第44卷 第6期
2008年11月

南京大学学报(自然科学)
JOURNAL OF NANJING UNIVERSITY
(NATURAL SCIENCES)

Vol.44, No.6
Nov., 2008

山东邹平王家庄铜矿含矿岩体地球化学及成因探讨*

张 军,徐兆文**,李海勇,刘苏明,杨小男,朱蓓蓓,李红超
(内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,南京大学地球科学系,南京,210093)

摘 要: 王家庄铜矿床是山东省重要的铜金属产地之一.在野外地质工作基础上,通过岩石化学和同位素地球化学等方法,详细研究了与王家庄铜金矿床有关的石英二长岩,研究表明含矿岩体具有偏碱性,富钠和准铝质的特征;Rb、Ba、Sr等大离子亲石元素(LILE)和Th、U富集,Nb、Ta、Ti等高场强元素(HFSE)亏损;轻重稀土分异明显$(La/Yb)_N=23.09\sim29.93$,未见Eu异常($\delta Eu=0.85\sim1.05$).全岩$^{206}Pb/^{204}Pb$介于18.582 6～18.667 5之间,均值为18.619 7;$^{207}Pb/^{204}Pb$介于15.585 0～15.607 7之间,均值为15.593 1;$^{208}Pb/^{204}Pb$介于38.574 9～38.610 9之间,均值为38.598 0;全岩$\delta^{18}O$值变化于8.23‰～10.90‰之间,均值为9.40‰;铅、氧同位素组成表明成岩物质来自地壳深部或地幔,岩浆在上升过程中可能受到富^{18}O地壳物质的混染,具富放射性成因铅的特征($^{206}Pb/^{204}Pb>18.00$).

关键词: 岩石化学,同位素地球化学,成因机制,王家庄含矿岩体,山东邹平
中图分类号: P 588,P 591

Geochemistry and genesis of the ore-bearing intrusions in the Wangjiazhuang copper deposit, Zouping, Shandong Province

Zhang Jun, Xu Zhao-Wen, Li Hai-Yong, Liu Su-Ming, Yang Xiao-Nan, Zhu Bei-Bei, Li Hong-Chao
(State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Depatment of Earth sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093, China)

Abstract: The Wangjiazhuang copper deposit is one of the most important producing areas of copper in Shandong Province. Based on geological field work, we conducted systematical study on the petrochemistry and isotopic chemistry of the ore-bearing intrusion in order to discuss the genesis of the quartz monzonite, which is associated with the mineralization of Wangjiazhuang copper-gold deposit. The analysis results indicate that the intrusion belongs to metaluminous alkaline quartz monzonite characterized by high alkali ($Na_2O>K_2O$). Rb, Ba, Sr, Th and U are enriched, while Nb, Ta and Ti are depleted. REE pattern shows a strong LREE enrichment with $(La/Yb)_N$ ratios from 23.09 to 29.93 and no clear Eu anomaly is observed as δEu values is from 0.85 to 1.05. The value of $^{206}Pb/^{204}Pb$ ranges from 18.582 6 to 18.667 5 with an average value of 18.619 7; $^{207}Pb/^{204}Pb$ ranges from15.585 0 to 15.607 7 with an average value of 15.593 1; and $^{208}Pb/^{204}Pb$ ranges from 38.574 9 to 38.610 9 with an average value of 38.598 0. The value of $\delta^{18}O$ ranges from 8.23‰ to 10.90‰, and the average value is 9.40‰. Both lead and

* 基金项目:国家自然科学基金(49873016)
收稿日期:2008－02－24
** 通讯联系人,E-mail:tzb@nju.edu.cn

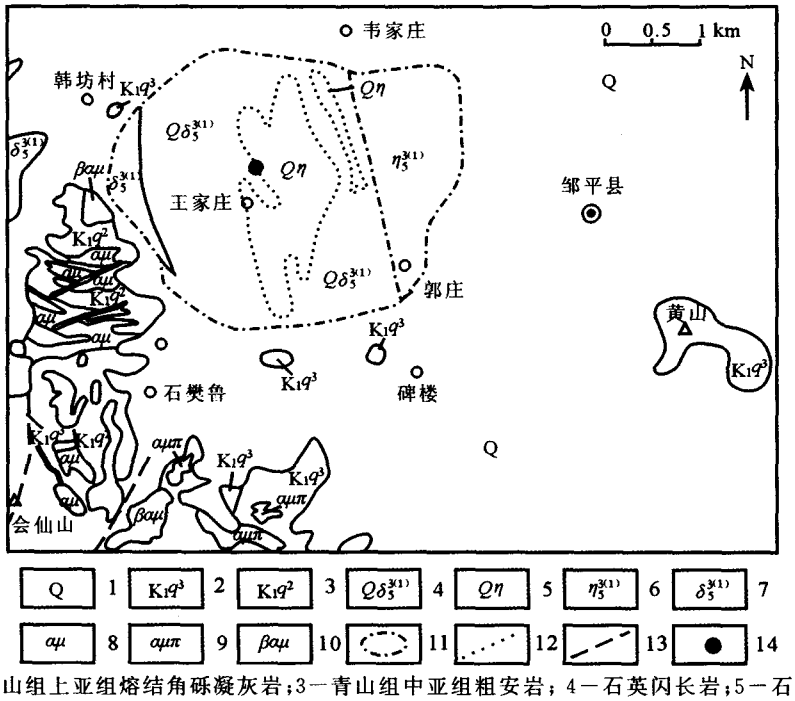
oxygen isotopes indicate that the magma was derived from mantle or lower crust, and some matter of the crust mixed into the magma during the intruding process, presenting the characteristics of radiogenic lead isotope as mentioned above.

Key words: petrochemistry, isotopes chemistry, genesis, Wangjiazhuang ore-bearing intrusion, Zouping, Shandong Province

邹平火山岩盆地位于山东省邹平县境内,处于华北板块东南部,郯庐深大断裂(沂沭断裂)西侧,是山东省铜、金和钼等金属资源的重要产地之一.现已发现铜金属矿点 20 余处,王家庄铜矿床就是其中一个典型矿例,具有埋藏浅、品位富的特点.有关王家庄铜矿床成因前人已开展了一些相关的研究[1~4],但对与矿化有关的岩浆岩研究不多.本文在前人研究基础上,通过岩石化学和同位素地球化学,结合地质勘探研究资料,探讨与王家庄铜矿床有关岩浆岩的成因机制.

1　矿区地质概况

王家庄铜矿床位于邹平火山岩盆地北部,地理坐标 117°40′～117°43′E,36°52′～36°54′N,是一隐伏矿床.地表为第四系覆盖,仅在矿区西部及南部可见白垩系下统青山组的中亚组和上亚组部分火山—次火山岩出露(图 1),据山东省地质矿产局研究,青山组火山岩形成时代为 128～130 Ma(K—Ar 法)[5],属于燕山晚期产物.构造为一中心式角砾岩筒,平面近于圆形,面积约 8.4 km²;地磁异常呈环状分布,边缘有明显梯度



1—第四系;2—青山组上亚组熔结角砾凝灰岩;3—青山组中亚组粗安岩;4—石英闪长岩;5—石英二长岩;6—二长岩;7—闪长岩;8—粗安玢岩;9—粗斑粗安玢岩;10—玄武安山玢岩;11—隐伏岩体界线;12—侵入体岩相界限;13—断层线;14—铜矿点

图 1　王家庄矿区地质简图

Fig. 1　Geological sketch of the Wangjiazhuang orefield

带;钻探和采矿证实角砾岩筒已被晚期岩浆岩充填,具有辐射状的断裂和岩脉特征,在岩体的边缘还可见大量的围岩捕掳体;岩性主要为燕山晚期中酸性火成岩;蚀变分带明显,强度由中心向四周逐渐减弱[2].

2 王家庄含矿岩体地质和岩相学特征

2.1 地质特征 王家庄含矿岩体隐伏于第四系之下约 100 m 深处,近地表岩体水平断面的形态近似圆形,东西长约 3 km,南北长约 2.8 km,面积约 8.4 km^2,岩体被动侵位于白垩系下统青山组上亚组火山通道中.据钻孔资料证实,岩体为一倾向南西的喇叭状岩株.与围岩接触关系较为复杂:北接触带岩体与围岩常交替出现,界线清晰;东接触带接触面向西倾斜;南接触带接触面整体南倾,倾角 53°~58°;西接触带接触面西倾,倾角较陡,界面形态复杂.另外,在围岩中,还见到浅色闪长岩,沿几组裂隙交叉处充填构成串珠状岩结,并伴有金属硫化物矿化[4].

2.2 岩相学特征 镜下观察岩石的造岩矿物主要为斜长石、钾长石、石英、角闪石、黑云母、辉石及少量钠长石.副矿物主要为磁铁矿、黄铁矿、榍石、磷灰石及锆石.岩石具半自形粒状结构或斑状结构,块状构造.其中,斜长石(约 40%)呈板状,主要为中长石,环带构造较发育;钾长石(约 28%)表面泥化明显,卡式双晶发育,常分布在斜长石间隙中;石英(约 18%)呈它形粒状,颗粒大小不一;角闪石(约 10%)呈褐绿色,自形一半自形,蚀变明显;黑云母,(约 3%)呈红褐色,鳞片状;辉石含量较少,呈浅绿色,自形短柱状,双晶发育;钠长石含量较少,颗粒较细.副矿物中,磁铁矿以半自形为主;磷灰石无色透明,呈柱状;榍石透明或半透明,多为黄色.围岩蚀变主要有钾化、硅化、绢英岩化、绿泥石化、碳酸盐化.

3 王家庄含矿岩体岩石化学特征

3.1 样品采集与制备 样品主要采自王家庄铜矿一200 m 主巷道中段,部分采自一180 m 巷道.通过镜下观察,选取蚀变较弱的样品进行各项分析.

微量元素(含稀土元素)、O 和 Pb 同位素测试由内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成,主量元素测试由南京大学现代分析中心完成.

主量元素采用 X 射线荧光光谱法(XRF)分析,精度优于 0.5%,FeO 的含量通过湿化学方法分析,再计算出 Fe_2O_3 的含量.微量元素和稀土元素采用 Finnigan Element Ⅱ型电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测定,检测限低于 0.5×10^{-9},相对标准偏差小于 5%.

O 同位素通过 BrF_5 分析方法获得,质谱仪型号为 MAT 251 EM,分析精度为±0.2‰.Pb 同位素分析用浓 HNO_3 和浓 HF 混合酸(体积比 1:4)溶解,使用器皿为聚四氟乙烯,元素分离空间的净化度达到 100 级,溶解后的样品采用 HBr 和阳离子交换树脂(BioRad AG1×8,200~400 目)将 Pb 分离纯化出来;运用传统的 H_3PO_4 和硅胶法将分离纯化后的 Pb 涂在 Re 金属带上,用 Finnigan 公司 Triton TI 表面热电离质谱仪(TIMS)进行铅同位素比值测量.测量采用国际标样 NIST Pb-981 进行质量监控,样品和标样均在同一温度(1 250 ℃)条件下进行测量,测量结果分别采用国际标样 NIST Pb-981 与 NBS 981 进行质量分馏校正和同位素分馏校正.铅同位素比值分析精度优于 0.05%,$^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值重复性测量误差< 0.2%,化学全流程铅含量本底为 1×10^{-9}~2×10^{-9} g,实验室空白本底 Pb< 2×10^{-10} g.

3.2 主量元素特征 王家庄含矿岩体主量元素分析结果见表 1,从表中可见 SiO_2 含量介于 62.06 ~ 65.47% 之间,$K_2O + Na_2O$ 介于 9.32~9.82% 之间,Na_2O/K_2O 介于 1.14~1.25 之间;依据 TAS 图解及岩相学特征,岩石定名为石英二长岩-石英二长斑岩[6].具有偏碱性、富钠的特征.ACNK 图解显示,样品点均落在准铝质区域内(图 2).王家庄含矿岩体的 SiO_2 与 TiO_2、FeO^T、CaO、K_2O 和 Na_2O 的相

关性不明显,与 Al_2O_3、、MgO、P_2O_5 弱的负相关,说明可能有橄榄石、单斜辉石、磷灰石的分离结晶;CaO/Na_2O 比值随 CaO 含量的降低而持续降低也暗示了单斜辉石的分离结晶[7].

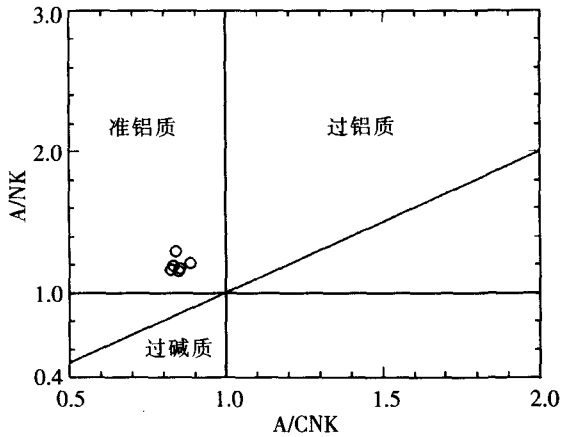


图 2　王家庄含矿岩体的 ACNK 图解(转引自 Frost *et al* [8])

Fig. 2　ACNK diagrams of the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

3.3　微量元素特征　王家庄含矿岩体的微量元素分析结果见表 1,原始地幔标准化的蛛网图见图 3,曲线呈显著的右倾斜模式,Rb、Sr、Ba 等大离子亲石元素(LILE)和 Th、U 明显富集,Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素(HFSE)相对亏损,Ce、Y 也略显亏损,这一特征通常出现在俯冲带火山岩中,并可能和岩石圈地幔的交代作用有关.地壳物质的混染不会造成 Sr 的高度富集,因此,基性岩浆与地壳物质的相互作用,即源区富集应该是主要原因[10].

微量元素 Harker 图解显示(图 4),Rb、Nb、Y、Nd、Yb 和 Co 与 SiO_2 呈正相关,Ba、P 与 SiO_2 呈负相关.但是不相容元素(Ba、P)却表现出与相容元素一样的变化特征,即随着岩浆演化含量逐渐降低,而相容元素 Co 则表现出与不相容元素一样的性质,说明 Ba、P 与 V、Sc 等相容元素一样,它们在堆晶岩中的全岩分配系数大于 1.结合岩相学特征,可以得出 Ba、P 的分配系数大于 1,可能与有大量的磷灰石、斜长石的结晶有关. Sr/Nd、CaO、Eu 与 SiO_2

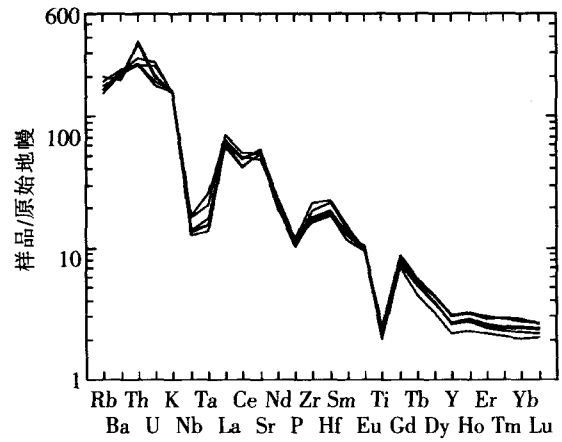


图 3　王家庄含矿岩体原始地幔标准化蛛网图.原始地幔标准值据 Sun and McDonough[10]

Fig. 3　Primitive mantle-normalized spider diagram of the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

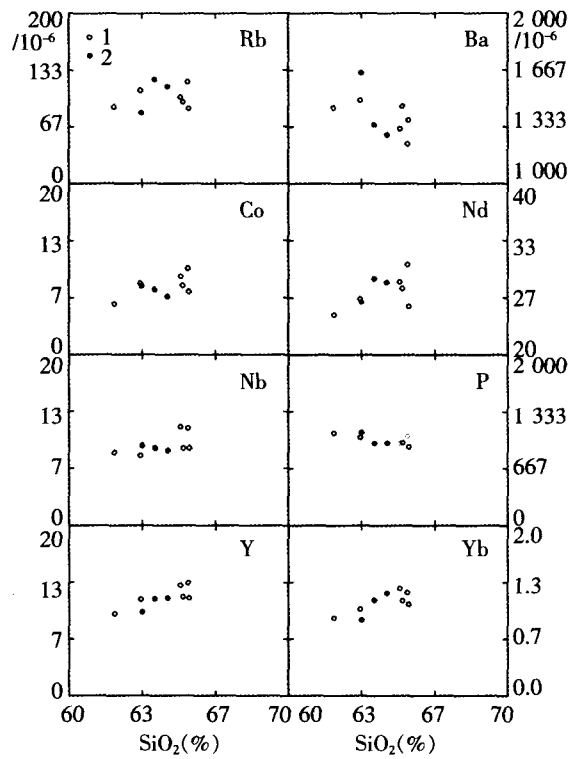


图 4　王家庄含矿岩体微量元素的 Harker 图解数据来源:1、本文,2、[29]

Fig. 4　Harker diagrams of the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

表 1 王家庄含矿岩体的主量元素(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)化学组成

Table 1 Major elements and trace elements content of the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

样号	W05－3	W05－5	W05－6	W05－7	W05－9	W05－10
岩性	石英二长岩					
SiO_2	62.06	63.27	65.41	65.19	65.47	65.07
TiO_2	0.47	0.43	0.49	0.46	0.42	0.46
Al_2O_3	16.65	16.18	15.51	15.44	16.09	15.70
Fe_2O_3	2.09	1.86	2.43	2.29	1.85	2.19
FeO	1.42	1.58	1.71	1.67	1.45	1.77
MnO	0.04	0.05	0.09	0.08	0.08	0.08
MgO	0.72	1.59	1.65	1.57	1.48	1.60
CaO	3.82	2.73	3.08	3.03	2.85	2.73
Na_2O	4.97	5.32	5.10	5.23	5.45	5.28
K_2O	4.35	4.26	4.30	4.30	4.37	4.49
P_2O_5	0.24	0.23	0.24	0.22	0.21	0.22
LOI	3.27	1.92	0.36	0.54	0.48	0.67
sum	100.10	99.42	100.37	100.02	100.20	100.26
K_2O+Na_2O	9.32	9.58	9.40	9.53	9.82	9.77
Na_2O/K_2O	1.14	1.25	1.19	1.22	1.25	1.18
Rb	89.54	109.76	119.78	95.91	88.20	102.10
Sr	1 034.57	1 076.89	1 041.34	1 117.45	1 046.85	943.39
Y	9.58	11.35	13.27	11.60	11.45	13.01
Zr	164.81	180.36	232.22	179.09	172.60	201.67
Nb	8.51	8.20	11.39	9.04	9.06	11.55
Ba	1 446.27	1 491.77	1 231.97	1 454.86	1 373.59	1 321.50
Hf	4.97	5.52	6.52	5.23	5.17	6.29
Ta	0.55	0.50	0.77	0.56	0.62	0.96
Th	20.04	19.48	29.35	22.20	19.76	28.03
U	3.67	4.74	4.08	5.16	3.37	3.91
Co	5.98	8.31	10.08	8.10	7.38	9.19
La	40.14	40.49	47.16	43.26	38.79	42.99
Ce	71.16	80.90	88.56	79.13	69.45	83.30
Pr	7.71	8.42	9.78	8.65	7.98	9.02
Nd	24.68	26.56	30.56	27.74	25.67	28.51
Sm	4.62	5.11	5.88	5.35	5.04	5.56
Eu	1.45	1.61	1.48	1.49	1.46	1.46
Gd	3.93	4.23	4.80	4.33	4.16	4.58
Tb	0.43	0.52	0.58	0.53	0.50	0.54
Dy	2.19	2.62	2.94	2.65	2.54	2.84
Ho	0.35	0.41	0.48	0.43	0.41	0.47
Er	0.97	1.08	1.31	1.14	1.11	1.26
Tm	0.15	0.16	0.20	0.17	0.17	0.20
Yb	0.91	1.02	1.21	1.12	1.08	1.27
Lu	0.14	0.15	0.19	0.17	0.16	0.18
ΣREE	158.82	173.26	195.10	176.13	158.51	182.17
$(La/Yb)_N$	29.93	26.96	26.50	26.24	24.51	23.09
$(Gd/Yb)_N$	3.49	3.36	3.21	3.23	3.13	2.93
δEu	1.04	1.05	0.85	0.95	0.97	0.88

相关性较差,以及缺乏明显的 Eu 异常,表明斜长石分离结晶作用不是很显著,但对主量和微量元素含量影响不大[9].

3.4 稀土元素特征 王家庄含矿岩体稀土元素总量介于 158.51～195.10×10^{-6}之间(表 1),平均值为 174.00×10^{-6};LREE/HREE 值介于 14.66～16.52 之间,均值为 15.62;$(La/Yb)_N$ 值介于 23.09～29.93 之间,均值为 25.81;Gd/Yb 值介于 2.93～3.49 之间,均值为 3.23;δEu 介于 0.85～1.05 之间,均值为 0.94.球粒陨石标准化图解呈现轻稀土明显富集(图 5),重稀土明显亏损;分布曲线呈右倾型,表明轻重稀土之间分馏明显;δEu 值未呈现明显的负异常,说明岩浆演化程度可能不高.

4 同位素地球化学

4.1 氧同位素特征 王家庄含矿岩体的$\delta^{18}O$值变化于8.23‰～10.90‰之间,平均值为9.40‰(表 2),较基性岩(5.5‰～7.4‰[11])和地幔的 $\delta^{18}O$(5.7‰ ± 0.3‰[11])偏高,属于高 $\delta^{18}O$ 岩类[11].一般认为,未被混染的幔源岩浆及其分异产物的 $\delta^{18}O$ 值应当低于 7.0‰～7.5‰[12],同时岩浆结晶分异作用不会引起全岩氧同位素的显著变化($\delta^{18}O$ 值的变化不超过 1‰～2‰[13]),因此岩体中 $\delta^{18}O$ 偏高说明深部岩浆在上升过程中受富^{18}O地壳物质的混染.综上所述,我们认为成岩过程中可能存在俯冲再循环的洋壳物质或具有高^{18}O的陆壳物质的混染,这一混染是发生在岩浆源区,还是发生在幔源岩浆上侵过程中,抑或兼而有之,这是认识岩体成因的关键.但应当指出,全岩 $\delta^{18}O$ 值的变化(2.70‰)已远远超出分析误差范围(约 0.2‰),也稍大于由岩浆结晶分异作用产生的 $\delta^{18}O$ 值变化范围(<1‰～2‰[13]),说明岩体曾受到流体作用,或是由于岩体的源区氧同位素组成不均一[14]

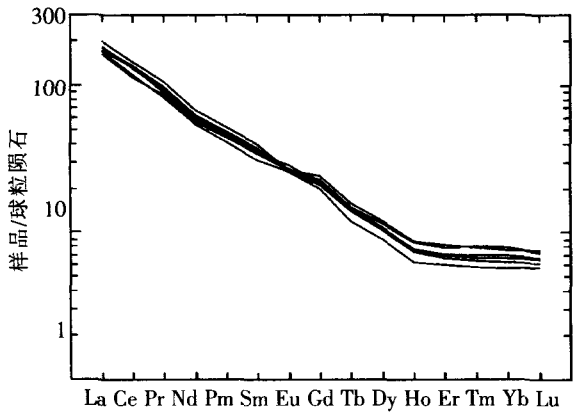


图 5 王家庄含矿岩体稀土元素配分图解.稀土元素标准值据 Sun and Mc Donough[13]

Fig. 5 Chondrite-normalized REE diagram of the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

4.2 铅同位素特征 王家庄含矿岩体的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 介于 18.582 6～18.667 5 之间,均值为 18.619 7;$^{207}Pb/^{204}Pb$ 介于 15.585 0～15.607 7 之间,均值为 15.593 1;$^{208}Pb/^{204}Pb$ 介于 38.574 9～38.610 9 之间,均值为 38.598 0,其中 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 大于 18.0,具富放射性成因铅的特征(表 2).在铅同位素构造模式图上(图 6),王家庄含矿岩体铅同位素数据点分布于地幔演化线与上地壳演化线之间,说明成岩物质来自地壳深部或地幔,同时紧靠造山带,说明区域构造活动对铅同位素的混合作用产生了影响,也表明含矿岩体的地壳源区具有相对均一的铅同位素组成[14].朱炳泉[16]在研究中国东部新生代玄武岩时指出,一般U<1×10^{-6},

表 2 王家庄含矿岩体氧和铅同位素组成

Table 2 Compositions of lead and oxygen isotopes of the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

样号	Pb(×10^{-6})	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	$\delta^{18}O_{SMOW}$(‰)
W05－3	23.88	18.582 6±18	15.607 7±20	38.610 9±64	8.23
W05－5	17.94	18.667 5±4	15.585 0±4	38.608 3±15	9.07
W05－6	33.72	18.609 1±3	15.586 5±3	38.574 9±9	10.90

Th<4×10^{-6},Pb<3×10^{-6}的拉斑玄武岩与俯冲带无关,而与俯冲带相关的岩石往往具较高的 U、Th、Pb 含量. 王家庄含矿岩体分析结果 U 介于(3.67 ~ 5.16)×10^{-6}、Th 介于(19.48~29.35)×10^{-6}、Pb 介于(17.94 ~ 33.72)×10^{-6},反映出富集岩石圈地幔与板块俯冲有关.

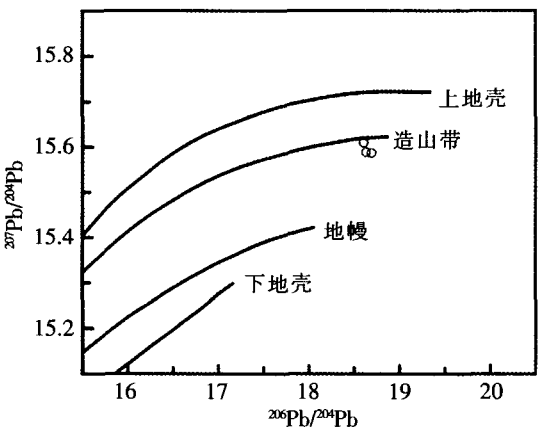


图 6 王家庄含矿岩体铅同位素构造模式图. 底图据 Zartman[15]

Fig. 6 Plumbotectonics model diagram of lead isotopic of the Wangjiazhuang ore-bearing Intrusive

5 讨 论

邹平火山岩盆地位于太平洋成矿带的山东省鲁西地区北部,东以郯庐断裂为界,南临由大陆碰撞—深俯冲形成的苏鲁超高压榴辉岩带. 关于鲁西地区火山活动和岩浆作用及与其有关的矿床成因,学者们多认为与陆陆碰撞、太平洋板块俯冲、地幔柱活动和郯庐断裂活动存在联系. 但对于其主次,则需要研究和讨论. 近年来,随着研究的深入,人们对山东地区燕山期火成岩的构造背景和成因主要持两种观点:(1)与中生代太平洋板块俯冲作用及其远距离效应有关[17];(2)与扬子板块和华北板块的碰撞及其后续的伸展引张机制有关[18,19]. 但是,迄今为止中国东部乃至东亚地区还没有发现中生代早中期古太平洋板块向欧亚板块东缘发生俯冲的直接构造证据[20],而中生代晚期(110 Ma 以后)开始的俯冲作用相对于中国东部却是向北或北北东向[21],此时该区岩石圈已处于强烈的北西——南东向的伸展和北北东向的左行走滑活动. 因此目前多数人倾向于中生代大规模岩浆活动与古太平洋板块消减事件之间并不存在直接的时空与成因联系,而是与岩石圈伸展有关[20,21]. 扬子与华北古板块的全面碰撞始于三叠纪晚期,伴随大陆深俯冲,增厚的岩石圈和下地壳因密度大而发生拆沉作用,而且热的软流圈地幔物质上涌,此时构造体制已从碰撞期挤压转变为后碰撞期拉张,地幔减压发生部分熔融,产生的岩浆上升到壳幔边界附近和下地壳中,发生底侵作用,改变地壳的热状态,促使陆壳的部分熔融,导致大规模岩浆活动. 侵入岩形成构造环境的常量元素阳离子($R1-R2$)判别图显示王家庄含矿岩体属于造山晚期产物(图 7),与研究区构造演化及岩浆活动时代基本相吻合. 地质勘查和王家庄铜矿床成因研究也证实[1,22],与王家庄铜矿有关的含矿岩体侵位于青山组上亚组火山岩(青山组火山岩 K-Ar 年龄为 128~130 Ma[5])中,主要是火山喷发作用晚期或火山喷发结束后,在地质作用下,由储存在深部火山岩浆房中的岩浆上侵所形成,形成时代与相邻的岩浆岩,其中包括济南辉长质杂

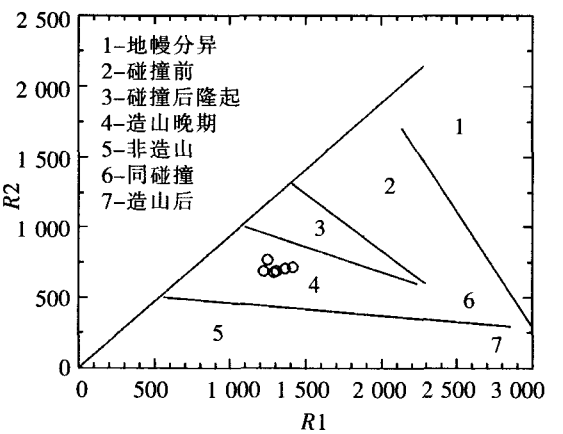


图 7 侵入岩形成构造环境的常量元素($R1-R2$)判别图. $R1=[4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)]$, $R2=(Al+2Mg+6Ca)$底图据 Batchelor and Bowden[24]

Fig. 7 $R1-R2$ diagram of major elements for tectonic discrimination

岩体时代大致相近(K－Ar 年龄为 115 Ma[23]),尽管侵位晚于青山组火山岩,但与其形成时代也应相差不大,同属于燕山晚期产物.

王家庄含矿岩体主量元素和微量元素类似于高 Ba－Sr 花岗岩,具有偏碱性、富钠和准铝质特征;富集轻稀土和大离子亲石元素,贫高场强元素,δEu 值未见异常;Ce/Yb－Eu/Yb 投影点呈线性分布(图 8),表明王家庄含矿岩体的形成以混合作用为主[25],在岩浆演化成岩过程中有外来物质的加入,其中外来物质可能是在地幔部分熔融过程中,也可能是在岩浆上侵过程中.全岩铅、氧同位素显示成岩物质来自地幔和地壳深部,在上侵过程中混有地壳物质[26];洪大卫等[27],邱检生等[28]综合前人研究成果认为,鲁西地区北部辉长岩、辉石闪长岩、二辉闪长岩的 I_{Sr} 值变化不大(0.702 24～0.705 98),εNd(t)值显著偏低(－21.20～－8.30),表明鲁西地区北部岩浆岩接近 EM1 型.

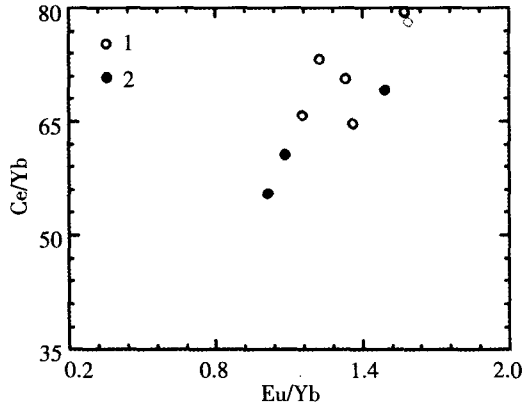


图 8　王家庄含矿岩体 Ce/Yb－Eu/Yb 图解.图例 1、本文,2、[29]

Fig. 8　Diagrams of Ce/Yb－Eu/Yb for the Wangjiazhuang ore-bearing intrusive

6　结　论

通过对王家庄含矿岩体主量元素、微量元素和铅、氧同位素地球化学研究,可以得出如下结论:

(1)王家庄含矿岩体类似于高 Ba－Sr 花岗岩,具有偏碱性,富钠和准铝质的特征;Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素(LILE)和 Th、U 富集,Nb、Ta、Ti 等高场强元素(HFSE)亏损;轻重稀土分馏明显$(La/Yb)_N=23.09\sim29.93$,Eu 未见异常(δEu=0.85～1.05).

(2)王家庄含矿岩体成岩物质来自地幔或地壳深部,岩浆在上升过程中可能受到富 ^{18}O 地壳物质的混染,具富放射性成因铅的特征($^{206}Pb/^{204}Pb>18.00$).

(3)王家庄含矿岩体是火山喷发作用晚期或火山喷发结束后,在地质作用下,由储存在深部火山岩浆房中的岩浆上侵所形成,形成时代与相邻的岩浆岩大致相近,属于燕山晚期产物.

References

[1] Yuan S R, Li B F. The basic characteristics of the volcano: structure of the Zouping Basin, Shandong Province. Geological Review, 1987, 33(1):5～11.(袁叔容,黎秉符. 山东邹平盆地火山构造的基本特征. 地质论评,1987,33(1):5～11).

[2] Yuan S R, Li B F. The characteristics of alteration of the Wangjiazhuang porphyry copper, Zouping area, Shandong Province. Geological review, 1988,34(1):36～43.(袁叔容,黎秉符. 山东邹平王家庄斑岩铜矿的蚀变特征. 地质论评,1988,34(1):36～43).

[3] Tang L C. Pegmatitic gold-copper geological brief introduction of Zouping volcanic basin, Shandong Province. Geological Review, 1990, 36(1):85～87.(汤立成. 山东邹平火山岩盆地伟晶状含金铜矿地质简介. 地质评论, 1990,36(1):85～87).

[4] Li B F, Yuan S R. Geological characteristics of porphyry copper (molybdenite) deposits in the Zouping area, Shandong Province. Geology and Prospecting,1991(1):7～12.(黎秉符,袁叔容. 山东邹平斑岩铜(钼)矿床地质特征. 地质与勘探,1991(1):7～12).

[5] Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Province. Regional Geology of Shan-

dong Province. Beijing: Geological Publishing House, 1991,1～572.(山东省地质矿产局. 山东省区域地质志. 北京:地质出版社,1991,1～572).

[6] Sun N, Peng Y M. Igenous petrology. Beijing: Geological Publishing House, 1985,91～92.(孙 鼐,彭亚鸣. 1985. 火成岩石学. 北京:地质出版社,1985,91～92).

[7] Huang S S, Xu Z W, Gu L X, *et al*. A discussion on geochemical characteristics and genesis of intrusives in Shizishan orefield, Tongling area, Anhui Province. Geological Journal of China Universities,2004,10(2):217～225.(黄顺生,徐兆文,顾连兴等. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩地球化学特征及成因机制探讨. 高校地质学报,2004,10(2):217～225).

[8] Frost B R, Barnes C G, Collins W J. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, 2001,42(11): 2033～2048.

[9] Zhang W H, Han B F, Du W, *et al*. Characteristics of mantle source for Jining cenozoic basalts from Southern Inner Mongolia:evidence from element and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry. Acta Petrologica Sinica, 2005,21(6):1569～1582.(张文慧,韩宝福,杜 蔚等. 内蒙古集宁新生代玄武岩的地幔源区特征:元素及 Sr－Nd－Pb 同位素地球化学证据. 岩石学报,2005,21(6):1569～1582).

[10] Sun S S, McDonugh W F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J eds, Magmatism in Ocean Basins. Geological Society London, Special Publications, 1989,42:313～345.

[11] Taylor H P. Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic granitic rocks. Earth and Planetary Sciences Letters, 1978, 38: 177～210.

[12] Taylor H P. The effect of assimilation of country rocks by magmas on $^{18}O/^{16}O$ and $^{87}Rb/^{86}Sr$ systematics in igneous rocks. Earth and Planetary Sciences Letters, 1980, 47: 243～254.

[13] Mueblenbachs K, Byerly G. ^{18}O-enrichment of silicicmagmas caused by crystal fractionation at the Galapagos Spreading center. Contributions to Mineralology and Petrology, 1982, 79: 76～79.

[14] Ling H F, Shen W Z, Deng P, *et al*. Age, geochemistry and petrogenesis of the sundong granite, Northern Guangdong Province. Acta Petrologica Sinica,2004,20(3):413～424.(凌洪飞,沈谓洲,邓 平等. 北笋洞花岗岩的形成时代、地球化学特征与成因. 岩石学报,2004,20(3):413～424).

[15] Zartman R E, Haines M. The Plumbotectonics model for Pb isotopic systematic among major terrestrial reservoirs-acase for bidirectonic transport. Geochimical et Cosmochimica Acta, 1988,52:1327～1339.

[16] Zhu B Q. The theory and applications of isotopic syster in earth sciences: The crust evolution of Chinese continent. Beijing: Science Preses, 1998,597.(朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用－兼论中国大陆地壳演化. 北京:科学出版社,1998,597).

[17] Wu L R. Mesozoic granite of East China. Acta Petrologica Sinica, 1985,1(1):1～10.(吴利仁. 中国东部中生代花岗岩类. 岩石学报,1985,1(1):1～10).

[18] Qiu J S, Wang D Z, Ren Q J. Geological geochemical characteristics and genesis of the Jinchang skarn type gold copper deposit, Yinan County, Shandong Province. Mineral Deposits, 1996,15(4):330～340.(邱检生,王德滋,任启江. 山东沂南金场矽卡岩型金铜矿床地质地球化学特征及矿床成因. 矿床地质,1996,15(4):330～340).

[19] Hu S X, Wang H N, Wang D Z, *et al*. Geology and geochemistry of gold deposits in East China. Beijing: Science Prese, 1998,343.(胡受奚,王鹤年,王德滋等. 中国东部金矿地质及地球化学. 北京:科学出版社,1998,343).

[20] Wu F Y, Sun D Y, Zhang G L, *et al*. Deep geodynamics of Yanshain movement. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(3): 379～388.(吴福元,孙德有,张广良等. 论燕山运动的深部地球动力学本质. 高校地质学报,2000,6(3):379～388).

[21] Shao J A, Li X H, Zhang L Q, *et al*. Geochemical condition for genetic mechanism of the mesozoic bimodal dike swarmsin Nankou Guyaju. Geochemica, 2001, 30(6):517～524.(邵济安,李献华,张履桥等.南口—古崖居中生代双峰式岩墙群形成机制的地球化学制约.地球化学, 2001,30(6):517～524).

[22] Zhang J,Li H Y,Xu Z W,*et al*. A discussion on isotopes chemistry of S and Pb and genesis at the Wangjiazhuang copper deposit, Shandong Province. Acta Mineralogica Sinica, 2007, 27 (Suppl):320～321.(张　军,李海勇,徐兆文等.邹平王家庄铜矿床S、Pb同位素地球化学及成因探讨.矿物学报,2007,27(增刊):320～321).

[23] Tan D J, Lin J Q. Kali-magmatic rock area of North China platform. Beijing: Seismological Publishing House,1994,1～184.(谭东娟,林景仟.华北地台中生代钾质岩浆岩区.北京:地震出版社,1994,1～184).

[24] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoids series using multicationic parameters. Chemical Geology, 1985,48(1—4): 43～55.

[25] Shao Y J, Peng S L,Wu G G,*et al*. The analysis on the rock-forming mechanism of Fenghuangshan rockbody in Tongling area. Geology and Prospecting,2003,39(5):35～43.(邵拥军,彭省临,吴淦国等.铜陵凤凰山岩体成岩机制探讨.地质与勘探,2003,39(5):35～43).

[26] Gao G, Xu Z W, Yang X N, *et al*. Petrogenesis of the Baimangshan pyroxene diorite intrusion in Tongling, Anhui Province: Constraints from Sr-Nd-Pb-O isotopes. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2006, 42(3): 269～279.(高　庚,徐兆文,杨小男等.安徽铜陵白芒山辉石闪长岩岩体的成因:Sr-Nd-Pb-O同位素制约.南京大学学报(自然科学),2006, 42(3):269～279).

[27] Hong D W, Wang T, Tong Y, *et al*. Mesozoic granitoids from north China block and Qinlingdable-Sulu orogenic belt and their deep dynamic process. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 231～256.(洪大卫,王　涛,童　英等.华北地台和秦岭—大别—苏鲁造山带的中生代花岗岩与深部动力学过程.地学前缘,2003,10(3): 231～256).

[28] Qiu J S, Hu J, Jiang S Y,*et al*. Mesozoic-cenozoic mafic magmatism in Western Shandong Province and its implication for the chemical evolution of the mantle. Earth Science, 2005,30 (6):646～658.(邱检生,胡　建,蒋少涌等.鲁西中、新生代镁铁质岩浆作用与地幔化学演化.地球科学,2005,30(6):646～658).

[29] Li H Y, Zhang J. A discussion on genesis at the Wangjiazhuang copper deposit, Shandong Province. Special topic, 2007, 13～15.(李海勇,张　军.邹平王家庄铜矿床成因机制研究.专题报告,2007, 13～15).