卷(Volume)37, 期(Number)4, 总(SUM)139
页(Pages)721~729, 2013, 11(November, 2013)

大地构造与成矿学
Geotectonica et Metallogenia

阿尔泰南缘晚石炭世淡色花岗岩的发现及其构造意义

沈晓明[1], 张海祥[2], 马　林[2,3]

(1.中国地震局 地壳应力研究所 地壳动力学重点实验室, 北京 100085; 2.中国科学院 广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

摘　要: 在阿尔泰南缘的多摩拉克布拉克地区, 新发现含石榴子石和白云母的淡色花岗岩侵入于早石炭世南明水组火山沉积地层中。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明, 淡色花岗岩形成于 311±3 Ma 的晚石炭世早期。该淡色花岗岩的发现及其年龄的确定, 结合区域岩浆岩、变质岩和沉积学等资料分析, 表明阿尔泰造山带南缘在~311 Ma 前完成碰撞过程, 并从此进入后碰撞时代。该发现为进一步研究阿尔泰造山带晚古生代构造演化提供了新的证据。

关键词: 阿尔泰南缘; 晚石炭世; 淡色花岗岩; LA-ICP-MS 年龄; 后碰撞

中图分类号: P597　　文献标志码: A　　文章编号: 1001-1552(2013)04-0721-009

0　引　言

淡色花岗岩是碰撞造山带陆壳物质脱水低比例熔融的产物(Le Fort, 1981), 因此它是研究碰撞造山过程中具有构造指示意义的特征岩石类型(Sylvester, 1998)。国内外大量研究表明, 淡色花岗岩是造山带碰撞晚期阶段或后碰撞阶段陆壳内含云母变质长英质岩石(变泥质岩、变硬砂岩、片麻岩)经云母脱水部分熔融生成(Searle et al., 1997; Nabelek and Bartlett, 1998; van de Flierdt et al., 2003; 张宏飞等, 2005)。喜马拉雅地区发育的淡色花岗岩最为典型, 研究也最为深入系统(Le Fort et al., 1987; Guillot and Le Fort, 1995; Noble and Searle, 1995; Ayres and Harris, 1997)。近年来, 花岗岩研究在中亚造山带地壳演化研究中发挥了重要作用(Wang et al., 2009; Liu et al., 2012)。新疆阿尔泰造山带作为中亚造山带的重要组成部分, 其花岗岩研究取得了重大进展, 发现的花岗岩类型包含了 I 型、S 型、A 型和 M 型四类, 主要由黑云母花岗岩、二云母花岗岩、花岗闪长岩、碱性花岗岩、碱长花岗岩和斜长花岗岩等组成(刘家远和袁奎荣, 1996; Han et al., 1997; 张海祥等, 2003; Wang et al., 2006; 童英等, 2007; 周刚等, 2007; 柴凤梅等, 2010), 总结了花岗岩时空演变规律、确定了成因演化和构造环境、探讨了其增生造山和陆壳生长意义(Han et al., 1997; Jahn et al., 2004; Wang et al., 2009; 王涛等, 2010; Cai et al., 2011; Shen et al., 2011)。然而, 西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块碰撞的时间仍然存在着争论, 阿尔泰造山带南缘后碰撞的起始时间存在早泥盆世(李会军等, 2010)、晚泥盆世(周刚等, 2009)、早石炭世(韩宝福等, 2006; 王京彬和徐新, 2006)和晚于早二叠世(龙晓平等, 2006; 肖文交等, 2006; Xiao et al., 2008, 2009)等几种截然不同的观点。虽然新疆阿尔泰地区已发现的花岗岩类型丰富多彩, 但该地区至今还没有淡色花岗岩的报道, 我们在近年的地质调查中于青河县城西南的多摩拉克布拉克地区发现了典型的淡色花岗岩, 并初步确定了其形成时代。该发现对阿尔泰造山带南缘古生代构造演化研究具有重要意义。

收稿日期: 2013-03-25; 改回日期: 2013-07-02

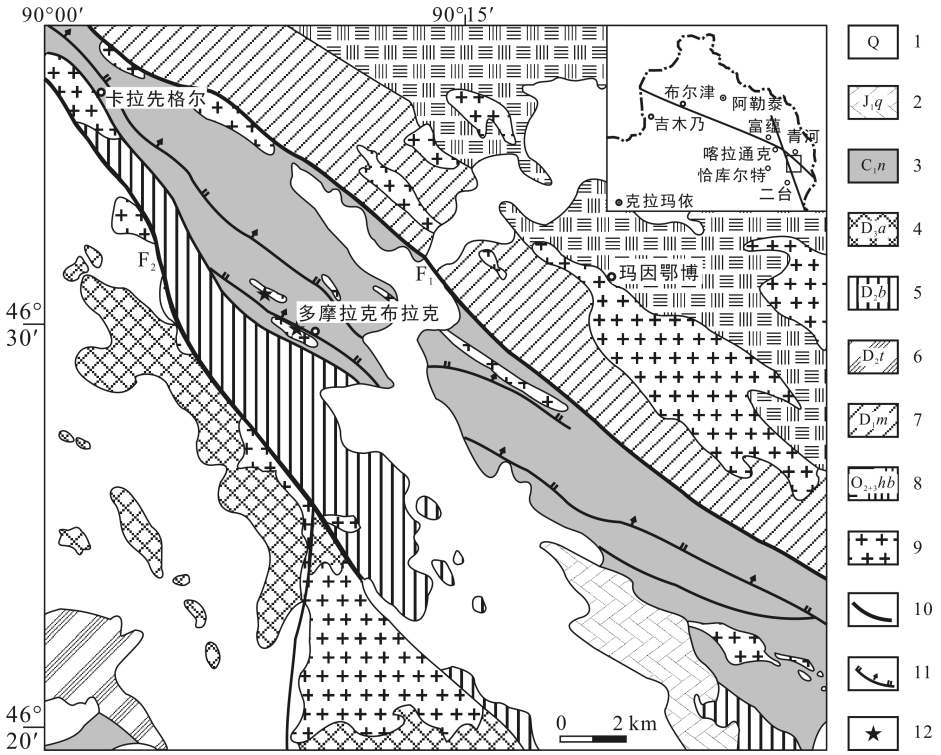
项目资助: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(编号: ZDJ2012-02)和国家自然科学基金项目(批准号: 41203044)资助。

第一作者简介: 沈晓明(1983–), 男, 博士, 助理研究员, 从事年代学与地球化学研究。Email: xiaoming_shen@163.com

1 地质背景与岩石学特征

新发现的淡色花岗岩位于阿尔泰造山带南缘, 大地构造上位于西伯利亚板块西南缘和哈萨克斯坦-准噶尔板块东北缘的构造结合部位, 额尔齐斯-玛因鄂博断裂与可可托海-二台断裂交汇处的东南位置(图 1)。阿尔泰南缘出露的地层主要由奥陶纪-志留纪沉积岩和变质岩, 泥盆纪-早石炭世海相火山-沉积岩, 晚石炭世-二叠世陆相火山-沉积岩和中生代含煤沉积岩及新生代沉积物组成(Zhang et al., 2008a)。总体上, 阿尔泰南缘分布的古生代地层有从北到南逐渐变年轻的特点(图 1)。研究区内中上奥陶统哈巴河群($O_{2+3}HB$)发育于额尔齐斯-玛因鄂博断裂北侧, 被认为是区域出露的最老的岩石, 主要由砂岩、粉砂岩、泥岩和板岩组成, 局部可见片麻岩和片岩; 泥盆系各统地层发育于区域大断裂附近, 包括下泥盆统玛音鄂博组(D_1m)、中泥盆统托让格库都克组(D_2t)和北塔山组(D_2b)以及上泥盆统阿尔曼太组(D_3a), 主要由中酸性火山岩、沉积岩和少量变质岩组成; 下石炭统南明水组(C_1n)发育于额尔齐斯-玛因鄂博断裂南侧, 主要由砂岩、粉砂岩、泥岩、千枚岩和片岩组成, 夹少量中酸性火山岩。花岗岩在各个时代地层中均有发育。新发现的含石榴子石和白云母的淡色花岗岩位于青河县城西南的多摩拉克布拉克地区, 它们侵入于早石炭世南明水组火山-沉积地层中(图 2)。

岩体呈小岩株状产出于多摩拉克布拉克次级断裂两侧, 展布方向为 NW-SE 向, 出露面积不大, 约 2 km^2 (图 1)。岩石呈灰白色, 中粒, 块状构造, 主要由石英(50%)、长石(40%)和石榴子石(5%)、白云母(3%)组成(图 3)。石榴子石为自形-半自形, 在岩石中分布不均匀, 呈浅褐色粒状, 颗粒大小 1~3 mm。片状白云母多与石榴子石相伴出现, 呈单片状或簇状分布于石榴子石晶体周围。岩石没有经历明显的变形和蚀变。



1. 第四系; 2. 下侏罗统青格里河组(J_1q); 3. 下石炭统南明水组(C_1n); 4. 上泥盆统阿尔曼太组(D_3a); 5. 中泥盆统北塔山组(D_2b); 6. 中泥盆统托让格库都克组(D_2t); 7. 下泥盆统玛音鄂博组(D_1m); 8. 中-上奥陶统哈巴河群($O_{2+3}HB$); 9. 花岗岩; 10. 断层; 11. 正断层; 12. 采样点。图中 F_1 为额尔齐斯-玛因鄂博断裂; F_2 为可可托海-二台断裂。

图 **1** 阿尔泰南缘多摩拉克布拉克一带地质简图(据新疆维吾尔自治区地质局, 1971①)

Fig.1 Sketch geological map of the Duomolakebulake area in the southern Altay Range

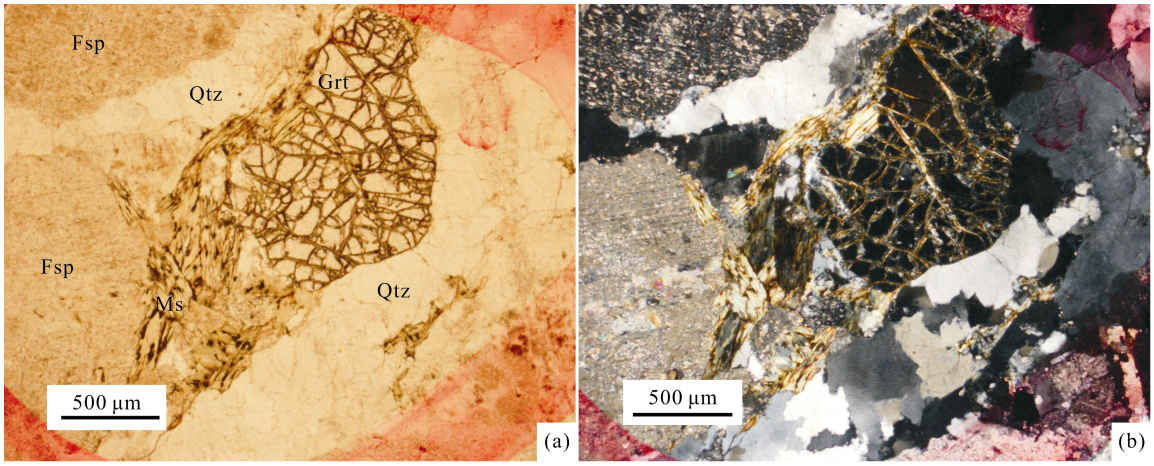
① 新疆维吾尔自治区地质局. 1971. 1∶20 万二台幅区域地质矿产报告.



图 2　多摩拉克布拉克淡色花岗岩野外露头照片

Fig.2　Field outcrop of the Duomolakebulake leucogranite

岩石主量元素地球化学分析结果平均值: SiO_2 为 73.14%, TiO_2 为 0.24%, Al_2O_3 为 13.74%, $Fe_2O_3^T$ 为 1.92%, MnO 为 0.05%, MgO 为 0.48%, CaO 为 1.23%, , Na_2O 为 3.95%, K_2O 为 3.56%, P_2O_5 为 0.07% (表 1)。岩石的 ACNK=1.1, 为强过铝质。微量元素方面表现出高 Rb、低 Th、Sr 含量, 高 Rb/Sr 比值(1.0)和低 Sr/Y 比值(5.1)等特点。轻稀土元素中度富集($(La/Yb)_N$=11), 并具有 Eu 负异常。这些地球化学特征与其他地区典型淡色花岗岩相似(Guillot and Le Fort, 1995; Sylvester, 1998; 郭素淑和李曙光, 2008)。



(a) 为单偏光; (b) 为正交偏光; Grt. 石榴子石; Ms. 白云母; Qtz. 石英; Fsp. 长石。

图 3　淡色花岗岩的显微照片

Fig.3　Microphotographs showing the characteristics of the leucogranite

表 1　多摩拉克布拉克淡色花岗岩岩石化学分析结果

Table 1　Geochemical compositions of the Duomolakebulake leucogranite

主量元素(%)

样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3T	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	总量
08QH-21	73.31	0.23	13.55	1.68	0.05	0.38	1.11	3.96	4.15	0.05	1.29	99.75
08QH-22	72.97	0.25	13.93	2.16	0.05	0.58	1.35	3.93	2.98	0.10	1.55	99.85

微量元素($\times10^{-6}$)

样号	Sc	Cr	Ni	Co	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Th	U
08QH-21	3.91	5.03	1.84	27.2	14.1	1.06	112	78.8	13.2	99.9	8.85	463	3.47	0.55	14.7	1.41
08QH-22	5.75	9.45	2.83	25.7	19.4	1.07	112	70.1	16.7	103	10.7	182	3.27	0.77	9.68	1.71

稀土元素($\times10^{-6}$)

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
08QH-21	35.0	68.2	7.53	25.8	4.80	0.71	3.71	0.56	2.67	0.48	1.39	0.22	1.51	0.25
08QH-22	19.8	39.5	4.71	17.4	3.53	0.70	3.15	0.55	3.20	0.65	2.00	0.32	2.26	0.36

注: 主量元素 XRF 分析和微量元素 ICP-MS 分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。

2 淡色花岗岩的锆石 U-Pb 年龄

锆石单矿物分选、制靶和阴极发光(CL)照相在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。分析时激光束斑直径为 32 μm, 频率为 8 Hz, 能量为 70 mJ, 激光剥蚀时间为 50 s。每个测试分析数据包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正, 每分析 5 个样品点, 分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移, 利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等(1995)。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal 完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu 等 (2010)。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3 (Ludwig, 2003)完成。测试数据见表 2。

表 2 多摩拉克布拉克淡色花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析数据

Table 2 LA-ICP-MS U-Pb results of zircons from the Duomolakebulake leucogranite

点号	Pb_{rad}	^{238}U	^{232}Th	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$	
	($\times10^{-6}$)				同位素比值	1σ	同位素比值	1σ	同位素比值	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ
08QH-21-01	165	1507	589	0.39	0.05142	0.00517	0.35764	0.03725	0.04967	0.00046	260	219	310	28	312	3
08QH-21-02	8	131	59	0.45	0.05364	0.00302	0.36321	0.02088	0.04903	0.00056	356	110	315	16	309	3
08QH-21-03	137	1830	881	0.48	0.05150	0.00424	0.35701	0.03186	0.04931	0.00087	263	169	310	24	310	5
08QH-21-04	8	141	70	0.50	0.05561	0.00284	0.38137	0.01877	0.04962	0.00062	437	88	328	14	312	4
08QH-21-05	19	365	171	0.47	0.05404	0.00137	0.37235	0.01070	0.04969	0.00059	373	43	321	8	313	4
08QH-21-06	9	157	76	0.48	0.05251	0.00345	0.36009	0.02401	0.04972	0.00086	308	121	312	18	313	5
08QH-21-07	8	153	80	0.52	0.05324	0.00160	0.36320	0.01089	0.04959	0.00047	339	51	315	8	312	3
08QH-21-08	24	419	298	0.71	0.05655	0.00341	0.38854	0.02354	0.04975	0.00117	474	92	333	17	313	7
08QH-21-09	34	369	210	0.57	0.04957	0.00699	0.32611	0.05046	0.04959	0.00078	175	288	287	39	312	5
08QH-21-10	67	1190	463	0.39	0.05099	0.00149	0.34640	0.01026	0.04907	0.00028	241	58	302	8	309	2
08QH-21-11	102	929	588	0.63	0.04862	0.00987	0.36485	0.07201	0.04915	0.00091	129	332	316	54	309	6
08QH-21-12	18	350	162	0.46	0.05270	0.00163	0.36105	0.01203	0.04956	0.00052	316	57	313	9	312	3
08QH-21-13	18	228	77	0.34	0.05724	0.00135	0.61589	0.01460	0.07814	0.00063	501	38	487	9	485	4
08QH-21-14	10	120	53	0.44	0.05701	0.00230	0.61129	0.02450	0.07798	0.00090	492	68	484	15	484	5
08QH-21-15	12	187	84	0.45	0.05423	0.00400	0.47679	0.03532	0.06367	0.00088	381	143	396	24	398	5
08QH-21-16	30	538	208	0.39	0.05193	0.00172	0.35634	0.01245	0.04941	0.00035	282	67	309	9	311	2
08QH-21-17	38	725	333	0.46	0.05154	0.00110	0.35369	0.00766	0.04967	0.00039	265	35	307	6	312	2
08QH-21-18	67	875	247	0.28	0.04896	0.00695	0.36146	0.04996	0.04988	0.00060	146	265	313	37	314	4
08QH-21-19	84	1822	18	0.01	0.05200	0.00063	0.35701	0.00456	0.04968	0.00027	285	19	310	3	313	2
08QH-21-20	31	412	365	0.89	0.05469	0.00105	0.48058	0.00891	0.06375	0.00044	400	29	398	6	398	3
08QH-21-21	10	138	147	1.07	0.05260	0.00388	0.36443	0.02757	0.04980	0.00060	311	151	316	21	313	4
08QH-21-22	22	429	135	0.31	0.05268	0.00282	0.35898	0.01832	0.04942	0.00080	315	125	311	14	311	5
08QH-21-23	6	121	46	0.38	0.05238	0.00220	0.36092	0.01536	0.04998	0.00056	302	77	313	11	314	3
08QH-21-24	27	515	239	0.46	0.05222	0.00108	0.35704	0.00723	0.04959	0.00033	295	34	310	5	312	2
08QH-21-25	10	174	100	0.57	0.05321	0.00377	0.36855	0.02735	0.05004	0.00084	338	139	319	20	315	5
08QH-21-26	16	329	96	0.29	0.05305	0.00178	0.36204	0.01228	0.04957	0.00055	331	57	314	9	312	3
08QH-21-27	19	367	163	0.44	0.05252	0.00156	0.36020	0.01100	0.04969	0.00055	308	49	312	8	313	3
08QH-21-28	33	266	326	1.22	0.05343	0.01256	0.37125	0.08821	0.04960	0.00086	347	421	321	65	312	5
08QH-21-29	32	647	92	0.14	0.05262	0.00121	0.35848	0.00832	0.04936	0.00043	313	37	311	6	311	3
08QH-21-30	28	235	92	0.39	0.07720	0.01077	0.69303	0.10933	0.06364	0.00173	1126	282	535	66	398	10
08QH-21-31	24	412	377	0.92	0.05424	0.00130	0.35828	0.00841	0.04788	0.00037	381	39	311	6	302	2
08QH-21-32	9	172	71	0.41	0.05615	0.00286	0.37774	0.01896	0.04879	0.00043	458	116	325	14	307	3
08QH-21-33	9	174	96	0.55	0.05009	0.00140	0.33983	0.00950	0.04923	0.00037	199	51	297	7	310	2

从锆石 CL 图像(图 4)可以看出, 样品中锆石主要有 2 类: 第一类是较自形, 不含继承核的锆石, 具有较典型的岩浆锆石环带; 第二类锆石虽然也具有较好的晶型, 但同时具有明显的继承性锆石残留核, 在继承核的外部仍可见岩浆锆石振荡环带边。

33 个锆石分析点获得三组谐和年龄(图 5): 第一组 28 个锆石分析点给出 302~315 Ma 的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄, 加权平均值为 311±3 Ma (2σ), 这些分析点位于锆石边部或位于第一类不含继承核的锆石颗粒; 第二组 3 个锆石分析点和第三组 2 个锆石分析点分别给出 398 Ma 和 484~485 Ma 的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄, 加权平均值分别为 398±11 Ma (2σ)和 485±13 Ma (2σ), 这些分析点都位于第二类锆石的继承性锆石核部(图 4)。我们认为, 311±3 Ma 的年龄代表多摩拉克布拉克淡色花岗岩的侵入年龄, 而 398±11 Ma 和 485±13 Ma 的年龄可能代表花岗质岩浆侵位前捕获的锆石年龄。

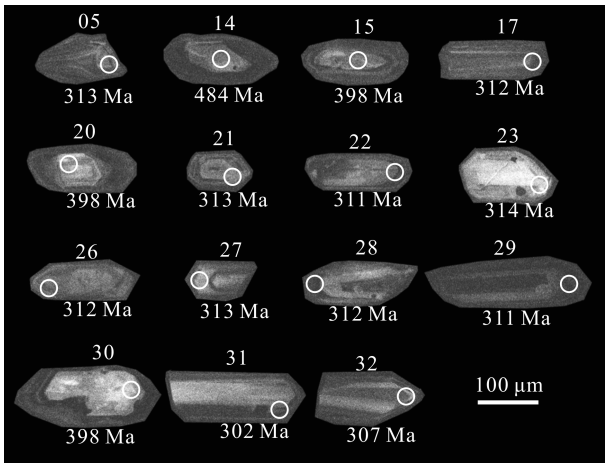


图 4　代表性锆石阴极发光(CL)图像

Fig.4　Representative cathodeluminescence (CL) images for zircons from the leucogranite

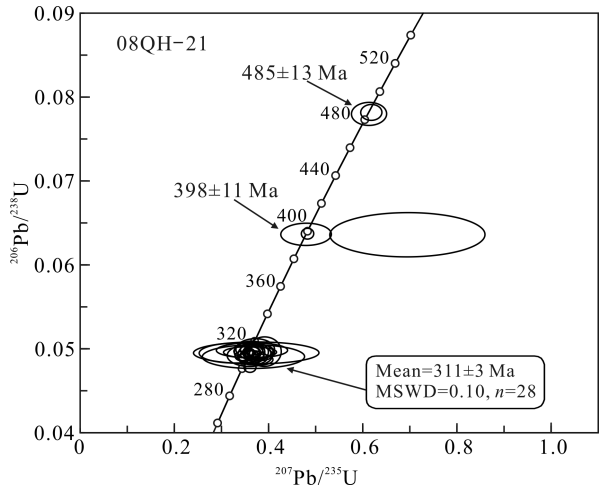


图 5　锆石 U-Pb 年龄谐和图

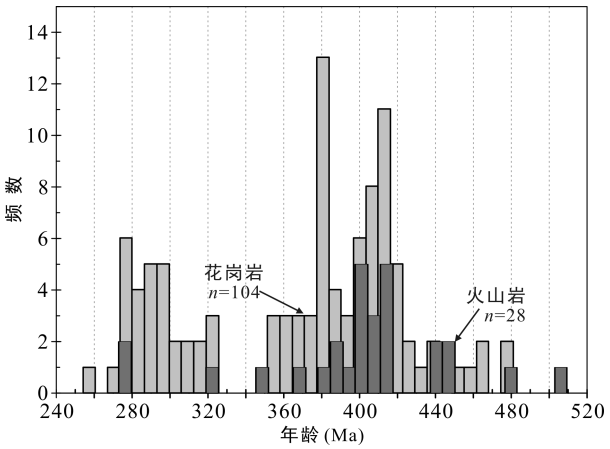
Fig.5　U-Pb concordant diagram for zircons from the leucogranite

3　讨　论

阿尔泰造山带南缘位于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块的结合部, 是中亚造山带的重要组成部分(Windley et al., 2002; Xiao et al., 2009)。虽然目前已在阿尔泰以及整个新疆北部获得许多花岗岩的可靠同位素年龄(沈晓明等, 2010; 尹继元等, 2011), 但对于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块的碰撞时间以及阿尔泰造山带南缘后碰撞的起始时间仍没有准确厘定。韩宝福等(2006)通过花岗岩年代学统计认为阿尔泰南缘后碰撞深成岩浆活动发生在 330~265 Ma 之间。根据 Liégeois(1998)对后碰撞的定义, 结合蛇绿岩构造侵位、区域变形变质及岩浆岩等, 王京彬和徐新(2006)认为阿尔泰南缘后碰撞的主体时限为早石炭世中期-晚二叠世。但是少数学者认为后碰撞的起始时间应更早, 为晚泥盆世(周刚等, 2009)或早泥盆世(李会军等, 2010)。相反, 一些学者则认为阿尔泰南缘在二叠纪仍然处于岛弧环境之中(韩春明等, 2006; 龙晓平等, 2006; 肖文交等, 2006; Xiao et al., 2008, 2009)。

淡色花岗岩是具有特征指示意义的一类岩石, 在全球主要造山带中均有发现。如伴随印度-欧亚大陆碰撞在高喜马拉雅(High Himalaya)形成的淡色花岗岩带, 岩体普遍含有石榴子石、白云母和电气石等富铝矿物, 它们的形成时代稍晚于主碰撞时间(Chung et al., 2005; 莫宣学等, 2005; 张宏飞等, 2005)。在欧洲海西造山带的比利牛斯山脉(Pyrenees), 淡色花岗岩是海西造山作用晚期阶段的产物(Vilà et al., 2005)。最近, 在中亚造山带的中天山东段地区也有发现古生代淡色花岗岩的报道, 并认为淡色花岗岩是中天山构造带后碰撞开始阶段的产物(郭召杰等, 2007)。值得注意的是, 以上典型地区淡色花岗岩的产出时间均稍晚于主碰撞时间, 并在此后伴随着区域大规模岩浆活动和高温低压变质作用的出现。

阿尔泰南缘 311±3 Ma 淡色花岗岩的发现, 表明晚石炭世早期阿尔泰南缘可能处于后碰撞的起始阶段。这一结论得到区域岩浆岩、变质岩和沉积学等资料的支持。已发表的大量阿尔泰南缘花岗岩和火山岩锆石 U-Pb 年龄统计表明, 在~350 Ma 和~320 Ma 之间存在一个明显的岩浆活动间断(图 6), 可能与西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块主碰撞



花岗岩锆石 U-Pb 年龄引自 Shen 等(2011), Cai 等(2012), Liu 等(2012), 吕书君等(2012), 柴凤梅等(2013); 火山岩锆石 U-Pb 年龄引自 Windley 等(2002), 单强等(2005, 2012), 张海祥等(2008), 曾乔松等(2009), 耿新霞等(2010), 刘伟等(2010), 宋国学等(2010), 柴凤梅等(2012), 李涤等(2013)。

图 6 阿尔泰南缘岩浆岩锆石 **U-Pb** 年龄统计直方图

Fig.6 Histogram of the zircon U-Pb ages for the southern Altay magmatic rocks

期相对应。地球化学研究表明, ~350 Ma 以前的岩浆活动以岛弧火山岩和钙碱性 I 型花岗岩为主, 如索尔库都克埃达克岩和富铌玄武岩、希勒科特哈腊苏花岗岩斑岩等(张招崇等, 2006; 张海祥等, 2008); 而~320 Ma 以后的岩浆活动则以出现大量的 A 型(碱性)花岗岩和铝质-过铝质 S 型花岗岩为特征, 如乌伦古碱性花岗岩带、玛因鄂博强过铝型花岗岩等(Han et al., 1997; 周刚等, 2007; Shen et al., 2011)。同时, 研究区内喀拉通克含 Cu-Ni-(PGE)硫化物的基性-超基性侵入岩体形成于 305~283 Ma(韩宝福等, 2004; 韩春明等, 2006; Zhang et al., 2008b), 也被认为产生于后碰撞环境(韩宝福等, 1999; Mao et al., 2008; Zhang et al., 2008b)。研究区还广泛发育早二叠世的高温变质岩, 如青河、富蕴、扎河坝等地区(陈汉林等, 2006; 胡霭琴等, 2006; 牛贺才等, 2007), 可能与后碰撞阶段地幔物质上涌造成的高热环境有关(韩宝福等, 1999)。此外, 沉积学研究表明, 在阿尔泰地区存在一套晚石炭世-早二叠世的陆相火山-沉积岩角度不整合覆盖于早期的海相沉积之上, 表明碰撞事件发生在石炭纪(周刚等, 2006; Zhang et al., 2009)。李锦轶(2004)根据地层分布及组成以及地层与蛇绿岩的关系也认为阿尔泰南缘在石炭纪末已进入后碰撞时期。因此, 新发现的多摩拉克布拉克淡色花岗岩可能标志着研究区从晚石炭世早期开始进入后碰撞时期, 它为进一步研究阿尔泰南缘的构造演化提供了新的资料, 具有重要的地质意义。

4 结 论

在阿尔泰南缘的多摩拉克布拉克地区新发现含石榴子石和白云母的淡色花岗岩, 它们侵入于早石炭世南明水组火山-沉积地层中; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明, 多摩拉克布拉克淡色花岗岩形成于 311±3 Ma 的晚石炭世早期; 多摩拉克布拉克淡色花岗岩可能标志着阿尔泰造山带南缘从晚石炭世早期开始进入后碰撞时期, 具有重要的地质意义。但是, 关于阿尔泰南缘淡色花岗岩的分布、产出规模、地球化学及岩石成因等还需要开展进一步的研究工作。

致谢: 中国地质大学(北京)张招崇教授和中国科学院广州地球化学研究所龙晓平博士对本文提出了建设性的修改意见和建议, 笔者在此表示衷心的感谢。

参考文献**(References)**:

柴凤梅, 董连慧, 杨富全, 刘锋, 耿新霞, 黄承科. 2010. 阿尔泰南缘克朗盆地铁木尔特花岗岩体年龄、地球化学特征及成因. 岩石学报, 26(2): 377–386.

柴凤梅, 欧阳刘进, 董连慧, 杨富全, 刘锋, 张志欣, 李强. 2013. 新疆阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩年代学及地球化学. 岩石矿物学杂志, 32(1): 41–52.

柴凤梅, 杨富全, 刘锋, 耿新霞, 张志欣, 陈斌. 2012. 阿尔泰南缘麦兹盆地康布铁堡组变质酸性火山岩年龄及岩石成因. 地质科学, 47(1): 221–239.

陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 余星, 肖文交, 袁超, 林秀斌, 李继亮. 2006. 阿尔泰造山带富蕴基性麻粒岩锆石SHRIMP U-Pb年代学及其构造意义. 岩石学报, 22(5): 1351–1358.

耿新霞, 柴凤梅, 杨富全, 左文喆, 郭正林, 刘锋, 张志欣. 2010. 新疆阿尔泰南缘达拉乌兹双峰式火山岩年龄及岩石成因. 岩石学报, 26(10): 2967–2980.

郭素淑, 李曙光. 2008. 淡色花岗岩的岩石学和地球化学特征及其成因. 地学前缘, 14(6): 290–298.

郭召杰, 韩宝福, 张志诚, 邓松涛, 刘畅. 2007. 中天山东段古生代淡色花岗岩的发现及其构造意义. 岩石学报, 23(8): 1841–1846.

韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质. 中国科学(D辑), 29(1): 16–21.

韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 李宗怀. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的SHRIMP 锆石U-Pb 年龄及其地质意义. 科学通报, 49(22): 2324–2328.

韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 张磊. 2006. 新疆准噶尔

晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限. 岩石学报, 22(5): 1077–1086.

韩春明, 肖文交, 赵国春, 屈文俊, 毛启贵, 杜安道. 2006. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床Re-Os同位素研究及其地质意义. 岩石学报, 22(1): 163–170.

胡霭琴, 韦刚健, 邓文峰, 陈林丽. 2006. 阿尔泰地区青河县西南片麻岩中锆石SHRIMP U-Pb定年及其地质意义. 岩石学报, 22(1): 1–10.

李涤, 何登发, 樊春, 向奎, 金露英. 2013. 东准噶尔早二叠世后碰撞岩浆活动: 蕴都卡拉流纹岩 SHRIMP U-Pb年代学, 地球化学和Hf同位素的制约. 岩石学报, 29(1): 317–337.

李会军, 何国琦, 吴泰然, 吴波. 2010. 中国阿尔泰古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义. 岩石学报, 26(8): 2445–2451.

李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评, 50(3): 304–322.

刘家远, 袁奎荣. 1996. 新疆乌伦古富碱花岗岩带碱性花岗岩成因及其形成构造环境. 高校地质学报, 2(3): 257–272.

刘伟, 刘丽娟, 刘秀金, 尚海军, 周刚. 2010. 阿尔泰南缘早泥盆世康布铁堡组的SIMS锆石U-Pb年龄及其向东向北延伸的范围. 岩石学报, 26(2): 387–400.

龙晓平, 孙敏, 袁超, 肖文交, 陈汉林, 赵永久, 蔡克大, 李继亮. 2006. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔洋盆闭合时限的制约. 岩石学报, 22(1): 31–40.

吕书君, 杨富全, 柴凤梅, 张希兵, 姜丽萍, 刘锋, 张志欣, 耿新霞, 欧阳刘进. 2012. 东准噶尔北缘老山口铁铜金矿区侵入岩LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及地质意义. 地质论评, 58(1): 149–164.

莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张风琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息. 高校地质学报, 11(3): 281–290.

牛贺才, 单强, 张海祥, 于学元. 2007. 东准噶尔扎河坝超高压变质成因石英菱镁岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$同位素年代学信息及地质意义. 岩石学报, 23(7): 1627–1634.

单强, 牛贺才, 于学元, 张海祥. 2005. 新疆北部哈纳斯盆地火山岩地球化学特征、锆石U-Pb年龄及其构造意义. 地球化学, 34(4): 11–23.

单强, 曾乔松, 李宁波, 杨武斌, 罗勇, 姜玉航, 于学元. 2012. 新疆阿尔泰南缘康布铁堡组钾-钠质流纹岩锆石U-Pb年龄和地球化学. 岩石学报, 28(7): 2132–2144.

沈晓明, 张海祥, 马林. 2010. 洋脊俯冲及其在新疆阿尔泰地区存在的可能证据. 大地构造与成矿学, 34(2): 181–195.

宋国学, 秦克章, 刘铁兵, 李光明, 申萍. 2010. 阿尔泰南缘阿舍勒盆地泥盆纪火山岩中古老锆石的U-Pb年龄、Hf同位素和稀土元素特征及其地质意义. 岩石学报, 26(10): 2946–2985.

童英, 王涛, 洪大卫, 代雅建, 韩宝福, 柳晓明. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义. 岩石学报, 23(8): 1933–1944.

王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. 地质学报, 80(1): 23–31.

王涛, 童英, 李舢, 张建军, 史兴俊, 李锦轶, 韩宝福, 洪大卫. 2010. 阿尔泰造山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰为例. 岩石矿物学杂志, 29(6): 595–618.

肖文交, 韩春明, 袁超, 陈汉林, 孙敏, 林寿发, 厉子龙, 毛启贵, 张继恩, 孙枢, 李继亮. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. 岩石学报, 22(5): 1062–1076.

尹继元, 袁超, 王毓婧, 龙晓平, 关义立. 2011. 新疆西准噶尔晚古生代大地构造演化的岩浆活动记录. 大地构造与成矿学, 35(2): 278–291.

曾乔松, 陈广浩, 蔡佑星, 王核, 王梦飞. 2009. 阿尔泰南缘冲乎尔盆地酸性火山岩地球化学及年代学研究. 大地构造与成矿学, 33(4): 603–612.

张海祥, 牛贺才, Terada K, 于学元, Sato H, Ito J. 2003. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究. 科学通报, 48(12): 1350–1354.

张海祥, 沈晓明, 马林, 牛贺才, 于学元. 2008. 新疆北部富蕴县埃达克岩的同位素年代学及其对古亚洲洋板块俯冲时限的制约. 岩石学报, 24(5): 1054–1058.

张宏飞, 张利, 赵志丹, 李德威. 2005. 北喜马拉雅淡色花岗岩地球化学: 区域对比、岩石成因及其构造意义. 地球科学——中国地质大学学报, 30(3): 275–288.

张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 贺永康, 柴凤梅, 何立新, 万渝生. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的SHRIMP U-Pb锆石定年. 科学通报, 51(13): 1565–1574.

周刚, 吴淦国, 董连慧, 张招崇, 董永观, 童英, 何立新, 应立娟. 2009. 新疆准噶尔北东缘乌图布拉克岩体形成时代、地球化学特征及地质意义. 岩石学报, 25(6): 1390–1402.

周刚, 张招崇, 谷高中, 杨文平, 何斌, 张小林, 罗世宾, 王祥, 贺永康. 2006. 新疆东准噶尔北部青格里河下游花岗岩类的时代及地质意义. 现代地质, 20(1): 141–150.

周刚, 张招崇, 罗世宾, 何斌, 王祥, 应立娟, 赵华, 李爱红, 贺永康. 2007. 新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩: 年龄、地球化学特征及其地质意义. 岩石学报, 23(8): 1909–1920.

Ayres M and Harris N. 1997. REE fractionation and

Nd-isotope disequilibrium during crustal anatexis: Constraints from Himalayan leucogranites. *Chemical Geology*, 139(1): 249–269.

Cai K, Sun M, Yuan C, Xiao W J, Zhao G C, Long X P and Wu F Y. 2012. Carboniferous mantle-derived felsic intrusion in the Chinese Altai, NW China: Implications for geodynamic change of the accretionary orogenic belt. *Gondwana Research*, 22(2): 681–698.

Cai K D, Sun M, Yuan C, Zhao G C, Xiao W J, Long X P and Wu F Y. 2011. Prolonged magmatism, juvenile nature and tectonic evolution of the Chinese Altai, NW China: Evidence from zircon U-Pb and Hf isotopic study of Paleozoic granitoids. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5): 949–968.

Chung S L, Chu M F, Zhang Y, Xie Y, Lo C H, Lee T Y, Lan C Y, Li X, Zhang Q and Wang Y. 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism. *Earth-Science Reviews,* 68(3): 173–196.

Guillot S and Le Fort P. 1995. Geochemical constraints on the bimodal origin of High Himalayan leucogranites. *Lithos*, 35(3): 221–234.

Han B F, Wang S G, Jahn B M, Hong D W, Kagami H and Sun Y L. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth. *Chemical Geology*, 138(3–4): 135–159.

Jahn B M, Windley B, Natal'in B and Dobretsov N. 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 599–603.

Le Fort P. 1981. Manaslu leucogranite: A collision signature of the Himalaya a model for its genesis and emplacement. *Journal of Geophysical Research*, 86(B11): 10545–10568.

Le Fort P, Cuney M, Deniel C, France-Lanord C, Sheppard S, Upreti B and Vidal P. 1987. Crustal generation of the Himalayan leucogranites. *Tectonophysics*, 134(1): 39–57.

Liégeois J P. 1998. Preface—Some words on the post-collisional magmatism. *Lithos*, 45(1–4): 15–17.

Liu W, Liu X J and Xiao W J. 2012. Massive granitoid production without massive continental-crust growth in the Chinese Altay: Insight into the source rock of granitoids using integrated zircon U-Pb age, Hf-Nd-Sr isotopes and geochemistry. *American Journal of Science*, 312(6): 629–684.

Liu Y S, Gao S, Gao C G, Wang D B, Zong K Q and Hu Z C. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537–571.

Ludwig K R. 2003. Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication*, 4: 1–71.

Mao J W, Pirajno F, Zhang Z H, Chai F M, Wu H, Chen S P, Cheng L S, Yang J M and Zhang C Q. 2008. A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): Principal characteristics and ore-forming processes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2–4): 184–203.

Nabelek P I and Bartlett C D. 1998. Petrologic and geochemical links between the post-collisional Proterozoic Harney Peak leucogranite, South Dakota, USA, and its source rocks. *Lithos*, 45(1): 71–85.

Noble S and Searle M. 1995. Age of crustal melting and leucogranite formation from U-Pb zircon and monazite dating in the western Himalaya, Zanskar, India. *Geology*, 23(12): 1135–1138.

Searle M, Parrish R, Hodges K, Hurford A, Ayres M and Whitehouse M. 1997. Shisha Pangma leucogranite, south Tibetan Himalaya: Field relations, geochemistry, age, origin, and emplacement. *The Journal of Geology*, 105(3): 295–318.

Shen X M, Zhang H X, Wang Q, Wyman D A and Yang Y H. 2011. Late Devonian-Early Permian A-type granites in the southern Altay Range, Northwest China: Petrogenesis and implications for tectonic setting of "A_2-type" granites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5): 986–1007.

Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos*, 45(1): 29–44.

van de Flierdt T, Hoernes S, Jung S, Masberg P, Hoffer E, Schaltegger U and Friedrichsen H. 2003. Lower crustal melting and the role of open-system processes in the genesis of syn-orogenic quartz diorite-granite-leucogranite associations: Constraints from Sr-Nd-O isotopes from the Bandombaai Complex, Namibia. *Lithos*, 67(3): 205–226.

Vilà M, Pin C, Enrique P and Liesa M. 2005. Telescoping of three distinct magmatic suites in an orogenic setting: Generation of Hercynian igneous rocks of the Albera Massif (Eastern Pyrenees). *Lithos*, 83(1): 97–127.

Wang T, Hong D W, Jahn B M, Tong Y, Wang Y B, Han B F and Wang X X. 2006. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen. *Journal of Geology*, 114(6): 735–751.

Wang T, Jahn B M, Kovach V P, Tong Y, Hong D W and Han B F. 2009. Nd-Sr isotopic mapping of the Chinese Altai and implications for continental growth in the Central Asian Orogenic Belt. *Lithos*, 110(1–4): 359–372.

Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin W, Meier M, Oberli F, Quadt A, Roddick J and Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1): 1–23.

Windley B F, Kroener A, Guo J, Qu G, Li Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution. *The Journal of Geology*, 110(6): 719–737.

Xiao W J, Han C M, Yuan C, Sun M, Lin S F, Chen H L, Li Z L, Li J L and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2–4): 102–117.

Xiao W J, Windley B F and Yuan C. 2009. Paleozoic mutiple subduction-accretion processes of the Southern Altaids. *American Journal of Science*, 309: 221–270.

Zhang Z C, Mao J W, Cai J, Kusky T M, Zhou G, Yan S and Zhao L. 2008a. Geochemistry of picrites and associated lavas of a Devonian island arc in the northern Junggar terrane, Xinjiang (NW China): Implications for petrogenesis, arc mantle sources and tectonic setting. *Lithos*, 105(3–4): 379–395.

Zhang Z C, Zhou G, Kusky T M, Yan S G, Chen B L and Zhao L. 2009. Late Paleozoic volcanic record of the eastern Junggar Terrane, Xinjiang, northwestern China: Major and trace element characteristics, Sr-Nd isotopic systematics and implications for tectonic evolution. *Gondwana Research*, 16(2): 201–215.

Zhang Z H, Mao J, Du A, Pirajno F, Wang Z, Chai F, Zhang Z and Yang J. 2008b. Re-Os dating of two Cu-Ni sulfide deposits in northern Xinjiang, NW China and its geological significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2–4): 204–217.

Discovery of the Late Carboniferous Leucogranite in the Southern Altay Range and its Tectonic Implications

SHEN Xiaoming[1], ZHANG Haixiang[2] and MA Lin[2, 3]

(1. *Key Laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing* 100085*, China;* 2. *State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640*, Guangdong, China;* 3. *University of Chinese Academy of Science, Beijing* 100049*, China*)

Abstract: The time frame for the collision between Siberia Plate and Kazakhstan-Junggar Plate and the initiation of post-collision of the Southern Altay Range in the Late Paleozoic remain controversial. Paleozoic granitoid magmatism played an important role in the tectonic evolution of the Southern Altay Range and various origins of granitoids have been found in this region, including I-, S-, A- and M-type granitoids. Here, we report the newly discovered Duomolakebulake garnet- and muscovite- bearing leucogranite which intruded the Early Carboniferous Nanmingshui volcanic-sedimentary formation in the southern Altay Range. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating indicates that the leucogranite was generated in the early Late Carboniferous (311±3 Ma). As an important rock type for tectonic implications, leucogranite is considered to be generated in a post-collision setting. In combination with lithology data in this region, we suggest that the collision ended prior to ~311 Ma in the southern Altay Range, and then evolved into the post-collisional stage. This new discovery may shed lights on the tectonic evolution of the Altay Range in the Late Paleozoic.

Keywords: leucogranite; LA-ICP-MS dating; Late Carboniferous; post-collision; Altay