



Title	Constraining the deposition time and tectonic background of the Habahe Group of the Altai
Author(s)	Yuan, C; Sun, M; Long, XP; Xia, XP; Xiao, WJ; Li, XH; Lin, SF; Cai, KD
Citation	Acta Petrologica Sinica, 2007, v. 23 n. 7, p. 1635-1644
Issued Date	2007
URL	http://hdl.handle.net/10722/72449
Rights	Creative Commons: Attribution 3.0 Hong Kong License

阿尔泰哈巴河群的沉积时代及其构造背景*

袁超¹ 孙敏² 龙晓平¹ 夏小平² 肖文交³ 李献华¹ 林寿发⁴ 蔡克大¹

YUAN Chao¹, SUN Min², LONG XiaoPing¹, XIA XiaoPing, XIAO WenJiao³, LI XianHua¹, LIN ShouFa⁴ and CAI KeDa¹

1. 中国科学院广州地球化学研究所 同位素年代学与地球化学重点实验室, 广州 510640

2. 香港大学地球科学系, 香港薄扶林道

3. 中国科学院地质与地球物理研究所 岩石圈构造演化重点实验室, 北京 100029

4. 加拿大滑铁卢大学地球科学系, 滑铁卢 ON N2L 3G1

1. *Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China*

2. *Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong, China*

3. *State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

4. *University of Waterloo, Department of Earth Sciences, Waterloo, ON N2L 3G1, Canada*

5. *Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*

2006-12-22 收稿, 2007-04-17 改回。

Yuan C, Sun M, Long XP, Xia XP, Xiao WJ, Li XH, Lin SF and Cai KD. 2007. Constraining the deposition time and tectonic background of the Habahe Group of the Altai. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7):1635 – 1644

Abstract Habahe Group mainly consists of clastic sediments, which widely distribute in the Chinese Altai and can provide important constraints on the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). However, there are different opinions about its deposition time and tectonic background. Previous studies suggested that the Habahe Group formed in Sinian to Mid-Ordovician or Mid- to Late Ordovician in a passive continental margin. On the other hand, recent geological investigations reveal a long lasting subduction-related setting in the Chinese Altai at least since Cambrian. The current geochronological study for detrital zircons from the Habahe Group reveals that the detrital zircons of individual samples, irrespective of their lithological and metamorphic differences, all show similar age patterns, with the early Paleozoic ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age = $463 \pm 542\text{Ma}$) grains predominating. The youngest detrital zircons from different samples display similar ages (ca. 470Ma), which may reflect the maximum deposition time of the Habahe Group. Dating of growth rim of detrital zircons from migmatite yielded a Mid-Devonian age ($384 \pm 6\text{Ma}$), which was coeval with intrusion of Early to Mid-Devonian granitic plutons in the area and clearly indicates the minimum deposition time of the Habahe Group. Therefore, the deposition time of the Habahe Group can be constrained to be Mid-Ordovician to Early Devonian. Zircon U Pb dating results indicate that the detrital zircons of the Habahe Group are dominated by early Paleozoic grains, with small proportion formed in Precambrian. The early Paleozoic detrital zircons are mostly magmatic in origin, and their less rounded shapes indicate a limited transportation. The age and morphological characteristics of the detrital zircons are consistent with those of detrital zircons in active tectonic settings and indicate that the Chinese Altai was under an active continental margin environment during the Early Paleozoic.

Key words Altai, Zircon U-Pb Dating, Clastic Rock, Habahe Group, Deposition Time, Tectonic Settings

摘要 北疆阿尔泰造山带的哈巴河群变质碎屑岩分布广泛,其沉积时代和构造环境对于认识中亚造山带的演化历史有重要意义。早期研究认为哈巴河群沉积于震旦纪—中奥陶世时期,形成于被动大陆边缘构造环境。而最近有学者根据中亚造山带的地质演化背景提出,阿尔泰形成于活动陆缘构造环境。对哈巴河群中碎屑锆石的年代学研究表明,不同岩性或变质程度不同的样品碎屑锆石主要类群具有相似的年龄分布特征,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄主要介于463~542Ma之间。在这些样品中,

* 国家重点基础研究规划项目课题(2007CB411308)、国家自然科学基金(40421303,40572043)和香港 RGC 项目(HKU 7040/04P)资助成果。
第一作者简介:袁超,男,1966年生,研究员,地球化学专业, E-mail: yuanchao@gig.ac.cn

最年轻的碎屑锆石年龄均集中于470Ma左右,代表了碎屑沉积的时代下限。而哈巴河群混合岩样品中碎屑锆石增生边形成于中泥盆世晚期(384±6Ma),与侵入该群的早古生代花岗岩的年龄十分接近,大致反映了哈巴河群碎屑岩沉积时代的上限,因此哈巴河群的沉积时代应在早泥盆世—中奥陶世之间。锆石的形态和内部结构特征显示哈巴河群的年轻碎屑锆石类群(463~542Ma)主要为岩浆锆石,其磨圆度较差,而且在比例上远高于前寒武纪碎屑锆石。上述特点与活动大陆边缘碎屑锆石类群分布特征完全一致,反映阿尔泰在中奥陶世至早泥盆世可能处于活动大陆边缘构造环境。

关键词 阿尔泰; 锆石定年; 碎屑沉积岩; 哈巴河群; 沉积时代; 构造背景

中图法分类号 P588.21, P597.3

阿尔泰山是中亚造山带的一个重要组成部分,也是认识这一巨型增生型造山带的一个重要窗口(Sengör *et al.*, 1993; Sengör and Natal'in, 1996; Windley *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2004)。长期以来由于技术手段的限制,对阿尔泰地区岩浆活动和主要的造山时限存在不同认识。早期的研究者认为阿尔泰是一个以海西期为主的造山带,加里东期的岩浆活动虽然存在但规模较小(刘峰标, 1983; 芮行建和吴玉金, 1984; 邹天人等, 1988; 刘伟, 1990; 王中刚等, 1998; 新疆地质矿产局, 1993)。然而随着定年技术的不断发展,越来越多的数据显示很多以前被认为是晚古生代的岩浆活动实际应归入早古生代(Sun *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006; Yuan *et al.*, 2007),表明加里东期是阿尔泰造山带发展形成的一个非常重要的时期。同样,对于区内主要地层的时代也有过不同的认识。以在阿尔泰地区广泛出露的哈巴河群为例,早期1:20万地质图^①将其划归为中上奥陶统,但随后有学者根据其中发现的微古植物化石将其定为震旦系或震旦系—下寒武统(参阅王光耀和张玉亭, 1983; 高振家等, 1985; 彭昌文, 1989)。在1993年编写的《新疆地质志》中,哈巴河群被划分为奥陶系和震旦—奥陶系两个部分,前者继续使用哈巴河群的称谓,而后者则被冠之以哈纳斯群(新疆地质矿产局, 1993)。上世纪九十年代末,部分学者根据阿尔泰地区部分岩石变形和变质强烈的特征,提出将哈巴河群中部分变质程度高的岩石,与库鲁木图群、康布铁堡组和阿勒泰组地层中的中高级变质岩划分为古—中元古界克木齐群和新元古界富蕴群(李天德等, 1996; 胡霭琴, 2002),其主要依据是这部分岩石的元古宙 Sm-Nd 模式年龄或等时线年龄(Hu *et al.*, 2000)。最近对阿尔泰地区一些高级变质岩的锆石 U-Pb 年代学研究显示,这些岩石的原岩形成时代较晚且大多集中在280~520Ma之间(胡霭琴等, 2006; 陈汉林等, 2006; Sun *et al.*, 2006),从而对本区古老基底的存在提出了质疑。近来一些学者倾向于将其划入震旦系或震旦系—中奥陶统的范畴(新疆地质矿产局, 1993; Windley *et al.*, 2002; Chen and Jahn, 2002; 李会军等, 2006)。此外,对于早古生代阿尔泰的构造环境也存在不同的认识。尽管早古生代的大量岩浆活动似乎反映了一种活动陆缘的构造环境(Windley *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2006),但也有学者根据哈巴河群中巨厚的复理石建造提出了被动陆缘的解释(何国琦等, 1990)。正确认识本区的地层时代对于了解阿尔泰造山带的地质格架和造山历史具有重要意义。为此,我们选择原哈巴

河群开展研究,试图从地质关系和碎屑锆石的年龄分布特征来制约该套碎屑沉积岩的形成时代以及其形成的构造环境。

1 地质背景

阿尔泰造山带沿北西-南东向横贯中、蒙、俄、哈四国,全长约2000km,在中国境内的部分约有500km。区内出露的最早,同时分布范围较大的地层是哈巴河群,主要由厚层的长英质浊积岩组成,以板岩、千枚岩和片岩为主,也包含少量火山岩(何国琦等, 1990)(图1)。哈巴河群虽已褶皱,但多数地段的变质程度仅达低绿片岩相,局部角闪岩相(新疆维吾尔自治区区域地层表编写组, 1981; 新疆地质矿产局, 1993)。不整合于哈巴河群之上的是志留系库鲁木提群,主要由变碎屑岩、混合岩和片麻岩组成。康布铁堡组与库鲁木提群不整合接触,主要为变质酸性火山岩、火山碎屑岩,夹结晶灰岩和片岩(新疆地质矿产局, 1993)。阿勒泰组主要由浊积岩以及少数火山岩组成, Windley *et al.* (2002)认为其形成于中泥盆世的弧前环境。本区缺少晚泥盆系的地层,石炭世沉积主要分布在研究区的东部,主要由细粒碎屑沉积岩和少量中基性火山岩组成(图1)。

区内断层发育并分布大量的花岗岩侵入体,碎屑沉积岩系由于受断层和岩体的切割因而连续性相对较差。阿尔泰广泛分布的花岗岩侵入体,出露面积达阿尔泰造山带总面积的40%(王中刚等, 1998)。最近大量的锆石 U-Pb 年代学工作表明,这些花岗岩以早古生代为主,其中又以早泥盆世花岗岩最为突出(Wang *et al.*, 2006; Yuan *et al.*, 2007)。部分早古生代花岗岩侵入到哈巴河群碎屑沉积岩中,可以为该套碎屑沉积岩的形成时代提供重要制约,将在讨论部分详细说明。

2 样品描述

由于阿尔泰哈巴河群分布广,连续性较差,不同地区变质程度不同,因而本研究从阿尔泰西北及中东部采集了三个变质程度不同的样品展开研究。这些样品的主要特征分述如下:

① 新疆地质局区域地质测量大队, 1967. 1: 20万哈巴河幅地质图

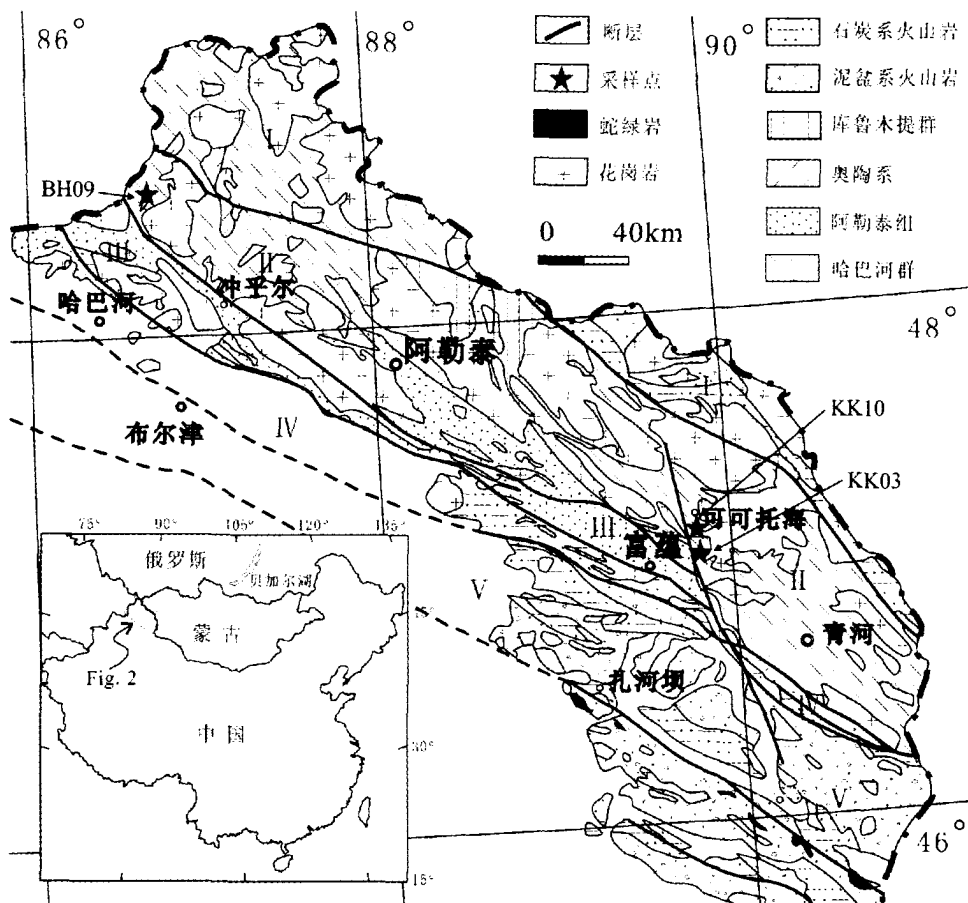


图1 阿尔泰造山带地质简图(据何国琦等, 1990; Windley *et al.*, 2002 改编)

Fig. 1 Simplified geological map of the Chinese Altai

(1) KK03:哈巴河群的云母片岩,采自可可托海以南约5km处,野外呈层状,出露厚度数百米,周围被第四系沉积物覆盖。该套云母片岩向东延伸部分被可可托海花岗岩体侵入。云母片岩样品呈灰色,主要由石英(45%~65%),斜长石(15%~25%)、黑云母(10%~25%)和少量绿泥石(≈5%)组成。

(2) KK10:哈巴河群中混合岩化的变沉积岩,采于可可托海以南20km处,变形强烈,靠近可可托海花岗岩体。主要组成矿物包括石英(30%~40%),斜长石(10%~25%),正长石(10%~30%)和黑云母(10%~50%)。富矿物包括少量的磁铁矿、磷灰石和锆石等。

(3) BH09:哈巴河群中的粉砂岩,采自白哈巴西南约25km处,呈层状,岩性比较均一。该样品主要矿物组成以石英和斜长石为主,碎屑颗粒磨圆较差,胶结物以长英质为主。

3 分析方法

锆石的分选主要经过岩石破碎,过筛和淘洗和重液等过程后初步富集,再经过手工去除杂质矿物以使锆石颗粒进一步纯化。用钢针随机粘取一定数量的锆石置于双面胶带上

并用环氧树脂固结制靶,经过打磨、抛光使锆石的内部结构充分暴露以便于阴极发光照相和原位的同位素分析。阴极发光照相(CL)利用中国科学院广州地球化学研究所的JXA-8100电子探针配置的CL3阴极发光系统进行,而锆石U-Pb同位素分析利用香港大学地球科学系的VG PQ Excel ICP-MS完成。激光系统采用的是波长为213 nm的紫外激光(LUV213),在分析过程以国际标准锆石91500为外部标准,同时使用高纯氦为载气以提高分析的灵敏度。详细的分析流程和参数设置已由Xia *et al.* (2004)和Luo *et al.* (2004)分别做了详细的描述。对年龄数据的处理采用Isoplot 3(Ludwig, 2003)。应用该系统对云南金平的一个正长岩(765 ± 9Ma,王焰未发表SHRIMP数据)和西准庙儿沟岩体(305 ± 7Ma,洗伟胜未发表之SHRIMP数据)中的锆石进行了U-Pb同位素分析,分别获得了761 ± 15Ma和304 ± 6Ma的结果,与上述SHRIMP结果完全一致。为使分析结果具有代表性,通常60个左右的碎屑锆石分析是必要的(Moehler and Samson, 2006)。在本项研究中,除粉砂岩样品中的碎屑锆石因颗粒较细影响了分析数量之外,我们对片岩和混合岩分别进行了58和54个有效的分析测试,该结果应该能够反映源区碎屑锆石的分布特征。锆石U-Pb同位素分析和年龄结果列于表1中。

表1 哈巴河群变质碎屑岩锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 U-Pb data for zircons from the metasedimentary rocks of the Habahe Group

样品 点号	同位素比值						年龄 (Ma)						Disc (%)	
	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	1σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	1σ	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$	1σ	$\frac{Pb^{206}}{U^{238}}$	1σ	$\frac{Pb^{207}}{U^{235}}$		1σ
KK03: 片岩														
1	0.23	0.05759	0.00090	0.66223	0.011	0.08334	0.0010	514	34	516	6	516	7	0
2	0.25	0.05901	0.0012	0.74763	0.015	0.09184	0.0012	567	44	566	7	567	9	0
3	0.39	0.05788	0.0010	0.75922	0.014	0.09507	0.0012	525	38	586	7	574	8	-12
4	0.12	0.05890	0.00068	0.74940	0.0094	0.09222	0.0011	564	25	569	6	568	5	-1
5	0.28	0.05718	0.00070	0.63316	0.0084	0.08027	0.00095	498	27	498	6	498	5	0
6	0.14	0.05767	0.0027	0.67388	0.031	0.08470	0.0014	517	101	524	8	523	19	-1
7	0.28	0.15588	0.0018	9.57547	0.12	0.44527	0.0053	2411	19	2374	24	2395	11	2
8	0.26	0.06532	0.0023	1.19121	0.041	0.13219	0.0020	785	72	800	11	797	19	-2
9	0.41	0.05662	0.0012	0.65350	0.014	0.08366	0.0011	476	47	518	6	511	9	-9
10	0.35	0.14469	0.0016	7.92753	0.098	0.39714	0.0048	2284	19	2156	22	2223	11	6
11	0.27	0.05669	0.00087	0.66619	0.011	0.08518	0.0010	479	34	527	6	518	6	-10
12	0.28	0.09239	0.0014	2.31024	0.037	0.18126	0.0022	1475	29	1074	12	1215	11	27
13	0.17	0.05484	0.0011	0.65777	0.013	0.08694	0.0011	406	43	537	6	513	8	-32
14	0.18	0.05474	0.00092	0.63353	0.011	0.08390	0.0010	402	37	519	6	498	7	-29
15	0.21	0.15972	0.0017	9.65977	0.11	0.43839	0.0052	2453	18	2343	23	2403	11	4
16	0.44	0.06660	0.0015	1.25718	0.029	0.13683	0.0018	825	47	827	10	827	13	0
17	0.55	0.05687	0.00083	0.66817	0.010	0.08517	0.0010	486	32	527	6	520	6	-8
18	0.23	0.05578	0.0011	0.63483	0.013	0.08250	0.0010	443	43	511	6	499	8	-15
19	0.33	0.05733	0.0012	0.73430	0.015	0.09284	0.0012	504	45	572	7	559	9	-13
20	0.47	0.05766	0.0016	0.65798	0.018	0.08272	0.0011	517	59	512	7	513	11	1
21	0.23	0.05628	0.00098	0.58418	0.010	0.07524	0.00092	463	38	468	6	467	7	-1
22	0.21	0.05780	0.00088	0.67160	0.011	0.08422	0.0010	522	33	521	6	522	7	0
23	0.48	0.10541	0.0015	4.47915	0.066	0.30800	0.0038	1722	26	1731	19	1727	12	-1
24	0.35	0.05654	0.00089	0.64040	0.010	0.08210	0.0010	473	35	509	6	503	6	-8
25	0.56	0.05738	0.00073	0.64428	0.0088	0.08139	0.00097	506	28	504	6	505	5	0
26	0.53	0.06488	0.0017	1.13458	0.030	0.12676	0.0017	770	54	769	10	770	14	0
27	0.30	0.05591	0.0011	0.59118	0.012	0.07664	0.00096	449	44	476	6	472	8	-6
28	0.11	0.11357	0.0015	4.78285	0.068	0.30527	0.0037	1857	24	1717	18	1782	12	8
29	0.27	0.05518	0.00079	0.63713	0.0096	0.08370	0.0010	419	31	518	6	501	6	-24
30	0.24	0.05889	0.00081	0.74248	0.011	0.09148	0.0011	563	30	564	7	564	6	0
31	0.07	0.18753	0.0020	8.02097	0.097	0.31037	0.0037	2721	18	1743	18	2233	11	36
32	0.18	0.05815	0.00082	0.70214	0.010	0.08762	0.0011	535	31	541	6	540	6	-1
33	0.36	0.12351	0.0028	5.42923	0.12	0.31898	0.0045	2008	39	1785	22	1890	19	11
34	0.16	0.12659	0.0014	5.62058	0.070	0.32218	0.0038	2051	20	1800	19	1919	11	12
35	0.33	0.05736	0.00072	0.64608	0.0088	0.08173	0.00098	505	27	507	6	506	5	0
36	0.14	0.05606	0.00069	0.68346	0.0091	0.08847	0.0011	454	27	547	6	529	6	-20
37	0.16	0.11157	0.0014	5.01700	0.068	0.32630	0.0040	1825	23	1820	19	1822	12	0
38	0.39	0.05736	0.0017	0.64141	0.019	0.08114	0.0011	505	65	503	7	503	12	0
39	0.25	0.05752	0.0011	0.65776	0.013	0.08298	0.0010	511	42	514	6	513	8	-1
40	0.24	0.05544	0.00081	0.58709	0.0090	0.07685	0.00093	430	32	477	6	469	6	-11
41	0.86	0.05675	0.0010	0.61130	0.011	0.07816	0.00097	481	40	485	6	484	7	-1
42	0.40	0.06970	0.00083	1.49402	0.020	0.15554	0.0019	920	24	932	10	928	8	-1
43	0.32	0.05736	0.00076	0.63557	0.0090	0.08041	0.00096	505	29	499	6	500	6	1
44	0.08	0.12257	0.0014	5.88078	0.076	0.34816	0.0042	1994	21	1926	20	1958	11	3
45	0.39	0.07281	0.0028	1.55676	0.059	0.15515	0.0025	1009	76	930	14	953	23	8
46	1.54	0.11747	0.0018	5.67331	0.092	0.35045	0.0044	1918	28	1937	21	1927	14	-1
47	0.14	0.05827	0.00098	0.69729	0.012	0.08684	0.0011	539	37	537	6	537	7	0
48	0.64	0.06494	0.0022	1.14923	0.038	0.12842	0.0019	772	69	779	11	777	18	-1
49	0.24	0.05783	0.0012	0.68588	0.015	0.08606	0.0011	523	47	532	6	530	9	-2

续表 1

Continued Table 1

样品 点号	同位素比值								年龄 (Ma)					
	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	1σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	1σ	Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1σ	Disc (%)
50	0.26	0.05726	0.00089	0.62827	0.010	0.07963	0.00097	501	34	494	6	495	6	1
51	0.21	0.05809	0.00079	0.68467	0.0099	0.08552	0.0010	533	30	529	6	530	6	1
52	0.30	0.05515	0.00079	0.60556	0.0092	0.07968	0.00096	418	32	494	6	481	6	-18
53	0.36	0.23512	0.0030	19.45708	0.27	0.60050	0.0075	3087	20	3032	30	3065	13	2
54	0.24	0.05593	0.0030	0.61047	0.032	0.07920	0.0014	449	115	491	8	484	20	-9
55	0.43	0.06112	0.0029	1.01412	0.046	0.12039	0.0020	644	97	733	12	711	23	-14
56	0.62	0.05629	0.0010	0.58798	0.011	0.07580	0.00094	463	39	471	6	470	7	-2
57	0.85	0.06328	0.0012	1.03155	0.020	0.11829	0.0015	718	39	721	9	720	10	0
58	0.60	0.05708	0.0015	0.62901	0.016	0.07997	0.0011	494	57	496	6	496	10	0
KK10: 混合岩														
1	0.22	0.05509	0.0014	0.48648	0.012	0.06402	0.00083	416	54	400	5	403	8	4
2	0.42	0.06053	0.00074	0.67083	0.0090	0.08034	0.00096	623	26	498	6	521	5	20
3	0.23	0.05628	0.0013	0.47225	0.011	0.06083	0.00078	463	52	381	5	393	8	18
4	0.50	0.06626	0.00086	0.98394	0.014	0.10766	0.0013	814	27	659	7	696	7	19
5	0.20	0.06352	0.00093	0.95905	0.015	0.10946	0.0013	726	31	670	8	683	8	8
6	0.29	0.05608	0.00089	0.45633	0.0076	0.05899	0.00072	455	35	370	4	382	5	19
7	0.17	0.05745	0.00070	0.59359	0.0079	0.07490	0.00089	509	26	466	5	473	5	8
8	0.26	0.06301	0.0012	0.95915	0.018	0.11036	0.0014	708	39	675	8	683	9	5
9	0.32	0.05375	0.00068	0.45710	0.0063	0.06166	0.00073	360	28	386	4	382	4	-7
10	0.22	0.05624	0.00086	0.59004	0.0095	0.07606	0.00092	461	34	473	6	471	6	-3
11	0.23	0.05746	0.00068	0.65116	0.0084	0.08216	0.00097	509	26	509	6	509	5	0
12	0.24	0.06354	0.00083	0.97776	0.014	0.11157	0.0013	726	28	682	8	693	7	6
13	0.60	0.05690	0.00077	0.59475	0.0086	0.07578	0.00091	487	30	471	5	474	6	3
14	0.35	0.05542	0.00082	0.56498	0.0088	0.07391	0.00089	429	32	460	5	455	6	-7
15	0.21	0.05726	0.00070	0.59794	0.0080	0.07571	0.00090	501	27	471	5	476	5	6
16	0.28	0.05749	0.0011	0.49567	0.0095	0.06251	0.00077	510	41	391	5	409	6	23
17	0.15	0.06126	0.0014	0.61749	0.014	0.07308	0.00094	648	48	455	6	488	9	30
18	0.27	0.06252	0.00072	0.95280	0.012	0.11049	0.0013	692	24	676	8	680	6	2
19	0.42	0.05867	0.0011	0.58520	0.011	0.07231	0.00089	555	39	450	5	468	7	19
20	0.10	0.06336	0.0010	0.96489	0.016	0.11040	0.0014	721	34	675	8	686	8	6
21	0.53	0.06663	0.0018	1.18155	0.031	0.12855	0.0017	826	55	780	10	792	15	6
22	0.30	0.06645	0.00088	1.18860	0.017	0.12968	0.0016	821	27	786	9	795	8	4
23	0.21	0.05485	0.0011	0.56926	0.012	0.07524	0.00094	406	45	468	6	458	8	-15
24	0.28	0.05523	0.00095	0.46110	0.0082	0.06053	0.00074	421	37	379	5	385	6	10
25	0.60	0.05690	0.00094	0.47714	0.0082	0.06079	0.00074	487	36	380	5	396	6	22
26	0.60	0.05615	0.0012	0.64141	0.014	0.08282	0.0011	458	48	513	6	503	9	-12
27	0.78	0.06537	0.0012	0.97651	0.018	0.10830	0.0013	786	36	663	8	692	9	16
28	0.20	0.09426	0.0018	3.38695	0.066	0.26049	0.0034	1513	36	1492	17	1501	15	1
29	0.39	0.05786	0.00064	0.73496	0.0091	0.09211	0.0011	524	24	568	6	560	5	-8
30	0.19	0.07698	0.00078	1.98734	0.023	0.18721	0.0022	1121	20	1106	12	1111	8	1
31	0.10	0.06250	0.00065	0.96622	0.011	0.11210	0.0013	691	22	685	8	687	6	1
32	0.18	0.05769	0.00058	0.62622	0.0072	0.07870	0.00093	518	21	488	6	494	4	6
33	0.14	0.05864	0.00064	0.62465	0.0076	0.07724	0.00092	554	23	480	5	493	5	13
34	0.25	0.05749	0.00058	0.62239	0.0072	0.07850	0.00093	510	22	487	6	491	5	5
35	0.13	0.06441	0.00073	0.93377	0.012	0.10512	0.0013	755	24	644	7	670	6	15
36	0.13	0.06777	0.00078	1.15090	0.015	0.12315	0.0015	861	24	749	8	778	7	13
37	0.25	0.05407	0.00064	0.47808	0.0062	0.06412	0.00076	374	27	401	5	397	4	-7
38	0.30	0.05506	0.00063	0.46706	0.0059	0.06151	0.00073	415	25	385	4	389	4	7
39	0.32	0.05480	0.00062	0.59871	0.0076	0.07923	0.00094	404	25	492	6	476	5	-22
40	0.19	0.05626	0.00056	0.72191	0.0083	0.09305	0.0011	462	22	574	6	552	5	-24

续表 1

Continued Table 1

样品 点号	同位素比值							年龄 (Ma)						
	Th/U	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	1σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	1σ	Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1σ	Disc (%)
41	0.20	0.05804	0.00076	0.57543	0.0081	0.07189	0.00086	531	29	448	5	462	5	16
42	0.12	0.05929	0.0013	0.73651	0.016	0.09008	0.0012	578	45	556	7	560	9	4
43	0.06	0.07723	0.00081	1.97206	0.024	0.18516	0.0022	1127	21	1095	12	1106	8	3
44	0.13	0.05679	0.00076	0.64190	0.0092	0.08196	0.00099	483	30	508	6	504	6	-5
45	0.21	0.05702	0.00064	0.57730	0.0072	0.07341	0.00087	492	25	457	5	463	5	7
46	0.22	0.05854	0.00072	0.59740	0.0081	0.07399	0.00089	550	27	460	5	476	5	16
47	0.31	0.05867	0.00066	0.58941	0.0074	0.07285	0.00087	555	24	453	5	471	5	18
48	0.27	0.05823	0.00065	0.62005	0.0077	0.07721	0.00092	538	25	480	6	490	5	11
49	0.15	0.05793	0.00073	0.65646	0.0090	0.08216	0.00098	527	28	509	6	512	5	3
50	0.38	0.05811	0.00072	0.49642	0.0067	0.06195	0.00074	533	27	388	5	409	5	27
51	0.17	0.06361	0.00067	0.94054	0.011	0.10721	0.0013	729	22	657	7	673	6	10
52	0.12	0.05879	0.00085	0.58699	0.0090	0.07240	0.00088	559	31	451	5	469	6	19
53	0.31	0.06904	0.00084	1.14613	0.015	0.12038	0.0014	900	25	733	8	775	7	19
54	0.24	0.05463	0.00065	0.45162	0.0059	0.05994	0.00071	397	26	375	4	378	4	6
BH09: 粉砂岩														
1	0.26	0.05818	0.00070	0.61974	0.0076	0.07727	0.00083	536	27	480	5	490	5	10
2	0.18	0.06534	0.00082	1.07838	0.014	0.11973	0.0013	785	26	729	7	743	7	7
3	0.26	0.05621	0.00068	0.63169	0.0078	0.08152	0.00087	460	27	505	5	497	5	-10
4	0.34	0.05658	0.00069	0.61522	0.0077	0.07887	0.00085	475	27	489	5	487	5	-3
5	0.25	0.05918	0.0011	0.66759	0.013	0.08183	0.00093	574	41	507	6	519	8	12
6	0.32	0.06572	0.00074	1.22252	0.014	0.13494	0.0014	798	23	816	8	811	6	-2
7	0.31	0.05572	0.00070	0.57934	0.0074	0.07542	0.00081	441	27	469	5	464	5	-6
8	0.40	0.05707	0.00071	0.60332	0.0076	0.0767	0.00082	494	28	476	5	479	5	4
9	0.31	0.05676	0.00072	0.62894	0.0081	0.08039	0.00087	481	28	498	5	495	5	-4
10	0.53	0.0579	0.00078	0.60058	0.0081	0.07524	0.00081	526	29	468	5	478	5	11
11	0.14	0.05686	0.00069	0.60375	0.0075	0.07702	0.00083	486	27	478	5	480	5	2
12	0.17	0.05747	0.00066	0.62557	0.0074	0.07896	0.00084	509	25	490	5	493	5	4
13	0.23	0.05732	0.00066	0.63662	0.0075	0.08057	0.00086	503	25	500	5	500	5	1
14	0.25	0.10897	0.0012	4.36747	0.048	0.29076	0.0031	1782	19	1645	16	1706	9	8
15	0.21	0.05723	0.00084	0.6575	0.0097	0.08334	0.00091	500	32	516	5	513	6	-3
16	0.40	0.05578	0.00079	0.57563	0.0082	0.07486	0.00081	443	31	465	5	462	5	-5
17	0.28	0.0675	0.0011	1.318	0.021	0.14164	0.0016	853	32	854	9	854	9	0
18	0.12	0.12446	0.0014	6.67395	0.078	0.38868	0.0043	2021	19	2117	20	2069	10	-5
19	0.77	0.06177	0.00086	0.69316	0.010	0.08133	0.00092	666	30	504	5	535	6	24
20	0.23	0.05912	0.0011	0.66599	0.012	0.08166	0.00095	571	40	506	6	518	8	11
21	0.70	0.06729	0.0015	1.20768	0.027	0.13009	0.0016	847	45	788	9	804	12	7
22	0.71	0.05729	0.00082	0.67071	0.0099	0.08486	0.00096	502	31	525	6	521	6	-5
23	0.38	0.06373	0.0014	1.1648	0.023	0.13247	0.0016	733	45	802	9	784	12	-9
24	0.15	0.05765	0.0013	0.66644	0.015	0.08379	0.0010	516	49	519	6	519	9	-1
25	0.21	0.05611	0.0012	0.65551	0.014	0.08468	0.0010	456	48	524	6	512	9	-15
26	0.28	0.19008	0.0023	13.5381	0.17	0.51625	0.0059	2743	20	2683	25	2718	12	2
27	0.25	0.18442	0.0022	12.73777	0.16	0.50063	0.0057	2693	20	2617	24	2661	12	3
28	0.39	0.05386	0.0014	0.53825	0.014	0.07244	0.00091	365	59	451	5	437	9	-24
29	0.36	0.06159	0.00081	0.6776	0.0092	0.07974	0.00090	660	28	495	5	525	6	25
30	0.29	0.06163	0.00077	0.82124	0.011	0.09658	0.0011	661	27	594	6	609	6	10
31	0.53	0.05849	0.00099	0.64297	0.011	0.07968	0.00092	548	36	494	5	504	7	10
32	0.29	0.05671	0.0011	0.55408	0.011	0.07081	0.00083	480	43	441	5	448	7	8
33	0.31	0.12042	0.0016	5.56452	0.075	0.33494	0.0038	1962	23	1862	18	1911	12	5

备注: Disc. (%) = $[1 - ({}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U} \text{ 年龄}) / ({}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb} \text{ 年龄})] \times 100$.

4 分析结果

4.1 锆石结构特征

哈巴河群沉积岩中的碎屑锆石大多为自形或半自形的棱柱状(图 2),均具有比较明显的岩浆振荡环带和较高的 Th/U 比值(表 1),表明为岩浆成因(Hanchar and Rundnick, 1995)。少数浑圆状虽然没有明显的岩浆环带,但其中多数具有较高的 Th/U 比值(>0.1)也显示岩浆成因。而来自哈巴河群中混合岩化的变沉积岩(KK10)的少数碎屑锆石发育明显的核-边结构(图 2),核部明显的环带显示岩浆成因,而增生边暗淡且没有环带的阴极发光特征反映其变质成因(Hoskin and Black, 2000; Corfu *et al.*, 2003)。

4.2 锆石 U-Pb 同位素分析结果

4.2.1 哈巴河群片岩样品(KK03)

该样品一共分析了 58 颗锆石,其中棱柱状锆石给出了一致或近一致的 U-Pb 年龄(表 1),而浑圆状锆石年龄则多数偏离谐和线(图 3)。棱柱状锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄主要介于 468Ma 和 541Ma 之间(31 粒),其余六粒给出²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄介于 547Ma 和 586Ma 之间,反映这些锆石主要形成于寒武纪—中奥陶纪之间(图 3)。而对于浑圆状锆石中,六颗锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄介于 718Ma 和 920Ma 之间,另外九颗锆石给出了早元古代的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄(1722 ~ 2453Ma)(图 4)。在这九颗早元古代的锆石中,有两颗锆石具有相对低的 Th/U 比值(0.08 和 0.11),其中一颗锆石核部²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄为 1857Ma,另一颗浑圆状锆石也给出了相似的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄(1994Ma)。此外,本次分析还检获了一颗比较谐和的太古

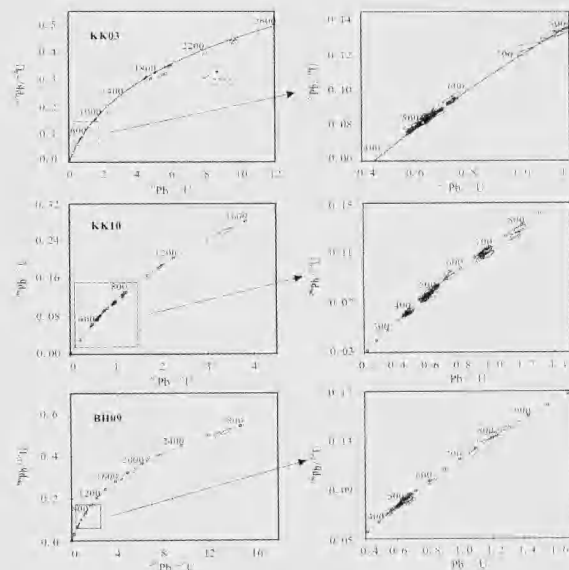


图 3 哈巴河群变质碎屑岩锆石 U-Pb 谐和图

宙岩浆锆石(²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄 3087 ± 20Ma, Th/U = 0.36)和一粒不谐和的具有太古宙²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄的变质锆石(2721Ma, Th/U = 0.07),反映源区中可能有太古宙碎屑物质的存在。在碎屑锆石的年龄分布图中,样品中最年轻的碎屑锆石类群给出峰值年龄约为 474Ma,但最显著的年龄峰值却出现在 507Ma 附近(图 4)。

4.2.2 哈巴河群混合岩样品(KK10)

对样品中 54 个碎屑锆石的 U-Pb 定年结果显示,多数分析点给出比较一致的 U-Pb 年龄。由于混合岩化作用的影响,少数碎屑锆石核部的分析结果稍微偏离了一致线(图 3)。该样品中具有谐和及近于谐和的锆石核部(不谐和度 < 10%)²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄构成了两个主要的早古生代年龄峰值(468Ma 和 510Ma)和一个新元古代晚期年龄峰值(679Ma)(图 4),该组锆石环带清晰且 Th/U 比值较高,岩浆成因意义明确,说明源区物质可能以这三期的岩浆物质为主。此外其它锆石核部给出了少量新元古代中期(733 ~ 780Ma, 四粒)和中元古代晚期(1095 ~ 1106Ma, 两粒)的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,其中中元古代晚期的两粒锆石核部的 Th/U 比值较低(0.19 和 0.06)。该样中检获的最老的锆石核部²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄为 1513Ma(表 1 和图 3)。然而该样品中部分锆石发育混合岩化变质增生边(图 2),其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄结果相对集中,给出 384 ± 6Ma (MSWD = 4.3, n = 11)的加权平均年龄(图 3)。沉积岩中的碎屑锆石在混合岩化(花岗岩化)甚至韧性剪切变形过程中均可继续生长出新的增生边(朱永峰和宋彪, 2006),本次获得的增生边年龄显然要晚于哈巴河群沉积的时间应该反映了在早泥盆世发生的一次构造热事件。

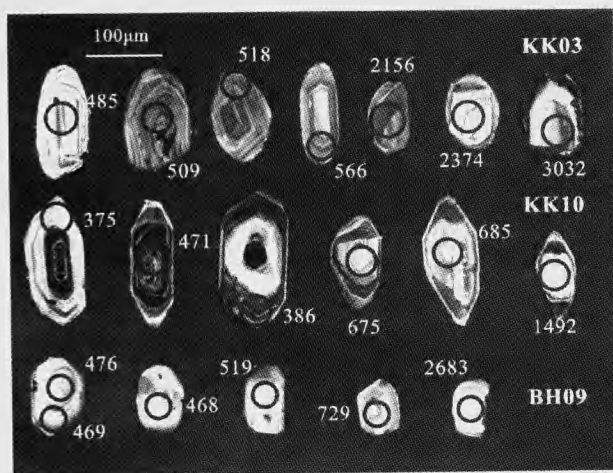


图 2 哈巴河群变质碎屑岩锆石阴极发光照片

Fig. 2 Representative cathodoluminescence images for detrital zircons from the metasedimentary rocks of the Habahe Group. The analytical spot and ²⁰⁶Pb/²³⁸U age are indicated

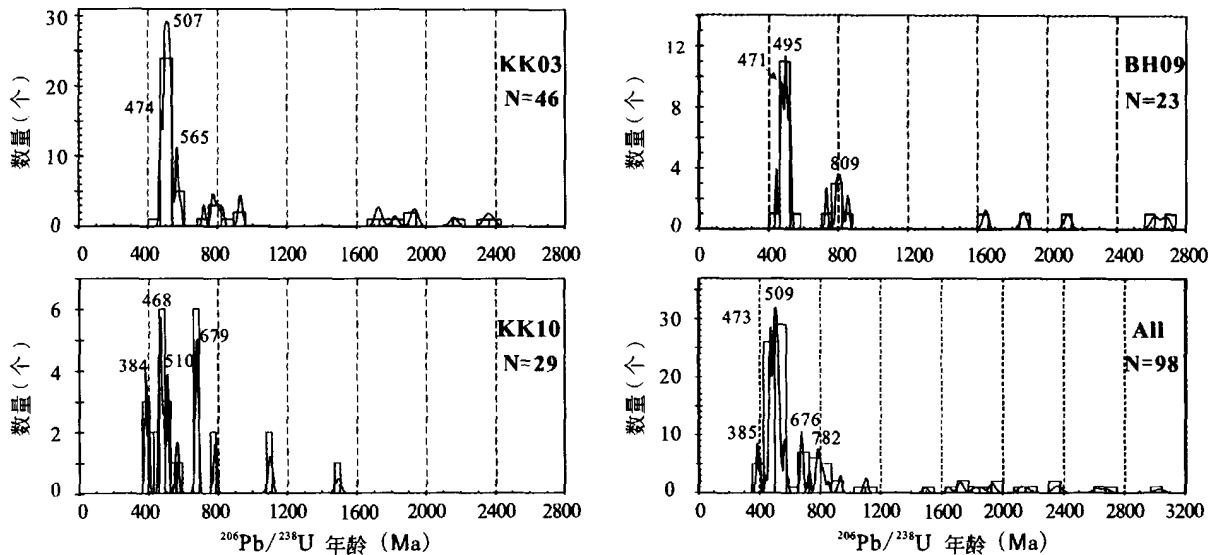


图4 哈巴河群变质碎屑岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布图

Fig. 4 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age distribution of detrital zircons from the metasedimentary rocks of the Habahe Group. Only concordant or nearly concordant data (discordance < 10%) are shown. n = the number of analyses. Each sample is shown in a separate diagram. See Table 1 for a list of zircon ages.

4.2.3 哈巴河群粉砂岩样品(BH09)

该样品中的碎屑锆石多呈浑圆状,而且颗粒明显小于其它样品(图2)。对33粒碎屑锆石进行了U-Pb定年分析,其中绝大多数获得了谐和或近谐和的年龄结果(不谐和度<10%)。样品中绝大多数锆石年龄分布相对集中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄主要介于463和527Ma之间,给出两个峰值471Ma和495Ma(图4),这些碎屑锆石具有清楚的岩浆振荡环带和较高的Th/U比值(>0.1),岩浆成因明显,说明碎屑物质可能主要来自早古生代的岩浆岩物质源区。此外,其它一些碎屑锆石少量给出了新元古代(594~854Ma,六粒) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,个别早元古代(1782,1962和2021Ma,三粒)及太古宙(2693和2743Ma,二粒)的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄(图3)。

5 讨论

5.1 哈巴河群的沉积时代

由于地层的沉积时代一定比碎屑形成的时代年轻,因此碎屑锆石的年龄常常被用来制约地层的沉积时代(Nelson, 2001; William, 2001; Fedo *et al.*, 2003)。考虑到不谐和年龄的意义很难确定,因此我们将主要依据谐和以及近谐和的年龄数据开展讨论。在中国的阿尔泰造山带,巨厚的哈巴河群最初被认为形成于中晚奥陶世(1:20万哈巴河幅地质图),但近年来根据微古植物化石,趋向认为其沉积时代为震旦纪、震旦一早寒武世(高振家等,1985)以及震旦至中奥陶世(新疆地质矿产局,1993; Windley *et al.*, 2002; Chen and Jahn, 2002; 李会军等,2006)。对来自哈巴河群不同样品中锆石的年代学研究显示,尽管岩性不同,这些样品中最主要

的碎屑锆石类群却具有相似的年龄分布特征,相同的锆石成因,年龄介于463~541Ma,并给出相似的锆石年龄峰值(约470Ma和510Ma),其最年轻的碎屑锆石的年龄集中在470Ma左右(图4)。这表明,哈巴河群的最大沉积时代应在中奥陶世之后,碎屑物质主要来自寒武纪—中奥陶世的岩浆岩物质源区。而哈巴河群混合岩中碎屑锆石的增生边明显记录了一次中泥盆世的变质事件,也表明哈巴河群混合岩原岩的沉积时间应在中泥盆世之前。而最近的研究显示,很多侵入哈巴河群的花岗岩都具有早、中泥盆的侵位年龄(Wang *et al.*, 2006; Yuan *et al.*, 2007),其中最老的年龄约410Ma,如可可托海花岗岩体($409 \pm 7\text{Ma}$)、铁里克花岗岩体($403 \pm 3\text{Ma}$)和可可托海辉长岩体($408 \pm 7\text{Ma}$),表明哈巴河群的形成时代应进一步限制在早泥盆世之前。因此,碎屑锆石和有关花岗岩的年代学研究一致表明,阿尔泰哈巴河群的形成时代应介于中奥陶世和早泥盆世之间,非前寒武纪沉积地层。阿尔泰西北和中南部哈巴河群一致的碎屑锆石年龄分布特征,并不支持将哈巴河群解体的地层划分方案。此外,本次研究首次在阿尔泰造山带发现了太古宙碎屑锆石,该粒太古宙碎屑锆石产于哈巴河云母片岩中,U-Pb年龄比较谐和(Disc. % = 2),获得了 $3087 \pm 20\text{Ma}$ 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,其Th/U比值较高(0.36),确认了阿尔泰哈巴河群碎屑沉积物中有太古宙物质的加入。

5.2 对阿尔泰早古生代构造环境的制约

对于阿尔泰造山带分布面积广泛且沉积厚度巨大的原哈巴河群碎屑沉积岩,传统观点认为其沉积于被动陆缘构造环境(新疆维吾尔自治区区域地层表编写组,1981; 何国琦

等, 1990; 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993; 李会军等, 2006)。本次碎屑锆石的年代学研究进一步表明, 哈巴河群沉积于中奥陶世和早泥盆世之间。该群碎屑沉积岩中碎屑锆石以寒武纪—中奥陶世的年轻岩浆锆石为主, 元古宙和太古宙的碎屑锆石仅占很小的比例。通常情况下, 活动陆缘由于存在激烈的岩浆活动, 其沉积物中的碎屑锆石以年轻锆石为主; 而被动陆缘碎屑来源主要以陆内的古老克拉通物质为主(如: Ketchum *et al.*, 2001)。中亚造山带相邻的克拉通中广泛存在着太古宙和早元古代的变质基底, 但在阿尔泰碎屑沉积岩中, 年轻的碎屑锆石(新元古之后)的比例远远高于古老的碎屑锆石(中元古以前), 而且年轻锆石的 Hf 同位素组成明显呈现地幔来源和新生地壳的特征(龙晓平等, 2006)。同时, 这些年轻锆石大多呈自形或半自形, 磨圆度差, 反映搬运距离较短, 而元古宙和太古宙的碎屑锆石大多具有较好的磨圆度, 反映其经历了相对较长的搬运过程, 这表明哈巴河群沉积于一个岩浆活动较为激烈的地区, 这一特征与活动陆缘的碎屑沉积极为相似。最近对中国阿尔泰和相邻地区的岩浆活动和构造研究显示, 阿尔泰造山带在早古生代处于一个活动陆缘环境(Xiao *et al.*, 2004; Windley *et al.*, 2007), 这一认识与我们对哈巴河群碎屑锆石的研究结果完全一致。

6 结论

碎屑锆石成因及其年代学研究显示, 哈巴河群碎屑沉积岩中碎屑锆石以寒武纪—中奥陶世的年轻岩浆锆石为主, 最年轻的碎屑锆石集中于 470Ma 左右, 并出现少量的元古宙和太古宙碎屑锆石, 加之侵入的早泥盆世花岗岩制约, 表明阿尔泰哈巴河群的沉积时代介于中奥陶世—早泥盆世, 而非前寒武纪沉积地层, 并不支持将哈巴河群解体的地层划分方案。哈巴河群沉积于地壳增长作用比较活跃的活动大陆边缘环境。

致谢 北京离子探针中心宋彪研究员、北京大学朱永峰教授以及一位匿名审稿人提出了具有重要参考价值的修改意见。在分析测试过程中, 香港大学地球科学系实验室给予了大力帮助, 在此深表感谢。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. People's Republic of China, Ministry of Geology and Mineral Resources. Geological Memoirs, Series 1, No. 32. Beijing: Geological Publishing House, 6-206 (in Chinese)
- Chen B and Jahn BM. 2002. Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai orogen of NW China and their tectonic implications. *Geol. Mag.*, 139: 1-13
- Chen HL, Yang SF, Li ZL, Xiao WJ, Li JL, Dong CW and Yu X. 2006. Geochemistry and Tectonic setting of early late Paleozoic felsic volcanic rocks from the Altai orogenic belt, North Xinjiang. *Acta Geol. Sin.*, 80(1): 38-42 (in Chinese with English abstract)
- Corfu F, Hanchar JM, Hoskin PW and Kinny P. 2003. Atlas of zircon textures. *Rev. Mineral. Geochem.*, 53: 468-500
- Fedo CM, Sircombe KN and Rainbird RH. 2003. Detrital zircon analysis of the sedimentary record. In: Hanchar JM and Hoskin PWO (eds). *Zircon. Rev. Mineral. Geochem.*, 53: 277-303
- Gao ZJ, Wang WY, Peng CW and Xiao B. 1985. Sinian strata in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 1-173 (in Chinese)
- Group for Compilation of Regional Stratigraphy of Xinjiang. 1981. Regional Stratigraphic Table of NW China: Xinjiang Uygur Autonomous Region Fascicule. Beijing: Geological Publishing House, 7-11 (in Chinese)
- Hanchar JM and Rundnick RL. 1995. Revealing hidden structures: The application of cathodoluminescence and back-scattered electron imaging to dating zircons from lower crustal xenoliths. *Lithos*, 36: 289-303
- He GQ, Han BF, Yue YJ and Wang JH. 1990. Tectonic division and crustal evolution of Altai orogenic belt in China. *Geoscience of Xinjiang*, 2: 9-20 (in Chinese with English abstract)
- Hoskin PWO and Black LP. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircons. *J. Meta. Geol.*, 18: 423-439
- Hu AQ, Jahn BM, Zhang G, Chen Y and Zhang Q. 2000. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotope evidence 1, Isotopic characterization of basement rocks. *Tectonophysics*, 328: 15-51
- Hu AQ, Wei GJ, Deng WF and Chen LL. 2006. SHRIMP zircon U Pb dating and its significance for gneisses from the southwest area to Qinghe County in the Altai, China. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 1-10 (in Chinese with English abstract)
- Hu AQ, Zhang GX, Zhang QF, Li TD and Zhang JB. 2002. A review on ages of Precambrian metamorphic rocks from Altai orogen in Xinjiang, NW China. *Chinese J. Geol.*, 37: 129-142 (in Chinese with English abstract)
- Ketchum, JWF, Jackson, SE, Culshaw, NG, and Barr, SM. 2001. Depositional and tectonic setting of the Paleoproterozoic Lower Aillik Group, Makkovik Province, Canada: Evolution of a passive margin-foredeep sequence based on petrochemistry and U-Pb (TIMS and LAM-ICP-MS) geochronology. *Precambrian Research*, 105: 331-356
- Li HJ, He GQ, Wu TR and Wu B. 2006. Confirmation of Altai-Mongolia microcontinent and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 1369-1379 (in Chinese with English abstract)
- Li TD, Qi ZM, Xiao SL and Wu BQ. 1996. New improvement of comparative study of geology and mineralization of Altai between China and Kazakhstan. In: Chinese Geological Society (eds). Thesis Volume of the Symposium of the 8th Five Year Plan of Geoscience for Contribution to 30th IGC. Beijing: Metallurgical Industrial Publishing House, 256-259 (in Chinese)
- Liu BF. 1984. The Altai plate and innate mineral resources. *Northwestern Geology*, 4: 14-21 (in Chinese with English abstract)
- Liu W. 1990. Ages and petrogenesis of granitoids in the Altai Mts., Xinjiang, China. *Geotect. Metallogen*, 14: 43-56 (in Chinese with English abstract)
- Long XP, Sun M, Yuan C, Xiao WJ, Wu FY, Xia XP and Cai KD. 2006. The Early Paleozoic sedimentary environment and tectonic evolution in the Chinese Altai: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopic composition of detrital zircons. 2006 National Petrology and Geodynamics Meeting, Abstract, 232-233 (in Chinese)
- Ludwig KR. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 4a, Berkeley, CA

- Luo Y, Sun M, Zhao GC, Li SZ, Xu P, Ye K and Xia XP. 2004. LA-ICP-MS U Pb zircon ages of the Liaohe Group in the Eastern Block of the North China Craton: Constraints on the evolution of the Jiao-Liao-Ji Belt. *Precambrian Res.*, 134: 349–371
- Moecher DP and Samson SD. 2006. Differential zircon fertility of source terranes and natural bias in the detrital zircon record: Implications for sedimentary provenance analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 247: 252–266
- Nelson DR. 2001. An assessment of the determination of depositional ages for Precambrian clastic sedimentary rocks by U-Pb dating of detrital zircon. *Sed. Geol.*, 141–142: 37–60
- Peng CW. 1989. Discovery and geological significance of micropaleoflora from the Habahe Group in Baikaba district of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 7: 19–22 (in Chinese with English abstract)
- Regional Geological Survey of Xinjiang. 1967. Geological Map of the Habahe area, Xinjiang (1:200,000) (in Chinese)
- Rui XJ and Wu YJ. 1984. Petrogenesis of granitoids of the Chinese Altai. In: Xu KQ and Tu GC (eds). *Geology of Granite and Relations to Mineralization*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 14–21 (in Chinese)
- Sengör AMC and Natal'in BA. 1996. Turkic-type orogeny and its role in the making of the continental crust. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 24: 263–337
- Sengör AMC, Natal'in BA and Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Asia. *Nature*, 364: 299–307
- Sun M, Yuan C, Xiao W, Long X, Xia X, Han C and Lin S. 2006. Granitic gneisses and gneissic granites from the Central Terrane of the Chinese Altai Orogen: Zircon ages and tectonic significance. *Eos Trans. AGU*, 87 (36), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract V25A–06
- Wang GY and Zhang YT. 1983. The discovery of Sinian strata in Xinjiang Altai and its significance. *Regional Geology of China*, 10, 117–119 (in Chinese with English abstract)
- Wang T, Hong DW, Jahn BM, Tong Y, Wang YB, Han BF and Wang XX. 2006. Timing, Petrogenesis, and Setting of Paleozoic Synorogenic Intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen. *J. Geology*, 114: 735–751
- Wang ZG, Zhao ZH and Zou TR. 1988. *Geochemistry of Granitoids of the Chinese Altai*. Beijing: Science Press, 1–152 (in Chinese)
- Williams IS. 2001. Response of detrital zircon and monazite, and their U Pb isotopic systems, to regional metamorphism and host-rock partial melting, Cooma Complex, southeastern Australia. *Aust. J. Earth Sci.*, 48: 557–580
- Windley BF, Kröner 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. *J. Geol.*, 110: 719–739
- Xia XP, Sun M, Zhao GC, Li HM and Zhou MF. 2004. Spot zircon U Pb isotope analysis by ICP-MS coupled with a frequency quintupled (213 nm) Nd-YAG laser system. *Geochem. J.*, 38: 191–200
- Xiao WJ, Windley BF, Badararch G, Sun S, Li J, Qin K and Wang Z. 2004. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai: Implications for the growth of central Asia. *J. Geol. Soc. London*, 161: 1–4
- Yuan C, Sun M, Xiao WJ, Li XH, Chen HL, Lin SF, Xia XP and Long XP. 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai: Insights from Paleozoic granitoids. *Chemical Geology*, doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.02.013
- Zhu YF and Song B. 2006. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on hydrothermal zircon rim in granite. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 135–144 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zeng YS and Gu LB. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite no. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay mountains, northwest China. *J. Asian Earth Sciences*, 27: 61–77
- Zou TR, Gao HZ and Wu BQ. 1988. Orogenic and anorogenic granitoids of Altay Mountains of Xinjiang and their discrimination criteria. *Acta Geol. Sin.*, (3): 229–243 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈汉林, 杨树峰, 厉子龙, 肖文交, 李继亮, 董传万, 余星. 2006. 阿尔泰晚古生代早期长英质火成岩的地球化学特征及构造背景. *地质学报*, 80 (1): 38–42
- 高振家, 王务严, 彭昌文, 肖兵. 1985. 新疆震旦系. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1–173
- 何国琦, 韩宝福, 岳永君, 王嘉彬. 1990. 中国阿尔泰造山带的构造分区和地壳演化. *新疆地质科学*, 2: 9–20
- 胡霏琴, 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
- 胡霏琴, 张国新, 张前锋, 李天德, 张积斌. 2002. 阿尔泰造山带变质岩系时代问题的讨论. *地质科学*, 37 (2): 129–142
- 李会军, 何国琦, 吴泰然, 吴波. 2006. 阿尔泰-蒙古微大陆的确定及其意义. *岩石学报*, 22 (5): 1369–1379
- 李天德, 祁志明, 肖世录, 吴柏青. 1996. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰地质及成矿研究的新进展. 见: 中国地质学会编. 献给三十届国际地质大会“八五”地质科技重要成果学术交流会议论文集. 北京: 冶金工业出版社, 256–259
- 刘峰标. 1984. 阿尔泰古板块与内生矿产. *西北地质*, 4: 14–21
- 刘伟. 1990. 中国阿尔泰花岗岩的时代及成因类型特征. *大地构造与成矿学*, 14(1): 43–56
- 龙晓平, 孙敏, 袁超, 肖文交, 吴福元, 夏小平, 蔡克大. 2006. 阿尔泰造山带早古生代沉积环境及构造演化: 碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成证据. 2006 年全国岩石学与地球动力学研讨会摘要, 232–233
- 彭昌文. 1989. 新疆白哈巴地区哈巴河群的微古植物及其地层意义. *新疆地质*, 7 (4): 19–22
- 芮行健, 吴玉金. 1984. 中国阿尔泰花岗岩的成因. 见: 徐克勤, 涂光炽主编. 花岗岩地质与成矿关系. 江苏: 科技出版社, 14–21
- 王广耀, 张玉亭. 1983. 新疆阿尔泰震旦系微古植物的发现及其意义. *中国区域地质*, 10: 117–119
- 王中刚, 赵振华, 邹天人. 1998. 阿尔泰花岗岩类地球化学. 北京: 科学出版社, 1–152
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1–135
- 新疆维吾尔自治区区域地质表编写组. 1981. 西北地区区域地质表-新疆维吾尔自治区分册. 北京: 地质出版社. 1–300
- 朱永峰, 宋彪. 2006. 新疆天格罗糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. *岩石学报*, 22: 135–44
- 邹天人, 曹惠志, 吴柏青. 1988. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志. *地质学报*, (3): 229–243