

内蒙古呼和浩特北二道凹岩群黑云角闪片岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年

张玉清¹⁾, 张婷²⁾, 宝音乌力吉¹⁾, 银海³⁾, 曾庆荣⁴⁾

- 1) 内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室, 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特, 010020;
2) 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京, 100083;
3) 内蒙古地质矿产勘查院, 呼和浩特, 010010; 4) 云南省地质调查院, 云南玉溪, 653100

内容提要: 二道凹岩群是20世纪70年代初1:200000区域地质调查时在呼和浩特市北二道凹地区命名的,其岩石组合为变质砾岩、各种片岩、大理岩等。依据最新1:250000区调成果,自下而上分了三个岩组,即红山口岩组、哈拉更沟岩组、东梁岩组。为进一步研究二道凹岩群的地质时代,本文对东梁岩组的黑云角闪片岩中锆石进行了高精度SHRIMP U-Pb测年研究,其时代为 1890 ± 8 Ma,认为该年龄值系黑云角闪片岩原岩的形成时代,即代表了二道凹岩群上部中基性火山岩的形成年龄,结合已有的年龄数据,进一步佐证了二道凹岩群形成于古元古代(1800~2400 Ma)。

关键词: 黑云角闪片岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄; 二道凹岩群; 内蒙古

内蒙古呼和浩特市北大青山地区是华北克拉通北缘前寒武纪变质岩系主要出露区之一,前人从不同角度进行了大量研究(甘盛飞等,1996;张玉清等,2003,2004;董春艳等,2009a,b;张臣等,2009;徐仲元等,2011)。二道凹岩群是圈入其中的地质体之一,变质程度较浅,为低角闪岩相至绿片岩相(内蒙古自治区地质矿产局,1996)。

二道凹岩群是内蒙古自治区地质局区域地质测量队1972年进行1:200000呼和浩特幅K49-(28)^①区域地质调查时正式建立的岩石地层单位,当时称二道凹群,下部为片岩大理岩组,上部为云英片岩夹大理岩组,时代归于太古宙。

1934年孙建初(《中国地层典》编委会,1996)将该地区的变质岩系称桑干系,1:1000000呼和浩特幅K49(1957)将其归于五台系^②。

《华北地区区域地层表(内蒙古分册)》(内蒙古自治区地层表编写组,1978)将二道凹群(Ar_3er)下部称红山沟组,上部称哈拉沁组。金文山等(1991)^③称二道凹群为哈拉沁群(Pt_1),原因是二道凹村未见该群出露。《内蒙古自治区区域地质志》(内蒙古自治区地质矿产局,1991)从下至上划分为

绿色片岩组,大理岩夹片岩组、片岩夹大理岩组,归属于古元古界上部层位,置于色尔腾山岩群之上。呼和浩特地区开展1:5万区域地质调查时^④,划分为三个岩组六个岩段(每个岩组分一、二两个岩段),时代归于古元古代。王楫等(1995)^⑤将该群自下而上分为冯家窑组、红山沟组、哈拉沁组,时代置于古元古代。武川地区1:5万区域地质调查称“二道洼(岩)群”(二道凹群的另一写法,下同),黄花窝铺幅只出露二(岩)组^⑥,金盆地区1:5万区域地质调查称“二道洼岩群”,当时的工作区只出露了红山沟岩组^⑦。《内蒙古自治区岩石地层》(内蒙古自治区地质矿产局,1996)认为二道凹群不整合于乌拉山岩群(Ar)之上,其上被渣尔泰山群(Pt_{2-3})不整合覆盖,以呼和浩特市北东梁东红山沟剖面($111^{\circ}39',40^{\circ}55'$)最具代表性,沉积时限在1800~2500 Ma。

近期完成的1:25万呼和浩特市幅(K49C004003)区域地质调查称其为二道凹岩群(Pt_1)^⑧,自下而上划分为红山口岩组、哈拉更沟岩组、东梁岩组,下界与乌拉山岩群(Ar_3W)呈断层接触,上界被马家店群(Pt_2M)不整合所覆。

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:12120113013200、1212011120751)资助成果。

收稿日期:2015-08-11;改回日期:2017-03-28;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2017.05.014

作者简介:张玉清,男,1965年生。正高级工程师。主要从事区域地质调查、岩矿鉴定及综合研究。通讯地址:010020,内蒙古自治区地质调查院。Email:zhangyqnm@163.com。

2 样品位置及岩石特征

样品 3P31-1-22, 取自内蒙古呼和浩特市火车站北约 9 km(直距)处(GPS 坐标: 40°55'44"N, 111°44'10"E), 采自二道凹岩群东梁岩组的上部层位。

该样品岩性为黑云角闪片岩, 呈灰黑色, 岩石具鳞片柱粒状变晶结构、片状构造。岩石主要由长石、石英、黑云母、角闪石、帘石、不透明矿物、副矿物等组成。长石(1%~20%)板粒状, 由斜长石(轻度绢云母化, 见聚片双晶)和钾长石组成, 粒径多在 0.5 mm 以下。石英(5%~15%)他形粒状或镶嵌粒状, 波状一带状消光, 相对集中, 呈薄层状、条带状、透镜状, 长轴定向分布, 粒径多在 0.5 mm 以下。黑云母(20%~30%)鳞片状, 浅黄—深褐色, 部分绿泥石化, 沿解理有少量铁质析出, 多与角闪石分布在一起, 定向分布, 粒径在 0.1~1.5 mm 之间。角闪石(35%~53%)柱状, 具浅黄—深绿色多色性, 少数颗粒弱绿泥石化, 相对集中, 呈薄层状、条带状, 长轴定向分布, 粒径在 0.2~2.0 mm 之间。绿帘石(10%)粒状, 多为交代其他矿物后的产物, 粒度多在 0.25 mm 以下。不透明矿物(<1%)粒状, 主要由黄铁矿、钛铁矿、磁铁矿等组成, 粒径在 0.35 mm 以下。副矿物(少)主要由磷灰石、锆石等组成, 多在 0.1 mm 以下。变质矿物组合为黑云母+角闪石

+绿帘石+斜长石+石英(Bi+Hb+Ep+Pl+Q)。该岩石经前人研究, 原岩为海相中基性火山岩^①(王惠初等, 1996, 1999)。

锆石为玫瑰色, 次浑圆粒状、柱粒状, 晶体见裂纹及凹坑沟槽等溶蚀痕迹, 弱金刚光泽, 透明, 见固相包体; 粒径 0.02~0.15 mm 之间的为主, 0.15~0.35 mm 者少; 伸长系数 1~1.5 者为主, 1.5~2.5 少。锆石含量 128 mg/kg(岩石)。

3 锆石分析方法

3P31-1-22 样品采样重量为 8.13 kg, 锆石分离按常规方法分选, 最后在双目镜下挑纯。将锆石与标准锆石 TEM 浇铸于环氧树脂靶中, 然后磨至一半, 使锆石内部暴露, 用于阴极发光及随后的 SHRIMP U-Pb 分析, 阴极发光照像及锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心 SHRIMP-II 上完成(石玉若等, 2005; 张臣等, 2009; 赵路通等, 2015)。锆石 U-Pb 分析选点以透反射和阴极发光图像为依据, 原则上选择颗粒较大、自形、清晰锆石的无包体、无裂纹区进行分析(张万益等, 2008), 详细分析流程和原理参考 Williams 等(1998)、宋彪等(2002, 2006)、刘敦一等(2004)和简平等(2003)的文章。一次离子流强度约 7.5 nA, 加速电压约 10 kV, 样品靶上的离子束

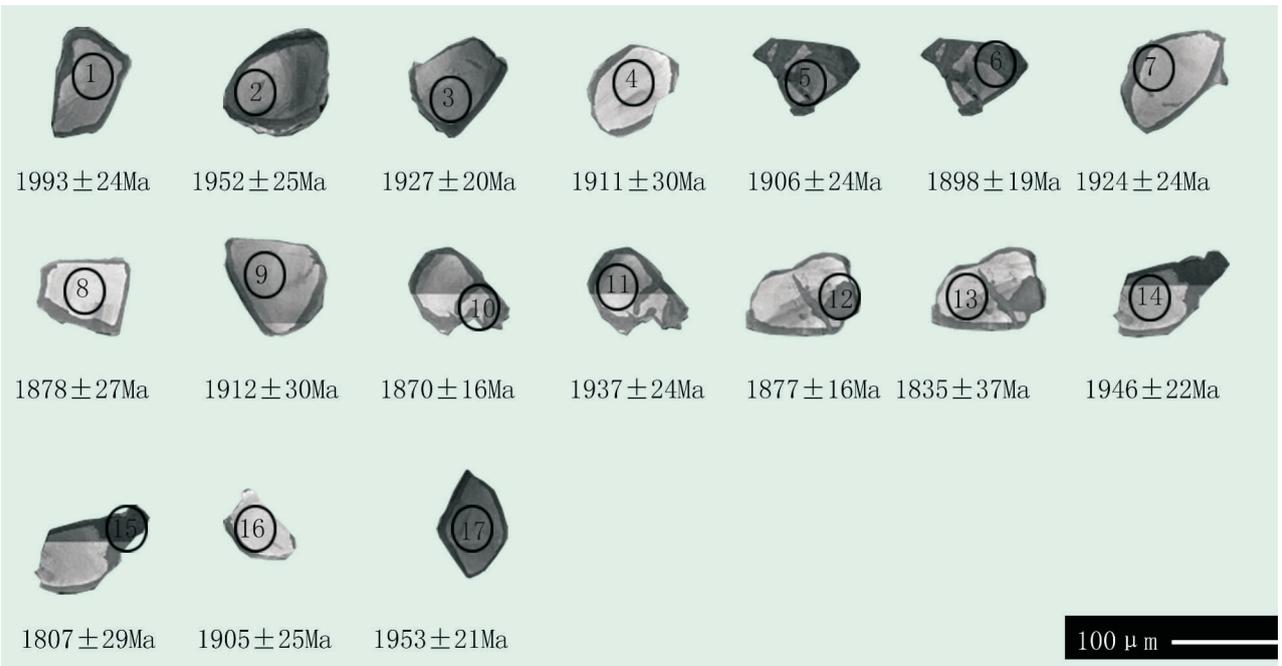


图 2 内蒙古呼和浩特北二道凹地区二道凹岩群黑云角闪片岩的锆石 CL 图像和 SHRIMP U-Pb 谐和年龄

Fig. 2 CL images and SHRIMP U-Pb concordia diagram of the Zircon from the biotite hornblende schist, Erdaowa Rock Group, Erdaowa area, northth Hohhot, Inner Mongolia

表 1 内蒙古呼和浩特北二道凹地区二道凹岩群黑云角闪片岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果
Table 1 SHRIMP U-Pb data of the zircon from biotite hornblende schist, Erdaowa rock Group,
Erdaowa area, northth Hohhot, Inner Mongolia

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)		$^{206}\text{Pb}^*$ (%)	Th/U	同位素比值							同位素年龄 (Ma)				不谐 和度 (%)
	U	Th			$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{206}\text{Pb}^*)}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb}^*)}{n(^{238}\text{U})}$		误差相 关系数	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		
					测值	$\pm\%$	测值	$\pm\%$	测值	$\pm\%$		测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	
1	124	71	37.1	0.59	0.1225	1.4	5.90	2.0	0.3493	1.4	0.718	1931	23	1993	24	3
2	99	57	29.0	0.60	0.1197	1.4	5.65	2.0	0.3424	1.5	0.721	1898	24	1952	25	3
3	161	113	47.0	0.73	0.1181	1.1	5.51	2.1	0.3382	1.8	0.852	1878	29	1927	20	3
4	118	72	34.8	0.63	0.1170	1.6	5.52	2.2	0.3421	1.4	0.650	1897	23	1911	30	1
5	127	90	36.9	0.74	0.1167	1.3	5.45	2.8	0.3386	2.5	0.881	1880	40	1906	24	1
6	151	138	42.7	0.94	0.1161	1.0	5.289	1.7	0.3303	1.3	0.790	1840	22	1898	19	3
7	115	69	33.8	0.62	0.1179	1.4	5.57	2.0	0.3424	1.4	0.719	1898	23	1925	24	1
8	101	53	29.5	0.54	0.1149	1.5	5.38	2.1	0.3396	1.5	0.697	1885	24	1878	27	0
9	86	48	26.0	0.57	0.1171	1.7	5.65	2.3	0.3501	1.5	0.667	1935	25	1912	30	-1
10	230	104	64.2	0.47	0.1144	0.86	5.121	1.5	0.3247	1.3	0.826	1813	20	1870	16	3
11	108	77	31.9	0.73	0.1187	1.3	5.60	2.0	0.3421	1.4	0.735	1897	24	1937	24	2
12	302	114	83.6	0.39	0.1148	0.86	5.103	1.6	0.3223	1.4	0.849	1801	22	1877	16	4
13	104	57	30.9	0.57	0.1122	2.0	5.31	2.7	0.3434	1.8	0.656	1903	29	1835	37	-4
14	127	77	36.2	0.63	0.1193	1.2	5.43	1.9	0.3302	1.4	0.750	1840	23	1946	22	5
15	169	149	47.2	0.91	0.1105	1.6	4.91	2.1	0.3223	1.4	0.650	1801	21	1807	29	0
16	121	72	34.9	0.61	0.1166	1.4	5.38	2.1	0.3347	1.5	0.729	1861	24	1905	25	2
17	139	80	40.8	0.59	0.1198	1.2	5.65	1.8	0.3422	1.4	0.752	1897	23	1953	21	3

注: 误差为 1σ , Pb^* 表示放射成因的铅, 标准校正误差为 0.27%。

斑直径约 25 ~ 30 μm 。质量分辨率约 5000 (1% 峰高), 应用澳大利亚国家地质局标准锆石 TEM (417Ma) 进行元素间的分馏校正 (interelement fractionation), 应用 RSES (澳大利亚国立大学地学院) 标准锆石 SL13 (年龄 572 Ma, U 含量 238×10^6) 标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。其中 TEM 具有 U-Pb 谐和年龄, U、Th、Pb 含量不均一。普通铅根据实测值 ^{204}Pb 进行校正, 一般而言, 年龄值选用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (张臣等, 2007), 对于较老锆石 (>800Ma) 采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (施光海等, 2003)。有关年龄数据处理和绘图采用 Ludwig SQUID 及 ISOPLOT 程序 (Ludwig, 2002a, 2002b)。每个锆石点连续 5 次分析, 取平均值, 误差为 1σ 。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值具 95% 的置信度。

4 测试结果

选取 17 粒锆石进行了 SHRIMP U-Pb 测试, 分析结果列于表 1。

样品 3P31-1-22 中锆石颗粒较小, 所选锆石一般 <100 μm , 晶体形态不好, 呈他形 (图 2); 核幔结构不发育; 没有清晰的韵律环带构造, 属中基性岩浆

锆石, 反映其未搬运或搬运距离极短。在 17 个分析点中, 有 10 个点成群分布于一致曲线或其附近 (图 3), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄的加权平均值为 1890 ± 8 Ma ($n=10$, MSWD=1.06)。部分分析点结果偏离一致曲线较远, 可能是岩石形成后锆石发生过 Pb 丢失所致 (李俊建等, 2010; 苗来成等, 2007; 张臣等, 2007)。

所测定的锆石无论是核部还是边缘, 年龄均较稳定, 17 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的变化范围为 (1801 ± 21) ~ (1935 ± 25) Ma; $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{206}$ 年龄范围在 (1807 ± 29) ~ (1993 ± 24) Ma 之间, 17 个测点中有 14 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 < $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 。另外, 从中心到边部同位素年龄值也呈现出从老到新的变化趋势 (聂凤军等, 2009)。

锆石中 U、Th 含量变化较大, U 在 86×10^{-6} ~ 302×10^{-6} 之间, Th 在 48×10^{-6} ~ 149×10^{-6} 之间, Th/U 比值变化较小, 除点号 3P31-10.1 为 0.39 外, 其余 16 个均大于 0.4, 变化于 0.47 ~ 0.91 之间, 显示岩浆结晶锆石的特点 (Belousova et al., 2002; 赵路通, 2015; 韦少港等, 2017; 卓皆文等, 2017), 代表了中基性火山岩成岩年龄, 即黑云角闪片岩的原岩

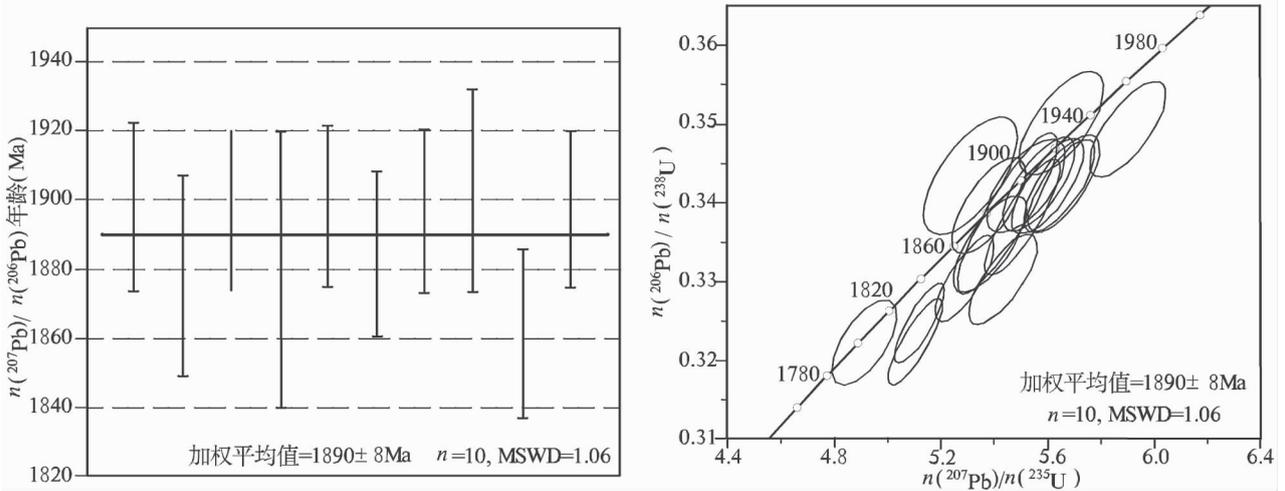


图3 内蒙古呼和浩特北二道凹地区二道凹岩群黑云角闪片岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 3 SHRIMP zircon U-Pb Concordia diagram of the biotite hornblende schist, Erdaowa rock Group, Erdaowa area, north Hohhot, Inner Mongolia

中基性火山岩形成于古元古代(1890 ± 8 Ma)。

5 讨论

二道凹岩群在区域上分布范围较小,主要集中在呼和浩特市北部的二道凹、红山口、哈拉更、卯德沁、小东沟等地,东西长约 40 km,南北宽不足 15 km,总体呈近东西向或北东东向展布。上部被中元古界马家店群角度不整合覆盖。该岩群经历了区域动力热流变质作用改造,岩层原始的排列状态整体有序,但受后期构造改造强烈,大部分地层现处于无序状态,特别是受印支—燕山期大型推覆构造的影响,多数地层呈岩片状产出,大部分片岩已属构造片岩范畴。内部所产大理岩与太古宙其他岩群中的大理岩很难区分,均为灰白色、厚层状,含特征变质矿物透闪石、透辉石、蛇纹石等。

该群自建立以来,先后获得不少的同位素测年数据。本文在二道凹岩群东梁岩组黑云角闪片岩中获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 1890 ± 8 Ma,所代表的是二道凹岩群上部层位的年龄;金盆地区 1:5 万区调时在侵入哈拉更沟岩组(当时称红山沟岩组)的片麻状二长花岗岩单颗锆石年龄 1705 Ma,锆石 U-Pb 法表面年龄 $1915 \text{ Ma}^{\text{①}}$;王惠初等(1996)曾在哈拉沁沟内二道凹群哈拉沁组下部层位(相当于现东梁岩组下部)的黑云角闪变粒岩(片岩)中获得了单颗粒锆石 U-Pb 稀释法三组年龄为 2372 ± 14 Ma、 2185 ± 47 Ma、 2096 ± 38 Ma,其年龄与 1890 Ma 有一定差距,是何原因尚须进一步研究。本文认为

1890 Ma 作为二道凹岩群的上部年龄是可信的,二道凹岩群的上限年龄应为 1800 Ma 左右。

1: 20 万区域地质调查时,在该群变质底砾岩中获锆石 U-Pb 年龄 $2350 \text{ Ma}^{\text{①}}$,认为岩群生成年代应不早于 2.35 Ga。呼和浩特地区 1:5 万 6 幅区域地质调查时在侵入二道凹岩群红山口岩组(当时称一岩组)的古元古代弱片麻状英云闪长岩(当时称斜长花岗岩)中获 U—Th—Pb 法年龄 1982 Ma。王楫等(1992)在侵入二道凹岩群(当时称红山沟组)的浅肉红色英云闪长岩(当时称斜长花岗岩)中获得了 1682 ± 165 Ma 的单颗粒锆石年龄,另在二道凹岩群底部的片麻状黑云花岗岩砾石中获得了 1872 ~ 2264 Ma 的单颗粒锆石年龄。由此看来,二道凹岩群的年龄下限放到 2400 Ma 应该是适宜的。

另外在二道凹地区该群黑云角闪片岩中获 Rb—Sr 全岩等时线年龄为 1773 Ma,黑云石英片岩中获锆石 U-Pb 年龄值为 2120 Ma、1732 Ma(内蒙古自治区岩石地层,1996),均显示其为古元古代的产物。

本文获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 1890 ± 8 Ma 与区域上 1900 Ma 的岩浆热事件密切相关,1:25 万呼和浩特市幅区域地质调查时在本文研究区的东南部获得了多个不同岩性的同位素测年数据(1810.9 ~ 1950 Ma),如似斑状花岗闪长岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 1933 ± 37 Ma(好马沟东)、 1923 ± 14 Ma(南营东北);紫苏花岗闪长岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 1923.7 ± 8.8 Ma(南营西北);榴石正长花岗岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年

龄 1907 ± 8 Ma(孟县窑)、 1950 ± 12 Ma(好来沟), 锆石 U-Pb 年龄 1898.9 Ma(新地沟); 似斑状二长花岗岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 1933 ± 11 Ma(毛棚沟北); 榴石二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄 1810.9 Ma(二道沟南)。银海等(2014)在紫苏斜长麻粒岩中获 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 1935.5 ± 9.3 Ma(脑包回前)。以上年龄信息说明, 1900 Ma 研究区东南部处于隆升造山阶段, 形成大量的 TTG 岩系(邓晋福等, 2015a, b); 而研究区则为一裂谷环境(裂隙槽), 沉积了一套陆源碎屑岩、中基性火山岩及碳酸盐岩。南部的碰撞造山可能要略早于北侧的裂隙槽沉积。

张臣等(2009)在料木山二长花岗岩(原文称黑云母花岗岩)中获锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 2430 ± 19 Ma, 认为可能代表鄂尔多斯陆块与阴山微陆块碰撞造山岩浆热事件年龄(该岩体现侵入到新太古界乌拉山岩群中, 与二道凹岩群呈断层接触)。2400Ma 之后, 本区进入碰撞造山后拉伸阶段, 形成近东西向二道凹裂谷(裂隙槽), 沉积了二道凹岩群, 其底部 2350Ma 的底砾岩也映证了这一点。

6 结论

(1) 呼和浩特市北黑云角闪片岩中获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 1890 ± 8 Ma 代表的是二道凹岩群上部层位(东梁岩组上部中基性火山岩)的年龄。

(2) 二道凹岩群是古元古代的沉积产物, 时限应在 1800 ~ 2400 Ma 之间。

致谢: 文中引用了内蒙古自治区地质调查院等多家单位的研究成果, 野外工作过程中得到内蒙古地质矿产勘查院大力支持, SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定得到了北京离子探针中心专家们细心帮助, 李怀坤研究员对本文进行了认真评审, 提出了宝贵的修改意见, 在此一并表示衷心的感谢!

注 释 / Notes

- ① 内蒙古自治区地质局区域地质测量队. 1972. 1: 20 万呼和浩特幅 K49-(28) 区域地质测量报告.
- ② 内蒙古地质局呼和浩特幅地质队. 1957. 1: 100 万呼和浩特幅 K49 区域地质测量报告.
- ③ 金文山, 孙大中, 吴昌华, 李宝治. 1991. 华北陆台阴山南带下前武系区域变质建造. 天津地质矿产研究所刊, 第 25 号.
- ④ 内蒙古自治区第一区域地质调查队. 1991. 1: 5 万呼和浩特地区区域地质调查报告.
- ⑤ 王楫, 陆松年, 李惠民, 王汝铮, 孙玉芳, 李怀坤, 李双庆. 1995. 内蒙古中部变质岩同位素年代构造格架. 中国地质科学院

天津地质矿产研究所刊, 第 29 号.

- ⑥ 内蒙古自治区第一区域地质研究院. 1996. 1: 5 万黄花窝铺 K49E018016 区域地质调查地质图说明书.
- ⑦ 内蒙古地质调查院. 2001. 金盆地区大滩幅 K49E017017, 七苏木幅 K49E017018, 大同营幅 K49E018017, 金盆幅 K49E018018 区域地质调查报告.
- ⑧ 内蒙古自治区地质调查院. 2015. 1: 25 万呼和浩特市幅 K49C004003 区域地质调查报告.

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 陈志勇, 李玉玺, 王新亮, 杨帅师, 黄占起. 2002. 包头一呼和浩特北部地区逆冲推覆构造. 地质通报, 21(4, 5): 251 ~ 258.
- 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015a. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议. 地质论评, 61(4): 717 ~ 734.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015b. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论评, 61(3): 473 ~ 484.
- 董春艳, 刘敦一, 万渝生, 徐仲元, 王伟, 颀颀强. 2009a. 内蒙古大青山地区早前寒武纪变质岩的锆石 Hf 同位素组成和稀土模式. 地质论评, 55(4): 509 ~ 520.
- 董春艳, 刘敦一, 万渝生, 徐仲元, 刘正宏, 杨振升. 2009b. 大青山地区古元古代壳源碳酸岩: 锆石特征及 SHRIMP 定年. 地质学报, 83(3): 388 ~ 398.
- 甘盛飞, 钱祥麟. 1996. 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带的板块构造演化模式. 地质学报, 70(4): 298 ~ 308.
- 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约. 地质学报, 77(2): 1 ~ 13.
- 刘敦一, 简平. 2004. 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质事件和退变质事件——SHRIMP 测年的证据. 地质学报, 78(2): 211 ~ 217.
- 李俊建, 翟裕生, 杨永强, 王彦斌, 李承东, 崔来旺, 周红英, 刘晓阳, 刘晓雪, 李生. 2010. 再论内蒙古阿拉完善朱拉扎嘎金矿的成矿时代: 来自锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的新证据. 地学前缘(中国地质大学(北京); 北京大学), 17(2): 178 ~ 184.
- 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 范蔚茗, 石玉若, 颀颀强. 2007. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. 科学通报, 52(5): 591 ~ 601.
- 聂凤军, 许东青, 江思宏, 胡朋. 2009. 内蒙古苏莫查干敖包萤石矿区流纹岩锆石 SHRIMP 定年及地质意义. 地质学报, 83(4): 496 ~ 504.
- 内蒙古自治区地质层表编写组. 1978. 华北地区区域地质层表(内蒙古分册). 北京: 地质出版社, 58.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 35 ~ 36.
- 内蒙古自治区地质矿产局编著. 1996. 内蒙古自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 200 ~ 203.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(增刊): 26 ~ 30.
- 宋彪, 张拴宏, 王彦斌, 赵越. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理是系统偏差的避免——标准锆石分段校正的必要性. 岩矿测试, 25(1): 9 ~ 14.
- 施光海, 刘敦一, 张福勤, 简平, 苗来成, 石玉若, 陶华. 2003. 中

- 国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及意义. 科学通报, 48(20) : 2187 ~ 2192.
- 石玉若, 刘敦一, 简平, 张旗, 张福勤, 苗来成, 施光海, 张履桥, 陶华. 2005. 内蒙古中部苏尼特左旗富钾花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. 地质通报, 24(5) : 424 ~ 428.
- 王惠初, 修群业. 1996. 呼和浩特北部二道洼群的单颗粒锆石年龄. 内蒙古地质, (1) : 13 ~ 17.
- 王惠初, 修群业, 袁桂邦. 1999. 内蒙古呼和浩特北部古元古代二道洼群的变质演化. 前寒武纪研究进展, 22(4) : 39 ~ 49.
- 王新社, 郑亚东, 张进江, G. A Davis, B. J. Darby. 2002. 呼和浩特变质核杂岩伸展运动学特征及剪切作用类型. 地质通报, 21(4,5) : 238 ~ 245.
- 韦少港, 唐菊兴, 宋扬, 刘治博, 王勤, 林彬, 王艺云, 方向, 杨欢欢, 冯军. 2017. 西藏改则多龙矿集区地堡那木岗矿床钾玄质二长花岗岩斑岩锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义. 地质论评, 63(1) : 189 ~ 206.
- 徐仲元, 刘正宏, 董晓杰, 董春艳, 万渝生. 2011. 内蒙古大青山北麓蓝晶石榴长英质片麻岩的发现: 岩相学、地球化学和锆石 SHRIMP 定年. 地质论评, 57(2) : 243 ~ 252.
- 银海, 陈海东, 何国强, 鲁宁, 贾文艳. 2014. 内蒙古凉城地区脑包回前片麻岩成因及时代讨论. 中国矿业, 23(增刊) : 138 ~ 144.
- 《中国地层典》编委会编著. 1996. 中国地层典 古元古界. 北京: 地质出版社, 19 ~ 20.
- 张臣, 刘树文, 韩宝福, 何国琦, 黄宝玲. 2007. 内蒙古商都大石沟花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义. 岩石学报, 23(3) : 591 ~ 596.
- 张臣, 韩宝福, 刘树文, 季建清, 赵磊, 张磊. 2009. 内蒙大青山地区黑云母花岗岩 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. 岩石学报, 25(3) : 561 ~ 567.
- 赵路通, 王京彬, 王玉往, 王莉娟, 丁汝福, 龙灵利, 李德东. 2015. 新疆索尔库都克铜钼矿床锆石 SHRIMP 年代学及其地质意义. 岩石学报, 31(2) : 43 ~ 448.
- 张万益, 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 许东青, 郭灵俊. 2008. 内蒙古查干敖包石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 27(3) : 177 ~ 184.
- 张玉清, 王弢, 贾和义, 张志祥. 2003. 内蒙古中部大青山北西乌兰不浪紫苏斜长麻粒岩锆石 U-Pb 年龄. 中国地质, 30(4) : 394 ~ 399.
- 张玉清, 刘俊杰. 2004. 内蒙古大青山北前壕石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 华南地质与矿产, (4) : 22 ~ 27.
- 卓皆文, 江卓斐, 江新胜, 王剑, 蔡娟娟, 熊国庆, 陆俊泽, 崔晓庄, 刘建辉. 2017. 川西新元古代苏雄组层型剖面 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质论评, 63(1) : 177 ~ 188.
- Belousova E A, Griffin WL, O' Reilly S Y and Fisher N I. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5) : 602 ~ 622.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 35 ~ 36.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1996. Stratigraphy (Lithostratic) of Inner Mongolia Autonomous Region. Wuhan: China University of Geoscience Press; 200 ~ 203.
- Chen Zhiyong, Li Yuxi, Wang Xinliang, Yang Shuai, Huang Zhanqi. 2002. Thrust nappe structure in the Baotou—northern Hohhot area, Inner Mongolia. Geological Bulletin of China, 21(4,5) : 251 ~ 258.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shanguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015b. Magmatic Arc and Ocean—Continent Transition: Discussion. Geological Review, 61(3) : 473 ~ 484.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shanguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015a. On the Correct Application in the Common Igneous Petrological Diagrams: Discussion and Suggestion. Geological Review, 61(4) : 717 ~ 734.
- Dong Chunyan, Liu Dunyi, Wan Yusheng, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Yang Zhensheng. 2009b. Crustally 83(3) : 388 ~ 398.
- Dong Chunyan, Liu Dunyi, Wan Yusheng, Xu Zhongyuan, Wang Wei, Xie Hangqing. 2009a. Hf Isotope Composition and REE Pattern of Zircons from Early Precambrian Metamorphic Rocks in the Daqing Mountains, Inner Mongolia. Geological Review, 55(4) : 509 ~ 520.
- Editorial committee of the China formation canon. 1996. China Formation Canon Paleoproterozoic Era. Beijing: Geological Publishing House, 19 ~ 20.
- Formation table Writing Group of Inner Mongolia Autonomous Region. 1978. Area Formation table in North China (Inner Mongolia Fascicle). Beijing: Geological Publishing House, 58.
- Gan Shengfei, Qian Xianglin. 1996. A plate—Tectonic Model for the Evolution of the Daqingshan Granulite Belt in Inner Mongolia, China. Geological Review, 70(4) : 298 ~ 308.
- Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of Carboniferous Jinshajiang Ophiolite, China: Geochronological constraints for the evolution of Paleotethys oceanic floor. Acta Geologica Sinica, 77(2) : 1 ~ 13.
- Liu Dunyi, Jian Ping. 2004. 243Ma UHP and 228 Ma Retrograde Events of the Shuanhe Jadeite Quartzite, Eastern Dabie Mountains—SHRIMP Dating, Mineral Inclusions and Zircon REE Patterns. Acta Geologica Sinica, 78(2) : 211 ~ 217.
- Li Junjian, Zhai Yusheng, Yang Yongqiang, Wang Yanbin, Li Chengdong, Cui Laiwang, Zhou Hongying, Liu Xiaoyang, Liu Xiaoxue, Li Sheng. 2010. Re-discussion on the metallogenic age of Zhulazaga gold deposit in Alashan Area, Inner Mongolia: Evidence from zircon U-Pb SHRIMP age, Earth Science Frontiers (China University of Geosciences(Beijing); Peking University), 17(2) : 178 ~ 184.
- Ludwig K R. 2002a. SQUID 1. 02, a user's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 2. 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA.
- Ludwig K R. 2002b. Isoplot/Ex Version 2002, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Spec. Pub. la, Berkeley, CA, USA.
- Miao Laicheng, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, Fan Waiming, Shi urou, Xie Hangqing. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of hanjiayuanzi and xinlin area Xinghuadukou Group and Zalantun Group in the daxinanling, China. Chinese Science Bulletin, 52(5) : 591 ~ 601.
- Nie Fengjun, Xu Dongqin, Jiang Sihong, Hu Peng. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb Dating on Rhyolite Samples from the Xilimiao Group Occurring in the Su Cha (Sumoqagan Obo) Fluorite District, Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, 83(4) : 496 ~ 504.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, Jian Ping. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. Geological Review, 48(Supp.) : 26 ~ 30.

- Song Biao, Zhang Shuanhong, Wang Yanbin, Zhao Yue. 2006&. Avoidance of systematic bias of SHRIMP zircon U- Pb dating: Necessity of staged calibrations. *Rock and Mineral Analysis*, 25(1) : 9 ~ 14.
- Shi Guanghai, Liu Duniyi, Zhang Fuqin, Jian P, Miao Laicheng, Shi urou, Taohua. 2003#. SHRIMP zircon U-Pb dating of Xilin Gol Complex , Inner Mongolia, China, and its significance. *Chinese Science Bulletin*, 48(20) : 2187 ~ 2192.
- Shi Yurou, Liu Duniyi, Jian Ping, Zhang Qi, Zhang Fuqin, Miao Laicheng, Shi Guanghai, Zhang L qiao , Tao Hua. 2005&. Zircon SHRIMP dating of K-rich granites in Sonid Zuoqi, central Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 24(5) : 424 ~ 428.
- Wang Huichu, Xiu Qunye. 1996&. Singl Zircon U-Pb Ages of Erdaowa Group in Northern Hohhot, Inner Mongolia. *Geology of Inner Mangolia*, (1) : 13 ~ 17.
- Wang Huichu, Xiu Qunye, Yuan Guibang. 1999&. Metamorphic Evolution of Palaeoproterozoic Erdaowa Group in North Hohhot, Nel Mongol. *Progress in Precambrian Research*, 22(4) : 39 ~ 49.
- Wei Shaogang, Tang Juxing, Song Yang, Liu Zhibo, Wang Qin, Lin Bin, Wang Yiyun, Fang Xiang, Yang Huanhuan, Feng Jun. 2017&. Zircons LA-MC-ICP-MS U-Pb Ages, Petrochemical, Petrological and Its Significance of the Potassic Monzonitic Granite Porphyry from the Duolong Ore-concentrated District, Gaize County, Xizang(Tibet) . *Geological Review*, 63(1) : 189 ~ 206.
- Willinams IS. 1998. U—Th—Pb Geochronology by Ion MicroProbe, In: Applications of microanalytical techniques tu understanding Mineralizing processes. Mckibben MA, Shanks WC III and Ridley Wl(eds). *Reviews in Economic Geology*, 7: 1 ~ 35.
- Wang Xinshe, Zheng Yadong, Zhang Jinjiang, G. A. Davis, B. J. Darby. 2002&. Extensional Kinematics and shear type of the Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 21(4,5) : 238 ~ 245.
- Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Dong Xiaojie, Dong Chunyan Wan Yusheng. 2011&. Discoveryof Kyanite Garnet Quartzfeldspathic Gneiss in the North Side of Daqing Mts. , Inner Mongolia, and Its Petrography, Geochemistry and Zircon SHRIMP Dating. *Geological Review*, 57(2) : 243 ~ 252.
- Yin Hai, Chen Haidng, He Guoqiang, Lu Ning , Jia Wenyan. 2014&. Inner Mongolia Liangcheng region Causes and Times discussion on Naobaohuiqian Gneiss. *China Mining Magazine* , 23(Supp) : 138 ~ 144.
- Zhang Chen, Liu Shuwen, Han Baofu, He Guoqi, Huang Baoling. 2007&. SHRIMP U-Pb dating of Dashigou biotite—K-felspar granites in Shangdu, Inner Mongolia, and its significance. *Acta Petrologica Sinica* ,23(3) : 591 ~ 596.
- Zhang Chen, Han Baofu , Liu Shuwen, Ji Jianqing, Zhao Lei, Zhang Lei. 2009&. SHRIMP U-Pb dating of biotite granites in Daqingshan, Inner Mongolia, and its significance. *Aeta Petrologica Sinica*, 25(3) : 561 ~ 567.
- Zhao Lutong, Wang Jingbin, Wang Yuwang, Wang Lijuan, Ding Rufu , Long Lingli, Li Dedong. 2015&. Zircon SHRIMP geochronology of Suoerkuduke Cu—Mo deposit in Xinjiang, and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 31(2) : 435 ~ 448.
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Jiang Sihong, Liu Yan, Xu Dongqing, Guo Lingjun. 2008&. Zircon SHRIMP U-Pb age of quartz diorite in Qagan Obo of Inner Mongolia and its geological significance. *Acta Petrologica ET Mineralogica*, 27 (3) : 177 ~ 184.
- Zhang Yuqing, Wang Tao, Jia Heyi, Zhang Zhixiang. 2003&. U-Pb Ages of zircons from the Xi Ulanbulang hypersthene—plagioclase granulite in the North Daqing Mountains, Central Inner Mongolia. *Geology in China*, 30(4) : 394 ~ 399.
- Zhang Yuqing, Liu Junjie. 2004&. Zircon U-Pb age of the quartz diorite in North Daqing mountains, central Inner Mongolia. *Geolog y and Mineral Resources of South China*, (4) : 22 ~ 27.
- Zhuo Jiewen, Jiang Zhuofei, Jiang Xinsheng, Wang Jian, Cai Juanjuan, Xiong Guoqing, Lu Junze, Cui Xiaozhuang, Liu Jianhui. 2017&. SHRIMP Zircons U-Pb Ages for the Stratotype Section of Neoproterozoic Suxiong Formation in Western Sichuan Province and Their Geological Significance. *Geological Review*, 63(1) : 177 ~ 188.

SHRIMP U-Pb Dating of Erdaowa Rock Group Biotite Hornblende Schist in the North Hohhot, Inner Mongolia

ZHANG Yuqing¹⁾, ZHANG Ting²⁾, BAOYIN Wuliji¹⁾, YIN Hai³⁾, ZENG Qingrong⁴⁾

1) *Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore-prospecting, Geological Survey of Inner Mongolia, Hohhot, 010020;*

2) *College of information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083;*

3) *Inner Mongolia Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Hohhot, 010010;*

4) *Yunnan Institute of Geological Survey, Yuxi, Yunnan, 653100*

Abstract: Based on 1: 200000 regional geological mapping in the early 1970's, the Erdaowa rock Group was named in Erdaowa area of north Hohhot, consisting of metamorphic conglomerate, schists and marbles and so on. According to the latest 1: 250000 regional survey results, the Erdaowa rock Group was subdivided into three sections from the bottom to top, including Hongshankou rock Formation, Halagenggou rock Formation and Dongliang rock Formation. In order to get new age constraint for the Erdaowa rock Group, SHRIMP U-Pb dating of zircons from the biotite—amphibole schist of the Dongliang rock Formation was carried out by the authors of this paper. The data show the following age: 1890 ± 8 Ma, interpreted as the formation age of biotite—amphibole

schist, the intermediate—basic volcanics of the upper part of the the Erdaowa rock Group. Combined with the available age data, it is concluded that the Erdaowa rock Group formed in the Paleoproterozoic(1800 ~ 2400Ma).

Keywords: Biotite hornblende schist; SHRIMP Zircon U-Pb age; Erdaowa rock Group; Inner Mongolia

Acknowledgements: This paper is supported by the geological survey project funding of China Geological Survey (with the number of 12120113013200、1212011120751). In the paper several units of study are cited, such as Inner Mongolia Institute of Geological Survey. And the Inner Mongolia Institute of Geology and Mineral Resources Exploration strongly supported in the field work, with careful help of experts of Beijing ion probe center in the determination SHRIMP Zircon U-Pb age. Li Huaikun researcher made a careful review of this article, and put forward some valuable amendments advice. We would like to express our sincere thanks to all above.

First author: ZHANG Yuqing, male, born in 1965, Professorate senior engineer. Mainly engaged in regional geological survey, rock — mineral determination and integrated study. Address: nner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot, 010020. Email: zhangyqnm@163.com

Manuscript received on: 2015-08-11; Accepted on: 2017-03-28; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.05.014

(上接第 1140 页)

姓名	推荐单位	工作单位
银锤奖		
郎兴海	青年工作委员会	成都理工大学
李郡	河北省地质学会	河北省地质矿产勘查开发局第三水文工程地质大队
李彦荣	工程地质专业委员会	太原理工大学
李勇	勘探地球物理专业委员会	中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所
李玉彬	青年工作委员会	西藏自治区地质调查院
李忠水	中国建筑材料工业地质勘查中心	中国建筑材料工业地质勘查中心吉林总队
刘超辉	中国地质调查局	中国地质科学院地质研究所
刘传厚	新疆维吾尔自治区地质学会	新疆地质矿产勘查开发局第八地质大队
刘志臣	贵州省地质学会	贵州省地质矿产勘查开发局 102 地质大队
马国庆	吉林省地质学会	吉林大学地球探测科学与技术学院
蒙永辉	青年工作委员会	山东省地质环境监测总站
饶灿	浙江省地质学会	浙江大学地球科学学院
万的军	中国地质调查局	中国地质科学院水文地质环境地质研究所
王文磊	中国地质调查局	中国地质科学院地质力学研究所
王元波	旅游地质专业委员会	山东省地质环境监测总站
王召林	青年工作委员会	有色金属矿产地质调查中心
文国军	中国地质大学(武汉)	中国地质大学(武汉)
邢立达	中国地质大学(北京)	中国地质大学(北京)
杨贵丽	青年工作委员会	中国石化胜利油田勘探开发研究院
于国强	中国地质调查局	中国地质调查局西安地质调查中心
岳文	中国地质大学(北京)	中国地质大学(北京)
张宝刚	中国地质大学(北京)	中国地质大学(北京)
张栋	武警黄金指挥部	武警黄金地质研究所
张峰	中国石油大学(北京)	中国石油大学(北京)
张会平	青年工作委员会	中国地震局地质研究所
张少兵	安徽省地质学会	中国科学技术大学
张先伟	工程地质专业委员会	中国科学院武汉岩土力学研究所
张以晨	吉林省地质学会	吉林省地质环境监测总站
郑永涛	内蒙古自治区地质学会	内蒙古第八地质勘查公司
朱文卿	湖南省地质学会	湖南省煤炭地质勘查院

HUA Lijuan: The 16th "Science and Technology Prize to Young Geological Workers of Geological Society of China"

Issued

(华丽娟 供稿)