

# 南秦岭富钠长石岩石的岩石学和地球化学研究

李 强

(长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

**摘 要:** 钠长石岩是秦岭造山带中的一类特色岩石, 主要分布于南秦岭凤-太、山-柞和镇-旬盆地的泥盆纪和志留纪地层中, 与秦岭众多大中型铅锌矿、金矿成矿关系密切。钠长石岩呈层状、似层状产于碎屑岩或碳酸盐岩系中, 与区域地层整合产出, 渐变过渡。具有条带状、块状、角砾状构造; XRF 分析数据显示钠长石岩化学成分以富  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  等常量元素及 Pb、Zn、Au、Ag、Cu 等微量元素为特征; 富含元素 Ba 和 Fe-Mn-(Co+Cu+Ni)  $\times 10$  分布图投影表明钠长石岩具有热水沉积的特征。而  $\text{TiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  关系图解又反映出钠长石岩中有陆源碎屑物混入的特点, 其 Ti、Al 可能来自水成沉积物中的粘土; ICP-MS 分析所得稀土元素数据显示, 钠长石岩与地层稀土元素在稀土总量、轻重稀土量和配分模式均十分相似, 其较高  $\Sigma\text{REE}$  就是成岩过程中水成沉积物混入造成的。富钠长石岩石在形成时间上发生在沉积和早期成岩阶段, 与正常沉积岩同时形成。兼具有正常沉积岩石和热水沉积岩石的特点, 是一种有别于二者的混合型非典型热水沉积岩石。研究认为钠长石岩是由一种富钠和金属元素的热液通过对地层元素的萃取并与海底未固结沉积物混合而成的混合热液经沉积成岩作用形成的。

**关键词:** 钠长石岩; 南秦岭; 地球化学; 成因

中图分类号: P588.2; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)02-0199-09

## Petrology and geochemistry of albitite-rich rocks in South Qinling

LI Qiang

(School of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** Albitite, a special kind of sedimentary rock in South Qinling, is mainly distributed in Devonian and Silurian strata of Fengxian-Taibai, Shanyang-Zhashui and Zhen'an-Xunyang basins. It is closely related to many large-middle lead-zinc and gold deposits in the South Qinling orogenic belt. Occurring in clastic rocks or carbonate rocks in the stratified or stratoid form, albitite shows a conformable contact and gradual relationship with the strata and has thick-bedded, massive and brecciated structures. XRF dating of albitite shows that it is enriched in primary elements such as  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  and trace elements such as Pb, Zn, Au, Ag and Cu. The enrichment of element Ba and the Fe-Mn-(Co+Cu+Ni)  $\times 10$  projection indicate a hydrothermal sedimentary origin. However, the diagram of  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  suggests it also has some characteristics of terrigenous deposit. Ti and Al probably came from the clay matter of clastic sediments. The REE data by ICP-MS show that albitite and strata have similar total REE, HREE and LREE. The chondrite-normalized REE patterns of albitite and regional strata are quite similar, caused probably by the mixture of hydrogenous sediments. Albitite was formed at the sedimentary or early diagenetic stage, simultaneity with the formation of normal sedimentary rocks. Therefore it is a special kind of hydrothermal sedimentary rock, having characteristics of both marine sedimentary rock and typical hydrothermal sedimentary rock. The albitite is of sedimentary lithogenesis of mixed hydrothermal solution with enriched Na and metallic elements by extracting ore-forming elements from the strata and mixing with non-consolidated sedimentary concretions at the seabed.

**Key words:** albitite; South Qinling; geochemistry; genesis

收稿日期: 2010-07-26; 修订日期: 2011-02-16

基金项目: 中国地质调查局综合研究资助项目(1212010511807); 长江大学科研发展基金资助项目(801130010113)

作者简介: 李 强(1972-), 男, 博士, 讲师, 主要从事矿产资源评价与预测研究, E-mail: liq2000@163.com

钠长石岩是世界上较为少见的一类岩石,研究程度较低。但由于它经常与金、银、铅、锌、铜、铁、钍及稀有元素等矿产相伴生,因此对其进行岩石学、地球化学及成因的研究具有重要的地质和找矿意义。国内外研究表明,自然界钠长石岩依地质产状可划分为4种类型:接触带型,即钠长石岩产于基性岩床、岩墙与板岩接触带(Angus and Kanavis-Sotiriou, 1995; 王奖臻等, 1999);层状型,即呈层状产于沉积岩或变质岩中(祁思敬等, 1993; Slack *et al.*, 1993);角砾岩型,即呈钠长石角砾岩并常与层状钠长石岩伴生(孙海田等, 1989; 樊硕诚等, 1994; 汤静如等, 2002);岩浆型,即为富钠质碱性岩浆岩(中国科学院地球化学研究所, 1987; 厦宏远等, 1991; 李勇等, 1999),与铁、稀有金属等矿化或成矿有关。国内常见的类型为层状和角砾岩型,如山西中条山、广东大沟谷(梁华英等, 2001)、陕西南秦岭等地区,尤其是在南秦岭,继桐木沟(马国良等, 1992)、银洞子(薛春纪, 1991)、双王等铅、锌、金、银矿床发现了这类产于泥盆系地层中的层状型和角砾岩型钠长石岩后,又在旬阳盆地志留系地层中发现了一条延伸近 10 km 的钠长石岩带(刘淑文等, 2008),而

且盆地内已勘查的铅锌矿床的含矿围岩中也发现了与热水沉积硅质岩相伴生的钠长石岩和钠长石角砾岩。所以,南秦岭钠长石岩地质、地球化学、成岩过程与金属成矿关系的研究对于揭示区域流体活动及成矿规律有着重要的意义,同时对于区域矿产勘查也具有重大的指导价值。

### 1 南秦岭钠长石岩地质特征

秦岭地区已发现的钠长石岩主要分布于陕西凤县-太白、山阳-柞水和镇安-旬阳等造山带盆地的志留系和泥盆系中(图 1)。钠长石岩产状以层状和角砾状为主。在凤-太盆地,钠长石岩产于中泥盆和上泥盆统碳酸盐岩或碎屑岩底部,包括古道岭组和星红铺组,双王金矿床就赋存于该类岩石中;山-柞盆地的钠长石岩主要产于中泥盆统池沟组顶部,为桐木沟铅锌矿的主要赋矿层位;旬阳盆地,钠长石岩主要分布于棕溪、黄石板等地区的下志留统梅子垭组中下部,目前已发现的江坡、黄石板、任家沟铅锌矿均产于这套地层中(图 2)。

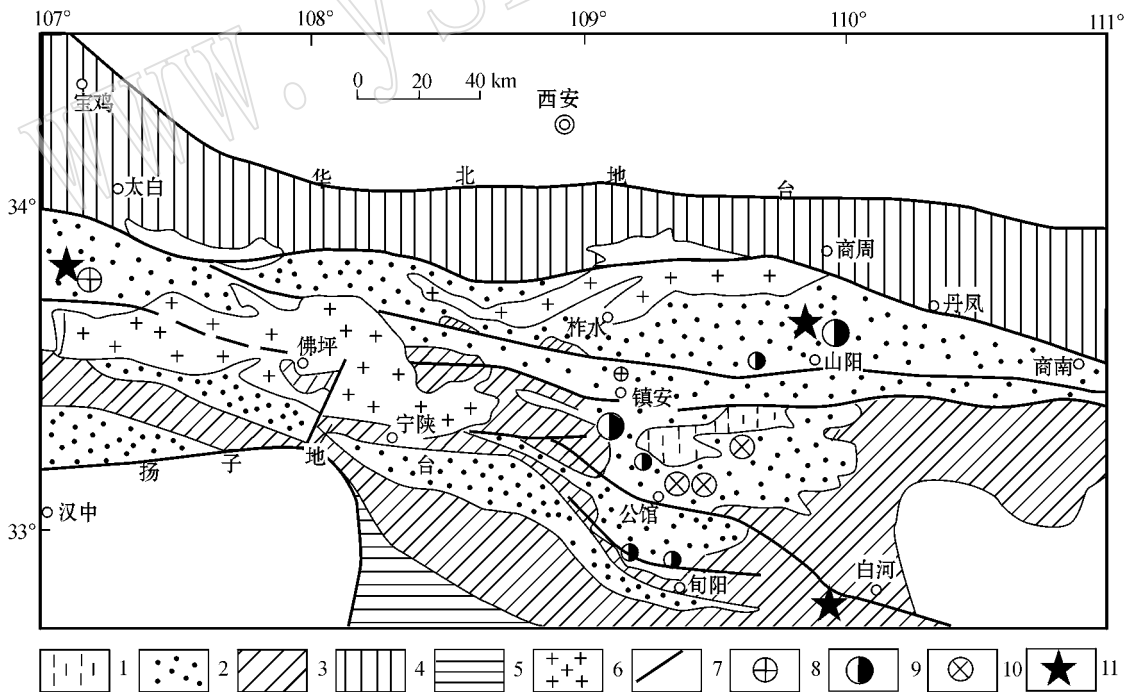


图 1 秦岭造山带东部地质矿产略图

Fig. 1 Geological map showing mineral resources in eastern Qinling orogenic belt

1—石炭-二叠系; 2—泥盆系; 3—志留系-寒武系; 4—前寒武纪变质杂岩; 5—前寒武纪火山岩; 6—中生代花岗岩; 7—区域性断裂; 8—金矿床; 9—铅锌矿床; 10—汞锑矿床; 11—柱状图剖面位置

1—Carboniferous-Permian; 2—Devonian; 3—Silurian-Cambrian; 4—Precambrian metamorphic complex; 5—Precambrian volcanic rock; 6—Mesozoic granite; 7—regional fault; 8—gold deposit; 9—Pb-Zn deposit; 10—Hg-Sb deposit; 11—location of columnar section

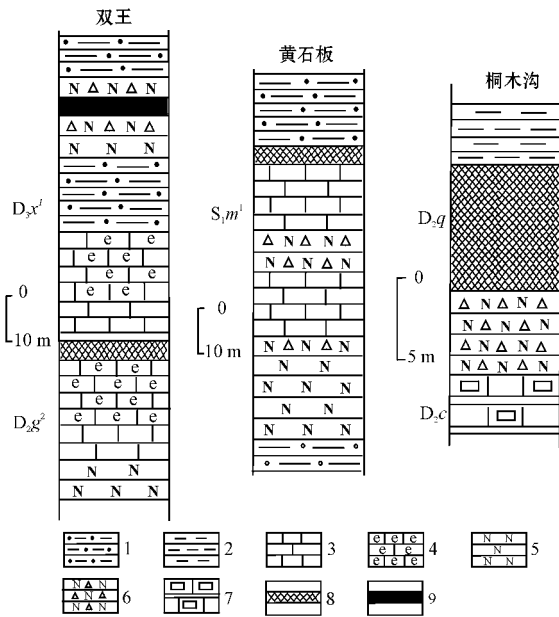


图 2 钠长石岩石产出层位柱状图

Fig. 2 Columnar section of albitite rocks

- 1—粉砂质页岩; 2—绢云母千枚岩; 3—灰岩; 4—生物灰岩;  
 5—钠长石岩; 6—钠长石角砾岩; 7—方柱石角岩;  
 8—铅锌矿; 9—金矿
- 1—silty shale; 2—sericite phyllite; 3—limestone; 4—bioclastic limestone; 5—albitite; 6—albitite breccias; 7—scapolite;  
 8—Pb-Zn deposit; 9—gold deposit

剖面中钠长石岩常呈层状、似层状与地层整合产出同步变形。规模较小的钠长石岩地质体呈透镜状、扁豆状,沿走向岩性和岩相变化强烈,常被正常地层的泥质岩层、大理质岩层、粉砂质岩层所取代。这些特征反映了钠长石岩与围岩是同时或近于同时沉积的,而非后期热液充填或岩浆侵入作用所致。

## 2 钠长石岩岩石学特征

钠长石岩呈灰色、灰白色,风化后呈浅褐色、土黄色。层状钠长石岩具有微晶-细晶结构(图 3a),以厚层块状构造为主(图 3b),还可见条带状构造(图 3c)及韵律层状构造(图 3d),常见有不同岩石类型(泥岩、粉砂岩)与层纹状钠长石岩互层,彼此平行交替韵律状出现,单层厚 0.5~2 m。钠长石呈微晶,半自形-自形,无磨圆,粒度 0.01~0.1 mm,双晶少见,偶见钠长石律和卡-钠复合律双晶。层状钠长石岩顶底板岩石可以是热水沉积岩,如硅质岩、铁白云石岩、似碧玉岩。也可以是正常沉积的泥质岩、灰岩等。层状钠长石岩的矿物成分主要是钠长石和石英,此外还有少量铁白云石、方解石、绢云母、绿泥

石,副矿物见有镁电气石、金红石等。钠长石角砾岩具有角砾状构造,角砾成分主要为石英钠长石岩,少量泥岩及铁碳酸盐岩,胶结物主要为铁白云石、方解石、黑云母,次为石英、钠长石、绢云母、绿泥石等。角砾呈次棱角状、板条状,不规则状及浑圆状,无定向性(图 3e, 3f)。大小 5 mm×10 mm~10 mm×30 mm,磨圆度差。

## 3 钠长石岩地球化学

### 3.1 岩石化学

产于凤太、旬阳等地的钠长石岩的化学成分比较相似(表 1),其化学组成以 SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO 为主,与区域地层及全球沉积岩有明显差异。表现为 Na<sub>2</sub>O 显著富集,其含量介于 4.21%~10.2% 之间,平均 7.33%,分别是区域地层和全球沉积岩的 4.7 倍和 6.5 倍。尽管海水中也富钠,但含量一般为 2%~3%,且主要以离子形式被粘土吸附,极少形成大量钠长石,所以正常沉积岩中 Na<sub>2</sub>O 含量一般较低。现代红海热卤水成分研究表明其钠含量是正常海水的 5~10 倍(Rona and Scott, 1993)。此外,代表陆源成分的 K<sub>2</sub>O 含量在 0.01%~2.30% 之间,低于区域正常沉积成因的碎屑岩;Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 FeO 含量低,FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值大于 1 等特征也与区域沉积地层差异较大。

Bostrom(1983)在研究了现代海底热液沉积物指出,Fe/Ti、(Fe+Mn)/Ti、Al/(Al+Fe+Mn)可以区别正常海水沉积物和海底热液沉积物。钠长石岩与本区典型热水沉积岩特征值相比较(表 2),5 件样品均显示与硅质岩有较大差别,岩石中 MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 含量明显高于后者,暗示了钠长石岩与硅质岩也存在成因差异。其中 Mg 和 TFe 的含量增高与岩石中含铁镁矿物(如铁白云石等)有关。铝的化学性质稳定,在低于 300℃ 的热水中溶解度很低,现代海底热水喷口处流体中因铝的低含量而不能形成大量钠长石岩。所以,形成钠长石矿物的铝可能另有来源。Willner(1992)认为海底喷发热水可迁移呈胶体状态的含铝粘土,热水沉积电气石岩中的铝可能来自这种含铝粘土。钛也是比较稳定的矿物,各类沉积岩中 Ti 的分布规律是粘土岩>砂岩>碳酸盐岩,钠长石岩中 TiO<sub>2</sub> 的含量可能是含副矿物金红石或由粘土提供。据 Slack 等(1993)研究,陆源沉积物中的 TiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 呈正相关关系,本区钠长

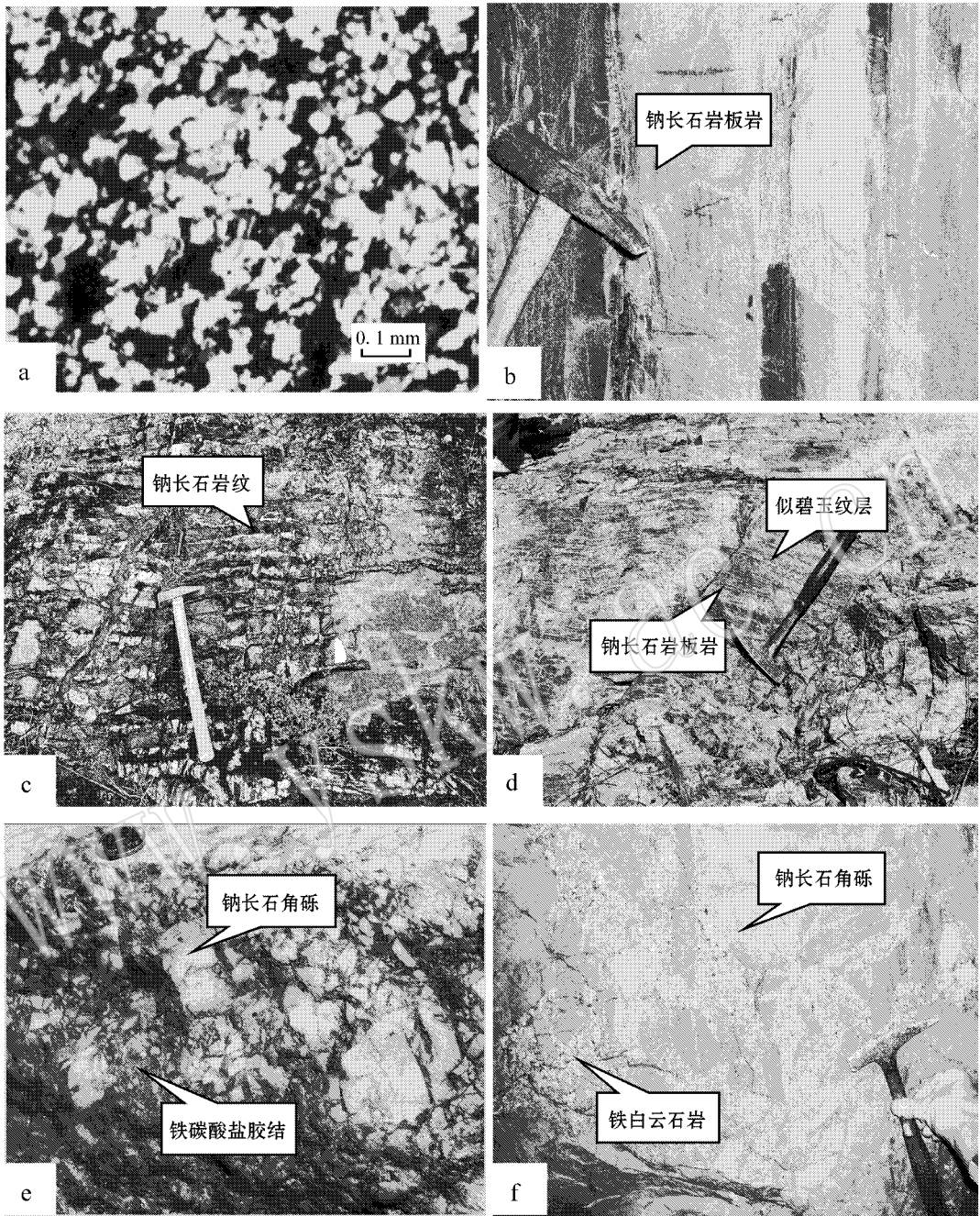


图3 南秦岭钠长石岩产出状态

Fig. 3 Mode of occurrence of albitite in South Qinling

1—细晶块状钠长石岩(正交偏光);2—凤太盆地产于双王金矿中厚层钠长石岩;3—凤太盆地产于双王层状钠长石岩的韵律层状构造;  
4—旬阳盆地钠长石岩与似碧玉岩互层产出;5—旬阳黄石板地区铁碳酸盐钠长石角砾岩;6—双王金矿钠长石角砾岩(角砾成分为钠长石  
岩,胶结物为铁碳酸岩)

1—fine crystalline massive albitite(crossed nicols);2—field view of thick-bedded albitite in Shuangwang gold deposit;3—field view of rhythmic  
banding structure of bedded albitite in the Shuangwang gold deposit, Fengtai basin;4—an outcrop of albitite interbedded with jasperoid in Xunyang  
basin;5—albitite breccia with cement of iron-rich carbonate minerals in Huangshiban area, Xunyang basin;6—albitite breccia in the Shuangwang  
gold deposit, component of breccia is albitite and cement is iron-rich carbonate

表 1 南秦岭钠长石岩石化学组成

$w_B/\%$

Table 1 Composition of albitite in South Qinling

样号	产地	名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
BH-5	旬阳	细粒钠长石岩	58.72	0.57	10.96	0.28	1.13	0.05	4.16	6.89	6.42	0.01	0.22
BH-12	盆地	细粒钠长石岩	59.35	0.64	12.67	0.25	1.10	0.04	3.70	6.03	7.18	0.16	0.12
B-13		钠长石角砾岩	63.05	0.79	18.15	1.59	2.51	0.02	2.08	0.31	9.14	0.32	0.09
B-15		钠长石角砾岩	67.30	0.87	15.28	0.81	2.42	0.03	2.94	0.35	6.87	1.65	0.12
BSW-6	凤太	钠长石角砾岩	63.59	0.67	17.63	0.77	2.23	0.02	2.50	0.90	10.2	0.05	0.23
BSW-5	盆地	层状钠长石岩	60.75	0.98	20.67	0.10	2.25	0.01	2.98	4.88	4.21	2.30	0.17
山阳 <sup>①</sup>		钠长石角砾岩	56.60	0.55	14.69	1.80	1.19	0.05	4.80	7.79	7.78	0.37	0.07
柞山 <sup>②</sup>		千枚岩	66.75	0.70	12.86	0.49	7.85	0.12	3.00	2.80	1.50	3.00	0.21
旬阳 <sup>③</sup>		千枚岩	58.72	0.80	19.25	6.97		0.07	3.46	0.35	1.56	2.90	0.15
八方山 <sup>④</sup>		硅质岩	88.84	0.08	2.12	0.12	0.48	0.02	0.50	3.57	0.08	0.66	0.05
全球 <sup>⑤</sup>		沉积岩	57.95	0.57	13.39	3.47	2.08	0.06	2.65	5.89	1.13	2.86	0.13

注:旬阳盆地与凤太盆地数据为本文测试,测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所,测试方法:×荧光光谱法,①据薛春纪(1997);②据朱华平等(2004);③据陕西地质调查院<sup>①</sup>;④据李强(2009);⑤据黎彤等(1965)。

表 2 热水沉积特征值及钠长石岩和硅质岩 Fe、Ti、Mn、Al 值

Table 2 Hot water characteristic values and Fe, Ti, Mn, Al values of albitite and and siliceous rock

	BFS7	BGM3	BH-5	BH-12	BSW-5	BSW-6	B-13	热水沉积判别值
Fe/Ti	31.55	21.42	3.14	2.68	3.09	5.65	6.46	>20
Al/(Al+Fe+Mn)	0.25	0.51	0.84	0.86	0.86	0.80	0.76	<0.737
(Fe+Mn)/Ti	32.25	21.85	3.25	2.76	3.10	5.68	6.49	>20(±5)

石岩 TiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 也具有这一特征(图 4),而且世界页岩和粘土岩均落在拟合线附近,表明成岩过程中有陆源碎屑物混入,大部分的 Ti 和 Al 来自粘土矿物。

钠长石岩微量元素组成各地区差异较大(表 3),凤太盆地钠长石岩与围岩相比相对富集 Au、Cr、Ba,而贫 Cu、Zn。Ba 含量高低与海底热液活动有关(Rona,1983),钠长石岩 Ba 含量最高达  $512 \times 10^{-6}$ ,高于区域地层及地壳克拉克值,显示了热水沉积的特征。旬阳盆地黄石板钠长石岩与区域地层及地壳克拉克值相比较,贫 Cu、Ni、Co、Cr 等元素,而 Zn 明显富集。两地钠长石岩在 Bostrom 提出的热水沉积物与水成沉积物  $Fe-Mn(Co+Cu+Ni) \times 10$  分布图上分布范围接近(图 5),钠长石岩都分布于热水沉积物富铁区域,与现代大洋中脊及红海沉积物区接近,这也可以指示钠长石岩的成岩与热水活动有关。

### 3.2 稀土元素地球化学

钠长石岩及区域地层的稀土元素分析结果表明(表 4),钠长石岩稀土元素的总量变化在  $71.13 \times 10^{-6} \sim 188.75 \times 10^{-6}$  之间, LREE 为  $55.54 \times 10^{-6} \sim 169.16 \times 10^{-6}$ , HREE 为  $11.50 \times 10^{-6} \sim 19.60 \times 10^{-6}$ ,为轻稀土富集型,配分曲线明显右倾(图 6),

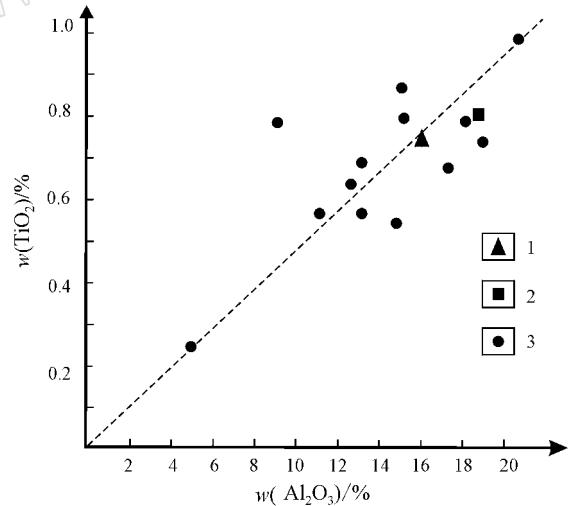


图 4 钠长石岩 TiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比率图

Fig. 4 TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram of albitite

1—世界页岩;2—世界页岩和粘土岩;3—钠长石岩

1—shale; 2—shale and clay; 3—albitite

其稀土元素总量、轻、重稀土值均低于围岩,与南秦岭典型热水沉积硅质岩相比较(表 4),钠长石岩稀土总量偏高,更接近于区域沉积地层,且两者配分曲线相似,均为平滑明显右倾,暗示了两者之间的物质

表 3 南秦岭钠长石岩微量元素组成

 $w_B/10^{-6}$ 

Table 3 Trace element composition of albitite in South Qinling

地区	样品号	岩性	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr	Sb	Zr	Ba
旬阳 黄石板 矿区	BH-5	细粒钠长石岩	0.001	0.021	14.2	4.21	153	3.88	6.30	20.6	0.16	172	5.36
	BH-12	细粒钠长石岩	0.004	0.027	9.01	5.86	43.0	1.31	11.0	57.6	0.67	170	22.1
	B-13	绿泥钠长石角砾岩	0.012	0.026	34.7	3.36	218	13.6	31.2	73.3	0.07	206	497
	B-15	黑云钠长石角砾岩 绢云片岩	0.001	0.022	8.15	3.98	88.8	11.8	41.1	78.7	0.08	172	88.10 800
凤太 双王 矿区	TB24	块状钠长石岩	0.021	0.053	1.18	0.96	6.36	8.9	16.72	84.19	2.31	160.10	230.84
	TB26	纹层状钠长石岩	0.016	0.052	1.65	0.82	9.24	6.76	24.97	75.20	0.97	126.81	512.32
	TB361	角砾状钠长石岩	0.244	0.08	9.89	2.83	14.80	4.96	15.82	64.89	2.30	137.73	97.10
	BSW-6	钠长石角砾岩	0.57	0.03	9.91	31.17	78.06	5.29	32.13	107.1	0.35	175.9	482.0
	BSW-9	钠长石角砾岩 板岩	0.41	0.02	9.93	20.71	46.29	3.45	25.39	106.1	0.28	165.3	452.9 149.23
地壳克拉克值			0.004	0.07	55	12.5	70	25	75	100	0.2	165	425

注:电子探针分析单位:长安大学国土资源学院成矿作用及其动力学开放实验室;仪器型号:JXA-8100。

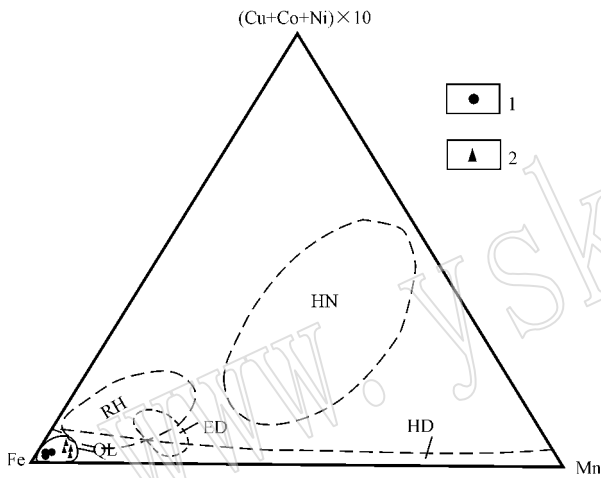


图 5 岩石 Fe-Mn-(Cu+Co+Ni)×10 图解(据 Bostrom, 1983)

Fig. 5 Fe-Mn-(Cu+Co+Ni)×10 diagram (after Bostrom, 1983)

HN—水成沉积物区; HD—热液沉积物区; RH—红海沉积物区;  
ED—东太平洋中脊沉积物区; QL—秦岭沉积岩区; 1—旬阳盆地  
钠长石岩; 2—凤太盆地双王钠长石岩

HN—hydrogenous sediment area; HD—hydrothermal sediment area;  
RH—hydrothermal sediment area of the Red Sea; ED—hydrothermal  
sediment area of East Pacific Ocean; QL—sediment area of Qinling;  
1—albitite of Xunyang basin; 2—albitite of Fengtai basin

联系, 区域地层的  $\delta E_u$  平均值 0.67, 与元古代—三叠纪以来的正常沉积岩的  $\delta E_u$  相等(0.67±0.005), 钠长石岩  $\delta E_u$  平均值 0.69, 与围岩  $\delta E_u$  值接近, 两者均表现为  $E_u$  亏损; 钠长石岩  $\delta Ce$  变化范围在 0.91~1.1, 平均为 0.98, 无明显亏损, 这与成岩时环境相对  $Ce$  的富集有关。Fleet (1983) 在研究现代和古代热水沉积与水生沉积的 REE 时指出, 热水沉积物  $\Sigma REE$  低, 由于水成沉积物的  $\Sigma REE$  高, 当有水成沉积物与热水沉积物混合时, 会提高热水沉积物的  $\Sigma REE$ 。钠长石岩的较高  $\Sigma REE$  就是成岩过程中粘土

矿物混入造成的。

## 4 讨论

岩石的结构构造及产出状态是岩石成因的直观反映。钠长石岩地质特征研究表明, 本区钠长石岩主要产于一套沉积岩系中, 包括细碎屑岩和碳酸盐岩, 具有沉积韵律构造, 钠长石呈微晶或细晶结构, 显示低温结晶的特点。钠长石岩基本保留了原始沉积构造, 结合其与地层整合产出特征, 钠长石岩应属同生沉积成因。岩石化学分析数据表明, 研究区内钠长石岩的  $Na_2O$  含量较区域地层及全球沉积岩明显增高。而  $K_2O$  含量低于区域地层, 同时  $Fe_2O_3$  和  $FeO$  含量低,  $FeO/Fe_2O_3$  比值大于 1 等特征也与区域地层差异较大, 说明钠长石岩与地层成因存在差异。钠长石岩多富含热水活动指示元素 Ba 及 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 等成矿元素, 具有一定的热水沉积特征。但与本区热水沉积硅质岩比较,  $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $FeO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$  高含量和热水沉积判别值的显著差异又暗示了两者的成因区别。稀土元素分析数据进一步证明了钠长石岩与热水沉积岩的成因不同。

另一方面, 钠长石岩常量元素含量基本与区域沉积岩接近, 明显区别于热水沉积硅质岩, 钠长石岩中  $TiO_2$  与  $Al_2O_3$  呈正相关关系, 世界页岩和粘土落在斜率直线附近, 暗示岩石中的 Ti 和 Al 可能主要来自水成沉积粘土。同时钠长石岩的稀土配分曲线与区域沉积岩十分相似, 进一步说明钠长石岩成岩过程中有陆源碎屑沉积物的混入。而区域上钠长石岩与碎屑岩共生、层状钠长石岩的纹层状构造是碎屑岩参与的直观地质证据。

表4 钠长石(角砾)岩及区域地层的稀土元素组成

$w_B/10^{-6}$

Table 4 REE composition of albite (breccia) and regional strata

样品号	B-12 <sup>①</sup>	B-13 <sup>①</sup>	B-15 <sup>①</sup>	B-24 <sup>①</sup>	ESW-4 <sup>②</sup>	ESW-6 <sup>②</sup>	ESW-9 <sup>②</sup>	ESW-5 <sup>②</sup>	2002xt1 <sup>③</sup>	2002xt2 <sup>③</sup>	2002xt5 <sup>③</sup>	2002xt6 <sup>③</sup>	2002xt7 <sup>③</sup>	南沙沟4 <sup>④</sup>	剖面6 <sup>④</sup>	泗人沟10 <sup>④</sup>
样品性质	细粒 钠长石岩	绿泥 钠长石岩	黑云钠长 石角砾岩	钠长石 角砾岩	钠长石 角砾岩	钠长石 角砾岩	钠长石 角砾岩	钠长石 角砾岩	绢云片岩	蛭石化 绢云片岩	粉砂质 千枚岩	石英粉 砂岩	铁白云石 千枚岩	千枚岩	千枚岩	含碳 千枚岩
La	22.9	39.9	30.9	29.4	38.8	11.9	33.11	23.44	43.6	44.1	62	58.1	45	44.90	54.20	43.50
Ce	46.7	76.3	70.0	58.4	78.91	25.17	68.03	48.05	82.8	69.7	105	114	77.4	79.60	91.50	78.20
Pr	5.15	9.12	6.76	6.92	8.887	2.926	7.768	5.414	7.04	6.6	9.14	9.3	6.6	10.80	12.90	10.40
Nd	18.5	32.5	24.2	26.1	34.79	11.82	30.81	21.33	32.1	31.5	40.9	42.0	31.6	35.4	40.0	34.3
Sm	3.46	5.99	4.34	5.35	6.264	2.875	6.077	4.409	6.34	6.27	7.6	9.43	6.2	7.19	7.55	6.05
Eu	0.67	1.31	0.84	1.20	1.506	0.851	1.381	1.127	1.14	1.32	1.77	1.7	1.27	1.79	1.43	1.14
Gd	3.34	5.13	3.61	5.51	7.091	3.749	6.514	5.233	5.5	5.81	7.31	7.55	5.37	5.69	5.68	4.18
Tb	0.53	1.07	0.58	0.91	0.88	0.679	0.804	0.753	0.97	0.97	1.12	1.29	0.84	0.88	0.87	0.73
Dy	3.37	4.07	2.65	5.27	4.572	4.367	4.129	4.3	6.12	6.41	7.33	7.69	5.25	5.58	5.04	4.25
Ho	0.67	1.01	0.58	1.12	0.887	0.861	0.794	0.827	1.12	1.25	1.4	1.44	0.99	1.21	1.04	0.89
Er	2.06	2.58	1.63	3.15	2.732	2.635	2.463	2.488	3.37	3.67	3.94	4.27	2.95	3.42	3.03	2.62
Tm	0.29	0.60	0.31	0.46	0.371	0.369	0.338	0.344	0.5	0.51	0.59	0.64	0.42	0.44	0.40	0.41
Yb	1.92	2.66	1.80	2.59	2.666	2.561	2.431	2.479	2.98	3.18	3.62	3.96	2.63	2.73	2.23	2.52
Lu	0.30	0.58	0.34	0.41	0.397	0.371	0.37	0.355	0.45	0.48	0.57	0.61	0.4	0.40	0.34	0.38
Y	20.1	21.7	15.1	33.2	21.72	21.67	19.53	20.34	25.2	27.7	30.5	32.50	21.9	26	22.1	24.7
ΣREE	109.86	182.82	148.54	146.79	188.75	71.13	165.02	120.55	194.03	181.77	252.29	261.98	186.92	200.03	226.21	189.57
LREE	97.38	165.12	137.04	127.37	169.16	55.54	147.18	103.77	173.02	159.49	226.41	234.53	168.07	179.68	207.58	173.59
HREE	12.48	17.70	11.50	19.42	19.60	15.59	17.84	16.78	21.01	22.28	25.88	27.45	18.85	20.35	18.63	15.98
LREE/HREE	7.8	9.3	11.9	6.6	8.6	3.6	8.2	6.2	8.2	7.2	8.7	8.5	8.9	8.8	11.1	10.9
δEu	0.60	0.71	0.64	0.68	0.70	0.81	0.68	0.73	0.59	0.67	0.73	0.61	0.67	0.84	0.65	0.67
δCe	0.98	0.91	1.10	0.94	0.97	0.98	0.97	0.97	1.02	0.87	0.93	1.06	0.95	0.83	0.79	0.84

注: ①本文数据, 中国地质科学院矿产资源研究所等离子质谱分析, 灵敏度 10 ng/mL 溶液计数 > 5 × 10<sup>5</sup>, RSD < 2.5%; ②本文数据, 国土资源部成矿作用及其动力学开放实验室等离子质谱分析; 仪器型号: 美国热电 X-7 型, RSD < 3%; ③据陕西省地质调查院(2003); ④据郑三忠(1996); 标准化值 N 采用 Leedy 球粒陨石标准值。

① 陕西地质调查院, 2003. 陕西旬北地区铅锌矿评价 2003 年研究总结报告(内部资料).



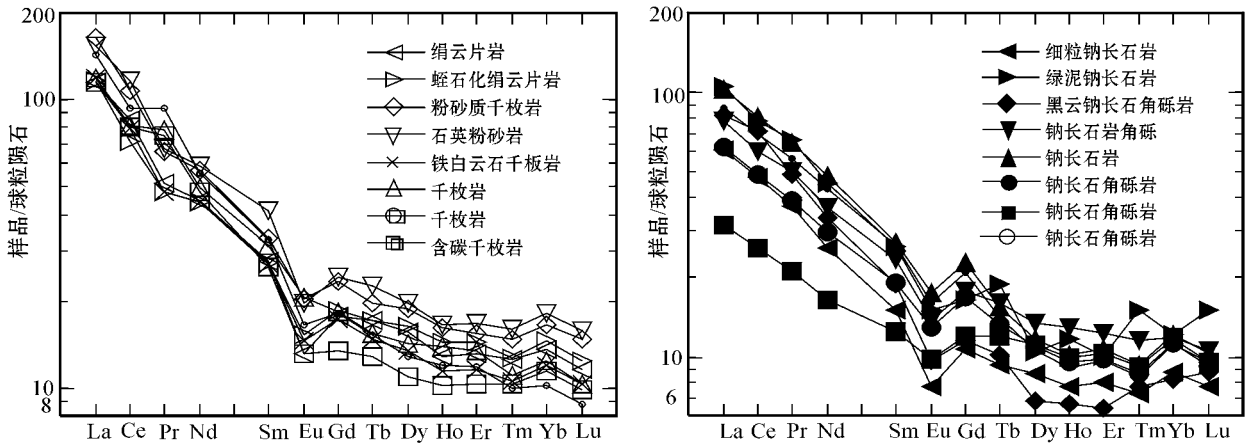


图 6 南秦岭沉积地层及钠长石岩稀土元素球粒陨石标准化稀土配分模式图  
Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of strata and albitite in South Qinling

表 5 南秦岭典型热水沉积硅质岩稀土元素特征值  
Table 5 REE eigenvalues of siliceous rocks in South Qinling

产地	岩性	样号	∑REE	LREE	HREE	LREE/HREE	δCe	δEu
凤太盆地	硅质铁白云岩	B-06	28.85	20.21	8.64	2.34	1.13	0.90
		B-11	29.97	21.76	8.21	2.65	0.91	0.71
	铁白云石硅质岩	B-3	13.54	11.76	1.78	6.61	0.90	1.10
		B-4	16.61	12.15	4.46	2.72	0.95	0.68
	硅质岩	B-35	15.32	13.53	1.79	7.56	0.64	0.55
		B-33	10.53	9.18	1.35	6.80	0.33	0.69
旬阳盆地	含碳硅质板岩	2002xt4	24.95	22.31	2.64	8.47	0.71	0.55
	碳硅质岩	04-Y	11.18	8.27	2.91	2.85	0.85	1.27

### 5 初步认识

南秦岭富钠长石岩石在形成时间上发生在沉积和早期成岩阶段,与正常沉积岩同时形成。兼具有正常沉积岩石和热水沉积岩石的特点,是一种有别于二者的混合型非典型热水沉积岩石。结合其地质学、岩石学、地球化学特点,笔者认为钠长石岩是由一种富钠,含金属元素的热水在沿断裂(裂隙)系统喷出海底过程中,通过对所流经地层中元素的淋滤、萃取及海底未固结沉积物中的粘土的吸附,而形成的混合热水溶液,粘土物质呈悬浮状态存在于混合热水中,并通过沉积作用形成富钠和金属的粘土沉积物。当盆地水动力较弱时,化学条件稳定时形成厚层的层状钠长石岩,化学条件变化较大,则形成层纹状、薄层的钠长石岩;如果水动力较强,先期未固结的钠长石岩会被破坏,形成角砾状钠长石岩。钠长石主要在温度不高、富钠、碱性环境的成岩阶段形成。

### References

Angus N S and Kanavis-Sotiriou R. 1995. Adinole revisited: hydrothermal Na (Ca)-metasomatism of pelite screens adjacent to tholeiitic dykes in the Dublin terrane, Ireland [ J ]. Mineral Mag. , 59( 3 ): 367~382.

Bostrom K. 1983. Genesis of ferromanganese deposits-diagnostic criteria for recent and old deposits[ A ]. Rona P A. Hydrothermal Processes at Seafloors Spreading Centers[ C ]. New York :Plenum Press , 473~483.

Fan Shuocheng , Wang Zhixian and Zhou Mingzhong. 1994. Geological features and gold-bearing assessment sign of mineralized breccia in Feng country-Shang nan country[ A ]. Shenyang Institute of Geology and Minerals Resources editor. Contributions to the gold deposits geology of eastern China( 4 ). The Eastern Region of Qinling [ C ]. Beijing : Geological Publishing House , 69~96( in Chinese ).

Fleet A J. 1983. Hydrothermal and hydrogeneous ferromanganese deposits[ A ]. Rona P A. Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers[ C ]. New York : Plenum Press , 537~570.

Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences. The Mechanism of the Ning Wu iron deposits[ M ]. 1987. Beijing : Science Press , 7~12( in Chinese ).

John F S , Martin R P , Brian P J S , et al. 1993. Origin and significance



- of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill District [ J ]. *Australia Economic Geology*, 88 : 505 ~ 541.
- Li Yong, Su Chunqian and Liu Jiqing. 1999. Characteristics and genesis of albitite in the east Qinling orogenic belt [ J ]. *Acta petrologica et mineralogical*, 18(2): 121 ~ 127 (in Chinese with English abstract).
- Liang Huaying, Wang Xiuzhang and Cheng Jingping. 2001. Chemical composition and REE pattern of hydrothermally deposited albitite in northern Guangdong province [ J ]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(3): 415 ~ 420 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shuwen, Wang Tao, Zeng Rong, *et al.* 2008. Geology and geochemistry of Silurian hydrothermal sedimentary albitite in the Xunyang basin, South Qinling [ J ]. *Geology and Prospecting*, 44(3): 40 ~ 46 (in Chinese with English abstract).
- Li Qiang. 2009. Geochemistry of siliceous rocks in Fengxian-Taibai basin and hydrothermal mineralization effect [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogical*, 28(3): 243 ~ 250 (in Chinese with English abstract).
- Li Tong and Yao Jilong. 1965. The abundance of chemical elements in the earth's crust and its major tectonic units [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 45(1): 82 ~ 92 (in Chinese with English abstract).
- Ma Guoliang, Xue Chunji, Wei Heming, *et al.* 1992. Calcite albitite of the underlying ore body in the Tongmugou zinc deposits [ J ]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 14(3): 12 ~ 17 (in Chinese with English abstract).
- Qi Sijing, Li Ying, Zeng Zhangren, *et al.* 1993. Lead-Zinc Metallogenic Belt of Devonian System in Qinling Mountains [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 65 ~ 127 (in Chinese).
- Rona P A. 1983. Hydrothermal processes at seafloor spreading centers [ J ]. N. Y.: Plenum Press, 473 ~ 489.
- Rona P A and Scott S D. 1993. A special issue of seafloor hydrothermal mineralization: new perspectives [ J ]. *Economic Geology*, 88(8): 1935 ~ 2078.
- Slack J F, Palmer M R, Steven B R, *et al.* 1993. Origin and significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill District, Australia [ J ]. *Econ. Geol.*, 88(3): 505 ~ 541.
- Sun Haitian, Ge Chaohua and Ji Shukai. 1989. Characteristics and genesis of breccias from the Hu Jiayu-Bi Ziguo type stratabound copper deposits in Zhong Tiaoshan area [ J ]. *Mineral Deposits*, 8(1): 19 ~ 28 (in Chinese with English abstract).
- Tang Jingru, Wang Jingcao, Wang Guofu, *et al.* 2002. The geological features and preliminary study of gold-hosted breccia in Shuangwang ore deposit, Shaanxi [ J ]. *Northwestern Geology*, 35(1): 60 ~ 64 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiangzhen, Lu Yan, Xiao Yuanpu, *et al.* 1999. The discovery of adinole in the Xiaoqingshan copper (gold) deposit, Huili country, Sichuan province [ J ]. *Geological Review*, 45(3): 323 ~ 327 (in Chinese with English abstract).
- Willner A P. 1992. Torumalinites from the stratiform peraluminous metamorphic suit of the Central Namaqua Mobile Belt (South Africa) [ J ]. *Mineralium Deposita*, 27: 304 ~ 313.
- Xue Chunji. 1997. Hydrothermal Sediment of Devonian Period in Qinling [ M ]. Xi'an: Cartographic Publishing House, 72 ~ 99 (in Chinese).
- Xia Hongyuan and Liang Shuyi. 1991. Origin Series of the Tungsten Tin, Rare Metal Granites in South China [ M ]. Beijing: Science Press, 29 ~ 30 (in Chinese).
- Xue Chunji. 1991. Sea floor hydrothermal sedimentary characteristics of a similar jasper rock of Yindongz [ J ]. *Mineral Petrol.*, 11(2): 125 ~ 136 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Huaping and Zhang Dequan. 2004. Dequan. Research on geology & geochemistry of Silurian clastic rock-bearing lead-zinc deposit in southern Qinling [ J ]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 19(2): 76 ~ 82 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Sanzhong. 1996. Research on geology and geochemistry of lead-zinc deposit in Xunyang basin, Shaanxi province [ D ]. Xi'an: Xi'an Geology Institute (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 王奖臻, 陆彦, 肖渊甫, 等. 1999. 四川会理小青山铜(金)矿钠长石英板岩的发现及其意义 [ J ]. *地质论评*, 45(3): 323 ~ 327.
- 祁思敬, 李英, 曾章仁, 等. 1993. 秦岭泥盆纪铅锌矿带 [ M ]. 北京: 地质出版社, 65 ~ 127.
- 樊硕诚, 王之贤, 周敏忠. 1994. 陕西凤州-商南矿化角砾岩(双王型)地质特征及含金性评价标志 [ A ]. 沈阳地质矿产所. 中国东部金矿地质研究文集(4). 秦岭东部地区 [ C ]. 北京: 地质出版社, 69 ~ 96.
- 孙海田, 葛朝华, 冀树楷. 1989. 中条山地区胡-甯型层控铜矿床角砾岩的特征及成因研究 [ J ]. *矿床地质*, 8(1): 19 ~ 28.
- 汤静如, 汪劲草, 王国富, 等. 2002. 陕西双王含金角砾岩地质特征及成因初探 [ J ]. *西北地质*, 35(1): 60 ~ 64.
- 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 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 18(2): 121 ~ 127.
- 厦宏远, 梁书艺. 1991. 华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列 [ M ]. 北京: 科学出版社, 29 ~ 30.
- 中国科学院地球化学研究所. 1987. 宁芜铁矿床形成机理 [ M ]. 北京: 科学出版社, 7 ~ 12.
- 梁华英, 王秀璋, 程景平. 2001. 粤北大沟谷热水沉积钠长石岩石化学及稀土元素 [ J ]. *沉积学报*, 19(3): 415 ~ 420.
- 马国良, 薛春纪, 魏合明, 等. 1992. 桐木沟矿床矿体底板方解钠长石岩 [ J ]. *西安地质学院学报*, 14(3): 12 ~ 17.
- 薛春纪. 1991. 银洞子似碧玉岩的海底热液沉积特征研究 [ J ]. *矿物岩石*, 11(2): 125 ~ 136.
- 刘淑文, 王涛, 曾荣, 等. 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 [ J ]. *地质与勘探*, 44(3): 40 ~ 46.
- 薛春纪. 1997. 秦岭泥盆纪热水沉积 [ M ]. 西安: 西安地图出版社, 72 ~ 99.
- 朱华平, 张德全. 2004. 陕西南秦岭志留系铅锌矿床地质地球化学特征研究 [ J ]. *地质找矿论丛*, 19(2): 76 ~ 82.
- 李强. 2009. 凤-太盆地硅质岩系地球化学特征及热水成矿效应 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 28(3): 243 ~ 250.
- 黎彤, 烧纪龙. 1965. 论化学元素在地壳及其基本构造单元中的丰度 [ J ]. *地质学报*, 45(1): 82 ~ 92.
- 郑三忠. 1996. 陕西旬阳古盆地铅锌矿床地质及地球化学特征 [ D ]. 西安: 西安地质学院.