

白银市乌金峡一带志留纪中酸性侵入岩特征及构造意义

梁志录¹, 王云斌², 刘宏伦³, 康胜松⁴

(1 甘肃地质矿产勘查局 第三勘查院, 甘肃 兰州 730000; 2 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054;

3 云南地矿资源股份有限公司, 云南 昆明 671000; 4 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 通过对甘肃省白银市乌金峡一带中酸性侵入体的地质学、岩石化学、地球化学等研究, 发现该侵入体高 $w(\text{Na}_2\text{O})$, 低 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$, $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{MnO})$ 、 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 负相关, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 正相关; 轻、重稀土都有分异, 但轻稀土更明显, 且轻稀土富集 δEu 轻度正异常—亏损, 大离子亲石元素 Ba、Th、Sr 富集, Rb、Li 亏损, 属同源岩浆演化的产物。岩浆结晶温度为 $700\text{ }^\circ\text{C} \sim 890\text{ }^\circ\text{C}$ 。形成时代大致为奥陶纪中晚期, 属于岛弧构造环境, 为中祁连地块和北祁连洋间相互作用的结果。

关键词: 白银市; 乌金峡; 中酸性侵入体; 中祁连; 地质特征; 构造意义; 岩石地球化学; 甘肃省

中图分类号: P534.45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)03-0240-09

Characteristic and Tectonic Significance of Intermediate-Acid Intrusive Rock in Wujinxia Area of Baiyin City

LIANG Zhi-lu¹, WANG Yun-bin², LIU Hong-lun³, KANG Sheng-song⁴

(1 Third Institute of Exploration, Gansu Geologic and Mineral Bureau, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2 Northwestern Non ferrous Metals Geological Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3 Yunnan Geology and Mineral Resources Limited Company, Kunming, 671000, Yunnan, China;

4 School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract Through the geological, petrochemical and geochemical research on intermediate acid intrusive rock located in Wujinxia area of Baiyin City in Gansu Province, it is found that $w(\text{Na}_2\text{O})$ are high, meanwhile, $w(\text{MgO})$, $w(\text{TFeO})$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ and $w(\text{K}_2\text{O})$ are low, $w(\text{TiO}_2)$, $w(\text{MgO})$, $w(\text{MnO})$, $w(\text{TFeO})$, $w(\text{CaO})$, $w(\text{K}_2\text{O})$ and $w(\text{SiO}_2)$ are negative correlated, $w(\text{Na}_2\text{O})$ and $w(\text{SiO}_2)$ are positive correlated, LREE and HREE are differentiated, LREEs are more obviously enriched, and δEu are depleted, large ion lithophile elements such as Ba, Th, Sr are enriched, Rb and Li are poor. The temperature of magmatic crystallization is from $700\text{ }^\circ\text{C}$ to $890\text{ }^\circ\text{C}$. The intrusive body was the product of comagmatic evolution during the mutual interaction of Central Qilian massif and Qilian ocean in the island-arc tectonic environment of middle-to later Ordovician period.

Key words: Wujinxia area; Baiyin City; intermediate-acid intrusive; Central Qilian massif; geological characteristic; tectonic significance; geochemistry rock; Gansu Province

0 引言

目前对侵入岩的研究更侧重于把其地质学、岩石学、岩石化学、地球化学等方面综合来考虑,

在获得丰富资料的基础上,进而来探讨地壳深部的相互作用以及地质演化^[1-3]。甘肃省白银市乌金峡一带的侵入岩前人至今尚未做过比较系统的研究工作,笔者通过对其地质学、岩石学、岩石化

学等研究, 在获取大量的第一手资料的同时, 旨在探讨该岩体的形成及演化。文中全岩主要元素分析在国土资源部宜昌地质矿产研究所进行, 采用常规的湿化学方法分析, 利用平行样与国际样品进行数据质量监控, 分析误差小于 2%; 微量元素和稀土元素采用 ICP-AES 分析方法, 大部分元素分析误差小于 3%。

1 地质概况

乌金峡一带大地构造位置属于中祁连地块东段^[4](图 1), 行政区划隶属于甘肃省白银市水川乡—北湾乡的黄河两岸, 侵入体广泛发育。

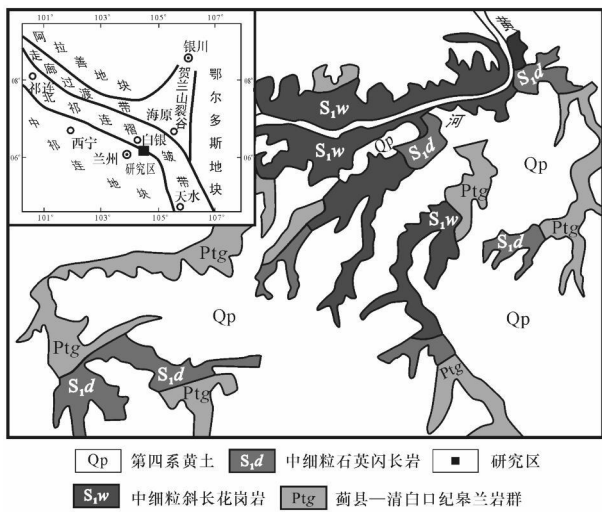


图 1 乌金峡地质简图及大地构造位置
Fig. 1 Map of Geological and Geotectonic Location of Wujinxia Area Zone

区内地层主要有中元古代皋兰岩群及零星出露的白垩纪河口群和大套的第四系。其中, 皋兰岩群的岩性有黑云石英片岩、石榴石黑云石英片岩、石榴石黑云母片岩、黑云角闪片岩、斜长角闪片岩、石英岩, 白垩纪河口群紫红色中厚层粗碎屑岩组合。

2 乌金峡岩体地质特征

乌金峡岩体的岩性从中性到酸性依次为: 细粒闪长岩→中细粒石英闪长岩→中粒黑云母花岗闪长岩→中细粒斜长花岗岩。它们分别侵位于皋兰岩群中, 接触界线多斜切皋兰岩群的片理走向, 局部与片理一致。沿接触带常见少量岩脉平行分布; 局部见岩体呈枝状穿插于地层中, 具有混杂现象。接触面西侧倾向南东, 北部转向南, 倾角一般 40°~

60°。后又被白垩纪地层超覆, 多处被第四系风成黄土所覆盖, 在沟底呈树枝状零星分布。

细粒闪长岩侵入体呈小岩株产出, 出露面积约 3.8 km², 与中细粒石英闪长岩脉动接触, 无接触变质, 偶具细粒边, 为后者侵入。

中细粒石英闪长岩侵入体呈小岩株状, 出露面积约 23 km², 与中粒黑云母花岗闪长岩呈露头尺度的毫米级突变, 为脉动式接触关系, 且被后者侵入。

中粒黑云母花岗闪长岩侵入体, 出露面积约 4.3 km², 被中细粒斜长花岗岩侵入, 两者为脉动式接触, 在露头尺度上呈毫米级突变, 在接触带上, 中细粒斜长花岗岩中见中粒黑云母花岗闪长岩的捕虏体分布, 且前者呈枝脉状穿插于后者之中。

中细粒斜长花岗岩是乌金峡岩体的主体部分, 出露面积约 35 km²。中细粒斜长花岗岩与中细粒石英闪长岩接触界线呈不规则的锯齿状, 界线清楚, 在中细粒斜长花岗岩中见中细粒石英闪长岩各种形态的捕虏体(图 2), 两者为脉动式接触关系。

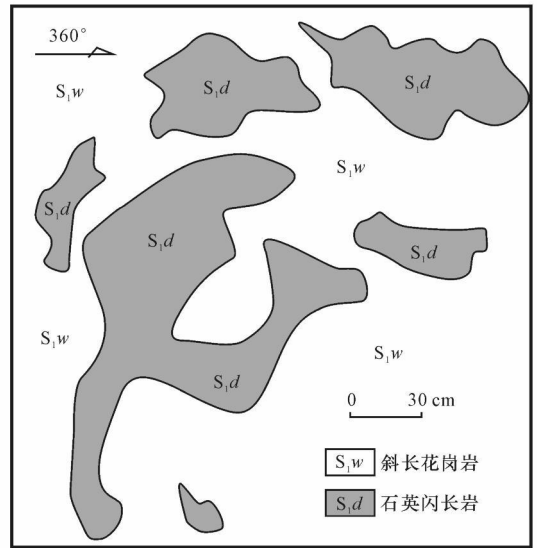


图 2 中细粒斜长花岗岩中的石英闪长岩包体

Fig. 2 Quartz diorite Enclave in the Middle-Fine Plagiogranite

从野外穿插关系看, 从早到晚, 岩石侵入顺序依次为细粒闪长岩→中细粒石英闪长岩→中细粒黑云母花岗闪长岩→中细粒斜长花岗岩。

3 乌金峡岩体的岩石学特征

从表 1 可以看出, 各侵入体的主要矿物分别为斜长石、石英、黑云母和钾长石。各侵入体间均为

表 1 乌金峡岩体的岩石学特征及接触关系

Tab. 1 Petrological Characteristics and Contact Relationships Among Wujinxia Rocks

时代	侵入体			样品数	岩石结构			主要矿物组成体积分数/%					接触关系
	地名	岩性	代号		结构	形状	斑晶	Pl	Or	Qz	Bi	Hb	
志留	乌	中细粒斜长花岗岩	S _{1w}	10	细粒、中细粒	块状	局部含 1~3 自形长石	70~75	无或≤5	≥20	5~10	无	脉动
		中粒黑云花岗岩	S _{1t}	5	中粒	块状	无	50~60	10~15	20~25	5~10 或≤5	无	
留	金	中细粒石英闪长岩	S _{1d}	6	细粒、中粒	块状	无	65~75、少数 85	一般不含、少数≤5	5~10	5~15、少数 20	一般不含、少数≤5	脉动
纪	峡	细粒闪长岩	S _{1y}	3	细粒	块状	无	约 50 半自形中长石	少数≤5	≤1	约 5	约 45 为镁铁闪石	脉动

脉动接触。

4 乌金峡岩体的岩石化学特点

各侵入体的化学成分及主要参数见表 2(除个别样品外,大部分样品分析结果符合标准),各侵入体标准矿物质量分数及参数见表 3。与世界同类岩石^[3]相比,花岗闪长岩高 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{MgO})$,低 $w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$;闪长岩类相对高 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{MgO})$;与中国江西弋阳^[4]斜长花岗岩相比,研究区斜长花岗岩高 $w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O})$,低 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 。图 3 显示, $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{MnO})$ 、 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 负相关, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 正相关;从闪长岩到斜长花岗岩, SiO_2 快速递增,标准矿物 Q 由无到有再到

增大,长英指数、分异指数基本递升,固结指数递减、镁铁指数变化不太明显。在 $(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}) - (\text{Na} + \text{K}) - \text{Mg}$ 原子质量百分比三角图解(图 4)中,演化线指向 Na+K 端元;在 An-Ab-Or 图解(图 5)中,演化线由 An 向 Ab-Or 端元演化,更趋向于富 Ab。上述图解反映,随岩浆演化,岩浆向富钠方向发展。

5 乌金峡岩体的地球化学特征

5.1 稀土元素丰度及演化特征

乌金峡一带侵入岩的稀土元素丰度及主要参数见表 4,稀土元素在 Boynton 球粒陨石标准化^[7]后的配分型式见图 6。从表 4、图 6 中可以看出,各侵入体轻、重稀土都有不同程度的分异,轻稀土相对明显, α_{Eu} 值大部分亏损或者接近 1,只有个别样品正异常,是因为这些样品中有相对高的

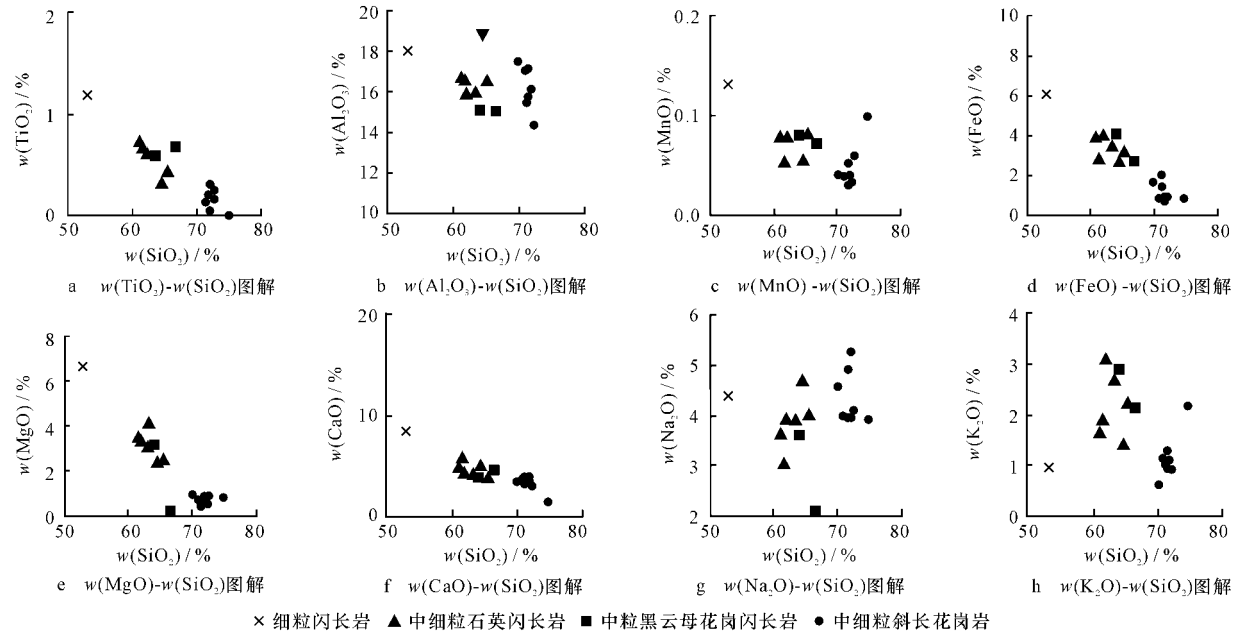


图 3 乌金峡岩体的哈克图解

Fig. 3 Harker Diagrams of Wujinxia Rocks

表2 乌金峡岩体的岩石化学成分
Tab.2 Chemical Compositions of Wujinxia Rocks

岩体	侵入体类型	样品编号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	LOI	Σ	w _d /%
乌	中细粒斜长 花岗岩	R4(00)GS-22	71.39	0.32	17.08	0.04	0.88	0.03	0.81	4.01	4.00	1.06	0.06	0.017	0.31	0.64	0.03		100.99	
		R4(00)GS-23	71.33	0.15	17.03	0.10	0.86	0.04	0.69	3.90	4.01	1.10	0.12	0.018	0.34	0.60	0.05		100.01	
		R4(00)GS-24	71.65	0.22	15.70	0.16	0.76	0.04	0.39	3.58	4.92	1.02	0.16	0.025	0.84	0.52	0.06		100.01	
		R4(00)GS-45	71.8	0.047	16.11	0.12	0.70	0.033	0.52	3.54	5.30	0.92	0.04	0.006	0.73	0.66	0.02		101.00	
		R ₄ S-37	70.01	0.03	17.47	0.38	1.62	0.04	0.92	3.54	4.58	0.60	0.04	0	1.08	0.23			100.53	
		R ₆ S-14	72.28	0.17	14.42	1.03	0.91	0.06	0.87	3.19	4.12	0.93	0.032	0	0.33	0.81			99.15	
		R ₄ S-38	74.60	0	15.18	0.61	0.78	0.10	0.82	1.60	3.96	2.17	0.06	0	0.58	0.08			100.54	
		R ₄ S-22	71.45	0.196	15.57	0.76	1.45	0.054	0.60	3.72	4.01	1.27	0.056	0	0.27	0.13			99.54	
		平均	71.81	0.14	16.07	0.40	1.00	0.05	0.70	3.39	4.36	1.13	0.07	0.01	0.56	0.46	0.02		100.22	
金	中粒黑云花 岗闪长岩	R4(00)GS-36	66.13	0.59	15.89	0.32	3.46	0.05	3.21	4.14	3.90	2.66	0.20	0.015	0.26	0.60	0.10		100.01	
		R ₄ S-4	66.54	0.68	15.08	6.06	2.74	0.072	0.10	4.61	2.12	2.14	0.34	0	0.94	0.025			101.45	
		平均	65.89	0.64	15.49	3.39	3.10	0.09	2.06	4.38	3.01	2.40	0.27	0.01	0.65	0.31	0.05		100.73	
峡	中细粒石英 闪长岩	R4(01)GS-96	64.02	0.66	15.09	0.64	4.02	0.08	3.17	4.00	3.60	2.89	0.20	0.004	0.10	0.90	0.25	0.76	100.38	
		R4(01)GS-98	61.98	0.62	15.91	0.86	3.94	0.08	3.34	4.36	3.94	3.09	0.20	0.01	0.08	0.94	0.26	1.19	100.89	
		R4(00)GS-21	65.03	0.42	16.54	0.65	3.06	0.08	2.35	4.01	4.01	2.20	0.17	0.02	0.78	1.18	0.17		10.98	
		R4(00)GS-38	64.47	0.3	18.71	0.10	2.52	0.053	2.20	4.79	4.64	1.34	0.19	0.021	0.20	0.60	0.02		100.01	
		R ₄ S-12	61.56	0.65	16.52	3.70	2.64	0.054	3.47	5.68	3.03	1.87	0.16	0	0.78	0.22			100.33	
		R ₆ S-13	61.11	0.7	16.59	1.24	3.82	0.078	3.30	4.97	3.66	1.61	0.23	0	0.64	1.45			99.40	
		平均	63.03	0.56	16.56	1.20	3.33	0.07	2.97	4.64	3.81	2.17	0.19	0.01	0.43	0.88	0.12		100.33	
世界 ^[5]	细粒闪长岩 闪长岩 花岗闪长岩	R4(00)GS-37	53.10	1.17	17.94	0.90	5.90	0.13	6.55	8.33	4.4	0.92	0.13	0.015	0.08	0.68	0.03		100.01	
			57.48	0.95	16.67	2.50	4.92	0.12	3.71	6.58	3.54	1.76	0.29		0.10	1.15	0.21		99.98	
			66.09	0.54	15.73	1.38	2.73	0.08	1.74	3.83	3.75	2.73	0.18		0.08	0.85	0.19		99.90	
中国 ^[6]	斜长花岗岩 (江西弋阳)		61.71	0.95	17.38	0.49	5.77	0.13	2.92	4.14	3.42	1.99	0.14					0.91	99.95	

表3 乌金峡岩体标准矿物及岩石化学参数
Tab.3 Normative Mineral and Petrologic Parameters of Wujinxia Rocks

侵入体类型	样品编号	CIPW标准矿物质量分数/%											岩石化学指数						
		Q	C	Or	Ab	An	Di	Hy	Il	Ap	Ce	No	DI	固结指数	里特曼指数	长英指数	镁铁指数	铝饱和度	碱度率
中细粒斜长花岗岩	R4(00)GS-22	34.84	2.93	6.29	33.95	17.61	0	3.24	0.61	0.14	0.71	20.59	75.08	11.93	0.90	55.79	53.18	1.88	1.63
	R4(00)GS-23	35.26	3.26	6.55	34.08	16.54	0	3.31	0.29	0.29	0.77	19.53	75.89	10.22	0.92	56.67	58.18	1.89	1.64
	R4(00)GS-24	33.44	2.33	6.12	42.23	11.65	0	2.38	0.42	0.38	1.91	12.12	81.79	5.38	1.23	62.39	70.23	1.65	1.89
	R4(00)GS-45	30.79	1.75	5.49	45.24	12.84	0	2.78	0.10	0.10	1.66	12.43	81.52	6.88	1.34	63.73	61.19	1.65	1.93
	R ₄ S-37	33.77	5.47	3.58	39.07	10.62	0	5.97	0.06	0.10	2.46	11.96	76.42	11.36	0.99	59.40	68.49	2.00	1.65
	R ₆ S-14	36.9	1.69	5.61	35.60	13.88	0	5.48	0.33	0.07	0.75	16.31	78.11	11.07	0.87	61.29	69.04	1.75	1.8
	R ₄ S-38	39.23	4.90	12.85	33.57	3.89	0	4.68	0	0.14	1.32	5.48	85.65	9.83	1.19	79.30	62.9	1.96	2.15
	R ₄ S-22	33.94	1.62	7.58	34.25	16.53	0	5.22	0.38	0.14	0.61	19.44	75.77	7.42	0.98	58.67	78.65	1.73	1.75
	平均	34.77	2.99	6.76	37.25	12.95	0	4.13	0.27	0.17	1.27	14.73	78.78	9.26	1.05	62.16	65.23	1.81	1.81
	中粒黑云花岗闪长岩	R4(00)GS-36	14.23	0.38	15.89	33.36	17.17	0	16.92	1.13	0.48	0.82	20.47	63.48	27.19	2.12	61.31	51.04	1.49
R ₄ S-4		33.15	3.89	12.66	17.96	14.73	0	14.32	1.29	0.81	2.14	29.08	63.77	0.76	0.77	48.03	98.88	1.7	1.55
平均		23.69	2.14	14.28	25.66	15.95	0	15.62	1.21	0.65	1.48	24.78	63.63	13.98	1.45	54.67	74.96	1.60	1.76
中细粒石英闪长岩	R4(01)GS-96	16.73	0	17.38	30.98	16.77	1.2	15.06	1.27	0.48	0.23	21.30	65.09	22.14	2.00	61.87	59.51	1.44	2.03
	R4(01)GS-98	11.04	0	18.59	33.94	16.9	2.71	15.05	1.20	0.48	0.18	19.93	63.57	22.02	2.60	61.72	58.97	1.4	2.06
	R4(00)GS-21	21.36	2.51	13.21	34.38	14.15	0	12.19	0.81	0.41	1.77	17.07	68.95	19.17	1.74	60.72	61.22	1.62	1.86
	R4(00)GS-38	18.01	1.85	7.98	39.54	21.42	0	9.94	0.57	0.45	0.45	21.31	65.53	20.37	1.67	55.52	54.36	1.74	1.68
	R ₄ S-12	17.63	1.37	11.17	25.91	22.49	0	18.82	1.25	0.38	1.77	30.27	54.71	23.59	1.29	46.31	64.63	1.56	1.57
	R ₆ S-13	17.25	1.83	9.79	31.86	19.78	0	16.75	1.37	0.56	1.46	23.69	58.9	24.21	1.53	51.46	60.53	1.62	1.64
	平均	17.00	1.26	13.02	32.77	18.59	0	14.64	1.08	0.46	0.98	22.26	62.79	21.92	1.81	56.27	59.87	1.56	1.81
	R4(00)GS-37	0	0	5.47	37.46	26.66	11.07	3.24	2.24	0.31	0.18	26.24	42.93	35.08	2.80	38.97	50.94	1.31	1.51

表4 乌金峡岩体的稀土元素含量
Tab.4 REE Contents of Wujinxia Rocks

侵入体类型	样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	稀土总量	ΣCe	ΣY	La/Yb	δEu
中细粒斜长花岗岩	R4(00)XT-44	2.63	7.97	0.62	1.50	0.25	0.06	0.20	0.03	0.20	0.042	0.12	0.02	0.12	0.02	0.75	14.53	13.03	1.50	19.67	0.80
	R4(00)XT-45	6.44	13.60	0.96	3.10	0.43	0.43	0.90	0.11	0.66	0.14	0.45	0.04	0.23	0.03	2.12	29.64	24.96	4.68	28.00	2.08
	R4(00)XT-46	2.90	11.80	0.41	1.90	0.50	0.11	0.61	0.09	0.40	0.09	0.16	0.02	0.11	0.02	1.49	20.61	17.62	2.99	26.36	0.61
	R4(00)XT-68	4.60	6.45	0.63	2.52	0.52	0.27	0.51	0.08	0.50	0.10	0.28	0.044	0.21	0.045	1.87	18.63	14.99	3.64	21.91	1.60
	R6XT-11	11.3	19.20	1.73	6.55	1.00	0.24	0.58	0.10	0.56	0.13	0.20	0.03	0.20	0.03	1.83	43.68	40.02	3.66	56.50	0.89
	平均	5.57	11.80	0.87	3.11	0.54	0.22	0.56	0.08	0.46	0.10	0.24	0.03	0.17	0.03	1.61	25.42	22.12	3.29	32.76	1.20
中粒黑云花岗岩长岩	R4(00)XT-58	12.60	25.50	3.20	11.80	2.98	0.88	3.14	0.45	2.87	0.58	1.74	0.27	1.60	0.19	14.10	81.90	56.96	24.94	7.87	0.88
中细粒石英闪长岩	R4(01)XT-96	20.60	42.20	3.87	17.90	3.19	1.03	3.28	0.51	3.13	0.56	1.54	0.24	1.58	0.23	14.60	114.46	88.79	25.67	13.04	0.97
细粒闪长岩	R4(01)XT-98	25.20	46.40	3.93	18.70	3.12	1.07	3.29	0.51	3.01	0.55	1.46	0.21	1.53	0.26	14.70	123.94	98.42	25.52	16.47	1.02
	R4(00)XT-43	31.50	55.90	5.66	22.60	4.71	0.98	4.21	0.76	4.48	0.90	2.67	0.38	2.10	0.20	20.30	157.35	121.35	36.00	15.00	0.67
	R4(00)XT-60	31.80	56.60	4.47	16.60	2.70	0.93	2.72	0.42	2.55	0.55	1.71	0.26	1.63	0.23	12.60	135.77	113.10	22.67	19.51	1.05
	R ₆ XT-10	21.40	36.70	3.73	15.10	2.46	1.21	2.13	0.30	1.78	0.35	1.00	0.13	0.81	0.13	6.50	93.73	80.60	13.13	26.42	1.59
	平均	26.10	47.56	4.33	18.18	3.24	1.04	3.13	0.50	2.99	0.58	1.68	0.24	1.53	0.21	13.74	125.05	100.45	24.60	17.06	1.06
	R4(00)XT-48	7.71	22.20	3.70	16.80	4.16	1.51	5.02	0.87	5.68	1.16	3.36	0.48	2.86	0.31	25.30	101.12	56.08	45.04	2.70	1.02
中粒闪长岩	R4(00)XT-59	12.80	27.70	2.58	12.40	2.49	0.94	3.71	0.57	3.83	0.82	2.37	0.37	2.04	0.27	15.80	88.69	58.91	29.78	6.27	0.95
	平均	10.26	24.95	3.14	14.60	3.33	1.23	4.37	0.72	4.76	0.99	2.87	0.43	2.45	0.29	20.55	94.91	57.50	37.41	4.19	0.99

表5 乌金峡岩体中各侵入体的微量元素含量
Tab.5 Trace Element Contents of Wujinxia Rocks

侵入体类型	样品编号	F	Cr	Ni	Co	Li	Rb	Cs	W	Sr	Ba	V	Sc	Sn	Nb	Ta	Zr	Hf	U	Th	Rb/Sr	U/Th	Zr/Hf	Ba/Sr	Rb/Cs	Rb/Li
中细粒斜长花岗岩	R4(00)XT-44	192	9.5	3.5	7.4	13	37	2.0	0.6	750	410	5	1.1	0.3	4.7	1.00	92	3.1	0.1	1.3	0.05	0.08	29.68	0.55	18.50	2.85
	R4(00)XT-45	224	11.5	4.9	8.8	18	50	2.8	0.6	560	725	14	3.1	0.3	6.0	0.66	130	4.3	0.6	4.0	0.09	0.15	30.23	1.29	17.86	2.78
	R4(00)XT-46	200	8.8	4.1	7.2	24	37	1.6	0.9	550	640	7.6	1.5	0.3	3.7	1.50	71	3.3	0.5	1.3	0.07	0.38	21.52	1.16	23.13	1.54
	R4(00)XT-68	128	6.7	5.3	7.2	11	25	1.7	0.8	560	610	5	1.7	0.3	3.6	1.90	88	4.2	0.8	2.0	0.04	0.40	20.95	1.09	14.71	2.27
中粒黑云花岗岩长岩	R4(00)XT-58	420	68	39.3	18.7	50	113	8.1	0.6	390	790	98	16.0	0.4	12.0	1.00	130	4.6	5.4	8.0	0.29	0.68	28.26	2.03	13.95	2.26
中细粒石英闪长岩	R4(01)XT-96	390	73.8	41.4	16.0	38	92	5.3	1.0	370	650	85	14.0	0.4	11.0	1.30	120	2.8	2.9	9.6	0.25	0.30	42.86	1.76	17.36	2.42
细粒闪长岩	R4(01)XT-98	460	81.4	44.8	17.0	50.4	126	7.4	1.4	375	530	87	14.0	5.7	13.0	0.83	110	3.4	2.3	15.6	0.34	0.15	32.35	1.41	17.03	2.50
	R4(00)XT-43	470	29.9	17.2	15.2	28	92	3.0	0.4	390	980	82	15.0	1.0	15.0	0.52	160	5.2	1.0	11.3	0.24	0.09	30.77	2.51	30.67	3.29
	R4(00)XT-48	480	38.8	25.5	34.2	12	42	0.9	0.2	390	140	230	41.0	0.9	6.7	0.50	120	4.0	0.1	5.3	0.01	0.02	30.00	0.36	4.67	0.35

侵入体细粒闪长岩具弱的或者不亏损的 $\delta(Eu)$ 值, 岩浆随 SiO_2 含量增大, 平均 $\delta(Eu)$ 值递减, $\delta(Eu)$ 值基本上亏损程度加大, 说明岩浆经过了一定的结晶分异。

5 2 微量元素丰度及演化特征

乌金峡各侵入体微量元素的丰度及主要参数见表 5。在微量元素 McDonough W F 地幔标准化^[8]蛛网图(图 7)上, 具一致的形态, 总体上都富集 Ba、Th、Sr 而亏损 Rb、Li, 说明岩浆可能同源。

图 4 乌金峡岩体(Fe²⁺ + F³⁺)-(Na+ K)-Mg 原子质量

Fig. 4 (Fe²⁺ + F³⁺)-(Na+ K)-Mg Atom Mass Fraction Diagram of Wujinxia Rocks

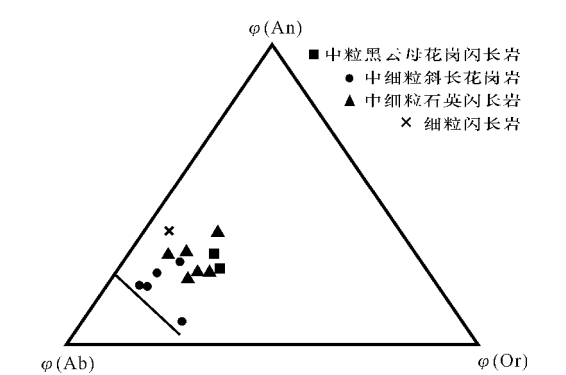


图 5 乌金峡岩体 An-Ab-Or 图解

Fig. 5 An-Ab-Or Diagram of Wujinxia Rocks

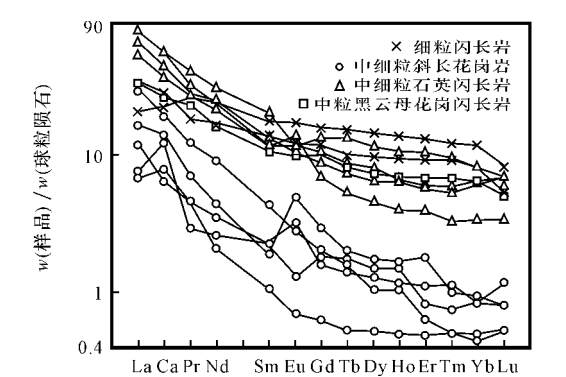


图 6 乌金峡岩体的稀土配分图解

Fig. 6 REE Patterns of Wujinxia Rocks

斜长石及角闪石(表 1)。从稀土配分曲线来看, 大体可以分为两组: 一组以斜长花岗岩为代表, 稀土总量偏低, 且轻重稀土分异较明显, $(La/Yb)_N$ 平均值为 32.76, $\delta(Eu)$ 值正负均有异常; 另一组以其他 3 个侵入体组成, 稀土总量相差不大, 轻重稀土均有分异, 但轻稀土分异更明显, 重稀土配分曲线较平缓, $\delta(Eu)$ 值除个别样品正异常外, 大部分亏损, 但亏损程度不同, 早期岩浆的

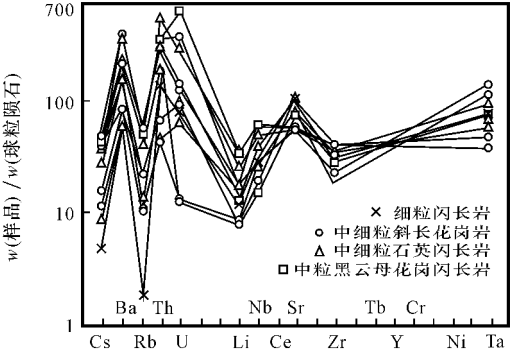


图 7 乌金峡岩体的微量元素蛛网图

Fig. 7 Spider diagrams of Trace Elements in Wujinxia Area Rock Mass

6 侵入岩形成环境及成因

6 1 形成环境

该侵入体与围岩界线清楚, 岩体内部页理不发育, 仅局部有所显示, 围岩捕虏体分布较少, 形态呈长条状(图 1), 岩体中伟晶岩脉不发育。在 Bowen N L^[9] Q-Ab-Or-H₂O 相图上(图 8), 乌金峡岩体样品投点都落在 750 °C ~ 800 °C 等温线内。宜昌地

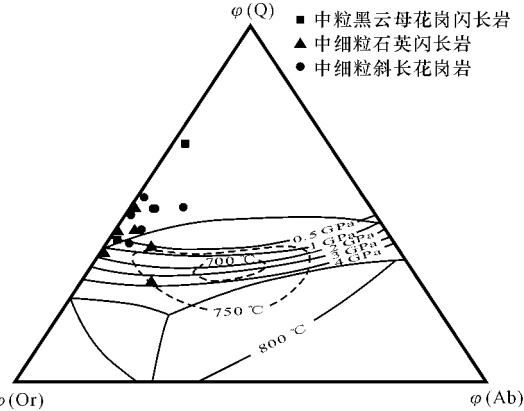


图 8 乌金峡岩体的 Q-Ab-Or-H₂O 相系图

Fig. 8 Q-Ab-Or-H₂O Phase Diagram of Wujinxia Rocks

质矿产研究所在常温常压下用爆破法分别在中细粒斜长花岗岩的石英包体测得温度为 880℃, 细粒石英闪长岩的石英包体测得温度为 890℃。因此岩体形成时冷结晶温度为 750℃~890℃。

该侵入体样品在以洋脊花岗岩为标准的不同类型花岗岩分布形式图中(图 9), 与岛弧花岗岩形态^[10]相似, 在 Pearce^[11] 不同类型花岗岩的 Rb-(Y+Nb) 和 Nb-Y 图解上(图 10), 样品全落在岛弧火山岩或者同碰撞火山岩区, 在 Manian^[12] 主量元素环境判别图上(图 11), 样品全落在了造山带花岗岩类区的 IAG+CAG+CCG(岛弧花岗岩、大陆弧花岗岩和大陆碰撞花岗岩区), 结合该岩体的岩性从中性到酸性的组合特征, 其应属岛弧构造环境。

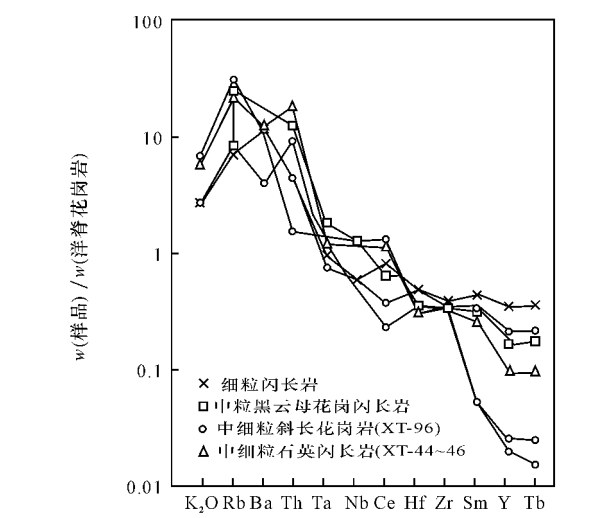


图 9 研究区以洋脊花岗岩为标准花岗岩类蛛网图
Fig. 9 Granitoid Discrimination Diagram of Research Area Standardized by Oceanic Ridge Granite

6.2 成因分析

在 A-C-F 三角图上(图 12), 样品大部分落在了 I 型花岗岩区, 少量落在了 I 型和 S 型过渡区。在 Collins W J^[13] Na₂O-K₂O 图解中(图 13), 样品落在 I 型花岗岩区, $\alpha(\text{Eu})$ 值为 0.61~2.08, 属下地壳岩石部分熔融形成。

7 侵位时代分析

乌金峡岩体侵位于中元古代皋兰岩群之中, 白垩纪河口群不整合于其上。前人^[14-15] 在中细粒石英闪长岩中采获了 419.7 Ma 的 K-Ar 同位素年龄值, 在中细粒斜长花岗岩中采获了 402.4 Ma 的 K-Ar 同位素年龄值, 1:250 000 兰州幅在细粒闪长

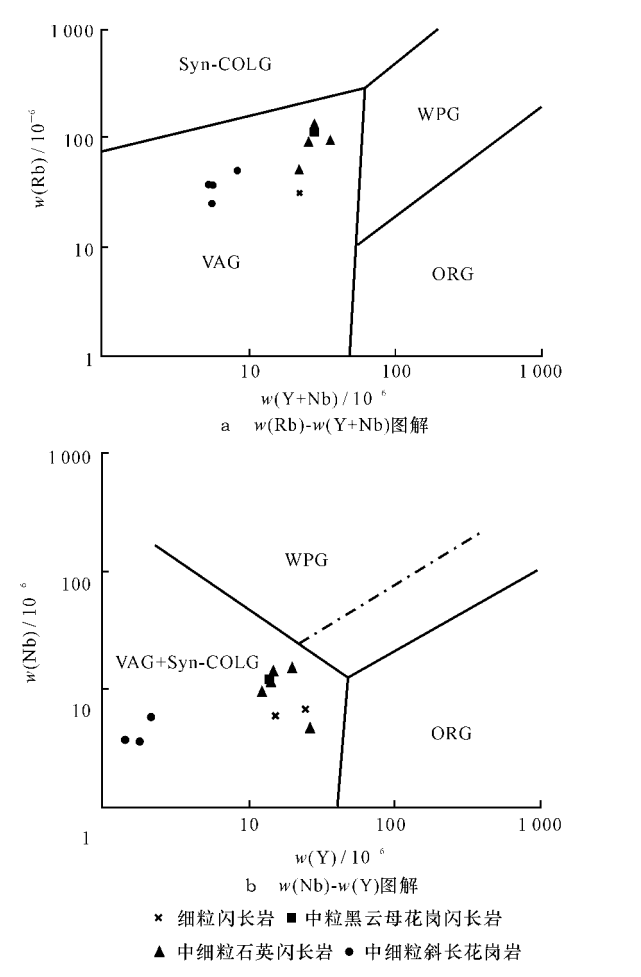


图 10 乌金峡岩体的构造环境 Rb-(Y+Nb) 和 Nb-Y 判别图解
Fig. 10 Rb-(Y+Nb) and Nb-Y Tectonic Setting Discrimination Diagrams of Wujinxia Rocks

岩侵入体中采获了 394 Ma 的 K-Ar 同位素年龄值, 鉴于 K-Ar 法测定年龄值一般偏小的特点, 该岩体侵位时代最晚不超过早志留世, 笔者认为其年龄值可能为奥陶纪。

8 地质意义

乌金峡岩体地处中祁连地块北缘, 时代可能为奥陶纪, 而此时的祁连洋正处于快速扩张期^[16], 迫使祁连洋壳双向运动, 南侧洋壳俯冲于中祁连地块之下, 致使大量的岩浆上涌, 形成研究区的中酸性侵入岩, 并促使中祁连地块上隆并侧向增生。该岩体的存在, 为中祁连陆块、北祁连褶皱带的大陆相互作用提供了有力证据。

9 结语

甘肃省白银市乌金峡一带中酸性侵入体高

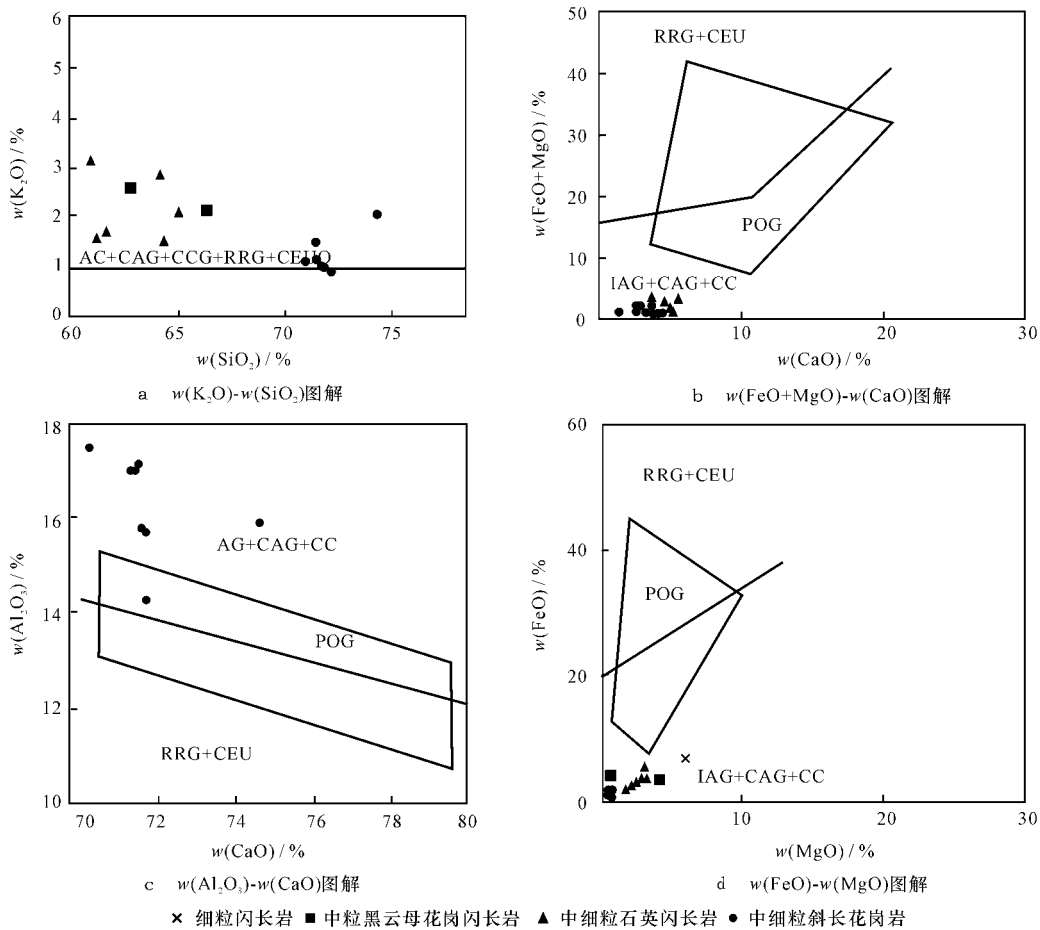


图 11 乌金峡岩体主量元素判别图解

Fig. 11 Major Element Discrimination Diagrams of Wujinxia Rocks

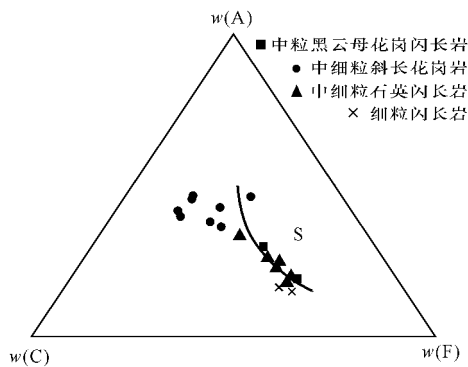


图 12 研究区花岗岩 A-C-F 图解

Fig. 12 A-C-F Diagram of Granite in Research Area

$w(\text{Na}_2\text{O})$, 低 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 、 $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{MnO})$ 、 $w(\text{TFeO})$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 负相关, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 正相关; 轻、重稀土都有分异, 但轻稀土更明显, 且轻稀土富集, δEu 轻度正异常一亏损, 大离子亲石元素 Ba、Th、Sr 富集, Rb、Li 亏损, 属同源

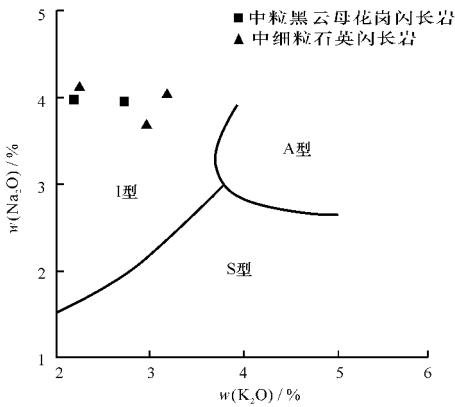


图 13 研究区 Na_2O - K_2O 图解^[3]

Fig. 13 Na_2O - K_2O Diagram in Research Area

岩浆演化的产物。岩浆结晶温度为 $700\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 890\text{ }^{\circ}\text{C}$, 形成于岛弧的构造背景。侵位时代由于 K-Ar 法定年的相对不准确性, 有待以后详细研究, 笔者暂定为奥陶纪中晚期。

(下转第 277 页)

参考文献:

[1] 徐汉林, 赵宗举, 杨以宁, 等. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. 地球学报, 2003, 24(8): 27-33.

[2] 袁正文, 何明喜, 宋建华, 等. 周口残留盆地油气勘探前景分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 679-685.

[3] 郭绪杰, 焦贵浩. 华北古生界石油地质[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

[4] 周建林. 济阳拗陷上古生界煤成气成藏规律认识[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 47-50.

[5] 秦建中, 贾蓉芬, 郭爱明. 华北地区煤系烃源层油气生成° 运移° 评价[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[6] 王兆云, 何海清, 程克明. 华北区古生界原生油气藏勘探前景[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 1-6.

[7] 梁生正, 谢恭俭, 马 郡, 等. 华北石炭—二叠系残留盆地天然气勘探方向[J]. 天然气工业, 1998, 18(6): 18-21.

[8] 常象春, 王明镇, 韩作振. 试论适合叠合盆地的油源对比方法[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 32-36.

[9] 全书进, 饶 丹, 孔凡军. 周口拗陷上古生界油气资源潜力分

析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(6): 19-24.

[10] 祝厚勤, 朱 煜, 尹 玲. 周口盆地东部(阜阳地区)石炭—二叠系煤成烃勘探潜力研究[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5): 407-410.

[11] 田在艺, 张庆春. 论改造型盆地与油气成藏——以华北东部盆地为例[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 23-28.

[12] 刘池阳, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价的思路[J]. 石油天然气地质, 2002, 21(1): 11-14.

[13] Magoon L B, Dow W G. 含油气系统——从烃源岩到圈闭[M]. 张 刚, 蔡希源, 高泳生等译. 北京: 石油工业出版社, 1998.

[14] 王宗礼, 罗 强, 赵 锋, 等. 南华北地区鹿邑凹陷石炭—二叠系有利成藏条件分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 7-11.

[15] 陈瑞银, 余小庆, 徐思煌. 周口鹿邑凹陷埋藏演化史恢复及油气远景评价[J]. 滇黔桂油气, 2002, 15(1): 30-33.

[16] 郑礼全, 李贤庆, 钟宁宁. 华北地区上古生界煤系有机质热演化与二次生烃探讨[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(4): 16-19.

[17] 孙自明. 周口拗陷的反转构造与构造演化[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(2): 252-257.

(上接第 248 页)

参考文献:

[1] 张金阳, 马昌前, 余振兵, 等. 大别造山带北部铁佛寺早古生代同碰撞型花岗岩地球化学和年代学证据[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(1): 1-9.

[2] 李鹏春, 陈广浩, 许德如, 等. 湘东北新元古代过铝质花岗岩的岩石地球化学特征及其成因讨论[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 126-136.

[3] 李永军, 杨高学, 庞振甲, 等. 天水渭北地区变质花岗岩类岩石学特征及其地质时代[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 6-9.

[4] 赵茹石. 甘肃省板块构造单元划分及其构造演化[J]. 中国区域地质, 1994, 12(1): 28-36.

[5] Le Maitre R W . A Classification of Igneous Rock and Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Ig neous Rock[M]. England: Blackwell Scientific Publication, 1989.

[6] 邱家骧. 岩浆岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

[7] Boynton W V. Geochemistry of the Rare Earth Elements; Meteorite Studies[C] //Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam; Elsevier, 1984; 63-114.

[8] McDonough W F, Sun S S, Ringwood A E, et al. K, Rb

and Cs in the Earth and Moon and the Evolution of the Earth's Mantle[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 3: 73-81.

[9] Bowen N L, Tuttle D F. Origin of Granite in the Light of Experimental Studies in the System[J]. Geological Society of America Bulletin, 1953, 37: 57-68.

[10] Pearce J A. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries[C] //Thorps R S. Andesites. Chichester; Wiley, 1982; 525-548.

[11] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956-983.

[12] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic Discrimination of Granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1987, 101: 635-643.

[13] Collins W J. S- and I-type Granites of the Eastern Lachlan Fold Belt: Products of Three-component Mixing[J]. Earth Sciences, 1996, 88: 171-179.

[14] 肖 林, 梁明宏, 冯备战, 等. 1 : 50 000 青城乡幅、金崖乡幅地质图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1996.

[15] 肖 林, 梁明宏, 冯备战, 等. 1 : 50 000 水川乡幅、北湾乡幅地质图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

[16] 肖序常, 王 军. 青藏高原的构造演化及隆升的简要评述[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 372-381.