# 内蒙古西部阿拉善右旗下石炭统白山组碎屑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb测年及意义

陈高潮[1],魏仙样[1],忤康林[2],李金超[1]
CHEN Gao-chao[1], WEI Xian-yang[1], WU Kang-lin[2], LI Jin-chao[1]

1. 西安地质调查中心,陕西 西安 710054;
2. 长安大学地球科学与资源管理学院,陕西 西安 710054
1. *Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an* 710054, *Shaanxi, China*;
2. *School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an* 710054, *Shaanxi, China*

**摘要**:阿拉善右旗下石炭统白山组碎屑岩中锆石 CL 图像的特征和微量元素 Th/U>0.4 表明绝大多数属于岩浆锆石,锆石年龄分布于 412~498Ma 之间,集中分布于 443~466Ma 之间,加权平均年龄为(454.6±8.3)Ma($n$=28),MSWD=3.5,置信度 95%,与研究区西侧南天山洋在奥陶纪—早泥盆世向北俯冲消减,在中天山南缘形成岩浆弧可能对应,揭示了研究区恩格尔乌苏断裂可能为哈萨克斯坦板块与华北板块早古生代缝合带,该断裂具有多期活动的特征。白山组物源来自恩格尔乌苏断裂以北的加里东期构造岩浆岩带和早古生代浅变质盖层沉积。

**关键词**:锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄;下石炭统白山组;砂岩;内蒙古西部
**中图分类号**:P534.45; P597$^+$.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2011)06-0955-07

**Chen G C, Wei X Y, Wu K L, Li J C. Clastic zircon dating of Lower Carboniferous Baishan Formation in Alxa Right Banner of western Inner Mongolia and its significance. *Geological Bulletin of China,* 2011, 30(6):955-961**

**Abstract**: The CL images and trace element (Th/U>0.4) of clastic zircons from Lower Carboniferous Baishan Formation in Alxa Right Banner indicate that most of them were derived from magma. The age of zircons varies from 412Ma to 498Ma, concentrated on 443~446Ma, the weighted average age is (454.6±8.3)Ma ($n$=28), MSWD=3.5, and the degree of confidence is 95%, corresponding probably to that of magmatic arc generated in Middle Tianshan Mountain during the northward subduction and attenuation of Southern Tianshan Ocean on the western lateral of the study area from Ordovician to Early Devonian. These data reveal that Engeerwusu fault is likely to be an Eopaleozoic suture zone belonging to Kazakhstan plate and Huabei plate. The provenance of Baishan Formation is a Caledonian tectonic magmatite zone.

**Key words:** zircon LA-ICP-MS U-Pb age; Lower Carboniferous Baishan Formation; sandstone; westem Inner Mongolia

额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系受后期构造改造和中新生代地层覆盖,研究程度比较低,制约了油气地质研究的进一步深入。巴达吉林沙漠以东地区下石炭统出露十分有限,仅在阿拉善右旗好比如地区有出露,是研究银根—额济纳旗地区石炭纪—二叠纪盆地东部早石炭世盆地形成演化、盆地原型和物源的关键地段。盆地分析中重矿物可用于物源区、地层对比、岩相古地理分析等多项研究,沉积岩中重砂矿物中的锆石分布广泛,并经常呈完好的晶体,对其主要特征、年龄等进行研究,可以为岩浆岩、变质岩类型和源区、沉积环境的研究提供一定的信息[1]。沉积岩中的副矿物碎屑锆石,由于 U-Th-Pb

收稿日期:2011-01-28;修订日期:2011-04-22
资助项目:中国地质调查局国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》(编号:1212010733506)
作者简介:陈高潮(1968- ),男,高级工程师,从事区域地质矿产调查与研究。E-mail:sxxycc08@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同位素体系具有较高的封闭温度，在低级变质作用和风化搬运过程中保持稳定，因此碎屑锆石年代学研究被广泛应用于限定沉积地层的最大沉积年龄[2]。本文对好比如一带白山组碎屑岩进行了激光探针 LA-ICP-MS 单颗粒锆石 U-Pb 精确定年和沉积建造特征分析，为白山组的形成提供了年代学约束和物源恢复，对该区地层划分对比和构造背景分析有重要意义。

## 1 区域地质概况及采样位置

研究区位于哈萨克斯坦板块与塔里木板块、华北板块构造结合部。恩格尔乌苏断裂(区域上属于温都尔庙-西拉木伦缝合带)横贯全区，断裂以北属于哈萨克斯坦板块东延部分[3]，前石炭系包括新太古界—古元古界北山群中深变质岩、蓟县系—青白口系园藻山群碎屑岩-碳酸盐岩、早古生界—泥盆系浅变质碎屑岩-碳酸盐岩夹火山碎屑岩；断裂以南属于华北板块，前石炭系包括新太古界—古元古界龙首山群、乌拉山群中深变质岩系，中新元古界查尔泰群浅变质碎屑岩-碳酸盐岩，南华纪—泥盆纪为一隆起区，未接受沉积。断裂以南阿拉善-狼山隆起带中有晋宁期和加里东期中酸性侵入岩侵入。好比如一带白山组出露面积 11.52km$^2$，北侧长城系大理岩自北向南推覆于白山组之上，东南西三面均被白垩系和第四系不整合覆盖(图 1)。白山组岩石组合分为 2 段，下段为正常滨浅海相棕褐色泥质细粒石英砂岩、厚层状砾岩、含砾砂岩夹钙质粉砂岩，厚度大于 842.2m；上段以中—酸性火山碎屑岩夹熔岩及钙质砂砾岩、灰岩，产丰富的珊瑚、腕足类化石，组成 2 个生物组合，分别为 *Palaeosmilia-Dibunophyllum* 组合带(珊瑚)和 *Gigantoproductus-Tomiopsis* 组合带(腕足)。

样品采自阿拉善右旗好比如地区白山组下段砂岩中(图 1)，采样坐标：N41°33′20.4″、E103°21′40″，H：976m。样品岩性为中粒岩屑长石杂砂岩，中粒砂状结构，块状构造，成分：石英含量约为 24%、长石约 35%、岩屑约 12%、白云石约 15%、胶结物约 14%，碎屑次圆状—次棱角状，长石以斜长石为主，岩屑以英安质火山碎屑岩和熔岩为主，有少量安山岩碎屑、石英岩碎屑，粒径 0.2~0.45mm，白云质多为团块状或

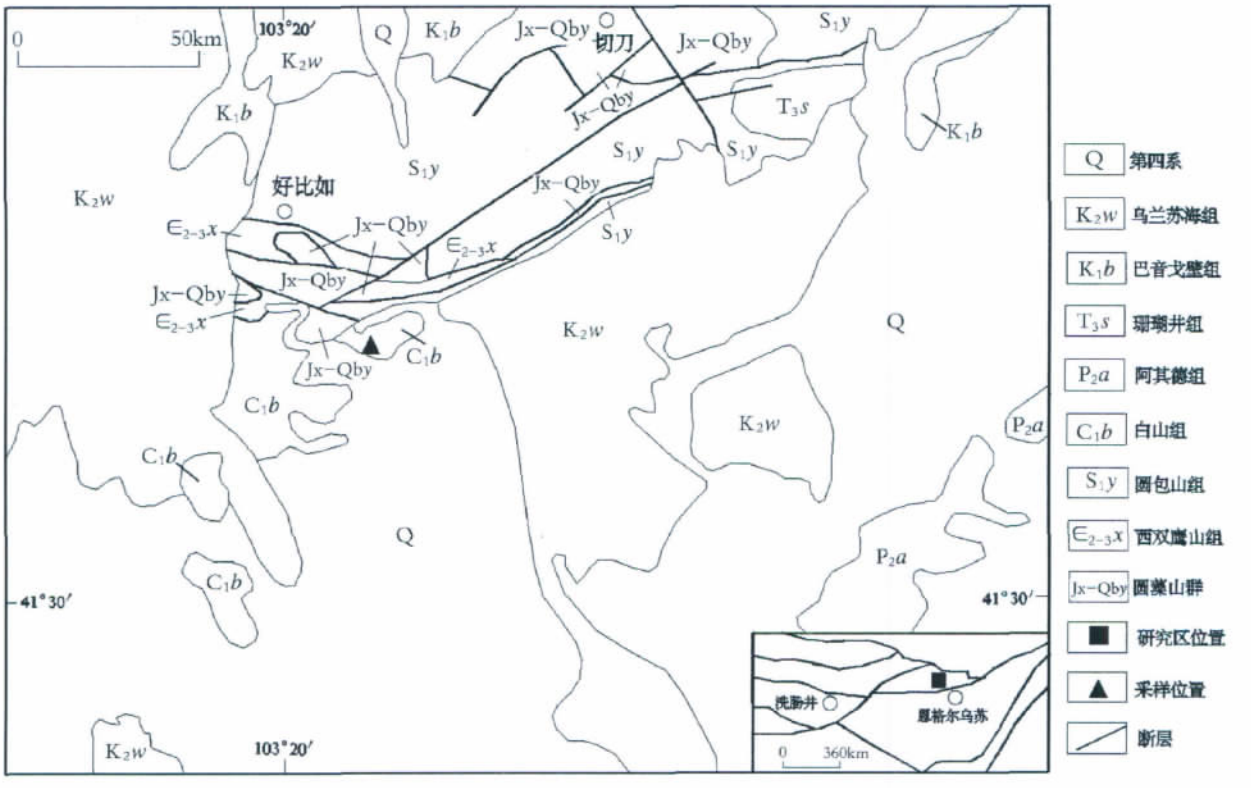


图 1 好比如地区地质简图及采样位置

Fig. 1 Generalized geological map showing sampling position

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

条带状白云石集合体，胶结物主要为杂基、细小的砂屑、泥质及破碎的岩屑，孔隙式胶结。岩石特征反映物源区较近，碎屑物没有经过长距离搬运。

## 2　样品处理与测试方法

在野外采集 10kg 样品，无污染粉碎至 80 目，然后通过重液精淘分离，按常规方法分选锆石，在双目镜下挑选出晶体完好、具有代表性的单颗粒锆石，然后将样品锆石置于环氧树脂中，待固结后抛磨至锆石粒径的大约 1/2，使锆石内部充分暴露，最后进行锆石的光学、CL 显微图像、激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS，下同)分析。

锆石阴极发光(CL)图像分析和 LA-ICP-MS 锆石微区原位单点定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行(图 2)，在 Agilent7500 型 ICP-MS、德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF，波长 193nm)和 MicroLas 公司的 GeoLas 200M 光学系统的联机上进行。激光束斑




图 2　好比如地区白山组岩屑长石杂砂岩锆石 CL 图像及测年点

Fig. 2　Zircon CL images and dating spots of Baishan Formation lithic feldspar graywacke in Haobiru area

每颗锆石的圆圈和数字分析代表测点位置、编号和 $^{206}Pb/^{238}U$ 表观年龄

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

直径为30μm,激光剥蚀样品的深度为20~40μm。实验中采用He作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NIST SRM610进行仪器最佳化,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,每完成4~5个测点的样品测定,加测标样一次。在所测锆石样品分析15~20个点前后各测2次NIST SRM610。锆石年龄采用国际标准锆石91500作为外标标准物质,元素含量采用NIST-SRM610作为外标,29Si作为内标。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献。采用Glitter(ver4.0, Macquarie University)程序对锆石的同位素比值和元素含量进行计算,并按照Ander-sen Tom的方法(Andersen,2002),用LAM_ICPMSCommon Lead Correction(ver3.15)对其进行普通铅校正,年龄计算和谐和图采用Isoplot(ver3.0)完成,分析数据列于表1。

## 3 测试结果和分析

### 3.1 锆石CL图像特征

CL图像反映锆石的内部结构较清楚,也是锆石内部结构研究最常用和最有效的方法。岩浆锆石CL图像上可见明显的岩浆振荡生长环带或宽缓的岩浆生长环带;变质锆石CL图像比较复杂,一般为无分带或弱分带的特征[4]。为了区分锆石岩浆、变质2类成因,选定待测的最佳年龄的锆石样品和部位,进行了锆石阴极发光扫描电镜图像分析(图2)。多数锆石具有明显的振荡环带,少数具有核幔边或核边结构。根据锆石内部的结构特征,统计了79个单颗粒锆石的内部特征,岩浆来源的锆石占42.0%,变质来源的锆石占38.0%。

### 3.2 锆石年龄

研究表明,判断年龄是否可靠,除了测量数据的重复性外,锆石的化学组成也十分重要,其化学成分U、Th、Pb含量,Th/U比值及变化对于判断锆石的成因和年龄的含义有重要的示踪意义[1]。放射性成因组分积累较少的年轻锆石采用$^{206}Pb/^{238}U$年龄,前寒武纪年龄采用$^{207}Pb/^{206}Pb$同位素年龄。大量研究表明,不同成因的锆石具有不同的Th、U含量和Th/U比值[1]。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)[5-6]。好比如白山组砂岩中锆石$^{204}Pb$、$^{206}Pb$、$^{207}Pb$、$^{208}Pb$、$^{232}Th$、$^{238}U$含量和Th/U比值(表1):$^{204}Pb$值为(<0.91~4.62)×10$^{-6}$,平均值2.94×10$^{-6}$;$^{206}Pb$值为(21.5~69)×10$^{-6}$,平均值35.44×10$^{-6}$;$^{207}Pb$值为(1.42~4.37)×10$^{-6}$,平均值2.42×10$^{-6}$;$^{208}Pb$值为(1.917~7.05)×10$^{-6}$,平均值3.36×10$^{-6}$;U值为(61~203.2)×10$^{-6}$,平均值111.81×10$^{-6}$;Th值为(41.14~145.74)×10$^{-6}$,平均值68.93×10$^{-6}$;Th/U比值为0.41~0.91,平均0.62。Th/U>0.4表明测试样品中的锆石基本为岩浆锆石。

白山组砂岩中锆石$^{206}Pb/^{238}U$年龄(表1)测年结果均小于1.0Ga,利用100×($^{207}Pb/^{235}U$)/($^{206}Pb/^{238}U$)判别,08HBGTW1-0020和08HBGTW1-0030点误差大于10%,其余测点年龄均在误差范围内。$^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$谐和年龄451Ma±26Ma($n$=28),MSWD=1.6(图3);$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄为454.6Ma±8.3Ma($n$=28),MSWD=3.5,置信度95%(图4)。样品中锆石年龄最大值为506Ma,最小年龄412Ma,与中国区域年代地层表(全国地层委员会,2002)划分方案比较,最大值506Ma小于早寒武世与中寒武世的界限年

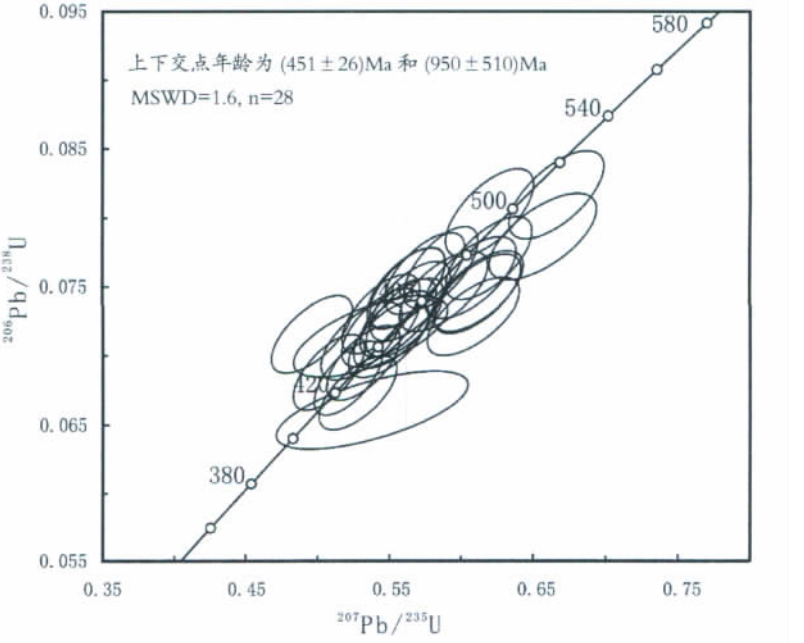


图3 好比如地区白山组砂岩锆石U-Pb谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordant diagram of Baishan Formation sandstone in Haobiru area

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　好比如地区中粒岩屑长石杂砂岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果

Table 1　Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results of medium-grained lithic feldspar graywacke in Haobiru area

| 样号 | 同位素比值 | | | | | | | | 同位素年龄/Ma | | | | | | | | 同位素含量/$10^{-6}$ | | | | | | Th/U |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $^{207}Pb/^{206}Pb$ | | $^{207}Pb/^{235}U$ | | $^{206}Pb/^{238}U$ | | $^{208}Pb/^{232}Th$ | | $^{207}Pb/^{206}Pb$ | | $^{207}Pb/^{235}U$ | | $^{206}Pb/^{238}U$ | | $^{208}Pb/^{232}Th$ | | $^{204}Pb$ | $^{206}Pb$ | $^{207}Pb$ | $^{208}Pb$ | $^{232}Th$ | $^{238}U$ | |
| | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | 比值 | 1σ | | | | | | | |
| 08HBGTW1-001 | 0.05452 | 0.00169 | 0.56287 | 0.01749 | 0.07491 | 0.00195 | 0.02194 | 0.00053 | 393 | 31 | 453 | 11 | 466 | 12 | 439 | 10 | 4.23 | 33.39 | 2.142 | 2.92 | 64.28 | 105.75 | 0.61 |
| 08HBGTW1-002 | 0.05357 | 0.00173 | 0.50799 | 0.01643 | 0.0688 | 0.0018 | 0.0207 | 0.0005 | 353 | 33 | 417 | 11 | 429 | 11 | 414 | 10 | 3.18 | 30.92 | 1.937 | 3.1 | 72.05 | 106.55 | 0.68 |
| 08HBGTW1-003 | 0.05596 | 0.00182 | 0.62008 | 0.02016 | 0.08038 | 0.0021 | 0.02405 | 0.00059 | 451 | 33 | 490 | 13 | 498 | 13 | 480 | 12 | 4.1 | 69 | 4.37 | 6.68 | 129.12 | 192.16 | 0.67 |
| 08HBGTW1-004 | 0.05416 | 0.00192 | 0.53072 | 0.01873 | 0.07108 | 0.00187 | 0.02096 | 0.00053 | 378 | 38 | 432 | 12 | 443 | 11 | 419 | 10 | 3.57 | 35.35 | 2.156 | 2.63 | 54.55 | 108.47 | 0.50 |
| 08HBGTW1-005 | 0.05566 | 0.0016 | 0.58631 | 0.01694 | 0.0764 | 0.00197 | 0.02283 | 0.00052 | 439 | 29 | 469 | 11 | 475 | 12 | 456 | 10 | 2.76 | 66.44 | 4.16 | 7.05 | 145.74 | 203.2 | 0.72 |
| 08HBGTW1-006 | 0.05443 | 0.00175 | 0.56197 | 0.01804 | 0.07489 | 0.00195 | 0.02222 | 0.00054 | 389 | 33 | 453 | 12 | 466 | 12 | 444 | 11 | 2.28 | 32.26 | 2.023 | 3.21 | 71.08 | 101.95 | 0.70 |
| 08HBGTW1-007 | 0.05453 | 0.0039 | 0.53697 | 0.03551 | 0.07141 | 0.00195 | 0.0223 | 0.00053 | 393 | 165 | 436 | 23 | 445 | 12 | 446 | 12 | 2.88 | 46.36 | 3.1 | 4.19 | 83.29 | 147.51 | 0.56 |
| 08HBGTW1-008 | 0.05688 | 0.00193 | 0.52812 | 0.01789 | 0.06733 | 0.00176 | 0.02107 | 0.00051 | 487 | 35 | 431 | 12 | 420 | 11 | 421 | 10 | 3.97 | 27.41 | 2.57 | 3.27 | 43.38 | 79.56 | 0.55 |
| 08HBGTW1-009 | 0.05406 | 0.0018 | 0.54432 | 0.01807 | 0.07302 | 0.0019 | 0.02193 | 0.00055 | 374 | 34 | 441 | 12 | 454 | 11 | 438 | 11 | 4.22 | 33.46 | 1.985 | 2.102 | 42.44 | 103.31 | 0.41 |
| 08HBGTW1-0010 | 0.05477 | 0.00182 | 0.54412 | 0.01802 | 0.07205 | 0.00188 | 0.02235 | 0.00055 | 403 | 34 | 441 | 12 | 448 | 11 | 447 | 11 | 4.37 | 25.99 | 1.644 | 2.319 | 49.91 | 82.46 | 0.61 |
| 08HBGTW1-0011 | 0.05528 | 0.00167 | 0.52135 | 0.01574 | 0.06839 | 0.00176 | 0.01991 | 0.00047 | 424 | 30 | 426 | 11 | 426 | 11 | 398 | 9 | 3.33 | 49.24 | 3.11 | 4.48 | 108.43 | 172.67 | 0.63 |
| 08HBGTW1-0012 | 0.06057 | 0.00228 | 0.65696 | 0.0245 | 0.07865 | 0.00207 | 0.02404 | 0.00064 | 624 | 39 | 513 | 15 | 488 | 12 | 480 | 13 | 3.47 | 28.1 | 1.993 | 2.83 | 54.38 | 86.34 | 0.63 |
| 08HBGTW1-0013 | 0.05943 | 0.00202 | 0.61218 | 0.02071 | 0.07469 | 0.00194 | 0.02073 | 0.00054 | 583 | 34 | 485 | 13 | 464 | 12 | 415 | 11 | 2.71 | 22.22 | 1.42 | 1.917 | 47.73 | 71.42 | 0.67 |
| 08HBGTW1-0014 | 0.05589 | 0.0018 | 0.56096 | 0.01796 | 0.07278 | 0.00188 | 0.0215 | 0.00053 | 448 | 32 | 452 | 12 | 453 | 11 | 430 | 10 | 2.7 | 33.62 | 2.123 | 2.59 | 59.41 | 110.65 | 0.54 |
| 08HBGTW1-0015 | 0.05814 | 0.00202 | 0.60675 | 0.02093 | 0.07567 | 0.00197 | 0.02355 | 0.0006 | 535 | 35 | 482 | 13 | 470 | 12 | 470 | 12 | 3.65 | 24.04 | 1.583 | 2.255 | 47.15 | 76.12 | 0.62 |
| 08HBGTW1-0016 | 0.05828 | 0.00187 | 0.61966 | 0.01976 | 0.07709 | 0.00199 | 0.02258 | 0.00055 | 540 | 32 | 490 | 12 | 479 | 12 | 451 | 11 | 2.79 | 42.98 | 3.07 | 4.6 | 90.71 | 133.1 | 0.68 |
| 08HBGTW1-0017 | 0.05487 | 0.00177 | 0.57494 | 0.0185 | 0.07597 | 0.00196 | 0.02803 | 0.0007 | 407 | 33 | 461 | 12 | 472 | 12 | 559 | 14 | 2.56 | 38.65 | 2.35 | 3.56 | 52.06 | 109.9 | 0.47 |
| 08HBGTW1-0018 | 0.05539 | 0.00182 | 0.56493 | 0.0185 | 0.07395 | 0.00191 | 0.02325 | 0.00057 | 428 | 34 | 455 | 12 | 460 | 11 | 465 | 11 | 1.8 | 31.45 | 1.97 | 3.2 | 66.52 | 100.24 | 0.66 |
| 08HBGTW1-0019 | 0.05545 | 0.00177 | 0.5564 | 0.01767 | 0.07276 | 0.00187 | 0.02141 | 0.00052 | 430 | 32 | 449 | 12 | 453 | 11 | 428 | 10 | 1.86 | 40.64 | 2.52 | 4.21 | 96.62 | 134.13 | 0.72 |
| 08HBGTW1-0020 | 0.06742 | 0.00687 | 0.66205 | 0.06448 | 0.07121 | 0.00213 | 0.0217 | 0.0054 | 851 | 221 | 516 | 39 | 443 | 13 | 434 | 11 | 4.62 | 20.45 | 3.27 | 3.94 | 41.14 | 61 | 0.67 |
| 08HBGTW1-0021 | 0.05594 | 0.0019 | 0.54958 | 0.0185 | 0.07122 | 0.00184 | 0.02053 | 0.00051 | 450 | 35 | 445 | 12 | 444 | 11 | 411 | 10 | 2.73 | 27.04 | 1.693 | 3.43 | 81.31 | 88.89 | 0.91 |
| 08HBGTW1-0022 | 0.05577 | 0.00188 | 0.55312 | 0.01844 | 0.0719 | 0.00185 | 0.02158 | 0.00054 | 443 | 34 | 447 | 12 | 448 | 11 | 432 | 11 | 2.37 | 31.95 | 1.981 | 3.29 | 75.12 | 105.12 | 0.71 |
| 08HBGTW1-0023 | 0.05915 | 0.00194 | 0.66639 | 0.0216 | 0.08168 | 0.0021 | 0.02559 | 0.00065 | 573 | 32 | 519 | 13 | 506 | 13 | 511 | 13 | 1.72 | 39.16 | 2.57 | 2.6 | 49.81 | 114.18 | 0.44 |
| 08HBGTW1-0024 | 0.05906 | 0.00512 | 0.53804 | 0.04413 | 0.06607 | 0.00186 | 0.02044 | 0.00048 | 569 | 196 | 437 | 29 | 412 | 11 | 409 | 9 | 2.59 | 21.5 | 1.896 | 2.82 | 46.48 | 65.88 | 0.71 |
| 08HBGTW1-0025 | 0.0555 | 0.00179 | 0.53191 | 0.01696 | 0.06948 | 0.00178 | 0.0213 | 0.00053 | 432 | 32 | 433 | 11 | 433 | 11 | 426 | 10 | 3.45 | 52.9 | 3.22 | 4.12 | 94.23 | 179.31 | 0.53 |
| 08HBGTW1-0026 | 0.05952 | 0.00197 | 0.61158 | 0.02004 | 0.0745 | 0.00191 | 0.02313 | 0.00059 | 586 | 33 | 485 | 13 | 463 | 11 | 462 | 12 | 3.5 | 46.21 | 3.09 | 3.35 | 70.41 | 149.04 | 0.47 |
| 08HBGTW1-0027 | 0.0571 | 0.00201 | 0.588 | 0.02042 | 0.07467 | 0.00193 | 0.02576 | 0.00067 | 495 | 36 | 470 | 13 | 464 | 12 | 514 | 13 | <0.91 | 28.43 | 1.768 | 2.69 | 51.64 | 90.51 | 0.57 |
| 08HBGTW1-0028 | 0.05027 | 0.00192 | 0.49617 | 0.01869 | 0.07156 | 0.00185 | 0.02221 | 0.00058 | 207 | 43 | 409 | 13 | 446 | 11 | 444 | 11 | 2.46 | 25.01 | 1.358 | 2.38 | 52.21 | 79.4 | 0.66 |
| 08HBGTW1-0029 | 0.06058 | 0.00215 | 0.60873 | 0.02126 | 0.07286 | 0.00188 | 0.02376 | 0.00062 | 624 | 36 | 483 | 13 | 453 | 11 | 475 | 12 | 3.1 | 31.83 | 2.14 | 3.18 | 66.11 | 104.85 | 0.63 |
| 08HBGTW1-0030 | 0.11689 | 0.00684 | 1.1352 | 0.05846 | 0.07044 | 0.00195 | 0.02024 | 0.00053 | 1909 | 108 | 770 | 28 | 439 | 12 | 405 | 10 | 3.83 | 27.27 | 3.44 | 2.77 | 60.81 | 90.68 | 0.67 |

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

龄 513Ma,最小值 412Ma 大于早泥盆世与中泥盆世的界限年龄 386Ma，最小年龄 412Ma 反映白山组的时代不老于早泥盆世。绝大多数锆石年龄集中在 443~466Ma 之间(图 5),相当于中晚奥陶世,该年龄段与区域上南天山洋伸展裂解的时代相当。该年龄区间的锆石的 CL 图像显示出锆石以岩浆锆石为主,普遍具有环带。

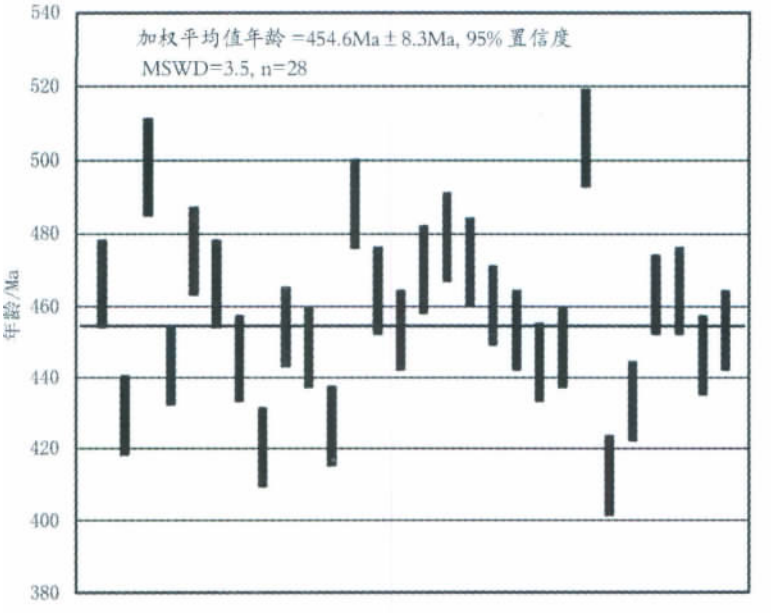


图 4 好比如地区白山组砂岩锆石 U-Pb 加权平均值年龄

Fig. 4 Zircon U-Pb weighted average age of Baishan Formation sandstone in Haobiru area

## 4 讨 论

(1)白山组的时代和锆石年龄的含义

前人在该套地层上部采集到丰富的珊瑚、腕足类化石,组成 2 个生物组合带,即 *Palaeosmilia-Dibunophyllum* 组合带(珊瑚)和 *Gigantoproductus-Tomiopsis* 组合带(腕足),认为时代属于早石炭世大塘期至德坞期，与北山地区白山组的时代相当,但该组产化石层之下还有 842.2m 的碎屑岩中未见化石①。本次在好比如一带白山组碎屑锆石中获得的锆石年龄最大值为 506Ma，最小年龄为 412Ma，多数年龄集中在 443~466Ma 之间,相当于中晚奥陶世。

(2)盆地物源讨论

地表地质揭示恩格尔乌苏断裂两侧前石炭系盆地基底不同,断裂北侧为褶皱基底,由中太古界—古元古界北山杂岩中深变质岩系和蓟县系—青白口系浅变质碳酸盐岩-砂岩构成双重基底，上覆地层为下古生界—泥盆系硅质岩-碎屑岩-碳酸岩盐夹火山岩沉积;南侧为新太古界—古元古界龙首山群、乌拉山群中深变质岩系构成结晶基底，加里东期处于隆升剥蚀状态,沉积缺失,晚石炭世—早二叠世阿木山组直接不整合在新太古界—古元古界之上。白山组碎屑岩中锆石年龄介于 412~506Ma 之间,多数样品年龄分布于 443~466Ma 之间,CL 图像反映锆石有岩浆锆石和变质锆石 2 类,锆石微量元素 Th/U>0.4,主要为岩浆锆石。412~506Ma 年龄与区域上西侧南天山洋形成发展消亡的时代对应，可能暗示在哈萨克斯坦板块东延部分的南缘有加里东期构造岩浆岩带存在。综合分析白山组物源应来自恩格尔乌苏断裂以北古隆起加里东期—华力西早期构造岩浆岩带和浅变质早古生代盖层，好比如一带可能为盆地的北部边缘。恩格尔乌苏断裂以南整个区域处于

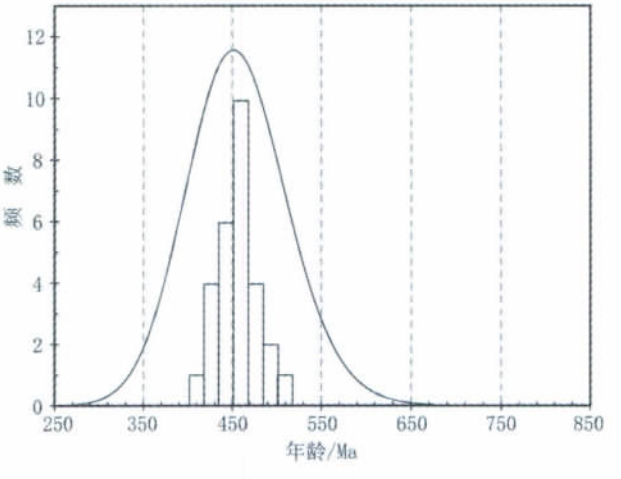


图 5 好比如地区白山组砂岩锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄频率分布

Fig. 5 Zircon $^{206}Pb/^{238}U$ age frequency distribution of Baishan Formation sandstone in Haobiru area

隆升剥蚀状态,未见白山组沉积,分析也应为盆地南部的物源区，这一点在晚石炭世—中二叠世盆地重矿物分析中有论述(另文发表),早石炭世有同样的特征，可能是恩格尔乌苏断裂造成盆地大部分被改造的缘故。

(3)恩格尔乌苏断裂的特征

好比如一带白山组物源来自北侧切刀古隆起，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

该组由下段正常滨浅海相棕褐色泥质细粒石英砂岩、厚层状砾岩、含砾砂岩夹钙质粉砂岩到上段中—酸性火山碎屑岩夹熔岩及钙质砂砾岩、灰岩，产丰富的珊瑚、腕足类化石，反映盆地水体逐渐变深，碎屑锆石412~506Ma 之间的年龄表明哈萨克斯坦板块东延部分经历了加里东—华力西早期的构造事件。恩格尔乌苏断裂以南缺失早石炭世沉积，晚石炭世—早二叠世阿木山组不整合在元古宇基底地层之上。以上事实可能揭示了恩格尔乌苏断裂是分隔华北板块与哈萨克斯坦板块的大断裂，在加里东期已经开始活动，至于是否是加里东期—华力西早期蛇绿混杂带，由于缺少蛇绿岩的直接证据，尚需今后进一步工作。

## 5　结　论

(1)好比如地区白山组上段灰岩中的 *Palaeosmilia—Dibunophyllum* 组合带(珊瑚)和 *Gigantoproductus—Tomiopsis* 组合带(腕足)，限定其时代属于早石炭世大塘期至德坞期；下段碎屑岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄表明白山组沉积下限年龄为 412Ma，限定白山组的时代晚于早泥盆世。白山组的时代应在中泥盆世—早石炭世之间。

(2)白山组碎屑岩中锆石年龄在 412~498Ma 之间，多数年龄集中分布于 443~466Ma 之间，加权平均年龄为 454.5Ma±7.6Ma。

(3)恩格尔乌苏断裂至少从加里东期开始活动，是一个多期活动的断裂。白山组变质锆石很少，物源来自恩格尔乌苏断裂以北岩浆岩带及早古生代变质岩系。

致谢：长安大学党犇教授、荆国强硕士和西安地调中心姜亭、魏建设等同仁参加了野外工作，成文过程中得到西安地调中心陈隽路研究员的指导和帮助，在此一并表示感谢。

## 参考文献

[1]钱一雄，何治亮，蔡习尧，等.塔中地区上泥盆统东河砂岩和志留系砂岩的锆石特征、SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J].岩石学报，2007,23(11):3003-3014.

[2]胡波，翟明国，郭敬辉，等.华北克拉通北缘化德群中碎屑锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其构造意义[J].岩石学报，2009,25(1):193-211.

[3]徐学义，何世平，王洪亮，等. 中国西北部地质概论[M]. 北京：科学出版社，2008.

[4]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，2009,33(3)：161-174.

[5]Hermann J,Rubatto D,Korsakov A.Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous,deeply subducted continental crust (Kokchetav Massif,Kazakhstan)[J].Contrib. Mineral. Petrol.,2001,141:66-82.

[6]唐俊华,顾连兴,张遵忠，等.咸水泉片麻状花岗岩锆石热液增生边阴极发光及稀土元素特征[J].自然科学进展,2008,18(7):769-777.

① 宁夏回族自治区地矿局.1:20 万哈日奥日布日格幅区调报告. 1982.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net