

# 山东郯山碱性杂岩体地球化学特征及其意义

周伟伟<sup>1</sup>, 蔡剑辉<sup>2</sup>, 阎国翰<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院  
矿产资源研究所, 北京 100037; 3. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871)

**摘要:** 郯山碱性杂岩体与稀土矿床的成因关系密切。通过系统的岩石地球化学研究, 全面认识了该区碱性岩浆活动的性质、物质来源及构造背景。经研究发现,  $\text{SiO}_2$  含量为 65.08%~69.41%, 属于酸性岩, 全碱值 ( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ) 为 8.16%~12.92%; 在 TAS 图上, 岩石样品全部落在碱性趋势线之上; 微量元素的组成以富集大离子亲石元素 (LILE) Ba、Sr, 亏损高场强元素 P、Nb、Ta、Hf 为特征; 稀土总量 ( $\Sigma\text{REE}$ ) 为  $189.11\times 10^{-6}$ ~ $2\ 144.52\times 10^{-6}$ , 轻稀土强烈富集, 亏损重稀土, 以弱负 Eu 异常为主。郯山碱性杂岩体岩石属于碱性岩系列, 成岩物质来源较深, 与 EMI 富集地幔有关, 并受到了地壳物质的混染, 形成于引张型构造背景, 为造山期后岩浆活动的产物。

**关键词:** 地球化学特征; 碱性杂岩体; 山东郯山

**中图分类号:** P597      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-6248(2013)04-0093-13

## The Geochemical Characteristics and Geological Significance of Alkaline Complex in Chishan of Shandong Province

ZHOU Wei-wei<sup>1</sup>, CAI Jian-hui<sup>2</sup>, YAN Guo-han<sup>3</sup>

1. Department of Geoscience and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083, China;
2. Institute of Mineral, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
3. Faculty of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Alkaline complex in Chishan is closely related to the origin of rare earth elements (REE) deposits. A systematic study on geochemical characteristics of the complex was conducted to reveal its features of alkaline magma activity, the mineral sources and tectonic settings. Results have shown that the  $\text{SiO}_2$  content accounts for 65.08%-69.41%, signifying that the alkaline complex is acidic rock, with total alkaline ( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ) value of 8.16%-12.92%, and all the samples fell above the alkaline trend line in the TAS chart; As to the composition of trace element, the rock complex enriches in lithophile elements, such as Ba and Sr, but is relatively poor in high field strength elements, such as P, Nb, Ta and Hf; Total values of rare earth elements ( $\Sigma\text{REE}$ ) are  $(189.11-2\ 144.52)\times 10^{-6}$ , where LREE is strongly enriched while HREE is deficient, dominated by a weak negative Eu anomaly. Based on the study and analysis, this paper suggests that the Chishan alkaline complex was formed in extensional tectonic background and was a post-orogenic magmatic product. Belonging to alkaline rock series, its mineral source is deep-seated magma, relating to EMI enriched mantle and being contaminated by crustal materials.

**Key words:** geochemical characteristics; alkaline complex; Chishan in Shandong province

收稿日期: 2013-03-18; 修回日期: 2013-04-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41073047) 和 (40773041) 资助

作者简介: 周伟伟 (1987-), 女, 硕士研究生, 地质工程专业。Email: zhouweiwei0809@123.com

近年来, 稀土元素作为极为贵重和紧缺的“三稀”元素之一, 是现代高精尖科学技术不可或缺的原材料, 其地位和作用变得越来越重要。与碱性岩有关的碳酸岩型稀土矿床是稀土矿床中的重要产出类型。碱性岩也与世界级的金(银)矿床的产出密切相关(贵州省地质矿产局, 1987)。中国东部自中生代以来出现了大规模的岩浆爆发与成矿作用, 控制了晚中生代鲁西大地构造轮廓、岩浆活动及与碱性岩浆活动密切相关的铁、金、稀土等矿产的分布(邓晋福等, 1999; 华仁民等, 1999; 胡受奚等, 2000; 毛景文等, 1999, 2003)。因此, 关于碱性岩的研究在探讨地球深部物质组成和演化、地球动力学背景及碱性岩浆活动特征等均具有重要的意义。

微山稀土矿床位于山东省枣庄市微山县郝山村, 是我国一处著名的中大型轻稀土基地。微山稀土矿床与其储矿围岩(碱性杂岩体)之间具有密切的成因联系, 属于典型的与碱性岩有关的轻稀土矿床, 陈衍景(2012)认为山东微山稀土矿床亦属于小岩体成大矿的典型实例, 此类矿床在整个华北克拉通成矿过程中也不常见。前人关于微山稀土矿床地质研究工作有许多成果(田京祥等, 2002; 孔庆友等, 2006; 阎国翰等, 2008; 李建康等, 2009; 于学峰等, 2010; 蓝廷广等, 2011)。尽管对微山稀土矿床地质特征、成矿年龄、成矿流体特征及

成矿模型等均进行过探讨, 认识到微山稀土矿床与燕山期岩浆作用、构造演化具有一定的成因联系, 但均缺乏深入系统研究。笔者拟通过开展与微山稀土矿密切相关的郝山碱性杂岩体系统的岩石地球化学的研究, 了解其岩浆物质来源、形成的构造环境, 并对指导该区找矿均具有重要意义。

## 1 区域地质背景

山东郝山—龙宝山地区位于鲁中隆起区南部, 沂沭断裂西侧约 100km 处。区内出露地层有太古宇泰山群草峪组变质岩系, 寒武系、奥陶系碳酸盐岩建造及碎屑岩、石炭—二叠系碎屑岩以及第四系。区内构造主要为郯庐断裂带中段的沂沭断裂(图 1), 并发育有受之影响的北西向和近东西向调整构造系(牛树银等, 2003, 2004; 王先美等, 2010)。控制了区内地层和岩浆岩的展布。鲁西隆起中生代的伸展在先期挤压的环境下发展起来, 与华北东部中生代构造体制发生以挤压为主到伸展的构造机制一致(张自桓, 1995; 宋明春等, 2001; 时秀鹏等, 2010)。中生代是鲁西岩浆活动的一个高峰期, 发育各种典型的幔源岩浆岩。例如, 侵入岩、富钾火山岩和一些煌斑岩(胡华斌等, 2004)。区内燕山期的中偏碱性杂岩体发育, 主要为闪长玢

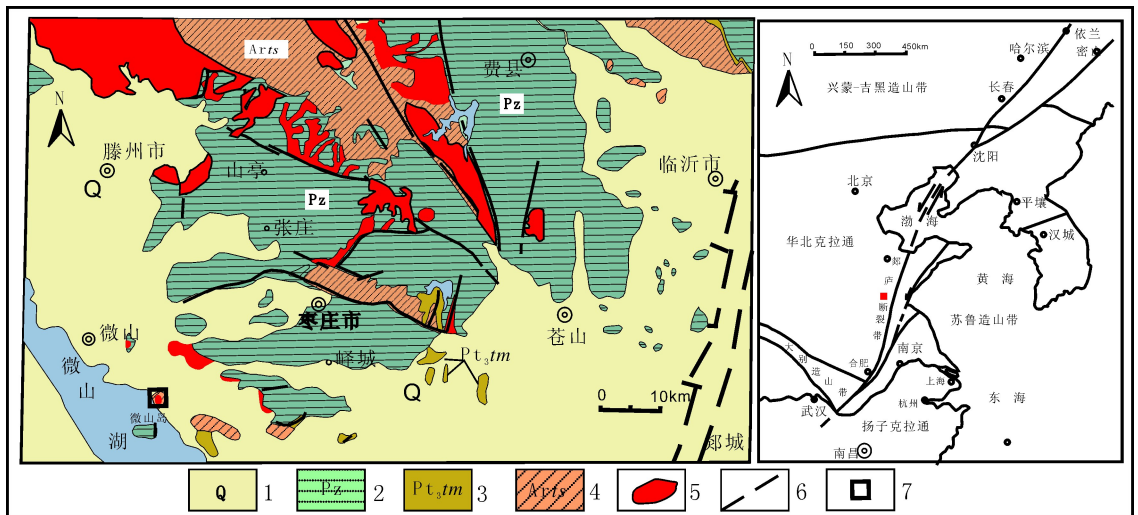


图 1 鲁西微山地区地质简图(据龙宝山地区 1:50000 地质图, 阎国翰等, 2008)

Fig. 1 Geological sketch map of Weishan area in west Shandong

1. 第四系; 2. 古生界; 3. 上元古界; 4. 新太古代泰山群山草峪组;
5. 中生代火成岩; 6. 断裂; 7. 郝山碱性杂岩体

岩、正长岩、正长斑岩、辉绿岩和煌斑岩等，多呈岩基、岩株、岩脉产出，代表性的岩体有由二长质—正长质岩石构成的沙沟、铜石、郯山、龙宝山等火山—侵入杂岩体。

## 2 岩体地质特征

郯山碱性杂岩体位于华北板块东南缘（图 2），

尼山凸起西南缘，微山湖畔。岩石主体为霓辉正长岩，出露面积为 0.5 km<sup>2</sup>，除郯山小山头有基岩露头零星分布外，95% 为第四系覆盖。岩体呈北东—南西向展布，侵入于泰山群黑云斜长片麻岩中，与片麻岩呈不规则的枝杈状接触，岩体内含较多的大小不等的黑云斜长片麻岩捕虏体，接触带内发育因不同程度碱质交代作用形成的蚀变岩和交代岩，主岩体与其西南出露的小型碱性花岗岩体共同构成

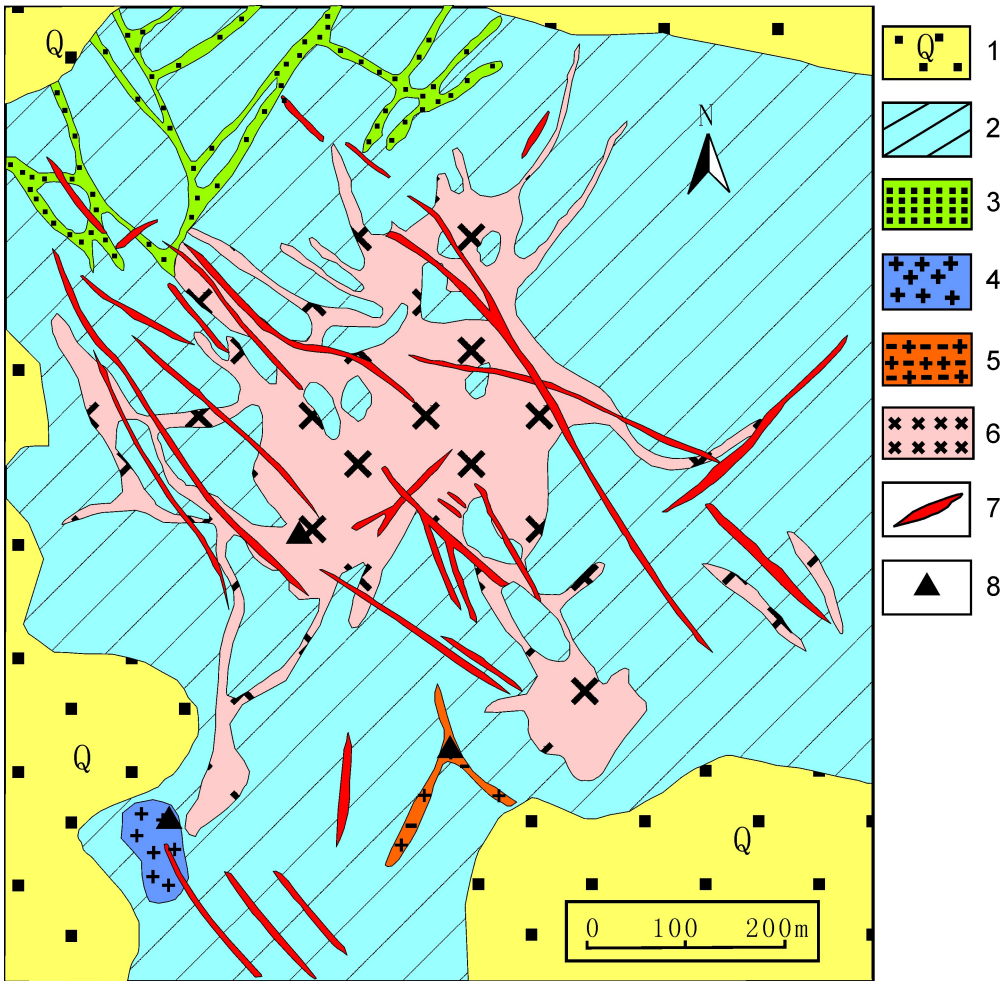


图 2 山东郯山碱性杂岩体地质略图（据孔庆友等，2006）

Fig. 2 Geological sketch of rock complex in Chishan, Shan dong province

1. 第四系；2. 新太古代界；3. 闪长玢岩；4. 碱性花岗岩；5. 霓辉石英正长斑岩；
6. 霓辉正长岩；7. 稀土矿脉；8. 采样位置

郯山碱性花岗岩-霓辉正长岩复式岩体。

岩体边缘和岩枝为多斑状结构，岩性变化大，边缘及局部地段岩枝为石英正长岩、似斑状石英正长岩。郯山碱性杂岩体受构造断裂控制明显，岩石

中构造裂隙发育，常被碳酸岩岩脉充填，单脉状、网脉状及浸染状矿脉总体沿北西向分布，与稀土矿化有关的矿脉主要有 2 种，即石英正长斑岩脉和霓辉正长岩脉。脉岩中含有氟碳铈矿、独居石等矿

物；围岩蚀变作用较强，主要表现为钾长石化、钠长石化，其他蚀变主要有碳酸盐化、重晶石化、萤石化、稀土矿化等（蓝廷广等，2011）。主岩体北西方向出露闪长玢岩脉，呈枝杈状分布于泰山群黑云斜长片麻岩中。

目前，郛山碱性杂岩体的侵入时间仍存在争议，锆石 U-Pb 年龄为 131 Ma（阎国翰等，2008），K-Ar 法测得 140 Ma（田京祥等，2002）。稀土矿单颗粒的云母 Rb-Sr 年龄为 119.5 Ma（蓝廷广等，2011），K-Ar 法年龄为 110 Ma（田京祥等，2002）。以上可以说明郛山地区的碱性杂岩体成岩、成矿可能与中生代早白垩世大规模的岩浆活动关系密切，成岩作用早于成矿。

### 3 岩石学特征

笔者对郛山碱性杂岩体岩石的岩性特征进行了详细地描述，分别对霓辉正长岩、碱性花岗岩、霓辉石英正长斑岩系统采样，进行镜下岩石鉴定。

霓辉正长岩呈浅肉红色，中粒结构，块状构造；显微镜下呈细粒-中粒的半自形粒状结构，粒径约为 0.5 mm。主要矿物成分为：霓辉石含量为 8%~10%，正长石含量约为 75%，石英含量小于 5%；副矿物为少量的磁铁矿（约 5%）、磷灰石、榍石和锆石等。霓辉石为柱状的自形-半自形晶，呈绿色-黄绿色，颜色呈环带分布，自中心向外绿色逐渐加深，含有长石包体（图 3a、图 3b）。正长石具半自形板状，条纹状格子状构造，具明显的卡斯巴双晶和环带结构（图 3a、图 3b、图 3e、图 3f）。石英为他形粒状，粒度一般约为 0.4 mm。磁铁矿为半自形粒状，均匀分布。磷灰石呈自形柱状，粒度长达 0.5 mm。霓辉正长岩中常含有方解石细脉，方解石呈不规则粒状，具菱面体解理（图 3c、图 3d）。

碱性花岗岩具细粒花岗结构，块状构造。显微镜下呈细粒半自形粒状结构，主要矿物成分为钾长石、斜长石、石英等，还含有少量的黑云母、角闪石等；副矿物有榍石、磁铁矿等。碱性长石为半自形柱状、粒状，具卡斯巴双晶（图 3h），条纹结构明显，含量约为 65%；斜长石呈半自形柱状，粒度为 1~5 mm，具聚片双晶（图 3g），含量为

10%左右；石英为他形粒状，含量约为 25%。黑云母多色性明显，为红褐色-棕褐色，外形不规则。角闪石为自形-半自形结构，粒度为 0.5~2 mm。榍石含量小于 1%，粒度约为 0.5 mm。

霓辉石英正长斑岩呈灰黑色，中细粒结构，块状构造。显微镜下呈细粒的斑状结构。主要矿物成分为碱性长石（约 65%）、霓辉石（1%~5%）、石英（20%~30%），还含有少量的黑云母、角闪石；副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石。

### 4 岩石地球化学特征

本次研究样品分别采自郛山碱性杂岩体的不同岩相带。样品经破碎后用玛瑙钵研磨至 200 目。主量元素和微量元素分析在北京大学造山带与地壳演化重点实验室用荧光光谱仪 ARLADNANT XP+ 完成，仪器测试精度：主量元素 < 0.5%；微量元素检出限  $0.1 \times 10^6$ 。采用溶片法制样以用于主量元素分析，具体操作方法是：准确称取 3 g 四硼酸锂、1 g 偏硼酸锂和 0.4 g 样品，在铂金坩埚加温至 1 150℃ 充分融化，摇匀后冷却。采用压片法制样以用于微量元素分析，取适量样品粉末，以硼酸为衬底在铝皿中加高压成片。稀土元素的测试在北京大学造山带与地壳演化重点实验室的 VGAXiom ICP-MS 系统上完成，采用酸溶法制样。

#### 4.1 主量元素特征

郛山碱性杂岩体的全岩化学分析数据及 CIPW 标准矿物计算见表 1。郛山杂岩体中岩石的  $\text{SiO}_2$  含量为 65.08%~69.41%，平均值为 68.04%，属于酸性岩类。

各个岩体普遍出现了标准矿物石英，其含量为 6.30%~26.00%，反映该杂岩体为一套硅饱和或过饱和岩石。岩石的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量较高，其值为 12.17%~16.20%，平均值达 14.98%，并在标准矿物中部分出现了刚玉。岩石的过铝指数 A/CNK 为 0.90~1.55，除样品 X-8、X-9 的值为 0.90、0.96 外，其他样品的过铝指数均大于 1，说明这些岩体属于铝正常或过铝质岩石。

岩石的里特曼指数  $\delta$  为 2.52~6.85，平均值为 4.78。全碱含量 ALK 为 8.16%~12.92%，平均值可达 10.71%， $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ，岩石相对富碱。

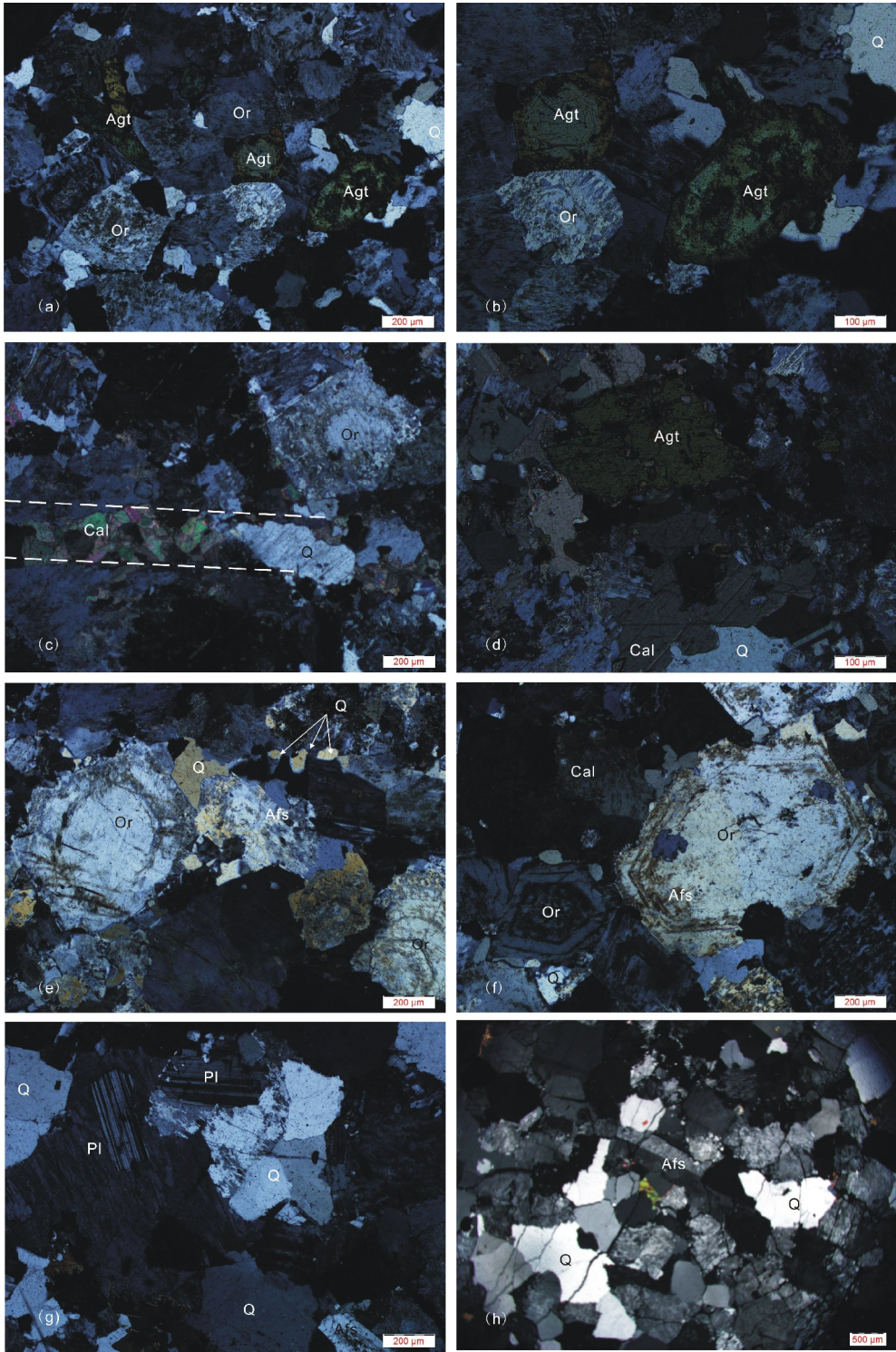


图 3 郯山碱性杂岩体霓辉正长岩的显微岩石学特征图

Fig. 3 Microphotographs of the egyptinaugite syenite in Chishan alkalic complex

a. 霓辉正长岩具有粒状镶嵌结构，正长石具有明显的卡斯巴双晶，霓辉石具有自形柱状、粒状结构；b. 霓辉石呈切面六边形，晶体内部可见长石包体；c. 晶体颗粒之间有方解石充填；d. 方解石呈半自形结构，菱形解理发育；e、f. 正长石具明显的环带结构，石英呈他形粒状；g、h. 碱性花岗岩具有花岗结构，斜长石具有聚片双晶，钾长石具卡斯巴双晶；Or. 正长石；Agt. 霓辉石；Afs. 钾长石；Cal. 方解石；Q. 石英

表1 祁山碱性杂岩体岩石化学分析数据 ( $\omega_b\%$ ) 和有关参数及 CIPW 标准矿物计算结果表

Tab.1 Chemical analyses, related parameters and CIPW norms of alkalic complex in Chishan

岩石名称	碱性花岗岩			霓辉正长岩			
	样品号	X-01	X-02	X-3	X-8	X-9	—
SiO <sub>2</sub>	69.41	68.78	67.54	70.17	65.08	67.28	67.58
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.24	0.21	0.22	0.21	0.17	0.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.20	15.96	14.63	12.17	14.61	15.51	15.81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.23	2.78	1.84	2.9	2.21	2.92	1.56
MnO	0.11	0.16	0.1	0.29	0.11	0.08	0.14
MgO	0.61	0.68	0.63	0.27	0.41	0.93	0.49
CaO	2.3	2.18	1.51	0.84	2.97	1.62	1.53
Na <sub>2</sub> O	4.86	4.89	7.94	7.26	7.22	6.37	6.59
K <sub>2</sub> O	3.3	3.5	4.98	5.48	5.08	3.58	3.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.33	0.29	0.21	0.16	0.2	0.12	0.20
Lol	0.41	0.49	0.54	0.48	1.98	0.76	1.02
Total	99.99	99.95	100.13	100.24	100.08	99.34	99.02
ALK	8.16	8.39	12.92	12.74	12.3	9.95	10.49
$\delta$	2.52	2.73	6.80	5.97	6.85	4.08	4.08
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.68	0.72	0.63	0.75	0.70	0.56	0.59
AR	2.58	2.72	9.02	95.37	5.65	3.77	4.06
Q	26.00	25.24	10.92	19.87	6.3	12.32	11.7
An	7.04	7.34	0.00	0.00	0.00	3.2	2.08
Ab	38.12	36.77	47.25	32.20	47.79	54.66	56.92
Or	19.48	20.67	29.26	32.50	30.62	21.46	23.53
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	2.62	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Di	0.00	0.00	3.17	2.77	5.27	3.48	3.62
Hy	2.73	3.28	0.81	1.59	0.00	2.23	0.14
Ol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wo	0.00	0.00	0.00	0.00	3.21	0.00	0.00
Ac	0.00	0.00	2.92	4.63	3.46	0.00	0.00
Ns	0.00	0.00	2.30	5.63	2.46	0.00	0.00
Il	0.44	0.46	0.40	0.42	0.41	0.33	0.39
Mt	1.43	1.80	0.00	0.00	0.00	2.03	1.12
Ap	0.79	0.70	0.50	0.37	0.47	0.28	0.47
数据来源	自测	自测	自测	自测	自测	周玲棣等,1994	田京祥等,2002

注: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \* 代表全铁。

Fe、Mn、Ca 则相对较低,与标准矿物中低含量的 An、Di、Ol、Hy 相一致。标准矿物中以 Or 和 Ab 为主,和岩石中以碱性长石为主的事实相一致。在 TAS 图解(图 4a)上,本区岩石投影点均位于碱性趋势线之上,主要集中在正长岩和石英二长岩区域。其碱度率 AR 为 2.58~9.02,在 AR-SiO<sub>2</sub>图解(图 4b)上,投影点主要落在碱性岩区,少数落于强碱性岩的范围内。因此,可以推断该岩体的岩石均属于碱性岩。

综上所述,祁山杂岩体岩石具有高硅、富碱、

偏铝或过铝,贫钙、铁、镁的特征,属于碱性岩系列。

#### 4.2 稀土、微量元素地球化学特征

祁山碱性杂岩体的稀土、微量元素数据和主要参数见表 2。

##### 4.2.1 稀土元素地球化学特征

如表 2 所示,岩石稀土元素总量  $\Sigma$ REE 较高,霓辉正长岩的  $\Sigma$ REE 均高达  $1\ 000 \times 10^{-6}$ ,碱性花岗岩的  $\Sigma$ REE 平均值也达  $256 \times 10^{-6}$ ,强烈富集轻稀土, LREE/HREE 值为 11.21~70.32,平均值为

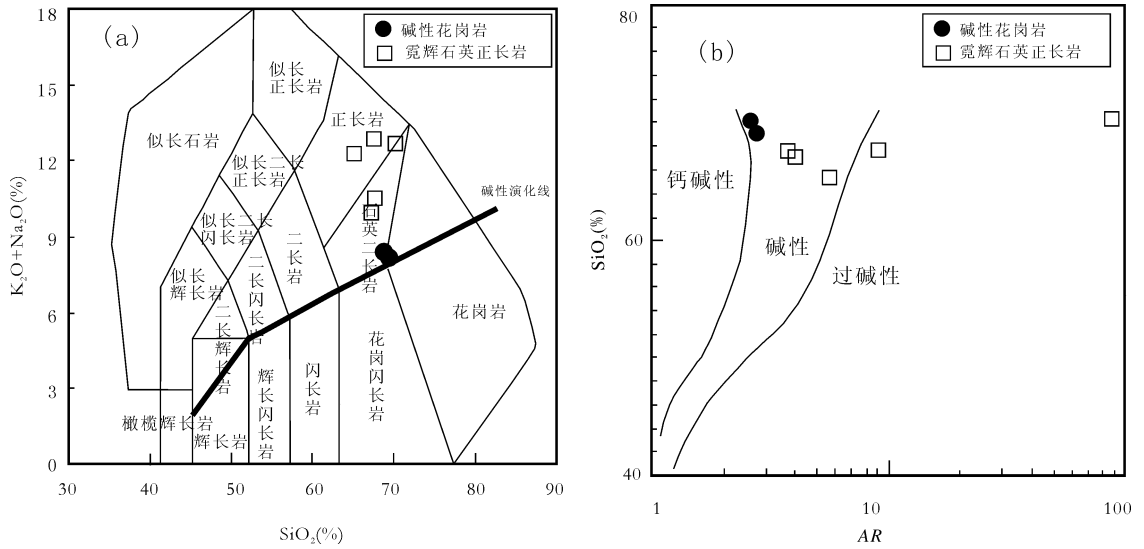


图 4 郯山碱性杂岩体的 TAS 图解 (a) 和 AR-SiO<sub>2</sub> 图解 (b) (底图分别据 Middlemost., 1994; Wright, 1969)

Fig. 4 TAS and AR-SiO<sub>2</sub> diagrams of alkalic rock complex in Chishan

37.78,  $(La/Yb)_N$  为 16.42~236.18;  $\delta Eu$  值为 0.32~0.91, 显示负 Eu 异常,  $\delta Ce$  值为 0.78~1.04, Ce 异常不明显。在稀土元素球粒陨石标准化图解 (图 5a) 上, 稀土元素曲线呈明显的轻稀土强烈富集的右倾斜分离型, 亏损重稀土, 轻重稀土分馏比较明显, 反映了它们为同源岩浆演化的产物。

综上所述, 郯山碱性杂岩体岩石稀土元素特征为轻稀土强烈富集, 亏损重稀土, 以 Eu 负异常为主。

#### 4.2.2 微量元素地球化学特征

岩石中的 Rb、Sr、Ba 等大离子亲石元素的迁移能够反映岩浆作用的特点, 其高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 的含量特点可以反映岩浆物质的来源。

郯山碱性杂岩体岩石微量元素显示以富大离子亲石元素 (LILE) Ba、Sr、Rb 富高场强元素 Zr、贫 Nb、Ta、Hf 为特征。不相容元素原始地幔标准化蛛网图 (图 5b) 显示各岩石的不相容元素配分模式基本相似。岩石样品的 Rb 含量均较低, 除 TD1GS1 外, 其余 5 个样品的平均值为  $82.37 \times 10^{-6}$ , Sr 的含量较高, 平均值为  $902.99 \times 10^{-6}$ , 这可能与 Sr 在结晶作用早期随斜长石晶出及晚期 Rb 随钾长石晶出有关。另外, 郯山碱性杂岩体岩石表现出明显的 K 正异常和强烈的 Sr、Ti 负异常, Ba、

Zr 正异常。

总体来看, 郯山碱性岩体岩石富集大离子亲石元素 (LILF) Ba、Sr 而相对亏损高场强元素 (HFSE) Nb、Ta、Hf。

## 5 讨论

中生代时期, 华北岩石圈经历了碰撞造山、构造体制大转折和岩石圈大规模减薄三大地球动力学事件 (毛景文等, 2003)。来源深、产出环境独特的碱性岩是陆壳与岩石圈开始转向伸展与减薄过程的标志, 既能记录岩石圈地幔组成、性质和演化特征, 又能反映地球深部不同圈层之间相互作用的特征, 与岩石圈减薄之间存在一定的内在联系。

郯山地区碱性杂岩体不仅与幔源岩浆活动关系密切, 而且又是热液脉型稀土矿床的成矿母岩 (田京祥等, 2002), 属于整个华北克拉通碱性岩成矿的典型实例。郯山碱性杂岩体在空间上与稀土矿密不可分, 矿体赋存在岩体中及其附近的围岩中, 碱性杂岩体周围具明显的矿化现象。在成岩成矿时代上, 稀土矿明显地晚于碱性杂岩体的侵位时代, 可能为岩浆期后热液成矿作用的结果。稀土矿物与碱性杂岩体具相似的高  $\Sigma REE$ 、强烈富集 LREE、亏损 HREE 等特征, 均具有氟碳铈矿和氟碳钙铈矿,

表2 郟山碱性碱性杂岩体岩石微量元素分析结果表 ( $\times 10^{-6}$ )Tab. 2 Trace elements composition of Alkaline complex in Chishan ( $\times 10^{-6}$ )

岩石名称	碱性花岗岩			霓辉正长岩		
	样品号	X-01	X-02	X-3	X-8	X-9
La	4482	63.63	378.65	422.75	422.22	741
Ce	87.61	138.5	501.12	758.75	682.02	975
Pr	9.03	16	47.59	74.93	58.49	75.1
Nd	30.13	63.96	126.82	231.31	161.79	231
Sm	4.83	12.38	16.48	20.68	17.83	86.5
Eu	1.03	2.64	4.41	6.62	3.97	5.85
Gd	4.19	9.31	15.03	23.59	14.03	14.3
Tb	0.61	1.49	1.17	2.73	1.38	1.64
Dy	2.87	7.43	4.05	11.9	4.75	6.05
Ho	0.56	1.3	0.55	1.78	0.61	1.57
Er	1.31	3.37	1.96	4.82	1.71	3.01
Tm	0.28	0.42	0.18	0.67	0.2	0.51
Yb	1.55	2.78	1.15	4.54	1.25	2.63
Lu	0.29	0.41	0.15	0.64	0.17	0.36
Y	14.42	31.02	16.02	50.89	15.48	37.7
$\Sigma$ REE	189.11	323.62	1 094.90	1 565.71	1 370.42	2 144.52
LREE	177.45	297.11	1 070.66	1 515.04	1 346.32	2 114.45
HREE	11.66	26.51	24.24	50.67	24.10	30.07
LREE/HREE	15.22	11.21	44.17	29.90	55.86	70.32
$La_N/Yb_N$	20.74	16.42	236.18	66.79	242.29	202.10
$\delta$ Eu	0.68	0.72	0.76	0.91	0.74	0.32
$\delta$ Ce	1.01	1.04	0.78	0.96	0.93	0.81
Rb	103.43	72.14	47.77	135.83	52.66	—
Sr	122.83	656.13	1 493	184	2 059	>1 000
Ba	827.74	973.21	5 494	1 662	2 957	>1 000
Nb	11.73	34.09	16.00	19.5	21.8	46
Ta	1.39	1.57	0.52	0.64	0.60	—
Zr	172.29	284.00	353	746	489	485
Hf	5.60	721	4.0	5.8	5.0	—
U	4.4	2.21	—	—	—	—
Th	12.88	9.84	3.2	4.1	3.3	—
Ga	—	—	26.7	23.0	28.1	—
Cr	—	—	161	297	226	5.1
Ni	—	—	64.4	110.3	81.2	6
Co	—	—	23.0	22.3	24.4	4.1
V	—	—	54.8	59.8	75.2	18
Y	14.42	31.02	16.02	50.89	15.46	60
数据来源	自测	自测	自测	自测	自测	田京祥等, 2002

表明郟山杂岩体与稀土矿床具有同源性特征。近年来,在鲁西地区发现了与碱性杂岩体有关的复合型稀土-金(银)矿床。例如,枣庄龙宝山稀土-金(银)矿床。因此,在未来的地质找矿战略中,稀土矿可以作为寻找金(银)矿的找矿标志。对碱性岩的研究对于探讨地球动力学机制及地质找矿均具有重要意义。

### 5.1 岩浆物质来源探讨

岩浆的物质来源一直是研究岩石成因机理上不可或缺的内容。笔者试图通过微量和稀土元素结合同位素地球化学来加以探讨。

郟山地区碱性杂岩体岩石在 Ta/Yb-Th/Yb 图解和 Zr/Nb-Zr/Y-Y/Nb 图解(图6)上,绝大部分样品落在富集地幔区及其附近,表明郟山碱性岩



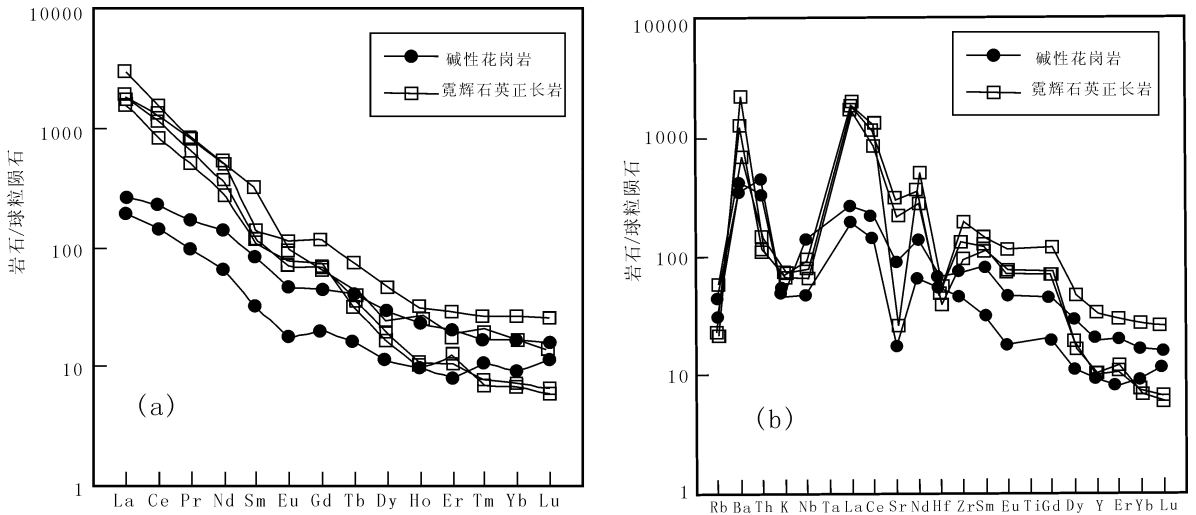


图 5 郯山碱性杂岩体稀土元素球粒陨石标准化图解 (a) 与原始地幔标准化不相容元素配分图解 (b) (标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized distribution patterns of incompatible elements of Chishan alkalic complex (b) (Normalized data after Sun et al., 1989)

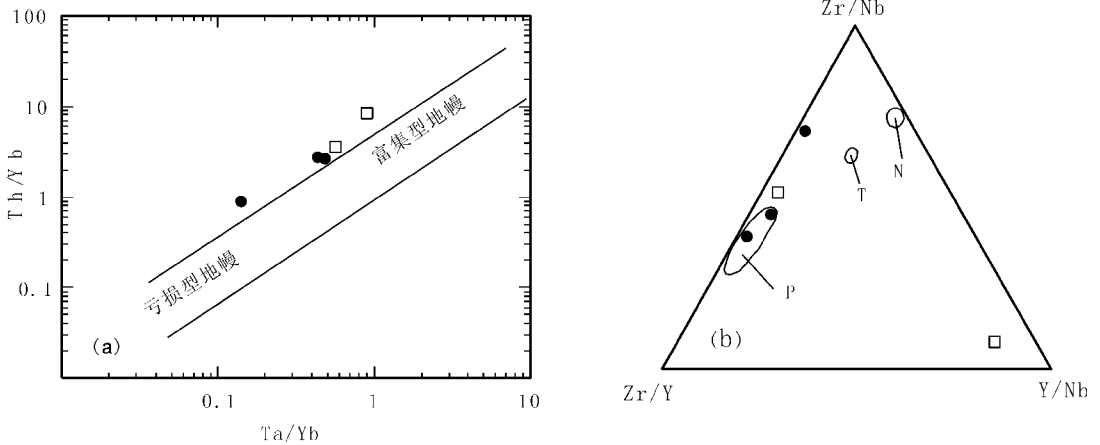


图 6 郯山碱性杂岩体 Ta/Yb-Th/Yb 和 Zr/Nb-Zr/Y-Y/Nb 图解 (图例同图 5)

(a 底图据 Wilson, 1989; b 底图据 Foder 等, 1984)

Fig. 6 Ta/Yb-Th/Yb (a) and Zr/Nb-Zr/Y-Y/Nb (b) diagrams of Chishan alkalic complex

P. 富集地幔; T. 过渡地幔; N. 亏损地幔

的物质来源与富集地幔密切相关。岩石出现 Nb、Ta、Ti 负异常, 这可能与大陆地壳的物质参与有关。

钾长石 Pb 同位素比值可以代表岩石的初始值, 反映源区的 U/Pb、Th/Pb 值特征, 可以有效的示踪岩浆起源 (蔡剑辉等, 2011)。其中, X-3 样品的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 17.123,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的值为 15.297,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的值为 37.472。霓辉正长岩的 Rb 的含量为  $170.46 \times 10^{-6} \sim 4\ 550.67 \times 10^{-6}$ ,

$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  值为 2.680 0~0.050 0,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为 0.711 76~0.707 80 (阎国翰等, 2008)。郯山碱性岩的  $\epsilon\text{Nd}(t)$  为 -8.7~-8.1 (蓝廷广等, 2011)。以上数据均接近富集地幔 EMI 的特点, 这与中生代的华北地台岩石圈地幔具有 EMI 型富集地幔性质相一致 (张宏福等, 2005)。

综上所述, 郯山碱性岩的物质来源可能为 EMI 型富集地幔, 并在上升侵位过程中混染了部分地壳物质。

## 5.2 构造环境探讨

从  $Lg(CaO/(Na_2O+K_2O))-SiO_2$  判别图解 (图 7a) 来看, 该杂岩体岩石基本落于挤压型钙碱性安山岩区之外, 投影点基本分布在引张型碱性-碱钙性岩区。 $\omega(Rb)-\omega(Y+Nb)$  判别图解 (图 7b) 上, 全部样品均落在后碰撞花岗岩区, 表明祁山碱性岩体形成于引张型构造背景, 为造山期后岩浆活动的产物。岩石的源区与其形成的构造环境密切相

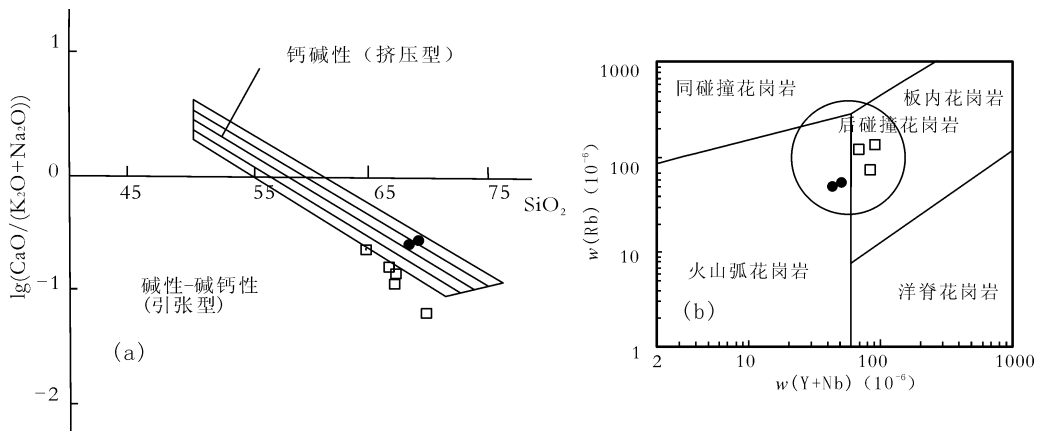


图 7 祁山碱性杂岩体的  $Lg(CaO/Na_2O+K_2O)-SiO_2$  (a)、 $Rb-(Y+Nb)$  (b) 判别图解  
(a) 底图据 Brown, 1982 和  $Rb-(Nb+Y)$  (b) 底图据 Pearce, 1996 (图例同图 5)

Fig. 7  $Lg(CaO/Na_2O+K_2O)-SiO_2$  (a) and  $Rb-(Y+Nb)$  (b) discrimination diagram of Chishan alkalic complex

综上所述, 祁山碱性杂岩体形成于活动大陆边缘弧后引张环境, 为造山后岩浆活动的产物, 可能与中生代华北克拉通的破坏和岩石圈的减薄具有相同的深部动力学背景。

## 6 结论

笔者通过对鲁西地块祁山碱性杂岩体系统的岩石地球化学研究, 得出以下结论。

(1) 祁山碱性杂岩体岩石为高硅、富碱、偏铝或过铝, 贫钙、铁、镁的酸性岩, 其主要岩性为碱性花岗岩、霓辉正长岩及石英正长岩等, 属于碱性岩系列。稀土元素表现为轻稀土强烈富集, 亏损重稀土, 以弱负 Eu 异常为主。微量元素以富大离子亲石元素 (LILE) Ba、Sr、贫 Rb、富高场强元素 Zr、贫 Nb、Ta、Hf 为特征。碱性花岗岩与霓辉正长岩为同源岩浆演化的产物。

(2) 祁山碱性岩的物质来源为 EMI 型富集地

幔, 后碰撞花岗岩的源区通常为地幔混染了部分地壳物质后形成的, 岩石出现 Nb、Ta、Ti 负异常, 类似于岛弧构造环境的特点 (赵振华等, 2007)。与中国东部中生代大规模的岩石圈拆沉、减薄作用的构造背景相一致 (吴福元, 2000; 洪大卫, 2003; 周新华等, 2006; 嵇少丞, 2008)。大规模的碱性岩浆活动可能与华北克拉通的破坏特别是岩石圈减薄具有相同的深部地球动力学背景。

幔, 并在上升侵位过程中混染了部分地壳物质。

(3) 祁山碱性杂岩体岩石主要形成于引张型构造背景, 为造山期后岩浆活动的产物, 可能与中生代华北克拉通岩石圈的破坏与减薄具有相同的地球动力学背景。

(4) 在未来的地质找矿战略中, 稀土矿可以作为寻找金 (银) 矿的找矿标志。对碱性岩的研究对于探讨地球动力学机制及地质找矿均具有重要意义。

## 参考文献 (References):

- 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- Bureau of Geology and mineral resources of Guizhou province. regional geology of Guizhou province [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1987.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期岩石圈软流

- 圈系统大灾变与成矿环境 [J]. 矿床地质, 1999, 18 (4): 309-310.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. The yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18 (4): 309-310.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质 1999, 18 (4): 291-299.
- Mao Jingwen, Hua Renmin, Li Xiaobo. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits [J]. Mineral Deposits, 1999, 18 (4): 291-299.
- 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发 [J]. 矿床地质 1999, 18 (4): 300-308.
- Hua Renmin, Mao Jingwen. A preliminary discussion on the mesozoic metallogenic explosion in East China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18 (4): 300-308.
- 胡受奚, 赵懿英, 周顺之. 华北地台金矿成矿规律[J]. 南京大学学报 (自然科学版), 2000, 36 (2): 133-136.
- Hu Shouxi, Zhao Yiyang, Zhou Shunzhi. Geology and geochemistry of gold deposit in the North China platform [J]. Journal of Nanjing University (Natural Science), 2000, 36 (2): 133-136.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学 (D辑), 2003, 33 (4): 289-299.
- 于学峰, 唐好生, 韩作振, 等. 山东郯山-龙宝山地区与碱性岩有关的稀土矿床地质特征及成因[J]. 地质学报, 2010, 84 (3): 407-417.
- Yu Xuefeng, Tang Haosheng, Han Zuozhen, et al. Geological Characteristics and Origin of Rare Earth Elements Deposits Related with Alkaline Rock in the Chishan-Longbaoshan Area, Shandong Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (3): 407-417.
- 夏庆霖, 陈永清. 鲁西龙宝山金矿地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2001, 37 (4): 14-17.
- Xia qinglin, Chen Yongqing. Geochemical features of Longbaoshan gold deposit, West of Shandong province, China [J]. Geology and Prospecting, 2001, 37 (4): 14-17.
- 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 等. 山东矿床 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2006.
- Kong Qingyou, Zhang Tianzhen, Yu xuefeng, et al. Shandong deposit [M]. Shandong science and Technology Press, Jinan, 2006.
- 阎国翰, 蔡剑辉, 任康绪, 等. 郯庐断裂带晚中生代 Nd、Sr、Pb 同位素特征及源区性质探讨[J]. 岩石学报, 2008, 24 (6): 1224-1235.
- Yan Guohan, Cai Jianhui, Ren Kangxu, et al. Nd、Sr and Pb isotopic geochemistry of late-Mesozoic alkaline-rich intrusions from the Tanlu Fault zone: evidence of the magma source [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (6): 1224-1235.
- 李建康, 袁忠信, 白鸽, 等. 山东微山稀土矿床成矿流体演化及对成矿的制约[J]. 矿物岩石, 2009, 29 (3): 61-68.
- Li Jiankang, Yuan Zhongxin, Bai Ge, et al. Ore-forming fluid evolution and its controlling to REE (AG) mineralizing in the Weishan deposit, Shandong [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2009, 29 (3): 61-68.
- 蓝廷广, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 山东微山稀土矿床成因: 来自云母 Rb-Sr 年龄、激光 Nd 同位素及流体包裹体的证据[J]. 地球化学, 2011, 40 (5): 428-438.
- Lan Tingguang, Fan Hongrui, Hu Fangfang, et al. Genesis of the Weishan REE deposit, Shandong Province: Evidences from Rb-Sr isochron age, LA-MC-ICPMS Nd isotopic compositions and fluid inclusions [J]. Geochimica, 2011, 40 (5): 428-438.
- 田京祥, 张日田, 范跃春, 等. 山东郯山碱性杂岩体地质特征及与稀土矿的关系[J]. 山东地质, 2002, 18 (1): 21-25.
- Tian Jingxiang, Zhang Ritian, Fan Yuechun, et al. Geological Characteristics and Relation with Rare Earth Elements of Alkaline Complex in Chishan of Shandong Province [J]. Geology of Shandong, 2002, 18 (1): 21-25.
- 周新华, 张宏福. 中生代华北岩石圈地幔高度化学不均一性与大陆岩石圈转型[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2006, 31 (1): 8-1.
- Zhou Xinhua, Zhang Hongfu. Highly Chemical Heterogeneity of Subcontinental Lithosphere Mantle beneath North China and Its Major Transformation [J]. Earth Science-Journal of China University of Geo-

- sciences, 2006, 31 (1): 8-1.
- 胡华斌, 牛树银, 毛景文, 等. 鲁西中生代幔枝构造及其金矿化[J]. 矿床地质, 2004, 23 (1): 116-122.
- Hu Huabin, Niu Shuyin, Mao Jingwen, et al. Mesozoic Mantle-branch Structure and Related Gold Deposits in Western Shandong [J]. Mineral Deposits, 2004, 23 (1): 116-122.
- 宋明春, 李洪奎. 山东省区域地质构造演化探讨 [J]. 山东地质, 2001, 17 (6): 12-21.
- Song Mingchun, Li Hongkui. Study on Regional Geological Structural Evolution in Shandong Province [J]. Geology of Shandong, 2004, 23 (1): 116-122.
- 牛树银, 胡华斌, 毛景文. 鲁西地区地质构造特征及其形成机制[J]. 中国地质, 2004, 31 (1): 34-38.
- Niu Shuyin, Hu Huabin, Mao Jingwen. Structure in western Shandong and its genetic mechanism [J]. Chinese Geology, 2004, 31 (1): 34-38.
- 牛树银, 胡华斌, 毛景文, 等. 鲁西地区地层 (岩石) 展布及其成因 [J]. 地学前缘, 2003, 10 (4): 371-372.
- 王先美, 钟大赉, 李理. 鲁西北西向断裂系与沂沭断裂带晚中生代演化关系及其动力学背景探讨[J]. 地学前缘, 2010, 17 (3): 166-182.
- Wang Xianmei, Zhong Dalai, Li Li. Relationship between NW faults of West Shandong and Yi-Shu fault zone in Late Mesozoic and their geotectonic setting operations [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17 (3): 166-182.
- 时秀朋, 李理, 胡秋媛, 等. 鲁西隆起晚中生代以来北西向正断层特征及物理模拟[J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2010, 49 (2): 131-133.
- Shi Xiupeng, Li Li, Hu Qiuyuan, et al. Characteristics of NW-trending Normal Faults and Physical Modeling since Late Mesozoic in West Shandong Uplift, China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2010, 49 (2): 131-133.
- 周玲棣, 赵振华. 我国富碱侵入岩的岩石学和岩石化学特征 [J]. 中国科学 (B辑), 1994, 24 (10): 1093-1101.
- Zhou lingdi, Zhao zhenhua. Petrology and chemical characteristics of alkaline intrusions in our country [J]. Science in China (Series B), 1994, 24 (10): 1093-1101.
- 洪大卫, 王涛, 童英, 等. 华北地台和秦岭—大别—苏鲁造山带的中生代花岗岩与深部地球动力学过程[J]. 地学前缘, 2003, 10 (3): 232-249.
- Hong Dawei, Wang Tao, Tong Ying, et al. Break-Up of the North China Craton through Lithospheric Thinning [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 10 (3): 232-249.
- 嵇少丞, 王茜, 许志琴. 华北克拉通破坏与岩石圈减薄 [J]. 地质学报, 2008, 82 (2): 175-193.
- Ji Shaocheng, Wan Qian, Xu Zhiqin. Break-Up of the North China Craton through Lithospheric Thinning [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (2): 175-193.
- 张自桓. 鲁西伸展构造——一个中-上地壳板块的提示 [J]. 山东地质, 1995, 11 (2): 23-31.
- Zhang Zihuan. Luxi extensional structure-implication for a middle-upper crust plate [J]. Geology of Shandong, 1995, 11 (2): 23-31.
- 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质[J]. 高校地质学报, 2000, 6 (3): 379-388.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Zhang Guangliang, et al. Deep Geodynamics of Yanshan Movement [J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6 (3): 379-388.
- 蔡剑辉, 阎国翰, 牟保磊. 天津蓟县孙各庄碱性杂岩体年代学和岩石地球化学特征[J]. 吉林大学学报, 2011, 41 (6): 1901-1913.
- Cai Jianhui, Yan Guohan, Mou Baolei. Geochronology and Geochemistry of Sungezhuang Alkaline Complex in Jixian County, Tianjin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41 (6): 1901-1913.
- 张宏福, 周新华, 范蔚茗, 等. 华北东南部中生代岩石圈地幔性质、组成、富集过程及其形成机理[J]. 岩石学报, 2005, 21 (4): 1271-1278.
- Zhang Hongfu, Zhou Xinhua, Fan Weiming, et al. Nature, composition, enrichment processes and its mechanism of the Mesozoic lithospheric mantle beneath the southeastern North China Craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (4): 1271-1278.
- 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31 (1): 92-103.
- Zhao Zhenhua. Use the trace element diagram to discriminate tectonic settings [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2007, 31 (1): 92-103.
- 陈衍景. 为什么中酸性小岩体成大矿? [J]. 西北地质, 2012, 45 (4): 128-133.
- Chen Yanjing. Why small granitic stocks associate with giant

- mineral systems? [J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45 (4): 128-133.
- Downes H. Formation and modification of the hallow subcontinental lithospheric mantle: a review of geochemical evidence from ultramafic xenolith suites and tectonically emplaced ultramafic massifs of western and central Europe [J]. *J. Petrol.*, 2001, 42: 233-250.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C] // Saunderson A D, Norry M J. *Magmatism in the ocean basins*. [S.l.]. Geo Soc Spec, 1989.
- Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth Sci. Rev.*, 1994, 37: 215-224.
- Wilson M. *Igneous petrogenesis: a global tectonic approach* [M]. Unwin Hyman, London, 1989.
- Fodor R V, Vetter S K. Rift zone magmatism: petrology of basaltic rocks transitional from CFB to MORB, Southeastern Brazil margin [J]. *Contrib Mineral.* 1984, 88: 307-321.
- Brown G C. *Calcalkaline intrusive rocks: Their diversity, evolution and relation to Volcanic arcs* [C] // Thorpe R S. *Andersites*. Hoboken: John Wiley and Sons, 1982: 437-461.
- Pearce J A. Source and settings of granitic rocks [J]. *Episodes*, 1996, 19: 120-125.
- Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis [J]. *Geol. Mag.*, 1969, 106: 370-384.
- Hofmann A W. Chemical differentiation of the earth: The relationship between mantle, continental crust and oceanic crust [J]. *Earth Planet Sci Lett.* 1988, 90: 297-314.

## 《西北地质》投稿最新通知

由于《西北地质》来稿量增多，为了加快出版速度，对《西北地质》在出版过程中具有普遍性的问题进行归纳，现将投稿有关注意事项通知如下：

1 《西北地质》一律采用 E-mail: xbdzbjb@163.com 投稿，投稿时请在邮件发送主题填上作者姓名：例如：“×××论文”。西安地质调查中心科技人员投稿时也需通过 E-mail: xbdzbjb@163.com 投稿，中心局域网：“server3 / 西北地质投稿箱已经废除。

2 所投稿件的图件应清晰可辨，一般应采用黑白颜色，图用不同花纹、颜色深浅来区分，尽量较少采用彩图，图件采用 CDR 格式。

3 投稿时在文后必须留下作者详细通讯地址、作者的电话联系方式及 E-mail。

4 《西北地质》独立网站目前已进入试运行阶段，《西北地质》已全文上网，参考文献标注欢迎大家在“过刊浏览”栏目中浏览参阅《西北地质》。

5 由于网站目前处于试运行阶段，“在线投稿”系统还未调整好，因而请作者暂时不要网络在线投稿，目前投稿依然从 E-mail: xbdzbjb@163.com 发往《西北地质》编辑部，已经在线投稿的作者请通过邮箱再投一次。

为了让您的稿件尽快发表，请您投稿时遵守以上条例。

编辑部联系方式如下：

邮 编：710054

地 址：西安市友谊东路 438 号

单 位：西安地质矿产研究所《西北地质》编辑部

电 话：029-87821951

E-mail: xbdzbjb@163.com

网 址：www.xbdz.net.cn

(西北地质编辑部)