

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.11.010

# 大兴安岭北段洛古河地区晚寒武世花岗岩的岩石成因及其对兴蒙造山带构造演化的约束

周传芳<sup>1,2</sup>, 杨华本<sup>1,3</sup>, 段明新<sup>1,2</sup>, 陈卓<sup>1,2</sup>, 于俊博<sup>1</sup>, 杜海双<sup>1,4</sup>, 李少文<sup>1,4</sup>,  
张起鹏<sup>1</sup>, 胡宸<sup>1</sup>

ZHOU Chuanfang<sup>1,2</sup>, YANG Huaben<sup>1,3</sup>, DUAN Mingxin<sup>1,2</sup>, CHEN Zhuo<sup>1,2</sup>, YU Junbo<sup>1</sup>,  
DU Haishuang<sup>1,4</sup>, LI Shaowen<sup>1,4</sup>, ZHANG Qipeng<sup>1</sup>, HU Chen<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

4. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074

1. Harbin Center for Integrated Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin 150086, Heilongjiang, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China

**摘要:**大兴安岭北段早古生代花岗岩主要分布于漠河—塔河一线。对漠河北部洛古河二长花岗岩开展岩石年代学与岩石地球化学研究。二长花岗岩中锆石为岩浆成因, LA-ICP-MS U-Pb 测年表明, 其形成时代为晚寒武世(486±3 Ma)。岩石具高硅( $\text{SiO}_2=62.75\% \sim 73.32\%$ )、富碱(ALK=8.30%~9.45%)、高铝( $\text{Al}_2\text{O}_3=13.97\% \sim 16.53\%$ )、低镁、低钙和低钛的特点, 铝饱和指数 A/CNK 为 0.91~1.10, 属偏铝质高钾钙碱性岩石系列。 $\text{SiO}_2$ 与  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和  $\text{P}_2\text{O}_5$ 具有较好的负相关性; 富集 Rb、Th、U、K、Zr、Hf 等元素, 而强烈亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素, 球粒陨石标准化的稀土元素配分曲线图中呈轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的右倾型配分模式, 显示了 I 型花岗岩特征。综合分析认为, 洛古河岩体形成于西伯利亚板块南缘与额尔古纳等微陆块碰撞造山晚期由挤压体制向拉张体制转换的后碰撞构造环境。

**关键词:**晚寒武世; 二长花岗岩; 岩石地球化学; 锆石 U-Pb 年龄; 大兴安岭; 地质调查工程; 洛古河地区

**中图分类号:** P534.4; P588.12<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2023)11-1924-14

**Zhou C F, Yang H B, Duan M X, Chen Z, Yu J B, Du H S, Li S W, Zhang Q P, Hu C. Petrogenesis of Late Cambrian granite in Luoguhe district of the northern Great Xing'an Range and its constrain on the tectonic evolution of the Xing-Meng Orogenic Belt. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(11): 1924-1937**

**Abstract:** The Early Paleozoic granites in the northern part of the Great Xing'an Range are mainly distributed along the Mohe-Tahe. In this paper, geochronological and geochemical characteristics of the Luoguhe monzonite in the north of Mohe are studied. Zircons in the monzogranite is of magmatic origin, and LA-ICP-MS U-Pb dating indicates that it was formed in the Late Cambrian (486±3 Ma). The monzonite are characterized by high silicon ( $\text{SiO}_2=62.75\% \sim 73.32\%$ ), rich alkali (ALK=8.30%~9.45%), high aluminum

收稿日期: 2021-06-24; 修订日期: 2022-01-26

资助项目: 中国地质调查局项目《黑龙江大兴安岭地区洛古河、兴华沟林场、阿凌河、1072.3 高地幅 1:5 万区域地质矿产调查》(编号: DD2016007803)、《大兴安岭山区生态地质调查》(编号: DD20191014)、《小兴安岭黑河地区自然资源综合调查》(编号: DD20230504)

作者简介: 周传芳(1985-), 男, 在读博士生, 高级工程师, 从事区域地质矿产调查、生态地质调查研究。E-mail: 546011015@qq.com

( $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.97\% \sim 16.53\%$ ), low magnesium, low calcium and low titanium, with  $A/\text{CNK}$  value ranging from 0.91 to 1.10, indicating that monzonite belongs to aluminous and high potassium calc-alkaline rock series. The  $\text{SiO}_2$  content has a negative correlation with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Rb, Th, U, K, Zr, Hf elements are enriched, while Ba, Nb, Ta, Sr, P and Ti are strongly depleted. In the chondrite normalized REE partition curves, LREE is enriched and HREE is depleted, which shows the characteristics of I-type granites. Comprehensive analysis shows that the Luoguhe pluton was formed in a post-collisional tectonic setting during the late period of the orogeny between the southern margin of the Siberian plate and the Erguna micro landmass, which was transformed from compression system to extension system.

**Key words:** Late Cambrian; monzogranite; petro-geochemistry; zircon U-Pb dating; Great Xing'an Range; geological survey engineering; Luoguhe district

中亚造山带东段在中国境内通常称为兴蒙造山带,由一系列微陆块、岛弧、增生楔、蛇绿岩等构成,自北向南依次划分出额尔古纳地块、兴安地块(或增生带)、松嫩地块(宫昀迪等,2021)、佳木斯地块和兴凯地块,以及地块之间的增生构造带(许文良等,2019)。兴蒙造山带主要记录了古亚洲洋演化,特别是华北板块和西伯利亚板块碰撞拼合的重要信息(Xiao et al., 2003; 2009; Jian et al., 2008; Xu et al., 2013; 2015; 杨泽黎等, 2021)。在大地构造演化史上,遭受了中生代蒙古-鄂霍茨克构造域和滨太平洋构造域的叠加作用(刘建明等, 2004; Wu et al., 2011; 陈衍景等, 2012; 余宏全等, 2012; 柴明春等, 2018; 冯志强等, 2019),是多个构造体系叠加与演化的经典地区(许文良等, 2019)。兴蒙造山带东段的大兴安岭地区,是研究兴蒙造山带构造演化和古亚洲洋北段闭合过程的重要地区(葛文春等, 2005; 吴琼等, 2019; 吴子杰等, 2020; 周传芳等, 2020)。该地区满洲里市-漠河市存在长余 300 km、宽 20~100 km 与多金属成矿关系密切的显生宙花岗岩带(秦秀峰等, 2007; 隋振民等, 2009; 曲晖等, 2011; 李成禄等, 2013; 周传芳等, 2020)。近年来,大兴安岭北部额尔古纳地块相继报道了早古生代花岗岩,形成于 520~460 Ma(刘敦一等, 2003; 武广等, 2005; 葛文春等, 2007),为碰撞挤压造山-后碰撞拉张构造环境(刘敦一等, 2003; 武广等, 2005; 隋振民等, 2006; 秦秀峰等, 2007; 葛文春等, 2007; 杜兵盈等, 2019; 段明新等, 2019; 吴琼等, 2019)。但对其大地构造背景还存在争议:一种观点认为,大兴安岭北部早古生代花岗岩形成于额尔古纳地块与兴安地块碰撞拼合后的构造环境(汪岩等, 2017; 杜兵盈等, 2019; 段明新等, 2019);另一种观点则认为,形成于西伯利亚板块南缘与额尔古纳地块碰撞拼合的后碰撞环境(葛文春等, 2005; 武广等, 2005;

吴琼等, 2019)。

前人对额尔古纳地块早古生代花岗岩具体物质记录和研究工作主要集中在中南部的塔河地区(葛文春等, 2005; 隋振民等, 2006; 汪岩等, 2017; 杜兵盈等, 2019),对于额尔古纳中北部花岗岩的研究较少,对其形成的大地构造背景也存在上述不同的观点。笔者以额尔古纳地块北部由二长花岗岩和石英闪长岩组成的洛古河岩体为研究对象,对其开展系统的岩石学、地球化学和锆石 U-Pb 测年研究,确定该岩体的形成时代及岩石成因,并结合前人资料,综合探讨其大地构造背景,为兴蒙造山带东段和额尔古纳地块构造演化研究提供新的地质资料,对重塑兴蒙造山带东段古生代地质演化历史具有重要意义。

## 1 地质概况

研究区位于大兴安岭北部,蒙古-鄂霍茨克造山带东南缘,大地构造位置属于额尔古纳地块(武广等, 2005; 吴琼等, 2019; 周传芳等, 2020)。区内出露地层主要有中-新元古界兴华渡口群黑云石英片岩、黑云阳起片岩、浅粒岩、二云石英片岩、透闪石大理岩等,南华系佳疙瘩组二云石英片岩、绿泥绢云片岩、千枚岩、大理岩、石英岩等,震旦系额尔古纳河组灰岩、绿泥绢云片岩、千枚岩和绿泥石英片岩等(周传芳等, 2021);中生界主要为中-上侏罗统额尔古纳河群绣峰组、二十二站组、漠河组、开库康组陆源碎屑沉积岩(李春雷, 2007),九峰山组粗粒砂岩、含砾砂岩、沉火山角砾岩夹泥岩及煤线,甘河组玄武岩、玄武质安山岩及玄武安山质火山角砾岩等;新生界为古近系孙吴组弱固结砂砾岩和第四系松散沉积物(周传芳等, 2020)。区内岩浆活动频繁,主要包括中-晚寒武世、晚奥陶世和晚三叠世-早侏罗世花岗岩类,以中生代晚三叠世-早侏

罗世岩浆活动最强烈。其中,晚寒武世花岗岩分布于研究区北部,以二长花岗岩为主要单元,侵入到兴华渡口岩群,被晚侏罗世漠河组砂岩角度不整合覆盖。受漠河推覆构造影响,盆地北部地质体多发生韧性变形,构造以北西向和北东向断裂为主,近东西向和近南北向断裂次之(图1-b)。

## 2 样品采集及岩相学特征

样品采自漠河市洛古河村东约9 km处,晚寒武世二长花岗岩与兴华渡口岩群实测剖面PM07上。该剖面晚寒武世二长花岗岩被漠河组砂岩角

度不整合覆盖,侵入兴华渡口岩群大理岩内(图2-a,b),二者的接触边界可见矽卡岩化(图2-b,c)。受漠河推覆构造影响,岩石多发生糜棱岩化。本次晚寒武世侵入岩的锆石U-Pb测年样品和地球化学样品均采自PM07剖面上(图2-d),镜下鉴定为糜棱岩化中粗粒二长花岗岩(图2-e)。

洛古河岩体岩石组合主要为灰白色糜棱岩化中粗粒二长花岗岩、花岗质初糜棱岩、花岗质糜棱岩等。糜棱岩化中粗粒二长花岗岩为中粗粒花岗岩结构,块状构造、弱定向构造。主要矿物为斜长石(35%~55%),呈半自形—他形板状、粒状;钾长石

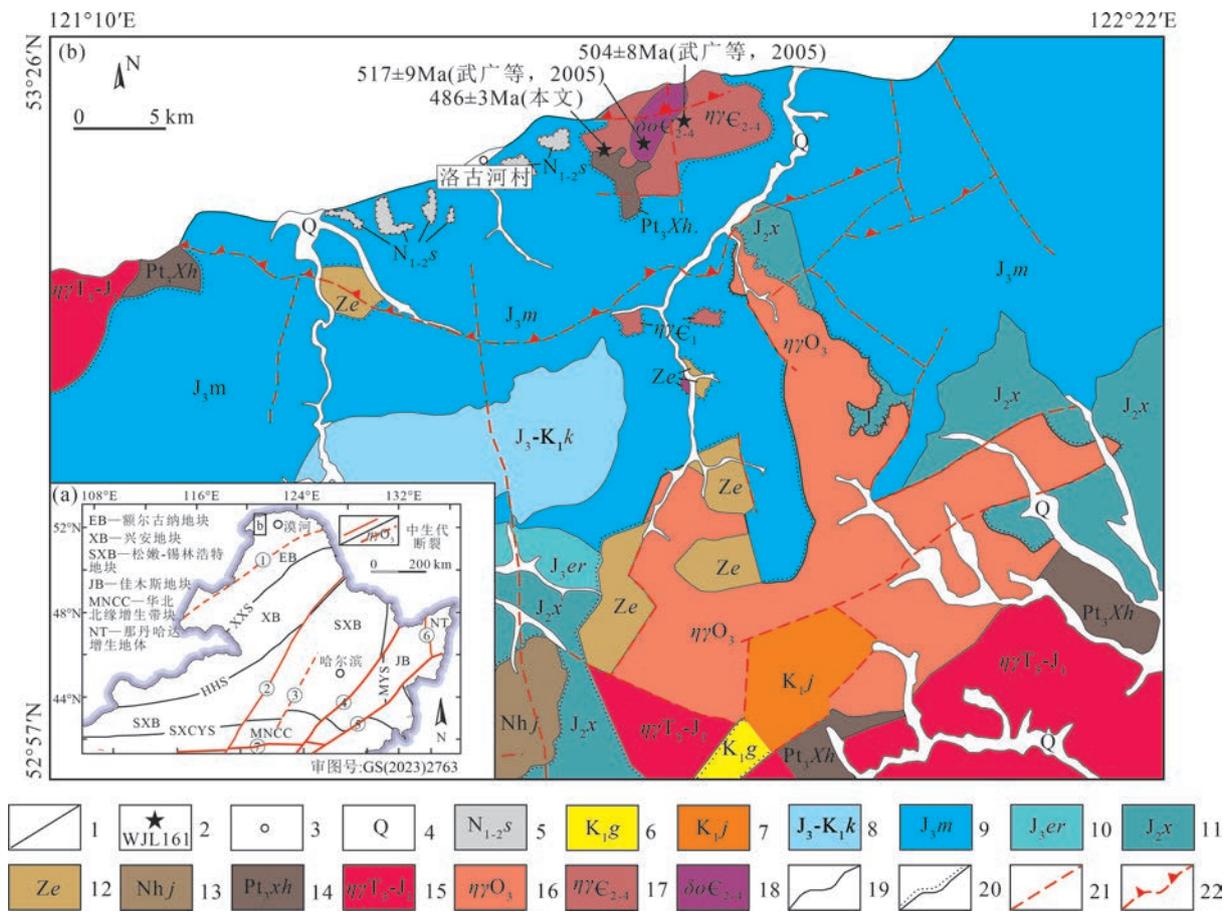


图1 大兴安岭北部大地构造分区图(a)和洛古河地区地质简图(b)

(图a据冯志强等,2019,许文良等,2019;图b据周传芳等,2021修改)

Fig. 1 Tectonic division of northern Great Xing'an Range (a) and regional geological map of Luoguhe district (b)

XXS—新林—喜桂图缝合带;HHS—贺根山—黑河缝合带;MYS—牡丹江—依兰缝合带;SXCYS—索伦—西拉木伦河—长春—延吉缝合带;①—得尔布干断裂;②—嫩江—八里罕断裂;③—中央断裂;④—佳木斯—伊通断裂;⑤—敦化—密山断裂;⑥—跃进山断裂;⑦—赤峰—开原断裂;1—地块构造边界;2—年龄样品位置及编号;3—城镇及位置;4—第四系松散堆积物;5—孙吴组弱固结砂砾岩;6—甘河组火山岩;7—九峰山组砂砾岩;8—开库康组砂砾岩;9—漠河组砂岩;10—二十二站组砂岩;11—绣峰组砂砾岩;12—额尔古纳组中浅变质岩;13—佳椴组中浅变质岩;14—兴华渡口群中深变质岩;15—晚三叠世—早侏罗世二长花岗岩;16—晚奥陶世二长花岗岩;17—中—晚寒武世二长花岗岩;18—中—晚寒武世石英闪长岩;19—整合地质界线;20—角度不整合地质界线;21—遥感解译断裂构造;22—推覆构造

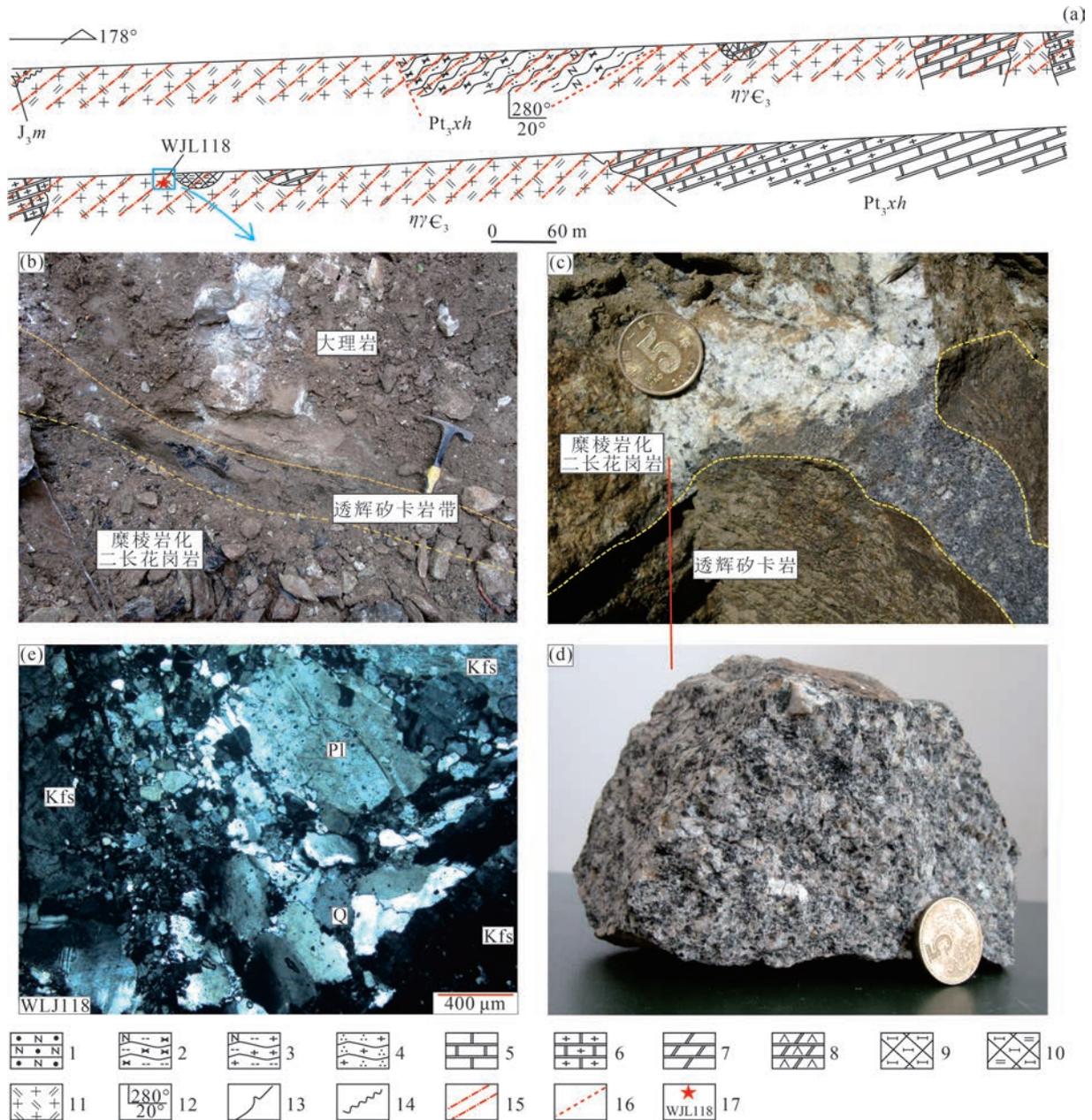


图 2 漠河地区晚寒武世二长花岗岩控制剖面及照片 (PM07)

Fig. 2 Late Cambrian monzonitic granite profile and photos of Mohe area

1—粗粒长石砂岩;2—钠长黑云阳起片岩;3—钠长黑云透闪片岩;4—透闪石英片岩;5—大理岩;6—透闪石大理岩;7—白云石大理岩;8—镁橄白云石大理岩;9—透辉矽卡岩;10—白云母透辉矽卡岩;11—二长花岗岩;12—产状;13—侵入界线;14—角度不整合;15—糜棱岩化;16—推断断层;17—年龄样品位置。J<sub>3</sub>m—上侏罗统漠河组;Pt<sub>3</sub>xh—新元古代兴华渡口岩群;ηγЄ<sub>3</sub>—晚寒武世二长花岗岩;Q—石英;Pl—斜长石;Kfs—钾长石

(10%~30%),呈半自形—他形板状、粒状;石英(20%~35%),呈他形粒状或集合体;铁镁矿物由角闪石和黑云母组成,强烈绿泥石化、绿帘石化,黑云母含量1%~5%,角闪石含量1%~3%。副矿物主要为褐铁矿、磁铁矿等。受漠河推覆构造影响,岩石

普遍具有糜棱结构、初糜棱结构、眼球状构造和条带状构造。由碎块、碎斑和基质组成,碎块为二长花岗岩,多呈眼球状,主要由钾长石、斜长石、石英、角闪石、少量黑云母等组成,碎块大小为1.0~30.0 mm,沿长轴方向略显定向分布,含量30%~60%。

碎斑主要由石英、钾长石、斜长石和少量角闪石、黑云母等组成,多数呈次棱角状,少数呈眼球状,粒径0.2~3.0 mm,含量10%~30%。基质具显微粒状变晶结构,主要由显微—细粒石英、长石和少量碎粒化的角闪石、鳞片状的黑云母等组成,以混晶集合体的形式定向分布于上述碎块、碎斑的周围,含量20%~70%(图2-e)。

### 3 分析测试方法

全岩主量、微量和稀土元素分析由河北省区域地质矿产调查研究所完成。全岩主量元素采用熔片法X-射线荧光光谱(XRF)测定,样品分析准确度和精度优于2%;微量和稀土元素采用Teflon熔样罐熔样,采用双聚焦高分辨等离子体质谱仪ICP-MS进行测定,该仪器由Finnigan MAT公司生产,准确度和精度均优于10%。样品分析测试具体实验条件和步骤参考Liang et al.(2000)。

测年样品的粉碎、挑选、制靶、照相由河北省区域地质矿产调查研究所完成,LA-ICP-MS锆石U-Pb测年分析由天津地质矿产研究所同位素实验室完成。样品粉碎后,采用浮选和电磁选法进行分选,在双目镜下选出晶形较好的锆石,粘贴在环氧树脂表面,打磨抛光露出锆石表面制成样靶,进行透射光、反射光和阴极发光(CL)照相后,在LA-ICP-MS仪器上进行锆石U-Pb测年分析。利用193 nm激光器,其激光斑束直径为35  $\mu\text{m}$ ,激光能量密度为13~14  $\text{J}/\text{cm}^2$ ,频率8~10 Hz,激光剥蚀物质以氦为载气送入Neptune,对锆石进行剥蚀,利用

动态变焦扩大色散可以同时接收质量数相差很大的U-Pb同位素,进行锆石U-Pb同位素原位测定。采用TEMORA作为外部锆石年龄标准,NIST610玻璃标样作为外标计算锆石样品的Pb、U、Th含量。样品信号采集时间60 s(其中20 s为空白的测定)。采用ICP-MS DataCal和Isoplot程序进行数据处理,数据处理方法同文献Liu et al.(2008)。

### 4 分析结果

#### 4.1 锆石U-Pb分析结果

本次洛古河岩体测年样品(WJL118)采样坐标为北纬 $53^{\circ}22'08''$ 、东经 $121^{\circ}45'05''$ ,对其进行LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素分析,分析结果见表1。样品锆石均为无色透明,晶形较好,呈半自形—自形短柱状,少量呈长柱状,长50~150  $\mu\text{m}$ ,长宽比为1.5:1~2:1,多数锆石具有环带结构(图3),Th/U值介于0.06~0.83之间(多数为0.3~0.5),表明锆石为岩浆成因(Koschek, 1993)。样品共分析了32个测点(其中24号点信号无效),谐和线上29个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中分布于479~496 Ma(图4),年龄加权平均值为 $486\pm 3$  Ma(MSWD=1.6),代表了二长花岗岩的形成年龄。根据最新国际年代地层表(2018),处于寒武系与奥陶系分界年龄( $485.4\pm 1.9$  Ma)误差范围,故将其定为晚寒武世。

#### 4.2 岩石地球化学特征

本次选取6件样品进行岩石地球化学分析,同时引用武广等(2005)8件样品数据进行对比分析。

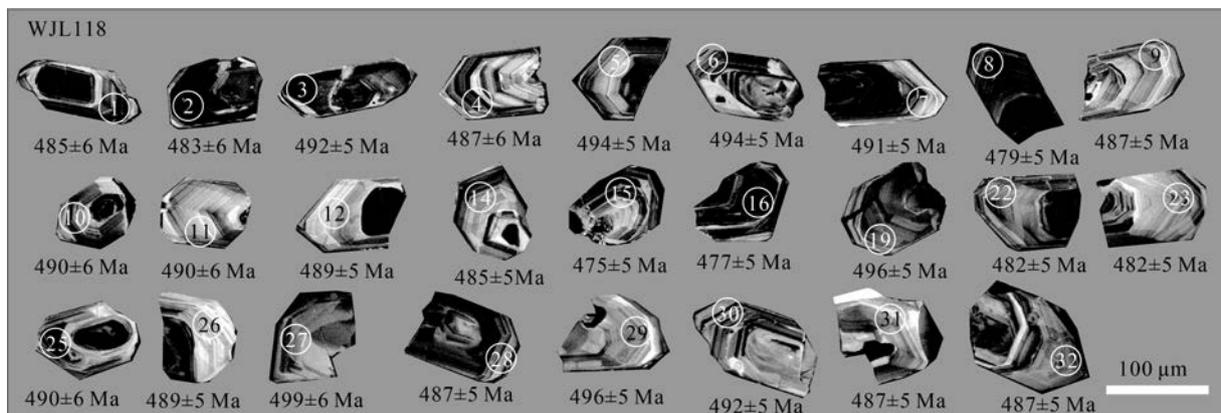


图3 漠河地区晚寒武世二长花岗岩(D1966)代表性锆石阴极发光图像

Fig. 3 Cathodoluminescence images of representative zircons from Late Cambrian monzogranite (D1966) in Mohe area

表 1 漠河地区晚寒武世二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析测定结果  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic dating of Late Cambrian monzonite in Mohe area

测点号	含量/ $10^{-6}$		Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
1	63	759	0.4702	0.0579	0.0008	0.6235	0.0096	0.0781	0.0009	526	29	492	8	485	6
2	150	1903	0.3478	0.0574	0.0007	0.6160	0.0087	0.0778	0.0009	509	26	487	7	483	6
3	100	1205	0.5142	0.0579	0.0007	0.6334	0.0088	0.0793	0.0009	526	26	498	7	492	5
4	73	894	0.4440	0.0574	0.0007	0.6214	0.0089	0.0785	0.0009	506	26	491	7	487	6
5	39	477	0.4439	0.0571	0.0008	0.6267	0.0103	0.0796	0.0009	496	31	494	8	494	5
6	60	723	0.4670	0.0572	0.0007	0.6286	0.0089	0.0797	0.0009	499	27	495	7	494	5
7	44	529	0.5219	0.0573	0.0009	0.6256	0.0106	0.0791	0.0008	504	34	493	8	491	5
8	55	696	0.4018	0.0578	0.0007	0.6153	0.0089	0.0772	0.0008	523	28	487	7	479	5
9	49	602	0.4582	0.0579	0.0007	0.6263	0.0088	0.0785	0.0008	525	27	494	7	487	5
10	38	466	0.3694	0.0571	0.0008	0.6218	0.0099	0.0789	0.0010	497	31	491	8	490	6
11	37	441	0.5023	0.0574	0.0008	0.6244	0.0101	0.0789	0.0009	507	32	493	8	490	6
12	33	410	0.3618	0.0575	0.0008	0.6249	0.0099	0.0788	0.0008	511	31	493	8	489	5
13	62	799	0.3391	0.0590	0.0007	0.6260	0.0089	0.0769	0.0008	569	26	494	7	478	5
14	81	1020	0.4156	0.0572	0.0007	0.6159	0.0083	0.0781	0.0008	499	26	487	7	485	5
15	72	910	0.4612	0.0580	0.0007	0.6108	0.0084	0.0764	0.0008	529	26	484	7	475	5
16	70	902	0.3773	0.0577	0.0007	0.6104	0.0085	0.0767	0.0008	518	26	484	7	477	5
17	33	421	0.3169	0.0588	0.0008	0.6277	0.0094	0.0774	0.0009	559	29	495	7	481	5
18	23	294	0.4108	0.0590	0.0009	0.6254	0.0107	0.0769	0.0008	567	34	493	8	477	5
19	59	716	0.5142	0.0574	0.0007	0.6329	0.0088	0.0799	0.0008	508	27	498	7	496	5
20	24	342	0.0628	0.0595	0.0010	0.6269	0.0129	0.0765	0.0009	584	38	494	10	475	5
21	39	515	0.2726	0.0597	0.0008	0.6243	0.0092	0.0759	0.0008	593	28	493	7	471	5
22	49	628	0.3550	0.0573	0.0007	0.6132	0.0087	0.0776	0.0008	504	28	486	7	482	5
23	50	630	0.3640	0.0583	0.0007	0.6243	0.0090	0.0777	0.0008	541	28	493	7	482	5
25	90	1027	0.8303	0.0584	0.0007	0.6368	0.0091	0.0790	0.0009	546	26	500	7	490	6
26	16	205	0.2837	0.0576	0.0011	0.6266	0.0129	0.0788	0.0008	516	42	494	10	489	5
27	22	282	0.3059	0.0570	0.0010	0.6322	0.0138	0.0804	0.0009	492	38	497	11	499	6
28	76	957	0.4114	0.0572	0.0007	0.6196	0.0083	0.0785	0.0008	501	26	490	7	487	5
29	44	555	0.3779	0.0569	0.0009	0.6272	0.0102	0.0800	0.0008	486	33	494	8	496	5
30	62	771	0.4031	0.0580	0.0007	0.6343	0.0087	0.0793	0.0009	531	26	499	7	492	5
31	27	346	0.3183	0.0575	0.0008	0.6223	0.0100	0.0785	0.0009	512	32	491	8	487	5
32	35	412	0.4161	0.0840	0.0012	0.9074	0.0137	0.0784	0.0008	1291	27	656	10	487	5

4.2.1 主量元素

洛古河地区二长花岗岩主量元素分析结果列于表 2。6 件样品 SiO<sub>2</sub> 含量介于 62.75%~73.32% 之间, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量介于 13.97%~16.53% 之间, TiO<sub>2</sub> 含量介于 0.23%~0.59%, 全碱含量 (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) 介于

8.30%~9.45% 之间, K<sub>2</sub>O 含量介于 4.69%~5.78% 之间, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值为 1.29~1.57, 平均值为 1.45, Mg<sup>#</sup> 值普遍偏低 (17.71~37.18, 平均值为 25.62)。铝饱和指数 A/CNK 为 0.91~1.10 (平均值为 1.02, 属偏铝质岩石), 里特曼指数  $\sigma$  为 0.55~0.95, 属于

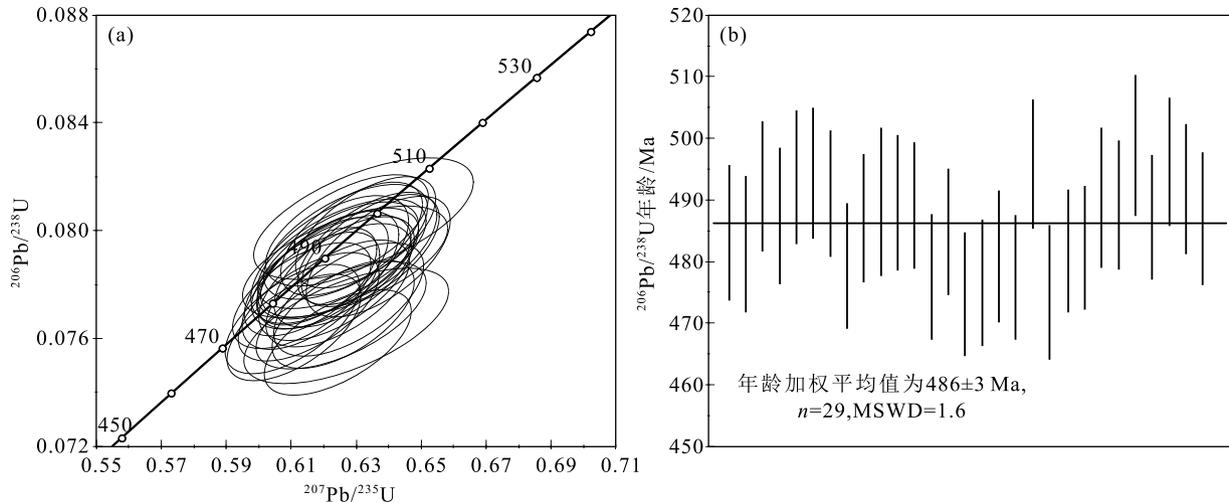


图4 漠河地区晚寒武世二长花岗岩锆石 U-Pb 谐和图(a)和年龄加权平均值图(b)

Fig. 4 Zircon U-Pb concordance(a) and weighted mean age(b) of Late Cambrian monzonite in Mohe area

钙碱性系列。在 TAS 图解(图 5-a)中,样品点主要分布在石英二长岩和花岗岩区域,在  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解(图 5-b)中,主要分布在高钾钙碱性系列—钾玄岩系列区域。与本文数据对比,武广等(2005)采集的样品  $\text{SiO}_2$ (54.79%~66.45%)、全碱(6.78%~9.13%)、 $\text{K}_2\text{O}$ (2.31%~4.28%)含量偏低, $\text{Mg}^\#$ 值(22~39,平均值为 32)和铝饱和度  $A/\text{CNK}$ (0.77~1.18,平均值 0.9)与本次数据相当,在 TAS 图解(图 5-a)中,主要

分布在二长岩和石英二长岩区域,在  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解(图 5-b)中,主要分布在高钾钙碱性系列区域。

#### 4.2.2 稀土和微量元素

洛古河地区二长花岗岩稀土和微量元素分析结果列于表 3。稀土元素总量较高, $\Sigma\text{REE} = 197.52 \times 10^{-6} \sim 544.28 \times 10^{-6}$ ,轻、重稀土元素比值  $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.27 \sim 4.54$ ,分馏较弱。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线呈轻稀土元素富集、重稀土元素亏损

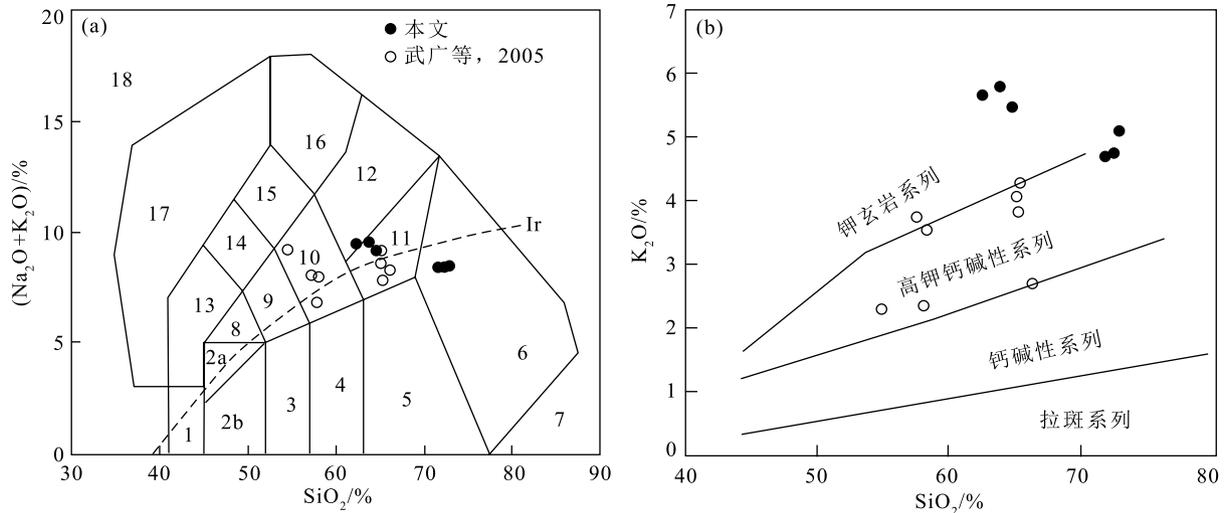


图5 漠河地区晚寒武世二长花岗岩 TAS 图解(a)(底图据 Middlemost,1994)和  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  图解(b)(底图据 Peccerillo et al.,1976)

Fig. 5 TAS diagram (a) and  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  diagram (b) of Late Cambrian monzonite in Mohe area

1—橄榄辉长岩;2a—碱性辉长岩;2b—亚碱性辉长岩;3—辉长闪长岩;4—闪长岩;5—花岗闪长岩;6—花岗岩;7—石英岩;8—二长辉长岩;9—二长闪长岩;10—二长岩;11—石英二长岩;12—正长岩;13—副长石辉长岩;14—副长石二长闪长岩;15—副长石二长正长岩;16—副长正长岩;17—副长深成岩;18—霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩;Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

表 2 漠河地区晚寒武世二长花岗岩主量元素特征

Table 2 Major elements characteristics of Late Cambrian monzogranite in Mohe area

元素	WJL118	WJL148	WJL149	WJL150	WJL151	WJL180
	花岗质初 糜棱岩	二长花岗质 初糜棱岩	花岗质初 糜棱岩	二长花岗质 初糜棱岩	花岗质 糜棱岩	糜棱岩化中粒 二长花岗岩
SiO <sub>2</sub>	62.75	73.32	72.87	64.97	64.07	72.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.34	13.97	14.26	15.62	16.53	14.44
TiO <sub>2</sub>	0.59	0.23	0.24	0.53	0.51	0.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.10	0.59	0.68	1.67	1.64	0.56
FeO	4.15	1.22	1.25	3.62	3.62	1.51
CaO	2.76	1.08	1.09	2.83	2.46	1.17
MgO	0.62	0.37	0.41	0.54	0.55	0.57
K <sub>2</sub> O	5.63	5.09	4.73	5.46	5.78	4.69
Na <sub>2</sub> O	3.73	3.32	3.57	3.66	3.67	3.63
MnO	0.11	0.03	0.03	0.09	0.09	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.05	0.05	0.15	0.13	0.07
灼失量	0.85	0.66	0.74	0.67	0.75	0.82
总和	99.78	99.92	99.92	99.80	99.80	99.92
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	9.36	8.41	8.30	9.12	9.45	8.31
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.51	1.53	1.33	1.49	1.57	1.29
TFeO	6.04	1.75	1.86	5.12	5.10	2.02
Mg <sup>#</sup>	17.71	30.72	31.61	18.11	18.44	37.18
A/CNK	0.95	1.08	1.10	0.91	0.99	1.10
σ	0.95	0.55	0.56	0.83	0.90	0.57

注:A/CNK=(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(CaO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O),摩尔数比;Mg<sup>#</sup>=100 \* Mg<sup>2+</sup>/(Mg<sup>2+</sup>+Fe<sup>2+</sup>+Fe<sup>3+</sup>),离子摩尔数;σ=(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)×2/(SiO<sub>2</sub>-43),质量分数

的右倾型配分模式(图 6-a), (La/Yb)<sub>N</sub> 值为 3.73~12.42, 负 Eu 异常明显 (δEu = 0.28~0.59), 表明源区有斜长石残留。稀土元素特征与武广等(2005)数据

基本一致。在微量元素蛛网图(图 6-b)上, 富集 Rb、Th、U、K、Zr、Hf 等元素, 而强烈亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素。

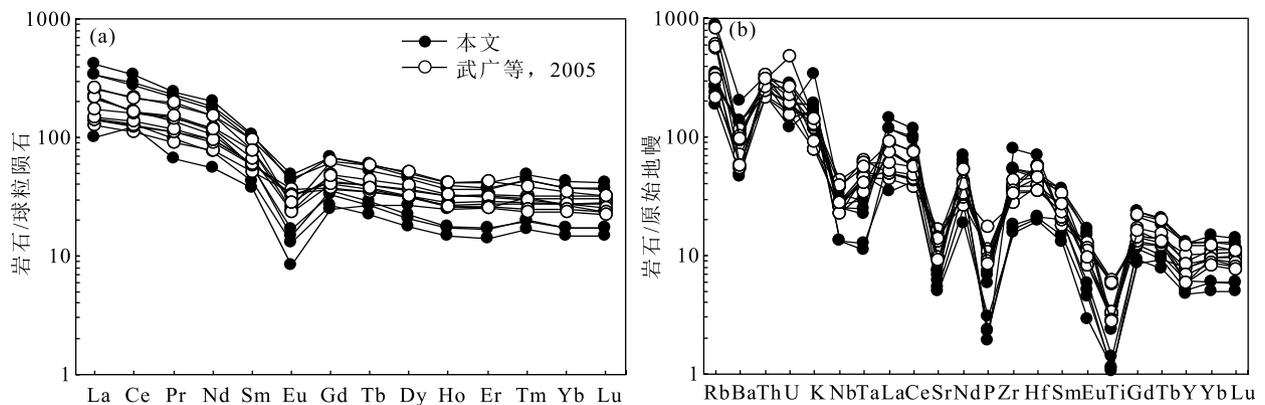


图 6 漠河地区晚寒武世二长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

(球粒陨石标准化值据 Boynton, 1984, 原始地幔标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 6 The chondrite normalized REE distribution patterns(a) and primitive mantle normalized spider diagrams of trace elements (b) from Late Cambrian monzogranite in Mohe area

表3 漠河地区晚寒武世二长花岗岩稀土和微量元素特征

Table 3 Chemical characteristics of rare earth elements and trace elements from Late Cambrian monzogranite in Mohe area

10<sup>-6</sup>

样品号	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
WJL118	57.82	80.22	179.08	21.54	84.14	15.60	2.81	13.90	2.26	12.72	2.38	6.85
WJL148	28.10	50.94	102.96	13.11	49.09	8.94	0.85	7.24	1.08	5.59	0.99	2.88
WJL149	21.46	34.56	78.95	9.19	35.62	6.58	0.75	5.48	0.84	4.54	0.84	2.30
WJL150	56.98	80.21	169.14	20.77	79.78	14.45	2.58	12.54	1.95	11.28	2.09	6.11
WJL151	58.33	98.58	205.64	23.23	94.31	16.35	2.48	14.12	2.19	11.95	2.23	6.21
WJL180	36.05	23.58	75.59	6.30	25.48	5.67	0.49	5.14	1.00	6.71	1.41	4.17
样品号	Tm	Yb	Lu	δEu	ΣREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	LREE/HREE	Li	Sc	Ga	Rb	Sr
WJL118	1.24	7.23	1.04	0.58	488.61	7.96	3.64	93.75	17.79	26.22	169.95	142.20
WJL148	0.50	2.94	0.43	0.32	275.64	12.42	4.54	43.50	3.79	20.44	150.98	129.96
WJL149	0.42	2.47	0.37	0.38	204.38	10.05	4.27	50.60	2.67	19.53	120.03	114.64
WJL150	1.12	6.43	0.95	0.59	466.33	8.95	3.69	39.61	18.41	25.79	167.16	159.22
WJL151	1.12	6.33	0.92	0.50	544.28	11.17	4.26	63.17	12.90	26.50	168.53	154.52
WJL180	0.79	4.54	0.60	0.28	197.52	3.73	2.27	90.14	3.64	23.59	221.90	105.79
样品号	Zr	Nb	Ba	Hf	Ni	Cr	V	Ta	Th	U	Ag	10000Ga/Al
WJL118	596.09	18.94	962.70	15.45	1.80	2.71	12.70	1.22	21.07	4.13	0.04	3.03
WJL148	203.87	9.46	401.35	6.52	2.88	3.64	11.27	0.45	24.44	3.06	0.02	2.76
WJL149	186.32	9.37	337.48	6.33	3.49	4.01	9.57	0.52	19.08	3.46	0.02	2.58
WJL150	609.89	18.09	966.97	14.50	1.86	3.56	12.61	0.90	19.04	2.51	0.05	3.12
WJL151	580.33	18.29	909.98	14.04	5.38	5.16	13.67	1.01	24.62	3.95	0.03	3.03
WJL180	174.78	15.89	320.86	6.00	4.07	5.56	13.27	1.92	26.17	5.92	0.05	3.09

注:δEu=Eu<sub>N</sub>/[(Gd<sub>N</sub>+Sm<sub>N</sub>)/2]

## 5 讨论

### 5.1 洛古河花岗岩形成时代

兴蒙造山带北段存在近北东向展布的早古生代岩浆活动,大兴安岭北部早古生代岩浆岩是兴蒙造山带北段早古生代岩浆岩带的重要组成部分。近年来,塔河—漠河一带早古生代侵入岩报道较多(表1),其岩石特征与后造山花岗岩相似,主要为高钾钙碱性花岗岩和A型花岗岩(葛文春等,2005;杨奇获,2014)。Sorokin et al.(2004)在额尔古纳地块的俄罗斯境内也发现存在467~472 Ma的淡色亚碱性花岗岩。从区域资料看,额尔古纳地块早古生代的花岗岩发育普遍,时代为460~517 Ma。笔者对洛古河岩体糜棱岩化二长花岗岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb测年,年龄加权平均值为486±3 Ma,所测样品的数据点均位于U-Pb谐和线上,具有确切的地质含义,代表了洛古河糜棱岩化二长花岗岩岩浆侵位结晶的年龄。武广等(2005)对洛古河岩

体中石英闪长岩和二长花岗岩进行了SHRIMP锆石U-Pb测年,年龄分别为517±9 Ma和504±8 Ma,与本次报道的糜棱岩化二长花岗岩年龄最大相差31 Ma。因此,笔者认为,洛古河地区早古生代岩浆活动可能具有多期次活动特征,洛古河岩体为多次侵入的杂岩体。

### 5.2 洛古河花岗岩成因和构造环境

洛古河早古生代花岗岩整体呈长椭圆状,具有似斑状、中—粗粒结构,形成于中深成相环境,主要为遭受不同程度糜棱岩化的二长花岗岩,岩石矿物成分主要为石英和长石,暗色矿物为角闪石和黑云母,副矿物为磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石等。从微量元素分析可以看出,岩石总体表现出高硅、富碱、贫镁、贫铁、低钛和低Mg<sup>#</sup>值(17.71~37.18,平均值为25.62)特征,属偏铝质高钾钙碱性岩石系列,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量随SiO<sub>2</sub>的升高而降低(图7),具较好的负相关性,显示岩浆经历了较高级别的结晶分异作用,具有高分异I型花岗岩的演化趋势,从

表 4 大兴安岭北段漠河—塔河地区早古生代花岗岩特征

Table 4 Characteristics of Early Paleozoic granite for Mohe-Tahe district in Northern Great Xing'an Range

采样位置	岩性	测年方法	年龄/Ma	大地构造环境	资料来源	
瓦拉干火山岩	玄武安山区	LA-ICP-MS	501.1±1.4	后碰撞造山环境	汪岩等,2017	
	粗面玄武岩		500.5±0.95			
壮志林场	花岗岩	LA-ICP-MS	488.9±2.6	后造山环境	杜兵盈等,2019	
塔河杂岩体	碱长花岗岩	LA-ICP-MS	492±5	后造山背景	葛文春等,2005	
	正长花岗岩		494±9			
	正长花岗岩		485±6			
	辉长岩		490±3			
塔河地区	二长花岗岩		485±3			
	永庆林场 (十八站岩体)	斑状二长花岗岩	499±1			
	韩家园子南 (内河岩体)	角闪花岗闪长岩	LA-ICP-MS	500±1	后造山或碰撞 后造山环境	葛文春等,2007
			黑云母二长花岗岩			
	查拉班河	黑云母花岗闪长岩	LA-ICP-MS	475±2		
				465±1		
白银纳西	黑云母花岗闪长岩	LA-ICP-MS	460±1			
哈拉巴奇	二长花岗岩	LA-ICP-MS	500±2	后造山环境	隋振民等,2006	
	黑云母花岗闪长岩		461±2			
十八站-韩家园	二长闪长岩	LA-ICP-MS	512.4±3.5	活动大陆边缘/ 岛弧环境	柴明春等,2018	
漠河市西门都里	二长花岗岩		502.1±6.5		秦秀峰等,2007	
漠河地区	漠河漠北公路	黑云母二长花岗岩 (A型花岗岩)	481±5	造山后伸展环境	吴琼等,2019	
	漠河富源沟岩体	含电气石花岗岩 (S型花岗岩)	458±4	同碰撞构造背景	段明新等,2019	
		洛古河 (洛古河岩体)	二长花岗岩 石英闪长岩	SHRIMP 504±8 517±9	后碰撞造山环境	武广等,2005

武广等(2005)文献中的石英闪长岩到本文的二长花岗岩,相当于从含角闪石钙碱性花岗岩类(ACG)演化到高钾钙碱性花岗岩类(KCG),其岩浆演化程度逐渐提高,壳源物质逐渐增多,幔源物质逐渐减少。微量元素分析结果显示,岩石富集 Rb、Th、U、K、Zr、Hf 等元素,而强烈亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti 等元素,具低 Ni( $1.80 \times 10^{-6} \sim 5.38 \times 10^{-6}$ )、Cr( $2.71 \times 10^{-6} \sim 5.56 \times 10^{-6}$ )、V( $9.57 \times 10^{-6} \sim 13.7 \times 10^{-6}$ )含量,且 Rb/Sr(1.05~2.10,平均值 1.27)、Ba/La(7.88~13.61,平均值 10.76)和 Nb/Ta 值(8.26~20.95,平均值 13.93)均更接近地壳而远离地幔比值,指示其

源区为陆壳物质经部分熔融而成。结合区域花岗岩的 Nd-Hf 同位素资料,认为中—新元古代是额尔古纳地块地壳增生的重要时期,花岗质岩浆的原岩起源于中—新元古代亏损地幔增生的中—基性火成岩岩石部分熔融,形成过程中可能有古老地壳物质的混染(葛文春等,2007;张彦龙等,2008;2010;吴琼等,2019)。

在花岗岩类构造判别图中,本文样品与武广等(2005)样品整体投入同碰撞花岗岩附近、火山弧和板内花岗岩区域(图 8-a~c),在  $R_1-R_2$  判别图解(图 8-d)中,样品点都落入板块后碰撞隆起的花岗岩

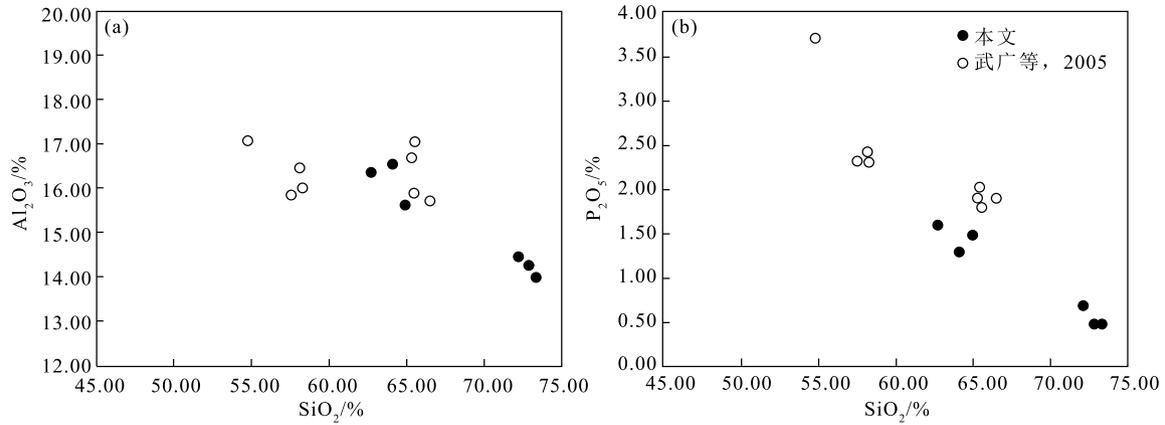


图7 漠河地区晚寒武世二长花岗岩  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  (a) 和  $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$  (b) 图解

Fig. 7  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  (a) and  $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$  (b) diagrams of Late Cambrian monzogranite in Mohe area

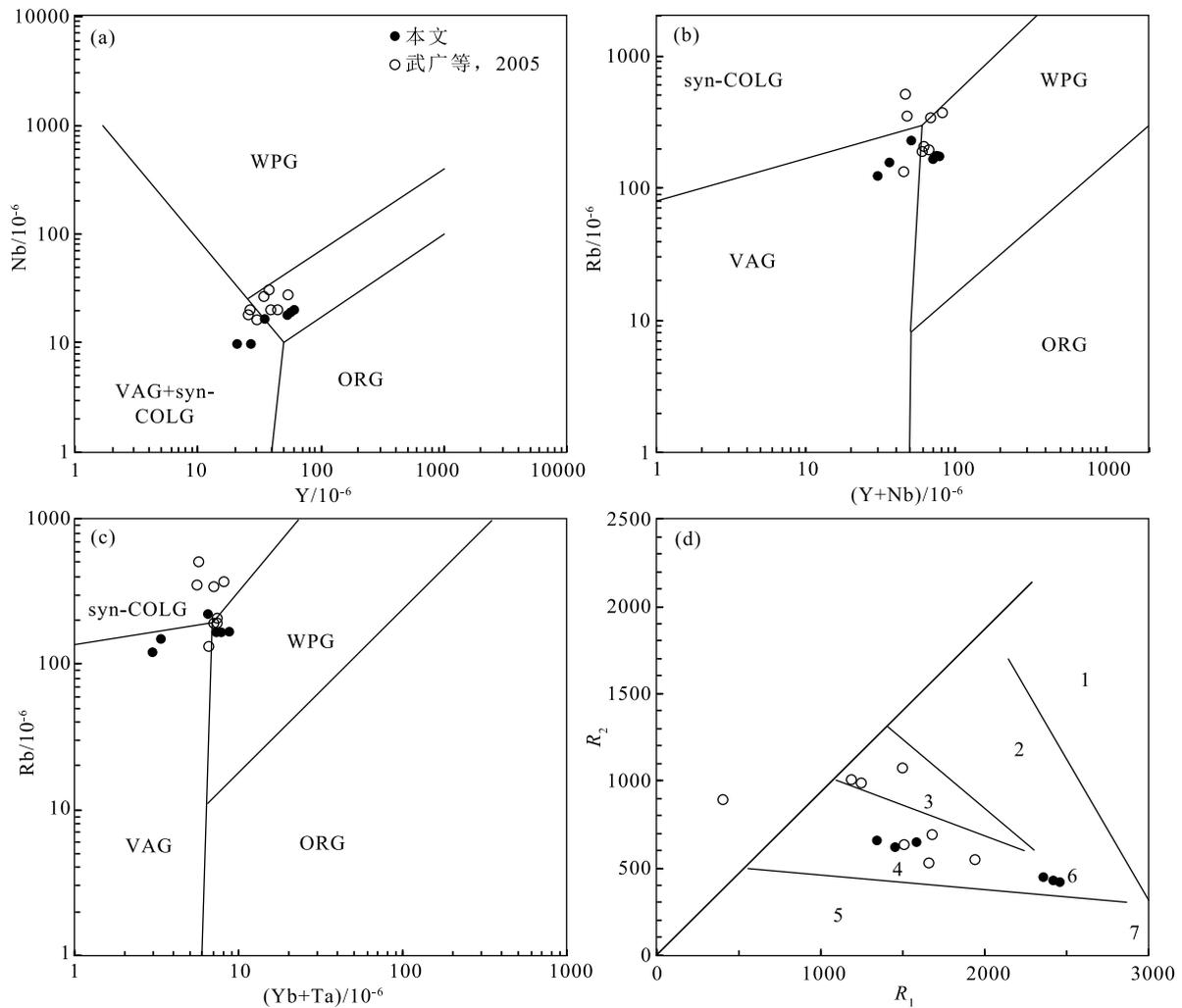


图8 漠河地区晚寒武世二长花岗岩成因类型及构造环境判别图解

(图 a~c 底图据 Pearce et al., 1984; 图 d 底图据 Batchelor et al., 1985)

Fig. 8 Genesis and tectonic setting discriminant diagrams of Late Cambrian monzogranite in Mohe area  
 ORG—洋脊花岗岩; VAG—火山岛弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; COLG—碰撞花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩;  
 1—地幔分异; 2—板块碰撞前; 3—后碰撞隆起; 4—晚造山; 5—非造山; 6—同碰撞; 7—后造山

区。洛古河晚寒武世二长花岗岩与后碰撞阶段形成的高钾钙碱性花岗岩(KCG)岩石组合一致,稀土元素配分曲线特征与典型岛弧、火山弧环境形成的钙碱性中酸性火成岩相似,具后碰撞高钾钙碱性 I 型花岗岩特征。钙碱性岩浆起源于板块俯冲过程(李伍平等,1999),而高钾钙碱性系列岩浆岩为后碰撞岩浆活动的重要标志(Zhao et al.,1996;Searle et al.,1997;赵振华,2007;朱志敏等,2011)。近年来,在漠河地区获得的 A 型花岗岩(吴琼等,2019)和壳源型 S 型花岗岩(朱志敏等,2011),形成于俯冲环境或后碰撞环境,结合武广等(2005)对洛古河岩体的研究,笔者认为,洛古河早古生代花岗岩形成于主碰撞之后的隆升期及造山晚期,为后碰撞花岗岩类。

### 5.3 大地构造意义

大兴安岭北部早古生代花岗岩类主要划分为寒武纪和奥陶纪 2 个阶段,其中,寒武纪花岗岩类(517~486 Ma)表现为同碰撞或后碰撞 I 型花岗岩特征,岩石组合为正长花岗岩、二长花岗岩和石英闪长岩等;奥陶纪花岗岩类(485~440 Ma)主要为后碰撞 A 型花岗岩,岩石组合为闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩和正长花岗岩-二长花岗岩-碱长花岗岩(陈会军等,2021)。前人根据大兴安岭北部早古生代花岗岩的性质和构造环境研究认为,其形成于额尔古纳地块与兴安地块碰撞拼合的造山过程,二者的碰撞拼合位置在德尔布干断裂(杨奇荻,2014;黄汲清等,1977;任纪舜等,1999;Wu et al.,2003)。近年来,随着新林蛇绿岩、头道桥和额尔古纳右旗蓝片岩的相继报道,多数学者认为,额尔古纳与兴安地块在 500 Ma 前沿新林—喜桂图—头道桥一带碰撞拼合(刘永江等,2010;朱志敏等,2011;赵芝,2011;张丽等,2013;Zhou et al.,2015)。同时,部分学者通过兴安地块基底的研究认为,兴安地块不具备基底特征,而是由沟-弧-盆体系物质组成,为额尔古纳地块大陆增生边缘(Badarch et al.,2002;Xiao et al.,2003;冯志强等,2019;Xu et al.,2012;Feng et al.,2018)。对于额尔古纳地块北部漠河地区的早古生代花岗岩,有学者认为其形成于西伯利亚板块与额尔古纳地块构造拼合过程(武广等,2005;秦秀峰等,2007;吴琼等,2019),前人通过对比额尔古纳地块、中蒙古、图瓦、俄罗斯贝加尔和阿穆尔地区早古生代花岗岩,认为早古生代早期分隔额

尔古纳地块与西伯利亚板块的大洋已经闭合,二者已经完成了构造拼贴(武广等,2005;秦秀峰等,2007)。

大兴安岭北部早古生代大规模的构造岩浆活动带是西伯利亚板块南缘和蒙古-图瓦地块、额尔古纳地块之间大规模早古生代增生、碰撞造山带的重要组成部分,为古亚洲洋闭合机制下板(陆)块俯冲-碰撞-拉张作用的结果(武广等,2005;柴明春等,2018;吴琼等,2019;吕斌等,2017),区域上 500 Ma 萨拉伊尔运动的影响结束,大兴安岭北部开始由碰撞挤压环境进入拉张构造环境(吴琼等,2019;秦秀峰等,2007)。因此,洛古河杂岩体与额尔古纳北段早古生代花岗岩、俄罗斯境内额尔古纳地块东北部 467~472 Ma 的亚碱性花岗岩(Sorokin et al.,2004)、贝加尔湖西南部 471~488 Ma 的造山后花岗岩(Salnikova et al.,1998)、图瓦地块上 490 Ma 的后造山花岗岩(Salnikova et al.,2001)可能同为额尔古纳地块与西伯利亚板块南缘拼合造山后伸展拉张背景下的产物,表明西伯利亚板块南缘增生-碰撞-造山作用在晚寒武世—早奥陶世已基本结束,转入后碰撞阶段的板内环境(吴琼等,2019;武广等,2005),标志着古亚洲洋东部北段在早古生代已经完成了闭合。

## 6 结 论

(1) LA-ICP-MS 测年结果显示,大兴安岭洛古河地区出露的糜棱岩化二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄加权平均值为  $486 \pm 3$  Ma,是晚寒武世岩浆侵位活动的产物,洛古河岩体为具有多侵入期次的杂岩体,其侵位结晶年龄介于 517~486 Ma 之间。

(2) 大兴安岭洛古河地区晚寒武世花岗岩主要为二长花岗岩,岩石具高硅、富碱、贫镁、贫铁,富集大离子亲石元素,强烈亏损高场强元素等特征,具有 I 型花岗岩特征。

(3) 大兴安岭洛古河地区晚寒武世二长花岗岩岩浆活动发生在西伯利亚板块南缘与额尔古纳等微陆块碰撞造山的晚期,由挤压体制向拉张体制转换的后碰撞构造环境。

**致谢:**洛古河项目组全体成员在野外地质工作、样品采集中给予了帮助,黑龙江省地质科学院杜兵盈高级工程师、审稿专家对本文提出了建设性意见,在此一并表示感谢。

## 参考文献

- Badarch G, Cunningham W D, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 21(1): 87-110.
- Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. *Chemical Geology*, 1985, 45(1): 43-55.
- Boynton W V. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements Meteorite Studies[J]. *Developments in Geochemistry*, 1984, 2(2): 63-114.
- Feng Z Q, Liu Y J, Long L, et al. Subduction, accretion, and collision during the Neoproterozoic-Cambrian orogeny in the Great Xing'an Range, NE China: insights from geochemistry and geochronology of the Ali River ophiolitic mélange and arc-type granodiorites [J]. *Precambrian Research*, 2018, 311: 117-135.
- Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Time scale of the Early to Mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth [J]. *Lithos*, 2008, 101(3/4): 233-259.
- Koschek G. Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon [J]. *Journal of Microscopy*, 1993, 171: 223-232.
- Liang Q, Jing H, Gregoire D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Talanta*, 2000, 51(3): 507-513.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257: 34-43.
- Middlemost E A K. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System [J]. *Earth Science Reviews*, 1994, 37(3/4): 215-224.
- Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of eocene Calc Alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58(1): 63-81.
- Pearce J A, Harris N B W, Tingleng A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 956-983.
- Salnikova E B, Sergeev S A, Kotov A B, et al. U-Pb zircon dating of granulite metamorphism in the Sludyanskiy Complex, eastern Siberia [J]. *Gondwana Research*, 1998, 1: 195-205.
- Salnikova E B, Kozakov K, Kotov A B, et al. Age of Palaeozoic granites and metamorphism in the Tuvino-Mongolian Massif of the Central Asian Mobile Belt: Loss of a Precambrian microcontinent [J]. *Precambrian Research*, 2001, 110: 143-164.
- Searle M P, Parrish R R, Hodges K V, et al. Shisha Pangma leucogranite, south Tibetan Himalaya: Field relations, geochemistry, age, origin, and emplacement [J]. *The Journal of Geology*, 1997, 105(3): 295-318.
- Sorokin A A, Kudryashov N M, Li J Y, et al. Early Paleozoic granitoids in the eastern margin of the Argun' terrane, Amur area: first geochemical and geochronologic data [J]. *Petrology*, 2004, 12(4): 367-376.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Ocean Basalts; Implications for Mantle Composition and Processes [C] // Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in Ocean Basins*. London: Geological Society Special Publications, 1989: 313-345.
- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, et al. Highly fractionated I-type granites in NE China ( I ): Geochronology and petrogenesis [J]. *Lithos*, 2003, 67(3/4): 241-273.
- Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(1): 1-30.
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: termination of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Tectonics*, 2003, 22(6): 1069-1090.
- Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the Southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98(6): 1189-1217.
- Xu B, Charvet J, Chen Y, et al. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia ( China ): Framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1342-1364.
- Xu B, Zhao P, Wang Y Y, et al. The pre-Devonian tectonic framework of Xing'an - Mongolia Orogenic Belt ( XMOB) in North China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 97(Part B): 183-196.
- Xu M J, Xu W L, Wang F, et al. Age, association and provenance of the "Neoproterozoic" Fengshuigouhe group in the Northwestern Lesser Xingan Range, NE China: Constraints from zircon U - Pb geochronology [J]. *Journal of Earth Science*, 2012, 23(6): 786-801.
- Zhao X, Coe R S, Gilder S A, et al. Palaeomagnetic constraints on the palaeogeography of China: Implications for Gondwana land [ J ]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1996, 43(6): 643-672.
- Zhou J B, Wang B, Wilde S A, et al. Geochemistry and U-Pb zircon Dating of the Toudaoqiao blueschists in the Great Xing'an Range, Northeast China, and tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 97: 197-210.
- 柴明春, 赵国英, 覃小锋, 等. 大兴安岭十八站-韩家园地区中酸性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义 [J]. *地质论评*, 2018, 64(3): 569-583.
- 陈会军, 付俊或, 钱程, 等. 东北地区前中生代花岗岩类年龄与时空分布 [J]. *地质通报*, 2021, 40(6): 827-844.
- 陈衍景, 张成, 李诺, 等. 中国东北钼矿床地质 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(5): 1223-1268.
- 杜兵盈, 张昱, 刘宇崑, 等. 大兴安岭北部壮志林场花岗岩年代学特征及其大地构造意义 [J]. *地质学报*, 2019, 93(12): 3047-3060.
- 段明新, 周传芳, 杨华本, 等. 黑龙江省漠河县富源沟林场含电气石花岗岩的形成时代及地质意义 [J]. *地质科学*, 2019, 54(4): 1290-1307.
- 冯志强, 刘永江, 金巍, 等. 东北大兴安岭北段蛇绿岩的时空分布及与区域构造演化关系的研究 [J]. *地学前缘*, 2019, 26(2): 120-136.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 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*, 2005, 50(12): 1239-1247.
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 等. 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, 2007, 23(2): 423-440.
- 宫响迪, 李碧乐, 李治华, 等. 大兴安岭北段小柯勒河花岗斑岩脉成因及地质意义: 锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学及 Hf 同位素制约[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2021, 51(6): 1753-1769.
- 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 1977, 51(2): 117-135.
- 李成禄, 曲晖, 赵忠海, 等. 黑龙江霍龙门地区早石炭世花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 859-868.
- 李春雷. 漠河盆地构造特征演化与成盆动力学研究[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文, 2007: 1-36.
- 李锦轶, 和政军, 莫申国, 等. 大兴安岭北部绣峰组下部砾岩的形成时代及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 120-129.
- 李伍平, 路凤香. 钙碱性火山岩构造背景的研究进展[J]. 地质科技情报, 1999, 18(2): 15-18.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 317-327.
- 刘建明, 张锐, 张庆洲. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 269-277.
- 刘永江, 张兴洲, 金巍, 等. 东北地区晚古生代区域构造演化[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 205-213.
- 吕斌, 王涛, 童英, 等. 中亚造山带东部岩浆热液矿床时空分布特征及其构造背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(2): 305-34.
- 秦秀峰, 尹志刚, 汪岩, 等. 大兴安岭北端漠河地区早古生代埃达克质岩特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1501-1511.
- 曲晖, 李成禄, 赵忠海, 等. 大兴安岭东北部多宝山地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 292-300.
- 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 85-93.
- 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 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, 2012, 28(2): 571-94.
- 隋振民, 葛文春, 吴福元, 等. 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, 2006, 25(3): 229-236.
- 隋振民, 葛文春, 徐学纯, 等. 大兴安岭十二站晚古生代后造山花岗岩的特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2679-2686.
- 汪岩, 杨晓平, 那福超, 等. 大兴安岭北段塔河地区晚寒武世中基性火山岩的发现及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(1): 126-138.
- 武广, 孙丰月, 赵财胜, 等. 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[J]. 科学通报, 2005, 50(20): 2278-2288.
- 吴琼, 丰成友, 瞿泓滢, 等. 大兴安岭北部漠河地区早奥陶世 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及 Hf 同位素研究[J]. 地质学报, 2019, 93(2): 368-380.
- 吴子杰, 汪洋, 崔培龙, 等. 大兴安岭北部诺敏河地区早石炭世 A 型花岗岩的年代学、地球化学及 Hf 同位素研究[J]. 地质学报, 2020, 94(8): 2200-2211.
- 许文良, 孙晨阳, 唐杰, 等. 兴蒙造山带的基底属性与构造演化过程[J]. 地球科学, 2019, 44(5): 1620-1646.
- 杨奇获. 大兴安岭及其邻区花岗岩 Na 同位素时空演变及地壳深部组成结构和生长意义[D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2014: 1-79.
- 杨泽黎, 胡晓佳, 王树庆, 等. 兴蒙造山带南缘早古生代增生造山带内前寒武纪地层的识别及其地质意义[J]. 地球科学, 2021, 46(8): 2786-2803.
- 张丽, 刘永江, 李伟民, 等. 关于额尔古纳地块基地性质和东界的讨论[J]. 地质科学, 2013, 48(1): 227-244.
- 张彦龙, 葛文春, 柳小明, 等. 大兴安岭新林镇岩体的同位素特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(2): 177-186.
- 张彦龙, 葛文春, 高研, 等. 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, 2010, 23(4): 1059-1073.
- 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 92-103.
- 赵芝. 大兴安岭北部晚古生代岩浆作用及其构造意义[D]. 吉林大学博士学位论文, 2011: 1-87.
- 周传芳, 杨华本, 李向文, 等. 大兴安岭北段新林地区晚石炭世花岗岩的岩石成因及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(1): 97-111.
- 周传芳, 杨华本, 蔡艳龙, 等. 漠河盆地西缘漠河组形成时代及物源区构造环境判别[J]. 中国地质, 2021, 48(3): 832-853.
- 朱志敏, 赵振华, 熊小林, 等. 西天山特克斯晚古生代辉长岩岩石地球化学[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 29(6): 675-690.