

doi: 10.12029/gc20170313

赵院冬, 许逢明, 车继英, 王奎良, 李士超, 吴大天. 2017. 锆石 U-Pb 定年对大兴安岭东北部“兴华渡口群”形成时代和组成的约束[J]. 中国地质, 44(3): 575-587.

Zhao Yuandong, Xu Fengming, Che Jiying, Wang Kuiliang, Li Shichao, Wu Datian. 2017. Constraints from the zircon U-Pb dating on the formation age and composition of the Xinhudukou Group in northeastern Da Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 44(3): 575-587(in Chinese with English abstract).

锆石 U-Pb 定年对大兴安岭东北部“兴华渡口群”形成时代和组成的约束

赵院冬^{1,2} 许逢明² 车继英² 王奎良² 李士超² 吴大天²

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要:兴华渡口群等大兴安岭北部前寒武纪变质岩系的组成和演化对于确定额尔古纳和兴安地块的构造属性具有重要意义,是近年大兴安岭北部基础地质研究的热点之一。本次工作通过对黑河北部石灰窑—明智山一带的兴华渡口群二云石英片岩和“混合岩”进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年发现该变质岩系并非前寒武纪变质岩,而是由早古生代碎屑沉积岩(或变质岩)和晚古生代岩浆岩经后期构造岩浆作用改造而形成的构造杂岩。其中二云石英片岩中具有岩浆成因特征的碎屑锆石核部年龄主要存在 401~427 Ma、442~448 Ma、473~517 Ma、639~714 Ma、757~818 Ma、896~933 Ma 和 1704~1751 Ma 7 个年龄组,其中 473~517 Ma 段碎屑锆石的峰最明显,与早古生代多宝山组岛弧火山岩等早古生代岩浆作用形成时间相一致,其他年龄组亦在区域上其他地区有报道,这表明该变质岩的原岩物源来源较广泛,不仅有元古宙岩浆岩和变质岩系,还有大量的早古生代岩浆岩,因此其原岩形成时代不应是前寒武纪,而是早古生代。根据碎屑锆石最小峰值年龄,本次工作推断该二云石英片岩原岩的最大沉积年龄不应早于 416 Ma,另外大量的元古宙碎屑锆石表明区域上可能存在前寒武纪变质基底。对所谓混合岩的调查发现其应为发生动力变质的糜棱岩化二长花岗岩,其中岩浆锆石(304.5±3.1)Ma 的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄反映花岗岩形成于晚石炭世晚期,该期花岗岩为晚古生代兴安地块东缘花岗岩带的一部分。

关键词:兴华渡口群;前寒武纪;碎屑锆石;岩浆锆石;U-Pb 测年

中图分类号:P534.4;P597 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017)03-0575-13

Constraints from the zircon U-Pb dating on the formation age and composition of the Xinhudukou Group in northeastern Da Hinggan Mountains

ZHAO Yuandong^{1,2}, XU Fengming², CHE Jiying², WANG Kuiliang²,
LI Shichao², WU Datian²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Shenyang Center of Geological Survey, CGS, Shenyang 110034, Liaoning, China)

Abstract: The study of the composition and evolution of the Precambrian metamorphic series such as Xinghudukou Group in

收稿日期:2016-03-24;改回日期:2016-12-10

基金项目:中国地质调查局项目(12120114055701)和国家自然科学基金项目(41502063, 41574093)联合资助。

作者简介:赵院冬,男,1981年生,博士生,高级工程师,研究方向:岩浆过程与深部作用;E-mail:zhaoyd1981@qq.com。

northeastern Da Hinggan Mountains is critical for determining the tectonic attribute of Ergun massif and Xing'an block, and thus is one of the hotspots of recent studies of northern Da Hinggan Mountains. Based on the U-Pb dating results of the detrital zircons from two-mica-quartz schist and the magmatic zircons from migmatite, the authors hold that the Xinghuadukou Group in the Shihuiyao-Mingzhi Mountain of northern Heihe area is not the Precambrian metamorphic rock, but is a tectonic complex composed of early Paleozoic sedimentary (or metamorphic) rocks and Late Paleozoic magmatic rocks. The dating results of the magmatic core of detrital zircons from two-mica-quartz schist show 7 age groups mainly, i.e., 401–427 Ma, 442–448 Ma, 473–517 Ma, 639–714 Ma, 757–818 Ma, 896–933 Ma and 1704–1751 Ma, in which the 473–517 Ma group exhibits most obvious peaks of detrital zircons and is consistent with the early Paleozoic magma event such as the island arc volcanic rock from the Duobaoshan Formation, and the other age groups have also been reported in many places in northern Da Hinggan Mountains. These characteristics suggest that the provenance was complex, composed of not only Proterozoic rocks but also Paleozoic rocks, with the early Paleozoic magmatic rocks being the main source. So the protolith age of the two-mica-quartz schist is the Paleozoic and might be after 416 Ma, as shown by the minimum peak age of detrital zircons. The considerable Proterozoic detrital zircons from the schist suggests that there indeed exists Precambrian basement in Ergun massif or Xing'an blocks. The migmatite outcropped in the Mingzhi Mountain is the mylonitized granite actually caused by the dynamic metamorphism, and it has a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age of $(304.5\pm 3.1)\text{Ma}$, which reflect the granite formed during the Late Carboniferous. The granite was part of the eastern margin granite belt in of Xing'an blocks during the late Paleozoic.

Key words: Xinghuadukou Group; Precambrian; detrital zircon; magma zircon; U-Pb dating

About the first author: ZHAO Yuandong, male, born in 1981, doctor candidate, senior Engineer, engages in the study of the magmatism and metallization, E-mail: zhaoyd1981@qq.com.

Fund support: Supported by Youth Science Funds of National Natural Science Foundation (No. 41502063, No. 41574093) and China Geological Survey Program (No. 12120114055701).

1 引 言

分布于大兴安岭北部的兴华渡口群、落马湖群、新开岭群等变质岩系一直被认为是额尔古纳地块、兴安地块前寒武纪变质基底(黑龙江省地矿局, 1993),其组成和演化对于确定额尔古纳地块、兴安地块的构造属性具有重要的作用(Zhou et al., 2011; 表尚虎等, 2012; 周建波等, 2014),并因为具有较高的Cu、Au元素丰度而被认为是金属矿产资源的矿源层之一,也是重要的找矿要素(朱群等, 2001; 陈满等, 2004; 冯健行, 2006)。对于其形成时代,前人多依据变质岩变质程度、变形特点、区域对比以及少量的Sm-Nd模式年龄而将其原岩成岩和变质作用时间确定为前寒武纪(黑龙江省地矿局, 1993; 孙广瑞等, 2002)。然而,近年的年代学工作对上述变质岩系原岩形成和变质作用发生时间提出质疑,原有群组概念重新厘定,大量显生宙地质体从中鉴定出来。但目前对于这些地质体的时代还主要存在两方面的分歧,一是认为原岩形成于古中元古代,变质发生于新元古代或早寒武世(武广, 2005; Zhou et al., 2011; 周建波等, 2011; 表尚虎等, 2012; 孙立新

等, 2013);二是认为原岩为早古生代,变质发生于晚古生代或中生代(苗来成等, 2003, 2007; 杨现力, 2007; 孙巍, 2014; 赵院冬等, 2015)。鉴于兴华渡口群等前寒武纪变质岩系对于研究东北地区大地构造属性的重要意义,需认真对待前人工作确认每一处前寒武纪变质岩系,分析其地质组成和构造属性,将显生宙叠加的岩浆作用和变质作用厘定清楚。为此,笔者选择位于黑河北部石灰窑—明镜山一带、1:5万区调工作确认的兴华渡口群进行年代学研究。

2 区域地质概况

兴华渡口群由徐烈在1960年创于黑龙江省兴华渡口,主要分布于漠河—塔河—韩家园子一线和鄂伦春旗—加格达奇一带(内蒙古自治区地矿局, 1996; 表尚虎等, 2012)。黑河北部的落马湖地块内也零散分布有少量兴华渡口群残留体,整体呈北东向展布,主要分布于大新屯西部的石灰窑和滨南的明智山一带,西南部的桦皮窑附近也有出露(图1)。区调工作将石灰窑—明智山一带的兴华渡口群分为上下两部分:下部分主要分布于明智山一带,主

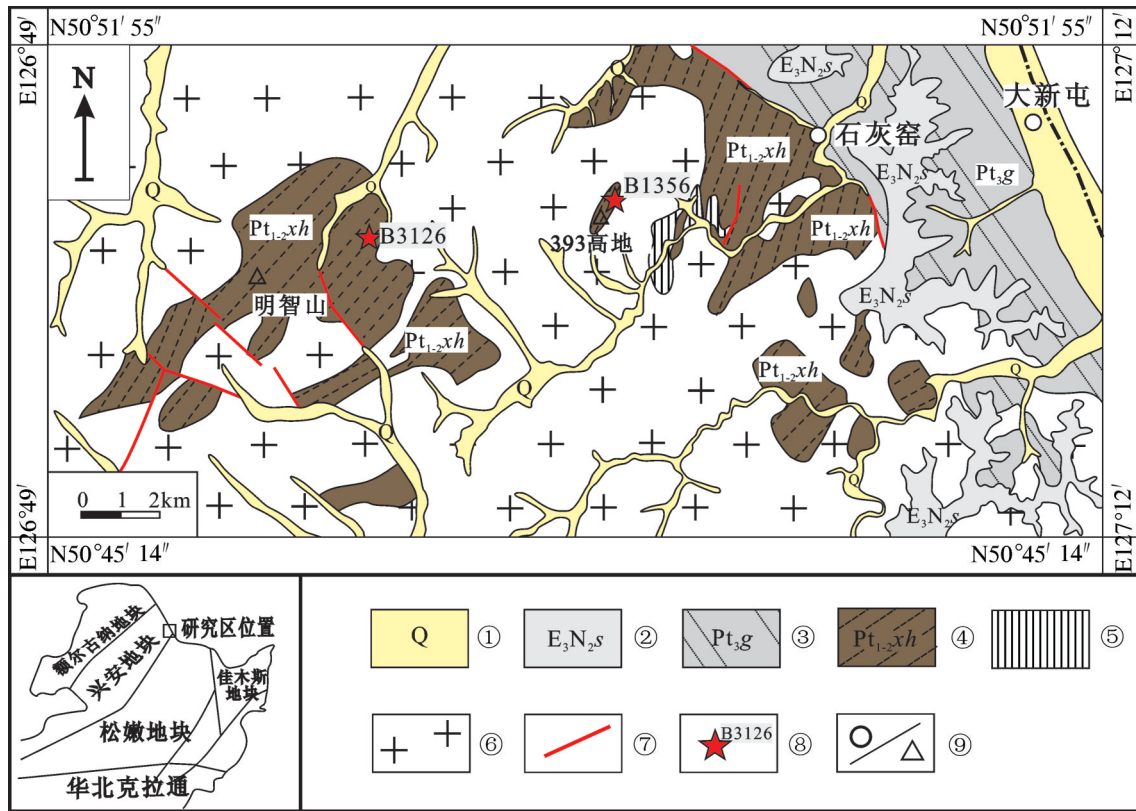


图1 黑河北部石灰窑-明智山一带地质简图(据1:5万大新屯—脑丸、桦皮窑-任家地营子幅区域地质图修改)
 ①—第四纪河流沉积;②—古近纪孙吴组;③—新元古界嘎啦山组;④—古中元古界兴华渡口群;⑤—早白垩世闪长玢岩;
 ⑥—侏罗纪花岗岩;⑦—断裂构造;⑧—采样位置及编号;⑨—地理地名

Fig. 1 Geological sketch map of Shihuiyao-Mingzhi Mountain in northern Heilong area (after 1:50000 geological map of Daxintun-Yinaowan and Huapiyao-Renjiadiyingzi area)

- ①—Quaternary fluvial deposit; ②—Paleogene Suwu Formation; ③—Upper Proterozoic Galashan Formation; ④—Middle-Lower Proterozoic Xinghuadukou Group; ⑤—Early Cretaceous dioritic porphyrite; ⑥—Jurassic granite; ⑦—Fault; ⑧—Sampling position and its serial number; ⑨—Geographic name

要由角闪斜长变粒岩、矽线二云斜长变粒岩、大理岩、透闪透辉石岩、二云长石石英岩、矽线二云石英岩、二长花岗质混合岩等组成;上部分主要分布于石灰窑西部,主要由黑云斜长变粒岩、二云斜长变粒岩、含红柱石二云二长变粒岩、块状大理岩、石英大理岩、二云石英片岩和二云长石石英岩等组成,上下顶底界和接触关系不清。区内兴华渡口群变质变形强烈,在明智山一带可见复式背斜,两翼产状较陡,从43°变化到77°,局部直立并有倒转。石灰窑一带见有倒转褶皱构造,轴面产状290°~330°∠35°~50°。两处兴华渡口群岩石均发育强韧性变形,主要变化为岩石强烈挤压变形,形成窗棱构造、石香肠构造、透镜状构造等,脉体变形,形成“W”、“Ω”、“N”等形态(图2),显微特征表现为形成糜棱结构,片麻状构造,残斑以石英和长石为主,石英呈

强烈波状消光,长石边部形成亚颗粒,云母发生膝折,形成云母鱼、书斜结构,并发生波状弯曲(图3)。新元古界落马湖群嘎啦山组与之呈构造接触,二者遭受侏罗纪花岗岩和早白垩世闪长玢岩侵入,接触带内发生交代变质,石灰窑附近与侏罗纪花岗岩接触外带上形成有矽卡岩型铁金矿化点,在石灰窑西侧393高地上发现蚀变岩型金矿点。

笔者对393高地的花岗质糜棱岩工作研究发现其原岩为形成于晚石炭世的钙碱性花岗岩,而非形成于前寒武纪(赵院冬等,2015),而明智山一带作为兴华渡口群下段底部的二长花岗质混合岩经调查确定为糜棱岩化二长花岗岩。为进一步查明区内的兴华渡口群作为兴安地块变质基底的性质,本次工作选择位于393高地内的副变质岩强变形二云石英片岩和明智山糜棱岩化二长花岗岩作为研究对

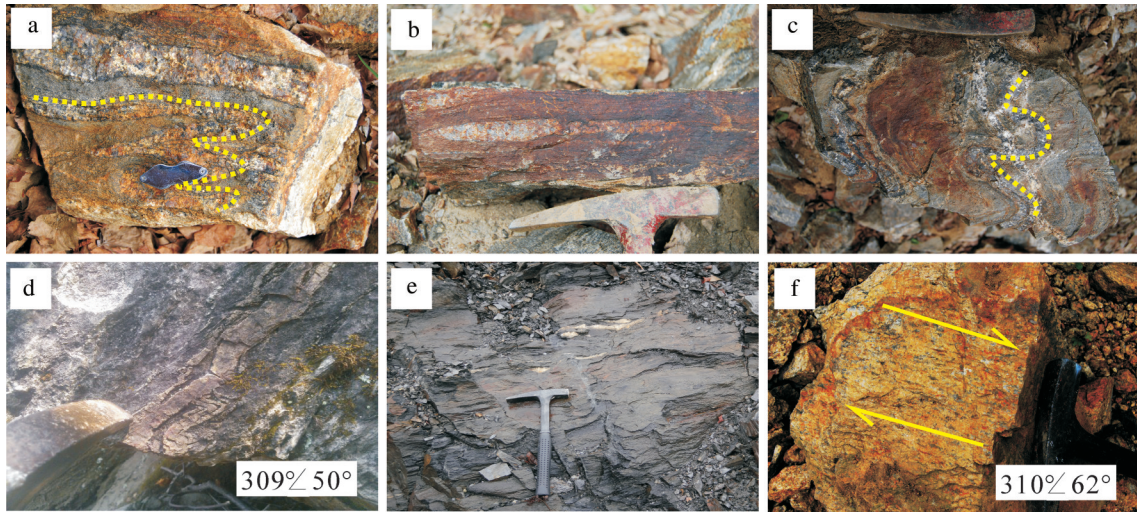


图2 石灰窑—明智山一带兴华渡口群韧性变形标本和野外露头特征

a-d—岩石强烈挤压变形,形成窗棱构造、石香肠构造、透镜状构造等,脉体变形,形成“W”、“N”、“Ω”等形态;e—韧性变形二云石英片岩露头;f—明智山糜棱岩化二长花岗岩,右行剪切构造

Fig. 2 Ductile deformation characteristics of Xinghuadukou Group in Shihuiyao-Mingzhi Mountain

a-d- Strong deformation structure, such as mullion, boudinage, lens, and siliceous veins deformed into “W”, “N”, “Ω” shapes; e-Outcrop characteristics of ductile deformed two-mica-quartz schist; f-Mylonitized adamellite in Mingzhi Mountain, dextral shear structure

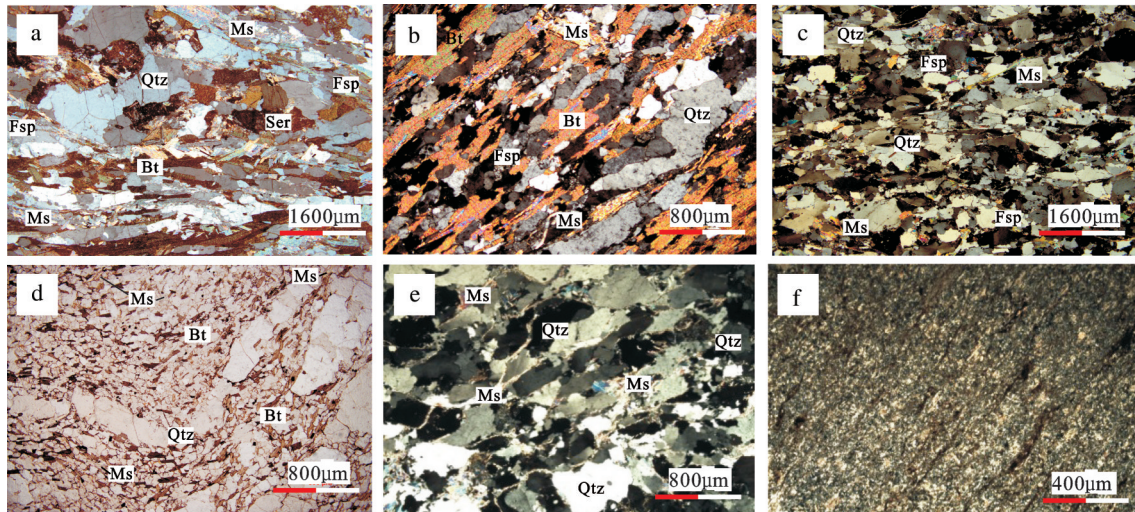


图3 石灰窑—明智山一带兴华渡口群韧性变形显微特征

a-d—强变形二云母片岩、片麻岩;a,c—发育糜棱结构,石英波状消光,云母鱼,少量云母绢云母化;d—变形的早期硅质条带,云母分布随硅质条带变化,局部形成书斜结构;e—白云母长石英岩,石英波状消光,云母形成于粒状矿物中间;f—矽线石二云斜长变粒岩,针状、片状矿物定向分布(Qtz=石英,Fsp=长石,Bt=黑云母,Ms=白云母,Ser=绢云母)

Fig. 3 Ductile deformation microstructure characteristics of Xinghuadukou Group in Shihuiyao-Mingzhi Mountain

a-d-Strongly deformed two mica schist and gneiss; a,c-Mylonitic texture, quartz wavy extinction, mica fish structure, partial mica sericitization; d-Deformed early siliceous stripe in two mica schist, mica distribution varying with siliceous bands, partly forming book-inclined structure; e-Muscovite arkose quartzite, quartz wavy extinction, mica form between the granular minerals; f-Sillimanite two mica feldspar leptynite, orientation distribution of needle and schistose minerals(Qtz=Quartz, Fsp=Feldspar, Bt=Biotite, Ms=Muscovite, Ser=Sericite)

象,开展测年工作。

3 样品岩石学特征

样品 1356, 采样坐标为 50°49'44"N, 127°00'55"E, 岩性为二云石英片岩, 石英含量约 60%, 长石含量约 20%, 云母含量约 20%, 黑云母和白云母含量大致相等, 岩石的片状构造发育, 云母定向排列, 变性特征明显, 石英具拉长变形, 发育亚颗粒, 云母具有膝折和云母鱼现象, 显示韧性变形特征。

样品 3126, 采样坐标为 50°48'35.7"N, 126°55'22.9"E, 岩性为糜棱岩化二长花岗岩, 岩石风化面呈浅米黄色, 新鲜面为米黄色、浅肉红色。具有鳞片粒状变晶结构, 片麻状构造, 糜棱片理发育。残斑主要由石英、长石组成, 含量约 90% 以上, 其中石英为无色或烟灰色, 呈透镜状或拉丝线状, 大小 0.5~5 mm 不等, 含量 20%~30%, 长石包括斜长石和钾长石, 斜长石呈灰白色或白色, 碎裂为细粒状, 整体呈透镜状定向展布, 含量 30%~40%, 钾长石呈肉红色, 形态与斜长石相似。基质中主要有石英、长石和黑云母, 黑云母呈黑褐色, 片状定向排列, 片理产状为 310°∠62°。

4 年代学特征

4.1 实验流程

锆石样品由廊坊市地科勘探技术服务有限公司完成挑选, 制靶工作和 CL 图像采集由北京锆年领航科技有限公司完成。锆石 U-Pb 同位素定年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利用 LA-ICP-MS 分析完成。测试流程及仪器性能见文献(侯可军等, 2009)。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3 完成。

4.2 锆石形态和年代学结果

4.2.1 样品 1356

所选锆石形态多样, 半自形—自形, 多为柱状, 部分呈圆形或椭圆形, 粒径在 50~150 μm, 长宽比多为 1.5~2, 锆石的 CL 图像显示大部分锆石具有核幔结构, 核部锆石普遍发育环带结构(图 4), 边部呈暗灰色, 为变质增生锆石或重结晶锆石, 一般较薄, 消光不均匀。

本次工作挑选 60 粒锆石对岩浆成因的核部锆

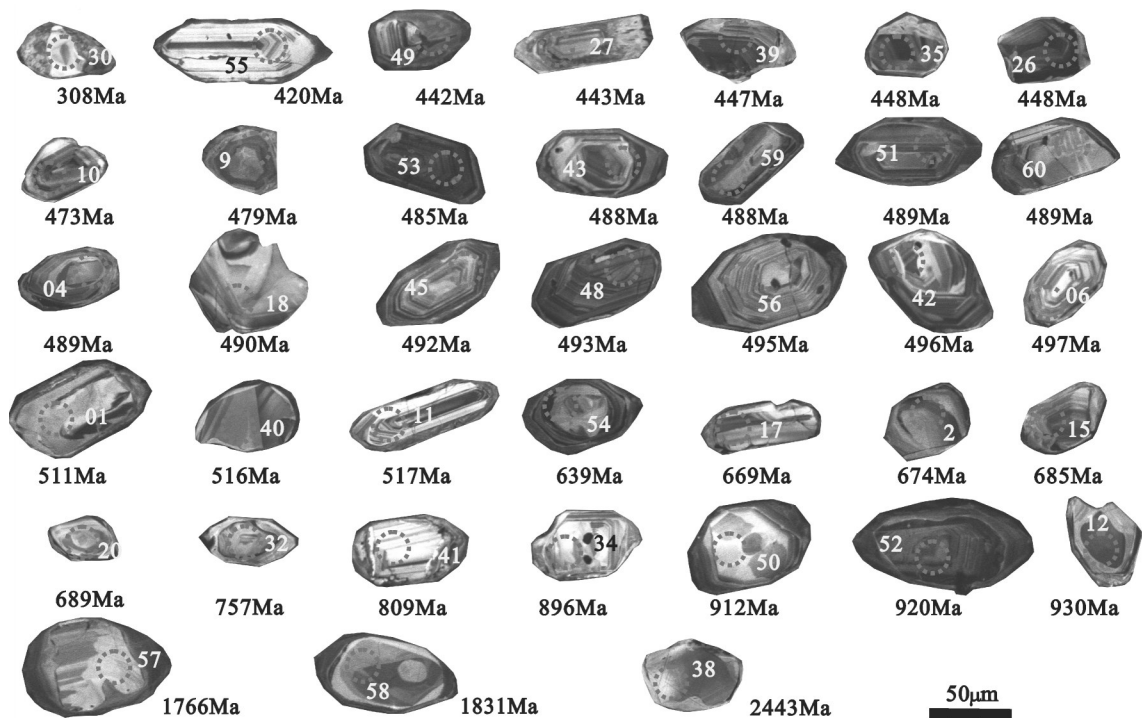


图 4 石灰窑西北 393 高地兴华渡口群测年样品(1356)的代表性锆石 CL 图像(按照年龄由小到大排列)以及测点位置和序号
Fig.4 Zircon CL images and dating position and sample 1356 from Xinghuadukou Group in 393-highland of northwest Shihuiyao (the images arranged according to ages from younger to older)

石进行测试分析。分析结果(表1)显示所有测点Th/U值介于0.08~1.80,除9个测点严重偏离谐和曲线,地质意义不详外,其余51个测点均位于谐和线上或其附近。这些点年龄介于308~2443 Ma,显示出如下分组特征(图5):第1组包含4个测点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于401~427 Ma,其加权平均年龄为(416.6±9.4) Ma,MSWD=0.96;第2组包含5个测点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于442~448 Ma,其加权平均年龄为(446.0±3.7) Ma,MSWD=0.41;第3组由23个测点组成, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于473~517 Ma,其加权平均年龄为(491.9±2.7) Ma,MSWD=0.91;第4组年龄测点有7个, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于638.66~714.47 Ma,其中5个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为(682.0±7.3) Ma,MSWD=1;第5组年龄测点有3个, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄范围介于756.5~818.4 Ma;第6组年龄测点有5个, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄范围介于896.4~932.7 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为(921±17)Ma,MSWD=2.6;第7组年龄测点有2个, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄范围介于1704.3~1751.4 Ma;另有2个锆石分别获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(307.9±16.8) Ma和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄(2443±34) Ma的谐和年龄。

4.2.2 样品 3126

该样品锆石均为自形晶,长柱状,少量为短柱状,粒径在100~200 μm,长宽比1.5~3。具有清晰、致密的韵律环带结构(图6)。对其锆石进行了20个点测试分析,数据见表2,其Th/U比值介于0.31~0.64,平均值为0.46,具有岩浆成因锆石的特点。测年结果显示,16个点谐和度高,分布集中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为(304.5±3.1) Ma (MSWD=1.8)(图7),笔者认为该年龄代表二长花岗岩的侵位年龄。另有1个点锆石同位素年龄谐和度较高, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为(407.8±6.7) Ma,笔者认为为岩浆侵入过程捕获锆石的年龄。

5 讨 论

5.1 二云石英片岩的原岩形成时代

为了查明原岩最大的沉积年龄和物源区主要岩浆作用时间,本次工作选择区内兴华渡口群中分布相对较多的副变质岩二云石英片岩作为测年对象。二云石英片岩的原岩为泥岩或泥质粉砂岩,其锆石为碎屑锆石,其组成可以反映物源区物质组成

和限定最大沉积年龄。通过锆石形态学和CL图像分析,本次工作发现所获得锆石普遍具有核幔结构,核部锆石中大部分具有清晰、致密的振荡环带,反映岩浆成因锆石的特征,少量具有变质锆石特点,而边部锆石则在CL图中普遍呈灰暗色增生边,薄厚不均匀,这些特征反映出原岩可能主要由火成岩或其风化产物提供物质来源,而变质岩相对较少,同时说明锆石经后期变质作用改造的程度较弱,多是在原锆石基础上发生重结晶或增生。

从年龄分布特点来看,51个可靠年龄点分布从308 Ma至2443 Ma,跨度较大,其中7个年龄谱中以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄473~517 Ma段分布最多,峰值年龄为492 Ma左右,这说明虽然二云石英片岩原岩物源区较为复杂,但早奥陶世—中晚寒武世岩浆岩可能是其主要物源区。从区域地质资料和前人工作成果来看,472.85~516.66 Ma这一阶段与早古生代兴安地块与额尔古纳地块拼合、碰撞引发的构造岩浆事件相对应,该期岩浆岩包括区域广泛分布的早中奥陶世多宝山组(O_{1-2d})火山岩、多宝山—争光地区出露的花岗质侵入岩(葛文春等,2007a;黄永卫等,2009;Wu et al., 2011;余宏全等,2012;向安平等,2012;孙巍,2014;宋国学等,2015)、呼玛—塔河地区出露的早古生代花岗岩—辉长岩等(葛文春等,2005,2007b;隋振民等,2006;Wu et al., 2011)。对于第1、2年龄组碎屑锆石年龄,也有对应的地质体或报道,如第一组401~427 Ma,在扎兰屯附近的石英云母岩、嘎拉山林场落马湖群铁帽山组的二云石英片岩和塔尔气地区额尔古纳河组的糜棱质绢云绿泥石英片岩中也有该阶段岩浆成因碎屑锆石(杨现力,2007;孙巍,2014),另外在额尔古纳北部管护站的闪长岩和二长花岗岩也形成于这一阶段(Wu et al., 2011),第2组442~448 Ma则与扎兰屯—阿荣旗一带早古生代晚期岩浆岩形成时间一致(杨现力,2007;Wu et al., 2011)。而(308±17) Ma的年龄则与大兴安岭地区晚古生代由于兴安地块与松嫩地块拼合碰撞造山引发的强烈构造—岩浆作用时间一致(Wu et al., 2011;赵芝,2011;余宏全等,2012;赵院冬等,2013,2015)。

对二云石英片岩中碎屑锆石的研究表明,其原岩物源来源较广泛,不仅有元古宙岩浆岩和变质岩系,还有大量的早古生代岩浆岩,而且以早古生代

表1 黑河北部兴华渡口群二云石英片岩碎屑锆石LA-ICP-MS 锆石U-Pb年代学测试结果
Table 1 LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb dating results of two-mica-quartz schist from Xinghuadukou Group in northern Heihe

测点号	含量/ 10^{-6}				同位素比值				表面年龄/Ma						
	Pb	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
1356-01	13	52	163	0.32	0.0601	0.0045	0.6753	0.0474	0.0826	0.0015	161.1	523.9	28.7	511.4	9.2
1356-02	42	151	371	0.41	0.0654	0.0035	0.9886	0.0439	0.1102	0.0019	80.6	698.0	22.4	673.7	11.3
1356-04	36	289	441	0.66	0.0575	0.0025	0.6220	0.0261	0.0788	0.0009	98.1	491.1	16.3	489.2	5.5
1356-05	45	723	480	1.51	0.0617	0.0017	0.6708	0.0182	0.0790	0.0006	54.6	521.2	11.1	490.0	3.8
1356-06	18	182	199	0.92	0.0627	0.0046	0.6907	0.0517	0.0802	0.0016	158.2	533.2	31.1	497.2	9.4
1356-07	41	382	469	0.82	0.0601	0.0021	0.6537	0.0167	0.0791	0.0021	74.1	510.8	10.3	490.5	12.3
1356-08	36	258	442	0.58	0.0621	0.0035	0.6578	0.0360	0.0771	0.0013	120.4	513.2	22.1	479.1	7.5
1356-09	41	183	537	0.34	0.0594	0.0042	0.6287	0.0394	0.0772	0.0018	155.5	495.3	24.6	479.3	10.7
1356-10	62	624	735	0.85	0.0588	0.0038	0.6138	0.0336	0.0761	0.0020	142.6	486.0	21.1	472.9	11.9
1356-11	16	215	170	1.26	0.0623	0.0070	0.7028	0.0732	0.0834	0.0025	240.7	540.5	43.7	516.7	14.8
1356-12	93	100	628	0.16	0.0723	0.0012	1.5457	0.0257	0.1551	0.0012	33.3	948.8	10.3	929.5	6.5
1356-14	43	416	326	1.28	0.0683	0.0053	1.0505	0.0922	0.1110	0.0024	163.0	729.1	45.7	678.5	14.0
1356-15	60	313	506	0.62	0.0678	0.0019	1.0460	0.0275	0.1122	0.0011	57.4	726.9	13.7	685.2	6.3
1356-16	29	217	344	0.63	0.0601	0.0017	0.6596	0.0174	0.0801	0.0007	61.1	514.4	10.7	496.8	4.0
1356-17	34	246	282	0.87	0.0658	0.0031	0.9913	0.0471	0.1094	0.0016	100.0	699.4	24.0	669.4	9.1
1356-18	16	149	183	0.81	0.0578	0.0024	0.6264	0.0267	0.0789	0.0009	88.0	493.9	16.7	489.7	5.7
1356-20	32	60	291	0.21	0.0646	0.0020	1.0036	0.0303	0.1129	0.0012	66.7	705.6	15.4	689.4	6.8
1356-24	88	199	842	0.24	0.0684	0.0026	1.1113	0.0471	0.1172	0.0015	80.7	758.8	22.7	714.5	8.5
1356-26	71	656	1010	0.65	0.0558	0.0011	0.5546	0.0112	0.0719	0.0006	16.7	448.0	7.3	447.9	3.3
1356-27	21	126	304	0.41	0.0596	0.0093	0.5872	0.0957	0.0711	0.0010	342.6	469.1	61.3	442.7	6.2
1356-29	7	81	102	0.80	0.0559	0.0068	0.5305	0.0686	0.0685	0.0028	274.0	432.2	45.6	427.0	16.8
1356-30	6	47	121	0.39	0.0555	0.0109	0.3612	0.0754	0.0489	0.0027	385.1	313.1	56.3	307.9	16.8
1356-31	7	47	115	0.41	0.0582	0.0070	0.5191	0.0678	0.0641	0.0018	266.6	424.5	45.3	400.7	11.0
1356-32	53	52	466	0.11	0.0659	0.0030	1.1347	0.0538	0.1245	0.0030	805.6	770.0	25.6	756.5	16.9
1356-33	191	1008	1408	0.72	0.0719	0.0019	1.3431	0.0328	0.1354	0.0024	983.3	864.6	14.2	818.4	13.7
1356-34	21	119	129	0.92	0.0686	0.0025	1.4186	0.0535	0.1492	0.0017	887.0	896.8	22.5	896.4	9.5

续表1

测点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma							
	Pb	^{232}Th		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ		
1356-35	40	766	1.80	0.0585	0.0021	0.5788	0.0204	0.0719	0.0007	550.0	75.0	463.7	13.1	447.6	4.1
1356-36	30	343	0.86	0.0591	0.0085	0.5348	0.0678	0.0666	0.0021	572.3	310.9	435.0	44.9	415.9	12.5
1356-38	91	213	1.30	0.1588	0.0033	9.7939	0.1860	0.4467	0.0041	2442.9	34.1	2415.6	17.5	2380.4	18.5
1356-39	37	303	0.60	0.0567	0.0021	0.5622	0.0197	0.0718	0.0008	479.7	84.3	453.0	12.8	447.2	5.0
1356-40	24	242	0.94	0.0585	0.0022	0.6720	0.0242	0.0833	0.0009	550.0	81.5	521.9	14.7	515.8	5.2
1356-41	20	118	0.88	0.0674	0.0028	1.2360	0.0504	0.1338	0.0016	850.0	119.4	817.1	22.9	809.3	9.3
1356-42	36	174	0.38	0.0606	0.0018	0.6656	0.0188	0.0799	0.0008	633.4	63.0	518.1	11.5	495.7	4.6
1356-43	41	365	0.75	0.0580	0.0024	0.6267	0.0248	0.0786	0.0009	527.8	90.7	494.0	15.5	487.7	5.5
1356-44	43	144	0.54	0.0782	0.0026	1.6698	0.0489	0.1557	0.0016	1153.7	64.8	997.1	18.6	932.7	9.2
1356-45	35	247	0.57	0.0573	0.0028	0.6270	0.0302	0.0794	0.0011	505.6	109.3	494.2	18.9	492.3	6.4
1356-46	24	258	0.98	0.0615	0.0047	0.6678	0.0514	0.0788	0.0021	657.4	164.8	519.4	31.3	489.2	12.6
1356-47	21	171	0.68	0.0610	0.0049	0.6710	0.0582	0.0796	0.0019	638.9	174.1	521.3	35.4	494.0	11.3
1356-48	72	263	0.28	0.0585	0.0014	0.6411	0.0153	0.0794	0.0008	550.0	50.0	503.0	9.5	492.7	4.9
1356-49	35	186	0.38	0.0587	0.0016	0.5731	0.0159	0.0710	0.0007	553.7	61.1	460.0	10.3	442.2	4.2
1356-50	22	161	1.39	0.0700	0.0045	1.4571	0.0961	0.1519	0.0029	927.8	133.3	912.8	39.7	911.7	16.5
1356-51	47	159	0.26	0.0590	0.0030	0.6421	0.0367	0.0788	0.0018	564.9	111.1	503.6	22.7	489.1	10.5
1356-52	121	301	0.39	0.0719	0.0012	1.5162	0.0250	0.1534	0.0013	983.3	34.4	937.0	10.1	919.9	7.5
1356-53	74	327	0.34	0.0584	0.0026	0.6293	0.0296	0.0782	0.0025	542.6	98.1	495.7	18.5	485.5	15.1
1356-54	66	58	0.08	0.0619	0.0012	0.8856	0.0187	0.1041	0.0014	670.1	40.7	644.0	10.1	638.7	8.2
1356-55	17	144	0.60	0.0577	0.0029	0.5334	0.0271	0.0674	0.0010	516.7	83.3	434.1	18.0	420.5	6.3
1356-56	33	177	0.44	0.0575	0.0017	0.6285	0.0176	0.0797	0.0007	509.3	64.8	495.2	11.0	494.6	4.2
1356-57	42	57	0.43	0.1080	0.0021	4.4947	0.0979	0.3026	0.0038	1765.7	36.1	1730.0	18.1	1704.3	19.0
1356-58	100	112	0.37	0.1119	0.0022	4.8130	0.0954	0.3122	0.0023	1831.5	35.7	1787.2	16.7	1751.4	11.2
1356-59	29	203	0.58	0.0581	0.0026	0.6269	0.0268	0.0787	0.0011	531.5	98.1	494.2	16.8	488.3	6.5
1356-60	23	179	0.67	0.0586	0.0072	0.6226	0.0620	0.0788	0.0022	550.0	268.5	491.5	38.8	489.1	13.0

表2 黑河北部明智山糜棱岩化二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS 锆石U-Pb年代学测试结果
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb results of the mylonitized adamellite in Mingzhi Mountain of northern Heihe

测点号	含量/ 10^{-6}			Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
3126-1	22	258	451	0.57	0.0541	0.0021	0.3666	0.0137	0.0494	0.0005	372.3	87.0	317.1	10.2	311.0	3.1
3126-2	16	177	323	0.55	0.0535	0.0058	0.3514	0.0378	0.0477	0.0014	350.1	252.8	305.8	28.4	300.3	8.5
3126-3	23	273	474	0.58	0.0548	0.0019	0.3691	0.0132	0.0490	0.0005	405.6	79.6	319.0	9.8	308.1	3.2
3126-4	22	194	458	0.42	0.0532	0.0035	0.3624	0.0223	0.0498	0.0009	344.5	145.4	314.0	16.6	313.4	5.6
3126-6	30	278	659	0.42	0.0544	0.0032	0.3587	0.0218	0.0477	0.0008	387.1	136.1	311.3	16.3	300.3	5.0
3126-7	47	380	998	0.38	0.0531	0.0036	0.3586	0.0229	0.0490	0.0012	344.5	155.5	311.2	17.1	308.6	7.5
3126-8	33	333	714	0.47	0.0556	0.0018	0.3682	0.0128	0.0480	0.0007	435.2	70.4	318.3	9.5	302.1	4.4
3126-9	63	603	1380	0.44	0.0554	0.0015	0.3628	0.0097	0.0475	0.0005	427.8	65.7	314.3	7.3	299.4	3.2
3126-10	45	569	1033	0.55	0.0522	0.0029	0.3317	0.0187	0.0460	0.0010	294.5	127.8	290.8	14.3	290.1	6.0
3126-11	29	295	639	0.46	0.0550	0.0053	0.3626	0.0310	0.0484	0.0011	413.0	212.0	314.2	23.1	304.4	6.9
3126-12	37	302	831	0.36	0.0542	0.0019	0.3579	0.0125	0.0479	0.0005	388.9	79.6	310.7	9.4	301.9	3.3
3126-14	14	169	301	0.56	0.0547	0.0028	0.3656	0.0178	0.0490	0.0006	398.2	114.8	316.4	13.2	308.2	3.9
3126-16	49	516	1103	0.47	0.0544	0.0026	0.3574	0.0175	0.0478	0.0009	387.1	113.9	310.3	13.1	300.9	5.3
3126-17	48	341	795	0.43	0.0566	0.0025	0.5081	0.0208	0.0653	0.0011	472.3	98.1	417.2	14.0	407.9	6.7
3126-18	88	627	2041	0.31	0.0554	0.0018	0.3628	0.0131	0.0474	0.0007	427.8	72.2	314.3	9.7	298.4	4.4
3126-19	50	452	1104	0.41	0.0535	0.0022	0.3662	0.0161	0.0496	0.0006	350.1	92.6	316.8	11.9	311.7	3.9
3126-20	21	215	485	0.44	0.0532	0.0021	0.3449	0.0139	0.0474	0.0008	339.0	88.9	300.9	10.5	298.8	5.1

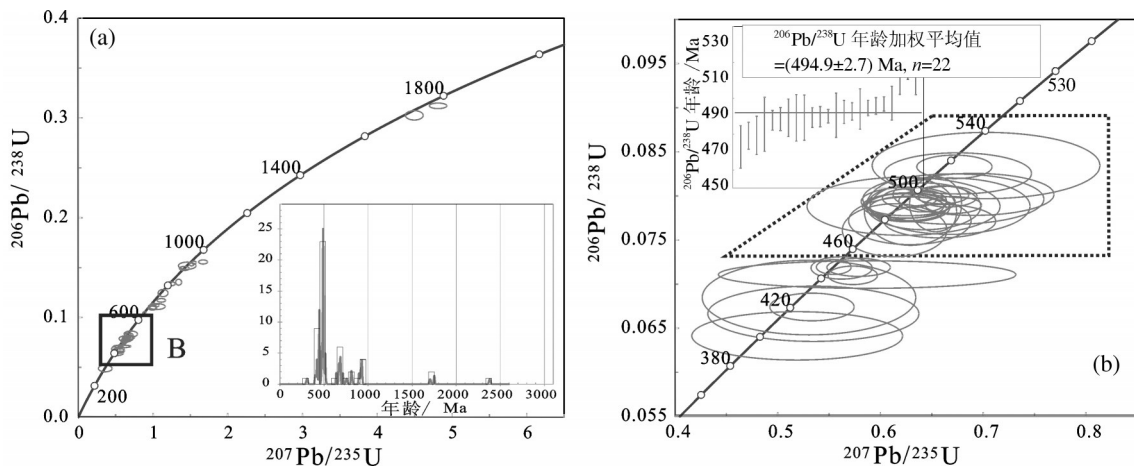


图5 石灰窑西北393高地兴华渡口群的二云石英片岩(1356)碎屑锆石U-Pb年龄谐和图和年龄累计频率统计图(a)及早古生代碎屑锆石U-Pb年龄谐和图和加权平均统计图(b)
Fig.5 Detrital zircon U-Pb concordia diagram and cumulative frequency histogram diagram of Xinghuadukou Group in 393-highland of northwest Shihuiyao(a)and Early Paleozoic detrital zircon U-Pb concordia diagram(b)

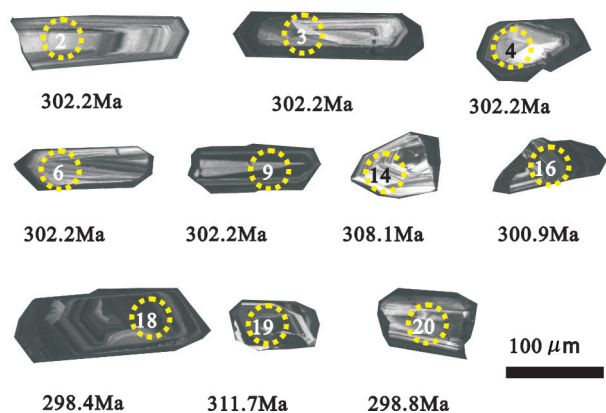


图6 明智山糜棱岩化二长花岗岩锆石锆石 CL 图像
Fig.6 Zircon CL images for mylonitized adamellite in Mingzhi Mountain

岩浆岩为主,因此其原岩形成时代不应是前寒武纪,而是早古生代。孙巍(2014)对落马湖群建群剖面的工作同样表明落马湖群嘎啦山组非前寒武纪变质岩,所获得碎屑锆石年龄谱系特征与本次工作基本一致,因此黑河北部地区现有的前寒武纪变质岩系应重新厘定。根据碎屑锆石测年特征,其最小峰值年龄多代表原岩最大沉积年龄,本次获得的最小年龄组的加权平均年龄为 (416.6 ± 9.4) Ma,这可能是二云石英片岩原岩的沉积时代的上限。对于本次测年获得的最小年龄 308 Ma,虽然其锆石 CL 图像和 Th/U 比值等具有岩浆锆石特征,但由于与晚古生代区域强烈构造热事件时间一致,且是孤证,因此本次工作认为其可能是“兴华渡口群”原岩碎屑锆石受区域构造岩浆作用而发生铅丢失所致。

所以黑河北部石灰窑—明智山一带的“兴华渡口群”中副变质岩原岩最大沉积年龄应晚于 416.6 Ma,其形成时间可以初步限定于早泥盆世,而变质作用发生于晚古生代或之后。

5.2 元古宙碎屑锆石的存在意义

虽然本次工作表明黑河北部“兴华渡口群”并非形成于前寒武纪的变质基底,但是二云石英片岩中大量的元古宙碎屑锆石反映出区域上存在前寒武纪岩浆作用或变质作用。现有研究和区域地质工作表明,本次二云石英片岩中各阶段元古宙碎屑锆石年龄在区域上均有响应,如第 4 组 639~714 Ma 与漠河地区变质杂岩中发现的岩浆锆石年龄一致(Zhou et al., 2011; 周建波等, 2011); 第 5 组 756~818 Ma 则与额尔古纳地块莫尔道嘎—太平川—八间房一带的混合岩化正长花岗岩(余宏全等, 2012)和碧水—奇乾的花岗岩(Wu et al., 2011)形成时间一致,韩家园子兴华渡口群中也有该期捕获锆石的报道(苗来成等, 2007); 第 6 组 896~933 Ma 与额尔古纳地块晋宁期岩浆和变质事件时间一致(武广, 2005; Wu et al., 2011); 第 7 组 1704~1751 Ma 则与在韩家园子黑云二长花岗片麻岩岩浆结晶年龄(孙立新等, 2013)一致。2443 Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄反映古元古代岩浆事件,这在韩家园子兴华渡口群、嘎拉山落马湖群、依克特新开岭群(苗来成等, 2007; 孙巍, 2014)等变质岩系中均有报道。这些元古宙地质构造热事件反映额尔古纳地块和兴安地块上存在前寒武纪变质基底,而且经历了复杂的、多期次、多阶段的构造演化。但是如何识别和确认这些地质体

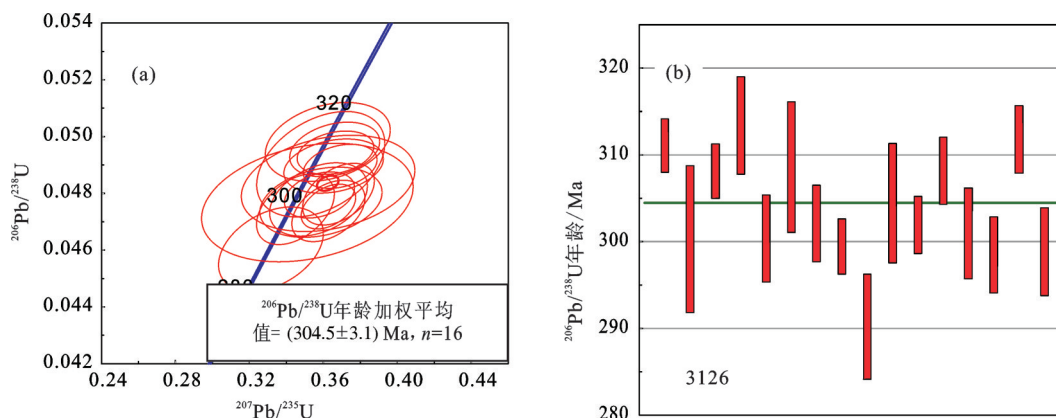


图7 明智山糜棱岩化二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谱和图(a)和加权平均统计图(b)
Fig.7 Zircon U-Pb concordia diagram(a) and weighted average statistical graph (b) for mylonitized adamellite in Mingzhi Mountain

需要认真研究,其现存形式是什么,完整的还是碎片化的?可否成为独立单元?……都是要面对的问题。因此今后研究中不能以偏概全,既不能全面否定,也不能不正视问题而盲目扩大。正如孙立新等(2013)所述:“兴华渡口群实际上涵盖了不同时代、不同岩石组合、不同变质程度的地质体,既有变质表壳岩,也包含变质变形的侵入体,笼统地将不同地区具有变形变质外貌的变质岩系划归‘兴华渡口群’,必然会得出不同的年龄数据,产生不同的认识”,要“系统地调查研究,查明不同地区兴华渡口群的岩石组成,甄别不同时代、不同变质程度的表壳岩和变质深成岩,将其解体。”

5.3 明智山糜棱岩化二长花岗岩年龄意义

1:5万区调工作^①中将明智山一带发育强烈片麻理的花岗质岩石定义为兴华渡口群下段的混合岩。本次工作表明,该混合岩为受韧性剪切构造影响的糜棱岩化二长花岗岩,锆石U-Pb测年显示其原岩形成于(304.5±3.1)Ma(MSWD=1.8),为晚石炭世的岩浆岩。笔者对393高地、宽河—脑丸一带的“兴华渡口群”或“落马湖群”变质岩的测年工作获得相同的年龄和认识(赵院冬等,2015)。这一系列年龄结果进一步说明本区原“兴华渡口群”等变质岩系应该解体,其中发生韧性变形、具有明显糜棱结构的花岗质岩石很可能为形成于晚石炭世—早二叠世的花岗岩。近年来区调工作从黑河地区西南部嫩江—新开岭一带新开岭群中识别出大量的发生糜棱岩化的石炭纪岩浆岩。因此黑河北部所谓“兴华渡口群”,应该是由早古生代的碎屑沉积岩(或变质岩)和晚古生代的岩浆岩经后期构造作用和岩浆作用,特别是动力变质作用形成的构造杂岩体。

另外现有研究表明,包括明智山糜棱岩化二长花岗岩在内的、形成于300 Ma左右的花岗质岩浆岩,构成了大兴安岭东侧由北至呼玛十二站、南至扎兰屯—兴安等地晚石炭世—早二叠世I型和A₂型岩浆岩带(隋振民等,2006;张彦龙等,2010;Wu et al., 2011;赵芝,2011;曲晖等,2011;赵焕利等,2011;余宏全等,2012;赵院冬等,2013,2015),岩石组合、岩石地球化学等特征反映形成环境为同碰撞造山和造山后伸展环境,标志着松嫩地块与兴安地块完成拼合碰撞拼合,形成联合地块(赵院冬等,2013,2015)。

6 结 论

通过对黑河北部石灰窑—明智山一带的元古宙兴华渡口群中的二云石英片岩和混合岩开展锆石U-Pb年代学研究,本次工作形成以下几点认识:

(1)原兴华渡口群中二云石英片岩原岩沉积年龄应晚于416 Ma,可能形成于晚古生代,在307 Ma遭受岩浆侵入或发生变质作用。

(2)二云石英片岩碎屑锆石年龄谱系特征反映原岩物源来源较为复杂,以中晚寒武世—早奥陶世岩浆岩为主,大量元古代碎屑锆石证明区域上存在有前寒武纪地质体,且经历复杂的、多阶段构造运动。

(3)原兴华渡口群“混合岩”为发生动力变质的糜棱岩化二长花岗岩,形成于晚石炭世晚期,是兴安地块与松嫩地块晚古生代拼合碰撞的产物。

注释

①韩彦东,于翔权. 2010. 黑龙江省黑河市新立屯、一脑丸、大新屯1:5万区域地质调查报告[R]. 哈尔滨:黑龙江省地质调查总队齐齐哈尔分院. 09.

②王浩德,王仪杰. 1994. 桦皮窑幅、任家地营子幅、白石砬子幅1:5万区域地质调查报告[R]. 哈尔滨:黑龙江省地质矿产局.

References

- Biao Shanghu, Zheng Weizheng, Zhou Xingfu. 2012. Zircon U-Pb age of the North Da Hinggan Mts., NE China and its constraint to attribute of the Ergun Block[J]. *Acta Geological Sinica*, 86(8): 1262-1272 (in Chinese with English abstract).
- Chen Man, Liu Zhijie, Xu Lunxian, Liu Hongli. 2004. Gold prospecting in Da Xing'anling geosynclinal folded system, China[J]. *Gold Geology*, 10: 7-13 (in Chinese with English abstract).
- Feng Jianxing. 2006. Ore matter source for the Guliku hardrock gold deposit in Daxing'an Ling, Heilongjiang[J]. *Mineral Resources and Geology*, 20(1):54-61(in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, Abdel Rahman. 2005. The ages of the Tahe granite in Northern Daxinganling and its implication to the geotectonics of Ergun terrane[J]. *Chinese Science Bulletin*, 50(12):1239-1247 (in Chinese).
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, Zhang Jiheng. 2007a. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an- Mongolian Orogenic Belt: mineralization ages and their geodynamic implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(20):2407-2417(in Chinese).
- Ge Wenchun, Sui Zhenmin, Wu Fuyuan, Zhang Jiheng, Xu Xuechun,

- Cheng Ruiyu. 2007b. Zircon U–Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts, northeastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 423–440 (in Chinese with English abstract).
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 22–36 (in Chinese with English abstract).
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 2009. In situ U–Pb zircon dating using laser ablation–multion counting–ICP–MS[J]. *Mineral Deposits*, (4):481–492 (in Chinese with English abstract).
- Huang Yongwei, Liu Yang, Wang Xicheng, Wang Lin, Liu Jinying, Yang Jiquan, Wang Baoquan, Xu Xiumei. 2009. Petrological features and tectonic significance of the Ordovician in Duobaoshan ore district, northern Heilongjiang[J]. *Chinese Journal of Geology*, 44(1):245–256 (in Chinese with English abstract).
- Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources. 1996. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 43–45 (in Chinese with English abstract).
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Zhang Fuqin, Liu Dunyi, Jian Ping, Shi Guanghai, Tao Hua, Shi Yuruo. 2003. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing–Kele complex in the northwestern Lesser Xing'an Range, and its geological implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49: 2201–2209 (in Chinese).
- Miao Laicheng, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, Fan Weiming, Shi Yuruo, Xie Hangqiang. 2007. Zircon SHRIMP U–Pb ages of the “Xinghuadukou Group” in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the “Zhanlantun Group” in Inner Mongolia, Great Xing'an Range[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(5): 591–601 (in Chinese).
- Qu Hui, Li Chenglu, Zhao Zhonghai, Wang Zhuo, Zhang Jianfeng. 2011. Zircon U–Pb ages and geochemical characteristics of the granites in Duobaoshan area, Northeast Da Hinggan Mountains[J]. *Geology in China*, 38(2):292–300 (in Chinese with English abstract).
- She Hongquan, Li Jinwen, Xiang Anping, Guan Jidong, Yang Yuncheng, Zhang Dequan, Tan Gang, Zhangbin. 2012. U–Pb ages of the zircons from primary rocks in middle–northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2):571–594 (in Chinese with English abstract).
- Song Guoxue, Qing Kezhang, Wang le, Guo Jihai, Li Zhenzhen, Tong Kuangyin, Zou Xinyu, Li Guangming. 2015. Type, zircon U–Pb age and Paleo–volcano edifice of Zhengguang gold deposit in Duobaoshan orefield in Heilongjiang Province, NE–China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(8):2402–2416 (in Chinese with English abstract).
- Sui Zhenmin, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Xu Xuechun, Wang Haiqing. 2006. U–Pb chronology in zircon from Harabaqi granitic pluton in northern Daxinganling area and its origin[J]. *Global Geology*, 23(3):229–236 (in Chinese with English abstract).
- Sun Guangrui, Li Yangchun, Zhang Yu. 2002. The basement tectonics of Ergun Massif[J]. *Geology and Resources*, 11(3):129–139 (in Chinese with English abstract).
- Sun Lixin, Ren Bangfang, Zhao Fengqing, Ji Shiping, Geng Jiangzhen. 2013. Late Paleoproterozoic magmatic records in the Erguna massif: evidences from the zircon U–Pb dating of granitic gneisses[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(2/3):341–352 (in Chinese with English abstract).
- Sun Wei. 2014. Zircon Geochronology Constraints on the Age and Nature of “Precambrian Metamorphic rocks” and Lower Paleozoic in the Xing'an Block of Northeast China[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant Matthew, Wilde Simon, Jahn Bor–ming. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1):1–30.
- Wu Guang. 2005. *Metallogenic Setting and Metallogenesis of Nonferrous–precious Metals in Northern Da Hinggan Mountain*[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Xiang Anping, Yang Yuncheng, Li Guitao, She Hongquan, Guan Jidong, Li Jinwen, Guo Zhijun. 2012. Diagenetic and metallogenic ages of Duobaoshan porphyry Cu–Mo deposit in Heilongjiang Province[J]. *Mineral Deposits*, 31(6):1237–1248 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xianli. 2007. *Geological Characteristics and Study of Detrital Zircon Geochronology of Epimetamorphic Rock Series in Zhalantun area*[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yanlong, Ge Wenchun, Gao Yan, Chen Jingsheng, Zhao Lei. 2010. Zircon U–Pb ages and Hf isotopic of granites in Longzhen area and their geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1059–1073 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Huanli, Liu Xuguang, Liu Haiyang, Zhu Chunyan. 2011. Petrological evidence of Paleozoic marine basin closure in Duobaoshan of Heilongjiang[J]. *Global Geology*, 30(1):18–27 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuandong, Zhao Jun, Wang Kuiliang, Che Jiying, Wu Datian, Xu Fengming, Li Shichao. 2013. Characteristics of the Late Carboniferous post–orogenic Dayinhe intrusion in the northwest of the Xiao Hinggan Mountains and their geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 32(1):63–72 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuandong, Mo Xuanxue, Li Shichao, Che Jiying, Xu Fengming, Wu Datian, Zhang Qianfeng, Zhao Jun, Wang Kuiliang. 2015. Zircon U–Pb LA–ICP–MS dating, Petro–geochemical features of granitic mylonite in Northwestern Lesser Hinggan Mountains, and tectonic significance[J]. *Geological Review*, 61: 443–457 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhi. 2011. *Late Paleozoic Magmatism and Its Tectonic Significance in the Northern Great Xing'an Range, Northeastern China*[D]. Changchun: Jilin University.

- Zhou Jianbo, Wilde S A, Zhang Xingzhou, Ren Shoumai, Zheng Changqing. 2011. Early Paleozoic metamorphic rocks of the Erguna block in the Great Xing'an Range, NE China: Evidence for the timing of magmatic and metamorphic events and their tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 499(1/4):105–117.
- Zhou Jianbo, Zhang Xingzhou, Wilde A Simon, Zheng Changqing. 2011. Confirming of the Heilongjiang ~500 Ma Pan-African khondalite belt and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1235–1245 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianbo, Wang Bin, Zeng Weishun, Cao Jialin. 2014. Detrital zircon U-Pb dating of the Zhalantun metamorphic complex and its tectonic implications, Great Xing'an, NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*. 30(7): 1879–1888 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qun, Li Zhitong. 2001. The metamorphic rocks of Luomahu Group and its ore potentiality in Guliku gold field, Daxinganling Ridge[J]. *Geology and Resources*, 10(4):204–209(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 表尚虎, 郑卫政, 周兴福. 2012. 大兴安岭北部锆石 U-Pb 年龄对额尔古纳地块构造归属的制约[J]. *地质学报*, 86(8):1262–1272.
- 陈满, 刘智杰, 徐伦先, 刘洪利. 2004. 大兴安岭地槽褶皱系岩金找矿远景分析[J]. *黄金地质*, 10: 7–13.
- 冯健行. 2006. 黑龙江省大兴安岭古利库岩金矿床成矿物质来源分析[J]. *矿产与地质*, 20(1): 54–61.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, Abdel Rahman. 2005. 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[J]. *科学通报*, 50(12):1239–1247.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2007a. 兴安造山带东段斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义[J]. *科学通报*, 52(20): 2407–2417.
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 张吉衡, 徐学纯, 程瑞玉. 2007b. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. *岩石学报*, 23(02):423–440.
- 黑龙江省地矿局. 1993. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 22–36.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石原位 U-Pb 定年技术[J]. *矿床地质*, 28(4):481–492.
- 黄永卫, 刘扬, 王喜臣, 王琳, 刘金英, 杨继全, 王宝权, 徐秀梅. 2009. 黑龙江北部多宝山矿区奥陶系的岩石特征和构造意义[J]. *地质科学*, 44(1):245–256.
- 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 刘敦一, 简平, 施光海, 陶华, 石玉若. 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[J]. *科学通报*, 48: 2315–2323.
- 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 范蔚茗, 石玉若, 颜炳强. 2007. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. *科学通报*, 52: 591–602.
- 内蒙古自治区地矿局. 1996. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 43–45.
- 曲晖, 李成禄, 赵忠海, 王卓, 张俭峰. 2011. 大兴安岭东北部多宝山区花岗岩锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征[J]. *中国地质*, 38(2):292–300.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 关继东, 杨郎城, 张德全, 谭刚, 张斌. 2012. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. *岩石学报*, 28(2):571–594.
- 宋国学, 秦克章, 王乐, 郭继海, 李真真, 佟国胤, 邹心宇, 李光明. 2015. 黑龙江多宝山矿田争光金矿床类型、U-Pb 年代学及古火山机构[J]. *岩石学报*, 31(8):2402–2416.
- 隋振民, 葛文春, 吴福元, 徐学纯, 王清海. 2006. 大兴安岭东北部哈拉巴奇花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其成因[J]. *世界地质*, 23(3): 229–236.
- 孙广瑞, 李仰春, 张昱. 2002. 额尔古纳地块基底地质构造[J]. *地质与资源*, 11(3):129–139.
- 孙立新, 任邦方, 赵凤清, 冀世平, 耿建珍. 2013. 内蒙古额尔古纳地块古元古代末期的岩浆记录——来自花岗岩片麻岩的锆石 U-Pb 年龄证据[J]. *地质通报*, 32(2/3): 341–352.
- 孙巍. 2014. 兴安地块“前寒武纪变质岩系”——下古生界锆石年代学研究及其构造意义[D]. 长春: 吉林大学.
- 武广. 2005. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色-贵金属矿床成矿作用[D]. 长春: 吉林大学.
- 向安平, 杨郎城, 李贵涛, 余宏全, 关继东, 李进文, 郭志军. 2012. 黑龙江多宝山斑岩 Cu-Mo 矿床成矿时代研究[J]. *矿床地质*, 31(6):1237–1248.
- 杨现力. 2007. 扎兰屯浅变质岩系地质特征及碎屑锆石年代学研究[D]. 长春: 吉林大学.
- 张彦龙, 葛文春, 高妍, 陈井胜, 赵磊. 2010. 龙镇地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及地质意义[J]. *岩石学报*, 26(4):1059–1073.
- 赵焕利, 刘旭光, 刘海洋, 朱春燕. 2011. 黑龙江多宝山古生代海盆闭合的岩石学证据[J]. *世界地质*, 30(1):18–27.
- 赵院冬, 赵君, 王奎良, 车继英, 吴大天, 许峰明, 李士超. 2013. 小兴安岭西北部晚石炭世造山后达音河岩体的特征及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 32(1):63–72.
- 赵院冬, 莫宣学, 李士超, 车继英, 许峰明, 吴大天, 张乾峰, 赵君, 王奎良. 2015. 小兴安岭西北部花岗岩质糜棱岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及地质意义[J]. *地质论评*, 61: 443–457.
- 赵芝. 2011. 大兴安岭北部晚古生代岩浆作用及其构造意义[D]. 长春: 吉林大学.
- 周建波, 张兴洲, Wilde A Simon, 郑常青. 2011. 中国东北 ~500 Ma 泛非期孔兹岩带的确定及其意义[J]. *岩石学报*, 27: 1235–1245.
- 周建波, 王斌, 曾维顺, 曹嘉麟. 2014. 大兴安岭地区扎兰屯变质杂岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 30(07): 1879–1888.
- 朱群, 李之彤. 2001. 大兴安岭古利库金矿区落马湖群变质岩系及其含矿性[J]. *地质与资源*, 10(4):204–209.