第 90 卷　第 1 期
2016年1月　115～125

地　质　学　报　ACTA GEOLOGICA SINICA

Vol. 90 No. 1 2016
Jan.　115～125

内蒙古东乌旗早二叠世超镁铁岩的发现及其构造意义

程银行[1,2)]，张天福[1)]，李艳锋[1)]，李敏[1)]，牛文超[1)]，滕学建[1,2)]，段连峰[1)]，刘洋[1)]，杜叶龙[1)]，胡晓佳[1)]

1）天津地质矿产研究所，天津，300170；　2）中国地质大学(北京)，北京，100083

内容提要：为研究东乌旗晚古生代地幔性质和造山演化特征，对在东乌旗西部首次发现的超镁铁岩—辉闪橄榄岩进行系统的岩相学和元素地球化学研究。东乌旗辉闪橄榄岩主要由橄榄石、角闪石、斜方辉石及少量斜长石、单斜辉石组成，SiO_2含量介于42.84%～43.96%、MgO(24.10%～26.10%)、Na_2O+K_2O(1.52%～2.32%，小于3.5%)，低m/f(3.03～3.54)比值和高FeO^T(12.67%～14.33%)的含量、高$Mg^{\#}$(76.42～79.20)，属铁质超镁铁岩和拉斑玄武岩系列。岩石稀土总量较高($\sum REE=39.57\times10^{-6}$～$83.32\times10^{-6}$)，轻稀土(LREE)相对于重稀土(HREE)明显富集[$(La/Yb)_N=4.04$～7.66]，Eu异常不明显($\delta Eu=0.90$～0.95)，稀土元素球粒陨石标准化配分模式表现为轻稀土相对富集的右倾型。岩石富集大离子亲石元素(LILE)Cs、Rb、Ba、Sr、K等，相对亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta，具明显的Nb、Ta、Ti负异常，而又有别于强烈Nb、Ta亏损的岛弧岩浆岩；相容元素Cr(769×10^{-6}～2480×10^{-6})、Ni(454×10^{-6}～901×10^{-6})含量较高；低Th/U(2.54～3.03)、Nb/U(3.40～12.85)比值和高La/Nb(2.60～3.63)、Ba/Nb(43.11～72.52)、Zr/Y(5.45～7.83)比值。综上，结合区域最新研究成果，我们认为辉闪橄榄岩来源于受俯冲流体交代的尖晶石相地幔橄榄岩部分熔融，上升过程中受地壳物质不同程度的混染，形成于早二叠世板内伸展构造体制，与古亚洲洋闭合之后板内非造山作用有关。这一认识填补了早二叠世幔源岩浆事件和非造山阶段超镁铁质岩石记录的空白。

关键词：超镁铁岩；辉闪橄榄岩；早二叠世；板内伸展；东乌旗

超镁铁岩的产出为研究地幔属性、深部动力学和构造背景提供了良好的介质，而受广大地质学者的关注(Gu Lianxing et al.，1994；Xue Huaimin et al.，2012；Xu Xingwang et al.，2006；Wang Yuwang et al.，2010；Zhao Ziran et al.，2011)。东乌旗地区为草原覆盖区，加之超镁铁岩来源深，规模小等因素，造成了前人对该区晚古生代造山演化的研究主要集中在中酸性岩浆岩上，如：晚古生代花岗岩(Hong Dawei et al.，1994，2000；Bao Qingzhong et al.，2007；Zhang Yuqing et al.，2009；Li Dapeng et al.，2010；Tong Ying et al.，2010；Cheng Yinhang et al.，2012；Shi Guanghai et al.，2012)、中酸性火山岩(Jin Yan et al.，2005；Xin Houtian et al.，2011)。对于其构造属性的认识主要有：陆缘弧花岗岩(Chen Bin et al.，2001；Zhang Jian et al.，2011；Fan Zhonglin et al.，2012；Wang Xinyu et al.，2013)和陆缘弧火山岩(Xin Houtian et al.，2011)时代集中在335～298Ma，岩性以钙碱性—高钾钙碱性闪长岩、二长花岗岩为主；造山后花岗岩(Hong Dawei et al.，1994，2000；Zhang Yuqing et al.，2009，2013；Han Baofu et al.，2010；Li Dapeng et al.，2010；Cheng Yinhang et al.，2012；Shi Guanghai et al.，2012)，时代集中在323～273Ma，岩性以高钾钙碱性二长花岗岩、正长花岗岩以及碱性花岗岩为主；大陆弧后花岗岩(Zhang Lei et al.，2013)，时代在325～260 Ma之间，显示出该区晚古生代岩浆岩构造背景具有不确定性，且岩石证据多集中在中酸性岩浆岩领域，而对于标志深部地幔岩浆事件的超镁铁岩未见有确切报道。目前，东乌旗地区对于镁铁—超镁铁岩的研究多是集中在二连—贺根山及其南侧的蛇绿混杂岩上(Bao Zhiwei et al.，1994；Zhang Qi et al.，2001；He Hongyun et al.，2011；Li Yingjie et al.，2012，2013)，均为古亚洲洋向北俯冲的洋壳残留物，多为岛弧型和洋中脊型岩浆岩。西伯利亚板块的西南缘，新疆北部发育有镁铁—超镁铁杂岩体，时代为早二叠世(Wang

注：本文为中国地质调查项目(编号1212011220446和1212011120697)联合资助成果。

收稿日期：2014-04-22；改回日期：2014-09-19；责任编辑：郝梓国。

作者简介：程银行，男，1982年生。助理研究员，从事地质矿产调查与研究工作。通讯地址：300170，天津市河东区大直沽8号路4号 天津地质矿产研究所；Email：weicheng1858@163.com。

Yuwang et al.,2010),并伴随有 Cu、Ni、V、Ti、Fe 复合型矿化,可能与本文研究的超镁铁岩为同期岩浆事件的产物。本文首次以东乌旗西部发育的辉闪橄榄岩为研究对象,从岩石学和地球化学角度着重讨论其成因、源区特征及其构造意义,认为辉闪橄榄岩的原始岩浆来源于受古亚洲洋向北俯冲流体交代地幔的部分熔融,上升过程中受地壳物质混染,形成于晚古生代板内伸展构造体制,该成果为早二叠世幔源岩浆事件和非造山阶段提供了超镁铁质岩石的记录,同时为寻找与其有关的铜镍矿床、铬铁矿床提供重要线索。

1 区域地质背景及岩相学特征

研究区位于二连—贺根山构造结合带北侧东乌旗西部(图 1a),区内岩石地层显示有两个构造演化阶段(图 1b):晚古生代构造演化阶段,主要岩石地层有中下泥盆统泥鳅河组海相沉积地层,岩性为灰绿色、灰色粉砂岩、粉砂质泥岩。上石炭统宝力高庙组,主要为陆相火山岩—碎屑岩建造,以安山岩、安山质火山碎屑岩为主。侵入岩主要以晚古生代肉红色碱性花岗岩、石英正长岩和灰白色中细粒二长花岗岩为主,侵入到泥鳅河组和宝力高庙组中,伴有镁铁—超镁铁深部源区岩浆活动的记录。中新生代构造演化阶段,主要表现为下侏罗统红旗组河湖相沉积地层,主要岩性为复成分砂砾岩、含砾粗砂岩、长石岩屑砂岩,角度不整合于晚古生代岩石地层之上。本次研究的辉闪橄榄岩主要分布在东乌旗育种场和东方红公社西南约 10 km,呈小岩株侵入到早二叠世正长花岗岩和二长花岗岩中,面积从几个平方米到几十个平方米不等,与同期角闪辉长岩、闪长岩一起构成镁铁—超镁铁岩杂岩体。角闪辉长岩的时代为(280.8±1.5) Ma(内部数据)为该杂岩体提供了时代依据。

辉闪橄榄岩的岩相学特征:岩石呈灰黑色,块状构造(图 2a),反应边结构(图 2b),半自形粒状结构(图 2c)、包橄结构(图 2d),岩浆成因结构特征明显。主要矿物成分:橄榄石(40%~45%,为贵橄榄石)白色、淡黄色,大小 0.5~3 mm,等轴粒状(图 2b,c),解理中等,常见不规则裂纹和贝壳状断口,具正高突起,最高干涉色为三级绿。部分嵌于斜方辉石(图 2b)、角闪石(图 2c)、斜长石(图 2d)内,形成包橄结构。单斜辉石(5%)无色,呈他形粒状,大小 0.5~1 mm,具两组完全解理,正光性,无多色性,干涉色为二级蓝,具角闪石和黑云母反应边。斜方辉石(15%

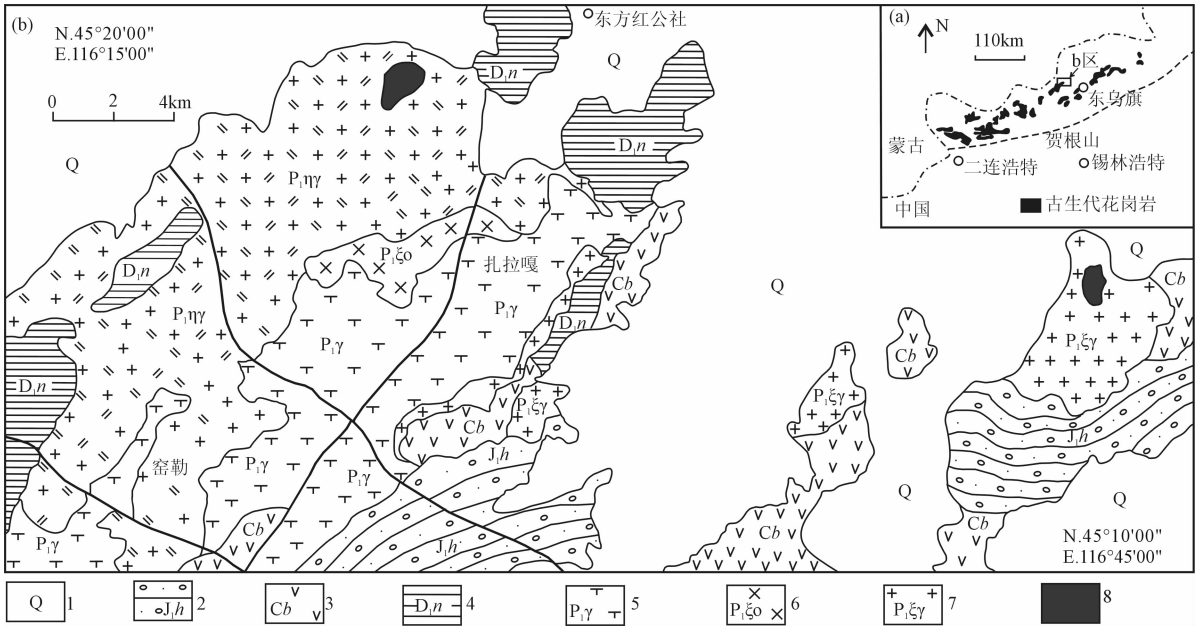

图 1 内蒙古东乌旗西部地质简图(据程银行等[1]修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the western of Dong Ujimqi, Inner Mongolia (modified from Cheng Yinhang et al.[1])

1—第四系;2—侏罗统红旗组;3—石炭纪火山岩;4—下泥盆统泥鳅河组;5—二叠世碱性花岗岩;
6—二叠纪石英正长岩;7—二叠纪细粒花岗岩;8—辉闪橄榄岩

1—Quaternary;2—early Jurassic Hongqi Formation;3—later Carboniferous Baoligaomiao Formation;4—early Devonian Niqiuhe Formation;
5—early Permain alkali granite;6—early Permain quartz syenite;7—early Permain syenogranite;8—schriesheimite

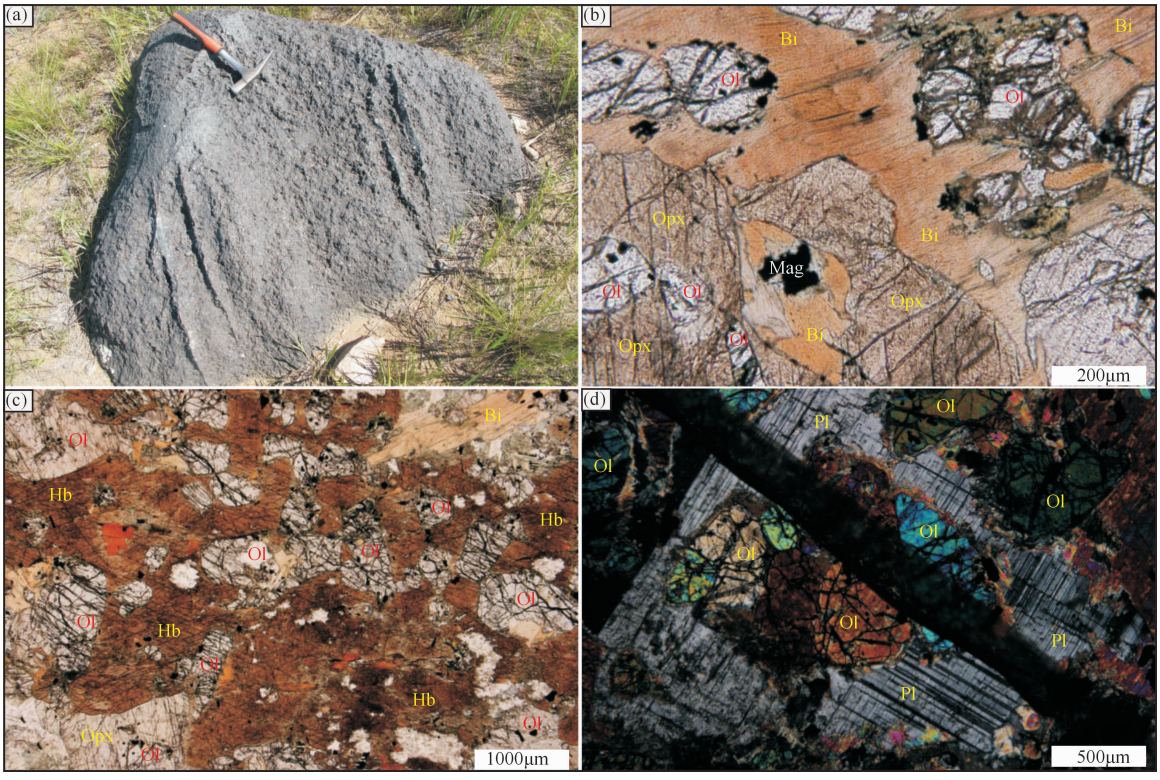

图 2　内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩野外宏观和偏光显微照片

Fig. 2　Macrofeatures and photomicrographs of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia

(b),(c)—单偏光照片;(d)—正交偏光照片;Ol—橄榄石; Opx—斜方辉石;Pl—斜长石;Hb—角闪石; Mag—磁铁矿; Bi—黑云母

(b),(c)—Single polarized light;(d)—cross polarized light;Ol—olivine; Opx—orthopyroxene;Pl—plagioclase; Hb—hornblende;Mag—magnetite; Bi—biotite

～20%)灰色、黄色,半自形柱状为主,大小 0.5～4 mm,发育平行的中等—完全解理,平行消光,负光性,干涉色一级橙黄—红色,具角闪石和黑云母反应边。角闪石(10%～15%)呈他形柱状,大小 2～8 mm,具多色性(Ng′红褐色,Np′浅黄褐色),负光性,发育两组突起菱形解理,解理夹角约 56°,具不同程度次闪石化,内嵌橄榄石、辉石,构成包含结构。斜长石(5%～10%)他形短柱状,大小 0.5～3 mm,发育聚片双晶,充填于辉石、橄榄石裂隙,局部见嵌橄榄石包体,构成包橄结构(图 2d)。黑云母(5%～10%)呈叶片状,大小 0.5～4 mm 不等,发育一组完全解理,局部交代角闪石。以上特征显示矿物的结晶顺序为橄榄石→辉石→角闪石→斜长石。副矿物主要为磁铁矿、电气石等。

2　样品分析方法

本文研究样品采自东乌旗育种场和东方红公社西南侧(图 1b),样品新鲜,弱蚀变。对出露的两处辉闪橄榄岩分别选择 3 件样品用于主量、微量元素分析,各选择 1 件样品用于岩相学分析。首先对新鲜样品去除风化壳,然后用破碎机粉碎,在用球磨仪研磨至粉末状(>200 目),用于主量元素和微量元素分析。实验测试由天津地质矿产研究所完成,主量元素采用 X 射线荧光光谱法(XRF),FeO 采用氢氟酸、硫酸溶样、重铬酸钾滴定容量法,分析精度优于 2%,微量元素使用 ICP-MS 测试,分析精度优于 5%。

3　地球化学特征

辉闪橄榄岩样品的岩石化学分析结果及部分参数列于表 1。数据表明,辉闪橄榄岩 SiO_2 含量介于 42.84% ～ 43.96%, FeO^T (12.67% ～ 14.33%)、CaO(3.47%～5.55%)、TiO_2 (0.33%～0.87%)和 Al_2O_3 (6.76% ～ 7.64%)的含量较高;高 $Mg^{\#}$ (76.42 ～ 79.20)和较低的 MgO (24.10% ～ 26.10%)含量、m/f 比值(3.03～3.54),属铁质超镁铁岩;Na_2O(1.05%～1.55%)的含量相对较高,K_2O(0.47% ～ 1.02%)含量比较低,$Na_2O + K_2O$ (1.52%～2.51%,小于 3.5),K_2O/Na_2O(0.45～0.85)为亚碱性系列;低 m/f、高 FeO^T 显示拉斑玄武岩系列岩石的特征。

表 1 内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩主量元素(%)、微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 1 Major (%) and trace ($\times10^{-6}$) elements of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia

岩石名称	辉闪橄榄岩					
样品编号	P19-13-1	P19-13-2	P19-13-3	7216-1	7216-2	7209-1
SiO_2	43.34	43.36	43.96	43.70	42.84	43.22
TiO_2	0.77	0.87	0.82	0.35	0.33	0.84
Al_2O_3	7.64	7.27	7.36	7.25	6.76	7.47
Fe_2O_3	2.48	3.61	3.24	3.04	3.00	5.24
FeO	10.67	11.08	10.99	9.93	10.36	9.45
MnO	0.20	0.23	0.22	0.21	0.22	0.22
MgO	25.17	24.55	24.70	24.50	26.10	24.10
CaO	3.97	3.66	3.47	5.55	4.92	4.1
Na_2O	1.20	1.37	1.55	1.05	1.05	1.4
K_2O	1.02	0.95	0.96	0.56	0.47	0.88
P_2O_5	0.27	0.30	0.23	0.11	0.11	0.27
LOI	1.89	1.52	1.28	2.63	2.66	1.76
总量	98.62	98.77	98.78	98.88	98.82	98.95
$Mg^{\#}$	78.80	76.54	77.19	78.65	79.20	76.42
FeO^T	12.90	14.33	13.91	12.67	13.06	14.16
m/f	3.46	3.03	3.15	3.42	3.54	3.06
K_2O+Na_2O	2.22	2.32	2.51	1.61	1.52	2.28
K_2O/Na_2O	0.85	0.69	0.62	0.53	0.45	0.63
K_2O/TiO_2	1.32	1.09	1.17	1.60	1.42	1.05
P_2O_5/Al_2O_3	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04
Cs	18.50	22.70	20.70	5.48	3.84	21.8
Rb	28.00	29.90	31.70	17.90	16.40	15.1
Sr	416	374	376	425	271	309
Ba	167	204	177	132	97	144
Ga	10.30	9.75	9.56	7.77	7.44	9.98
Nb	2.87	3.30	3.35	1.82	1.63	3.34
Ta	0.22	0.31	0.30	0.18	0.17	0.28
Zr	99.10	89.80	93.30	32.00	42.30	93.9
Hf	2.33	2.43	2.39	1.05	1.26	2.41
Th	0.78	0.91	0.94	1.42	1.23	0.66
V	125	122	119	96	85	124
Cr	769	2480	2470	2340	2410	1160
Co	111	117	118	114	122	111
Ni	901	880	881	454	484	878
Li	28.60	32.00	32.30	20.20	14.80	29.5
Sc	15.20	13.80	14.20	19.10	11.60	7.18
U	0.27	0.30	0.34	0.51	0.48	0.26
La	8.86	10.50	9.94	6.00	5.91	8.69
Ce	22.00	26.60	25.10	13.60	13.90	20.5
Pr	3.21	3.30	3.09	1.60	1.60	3.11
Nd	14.30	14.70	13.80	6.85	6.77	14.3
Sm	3.33	3.31	3.12	1.46	1.46	3.22
Eu	0.98	0.99	0.92	0.45	0.42	0.97
Gd	3.27	2.93	2.76	1.39	1.34	3.01
Tb	0.52	0.50	0.46	0.22	0.20	0.5
Dy	2.85	2.81	2.57	1.22	1.11	2.82
Ho	0.57	0.53	0.51	0.23	0.21	0.54
Er	1.53	1.51	1.39	0.64	0.57	1.54
Tm	0.22	0.23	0.21	0.09	0.08	0.22
Yb	1.42	1.39	1.32	0.58	0.52	1.45
Lu	0.22	0.22	0.21	0.09	0.08	0.22
Y	14.80	13.80	13.10	5.87	5.40	13.8

续表 1

岩石名称	辉闪橄榄岩					
样品编号	P19-13-1	P19-13-2	P19-13-3	7216-1	7216-2	7209-1
ΣREE	78.08	83.32	78.50	40.29	39.57	74.89
$(La/Yb)_N$	4.21	5.09	5.08	6.97	7.66	4.04
δEu	0.90	0.95	0.94	0.95	0.90	0.94
$(Th/Nb)_{PM}$	2.28	2.31	2.35	6.54	6.33	1.66
$(Nb/La)_{PM}$	0.31	0.30	0.32	0.29	0.27	0.37
Ba/Zr	1.69	2.27	1.90	4.13	2.28	1.53
Rb/Sr	0.07	0.08	0.08	0.04	0.06	0.05

注:测试工作由天津地质矿产研究所完成;$Mg^{\#}=100\times Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})$;$FeO^T=FeO+0.8998Fe_2O_3$;N 为球粒陨石标准化值(Sun et al.,1989),PM 为原始地幔标准化值(Sun et al.,1989);m/f=$(FeO^T/72)/(MgO/40)$

辉闪橄榄岩的稀土总量较高(ΣREE=39.57×10^{-6}~83.32×10^{-6}),远高于球粒陨石的稀土总量(La_N=25~44,Yb_N=3~8);轻稀土(LREE)相对于重稀土(HREE)明显富集[$(La/Yb)_N$=4.04~7.66],Eu 异常不明显(δEu=0.90~0.95),在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(图 3)上显示轻稀土相对富集的右倾配分模式,与洋岛玄武岩(OIB)类似。从岩石微量元素含量及其原始地幔标准化蛛网图(图 4)看,辉闪橄榄岩富集大离子亲石元素(LILE)Cs、Rb、Ba、Sr、K 等,相对亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta,出现较为明显的 Nb、Ta、Ti 负异常,Ti 的负异常与洋岛玄武岩明显不同;相容元素如 Cr(769×10^{-6}~2480×10^{-6})、Ni(454×10^{-6}~901×10^{-6})含量较高,略高于 Wilson(1989)统计的原始岩浆值(Ni=400×10^{-6}~500×10^{-6},Cr>1000×10^{-6})。

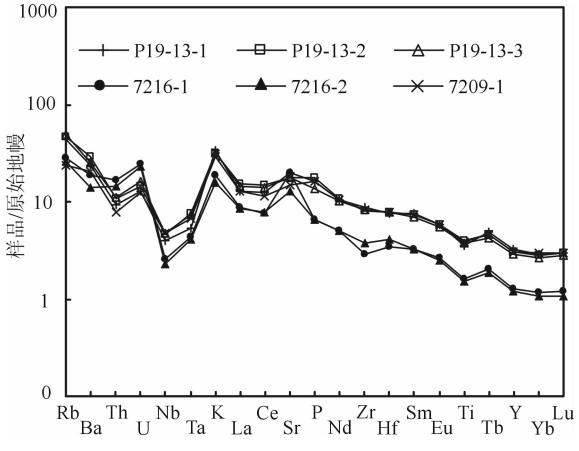

图 4　内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩的原始地幔标准化微量元素蛛网图(据 Sun et al.,1989)

Fig. 4　Primitive mantle-normalized trace elements patterns of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia (after Sun et al.,1989)

4　讨论

4.1 岩石成因及源区特征

微量元素特征显示出东乌旗辉闪橄榄岩轻稀土富集[$(La/Yb)_N$=4.04~7.66,富集大离子亲石元素(LILE)Ba、Sr、K 等元素,相对亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta 等元素,类似于 OIB 的地球化学特征,与板内幔源岩浆作用的产物一致(Thompson,1984)。由于中上地壳中 Th、U 含量高(Talor,1985),辉闪橄榄岩未表现出亏损的现象,可能受到了中上地壳物质的混染,并且兴蒙造山带中大面积分布由古亚洲洋俯冲作用形成的新生大陆地壳物质(Hong Dawei et al.,2000),受这些物质的混染,势必造成消减流体作用改造的特征更加明显。高的原始地幔标准化$(Th/Nb)_{PM}$比值(≫1)和低$(Nb/La)_{PM}$比值(<1)是地壳混染作用可靠的微量元素指标(Saunders et al.,1992;Xia Linqi et al.,2007),辉闪橄榄岩的$(Th/Nb)_{PM}$为 1.66~6.54,$(Nb/La)_{PM}$为 0.28~0.37,表明岩浆明显受到了地壳混染。在 $Mg^{\#}$ 对 K_2O/TiO_2、Ba、Ba/Zr 和 Rb/Sr 相关图中(略),$Mg^{\#}$ 与 K_2O/TiO_2 呈明显正相关、与

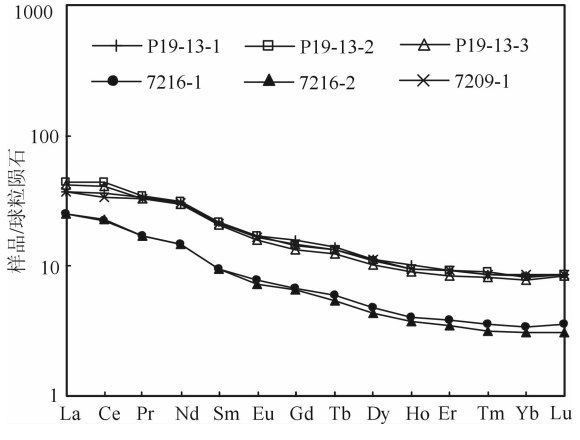

图 3　内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(据 Sun et al.,1989)

Fig. 3　Chondrite-normalized REE patterns of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia (after Sun et al.,1989)

Ba 负相关、与 Ba/Zr 和 Rb/Sr 相关性不强，也暗示了地壳混染的可能性(Brandon et al.，1993)。部分样品(7216-1、7216-2)的高场强元素 Nb、Ta 亏损程度略大些，Th、U 略高，可能与其岩浆在地壳中滞留的时间较长有关。然而，辉闪橄榄岩的 Nb、Ta、Ti 可以指示地壳同化混染，也可能与原始岩浆源于俯冲流体交代地幔有关(Wilson，1989)，对于分配系数相近的微量元素比值(Nb/U、Th/U)受结晶分异的影响较小(Aldanmaz et al.，2000)，辉闪橄榄岩的 Nb/U 与平均地壳值相似，明显低于 OIB、MORB，La/Nb、Ba/Nb 明显高于平均地壳和 OIB、MORB(表 2)，表明 Nb 的亏损用地幔端元和地壳的混染无法解释，而是代表了岩浆的地幔源区特征。同样其 Th/U 低于平均地壳比值和 OIB、MORB(表 2)，也指示岩浆的地幔源区特征，与新疆北天山造山后伸展背景下形成的镁铁—超镁铁岩特征相同(Deng Yufeng et al.，2011)。$Mg^{\#}$ 可以粗略显示岩浆结晶分异的程度，以 60～71(Langmuir et al.，1977)作为未分异的初始岩浆 $Mg^{\#}$，辉闪橄榄岩具非常高的 $Mg^{\#}$(76.42～79.20)，接近于原始岩浆，岩浆在就位之前未经过明显的分离结晶作用。

表 2 内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩微量元素比值

Table 2 Trace elements ratios of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia

	Th/U	Nb/U	La/Nb	Ba/Nb
东乌旗角闪橄榄岩	2.54～3.03	3.40～12.85	2.60～3.63	43.11～72.53
原始地幔	4.05	34.0	0.96	9.80
MORB	3.00	49.6	1.07	2.70
OIB	3.92	47.1	0.77	7.29
平均地壳	3.94	8.45	1.5	32.5
天山超镁铁岩	1.13～2.98	2.53～7.02	1.15～4.19	37.70～79.80

注：原始地幔、MORB、OIB 数据引自(Sun et al.，1989)；平均地壳引自(Pettigrew et al.，2006)；天山超镁铁岩引自(Deng Yufeng et al.，2011)。

东乌旗辉闪橄榄岩的 P_2O_5/Al_2O_3 为 0.02～0.04 变化范围小，具地幔岩低度部分熔融的特征(Zhang Guishan et al.，2009)。Rb/Zr-Rb/Nb(图 5a)和 Ba/Ca-Sr/Ca(图 5b)图解上表现为正斜率的直线型平衡部分熔融的演化趋势。前人(Munker，2000)研究表明，熔融过程中源区若有石榴石存在，Zr/Y-Y 应具有很好的相关性，角闪橄榄岩的 Zr/Y-Y 图解(图 5c)显示二者相关性较差，指示非石榴石地幔源区部分熔融的可能性。Ce/Y-Zr/Nb 图解(图 5d)上，样品点落在原始尖晶石相橄榄岩地幔源区，表明辉闪橄榄岩可能是原始尖晶石相橄榄岩小比例部分熔融的产物。

综上，辉闪橄榄岩可能为受俯冲流体交代的尖晶石相地幔橄榄岩部分熔融的产物，且在岩浆运移的过程中受到了地壳物质不同程度的混染。

4.2 超镁铁岩的时代与构造背景

东乌旗辉闪橄榄岩规模较小，与角闪辉长岩、闪长岩一起构成镁铁—超镁铁质杂岩体，其中角闪辉长岩的时代为(280.8±1.5) Ma(内部数据)，基本可以判断辉闪橄榄岩的时代也与之相同，并且这些镁铁—超镁铁质杂岩体呈小岩株侵位于同期二长花岗岩[(277.2±0.7) Ma，内部数据]和正长花岗岩[(276.4±0.7) Ma，内部数据]中，锆石 U-Pb 年龄在误差范围内一致，即具有同时性，构成双峰式岩石特征，从而排除了蛇绿岩套组合，与新疆北部的早二叠世镁铁—超镁铁杂岩体(Wang Yuwang et al.，2010)为同期岩浆事件的产物。加之，辉闪橄榄岩呈块状构造，未经历较为强烈的变质作用和构造变形(图 2)，表明其应形成于伸展构造体制中，进一步说明其非岛弧成因构造增生到活动大陆边缘的可能。前人研究表明，该地区大规模发育造山后伸展环境的花岗岩(Hong Dawei et al.，1994，2000；Zhang Yuqing et al.，2009，2013；Han Baofu et al.，2010；Li Dapeng et al.，2010；Cheng Yinhang et al.，2012；Shi Guanghai et al.，2012)时代介于(323～273) Ma，主要集中在 310～280 Ma，时代早于辉闪橄榄岩，表明晚石炭世—早二叠世以伸展构造为主，且研究区内碱性花岗岩[(271.7±0.7) Ma，内部数据]的侵位也证明了早二叠世末期造山演化可能处于板内伸展阶段。

主量元素数据表明东乌旗辉闪橄榄岩属拉斑玄武岩系列铁质超镁铁岩，具有板内岩浆岩的岩石特征。通常与消减作用有关的玄武质岩石亏 Nb、Ta，而富 Th，Th/Ta 高(一般＞4)，岛弧环境玄武岩比值通常大于 3(Pearce et al.，1973)，而本文角闪橄榄岩样品的 Th/Ta 在 2.36～7.89 之间，显示了较强的消减作用的特征，用原始岩浆源于受古亚洲洋俯冲事件改造过的交代地幔可以解释，且其 Nb、Ta 亏损与在岛弧环境形成的具强烈 Nb、Ta 亏损的岛弧岩浆岩明显不同(Ewart et al.，1998)，其 Nb(1.62×10^{-6}～3.35×10^{-6})和 Ta(0.17×10^{-6}～0.30×10^{-6})远大于南部岛弧拉斑玄武岩 Nb(0.45×10^{-6})和 Ta(0.03×10^{-6})的平均含量(Li Yingjie

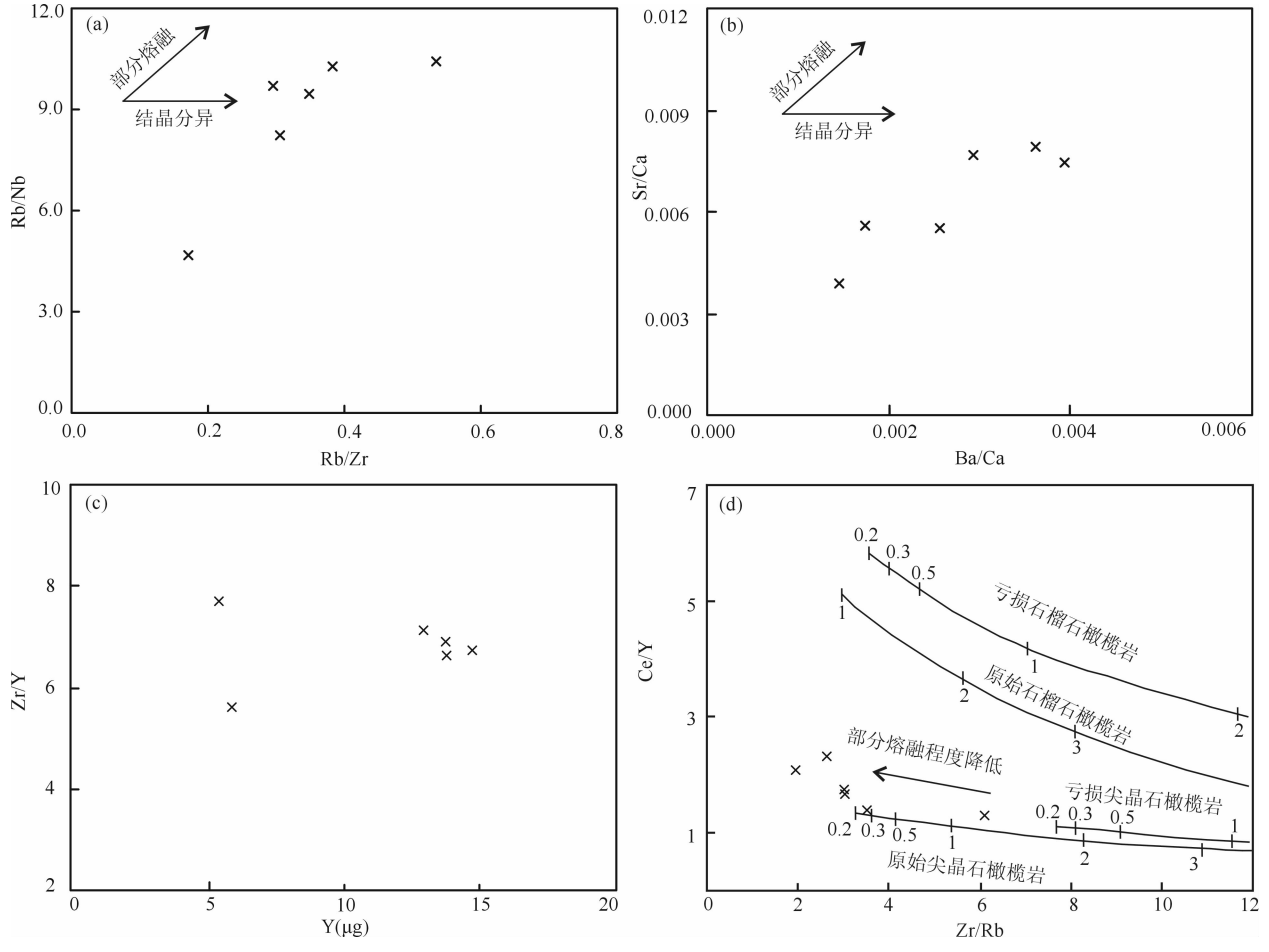

图 5　内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩的部分熔融判别(a)(马昌前等❷)、(b)(Onuma et al.,1981)和地幔岩相判别图(c)(Munker,2000)、(d) (Deniel,1998)

Fig. 5　Discrimination diagrams of partial melting (a) (Ma Changqian et al.❷), (b) (Onuma et al.,1981) and pyrolite phase (c) (Munker,2000), (d) (Deniel,1998) of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia

et al.,2013),表明其形成虽然受到消减带的影响,但并非直接形成于岛弧环境。前人(Xia Linqi et al.,2007)研究表明,对于具有消减带信号的基性熔岩可以利用 Zr/Y-Zr 图(图 6)解能更好的区分板内玄武岩与岛弧或活动大陆边缘玄武岩,本文研究样品落在板内玄武岩区左侧,有向板内玄武岩区靠近的趋势以及高的 Zr/Y(5.45～7.83)比值也支持其形成于板内伸展环境。在 Zr-Nb-Y 图解(图 7)中多数落在板内玄武岩区或火山弧区(C 区),并有向板内拉斑玄武岩区(A2 区)偏移的趋势。综上信息表明:东乌旗辉闪橄榄岩形成于晚古生代板内伸展构造体制,与研究区内碱性花岗岩一并标志着造山过程转换到板内伸展阶段。

5　结论

东乌旗辉闪橄榄岩主要由橄榄石、角闪石、斜方辉石及少量斜长石组成,SiO_2 含量介于 42.84%～43.96%、Na_2O+K_2O 含量和 m/f 比值较低,高 FeO^T 和 $Mg^{\#}$,属铁质超镁铁岩和拉斑玄武岩系列。岩石稀土总量较高,轻稀土相对于重稀土明显富集,Eu 异常不明显,球粒陨石标准化配分模式表现为轻稀土相对富集的右倾型。岩石富集大离子亲石元素(LILE)Cs、Rb、Ba、Sr、K 等,相对亏损高场强元素(HFSE)Nb、Ta 以及低 Th/U、Nb/U 比值和高 La/Nb、Ba/Nb、Zr/Y 比值。这些特征表明原始岩浆来源于受俯冲流体交代的尖晶石相地幔橄榄岩部分熔融的产物,上升过程中受地壳物质不同程度的混染,形成于早二叠世板内伸展构造背景,与古亚洲洋闭合之后板内非造山作用有关。这一认识填补了早二叠世幔源岩浆事件和非造山阶段超镁铁质岩石记录的空白。

致谢:辛后田教授对本文提出许多宝贵的建设

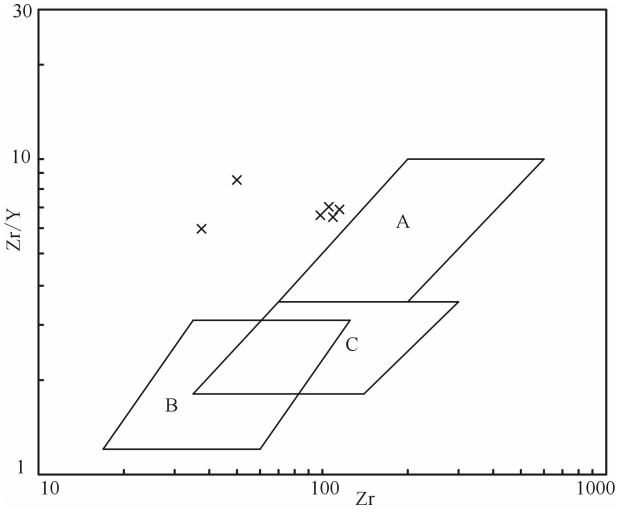

图 6 内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩的 Zr-Zr/Y 图解(Pearce et al.,1979)

Fig. 6 Zr-Zr/Y dimgram of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia (Pearce et al.,1979)

A—板内玄武岩;B—岛弧玄武岩;C—洋中脊玄武岩

A—Within plate balslts; B—island arc balslts; C—mid ocean ridge balslts

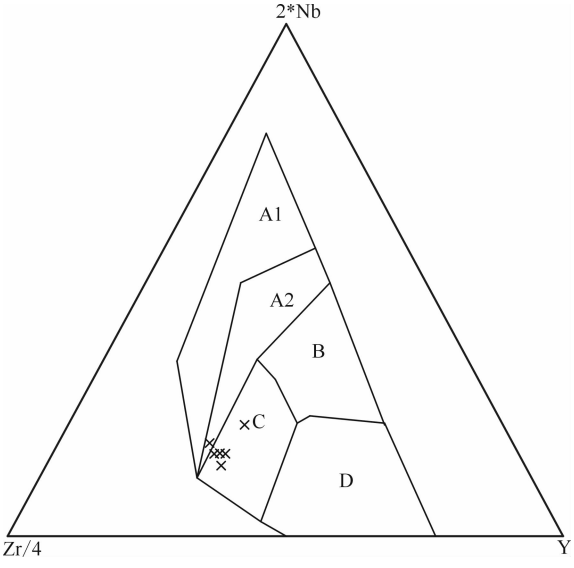

图 7 内蒙古东乌旗辉闪橄榄岩的 Zr-Nb-Y 图解(Meschede,1986)

Fig. 7 Zr-Nb-Y diagram of the schriesheimite in Dong Ujimqi, Inner Mongolia (Meschede,1986)

A1—板内碱性玄武岩;A2—板内碱性玄武岩和拉斑玄武岩;B—E 型 MORB;D—N 型 MORB 和火山弧玄武岩;C—板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩;

A1—Within plate alkaline balslts; A2—within plate alkaline and tholeiilitic balslts; B—E—MORB; C—within plate tholeiilitic and arc balslts; D—N—MORB and arc balslts

性修改意见,使本文得以完善;谷永昌、刘永顺教授在野外过程中给予了指导工作;郭虎、耿建珍给予很大帮助在此一并致以诚挚的谢意。

注 释

❶ 程银行,等. 2014. 内蒙古 1:5 万奥尤特等六幅区域地质矿产图.

❷ 马昌前,杨坤光,唐仲华,李增田. 1994. 花岗岩类岩浆动力学—理论方法及鄂东花岗岩例析. 武汉:中国地质大学出版社,38~48.

References

Aldanmaz E, Pearce J A, Thirlwall M F, Mitchell J G. 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 102 :67~95.

Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, Wang Hong, Li Wei, Sang Jiahe, Liu Yongsheng. 2007. Zir con SHRIMP U- Pb dating of gr anitoids in a Late Paleozoic r ift area, southeastern Inner Mongolia, and its implications. Geology in China, 34(5): 790~798(in Chinese with English abstract).

Bao Zhiwei, Chen Senhuang, Zhang, Zhentang. 1994. Study on REE and Sm-Nd isotopes of Hegenshan ophiolite, Inner Mongolia. Geochemica, 23(4): 339~349 (in Chinese with English abstract).

Brandon A D, Hoopper P R, Lambert R J. 1993. Evaluating crustal contamination in continental basalts: the isotopic of the Picture Gorge basalt of the Columbia River Basalt group. Contrib. Mineral. Petrol. , 114(4):452~464.

Chen Bin, Zhao Guochun, Simon Wilde. 2001. Subduction- and collision-related granitoids from Southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: isotopic ages and tectonic implications. Geological Review, 47(4):361~367 (in Chinese with English abstract).

Cheng Yinhang, Teng Xuejian, Xin Houtian, Yang Junquan, Ji Shiping, Zhang Yong, Li Yanfeng. 2012. SHRIMP zircon U - Pb dating of granites in Mahonondor area, Dong Ujimqi, Inner Mongolia. Acta Petrnologica et Mineralogica, 31(3):323~334 (in Chinese with English abstract).

Deng Yufeng, Song Xieyan, Jie Wei, Cheng Songlin, Li Jun. 2011. Petrogenesis of the Huangshandong Ni-Cu sulfide-bearing maifc-ultramafic intrusion, northern Tianshan, Xinjiang: Evidence from major and trace elements and Sr-Nd isotopes. Acta Geologica Sinica, 85(9): 1435 1451 (in Chinese with English abstract).

Deniel C. 1998. Geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) evidence for plume-lithosphere interactions in the genesis of Grande Comore magmas(Indian Ocean). Chemical Geology, 144(3/4) :281~303.

Ewart A, Collerson K D, Regelous M, Wendt J I, Niu Y L. 1998. Geochemical evolution within the Tonga-Kermadec-Lau arc-back-arc systems: the role of varying mantle wedge composition in space and time. Journal of Petrol. , 39(3) :331~368.

Fan Zhonglin, Ke Yufu, Chen Wen, Yang Weiwei, Sun Xiaofeng. 2012. Age and its tectonic significance of I-type granite in

Xilinhot, Inner Mongolia. Resources Surver and Environment, 33(3): 191～197 (in Chinese with English abstract).

Gu Lianxing, Zhu Jianlin, Guo Jichun, Liao Jingjuan, Yan Zhengfu, Yang Hao, Wang Jinzhu. 1994. The east Xingjian-type mafic-ultramafic complexes in orogeneic environments. Acta Petrologica Sinica, 10(4): 339～356 (in Chinese with English abstract).

Han Baofu, Zhang Chen, Zhao Lei, Ren Rong, Xu Zhao, Chen Jiafu, Zhang Lei, Zhou Yinzhang, Song Biao. 2010. A preliminary study of granitoids in western Inner Mongolia. Acta Petrologica ET Mineralogica, 29(6):741～749 (in Chinese with English abstract).

He Hongyun, Baoyin Wuliji, Yang Jianjun. 2011. Study of geochemistry of Hegenshan ophiolite, Inner Mongolia. Western Resources, 3, 93～96(in Chinese)

Hong Dawei, Huang Huaizeng, Xiao Yijun, Xu Haiming, Jin Manyuan. 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance. Acta Geologica Sinica, 68(3):219～230 (in Chinese with English abstract).

Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, Zhang Jisheng. 2000. Genesis of positive εNd (t) granitoids in the Da Xinggan Mts. - Monggolia orogenic belt and growth continental crust. Earth Science Frontiers, 7(2) 441～456 (in Chinese with English abstract).

Jin Yan, Liu Yutang, Xie Yuling. 2005. Relationship between magmatism and polymetalmine ralization in East Ujimqin, Inner Mongolia. Geology and Mineral Resources of South China, (1):8～12(in Chinese with English abstract).

Langmuir C H, Bender J F, Bence A E. 1977. Petrogenesis of basalts from the famous area: Mid-Atlantic ridge. Earth Planet. Sci. Lett., 36:133～156.

Li Dapeng, Chen Yuelong, Wang Zhong, Liu Changzheng. 2010. Nd-Pb isotopic composition characteristics and geological significances of granitoids with diferent ages in Inner Mongolia. Geoscience, 24(5): 821～831 (in Chinese with English abstract).

Li Yingjie, Wang Jinfang, Li Hongyang, Dong Peipei, He Qiuli, Zhang Hongchen, Song Peng. 2013. Geochemical characteristics of Baiyinbulage ophiolite in Xi Ujimqi, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2719～2730 (in Chinese with English abstract).

Li Yingjie, Wang Jinfang, Li Hongyang, Liu Yucui, Dong Peipei, Liu Dewu, Bai Hui. 2012. Recognition of Diyanmiao ophiolite in Xi U jimqin Banner, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 28(4):1282-1290 (in Chinese with English abstract).

Liang Yuwei, Yu Cunlin, Shen Guozhen, Sun Qingru, Li Jinwen, Yang Yuncheng, She Hongquan, Zhang Bin, Tang Gang. 2013. Geochemical characteristics of granites in the Suonaga Pb-Zn-Ag deposit of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia, and their tectonic and ore-forming implications. Geology in China, 40(3):767～779(in Chinese with English abstract).

Meschede M. 1986. Amethod of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, 56, 207～218.

Munker C. 2000. The isotope and trace element budget of the Cambrian Devil River arc system, New Zealand: Identification of four source components. Petrology, 41(6):759～788.

Onuma N, Hirano M, Isshiki N. 1981. Sr/Ca-Ba/Ca systematics in four volcanoes of shima, Izu. Islands, Japan. Geochem. J., 15, 315～324.

Pearce J A, Norry M J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., (69):33～47.

Pearce J A, Cann J R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters, 19:290～300.

Pettigrew, Hattori. 2006. The Quetico Intrusions of Western Superior Province: Neo-Archean examples of Alaskan/Uraltype mafic ultramafic intrusions. Precambrian Research, 149(1):21～42.

Saunders, A D, Storey M, Kent R W, Norry M J. 1992. Consequences of plume-lithosphere interaction. In: Storey BC, Alabaster T and Pankhurst R J (Eds.). Magmatism and the Causes of Continental Break-Up. Geol. Soc. Spec. Pub., London, 68:41～60.

Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, Jian Ping, Fan Weiming, Liu Dunyi. 2004. Age and its tectonic significance of A-type granite in Xilinhot, Inner Mongolia. Chinese Science Bulletin, 49(4):384～389 (in Chinese with English abstract).

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D and Norry M J (eds.). Magmatism in Oceanic Basins. Geological Society Special Publication, 42:313～345.

Talor S R, McLennan S M. 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell, 1～312.

Thompson R N. 1984. Dispatches from the basalt front. I. Experiments. Proceeddings of the Geologists Assiciation, 95: 249～262.

Tong Ying, Hong Dawei, Wangtao, Shi Xingjun, Zhang Jianjun, Zeng Tao. 2010. Spatial and Temporal Distribution of Granitoids in the Middle Segment of the Sino-Mongolian Border and Its Tectonic and Metallogenic Implications. Acta Geoscientica Sinica, 31(3):395～412(in Chinese with English abstract).

Wang Xinyu, Hou Qingye, Wang Jin, Chen Yuelong, Liu Jinbao, Wang Zhong, Li Dapeng. 2013. SHRIMP geochronology and Hf isotopes of zircons from granitoids of the Weilasituo deposit in Inner Mongolia. Geoscience, 27(1): 67～78 (in Chinese with English abstract).

Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, Long Lingli, Tang Pingzhi, Liao Zhen, Zhang Huiqiong. 2010. Petrographical and lithogeochemical characteristics of the mafic - ultramafic complex related to Cu-Ni-V-Ti-Fe composite mineralization: taking the North Xinjiang as an example. Acta Petrologica

Sinica, 26(2):401～412 (in Chinese with English abstract).

Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis. Kluwer Academic Publishers, 7～12.

Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, Li Xiangmin, Ma Zhongping. 2007. The discrimination between continental basalt and island arc basalt based on geochemical method. Acta Petrologica et Mineralogica 26, 77～89 (in Chinese with English abstract).

Xin Houtian, Teng Xuejian, Cheng Yinhang. 2011. Stratigraphic subdivision and isotopes geochronology study on the Baoligaomiao formation in the Dong Ujimqi, Inner Mongolia. Geological Survey and Research, 34(1):1～9 (in Chinese with English abstract).

Xu Xingwang, Qin Kezhang, San Jinzhu, Wang Yu, Hui Weidong, Kang Feng, Mao Qian, Li Jinxiang, Sun He, Ma Yuguang. 2006. Discovery of layered mafic-ultramafic intrusives formed in 545Ma in the Sidingheishan area, eastern Tianshan, China and its significances fo tectonics and Cu-Ni mineralization. Acta Petrologica Sinica, 22(11): 2665 ～ 2676 (in Chinese with English abstract).

Xue Huaimin, Ma Fang, Song Yongqin. 2012. Mafic-ultramafic rocks from the Fanjingshan region, southwestern margin of the Jiangnan orogenic belt: Ages, geochemical characteristics and tectonic setting. Acta Petrologica Sinca, 28(9):3015～3030(in Chinese with English abstract).

Zhang Guishan, Wen Hanjie, Hu Ruizhong, Qiu Yuzhuo. 2009. Geochemical features of the Cenozoic alkaline ultramafic volcanic rocks in Fujian and their tectonic significance. Acta Geologica Sinca, 83(2): 284 ～ 294 (in Chinese with English abstract).

Zhang Jian, Chen Jingsheng, Li Boyang, Gao Yan, Zhang Yanlong. 2011. Zircon U - Pb ages and Hf isotopes of Late Paleozoic granites in Taerqi area, Inner Mongolia. Geology in China, 30(4):521～531 (in Chinese with English abstract).

Zhang Lei, Lv Xinbiao, Liu Ge, Chen Jun, Chen Chao, Gao Qi, Liu Hong. 2013. Characteristics and genesis of continental back-arc A-type granites in the eastern segment of the Inner Mongolia-Da Hinggan Mountains orogenic belt. Geology in China, 40(3): 869～884 (in Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Zhou Guoqing. 2001. Chinese ophiolite. Beijing: Science Press, (in Chinese).

Zhang Yuqing, Xu Liquan, Kang Xiaolong, Bao Yinwuliji. 2009. Age dating of alkali granite in Jingesitai area of Dong Ujimqi, Inner Mongolia, and its significance. Geology in China, 35(9): 988～995 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yuqing, Zhang Jian, Qu Qiang, Gao Qingxiu. 2013. U - Pb age of zircon from the syenogranite in Adelagawula, Inner Mongolia. Geology and Resources, 22(4): 308 ～ 312 (in Chinese with English abstract).

Zhao Ziran, Song Huixia, Shen Qihan, Song Biao. 2011. Petrology and geochemistry of ultramafic rocks in the Yishui complex, Shandong Province. Acta Petrnologica et Mineralogica, 30(5): 853～864(in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

鲍庆中,张长捷,吴之理,王宏,李伟,桑家和,刘永生. 2007. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗质岩石锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 中国地质, 34(5):790～798.

包志伟,陈森煌,张桢堂. 1994. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩稀土元素和 Sm-Nd 同位素研究. 地球化学,23(4):339～349.

陈斌,赵国春,Wildes. 2001. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义. 地质论评, 47(4): 361～367.

程银行,滕学建,辛后田,杨俊泉,冀世平,张永,李艳锋. 2012. 内蒙古东乌旗狼麦温都尔花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志,31(3) :323～334.

邓宇峰,宋谢炎,颉炜,程松林,李军. 2011. 新疆北天山黄山东含铜镍矿镁铁—超镁铁岩体的岩石成因:主量元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素证据. 地质学报,85(9) :1435～1451.

范中林,柯于富,陈文,杨伟卫,孙孝峰. 2012. 内蒙古锡林浩特 I 型花岗岩的时代及构造意义. 资源调查与环境,33(3) :191～197.

顾连兴,诸建林,郭继春,廖静娟,严正富,杨浩,王金珠. 1994. 造山带环境中的东疆型镁铁—超镁铁杂岩. 岩石学报,10(4): 339～356.

韩宝福,张臣,赵磊,任荣,徐钊,陈家富,张磊,周印章,宋彪. 2010. 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的初步研究. 岩石矿物学杂志,29(6):741～749.

贺宏云,宝音乌力吉,杨建军. 2011. 内蒙古贺根山蛇绿岩地球化学特征及成因. 西部资源,3,93～96.

洪大卫,黄怀曾,肖宜君,徐海明,靳满元. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义. 地质学报,68(3) :219～230.

洪大卫,王式洸,谢锡林,张季生. 2000. 兴蒙造山带正 ε(Nd,t)值花岗岩的成因和大陆地壳生长. 地学前缘,7(2) :441～456.

金岩,刘玉堂,谢玉玲. 2005. 内蒙东乌旗地区岩浆活动与多金属成矿的关系. 华南地质与矿产,(1) :8～12.

梁玉伟,余存林,沈国珍,孙庆茹,李进文,杨郧城,佘宏全,张斌,谭刚. 2013. 内蒙古东乌旗索纳嘎铅锌银矿区花岗岩地球化学特征及其构造与成矿意义. 中国地质,40(3) :767～779.

李大鹏,陈岳龙,王忠,刘长征. 2010. 内蒙古不同时代花岗岩类 Nd、Pb 同位素特征及其地质意义. 现代地质, 5(5) :821～831.

李英杰,王金芳,李红阳,董培培,刘玉翠,刘德武,白卉. 2012. 内蒙古西乌旗迪彦庙蛇绿岩的识别. 岩石学报,28(4) :1282～1290.

李英杰,王金芳,李红阳,董培培,贺秋利,张红晨,宋鹏. 2013. 内蒙古西乌旗白音布拉格蛇绿岩地球化学特征. 岩石学报,29(8) :2719～2730.

施光海,苗来成,张福勤,简平,范蔚茗,刘敦一. 2004. 内蒙古锡林浩特 A 型花岗岩的时代及区域构造意义. 科学通报,49(4) :384～389.

童英,洪大卫,王涛,史兴俊,张建军,曾涛. 2010. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义. 地球学报,31(3) :395～412.

夏林圻,夏祖春,徐学义,李向民,马中平. 2007. 利用地球化学方法判别大陆玄武岩和岛弧玄武岩. 岩石矿物学杂志,26(1):77～89.

辛后田,滕学建,程银行. 2011. 内蒙古东乌旗宝力高庙组地层划分及其同位素年代学研究. 地质调查与研究,34(1):1～9.

徐兴旺,秦克章,三金柱,王瑜,惠卫东,康峰,毛骞,李金祥,孙赫,马

玉光. 2006. 东天山四顶黑山地区 545Ma 层状镁铁质—超镁铁质岩体的发现及其大地构造学和成矿学意义. 岩石学报, 22(11): 2265～2276.

薛怀民, 马芳, 宋永勤. 2012. 江南造山带西南段梵净山地区镁铁质—超镁铁质岩:形成时代、地球化学特征与构造环境. 岩石学报, 28(9): 3015～3030.

王新宇, 侯青叶, 王瑾, 陈岳龙, 刘金宝, 王忠, 李大鹏. 2013. 内蒙古维拉斯托矿床花岗岩类 SHRIMP 年代学及 Hf 同位素研究. 现代地质, 27(1): 67～78.

王玉往, 王京彬, 王莉娟, 龙灵利, 唐萍芝, 廖震, 张会琼. 2010. CuNi-VTiFe 复合型矿化镁铁—超镁铁杂岩体岩相学及岩石地球化学特征:以新疆北部为例. 岩石学报, 26(2): 401～412.

张贵山, 温汉捷, 胡瑞忠, 裘愉卓. 2009. 福建新生代碱性超基性岩火山岩地球化学特征及构造意义. 地质学报, 83(2): 284～294.

张健, 陈井胜, 李泊洋, 高妍, 张彦龙. 2011. 内蒙古塔尔气地区晚古生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征. 世界地质, 30(4): 521～531.

张磊, 吕新彪, 刘阁, 陈俊, 陈超, 高奇, 刘洪. 2013. 兴蒙造山带东段大陆弧后 A 型花岗岩特征与成因. 中国地质, 40(3): 869～884.

张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京:科学出版社, 1～182.

张玉清, 许立权, 康小龙, 宝音乌力吉. 2009. 内蒙古东乌珠穆沁旗京斯台碱性花岗岩年龄及意义. 中国地质, 36(9): 988～995.

张玉清, 张建, 屈强, 高清秀. 2013. 内蒙古阿德拉嘎乌拉正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄. 地质与资源, 22(4): 308～312.

赵子然, 宋会侠, 沈其韩, 宋彪. 2011. 沂水杂岩中超镁铁质岩的岩石地球化学特征. 岩石矿物学杂志, 30(5): 853～864.

Discovery of the Early Permian Ultramafic Rock in Dong Ujimqi, Inner Mongolia and Its Tectonic Implications

CHENG Yinhang[1,2)], ZHANG Tianfu[1)], LI Yanfeng[1)], LI Min[1)], NIU Wenchao[1)], TENG Xuejian[1,2)], DUAN Lianfeng[1)], LIU Yang[1)], DU Yelong[1)], HU Xiaojia[1)]

1) *Tianjin institute of Geology and Mineral Resources*, *Tianjin*, 300170;

2) *China University of Geosciences* (*Beijing*), *Beijing*, 100083

Abstract

This study carried out petrographical and geochemical analyses for the ultramafic rock (i. e. schriesheimite) firstly recognized in the west of Dong Ujimqi so as to understand the characteristics of the late Paleozoic mantle nature and structure in Dong Ujimqi. Schriesheimite consists mainly of olivine, hornblende, orthopyroxene, with minor amount of slight plagioclase and clinopyroxene. Geochemical research indicates that the schriesheimites have SiO_2 (42.84%～43.96%), MgO (24.10%～26.10%), Na_2O+K_2O (1.52%～2.32%, <3.5%), and are higher in FeO^T (12.67%～14.33%), $Mg^{\#}$ (76.42～79.20) and low in m/f (3.03～3.54). These features suggest the rock should belong to ferruginous ultramafic rock and tholeiitic series. The rocks are characterized by high REE (39.57×10^{-6}～83.32×10^{-6}), enrichment in LREE and relatively depletion in HREE [(La/Yb)N=4.04～7.66], slightly Eu anomalies (δEu=0.90～0.95), with the high La/Nb (2.60～3.63), Ba/Nb (43.11～72.52) and Zr/Y (5.45～7.83), and low Th/U (2.54～3.03) and Nb/U (3.40～12.85) which similar to intraplate rocks from mantle magmatism. The rocks are enriched in LILE (Cs, Rb, Ba, Sr, K), and depleted in HFSE (Nb, Ta), with distinct negative anomalies of Nb, Ta and Ti which are clearly different from the strong depleted of Nb and Ta of the island arc magmatic rocks. The rocks also have high compatible elements, such as Cr (769×10^{-6}～2480×10^{-6}) and Ni (454×10^{-6}～901×10^{-6}), which are higher than proto-magma. In combination to the latest research results in the area, we consider that the schriesheimites in western Dong Ujimqi resulted from the partial melting of the Sp-peridotite in extensional tectonic background, which was replaced by subducted slab-derived fluid, along with various-degree mixing from the crustal material during its ascending. s from partial melting of the Sp-peridotite, which was modified by the the Early Permian subducted slab-derived fluid. The extensional tectonic background is related to within-plate anorogenic magamatism after the closure of Paleoasian Ocean. This recognition on the schriesheimites provides a record for existence of the Early Permian mantle-derived magmatic events and anorogenic ultramaifc rocks.

Key words: ultramafic rocks; schriesheimite; Early Permian; intraplate extension; Dong Ujimqi