

辽宁连山关地区混合花岗岩岩石 地球化学特征及构造环境

王庆喜¹, 吴 迪¹, 吕志平¹, 李文辉²

(1. 核工业二四〇研究所, 沈阳 110032;

2. 核工业二〇三研究所, 咸阳 712000)

摘要: 连山关地区前寒武系赋存的铀矿床, 是我国为数不多的不整合型铀矿床。对连山关混合花岗岩开展地球化学研究, 通过分析岩石主量、微量元素地球化学特征, 探讨岩石成因及形成的构造环境。该区混合花岗岩属于富硅、高碱、低钛的钙碱性系列岩石, 稀土总量较高, 轻稀土元素明显富集, 具有中等程度的 Eu 负异常; U、La、P 相对富集, Ba、Ta、Nb、Sr、Ti 相对亏损。该混合花岗岩具有 S 型花岗岩的特征, 其源岩为中、上地壳酸性岩石, 可能形成于太古宙克拉通裂陷拉张的构造环境。

关键词: 混合花岗岩; 地球化学特征; S 型花岗岩; 构造环境; 连山关

中图分类号: P588.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2017)02-108-09

连山关地区位于辽宁省本溪县, 在该区发现了我国著名的 3075 铀矿床, 其赋矿围岩主要为白色混合花岗岩。前人主要围绕该矿床地质特征、成矿条件、成矿模式及矿化特征等开展了相关研究^[1-4]。目前, 关于混合花岗岩岩石地球化学特征及构造环境的研究较少。本文对连山关地区钻孔岩芯系统采样, 经薄片鉴定及地球化学分析, 结合已有资料分析该区白色混合花岗岩的地球化学特征, 探讨其形成的构造环境, 为该区深部及外围找矿提供参考。

1 地质概况

连山关混合花岗岩分布于华北地台边缘和环太平洋俯冲带结合部位, 辽东—吉南早元古代裂谷北缘, 产于辽东—吉南多金属成矿带内, 连山关复背斜南翼西段^[5](图 1)。该区主要出露古元古代辽河群地层, 包括浪子山组和里尔峪组。浪子山组可细分为 4 个岩性段, 自下而上分别为石英岩段($Pt_1 l^1$)、片岩段($Pt_1 l^2$)、大理岩段($Pt_1 l^3$)和含磷千枚岩段($Pt_1 l^4$); 里尔峪组为浪子山组之上的一套大

理岩和变质火山岩系, 与浪子山组呈连续沉积(表 1)。

研究区主要有 4 组断裂, 分别为 NWW 向断裂组、NW 断裂组、NE 向断裂组和 NNE 向断裂组, 其中 NWW 向断裂组为矿前构造, NE 向断裂组和 NW 向断裂组为成矿期构造, 并以 NE 向断裂组为主, NNE 向断裂组为矿后构造^[6]。

研究区出露的岩体主要为连山关混合杂岩体。该混合花岗岩体主体由红色钾质混合花岗岩组成, 其间有少量早期钠质花岗片麻岩残留体, 并大量分布太古宙鞍山群残留体, 边部分布有在韧性剪切背景下发生动态部分熔融形成的白色混合花岗岩^[1]。白色混合花岗岩分布在红色混合花岗岩与辽河群浪子山组之间, 与围岩呈过渡接触。本文主要以与矿化关系密切的白色混合花岗岩为研究对象。

2 岩石学特征

该区白色混合花岗岩主要为灰白色, 具粒状变晶结构, 块状构造、条带状构造, 岩石主要由石英、

* 收稿日期: 2016-05-26 修订日期: 2016-06-28 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国核工业地质局“辽宁省本溪县连山关—祁家堡铀矿普查(项目编号: 201163)”资助。

第一作者简介: 王庆喜, 1988 年生, 男, 工程师, 主要从事铀矿地质勘查工作。

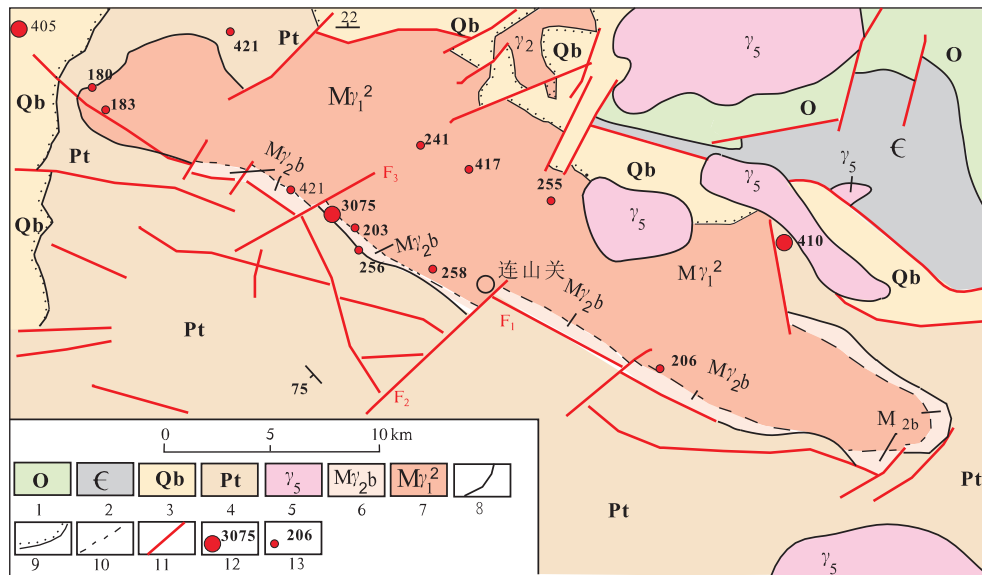


图 1 连山关地区区域地质简图(据文献[5]修编)

Fig. 1 Regional geological map of the Lianshanguan area

1-奥陶系灰岩石;2-寒武系灰岩;3-青白口系石英岩;4-辽河群沉积变质岩;5-燕山期花岗岩;6-白色混合花岗岩;7-红色混合花岗岩;8-地质界线;9-不整合界线;10-渐变地质界线;11-断裂;12 铀矿床;13-铀矿点

表 1 连山关地区前寒武纪地层表

Table 1 Precambrian stratigraphy of the Lianshanguan area

时代	地层			变质岩石组合	厚度/m	原岩
	群	组	段			
古元古代	辽河群	里尔峪岩组	Pt ₁ lr ⁵	含石榴透闪大理岩夹浅粒岩	173	中酸性凝灰岩夹碳酸盐岩、白云质灰岩
			Pt ₁ lr ⁴	钠长浅粒岩、二云变粒岩	195	
			Pt ₁ lr ³	白云大理岩夹钠长浅粒岩	133	
			Pt ₁ lr ²	钠长浅粒岩、二长浅粒岩、变质火山岩	120	
			Pt ₁ lr ¹	透闪大理岩夹钠长浅粒岩	66	
		浪子山岩组	Pt ₁ l ⁴	含石墨石榴二云片岩	479	粘土岩、粘土岩夹碳酸盐岩、石英砂岩
			Pt ₁ l ³	细粒透闪大理岩夹千枚岩	66	
			Pt ₁ l ²	石榴二云片岩、黑云片岩	140	
			Pt ₁ l ¹	灰白色厚层石英岩、含砾石英岩	10~45	

斜长石、微斜长石及少量云母组成。其中,斜长石含量约 30%,自形一半自形,柱状及板柱状,表面发生绢云母化;石英呈他形,含量约 35%;微斜长石呈半自形,含量约 25%;云母类矿物含量约 10%(图 2)。

3 岩石地球化学特征

前人研究表明^[7],连山关白色混合花岗岩体属于铝过饱和系列,红色混合花岗岩以富碱,贫 Ca、Fe、K₂O>Na₂O 为特点,属钾质花岗岩,由碱交代作用形成。红色混合花岗岩微量元素含量与地壳

微量元素含量平均值相当,与上地幔微量元素平均值相差较大。稀土元素配分曲线微向右倾斜,与岩浆型花岗岩显著不同,属于混合成因。

为进一步研究白色混合花岗岩的地球化学特征,系统采集相关样品后进行主量元素、稀土元素和微量元素分析。分析测试工作在核工业二四〇研究所实验室完成,主量元素采用 X 射线荧光熔片法(XRF)测定,分析精度<1%,其中 FeO 和 LOI 采用湿化学分析法测定,稀土元素和微量元素分别采用阳离子交换分离—电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)和电感耦合等离子质谱仪(ICP-



图2 连山关地区混合花岗岩手标本照片及显微结构特征

Fig. 2 Hand specimen and microscopic structure of migmatitic granites in the Lianshanguan area
Qtz-石英;Pl-斜长石;Mc-微斜长石

MS)完成,分析精度 $>6\%$ 。主量元素及微量元素分析结果利用地球化学工具软件包 GeoKit 程序^[8]对数据进行处理。

3.1 主量元素特征

连山关白色混合花岗岩主量元素分析结果见表2。 SiO_2 含量为 $74.69\% \sim 76.11\%$, 均值为 75.50% , Al_2O_3 含量为 $11.64\% \sim 13.18\%$, 均值为 12.33% , Na_2O 含量为 $2.66\% \sim 5.08\%$, 均值为 3.98% , K_2O 含量为 $1.98\% \sim 2.96\%$, 均值为 2.34% , 碱含量偏高, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量为 $5.63\% \sim 7.12\%$, 均值为 6.32% , 样品里特曼指数 $\delta < 3.3$, 属于钙碱性系列岩石。分异指数 DI 为 $87.45 \sim 92.44$, 均值为 89.43 , 分异指数较高, 固结指数 SI 为 $6.11 \sim 8.94$, 均值为 7.09 , 固结指数中等。

由 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图解(图3)可知, 样品均投点于花岗岩区域内, 在 QAP 图解(图4)中, 所有样品也投点于花岗岩区域内。由 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解(图5)可知, 样品投点于钙碱性系列区域范围内。在 $\text{A}/\text{CNK} - \text{A}/\text{NK}$ 图解(图6)上, 样品投点于准铝质—过铝质区域内。根据 CIPW 标准矿物计算结果, 样品中均含有刚玉分子, 为 $2.39\% \sim 2.72\%$, 上述特征表明该岩石具有 S 型花岗岩的特点。

3.2 稀土元素特征

根据稀土元素分析结果(表2)可知, 稀土元素

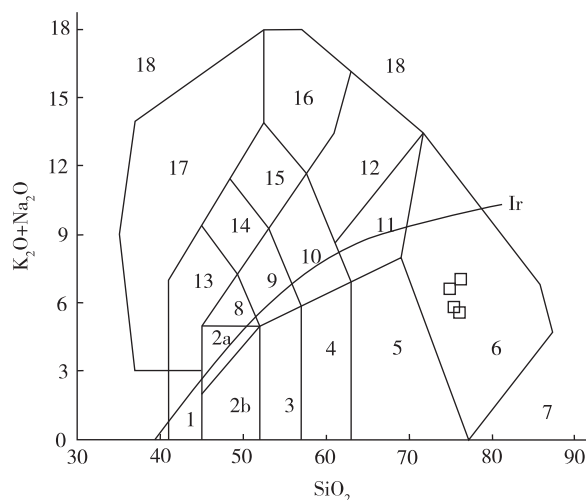


图3 连山关地区混合花岗岩 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图解
(底图据文献^[9])

Fig. 3 SiO_2 vs. $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area
Ir-Irvine 分界线, 上方为碱性、下方为亚碱性; 1-橄榄辉长岩; 2a-碱性辉长岩; 2b-亚碱性辉长岩; 3-辉长闪长岩; 4-闪长岩; 5-花岗闪长岩; 6-花岗岩; 7-石英岩; 8-二长辉长岩; 9-二长闪长岩; 10-二长岩; 11-石英二长岩; 12-正长岩; 13-副长石辉长岩; 14-副长石二长闪长岩; 15-副长石二长正长岩; 16-副长石正长岩; 17-副长石深成岩; 18-霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

总量为 $(226.83 \sim 422.99) \times 10^{-6}$, 均值为 330.29×10^{-6} 。轻稀土元素含量为 $(207.48 \sim 387.84) \times 10^{-6}$,

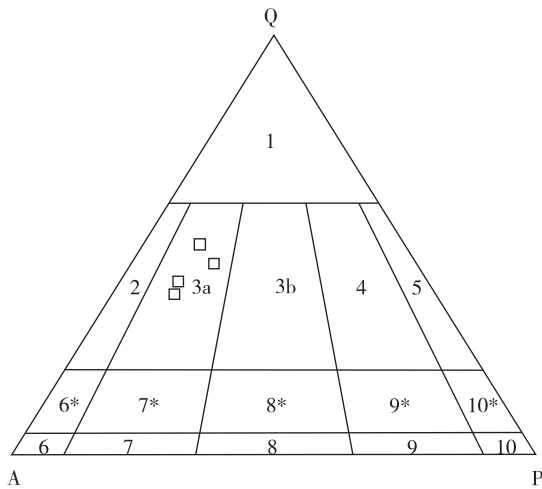


图 4 连山关地区混合花岗岩 QAP 图解(底图据文献[10])

Fig. 4 QAP discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area

1-富石英花岗岩;2-碱长花岗岩;3a-花岗岩;3b-花岗岩(二长花岗岩);4-花岗闪长岩;5-英云闪长岩、斜长花岗岩;6*-碱长石英正长岩;7*-石英正长岩;8*-石英二长岩;9*-石英二长闪长岩;10*-石英闪长岩、石英辉长岩、石英斜长岩;6-碱长正长岩;7-正长岩;8-二长岩;9-二长闪长岩、二长辉岩;10-闪长岩、辉长岩、斜长岩

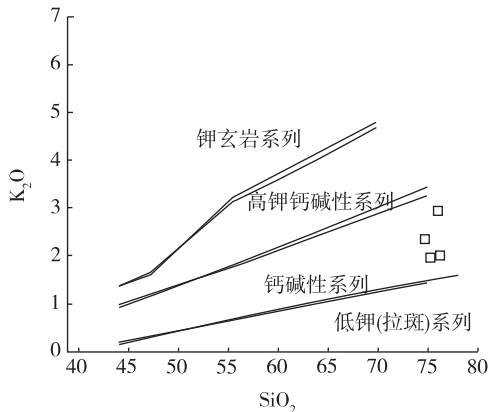


图 5 连山关地区混合花岗岩 SiO_2 - K_2O 图解(底图据文献[11])

Fig. 5 SiO_2 vs. K_2O discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area

均值为 302.53×10^{-6} , 重稀土元素含量为 $(19.34 \sim 35.15) \times 10^{-6}$, 均值为 27.75×10^{-6} , 轻稀土元素相对富集。 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $16.08 \sim 16.95$, 均值为 16.45 , 轻、重稀土元素分异明显。 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为

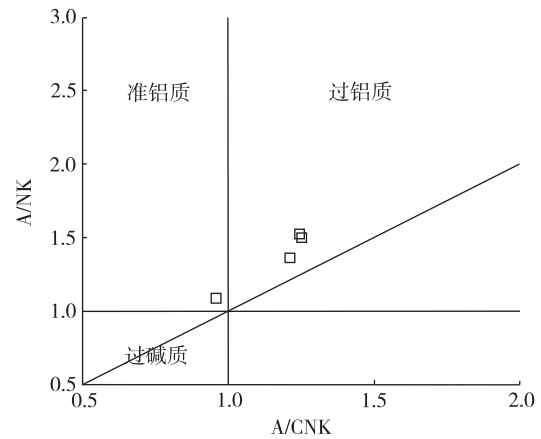


图 6 连山关地区混合花岗岩 A/CNK-A/NK 图解(底图据文献[12])

Fig. 6 A/CNK vs. A/NK diagram showing alkaline character of migmatitic granites in the Lianshanguan area

$1.15 \sim 1.19$, 均值为 1.17 , $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $1.80 \sim 1.88$, 均值为 1.84 , 轻、重稀土元素内部分馏程度较低。

稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图 7a)表现为轻稀土元素富集的“右倾”型, 各样品稀土元素配分曲线相似, 暗示其具有同源演化的特点。具有中等程度的 Eu 负异常, $\delta\text{Eu} = 0.73 \sim 0.75$, 均值为 0.74 , 具有类似于壳源型花岗岩的特征。 Eu/Sm 为 $0.22 \sim 0.23$, 均值为 0.23 , 与壳源花岗岩(0.16)和沉积岩(0.20)相近^[14]。 Sm/Nd 为 $0.19 (< 0.3)$, 说明该区混合花岗岩可能来源于地壳^[15]。Ce 负异常较弱(δCe 为 $0.95 \sim 0.96$, 均值为 0.96), 可能是地壳源区部分熔融过程中斜长石作为难熔残余物所致^[16-17]。

3.3 微量元素特征

根据微量元素分析结果(表 2)可知, 大离子亲石元素中 Ba 含量为 $(224.3 \sim 406.9) \times 10^{-6}$, 均值为 287.13×10^{-6} , Sr 含量为 $(76.12 \sim 103.20) \times 10^{-6}$, 均值为 86.64×10^{-6} ; U 含量为 $(92.27 \sim 1089) \times 10^{-6}$, 均值为 478.73×10^{-6} , Th 含量为 $(41.89 \sim 79.76) \times 10^{-6}$, 均值为 61.03×10^{-6} ; 高场强元素 Nb、Zr、Hf 含量分别为 $(5.40 \sim 6.81) \times 10^{-6}$ 、 $(44.92 \sim 61.53) \times 10^{-6}$ 和 $(1.34 \sim 1.89) \times 10^{-6}$ 。 $(\text{Rb}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $85.06 \sim 155.79$, 均值为 112.82 , 为强不相容元素富集型。 Rb/Sr 为 $3.98 \sim 5.70$, 均值为 4.98 , 判断该区混合花岗岩源岩为壳

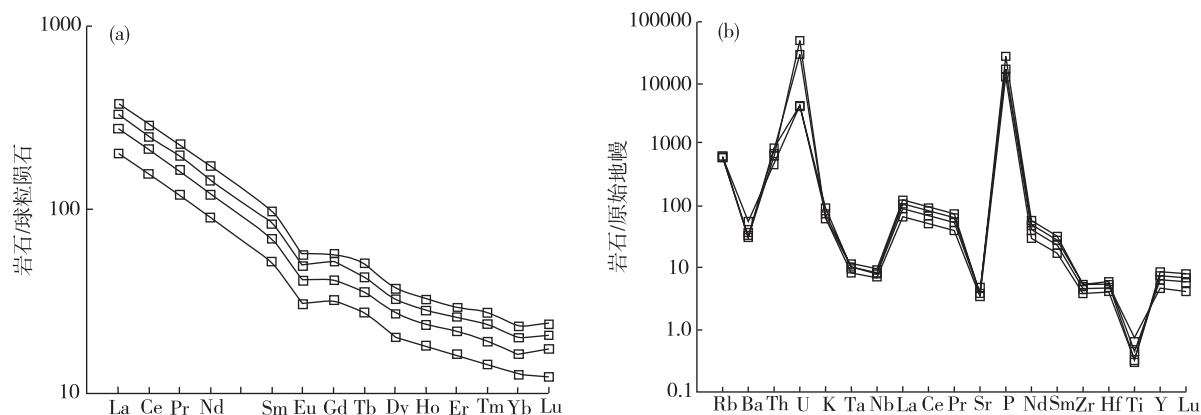


图 7 连山关地区混合花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)及原始地幔标准化微量元素蛛网图(标准化数值据文献[13])

Fig. 7 Chondrite-normalized rare earth element patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spiderdiagram (b) of migmatitic granites in the Lianshanguan area

表 2 连山关地区混合花岗岩主量、稀土及微量元素分析结果

Table 2 Analysis results of major elements, rare earth elements and trace elements of migmatitic granites in the Lianshanguan area

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	H ₂ O ⁻	LOI	A/CNK	A/NK	K ₂ O+Na ₂ O	σ
ZKX6-0-H6	75.99	11.64	0.97	0.79	2.96	2.66	0.05	0.02	0.14	1.12	1.30	0.19	2.12	1.24	1.53	5.63	0.96
ZKX6-0-H7	75.20	12.91	0.98	0.69	1.98	3.89	0.04	0.04	0.09	1.07	1.00	0.08	2.05	1.25	1.51	5.87	1.07
ZKX6-0-H8	76.11	11.58	0.86	0.59	2.04	5.08	0.05	0.04	0.08	0.96	1.01	0.04	1.53	0.95	1.10	7.12	1.53
ZKX6-0-H9	74.69	13.18	0.71	0.69	2.37	4.28	0.04	0.06	0.07	0.97	1.05	0.11	1.80	1.21	1.37	6.65	1.39

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/ HREE	(La/ Yb)N	δEu	δCe
ZKX6-0-H6	48.47	95.54	11.42	42.33	7.94	1.78	6.60	1.02	5.13	1.03	2.71	0.37	2.16	0.31	21.85	226.83	10.73	16.08	0.73	0.96
ZKX6-0-H7	65.76	130.35	15.62	56.76	10.60	2.39	8.50	1.34	6.94	1.34	3.63	0.49	2.78	0.44	30.08	306.95	11.05	16.95	0.75	0.96
ZKX6-0-H8	78.36	152.88	18.77	67.51	12.93	2.88	10.71	1.59	8.28	1.59	4.32	0.61	3.42	0.53	35.07	364.38	10.74	16.42	0.73	0.95
ZKX6-0-H9	90.12	176.66	21.63	81.07	15.04	3.32	11.82	1.92	9.45	1.85	4.85	0.70	3.95	0.61	41.28	422.99	11.03	16.35	0.73	0.95

样品号	Rb	Ba	Th	U	K	Nb	La	Ce	Sr	Nd	P	Zr	Hf	Sm	Ti	Y	Yb	Lu
ZKX6-0-H6	433.87	406.90	41.89	94.75	24 586.60	6.09	48.47	95.54	76.12	42.33	1 230 000	51.17	1.52	7.94	860	21.9	2.16	0.31
ZKX6-0-H7	411.09	277.20	59.66	1 089	16 438.09	5.95	65.76	130.35	103.20	56.76	1 670 000	57.89	1.70	10.60	600	30.1	2.78	0.44
ZKX6-0-H8	422.23	240.10	62.80	638.9	16 886.17	6.81	78.36	152.88	82.72	67.51	1 680 000	61.53	1.89	12.93	430	35.1	3.42	0.53
ZKX6-0-H9	433.21	224.30	79.76	92.27	19 632.77	5.40	90.12	176.66	84.53	81.07	2 680 000	44.92	1.34	15.04	400	41.3	3.95	0.61

注:化学分析在核工业二四〇研究所实验室完成,主量元素单位为%,微量元素和稀土元素单位为 10^{-6} ;A/CNK=Al/(Ca+Na+K)(分子比);A/NK=Al/(Na+K)(分子比)。

源物质^[18]。微量元素原始地幔标准化蛛网图(图7b)可知, Ba、Ta、Nb、Sr、Ti 等元素强烈亏损, U、P、La 等元素相对富集。

4 讨论

4.1 成因及源区

稀土元素及微量元素相关比值参数(Eu/Sm、

Sm/Nd、Rb/Sr)均表明该混合花岗岩源岩为壳源物质。A/CNK>1.1, 刚玉分子>1%, 推断其属于地壳物质部分熔融的 S 型花岗岩类, 在 Zr-TiO₂ 判别图解(图 8)上, 样品均投点于 S 型花岗岩区域内, 与上述推断相符。

在 A/MF-C/MF 图解上(图 9), 该混合花岗岩样品投点于变质泥岩部分熔融区和变质砂岩部分熔融区的交界部位, 表明混合花岗岩主要由地壳成

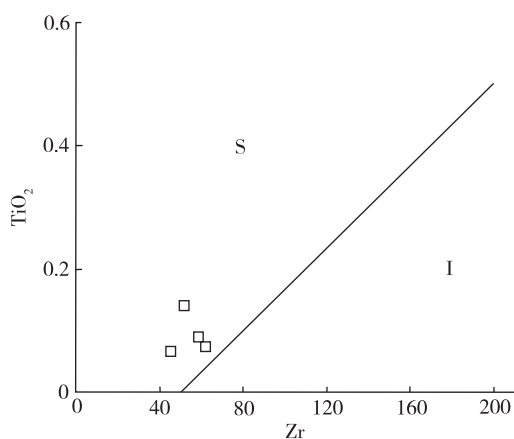


图 8 连山关地区混合花岗岩 Zr-TiO₂ 判别图解(底图据文献[19])

Fig. 8 Zr vs. TiO₂ discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area

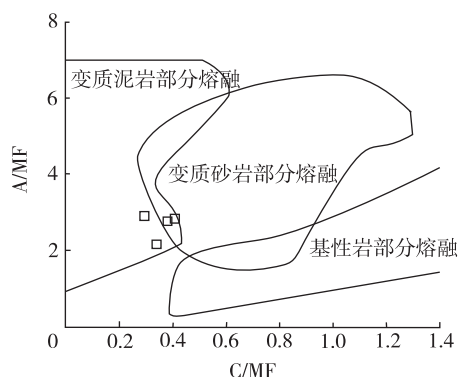


图 9 连山关地区混合花岗岩 A/MF-C/MF 图解(底图据文献[20])

Fig. 9 A/MF vs. C/MF discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area

熟度较高的变泥质和变砂质岩石部分熔融形成,即源岩为中、上地壳酸性岩石,并非来源于下地壳中性岩类。在 Ca-Fe-Mg 判别图解(图 10)上,样品投点于壳源区域内,证明白色混合花岗岩源岩为壳源物质。此外,样品 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 一般 < 0.3 , 个别 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} > 0.3$, 可以推断其源岩以泥质岩石为主,少量为长英质岩石^[22]。

4.2 成岩环境

将连山关白色混合花岗岩标准矿物含量投至 Q-Ab-An 图解(图 11)中,该白色混合花岗岩成岩温度约为 800 °C,岩石形成的压力基本 $< 1\,000$ bar

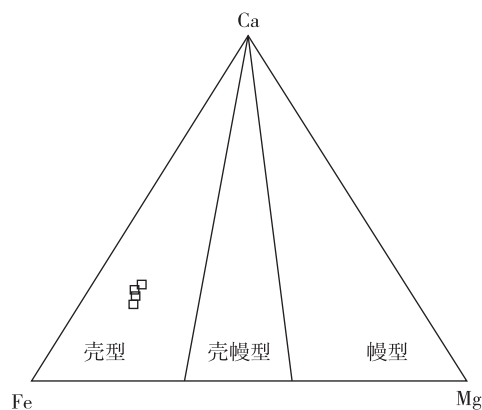


图 10 连山关地区混合花岗岩 Ca-Fe-Mg 判别图解(底图据文献[21])

Fig. 10 Ca-Fe-Mg discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area

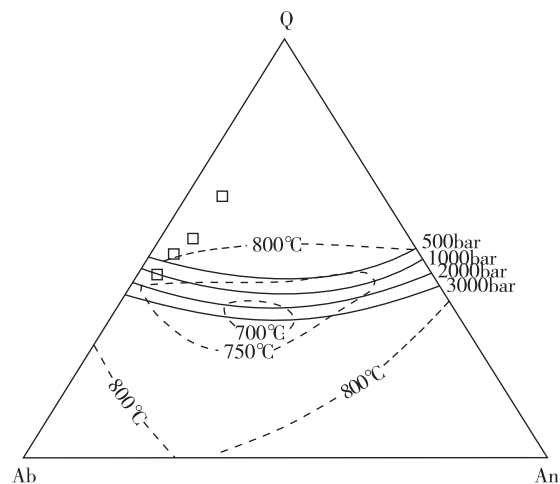


图 11 连山关地区混合花岗岩 Q-Ab-An 图解(底图据文献[23])

Fig. 11 Q-Ab-An discrimination diagram for migmatitic granites in the Lianshanguan area

(100 MPa)。

连山关白色混合花岗岩产于塔里木—华北板块内的华北陆块北缘东段,胶辽隆起带太子河—浑江拗陷、辽东—吉南早元古代裂谷北缘,华北板块和环太平洋板块俯冲带结合部位。北东向深大断裂发育,火山岩浆活动发育,经历了从太古宙至新生代复杂的构造演化,不同演化阶段形成了不同的构造形迹及构造组合反映不同的动力学机制和运动学特征。依据岩石组合、建造与改造反映的地壳演化过程,可划分为鞍山旋回、吕梁旋回、晋宁旋

回、加里东—海西旋回、印支旋回、燕山旋回、喜山旋回 7 个构造旋回。

太古宙时期主要在深层次构造应力作用下,形成一系列塑性流变构造组合,反映这一时期由“小洋板块—陆壳增生—克拉通化”的全部过程。古元古代早期,基性岩浆侵入,代表太古宙克拉通裂陷引张的构造环境^[24]。

前人研究^[25]表明,特定岩石的化学成分可反演其形成时的构造环境,混合花岗岩形成的构造环境对研究其成因具有指导意义。混合花岗岩可产出多种构造环境,在不同构造背景下,岩浆物质组成和温压条件不同,导致岩浆在形成机制、分异程度及运移方式等方面表现出不同的特点。

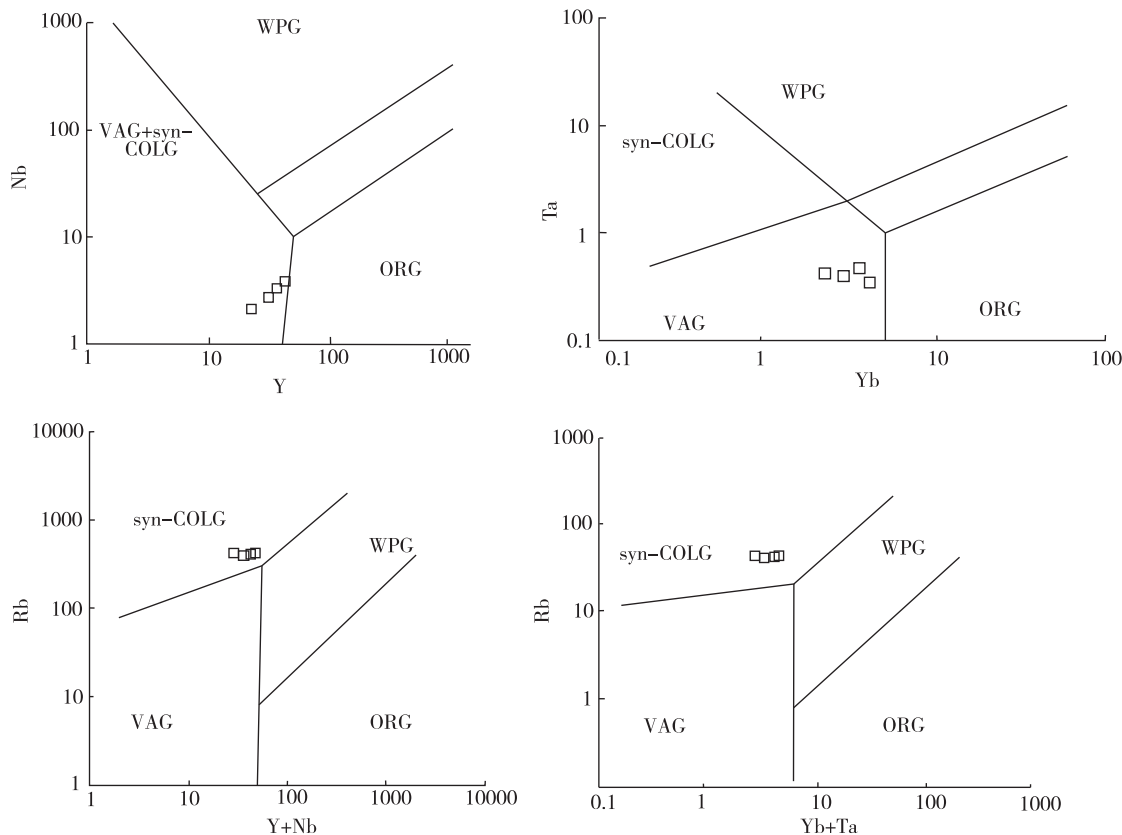


图 12 连山关地区混合花岗岩微量元素构造环境判别图解(底图据文献[26])

Fig. 12 Trace element discrimination diagrams showing the tectonic settings of migmatitic granites in the Lianshanguan area
WPG-板内花岗岩;syn-COLG-同碰撞花岗岩;VAG-火山弧花岗岩;ORG-洋脊花岗岩

在微量元素构造环境判别图解(图 12)上,样品均投点于同碰撞—火山弧花岗岩区。该组判别图中的区域仅严格反映源区性质,无法反映构造形态^[27]。相关研究表明^[28],二者之间存在连续的谱系,即后造山构造环境,代表松弛伸展的构造环境,这与古元古代早期连山关地区处于太古宙克拉通裂陷引张的构造环境^[24]一致。

5 结 论

(1)连山关地区混合花岗岩具有高硅、高钾、低

钛的主量元素地球化学特征,属于钙碱性系列的准铝质—过铝质花岗岩类。稀土元素及微量元素地球化学特征表明该区混合花岗岩具有 S 型花岗岩特点,其源岩为中上地壳的酸性岩石。

(2)连山关白色混合花岗岩可能形成于太古宙克拉通裂陷引张的构造环境。

(3)本文仅讨论连山关地区混合花岗岩的岩石地球化学特征,初步判断其形成的构造环境,研究方法具有局限性,建议今后开展同位素测年及流体包裹体等相关研究。

参考文献

- [1] 郭智添,邓维荣,张学源,等.华北地台东北部前寒武纪地层铀成矿地质条件、矿化类型及远景预测[R].沈阳:核工业二四〇研究所,1980:1-69.
- [2] 钟家蓉.三〇七五铀矿床地质、控矿因素及成矿问题探讨[R].沈阳:核工业二四〇研究所,1980:1-42.
- [3] 刘汉儒,任坤才,国家辉.连山关岩体南带前寒武纪不同类型铀矿化的围岩蚀变特征及找矿意义[R].沈阳:核工业二四〇研究所,1981:1-58.
- [4] 王中兴,范军,任坤才,等.连山关西部地区铀成矿地质条件研究成果综合报告[R].沈阳:核工业二四〇研究所,1980:1-83.
- [5] 吴迪,庄廷新,刘晓东,等.辽东连山关地区混合花岗岩岩石地球化学特征[J].世界核地质科学,2013,30(4):210-216.
- [6] 庄廷新.连山关岩体南缘韧性剪切带发育特征及其与铀矿化的关系[R].沈阳:核工业 240 研究所,2009:1-55.
- [7] 徐洪发,赵淑仙,孙恕纪,等.辽宁省本溪县连山关铀矿床勘探报告[R].丹东:核工业 241 大队,1990:1-130.
- [8] 路远发.GeoKit:一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J].地球化学,2004,33(5):459-464.
- [9] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J].Earth-Science Reviews, 1994, 37(3/4):215-224.
- [10] 桑隆康.岩石学[M].北京:地质出版社,2011.
- [11] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J].Contributions to Mineralogy and Petrology, 1975, 58(1): 68-81.
- [12] Frost B R, Barnes C G, Collins W J, et al. A geochemical classification for granitic rocks[J].Journal of Petrology, 2001, 42(11):2033-2048.
- [13] Sun Weidong, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[M].London: Geological Society Special Publication, 1989.
- [14] 王中刚,于学元,赵振华,等.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社,1989.
- [15] 刘大为,刘素巧,洪学宽,等.辽宁弓长岭矿区混合花岗岩地球化学特征及成因[J].世界地质,2011,30(4):545-550.
- [16] 杨学明,杨晓勇,陈双喜.岩石地球化学[M].合肥:中国科技大学出版社,2000.
- [17] 张艳飞,刘敬党,付艳春,等.辽东硼矿区层状混合岩的地质地球化学特征及其成因探讨[J].地质与勘探,2009,45(5):549-556.
- [18] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution [M]. London: Blackwell, 1985:57-72.
- [19] 胡善亭,赵东甫.板块构造与花岗岩成因分类[J].山东国土资源,1994(2):433-435.
- [20] Alther R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J].Lithos, 2000, 50(1/3): 51-73.
- [21] 邱家骧.应用岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1987.
- [22] 柏道远,钟响,贾鹏远,等.湘西南苗儿山地区早燕山期花岗岩地球化学特征及形成环境[J].资源调查与环境,2015,36(4):235-243.
- [23] 邱家骧.岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1985:1-340.
- [24] 黄志安.1:5 万区域地质调查报告(草河口幅)[R].大连:辽宁省地质勘察院,2009.
- [25] 张旗,潘国强,李承东,等.花岗岩构造环境问题:关于花岗岩研究的思考之三[J].岩石学报,2007,23(11):2683-2698.
- [26] Pearce J A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J].Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956-983.
- [27] 舒树兰,何书悦,李彬,等.青海东昆仑鸭子沟多金属矿床地质地球化学特征及找矿前景分析[J].西北地质,2014,47(2):62-72.
- [28] 王程,魏启荣,丁鹏飞,等.冈底斯印支晚期后碰撞花岗岩锆石 U-Pb 年代学及岩石地球化学证据[J].地球科学,2014,39(9):1277-1289.

Geochemical characteristics and tectonic environment of migmatitic granites in the Lianshanguan area, Liaoning Province

WANG Qing-xi¹, WU Di¹, LÜ Zhi-ping¹, LI Wen-hui

(1. NO.240 Research Institute of Nuclear Industry, Shenyang 110032, China;

2. NO.203 Research Institute of Nuclear Industry, Xianyang 712000, China)

Abstract: The uranium deposit in the Lianshanguan area, which occurs in the Precambrian strata, is one of the few unconformity-type uranium deposits in China. This study carried out geochemical analysis of the Lianshanguan migmatitic granite. The geochemical characteristics of the main elements and trace elements indicate their petrogenesis and tectonic setting. The migmatitic granites belong to high Si and alkali, low Ti calc-alkalic series rocks, characterized by high REE content (enrichment of LREE), moderately negative Eu anomaly, relatively enrichment of U, La and P and depletion of Ba, Ta, Nb, Sr and Ti. The study shows that the migmatitic granites are characteristic of S-type granite. The protolith is the felsic rocks derived from the middle and upper crust and the migmatitic granite may be formed at the tectonic setting of rifting and extension of the Archean craton.

Key words: migmatitic granite; geochemical characteristics; S-type granite; tectonic environment; Lianshanguan

网 址 变 更 通 知

尊敬的各位审稿专家、读者、作者：

由于我刊远程采编系统技术服务器的调整 and 变化，我刊在线投稿网站的网址已变更为 www.hddz.cgs.cn，原网址 <http://hddz.paperopen.com> 不再使用。请大家看到通知后，相互转告，由此给您们带来的不便，我们表示诚挚的歉意，并对您们一如既往的理解和支持表示衷心的感谢！

《华东地质》编辑部