鄂尔多斯盆地西南边部超钾质岩及构造意义

张宏法[1] 包洪平[2] 彭天朗[1] 王润三[1] 白海峰[2] 马占荣[2]

(1.大陆动力学国家重点实验室,西北大学地质学系,陕西 西安 710069;2.中石油长庆油田开发研究院,陕西 西安 710000)

提要:鄂尔多斯盆地西南边部出露的铜城超钾质岩,分布在甘肃省崇信县铜城镇以南的桃梢山—庙滩一带,为浅成侵入岩墙,斑状结构,块状构造;岩性为霓辉黑榴二长斑岩与假白榴石斑岩。斑晶矿物成分以含白榴石、黑榴石、霓辉石及两种长石为特征;地球化学显示:主量元素以富集 K_2O、Al_2O_3、CaO 而贫 SiO_2、MgO、TiO_2、P_2O_5 为特征,微量元素以富含大离子亲石元素(LILE)K、Rb、Sr、Ba、Pb 而贫高场强元素(HFSE)Nb、Ta、Zr、Hf 为特征,地幔起源环境可能为 EMI 型富集地幔;两种岩性锆石 U-Pb 年龄显示其形成年龄(110.8±1.0)Ma 和(107.6±0.9)Ma,为早白垩世。因此笔者认为:早白垩世华北克拉通东部陆块发生岩石圈大幅减薄作用过程中,陆块西部岩石圈也有相应岩石圈减薄作用发生。

关 键 词:超钾质岩;锆石 U-Pb;地球化学;中生界;岩石圈减薄;鄂尔多斯;西南边部

中图分类号:P597 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2012)05-1172-11

超钾质岩浆岩被作为岩石圈地幔减薄的标志[1-2]是具有特殊构造意义的一类岩石。其形成于交代地幔的机理决定该岩类的发现与研究,对地区地幔物质组成、壳幔相互作用、交代性质及区域构造演化特征甄别都具有特殊的意义。华北克拉通东部陆块中生代发生了岩石圈大幅度减薄作用[3-9],范围达到太行山以西。那么鄂尔多斯作为相邻陆块中生代是否也存在大陆岩石圈减薄作用?值得探讨。盆地西南部龙门隆起内隐伏霞石正长岩体发现较早,但是由于钻孔岩心丢失,很难对其展开进一步精细研究,盆地西部再无其他超钾质岩的报道。盆地东部山西临县紫金山火山机构超钾质岩浆岩体已经成为华北克拉通中生代地壳拆沉-克拉通破坏-地幔演化等重要课题研究的关键信息载体[10-17]。笔者对盆地周缘中生代岩浆活动研究中,在位于盆地西南部(图 1-A)发现有中生代富钾强碱性岩出露。该岩体的发现对于揭示华北西部陆块地幔性质、物质组成、中生代大陆岩石圈演化可能具有重要意义。因此笔者对其进行了岩石、岩相学、地球化学及同位素年代学研究。现将研究结果予以报道。

1 地质概况及岩相学

铜城超钾质岩为新发现岩体,以往文献中未见报道。岩体分布在鄂尔多斯盆地西南边部-盆地内的甘肃省崇信县铜城镇以南大约 7 km 的五马沟内桃稍山—庙滩一带。呈浅成岩墙状侵入在蓟县系含燧石结核的白云质石灰岩中(图 1-B),产状为:倾向 187°,倾角 67°~65°,岩体呈东西向展布,构造位置处于盆地西南部六盘山冲断带内[18]。出露点共有 2 处。由于出露在铜城镇附近,笔者将其称为铜城超钾质岩。

①桃稍山岩体出露点:位于甘肃省崇信县铜城镇桃稍山东南方向大约 300 m 处(图 1B,C),岩体实际出露宽度 4.5 m,长度 230 m,岩体北界被第四系黄土覆盖。黑榴二长斑岩岩(墙)脉与假白榴石斑岩两种岩墙,其中前者含大约 15%的两种长石斑晶(图 2-A),后者则不含,二者之间为断层接触关系,接触界限截然,表明可能为两期岩浆活动的产物。

②庙滩岩体出露点:庙滩岩体出露点位于桃稍山

收稿日期:2012-06-08;**改回日期**:2012-08-24

基金项目:大陆动力学实验室自主基金(DJ0813313)及中石油长庆油田研究院"鄂尔多斯盆地周缘中生代岩浆活动与油气聚集的关系"(UJ631)共同资助。

作者简介:张宏法,男,1957 年生,主要从事岩石学、石油地质、岩石地球化学及同位素地球化学等方面的研究;E-mali:hfzhang@nuw.edu.cn。

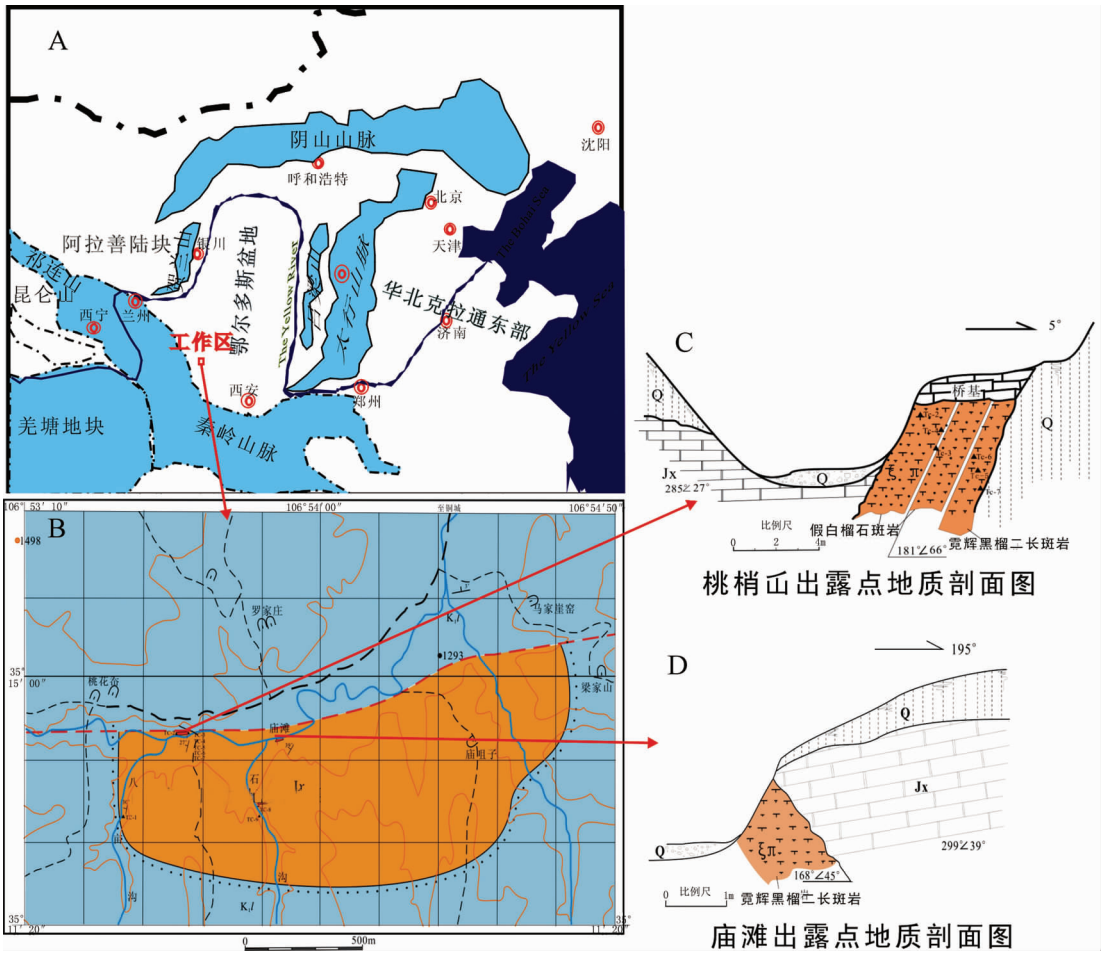


图 1　甘肃崇信铜城超钾质岩体特征图

A—铜城岩体地理位置;B—地质地形图;C—桃梢峁出露点地质剖面图;D—庙滩出露点地质剖面图

Fig.1　Field characteristics of Chongxin ultra-potassic intrusion in Gansu Province

A- Location of Tongcheng pluton; B-Geologial map; C-Geological section of Taoshan outcrop; D-Geological section of Miaotan outcrop

出路点以东 500 m 的庙滩以南大约 100 m 处（图 1-D)。岩体南界直接与蓟县系含燧石结核白云质灰岩相接触,接触界限为侵入接触关系;岩体北界由于第四系覆盖无法观察,岩体实际宽度不详,出露宽度仅 2 m,东西长 35 m。仅有霓辉黑榴二长斑岩出露(图 2-B)。

综合野外岩相观察结果：桃稍峁出露岩墙与庙滩岩体出露岩墙走向基本一致，二者分布在桃梢峁—庙滩东西走向的同一河沟内溪流两侧，相距大约 500 m。据此推测:二者应为同一岩墙的不同出露部分;桃稍峁出露岩体应该为该岩墙的北半部分,庙滩出露岩体应该为该岩墙的南半部分;因此可以说:该岩墙由两期超钾质岩浆活动所形成，霓辉黑榴二长斑岩(边部相)为该岩墙的早期岩石,假白榴石斑岩(中心相)为该岩墙的晚期岩石。

2　地球化学

2.1　岩石矿物学特征

霓辉黑榴二长斑岩(样品 Tc-5、6、7):紫红色,斑状结构、玻璃质结构,块状构造(图 2-A,B,C)。斑晶具有正长石—斜长石—黑榴石—霓辉石矿物组合。正长石:自形晶体,蚀变弱,粒径 3~30 mm,含量 13%~16%;斜长石:自形晶体,具有环带结构,绢云母化和碳酸盐化强烈,中心斜长石成分已经无法分辨,外环蚀变弱,An=30~33,粒径 0.6~1.2 mm,含量 13%~17%;黑榴石:自形晶,局部暗化为褐铁矿,保留假晶,粒径 0.2~0.5 mm,含量 9%~11%;霓辉石:边部已

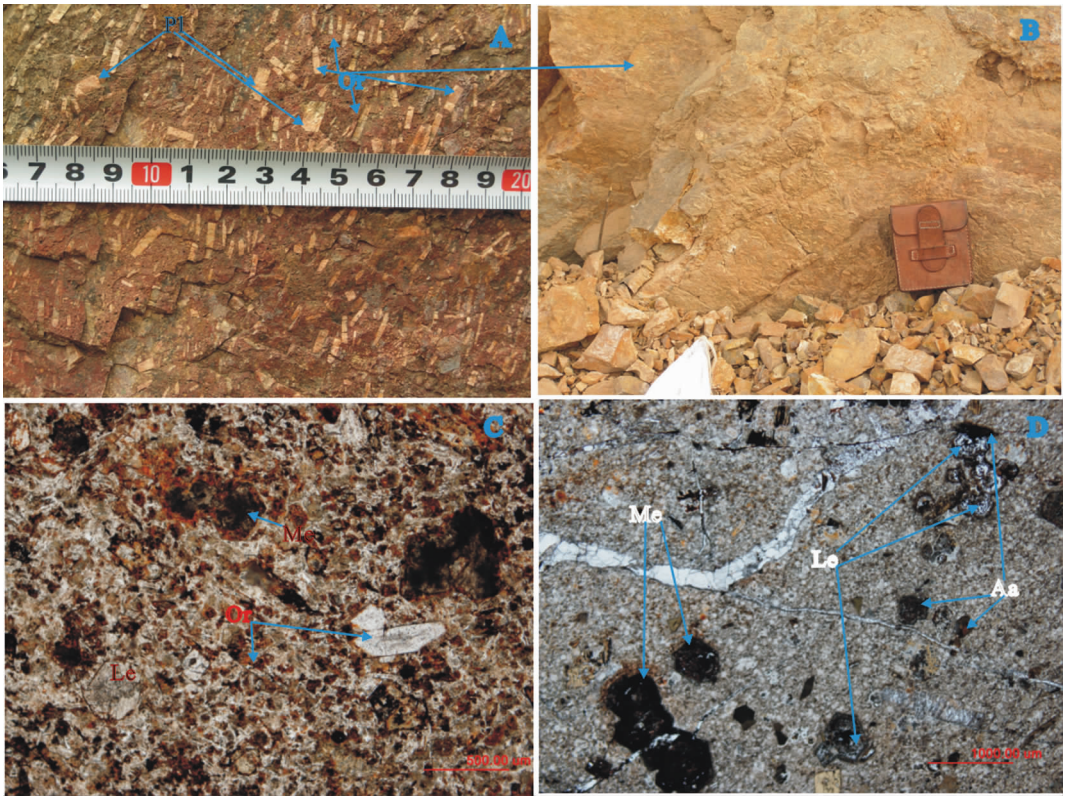


图 2 超钾质岩野外与显微镜下照片

A—桃梢屯露头野外照片;B—庙滩露头野外照片;C—霓辉黑榴二长斑岩(基质)镜下照片;D—假白榴石斑岩镜下照片;Pl—斜长石;Or—正长石;Me—黑榴石;Le—白榴石;Aa— 霓辉石

Fig.2 Field and microscopic phorographs of ultra-potassic rocks

A-Field photo of Tsoshaoshan outcrop; B- Field photo of Miaotan outcrop; C- Microscope photo of aegirine augite melanite monzonite-porphyry; D-Microscope photo of pseudoleucite porphyry; Pl-Plagioclase, Or-Orthoclase, Me-Melanite, Le-Leucite, Aa-Aegirine augite

经暗化为磁铁矿或褐铁矿，中心有少量残留，亮绿色,粒径 0.2~0.4 mm,含量 5%~7%。基质:具有显微隐晶质结构,矿物成分不易分辨,含量 45%~49%。

假白榴石斑岩(样品 Tc-2):主要分布在桃稍屯岩体靠向河沟的一侧(图 1-C),样品采自岩体出露点的西端。褐红色,斑状结构。斑晶具有白榴石-黑榴石-榍石-霞石矿物组合。假白榴石:自形晶,等轴状,无色,内部蚀变,已经全部蚀变为碳酸盐矿物,粒径 0.4~1.2 mm,含量 23%~25%;黑榴石:等轴状自形残晶,蚀变弱,淡褐色,粒径 0.4 mm,含量 7%~8%。榍石:自形晶,含量小于 2%;钾霞石:他形晶,粒径 0.2 mm,含量小于 1%。基质具有粗面结构、钾长石与次生矿物组合。钾长石:板状、针状晶体,粒径 0.1 mm×0.3 mm,含量 33%~35%;次生矿物:褐铁矿,无晶形,含量 23%~25%;方解石,含量 11%~13%(图 2-D)。

综上,铜城碱性岩野外产状以岩墙状侵入、没有顶破上覆地层、岩体长宽度甚小,结构为斑状结构、块状构造,斑晶中为霓辉石、斜长石、钾长石、白榴石、黑榴石,基质为钾长石与玻璃质组合。表现出侵入温度高及较弱的岩浆活动特征。

2.2 岩石地球化学特征

地球化学分析结果(表 1)显示:铜城碱性岩体中的假白榴石斑岩 SiO_2 含量 45.52%,$Fe_2O_3^T$ 含量 4.62%,MnO 含量 0.6%,MgO 含量 0.55%,CaO 含量 9.32%,Na_2O 含量 0.38%,K_2O 含量 10.19%，为基性岩；霓辉黑榴二长斑岩 SiO_2 含量 54.34%~55.61%;$Fe_2O_3^T$ 含量 2.85%~1.92%,MnO 含量 0.31% ~0.08%,MgO 含量 0.39%~0.27%,CaO 含量 4.34%~4.23%,Na_2O 含量 0.8%~2.35%,K_2O 含量 9.69%~10.20%,为中性岩;$K_2O/Na_2O>>2$。基性假白榴石斑岩相容元素 Mg、Mn 含量大于中性霓辉黑榴二长斑岩，不相容元素 Na 则为基性岩小于中性岩,Ca、Al 含量相差

表 1 铜城超钾质岩体岩石地球化学测试结果及地化参数

Table 1 Major and Trace element analytical results of Tongcheng ultra-potassic rocks

样品号	Tc-2	Tc-5	Tc-6	Tc-7	样品号	Tc-2	Tc-5	Tc-6	Tc-7
SiO_2	45.42	55.61	54.34	54.99	Li	123	178	126	195
TiO_2	0.25	0.16	0.17	0.18	Be	8.84	4.79	5.04	4.96
Al_2O_3	18.36	19.76	19.98	19.6	Sc	4.56	0.74	0.77	0.83
Fe_2O_3	2.33	1.15	1.47	1.1	V	215	61.7	69	64.8
FeO	2.55	1.05	1.53	0.91	Cr	3.29	2.51	4.28	3
FeOT	5.14	2.33	3.16	2.13	Co	14	10.4	9.01	7.98
Fe2O3T	4.62	2.09	2.85	1.92	Ni	4.32	2.3	7.56	2.37
MnO	0.6	0.15	0.31	0.08	Cu	33.5	25.5	7.86	18.8
MgO	0.53	0.27	0.39	0.35	Zn	74.6	56.2	93.2	53.1
CaO	9.32	4.23	4.34	4.23	Ga	23.5	19.2	19.6	19.6
Na2O	0.38	1.53	0.8	2.35	Ge	2.36	2.05	2.84	2.1
K2O	10.16	10.08	9.69	10.2	Rb	285	302	273	315
P2O5	0.2	0.05	0.05	0.05	Sr	1431	944	893	793
LOI	9.17	5.63	6.55	5.75	Y	6.28	16.3	18.5	16.9
Total	99.56	99.79	99.79	99.9	Zr	54.5	118	123	125
ALK	10.54	11.61	10.49	12.55	Nb	12.4	9.84	10.3	10.4
s	17	13	12	16	Cs	2.78	11.2	12.7	9.8
Q			2.11		Ba	1779	1760	1339	893
Or	34.46	63.4	61.58	64.16	Hf	1.19	2.58	2.59	2.65
Ab		11.75	7.26	9.94	Ta	0.74	0.74	0.72	0.72
An	20.3	18.27	22.83	13.52	Pb	22.6	66.1	41.7	59.8
C(A)			0.38		Th	29.7	45.1	44.5	42.5
Lc	27.63				U	3.09	8.69	6.97	8.03
Ne	1.93	1.09		6.06	La	66	67.5	73.7	69.8
Diwo	5.08	1.56		1.65	Ce	125	130	140	128
Dien	1.47	0.64		0.93	Pr	10.8	14.2	14.8	15
Difs	3.84	0.94		0.65	Nd	31.6	50.4	52.4	53.8
Hyen			1.05		Sm	3.87	8.6	9.14	9.07
Hyfs			2.03		Eu	1	2.18	2.3	2.17
mt	3.75	1.77	2.29	1.7	Gd	2.31	5.47	6.04	5.71
il	0.53	0.32	0.35	0.36	Tb	0.29	0.72	0.81	0.75
ap	0.48	0.12	0.12	0.12	Dy	1.41	3.51	4.06	3.61
∑REE	250.186	303.48	326.86	309.38	Ho	0.24	0.65	0.74	0.66
Ce/Yb	219.30	76.47	76.09	76.65	Er	0.65	1.76	1.99	1.75
La/Lu	795.1807	270	272.963	279.2	Tm	0.083	0.24	0.27	0.24
δEu	0.94	0.91	0.89	0.86	Yb	0.57	1.7	1.84	1.67
δCe	1.04	0.98	0.98	0.92	Lu	0.083	0.25	0.27	0.25

注:由西北大学大陆动力学国家重点实验室测试;常量元素单位:%;微量元素单位:μg/g。

无几，整体表现出富 K、Al、Ca 而贫 Si、Mg、Ti、P 的特点；里德曼指数大于 9，属于强碱性 Si 不饱和的岩浆成因。TAS 分类图解(图 3-A)中，基性的假白榴石斑岩(Tc-2)落入副长石岩区域，中性霓辉黑榴二长斑岩落入碱玄质响岩区域内。SiO_2-K_2O 图(图 3-B)中落入超钾质岩范围内，因此二者均属于超钾质岩。

微量元素(表 1)分析结果显示富集 Sr、Pb、Rb、Ba 等放射性热元素及大离子亲石元素(LILE)，亏损高场强元素(HFSE)，具有大的∑REE 与 Ce/Yb、La/Lu 比值，表明 LREE 与 HERR 分馏明显；无 Eu 亏损的右倾式稀土配分曲线(图 4-a)，具有 Nb、Ta 与 Zr、Hf 及 P、Ti 负异常的蛛网图特征(图 4-b)均指示其特征与 FOLEY 等(1987，1992)[19-20]划分的第二类裂谷型超钾质岩类似。铜城超钾质岩体两种岩性的岩石明显具有不同的 CIPW 标准矿物组合特征。假白榴石斑岩具有 Or-An-Lc-Ne-Di 标准矿物组合；霓辉黑榴二长斑岩则具有 Or-Ab-An-Ne-Di-Hy 标准矿物组合，甚至个别样品中还会出现 Q 标准矿物。Q 的出现，可能是岩浆演化的结果，也可能是后期蚀变的结果。微量元素特征 Nb、Ta 与 Zr、Hf 负异常表明岩浆形成过程中存在壳源物质的混染，无 Eu 异常则表明岩浆没有经过长石矿物的分离结晶作用。

3 锆石 U-Pb 年龄

研究中分别对基性假白榴石斑岩与中性霓辉黑榴二长斑岩两种出露的岩性岩石样品进行了锆石定年 La-ICP-MS 原位定年分析(表 2，3)。由于这两种浅成相岩石锆石含量极少，各 10 kg 样品挑选出来的锆石颗粒极其有限。仅有的几颗锆石且特征多样(图 5-A)，全部用于定年分析。

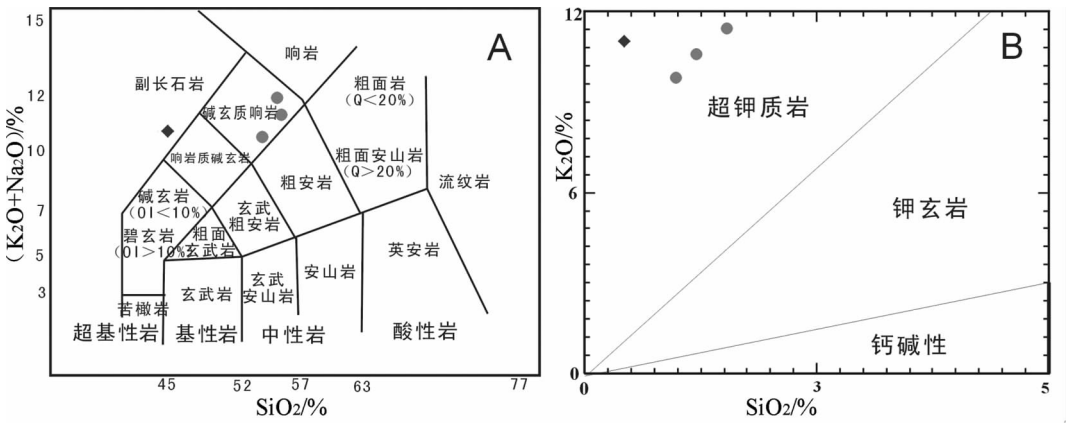


图 3 铜城超钾质岩体 TAS 分类及 K_2O-Na_2O 属性划分图解
(图 A 据 Irvine,1977；图 B 据 Le Bas et al,1986)

Fig.3 TAS (A) and K_2O-Na_2O (B) diagrams for Tongcheng ultra-potassic rocks (A after Irvine,1977；B after Le Bas et al.,1986)

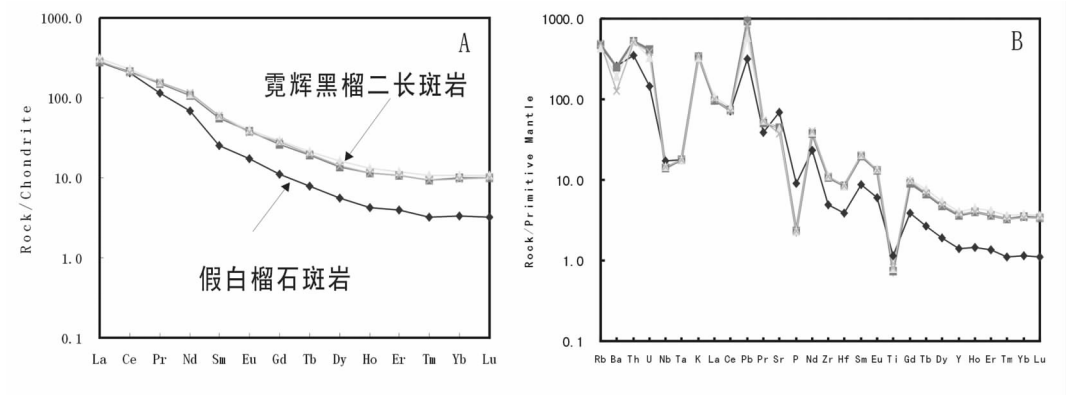


图 4 铜城超钾质岩体稀土元素配分曲线(A)与微量元素蛛网图(B)
球粒陨石与原始地幔标准化数据来自 Sun and McDonough(1989)

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns (A) and primitive mantle normalized trace element spider diagrams of Tongcheng ultra-potassic rocks (normalized values after Sun and McDonough, 1989)

3.1 霓辉黑榴二长斑岩(中性岩)

霓辉黑榴二长斑岩(Tc-2)进行了 11 个点分析(表 2,3; 图 5-A), 其 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄值介于(1803±16)Ma~(107.9±0.9)Ma,4 个分析点谐和度较好,6 个分析点谐和度较差。CL 图像(图 5-A)显示,发光强度不一致,结构特征不一致,稀土元素特征不一致;部分锆石熔蚀(分析点 8)熔圆(分析点 1)明显;部分锆石岩浆改造发光变暗、成分交代迹象明显(分析点 3,6,7,10);稀土元素特征显示,1 个分析点具有斜长石共生、具有 Eu 富集(图 5A-Tc-2-(1))曲线特征,7 个分析点具有中酸性岩浆岩斜长石分离结晶、具有 Eu 亏损的曲线特征 (图 5A-Tc-2-(2)),2 个分析点具有碱性岩结晶的无 Eu 异常曲线特征(图 5A-Tc-2-(3))[24-29]。显然大多数锆石并非本次岩浆作用结晶锆石,而是岩浆捕获锆石。结合锆石稀土元素结果,笔者认为:与寄主岩石无 Eu 异常稀土特征(图 4-A;图 5-A-3)一致、且 Th/U 比值大于 1 的分析点 3 产生的 107±0.9 Ma 表面年龄值可能最接近于该岩墙的岩浆活动年龄。

3.2 假白榴石斑岩(基性岩)

假白榴石斑岩 (Tc-5)3 颗锆石进行了 8 点分析。其中 1、2、5、6、7、8 点给出早元古代表面年龄(表 2;图 5-B),锆石 CL 图像既有具环带、也有无环带、核-边结构,稀土元素配分曲线(图 4-B-Tc-5-(1))显示为中酸性岩浆成因特征[24-29],其中分析点 1 显示岩浆改造痕迹, 表明分析点 1、2、5、6、7、8 所示锆石为超钾质岩浆捕获的源区元古宙中酸性岩浆锆石。3、4 为同一颗锆石的两个边部分析点,均给出早白垩纪表面年龄(表 2;图 5B-Tc-5-(2)),该锆石具有核边与环带结构,Th/U 比值表明岩浆成因特征,稀土元素配分曲线(图 5-B Tc-5-(2))与超钾质岩浆无 Eu 亏损曲线特征匹配(图 4-A)[24-29]。因此笔者认为:110.8±1.0 Ma 表面年龄值近似代表了假白榴石斑岩岩浆的活动时限。

由于铜城超钾质岩产出的仅有的几颗锆石大多数具有岩浆改造的捕获锆石特征, 分析所得表面年龄分散,因此分析所作频率曲线(图 6~7)、加权平均年龄、年龄谐和图基本失去参考价值。

4 讨 论

4.1 火山岩锆石成因甄别及岩浆活动时限

火山岩浆活动过程中, 由于上行速度快往往来不及结晶锆石或者很少结晶锆石, 岩石中产出的锆石大多数为捕获锆石, 因此锆石成因甄别是必不可少工作。主要方法为成因矿物学环带结构、岩浆熔蚀结构及地球化学微量元素特征甄别法。如岩浆捕获的早期岩浆成因锆石,大多数内部结构保持、具有熔圆或熔蚀结构特征;变质锆石则会发光程度变暗、环带结构消失;微量元素特征方面:研究标的岩浆结晶锆石,由于锆石结晶发生在岩浆作用早期,HREE 为相容元素会优先进入锆石矿物相,LREE 为不相容元素则大多保留在岩浆中, 因此锆石稀土元素特征会显示富集 HREE、Ce 正异常的左倾式曲线特征,寄主岩浆岩则表现出富集 LREE 而贫 HREE 的右倾式曲线特征; 如果岩浆存在岩浆房长石类矿物的分离结晶作用, 则锆石稀土曲线就会表现出 Eu 负异常的特征,而分离结晶相斜长岩锆石就会出现 Eu 正异常曲线特征;热液活动成因锆石,由于变质作用温度大多数低于 1 000℃,热液性质为岩石熔融下限温度产物,比较富集 LREE,因此结晶锆石大多数无环带、稀土元素显示 La、Ce、Pr、Nd、Sm 等 LREE 会大幅度增加,稀土曲线呈现 LREE 与 HREE 基本相当的平缓曲线特征,而岩浆期分离结晶作用造成 Eu 亏损曲线特征则不会改变[24-29]。

本次铜城超钾质岩所产出锆石分析中, 呈现古元古代表面年龄值的锆石, 大多数具有早期岩浆结晶环带结构、岩浆熔蚀结构特征(图 5),稀土曲线具有经历斜长石分离结晶 Eu 负异常的中酸性岩浆结晶特征,与超钾质岩稀土配分曲线明显不同,表明为超钾质岩浆捕获锆石。呈现古生代表面年龄值的锆石大多数 CL 图像发光程度变暗,具有溶蚀结构,稀土曲线与元古宙锆石相同, 表明元古宙成因中酸性岩浆岩在古生代经历了变质作用改造, 也为超钾质岩浆捕获锆石。只有呈现燕山期表面年龄值、Eu 异常不明显的曲线特征与寄主岩石较为一致, 锆石本身无熔蚀作用,晶莹透亮,可能为超钾质岩浆结晶锆石。因此笔者认为:铜城超钾质岩浆活动时限为中生代早白垩世。

4.2 岩浆性质与构造意义

超钾质岩浆的研究从 Foley S F(1992)[19-20]与构造环境联系研究开始,具有了构造属性。岩浆起源与板块俯冲作用直接关联, 俯冲作用或者大陆岩石圈减薄作用的地壳残片与地幔交代是形成富集地幔的主要原因。因而超钾质岩浆属于幔源成因[19-23]已经

表 2 铜城超钾质岩体样品锆石同位素 U-Th-Pb 分析结果

Table 2 Zircon LA-ICP MS U-Pb isotopic analytical results of Tongcheng ultra-potassic rocks

点号	同位素比值									同位素丰度						年龄/Ma
	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	Th/U	^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	Th	U	$^{206}Pb/^{238}U$
TC-2.01	0.1429	0.0023	2.6972	0.0360	0.1369	0.0011	0.0674	0.0018	0.06	1.7	283.54	49.72	5.19	25.97	413.09	827±6
TC-2.02	0.0897	0.0040	0.2652	0.0112	0.0215	0.0003	0.0059	0.0002	1.16	0.57	15.48	1.632	1.805	109.04	165.58	137±2
TC-2.03	0.0826	0.0020	0.1918	0.0042	0.0168	0.0002	0.0029	0.0000	3.65	2.28	94.58	8.5	37.9	6836.9	1873.45	107.6±1
TC-2.04	0.1175	0.0028	3.7334	0.0827	0.2304	0.0025	0.0339	0.0006	1.05	3.85	67.26	11.75	9.85	65.31	62.16	1337±13
TC-2.05	0.1067	0.0027	3.7655	0.0899	0.2559	0.0029	0.0432	0.0008	1.07	2.7	70.42	10.74	10.33	62.78	58.84	1469±15
TC-2.06	0.0556	0.0015	0.2957	0.0075	0.0386	0.0003	0.0088	0.0001	0.35	1.25	98.93	6.89	13.2	567.81	602.6	244±2
TC-2.07	0.0590	0.0015	0.4798	0.0112	0.0590	0.0005	0.0182	0.0002	1.86	2.63	117.37	9.56	13.3	265.68	429.75	369±3
TC-2.08	0.0567	0.0011	0.3031	0.0054	0.0388	0.0003	0.0098	0.0001	0.62	1.25	98.93	6.89	13.2	567.81	602.6	245±2
TC-2.09	0.1190	0.0028	3.7685	0.0824	0.2296	0.0025	0.0723	0.0012	0.94	1.86	60.76	8.65	7.7	47.39	65.25	1320±14
TC-2.10	0.0714	0.0013	0.6062	0.0099	0.0616	0.0005	0.0171	0.0002	0.73	3.68	204.78	16.96	30.24	765.55	765.33	385±3
TC-2-11	0.1149	0.0020	5.1498	0.0832	0.3251	0.0031	0.0993	0.0012	1.00	0.76	89.55	5.85	0.61	10.07	216.01	1803±16
TC-5-01	0.1157	0.0034	4.8451	0.1351	0.3037	0.0041	0.1165	0.0026	0.54	0.81	41.65	5.96	4.16	18.19	33.46	1710±20
TC-5-02	0.1205	0.0038	5.1721	0.1561	0.3113	0.0045	0.1078	0.0029	0.54	1.65	33.86	4.84	3.41	14.6	27.03	1747±22
TC-5-03	0.1132	0.0015	4.7152	0.0500	0.3020	0.0024	0.0851	0.0009	0.46	0.81	322.75	40.61	20.84	121.39	261.14	1701±12
TC-5.04	0.1136	0.0022	5.2261	0.0922	0.3337	0.0032	0.1096	0.0018	0.47	2.25	39.54	6.36	6.01	24.16	28.45	1856±16
TC-5.05	0.1318	0.0031	5.9436	0.1315	0.3270	0.0039	0.1058	0.0017	0.85	11.22	128.74	31.17	17.69	38.97	89.41	1824±19
TC-5.06	0.0477	0.0015	0.1141	0.0035	0.0173	0.0002	0.0050	0.0001	0.21	0.55	56.26	4.75	2.858	25.55	73.35	111±1
TC-5.07	0.0502	0.0049	0.1343	0.0127	0.0194	0.0004	0.0074	0.0005	0.25	0.5	6.63	0.396	0.321	18.66	75.3	124±3
TC-5.08	0.1965	0.0042	9.3273	0.1866	0.3442	0.0043	0.1889	0.0037	0.44	1.49	48.12	6.51	3.9	15.82	33.87	1907±21

注：表中年龄一栏数据大于 1Ga 为 $^{207}Pb/^{206}Pb$，小于 1Ga 为 $^{206}Pb/^{238}U$；丰度单位：μg/g。

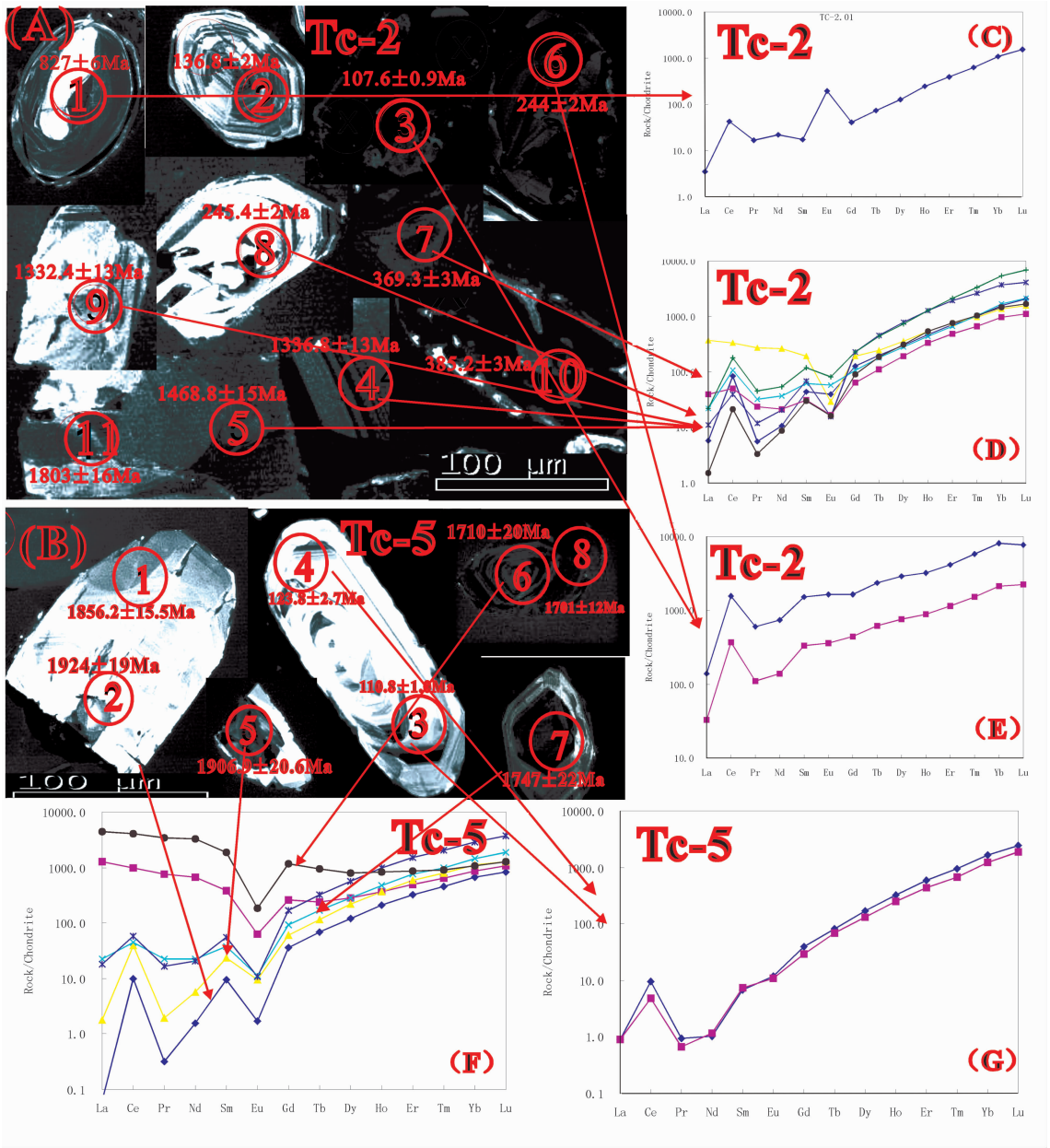


图 5　样品锆石 CL 图像及稀土元素特征

A—假白榴石斑岩锆石 CL 图像 C、E、D 假白榴石斑岩锆石稀土特征;B—霓辉黑榴二长斑岩锆石 CL 图像;F、G 霓辉黑榴二长斑岩锆石稀土特征(球粒陨石标准化数据采用 Sun and McDonough,1989)

Fig.5　CL images and REE patterns of zircons from Tongcheng ultra-potassic rocks

A -Zircon CL image of pseudoleucite porphyry;C, Dand E representing zircon REE patterns;B-Zircon CL image of aegirine augite melanite monzonite-porphyry, F and G representing zircon REE patterns

国际同行公认的事实。据 Mitchell RH(1995,2002)实验岩石学模拟的结果[21-23],认为:超钾质岩浆不可能起源于上地幔尖晶石二辉橄榄岩区，可能起源于壳源物质脉状交代的方辉橄榄岩区，否则无法解释超钾质岩的富 K、Al、Ca 而贫 Si、Mg、Ti、P 的地球化学特征，提出岩浆成分为方辉橄榄岩低熔组分与壳源脉状交代体熔融组分的混合体。期后华北克拉通破坏、新生代青藏高原崛起研究中超钾质岩石探针发挥了强有力的作用[2-13]。铜城超钾质岩具有富集 K、Al、Ca 而贫 Si、Mg、Ti、P 的地球化学特征，$K_2O>>Na_2O$，$K_2O/Na_2O>>2$，其特征与山西临县紫金山杂岩中的霞石正长岩-响岩质火山角砾岩完全

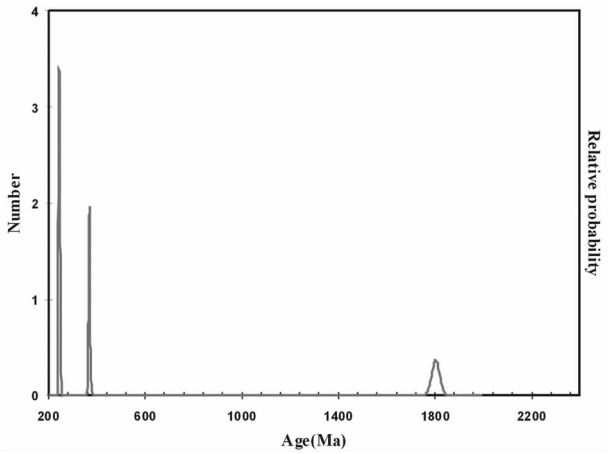


图 6 岩体样品 Tc-2 锆石年龄频率分布曲线
Fig.7 Zircon U-Pb age frequency distribution curve of Tc-2 sample

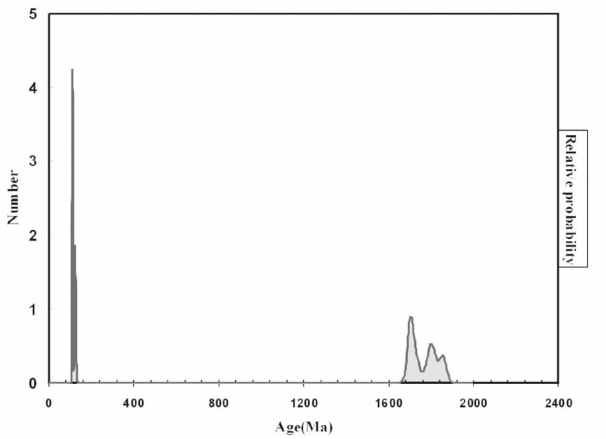


图 7 岩体样品 Tc-5 锆石年龄频率分布曲线
Fig.7 Zircon U-Pb age frequency distribution curve of Tc-5 sample

类似[15],与 Foley SF(1992)划分的第二类超钾质岩特征性相似[20]。况且构造位置与紫金山杂岩属于盆地基底同一构造带(全国重力异常图),它们应该属于相近地幔起源环境。据 JI-FENG YING(2007)研究[15],紫金山碱性岩浆起源于 EMI 型富集地幔。

综上超钾质岩岩浆起源机理、紫金山碱性杂岩体研究结果、铜城超钾质岩地球化学特征、岩浆活动时限与华北克拉通东部燕山期岩浆活动特征一致,因此笔者认为:铜城超钾质岩也有可能起源于受壳源物质交代的 EMI 型富集地幔环境,原生岩浆成分可能为方辉橄榄岩低熔组分与壳源脉状交代体熔融组分的混合体。

4.3 鄂尔多斯陆块中生代大陆岩石圈减薄响应

自从 20 世纪 50 年代以来,基于盆地周缘岩浆活动的产物研究,大多数学者认为:鄂尔多斯地块自从古生代以来,相对于东部陆块的活跃性呈现出冷而巨厚的稳定地块特征[4]。然而受中生代太平洋板块向欧亚大陆下的俯冲作用,东部克拉通陆块发生了剧烈的地壳变动,大陆岩石圈大幅度减薄[4-9]。大多数学者认为东部的中生代岩石圈减薄作用影响范围仅波及到太行山以西地区,即鄂尔多斯盆地东缘。然而克拉通东部如此巨大的地壳变动对西部的鄂尔多斯陆块不可能没有影响。

铜城超钾质岩的研究,正好填补克拉通西部陆块缺乏岩石探针证据的空白。该岩体早白垩世活动的时限、与紫金山碱性杂岩体出露于同一基底构造带、完全相同的地球化学属性表明中生代早白垩世随着太平洋板块向欧亚板块之下的俯冲作用,克拉通东部陆块发生了大陆岩石圈大幅度减薄(克拉通破坏)的同时,西部陆块也有岩石圈相应减薄作用发生。可能的机理为:东部陆块岩石圈减薄作用的多米诺骨牌效应导致了西部陆块岩石圈大幅度减薄作用的发生,锆石 U-Pb 年代学揭示岩浆活动时限(107.6±0.9)Ma~(123.8±2.7)Ma,晚于盆地东部紫金山岩浆活动的 127~138 Ma[13-14,16]时限证据表明该推论可能成立。岩石圈块体坠入上地幔方辉橄榄岩区发生交代形成 EMI 型地幔物质环境。因此笔者认为:燕山期克拉通东部的大陆岩石圈减薄作用不仅影响到克拉通中央褶皱带以西,而且达到了鄂尔多斯陆块西南边部。

5 结 论

通过对铜城超钾质岩体岩石岩相学、地球化学、锆石 U-Pb 定年等方面的初步研究,得出如下几点认识:

(1)锆石 U-Pb 年龄(107.6±0.9)Ma~(123.8±2.7)Ma,为中生代早白垩世克拉通破坏顶峰期的产物。

(2)地球化学特征与克拉通东部中生代克拉通破坏期岩浆产物类似,属于相同的地幔起源环境条件-EMI 型富集地幔。表明中生代燕山期鄂尔多斯陆块上地幔存在壳源物质交代现象。

(3)上地幔壳源物质交代现象表明鄂尔多斯陆块西部中生代存在大陆岩石圈减薄作用。减薄机制可能为东部大陆岩石圈减薄的多米诺骨牌效应诱导。

致谢:两位评审专家进行精心评审并提出了建设性修改意见,及本文撰写过程中承蒙西北大学地质系张复新教授给予悉心指导,笔者在此表示由衷的感谢!

参考文献(References):

[1] England P, Houseman G, Extension during continental convergence, with application to the Tibetan Plateau [J]. J Geophys. Res., 1989. 94:17561-17569.

[2] 刘燊, 胡瑞忠, 迟效国, 等. 羌塘岩带碰撞后超钾质火山岩地球化学特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(2):167-172.
Liu Shen, Hu Ruizhong, Chi Xiaoguo, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of the post collision ultrapotassium volcanic rocks in Qiangtang rock zone [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27 (2):167-175 (in Chinese with English abstract).

[3] Xu, Zhao. Upper-mantle velocity structure beneath the North China Craton:implications for lithospheric thinning [J]. Geophysical Journal International, 2009, 177:1279-1283.

[4] 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):174-193.
Ji Shaocheng, Wang Qian, Xu Zhiqin. Break-up of the North China Craton through lithospheric thinning [J]. Acta Geologica Sinica, 2008. 82(2):174-193(in Chinese with English abstract).

[5] 高山, Rudnick R L, Carlson R W, 等. 华北克拉通岩石圈地幔置换作用和壳幔生长耦合的 Re_2Os 同位素证据 [J]. 地学前缘, 2003,10 (3):61-67.
Gao Shan, Roberta L, Rudnick, Richard W. et al. Removal of lithospheric mantle in the north China craton: Re-Os Isotopic evidence for coupled crust-mantle growth [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3):61-67(in Chinese with English abstract).

[6] 高山, 金振民. 拆沉作用(delamination) 及其壳-幔演化动力学意义[J]. 地质科技情报, 1997, 16 (3) :1-9.
Gao Shan, Jin Zhenming. Delamination and its geodynamical significance for the cruse mantle evolution [J]. Geological Science and Technology Information, 1997, 16 (3):1-9 (in Chinese with English abstract).

[7] 高山, 金振民. 下地壳拆沉作用及大陆地壳演化 [J]. 高校地质学报, 1998, 4 (3):241-249.
Gao Shan, Jin Zhenmin. Lower crustal delamination and evolution of continental crust [J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4(3):241-249(in Chinese with English abstract).

[8] 郑建平, 于春梅, 路凤香, 等. 辽宁金伯利岩变基性岩石捕虏体地球化学及锆石年代学[J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34 (5):412-422.
Zheng Jianping, Yu Chunmei, Lu Fengxiang, et al. Zircon geochronology and geochemistry of mafic xenoliths from Liaoning kimberlites:Track the early evolution of the lower crust, North China Craton[J]. Science in China (Series D), 2004, 47(11):961-972.

[9] 郑建平, 路凤香, Griffin W L , 等. 华北东部橄榄岩与岩石圈减薄中的地幔伸展和侵蚀置换作用[J]. 地学前缘, 2006, 13 (2) :76-85.
Zheng Jianping, Lu Fengxiang, Griffin W L, et al. Lithospheric thinning accompanying mantle lateral spreading, erosion and replacement beneath the eastern part of North China:evidence from peridotites [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (2):76-85 (in Chinese with English abstract).

[10] 阎国翰, 牟保磊, 曾贻善. 山西临县紫金山碱性岩-碳酸岩杂岩体的稀土元素和氧锶同位素特征[J]. 岩石学报, 1988, 3:29-36.
Yan Guohan, Mu Baolei, Zeng Yishan. Characteristics of REE, oxygen and strontium isotope composition for the Zijinshan alkaline rocks-carbonatite Complex in Shanxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1988, 3:29-36 (in Chinese with English abstract).

[11] 周玲棣, 王传扬. 紫金山碱性杂岩体稀土元素地球化学及成因模式[J]. 地球化学, 1991, 3:229-235.
Zhou Lingdi, Wang Chuanyang, REE geochemistry and genetic model of Zhijingahan alkaline rock bodies [J]. Geochimica, 1991, 3:229-235(in Chinese with English abstract).

[12] 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. Petrological and geochemical features of some alkaline intrusive rocks in China [J]. Science in China (Series B): 1994, 24(10):1093-1102.

[13] 赵振华, 周玲棣. 我国某些富碱侵入岩的稀土元素地球化学[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(10):1109-1120.
Zhao Zhenhua, Zhou Lingdi. Rare earth element geochemistry of some alkaline intrusive rocks in China [J]. Science in China (Series B), 1994, 24(10):1109-1120.

[14] 肖媛媛. 鄂尔多斯盆地东部紫金山碱性杂岩地球化学、锆石 LA-ICP MS U-Pb 年代学研究及其地质意义 [J]. 地质论评, 2007, 53(5):656-663.
Xiao Yuanyuan. Geochemistry and Zircon LA-ICP MS U-Pb dating of the Zijinshan alkaline complex in Linxian County, Shanxi Province and its geological implication [J]. Geological Review, 2007, 53(5):656-663(in Chinese with English abstract).

[15] Ying Jifeng, Zhang Hongfu. Petrology and geochemistry of Zijinshan alkaline intrusive complex in Shanxi Province, western North China Craton: Implication for magma mixing of different sources in an extensional regime[J]. Lithos, 2007, 98:45-66.

[16] 张宏法, 陈刚, 鲍洪平, 等. 山西临县紫金山碱性火山机构岩体岩浆演化-岩相学及岩石矿物学证据,西北大学学报(自然科学版), 2010, 40(1):111-125.
Zhang Hongfa, Chen Gang, Bao Hongping, et al. Petrogenesis of the alkaline complex from Lixian, Shanxi Province:Petrography and mineralogical evidences [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2010, 40(1):111-125(in Chinese with English abstract).

[17] 张宏法, 陈刚, 鲍洪平, 等. 山西临县紫金山碱性杂岩体内二长岩锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. 矿物学报, 2011, 31(1):70-79.
Zhang Hongfa, Chen Gang, Bao Hongping, et al. U-Pb Zircon Geochronology of Zijinshan Alkaline Intrusive Complex, Shanxi

Province,and its geological significance by using LA-ICP-MS[J]. Atca Mineralogica, 2011, 31 (1):70-79 (in Chinese with English abstract).

[18] 陈孟晋, 汪泽成, 孙粉锦. 鄂尔多斯西部前陆盆地油气地质[M]. 北京:石油工业出版社, 2006:1-24.
Chen Mengjin, Wang Zecheng, Sun Fenjin. Petroleum Geology of Foreland Basin in westem Ordos [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2006:1-24(in Chinese).

[19] Foley S F, Peccerillo A, Potasic and ultrapotassic magmas and their origin[J]. Lithos, 1992, 28:181-196.

[20] Foley S F, Venturelli G, Green DH, et al. The ultrapotassic rocks: characteristics,classification and constraints for petrogenetic model[J]. Earth Sci. Rev., 1987, 24, 81-134.

[21] Melzer S, Foley SF, Phase relations and fractionation sequences in potassic magma series modeled in the system $CaMgSi_2O_6$ - $KAlSiO_4$-Mg_2SiO_4-SiO_2-F_2O [J]. Contrib. Minerl.,Petrol., 2000, 138:186-197.

[22] Mitchell R H, Edgar A D, Melting experiments on SiO_2-rich lamproites to 6.4 GPa and their bearing on the sources of lamproitic magmas[J]. Mineral. Petrol., 2002, 74:115-128.

[23] Mitchell R H, Melting experiments on a sanidine phlogopite lamproite at 4-7 GPa and their bearing on the sources of lamproitic magmas[J]. J. Petrol., 1995, 36(5):1455-1474.

[24] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49 (16):1589-1604 .
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15):1554-1569.

[25] Keay S, Steele D, Compston W. Identifying Granite Sources by SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology:An Application to the Lachlan Foldbelt [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1999, 137:323.

[26] Peucat J J, Hirata T, Hesbitt RW, REE fractionation (ICPMSLEASER) evidence in metamorphic zircons during granulite—facies metamorphism and anatectic processes.Terra Abstracts, 1995, 7(supp.1):346.

[27] Poller U, Huth J, Hoppe P, Williams I S. 2001. REE, U, Th, and Hf distribution in zircon from westem Carpathian Variscan granitoids:a combined cathodoluminescence and ion microprobe study. Amer.J. Sci. 301:858-867.

[28] Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: partitioning with granet and the link between U-Pb ages and metamorphism [J]. Chem. Geol., 2002, 184:123-138.

[29] 郭锋, 范蔚茗, 李超文, 等. 延吉地区古新世埃达克岩捕获锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和微量元素地球化学对区域中酸性岩浆演化的指示[J]. 岩石学报, 2007. 23(2):413-422.
Guo Feng, Fan Weiming, Li Chaowen, et al. U-Pb ages, Hf isotope and trace element compositions of captured zircons of the Paleocene adakites in the Yanji area, NE China:Implications for magmatic evolution of intermediate-felsic magmas [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007. 23(2):413-422(in Chinese with English abstract).

The ultra-potassic rocks on the southwestern margin of the Ordos basin and their tectonic significance

ZHANG Hong-fa[1], PAO Hong-ping[2], PENG Tian-lang[1],
WANG Run-san[1], BAI Hai-feng[2], MA Zhan-rong[2]

(1. *State key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069, *Shaanxi, China;*
2. *Institute of Oil and Gas of Changqing Oil Field, China Petroleum Corporation, Xi'an, Shaanxi, China*)

Abstract:Ultrapotassic dykes on the southwestern margin of the Ordos basin display massive structure and porphyritic texture. According to their mineral association, these rocks are mainly composed of aegirine augite ivernite and pseudoleucite porphyry, whereas the phenocrysts contain leucite, melanite, aegirine augite and some feldspar. These rocks have high K_2O, Al_2O_3, CaO and low SiO_2, MgO, TiO_2 and P_2O_5 content. In the spider diagrams, they are enriched in K, Rb, Sr. Ba, Pb and depleted in Nb, Ta, Zr, Hf. Zircon U-Pb dating reveals that they have crystallization ages of (110.8±0.98)Ma and (107.6±0.92)Ma, respectively, belonging to Early-Cretaceous. It is held that these ultrapotassic rocks resulted from the lithosphere thinning process on the western margin of the Ordos basin.

Key words:ultra-potassic; Mesozoic; southwestern margin of Ordos basin; Chongxin, Gansu Province; Tongcheng Town

---

About the firsy author:ZHANG Hong-fa, male, born in 1957, engages in the research on Petrology, Petroleum geology, petrological geochemistry and isotope geothemistry;E-mail:hfzhang@nuw.edu.cn.