

# 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\*

余宏全<sup>1</sup> 李进文<sup>1</sup> 向安平<sup>1</sup> 关继东<sup>2</sup> 杨郟城<sup>1</sup> 张德全<sup>1</sup> 谭刚<sup>1</sup> 张斌<sup>1</sup>

SHE HongQuan<sup>1</sup>, LI JinWen<sup>1</sup>, XIANG AnPing<sup>1</sup>, GUAN JiDong<sup>2</sup>, YANG YunCheng<sup>1</sup>, ZHANG DeQuan<sup>1</sup>, TAN Gang<sup>1</sup> and ZHANG Bin<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

2. 内蒙古自治区第六地质矿产勘查开发院, 海拉尔 021008

1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

1. The Sixth Institute of Geology and Mineral Resources Development, Inner Mongolia Autonomous Region, Hailaer 021008, China

2011-10-01 收稿, 2012-01-10 改回.

**She HQ, Li JW, Xiang AP, Guan JD, Zhang DQ, Yang YC, Tan G and Zhang B. 2012. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 571–594**

**Abstract** The age of single zircon is thought to be the recording of single tectonic, magmatic or metamorphism activity, the ages of a large amount of zircons got from different types of primary rocks should be able to indicate the geotectonic evolution history. The authors of the paper collected 2636 zircon ages determined by U-Pb dating from 123 samples in middle-northern Daxinganling, dated by authors or gathered from published data, the statistics on these data has shown that the zircon ages have several peak value ages of 840 ~ 780Ma, 530 ~ 440Ma, 330 ~ 280Ma, 240 ~ 190Ma, 180 ~ 160Ma and 150 ~ 120Ma, and three blank time space of >840Ma, 770 ~ 540Ma, 440 ~ 400Ma. The ages of different types zircons generated by magmatism, metamorphism, or that inherited from former rocks have similar statistics features. The peak value of zircon ages has a good accordance with the time that important tectonic event took place in middle-northern Daxinganling Mountains, such as, the formation of basement, microplate subduction and collision. The blank period of zircon ages is corresponded to that of ocean spread or passive continental margin event. It is concluded that a large amount of zircon ages determined by U-Pb dating method for primary rocks also can be applied to study the geotectonic evolution history, just like the zircon ages from rivers detrita. Study on the statistics on zircon ages, granite association and tectonics indicates a very complicated tectonic evolution history has been taken place in middle-northern Daxinganling Mountain, that is, the formation of basement in Plaeoprotozoic, growth of continental crust in Neoprotozoic, breakdown of plate in the end of Neoprotozoic, subduction, spreading, accretion and collision between miroplates in Paleozoic, continental collision in Early Mesozoic, postorogenic extension and collapse in Late Mesozoic related to the Mongolia – Okhotsk orogeny and continental marginal tectonic-magmatic event related to the subduction of West Pacific Ocean in Mesozoic. The study has also shown that the Mongol-Okhotsk Ocean has been closed in Late Triassic Period in Transbakal area. There is a large amount of granites, migmatites related to continental collision, and metaomorphitic complex, basin-range, continental bimodal volcanic rocks related to postorogenic collapse, occurred in middle-northern Daxinganling. It is suggesting that the geodynamic background for the polymetal mineralization in the area need to be reconsidered.

**Key words** Daxinganling; Zircon; Isotope dating; Granite; Geotectonic evolution; Continental collision

**摘要** 作者认为单个锆石的同位素年龄记录了所在区域单次构造、岩浆或变质事件活动的时间,不同来源的大量原岩单颗粒锆石的测年数据则可以反映研究区总体构造演化历史。本文对近年来在大兴安岭中北段自测和收集的123件原岩样品的2636个锆石U-Pb测年点的同位素年龄进行统计,结果显示研究区的锆石年龄数据总体上出现840~780Ma, 530~440Ma, 330~280Ma, 240~190Ma, 180~160Ma和150~120Ma等多个明显高峰值区间和>840Ma, 770~540Ma和440~400Ma三个相对数据较少的空白地段,且岩浆结晶锆石、变质锆石、继承性锆石等不同成因类型的锆石的年龄统计分布有良好的对应性。年龄数据的高峰值区间与该地区基底形成、陆壳生长、主要板块或微板块俯冲、碰撞、拼贴等主要构造事件时间吻合;而年龄

\* 本文受“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A10)和国家地质调查项目(1212011120992)联合资助。

第一作者简介: 余宏全,男,1965年生,博士,研究员,从事多金属矿成矿作用与找矿方向研究, E-mail: hongquanshe@sohu.com

空白区间则与主要的洋底扩张、被动陆缘时代相吻合。研究说明大量原岩锆石的测年数据与河流碎屑锆石同位素年代学一样,可以用于研究物源区的地壳生长和构造演化历史。综合大兴安岭中北段大量单颗粒锆石的同位素年代学、岩石组合和构造特征研究,说明该地区经历了古元古代基底形成、新元古代陆壳生长、新元古代末期板块裂解,古生代期间古陆块间的俯冲、拉张、拼贴碰撞,早中生代碰撞造山、晚中生代造山后伸展垮塌、大陆边缘弧后伸展等复杂的构造演化历史;同时表明蒙古-鄂霍茨克洋在早中生代时期(晚三叠世)即已碰撞造山,大兴安岭中北段及额尔古纳地区发育大量与碰撞有关的花岗岩、混合岩及碰撞后伸展垮塌有关的构造和岩石产物(盆岭构造、滑脱构造、变质核杂岩、陆相双峰式火山岩和多金属成矿等),这对于重新认识研究区中生代多金属成矿的地球动力学背景提供了新的依据。

**关键词** 大兴安岭; 锆石; U-Pb 同位素测年; 花岗岩; 构造演化; 陆陆碰撞

**中图法分类号** P597.3

本文所指的大兴安岭中北段包括传统上所称的大兴安岭构造带乌兰浩特以北地区及其西部相邻的额尔古纳地块(图1),该地区是我国东北地区重要的有色金属产地之一,

大型矿床有甲乌拉、查干布拉根、得尔布尔、额仁陶勒盖铅锌银多金属矿、乌奴格吐山和多宝山斑岩型铜钼矿床(赵一鸣等,1997; Zeng *et al.*, 2011)。文中所提到的额尔古纳地块

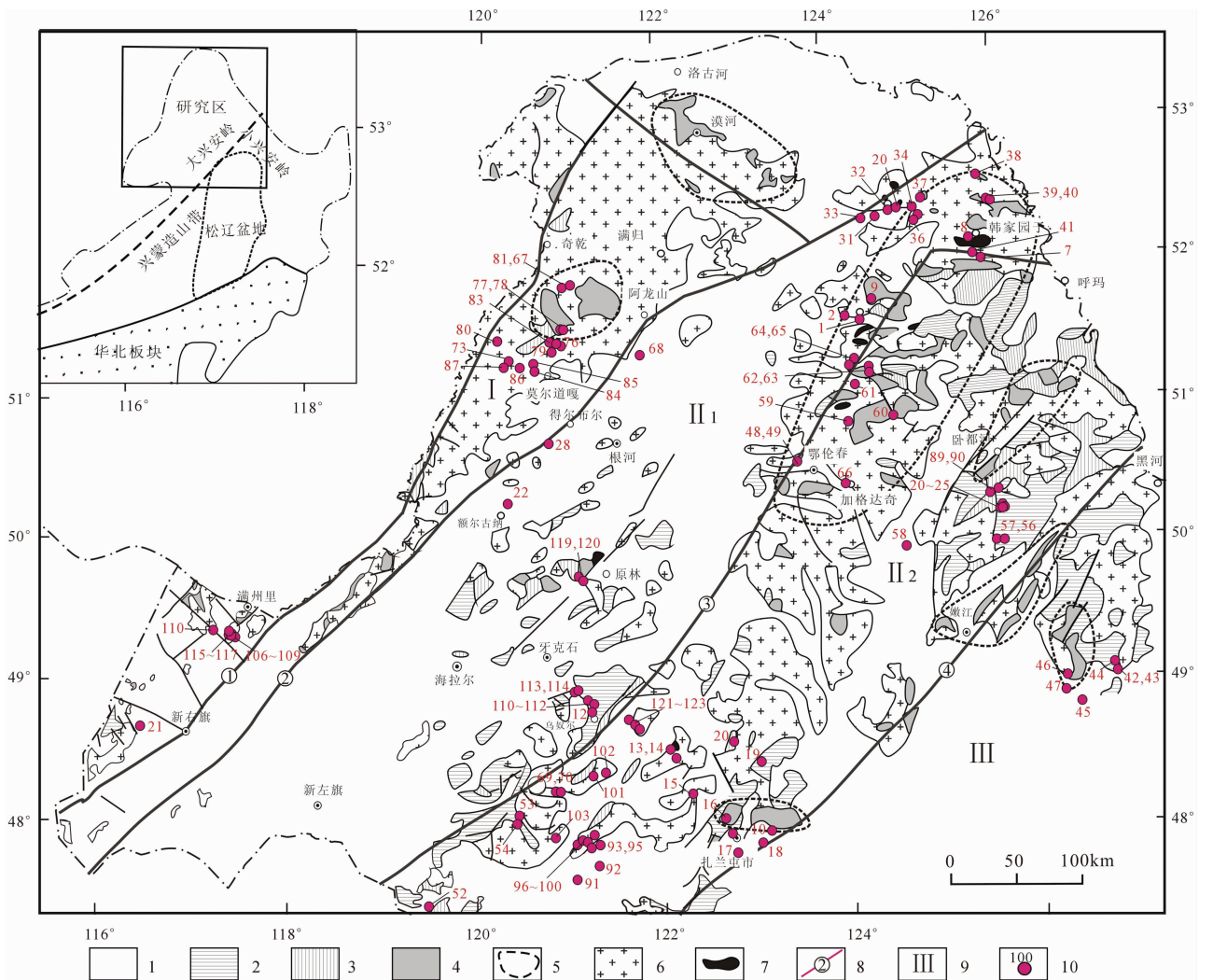


图1 大兴安岭中北段地质及 U-Pb 测年样品位置图(地质图底图据苗来成等,2007 修改)

1-中生界;2-上古生界;3-下古生界;4-主要前寒武纪地层;5-主要前寒武纪地层或变质杂岩体(时代未分)分布区域;6-花岗岩类;7-基性-超基性岩;8-主要分区断裂及编号;9-主要构造单元及编号;10-测年样品位置及顺序号(表1)。主要断裂:①-呼伦湖西断裂;②-德尔布干断裂;③-鄂伦春-头道桥断裂;④-嫩江-白城断裂。构造单元名称: I - 额尔古纳; II - 兴安地块; II<sub>1</sub> - 鄂伦春褶皱带; II<sub>2</sub> - 多宝山-伊尔斯褶皱带; III - 松嫩地块

Fig. 1 The geological map of middle-northern Daxinganlin and the location of samples for U-Pb dating (modified after Miao *et al.*, 2007)

主要指德尔布干断裂带以西地区,以东地区一般以兴安地块相称,该地块内部有头道桥-鄂伦春断裂相间隔,在二者拼贴之前,断裂以西本文将其称为鄂伦春褶皱带,东部称为伊尔斯-多宝山岛弧带(或褶皱带)(任纪舜等,1989)。在构造演化历史上研究区受到古生代古亚洲洋构造域和中-新生代蒙古-鄂霍茨克洋和太平洋构造域影响。大兴安岭中北段作为大兴安岭构造带的一个重要组成部分,其构造演化史与南段有很多相似之处,但也有显著差异,争议也较多,尤其是与蒙古-鄂霍茨克造山带的关系。

早期按照槽台学说观点(黄汲清等,1977;内蒙古自治区地质矿产局,1991),该地区作为兴蒙褶皱带的一个重要部分被认为是西伯利亚地台与华北地台之间的一个典型的多旋回地槽褶皱带,总体上经历了古元古代维地台(兴华渡口群)、新元古代(佳疙瘩群)、兴凯(额尔古纳河组)、加里东(多宝山组)、海西期(D+C 大明山组、莫尔根河组)等地槽旋回(总体上称为兴安地槽)、中生代盖层发育等多个阶段。依据板块构造观点,该地区经历大致演化过程为(李春昱等,1980,1984;Li, 2001,徐志刚,1997):早期(元古代)西伯利亚板块形成、罗丁尼亚(Rodinia)大陆的拼合,古生代西伯利亚东南大陆边缘的一系列微陆块之间的多期次裂解、俯冲、碰撞演化,形成加里东、海西期大陆边缘增生带;中生代受到蒙古-鄂霍茨克洋碰撞关闭和太平洋西缘板块俯冲作用的联合影响,形成陆缘构造岩浆岩带和陆相火山-沉积层。

## 1 原岩锆石 U-Pb 测年数据

对大兴安岭构造带构造演化认识差异的一个重要原因是研究区森林沼泽、草原荒漠覆盖严重,岩石露头少,岩石接触关系不清,加上以往同位素测年精度不一致,导致分歧比较大。如早期采用 K-Ar 法、Sm-Nd 等时线法、单颗粒锆石 U-Pb 蒸发法获得的额尔古纳地块及邻区的基底岩石、变质岩和花岗岩年龄的时代差异非常大,同位素年龄从 565Ma 至 1729Ma 不等,时代互相交叉,从而导致了该地区构造属性和演化历史的解释差异很大。

以往的同位素测年方法精度差的原因与测试矿物的封闭温度低、同位素体系不稳定、受后期热事件影响较大、所测定的锆石往往含有继承性锆石等诸多因素有关。近年来, $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 、Re-Os、SHRIMP 锆石 U-Pb、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 等精细同位素定年的精度和可靠性有了极大提高。尤其是锆石微区测年(锆石 SHRIMP U-Pb 法、TIMS、激光剥蚀等离子质谱 LA-ICP-MS)方法已经可以很好的克服和区分以往继承性锆石、碎屑锆石、包裹体、裂隙、重结晶作用、热液蚀变等对测年结果的影响,测定范围可以小至 5~10 $\mu\text{m}$ ,测定单颗粒锆石不同部位及不同成因锆石的生成时代,同时对锆石的稀土微量元素含量进行测定,从而确定其所经历的构造岩浆演化史(Compston *et al.*, 1992; Williams, 1998; Andersen, 2002; 钟玉芳等, 2006; 吴元保和郑永飞, 2004)。

为获得大兴安岭地区构造、岩浆、成矿作用的准确年代学数据,作者在承担该地区国家支撑计划研究项目过程中,对研究区重点矿区的岩矿石、区域上重要的侵入岩、含矿地层的火山岩、主要变质岩进行了系统的采样和单颗粒锆石微区 U-Pb 测年,主要方法为激光剥蚀等离子质谱测年(LA-ICP-MS),少数为离子探针测年(SHRIMP),获得了大量锆石年代学数据。为充分利用近年来积累的高精度测年结果资料,我们对锆石测年的数据结果进行了统计分析,讨论其与区域构造演化的关系。

我们认为单个岩石(矿石)的同位素测年结果不仅代表了岩矿石的形成(或蚀变)时代,同时也是区域构造(热)事件影响的结果,如果有足够多的同位素年代学资料,就可以采用统计学方法来测定研究区主要构造事件的高峰时间和时代范围。近年来,采用锆石 U-Pb 同位素测年方法确定单个岩石年龄时往往样品就需要测定 15~20 个甚至以上测点的年龄数据,最后给出的年龄为某组相对集中数据的加权平均值。我们认为即使是单个测点的年龄数据也是有地质意义的,汇集大量单个锆石的测年数据进行分析,可以较好的反映研究区主要构造(热)事件的高峰时代,而确定主要构造事件的时代对分析工作区的构造演化历史有重要意义。这是因为:(1)单个锆石的测年数据在数据精度保证的情况下,同样是构造事件的反应,而且它一般与加权平均年龄接近或相等;(2)锆石 U-Pb 同位素体系相对其他同位素体系具有更好的稳定性,封闭性好,封闭温度高,相对其他同位素测年体系受后期热事件影响小,可以更好地记录锆石初始形成时间;(3)除岩浆作用可以形成大量的结晶锆石外,变质作用、热接触变质、构造变形、热液蚀变等热事件均可以形成新的锆石,或者促进原来的锆石发生重结晶,围绕原来的锆石形成新的锆石外壳,新生锆石能反应最近的构造热事件时间;相应地,锆石年龄可以反映构造变形、岩浆作用、变质、热接触变质、热液成矿等多种构造热事件时间;(4)一次重要的构造变动事件(如板块俯冲、碰撞、大陆裂解)往往伴有多种强烈的地质作用(火山喷发、岩浆侵入、变质作用、热液蚀变、成矿等)同时或相继发生,因此重要的构造变动最强烈的时间应该是同位素年代集中的高峰时间;而在相对平静的构造时期(如被动陆缘,洋底扩张期),热事件强度低,新生锆石少,相应的同位素年代数据就少;(5)研究表明继承性锆石内部的 U-Pb 同位素体系同样也是比较稳定的,可以记录以往构造热事件时间(吴元保和郑永飞, 2004);单个样品继承性锆石虽然有时比较分散,但其锆石仍然是以前重要构造热事件记录的载体。沉积来源锆石反映了物源特征;同熔、重熔形成的岩浆岩(火山岩、侵入岩)的继承性锆石反映了源岩特征、地壳增生历史、基底性质等信息;变质岩的继承性锆石可以反映物源特征、变质作用历史等重要信息;多种类型、多个样品继承性或捕获锆石的年龄的集中分布记录了以往重要构造事件的时间。

根据上述分析,我们对近年来课题组进行的单颗粒锆石

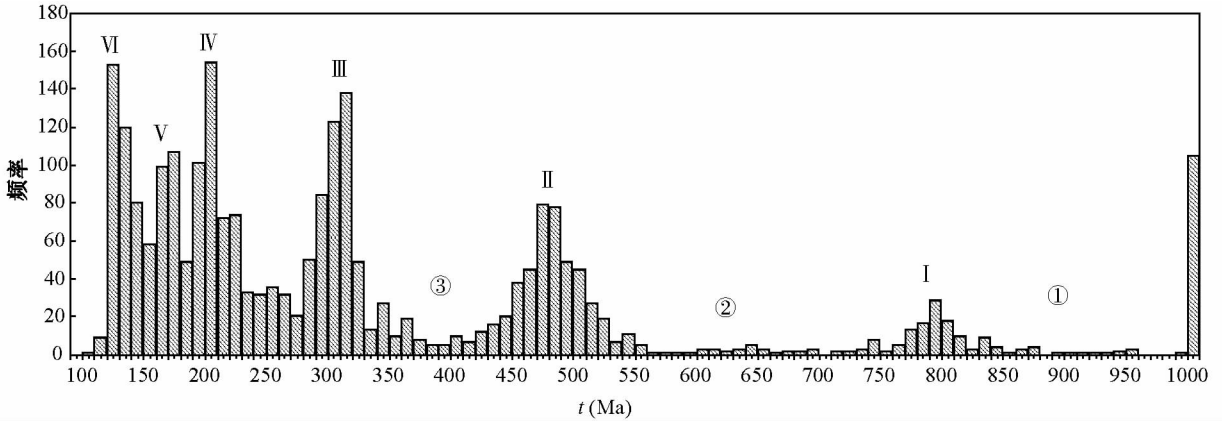


图2 大兴安岭中北段岩石单颗粒锆石 U-Pb 测年数据分布直方图  
以 10Ma 间隔统计

Fig. 2 Histogram for the zircon ages from primary cocks in middle-northern Daxinganling

U-Pb 测年数据进行汇总,并收集了部分他人公开发表的数据,共计 123 件样品,2636 个测试点数据,制作年龄分布直方图,其中自测 1961 个(删除了部分质量较差的数据后),收集 675 个(葛文春等,2005,2007;张彦龙等,2008,2010;武广等,2005;武广,2006;苗来成等,2003,2007;赵海滨等,2005,2007;吴福元等,1999)。Wu *et al.* (2011)新发表了东北地区大量花岗质岩石锆石 U-Pb 测年数据,但由于文章没有提供单个测点数据,未能包含在该数据表中。本文提供的锆石年龄数据主要采用激光剥蚀 LA-ICP-MS 方法,少数为离子探针 SHRIMP 测年,LA-ICP-MS 测年在中国地质科学院矿产资源研究所,中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,SHRIMP 测年在中国地质科学院离子探针中心完成。样品采集、处理方法、测试方法和数据处理过程、质量要求等参照文献(Williams,1998;Liu *et al.*, 2008; Ludwig, 2003; Wiedenbeck *et al.*, 1995)。锆石年龄样品的采样点位置参见图 1,为对比方便,一般数据统一采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄,大于 1000Ma 锆石的数据采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄值。样品岩性和主要样品的同位素加权平均值年龄参见表 1,由于篇幅所限,这里未能详细列出单个锆石测点资料。从锆石 U-Pb 测年数据分布直方图(图 2)可以看出,大兴安岭中北段锆石的同位素年龄分布形成几个非常显著的峰值区即 840 ~ 780Ma, 530 ~ 440Ma, 330 ~ 280Ma, 240 ~ 190Ma, 180 ~ 160Ma 和 150 ~ 120Ma(图 2 中的 I-VI),这些峰值年龄与该地区主要构造事件时间非常吻合;同时有 >820Ma, 770 ~ 540Ma 和 440 ~ 400Ma(图 2 中的①,②,③)三个相对数据较少的空白地段,与该地区主要被动陆缘(或洋底扩张)阶段对应(将在下面继续分析)。>1000Ma 年龄组是 3200 ~ 1000Ma 很长时间段各类样品继承性锆石、变质锆石和碎屑锆石的总计,实际分布并不集中(图 3d),代表了沉积来源地时代或基底形成时代。

为了反映不同类型岩石样品中锆石的同位素年代学特点,我们将锆石分为岩浆结晶锆石、继承性锆石、混合岩锆

石、变质锆石四类,对其年代学数据进行了分类统计。岩浆结晶锆石指侵入岩、火山岩中的结晶锆石,一般具有自形-半自形晶体,振荡环带发育,在 U-Pb 谱和曲线上,分布相对集中,可以代表岩浆岩侵位或喷发年龄。对于岩浆岩中偏离侵位或喷发年龄较大的数据一般作为继承性锆石处理。片麻杂岩中片麻状花岗岩的锆石在没有分组情况下,作为变质锆石处理。混合岩锆石本文主指莫尔道嘎混合岩化正长花岗岩和加格达奇北三十五公里组的均质混合岩,其时代分别集中于 810 ~ 790Ma 和 225 ~ 215Ma,而且几乎没有继承性锆石和后期变质锆石,为前期地壳物质深度变质产物,其特征类似介于岩浆结晶和变质锆石之间,制作分布直方图时,我们将其归并到变质结晶锆石一起。变质锆石主要指研究区兴华渡口群变质岩中锆石,岩性有变质基性火山岩、绢云绿泥片岩、大理岩、片麻岩等。其次,多宝山变质基性火山岩、泥盆系大明山组变质基性火山岩、元古代变质超基性岩石也含有较多变质锆石。继承性锆石主要指岩浆岩中的继承性锆石,少量为兴华渡口群中明显为碎屑成因年龄 >2000Ma 的碎屑锆石。比较特殊的是研究区 >1000Ma 锆石数据,该类型锆石主要来源于兴华渡口群变质岩,主要为碎屑锆石和部分变质锆石;少数为火山岩的继承性锆石。总体上 >1000Ma 数据较少,年龄分布分散。

不同类型锆石的 Pb, Th, U 含量特征见表 2,以岩浆结晶锆石的 Pb, Th, U 含量相对较高,变化区间大,其 Pb, Th, U 最高值分别达到  $9618 \times 10^{-6}$ ,  $9715 \times 10^{-6}$ ,  $9377 \times 10^{-6}$ , 平均值分别为  $114.6 \times 10^{-6}$ ,  $329.5 \times 10^{-6}$ ,  $445.3 \times 10^{-6}$ 。其次为混合岩锆石,继承性锆石和变质锆石含量最低,尤其是继承性锆石,Pb, Th, U 平均值分别为  $34.73 \times 10^{-6}$ ,  $307.3 \times 10^{-6}$ ,  $427.3 \times 10^{-6}$ ,其中 Pb 含量降低最为明显,说明继承性锆石在受到后期热事件影响时,热事件可将部分铅排挤出锆石晶格,造成 U-Pb 年龄降低(Hoskin and Black, 2000; 吴元保和郑永飞,2004)。但不同类型锆石的 Th/U 比值变化不大,岩浆结晶锆石、混合岩锆石、继承性锆石和变质锆石的

表 1 大兴安岭中北段主要原岩锆石测年结果简表

Table 1 The zircon ages for primary rocks in middle-northern Daixinganling

序号	样品号	位置	岩性	测年结果	样品坐标位置	测年方法	资料来源
1	0075-7	新林镇林海北	中细粒花岗闪长岩	132 ± 3Ma	N51° 36' 22.7", E124°19'26.2"	LA	张彦龙等,2008
2	0076-9	新林镇前进林场	中细粒黑云母花岗闪长岩	131 ± 3Ma	N51° 37' 40.1", E124°9'22.9"	LA	张彦龙等,2008
3	07TPC-1	太平川斑岩铜矿	花岗闪长斑岩	202.4 ± 5.7Ma, MSWD = 0.9		LA	陈志广,2010
4	07TPC-1	太平川铜矿	花岗斑岩	203.6 ± 4.6Ma		LA	陈志广,2010
5	09BGD-5	八大关铜矿	花岗闪长玢岩	229.6 ± 2.0Ma		LA	陈志广,2010
6	09WS-43	乌奴格吐山铜矿	流纹斑岩	187 ± 11Ma, MSWD = 0.48		LA	陈志广,2010
7	2002HJY-20	韩家园子	兴华渡口群中基性火成岩	510 ~ 2646Ma, 两组集中数据 816 ± 27Ma, MSWD = 1.7, n = 21, 547 ± 46Ma, MSWD = 0.13, n = 6	N51° 58' 49.7", E125°44'48.1"	SH	苗来成等, 2007
8	2002HJY-5	韩家园子	兴华渡口群含十字石榴二云片岩, 原岩应为泥砂质沉积岩	502 ~ 2824Ma, 2800, 2500, 2200, 1800, 1400, 1100 和 600Ma 附近多个峰值, 整理后有 1835 ± 25Ma, n = 20, MSWD = 6.8	N52° 07' 44.1", E125°37'18.4"	SH	苗来成等, 2007
9	2002XL-39	韩家园子	兴华渡口群中基性火成岩类	两组 506 ± 10Ma, MSWD = 2.3, n = 15; 395 ± 24Ma, MSWD = 5.4, n = 6	N51° 45' 7.7", E124°27'54.0"	SH	苗来成等, 2007
10	2002ZLT-9	扎兰屯	兴华渡口群绿泥片岩, 原岩为基性火山岩或凝灰岩	371 ~ 1540Ma, 两组集中数据 543 ± 5Ma, MSWD = 2.3, n = 7; 506 ± 3Ma, MSWD = 1.2, n = 6	N48° 03' 51.3", E123°07'15.9"	SH	苗来成等, 2007
11	BDG5-6	八大关斑岩铜矿	石英闪长玢岩	229.6 ± 2.0Ma, MSWD = 1.7		SH	陈志广,2010
12	YLKD-17	乌奴尔	泥盆系大明山组细碧角斑岩	327.6 ± 8.1, n = 8, MSWD = 2.0, 152.0 ± 5.1Ma, n = 6, MSWD = 1.3; 128 ± 11Ma, n = 5, MSWD = 7.0	N48° 55' 45.4", E121°11'50.8"	SH	本文
13	BKT-02	博克图-扎兰屯	花岗岩	147.25 ± 0.54Ma, n = 12, MSWD = 1.08	N48° 37' 21.1", E122°05'01.2"	LA	本文
14	BKT-05	博克图-扎兰屯	花岗岩	130.65 ± 0.38Ma n = 18, MSWD = 0.34	N48° 34' 51.9", E122°07'07.7"	LA	本文
15	BKT-06	博克图-扎兰屯	花岗斑岩	141.28 ± 0.50Ma, n = 16, MSWD = 0.49	N48° 20' 30.3", E122°17'53.6"	LA	本文
16	BKT-09	博克图-扎兰屯	中细粒花岗岩	347.4 ± 1.1Ma, n = 18, MSWD = 0.008	N48° 02' 31.8", E122°41'26.3"	LA	本文
17	BKT-11	博克图-扎兰屯	正长斑岩	129.37 ± 0.73Ma, n = 17, MSWD = 1.9	N47° 54' 53.7", E122°44'33.4"	LA	本文
18	BKT-13	博克图-扎兰屯	粗粒花岗岩	295.4 ± 1.0Ma, n = 13, MSWD = 0.012	N47° 59' 01.3", E123°00'38.3"	LA	本文

续表 1

Continued Table 1

序号	样品号	位置	岩性	测年结果	样品坐标位置	测年方法	资料来源
19	BKT-15	博克图-扎兰屯	花岗岩	152.92 ± 0.57Ma, n = 15, MSWD = 0.27	N48° 33' 23.8", E123°02'17.0"	LA	本文
20	BKT-17	博克图-扎兰屯	二长花岗岩	229.94 ± 0.72Ma, n = 17, MSWD = 0.028	N48° 41' 48.0", E122°44'19.7"	LA	本文
21	CGB-33	查干银矿	花岗岩	259.8 ± 2.2Ma, n = 12, MSWD = 1.11	N48° 44' 53.1", E116°20'32.7"	LA	本文
22	D650-1	东君铅锌矿	塔木兰沟组玄武安山岩	166.6 ± 3.7Ma, n = 7, MSWD = 1.4	N50° 22' 10.1", E120°18'44.2"	LA	本文
23	DBS-01	多宝山铜矿	黑云母正长花岗岩	483.9 ± 4.5Ma, n = 18, MSWD = 1.3	N50° 14' 47.6", E125°47'08.2"	LA	本文
24	DBS-18	多宝山铜矿	花岗闪长岩	478.1 ± 4.1Ma, n = 22, MSWD = 1.3	N50° 14' 38.6", E125°47'09.7"	LA	本文
25	DBS-19	多宝山铜矿	花岗闪长斑岩	474.8 ± 4.7Ma, n = 22, MSWD = 1.5	N50° 14' 30.8", E125°47'26.4"	LA	本文
26	DBS-51	多宝山铜矿采坑	蚀变含矿花岗岩	474.4 ± 1.3Ma, n = 19	N50° 14' 53.4", E125°47'34.5"	LA	本文
27	DBS-53	多宝山铜矿采坑	多宝山组蚀变安山岩	460.5 ± 3.2Ma, n = 3, 126.56 ± 0.86Ma, n = 15, MSWD = 0.47	N50° 14' 55.2", E125°47'32.7"	LA	本文
28	EDH-01	二道河铅锌矿	塔木兰沟组火山岩	164.2 ± 2.3Ma, n = 12, MSWD = 1.4	N50° 47' 27.5", E120°45'37.2"	LA	本文
29	GW03035	塔河县东公路	细粒角闪辉长岩	490 ± 3Ma, MSWD = 0.80, n = 20, 531 ± 19Ma, MSWD = 3.0, n = 4	N52° 21' 42", E124°47'48"	LA	葛文春等,2005
30	GW03036	塔河县东公路	中粗粒正长花岗岩	518 ± 7Ma, MSWD = 0.31; n = 4, 480 ± 4Ma, MSWD = 1.9, n = 20	N52° 21' 42", E124°47'48"	LA	葛文春等,2005
31	GW03070	塔河县城北	似斑状正长花岗岩	494 ± 9Ma, MSWD = 15, n = 30	N52° 21' 16", E124°42'16"	LA	葛文春等,2005
32	GW03085	塔林西公路旁	黑云母二长花岗岩	485 ± 3Ma, MSWD = 0.72, n = 17	N52° 18' 35.3", E124°32'43.4"	LA	葛文春等,2005
33	GW03090	塔河西	角闪碱长花岗岩	493 ± 5Ma, MSWD = 3.3, n = 17	N52° 18' 09", E124°24'06"	LA	葛文春等,2005
34	GW05037	查拉班河岩体	斑状黑云母二长花岗岩	481 ± 3Ma, MSWD = 1.6, n = 21	N52° 21' 11.2", E125°00'24.5"	LA	葛文春等, 2007a
35	GW05039	查拉班河岩体	片麻状中粒黑云母花岗闪长岩	475 ± 2Ma, MSWD = 1.7, n = 19	N52° 16' 46.7", E125°01'29.9"	LA	葛文春等, 2007a
36	GW05044	查拉班河岩体	角闪黑云母花岗闪长岩	465 ± 7Ma, MSWD = 1.17, n = 12	N52° 18' 34.8", E125°02'27"	LA	葛文春等, 2007a
37	GW05049	十八站	斑状二长花岗岩	499 ± 1Ma, MSWD = 0.98, n = 22	N52° 25' 2.4", E125°05'52.7"	LA	葛文春等, 2007a
38	GW05053	哈拉巴奇	中粒二长花岗岩	500 ± 2Ma, MSWD = 1.20, n = 13	N52° 33' 12.1", E125°45'15"	LA	隋振民等,2006
39	GW05056	白银纳岩体	斑状黑云母花岗闪长岩	460 ± 1Ma, MSWD = 0.55, n = 22	N52° 23' 28.4", E125°52'32.8"	LA	葛文春等, 2007a
40	GW05058	哈拉巴奇	黑云母花岗闪长岩	461 ± 1Ma, MSWD = 1.0, n = 21	N52° 24' 2019", E125°49'52.5"	LA	隋振民等, 2006

续表 1

Continued Table 1

序号	样品号	位置	岩性	测年结果	样品坐标位置	测年方法	资料来源
41	GW05104	韩家园子南部	中细粒角闪花岗岩 长岩	500 ± 1Ma, MSWD = 0.75, n = 21	N52° 00' 42.1", E125° 39' 24.3"	LA	葛文春等, 2007 等
42	GW07005	龙镇	花岗闪长岩	319 ± 3Ma, MSWD = 1.3	N49° 02' 46.9", E126° 54' 12.6"	LA	张彦龙等, 2010
43	GW07007	龙镇	黑云母二长花岗岩	316 ± 4Ma, MSWD = 4.2	N49° 02' 50.5", E126° 54' 14.7"	LA	张彦龙等, 2010
44	GW07009	龙镇	斑状二长花岗岩	315 ± 4Ma, MSWD = 0.43	N49° 05' 50.3", E126° 54' 38.1"	LA	张彦龙等, 2010
45	GW07012	龙镇莫拉布山	二长花岗岩	169 ± 3Ma, MSWD = 0.55	N48° 50' 47.5", E126° 31' 4.3"	LA	张彦龙等, 2010
46	GW07017	朝阳林场	二长花岗岩	187 ± 6Ma, MSWD = 2.1	N49° 01' 58.3", E126° 22' 23.3"	LA	张彦龙等, 2010
47	GW07019	朝阳林场	二长花岗岩	171 ± 4Ma, MSWD = 3.4	N48° 56' 22", E126° 21' 44.3"	LA	张彦龙等, 2010
48	GX-01	嘎仙镍钴矿	正长斑岩脉	265.6 ± 0.81Ma, n = 5; 124.6 ± 4.0Ma, n = 5	N50° 37.922', E123° 32.816'	LA	本文
49	GX-11	嘎仙镍钴矿	辉石岩	628.4 ± 9.7Ma, n = 9, MSWD = 0.88; 变质锆石 120 ~ 447Ma	N50° 37.922', E123° 32.816'	SH	本文
50	H22B	洛古河	细粒花岗闪长岩	1888 ± 85Ma, n = 9, MSWD = 1.7, 450 ± 15Ma, n = 7, MSWD = 0.77		SH	武广, 2006
51	H28B	洛古河	兴华渡口群	892 ± 20Ma, n = 7, MSWD = 1.15 及 碎屑 锆石		SH	武广, 2006
52	H28B	罕达盖	中粗粒黑云母花岗岩	363.5 ± 4.3Ma = 21, MSWD = 1.9	N47° 27' 16.0", E119° 27' 34.0"	LA	本文
53	HHEJ-01	红花尔基二道桥	黑云母花岗岩	276.9 ± 2.5Ma, n = 18, MSWD = 9.3	N48° 10.971', E120° 26.228'	LA	本文
54	HHEJ-09	红花尔基二道桥	似斑状花岗岩	288.5 ± 2.2Ma, n = 15, MSWD = 2.8	N48° 07' 25", E120° 24' 25"	LA	本文
55	JGD-01	卧都河大桥西	糜棱岩化黑云母花 岗岩	319.2 ± 1.0Ma, n = 15, MSWD = 0.71	N50° 32.157', E125° 47.271'	LA	本文
56	JGD-03	卧都河大桥西	不等粒花岗岩	171.1 ± 0.8Ma, n = 11, MSWD = 0.26	N50° 32.157', E125° 47.271'	LA	本文
57	JGD-05	卧都河公路	黑云母花岗岩	136.5 ± 0.5Ma, n = 18, MSWD = 1.13	N50° 33.884', E125° 41.784'	LA	本文
58	JGD-14	小洋气东	片麻状斜长角闪岩	127.9 ± 2.6Ma, n = 11, MSWD = 1.6	N50° 54.146', E124° 43.558'	LA	本文
59	JGD-15	小洋气东	片麻状混合岩	223.4 ± 0.6Ma, n = 16, MSWD = 0.31	N50° 53' 36.2", E124° 42' 8.4"	LA	本文
60	JGD-17	小洋气东	细粒片麻状花岗岩	220.0 ± 0.9Ma, n = 12, MSWD = 0.4	N50° 54.074', E124° 39.48.6'	LA	本文
61	JGD-23	劲松桥东	细粒花岗岩	288.3 ± 1.7Ma, n = 7, MSWD = 0.03; 168.0 ± 0.5Ma, n = 8, MSWD = 0.22	N51° 08' 02.6", E124° 13' 59.8"	LA	本文

续表 1

Continued Table 1

序号	样品号	位置	岩性	测年结果	样品坐标位置	测年方法	资料来源
62	JGD-29	劲松桥东	片理化细粒花岗岩	209.3 ± 1.0Ma, n = 10, MSWD = 0.16	N51° 12.085', E124°23.266'	LA	本文
63	JGD-30	新天镇北	片麻状花岗岩	187.7 ± 2.5Ma, n = 9, MSWD = 2.7	N51° 13.528', E124°23.266'	LA	本文
64	JGD-33	新天镇北	中粗粒黑云母花岗岩	127.7 ± 0.3Ma, n = 18, MSWD = 4.1	N51° 17.585', E124°14.030'	LA	本文
65	JGD-34	新天镇北	黑云母正长花岗岩	127.7 ± 0.9Ma, n = 17, MSWD = 0.14	N51° 15.703', E124°11.948'	LA	本文
66	JGD-35	加格达奇城西	黑云母二长花岗岩	127.9 ± 0.6Ma, n = 18, MSWD = 0.22	N50° 25.956', E124°05.278'	LA	本文
67	JLG-01	结鲁公河	石英斑岩	138.8 ± 1.1Ma, n = 18, MSWD = 1.6	N51° 53' 46.4", E121°00'06.9"	LA	本文
68	KDJ-01	卡达吉岭	黑云母花岗岩闪长岩	200.8 ± 2.0Ma, n = 23	N51° 24' 21.2", E121°48'56.6"	LA	本文
69	LZS-01	梨子山铁矿	花岗闪长岩	161.3 ± 2.5Ma, n = 13, MSWD = 0.84	N48.36463°, E120.8330°	SH	本文
70	LZS-01	梨子山铁矿	花岗闪长岩	162.0 ± 0.5Ma, n = 19, MSWD = 0.76	N48.36463°, E120.8330°	LA	本文
71	ML14-2	洛古河	二长花岗岩	504 ± 8Ma, MSWD = 0.52, n = 12	洛古河	SH	武广等, 2005
72	ML7-1	洛古河	洛古河石英闪长岩	517 ± 9Ma, MSWD = 0.23, n = 10	洛古河	SH	武广等, 2005
73	Mor-01	室伟镇东	黑云母二长花岗岩	201.1 ± 3.2Ma, MSWD = 2.8	N51° 21' 11", E120°18'28"	LA	本文
74	Mor-02	莫尔道嘎镇西 25km	巨斑状二长花岗岩, 无片麻理	457.9 ± 8.3Ma, MSWD = 2.3; 202.6 ± 1.9Ma, MSWD = 1.5	N51° 18' 46", E120°26'09"	LA	本文
75	Mor-03	莫尔道嘎镇北 20km	风水山杂岩体内黑云角闪斜长片麻岩	200.4 ± 1.8Ma	N51° 28' 16", E120°53'18"	LA	本文
76	Mor-04	莫尔道嘎镇北 20km	风水山杂岩体内白云母花岗岩	200.0 ± 4.9Ma, MSWD = 2.6; 449.3 ± 10.2Ma, MSWD = 0.46	N51° 28' 16", E120°53'18"	LA	本文
77	Mor-05	莫尔道嘎佳疙瘩村东 1000m	兴华渡口群大理岩, 原岩为泥灰岩	194.7 ± 7.2Ma, MSWD = 1.8, 439 ± 23Ma, MSWD = 3.1, 824 ± 27Ma, MSWD = 0.95	N51° 35' 10", E120°54'33"	LA	本文
78	Mor-06	莫尔道嘎佳疙瘩村东 1000m	兴华渡口群片麻状大理岩	439.7 ± 8.5Ma, MSWD = 1.6	N51° 35' 12", E120°54'30"	LA	本文
79	Mor-07	莫尔道嘎镇北 15km	风水山杂岩体内片麻状花岗岩	459.8 ± 8.5Ma, MSWD = 0.33	N51° 25' 38", E120°46'57"	LA	本文
80	Mor-11	太平川林场西 4500m	混合岩化正长花岗岩	793.4 ± 8.2Ma, MSWD = 0.94	N51° 30' 45", E120°10'41"	LA	本文
81	Mor-14	莫尔道嘎北白鹿岛公路边	二长花岗岩	258.8 ± 7.8Ma, MSWD = 0.27	N51° 52' 36", E120°55'09"	LA	本文
82	Mor-17	莫尔道嘎北	风水山杂岩体片麻状花岗岩	243.9 ± 4.2Ma, n = 22, MSWD = 1.9	N51° 28' 33", E120°50'00"	LA	本文



续表 1

Continued Table 1

序号	样品号	位置	岩性	测年结果	样品坐标位置	测年方法	资料来源
83	Mor-18	莫尔道嘎北	二长花岗岩	203.1 ± 2.5Ma, MSWD = 1.05	N51° 29' 22", E120°48'36"	LA	本文
84	Mor-19	莫尔道嘎西	二长花岗岩	205.4 ± 2.6Ma, MSWD = 1.3	N51° 17' 37", E120°36'14"	LA	本文
85	Mor-20	莫尔道嘎西 40km	(原元古代)闪长岩	244.1 ± 4.4Ma, n = 24, MSWD = 2.2	N51° 19' 49", E120°34'49"	LA	本文
86	Mor-21	莫尔道嘎西,拉莫公路 174km,公路边	巨斑状正长花岗岩(同 Mor-2,重复采样)	205.3 ± 2.4Ma, MSWD = 0.7; 444.3 ± 8.6Ma, MSWD = 3.89	N51° 18' 47", E120°25'43"	LA	本文
87	Mor-24	拉莫公路	片麻状正长花岗岩	797.4 ± 8.2Ma	N51° 18' 39", E120°15'41"	LA	本文
88	R-1	额仁陶勒盖银矿	石英斑岩	151.2 ± 8.9Ma, n = 15, MSWD = 1.2		LA	陈志广,2010
89	SKG-58	三矿沟	多宝山组变基性火山岩	176.2 ± 2.2Ma, n = 10, MSWD = 1.1	N50° 20.854', E125°40.946'	SH	本文
90	SKG-61	三矿沟	黑云母花岗岩	177.46 ± 0.35Ma, n = 19, MSWD = 2.2	N50° 21.500', E125°43.228'	LA	本文
91	TED-04	塔尔气二道河铅锌矿	石英斑岩脉	126.7 ± 0.7Ma, n = 12, MSWD = 1.7	N47° 44' 29.2", E121°02'44.6"	LA	本文
92	TED-05	塔尔气南公路边	细粒正长花岗岩	321.9 ± 6.4Ma, n = 6, MSWD = 1.8; 164.2 ± 1.4Ma, n = 8, MSWD = 1.19	N47° 49' 56.0", E121°16'55.5"	LA	本文
93	TED-06	塔尔气东南	花岗岩	310.2 ± 1.8Ma, n = 18, MSWD = 1.3	N47° 58' 07", E121°13'44"	LA	本文
94	TED-07	塔尔气东南	正长花岗岩	313.5 ± 1.8Ma, n = 18, MSWD = 0.8	TED-06 南 200米	LA	本文
95	TED-10	塔尔气东南	石英闪长岩	309.1 ± 1.6Ma, n = 19, MSWD = 0.8	N47° 58' 54", E121°16'56"	LA	本文
96	TED-16	塔尔气西	正长花岗岩	313.3 ± 2.2Ma, n = 17, MSWD = 0.33	N48° 00' 27", E121°09'11"	LA	本文
97	TED-17	塔尔气西	花岗闪长岩	312.6 ± 1.3Ma, n = 20, MSWD = 0.85	N48° 00' 27", E121°09'11"	LA	本文
98	TED-19	塔尔气西	似斑状正长花岗岩	314.4 ± 0.60Ma, n = 20, MSWD = 0.19	N48° 01' 06", E121°06'56"	LA	本文
99	TED-22	塔尔气西	正长花岗岩	314.5 ± 1.4Ma, N = 7, MSWD = 0.21; 139.69 ± 0.78Ma, N = 7, MSWD = 0.02	N47° 59' 54", E121°04'39"	LA	本文
100	TED-26	塔尔气-绰尔公路	正长花岗岩	308.6 ± 1.1Ma, N = 17, MSWD = 0.098	N48° 03' 34", E121°12'48"	LA	本文
101	TED-30	绰尔-乌奴尔公路	黑云母花岗岩	144.82 ± 0.45Ma, n = 18, MSWD = 0.71	N48° 27' 28", E121°12'46"	LA	本文
102	TED-32	绰尔-乌奴尔公路	斜长花岗岩	129.2 ± 1.2Ma, n = 10, MSWD = 4.4	N48° 29' 25", E121°20'53"	LA	本文
103	TRQ-01	塔尔气铁矿	花岗闪长岩	307.8 ± 1.1Ma, MSWD = 0.98	N48.03425°, E120.801137°	LA	本文

续表 1

Continued Table 1

序号	样品号	位置	岩性	测年结果	样品坐标位置	测年方法	资料来源
104	TS-04	铜山	花岗闪长岩	167.2 ± 0.7Ma, MSWD = 0.61, n = 8; 476.5 ± 2.4Ma, n = 6, MSWD = 0.079	N50° 14' 53.4", E125°47'34.5"	LA	本文
105	TS-55	铜山铜矿露天采场	蚀变黑云母花岗岩	131.2 ± 0.4Ma, n = 14, MSWD = 1.01, 继承性锆石 313.6 ~ 317.7Ma	N50° 14' 53.4", E125°47'34.5"	LA	本文
106	WLS-07	乌奴格吐山铜矿	含矿二长花岗斑岩	204.2 ± 2.8Ma, n = 22, MSWD = 1.5	N49° 25' 39.8", E117°17'44.0"	LA	本文
107	WLS-10	乌奴格吐山铜矿	硅化-绢英岩化蚀变黑云母花岗岩	202.9 ± 2.8Ma, MSWD = 1.3	N49° 25' 33.7", E117°17'36.3"	LA	本文
108	WLS-12	乌奴格吐山铜矿	矿化斑岩	196.2 ± 4.1Ma	N49° 25' 30.3", E117°17'12.3"	LA	本文
109	WLS-15	乌奴格吐山铜矿	黑云母花岗岩	197.9 ± 2.7Ma, MSWD = 0.9	N49° 24' 20.9", E117°19'10.2"	LA	本文
110	WLS-16	乌奴格吐山铜矿	燕山期花岗岩	144.4 ± 2.8Ma, MSWD = 0.51	N49° 26' 21.4", E117°06'03.5"	LA	本文
111	WNE-15	乌奴尔河东	流纹岩	286.7 ± 1.2Ma, n = 4, MSWD = 0.03; 161.2 ± 2.1Ma, n = 11, MSWD = 8.4	N48° 57' 43.7", E121°13'21.4"	LA	本文
112	WNE-16	乌奴尔河东	花岗岩	150.54 ± 0.38Ma, MSWD = 0.45, n = 9	N48° 59' 19.4", E121°12'11.2"	LA	本文
113	WNE-18	免渡河林场	黑云母花岗岩	299.6 ± 1.2Ma, n = 13, MSWD = 0.3	N49° 02' 42.1", E121°03'13.7"	LA	本文
114	WNE-19	免渡河林场	细粒花岗岩	294.6 ± 0.53Ma, n = 19, MSWD = 2.5	N49° 02' 19.3", E121°02'26.1"	LA	本文
115	WS-10	乌奴格吐山铜矿	燕山期花岗岩	180.4 ± 0.9Ma, n = 11, MSWD = 1.08	N49° 25' 40.9", E117°17'39.1"	LA	本文
116	WS-12	乌奴格吐山铜矿	细粒花岗斑岩(	181.7 ± 3.1Ma, n = 11, MSWD = 0.52	N49° 25' 41.6", E117°17'40.0"	SH	本文
117	WS-12	乌奴格吐山铜矿	细粒花岗斑岩	180.5 ± 0.5Ma, n = 23, MSWD = 0.2	N49° 25' 41.6", E117°17'40.0"	LA	本文
118	WSZ476-22	乌奴格吐山铜矿	细粒花岗斑岩	178.1 ± 0.6Ma, n = 20, MSWD = 1.07	Z476-22 钻孔	LA	本文
119	Y268	原林钼矿	探槽石英斑岩脉	317.7 ± 6.5Ma, MSWD = 3.4	N49° 51' 07.0", E121°06'11.9"	LA	本文
120	YLB-11	原林钼矿	黑云母花岗岩	314.4 ± 5.5Ma, MSWD = 2.2	N49° 49' 50.0", E121°08'20.6"	LA	本文
121	YLKD-01	伊列克得	梅勒图组杏仁状玄武岩	126.3 ± 3.2Ma, n = 8, MSWD = 1.3	N48° 51' 05.3", E121°37'09.5"	LA	本文
122	YLKD-06	兴安岭西	花岗闪长岩	301.0 ± 1.2Ma, n = 10, MSWD = 0.51	N48° 49' 20.3", E121°39'27.4"	LA	本文
123	YLKD-12	兴安岭顶	二长花岗岩	298.9 ± 2.7Ma, n = 17, MSWD = 5.8	N48° 47' 48.5", E121°42'27.6"	LA	本文

注: 样品测试方法, LA 代表激光剥蚀锆石 U-Pb 测年, SH 表示 SHRIMP 离子探针锆石 U-Pb 测年

表 2 大兴安岭中北段主要岩石单颗粒锆石 Pb, U, Th 含量特征表

Table 2 Pb, U, Th content of the zircons from igneous, metamorphosed rocks, migmatites and inherited zircons in middle-northern Daxinganling

锆石类型	变化范围	Pb( $\times 10^{-6}$ )	Th( $\times 10^{-6}$ )	U( $\times 10^{-6}$ )	Th/U	主要岩石
岩浆结晶锆石 (1937 点)	最小值	0.10	0.55	7.92	0.03	代表侵入岩和火山岩最新侵入岩时代的结晶锆石
	最高值	9618	9715	9377	39.79	
	平均值	114.6	329.5	445.3	0.86	
混合岩及混合岩化 花岗岩(108 点)	最小值	1.32	0.38	1.29	0.02	主要为莫尔道嘎新元古代混合岩化正长花岗岩, 加格达奇北均质混合岩
	最高值	484.8	1419	5801	8.13	
	平均值	126.7	331.3	414.7	0.91	
继承性锆石 (212 点)	最小值	1.75	7.00	25.00	0.02	岩浆岩中继承性锆石, 变质火山-碎屑岩中碎屑锆石
	最高值	331.0	4425	4458	7.88	
	平均值	34.73	307.3	427.3	0.79	
变质锆石和蚀变锆石 (379 点)	最小值	1.10	13.15	20.28	0.05	兴华渡口群变质岩, 多宝山组、大明山组变质基性岩, 各时代片麻状花岗岩
	最高值	414.4	977.8	3650	1.27	
	平均值	86.83	312.4	655.1	0.53	

Th/U 比值平均为 0.87, 0.53, 0.69, 0.79, 岩浆结晶锆石 U/Th 比值仅比变质锆石略高, 说明单纯依据 Th/U 比值判断锆石成因准确性低。

四种类型锆石测年数据的分布直方图见图 3a-d。从图 3 可以看出, 岩浆结晶锆石分布特征与全部锆石测年数据分布特征(图 2)几乎完全一致, 同样出现六个高峰值和三个空白时段, 也说明锆石主要形成于岩浆结晶作用。继承性锆石出现 510~400Ma 和 310~240Ma 两个非常集中的时段, 而其他时代的继承性锆石年龄分布比较分散。继承性锆石高峰时段的峰值年龄分别为 320~280Ma 和 480~440Ma, 其峰值区间与岩浆结晶锆石的 II、III 个峰值区间有非常好的对应关系, 但高峰值似乎略偏低 10~20Ma 左右, 推测与继承性锆石中 Pb 含量相对较低有关, 后期热事件对前可能有一定程度影响, 造成继承性锆石丢失部分铅( $^{206}\text{Pb}$  或  $^{207}\text{Pb}$ ), 相应的年龄值降低。

变质锆石年龄主要分布出现 880~760Ma、560~400Ma、260~120Ma 三个比较明显的集中时段, 形成 800Ma, 500Ma, 240Ma, 160Ma 和 130Ma 五个峰值, 多数与岩浆结晶锆石对应。混合岩锆石分布局限于 830~780Ma 和 230~220Ma 两个时段, 与其它变质岩锆石一起形成了前面的五个峰值。其次, >1000Ma 锆石在 1900~1800Ma 出现一个相对较集中的峰值区域, 这些锆石主要来自于兴华渡口群的变质岩, 应代表了兴华渡口群最早的变质作用, 与大兴安岭基底形成有关。变质锆石的年龄分布显示研究区在古元古代、新元古代、古生代和中生代发生了四次强烈区域变质作用, 元古代的锆石年龄数据主要来自于兴华渡口群的变质岩(变质绿色片岩、二云母片岩、片麻状大理岩等), 代表基底的形成或裂解。古生代的变质锆石年龄与额尔古纳地块与兴安地块在古生代早期的碰撞拼合有关, 与萨拉伊尔运动时间吻合。在 260~160Ma 时段的变质锆石年龄数据, 主要来自于多宝山组、大明山组变质基性火山岩, 其次为片麻状岩, 且有多峰, 形成的原因一方面与中生代多期构造-岩浆作用有关,

一部分为热接触变质和蚀变作用的结果, 揭示中生代时发生了较强的区域变质作用, 基性火山岩更容易受到区域变质作用影响。总体上, 变质锆石的集中时段与岩浆结晶锆石时段对应, 说明变质作用往往与岩浆作用同时发生。

从以上分析可以看出, 不同类型锆石测年数据的高峰时段有良好的对应关系, 即使是继承性锆石也可与其它锆石的高峰时段特征吻合, 被动地记录了以往构造岩浆作用的活动高峰时间。尽管不同类型锆石年龄具体的高峰年龄有少许偏差, 但不影响峰值数量和总体分布特征, 说明锆石年龄的统计分布特征可以较好的反映区域构造事件及其演化历史。

## 2 与河流碎屑锆石测年数据对比

李明(2010)对东北地区的主要河流进行了系统的河流碎屑锆石采样, 进行大量 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年探讨东北地区地壳生长历史。其基本原理是通过系统的河流碎屑锆石采样, 均匀的收集到主要河流域内来自沉积岩和花岗岩(变质岩)基底的锆石, 通过来自河沙的大量碎屑锆石的年龄结构来讨论源区分布、研究沉积盆地与源区之间的相互联系或大陆地壳的生长(Rinoet *al.*, 2004; Allen *et al.*, 2006; Cawood *et al.*, 2003; 李明, 2010)。我们将李明所采集的来自额尔古纳和大兴安岭地区的五个样品的 NJ03(嫩江上游)、NJ01(嫩江中游末端)、HLEH01(海拉尔河下游)、HMH01(呼玛河中游)和 HLJ02(黑龙江上游)的测年数据(共 882 个测试点)进行重新整理, 制作年龄分布直方图, 与我们采取的原岩样品的锆石测年数据进行对比, 结果见图 4。从图 4 可以看出, 对于小于 600Ma 的锆石年龄数据, 原岩锆石与河流碎屑锆石的数据几乎可以完全对应(图 4), 二者均形成了 520~460Ma, 400~330Ma, 320~290Ma, 270~240Ma, 180~160Ma, 150~120Ma 的峰值区, 以及 440~400Ma 和 >530Ma 的低值区, 前者对应于构造岩浆活动高峰期(大陆裂解、弧陆

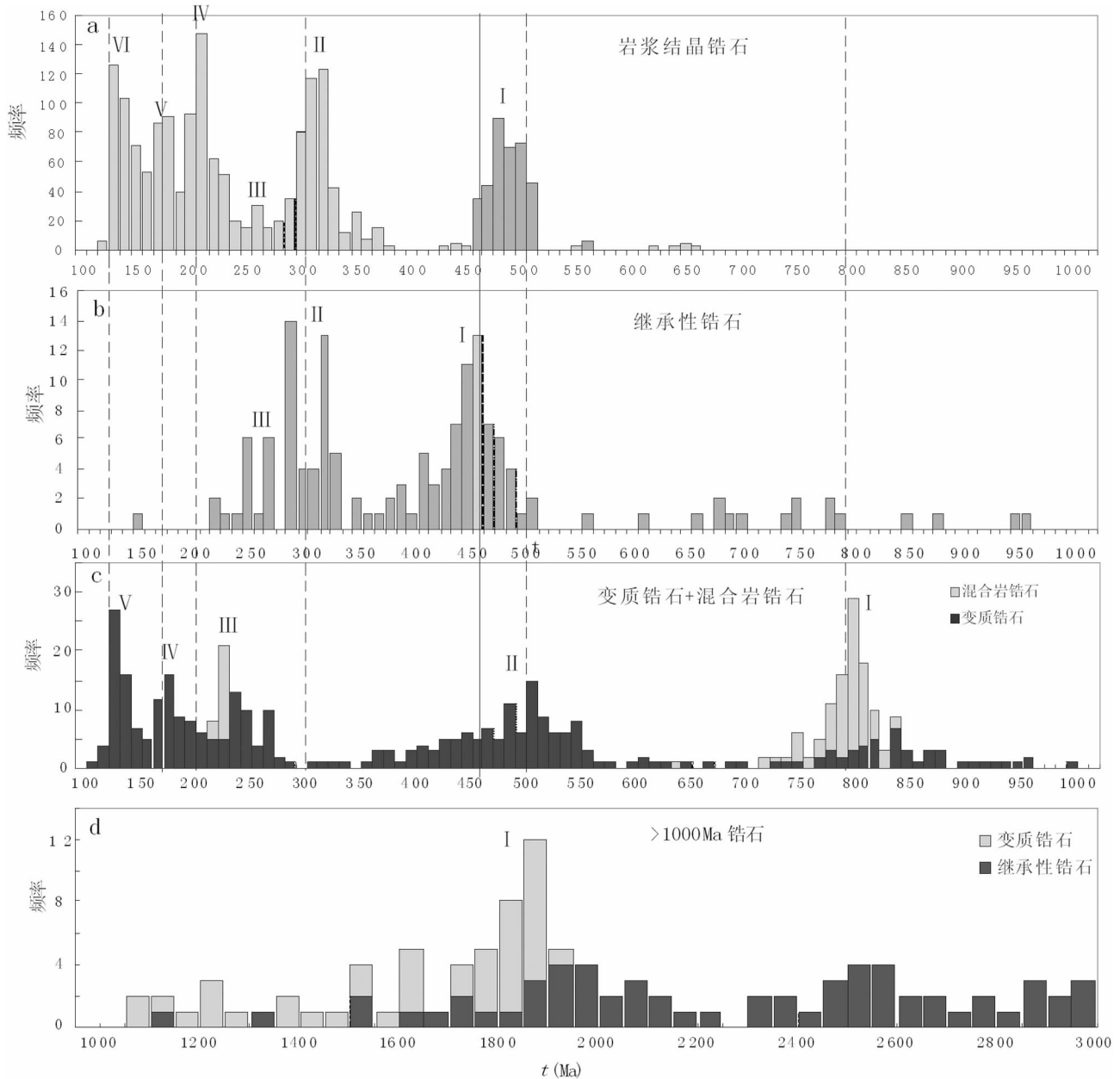


图3 大兴安岭中北段主要岩石测年锆石分类分布直方图

(a)、(b)、(c)以10Ma间隔统计,(d)以50Ma间隔统计

Fig. 3 Age histogram for different types of zircons in middle-northern Daxinganling Mountain

碰撞、陆陆碰撞、构造伸展、活动陆缘俯冲带等构造背景和构造事件),后者主要对应于被动陆缘期或扩张期。仅原岩锆石的210~190Ma峰值区在河流碎屑锆石中不显著,但河流碎屑锆石的年龄数值并不少见,处于20~30点区间,只是没有形成突出的峰值而已。而>600Ma的年龄数据,原岩锆石和河流碎屑锆石的数据对应很差,原岩锆石的800Ma峰值区在河流碎屑锆石中几乎没有记录。这主要是由于获得的原岩800Ma锆石的U-Pb年龄数据主要来源于莫尔道嘎地区,该地区主要处于额尔古纳河支流的激流河流域,但这一地区没有河流碎屑锆石采样数据。由于两种来源锆石获得>

1000Ma测试数据点均较少,难以详细对比,但均表现出在1800~1900Ma有一个相对集中的峰值分布区间。

由此可见,与河流碎屑锆石一样,当有足够多的原岩锆石的测年数据积累时,同样可以用于研究该地区的大陆生长和构造演化历史,尤其是显生宙以来的构造演化,而且相对于河流碎屑锆石,原岩锆石具有非常明确的来源位置,不用再追踪锆石来源,对于探讨构造演化的位置信息会更加准确。

综合多年来前人的研究资料和本次研究的成果(尤其是成矿岩成矿年代学方面的资料),将大兴安岭中北段的构造

表 3 大兴安岭中北段主要构造事件顺序表

Table 3 The geotectonic evolution stage in middle-northern Daxinganling

编号	构造阶段	地质时代	地质产物和地质年龄	主要区域构造与成矿事件
I + II	前寒武纪基底形成阶段	1900 ~ 780Ma,	兴华渡口群沉积、加格达组沉积与变质变形; 兴华渡口群 1835Ma 锆石年龄, 可能代表基底形成年龄; 大理岩变质 (800Ma ±), 混合岩化正长花岗岩 (793 ~ 797Ma) 大陆裂解和早期的构造变质事件	Rodinia 超级大陆形成与裂解。形成西伯利亚南缘的多个块体、额尔古纳、扎兰屯、中蒙、南戈壁、图瓦-蒙古等与裂解有关? 形成西伯利亚南缘的多个块体、额尔古纳、扎兰屯、中蒙、南戈壁、图瓦-蒙古等
III	额尔古纳被动陆缘阶段	Pt <sub>3</sub> ~ ε <sub>1</sub> 550 ~ 780Ma	额尔古纳河组沉积; 克鲁伦蛇绿岩带 600Ma, 头道桥 (嘎仙) 蛇绿岩 628Ma	邻近地区松嫩地块与布列亚-佳木斯地块的碰撞拼合 (茄荫—牡丹江带蓝片岩 641 ~ 697Ma)
IV	西侧额尔古纳兴安地块拼合	ε <sub>1</sub> + O <sub>1</sub> 460 ~ 550Ma	大兴安岭北段洛古河 465 ~ 517Ma 碰撞花岗岩, 风水山 457 ~ 440M 花岗片麻岩及莫尔道嘎地区印支晚期花岗岩中的捕获锆石 (459 ~ 440Ma); 兴华渡口群 500Ma 变质高峰	兴安地块与额尔古纳地块发生碰撞拼合。中蒙古-额尔古纳地块碰撞 (克鲁伦缝合带)、额尔古纳-兴安地块碰撞; 兴凯运动
V	东侧多宝山-伊尔施岛弧及其碰撞造山	O <sub>1+2</sub> -S 420 ~ 485Ma	岛弧型火山岩和闪长岩-花岗闪长岩组; 多宝山斑岩铜矿 478Ma; 新林 438 ± 57Ma 碰撞花岗岩	西伯利亚东南缘的弧盆系演化, 与岛弧岩浆作用有关的斑岩型铜矿-多宝山 (478Ma), 多宝山-伊尔施洋盆板块碰撞和隆升阶段变质作用, 代表额尔古纳-兴安地块的最终拼合
VI	兴安地块边缘沟-弧-盆系	D-C <sub>1</sub> 420 ~ 340Ma	泥盆系大明山组细碧角斑岩系、石炭系莫尔根河组的双峰式火山岩; 蒙古 Oyuolgoi 373 ~ 371 斑岩铜金矿成矿	西伯利亚板块南缘鄂伦春-中南蒙古扩张而发展成弧后盆地 (边缘海), 形成西伯利亚板块南缘沟-弧-盆系。Oyuolgi (373 ~ 371Ma)、查干苏布尔加 (370Ma) 斑岩型铜矿形成
VII	松嫩地块-兴安地块碰撞拼合	C <sub>2</sub> 340 ~ 305Ma	贺根山-嫩江缝合带蓝片岩 (334Ma), 碰撞型花岗岩 (354Ma), 贺根山蛇绿岩; 383 ± 13Ma, 研究区晚海西花岗岩 (330 ~ 300Ma)	松嫩地块-兴安地块碰撞拼合阶段
VIII	华北板块与蒙古兴安地块的碰撞拼合	C <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> 305 ~ 250Ma	林西组、大石寨组等的沉积; 索伦-西拉木伦-延吉缝合带; 碰撞型花岗岩: 245 ~ 237Ma	华北板块与蒙古兴安地块的碰撞拼合; 成矿主要有韧性剪切带型金矿 (大兴安岭南段), 斑岩型钼矿 (车户沟)
IX	兴蒙造山后伸展, 蒙古-鄂霍茨克洋被动陆缘阶段	T <sub>1+2</sub> 250 ~ 230Ma	大兴安岭南部和华北北缘碱性岩、基性岩墙群发育 (邵济安等)。本区发育莫尔道嘎地区辉石闪长岩 (244Ma)。莫尔道嘎闪长岩	蒙古-鄂霍茨克洋被动陆缘, 兴蒙造山后伸展作用
X	蒙古-鄂霍茨克洋陆内俯冲, 陆陆碰撞阶段	T <sub>3</sub> -J <sub>1</sub> <sup>3</sup> 230 ~ 190Ma	莫尔道嘎 I+S 型花岗质侵入岩、乌奴格吐山 S 花岗质侵入岩 (200Ma) 与斑岩铜矿, 莫尔道嘎, 松岭变质杂岩 (227 ~ 224Ma), 白云母花岗岩, 八大关斑岩铜钼矿 (229Ma), 太平川斑岩钼矿成矿 (203Ma)	蒙古-鄂霍茨克洋俯冲碰撞, 陆陆碰撞; Onon 岛弧带, 阴山-燕山带、蒙古、俄罗斯逆冲推覆构造; 太平川斑岩型钼矿 (203Ma), 八大关铜钼矿 (229Ma); 佳木斯地块与黑龙江地块拼贴碰撞
XI	蒙古-鄂霍茨克洋碰撞晚造山阶段	J <sub>2+3</sub> 200 ~ 175Ma	乌鲁格吐山斑岩铜矿 Re-Os 178Ma, 埃达克质花岗岩, 三矿沟铜钼矿 Re-Os 178Ma, 花岗闪长岩	蒙古-鄂霍茨克洋中段闭合, 碰撞晚期, 斑岩型-矽卡岩型铜钼矿
XII	碰撞造山后伸展垮塌阶段	J <sub>3</sub> 175 ~ 155Ma	大规模火山作用, 双峰式火山岩, 中酸性岩浆侵入, 变质核杂岩, 盆岭构造, 韧性变形带, 矽卡岩成矿	蒙古-鄂霍茨克洋造山后伸展垮塌
X III	古太平洋斜向俯冲阶段	J <sub>2</sub> -K <sub>1</sub> 155 ~ 120Ma	陆相火山作用, 晚中生代大规模多金属成矿, 含煤断陷盆地	古太平洋斜向俯冲; 大陆边缘岩浆弧弧后伸展, 中国东部岩石圈减薄, 大规模多金属成矿作用、煤、油气成矿, 最主要多金属成矿期
X IV	大陆边缘内侧陆内演化阶段	K <sub>2</sub> -Q Present	第三系碱性玄武岩喷发, 升降运动, 第四系沉积	太平洋板块俯冲

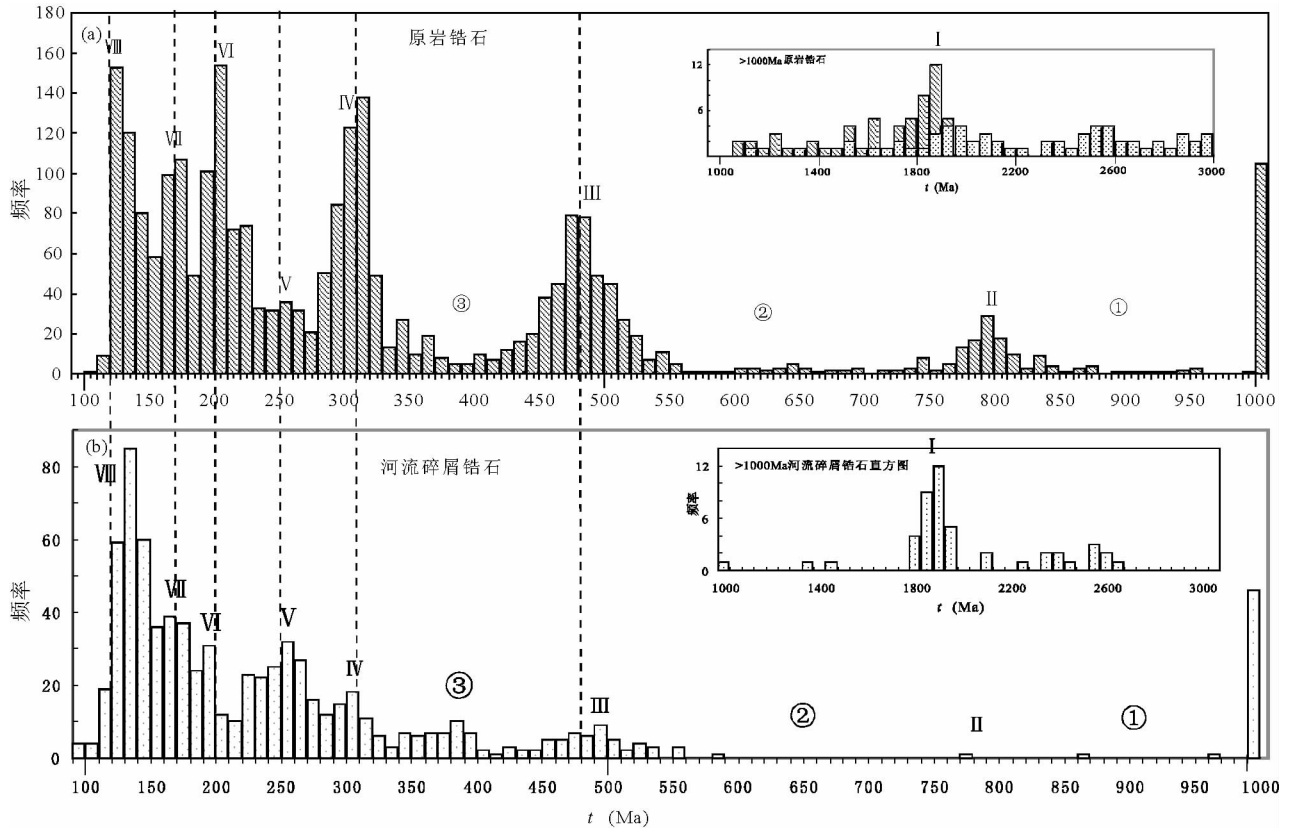


图4 大兴安岭原岩锆石与河流碎屑锆石测年结果分布对比图

图b 河流碎屑锆石测年数据根据李明(2010)资料整理作图

Fig. 4 Histogram comparison for the zircon ages between primary rocks and river detrita

演化分为14个阶段,各个阶段的名称、地质时代、主要地质产物参见表3。主要构造演化阶段的特征分述如下。

### 3 区域构造演化

#### 3.1 前寒武纪基底形成

额尔古纳地块是古亚洲洋中具有太古代(?)和古元古代结晶基底,规模较大的大陆碎片之一,该地块在元古代期间从西伯利亚板块裂解出来,形成弧后盆地,沉积了兴华渡口群的双峰式火山岩和碎屑岩,尽管对兴华渡口群的形成时代有多种认识,但普遍认为兴华渡口群是兴安-额尔古纳地块的前寒武纪基底。额尔古纳地块及大兴安岭的中北段出露的兴华渡口群,前人根据出露地点的不同将它们分别赋予不同的变质层名称,如“兴华渡口群”、“落马湖群”、“新开岭群”、“风水沟河群”、“加挖瘩群”和“扎兰屯群”等(黑龙江省地质矿产局,1993;内蒙古自治区地质矿产局,1991)。黑龙江地区的兴华渡口群从下至上被划分新华村组、兴安桥组、三十五公里组和小古里河组。

早期采用Sm-Nd测年获得兴华渡口群Sm-Nd模式年龄和单阶段演化年龄为 $1258 \pm 28\text{Ma}$ ~ $1463\text{Ma}$ ,在十八站及阿里河地区相应岩石的Sm-Nd等时线年龄 $1157\text{Ma}$ 、 $1729 \pm$

$67\text{Ma}$ (孙广瑞等,2001),孙广瑞等(2001)根据Sm-Nd定年结果提出绿岩带的形成至少在1.7Ga或更早,1200Ma前后可能代表绿岩带遭受最早一次构造变动及区域变质作用,同时伴随了花岗岩质片麻杂岩的侵入,将其归为古元古代。

根据我们近年来对扎兰屯、莫尔道嘎地区兴华渡口群岩石锆石U-Pb测年结果,获得年龄值有 $845 \pm 57\text{Ma}$ , $824 \pm 27\text{Ma}$ , $496 \pm 7\text{Ma}$ , $439 \pm 23\text{Ma}$ , $440 \pm 8\text{Ma}$ , $194 \pm 7\text{Ma}$ 等多组变质年龄,其次有1800~3325Ma的碎屑锆石年龄。年龄最新的碎屑锆石(有显著的磨圆特征) $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $1873 \pm 31\text{Ma}$ 、 $1896 \pm 91\text{Ma}$ ,其他碎屑锆石年龄均在2000Ma以上,而小于1000Ma锆石一般为变质结晶锆石(无磨圆),1000~1800Ma数据基本空白(兴华渡口群的其它锆石特征和年龄结果分析将另文讨论)。1873±31Ma代表了最晚的碎屑锆石来源,是兴华渡口群沉积的上限年龄。综合苗来成等2007年针对采自韩家园子、扎兰屯等地的兴华渡口群变质火成岩和变质碎屑岩锆石SHRIMP锆石U-Pb定年研究和武广(2006)对漠河地区兴华渡口群二云母石英片岩及侵入其中的细粒花岗闪长岩SHRIMP锆石U-Pb测年结果,剔除具有显著碎屑成因(磨圆)的锆石年龄后,普遍出现1800~1900Ma,800~900Ma,500Ma,440Ma,200Ma数据,这与兴华渡口群经历的多期构造变动事件相吻合,这些数据应是

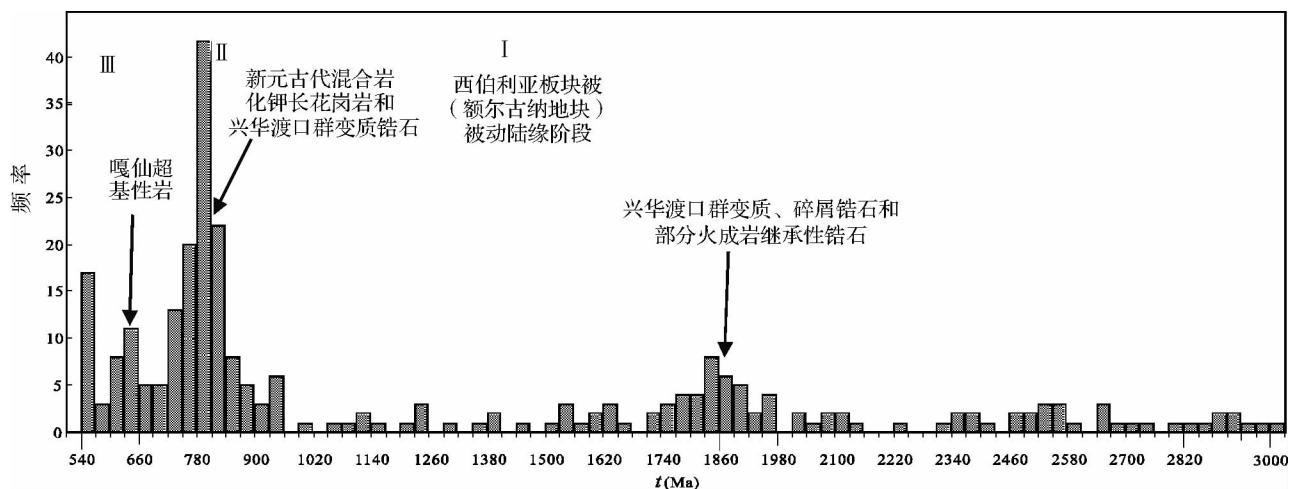


图5 大兴安岭前寒武纪锆石 U-Pb 测年数据分类分布直方图  
30Ma 间隔统计

Fig. 5 Histogram for zircons formed in precambrian epoch in middle-northern Daxinganling

区域变质事件的结果。苗来成等(2007)发表的兴华渡口群测年数据实际上在 1800 ~ 1900Ma 也出现明显的集中趋势,采用其数据重新计算可以获得  $1835 \pm 25\text{Ma}$  ( $n = 20$ ,  $\text{MSWD} = 6.8$ ) 加权平均年龄值 ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ )。该数据与武广的  $1888 \pm 85\text{Ma}$  数据(武广, 2006) 在误差范围内一致。由此可见, 1800Ma 数据代表了兴华渡口群所经历的最早一期变质事件(图 5 高峰值 I), 是额尔古纳地块和兴安地块基底的形成年龄。由于武广(2006) 获得  $1888 \pm 85\text{Ma}$  数据为花岗闪长岩捕获锆石, 数据误差也相对大一些, 这里采用  $1835 \pm 25\text{Ma}$  做为标准, 结合我们获得最小锆石年龄  $1873 \pm 31\text{Ma}$  数据, 一般在 2000Ma 以上, 说明兴华渡口群可能沉积于古元古代末期(2000 ~ 1835Ma 或 1873 ~ 1835Ma) 的一段较短时间范围, 而在古元古代末期, 发生变质, 形成额尔古纳和兴安地块的基底, 成为西伯利亚板块的大陆边缘, 是中元古代超级大陆的一部分。

此外, 俄罗斯研究者一般认为额尔古纳地块具有太古代基底, 俄罗斯的德洛洛利变质杂岩被认为是晚太古代形成(阎鸿铨等, 2001<sup>①</sup>); 李明(2010 年) 对东北地区河流碎屑锆石的 U-Pb 测年和 Lu-Hf 同位素测定, 也显示在 1800Ma 期间东北地区(包括大兴安岭和额尔古纳地区) 发生了大规模的构造和陆壳增生事件。Zhou *et al.* (2011) 对松辽盆地基底岩石(古生代地层) 碎屑锆石 U-Pb 测年获得 1890Ma, 800Ma, 518Ma 的碎屑锆石峰值年龄数据, 与工作区 > 500Ma 的原岩锆石统计分布特征大体一致, 也说明松辽盆地接受了大量来自邻近的佳木斯地块、兴安地块的前寒武纪碎屑沉积, 暗示兴安地块具有前寒武纪基底。

古元古代末期至新元古代初期, 原岩锆石和碎屑锆石均出现一个相对空白时间段, 说明额尔古纳及大兴安岭地区处于被动陆缘阶段, 进入新元古代, 罗丁尼亚超级大陆裂解, 额尔古纳地块北缘发生洋壳俯冲、消减和碰撞作用, 出现了 805

~ 793Ma 之间的碰撞型花岗质岩体侵入, 该期花岗岩我国境内主要为额尔古纳北段莫尔道嘎-太平川-八间房一带的混合岩化巨斑状正长花岗岩。兴华渡口群岩石的大量变质锆石年龄也处于 800 ~ 900Ma 之间(图 5 的高峰值 II)。900 ~ 800Ma 数据代表了研究区另一次重要的大陆增生事件, 说明额尔古纳-兴安地块的基底经历了两次构造变质事件作用。905 ~ 793Ma 碰撞花岗岩的形成可能代表了新元古代 Rodinia 超大陆裂解-碰撞事件的影响(Meert and Powell, 2001; 郭进京等, 1999 及其中文文献), 也说明 Rodinia 超大陆裂解并不是简单的裂解, 可能有局部小的陆块间俯冲和碰撞事件。Rodinia 超级大陆的裂解, 形成西伯利亚南缘的多个新元古代块体、额尔古纳、扎兰屯、中蒙、南戈壁、图瓦-蒙古等(Li, 2001 及其中文文献)。在此期间, 额尔古纳地块南缘转为被动陆缘, 形成佳疙瘩组 and 额尔古纳河组的被动陆缘沉积, 锆石测年很少有该时代的年龄数据(图 4b、图 6)。新元古代期间, 额尔古纳地块与兴安-扎拉屯地块之间应该是分割开的, 沿得尔布干-中蒙深断裂的克鲁伦-音山达-得尔布干一线及头道桥断裂带分布的有新元古代至加里东期蛇绿岩, 嘎仙超基性岩石的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 628Ma(表 1 中 Gx-11), 表明新元古代末期古洋壳已经形成, 陆块之间为洋壳分割。

### 3.2 古生代构造演化(寒武纪-二叠纪)

早寒武世, 研究区西侧兴安地块与额尔古纳地块沿得尔布干断裂一线靠拢, 两者发生碰撞, 形成蓝片岩带(克鲁伦缝合带、额尔古纳蓝片岩), 并有后碰撞期变形作用和花岗岩侵位, 这一时期即为以往所称的兴凯期造山, 现称为萨拉伊尔

① 阎鸿铨, 叶茂, 孙维志等. 2001. 大兴安岭满洲里和乌奴尔地区银、铅、锌和铜矿床预测研究. 沈阳: 沈阳地质调查中心

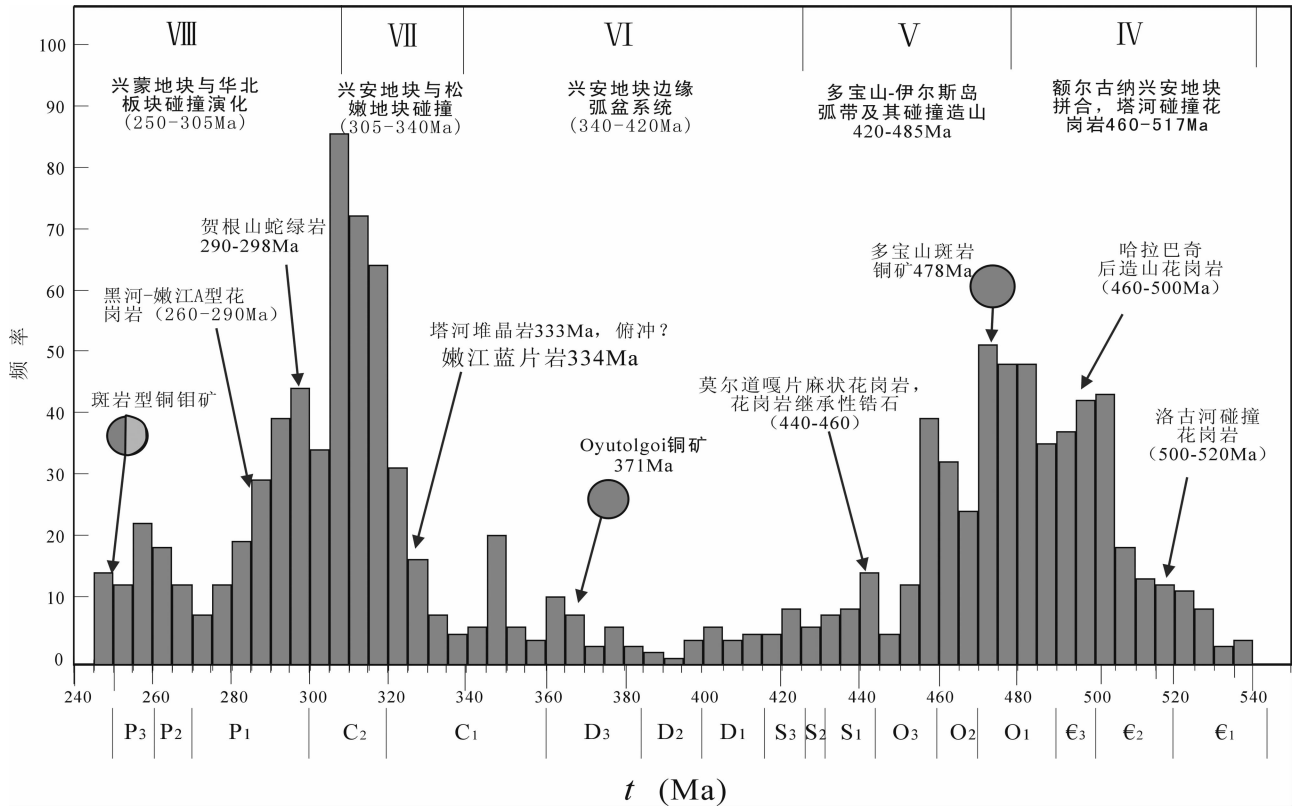


图6 大兴安岭古生代锆石 U-Pb 测年结果数据分布直方图  
5Ma 间隔统计

Fig. 6 Histogram for zircons formed in Palaeozoic epoch in middle-northern Daxinganling

造山作用。蒙古境内的额尔古纳地区分别测得巨斑状片麻状云母花岗岩全岩 Rb-Sr 线年龄  $555 \pm 31\text{Ma}$  (罗毅等, 1997 及其中文献), 我国近年来在洛古河和塔河分别获得 517 ~ 500Ma 和 494 ~ 480Ma 碰撞花岗岩 (LA-ICP-MS 锆石测年) U-Pb 年龄数据 (葛文春等, 2005, 图 6 阶段 IV), 是该期构造活动的结果。在俄境内也有类似花岗岩类形成 (阎鸿铨等, 2001)。

而兴安地块东部扎兰屯-东乌旗一带沿多宝山-牙克石-伊尔施一线总体上为活动陆缘带, 形成了多宝山组 (+ 裸河组) 中基性火山岩-碎屑岩沉积, 是一套以细碧岩-石英角斑岩-岛弧拉斑玄武岩系列为组合的岛弧火山岩建造和复理石建造。并具有同时代的花岗质岩石侵入, 形成了与之有关斑岩型铜矿 (多宝山斑岩铜矿) (图 6 V 阶段)。根据多宝山组的沉积分布特征, 推测洋壳沿多宝山-伊尔施-东乌旗一线俯冲削减。晚奥陶世-晚志留世为多宝山-伊尔施岛弧与鄂伦春 + 额尔古纳地块碰撞、隆升阶段 (弧陆碰撞), 其产物主要有新林蓝片岩 (顾德林等, 1996)、438Ma 的碰撞花岗岩 (罗毅等, 1997), 乌宾敖包组碎屑岩沉积, 莫尔道嘎片麻状花岗岩和巨斑状钾长花岗岩中的继承性锆石。

晚古生代时期, 兴安地块与额尔古纳地块已经拼贴为一起, 在其南部发生了新的弧火山作用, 泥盆纪-早石炭世期间, 兴安地块与松嫩-佳木斯地块之间为分隔状态, 其间为内蒙古中部海槽, 泥盆纪时形成具有岛弧性质中基性火山碎屑

岩, 沿额尔古纳 + 兴安地块南缘分布, 一直延伸至内蒙古南部, 蒙古南部的查干苏布尔加、欧玉陶勒盖超大型斑岩型铜矿即在该时期形成的。北部与额尔古纳地块之间的鄂伦春则产生扩张而发展成弧后盆地, 形成沟-弧-盆系。早石炭世是鄂伦春弧后扩张的鼎盛阶段, 强烈的拉张使弧后盆地的大陆地壳变薄, 形成含有大量深色薄层状含放射虫硅质岩和细碧角斑岩建造 (内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。

早石炭世末, 松嫩-佳木斯地块与额尔古纳-兴安地块内蒙古中部海槽逐渐闭合, 两个块体碰撞拼贴在一起, 兴安海槽不断萎缩, 由扩张转变为强烈挤压收缩。碰撞拼合的直接产物为嫩江蓝片岩 (334Ma) (徐备等, 2001) 和与碰撞有关的花岗岩, 该时期碰撞的花岗岩形成了图 6 的高峰年龄 (320 ~ 305Ma)。

晚石炭世-二叠纪末, 鄂伦春地区和东乌珠旗地区基本结束了海相环境, 转入陆相, 此时兴安地块南部有林西组湖相、泻湖相碎屑岩沉积, 内部大量发育碰撞后花岗岩, 局部有 A 型花岗岩 (孙德有等, 2000)。而大陆增生和板块碰撞主要在南段的二连浩特-贺根山和西拉木伦河沿线, 沿二连浩特-贺根山一线兴安地块与内蒙中部地块在二叠纪末期最终拼合, 结束了该区的海相演化历史。

总体上, 古生代时期为研究区微板块碰撞拼合历史, 也是兴蒙造山带最重要增生期, 从西向东依次为鄂伦春、多宝



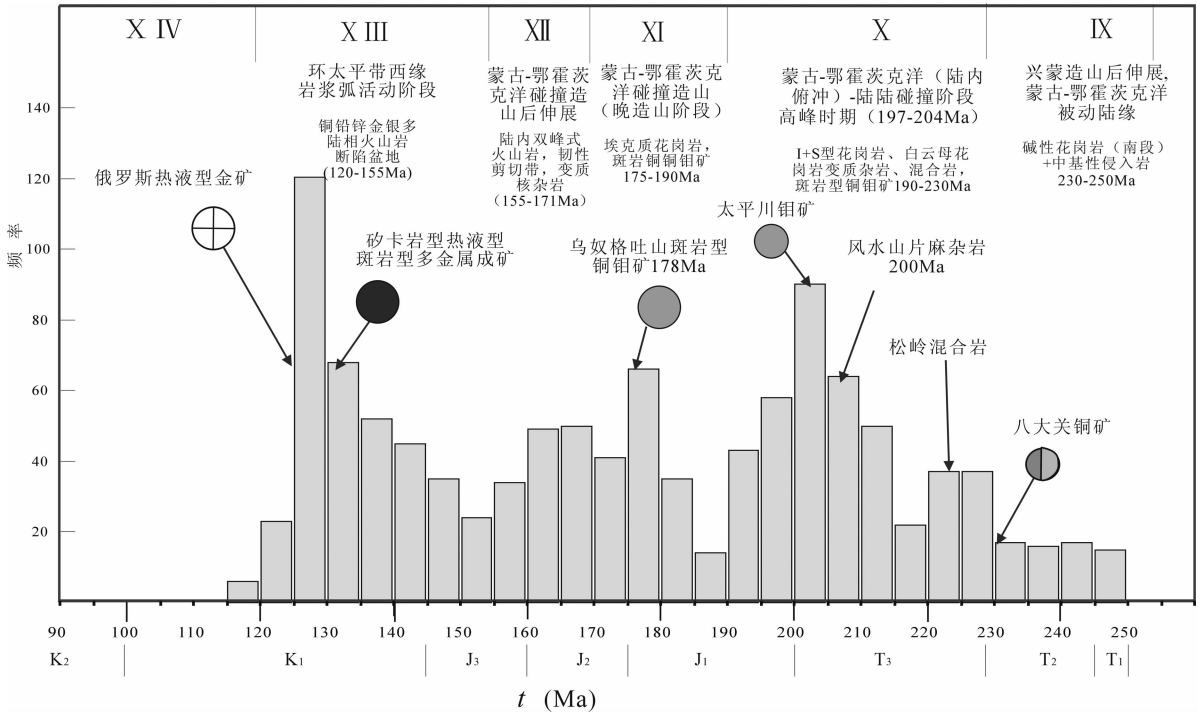


图7 大兴安岭中生代单颗粒锆石 U-Pb 测年数据分布直方图  
5Ma 间隔统计

Fig.7 Histogram for zircons formed in Mesozoic epoch in middle-northern Daxinganling

山-伊尔斯(兴安地块主体)、松嫩-佳木斯地块分别在早寒武世、中奥陶世末、早石炭世末期不断向额尔古纳地块拼贴增生,形成了兴蒙造山带的主体部分。

### 3.3 中生代构造演化

#### 3.3.1 早中生代构造演化与蒙古-鄂霍茨克洋

中生代原岩锆石的年龄分布见图7,出现230~220Ma, 215~195Ma, 175~160Ma, 140~125Ma 4个高峰,而在120Ma时突然结束,与该时期经过了多期次的构造岩浆作用影响一致。180Ma的高峰值乌奴格吐山斑岩型铜矿床的测试点较多有关。

古生代末期,古亚洲洋闭合,兴蒙造山带南段西伯利亚与华北板块碰撞拼合基本形成了统一的亚洲大陆,但其北侧仍存在有蒙古-鄂霍茨克洋,大兴安岭北段仍主要受到蒙古-鄂霍茨克洋的影响。蒙古-鄂霍茨克洋从二叠纪至晚侏罗世-早白垩世从东向西逐渐闭合(Kravchinsky *et al.*, 2002),相应地与蒙古-鄂霍茨克洋演化有关的钙碱性火山岩或深成岩相应的从西向东逐渐变新。

大兴安岭北段地区以往很少有大规模早中生代侵入岩浆活动报道,近年来,随着高精度测年方法的广泛应用,一些早中生代侵入岩(或侵入变质杂岩)被鉴别出来(图8)(赵海滨等,2007;余宏全等,2011)。如我们在乌奴格吐山进行成矿成岩年代学测年研究结果,揭示乌奴格吐山斑岩型铜矿的含矿斑岩体为燕山早期(178Ma)形成,但其含矿围岩黑云母花

岗岩为早中生代形成,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 205 ~ 197Ma。陈志广(2010)的研究表明八大关铜钼矿的含矿斑岩形成时代为  $229.6 \pm 2.0$  Ma,太平川钼矿的辉钼矿 Re-Os 等时线测年结果为  $202.4 \pm 5.7$  Ma,含矿斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $203.6 \pm 4.6$  Ma。苗来成等(2003)认为小兴安岭地区原划为新元古代的“新开岭群”是与晚古生代-早中生代造山作用过程有关的变质杂岩,其原岩年龄仅为  $336 \pm 2$  Ma,变质年龄为  $216 \pm 2$  Ma;赵海滨等(2007)进一步研究认为该变质杂岩体属变质核杂岩构造,经历了早中生代-晚中生代的变质、侵入、韧性滑脱和隆升过程。我们在加格达奇北部小洋气一带发现有相当数量的早中生代侵入岩和变质岩,测年结果显示以往认为的古元古代兴华渡口群混合岩可能为中生代形成的变质核杂岩,采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年获得片麻状混合岩年龄为  $223.4 \pm 0.6$  Ma (表1, JGD-17),片麻状花岗岩年龄为  $220.0 \pm 0.9$  Ma (表1, JGD-15),片理化细粒花岗岩年龄为  $209.3 \pm 1.0$  Ma (表1, JGD-29,此处指变质作用时间或侵位时间,非兴华渡口群沉积时代)。在小洋气、卧都河等地兴华渡口群变质岩和二叠纪花岗岩中多处见到韧性剪切带,其中卧都河沿韧性剪切带侵入的细粒花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年获得的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和谱年龄为 171Ma (表1, JGD-3),显示韧性剪切带的活动时间为中侏罗世,变质核杂岩的形成过程可能与新开岭变质核杂岩类似。早中生代岩石大多属于过铝质、准过铝质高钾钙碱性系列,属于比较典型的 S 型花岗岩(少量属 I 型),伴有同时代

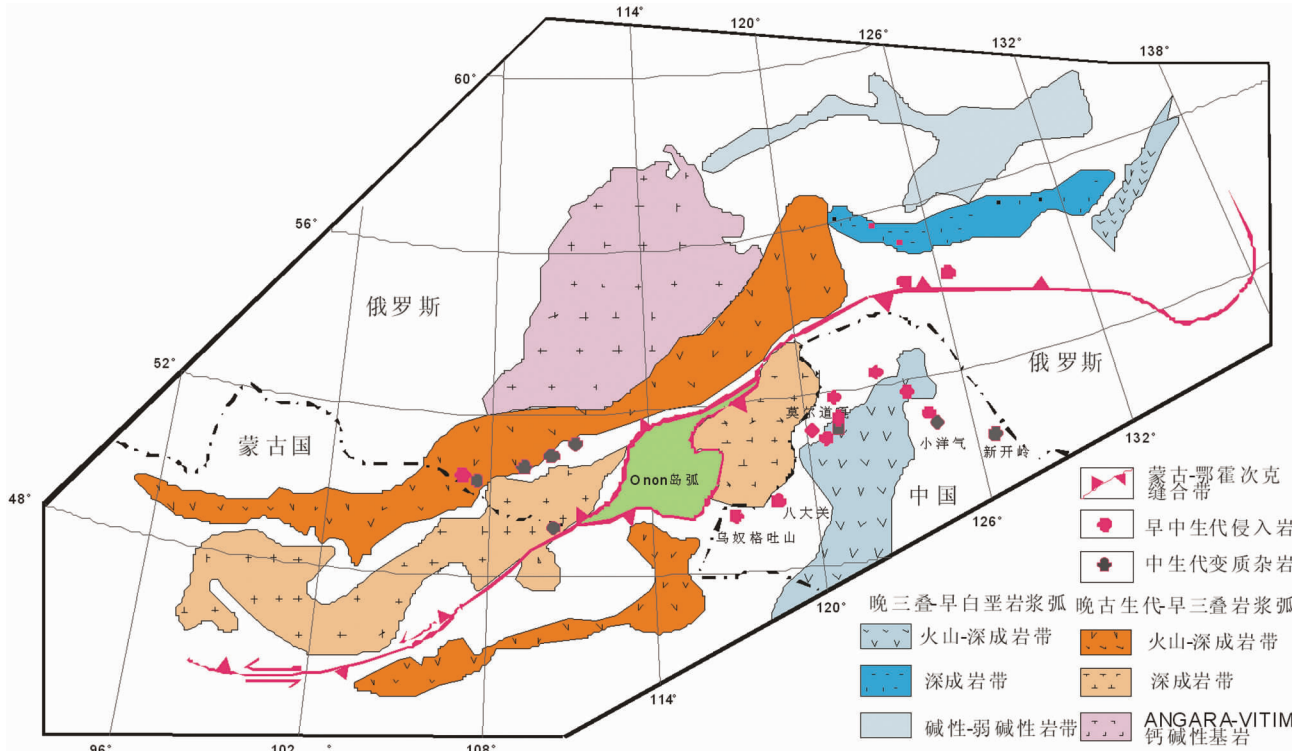


图8 蒙古-鄂霍茨克洋缝合带主要变质核杂岩和火成岩分布简图

地质图底图据 Tomurtogoo *et al.*, 2005; 侵入岩位置据表1, Wu *et al.*, 2011, Buchko, *et al.*, 2010; 变质核杂岩位置据 Yannick *et al.*, 2011

Fig. 8 Mongol-Okhotsk orogeny and distribution related magmatic rocks and metamorphosed core complex

的斑岩型铜钼矿床形成, 太平川斑岩钼矿和八大关铜钼矿(图7的IX、X阶段)。

最近发表的一些研究成果也说明区域上存在早中生代时期构造岩浆作用。张昱(2008)和孙德等有(2000, 2004)等在黑龙江的伊春-延寿构造岩浆岩带识别出大量与碰撞有关的早中生代岩浆岩, 活动时代为 234 ~ 202Ma, 其岩石组合和演化趋势与大兴安岭北段类似。伊春-延寿岩浆构造带侵入岩其形成背景被解释为在古亚洲洋闭合机制下(松嫩-张广才岭地块和佳木斯地块再次碰撞造山)兼受古太平洋板块离散构造背景制约下碰撞造山作用的产物。Buchko *et al.* (2010)对蒙古-鄂霍茨克洋缝合带北侧的 Stanovoi 构造带 Ul'degit, Lucha, Tok-Algoma 和 Chek-Chikan 地块的基性岩、花岗岩和闪长岩采用 Shrimp II 锆石 U-Pb 测年, 获得 248Ma, 238Ma, 228Ma, 203Ma 形成年龄数据, 而以往这些地块被认为是前寒武纪形成。Wu *et al.* (2011)发表的东北地区花岗岩锆石 U-Pb 测年成果, 也显示在额尔古纳北段的金河、绿林、满归西等多地有 245 ~ 200Ma 花岗岩侵入。

综合上述结果, 可见研究区的早中生代侵入岩集中分布于 246 ~ 243Ma, 229 ~ 210Ma, 205 ~ 200Ma 三个时代, 246 ~ 243Ma 一组主要为莫尔道嘎地区中基性闪长岩、辉石闪长岩, 风水山杂岩的部分片麻状花岗岩的年龄; 229 ~ 210Ma 一组主要有八大关闪长玢岩、加格达奇北的混合岩、片麻状花岗岩、新开岭变质岩、小洋气的片理化花岗岩; 205 ~ 200Ma

一组有莫尔道的巨斑状正长花岗岩、二长花岗岩、卡达吉岭黑云母二长花岗岩等、白云母花岗岩、太平川花岗斑岩、乌奴格吐山的黑云母花岗岩等, 以 205 ~ 200Ma 一组岩石最常见, 分布最广泛。此外, 莫尔道嘎巨斑状正长花岗岩和白云母花岗岩含有大量的继承性锆石, 集中于 460 ~ 440Ma 区间, 暗示该地区花岗岩源岩与加里东期的构造岩浆事件有关。

一般情况下, 基性岩石被认为是深部来源成因, 根据区域上构造演化历史和早中生代岩石的岩石地球化学特征分析, 推测研究区早中生代的早阶段的中基性闪长岩、辉石闪长岩等可能形成于欧亚板块(在研究区实际为兴蒙造山带东北部各时代地块的拼贴体)与南部华北板块在二叠纪末期碰撞之后的伸展期, 与区域上邵济安等(1999, 2007)、孙德等有(2005)提出的大兴安岭地区在早中生代时期处于软流圈隆起, 岩石圈减薄阶段相对应。根据邓晋福等(1999, 2007)对陆陆碰撞带的岩浆旋回的划分方案, 研究区中基性杂岩可以看作是初始造山阶段的辉长-闪长岩组合, 反映了初始造山的岩浆底侵作用。

早中生代的岩浆组合特点与 Pithcher (1983, 1993) 总结的陆陆碰撞构造背景的岩石组合几乎完全相同(表4): 即钙碱性系列, S 型花岗岩为主, 过铝质花岗岩, 深熔岩, 混合岩 + 浅色花岗岩, 黑云母、白云母、角闪石等次要矿物或副矿物, 缺乏同时代火山岩等。岩石成因为陆陆碰撞条件下, 地壳增厚引起的部分熔融、地壳物质再循环(深熔作用)。风水

表 4 大兴安岭不同构造阶段花岗岩组合与典型构造背景花岗岩组合对比(据 Pitcher, 1983, 1993; Barbarin *et al.*, 1990, 1999)

Table 4 The granite association formed in different geotectonic evolution stage in middle-northern Daxingaling and comparison with that in typical geotectonic setting (after Pitcher, 1983, 1993; Barbarin *et al.*, 1990, 1999)

构造背景	造山作用			过渡性	非造山	
	岛弧	大陆边缘弧	大陆碰撞	造山后隆升/垮塌	大陆裂谷, 热点	大洋中脊, 洋岛
实例	Bouganibile, 所罗门群岛, 巴布亚新几内亚	美洲西部中生代科迪勒拉西部岩基	尼泊尔 Manaslu 和 Lhotse	不列颠晚加里东侵入岩, 盆岭构造	Oslo 裂谷, British 第三系侵入岩, 黄石公园热点	Oman 蛇绿岩, 冰岛, 阿留申的洋岛侵入岩
岩石地球化学	钙碱性 > 拉斑质, M 型和 I-M 混合型准铝质	钙碱性 I 型 > S 型, 准铝质-少量过铝质	钙碱性, S 型, 过铝质	钙碱性, I-型, S 型, A 型, 准铝质-过铝质	碱性, A 型, 过铝质	拉斑质, M 型, 准铝质
岩石组合类型	成熟岛弧带石英二长岩	英云闪长岩 + 花岗闪长岩 > 花岗岩或辉长岩	混合岩和淡色花岗岩, 深熔岩	双峰式花岗闪长岩 + 闪长岩-辉长岩	花岗岩, 正长岩 + 闪长岩, 辉长岩	斜长花岗岩
伴生矿物	角闪石 > 黑云母	黑云母, 角闪石	黑云母, 白云母, 角闪石, 石榴石, 堇青石, 铝硅酸盐	角闪石 > 黑云母	角闪石, 黑云母, 霓辉石, 橄榄石, 钠闪石	角闪石
伴生火山作用	岛弧玄武岩-安山岩	大规模安山岩和英安岩	缺乏	玄武岩和流纹岩	碱性玄武岩, 凝灰岩, 破火山	洋中脊玄武岩, 大洋岛玄武岩
Barbarin, 1990 分类	T <sub>IA</sub> , 拉斑质岛弧玄武岩	H <sub>CA</sub> 混合钙碱性	C <sub>ST</sub> , C <sub>CA</sub> , C <sub>C</sub> , 大陆型	H <sub>LO</sub> , 混合类晚造山	A 型, 碱性	T <sub>OR</sub> , 大洋中脊拉斑质
Pearce <i>et al.</i> , 1984 分类	VAG, 弧火山花岗岩		COCC, 碰撞花岗岩		WPG, ORG, 板内花岗岩和大洋花岗岩	
Marinar and Picoli, 1989 分类	IAG 岛弧花岗岩	CAG, 大陆弧花岗岩	CCG, 大陆碰撞花岗岩	POG, 大陆碰撞花岗岩	RRG, CEUG, 裂谷和热点	OP, 大洋斜长花岗岩
成因	幔源岩石部分熔融, 基性岩浆底侵	幔源岩石部分熔融, 基性岩浆底侵 + 地壳混染	地壳物质再循环, 部分熔融	下地壳部分熔融 + 幔源、中地壳物质混染	地幔和下地壳物质的部分熔融(无水)	地幔物质部分熔融和分异结晶
熔融机制	俯冲带能源, 从板片至地幔楔流体和溶解物质的流体导热, 楔形体熔融, 热向上传导		构造增厚 + 地壳物质放射性热能	地壳热能 + 上涌软流圈或岩浆热源	热点和(或)地幔隆起热源	
大兴安岭北段对应的构造阶段	早奥陶世 晚泥盆室		早中生代 (早古生代)	晚中生代	第三系	

山片麻杂岩、八大关的侵入岩、小扬气的混合岩化等变质-岩浆侵入代表陆陆碰撞开始阶段, 碰撞的高峰期在 200Ma 左右 (205 ~ 198Ma), 该时期的侵入岩分布广泛, 形成了图 7 的 205 ~ 200Ma 峰值。尤其是莫尔道嘎的白云母花岗岩 (201Ma) 一般被认为是在碰撞事件高峰期沿着活动的剪切带、冲断层带产生并侵位的 (Barbarin, 1990; 邓晋福等, 1994), 说明该时期有强烈陆内俯冲、推覆和地壳增厚。从该时期区域构造背景分析, 其碰撞机制只能是蒙古-鄂霍茨克洋关闭时的兴蒙地块与西伯利亚板块之间的陆陆碰撞。华北板块与兴蒙地块的碰撞在二叠纪末期已经结束, 研究区距离西拉木伦缝合带距离远大于距离蒙古-鄂霍茨克缝合带,

合理推测研究区的碰撞花岗岩组合应是兴蒙地块与西伯利亚板块之间的陆陆碰撞引起。在空间分布上碰撞组合的花岗质岩石和变质杂岩也基本与蒙古-鄂霍茨克缝合带平行 (图 8), 主要分布于北纬 49 度以北区域呈北东向展布, 在 49 度以北地区海西期侵入岩被混合岩化、韧性剪切带、早中生代侵入岩改造明显, 而在 49 度以南地区, 海西花岗岩被后期构造热事件改造很少, 沿乌奴尔-博克图-阿荣旗一带向南的红花尔基、塔尔气、罕达盖林场地区的海西期花岗岩的保存较好, 且测年时代与以往资料多数吻合。这一认识与 Sengor and Natalin (1996) 提出的蒙古-鄂霍茨克洋中段的封闭时间基本一致。

以往认为蒙古-鄂霍茨克洋的封闭与陆陆碰撞发生在早侏罗世,主要依据为俄罗斯后贝加尔地区下侏罗统厚度巨大(7000m)的海相、滨海相碎屑沉积岩系(阎鸿铨等,2001)。阎鸿铨等对额尔古纳与邻近俄罗斯后贝加尔地区的古生代地层对比说明我国境内与俄罗斯境内的中生代地层差异主要体现在我国的额尔古纳地区缺乏  $J_1$  海相沉积,中晚侏罗世和早白垩世的地层组合基本类似,可以较好的对应。从俄罗斯境内的  $J_1$  沉积组合看,虽然属海相沉积,但以页岩、杂砂岩建造为主,不是碰撞前俯冲带所具有的火山-碎屑岩组合。因此,并不能完全说明蒙古-鄂霍茨克洋两侧没有发生陆陆碰撞,可能的解释为  $T_3$  时蒙古-鄂霍茨克洋主体发生陆陆碰撞,而局部有残留的浅海盆地形成了海相沉积,而造山带的大规模隆升可能发生在碰撞晚期和造山后伸展垮塌阶段。正如我们现在所看到的印度与中亚板块碰撞造山,特提斯洋在白垩纪末期即已封闭(65Ma),发生陆陆碰撞,而造山带的强烈隆升(青藏高原隆起)主要发生在近  $10 \sim 3$ Ma 期间(吴福元等,2008;钟大赉和丁林,1996)。我国境内普遍缺乏三叠纪和早侏罗世的沉积也暗示该时期相对隆起。

200Ma 之后,主要碰撞活动已经结束,进入碰撞晚期阶段,亦可称为后碰撞或晚碰撞阶段(侯增谦等,2008),主要产物有乌奴格吐山斑岩铜矿含矿斑岩和三矿沟的黑云母花岗岩。研究区与蒙古-鄂霍茨克洋碰撞有关的成矿作用有碰撞早期八大关斑岩型钼矿、中期(碰撞高峰期)形成太平川斑岩型钼矿,碰撞晚阶段乌奴格吐山斑岩铜矿、三矿沟矽卡岩型铜矿(图8和表4的XI阶段)。

### 3.3.2 晚中生代造山后构造伸展与多金属成矿

进入中侏罗世,研究区构造演化进入蒙古-鄂霍茨克洋造山后伸展阶段,以大规模中基性火山岩喷发为特征(塔木兰沟组玄武粗安岩,粗安岩组合),火山岩系厚  $1000 \sim 4000$  余米,大规模裂陷作用形成一系列有断层控制的火山岩盆地(李思田等,1987),火山岩属碱质和亚碱质系列,伴有强烈的同时代花岗岩浆侵入,其总体形成地质背景为造山后伸展,高碱值特征说明岩浆来源相对较深,部分熔融程度相对较低,处于盆地拉张的初期阶段。与额尔古纳邻近的俄罗斯后贝加尔地区也形成了类似的陆相火山碎屑岩沉积(阎鸿铨等,2001)。其次在俄罗斯的外贝加尔地区、中国的新开岭等地区发育有大量变质核杂岩构造,新开岭变质核杂岩抬升和大规模拆离时间在  $171 \sim 155$ Ma(赵海滨等,2005)。我们对加格达奇兴华渡口群三十五公里组的混合岩采样进行锆石测年,结果显示加格达奇北小扬气一带以往认为的古元古代兴华渡口群混合岩可能为中生代形成的变质核杂岩,混合岩形成于早中生代的碰撞期,锆石 U-Pb 年龄为  $223 \sim 220$ Ma(表1 JGD-15, JGD-17),而岩石抬升剥蚀主要为中晚侏罗世,在加格达奇北、卧都河等地兴华渡口群变质岩和二叠纪花岗岩中多处见到韧性剪切带,其中卧都河沿韧性剪切带侵入的细粒花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年获得的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和谐年龄为  $171$ Ma(表1 JGD-03),显示韧性剪切

带的活动时间为中侏罗世。变质核杂岩的出露与大规模剪切滑脱有关,塔木兰沟中基性火山岩喷发即为该时期大规模伸展的结果。沿蒙古-鄂霍茨克缝合带两侧的俄罗斯境内同样发育大量晚中生代的变质核杂岩构造,主要形成于晚侏罗-早白垩世(Zorin, 1999)。以变质核杂岩和韧性剪切带发育为标志(大约以  $155$ Ma 为界),晚中生代可以分为两个阶段, $155$ Ma 以前主要为蒙古-鄂霍茨克造山后伸展垮塌阶段(表3 阶段XII)。赵忠华等(2011)等对满洲里南部塔木兰沟组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示火山岩形成于  $164 \sim 161$ Ma 的中侏罗世末期,根据岩石地球化学特征提出塔木兰沟组火山岩岩浆源区为俯冲板片流体交代过的岩石圈地幔,岩浆上升过程中未受到地壳物质的明显混染,但经历了一定程度的橄榄石和单斜辉石分离结晶作用,提出塔木兰沟组火山岩是蒙古-鄂霍茨克洋闭合造山后岩石圈伸展环境下的产物。赵忠华等(2011)对塔木兰沟组岩石构造背景解释也说明蒙古-鄂霍茨克洋可能在早中生代封闭。

进入燕山晚期,研究区构造受到了蒙古-鄂霍茨克造山后伸展和古太平洋俯冲带的影响(表3 阶段XIII),以大规模双峰式火山岩喷发(上库力旋回粗面英安岩-流纹岩组合和梅勒图组的玄武粗安岩-粗安岩和玄武安山岩-安山岩组合)和同时代的中酸性岩体侵入为特征,在亚洲大陆东缘形成以 NE 向展布的板内大型断裂系统和与其近于平行分布的盆岭构造格局。研究区所在的晚中生代中蒙-额尔古纳和大兴安岭等火山-深成岩带规模宏大,空间上由 NE 断裂控制的火山盆地和火山-深成岩隆起带组成。晚侏罗-早白垩早期,整个东亚地区广泛分布一系列 NE 方向的断陷盆地,数量多达 200 个(李思田等,1987),这些盆地的形成具有同步性,即以晚侏罗世大规模钙碱性火山活动开始,结束于早白垩早期( $116$ Ma),为走滑断陷盆地和伸展断陷盆地,以引张作用加强为特征。本地区晚中生代构造发生在太平洋板块向东亚大陆俯冲的背景下,但又直接受蒙古-鄂霍茨克造山带后期伸展演化的影响。

与燕山期火山-侵入活动相伴随的铁铜铅锌银金多金属成矿活动非常发育,该时期是研究区最重要的多金属成矿期,矿种多,矿床类型多,典型矿床如塔尔气矽卡岩型铁矿、甲乌拉、得尔布尔铅锌矿中低温火山-次火山热液型铅锌银多金属矿、额仁陶勒盖浅成低温热液型银矿、四五牧场高硫酸盐型低温热液金矿等。另一方面,该时期也是重要的含煤和油气盆地形成时期,我国的海拉尔、阜新、蒙古的乔巴山、俄罗斯的外贝加尔地区分布的数十个 NE、NNE 向盆地,充填的含煤碎屑岩系厚  $700 \sim 2500$  余米,许多盆地含有厚  $20 \sim 50$ m 的煤层(李思田等,1987)。

晚白垩纪-第四系,研究区构造活动转弱,主要以升降运动为主,代表性岩浆作用有第三系玄武岩喷发,形成了罕达盖-阿尔山地区的第三系玄武岩,火山口发育,为板内玄武岩(表3 阶段XIV)。

综合以上分析可以看出大兴安岭中北段的构造演化经

历了被动陆缘、大洋俯冲、闭合、陆陆碰撞造山、造山后伸展垮塌和板内活动等完整的造山演化过程,完成了从洋到陆的构造演化,总体上其构造演化主要与蒙古-鄂霍茨克造山带的形成与演化有关,可能直到燕山晚期才受到太平洋构造西缘的俯冲活动影响。研究区大量晚三叠世花岗质岩石(+变质岩)组合说明蒙古-鄂霍茨克洋在额尔古纳-后贝加尔地段可能在中三叠世末期-晚三叠世早期即已封闭,发生碰撞造山,较以往认为的晚三叠世或早中侏罗世要早,以往根据该地区存在早中侏罗世的海相沉积认为其封闭时间可能在晚三叠至中侏罗世值得商榷。

## 4 结论

综合以上分析可以得出如下结论:

(1) 单个锆石的同位素年龄记录了所在区域的构造、岩浆或变质事件活动的时间,积累大量的原岩单颗粒锆石的测年数据,对其分布特征进行分析可以很好的反映研究区的构造演化历史,具有类似采集河流碎屑锆石进行同位素测年,分析物源地地壳生长历史的作用,虽然该方法不像收集河流碎屑锆石那样简单,但由于其具有明确的来源信息,对探讨工作区的构造、岩浆活动历史针对性更好。

(2) 对大兴安岭中北段大量颗粒锆石的同位素测年结果进行分析,结合构造、岩石组合特征研究,说明大兴安岭中北段经历了古元古代基底形成、新元古代陆壳生长、新元代末期板块裂解,古生代为古板块间的俯冲、拉张、拼贴碰撞,早中生代碰撞造山、晚中生代造山后伸展垮塌、与俯冲有关的陆缘构造-岩浆作用等复杂的构造演化历史。

(3) 同位素测年和岩石组合特征说明蒙古-鄂霍茨克洋在早中生代时期(晚三叠世)即已碰撞造山,大兴安岭中北段及额尔古纳地区发育大量与碰撞有关的花岗岩、混合岩及碰撞后伸展垮塌有关的构造和岩石产物(盆岭构造、滑脱构造、变质核杂岩、陆相双峰式火山岩多金属成矿等),这为重新认识研究区中生代多金属成矿的地球动力学背景提供了新的地质依据和研究思路。

## References

Allen MB, Morton AC, Fanning CM *et al.* 2006. Zircon age constraints on sediment provenance in the Caspian region. *Journal of the Geological Society*, 163: 647 - 655

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb. *Chem. Geol.*, 192: 59 - 79

Barbarin B. 1990. Granitoids: Main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. *Geol. J.*, 25: 227 - 238

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605 - 626

Buchko IV, Sorokin AA, Sal'nikova EB, Kotov AB, Velikoslavinskii SD, Larin AM, Izokh AE and Yakovleva SZ. 2010. The Triassic stage of mafic magmatism in the Dzhugdzhur-Stanovoi superterrane southern framing of the North Asian craton. *Russian Geology and Geophysics*,

51(11): 1157 - 1166

Bureau of Geology and Mineral of Heilongjiang Province. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Bureau of Geology and Mineral of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Cawood PA, Nemchin AA, Freeman M *et al.* 2003. Linking source and sedimentary basin: Detrital zircon record of sediment flux along a modern river system and implications for provenance studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 210(1 - 2): 259 - 268

Chen ZG. 2010. Mesozoic tectonic-magmatic mineralization of Deerbagan Metallogenic belt in NE China, and its geodynamic setting. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English summary)

Compston W, Williams IS, Kirschvink JL *et al.* 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. *Journal of Geological Society*, London, 149: 171 - 184

Deng JF, Zhao HL, Lai SC, Liu HX and Luo ZH. 1994. Generation of muscovite/two-mica granite and intracontinental subduction. *Earth Science*, 19(2): 139 - 147 (in Chinese with English abstract)

Deng JF, Mo XX, Luo ZH, Zhao HL, Zhao GC, Cao YQ and Yu XZ. 1999. Igneous petrotectonic assemblage and crust mantle metallogenic system. *Earth Science Frontiers*, 6(2): 259 - 270 (in Chinese with English abstract)

Deng JF, Xiao QH, Su SG, Liu C, Zhao, Guo C, Wu ZX and Liu Y. 2007. Igneous petrotectonic assemblages and tectonic settings: A discussion. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 392 - 402 (in Chinese with English abstract)

Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Abdel AA. 2005. The ages of the Tahe granite in Northern Daxinganling and its implication to the geotectonics of Ergun terrane. *Chinese Science Bulletin*, 50: 1239 - 1247 (in Chinese)

Ge WC, Sui ZM, Wu FY, Zhang JH, Xu XC and Cheng RY. 2007a. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 423 - 440 (in Chinese with English abstract)

Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Zhang JH. 2007b. The metallogenic age of the porphyry copper deposits in Eastern Xingan-Mongolia orogenic belt and its implications of geodynamics. *Chinese Science Bulletin*, 20: 2407 - 2417 (in Chinese)

Gu DL, Su SG and You ZD. 1996. The temporal spatial distribution and origin of blueschist in China. *Regional Geology of China*, 4: 344 - 252 (in Chinese with English abstract)

Guo JJ, Zhang GW, Lu SN and Zhao FQ. 1999. Neoproterozoic continental block collage of china and Rodinia supercontinent. *Geological Journal of China Universities*, 5(2): 148 - 156 (in Chinese with English abstract)

Hoskin PWO and Black LP. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J. Metamorphic Geol.*, 18: 423 - 439

Hou ZQ, Wang EQ, Mo XX, Ding L, Pan GT, Zhang ZJ *et al.* 2008. *Orogeny and Related Metallogenesis by Continental Collision*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Huang TK, Ren JS, Jiang CF *et al.* 1977. An outline of the tectonic characteristics of China. *Acta Geologica Sinica*, 51(2): 117 - 135 (in Chinese with English abstract)

Kravchinsky VA, Cogne JP, Harbert WP and Kuzmin MI. 2002. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean as constrained by new paleomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia. *Geophysical Journal International*, 148: 34 - 57

Li CY, Wang Q, Zhang ZN and Liu XY. 1980. The preliminary study on the plate tectonics of China. *Bulletin of Chinese Academy of Geoscience, Series*, (1): 11 - 20 (in Chinese with English abstract)

Li CY, Wang Q, Liu XY and Tang YQ. 1984. Tectonic evolution of Asia. *Bulletin of Chinese Academy of Geoscience*, (3): 3 - 11 (in

- Chinese with English abstract)
- Li JY. 2001. Continental amalgamation and evolution in Northeast China and its neighbouring areas during the Paleozoic and Mesozoic. *Gondwana Research*, 4(4): 681–682
- Li M. 2010. Crustal growth and evolution of Northeastern China as revealed by U-Pb age and Hf isotopes of detrital zircons from modern rivers. Ph. D. Dissertation. Wuhan: China University of Geosciences (in Chinese with English summary)
- Li ST, Yang SG, Wu CL, Huang JF, Cheng ST, Xia WC and Zhao GR. 1987. Late Mesozoic rifting in northeast China and northeast Asia fault basin system. *Science in China (Series B)*, 21(2): 185–195 (in Chinese)
- Liu YS, Hu ZC, Gao S, Günther D, Xu J, Gao CG and Chen HH. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257: 34–43
- Ludwig KR. 2003. User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 70
- Luo Y, Wang ZB and Zhou DA. 1997. The geologic characteristics and prospecting prospect of Eerguna super large volcanic hydrothermal type uranium metallogenic belt. *Journal of East China Geological Institute*, 20(1): 1–10 (in Chinese with English abstract)
- Meert JG and Powell CMcA. 2001. Assembly and break-up of Rodinia: Introduction to the special volume. *Precambrian Res.*, 110: 1–8
- Maniar PD and Picoli PM. 1989. Tectonics discrimination of granitoids. *GSA Bulletin*, 101: 635–643
- Miao LC, Fan WM, Zhang FQ, Liu DY, Jian P, Shi GH, Tao H and Shi YR. 2003. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing-Kele complex in the northwestern Lesser Xingan Range, and its geological implications. *Chinese Science Bulletin*, 49(2): 201–209
- Miao LC, Liu DY, Zhang FQ, Fan WM, Shi YN and Jie HQ. 2007. Zircon's U-Pb dating for Xinhua dukun Group and Zalatanunqun Group at Hanjiayuanzi and Xinlin district in Daxinganling Mountain. *Chinese Science Bulletin*, 52: 591–601 (in Chinese)
- Pearce JA, Harris NW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, 25: 956–983
- Pitcher WS. 1983. Granite type and tectonic environment. In: Hsu K (ed.). *Mountain Building Processes*. Academic Press, London
- Pitcher WS. 1987. Granites and yet more granites forty years on. *Geol. Rund.*, 76: 51–79
- Pitcher WS. 1993. *The Nature and Origin of Granite*. London, United Kingdom: Blackie Academic & Professional,
- Ren JS, Chen TY, Niu BG *et al.* 1990. Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas. Beijing: Science Press, 1–205 (in Chinese)
- Rino S, Komiva TV, Windley BF *et al.* 2004. Major episodic increases of continental crustal growth determined from zircon ages of river sands: Implications for range overturns the arc Precambrian. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 146: 369–394
- Sengor AMC and Natalin BA. 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis. In: Yin A and Harrison TM (eds.). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge: Cambridge University Press, 486–640
- Shao JA, Zhang LLQ and Mu BL. 1999. Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Dahinggan MTS. *Earth science frontiers*, 6(4): 339–346 (in Chinese with English abstract)
- Shao JA, Zhang LQ, Mu BL and Han QJ. 2007. The Uplift of Daxinganling and Its Geodynamic Setting. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- She HQ, Liang YW, Li JW, Guan JD, Zhang DQ, Yang YC, Jin J, Tan GG, Zhang B and Xiang AP. 2011. The Early-Mesozoic magmatic activity at Moerdaogai district in Inner Mongolia and its implication to geodynamics. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1831–1864 (in Chinese with English abstract)
- Sui ZM, Ge WC, Wu FY, Xu XC and Wang QH. 2006. U-Pb chronology in zircon from Harabaqi granitic pluton in northeastern Daxinganling area and its origin. *Global Geology*, 25(3): 229–236 (in Chinese with English abstract)
- Sun DY, Wu FY, Li HM and Lin Q. 2000. The dating on the A-type granite in Xiaoxinganling Mountains and its relationship with the eastern Sulun-Hegenshan-Zhalaithe collision suture zone. *Chinese Science Bulletin*, 45(20): 2217–2222 (in Chinese)
- Sun DY, Wu FY and Gao S. 2004. LA-ICPMS zircon U-Pb age of the Qingshui pluton in the East Xiao Hinggan Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 213–218 (in Chinese with English abstract)
- Sun DY, Wu FY, Gao S and Lu XP. 2005. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang area, China. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 263–275 (in Chinese with English abstract)
- Sun GR, Li YC and Zhang Y. 2002. The basement tectonics of ergun massif. *Journal of Precious Metallic Geology*, 11(3): 129–139 (in Chinese with English abstract)
- Tomurtogoo OBF, Windley A, Badarch G and Liu DY. 2005. Zircon age and occurrence of the Adaatsag ophiolite and Muron shear zone, central Mongolia: Constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean, suture and orogen. *Journal of the Geological Society, London*, 162: 125–134
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin WL, Meier M, Oberli F, Quadt AV, Roddick JC and Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 19: 1–23
- Williams IS. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben MA, Shanks WC and Ridley WI (eds.). *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Review of Economic Geology*, 7: 1–35
- Wu FY, Sun DY and Lin Q. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181–189 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Huang BC, Ye K and Fang AM. 2008. Collapsed Himalayan-Tibetan orogen and the rising Tibetan Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 20(1): 1–30 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Sun DY, Ge WC *et al.* 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 1–30
- Wu G, Sun FY, Zhao CS, Li ZT, Zhao AL, Pang QB and Li GY. 2005. Discovery of the Early Paleozoic post-collisional granites in northern margin of the Erguna massif and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 50(20): 2278–2288 (in Chinese)
- Wu G. 2006. The metallogenetic setting and ore-formation process for base-metal and precious metal in Northern Daxinganling Mountain. Ph. D. Dissertation. Changchun: Jilin University (in Chinese with English summary)
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Study on the origin mineralogy of zircon and its restriction to U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604 (in Chinese)
- Xu B, Jacques C and Zhang FQ. 2001. Primary study on petrology and geochronology of blueschists in Sunitezuoqi, northern Inner Mongolia. *Scientia Geologica Sinica*, 36(4): 424–434 (in Chinese with English abstract)
- Xu ZG. 1997. The geotectonic evolution in Daxinganling Mountain and adjacent areas. In: Zhao YM, Zhang DQ *et al.* (eds.). *The Metallogenetic Rules and Perspective Evaluation in Daxinganling and Adjacent Areas*. Beijing: Seismic Press, 1–21 (in Chinese)
- Yan HQ, Hu SK, Ye M and Xiang WD. 1998. The ore enrichment area and supergiant ore deposits at the bordering area between China, Russia and Mongolia. *Science in China (Series D)*, 28(Suppl.2): 43–48 (in Chinese)
- Yannick D, Gilles R, Alain C, Patrick L and Denis G. 2011. Timing of exhumation of the Erendavaa metamorphic core complex (northeastern Mongolia): U-Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  constraints. *Journal of Asian Earth Sciences*. In: Press, Corrected Proof, Available

online 28 April 2011

- Zeng QD, Liu JM, Yu CM, Ye J and Liu HT. 2011. Metal deposits in the Da Hinggan Mountains, NE China: Styles, characteristics, and exploration potential. *International Geology Review*, 53: 846–878
- Zhang Y. 2008. Early Mesozoic igneous petroectonic assemblages and tectonic evolution of eastern Heilongjiang Provinces. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English summary)
- Zhang YL, Ge WC, Liu XM and Zhang JH. 2008. Isotopic characteristics and its significance of the Xinlin Town pluton, Great Hinggan Mountains. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(2): 177–186 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YL, Ge WC, Gao Y, Chen JS and Zhao L. 2010. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of granites in Longzhen area and their geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1059–1073 (in Chinese with English abstract)
- Zhao HB, Han ZZ and Liu XG. 2005. Isotopic ages of the granitic gneiss in Alongshan area of Daxinganling and its implication for global continental reconstructions. *Journal of the Eastern China Institute of Technology*, 28(4): 313–316 (in Chinese with English abstract)
- Zhao HB, Mo XX, Xu SM, Li SL and Ma BY. 2007. Composition and evolution of the Xinkailing metamorphic core complexes in Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Geology*, 42(1): 176–188 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YM, Zhang DQ and Xu ZG. 1997. The Metallogenic Rules and Perspective Evaluation in Daxinganling and Adjacent Areas. Beijing: Seismic Press (in Chinese)
- Zhao ZH, Sun DY, Gou J, Ren YS, Fu CL, Zhang XY, Wang X and Liu XM. 2011. Chronology and geochemistry of volcanic rocks in Tamulangou Formation from southern Manchuria, Inner-Mongolia. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1865–1880 (in Chinese with English abstract)
- Zhong DL and Ding L. 1996. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its mechanism. *Science in China (Series D)*, 29(4): 289–295 (in Chinese)
- Zhou JB, Wilde SA, Zhang XZ, Liu FL and Liu JH. 2011. Detrital zircons from phanerozoic rocks of the Songliao Block, NE China: Evidence and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, In Press, Corrected Proof, Available online 17 June 2011
- Zorin YA. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33–56
- Zhong YF, Ma CQ and She ZB. 2006. Geochemical characteristics of zircon and its applications in geosciences. *Geological Science and Technology Information*, 25(1): 27–35 (in Chinese with English abstract)
- 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. *科学通报*, 48(22): 2315–2323
- 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 范蔚茗, 石玉若, 颜炳强. 2007. 大兴安岭韩家园子新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. *科学通报*, 52: 591–601
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社
- 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵等. 1990. 中国东部大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1–205
- 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
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 韩庆军. 2007. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景. 北京: 地质出版社
- 余宏全, 梁玉伟, 李进文, 关继东, 张德全等. 2011. 内蒙古莫尔道嘎地区早中生代岩浆作用及其地球动力学意义. *吉林大学学报(自然科学版)*, 41(6): 1831–1864
- 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. *世界地质*, 25(3): 229–236
- 孙德有, 吴福元, 李惠民, 林强. 2000. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系. *科学通报*, 45(20): 2217–2222
- 孙德有, 吴福元, 高山. 2004. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定. *地球学报*, 25(2): 213–218
- 孙德有, 吴福元, 高山, 路孝平. 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约.

## 附中文参考文献

- 陈志广. 2010. 中国东北德乐布干成矿带中生代构造-岩浆成矿作用及其地球动力学背景. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所
- 邓晋福, 赵海玲, 赖绍聪, 刘厚祥, 罗照华. 1994. 白云母/二云母花岗岩形成于陆内俯冲作用. *地球科学*, 19(2): 139–147
- 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 赵海玲, 赵国春, 曹永清, 于学政. 1999. 岩构造组合与壳-幔成矿系统. *地学前缘*, 6(2): 259–270
- 邓晋福, 肖庆辉, 苏尚国等. 2007. 火成岩组合与构造环境: 讨论. *高校地质学报*, 13(3): 1–12
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, Abde AAL. 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. *科学通报*, 50: 1239–1247
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 张吉衡, 徐学纯, 程瑞玉. 2007a. 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

地学前缘, 12(2): 263 - 275

- 孙广瑞, 李仰春, 张昱. 2001. 额尔古纳地块基底地质构造. 地质与资源, 11(3): 129 - 139
- 吴福元, 孙德有, 林强. 1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生. 岩石学报, 15: 181 - 189
- 吴福元, 黄宝春, 叶凯, 方爱民. 2008. 青藏高原造山带的垮塌与高原隆升. 岩石学报 20(1): 1 - 30
- 武广, 孙丰月, 赵财胜, 李之彤, 赵爱琳, 庞庆帮, 李广远. 2005. 额尔古纳地块北缘早古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义. 科学通报, 50(20): 2278 - 2288
- 武广. 2006. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色-贵金属矿床成矿作用. 博士学位论文. 长春: 吉林大学
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589 - 1604
- 徐备, Charvet J, 张福勤. 2001. 内蒙古北部苏尼特左旗蓝片岩岩石学和年代学研究. 地质科学, 36(4): 424 - 434
- 徐志刚. 1997. 大兴安岭及其邻区构造演化及控矿作用. 见: 赵一鸣, 张德全等主编. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京: 地震出版社, 1 - 21
- 阎鸿铨, 胡绍康, 叶茂, 向伟东. 1998. 中、俄、蒙边境成矿密集区与超大型矿床. 中国科学 (D 辑), 28 (S2): 43 - 48

- 张彦龙, 葛文春, 柳小明, 张吉衡. 2008. 大兴安岭新林镇岩体的同位素特征及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版), 38(2): 177 - 186
- 张彦龙, 葛文春, 高研, 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. 岩石学报, 26(4): 1059 - 1073
- 张昱. 2008. 黑龙江省东部早中生代火成岩构造组合及其大地构造演化. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学
- 赵海滨, 韩振哲, 刘旭光. 2005. 大兴安岭阿龙山地区花岗片麻岩的同位素年龄与超大陆. 东华理工学院学报, 28(4): 313 - 316
- 赵海滨, 莫宣学, 徐受民, 李尚林, 马伯永. 2007. 黑龙江新开岭变质核杂岩的组成及其演化. 地质科学, 42(1): 176 - 188
- 赵一鸣, 张德全, 徐志刚等. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京: 地震出版社
- 赵忠华, 孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 张学元, 王晰, 柳小明. 2011. 满洲里南部塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1865 - 1880
- 钟大赉, 丁林. 1996. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨. 中国科学 (D 辑), 29(4): 289 - 295
- 钟玉芳, 马昌前, 余振兵. 2006. 锆石地球化学特征及地质应用研究综述. 地质科技情报, 25(1): 27 - 35