

辽东岫岩地区晚三叠世侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义

王晓亮¹⁾, 吕行¹⁾, 刘永俊¹⁾, 赵元艺²⁾, 李超¹⁾, 吴文彬¹⁾, 王玉平¹⁾, 李海洋¹⁾

1) 辽宁省地质矿产研究院有限责任公司, 沈阳, 110032;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

内容提要:辽东半岛一直是研究华北克拉通减薄的热点地区,前人对于晚三叠世时期辽东半岛的构造环境一直有不同的认识。本文选择辽东岫岩地区出露的后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学的研究,并对上述两个岩体的岩浆来源及形成环境进行了讨论,得出以下认识:辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩均形成于晚三叠世(220.9 ± 1.2 Ma 和 220.3 ± 1.0 Ma);地球化学研究表明:后边沟岭黑云母二长花岗岩具高硅、富碱的特征,属 A 型花岗岩;大黑坑石英二长闪长岩具高镁的特征;后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩具有相似的稀土元素和微量元素特征,二者均显示轻稀土分馏明显,重稀土分馏不明显的特征,均富集大离子亲石元素 Rb、K,亏损 Ba、Sr,富集高场强元素 Th、La、Ce、Nd、Hf、Tb,而亏损 P、Nb、Ta、Y 等元素;二者具有相同的岩浆来源且均具有壳幔混源的特征;在 $220.9 \pm 1.2 \sim 220.3 \pm 1.0$ Ma 这一时期,辽东岫岩地区整体可能处于地壳伸展减薄的构造背景,后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩均形成于这一构造背景中,上述两个岩体的形成可能与大陆深俯冲和扬子—华北之间发生陆陆碰撞造山作用后所引起的华北克拉通减薄有关。

关键词:锆石 U-Pb 年龄;地球化学特征;晚三叠世;克拉通减薄;辽东岫岩

辽东岫岩地区位于华北克拉通北缘东段、辽吉古元古裂谷带的南段。辽吉古远古裂谷带呈向北凸出的弧形分布:北缘以辽阳—通化断裂为界,与龙岗地块相接;南侧以鸭绿江断裂为界,与朝鲜的狼林地块相邻(秦亚等,2013)。区内侵入岩十分发育,岩浆作用及岩石类型较为复杂。众多学者及单位针对辽东半岛发育的侵入岩、构造及矿产均做了大量的研究工作。其中,宋运红等(2016)针对辽东地区出露的古元古代花岗岩的年代学和形成环境做了详细研究。吴福元等(2005)重新建立了辽东半岛中生代花岗岩的年代学格架。李三忠等(2004)、杨进辉等(2004)、杨凤超等(2015)、张朋等(2015)对辽东半岛出露的侏罗纪花岗岩也做了充分的研究工作,详细阐述了辽东半岛侏罗纪花岗岩的侵位及变形时代、地球化学特征及成因。刘杰勋等(2016)、杨佳林等(2018)对于研究区乃至辽东半岛内出露的早白垩世花岗岩体进行了年代学和岩石地球化学的研究,阐述了早白垩世花岗岩的形成时代、成因及构

造背景。以上学者的研究重点大多集中在侏罗纪和白垩纪时期的侵入岩,而对于区内分布的晚三叠世侵入岩的年代学、地球化学特征以及构造环境的研究则很少。因此本文依托辽东—吉南成矿带永吉—凤城地区地质矿产调查项目针对辽东岫岩地区出露的晚三叠世侵入岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学研究以期阐明区内晚三叠世侵入岩的形成时代、地球化学特征,并进一步探讨其岩浆成因及地球动力背景,以期解决长期以来人们对晚三叠世辽东半岛地壳演化机制的疑问。

1 地质背景及岩体特征

辽东岫岩地区位于华北克拉通北缘东段、辽吉古元古裂谷带的南段。辽吉古元古代裂谷带呈向北凸出的弧形分布:北缘以辽阳—通化断裂为界,与龙岗地块相接;南侧以鸭绿江断裂为界,与朝鲜的狼林地块相邻(秦亚等,2013)。区内地层主要出露有古元古代辽河岩群的大石桥岩组(岩性包括大

注:本文为中国地质调查局辽东—吉南成矿带永吉—凤城地区地质矿产调查二级项目(编号:DD20160049)的成果。

收稿日期:2018-10-30;改回日期:2019-02-15;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.010

作者简介:王晓亮,1988年生,硕士,地质工程师,主要从事侵入岩岩石学研究,Email:975771779@qq.com。

理岩、片岩等)、高家峪岩组(岩性包括含墨变粒岩、片岩等)、里尔峪岩组(岩性包括浅粒岩、电气浅粒岩)。区内处于营口—草河口复向斜南翼,地质构造复杂。区内岩浆岩大面积出露,主要发育有古元古代、晚三叠世、早白垩世等三个时期的侵入岩。其

中古元古代侵入岩岩性主要为条痕状二长花岗岩、伟晶岩;晚三叠世侵入岩主要为大黑坑石英二长闪长岩岩体、后边沟岭二长花岗岩岩体。另外区内还分布有一定规模的晚三叠世似斑状二长花岗岩和少量的花岗闪长岩以及早白垩世二长花岗岩。其中后

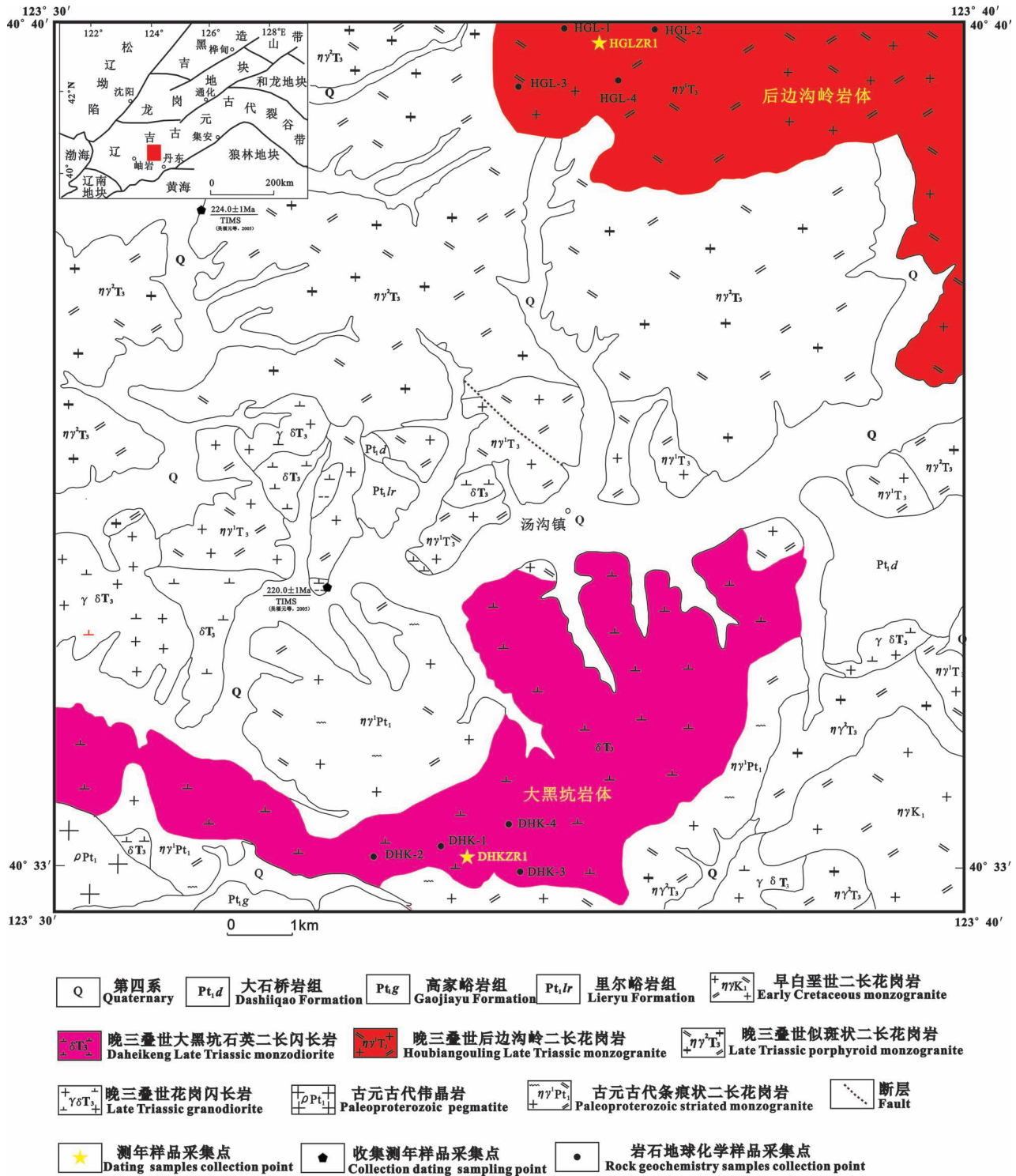


图 1 辽东岫岩地区地质简图及大地构造位置图 (据秦亚等,2013)

Fig. 1 Geological sketch and Geotectonic map of Xiuyan area, eastern Liaoning(from Qin Ya et al., 2013&)

边沟岭岩体位于岫岩县石庙镇东北侧,总面积约 14.16 km²,岩性为细粒黑云母二长花岗岩,在研究区内呈东西向展布,其围岩主要为似斑状二长花岗岩。大黑坑岩体位于岫岩县汤沟镇南侧,总面积约 24.26 km²,岩性主要为石英二长闪长岩,总体呈东西向展布,其与围岩古元古代条痕状二长花岗岩为侵入接触关系(图 1a)。

2 样品与分析方法

2.1 样品采集

本次研究共在后边沟岭黑云母二长花岗岩岩体中采集 4 件岩石地球化学样品(样品编号分别为 HGL-1、HGL-2、HGL-3、HGL-4)和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年样品 1 件(样品编号为 HGLZR1,坐标为: E123°36'01",N40°39'48"),在大黑坑石英二长闪长岩岩体中采集岩石地球化学样品 4 件(样品编号分

别为 DHK-1、DHK-2、DHK-3、DHK-4),LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年样品 1 件(样品编号为 DHKZR1,坐标为: E123°34'16",N40°32'55")。所采集样品均为新鲜岩石,各类样品重量满足测试需求,样品位置详见(图 1a)。

2.2 样品特征

样品 HGLZR1 野外照片及显微照片见图 2a 和图 2b,其岩性为细粒黑云母二长花岗岩,岩石呈浅肉红色,结构构造:半自形粒状结构,块状构造。岩石主要由黑云母(5%)、石英(20%~25%)、斜长石(40%)、微斜长石(20%)及条纹长石(10%~13%)组成。黑云母:片状,单偏光下黄褐色,发育有一组极完全解理,多色性明显,正中突起,平行消光,二轴晶负光性,片径为 0.2~0.5 mm±。石英:他形晶,粒状,单偏光下无色透明,正低突起,正交偏光下干涉色一级黄白,一轴晶正光性,粒径为 0.5~0.8 mm±。

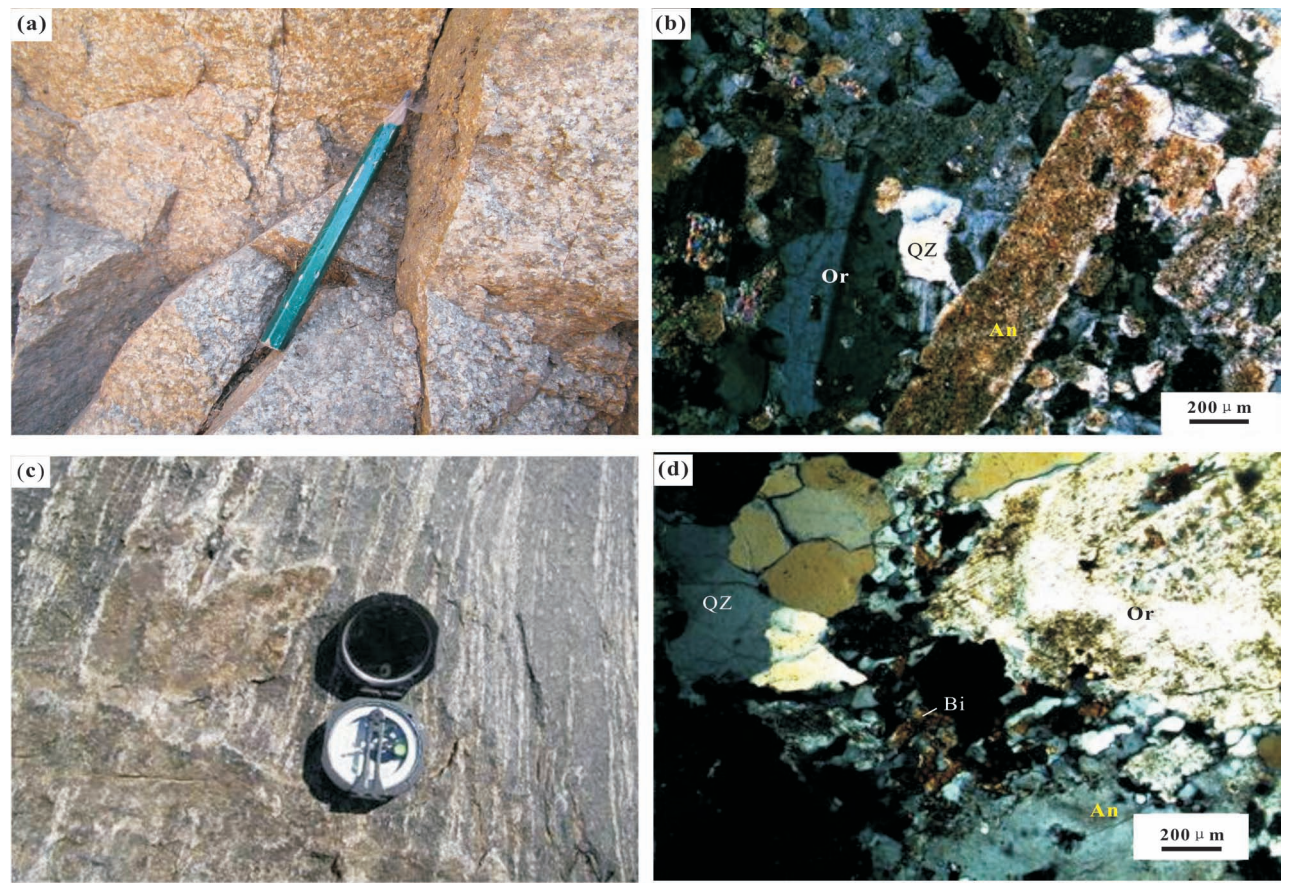


图 2 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩野外照片及显微照片(正交偏光):
(a)、(b) 后边沟岭细粒黑云母二长花岗岩(HGLZR1);(c)、(d) 大黑坑石英二长闪长岩(DHKZR1)
Fig. 2 Field and microscopic photos (crossed polars) of Houbiangouling fine grained biotite monzogranite (a,b) and Daheikeng quartz monzodiorite (c,d) in Xiuyan area, eastern Liaoning
QZ—石英; An—斜长石; Or—正长石; Bi—黑云母
QZ—quartz; An—anorthoclase; Or—orthoclase; Bi—biotite

斜长石:半自形晶,板状,单偏光下无色透明,正交偏光下干涉色一级灰白,发育有聚片双晶,具黝帘石化,粒径为 0.5~1.5 mm±。条纹长石:半自形晶,板状,单偏光下无色透明,正交偏光下干涉色一级灰白,发育有条纹双晶,粒径为 0.2~0.6 mm±。微斜长石:半自形晶,板状,单偏光下无色透明,正交偏光下干涉色一级灰白,发育有格子双晶,粒径为 0.2~0.5 mm±。

样品 DHKZR1 野外照片及显微照片见图 2c 和图 2d,其岩性主要为石英二长闪长岩,岩石呈灰黑色,结构构造:半自形粒状结构,弱片麻状构造。岩石主要由黑云母(10%)、石英(10%)、斜长石(45%)及条纹长石(35%)组成。黑云母:片状,单偏光下黄褐色,发育有一组极完全解理,多色性明显,正中突起,平行消光,二轴晶负光性,具绿泥石化,断续方向性分布,片径为 0.5 mm±。石英:他形晶,粒状,单偏光下无色透明,正低突起,正交偏光下干涉色一级黄白,一轴晶正光性,粒径为 0.5~1 mm±。斜长石:半自形晶,板状,单偏光下无色透明,正交偏光下干涉色一级灰白,发育有聚片双晶,具黝帘石化,粒径为 1~3 mm±。条纹长石:半自形晶,板状,单偏光下无色透明,正交偏光下干涉色一级灰白,发育有条纹双晶,具黏土化,粒径为 1~4 mm±。

2.3 样品分析方法

测年样品的锆石挑选工作由在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室完成,主要用常规方法粉碎,达 80~100 目,通过淘选和电磁选方法进行分离。

在双目镜下挑选出晶形、透明度较好,裂隙和包体较少、表面洁净的锆石颗粒用于年龄测定。锆石的制靶和照相工作在北京锆年领航科技有限公司进行,步骤是将测试样品固定于环氧树脂中制靶,待固结后,将锆石颗粒抛磨至其厚度 1/3 左右,使锆石内部结构充分暴露,将锆石靶进行镀膜,然后拍摄锆石的透射 CL 显微图像。CL 图像分析是在 JSM6510 型扫描电子显微镜和 GatanMiniCL 型阴极荧光光谱仪上完成(黎心远等,2018)。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室进行,使用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 和 NewwaveUP213 紫外激光剥蚀系统。根据锆石大小,选择剥蚀直径为 40 μm 的激光束进行单点剥蚀,使用 He 作为载气,数据采集前用国际标准锆石 GJ-1 进行仪器调试,测年过程中使用 GJ-1 和 Plesovice 作为外标。获得的测年数据通过 ICPMSDataCal 软件处理(Liu Y S et al. 2010),经过铅校正去除普通铅的影响后,使用 ISOPLT3.0 绘制 U-Pb 谐和图(崔维龙等,2016)。主量元素、微量元素和稀土元素的分析测试由国土资源部沈阳矿产资源监督检测中心完成,主量元素分析测试采用 X 射线荧光法,微量元素和稀土元素分析测试采用电感耦合等离子体质谱法。

3 分析结果

3.1 年代学特征

本次研究针对后边沟岭黑云母二长花岗岩

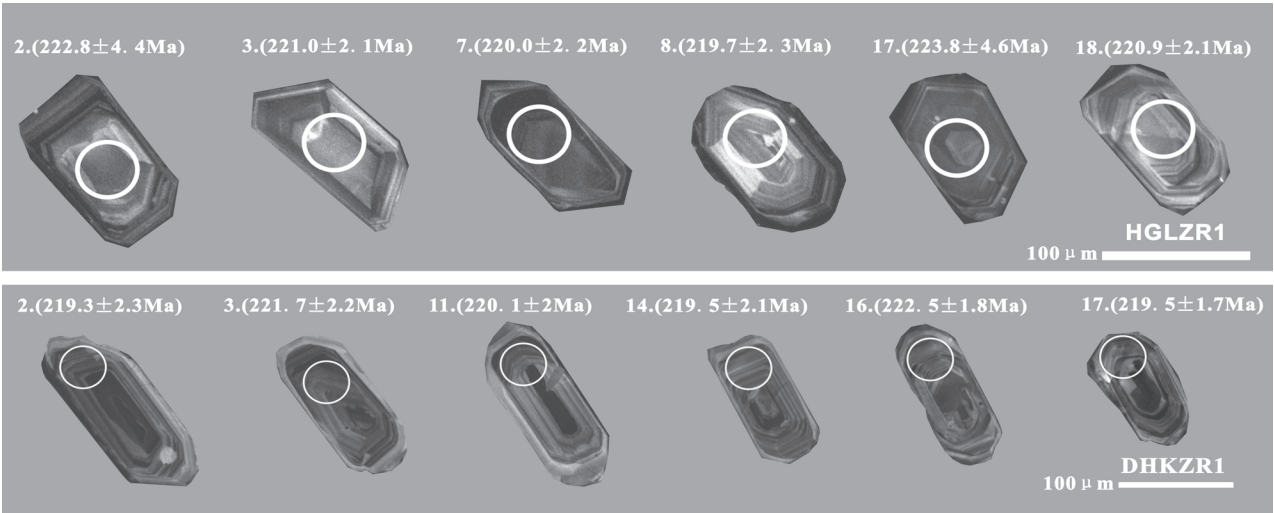


图 3 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩锆石阴极发光 CL 图像
Fig. 3 CL images of Zircons from Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite in Xiuyan area, eastern Liaoning

(HGLZR1)选取了 15 颗锆石,对大黑坑石英二长闪长岩(DHKZR1)选取了 20 颗锆石,分别进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年工作,测试结果如表 1 所示。

样品 HGLZR1: 锆石表面光滑,自形程度较好,呈长柱状,锆石长轴大小在 105~271 μm 之间。锆石阴极发光(CL)图像(图 3)显示,绝大多数锆石具有明显的岩浆锆石的震荡环带特征。U/Th 值: 0.51~1.52 ,平均值为 0.78,大于 0.4(吴元保等, 2004),进一步印证了其岩浆成因。15 个测点 Pb²⁰⁶/U²³⁸ 表面年龄介于 218.5±2.2~224.1±2.1 Ma 之间,年龄加权平均值为 220.9±1.2 Ma(MSWD = 0.50)(图 4a、b)。

样品 DHKZR1: 锆石表面光滑,自形程度较好,呈长柱状,锆石长轴大小在 80~185 μm 之间。锆石阴极发光(CL)图像(图 3)显示,与样品 HGLZR1 类似,HGLZR1 大部分锆石具有明显的岩浆锆石的震荡环带特征。U/Th 值: 0.33~1.08 ,平均值为 0.66,大于 0.4,指示其岩浆成因。20 个测点 Pb²⁰⁶/

U²³⁸ 表面年龄介于 217.4±1.9~222.5±1.8 Ma 之间,年龄加权平均值为 220.3±1.0 Ma(MSWD = 0.36)(图 4c、d)。另外,吴福元等(2005)在后边沟岭岩体和大黑坑岩体外围对似斑状花岗岩和石英二长闪长岩运用 TIMS 方法测得的年龄分别为 224±1 Ma 和 220±1 Ma,这与本次所测结果基本一致。

综上所述,辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩均形成于晚三叠世。

3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素

后边沟岭黑云母二长花岗岩的四件样品中, SiO₂ = 70.9% ~ 75.0%、Al₂O₃ = 13.21% ~ 14.51%、Fe₂O₃ = 0.59% ~ 1.65%、FeO = 0.39% ~ 1.19%、CaO = 0.50% ~ 1.23%、MgO = 0.14% ~ 0.71%、K₂O = 4.26% ~ 5.24%、Na₂O = 2.96% ~ 3.66%、Na₂O+K₂O = 7.78% ~ 8.78%、Na₂O/K₂O = 0.61% ~ 0.83%。在 SiO₂—K₂O 的图解中,所有样品均落在了高钾钙碱

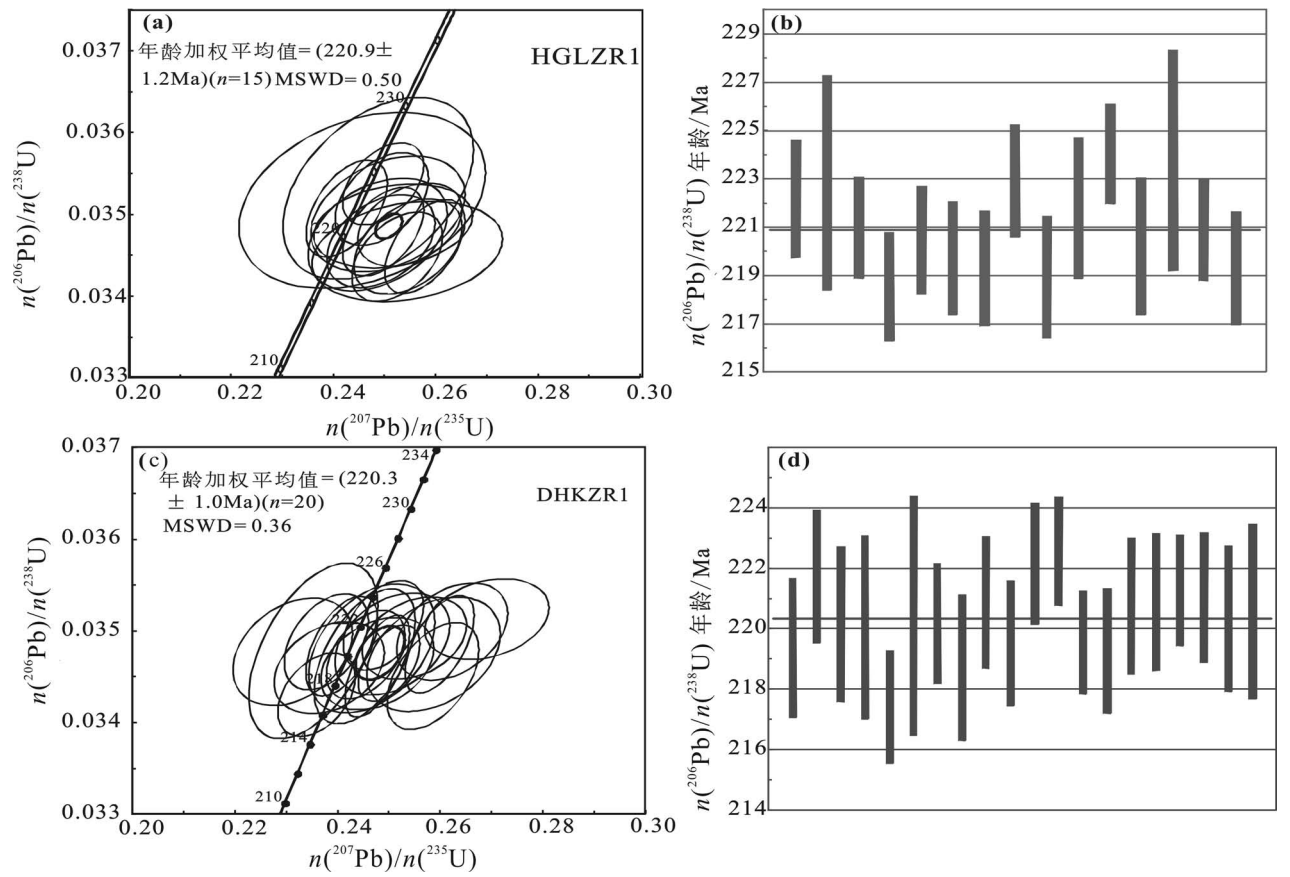


图 4 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩(HGLZR1)和大黑坑石英二长闪长岩(DHKZR1) U-Pb 年龄谐和图(a,c)以及²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄(b、d)

Fig. 4 U-Pb Concordia diagram (a, c) and U-Pb weighted mean age(b, c) of Zircons from Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite in Xiuyan area, eastern Liaoning

表 1 辽东岫岩地区后边沟岭岩体和大黑坑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating result data of Houbianguoling and Daheikeng granite, Xiuyan area, Eastern Liaoning

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)						谐和度 (%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ			
后边沟岭二长花岗岩, 编号: HGLZR1; 位置: E123°36'01", N40°39'48"																	
1	51	795	1336	0.59	0.0501	0.0010	0.2427	0.0052	0.0351	0.0004	198.2	44.4	220.6	222.2	4.3	2.4	99
2	22	418	550	0.76	0.0509	0.0038	0.2457	0.0159	0.0352	0.0007	235.3	172.2	223.1	222.8	13.0	4.4	99
3	30	495	756	0.65	0.0532	0.0015	0.2550	0.0068	0.0349	0.0003	344.5	63.0	230.6	221.0	5.5	2.1	95
5	47	1133	1109	1.02	0.0529	0.0012	0.2525	0.0058	0.0345	0.0004	327.8	50.0	228.6	218.5	4.7	2.2	95
7	47	622	1220	0.51	0.0519	0.0011	0.2498	0.0053	0.0348	0.0004	279.7	48.1	226.4	220.5	4.3	2.2	97
8	22	445	531	0.84	0.0519	0.0014	0.2493	0.0070	0.0347	0.0004	283.4	61.1	226.0	219.7	5.7	2.3	97
9	68	1352	1688	0.8	0.0530	0.0012	0.2547	0.0070	0.0346	0.0004	327.8	58.3	230.4	219.3	5.7	2.4	95
10	32	570	774	0.74	0.0513	0.0011	0.2496	0.0060	0.0352	0.0004	253.8	47.2	226.2	222.9	4.9	2.3	98
11	12	209	298	0.7	0.0535	0.0026	0.2545	0.0123	0.0345	0.0004	353.8	109.2	230.2	218.9	10.0	2.5	94
12	13	223	326	0.68	0.0524	0.0021	0.2507	0.0099	0.0350	0.0005	301.9	92.6	227.2	221.8	8.1	2.9	97
13	67	1264	1601	0.79	0.0512	0.0010	0.2498	0.0052	0.0354	0.0003	255.6	44.4	226.4	224.1	4.2	2.1	98
16	16	498	327	1.52	0.0523	0.0020	0.2488	0.0090	0.0348	0.0005	301.9	87.0	225.6	220.2	7.3	2.8	97
17	28	450	689	0.65	0.0504	0.0018	0.2488	0.0123	0.0353	0.0007	213.0	81.5	225.6	223.8	10.0	4.6	99
18	33	720	785	0.92	0.0524	0.0021	0.2517	0.0102	0.0349	0.0003	305.6	92.6	228.0	220.9	8.3	2.1	96
21	106	1418	2782	0.51	0.0539	0.0010	0.2579	0.0052	0.0346	0.0004	364.9	40.7	233.0	219.3	4.2	2.3	93
大黑坑闪长岩, 编号: DHKZR1, 位置: E123°34'16", N40°32'55"																	
2	111	1432	2682	0.53	0.0519	0.0008	0.2478	0.0042	0.0346	0.0004	279.7	33.3	224.8	219.3	3.4	2.3	97
3	31	391	728	0.54	0.0543	0.0014	0.2624	0.0071	0.0350	0.0004	383.4	59.3	236.6	221.7	5.7	2.2	93
5	41	640	989	0.65	0.0539	0.0016	0.2588	0.0086	0.0347	0.0004	368.6	66.7	233.7	220.1	6.9	2.6	94
6	33	466	799	0.58	0.0513	0.0013	0.2454	0.0065	0.0347	0.0005	253.8	57.4	222.8	220.0	5.3	3.0	98
7	67	951	1633	0.58	0.0498	0.0010	0.2359	0.0050	0.0343	0.0003	187.1	46.3	215.1	217.4	4.1	1.9	98
9	35	609	766	0.8	0.0491	0.0016	0.2354	0.0083	0.0348	0.0006	153.8	75.9	214.6	220.4	6.8	3.9	97
11	70	1738	1603	1.08	0.0513	0.0010	0.2456	0.0050	0.0347	0.0003	253.8	44.4	223.0	220.1	4.1	2.0	98
12	60	808	1457	0.55	0.0547	0.0014	0.2586	0.0059	0.0345	0.0004	398.2	55.6	233.5	218.7	4.8	2.4	93
13	111	1761	2635	0.67	0.0541	0.0008	0.2599	0.0044	0.0349	0.0004	376.0	35.2	234.5	220.8	3.6	2.2	93
14	26	331	637	0.52	0.0521	0.0016	0.2479	0.0073	0.0346	0.0003	300.1	73.1	224.8	219.5	5.9	2.1	97
15	51	438	1331	0.33	0.0516	0.0011	0.2490	0.0052	0.0351	0.0003	333.4	50.9	225.8	222.1	4.2	2.0	98
16	28	445	640	0.69	0.0558	0.0018	0.2692	0.0080	0.0351	0.0003	442.6	75.0	242.0	222.5	6.4	1.8	91
17	121	2107	2845	0.74	0.0524	0.0008	0.2502	0.0040	0.0346	0.0003	301.9	5.6	226.7	219.5	3.2	1.7	96
18	34	660	802	0.82	0.0501	0.0015	0.2384	0.0071	0.0346	0.0003	198.2	68.5	217.1	219.2	5.8	2.1	99

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)	
					$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			
	Pb	Th	U															
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ		
19	59	976	1427	0.68	0.0503	0.0010	0.2409	0.0047	0.0348	0.0004	209.3	46.3	219.1	3.8	220.7	2.2	99	
22	38	690	880	0.78	0.0522	0.0015	0.2508	0.0074	0.0349	0.0004	300.1	69.4	227.2	6.0	220.9	2.3	97	
23	34	499	825	0.61	0.0530	0.0015	0.2550	0.0067	0.0349	0.0003	331.5	63.0	230.6	5.4	221.2	1.8	95	
24	44	701	1038	0.67	0.0494	0.0011	0.2379	0.0055	0.0349	0.0003	168.6	51.8	216.7	4.5	221.0	2.1	98	
27	35	562	812	0.69	0.0482	0.0016	0.2313	0.0077	0.0348	0.0004	109.4	79.6	211.3	6.4	220.3	2.4	95	
28	19	313	447	0.7	0.0514	0.0016	0.2467	0.0081	0.0348	0.0005	261.2	72.2	223.9	6.6	220.6	2.9	98	

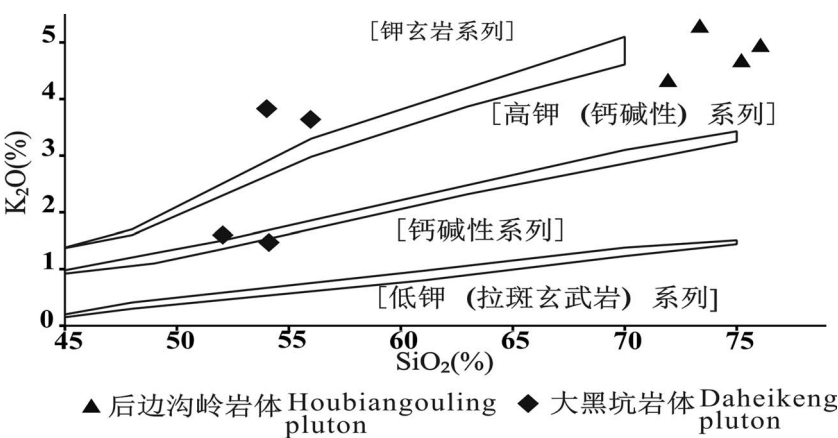


图 5 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的 K₂O—SiO₂ 图解(据 Rickwood,1989;贾晓辉等,2017)

Fig. 5 The K₂O—SiO₂ diagram of Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite in Xiuyan area, eastern Liaoning (after Rickwood, 1989; Jia Xiaohui et al.,2017&)

性系列区域内(图 5)。铝饱和指数 A/CNK 为 1.08~1.76,在 A/CNK—NK 图解上位于过铝质区域(图 6)。

大黑坑石英二长闪长岩的四件样品中, SiO₂ = 50.30% ~ 55.18%、Al₂O₃ = 14.36% ~ 17.81%、Fe₂O₃ = 1.22% ~ 1.98%、FeO = 5.95% ~ 6.56%、CaO = 4.90% ~ 7.86%、MgO = 3.18% ~ 10.20%、K₂O = 1.42% ~ 3.75%、Na₂O = 2.6% ~ 3.79%、Na₂O + K₂O = 4.02% ~ 7.38%、Na₂O/K₂O = 0.96 ~ 1.88。在 SiO₂—K₂O 的图解中,有两个样品落在了高钾钙碱性和钙碱性系列区域内,另外两个样品落在了钾玄岩系列区域内(图 6)。里特曼指

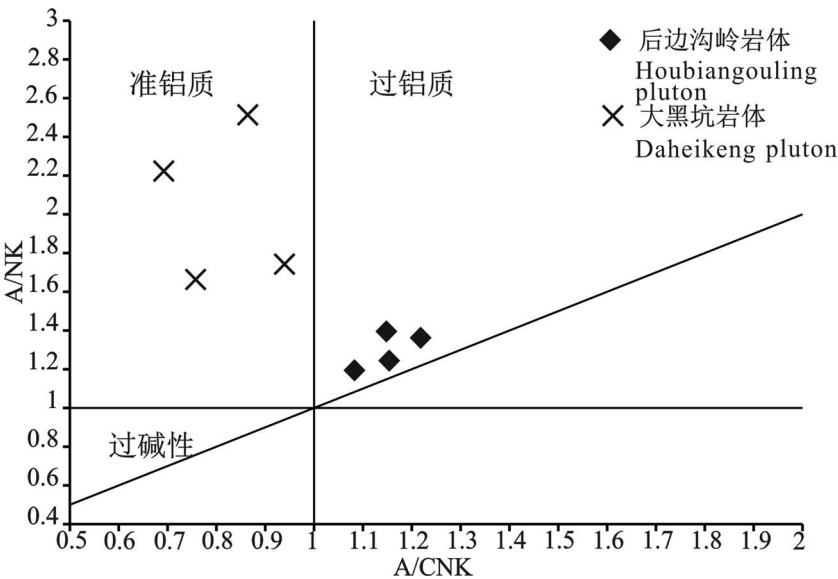


图 6 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的 A/CNK—A/NK 图解(据 Rickwood,1989)

Fig. 6 The A/CNK—A/NK diagram of Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite in Xiuyan area(after Rickwood,1989)

表 2 辽东岫岩地区后边沟岭岩体和大黑坑岩体主量元素(%)、稀土元素($\times 10^{-6}$)及微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 2 The major elements(%), REE and traceelements ($\times 10^{-6}$) analysis result of Houbiangouling and Daheikeng granites, Xiuyan area, Eastern Liaoning

样品编号	HGL-1	HGL-2	HGL-3	HGL-4	DHK-1	DHK-2	DHK-3	DHK-4
岩性	后边沟岭黑云母二长花岗岩				大黑坑石英二长闪长岩			
SiO ₂	75.00	72.78	70.90	75.00	55.18	50.30	52.86	52.22
Al ₂ O ₃	13.80	14.31	14.51	13.21	17.81	14.36	16.40	14.48
Fe ₂ O ₃	0.59	1.44	1.65	0.78	1.76	1.28	1.22	1.98
FeO	0.39	0.84	1.19	1.13	5.95	6.56	5.95	6.18
CaO	0.66	0.50	1.23	0.63	4.90	7.86	6.51	6.03
MgO	0.14	0.23	0.71	0.29	3.18	9.63	5.46	10.2
K ₂ O	4.87	5.24	4.26	4.66	3.59	1.55	3.75	1.42
Na ₂ O	2.96	3.54	3.52	3.66	3.79	2.91	3.59	2.6
MnO	0.03	0.04	0.05	0.05	0.11	0.14	0.13	0.14
P ₂ O ₅	0.02	0.05	0.12	0.06	0.66	0.44	0.62	0.21
TiO ₂	0.13	0.25	0.42	0.26	1.65	1.61	1.38	1.04
H ₂ O ⁺	4.56	1.02	0.78	0.58	0.78	2.12	0.6	2.98
烧失	1.82	1.20	0.86	0.63	0.79	2.54	1.00	3.18
总计	104.97	101.45	100.2	100.94	100.15	101.3	99.47	102.66
TFeO	1.15	2.69	3.28	1.97	7.20	7.13	6.48	7.85
Mg [#]	0.21	0.16	0.32	0.22	0.43	0.69	0.58	0.70
σ	1.91	2.58	2.15	2.16	4.31	2.35	5.11	1.56
K ₂ O+Na ₂ O	7.83	8.78	7.78	8.32	7.38	4.46	7.34	4.02
Na ₂ O/K ₂ O	0.61	0.68	0.83	0.79	1.06	1.88	0.96	1.83
A/CNK	1.22	1.15	1.15	1.08	0.94	0.69	0.75	0.86
A/NK	1.36	1.24	1.40	1.19	1.76	2.22	1.65	2.49
碱度率 AR	3.36	3.92	2.95	4.01	1.96	1.50	1.94	1.49
La	73.40	60.40	50.30	44.10	131.00	65.80	126.00	28.00
Ce	146.0	147.0	115.0	127.0	248.0	119.0	235.0	51.40
Pr	12.80	11.60	10.90	8.43	25.10	13.80	26.30	6.48
Nd	43.40	37.30	38.20	26.70	83.30	50.70	92.60	24.80
Sm	5.16	5.06	5.63	4.42	10.6	7.45	11.9	4.21
Eu	1.42	1.02	1.32	0.79	2.64	2.06	2.58	1.39
Gd	5.90	6.06	5.78	5.87	11.7	6.61	11.80	3.30
Tb	0.53	0.64	0.65	0.53	1.17	0.89	1.43	0.55
Dy	2.29	3.66	3.20	2.92	4.76	4.41	5.79	3.40
Ho	0.40	0.66	0.61	0.62	0.85	0.82	1.08	0.67
Er	1.05	2.16	1.51	1.71	2.23	2.17	3.11	1.68
Tm	0.18	0.37	0.24	0.27	0.36	0.38	0.43	0.27
Yb	1.15	2.14	1.58	1.53	2.00	2.28	2.40	1.70
Lu	0.19	0.35	0.26	0.23	0.34	0.33	0.37	0.24
Y	9.65	18.8	16.30	16.70	26.80	24.90	28.50	16.70
ΣREE	303.52	278.42	235.18	225.12	524.05	276.70	520.79	128.09
ΣLREE	94.64	262.38	221.35	211.44	500.64	258.81	494.38	116.28
ΣHREE	4.60	16.04	13.83	13.68	23.41	17.89	26.41	11.81
LREE/HREE	20.56	16.36	16.01	15.46	21.39	14.47	18.72	9.85
(La/Sm) _N	6.60	7.51	5.62	6.28	7.77	5.56	6.66	4.18
(La/Yb) _N	39.52	19.03	21.46	19.43	44.16	19.46	35.40	11.10
(Sm/Nd) _N	0.44	0.42	0.45	0.51	0.39	0.45	0.40	0.52
δEu	0.53	0.56	0.70	0.47	0.72	0.88	0.66	1.10
δCe	1.25	1.26	1.13	1.49	0.98	0.91	0.94	0.89
Ni	3.10	3.40	2.83	1.94	13.50	168.0	37.80	217.0
Ba	222.0	713.0	830.0	475.0	1460.0	892.0	3493.0	497.0
Co	2.12	2.30	4.75	2.67	19.50	39.40	24.20	40.70

样品编号	HGL-1	HGL-2	HGL-3	HGL-4	DHK-1	DHK-2	DHK-3	DHK-4
岩性	后边沟岭黑云母二长花岗岩				大黑坑石英二长闪长岩			
Cr	27.3	14.30	23.20	25.80	23.00	527.0	179.00	509.00
Nb	14.60	32.50	20.30	28.20	23.50	17.30	18.50	7.20
Rb	212.0	197.0	184.0	204.0	126.0	41.90	96.60	48.10
Sr	128.0	223.0	489.0	224.0	1072	955.0	1274	497.0
V	5.88	9.55	33.10	8.31	63.80	141.0	134.00	172.0
Zr	91.80	221.00	181.0	197.0	348.0	234.0	302.0	123.0
Hf	3.48	6.59	5.47	6.10	8.23	5.87	7.35	3.61
Ta	1.02	2.94	1.19	1.86	1.07	1.08	0.82	0.39
Li	10.30	10.80	29.20	24.10	18.60	29.60	18.70	19.70
Th	61.80	35.80	30.40	37.30	22.50	10.10	17.00	5.60
U	5.02	3.88	3.21	3.87	2.36	1.68	1.40	0.79
K	41008	43830	35862	38767	30216	13282	31793	12202
P	87.29	218.23	523.75	261.88	2924.28	2007.72	2749.70	960.21
Ti	779.4	1498	2578	1559	10011	10011	8453	6474

数 $\sigma=1.56\sim5.11$, 指示其属于钙碱性—过碱性岩石系列。铝饱和指数 A/CNK 为 $1.08\sim1.76$, 在 $A/CNK-NK$ 图解上位于准铝质区域(图 7)。

3.2.2 微量、稀土元素

后边沟岭黑云母二长花岗岩 (HGL-1、2、3、4) ΣREE 为 $99.24\times10^{-6}\sim278.42\times10^{-6}$, $LREE$ 为 $94.64\times10^{-6}\sim278.42\times10^{-6}$, $HREE$ 为 $4.60\times10^{-6}\sim16.04\times10^{-6}$, $LREE/HREE=15.46\sim20.56$, $(La/Sm)_N=5.62\sim7.51$, $(La/Yb)_N=19.03\sim39.52$, $(Sm/Nd)_N=0.42\sim0.51$, δEu 为 $0.47\sim0.70$, 呈中等的负铕异常, δCe 为 $1.13\sim1.49$, 据稀土元素分配图显示(图 7b), 该四件样品中轻稀土元素分馏明显, 重稀土元素分馏不明显, 整体表现出右倾型特点, 另外还具有轻稀土富集, 大部分重稀土元素较平坦的特点。据微量元素蛛网图显示(图 7a), 大离子亲石元素 Rb、

K 相对富集, Ba、Sr 相对亏损。高场强元素 Th、La、Ce、Nd、Hf、Tb 相对富集, P、Nb、Ta、Y 相对亏损。

大黑坑石英二长闪长岩 (DHK-1、2、3、4) ΣREE 为 $128.09\times10^{-6}\sim524.05\times10^{-6}$, $LREE$ 为 $116.28\times10^{-6}\sim500.64\times10^{-6}$, $HREE$ 为 $11.81\times10^{-6}\sim26.41\times10^{-6}$, $LREE/HREE=9.85\sim21.39$, $(La/Sm)_N=4.18\sim7.77$, $(La/Yb)_N=11.10\sim44.16$, $(Sm/Nd)_N=0.39\sim0.52$, δEu 为 $0.66\sim1.10$, 三件样品呈较弱的负铕异常, 一件样品呈弱的铕正异常, δCe 为 $0.89\sim0.98$, 据稀土元素分配图显示(图 7b), 该四件样品中轻稀土元素分馏明显, 重稀土元素分馏不明显, 整体表现出右倾型特点, 另外还具有轻稀土富集, 重稀土元素较平坦的特点。据微量元素蛛网图显示(图 7b), 大离子亲石元素 Rb、K 相对富集, Ba、Sr 相对亏损。高场强元素 Th、La、Ce、Nd、Hf、Tb 相对富集, P、Nb、

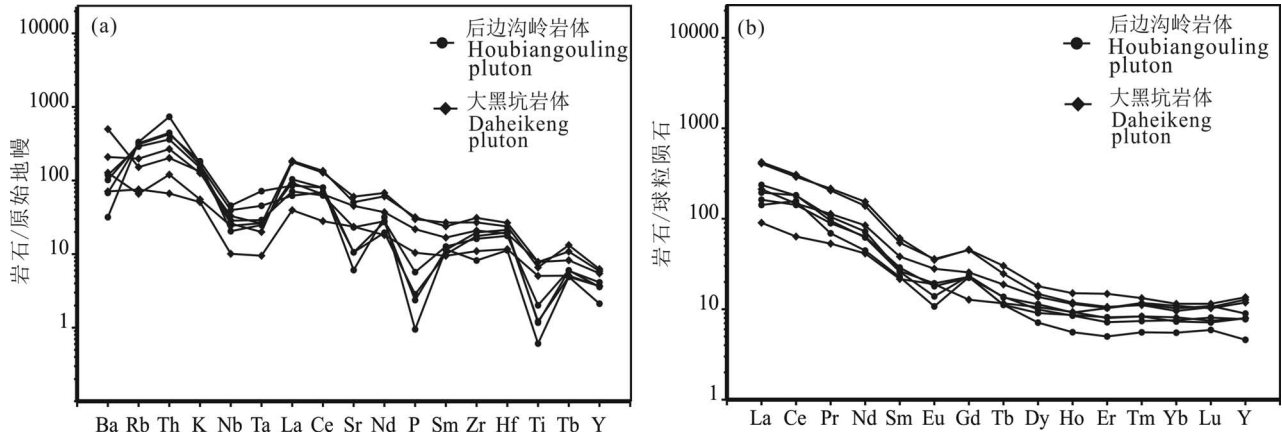


图 7 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的微量元素蛛网图(a)和稀土元素配分图(b)
Fig. 7 The microelement (a) and REE (b) spidergramgram of Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite in Xiuyan area, eastern Liaoning

Ta、Y 相对亏损。

4 讨论

4.1 岩石成岩时代

根据 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试结果,后边沟岭黑云母二长花岗岩(P12ZR1)和大黑坑石英二长闪长岩(D363ZR1)的加权平均年龄分别为 220.9 ± 1.2 Ma ($n = 15$, MSWD = 0.5) 和 220.3 ± 1.0 Ma ($n = 20$, MSWD = 0.36),这两个岩体的锆石成因均为岩浆锆石,因此后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的侵位时代应当为晚三叠世。

吴福元等(2005)重新厘定了辽东半岛中生代花岗岩岩浆作用的年代学格架,获得了 12 个年代学数据(212~233 Ma),测定岩石对象包括似斑状二长花岗岩、二长花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩等。吴福元等(2005)认为赛马岩体的年龄为 233 Ma,柏林川岩体年龄为 230 Ma,其可能代表了辽东半岛中生代花岗质岩浆作用最早开始时间。而岫岩地区的三叠纪侵入岩的年龄较赛马、柏林川岩体则稍年轻些,如老尖顶子闪长岩年龄为 220 Ma,双牙山似斑状二长花岗岩年龄为 224 Ma,佟家堡子闪长岩年龄为 214 Ma。段晓侠等(2012)在研究区北部青城子矿集区测得双顶沟岩体的年龄为 224 Ma。

综上,后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的形成时代略晚于赛马和柏林川岩体,与岫岩地区的老尖顶子、双牙山、双顶沟等岩体形成时代相近,要早于佟家堡子岩体。

4.2 岩石成因及岩浆源区

在花岗岩分类图解中(图 8),后边沟岭黑云母二长花岗岩所有样品均落在 A 型花岗岩区域内。A 型最突出的地球化学特征是富钾($K_2O = 4\% \sim 6\%$),富 SiO_2 (一般大于 70%),贫 Al_2O_3 、Sr、Ba、Eu、Ti 和 P,REE 分布具有明显的负锕异常(贾小辉等,2009;张旗等,2012)。在后边沟岭黑云母二长花岗岩的 4 件样品中, $SiO_2 = 70.90\% \sim 75.00\%$ 、 $Al_2O_3 = 13.21\% \sim 14.51\%$ 、 $K_2O = 4.26\% \sim 5.24\%$ 。在微量元素蛛网图上显示(图 7a),Ba、Sr、P、Ti 相对亏损。稀土元素配分图上(图 7b)显示较明显的负锕异常。另外,Frost 等(2001)进一步明确了铁含量在判别 A 型花岗岩中的作用,即在 $SiO_2-TFeO/(TFeO+MgO)$ 的图解中,位于铁质/镁质分界线之上及附近的花岗岩属于 A 型花岗岩。在该图解(图 9)中,后边沟岭黑云母二长花岗岩所有样品均落在了铁质/镁质分界

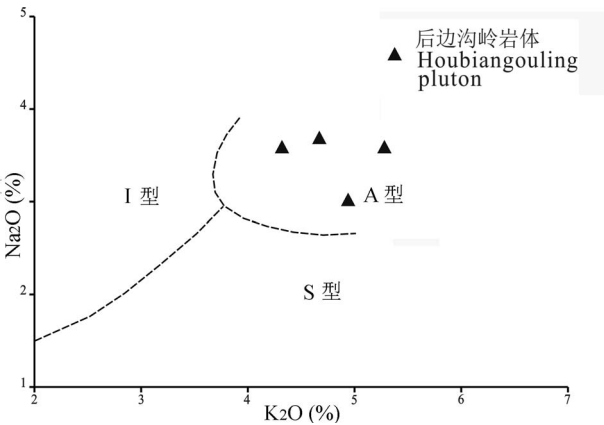


图 8 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩在花岗岩分类图解(Collins et al.,1982)上的位置

Fig. 8 Granite classification diagram (Collins et al.,1982) for Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite in Xiuyan area, eastern Liaoning

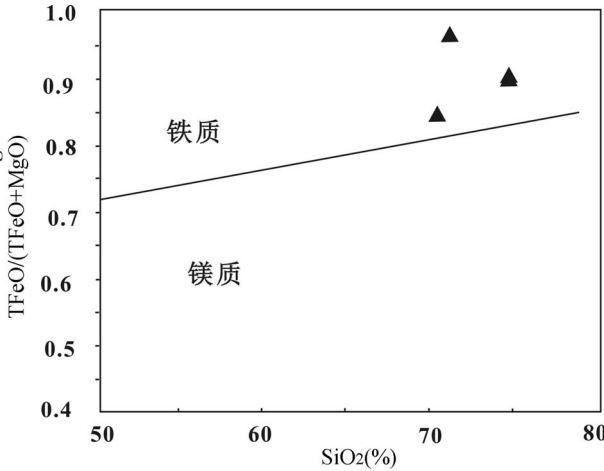


图 9 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩 $SiO_2-TFeO/(TFeO+MgO)$ 图解

Fig. 9 $SiO_2-TFeO/(TFeO+MgO)$ diagram of Houbiangouling biotite monzogranite in Xiuyan area, eastern Liaoning

线之上,即为 A 型花岗岩,贾小辉等(2009)认为,A 型花岗岩区别于高分异 I 型花岗岩的标志主要为 TFeO 含量,A 型花岗岩 TFeO 含量一般大于 1%,高分异 I 型花岗岩一般小于 1%,后边沟岭黑云母二长花岗岩的 4 件样品中 TFeO 含量在 1.15%~3.28%之间,均大于 1%。综上所述,后边沟岭黑云母二长花岗岩的岩石地球化学特征基本符合 A 型花岗岩

的特点,故将其归为 A 型花岗岩。

A 型花岗岩形成过程较复杂,源岩具有多样性,成因具有多种成因模式(刘阁等,2016)。贾小辉等(2009)总结了 A 型花岗岩的成因模式,主要包括以下几种:① 幔源碱性岩浆分异产生的 A 型花岗质熔体(Loiselle and Wones,1979;Pearce et al.,1984);② 幔源拉斑质岩浆极度分异或者底侵的拉斑玄武岩低度的部分熔融(Frost et al.,1999);③ 源自地幔岩石重熔分异形成碱性花岗岩(赵振华等,1996);④ 幔源碱性岩浆与地壳物质相互作用形成正长岩岩浆源区,正长岩岩浆进一步分异或与地壳物质混染(Litvinovisky et al.,2000,2002;朱金初等,2006);⑤ 下地壳岩石经部分熔融抽取了 I 型花岗质岩浆后,富 F 的麻粒质残留物再次部分熔融(Whalen et al.,1987);⑥ 地壳火成岩(英云闪长岩和花岗闪长岩)直接熔融(Creaser et al.,1991);⑦ 地幔岩浆底侵加热下地壳岩石熔融(Wu et al.,2002);⑧ 受地幔挥发分稀释作用的下地壳岩石熔融(Harris et al.,1986);⑨ 幔源、壳源岩浆的混合作用(Yang et al.,2006)。

后边沟岭黑云母二长花岗岩的地球化学特征具低 Sr、Eu 且富 Zr 的特点,显示其岩浆源区存在有斜长石残留,因此不可能是幔源岩浆分异而来或镁铁质原岩的部分熔融(吴福元等,2007)。后边沟岭黑云母二长花岗岩的样品具有很高的 SiO_2 含量(70.90%~75.00%,且具有较高的 Al(13.21%~14.51%),较低的 MgO (0.14%~0.71%)的特征,说明其原因岩浆成分以地壳中的硅铝质成分为主,而 Nb、Ta、P、Ti 的亏损也说明了岩浆可能为地壳来源(刘杰勋等,2016),Zr/Hf 值范围在 26.38~33.54,低于幔源岩石(~36.3, Hofmann,1988),接近于壳源岩石(~33, Taylor and McLennan,1985)。但岩石样品 Nb/Ta 值平均为 14.40,要高于大陆陆壳值(11~12, Barth et al.,2000),略低于亏损的地幔值(15.5, Rudnick et al.,2000),这可能说明后边沟岭黑云母二长花岗岩的岩浆来源具有多样性,并非单一的壳源岩浆,而是受到了来自于地幔岩浆的混合作用。

大黑坑石英二长闪长岩同样具有亏损 Nb、Ta、P、Ti 的特征,说明其具备壳源岩石的地球化学属性。研究表明,石英闪长岩可能来源于镁铁质下地壳熔融或富集俯冲带组分的上地幔熔融或受到陆壳混染的亏损地幔的部分熔融(Tvan de Fliert et al.,2003;邱士东等,2015),下地壳的变质玄武岩经脱水熔融可产生相当数量的石英闪长质岩浆(Rushmer,

1991)。 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 是源区性质特征的反映,源于变杂砂岩或火成岩的熔融酸性花岗质岩石 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 值介于 0.3~1.5,角闪岩部分熔融而成的偏中性熔体(石英闪长岩等) $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 则相对较高(Jung and Pfänder,2007),大黑坑石英二长闪长岩 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均为 2.03,因此,大黑坑石英二长闪长岩可能为变质玄武岩熔融形成的。但是,其 Zr/Hf 值平均为 39.33 高于壳源岩石,Nb/Ta 值平均为 19.75 远高于陆壳值,另外大黑坑石英二长闪长岩具有较高的 MgO :3.18%~10.20%,平均值为 7.12%、 $\text{Mg}^\#$:0.43~0.70,属于高镁闪长岩,平均值为 0.60(邓晋福等,2015a)和 TFeO :6.48%~7.85%,平均值为 7.17%。微量元素方面,大黑坑石英二长闪长岩还具有较高含量的 V(63.80×10^{-6} ~ 172.00×10^{-6})、Cr(23×10^{-6} ~ 527×10^{-6})、Co(19.5×10^{-6} ~ 40.7×10^{-6})、Ni(13.5×10^{-6} ~ 217.0×10^{-6}),而这些微量元素通常在地幔中富集(李光来等,2010),以上数据说明,形成大黑坑石英二长闪长岩的岩浆中也有地幔物质的参与。因此笔者等认为大黑坑石英二长闪长岩原岩应为下地壳变质玄武岩,但又受到了幔源岩浆的混合和改造。

因此,几乎同时形成的后边沟岭黑云母二长花岗岩与大黑坑石英二长闪长岩的岩浆来源应该是相同的,且均具有壳幔混源的特征。

4.3 构造环境

研究认为 Al_2O_3 可作为中酸性岩体压力大小的标志之一,并且能进一步指示其源区残留相(Tvan de Fliert et al.,2003;Rapp et al.,1995)。当熔体中的 Al_2O_3 含量低于 15%时,源区残留相以角闪石、斜长石和斜方辉石为主;当熔体中 Al_2O_3 含量大于 15%时,源区残留相以单斜辉石、角闪石、斜长石和石榴子石为主。后边沟岭黑云母二长花岗岩的 Al_2O_3 含量平均为 13.96%,大黑坑石英二长闪长岩 Al_2O_3 含量平均为 15.76%,说明后边沟岭黑云母二长花岗岩的源区残留相可能以角闪石、斜长石和斜方辉石为主,而大黑坑石英二长闪长岩的源区残留相可能以单斜辉石、角闪石、斜长石、石榴子石为主。以上两个岩体的 HREE 分异不明显,二者 δEu 均呈中等较弱的负异常,大黑坑岩体的一件样品还呈较弱的正异常。这说明其源区残留相均以角闪石和斜长石作为主要残留,说明其形成压力较小。岩石学熔融实验表明,玄武岩部分熔融时熔体与斜长石和角闪石处于平衡时,压力应 <0.8 GPa(吴福元等,2002;葛小月等,2002;康磊等,2016),进一步说

明后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩均形成于一种低压的环境,据前文所述,后边沟岭黑云母二长花岗岩为 A 型花岗岩,而 A 型花岗岩主要形成在低压条件下,产于地壳伸展减薄的构造背景(张旗等,2012)。又根据构造环境判别图解(图 10),后边沟岭黑云母二长花岗岩的四件样品均落在了造山后区域内,且均匀分布在分界线两侧,应属造山后花岗岩(邓晋福等,2015b),这也与 A 型花岗岩的产出环境相吻合。

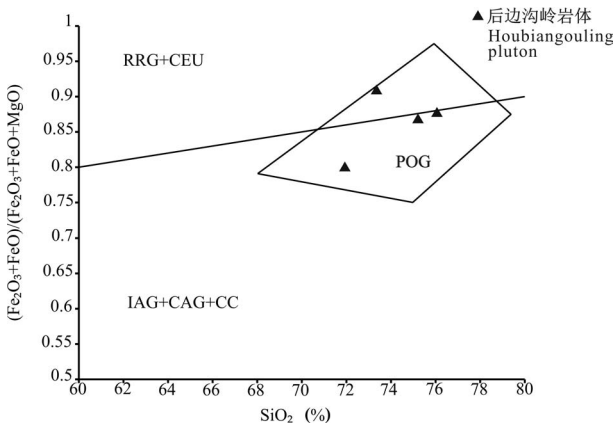


图 10 辽东岫岩地区后边沟岭黑云母二长花岗岩构造环境判别图解(据 Maniar et al.1989)

Fig. 10 Tectonic environment discrimination diagram of Houbianguoling biotite monzogranite in Xiuyan area, eastern Liaoning(after Maniar et al., 1989)

IAG—岛弧花岗岩类; CAG—大陆弧花岗岩类; CCG—大陆碰撞花岗岩类; POG—造山后花岗岩类; RRG—与裂谷有关的花岗岩类; CEUG—陆内造陆运动花岗岩类

IAG—Island arc granite; CAG—Contiental arc granite; CCG—Contiental collision granite; POG—Post orogenic granite; RRG—Rift valley related granite; CEUG—Contiental epeirogenetic granite

综上,后边沟岭黑云母二长花岗岩产于地壳伸展减薄的构造背景。另外大黑坑石英二长闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 220.3 ± 1.0 Ma, 与后边沟岭黑云母二长花岗岩为同期的岩浆产物。也就是说在 220.9 ± 1.2 Ma~ 220.3 ± 1.0 Ma 这一时期,辽东岫岩地区整体可能处于地壳伸展减薄的构造背景。

近年研究表明,中国东部大陆岩石圈在中生代期间发生了强烈的岩石圈减薄作用(Menzie et al., 1993; 刘杰勋等,2016) 和构造格架的重大转折事件。部分学者认为华北岩石圈减薄的峰期发生在中新生代,但具体发生的时间存在三叠纪(韩宝福等,2004; Yang et al., 2007a, 2007b)、侏罗纪—早白垩世(吴福元等,2008; Gao et al., 2004) 和晚白垩世—

新生代(Xu et al., 2001) 等不同认识(杨进辉等, 2009)。

华北克拉通在三叠纪—早白垩世遭到破坏可能是由大陆深俯冲和扬子—华北之间的陆陆碰撞造山作用引起的(Gao S et al., 2004; Yang Jinhui et al., 2007a, 2007b)。杨进辉等(2009) 认为华北东部三叠纪花岗岩时空分布和岩石成因的研究表明,形成晚三叠世侵入岩的岩浆来源复杂,具有多元性,表明华北克拉通在三叠纪遭受了大陆深俯冲作用的影响,在苏鲁及相邻的胶东半岛、辽东半岛以及朝鲜半岛等地区,岩石圈减薄和克拉通破坏的起始时间可能为晚三叠世,与大陆深俯冲、陆陆碰撞造山所引起的碰撞后地壳加厚、拆沉有关,并初步提出了岩石圈减薄或克拉通破坏与华北东部三叠纪岩浆活动形成的地球动力学模型:

(1) 在 245~226 Ma,深俯冲的大陆岩石圈与俯冲洋壳的拆离致使超高压—高压岩石快速折返到地壳深度,大陆碰撞造山作用导致大别—苏鲁及相邻的华北东部地区岩石圈增厚,形成巨厚的山根,地壳的加厚使下地壳镁铁质岩石转变成高密度的榴辉岩相岩石。

(2) 由于区域地壳演化差异,在苏鲁及相邻的华北东部,岩石圈的不稳定 而拆沉到软流圈中,拆沉山根所留下的空间被热的、饱满的软流圈物质所代替,形成新生的岩石圈地幔。

(3) 拆沉的岩石圈物质在高压下增温发生不同程度的部分熔融,形成来源于古老岩石圈地幔来源的镁铁质和碱性岩浆,同时,上涌的软流圈发生减压部分熔融,形成亏损地幔来源的镁铁质岩浆。

(4) 这些幔源岩浆上升到地壳深度诱发下地壳物质发生部分熔融,形成长英质岩浆,不同性质的岩浆经过复杂的分离结晶、地壳混染和岩浆混合作用形成华北东部晚三叠世复杂的侵入岩体。

显然,后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的侵位时间要晚于杨进辉等(2009) 认为的大陆深俯冲和扬子—华北之间的陆陆碰撞造山作用的时间(245~226 Ma)。所以笔者等推测在 220.3 ± 1.0 Ma~ 220.9 ± 1.2 Ma 这一时期,研究区的伸展构造背景可能与大陆深俯冲和扬子—华北之间发生陆陆碰撞造山作用后所引起的克拉通减薄有关。

5 结论

(1)重新厘定了辽东岫岩地区后边沟岭黑云母

二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,结果显示,后边沟岭黑云母二长花岗岩的加权平均年龄为 $220.9 \pm 1.2 \text{ Ma}$ ($n = 15$, $\text{MSWD} = 0.50$)。大黑坑石英二长闪长岩的加权平均年龄为 $220.3 \pm 1.0 \text{ Ma}$ ($n = 20$, $\text{MSWD} = 0.36$)。表明上述两个岩体均形成于晚三叠世。

(2) 地球化学研究表明: 后边沟岭黑云母二长花岗岩具高硅、富碱的特征,属 A 型花岗岩;大黑坑石英二长闪长岩具高镁的特征;后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩具有相似的稀土元素和微量元素特征,二者均显示轻稀土分馏明显,重稀土分馏不明显的特征,均富集大离子亲石元素 Rb、K,亏损 Ba、Sr,富集高场强元素 Th、La、Ce、Nd、Hf、Tb,而亏损 P、Nb、Ta、Y 等元素;二者具有相同的岩浆来源且均具有壳幔混源的特征

(3) 在 $220.9 \pm 1.2 \text{ Ma} \sim 220.3 \pm 1.0 \text{ Ma}$ 这一时期,辽东岫岩地区整体可能处于地壳伸展减薄的构造背景,后边沟岭黑云母二长花岗岩和大黑坑石英二长闪长岩均产于这种伸展构造背景中,上述两个岩体的形成可能与大陆深俯冲和扬子—华北之间发生陆陆碰撞造山作用后所引起的华北克拉通减薄有关。

致谢: 衷心感谢沈阳地质调查中心邢德和、李东涛两位教授级高工在野外调查中的指导,感谢中国地质科学院矿产资源研究所王倩博士在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析中给予的支持,最后着重感谢章雨旭研究员和审稿专家对本文提供的宝贵修改意见。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

崔维龙,刘正宏,杜洋,王师捷,万乐.2016.辽东地区大兴岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及地质意义.地球科学与环境学报,38(5):623~637.

邓晋福,冯艳芳,狄永军,刘翠,肖庆辉,苏尚国,赵国春,孟斐,马帅,姚图.2015a.岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换.地质论评,61(3):473~484.

邓晋福,刘翠,冯艳芳,肖庆辉,苏尚国,赵国春,段培新,戴蒙.2015b.关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议.地质论评,61(4):717~734.

段晓侠,刘建明,王永彬,周伶俐,李永贵,李斌,张壮,张作伦.2012.辽宁青城子铅锌多金属矿田晚三叠世岩浆岩年代学、地球化学及地质意义.岩石学报,28(2):595~606.

葛小月,李献华,陈志刚,李伍平.2002.中国东部燕山期高 Sr 低 Y 型中酸性火成岩的地球化学特征及成因—对中国东部地壳厚度的制约.科学通报,47(6):474~480.

韩宝福,加加美宽雄,李惠民.2004.河北光头山碱性花岗岩的时代、

Sr—Nd 同位素特征及其对华北古生代壳幔相互作用的意义.岩石学报,20:1375~1388.

贾小辉,王晓地,杨文强,牛志军.2017.钾玄质系列岩石的研究现状.地质论评,63(6):1587~1601.

贾小辉,王强,唐功建.2009.A 型花岗岩的研究进展及意义.大地构造与成矿学,33(3):465~480.

李光来,华仁民,胡东泉,黄小娥,张文兰,王旭东.2010.赣南地区石英英闪长岩的成因:岩石化学、副矿物微量元素、锆石 U-Pb 年代学与 Sr—Nd—Hf 同位素制约.岩石学报,26(3):903~918.

李三忠,郝德峰,赵国春,孙敏,韩宗珠,郭晓玉.2004.丹东花岗岩的地球化学特征及成因.岩石学报,20(6):1417~1423.

黎心远,赵元艺,刘春花.2018.黑龙江三矿沟—庄平河地区岩浆岩年代学、地球化学研究及其俯冲构造与成矿意义.地质学报,92(2):244~262.

刘杰勋,郭巍,朱凯.2016.辽东岫岩地区早白垩世侵入岩的年代学、地球化学及地质意义.岩石学报,32(9):2889~2900.

刘阁,朱志新,余建忠,邓洪涛,赵同阳,王庆军,孙耀峰.2016.新疆西准噶尔朱鲁木特 A 型花岗岩 年代学、地球化学及岩石成因.地质论评,62(2):331~342.

康磊,校培喜,高晓峰,奚仁刚,杨再朝.2016.茫崖山二长花岗岩、石英闪长岩的年代学、地球化学及岩石成因:对阿尔金南缘早古生代构造—岩浆岩化的启示.岩石学报,32(6):1731~1748.

邱士东,辜平阳,庞新愉,董增产,查显峰,查方勇,陈锐明,庄玉军.2015.青海冷湖北片麻状石英闪长岩的 MC-LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义.地质论评,61(4):948~959.

秦亚,梁一鸿,胡兆初,冯坚,李敏.2013.吉南老岭地区早白垩世铝质 A 型花岗岩的厘定及其构造意义.地球科学,38(4):677~688.

宋运红,杨凤超,闫国磊,魏明辉,石绍山.2016.辽东地区古元古代花岗岩 SHRIMP U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及构造意义.地质学报,90(10):2620~2636.

吴福元,徐义刚,高山,郑建平.2008.华北岩石圈减薄与克拉通破坏研究的主要学术争论.岩石学报,24(6):1145~1174.

吴福元,李献华,杨进辉,郑永飞.2007.花岗岩成因研究的若干问题.岩石学报,23(6):1217~1238.

吴福元,杨进辉,柳小明.2005.辽东半岛中生代花岗质岩浆作用的年代学格架.高校地质学报,11(3):305~317.

吴元保,郑永飞.2004.锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约.科学通报,49(16):1589~1604.

吴福元,葛文春,孙德有.2002.埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义.见:肖庆辉,邓晋福,马大铨等著.花岗岩研究思维与方法.北京:地质出版社:172~191.

杨佳林,顾玉超,杨凤超,李东涛,鞠楠,贾宏翔.2018.辽东半岛大金山花岗岩体 SHRIMP U-Pb 年龄、元素地球化学和 Hf 同位素特征及地质意义.地质论评,64(6):1541~1556.

杨凤超,宋运红,郝立波,柴鹏.2015.辽东三家子地区晚侏罗世花岗岩 SHRIMP U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义.地质学报,2015,89(10):1773~1782.

杨进辉,吴福元.2009.华北东部晚三叠纪岩浆作用.中国科学 D 辑:地球科学,39(7):910~921.

杨进辉,吴福元,罗清华,钟孙霖,张艳斌,Wilde S A. 2004.辽宁丹东地区侏罗纪花岗岩的变形时代⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学制约.岩石学报,20(5):1205~1214.

张朋,陈冬,寇林林,赵岩,杨宏智,沙德铭,王希今.2015.辽东卧龙泉岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学、Sr—Nd—Pb 同位素特征及其地质意义.地质学报,89(10):1762~1772.

张旗,冉白皋,李承东.2012.A 型花岗岩的实质是什么? 岩石矿物学杂志,31(4):621~626.

张旗,王焰,熊小林,李承东.2008.埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇.北

- 京:中国大地出版社,3~18.
- 朱金初,张佩华,谢才富,张辉,杨策.2006.南岭西段花山—姑婆山 A 型花岗质杂岩带:岩石学、地球化学和岩石成因.地质学报,80(4):529~542.
- 赵振华,王中刚,邹天人,增田彰正.1996.新疆乌伦古富碱侵入岩成因探讨.地球化学,25(3):205~220.
- Barth M G, McDonough W F and Rudnick R L.2000.Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chemical Geology*, 165(3~4):197~213.
- Cui Weilong, Liu Zhenghong, Du Yang, Wang Shijie, Wan Le. 2016&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemical characteristics and geological significance of Daxing pluton in Liaodong Area. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 38(5):623~637.
- Creaser R A, Price R C and Wormald R J.1991.A-typic granites revisited: Assessment of a residual-source model. *Geology*, 19:163~166.
- Collins W J, Beams S D, White A J R and Chappell B W.1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contr. Miner. Petrol.*, 10: 189~200.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yaotu. 2015a&. Magmatic arc and ocean—continent transition: Discussion. *Geological Review*, 61(3):473~484.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015b&. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: Discussion and suggestion. *Geological Review*, 61(4):717~734.
- Duan Xiaoxia, Liu Jianmin, Wang Yongbin, Zhou Lingli, Li Yonggui, Li Bin, Zhang Zhuang, Zhang Zuolun. 2012&. Geochronology, geochemistry and geological significance of Late Triassic magmatism in Qingchengzi orefield, Liaoning. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2):595~606.
- Frost C D, Frost B R, Chamberlain K R and Edwards B. 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: A reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *J. Petrol.*, 40: 1771~1802.
- Frost B R, Barnes C G, Collins W J, Arcuuius R J, Ellis D J and Frost C D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11):2033~2048.
- Furukawa Y and Tatsumi Y. 1999. Melting of a subducting slab and production of high-Mg and esite magmas: Unusual magmatism in SW Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 26:2271~2274.
- Gao S, Ridnick R L, Xu W L, et al. 2004. Recycling lower continental crust in the North China Craton. *Nature*, 432: 1145~1174.
- Ge Xiaoyue, Li Xianhua, Chen Zhigang, Li Wuping. 2002#. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constrains on crustal thickness. *Chinese Science Bulletin*, 47: 474~480.
- Han Baofu, Kagami H and Li Huimin. 2004&. Age and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Guangtoushan alkaline granite, Hebei province, China: implications for early Mesozoic crust-mantle interaction in North China Block. *Acta Petrologica Sinica*, 20(6):1375~1388.
- Harris N B W, Marzouki F M H and Ali S. 1986. The Jabel Sayid Complex, Arabian Shield: Geochemical constraints on the origin of peralkaline and related granites. *J. Geol. Soc. London*, 143: 287~295.
- Hofmann A W. 1988. Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90:297~314.
- Jia Xiaohui, Wang Qiang, Tang Gongjian. 2009&. A-type granites: Research progress and implications. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(3):465~480.
- Jia Xiaohui, Wang Xiaodi, Yang Wenqiang, Niu Zhijun. 2017&. An overview of studies on shoshonitic rocks, *Geological Review*, 63(6):1587~1601.
- Jung S and Pfänder J A. 2007. Source composition and melting temperatures of orogenic graitoids: Comstrains from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and accessory mineral saturation thermometry. *European Journal of Mineralogy*, 19(6):859~870.
- Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, Xi Rengang, Yang Zaichao. 2016&. Chronology, geochemistry and petrogenesis of monzonitic granite and quartz diorite in Mangai area: Its inspiration to Early Paleozoic tectonic—magmatic evolution of the southern Altyn Tagh. *Acta Petrologica Sinica*, 32(6):1731~1748.
- Kamei A, Owada M, Nagao T, et al. 2004. High-Mg diorites derived from sanukitic HMA magmas, Kyushu Island, southwest Japan arc: Evidence from clinopyroxene and whole rock compositions. *Lithos*, 75:359~371.
- Li Sanzhong, Hao Defeng, Zhao Guochun, Sun Ming, Han Zongzhu, Guo Xiaoyu. 2004&. Geochemical fentures and orgin of Dandong granite. *Acta Petrologica Sinica*, 20(6):1417~1423.
- Litvinovsky B A, Jahn B M, Zandvilevich A N, Saunders A, Poulain S, Kuzmin D V, Reichow M K and Titov A V. 2002. Petrogenesis of syenite-granite suites from the Bryansky Complex (Transbaikalia, Russia): Implications for the origin of A-type granitoid magmas. *Chem. Geol.*, 189:105~133.
- Li Xinyuan, Zhao Yuanyi, Liu Chunhua. 2018&. Geochronology and geochemical characteristics of igneous rocks in the Sankuanggou-Zhuanghuhe area in Heilongjiang and its implications for subduction structure and metallogeng. *Acta Geologica Sinica*, 92(2):244~262.
- Liu Jiexun, GuoWei, Zhu Kai. 2016&. Geochronology, geochemistry and geological significance of the Early Cretaceous intrusive rocks from Xiuyan area, eastern Liaoning Province. *Acta Petrologica Sinica*, 32(9):2889~2900.
- Liu Ge, Zhu Zhixin, She Zhizhong, Deng Hongtao, Zhao Tongyang, Wang Qingjun, Sun Yaofeng. 2016&. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Zhulumute A type granites in West Junggar, Xinjinag. *Geological Review*, 62(2):331~342.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. 2010&. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bullein*, 55(15):1535~1546.
- Li Guanglai, Hua Renmin, Hu Dongquan, Huang Xiao'e, Zhang Wenlan, Wang Xudong. 2010&. Petrogenesis of Shilei quartz diorite in southern Jiangxi: Constraints from petrochemistry, trace elements of accessory minerals, zircon U-Pb dating, and Sr-Nd-Hf is otopes. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3):903~918.
- Li Sanzhong, Hao Defeng, Zhao, Guochun, Sun Ming, Han Zongzhu, Guo Xiaoyu. 2004&. Geochemical fentures and origin of Dandong granite. *Acta Petrologica Sinica*, 20(6):1417~1423.
- Litvinovsky B A, Steele I M and Wickham S M. 2000. Silicic magma formation in overthickened crust: Melting of charnockite and leucogranite at 15, 20 and 25 kbar. *J. Petrol.*, 41(5):717~737.
- Loiselle M C and Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Bull. (Abstracts with Programs)*, 11:468.
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *GSA Bull.*, 101: 635~643.

- Menzies M A, Fan W M and Zhang M. 1993. Palaeozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of 120 km of Archaean lithosphere, Sino-Korean Craton, China. In: Prichard H M, Alabaster T, Harris N B W and Neary C R. eds. *Magmatic Processes and Plate Tectonics*. Geological Society, London, Special Publication, 76: 71~81.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956~983.
- Qiu Shidong, Gu Pingyang, Pang Xinyu, Dong Zengchan, Zha Xianfeng, Zha Fangyong, Chen Ruiming, Zhuang Yujun. 2015. Zircon MC-LA-ICP-MS U-Pb dating, geochemistry and geological significance of gneissic quartz diorite in north Lenghu, Qinghai. *Geological Review*, 61(4): 948~959.
- Qin Ya, Liang Yiming, Hu Zhaochu, Feng Jian, Li Min. 2013. Confirmation of aluminous A-type granite emplacement and its tectonic significance during Early Cretaceous in the Laoling Area, South of Jilin Province. *Earth Science*, 38(4): 677~688.
- Song Yunhong, Yang Fengchao, Yan Guolei, Wei Minghui, Shi Shaoshan. 2016. SHRIMP U-Pb ages and Hf isotopic compositions of Paleoproterozoic granites from the eastern part of Liaoning Province and their tectonic significance. *Acta Geologica Sinica*, 90(10): 2620~2636.
- Rapp R P, Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8~32 kbar; implications for continental growth and crust-mantle recycling. *J. Petrol.*, 36: 891~931.
- Rudinick R L, Barth M, Horn I, et al. 2000. Rutile-bearing refractory eclogites: Missing link between continents and depleted mantle. *Science*, 287(5451): 278~281.
- Rushmer T. 1991. Partial melting of two amphibolites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 107: 41~49.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4): 247~263.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell, 91~92.
- Tvan de Fliedrt T, Hoernes S, et al. 2003. Lower crustal melting and the role of open-system processes in the genesis of synorogenic diorite-granite-leucogranite associations; constraints from Sr-Nd-O isotopes from the Bandombaai complex, Namibia. *Lithos*, 67: 205~226.
- Wu Fuyuan, Xu Yigang, Gao Shan, Zheng Jianping. 2008. Lithospheric thinning and destruction of the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6): 1145~1174.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, Zheng Yongfei. 2007. Discussions on the petrogenesis of granites. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1217~1238.
- Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Liu Xiaoming. 2005. Geochronological framework of the Mesozoic granitic Magmatism in the Liaodong peninsula, Northeast China. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 305~317.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Zircon genetic mineralogy and its constraints on U-Pb age interpretation. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589~1604.
- Wu F Y, Sun D Y, Li X H, Jahn B M and Wilde S A. 2002. A-type granites in Northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chem. Geol.*, 187: 143~173.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 529~542.
- Xu Y G. 2001. Thermo-tectonic destruction of the Archean lithospheric keel beneath eastern China: evidence, thinning and, mechanism. *Phys. Chem. Earth*, 26: 747~757.
- Yang Fengchao, Song Yunhong, Hao Libo, Chai Peng. 2015. Liaodong area three shijiaz late Jurassic SHRIMP U-Pb age and Hf isotopic characteristics of granite from Sanjiaz area in Liaodong and geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 89(10): 1773~1782.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan. 2009. Triassic magmatism and its relation to decratonization in the eastern North China Craton. *Sci. China Ser. D—Earth Sci.*, 39(7): 910~921.
- Yang J H, Wu F Y, Wilde S A, et al. 2007a. Petrogenesis of Late Triassic granitoids and their enclaves with implications for post-collisional lithospheric thinning of the Liaodong Peninsula, North China Craton. *Chem. Geol.*, 242(1~2): 155~175.
- Yang J H, Sun J F, Chen F K, et al. 2007b. Sources and petrogenesis of Late Triassic dolomite dikes in the Liaodong Peninsula: implications for post-collisional lithosphere thinning of Eastern North China Craton. *J. Petrol.*, 48(10): 1973~1997.
- Yang J H, Wu F Y, Chuang S L, Wilde S A and Chu M F. 2006. A hybrid origin for the Qianshan A type granite, northeast China: Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence. *Lithos*, 89: 89~106.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Lo Ching-hua, Chung Sun-lin, Zhang Yanbin. 2004. Deformation age of Jurassic granites in the Dandong area, eastern China: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints. *Acta Petrologica Sinica*, 20(5): 1205~1214.
- Yogodzinski G M, Kay R W, Volynets O N, et al. 1995. Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 107: 505~519.
- Zhang Peng, Chen Dong, Kou Linlin, Zhao Yan, Yang Hongzhi, Sha Deming, Wang Xijin. 2015. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopes of the Wolongquan intrusion in Liaodong and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 89(10): 1762~1772.
- Zhang Qi, Wang Yan, Xiong Xiaolin, Li Chengdong. 2008. Adakite and Granites: Challenges and Opportunities. Beijing: China Land Press, 3~18.
- Zhang Qi, Ran Baigao, Li Chengdong. 2012. A-type granite: what is the essence? *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 621~626.
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, Zhanghui, Yang Ce. 2006. The Huashan-Guposhan A-type granitoid belt in the western part of the Nanling Mountains: Petrology, geochemistry and genetic interpretations. *Acta Geologica Sinica*, 80(4): 529~542.
- Zhao Zhenhua, Wang Zhonggang, Zou Tianren, Akimasa Masuda. 1996. Discussion about the origin of rich alkali intrusive rocks in Wulungu Xinjiang. *Geochemistry*, 25(3): 205~220.

LA-ICP-MS zircon U-Pb ages, geochemical characteristics of Late Triassic intrusives in Xiuyan area, eastern Liaoning and their geological significances

WANG Xiaoliang¹⁾, LÜ Xing¹⁾, LIU Yongjun¹⁾, ZHAO Yuanyi²⁾, LI Chao¹⁾,
WU Wenbin¹⁾, WANG Yuping¹⁾, LI Haiyang¹⁾

1) *Liaoning Geology and Mineral Research Institute Co. Ltd., Shenyang, 110032;*

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

Objectives: Liaodong peninsula is always a hot spot area for study of North China Craton (NCC) thinning. Previous researcher still have a disagreement on tectonic environment in Liaodong peninsula.

Methods: We select biotite monzogranite outcropped in Houbiangouling and quartz monzodiorite outcropped in Daheikeng, Xiuyan area, eastern Liaoning province, to be studied by using LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology and Petrogeochemistry.

Results : In addition, the origin and formation environment of the above two plutons are discussed and work out the following results: the formation age of Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite is Late Triassic (220.9 ± 1.2 Ma and 220.3 ± 1 Ma); the geochemical characteristic of Houbiangouling biotite monzogranite has high content of SiO_2 , riched in alkali; the Daheikeng quartz monzodiorite has high content of Mg, the obvious fractional distillation of LREE, but HREE is not obvious; the Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite have similar characteristics in rare earth elements and trace elements, both of them show characteristics of light rare earth obvious fractionation, while heavy rare earth fractionation was not obvious, and are enriched in large ion lithophile elements Rb, K, loss Ba, Sr; and enriched in high field intensity elements Th, La, Ce, Nd, Hf, Tb, while loss P, Nb, Ta, Y.

Conclusions: Both of them have the same magmatic source and the characteristics of crust—mantle magma mixture; the probable tectonic background is crustal extension and thinning in Xiuyan area, eastern Liaoning province during 220.9 ± 1.2 Ma ~ 220.3 ± 1.0 Ma; the Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite formed in the crustal extension and thinning tectonic background. The formation of the Houbiangouling biotite monzogranite and Daheikeng quartz monzodiorite are relate to North China Craton thinning caused by continental collision orogeny between Yangtze Craton and North China Craton.

Keywords: Zircon U-Pb age (chronology); geochemical characterisitc; Late Triassic; Craton thinning; Xiuyan area of eastern Liaoning province

Acknowledgements: This study is supported by Geological Survey Project of China (No. DD20160049). Thanks to Prof. XING Dehe and LI Dongtao of Shenyang Geological Survey Center. I would like to thank Prof. Xing Dehe and Prof. LI Dongtao of Shenyang Geological Survey Center, for their guidance in the field survey. I would also like to thank Dr. WANG Qian of Mineral Resources Institute of the Chinese Academy of Geological Sciences, for her support in LA-ICP-MS zircon U-Pb dating. Finally, I would like to thank Prof. ZHANG Yuxu and reviewers for their valuable comments on this paper.

First author: WANG Xiaoliang, male, born in 1988, engineer, mainly engaged in intrusive petrology, Email: 975771779@qq.com

Manuscript received on: 2018-10-30; Accepted on: 2019-02-15; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.02.010