

额济纳旗大狐狸山地区干泉组火山岩 锆石 U-Pb 测年及其意义

陈高潮, 史冀忠, 姜亭, 张慧元, 李渭, 王宝文

(西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 银额盆地干泉组火山岩段和碎屑岩段在大狐狸山地区出露较全, 火山岩段由含晶屑玄武岩和中酸性火山岩构成双峰式火山岩组合。本次研究在含晶屑玄武岩中获得 $(305.2 \pm 3.9) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=7.9$) 的 LA-ICP-MS 单颗粒锆石微区 U-Pb 同位素年龄, 表明干泉组火山岩时代为晚石炭世, 结合地层间接接触关系, 将干泉组时代定为晚石炭世一早二叠世。这一资料对于分析银额盆地北部红石山-黑鹰山坳陷充填演化意义重大, 晚石炭世盆地属于裂谷盆地, 发生快速裂解沉积巨厚的碎屑岩-火山岩。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年; 干泉组; 晚石炭世

中图分类号: P588.14

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2016)02-0141-08

Zircon U-Pb Dating about Volcanic Rocks of Ganquan Formation in Dahulishan Area, Ejina Banner and Its Geological Implication

CHEN Gaochao, SHI Jizhong, JIANG Ting, ZHANG Huiyuan, LI Wei, WANG Baowen

(Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Volcanic and clastic rock members of Ganquan Formation within Yin'e basin has outcropped in Dahulishan area very well. The volcanic rock member is consists of basalt with crystal pyroclast and intermediate-acidic volcanic rocks, forming a bimodal volcanic rock assemblage. Through using LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, the isotopic ages of $(305.2 \pm 3.9) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=7.9$) for basalt with crystal pyroclast have been obtained in this paper, indicating the age for the strata of Ganquan Formation is Late Carboniferous. Combining with the contact relationships among these strata, it's determined that the age of Ganquan Formation is Late Carboniferous -Early Permian. This data has a great significance for analyzing the depression and filling evolution process of Hongshishan - Heiyingshan in the northern part of Yin'e basin. Thus, this Late Carboniferous basin belongs to the rift basin, developing a rapid cleavage and depositing a giant thick clastic rocks and volcanic rocks.

Keywords: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Ganquan Formation; Late Carboniferous

收稿日期: 2015-04-23; 修回日期: 2016-01-26

基金项目: 中国地质调查局大调查“银额盆地及其邻区石炭-二叠系油气远景调查”(1212011120962)

作者简介: 陈高潮(1968-), 男, 陕西周至人, 教授级高工, 本科, 从事造山带与盆地研究工作。E-mail: sxxyc08@163.com

甘蒙北山北部大狐狸山地区是银额盆地北部红石山-黑鹰山拗陷干泉组出露相对较全的地区,大狐狸山以西干泉组主要为基性及中酸性火山熔岩、火山碎屑岩,以东为正常沉积岩,而在大狐狸山地区火山岩段和碎屑岩段都有出露,是建立干泉组地层层序和分析晚古生代银额盆地充填演化不可多得地区之一。该套地层化石稀少,属于缺少带化石的哑地层,1:20万《嘎顺淖尔》幅区调报告主要依据:①大狐狸山干泉组碎屑岩段被华力西中期侵入体侵入。②小狐狸山干泉组与下伏晚石炭世石板山组平行不整合接触。③研究区以西的六驼山早中二叠世双堡塘组-菊石滩组平行不整合于干泉组火山岩段之上,将其时代划为晚石炭世(石炭纪三分)。由于干泉组缺少确切的时代依据,给研究银额盆地北部红石山-黑鹰山拗陷沉积充填带来诸多疑虑。近几年开展的“银额盆地及其邻区石炭—二叠系油气资源远景调查项目”调查,认为干泉组与下伏泥盆纪雀儿山群之间不整合接触关系并不清楚,区域上红石山-黑鹰山拗陷石炭纪—二叠纪地层发育,并且早石炭世绿条山组不整合于泥盆纪雀儿山群之上,研究区内石炭二叠纪基本未发生比较大的构造事件(卢进才等,2011;陈高潮等,2011)。因此,查清干泉组的时代对银额盆地北部红石山-黑鹰山拗陷充填序列建立意义重大。笔者主要通过干泉组上段火山岩锆石 U-Pb 精确定年约束干泉组时代,为盆地充填序列分析提供基础地层资料。

1 地质背景和样品特征

1.1 地质背景

研究区位于塔里木板块、华北板块、哈萨克斯坦板块的交接部位,区域构造上属于天山兴蒙造山带中段西部;中泥盆世天山-蒙古洋(古亚洲洋的南支)闭合,华北地块、塔里木地块、哈萨克斯坦地块连接在一起,形成大面积的新生陆壳;石炭—二叠纪在新生陆壳基础上板内伸展裂解,沉积巨厚火山-碎屑岩(徐学义等,2008)。区内主要出露奥陶纪—二叠纪和侏罗纪—白垩纪地层,早石炭沉积绿条山组和白山组火山-碎屑岩系,早石炭世末期裂谷填平补齐;晚石炭世盆地再次裂开沉积火山-碎屑岩;早中二叠世沉积滨浅海相碎屑岩-火山岩;侏罗纪—白垩纪发

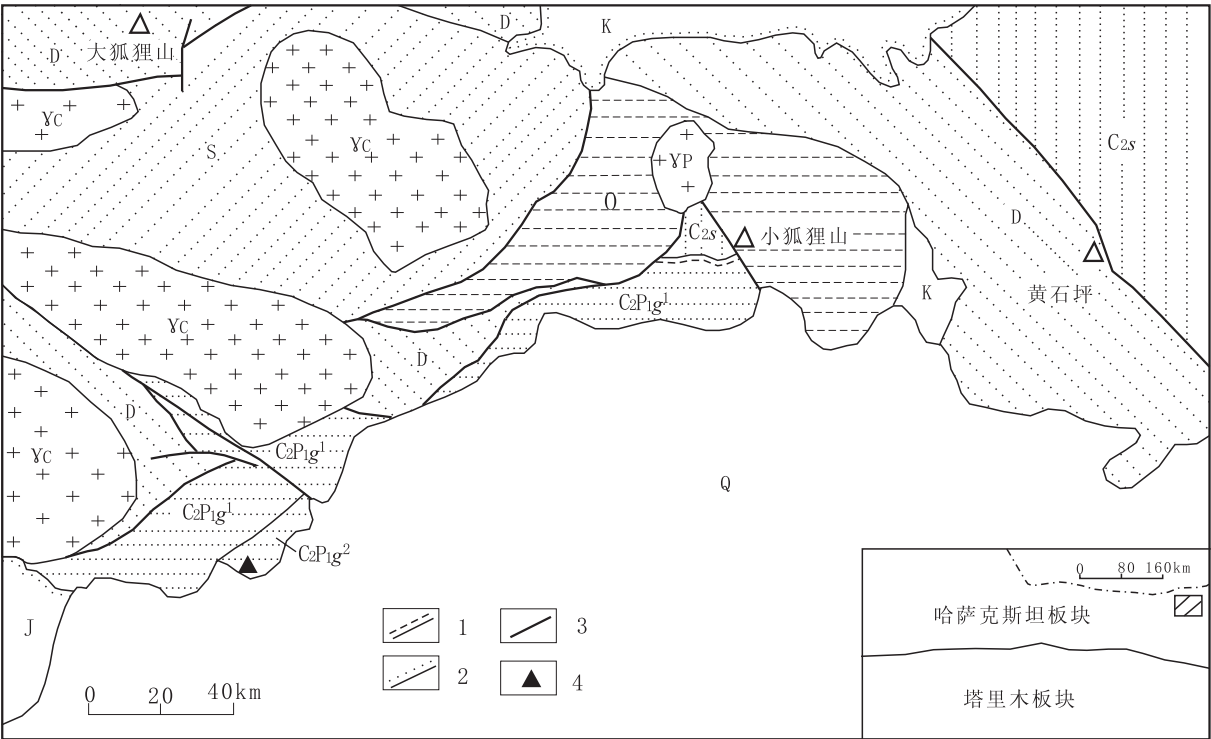
育陆相碎屑沉积。断裂构造有 NWW 和 NE 向两组,以 NWW 向断裂为主。

1.2 地层特征及样品特征

研究区内干泉组呈北东东向出露于大狐狸山南侧和小狐狸山一带,两处干泉组被第四系沉积分隔彼此不相连,出露面积 55km²(图 1)。小狐狸山干泉组平行不整合于晚石炭世早期石板山组之上,与奥陶系、泥盆系断层接触,南侧被第四系覆盖,干泉组下部岩性为浅灰色、灰黄色厚层块状砾岩、砂砾岩夹长石杂砂岩,向上砂岩夹层增多,砾岩底面冲刷构造明显;上部岩性为灰绿色薄层粉砂岩。

大狐狸山南侧干泉组北与泥盆系断层接触,并被华力西中期中粒石英闪长岩侵入,西侧被早中侏罗世龙凤山群不整合覆盖,南、东侧被第四系覆盖,顶底不全,按照岩性组合特征将干泉组分为下部碎屑岩段和上部火山岩段,碎屑岩段岩性为灰色、深灰色粉砂质泥岩、细砂岩、粉砂岩夹长石砂岩和少量砂砾岩;火山岩段为暗灰绿色安山岩、含晶屑玄武岩、灰色、浅灰色安山质含砾凝灰熔岩、晶屑岩屑凝灰角砾岩、英安岩,二者之间整合接触。由于小狐狸山干泉组平行不整合于产腕足 *Echinoconchus punctatus*, *Hustedia* sp. 化石的石板山组之上,而大狐狸山地区干泉组与泥盆纪雀儿山群断层接触,未见底,综合分析,笔者认为小狐狸山干泉组属于碎屑岩段下部,大狐狸山干泉组属于碎屑岩段上部地层,两者构成干泉组碎屑岩段,显示由粗变细的退积型沉积层序(图 2),是盆地水体逐渐变深接受沉积的物质记录。

样品采自额济纳旗大狐狸山干泉组上段火山岩中,岩性为暗绿色含晶屑玄武岩,采样坐标:N42°20′16.7″,E100°04′35.3″,H:971m。暗绿色含屑玄武岩呈少斑结构,基质为玻晶交织结构,杏仁状构造,斑晶斜长石含量极低,晶体呈板状,粒径大小为 0.32×0.15mm~0.14×0.45mm;长石和辉石晶体碎屑构成细小的火山碎屑物,被细小的石英、纤闪石、绿泥石等矿物替代,含量<5%;基质由细小的斜长石和火山玻璃组成,斜长石晶体多呈细长的小板条状、纤维状,晶体空隙被火山玻璃充填,形成玻晶交织结构,火山玻璃部分已脱玻化被帘石和绿泥石交代;杏仁多为椭圆形,主要为方解石、石英、绿泥石,大小 0.5~3.5mm。



O. 咸水湖组+罗雅楚山组;S. 园包山组+公婆泉群;D. 雀儿山群;C2s. 石板山组;C2P1g1. 干泉组下段;C2P1g2. 干泉组上段;
J. 龙凤山群;K. 赤金堡群;Q. 第四系;1. 平行不整合;2. 角度不整合;3. 断层;4. 采样位置

图1 大狐狸山地区区域地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Dahulishan

2 实验条件及定年结果

2.1 实验条件

在野外采集 40kg 样品,经无污染粉碎至 80~100 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 显微图像及激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICPMS)分析。

锆石阴极发光(CL)图像和 LA-ICPMS 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测定,在 Agilent7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF,波长 193 nm)以及 Micro-Las 公司的 GeoLas 200 M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径为 30 μ m,激光剥蚀样品的深度为

20~40 μ m。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,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 NISTSRM610 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(HORNI,2000;BALLARDJ R,2001;KOSLERJ,2002;YUAN H L,2003)。采用 glitter(ver4.0, Macquarie University)程序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算,并按照 Ander-sen Tom 的方法(Andersen,2002),用 LAM-ICPMSCommon Lead Correction (ver3.15)对其进行了普通铅校正,年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3.0)完成,分析数据列于表 1。

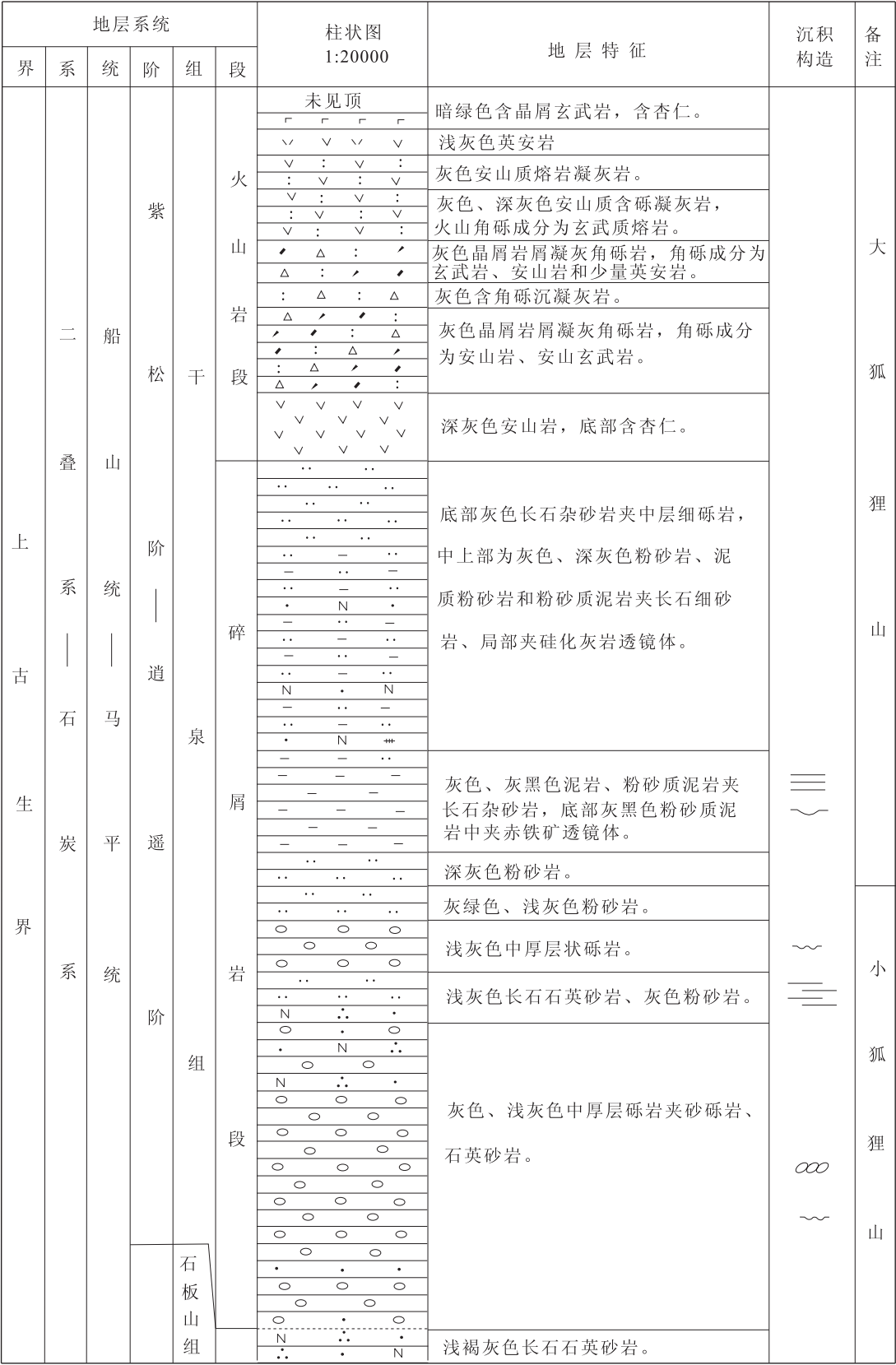


图 2 大狐狸山地区干泉组综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of Ganquan Formation in Dahulishan area

表 1 内蒙古额济纳旗大狐狸山干泉组上段含屑玄武岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表
Tab. 1 Zircon La-ICP-MS U-Pb dating result of mesograinlithic arkosic wacke in Dahulshan area of Ejina Banner, Inner Mongolia

样号	同 位 素 比 值						年 龄						含 量 (10 ⁻⁶)																			
	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		T _u /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	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ		
09DHLGTW1-1	0.050 95	0.001 94	0.342 65	0.012 5	0.048 76	0.000 49	0.014 21	0.000 34	239	66	299	9	307	3	285	7	<0.67	42.08	2.33	2.51	92.32	215.08	0.43									
09DHLGTW1-2	0.053 9	0.002 19	0.375 61	0.014 87	0.050 55	0.000 45	0.015 81	0.000 13	367	94	324	11	318	3	317	3	2.3	64.53	5.64	5.49	108.58	304.01	0.38									
09DHLGTW1-3	0.056 63	0.001 87	0.390 94	0.012 52	0.050 07	0.000 42	0.015 57	0.000 01	477	75	335	9	315	3	312	2	<0.65	65.05	4	4.7	152.11	319.95	0.48									
09DHLGTW1-4	0.055 1	0.001 84	0.374 35	0.011 84	0.049 25	0.000 46	0.016 11	0.000 26	416	54	323	9	310	3	323	5	<0.69	47.22	2.78	4.89	156.1	228.2	0.68									
09DHLGTW1-5	0.054 57	0.001 38	0.356 39	0.008 33	0.047 35	0.000 37	0.015 56	0.000 17	395	38	310	6	298	2	312	3	0.63	87.42	5.17	11.07	376.37	448.78	0.84									
09DHLGTW1-6	0.057 64	0.002 42	0.380 39	0.015 58	0.047 86	0.000 44	0.014 85	0.000 12	516	94	327	11	301	3	298	2	2.22	74.88	5.94	6.49	154.4	353.79	0.44									
09DHLGTW1-7	0.053 39	0.001 59	0.362 84	0.010 12	0.049 27	0.000 42	0.016 04	0.000 24	345	48	314	8	310	3	322	5	0.78	62.09	3.72	5.67	174.7	298.07	0.59									
09DHLGTW1-8	0.053 25	0.001 98	0.347 38	0.012 62	0.047 31	0.000 39	0.014 82	0.000 09	340	86	303	10	298	2	297	2	1.99	95.47	7.32	11.59	379.88	499.95	0.76									
09DHLGTW1-9	0.053 45	0.002 11	0.355 39	0.013 39	0.048 2	0.000 5	0.016 01	0.000 28	348	66	309	10	303	3	321	6	<0.73	39.27	2.23	4.87	160.3	189.92	0.84									
09DHLGTW1-10	0.053 81	0.002 11	0.375 95	0.014 12	0.050 65	0.000 53	0.015 3	0.000 29	363	66	324	10	319	3	307	6	<0.85	38.55	2.36	3.98	128.28	174.71	0.73									
09DHLGTW1-11	0.053 06	0.001 38	0.357 72	0.008 61	0.048 88	0.000 38	0.015 81	0.000 25	331	40	311	6	308	2	317	5	<0.71	88.96	4.96	5.38	177.48	428.64	0.41									
09DHLGTW1-12	0.054 96	0.001 29	0.360 66	0.007 74	0.047 58	0.000 35	0.015 24	0.000 22	411	35	313	6	300	2	306	4	<0.82	121.31	7.03	7.22	244.8	592.94	0.41									
09DHLGTW1-13	0.052 53	0.001 37	0.345 5	0.008 34	0.047 69	0.000 37	0.014 41	0.000 16	309	41	301	6	300	2	289	3	<0.90	84.57	4.95	11.01	375.56	415.48	0.90									
09DHLGTW1-14	0.051 81	0.001 07	0.351 43	0.006 48	0.049 18	0.000 34	0.015 5	0.000 16	277	29	306	5	309	2	311	3	<0.64	149.21	8.42	12.92	433.78	729.47	0.59									

2.2 锆石特征和同位素测年结果

CL 图像反映锆石的内部结构较清楚,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(李长民,2009)。研究表明不同成因锆石具有不同的 Th、U 含量及 Th/U 值(钱一雄,2007),岩浆锆石的 Th、U 含量较高,Th/U 值较大(一般>0.4);变质锆石的 Th、U 含量低,Th/U 值小(一般<0.1)(HERMANNJ,2001;唐俊华等,2008)。大狐狸山干泉组上段含屑玄武岩锆石晶粒无色透明,呈短柱状或等粒状,大小 50~150 μm 。CL 图像(图 3)揭示锆石具有明显的振荡环带,显示了高温环境岩浆

锆石的特点(吴元保等,2004),Th/U 值为 0.41~0.90,仅有 1 粒锆石 Th/U 为 0.38,略小于 0.4。由上所述可以看出参与测年锆石全为岩浆锆石。干泉组上段含屑玄武岩中锆石²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pb、²³²Th、²³⁸U 含量及 Th/U 值(表 1),²⁰⁴Pb 值为($<0.63\sim 2.30$) $\times 10^{-6}$; ²⁰⁶Pb 值为($39.27\sim 2\ 149.21$) $\times 10^{-6}$; ²⁰⁷Pb 值为($2.23\sim 8.42$) $\times 10^{-6}$; ²⁰⁸Pb 值为($2.51\sim 12.92$) $\times 10^{-6}$; U 值为($189.92\sim 729.47$) $\times 10^{-6}$; Th 为($92.32\sim 379.88$) $\times 10^{-6}$ 。分析测试结果所有 14 个分析点²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均为(305.2 ± 3.9)Ma(MSWD=7.9)(图 4),代表大狐狸山干泉组上段含屑玄武岩结晶年龄。

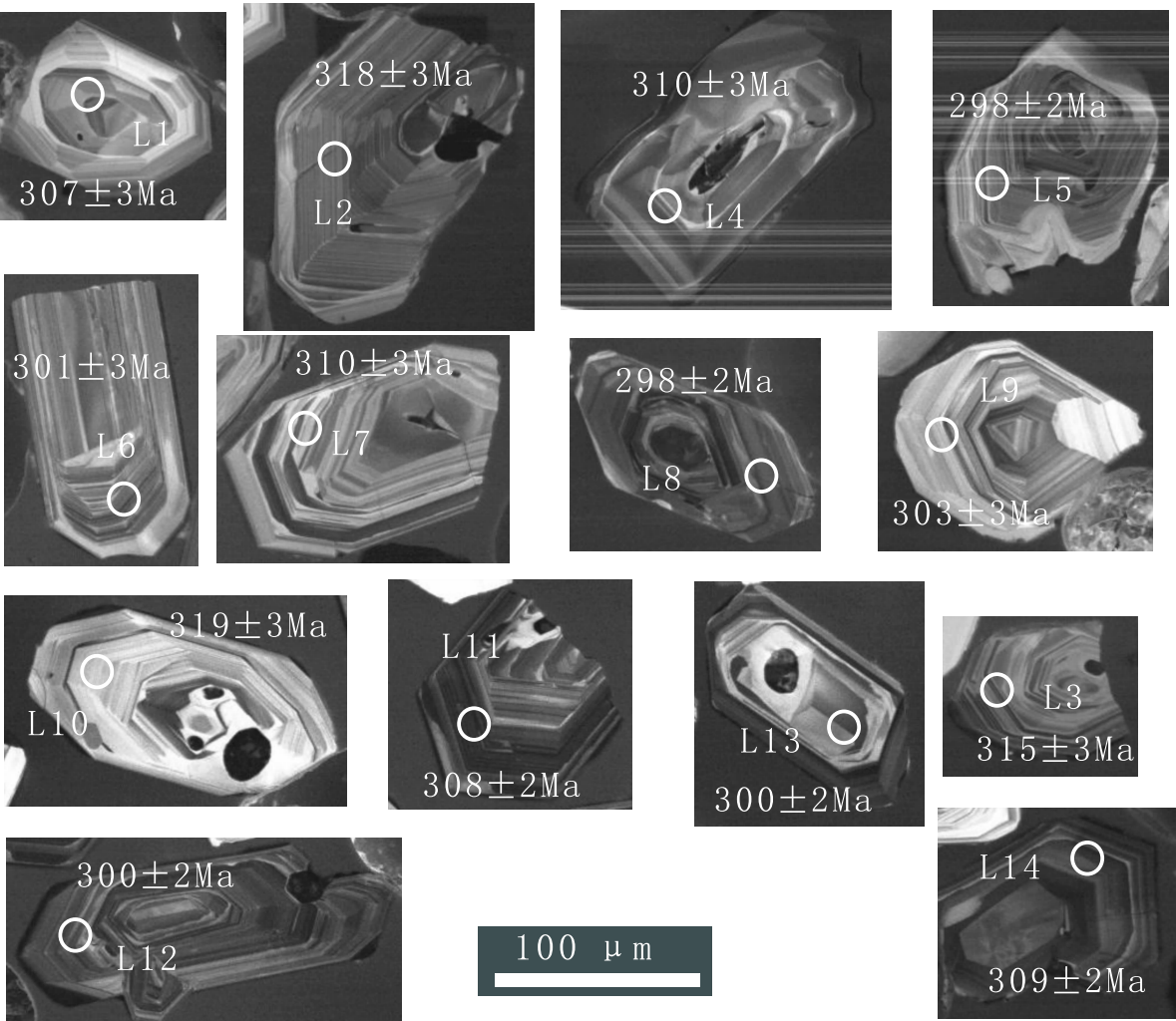


图 3 大狐狸山干泉组上段玄武岩锆石 CL 图像及测年点图

Fig. 3 Zircon CL images and dating spots of basalt from Dahulishan Ganquan Formation

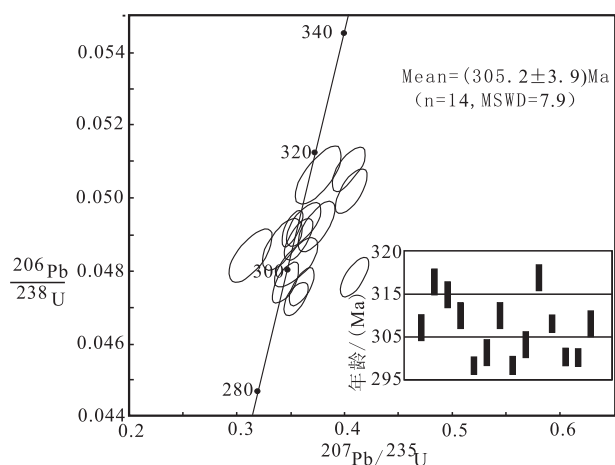


图4 大狐狸山干泉组上段玄武岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordancy diagram of Ganquan Formation in Dahulishan area

3 讨论

大狐狸山地区是晚古生代银额盆地北部红石山-黑鹰山坳陷干泉组出露较全地区,向西至哈珠北干泉组发育双峰式火山岩,由玄武岩、玄武安山岩、英安岩、流纹岩构成多个火山旋回,缺少或中性岩占比例很小,显示张性环境特征;向东到小狐狸山地区仅见厚度巨大近源冲洪积相粗碎屑沉积和滨浅海相细砂岩、粉砂岩,与晚石炭早期石板山组平行不整合接触,代表干泉组最早期沉积;大狐狸山干泉组未见顶底,碎屑岩段下部为深灰色-灰黑色粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩夹长石杂砂岩、砂砾岩,粉砂质泥岩中夹赤铁矿透镜体,砂砾岩底部冲刷构造明显,砾石为次圆状、分选差,为浅海陆棚-深海相环境水下扇沉积,水下扇沉积发育反映了盆地快速裂解期盆缘沉积再次搬运沉积,与盆地快速裂解期对应;碎屑岩段上部为深灰色、灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹长石细砂岩,偶夹硅化灰岩透镜体,具复理石沉积特征。干泉组碎屑岩段总体上表现为冲积相粗碎屑沉积-滨浅海相碎屑沉积-深海复理石沉积,反映晚石炭世一早二叠世红石山-黑鹰山坳陷水体逐渐变深的过程。

前人研究成果认为古亚洲洋于晚泥盆纪前已经消亡,晚泥盆纪以后进入板内演化阶段(徐学义等, 2008;李向民等, 2011;高长林等, 2006)。干泉组双峰式火山岩特征和地层下粗上细结构表明晚石炭世

红石山-黑鹰山坳陷不断裂解的过程。

1:20万《六驼山》幅区调报告中介绍干泉组火山岩段与上覆早中二叠世双堡塘组-菊石滩组平行不整合接触,产腕足化石 *Paragastrioceras* sp., *Waagenoceras* sp., *Uraloceras* sp.,其中 *Paragastrioceras* sp. 为茅口期带化石,考虑到产化石层之下尚有 271m 厚碎屑岩地层,双堡塘组-菊石滩组时代属于隆林阶-冷坞阶。小狐狸山地区干泉组平行不整合于石板山组之上,而小狐狸山东黄石坪地区石板山组产腕足 *Echinoconchus punctatus*, *Hustedia* sp.,时代为晚石炭世罗苏阶-达拉阶。小狐狸山干泉组为厚度 $>790\text{m}$ 的冲洪积砾岩、砂砾岩,薄层粉砂岩、泥质粉砂岩,自下而上碎屑岩粒度变细,顶被第四系覆盖未见剖面顶,总体上表现为由冲洪积环境-滨浅海相的海进退积;大狐狸山干泉组下段碎屑岩为粉砂泥质沉积,与小狐狸山干泉组未见直接接触,但通过盆地演化及沉积建造分析,大狐狸山和小狐狸山干泉组应为上下关系。本次在干泉组上段火山岩年龄获得锆石 U-Pb 加权平均年龄 $(305.2 \pm 3.9)\text{Ma}$ (MSWD=7.9),为晚石炭世。综合考虑大狐狸山干泉组上段未见顶,研究区西侧六驼山干泉组与上覆隆林阶-冷坞阶双堡塘组-菊石滩组平行不整合接触,因此笔者认为干泉组形成时代为晚石炭世逍遥阶-一早二叠世紫松阶,与前人地层时代划分基本一致。

干泉组时代的确定明确了晚古生代银额盆地西部红石山-黑鹰山坳陷存在晚石炭世逍遥阶-一早二叠世紫松阶沉积,中段浅海陆棚相细碎屑岩沉积和上段火山岩代表盆地范围最大沉积,这与区域上银额盆地东部阿木山期沉积范围达到最大相一致。

4 结论

小狐狸山干泉组和大狐狸山干泉组是上下叠置关系,它们二者共同组成红石山-黑鹰山坳陷干泉组完整的层序。红石山-黑鹰山坳陷干泉组在大狐狸山地区火山岩段和碎屑岩段相对完整,火山岩段含屑玄武岩获得锆石 U-Pb 加权平均年龄 $(305.2 \pm 3.9)\text{Ma}$ (MSWD=7.9),综合区域上干泉组与上下地层关系,其时代应为晚石炭世逍遥阶-一早二叠世紫松阶。

参考文献(References):

- 卢进才,陈高潮,魏仙样,等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系-二叠系沉积建造与生烃条件-石炭系-二叠系油气地质条件研究之一[J]. 地质通报,2011,30(6):811-826.
- LU Jincal, CHEN Gaochao, WEI Xianyang, et al. Carboniferous-Permian sedimentary formation and hydrocarbon generation conditions in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia: a study of Carboniferous-Permian petroleum geological conditions(part 1)[J]. Geological Bulletin of China,2011,30(6):811-826.
- 陈高潮,李玉宏,史冀忠,等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭纪-二叠纪盆地重矿物的特征及意义[J]. 地质通报,2011,30(6):962-971.
- CHEN Gaochao, LI Yuhong, SHI Jizhong, et al. Heavy mineral characteristics of Carboniferous-Permian strata in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia, and their significance[J]. Geological Bulletin of China,2011,30(6):962-971.
- 徐学义,何世平,王洪亮,等. 中国西北部地质概论-秦岭、祁连、天山地区[M]. 北京:科学出版社,2008:195-222.
- XU Xueyi, HE Shiping, WANG Hongliang, et al. Geological generality of in North-west China[M]. Beijing: Science Press,2008:195-222.
- 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.
- LI Changmin. A Review on the Minerageny and Situ Micro-analytical Dating Techniques of Zircons [J]. Geological Survey and Research, 2009,33(3):161-174.
- 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.
- QIAN Yixiong, HE Zhiliang, CAI Xiyao, et al. Characteriscits of and U-Pb ages of zircons and its implication from zircon of Donhe sandstones of The upper Devonian and Silurian sandstones in Tazhong area, Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica,2007,23(11):3003-3014.
- 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.
- TANG Junhua, GU Lianxing, ZHANG Zunzhong, et al. Salt water fountain hemp shaped granite hydrothermal zircons proliferation and cathodoluminescence and rare earth element characteristics [J]. Progress in Natural Science,2008,18(7):769-777.
- 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.
- WU Baoyuan, ZHEN Yongfei. Zircon genetic mineralogy research and interpretation of U-Pb age restriction [J]. Science Bulletin of China,2004,49(16):1589-1604.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 天山及邻区石炭纪-早二叠世裂谷火山岩岩石成因[J]. 西北地质,2008,41(4):1-68.
- XIA Linqi, XIA Zuchun, XU Xueyi, et al. Petrogenesis of Carboniferous-Early Permian Rift-Related Volcanic Rocks in the Tianshan and its Neighboring Areas, Northwestern China [J]. Northwestern Geology,2008,41(4):1-68.
- 李向民,余吉远,王国强,等. 甘肃北山红柳园地区泥盆系三个井组和墩墩山群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其意义[J]. 地质通报,2011,30(10):1501-1507.
- LI Xiangmin, YU Jiyan, WANG Guoqiang, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Devonian Sangejing Formation and Dundunshan Group in Hongliuyuan, Beishan area, Gansu Province [J]. Geological Bulletin of China,2011,30(10):1501-1507.
- 高长林,黄泽光,刘光祥. 中国西部古中亚洋与古生代沉积盆地[J]. 中国西部油气地质,2006,2(2):123-129.
- GAO Changlin, HUANG Zeguang, LIU Guangxiang. Paleo-Asia Ocean and Palaeozoic Basins in West China [J]. West China petroleum Geosciences,2006,2(2):123-129.
- HORNI, RUDNICK R L, MCDONOUGH W F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS: application to U-Pb geochronology [J]. Chemical Geology, 2000,167:405-425.
- BALLARD J R, PALIN J M, WILLIAMS I S, et al. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP [J]. Geology,2001,29:383-386.
- KOSLER J, FONNELAND H, SYLVESTER P, et al. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies-a comparison of laser ablation ICPMS and SIMS techniques [J]. Chemical Geology,2002,182:605-618.
- YUAN H L, WU F Y, GAO S. LA-ICPMS zircon U-Pb dating and REE analysis of Cenozoic intrusion from northeastern region of China [J]. China Sciences Bulletin, 2003,8(14):1511-1520.
- HERMANN J, RUBATTO D, KORSKOV A. Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav Massif, Kazakhstan) [J]. Contrib Mineral Petrol,2001,141:66-82.