

松辽盆地南部中生代火山岩: 锆石 U-Pb 年代学及其对基底性质的制约

裴福萍, 许文良*, 杨德彬, 纪伟强, 于洋, 张兴洲

吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

摘要: 为了确定松辽盆地南部中生代火山岩的形成时代, 本文对位于盆地南部 7 个钻遇中生代火山岩的岩芯样品进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年。松辽盆地南部中生代含火山岩地层主要包括火石岭组和营城组, 其中火石岭组火山岩由玄武安山岩—粗安岩—粗面英安岩组成, 营城组火山岩由玄武质粗面安山岩—粗面安山岩—流纹岩组成。锆石阴极发光 (CL) 图像和 Th/U 比值显示, 所测锆石均具有岩浆成因的特点, 锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明, 松辽盆地南部中生代火山岩形成时代介于 110~133 Ma, 其中火石岭组火山岩形成于 129~133 Ma, 即早白垩世早期, 营城组火山岩形成于 110~119 Ma, 即早白垩世晚期。捕获锆石的定年结果显示, 本区基底中存在中晚侏罗世 (155~169 Ma)、印支期 (218~236 Ma)、海西期 (254 Ma, 294 Ma)、加里东期 (413 Ma) 和前寒武纪 (1 823 Ma 和 2 542 Ma) 岩浆事件, 这与基底岩石中锆石 U-Pb 的定年结果相吻合。

关键词: 松辽盆地; 中生代火山岩; 锆石 U-Pb 年龄; 基底。

中图分类号: P511

文章编号: 1000-2383(2008)05-0603-15

收稿日期: 2008-01-28

Mesozoic Volcanic Rocks in the Southern Songliao Basin: Zircon U-Pb Ages and Their Constraints on the Nature of Basin Basement

PEI Fu-ping, XU Wen-liang*, YANG De-bin, JI Wei-qiang, YU Yang, ZHANG Xing-zhou

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results are reported for the Mesozoic volcanic rocks from seven wells in the southern Songliao basin in order to constraint their formation time. The Mesozoic volcanic rocks are mainly located in Huoshiling Formation and Yingcheng Formation. The former consists of basaltic andesite, trachyandesite and dacite, the latter is composed of basaltic trachyandesite, trachyandesite and rhyolite. The cathodoluminescence (CL) images and high Th/U ratios of the zircons suggest their magmatic origin. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results indicate that the Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao Basin formed between 110 Ma and 133 Ma. The volcanic rocks in the Huoshiling Formation were erupted during 129–133 Ma, namely early period of the Early Cretaceous, while those in the Yingcheng Formation formed between 110 Ma and 119 Ma, namely late period of the Early Cretaceous. The dating results of captured zircons show that the Middle-Late Jurassic (155–169 Ma), Indosinian (218–236 Ma), Hercynian (254 Ma, 294 Ma), Caledonian (413 Ma), and Precambrian (1 823 Ma and 2 542 Ma) magmatic events had taken place in the basin basement, which is consistent with the zircon U-Pb dating results from the basin basement rocks.

Key words: Songliao basin; Mesozoic volcanic rocks; zircon U-Pb age; basement.

松辽盆地位于兴蒙造山带的东段, 南邻华北克拉通, 西部为大兴安岭。盆地内除有巨厚沉积岩外

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 40672038, 40739905); 西北大学大陆动力学重点实验室基金。

作者简介: 裴福萍 (1969—), 女, 博士研究生, 主要从事岩浆作用地球动力学研究。E-mail: peifp@jlu.edu.cn

* 通讯作者: 许文良 (1959—), E-mail: xuwl@jlu.edu.cn, Tel: +86-431-88502080

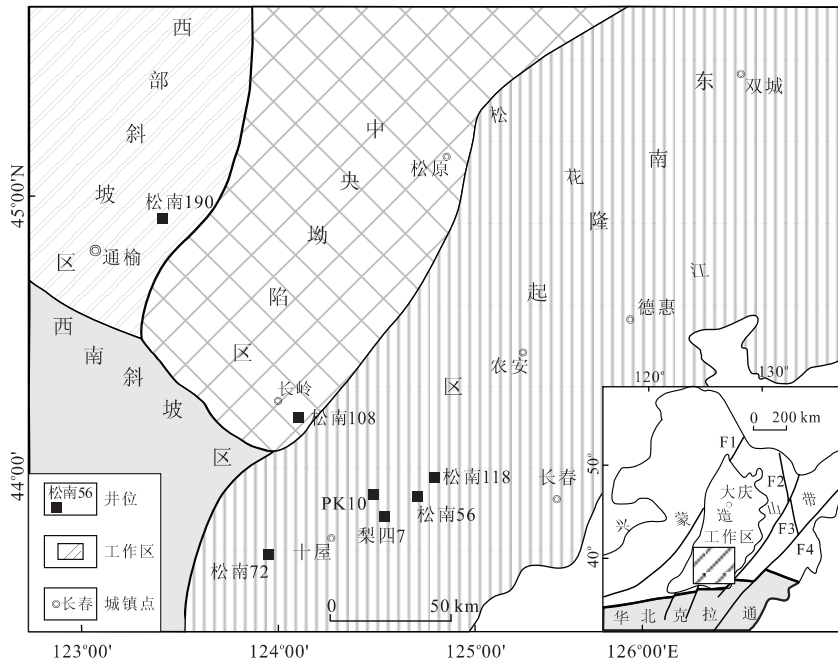


图 1 松辽盆地南部构造略图

Fig. 1 Sketch map showing the tectonic of the southern Songliao basin
F1. 贺根山—嫩江断裂; F2. 牡丹江断裂; F3. 佳木斯—依兰断裂; F4. 敦化—密山断裂

还分布着大量的中生代火山岩,随着近年来盆地内火山岩型油气藏的发现,火山岩的成因研究逐渐得到重视。目前相关研究主要集中于火山岩岩石学、岩相学及其地球物理特征方面(刘为付等,2000;陈文涛等,2001;张秀容等,2006),而对火山岩的年代学及其地球化学研究明显不足。此外,与松辽盆地周边地区(例如大兴安岭地区、延边地区等)中生代火山岩的研究相比(Lu, *et al.*, 1997; 葛文春等, 1999, 2000, 2001; 郭锋等, 2001; Fan *et al.*, 2003; 林强等, 2003; Wang, F. *et al.*, 2006),盆地内部火山岩的研究程度明显偏低(朱勤文等, 1997; 闫全人等, 2002; Wang, P. J. *et al.*, 2002, 2006)。上述问题之所以存在,主要是由于岩芯样品的匮乏以及岩石蚀变等因素的影响以及定年方法(如主要采用 K-Ar 法和 Ar-Ar 法)的制约(高瑞祺和萧德铭, 1995; Wang, P. J. *et al.*, 2002; 闫全人等, 2002)。鉴于此,本文对松辽盆地南部 7 个钻遇火山岩岩芯进行了锆石分选和锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究,并讨论了其地质意义。

1 地质概况及样品描述

研究区位于松辽盆地的南部,可划分出 4 个构

造分区,自西向东依次为西部斜坡区、西南斜坡区、中央拗陷区和东南隆起区,构成凹隆相间的构造格局(图 1)。盆地基底由前寒武纪—侏罗纪中—浅层次的变质岩及中基性—酸性侵入岩组成,基底之上发育有中—新生代的陆相火山碎屑岩以及沉积岩(Lei *et al.*, 2007; 高福红, 2007)。盆地演化经历了断陷期和拗陷期,断陷期的地层包括(由下而上)火石岭组、沙河子组和营城组。拗陷期的地层包括登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组和嫩江组(高瑞祺和萧德铭, 1995)。松辽盆地南部中生代火山岩主要发育在火石岭组和营城组中。根据盆地内钻孔中钻遇火山岩的岩芯样品及岩相学研究表明,火石岭组火山岩主要为玄武安山岩—粗安岩—粗面英安岩组合,营城组火山岩由玄武质粗面安山岩—粗面安山岩—流纹岩组成。

本文对 7 个钻遇火山岩的岩芯样品进行了岩相学研究(图 2),主要岩石类型包括玄武安山岩(SN72-5、L47-1、SN118-1)、粗面安山岩(SN190-12、SN56-7)、粗面英安岩(PK10-6)和流纹岩(SN108-2)。不同类型火山岩的岩相学特征详见表 1。

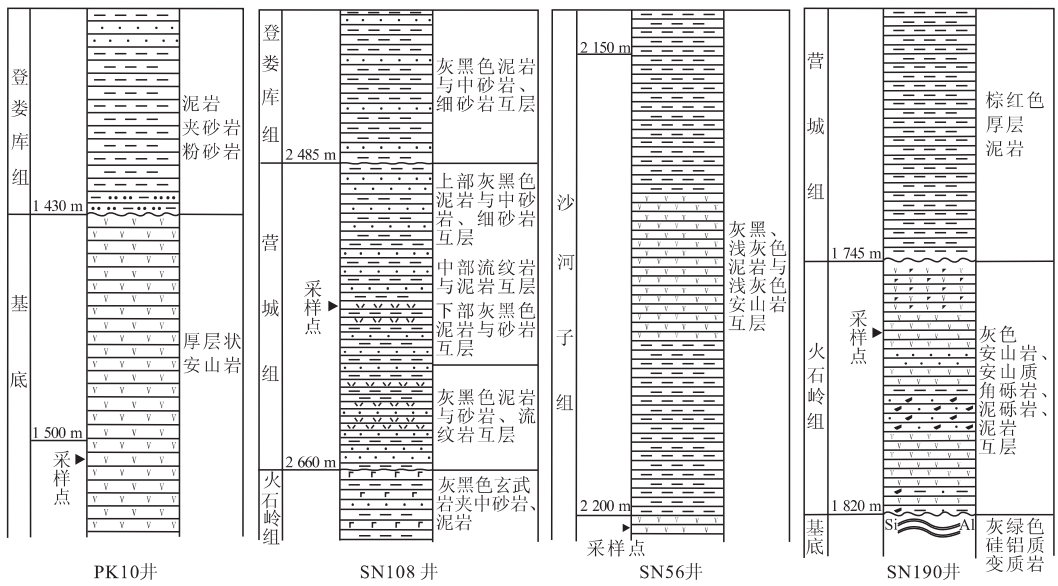


图 2 部分钻井岩性柱状图和采样位置

Fig. 2 Columns of some wells showing lithology and sampling location

表 1 松辽盆地南部中生代火山岩岩芯样品的地质及岩相学特征

Table 1 Geological and petrographic characteristics of the Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao basin

井号	构造分区	样号	采样深度(m)	坐标	岩性	结构	构造	斑晶矿物组成	原定时代
PK10	十屋断陷区	PK10-6	1 506	124°14'49"E 43°53'31"N	粗面英安岩	斑状结构	块状构造	占 35% Bi+Am+Pl+Or	基底
松南 190	西部斜坡区	SN190-12	1 756	123°24'43"E 44°55'00"N	粗面安山岩	斑状结构	块状构造	占 5% Pl+不透明矿物	火石岭组
松南 72	十屋断陷区	SN72-5	1 531	124°36'56"E 43°40'52"N	玄武质粗面安山岩	斑状结构	块状构造	占 15% Cpx+Ol	火石岭组
松南 56	十屋断陷区	SN56-7	2 202	124°29'05"E 43°47'58"N	粗面安山岩	斑状结构	块状构造	占 20% Pl+Or	沙河子组
松南 108	中央坳陷区	SN108-2	2 550	124°02'43"E 43°40'52"N	流纹岩	斑状结构	块状构造	占 20% Q+Or+Pl	营城组
梨四 7	十屋断陷区	L47-1	2 598	124°28'35"E 43°49'11"N	玄武安山岩	斑状结构	块状构造	占 15% Cpx+Pl	火石岭组
松南 118	十屋断陷区	SN118-1	1 357	124°32'30"E 43°50'40"N	玄武质粗面安山岩	斑状结构	块状构造	占 22% Cpx+Am+Pl	基底

注: Am. 角闪石; Bi. 黑云母; Cpx. 单斜辉石; Ol. 橄榄石; Or. 钾长石; Pl. 斜长石; Q. 石英.

2 分析方法

由于部分样品具有一定程度的蚀变,挑选较新鲜的样品,先对样品进行粗碎,剔除其中的杏仁体及石英细脉,然后用常规方法将样品粉碎,并用浮选和电磁选方法进行分选,再在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒,然后将它们粘贴在环氧树脂表面,抛光后将锆石进行透射光、反射光、阴极发光和背散射扫描电镜显微照相。通过对阴极发光图像分析,选择吸收程度均匀的区域进行分析。应用

标准锆石 91500 进行分馏校正。锆石 U-Pb 同位素分析在西北大学大陆动力学重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行。详细的实验原理和流程见参考文献(Yuan *et al.*, 2004)。利用本方法对标准锆石 TEMORA1 作为未知样品测定获得的年龄为 415.4 Ma (MSWD = 0.112, n = 24) (Yuan *et al.*, 2004),该锆石的 ID-TIMS 年龄为 416.75±0.24 Ma。激光束的束斑为 30 μm。实验获得的数据采用 Andersen (2002)的方法进行同位素比值的校正(杨承海等,2005),以扣除普通 Pb 的影

响。所给定的同位素比值和年龄误差(标准偏差)在 1σ 水平。

3 分析结果

松辽盆地南部中生代火山岩中部分锆石的阴极发光(CL)图像见图 3, U-Pb 年龄谐和图见图 4; 锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果见表 2。

从图 3(a)中可以看出,样品 PK10-6(粗面英安岩)中锆石大部分为自形晶,具有核边结构,核部较边部吸收程度稍弱,核部和边部均表现为细微的震荡生长环带,显示其岩浆成因的特点,锆石的 Th/U 比值(0.70~1.26)也证明了这一点(表 2),所测得的核部和边部年龄非常接近,位于谐和线上或其附近的 21 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 123~136 Ma,其加权平均值为 129 ± 2 Ma,代表了粗面英安岩的形成时代(图 4a)。

样品 SN190-12(粗面安山岩)锆石 CL 图像(图 3b)和 U-Pb 年龄谐和图显示,可分为两组,第 1 组锆石呈自形晶型,并具有细微的震荡生长环带,表明其为岩浆成因,Th/U 比值为 0.7 也证明了这一点。位于谐和线附近的一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 133 ± 1 Ma,应代表了粗面安山岩的形成时代;第 2 组锆石呈自形晶形,并具有细微的震荡生长环带,

Th/U 比值介于 0.30~0.88,这均暗示其岩浆成因特征。靠近谐和线附近 5 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 213~225 Ma,其加权平均年龄为 218 ± 9.8 Ma,应代表了捕获锆石的结晶年龄(图 4b)。

样品 SN72-5(玄武质粗面安山岩)锆石 CL 图像(图 3c)和 U-Pb 年龄谐和图(图 4c)表明,所测锆石年龄分为 3 组,第 1 组锆石以短柱状自形晶为主,并具清晰的岩浆成因震荡生长环带,其 Th/U 比值介于 0.46~1.19,位于谐和线附近 8 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 108~131 Ma 之间,其加权平均年龄为 118 ± 6 Ma,这与样品的全岩 K-Ar 定年结果是一致的(117.6 ± 0.85 Ma)(表 3),应代表了安山岩的形成时代;第 2 组锆石呈长柱状自形晶,其 Th/U 比值为 0.41,显示其岩浆成因,位于谐和线上的一个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 162 ± 1 Ma,应代表了捕获锆石的形成时代;第 3 组锆石晶型呈长柱状,具环带状吸收的特点,其 Th/U 比值为 0.2,说明其为岩浆成因,位于谐和线上的一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 236 ± 2 Ma,应代表了另一组捕获锆石的形成年龄。

样品 SN56-7(粗面安山岩):根据锆石 CL 图像特征(图 3d)和 U-Pb 年龄谐和图(图 4d)可将其划分为 3 组,第 1 组锆石呈半自形晶形,具条带状吸收特点,Th/U 比值为 1.81,说明其为岩浆锆石,位于

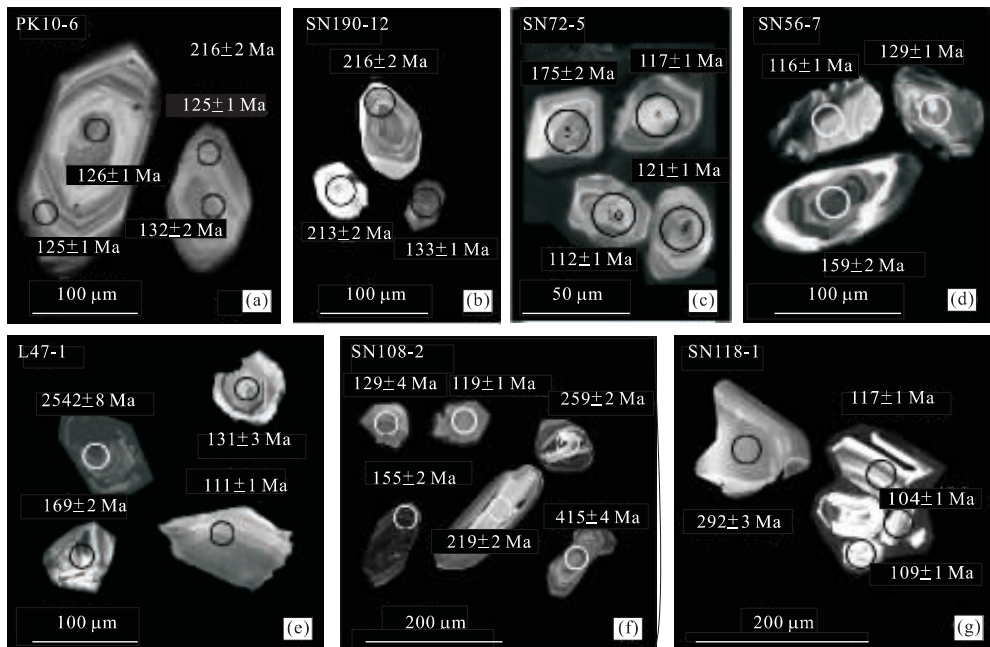


图 3 松辽盆地南部中生代火山岩中锆石 CL 图像

Fig. 3 CL images of selected zircons from the Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao basin

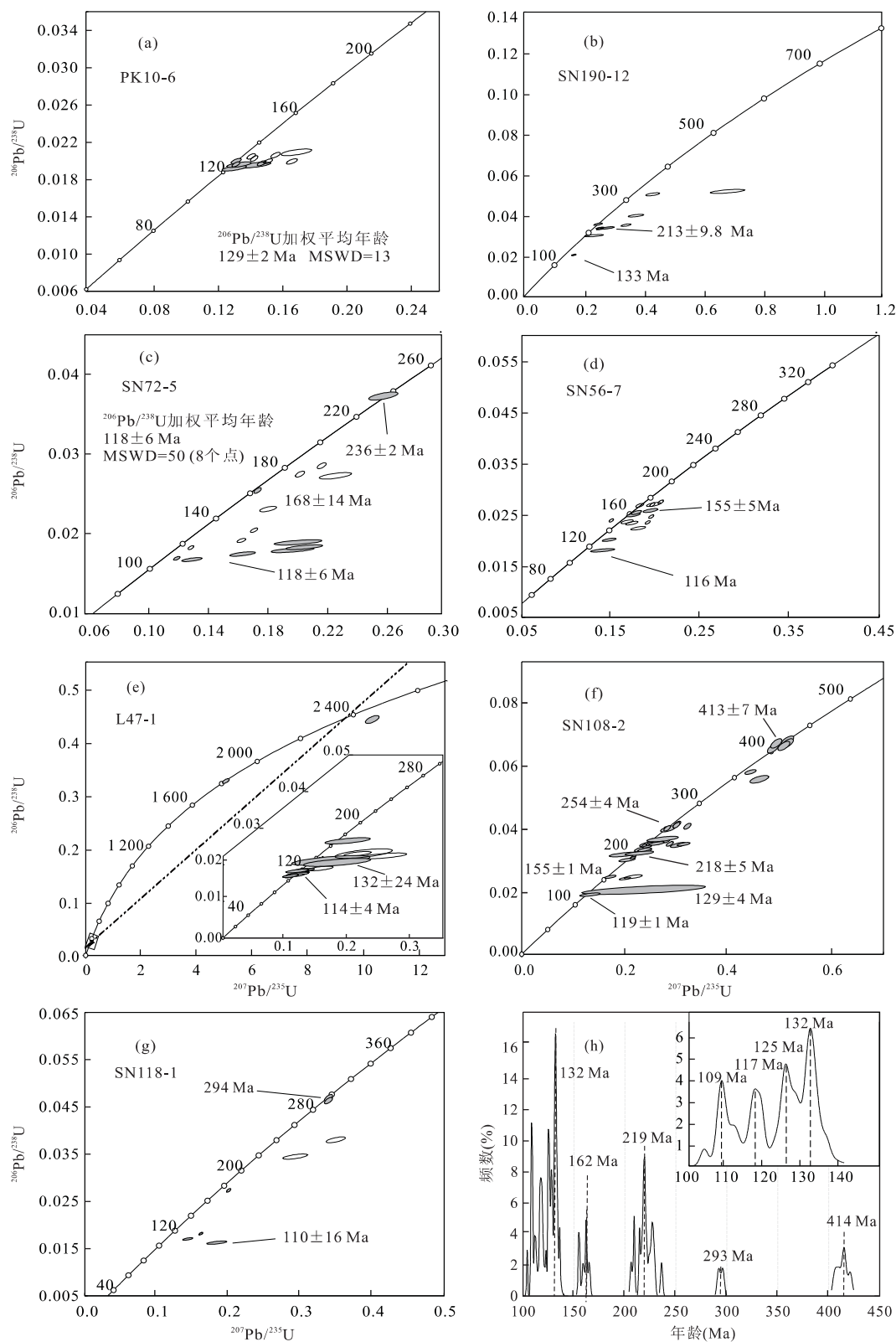


图 4 松辽盆地中生代火山岩 U-Pb 谐和图(a~g)及年龄数据统计(h)

Fig. 4 Concordia plots of zircons from the Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao basin (a-g) and age cumulative diagram (h)

表 3 样品 SN72-5 K-Ar 测年结果
Table 3 Sample SN72-5 K-Ar dating age

样号	样品称重 (g)	钾含量 (%)	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_m$	放射成因氩 $(^{40}\text{Ar}^{\text{放}}/\text{g})(\text{mol}/\text{g})$	^{40}K 含量 $(^{40}\text{K}/\text{g})(\text{mol}/\text{g})$	$^{40}\text{Ar}^{\text{放}}/^{40}\text{Ar}^{\text{总}}$ (%)	$^{40}\text{Ar}^{\text{放}}/^{40}\text{Ar}$	年龄值(Ma)
SN72-5	0.012 04	1.88	62.876 53	57.440 22	3.963E-10	5.611E-08	90.83	0.007 06	117.6±0.85

谐和线附近一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 116 ± 1 Ma, 定年结果代表了该粗面安山岩的形成时代; 第 2 组锆石呈自形晶, 具岩浆成因的生长环带(Th/U 比值为 1.12), 位于谐和线附近一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 129 ± 1 Ma, 该年龄代表了捕获锆石的结晶年龄, 这与本区早期火山岩中锆石的 U-Pb 定年结果相吻合(如样品 PK10); 第 3 组锆石呈自形晶, 并具岩浆成因的生长环带, 部分锆石具核边结构, 边部无环带, 具变质增生的特征, 核部具有岩浆成因生长环带, 表明其为岩浆成因, 3 个核部测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $159 \sim 165$ Ma 之间, 其加权平均值为 162 ± 8 Ma, 应代表了捕获锆石的形成时代。

样品 L47-1(玄武安山岩)锆石 CL 图像特征(图 3e)及 U-Pb 谐和图显示(图 4e), 可将其划分为 4 组, 第 1 组锆石呈半自形, 具板状或条痕状吸收的特征和较高的 Th/U 值(0.50~1.2), 说明其为岩浆成因, 这组锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $108 \sim 119$ Ma, 8 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 114 ± 4 Ma, 代表了玄武安山岩的形成时代; 第 2 组锆石具核边结构, 边部无环带, 具变质增生的特征, 核部具岩浆成因的韵律生长环带(Th/U 比值介于 0.71~0.81), 核部两个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $131 \sim 135$ Ma 之间, 其加权平均值为 132 ± 24 Ma, 代表了该组捕获锆石的形成时代; 第 3 组锆石呈自形晶, 具岩浆成因的生长环带, 位于谐和线上一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 169 ± 2 Ma, 代表该组捕获锆石的结晶年龄; 此外, 还存在 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 1 823 Ma 和 2 542 Ma 的岩浆成因的捕获锆石。

样品 SN108-2(流纹岩)中锆石 CL 图像特征(图 3f)和定年结果显示(图 4f), 该样品中的锆石可分为 6 组(图 4f), 第 1 组呈半自形, 具岩浆成因的生长环带, 其 Th/U 比值为 0.47, 位于谐和线上或其附近一个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 119 ± 1 Ma, 该年龄应代表了流纹岩的形成时代; 另外还有一粒锆石具生长环带, Th/U 比值为 0.71, 证明其为岩浆锆石, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 129 ± 4 Ma, 这与早期火山事件的形成时代相吻合; 第 3 组锆石具有岩浆成

因的生长环带, 其 Th/U 比值介于 0.13~0.75, 两个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 155 Ma, 其加权平均年龄为 155 ± 1 Ma, 代表该组捕获锆石的结晶年龄; 第 4 组锆石呈自形的晶形, 具条痕状吸收的特点, 其 Th/U 比值介于 0.21~0.87, 9 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 206~229 Ma 之间, 其加权平均值为 218 ± 5 Ma, 代表该组捕获锆石的结晶年龄; 第五组锆石具有岩浆成因的条带状吸收的特点, 其 Th/U 比值为 0.18~0.57, 6 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 249~259 Ma, 其加权平均年龄为 254 ± 4 Ma, 代表了该组捕获锆石的结晶年龄; 第 6 组锆石具有岩浆成因的震荡生长环带, 5 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 406~421 Ma 之间, 其加权平均年龄为 413 ± 7 Ma (5 个测点), 代表该组捕获锆石的结晶年龄。

样品 SN118-1(玄武质粗面安山岩)锆石 CL 图像显示(图 3g), 锆石可划分为两组, 一组锆石呈板状, 内部结构均匀, 具条带状吸收的特点, 显示其基性火成岩中锆石的特征, Th/U 比值介于 0.92~1.59 也说明其为岩浆成因, 靠近谐和线 3 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 104~117 Ma 之间(图 4g), 其加权平均值为 110 ± 16 Ma, 该年龄代表了玄武质粗面安山岩的形成时代; 另一组锆石呈板状, 内部结构均匀, 也具有基性火成岩中锆石的特征, 其 Th/U 比值介于 0.63~0.91, 位于谐和线上的两个测点加权平均值为 294 ± 4 Ma, 代表了捕获锆石的形成时代。另外还有一粒锆石吸收程度较弱, 呈自形晶, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的年龄为 $2 474 \pm 28$ Ma, 为该捕获锆石的结晶年龄。

4 讨论与结论

松辽盆地南部中生代火山岩中锆石的 CL 图像特征及 Th/U 比值显示, 所测锆石均为岩浆锆石, 7 个样品中锆石的 U-Pb 定年结果应代表了盆地内岩浆事件形成的时代。基于每个火山岩样品中锆石 CL 图像的特点, 同时参考盆地周边中生代火山岩的锆石最新定年结果, 本文认为每个样品中最年轻

的一组年龄应代表了该期火山岩的形成时代,其他各组年龄应代表了火山事件捕获的早期锆石的形成时代。

4.1 松辽盆地中生代火山岩的形成时代

松辽盆地中生代火山岩的形成时代一直是人们争论的问题之一。高瑞祺和萧德铭(1995)曾利用K-Ar法和Rb-Sr法对盆地北部火山岩进行过定年,结果显示,盆地北部的火山岩形成时代介于78~180 Ma;闫全人等(2002)利用全岩的K-Ar法对6个盆地南部中生代火山岩样品进行了定年,结果表明,松辽盆地南部中生代火山岩形成时代介于76~193 Ma;Wang *et al.* (2002)利用全岩K-Ar法和透长石Ar-Ar法对盆地内的火山岩进行了定年,定年结果介于102~158 Ma。上述定年结果表明,火石岭组火山岩形成于中晚侏罗世(147~157 Ma),营城组火山岩形成于早白垩世(113~136 Ma),这与笔者对松辽盆地南部所做的全岩K-Ar法定年结果相似(作者未发表资料)。这些定年结果最突出的特点是离散性较大。究其原因,是由于K-Ar体系的封闭温度较低,并且盆地内的样品热液蚀变较强,必然造成K-Ar和Ar-Ar法的定年结果存在较大误差。然而,锆石中Pb的扩散封闭温度达900℃以上(Lee *et al.*, 1997; Cherniak and Watson, 2000),利用锆石原位分析的方法可有效地避免上述问题。

松辽盆地南部7个中生代火山岩样品中锆石的定年结果显示(PK10-6、SN190-12、SN118-1、L47-1、SN108-2、SN56-7、SN72-5),其形成时代介于110~133 Ma,其中十屋断陷区样品PK10-6(粗面英安岩)中锆石的定年结果(129±2 Ma)、西部斜坡区样品SN190-12(粗面安山岩)中锆石的定年结果(133±1 Ma)、十屋断陷区样品SN56-7(粗面安山岩)中捕获锆石的定年结果(129±1 Ma)和样品L47-1(玄武安山岩)中岩浆成因的捕获锆石的定年结果(132±24 Ma)表明,火石岭组火山岩形成时代介于129~133 Ma,即早白垩世早期的Hauterivian阶-Barremian阶,而不是前人所认为的中晚侏罗世(高瑞祺和萧德铭, 1995; Wang *et al.*, 2002; 闫全人等, 2002);十屋断陷区样品SN118-1(玄武质粗面安山岩)中锆石的定年结果(110±16 Ma)、样品SN72-5(安山岩)中锆石的定年结果(118±6 Ma)、样品SN56-7(粗面安山岩)中锆石的定年结果(116±1 Ma)、样品L47-1(玄武安山岩)中锆石的定年结果(114±4 Ma)和样品SN108-2(流纹岩)中锆石的定

年结果(120±30 Ma)显示,营城组火山岩形成时代介于110~119 Ma,即早白垩世晚期的Aptian阶,这与测年数据的统计结果是一致的(图4h)。

近年来对松辽盆地周边地区中生代火山岩的年代学研究表明,松辽盆地南部火石岭组(129~133 Ma)与营城组火山岩(110~119 Ma)的形成时代与大兴安岭地区塔木兰沟组火山岩(126~138 Ma)和上库力组火山岩以及伊列克得组火山岩(125~113 Ma)相对应(Fan *et al.*, 2003; Wang F. *et al.*, 2006; Zhang, J. H. *et al.*, 2006, 2007)。同时,该期岩浆事件在吉黑东部地区(许文良,未发表数据),乃至整个中国东部也广泛存在(邵济安等, 2001; Wu *et al.*, 2002, 2005; 戴圣潜等, 2003; 彭艳东等, 2003; 裴福萍等, 2004; 许文良等, 2004; 袁洪林等, 2005; 葛文春等, 2005a; 杨承海等, 2006; 杨进辉等, 2006; Zhang *et al.*, 2006)。这是中国东部中生代最为强烈的一次岩浆事件,其形成应与古太平洋板块(Izanagi)向欧亚大陆下俯冲作用相联系。

4.2 捕获锆石U-Pb年龄——对盆地基底性质的制约

松辽盆地南部中生代火山岩中捕获锆石的CL图像特点及Th/U比值均表明为岩浆锆石,所测样品位于谐和线上及附近,表明这些年龄具有确切的地质含义,这些锆石的年龄反映了本区早期岩浆事件—基底岩石的形成时代。从火山岩中捕获锆石的定年结果及测点的年龄统计图(图4h)上可以看出,本区基底存在前寒武纪岩浆事件(SN118-1、L47-1: 1823 Ma~2564 Ma)、加里东期岩浆事件(SN108-2: 413 Ma, 峰值为414 Ma)、海西期岩浆事件(SN108-2、SN118-1: 254 Ma, 294 Ma, 峰值为293 Ma)、印支期岩浆事件(SN72-5、SN108-2、SN190-12: 218~236 Ma, 峰值为219 Ma)、以及中晚侏罗世岩浆事件(样品SN72-5, SN56-7, SN108-2、L47-1: 155~169 Ma, 峰值为162 Ma)。这些结果与盆地基底样品中锆石的U-Pb定年结果相吻合(Wu *et al.*, 2000; 高福红等, 2007; Pei *et al.*, 2007)。

松辽盆地南部火山岩中前寒武纪年龄的捕获锆石的存在暗示盆地南部应存在前寒武纪岩石,这与盆地基底变辉长岩和变花岗岩角砾的定年结果是一致的(Pei *et al.*, 2007)。由于华北克拉通基底岩石的主体是由前寒武纪岩石组成的(Zhao *et al.*, 2001),上述定年结果表明松辽盆地南部与华北克拉通可能具有一定的亲缘关系。松辽盆地南部前寒武

纪岩石的存在可能与该区晚期的向北推覆作用有关 (Zhang, Y. B., *et al.*, 2004, 2005; 张晓晖等, 2005); 本区火山岩中加里东期年龄的捕获锆石与基底变流纹质凝灰岩的定年结果相吻合 (Pei *et al.*, 2007), 该期岩浆事件在松辽盆地周边地区广泛分布 (Chen *et al.*, 2000; Wilde *et al.*, 2003; 刘敦一等, 2003; 葛文春等, 2005b; 刘建峰等, 2005), 暗示该区在加里东期可能已经形成了统一的块体; 海西期捕获锆石的年龄与基底海西期侵入岩的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄相对应 (Wu *et al.*, 2000; 高福红等, 2007; Pei *et al.*, 2007), 这与大兴安岭、张广才岭、延边以及佳木斯地块中发育的二叠纪岩浆事件相吻合 (洪大卫等, 1994; Sun *et al.*, 2001; Zhu *et al.*, 2001; 吕志成等, 2002); 火山岩中印支期捕获锆石的年龄 (218~236 Ma) 与基底石英闪长岩的定年结果一致 (236 Ma) (高福红等, 2007), 该期岩浆事件在华北克拉通北部以及东北地区广泛分布 (Yan *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 2004); 盆地火山岩中捕获锆石显示的中晚侏罗世年龄与基底主体花岗岩质岩石的定年结果相吻合 (Wu *et al.*, 2000; 高福红等, 2007), 该期岩浆事件在东北地区的大兴安岭、张广才岭等地以及华北克拉通北缘均有显示 (孙德有, 2001; Wu *et al.*, 2005; 隋振民等, 2007)。

综上所述, 松辽盆地南部中生代火山岩中捕获锆石的 U-Pb 年龄反映了盆地基底的年代学构成, 这与基底岩石中锆石的 U-Pb 定年结果是吻合的。松辽盆地应是在中晚侏罗世构造岩浆热事件基础上裂陷成盆。

4.3 结论

(1) 松辽盆地南部火石岭组火山岩主要为玄武安山岩—粗安岩—粗面英安岩组成, 营城组火山岩由玄武质粗面安山岩—粗面安山岩—流纹岩组成; (2) 松辽盆地火石岭组火山岩形成于 129~133 Ma, 即早白垩世早期; 营城组火山岩形成于 110~119 Ma, 即早白垩世晚期; (3) 松辽盆地南部中生代火山岩中捕获锆石定年结果揭示, 松辽盆地南部基底中存在前寒武纪 (1 823 Ma、2 542 Ma)、加里东期 (413 Ma)、海西期 (254 Ma、294 Ma)、印支期 (218~236 Ma) 和中晚侏罗世 (155~169 Ma) 岩浆事件。

References

Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chem. Geol.*, 192: 59-79.

- Chen, B., Jahn, B. M., Wilde, S. A., *et al.*, 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications. *Tectonophysics*, 328: 157-182.
- Chen, W. T., Zhang, X. D., Chen, F. J., 2001. The distribution and oil and gas of Late Jurassic volcanic rocks in the Songliao basin. *China Petroleum Exploration*, 6 (2): 23-26 (in Chinese with English abstract).
- Cherniak, D. J., Watson, E. B., 2000. Pb diffusion in zircon. *Chem. Geol.*, 172: 5-24.
- Dai, S. Q., Deng, J. F., Wu, Z. X., *et al.*, 2003. Evidence of magmatic petrology for the Yanshanian orogeny in the Dabie orogen. *Geology in China*, 30 (2): 59-165 (in Chinese with English abstract).
- Fan, W. M., Guo, F., Wang, Y. J., *et al.*, 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121: 115-135.
- Gao, F. H., Xu, W. L., Yang, D. B., *et al.*, 2007. LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating from granitoids in southern basement of Songliao basin: Constraints on ages of the basin basement. *Sci. in China (Ser. D)*, 37 (3): 331-335 (in Chinese).
- Gao, R. Q., Xiao, D. M., 1995. Latest progress in oil and gas exploration in the Songliao and adjacent basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 229 (in Chinese).
- Ge, W. C., Li, X. H., Lin, Q., *et al.*, 2001. Geochemistry of early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun Lake, Daxing'anling and its tectonic implications. *Chinese Journal of Geology*, 36 (2): 176-183 (in Chinese with English abstract).
- Ge, W. C., Lin, Q., Li, X. H., *et al.*, 2000. Geochemical characteristics of basalts of the Early Cretaceous Yilikede Formation North Daxing'anling. *Mineralogy and Petrology*, 20 (3): 14-18 (in Chinese with English abstract).
- Ge, W. C., Lin, Q., Sun, D. Y., *et al.*, 1999. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Mountains: Evidence of the mantle-crust interaction. *Acta Petrol. Sin.*, 15 (3): 396-406 (in Chinese with English abstract).
- Ge, W. C., Wu, F. Y., Zhou, C. Y., *et al.*, 2005a. Zircon U-Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wulanhaote region, central Da Hinggan Mountain. *Acta Petrol. Sin.*, 21 (3): 749-762 (in Chinese with English abstract).

- Ge, W. C., Wu, F. Y., Zhou, C. Y., et al., 2005b. Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Ergun block in the northern part of the Da Hinggan Range. *Chin. Sci. Bull.*, 50(18): 2097—2105 (in Chinese).
- Guo, F., Fan, W. M., Wang, Y. J., et al., 2001. Petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts, China. *Acta Petrol. Sin.*, 17(1): 161—168 (in Chinese with English abstract).
- Hong, D. W., Huang, H. Z., Xiao, Y. J., et al., 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance. *Acta Geol. Sin.*, 68(3): 219—230 (in Chinese with English abstract).
- Lee, J., Williams, I., Ellis, D., 1997. Pb, U and Th diffusion in nature zircon. *Nature*, 390(13): 159—162.
- Lin, Q., Ge, W. C., Cao, L., et al., 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks. *Geochimica*, 32(3): 208—215 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. Y., Jian, P., Zhang, Q., et al., 2003. SHRIMP dating of adakites in the Tulinkai ophiolite, Inner Mongolia: Evidence for the early Paleozoic subduction. *Acta Geol. Sin.*, 77(3): 317—327 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. F., Chi, X. G., Zhou, Y., et al., 2005. Rb-Sr isotopic dating of the Jinlin pluton by whole rock-hornblende method in the northeast Xiao Hinggan Mountains. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(6): 690—693 (in Chinese with English abstract).
- Liu, W. F., Sun, L. X., Liu, S. L., 2000. Seismic reflection features and distribution law of volcanic rocks in the Yingshan fault depression of the Songliao basin. *Experimental Petroleum Geology*, 22(3): 256—286 (in Chinese with English abstract).
- Lu, F. X., Zhu, Q. W., Li, S. T., et al., 1997. Mesozoic volcanism surrounding Songliao basin, China: Implication for the relationship with evolution of basin. *Journal of China University of Geosciences*, 8(1): 72—77.
- Lv, Z. C., Duan, G. Z., Hao, L. B., et al., 2002. The petrological and geochemical characteristics and petrogenesis significance of spilite from Lower Permian Dashizai Group in the middle section of Da Hinggan Mountains. *Acta Petrol. Sin.*, 18(2): 212—222 (in Chinese with English abstract).
- Pei, F. P., Xu, W. L., Wang, Q. H., et al., 2004. Mesozoic basalt and mineral chemistry of the mantle-derived xenocrysts in Feixian, western Shandong, China: Constraints on nature of Mesozoic lithospheric mantle. *Geological Journal of China Universities*, 10(1): 88—97 (in Chinese with English abstract).
- Pei, F. P., Xu, W. L., Yang, D. B., et al., 2007. Zircon U-Pb geochronology of basement metamorphic rocks in the Songliao basin. *Chin. Sci. Bull.*, 52(7): 942—948.
- Peng, Y. D., Zhang, L. D., Chen, W., et al., 2003. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and K-Ar dating of the Yixian Formation volcanic rocks, western Liaoning province, China. *Geochimica*, 32(5): 427—435 (in Chinese with English abstract).
- Shao, J. A., Li, X. H., Zhang, L. Q., et al., 2001. Geochemical condition for genetic mechanism of the Mesozoic bimodal dike swarms in Nankou-Guyaju. *Geochimica*, 30(6): 517—524 (in Chinese with English abstract).
- Sui, Z. M., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2007. Zircon U-Pb ages, geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 461—480 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., 2001. Petrogenesis and geodynamic significance of Mesozoic granites in Zhangguangcai ranges [Dissertation]. Jilin University, Changchun (in Chinese).
- Sun, D. Y., Wu, F. Y., Li, H. M., et al., 2001. Emplacement age of the postorogenic A-type granites in northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolunshan-Hegenshan-Zhalaithe collisional suture zone. *Chin. Sci. Bull.*, 46: 427—432.
- Wang, F., Zhou, X. H., Zhang, L. C., et al., 2006. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 251: 179—198.
- Wang, P. J., Chen, F. K., Chen, S. M., et al., 2006. Geochemical and Nd-Sr-Pb isotopic composition of Mesozoic volcanic rocks in the Songliao basin, NE China. *Geochemical Journal*, 40: 149—159.
- Wang, P. J., Liu, W. Z., Wang, S. X., et al., 2002. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: Constraints on stratigraphy and basin dynamics. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)*, 91: 331—340.
- Wilde, S. A., Wu, F. Y., Zhang, X. Z., 2003. Late Pan-African magmatism in northeastern China: SHRIMP U-Pb zircon evidence from granitoids in the Jiamusi massif. *Precambrian Research*, 122: 311—327.
- Wu, F. Y., Lin, J. Q., Wilde, A. S., et al., 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 233: 103—

- 119.
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Li, H. M., et al., 2000. Zircon U-Pb ages of the basement rocks beneath the Songliao basin, NE China. *Chin. Sci. Bull.*, 45(16): 1514—1518.
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Li, H. M., et al., 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chem. Geol.*, 187: 143—173.
- Wu, F. Y., Wilde, S. A., Zhang, G. L., et al., 2004. Geochronology and petrogenesis of post-orogenic Cu, Ni-bearing mafic-ultramafic intrusions in Jilin, NE China. *J. Asian Earth Sci.*, 23: 787—797.
- Wu, F. Y., Yang, J. H., Wilde, S. A., et al., 2005. Geochronology, petrogenesis and tectonic implications of Jurassic granites in the Liaodong Peninsula, NE China. *Chem. Geol.*, 221: 127—156.
- Xu, W. L., Wang, D. Y., Wang, Q. H., et al., 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hornblende and biotite in Mesozoic intrusive complex from the North China Block; Constrains on the time of lithospheric thinning. *Geochimica*, 33(3): 221—231 (in Chinese with English abstract).
- Yan, G. H., Mu, B. L., Xu, B. L., et al., 1999. Triassic alkaline intrusives in the Yanliao-Yinshan area: Their chronology, Sr, Nd and Pb isotopic characteristics and their implication. *Sci. in China (Ser. D)*, 6: 24—29.
- Yan, Q. R., Gao, S. L., Wang, Z. Q., et al., 2002. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks from the Songliao basin and their implications. *Geochimica*, 31(2): 169—179 (in Chinese with English abstract).
- Yang, C. H., Xu, W. L., Yang, D. B., et al., 2005. Chronology of the Jinan gabbro in western Shandong; Evidence from LA-ICP-MS zircon U-Pb dating. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(4): 321—325 (in Chinese with English abstract).
- Yang, C. H., Xu, W. L., Yang, D. B., et al., 2005. Petrogenesis of the Mesozoic high-Mg diorites in West Shandong; evidence from chronology and petro-geochemistry. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 16(4): 297—308 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. H., Wu, F. Y., Shao, J. A., et al., 2006. In-situ U-Pb dating and Hf isotopic analyses of zircons from volcanic rocks of the Houcheng and Zhangjiakou Formations in the Zhang-Xuan area, northeast China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(1): 71—80 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation—Inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28: 353—370.
- Yuan, H. L., Liu, X. M., Liu, Y. S., et al., 2005. Zircon U-Pb chronology and geochemistry of Late Mesozoic volcanic rocks in Xishan, Beijing. *Sci. in China (Ser. D)*, 35(9): 821—836 (in Chinese).
- Zhang, J. H., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2006. Mesozoic bimodal volcanic suite in Zhalantun of the Dahinggan range and its geological significance; Zircon U-Pb age and Hf isotopic constraints. *Acta Geol. Sin.*, 80(1): 58—69.
- Zhang, J. H., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2007. Early cretaceous immense volcanic eruption in the North Great Xing'an range, northeastern China. *Lithos* (in revision).
- Zhang, X. H., Su, W. J., Wang, H., 2005. Zircon SHRIMP geochronology of the Faku tectonites in the northern Liaoning province; Implications for the northern boundary of the North China Craton. *Acta Petrol. Sin.*, 21(1): 135—142 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. R., Yang, Y. J., Xiang, J. H., 2006. Identifying of volcanic rock and analysis of hydrocarbon accumulation conditions in southern part of Songliao basin. *Progress in Exploration Geophysics*, 29(3): 211—215 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. B., Wu, F. Y., Wilde, S. A., et al., 2004. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of 'Early Paleozoic' granitoids at Yanbian, Jilin Province, northeast China. *The Island Arc*, 13: 484—505.
- Zhang, Y. B., Wu, F. Y., Zhai, M. G., et al., 2005. Tectonic setting of the Helong block; Implication for the northern boundary of the eastern North China Craton. *Sci. in China (Ser. D)*, 48(10): 1599—1612.
- Zhao, G. C., Cawood, P. A., Wilde, S. A., et al., 2001. High-pressure granulites (retrograded eclogites) from the Hengshan Complex, North China Craton; Petrology and tectonic implications. *Journal of Petrology*, 42: 1141—1170.
- Zhu, Q. W., Lu, F. X., Xie, Y. H., et al., 1997. Volcanic rocks assemblages in active belt of spreading type in continental margin; Study on Mesozoic volcanic rocks around Songliao Basin. *Acta Petrol. Sin.*, 13(4): 551—562 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. F., Sun, S. H., Gu, L. B., 2001. Permian volcanism in the Mongolian orogenic zone, northeast China; Geochemistry, magma sources and petrogenesis. *Geological*

Magazine, 138:101—115.

附中文参考文献

- 陈文涛, 张晓东, 陈发景, 2001. 松辽盆地晚侏罗世火山岩分布与油气. *中国石油勘探*, 6(2):23—26.
- 戴圣潜, 邓晋福, 吴宗絮, 等, 2003. 大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据. *中国地质*, 30(2):59—165.
- 高福红, 许文良, 杨德彬, 等, 2007. 松辽盆地南部基底花岗质岩石锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年:对盆地基底形成时代的制约. *中国科学(D辑)*, 37(3):331—335.
- 高瑞祺, 萧德铭, 1995. 松辽及其外围盆地油气勘探新进展. 北京:石油工业出版社, 229.
- 葛文春, 李献华, 林强, 等, 2001. 呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义. *地质科学*, 36(2):176—183.
- 葛文春, 林强, 孙德有, 等, 1999. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征:壳幔相互作用的证据. *岩石学报*, 15(3):396—406.
- 葛文春, 林强, 李献华, 等, 2000. 大兴安岭伊列克得组玄武岩的地球化学特征. *矿物岩石*, 20(3):14—18.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等, 2005a. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约. *科学通报*, 50(12):1239—1247.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等, 2005b. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义. *岩石学报*, 21(3):749—762.
- 郭锋, 范蔚茗, 王岳军, 等, 2001. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用. *岩石学报*, 17(1):161—168.
- 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. *地质学报*, 68(3):219—230.
- 林强, 葛文春, 曹林, 等, 2003. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征. *地球化学*, 32(3):208—215.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 等, 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年:早古生代洋壳消减的证据. *地质学报*, 77(3):317—327.
- 刘建峰, 迟效国, 周燕, 等, 2005. 小兴安岭东北部金林岩体全岩一角闪石 Rb-Sr 年龄. *吉林大学学报(地球科学版)*, 35(6):690—693.
- 刘为付, 孙立新, 刘双龙, 2000. 松辽盆地莺山断陷火山岩地震反射特征及分布规律. *石油实验地质*, 22(3):256—286.
- 吕志成, 段国正, 郝立波, 等, 2002. 大兴安岭中段二叠系大石寨组细碧岩的岩石学地球化学特征及其成因探讨. *岩石学报*, 18(2):212—222.
- 裴福萍, 许文良, 王清海, 等, 2004. 鲁西费县中生代玄武岩及幔源捕掳晶的矿物化学——对岩石圈地幔性质的制约. *高校地质学报*, 10(1):88—97.
- 彭艳东, 张立东, 陈文, 等, 2003. 辽西义县组火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -K-Ar 法年龄测定. *地球化学*, 32(5):427—435.
- 邵济安, 李献华, 张履桥, 等, 2001. 南口—古崖居中生代双峰式岩墙群形成机制的地球化学制约. *地球化学*, 30(6):517—524.
- 隋振民, 葛文春, 吴福元, 等, 2007. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗质岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因. *岩石学报*, 23(2):461—480.
- 孙德有, 2001. 张广才岭中生代花岗岩成因及其地球动力学意义[博士论文]. 长春:吉林大学.
- 许文良, 王冬艳, 王清海, 等, 2004. 华北地块中东部中生代侵入杂岩中角闪石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年:对岩石圈减薄时间的制约. *地球化学*, 33(3):221—231.
- 闫全人, 高山林, 王宗起, 等, 2002. 松辽盆地火山岩的同位素年代、地球化学特征及意义. *地球化学*, 31(2):169—179.
- 杨承海, 许文良, 杨德彬, 等, 2005. 鲁西济南辉长岩的形成时代:锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年证据. *地球学报*, 26(4):321—325.
- 杨承海, 许文良, 杨德彬, 等, 2006. 鲁西中生代高 Mg 闪长岩的成因:年代学与岩石地球化学证据. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(1):81—92.
- 杨进辉, 吴福元, 邵济安, 等, 2006. 冀北张—宣地区后城组、张家口组火山岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(1):71—80.
- 袁洪林, 柳小明, 刘勇胜, 等, 2005. 北京西山晚中生代火山岩 U-Pb 锆石年代学及地球化学研究. *中国科学*, 35(9):821—836.
- 张晓晖, 宿文姬, 王辉, 2005. 辽北法库构造岩系的锆石 SHRIMP 年代学研究及与华北地台北缘边界. *岩石学报*, 21(1):135—142.
- 张秀容, 杨亚娟, 向景红, 2006. 松辽盆地南部深层火山岩识别及成藏条件分析. *勘探地球物理进展*, 29(3):211—215.
- 朱勤文, 路凤香, 谢意红, 等, 1997. 大陆边缘扩张型活动带火山岩组合—松辽盆地周边中生代火山岩研究. *岩石学报*, 13(4):551—562.