

doi:10.3799/dqkx.2014.036

东乌旗罕乌拉韧性剪切带的构造属性及其年代约束

程银行, 滕学建, 李艳锋, 杨俊泉, 刘洋, 彭丽娜, 李影, 李敏

天津地质矿产研究所, 天津 300170

摘要:为研究东乌旗北部罕乌拉韧性剪切带的运动学性质及其时代,通过野外宏观调查和定向标本显微分析来研究花岗质糜棱岩的宏观—微观变形构造特征,并对经韧性剪切作用的花岗质糜棱岩进行LA-MC-ICPMS锆石U-Pb定年。研究表明花岗质糜棱岩的长石、石英等主要造岩矿物具塑性变形和动态生长的特征,发育典型的“ σ ”、“ δ ”和“S-C”结构,对研究区34组糜棱面理和线理数据进行赤平投影,剪切面(C面)平均面理产状为 $338^{\circ}\angle 24^{\circ}$,线理产状为 $303^{\circ}\angle 17^{\circ}$,显示出左行滑脱型韧性剪切带的特征;锆石U-Pb测年结果表明韧性剪切作用之前就位的花岗质岩石成岩年龄为 135.9 ± 1.2 Ma~ 130.0 ± 0.5 Ma,属早白垩世,且该剪切带被下白垩统大磨拐河组(相当于凡兰吟期—欧特里沃期)砂砾岩覆盖。综上所述,结合最新区域研究成果认为,早白垩世(135.9 ± 1.2 Ma~ 130.0 ± 0.5 Ma)东乌旗地区经历了大规模左行伸展构造活动,这一成果深化了对该区早白垩世地壳构造演化的认识。

关键词:早白垩世; 韧性剪切带; 花岗质糜棱岩; 构造; 锆石U-Pb年龄; 地质年代学。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2014)04-0375-12

收稿日期: 2013-09-15

Chronology Constraint and Tectonic Evolution of Hanwula Early Cretaceous Ductile Shear Belt in Dong Ujimqin, Inner Mongolia

Cheng Yinhang, Teng Xuejian, Li Yanfeng, Yang Junquan, Liu Yang, Peng Li'na, Li Ying, Li Min

Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China

Abstract: Through field investigation, microscopic analyses of oriented samples and zircon LA-MC-ICPMS U-Pb dating, granitic mylonites of the ductile shear belt in Hanwula area have been studied, for their kinematic characteristics and ages. In these rocks, main rock-forming minerals (feldspar and quartz) all show the typical characteristics of plastic deformation and dynamic crystallization, with typical fabrics such as “ σ ”, “ δ ” and “S-C” structures. Averages of 34 coupled attitudes of mineral lineation and shearing foliation are $338^{\circ}\angle 24^{\circ}$ and $303^{\circ}\angle 17^{\circ}$. All the above indicate the left-lateral slip in this belt. The zircon U-Pb dating data suggest that these granitic mylonites are formed in Early Cretaceous with detail ages of 135.9 ± 1.2 Ma to 130.0 ± 0.5 Ma and the ductile shear belt is covered by glutenite of the Lower Cretaceous Damoguaihe Group (Valanginian-Hauterivian). Thus, we consider that Dong Ujimqin area had experienced regional left-lateral extensional structure movement in Early Cretaceous. This study filled the blank of petrology and geochronology study of the ductile shear belt in Hanwula and enhanced the understanding of the Early Cretaceous crust tectonic evolution in Dong Ujimqin.

Key words: Early Cretaceous; ductile shear belt; granitic mylonite; tectonics; zircon U-Pb dating; geochronology.

韧性剪切带是一面状高剪切应变带,带内岩石(糜棱岩)记录了造山、岩石圈拉张等过程中的变形特征(李龙等,2000; Bose and Marques, 2004; Mancktelow, 2004; Marques and Bose, 2004),其研究不仅可以重建岩石圈变形条件、变形几何学、运动学和动力学特征,且对于整个岩石圈构造及全球构

造动力学研究具有重要意义(陈虹等,2009)。东乌旗北部罕乌拉韧性剪切带基岩露头好,剪切带中韧性变形岩石为研究韧性剪切的运动学性质、动力学性质提供了良好载体。

大兴安岭地区中生代构造演化一直是地质界关注与研究的焦点问题,一些学者对该区地壳格局及

其演变(李锦铁,1998;李锦铁等,2004a)、中生代伸展构造(Meng,2003;孙泽轩等,2003)等进行了研究。近年来,众多学者(葛文春等,2000;陈志广等,2006;胡朋等,2006;苟军等,2010;孟凡超等,2010)通过对大兴安岭中生代岩浆岩的岩石化学、地球化学的研究佐证了该区早白垩世伸展构造环境,但对直接记载中一浅构造层次岩石圈伸展变形韧性剪切带的研究鲜有报道,且对这一时期伸展背景下的运动学特征缺少有力岩石证据。罕乌拉韧性剪切变形作用的时间存在不确定性,是古亚洲洋闭合后碰撞陆内变形,还是早白垩世区域地壳逆冲、伸展或者是走滑事件的产物?前人对其经韧性变形作用时代的约束较为粗略:1:20万报告将韧性变形岩体划属燕山早期(内蒙古自治区地质局,1:20万东乌珠穆沁旗幅(L50XXI)区调报告,1973);1:25万报告认为变形花岗岩是早二叠世岩浆事件的产物(内蒙古地质调查院,1:25万东乌珠穆沁旗幅(L50C003002)区调报告,2005);孙泽轩等(2003)对该区韧性剪切进行研究,认为时代为中新生代。基于以上问题,本文在1:1万比例尺地质调查和定向标本显微分析的基础上,准确确定韧性剪切带的运动学性质及其变形的上下限地质体,并对剪切带中花

岗质糜棱岩进行LA-MC-ICPMS锆石U-Pb定年,以精确约束其韧性变形起始时代,深化该区早白垩世地壳构造演化的研究。

1 区域地质背景

研究区位于大兴安岭构造岩浆岩带的南段(图1a)东乌旗北部,晚古生代经历了古亚洲洋的闭合以及华北板块与西伯利亚板块的最终拼贴等过程(Zhao and Coe,1996;郭峰等,2001),晚侏罗世—早白垩世该区表现为陆内岩石圈的伸展作用,并伴随有强烈的火山喷发及盆岭构造样式组合(李思田和杨世恭,1987;李锦铁等,2004a),形成了北东—北北东向大兴安岭中生代构造岩浆岩带。

研究区内主要地质体为早白垩世中细粒二长花岗岩(图1b),为罕乌拉韧性剪切带中花岗质糜棱岩的原岩,剪切带内岩石类主要为糜棱岩化二长花岗岩、花岗质初糜棱岩和花岗质糜棱岩,带状构造非常明显。该韧性剪切带被下白垩统大磨拐河组(K_1d)砂砾岩覆盖,整体呈北东 $30^\circ\sim50^\circ$ 方向带状展布,糜棱面理倾角集中在 $10^\circ\sim20^\circ$ 之间,倾向在 $300^\circ\sim10^\circ$ 之间,变化较大,宽1.0~3.5 km,沿着剪切带方向显

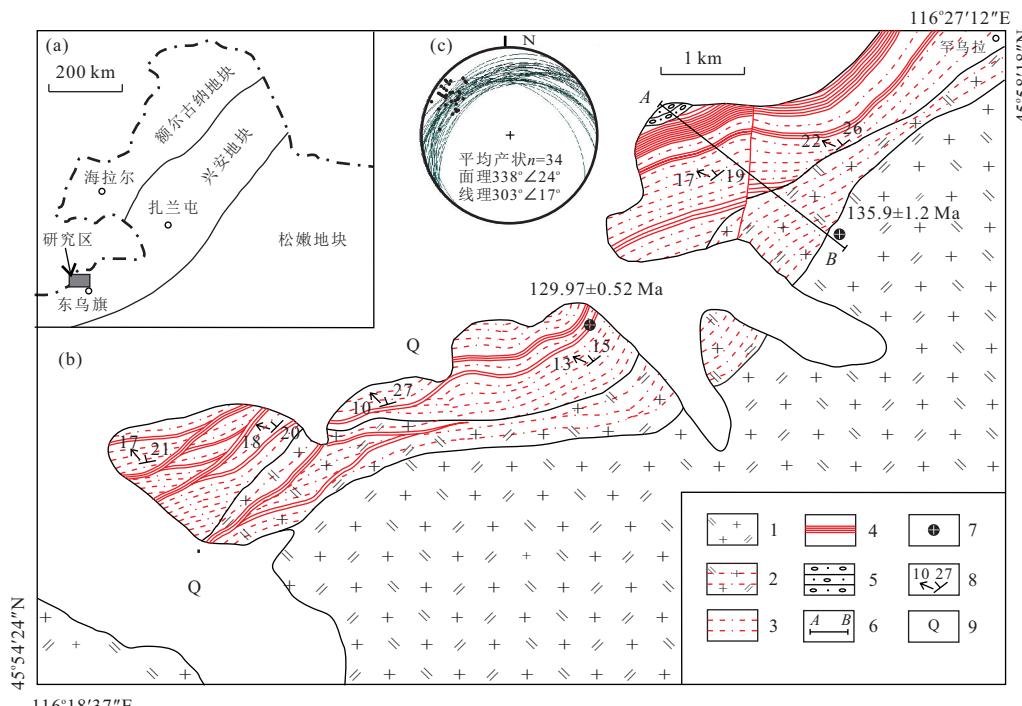


图 1 罕乌拉韧性剪切带地质简图(据滕学建等内蒙古东乌旗罕乌拉早白垩世韧性剪切带1:1万地质图,2012改编)

Fig.1 Geological sketch map of ductile shear zone in Hanwula area

- 1.早白垩世二长花岗岩;2.早白垩世糜棱岩化二长花岗岩;3.早白垩世花岗质初糜棱岩;4.早白垩世花岗质糜棱岩;5.下白垩统大磨拐河组(K_1d)砂砾岩;6.构造剖面;7.野外采样;8.糜棱线理面理产状;9.第四系;c.研究区糜棱面理、矿物拉伸线理的极射赤平投影(吴氏网,下半球)

示收敛或分散的特征,向北东、南西延至蒙古国,国内出露总长度约70~75 km。剪切带北西为中新生代断(坳)陷盆地,盆缘断裂切割韧性剪切面理和线理,向南东糜棱岩化强度逐渐减弱至韧性变形消失。

2 韧性剪切带宏观、微观变形特征

2.1 剪切带宏观特征

罕乌拉韧性剪切带具网结状构造和强应变带弱变形域分带明显的特征(图1b,图2,图3a,3b)。韧性剪切带内发育多条近于平行的强应变带,岩石为花岗质糜棱岩,应变强度大,多呈狭长条带状展布,厚度从数厘米到百米不等,长英质矿物强烈变形,其中长石多呈透镜状、眼球状、带状,长宽比在3:1~5:1之间,具定向性,多与糜棱面理(C面理)呈锐角(多小于20°),石英变形更为强烈呈拔丝状、带状,长宽比大于10:1,矿物拉伸线理平行于或近似平行于糜棱面理。带内糜棱面理、线理、无根褶皱(图3c)、“A”型褶皱(图3d)以及“σ”(图3e)和“δ”(图3f)旋转残斑发育。对研究区34组糜棱面理和线理数据进行赤平投影(图1c),平均面理(C面理)产状为338°∠24°,线理产状为303°∠17°,显示左行滑脱或右行逆冲运动的特征。其余为弱变形域,岩石主要为花岗质初糜棱岩、糜棱岩化二长花岗岩和二长花岗岩,岩石变形强度小,分布面积广,呈面状分布,岩石多保留了花岗岩的结构,带内石香肠构造(图3g)、“S-C”组构发育(图3h),糜棱面理(C)和剪切带内面理(S)交角(θ)的范围较大,在25°~45°之间。强应变带和弱变形域之间的变形强度逐渐过渡。罕乌拉韧性剪切带宏观构造特征如下。

(1) 糜棱面理由强烈拉伸的细粒基质矿物与眼球状残斑定向排列构成,面理总体延伸稳定,遇长石残碎斑晶面理时常绕斑而过,显示强烈的流变构造

特征。

(2) 拉伸线理主要表现为由石英、长石强烈拉伸定向排列构成,尤其是石英的拔丝构造以及长石的条带状构造尤为发育(图3d,3e)。

(3) 旋转残斑系是判断该剪切运动方向的主要标志之一,主要矿物为长石,少量石英,据其结晶尾的几何形态可分“δ”型和“σ”型两种(图3e,3f),研究区内均有发育,以“σ”型残斑系分布最广,结晶尾较短,其形态有等轴状、透镜状、椭球状及长方体状。“σ”型旋转碎斑主要为斜长石,少量钾长石,一般粒径为4~15 mm,残斑边部被动态重结晶石英集合体和细粒状云母环绕,形成不对称拖尾(图3f),构成不对称结构。在平行拉伸线理,垂直糜棱面理平面(镜头方向为50°~70°)上分析剪切带运动学特征,显示左行运动的特征,研究区内多处旋转残斑均具有相同的运动趋势,否定了右行逆冲远动的可能性。

(4) “S-C”组构在研究区内特别发育,也是判断该韧性剪切带的主要指示标志,“C”面理为平行于剪切带边界;“S”面理由拉长的透镜状长石集合体和长石残斑长轴优选方位的斜列显示,与“C”面理斜交构成“S-C”组构(图3h,镜头方向为50°~70°),“S”面理与“C”面理锐角指示了对盘(上盘)向下运动。研究发现“S-C”组构所指示的剪切带的运动学特征与旋转碎斑系一致,即为上盘向下滑脱运动。

2.2 剪切带显微特征

测区显微构造主要表现为旋转碎斑系和“S-C”组构(图4),花岗质糜棱岩大多含有长石残斑,成分以更长石、钠长石为主,局部长石见卡式双晶(图4a)。残斑大多呈眼球状、透镜状定向排列(图4b~4e)。残斑大小不一,大者可达5.0 mm以上,小者小于0.2 mm,含量一般为10%~20%。基质为细粒的长英矿物及细小鳞片状黑云母、绢云母等新生矿物(图4a),石英具拉长和动态重结晶现象(图4e)。云母类矿物往往呈不规则条带状定向分布,或绕长石

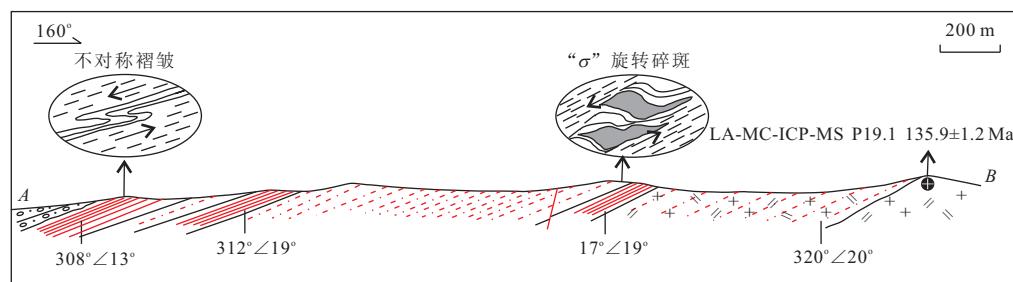


图2 罕乌拉韧性剪切带剖面简图(图例同图1)

Fig.2 The sectional drawing of ductile shear zone in Hanwula area

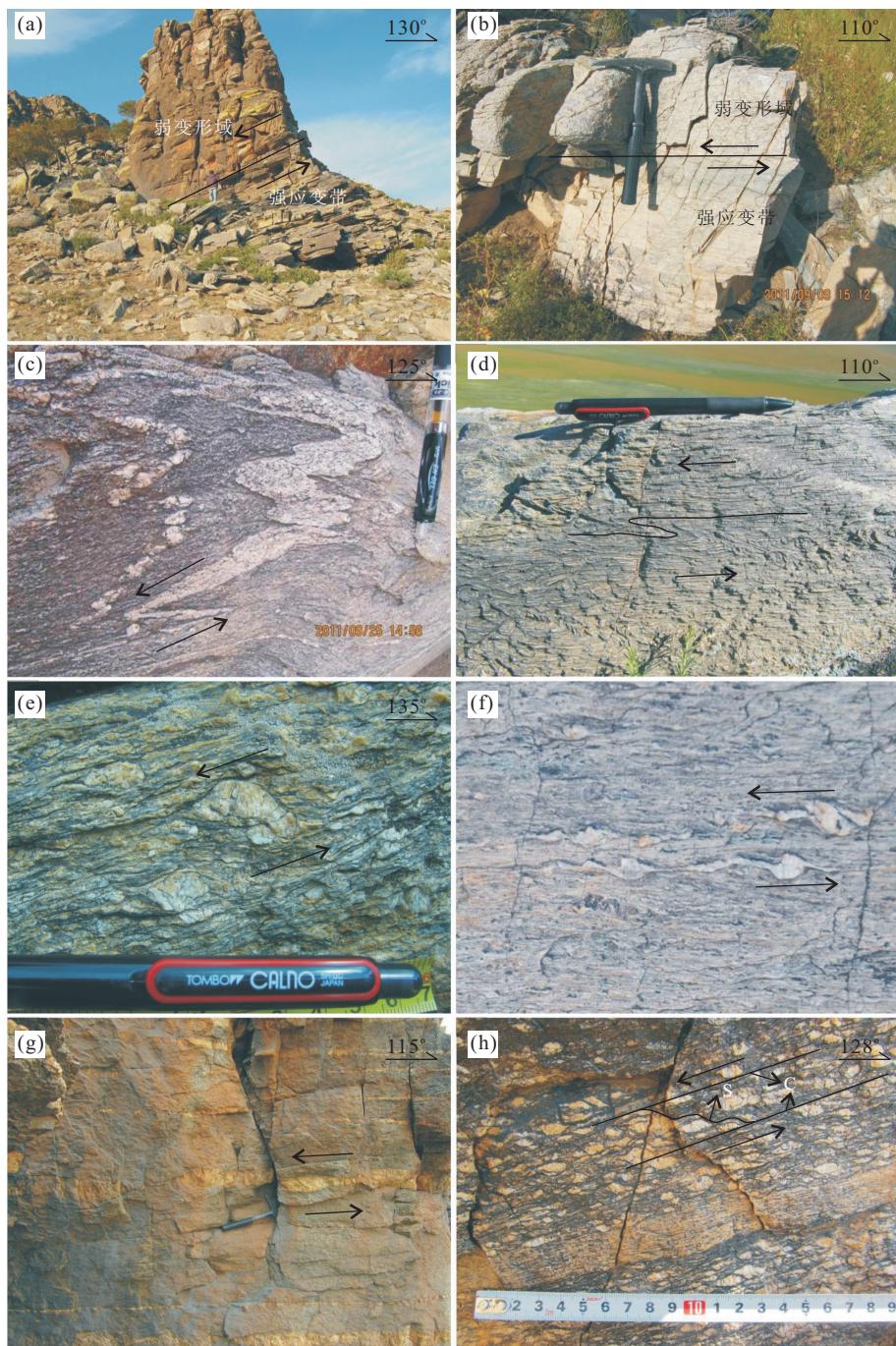


图 3 罕乌拉韧性剪切带宏观构造特征

Fig.3 Macroscopic structures of ductile shear zone in Hanwula area

a、b. 强应变带弱变形域;c. 强应变带中不对称褶皱和石香肠构造;d.“A”型褶皱指示左行剪切方向;e、f.“δ”、“σ”旋转残斑运动指向;g. 弱变形域中沿糜棱面理发育长英质石香肠构造;h. 弱变形域中“S-C”、“S-L”、“L”组构运动指向(镜头方向均为 $50^{\circ}\sim70^{\circ}$)

残斑分布(图 4a, 4b, 4d). 显微尺度“S-C”组构指示运动方向(图 4f), 石英呈似透镜状定向分布, 并多数石英亚颗粒呈反“S”型(图 4f)与剪切面理相切, 指示了剪切方向, 与韧性剪切带宏观特征一致.

2.3 剪切变形机制

岩石发育“S-L”组构和“L”组构, 为典型的简单

剪切和拉伸变形下的产物.“S-C”组构的普遍发育显示了伸展变形的特征(王涛等, 2002), 在岩石标本的 XZ 面上, 以长石透镜状残斑为标志体, 用 R_f/ϕ 法进行应变测量, 结果 LOD 参数为 0.16~0.31, 为近简单剪切为主、压扁拉长次之的变形类型.

综上宏观、微观特征, 认为罕乌拉韧性剪切带类

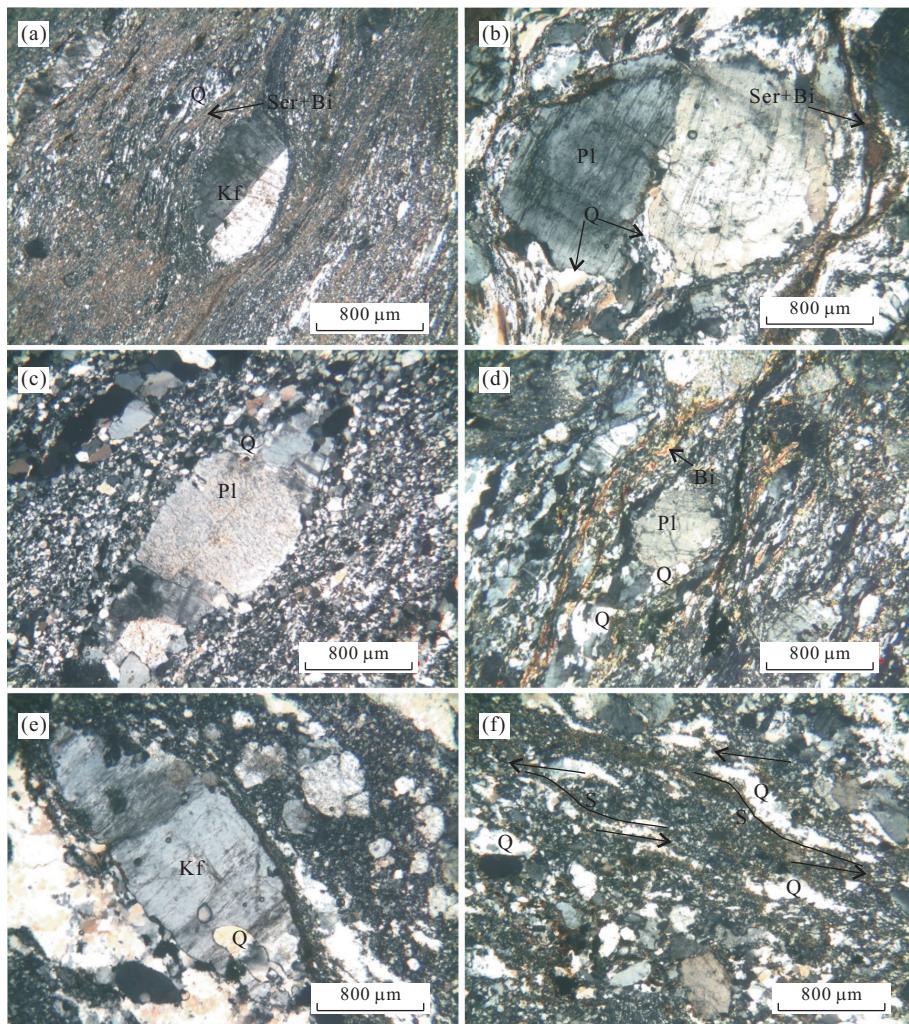


图4 罕乌拉韧性剪切带微观构造特征

Fig.4 Microstructures of ductile shear zone in Hanwula area

a. 钾长石卡式双晶, 绢云母、黑云母绕晶定向分布; b. 显微拉张和剪切破裂, 斜长石残斑中张性破裂被新生石英充填; c. 山羊须结构, 钾长石两端被拉断, 空隙被新生石英充填; d. 眼球状斜长石残斑及其边部石英亚颗粒, 石英、黑云母定向绕晶排列; e. 钾长石残斑内的蠕虫状石英, 蠕英交代结构; f. 显微尺度反“S”型“S-C”组构运动指向, 石英呈似透镜状定向分布

型为左行滑脱型韧性剪切带, 为伸展环境下的产物, 与苗培森和张振福(1995)对韧性剪切带分类中的伸展式韧性剪切带相同。

3 样品采集与分析方法

研究区韧性剪切带中花岗质糜棱岩原岩为早白垩世, 由于变质程度较低, 没有适用于同位素定年的同构造变形变质矿物, 为约束韧性剪切作用的起始时代, 本文主要选择花岗质糜棱岩和糜棱岩化中细粒二长花岗岩2个测年样品(图1b)进行锆石U-Pb同位素定年。锆石分选工作在河北省廊坊地质调查研究所完成。样品按照常规粉碎淘洗后, 经磁选和重

液分离, 然后在双目镜下人工挑选纯度在99%以上的锆石。锆石制靶和透射光、反射光和阴极发光照相在北京锆年领航科技有限公司完成。2个样品测年工作在天津地质矿产研究所完成, 采用LA-MC-ICPMS进行锆石U-Pb同位素定年测试, ICP-MS为Agilent 7500a, 分析中采用的激光束斑直径为35 μm, 以氦气作为剥蚀物质的载气, 分析流程见参考文献(李怀坤等, 2010), 测试数据的计算处理采用ISOPLOT3.0程序(李怀坤等, 2011)。

4 分析结果

研究区花岗质糜棱岩测年锆石的U-Th-Pb数

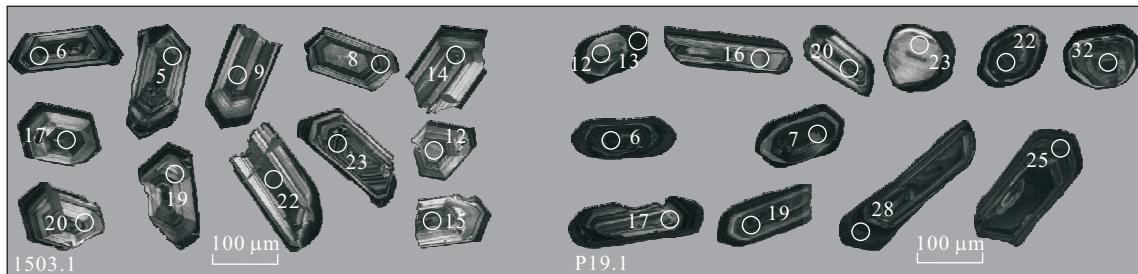


图 5 罕乌拉地区花岗质糜棱岩部分锆石阴极发光图像

Fig.5 CL images of selected zircons for granitic mylonites in Hanwula areas

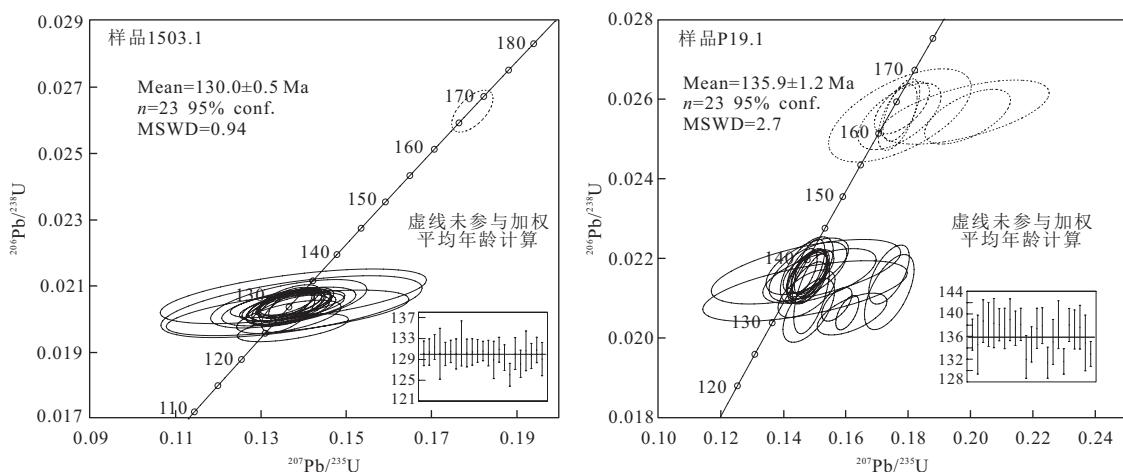


图 6 罕乌拉地区花岗质糜棱岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig.6 Zircon U-Pb concordia diagrams of the granitic mylonites in Hanwula areas

据列于表 1, CL 图像和 U-Pb 谐和图分别见图 5 和图 6.本文 2 个样品中的锆石多呈长柱状, 少数为短柱状, 透明度好, 颗粒大多在 80~150 μm, 具明显岩浆成因的韵律环带.前人研究表明, 不同成因锆石有不同的 Th、U 含量与 Th/U 值(Rubatto and Geibauer, 2000).一般情况下, 岩浆锆石的 Th、U 含量较高, Th/U 值较大(一般大于 0.4), 而变质锆石的 Th、U 含量低, Th/U 通常小于 0.07(Hoskin and Schaltegger, 2003).本文 2 个样品(1503.1 和 P19.1)锆石的 Th/U 比值分别为 0.64~2.13(其中 1 个为 0.06)、0.16~1.54(其中 3 个值在 0.06~0.08 之间), 多大于 0.40, 具有岩浆锆石 Th/U 比值特征, 因此, 研究区花岗质糜棱岩的锆石应为岩浆锆石.

样品 1503.1 有 24 粒锆石测点, 1 个测点值偏离了众数年龄, 其值为 167±2 Ma, 与研究区中侏罗世花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄 165.05±0.54 Ma(内部数据)一致, 可能为捕获该时期的锆石, 其余 23 个测点均位于 U-Pb 谐和线上, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 132~126 Ma 之间, 在置信度为 95% 时的加权平均年龄为 130.0±0.5 Ma(MSWD=0.94).据

上述特征可以认为, 130.0±0.5 Ma 的年龄值应代表了样品 1503.1 的成岩年龄.

样品 P19.1 的有 30 粒锆石测点, 7 个测点值偏离了众数年龄, 值在 164~163 Ma, 与样品 1503.1 所捕获锆石的测点值相近, 该组锆石呈柱状, 形态规则, 具韵律环带结构, 可能为捕获研究区内中侏罗世的锆石, 其余 23 个测点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄介于 139~132 Ma 之间, 在置信度为 95% 时的加权平均年龄为 135.9±1.2 Ma(MSWD=2.7).据上述特征可以认为, 135.9±1.2 Ma 的年龄值应代表了样品 P19.1 的成岩年龄.

综上分析, 135.9±1.2 Ma~130.0±0.5 Ma 代表了研究区花岗质糜棱岩原岩的成岩年龄.

5 时代讨论

前人关于大兴安岭地区韧性剪切变形时间的研究有: 张履桥等(1998)详细报道了甘珠尔庙地区早

表1 罕乌拉地区花岗质糜棱岩 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-MC-ICPMS zircon U-Pb dating results of granitic mylonites in Hanwula area

测点号	元素含量及比值			同位素比值			年龄(Ma)				
	U(10^{-6})	Th(10^{-6})	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
1503.1.1	771	1176	1.525 1	0.020 4	0.000 2	0.136 1	0.004 3	0.048 4	0.001 5	130	1
1503.1.2	1730	3686	2.130 2	0.020 4	0.000 2	0.136 9	0.002 1	0.048 6	0.000 7	130	1
1503.1.3	902	1135	1.258 5	0.020 6	0.000 2	0.136 7	0.002 9	0.048 2	0.001 0	131	1
1503.1.4	358	433	1.209 2	0.020 4	0.000 4	0.137 2	0.012 5	0.048 8	0.004 4	130	2
1503.1.5	636	983	1.546 6	0.020 4	0.000 2	0.137 3	0.005 0	0.048 9	0.001 8	130	1
1503.1.6	1166	1921	1.646 6	0.020 5	0.000 2	0.136 7	0.003 1	0.048 5	0.001 1	131	1
1503.1.7	1814	1169	0.644 5	0.026 3	0.000 3	0.179 6	0.002 0	0.049 6	0.000 5	167	2
1503.1.8	723	1006	1.392 4	0.020 4	0.000 2	0.136 5	0.004 1	0.048 6	0.001 4	130	1
1503.1.9	391	620	1.587 0	0.020 7	0.000 3	0.137 6	0.012 8	0.048 2	0.004 5	132	2
1503.1.10	751	1496	1.993 3	0.020 4	0.000 2	0.137 2	0.003 1	0.048 8	0.001 1	130	1
1503.1.11	744	1330	1.787 2	0.020 4	0.000 2	0.136 7	0.003 9	0.048 5	0.001 4	130	1
1503.1.12	730	1208	1.654 7	0.020 5	0.000 2	0.136 3	0.005 5	0.048 3	0.001 9	131	1
1503.1.13	829	1507	1.818 2	0.020 5	0.000 1	0.136 8	0.003 1	0.048 5	0.001 1	131	1
1503.1.14	733	1229	1.676 2	0.020 4	0.000 2	0.136 5	0.003 5	0.048 5	0.001 3	130	1
1503.1.15	504	653	1.295 3	0.020 2	0.000 3	0.136 3	0.011 6	0.048 9	0.004 4	129	2
1503.1.16	704	868	1.233 0	0.020 5	0.000 2	0.138 0	0.003 7	0.048 8	0.001 3	131	1
1503.1.17	673	933	1.387 3	0.020 3	0.000 2	0.137 1	0.003 7	0.049 1	0.001 3	129	1
1503.1.18	1029	1739	1.690 6	0.019 7	0.000 2	0.137 5	0.005 3	0.050 5	0.001 9	126	1
1503.1.19	625	39	0.662 8	0.020 4	0.000 2	0.136 6	0.006 4	0.048 6	0.002 3	130	2
1503.1.20	516	601	1.163 0	0.020 1	0.000 2	0.136 6	0.005 0	0.049 3	0.001 8	128	1
1503.1.21	486	574	1.181 6	0.020 5	0.000 3	0.136 5	0.007 5	0.048 4	0.002 6	131	2
1503.1.22	801	1650	2.059 1	0.020 3	0.000 2	0.137 1	0.004 3	0.048 9	0.001 5	130	1
1503.1.23	1182	2215	1.874 7	0.020 5	0.000 2	0.136 2	0.002 7	0.048 2	0.000 9	131	1
1503.1.24	1150	1826	1.588 4	0.020 2	0.000 2	0.136 4	0.002 6	0.047 3	0.000 8	129	2

续表1

测点号	元素含量及比值			同位素比值			年龄(Ma)				
	U(10^{-6})	Th(10^{-6})	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
P19.1.1	1.688	1.295	0.7671	0.0214	0.0002	0.1482	0.0024	0.0503	0.0008	136	1
P19.1.3	237	331	1.3952	0.0257	0.0003	0.1984	0.0110	0.0561	0.0031	163	2
P19.1.4	1.512	929	0.6144	0.0211	0.0004	0.1492	0.0023	0.0513	0.0009	135	3
P19.1.5	757	962	1.2705	0.0258	0.0003	0.1782	0.0036	0.0501	0.0010	164	2
P19.1.6	2.016	2.081	1.0324	0.0218	0.0003	0.1485	0.0020	0.0495	0.0008	139	2
P19.1.7	1.169	1.461	1.2499	0.0217	0.0003	0.1481	0.0051	0.0496	0.0017	138	2
P19.1.8	302	149	0.4947	0.0256	0.0005	0.1775	0.0093	0.0503	0.0026	163	3
P19.1.9	773	312	0.4938	0.0217	0.0003	0.1477	0.0035	0.0494	0.0012	138	2
P19.1.10	1.487	1.201	0.8077	0.0217	0.0002	0.1483	0.0023	0.0497	0.0007	138	1
P19.1.11	1.069	1.033	0.9665	0.0215	0.0003	0.1517	0.0074	0.0511	0.0025	137	2
P19.1.12	620	594	0.9578	0.0218	0.0003	0.1478	0.0054	0.0492	0.0018	139	2
P19.1.13	1.134	96	0.0842	0.0216	0.0002	0.1476	0.0027	0.0497	0.0009	137	2
P19.1.14	1.147	268	0.2335	0.0217	0.0002	0.1482	0.0033	0.0496	0.0011	138	1
P19.1.16	941	515	0.5473	0.0207	0.0003	0.1483	0.0034	0.0520	0.0012	132	2
P19.1.17	721	1.111	1.5396	0.0211	0.0002	0.1476	0.0037	0.0507	0.0013	135	2
P19.1.18	1.126	1.160	1.0303	0.0216	0.0003	0.1479	0.0026	0.0498	0.0009	137	2
P19.1.19	1.988	125	0.0628	0.0216	0.0002	0.1461	0.0020	0.0490	0.0006	138	2
P19.1.20	1.153	1.439	1.2477	0.0206	0.0002	0.1622	0.0046	0.0571	0.0016	131	1
P19.1.21	1.996	592	0.2965	0.0257	0.0003	0.1780	0.0024	0.0502	0.0007	164	2
P19.1.22	950	172	0.1812	0.0212	0.0003	0.1471	0.0134	0.0504	0.0045	135	2
P19.1.23	314	157	0.4985	0.0217	0.0003	0.1474	0.0124	0.0494	0.0041	138	2
P19.1.24	3.243	2414	0.7443	0.0206	0.0002	0.1607	0.0015	0.0565	0.0005	132	1
P19.1.25	1.393	875	0.6280	0.0216	0.0002	0.1488	0.0025	0.0499	0.0008	138	1
P19.1.26	1.748	1457	0.8334	0.0215	0.0003	0.1487	0.0023	0.0501	0.0008	137	2
P19.1.27	794	1016	1.2801	0.0256	0.0003	0.1774	0.0054	0.0503	0.0015	163	2
P19.1.28	1.476	433	0.2935	0.0216	0.0003	0.1740	0.0027	0.0585	0.0009	138	2
P19.1.29	728	892	1.2255	0.0211	0.0004	0.1741	0.0032	0.0597	0.0010	135	2
P19.1.30	1.939	305	0.1574	0.0208	0.0002	0.1573	0.0020	0.0548	0.0007	133	1
P19.1.31	533	137	0.2578	0.0256	0.0003	0.1992	0.0056	0.0565	0.0015	163	2
P19.1.32	1.339	524	0.3913	0.0255	0.0003	0.1768	0.0020	0.0502	0.0007	163	2

注: 测试单位为天津地质研究所。

白垩世由二叠系片岩为核,浅变质中侏罗统砂、板岩为中间层,未变质晚侏罗世火山岩为上覆拆离的滑脱岩片组成的变质核杂岩;邵济安等(1999)报道了大兴安岭南部长城地区发育早白垩世由太古宙基底、浅变质的中侏罗统砂、板岩和晚侏罗世—早白垩世低角度拆离面发育的花岗岩组成的变质核杂岩及大兴安岭东部开鲁盆地西缘也见有伸展构造性质的变质核杂构造;李锦铁等(2004a)在大兴安岭北段漠河地区左行韧性剪切带内获得构造变质黑云母的Ar-Ar坪年龄和等时线年龄为130~127 Ma,并认为其与蒙古—鄂霍茨克造山带的演化有关;黎广荣等(2006)获得了扎兰屯糜棱岩化花岗岩的钾长石—全岩Rb-Sr等时线年龄 173 ± 3.45 Ma,糜棱岩化花岗岩具左行走滑性质,为中侏罗世区域左行走滑作用的产物,与苗来成等(2003)报道的中侏罗世左行走滑事件相吻合;李锦铁等(2004b)获得西林吉镇的南北向推覆构造Ar-Ar年龄为175~171 Ma;吴福元等(1998)研究了松辽盆地东部磨刀石—虎林左行逆冲变形带,认为其变形时间为172~160 Ma。前人资料表明,大兴安岭中—晚侏罗世存在一期具推覆性质的韧性变形事件,而早白垩世时期转换为具伸展构造性质的变质核杂岩发育。前已述及,罕乌拉韧性剪切带为左行滑脱型。大兴安岭地区在晚中生代发生了大规模的地壳伸展和岩石圈减薄,至今对区域伸展的动力学背景和伸展构造发育形式仍有不同的解释(邵济安等,1999;葛文春等,2000;李锦铁等,2004a)。研究表明,在大兴安岭北段漠河地区(李锦铁等,2004a)也发育有与罕乌拉韧性剪切带类似的韧性变形事件,且时间上具有同时性,说明这类伸展构造的发育方式在大兴安岭地区可能具有区域构

造意义。

本文所研究的罕乌拉韧性剪切带为哪期构造事件的产物,作者从其韧性变形时间的上下限的岩石记录结合高精度同位素测年作如下讨论:研究区内角度不整合于罕乌拉韧性剪切带之上的下白垩统大磨拐河组(K_1d)砂砾岩中采集到大量的白垩世植物化石分子(内部资料):似木贼(未定种,茎干化石)*Equisetites?* sp.;革质似银杏*Ginkgoites coriacea* Floorin;高腾刺蕨*Acanthopteris gothani* Sze;海拉尔蹄盖蕨*Athyrium hailaerianum* Deng et Chen;白垩世团扇蕨*Egonocormus cretaceum* Deng;霍尔新芦木*Neocalamites cf. hoerensis* (Schimper) Halle,且砂砾岩中的砾石成分有花岗质糜棱岩(图7a),表明韧性剪切作用发生在砂砾岩沉积之前;蒙启安等(2003)对海拉尔大磨拐河组(K_1d)孢粉进行研究,认为其地质时代为早白垩世凡兰吟期—欧特里沃期(Valanginian-Hauterivian)。同时,早白垩世侵入岩专属性石英脉较为发育(滕学建等,内蒙古1:5万沙麦等6幅区域地质矿产图,2012),部分截切了韧性剪切带内花岗质糜棱岩的糜棱面理(图7b,7c),石英脉在中晚侏罗世—早白垩世岩体中均有发育,围岩中少见,因此可以排除区域性脉岩的干扰,加之石英脉体几乎未经过矿化蚀变作用,因此为后期断裂构造作用形成的可能性不大,石英脉可能为早白垩世花岗岩就位之后晚期残余岩浆热液形成的。综上可以判断,韧性剪切带的剪切事件稍晚于岩体结晶时间,而早于石英脉侵位和下白垩统大磨拐河组(K_1d)砂砾岩沉积时间。在矿物变形特征方面,变形矿物斜长石—钾长石强烈的长条状—透镜状特征(图3c,3f,3h)显示了高温(至少600 °C)固态变形

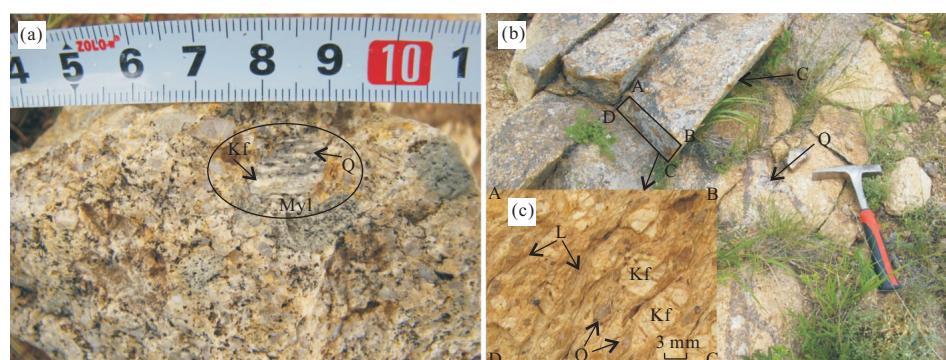


图7 罕乌拉韧性剪切带韧性变形时间上限的地质证据

Fig.7 Geologic evidences on the ductile shear timing in Hanwula area

a.大磨拐河组(K_1d)砂砾岩中花岗质糜棱岩砾岩;myl.花岗质糜棱岩;b.石英脉截切韧性剪切带糜棱面理;Kf.钾长石;Q.条带状石英、石英脉;C.糜棱面理;L.石英拉伸线理;c.最大压扁面,钾长石旋转碎斑,石英拉伸线理(L)和眼球状石英

(接近同侵位变形),石英呈现较粗的动态重结晶集合体条带(图 4),表明其略晚于岩浆结晶便发生了变形,具同构造岩体的特征,而斜长石脆性破碎—石英的强烈细粒化条带及绢云母(图 4a,4b,4f)的生成,反映了岩体固结后的中低温($400\sim300^{\circ}\text{C}$)固态变形的叠加(Paterson *et al.*, 1989, 1998; 王涛等, 2002),从矿物变形特征上表明了岩体可能经历同侵位变形和后期变形的双重作用,且二者变形组构相互平行,总的构造特征是上述两种组构叠加的结果。

笔者在花岗质糜棱岩中采集 2 个同位素测年样品并对其进行测定,结果表明韧性变形花岗岩的 LA-MC-ICPMS 镔石 U-Pb 年龄在 $135.9\pm1.2\text{ Ma}\sim130.0\pm0.5\text{ Ma}$ 时间,能限制罕乌拉韧性剪切作用的下限,与李锦轶等(2004a)在大兴安岭北段漠河地区左行韧性剪切带的形成可能为同期($130\sim127\text{ Ma}$)构造事件的产物。

综上所述,罕乌拉韧性剪切带形成于早白垩世二长花岗岩($135.9\pm1.2\text{ Ma}\sim130.0\pm0.5\text{ Ma}$)之后,早于下白垩统大磨拐河组(K_1d)砂砾岩沉积(相当于早白垩世凡兰吟期—欧特里沃期)和晚期残余岩浆热液形成石英脉的时间,且早白垩世处于伸展构造环境。

6 结论

综上罕乌拉韧性剪切带的宏观、微观变形特征、地质体间掩埋切割关系及年代学研究结果,得出如下结论:罕乌拉韧性剪切带为伸展环境下韧性剪切变形的产物,剪切类型为左行滑脱型韧性剪切带,形成于早白垩世二长花岗岩就位($135.9\pm1.2\text{ Ma}\sim130.0\pm0.5\text{ Ma}$)之后,早于早白垩世二长花岗岩晚期残余热液形成石英脉的侵位和下白垩统大磨拐河组(相当于凡兰吟期—欧特里沃期)砂砾岩沉积作用的时间。这一成果补充了该区构造活动的岩石记录和锆石 U-Pb 年代学等方面的资料,深化了该区早白垩世地壳构造演化的研究。

致谢:辛后田、孙立新研究员对本文提出建设性意见和建议,使本文得以完善;谷永昌、刘永顺教授给予野外指导工作,张天福完成了文中图件制作;审稿老师提出了许多宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意。

References

Bose, S., Marques, F.O., 2004. Controls on the Geometry of

Tails around Rigid Circular Inclusions: Insights from Analogue Modeling in Simple Shear. *Journal of Structural Geology*, 26(12): 2145—2156. doi: 10.1016/j.jsg.2004.05.004

Chen, H., Hu, J.M., Wu, G.L., 2009. Current Situation of Research on the Simulating Experiments for the Shear Direction of Asymmetry Rotated Porphyroblast in the Ductile Shear Zone of Mylonites. *Geological Bulletin of China*, 28(4): 439—455 (in Chinese with English abstract).

Chen, Z.G., Zhang, L.C., Zhou, X.H., et al., 2006. Geochronology and Geochemical Characteristics of Volcanic Rocks Section in Manzhouli Xinyouqi, Inner-Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2971—2986 (in Chinese with English abstract).

Ge, W.C., Lin, Q., Sun, D.Y., et al., 2000. Geochemical Research into Origins of Two Types of Mesozoic Rhyolites in Daxing'anling. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(2): 172—178 (in Chinese with English abstract).

Gou, J., Sun, D.Y., Zhao, Z.H., et al., 2010. Zircon LA-ICPMS U-Pb Dating and Petrogenesis of Rhyolite in Baiyin-gaolao Formation from the Southern Manzhouli, Inner-Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 333—344 (in Chinese with English abstract).

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 Petrologica Sinica*, 17(1): 161—168 (in Chinese with English abstract).

Hoskin, P.W.O., Schaltegger, U., 2003. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. *Mineral Geochem.*, 53(1): 27—62. doi: 10.2113/0530027

Hu, P., Nie, F.J., He, Y., et al., 2006. A Peraluminous Granite with Positive $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ Values: The Shamai Pluton in Inner Mongolia, Northeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(11): 2781—2790 (in Chinese with English abstract).

Li, G.R., Chi, X.G., Dong, C.Y., et al., 2006. Rb-Sr Isotopic Dating of Mylonite Granite in Southeast Mid-Da Hinggan Mountains. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 36(Suppl.): 11—14 (in Chinese with English abstract).

Li, H.K., Su, W.B., Zhou, H.Y., et al., 2011. The Base Age of the Changchengian System at the Northern North China Craton should be Younger than 1 670 Ma: Constraints from Zircon U-Pb LA-MC-ICPMS Dating of a Granite-Porphyry Dike in Miyun County, Beijing. *Earth Science*

- Frontiers*, 18(3):108—120(in Chinese with English abstract).
- Li, H.K., Zhu, S.X., Xiang, Z.Q., et al., 2010. Zircon U-Pb Dating on Tuff Bed from Gaoyuzhuang Formation in Yanqing, Beijing: Further Constraints on the New Subdivision of the Mesoproterozoic Stratigraphy in the Northern North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7):2131—2140 (in Chinese with English abstract).
- Li, J.Y., 1998. Some New Ideas on Tectonics of NE China and Its Neighboring Areas. *Geological Review*, 44(4):339—347 (in Chinese with English abstract).
- Li, J.Y., He, Z.J., Mo, S.G., et al., 2004a. The Age of Conglomerates in the Lower Part of the Xiufeng Formation in the Northern Da Hinggan Mountains, NE China, and Their Tectonic Implications. *Geological Bulletin of China*, 23(2):120—129 (in Chinese with English abstract).
- Li, J.Y., Mo, S.G., He, Z.J., et al., 2004b. The Timing of Crustal Sinistral Strike-Slip Movement in the Northern Great Khing'an Ranges and Its Constraint on Reconstruction of the Crustal Tectonic Evolution of NE China and Adjacent Areas since the Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 11(3):157—168 (in Chinese with English abstract).
- Li, L., Zhang, W.J., Gao, D.Z., et al., 2000. Early Ductile Shear Zone and Tectonic Evolution in the Middle of Linhe-Jining Deep Fault, Inner Mongolia. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(3):227—231 (in Chinese with English abstract).
- Li, S.T., Yang, S.G., Wu, C.L., et al., 1987. The Late Mesozoic Rifting in the Northeastern China and the Fault-Rifting Basins in East Asia. *Science in China (Series B)*, 21(2):185—195 (in Chinese).
- Mancktelow, N. S., 2004. How Ductile are Ductile Shear Zones? *Geology*, 34(5):345—348. doi: 10.1130/G22260.1
- Marques, F.O., Bose, S., 2004. Influence of a Permanent Low-Friction Boundary on Rotation and Flow in Rigid Inclusion/Viscous Matrix Systems from an Analogue Perspective. *Tectonophysics*, 382(3/4):229—245. doi: 10.1016/j.tecto.2004.01.004
- Meng, F.C., Liu, J.Q., Li, M., et al., 2010. Geochemistry and Tectonic Implications of Rhyolites from Yingcheng Formation in Xujiaweizi, Songliao Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1):227—241 (in Chinese with English abstract).
- Meng, Q.A., Wan, C.B., Qiao, X.Y., et al., 2003. Palynological Assemblages from the Damoguaihe Formation in the Hailer Basin, Inner Mongolia. *Journal of Stratigraphy*, 27(3):173—184 (in Chinese with English abstract).
- Meng, Q.R., 2003. What Drove Late Mesozoic Extension of the Northern China-Mongolia Tract? *Tectonophysics*, 369(324):155—174. doi: 10.1016/S0040-1951(03)00195-1
- Miao, L.C., Fan, W.M., Zhang, F.Q., et al., 2003. Zircon SHRIMP Geochronology of Xinkailing-Kele Complex in the Northwestern Lesser Xing'an Range, and Its Geological Implications. *Chinese Science Bulletin*, 48(22):2315—2323 (in Chinese).
- Miao, P.S., Zhang, Z.F., 1995. Ductile Shear Zones Formed by Different Mechanisms. *Regional Geology of China*, 4:353—359 (in Chinese with English abstract).
- Paterson, S.R., Fowler, T.K.Jr., Schmidt, K.L., et al., 1998. Interpreting Magmatic Fabric Patterns in Plutons. *Lithos*, 44(1—2):53—82. doi: 10.1016/S0024-4937(98)00022-X
- Paterson, S.R., Vernon, R.H., Tobisch, O.T., 1989. A Review of the Criteria for the Identification of Magmatic and Tectonic Foliations in Gneisses. *J. Struct. Geol.*, 11(3):349—363. doi: 10.1016/0191-8141(89)90074-6
- Rubatto, D., Gebauer, D., 2000. Use of Cathodoluminescence for U-Pb Zircon Dating by IOM Microprobe: Some Examples from the Western Alps. In: Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., et al., eds., *Cathodoluminescence in Geoscience*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, German, 373—400.
- Shao, J.A., Zhang, L.Q., Mu, B.L., 1999. Magmatism in the Mesozoic Extending Orogenic Process of Da Hinggan Mts. *Earth Science Frontiers*, 6(4):339—346 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z.X., Li, G.X., Yao, Y.F., et al., 2003. Characteristics of the Meso-Cenozoic Extensional Structures in Samai Region, East Ujimqin Qi, Inner Mongolia. *Acta Geologica Sichuan*, 23(4):198—201 (in Chinese with English abstract).
- Wang, T., Zheng, Y.D., Liu, S.W., et al., 2002. Mylonitic Potassic Granitoids from the Yagan Metamorphic Core Complex on Sion-Mongolian Border: A Mark of Transition from Contractile to Extensional Tectonic Regime. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2):177—186 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F.Y., Lin, Q., Ge, W.C., et al., 1998. The Petrogenesis and Age of Xinhuatun Pluton in Zhangguangcailing. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(3):226—234 (in Chinese with English abstract).

Zhang, L. Q., Shao, J. A., Zheng, G. R., 1998. Metamorphic Core Complex in Ganzhuermiao, Inner Mongolia. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 140—146 (in Chinese with English abstract).

Zhao, X., Coe, R. S., 1996. Paleomagnetic Constraints on the Paleogeography of China: Implications for Gondwana Land. *Abstract of 30th IGC*, 1: 200—231. doi: 10.1080/08120099608728285

附中文参考文献

陈虹,胡健民,武国利,2009.韧性剪切带糜棱岩中不对称旋转碎斑系剪切指向模拟实验研究现状及其问题.地质通报,28(4):439—455.

陈志广,张连昌,周新华,等,2006.满洲里新右旗火山岩剖面年代学和地球化学特征.岩石学报,22(12):2971—1986.

葛文春,林强,孙德有,等,2000.大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究.地球科学——中国地质大学学报,25(2):172—178.

苟军,孙德有,赵忠华,等,2010.满洲里南部白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 定年及岩石成因.岩石学报,26(1):333—344.

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.

胡朋,聂风军,赫英,等,2006.内蒙古沙麦岩体:正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的过铝质花岗岩.岩石学报,22(11):2781—2790.

黎广荣,迟效国,董春艳,等,2006.大兴安岭中段东南部糜棱岩化花岗岩的 Rb-Sr 年龄.吉林大学学报,36(增刊):11—14.

李怀坤,苏文博,周红英,等,2011.华北克拉通北部长城系底界年龄小于 1 670 Ma:来自北京密云花岗斑岩岩脉锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄的约束.地学前缘,18(3):108—120.

李怀坤,朱士兴,相振群,等,2010.北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石 U-Pb 定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束.岩石学报,26(7):2131—2140.

李锦轶,1998.中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识.地质论评,44(4):339—347.

李锦轶,和政军,莫申国,等,2004a.大兴安岭北部绣峰山组下部砾岩的形成时代及其大地构造意义.地质通报,23(2):120—129.

李锦轶,莫申国,和政军,等,2004b.大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约.地学前缘,11(3):157—168.

李龙,张维杰,高德臻,等,2000.内蒙古临河—集宁深断裂中段早期韧性剪切带及其构造演化.地球科学——中国地质大学学报,25(3):227—231.

李思田,杨世恭,吴冲龙,等,1987.中国东北部晚中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地系.中国科学(B辑),21(2):185—195.

孟凡超,刘嘉麒,李明,等,2010.松辽盆地徐家围子营城组流纹岩地球化学特征及构造指示意义.岩石学报,26(1):227—241.

蒙启安,万传彪,乔秀云,等,2003.内蒙古海拉尔盆地大磨拐河组孢粉组合.地层学杂志,27(3):173—184.

苗来成,范蔚茗,张福勤,等,2003.小兴安岭西北部新开岭—科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义.科学通报,48(22):2315—2323.

苗培森,张振福,1995.不同构造机制韧性剪切带研究.中国区域地质,4:353—359.

邵济安,张履桥,牟保磊,1999.大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用.地学前缘,6(4):339—346.

孙泽轩,李国新,姚毅锋,等,2003.内蒙古东乌珠穆沁旗沙麦地区中—新生代伸展构造特征研究.四川地质学报,23(4):198—201.

王涛,郑亚东,刘树文,等,2002.中蒙边界亚干变质核杂岩糜棱状钾质花岗岩早中生代收缩与伸展构造体制的转换标志.岩石学报,18(2):177—186.

吴福元,林强,葛文春,等,1998.张广才岭新华屯岩体的形成时代与成因研究.岩石矿物学杂志,17(3):226—234.

张履桥,邵济安,郑广瑞,1998.内蒙古甘珠尔庙变质核杂岩.地质科学,33(2):140—146.