

内蒙古锡林浩特I型花岗岩的时代及构造意义*

范中林,柯于富,陈文,杨伟卫,孙孝峰

(湖北省鄂东南地质大队,湖北大冶 435100)

摘要:在内蒙古锡林浩特水库地区出露的花岗岩确定为I型花岗岩,具有较高的Cr、Co、Ni丰度。Ca、Al含量和 N_2O/K_2O 比值较高,Fe、Mg含量较低。微量元素蛛网图中显示出明显的Nb、Ta、P、Ti负异常。在 SiO_2-K_2O 及AFM图中,花岗质岩石投在钙碱性系列区;在构造环境判别图中,花岗质岩石样品都投在火山弧+同碰撞花岗岩区。锆石测年结果显示平均年龄为 317.0 ± 4.0 Ma,属晚石炭世。这套晚石炭世岛弧花岗岩的存在,表明加里东期古亚洲洋并未完全关闭,晚石炭世时仍然存在洋壳的俯冲消减事件。从区域上看,是北侧的贺根山洋盆向南俯冲的结果。

关键词:I型花岗岩;构造环境;锡林浩特;内蒙古

中图分类号:P588.12

文献标识码:A

锡林浩特位于内蒙古高原的东南缘,处在NNE向展布的大兴安岭南段与内蒙古高原接壤地带,行政区划属内蒙古自治区锡林浩特市管辖。该区中生代以前经历了中亚造山带漫长的演化历史,中生代以后又位处滨太平洋活动构造体系的影响范围内,因此岩浆活动强烈。目前关于研究区的大地构造情况主要存在两种不同的认识,一种观点认为华北板块与西伯利亚板块在晚泥盆世拼合,此后即为漫长的造山后演化阶段。如徐备等在苏尼特左旗南发现了年龄为452 Ma左右的岛弧闪长岩带和363 Ma左右的同碰撞花岗岩带,将造山带的演化分为俯冲时期(500~400 Ma)和碰撞时期(400~320 Ma)^[1]。施光海等在锡林浩特市南约10 km处发现面积约45 km²的晶洞A型花岗岩,U-Pb测年结果显示该岩体的侵位年龄为276 Ma,属造山后伸展事件产物,指示苏尼特左旗——锡林浩特构造带在早二叠世已进入造山后演化阶段^[2]。另一种观点认为两大板块的最终碰撞发生在晚二叠~早三叠世,如Chen et al.对苏尼特左旗南弧岩浆岩和碰撞花岗岩的研究表明,碰撞花岗岩的侵位年代在250~230 Ma,并进一步推论华北板块与西伯利亚板块的最终碰撞发生在310~230 Ma之间^[3]。陶继雄等认为,内蒙古满都拉

地区在二叠早期依然存在大洋板块活动^[4]。同时,在华北北缘和兴蒙造山带内有大量关于三叠纪过铝质花岗岩和A型花岗岩的报道^[5-9]。尽管存在同碰撞和碰撞后成因的不同认识^[5,6],但许多学者认为华北板块与西北利亚板块的最终碰撞应在三叠纪。本文通过对锡林浩特地区的花岗岩类,特别是I型花岗岩的研究,加之年代学的数据,说明在石炭纪时,古亚洲洋尚未关闭,仍然存在着俯冲,从而佐证了古亚洲洋的完全关闭应该在二叠~三叠纪。

1 区域背景及岩相特点

研究区位于内蒙古东南部,处在北北东向展布的大兴安岭南段与内蒙古高原接壤地带,行政区划属内蒙古自治区锡林浩特市和赤峰市管辖,地理坐标:东经 $115^{\circ}30' \sim 118^{\circ}30'$,北纬 $43^{\circ}00' \sim 44^{\circ}00'$ 。包括研究区在内的中亚造山带东段位于华北板块以北,图瓦-蒙古-额尔古纳陆块以南。如图1所示^①,中亚造山带东段从北往南主要为戈壁-阿尔泰-曼达尔加里东构造带、努克达瓦加里东带、努克达里-乌里雅斯太加里东构造带、Enshop-贺根山海西构造带、胡达克-锡林浩特加里东岛弧构造带、索伦山-林西海西-印支构造带、温都尔庙-柯单山加里东期俯冲造山链。

* 收稿日期:2012-02-01

第一作者简介:范中林(1959~),男,工程师,长期从事资源勘查工作。

① 图片来自于K50C001002(锡林浩特市幅)、K50C001003(林西县幅)1:250000区域地质调查(修测)

花岗闪长岩:中粗粒等粒或似斑状结构,块状一片麻状构造,片麻理主要发育在近东西走向的构造带附近。局部变为花岗闪长质糜棱岩。主要矿物组成为斜长石(50%~55%)、石英(20%~25%)、黑云母(5%~10%)和钾长石或条纹长石(5%~10%)、角闪石(4%~8%)。副矿物有磁铁矿、锆石和磷灰石。斜长石多为半自形晶,高岭土化和绢云母化蚀变普遍。石英具波状消光。角闪石和黑云母均具不同程度的绿泥石化蚀变。岩体中含细粒辉长岩、闪长岩和片麻岩等暗色包体,包体多呈浑圆状,少数具不规则的岩浆包体形态。

2 地球化学特征

研究区内晚石炭世侵入岩的主量、微量元素分析结果见表 1,其中部分数据来自参考文献^[3]。

2.1 主量元素特征

由表 1 可看出,研究区内晚石炭世侵入岩 SiO₂ 含量在很广的范围内连续变化,介于 48.21%~71.78%,包括了辉长岩-闪长岩-石英闪长岩-花岗

岩的成分范围。其中基性侵入岩辉长岩和闪长岩较富碱(K₂O + Na₂O = 5.28%~4.26%)、显著高 Al₂O₃(15.56%~19.89%),具较低的 Mg 值(0.44~0.66)。除个别辉长岩样品的 Mg 值与幔源原生岩浆值较接近外,其余均明显偏低,表明是派生岩浆的产物。参照 B. W. Chappell 和 J. R. White 对花岗岩的分类方法^[12], Al₂O₃/(K₂O + Na₂O + CaO), I 型 < 1.1, K₂O/Na₂O I < 1.2~1.3。花岗质岩石(石英闪长-花岗闪长岩-二长花岗岩)则富 MgO(0.63%~4.68 t%)、FeOt(1.43%~6.33%)、CaO(1.64%~7.97%),较贫碱(Alk = 4.26%~6.62%),明显富钠而低钾(K₂O/Na₂O = 0.18~0.87),与 I 型花岗质岩的特征相似^[7,8],但同时又显示出明显高 Al₂O₃(Al₂O₃ = 15.56%~18.25%)的特征,与俯冲带高铝的埃达克岩的特征相似。由 SiO₂-K₂O 图(图 3)和 AFM 图(图 4)可看出,研究区内晚石炭世侵入岩应属钙碱性系列。

2.2 稀土元素及微量元素特征

如图 5 所示,晚石炭世侵入岩中,中基性的辉长

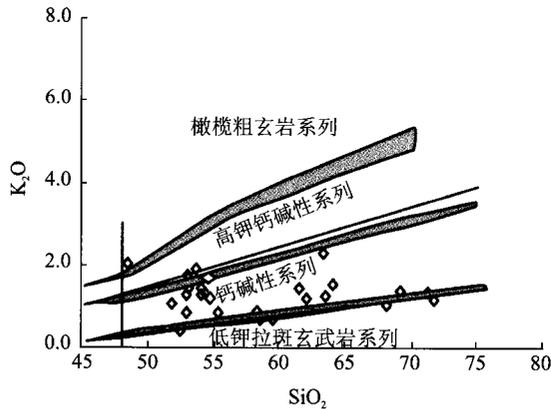


图 3 研究区晚石炭世侵入岩的 SiO₂-K₂O 图

Fig. 3 SiO₂-K₂O diagram of the late Carboniferous intrusive rocks in the studied area

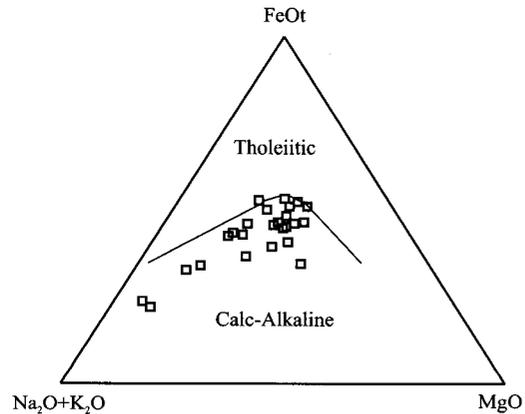


图 4 研究区晚石炭世侵入岩的 AFM 图

Fig. 4 AFM diagram of the late Carboniferous intrusive rocks in the studied area

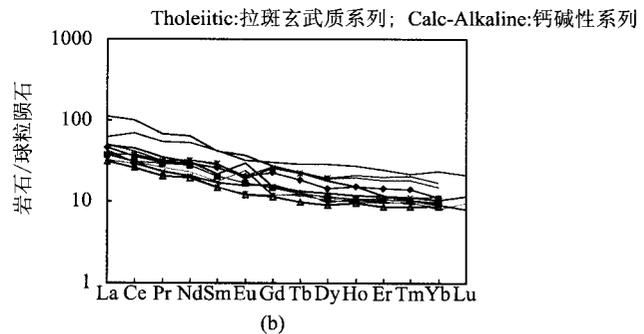
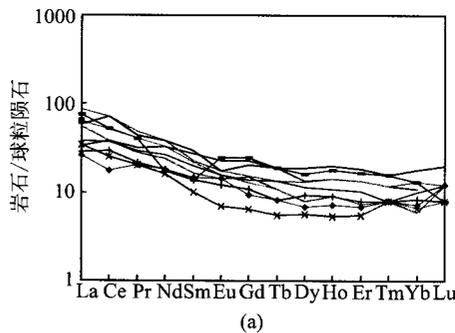


图 5 研究区晚石炭世花岗闪长岩+石英闪长岩(a)和辉长岩(b)稀土元素配分曲线图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of the late Carboniferous granodiorites + quartz diorites (a) and gabbros (b) in the studied area

岩和中酸性花岗质岩石具很相似的稀土配分型式和稀土丰度,也表明二者具有成因上的联系。稀土配分曲线均为右倾的轻稀土富集型,(La/Yb)_n 比分别为 3.10~17.12 和 4.79~13.74,总体上具较低的总稀土丰度 ΣREE 分别为 (44.44~148.60)×10⁻⁶ 和 = (46.5~104.2)×10⁻⁶。Eu 异常不明显(δEu = 1.3~0.7),在石英闪长岩中还出现弱的正异常,表明斜长石的分离结晶在岩浆的演化中作用不明显。从辉长岩到花岗闪长岩微量元素分布型式也较相似,丰度变化不大,总的来看表现为大离子亲石元素 Rb、Ba、Th、K、Sr 的明显富集,Zr、Hf 及以后的高场强元素相对亏损(图6)。

微量元素原始地幔标准化图中显示出明显的 Nb、Ta、P、Ti 负异常,与岛弧岩浆岩的特征相似。值得注意的是,花岗质岩石中部分样品显示出较高的 Sr/Y 比值(9.9~71.0),最高者达 71.0,具明显的高 Sr 低 Y 的的点。中基性侵入岩的地幔相容元素 Cr

(11.2~495.0)×10⁻⁶、Co (11.7~47.7)×10⁻⁶、Ni (6.9~117.0)×10⁻⁶ 丰度变化较大,且随 SiO₂ 含量的增加而降低,但所有样品中的相容元素丰度均明显低于原生幔源基性岩浆的范围,也表明为派生岩浆的产物。花岗质侵入岩则具相对较高的 Cr(6.1~153.0)×10⁻⁶、Co (1.3~21.0)×10⁻⁶、Ni (3.2~50.0)×10⁻⁶ 丰度,明显不同于 S 型花岗岩的低地幔相容元素丰度的特征,而与 I 型花岗岩的特征相似。在构造环境判别图中(图7),研究区辉长岩和闪长岩投点在岛弧钙碱性玄武岩区,花岗质岩石所有样品都投在岛弧花岗岩区,与主量元素和微量元素特征所反映的信息一致,表明其形成于岛弧环境。

3 锆石 U-Pb 年代学

锆石 U-Pb 年龄的测定在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室进行,用 LA-ICP-MS 进行分析测试,其结果见表2。激光剥蚀孔径 32 μm,

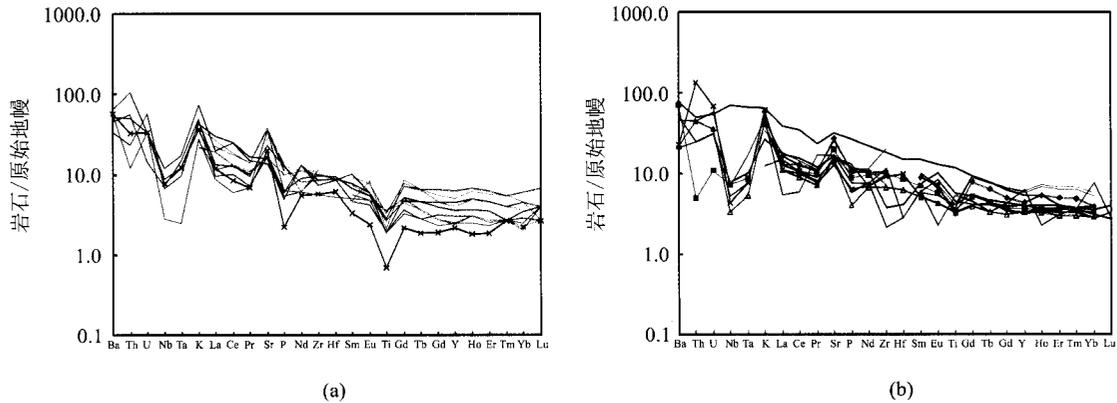


图6 研究区晚石炭世花岗闪长岩+石英闪长岩(a)和辉长岩+闪长岩(b)微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of the late Carboniferous granodiorites + quartz diorites (a) and gabbros + diorites (b) in the studied area

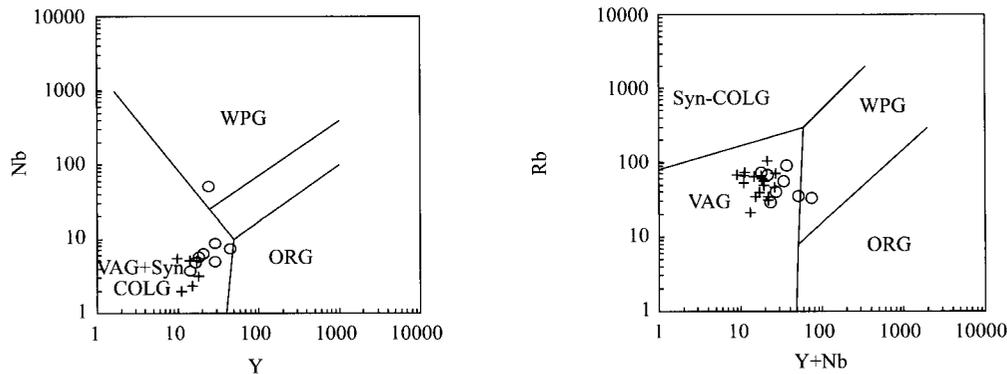


图7 研究区晚石炭世 I-M 型花岗质侵入岩构造环境判别图解

Fig. 7 Tectonic setting discrimination diagrams of the late Carboniferous I-M type granite-intrusive rocks in the studied area

VAG-火山弧花岗岩;Syn-COLG-同碰撞花岗岩;ORG-洋中脊花岗岩;WPG-板内花岗岩

表1 研究区晚石炭世辉长岩—花岗闪长岩组合的主量、微量元素分析结果

Table 1 Major elements and trace elements compositions of the late Carboniferous gabbros-granodiorites in the studied area

样号	H-3	0710-1	D0712	D2419-1-1	D2467-1-1	PBP30-9	SB1	SB2	p93YS-2	SO1	SO2	SO3
主量元素												
SiO ₂	54.21	53.18	53.06	48.61	54.86	71.78	69.25	68.19	58.40	58.66	59.62	55.50
TiO ₂	1.20	1.03	1.30	2.65	2.05	0.16	0.33	0.31	0.43	0.80	0.82	0.75
Al ₂ O ₃	15.56	18.12	18.25	13.24	14.37	15.35	15.44	15.99	18.27	15.99	16.95	18.08
FeOt	7.71	6.02	8.19	11.34	9.75	2.29	3.45	3.43	6.33	6.93	6.61	7.27
MnO	0.15	0.14	0.17	0.16	0.17	0.06	0.10	0.10	0.12	0.12	0.13	0.15
MgO	5.84	6.46	5.23	7.73	3.33	0.63	1.28	1.46	2.59	4.33	3.66	4.06
CaO	6.42	7.41	6.95	9.43	6.45	1.64	2.62	3.79	6.90	5.21	5.19	6.65
Na ₂ O	3.98	3.28	3.45	3.26	4.16	5.48	4.46	4.17	3.90	3.60	3.59	3.52
K ₂ O	1.42	1.71	0.81	2.02	1.15	1.14	1.35	1.00	0.85	0.66	0.67	0.81
P ₂ O ₅	0.17	0.13	0.26	0.58	0.34	0.05	0.22	0.25	0.14	0.28	0.28	0.22
LOI	0.34	2.17	1.97	0.41	2.14	1.25	1.37	0.69	1.97	3.27	2.02	2.33
CO ₂	2.65	0.08	0.08	0.10	0.84							
Total	99.79	99.81	99.80	99.74	99.80	99.83	99.87	99.38	99.90	99.85	97.52	99.34
微量元素												
Ba	318	143	353	535	238	396	807	745	381	688	286	284
Zr	129	24	42	202	209	64	101	96	62	120	95	112
Nb	4.92	3.69	5.57	49.80	7.33	5.50			2.00			
Ta	0.69	0.31	0.42	2.72	0.58	0.50			0.10			
Hf	0.87	0.87	1.27	4.57	5.20	1.90			1.60			
Th	3.81	2.09	2.12	4.18	3.57	2.80			1.00			
U	1.19	0.63	0.65	1.15	1.02	0.70			0.70			
Cs	21.40	3.65	3.21	0.59	1.87	0.80			0.40			
Y	28.3	14.3	17.9	24.1	43.9	9.9	9.2	11.0	11.2	11.0	11.3	18.2
Pb	14.7	6.0	8.3	3.4	3.2	5.3			7.7			
V	200.0	257.0	170.0	215.0	243.0	20.7	65.0	70.0	148.3	122.0	132.0	155.0
Cr	173.0	495.0	174.0	211.0	6.7	6.1	19.0	21.0	8.3	36.0	59.0	49.0
Co	29.0	21.6	26.2	47.7	25.4	1.3	9.0	7.0	12.8	12.0	15.0	16.0
Ni	39.6	27.1	44.7	117.0	2.5	3.2	12.0	14.0	5.4	13.0	50.0	43.0
Cu	77.3	34.0	47.9	61.4	38.4	4.8	12.0	10.0	3.2	22.0	28.0	34.0
Zn	72.3	59.6	104.0	112.0	82.2	21.1			58.8			
Ga	16.8	17.9	21.2	21.1	20.0	15.7			18.5			
稀土元素												
La	3.76	8.56	11.70	26.50	14.70	8.20			6.00	15.00	13.00	8.00
Ce	10.68	18.60	27.40	61.30	42.00	15.10			10.50	31.00	23.00	23.00
Pr	4.59	2.46	3.30	6.43	5.22	1.90			1.90	3.80	2.60	3.00
Nd	10.03	10.50	14.20	29.50	24.80	7.50			8.20	15.00	11.00	15.00
Sm	2.71	2.64	3.34	6.45	6.43	1.50			2.20	3.30	2.50	4.10
Eu	0.38	1.40	1.71	2.14	1.87	0.40			0.80	0.90	0.80	1.30
Gd	2.68	2.45	3.11	5.60	6.19	1.30			1.90	2.60	3.00	4.60
Tb	0.36	0.44	0.50	0.84	1.09	0.20			0.30	0.40	0.40	0.70
Dy	3.13	2.62	3.19	4.60	7.32	1.40			1.70	2.00	2.00	3.40
Ho	0.37	0.55	0.66	0.87	1.56	0.30			0.40	0.50	0.50	0.80
Er	1.49	1.57	1.89	1.94	4.12	0.90			1.10	1.20	1.30	2.20
Tm	0.27	0.25	0.28	0.26	0.55	0.20			0.20	0.20	0.20	0.30
Yb	3.78	1.35	1.75	1.53	4.01	1.10			1.20	1.10	1.00	1.80
Lu	0.21	0.24	0.29	0.20	0.54	0.20			0.30	0.20	0.30	
REE	44.44	53.63	73.32	148.16	120.40	40.20			36.70	77.20	61.60	68.20
δEu	0.43	1.65	1.60	1.06	0.89	0.86			1.17	0.91	0.89	0.91

注:H-3,0710-1,D0712,D2419-1-1,D2467-1-1,为本文所测数据,其余引自文献[9]

表2 研究区晚石炭世花岗岩闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测试结果

Table 2 La-ICP-MS U-Pb isotopic analysis results of zircon for the late Carboniferous granodiorites in the studied area

样品	SHC-1	SHC-2	SHC-3	SHC-4	SHC-5	SHC-6	SHC-7	SHC-8	SHC-9	SHC-10
^{232}Th	606.86	195.34	171.21	404.4	57.76	328.56	753.33	228.66	79.83	627.26
^{238}U	749.34	262.73	251.63	817.64	95.92	484.77	977.87	456.31	118.69	645.54
$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	0.81	0.74	0.68	0.49	0.6	0.68	0.77	0.5	0.67	0.97
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0.0518	0.05421	0.05224	0.05341	0.05562	0.05508	0.0517	0.05564	0.05383	0.05342
1s	0.00103	0.00127	0.00117	0.001	0.00242	0.00122	0.00112	0.00132	0.00167	0.00117
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	0.35441	0.37529	0.37367	0.37161	0.38453	0.37635	0.35054	0.37452	0.37286	0.3653
1s	0.00681	0.0085	0.00805	0.00668	0.01628	0.00805	0.0073	0.00849	0.01117	0.0076
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	0.04963	0.05022	0.05189	0.05047	0.05015	0.04957	0.04918	0.04882	0.05024	0.04959
1s	0.00051	0.00053	0.00054	0.00051	0.00068	0.00052	0.00051	0.00052	0.00058	0.00052
$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	0.01621	0.01629	0.0168	0.01703	0.01645	0.01689	0.01641	0.01644	0.01598	0.01638
1s	0.00021	0.00023	0.00024	0.00023	0.0004	0.00025	0.00025	0.00027	0.00031	0.00026
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age(Ma)	277	380	296	346	437	415	272	438	364	347
1s	26	32	30	23	70	29	29	32	47	28
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age(Ma)	308	324	322	321	330	324	305	323	322	316
1s	5	6	6	5	12	6	5	6	8	6
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age(Ma)	312	316	326	317	315	312	309	307	316	312
1s	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3
$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ age(Ma)	325	327	337	341	330	339	329	330	320	328

脉冲8 Hz,以He作为剥蚀物质的载气。样品分析流程为每测定5个样品点测定一次锆石标准91500,每测定20个样品点测定一次NIST SRM 610。每个样品的数据采集时间共100 s,其中前20 s为气体背景采集时间。离线数据处理采用GLITTER 4.0程序进行,年龄计算以91500作外标进行同位素分馏校正;元素含量以NIST SRM 610为外标、Si作内标进行计算。样品的加权平均年龄的计算及谐和图的绘制采用Iso-plot/Ex 3.0。在谐和图上(图8),样品投点集中在谐和线上,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 317.0 ± 4.0 Ma,属晚石炭世。总的来看,本研究获得的锆石U-Pb年龄与Chen et al(2000)^[9]在苏尼特左旗地区测得的晚世石炭世岛弧花岗岩的年龄完全一致,表明存在一条区域性的晚石炭世花岗岩带。

4 讨论

从这些研究中可以看出,前人所报道的大量的岩浆事件的记录主要在晚石炭纪之前和早二叠世以后,而晚石炭世的花岗岩则鲜见报道。Chen et al(2000)^[9]、陈斌等^[3]报道在巴林左旗和锡林浩特一带存在锆石年龄分别为490 Ma和310 Ma的两期弧花岗岩,但关于310 Ma的弧花岗岩的存在一直未引

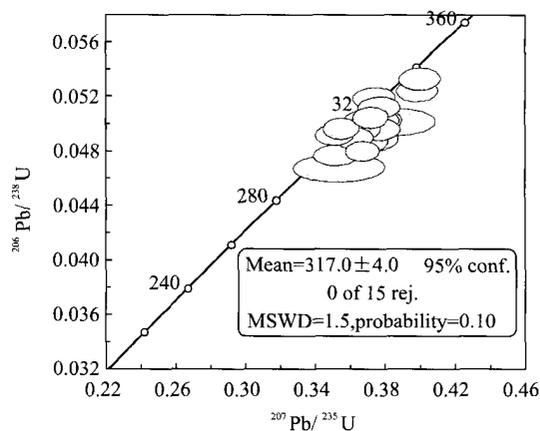


图8 研究区晚石炭世花岗岩SHC样品的LA-ICP-MS锆石U-Pb谐和线图

Fig. 8 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram for the late Carboniferous granites SHC in the studied area

起多数学者的重视。本研究认为,这套晚石炭世岛弧花岗岩的存在,其地质意义是重大的,它表明在加里东期古亚洲洋并未完全关闭,在晚石炭世时仍然存在洋壳的俯冲消减事件。从区域上看,是北侧的贺根山洋盆向南俯冲的结果。

参考文献

- [1] 徐备,陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构及演化[J]. 中国科学(D辑), 1997,27(3):227-232.
- [2] 施光海,苗来成,张福勤,等. 内蒙古锡林浩特A型花岗岩的时代及区域构造意义[J]. 科学通报,2004,49(4):384-389.
- [3] 陈斌,赵国春,Simon WILDE. 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[J]. 地质论评, 2001,47(4):361-367.
- [4] 陶继雄,白立兵,宝音乌力吉,等. 内蒙古满都拉地区二叠纪俯冲造山过程的岩石记录[J]. 地质调查与研究, 2003,26(4):241-249.
- [5] 王荃,刘雪亚,李锦轶. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造[M]. 北京:北京大学出版社,1991:1-151.
- [6] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京:北京大学出版社,1991:1-136.
- [7] 花岗岩类区1:5万区域地质调查方法指南[S]. 地质矿产部直属单位管理局,1991.
- [8] 陈建林,郭原生,付善明. 花岗岩研究进展——ISMA花岗岩类分类综述[J]. 甘肃地质学报,2004,13(01):67-73.
- [9] Chen, B., Jahn, B.-m., Wilde, S., Xu, B. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications [J]. Tectonophysics, 2000, 328: 157-182.

Age and its tectonic significance of I-type granite in Xilinhot, Inner Mongolia

FAN Zhong-lin, KE Yu-fu, CHEN Wen, YANG Wei-wei, SUN Xiao-feng
(Geological Team of Southeast Hubei Province; Daye 435100, China)

Abstract

It is determined that the granite outcropped in Xilinhot reservoir area, Inner Mongolia, has been identified as I-type granite with high abundances of Cr, Co and Ni, high contents of Ca and Al, high ratios of N_2O/K_2O and low contents of Fe and Mg. In the trace elements spider grams, the granitic rocks show clear negative Nb, Ta, P and Ti anomalies. In the SiO_2-K_2O and AFM diagrams, the granitic rocks are mainly plotted in area of calc-alkaline series. In the tectonic setting discrimination diagrams, the granitic rocks are plotted in the area of volcanic arc granites + syncollision granites, indicating that the granite formed in an island-arc environment. The granite yields a zircon U-Pb age of 317.0 ± 4.0 Ma, corresponding to the late Carboniferous age. The suite of late Carboniferous island-arc type granitic rocks indicates that the Paleo-Asian Ocean was not fully closed in the Caledonian period and the oceanic crust subduction and consumption-related events still occurred in the late Carboniferous. It is concluded that the late Carboniferous granite may be caused by the southward subduction of the North Hegenshan oceanic basin.

Key words: I-type granite; tectonic setting; Xilinhot; Inner Mongolia