

辽东半岛印支期侵入岩侵入机制与岩浆大陆动力学演化

郭伟静, 陈树良, 于海峰, 曲洪祥, 谭文刚

(辽宁省地质勘查院, 辽宁 大连 116100)

摘 要: 辽东半岛广泛分布印支期侵入岩, 作为研究辽东半岛印支期陆内造山作用的客观实体, 意义重大。概述了印支期侵入岩地质特征、岩石化学及地球化学特征, 总结出岩浆演化趋势由超基性→基性→中性→酸性→碱性。提出了岩浆源区性质为幔源、壳幔混源、壳源 3 种类型。总结了造山初期至造山早期伸展机制下席状侵位, 造山主期穹隆式及穿刺式侵位, 造山后构造崩塌被动侵位 3 种侵位机制模式及岩浆大陆动力学演化过程。

关键词: 印支期侵入岩; 侵位机制; 岩浆; 大陆动力学演化; 辽东半岛

印支运动在辽东半岛最显著的特征是:(1)在伸展、收缩不同机制下形成不同期次、不同层次的韧性、脆性构造形迹组合;(2)伴随着板内造山作用, 大规模岩浆侵位。后者作为研究印支期造山作用的客观实体, 扮演着非常重要的角色。对岩浆侵位机制及构造岩浆大陆动力学的研究, 对于揭示印支期板内造山特征及其演化具有重要意义。笔者通过辽宁省 1:50 万地质图数据库专题研究, 丹东市、东港市 1:25 万区调, 大连-营口地区 1:25 万片区总结及前人成果资料研究, 认为辽东半岛印支期侵入岩年龄集中于 205~246 Ma 间, 区域上侵入古元古代辽河群(如大营子、万家岭、三股流岩体等)、青白口系及震旦系(如双塔岩体)及石炭—二叠系(如大堡岩体), 被 186 Ma 前后早侏罗世钦马湾岩体(Rb-Sr 198 Ma)、韩家岭岩体(Rb-Sr 186 Ma)和中侏罗世大洼岩体(K-Ar 176.4 Ma)所侵。其中三股流岩体时代归属尚有争议。李安石^[1]及程裕淇、杨忠杰^[2]依据 Rb-Sr 年龄(216.3 Ma)将其时代归属印支期。近期魏俊浩报道^[3]Rb-Sr 年龄为 131.1 Ma, 将其时代归属燕山期。鉴于不同观点测年方法相同, 而结论各异的原因目前尚不清楚的客观事实, 笔者考虑到该岩体宏观特征与双牙山、双塔岭、大堡岩体相近, 结合区域地质构造分析, 本文仍然将其归属印支期。岩石地球化学特征显示其源区性质为幔源、壳幔混源、壳源 3 种类型, 岩浆演化由超基性→基性→中性→酸性→碱性。提出造山初期至早期伸展机制下席状侵位, 造山主期收缩机制下穹隆式及穿刺式主动侵位, 造山后构造崩塌被动就位的侵位模式。

晚三叠世印支运动期间, 太平洋板块与亚洲大陆板块之间的强烈挤压, 是中国东部滨太平洋构造域强烈活动的开始^[4]。晚古生代西伯利亚板块与华北板块之间的碰撞与拼接, 碰撞后阶段的造山作用, 可能延伸到印支期。辽东半岛在此构造背景下派生的北东向断裂构造, 为本区岩浆活动提供了先决条件。由于地壳增厚, 地热递度增高, 大面积地壳重熔, 伴生有少量幔源组分参与, 形成的基性-中性-酸性-碱性岩浆沿北东向断

裂上侵, 进而形成了本区北东向印支期岩浆带。

1 地质特征

印支期侵入岩主要分布在辽东太子河-浑江台陷南部边缘及其以南地区^[5](图 1)。

1.1 早印支期造山初期基性-超基性杂岩

出露规模小, 分布零星, 以大小不等的岩株、岩席、岩床等形态产出, 多呈捕虏体存在或侵入古元古代辽河群。Sm-Nd 年龄为 224 Ma。岩石类型有角闪岩、角闪辉岩、橄榄辉石角闪岩。

1.2 早印支期造山初期闪长岩-石英闪长岩-英云闪长岩组合

出露规模较小, 分布广泛, 以大小不等的岩株状产出, 侵入早印支期超基性-基性杂岩, 被晚印支期花岗岩所侵。大营子岩体 K-Ar 年龄为 205 Ma。岩体内部常见闪长质深源包体, 岩浆活动具多期涌动式侵位特点, 成分演化明显。岩石类型为闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩。

1.3 晚印支期造山早期石英闪长岩-花岗闪长岩-黑云母二长花岗岩组合

出露规模较小, 分布局限, 仅限于三股流、万家岭等地, 以岩株状产出。三股流岩体 Rb-Sr 年龄为 216.3 Ma^[1,2], 万家岭岩体 Rb-Sr 年龄为 246 Ma、K-Ar 年龄为 223 Ma。岩石类型为石英闪长岩、花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩。其中, 三股流岩体闪长岩以富含辉石(10%)、少量石英(5%)、角闪石(3%)为特点, 花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩含 5% 长石斑晶。万家岭岩体闪长岩以富含角闪石(6%~10%)、石英(7%~10%)为特征, 花岗闪长岩以中粒花岗结构为特征。

1.4 晚印支期造山主期花岗闪长岩-二长花岗岩组合

岩浆活动范围广, 分布面积大, 以成分与结构双重演化为标志, 内部常见云母质包体。部分侵入体发育强弱不均的侵位叶理或斑晶定向, 以岩基及岩株状产出, 侵入早印支期闪长岩-

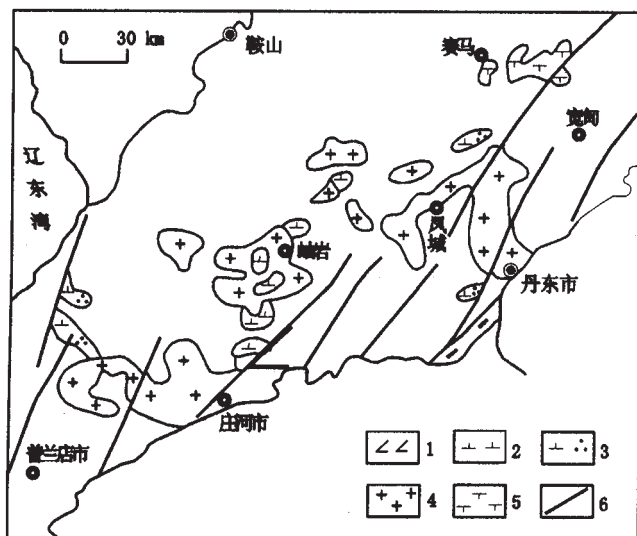


图1 辽东半岛印支期侵入岩分布略图

Fig. 1 Sketch showing distribution of Indosinian intrusive rocks in East Liaoning Peninsula

1—早印支期造山初期基性—超基性杂岩 (initial orogenic basic-ultrabasic complex of Early Indosinian); 2—早印支期造山初期闪长岩—石英闪长岩—英云闪长岩组合 (initial orogenic diorite-quartz diorite-quartz-mica diorite assemblage of Early Indosinian); 3—晚印支期造山早期石英闪长岩—花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩组合 (early orogenic quartz diorite-granodiorite-biotite adamellite assemblage of Late Indosinian); 4—晚印支期造山主期花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩组合 (main orogenic granodiorite-biotite adamellite assemblage of Late Indosinian); 5—造山后构造崩塌期碱性杂岩 (tectonic collapsed alkali-complex of post orogenic period); 6—断层 (fault)

石英闪长岩—英云闪长岩组合, 被侏罗纪花岗岩所侵。K—Ar 年龄为 207~225.3 Ma。其中大堡岩体 Rb—Sr 年龄为 211 Ma, U—Pb 年龄为 224.9 Ma, 双塔岩体 Rb—Sr 年龄为 224 Ma (辽宁地勘院, 1998; 2003)。岩石类型为中粒黑云母花岗闪长岩、中粒黑云母二长花岗岩、含斑 (或似斑状) 中粒黑云母二长花岗岩。岩石以富含榍石、偶含白云母 (<2%)、角闪石 (<5%) 为特点。

1.5 晚印支末期造山后构造崩塌碱性杂岩

仅分布在太子河拗陷南部边缘赛马、柏林川地区, 东西向展布, 呈不规则状岩株产出, Rb—Sr 年龄为 219 Ma, K—Ar, U—Pb 年龄为 197.8~234 Ma。岩浆活动至少有 3 期, 早期形成细粒碱性正长岩, 中期形成中粗—粗粒碱性正长岩, 晚期形成伟晶质碱性正长岩。岩石类型有云霞正长岩、白霞正长岩、霓霞正长岩、霓辉正长岩等。

2 岩石化学及地球化学特征

2.1 岩石化学特征

造山初期基性—超基性杂岩化学成分为: SiO_2 47.845%~53.345%, TiO_2 0.4%~0.61%, Al_2O_3 6.59%~7.37%, $\text{FeO} +$

Fe_2O_3 9.17%~10.16%, MgO 16.54%~21.7%, CaO 8.84%~11.3%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 0.81%~1.09%, m/f 值: 1.77~2, 以富镁为特征。A—F—M 图解显示典型的拉斑玄武岩系列。

造山初期闪长岩—石英闪长岩—英云闪长岩组合化学成分: SiO_2 58.595%~63.33%, TiO_2 0.36%~0.60%, Al_2O_3 16.59%~17.29%, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 4.58%~7.1%, MgO 3.18%~3.52%, CaO 4.03%~4.92%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 6.16%~6.60%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$, δ 值 1.88~2.62, 属钠质钙碱系列。

造山早期石英闪长岩—花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩组合化学成分: SiO_2 64.7%~70.88%, TiO_2 0.36%~0.60%, Al_2O_3 14.675%~15.795%, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 2.49%~7.265%, MgO 0.77%~6.51%, CaO 0.98%~7.69%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 4.92%~8.38%, δ 值 2.02~2.71, 属钙碱系列。

造山主期花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩组合化学成分: SiO_2 67.51%~73.46%, TiO_2 0.15%~0.38%, Al_2O_3 14%~16.61%, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 1.47%~3.87%, MgO 0.51%~1.73%, CaO 1.33%~3.39%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 6.75%~7.8%, δ 值 1.8~2.14, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$: 0.82~1.71, 属钙碱系列。

造山后构造崩塌期碱性杂岩化学成分: SiO_2 53.72%, TiO_2 1.31%, Al_2O_3 15.74%, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 9.52%, MgO 0.71%, CaO 2.48%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 15.17%, δ 值 21.47, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$: 1.48, 属强碱性岩系列。

2.2 微量元素及稀土元素特征

造山初期基性—超基性杂岩微量元素亏损 Cr, 富集 Th、Ni, $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 7.12, 属强有相容元素富集型, 富集地幔源 (图 2)。稀土元素 $\Sigma \text{REE} + \text{Y}$ 为 97.94×10^{-6} , LREE/HREE 为 8.71, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 9.26, δEu 为 0.97, 属陨石型轻稀土富集类型 (图 3)。源区性质为幔源。

造山初期闪长岩—石英闪长岩—英云闪长岩组合: 微量元素亏损 Nb、Ce、Nd、Tm, 富集 Rb、Th、Ba、Zr、Hf、Cr, $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 值为 27.56, 属强不相容元素富集型 (图 2), Rb/Sr 值为 0.14, 介于陆壳值 (0.18) 与洋壳值 (0.29) 之间, 反映源区性质为壳幔混源。稀土元素 $\Sigma \text{REE} + \text{Y}$ 为 244.46×10^{-6} , LREE/HREE 为 15.72, $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 为 21.66, δEu 为 0.84, 属弱销异常轻稀土富集型 (图 3)。

造山早期石英闪长岩—花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩组合: 微量元素亏损 Nb、U、Cr, 富集 Th、Zr、Co (图 2)。 $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 值为 16.7~80.5, 属强不相容元素富集型。Rb/Sr 值为 0.06~0.55, δNb [$\delta \text{Nb} = 2\text{Nb}_N / (\text{K}_N + \text{La}_N)$]^[6] 值为 0.25, 反映源区性质为壳幔混源 (以壳源为主)。稀土元素 $\Sigma \text{REE} + \text{Y}$ 为 135.4×10^{-6} ~ 217.92×10^{-6} , LREE/HREE 为 5.13~7.32, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 25.51~30.75, δEu 为 0.53→1.91→0.97, 属轻稀土富集型 (图 3) 负销异常→正销异常→陨石型。

造山主期花岗闪长岩—黑云母二长花岗岩组合: 微量元素亏损 Co、Nb、Ti、Sr, 富集 Rb、Th、Zr、Hf、Ba、Cr、Ni, $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 为 64.72~94.50, 属强不相容元素富集型 (图 2)。Rb/Sr 值为 0.19~0.27, 稀土元素 $\Sigma \text{REE} + \text{Y}$ 为 147.03×10^{-6} ~ 156.46×10^{-6} , $\text{LREE}/$

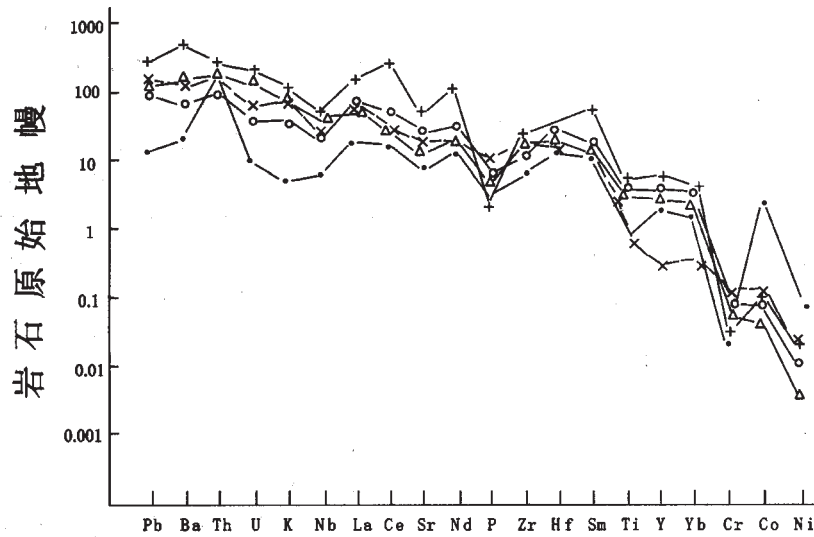


图2 印支期侵入岩微量元素比值蛛网图

Fig. 2 The cobweb diagram of trace element ratio for Indosinian intrusive rocks

·—造山初期基性-超基性杂岩 (initial orogenic basic-ultrabasic complex); ○—造山初期闪长岩-石英闪长岩-英云闪长岩组合 (initial orogenic diorite-quartz diorite-quartz-mica diorite assemblage); ×—造山早期石英闪长岩-花岗闪长岩-黑云母二长花岗岩组合; (early orogenic quartz diorite-granodiorite-biotite adamellite assemblage) △—造山主期花岗闪长岩-黑云母二长花岗岩组合 (main orogenic granodiorite-bioite adamellite assemblage); +—造山后构造崩塌期碱性杂岩 (tectonic collapsed alkali-complex in post orogenic period)

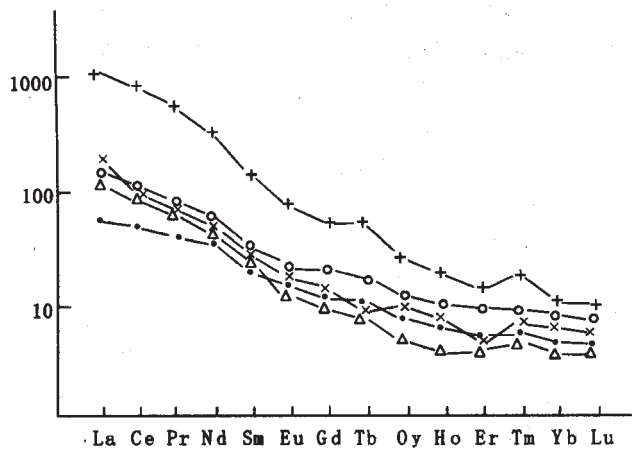


图3 印支期侵入岩稀土元素分布模式

Fig. 3 REE distribution pattern of Indosinian intrusive rocks

图例同图2 (legend the same as that in Fig. 2)

HREE 为 20.84 ~ 22.57, $(La/Yb)_N$ 为 32.35 ~ 50.64, δEu 为 1.02 ~ 1.05, 属轻稀土富集型 (图3). $(La/Yb)_N - Yb_N$ 图解 (图略)、 Rb/Sr 值均说明源区性质为壳源.

造山后构造崩塌期碱性杂岩: 微量元素亏损 Nb、Sr、Ti、Cr, 富集 Ce、Nd、Sm (图2), $(Rb/Yb)_N$ 为 70.22, 属强不相容元素富集型, 富集地幔源. 说明岩石形成于非造山环境. 稀土元素 $\Sigma REE + Y$ 为 1277.3×10^{-6} , $LREE/HREE$ 为 18.63, $(La/Yb)_N$ 为 99.49, δEu 为 0.85, 属负钕异常轻稀土富集型. 负钕异常反映造山后构

造崩塌稀土特征^[7]. $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7064 ~ 0.7073, Y-Zr 图解投入富集地幔区 (图略), δNb 为 0.062 均说明源区性质为幔源, 并经陆壳组分混染.

3 岩浆演化

岩石学及岩石化学特征表明, 早印支期岩浆演化由超基性 → 中酸性, 晚印支期岩浆演化由中性 (偏酸) → 酸性 → 碱性. 总的演化趋势由超基性 → 基性 → 中性 → 酸性 → 碱性, 由幔源 → 壳幔混源 → 壳源演化. A-F-M 图解明显具钙碱系列演化特点 (图4).

岩浆的大陆动力学演化及侵位机制模式如下 (图5): 造山初期侵入的闪长岩-石英闪长岩-英云闪长岩, 厚度仅 0.3 ~

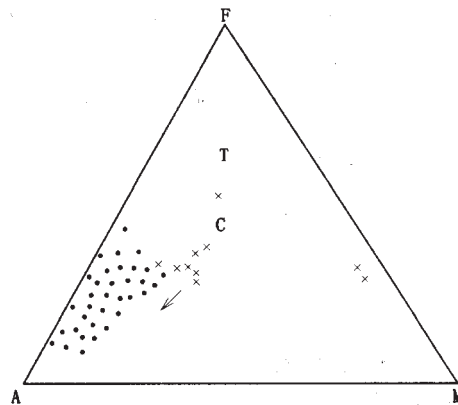


图4 印支期侵入岩 A-F-M 图解

Fig. 4 Diagram of Indosinian intrusive rocks

×—早印支侵入岩 (Early Indosinian); ·—晚印支侵入岩 (Late Indosinian)

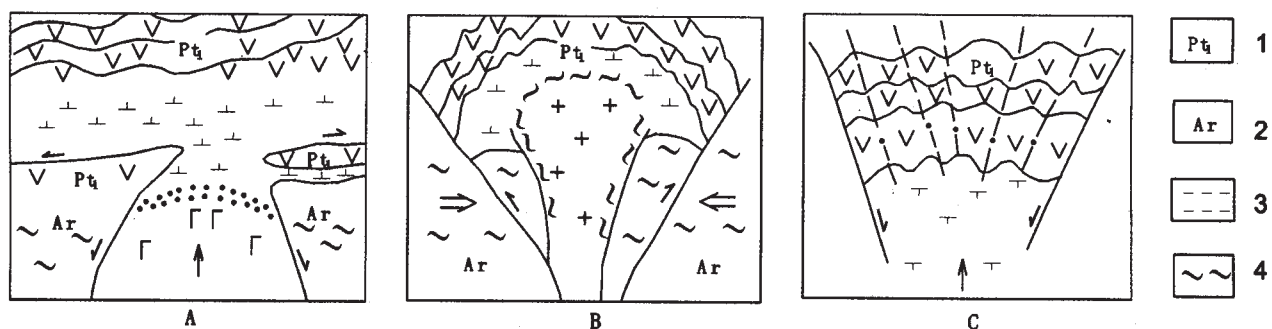


图 5 辽东半岛印支期侵入岩侵位机制与大陆动力学演化示意图

Fig. 5 Sketch showing the emplacement mechanism and continental dynamics evolution of Indosinian intrusive rocks

A—造山初侵入岩席状侵位 (initial orogenic emplacement of sheet); B—造山期侵入岩穹状主动侵位 (orogenic active emplacement of dome); C—造山后构造崩塌期侵入岩被动就位 (post-orogenic passive emplacement of tectonic collapsed intrusive rocks); 1—辽河群 (Liaohe group); 2—太古宙结晶基底 (Archean crystalline basement) 3—韧性剪切带 (ductile shear zone) 4—侵位叶理 (emplacement foliation)

0.6 km, 侵入体产状内倾, 倾角较缓 (20 ~ 30°), 显示席状侵位特征, Rb - (Y + Nb) 图解显示造山初期挤压与板内拉张双重特征 (图 6)。

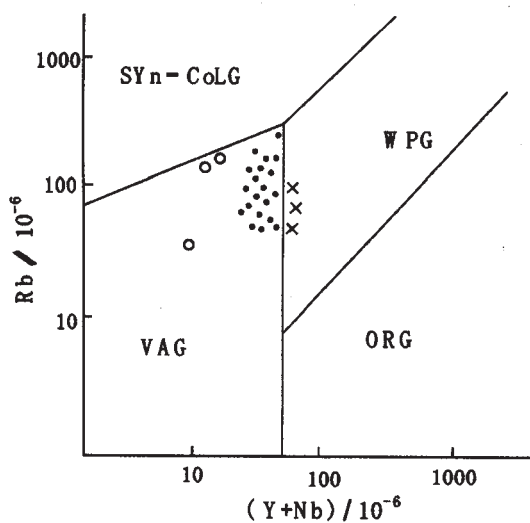


图 6 Rb - (Y + Nb) 图解

Fig. 6 Diagram of Rb - (Y + Nb)

SYn - CoLG—同碰撞花岗岩 (syncollision granite); WPG—板内花岗岩 (intraplate granite); VAG—火山弧花岗岩 (volcanic arc granite); ORG—洋脊花岗岩 (oceanic ridge granite); ×—造山初期侵入岩 (initial orogenic intrusive rock); ○—造山早期侵入岩 (early orogenic intrusive rock); ·—造山主期侵入岩 (main orogenic intrusive rock)

造山早期—主期, 伴随着陆内造山持续发展, 陆壳重熔, 形成钙碱系列岩浆沿基底断裂穹隆式或穿刺式主动侵位, 形成石英闪长岩 - 花岗闪长岩 - 黑云母二长花岗岩组合及花岗闪长岩 - 黑云母 (白云母) 二长花岗岩组合, Y + Nb 图解显示环状花岗岩特征。如三股流、双塔岭、双牙山等多次涌动式脉动形成的复式岩体, 各侵入体 (或单元) 多呈套环状产出, 产状内倾, 较陡, 倾角 70 ~ 80°, 并发育侵位叶理及斑晶定向, 显示主动侵位特点。印支末期, 陆内造山作用后, 地壳处于构造松弛拉张调整阶段 (伸展机制), 地壳减薄, 地幔岩浆再次上涌, 形成负错异常碱性杂岩, 即 A 型花岗岩。负错异常 A 型花岗岩类代表着构造崩塌阶段产物^[7], 与围岩呈参差不齐的锯齿状接触关系, 反映具被动侵位特点。Rb - (Y + Nb) 图解 (图 6) 中 Sr 强烈亏损等特征, 均说明形成于稳定的非造山环境。至此, 印支期岩浆活动终止, 印支造山旋回结束。

参考文献:

[1] 李安石, 李星云. 辽宁省侵入岩与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
 [2] 程裕祺 编. 中国区域地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
 [3] 魏俊浩, 刘丛强, 李志德, 等. 论金矿床成矿年代的确定——以丹东地区成岩成矿 Rb - Sr, U - Pb 同位素年代为例 [J]. 地质学报, 2003, 77 (1): 113—119.
 [4] 任纪舜, 等. 中国大地构造及其演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1983.
 [5] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
 [6] 李昌年 编. 岩石学微量元素 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
 [7] 邓晋福, 等. 中国大陆根 - 柱构造——大陆动力学的钥匙 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.

THE EMPLACEMENT MECHANISM AND CONTINENTAL DYNAMICS EVOLUTION OF INDOSINIAN INTRUSIVE ROCKS IN EAST LIAONING PENINSULA

GUO Wei-jing, CHEN Shu-liang, YU Hai-feng, QU Hong-xiang, TAN Wen-gang

(*Liaoning Institute of Geological Exploration, Dalian 116100, China*)

Abstract: The Indosinian intrusive rocks are broadly distributed in East Liaoning Peninsula. Based on the study on the geology, petrochemistry and geochemistry of the intrusive rocks, it is concluded that the evolution of the source magma is in the trend of ultrabasic → basic → intermediate → acid → alkaline. The source types of the magma are mantle source, crust-mantle mixture and crust source. The continental dynamic evolution process of magma involves three periods under three emplacement mechanism patterns, that is, the sheeted emplacement in the extensional mechanism from the initial to early period of orogeny, the doming and piercing emplacement in the main period of orogeny, and the passive emplacement of tectonic collapse in post-orogeny period.

Key words: Indosinian intrusive rocks; emplacement mechanism; magma; continental dynamic evolution; East Liaoning Peninsula

作者简介:郭伟静(1961—),男,高级工程师,1983年毕业于长春地质学院,现从事区域地质调查与矿产普查工作,通讯地址 大连金州龙王庙 辽宁省地质勘查院 邮政编码 116110.

(上接第 91 页)

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC BACKGROUND OF BASALT FROM TAMULANGOU FORMATION IN NORTHERN DAXINGANLING

ZHANG Yu^{1,2}, ZHAO Huan-li³, HAN Yan-dong³

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Heilongjiang Institute of Regional Geological Survey, Harbin 150036, China*;

3. *Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Regional Geological Survey, Qiqihar 161005, China*)

Abstract: Study on the petrology, geochemistry and tectonic setting of the basalt from Tamulangou formation indicates that the basic volcanic rocks are geochemically similar to both tholeiitic basalt and alkali basalt, with $\text{Na}_2\text{O} - 2 < \text{K}_2\text{O}$, no negative Eu anomaly, $\text{La}/\text{Yb} = 35.7$, rich Ba, Sr and K, and deficient Nb. The magma is probably generated by rifting. In such a thermal-tectonic event, it is speculated that the crust in Shangheilongjiang area and the lithosphere in Huzhong area were thinned greatly; while the lithosphere and the crust in Genhe area were slightly thinned.

Key words: basalt; rifting; Tamulangou formation; Northern Daxinganling

作者简介:张昱(1963—)男,在职博士,高级工程师,1984年毕业于长春地质学院,现从事区调研究及管理工作,通讯地址 黑龙江省哈尔滨市 黑龙江地质调查研究总院 邮政编码 150036, E-mail//zhangyu1963@mail.china.com