

内蒙古东七—山花岗岩地球化学、 锆石SHRIMP U-Pb年龄及岩体形成环境探讨

杨岳清¹⁾, 吕博²⁾, 孟贵祥¹⁾, 严加永¹⁾, 赵金花¹⁾,
王守光³⁾, 贾玲珑³⁾, 韩建刚³⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2) 中国地质大学(北京), 北京 100083;

3) 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古呼和浩特 010020

摘要: 古生代时期, 北山地区的地壳活动非常强烈, 主要表现为: 早古生代初期大陆的裂解, 一直到中奥陶世广阔大洋盆的发育。志留纪末, 洋盆在自南向北的俯冲中封闭, 使北侧的哈萨克斯坦板块和南侧的塔里木板块拼贴, 并在碰撞造山过程中又构成了一个相对统一的陆块。在晚古生代, 北山地区地壳又在另外一种形式中异常强烈活动, 特别是自石炭纪到二叠纪, 大规模的中酸性岩浆侵入活动构成本区重要的地质事件, 其出露的花岗岩类占到了全区总面积的近 1/3, 但泥盆纪时期的地壳活动, 特别是花岗岩浆的侵入活动常被人们忽视, 笔者据泥盆纪时期的沉积-火山作用及挤压构造活动也较发育认为, 海西早期也应有较强的花岗岩浆侵入活动。本文有针对性地对北山地区, 原定为海西中期的东七—山花岗岩岩基, 在岩石学和地球化学等方面研究基础上, 对 3 处岩石中锆石首次进行了 SHRIMP U-Pb 年龄测定, 其结果分别是(355 ± 4) Ma、(359 ± 4) Ma、(355 ± 5) Ma, 这表明东七—山花岗岩形成于泥盆纪晚期, 从而确定了北山晚古生代早期也有花岗岩浆的强烈活动, 这对深化北山古生代地壳演化过程有积极意义。

关键词: 花岗岩; 岩石地球化学; 锆石 U-Pb 年龄; 碰撞造山; 海西造山运动; 北山

中图分类号: P588.121; P597.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2013.02.04

Geochemistry, SHRIMP Zircon U-Pb Dating and Formation Environment of Dongqiyishan Granite, Inner Mongolia

YANG Yue-qing¹⁾, LÜ Bo²⁾, MENG Gui-xiang¹⁾, YAN Jia-yong¹⁾, ZHAO Jin-hua¹⁾,
WANG Shou-guang³⁾, JIA Ling-long³⁾, HAN Jian-gang³⁾

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*

2) *China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083;*

3) *Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020*

Abstract: During Paleozoic, the crustal movement was intense in Beishan area, which mainly found expression in the splitting of Early Palaeozoic unified continent and the formation of ocean basin in Middle Ordovician. At the end of Silurian, the oceanic basin was underthrusting in SN direction and was finally closed, that caused the collage between the northern side of the Kazakhstan plate and the southern Tarim plate as well as the formation of a relatively uniform plate. In Late Paleozoic, another movement occurred. From Carboniferous to Permian, the acid-intermediate magmatic intrusions in these areas made up important geological events. The outcropped area of granite occupies 1/3 of the total area. Nevertheless, researchers tend to ignore the crustal movement, especially the intrusion of granitic magma in Devonian period. The authors hold that the volcano-sedimentary and tectonic activities did occur in Devonian, so there existed strong magmatic intrusive activities in these areas in Hercynian

period. Petrological and geochemical researches were conducted, and zircon SHRIMP U-Pb dating was performed for three granites, which yielded ages of (355 ± 4) Ma, (359 ± 4) Ma, (355 ± 5) Ma respectively, suggesting that Dongqiyishan granitic batholith was formed in Late Devonian instead of in Middle Hercynian. It is thus thought that the collisional orogenesis in the Beishan Mountain during Early Late Paleozoic was accompanied by strong granitic magma activity, which played an important role in deepening the crustal evolution process of Palaeozoic in Beishan area.

Key words: granite; rock geochemistry; zircon U-Pb dating; collision orogenesis; Hercynian orogeny; Beishan

处于内蒙古西部和甘肃北部的北山地区是我国较重要的一个古生代地壳活动带和成矿远景区(聂凤军等, 2001; 西安地质矿产研究所, 2006; 杨合群等, 2009; 童英等, 2010)。在古生代陆块分裂、大洋扩张、俯冲、碰撞造山和裂谷发育过程(龚全胜等, 2002; 何世平等, 2002, 2005; 左国朝等, 1990, 1996, 2003; 杨合群等, 2008)中, 岩浆活动一直非常强烈, 除了各时期地层中发育的火山岩外(王立社等, 2009), 花岗岩浆活动也非常活跃的, 花岗岩类在内蒙古北山地区的出露面积几乎占到了基岩分布面积的三分之一。根据目前的工作(左国朝等, 1990; 穆治国等, 1992; 王谐等, 1998; 梅华林等, 1999; 修群业, 1999; 王涛, 2000; 聂凤军等, 2002; 江思宏等, 2003), 花岗岩类的形成时代总体可分成前寒武纪、加里东期、海西期、印支期和燕山期。其中, 海西期花岗岩的分布面积占 70%以上, 其中, 又以海西中晚期岩体分布最广。

从地壳发展史看, 北山地区在志留纪末到泥盆纪初, 哈萨克斯坦板块和塔里木板块发生拼贴后, 地壳仍处于较活跃状态, 特别是两板块的接触部位连同残留洋壳一起发生强烈的挤压抬升, 出现碰撞造山作用(周国庆等, 2000; 任秉琛等, 2001; 魏志军等, 2004; 杨合群等, 2010b)。晚古生代早期的碰撞造山作用与早古生代晚期的俯冲造山作用先后衔接、相互关联, 共同组成俯冲-碰撞造山作用(何世平等, 2005)。例如在北山北部的双沟山—雀儿山—芦苇井泥盆纪陆缘凹陷带中, 发育早泥盆世海底中基性火山喷发及细碎屑岩、碳酸盐岩沉积, 经短期间断又出现中泥盆世中酸性火山大规模喷发并伴随火山碎屑岩及碳酸盐岩沉积(左国朝等, 1995; 何世平等, 2004), 其后, 区内也出现了泥盆系的强烈变形及其相应的挤压隆升构造活动。按理说, 在海西早期, 北山地区也应有花岗岩浆较强的侵入活动, 但从已有资料看, 海西早期花岗岩的分布是相当少的, 实际情况究竟如何呢?

带着这一疑问, 作者对区域早古生代晚期至晚古生代早期构造活动非常发育的早山—东七一山一带, 规模较大的、前人定为海西中—晚期的东七一

山花岗岩, 在岩石地球化学、同位素等方面研究基础上进行了锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 测年结果表明, 该岩体形成于 (355 ± 4) Ma~ (359 ± 4) Ma, 也即海西早期。这一认识对北山地区古生代地壳活动特征和规律研究具有重要意义。

1 测年花岗岩产出的地质环境及其特征

东七一山花岗岩在大地构造位置上处于北山东部哈萨克斯坦板块东南缘早古生代活动陆缘带(杨合群等, 2008), 区内花岗岩体众多, 分布广泛, 构成一条近东西向的花岗岩带, 岩带北部, 古元古界北山群变质岩系零星出露, 中西部为一东宽西窄、以北西西—南东东向展布的不规则蛇绿混杂岩带(宋泰忠等, 2008; 左国朝等, 1996; 杨合群等, 2010a), 它们是区域石板井—小黄山蛇绿岩带的一部分, 蛇绿混杂岩南侧为一套奥陶—志留系的火山-碎屑岩系。蛇绿混杂岩与两侧岩系均以断层接触。

该区的花岗岩(图 1), 在 1:20 万区域地质调查报告中(甘肃省地质矿产勘查开发局, 1977), 按形成时间分海西、印支和燕山 3 个时期, 海西期又分为中、晚两个旋回, 海西期岩体多以岩基产出, 分布最广, 印支和燕山期花岗岩则以小岩株零星分布在海西期岩体中及外围。左国朝等(1992)曾在早山划分出澄江期花岗岩, 但从测试方法看, 这一年龄还值得商榷。

东七一山花岗岩是 1:20 万区域地质调查(甘肃省地质矿产勘查开发局, 1977)中定的海西中—晚期花岗岩中规模最大的一个岩体, 岩体的位置在图 1 中位于东七一山居民点北侧。

该岩体呈一近东西向分布的不规则岩基, 沿奥陶系—中下志留统构成的复背斜侵入, 面积达 100 多 km^2 , 在岩体上部可见到奥陶系上统和志留系中上统的残留顶盖, 和围岩的接触界限极不规则, 岩体边部普遍存在宽度不一的同化混染带, 同时也常见围岩的扑捕虏体, 整个岩体的岩相分带不明显, 推测剥蚀深度不大。从数条路线观察表明, 岩体内岩性变化很大, 目前确定的有石英闪长岩、花岗闪长岩、中粒二云母花岗岩, 黑云母二长花岗岩, 黑云母正长花岗岩等。这表明该岩体是一个复式杂岩体,

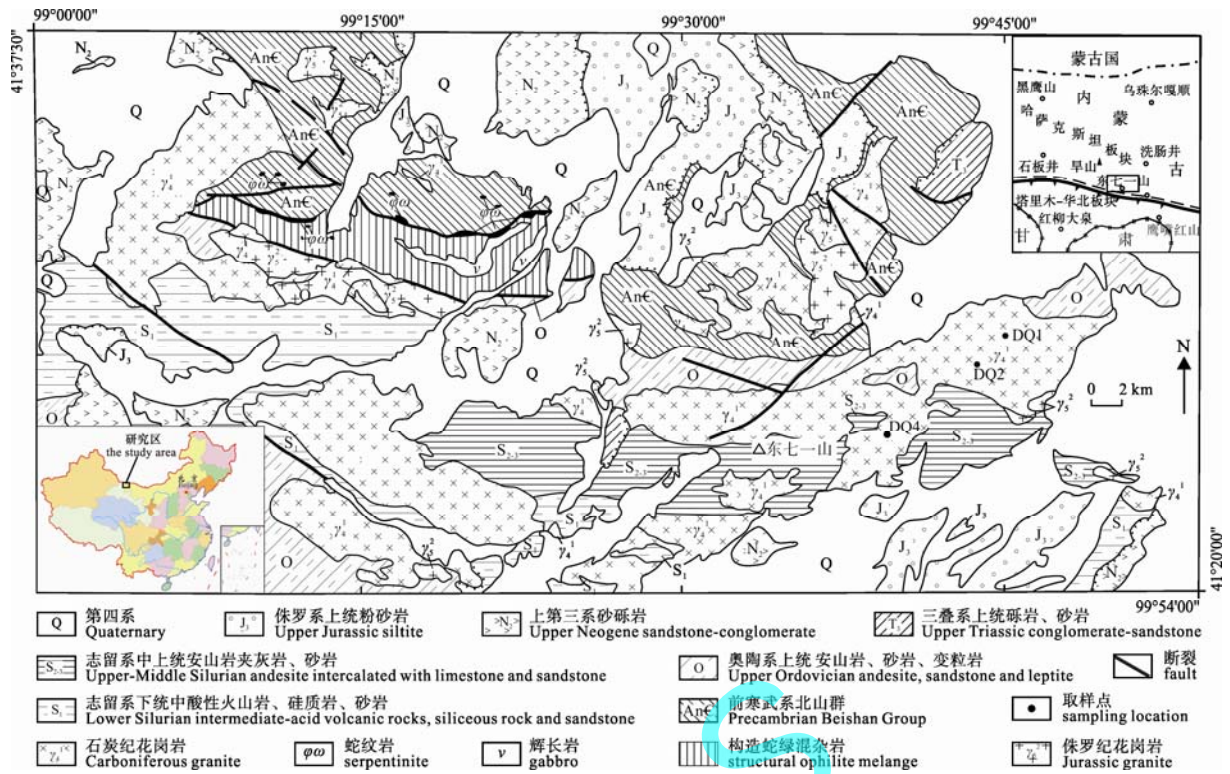


图 1 东七一山花岗岩体产出区域地质图(据甘肃省地质矿产勘查开发局, 1977 修改)
 Fig. 1 Regional geological map of Dongqiyishan granites
 (modified after Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 1977)

其中分布面积最大的是黑云母二长花岗岩, 其它几类岩体基本呈不规则小岩株、岩枝穿插其中, 但有时也呈不明显的相变关系, 故推测黑云母二长花岗岩形成时间最早。在二云母花岗岩中晚期热液蚀变较强, 其中的白云母基本是热液蚀变作用的产物, 故推测它形成最晚。另外, 在成岩后的构造活动中, 各类岩体均普遍受到挤压等构造影响。

本次工作的重点研究主体是黑云母二长花岗岩(DQ2、DQ4)和稍晚形成的二云母二长花岗岩(DQ1) 3 处岩体, 取样位置见图 1。

2 岩石学特征

DQ1 样品: 中粒二云母花岗岩, 长石、石英粒度相差不大, 石英含量 27%, 长石中钾长石含量 35%, 奥长石含量在 31%, 黑云母含量 5%, 白云母含量 2%, 后二者分布不均, 有些部位仅出现黑云母。岩石在诸多地段受后期构造影响, 长石的自形程度明显变低, 石英显示挤压、相嵌和光学性质不均一现象, 云母交代石英、长石现象明显。

DQ2 样品: 中粒片麻状黑云母二长花岗岩, 钾长石均为他形, 含量 36%, 奥长石半自形-他形, 含量 32%, 两种长石相嵌分布, 石英大多数具拉长和锯齿状特征, 有时显示脉状特征, 数量占 26%。副矿

物中榍石数量较多, 可达 2%, 磁铁矿(钛铁矿)数量也多于 DQ1, 黑云母数量为 3%~4%, 基本沿挤压带呈长条状分布。

DQ4 样品: 在 1:20 万区域地质调查图(甘肃省地质矿产勘查开发局, 1977)中, 该点周围 0.49 km² 范围内的岩体划归到燕山期, 宏观上岩石普遍呈现肉红色, 曾定为正长花岗岩, 我们抱着怀疑的态度也采了年龄样(DQ4), 同时也开展了岩石地球化学的研究。根据显微镜下观察, 主体仍为较典型的黑云母二长花岗岩, 斜长石和钾长石数量相当, 斜长石普遍较自形, 有些斜长石显示较清晰的环带结构, 同时由于后期的钠质交代作用, 普遍出现净边结构, 钾长石中也见晚期钠长石的交代现象, 黑云母呈片状, 含量在 6%~7%。岩石的构造挤压特征不是很强。测年结果表明, 该“小岩株”也为海西早期岩体。

3 地球化学特征

3 处岩石样品的主量、微量元素和 Sr-Nd 同位素分析结果见表 1 和表 2。

3.1 分析方法

主量和微量元素分析由中国地质科学院国家地质实验测试中心完成, 主量元素用 X 荧光光谱仪(2100)分析; 微量元素用等离子质谱仪(X-series)分

表 1 东七一山花岗岩的主量元素/%、微量元素/ 10^{-6} 含量
 Table 1 Major/% and trace element/ 10^{-6} contents of Dongqiyishan granites

样号	DQ1-1	DQ1-2	DQ1-3	DQ1-5	DQ2-1	DQ2-3	DQ2-4	DQ2-5	DQ4-4	DQ4-5	DQ4-6	DQ4-7	DQ4-8
SiO ₂	75.6	74.89	75.09	73.97	74.95	74.52	74.46	74.78	71.20	71.36	71.91	72.34	71.91
Al ₂ O ₃	13.69	13.64	13.81	14.16	13.52	13.6	13.49	13.58	14.4	14.22	14.41	14.4	14.11
Fe ₂ O ₃	0.76	0.71	0.59	0.56	0.68	0.63	0.68	0.67	0.9	1.05	1.27	0.74	1.23
FeO	0.48	0.52	0.77	1.04	0.41	0.61	0.38	0.45	1.28	1.10	0.84	1.45	1.24
CaO	1.04	0.92	0.9	1.93	1.57	1.44	1.52	1.42	1.58	1.31	1.12	1.32	1.03
MgO	0.48	0.54	0.55	0.42	0.33	0.33	0.34	0.36	0.72	0.68	0.64	0.74	0.74
K ₂ O	3.52	3.66	3.58	2.88	4.68	4.95	4.75	4.87	2.8	3.11	2.93	2.71	2.99
Na ₂ O	3.84	3.79	3.78	4.06	3.05	3.17	3.09	3.09	4.57	4.52	4.61	4.68	4.57
TiO ₂	0.13	0.14	0.16	0.2	0.14	0.13	0.12	0.11	0.29	0.28	0.30	0.28	0.28
MnO	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.06	0.07	0.03	0.05	0.04	0.03	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07
H ₂ O ⁺	0.66	0.6	0.78	0.44	0.42	0.46	0.24	0.44	1.24	1.20	1.28	1.20	1.10
CO ₂	0.26	0.26	0.09	0.26	0.17	0.26	0.26	0.17	0.43	0.51	0.43	0.34	0.26
LOI	0.84	0.82	0.84	0.53	0.47	1.07	0.48	0.45	1.69	1.50	1.54	1.54	1.21
Rb	89.2	94.3	95.7	88.6	59.4	67.4	64.1	62.9	76.3	89.0	73.9	76.8	87.4
Ba	786	792	762	700	2091	1939	2285	2077	388	399	346	345	433
Th	5.06	5.31	5.08	4.8	8.49	7.38	7.53	8.82	9.19	11.0	11.3	9.97	11.5
U	0.74	0.77	0.74	0.63	1.01	0.95	0.87	0.9	1.80	2.03	1.72	1.94	2.27
Nb	6.47	6.37	6.44	6.78	2.21	1.51	0.91	1.13	4.94	4.92	4.93	4.67	4.54
Ta	0.58	0.61	0.61	0.58	0.21	0.13	0.07	0.1	0.52	0.66	0.55	0.53	0.66
Sr	196	192	201	292	440	385	467	473	235	201	171	219	215
Zr	96.2	110	99.4	134	97.6	104	100	106	148	164	168	148	156
Hf	2.7	3.06	2.8	3.41	2.82	2.99	3.03	3.06	3.46	4.14	3.93	3.73	4.05
Sc	2.41	2.3	2.69	3.33	2.03	2.11	1.18	2.03	4.07	3.75	3.59	3.82	4.09
Ga	15.2	14.9	15.5	17.1	12.4	12	12.4	12.3	16.7	16.3	15.8	16.8	16.7
W	0.44	0.44	0.59	0.23	0.43	0.53	0.37	0.29	1.3	1.31	1.50	1.67	1.52
Sn	1.17	1.08	1.22	2.19	0.63	0.52	0.38	0.36	2.47	2.36	2.53	2.51	1.94
Mo	0.21	0.4	0.18	0.23	0.54	0.63	0.19	0.28	0.39	0.56	0.49	0.82	0.96
Bi	0.2	0.26	0.42	0.17	0.07	0.12	0.13	0.06	0.08	0.09	0.08	0.10	0.20
Li	17.5	18.4	18.2	30	5.68	4.59	5.67	6.35	8.01	8.30	8.46	7.74	9.69
Y	9.96	9.58	10.2	9.96	4.74	3.78	2.21	2.92	15.00	12.70	12.2	12.3	12.2
La	18.9	20	19.6	20.1	21	17.4	21.6	20.9	22.6	14.9	15.00	17.80	12.3
Ce	30.2	33.7	33.5	38.2	35.5	29.6	38.9	35.7	43.3	29.6	25.3	34.9	24.0
Pr	3.87	3.98	3.92	4.06	3.7	3.05	3.48	3.59	4.92	3.29	3.39	3.89	2.75
Nd	13.3	14.1	13.8	14.9	12.4	10.1	10.7	11.5	17.90	12.10	12.4	14.4	10.2
Sm	2.22	2.31	2.36	2.49	1.72	1.46	1.18	1.45	3.40	2.27	2.35	2.74	2.09
Eu	0.57	0.53	0.61	0.73	0.47	0.44	0.36	0.37	0.62	0.53	0.55	0.58	0.57
Gd	1.97	2.16	2.26	2.4	1.62	1.31	0.91	1.19	3.39	2.46	2.52	2.80	2.19
Tb	0.31	0.29	0.32	0.32	0.16	0.13	0.07	0.1	0.47	0.37	0.35	0.38	0.34
Dy	1.8	1.77	1.87	1.87	0.89	0.67	0.34	0.49	2.82	2.32	2.17	2.32	2.18
Ho	0.36	0.35	0.35	0.36	0.18	0.14	0.07	0.1	0.56	0.45	0.47	0.45	0.47
Er	1.1	1.04	1.05	1.03	0.54	0.44	0.28	0.38	1.68	1.42	1.38	1.39	1.41
Tm	0.16	0.15	0.15	0.16	0.09	0.07	<0.05	0.06	0.25	0.22	0.22	0.20	0.21
Yb	1.1	1.05	1.07	1.11	0.68	0.54	0.41	0.46	1.78	1.57	1.47	1.46	1.52
Lu	0.16	0.16	0.17	0.17	0.11	0.09	0.07	0.09	0.26	0.24	0.22	0.22	0.23
Σ REE	76.02	81.59	81.03	87.9	79.06	65.44	78.42	76.38	118.95	84.44	79.99	95.83	72.66

续表 1

样号	DQ1-1	DQ1-2	DQ1-3	DQ1-5	DQ2-1	DQ2-3	DQ2-4	DQ2-5	DQ4-4	DQ4-5	DQ4-6	DQ4-7	DQ4-8
LREE	69.06	74.62	73.79	80.84	74.79	62.05	76.22	73.51	92.74	62.69	58.99	74.31	51.91
HREE	6.96	6.97	7.24	7.42	4.27	3.39	2.2	2.87	11.21	9.05	8.8	9.22	8.55
LREE/ HREE	9.92	10.71	10.19	10.85	17.52	18.30	34.65	25.61	8.27	6.93	6.70	8.06	6.07
(La/Yb) _N	11.58	12.84	12.35	12.21	20.82	21.72	35.52	30.63	8.36	6.26	6.72	8.03	5.33
(La/Sm) _N	5.36	5.45	5.22	5.08	7.68	7.50	11.51	9.07	4.05	3.99	3.89	3.95	3.58
(Gd/Yb) _N	1.45	1.66	1.7	1.74	1.92	1.96	1.79	2.09	1.52	1.26	1.37	1.53	1.15
δEu	0.82	0.71	0.8	0.9	0.85	0.95	1.02	0.84	0.56	0.69	0.69	0.64	0.82
δCe	0.81	0.86	0.87	0.96	0.90	0.90	0.98	0.91	0.93	0.96	0.81	0.95	0.94

表 2 内蒙古东七一山花岗岩 Sr-Nd 同位素分析结果

Table 2 Sr-Nd isotope analytical results of Dongqiyishan granites, Inner Mongolia

样号	Rb/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	Sm/10 ⁻⁶	Nd/10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁷ Nd	(¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) _i	ε _{Sr} (t)	ε _{Nd} (t)	t _{DM}
DQ1-1	114.2	150.6	2.195	0.71558	0.70449	2.299	14.272	0.09744	0.51207	5.8	-2.2	1124
DQ1-2	105.6	141.3	2.165	0.716	0.70504	2.124	12.976	0.099	0.51207	13.6	-2.2	1137
DQ1-3	120.9	158.2	2.214	0.716	0.70486	2.539	15.818	0.0971	0.51205	11.0	-2.6	1149
DQ1-5	106.5	212.9	1.449	0.7135	0.70616	2.550	15.559	0.0991	0.51204	29.6	-2.8	1176
DQ2-1	663.4	333.3	0.576	0.7084	0.70544	1.838	13.494	0.0824	0.51213	19.6	-1.0	962
DQ2-3	835.6	306.6	0.7887	0.7093	0.70527	1.596	12.261	0.0787	0.51212	16.8	-1.1	953
DQ2-4	740.9	362.1	0.592	0.7084	0.70539	1.139	10.936	0.063	0.51214	18.6	-0.9	881
DQ2-5	739.0	367.4	0.5819	0.7085	0.70551	1.470	12.599	0.0706	0.51214	20.3	-0.8	903
DQ4-4	572.4	150.7	1.099	0.7104	0.70487	2.676	13.659	0.1185	0.51221	11.1	0.5	1073
DQ4-5	896.2	140.2	1.85	0.7121	0.70278	2.383	12.564	0.1147	0.51223	-18.6	1.0	1006
DQ4-6	772.3	126.6	1.766	0.7122	0.70332	2.221	11.243	0.1195	0.51222	-10.8	0.7	1064
DQ4-7	647.6	154.1	1.216	0.7122	0.70605	2.558	13.256	0.1167	0.51222	28.0	0.8	1035
DQ4-8	737.1	147.9	1.442	0.7119	0.70465	1.820	8.875	0.124	0.51221	8.0	0.5	1112

析, 分析精度优于 5%。分析结果见表 1。Rb、Sr、Nd、Sm 同位素体系的含量和比值测试由中国地质科学院地质研究所同位素室完成, Rb、Sr、Nd、Sm 含量分析方法为同位素稀释法, 所用仪器为 MAT262 固体同位素质谱计。Sr 同位素分析方法: 仪器为 MAT 固体同位素质谱计, 标样采用 SRM987 SrCO₃ ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.710247 ± 12(2), Sr 同位素质量分馏采用 ⁸⁸Sr/⁸⁶Sr=8.37521 校正, 全实验室流程 Sr 的空白本底为 1~2 ng。Nd 同位素分析方法: 仪器为 Nu Plasam HR MC-ICP-MS(Nu Instruments), DSN-100 膜去溶; 标样采用 JMC Nd₂O₃ ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.511125 ± 10(2); Nd 同位素质量分馏采用 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 校正。全实验室流程的 Nd 空白本底 < 1 ng。详细分析流程见何学贤等(2007)。

3.2 常量元素地球化学

与中国花岗岩平均值(黎彤等, 1998)比较, 3 处样品中除 Si₂O 含量较高外, 其它主元素基本都偏低, 例如, SiO₂ 含量介于 71.20%~75.09%之间, 平均 73.62%, 而中国花岗岩的平均值仅为 71.63%, 岩石

中 Al₂O₃ 平均值为 13.92%, 中国花岗岩平均值为 14.00%, 岩石中 K₂O 和 Na₂O 平均含量分别是 3.65% 和 3.91%, 而中国花岗岩平均值分别为 4.09% 和 3.83%, 岩石中 Fe₂O₃+FeO、MgO、TiO₂ 分别是 1.62%、0.53%和 0.20%, 而中国花岗岩平均值则分别是 3.03%、0.88%和 0.29%。

3 处样品的主成分相比, 尽管有较大共同性, 但仍存在一定差异, SiO₂ 含量最高和最低之间相差 4%, Al₂O₃ 相差 0.92%, K₂O 相差 2.24%, Na₂O 相差 1.63%, Fe₂O₃+FeO 相差 1.41%, MgO 相差 0.41%, TiO₂ 相差 0.19%。其中酸度较高的是 DQ1, 较低的是 DQ4, 反之, 基性成分较高的是 DQ4, 较低的是 DQ1, 但在 K₂O+Na₂O 含量上, 较高的是 DQ2 样品, 较低的是 DQ1, 在 K₂O/Na₂O 上, 最高的也是 DQ2 样品, 其比值全部大于 1(1.53~1.57), 最低的是 DQ4, 比值变化于 0.58~0.69 之间, 也即 DQ2 富钾, DQ4 贫钾。在 SiO₂-K₂O 图解(图 2)中, 所采样品属于较富钾的中-高钾钙碱性系列。

3.3 微量元素地球化学

3 处样品的稀土元素总量变化于 $65.44 \times 10^{-6} \sim 118.95 \times 10^{-6}$, 平均 82.90×10^{-6} , 在所有样品中, 轻稀土元素(La 至 Eu)含量明显高于重稀土(Sm 至 Lu), 轻重稀土比值平均达 13.37, 因此 3 处样品的稀土模式图(图 3)均呈右倾斜型。(La/Yb)_N、(La/Sm)_N 和(Gd/Yb)_N 也具有类似特点。由于在岩浆分异成岩过程中, 其中轻、重稀土元素的分离, 不仅造成了轻稀土在目前岩石中的富集和重稀土元素向更晚期岩浆中的集中, 同时也造成处于轻重稀土之间的 Eu 亏损, 3 处样品的 δEu 平均为 0.79, 其中亏损较大的是 DQ4, δEu 平均仅为 0.68, 在稀土模式图中(图 3), DQ4 样品的 Eu 部位呈明显的峡谷型, 其次是 DQ1(0.80)和 DQ2(0.91)。Ce 的亏损不显著, δCe 变化于 0.81~0.98。稀土总量高低的变化与 δEu 、 δCe 的强度变化基本是一致的, 但轻重稀土比值的变化则恰相反, 即, 岩石中稀土含量愈高, Eu、Ce 的亏损也愈大, 轻重稀土的分离也愈明显。3 处岩石中稀土元素分布较一致的规律性, 也进一步印证了它们源岩的共同性和成岩过程的相似性。在成岩的

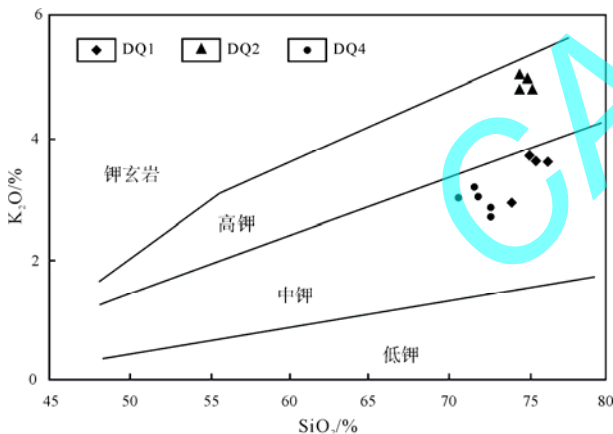


图 2 东七一山花岗岩 K_2O - SiO_2 图解

Fig. 2 K_2O versus SiO_2 diagram of Dongqiyishan granite

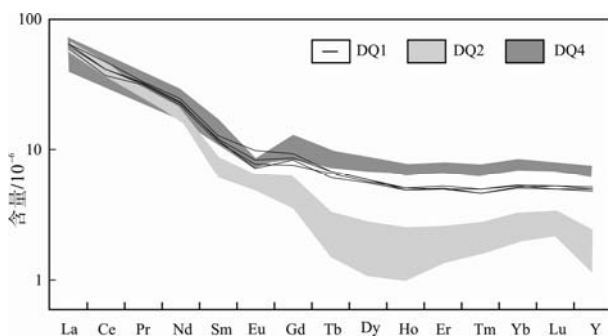


图 3 东七一山花岗岩稀土元素配分模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of Dongqiyishan granite

时间上处于东七一山边部的 DQ4 可能相对较早, 其次是 DQ1 和 DQ2。

3 处样品中的大离子和不相容元素, 总体上有较大的相似性, 其蛛网图与酸性岩浆岩基本一致(图 4), 最富集的元素均是 Tm、Rb、Ba、K、Th 和 La, 最亏损的元素均是 Y, 其次是 Ta、Nb、P、Ti。但 3 处样品中, 微量元素含量也存在一定差异, 在 DQ2 样品中, 大离子除 K 外, Ba、Sr 的含量也明显较高, 平均含量分别是 2098×10^{-6} 和 441.25×10^{-6} , DQ1 分别为 760×10^{-6} 和 220.25×10^{-6} , 而 DQ4 仅为 382×10^{-6} 和 208×10^{-6} , 在 DQ4 中相对较高的是不相容元素 Th 和 Ta, 其平均含量分别是 10.55×10^{-6} 和 0.61×10^{-6} , DQ2 分别是 8×10^{-6} 和 0.13×10^{-6} , DQ1 中 Th 和 Ta 分别是 5.06×10^{-6} 和 0.60×10^{-6} , 在 DQ1 中相对较高的是 Bi 和 Li, 分别是 0.26×10^{-6} 和 21×10^{-6} , DQ2 中则分别是 0.1×10^{-6} 和 5.57×10^{-6} , DQ4 中分别是 0.11×10^{-6} 和 8.44×10^{-6} 。其差异表明, 同一源区产生的岩浆在上侵过程中, 不同部位的岩浆成分总是有一定差异。

从表 2 看出, 3 处样品在 Rb、Sr、Sm、Nd 的含量和同位素比值有一定差异, 但 3 者的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 还是很接近的, DQ1 平均为 0.7051375; DQ2 平均为 0.7054025; DQ4 平均为 0.704334, 总体反映了一个以壳源为主, 壳幔混合的特点。同样, 反映 3 处样品原岩特征的 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ 总体是非常接近的, 如果取亏损地幔的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 现代值为 0.51315, 采用二元混合模式进行估算(江思宏等, 2006), 可能表明构成东七一山岩体的原始岩浆中有少量来自大离子和

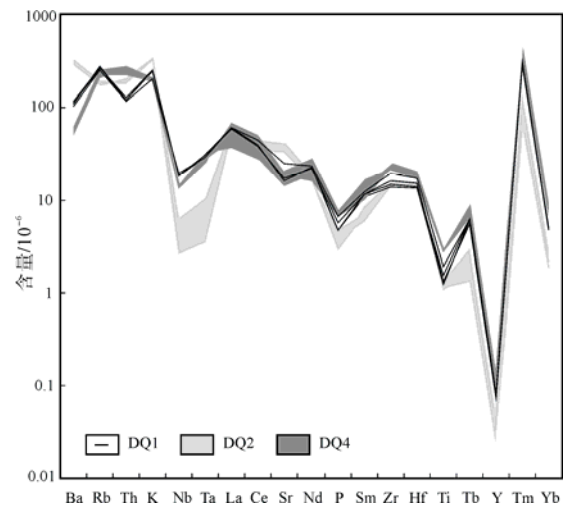


图 4 东七一山花岗岩的微量元素蛛网图

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of Dongqiyishan granite

不相容微量元素强烈亏损的地幔源区或者受到地幔源区物质的污染。但 3 组样品中, DQ1 和 DQ2 的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 全部为负值, DQ4 尽管为正值, 但几乎全部均小于 1, 其 t_{DM} 变化于 1176~962, 和区域北部交叉沟一带北山群中深变质岩系形成时间基本相当(聂凤军等, 2002)。因此, 可推测东七一山花岗岩是北山群在挤压隆升过程中熔融产生的。

4 锆石采集及定年

本次测年锆石首先是在野外对东七一山岩体进行了详细的观察研究后, 在有代表性的 3 处不同岩性部位各采 20 kg 新鲜样品基础上进行的。样品的分选由河北省廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成。在双目镜下观察, 3 处样品锆石有较大相似性, 颜色普遍较浅, 以浅黄色、浅玫瑰色和浅褐黄色为主, 透明度较好, 晶体虽主要为柱状体, 但其组成较为复杂, 多为(110)、(100)与(111)、(131)、(311)的聚形, 晶体延长系数较大, 平均在 3.0, 晶面比较平整。晶体表面基本上没有熔蚀特征, 棱角普遍较清楚, 个别颗粒含有不透明矿物包裹体, 但没有观察到由于放射性作用导致蜕晶化而呈现的半透明及云雾化现象。

4.1 分析方法

将挑选的锆石样品和标准锆石参考样(TEM)一起固定在样品靶上, 对锆石颗粒表面进行研磨抛光(Williams et al., 1987; 宋彪等, 2002), 并用阴极发光扫描电镜进行了图像分析, 从每颗测年锆石几乎都有清晰的环带表明, 它们均具有较典型的岩浆成因特征。

SHRIMP U-Pb 年龄测定是在中国地质科学院北京离子探针中心的 SHRIMP 仪器上完成, 详细分析流程和原理参考了 Compston 等(1992)、Williams 等(1987)和宋彪等(2002)的文献。测试时应用了 RSES(澳大利亚国立大学地学院)的标准锆石 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238×10^{-6}), 用来标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量, 测年时每测 3 次样品, 加测一次标样(TEM), 以控制仪器的稳定性和离子计数统计的精确性。普通铅由实测 ^{204}Pb 及 Cumming-Richard 模式铅成分校正。所有测点的误差均为 1σ , 所采用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄具 95% 的置信度。数据处理采用 Ludwig 编写的 Squid 1.0(Ludwig, 2001)和 Isoplot 程序(Ludwig, 1999)。激光在锆石上轰击后均留下了清晰的束斑环(图 5)。

4.2 测试结果

3 处样品的测试结果见表 3。

对 DQ1 样品的测试, 选择了 14 粒锆石进行了 15 个点的分析, 图 6 是这些点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图, 其中 12、15、17 点偏离群体处于斜线的右上侧, 同时也比较分散, 它们的年龄值具有加里东晚期特征, 可能为继承性岩浆锆石, 3 号点的年龄值与群体相比又明显偏新, 为此, 我们在统计年龄时排除了它们, 对其它 11 个群体点进行了年龄的统计, 其加权平均年龄为 (355 ± 4) Ma, MSWD=1.07。可以说, 它们是有代表性的。11 个点有效测年数据中, 普通铅含量最高 2.31×10^{-6} , 最低 0.1×10^{-6} , 平均 0.74×10^{-6} , 放射成因铅含量最高 45.4×10^{-6} , 最低 4.01×10^{-6} , 平均 21.7×10^{-6} , U 含量最高 960×10^{-6} , 最低 79×10^{-6} , 平均 438×10^{-6} , Th 含量最高 1368×10^{-6} , 最低 50×10^{-6} , 平均 377×10^{-6} , Th/U 平均 0.86, 进一步说明了锆石的岩浆成因。

对 DQ2 样品选择了 15 粒锆石进行了 16 个点的分析, 图 7 是这些点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图, 其中 4、14 点偏离群体处于斜线的右上侧, 同时也比较分散, 其年龄值具有加里东晚期特征, 也可能为继承性岩浆锆石, 1、8、15 点的年龄值与群体相比又明显偏新, 为此, 我们在统计年龄时排除了这些点, 对其它 11 个群体点进行了年龄的统计, 其加权平均年龄为 (359 ± 4) Ma, MSWD=1.8。在 11 个分析结果中, 普通铅含量最高 4.86×10^{-6} , 最低 0.16×10^{-6} , 平均 1.10×10^{-6} , 放射成因铅含量最高 224×10^{-6} , 最低 2.86×10^{-6} , 平均 39.2×10^{-6} , U 含量最高 6739×10^{-6} , 最低 54×10^{-6} , 平均 965×10^{-6} , Th 含量最高 692×10^{-6} , 最低 36×10^{-6} , 平均 236×10^{-6} , Th/U 平均 0.24, 反映了锆石的岩浆成因。

对 DQ4 样品选择了 12 粒锆石进行了 12 个点的分析, 图 8 是这些点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图, 其中 1、2、5、10 号点的分析结果相对其它群体点离散, 故在统计年龄时排除了它们, 其他 8 个点的加权平均年龄为 (355 ± 5) Ma, MSWD=1.13。在这 8 个点的分析结果中, 普通铅含量最高 1.04×10^{-6} , 最低 0.14×10^{-6} , 平均 0.54×10^{-6} , 放射成因铅含量最高 33.1×10^{-6} , 最低 3.50×10^{-6} , 平均 11.53×10^{-6} , U 含量最高 657×10^{-6} , 最低 73×10^{-6} , 平均 223×10^{-6} , Th 含量最高 212×10^{-6} , 最低 53×10^{-6} , 平均 97×10^{-6} , Th/U 平均 0.43, 也反映了锆石的岩浆成因。



图5 东七一山花岗岩测年锆石的阴极发光图像、分析点位置、编号及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma

Fig. 5 CL images, testing spots and their serial number as well as $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages/Ma of zircons from Dongqi-yishan granite

3 处样品的加权平均年龄是非常接近的, 处于容许误差范围, 因此它们可以代表东七一山花岗岩的成岩年龄, 即形成于海西早期。

5 岩体年龄地质背景讨论

从样品的采集、锆石的分选及在 SHRIMP 仪

器上的分析过程, 本次工作是非常认真、严格地按测年要求进行的, 其岩石化学和 Sr-Nd 同位素分析也是完全按规范进行的, 因此, 以上的分析成果是可靠的。在中国地层代表表上, 所测的 3 组年龄介于泥盆纪晚期或和石炭纪交接时期, 在我国地壳运动史上应处于海西构造运动早期, 因而, 对 1:20 万

表 3 内蒙古东七一山花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分析结果

Table 3 SHRIMP U-Pb isotopic analytical data of zircon grains from Dongqiyishan granites, Inner Mongolia

测点	²⁰⁶ Pb _c /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄及误差/Ma	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* 比值 误差/%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U 比值 误差/%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U 比值 误差/%		
DQ1 样品											
1	0.10	612	312	29.1	0.53	346.7±6.0	0.05330 1.5	0.4061 0.4061	0.05526 1.8		
2	1.22	173	77	8.34	0.46	347.7±6.9	0.0438 11	0.335 0.335	0.0554 2.0		
3	0.37	332	149	14.9	0.46	326.7±5.9	0.0529 3.0	0.379 0.379	0.05198 1.9		
4	0.16	960	1368	45.4	1.47	345.4±5.8	0.05328 1.5	0.4044 0.4044	0.05504 1.7		
5	0.14	485	330	23.8	0.70	357.6±6.2	0.0533 2.0	0.419 0.419	0.0570 1.8		
6	1.37	871	576	43.6	0.68	359.7±6.1	0.0514 3.6	0.407 0.407	0.0574 1.8		
7	1.98	899	944	44.6	1.09	355.2±6.2	0.0519 5.5	0.405 0.405	0.0567 1.8		
8	0.24	376	316	18.7	0.87	361.3±6.4	0.0523 2.5	0.416 0.416	0.0577 1.8		
9	0.28	457	306	22.8	0.69	362.6±6.5	0.0541 2.7	0.431 0.431	0.0579 1.8		
11	0.74	101	50	4.86	0.51	348.2±7.2	0.0502 6.4	0.384 0.384	0.0555 2.1		
12	0.25	275	128	16.2	0.48	426.8±7.6	0.0539 2.7	0.509 0.509	0.0684 1.8		
13	0.38	316	169	15.4	0.55	355.8±6.3	0.0539 2.2	0.422 0.422	0.0567 1.8		
15	1.05	68	60	3.58	0.92	382.6±8.7	0.0518 9.2	0.436 0.436	0.0612 2.4		
16	2.31	79	73	4.01	0.95	363.0±8.3	0.0442 17	0.353 0.353	0.0579 2.4		
17	0.49	326	134	20.6	0.43	456.0±9.1	0.0532 2.7	0.537 0.537	0.0733 2.1		
DQ2 样品											
1	1.23	102	102	4.56	1.04	323.6±7.1	0.0497 6.9	0.353 7.3	0.0515 2.3		
2	0.40	230	135	11.2	0.61	353.1±6.5	0.0514 3.2	0.399 3.8	0.0563 1.9		
3	0.69	206	84	10.4	0.42	365.6±6.8	0.0552 5.2	0.444 5.6	0.0584 1.9		
4	0.31	290	102	17.8	0.36	441.8±7.8	0.0558 2.8	0.545 3.3	0.0709 1.8		
5	0.51	185	213	9.00	1.19	353.7±6.9	0.0528 4.6	0.411 5.0	0.0564 2.0		
6	1.08	905	353	45.6	0.40	363.5±6.2	0.0519 3.3	0.415 3.8	0.0580 1.7		
7	0.99	1989	100	95.4	0.05	346.7±5.9	0.05146 1.9	0.392 2.6	0.05526 1.8		
8	0.50	221	157	10.3	0.74	339.6±6.2	0.0565 4.0	0.421 4.4	0.0541 1.9		
9	0.16	549	455	26.1	0.86	346.9±6.0	0.0552 1.9	0.421 2.6	0.05529 1.8		
10	0.39	472	247	23.6	0.54	363.1±6.4	0.0527 2.7	0.421 3.2	0.0579 1.8		
11	1.60	219	97	10.9	0.46	356.2±6.8	0.0558 7.2	0.437 7.5	0.0568 2.0		
12	0.26	246	183	12.6	0.77	371.1±6.8	0.0522 2.8	0.426 3.4	0.0592 1.9		
13	0.08	654	371	33.2	0.59	369.6±6.4	0.05473 1.6	0.445 2.4	0.0590 1.8		
14	0.21	560	340	30.4	0.63	394.5±6.8	0.0532 2.2	0.463 2.8	0.0631 1.8		
15	2.11	6739	692	224	0.11	239.4±4.0	0.0538 2.2	0.2805 2.8	0.03783 1.7		
16	4.86	54	36	2.86	0.68	364±11	0.074 23	0.59 23	0.0581 3.1		
DQ4 样品											
1	1.57	77	56	3.56	0.75	331.3±7.1	0.0508 5.0	0.369 5.5	0.0527 2.2		
2	0.64	377	104	19.8	0.29	380.5±6.8	0.0536 3.6	0.449 4.1	0.0608 1.8		
3	0.24	124	79	6.19	0.66	362.7±7.1	0.0577 4.0	0.460 4.5	0.0579 2.0		
4	0.00	107	63	5.24	0.61	357.8±7.5	0.0673 3.6	0.530 4.2	0.0571 2.2		
5	0.05	417	95	22.4	0.24	391.1±7.4	0.05615 1.8	0.484 2.6	0.0625 1.9		
6	1.04	125	78	6.07	0.64	349.6±7.0	0.0553 5.0	0.425 5.4	0.0557 2.1		
7	1.02	118	72	5.89	0.63	359.0±7.7	0.0503 9.8	0.397 10	0.0573 2.2		
8	0.14	657	104	33.1	0.16	366.9±6.4	0.05214 1.8	0.421 2.5	0.0586 1.8		
9	0.14	330	125	15.8	0.39	349.5±6.4	0.0546 2.3	0.420 3.0	0.0557 1.9		
10	0.74	123	212	11.0	1.78	632±12	0.0564 6.5	0.801 6.8	0.1030 2.1		
11	0.65	73	53	3.50	0.75	346.1±8.3	0.0631 12	0.480 12	0.0552 2.5		
12	0.93	352	87	17.0	0.25	350.4±6.4	0.0483 5.6	0.372 5.9	0.0559 1.9		

注: Pb_c 和 Pb* 分别代表普通铅和放射成因铅, 用 ²⁰⁸Pb 校正普通铅; U-Pb 年龄及同位素比值误差均为 1 , 表中表示的误差为最后 2~3 位数字。

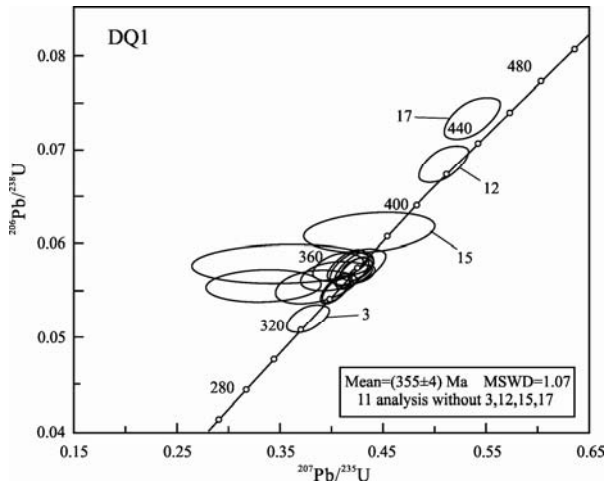


图 6 DQ1 样品锆石分析数据的 U-Pb 谐和图解
Fig. 6 U-Pb concordia diagram of zircon grains from sample DQ1

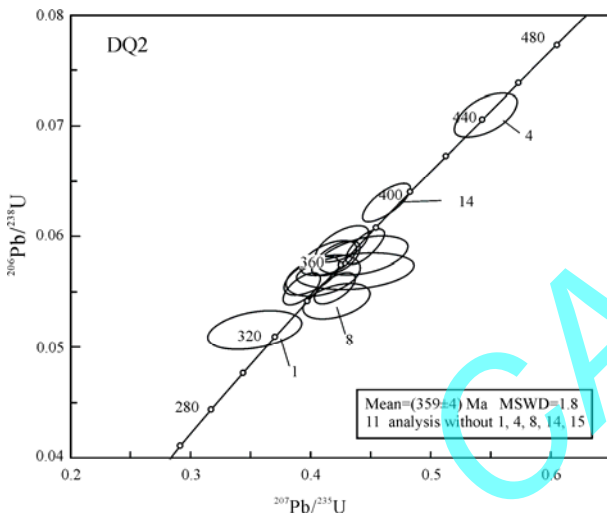


图 7 DQ2 样品锆石分析数据的 U-Pb 谐和图解
Fig. 7 U-Pb concordia diagram of zircon grains from sample DQ2

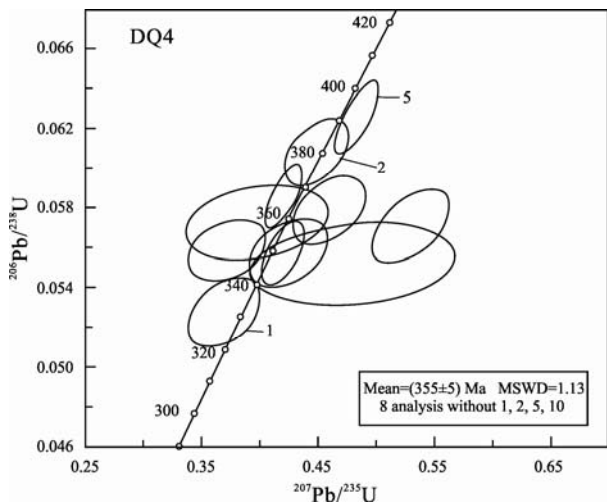


图 8 DQ4 样品锆石分析数据的 U-Pb 谐和图解
Fig. 8 U-Pb concordia diagram of zircon grains from sample DQ4

区域地质调查中(甘肃省地质矿产勘查开发局, 1977), 将东七一山花岗岩推定为海西中—晚期的认识显然是需要修正的, 当然, 也包括了对东七一山花岗岩及区域上同类岩体形成环境及地壳演化史的重新认识。

北山地区古大陆自寒武纪初期发生裂解, 一直到中奥陶世形成广阔的红柳河—牛圈子—洗肠井洋盆(何世平等, 2005), 志留纪末, 红柳河—牛圈子—洗肠井洋盆在自南向北的俯冲中基本封闭, 哈萨克斯坦板块和塔里木板块发生拼贴, 使北山地区在碰撞造山过程中又构成了一个相对统一的板块, 然而, 北山地区的地壳活动并没有因早古生代晚期的碰撞造山作用而相对趋于平稳。在泥盆纪, 区内的地壳活动仍处于较活跃状态, 表现为在泥盆系浅海相碎屑岩中, 中基性-中酸性火山岩建造仍非常发育, 其厚度达 2000 m, 这一活动一直延续到石炭纪早期。种种迹象表明, 该时期的地壳活动与早生代晚期的俯冲造山作用先后衔接、相互关联(何世平等, 2005)。在泥盆纪的这种特定造山作用过程中, 地壳深部因强烈挤压发生部分熔融, 从而沿早山带形成一些海西早期的花岗岩类侵入体, 它在岩石化学等特征上往往和典型俯冲-碰撞造山带的花岗岩有一定区别, 在其形成环境中的地层、构造及变质作用等方面的变形程度不是很强烈, 因而人们往往忽视了对北山晚古生代早期地壳活动的深入探索, 特别是花岗岩浆活动特征的研究, 常常把一些侵入到早古生代地层中的岩体也笼统归到晚古生代中—晚期, 本文所讨论的东七一山花岗岩就是如此。因此, 该岩体确定为海西早期产物, 对北山地区东部地壳活动规律认识的深化具有重要意义。

总之, 东七一山花岗岩的测年结果和元素及同位素分析, 对北山地区古生代早—晚衔接时期地壳活动的重新认识, 对深化北山地区地壳演化应当说有着积极意义, 使该区地壳演化史有了一个较完整的新概念。

参考文献:

- 甘肃省地质矿产勘查开发局. 1977. 中华人民共和国区域地质测量报告: 路井幅(K-47-XXII)[R]. 兰州: 甘肃省地质矿产勘查开发局.
- 龚全胜, 刘明强, 李海林, 梁明宏, 代文军. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. 西北地质, 35(3): 28-34.
- 何世平, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. 西北地质, 35(4): 30-40.

- 何世平, 周会武, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质, 38(3): 6-15.
- 何世平, 周会武, 姚文光, 任秉琛, 付力浦. 2004. 甘肃北山中泥盆统砾岩中放射虫的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 37(3): 24-28.
- 何学贤, 唐索寒, 朱祥坤, 王进辉. 2007. 多接收器等离子体质谱(MC-ICPMS)高精度测定 Nd 同位素方法[J]. 地球学报, 28(4): 405-410.
- 江思宏, 聂凤军, 陈文, 刘妍, 白大明, 刘新宇, 张思红. 2003. 北山明水地区花岗岩时代的确定及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 22(2): 107-111.
- 江思宏, 聂凤军. 2006. 北山地区花岗岩类成因的 Nd 同位素制约[J]. 地质学报, 80(6): 826-842.
- 黎彤, 袁怀雨, 吴胜昔. 1998. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均化学成分的对比研究[J]. 大地构造与成矿学, 22(1): 29-34.
- 梅华林, 李惠民, 陆松年, 于海峰, 左义成, 李铨. 1999. 甘肃柳园地区花岗岩类时代及成因[J]. 岩石矿物学杂志, 18(1): 14-17.
- 穆治国, 刘驰, 黄宝玲, 侯贵廷, 左国朝, 刘春燕, 冯永忠. 1992. 甘肃北山地区同位素定年与构造岩浆热事件[J]. 北京大学学报(自然科学版), 28(4): 486-497.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 王新亮, 苏新旭, 李景春, 刘妍, 赵省明. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京: 地质出版社.
- 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 白大明. 2001. 蒙-甘-新相邻(北山)地区两种新类型贵重金属矿床的发现及其意义[J]. 地球学报, 22(5): 397-402.
- 任秉琛, 何世平, 姚文光, 傅力浦. 2001. 甘肃北山牛圈子蛇绿岩铷-锶同位素年龄及其大地构造意义[J]. 西北地质, 34(2): 21-27.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(S1): 26-30.
- 宋泰忠, 王瑾, 林海, 杨贤法, 张林, 安守文. 2008. 内蒙古北山地区小黄山蛇绿岩地质特征[J]. 西北地质, 41(3): 55-63.
- 童英, 洪大卫, 王涛, 史兴俊, 张建军, 曾涛. 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.
- 王立社, 杨建国, 王育习, 雷永孝, 谢春林, 曹红霞, 杨鹏飞, 齐亚林, 高明. 2009. 甘肃北山营毛沱地区公婆泉群中玄武岩同位素定年及其地质意义[J]. 地球学报, 30(3): 363-368.
- 王涛. 2000. 花岗岩研究与大陆动力学[J]. 地学前缘, 7(S1): 137-146.
- 王谐, 李迎香, 左介辞, 方桂云. 1988. 北山地区花岗岩类岩石的初步研究[J]. 甘肃地质, 9: 1-15.
- 魏志军, 黄增宝, 金霞, 孙永君, 火军昌. 2004. 甘肃红石山地区蛇绿混杂岩地质特征[J]. 西北地质, 37(2): 13-18.
- 西安地质矿产研究所. 2006. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京: 地质出版社: 224-245.
- 修群业. 1999. 甘肃北山地区花岗岩类地球化学特征及大地构造意义[J]. 前寒武纪研究进展, 22(1): 31-39.
- 杨合群, 李英, 李文明, 杨建国, 赵国斌, 孙南一, 王小红, 谭文娟. 2008. 北山成矿构造背景概论[J]. 西北地质, 41(1): 22-28.
- 杨合群, 李英, 李文明, 杨建国, 赵国斌, 王小红. 2009. 北山花岗岩 S 型/I 型空间变化规律及含矿性[J]. 地球学报, 30(5): 627-633.
- 杨合群, 李英, 赵国斌, 李文渊, 王小红, 姜寒冰, 谭文娟, 孙南一. 2010a. 北山蛇绿岩特征及构造属性[J]. 西北地质, 43(1): 26-36.
- 杨合群, 赵国斌, 李文明, 杨建国, 李英, 王小红, 姜寒冰, 谭文娟. 2010b. 内蒙古盘陀山-鹰嘴红山含钨花岗岩带形成时代及源区示踪[J]. 地质与勘探, 46(3): 407-413.
- 周国庆, 赵建新, 李献华. 2000. 内蒙古月牙山蛇绿岩特征及形成的构造背景: 地球化学和 Sm-Nd 同位素制约[J]. 地球化学, 29(2): 108-119.
- 左国朝, 何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社.
- 左国朝, 李茂松. 1996. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成和演化[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社.
- 左国朝, 刘春燕, 白万成, 冯永忠. 1995. 北山泥盆纪碰撞造山火山-磨拉石地质构造及地球化学特征[J]. 甘肃地质学报, 4(1): 35-43.
- 左国朝, 刘春燕, 冯永忠, 张惟国. 1992. 北山地区旱山一带澄江期花岗岩的发现及其地球化学特征[M]//李清波. 现代地质学研究文集(上). 北京: 北京大学出版社: 68-73.
- 左国朝, 刘义科, 刘春燕. 2003. 甘蒙北山地区构造格局及演化[J]. 甘肃地质学报, 12(1): 1-15.

References:

- COMPSTON W, WILLIAMS I S, KIRSCHVINK J L, ZICHAO Z, GUOGAN M A. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale[J]. Journal of the Geological Society, 149(2): 171-184.
- Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Develop-

- ment. 1977. Lujing Width (K-47-XXII) of Survey Report in Regional Geology[R]. Lanzhou: Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development(in Chinese).
- GONG Quan-sheng, LIU Ming-qiang, LI Hai-lin, LIANG Ming-hong, DAI Wen-jun. 2002. The Type and Basic Characteristics of Beishan Orogenic Belt, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 35(3): 28-34(in Chinese with English abstract).
- HE Shi-ping, REN Bing-shen. YAO Wen-guang, FU Li-pu. 2002. The Division of Tectonic Units of Beishan Area, Gansu-Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 35(4): 30-40(in Chinese with English abstract).
- HE Shi-ping, ZHOU Hui-wu, REN Bing-chen, YAO Wen-guang, FU Li-pu. 2005. Crustal Evolution of Palaeozoic in Beishan Area, Gansu and Inner Mongolia, China[J]. *Northwestern Geology*, 38(3): 6-15(in Chinese with English abstract).
- HE Shi-ping, ZHOU Hui-wu, YAO Wen-guang, REN Bing-chen, FU Li-pu. 2004. Discovery and Significance of Radiolaria from Middle Devonian Conglomerate in Beishan Area, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 37(3): 24-28(in Chinese with English abstract).
- HE Xue-xian, TANG Suo-han, ZHU Xiang-kun, WANG Jin-hui. 2007. Precise Measurement of Nd Isotopic Ratios by Means of Multi-collector Magnetic Sector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(4): 405-410(in Chinese with English abstract).
- JIANG Si-hong, NIE Feng-jun, CHEN Wen, LIU Yan, BAI Da-ming, LIU Xin-yu, ZHANG Si-hong. 2003. The Determination of the Emplacement Age of Granite in Mingshui, Beishan Area, and Its Implication[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(2): 107-111(in Chinese with English abstract).
- JIANG Si-hong, NIE Feng-jun. 2006. Nd-Isotope Constraints on Origin of Granitoids in Beishan Mountain Area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 826-842(in Chinese with English abstract).
- LI Tong, YUAN Huai-yu, WU Sheng-xi. 1998. On the Average Chemical Composition of Granitoids in China and the World[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 22(1): 29-34(in Chinese with English abstract).
- LUDWIG K R. 1999. Using Isoplot/EX, Version 2, a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Publication: 47.
- LUDWIG K R. 2001. Squid 1.02: A User Manual[M]. Berkeley: Geochronological Center Soecial Publication: 2-19.
- MEI Hua-ling, LI Hui-ming, LU Song-nian, YU Hai-feng, ZUO Yi-cheng, LI Quan. 1999. The Age and Origin of the Liuyuan Granitoid, Northwestern Gansu[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(1): 14-17(in Chinese with English abstract).
- MU Zhi-guo, LIU Chi, HUANG Bao-ling, HOU Gui-ting, ZUO Guo-chao, LIU Chun-yan, FENG Yong-zhong. 1992. The Iso- tope Age-Dating and Tectonics Thermal Events in the Beishan Region, Gansu Province[J]. *Acta Seicentiarum Naturalum Universitatis Pekinesis*, 28(4): 486-497(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, BAI Da-ming, WANG Xin-liang, SU Xin-xu, LI Jing-chun, LIU Yan, ZHAO Xing-ming. 2002. Metallogenic Studies and Ore Prospecting in the Conjunction Area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Beishan Mt.)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, ZHAO Xing-min, BAI Da-ming. 2001. The Discovery of Two New Precious Metal Deposits in the Inner Mongolia-Gansu-Xinjiang Juncture (Beishan) Area and Its Geological Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 22(5): 397-402(in Chinese with English abstract).
- REN Bing-chen, HE Shi-ping, YAO Wen-guang, FU Li-pu. 2001. Rb-Sr Isotope Age of Niuquanzi ophiolite and its tectonic significance in Beishan district, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 34(2): 21-27(in Chinese with English abstract).
- SONG Biao, ZHANG Yu-hai, WAN Yu-sheng, JIAN Ping. 2002. Mount Making and Procedure of the SHRIMP Dating[J]. *Geological Review*, 48(S1): 26-30(in Chinese with English abstract).
- SONG Tai-zhong, WANG Jin, LIN Hai, YANG Xian-fa, ZHANG Lin, AN Shou-wen. 2008. The Geological Features of Ophiolites of Xiaohuangshan in Beishan Area, Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 41(3): 55-63(in Chinese with English abstract).
- TONG Ying, HONG Da-wei, WANG Tao, SHI Xing-jun, ZHANG Jian-jun, ZENG Tao. 2010. Spatial and Temporal Distribution of Granitoids in the Middle Segment of the Sino-Mongolian Border and Its Tectonic and Metallogenic Implications[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(3): 395-412(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-she, YANG Jian-guo, WANG Yu-xi, LEI Yong-xiao,

- XIE Chun-lin, CAO Hong-xia, YANG Peng-fei, QI Ya-lin, GAO Ming. 2009. Isotopic Dating of Basalt from Gongpoquan Group in Yingmaotuo Area of the Beishan Mountain, Gansu Province, and Its Geological Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(3): 363-368(in Chinese with English abstract).
- WANG Tao. 2000. Studies on Granites and Continental Dynamics[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(S1): 137-146(in Chinese with English abstract).
- WANG Xie, LI Ying-xiang, ZUO Jie-ci, FANG Gui-yun. 1988. A Preliminary Study of the Granitic Rocks in the Beishan Area[J]. *Gansu Geology*, 9: 1-15(in Chinese with English abstract).
- WEI Zhi-jun, HUANG Zeng-bao, JIN Xia, SUN Yong-jun, HUO Jun-chang. 2004. Geological Characteristics of Ophiolite Migmatitic Complex of Hongshishan Region, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 37(2): 13-18(in Chinese with English abstract).
- WILLIAMS I S, CLAEISSON S. 1987. Isotopic Evidence for the Precambrian Provenance and Caledonian Metamorphism of High Grade Paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides II. Ion Microprobe Zircon U-Th-Pb[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97(2): 205-217.
- Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources. 2006. Exploration Potentiality of Mineral Resources, Northwest China[M]. Beijing: Geology Publishing House: 224-245 (in Chinese).
- XIU Qun-ye. 1999. Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of the Granitoids in Beishan Area, Gansu Province[J]. *Progress in Precambrian Research*, 22(1): 31-39(in Chinese with English abstract).
- YANG He-qun, LI Ying, LI Wen-ming, YANG Jian-guo, ZHAO Guo-bin, SUN Nan-yi, WANG Xiao-hong, TAN Wen-juan. 2008. General Discussion on Metallogenic Tectonic Setting of Beishan Mountain, Northwestern China[J]. *Northwestern Geology*, 41(1): 22-28(in Chinese with English abstract).
- YANG He-qun, LI Ying, LI Wen-ming, YANG Jian-guo, ZHAO Guo-bin, WANG Xiao-hong. 2009. Spatial Variation Regularity and Ore Potential of S-type and I-type Granites in the Beishan Mountain[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(5): 627-633(in Chinese with English abstract).
- YANG He-qun, LI Ying, ZHAO Guo-bin, LI Wen-yuan, WANG Xiao-hong, JIANG Han-bing, TAN Wen-juan, SUN Nan-yi. 2010a. Character and Structural Attribute of the Beishan Ophiolite[J]. *Northwestern Geology*, 43(1): 26-36(in Chinese with English abstract).
- YANG He-qun, ZHAO Guo-bin, LI Wen-ming, YANG Jian-guo, LI Ying, WANG Xiao-hong, JIANG Han-bin, TAN Wen-juan. 2010b. Formation Age and Source Tracing of the Tungsten-Bearing Granite Belt in the Pantuoshan-Yingzuihongshan Area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 46(3): 407-413(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Guo-qing, ZHAO Jian-xin, LI Xian-hua. 2000. Characteristics of the Yueyashan ophiolite from western Nei Mongol and its tectonic setting: Geochemistry and Sm-Nd isotopic constraints[J]. *Geochimica*, 29(2): 108-119(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, HE Guo-qi. 1990. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan Region[M]. Beijing: Beijing University Publishing House(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, LI Mao-song. 1996. Formation and Evolution of the Early Paleozoic Lithosphere in the Beishan Area, Gansu-Inner Mongolia, China[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press(in Chinese).
- ZUO Guo-chao, LIU Chun-yan, BAI Wan-cheng, FENG Yong-zhong. 1995. Volcano-Molasse Geological Structure and Geochemical Signature in Devonian Period Collision Orogenic in Beishan, Gansu-Inmongolia[J]. *Acta Geologica Gansu*, 4(1): 35-43(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, LIU Chun-yan, FENG Yong-zhong, ZHANG Wei-guo. 1992. Discover of The Granitic in Chengjiang Orogeny period and Geochemistry Characteristics[M]//LI Qing-bo. Research Collectd Works of Modern times Geology(1). Beijing: Peking Univesity Press: 68-73(in Chinese).
- ZUO Guo-chao, LIU Yi-ke, LIU Chun-yan. 2003. Framework and Evolution of the Tectonic Structure in Beishan Area Across Gansu Province, Xinjiang Autonomous Region and Inner Mongolia Autonomous Region[J]. *Acta Geologica Gansu*, 12(1): 1-15(in Chinese with English abstract).