

湖北竹溪蔓荆沟碱性正长岩地球化学特征及其构造环境分析

程 钊¹, 冯久林¹, 朱小平¹, 李 平², 吴凤贤¹, 王 桥¹

(1. 湖北省地质局第八地质大队, 湖北 襄阳 441002; 2. 湖北恒佳矿业投资咨询有限公司, 湖北 十堰 442000)

摘要: 在南秦岭造山带中发现的竹溪蔓荆沟碱性正长岩, 呈透镜状侵入于辉绿岩体内, 个别呈独立岩体侵入于早古生代地层中。单个正长岩体规模较小。通过对其进行岩相学及岩石地球化学特征研究, 表明其为全碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)含量较高的钾质碱性正长岩; 岩石中 $\text{Mg}^\#$ 值较低, 明显低于原始岩浆 $\text{Mg}^\#$ 值, 说明其为原始岩浆经历较高程度演化的产物; 岩体中稀土元素总量 ΣREE 较高, 轻稀土元素 LREE 富集明显, 重稀土元素 HREE 亏损; 通过微量元素构造环境判别分析认为, 研究区正长岩形成于大陆裂谷环境, 且形成于大陆裂谷早期阶段, 其形成时代为早志留世。

关键词: 竹溪; 碱性正长岩; 地球化学; 构造环境; 大陆裂谷

中图分类号: P595; P588.12⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)05-0725-08

Geochemical characteristics and tectonic setting of the alkaline syenite in Zhuxi, Hubei Province

CHENG Zhao¹, FENG Jiu-lin¹, ZHU Xiao-ping¹, LI Ping², WU Feng-xian¹ and WANG Qiao¹

(1. No. 8 Geological Party, Hubei Geological Bureau, Xiangyang 441002, China; 2. Hubei Hengjia Mining Co., Ltd., Shiyan 442000, China)

Abstract: The alkali feldspar syenite in Zhuxi Manjinggou, which is located in the south Qinling orogenic belt, intruded into the disbase body in small lenticular form. Locally, it intruded into Early Paleozoic strata. A study of its petrological characteristics and geochemical characteristics reveals the followings characteristics: the alkali feldspar syenite in this area is potassic alkaline syenite with high total alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$); the $\text{Mg}^\#$ in the rock is obviously lower than that in the original magma, which indicates that the magma experienced a high degree evolution; the REE in the body is high, and exhibits LREE enrichment and HREE depletion. The trace element diagrams show that the syenite in this area originated from early continental rift environment in the Early Silurian.

Key words: Zhuxi; alkaline syenite; geochemistry; tectonic setting; continental rift

Fund support: Hubei Geological Exploration Fund Project((2013)31)

秦巴地区分布有南北两条碱性岩带, 其中南带碱性岩分布于十堰断裂和城口-房县断裂之间, 北带分布于华北地块南缘(图 1, 喻学惠, 1992)。蔓荆沟碱性正长岩位于南秦岭北大巴山平利隆起东缘竹山断裂与竹溪断裂之间, 其周围分布有竹山庙垭、杀熊

洞的碱性正长岩-碳酸岩以及陕南紫阳-平利-岚皋一带的碱性正长岩、碱性粗面岩。与上述碱性岩不同的是, 蔓荆沟碱性正长岩体规模较小、数量较多, 除个别呈独立岩体外, 大部分侵入于辉绿岩体内。

前人通过对北大巴山早古生代地层中广泛出露

收稿日期: 2016-11-21; 接受日期: 2017-07-26

基金项目: 湖北省地质勘查基金项目((2013)31)

作者简介: 程 钊(1988-), 男, 汉族, 工程师, 地质矿产勘查专业, 从事区域地质矿产调查及固体矿产勘查工作, E-mail: 408628067@qq.com。

的一套基性岩墙群和碱质火山岩开展岩石学、矿物学、地球化学及同位素组成等方面的研究,探讨了其地幔源区性质、演化过程及形成构造背景等问题(徐学义等, 1996, 1997, 2001; 杨钟堂等, 1997; 张成立等, 2002, 2007; 王存智等, 2009; 向忠金等, 2010a, 2010b; 邹先武等, 2011), 大部分学者认为它们是扬子板块北缘陆内裂谷岩浆活动的产物(黄

月华等, 1990; 张成立等, 2002), 而近年来一些学者提出这套基性岩墙和碱质火山杂岩形成于弧后拉伸环境(王宗起等, 2009; 王刚, 2014; 王坤明, 2014; 张英利等, 2016), 存在一定的争议。这些研究中针对该区碱性侵入岩的不多, 本文通过对蔓荆沟碱性正长岩的地球化学特征进行研究, 以期对认识和探索该区的区域构造演化问题提供新资料。

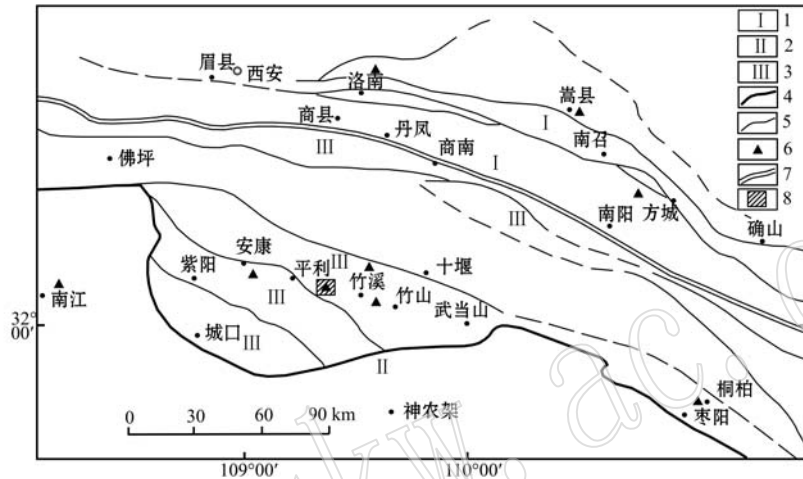


图1 秦岭造山带区域构造分区及碱性岩分布图[引自杨巍然(1989), 略简化]

Fig. 1 Regional structural tectonization and basic rock distribution of the Qinling orogenic belt (modified after Yang Weiran *et al.*, 1989)

1—华北陆块南缘区; 2—扬子陆块北缘区; 3—秦岭造山带; 4—城口断裂; 5—一次一级区域性断裂; 6—碱性岩分布区; 7—对接带; 8—研究区位置

1—southern margin of North China block; 2—northern margin of Yangtze block; 3—Qinling orogenic belt; 4—Chengkou fault; 5—sub-regional rapture; 6—alkali rock distribution area; 7—docking zone; 8—position of the study area

1 岩体地质特征

蔓荆沟碱性正长岩体分布于竹溪县西侧鄂陕交界处, 由数个规模不等的小岩体组成, 其中大部分呈透镜状侵入于辉绿岩体内, 个别呈独立岩体侵入于早古生代地层中(图2)。辉绿岩体在区内为呈北西-南东向展布的不规则岩墙, 长约2.6 km, 宽0.2~0.6 km, 侵入于早古生代地层中, 岩体局部发生绿帘石化及阳起石化蚀变, 在构造强烈区则进一步发生不同程度片理化, 片理产状与区域构造线方向基本一致。碱性正长岩体走向呈近北西-南东向, 倾向北东, 与围岩产状基本一致。碱性正长岩的出露面积较小, 地表沿走向长一般30~260 m, 沿倾向出露宽5~170 m不等。

2 岩相学特征

蔓荆沟碱性正长岩主要岩性为二云含斜正长岩(图3)。二云含斜正长岩呈不等粒结构, 块状构造,

岩石主要由钾长石(60%~65%)、黑云母(10%~12%)及石英(8%)、斜长石(10%)、白云母(6%~10%)等矿物组成。钾长石呈自形-半自形柱粒状, 发育格子双晶及条纹结构, 粒径大小不等, 一般为0.8~2 mm, 大者可达10 mm以上, 均匀分布于岩石中, 在岩体局部可形成钾长石斑晶。钾长石颗粒长轴方向略具定向性, 推测是由于受后期应力蚀变作用导致, 较大颗粒内裂隙较为发育, 裂隙内有细小鳞片状黑云母条带充填。钾长石发生较弱的绢云母化及方解石化。黑云母呈片状, 片径0.05~0.8 mm, 多围绕钾长石颗粒分布, 部分呈团块状集合体产出。白云母呈细小鳞片状, 片径0.1 mm以下, 多以不规则条带状集合体形式分布于其他矿物颗粒之间。斜长石是正长斑岩中组成基质的主要矿物, 呈它形柱粒状, 发育聚片双晶, 粒径一般0.2 mm左右。石英呈自形-半自形粒状, 粒径0.1 mm左右, 颗粒之间以平直边缘紧密镶嵌, 可见三边镶嵌平衡结构, 多以团块状集合体较均匀分布于钾长石颗粒之间。副矿物主要有楣石、磷灰石、方钠石等。

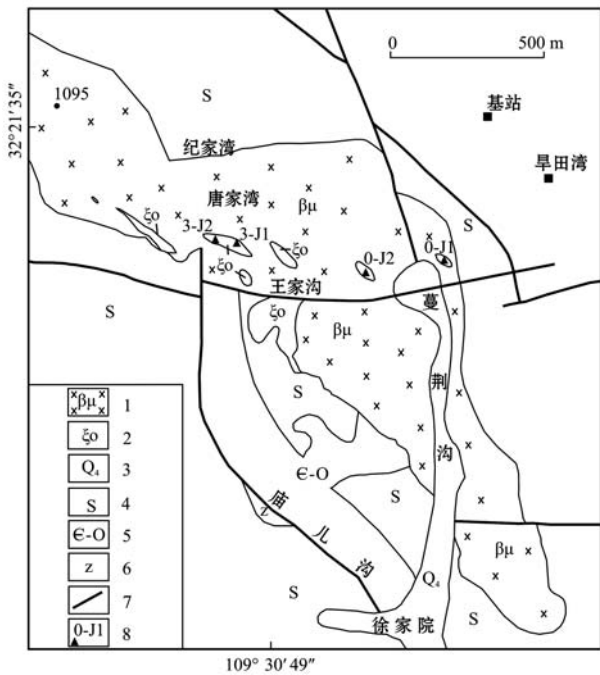


图 2 竹溪蔓荆沟地质略图

Fig. 2 Sketch map of the Manjinggou area, Zhuxi

- 1—辉绿岩; 2—碱性正长岩; 3—第四系; 4—志留系;
- 5—寒武-奥陶系; 6—震旦系; 7—断层; 8—采样位置及编号
- 1—diabase; 2—alkaline syenite; 3—Quaternary; 4—Silurian;
- 5—Cambrian-Ordovician; 6—Sinian; 7—faults; 8—sampling location and its serial number

3 岩石地球化学特征及构造环境分析

3.1 样品的采集及其测试分析方法

碱性正长岩化学分析样品均产自竹溪县蔓荆沟以西,王家沟以北,采样部位均为侵入于辉绿岩体内的正长岩小岩体,岩石类型为浅灰色-灰色二云含斜

正长岩,共采集样品 5 件,其中主量元素样品 1 件,稀土及微量元素样品 4 件,均为新鲜或弱风化的岩石。

所有采集样品的物理加工及地球化学成分测试工作均由国土资源部武汉矿产资源监督检测中心(武汉综合岩矿测试中心)完成。主量元素使用 X 射线荧光光谱(XRF)法测试,其中二价铁用重铬酸钾容量法,三价铁用全铁差减。稀土及微量元素使用 X 射线荧光光谱(XRF)及等离子体质谱法(ICP + MS)测试。

3.2 主量元素地球化学特征

蔓荆沟碱性正长岩的主量元素分析结果见表 1。

综合来看,本区碱性正长岩石中的 SiO_2 含量为 48.10%~57.67%,平均 52.53%。全碱含量很高,其中 K_2O 含量为 5.27%~10.08%,平均 7.86%。 Na_2O 含量为 4.35%~8.02%,平均 5.73%。 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在 0.44~1.38 之间,平均 0.80。 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 在 11.23%~14.53% 之间,平均 13.59%。由此可以看出,本区碱含量较高,且 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$,本区正长岩为钾质碱性正长岩(桑隆康等, 2012)。岩石中具有较低的 TiO_2 、 MgO 、 P_2O_5 含量, Al_2O_3 含量较高,在 18.18%~21.05% 之间,平均 19.73%; FeO 、 Fe_2O_3 含量分别为 1.49%~3.35% 和 1.47%~4.81%,平均 2.47%、2.60%;正长岩样品的 $\text{Mg}^\#$ 值较低,在 15.85~27.96 之间,远小于 63,指示研究区正长岩类为原始岩浆经过高度演化后的产物。

3.3 稀土元素地球化学特征

从表 2 及图 4a 中可以看出,总体上区内正长岩稀土总量相对较高且分馏强烈,其中 $\sum\text{REE}$ 为 $187.54 \times 10^{-6} \sim 693.34 \times 10^{-6}$,平均 343.30×10^{-6} ,说明本

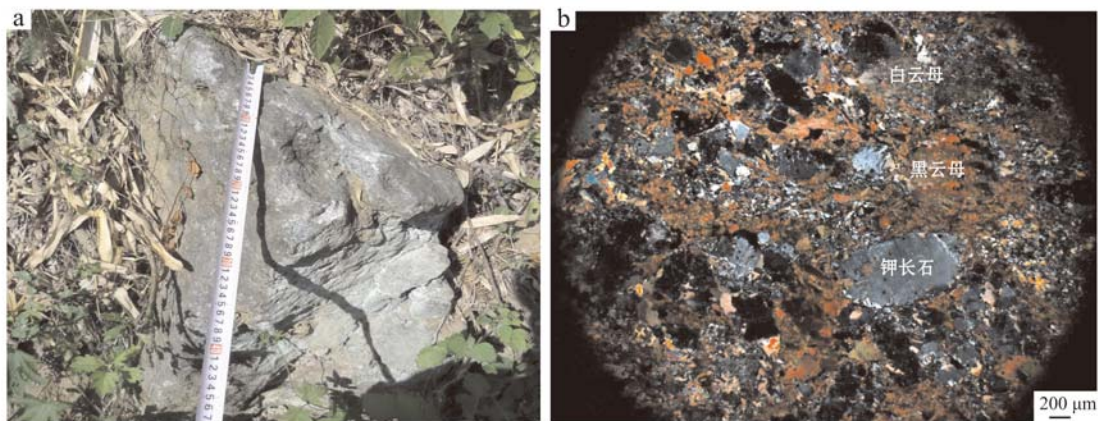


图 3 竹溪蔓荆沟二云含斜正长岩野外照片(a)与显微镜下照片(b)

Fig. 3 Field photo (a) and microscopic photo (b) of alkali-syenite in Manjinggou, Zhuxi

表 1 蔓荆沟碱性正长岩化学成分表

 $w_B/\%$

Table 1 Chemical composition of the Manjinggou alkaline syenite

岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Lost	TOTAL	Mg [#]
二云含斜正长岩 (3-J1)	51.20	0.84	20.56	1.93	3.18	0.19	0.91	2.67	5.13	8.83	0.26	3.44	99.14	27.96
霓辉霞石正长岩* (5个平均)	48.10	0.88	18.18	4.81	3.35	0.25	1.12	7.95	5.96	5.27	0.28	3.25	99.40	21.38
霓霞正长岩* (3个平均)	52.55	0.42	18.75	3.15	2.11	0.13	0.50	3.13	7.20	7.13	0.06	2.90	98.03	15.85
云霞正长岩* (2个平均)	51.86	0.34	19.47	1.66	2.85	0.11	0.60	3.29	4.35	9.90	0.09	3.89	98.41	20.86
方钠霞石正长岩* (2个平均)	57.67	0.23	20.94	1.47	1.49	0.13	0.57	0.76	8.02	5.82	0.07	1.95	99.12	27.61
钙霞正长岩* (2个平均)	52.68	0.22	21.05	2.99	2.08	0.06	0.65	2.44	5.00	8.00	0.24	3.29	98.70	20.25
正霞正长岩* (1个样)	53.63	0.41	19.17	2.21	2.25	0.18	0.58	2.60	4.45	10.08	0.12	2.54	98.02	20.48

注: $Mg^{\#} = (MgO/40.31) / [MgO/40.31 + FeO^T \times 0.8998 / 71.85 \times (1 - 0.15)] \times 100$; * 数据来自徐良耀(1989)。

区碱性正长岩中稀土元素富集程度高, 稀土元素总量在各岩石样品间变化较大, 都具有正长岩的特征。LREE 含量在 $176.73 \times 10^{-6} \sim 644.99 \times 10^{-6}$, 变化范围较大, 平均 320.08×10^{-6} 。HREE 含量为 $8.31 \times 10^{-6} \sim 48.35 \times 10^{-6}$ 。LREE/HREE 在 11.54 ~ 21.57 之间变化, 平均为 15.29。 $(La/Yb)_N$ 介于 18.81 ~ 53.41, 平均 29.59。由 LREE/HREE 及 $(La/Yb)_N$ 值可以看出本区正长岩体中轻重稀土分馏是很强烈的, 所有岩石样品中的轻稀土元素都远比重稀土元素富集。 $(Ce/Yb)_N$ 介于 11.28 ~ 26.71 之间, 平均 16.52。总体显示了轻稀土元素更为富集斜率更大的球粒陨石标准化右倾式稀土元素配分曲线谱型(图 4a)。在重稀土元素部分, $(Gd/Yb)_N$ 介于 1.84 ~ 3.64 之间, 平均 2.52, 曲线斜率相对较小, 显示重稀土元素弱亏损。 δEu 的值在 0.67 ~ 0.97, 平均 0.86, 显示 Eu 弱负异常, 反应了本区正长岩类可能发生了以斜长石为主要结晶相的分离结晶作用。 δCe 的值在 0.75 ~ 0.96, 变化范围较小, 平均为 0.83, 显示 Ce 负异常, 表明岩浆中可能存在陆壳物质的混入(赵振华, 1997)。

总体来看, 蔓荆沟正长岩中的稀土总量 ΣREE 变化范围较大, 总量较高, 为轻稀土元素富集型。在球粒陨石标准化稀土元素分布型式图上(图 4a), 曲线总体在轻稀土元素部分斜率较大, 而重稀土元素部分斜率相对较小, 表明该套正长岩为轻稀土元素高度富集而重稀土元素弱亏损型的分配模式。Eu 的负异常表明在正长岩形成前的岩浆演化过程中以斜长石作为结晶相的分离结晶作用很强烈。Ce 的弱负异常表明

岩浆中可能有陆壳物质的混入。上述岩类稀土元素特征与区域上大陆裂谷正长岩特征相似(龙井山等, 2016)。

3.4 微量元素地球化学特征及构造环境分析

本区碱性正长岩样品原始地幔标准化微量元素蛛网图分布模式如图 4b。从图中可以看出各岩石样品的谱型显示出一定的差异。总体看相对富集大离子亲石元素(LILE)及高场强元素(HFS), 并且表现为以 Th、Pb 为明显峰值的右倾谱型。从图 4 中可以看出, 各元素自左向右随元素的不相容性的降低, 富集度也逐渐降低; 蛛网图中 Ba、Th、Nb、Pb、Zr 相对富集成峰, Ta、Ce、Sr、Hf 相对亏损成谷, 其中以 Sr 亏损最为强烈。La/Nb 在 0.08 ~ 0.61, 平均 0.34, 微量元素蛛网图中也并不存在 Nb 及绝对的 Ta 谷, 证明为非岛弧环境(赵振华, 1997); Ba/Nb 在 1.89 ~ 16.10, 平均为 8.77。Ta 值在 $10.90 \times 10^{-6} \sim 23.80 \times 10^{-6}$ 之间, 平均 15.98×10^{-6} , $WPB > 0.7$; 赵振华等认为沿深大断裂或裂谷带发育的碱性杂岩(包括碳酸岩), 强烈富集 Nb 和 Ta, 特别是 Nb 的含量可大于 100×10^{-6} (赵振华等, 2008)。竹溪蔓荆沟碱性正长岩的 Nb 含量为 $201 \times 10^{-6} \sim 791 \times 10^{-6}$, 平均为 370.75×10^{-6} , 大于 100×10^{-6} , 这些均能说明本区碱性正长岩形成于板内裂谷环境。

相对于主量元素来说, 微量元素更能准确反映岩浆来源和形成环境。并且微量元素在岩浆与固相源岩之间有较强的分异能力, 可反映火成岩的岩浆演化过程和源区的组成(赵振华, 1997)。用微量元素 Rb/

表 2 蔓荆沟正长岩体(二云含斜正长岩)微量元素
分析结果

Table 2 Results of microelement analysis of the Manjinggou
syenite

样品号	0-J1	0-J2	3-J1	3-J2
La	164.00	58.60	83.90	61.80
Ce	306.00	78.20	130.00	79.80
Pr	33.40	8.22	13.60	8.20
Nd	118.0	26.40	43.50	25.20
Sm	19.50	4.00	6.40	3.23
Eu	4.09	1.31	1.98	1.00
Gd	17.20	4.17	7.12	3.65
Tb	2.43	0.55	1.09	0.41
Dy	12.20	2.82	6.64	1.81
Ho	2.30	0.57	1.31	0.34
Er	6.77	1.76	3.87	1.01
Tm	0.87	0.24	0.50	0.13
Yb	5.69	1.65	3.20	0.83
Lu	0.89	0.25	0.48	0.13
Y	56.40	15.20	37.20	8.20
Pb	9.09	44.40	10.40	7.98
Cr	4.50	189.00	22.80	9.10
Rb	15.20	37.70	142.00	103.00
Cs	1.14	0.80	3.42	2.54
Sr	295	269	352	3090
Ba	506	2830	3590	2380
Sc	2.08	1.24	1.98	0.45
Nb	268	201	223	791
Ta	23.80	10.90	14.60	14.60
Zr	1250	519	364	785
Hf	50.70	9.11	2.71	4.83
Ga	36.40	28.40	39.20	37.10
U	1.28	0.78	9.56	233.00
Th	16.00	15.20	28.60	17.30
Ta/Yb	4.18	6.61	4.56	17.59
Ta/Hf	0.47	1.20	5.39	3.02
Th/Ta	0.67	1.39	1.96	1.18
Zr/Nb	4.66	2.58	1.63	0.99
La/Nb	0.61	0.29	0.38	0.08
Th/Nb	0.06	0.08	0.13	0.02
Ba/Nb	1.89	14.08	16.10	3.01
Hf/Th	3.17	0.60	0.09	0.28
Lu/Ta	0.04	0.02	0.03	0.01
Nb/Ta	11.26	18.44	15.27	54.18
Nb/La	1.63	3.43	2.66	12.80
Zr/Hf	24.65	56.97	134.32	162.53
Nb/U	209.38	257.69	23.33	3.39
Ta/U	18.59	13.97	1.53	0.06
Ce/Pb	33.66	1.76	12.50	10.00
δEu	0.67	0.97	0.89	0.89
δCe	0.96	0.77	0.85	0.75
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	20.67	25.48	18.81	53.41
$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$	5.43	9.46	8.46	12.35
$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$	2.50	2.09	1.84	3.64
$(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}}$	14.94	13.16	11.28	26.71
LREE	644.99	176.73	279.38	179.23
HREE	48.35	12.01	24.21	8.31
ΣREE	693.34	188.74	303.59	187.54
LREE/HREE	13.34	14.72	11.54	21.57

注: 其中标准化值据 Sun and McDonough(1989)。

10-Hf-3Ta(图 5a)和 Nb-Y 图解(图 5b)对其形成构造环境进行判断,所有样品均落入板内区。碱性岩或双峰式岩浆岩代表了与地壳伸展有关的构造环境(桑隆康等,2012)。由上可知,本区碱性正长岩形成于大陆板内构造环境。

前人对秦岭造山带大巴山地区发育的一套基性岩-粗面岩组合做过较详细的研究,指出该岩石组合构成一套典型的双峰式火山岩,这样的岩石组合一般都代表了大陆裂谷环境。本文研究的碱性正长岩,其主量元素全碱含量较高,为碱性岩系列,而研究区内基性辉绿岩也为碱性(湖北省地质调查院,2001)^①,两者的稀土分布谱型相似,与造山带内大陆裂谷双峰式火山岩特征相似,结合微量元素构造环境判别分析及微量元素特征,本区碱性正长岩形成于大陆裂谷环境,而区内基性辉绿岩也为碱性,据此更进一步认为研究区内正长岩形成于裂谷早期演化阶段。

4 讨论

4.1 碱性正长岩成因及岩浆演化特征探讨

大巴山地区的碱性岩的岩浆来源,主要与上地幔的部分熔融及地幔来源的玄武岩浆的分异作用有关,且大部分碱性岩都不同程度同化混染了大陆壳的物质(喻学惠,1992)。蔓荆沟碱性正长岩的 Zr/Nb 在 0.99~4.66,平均 2.46,与原始地幔平均值(14.8)相比较,表明岩浆不是来自亏损地幔和原始地幔,而是来自富集地幔,这与本区基性岩脉形成环境相符。碱性正长岩的 Zr/Hf 值为 24.65~162.53,平均为 93.62,高于原始地幔和球粒陨石值(34~36)(Sun and McDonough,1989),具有超球粒陨石值的特征。另外,碱性正长岩的 Y/Nb 值为 0.01~0.21,平均为 0.12,小于 0.4;原始地幔标准化微量元素蛛网图上(图 7)不相容元素富集、Nb 平坦或微上凸的图谱同样指示其源区来自地幔而非地壳。不相容元素 Ba 的富集和 Rb 的亏损与大陆下地壳特征类似,Ce 的负异常(δCe 平均为 0.83)表明岩浆中可能有陆壳物质的混入。

碱性正长岩的 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 3.61~53.41,平均 24.40,轻稀土和重稀土元素高度分异,表明原始岩浆的地幔源中有石榴子石存在。岩石演化中 Sr 负异常的出现由 2 种原因引起:一种是低压条件下斜长石的分离结晶作用,另一种可能就是交代蚀变作用引起 Sr

① 湖北省地质调查院. 2001. 1:5 万马鞍山幅区域地质调查报告.

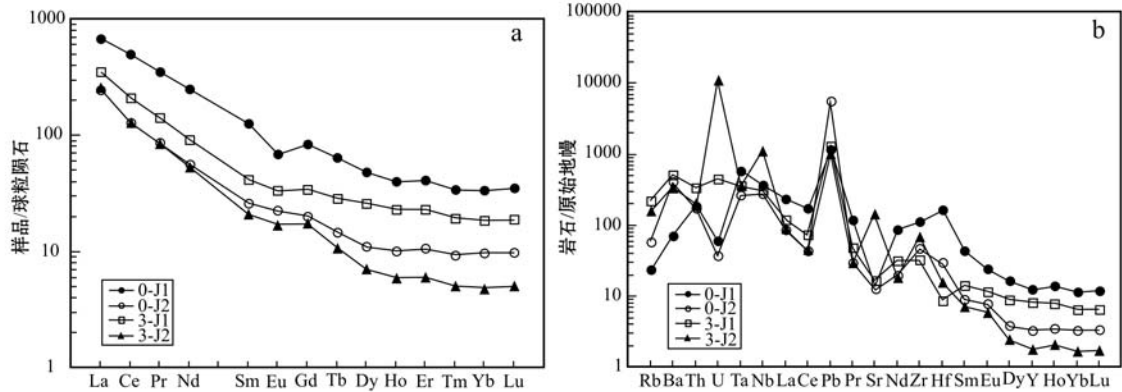


图4 蔓荆沟碱性正长岩稀土元素分布型式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(球粒陨石标准化数据据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 Distribution pattern of REE (a) and normalized spider diagram (b) in Manjinggou syenite (standardized data of chondrites after Sun and McDonough, 1989)

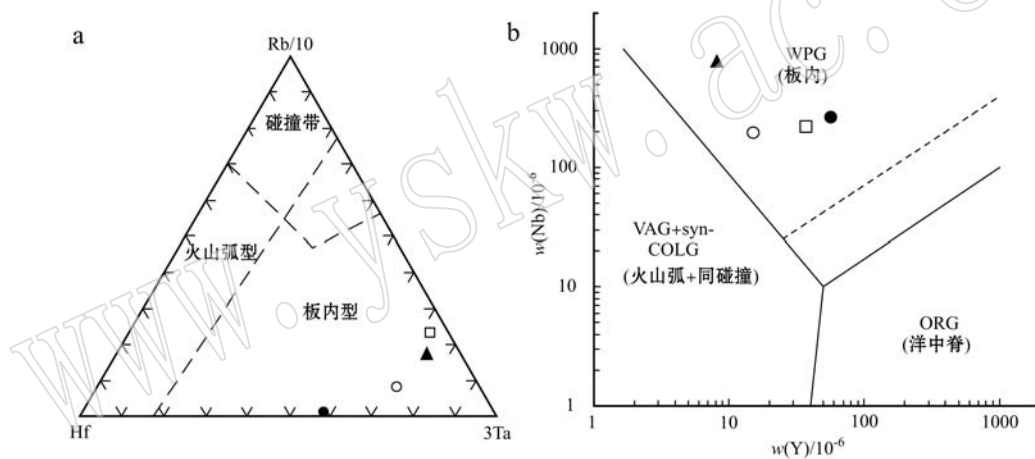


图5 蔓荆沟碱性正长岩 Rb/10 - Hf - 3Ta(a)及 Nb - Y(b)构造环境判别图解(图例同图4)

Fig. 5 Diagram of Rb/10 - Hf - 3Ta (a) and Nb - Y (b) discriminant analysis of formation tectonic environment of the Manjinggou syenite

的迁移(李昌年, 1992)。在微量元素蛛网图上 Th 未见明显的异常, 说明交代作用不强烈, 所以交代蚀变作用并不是造成正长斑岩出现 Sr 负异常的主因。Sr 亏损呈谷, 可能与斜长石的分离结晶作用有关。

4.2 碱性正长岩的形成时代

据区域资料, 北大巴山辉绿岩-粗面岩碱性侵入岩系列的同位素地质年龄值, 辉绿岩为 413.1~413.9 Ma(夏林圻等, 1994), 与研究区临近的紫阳地区正长斑岩 U-Pb 同位素年龄为 (432 ± 5.8) Ma(龙井山等, 2016), 正长岩就位时代稍早于辉绿岩, 结合本区辉绿岩及碱性正长岩产出最新层位为志留纪, 认为研究区碱性正长岩与辉绿岩一样形成时代都为早志留世。

5 结论

(1) 研究区正长岩类型主要为二云含斜正长岩, 岩相学及地球化学研究均表明其为钾质碱性岩系列。

(2) 岩体的 $Mg^{\#}$ 值较低, 明显低于原始岩浆 $Mg^{\#}$ 值, 说明研究区正长岩体为原始岩浆经历较高程度演化的产物; 本区正长岩的稀土分布谱型与区内基性辉绿岩的稀土分布谱型相似, 指示了它们的同源性。正长岩应是由幔源岩浆在发生了以斜长石为主要晶出相的结晶分异作用以后继续结晶演化, 最后形成明显亏损 Sr 的正长岩。

(3) 研究区内碱性正长岩全碱含量较高, 结合微量元素构造环境判别分析及微量元素特征, 说明区内正长岩为大陆裂谷产物, 再根据研究区辉绿岩呈碱性的特征, 推断区内正长岩形成于大陆裂谷早期阶段, 其形成时代为早志留世。

致谢 在论文的撰写过程中, 中国地质调查局武汉地调中心彭三国教授级高级工程师密切关注论文的进展和质量的提高, 给予了作者多方面的指导; 论文审稿专家倾注了大量时间和精力指导论文的修改工作, 在此一并表示衷心的感谢和崇高的敬意!

References

- Huang Yuehua and Yang Jianye. 1990. Petrological study for Bijashan-Tongdongwan alkali-mafic lavas from Northern Daba Mountains. Bulletin of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources[J]. CAGS, 28: 15~24(in Chinese with English abstract).
- Li Changnian. 1992. Petrology of the Trace Elements of Ligneous[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~196(in Chinese with English abstract).
- Long Jingshan, Zhang Guishan, Han Wenhua, *et al.* 2016. Geochemical characteristics of positive porphyry rock wall and zircon SHRIMP U-Pb dating in Ziyang Area of Northern Daba Mountains[J]. Mineral Rock Geochemistry Bulletin, 4: 588~597(in Chinese with English abstract).
- Sang Longkang and Ma Changqian. 2012. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of Oceanic Basalts: Implications for mantle composition and processes[A]. Saunders A D and Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins[M]. The Geological Society of Special Publication, 313~345.
- Wang Cunzhi, Yang Kunguang, Xu Yang, *et al.* 2009. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of basic dike swarms in Northern Daba Mountains and its tectonic significance[J]. Geological Science and Technology Information, 28(3): 19~26(in Chinese with English abstract).
- Wang Gang. 2014. Metallogeny of the Mesozoic and Paleozoic volcanic igneous event in Ziyang-Lango area, Northern Daba Mountains[J]. Dissertation Submitted to China University of Geosciences for Doctoral Degree(in Chinese with English abstract).
- Wang Kunming. 2014. Research on the petrogenesis, tectonic and metallogeny for mafic rocks in the Ziyang-Lango area, Shanxi province [J]. Dissertation submitted to Chinese Academy of Geological Sciences for Doctoral Degree(in Chinese with English abstract).
- Wang Zongqi, Yan Quanren, Yan Zhen, *et al.* 2009. New division of the main tectonic units of the Qinling orogenic belt, Central China [J]. Acta Geologica Sinica, 83(11): 1 527~1 546(in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, *et al.* 1994. North DaBashan Alkalis Mafic-Ultramafic Subvolcanic Complex Rock Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Xiang Zhongjin, Yan Quanren, Yan Zhen, *et al.* 2010a. Facies succession and architecture of volcanoclastic rocks of the Taohekou Formation: implication for Early Silurian volcanism in the North Dabashan Area, China[J]. Acta Geologica Sinica, 84(3): 311~328(in Chinese with English abstract).
- Xiang Zhongjin, Yan Quanren, Yan Zhen, *et al.* 2010b. Magma source and tectonic setting of the porphyritic alkaline basalts in the Silurian Taohekou Formation, North Dabashan Mountain: Constraints from the geochemical features of pyroxene phenocrysts and whole rocks [J]. Acta Petrologica Sinica, 26(4): 1 116~1 132(in Chinese with English abstract).
- Xu Liangyao. 1989. Study on alkaline rocks and related ore deposits of Guanyazi in South Qinling Mountains[J]. Journal of East China Institute of Geology, 12(4): 35~41(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi and Huang Yuehua. 1996. Characteristics of phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths from Langao County, Shanxi Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 15(3): 191~202(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Huang Yuehua, Xia Linqi, *et al.* 1997. Phlogopite-amphibole-pyroxenite xenoliths in Langao, Shanxi Province: Evidence for mantle metasomatism[J]. Acta Petrologica Sinica, 13(1): 1~21, 31(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Xia Linqi, Xia Zuchun, *et al.* 2001. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Early Paleozoic alkali lamprophyre complex from Langao County[J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(1): 55~106(in Chinese with English abstract).
- Yang Weiran. 1989. Fault orogenic belt[J]. Earth Science, (1): 13~22(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongtang, Yang Xing and Liu Shaofeng. 1997. Study on the diagenetic tectonic background of early- Paleozoic igneous rocks and probing for diamond-bearing possibility in the alkaline (potassic) [J]. Northwest Geoscience, 18(1): 67~71(in Chinese with English abstract).
- Yu Xuehui. 1992. Relationship between tectonic evolution of alkaline rock and orogenic belt in Qinba area and its characteristics[J]. Chi-

- nese Journal of Geology, 6(3): 233~240(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli, Gao Shan, Yuan Honglin, *et al.* 2007. The property of the early Paleozoic mantle in South Qinling: Evidence from the Sr-Nd-Pb isotopic character of the mafic-ultramafic dikes and volcanic rocks[J]. Science in China(Series D), 37(7): 857~865(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli, Gao Shan, Zhang Guowei, *et al.* 2002. Geochemistry of the Early Paleozoic alkali dikes in South Qinling, and geological implication[J]. Science in China(Series D), 32(10): 819~829(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yingli, Wang Zongqi, Wang Gang, *et al.* 2016. Detrital zircon geochronology of the Late Paleozoic Taohekou Formation and its constraints on the Paleozoic magmatic events in North Daba Mountains[J]. Acta Geologica Sinica, 90(4): 728~738(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua. 1997. Trace Element Geochemical Principles[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Wang Qiang, *et al.* 2008. Some geochemical problems of niobium and tantalum[J]. Geochemistry, 37(4): 304~320(in Chinese with English abstract).
- Zou Xianwu, Duan Qifa, Tang Chaoyang, *et al.* 2011. SHRIMP zircon U-Pb dating and litho-geochemical characteristics of diabase from Zhenping area in North Daba Mountain[J]. Geology in China, 38(2): 282~291(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 黄月华, 杨建业. 1990. 北大巴山笔架山-铜洞湾碱性镁铁质熔岩的岩石学研究[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 28: 15~24.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~196.
- 龙井山, 张贵山, 韩文华, 等. 2016. 北大巴山紫阳地区正长斑岩岩墙地球化学特征与锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 矿物岩石地球化学通报, 4: 588~597.
- 桑隆康, 马昌前. 2012. 岩石学[M]. 北京: 地质出版社.
- 王存智, 杨坤光, 徐扬, 等. 2009. 北大巴基性岩墙群地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其大地构造意义[J]. 地质科技情报, 28(3): 19~26.
- 王刚. 2014. 北大巴山紫阳-岚皋地区古生代火山岩浆时与中生代成矿作用[J]. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 王坤明. 2014. 陕西紫阳-岚皋地区镁铁质岩岩石成因、构造环境及成矿作用研究[J]. 中国地质科学院博士学位论文.
- 王宗起, 闫全人, 闫臻, 等. 2009. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. 地质学报, 83(11): 1527~1546.
- 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 等. 1994. 北大巴山碱质基性-超基性潜火山杂岩岩石地球化学[M]. 北京: 地质出版社.
- 向忠金, 闫全人, 闫臻, 等. 2010a. 北大巴山志留系滔河口组火山碎屑岩相序、组构特征及古火山作用和构造环境分析[J]. 地质学报, 84(3): 311~328.
- 向忠金, 闫全人, 闫臻, 等. 2010b. 北大巴山志留系滔河口组碱质斑状玄武岩的岩浆源区及形成环境: 来自全岩和辉石斑晶地球化学的约束[J]. 岩石学报, 26(4): 1116~1132.
- 徐良耀. 1989. 南秦岭关垭子碱性岩及其有关矿床的研究[J]. 华东地质学院学报, 12(4): 35~41.
- 徐学义, 黄月华. 1996. 岚皋金云角闪辉石岩类捕虏体特征[J]. 岩石矿物学杂志, 15(3): 191~202.
- 徐学义, 黄月华, 夏林圻, 等. 1997. 岚皋金云角闪辉石岩类捕虏体特征: 地幔交代作用的证据[J]. 岩石学报, 13(1): 1~21, 31.
- 徐学义, 夏林圻, 夏祖春, 等. 2001. 岚皋早古生代碱质煌斑岩地球化学特征及成因探讨[J]. 地球学报, 22(1): 55~106.
- 杨巍然. 1989. 断裂造山带[J]. 地球科学, (1): 13~22.
- 杨钟堂, 杨星, 刘少峰. 1997. 陕西岚皋-镇坪一带早古生代火山杂岩成岩构造环境及碱(钾)质煌斑岩含矿性探讨[J]. 西北地质科学, 18(1): 67~71.
- 喻学惠. 1992. 秦巴地区碱性岩与造山带构造演化关系及其特征[J]. 中国区域地质, 6(3): 233~240.
- 张成立, 高山, 袁洪林, 等. 2007. 南秦岭早古生代地幔性质: 来自超镁铁质、镁铁质岩脉及火山岩的 Sr-Nd-Pb 同位素证据[J]. 中国科学(D辑), 37(7): 857~865.
- 张成立, 高山, 张国伟, 等. 2002. 南秦岭早古生代碱性岩脉群的地球化学及其地质意义[J]. 中国科学(D辑), 32(10): 819~829.
- 张英利, 王宗起, 王刚, 等. 2016. 北大巴山地区晚古生代滔河口组碎屑锆石年代学研究及对古生代岩浆事件的限定[J]. 地质学报, 90(4): 728~738.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社.
- 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 2008. 铌与钽的某些地球化学问题[J]. 地球化学, 37(4): 304~320.
- 邹先武, 段其发, 汤朝阳, 等. 2011. 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学特征[J]. 中国地质, 38(2): 282~291.