

东秦岭北部富碱侵入岩岩石化学与分布特征*

张正伟^{1,2} 朱炳泉¹ 常向阳¹ 谢静¹

ZHANG ZhengWei^{1,2}, ZHU BingQuan¹, CHANG XiangYang¹ and XIE Jing¹

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2. 郑州大学 区域经济研究所, 郑州 450052

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Institute of Regional Economy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

2001-04-28 收稿, 2001-07-12 改回

Zhang ZW, Zhu BQ, Chang XY and Xie J. 2002 Major element characteristics of the alkali-rich intrusive rocks zone and distribution of the subzones in the northern part of east Qinling, China Acta Petrologica Sinica, 18(4): 468- 474

Abstract The alkali-rich intrusive rocks are mainly located in Luonan-Lushi-Queshan area in the northern part of East Qinling, central China, and their occurrences are controlled by a regional tectonic zone. Based upon systematic petrographic and geochemical studies, the intrusive rocks are divided into three types: (1) The alkaline rock type, that is syenitoid containing foid or alkaline dark minerals; (2) The alkaline granitoid including arfredsonite granite and assemblage moyite; (3) quartz syenite including quartz syenite, nordmarkite and granosyenite (porphyry), which took alkaline feldspars as the dominant factors. All these rocks consisted an alkali-rich magmatic rock belt in space, that can be divided into three subzones according to the features of petrochemistry from north to south: the northern subzone of alkaline rock, middle subzone of alkaline granitoid and southern subzone of quartz syenite (porphyry). The three subzones of alkali-rich intrusive rocks belong to the same category of the high-K, $ALK = 10 \sim 15$, $K_2O = 5\% \sim 15\%$, $K_2O/N_2O = 1.26 \sim 8.30$

Key words Alkali-rich intrusive rock, Major element, Petrochemistry, East Qinling

摘要 在东秦岭北部,富碱侵入岩的侵位与空间分布受同一个区域构造带(华北陆块南缘)控制,构成一个区域性的富碱岩浆岩带。根据岩石学和岩石化学研究,岩石类型主要分为三大类:(1)碱性岩类,即含有似长石或碱性暗色矿物的正长岩类;(2)碱性花岗岩类,包括钠铁闪石花岗岩及孪生的钾长花岗岩类;(3)石英正长岩类,包括碱性长石为主的石英正长岩、英碱正长岩和花岗正长(斑)岩类。根据富碱岩浆岩带的岩石化学特征,自北而南可以划分为三个亚带:北部碱性岩亚带,以 SiO_2 饱和而 Al_2O_3 不饱和出现碱性暗色矿物为特征;中部碱性花岗岩亚带,以 SiO_2 强饱和而 Al_2O_3 不饱和出现碱性暗色矿物和大量石英为特征;南部石英正长岩亚带,以 SiO_2 和 Al_2O_3 都饱和但 CaO 强烈亏损,缺乏 Ca 质斜长石,出现碱性长石占长石总量的绝对优势(一般 $> 95\%$)为特征。三个亚带富碱岩浆在化学成分方面虽有差异,但共同具有富碱高钾特征, $ALK = 10 \sim 15$, K_2O 含量范围 $5\% \sim 15\%$, $K_2O/N_2O = 1.26 \sim 8.30$ 。

关键词 富碱侵入岩,主元素组成,岩石化学,东秦岭地区

中图法分类号 P588.12; P595

国内外的富碱侵入岩常产于特定的地质背景并具有重要找矿意义(Fitton and Upton, 1987)。在东秦岭北部(图1),沿近东西向的黑沟-栾川-确山深大断裂带(图1,断裂)及两侧,自西而东断续出现30多个富碱侵入岩

体,空间上构成长约400km的富碱侵入岩带。邱家骥等(1990)把秦岭北部的碱性岩带与商丹断裂(图1,断裂6)以南的碱性岩带进行对比,提出了两个碱性岩带的观点。关于嵩县南部霓辉正长岩类,曾广策等(1990)认为它属于华北陆

* 本文受国家自然科学基金(编号40072003)、中科院知识创新工程重要方向项目(KZCXZ-SW-125)和国家重点基础研究发展规划项目(编号:G19990432)资助

第一作者简介:张正伟,男,1959年生,博士,教授,从事区域资源经济和地球化学研究

块南缘印支运动的产物。卢欣祥(1989)认为栾川东部龙王幢碱性花岗岩相当于A型花岗岩。周玲棣(1993)用锆石U-Pb法测得龙王幢岩体的形成年龄2021Ma。在上述研究基础上,作者曾用Rb-Sr等时线法测定舞阳南部张士英角闪石英正

长岩和方城北部双山霞石正长岩的形成年龄(张正伟等,2000)。本次工作重点研究了各类岩石的主元素组成、碱性程度、钾、钠类型、化学成分空间分布变化规律。

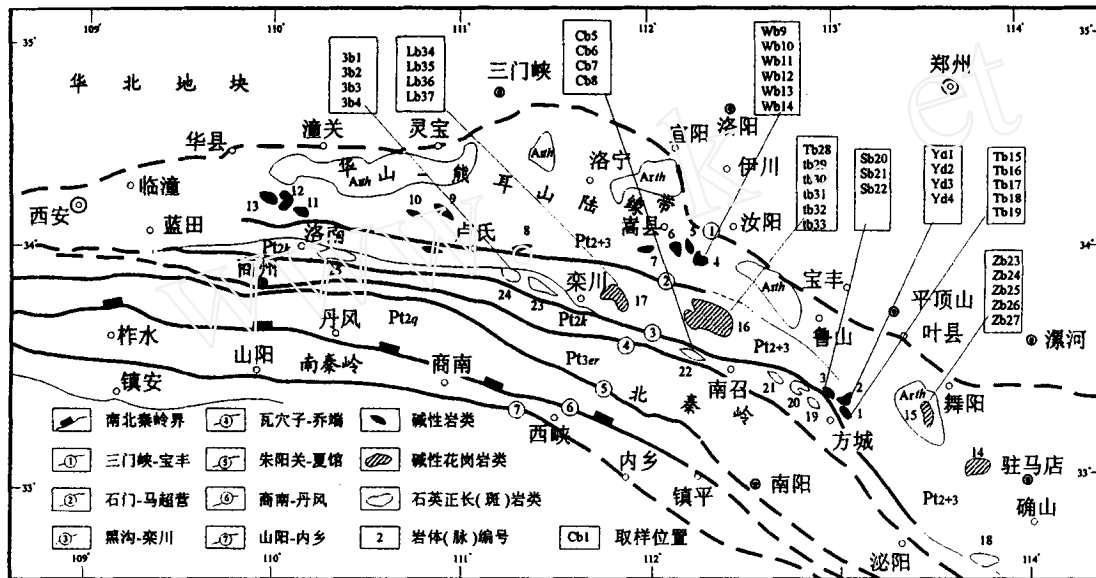


图1 东秦岭北部富碱侵入岩带岩体分布图

岩体编号: 1. 塔山正长岩; 2. 鱼池正长岩; 3. 双山角闪云霞正长岩; 4. 乌烧沟霓辉正长岩; 5. 岭头霓辉正长岩; 6. 磨沟霓辉正长岩; 7. 前河正长斑岩; 8. 白土正长斑岩; 9. 杜关正长斑岩; 10. 冠云山正长斑岩; 11. 石门正长斑岩; 12. 金堆城正长斑岩; 13. 张坪正长斑岩; 14. 角子山钾长花岗岩; 15. 张士英角闪石英正长岩; 16. 太山庙钾长花岗岩; 17. 龙王幢钠闪石花岗岩; 18. 石碓河石英正长斑岩; 19. 云阳石英正长斑岩; 20. 留山石英正长斑岩; 21. 建坪石英正长斑岩; 22. 草庙石英正长斑岩; 23. 栾川石英正长斑岩; 24. 三合石英正长斑岩; 25. 高山河石英正长斑岩。地层: A_{1rh}-太古界与下元古界太华群; P_{t2+3}-中晚元古界长城系、蓟县系、青白口系(熊耳群、官道口群、栾川群及陶湾群); P_{t2k}-中元古界宽坪群; P_{t3er}-上元古界与下古生界二郎坪群; P_{t2q}-中元古界秦岭群

Fig 1 The distribution map of intrusive rocks of alkaline-rock zone in the northern part of the East Qinling

1 地质背景

东秦岭地区是一个典型的古大陆边缘(Zhang et al., 2000)。以三门峡-宝丰断裂(图1, 断裂)为界, 北侧为华北地块, 南侧至黑沟——栾川断裂(图1, 断裂)之间为华山熊耳山陆缘带(胡受奚等, 1988), 区域地层主要分布太古界与下元古界太华群(A_{1rh})和中、上元古界熊耳群、栾川群、官道口群、汝阳群(P_{t2+3})。黑沟-栾川断裂与商南-丹凤断裂(图1, 断裂)之间为北秦岭, 区域地层主要分布中、上元古界宽坪群(P_{t2k})、二郎坪群(P_{t3er})和秦岭群(P_{t2q})。构造主要发育横贯全区的7条深大断裂带(图1, 断裂)。富碱岩体一般以不整合形式侵入围岩, 方城北部地区的霞石正长岩类(岩体编号1-3)侵入晚元古界栾川群片岩和大理岩, 嵩县南部的霓辉正长岩类(岩体编号4-6)侵入中元古界熊耳群火山岩, 舞阳南部地区的角闪石英正长岩类(岩体编号15)侵入中元

古界汝阳群, 栾川西部地区石英正长斑岩类(岩体编号23、24)与晚元古界栾川群上部的大红口组火山岩共生, 南召西部变石英正长斑岩类(岩体编号22)侵入晚元古界栾川群绢云石英片岩。在岩带横向上, 自北向南按不同岩石组合类型可进一步分为三个亚带(图1), 即北亚带为霓辉正长岩-正长岩(岩体编号4-13); 中亚带为碱性花岗岩-钾长花岗岩(岩体编号14-17); 南部亚带为石英正长岩-霞石正长岩(岩体编号1-3, 18-25)。其中北亚带与中亚带以石门-马超营断裂(图1, 断裂)为界, 南亚带沿黑沟栾川断裂(图1, 断裂)分布。

2 岩石化学特征

本研究共采集代表性样品37件, 取样位置见图1, 对其1~27号样品采用湿法进行全岩分析, 收集以前全岩分析结果10件(28~37号样品, 张正伟等, 1989), 结果列入表1。

表1 华北陆块南缘高钾侵入岩岩石化学成分(%)

Table 1 Major element composition in high-K alkaline intrusive rocks from the southern margin of North China Landmass

序号	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	H ₂ O ⁺	烧失量	其他	总量
1	63.27	0.70	15.57	0.71	2.78	0.20	0.59	1.59	4.98	6.59	0.16	0.73	1.88	0.08	99.83
2	63.26	0.90	17.60	3.24	0.50	0.06	0.30	0.21	2.70	10.00	0.04	0.78	1.06	0.01	100.66
3	50.81	1.42	13.04	0.51	3.00	0.32	2.16	7.58	0.68	9.58	0.34	0.79	9.36	0.08	99.67
4	63.56	1.07	17.40	2.58	0.42	0.01	0.09	0.28	3.22	10.30	0.18	0.21	0.29	0.04	99.65
5	73.66	0.50	12.15	3.28	0.20	0.15	0.25	0.18	0.21	6.10	0.16	1.86	2.00	0.23	100.93
6	61.98	0.96	17.61	1.32	0.34	0.06	0.22	0.35	4.78	8.00	0.28	0.62	0.59	0.14	99.45
7	62.04	0.98	17.13	4.45	0.36	0.15	0.54	1.14	4.10	6.72	0.28	1.09	1.63	0.23	100.84
8	63.72	0.80	17.07	5.68	0.56	0.24	1.16	0.16	0.02	6.08	0.03	2.68	3.14	0.42	100.36
9	63.36	0.32	15.80	4.37	0.21	0.03	0.08	0.20	1.02	13.36	0.05	0.63	0.76	0.40	100.59
10	62.94	0.21	17.53	1.79	0.14	0.02	0.04	0.20	0.98	15.20	0.03	0.31	0.38	0.14	99.91
11	69.92	0.57	12.14	4.04	0.76	0.01	0.14	0.25	0.61	9.66	0.10	0.70	0.93	0.45	100.28
12	61.94	0.88	15.40	2.63	1.01	0.03	0.72	1.81	0.36	14.08	0.12	0.39	0.56	0.26	100.19
13	66.10	2.56	12.39	5.78	0.24	0.02	0.03	0.15	0.06	11.04	0.07	0.55	0.72	0.10	99.81
14	52.31	3.82	15.19	4.38	4.88	0.22	5.18	5.86	5.20	4.94	0.78	0.40	0.93	0.23	100.32
15	59.61	0.19	21.52	0.98	0.18	0.01	0.52	0.14	0.44	14.30	0.01	1.02	1.28	0.02	100.22
16	56.34	0.20	20.93	2.03	0.15	0.10	0.55	1.59	0.72	12.80	0.01	1.57	2.81	0.11	99.91
17	49.40	0.66	14.02	0.48	0.82	0.26	4.21	6.74	0.32	12.00	0.01	0.23	9.81	0.06	99.02
18	55.78	0.70	13.96	7.82	0.80	0.34	0.22	5.29	5.20	5.84	0.03	0.47	3.13	0.10	99.68
19	55.58	0.35	19.00	5.18	0.15	0.19	0.11	3.44	4.50	7.24	0.01	1.29	3.38	0.21	100.63
20	58.58	0.25	21.24	1.38	0.25	0.05	0.60	0.14	0.48	14.24	0.03	1.59	1.84	0.38	100.85
21	51.98	0.42	19.31	2.55	1.38	0.41	0.33	5.94	1.84	10.02	0.03	2.05	5.85	0.45	100.56
22	57.90	0.60	20.84	1.71	1.30	0.19	0.54	1.50	5.04	7.96	0.05	0.85	1.21	0.35	100.04
23	75.48	0.20	12.95	0.82	0.25	0.06	0.20	0.29	4.25	5.10	0.02	0.50	0.54	0.11	100.77
24	66.26	0.48	15.07	2.12	0.72	0.09	0.45	1.48	4.12	5.90	0.25	1.14	2.24	0.16	100.48
25	67.12	0.50	14.85	2.22	0.75	0.05	1.00	2.02	4.38	5.20	0.23	0.34	0.42	0.26	99.34
26	58.09	0.75	16.20	4.12	2.25	0.13	2.58	4.80	4.46	4.46	0.78	0.62	0.97	0.29	100.50
27	67.44	0.45	15.19	1.22	1.20	0.05	0.82	1.96	4.48	5.30	0.20	0.40	0.58	0.16	99.45
28	75.53	0.13	12.06	0.54	1.89	0.04	0.27	0.14	3.25	5.86	0.03	0.23	0.21	0.01	100.19
29	72.86	0.28	13.67	0.70	1.53	0.06	0.58	0.97	3.80	4.98	0.08	0.38	0.44	0.01	100.34
30	76.45	0.18	11.82	0.48	1.08	0.04	0.15	0.57	3.81	4.68	0.02	0.27	0.42	0.01	99.98
31	73.38	0.30	12.33	1.32	1.51	0.10	0.21	0.67	3.42	5.16	0.06	0.45	0.88	0.03	99.82
32	72.41	0.35	13.43	1.13	1.35	0.08	0.62	0.87	4.10	5.12	0.08	0.23	0.31	0.02	100.10
33	70.05	0.39	14.36	1.06	1.82	0.08	0.57	1.17	4.22	5.44	0.11	0.20	0.32	0.02	99.81
34	70.90	0.30	13.05	1.28	3.35	0.08	0.07	1.52	5.40	4.08	0.05	0.33	0.60	0.01	101.02
35	70.44	0.30	12.66	1.29	2.78	0.12	0.17	1.49	3.99	5.50	0.02	0.59	0.95	0.01	100.31
36	70.92	0.32	14.23	1.32	1.05	0.06	0.35	1.41	4.59	4.99	0.07	0.31	0.33	0.01	99.96
37	64.91	0.16	16.00	1.40	2.00	0.13	0.27	3.20	6.53	4.99	0.03	0.46	0.53	0.01	100.62

序号: 1~4 三合石英正长斑岩体(1. 粗面岩; 2. 石英正长斑岩; 3. 蚀变正长斑岩; 4. 正长斑岩); 5~8 草庙石英正长斑岩体(5. 石英绢英片岩; 6. 石英正长斑岩; 7. 石英正长斑岩; 8. 蚀变正长斑岩); 9~14 乌烧沟霓辉正长岩体(9. 黑云正长岩; 10. 霓辉正长岩; 11. 细粒正长岩; 12. 霓辉正长岩; 13. 霓辉正长岩; 14. 霓辉正长岩); 15~19 塔山正长岩体(15. 绢云母化正长岩; 16. 绢绿正长岩; 17. 蚀变细粒正长岩; 18. 霓辉正长岩; 19. 绿帘正长岩); 20~23 双山角闪正长岩体(20. 角闪二云正长岩; 21. 蚀变角闪正长岩; 22. 角闪云霞正长岩); 23~27 张士英角闪石英正长岩体(23. 细粒石英正长斑岩; 24. 透闪石化正长岩; 25. 透闪石化正长岩; 26. 角闪黑云二长岩; 27. 角闪石英正长岩); 28~33 太山庙钾长花岗岩体(28. 细粒钾长花岗岩; 29. 细粒钾长花岗岩; 30. 含斑钾长花岗岩; 31. 粗粒钾长花岗岩; 32. 斑状钾长花岗岩; 33. 粗粒肉红色钾长花岗岩); 34~37 龙王幢钾长花岗岩体(34. 钾长花岗岩; 35. 钠铁闪石花岗岩; 36. 钾长花岗岩; 37. 钠铁闪石花岗岩)。

2.1 主元素多元统计特征

对表 1 中的主元素 11 个变量聚类分析表明: 元素 SiO_2 离散较强, 与其它主元素相关性很差, 反映在 SiO_2 含量方面明显不同。 Al_2O_3 和 K_2O 相关性较高, 表明各类岩石的主造岩组分的钾长石系列矿物, 具有共同的富 K_2O 特征。 Mg 、 Fe^{2+} 、 Ti 三元素之间的相关系数在 0.9 左右, 表明它们作为基性元素在岩石中分配具有类同性。 在元素组合大体可分三类: 一是代表了张士英岩体、龙王幢岩体和云阳、草庙、三合、维摩寺等岩体的中酸性岩石端员; 二是代表了磨沟、乌烧沟、岭头等岩体的中性正长岩端员; 三是代表了几乎整个富碱侵入岩带所有岩体的中、偏基性岩石。 通过该元素组合可以说明, 富碱岩带是一套从中、偏基性到酸性的富碱杂岩。 由此, 在野外岩石学调研基础上, 把分布在本区三个亚带的霞石正长岩、霓辉正长岩、石英正长岩、石英正长斑岩和碱性花岗岩 5 种代表性岩石种属的样本筛选分类, 计算其元素平均值, 并用标准差来度量平均值可靠性(表 2)。 从计算结果来看, 岩石 SiO_2 含量平均值在 55%~70% 范围。 在不同类型岩石之间, 霞石正长岩类 SiO_2 含量最低, 其次为霓辉正长岩和

石英正长斑岩, 碱性花岗岩 $SiO_2 > 70%$ 。 Al_2O_3 含量与 SiO_2 呈反消长关系, 与 AlK 呈正消长关系。 组合指数(ϕ) 在 3.5~13.1 之间, 表明岩石属于碱性和过碱性系列, 尤以霞石正长岩碱性程度最高。 K_2O/Na_2O 一般在 1.2~8.3 之间, 属高钾系列。 全碱度统计结果显示富碱特征, $Alk(Na_2O + K_2O) > 9.5$, 大于中国其他富碱侵入岩的全碱度(涂光炽, 1989)。 岩石化学组成在三个富碱侵入岩亚带的空间分布不均匀, 南亚带的石英正长岩-霞石正长岩(样品序号 1~8, 15~22) SiO_2 含量最低(55.64%~62.78%), AlK 值较高(10.54~12.87), 组合指数较大(5.6~13.1); 北亚带的霓辉正长岩-正长岩(样品序号 9~14) SiO_2 含量较低(62.76%), AlK 值(12.75), 组合指数(8.22)次之; 中亚带的碱性花岗岩-钾长花岗岩(样品序号 28~37) SiO_2 含量最高(70.16%), AlK 值最低(9.52~9.76), 组合指数(3.50~3.79)。 K_2O/Na_2O 比值在三个亚带的分布也不同, 北亚带的霓辉正长岩-正长岩 K_2O/Na_2O 比值最高(8.3), 南亚带的石英正长岩-霞石正长岩 K_2O/Na_2O 比值次之(3.08~4.57), 中亚带的碱性花岗岩-钾长花岗岩 K_2O/Na_2O 比值最低(1.19~1.26)。

表 2 东秦岭北部富碱侵入岩主元素平均值及标准差

Table 2 The mean value and standard deviation of major element from the high-K alkaline intrusive rocks in east Qinling

地区 岩石类型 (样号)	南亚带方城北部 霞石正长岩(8) (15~22)	北亚带嵩县南部 霓辉正长岩(6) (9~14)	中亚带栾川东部 碱性花岗岩(9) (28~37)	南亚带栾川方城 正长斑岩(8) (1~8)	中亚带舞阳南部 石英正长岩(5) (23~27)
SiO_2	55.64±2.37	62.76±4.70	70.16±1.53	62.78±4.26	66.78±5.40
TiO_2	0.42±0.14	1.39±1.17	0.28±0.05	0.91±0.18	0.47±0.17
Al_2O_3	18.85±2.16	13.07±3.50	13.55±0.80	15.94±1.51	14.85±1.03
Fe_2O_3	2.76±1.72	3.83±1.13	1.21±0.27	3.09±1.24	2.10±1.11
FeO	0.62±0.35	1.20±1.46	2.17±0.83	1.02±0.80	1.03±0.66
MnO	0.19±0.09	0.05±0.06	0.10±0.03	0.14±0.07	0.07±0.03
MgO	0.88±0.93	1.03±1.63	0.29±0.17	0.66±0.47	1.01±0.81
CaO	3.09±1.82	3.07±5.03	1.49±0.50	1.49±1.75	2.11±1.45
Na_2O	2.31±1.53	1.37±1.52	4.31±0.85	2.58±1.41	4.33±0.13
K_2O	10.56±2.26	11.38±3.00	5.45±0.67	7.96±1.22	5.19±0.45
P_2O_5	0.02±0.01	0.19±0.23	0.04±0.01	0.18±0.07	0.29±0.25
H_2O^+	1.13±0.42	0.49±0.12	0.50±0.09	1.09±0.55	0.60±0.28
烧失量(loss)	3.66±2.00	0.71±0.17	0.73±0.17	2.52±2.02	0.95±0.65
总量(Σ)	100.18±0.67	100.85±1.37	100.32±0.42	100.37±0.46	99.91±0.60
赖特碱度(A.R)	3.88	8.52	4.71	4.08	3.55
组合指数(ϕ)	13.10	8.22	3.50	5.61	3.79
K_2O/Na_2O	4.57	8.30	1.26	3.08	1.19
全碱度(ALK)	12.87	12.75	9.76	10.54	9.52

注: 括号内数字为样品数; 主要元素之后为相应标准差; 资料来源同表 1; 栾川东部碱性花岗岩的 9 个样品见(张正伟等, 1989)

2.2 碱性程度与钾钠类型

根据表1数据计算,绝大多数样品 $SD_2 > 52\%$,除了张士英岩体分析结果采用 $ALK = 2 \times Na_2O$,其他均采用 $ALK = K_2O + Na_2O$ 。计算结果表明(表2),霓辉正长岩类为强碱性系列,霞石正长岩类大部分为强碱性系列,碱性花岗岩类为碱性系列,角闪石英正长岩类样品全部为碱性系列,石英正长斑岩类为碱性与强碱性系列。采用赖特法碱度分析,显示富碱高钾的特点。

若采用里特曼指数(σ)判别岩石碱性程度,依此计算,一些岩体 σ 值 < 4 。若按四分法计算,有少量属于碱性系列,多数属于过碱性系列。其中三合岩体中的正长斑岩脉为过碱性,其余为碱性;乌烧沟岩体只有碱性辉长岩(14) $\sigma = 6.28$,显示碱性系外,其余均为过碱性岩,草庙岩体只有两个轻质样品显示过碱性特点;塔山、双山岩体的样品(15~22)全部属于过碱性系列;张士英岩体除了细粒正长岩(边缘相)为钙碱性外,其余均属于碱性系列范围。

与赖特法相比较,里特曼法具有定量参数界线,易于判别岩石碱性程度的优点。但是它仅考虑岩石 SD_2 和 ALK 含量因素,没有考虑在斜长石结晶中占重要地位的 CaO 的含量,以致于使乌烧沟碱性辉长岩(14)判入碱性系列,张士英细粒正长岩判为钙碱性系列,还有龙王幢碱性花岗岩全部为碱性岩系列,而用 σ 值判别,则波动于 $3.3 \pm$,显示钙碱性和低碱性特点。显然这些岩石都具有高碱特点,但由于 SD_2 含量较高 σ 值就相对降低,因此对一些高碱高硅的富碱侵入岩来说,运用赖特法效果较好。

钾钠类型分析(表2)表明,绝大多数以高钾为特点(钾质型)。三合岩体 K_2O 含量 $6.95\% \sim 10.3\%$;乌烧沟岩体 $4.9\% \sim 15.2\%$;草庙岩体 $6\% \sim 8\%$;双山岩体 $7.9\% \sim 14.2\%$;塔山岩体 $5.8\% \sim 14.3\%$;张士英岩体 $4.6\% \sim 5.9\%$ 。其它样品中仅有极少数 Na_2O 高于 K_2O 含量。在 Na_2O 和 K_2O 相对含量方面,属碱性岩系钾质系列。石英正长岩和碱性花岗岩大多数落入钾质区,而霓辉正长岩和石英正长斑岩类大多数落入高钾区,钾含量高于秦巴其它地区碱性岩(邱家骥等,1990)。

3 岩石化学组成的空间分带性

主元素组成空间变化受岩石类型的不同所控制。岩带自西而东,栾川、南召、云阳三地区的正长斑岩类成分基本相同,东至方城地区,才出现一些局部的正长斑岩 SD_2 含量稍微升高的趋势(表1)。这些说明岩石化学成分的变化主要由岩石类型变化所决定。岩石类型主要分为三大类:(1)碱性岩类,即含有似长石或碱性暗色矿物的霞石正长岩、钾霞正长岩、霓辉正长岩和绿闪正长岩类;(2)碱性花岗岩,包括钠铁闪石花岗岩、霓辉花岗岩以及孪生的钾长花岗岩类;

(3)石英正长岩类,包括碱性长石为主的石英正长岩、英碱正长岩和花岗正长(斑)岩类。岩石种属常见有霓石正长岩、霓辉正长岩钠铁闪石花岗岩、霓辉花岗岩、钾长花岗岩、霞石正长岩、花岗正长岩类。

岩带自北而南由于岩性变化的分带性形成了三个化学亚带(图1):(1)北部霓辉正长岩亚带(),以 SD_2 饱和而 Al_2O_3 不饱和出现碱性暗色矿物为特征,主要分布在卢氏-嵩县-汝阳一带,西段受石门-马超营断裂及其与之平行的断裂束控制,东段南距马超营断裂30km,一般侵位于元古界熊耳群火山岩,少数侵入于元古界官道口群、汝阳群及洛峪群。典型岩体有乌烧沟、磨沟,岩性主要为碱性正长岩、正长斑岩和云煌岩类;(2)中部碱性花岗岩亚带,以 SD_2 强饱和而 Al_2O_3 不饱和出现碱性暗色矿物和大量石英为特征,分布于栾川-嵩县-遂平一带,由于 SD_2 含量相对较高, Al_2O_3 不饱和引起在长石矿物组合过程中过剩的碱金属与Si、Fe、Mg等形成 SD_2 饱和的镁铁硅酸盐矿物,如钠铁闪石等。典型岩体有张士英、太山庙、龙王幢,岩性主要为碱性花岗岩和与之伴生的钾长花岗岩类;(3)南部石英正长岩亚带,以 SD_2 和 Al_2O_3 都饱和但 CaO 强烈亏损,缺乏Ca质斜长石为特征,分布于栾川-南召-云阳-方城-确山一带,典型岩体有草庙、三合,岩性主要为石英正长斑岩和与之伴生的碱粗岩、石英正长岩和花岗正长岩等长英质杂岩。另外,在南部亚带中出露一些酸度最低、碱度最高的霞石正长岩类(岩体编号1-3),与长英质杂岩(岩体编号19-21)有密切的空间关系,二者在化学成分上有一定的互补关系。

4 结论与讨论

4.1 岩石化学富碱标志

该地区富碱侵入岩分三类:即含有碱性暗色矿物(霓辉石、钠铁闪石等)或含有似长石(霞石、钾霞石等)的正长岩类,含有碱性暗色矿物的碱性花岗岩类,不含似长石或碱性暗色矿物但碱性长石含量占长石量绝大多数且 $ALK > 9.5$ 的石英正长岩类。对于前两类岩石,归属富碱侵入岩(涂光焱,1989)争议不大,对于第三类岩石,岩石的全碱度一般在10~15范围,里特曼指数 σ 值一般4~13,属碱性、过碱性系列,造岩矿物长石几乎全是碱性长石,具有明显的富碱特征,因此,可以作为一种特殊的高钾富碱侵入岩类型。

富碱侵入岩在化学上共有的特点是富碱金属组分,反映在全岩分析中 $ALK > 9.5$ 。涂光焱(1989)在总结中国富碱侵入岩特点时,曾提出其 $ALK > 8.5$ 。在华北陆块南缘或秦岭造山带北部,中酸性岩类普遍富碱,甚至一些与碱性岩或碱性花岗岩类在成因上无关的钙碱性花岗岩类的 $ALK > 8.5$ (张正伟等,1991)。统计表明(表2),研究区出露的碱性系列的富碱侵入体岩石 ALK 值均大于9.5,因此建议 $ALK > 9.5$ 作为本区富碱侵入岩类化学标志之一。

4.2 主元素 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO 之间的关系

尽管富碱侵入带岩石具有共同的富碱金属组分特点,但是,不同岩石类型反映在 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO 方面均有明显差异(表 2)。在 SiO_2 和 Al_2O_3 两组分中,若任一组分出现不饱和都会引起碱金属组份的过剩,分别出现似长石类和碱性暗色矿物;另一方面,即使两者都饱和,但由于 CaO 组份强烈亏损,在岩石中很难结晶出斜长石类,形成碱性长石占长石总量的绝对优势的碱长花岗岩和石英正长岩类。所以富碱侵入带的岩石类型之间,在化学上有密切的主元素分配过渡关系,若按 CIPW 标准矿物计算将出现以下情况:(1) SiO_2 不饱和, Al_2O_3 饱和,出现标准矿物刚玉,岩石类型为霞石正长岩和霞霓正长岩类(南亚带);(2) SiO_2 不饱和, Al_2O_3 不饱和,不出现标准矿物刚玉,岩石类型为钠沸霞石正长岩类(南亚带);(3) SiO_2 饱和时, Al_2O_3 不饱和,出现碱性暗色矿物,岩石类型为霓辉花岗岩、钠铁闪石花岗岩类、霓石正长岩和霓细花岗岩类(北亚带和中亚带);(4) SiO_2 饱和, Al_2O_3 过饱和, CaO 强亏损($< 0.5\%$),出现碱性长石占长石总量的绝对优势(一般 $> 95\%$),岩石类型有石英正长岩和碱长花岗岩类(南亚带)。由此可见, SiO_2 不饱和的现象发生在南亚带,而中亚带和北亚带的岩石化学类型均为 SiO_2 饱和型。与此相反, Al_2O_3 过饱和的情况发生在南亚带, Al_2O_3 不饱和的现象出现在中亚带和北亚带。反映 SiO_2 和 Al_2O_3 在空间分布上的反消长关系。

4.3 岩浆演化规律

三个富碱岩带构成一个沿华北地块南缘分布的富碱岩带,具有空间上的一致性,但是在形成时间上有很大的差异,从前寒武纪到中生代多期活动,根据掌握的同位素年龄资料,活动最早的是位于中亚带的龙王幢碱性花岗岩,锆石 U-Pb 年龄 2021 ± 34 Ma(周玲棣,1993),这些数据如果能可靠地代表岩石结晶年龄,则说明酸性岩浆活动较早,此外,还有 1035 Ma 和 212 Ma 等成岩年龄数据(卢欣祥,1989),特别是后两者明显与非造山期有关;其次是南亚带的三合正长斑岩和草庙绢云母化正长岩类(660 ± 30 Ma,张正伟等,2000);再次是位于北亚带嵩县南部的乌烧沟霓辉正长岩(223 Ma,曾广策等,1990)和方城北部霞石正长岩类(289.4 ± 30 Ma,张正伟等,2000);最后是中亚带的舞阳南部张士英角闪石英正长岩类(133.4 ± 0.5 Ma,张正伟等,2000),以及位于中亚带的太山庙钾长花岗岩(13 Ma,黑云母 K-Ar 法)。由此看出,富碱岩带北亚带和南亚带的岩石形成时代由老到新,酸度变小,碱度增大;而中亚带的岩石形成时代由老到新,酸度增大,碱度变小。岩石化学组成的分带性与岩浆活动的多期性表明,尽管富碱侵入带岩石具有区域空间上的一致性和共同的富碱金属组分特点,但是,不同地质时期形成的岩石类型反映在岩石化学方面均有明显差异。

References

- Fitton J G and Upton B G J. 1987. Alkaline Igneous Rocks. New York: Blackwell Scientific Publication. 1~ 225
- Hu Shouxi and Lin Qianlong. 1988. The geology and metallogeny of the amalgamation zone between ancient North China plate and South China plate (taking Qinling-Tongbai as an example). Nanjing: Press of Nanjing University. 1- 558(in Chinese)
- Lu Xinxiang. 1989. Geochemical characteristics of granitoids in Longwangzhuang, Henan Province, China. Acta Petrologica Sinica, 5(1): 67- 77(in Chinese with English abstract)
- Qiu Jiaxiang, Ceng Guangce, Xu Jifeng. 1990. Geological characteristics of alkaline rocks and mineralization in Qinling-Bashan area. Beijing: Geological Publishing House. 1- 167(in Chinese)
- Tu Guangchi. 1989. About the alkali-rich intrusive rocks. Journal of Mineral and Geology (China), 3(3): 1- 8(in Chinese with English abstract)
- Zeng Guangce. 1990. Features of the syenitoid and tectonic environment in south of Songxian, Henan province. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 15(6): 635- 641(in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhengwei, Lu Xinxiang. 1990. Geochemical characteristics of migmatite and granitization-type granitoids in Funiushan, Henan Province, China. Geochimica, 19(4): 358- 364(in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhengwei, Zhu Bingquan, Cai Keqin, Deng Jun. 2000. The geochemical boundary of continental blocks and mineralization: An example from the mineral deposits concentrated area in east Qinling, China. Earth Science Frontiers, 7(1): 87- 95(in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhengwei, Zhu Bingquan, Chang Xiangyang. 2000. The Nd, Sr, Pb isotopic geochemistry of the alkali-rich intrusive rocks in the east Qinling, central China. Geochimica, 29(5): 455- 461(in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhengwei, Zhu Bingquan, Cai Keqin, Deng Jun. 2000. The lead isotopic steep-dipping zone and mineralization: An example from the mineral deposits concentrated area in east Qinling, China. Journal of China University of Geosciences, 11(1): 64- 73(in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhengwei. 1991. The multi-element statistics of the granitoids and its geological significance in east Qinling. China Math Geology, (3). Beijing: Geological Publishing House. 199- 202(in Chinese)
- Zhang Zhengwei. 1989. Petrochemical characteristics of the granitoids in east Qinling. Henan Geology (China), 7(3): 56- 77(in Chinese with English abstract)
- Zhou Lingdi, Liu Juying. 1993. Studies of U-Pb isotopic age on early Proterozoic alkali granite. Chinese Science Bulletin, 38

(15): 1407- 1410(in Chinese)

Zhu BQ. 1995 The mapping of geochemical provinces in China based on Pb isotopes Journal of Geochemical Exploration, 55: 171- 181

附中文参考文献

- 胡受奚, 林潜龙 1988 华北与华南古板块拼合带地质与成矿. 南京: 南京大学出版社 1- 558
- 卢欣祥 1989 龙王幢花岗岩地质地球化学特征 岩石学报, 5(1): 67- 77
- 邱家骧, 曾广策, 许继锋等 1990 秦巴地区碱性岩地质特征及含矿性 北京: 地质出版社 1- 167
- 涂光炽 1989 关于富碱侵入岩 矿产与地质, 3(3): 1- 8
- 曾广策 1990 河南省嵩县南部碱性正长岩类的岩石特征及构造环境 地球科学, 15(6): 635- 641
- 张正伟, 卢欣祥, 董有 1989 东秦岭花岗岩类岩石化学 河南地质, 7(3): 56- 77
- 张正伟, 卢欣祥 1990 伏牛山花岗岩基地球化学特征 地球化学, (4): 358- 364
- 张正伟, 朱炳泉, 常向阳 2000 东秦岭富碱侵入岩 Nd, Sr, Pb 地球化学及地质意义 地球化学, 29(5): 455- 461
- 张正伟, 朱炳泉 2000 大陆块体地球化学边界与成矿 地学前缘, 7(1): 87- 95
- 张正伟 1991 东秦岭花岗岩类主元素多元统计及地质意义 中国数学地质(3). 北京: 地质出版社 199- 202
- 周玲棣, 刘菊英 1993 一个早元古代碱性花岗岩的 U-Pb 同位素年龄研究 科学通报, 38(15): 1407- 1410