~30°。剖面上,控矿构造带呈缓倾斜的铲状,沿着荆山群大理岩层发育,具有顺层产出的特征,倾向盆地内侧,是一个发育于荆山群黑云角闪斜长片麻岩层及斜长角闪岩层之间的宽缓构造碎裂-角砾岩带。主断层在总体舒缓的背景下,以断坪和断坡的形式表现出有规律的变化:断坪处倾角较缓,一般为5~15°;断坡部位倾角较陡,一般为30~40°(图2)。

控矿断裂内构造岩非常发育,以碎裂岩和角砾岩为主,次为糜棱岩。前者发育在荆山群硅化大理岩层中,角砾以大理岩为主,有少量的石英。绝大部分角砾呈棱角状-次棱角状,具有典型的张性构造角砾的特点。糜棱岩以斜长角闪岩为主,部分为硅化大理岩和绢英岩,主要发育在矿体上盘。

构造岩分带明显,以三段1号穿脉地质剖面为例,从下盘到上盘依次为:下盘钾化绿泥石化角闪斜长片麻岩,发育晚期压扭性追踪断裂,断面清楚,大致可以代表控矿构造带的底界面。

揉皱斜长角闪岩带 宽12 m,揉皱、褶曲等变形强烈,往往具星点状黄铁矿化、弱硅化等蚀变。

构造角砾岩带 宽33 m,主要由硅化大理岩和长英质角砾岩构成,绢英岩化增强。

中央强硅化带 宽4 m,硅化作用极强,硅化岩呈灰色,一般具细粒稠密多金属矿化,黄铁矿浸染状矿化强烈,显微镜下可见到极少量大理岩残留,半自形-他形微细粒状黄铁矿较多,黄铁矿呈微细脉状、不规则状填充在石英间隙内。该带矿化强烈,矿石品位高,是金矿主要赋存部位,构成了富矿段。

构造角砾岩带 宽5 m,主要由石墨化构造角砾岩组成,是一个比较重要的赋金岩性段。

碎裂岩带 宽7 m,主要由大理岩质碎裂岩组成,

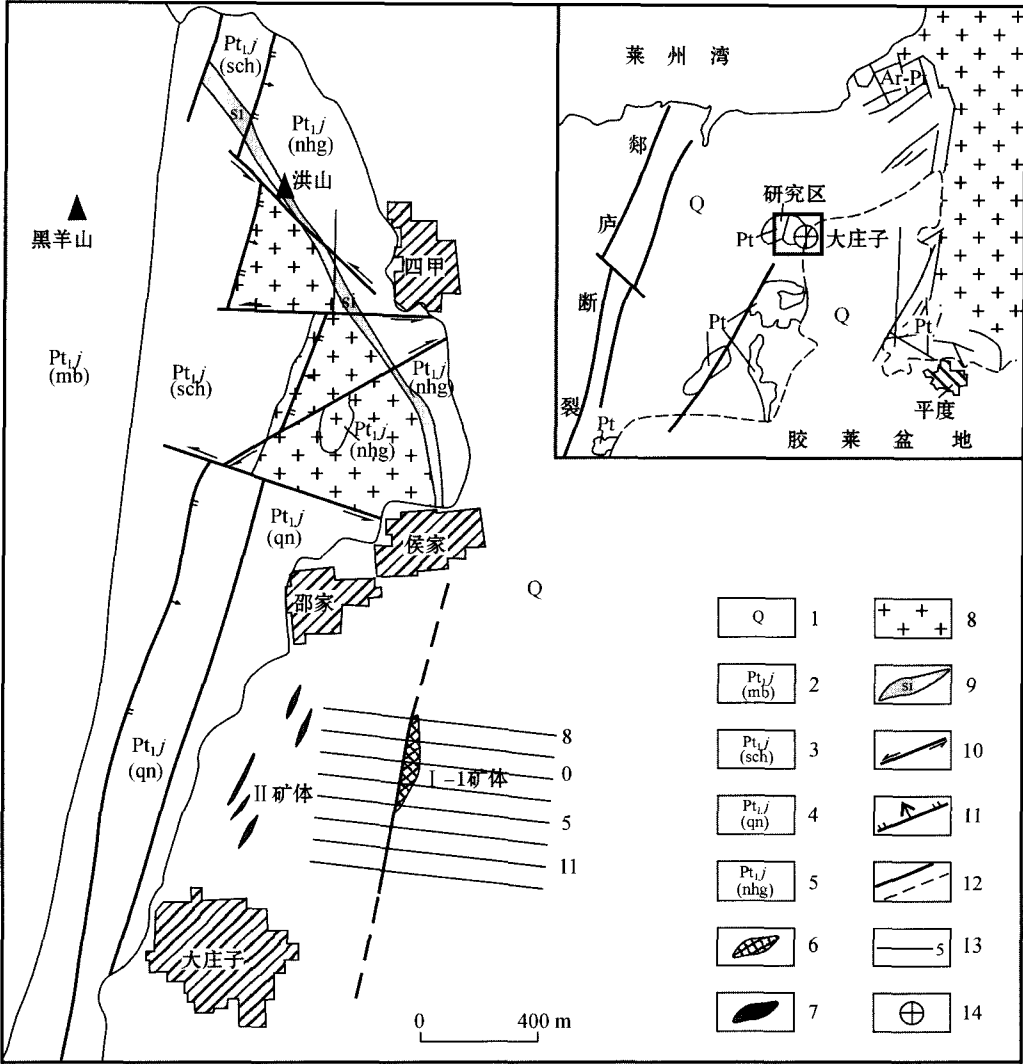


图 1 大庄子金矿床矿区地质简图(据张炳旭等^①,1998 修改)

1—第四系；2—荆山群大理岩；3—荆山群透闪片岩；4—荆山群黑云斜长片麻岩；5—荆山群斜长角闪岩；6—I-1 号矿构造角砾岩型矿体；7—黄铁石英脉型矿体；8—花岗岩；9—硅化岩带；10—平移断层；11—正断层；12—实测/推测断层；13—勘探线及编号；14—金矿

Fig. 1 Geological sketch map of the Dazhuangzi gold deposit (modified after Zhang et al. ,1998)

1—Quaternary; 2—Marble of Jingshan Group; 3—Tremolite schist of Jingshan Group; 4—Biotite plagioclase gneiss of Jingshan Group; 5—Plagioclase-amphibolite from Jingshan Group; 6—No. I-1 tectonic breccias type ore body; 7—Pyrite-quartz vein type ore body; 8—Granite; 9—Silicified rock; 10—Strike-slip fault; 11—Normal fault; 12—Measured/inferred fault; 13—Exploration Line and its serial number; 14—Dazhangzi gold deposit

矿化较弱。

糜棱岩带 宽 13.5 m,主要为长英质糜棱岩,局部为糜棱岩化绢英岩。上盘揉皱混合岩化斜长角闪岩,具有糜棱岩化,揉皱变形明显,有星点浸染状黄铁矿化和微弱硅化,其底部往往存在不明显的晚期压扭性追踪断层,基本代表控矿构造带的上边界。不同类型构造岩的这种分带性表明,控矿断裂先后

经历了多期不同性质的构造应力作用,在成矿过程中,具有中间部位受到的应力作用最强,向两侧逐渐减弱的趋势。

1.3 矿化特征

大庄子金矿主要存在两种类型矿化,即 I-1 号角砾岩型及 II 号石英脉型,其中 I-1 号矿体是大庄子金矿主要矿体,产于缓倾斜的主构造断裂内,II 号

① 张炳旭,朱永正,等. 1998. 山东平度市大庄子金矿区控矿构造及 I 号矿脉两翼成矿研究(内部报告)

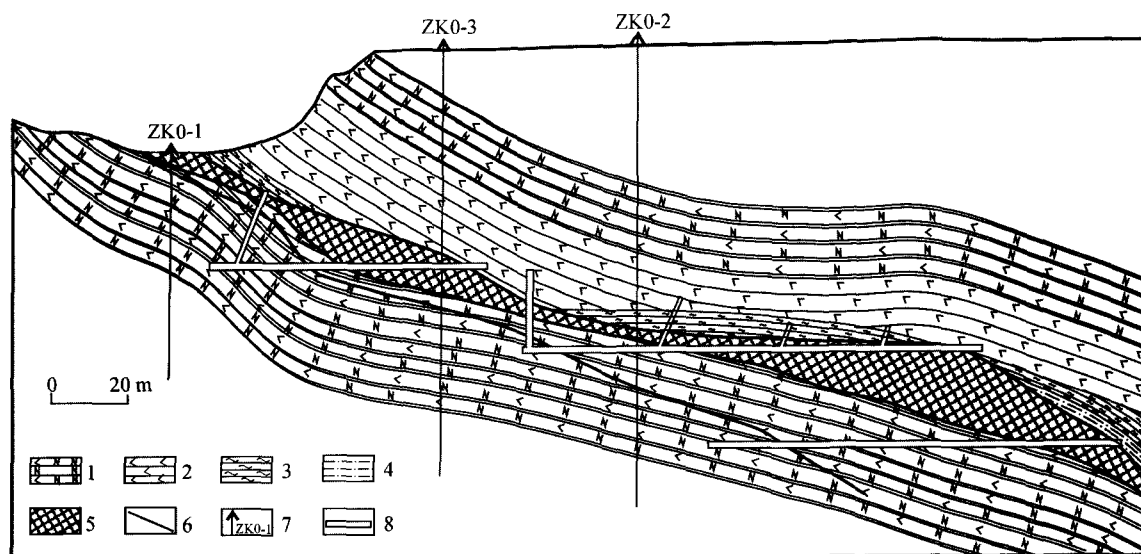


图2 大庄子金矿床0号勘探线地质剖面图

1—黑云角闪斜长片麻岩; 2—斜长角闪岩; 3—绿泥片岩; 4—黄铁矿绢英质糜棱岩; 5—构造碎裂-角砾岩型矿体; 6—底板追踪断裂;
7—钻孔及编号; 8—平硐等工程

Fig. 2 Geological section along No. 1 exploration line of the Dazhuangzi gold deposit

1—Biotite-hornblende plagioclase gneiss; 2—Plagioclase-amphibolite; 3—Greenschist; 4—Phyllic mylonite; 5—Tectonic breccias and cataclastic type ore body; 6—Fault; 7—Drill hole and its serial number; 8—Gallery

矿体规模较小,主要产于与主断裂倾向相反的高角度次级断裂构造内,倾角为 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。I-1号矿体走向为 $NE5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,倾向南东,倾角一般为 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$,长240 m,厚度一般为2.5~14.6 m,平均品位为 10.75×10^{-6} 。矿体呈似层状、扁豆状,具有倾向上膨大缩小、走向上尖灭再现的特征。矿体一般优先选择断坡产出,分段富集规律明显(图2)。

大理岩质碎裂岩和角砾岩等张性构造岩是主要含矿岩石,以其胶结物普遍发育硅化、黄铁矿化为特征。角砾一般不发生矿化,但硅化现象往往比较强烈。碎裂岩金矿化一般比角砾岩弱。

矿石的金属矿物主要为黄铁矿、方铅矿,次之为闪锌矿、黄铜矿等,非金属矿物为方解石、石英、绢云母等。金主要以自然金形式存在,次之为银金矿、金银矿等。矿石以自形-半自形晶粒结构、压碎结构及角砾状、碎裂状和块状构造为主。

2 矿床地球化学

2.1 常量元素

为了了解成矿过程中物质成分的变化,笔者选取典型样品应用XRF方法(仪器为Philips PW1400

型)对矿体上、下盘围岩和矿石进行了岩石化学分析。分析结果(表1)表明,角砾岩和碎裂岩 $w(\text{SiO}_2)$ 和 $w(\text{CaO})$ 较高,可达到25%~27%,基本上与本地区荆山群正常大理岩持平。部分矿化较弱的碳酸盐岩类 $w(\text{MgO})$ 较高,说明为白云质大理岩。

从边缘向矿化中心,硅化大理岩组分具有明显的规律性变化, $w(\text{CaO})$ 呈急剧降低, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{FeO})$ 、 $w(\text{MgO})$ 和 $w(\text{K}_2\text{O})$ 也相应逐渐降低,表现出与金矿化呈负相关的特点,同时, $w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 呈急剧增高, $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 亦相应逐渐增高,明显表现出与金矿化呈正相关关系。

对部分蚀变围岩和矿石组分变化情况的计算结果表明,角砾岩和碎裂岩等矿化岩石成分变化强烈: Ti^{4+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 成分被带出(其中, Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 被大量带出); Si 、 Fe^{3+} 、 Na^{+} 被大量带入。围岩成分变化不强烈,矿体顶板斜长角闪岩硅质带入较多,矿体底板钾质成分带入较多,钙质、钠质和铝质成分被带出,以钙质带出较为明显。

15件矿石及蚀变围岩样品相关系数计算及R型分层聚类分析表明,Au和 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 呈正相关关系,Au和 CaO 、 MgO 为负相关关系(图3),表明金矿化与硅、铁和钠元素的富集关系密切。

表 1 大庄子金矿床岩石化学分析结果[w(B)/%]
Table 1 Major element analyses of rocks and ores from the Dazhuangzi gold deposit [w(B)/%]

| 样号号 | 岩性 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ | MnO | CaO |
|---------------------|-------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------|-------|
| DZ-208 | 顶板糜棱岩化斜长角闪岩 | 46.87 | 0.91 | 14.59 | 4.51 | 3.94 | 0.12 | 9.31 |
| DZ-209 | 上盘斜长角闪岩 | 48.74 | 0.80 | 14.69 | 4.43 | 4.49 | 0.12 | 9.48 |
| DZ-210 | 上盘黑云斜长片麻岩 | 57.25 | 0.71 | 17.98 | 3.47 | 3.49 | 0.11 | 6.29 |
| 3Z-4 | 硅化大理岩质构造角砾岩 | 10.80 | 0.15 | 4.07 | 4.88 | 1.45 | 0.13 | 27.22 |
| 3Z-5 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 31.38 | 0.19 | 4.02 | 3.82 | 0.74 | 0.10 | 19.35 |
| 3Z-6 | 强硅化大理岩质角砾岩 | 53.89 | 0.26 | 4.38 | 1.98 | 1.25 | 0.10 | 17.51 |
| 3Z-7 | 矿石 | 53.95 | 0.12 | 1.15 | 2.07 | 6.30 | 0.06 | 0.57 |
| 3Z-8 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 22.38 | 0.02 | 0.49 | 1.62 | 0.56 | 0.06 | 25.65 |
| 3Z-10 | 下盘绢英蚀变岩 | 82.37 | 0.27 | 6.55 | 2.92 | 0.92 | 0.04 | 0.37 |
| 3Z-12 | 下盘黑云二长片麻岩 | 65.92 | 0.78 | 12.83 | 3.81 | 3.44 | 0.08 | 2.39 |
| 3Z-13 | 煌斑岩 | 41.40 | 2.40 | 12.14 | 8.34 | 3.12 | 0.13 | 9.82 |
| 2Z-2 | 顶板斜长角闪岩质糜棱岩 | 63.94 | 1.02 | 13.04 | 2.41 | 5.55 | 0.07 | 2.32 |
| DZ-203 | 下盘花岗岩片麻岩 | 68.75 | 0.72 | 12.51 | 1.53 | 5.52 | 0.07 | 0.62 |
| DZZW1 | 侯家硅化岩 | 93.40 | 0.08 | 2.42 | 0.36 | 1.17 | 0.04 | 0.19 |
| DZZW2 | 侯家硅化岩 | 95.54 | 0.04 | 1.04 | 0.69 | 0.72 | 0.04 | 0.39 |
| DZ-016 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 16.35 | 0.02 | 0.23 | 1.03 | 1.01 | 0.05 | 27.03 |
| DZ-222 | 层纹状硅化大理岩 | 18.84 | 0.02 | 0.46 | 1.27 | 0.77 | 0.10 | 25.92 |
| | 荆山群碳酸盐岩类* | 15.76 | | 1.85 | Tfe:0.95 | | 32.51 | |
| R ₂ -001 | 白云质大理岩** | 4.68 | 0.01 | 0.62 | 0.19 | 0.075 | 0.008 | 27.17 |
| Y002 | 大理岩** | 3.89 | 0.02 | 2.20 | 0.26 | 0.69 | 0.042 | 29.83 |
| 塔-08 | 大理岩** | 7.62 | 0.04 | 0.30 | 0.12 | 0.10 | 0.01 | 31.8 |
| 张-01 | 大理岩** | | 0.03 | 1.08 | 0.23 | 0.19 | 0.010 | 29.72 |
| 样号号 | 岩性 | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | 烧失量 | 总计 | |
| DZ-208 | 顶板糜棱岩化斜长角闪岩 | 2.74 | 1.97 | 2.35 | 0.39 | 12.39 | 100.09 | |
| DZ-209 | 上盘斜长角闪岩 | 2.99 | 1.90 | 2.04 | 0.19 | 9.48 | 99.35 | |
| DZ-210 | 上盘黑云斜长片麻岩 | 2.65 | 1.39 | 4.55 | 0.46 | 1.73 | 100.08 | |
| 3Z-4 | 硅化大理岩质构造角砾岩 | 12.94 | 1.16 | — | 0.08 | 37.16 | 100.04 | |
| 3Z-5 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 10.34 | 1.29 | — | 0.04 | 28.40 | 99.67 | |
| 3Z-6 | 强硅化大理岩质角砾岩 | 1.51 | 1.22 | 0.15 | 0.06 | 15.40 | 97.71 | |
| 3Z-7 | 矿石 | 0.59 | 0.31 | 4.50 | 0.02 | 7.64 | 77.28 | |
| 3Z-8 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 14.02 | 0.12 | — | 0.04 | 34.82 | 99.78 | |
| 3Z-10 | 下盘绢英蚀变岩 | 0.56 | 2.25 | — | 0.04 | 3.60 | 99.89 | |
| 3Z-12 | 下盘黑云二长片麻岩 | 0.68 | 3.80 | 2.23 | 0.21 | 3.56 | 99.73 | |
| 3Z-13 | 煌斑岩 | 7.18 | 1.77 | 2.35 | 0.72 | 10.16 | 99.79 | |
| 2Z-2 | 顶板斜长角闪岩质糜棱岩 | 1.57 | 3.95 | 0.40 | 0.28 | 5.10 | 99.65 | |
| DZ-203 | 下盘花岗岩片麻岩 | 0.90 | 3.27 | 1.69 | 0.18 | 3.55 | 99.31 | |
| DZZW1 | 侯家硅化岩 | — | 1.37 | — | 0.01 | 0.67 | 99.71 | |
| DZZW2 | 侯家硅化岩 | — | 0.37 | 0.16 | — | 0.54 | 99.53 | |
| DZ-016 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 16.08 | 0.14 | — | — | 38.43 | 100.37 | |
| DZ-222 | 层纹状硅化大理岩 | 15.38 | 0.19 | — | 0.01 | 36.99 | 99.95 | |
| | 荆山群碳酸盐岩类* | 13.15 | 0.26 | 0.12 | | | | |
| R ₂ -001 | 白云质大理岩** | 23.05 | 0.09 | 0.16 | | | | |
| Y002 | 大理岩** | 19.43 | 0.20 | 0.14 | | | | |
| 塔-08 | 大理岩** | 19.30 | 0.10 | 0.19 | | | | |
| 张-01 | 大理岩** | 21.11 | 0.18 | 0.21 | | | | |

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所。“—”为未测出;* 为胶东西北部地区碳酸盐岩类,据杨忠芳,1998;** 据杨敏之,1996,其中,R₂-001 为荆山禄格庄组,Y002 为荆山野头组,塔-08 为塔南泊野头组,张-01 为张格庄张格庄组。

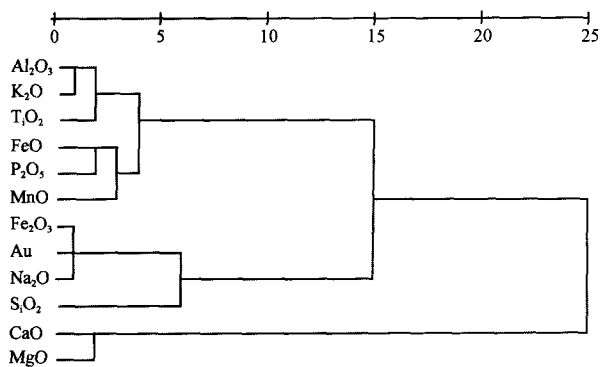


图3 大庄子金矿床常量元素与金元素R型分层聚类图
Fig. 3 R-mode cluster diagram of major elements in rocks and ores from the Dazhuangzi gold deposit

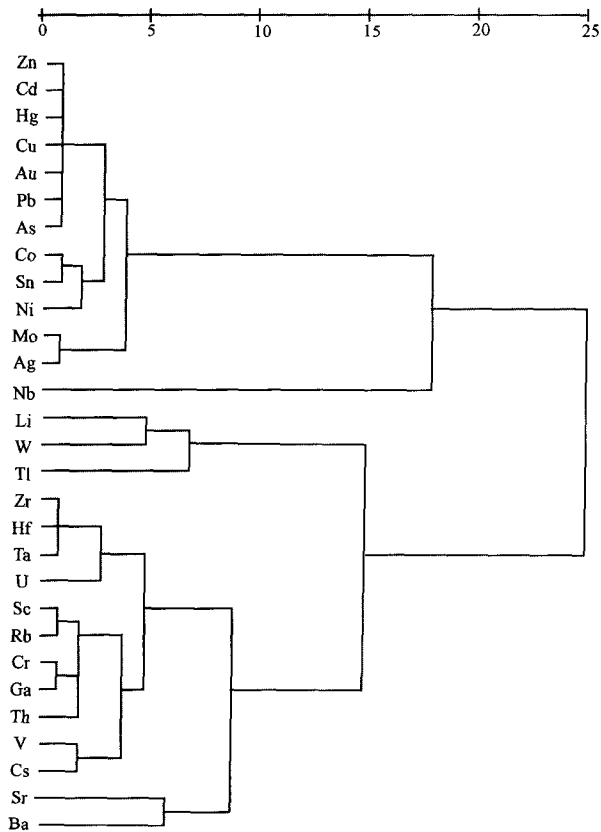


图4 大庄子金矿床微量元素R型分层聚类图
Fig. 4 R-mode cluster diagram of trace elements in rocks and ores from the Dazhuangzi gold deposit

2.2 微量元素

大庄子金矿床各种围岩、矿化岩石与岩性相同的其他未矿化岩石相比, Au一般富集3~10倍, 呈明显富集状态, Ni、Cu、Pb也有富集的趋势。在微量

元素变化趋势上, Au与Cu、Pb、Hg在矿石位置呈强烈的单峰状。相关系数计算表明, Au与As、Hg、Ag、Pb、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn等11个元素为强烈的正相关, 相关系数分别为0.991、0.999、0.872、0.984、0.939、0.879、1.000、1.000、0.869、1.000、0.948。在一定程度上, As等11个元素与Au表现出相似的地球化学行为, 可作为金矿化的指示元素。Au与Tl、Li具有一定的正相关性, 相关系数分别为0.626和0.425; U、Sr、Zr、Nb、Hf等5个元素在一定程度上与金矿化强度表现为消长关系。其余元素表现出相对独立性, 与金矿化相关性不大。

对15件矿石及蚀变围岩样品金等29个微量元素R型分层聚类(图4)表明, 与金矿化关系最密切的为Cd、Hg、Cu、Pb、As等5个元素, 次之为Co、Sn、Ni等。

2.3 稀土元素

应用ICP-MS测试方法对大庄子金矿部分围岩及矿石进行了稀土元素分析(表2), 并应用1977年Nakamura球粒陨石丰度对样品稀土元素含量进行了标准化。

与原岩相比, 发生金矿化的硅化大理岩质碎裂岩和构造角砾岩ΣREE略有增高, 具有富集轻稀土元素的趋势。铈异常没有明显变化; 铈异常与金矿化强度具有一定的规律性, 矿化强度越高, 铈异常有降低的变化趋势, 总体上呈正铈异常。矿化岩石和后期基性脉岩在轻、重稀土元素比值、铈异常值和铈异常值上均表现出相似性, 表明成矿流体对构造岩的交代作用在一定程度上引起了稀土元素特点的相似性。

在稀土元素标准化模式图(图5)上, 矿石标准化曲线均呈向右倾斜的特点, 轻、重稀土元素分馏表现较明显, 稀土元素总量普遍较低, 铈表现出正异常。矿石与原岩和基性脉岩曲线具有一定的相似性, 表明矿石继承了硅化大理岩的一些稀土元素分布特点, 又受到了成矿流体的影响。随着矿化程度的增强, 铈异常逐渐由正异常变为负异常, 这可能是由于成矿流体富碱质所造成的。

2.4 同位素地球化学

硫同位素 I-1号角砾岩型及II号石英脉型等5个矿石样品硫同位素测试表明, $\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ 值集中于9.1‰~11.5‰之间, 离散度较低, 塔式效应较明显, 均正向偏离陨硫, 硫来源比较均一。I-1号和II号矿脉虽然矿化类型不同, 但硫同位素组成基本一

表 2 大庄子金矿床围岩及矿石稀土元素分析结果[$w(B)/(\mu g/g)$]
Table 2 Trace element and REE analyses of rocks and ores from the Dazhuangzi gold deposit[$w(B)/(\mu g/g)$]

| 样品号 | 岩性 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| DZ-208 | 顶板糜棱岩化斜长角闪岩 | 32.41 | 74.40 | 9.22 | 42.21 | 7.06 | 2.45 | 6.16 | 0.98 | 5.11 | 1.34 |
| DZ-209 | 上盘斜长角闪岩 | 16.29 | 35.93 | 4.24 | 19.38 | 3.50 | 1.61 | 3.70 | 0.67 | 3.97 | 1.11 |
| DZ-210 | 上盘黑云斜长片麻岩 | 43.55 | 78.63 | 9.93 | 43.56 | 6.98 | 2.85 | 6.26 | 0.92 | 4.56 | 1.13 |
| 3Z-4 | 硅化大理岩质构造角砾岩 | 8.93 | 18.78 | 2.43 | 9.60 | 2.55 | 1.31 | 3.48 | 0.73 | 4.36 | 1.17 |
| 3Z-5 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 6.15 | 11.79 | 1.35 | 6.11 | 1.44 | 0.76 | 1.71 | 0.37 | 2.34 | 0.64 |
| 3Z-6 | 强硅化大理岩质角砾岩 | 11.22 | 23.66 | 2.86 | 10.91 | 2.09 | 0.76 | 2.26 | 0.43 | 2.56 | 0.69 |
| 3Z-7 | 矿石 | 4.63 | 9.26 | 0.96 | 3.90 | 0.63 | 0.17 | 0.56 | 0.07 | 0.32 | 0.08 |
| 3Z-8 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 2.56 | 5.05 | 0.59 | 2.65 | 0.66 | 0.36 | 0.72 | 0.14 | 0.76 | 0.20 |
| 3Z-10 | 下盘绢英蚀变岩 | 18.22 | 44.96 | 3.30 | 13.48 | 2.73 | 0.71 | 3.45 | 0.73 | 4.71 | 1.32 |
| 3Z-12 | 下盘黑云二长片麻岩 | 61.98 | 109.0 | 13.86 | 62.69 | 12.53 | 5.09 | 12.80 | 2.37 | 13.59 | 3.64 |
| 3Z-13 | 煌斑岩 | 47.96 | 85.4 | 9.95 | 43.33 | 8.21 | 3.93 | 8.20 | 1.39 | 7.42 | 1.79 |
| 2Z-2 | 顶板斜长角闪岩质糜棱岩 | 95.25 | 207.2 | 23.14 | 103.4 | 17.11 | 5.89 | 14.79 | 2.27 | 11.33 | 2.80 |
| DZ-203 | 下盘花岗片麻岩 | 38.78 | 109.0 | 8.80 | 38.24 | 7.88 | 3.16 | 8.52 | 1.61 | 9.92 | 2.78 |
| DZZW1 | 侯家硅化岩 | 8.00 | 15.41 | 1.66 | 7.04 | 1.39 | 0.44 | 1.56 | 0.32 | 2.14 | 0.62 |
| DZZW2 | 侯家硅化岩 | 2.57 | 5.13 | 0.55 | 2.33 | 0.48 | 0.17 | 0.50 | 0.11 | 0.62 | 0.17 |
| DZ-016 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 2.64 | 5.90 | 0.58 | 2.48 | 0.49 | 0.40 | 0.63 | 0.10 | 0.54 | 0.14 |
| DZ-222 | 层纹状硅化大理岩 | 2.52 | 5.08 | 0.55 | 2.45 | 0.48 | 0.39 | 0.57 | 0.10 | 0.59 | 0.15 |
| R2-001* | 荆山群碳酸盐岩类 | 8.8 | 16 | 3.5 | 6.5 | 1.2 | 0.26 | 0.69 | 0.49 | 2.3 | 0.24 |
| Y002* | 白云质大理岩 | 3.0 | 7.0 | 1.0 | 4.0 | 0.7 | 0.15 | 0.72 | 0.40 | 0.57 | 0.33 |

| 样号 | 岩性 | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ΣREE | ΣCe/ΣY** | δEu** | δCe** |
|---------|-------------|------|------|------|------|-------|--------|----------|-------|-------|
| DZ-208 | 顶板糜棱岩化斜长角闪岩 | 3.17 | 0.51 | 3.06 | 0.42 | 32.2 | 188.25 | 8.08 | 1.52 | 0.91 |
| DZ-209 | 上盘斜长角闪岩 | 2.69 | 0.44 | 2.74 | 0.38 | 27.1 | 96.65 | 5.16 | 1.39 | 0.89 |
| DZ-210 | 上盘黑云斜长片麻岩 | 2.73 | 0.39 | 2.42 | 0.33 | 28.57 | 204.24 | 9.90 | 1.34 | 0.75 |
| 3Z-4 | 硅化大理岩质构造角砾岩 | 2.83 | 0.48 | 2.88 | 0.43 | 33.66 | 59.96 | 2.67 | 1.35 | 0.85 |
| 3Z-5 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 1.52 | 0.26 | 1.51 | 0.20 | 16.41 | 36.15 | 3.23 | 1.50 | 0.80 |
| 3Z-6 | 强硅化大理岩质角砾岩 | 1.65 | 0.28 | 1.48 | 0.22 | 18.45 | 61.07 | 5.38 | 1.09 | 0.86 |
| 3Z-7 | 矿石 | 0.18 | 0.03 | 0.16 | 0.03 | 1.81 | 20.98 | 13.67 | 0.89 | 0.85 |
| 3Z-8 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 0.45 | 0.07 | 0.35 | 0.04 | 6.59 | 14.6 | 4.35 | 1.62 | 0.82 |
| 3Z-10 | 下盘绢英蚀变岩 | 3.26 | 0.56 | 3.44 | 0.45 | 31.73 | 101.32 | 4.65 | 0.72 | 1.07 |
| 3Z-12 | 下盘黑云二长片麻岩 | 8.35 | 1.37 | 7.81 | 1.06 | 83.44 | 316.14 | 5.20 | 1.25 | 0.73 |
| 3Z-13 | 煌斑岩 | 3.89 | 0.58 | 3.21 | 0.44 | 43.11 | 225.70 | 7.38 | 1.49 | 0.75 |
| 2Z-2 | 顶板斜长角闪岩质糜棱岩 | 6.52 | 1.03 | 5.99 | 0.80 | 64.61 | 497.52 | 9.93 | 1.15 | 0.89 |
| DZ-203 | 下盘花岗片麻岩 | 6.40 | 1.10 | 6.57 | 0.90 | 66.54 | 243.66 | 5.45 | 1.20 | 1.17 |
| DZZW1 | 侯家硅化岩 | 1.61 | 0.26 | 1.67 | 0.23 | 15.81 | 42.35 | 4.04 | 0.93 | 0.82 |
| DZZW2 | 侯家硅化岩 | 0.42 | 0.07 | 0.44 | 0.06 | 4.33 | 13.62 | 4.70 | 1.08 | 0.84 |
| DZ-016 | 硅化大理岩质碎裂岩 | 0.31 | 0.05 | 0.27 | 0.03 | 4.12 | 14.56 | 6.03 | 2.24 | 0.94 |
| DZ-222 | 层纹状硅化大理岩 | 0.33 | 0.05 | 0.32 | 0.04 | 4.46 | 13.58 | 5.44 | 2.31 | 0.85 |
| R2-001* | 荆山群碳酸盐岩类 | 0.73 | 0.05 | 0.25 | 0.05 | 2.3 | 41.06 | 7.55 | 0.86 | 0.66 |
| Y002* | 白云质大理岩 | 0.7 | 0.32 | 0.34 | 0.02 | 4.7 | 19.25 | 4.66 | 0.66 | 0.89 |

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究。* 据杨敏之,1996; **单位为1。

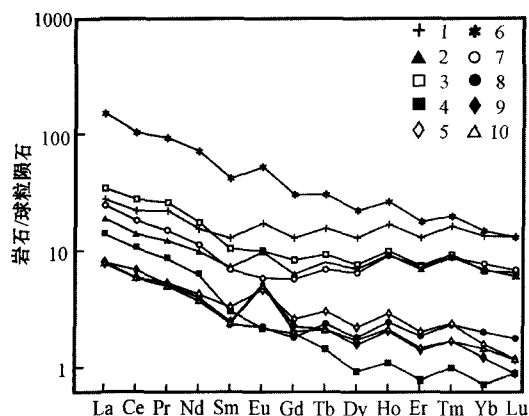


图5 大庄子金矿部分围岩及矿石、脉岩稀土元素标准化分布模式图

1—硅化大理岩质构造角砾岩；2—硅化大理岩质碎裂岩；3—强硅化大理岩质角砾岩；4—矿石；5—硅化大理岩质碎裂岩；6—煌斑岩；7—侯家硅化岩；8—侯家硅化岩；9—硅化大理岩质碎裂岩；10—层纹状硅化大理岩

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of rocks and ores from the Dazhuangzi gold deposit

1—Silicified marble tectonic breccia; 2—Silicified marble cataclastic rock; 3—Strong silicified-marble tectonic breccia; 4—Ore; 5—Silicified marble cataclastic rock; 6—Lamprophyre; 7—Silicified rock in Houjia; 8—Silicified rock in Houjia; 9—Silicified marble cataclastic rock; 10—Lamellar silicified marble

致,具有同一起来源。据杨忠芳等(1998)及张竹如等(1999)资料,本区胶东群及荆山群 $\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ 值分别集中于7.2‰~7.25‰与9.35‰~10.74‰之间。金矿硫同位素组成与荆山群基本一致,而与胶东群差异明显,说明硫来源于围岩荆山群变质岩系,应是成矿流体通过萃取围岩硫而使荆山群硫进入成矿体系,参与成矿循环的缘故。

铅同位素 大庄子金矿床矿石铅同位素分析测定表明,角砾岩型 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为17.249404~17.325317, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.506167~15.626466, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为37.889966~38.242554;石英脉型 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为17.404017、17.087591, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.512757、15.405352, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.120053、37.543949。铅组成变化较大,表明铅并不是均一起来源。在铅同位素动力演化模式图(图6)上表现为较明显的线性关系,其中,角砾岩型矿石铅同位素投影点主要集中在造山带演化线附近,而石英脉型则位于造山带到上地幔演化线的范围内,表明铅来源相对复杂,具有壳幔混合源的特点。朱大岗等(1998a; 1999)及连国建(2003)铅同位素研究结果也表明,该

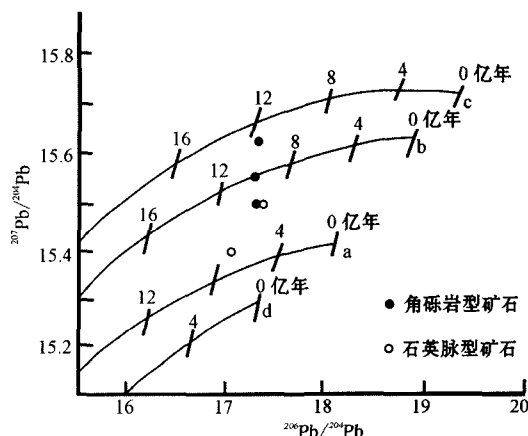


图6 大庄子金矿床铅同位素构造模式图

Fig. 6 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram of the Dazhuangzi gold deposit

矿床铅同位素指示成矿物质部分来自荆山群,部分来自下地壳或壳下物质。

碳氧同位素 用磷酸法对大庄子金矿矿石与围岩等碳氧组成测试结果(表3)表明,矿石与矿化期后充填方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本一致,也与胶东煌斑岩、碳酸岩、地幔岩石及岩浆岩源石英脉型三山岛金矿的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较接近,均表现为负值特征,而与荆山群大理岩 $\delta^{13}\text{C}$ 正值特征差异明显。矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为13.48‰、12.29‰,与胶东煌斑岩、碳酸岩及三山岛金矿 $\delta^{18}\text{O}$ 值比较相似,与矿区外围黑羊山荆山群大理岩($\delta^{18}\text{O}$ 值为19.89‰)相差甚远(表3)。在 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 关系图解(图7)上,矿石及晚期方解石脉的投影点均落在岩浆碳酸岩区域内。因此,碳氧同位素分析表明金矿碳氧成分具有岩浆成因。

3 成矿流体特征及来源探讨

朱大岗等(1998b)及连国建等(2005)研究表明,大庄金矿包裹体具有多期次、数量多、粒度小的特点。原生包裹体数量较少,多呈孤立状分布,形态多为不规则状、多边形、椭圆形、浑圆状等。包裹体类型主要为气液二相包裹体,气相分数一般为5%~10%,大小多为6~12 μm 左右。次生包裹体数量相对较多,为不规则状、椭圆形。包裹体细小,一般为5 μm 左右,以液相为主。前人测得石英流体包裹体的pH值为6.70, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 值为1.05%~4.96%,属弱酸性低盐度流体(连国建等,2005)。

表 3 大庄子金矿碳氧同位素测定结果表

Table 3 Carbon and hydrogen isotopic compositions of ores and rocks from the Dazhuangzi gold deposit

| 矿床名称及岩性 | 测定对象 | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$ | 资料来源 |
|----------|------|---|--|-------------|
| 大庄子金矿 | | | | |
| 角砾状矿石 | 石墨 | -2.351 | 13.48 | I 号矿体 2 中段* |
| 矿化后期方解石脉 | 方解石 | -1.596 | 5.73 | I 号矿体 2 中段* |
| 矿化后期方解石脉 | 方解石 | -2.356 | 10.40 | I 号矿体 3 中段* |
| 荆山群大理岩 | 方解石 | 1.953 | 19.89 | 矿区外围黑羊山* |
| 角砾状矿石 | 方解石 | -2.200 | 12.29 | I 号矿体 3 中段* |
| 矿化期后方解石脉 | 方解石 | -2.0 | 11.9 | 毛景文等,2002 |
| 矿化期后方解石脉 | 方解石 | -2.0 | 10.9 | 毛景文等,2002 |
| 矿化期后方解石脉 | 方解石 | -0.4 | 7.7 | 毛景文等,2002 |
| 矿化期后方解石脉 | 方解石 | -1.4 | 6.7 | 毛景文等,2002 |
| 三山岛金矿 | | | | |
| 蚀变岩 | 方解石 | -4.9 | 12.9 | 李晓明,1988 |
| 蚀变岩 | 方解石 | -4.8 | 11.6 | 李晓明,1988 |
| 蚀变岩 | 方解石 | -5.1 | 12.5 | 李晓明,1988 |
| 蚀变岩 | 方解石 | -5.1 | 12.5 | 李晓明,1988 |
| 石英方解石脉 | 方解石 | -5.4 | 12.9 | 李晓明,1988 |
| 方解石脉 | 方解石 | -5.4 | 13.1 | 李晓明,1988 |
| 胶东 | | | | |
| 煌斑岩 | 方解石 | -3.6 | 10.5 | 孙丰月等,1995 |
| 煌斑岩 | 方解石 | -3.9 | 11.4 | 孙丰月等,1995 |
| 碳酸岩 | | -2~-8 | 5.5~14.5 | Deines,1989 |
| 地幔岩石 | | -5± | | Hoefs,1987 |

测试单位：中国科学院地质与地球物理研究所。

含有一定量的 CH_4 、 CO 、 C_2H_6 、 N_2 ，流体中含有一定量的 H_2S 还原性气体和 SO_4^{2-} 液相成分，成矿作用受到大气降水等因素的叠加影响。

以爆裂法对成矿期石英包裹体水进行氢氧同位素测定表明($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 是根据贝克尔矿物-水平衡温度公式换算获得; $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 则是直接测定石英流体包裹体水获得。I-1 号矿体样品成矿温度取石英包裹体均一温度的平均值 200°C ，II 号矿体样品参考朱大岗计算标准取 250°C)，矿石氢氧同位素值比较集中，其中，I-1 号构造角砾岩型矿体 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+5.30\text{‰} \sim +2.31\text{‰}$ ， δD 在 $-72\text{‰} \sim -46.9\text{‰}$ 之间，次级断裂内的黄铁石英英脉型 II 号矿体石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 2.86‰ ， δD 值为 -68‰ (表 3)，两者基本一致，其流体应为同一来源。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图解(图 8)上，投影点均落在典型岩浆水区外侧，且极为接近岩浆水区域，表明成矿流体具有一定的岩浆成因，并受到水岩反应影响造成一定的漂移，与朱大岗等(1998b; 1999)的研究结果一致。

4 结 论

同位素年龄测定表明，大庄子金矿成矿期石英

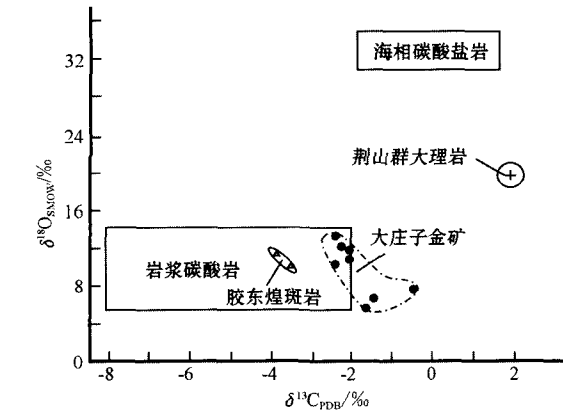


图 7 大庄子金矿 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图

Fig. 7 $\delta^{13}\text{C}$ versus $\delta^{18}\text{O}$ diagram of ores and rocks from the Dazhuangzi gold deposit

包裹体成分测定表明，大庄子金矿床为富含 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 流体，含有一定量的 F^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量低于检出限。在液相成分中， Na^+/K^+ 比值较高 ($6 \sim 0.2$)， F^-/Cl^- 比值较低 ($0.011 \sim 0.061$)，表明在成矿热液中， Na^+ 、 Cl^- 起着主导作用， Na^+ 、 Cl^- 相对高的含量对金的成矿较为有利。在气相成分中， $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比值在 $0.02 \sim 0.05$ 之间，

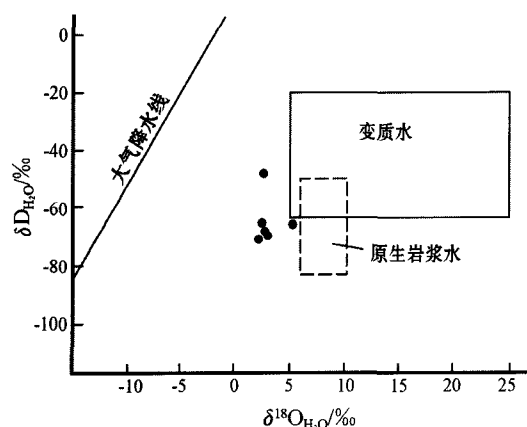


图8 大庄子金矿 δD_{H_2O} - $\delta^{18}O_{H_2O}$ 关系图

Fig. 8 δD_{H_2O} versus $\delta^{18}O_{H_2O}$ diagram of the Dazhuangzi gold deposit

$^{40}Ar/^{39}Ar$ 等时线年龄为 (115.62 ± 1.01) Ma, 与胶莱盆地北缘同类型的蓬家乔(石英 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 等时线年龄 117 Ma)、发云乔金矿(黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄 128 Ma)成矿时代基本一致(邹为雷, 2001), 即金矿形成于中生代白垩纪期间。区域构造-岩浆活动研究表明, 早白垩世华北东部岩石圈剧烈拉张减薄引起了深源岩浆的活动, 并有富金 C-H-O 地幔流体的上升(刘建明等, 2001; 翟明国等, 2003), 金矿的形成与次深源岩浆活动及密切相关。

应当指出的是, 虽然大庄子金矿产出于沉积盆地边部, 盆地流体在一定程度上也参与了成矿, 但其成矿作用与盆地沉积作用并无直接的成因联系, 这与产于南非维特瓦特兰德沉积盆地边缘的典型砾岩型金矿无论是控矿构造、含矿岩系, 还是物质来源、矿床成因, 两者均是不同的。后者受大型河流三角洲-冲积扇相沉积建造的控制, 成矿物质主要来源是太古代花岗岩-绿岩带超镁铁质、镁铁质岩石, 并由河流从内陆搬运到盆地边缘产生短距离迁移, 经过机械和化学作用使金产生进一步的富集, 在埋藏和成岩作用期间进一步改造成矿, 属于后期热液改造的沉积型矿床(Stanko, 1954; Koppel et al., 1974; Reimer, 1984; Minter et al., 1988; Spangenberg et al., 2001; Frimmel, 2002; Meier et al., 2009)。

通过上述大庄子金矿地质、地球化学及成矿流体的探讨可得到几点初步认识:

(1) 大庄子金矿产于盆地边缘荆山群内的低角度构造断裂蚀变带内, 以硅化大理岩质及部分长英

质构造角砾岩、碎裂岩的胶结物发生普遍金矿化为特征, 属于受断裂构造控制的蚀变构造角砾岩型金矿。

(2) 常量、微量元素及稀土元素地球化学研究表明, 成矿岩石与流体具有比较强烈的物质交换, 金矿化与 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 及 As、Cd、Hg、Cu、Pb 等微量元素富集关系密切。在一定程度上, As、Hg、Ag、Pb、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn 等元素与 Au 表现出相似的地球化学行为。矿化岩石具有富集轻稀土元素的趋势, 总体上呈现正异常。

(3) 硫、铅、碳氧同位素结果显示, 成矿物质来源比较复杂, 既有围岩荆山群成分, 也存在壳幔物质, 氢氧等同位素表明成矿流体具有一定的岩浆成因性质, 并受到大气降水影响。

(4) 流体包裹体具有受大气降水等因素叠加影响的岩浆热液特征, 为弱酸性、富含 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的低盐度中温流体。

References

- Deines P. 1989. Stable isotope variations in carbonatite[M]. London: Umwin Hyman. 301-359.
- Frimmel H E. 2002. Genesis of the world's largest gold deposits[J]. Science, 297(5588): 1815-1817.
- Guo B C and Zhao D D. 2002. Discussion on the genetic type of gold deposits in Dazhuangzi mining area in Pingdu City[J]. Geology and Prospecting, 38(4): 36-40 (in Chinese with English abstract).
- Jing L H, Shen Y C, Lin Q Z, Zeng Q D and Zou W L. 2001. Extraction and interperation for the northern margin of the Jiaolai Basin with remote sensing[J]. Geology and Prospecting, 37(1): 91-94 (in Chinese with English abstract).
- Hoefs Jochen. 1987. Stable isotope geochemistry[M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1-288.
- Koppel V H and Rudolf S. 1974. Lead isotope evidence on the detrital origin of Witwatersrand pyrites and its bearing on the provenance of the Witwatersrand gold[J]. Econ. Geol., 69(3): 318-331.
- Li X M. 1988. Oxygen, hydrogen, carbon stable isotopic study of San-shangdao gold deposit, Shandong Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 3(3): 62-70 (in Chinese with English abstract).
- Lian G J. 2003. Study on stable isotope geochemistry and genesis of Dazhuangzi gold deposit [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18 (Supp.): 126-131 (in Chinese with English abstract).
- Lian G J, Shi W Q, Mei S N and Liu L. 2005. Fluid inclusions in the Dazhuangzi gold deposit in Pingdu County, Shandong[J]. Geology and Prospecting, 41(1): 8-32 (in Chinese with English abstract).

- Liu J M, Ye J, Xu J H, Jiang N and Ying H L. 2001. Preliminary discussion on geodynamic background of mesozoic gold metallogeny in eastern northchina: With examples from eastern Shandong Province [J]. *Progress in Geophysics*, 16(1): 39-46 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y W and Li H J. 2002. Interlayer gliding structure and mineralization of Xilaokou gold field, east Shandong [J]. *Gold*, 23(10): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- Lu K Z and Dai J S. 1994. Formation and evolvement of the Jiaolai basin [M]. Dongying: University of Petroleum Press. 1-184 (in Chinese).
- Mao J W, H Y and Ding T P. 2002. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong(east Shandong) gold district: Evidence of C, O and H Isotopes [J]. *Mineral Deposits*, 21(2): 121-128 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H M, Wang Y T, Zhang C Q and Wang R T. 2005. The relationship between mantle-derived fluid and gold ore-formation in the eastern Shandong Peninsula: Evidences from D-O-C-S isotopes [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 839-857 (in Chinese with English abstract).
- Meier D L, Heinrich C A and Watts M A. 2009. Mafic dikes displacing Witwatersrand gold reefs: Evidence against metamorphic-hydrothermal ore formation [J]. *Geology*, 37(7): 607-610.
- Minter W E L, Feather C E and Glatthaar C W. 1988. Sedimentological and mineralogical aspects of the newly discovered Witwatersrand placer deposit that reflect Proterozoic weathering, Welkom gold field, south Africa [J]. *Econ. Geol.*, 83(3): 481-491.
- Qu S F. 2007. Xilaokou gold mining area geology and geophysics, geochemistry characteristic [J]. *Gold Science and Technology*, 15(6): 12-18 (in Chinese with English abstract).
- Reimer T O. 1984. Alternative model for the derivation of gold in the Witwatersrand Supergroup [J]. *Journal of the Geological Society*, 141(2): 263-271.
- Shen Y C, Liu T B, Li H M, Li G M and Liu F T. 2001a. Geological and geochemical features and genesis of Guocheng gold deposit in Haiyang County, Shandong Province [J]. *Geology and Prospecting*, 37(1): 38-43 (in Chinese with English abstract).
- Shen Y C, Zhang L C, Liu T B, Zeng Q D and Li G M. 2001b. Inter-layer slid fault and its ore-controlling process [J]. *Geology and Prospecting*, 37(1): 11-14 (in Chinese with English abstract).
- Song Y C, Hu W X, Lian G J and Gao X K. 2004. Trace elemental and Pb-S isotopic geochemistry of the Dazhuangzi gold deposit, east Shandong, China [J]. *Journal of Nanjing University*, 40(6): 659-673 (in Chinese with English abstract).
- Spangenberg J E and Frimmel H E. 2001. Basin-internal derivation of hydrocarbons in the Witwatersrand Basin, south Africa: Evidence from bulk and molecular delta ^{13}C data [J]. *Chemical Geology*, 173(4): 339-355.
- Stankov M. 1954. Genesis of the Witwatersrand gold-uranium deposits [J]. *Econ. Geol.*, 49(5): 537-540.
- Sun F Y, Shi Z L and Feng B Z. 1995. Gold ore geology lithogenesis and metallogenesis related to the differentiation of mantle-derived C-H-O fluids in Jiaodong peninsula eastern China [M]. Chang Chun: People Publishing House of Jili. 1-170 (in Chinese).
- Xu S P and Wen Z T. 2003. Mineralization and ore prospecting of gold deposit in Laiyang and Zangjiazhuang Basin of Jiaodong [J]. *Gold Geology*, 9(1): 20-25 (in Chinese with English abstract).
- Yang M Z and LÜ G X. 1996. Geology and geochemistry of gold deposits in Jiaodong greestone belt, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-228 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z F, Xu J K and Zhao L S. 1998. The evolution of regional crust and the geochemistry on gold mineralization in Jiaodong [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-157 (in Chinese with English abstract).
- Zhai M G, Zhu R X, Liu J M, Meng Q R, Hou Q L, Hu S B, Li Z, Zhang H F and Liu W. 2003. Key time limit of Mesozoic tectonic regime transition in eastern North China Block [J]. *Science China (Series D)*, 33(10): 913-920 (in Chinese).
- Zhang Z R and Cheng S Z. 1999. Superlarge gold deposit exploration perspective in Jiaolai Basin of Jiaodong gold metallogenetic domain [J]. *Geochimica*, 28(3): 203-212 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D G, Lu G X, Deng J, Lu A H and Zhang Z J. 1998a. Tectonic lithofacies features of gold deposit of metamorphic rock type in eastern Shandong and its ore controlling [J]. *Journal of Geomechanics*, 4(2): 67-74 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D G and Zhang Z J. 1998b. The geological characteristics of gold deposits in Dazhuangzi area, eastern Shandong Province [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 17(1): 9-12 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D G, Lu G X, Deng J and Lu A H. 1999. Discussion on the geology and genesis of Dazhuangzi gold deposit in eastern Shandong Province [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 8(2): 81-86 (in Chinese with English abstract).
- Zhu H L and Zhang H Q. 2006. Analysis on West Tangezhuang area gold mineralization prospect in Jiaolai Basin [J]. *Gold Science and Technology*, 14(2): 47-51 (in Chinese with English abstract).
- Zou W L. 2001. Geological-geochemical characteristics and the genesis of the Dazhuangzi gold deposit in Pingdu city, Shandong Province: Discussing on the mineralization model of the interstratified glide breccia type gold deposit (dissertation for Doctor degree) [D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences. 1-124 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 郭百创, 赵冬冬. 2002. 平度市大庄子矿区金矿床成因类型探讨 [J]. *地质与勘探*, 38(4): 36-40.
- 荆林海, 沈远超, 蔺启忠, 曾庆栋, 邹为雷. 2001. 胶莱盆地北缘遥感信息提取及解译分析 [J]. *地质与勘探*, 37(1): 91-94.
- 李晓明. 1988. 山东三山岛金矿床氧、氢碳稳定同位素的研究及其应用 [J]. *地质找矿论丛*, 3(3): 62-70.
- 连国建. 2003. 大庄子金矿床稳定同位素地球化学研究 [J]. *地质找*

- 矿论丛, 18(增刊): 126-131.
- 连国建, 史维全, 门树宁, 刘莉. 2005. 山东省平度市大庄子金矿流体包裹体研究[J]. 地质与勘探, 41(1): 8-32.
- 刘建明, 叶杰, 徐九华, 姜能, 应汉龙. 2001. 初论华北东部中生代金成的地球动力学背景——以胶东金矿为例[J]. 地球物理学进展, 16(1): 39-46.
- 刘于旺, 李洪杰. 2002. 胶东西涝口金矿区层间滑动构造与成矿[J]. 黄金, 23(10): 1-5.
- 陆克政, 戴俊生. 1994. 胶莱盆地的形成和演化[M]. 东营: 石油大学出版社. 1-184.
- 毛景文, 赫英, 丁梯平. 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据[J]. 矿床地质, 21(2): 121-128.
- 毛景文, 李厚民, 王义天, 张长青, 王瑞廷. 2005. 地幔流体参与胶东金矿成矿作用的氢氧碳硫同位素证据[J]. 地质学报, 79(6): 839-857.
- 曲少飞. 2007. 西涝口金矿区物化探特征及找矿方向[J]. 黄金科学技术, 15(6): 12-18.
- 沈远超, 刘铁兵, 李厚民, 李光明, 刘福涛. 2001a. 山东海阳郭城金矿床地质地球化学特征及成因[J]. 地质与勘探, 37(1): 38-43.
- 沈远超, 张连昌, 刘铁兵, 曾庆栋, 李光明. 2001b. 论层间滑动断层及其控矿作用——以山东胶莱盆地北缘金成矿带为例[J]. 地质与勘探, 37(1): 11-14.
- 宋玉财, 胡文瑄, 连国建, 高小康. 2004. 胶东大庄子金矿微量元素及 Pb-S 同位素地球化学研究[J]. 南京大学学报, 40(6): 659-673.
- 孙丰月, 石淮立, 冯本智. 1995. 胶东金矿地质及地幔 C-H-O 流体分异成岩成矿[M]. 长春: 吉林人民出版社. 1-170.
- 徐述平, 文中田. 2003. 胶东莱阳和臧家庄盆地金矿成矿及找矿预测[J]. 黄金地质, 9(1): 20-25.
- 杨敏之, 吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 1-228.
- 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山. 1998. 胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 1-157.
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 孟庆任, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J]. 中国科学(D辑), 33(10): 913-920.
- 张竹如, 陈世楨. 1999. 胶东金成矿域胶莱盆地中超大型金矿床找矿远景[J]. 地球化学, 28(3): 203-212.
- 朱大岗, 吕古贤, 邓军, 鲁安怀, 张振江. 1998a. 胶东变质岩型金矿构造-岩相特征及其控矿作用[J]. 地质力学学报, 4(2): 67-74.
- 朱大岗, 张振江. 1998b. 胶东大庄子金矿地质特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 17(1): 9-12.
- 朱大岗, 吕古贤, 邓军, 鲁安怀. 1999. 胶东大庄子金矿地质特征和成因探讨[J]. 贵金属地质, 8(2): 81-86.
- 朱洪岭, 张华全. 2006. 胶莱盆地西谭格庄地区金成矿前景分析[J]. 黄金科学技术, 14(2): 47-51.
- 邹为雷. 2001. 山东平度大庄子金矿床地质地球化学特征及成因——兼论层间滑动角砾岩型金矿成矿模式(博士学位论文)[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所. 1-124.