

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2017.0207

吴成斌,侯广顺,向世红,等.东秦岭鱼池正长岩体岩石地球化学特征及稀有金属元素、稀土元素矿化[J].地质科技情报,2017,36(2):58-64.

东秦岭鱼池正长岩体岩石地球化学特征及 稀有金属元素、稀土元素矿化

吴成斌¹,侯广顺^{1,2},向世红²,齐永安¹,支风岐²,王明国²

(1.河南理工大学资源环境学院,河南焦作454003;2.河南省有色金属地质勘查总院,郑州450052)

摘要:河南方城鱼池正长岩体属于东秦岭北部富碱侵入岩,为本区出露规模最大的碱性岩体,迄今研究较为薄弱。通过对鱼池正长岩体的主量、稀土和微量元素岩石地球化学成分的系统分析和综合研究,探讨了该岩体岩浆源区特征、构造环境和该地区正长岩体稀有金属、稀土元素含矿性。鱼池正长岩体 $w(\text{SiO}_2)$ 为57.35%~61.38%,富碱,高Al,贫Ca、Mg和Ti,A/CNK为0.95~1.07,属于过铝质碱性岩。岩石稀土元素总量较高,(La/Yb)_N比值为25.86~35.48,强烈富集轻稀土元素,轻、重稀土元素分馏明显, δEu 值为0.48~0.63,具中等负Eu异常。富集大离子亲石元素、相对亏损高场强元素。由此表明:鱼池正长岩体的岩浆物质主要来源于地幔,后经过大量的壳源物质的混染,且岩体形成于板内拉张环境。另外该地区正长岩体 $w(\text{ZrO}_2)$ 为0.039%~0.174%,LREEO质量分数为0.026%~0.15%,显示了良好的Zr和LREE等稀有金属元素、稀土元素的矿化信息,具有巨大的成矿潜力。

关键词:东秦岭;鱼池正长岩体;稀有金属;稀土元素;成矿潜力

中图分类号:P595

文献标志码:A

文章编号:1000-7849(2017)02-0058-07

秦岭造山带为华北克拉通和扬子克拉通的汇聚地带,是典型的复合型大陆造山带^[1],自元古宙以来经历了复杂的板块碰撞作用,同时伴随着多期次的岩浆事件,尤其在新元古代—中生代时期发生了大量的碱性岩浆活动,并形成了相应的碱性岩浆岩体。在东秦岭北部,沿黑沟—栾川—确山深大断裂带两侧自西向东形成了30多个富碱侵入岩岩体,构成了长约400 km的富碱侵入岩带^[2]。由于其特殊的产出环境以及与金属成矿作用的密切关系,近年来成为研究焦点之一^[2-8]。

方城北部葡萄庄—宋坟—塔山地区出露有鱼池、双山、塔山3个碱性岩体,其中鱼池岩体出露面积最大。张正伟等^[9]认为双山和塔山岩体岩浆源区为上地壳,并有地幔物质的加入,与俯冲带环境关系较大;包志伟等^[10]测得双山和塔山岩体锆石U-Pb年龄为(844.3±1.6)Ma,证明其为秦岭造山带中形成时代最早的碱性岩体,认为其形成于板内非造山环境;梁涛等^[11]研究发现,方城宋坟—双山—塔山正长岩显示了良好的稀有金属元素、稀土元素的矿

化信息,认为具有较大的成矿潜力。前人对该地区碱性岩的研究主要集中在双山和塔山两个岩体上,缺乏对鱼池岩体岩石地球化学及其稀有金属元素、稀土元素矿化方面的具体研究。因此笔者主要通过鱼池岩体的岩石学、岩石地球化学特征及其稀有金属元素、稀土元素矿化方面的综合研究,讨论该岩体的岩浆源区特征、成岩构造环境及稀有稀土元素矿化潜力,进一步对该地区乃至整个东秦岭地区碱性岩岩石成因进行约束,并为区域地质找矿提供基础地质信息。

1 区域地质背景

鱼池岩体位于秦岭造山带东段的北秦岭构造域,属横涧—回龙构造小区,北以栾川—确山—固始深大断裂为界与华北克拉通相邻(图1)。区内出露的地层主要有中元古界熊耳群、官道口群,新元古界栾川群,中生界上侏罗统一白垩统。区域构造线方向为北西西向,整体为一形态复杂的大型线状褶

收稿日期:2016-07-22

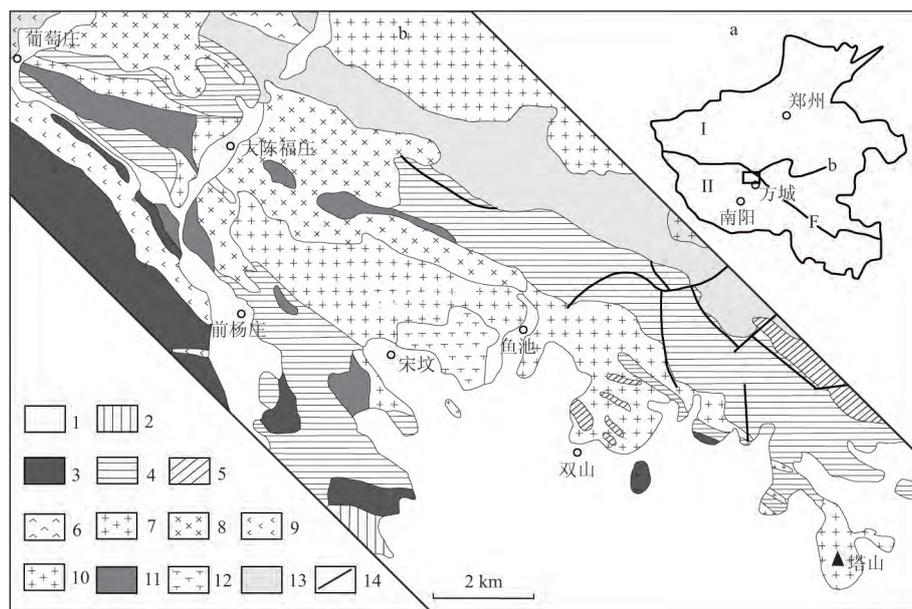
编辑:刘江霞

基金项目:国家自然科学基金项目(41003015);河南省博士后基金项目“河南鹤壁地区金刚石成矿潜力地质条件研究”

作者简介:吴成斌(1989—),男,现正攻读矿产普查与勘探专业硕士学位,主要从事稀有金属矿产成矿研究方向。E-mail:

wuchengbindz@163.com

通信作者:侯广顺(1978—),男,副教授,主要从事岩石地球化学的教学与研究工作。E-mail:houguangshun@163.com



a. 河南省构造分区简图(据文献[12]简化), I. 华北克拉通, II. 秦岭造山带, F. 栾川—确山—固始深大断裂带; b. 方城北部地质简图(据文献[12-13]综合简化), 1. 第四系; 2. 白垩系; 3. 古生界; 4. 新元古界栾川群; 5. 中元古界官道口群; 6. 中元古界熊耳群; 7. 燕山期二长花岗岩; 8. 燕山期斜长花岗岩; 9. 加里东期变辉长岩; 10. 新元古代正长岩及正长斑岩; 11. 新元古代石英正长斑岩; 12. 新元古代霞石正长岩; 13. 中元古代花岗岩; 14. 断层

图1 方城北部正长岩地质简图

Fig. 1 Geological sketch map for northern part of Fangcheng County

皱,主要由伏牛山、汤河—云阳、白云山3个复式背斜组成。断裂主要有位于北侧的栾川—确山—固始深大断裂和南侧的瓦穴子—鸭河口—明港深大断裂,次一级的断裂有黑沟断裂、维摩寺—白云山大断裂和羊册断裂等。区内岩浆活动频繁,北侧发育有熊耳群火山岩,中—新元古代中酸性侵入岩,加里东期辉长岩,以及燕山期花岗侵入岩,这些岩体随构造线方向呈北西西向带状分布,构成了卢氏—确山岩浆岩带和官坡—云阳—石滚河岩浆岩带^[12-13]。

2 岩体地质及岩相学特征

鱼池岩体位于方城县北部杨集乡,出露面积约10 km²,呈NW—SE向展布,为一不规则向南弯曲的弧形(图1),侵入于新元古界栾川群和陶湾群的千枚岩和硅化大理岩中。岩体岩石类型为绢云母化正长岩、二云母正长岩和角闪云霞正长岩。

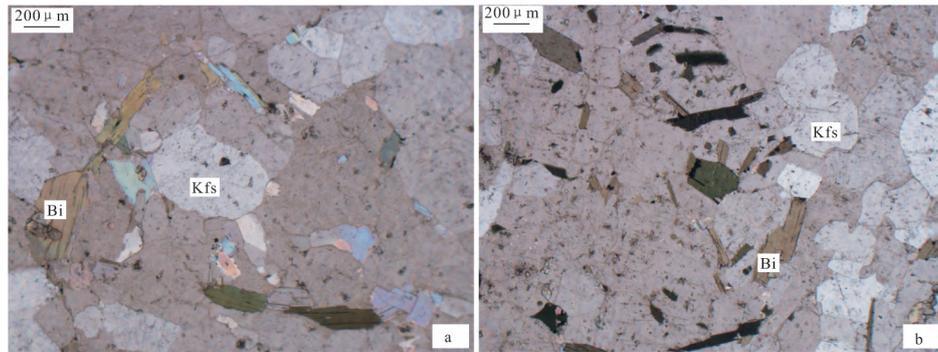
鱼池岩体边缘相宽度变化大,由几米至数百米,带内见有围岩捕虏体,捕虏体边部烘烤、熔蚀、同化混染现象显著,且改变了原岩的特征,绿泥石、绿帘石、碳酸盐化明显,岩石粒度较细;自岩体边缘相向中心相,岩石粒度变粗,岩性逐渐变为黑云母正长岩、角闪云霞正长岩,局部见有团块状霓辉正长岩、碳酸盐化伟晶岩及伟晶岩脉。

绢云母化正长岩呈浅黄色、浅肉红色,随着绢云母含量的增多而显现淡绿色,呈半自形粒状结构,主要矿物为钾长石(φ_B 为60%~90%),绢云母(φ_B 为5%~20%),次要矿物黑云母,副矿物有磁铁矿、锆石、榍石和磷灰石。

二云正长岩呈灰色、灰白色,自形、半自形粒状结构,似片麻状构造,主要矿物为微斜长石和条纹长石(φ_B 为60%~70%)、钠长石(φ_B 为20%~40%)、黑云母(φ_B 为5%~10%),次要矿物绢云母、白云母、霞石。微斜长石和条纹长石呈半自形粒状,粒径0.2~2 mm,部分达5 mm,钠长石呈浑圆状,0.1~0.2 mm,常见交代钾长石的现象(图2)。

3 分析测试方法

本次野外采集样品均取自鱼池正长岩体具有代表性的岩性带,经过室内观察处理,选取了新鲜或较新鲜的样品用于分析测试。样品在室内经过破碎、清洗及烘干以后,利用磨样机将其磨成0.071 mm(200目)以下的岩石粉末,然后每件样品取适量粉末用于主量元素和微量元素的测试。样品的主量元素、微量元素分析测试工作在河南省有色金属地质勘查总院检测中心完成,主量元素分析采用荧光光谱法(XRF),分析仪器为X-射线荧光光谱仪,微量元素分析采用ICP-MS法完成,分析仪器为X-seriesII电感耦



Kfs. 钾长石; Bi. 黑云母

图2 鱼池正长岩体典型标本显微镜下照片

Fig. 2 Photographs of typical rocks for Yuchi syenites under microscope

合等离子体质谱仪(ICP-MS),检测依据为 GB/T14506. 28-2010、GB/T14506. 30-2010、《岩石矿物分析》第四分册,分析结果可信度高。

4 岩石地球化学特征

笔者采集鱼池岩体正长岩样品 4 件(YJYC01~YJYC04),收集前人对双山、塔山岩体岩石分析结果 10 件(FC01~FC10)^[10],分别进行主量、稀土和微量元素的对比分析研究。

4.1 主量元素地球化学特征

主量元素分析数据列于表 1。从表中可以看出,鱼池岩体 $w(\text{SiO}_2)$ 为 57.35%~61.38%,平均为 58.6%,双山、塔山岩体 $w(\text{SiO}_2)$ 为 54.00%~62.12%,平均为 57.82%。在 TAS 图解(图 3-a)中,双山、塔山岩石样品均落入碱性岩系列的副长正长岩—正长岩区域;鱼池岩体 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 较高,为 20.43%~22.39%, A/CNK 为 0.95~1.07,平均为 1.004,双山、塔山岩体 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 16.81%~23.26%, A/CNK 为 0.93~1.38,平均为 1.06,在

$A/\text{NK}-A/\text{CNK}$ 图解(图 3-b)中样品均落入准铝质—过铝质范围内。鱼池岩体与双山、塔山岩体同样具有较低的 $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{CaO})$,三者的变化范围分别为 0.43%~0.66%、0.29%~0.39%和 1.23%~1.79%。鱼池岩体全碱 ALK 为 12.33%~14.05%,平均为 13.39%; $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 5.48%~6.44%,低于 $w(\text{Na}_2\text{O})$; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.71~0.97,均小于 1,双山、塔山岩体全碱 ALK 为 12.6%~14.91%,平均为 13.49%; $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 5.55%~14.66%,除 FC01 和 FC02 外,其他样品的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.78~1.48,平均为 1.11,在 $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ 图解(图 3-c)中,两者样品均全部落入钾玄岩系列岩石区域。鱼池岩体的里特曼指数 σ 为 8.17~12.75,双山、塔山岩体里特曼指数 σ 为 7.65~19.55,均 >3.3 ,且除 YJYC04 和 FC09 样品外,其他样品的 σ 均 >9 ,因此两者均属于碱性—过碱性岩,在 $w(\text{SiO}_2)-AR$ 图解(图 3-d)中鱼池岩体样品全部落入碱性区域内,而双山、塔山岩体样品分布于碱性和过碱性两个区域。因此鱼池正长岩体与双山、塔山岩体同属过铝质、富碱的钾玄质碱性岩。

表 1 鱼池岩体主量元素组成

Table 1 Major element contents of Yuchi syenites

样品	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	MnO	P_2O_5	FeO	Fe_2O_3	烧失量	总量
YJYC01	58.03	21.28	0.66	6.44	7.51	1.69	0.35	0.21	0.06	1.83	1.10	0.66	99.81
YJYC02	57.63	22.03	0.58	5.48	7.73	1.79	0.33	0.20	0.05	0.92	2.05	0.92	99.69
YJYC03	57.35	22.39	0.43	5.86	8.19	1.53	0.29	0.15	0.08	1.56	0.80	1.38	100.01
YJYC04	61.38	20.43	0.66	6.07	6.26	1.23	0.39	0.15	0.10	1.56	0.81	1.07	100.13
FC01	56.64	21.71	0.43	13.92	0.10	0.35	0.89	0.02	0.01	0	2.08	4.67	100.82
FC02	58.71	22.02	0.16	14.66	0.02	0.04	0.68	0.02	0	0	1.64	1.59	99.54
FC03	57.53	21.11	0.70	8.13	5.48	1.89	0.45	0.26	0.05	0	3.29	0.84	99.73
FC04	54.00	23.26	0.58	6.51	8.40	1.56	0.34	0.45	0.03	0	3.85	0.59	99.57
FC05	57.03	21.29	0.79	7.09	6.85	1.66	0.44	0.26	0.07	0	3.40	0.39	99.27
FC06	57.86	21.14	0.67	7.23	5.37	2.13	0.41	0.25	0.05	0	3.50	0.81	99.42
FC07	58.19	20.76	0.59	5.55	7.15	2.48	0.30	0.29	0.05	0	3.14	0.72	99.22
FC08	57.39	22.01	0.67	6.89	5.95	1.99	0.39	0.21	0.06	0	3.03	1.32	99.91
FC09	62.12	16.81	1.01	7.17	5.02	1.09	0.51	0.19	0.12	0	4.93	0.84	99.81
FC10	58.68	20.91	0.76	6.22	7.18	1.53	0.54	0.19	0.09	0	3.39	0.44	99.93

注:主量元素测试在河南省有色金属地质勘查总院检测中心完成

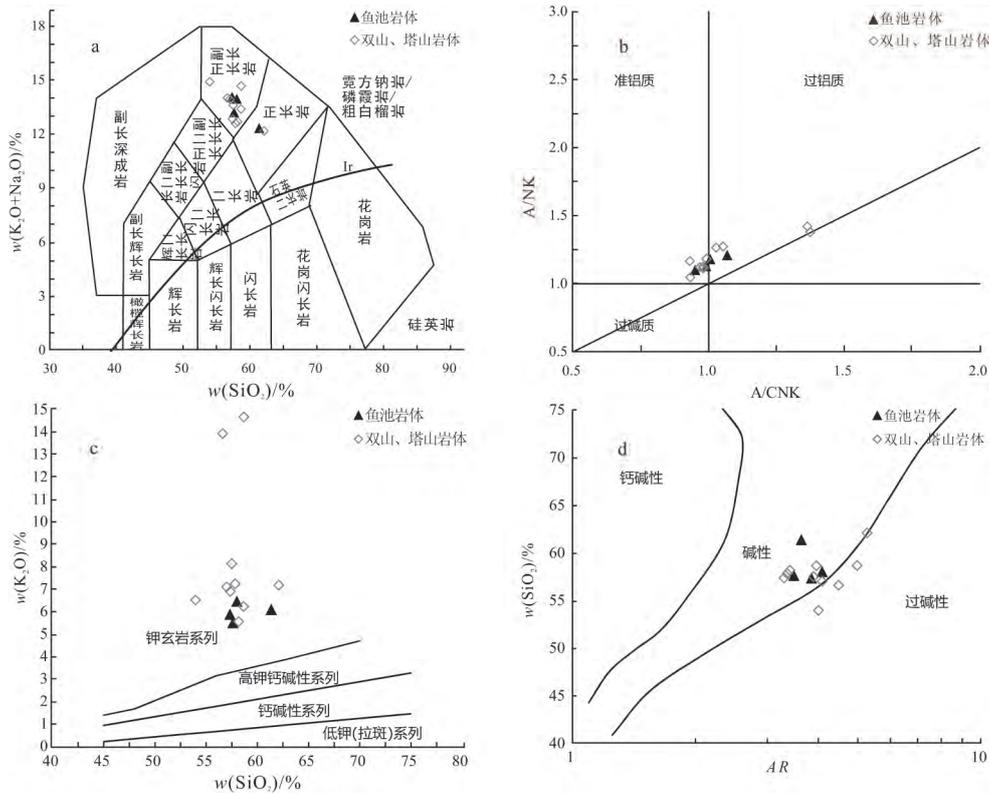


图 3 鱼池岩体 TAS 图解(a)、A/NK-A/CNK 图解(b)、 $w(K_2O) - w(SiO_2)$ 图解(c)和 $w(Si_2O) - AR$ 图解(d) (a 底图据文献 [14]; b 底图据文献 [15]; c 底图据文献 [16]; d. 底图据文献 [17])

Fig. 3 TAS diagram(a), A/NK-A/CNK diagram(b), $K_2O - SiO_2$ diagram (c) and $Si_2O - AR$ diagram (d) for Yuchi syenites

4.2 稀土元素、微量元素地球化学特征

稀土、微量元素分析数据列于表 2。数据显示, 鱼池岩体 $w(\sum REE)$ 变化范围为 $526.65 \times 10^{-6} \sim 839.81 \times 10^{-6}$, 平均为 748.05×10^{-6} , 其中轻稀土元素 $w(LREE)$ 为 $498.67 \times 10^{-6} \sim 793.96 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 比值为 17.74~18.82, $(La/Yb)_N$ 比值较高, 为 25.86~35.48; 双山、塔山岩体 $w(\sum REE)$ 为 $230.4 \times 10^{-6} \sim 1\ 327.21 \times 10^{-6}$, 平均为 883.22×10^{-6} , $w(LREE)$ 为 $224.1 \times 10^{-6} \sim 1\ 250.4 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 比值为 12.37~35.59, $(La/Yb)_N$ 比值为 14.81~60.64, 由此可以看出, 鱼池岩体与双山、塔山岩体稀土元素具有相同的特征, 即稀土元素总量 $\sum REE$ 较高, 轻、重稀土元素分馏明显, 表明岩浆来源较深。鱼池岩体的 δEu 值为 0.48~0.63, 平均为 0.53; 双山、塔山岩体 δEu 值为 0.25~0.52, 平均为 0.4, 均表现出中等负 Eu 异常, 表明岩浆源区可能存在部分斜长石残留。在稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(图 4-a)中, 鱼池岩体与双山、塔山岩体的 REE 分布曲线高度一致, 均呈右倾分异型, 斜率较大, 表明轻稀土元素强烈富集, 轻、重稀土元素分馏作用显著, Eu 异常较明显。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 4-b)中, 鱼池岩体与双山、塔山岩体的微量元素分布曲线

基本一致, 呈左高右低的 W 型, 表现出相对富集大离子亲石元素和轻稀土元素、相对亏损高场强元素和重稀土元素的特征, 其中个别元素 Ba、Sr、P、Ti 的显著负异常可能与斜长石、磷灰石、钛铁氧化物的结晶分异有关。

4.3 矿化特征

根据鱼池、双山和塔山岩体稀土、微量元素分析数据(表 2), 对方城北部正长岩稀有金属元素、稀土元素含矿性进行了初步研究, 结果显示了良好的 Zr 和 LREE 矿化信息。

砂矿型锆(Zr)矿床边界品位 $w(ZrO_2)$ 为 0.04%, 最低工业品位为 0.16%^[14]。样品的 $w(ZrO_2)$ 介于 0.039%~0.174% 之间, 除样品 YJYC03 和 FC02 外, 其他样品 $w(Zr)$ 均 $>0.04\%$, 高于砂矿型锆(Zr)矿床边界品位, 样品 FC04 的 $w(ZrO_2)$ 达到了 0.174%, 高于最低工业品位。

风化壳型 LREEO(轻稀土元素氧化物)矿的边界品位为 0.07%, 离子吸附型 LREEO 矿床的边界品位为 0.05%, 最低工业品位为 0.08%^[19]。样品中 LREEO 质量分数范围为 0.026%~0.15%, 除样品 FC02 外, 其他样品 LREEO 质量分数均 $>0.05\%$, 高于 LREEO 矿的边界品位, 且除 YJYC03、FC02、FC08、FC09 四个样品外, 其他样品均 $>0.08\%$, 高

表2 鱼池岩体稀土元素、微量元素组成

Table 1 Trace and REE element contents of Yuchi syenites

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Zr	Hf
	$w_B/10^{-6}$															
YJYC01	211.15	373.60	44.13	143.70	18.49	2.89	16.74	2.37	11.71	2.19	6.38	0.83	4.94	0.69	485.91	15.15
YJYC02	208.35	360.85	42.19	137.40	17.53	2.65	15.77	2.23	11.53	2.22	6.63	0.92	5.78	0.85	470.25	15.30
YJYC03	135.85	235.50	26.98	87.12	11.02	2.20	10.13	1.38	6.86	1.32	3.96	0.55	3.28	0.50	287.36	8.64
YJYC04	197.85	354.65	43.58	147.55	19.59	3.28	17.21	2.39	11.64	2.09	5.77	0.70	4.00	0.55	400.92	11.79
FC01	276.1	488.2	51.84	123.2	12.96	1.74	11.12	1.08	5.85	1.10	3.43	0.54	3.52	0.56	994.2	19.48
FC02	72.62	112.7	10.45	25.46	2.62	0.25	2.53	0.25	1.28	0.27	0.84	0.13	0.86	0.14	284.9	6.139
FC03	222.4	455.1	55.76	159.6	22.76	2.93	17.92	2.28	11.91	2.21	6.48	0.98	6.39	1.01	693.1	15.65
FC04	329.6	626.6	71.41	192.7	27.94	2.12	23.09	3.28	18.68	3.85	11.76	1.94	12.41	1.84	1287.7	30.03
FC05	269.0	542.4	65.64	194.6	26.50	3.46	21.13	2.60	12.42	2.31	6.01	0.88	5.03	0.77	520.0	12.17
FC06	204.2	396.5	46.15	131.3	18.37	2.42	14.41	1.75	8.98	1.64	4.55	0.69	4.24	0.67	607.9	14.26
FC07	293.1	567.4	65.84	182.6	24.65	2.79	20.84	2.70	15.24	3.22	9.86	1.66	10.86	1.82	1019.1	22.91
FC08	133.5	296.6	39.50	120.6	17.81	2.27	14.14	2.23	10.89	2.29	6.15	0.91	5.53	0.88	438.9	10.67
FC09	116.9	234.3	28.12	91.96	16.19	1.95	12.65	1.93	10.04	1.96	5.55	0.86	5.66	0.92	920.5	19.81
FC10	241.6	453.8	51.09	146.2	20.18	3.13	15.42	1.82	8.55	1.55	4.18	0.57	3.49	0.54	441.2	9.812
样品	Ba	Sr	Rb	Ga	Y	Nb	Ta	Th	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	$(La/Yb)_N$	δEu	δCe	
	$w_B/10^{-6}$															
YJYC01	133.93	166.48	197.89	19.41	55.92	302.10	15.02	22.19	839.81	793.96	45.85	17.32	30.66	0.49	0.90	
YJYC02	154.82	220.75	183.26	22.45	58.01	305.50	16.48	23.91	814.90	768.97	45.93	16.74	25.86	0.48	0.89	
YJYC03	85.78	144.91	180.31	18.92	37.01	155.40	7.47	14.74	526.65	498.67	27.98	17.82	29.71	0.63	0.90	
YJYC04	308.94	291.25	166.72	19.17	51.87	277.75	15.83	19.20	810.85	766.50	44.35	17.28	35.48	0.53	0.90	
FC01	8741.4	184.91	055.4	34.04	27.97	192.4	12.11	30.20	981.23	954.04	27.19	35.09	56.34	0.43	0.93	
FC02	213.7	100.01	107.1	29.47	9.382	63.12	3.57	9.303	230.40	224.10	6.30	35.59	60.64	0.29	0.88	
FC03	202.3	338.0	274.5	32.94	71.78	263.7	21.77	26.53	967.72	918.55	49.18	18.68	24.95	0.43	0.98	
FC04	38.16	125.7	365.4	43.07	121.2	454.9	38.83	40.41	327.21	1250.40	76.84	16.27	19.05	0.25	0.96	
FC05	153.4	299.3	287.3	32.34	70.58	263.0	23.46	32.70	152.74	1101.60	51.15	21.54	38.37	0.43	0.97	
FC06	111.5	409.3	242.2	30.07	52.45	219.5	16.69	23.29	835.88	798.94	36.94	21.63	34.51	0.44	0.96	
FC07	104.0	389.9	158.5	28.45	105.8	324.5	25.48	35.64	202.56	1136.40	66.19	17.17	19.36	0.37	0.96	
FC08	87.59	285.9	224.6	33.88	47.86	278.9	23.19	8.12	653.29	610.28	43.01	14.19	17.31	0.42	0.99	
FC09	751.4	38.67	177.3	33.15	58.14	131.7	8.49	14.27	529.00	489.42	39.57	12.37	14.81	0.40	0.97	
FC10	524.6	443.6	164.1	28.82	50.89	179.1	14.47	22.08	952.13	916.00	36.13	25.36	49.61	0.52	0.95	

注:稀土元素、微量元素测试在河南省有色金属地质勘查总院检测中心完成

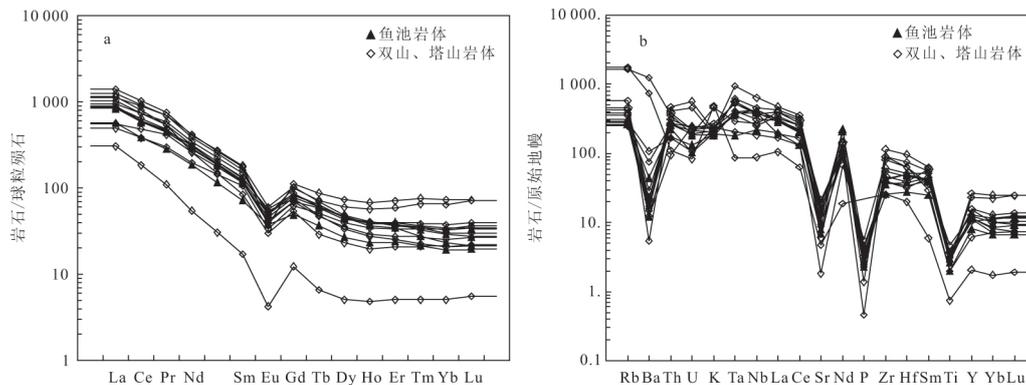


图4 鱼池岩体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(标准化值据文献[18])

Fig. 4 Chondrite normalized REE diagram (a) and primary mantle normalized trace element spider diagram (b) for Yuchi syenites

于 LREEO 矿的最低工业品位。

综上所述,鱼池岩体及双山、塔山岩体均显示出了良好 Zr、LREE 矿化信息,与梁涛等^[11]对宋坟—双山—塔山地区正长岩含矿性研究结果进行对比,进一步验证了鱼池岩体的 Zr、LREE 矿化现象,表明方城北部正长岩体具有巨大的稀有金属元素、稀土元素成矿潜力。

5 地质意义

5.1 岩浆源区

正长岩成因问题一直存在很多争议,前人通过大量的研究,将正长岩成因划分为壳源成因、幔源成

因和壳幔混源成因 3 种类型。Huang 等^[20]认为正长岩是由高温高压条件下的长英质地壳物质部分熔融形成的;Yang 等^[21]认为正长岩是碱性玄武岩浆结晶分异形成的;Zhao 等^[22]认为正长岩是幔源硅不饱和和碱性岩浆和壳源花岗岩浆混合或者壳幔混源岩浆结晶分异形成的。

稀土、微量元素分析结果表明,鱼池正长岩体表现出强烈富集轻稀土元素和亏损重稀土元素特征, $(La/Yb)_N$ 比值较高,为 25.86~35.48,稀土元素配分曲线呈现出明显的右倾分异型,斜率较大,表明鱼池岩体轻重稀土元素分异明显;微量元素原始地幔标准化蛛网图中,曲线呈现出右倾特征,表明鱼池岩

体整体富集大离子亲石元素、亏损高场强元素。以上特征与包志伟等^[10]研究的双山、塔山岩体稀土、微量元素特征几乎一致,表明鱼池岩体和双山、塔山岩体为同源岩浆演化的产物,同时显示了鱼池正长岩体的幔源属性。在微量元素原始地幔标准化蛛网图中,Ba 相对于 Rb、Th 呈现出明显的低谷现象,与马昌前等^[23]描述的陆壳岩石特征一致。另外 Rb/Sr 比值为 0.57~1.19,明显高于大陆地壳的 Rb/Sr 比值(0.15)^[24];Nb/Ta 比值为 17.5~20.8,接近于原始地幔的 Nb/Ta 比值(17.5±2.0)^[25],这种既有幔源特征也有壳源特征的现象表明岩浆源区有壳源物质的加入。微量元素中 Sr、P、Ti 显著亏损可能是源区斜长石、磷灰石、钛铁氧化物强烈结晶分异的结果。

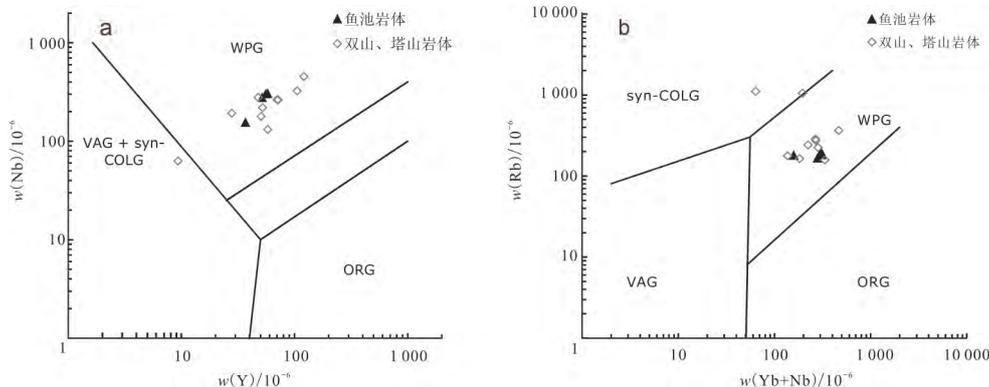
另外,包志伟等^[10]基于该地区相邻的双山、塔山岩体 Nd 同位素的研究,认为成岩物质主要来源于岩石圈地幔,在上升过程中受到少量地壳物质的混染,这一结论也间接证明了鱼池岩体岩浆源区特

征的可靠性。

综上所述,鱼池正长岩体稀土、微量元素的特征与 Zhao 等^[22]的壳幔混源成因的观点相吻合,即鱼池岩体成岩岩浆来源于地幔,在其上升或侵位过程中遭受了大量的地壳物质的混入。

5.2 构造环境

正长岩成因较复杂,一般认为正长岩常产于碰撞后、裂谷或板内伸展构造背景下^[26-27],Pearce 等^[28]将花岗岩分为洋脊花岗岩、火山弧花岗岩、板内花岗岩和碰撞花岗岩四大类,并认为利用 Rb、Y、Yb 和 Nb 判别花岗岩的大地构造环境十分有效。在 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ (图 5-a)和 $w(\text{Rb})-w(\text{Nb}+\text{Y})$ (图 5-b)构造判别图解中,双山、塔山岩体大多数样品落入板内花岗岩区域,个别样品落入同碰撞花岗岩区域,而鱼池岩体的样品全部落入板内花岗岩区域,表明鱼池岩体和双山、塔山岩体均形成于板内拉张环境。



ORG. 洋脊花岗岩;Syn-COLG. 同碰撞花岗岩;VAG. 火山弧花岗岩;WPG. 板内花岗岩
图 5 鱼池岩体 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ (a)和 $w(\text{Rb})-w(\text{Nb}+\text{Y})$ (b)构造判别图解(据文献^[28])

Fig. 5 Nb-Y and Rb-Nb+Y discriminant diagram for Yuchi syenites

5.3 成矿潜力

稀有金属元素、稀土元素是我国高新技术领域的战略性资源,价值巨大,其矿床成因与碱性岩密切相关,因此近年来东秦岭碱性侵入岩带引起了广泛关注,但稀有金属元素、稀土元素的找矿工作至今未取得突破。

对方城北部鱼池、双山、塔山正长岩体稀有金属元素、稀土元素含矿性的初步研究表明,其显示了良好的 Zr 和 LREE 矿化信息,说明具有巨大的成矿潜力,为下一步在秦岭地区开展稀有金属、稀土元素的找矿工作指明了方向。

6 结 论

(1)鱼池正长岩体以低硅,富碱,高 Al,贫 Ca、Mg 和 Ti 为特征,属于准铝质—过铝质碱性岩。岩石稀土元素总量高,轻、重稀土元素分馏明显,具中

等至弱的负 Eu 异常。微量元素以富集大离子亲石元素、相对亏损高场强元素为特征,与相邻的双山、塔山岩体为同源岩浆演化的产物。

(2)鱼池正长岩体的岩浆物质来源于地幔,在其上升或侵位过程中遭受了大量的地壳物质的混染,且岩体形成于板内拉张环境。

(3)方城北部正长岩体显示了良好的 Zr 和 LREE 等稀有金属元素、稀土元素的矿化信息,并具有巨大的成矿潜力,可为东秦岭碱性岩的稀有金属元素、稀土元素含矿性研究起到指示性作用,为下一步找矿工作指明了方向。

参考文献:

- [1] 张国伟,张宗清,董云鹏.秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J].岩石学报,1995,11(2):101-114.
- [2] 张正伟,朱炳泉,常向阳,等.东秦岭北部富碱侵入岩钨、铋、铅同位素特征及构造意义[J].地球化学,2000,29(5):455-461.

- [3] 张正伟,周玲棣,朱炳泉,等. 东秦岭北部富碱侵入岩的主要矿物组成[J]. 矿物学报, 2002, 22(1): 435-443.
- [4] 邱家骥. 秦巴碱性岩[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [5] 曾广策. 河南嵩县南部碱性正长岩类的岩石特征及构造环境[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 1990, 15(6): 635-642.
- [6] 张国伟,孟庆任,于在平,等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学:地球科学, 1996, 26(3): 193-200.
- [7] 毛景文,谢桂青,张作衡,等. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 169-188.
- [8] 李厚民,陈毓川,叶会寿,等. 东秦岭一大别地区中生代岩浆活动有关钨(钨)金银铅锌矿床成矿系列[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1469-1477.
- [9] 张正伟,朱炳泉,常向阳. 东秦岭北部富碱侵入岩带岩石地球化学特征及构造意义[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 507-519.
- [10] 包志伟,王强,白国典,等. 东秦岭方城新元古代碱性正长岩形成时代及其动力学意义[J]. 科学通报, 2008, 53(6): 684-694.
- [11] 梁涛,白凤军,卢欣祥,等. 河南省方城北部正长岩体稀有金属、稀土元素的矿化[J]. 资源导刊:地球科技版, 2014(1): 9-12.
- [12] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989: 395-467.
- [13] 河南省地质矿产厅. 河南省云阳幅、四里店幅 1:5 万区域地质调查报告[R]. 郑州:河南省国土资源厅, 1989.
- [14] Chappell B W, White A. I- and S-type granites in Lachlan fold belt[J]. Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci., 1992, 83: 1-26.
- [15] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. GSA Bull., 1989, 101(5): 635-643.
- [16] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22(4): 247-263.
- [17] Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis[J]. Geol. Mag., 1969, 106: 370-384.
- [18] Sun S S, Mc Dougall W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D. Magmatism in ocean basins. [S. I.]: Geological Society Publication, 1989, 42: 407-419.
- [19] 矿产资源工业要求手册编委会. 矿产资源工业要求手册[M]. 北京:地质出版社, 2010: 238-271.
- [20] Huang W L, Wyllie P J. Phase relationships of S-type granite with H₂O to 35 kbar; Muscovite granite from Harney peak, South Dakota[J]. Journal of Geophysical Research, 1981, 86: 10515-10529.
- [21] Yang J H, Chung S L, Wilde S A, et al. Petrogenesis of post-orogenic syenites in the Sulu Orogenic Belt, East China: Geochronological, geochemical and Nd-Sr isotopic evidence[J]. Chem. Geol., 2005, 214: 99-125.
- [22] Zhao J X, Shiraishik A, Ellis D J, et al. Geochemical and isotopic studies from the Yamoto mountains, East Antarctica: Implication for the origin of syenitic magmas[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59: 1363-1385.
- [23] 马昌前,余振兵,张金阳,等. 华北克拉通南缘泌阳春水燕山期铝质 A 型花岗岩类年代学、地球化学及其启示[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 49-64.
- [24] Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust[J]. Treatise on Geochemistry, 2003, 3: 1-64.
- [25] Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system [J]. Chem. Geol., 1995, 120: 347-359.
- [26] Bonin B, Azzouni-Sekkal A, Bussy F, et al. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: Petrologic constraints and geodynamic settings[J]. Lithos, 1998, 45: 45-70.
- [27] Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: Implications for convective thinning of the Lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. J. Petrol., 1996, 37: 45-71.
- [28] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Petrology, 1984, 25(4): 956-983.

Geochemical Characteristics of Yuchi Syenites from East Qinling and the Rare Metal Elements, Rare Earth Element Mineralization

Wu Chengbin¹, Hou Guangshun^{1,2}, Xiang Shihong², Qi Yong'an¹, Zhi Fengqi², Wang Mingguo²

(1. Institute of Resources & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003, China; 2. General Institute of Non-ferrous Metals Geological Exploration, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Yuchi syenites, in Fangcheng County, Henan Province, belong to the alkali rocks zone in northern part of East Qinling orogenic belt, and are the biggest outcrop stock in the belt. This paper presents the major and trace element characteristics of Yuchi syenites, and discusses its magma source, tectonic environment and the relationship with rare metal elements and rare earth element mineralization. The SiO₂ content of Yuchi syenites is 57.35%—61.38%, with enriched alkaline, high Al, and depleted in Ca, Mg and Ti, and hence, belongs to peraluminous alkaline. The rocks have high rare earth elements (REEs) content, and are highly enriched in light rare element, and the light REE. The heavy REE differentiation is obviously high, with La_N/Yb_N ratio between 25.86—35.48, δEu between 0.48—0.63, middle negative Eu anomaly. The rocks are enriched in LILE and are depleted in HFSE. This research shows that Yuchi syenites' magma source is derived from mantle, and is extensively assimilated by the continental crust. Yuchi syenites were formed within plate extension environment. The ZrO₂ content of Yuchi syenites is 0.039%—0.174% and LREEO content is 0.026%—0.15%. This indicates good Zr and LREE mineralization and metallogenic potential.

Key words: East Qinling; Yuchi syenites; rare metal elements; rare earth element; metallogenic potential