

内蒙古东乌旗狼麦温都尔花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

程银行 滕学建 辛后田 杨俊泉 冀世平 张永 李艳锋

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘要: 内蒙古东乌旗狼麦温都尔地区发育了大量的晚古生代花岗岩, 主要岩石类型为二长花岗岩、正长花岗岩。SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素定年结果表明, 二长花岗岩和正长花岗岩的成岩年龄分别为 307.0 ± 1.9 Ma 和 299.7 ± 5.3 Ma, 时代为晚石炭世—早二叠世。岩石地球化学特征显示, 主要岩石的 SiO_2 含量为 65.65%~71.86%, 具富碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 9.59%~9.90%), 富钾 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 1.00~1.73) 的特点, 准铝质 (A/CNK 为 0.96~1.00), 属高钾钙碱性-钾玄岩系列, 岩石富集 Rb、Th、K 等大离子亲石元素, 而亏损 Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素, 稀土元素总量为 $82.60 \times 10^{-6} \sim 177.58 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 4.13~15.37, 配分曲线模式略微右倾, δEu 为 0.44~0.87, 中等-弱负铕异常, 具岛弧或后碰撞高钾钙碱性花岗岩的特征, 结合岩石具块状构造、晶洞构造特征显示为后碰撞花岗岩。综上所述, 认为狼麦温都尔高钾钙碱性花岗岩可能为后碰撞早期伸展阶段的产物, 与华北板块和西伯利亚板块碰撞作用有关, 这一认识为兴蒙造山带晚古生代构造岩浆演化及古亚洲洋闭合的时限提供了新的约束。

关键词: 东乌旗, 高钾钙碱性花岗岩, 后碰撞, SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)03-0323-12

SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in Mahonondor area, East Ujimqin Banner, Inner Mongolia

CHENG Yin-hang, TENG Xue-jian, XIN Hou-tian, YANG Jun-quan, JI Shi-ping, ZHANG Yong and LI Yan-feng

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: The Mahonondor granites, located in East Ujimqin Banner of Inner Mongolia, are predominated by monzogranite and syenogranite. SHRIMP zircon U-Pb dating shows that the crystallization age of the monzogranite is 307.0 ± 1.9 Ma and that of the syenogranite is 299.7 ± 5.3 Ma. The ages which are between the late Carboniferous and early Permian are consistent with the late Paleozoic magmatic activity age. Geochemical researches indicate that the granite from Mahonondor area in the East Ujimqin Banner of Inner Mongolia is rich in silica ($\text{SiO}_2 = 65.65\% \sim 71.86\%$), alkali ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 9.59\% \sim 9.90\%$) and K ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.00\% \sim 1.73\%$), suggesting a typical high-K calc-alkaline to shoshonitic series with the metaluminous feature ($A/\text{CNK} = 0.96 \sim 1.04$). The rocks are poor in rare earth elements ($\sum\text{REE} = 82.60 \times 10^{-6} \sim 157.70 \times 10^{-6}$), enriched in LREE [$(\text{La}/\text{Yb})_N = 4.13 \sim 15.37$] and LILEs (Rb, Th, K), and depleted in HFSE, especially Nb, Ta, Sr, P and Ti. Similar REE distribution patterns indicate that the Mahonondor granites have the same magma source. The δEu values vary from 0.44 to 0.87, with most rocks having moderate negative Eu anomalies. In

收稿日期: 2011-12-22; 修订日期: 2012-03-06

基金项目: 国家地质大调查项目(矿调 2005 11-5, 1212011121079)

作者简介: 程银行(1982-), 男, 助理研究员, 地质学专业, 主要从事矿产地质调查与研究工作, E-mail: weicheng1858@163.com.

addition, massive structure and miarolitic structure point to post-collisional granites. In a word, these characteristics suggest that these high-K calc-alkaline granites in the Mahonondor area were emplaced during post-collisional conversion from compression to extension, and were derived from fractional crystallization of medium-K calc-alkaline diorite-porphyrite, causing collision between the Sino-Korean and Siberian plates during late Devonian to early Carboniferous period. It is shown that the conversion time of the late Paleozoic orogenic process in East Ujimqin area was from 320.1 ± 7.2 Ma to 307 ± 1.9 Ma, the period 286~276 Ma was the developmental stage of post-collisional alkali granites, and Hegenshan oceanic basin had disappeared before 320.1 ± 7.2 Ma. The above results provide new constraints on Mongolia Orogenic Belt tectonic-magmatic evolution in Late Paleozoic and closure of the Paleo-Asian Ocean.

Key words: East Ujimqin Banner; high-K calc-alkaline granites; post collision; SHRIMP U-Pb dating

兴蒙造山带中二连—东乌旗一带发育晚古生代巨型花岗岩带,其演化记录了华北板块与西伯利亚板块汇聚、古亚洲洋闭合的历史,是研究两大板块拼合及古亚洲洋最终关闭时限有力证据的重要载体,同时也是一条重要的铜、铅、锌、钼、钨多金属成矿带,因此,备受广大地质学者的关注(Tang, 1990; 唐克东等, 1991; 洪大卫等, 1994, 2000; 李述靖等, 1998; 任收麦等, 2002; 金岩等, 2005; 胡朋等, 2006; 李锦轶等, 2007, 2009)。洪大卫等(1994)在二连—东乌旗一带识别出大量晚古生代后碰撞岩浆作用事件,提出在 286~276 Ma 大量发育的碱性花岗岩标志着古亚洲洋已经进入后碰撞演化阶段。张玉清等(2009)在东乌旗京斯台一带获得碱性花岗岩年龄为 284.8 ± 1.1 Ma,认为该阶段处于造山后演化阶段。韩宝福等(2010)在内蒙古西部呼伦陶勒盖地区发现早二叠世 A 型花岗岩,并获得了 277 ± 2 Ma、 278 ± 4 Ma 两个同位素年龄。施光海等(2004)在锡林浩特 A 型花岗岩中获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 276 ± 2 Ma,并认为其为造山后伸展事件的产物。童英等(2010)对锡林浩特代托吉卡山中粒晶洞正长花岗岩进行了研究,获得其成岩年龄为 268 ± 6.9 Ma,并认为贺根山洋闭合早于中二叠世。辛后田等(2011)在晚古生代宝力高庙组安山岩中获得 320.1 Ma 的成岩年龄,并认为其为造山阶段的产物。Robinson 等(1999)发现中二叠统哲斯组不整合在贺根山蛇绿岩之上。古生物资料显示在志留纪—泥盆纪期间古亚洲洋对生物存在阻隔,而到了二叠纪却失去了对生物迁移的阻隔能力(廖卫华等, 1995; 郭伟等, 2003; 周志广等, 2010)。洪大卫等(2000)李大鹏等(2010)从 Sr、Nd、Pb 同位素示踪的角度认为兴蒙造山带花岗岩源岩物质中地幔物质成分占绝对优势。尽管前人对兴蒙造山带碰撞演化的

研究获得大量成果,对兴蒙造山带后碰撞早期阶段岩浆记录的研究却较为薄弱,从碰撞到后碰撞转换阶段缺少精确的年代数据。鉴于此,笔者基于 2006~2008 年在研究区开展的 1:5 万矿产远景调查项目,在详细野外调查的基础上,对狼麦温都尔花岗岩体进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年和较为深入的岩相学和地球化学研究,旨在探讨其岩石成因、形成时代和构造背景,为兴蒙造山带中东部构造岩浆演化、壳幔相互作用过程以及古亚洲洋闭合时限提供新的佐证,并且为该区矿产资源勘查提供重要信息。

1 区域地质背景及岩体特征

研究区位于贺根山断裂带以北的二连—东乌旗晚古生代构造岩浆岩带上(辛后田等, 2011)(图 1a)。该岩浆岩带向西经二连浩特断续延入蒙古境内,向东延入大兴安岭。区内地层从泥盆系到第四系均有出露,主要地层有泥盆纪安格尔音乌拉组和晚石炭世宝力高庙组,前者主要为海相沉积,后者主要为陆相火山岩—碎屑岩建造。侵入岩主要以晚古生代花岗岩(狼麦温都尔花岗岩)为主,侵入到早期地层,被侏罗纪中酸性火山岩角度不整合覆盖;火山岩非常发育,尤其晚古生代、中生代火山活动强烈。

狼麦温都尔花岗岩岩体分布于狼麦温都尔—宝力格苏木一代,约占研究区基岩面积的 1/3(图 1b),总面积约 173.5 km²,整体北东向展布,呈岩基产出,与北东向区域构造格架基本一致,南北两侧侵入到早期晚石炭世宝力高庙组中。岩石主要为肉红色中粒—中细粒二长花岗岩和砖红色细粒正长花岗岩以及少量的闪长玢岩,其中细粒正长花岗岩分布在岩体边部,侵入到中粒—中细二长花岗岩中,闪长玢岩多呈小岩株侵位于宝力高庙组或呈捕虏体就位于二

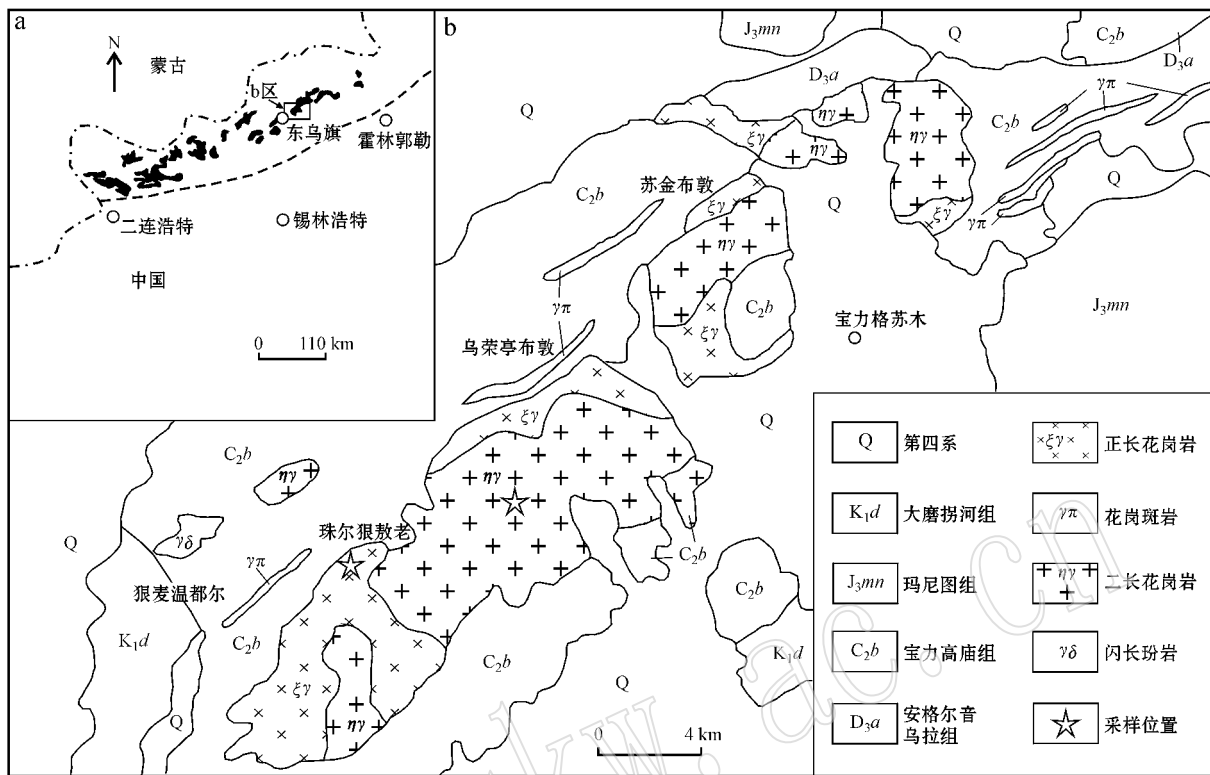


图 1 东乌旗狼麦温都尔地区地质简图 [据辛后田等(2008) 9 改编]

Fig. 1 Geological sketch map of Mahonondor area in East Ujimqin Banner [modified after Xin Houtian et al. (2008) 9]

长花岗岩和正长花岗岩中,表明三类岩石的就位先后顺序为闪长玢岩→二长花岗岩→正长花岗岩,三者比例约为 1:5:2。

2 岩相学特征

狼麦温都尔花岗岩具代表性样品的岩石学特征如下:

闪长玢岩:具斑状结构,块状构造。斑晶主要为斜长石(20%),多为中长石,半自形短板状,环带发育,普通角闪石(8%),半自形柱状,绿泥石化;辉石(1%),半自形粒状。基质由定向排列的板条状斜长石和玻璃质组成。副矿物为磁铁矿、钛铁矿,偶见锆石、磷灰石和绿帘石等。

二长花岗岩:呈肉红色,具中粒-中细粒花岗结构,块状构造。主要矿物为钾长石(30%~35%),镜下鉴定为微斜长石,半自形-它形粒状,粒度 2~8 mm 轻-中度高岭土化;斜长石(25%~30%),半自

形,粒度在 2~5 mm,具聚片双晶;石英(35%~40%),它形不规则粒状,粒度 2~5 mm,角闪石(3%~5%),半自形-它形,粒度长 2~3 mm,宽约 1 mm,弱绿泥石化。副矿物主要为磁铁矿、钛铁矿、赤褐铁矿,偶见锆石、磷灰石、独居石、电气石、绿帘石等。

正长花岗岩:具中细粒花岗结构,块状构造,矿物粒度均匀,一般在 1~2 mm。主要矿物组成:钾长石(38%~43%),镜下鉴定为微斜长石,半自形,格子双晶发育;斜长石(15%~20%),多为更长石,自形或半自形,柱状或板状,聚片双晶发育;石英(28%~38%),它形粒状;黑云母(1%~3%),片状,弱绿泥石化。副矿物主要为磁铁矿、钛铁矿,偶见锆石、磷灰石、绿帘石等。

3 锆石 U-Pb SHRIMP 定年

3.1 样品采集

为了更精确地确定岩石时代,本次工作针对大

① 辛后田,等. 2008. 内蒙古东乌旗狼麦温都尔地区矿产远景调查沙那嘎等四幅地质矿产图.

面积出露的二长花岗岩、正长花岗岩做同位素测年, 样品采自珠尔狠敖老附近的花岗岩中(图 1b), 样品新鲜, 重约 10 kg。

3.2 测定方法

锆石分选工作由河北省廊坊地质调查研究所完成。样品按照常规粉碎淘洗后, 经磁选和重液分离, 然后在双目镜下人工挑选纯度在 99% 以上的锆石。将挑选锆石送北京离子探针中心, 把待测锆石颗粒与标准样品一起置于环氧树脂中做成样品靶。固结后打磨并抛光至靶上锆石中心部位暴露出来。在此基础上对样品靶上的锆石进行透射光、反射光和阴极发光照相, 以查明锆石内部生长层的分布和结构。最后在北京离子探针中心, 利用高分辨率高灵敏度离子探针 SHRIMP II 仪器进行锆石 U-Pb 同位素定年测试, 详细分析流程和原理见宋彪等(2002)。测定过程中为了准确校正测年结果, 每测 3 个点后插入一个标样测定(标样来自 TEMORA 锆石), 用标准锆石的测定值来进行 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值的校正。测试

数据的计算处理采用 ISOPLOT2.6 程序处理(Ludwig, 2000)。

3.3 定年结果

中细粒二长花岗岩(1020-1)和正长花岗岩(0058-1)的 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 数据列于表 1。锆石的 CL 图像和 U-Pb 谐和图分别见图 2 和图 3。

两个样品中的锆石多呈长柱状, 透明度好, 颗粒大多在 100~200 μm , 具明显的韵律环带(图 2)。前人研究表明, 不同成因锆石有不同的 Th、U 含量与 Th/U 值(Rubatto and Gebaure, 2000)。一般情况下, 岩浆锆石的 Th、U 含量较高, Th/U 值较大(一般大于 0.4), 而变质锆石的 Th、U 含量低, Th/U 值小(通常小于 0.07, Hoskin and Schaltegger, 2003)。狼麦温都尔二长花岗岩和正长花岗岩的锆石 Th/U 值分别为 0.52~1.03 和 0.50~0.83, 远大于岩浆锆石 Th/U 值的最小值, 因此, 研究区花岗岩中的锆石应为岩浆锆石。

测试结果显示, 二长花岗岩(1020-1)样品中

表 1 狼麦温都尔中细粒二长花岗岩(1020-1)和正长花岗岩(0058-1)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 U-Pb composition of zircon from monzogranite(1020-1) and syenogranite(0058-1) of Mahonondor, measured by SHRIMP

点号	$w_B/10^{-6}$			Th/U	比值						年龄/Ma			
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
1020-1														
1.1	18.4	351	442	0.82	0.064 60	1.7	0.364	5.7	0.047 90	0.75	415	± 130	301.6	± 2.2
2.1	17.8	309	425	0.75	0.057 97	1.6	0.356	3.6	0.048 37	0.86	347	± 80	304.5	± 2.6
3.1	21.0	369	495	0.77	0.059 00	1.7	0.357	4.4	0.049 02	0.66	319	± 99	308.5	± 2.0
4.1	20.7	361	471	0.79	0.057 98	1.7	0.362	4.1	0.050 80	0.61	270	± 93	319.4	± 1.9
5.1	18.0	286	423	0.70	0.060 20	2.2	0.370	3.8	0.049 16	0.79	393	± 84	309.4	± 2.4
6.1	38.5	846	849	1.03	0.110 30	1.8	0.661	4.1	0.051 53	0.63	1 488	± 77	323.9	± 2.0
7.1	8.98	128	219	0.61	0.067 70	2.5	0.341	9.2	0.046 93	1.1	316	± 210	295.6	± 3.2
8.1	14.2	166	331	0.52	0.062 60	2.1	0.346	6.8	0.049 11	0.98	247	± 160	309.1	± 3.0
9.1	15.1	246	359	0.71	0.063 00	4.4	0.368	6.8	0.048 62	0.84	410	± 150	306.0	± 2.5
10.1	24.5	437	585	0.77	0.059 10	1.7	0.359	3.8	0.048 36	0.75	363	± 84	304.4	± 2.2
11.1	18.8	302	487	0.64	0.060 60	2.9	0.328	5.5	0.044 48	0.81	347	± 120	280.6	± 2.2
0058-1														
1.1	5.37	66	127	0.54	0.077 0	3.4	0.348	17	0.047 91	1.7	316	± 390	301.6	± 5.1
2.1	4.71	54	112	0.50	0.079 9	3.5	0.370	12	0.047 31	1.5	480	± 260	298.0	± 4.4
3.1	7.29	96	179	0.56	0.076 4	2.9	0.362	11	0.046 28	1.4	483	± 230	291.6	± 3.9
4.1	6.03	77	145	0.55	0.074 4	3.2	0.367	11	0.047 33	1.5	464	± 240	298.1	± 4.2
5.1	7.02	95	163	0.60	0.076 7	4.3	0.372	13	0.048 66	1.4	432	± 290	306.3	± 4.1
6.1	5.30	54	122	0.46	0.065 1	3.4	0.251	25	0.048 85	1.7	-543	± 670	307.5	± 5.0
7.1	7.84	115	207	0.57	0.061 6	3.1	0.311	9.9	0.043 53	1.3	276	± 220	274.7	± 3.4
8.1	4.80	68	130	0.54	0.066 4	4.0	0.295	11	0.042 30	1.6	224	± 260	267.1	± 4.2
9.1	5.98	85	170	0.52	0.064 8	3.6	0.314	9.3	0.040 56	1.4	455	± 200	256.3	± 3.6
10.1	4.41	90	112	0.83	0.089 8	3.5	0.462	9.3	0.045 1	2.7	1 049	± 180	284.4	± 7.5
11.1	4.74	67	118	0.59	0.064 8	3.3	0.372	4.5	0.046 22	1.2	541	± 96	291.3	± 3.5
12.1	4.48	67	104	0.67	0.072 2	4.6	0.341	16	0.048 68	1.7	229	± 370	306.4	± 5.0
13.1	5.50	77	126	0.63	0.099 0	2.8	0.467	13	0.048 88	1.6	909	± 270	307.0	± 4.9

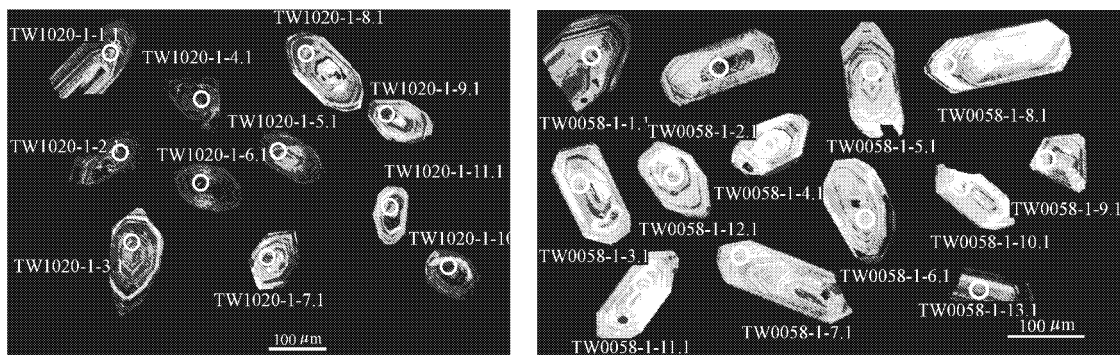


图 2 二长花岗岩 (1020-1) 和正长花岗岩 (0058-1) 的锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images of monzogranite (1020-1) and syenogranite (0058-1)

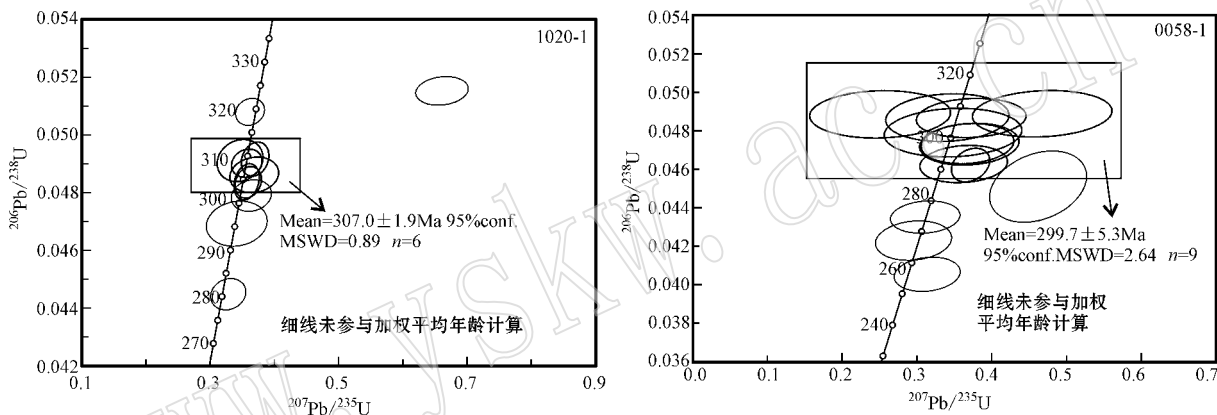


图 3 二长花岗岩 (1020-1) 和正长花岗岩 (0058-1) 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 U-Pb concordia diagram of monzogranite (1020-1) and syenogranite (0058-1)

11.1 测点获得 280.6 ± 2.2 Ma 的年龄, CL 图像 (图 2) 上显示其具明显增生边, 可能代表晚期热变质事件的年龄, 与 $286 \sim 276$ Ma (洪大卫等, 1994) 发生的伸展构造事件相一致。1.1 和 7.1 测点的年龄分别为 301.6 ± 2.2 Ma 和 295.6 ± 3.2 Ma, 与晚期正长花岗岩的年龄 (299.7 ± 5.3 Ma) 一致。4.1 和 6.1 测点年龄分别为 319.4 ± 1.9 Ma 和 323.9 ± 2.0 Ma, 这两个测点在锆石的核部, 可能为捕获的较老锆石, 与围岩宝力高组中所获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 320.1 ± 7.2 Ma 一致 (辛后田等, 2011), 可能为岩浆侵位时捕获围岩中的锆石。其中 6 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄多集中在 $309 \sim 304$ Ma, 样品中放射性成因铅没有扩散、丢失, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 307.0 ± 1.9 Ma。依据上述特征可以认为, 307.0 ± 1.9 Ma 的年龄值代表了二长花岗岩的成岩年龄, 323.9 ± 2.0 Ma 的年龄值可能代表围岩的成岩年龄。正长花岗岩 (0058-1) 中 13 粒锆石有 4 粒

石的年龄偏离了众数年龄, 可能是由放射性成因铅丢失造成, 其余 9 粒 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 299.7 ± 5.3 Ma (图 3), 该年龄代表了正长花岗岩的成岩年龄。

4 地球化学特征

4.1 样品处理及分析方法

对新鲜样品首先去除风化壳, 然后用破碎机粉碎。粉碎样品用球磨机研磨至粉末状 (>200 目), 用于主量元素和微量元素分析。测试分析在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所完成, 主量元素用 X 射线荧光光谱法 (XRF) 测试, 分析精度 2%。微量元素使用 ICP-MS 测试, 分析精度优于 5%。狼麦温都尔花岗岩主量元素、稀土元素、微量元素数据及主要岩石化学参数列于表 2。

4.2 主量元素

表 2 狼麦温都尔岩体的主量元素 ($w_B/\%$)、稀土和微量元素 ($w_B/10^{-6}$) 组成及特征参数Table 2 Analytical data and parameters of major elements ($w_B/\%$), REEs and trace elements ($w_B/10^{-6}$) for Mahonondor pluton

样号	2058-1	1020-1	0058-1	3088-1	样号	2058-1	1020-1	0058-1	3088-1
岩性	闪长玢岩	二长花岗岩	正长花岗岩	正长花岗岩	岩性	闪长玢岩	二长花岗岩	正长花岗岩	正长花岗岩
SiO ₂	60.06	65.65	69.66	71.86	La	27.00	21.20	31.97	15.07
TiO ₂	1.26	0.85	0.43	0.22	Ce	61.00	35.00	72.91	34.40
Al ₂ O ₃	15.73	15.76	14.43	14.09	Pr	7.79	4.67	9.19	4.87
Fe ₂ O ₃	3.13	1.43	1.37	1.41	Nd	29.00	14.10	32.20	16.60
FeO	3.93	1.73	1.3	0.65	Sm	5.25	1.87	6.00	2.87
MnO	0.18	0.1	0.2	0.18	Eu	1.44	0.47	0.83	0.54
MgO	2.24	1.88	0.67	0.41	Gd	4.73	1.69	5.42	2.49
CaO	3.86	1.36	1.09	0.3	Tb	0.76	0.22	0.96	0.43
Na ₂ O	3.79	4.7	4.79	6.1	Dy	4.56	1.19	6.15	2.78
K ₂ O	3.05	5.2	4.8	3.52	Ho	0.92	0.23	1.31	0.61
P ₂ O ₅	0.37	0.12	0.09	0.09	Er	2.77	0.74	4.05	1.95
LOI	2.37	2.62	1.18	1.75	Tm	0.46	0.13	0.73	0.35
Total	99.97	101.4	100	100.6	Yb	3.07	0.93	5.08	2.46
K/Na	0.80	1.11	1.00	1.73	Lu	0.48	0.16	0.80	0.39
A/CNK	0.95	1.00	0.96	0.98	ΣREE	149.23	82.60	177.58	85.82
ALK	6.84	9.90	9.59	9.62	LR/HR	7.41	14.61	6.25	6.48
NK/A	0.61	0.85	0.91	0.98	(La/Sm) _N	3.24	7.13	3.35	3.30
FM	0.61	0.46	0.66	0.71	(Gd/Yb) _N	1.24	1.47	0.86	0.82
Rb	81.0	108.0	117.0	77.0	(La/Yb) _N	5.93	15.37	4.25	4.13
Ba	765.0	515.0	704.0	617.0	δEu	0.87	0.79	0.44	0.60
Th	9.10	5.90	11.00	5.40	Zr	226.0	70.0	222.0	133.0
Ta	0.79	0.51	1.21	0.80	Y	26.60	8.30	37.50	17.20
Nb	9.70	4.50	13.40	7.90	Nd/Th	3.19	2.39	2.93	3.07
Sr	376.0	125.0	79.0	122.0	Nb/Ta	12.24	8.88	11.10	9.85
Hf	6.51	2.45	6.96	4.48	Sr/Ba	0.49	0.24	0.11	0.20

由表 2 可知,狼麦温都尔花岗岩 SiO₂ 含量为 60.06%~71.86%,变化范围较大,主要岩石的 TiO₂ 含量为 0.22%~0.85%,Al₂O₃ 含量较高(14.09%~15.73%),铝饱和指数 A/CNK 为 0.96~1.00,小于 1.1,为准铝质-弱过铝质系列。K₂O 和 Na₂O 含量较高,但 K₂O/Na₂O 为 1.00~1.73,这表明岩石更加富钾。在 SiO₂-A.R 图解(图 4)中多数样品落入弱碱质区,闪长玢岩落入钙碱质区域。K₂O-SiO₂ 图解(图 5)显示狼麦温都尔花岗岩属高钾钙碱性系列-钾玄岩系列。A/CNK 的值小于 1.1,碱性指数 NK/A 值为 0.85~0.98,表现出 I 型花岗岩的化学成分特征,与我国华南同熔型花岗岩(徐克勤等,1989)很类似。用 GeoDrop V2.0 计算得到狼麦温都尔花岗岩的标准矿物石英(Q)、钾长石(Or)、钠长石(Ab)和钙长石(An)的含量,采用国际地科联(IUGS)火成岩分类委员会推荐的实际矿物含量 QAP 分类方案进行投影(图 6),可以看出多数样品落入正长花岗岩-碱长花岗岩区域。

4.3 稀土元素

狼麦温都尔代表性花岗岩样品的稀土元素分析结果见表 2。从表 2 可以看出,岩石的稀土元素总量 ΣREE 为 $82.60 \times 10^{-6} \sim 177.58 \times 10^{-6}$,平均 115.33×10^{-6} ,LREE/HREE、(La/Sm)_N、(Gd/Yb)_N 和 (La/Yb)_N 分别为 6.25~14.61、3.30~7.13、0.82~1.47 和 4.13~15.37。总体来看,稀土元素总量较低,LREE 和 HREE 之间的分异较强,LREE 富集特征更明显,在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(图 7)上显示左陡而右缓的特征,δEu 为 0.44~0.79,均显示较弱-中等的负 Eu 异常,这些特征与我国华南 I 型花岗岩(徐克勤等,1989)类似。

4.4 微量元素

具代表花岗岩样品的微量元素分析结果列于表 2,从表中数据和原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 8)上可以看出:狼麦温都尔花岗岩体富集 Rb、Th、K 等大离子亲石元素(LILE),而亏损 Ta、Nb、Sr、P、Ti 等元素。主要岩石中富集元素 Rb 和 Ba 的含量分别为

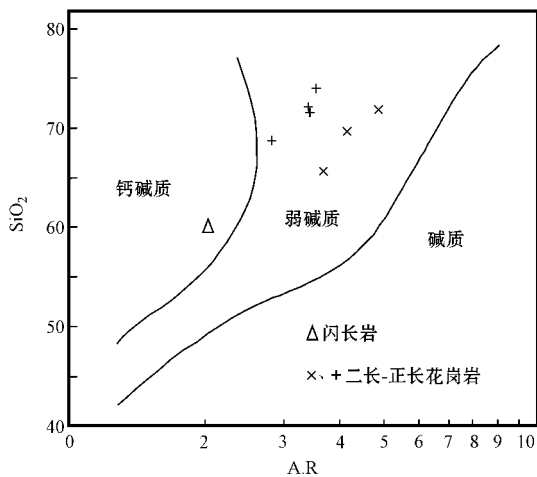


图 4 狼麦温都尔岩体 SiO₂ - A.R. 图解

(据 Wright, 1969)

Fig. 4 SiO₂ - A.R. diagram of Mahonondor pluton

(after Wright, 1969)

+ 为 1:25 万区调数据投点,下同

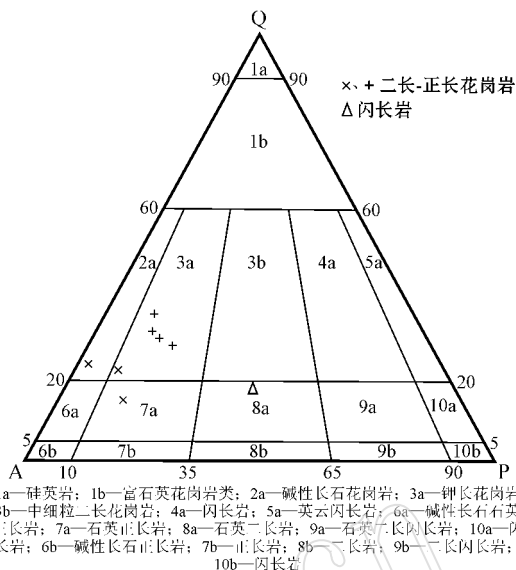


图 6 狼麦温都尔岩体 QAP 图解(据 Le Maitre, 1989)

Fig. 6 QAP diagram of Mahonondor pluton

(after Le Maitre, 1989)

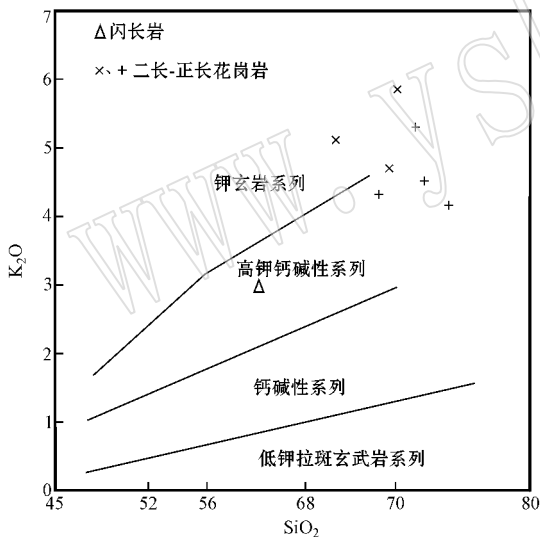


图 5 狼麦温都尔岩体 SiO₂ - K₂O 图解

(据 Peccerillo 和 Taylor, 1976)

Fig. 5 SiO₂ - K₂O diagram of Mahonondor pluton

(after Peccerillo and Taylor, 1976)

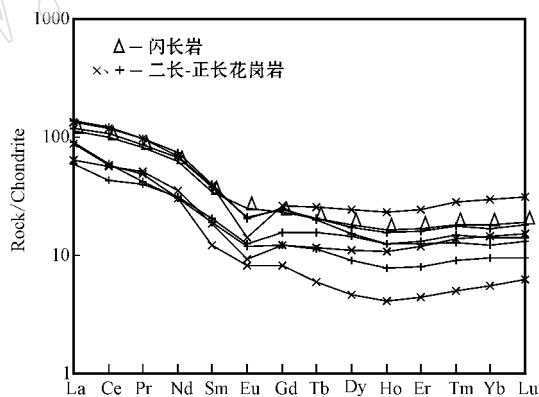


图 7 狼麦温都尔岩体稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(球粒陨石标准化数据引自 Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of Mahonondor batholith (chondritic value after Sun and McDonough, 1989)

77.0×10⁻⁶~117.0×10⁻⁶和 515.0×10⁻⁶~704.0×10⁻⁶, Th、Hf 和 Zr 的含量分别为 5.40×10⁻⁶~11.00×10⁻⁶、2.45×10⁻⁶~6.96×10⁻⁶和 70.0×10⁻⁶~222.0×10⁻⁶, 亏损元素 Ta、Nb 和 Sr 的含量分别为 0.51×10⁻⁶~1.21×10⁻⁶、4.50×10⁻⁶~13.40×10⁻⁶和 79.0×10⁻⁶~125.0×10⁻⁶。闪长玢岩中 Sr、P、Ti 元素相对二长-正长花岗岩富集。

5 讨论

5.1 岩石成因

在矿物成分上,狼麦温都尔花岗岩不同样品中镁铁矿物和斜长石含量有显著差异:闪长玢岩中发育角闪石和少量辉石,二长花岗岩中发育有 3%~5% 的普通角闪石,正长花岗岩仅见有少量黑云母,几乎不存在角闪石,这些特征指示了狼麦温都尔花岗岩可能经历了分离结晶作用,与闪长玢岩→二长花岗岩→正长花岗岩野外先后侵入序次相吻合。

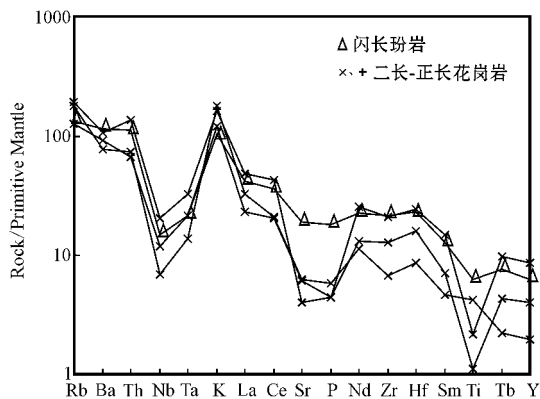


图 8 狼麦温都尔岩体原始地幔标准化微量元素蛛网图
(标准化数据引自 McDonough 和 Sun, 1995)

Fig. 8 Primitive mantle-normalized patterns of trace elements for Mahonondor pluton (after McDonough and Sun, 1995)

随着 SiO_2 含量的增加,狼麦温都尔花岗岩主量元素和微量元素有规律地变化。从闪长玢岩→中细粒二长花岗岩→正长花岗岩,随着 SiO_2 含量的增加,全碱 (ALK) 的含量逐渐升高, Ti、TFe、Mg、Ca 逐渐降低, 稀土元素总量、轻/重稀土元素比值有降低的趋势, Eu 亏损程度由弱亏损到中等亏损 (δEu 为 0.44~0.87) 表明在岩浆结晶过程中各岩相受到富轻稀土元素矿物(磷灰石、独居石)和斜长石分离结晶的控制, Ba 元素相对亏损的程度逐渐增强, 说明早期随着岩浆分离结晶和分异作用, Ba 元素以类质同像的形式取代钾进入到含钾矿物黑云母中, 而 Nb、Ta 的强烈亏损可能与金红石的结晶分离或作为源区残留相有关, 即随着角闪石、斜长石的分离结晶岩浆逐渐富钾而成为高钾钙碱性岩浆(钟华明等, 2007; 汪传胜等, 2009), 先后形成闪长玢岩→二长花岗岩→正长花岗岩。因此, 研究区高钾钙碱性二长花岗岩、正长花岗岩可能是早期闪长玢岩分异演化的产物, 与前者略晚于后者侵位的时间关系吻合。这一特征与汪传胜等(2009)研究的东天山哈尔里克山高钾钙碱性花岗岩和钟华明等(2007)研究的西藏日土北部松西-胜利山高钾钙碱性花岗岩的成因相似。

5.2 构造环境及其地质意义

岩体南北两侧均侵入到晚石炭世宝力高庙组中, 围岩地层已强烈变形, 产状陡立, 倾角多在 40° 以上, 局部近于直立, 地层走向并未围绕狼麦温都尔岩体发生弯曲。然而, 狼麦温都尔花岗岩没有明显的

透入性构造变形, 岩石呈块状构造, 局部见有晶洞构造, 并且与岩体同时期的热液矿床也未显著变形, 如狼麦温都尔铜矿床、乌荣亭布敦钼矿床、苏金布敦铅锌矿床等矿石呈块状构造。上述特征表明了该花岗岩的侵位并未经历强烈的区域构造变形, 与围岩明显不同。同时, 区域资料显示围岩 SHRIMP 年龄为 $320.1 \pm 7.2 \text{ Ma}$ (辛后田等, 2011), 明显早于狼麦温都尔花岗岩, 表明围岩和花岗岩形成于不同的构造演化阶段。

狼麦温都尔花岗岩铝饱和指数 A/CNK 为 0.96~1.04, 富碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 9.59\% \sim 9.90\%$), 富钾 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.00 \sim 1.73$), 具岛弧或后碰撞环境 I 型高钾钙碱性花岗岩的特征 (Pitcher, 1993) 稀土元素配分曲线显示中等-弱的负偏异常较典型的 A 型花岗岩弱; 大离子亲石元素 (LILE) 和轻稀土元素 (LREE) 相对富集, 而 Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素相对亏损, 具有向 A 型花岗岩过渡的后碰撞高钾花岗岩 (Whale *et al.*, 1987; 王超等, 2007) 或火山弧花岗岩 (钟华明等, 2007) 的特征, 在构造环境判别图解 $\text{Rb}-(\text{Nb} + \text{Y})$ (图 9) 中落入后碰撞伸展花岗岩区和火山弧花岗岩区 (VAG), 在 $\text{R1}-\text{R2}$ 图解 (图 10) 中多数样品落入造山晚期区, 另外, 结合岩体没有明显的变形特征, 指示了狼麦温都尔花岗岩可能就位于

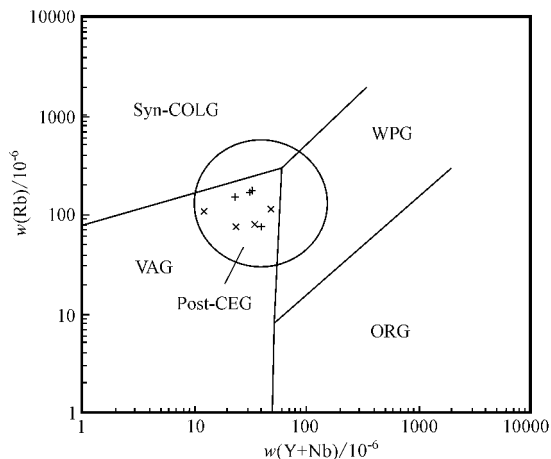


图 9 狼麦温都尔花岗岩 $\text{Rb}-(\text{Nb} + \text{Y})$ 构造环境判别图
(据 Pearce, 1996; Post-CEG 据 Forster 等, 1997)

Fig. 9 $\text{Rb}-(\text{Nb} + \text{Y})$ diagram of Mahonondor pluton (after Pearce, 1996; Post-CEG after Forster *et al.*, 1997)
VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; WPG—板内花岗岩;
syn-COLG—同碰撞花岗岩; post-CEG—后碰撞伸展花岗岩
VAG—volcanic arc granite; ORG—oceanic ridge granite; WPG—
intraplate granite; syn-COLG—syn-collisional granite; post-
CEG—post-collisional extension granite

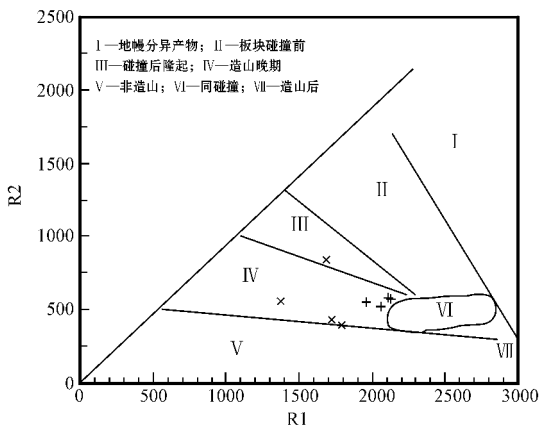


图 10 狼麦温都尔花岗岩 R1 - R2 图解

(据 Bechelor 等, 1985)

Fig. 10 R1 - R2 diagram of Mahonondor pluton

(after Bechelor *et al.*, 1985)

后碰撞伸展阶段早期的构造环境中,而 Nb、Ta 的亏损可能与金红石的分离结晶有关。这些特征与东天山哈尔里克山(汪传胜等, 2009)和阿尔卑斯中东部(Rottra *et al.*, 1998)的高钾钙碱性花岗岩十分相似。

前人对古亚洲洋闭合及碰撞造山的时限,一直存在着争议。关于古洋盆的闭合时限有晚泥盆世—早石炭世(Tang, 1990; 唐克东等, 1991; 肖序常等, 1991; 邵济安, 1991; 洪大卫等, 1994; 徐备等, 1997)、早二叠世(王荃等, 1991a; 任收麦等, 2002)、晚二叠世(Hsü *et al.*, 1991; 王荃等, 1991b; 吴珍汉等, 2000)、晚侏罗世—早白垩世(马醒华等, 1993; 李双林等, 1998)等不同认识。童英等(2010)认为北部贺根山蛇绿岩与南部索伦山—西拉木伦蛇绿岩代表两个洋盆体系,其间由锡林浩特古陆分隔。南部的西拉木伦洋盆到中二叠世晚期—三叠世在西拉木伦河一带才最终闭合(王玉净等, 1997; 李朋武等, 2006; 李锦轶等, 2007)。而北部贺根山洋盆闭合较早,主要依据有以下几点:洪大卫等(1994)认为苏左旗—东乌旗发育的中二叠世碱性花岗岩带(286~276 Ma)指示中二叠世该区已转入碰撞后伸展阶段;张玉清等(2009)在京格斯台一带碱性花岗岩中获得的锆石 U-Pb 年龄为(284.8 ± 1.1 Ma),据此认为该阶段已进入后碰撞阶段;童英等(2010)文中提到早二叠世末期戈壁天山—宝力格发

育双峰式火山岩(含钠闪石的碱性流纹岩、粗面流纹岩和玄武岩)及黄岗梁—乌兰浩特中二叠世早期发育双峰式大陆裂谷火山岩建造,表明碰撞造山已经结束,辛后田等(2011)在与本文研究的花岗岩围岩晚石炭世宝力高庙组中获得了具同碰撞特征的安山岩的锆石 U-Pb 年龄为 320.1 ± 7.2 Ma,认为古亚洲洋闭合应在晚泥盆世—晚石炭世之间,晚泥盆世法门期到早石炭世杜内期的海相磨拉石沉积以及陆缘海沉积角度不整合在二道井—查干诺尔—红格尔蛇绿混杂岩带之上(唐克东等, 1991; 徐备等, 1997),指示了造山带的抬升和剥蚀;贺根山蛇绿岩侵位最新地层为上石炭统阿木山组,被中二叠统哲斯组不整合覆盖(Robinson *et al.*, 1999);古生物资料也显示在志留纪—泥盆纪期间古亚洲洋对生物存在阻隔,而到了二叠纪却失去了对生物迁移的阻隔能力(廖卫华等, 1995; 郭伟等, 2003);周志广等(2010)根据东乌满都胡宝拉格地区发现了早中二叠世华夏植物群,认为两大板块缝合的时间应该在早二叠世之前;康健丽等(2010)对西南天山马达尔地区硅质岩进行研究后认为早石炭世洋盆已经萎缩,逐渐关闭。综上所述,我们认为贺根山洋的闭合很可能要早于早二叠世。

本次研究测得狼麦温都尔高钾钙碱性花岗岩的两个 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 307.0 ± 1.9 Ma 和 299.7 ± 5.3 Ma,结合前人研究资料,表明研究区在 307.0~299.7 Ma 存在一期大规模的岩浆活动,形成了规模巨大的狼麦温都尔花岗岩。本文两个样品的成岩年龄相差约 8 Ma,与正长花岗岩侵入到中细粒二长花岗岩地质证据相一致。根据岩石学、地球化学特征将其定位于后碰撞伸展阶段的产物,其围岩具明显造山变形特征的宝力高庙组中流纹岩的 SHRIMP U-Pb 年龄为 320.1 ± 7.2 Ma(辛后田等, 2011),表明东乌旗地区的碰撞作用应发生在 307.0 ± 1.9 Ma 以前,并且陆陆碰撞在 320.1 ± 7.2 Ma 已经发生。晚石炭世宝力高庙组为一套陆相以火山碎屑沉积为主的地层,狼麦温都尔岩体的南部出现大量紫红色的火山集块岩、集块角砾岩和安山岩,具陆相火山喷发的特点^①,亦表明该阶段贺根山洋已经消失。综上所述,可以得出以下认识:贺根山洋盆在 320.1 ± 7.2 Ma 前已经闭合;320.1 ± 7.2~307.0 ± 1.9 Ma 为碰撞挤压向后碰撞伸展阶段的转换时期;

① 天津地质调查中心, 2010. 内蒙古东乌旗狼麦温都尔地区战略性矿产远景调查成果报告.

在此 $307.0 \pm 1.9 \sim 299.7 \pm 5.3$ Ma) 之后, 286~276 Ma 形成了大量的具典型后碰撞特征的碱性花岗岩(洪大卫等, 1994), 即造山过程(Liegeois, 1998) 演化到后碰撞阶段。

6 结论

综上所述岩石学、地球化学和年代学研究结果, 得出如下结论:

狼麦温都尔高钾钙碱性花岗岩为后碰撞伸展阶段早期的产物, 由早期闪长玢岩分异演化形成; SHRIMP U-Pb 年龄值为 $307.0 \pm 1.9 \sim 299.7 \pm 5.3$ Ma, 时代为晚石炭世—早二叠世, 指示该时期存在一期大规模的构造-岩浆活动, 同时表明东乌旗一带在晚古生代造山过程中由碰撞挤压阶段向后碰撞伸展阶段的转折时限介于 $320.1 \pm 7.2 \sim 307.0 \pm 1.9$ Ma 之间, 在 286~276 Ma 进入碰撞后碱性花岗岩的发育阶段, 贺根山洋盆于晚石炭世 (320.1 ± 7.2 Ma) 已经消失。

致谢 1:5 万狼脉温都尔矿调项目组提供了研究资料, 赵凤清研究员和刘永顺教授级高工对本文提出许多宝贵的建设性修改意见, 使本文得以完善; 在成文过程中尹海龙、黄烈、罗顺法同志给了很大的帮助, 同时匿名审稿人对文章提出了宝贵意见, 在此一并致以诚挚的谢意。

References

Bechelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chem. Geol., 48: 43~55.

Foster H J, Tischendorf G and Trumbull R B. 1997. An evaluation of the R. (Y+Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks[J]. Lithos, 40: 261~293.

Guo Wei, Lin Yingdang and Liu Guanghu. 2003. Early Permian Rugose coral assemblage and its geological significances in Xiwuqi of Inner Mongolia[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 33(4): 399~405 (in Chinese).

Han Baofu, Zhang Chen, Zhao Lei, et al. 2010. A preliminary study of granitoids in western Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(6): 741~749 (in Chinese with English abstract).

Hong Dawei, Huang Huaizeng, Xiao Yijun, et al. 1994. The Permian alkaline granites in central inner Mongolia and their geodynamic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 68(3): 219~230 (in Chi-

nese).

Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, et al. 2000. Genesis of positive $\epsilon(\text{Nd}, t)$ granitoids in the Da Hinggan Mts.-Mongolia orogenic belt and growth continental crust[J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 7(2): 441~456 (in Chinese).

Hoskin P W O and Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[A]. Hanchar J M and Hoskin P W O. Zircon[C]. Mineralogical Society of America and Geochemical Society Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53: 27~62.

Hsü K J, Wang Q C, Li J L, et al. 1991. Geological evolution of the Neimonides: a working hypothesis[J]. Eclogae Geol. Helv., 84: 1~35.

Hu Peng, Nie Fengjun, He Ying, et al. 2006. A peraluminous granite with positive $\epsilon(\text{Nd}, t)$ values: the Shamai pluton in Inner Mongolia, northeast China [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(11): 2781~2790 (in Chinese).

Jin Yan, Liu Yutang, Xie Yuling, et al. 2005. Relationship between magmatism and polymetalmine realization in East Ujimqin, Inner Mongolia[J]. Geology and Mineral Resources of South China (1): 8~12 (in Chinese).

Kang Jianli, Zhang Zhaochong, Dong Shuyun, et al. 2010. Geochemistry of cherts from Madaer area in Southwest Tianshan Mountains: Implications for deposition environments[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(1): 79~88 (in Chinese with English abstract).

Le Maitre R W, Le Bas M J, Sabine P A, et al. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Oxford: Blackwell Scientific, 1~193.

Li Dapeng, Chen Yuelong, Wang Zhong, et al. 2010. Nd-Pb isotopic composition characteristics and geological significances of granitoids with different ages in Inner Mongolia[J]. Geoscience, 55(5): 821~831 (in Chinese).

Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, et al. 2007. Shuangjingzi Middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 565~582 (in Chinese).

Li Jinyi, Zhang Jin, Yang Tiannan, et al. 2009. Crustal tectonic division and evolution of the southern part of the north Asian orogenic region and its adjacent area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 39(4): 584~605 (in Chinese).

Li Pengwu, Gao Rui, Guan Ye, et al. 2006. Palaeomagnetic Constraints on the Final Closure Time of Solonker Linxi Suture[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 36(5): 744~758 (in Chinese).

Li Shuanglin and Quyang Ziyuan. 1998. Tectonic framework and evolution of Xing'anling Mongolian orogenic belt (XMOB) and its adjacent region[J]. Marine Geology (Quaternary Geology), 18(3): 45~54 (in Chinese).

Li Shujing and Bai Tie. 1998. The Characteristics and Evolution of the

- Mongolia Arc Tectonic[M]. Geological Publishing House, 0~145 (in Chinese).
- Liao Weihua, Rong Jiayu, Hu Zhaoxun, *et al.* 1995. Silurian-Devonian biostratigraphy, synecology and palaeobiogeography from central Jilin, NE China[J]. *Journal of Stratigraphy*, 19(4): 241~249 (in Chinese).
- Liegeois L P. 1998. Preface-Some words on the post-collisional magmatism[J]. *Lithos*, 45: xv-xvii.
- Ludwig K R. 2000. Isoplot/Ex version 2.4A geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochron Centre Specpubl., 1~56.
- Ma Xinghua and Yang Zhenyu. 1993. The collision and suturing of the three major blocks in China and the reconstruction of the Pale-Eurasia continent[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 36(4): 476~481 (in Chinese).
- McDonough W F and Sun S S. 1995. The composition of the Earth[J]. *Chem. Geol.*, 120: 223~253.
- Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rock[J]. *Episodes*, 19(4): 120~125.
- Peccerillo A and Taylor S R. 1996. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. *Contrib. Miner and Petrol.*, 58: 63~81.
- Pitcher W S. 1993. The Nature and Origin of Granite[M]. London: Chapman and Hall, 193~291.
- Ren Shoumai and Huang Baochun. 2002. Preliminary study on post-late Paleozoic Kinematics of the main blocks of the Paleo-Asian Ocean[J]. *Progress in Geophysics*, 17(1): 113~120 (in Chinese).
- Robison P T, Zhou Meifu, Hu Xufeng, *et al.* 1999. Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan Ophiolite, Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17: 423~442.
- Rottra A, Barogossi G M, Caggianelli A, *et al.* 1998. Origin and significance of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern southern Alps, Italy[J]. *Lithos*, 45: 329~348.
- Rubatto D and Gebauer D. 2000. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by IOM Microprobe: Some examples from the western Alps[A]. *Cathodoluminescence in Geoscience*[C]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, German, 373~400.
- Shao Ji'an. 1991. Crustal Evolution in the Middle Part of the Northern Margin of the Sino-Korean Plate[M]. Beijing: Peking University Press, 0~136 (in Chinese).
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin *et al.* 2004. The age and regional tectonic significance of A-type granite in Xilinhot, Inner Mongolia[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(4): 384~389 (in Chinese).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, *et al.* 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 48(1): 26~30 (in Chinese).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in Oceanic Basins* [C]. Geological Society Special Publication, 42: 313~345.
- Tang Kedong and Zhang Yunping. 1991. Tectonic evolution of the Inner Mongolia suture[A]. Xiao Xuchang and Tang Yaoqing. *Tectonic Evolution of the Southern Margin of the Paleo-Asian Composite Megsuture*[C]. Beijing: Scientific and Technical Publishing House, 30~54 (in Chinese).
- Tang Kedong. 1990. Tectonic development of the Paleozoic foldbelts on the northern margin of the Sino-Korean craton[J]. *Tectonics*, 9: 249~260.
- Tong Ying, Hong Dawei, Wangtao, *et al.* 2010. Spatial and temporal distribution of granitoids in the middle segment of the Sino-Mongolian border and its tectonic and metallogenic implications[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(3): 395~412 (in Chinese).
- Wang Chao, Liu Liang, Luo Jinhai, *et al.* 2007. Late Paleozoic post-collisional magmatism in the Southwestern Tianshan orogenic belt, take the Baleigong pluton in the Kokshal region as an example[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1830~1840 (in Chinese).
- Wang Chuansheng, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, *et al.* 2009. Petrogenesis and geological implications of the Permian high-K calc-alkaline granites in Harlik Mountains of eastern Tianshan, NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1499~1511 (in Chinese).
- Wang Quan, Liu Xueya and Li Jinyi. 1991a. Palaeo plate tectonics in Inner Mongolia China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 22: 1~15 (in Chinese).
- Wang Quan, Liu Xueya and Li Jinyi. 1991b. Plate tectonic between Cathaysia and Angara[M]. Beijing: Peking University Press, 1~15 (in Chinese).
- Wang Yujing and Fan Zhiyong. 1997. Discovery of Permian Radiolarians in ophiolite belt on northern side of Xar Moron River, Nei Monggol and its geological significance[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 36(1): 58~69 (in Chinese).
- Whale J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 407~419.
- Wright J B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to non-orogenic granite genesis[J]. *Geol. Mag.*, 106: 370~384.
- Wu Zhenhan. 2000. Three different types of Phanerozoic orogenesis of northern border area of north China craton[J]. *Journal of Geomechanics*, 6(1): 44~51.
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing and Li Jinyi. 1991. On tectonic evolution of the southern margin of the Paleasian composite megasuture zone [A]. Xiao Xuchang and Tang Yaoqing. *Tectonic evolution of the southern margin of the Paleo-Asian composite megsuture*[C]. Beijing: Scientific and Technical Publishing House, 1~29 (in Chinese).
- Xin Houtian, Teng Xuejian and Cheng Yinhang. 2011. Stratigraphic subdivision and isotope geochronology study on the Baoligaomiao formation in the East Ujimqin County, Inner Mongolia[J]. *Geological Survey and Research*, 34(1): 1~9 (in Chinese).
- Xu Bei and Chen Bin. 1997. The structure and evolution of a Middle Paleozoic orogenic belt between the North China and Siberian Blocks, northern Inner Mongolia, China[J]. *Science in China (Series D)*, 27(3): 227~232 (in Chinese).

- Xu Keqin, Zhu Jinchu, Liu Changshi, *et al.* 1989. Genetic series and material sources of granitoids in south China [J]. *Journal of Nanjing University (natural Sciences)* 3: 1~18 (in Chinese).
- Zhang Yuqing, Xu Liqun, Kang Xiaolong, *et al.* 2009. Age dating of alkali granite in Jingsitai area of Dongujimqin Banner, Inner Mongolia, and its significance [J]. *Geology in China*, 36(5): 988~992 (in Chinese).
- Zhong Huaming, Tong Jinsong, Lu Rukui, *et al.* 2007. Geochemical features and tectonic setting of Yanshanian high-K calc-alkaline granite in the Songxi-Shenglishan area, northern Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 26(6): 730~738 (in Chinese).
- Zhou Zhiguang, Gu Yongchang, Liu Changfeng *et al.* Discovery of Early-Middle Permian Cathaysian flora in Manduhubalage area, Dongujimqin Qi, Inner Mongolia, China and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 21~25 (in Chinese).

附中文参考文献

- 郭伟, 林英铄, 刘广虎. 2003. 内蒙古西乌旗地区早二叠世皱褶珊瑚化石组合及其地质意义 [J]. *吉林大学学报(地球学版)*, 33(4): 399~405.
- 韩宝福, 张臣, 赵磊, 等. 2010. 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的初步研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 741~749.
- 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义 [J]. *地质学报*, 68(3): 219~230.
- 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 等. 2000. 兴安造山带正 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长 [J]. *地学前缘*, 7(2): 441~456.
- 胡朋, 聂凤军, 赫英, 等. 2006. 内蒙古沙麦岩体: 正 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值的过铝质花岗岩 [J]. *岩石学报*, 22(11): 781~790.
- 金岩, 刘玉堂, 谢玉玲, 等. 2005. 内蒙古东乌旗地区岩浆活动与多金属成矿的关系 [J]. *华南地质与矿产*, (1): 8~12.
- 康健丽, 张招崇, 董书云, 等. 2010. 西南天山马达尔地区硅质岩地球化学特征及其沉积环境 [J]. *岩石矿物学杂志*, 29(1): 79~89.
- 李大鹏, 陈岳龙, 王忠, 等. 2010. 内蒙古不同时代花岗岩类 Nd-Pb 同位素特征及其地质意义 [J]. *现代地质*, 5(5): 821~831.
- 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束 [J]. *岩石学报*, 23(3): 565~582.
- 李锦轶, 张进, 杨天南, 等. 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 39(4): 584~605.
- 李朋武, 高锐, 管焯, 等. 2006. 内蒙古中部索伦林西缝合带封闭时代的古地磁分析 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 36(5): 744~758.
- 李述靖, 白铁. 1998. 蒙古弧地质构造特征及形成演化概论 [M]. 地质出版社, 0~145.
- 李双林, 欧阳自远. 1998. 兴安造山带及邻区的构造格局与构造演化 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 18(3): 45~54.
- 廖卫华, 戎嘉余, 胡兆珣, 等. 1995. 吉林中部志留-泥盆纪生物地层、群落生态及生物古地理 [J]. *地层学杂志*, 19(4): 241~249.
- 马醒华, 杨振宇. 1993. 中国三大地块的碰撞拼合与欧亚大陆的重建 [J]. *地球物理学报*, 36(4): 476~481.
- 任收麦, 黄宝春. 2002. 晚古生代以来古亚洲洋构造域主要块体运动学特征初探 [J]. *地球物理学进展*, 17(1): 113~120.
- 邵济安. 1991. 中朝板块北缘中段地壳演化 [M]. 北京: 北京大学出版社, 0~136.
- 施光海, 苗来成, 张福勤, 等. 2004. 内蒙古锡林浩特 A 型花岗岩的时代及区域构造意义 [J]. *科学通报*, 49(4): 384~389.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. *地质论评*, 48(增刊): 26~30.
- 唐克东, 张允平. 1991. 内蒙古缝合带的构造演化 [A]. 肖序常, 汤耀庆. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化 [C]. 北京: 北京科学技术出版社, 30~54.
- 童英, 洪大卫, 王涛, 等. 2010. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义 [J]. *地球学报*, 31(3): 395~412.
- 汪传胜, 顾连兴, 张尊中, 等. 2009. 东天山哈尔里克山区二叠纪高钾钙碱性花岗岩成因及地质意义 [J]. *岩石学报*, 25(6): 1499~1511.
- 王超, 刘良, 罗金海, 等. 2007. 西南天山晚古生代后碰撞岩浆作用: 以阔克萨彦岭地区巴雷花岗岩为例 [J]. *岩石学报*, 23(8): 830~840.
- 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 1991a. 中国内蒙古中部的古板块构造 [J]. *地球学报*, 22: 1~15.
- 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 1991b. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1~151.
- 王玉净, 樊志勇. 1997. 内蒙古西拉木伦河北部蛇绿岩带中二叠纪放射虫的发现及其地质意义 [J]. *古生物学报*, 36(1): 58~69.
- 吴珍汉. 2000. 略论华北地块北缘中生宙三类不同的造山作用 [J]. *地质力学学报*, (1): 44~51.
- 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化 [A]. 肖序常, 汤耀庆. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化 [C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1~29.
- 辛后田, 滕学建, 程银行. 2011. 内蒙古东乌旗宝力高庙组地层划分及其同位素年代学研究 [J]. *地质调查与研究*, 34(1): 1~9.
- 徐备, 陈斌. 1997. 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和演化 [J]. *中国科学(D辑)*, 27(3): 227~232.
- 徐克勤, 朱金初, 刘昌实, 等. 1989. 华南花岗岩类的成因系列和物质来源 [J]. *南京大学学报(地球科学版)*, 3: 1~18.
- 张玉清, 许立权, 康小龙, 等. 2009. 内蒙古东乌珠穆沁旗斯台碱性花岗岩年龄及意义 [J]. *中国地质*, 36(9): 988~995.
- 钟华明, 童劲松, 鲁如魁, 等. 2007. 西藏日土北部松西-胜利山一带燕山期高钾钙碱性花岗岩的地球化学特征及构造环境 [J]. *地质通报*, 26(6): 730~738.
- 周志广, 谷昌昌, 柳长峰, 等. 2010. 内蒙古东乌珠穆沁旗满都胡宝拉格地区早-中二叠世华夏植物群的发现及地质意义 [J]. *地质通报*, 29(1): 21~25.