

· 专题研究 ·

内蒙古二连浩特东北部花岗岩的年代学、地球化学特征及构造意义

孔令杰¹, 韩宝福¹, 郑波¹, 冯丽霞¹, 王增振¹, 苏犁²

(1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 中国地质大学 地质实验中心, 北京 100083)

摘要: 在靠近中蒙边界的内蒙古二连浩特市东北部, 出露一系列花岗岩岩体。本文对其中的赛音乌苏、雅果敖包、干次呼都格和哈拉图庙等4个岩体进行了锆石 U-Pb 定年、全岩主微量元素和 Sr-Nd 同位素分析。哈拉图庙正长花岗岩体侵入于中泥盆统, 具有 A 型花岗岩的特征, 其 A/CNK 值在 0.98~1.04 之间, 显示铝质到弱过铝质特征, LA-ICP-MS 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 317.5 ± 2.8 Ma, 相当于晚石炭世。赛音乌苏、雅果敖包和干次呼都格岩体均侵入于石炭系中, 它们的年龄集中在 270.1 ± 2.7 Ma 到 273.8 ± 1.6 Ma 之间, 相当于早二叠世。其中赛音乌苏岩体岩性变化较大, 包括黑云二长花岗岩、花岗闪长岩和正长花岗岩, 干次呼都格岩体为黑云二长花岗岩, 它们具有 I-A 型过渡的花岗岩地球化学特征。这些花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值介于 +3.2~+5.8 之间, I_{Sr} 值在 0.703 58~0.709 92 之间。Sr-Nd 同位素特征表明这些花岗质岩石属于新生地壳物质, 指示了地壳的生长。结合区域地质资料, 研究区在晚石炭世到早二叠世之间很可能处于伸展的构造背景。

关键词: A 型花岗岩; 锆石 U-Pb 定年; 地球化学特征; 伸展构造背景; 二连东北部

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)04-0433-25

Geochronology, geochemistry and tectonic significances of the granites to the northeast of Erenhot, Inner Mongolia

KONG Ling-jie¹, HAN Bao-fu¹, ZHENG Bo¹, FENG Li-xia¹, WANG Zeng-zhen¹ and SU Li²

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education/School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Geological Lab Center, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A series of granites crop out to the northeast of Erenhot City, near the China-Mongolian border. Zircon U-Pb dating and whole-rock elemental and Sr-Nd isotopic analysis were performed for four granitic plutons. The Halatumiao syenogranite intruded into the Middle-Devonian strata, showing geochemical features of aluminous to weakly peraluminous A-type granite, with A/CNK of 0.98~1.04, and its LA-ICP-MS zircon U-Pb age is 317.5 ± 2.8 Ma (the Late Carboniferous). The Saiyinwusu, Yaguoobao, and Gancihuduge plutons intruded into the Carboniferous strata, and their LA-ICP-MS zircon U-Pb ages range from 270.1 ± 2.7 Ma to 273.8 ± 1.6 Ma (the Early Permian). The Saiyinwusu pluton consists of biotite monzogranites, granodiorite, and syenogranite, while the Gancihuduge pluton is biotite monzogranites, and both plutons show transitional charac-

收稿日期: 2016-11-21; 接受日期: 2017-04-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB429806)

作者简介: 孔令杰(1992-), 男, 在读硕士生, 构造地质学专业, E-mail: ljkong92@163.com; 通讯作者: 韩宝福(1960-), 男, 博士, 教授, 从事构造地质学研究, E-mail: bfhan@pku.edu.cn.

teristics of I- and A-type granites. All the four granitic plutons are characterized by positive $\epsilon\text{Nd}(t)$ values ranging from +3.2 to +5.8 and variable I_{Sr} values from 0.703 58 to 0.709 92. Sr-Nd isotopic characteristics show that these granites are juvenile and thus are indicative of crustal growth. Combined with regional data, the study area probably have been subjected to an extensional setting during the Late Carboniferous to the Early Permian.

Key words: A-type granites; zircon U-Pb dating; geochemical features; extensional setting; Northeast Erenhot

Fund support: Ministry of Science and Technology of China(2013CB429806)

中亚造山带是世界上最大的显生宙增生造山带,它位于西伯利亚、欧洲、塔里木和华北克拉通之间(图 1a),经历了从新元古代到中生代的与古亚洲洋演化相关的复杂的增生-碰撞过程(şengör *et al.*, 1993; Jahn *et al.*, 2000a, 2000b; Windley *et al.*, 2007)。在中亚造山带东南段的兴蒙造山带中,索伦缝合带一般被认为是西伯利亚克拉通和华北克拉通的最终拼合位置,它从索伦向东可能经红格尔延伸至贺根山地区(Tang, 1990; şengör *et al.*, 1993; Chen *et al.*, 2000)或者西拉木伦一带(Li, 2006; Jian *et al.*, 2008),也可能经苏尼特右旗和林西延伸到中国东北(Xiao *et al.*, 2003)。而且,兴蒙造山带经历了非常复杂的构造演化过程,古亚洲洋在一个较长的时间内(542~250 Ma)同时向南和向北分别俯冲到华北克拉通和西伯利亚克拉通之下(Tang, 1990; şengör *et al.*, 1993; Hong *et al.*, 1995; Xiao *et al.*, 2003; Eizenhöfer *et al.*, 2015),并可能经历了有明显间断(416~299 Ma; ca. 120 Ma)的两阶段俯冲增生过程(Jian *et al.*, 2008, 2010)。

晚石炭世-二叠纪是兴蒙造山带构造演化的重要时期,在广泛发育 A 型花岗岩(Hong *et al.*, 1995; Wu *et al.*, 2002; 施光海等, 2004; 韩宝福等, 2010; 周文孝, 2012; 李可等, 2015; Fu *et al.*, 2016; Tong *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015a)和双峰式火山岩组合(Zhang *et al.*, 2008; 汤文豪等, 2011; 陈彦等, 2014)的同时,还存在着钙碱性弧岩浆岩(如白音宝力道弧岩浆岩、西乌旗金星岩体等; Chen *et al.*, 2009; 刘建峰, 2009)和年轻洋壳岩石组合的证据(如索伦山蛇绿岩、贺根山蛇绿岩、柯单山蛇绿岩、二连蛇绿岩、重根山-小白梁-乌苏泥河蛇绿岩; Jian *et al.*, 2007; Miao *et al.*, 2008; Jian *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015; Luo *et al.*, 2016)。这就导致了对于这个时期构造背景的不同认识: 仍然存在大洋俯冲(Chen *et al.*, 2000; Miao *et al.*, 2008; 刘建峰, 2009; Jian *et al.*, 2010)、处于大洋闭合后的陆内伸展背景(鲍庆中等, 2007a, 2007b;

薛怀民等, 2010; 汤文豪等, 2011; 邵济安等, 2014; 李可等, 2015; Zhang *et al.*, 2015a; Tong *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2016),甚至可能出现了红海型裂谷(Zhang *et al.*, 2015c; Luo *et al.*, 2016)。

本文将通过对二连浩特市东北部 4 个花岗岩体的年代学、主微量元素和 Sr-Nd 同位素特征的研究,进一步探讨兴蒙造山带北部在晚石炭世-早二叠世的大地构造背景。

1 地质背景

兴蒙造山带处于中亚造山带的东南段,其中部的索伦缝合带一般被认为是古亚洲洋最终闭合的标志(Xiao *et al.*, 2003),其南侧为南部造山带,北侧为北部造山带(图 1b)。南部造山带南侧以赤峰-白云鄂博断裂为界与华北克拉通隔开,北侧以西拉木伦断裂为界与索伦缝合带隔开(Shao, 1989; Tang and Yan, 2007)。南部造山带包含了温都尔庙俯冲增生杂岩和白乃庙岛弧链(胡晓等, 1990; Xiao *et al.*, 2003)。北部造山带南侧以林西断裂为界与索伦缝合带隔开,主要包括锡林浩特变质杂岩带(徐备等, 1996, 2001; 朱永峰等, 2004; 周文孝等, 2013; 孙立新等, 2013)、蓝片岩(383 Ma, 徐备等, 2001)、早石炭世蛇绿岩(343 Ma, Miao *et al.*, 2008)和晚石炭世-早二叠世岩浆岩(洪大卫等, 1994; Chen *et al.*, 2000)。

研究区靠近中蒙边境,在内蒙古二连浩特市东北部,地理位置见图 2,构造上属于北部造山带(图 1c)。研究区内大范围为中生代-新生代沉积所覆盖,出露的晚古生代地层包括中泥盆统东乌旗西山组的凝灰岩、板岩和石英片岩,下石炭统哈拉图庙群的凝灰岩、板岩和石灰岩,中石炭统本巴图组的硬砂岩、安山岩、凝灰岩和石灰岩,上石炭统阿木山组砂岩、硬砂岩、凝灰岩、石灰岩和下二叠统哲斯组的砂岩、砾岩和凝灰岩等。这些地层被晚石炭世和二叠纪花岗岩侵入(图 2)。

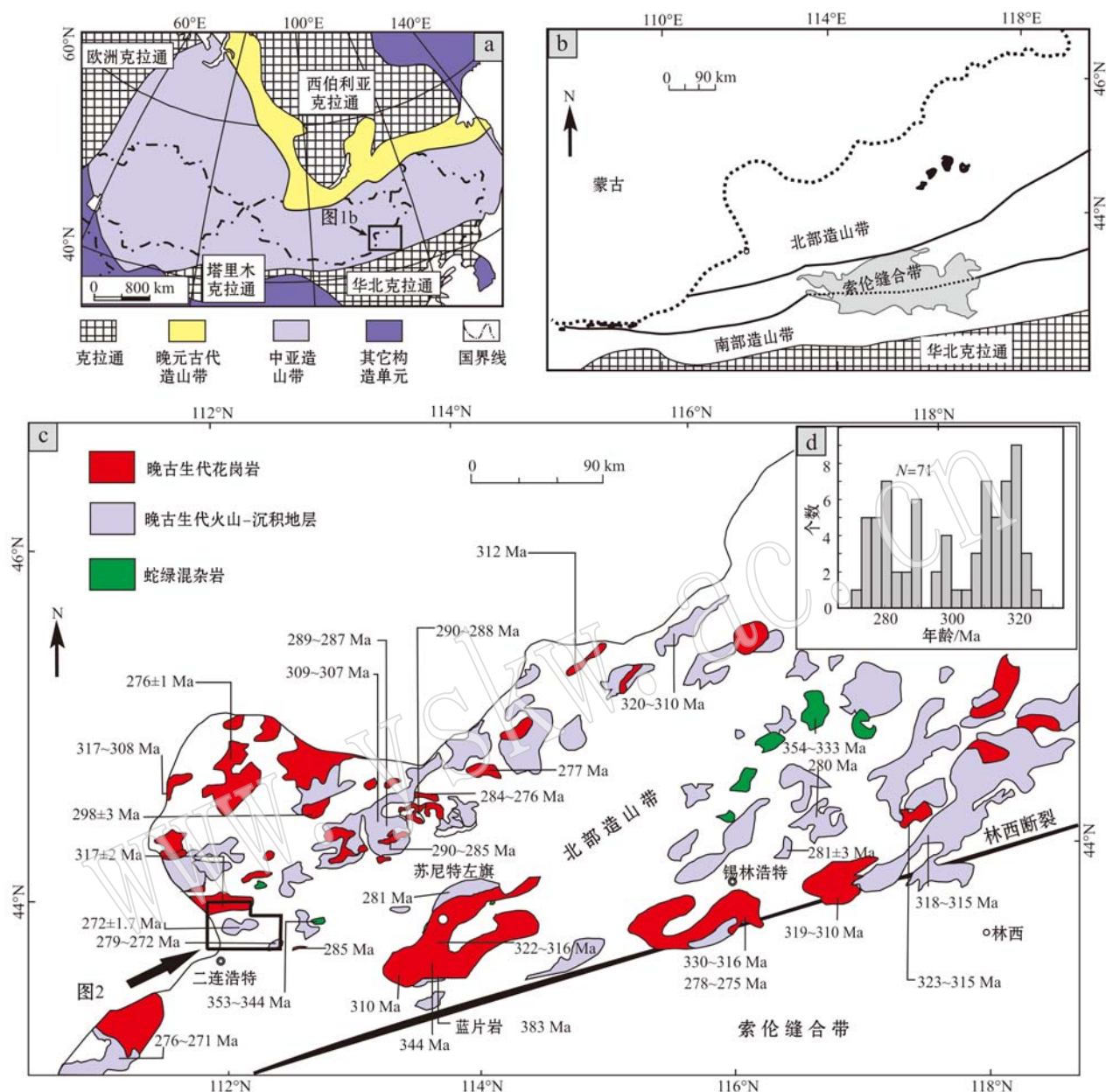


图1 兴蒙造山带的构造简图及其北部造山带中酸性岩浆岩的年龄统计图

Fig. 1 Simplified tectonic map of Inner Mongolia-Da Hinggan Orogenic Belt (IMDOB) and the histogram of ages from intermediate to felsic magmas in Northern Orogen Belt

a—中亚造山带构造简图(据 Han *et al.*, 2010 修改), 图中方框表明了图 1b 的大概位置; b—兴蒙造山带的构造概略图(据 Jian *et al.*, 2008 修改); c—兴蒙造山带北部酸性岩浆岩的分布图(据 Miao *et al.*, 2008; 李可等, 2015 修改), 方框表示图 2 的大概位置; d—兴蒙造山带北部的酸性岩浆岩年龄统计直方图(数据来源与图 1c 中的酸性岩浆岩一致); 数据来源: 洪大卫等, 1994; 高德臻等, 1998; 徐备等, 2001; 陈斌等, 2001; Shi *et al.*, 2003; 施光海等, 2004; 鲍庆中等, 2007a, 2007b; Zhang *et al.*, 2008, 2011, 2015a; Chen *et al.*, 2009; 聂凤军等, 2009; 薛怀民等, 2010; 云飞等, 2011; 辛后田等, 2011; 程银行等, 2012; 刘翼飞等, 2012; 许立权等, 2012; Jian *et al.*, 2012; 周文孝等, 2012; 梁玉伟等, 2013; Liu *et al.*, 2013; 李可等, 2014; Hu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015a, 2015b; Tong *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2016; Han 未发表数据

a—simplified tectonic map of the Central-Asian Orogenic Belt (modified after Han *et al.*, 2010) with the approximate location of Fig. 1b shown with a box; b—geological sketch map of IMDOB (modified after Jian *et al.*, 2008); c—the distribution of intermediate to felsic magmas in the Northern Orogen Belt (modified after Miao *et al.*, 2008; Li Ke *et al.*, 2015), with the approximate location of Fig. 2 shown with a box; d—statistical histogram of ages from intermediate to felsic magmas in Northern Orogen Belt (data are consistent with the ages of intermediate to felsic magmas in Fig. 1c); data sources: Hong Dawei *et al.*, 1994; Gao Dezhen *et al.*, 1998; Xu Bei *et al.*, 2001; Chen Bin *et al.*, 2001; Shi *et al.*, 2003; Shi Guanghai *et al.*, 2004; Bao Qingzhong *et al.*, 2007a, 2007b; Zhang *et al.*, 2008, 2011, 2015a; Chen *et al.*, 2009; Nie Fengjun *et al.*, 2009; Xue Huamin *et al.*, 2010; Yun Fei *et al.*, 2011; Xin Houtian *et al.*, 2011; Cheng Yinhang *et al.*, 2012; Liu Yifei *et al.*, 2012; Xu Liquan *et al.*, 2012; Jian *et al.*, 2012; Zhou Wenxiao *et al.*, 2012; Liang Yuwei *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2013; Li Ke *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015a, 2015b; Tong *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2016; Han unpublished

在二连浩特东部,蛇绿混杂岩中斜长花岗岩(图1c)的时代为早石炭世(353 Ma),有可能形成于弧后环境(Zhang *et al.*, 2015b),但是对该地区早二叠世A型花岗岩的大地构造背景却存在不同的解释:如赛音乌苏和宝拉格2个A型花岗岩岩体分别形成于279 Ma和285 Ma,被认为是古亚洲洋闭合后早二叠世后碰撞伸展背景的产物(Tong *et al.*, 2015),而白音乌拉地区3个A型花岗岩岩体时代在290 Ma左右,则被认为是俯冲过程减弱阶段伸展环境下的产物(Zhang *et al.*, 2015a)。目前,二连浩特东北部的

一些花岗岩岩体还没有相关的研究报道。因此,这些花岗岩岩体对晚石炭世—早二叠世大地构造环境的探讨都具有重要意义。

2 样品及岩相学

本文样品采自赛音乌苏、雅果敖包、干次呼都格和哈拉图庙4个岩体(图2)。其中,雅果敖包花岗岩遭受强烈风化,很难获得新鲜样品,因此仅做了锆石U-Pb定年。

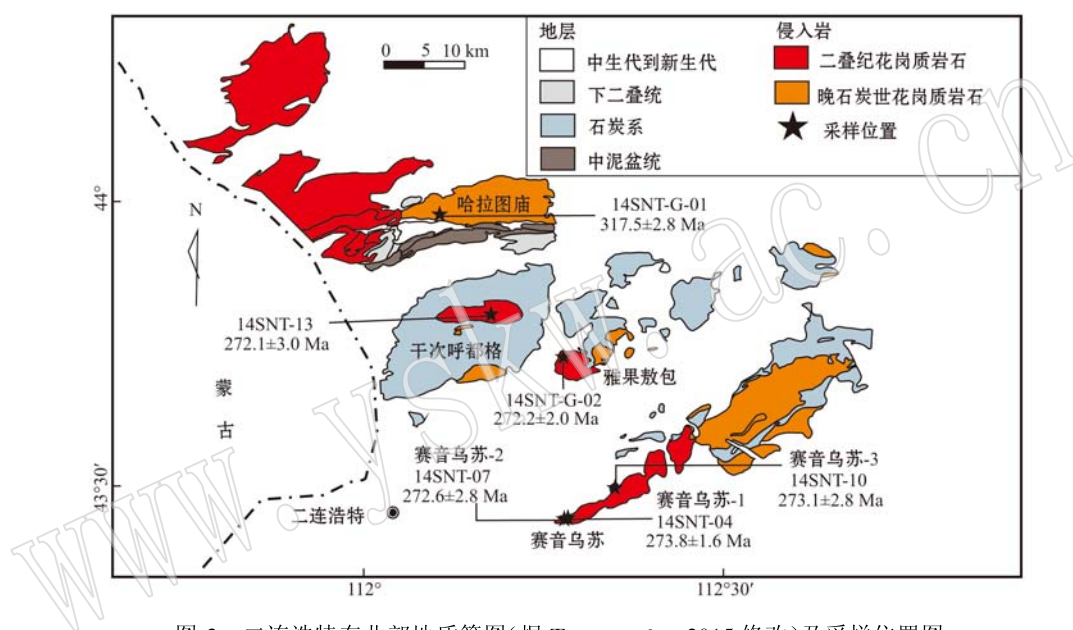


图2 二连浩特东北部地质简图(据 Tong *et al.*, 2015 修改)及采样位置图

Fig. 2 Simplified geological map of northeast Erenhot (after Tong *et al.*, 2015) and sampling locations

赛音乌苏岩体位于二连浩特市东20 km处,出露面积约30 km²,侵入到中石炭统本巴图组地层中。该岩体岩性变化较大:赛音乌苏-1(样品号14SNT-01,02,03,04;点位43°38′06.6″N,112°15′16.0″E)为花岗闪长岩,灰白色,块状构造,细粒不等粒结构,大部分斜长石发生高岭土化。矿物组成为石英(25%~30%)和斜长石(70%~75%)(图3a),次生矿物中含有绿泥石;赛音乌苏-2(样品号14SNT-05,06,07;点位43°38′06.4″N,112°15′16.3″E)为正长花岗岩,浅肉红色,块状构造,粒度约1~2 mm,细粒等粒结构,矿物组合为碱性长石(50%~55%)、石英(25%~30%)和斜长石(10%~15%),暗色矿物局部发生绿泥石化,斜长石局部高岭土化;赛音乌苏-3(样品号14SNT-08,09,10;43°40′16.8″N,112°19′45.4″E)为黑云二长花岗岩,浅灰色,块状构造,似斑状结构,

斑晶为石英和斜长石,基质为黑云母等暗色矿物,岩石强烈变形,镜下可见石英的波状消光和云母鱼等构造,斜长石发生明显的高岭土化。主要矿物组合为石英(30%~35%)、黑云母(5%~10%)、碱性长石(30%~35%)和斜长石(20%~25%),副矿物为锆石、榍石和硫化物(图3b)。

干次呼都格黑云二长花岗岩(样品号14SNT-11,12,13,14;43°51′57.2″N,112°08′34.1″E)侵入到下石炭统哈拉图庙群地层中(图2)。深灰色,块状构造,细粒不等粒结构,局部可见斜长石高岭土化,矿物粒度在0.2~1 mm之间,有微弱的定向。主要矿物为石英(25%~30%)、斜长石(40%~45%)、碱性长石(15%~20%)和黑云母(5%~10%)(图3c),副矿物中含锆石。

哈拉图庙正长花岗岩(样品号14SNT-15,16,

17, 18, 14SNT-G-01; 点位 43°58′30.2″N, 112°03′37.2″E) 出露在干次呼都格岩体北部约 20 km, 侵入到中泥盆统东乌旗西山组地层并被下二叠统哲斯组地层、始新世地层和全新世沉积物覆盖。该岩体新鲜面为肉红色, 块状构造, 中粗粒不等粒结构, 矿物粒

度为 1~10 mm, 主体为 2~6 mm, 斜长石内部主要发生高岭土化, 矿物组合为碱性长石(40%~45%)、石英(30%~35%)和斜长石(20%~25%)组成, 副矿物为硫化物和锆石(图 3d)。

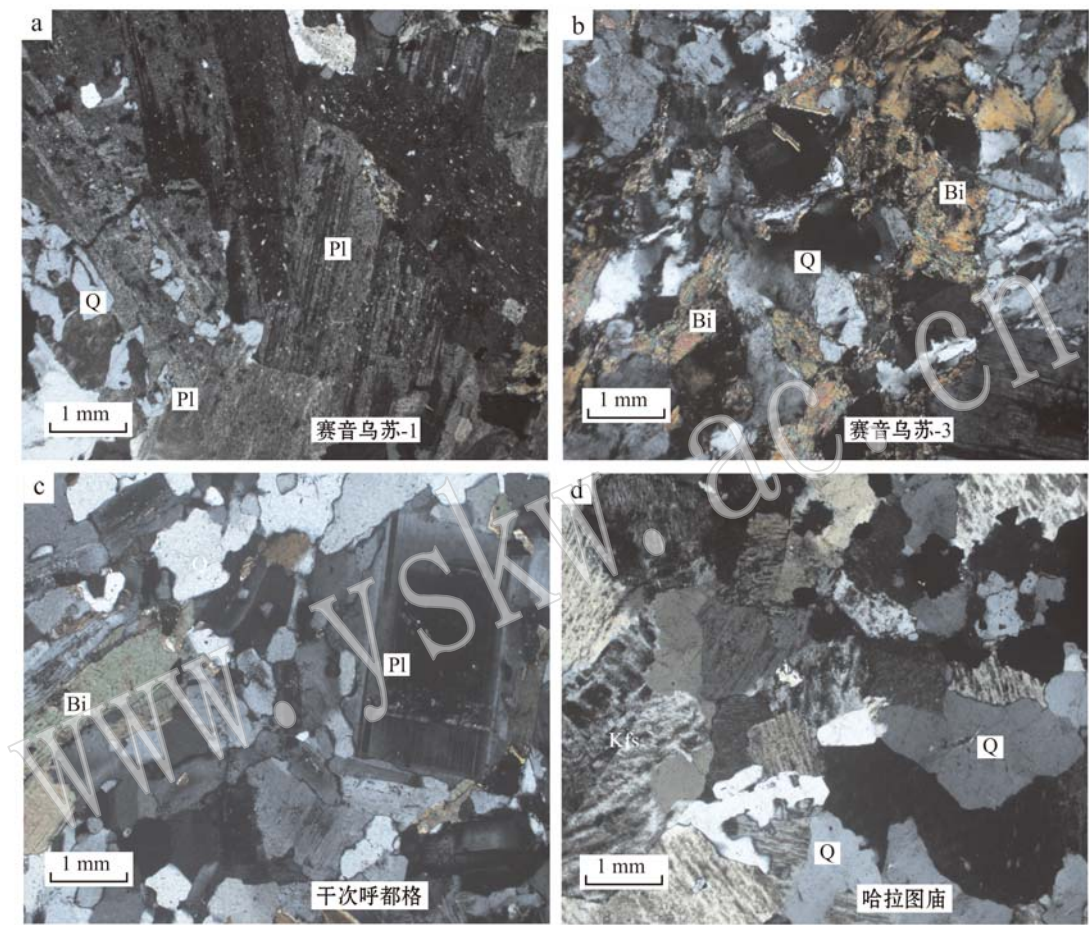


图 3 赛音乌苏、干次呼都格和哈拉图庙岩体样品的显微照片(+)

Fig. 3 Photomicrographs of the rocks from Saiyinwusu, Gancihuduge and Halatimiao plutons(+)

Pl—斜长石; Bi—黑云母; Q—石英; Kfs—碱性长石
Pl—plagioclase; Bi—biotite; Q—quartz; Kfs—alkali feldspar

3 分析方法

3.1 锆石 U-Pb 年代学

采用常规方法分离出锆石颗粒、制成样品靶后, 在北京大学物理学院电镜室的广达 200FEG 扫描电子显微镜下拍摄锆石颗粒的阴极发光图像(图 4)。锆石的 U-Pb 定年测试在中国地质大学(北京)完成。使用的仪器为 193 nm 波长的剥蚀进样系统和 Agilent 7500a 型激光等离子质谱仪(LA-ICP-MS), 激光

束斑直径为 36 μm, 频率是 10 Hz, Ar 等离子体气体流速为 1.13 L/min, RF 功率是 1 350 W。普通铅校正方法见 Anderson(2002), 用 Isoplot 程序(Ludwig, 2003)进行年龄计算和作图, 谐和年龄和加权平均年龄的误差为 2σ, 置信度为 95%, 分析结果见表 1。

3.2 全岩化学成分

全岩化学成分分析在加拿大 Acme 分析实验室完成。主要氧化物的含量由 ICP-MS(等离子发射光谱)法测定, 微量元素由电感耦合等离子体质谱仪分析(更详细的分析程序见 <http://acmelab.com>)。标

表 1 二连浩特东北部花岗岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of the granites to the northeast of Erenhot

测试点	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				年龄/Ma			
	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
赛音乌苏-1(14SNT-04, 273.8 $\pm$ 1.6 Ma)										
1	381.78	656.09	0.325 75	0.008 53	0.043 48	0.000 56	0.013 02	384	36	274
2	273.51	449.90	0.333 67	0.010 51	0.043 38	0.000 57	0.013 91	443	47	274
3	461.59	754.85	0.312 79	0.006 15	0.043 67	0.000 52	0.013 98	283	24	276
4	234.89	420.81	0.307 42	0.007 74	0.043 11	0.000 54	0.014 70	272	35	272
5	230.97	434.44	0.320 76	0.008 07	0.043 28	0.000 54	0.014 18	360	35	273
6	147.72	382.87	0.311 02	0.009 02	0.043 54	0.000 56	0.014 20	277	43	275
7	305.00	482.94	0.339 48	0.007 38	0.043 30	0.000 53	0.013 95	485	27	273
8	296.2	657.19	0.322 88	0.006 73	0.043 55	0.000 53	0.014 52	361	26	275
9	125.44	263.73	0.316 91	0.014 48	0.043 22	0.000 57	0.013 54	336	111	273
10	881.72	1076.19	0.371 39	0.007 64	0.046 00	0.000 56	0.012 81	550	25	290
11	250.31	429.12	0.310 77	0.009 38	0.043 49	0.000 56	0.014 14	277	46	274
12	206.81	386.88	0.309 89	0.007 90	0.043 33	0.000 53	0.025 43	279	36	273
13	314.66	524.28	0.310 39	0.0123 3	0.043 12	0.000 54	0.013 54	294	97	272
14	399.18	644.83	0.312 07	0.006 74	0.043 50	0.000 52	0.013 40	286	28	274
15	265.93	458.26	0.307 76	0.008 86	0.043 51	0.000 55	0.013 42	254	43	275
16	268.38	442.95	0.312 32	0.006 98	0.043 49	0.000 53	0.012 94	288	29	274
17	529.69	777.97	0.309 04	0.009 61	0.043 42	0.000 61	0.012 85	268	46	274
赛音乌苏-2(14SNT-07, 272.6 $\pm$ 2.8 Ma)										
1	249.21	452.97	0.339 52	0.009 03	0.042 43	0.000 54	0.015 66	531	36	268
2	311.23	515.85	0.399 76	0.009 93	0.043 35	0.000 56	0.016 97	834	31	274
3	820.66	800.46	0.270 14	0.080 77	0.037 70	0.000 80	0.011 84	284	534	239
4	534.61	914.08	0.595 88	0.010 82	0.043 29	0.000 52	0.023 00	1 621	17	273
5	346.08	564.12	0.559 14	0.011 16	0.0437 0	0.000 55	0.021 08	1 483	20	276
6	159.74	341.74	0.336 72	0.010 26	0.043 33	0.000 57	0.014 86	466	44	273
7	790.72	1 023.82	0.360 45	0.007 28	0.043 90	0.000 54	0.013 98	587	24	277
8	395.06	621.09	0.308 07	0.007 74	0.043 28	0.000 55	0.014 30	268	35	273
9	278.28	429.14	0.305 89	0.016 33	0.042 60	0.000 58	0.013 38	289	129	269
10	402.40	697.47	0.329 17	0.007 58	0.043 68	0.000 54	0.014 54	398	30	276
11	532.53	793.02	0.303 97	0.013 98	0.042 85	0.000 56	0.013 48	261	112	270
12	341.36	479.51	0.404 44	0.017 38	0.042 87	0.000 59	0.013 04	881	96	271
13	593.85	1 058.18	0.314 70	0.016 02	0.043 48	0.000 57	0.013 64	307	123	274
14	267.90	467.54	0.459 47	0.009 85	0.043 24	0.000 55	0.019 19	1 123	23	273

续表 1-1
Continued Table 1-1

测试点	$w_B/10^{-6}$		同位素比值		年龄/Ma			
	Th	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
寨音乌苏-3(14SNT-10, 273.1 ± 2.8 Ma)								
1	103.62	102.05	0.056 13	0.000 82	0.017 44	344	85	351
2	177.02	349.69	0.042 18	0.000 53	0.012 72	764	30	324
3	47.22	76.96	0.048 92	0.000 81	0.015 85	315	149	309
4	110.83	398.96	0.043 57	0.000 55	0.015 06	253	42	273
5	58.16	139.80	0.043 64	0.000 66	0.013 45	275	83	275
6	85.22	145.01	0.043 36	0.000 65	0.013 63	277	97	274
7	236.37	508.13	0.042 62	0.000 53	0.012 60	846	26	338
8	278.85	462.07	0.039 48	0.000 51	0.012 10	743	89	304
9	94.85	385.90	0.043 16	0.000 56	0.013 53	323	86	278
10	251.37	470.37	0.037 57	0.000 50	0.011 50	768	90	294
11	185.84	490.83	0.040 54	0.000 50	0.013 77	262	42	257
12	87.25	196.36	0.043 20	0.000 61	0.012 09	278	65	273
13	56.40	106.57	0.048 67	0.000 75	0.014 86	280	109	303
14	65.47	161.21	0.040 97	0.000 59	0.013 69	322	86	265
15	152.42	227.81	0.046 00	0.000 61	0.015 37	285	65	289
16	89.08	150.90	0.050 44	0.000 68	0.016 35	317	57	317
17	94.73	376.36	0.042 94	0.000 53	0.014 16	257	37	270
18	247.21	407.20	0.048 40	0.000 60	0.014 44	317	36	306
19	117.59	208.50	0.045 35	0.000 59	0.014 35	308	51	288
20	89.75	125.85	0.045 10	0.000 63	0.014 71	284	61	284
21	79.53	129.45	0.048 93	0.000 68	0.016 13	328	69	310
22	379.23	612.90	0.048 30	0.000 59	0.013 87	325	27	306
干次呼都格(14SNT-13, 270.1 ± 2.7 Ma)								
1	177.31	349.62	0.039 63	0.000 55	0.012 36	422	123	268
2	291.93	570.15	0.041 54	0.000 52	0.013 03	315	99	268
3	244.25	367.27	0.041 02	0.000 58	0.012 52	827	123	325
4	321.84	547.22	0.041 53	0.000 54	0.012 81	624	91	302
5	392.83	656.28	0.043 01	0.000 56	0.013 29	594	97	308
6	131.35	298.61	0.040 03	0.000 55	0.012 63	285	62	256
7	75.91	163.55	0.037 05	0.000 57	0.011 47	554	185	266
8	286.71	380.97	0.043 35	0.000 56	0.015 30	642	32	316

续表 1-2
Continued Table 1-2

测试点	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				年龄/Ma						
	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
9	245.34	860.97	0.329 12	0.009 82	0.043 30	0.000 53	0.013 51	417	74	289	8	273	3
10	192.12	483.09	0.309 03	0.008 30	0.043 28	0.000 55	0.012 86	276	38	273	6	273	3
11	422.66	790.59	0.409 32	0.020 47	0.041 20	0.000 56	0.012 46	987	108	348	15	260	3
12	72.41	152.37	0.305 45	0.018 94	0.042 78	0.000 69	0.015 50	276	113	271	15	270	4
13	79.15	294.72	0.314 09	0.010 04	0.043 30	0.000 59	0.013 78	312	48	277	8	273	4
14	323.71	1073.33	0.328 66	0.009 83	0.043 01	0.000 53	0.013 41	429	74	289	8	271	3
15	374.49	800.76	0.346 61	0.013 60	0.042 21	0.000 54	0.013 05	587	92	302	10	267	3
16	391.51	644.46	0.386 99	0.008 61	0.043 45	0.000 55	0.012 82	761	26	332	6	274	3
哈拉图庙(14SNT-G-01, 317.5 $\pm$ 2.8 Ma)													
1	309.93	609.58	0.369 62	0.006 52	0.050 95	0.000 61	0.014 84	312	20	319	5	320	4
2	575.49	566.66	0.702 99	0.032 68	0.050 27	0.000 72	0.014 66	1 650	92	541	19	316	4
3	279.36	565.60	0.373 83	0.006 87	0.051 57	0.000 62	0.015 58	310	21	322	5	324	4
4	504.93	944.13	0.650 71	0.010 19	0.051 11	0.000 60	0.025 99	1 474	14	509	6	321	4
5	170.11	384.71	0.368 59	0.015 30	0.048 73	0.000 63	0.015 21	407	100	319	11	307	4
6	324.17	650.89	0.383 02	0.012 78	0.049 80	0.000 62	0.015 51	444	81	329	9	313	4
7	357.58	643.52	0.630 78	0.010 36	0.054 12	0.000 65	0.024 62	1 305	15	497	6	340	4
8	261.60	536.29	0.353 69	0.006 98	0.049 03	0.000 60	0.015 78	299	24	307	5	309	4
9	427.09	759.44	0.359 26	0.007 28	0.049 18	0.000 60	0.015 10	328	25	312	5	309	4
10	336.26	631.17	0.374 02	0.007 64	0.051 00	0.000 62	0.014 96	336	25	323	6	321	4
11	131.71	349.22	0.369 73	0.009 05	0.050 78	0.000 63	0.016 65	320	33	319	7	319	4
12	515.64	821.60	0.373 06	0.006 70	0.051 47	0.000 62	0.014 73	310	21	322	5	324	4
13	245.19	495.69	0.360 83	0.007 26	0.051 41	0.000 62	0.014 94	236	25	313	5	323	4
14	364.00	669.94	0.368 75	0.006 75	0.050 60	0.000 61	0.014 81	322	21	319	5	318	4
15	265.22	495.44	0.373 09	0.007 21	0.051 12	0.000 62	0.014 55	325	23	322	5	321	4
16	588.12	910.89	0.376 19	0.006 43	0.051 19	0.000 61	0.014 65	341	19	324	5	322	4
雅果敖包(14SNT-G-02, 271.8 $\pm$ 1.4 Ma)													
1	103.08	388.59	0.321 83	0.007 00	0.044 51	0.000 56	0.014 00	304	27	283	5	281	3
2	67.93	139.09	0.307 50	0.012 51	0.043 02	0.000 59	0.014 34	277	68	272	10	272	4
3	57.71	300.58	0.315 86	0.008 12	0.044 44	0.000 58	0.014 23	265	35	279	6	280	4
4	87.16	312.45	0.306 25	0.007 41	0.043 03	0.000 56	0.013 92	268	32	271	6	272	3
5	58.79	285.61	0.310 57	0.010 13	0.042 74	0.000 55	0.013 40	316	82	275	8	270	3

续表 1-3
Continued Table 1-3

测试点	$w_B/10^{-6}$		同位素比值			年龄/Ma							
	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
6	90.92	332.32	0.308 19	0.008 40	0.042 97	0.000 56	0.013 91	286	39	273	7	271	3
7	59.26	238.39	0.304 04	0.009 15	0.042 85	0.000 59	0.014 75	261	44	270	7	270	4
8	66.78	311.58	0.304 19	0.009 72	0.042 87	0.000 58	0.014 29	261	49	270	8	271	4
9	201.35	359.49	0.296 05	0.007 51	0.041 64	0.000 54	0.013 77	265	35	263	6	263	3
10	120.26	214.59	0.302 63	0.009 44	0.042 70	0.000 58	0.012 96	258	47	268	7	270	4
11	180.60	264.12	0.311 72	0.010 35	0.043 51	0.000 59	0.013 78	283	51	276	8	275	4
12	76.73	262.59	0.304 31	0.009 40	0.042 65	0.000 57	0.014 13	274	46	270	7	269	4
13	89.87	325.18	0.316 05	0.009 07	0.042 86	0.000 56	0.014 09	349	41	279	7	271	3
14	67.91	195.88	0.378 93	0.010 85	0.042 96	0.000 60	0.018 40	740	37	326	8	271	4
15	101.99	227.80	0.306 15	0.008 82	0.043 01	0.000 59	0.013 57	268	41	271	7	271	4
16	73.70	329.89	0.306 88	0.007 63	0.043 10	0.000 55	0.014 15	269	34	272	6	272	3
17	90.59	296.20	0.306 82	0.008 43	0.042 99	0.000 56	0.014 04	274	39	272	7	271	3
18	71.77	319.97	0.301 48	0.008 82	0.042 42	0.000 57	0.013 12	265	43	268	7	268	4
19	87.22	341.31	0.315 65	0.009 64	0.042 06	0.000 56	0.014 86	388	45	279	7	266	3
20	59.75	333.79	0.304 80	0.007 63	0.042 78	0.000 56	0.013 88	270	34	270	6	270	3
21	134.67	322.21	0.318 58	0.009 29	0.044 75	0.000 60	0.014 52	268	42	281	7	282	4
22	80.00	280.90	0.305 21	0.009 45	0.042 92	0.000 57	0.014 76	266	47	270	7	271	4
23	68.51	108.96	0.327 44	0.018 19	0.045 60	0.000 70	0.016 29	288	99	288	14	287	4
24	135.58	350.97	0.306 41	0.007 68	0.042 87	0.000 56	0.013 42	278	34	271	6	271	3
25	89.46	109.68	0.360 54	0.018 70	0.049 73	0.000 74	0.015 64	310	91	313	14	313	5
26	85.35	307.78	0.305 88	0.007 93	0.042 85	0.000 57	0.012 82	274	35	271	6	270	4
27	102.84	329.58	0.304 71	0.007 45	0.042 85	0.000 55	0.013 48	266	33	270	6	270	3

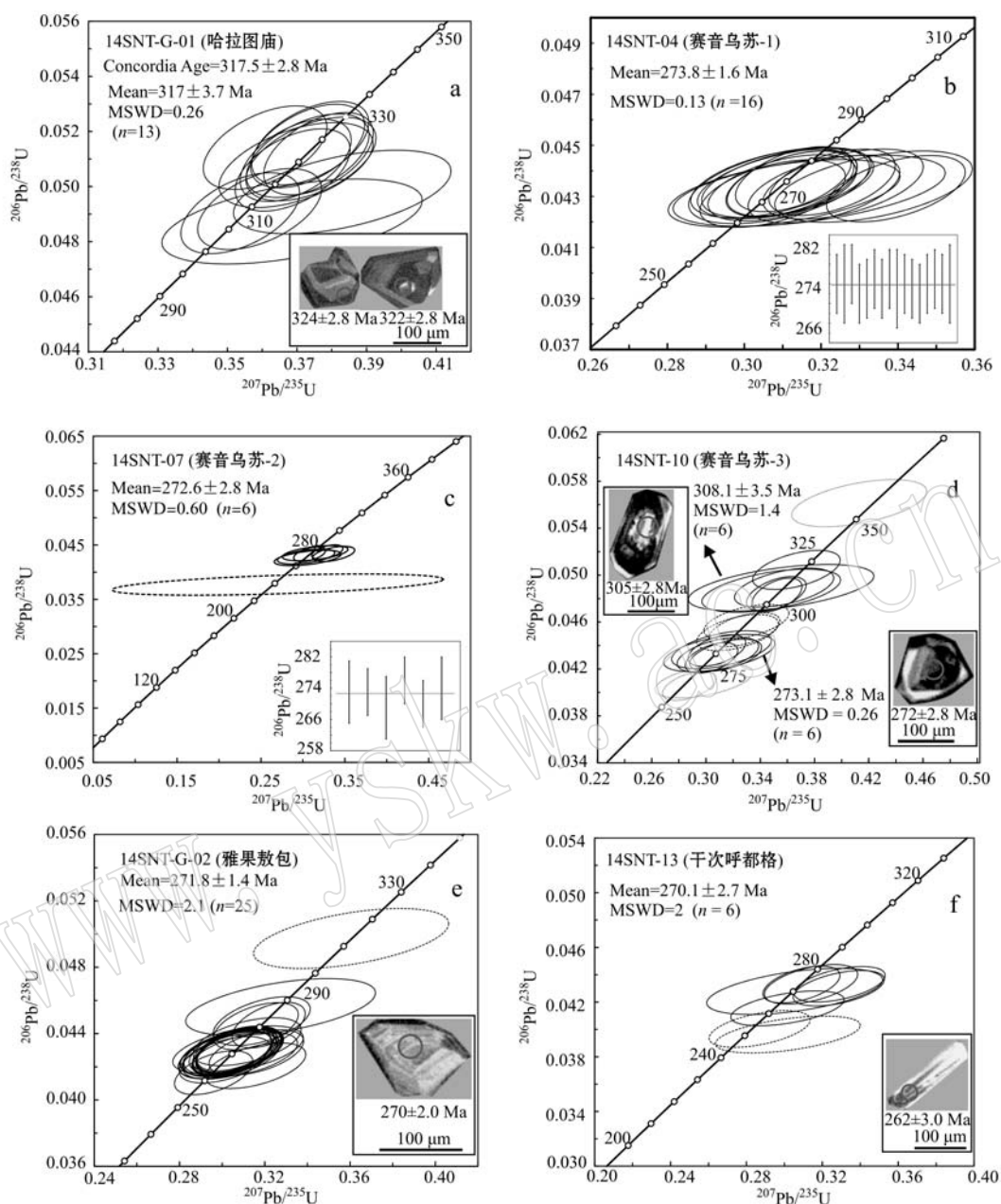


图 4 二连浩特东北部花岗岩的锆石 U-Pb 年龄谐和图及阴极发光图像

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams and representative CL images for zircons of granites to the northeast of Erenhot

准岩石样品为 SO-18、DS8 和 OREAS45CA, 大多数微量元素的相对标准误差小于 10%, V、Cr、Co、Ni、Th、U 等元素的分析误差小于 20%。分析结果见表 2。

3.3 Sr-Nd 同位素组成

在 Savillex 溶样瓶中将全岩样品和 $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ 混合, 放在加热板上充分溶解后, 通过二次离子交换柱分离、提纯 Sr 和 Nd。Sr、Nd 同位素分析在天津地

质调查局地质与矿产资源研究所的同位素实验室的 TRITON 热电离质谱仪(TIMS)上进行, 分析流程与 Li 等(2012)描述的相似。Sr、Nd 同位素的质量分馏通过标准化到 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 和 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 进行校正。标样 NBS987 的 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 测量值为 0.710220 ± 0.000015 (2σ , $n = 6$), 标样 LRIG 的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 测量值为 0.512199 ± 0.000009 (2σ , $n = 8$)。分析结果见表 3。

表 2 二连浩特东北部花岗岩体的主量($w_B/\%$)、微量($w_B/10^{-6}$)元素含量
Table 2 Chemical compositions of the granites to the northeast of Erenhot

岩体名称 样品编号	赛音乌苏-1				赛音乌苏-2				赛音乌苏-3				干次呼都格				哈拉图庙			
	14SNT-01	14SNT-02	14SNT-03	14SNT-05	14SNT-06	14SNT-08	14SNT-09	14SNT-11	14SNT-12	14SNT-14	14SNT-15	14SNT-16	14SNT-17	14SNT-18						
SiO ₂	72.09	70.51	72.62	73.90	74.27	69.46	69.21	73.28	73.41	74.06	76.55	77.33	76.08	76.62						
TiO ₂	0.25	0.29	0.20	0.17	0.17	0.58	0.60	0.24	0.25	0.21	0.06	0.07	0.08	0.09						
Al ₂ O ₃	14.23	14.25	13.65	13.17	13.18	14.42	14.57	14.55	14.24	14.00	12.32	11.47	12.24	12.10						
Fe ₂ O ₃	2.07	2.36	1.83	1.57	1.55	3.32	3.51	1.92	1.90	1.57	1.22	1.99	1.87	1.41						
MnO	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	<0.01	0.02	0.01	0.01						
MgO	0.39	0.42	0.23	0.19	0.20	1.15	1.20	0.55	0.55	0.42	0.03	0.02	0.03	0.04						
CaO	0.57	0.93	0.97	0.50	0.59	1.61	1.62	2.42	2.30	1.82	0.10	0.09	0.08	0.22						
Na ₂ O	4.22	4.31	4.23	3.99	3.93	3.07	3.07	4.72	4.55	4.08	3.97	3.71	4.01	4.19						
K ₂ O	4.65	4.75	4.81	5.01	4.96	5.07	4.86	1.46	1.75	3.19	4.84	4.42	4.77	4.60						
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.16	0.16	0.06	0.07	0.05	0.03	<0.01	0.02	<0.01						
LOI	1.30	1.90	1.20	1.30	0.90	0.90	1.00	0.60	0.80	0.40	0.70	0.80	0.80	0.60						
Total	99.80	99.80	99.82	99.84	99.84	99.82	99.81	99.87	99.87	99.87	99.85	99.91	99.94	99.88						
La	24.60	27.10	30.00	28.80	31.10	21.30	23.50	16.80	17.00	14.10	26.10	51.30	14.50	57.50						
Ce	55.70	59.00	70.10	65.10	68.70	47.90	54.60	32.80	32.9	29.3	75.60	117.00	52.50	101.50						
Pr	6.58	7.06	8.35	8.35	8.22	6.57	7.10	4.12	3.83	3.37	8.50	13.60	3.91	14.01						
Nd	26.70	28.30	30.40	33.60	31.00	26.70	29.60	15.20	14.8	11.70	33.8	55.00	14.50	55.40						
Sm	5.96	6.03	6.46	6.85	6.97	6.23	6.94	3.14	2.96	2.25	7.35	11.50	3.39	12.08						
Eu	0.49	0.56	0.32	0.22	0.26	0.72	0.70	0.48	0.50	0.43	0.22	0.34	0.20	0.36						
Gd	5.53	6.27	7.25	7.25	7.22	6.62	7.22	3.05	3.09	2.56	6.87	11.37	4.07	12.52						
Tb	0.94	1.10	1.23	1.20	1.27	1.16	1.24	0.53	0.56	0.44	1.29	1.97	0.89	1.97						
Dy	5.68	6.43	7.72	8.17	7.68	8.23	7.86	3.45	3.28	2.91	8.63	11.66	6.13	11.38						
Ho	1.12	1.35	1.47	1.70	1.45	1.62	1.64	0.76	0.69	0.57	1.93	2.33	1.47	2.23						
Er	3.60	4.25	4.37	4.59	4.31	4.54	4.78	2.21	2.26	1.67	6.10	6.79	4.94	6.87						
Tm	0.54	0.65	0.69	0.72	0.69	0.67	0.71	0.34	0.37	0.29	1.03	1.06	0.84	1.04						
Yb	3.43	3.86	4.57	4.79	4.31	4.45	4.39	2.32	2.36	1.96	6.74	7.21	5.62	6.59						
Lu	0.55	0.62	0.66	0.76	0.61	0.69	0.70	0.40	0.38	0.31	1.12	1.08	0.91	0.98						
Y	31.20	39.20	44.30	46.90	41.1	45.80	45.30	21.90	21.90	17.10	50.20	59.30	38.20	65.00						

续表 2
Continued Table 2

岩体名称 样品编号	赛音乌苏-1				赛音乌苏-2				赛音乌苏-3				干戈呼都格				哈拉图庙			
	14SNT-01	14SNT-02	14SNT-03	14SNT-04	14SNT-05	14SNT-06	14SNT-07	14SNT-08	14SNT-09	14SNT-10	14SNT-11	14SNT-12	14SNT-13	14SNT-14	14SNT-15	14SNT-16	14SNT-17	14SNT-18	14SNT-19	14SNT-20
Sc	4.00	5.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	10.0	10.00	10.0	4.00	4.00	4.00	4.00	1.00	<1.00	<1.00	1.00	<1.00	1.00
V	28.00	28.00	13.00	13.00	13.00	14.00	14.00	48.0	50.00	50.0	30.00	21.00	21.00	21.00	<8.00	<8.00	8.00	<8.00	8.00	<8.00
Co	2.00	2.60	1.40	1.40	1.00	1.20	1.20	5.8	6.30	6.30	2.60	2.30	2.30	1.90	<0.20	0.90	0.30	0.30	0.30	0.30
Ni	2.00	2.60	1.20	1.20	1.20	1.40	1.40	14.4	11.00	11.00	1.30	1.40	1.40	1.00	0.40	1.40	1.00	0.40	1.00	0.40
Ga	18.5	19.00	19.80	19.80	18.80	18.90	18.90	18.3	18.20	18.20	16.10	15.40	15.40	15.10	19.80	19.40	21.10	17.90	21.10	17.90
Rb	172.5	160.30	176.4	176.4	215.90	193.20	193.20	182.8	170.80	170.80	85.50	86.20	86.20	111.90	152.30	152.60	155.20	127.70	155.20	127.70
Sr	63.1	62.90	34.50	34.50	33.00	33.10	33.10	139.8	125.20	125.20	156.20	136.70	136.70	116.50	10.60	16.10	11.20	8.50	11.20	8.50
Zr	295.4	320.80	266.4	266.4	226.40	207.90	207.90	203.9	220.70	220.70	156.50	145.60	145.60	118.10	222.50	221.50	214.90	251.70	214.90	251.70
Nb	6.60	7.40	6.60	6.60	7.30	6.70	6.70	7.50	8.40	8.40	5.00	4.50	4.50	3.80	16.40	15.20	15.80	10.10	15.80	10.10
Ta	0.60	0.80	0.60	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.60	1.50	1.20	1.30	0.80	1.30	0.80
Ba	498.0	569.0	418.0	418.0	299.00	323.00	323.00	450.0	385.00	385.00	87.00	155.00	155.00	254.00	148.00	182.00	150.00	145.00	182.00	145.00
Hf	9.10	9.80	7.90	7.90	7.50	7.20	7.20	5.50	6.50	6.50	4.00	4.50	4.50	3.70	8.00	8.10	7.30	7.40	8.10	7.40
Pb	11.30	9.90	11.50	11.50	13.10	13.40	13.40	2.90	2.20	2.20	1.80	1.70	1.70	2.90	11.60	25.00	13.10	10.40	25.00	10.40
Th	15.40	13.6	16.10	16.10	19.30	17.50	17.50	10.9	12.70	12.70	8.50	7.50	7.50	7.80	17.20	17.60	17.60	14.90	17.60	14.90
U	2.10	1.90	2.40	2.40	4.90	3.60	3.60	4.00	4.40	4.40	2.00	1.80	1.80	1.70	2.00	2.30	2.20	2.10	2.30	2.10
(La/Yb) _N	5.14	5.04	4.71	4.71	4.31	5.18	5.18	3.43	3.84	3.84	5.19	5.17	5.17	5.16	2.78	5.10	1.85	6.26	5.10	6.26
(La/Sm) _N	2.66	2.90	3.00	3.00	2.71	2.88	2.88	2.21	2.19	2.19	3.45	3.71	3.71	4.05	2.29	2.88	2.76	3.07	2.88	3.07
(Gd/Yb) _N	1.33	1.34	1.31	1.31	1.25	1.39	1.39	1.23	1.36	1.36	1.09	1.08	1.08	1.08	0.84	1.30	0.60	1.57	1.30	1.57
δEu	0.26	0.28	0.14	0.14	0.09	0.11	0.11	0.34	0.30	0.30	0.47	0.50	0.50	0.55	0.09	0.09	0.16	0.09	0.09	0.16
δCe	1.05	1.02	1.07	1.07	1.02	1.03	1.03	0.98	1.03	1.03	0.94	0.96	0.96	1.01	1.24	1.06	1.68	0.85	1.06	1.68
ΣREE	141.42	152.58	173.59	173.59	172.10	173.79	173.79	137.40	150.98	150.98	85.60	84.98	84.98	71.86	185.28	292.21	113.87	284.43	292.21	113.87
LREE/HREE	5.61	5.22	5.21	5.21	4.90	5.31	5.31	3.91	4.29	4.29	5.55	5.54	5.54	5.71	4.50	5.72	3.58	5.53	5.72	3.58
Nb/Ta	11.00	9.25	11.00	11.00	10.43	9.57	9.57	10.71	10.50	10.50	7.14	6.43	6.43	6.33	10.93	12.67	12.15	12.63	12.67	12.15
Fe*	0.84	0.85	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.74	0.75	0.75	0.78	0.78	0.78	0.79	0.98	0.99	0.98	0.97	0.99	0.98
A/CNK	1.09	1.02	0.98	0.98	1.02	1.02	1.02	1.07	1.10	1.10	1.06	1.05	1.05	1.04	1.03	1.04	1.03	0.98	1.04	1.03
A/NK	1.19	1.16	1.12	1.12	1.10	1.11	1.11	1.37	1.41	1.41	1.56	1.52	1.52	1.38	1.05	1.05	1.04	1.02	1.05	1.04

注: $\delta\text{Eu} = \text{Eu}_N/\text{Eu}^*$, $\text{Eu}^* = (\text{Sm}_N + \text{Gd}_N)/2$; $\delta\text{Ce} = \text{Ce}_N/\text{Ce}^*$, $\text{Ce}^* = (\text{La}_N + \text{Pr}_N)/2$; $\text{Fe}^* = \text{Fe}^{2+}/(\text{MgO} + \text{FeO})$; $\text{A/CNK} = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $\text{A/NK} = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, mol%.

表 3 二连浩特东北部花岗岩的锶钕同位素数据
Table 3 Sr-Nd isotopic data of the Saiyinvusu, Ganchuhudage and Halatumiao granites to the northeast of Erenhot

样品编号	岩体名称	年龄/ Ma	$\frac{^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}}{10^{-6}}$		$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ	I_{Sr}	$\frac{^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}}{10^{-6}}$		$(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_s$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_s$	2σ	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	t_{DMT}/Ga
			Rb	Sr					Sm	Nd							
14SNT-01	赛音乌苏-1	274	172.5	63.1	7.927 900	0.737 395	6.7	0.706 490	5.96	26.7	0.135 000	0.512 693	13.0	1.1	-0.31	3.2	0.9
14SNT-02	赛音乌苏-1	274	160.3	62.9	7.390 600	0.735 455	14.0	0.706 640	6.03	28.3	0.128 800	0.512 701	3.8	1.2	-0.35	3.6	0.8
14SNT-03	赛音乌苏-1	274	176.4	34.5	14.827 800	0.761 389	10.0	0.703 580	6.46	30.4	0.128 500	0.512 707	6.3	1.3	-0.35	3.7	0.8
14SNT-05	赛音乌苏-2	273	215.9	33.0	18.973 000	0.782 618	13.0	0.708 920	6.85	33.6	0.123 300	0.512 710	4.2	1.4	-0.37	4.0	0.7
14SNT-06	赛音乌苏-2	273	193.2	33.1	16.926 900	0.775 267	12.0	0.709 520	6.97	31.0	0.135 900	0.512 714	6.8	1.5	-0.31	3.6	0.9
14SNT-08	赛音乌苏-3	273	182.8	139.8	3.792 000	0.720 871	9.0	0.706 140	6.23	26.7	0.141 100	0.512 689	2.5	1.0	-0.28	2.9	1.0
14SNT-09	赛音乌苏-3	273	170.8	125.2	3.956 200	0.721 047	11.0	0.705 680	6.94	29.6	0.141 700	0.512 690	7.0	1.0	-0.28	2.9	1.0
14SNT-11	干次呼都格	270	85.5	156.2	1.587 400	0.710 386	6.3	0.704 240	3.14	15.2	0.124 900	0.512 808	4.7	3.3	-0.37	5.8	0.6
14SNT-12	干次呼都格	270	86.2	136.7	1.828 700	0.711 048	8.0	0.703 970	2.96	14.8	0.120 900	0.512 790	6.5	3.0	-0.39	5.6	0.6
14SNT-14	干次呼都格	270	111.9	116.5	2.785 500	0.714 797	14.0	0.704 020	2.25	11.7	0.116 300	0.512 794	4.7	3.0	-0.41	5.8	0.6
14SNT-15	哈拉图庙	317	152.3	10.6	41.667 000	0.897 901	13.0	0.709 920	7.35	33.8	0.131 500	0.512 730	5.9	1.8	-0.33	4.4	0.8
14SNT-16	哈拉图庙	317	152.6	16.1	27.487 000	0.812 759	11.0	0.688 750	11.50	55.0	0.126 400	0.512 738	7.4	2.0	-0.36	4.8	0.7
14SNT-17	哈拉图庙	317	155.2	11.2	40.185 700	0.871 444	12.0	0.690 140	3.39	14.5	0.141 300	0.512 724	3.1	1.7	-0.28	3.9	0.9
14SNT-18	哈拉图庙	317	127.7	8.5	43.568 200	0.900 464	11.0	0.703 900	12.08	55.4	0.131 800	0.512 728	3.7	1.8	-0.33	4.4	0.8

注: $I_{\text{Sr}} = \frac{^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} \times e^{0.0142 \times 10^{-6} \times t}}{^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - 1}$, $\epsilon_{\text{Nd}} = \left[\frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_s}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}} - 1 \right] \times 10^4$, $f_{\text{Sm}/\text{Nd}} = \frac{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_s}{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} - 1}$, t 表示岩体的年龄, s 表示样品的现代值, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512 638$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.196 7$, $t_{\text{DMT}} = 1/\lambda \times \ln(1 + [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_s - 0.513 15] / [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_s - 0.213 7])$, 其中 λ 为衰变常数。

4 结果

4.1 锆石 U-Pb 年龄

4.1.1 哈拉图庙

中粒正长花岗岩样品 14SNT-G-01 的锆石都是透明的,半自形到它形,多为粒状和短柱状,50~200 μm ,宽约 50~100 μm ,长宽比多为 1:1 到 2:1,并有清晰的震荡环带结构(图 4a),许多锆石有明显的裂隙。16 颗锆石的 16 个测试点中,除 3 个年龄不谐和度大于 10% 的数据(No. 2, 4, 7)外,其余 13 分析点集中成群,位于谐和线上或附近,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 307~324 Ma 之间, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 317 ± 3.7 Ma,谐和年龄为 317.5 ± 2.8 Ma(图 4a)。因此,317 Ma 代表了该花岗岩的侵位年龄。

4.1.2 赛音乌苏岩体

对赛音乌苏岩体 3 种岩性样品都进行了定年(图 2)。细粒花岗岩闪长岩样品 14SNT-04(赛音乌苏-1)的锆石为半自形到自形,粒状到短柱状,长约 50~100 μm ,宽约 40~80 μm ,长宽比为 1:1 到 2:1,大部分锆石有较多裂隙。17 颗锆石的 17 个测试点中,除 10 号点因为年龄不谐和度较大(>10%)不参与计算外,其余 16 个分析点集中成群,位于谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 272~276 Ma 之间,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 273.8 ± 1.6 Ma(表 1,图 4b)。

细粒正长花岗岩样品 14SNT-07(赛音乌苏-2)的锆石均为无色,半自形到它形,多为粒状和短柱状,长约 50~150 μm ,宽约 30~80 μm ,长宽比多介于 1:1 到 2:1 之间,裂隙很发育,锆石环带不明显。14 颗锆石的 14 个测试点中,年龄不谐和度大于 10% 的数据(No. 1, 2, 4, 5, 7, 12, 14)不参与计算,有 6 个可靠的分析点在谐和线上或附近集中成群, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 269~276 Ma 之间,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 272.6 ± 2.8 Ma(表 1,图 4c)。另有 1 个点(No. 3)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 239 Ma,可能是后期热事件影响的结果(图 4c 中虚线圈)。

细粒黑云二长花岗岩样品 14SNT-10(赛音乌苏-3)的锆石为无色到浅褐色,短柱状到长柱状,40~120 μm ,宽约 20~70 μm ,长宽比多介于 1:1 到 2:1 之间,生长环带较为明显,部分可见明显的核-幔-边结构,裂隙相对较少。22 颗锆石的 22 个测试点中,年龄不谐和度大于 10% 的数据(No. 2, 7, 8, 10)不参

与计算,其余集中成群的年龄结果可以分成 2 组。第 1 组 6 颗锆石(No. 3, 13, 16, 18, 21, 22)颗粒较大,约 70~110 μm ,其核部 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 308.1 ± 3.5 Ma(图 4d);第 2 组 6 颗锆石(No. 4, 5, 6, 9, 12, 17)颗粒较小,约 40~60 μm ,有很小的核和微弱的变质边,核部 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 273.1 ± 2.8 Ma(图 4d)。另外还有 3 个点(No. 15, 19, 20)覆盖了核-边结构,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 290、286 和 284 Ma,是混合年龄。第 1 个组锆石的年龄为 308.1 Ma,与哈拉图庙岩体的年龄 317 Ma 接近,因此可能为捕获的哈拉图庙岩体同期岩浆作用的锆石,而 273 Ma 则为赛音乌苏岩体主体的岩浆侵位年龄。点 11 和点 14 均位于有核边结构的锆石边部,其年龄分别为 256 Ma 和 259 Ma(表 1),可能指示了晚期热液的影响;点 1 的年龄为 352 Ma(图 4d,表 1),推测其为捕获的早期锆石。

综合赛音乌苏岩体 3 个不同位置样品的锆石 U-Pb 定年结果,可以认为 273 Ma 较好地代表了赛音乌苏岩体主体的侵入年龄(表 1,图 4b, c, d)。

4.1.3 雅果敖包

雅果敖包岩体的锆石多为透明到浅褐色,粒状或纺锤形,100~200 μm ,宽约 50~100 μm ,长宽比在 1:1 到 2:1 之间,少数可到 3:1,大多数锆石有较清晰的环带结构(图 4e)。27 颗锆石的 27 个测试点中,除年龄不谐和度大于 10% 的分析点(No. 14)不参与计算外,有 25 个分析点集中分布,位于谐和线上或附近,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 269~287 Ma 之间, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 271.8 ± 1.4 Ma(MSWD=2.1),这个年龄代表了这个岩体的侵入年龄(图 4e)。值得注意的是有一个分析点(No. 25)给出了 313 ± 3.8 Ma 的年龄,与哈拉图庙岩体的年龄 317 Ma 接近,可能是捕获的哈拉图庙岩体同期的岩浆锆石(图 4e 中虚线圈,表 1)。

4.1.4 干次呼都格

细粒黑云二长花岗岩 14SNT-13 的锆石大多是自形到半自形,长板状到长条状,长约 80~200 μm ,宽约 30~50 μm ,长宽比在 2:1 到 4:1 之间(图 4f),部分锆石有较好的生长环带,裂隙较发育,许多裂隙贯穿整个锆石。16 颗锆石的 16 个测试点中,8 个年龄不谐和度较大(>10%)的数据(No. 3, 4, 5, 7, 8, 11, 15, 16)不参与计算,剩余的 6 个分析点(No. 9, 10, 12, 13, 14)集中分布,位于谐和线上或附近,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 270.1 ± 2.7 Ma

(MSWD=2, 图 4f), 还有 2 个分析点的年龄值分别为 251 Ma(No.1)和 253 Ma(No.6), 可能是受到后期热液影响的结果。因此, 272 Ma 可能代表了这个岩体主体的结晶和侵位年龄。

4.2 地球化学特征

4.2.1 哈拉图庙岩体

哈拉图庙岩体(样品号 14SNT-15, 16, 17, 18, 14SNT-G-01)有高的 SiO_2 (76.08%~77.33%)、 K_2O (4.42%~4.84%) 和 Na_2O (3.71%~4.19%) 含量, 具有高钾钙碱性的特征(图 5b)。A/CNK 为 0.98~1.04(表 2), 为铝质到准铝质花岗岩(图 5a); 其 Fe^* 值 $\text{FeO}^\text{T}/[\text{FeO}^\text{T} + \text{MgO}]$ 在 0.97~0.99 之间, 为典型的铁质花岗岩(图 5c, 表 2)。

哈拉图庙岩体的轻稀土元素含量变化很大(图 6c), 但具有轻微富集 $(\text{La}/\text{Yb})_\text{N} = 1.85 \sim 6.26$ 、重稀土元素相对平坦, 有较明显的 Eu 负异常($\delta \text{Eu} = 0.09 \sim 0.16$)(表 2, 图 6c)特征。亏损 Ba, Nb, Ta, Sr, P, Ti 等元素, 富集 Rb, Th, U, Zr 等元素(图 6f), 具有 A 型花岗岩的特征(图 7a, 7b, 7c, 7d)。

哈拉图庙岩体的 I_Sr 值变化较大, 为 0.703 90~0.709 92(< 0.700 0 的结果被排除, 表 3), $\epsilon\text{Nd}(t)$ 为 +3.9~+4.8, t_{DM1} 为 0.7~0.9 Ga(表 3)。

4.2.2 赛音乌苏岩体

赛音乌苏岩体(样品号 14SNT-01, 02, 03, 05, 06, 08, 09)具有较高的 SiO_2 含量(69.21%~74.27%)、高的 K_2O 含量(4.65%~5.07%) 和 Na_2O 含量(3.07%~4.31%), 赛音乌苏-1 和赛音乌苏-2 为高钾钙碱性, 而赛音乌苏-3 为钙碱性(图 5b)。A/CNK 为 0.98~1.10, 为铝质到准铝质(图 5a)。此外, 赛音乌苏-1 和赛音乌苏-2 的 Fe^* 值在 0.84~0.89 之间, 为铁质花岗岩, 而赛音乌苏-3 的 Fe^* 值在

0.74~0.75 之间, 为镁质花岗岩(图 5c, 表 2)。

球粒陨石标准化稀土元素图谱显示赛音乌苏岩体轻稀土元素轻微富集 $[(\text{La}/\text{Yb})_\text{N} = 3.43 \sim 5.18]$ 、重稀土元素相对平坦, 有较明显的 Eu 负异常($\delta \text{Eu} = 0.09 \sim 0.30$)(表 2, 图 6a)。在原始地幔标准化蛛网图上, 亏损 Ba, Nb, Ta, Sr, P, Ti 等元素, 富集 Rb, Th, U, Zr 等元素(图 6d)。赛音乌苏-1 和赛音乌苏-2 落在 A 型花岗岩区域, 而结合 Fe^* 值(图 5c)和矿物组合特征, 赛音乌苏-3 为 I 型花岗岩(图 7a, 7b, 7c, 7d)。

赛音乌苏岩体的 3 种岩性 I_Sr 值变化较大, 其中正长花岗岩(赛音乌苏-2)的 I_Sr 值(0.708 92~0.709 52)要明显大于花岗闪长岩(赛音乌苏-1)的 I_Sr 值(0.703 58~0.706 64)和黑云二长花岗岩(赛音乌苏-3)的 I_Sr 值(0.705 68~0.706 14)。另外, 正长花岗岩(赛音乌苏-2)和花岗闪长岩(赛音乌苏-1)的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值(+3.2~+4.0)要明显大于黑云二长花岗岩(赛音乌苏-3)的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值(+2.9)。而 3 种岩性的 Nd 模式年龄 t_{DM1} 则变化不大(0.7~1.0 Ga)(表 3)。

4.2.3 干次呼都格岩体

干次呼都格岩体(样品号 14SNT-11, 12, 13, 14)有高的 SiO_2 含量(73.28%~74.06%)、较低的 K_2O (1.46%~3.19%) 和高的 Na_2O 含量(4.08%~4.72%), 表现为钙碱性特征(图 5b)。A/CNK 为 1.04~1.06(表 2), 为准铝质花岗岩(图 5a); 其 Fe^* 值在 0.78~0.79 之间, 因此为镁质花岗岩(图 5c, 表 2)。

球粒陨石标准化稀土元素图谱显示干次呼都格岩体轻稀土元素轻微富集 $(\text{La}/\text{Yb})_\text{N} = 5.16 \sim 5.19$ 、重稀土元素相对平坦, 有比较明显的 Eu 负异

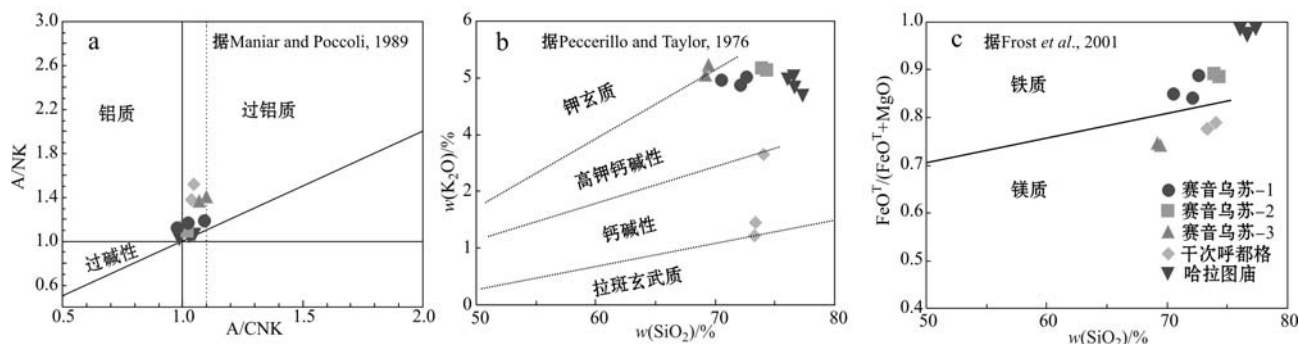


图 5 赛音乌苏、哈拉图庙、干次呼都格的花岗岩的主量元素特征

Fig. 5 Major element features of Saiyinwusu, Halatumiao and Gancihuduge granites

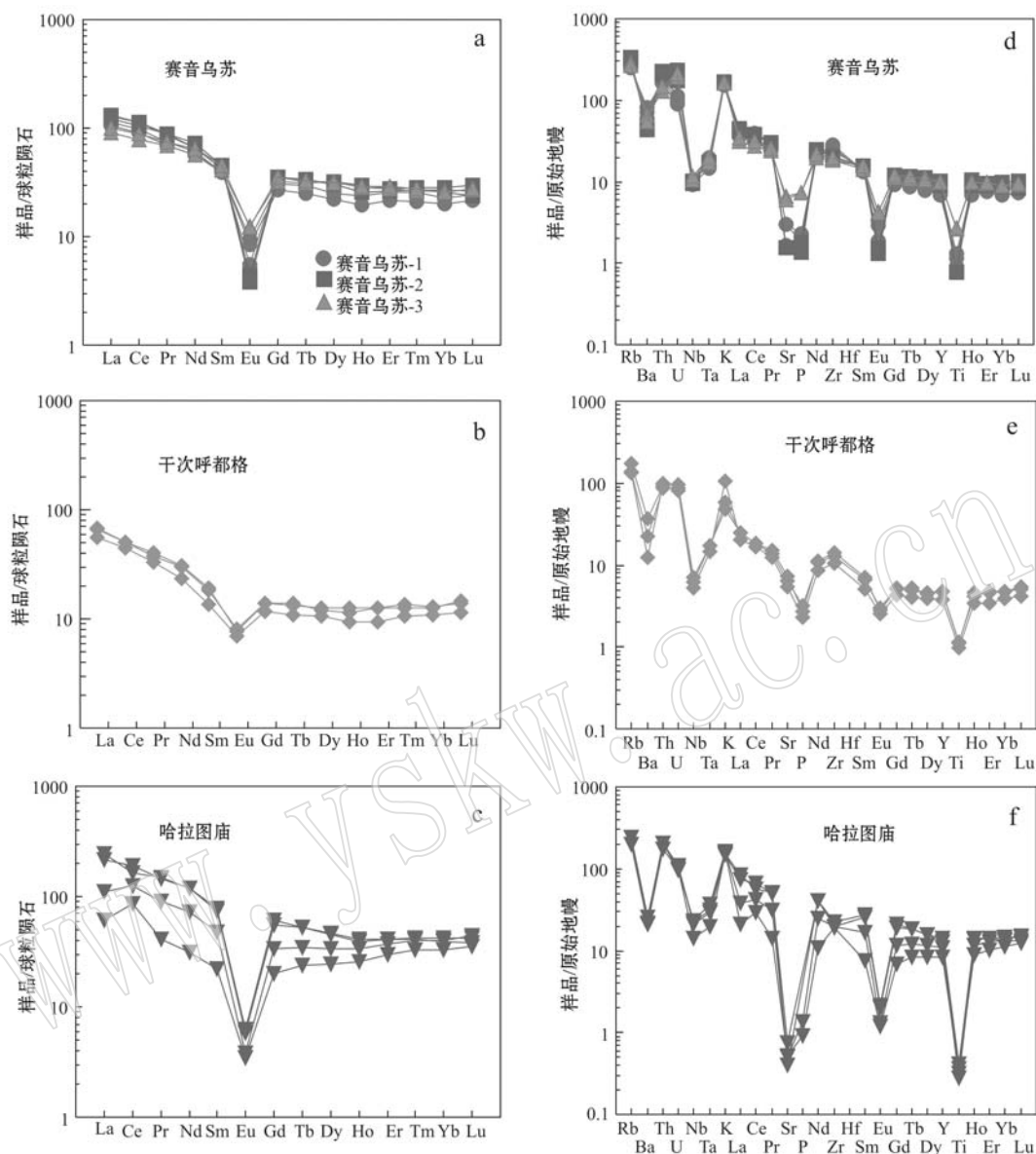


图 6 二连浩特东北部花岗岩的稀土元素配分曲线和微量元素蛛网图(球粒陨石和原始地幔数据值引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element diagrams for the granites of northeast Erenhot area (compositions of chondrite and primitive mantle after Sun and McDonough, 1989)

常($\delta\text{Eu}=0.47\sim0.55$)(表 2, 图 6a)。相对于赛音乌苏岩体,其稀土总量($71.86\times10^{-6}\sim85.60\times10^{-6}$)明显较低(赛音乌苏为 $137.40\times10^{-6}\sim173.79\times10^{-6}$),其总体的轻稀土富集程度也相对更加明显(表 2, 图 6b)。在原始地幔标准化蛛网图上,亏损 Ba, Nb, Ta, Sr, P, Ti 等元素,富集 Rb, Th, U, Zr 等元素(图 6e)。干次呼都格表现出未分异的 I 型花岗岩的特征(图 7a, b, c, d)。

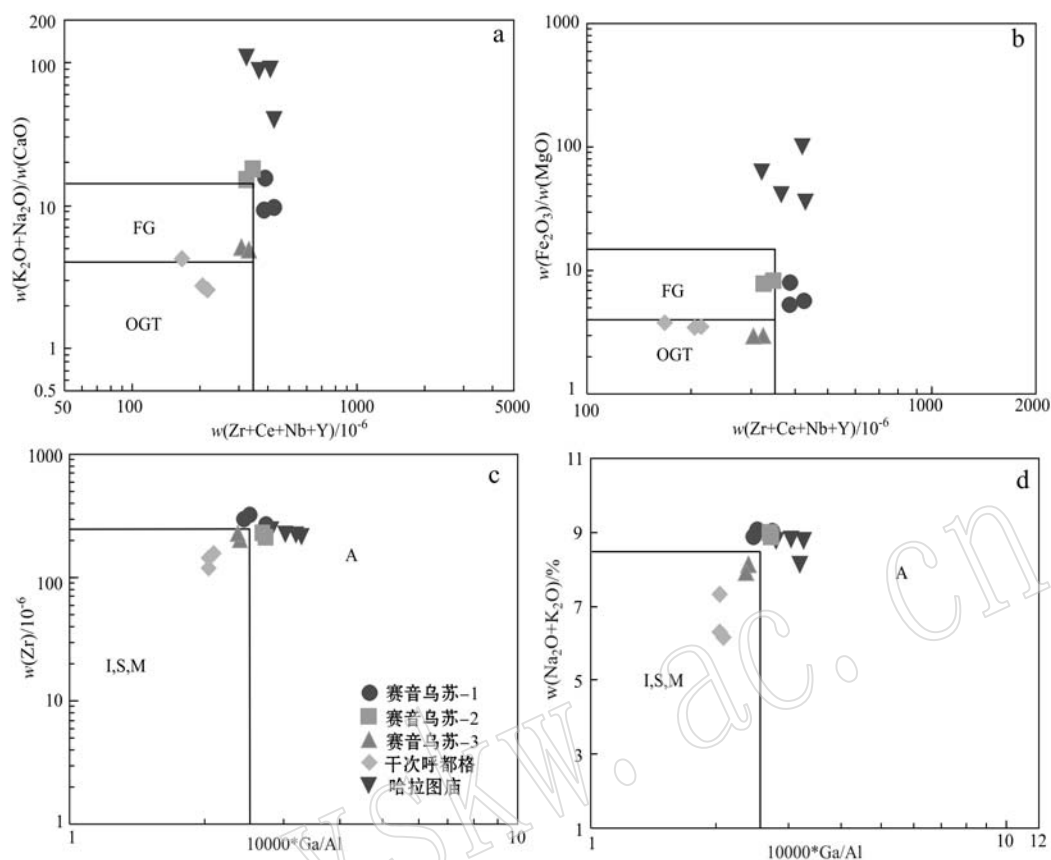
干次呼都格岩体的 I_{Sr} 值变化较小,为 0.703 97

$\sim0.704\ 24$, $\epsilon\text{Nd}(t)$ 为 $+5.6\sim+5.8$, t_{DMI} 为 0.6 Ga (表 3)。

5 讨论

5.1 晚石炭世—早二叠世花岗质岩石的时空分布

哈拉图庙岩体形成于华里西晚期(内蒙古自治区地质矿产局, 1991),其侵入中泥盆统且被下二叠统覆盖的地质接触关系表明其形成时代介于中泥盆

图 7 A 型花岗岩判别图(据 Whalen *et al.*, 1987)Fig. 7 Discrimination diagrams for A-type granite (after Whalen *et al.*, 1987)

FG—分异的长英质花岗岩; OGT—未分异的 I 型、S 型和 M 型花岗岩

FG—unfractionated felsic granites; OGT—unfractionated I-, S- and M-type granites

世至早二叠世之间, 本文的锆石 U-Pb 定年结果显示其年龄为 317 ± 3.7 Ma, 因此其侵位时代应为晚石炭世。赛音乌苏岩体形成于 273 Ma, 相当于早二叠世, 早于之前划定的燕山晚期(内蒙古自治区地质矿产局, 1991), 与前人的定年结果基本一致(Tong *et al.*, 2015)。雅果敖包岩体和干次呼都格岩体的锆石 U-Pb 定年结果分别为 271.8 ± 1.4 Ma 和 270.1 ± 2.7 Ma, 表明它们和赛音乌苏岩体同属于早二叠世岩浆活动的产物。

晚石炭世—早二叠世花岗质侵入岩体在兴蒙造山带北部造山带广泛发育(Hong *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 2001, 2009; 施光海等, 2004; 鲍庆中等, 2007a, 2007b; Zhang *et al.*, 2008, 2011, 2015a; 刘建峰, 2009; 聂凤军等, 2009; 薛怀民等, 2010; 辛后田等, 2011; Liu *et al.*, 2013; 李可等, 2014; Tong *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2016), 这些侵入岩从年代学上可以分成晚石炭世和早二叠世 2 个期次。晚石

炭世侵入岩的锆石 U-Pb 年龄在 $308 \sim 320$ Ma 之间, 峰值为 318 Ma(图 1d), 哈拉图庙岩体就是这一期岩浆活动的产物; 而早二叠世岩浆活动的时限在 $298 \sim 271$ Ma 之间(图 1d), 赛音乌苏、干次呼都格和雅果敖包 3 个岩体就是这期岩浆活动的产物。

在空间分布上, 晚石炭世—早二叠世侵入岩不但在兴蒙造山带北部造山带的南部地区广泛发育, 如二连浩特(李可等, 2015)、苏左旗(高德臻等, 1998; 陈斌等, 2001)、白音宝力道(Chen *et al.*, 2009)、白音高勒(洪大卫等, 1994; Zhang *et al.*, 2011; 李可等, 2015)、锡林浩特(Shi *et al.*, 2003)、西乌珠穆沁旗(鲍庆中等, 2007a, 2007b; 刘建峰, 2009; 薛怀民等, 2010)等地区(图 1c); 而且在兴蒙造山带北部造山带的北部地区也广泛存在, 如宝力格(Tong *et al.*, 2015)、巴音乌拉(Zhang *et al.*, 2008)、洪格尔(Tong *et al.*, 2015)、祖横得楞(洪大卫等, 1994)、阿拉坦(Fu *et al.*, 2016)、东乌珠穆沁

旗(辛后田等, 2011; 程银行等, 2012)等地区(图1c)。这表明晚石炭世—早二叠世在兴蒙造山带的北部造山带上广泛存在。

5.2 晚石炭世—早二叠世花岗质岩石的岩性和成因

在岩性上, 兴蒙造山带北部晚石炭世的侵入岩多为石英闪长岩、闪长岩、二长花岗岩、花岗岩等, 喷出岩多为流纹岩和安山岩等, 而早二叠世侵入岩则主要为碱性花岗岩、花岗斑岩、二长花岗岩, 也有安山岩和流纹岩(Hong *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 2001, 2009; Shi *et al.*, 2003; 施光海等, 2004; 鲍庆中等, 2007a, 2007b; Zhang *et al.*, 2008, 2011, 2015a; 刘建峰, 2009; 聂凤军等, 2009; 薛怀民等, 2010; 辛后田等, 2011; Liu *et al.*, 2013; 李可等, 2014; Tong *et al.*, 2015; Fu *et al.*, 2016)。本文中的晚石炭世哈拉图庙花岗岩为正长花岗岩, 早二叠世的赛音乌苏岩体、干次呼都格岩体则主要为花岗闪长岩、正长花岗岩和二长花岗岩。这表明在兴蒙造山带北部, 不同类型的岩浆岩均有出现, 但以中酸性岩浆岩为主。

晚石炭世的哈拉图庙岩体、早石炭世赛音乌苏-1和赛音乌苏-2(图2)中的铁相对于镁的富集指示其为A型花岗岩(Frost *et al.*, 2001; 全立华等, 2013), 而早二叠世的干次呼都格岩体和赛音乌苏-3(图2)则为镁质的I型花岗岩。准铝质铁质花岗岩可能受控于玄武岩结晶分异和地壳物质混染、熔融两种机制联合作用(Frost *et al.*, 2001)。赛音乌苏、干次呼都格和哈拉图庙岩体的 I_{Sr} 值在0.703 90~

0.709 28之间($<0.700 0$ 被排除), $\epsilon Nd(t)$ 值在+3.0~+5.7之间, Nd模式年龄 t_{DM1} 在0.7~1.0 Ga之间(表3), 不仅与区域内已有资料一致(Zhang *et al.*, 2011, 2015a; Tong *et al.*, 2015, 图8a, 8b), 且与新疆北部和中国东北地区的晚古生代花岗岩的Sr-Nd同位素特征相符, 这些岩体应是新生地壳物质, 指示了地壳生长(Jahn *et al.*, 2000a, 2000b), 且在花岗岩的形成过程中可能有少量老地壳的参与(Hong *et al.*, 1995; Han *et al.*, 1997; Jahn *et al.*, 2000b; Wu *et al.*, 2003)。

5.3 晚石炭世—早二叠世花岗质岩石的构造环境

晚石炭世岩浆岩在整个北部造山带广泛发育, 研究表明兴蒙造山带在晚石炭世处于拼贴后的陆内海环境(Zhao *et al.*, 2016), 也可能处于大洋俯冲过程(Chen *et al.*, 2000; Miao *et al.*, 2008; 刘建峰, 2009), 或处于张性构造环境(唐克东等, 1982, 1989; 鲍庆中等, 2007a, 2007b; 薛怀民等, 2010)。本文中的哈拉图庙岩体为晚石炭世的A2型花岗岩(图9a), 指示二连浩特市东北部地区在晚石炭世很可能处于一个伸展背景。

早二叠世花岗岩在兴蒙造山带不同地区均有分布。其中内蒙古中部的白音乌拉—东乌珠穆沁旗带花岗岩带中的早二叠世A型花岗岩带由白音乌拉、祖横得楞、扎那乌拉、那仁宝力格、青克勒宝力格和沙尔哈达等A型花岗岩体组成, 本文早二叠世的赛音乌苏、雅果敖包和干次呼都格岩体均产出在该碱性花岗岩带中(洪大卫等, 1994), 且其中的A型花岗

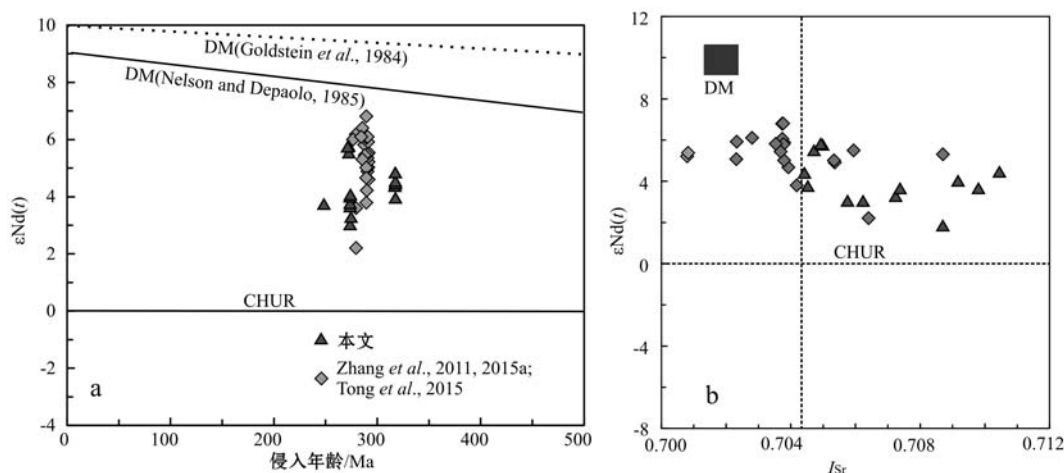


图8 赛音乌苏、哈拉图庙和干次呼都格岩体的 $\epsilon Nd(t)$ -侵入年龄图(a)和 $\epsilon Nd(t)$ - I_{Sr} 图(b)

Fig. 8 Plot of $\epsilon Nd(t)$ versus intrusive ages (a), $\epsilon Nd(t)$ versus initial value of $^{87}Sr/^{86}Sr$ (b) for the Saiyinwusu, Halatumiao

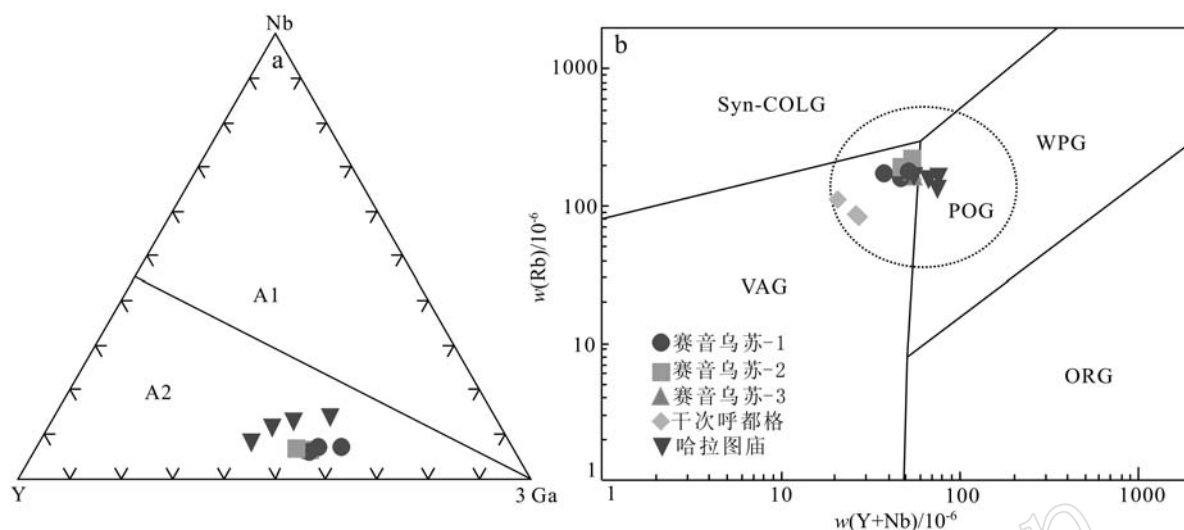


图9 二连浩特东北部花岗质岩石构造判别图

Fig. 9 Discrimination diagrams of the granites to the northeast of Erenhot

a—A型花岗岩分类图(据 Eby, 1992); b—花岗岩构造环境判别图解(Pearce *et al.*, 1984; Pearce, 1996); VAG—火山弧花岗岩;

WPG—板内花岗岩; COLG—碰撞花岗岩; ORG—洋脊花岗岩

a—discrimination diagram for two types of A-type granite (after Eby, 1992); b—Rb-(Y+Nb) diagram for discrimination tectonic settings of granites (after Pearce *et al.*, 1984; Pearce, 1996); VAG—volcanic arc granites; WPG—within plate granites;

COLG—collisional granites; ORG—oceanic ridge granites

岩为A2型(图9a)并落入后碰撞区域(图9b)。该碱性花岗岩带往西进入蒙古境内,沿南蒙古戈壁-天山带一直延续到东准噶尔,向东可延续到大兴安岭(洪大卫等,1994)。这条巨大的碱性花岗岩带形成于伸展构造环境,应属于造山后的A型花岗岩(Hong *et al.*, 1995; Wu *et al.*, 2002; 施光海等,2004; 韩宝福等,2010; 李可等,2015; Tong *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015a)。在早二叠世伸展构造环境下,不仅产生了大量A型花岗岩,还形成了很多I型花岗岩(鲍庆中等,2007a, 2007b; 薛怀民等,2010; 汤文豪等,2011),并伴有双峰式火山岩组合(Zhang *et al.*, 2008; 汤文豪等,2011)。因此,在晚石炭世-二叠世兴安造山带北部处于伸展构造背景,这与本文中晚石炭世一早二叠世的铁质花岗岩形成于伸展的背景观点一致(洪大卫等,1995; 许保良等,1998; 全立华等,2013)。

晚石炭世一早二叠世后碰撞深成岩浆活动在中亚造山带南部普遍发育,如在吉尔吉斯斯坦天山(Mao *et al.*, 2004)、中国新疆准噶尔(韩宝福等,2006; 苏玉平等,2006a, 2006b)以及蒙古和俄罗斯贝加尔湖以南(Kovalenko *et al.*, 2006)、中国内蒙古(洪大卫等,1994)和东北(Wu *et al.*, 2002)等地区均有分布。其中,在新疆准噶尔盆地周围以晚石炭

世后碰撞I-A型花岗岩组合为特征(韩宝福等,2006),在蒙古南部则以晚石炭世碱性花岗岩和双峰式火山岩组合为特征(Yarmolyuk *et al.*, 2007; 韩宝福等,2010)。中国内蒙古中部的早二叠世岩浆岩与蒙古境内的石炭纪-二叠纪裂谷带岩浆活动一致,属于伸展背景下的岩浆作用(邵济安等,1991, 2007, 2014),而且是由东准噶尔、经蒙古南部延伸到到中国东北的早二叠世A型花岗岩带的组成部分(Wu *et al.*, 2002),这条规模巨大的A型花岗岩带应该是在同一构造背景下形成的。

6 结论

(1) 锆石 U-Pb 定年结果表明哈拉图庙岩体的侵位时间在 317 Ma 左右,相当于晚石炭世;赛音乌苏、干次呼都格、雅果敖包岩体的侵位时间是在 270~274 Ma,相当于早二叠世,与区域上大规模分布的早二叠世的碱性花岗岩时代一致。

(2) 地球化学分析显示晚石炭世哈拉图庙岩体具有铝质到弱过铝质 A 型花岗岩的特征,早二叠世赛音乌苏岩体具有 I-A 过渡的花岗岩特征,早二叠世干次呼都格岩体具有 I 型花岗岩特征。这些岩体的 Sr-Nd 同位素特征表明二连浩特地区在晚石炭世

—早二叠世发生了地壳生长。

(3) 结合区域研究结果,可以推测在晚石炭世—早二叠世二连浩特东北部很可能处于伸展的大地构造背景。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1~2): 59~79.
- Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, *et al.* 2007a. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of a Carboniferous quartz diorite in Baiyingaole Area, Inner Mongolia and its implications[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 37(1): 15~23(in Chinese with English abstract).
- Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, *et al.* 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granitoids in a Late Paleozoic rift area, southeastern Inner Mongolia, and its implications[J]. *Chinese Geology*, 34(5): 790~798(in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolian Autonomous Region*[M]. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Chen B, Jahn B M, Wilde S, *et al.* 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 328: 157~182.
- Chen B, Jahn B M, Tian W, *et al.* 2009. Evolution of the Solonker suture zone: constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction- and collision-related magmas and forearc sediments[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 245~257.
- Chen Bin, Zhao Guochun and Simon Wilde. 2001. Subduction-and collision-related granitoids from Southern Soniduoqi, Inner Mongolia: isotopic ages and tectonic implications[J]. *Geological Review*, 47(4): 361~367(in Chinese with English abstract).
- Chen Yan, Zhang Zhicheng, Li Ke, *et al.* 2014. Geochronology, geochemistry and geological significance of the Permian Bimodal volcanic rocks in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 50(5): 843~858(in Chinese with English abstract).
- Cheng Yinhang, Teng Xuejian, Xin Houtian, *et al.* 2012. SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in Mahonondor area, East Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(3): 323~334(in Chinese with English abstract).
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications[J]. *Geology*, 20(7): 641.
- Eizenhöfer P R, Zhao G, Zhang J, *et al.* 2015. Geochemical characteristics of the Permian basins and their provenances across the Solonker Suture Zone: assessment of net crustal growth during the closure of the Palaeo-Asian Ocean[J]. *Lithos*, 224~225: 240~255.
- Frost B R, Barnes C G, Collins W J, *et al.* 2001. A geochemical classification for granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 42(11): 2 033~2 048.
- Fu D, Huang B, Peng S, *et al.* 2016. Geochronology and geochemistry of late Carboniferous volcanic rocks from northern Inner Mongolia, North China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Gondwana Research*, 36: 545~560.
- Gao Dezhen and Jiang Ganqing. 1998. Revision of the stratigraphic division of the permian and tectonic evolution in the sonid left banner, Inner Mongolia[J]. *Regional Geology of China*, 17(4): 401~411(in Chinese with English abstract).
- Goldstein S L, O'Nions R K and Hamilton P J. 1984. A Sm-Nd isotopic study of atmospheric dusts and particulates from major river systems [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 70(2): 221~236.
- Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, *et al.* 2010. Age, geochemistry, and tectonic implications of a Late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, Western China[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 122(3): 627~640.
- Han Banfu, Ji Jianqing, Song Biao, *et al.* 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China(part I): Timing of post-collisional plutonism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 077~1 086(in Chinese with English abstract).
- Han B F, Wang S G, Jahn B M, *et al.* 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur river A-type granites from northern Xinjiang, China: geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence and implications for Phanerozoic crustal growth[J]. *Chemical Geology*, 138: 135~159.
- Han Baofu, Zhang Chen, Zhao Lei, *et al.* 2010. A preliminary study of granitoids in western Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 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 sig-

- nificance[J]. *Acta Petrological Sinica*, 68(3): 219~230(in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Huang H Z, Xiao Y J, *et al.* 1995. Permian alkaline granites in Central Inner Mongolia and their geodynamic significance[J]. *Acta Geological Sinica*, 8(1): 27~39.
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Banfu, *et al.* 1995. The tectonic settings classification and identification characteristics of alkali-granites[J]. *Science in China(B)*, 25(4): 418~426(in Chinese with English abstract).
- Hu C S, Li W B, Xu C, *et al.* 2015. Geochemistry and zircon U-Pb-Hf isotopes of the granitoids of Baolidao and Halatu plutons in soniduoqi area, Inner Mongolia: implications for petrogenesis and geodynamic setting[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 294~306.
- Hu Xiao, Xu Chuanshi, Niu Shuyin, *et al.* 1990. Evolution of the Early Paleozoic Continental Margin in Northern Margin of the North China Platform[M]. Beijing University Press, Beijing, 6~23(in Chinese with English abstract).
- Jahn B M, Wu F Y and Chen B. 2000a. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. *Episodes*, 23: 82~92.
- Jahn B M, Wu F Y, Chen F, *et al.* 2000b. Granitoids of the Central Asian orogenic belt and continental growth in the Phanerozoic[J]. *Earth & Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 91(1): 181~193.
- Jian P, Kröner A, Windley B F, *et al.* 2012. Carboniferous and Cretaceous mafic-ultramafic massifs in Inner Mongolia (China): A SHRIMP zircon and geochemical study of the previously presumed integral "Hegenshan ophiolite"[J]. *Lithos*, 142~143: 48~66.
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, *et al.* 2008. Time scale of an early to mid-palaeozoic orogenic cycle of long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: implications for continental growth[J]. *Lithos*, 101(3): 233~259.
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, *et al.* 2010. Evolution of a Permian intraoceanic arc-trench system in the Solonker suture zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia[J]. *Lithos*, 118(118): 169~190.
- Jian P, Shi Y R, Zhang F Q, *et al.* 2007. Geological excursion to Inner Mongolia, China, to study the accretionary evolution of the southern margin of the Central Asian Orogenic Belt[A]. Liu D Y, Natal'in B, Jian P, *et al.* Abstract & Excursion Guidebook[C].
- Kovalenko V I, Yarmoluyk V V, Sal'nikova E B, *et al.* 2006. Geology, geochronology, and geodynamics of the Khan Bogd alkali granite pluton in southern Mongolia[J]. *Geotectonics*, 40(6): 450~466.
- Li C F, Li X H, Li Q L, *et al.* 2012. Rapid and precise determination of Sr and Nd isotopic ratios in geological samples from the same filament loading by thermal ionization mass spectrometry employing a single-step separation scheme[J]. *Analytica Chimica Acta*, 727(10): 54~60.
- Li J Y. 2006. Permian geodynamic setting of northeast China and adjacent regions: closure of the PAO and subduction of the Paleo-Pacific plate[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3): 207~224.
- Li Ke, Zhang Zhicheng, Feng Zhishuo, *et al.* 2014. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Late Carboniferous-Permian volcanic rocks from Bayan province, middle Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Acta Petrological Sinica*, 30(7): 2041~2054(in Chinese with English abstract).
- Li Ke, Zhang Zhicheng, Feng Zhishuo, *et al.* 2015. Two Paleozoic magma activities in the northern part of central segment of the Xing Meng orogenic belt and its tectonic significance[J]. *Acta Petrological Sinica*, 89(2): 272~288(in Chinese with English abstract).
- Liang Yuwei, Yu Cunlin, Shen Guozhen, *et al.* 2013. Geochemical characteristics of granites in the Suonaga Pb-Zn-Ag deposit of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia, and their tectonic and ore-forming implications[J]. *Geology in China*, 40(3): 767~779(in Chinese with English abstract).
- Liu Jianfeng. 2009. Late Paleozoic Magmatism and Its Constraints on Regional Tectonic Evolution in Linxi-Dongwuqi Area, Inner Mongolia[D]. Jilin University(in Chinese with English abstract).
- Liu J F, Li J Y, Chi X G, *et al.* 2013. A late-Carboniferous to early early-Permian subduction-accretion complex in Daqing pasture, southeastern Inner Mongolia: Evidence of northward subduction beneath the Siberian paleoplate southern margin[J]. *Lithos*, 177: 285~296.
- Liu Yifei, Nie Fengjun, Jiang Sihong, *et al.* 2012. Ore-forming granites from Chaganhua molybdenum deposit, Central Inner Mongolia, China: Geochemistry, geochronology and petrogenesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 409~420(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. Users manual for isoplot/Ex, version 3.0: A geochronological toolkit for microsoft excel [A]. Berkeley Geochronological Center, Special Publication[C]. 4: 1~71.
- Luo Z W, Xu B, Shi G Z, *et al.* 2016. Solonker ophiolite in Inner Mongolia, China: A late Permian continental margin-type ophiolite

- [J]. *Lithos*, 261: 72~91.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 635~643.
- Mao J W, Konopelko D, Seltmann R, *et al.* 2004. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. *Economic Geology*, 99(8): 1 771~1 780.
- Miao L C, Fan W M, Liu D Y, *et al.* 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 348~370.
- Nelson B K and Depaolo D J. 1985. Rapid production of continental crust 1.7 to 1.9 b. y. ago: Nd isotopic evidence from the basement of the North American mid-continent[J]. *Geological Society of American Bulletin*, 96(6): 746~754.
- Nie Fengjun, Xu Dongqing, Jiang Sihong, *et al.* 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating on rhyolite samples from the Xilimiao group occurring in the Su-Cha(Sumoqagan Obo) fluorite district, Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(4): 496~504(in Chinese with English abstract).
- Pearce J A. 1996. Source and settings of granitic rocks[J]. *Episodes*, 19(4): 120~125.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 25: 956~983.
- Peccerillo A and Taylor S R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the kastamonu area, northern turkey[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1): 63~81.
- şengör A M C, Natal' In B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364: 299~307.
- Shao J A. 1989. Continental crust accretion and tectono-magmatic activity at the northern margin of the Sino-Korean plate[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 3(1~4): 57~62.
- Shao Ji'an. 1991. Crust Evolution in the Middle Part of the Northern Margins of Sino-Korean Plate[M]. Beijing University Press, Beijing(in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an. 2007. The Uplift of Daxingganling and Its Geodynamic Setting[M]. Geological Publishing House, Beijing(in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Tang Kedong and He Guoqi. 2014. Early Permian tectono-palaeogeographic reconstruction of Inner Mongolia, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(7): 1 858~1 866(in Chinese with English abstract).
- Shi G H, Liu D Y, Zhang F Q, *et al.* 2003. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and its implications on the Xilin Gol Complex, Inner Mongolia, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(24): 2 742~2 748.
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, *et al.* 2004. Geochronology and regional tectonic significance of A-type granites in Xinlihot, Inner Mongolia[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(4): 384~389(in Chinese).
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun, *et al.* 2006a. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang[J]. *Geochimica*, 35: 55~67(in Chinese with English abstract).
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, *et al.* 2006b. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25: 175~184(in Chinese with English abstract).
- Sun Lixin, Ren Bangfang, ZhaoFengqing, *et al.* 2013. Zircon U-Pb dating and Hf isotopic compositions of the Mesoproterozoic granitic gneiss in Xilinhot Block, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(2): 327~340(in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. *Journal of Geological Society London, Special Publ.*, 42(1): 313~345.
- Tang Kedong. 1989. On tectonic development of the fold belts in the North margin if Sino-Korean platform[J]. *Geoscience*, 3(2): 195~204(in Chinese with English abstract).
- Tang Kedong, Su Yangzheng and Wang Ying. 1982. Some characteristic features of the geological development in the east of Ural-Mongolia folded region[J]. *Bulletin of the Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, (3): 1~14(in Chinese with English abstract).
- Tang K D. 1990. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the northern margin of the Sino-Korean craton[J]. *Tectonics*, 9: 249~260.
- Tang K D and Yan Z. 2007. Regional metamorphism and tectonic evolution of the Inner Mongolian suture zone[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 11(4): 511~522.
- Tang Wenhao, Zhang Zhicheng, Li Jianfeng, *et al.* 2011. Geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks of Benbatu Formation in

- Sonid Youqi, Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 47(2): 321~330(in Chinese with English abstract).
- Tong Lihua and Wang Yang. 2013. Ferroan granitoids: definition, classification and origination[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 32(3): 370~378(in Chinese with English abstract).
- Tong Y, Jahn B M, Wang T, *et al.* 2015. Permian alkaline granites in the Erenhot-Hegenshan belt, northern Inner Mongolia, China: Model of generation, time of emplacement and regional tectonic significance[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97(Part B): 320~336.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95: 407~419.
- Windley B F, Alexeev D, Xiao W, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of Geological Society*, 164(12): 31~47.
- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, *et al.* 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China(ii): isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic[J]. *Lithos*, 67(3): 191~204.
- Wu F Y, Sun D Y, Li H, *et al.* 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. *Chemical Geology*, 187(s1~2): 143~173.
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Tectonics*, 22(6): 8~20.
- Xin Houtian and Teng Xuejian. 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 with English abstract).
- Xu Bei, Chen Bin and Shao Ji'an. 1996. Isotopic and geochronology research of Sm-Nd and Rb-Sr in Xilingol complex in Inner Mongolia[J]. *Chinese Science Bulletin*, 41(2): 153~155(in Chinese with English abstract).
- Xu Bei, Charvet J and Zhang Fuqin. 2001. Primary study on petrology and geochronology of blueschists in sunidzuqi, Northern Inner Mongolia[J]. *Chinese Journal of Geology*, 36(4): 424~434(in Chinese with English abstract).
- Xu Baoliang, Yan Guohan and Zhang Chen. 1998. Petrological subdivision and source material of A-type granites[J]. *Earth Science Frontiers*(China University of Geoscience, Beijing), (3): 113~124(in Chinese with English abstract).
- Xu Liquan, Ju Wenxin, Liu Cui, *et al.* 2012. Sr-Yb classification and genesis of Late Carboniferous granites in Arenshaobu area of Erenhot, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 31(9): 1410~1419(in Chinese with English abstract).
- Xue Huaimin, Guo Lijun, Hou Zengqian, *et al.* 2010. SHRIMP zircon U-Pb ages of the middle Neopaleozoic unmetamorphosed magmatic rocks in the southwestern slope of the Da Hinggan Mountains, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrological et Mineralogica*, 28(6): 811~823(in Chinese with English abstract).
- Yarmolyuk V V, Kovach V P, Kovalenko V I, *et al.* 2007. Isotopic composition of the Hercynian crust of southern Mongolia: Substantiation of the Hercynian juvenile crust-forming event[J]. *Doklady Earth Sciences*, 417(1): 1178~1182.
- Yun Fei, Nie Fengjun, Jiang Sihong, *et al.* 2011. Zircon SHRIMP U-Pb age of Monuogechin monzodiorite of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 30(3): 504~510(in Chinese with English abstract).
- Zhao P, Xu B, Tong Q, *et al.* 2016. Sedimentological and geochronological constraints on the Carboniferous evolution of central Inner Mongolia, southeastern Central Asian Orogenic Belt: Inland sea deposition in a post-orogenic setting[J]. *Gondwana Research*, (31): 253~270.
- Zhang J R, Wei C J and Chu H. 2015c. Blueschist metamorphism and its tectonic implication of Late Paleozoic-Early Mesozoic metabasites in the mélange zones, central Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 352~364.
- Zhang X H, Zhang H F, Tang Y J, *et al.* 2008. Geochemistry of Permian bimodal volcanic rocks from central Inner Mongolia, North China: implication for tectonic setting and Phanerozoic continental growth in Central Asian Orogenic Belt[J]. *Chemical Geology*, 249(3): 262~281.
- Zhang X H, Wilde S A and Zhang H F. 2011. Early Permian high-K calc-alkaline volcanic rocks from NW Inner Mongolia, north China: geochemistry, origin and tectonic implications[J]. *Journal of Geological Society*, 168(2): 525~543.
- Zhang X H, Yuan L L, Xue F H, *et al.* 2015a. Early permian A-type granites from central Inner Mongolia, North China: Magmatic tracer of post-collisional tectonics and oceanic crustal recycling[J]. *Gondwana Research*, 28(1): 311~327.
- Zhang Z C, Li K, Li J F, *et al.* 2015b. Geochronology and geochemistry of the Eastern Erenhot ophiolitic complex: Implications for the

- tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 279~293.
- Zhou Wenxiao. 2012. Studies of geochronology and geochemistry of Paleozoic Magmatism in XiLinhot Area, Inner Mongolia[J]. *China University of Geoscience(Wuhan)*(in Chinese with English abstract).
- Zhou Wenxiao and Ge Maochun. 2013. Redefinition and significance of metamorphic Xinlihot group in Xilinhot Area, Inner Mongolia, China[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 38(4): 715~724(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Sun Shihua, Mao Qian, *et al.* 2004. Geochemistry of the Xilingele Complex, Inner Mongolia: A historic record from Rodinia accretion to continental collision after closure of the Paleo-Asian Ocean[J]. *Geological Journal of China Universities*, 10(3): 343~355(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 2007a. 内蒙古白音高勒地区石炭纪石英闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 37(1): 15~23.
- 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 2007b. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗质岩石锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 34(5): 790~798.
- 陈 斌, 赵国春, Simon Wilde. 2001. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. *地质论评*, 47(4): 361~367.
- 陈 彦, 张志诚, 李 可, 等. 2014. 内蒙古西乌旗地区二叠纪双峰式火山岩的年代学、地球化学特征和地质意义[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 50(5): 843~858.
- 程银行, 滕学建, 辛后田, 等. 2012. 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[J]. *岩石矿物学杂志*, 31(3): 323~334.
- 高德臻, 蒋干清. 1998. 内蒙古苏尼特左旗二叠系的重新厘定及大地构造演化分析[J]. *地质通报*, (4): 401~411.
- 韩宝福, 季建清, 宋 彪, 等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 22(5): 1077~1086.
- 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, 王式洗, 韩宝福, 等. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. *中国科学*, (4): 418~426.
- 胡 晓, 许传诗, 牛树银, 等. 1990. 华北地台北缘早古生代大陆边缘演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 6~23.
- 李 可, 张志诚, 冯志硕, 等. 2014. 内蒙古中部巴彦乌拉地区晚石炭世—早二叠世火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 30(7): 2041~2054.
- 李 可, 张志诚, 冯志硕, 等. 2015. 兴安造山带中段北部晚古生代两期岩浆活动及其构造意义[J]. *地质学报*, 89(2): 272~288.
- 梁玉伟, 余存林, 沈国珍, 等. 2013. 内蒙古东乌旗索纳嘎铅锌银矿区花岗岩地球化学特征及其构造与成矿意义[J]. *中国地质*, 40(3): 767~779.
- 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 2012. 内蒙古苏尼特左旗准苏吉花钼矿床成岩成矿年代学及其地质意义[J]. *矿床地质*, 31(1): 119~128.
- 刘建峰. 2009. 内蒙古林西-东乌旗地区晚古生代岩浆作用及其对区域构造演化的制约[D]. 吉林大学.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1~725.
- 聂凤军, 许东青, 江思宏, 等. 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[J]. *地质学报*, 83(4): 496~504.
- 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.
- 邵济安. 2007. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景[M]. 地质出版社.
- 邵济安, 唐克东, 何国琦. 2014. 内蒙古早二叠世构造古地理的再造[J]. *岩石学报*, 30(7): 1858~1866.
- 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.
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 等. 2006a. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究[J]. *地球化学*, 35(1): 55~67.
- 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 2006b. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质 A 型花岗岩的地球化学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 25(3): 175~184.
- 孙立新, 任邦方, 赵凤清, 等. 2013. 内蒙古锡林浩特地块中元古代花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征[J]. *地质通报*, 32(2): 327~340.
- 唐克东. 1989. 中朝陆台北侧褶皱带构造发展的几个问题[J]. *现代地质*, 3(2): 195~204.
- 唐克东, 苏养正, 王 莹. 1982. 乌拉尔-蒙古褶皱区东部地质发展

- 的某些特点[C]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所文集, (3): 1~14.
- 汤文豪, 张志诚, 李建峰, 等. 2011. 内蒙古苏尼特右旗查干诺尔石炭系本巴图组火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 47(2): 321~330.
- 全立华, 汪 洋. 2013. 铁质花岗岩: 定义、分类及成因[J]. 矿物岩石地球化学通报, 32(3): 370~378.
- 辛后田, 滕学建. 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, 邵济安. 1996. 内蒙古锡林郭勒杂岩 Sm-Nd, Rb-Sr 同位素年代研究[J]. 科学通报, 41(2): 153~155.
- 徐 备, Charvet J, 张福勤. 2001. 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, 36(4): 424~434.
- 许保良, 阎国翰, 张 臣. 1998. A 型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源[J]. 地学前缘, (3): 113~124.
- 许立权, 鞠文信, 刘 翠, 等. 2012. 内蒙古二连浩特北部阿仁绍布地区晚石炭世花岗岩 Sr-Yb 分类及其成因[J]. 地质通报, 31(9): 1410~1419.
- 薛怀民, 郭利军, 侯增谦, 等. 2010. 大兴安岭西南坡成矿带晚古生代中期未变质岩浆岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 811~823.
- 云 飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 2011. 内蒙古莫若格钦地区二长闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 30(3): 504~510.
- 周文孝. 2012. 内蒙古锡林浩特地区古生代岩浆作用的年代学与地球化学研究[D]. 中国地质大学(武汉).
- 周文孝, 葛梦春. 2013. 内蒙古锡林浩特地区中元古代锡林浩特岩群的厘定及其意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 38(4): 715~724.
- 朱永峰, 孙世华, 毛 骞, 等. 2004. 内蒙古锡林格勒杂岩的地球化学研究: 从 Rodinia 聚合到古亚洲洋闭合后碰撞造山的历史记录[J]. 高校地质学报, 10(3): 343~355.