# 南秦岭旬阳盆地东部晚泥盆世岩浆成因 钠长岩及其构造意义

罗金海1),周亚军2),徐欢1),尤佳1),李亦飞1),车自成1)

- 1) 大陆动力学国家重点实验室(西北大学),西北大学地质学系,西安,710069;
  - 2) 白河县大湾银矿有限责任公司,陕西白河,725899

内容提要:南秦岭旬阳盆地的钠长岩此前被认为是热水沉积或热液交代作用的产物。本文对南秦岭旬阳盆地东端黄石板地区侵入于下志留统梅子亚组浅变质岩中的钠长岩体进行了地球化学和锆石 U-Pb LA-ICP-MS 年代学研究,结果表明钠长岩具有富钠贫钾、铝不饱和、亏损大离子亲石元素 K 和 Rb、高场强元素(Nb、Ta、Th、Hf)显著富集的地球化学特点,主体属于钙碱性系列岩石,反映幔源成因的特征。钠长岩中获得最年轻的锆石 U-Pb 年龄为 364~376 Ma,该年龄代表岩体的形成年龄,反映晚泥盆世时南秦岭旬阳盆地处于强烈的伸展构造环境。此项研究结果表明,在旬阳盆地的志留系中,岩浆成因与热水沉积成因的钠长岩可能是共存的。黄石板岩浆成因钠长岩岩体中含有大量前寒武纪和早古生代的捕获锆石,在捕获锆石中测得迄今为止在研究区及其邻区获得的最古老的锆石 U-Pb 年龄(3291 Ma)。这些捕获锆石的测年数据说明,研究区所在的南秦岭地区可能从古太古代开始就与扬子地块具有明显的亲缘性。

关键词:南秦岭;旬阳盆地;晚泥盆世;钠长岩;伸展作用

在南秦岭造山带的凤县-太白盆地与旬阳盆地, 在下志留统与中一上泥盆统千枚岩和灰岩地层中广 泛分布钠长岩,目前地学界对这些钠长岩的成因机 制有四种意见。主流观点认为钠长岩属于热水成因 (Zhu Zhentao, 1985; Qi Sijing and Li Ying, 1993, 1999; Xue Chunji and Qi Sijing, 1995; Jia Runxing et al., 1999, 2004; Liang Huaying et al., 2000; Fang Weixuan et al., 2000; Zhang Zuoheng et al., 2004; Wei Dong et al., 2006), 主要依据是钠长岩顺层产 出,通常具有明显的沉积韵律及条带状构造,并且钠 长岩的元素地球化学特征显示出热水沉积岩的特征 (Liu Shuwen et al., 2005, 2008). Li Qian et al. (2011)认为南秦岭钠长岩兼具正常沉积岩和热水沉 积岩的特点,是一种混合型热水沉积岩。第二种观 点认为钠长质岩石为后期热液交代成因(Wang Zhaoxiang, 1987; Shi Zhunli et al., 1989; Jin Xixiang, 1991; Fan Shuocheng, 1994; Wang Guofu et al., 2002; Hu Xishun, 2009), 其依据是钠长岩与 围岩接触带有钠化退色现象,钠长质岩石并非完全 顺层产出,有时切穿不同层位的地层。第三种观点 认为钠长岩形成于喷气热液作用(Ma Guoliang, 1993),其主要依据是发育钠长质角砾岩。第四种观 点认为太白县双王金矿中一上泥盆统内部的钠长岩 为岩浆成因(Wang Huan, 2012), 其依据主要是钠 长岩的脉状产出特征,但是这种观点似乎难以令人 信服。Li Yong et al. (1999)在商丹缝合带南侧的 丹凤县竹林关镇-商南县青山乡-带揭示了-系列 规模不等的钠长岩体,钠长岩体侵入于震旦系浅变 质沉积岩之中,其形成时代为 364.9±10.9 Ma(全 岩 Rb-Sr 法)。在旬阳-白河盆地大面积分布的下志 留统梅子垭组(S<sub>1</sub>m)浅变质岩地层中断续分布着一 条长达 10 余千米、厚度数十厘米至 80 m 不等的钠 长岩带,这套钠长岩被认为是典型的热水沉积岩 (Liu Shuwen et al., 2005, 2008; Wei Dong et al., 2006)。迄今为止,在旬阳盆地中还没有发现钠长岩 与岩浆作用相关的直接证据。本文对旬阳盆地东端 白河县黄石板铅锌矿区出露的一套钠长岩进行了详 细的野外地质考察,并对其进行地球化学和地质年 代学研究,在此基础上论证了该钠长岩是晚泥盆世 岩浆侵入活动的产物。该项研究结果不仅提出了旬

注:本文为陕西省自然科学基金项目(编号 2014JM5206)资助成果。

收稿日期:2015-07-07;改回日期:2015-09-30;责任编辑:周健。

阳盆地钠长岩的岩浆成因机制,而且还在该盆地中首次揭示出了晚泥盆世岩浆岩。

# 1 钠长岩的地质背景及岩石学特征

本文的钠长岩样品采自旬阳盆地东端白河县黄石板铅锌矿区的公路边,采样点位坐标 32°45′39.9″N、109°59′28.8″E(图 1)。在图 1 中,黄石板西南侧沿着断裂带分布的两个规模较大的钠长岩体已经被证实明显控制着铅锌矿体的空间分布,但是这两个钠长岩体主要是在矿硐中被揭示的,在地表并无明显出露。1:20万安康幅地质图 将此两个钠长岩体标注为长英斑岩脉。本文研究的钠长岩体在地表呈孤立点状分布,露头大小约 4 m×5 m。钠长岩体主体呈块状,边部有微弱片理化,片理化带中的石英脉清晰地指示出岩体的边界形态,钠长岩呈现侵入体的形态特征。岩体的围岩是下志留统梅子垭组(S<sub>1</sub>m)绢云石英千枚岩,千枚理产状 200° ∠23°,岩体明显截切围岩的千枚理(图 2A、B)。钠长岩主体呈灰白色,均粒微晶-细晶结构,块状构造。镜下观

察表明,钠长岩主要由钠长石、方解石和少量石英、铁白云石、黑云母等矿物组成。钠长石微晶自形一半自形,无磨圆,粒度 0.01~0.05 mm(图 2C、D),少量钠长石具有钠长石律和卡-钠复合律双晶。钠长石含量约 70%~75%。方解石和铁白云石晶体呈他形且包裹钠长石晶体(图 2C、D),反映碳酸盐岩矿物应该是后期蚀变作用的产物。

# 2 分析方法及结果

## 2.1 分析方法

钠长岩的主量和微量元素分析在西北大学大陆 动力学国家重点实验室完成。主量元素分析在日本 理学 RIX2100 X 荧光光谱仪(XRF)上测定,元素分 析误差小于 5%。微量和稀土元素分析在美国 Perkin Elmer 公司 Elan 6100DRC 型电感耦合等离 子质谱仪(ICP-MS)上进行,分析精度误差一般小于5%。

用于年龄测试的钠长岩样品在河北省廊坊市区 域地质调查院进行锆石挑选工作。对分选出来的锆

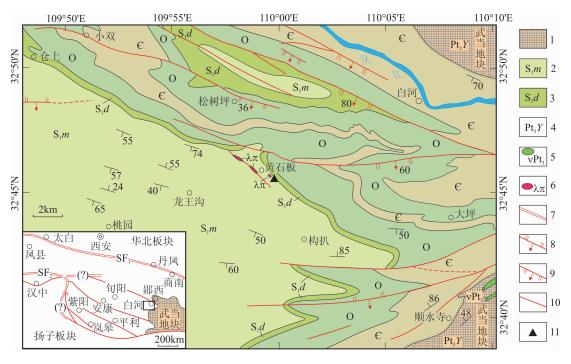


图 1 南秦岭旬阳盆地东部及邻区地质简图(据 1:20 万安康幅<sup>1</sup>、郧县幅<sup>1</sup>、邓县幅<sup>1</sup>和竹山幅<sup>1</sup>地质图等资料编绘)
Fig. 1 Simplified geological map of the eastern part of Xunyang basin and its adjacent areas in the South Qinling orogen

(Compiled from 1:200000 geological maps of Ankang<sup>1</sup>, Yunxiang<sup>1</sup>, Pingli<sup>1</sup> and Zhushan<sup>1</sup>)

1一地块;2一下志留统梅子垭组;3一下志留统大贵坪组;4一新元古界耀岭河群;5一新元古代辉绿岩脉;6一钠长岩;7一板块缝合带; 8一逆断层;9一正断层;10一性质不明断层;11一采样位置;SF<sub>1</sub>一商丹缝合带,SF<sub>2</sub>一勉略缝合带

1—Block; 2—Meiziya Formation of Lower Silurian; 3—Daguiping Formation of Lower Silurian; 4—Yaolinghe Group of Neo-proterozoic; 5— Neo-proterozoic diabase; 6—albitite; 7—suture; 8—reversed fault; 9—normal fault; 10—unkown fault;

11—sample position; SF<sub>1</sub>—Shangdan suture; SF<sub>2</sub>—Mianlue suture

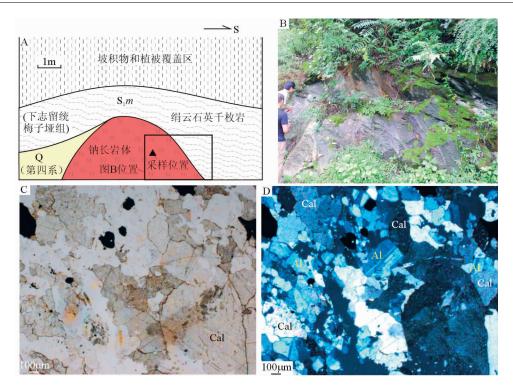


图 2 黄石板铅锌矿区钠长岩露头区路线地质剖面图(A)、露头照片(B)和显微照片(C、D)

Fig. 2 Geological section (A), outcrop photo (B) and micrograph (C, D) of albitite in the Huanshiban lead-zinc ore field Al—钠长石;Cal—方解石;C—单偏光;D—正交偏光

Al—Albitite; Cal—calcite; C—plane-polarized light; D—cross-polarized light

石在双目镜下挑出无色透明无裂痕的颗粒,用环氧树脂固定并抛光至锆石颗粒一半出露,然后进行阴极发光(CL)内部结构及 LA-ICP-MS 原位微量元素和同位素分析测试。锆石的 CL 照相和 U-Pb 定年及微量元素测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。

CL 发光仪为加载于扫描电镜上的英国 Gatan 公司的 Mono CL3+型阴极荧光探头。锆石的 U-Pb 同位素组成利用西北大学大陆动力学国家重点实验室的四极杆 ICP-MS Elan6100DRC 进行测定。激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200M,分析采用激光束斑直径为 30 μm,激光脉冲为 10 Hz,能量为 32~36 mJ。在进行年龄数据分析时,对于<1000 Ma 的测点,采用<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 年龄值;对于>1000 Ma 的测点,则采用<sup>207</sup> Pb/<sup>206</sup> Pb 年龄值。同时,结合<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 来计算碎屑锆石各测点数据的谐和性,剔除<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 年龄相对于<sup>207</sup> Pb/<sup>206</sup> Pb 年龄偏差大于土10%的测点数据。

#### 2.2 分析结果

#### 2.2.1 主量和微量元素地球化学分析结果

钠长岩的主量与微量元素测试结果见表 1。由表 1 可以看出,样品的烧失量(LOI)偏大(在 2.66%

~14. 32%之间,平均 10.63%),反映岩石经历过比较强烈的蚀变作用。本文在采用主量元素分析数据进行计算或投点时均经过了烧失量校正。样品的  $SiO_2$ 含量经烧失量校正后为 55.51%~66.89%(平均 63.00%),主体属于中性岩类。全碱含量(ALK= $K_2O+Na_2O$ )为 6.45%~10.92%(平均7.83%),且  $Na_2O>>K_2O$ ,岩石显著富钠贫钾。在侵入岩TAS 图解中,样品主体落入二长岩与闪长岩、石英二长岩与花岗闪长岩之间的过渡区域(图 3),本文根据其岩相学特征将其命名为钠长岩。铝饱和指数(A/CNK)为 0.30~0.90(平均 0.49),显示铝不饱和。样品的里特曼指数( $\delta$ )为 2.05~5.61(平均 3.24),平均值小于 3.3,说明钠长岩主体属于钙碱性系列岩石。

钠长岩的稀土总量为 30.  $81 \times 10^{-6} \sim 79.37 \times 10^{-6}$  (平均 56.  $42 \times 10^{-6}$ ),总体来看轻稀土比重稀土略有富集((La/Yb)<sub>N</sub>=0.64~1.95,平均 1.40),在稀土元素球粒陨石标准化稀土元素配分图上各样品的配分曲线总体与 E-MORB 类似,但是 Eu 异常明显高于 E-MORB(图 4a)。样品的负 Eu 异常明显(δEu=0.55~0.64),反映在岩浆源区有斜长石残留。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 4b)上,

表 1 旬阳盆地东端黄石板钠长岩主量元素(%)和微量元素(×10<sup>-6</sup>)分析数据表

Table 1 Major element ( $\frac{9}{6}$ ) and trace element ( $\times 10^{-6}$ ) compositions of albitite in Huangshiban area

	Table 1	Major Cicine	iii (/u/ aiid	i ti acc ciciii	) compositions of arbitrite in Huangsimban area								
样品	14BH03	14BH04	14BH05	14BH06	14BH07	14BH08	14BH09	14BH10	14BH11	14BH12			
SiO <sub>2</sub>	47.66	54.37	61.83	60.92	58.83	58.45	55.41	62.50	50.63	52.02			
${ m TiO_2}$	0.50	0.54	0.67	0.68	0.69	0.69	0.59	1.12	0.53	0.61			
$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	12.16	9.59	12.99	13.63	11.44	11.37	10.25	18.24	9.65	10.90			
$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3^\mathrm{T}$	2.76	1.45	1.17	1.08	1.10	1.06	1.22	1.34	1.48	2.13			
MnO	0.08	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03	0.08			
MgO	5.85	4.30	3.05	3.02	3. 13	3. 21	3.80	1.71	4.50	5.32			
CaO	9.56	10.38	4.85	4.81	7.84	8.02	9.79	1.66	12.39	8.64			
$Na_2O$	6.99	5.46	7.56	8.00	6.42	6.54	5.92	10.19	5.55	6.01			
$K_2O$	0.17	0.11	0.12	0.11	0.12	0.08	0.11	0.43	0.06	0.31			
$P_2O_5$	0.13	0.13	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.06	0.14	0.17			
烧失量	14.32	13.31	7.38	7.41	9.89	10.12	12.49	2.66	15.25	13.44			
总量	100.18	99.67	99.81	99.85	99.64	99.73	99.77	99.92	100.21	99.63			
δ	5.56	2.08	2.89	3. 36	2.35	2.46	2.33	5.61	2.63	3.10			
A/CNK	0.42	0.34	0.61	0.62	0.46	0.45	0.37	0.90	0.30	0.42			
Mg♯	83.2	87.4	85.9	86.7	86.9	87.6	87.9	74.8	87.6	85.3			
Rb	3. 27	1.37	4.00	3.43	2.16	1.18	2.07	15.9	1.16	7.63			
Ga	11.3	10.7	13. 2	14.4	13.4	12.8	11.9	21.3	10.9	11.3			
Sr	228	272	145	146	237	235	264	82.7	331	203			
Y	40.8	36.5	21.3	21.9	33.6	29.4	40.4	18.3	40.5	32.6			
Zr	139	152	200	208	115	201	166	229	183	185			
Nb	11.9	10.4	14.6	14.5	10.6	13.3	11.5	23.4	10.6	13.2			
Cs	0.097	0.060	0.390	0.290	0.120	0.054	0.059	2.140	0.048	0.200			
Ba	11.6	6. 26	3.41	3. 28	9.30	4.70	9.52	14.0	4.37	29.2			
Hf	3.55	3.94	5.14	5.30	3. 17	5. 16	4.23	6.21	4.59	4.83			
Ta	0.80	0.80	1.04	1.07	0.86	1.01	0.85	1.69	0.77	0.92			
Pb	1.71	2.90	1.73	1.67	3.31	2.88	2.85	1.44	3.43	1.58			
Th	4.47	14.2	17.6	17.4	21.9	14.2	13.0	11.2	12.0	7.18			
U	2.35	3.09	4.66	4.39	4.72	3.91	3.20	6.33	2.93	2.11			
La	4.00	9.18	5.40	4.55	8.79	6.65	6.65	3.38	9.24	4. 28			
Се	11.6	23.5	12.9	11.3	21.9	17.1	17.6	8.47	23.9	12.5			
Pr	1.74	3. 25	1.71	1.54	2.97	2.37	2.51	1.18	3.32	1.89			
Nd	8. 25	14.4	7.43	6.85	13.1	10.7	11.5	5.29	14.9	8.92			
Sm	2.89	4.30	2.19	2. 15	3.88	3. 32	3.72	1.45	4.52	3. 17			
Eu	0.68	0.97	0.50	0.49	0.89	0.76	0.87	0.29	1.01	0.72			
Gd	3.82	4.97	2.63	2.67	4.56	3.97	4.66	1.75	5.24	4.02			
Tb	0.81	0.94	0.50	0.52	0.86	0.74	0.92	0.35	0.98	0.80			
Dy	5.92	6. 23	3.39	3.49	5.75	4.85	6.33	2.63	6.54	5.35			
Но	1.38	1. 27	0.74	0.77	1.20	1.01	1.37	0.63	1.37	1.14			
Er	4.31	3.64	2.24	2. 32	3.44	2.87	4.04	2.13	3.91	3.31			
Tm	0.65	0.51	0.33	0.35	0.49	0.42	0.58	0.35	0.55	0.47			
Yb	4.19	3. 16	2.24	2.36	3. 07	2. 65	3.77	2.52	3.45	3.06			
Lu	0.56	0.41	0.33	0.34	0.40	0.37	0.49	0.39	0.45	0.42			
ΣREE	50.78	76. 79	42.57	39.68	71. 33	57.76	65.08	30.81	79.37	50.00			
(La/Yb) <sub>N</sub>	0.64	1.96	1.63	1.30	1.93	1.69	1.19	0.91	1.81	0.94			
δEu	0.63	0.64	0.64	0.62	0.64	0.64	0.64	0.55	0.64	0.62			
- 524						1							

注:主量元素由西北大学大陆动力学国家重点实验室采用 XRF 法分析。微量元素由西北大学大陆动力学国家重点实验室采用 ICP-MS 法分析。

大离子亲石元素 K 和 Rb 主体亏损,Sr、Ba、Cs 主体富集;高场强元素 Nb、Ta、Th、Hf 显著富集,反映幔源特点;Zr 富集与 Ti 主体亏损却反映壳源的特点。总体来看,钠长岩以幔源为主,但受到一定程度的地壳物质混染。

#### 2.2.2 锆石 U-Pb LA-ICP-MS 年代学分析结果

在钠长岩样品 14BH01 中挑出了超过 1000 粒 锆石。锆石大小差别明显,粒径  $120\sim40~\mu m$ 。一些 锆石呈浑圆状,边部具有明显的磨圆现象(如图 5 中 第 49、52、54、55、59 测点所在锆石),显示碎屑锆石

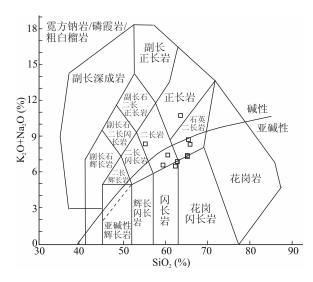


图 3 旬阳盆地东部黄石板钠长岩 TAS 分类图解 (底图据 Middlemost, 1994)

Fig. 3 TAS diagram for albitites in the Huanshiban areas
(after Middlemost, 1994)

的特征。一些锆石呈长柱状自形,棱角分明(如图 5 中第 40、44、53 和 60 测点所在锆石),表明这些锆石未经过明显的剥蚀作用改造。许多锆石有核,少量锆石则发育明显的生长边(如图 5 中第 1 和 21 测点所在锆石),反映这些锆石应该具有复杂的演化史。绝大多数锆石 CL 图像显示清晰的环带结构;除第 34 测点的 Th/U 值为 0.1 之外,其它所有测点的 Th/U 值均大于 0.1,反映岩浆锆石特征。

对 60 粒锆石进行了 60 个测点的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定,剔除明显不谐和的测点之后,得到 43 个有效测点,各测点数据列于表 2。有效测点均

位于 $^{207}$  Pb/ $^{235}$  U- $^{206}$  Pb/ $^{238}$  U 谐和图的谐和线上,或在其附近分布(图 6),表明锆石的放射成因 Pb 无明显丢失,测年数据具有较高可信度。锆石的年龄介于  $364\sim3291$  Ma 之间, $450\sim950$  Ma 呈现一个明显占优势的年龄峰,约占总测点数的 80% 左右。此外,还有  $1000\sim1250$  Ma、1700 Ma、2100 Ma、 $2500\sim2700$  Ma 和 3200 Ma 等 5 个次级年龄峰。

# 3 讨论

#### 3.1 钠长岩的成因机制与形成时代

本文研究的钠长岩应该是岩浆成因,主要理 由有两条:①本文研究的钠长岩在露头上具有侵 入岩的地质产状特征(块状、截切围岩的千枚理) (图 2A、B);②钠长岩中测得的最年轻锆石年龄显 著小于围岩的地层时代。钠长岩的围岩是下志留 统梅子垭组(S<sub>1</sub>m),但是第 1、14、41、48、53 和 56 测点的年龄值为 364~400 Ma, 明显晚于早志留 世,甚至晚于志留纪,这是热水沉积岩难以解释 的。根据1:20万安康幅地质图●,在梅子垭组的 变余粉砂岩夹层中已发现大量的笔石和腕足类化 石,梅子垭组地层的时代也是相对比较确定的,梅 子垭组穿时到晚泥盆世的可能性不大。而且上述 测点所在锆石,特别是第53测点和第56测点所 在锆石的自形程度高,环带清晰,反映它们不可能 是热液成因锆石;第1测点所在锆石还发育明显 的生长边,反映这些锆石未经历明显的剥蚀作用 改造,从另一侧面暗示这些锆石应该就是在钠长 岩岩浆中结晶的锆石。

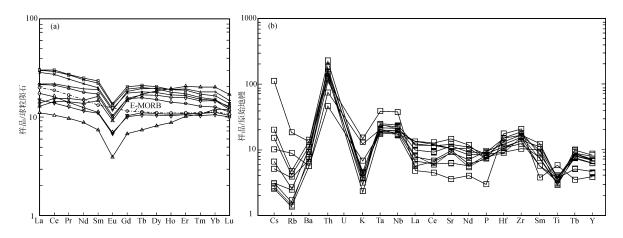


图 4 旬阳盆地东部黄石板钠长岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (球粒陨石数据据 Boynton,1984;原始地幔数据据 Sun and McDonough,1989)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE-patterns diageam (a) and primitive-mantle normalized spider diagram (b) for albitites in the Huanshiban areas (Chondrite data from Boynton, 1984; Primitive mantle data from Sun and McDonough, 1989)

#### 表 2 旬阳盆地东部钠长岩中锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 2 LA-ICP-MS U-Th-Pb isotopic data of zircon from albitites in the eastern part of the Xunyang basin

					同位素比值 年龄(Ma)											
测点	Pb* (×10 <sup>-6</sup> )	$^{232}$ Th $(\times 10^{-6})$	$(\times 10^{-6})$	Th/U						207 Pb/206 Pb 207 Pb/235 U			<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U			
					比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
1	30.02	216.57	393.42	0.55	0.0688	0.0024	0.6130	0.0182	0.0646	0.0008	652	103	439	16	400	5
4	121.92	128.85	403.16	0.32	0.1054	0.0024	3.8170	0.0537	0.2626	0.0028	1676	39	1573	14	1498	14
8	282.44	312.55	745.16	0.42	0.1324	0.0028		0.0616	0.3081	0.0031	2073	32	1887	12	1722	15
9	149.91	352.31	897.18	0.39	0.0728	0.0016	1.4679	0.0187	0.1462	0.0015	1008	12	917	8	880	8
10	64.99	237.33	451.72	0.53	0.0700	0.0017	1.1362	0.0178	0.1177	0.0012	927	16	771	8	717	7
12	64.23	154.96	443.56	0.35	0.0785	0.0019	1.4060	0.0221	0.1300	0.0014	1062	49	860	12	784	8
13	38.85	148.14	228.94	0.65	0.0734	0.0020	1.4810	0.0298	0.1462	0.0016	1026	23	923	12	880	9
14	26.77	274.67	351.65	0.78	0.0600	0.0017	0.4840	0.0104	0.0585	0.0006	605	28	401	7	366	4
15	91.34	404.59	700.78	0.58	0.0658	0.0016	0.9733	0.0145	0.1072	0.0011	742	60	675	13	655	7
17	73.51	90.26	765.58	0.12	0.0661	0.0016	0.7878	0.0119	0.0865	0.0009	808	16	590	7	535	5
19	75.09	296.63	804.52	0.37	0.0755	0.0019	0.8165	0.0140	0.0784	0.0008	549	73	489	12	476	5
20	14.45	124.06	132.62	0.94	0.0701	0.0023	0.8021	0.0217	0.0830	0.0010	932	36	598	12	514	6
21	102.63	479.31	802.1	0.60	0.0693	0.0016	0.9926	0.0148	0.1039	0.0011	754	63	661	13	633	7
25	54.51	420.41	650.08	0.65	0.0619	0.0016	0.5699	0.0110	0.0667	0.0007	672	23	458	7	416	4
26	182.19	177.15	1275. 25	0.14	0.0725	0.0016	1.2863	0.0175	0.1288	0.0013	942	39	822	9	779	7
27	26.16	93.32	174.68	0.53	0.0658	0.0019	1.1786	0.0260	0.1298	0.0015	801	27	791	12	787	8
28	98.42	351.3	584.75	0.60	0.0736	0.0017	1.4222	0.0197	0.1402	0.0014	1029	13	898	8	846	8
29	23.16	79.12	162.55	0.49	0.0688	0.0023	1.1499	0.0313	0.1211	0.0015	894	36	777	15	737	9
30	57.37	161.75	380.54	0.43	0.0820	0.0021	1.4591	0.0252	0.1291	0.0014	1040	58	847	15	775	8
32	170.81	263.64	891.17	0.30	0.0765	0.0017	1.8109	0.0230	0.1717	0.0017	1107	12	1049	8	1022	10
34	88. 27	71.86	749.65	0.10	0.0680	0.0016	0.9998	0.0147	0.1067	0.0011	776	41	680	8	651	6
35	102.10	163.77	723.26	0.23	0.0779	0.0018	1.4197	0.0207	0.1322	0.0014	1144	14	897	9	800	8
36	59.78	190.35	668.63	0.28	0.0702	0.0019	0.7259	0.0143	0.0750	0.0008	878	57	542	10	465	5
39	29.85	230.68	176.00	1.31	0.0712	0.0024	1.1237	0.0306	0.1145	0.0014	707	135	695	30	692	9
40	195.72	199.08	372.27	0.53	0.1702	0.0037	9.3208	0.1120	0.3973	0.0042	2559	9	2370	11	2156	19
41	22.80	207.32	281.00	0.74	0.0624	0.0022	0.5457	0.0163	0.0634	0.0008	687	43	442	11	397	5
42	189.21	224.99	724.45	0.31	0.0891	0.0019	2.7832	0.0336	0.2265	0.0023	1407	10	1351	9	1316	12
43	111.24	323.27	557.66	0.58	0.1082	0.0026	2.2111	0.0338	0.1482	0.0016	1135	72	939	20	857	9
44	164.07	485.03	1196.39	0.41	0.0659	0.0015	1.0774	0.0147	0.1186	0.0012	802	14	742	7	723	7
45	10.52	60.65	193.92	0.31	0.1083	0.0063	4.1020	0.2284	0.2746	0.0070	1772	64	1655	45	1564	36
46	43.29	207.61	358.35	0.58	0.0661	0.0018	0.9303	0.0185	0.1021	0.0011	809	24	668	10	627	7
47	28.35	165.37	149.43	1.11	0.0752	0.0021	1.4156	0.0308	0.1366	0.0016	1073	25	895	13	825	9
48	60.06	795.82	724.12	1.10	0.0624	0.0019	0.4991	0.0120	0.0581	0.0007	686	32	411	8	364	4
49	79.22	71.24	252.15	0.28	0.1681	0.0041	10.0348	0.1656	0.4329	0.0054	2539	13	2438	15	2319	24
50	202.69	58.45	237.33	0.25	0.2674	0.0057	24. 1287	0.2733	0.6544	0.0069	3291	8	3274	11	3246	27
52	32.93	145.52	250.8	0.58	0.0710	0.0025	1.0902	0.0326	0.1113	0.0015	707	106	682	23	674	9
53	65.29	861.7	828.3	1.04	0.0595	0.0018	0.4924	0.0113	0.0601	0.0007	584	30	407	8	376	4
54	99.40	253.01	461.41	0.55	0.0838	0.0021	2.1905	0.0395	0.1896	0.0021	1288	18	1178	13	1119	12
55	19.82	84.64	169.38	0.50	0.0813	0.0036	1.1146	0.0440	0.0994	0.0016	647	151	607	30	596	9
56	29.19	387.13	312.36	1.24	0.0685	0.0020	0.6053	0.0141	0.0641	0.0007	517	127	413	19	395	5
57	102.35	105.23	296.61	0.35	0.1794	0.0043	10.3054	0.1640	0.4167	0.0051	2647	12	2463	15	2245	23
59	112.94	129.1	186.8	0.69	0.1729	0.0038	10.8178	0.1390	0.4538	0.0050	2517	37	2459	17	2391	23
60	16.24	68.56	205.38	0.33	0.0664	0.0022	0.6169	0.0168	0.0674	0.0008	703	80	466	13	419	5

注:表中 Pb\* 代表放射性成因铅。

本文在第 14、48 和 53 测点分别获得了比较年轻的年龄值 366 Ma、364 Ma 和 376 Ma,这些年龄值比较接近,数据的谐和度高,第 53 测点所在锆石粒度大而且自形程度高,据此本文认为,这些年龄值

应该代表了该钠长岩体的形成时代。因此,该钠长岩体形成于 364~376 Ma(晚泥盆世)。本文获得的这些钠长岩体形成年龄与 Li Yong et al. (1999)对南秦岭商丹缝合带南侧丹凤一商南一带丹江钠长岩

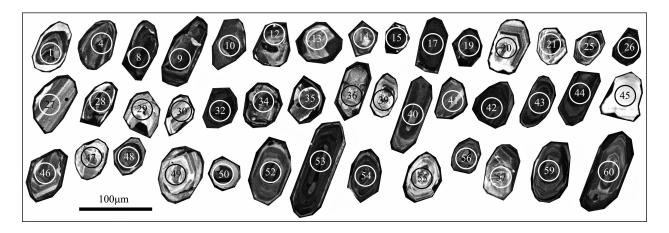


图 5 旬阳盆地东部黄石板钠长岩中锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 5 CL images of zircons from the albitites in the Huanshiban area 圆圈表示测点位置,圆圈中的数字表示测点号

The circles represent the positions of the dating dots, and the numbers in the circles represent the serial numbers of the dating dots

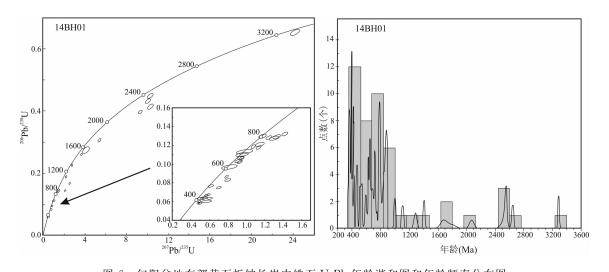


图 6 旬阳盆地东部黄石板钠长岩中锆石 U-Pb 年龄谐和图和年龄频率分布图 Fig. 6 LA-ICP-MS U-Pb zircon concordia diagram and probability density diagram of ages from albitite in the eastern part of the Xunyang basin 图中小于 1000 Ma 的年龄采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄,大于 1000 Ma 的年龄采用<sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb年龄

<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages are adopted for those <1000 Ma, and <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb ages are adopted for those >1000 Ma

获得的形成年龄 364.9±10.9 Ma(Rb-Sr 全岩等时线法)相近,反映晚泥盆世期间南秦岭的这次钠长岩质岩浆活动可能涉及到相当大的范围。

本文研究的黄石板钠长岩与 Liu Shuwen et al. (2005,2008)报道的旬阳盆地志留系中热水沉积钠长岩在岩石产状、结构构造和地球化学等方面具有比较明显的差异,所以本文的研究结果不能否定在南秦岭旬阳盆地的志留系一泥盆系中存在热水沉积钠长岩。本文的黄石板钠长岩成块状,截切围岩的千枚理;而 Liu Shuwen et al. (2005,2008)报道的热水沉积成因钠长岩成层状,而且其中还发育角砾状构造。本文黄石板钠长岩的 SiO₂含量明显低于热

水沉积成因钠长岩,而且二者在稀土元素球粒陨石标准化配分型式和微量元素原始地幔标准化蛛网图上都有明显差别。因此,在旬阳盆地的下志留统梅子垭组地层中,岩浆成因与热水沉积成因的钠长岩可能是共存的。

#### 3.2 钠长岩的岩浆源区和形成环境

黄石板钠长岩具有富钠贫钾、铝饱和指数偏低、类似 E-MORB 的稀土元素球粒陨石标准化配分型式以及高场强元素 Nb、Ta、Th、Hf 显著富集的地球化学特点,这些特点反映钠长岩具有幔源特点。

黄石板钠长岩的  $Mg^{\sharp}$  为 74. 8~87. 9(平均 86. 3),平均值大于原生玄武质岩浆的  $Mg^{\sharp}$  值(68~

75; Wilson, 1989)。由于原生玄武质岩浆的 Mg\*值随着岩浆演化而逐渐降低,反映该钠长岩的岩浆不可能由玄武质岩浆经历结晶分异作用演化而来,这意味着该钠长岩的原始岩浆很可能由部分熔融作用形成。

目前地学界对钠质岩浆的形成过程还所知甚少。本文的钠长岩样品在 La-La/Sm 图解(图 7)上总体显示部分熔融的特点,推断黄石板钠长岩是由于旬阳盆地下方的软流圈地幔在晚泥盆世因为部分熔融形成的钠质岩浆向上侵位而形成。岩浆在向上侵位的过程中受到陆壳物质同化混染,并捕获大量的前泥盆纪锆石。

南秦岭地区在晚泥盆世处于强烈的伸展环境, 具备发生岩浆活动的构造条件。泥盆纪—石炭纪期 间南秦岭西段主体处于初始裂谷和勉略洋盆形成阶 段(Zhang Guowei et al.,2004; Dong Yunpen et al.,2011),在安康市岚皋县发育早泥盆世(408 Ma) 滔河口组玄武质火山岩,在紫阳县发育早泥盆世(~ 410 Ma)粗面岩(Wang Gang,2014)。本文的研究 结果表明,在晚泥盆世(364~376 Ma)时在旬阳盆 地东部发育钠长岩。

# 3.3 钠长岩中捕获锆石的地质意义

在黄石板钠长岩样品中挑出了 1000 多粒锆石,通过锆石 U-Pb LA-ICP-MS 同位素测年不仅获得了钠长岩体的结晶年龄(364~376 Ma),而且还获得了大量的捕获锆石的年龄,这些年龄反映研究区从 3291 Ma 开始可能就与扬子地块具有极大的亲

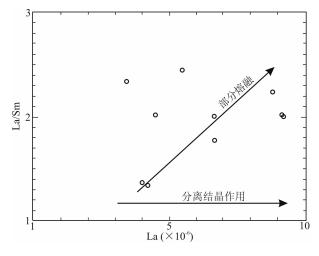


图 7 黄石板钠长岩 La-La/Sm 图解 (底图据 Allegre 和 Minster,1978)

Fig. 7 La-La/Sm diagram for albitites in the Huanshiban area (after Allegre and Minster,1978)

缘性。Liu Shuwen et al. (2008)对旬阳盆地钠长岩中的 15 粒锆石进行 SHRIMP 测年,结果均在 800 Ma 以上,可见旬阳盆地钠长岩捕获前寒武纪碎屑锆石的现象可能具有一定的普遍性。

在钠长岩中获得的捕获锆石年龄具有两个显著 特点:①存在迄今为止在南秦岭地区获得的最古老 的捕获锆石年龄。本文在第50测点获得了锆石年 龄 3291±8 Ma,研究区及附近的武当隆起迄今还未 测得如此古老的锆石年龄,但是在武当隆起东南部、 在扬子地块北缘崆岭高级地体的崆岭群中则测得了 大量类似的锆石年龄,迄今为止在扬子地块已经测 得的最古老的锆石年龄也都来自崆岭杂岩(Zhang Shaobing et al., 2006a, 2006b, 2006c; Zheng J P et al., 2006; Zheng Yongfei and Zhao Shaobing, 2007; Liu Xiaoming et al., 2008; Jiao Wenfang et al., 2009; Gao Shan et al., 2011), 这说明在崆岭高级地 体区发生于 3.2 Ga 的地质事件在本文的研究区可 能也有反映,进一步从侧面说明本文研究区与扬子 地块具有更大的亲缘性。②存在 400~800 Ma 年 龄峰,该年龄峰在武当隆起的武当山群(Ling Wenli et al., 2010)、扬子地块北缘(Li Jianhua et al., 2012; Ao Wenhao et al., 2014; Zhang Yukun, 2014) 都有反映,在南秦岭造山带也有部分反映(Wang Gang, 2014), 分别对应着扬子地块北缘在新元古 代一早古生代的区域性伸展事件和南秦岭地区在晚 古生代中一晚期的勉略洋盆形成事件。

在第 40、49、57 和 59 测点获得了 2517~2647 Ma 的年龄值,这个年龄段与崆岭高级地体区(黄陵地区)"水月寺运动"的时间(2600~2500 Ma)大致相当,"水月寺运动"在黄陵地区造成太古宇与元古宇之间的不整合面(Xiong Chengyun et al.,2004; Wei Junqi et al.,2009; Wei Junqi and Wang Jianxiong,2012)。此外,在武当山的武当山群底部杨坪组石英砂岩中也含少量~2.6 Ga、~2.4 Ga 和~2.0 Ga 的碎屑锆石(Ling Wenli et al.,2010)。本文的测试结果说明,"水月寺运动"在旬阳盆地东部也有反映。

在第 4 和 45 测点分别获得了 1676 Ma 和 1772 Ma 的年龄,这个时段的年龄目前尚未在扬子地块北缘几个主要的古老构造单元(如武当隆起、黄陵隆起、汉南隆起等)上见诸报道。这说明在扬子地块北缘可能存在一期目前还未识别出来的古元古代构造事件。

在第 12、13、28、30、32、35、43 和 47 测点分别测

得了 1144~1008 Ma,目前也未在武当隆起和黄陵隆起见诸这个时段的年龄报道,但是 Ao Wenhao et al. (2014)在汉南杂岩祖师店奥长花岗岩体中获得了主体为 1100 Ma 的锆石 Hf 两阶段模式年龄,并认为这个年龄反映新元古代扬子北缘的一期地壳增生事件。Hu Fangyang et al. (2015)在南秦岭不同岩性的岩体中分别获得了 941~667 Ma 的锆石 U-Pb 年龄,并据此认为在南秦岭造山带存在巨大的新元古代隆起带,该新元古代隆起带被古生代一中生代岩浆作用和构造变形作用所破坏。本文在钠长岩中获得的新元古代捕获锆石年龄在一定程度上说明,南秦岭造山带中的新元古代隆起带可能确实是存在的。

在第 9、13、28、35、43 和 47 测点获得了 800~880 Ma,这个时段的锆石年龄在武当隆起和汉南杂岩中均有反映。在武当山群底部的杨坪组石英砂岩中已测出 830~780 Ma 的碎屑锆石年龄(Ling Wenli et al.,2010),扬子克拉通内部 830~795 Ma 的岩浆事件被认为是 Rodinia 超大陆开始张裂的反映(Li Z X et al.,2003)。汉南杂岩中天平河花岗闪长岩体的形成年龄为 863±10 Ma,在黄陵地区也识别出 860 Ma 的捕获锆石(Ling Wenli et al.,2006)。Zhou M F et al.(2002)认为从攀西至汉南地区分布有一条时代为 865~760 Ma 的岛弧岩浆岩带,它们构成扬子陆块西北陆缘的洋壳消减带。本文的测试数据表明,研究区当时很可能已是扬子克拉通北缘构造带的组成部分。

在第 10、12、26、27、29、30 和 44 测点获得 717~787 Ma,这个时段的岩浆事件在武当隆起和汉南杂岩区都有大量报道。在武当地块上武当山群碎屑岩的碎屑锆石中也普遍存在 600~800 Ma 的年龄峰(Ling Wenli et al.,2010)。武当山群火山岩的形成年龄为 755±3 Ma,指示当时陆内拉张事件(Ling Wenli et al.,2008)。武当山群下部双台组变质中酸性火山岩的形成时代为 730~780 Ma(Zhu Xiyan et al.,2008),北大巴山凤凰山闪长岩体的形成年龄为 750~797 Ma(Li Jianhua et al.,2012),它们的成因都与 Rodinia 超大陆裂解有关。Ao Wenhao et al.(2014)在汉南杂岩祖师奥长花岗岩中获得了 728±3 Ma 的成岩年龄和 786±4 Ma 的捕获锆石年龄,并认为该岩体是非成熟岛弧向成熟岛弧转化阶段的产物。

在第 15,21,34,39,46,52 和 55 测点获得了  $596\sim692$  Ma,这个时段的岩浆事件在武当隆起有

反映。武当隆起耀岭河群火山岩的形成年龄为 685 ±5 Ma,侵入其中的基性岩席群的形成时代为 679 ±3 Ma,反映扬子地块北缘同期的伸展作用(Ling Wenli et al.,2008)。

在第 1、19、25、41、56 和 60 测点获得了 395~476 Ma,这个时段已经接近钠长岩体的形成时间,其中的一些锆石很可能就形成于钠长质岩浆的分离结晶作用。此外, 岚皋县粗面岩(432 Ma)、滔河口组玄武质火山岩(408 Ma)和紫阳县粗面岩(~410 Ma)(Wang Gang,2014)的形成时间也在这个时间段内,说明当时研究区可能已与安康南部处于同一构造环境,受到同一期伸展环境下岩浆事件的影响。

# 4 主要结论

- (1)旬阳盆地东部黄石板钠长岩中获得的最年轻的锆石 U-Pb 年龄为 364~376 Ma,该年龄明显晚于围岩——下志留统梅子垭组的形成时代,该年龄代表岩体的形成年龄,岩体形成于晚泥盆世。
- (2)钠长岩体具有富钠贫钾、铝不饱和、亏损大离子亲石元素 K 和 Rb、高场强元素(Nb、Ta、Th、Hf)显著富集的地球化学特点,主体属于钙碱性系列岩石,反映幔源的成因特点,推断是由岩石圈地幔部分熔融而形成。
- (3)岩体中含有大量前寒武纪和早古生代的捕获锆石,其中含有迄今为止在研究区及其邻区获得的最古老的锆石 U-Pb 年龄(3291 Ma)。这些捕获锆石的测年数据表明,研究区所在的南秦岭地区从古太古代开始就与扬子地块具有明显的亲缘性。

**致谢:**两位匿名评审专家对本文提出了许多有 益的修改建议,作者在此致以衷心感谢。

#### 注 释

- 陕西省地质矿产局区域地质调查队. 1990. 1:20 万安康幅地质图(I-49-26)及其区域地质调查报告.
- ② 地质部陕西省地质局秦岭区域地质测量大队十一分队. 1966. 1: 20 万郧县幅地质图(I-49-XXVII)及其说明书.
- ❸ 地质部陕西省地质局秦岭区域地质测量大队二十分队. 1961. 1 : 200000 平利幅地质图(I-49-XXXII)及其说明书.
- 湖北省区域地质矿产调查所五分队. 1985. 1: 200000 竹山幅地质图(I-49-XXXIII)及其说明书.

#### References

Allegre C J, Minster J F. 1978. Quantitative models of trace element behavior in magmatic process. Earth and Planetary Science Letters,  $38:1\sim25$ .

Ao Wenhao, Zhang Yukun, Zhang Ruiying, Zhao Yan, Sun Yong.

- 2014. Neoproterozoic crustal accretion of the northern margin of Yangtze plate: constrains from geochemical characteristics, LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology and Hf isotopic compositions of trondhjemite from Zushidian area, Hannan region. Geological Review, 60(6):  $1393 \sim 1408$  (in Chinese with English abstract).
- Boynton W W. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: Meteorite studies. In: Henderson P, eds. Rare Earth Element Geochemistry: Development in Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 63~114.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Franz Neubauer, Liu Xiaoming, Johann Genser, Christoph Hauzenberger. 2011. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. Journal of Asian Earth Sciences, 41: 213~237.
- Fan Shuocheng. 1994. Discussion of metallogenic mode and the prospecting forcasting of Shuanwang large gold deposit, Shaanxi province. Geology of Shaanxi, 12(1): 27~35 (in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan, Liu Fangjie, Hu Ruizhong, Huang Zhuanying. 2000. The characteristics and diagenetic-metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomitites from Fengtai apart-pull basin, Qinling orogen. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 700~710 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shan, Yang Jie, Zhou Lian, Li Ming, Hu Zhaochu, Guo Jingliang, Yuan Honglin, Gong Hujun, Xiao Geoqiang, Wei Junqi. 2011. Age and growth of the Archean Kongling terrain, south China, with emphasis on 3. 3 Ga granitoid gneisses. American Journal of Science, 311,doi:10.2475/02.2011.00.
- Hu Fangyang, Liu Shuwen, Santosh, Deng Zhengbin, Wang Wei, Zhang Wanyi, Yan Ming. 2015. Chronology and tectonic implications of Neoproterozoic blocks in the South Qinling Orogenic Belt, Central China. Gondwana Research, doi: 10. 1016/j. gr. 2015.01.006.
- Hu Xishun. 2009. A Further understanding on genesis of Shuangwang gold deposit in Shaanxi Province. Gold Science and Technology, 17 (2):  $17\sim22$  (in Chinese with English abstract).
- Jia Runxing, Han Shushan, Wei Heming. 1999. Main metallogenic characteristics and genetic analysis of gold deposit in Fengtai ore fifld Qinling. Journal of Xi'an Engineering University, 21(4): 67~75 (in Chinese with English abstract).
- Jia Runxing, Guo Jian, He Ying, Wei Heming. 2004. Ore fluid geochemistry of gold polymetallic deposits in the Fengtai ore district, Qinling Mountains. Geology in China, 31(2): 192~ 198 (in Chinese with English abstract).
- Jiao Wenfang, Wu Yuanbao, Yang Saihong, Peng Min, Wang Jing. 2009. The Oldest basement rock in the Yangtze craton re-vealed by zircon U-Pb age and Hf isotope composition. Science China Earth Sciences, 52(9): 1393~1399.
- Jin Xixiang. 1991. New viewpoint on genesis of Shuangwang gold ore, Shaanxi province. Northwestern Geology, 12(4): 21~23 (in Chinese without English abstract).

- Li Jianhua, Zhang Yueqiao, Xu Xianbing, Dong Shuwen, Li Tingdong. 2012. Zircon U-Pb L-ICP-MS dating of Fenghuangshan pluton in northern Daba Mountains and its implications to Tectonic settings. Geological Review, 58(2): 581~593 (in Chinese with English abstract).
- Li Qiang. 2011. Petrology and geochemistry of albite-rich rocks in South Qinling. Acta Petroligica et Mineralogica, 20(2): 199~ 207 (in Chinese with English abstract).
- Li Yong, Su Chunqian, Liu Jiqing. 1999. Characteristics and genesis of the albitite in the east Qinling orogenic belt. Acta Petrologica et Mineralogica, 18(2): 121~127 (in Chinese with English abstract).
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J, Zhang S, Zhou H. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precambrian Research, 122: 85∼109
- Liang Huaying, Wang Xiuzhang, Cheng Jinping. 2000. Characteristics of gold-hosted stratabound albitite and forming stages of Shuangwang gold deposit in Shaanxi province. Geotectonica et Metallogenia, 24(4): 350 ~ 356 (in Chinese with English abstract).
- Ling Wenli, Gao Shan, Cheng Jinping, Jiang Linshen, Yuang Honglin, Hu Zhaochu. 2006. Neoproterozoic magmatic events within the Yangtze continental interior and along its northern margin and their tectonic implication: constraint from the ELA-ICPMS U-Pb geochronology of zircons from the Huangling and Hannan complexes. Acta Petrologica Sinica, 22(2): 387~396 (in Chinese with English abstract).
- Ling Wenli, Ren Bangfang, Duan Ruichun, Liu Xiaoming, Mao Xinwu, Peng Lianhong, Liu Zaoxue, Cheng Jianping, Yang Hongmei. 2008. Timing of the Wudangshan, Yaolinghe volcanic sequences and mafic sills in South Qinling: U-Pb zircon geochronology and tectonic implication. Science Bulletin, 53 (14): 2192~2199.
- Ling Wenli, Duan Ruichun, Liu Xiaoming, Cheng Jianping, Mao Xinwu, Peng Lianhong, Liu Zaoxue, Yang Hongmei, Ren Bangfang. 2010. U-Pb dating of detrital ziecons from the Wudangsgan Group in the South Qinling and its geological significance. Science Bulletin, 55(22): 2440~2448.
- Liu Shuwen, Xue Chunji, Li Qiang, Zhu Jingxiang, Wang Tao, Zhao Guobin. 2005. Geology and geochemistry of Lower Paleozoic albitite in the Xunyang basin, South Qinling. Geology in China, 32(3): 424~433 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shuwen, Wang Tao, Zeng Rong, Xue Chunji, Tang Yongzhong. 2008. Geology and Prospecting, 44(3): 40~46 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoming, Gao Shan, Diwu Chunrong, Ling Wenli. 2008. Precambrian crustal growth of the Yangtze Craton as revealed by detrital zircon. American Journal of Science, 308: 421 ~468.
- Ma Guoliang. 1993. Product of the early stage of sedimentary-

- exhalogenic metallization in the Tongmugou zinc deposit, Shaanxi province. Northwestern Geology, 14(2):  $12 \sim 17$  (in Chinese with English abstract).
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magmara/igneous rock system. Earth-Science Reviews, 37 (3/4): 215 ~224.
- Qi Sijing, Li Ying, Zen Zhangren. 1993. Lead-zinc (copper) deposits of sedex type in Qinling Mountains. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Qi Sijing, Li Ying. 1999. The Upper Paleozoic submarine exhalative-sedimentary metallogenic system in south Qinling. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 6(1): 171~179 (in Chinese with English abstract).
- Shi Zhunli, Liu Jinxuan, Fan Shuocheng, Jin Qinhai. 1989. Geological features and genesis of Shuangwang gold deposit, Shaanxi province. Xi'an: Science and technology of Shaanxi press, 1~118 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotope systematicas of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 42: 313~345.
- Wang Gang. 2014. Metallogeny of the Mesozoic and Peleozoic volcanic igneous event in Ziyang-Langao areas, north Daba Mountain. Beijing: A dissertation submitted to China University of Geosciences for doctoral degree (in Chinese with English abstract).
- Wang Guofu, Sun Zhenjia, Peng Ensheng, Wang Jincao, Tang Jingru, Shi Jinghai. 2002. A disscussion on dynamic genesis of the breccia developed in the Shuangwang gold deposit in Shaanxi province, China. Geotectonic et Metallogenia, 35(1): 81~85 (in Chinese with English abstract).
- Wang Huan. 2012. The features of magmatic rocks in Shangwang gold mine, Shanxi province and its implication on gold mineralization. Beijing: A dissertation submitted to China University of Geosciences for master degree,  $21\sim59$  (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhaoxiang. 1987. A discussion on origin of sodium-rich rock in Devonian system, middle division of Qinling Mts. Geology of Shaanxi, 5(2): 68~74 (in Chinese with English abstract).
- Wei Dong, Wu Bangchang, Zhu Jingxiang. 2006. Hydrothermal sediments and ore prospecting potentials of the Huangshuban lead zinc deposit in Baihe county, Shaanxi province. Geology of Shaanxi, 24(1): 66~73 (in Chinese with English abstract).
- Wei Junqi, Wang Jianxiong. 2012. Zircon Age and Hf Isotope Compositions of Amphibolite Enclaves from the Kongling Complex. Geological Journal of China Universities, 18(4): 589 ~600 (in Chinese with English abstract).
- Wei Junqi, Wang Jianxiong, Wang Xiaodi, Shan Muyan, GuoHaining. 2009. Dating of mafic dikes from Kongling Group in Huangling area and its implications. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 39(3): 466~471 (in

- Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. London: Chapman and Hall,  $1{\sim}466$ .
- Xiong Chengyun, Wei Changshan, Jin Guangfu, Tan Weiqing, Li Wenxiang. 2004. Pre-Sinian paleostructural framework and major geological events in the Huangling anticline, western Hubei. Journal of Geomechanics, 10(2): 97~112 (in Chinese with English abstract).
- Xue Chunji, Qi Sijing. 1995. Sedimentary and geochemical information of Devonian syngenetic thermal deposit in the southern Qinling orogenic belt. Northwestern Geology, 16(4): 37~42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, Guo Anlin, Meng Qingren, Liu Shaofeng, Cheng Shunyou, Yan Anping, Zhang Zongqing, Pei Xianzhi, Li Sanzhong. 2004. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt. Science in China, Ser. D, 47 (4): 300 ~316
- Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006a. Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8 Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China. Earth and Planetary Science Letters, 252; 56~71.
- Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006b. Zircon U-Pb age and Hf-O isotope evidence for Paleoproterozoic metamorphic event in South China. Precambrain Research, 151: 265~288.
- Zhang Shaobing, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Gao Shan, Wu Fuyuan. 2006c. Zircon isotope evidence for ≥3.5 Ga continental crust in the Yangtze craton of China. Precambrian Research, 146: 16~34.
- Zhang Yukun. 2014. Petrology, geochemistry and zircon chronology of gabbro in the northern margin of Yangtze block. Xi´an: Master's dissertation of Northwest University.
- Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Li Xiaofeng. 2004. Geology, geochemistry and metallogenic mechanism of Shuangwang breccia type gold deposit. Mineral Deposits, 23(2): 241~252 (in Chinese with English abstract).
- Zheng J P, Griffin W L, O'Reilly S Y, Zhang M, Pearson N, Pan Yuanming. 2006. Widespread Archean basement beneath the Yangtze craton. Geology, 34: 417~420.
- Zheng Yongfei, Zhang Shaobing. 2007. Formation and evolution of Precambrian continental crust in South China. Science Bulletin, 52(1): 1~12.
- Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, Li Y, Ding J. 2002. SHRIMIP
  U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for
  Neoproterozoie arc-magmatism along the western margin of the
  Yangtze Block, South China. Earth and Planetary Science
  Letters, 196:51~67.
- Zhu Xiyan, Chen Fukun, Wang Wei, Pham Trung Hieu, Wang Fang, Zhang Fuqin. 2008. Zircon U-Pb ages of volcanic and sedimentary rocks of the Wudang Group in the Qinling orogenic

- belt within western Henan province. Acta Geoscientica Sinica, 29(6): 817~829 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhentao. 1985. Geological features and genesis of albite slate of Devonian in Fengxian-Taibai area. Northwestern Geology, 5:  $51\sim55$  (in Chinese with English abstract).

### 参考文献

- 放文昊,张宇昆,张瑞英,赵燕,孙勇. 2014. 新元古代扬子北缘地壳增生事件:来自汉南祖师店奥长花岗岩地球化学、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学和 Hf 同位素证据. 地质论评,60(6):1393~1408.
- 樊硕诚. 1994. 陕西双王大型金矿床成矿模式成矿规律与找矿前景探讨. 陕西地质,12(1):27~35.
- 方维萱. 2000. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩-硅质岩特征及成岩成矿方式. 岩石学报,16(4):700~710.
- 胡西顺. 2009. 陕西双王金矿床成因的再认识. 黄金科学技术,17 (2): 17~22.
- 贾润幸,韩述山,魄合明. 1999. 秦岭凤太矿田金矿成矿特征及成因分析. 西安工程学院学报,21(4):67~75.
- 贾润幸,郭键,赫英,隗合明. 2004. 秦岭凤太成矿区金多金属矿床成 矿流体地球化学研究. 中国地质,31(2):192~198.
- 斯西祥. 1991. 陕西双王金矿成因的新认识. 西北地质, 12(4): 21 ~23
- 李建华,张岳桥,徐先兵,董树文,李廷栋. 2012. 北大巴山凤凰山岩体锆石 U-Pb LA-ICP-MS 年龄及其构造意义. 地质论评,58(2):581~593.
- 李强. 2011. 南秦岭富钠长石岩石的岩石学和地球化学研究. 岩石矿物学杂志, 20(2):  $199\sim207$ .
- 李勇,苏春乾,刘继庆. 1999. 东秦岭造山带钠长岩的特征、成因及时代. 岩石矿物学杂志,18(2):121~127.
- 梁华英,王秀璋,程景平. 2000. 陕西双王钠长石岩特征及金矿床形成期次分析. 大地构造与成矿学,24(4):350~356.
- 刘淑文,薛春纪,李强,朱经祥,王涛,赵国斌. 2005. 秦岭旬阳盆地下 古生界钠长石岩岩石学和地球化学特征. 中国地质,32(3):424 ~433.
- 刘淑文,王涛,曾荣,薛春纪,唐永忠. 2008. 南秦岭旬阳志留系热水 沉积钠长石岩地质地球化学特征. 地质与勘探,44(3):40~46.
- 凌文黎,高山,程建萍,江麟生,袁洪林,胡兆初.2006.扬子陆核与陆 缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义——来自黄陵和汉南 侵入杂岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束.岩石学

- 报,22(2):387~396.
- 马国良. 1993. 陕西桐木沟锌矿床中沉积喷气成矿作用的早期产物——钠长角砾岩. 西北地质,14(2):12~17.
- 祁思敬,李英,曾章仁. 1993. 秦岭热水沉积型铅锌(铜) 矿床. 北京: 地质出版社,1993.
- 祁思敬,李英. 1999. 南秦岭晚古生代海底喷气-沉积成矿系统. 地学前缘,6(1): $171\sim179$ .
- 石准立,刘瑾璇,樊硕诚,金勤海. 1989. 陕西双王金矿床地质特征及 其成因. 西安:陕西科学技术出版社,1~118.
- 王刚. 2014. 北大巴山紫阳—岚皋地区古生代火山岩浆事件与中生代成矿作用. 中国地质大学博士学位论文.
- 王国富,孙振家,彭恩生,汪劲草,汤静如,史静海.2002.陕西双王金矿床角砾岩动力学成因探讨.大地构造与成矿学,35(1):81~85
- 汪欢. 2012. 陕西双王金矿区岩浆岩特征及与金成矿的关系. 中国地质大学(北京)硕士学位论文. 21~59.
- 汪昭祥. 1987. 对陕西凤县—商南泥盆系中钠化特征的初步认识. 陕西地质,5(2):68~74.
- 魏东,吴邦朝,朱经祥.2006. 白河黄石板铅锌矿的热水沉积岩及找矿潜力. 陕西地质,24(1):66~73.
- 魏君奇,王建雄. 2012. 崆岭杂岩中斜长角闪岩包体的锆石年龄和 Hf 同位素组成. 高校地质学报,18(4):589~600.
- 魏君奇,王建雄,王晓地,单沐阳,郭海明. 2009. 黄陵地区崆岭群中基性岩脉的定年及意义. 西北大学学报(自然科学版),39(3):  $466\sim471$ .
- 熊成云,韦昌山,金光富,谭文清,李文羡.2004. 鄂西黄陵背斜地区 前南华纪古构造格架及主要地质事件. 地质力学学报,10(2): 97~112.
- 薛春纪,祁思敬. 1995. 南秦岭泥盆纪同生热水沉积环境的沉积学及 地球化学信息. 西北地质,16(4);37~42.
- 张宇昆. 2014. 扬子北缘大汉山辉长岩体岩石学、地球化学及锆石年代学研究. 西北大学硕士学位论文.
- 张作衡,毛景文,李晓峰. 2004. 双王角砾岩型金矿床地质地球化学及成矿机制. 矿床地质,23(2):241~252.
- 祝禧艳,陈福坤,王伟,PHAM TrungHieu,王芳,张福勤. 2008. 豫西 地区秦岭造山带武当山群火山岩和沉积岩锆石 U-Pb 年龄. 地球学报,29(6),817~829.
- 朱振涛. 1985. 凤县—太白—带泥盆系中钠长板岩的地质特征及成因. 西北地质,5:51~55.

# Late Devonian Magmtogenic Albitites in the Eastern Xunyang Basin of the South Qinling Orogen and Theire Tectonic Significance

LUO Jinhai<sup>1)</sup>, ZHOU Yajun<sup>2)</sup>, XU Huan<sup>1)</sup>, YOU Jia<sup>1)</sup>, LI Yifei<sup>1)</sup>, CHE Zichen<sup>1)</sup>

- 1) State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University),

  Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;
- 2) Dawan Silver Coal Limited Company of Baihe County, Shaanxi, Baihe, 725899

#### **Abstract**

The albitites, distributed widely within the low-grade metamorphic strata of Lower Silurian and Devonian in the Xunyang-Baihe basin of the South Qinling orogen, are usually regarded as the product of hydrothermal sedimentation or hydrothermal metasomatism. The study conducted the geochemical and zircon U-Pb LA-ICP-MS dating analysis for the albitite intruding into the low-grade metamorphic rocks of the Lower Silurian Meiziya Formation in the Huanshiban area in the eastern part of the Xunyang basin. The geochemical analysis shows that the albitites are characterized by Na-rich, K-depleted, aluminum unsaturated, LILES-depleted such as K and Rb, and HFSE-riched such as Nb, Ta, Th, Hf, with negative Eu anomaly. The youngest U-Pb age of zircon from albitites is  $364 \sim 376$  Ma, and it should represent the formation age of the albitite, suggesting the Xunyang Basin in the South Qinling Orogen was in an intense extensional tectonic setting during Late Devonian. Results suggest that both the hydrothermal-related and magmtogenic albitites probably coexist in the Xunyang-Baihe basin. The Huangshiban magmtogenic abitites contain abundant xenocrysts zircons of Precambrian and Early Paleozoic, and the oldest zircon age (3291 Ma) has been obtained for the zircon xenocrysts in the South Qinling Orogen and its adjacent areas. The dating data of zircon xenocrysts show that the South Qinling Orogen probably has marked affinity with Yangtze block from the Early Archean.

Key words: South Qinling Orogen; Xunyang basin; Late Devonian; abitite; extension