

胶东埠上金矿地球化学特征

高继雷¹, 赵法强², 李峰², 郭加朋³, 马晓东⁴, 韩姗¹

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 3. 山东省国土资源资料档案馆, 山东 济南 250013; 4. 山东省地质科学研究所, 山东 济南 250013)

摘要:埠上金矿位于胶东金岭金矿田中北部, 该文拟通过对区内典型矿石详细的岩石学、矿物学、地球化学研究, 并结合大地构造学特征进行综合研究, 试图揭示该矿床的矿床成因。通过详细的地球化学研究发现: 该区矿石为受气液作用而成的含较多硅质矿物、金属矿物的变质岩; 是由受较多岩浆的气液流体交代作用而成的; 该区金矿形成于造山期, 来源于洋壳俯冲带析出的流体交代原始地幔形成的 EM1 型富集地幔岩浆区, 是 EM1 型富集地幔基性岩浆析出的气液流体交代壳源物质而成的产物。

关键词:埠上金矿; 地球化学; 胶东

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

引文格式: 高继雷, 赵法强, 李峰, 等. 胶东埠上金矿地球化学特征[J]. 山东国土资源, 2015, 31(11): 20-25. GAO Jil-ei, ZHAO Faqiang, LI Feng, etc. Geochemical Study on Bushang Gold Deposits in Jiaodong Area[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(11): 20-25.

胶东地区金成矿作用的研究一直是国内外地学研究的前沿和热点问题, 无论是在区域构造背景、岩浆演化机制、成矿流体亦或成矿作用、成矿机制方面前人都开展了一系列的研究, 并取得了大量的成果^[1-3]。但不容否认, 在矿床成因方面, 虽然大多数学者强调了成矿过程的复杂性, 但到底以何者为主, 分歧较大, 观点不一。正确的认识矿床成因对于认识富金流体相的组成和性质, 金在岩浆、热液流体演化过程中的地球化学行为以及与岩浆、流体相关的金矿床的形成机制具有重要的意义。鉴于此, 该文将以埠上金矿的典型金矿石及脉岩为研究对象, 通过高精度的地球化学研究, 试图揭示其内在成因及关系^[4-9]。

1 地质背景

埠上金矿处于华北陆块(Ⅰ级)鲁东隆起(Ⅱ级)胶北隆起区(Ⅲ级)胶北凸起(Ⅴ级)构造单元内的玲珑金矿田西南方向的金岭金矿田的中北部, 区内分布有灵山沟、埠上、原疃、黄埠岭、蒋家、魏家沟、

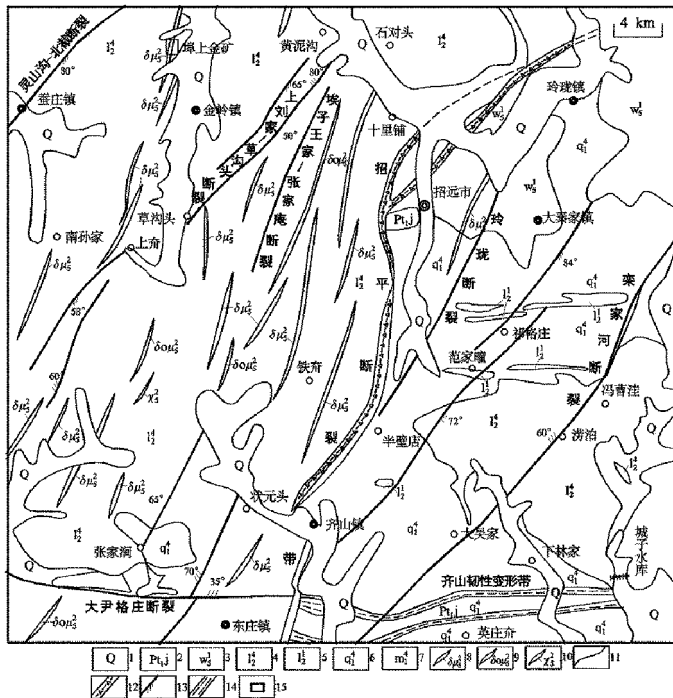
北截、埠南、埃子王家、草沟头、谢家沟等 10 多个中小型金矿床(图 1)。

区域内出露地层较为简单, 主要为新生代第四纪松散堆积物; 构造以脆性断裂构造发育为其显著特征, 据其走向的不同, 将其大致分为 NE 向、近 SN 向、NW 向 3 组。NE 向断裂最为发育, 也是主要的控矿构造, 具代表性的为焦家断裂带和灵北断裂带, 分别控制了区内的众多金矿。NW 向与 SN 向断裂规模较小, 多被后期脉岩充填, 并对早期生成的矿体局部产生破坏作用。区域内岩浆岩广布, 以中生代侏罗纪玲珑超单元的二长花岗岩为主体, 大面积展布; 其次为中生代侏罗纪燕山早期郭家岭花岗岩组合、新太古代五台—阜平期马连庄超基性—基性侵入岩组合、栖霞片麻岩套以及不同期次的脉岩。中基性脉岩形成时间上相近, 多在 115~125 Ma 左右, 为早白垩纪。大量的研究资料表明其与区域内金矿床(点)的分布与矿床富矿体的展布在空间上、时间上具明显的对应关系。

埠上金矿位于灵(山)—北(截)断裂带上盘中

收稿日期: 2015-06-27; 修订日期: 2015-10-21; 编辑: 王敏

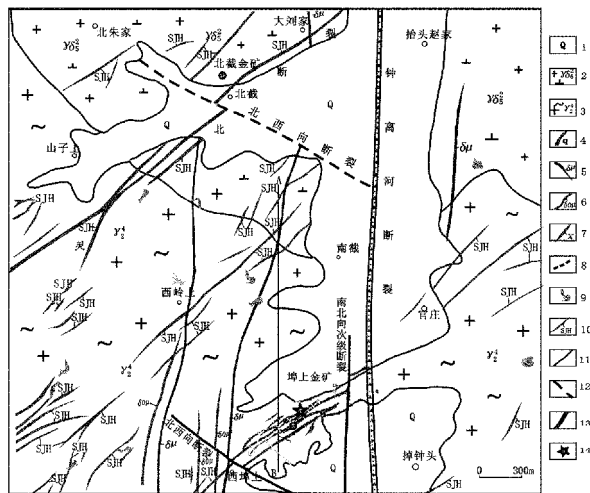
作者简介: 高继雷(1972—), 男, 山东青州人, 高级工程师, 主要从事地质调查与矿业勘查工作; E-mail: gjljin@163.com



1—第四系;2—荆山群;3—文登超单元;4—玲珑超单元;5—莱州超单元;6—栖霞超单元;7—马连庄超单元;8—闪长玢岩;9—石英闪长玢岩;10—煌斑岩;11—地质界线;12—构造破碎带;13—断裂及产状;14—韧性剪切带;15—研究区位置

图1 埠上金矿区域地质简图

分布上,脉岩与矿体相伴产生,脉岩密集区也是富矿体的出露地段。



1—第四系沉积物;2—郭家岭花岗岩;3—玲珑花岗岩;4—石英英脉;5—闪长玢岩;6—石英闪长玢岩;7—煌斑岩;8—推断矿脉;9—水库;10—蚀变矿化带;11—断裂;12—推断断裂;13—构造破碎带;14—取样点

图2 埠上金矿区地质简图

(据矿山资料改编, 2003)

2 样品采集与检测

在-520中段1414穿脉巷道I号矿体,采集了一个金矿石样JLL1,矿体厚约1.5m,平均品位8.09g/t,JLm3样点位于矿体的下盘北约5m处,脉岩切穿矿体。在去除受到后期风化及热液蚀变影响的部分后,样品新鲜的部分粉碎到200目进行全岩主、微量元素分析。测试分析在山东省地质科学研究院(国土资源部济南矿产资源监督检测中心)完成。主量元素分析采用湿化学分析法完成,其中SiO₂、烧失量(LOI)采用重量法;CaO, MgO, FeO采用容量法;CO₂采用非水滴定法,其余采用分光光度法分析完成。微量元素和稀土元素分析采用等离子发射光谱仪(ICP-AES, IRIS Intrepid II)、等离子质谱仪(ICP-MS, XSERIES 2)、原子荧光光谱仪(AFS-820)、原子吸收光谱仪(AAS, PE400, PE600)等完成,采用国家标准GB/T 14506-2010《硅酸盐岩石化学分析方法》监控,一般主量元素的测定误差低于5%,微量元素的测定误差低于10%。样品分析结果(主量元素为ω%,微量元素为ug/g,金、汞为ng/g)见表1。

段,属于灵-北断裂相伴生的次级断裂构造系统,矿区内构造简单(图2),以NE向断裂最为发育,其次为NW向、SN向断裂。NE向断裂控制了区内大小蚀变带及矿床的规模、形态和分布。

第四系沿钟离河及两岸分布,矿区岩浆岩发育,主要为新元古代震旦期玲珑超单元崔召单元中粒二长花岗岩,及中生代燕山期派生脉岩(闪长玢岩、石英闪长玢岩及煌斑岩等)。在埠上矿区,自地表到-400m坑道中段共发现晚于郭家岭花岗闪长岩的50多条脉岩。脉岩的空间分布严格受断裂控制,多沿花岗岩体NW向褶皱的轴部及褶皱内发育的X型张剪性断裂组贯入。脉岩的规模最长达几千米,宽十余米,最小几厘米,脉岩形状复杂,分枝复合明显。脉岩分为3大类:①酸性脉岩。包括黑云母二长花岗伟晶岩、正常花岗伟晶岩及石英脉、斜长花岗岩、花岗细晶岩、二长花岗岩。②中性脉岩。包括二长板状闪长玢岩、细晶闪长玢岩、石英闪长玢岩、正长闪长岩和石英二长闪长岩。③煌斑岩类。包括闪斜煌斑岩、黑云闪斜煌斑岩及拉辉煌斑岩。在空间

表 1 样 JLL1 岩石化学成分

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	S	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO
70.38	6.36	11.582	0.274	0.265	0.79	8.55	2.182	0.838	0.304	0.0453
P ₂ O ₅	LOI	CO ₂		Lu	Ta	Ni	Gd	Zn	Ho	Er
0.1387	6.84	0.79		0.11	0.426	42.30	3.40	49.7	0.38	1.14
Rb	As	Cs	Cr	Sr	V	Cu	Sn	B	W	Tl
58.0	27.42	0.38	38.5	94.52	30.49	105.8	1.33	6.40	20.72	0.339
Zr	Ce	Mo	Hf	Be	Se	Au	Th	Tm	Ag	Tb
112.5	56.76	1.22	4.05	0.80	0.39	72.70	15.14	0.15	8.663	0.42
Sb	Bi	Pb	Ba	U	Li	Sc	Ni	Co	Y	Te
0.40	0.92	164.7	535.3	2.614	5.83	3.79	21.2	84.7	11.04	43.73
Ga	Pr	Cd	Sm	Eu	Nd	Nb	Dy	La	Hg	Yb
16.5	6.32	0.19	3.28	0.69	21.93	5.63	2.08	32.12	134.58	0.82

3 矿石特征及矿物学特征

埠上金矿共分 4 个矿区,矿体较多且分布范围广,按不同矿区及矿段,将 4 个矿区的矿体相应地分为 4 个矿段,以一矿段 I-1, II-1 号矿体规模较大,为主矿体,其储量占矿段总储量的 82% 左右,平均品位 10.70×10^{-6} ,均赋存于黄铁绢英岩化碎裂岩带中。次为黄铁绢英岩化花岗岩碎裂岩型,矿化形式主要为浸染状、细脉状,次为细脉浸染状和网脉状,主要的载金矿物黄铁矿呈星散状、斑点状、脉状及网脉状分布。次要金属矿物为碲铋矿、黄铜矿,可见少量的方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、辉铜矿。矿石上下盘围岩的岩性为:绢英岩化花岗岩,钾化花岗碎裂岩、黑云母花岗岩、钾化花岗岩及斑状花岗闪长岩。

矿石样 JLL1 为黄铁绢英岩,呈鳞片粒状变晶结构、块状构造,主要由石英(约 75%)、绢云母(约 11%)、斜长石(约 2%)、方解石(约 1%)、黄铁矿(约 11%)、黄铜矿(微量)等组成,构成岩石的主要矿物粒径一般为 0.03~0.6 mm,有的可达 1.5 mm;多为鳞片状或粒状,彼此呈镶嵌紧密状分布。岩石局部较为破碎。

由此可见矿石样 JLL1 为受气液作用而成的含较多硅质矿物、金属矿物的变质岩;是由受较多岩浆的气液流体交代作用而成的。

4 岩石化学特征

4.1 主量元素

主量元素扣除烧失量, CO₂, S 后重换算为 100%;应用里特曼指数 $\sigma = ALK^2 / (SiO_2 - 43)$, 其中

的 $ALK = (Na_2O + K_2O)$ 和 SiO₂ 单位均为 wt%, 由里特曼-戈蒂里图解(图 3)可知矿石样 JLL1 形成于造山期,也表明该区经历过造山运动。另外金矿样 JLL1 的 LOI, CO₂ 及 S 为 6.90%, 0.79%, 8.55%;表明金矿样 JLL1 的挥发分、CO₂ 及 S 元素含量丰富,并具氧化性。

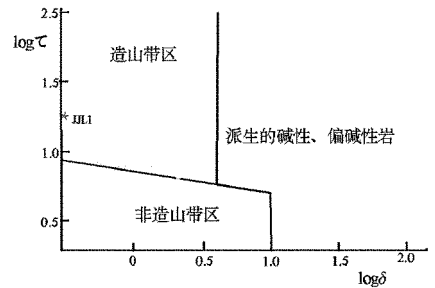


图 3 里特曼-戈蒂里图解(里特曼 1973 年)

4.2 微量元素

金矿样 JLL1 的稀土总量 ΣREE 为 130.0×10^{-6} , LREE/HREE 为 13.61, 表明其分异程度较高;其 δEu 为 0.63, 具铕负异常; δCe 为 0.90, Ce 具轻微的负异常。同时图 4 上也可以看出, 稀土元素配分模式为右倾轻稀土富集型, 样品 JLL1 不具较大的 Eu 负异常, 可排除矿区样品起源于正常厚度的陆壳内或双倍陆壳中、上部的可能, 其岩浆来源于斜长石富集后残余熔体。

矿石样 JLL1 以原始地幔为标准化的过渡元素曲线为相似“W”型(图 5), 与原始地幔相比, 相对富集 Ti, Cu; 大致相等的是 Mn, Fe; 明显亏损 Cr, Ni; 这与幔源基性岩的过渡元素分配模式一致, 矿石样 JLL1 既是过渡元素也是不相容元素的含量 (wt $\times 10^{-6}$): Sc 3.79, Cr 38.5, Co 84.7, Ni 21.2; 除 Co 有明

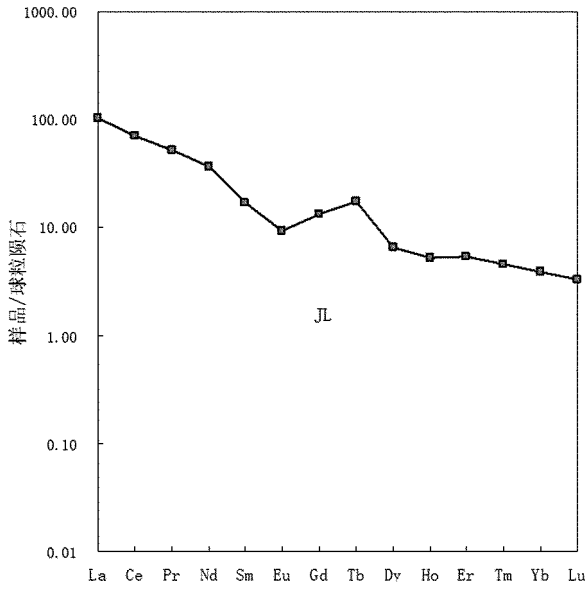


图 4 稀土元素分布型式图(据韩吟文,2003)

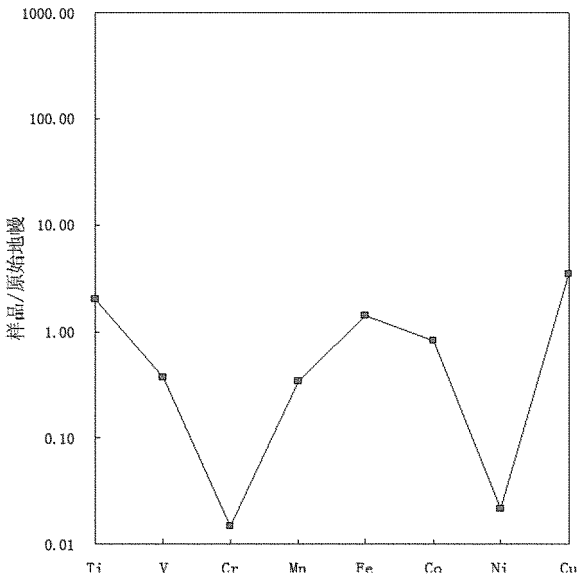


图 5 过渡元素分布型式图(据韩吟文,2003)

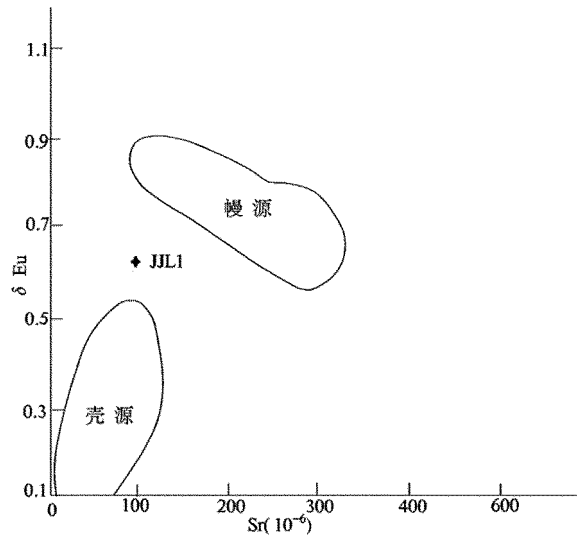


图 6 $\delta\text{Eu}-\text{Sr}$ 值范围图(据霍玉华等,1986)

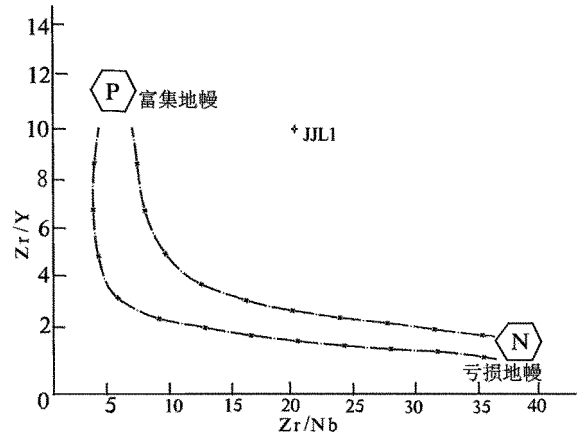


图 7 Zr, Nb, Y 丰度比值图(Fodor,1984)

显的异常外(可能为俯冲的富钴洋壳造成的),表明矿石样 JLL1 来自于岩浆区的气液相。另外依据 δEu 和 Sr 值的丰度范围图(图 6):矿石样 JLL1 位于壳源区和幔源区之间;另外依据 Zr, Nb, Y 丰度比值图可以看出矿石样 JLL1 较接近富集地幔源区(图 7);表明矿石样 JLL1 来源于富集地幔源区,只是沾染了壳源的物质成分。

从不相容元素的蛛网图(图 8)可以看出,矿石样 JLL1 的不相容元素含量的变化范围较小,除个别元素有差异外,从整体趋势上看其分配模式相对于

原始地幔,明显富集 Rb, Sr, Ba 等大离子亲石元素与 Ta, Nb, Ti 等高场强元素;相对来看 Ta, Nb 和 Ti 具负异常;并且 Rb_N/Yb_N 为 52 的值均远大于 1,表明样品来源于交代富集地幔并显示出俯冲带幔源岩石的成分。同时由于强不相容元素的比值(如 Nb/La , Th/La , Ba/Nb , Pb/C 等)及两种化学性质十分相似的不相容元素的比值(如 Nb/Ta , Zr/Hf , Y/T 等)已被证明在地幔岩石部分熔融形成玄武岩质岩浆的过程中不随熔融程度而变化,所以它们的比值可以代表它们在地幔源区中的比值。在 Ba-Nb-Ta 丰度比值图(图 9),矿石样 JLL1 靠近 EMI 型富集地幔区、基性岩区及华北地壳区,表明样其与下地壳、EMI 型富集地幔及基性岩关系密切,只是含壳源物质稍多些。在表 2 中矿石样 JLL1 只有 Ba/La 的值

属 EM1 型富集地幔端元,表明强不相容大离子亲石 元素异常富集。

表 2 胶东金岭埠上金矿深源脉岩及矿石样与洋岛玄武岩(OIB)各端元的微量元素

元素	JL1	E-MORB	原始地幔	亏损地幔 (DM)	大陆地壳	洋岛玄武岩(OIB)		
						HIMU	EM1	EMII
Zr/Nb	20	8.57	14.8	30	16.2	2.7~5.5	3.5~13.1	4.4~7.8
La/Nb	5.7	0.75	0.94	1.07	2.2	0.64~0.82	0.78~1.32	0.79~1.19
Ba/Nb	95.1	8.97	9.0	4.3	54	4.7~6.9	9.1~23.4	6.4~13.4
Ba/Th	35.4	72.20	77	60	124	39~85	80~204	57~105
Rb/Nb	10.3	0.74	0.91	0.36	4.7	0.30~0.43	0.69~1.23	0.58~0.87
K/Nb	3215	239.30	323	296	1341	66~187	207~523	203~378
Th/Nb	2.7	0.12	0.117	0.07	0.44	0.07~0.12	0.09~0.13	0.10~0.17
Th/La	0.47	0.16	0.125	0.07	0.20	0.10~0.16	0.09~0.15	0.11~0.18
Ba/La	16.7	11.90	9.6	4.0	25	6.2~9.36	11.3~19.1	7.3~13.5

HIMU:高 U/Pb 或高 μ 值地幔端元;EM1:I 型富集地幔端元;EM2:II 型富集地幔端元;E-MORB:松树沟蛇绿岩片中异常洋脊玄武岩(数据引自周鼎武等,1995 年,1998 年),洋岛玄武岩微量元素和同位素数据引自文献 Weaver,1991 和 Hart et al.,1992;其余为该文数据。

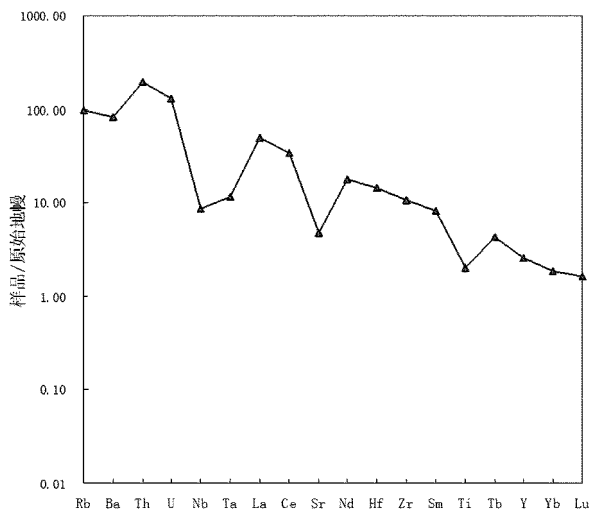


图 8 不相容元素分布型式图(据韩吟文,2003)

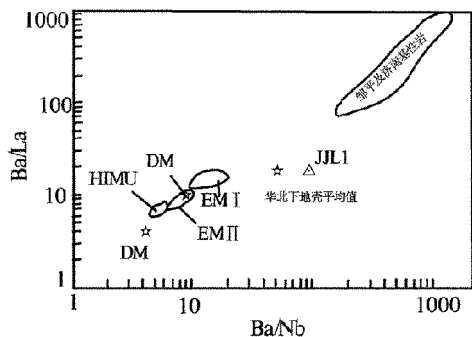


图 9 Ba - Nb - Ta 比值图(Hoernle,1993)

5 成因探讨

从岩石学、矿物学及主量、稀土、微量元素特征上可以暗示出该区金矿形成于造山期,来源于洋壳俯冲带析出的流体交代原始地幔形成的 EM1 型富

集地幔岩浆区,是 EM1 型富集地幔基性岩浆析出的气液流体交代壳源物质而成的产物。

结合大地构造特征,埠上金矿位于华北板块的东南边缘,又处于古太平洋板块俯冲带区,东临华北板块与扬子板块的碰撞带,西靠深切壳幔的郯庐断裂带,可以推测反演该区金矿的成矿成岩过程,由于古太平洋板块俯冲挤压作用,导致华北板块与扬子板块碰撞造山及郯庐断裂带深切壳幔,其产生的次级断裂等构造与岩浆活动,可为幔源成矿成岩物质的创造了良好的运输通道和赋存空间;由于俯冲古洋板块深插地幔,在高温高压作用下,析出壳源流体交代地幔形成 EM1 型富集地幔岩浆,其浆体在造山拉张期浅成侵入形成基性岩;也为幔源成矿流体开辟了有利的运移成矿空间;其易挥发的气液流体富含幔源岩浆中具氧化性的成矿物质,作为成矿流体在上升过程中,也可作矿化剂富集氧化交代萃取沿途的岩石或岩浆中的成矿物质,在合适的还原构造环境中交代或就位富集成矿。

6 结论

(1)从岩石矿物学看,该区矿石为含较多硅质矿物、金属矿物的变质岩;是由受较多岩浆的气液流体交代作用而成的。

(2)主量、稀土、微量元素特征指示该区金矿形成于造山期,来源于洋壳俯冲带析出的流体交代原始地幔形成的 EM1 型富集地幔基性岩浆区,是 EM1 型富集地幔基性岩浆析出的气液流体交代壳源物质而成的产物。

(3) 该区金矿的成矿成岩过程, 与古太平洋板块俯冲挤压作用有关, 板块俯冲导致华北板块与扬子板块碰撞造山及郯庐断裂带深切壳幔, 其产生的次级断裂等构造与岩浆活动, 为幔源成矿成岩物质的创造了良好的运输通道和赋存空间。

参考文献:

- [1] Rock N M S, Groves D I. Do lamprophyres carry gold as well as diamonds [J]. *Nature*, 1988, 332: 253 - 255.
- [2] Rock N M S, Groves D L. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposit [J]. *Geology*, 1988, 16: 538 - 541.
- [3] 曹洋. 郯庐断裂带山东段晚中生代火山岩地球化学特征及其地质意义(硕士论文)[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
- [4] 黄智龙, 王联魁, 朱成明. 云南马厂箐金矿区煌斑岩地球化学及成因探讨[J]. *矿物岩石*, 1996, 16(2): 82 - 88.
- [5] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 118 - 167.
- [6] 马芳, 孙丰月, 霍亮, 等. 山东焦家金矿煌斑岩特征及其与金矿化[J]. *世界地质*, 2014, 33(2): 388 - 398.
- [7] 徐红, 徐光平. 胶东煌斑岩的地球化学特征及成因探讨[J]. *岩石矿物学杂志*, 2003, 19(1): 36 - 43.
- [8] 杨香月, 杨君敏, 张殿龙. 金岭金矿带脉岩特征及控矿作用[J]. *沈阳黄金学院学报*, 1996, 15(4): 317 - 322.
- [9] 杨晋升, 阎书杰, 张殿龙, 等. 山东埠上金矿床花岗岩脉岩与金成矿关系研究[J]. *黄金科学技术*, 2011, (4): 52 - 55.

Geochemical Study on Bushang Gold Deposits in Jiaodong Area

GAO Jilei¹, ZHAO Faqiang², LI Feng², GUO Jiapeng³, MA Xiaodong⁴, HAN Shan¹

(1. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 3. Shandong Land and Resources Information Archives, Shandong Jinan 250013, China; 4. Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Bushang gold deposit locates in middle and north part of Jinling gold deposit in Jiaodong area. In this paper, through detailed study on petrology, mineralogy and geochemistry of typical ores, combining with characteristics of geotectonics, comprehensive study has been carried out to reveal the deposit genesis. Through detailed geochemical study, it is found that rocks in this area are metamorphic rocks containing more siliceous minerals and metallic minerals. It is formed by gas-liquid metasomatism. Gold deposits were formed in the orogenic period. Its sources came from EM1 type enriched mantle magma formed by the subduction of oceanic crust with precipitation of fluid metasomatism. It is the metasomatic product of gas-liquid fluid which precipitated from EM1 type enriched mantle mafic magmas and shell source materials.

Key words: Bushang gold deposit; geochemistry; Jiaodong area