

内蒙古苏左旗地区闪长-花岗岩类 SHRIMP 年代学

石玉若¹⁾ 刘敦一¹⁾ 张旗²⁾ 简平¹⁾ 张福勤²⁾ 苗来成²⁾
施光海²⁾ 张履桥³⁾ 陶华⁴⁾

1) 中国地质科学院地质研究所,北京离子探针中心,北京,100037

2) 中国科学院地质与地球物理研究所,北京,100029

3) 内蒙古地质研究所,呼和浩特,010020

4) 中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037

内容提要 本文对内蒙古苏左旗地区的闪长-花岗岩类进行了精确的 SHRIMP 定年研究。研究表明,富钠的白音宝力道岩体是一个多期次侵入的复合岩体,主体可能是 490~464 Ma 之间侵位的,推测是洋壳俯冲的产物;随后在 424 Ma 左右该地区发生了板块的碰撞事件,产生具高钾钙碱性系列的花岗岩。该区富钾的包尔汗喇嘛庙岩体本次得到的 SHRIMP 年龄为 222~204 Ma,表明其在晚三叠世侵位,可能代表了造山期后的岩石圈拆沉事件。

关键词 苏左旗 白音宝力道 包尔汗喇嘛庙 花岗岩 SHRIMP 年代学

内蒙古苏左旗地区出露有两类花岗岩(陈斌等,1996;徐备等,1997),一类富钠,如白音宝力道岩体;另一类富钾,如包尔汗喇嘛庙岩体。前人研究认为,富钠质花岗岩的形成可能与板块的俯冲有关(陈斌等,1996,2001;徐备等,1997;Chen et al., 2000),而富钾质花岗岩被认为属于 S 型花岗岩,为同碰撞类型的(陈斌等,1996,2001;徐备等,1997;Chen et al., 2000)。前人对上述花岗岩已经进行了较详细年代学研究,唐克东等(1991)报道的锆石 U-Pb 年龄为 452 Ma 和 447 Ma;陈斌等(1996)发表的白音宝力道锆石 U-Pb 年龄为 414~418 Ma,解释为岩体的侵位年龄。随后,他们又报道了该岩体 2 件精确的 SHRIMP 定年资料,分别为 490±8 Ma 和 309±8 Ma,认为后者代表白音宝力道弧岩浆岩侵位的时代,而将前者解释为早期弧岩浆岩的年龄(Chen et al., 2000; 陈斌等,2001),这些不同的年龄对内蒙古大地构造框架的认识有重要的影响。鉴于此,笔者对该区的上述花岗岩进行了 SHRIMP 定年研究,以尝试了解内蒙古中部大地构造的演化。

1 地质背景和样品描述

研究区位于内蒙古苏左旗南白音宝力道附近

(图 1),构造上属于华北板块与西伯利亚板块之间俯冲-碰撞造山带的一部分。前人的研究认为,该区位于索伦-贺根山缝合带上,代表华北板块与西伯利亚板块之间最后缝合的部位(邵济安,1991;唐克东等,1992;Sengor et al., 1993; 陈斌等,1996,2001;徐备等,1997;张臣等,1997;张臣,1999)。该区之南为二道井-查干乌拉-红格尔混杂岩和蓝片岩带,以其为界,其南为华北板块北缘被动大陆边缘,以北为西伯利亚活动陆缘,白音宝力道闪长岩岛弧及其以北的奥陶系-泥盆系火山-沉积岩系代表岛弧、弧间和弧后盆地(陈斌等,1996)。

白音宝力道地区大面积出露的花岗质杂岩(图 1),主要由白音宝力道弧岩浆岩和包尔汗喇嘛庙碰撞花岗岩组成(陈斌等,2001),其中弧岩浆岩包括加里东期辉石闪长岩、石英闪长岩和英云闪长岩等;碰撞花岗岩主要为二长花岗岩等富钾岩石,为海西-印支期的(陈斌等,1996,2001)。本次研究共分析了 8 件样品,样品特征描述见表 1。

主量元素、微量元素分别在西北大学大陆动力学开放实验室用 XRF 法及 ICP-MS 法分析,分析结果列于表 2。

注:本文为国家自然科学基金重大项目(编号 40234045)和国土资源部国际合作与科技司重点项目(编号 2000206)资助的成果。

收稿日期:2004-03-22;改回日期:2004-09-02;责任编辑:郝梓国。

作者简介:石玉若,男,1975 年生。硕士,在职博士生,地球化学专业。通讯地址:100037,北京百万庄 26 号,中国地质科学院地质所;电话:010-68999759;Email:yrshi2002@sina.com。

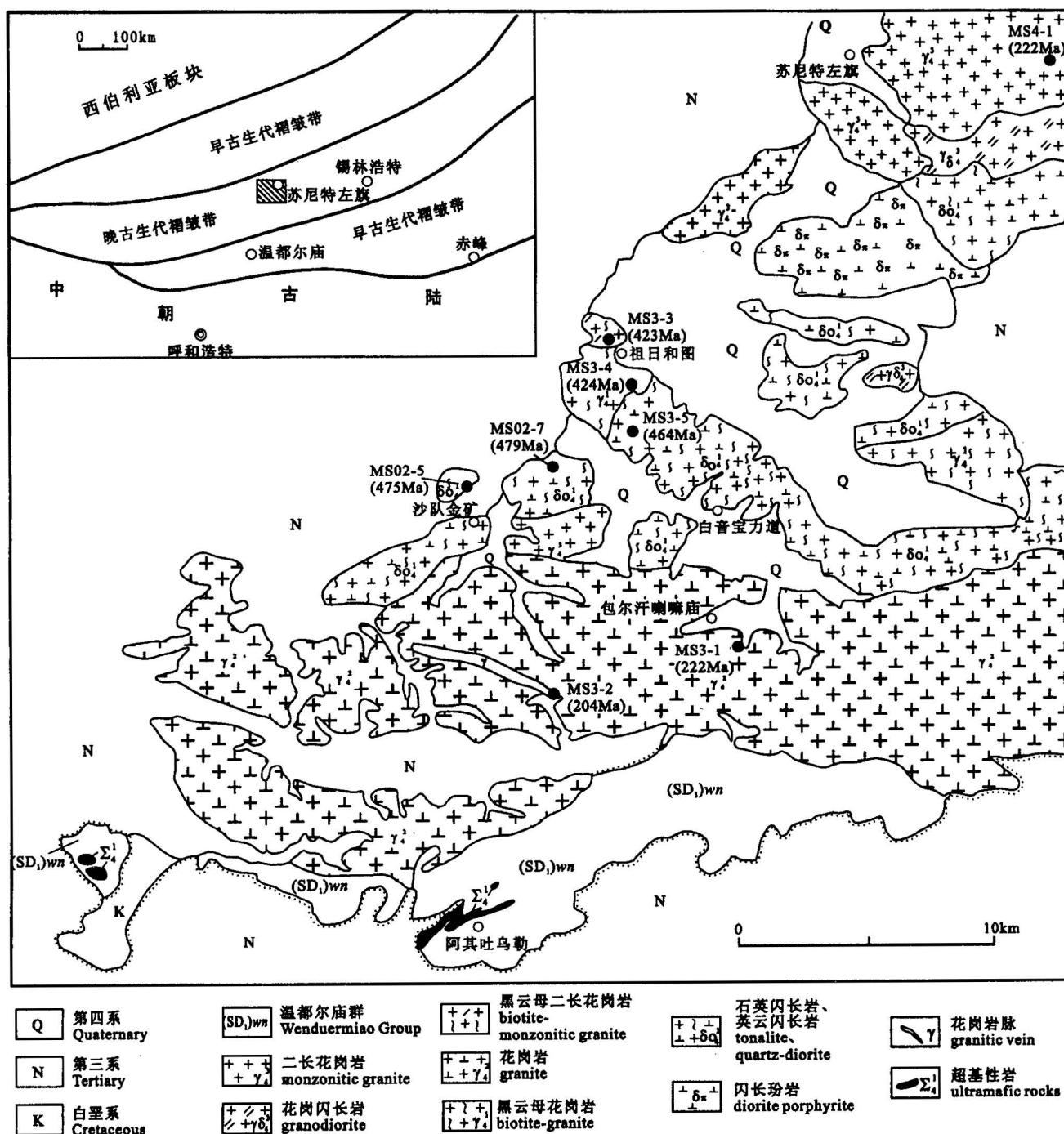


图 1 内蒙古苏左旗地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Suwoqi area, Inner Mongolia

2 SHRIMP U-Pb 定年研究

2.1 分析方法

锆石按常规方法分选, 最后在双目镜下挑纯。将锆石与数粒标准锆石 TEM 置于环氧树脂中, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露, 用于阴极发光及随后

的 SHRIMP U-Pb 分析。阴极发光研究在中国地质科学院矿床地质研究所电子探针研究室完成。

锆石 SHRIMP U-Pb 分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成, 详细分析流程和原理参考 Williams 等(1987)、Compston 等(1992)、刘敦一等(2003)和简平等(2003)的文章。应用标准锆石 TEM

表 1 岩石样品特征描述

Table 1 The description of the rock samples

样号	采样位置	岩石名称	矿物组合	副矿物	年龄(Ma)	化学类型
MS02-5	N43°38'49.1" E113°29'24.6"	石英闪长岩	斜长石(70%±)、石英(15%±)、蚀变铁镁矿物(10~15%)	锆石、磷灰石、钛铁矿、电气石	475±6	拉斑玄武岩系列
MS02-7	N43°39'21.3" E113°32'18.6"	英云闪长岩	斜长石(60~65%±)、石英(25%±)、蚀变铁镁矿物(10~15%)	锆石、磷灰石、榍石	479±8	钙碱性系列
MS3-5	N43°40'19.6" E113°35'19.6"	英云闪长岩	斜长石(65%±)、石英(25%±)、蚀变铁镁矿物(10%±)	锆石、磷灰石、榍石	464±8	钙碱性系列
MS3-3	N43°42'47.1" E113°34'28.1"	含黑云母二长花岗岩	斜长石(50%±)、钾长石(30%±)、石英(20%±)、黑云母(<5%)	锆石、磷灰石	423±8	高钾钙碱性系列
MS3-4	N43°41'39.8" E113°35'27.1"	黑云母花岗岩	钾长石(45%±)、斜长石(25%±)、石英(25%±)、黑云母(5%±)	锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿	424±10	高钾钙碱性系列
MS3-1	N43°34'14.0" E113°39'40.5"	花岗岩	斜长石(40%±)、钾长石(35%±)、石英(20%±)、黑云母(4%±)、少量绿帘石、白云母	锆石、磷灰石	222±6	钾玄岩系列
MS3-2	N43°33'01.9" E113°33'24.3"	花岗岩	钾长石(55%±)、石英(25%±)、斜长石(15%±)、少量白云母、黑云母	锆石	204±12	钾玄岩系列
MS4-1	N43°50'06.2" E113°52'16.6"	二长花岗岩	钾长石(40%±)多为条纹长石、斜长石(25%±)、石英(30%±)、黑云母(<5%)	锆石	222±4	高钾钙碱性系列

(417 Ma)进行元素间的分馏校正,Pb/U 校正公式采用 $Pb/U = A(UO/U)^2$ (Claoue-Long et al, 1995)。应用另一标准锆石 SL13(年龄为 572 Ma,U 含量为 238×10^{-6})标定所测锆石的 U,Th 和 Pb 含量。数据处理采用澳大利亚国立大学 PRAWN 程序 (Williams et al., 1996)。普通铅根据实测 ^{204}Pb 校正。下列数据表中所列单个数据点的误差均为 1σ 。采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均年龄值,其误差为 2σ 。

2.2 分析结果

2.2.1 石英闪长岩(MS02-5)

该岩石样品中的锆石大都呈短柱—长柱状,半透明、黄褐色,从锆石的阴极发光照片中可看到其发育清楚的韵律环带结构,是岩浆锆石的特征。16个锆石 SHRIMP U-Pb 分析(表3)给出基本一致的年龄, $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围为 450~490 Ma。在一致曲线图中,数据点集中分布于一致曲线上或其附近(图2a), $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 475±6 Ma ($N=16$, chi square(χ^2)=0.7363)。

2.2.2 英云闪长岩(MS02-7)

英云闪长岩中的锆石大都呈长柱状或短柱状,半透明、淡黄色。锆石的阴极发光照片可以看到韵律环带结构,具有岩浆锆石的典型结构。英云闪长岩的 15 个锆石 SHRIMP U-Pb 分析列于表3 中,给出的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围为 463~494 Ma。在一致曲线图中,数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图2b), $^{206}Pb/^{238}U$ 比值年龄的加权平均值为 479±8 Ma ($N=15$, chi square=0.3835)。

2.2.3 英云闪长岩(MS3-5)

该英云闪长岩中的锆石大都呈等粒或短柱状,半透明、黄褐色。英云闪长岩的 18 个锆石 SHRIMP U-Pb 分析列于表3 中,除分析 13.1 (654 Ma) 外,17 个分析给出的年龄为 385~479 Ma,大多数集中于约 454~473 Ma 的范围内,年龄较小的分析为受过后期地质作用影响的晶域,但由于增生较薄,这次研究未得出变质时代的精确年龄。在一致曲线图中,数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图 2c), $^{206}Pb/^{238}U$ 比值年龄的加权平均值为 464±8 Ma ($N=9$, chi square=0.2495),图中阴影区为这 9 个点的分布区。

2.2.4 含黑云母二长花岗岩(MS3-3)

该含黑云母二长花岗岩中的锆石大都呈等粒或短柱状,半透明、黄褐色。

该花岗岩中锆石的 15 个 SHRIMP U-Pb 分析列于表3 中,除分析 6.1 (369 Ma)、7.1 (380 Ma)、12.1 (372 Ma) 外,12 个分析给出的年龄在 413~438 Ma 的范围内。在一致曲线图中,数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图 2d), $^{206}Pb/^{238}U$ 比值年龄加权平均值为 423±8 Ma ($N=12$, Chi square=0.5268)。

年龄较小的分析可能是后期岩浆-热液事件影响的结果,这次研究未得出该后期地质作用时代的精确年龄。

2.2.5 黑云母花岗岩(MS3-4)

黑云母花岗岩中的锆石大都呈长柱状或短柱状,不透明、黄褐色,表面粗糙,有明显熔蚀现象。

表 2 苏左旗地区花岗质岩石的主元素氧化物(%)、微量元素和稀土元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 2 The whole rock analyses of major(%)、trace and rare-earth elements($\times 10^{-6}$) of Suzuoqi granites

样号	MS02-5	MS02-7	MS3-5	MS3-3	MS3-4	MS3-1	MS4-1
岩性	石英 闪长岩	英云 闪长岩	英云 闪长岩	含黑云二 长花岗岩	黑云母 花岗岩	花岗岩	二长 花岗岩
SiO ₂	61.58	61.13	61.62	75.32	76.25	68.04	75.88
TiO ₂	0.39	0.42	0.41	0.14	0.13	0.18	0.06
Al ₂ O ₃	17.32	17.05	16.56	12.66	12.11	16.92	12.81
Fe ₂ O ₃	6.68	5.88	5.62	1.81	1.44	1.74	1.02
FeO	3.90	2.42	1.95	0.80	0.38	0.35	0.58
MnO	0.13	0.14	0.14	0.05	0.04	0.05	0.05
MgO	2.40	2.34	2.27	0.56	0.21	0.32	0.02
CaO	4.38	5.69	5.78	0.37	0.64	0.39	0.54
Na ₂ O	4.86	3.56	3.08	3.64	2.69	5.04	3.69
K ₂ O	0.4	1.34	1.74	4.21	5.46	6.35	4.97
P ₂ O ₅	0.15	0.19	0.18	0.08	0.05	0.12	0.01
烧失量	1.90	1.84	2.78	0.85	0.49	0.90	0.46
总量	100.19	99.58	100.18	99.69	99.51	100.05	99.51
Na ₂ O	12.2	2.66	1.77	0.86	0.49	0.79	0.74
K ₂ O							
Sc	9.9	12.8	13.4	1.56	0.88	2.75	1.47
Cr	12	21	82	12	11	13	8
Ni	4.5	10.3	18	3.9	3.5	3.1	1.6
Co	14.1	12.1	10.6	3.33	1.93	2.15	1.12
V	80	115	107	22.8	15.4	26.9	3.75
Rb	12.29	32.26	42.09	112.2	208.8	275.6	370.5
Cs	0.567	0.55	0.8	3.22	8.44	11.54	13.28
Ba	148.7	685	862.4	1198	517.3	857.7	17.24
Sr	165	649	604	218	174	170	8.99
Ta	0.18	0.24	0.23	0.44	0.45	0.75	1.84
Nb	2.46	3.64	3.2	5.41	6.73	6.14	12.6
Hf	2.49	2.43	2.43	3.57	4.17	5.7	6.39
Zr	82.6	84.8	81.9	116.3	133	172	127
Y	16.1	16.2	14.5	7.38	4.16	15.8	80
Th	3.93	3.78	2.76	28.31	43.35	29.15	51.9
U	1.19	1.00	1.05	2.29	1.88	11.87	3.56
La	8.44	10.92	7.35	19.67	17.86	39.2	29.6
Ce	14.5	22.7	17.01	42.3	28.1	66.2	70.1
Pr	2.21	2.85	2.11	4.01	3.27	7.98	11.1
Nd	9.21	11.85	9.03	12.79	10.28	26.9	48.1
Sm	2.19	2.67	2.32	1.93	1.45	4.59	15.0
Eu	0.71	0.84	0.77	0.55	0.60	0.9	0.19
Gd	2.20	2.57	2.26	1.79	1.24	4.04	14.3
Tb	0.40	0.42	0.38	0.23	0.16	0.53	2.36
Dy	2.46	2.39	2.26	1.19	0.75	2.64	12.2
Ho	0.54	0.52	0.51	0.23	0.14	0.52	2.44
Er	1.60	1.52	1.39	0.68	0.41	1.45	6.40
Tm	0.27	0.25	0.23	0.11	0.064	0.22	1.01
Yb	1.86	1.64	1.61	0.82	0.47	1.48	6.61
Lu	0.33	0.27	0.28	0.15	0.081	0.25	1.04
Σ REE	46.90	61.42	47.51	86.45	64.875	156.9	220.45
$(\frac{La}{Yb})_N$	2.99	4.38	3.01	16	25	17.5	2.95
δ Eu	0.99	0.99	1.03	0.92	1.37	0.64	0.04

注: 主要元素、微量元素包括 REE 分别在西北大学大陆动力学开放实验室用 XRF 法分析, 及 ICP-MS 法分析。

黑云母花岗岩中锆石的15个SHRIMP U-Pb分析列于表3中, 除分析1.1(303 Ma)、3.1(373 Ma)、5.1(339 Ma)、11.1(333 Ma)、12.1(391 Ma)和10.1(467 Ma)外, 10个分析给出的年龄在414~449 Ma的范围内。在一致曲线图中, 数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图2e), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值年龄的加权平均值为424±10 Ma ($N=10$, Chi square = 1.4237)。1.1(303 Ma)、3.1(373 Ma)、5.1(339 Ma)、11.1(333 Ma)、12.1(391 Ma)这几个点的分析结果可能也代表了后期岩浆-热事件的影响, 而10.1(467 Ma)则可能代表了残留锆石的年龄。

2.2.6 花岗岩(MS3-1)

该岩石样品中的锆石大都呈等粒或柱状, 透明或半透明、淡黄色。

该花岗岩中锆石的15个SHRIMP U-Pb分析列于表3中, 除分析7.1(678 Ma)、15.1(748 Ma)外, 13个分析给出的年龄在201~233 Ma的范围内。在一致曲线图中, 数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图2f), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值年龄的加权平均值为222±6 Ma ($N=12$, Chi square = 1.3)。

年龄较大的分析可能代表了残留锆石的年龄。

2.2.7 花岗岩(MS3-2)

该花岗岩中的锆石大都呈等粒或柱状, 透明、淡黄色。

该岩石样品的13个锆石SHRIMP U-Pb分析列于表3中, 除分析2.1(168 Ma)、5.1(265 Ma)外, 11个分析给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值年龄在198~238 Ma的范围内。在一致曲线图中, 数据点集中分布于一致曲线上或其附近(图2g), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值年龄的加权平均值为204±12 Ma ($N=11$, Chi square = 0.7661)。

2.2.8 二长花岗岩(MS4-1)

二长花岗岩中的锆石大都呈等粒或短柱状, 半透明、淡黄色。

二长花岗岩中锆石的21个SHRIMP U-Pb分析列于表3中, 21个分析给出的年龄在203~232 Ma的范围内。在一致曲线图中, 数据点成群分布于一致曲线上或其附近(图2h), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值年龄的加权平均值为222±4 Ma ($N=21$, Chi square = 1.1668)。

表 3 苏左旗地区花岗质岩石的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素分析结果

Table 3 SHRIMP U-Pb data of zircons from the Suozuoqi granites

点号	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	Pb* ($\times 10^{-6}$)	$^{206}\text{Pb}_{\text{c}}$ (%)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	±	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	±	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	±	^{206}Pb 年龄 $\frac{1}{^{238}\text{U}} (\text{Ma})$	±	^{207}Pb 年龄 $\frac{1}{^{235}\text{U}} (\text{Ma})$	±	^{207}Pb 年龄 $\frac{1}{^{206}\text{Pb}} (\text{Ma})$	±
石英闪长岩(MS02-5)																	
1.1	174	54	0.31	13	—	0.0743	0.0028	0.59	0.03	0.0571	0.0017	462	17	468	19	496	65
2.1	169	52	0.31	13	0.01	0.0765	0.0018	0.55	0.04	0.0519	0.0030	475	11	443	24	280	139
3.1	446	224	0.50	35	—	0.0755	0.0024	0.58	0.02	0.0561	0.0011	469	15	467	15	455	42
4.1	433	173	0.40	36	—	0.0805	0.0017	0.62	0.02	0.0561	0.0010	499	10	492	11	457	40
5.1	118	33	0.28	8	0.01	0.0722	0.0035	0.54	0.04	0.0543	0.0031	450	21	439	28	383	133
6.1	284	99	0.35	21	—	0.0746	0.0022	0.55	0.03	0.0538	0.0017	464	13	447	17	363	71
7.1	232	98	0.42	18	—	0.0751	0.0022	0.56	0.02	0.0536	0.0016	467	13	448	16	355	67
8.1	255	100	0.39	20	—	0.0775	0.0022	0.59	0.03	0.0550	0.0016	481	13	470	16	414	67
9.1	435	206	0.47	34	—	0.0754	0.0018	0.57	0.02	0.0552	0.0013	469	11	461	13	420	53
10.1	326	157	0.48	26	—	0.0774	0.0018	0.59	0.02	0.0550	0.0010	481	11	469	12	414	42
11.1	230	68	0.29	17	—	0.0751	0.0017	0.57	0.03	0.0550	0.0023	467	10	457	18	411	95
12.1	208	85	0.41	17	—	0.0789	0.0054	0.63	0.05	0.0577	0.0026	490	32	495	34	520	103
13.1	629	382	0.61	52	—	0.0769	0.0016	0.59	0.02	0.0556	0.0011	477	10	470	12	435	46
14.1	210	62	0.29	16	—	0.0763	0.0020	0.59	0.02	0.0559	0.0013	474	12	469	14	447	54
15.1	216	72	0.34	16	—	0.0767	0.0020	0.57	0.03	0.0543	0.0019	476	12	461	17	383	79
16.1	272	84	0.31	21	—	0.0771	0.0021	0.56	0.02	0.0526	0.0015	478	13	451	15	313	68
英云闪长岩(MS02-7)																	
1.1	73	30	0.41	6	—	0.0797	0.0026	0.640	0.04	0.0583	0.0033	494	16	503	28	540	130
2.1	57	19	0.33	4	0.01	0.0755	0.0028	0.550	0.06	0.0528	0.0051	470	17	445	40	321	238
3.1	147	53	0.36	12	0.01	0.0795	0.0025	0.553	0.04	0.0504	0.0036	493	15	447	30	216	172
4.1	97	30	0.31	7	—	0.0753	0.0024	0.586	0.03	0.0564	0.0022	468	15	468	21	469	91
5.1	151	62	0.41	12	0.01	0.0767	0.0026	0.511	0.05	0.0483	0.0037	477	16	420	31	116	173
6.1	124	49	0.40	10	0.01	0.0779	0.0024	0.531	0.041	0.0494	0.0033	484	15	433	28	167	160
7.1	119	45	0.38	9	0.01	0.0744	0.0026	0.580	0.040	0.0565	0.0032	463	16	465	27	474	129
8.1	152	71	0.46	12	0.01	0.0791	0.0024	0.569	0.041	0.0522	0.0032	491	15	458	27	294	146
9.1	114	41	0.36	9	0.01	0.0760	0.0024	0.517	0.051	0.0494	0.0044	472	15	423	35	165	196
10.1	76	27	0.36	6	—	0.0763	0.0027	0.566	0.037	0.0538	0.0027	472	16	456	25	363	119
11.1	129	48	0.37	10	—	0.0781	0.0029	0.571	0.045	0.0530	0.0034	485	17	459	30	331	154
12.1	186	77	0.42	15	0.01	0.0784	0.0026	0.548	0.034	0.0507	0.0025	487	16	444	23	225	116
13.1	178	94	0.53	14	—	0.0769	0.0022	0.531	0.037	0.0501	0.0030	474	14	433	25	198	144
14.1	111	44	0.40	9	0.01	0.0774	0.0024	0.467	0.050	0.0438	0.0043	481	15	390	36	0	0
15.1	105	44	0.42	8	0.01	0.0765	0.0024	0.529	0.055	0.0501	0.0048	476	15	431	38	201	209
含黑云母二长花岗岩(MS3-3)																	
1.1	665	456	0.69	50	—	0.0696	0.0020	0.510	0.018	0.0531	0.0009	434	12	419	13	336	42
2.1	1070	736	0.69	78	—	0.0665	0.0023	0.507	0.019	0.0553	0.0007	415	14	417	14	427	32
3.1	1002	655	0.66	73	—	0.0672	0.0019	0.501	0.017	0.0541	0.0009	419	12	413	12	378	39
4.1	250	317	1.27	21	—	0.0661	0.0017	0.486	0.025	0.0534	0.0023	413	11	403	18	348	102
5.1	937	712	0.76	69	—	0.0669	0.0019	0.516	0.017	0.0559	0.0008	418	12	423	12	450	34
6.1	1053	684	0.65	67	—	0.0588	0.0017	0.447	0.016	0.0551	0.0010	369	11	376	12	420	44
7.1	556	832	1.50	44	0.01	0.0606	0.0018	0.450	0.019	0.0538	0.0014	380	12	378	14	366	60
8.1	731	482	0.66	55	—	0.0702	0.0018	0.542	0.017	0.0560	0.0010	438	11	440	12	454	41
9.1	977	527	0.54	70	—	0.0684	0.0018	0.519	0.017	0.0550	0.0010	427	11	425	12	414	42
10.1	350	260	0.74	25	0.01	0.0662	0.0018	0.477	0.020	0.0522	0.0016	414	11	397	15	297	72
11.1	908	508	0.56	65	—	0.0685	0.0019	0.508	0.017	0.0538	0.0008	428	12	418	12	363	37
12.1	287	416	1.45	22	—	0.0593	0.0022	0.452	0.036	0.0553	0.0037	372	14	379	26	428	160
13.1	738	561	0.76	56	—	0.0687	0.0021	0.523	0.019	0.0552	0.0011	429	13	428	14	424	45
14.1	978	746	0.76	75	—	0.0685	0.0019	0.509	0.016	0.0539	0.0007	428	12	419	12	368	30
15.1	543	340	0.63	39	0.01	0.0672	0.0015	0.484	0.018	0.0523	0.0014	419	10	402	13	300	62

续表3

点号	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$\frac{Th}{U}$	Pb* ($\times 10^{-6}$)	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	±	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	±	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	±	^{206}Pb 年龄 $\frac{^{238}\text{U}}{\text{Ma}}$	±	^{207}Pb 年龄 $\frac{^{235}\text{U}}{\text{Ma}}$	±	^{207}Pb 年龄 $\frac{^{206}\text{Pb}}{\text{Ma}}$	±
英云闪长岩(MS3-5)																	
1.1	153	92	0.60	12	0.01	0.0745	0.0021	0.563	0.037	0.0548	0.0030	464	13	454	25	405	129
2.1	112	40	0.36	8	0.01	0.0729	0.0024	0.518	0.051	0.0515	0.0046	454	15	424	35	265	219
3.1	122	61	0.50	9	0.02	0.0717	0.0027	0.437	0.044	0.0442	0.0040	446	16	369	32	0	0
4.1	212	102	0.48	14	—	0.0627	0.0023	0.475	0.031	0.0549	0.0027	392	15	395	22	409	112
5.1	102	36	0.35	8	0.02	0.0770	0.0021	0.463	0.053	0.0436	0.0047	479	13	387	35	0	0
6.1	152	66	0.44	12	0.01	0.0761	0.0023	0.571	0.033	0.0545	0.0025	473	14	459	22	391	108
7.1	150	71	0.47	11	0.01	0.0738	0.0018	0.558	0.043	0.0549	0.0039	459	11	451	29	408	167
8.1	140	70	0.50	11	0.01	0.0761	0.0020	0.549	0.041	0.0523	0.0035	473	13	445	28	300	162
9.1	80	37	0.45	6	0.01	0.0746	0.0021	0.541	0.046	0.0526	0.0041	464	13	439	31	312	187
10.1	150	98	0.66	12	—	0.0704	0.0024	0.537	0.033	0.0553	0.0026	439	15	437	23	426	111
11.1	165	65	0.40	12	—	0.0746	0.0024	0.553	0.033	0.0537	0.0025	464	15	447	22	359	108
12.1	179	78	0.43	13	0.01	0.0739	0.0020	0.543	0.036	0.0533	0.0031	460	12	441	25	341	137
13.1	221	79	0.36	24	—	0.1067	0.0031	1.146	0.043	0.0779	0.0016	654	18	776	21	1144	43
14.1	233	171	0.73	20	—	0.0760	0.0031	0.616	0.033	0.0587	0.0017	473	19	488	21	558	64
15.1	184	184	1.00	13	0.01	0.0640	0.0022	0.443	0.037	0.0502	0.0036	400	14	373	27	207	176
16.1	137	81	0.59	10	0.01	0.0688	0.0019	0.485	0.064	0.0512	0.0064	429	12	402	45	248	264
17.1	288	129	0.45	18	—	0.0615	0.0021	0.444	0.026	0.0524	0.0023	385	13	374	19	303	102
18.1	185	127	0.69	13	0.02	0.0678	0.0018	0.431	0.059	0.0461	0.0060	423	11	364	43	8	284
黑云母花岗岩(MS3-4)																	
1.1	1474	1152	0.78	78	—	0.0481	0.0016	0.332	0.019	0.0500	0.0021	303	10	291	14	195	99
2.1	576	498	0.86	43	0.01	0.0664	0.0052	0.475	0.042	0.0519	0.0017	415	31	395	29	280	77
3.1	1049	328	0.31	62	0.01	0.0595	0.0024	0.459	0.023	0.0560	0.0014	373	15	384	16	453	57
4.1	1314	398	0.30	91	0.01	0.0709	0.0023	0.532	0.021	0.0545	0.0011	442	14	433	14	390	47
5.1	1171	490	0.42	64	—	0.0540	0.0016	0.403	0.019	0.0541	0.0018	339	10	344	14	377	78
6.1	1553	614	0.39	107	0.01	0.0689	0.0057	0.522	0.047	0.0549	0.0014	430	35	426	32	409	58
7.1	1665	699	0.42	116	—	0.0680	0.0020	0.510	0.017	0.0544	0.0008	424	12	418	12	388	32
8.1	795	398	0.50	57	0.01	0.0685	0.0026	0.527	0.025	0.0558	0.0014	428	16	430	17	444	55
9.1	654	87	0.13	42	—	0.0685	0.0019	0.501	0.018	0.0531	0.0011	427	11	412	12	332	47
10.1	639	244	0.38	48	—	0.0752	0.0043	0.559	0.043	0.0540	0.0025	467	26	451	28	369	106
11.1	1474	691	0.47	80	—	0.0529	0.0018	0.412	0.023	0.0564	0.0023	333	11	350	17	469	93
12.1	1422	689	0.48	90	0.02	0.0625	0.0022	0.488	0.025	0.0566	0.0018	391	14	404	17	477	73
4.2	554	236	0.42	37	0.01	0.0664	0.0024	0.486	0.029	0.0531	0.0024	414	14	402	20	333	105
13.1	837	318	0.38	61	—	0.0722	0.0021	0.542	0.022	0.0545	0.0014	449	13	440	15	390	57
14.1	1133	584	0.52	79	0.01	0.0665	0.0023	0.495	0.028	0.0541	0.0023	415	14	409	19	373	97
花岗岩(MS3-1)																	
1.1	366	231	0.63	13	0.01	0.0327	0.0015	0.205	0.015	0.0453	0.0023	208	10	189	13	0	0
2.1	486	258	0.53	19	—	0.0368	0.0013	0.256	0.011	0.0506	0.0012	233	8	232	10	221	58
3.1	1578	826	0.52	53	—	0.0317	0.0011	0.246	0.014	0.0563	0.0023	202	7	224	12	465	93
4.1	808	281	0.35	30	—	0.0368	0.0012	0.257	0.010	0.0506	0.0008	233	8	232	9	221	39
5.1	1514	1005	0.66	62	—	0.0367	0.0013	0.306	0.012	0.0606	0.0007	232	9	272	10	626	26
6.1	1054	531	0.50	38	—	0.0344	0.0012	0.240	0.010	0.0505	0.0010	219	8	219	9	220	46
7.1	1430	492	0.34	165	—	0.1109	0.0039	1.026	0.037	0.0671	0.0004	678	23	718	19	842	12
8.1	1120	657	0.59	42	—	0.0353	0.0013	0.249	0.010	0.0513	0.0006	224	8	227	8	255	27
9.1	973	573	0.59	35	0.01	0.0337	0.0011	0.254	0.012	0.0547	0.0015	214	7	230	10	401	63
10.1	1283	785	0.61	49	—	0.0359	0.0014	0.246	0.011	0.0497	0.0009	228	9	224	9	183	43
11.1	1568	62	0.04	48	—	0.0334	0.0013	0.243	0.010	0.0528	0.0007	212	8	221	9	322	31
12.1	1052	577	0.55	38	—	0.0339	0.0012	0.249	0.011	0.0532	0.0014	215	8	226	10	337	60
13.1	1160	471	0.41	40	0.01	0.0344	0.0012	0.230	0.011	0.0484	0.0015	219	8	210	10	120	73
14.1	1807	2276	1.26	84	—	0.0365	0.0014	0.248	0.012	0.0492	0.0010	231	9	225	10	158	50
15.1	567	214	0.38	75	—	0.1230	0.0043	2.428	0.090	0.1432	0.0013	748	25	1251	27	2267	16

续表 3

点号	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Th/U	Pb * ($\times 10^{-6}$)	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	^{206}Pb ^{238}U	±	^{207}Pb ^{235}U	±	^{207}Pb ^{206}Pb	±	^{206}Pb 年龄 ^{238}U (Ma)	±	^{207}Pb 年龄 ^{235}U (Ma)	±	^{207}Pb 年龄 ^{206}Pb (Ma)	±
花岗岩(MS3-2)																	
1.1	707	36	0.01	99	0.01	0.0362	0.0031	0.246	0.023	0.0493	0.0012	229	20	224	19	162	59
2.1	1315	189	0.08	58	0.04	0.0264	0.0026	0.178	0.021	0.0490	0.0025	168	17	167	18	148	123
3.1	1351	56	0.02	81	—	0.0336	0.0039	0.235	0.028	0.0507	0.0010	213	25	215	24	227	46
4.1	1686	106	0.03	106	0.03	0.0312	0.0027	0.214	0.026	0.0498	0.0037	199	17	198	22	187	178
5.1	2015	338	0.48	31	0.01	0.0419	0.0043	0.276	0.034	0.0478	0.0028	265	27	248	28	92	132
6.1	2448	1279	0.50	101	—	0.0376	0.0034	0.265	0.025	0.0511	0.0009	238	21	239	20	248	43
7.1	2518	1014	0.75	48	0.03	0.0313	0.0028	0.258	0.029	0.0598	0.0037	199	18	234	24	596	138
8.1	2547	783	0.60	45	0.02	0.0312	0.0031	0.273	0.031	0.0635	0.0032	199	19	246	26	724	110
9.1	2616	587	0.35	59	0.03	0.0341	0.0034	0.290	0.035	0.0618	0.0034	216	22	259	28	668	121
10.1	2644	223	0.11	60	0.01	0.0316	0.0029	0.250	0.026	0.0575	0.0019	201	19	227	21	512	73
11.1	2677	221	0.09	72	0.03	0.0309	0.0034	0.246	0.042	0.0577	0.0068	197	22	224	35	518	284
12.1	3023	1356	0.52	84	0.02	0.0027	0.266	0.038	0.0645	0.0066	190	17	240	31	759	231	
13.1	3749	911	0.34	80	0.02	0.0286	0.0027	0.230	0.030	0.0583	0.0045	182	17	210	25	543	177
二长花岗岩(MS4-1)																	
1.1	536	230	0.43	19	0.01	0.0354	0.0012	0.230	0.012	0.0471	0.0017	225	8	211	11	55	86
2.1	717	359	0.50	26	0.01	0.0358	0.0009	0.233	0.010	0.0472	0.0014	227	6	213	8	59	70
3.1	702	365	0.52	26	—	0.0351	0.0013	0.255	0.013	0.0526	0.0016	223	8	231	11	311	70
4.1	140	59	0.42	5	0.01	0.0338	0.0011	0.231	0.019	0.0496	0.0035	215	7	211	16	176	167
5.1	510	189	0.37	17	—	0.0339	0.0017	0.246	0.014	0.0526	0.0015	215	11	224	12	313	64
6.1	553	283	0.51	21	0.01	0.0366	0.0009	0.249	0.010	0.0492	0.0014	232	6	226	8	159	67
7.1	695	329	0.47	26	0.01	0.0357	0.0010	0.234	0.010	0.0475	0.0015	227	7	214	9	75	74
8.1	383	160	0.42	14	—	0.0353	0.0010	0.250	0.010	0.0514	0.0014	224	7	227	9	260	62
9.1	495	220	0.45	18	—	0.0355	0.0009	0.249	0.009	0.0509	0.0011	226	6	226	7	236	52
10.1	1662	516	0.31	60	—	0.0361	0.0010	0.255	0.008	0.0511	0.0007	229	6	231	7	246	33
11.1	748	459	0.61	29	—	0.0361	0.0009	0.257	0.009	0.0516	0.0010	229	6	233	8	269	47
12.1	472	219	0.46	17	—	0.0352	0.0010	0.234	0.010	0.0482	0.0014	223	6	214	9	111	70
13.1	964	341	0.35	35	—	0.0359	0.0013	0.247	0.010	0.0498	0.0009	228	8	224	9	188	42
14.1	590	253	0.43	19	0.01	0.0319	0.0022	0.206	0.018	0.0469	0.0024	203	14	191	16	42	116
15.1	152	135	0.89	7	0.01	0.0320	0.0011	0.605	0.034	0.1372	0.0055	203	7	481	22	2192	71
16.1	692	433	0.63	26	—	0.0345	0.0012	0.257	0.012	0.0541	0.0016	219	8	233	10	376	67
17.1	160	66	0.41	5	—	0.0333	0.0013	0.246	0.014	0.0536	0.0020	211	9	224	12	354	89
18.1	404	94	0.23	14	0.01	0.0353	0.0010	0.251	0.013	0.0515	0.0022	224	7	228	11	263	99
19.1	439	243	0.55	16	0.01	0.0356	0.0009	0.265	0.014	0.0539	0.0023	226	6	239	12	367	99
20.1	544	234	0.43	19	0.01	0.0355	0.0009	0.245	0.010	0.0501	0.0016	225	6	223	9	202	75
21.1	959	370	0.39	35	—	0.0366	0.0009	0.254	0.009	0.0503	0.0011	232	6	230	7	210	50

注:(1) $^{206}\text{Pb}(\%)$ c 指普通铅中的 ^{206}Pb 占全铅 ^{206}Pb 的百分数; (2) 应用实测 ^{204}Pb 校正普通铅; (3) 表中所有误差为 1σ 。所有数据在中国地质科学院地质所北京离子探针中心测定。

3 讨论

研究表明, 标准埃达克岩的 Yb 含量 $<1.9\mu\text{g/g}$, Sr $>400\mu\text{g/g}$, Y $<18\mu\text{g/g}$, Sr/Y >40 。白音宝力道岩体由角闪闪长岩、石英闪闪长岩、花岗闪闪长岩和英云闪闪长岩组成。早期的富钠花岗岩(479~464 Ma)具有埃达克岩的地球化学特征, 3件样品的 SiO_2 含量 $\geq 56\%$ ($61.1\% \sim 61.6\%$), $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$ ($16.6\% \sim 17.1\%$), $\text{MgO} < 3\%$ (2.3%), $\text{Na}_2\text{O} > 3\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.8 \sim 2.7$ (平均 2.2), 为富钠质的花岗岩类,

属于钙碱性系列。球粒陨石标准化的稀土配分曲线为 LREE 富集型, 无 Eu 异常 ($\text{Eu}^*/\text{Eu} = 0.99 \sim 1.03$), 亏损 HREE。两件花岗岩(MS02-7)的 Yb 含量为 $1.61\mu\text{g/g}$ 和 $1.64\mu\text{g/g}$, Sr = $604 \sim 649\mu\text{g/g}$, Y $< 18\mu\text{g/g}$, Sr/Y = $40 \sim 42$; 在微量元素蛛网图上具明显的 Sr 正异常, 上述特征均类似于埃达克岩的地球化学特征(Defant et al., 1990; Drummond et al., 1996; 王焰等, 2000; 张旗等, 2001a,b,c)。

白音宝力道较晚期的富钾花岗岩(423~424 Ma)其地球化学特征与 Rottura 等(1998)、Griffin 等

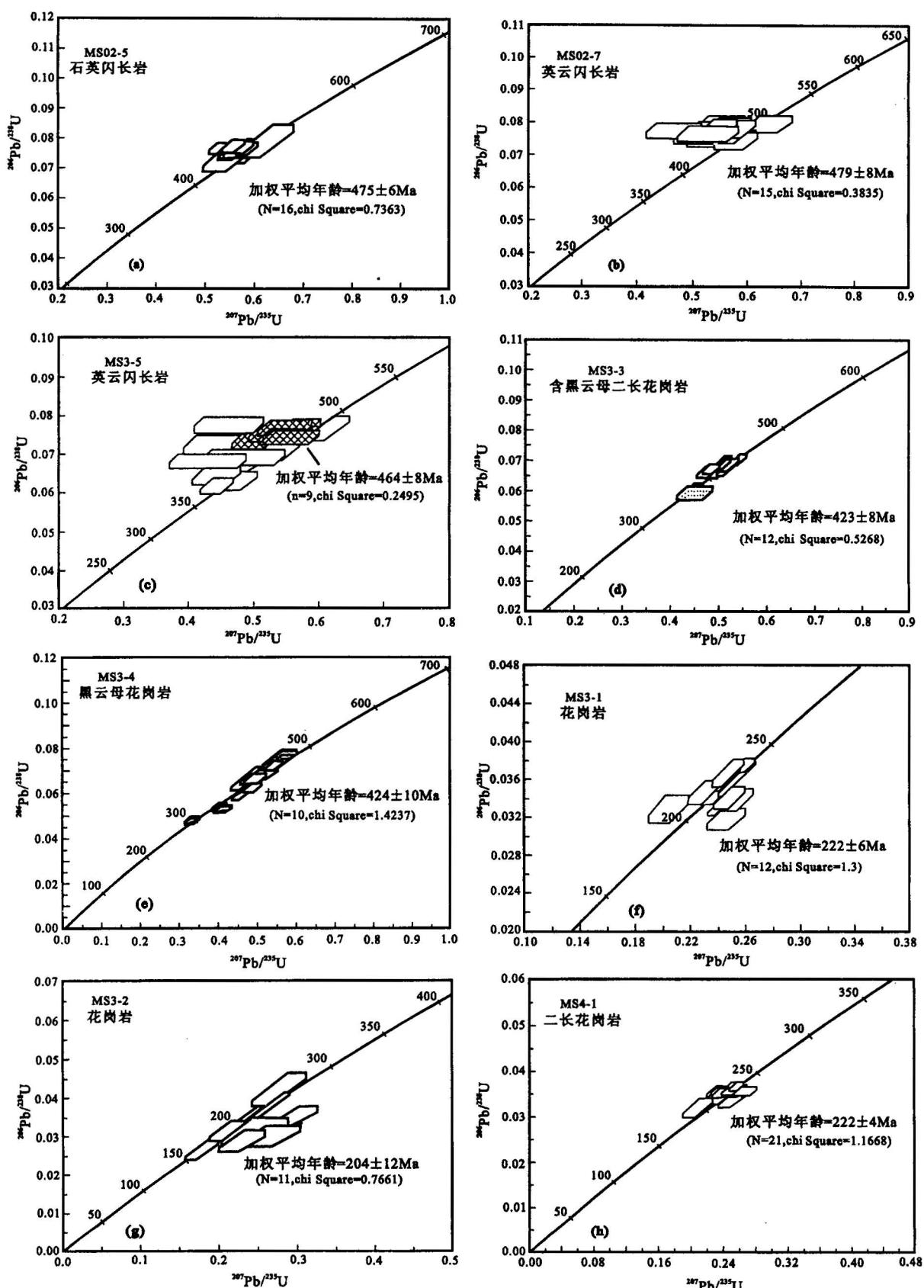


图 2 苏左旗地区花岗质岩石的锆石 SHRIMP U-Pb 一致曲线图

Fig. 2 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircons from the Suzuoqi granites

(2000)所报道的高钾碰撞后花岗岩的特征相类似。两件样品的 SiO_2 含量分别为 75.32% 和 76.25%， K_2O 的含量为 4.21% 及 5.46%， $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ，属于富钾质的花岗岩类，在 Si-K 图中属于高钾钙碱性系列。球粒陨石标准化的稀土配分曲线为向右倾斜的 LREE 富集型；在微量元素蛛网图上具明显的 Rb、Th、Ce 正异常及 Ta、Nb、Ti 负异常，Sr 含量低，其大离子亲石元素(Ba、Rb、K、Th)的含量高于高场强元素(Zr、Y、Nb)的含量。

可以推测，早奥陶世(490~463 Ma)可能是白音宝力道岩体活动的主要时期，岩浆具有埃达克岩的特点，可能是板块俯冲到深部由热的板片部分熔融形成的(Defant et al., 1990; Martin, 1992)。据新近的资料，侵位在温都尔庙蛇绿岩中的埃达克岩的时代与白音宝力道埃达克岩大体是同时代的(467~429 Ma, 刘敦一等, 2003)，温都尔庙蛇绿岩的时代应早于 467 Ma，推测洋盆至少在寒武纪时已经出现了。423~424 Ma 的年龄可能暗示在志留纪时内蒙古地区即发生了板块的碰撞事件。

包尔汗喇嘛庙含黑云母二长花岗岩(MS3-1)、含白云母二长花岗岩(MS3-2)和黑云母花岗岩(MS4-1)属于另外一种花岗岩类型，其 SiO_2 含量在 68.04%~75.88% 之间，低 CaO (0.39%~0.54%)，富 K_2O (7.65%~4.97%)， $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ，属于富钾质的花岗岩类，在 Si-K 图中落入高钾钙碱性和钾玄岩区域。球粒陨石标准化的稀土配分曲线具明显的负 Eu 异常；稀土元素(除 Eu 外)及 Zr、Nb、Ta 含量高；Sc、Cr、Co、Ni、Ba、Sr、Eu 含量低，具 A 型花岗岩的特征(Eby, 1990)。包尔汗喇嘛庙岩体的时代(204~222 Ma)与 Wu 等(2002)报道的 Zhangguangcai Range A 型花岗岩的形成时代相一致，可能代表了造山期后的岩石圈拆沉事件。

古亚洲洋的演化是学术界关注的焦点之一(肖序常等, 1992；张旗, 2001)。国内虽然有新元古代蛇绿岩和岛弧岩浆岩的报道，但年龄资料争议较大，例如温都尔庙和苏左旗一带的蛇绿岩，早先都有新元古代的年龄报道(陈森煌等, 1991)。但是据最近的 SHRIMP 定年研究，它们都是奥陶纪的，如刘敦一等(2003)最近对本区南部温都尔庙蛇绿岩带的研究，侵入于图林凯蛇绿岩中的埃达克岩的 SHRIMP 年龄在 451~467 Ma 之间。如果认为埃达克岩的形成与热的洋壳的俯冲有关，是 <25 Ma 的板块俯冲开始时形成的，则图林凯蛇绿岩的时代应当不早于 500 Ma，属寒武—奥陶纪。二道井—查干乌拉—红

格尔混杂带目前还没有可靠的同位素定年资料，陈斌等(1996)报道的该带蓝闪石的 Ar-Ar 年龄为 481 Ma。看来，该带很可能也是奥陶纪活动的。本文及相关的研究(刘敦一等, 2003)表明，内蒙古中部地区在早—中奥陶世时洋盆非常活跃。内蒙古不仅存在早奥陶世的蛇绿岩和消减事件，而且该时期可能是内蒙古洋盆演化的重要阶段。

Tang 等(1990)曾提出内蒙古地区在早古生代出现了洋壳的俯冲，中朝古陆与西伯利亚板块的碰撞发生在泥盆纪之前，本文的结果与其推测有很好的一致性。在石炭一二叠纪，内蒙地区处于裂谷环境(Tang, 1990)，洪大卫等(1994)对西伯利亚板块南缘白音乌拉—东乌珠穆沁旗带的碱性花岗岩、施光海等(2004)对锡林浩特晶洞 A 型花岗岩进行了研究，也认为该地区可能在早二叠世时已进入了造山期后，与 Tang 等(1990)的推测结果一致。本文报道的具 A 型花岗岩特征(Eby, 1990)的包尔汗喇嘛庙岩体的时代(204~222 Ma)晚于该地区出露的碱性花岗岩的时代，但与 Wu 等(2002)报道的 Zhangguangcai Range A 型花岗岩的形成时代相一致，可能代表了造山期后的岩石圈拆沉事件。

4 结论

(1) 白音宝力道岩体是一个多期次侵入的复合岩体，主体可能是 490~464 Ma 之间侵位的，部分岩石具埃达克岩的地球化学特征，推测是洋壳俯冲的产物；随后在 424 Ma 左右该地区又发生了一次岩浆活动，产生具高钾钙碱性系列的花岗岩，可能代表了板块的碰撞事件。

(2) 包尔汗喇嘛庙岩体本次得到的年龄(222~204 Ma)表明其在晚三叠世侵位，可能代表了造山期后的岩石圈拆沉事件。

致谢 样品制备、SHRIMP 分析得到了北京离子探针中心张玉海、万渝生、宋彪和李柏等的帮助，在此表示衷心感谢。感谢吴福元教授、郝梓国研究员、徐备教授和王涛研究员给予的建设性意见。

参 考 文 献

- 陈斌, 徐备. 1996. 内蒙古苏左旗地区古生代两类花岗岩类的基本特征和构造意义. 岩石学报, 12(4):546~561.
- 陈斌, 赵国春, Simon Wilde. 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.
- 陈森煌, 刘道荣, 包志伟, 等. 1991. 华北地台北缘几个超基性岩带的侵位年代及其演化. 地球化学, 20: 128~133.
- 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 1994. 内蒙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.

- 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋盆演化的同位素年代学制约. 地质学报, 77(2): 217~228.
- 刘敦一, 简平, 张旗等. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据. 地质学报, 77(3): 317~327.
- 邵济安. 1991. 中朝板块北缘中段地壳演化. 北京大学出版社.
- 施光海, 苗来成, 张福勤, 等. 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.
- 唐克东, 张允平. 1991. 内蒙古缝合带的构造演化. 见: 肖序常, 汤耀庆主编. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京科学技术出版社, 30~54.
- 唐克东. 1992. 中朝板块北侧褶皱带构造演化及成矿规律. 北京大学出版社.
- 王焰, 张旗, 钱青. 2000. 埃达克(adakite)的地球化学特征及其构造意义. 地质科学, 35(2): 251~256.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1~169.
- 徐备, 陈斌. 1997. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中古生代造山带的结构和演化. 中国科学(D辑), 27(3): 227~232.
- 张臣, 李茂松. 1997. 内蒙古苏左旗地区晚古生代构造-岩浆活动及地壳演化特征. 高校地质学报, 3(1): 31~39.
- 张臣. 1999. 内蒙古苏尼特左旗侵入岩谱系单位划分及岩浆演化特征. 中国区域地质, 18(1): 46~53.
- 张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001a. 中国东部中生代埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. 岩石学报, 17(2): 236~244.
- 张旗, 钱青, 王二七, 等. 2001b. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36(2): 248~255.
- 张旗, 赵太平, 钱青, 王元龙, 杨进辉, 王焰. 2001c. 中国东部燕山期岩浆活动的几个问题. 岩石矿物学杂志, 20: 273~280.
- 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社, 2001.

References

- Chen Bin, Xu Bei. 1996. The main characteristics and tectonic implications of two kinds of Paleozoic granitoids in Sonidzuqi, North Inner Mongolia. *Acta Petro. Sinica*, 12(4): 546~561 (in Chinese with English abstract).
- Chen B, Jahn B M, Wilde S, Xu B. 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications. *Tectonophysics*, 328: 157~182.
- Chen Bin, Zhao Guochun, Simon Wilde. 2001. Isotopic ages and tectonic significance of subduction and collision related granitoids from Southern Suzuoqi, Inner Mongolia. *Geological Review*, 47 (4): 361~367 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shenhua, Liu Daorong, Bao Zhiwei, et al. 1991. Emplacement ages and evolution of several ultrabasic rock belts on the northern margin of the North China Platform. *Geochimica*, 20: 128~133 (in Chinese with English abstract).
- Claoue-Long J C, Compston W, Roberts J, Fanning C M. 1995. Two Carboniferous ages: a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and 40Ar/39Ar analysis, In: Berggren W A, Kent D V, Aubrey M P, Hardenbol J, eds. *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*: SEPM special publication, 5(4): 3~31.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. *J. Geol. Soc.*, 149: 171~184.
- Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347: 662~665.
- Drummond M S, Defant M J, Kepezhinskas P K. 1996. Petrogenesis of slab-derived trondhjemite-tonalite-dacite adakite magmas. *Trans R Soc Edinb Earth Sci.*, 87: 205~215.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculation on their petrogenesis. *Lithos*, 26: 115~134.
- Griffin T J, Page R W, Sheppard S, et al. 2000. Tectonic implications of Palaeoproterozoic post-collisional, high-K felsic igneous rocks from the Kimberley region of northwestern Australia. *Precambrian Research*, 101: 1~23.
- Hong Dawei, Huang Huaizeng, Xiao Yijun, et al. 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).
- Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of Carboniferous Jinshajiang ophiolite in western Yunnan and Sichuan: geochronological constraints on the evolution of the Paleo-Tethys oceanic crust. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 217~228 (in Chinese with English abstract).
- Liu D Y, Jian P, Zhang Qi, et al. 2003. SHRIMP dating of adakites in the Tulinkai ophiolite, Inner Mongolia: evidence for the early Paleozoic subduction. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 317~327 (in Chinese with English abstract).
- Martin H. 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*, 46: 411~429.
- Rottura A, Bargossi G M, Caggianelli A, et al. 1998. Origin and significance of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern Southern Alps, Italy. *Lithos*, 45: 329~348.
- Sengor A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altai tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299~307.
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, et al. 2004. SHRIMP dating and tectonic significance of A-type granite from XilinHot, Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 49(4): 384~389 (in Chinese).
- Tang K D. 1990. Tectonic development of the Paleozoic foldbelts on the northern margin of the Sino-Korean craton. *Tectonics*, 9: 249~260.
- Wang Yan, Zhang Qi, Qian Qing. 2000. Adakite: geochemical characteristics and tectonic significance. *Scientia Geologica Sinica*, 35(2): 251~256 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, I. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97: 205~217.
- Williams I S, Buick C I. 1996. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia. *J. Metamorphic Geol.*, 14: 29~47.
- Wu F Y, Sun D Y, et al. 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, 187: 143~173.
- Xu Bei, Chen Bin. 1997. The structure and evolution of a Middle-

- Paleozoic orogenic belt between the North China and Siberian Blocks, northern Inner Mongolia, China. *Science in China (Series D)*, 27(3):227~232 (in Chinese).
- Zhang Chen. 1999. Classification and evolution of the magmatic series from Sonidzuqi, northern Inner Mongolia. *Regional Geology of China*, 18(1): 46~53 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. 2001a. The characteristics and tectonic-metalogenic significances of the adakites in Yanshanian period from eastern China. *Acta Petrol. Sinica*, 17 (2): 236~244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi, et al. 2001b. An east China Plateau in mid-late Yanshanian period : implication from adakites. *Scientia Geologica Sinica*, 36 (2): 248 ~ 255 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Zhao T P, Qian Q, et al. 2001c. A Discussion on the Yanshanian magmatism in eastern China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20: 273 ~ 280 (in Chinese with English abstract).

SHRIMP Dating of Diorites and Granites in Southern Suzuoqi, Inner Mongolia

SHI Yuruo¹⁾, LIU Dunyi¹⁾, ZHANG Qi²⁾, JIAN Ping¹⁾, ZHANG Fuqin²⁾, MIAO Laicheng²⁾, SHI Guanghai²⁾, ZHANG Lüqiao³⁾, TAO Hua⁴⁾

1) Beijing SHRIMP Center, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

2) Institute of Geology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029

3) Geological Bureau of Inner Mongolia, Huhhot, 010020

4) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

High-precision SHRIMP U-Pb zircon dating of the Suzuoqi diorites and granites are reported. The analysis indicate that the Baiyinbaolidao Na-rich granitoids were formed at 464 ± 8 Ma ~ 479 ± 8 Ma. The geochemical characteristics of the Baiyinbaolidao Na-rich granitoids are similar to those of typical adakites that may represent the subduction of the oceanic crust. It is suggested that the subduction event of the Inner Mongolia took place in the Early Ordovician. The Baiyinbaolidao high-K granites whose geochemical characteristics are similar to those of the post-collisional high-K granites were formed at 423 ± 8 Ma ~ 424 ± 10 Ma, the results indicate that the collisional event of the Inner Mongolia took place in the Early Silurian after the subduction event in the Early Ordovician. The formation of Baoerhanlabamiao high-K granites in the Late Triassic (220 Ma ~ 204 Ma) was related to post-orogenic processes, most probably due to lithospheric delamination.

Key words: Suzuoqi; Baiyinbaolidao; Baoerhanlabamiao; granites; SHRIMP dating

