

华北与西伯利亚板块的对接过程: 来自西拉木伦缝合带 变形花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄证据

李益龙^{1,2}, 周汉文^{1,2*}, 钟增球^{1,2}, 张雄华¹, 廖群安¹, 葛梦春¹

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 房框子沟花岗质片麻岩 NEE 向展布于内蒙古林西县双井镇的房框子沟村一带, 是一套侵入到双井片岩中的变质变形侵入体, 其边缘和中央分别为云染状和均质的花岗质片麻岩. 利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年方法对采自该侵入体边缘和中央的样品进行了定年, 结果表明, 岩浆在 271.9 ± 1.6 Ma 开始侵入于双井片岩中, 在接触带上多发生混合岩化, 造成岩体边缘呈云染状, 在 264.8 ± 1.8 Ma 岩体主体就位, 之后由于西伯利亚板块与华北板块的持续碰撞缝合, 岩体在应力作用下变形变质形成了今天看到的房框子沟花岗质片麻岩的面貌, 到 231 ± 2 Ma 碰撞基本结束, 西伯利亚板块与华北板块最终拼合.

关键词: 花岗质片麻岩; 锆石; LA-ICP-MS U-Pb 定年; 地质年代; 双井; 内蒙古.

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2009)06-0931-08

收稿日期: 2008-09-12

Collision Processes of North China and Siberian Plates: Evidence from LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age on Deformed Granite in Xar Moron Suture Zone

LI Yi-long^{1,2}, ZHOU Han-wen^{1,2*}, ZHONG Zeng-qiu^{1,2}, ZHANG Xiong-hua¹, LIAO Qun-an¹, GE Meng-chun¹

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract The Fangkuangzigou granitic gneisses, extending with NEE trend along Fangkuangzi village in Linxi county, Inner-Mongolia province, are deformed and metamorphosed granites which intruded into the Shuangjing schists. The gneisses are nebulitic and homogeneous separately in its edge and center. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating method was applied to determine the ages of gneisses both from the edge and center. It is indicated that the magma emplacement initiated at about 271.9 ± 1.6 Ma ago and intruded into Shuangjing schists, then migmatization and nebulitic structure were induced into the contact zones. The pluton was formed dominantly at 264.8 ± 1.8 Ma ago. The pluton was deformed and metamorphosed into granitic gneiss by the collision between the Siberian and North China plates. The collision was ended until 231 ± 2 Ma ago, then the Siberian and North China plates were finally converged.

Key words: granitic gneiss; zircon; LA-ICP-MS dating; geochronology; Shuangjing; Inner-Mongolia.

0 引言

双井微地块位于内蒙古林西地区的西拉木伦断裂带内. 该断裂带 NNE 向展布于蒙古高原的东南缘, 是华北板块与西伯利亚板块对接活动带的一部

分. 双井微地块呈椭圆形东西向展布, 由片岩及变质变形侵入体构成并有后期岩体侵入, 其中的片岩组合被称为双井片岩, 属变质表壳岩, 是前人所划的非正式构造岩片地层单位(内蒙古第二区域地质调查队, 1997. 双井地区 1:5 万区域地质调查报告), 该

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(No. 2007CB411307); 中国地质调查局项目(No. 1212010510507).

作者简介: 李益龙(1983-), 男, 博士生, 主要从事变质岩石学研究. *通讯作者: 周汉文, E-mail: hwzhou@cug.edu.cn

岩片与变质变形侵入体均呈 NEE 向展布于双井微地块之中, 侵入体呈长条状, 分布局限, 仅见于林西县双井一下场一带, 早期的区域地质调查工作将该套侵入体划归早元古代, 并由老到新将其依次分为: 东沟片麻岩、房框子沟片麻岩和下海苏沟片麻岩, 三者原岩均为钙碱性系列 S 型花岗岩(内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院, 1998. 黄岗梁地区 1:5 万区调片区总结说明书)。

关于这套变质变形侵入体的形成时代和构造属性目前尚不明确, 双井微地块作为华北板块与西伯利亚板块对接活动带的一部分, 其建造时代和构造属性的确定对研究华北板块与西伯利亚板块的闭合过程具有重要意义, 因此, 对该微地块上较老的地质单元的定年工作就显得十分迫切, 笔者在进行 1:25 万锡林浩特市和林西县两个图幅的区域地质调查中, 对该套变质变形侵入体进行了详细的野外考察, 并采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年方法对采自房框子沟花岗质片麻岩边缘和中央的两个样品进行了定年, 期望为进一步研究双井微地块的属性和演化提供新的信息。

1 地质概况和样品特征

研究区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和赤峰市管辖, 地理坐标: E115°30' ~ 118°30', 43°00' ~ 44°00'N. 区域大地构造位置位于华北板块与西伯利亚板块的对接活动带上, 属古亚洲构造域的范畴. 北部和南部陆缘活动带以对接带分开, 该对接带是在加里东期板块汇聚作用中发展而来, 是早二叠世晚期之后西拉木伦深断裂的幼年期, 具有双向俯冲的拼合模式(内蒙古自治区地质矿产局, 1996). 西拉木伦断裂带为一条宽 20 km, 长达数千公里的复杂断裂带, 其深度达莫霍面, 属超岩石圈深断裂带, 双井微地块发育在该断裂带内, 对断裂带的发生、发展起着重要作用. 微地块中的花岗质片麻岩侵入到双井片岩中(图 1), 岩体内部常见双井片岩捕虏体, 与围岩的接触关系较复杂, 可见混合岩化的渐变过渡接触关系和界线截然的侵入接触关系. 岩石变形强烈, 片麻理发育, 多为高角度南倾, 局部直立, 拉伸线理发育, 倾向 70° ~ 90°, 倾角 ±15°. 强变形带可见糜棱结构和眼球

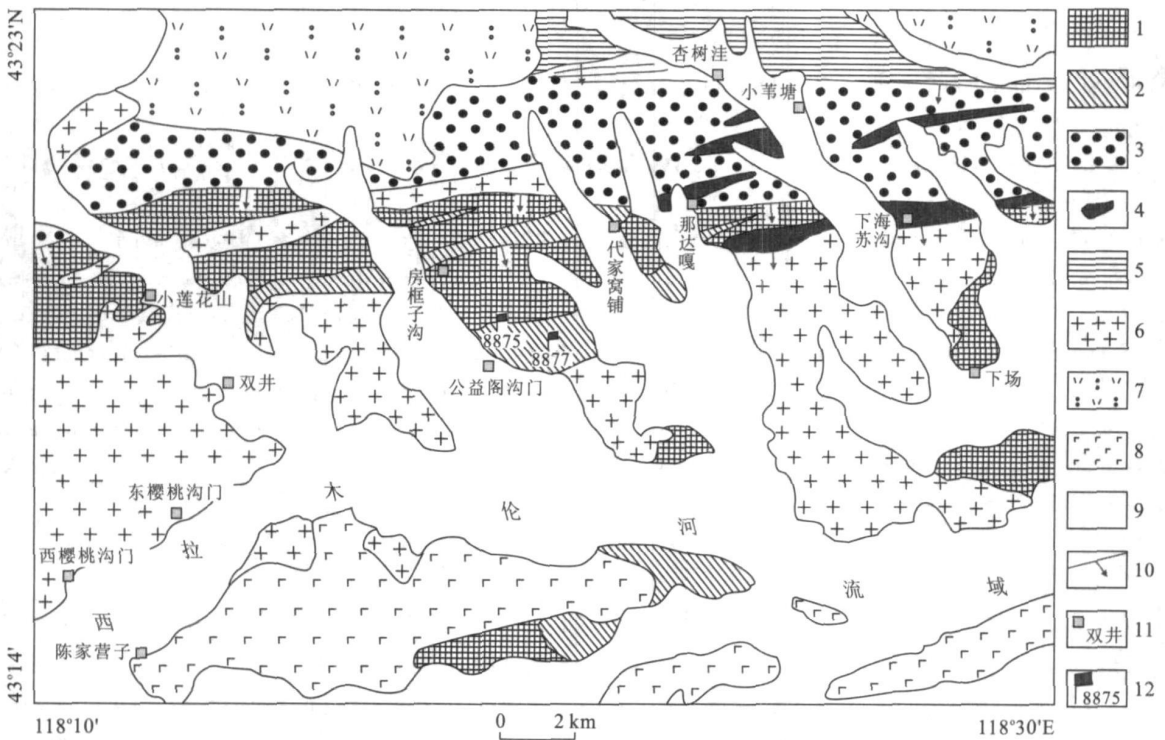


图 1 内蒙古林西县双井地区地质简图

Fig. 1 Geological map of Shuangjing area in Linxi county, Inner Mongolia province

1. 双井片岩; 2. 花岗质片麻岩; 3. 志留系西别河组; 4. 杏树洼蛇绿岩; 5. 二叠系哲斯组; 6. 中生代侵入岩; 7. 中生代火山岩; 8. 第三系玄武岩; 9. 第四系; 10. 断层; 11. 村庄; 12. 采样点及编号

状一流状构造.

房框子沟花岗质片麻岩 NEE 向展布于林西县双井镇的房框子沟村一带, 故而得名. 岩体规模不大, 与双井片岩的接触界面为条带状的混合岩带(李益龙等, 2007, 2008), 具渐变过渡特点, 岩体中有大量的伟晶岩脉和辉绿岩脉贯入, 伟晶岩脉发育与岩体一致的片麻理. 岩体边缘呈浅灰色、云染状、中粒等粒结构、片麻状构造. 矿物组成为: 石英 25%、斜长石 35%、钾长石 20%、角闪石 10%、黑云母 8%、白云母 2%, 暗色矿物分布不均匀, 局部具雾迷状构造. 岩体中央呈灰白色, 结构均一, 细粒等粒结构, 片麻状构造, 矿物组成为: 石英 30%、斜长石 35%、钾长石 30%、黑云母 5%. 本次测定的两个样品分别选自岩体的边缘(8875)和中央(8877).

2 锆石的 CL 图像特征

样品采用常规方法进行破碎, 经浮选和磁选后, 再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒制成样品靶, 锆石样品靶的制备与 SH RIMP 定年锆石样品制备方法基本相同(宋彪等, 2002). 锆石的阴极发光(CL)显微照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行, 测试仪器为装在热场发射环境扫描电子显微镜(Quanta 400 FEG)上的 Gatan 阴极发光仪(MonoCL3+), 分析电压为 10 kV, 电流为

240 μ A.

岩体边缘(8875)和中央(8877)的样品中的锆石特征相似, 均为自形柱状, 长宽比 1.5 : 1~2 : 1, 具有明显的核一边结构. 核部结构均匀, 部分可见岩浆振荡环带; 边部呈斑杂状, 切割原岩锆石环带, 显示经历过变质重结晶作用(Wu and Zheng, 2004). 岩体边缘和中央样品中的锆石粒度相差较大, 锆石长轴分别为 100~160 μ m 和 60~110 μ m(图 2).

3 分析方法和分析结果

锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 同位素年龄分析(表 1, 表 2)在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成. 测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7500a)和准分子激光剥蚀系统(GeoLas2005)联机, 激光器为 193nm ArF 准分子激光器. 激光剥蚀斑束直径为 32 μ m, 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μ m. 实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气. 锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外标(Wiedenbeck *et al.*, 1995), 元素含量采用美国国家标准物质局研制的人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM 610 作为外标(Pearce *et al.*, 1997), ²⁹Si 作为内标元素进行校正. 采样方式为单点剥蚀, 数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式(peak jumping), 每完成 4~5 个测点的样品测定, 加测标样一

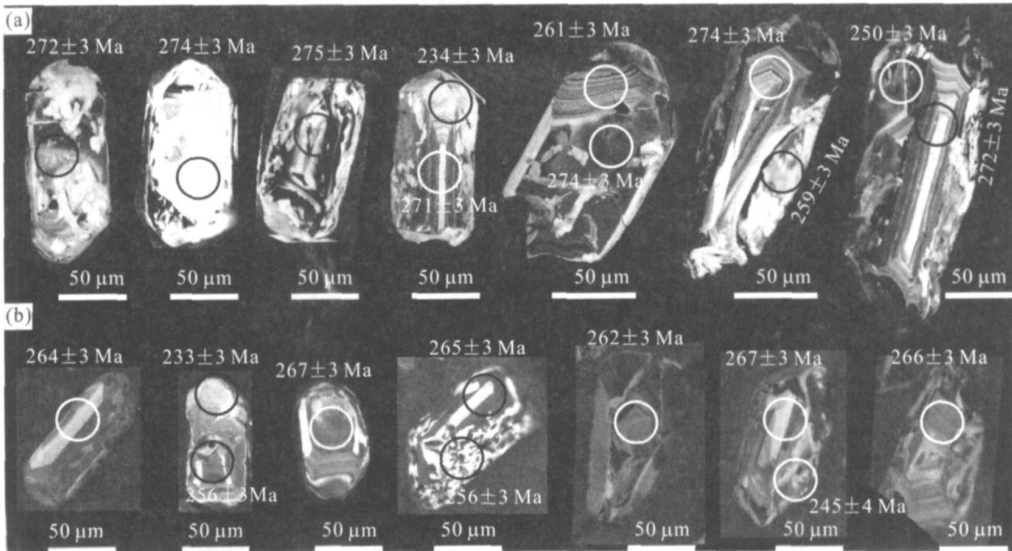


图 2 房框子沟花岗质片麻岩边缘(a)和中央(b)代表性锆石 CL 图像和 U-Pb 年龄

Fig. 2 Representative CL images of single zircon grains from edge (a) and center (b) and their U-Pb ages of the Fangkuangzigou granitic gneiss

其中白线为比例尺, 长度为 50 μ m, 圆圈表示剥蚀激光束对应的位置, 直径为 32 μ m

表 1 云染状花岗质片麻岩(8875)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytic data for nebulitic granitic gneiss (8875)

锆石编号	组成(10^{-6})				比值												年龄(Ma)			
	Pb*	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Pb 1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1s
8875-1	79.12	1 405.25	1 597.36	0.88	0.05389	0.00062	0.31834	0.00360	0.04284	0.00042	0.00438	0.00004	366	11	281	3	270	3	88.3	0.8
8875-2	5.81	57.82	110.43	0.52	0.05168	0.00152	0.30687	0.00882	0.04306	0.00049	0.01277	0.00021	271	45	272	7	272	3	256	4
8875-3	5.07	46.38	96.97	0.48	0.05214	0.00140	0.31030	0.00813	0.04316	0.00048	0.01316	0.00021	292	39	274	6	272	3	264	4
8875-4	10.12	120.40	182.03	0.66	0.05127	0.00117	0.30726	0.00688	0.04347	0.00047	0.01360	0.00017	253	32	272	5	274	3	273	3
8875-5	60.31	883.01	1 091.86	0.81	0.05328	0.00078	0.32004	0.00457	0.04356	0.00044	0.01236	0.00012	341	16	282	4	275	3	248	2
8875-6	7.20	87.63	131.01	0.67	0.05286	0.00167	0.31322	0.00964	0.04297	0.00051	0.01314	0.00021	323	48	277	7	271	3	264	4
8875-7	4.85	54.16	88.97	0.61	0.05321	0.00161	0.31806	0.00938	0.04335	0.00050	0.01272	0.00021	338	46	280	7	274	3	255	4
8875-8	5.97	56.80	111.37	0.51	0.05198	0.00161	0.31158	0.00946	0.04348	0.00051	0.01313	0.00023	285	48	275	7	274	3	264	5
8875-9	7.04	88.89	133.70	0.66	0.05640	0.00185	0.33513	0.01075	0.04310	0.00052	0.01325	0.00024	468	50	293	8	272	3	266	5
8875-10	5.74	62.93	103.44	0.61	0.05625	0.00185	0.33187	0.01067	0.04278	0.00052	0.01229	0.00022	462	50	291	8	270	3	247	4
8875-11	6.49	62.25	122.19	0.51	0.05257	0.00134	0.31043	0.00773	0.04283	0.00047	0.01339	0.00020	310	37	275	6	270	3	269	4
8875-12	5.52	56.86	104.88	0.54	0.05166	0.00139	0.30012	0.00789	0.04213	0.00047	0.01332	0.00020	270	40	266	6	266	3	267	4
8875-13	5.84	63.92	105.19	0.61	0.05179	0.00147	0.31146	0.00866	0.04362	0.00049	0.01356	0.00020	276	43	275	7	275	3	272	4
8875-14	72.53	923.23	1 604.81	0.58	0.05420	0.00070	0.29937	0.00379	0.04006	0.00040	0.00693	0.00007	379	13	266	3	253	2	140	1
8875-15	103.37	1 901.86	2 562.13	0.74	0.05157	0.00074	0.25993	0.00363	0.03655	0.00037	0.00230	0.00003	266	15	235	3	231	2	46.4	0.6
8875-16	9.64	77.82	205.56	0.38	0.05331	0.00232	0.27146	0.01135	0.03693	0.00044	0.01157	0.00011	342	101	244	9	234	3	232	2
8875-17	6.15	50.40	127.73	0.39	0.05298	0.00123	0.28943	0.00655	0.03962	0.00043	0.01280	0.00019	328	32	258	5	250	3	257	4
8875-18	10.15	92.86	219.97	0.42	0.05559	0.00125	0.29131	0.00641	0.03800	0.00041	0.01167	0.00017	436	30	260	5	240	3	235	3
8875-19	7.12	80.91	137.63	0.59	0.05326	0.00195	0.30300	0.01083	0.04126	0.00052	0.01217	0.00024	340	58	269	8	261	3	244	5
8875-20	6.42	69.84	128.21	0.54	0.05963	0.00311	0.33688	0.01694	0.04097	0.00055	0.01266	0.00013	590	116	295	13	259	3	254	3
8875-21	3.75	26.95	72.98	0.37	0.05278	0.00213	0.30215	0.01193	0.04152	0.00054	0.01391	0.00036	319	66	268	9	262	3	279	7
8875-22	5.25	49.04	103.57	0.47	0.05482	0.00192	0.31011	0.01063	0.04103	0.00050	0.01232	0.00026	405	55	274	8	259	3	247	5
8875-23	7.42	79.48	144.84	0.55	0.05859	0.00163	0.33196	0.00898	0.04109	0.00047	0.01278	0.00020	552	39	291	7	260	3	257	4

注: Pb* 为放射成因 Pb.

表 2 均质的花岗岩片麻岩 (8877) 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytic data for homogeneous granitic gneiss (8877)

锆石编号	组成(10^{-6})				比值										年龄(Ma)					
	Pb*	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Is	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Is	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Is	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Is	$^{207}\text{Pb}/^{205}\text{Pb}$	Is	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Is	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Is	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Is
8877-1	19.17	192.47	317.78	0.61	0.05585	0.00118	0.32367	0.00654	0.04203	0.00042	0.01502	0.00017	446	27	285	5	265	3	301	3
8877-2	6.75	61.28	111.21	0.55	0.05167	0.00214	0.30079	0.01213	0.04222	0.00053	0.01380	0.00028	271	69	267	9	267	3	277	6
8877-3	4.80	44.66	81.16	0.55	0.05664	0.00200	0.32992	0.01132	0.04224	0.00050	0.01300	0.00025	478	55	290	9	267	3	261	5
8877-4	8.24	97.95	138.96	0.70	0.05155	0.00168	0.29528	0.00938	0.04154	0.00047	0.01213	0.00020	266	52	263	7	262	3	244	4
8877-5	6.60	59.41	113.43	0.52	0.05151	0.00191	0.29442	0.01065	0.04146	0.00050	0.01300	0.00026	264	61	262	8	262	3	261	5
8877-6	8.45	87.37	140.52	0.62	0.05221	0.00194	0.30009	0.01085	0.04168	0.00050	0.01251	0.00024	295	60	266	8	263	3	251	5
8877-7	7.12	68.99	119.65	0.58	0.05412	0.00172	0.31221	0.00963	0.04184	0.00048	0.01325	0.00022	376	49	276	7	264	3	266	4
8877-8	5.74	59.32	97.78	0.61	0.05757	0.00242	0.33387	0.01364	0.04206	0.00055	0.01278	0.00029	513	67	293	10	266	3	257	6
8877-9	13.46	100.60	240.83	0.42	0.05506	0.00160	0.31502	0.00856	0.04150	0.00042	0.01295	0.00011	415	66	278	7	262	3	260	2
8877-10	5.97	58.39	103.11	0.57	0.05422	0.00183	0.31104	0.01020	0.04160	0.00048	0.01348	0.00024	380	53	275	8	263	3	271	5
8877-11	7.61	94.75	120.60	0.79	0.05290	0.00168	0.31451	0.00970	0.04312	0.00048	0.01358	0.00020	325	50	278	7	272	3	273	4
8877-12	10.94	151.19	199.25	0.76	0.05466	0.00155	0.27789	0.00762	0.03687	0.00040	0.01104	0.00015	398	42	249	6	233	2	222	3
8877-13	12.30	72.42	175.52	0.41	0.05954	0.00250	0.33261	0.01345	0.04051	0.00046	0.01252	0.00013	587	93	292	10	256	3	252	3
8877-14	6.34	61.78	117.65	0.53	0.05210	0.00359	0.27798	0.01866	0.03870	0.00059	0.01215	0.00013	290	159	249	15	245	4	244	3
8877-15	4.81	50.43	87.90	0.57	0.05991	0.00227	0.32169	0.01183	0.03894	0.00048	0.01226	0.00024	600	58	283	9	246	3	246	5
8877-16	9.96	89.08	177.78	0.50	0.05624	0.00159	0.31565	0.00860	0.04070	0.00045	0.01183	0.00020	462	41	279	7	257	3	238	4
8877-17	8.14	80.34	138.61	0.58	0.05166	0.00287	0.28840	0.01559	0.04049	0.00052	0.01273	0.00012	270	130	257	12	256	3	256	2

注: Pb* 为放射成因 Pb.

次,在 15~20 个锆石样品分析点前后各测 2 次 NIST SRM 610. 样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER (ver4.0, Macquarie university) 程序计算,普通 Pb 采用 Andersen 的 3D 坐标法进行校正 (Andersen, 2002), 加权平均年龄及谐和图的绘制采用 ISOPLOT (ver3.00) (Ludwig, 1991) 完成.

3.1 锆石 Th、U 含量及 Th/U 比值

不同成因的锆石有不同的 Th、U 含量和 Th/U 比值. 岩浆锆石的 Th、U 含量较高, Th/U 比值较大 (一般大于 0.4); 变质锆石的 Th、U 含量低, Th/U 比值小 (一般小于 0.1) (Wu and Zheng, 2004). 但对明显发生变质重结晶的锆石, 其 Th、U 含量降低, Th/U 值可能不变或变化不大, 有的甚至变大 (Vavra *et al.*, 1996, 1999).

对边缘云染状的花岗质片麻岩样品 (8875) 中的锆石分析了 23 个点 (表 1), 其中 13 个在柱状锆石的核部 (表 1 中 8875-1~13), 10 个在边部 (表 1 中 8875-14~23). 锆石核部 13 个分析点的 Th/U 值变化范围为 0.48~0.88, 均大于 0.4, 表明锆石核部保

存了岩浆成因的特征. Th 含量变化于 $46.38 \times 10^{-6} \sim 1405.25 \times 10^{-6}$, U 含量变化于 $88.97 \times 10^{-6} \sim 1597.36 \times 10^{-6}$. 锆石边部的 10 个分析点的 Th/U 值变化范围为 0.37~0.74, Th 含量变化于 $26.95 \times 10^{-6} \sim 1901.86 \times 10^{-6}$, U 含量变化于 $72.98 \times 10^{-6} \sim 2562.13 \times 10^{-6}$.

对中央均质的花岗质片麻岩样品 (8877) 中的锆石分析了 17 个点 (表 2), 其中 11 个在柱状锆石的核部 (表 2 中 8877-1~11), 6 个在边部 (表 2 中 8877-12~17). 锆石核部 11 个分析点的 Th/U 值变化范围为 0.42~0.79, 保存了岩浆成因的特征. Th 含量变化于 $44.66 \times 10^{-6} \sim 192.47 \times 10^{-6}$, U 含量变化于 $81.16 \times 10^{-6} \sim 317.78 \times 10^{-6}$. 锆石边部的 6 个分析点的 Th/U 值变化范围为 0.41~0.76, Th 含量变化于 $50.43 \times 10^{-6} \sim 151.19 \times 10^{-6}$, U 含量变化于 $87.90 \times 10^{-6} \sim 199.25 \times 10^{-6}$.

可以看出, 采自岩体边缘样品中的锆石 Th、U 含量和 Th/U 比值的变化范围均大于采自岩体中央样品中的锆石, 说明岩体边缘较内部经历了更强烈的后期变质事件, 导致锆石发生了更强烈的重结

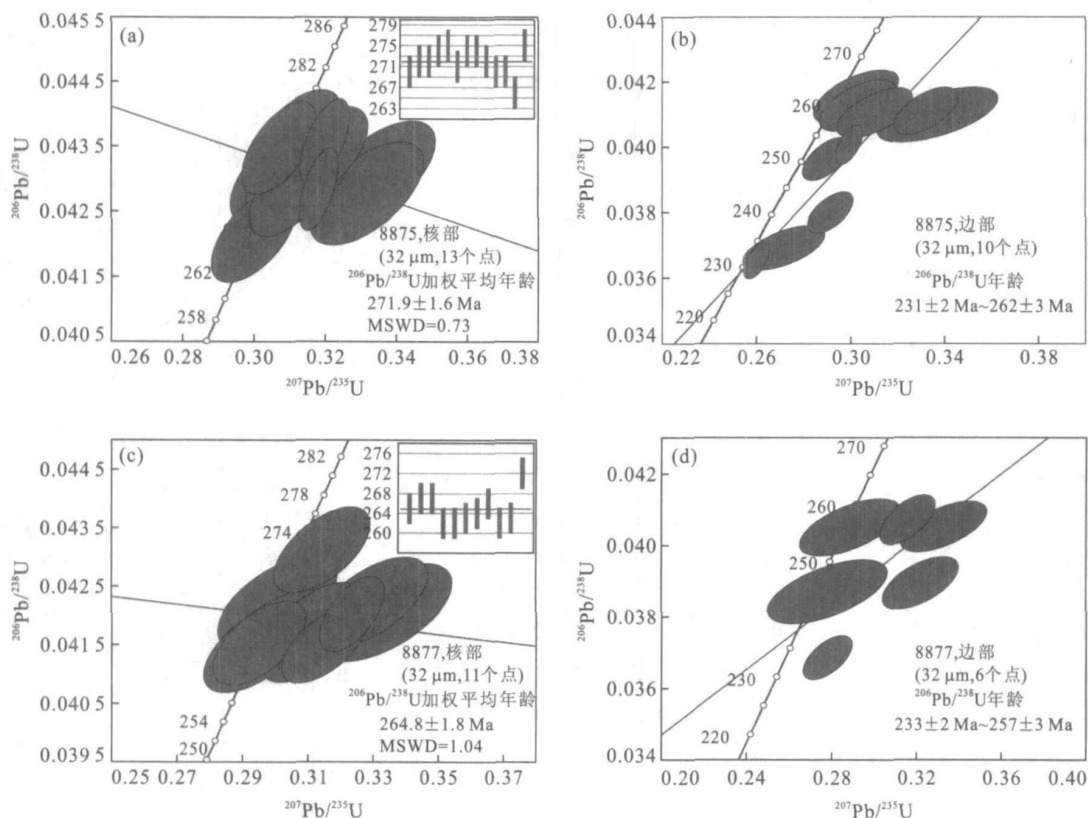


图3 房框子沟花岗质片麻岩边缘(a, b)和中央(c, d)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图和加权平均年龄

Fig.3 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram and weighted average age from edge (a, b) and center (c, d) of the Fangkuangzigou granitic gneiss

晶作用。

3.2 锆石 U-Pb 年龄

边缘云染状花岗质片麻岩样品(8875)的23个分析点都靠近在谐和线上, 锆石核部的13个分析点集中于谐和线上一点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $271.9 \pm 1.6 \text{ Ma}$ (MSWD=0.73) (图3a); 锆石边部的10个分析点给出的年龄值的分布范围较大, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $231 \pm 2 \text{ Ma} \sim 262 \pm 3 \text{ Ma}$ 之间 (图3b)。

中央均质的花岗质片麻岩样品(8877)的17个分析点也都靠近在谐和线上, 锆石核部的11个分析点集中于谐和线上一点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $264.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (MSWD=1.04) (图3c); 锆石边部的6个分析点给出的年龄值的分布范围较大, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $233 \pm 2 \text{ Ma} \sim 257 \pm 3 \text{ Ma}$ 之间 (图3d)。

4 讨论和结论

华北板块与西伯利亚板块最终缝合带的位置和碰撞缝合的时间是研究区存在的一个重要问题, 目前多数学者认为内蒙古北部锡林浩特(贺根山)—苏尼特左旗—索伦敖包一带是华北板块北缘和西伯利亚板块南缘最终缝合带(邵济安, 1986; 内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 唐克东和张允平, 1991; Xu *et al.*, 1996; 郝旭和徐备, 1997), 而最终碰撞对接时代一直没有定论。陈斌等(2001)对苏尼特左旗南的弧岩浆岩和碰撞花岗岩分别进行了定年, 在弧岩浆岩中得出锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $490 \pm 8 \text{ Ma}$ 和 $309 \pm 8 \text{ Ma}$, 在碰撞花岗岩中得出 Rb-Sr 全岩等时线年龄 $228 \pm 21 \text{ Ma}$ 和锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $254 \pm 4 \text{ Ma}$, 提出苏尼特左旗一带的碰撞缝合应该发生在 $310 \sim 230 \text{ Ma}$ 之间。李锦轶等(2007)对双井西边的中生代侵入体进行了研究, 指出该侵入体是壳源的, 可能主要来源于古生代增生—碰撞杂岩和相对古老的大陆边缘的重熔, 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $229.2 \pm 4.1 \text{ Ma}$ 和 $237.5 \pm 2.7 \text{ Ma}$, 为三叠纪中期侵位, 提出西伯利亚与华北板块之间沿西拉木伦缝合带的碰撞始于二叠纪中期约 270 Ma , 于三叠纪中期结束。碰撞的起始时间与本文报道的房框子沟花岗质片麻岩给出的锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄范围一致, 该片麻岩记录了华北板块与西伯利亚板块在林西地区碰撞缝合的时间。

房框子沟花岗质片麻岩原岩属钙碱性系列 S 型花岗岩(内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院, 1998), 其形成与碰撞造山有关。岩体边缘样品中锆石核部给出的年龄 ($271.9 \pm 1.6 \text{ Ma}$) 是岩体开始侵位的时间, 代表了华北板块与西伯利亚板块沿西拉木伦缝合带碰撞缝合机制下岩浆开始活动的时间; 岩体中央样品中锆石核部给出的年龄 ($264.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$) 代表了岩体主体侵位的时间; 两个样品中锆石边部给出的年龄范围基本一致, 介于 $231 \sim 262 \text{ Ma}$ 之间, 表明岩体侵位后两板块的碰撞仍在继续, 岩体在持续的挤压与剪切应力下发生变形变质而发育 NEE 向的片麻理。

房框子沟花岗质片麻岩南部的侵入体与李锦轶等(2007)报道的双井子岩体为同一个岩体(图1), 该岩体局部具有片麻状构造和蠕英构造, 面理呈 NEE 向, 变形强烈处发育 NEE 向的拉伸线理, 与房框子沟片麻岩中的线理方向基本一致, 证实华北板块与西伯利亚板块的碰撞缝合持续到了 230 Ma 。综上所述, 房框子沟花岗质片麻岩原岩是华北板块与西伯利亚板块碰撞缝合造成陆壳加厚而发生重熔的产物, 岩浆在 $271.9 \pm 1.6 \text{ Ma}$ 开始侵位于双井片岩中, 在接触带上多发生混合岩化, 造成岩体边缘呈云染状, 在 $264.8 \pm 1.8 \text{ Ma}$ 岩体主体侵位, 之后由于板块的持续碰撞缝合, 岩体在应力作用下变形变质形成了今天看到的房框子沟花岗质片麻岩的面貌, 到 $231 \pm 2 \text{ Ma}$ 碰撞基本结束, 西伯利亚板块与华北板块的最终碰撞拼合。

致谢: 锆石的阴极发光显微照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成, 实验过程中得到了弓虎军博士和柳小明教授的大力帮助与关心, 野外工作中得到了中国地质大学(武汉)杨巍然教授和赵温霞教授的悉心指导, 在此一并表示衷心的感谢!

References

- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192 (1-2): 59-79.
- Chen, B., Zhao, G. C., Simon, W., 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).
- Hao, X., Xu, B., 1997. Sm-Nd Rb-Sr isotopic geochronology of the Xilin Gol complex, Inner Mongolia, China. *Geological Review*, 43(1): 101-105 (in Chinese with Eng-

- lish abstract).
- Li, J. Y., Gao, L. M., Sun, G. H., et al., 2007. Shuangjinzi Middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the East Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (3): 565—582 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. L., Zhou, H. W., Ge, M. C., et al., 2007. Characteristics and genesis of migmatites within the northern Shuangjing micro-plate in the West Lamulun fault zone, Inner-Mongolia Province. *J. Mineral. Petrol.*, 27 (4): 22—29 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. L., Zhou, H. W., Ge, M. C., et al., 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of migmatite from North Shuangjing schist in Linxi, Inner Mongolia. *J. Mineral. Petrol.*, 28 (2): 10—16 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 1991. Isoplot-A plotting and regression program for radiogenic isotope data. *US Geological Survey Open-File Report*, 39: 91—445.
- Pearce, N. J. G., Perkins W. T., Westgate, J. A., et al., 1997. A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials. *Geostand. Newsl.*, 21(1): 115—144.
- Shao, J. A., 1986. The early protozoic ophiolite in middle Inner Mongolia and its implications for reconstruct crust evolution. In: Collection of papers on tectonics of North China Plate (I). Earthquake Publishing House, Beijing, 158—171 (in Chinese).
- Song, B., Zhang, Y. H., Wan, Y. S., et al., 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Suppl.): 26—30 (in Chinese with English abstract).
- Tang, K. D., Zhang, Y. P., 1991. Tectonic evolution of Inner Mongolian suture zone. In: Xiao, X. C., Tang, Y. Q., eds., Tectonic evolution of the southern margin of the Paleo-Asian composite megasuture. Scientific and Technical Publishing House, Beijing, 30—54 (in Chinese).
- Vavra, G., Gebauer, D., Schmid, R., et al., 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase late carboniferous to triassic metamorphism in granulites of the Ivrea zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122 (4): 337—358.
- Vavra, G., Schmid, R., Gebauer, D., 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: Geochronology of the Ivrea zone (southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134 (4): 380—404.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., et al., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Newsl.*, 19(1): 1—23.
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15): 1554—1569.
- Xu, B., Chen, B., Shao, J. A., 1996. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic geochronology of the Xilin Gol complex, Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 41 (13): 1107—1110.

附中文参考文献

- 陈斌, 赵国春, Simon, W., 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.
- 郝旭, 徐备, 1997. 内蒙古锡林浩特锡林郭勒杂岩的原岩年代和变质年代. *地质评论*, 43(1): 101—105.
- 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等, 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束. *岩石学报*, 23(3): 565—582.
- 李益龙, 周汉文, 葛梦春, 等, 2007. 西拉木伦断裂带双井微地块北缘混合岩的基本特征及其成因机制讨论. *矿物岩石*, 27(4): 22—29.
- 李益龙, 周汉文, 葛梦春, 等, 2008. 内蒙古林西县双井片岩北缘混合岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄. *矿物岩石*, 28 (2): 10—16.
- 邵济安, 1986. 内蒙古中部早古生代蛇绿岩及其在恢复地壳演化历史中的意义. 见: 中国北方板块构造论文集编委会, 中国北方板块构造论文集(I). 北京: 地质出版社, 158—171.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等, 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 5(增刊): 26—30.
- 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.