金属矿产

山东省埃子王家—原疃矿区成矿流体特征及流体来源

杨 柳[1,2],邹海洋[1,2],陈松岭[1,2],杜高峰[1,2],刘艳萍[1]

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院,湖南长沙 410083;
2. 中南大学"有色金属成矿预测"教育部重点实验室,湖南长沙 410083)

[摘 要] 通过对埃子王家-原疃矿区流体包裹体岩相学、测温学及铅、硫同位素等的分析,研究其成矿流体性质和演化,并探讨矿床成矿流体和成矿物质来源,结果表明:① 流体包裹体主要为气液两相包裹体;包裹体液相成分阳离子以 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 为主,阴离子以 SO_4^{2-}、Cl^-、F^- 为主;气相成分以 H_2O、CO_2、CH_4 为主;② 成矿流体均一温度、盐度分别为 120~350℃,4.26%~8.66%,为中低温(200℃以下为70%)、低盐度的流体;③ $^{206}Pb/^{204}Pb$ 范围为 16.217~18.034;$^{207}Pb/^{204}Pb$ 范围为 15.180~16.889;$^{208}Pb/^{204}Pb$ 范围为 36.586~39.987。分析认为,本区铅同位素来源应为壳幔混合源。

[关键词] 成矿流体 包裹体 金矿床 埃子王家-原疃

[中图分类号] P597+P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2012)02-0217-10

Yang liu, Zou Hai-yang, Chen Song-ling, Du Gao-feng, Liu Yan-ping. Characteristics of the ore-forming fluid from the Aiziwangjia-Yuantuan gold deposit in Shandong Province and its origin [J]. Geology and Exploration,2012,48(2):0217-0226.

0 前言

胶东地区是我国金矿床最集中的地区,近年来,许多学者对胶东地区进行系统研究(胡芳芳等,2008;郭涛等,2008;杨春福,2010;李旭芬等,2010;钱建平等,2010;侯献华等,2010;邹为雷等,2010;王力等,2010;孙玉龙等,2011;姜晓辉等,2011;董汉文等,2011)。其中,招远市黄金储量和产量一直处于我国县级地区首位,是我国黄金资源和黄金生产的重要基地(杨柳,2009)。

埃子王家-原疃地区与招远黄金集中区的其它区段的地质研究程度相比,研究程度相对较低,一些与找矿信息密切相关的基础地质问题亟待解决。为解决矿山保有资源不足的问题,保障企业的可持续性发展,查清这些地质问题势在必行。作者曾对矿区进行脉岩及与金成矿关系研究(杨柳,2009)。本文从流体包裹体的角度来阐明形成矿床的流体特征,并探讨成矿物质来源的硫、铅同位素特征,为指导矿山找矿提供重要依据。

1 地质概况

研究区隶属山东招远金矿,该矿带集中区位于我国大陆东缘,是中朝地台的组成部分,称为胶辽地盾(黄汲清等,1981;黄汲清,1994)。而依据陈国达院士(陈国达等,1997;游长江等,1996;陈国达,1986)的历史—因果论综合大地构造学的壳体理论及其地洼学说理论,研究区隶属东亚壳体的中东部,位于华北地洼区的辽鲁地穹系。而依据板块学说观点,研究区位于太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲过渡部位。岩石圈郯庐断裂和五莲-荣成断裂将山东分为胶北、胶南-苏北和泰山(鲁西)三个独立的地层地体(Zartman R E *et al*,1981),研究区位于胶北地体中北部(图1)。

研究区地层主要有胶东群斜长角闪片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、斜长黑云角闪片麻岩、黑云角闪石英斜长变粒岩、角闪石英斜长变粒岩、黑云母石英片岩(变粒岩)等呈大小不等的残留体分布于玲珑混合花岗岩体中。此外,第四系在本区分布广泛。

[收稿日期] 2011-01-13; [修订日期] 2011-12-26; [责任编辑] 郝情情。
[基金项目] 湖南省自然科学基金(编号07JJ6071)资助。
[第一作者] 杨柳(1982年-),女,在读博士生,现从事矿产普查与勘探工作。E-mail:csuyl2004@126.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

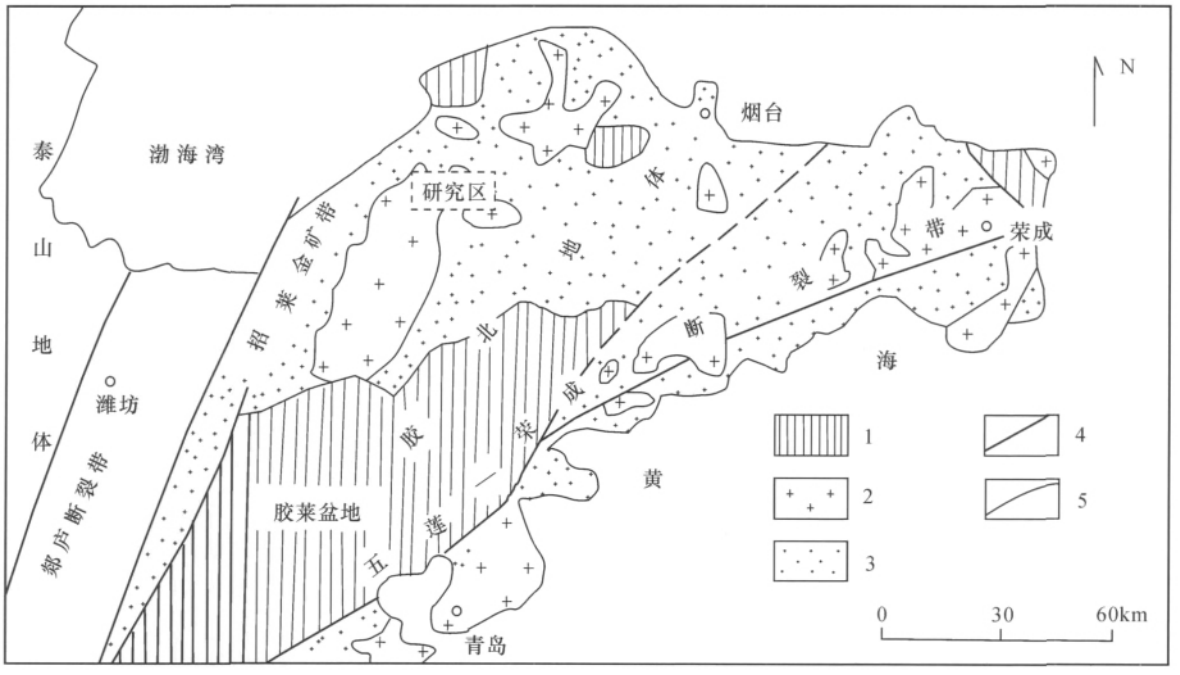


图 1 山东半岛地区地体构造地质简图(据曹国权等,1990)

Fig. 1 Simplified geologic map of the Shandong peninsula (from Cao *et al*, 1990)

1 – 中新生代地层区; 2 – 中生代花岗岩; 3 – 太古宙到元古宙地层; 4 – 主断裂; 5 – 地层界线

1 – Mesozoic and Cenozoic stratigraphic zone; 2 – Mesozoic granite; 3 – Archean to Proterozoic strata; 4 – main fault; 5 – stratigraphic boundary

研究区位于区域性北东向黄掖断裂和招平断裂所挟持的中间地段,栖霞东西向基底复式褶皱北部,区内褶皱构造不发育。上述两条断裂规模大,长百余千米,宽百余米至数百米,断带下盘发育厚数米的糜棱岩,糜棱岩之下又发育断层泥,上盘既有挤压形成的塑性变形岩又有张扭性的碎裂岩、角砾岩。碎裂岩带多被后期的含矿热液胶结,经后期活动而形成矿化角砾。断裂带走向均为 NE45°左右,倾角中等,但倾向相反。它们共同控制了招掖成矿带; 许多大型、特大型金矿都赋存于这两条区域性大断裂的下盘。本区刚好位于成矿带的中间部位。

研究区矿化蚀变带均受复合断裂构造控制,其矿化强度一般与围岩蚀变的发育程度相一致。由于本区蚀变带宽度一般不大,各种蚀变分带不明显,存在明显的蚀变叠加现象,这样就呈现出本类矿床矿化蚀变带的蚀变组合分带特征: ① 内带: 黄铁矿化 – 硅化 – 绢英岩化蚀变组合; 黄铁矿化发育是本带的最重要特征,其中在含金石英脉型金矿体处硅化强烈,而在蚀变岩型金矿体处,硅化较弱,岩石中的暗色矿物和长石等矿物均被完全蚀变,绢云母片较大,是本区主要工业矿体蚀变组合。② 中带: 硅化 – 绢英岩化; 该带黄铁矿化弱,硅化和绢英岩化基本同上,如果内带发育,本带往往可与内带一起构成工业矿体,否则不具工业意义。③ 外带: 绢英岩化 – 钾化 – 碳酸盐化等; 主要发育于碎裂岩内及外侧一定范围内,该带内的绢云母呈细微片状,碳酸盐细脉发育,是一种远矿蚀变组合,在生产实践中具有很好的指示意义。

本区金矿床的矿石矿物组合、结构构造等特征均表明金矿床为中低温矿床,石英、黄铁矿基本贯穿了整个热液成矿期,绢云母主要在早期热液成矿阶段,多金属硫化物方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等主要集中在中期成矿阶段,而方解石则集中在晚期成矿阶段。

2 测试方法

研究样品均采自成矿阶段矿石的石英和黄铁矿单矿物,将其磨制成厚度约为 0.2mm 双面剖光的光薄片做岩相学与流体包裹体观察。

包裹体成分测定对象为石英和黄铁矿,由中南大学地质研究所流体包裹体气液相成分测定实验室完成。将纯度大于 99% 的包裹体样品放入烧杯中,加入 HCl(1∶1),在电热板 80 ~ 100℃保温 1h,过夜,倒掉酸,用去离子水清洗样品数次,超声震荡 5min,再用去离子水反复漂洗,在 80℃烘箱内烘干样品。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

流体包裹体的气相成分分析采用加热爆裂法提取气体,其测试程序为: 将清洗干净的500mg样品放入石英管内,逐渐升温到100℃排气,待分析管内真空度为6×10^{-6}Pa以下时,将100℃以内的次生包裹体和样品吸附气体去除。以1℃/1min的速度升温到500℃,记录压力计的读数,用液氮冷冻5 min,再用干冰冷冻5 min,记录压力计的读数(用来计算水的含量)后测定。分析仪器为Varian－3400型气相色谱仪(美国),分析误差<5%。流体包裹体的液相成分分析程序为,将清洗干净的1g样品放入石英管中,500℃爆裂15 min,冷却后加5ml水,超声震荡10 min。分析仪器为美国戴安公司生产的DX－120Ion Chromatograph离子色谱仪。淋洗液,2.5mM邻苯二甲酸－2.4mM三(羟)甲基氨基甲烷; 流速: 阴离子为1.2 ml/min,阳离子为1.0ml/min。重复测定精密度<5%。

流体包裹体测温工作主要在中南大学地质研究所流体包裹体测温实验室进行。本次测试使用仪器为英国产的Linkam THMS600型冷热台,均一温度重现误差小于2℃,冰点温度重现误差小于0.2℃。冷冻测温时,利用液氮对包裹体降温,在温度下降过程中观察包裹体的变化,包裹体冷冻后,缓慢升温,至最后一块冰晶熔化,记录冰点温度。对气液两相包裹体进行均一温度的测定时,开始的升温速度在10℃/min。在气液两相接近均一时,降低升温速度,将其控制在1℃,并及时记录均一温度。

Pb同位素是由中南大学地质研究所ICP－MS实验室测定,S同位素均是由中国地质科学院地质研究所同位素室测定的。用于Pb同位素测试的矿石全岩粉末样品先用$HF+HNO_3$溶解,然后用离子交换柱分离Pb,在热离子质谱计MAT261上测定,测定前及测定过程中用NBS981铅标准校准仪器及监测仪器。全流程Pb的空白本底为10^{-9}g,分析精度优于0.05%。S同位素挑选新鲜纯净黄铁矿单矿物样品,纯度达99%以上,所用质谱计型号为MAT251EM,以VCDT为标准,测试精度为±0.2%。

3　成矿流体包裹体特征

3.1　流体包裹体岩相学

本区金矿中石英的包裹体较多,但包裹体微小,包裹体一般3～9μm,少数大于10μm,最大达27μm。包裹体形态多为不规则状、条状、椭圆状、圆形等。这些包裹体主要为气液包裹体,纯气体包裹体和纯液相包裹体少见(图2)。

3.2　流体包裹体气液相成分

本次工作分析了本区矿石中的石英、方解石、黄铁矿的包体中气相、液相成分各9件,分析结果见表1。从表中数据可以看出: 本区金矿石中矿物包裹体在成分上具有富CO_2和SO_4^{2-}的特征。

(1) 包裹体液相成分中阳离子主要为K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+},且明显具有K^+含量大于Na^+的特征,金的主要成矿阶段具有K^++Na^+明显多于$Ca^{2+}+Mg^{2+}$,而在成矿晚期Ca^{2+}和Mg^{2+}的含量明显增高,使$Ca^{2+}+Mg^{2+}$明显多于K^++Na^+。

(2) 阴离子主要有SO_4^{2-}、Cl^-、F^-等,其中SO_4^{2-}离子含量最高,这可能与硫化物含量有关,成矿早期硫化物含量高,S^{2-}在热液中会被氧化为SO_4^{2-}; 而成矿晚期硫化物含量低,SO_4^{2-}含量也低。成矿流体明显具有Cl^-含量大于F^-的特征,且随着成矿的进行,Cl^-/F^-逐渐降低。

(3) 包裹体气相成分主要为H_2O、CO_2、CH_4和少量H_2; 其中以H_2O占绝对优势,说明成矿流体为热水溶液,其中富含CO_2。气相组分中有较多CH_4和少量H_2; 说明成矿环境是一种还原环境,且$(H_2+CH_4)/CO_2$比值说明从成矿早期到成矿晚期的还原性降低。

(4) 本区成矿流体的类型为: 低盐度的$Ca^{2+}-Na^+-K^+-F^--Cl^--SO_4^{2-}$型热水溶液。

3.3　流体包裹体均一温度、盐度

研究区的矿石矿物组合、结构构造等特征均表明金矿床为中低温矿床,石英、黄铁矿基本贯穿了整个热液成矿期,绢云母主要在早期热液成矿阶段,多金属硫化物方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等主要集中在中期成矿阶段,而方解石则集中在晚期成矿阶段。故本次研究重点对石英进行了包裹体显微测温。

根据包裹体均一法温度结果(表2),可以得出本矿床从早到晚各热液成矿阶段的温度为: 第Ⅰ成矿阶段(黄铁矿)绢云母－石英脉阶段成矿温度在350℃～250℃之间; 第Ⅱ成矿阶段黄铁矿－石英阶段成矿温度在290℃～180℃之间; 第Ⅲ成矿阶段多金属硫化物－石英阶段成矿温度在250℃～160℃之间; 第Ⅳ成矿阶段石英－碳酸盐阶段成矿温度在180℃～120℃之间。

综上所述,热液成矿期的成矿温度主要变化于120℃～350℃之间,由早到晚,成矿温度递减,金的主成矿阶段Ⅱ黄铁矿－石英阶段和Ⅲ多金属硫化物－石英的成矿温度在290℃～160℃之间,相当于中低温成矿。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

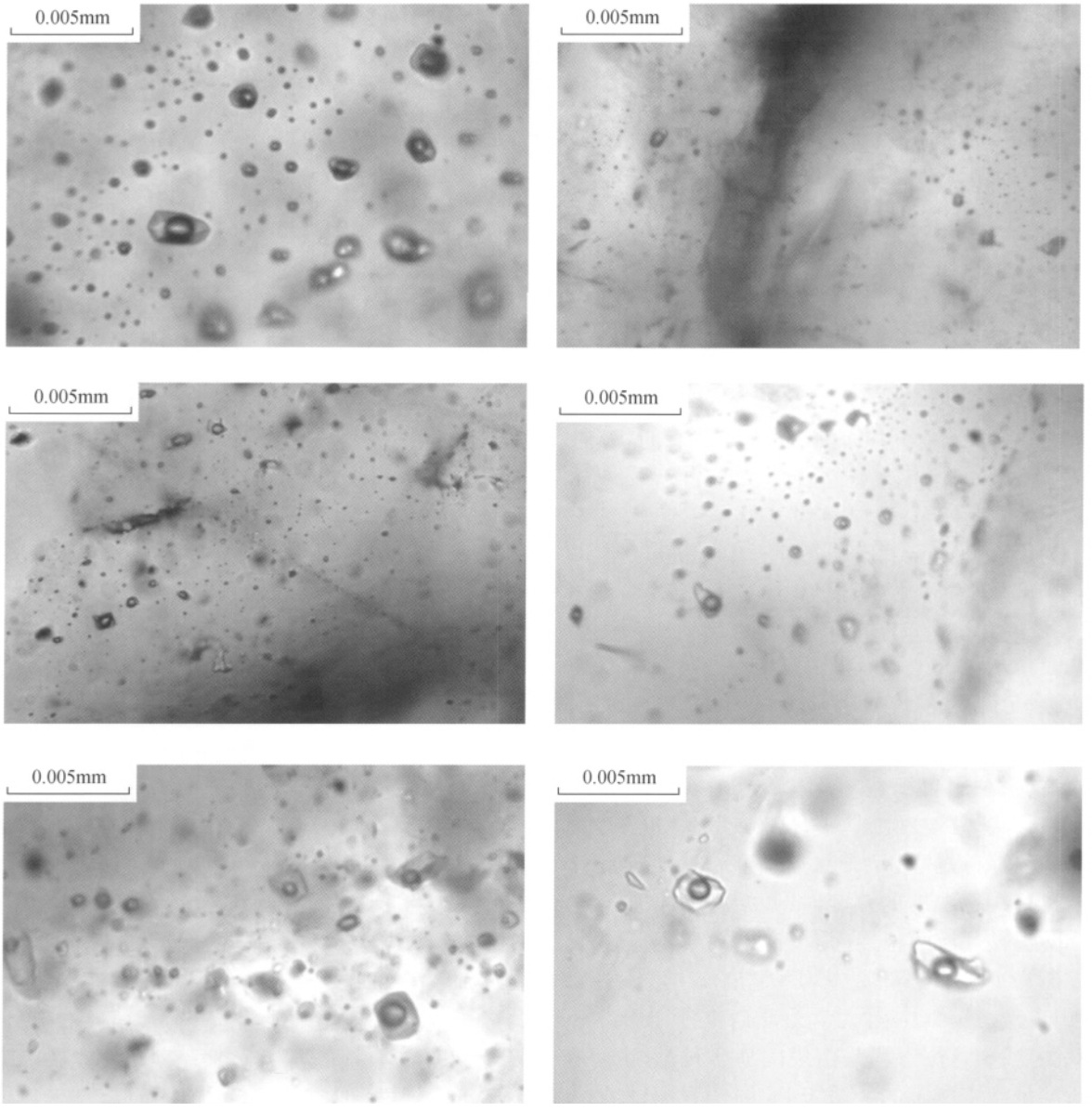


图 2 流体包裹体显微照片

Fig. 2 Micrograph photos of fluid inclusions

注: 寄主矿物为石英,3 ~ 8μm,形态多为不规则状、条状、椭圆状、圆形等,主要为气液包体,气液比在 50% ~ 70% 之间,纯气体包体和纯液相包体少见。

Host mineral is quartz,3 - 8μm, which are gas liquid inclusion, gas/liquid ratio are from 50% to 70%. Form are irregular, banding, elliptoid,rounded,etc, rare pure gas inclusion and pure liquid inclusion.

本次研究工作还测得的包裹体的冰点温度在 -2.2 ~ -7.4℃之间,通过查表计算得出本区成矿流体的盐度在 4.26% ~ 8.66% 之间,说明成矿热液是一种低盐度流体。

3.4 埃子王家—原疃矿区与胶东典型矿区成矿流体特征对比

通过将埃子王家 - 原疃矿区与胶东典型金矿床流体包裹体特征进行对比(表 3)可知,包裹体类型、均一温度、盐度、气液相成分相似。分析认为,研究区的成矿流体与玲珑金矿、金岭金矿、焦家金矿的成矿流体具有相近的性质与可能相似的来源。

4 同位素特征

4.1 硫同位素

硫同位素组成是判定成矿物质硫来源的最有效手段之一,不同的 $\delta^{34}S$ 值代表了不同硫的来源,一般 $\delta^{34}S$ 值集中在零值附近者多为地幔来源的硫,$\delta^{34}S$ 值在 20‰左右代表海水硫酸盐中的硫, $\delta^{34}S$ 值为

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　研究区包裹体气液相成分及相关参数(气相 mol%,液相 $w_{(B)}/10^{-6}$)

Table 1　Parameters and compositions of fluid inclusions from the research area (volatiles, mol%; ions $\times 10^{-6}$)

样品号	成矿阶段	成矿期矿物	液相							气相			
			K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	F^-	H_2	CH_4	CO_2	H_2O
Y65-1	Ⅰ	石英	10.407	7.467	4.693	0.435	1.596	8.988	0.389	4.368	22.164	78.511	896
J49-1	Ⅰ	石英	11.303	7.246	4.930	0.467	1.591	9.328	0.407	5.234	22.584	82.290	887
Y16-4	Ⅰ	石英	39.418	6.728	4.385	3.052	1.959	23.836	0.641	3.603	22.882	44.895	964
Y16-1	Ⅰ	石英	36.954	10.986	6.066	1.031	2.007	29.295	0.523	3.315	22.781	45.070	982
J50-2	Ⅰ	石英	10.197	3.835	14.758	8.810	1.403	17.362	0.351	2.727	20.731	209.300	1108
J49-2	Ⅱ	黄铁矿	15.662	2.138	10.950	0.289	0.671	108.087	0.293	0.895	3.658	105.417	1038
Y16-5	Ⅱ	黄铁矿	10.176	2.442	8.449	0.910	0.781	149.889	0.358	1.187	1.937	145.214	1193
Y5-2	Ⅳ	方解石	0.347	0.641	8.717	5.895	1.021	4.752	0.302	1.527	14.157	130.604	1164
Y6-2	Ⅳ	方解石	0.664	1.075	9.156	6.709	0.992	5.243	0.345	1.124	12.263	152.409	1183
样品号	成矿阶段	矿物	K^+/Na^+	Ca^{2+}/Mg^{2+}	Cl^-/F^-	$(K^+ + Na^+)/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$	$(H_2 + CH_4)/CO_2$	/	/	/	/	/	/
Y65-1	Ⅰ	石英	1.394	10.753	4.101	3.499	0.338	/	/	/	/	/	/
J49-1	Ⅰ	石英	1.560	10.561	3.907	3.437	0.338	/	/	/	/	/	/
Y16-4	Ⅰ	石英	5.859	1.437	3.507	6.205	0.590	/	/	/	/	/	/
Y16-1	Ⅰ	石英	3.364	5.884	3.837	6.755	0.579	/	/	/	/	/	/
J50-2	Ⅰ	石英	2.659	1.675	4.003	0.595	0.112	/	/	/	/	/	/
J49-2	Ⅱ	黄铁矿	6.414	37.872	2.292	1.584	0.043	/	/	/	/	/	/
Y16-5	Ⅱ	黄铁矿	4.168	9.282	2.182	1.384	0.022	/	/	/	/	/	/
Y5-2	Ⅳ	方解石	0.541	1.479	3.383	0.068	0.120	/	/	/	/	/	/
Y6-2	Ⅳ	方解石	0.618	1.365	2.876	0.110	0.088	/	/	/	/	/	/

测试单位: 中南大学地质研究所流体包裹体气液相成分测定实验室,2009 年。

表 2　研究区流体包裹体参数

Table 2　Parameters of fluid inclusions from the study area

矿物	测试数	成矿阶段	类型	颜色	大小(μm)	气液比	冰点温度(℃)		均一温度(℃)		盐度 wt(%)	
							范围	平均	范围	平均	范围	平均
石英	10	Ⅰ	气液包裹体	无色	3~27	35~45	-2.2~-3.6	-3.1	222~300	330	4.26~6.71	5.03
石英	8	Ⅰ	气液包裹体	无色	6~23	15~35	-2.8~-4.9	-3.5	289~350	340	5.68~6.03	5.86
石英	8	Ⅱ	气液包裹体	无色	3~18	20~30	-3.2~-5.8	-4.5	201~-375	280	8.03~8.66	8.35
石英	10	Ⅳ	气液包裹体	无色	5~12	7~45	-4.1~-7.4	-5.4	94~122	112	5.08~6.18	6.03
石英	12	Ⅲ	气液包裹体	无色	4~9	15~20	-6.0~-7.1	-6.4	196~215	205	5.86~6.03	5.95

测试单位: 中南大学地质研究所流体包裹体测温实验室,2009 年。

表 3　埃子王家—原疃矿区与胶东典型金矿床流体包裹体特征对比

Table 3　Comparison of fluid inclusion characteristics between the Aiziwangjia-yuantuan deposit and other typical gold deposits in the Jiaodong area

矿区	包裹体类型	均一温度范围(℃)	盐度范围	流体包裹体气液相成分	资料来源
埃子王家—原疃矿区	气液两相包裹体	120~350	4.26%~8.66%	低盐度、富 CO_2 热液	本文
玲珑金矿	气液两相包裹体	162.7~349.2	2.9%~13.4%	低盐度、富 CO_2 热液	王可勇等(2008)
金岭金矿	气液两相包裹体	198.5~335.6	6.6%~10.8%	低盐度、富 CO_2 热液	王力等(2010)
焦家金矿	气液两相包裹体	179~354	2.8%~10.0%	低盐度、富 CO_2 热液	张海泉(2005)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

较大负值时表示开放条件下细菌还原成因的硫，$\delta^{34}S$值为 5‰～15‰者代表硫的来源较复杂(Ohmoto,1972)，硫化物作为金的重要矿化剂之一，其地球化学行为与金的迁移、沉淀有密切联系，因此依据矿床的硫同位素组成与变异规律，可以确定矿化剂的来源与成矿作用发生的物理化学条件。

天津地质研究院的杨敏之教授，测得本矿区主要金属硫化物的硫同位素组成如(表4)。从表4可看出，金翅岭二件矿石黄铁矿的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 在 +4.7‰～+4.8‰之间，它们之间的极差为 0.1‰，而闪锌矿硫同位素组成在 +2.6‰～+3.0‰之间，极差 0.4‰。而十里铺银矿的黄铁矿和闪锌矿硫同位素组成分别为 −4.7‰和 −4.6‰。与其他矿区硫同位素含量相比，本区硫同位素含量较低，与昆嵛山花岗岩相接近。

表4 研究区硫同位素组成

Table 4 Compositions of S isotopes of the research area

矿物	样号	$\delta^{34}S$(CDT)(‰)	采样位置	资料来源
黄铁矿	J−19−2	4.7	金翅岭	杨敏之(1996)
黄铁矿	J−17−2	4.8	金翅岭	杨敏之(1996)
闪锌矿	J−19−2	3.0	金翅岭	杨敏之(1996)
闪锌矿	J−17−2	2.6	金翅岭	杨敏之(1996)
黄铁矿	S−6	−4.7	十里铺	杨敏之(1996)
闪锌矿	S−6	−4.6	十里铺	杨敏之(1996)
黄铁矿	/	3.97～8.78(5)	昆嵛山花岗岩	杨忠芳等(1998)
黄铁矿	/	8.70～11.84(10)	焦家金矿	杨忠芳等(1998)
黄铁矿	/	6.10～10.10(12)	玲珑花岗岩	杨忠芳等(1998)
黄铁矿	/	7.2～7.6(5)	胶东群	杨忠芳等(1998)
黄铁矿	/	10.9～11.5(3)	蓬家夼金矿角砾状矿石	孙丰月等(1995)
黄铁矿	4−11	9.678	蓬家夼金矿角砾状矿石	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	4−12	10.438	蓬家夼金矿角砾状矿石	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	4−7	10.319	蓬家夼金矿角砾状矿石	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	4−4	10.684	蓬家夼金矿角砾状矿石	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	4−1	11.329	蓬家夼金矿角砾状矿石	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	2−1	10.737	容矿围岩荆山群	张竹如等(1994，1999)
黄铁矿	3−7	9.873	容矿围岩荆山群	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	6−3	9.832	容矿围岩荆山群	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	6−4	9.348	容矿围岩荆山群	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	6−10	9.769	容矿围岩荆山群	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	20−1	9.817	容矿围岩荆山群	张竹如等(1994、1999)
黄铁矿	C−01	12.98	蓬家夼金矿角砾状矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	C−10	12.74	蓬家夼金矿角砾状矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	BP−41	11.57	蓬家夼金矿角砾状矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	BP42	10.64	蓬家夼金矿角砾状矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	BP65	10.94	蓬家夼金矿角砾状矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Fa52	12.98	发云夼金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Fa8	12.96	发云夼金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Fa9	13.61	发云夼金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Fa9−2	12.93	发云夼金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Fa9−5	12.78	发云夼金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Tw−1	11.2	大庄子金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Tw−2	10.5	大庄子金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	X−11	9.10	大庄子金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Dz−013	10.5	大庄子金矿石	张连昌等(2002)
黄铁矿	Dz−015	11.5	大庄子金矿石	张连昌等(2002)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本区矿床中闪锌矿的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 明显低于黄铁矿的 $\delta^{34}S$,闪锌矿主要形成于成矿的晚阶段,成矿流体在演化过程中,其氧逸度(fO_2)会明显增高,而成矿流体的氧逸度升高会导致成矿流体中的 SO_4^{2-} 增多,SO_4^{2-} 增多会加剧硫同位素的分馏,而使重硫富集于 SO_4^{2-} 中,从而使闪锌矿硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 值明显降低。

十里铺银矿的主成矿阶段要明显晚于金翅岭金矿的主成矿阶段,故其金属硫化物的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 均明显低于金翅岭金矿的金属硫化物的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 值。

本区的硫同位素组成特征表明,成矿物质主要来源于深部,并有大量壳源物质介入,表现出多来源特征,特别是十里铺银矿的浅部物质加入相对更多。

4.2　铅同位素特征

本区主要岩石、矿石铅同位素组成测试结果见表 5,测试岩石中钾长石的 Pb 同位素组成,因为钾

表 5　研究区铅同位素组成

Table 5　Compositions of Pb isotopes of the research area

矿区	样号	岩性	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}	资料来源
埃子王家—原疃矿区	Y12 – 2	浅色花岗岩	17.531	15.853	38.400	本文
埃子王家—原疃矿区	Y16 – 6	深色花岗岩	16.932	15.289	37.188	本文
埃子王家—原疃矿区	Z2 – 2	绢英岩化花岗岩	17.210	16.437	36.929	本文
埃子王家—原疃矿区	Y32 – 1	黑云母闪长片麻岩	17.559	15.941	38.090	本文
埃子王家—原疃矿区	J21 – 1	似斑状花岗闪长斑岩	16.531	15.359	36.586	本文
埃子王家—原疃矿区	Y28 – 2	少斑晶角闪正长斑岩	17.477	16.889	39.552	本文
埃子王家—原疃矿区	Y45 – 2	少斑晶角闪正长斑岩	17.445	16.390	39.078	本文
埃子王家—原疃矿区	J43	角闪正长斑岩	17.024	15.454	37.876	本文
埃子王家—原疃矿区	Y31 – 1	角闪正长斑岩	17.024	15.637	37.576	本文
埃子王家—原疃矿区	J42 – 1	角闪正长斑岩	16.927	15.845	37.627	本文
埃子王家—原疃矿区	Y48	角闪正长斑岩	17.937	16.346	39.987	本文
埃子王家—原疃矿区	Y44	角闪正长斑岩	18.015	16.567	39.427	本文
埃子王家—原疃矿区	Y25 – 2	含石英角闪正长斑岩	17.001	15.603	37.974	本文
埃子王家—原疃矿区	J32 – 1	含石英角闪正长斑岩	17.726	16.077	38.559	本文
埃子王家—原疃矿区	Y67 – 1	正长斑岩	16.942	15.624	37.508	本文
埃子王家—原疃矿区	Y66 – 1	石英正长斑岩	17.436	16.081	38.523	本文
埃子王家—原疃矿区	J30 – 2	花岗斑岩	17.163	15.741	37.772	本文
埃子王家—原疃矿区	D22 – 2	花岗斑岩	17.493	16.251	39.266	本文
埃子王家—原疃矿区	D23 – 2	花岗斑岩	17.780	16.447	39.460	本文
埃子王家—原疃矿区	Y46 – 2	闪长玢岩	17.868	16.119	39.676	本文
埃子王家—原疃矿区	J48	石英闪长玢岩	17.266	15.865	37.946	本文
埃子王家—原疃矿区	D35	早期煌斑岩	18.034	16.37	38.845	本文
埃子王家—原疃矿区	Y23 – 3	煌斑岩	17.001	16.139	38.379	本文
埃子王家—原疃矿区	Y23 – 5	煌斑岩	17.227	15.599	37.877	本文
埃子王家—原疃矿区	J7 – 1	晚期煌斑岩	17.689	15.930	38.761	本文
埃子王家—原疃矿区	D28 – 1	辉长岩	17.062	15.560	37.320	本文
埃子王家—原疃矿区	D23 – 1	花岗闪长斑岩	16.785	15.180	36.848	本文
埃子王家—原疃矿区	Y190	矿石	17.435	16.269	38.402	本文
埃子王家—原疃矿区	J190	矿石	17.534	16.239	38.392	本文
埃子王家—原疃矿区	J210	矿石	17.008	16.100	38.750	本文
埃子王家—原疃矿区	Z3	矿石	16.217	15.863	38.394	本文
胶东群	/	全岩	17.390	15.432	37.413	陈光远(1993)
胶东群富阳组	/	全岩	17.324	15.365	37.265	陈光远(1993)
焦家金矿	Cm88r1	矿石	17.198	15.438	37.742	丁式江(1998)
焦家金矿	Cm118r10	矿石	17.207	15.444	37.727	丁式江(1998)
焦家金矿	E104r1	矿石	17.117	15.410	37.597	丁式江(1998)
焦家金矿	Cm3g4	矿石	17.278	15.497	37.909	丁式江(1998)
邓格庄金矿	M – 25 – 05	昆嵛山花岗岩	17.189	15.444	37.570	杨敏之(1996)
邓格庄金矿	M – 65 – 08	昆嵛山花岗岩	16.964	15.406	37.371	杨敏之(1996)

测试单位: 中南大学地质研究所 ICP – MS 实验室,2008 年。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

长石 U 含量低，而 Pb 含量高，也可以直接看做岩浆的普通 Pb 同位素组成。从表 5 可知，$^{206}Pb/^{204}Pb$ 范围为 16.217 ~ 18.034；$^{207}Pb/^{204}Pb$ 范围为 15.180 ~ 16.889；$^{208}Pb/^{204}Pb$ 范围为 36.586 ~ 39.987。反映铅同位素组成范围变化较大，与胶东群、焦家金矿和昆嵛山花岗岩的组成有一定区别。

4 件矿石样品的铅同位素组成为：$^{206}Pb/^{204}Pb$ 范围为 16.217 ~ 17.524，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 范围为 15.563 ~ 16.269，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 范围为 38.392 ~ 35.750；一件矿化花岗闪长斑岩样品的铅同位素组成为：$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 16.755，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.150，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 36.845。上述 4 件矿石样品的铅同位素组成在 $(^{206}Pb/^{204}Pb)$ - $(^{208}Pb/^{204}Pb)$ 图（图 3）中的投影点分布于下地壳附近，构成线状排列，说明它们的铅来源一致，而它们与矿化花岗闪长斑岩的铅同位素组成有较大区别，说明它们可能不是同一来源。

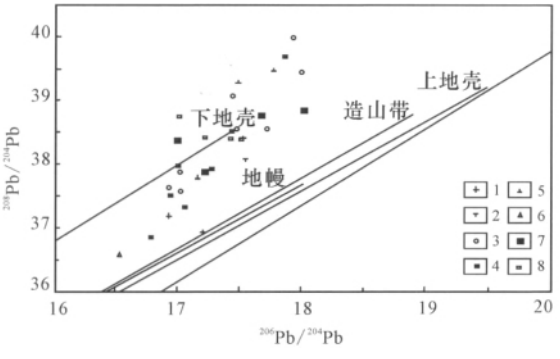


图 3 研究区铅构造模式投影（据 Zartman 等，1981）

Fig. 3 Diagram showing tectonic setting model for Pb isotopes in the research area (from Zartman *et al*, 1981)

1 - 混合花岗岩；2 - 片麻岩；3 - 角闪正长斑岩；4 - 正长斑岩；5 - 花岗斑岩；6 - 闪长玢岩；7 - 煌斑岩；8 - 矿石

1 - mixed granite; 2 - gneiss; 3 - hornblende syenite porphyry; 4 - syenite porphyry; 5 - granite porphyry; 6 - diorite; 7 - lamprophyre; 8 - ore

5 结论

埃子王家 - 原疃矿区矿石中的流体包裹体主要为气液两相，另有少量液相包裹体。成矿流体的液相成分阳离子以 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 为主，阴离子以 SO_4^{2-}、Cl^-、F^- 为主；气相成为以 H_2O、CO_2、CH_4 为主。

本区的矿石流体包裹体测温研究表明：均一温度范围为 120℃ ~ 350℃，盐度为 4.26% ~ 8.66%，为中低温、低盐度的成矿流体。

铅同位素特征表明成矿物质硫铅同位素来源为壳幔混合源。

[References]

Chen Guang - yuan. 1993. Genesis of Guojialing granodiorite and gold of Jiaodong [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1 - 300(in Chinese)

Chen Guo - da. 1986. Diwa theory [M]. Hunan: Central South University Press: 1 - 432 (in Chinese)

Chen Guo - da. 1997. Diwa structure and gold mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 223 (in Chinese)

Ding Shi - jiang. 1998. Study of Greenstone gold - type comprehensive geological anomaly—Shandong Jiaojia gold field in case [D]. Beijing: China University of Geosciences: 1 - 93(in Chinese with English abstract)

Dong Han - wen, Zhao Guo - chun, Teng Chao, Mao Xiao - hong, Gao Jian - wei, Yang Xi - an, Li Sheng - rong, Jiang Da - wei. 2011. Characteristics and evolution of the ore - controlling faults in the Denggezhuang gold deposit, Eastern Shandong Province [J]. Geology and Exploration, 47(2): 135 - 142(in Chinese with English abstract)

Guo Tao, Deng Jun, Lü Gu - xian, Sun Zhi - fu. 2008. The channel way, style and driving mechanism of ore fluid migration in the Jiaojia gold deposit [J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(1): 81 - 88(in Chinese with English abstract)

Hu Fang - fang, Fan Hong - rui, Yu Hu, Liu Zhen - hao, Song Lin - fu, Jin Cheng - wei. 2008. Fluid inclusions in the Sanjia gold deposit, Jiaodong Peninsula of eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 24(9): 2037 - 2044(in Chinese with English abstract)

Huang Ji - qing, Li Chun - yu. 1981. China and its adjacent tectonic technology [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 197(in Chinese)

Huang Ji - qing. 1994. China's major tectonic units [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 176(in Chinese)

Hou Xian - hua, Luo Tian - ming, Wang Tie - jun, Zhang Hong - shan, Zhang Ke - hai. 2010. Characteristics of geology and geochemistry of the Yinggezhuang gold deposit in Eastern Shandong Province [J]. Geology and exploration, 46(5): 910 - 920 (in Chinese with English abstract)

Jiang Xiao - hui, Fan Hong - rui, Hu Fang - fang, Yang Kui - feng, Lan Ting - guang, Zheng Xiao - li, Jin Nian - xian. 2011. Comparative studies on fluid inclusion in different depths and ore genesis of the Sanshandao gold deposit, Jiaodong Peninsula [J]. Acta Petrologica Sinica, 27(5): 1327 - 1340(in Chinese with English abstract)

Li Xu - fen, Liu Jian - chao, Mi Nai - zhe, Zhang Xue - ren, Yu Hu, Zhang Xue, Gao Po. 2010. Features of ore - controlling structure and prediction of mineralization at depth in the Sanjia gold deposit, Shandong Province [J]. Geology and exploration, 46(3): 392 - 399 (in Chinese with English abstract)

Ohmoto. H. 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits [J]. Econ Geol, 67: 551 - 554

Qian Jian - ping, Sun Tao, Chen Hong - yi, Wang Zi - guo. 2010. Structural ore - controlling regularity and tectonic geochemical exploration in Qiansunjia gold mine in Zhaoyuan city, Shandong [J]. Geology and Exploration, 46(1): 10 - 19(in Chinese with English abstract)

Sun Feng - yue, Shi Zhun - li, Feng Ben - zhi. 1995. Gold deposit geology

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

and mantle – derived C – H – O fluids forming digenetic of East Shandong [M]. Changchun: Jilin People Press: 18 – 31(in Chinese)

Sun Yu – long, Yin Guo – peng, Qiu Jie – ling, Wang Xue – qian, Tang Jun – zhi. 2011. Study on mineralization genesis and ore – searching direction of the Liaoshang gold deposit in Eastern Shandong Province [J]. Geology and Exploration, 47(2) : 209 – 215 (in Chinese with English abstract)

Wang Ke – yong, Zhang Chun – yan, Fan Yue – ming, Zhang Xiao – dong. 2008. Geochemical characteristics of ore – forming fluids of the Linglong gold deposit in Shangdong Province [J]. Journal of Jilin university(Earth Science Edition) , 38(2) : 590 – 597(in Chinese with English abstract)

Wang Li, Sun Feng – yue, Wang Jia – liang. 2010. Geochemical features of ore – forming fluids of the Jinling gold deposit, Shandong Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 6(12) : 3735 – 3744(in Chinese with English abstract)

Yang Chun – fu. 2010. Mineralization characteristics of gold deposit in the Guocheng region, Haiyang, Shandong Province [J]. Geology and Exploration, 46(3) : 462 – 469(in Chinese with English abstract)

Yang Liu. 2009. The Features of Dyke and the Relationship between Dyke and Mineralization in the Aiziwangjia – Yuantuan Gold Deposit [D]. Changsha: Central South University : 1 – 82(in Chinese with English abstract)

Yang Min – zhi. 1996. Geochemistry of greenstone belt gold in Jiaodong [M]. Beijing: Geological Publishing Press: 1 – 228(in Chinese)

Yang Zhong – fang, Xu Jing – kui, Zhao Lun – shan. 1998. Regional crustal evolution and gold mineralization geochemistry of East Shandong [M]. Beijing: Geological Publishing Press: 1 – 125(in Chinese)

You Chang – jiang, Xiao Xi – di, Chen Guo – da. 1996. Study performed on the landscape: the shell structure theory and practice of landscape: The Three Gorges and the shell structure of the landscape adjacent areas play an example of Health [M]. Changsha: Central South University: 1 – 122(in Chinese)

Zartman R E, Doe B R. 1981. Plumbotectonics—the model [J]. Tectonophysics, 75: 135 – 162

Zhang Hai – quan. 2005. The characteristics of fluid inclusions in gold – bearing quartz veins of Jiaojia – type gold deposits in the Jiaodong, Shandong [J]. Geological Bulletin of China, 24(5) : 456 – 461(in Chinese with English abstract)

Zhang Lian – chang, Shen Yuan – chao, Liu Tie – bing, Yang Jin – zhong, Zou Wei – lei, Li Hou – min. 2002. Sulfur, lead, carbon and oxygen isotope geochemistry of Pengjiakuang gold deposit in Shandong Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 22(3) : 255 – 260(in Chinese with English abstract)

Zhang Zhu – ru, Cheng Shi – zhen. 1994. The discovery of new types of gold deposit in Jiaolai Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 39 (20) : 1917(in Chinese)

Zhang Zhu – ru, Cheng Shi – zhen. 1999. Superlarge gold deposit exploration perspective in Jiaolai Basin of Jiaodong gold metallogenetic domain [J]. Geochemica, 28(3) : 203 – 212(in Chinese with English abstract)

Zou Wei – lei, Yang Jin – zhong, Zeng Qing – dong, Li Guang – ming, Zhang Lian – chang. 2010. Geological characteristics and metallogenic geodynamic setting of interlayer – sliding tectonic breccia – type gold deposit in the margin of the Jiaolai basin, Shandong Province [J]. Actc Geologica Sinica, 84(4) : 508 – 817(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

陈光远. 1993. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 1 – 300

陈国达. 1986. 地洼学说 [M]. 湖南: 中南工业大学出版社: 1 – 432

陈国达. 1997. 地洼构造与金成矿 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 223

丁式江. 1998. 绿岩型金矿综合地质异常研究 – 以胶东焦家金矿田为例 [D]. 北京: 中国地质大学: 1 – 93

董汉文, 赵国春, 滕　超, 毛小红, 高建伟, 杨喜安, 李胜荣, 蒋大伟. 2011. 胶东邓各庄金矿床控矿断裂特征及其演化 [J]. 地质与勘探, 47(2) : 135 – 142

郭涛, 邓　军, 吕古贤, 孙之夫. 2008. 焦家金矿床成矿流体运移的通道、方式及驱动机制 [J]. 地球学报, 29(1) : 81 – 88

胡芳芳, 范宏瑞, 于　虎, 刘振豪, 宋林夫, 金成伟. 2008. 胶东三甲金矿床流体包裹体特征 [J]. 岩石学报, 24(9) : 2037 – 2044

黄汲清. 1994. 中国主要地质构造单位 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 197

黄汲清, 李春昱. 1981. 中国及其邻区大地构造论文集 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 176

侯献华, 罗天明, 王铁军, 张洪山, 张科海. 2010. 胶东英各庄金矿床地质地球化学特征 [J]. 地质与勘探, 46(5) : 910 – 920

姜晓辉, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎峰, 蓝廷广, 郑小礼, 金念宪. 2011. 胶东三山岛金矿中深部成矿流体对比及矿床成因 [J]. 岩石学报, 27 (5) : 1327 – 1340

李旭芬, 刘建朝, 米乃哲, 张学仁, 于　虎, 张　雪, 高　坡. 2010. 山东三甲金矿床控矿构造特征及深部预测 [J]. 地质与勘探, 46(3) : 392 – 399

钱建平, 孙　涛, 陈宏毅, 王自国. 2010. 山东招远市前孙家金矿构造控矿规律和构造地球化学找矿 [J]. 地质与勘探, 46(1) : 10 – 19

孙丰月, 石准立, 冯本智. 1995. 胶东金矿地质及幔源 C – H – O 流体分异成岩成矿 [M]. 长春: 吉林人民出版社: 18 – 31

孙玉龙, 殷国鹏, 邱介玲, 王学乾, 唐俊智. 2011. 胶东辽上金矿床成因与找矿方向研究 [J]. 地质与勘探, 47(2) : 209 – 215

王可勇, 张春燕, 樊岳铭, 张晓东. 2008. 山东玲珑金矿床成矿流体地球化学特征 [J]. 吉林大学学报(地球科学版) , 38(2) : 590 – 597

王　力, 孙丰月, 王佳良. 2010. 山东金岭金矿床成矿流体地球化学特征 [J]. 岩石学报, 26(12) : 3735 – 3744

杨春福. 2010. 山东海阳郭城地区金矿床成矿特征 [J]. 地质与勘探, 46(3) : 462 – 469

杨　柳. 2009. 埃子王家—原疃地区脉岩特征及与金成矿关系研究 [D]. 长沙: 中南大学: 1 – 82

杨敏之. 1996. 胶东绿岩带金矿地球化学 [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 – 125

游长江, 肖禧砥, 陈国达. 1996. 地貌生演论: 壳体构造的地貌理论与实践初探: 以长江三峡及邻区壳体构造的地貌生演为例 [M]. 长沙: 中南工业大学: 1 – 122

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

张海泉. 2005. 山东省胶东地区焦家式金矿床中含金石英大脉流体包裹体的特征 [J]. 地质通报,24(5):456 -461
张连昌,沈远超,刘铁兵,杨金中,邹为雷,李厚民. 2002. 山东蓬家夼金矿硫铅碳氧同位素地球化学 [J]. 矿物学报,22(3):255 -260
张竹如,陈世桢. 1994. 胶莱盆地中新类型金矿的发现 [J]. 科学通报,39(20):1917
张竹如,陈世桢. 1999. 胶东金成矿域胶莱盆地中超大金矿床找矿远景 [J]. 地球化学,28(3):203 -212
邹为雷,杨金中,曾庆栋,李光明,张连昌. 2010. 山东胶莱盆地边缘层间滑动角砾岩型金矿地质特征及成矿动力学背景 [J]. 地质学报,84(4):508 -817

Characteristics of the Ore - forming Fluid from the Aiziwangjia - Yuantuan Gold Deposit in Shandong Province and Its Origin

YANG Liu[1,2], ZOU Hai - yang[1,2], CHEN Song - ling[1,2], DU Gao - feng[1,2], LIU Yan - ping[1]
(1. *School of Geosciences and Info - Physics, Central South University, Changsha, Hunan* 410083;
2. *MOE Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Central South University, Changsha, Hunan* 410083)

Abstract: This paper presents analysis of the lithofacies, thermometry and sulfur isotopes of fluid inclusions from the Aiziwangjia - Yuantuan gold deposit in Shandong Province. The purpose is to study the property, evolution and origin of the ore - forming fluid of this gold deposit. The result shows that these fluid inclusions are mainly gas and fluid two - phase ones. Compositions of liquid inclusions are Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^- and F^-, and those of gas liquid are mainly H_2O, CO_2 and CH_4. The homogenization temperature of ore - forming fluid ranges from 120℃ to 350℃, and salinity of fluid inclusions is between 4.26% and 8.66%, belonging to the middle - low temperature(≤200℃ accounting for 70%) and low salinity fluid. In Pb isotope values, $^{206}Pb/^{204}Pb$ ranges from 16.217 to 18.034; $^{207}Pb/^{204}Pb$ ranges from 15.180 to 16.889, $^{208}Pb/^{204}Pb$ ranges from 36.586 to 39.987, respectively, and $\delta^{34}S$ (‰) ranges from -4.7 to +4.7. The analysis suggests that these isotopes have a mixed material source from crust and mantle.

Key words: ore - forming fluid, fluid inclusion, gold deposit, Aiziwangjia - Yuantuan deposit

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net