

内蒙古白乃庙地区白音都西群的碎屑锆石年龄及其构造意义

谷丛楠¹, 周志广¹, 张有宽², 柳长峰¹, 刘文灿¹, 於炆森¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 内蒙古地质调查研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 白音都西群是内蒙古中部白乃庙岛弧带以北和温都尔庙杂岩以南发育的一套中级变质岩系, 为确定白音都西群的地层时代, 笔者于稳定的白音都西群地层采集了两块新鲜的变质石英砂岩样品, 共进行了100粒碎屑锆石 LA-MC-ICP-MS 测年。两件样品的锆石特征具相似性, 指示其原岩主要是由同期或略早期的岩浆岩风化后就近沉积的产物。所有锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄介于518~294 Ma之间, 与华北板块北缘的古生代弧岩岩浆岩锆石年龄非常吻合, 表明该古生代弧岩岩浆岩是白音都西群的主要沉积源区。因此, 白音都西群的原岩可能是一套弧前沉积建造, 其形成时间应该是伴随着古亚洲洋的俯冲消减和古生代弧岩浆作用的整个过程, 其后在碰撞造山过程中发生了变形和变质作用。由于白音都西群被晚二叠世未变形花岗岩(254 Ma)侵入, 表明其原岩最终形成到发生变形变质作用应当介于294~254 Ma之间。故推测沿着索伦缝合带的碰撞缝合作用可能发生在早—中二叠世。

关键词: 碎屑锆石测年; 白音都西群; 索伦缝合带; 内蒙古

中图分类号: P534.46; P597

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2012)01-0001-09

Zircon Dating of the Baiyinduxi Group in Inner Mongolia and Its Tectonic Interpretation

GU Cong-nan¹, ZHOU Zhi-guang¹, ZHANG You-kuan², LIU Chang-feng¹, LIU Wen-can¹, YU Yang-sen¹

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geological Survey of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract: A set of medium metamorphic clastic rocks exposing in the area, sandwiched by the Bainaimiao arc magmatic and Wenduermiao complex rock zones in the middle Inner Mongolia, is known as the Baiyinduxi Group. Analysis of zircon (detrital grains) by using LA-MC-ICP-MS, sampled from the quartzsand stone of the group indicates that the apparent age is dated by ²⁰⁶Pb/²³⁸U technique, ranging from 294 Ma to 518 Ma and coinciding with the zircon dating from the Paleozoic arc magmatite of the northern margin of the North China block. It is suggested that the Paleozoic arc magmatite might be a sediment-source of the Baiyinduxi Group. Protolith of the group is likely a set of forearc depositional sequence, forming throughout the process of both the subduction of the Paleo-Asian Ocean floor and the Paleozoic magmatism, and was undergone with deformation and metamorphism due to orogenesis. Furthermore, obvious characters of the zircon samples showing magma genesis indicate that the protolith would be weathered sediments of either contemporaneous or slightly early magmatites. In addition, the fact that the Baiyinduxi Group was intruded by the end-Permian granites suggests that the forming, de-

收稿日期: 2011-09-09; **改回日期:** 2011-12-15; **责任编辑:** 楼亚儿。

基金项目: 国土资源部中国地质调查局“华北地区基础地质及数据更新”项目(1212010811001); 中国地质调查局“东北地区基础地质调查及数据更新”项目(1212010881207); 中国地质调查局“中蒙边境成矿带地质—地球物理综合剖面研究”项目(1212010070505)。

作者简介: 谷丛楠, 女, 硕士研究生, 1985年出生, 构造地质学专业, 主要从事区域构造地质学研究。

Email: gucongna@163.com。

通信作者: 周志广, 男, 副教授, 1967年出生, 构造地质学专业, 主要从事构造地质学教学与区域构造研究。

Email: zhouzhg@cugb.edu.cn。

formation and metamorphism of the protolith should take place in the period from 294 Ma to 254 Ma. Therefore, a collision along the Solonker suture zone should occur in the Early and Middle Permian.

Key words: zircon dating; Baiyinduxi Group; Solonker suture zone; Inner Mongolia

0 引言

内蒙古中部白乃庙至温都尔庙地区是中亚造山带南部古板块研究的典型地区之一,其间发育了一套中级变质碎屑岩系(图1),南部与白乃庙火山岩断层接触,且被中二叠世花岗岩侵入,因其原岩建造和变质相特征等方面与相邻的白乃庙群和温都尔庙群有较大差别,周和平等^[1]将其命名为白音都西群。白音都西群的大地构造位置位于索伦缝合带南侧、白乃庙早—中古生代增生带^[2-3]北侧,其形成和演化与古亚洲洋的闭合紧密相关,白音都西群的时代和构造背景携带着重要的中亚造山带中段构造演化的信息。有关这套变质岩的时代目前缺乏可靠的同位素资料,仅有少量的Sm-Nd等时线年龄,张华锋等^[4]对它们重新计算发现其最大模式年龄不超过1 290 Ma,认为是假等时线年龄,可能没有任何地质意义。同

位素年龄的缺乏造成了对白音都西群时代归属及构造意义的很大分歧,周和平等^[1]认为其是大约在中元古代从西伯利亚或某个克拉通与张裂有关形成的大陆碎块,与白乃庙群一起称为“白乃庙—白音都西地体”;聂凤军^[5-6]将其时代定为中元古代,认为白音都西群和温都尔庙群一样是焊接在板块边缘上的变质地体;也有学者认为其构造属性为中元古代裂陷槽沉积^[7-8]。因此,本文将通过白音都西群的地质特征、碎屑锆石同位素年龄研究,进而探讨其形成环境及大地构造意义。

1 地质概况和地层描述

研究区发育的地层(图1)自老而新分别为:中—上元古界白云鄂博群、白乃庙群,下古生界温都尔庙群,中志留统徐尼乌苏组,上志留统西别河组,上石炭统阿木山组,下二叠统白音都西

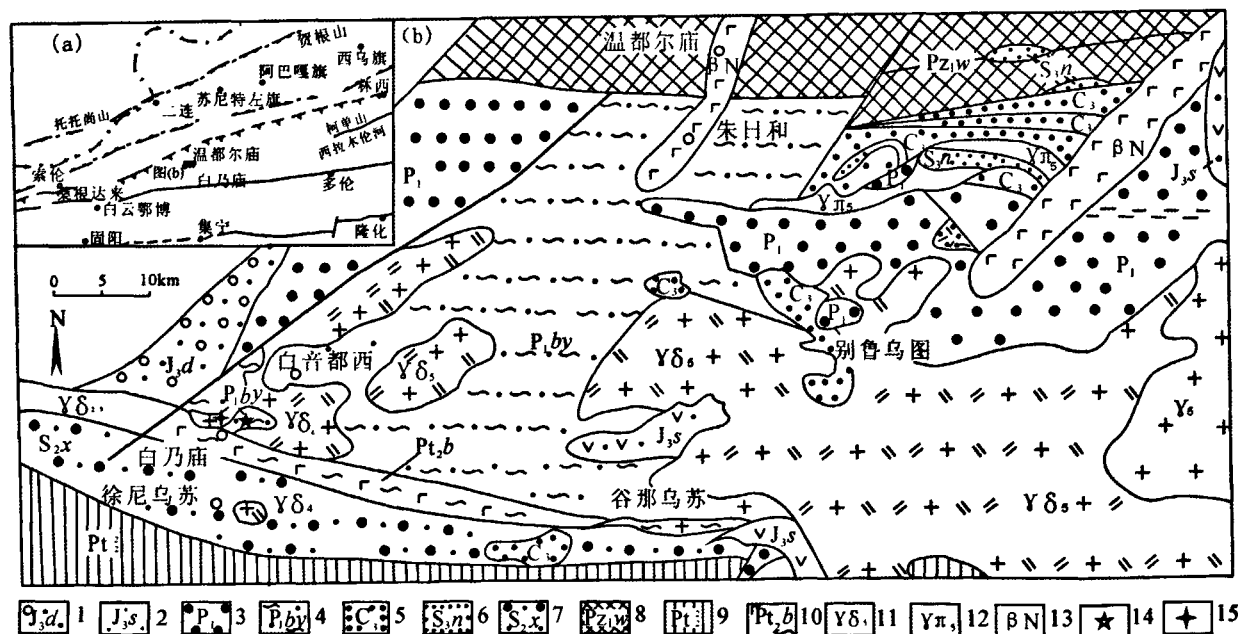


图1 研究区地质简图(据周和平等^[1], 1992, 修编)

(a) 内蒙古中部大地构造位置图; (b) 白音都西地区地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of the study area (modified from Zhou et al. ^[1])

(a) Tectonic map of middle Inner Mongolia; (b) Sketch geological map of Baiyinduxi district

1. 上侏罗统大青山组下段; 2. 上侏罗统三道沟组; 3. 下二叠统三面井组; 4. 下二叠统白音都西群; 5. 上石炭统阿木山组; 6. 上志留统西别河组; 7. 中志留统徐尼乌苏组; 8. 下古生界温都尔庙群; 9. 中—上元古界白云鄂博群; 10. 中—上元古界白乃庙群; 11. 晚海西期花岗岩闪长岩、石英闪长岩; 12. 燕山期花岗斑岩; 13. 上新世玄武岩; 14. 本文采样位置; 15. 武将伟等^[9]采样位置

群(本文研究对象)和三面井组, 上侏罗统大青山组和三道沟组, 以及上新世宝格达乌拉组和汉诺坝组玄武岩。白云鄂博群以变质砂岩、石英岩及结晶灰岩为主要特征; 白乃庙群以绿泥片岩为主; 温都尔庙群变质地层以绢云片岩、绿片岩、变质砂岩和变质长石石英砂岩为主要特征; 徐尼乌苏组主要为变质长石石英砂岩夹变质粉砂岩; 西别河组主要为含珊瑚化石的结晶灰岩和变质砂砾岩; 阿木山组主要由长石石英砂岩和生物碎屑灰岩组成; 三面井组主要为含化石的灰岩; 上侏罗统主要为陆相砂砾岩。出露的岩浆岩主要有晚海西期的花岗闪长岩和石英闪长岩, 以及燕山期的花岗斑岩。

周和平等对白音都西群的岩石地层进行了细

致的剖面测量^[1]。从剖面描述中可以看出, 白音都西群中最主要的岩石是长英质变粒岩类, 包括黑云变粒岩、含云母长石石英岩、石英岩、变质砂岩等。此类岩石局部见有良好的变余层理和碎屑结构, 其原岩为各种砂岩和泥质岩石^[8]。从岩石薄片中可以看出来, 岩石的碎屑结构保存较好, 石英明显属主要部分, 长石含量一般较少, 多数岩石含碎屑较多, 矿物成分含量统计结果为: 石英占 50% ~ 60%, 长石占 5% ~ 10%, 岩屑占 15% ~ 20%, 基质一般 > 7.5%, 其典型端元岩石是长石石英杂砂岩。

为研究白音都西群与其南侧白乃庙群的接触关系, 笔者于白乃庙镇北约 3 km 处测量了白音都西群顶部的地层剖面(图 2), 剖面描述如下。

白乃庙群

25. 绿色钠长阳起片岩	11.8 m
24. 灰色薄层状变质粉砂岩夹薄层绢云片岩, 小褶皱发育	2 m
23. 绿色钠长阳起微晶片岩	1.8 m

逆断层接触

白音都西群

> 273.3 m

22. 构造透镜体, 主要岩性为闪长岩脉与闪长质糜棱岩	4.7 m
21. 浅黄色薄层状变质含粗砂长石粉砂岩	8.8 m
20. 浅灰黄色薄层状糜棱岩化变质含砾长石石英砂岩, 向上过渡为浅黄灰色变质长石石英粉砂岩、泥岩组成的沉积韵律	7.2 m
19. 浅灰黄色薄层状变质含粗砂粉砂岩	12.5 m
18. 灰白色大理岩, 呈透镜状展布, 其中含变泥质岩与石英岩角砾	0.6 m
17. 灰色薄层状变质长石石英砂岩, 糜棱结构发育, 夹绿泥二云石英片岩	20 m
16. 灰色薄层状变质长石石英砂岩, 夹多个浅灰绿色蚀变闪长玢岩透镜体	38.8 m
15. 灰色薄层状变质黑云细粒石英砂岩, 夹绢云绿泥石英片岩	23 m
14. 灰绿色薄层状绿泥绢云石英片岩, 地貌上呈负地形	26.8 m
13. 灰色薄层状变质长石石英砂岩, 夹多个浅灰绿色蚀变闪长玢岩透镜体, 其长轴方向平行于片理, 长度大于 9 m	1.1 m
12. 灰色薄层状变质长石石英砂岩, 糜棱结构发育	3.5 m
11. 灰白色薄层状变质长石石英粉砂岩	4.2 m
10. 灰白色薄层状变质石英粉砂岩, 见钙质结核	9.1 m
9. 青灰色薄层状绢云石英片岩	6.3 m
8. 灰色薄层状变质粉砂岩, 见变余水平层理	11.2 m
7. 灰色薄层状变质中细粒长石砂岩, 见变余水平层理	14.8 m
6. 浅灰色薄层状变质细粒石英砂岩, 夹灰色粉砂岩薄层, 其中变质石英砂岩可见变余层理, 发育粒序层理; 岩石粒度由粗到细构成一个沉积韵律, 厚约 5.2 m, 可识别 6 个韵律层	30 m
5. 灰白色薄层状变质二云石英粉砂岩, 石英颗粒拉长具定向性	10.9 m
4. 浅灰黄色薄层状变质中粗粒长石石英砂岩, 石英颗粒拉长具定向性	8.6 m
3. 浅黄灰色薄层状绢云变质粉砂岩	10.2 m
2. 浅褐黄色薄层状变质石英粉砂岩	3.9 m
1. 浅灰色薄层状绢云石英岩	17.1 m
未见底	

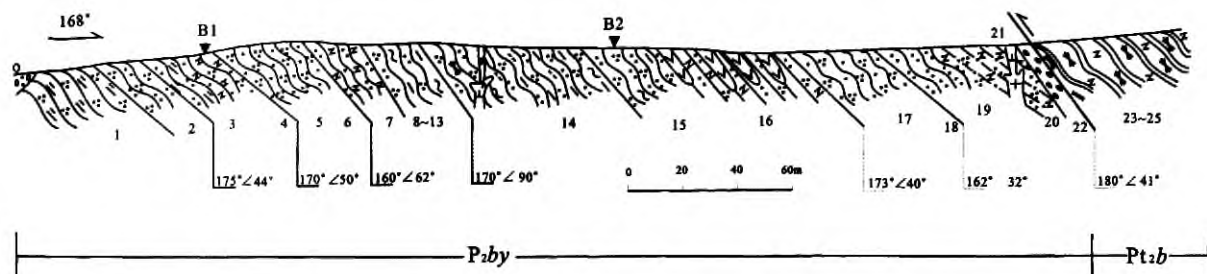


图2 白音都西群与白乃庙群的接触关系剖面图(各层岩性见剖面描述, B1、B2为采样位置)

Fig.2 Geological section showing the relationship of Baiyinduxi Group and Bainaimiao Group

该剖面代表了白音都西群顶部地层的岩石组合, 主要岩性为长英质中—浅变质岩, 岩石组合为变质中粒(个别层含砾)石英砂岩、变质石英粉砂岩、绢云石英片岩, 局部见有良好的变余层理, 构成多个沉积韵律层, 是活动构造背景的产物。野外工作发现, 白音都西群与白乃庙群为断层接触(图3), 表现为白乃庙群向北逆冲于白音都西群之上, 两者之间构造岩发育, 宽度大于4.7 m。断层破碎带内白音都西群的碎屑岩呈较大的构造透镜体产出, 其间夹有规模不等的闪长玢岩和斜长角闪岩透镜体。



图3 白音都西群与白乃庙群为断层接触

Fig.3 Fault between Baiyinduxi Group and Bainaimiao Group

为研究白音都西群的地层时代, 笔者于远离断层破碎带的稳定的白音都西群地层采集了两块新鲜的变质石英砂岩样品, 分别位于剖面的第4层 B1(4679716, 19621444)和第15层 B2(4679602, 19621427)(图2)。

2 分析方法

样品送河北省区域地质矿产调查研究所实验室, 经淘洗、磁选和重液分选, 在双目镜下选取

单颗粒锆石; 在国土资源部天津地质矿产研究所制靶, 在中国地质科学院进行阴极发光(CL)分析并拍摄图像, 然后在国土资源部天津地质矿产研究所进行 LA-MC-ICP-MS 测年, 具体方法见参考文献[10]。本次工作对两个样品共进行了100个点的年龄测试, 测试结果列于表1中。

3 成岩时代

两件样品的锆石特征相似, 锆石颗粒较小且磨蚀现象不明显(图4(a)、(b)), 反映其搬运距离极短, 大部分锆石具有振荡生长环带, 指示了岩浆结晶的特征, 仅有个别锆石具有薄的变质增生边(图4(c)), 可能是经历一定程度的变质作用所致, 指示它们的原岩主要是由同期或略早期的岩浆岩风化后就近沉积的产物^[11-12]。本次工作进行了100粒锆石的测年, 所有锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄介于294~518 Ma之间, 表明源区岩石较为复杂。在锆石 U-Pb 年龄谱和图(图5)上, 投点集中分布于谐和线附近, 能够代表锆石的原岩年龄, 也是该变质岩原岩沉积的下限年龄。对锆石年龄值进行频度统计, 在380~518 Ma之间几乎是连续的, 其峰值出现在480 Ma和450 Ma附近(图6), 但在430 Ma前后有短暂的间断。382 Ma之后的锆石年龄较少, 其中356~335 Ma之间有3个数据, 应该代表了源区弧岩浆岩的形成年龄, 而白音都西群变质岩的沉积年龄略小于294 Ma。此外, 野外地质调查表明, 白音都西群被晚二叠世的碰撞花岗岩侵入, 武将伟等^[9]获得了(253.9±3.7) Ma的锆石年龄(LA-MC-ICP-MS法), 并认为其能够代表岩体的侵位年龄。因此, 白音都西群的成岩时代应介于294 Ma和254 Ma之间, 应为早—中二叠世的产物, 结合中亚造山带中部区域地层发育的特征, 认为其形成时代为早二叠世。

表 1 白音都西群碎屑锆石测年数据

Table 1 U-Pb compositions of clastic zircons in Baiyinduxi Group

测点号	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(\text{U})/10^{-6}$	同位素比值						年龄/Ma	
			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
B1-1	120	1 249	0.073 8	0.001 0	1.36	0.583 9	0.008 1	1.39	459	6
B1-2	103	1 282	0.064 6	0.001 0	1.60	0.490 5	0.007 1	1.45	403	6
B1-3	91	968	0.074 4	0.001 2	1.59	0.594 0	0.008 9	1.50	462	7
B1-4	86	945	0.070 7	0.001 0	1.46	0.536 7	0.007 0	1.30	440	6
B1-5	69	941	0.065 7	0.001 0	1.46	0.495 6	0.007 6	1.53	410	6
B1-6	64	585	0.080 5	0.001 2	1.52	0.634 3	0.009 3	1.47	499	8
B1-7	87	836	0.076 3	0.001 1	1.41	0.597 8	0.009 5	1.59	474	7
B1-8	78	622	0.080 3	0.001 1	1.35	0.638 0	0.011 8	1.85	498	7
B1-9	81	886	0.074 3	0.001 0	1.40	0.596 8	0.017 2	2.89	462	6
B1-10	62	855	0.071 0	0.001 1	1.60	0.540 3	0.007 3	1.36	442	7
B1-11	72	823	0.075 4	0.001 0	1.39	0.594 7	0.008 6	1.44	469	7
B1-12	78	1 330	0.054 5	0.000 7	1.31	0.410 0	0.006 5	1.58	342	4
B1-13	80	1 045	0.062 2	0.000 8	1.29	0.473 8	0.008 6	1.80	389	5
B1-14	74	1 294	0.046 6	0.000 6	1.38	0.380 8	0.011 2	2.93	294	4
B1-15	76	872	0.071 7	0.001 3	1.76	0.554 2	0.008 8	1.59	446	8
B1-16	68	801	0.071 5	0.001 1	1.58	0.551 2	0.009 4	1.70	445	7
B1-17	71	826	0.074 2	0.001 3	1.75	0.586 4	0.007 8	1.33	461	8
B1-18	52	639	0.071 4	0.001 1	1.50	0.550 2	0.007 9	1.44	445	7
B1-19	72	827	0.074 2	0.001 0	1.40	0.595 0	0.008 5	1.42	461	6
B1-20	71	809	0.071 8	0.000 9	1.32	0.559 6	0.009 0	1.60	447	6
B1-21	74	614	0.079 5	0.001 2	1.55	0.642 1	0.010 0	1.55	493	8
B1-22	70	975	0.061 4	0.001 1	1.76	0.475 0	0.007 9	1.66	384	7
B1-23	82	850	0.074 6	0.001 0	1.36	0.584 3	0.007 7	1.32	464	6
B1-24	62	670	0.078 0	0.001 2	1.57	0.613 4	0.009 2	1.49	484	8
B1-25	73	1 025	0.063 0	0.000 8	1.32	0.487 6	0.010 3	2.11	394	5
B1-26	88	774	0.079 1	0.001 1	1.40	0.645 0	0.008 9	1.37	491	7
B1-27	67	756	0.074 8	0.001 0	1.28	0.590 4	0.007 8	1.32	465	6
B1-28	76	790	0.073 5	0.001 0	1.38	0.573 7	0.008 5	1.47	457	6
B1-29	63	758	0.070 1	0.000 9	1.33	0.530 5	0.009 3	1.75	437	6
B1-30	71	1 116	0.061 0	0.001 1	1.81	0.475 6	0.007 5	1.58	382	7
B1-31	53	646	0.076 4	0.000 9	1.20	0.584 2	0.008 3	1.43	474	6
B1-32	60	689	0.071 9	0.001 0	1.39	0.553 4	0.008 0	1.44	447	6
B1-33	56	688	0.072 6	0.001 1	1.52	0.564 9	0.017 5	3.09	452	7
B1-34	72	789	0.078 5	0.001 2	1.51	0.640 8	0.010 3	1.61	487	7
B1-35	76	800	0.075 6	0.001 1	1.48	0.593 2	0.008 3	1.41	470	7
B1-36	66	809	0.070 2	0.001 1	1.63	0.535 5	0.008 2	1.54	437	7
B2-1	35	323	0.079 0	0.001 2	1.48	0.618 9	0.012 4	2.01	490	7
B2-2	106	1 300	0.062 9	0.001 0	1.60	0.485 0	0.009 9	2.05	393	6
B2-3	54	621	0.065 7	0.001 1	1.62	0.493 4	0.012 1	2.45	410	7
B2-4	17	135	0.079 6	0.001 3	1.57	0.629 9	0.020 8	3.31	494	8
B2-5	16	114	0.082 7	0.001 3	1.55	0.649 7	0.031 5	4.85	512	8
B2-6	73	898	0.065 2	0.000 9	1.45	0.492 0	0.010 7	2.18	407	6
B2-7	33	295	0.076 8	0.001 1	1.43	0.606 6	0.015 0	2.48	477	7
B2-8	16	126	0.076 3	0.001 1	1.45	0.595 8	0.019 0	3.19	474	7
B2-9	47	704	0.053 4	0.000 8	1.46	0.403 9	0.014 2	3.51	335	5
B2-10	75	768	0.073 3	0.001 1	1.49	0.557 9	0.010 6	1.90	456	7
B2-11	39	330	0.083 5	0.001 3	1.55	0.652 3	0.012 7	1.94	517	8
B2-12	39	345	0.078 3	0.001 2	1.54	0.619 2	0.012 8	2.07	486	7
B2-13	24	275	0.071 1	0.001 1	1.60	0.540 0	0.017 9	3.31	443	7
B2-14	39	386	0.077 2	0.001 1	1.48	0.602 8	0.011 3	1.87	479	7

(续)表1 白音都西群碎屑锆石测年数据
(Continued) Table 1 U-Pb compositions of clastic zircons in Baiyinduxi Group

测点号	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(\text{U})/10^{-6}$	同位素比值						年龄/Ma	
			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
B2-15	32	237	0.083 7	0.001 5	1.76	0.662 9	0.015 2	2.29	518	9
B2-16	39	449	0.070 7	0.001 0	1.45	0.545 3	0.010 9	1.99	441	6
B2-17	148	1 040	0.076 3	0.001 1	1.49	0.594 9	0.028 4	4.78	474	7
B2-18	31	277	0.082 3	0.001 3	1.55	0.647 3	0.012 0	1.85	510	8
B2-19	15	122	0.077 1	0.001 2	1.52	0.613 0	0.025 6	4.17	479	7
B2-20	20	203	0.071 6	0.001 1	1.57	0.560 4	0.017 1	3.04	446	7
B2-21	81	694	0.075 6	0.001 1	1.46	0.605 2	0.009 0	1.49	470	7
B2-22	37	444	0.063 2	0.001 0	1.51	0.495 2	0.011 3	2.29	395	6
B2-23	137	1 059	0.076 1	0.001 2	1.58	0.597 4	0.010 9	1.82	473	7
B2-24	42	321	0.078 9	0.001 2	1.54	0.634 1	0.012 0	1.89	490	8
B2-25	95	880	0.071 2	0.001 1	1.55	0.562 6	0.012 2	2.16	443	7
B2-26	110	1 217	0.064 7	0.000 9	1.45	0.496 5	0.008 5	1.71	404	6
B2-27	107	1 051	0.070 9	0.001 1	1.51	0.549 2	0.008 9	1.62	442	7
B2-28	24	230	0.075 9	0.001 1	1.45	0.603 6	0.014 5	2.41	471	7
B2-29	29	275	0.078 9	0.001 2	1.58	0.640 0	0.013 1	2.05	489	8
B2-30	47	523	0.071 6	0.001 1	1.49	0.563 3	0.011 3	2.01	446	7
B2-31	28	328	0.065 5	0.001 0	1.54	0.497 8	0.014 3	2.88	409	6
B2-32	121	1 501	0.062 7	0.000 9	1.48	0.469 8	0.010 9	2.33	392	6
B2-33	118	1 493	0.061 8	0.000 8	1.35	0.473 4	0.014 4	3.04	387	5
B2-34	33	295	0.074 9	0.001 1	1.48	0.597 4	0.012 8	2.15	466	7
B2-35	12	90	0.079 7	0.001 2	1.49	0.641 6	0.027 4	4.27	494	7
B2-36	17	141	0.077 3	0.001 1	1.44	0.629 6	0.020 6	3.27	480	7
B2-37	21	168	0.079 0	0.001 1	1.45	0.629 3	0.018 5	2.93	490	7
B2-38	126	1 259	0.064 4	0.001 2	1.87	0.504 2	0.011 0	2.19	403	8
B2-39	114	1 385	0.062 7	0.001 0	1.54	0.479 4	0.011 2	2.34	392	6
B2-40	56	579	0.071 9	0.001 0	1.42	0.564 5	0.009 2	1.63	447	6
B2-41	68	697	0.065 9	0.001 0	1.57	0.499 3	0.009 6	1.93	411	6
B2-42	39	421	0.071 9	0.001 1	1.47	0.562 8	0.010 5	1.87	448	7
B2-43	98	914	0.070 5	0.001 2	1.66	0.552 2	0.008 4	1.53	439	7
B2-44	51	455	0.076 2	0.001 2	1.59	0.621 2	0.010 8	1.73	473	8
B2-45	102	977	0.071 2	0.001 2	1.67	0.567 7	0.009 2	1.63	443	7
B2-46	54	458	0.077 3	0.001 1	1.45	0.626 1	0.009 6	1.53	480	7
B2-47	24	206	0.077 6	0.001 2	1.50	0.620 2	0.019 1	3.08	482	7
B2-48	25	260	0.056 7	0.001 0	1.85	0.442 7	0.012 9	2.91	356	7
B2-49	29	255	0.076 1	0.001 2	1.55	0.609 9	0.013 0	2.13	473	7
B2-50	34	312	0.075 7	0.001 1	1.44	0.625 2	0.011 9	1.90	471	7
B2-51	45	434	0.076 0	0.001 1	1.43	0.620 0	0.009 8	1.58	472	7
B2-52	13	102	0.076 7	0.001 1	1.48	0.614 4	0.022 5	3.66	476	7
B2-53	103	1 200	0.063 1	0.001 0	1.57	0.487 9	0.010 4	2.12	394	6
B2-54	19	199	0.071 6	0.001 0	1.44	0.559 9	0.018 1	3.24	446	6
B2-55	15	109	0.077 2	0.001 1	1.45	0.642 5	0.025 5	3.98	479	7
B2-56	25	210	0.075 9	0.001 1	1.45	0.629 6	0.014 8	2.36	471	7
B2-57	41	379	0.072 4	0.001 1	1.57	0.570 6	0.011 3	1.98	451	7
B2-58	17	151	0.071 3	0.001 1	1.50	0.560 4	0.013 2	2.36	444	7
B2-59	82	799	0.072 4	0.001 1	1.47	0.582 4	0.008 3	1.43	451	7
B2-60	153	1 175	0.071 3	0.001 1	1.60	0.564 8	0.009 0	1.59	444	7
B2-61	21	178	0.076 4	0.001 1	1.43	0.612 4	0.013 5	2.20	475	7
B2-62	27	270	0.070 6	0.001 1	1.54	0.550 7	0.012 7	2.30	439	7
B2-63	26	287	0.073 0	0.001 0	1.41	0.562 3	0.011 0	1.95	454	6
B2-64	67	758	0.065 1	0.001 0	1.59	0.494 6	0.008 7	1.75	407	6

注: B1 为图 2 所示剖面的第 4 层样品; B2 为第 15 层样品。

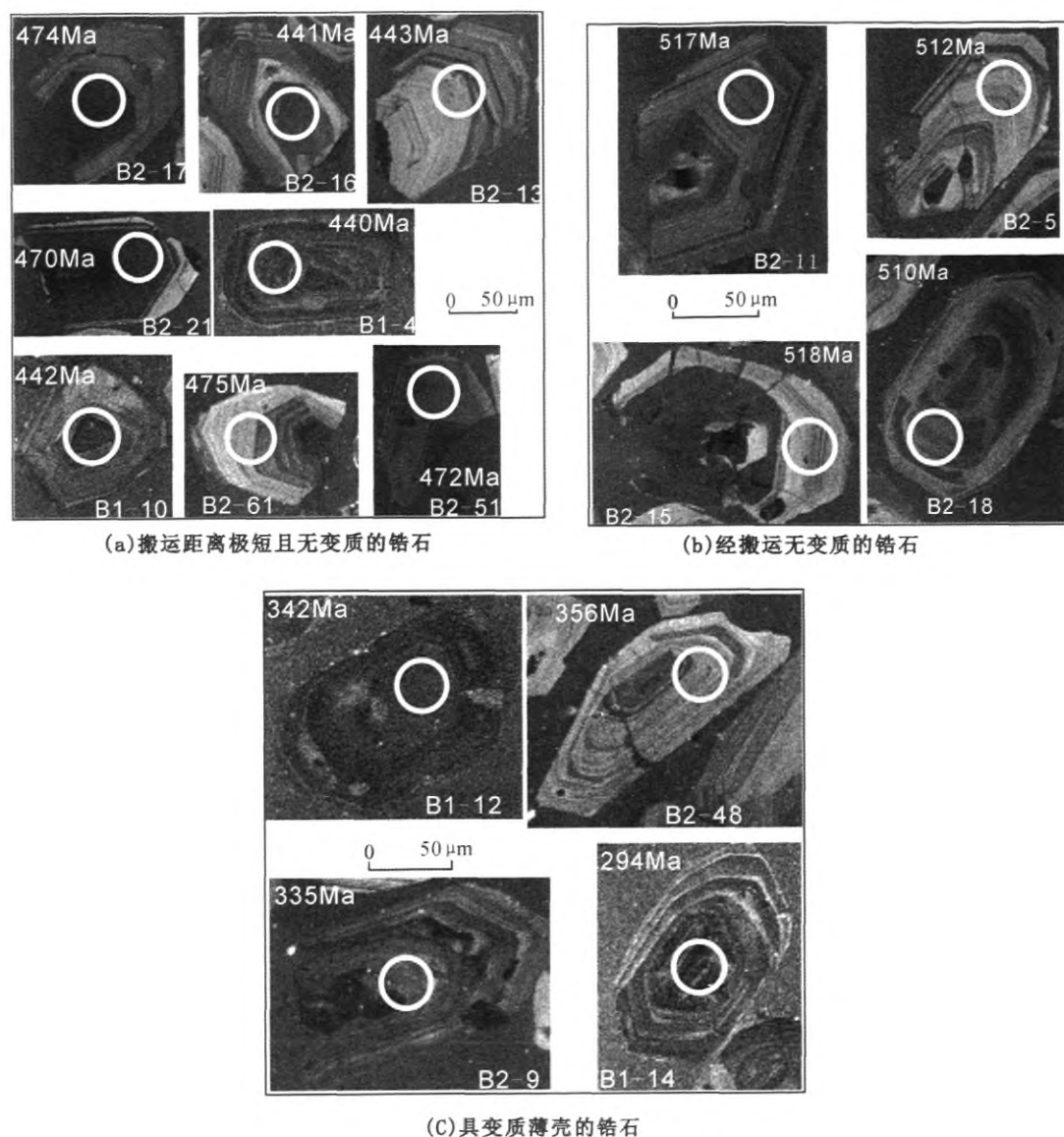


图4 白音都西群碎屑锆石 CL 图像

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) images of clastic zircons from Baiyinduxi Group

4 构造意义探讨

4.1 白音都西群的成因

白音都西群岩石组合变化较大, 其原岩为各种砂岩和泥质岩石。由图4可见, 其碎屑锆石来源较为复杂, 年龄覆盖了294~518 Ma的较大范围, 这些特征表明白音都西群的原岩应该是一套沉积建造。在白音都西群毗邻地区, 发育有大量的古生代弧岩浆岩, 如哈达敖包辉长岩^[13]、白乃庙岛弧杂岩^[14]、巴特敖包弧岩浆岩^[15]、西圪旦辉长岩体^[16]等一系列弧岩浆建造, 其活动时代从晚寒武世一直到晚石炭世, 这一活动特征与白音都西群的碎屑锆石年龄非常吻合, 表明该区古生代

弧岩浆岩是白音都西群主要的沉积源区。而且早古生代的碎屑锆石数量明显多于晚古生代锆石, 说明在白音都西群原岩中, 早古生代弧岩浆岩比晚古生代弧岩浆岩组分占有更高的比例, 这可能是前者形成早且出露较广的原因。此外, 从锆石形态来看, 基本没有机械磨蚀现象, 并与弧岩浆岩中的锆石相似, 也证明其是古生代的弧岩浆岩的近源沉积(据柳长峰待发表资料, 白乃庙岛弧型变质安山岩的锆石 LA-MC-ICP-MS 年龄为449 Ma; 为讨论白音都西群的物源, 笔者分别进行了白乃庙群变质安山岩和白音都西群碎屑岩的锆石 Hf 同位素测定, 数据正在研究中, 随后发表)。因此, 白音都西群的原岩可能是一套弧前沉积建造, 其

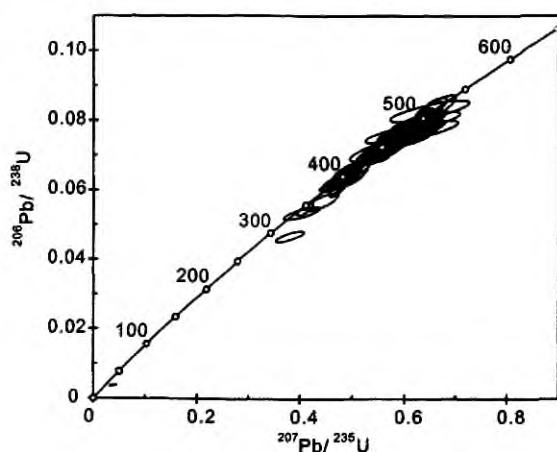


图5 白音都西群碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 5 U-Pb concordant diagram of zircon ages of Baiyinduxi Group

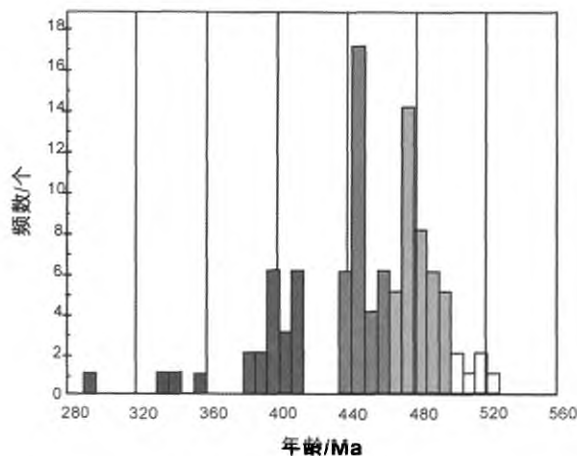


图6 白音都西群碎屑锆石年代直方图

Fig. 6 Histogram of zircon ages of Baiyinduxi Group

形成时间应该是伴随着古亚洲洋的俯冲消减和古生代弧岩浆作用的整个过程,随着西伯利亚板块和华北板块的逐渐汇聚过程中而不断沉积形成,在晚二叠世花岗岩侵入前(254 Ma 之前)经历了较强的变形和变质作用,该变质事件可能与索伦缝合带内发生的一次主要的碰撞造山作用有关。从快速剥蚀、就近沉积到发生变形变质作用,整个事件是在较短的时间内(294 ~ 254 Ma)完成的,这一特征也证明其构造环境应为碰撞造山带的弧前环境,并且此时由于有火山弧(白乃庙岛弧)的阻隔,基本没有古老陆壳物质的加入。

4.2 索伦缝合带的缝合时间

索伦缝合带代表西伯利亚板块与华北板块最终碰撞缝合的位置,其碰撞缝合的时间一直存在争议,不少学者认为其发生在晚泥盆世或更早^[17-20];也有学者根据弧岩浆岩及碰撞花岗岩的

同位素年龄提出碰撞时限在 310 ~ 230 Ma^[21-22],近年来,在华北板块北缘发现了大量晚古生代一早中生代的弧岩浆岩^[13,16,23-27]及碰撞花岗岩^[28,13],认为华北板块北缘在晚石炭世一早二叠世是一条安第斯型活动大陆边缘,也支持晚古生代碰撞缝合的观点,这一认识得到了本文对白音都西群碎屑锆石年代学研究的进一步证实。

如前所述,白音都西群实际上是最终形成于晚古生代的弧前沉积建造,并在碰撞造山过程中发生变质变形作用。白音都西群中最年轻的碎屑锆石年龄为 294 Ma,而侵入它的未变形变质的花岗岩年龄为 254 Ma^[12],故该变质变形作用应当发生在 294 ~ 254 Ma 之间。我们推测该作用可能与碰撞造山有关,即在古亚洲洋闭合过程中形成。这些证据表明索伦缝合带的碰撞缝合时间应该介于 294 ~ 254 Ma 之间。

中亚造山带一般被描述为古亚洲洋及其中众多微陆块、地体长期演化的结果^[29]。白音都西群也曾被认为是其中的一个微陆块^[1],而本次工作通过对白音都西群碎屑锆石的研究认为其是晚古生代的弧前沉积建造。无独有偶,近年来对锡林郭勒杂岩及蓝片岩的研究也认为它们同白音都西群一样,也是晚古生代弧前沉积建造^[30-32],这些被认为可能代表古老陆块的变质岩系其实是晚古生代同造山作用的产物。因此,有关中亚造山带多岛洋体制模型在内蒙古的中东段的广大区域内可能需要重新认识。

5 结 论

(1)大量的碎屑锆石 U-Pb 年龄表明,白音都西群并不是前寒武纪陆块残留,其原岩可能代表弧前沉积建造,形成于晚古生代古亚洲洋俯冲消减期间,形成时代为早二叠世,其后经历的变质变形作用与西伯利亚板块和华北板块沿索伦缝合带的碰撞缝合作用有关。

(2)白音都西群成岩到发生变质变形作用时间介于 294 ~ 254 Ma 之间,说明索伦缝合带的碰撞缝合时间可能在早一中二叠世,而不是传统认为的中一晚泥盆世。

(3)测试的锆石 U-Pb 年龄集中在 450 ~ 480 Ma,这是盆地最快填充时期,它代表了白乃庙火山弧的抬升,同时也是古亚洲洋的俯冲时期,白音都西群可能形成于弧前盆地环境中。

参考文献:

- [1] 周和平, 聂凤军, 薛林福, 等. 白音都西群、白乃庙群和白音都西—白乃庙地体 [J]. 长春地质学院学报, 1992, 22 (白乃庙地质专辑): 17-28.
- [2] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt [J]. *Tectonics*, 2003, 22(6): 1069.
- [3] Jian P, Liu D Y, Alfred Kröner, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth [J]. *Lithos*, 2008, 101 (3/4): 233-259.
- [4] 张华锋, 周志广, 刘文灿, 等. 内蒙中部白乃庙地区格林威尔岩浆事件记录: 石英二长闪长岩脉锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄证据 [J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1512-1518.
- [5] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士. 内蒙古白银都西群变质火山岩的钨、铍同位素研究 [J]. 地质论评, 1994, 40(5): 476-481.
- [6] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士, 等. 内蒙古温都尔庙群变质火山-沉积岩钨-铍同位素研究 [J]. 科学通报, 1994, 39(13): 1211-1214.
- [7] 张臣, 吴泰然. 内蒙古温都尔庙群变质基性火山岩的 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素年代研究 [J]. 地质科学, 1998, 33(1): 25-30.
- [8] 张臣, 吴泰然. 内蒙古白乃庙白银都西群的形成环境及其构造意义 [J]. 高校地质学报, 1999, 5(2): 175-182.
- [9] 武将伟, 周志广, 柳长峰. 内蒙古白乃庙地区萨齐岩体定年及岩石地球化学特征 [M] // Tan Honghua. 2011 International Conference on Fuzzy Systems and Neural Computing. Hong Kong: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2011: 591-601.
- [10] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪 (LA-MC-ICP-MS) 测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究 [J]. 矿物学报, 2009, 29(增刊1): 600-601.
- [11] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约 [J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [12] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述 [J]. 地质调查与研究, 2009, 32(3): 161-174.
- [13] 周志广, 张华锋, 刘还林, 等. 内蒙中部四子王旗地区基性侵入岩锆石定年及其意义 [J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1519-1528.
- [14] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士. 内蒙古白乃庙地区绿片岩和花岗闪长斑岩的钨和铍同位素研究 [J]. 地球学报, 1995, 16(1): 36-41.
- [15] 陶继雄, 许立权, 贺锋, 等. 内蒙古巴特敖包地区早古生代洋壳消减的岩石证据 [J]. 地质调查与研究, 2005, 28(1): 1-8.
- [16] 柳长峰. 内蒙古四子王旗地区古生代—早中生代岩浆岩带及其构造意义 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010: 40-58.
- [17] Tang K D. Tectonic development of Paleozoic fold belts at the north margin of the Sino-Korean craton [J]. *Tectonics*, 1990, 9(2): 249-260.
- [18] 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: 67-91.
- [19] 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.
- [20] 徐备, Charvet J, 张福勤. 内蒙古北部苏尼特左旗蓝片岩岩石学和年代学研究 [J]. 地质科学, 2001, 36(4): 424-434.
- [21] Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328(1/2): 157-182.
- [22] 陈斌, 赵国春, Simon W. 内蒙苏尼特左旗南两类花岗岩的同位素年代学及其构造意义 [J]. 地质论评, 2001, 47(4): 361-367.
- [23] 马芳, 穆治国, 刘玉琳, 等. 河北滦平球状闪长岩岩石地球化学特征与源区性质探讨 [J]. 地球化学, 2004, 33(6): 593-601.
- [24] 马芳, 穆治国, 刘玉琳. 河北滦平球状闪长岩年代学及其地质意义 [J]. 地质论评, 2004, 50(4): 360-364.
- [25] 王惠初, 赵凤清, 李惠民, 等. 冀北闪长质岩石的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 晚古生代岩浆弧的地质记录 [J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 597-604.
- [26] 张拴宏, 赵越, 宋彪, 等. 冀北隆化早前寒武纪高级变质区内的晚古生代片麻状花岗闪长岩——锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 621-626.
- [27] Zhang S H, Zhao Y. Carboniferous granitic plutons from the northern margin of the North China block: implications for a late Palaeozoic active continental margin [J]. *Journal of the Geological Society*, 2007, 164(2): 451-463.
- [28] 章永梅, 张华锋, 刘文灿, 等. 内蒙古中部四子王旗大庙岩体时代及成因 [J]. 岩石学报, 2009, 25(12): 3165-3181.
- [29] Sengor A M C, Natalin B A, Burtman V S. Evolution of the Al-taid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 1993, 364: 299-307.
- [30] 施光海, 刘敦一, 张福琴, 等. 中国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及意义 [J]. 科学通报, 2003, 48(20): 2187-2192.
- [31] 陈斌, 马星华, 刘安坤, 等. 锡林浩特杂岩和蓝片岩的锆石 U-Pb 年代学及其对索伦缝合带演化的意义 [J]. 岩石学报, 2009, 25(12): 3123-3129.
- [32] 薛怀民, 郭利军, 侯增谦, 等. 中亚—蒙古造山带东段的锡林郭勒杂岩: 早华力西期造山作用的产物而非古老陆块?——锆石 SHRIMP U-Pb 年代学证据 [J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 2001-2010.