

漠河盆地西部二十二站组碎屑锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其物源意义

段明新^{1,2)}, 周传芳²⁾, 杨华本²⁾, 蔡艳龙²⁾, 魏小勇²⁾, 徐建鑫²⁾, 赵佳琪²⁾

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京, 100083;

2) 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, 150081

内容提要:大兴安岭北部漠河盆地内广泛发育二十二站组,其形成时代及物质来源一直以来备受争议。本文在野外地质调查及岩相学的基础上,利用碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法测年,并结合岩石地球化学等方法,探讨了二十二站组形成时代、物源区大地构造环境及沉积物来源。测年结果显示 132 个测点年龄主要分布在 4 个群落,分别为 508.3~492.3 Ma; 486.9~435.5 Ma; 278.3~254.2 Ma; 209.5~178.1 Ma。本次获得二十二站组最小碎屑锆石年龄为 178.1 Ma,并结合漠河盆地东西部碎屑锆石的年龄,综合认为二十二站组形成时代应为中晚侏罗世。地球化学分析结果显示,二十二站组砂岩的稀土元素与活动大陆边缘的稀土元素曲线吻合较好,且相对亏损高场强元素(Nb 和 Ta)和大离子亲石元素(Ba 和 Sr),相对富集高场强元素(La、Th、Zr、Hf),地球化学特征与活动大陆边缘相似。综合古流向、源区母岩分析、碎屑锆石测年分析、微量元素特征等诸多因素,本次研究认为本区二十二站组砂岩的母岩主要来源于盆地南缘广泛分布的前中生代沉积-变质基底(兴华渡口岩群、佳疙瘩组、额尔古纳河组等)及各期中酸性火成岩。

关键词:漠河盆地;二十二站组;形成时代;构造环境判别;物源

漠河盆地西部位于大兴安岭北段的黑龙江省漠河县境内,北部及东部过黑龙江延入俄罗斯境内,与俄罗斯境内的上阿穆尔盆地相连为同一盆地(Li Chunlei et al., 2007),其北为蒙古-鄂霍茨克造山带。漠河盆地是大庆外围油气勘探的战略展开目标(Wu Heyong et al., 2003a),也是中国学者直接了解蒙古-鄂霍茨克造山带中生代地质状况及其对中国北方中生代构造演化影响的唯一窗口(He Zhengjun et al., 2003)。因此,其沉积序列、盆地形成与演化、物源区特征等对认识蒙古-鄂霍茨克造山带的演化具有重要的意义(Li Liang et al., 2017)。目前关于该盆地的性质、盆地形成时代、物源区特征等认识尚不统一。盆地性质、物源区特征、形成时代等不确定,严重制约了基础地质调查及油气勘探等工作。对于盆地性质和动力学成因仍存在较大争议,主要有中生代断陷改造型盆地(Wu Heyong et

al., 2004)、弧后断陷盆地(Zhang Shun et al., 2003)、中生代前陆盆地(He Zhengjun et al., 2003)、磨拉石盆地(Wu Genyao et al., 2006)、活动大陆边缘盆地(Zhao Handong et al., 2007)、山间盆地(He Zhonghua et al., 2008)、由早期伸展断陷盆地演化为晚期磨拉石盆地(Guo Zhixin, 2018)等。二十二站组的形成时代自建组以来就备受争论,前人根据遗迹化石将该组置于中侏罗世(Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 2009);部分学者根据孢粉化石等的研究,将二十二站组的时代厘定为中一晚侏罗世(Sun Guangrui et al., 2002; Wu Heyong et al., 2003b),也有学者通过对砂宝斯金矿床内出露的二十二站组的碎屑锆石 U-Pb 定年,将二十二站组形成时代置于晚侏罗世(Li Liang et al., 2017),且漠河盆地内的各组地层形成时代从早中侏罗世到早白

注:本文为中国地质调查局项目(编号 DD2016007803、DD20191014、DD20208004 和 DD20211589)联合资助的成果。

收稿日期:2020-06-29;改回日期:2021-01-16;网络发表日期:2021-02-22;责任编辑:吴才来;责任编辑:黄敏、蔡志慧。

作者简介:段明新,男,1990年生。工程师。矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail:980991570@qq.com。通讯作者:周传芳,男,1985年生。工程师,主要从事区域地质矿产调查、生态地质调查及多金属勘查和研究。E-mail:546011015@qq.com。

引用本文:段明新,周传芳,杨华本,蔡艳龙,魏小勇,徐建鑫,赵佳琪. 2021. 漠河盆地西部二十二站组碎屑锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其物源意义. 地质学报, 95(11): 3317~3334, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2021059.
Duan Mingxin, Zhou Chuanfang, Yang Huaben, Cai Yanlong, Wei Xiaoyong, Xu Jianxin, Zhao Jiaqi. 2021. Detrital zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the Ershi'erzhan Formation in western Mohe basin and its provenance significance. Acta Geologica Sinica, 95(11): 3317~3334.

巫世均有报道(Wang Shaoyi et al., 2015; Zhao Shuyue et al., 2016; Guo Zhixin, 2018)。考虑到漠河盆地局部沉积环境的不同,东部和西部的沉积时代应存在一定的差异。为此,本文在前人的研究基础上,利用碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年、岩相学、岩石地球化学等方法并结合近年来在漠河盆地东、西部的工作成果,系统地探讨了漠河盆地形成时代、二十二站组物源区大地构造环境及沉积物来源,对漠河盆地的形成与演化及建立盆山耦合关系等方面的研究具有一定意义。

1 地质概况

漠河盆地位于兴蒙造山带东段额尔古纳地块北部,蒙-鄂造山带东南缘(图1)。研究区盆地基底主要为新元古界兴华渡口岩群、南华系佳疙瘡组、震旦系额尔古纳河组及前中生代各期侵入岩。盆地盖层主要由三部分组成,第一部分为中上侏罗统额尔古纳河群陆源碎屑沉积岩盖层,自下而上依次为绣峰组、二十二站组、漠河组(Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 2009)、阿陵河砾

岩;第二部分为早白垩世碎屑岩及火山岩地层,如九峰山组和甘河组;第三部分为新生界古近系孙吴组及第四系堆积物,详细特征见表1。区内受多期构造影响,发育断裂构造,以北西向、北东向为主,近东西向、近南北向断裂次之,受漠河推覆构造影响,盆地北部地质体多发生韧性变形。

二十二站组由黑龙江省第二区调大队其和日格等1985年创建于塔河县二十二站。指分布于二十二站、马林和瓦拉干一带的长石岩屑砂岩、泥质粉砂岩、变细砂粉砂岩组合(Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resource, 2009)。研究区二十二站组自下而上划分为三个岩性段:二十二站组一段:岩性以粗粒—细粒长石岩屑砂岩、细粒长石砂岩、泥质粉砂岩为主;二十二站组二段:岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主;二十二站组三段:岩性以粗粒、中粒长石岩屑砂岩、长石砂岩为主,少量粉砂质泥岩、粉砂岩夹煤线。主要发育向上变细型基本层序,局部出现向上变粗再变细型。主要发育的沉积构造有平行层理、粒序层理。可见植物化石碎片。研究区内二十二站组上下分别与绣峰组和漠河组整合接触(图1)。

表1 黑龙江省漠河盆地内发育地层特征简表

Table 1 Characteristics of the strata in the Mohe basin in Heilongjiang Province

	地层单元	岩石组合特征	与下伏地层接触关系
新生界	第四系(Q)	第四系一级阶地、河漫滩及沼泽堆积	不整合覆盖
	孙吴组(N _{1-2s})	岩性以弱固结—未固结砾石层、粗粒砂岩层、中粒砂岩层夹砂质黏土等为主	角度不整合接触覆盖
	甘河组(K _{1g})	岩石组合以中基性火山岩及角砾熔岩等为主	角度不整合覆盖
	九峰山组(K _{1j})	岩性组合以砂岩、含砾砂岩、泥岩等为主夹煤线	角度不整合
中生界	阿陵河砾岩(J ₃ -K _{1a^{cr}})	岩石组合主要为复成分中砾岩、粗砾岩为主,夹粗粒、中粒长石岩屑砂岩、含砾砂岩、细砾岩,偶夹细砂岩、粉砂岩	整合
	漠河组(J _{3m})	岩性以粗粒、中粒长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主,部分细粒长石砂岩、含砾砂岩	整合
	二十二站组(J _{2-3er})	岩性组合以中粒长石岩屑砂岩为主,部分细粒长石砂岩、泥质粉砂岩为主	整合
	绣峰组(J _{2x})	岩性以粗粒、中粒长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主	角度不整合
前寒武基底	额尔古纳河组(Ze)	岩性组合以灰岩、大理岩、片岩、千枚岩为主	断层接触
	佳疙瘡组(Nhj)	岩性组合以大理岩、片岩、千枚岩、石英岩等为主	角度不整合
	兴华渡口群(P _{t3x})	岩性组合以黑云钠长变粒岩、黑云石英片岩、斜长角闪岩、大理岩等为主	

2 样品特征及分析方法

2.1 样品特征

本文测年及全分析样品采自内蒙古额尔古纳市恩和哈达镇南,二十二站组实测剖面PM06-1,其中测年样品编号WJL091、WJL096,全分析样品编号WJL089~WJL097。岩性以中粗粒岩屑长石砂岩、中粒岩屑长石砂岩、细砂岩、粉砂岩为主,岩石具陆源碎屑结构,块状构造,颗粒支撑,接触式—孔隙式胶结。颗粒的磨圆度中等,分选性较好,成分成熟度中等。颗粒约占85%~90%,填隙物占10%~

15%。颗粒主要由石英、长石、岩屑,少量黑云母和白云母等组成。石英以单晶石英为主,呈次棱角状—一次圆状;长石分为钾长石和斜长石,钾长石含量略高于斜长石,斜长石为更一中长石,细而密的聚片双晶明显,钾长石为正长石、条纹长石、微斜长石;岩屑主要为安山岩、流纹岩、花岗岩、泥质岩、硅质岩及大理岩等;云母呈不规则片状;填隙物主要为黏土矿物,部分显微鳞片状绢云母,少量细小石英、长石碎屑等组成(图2)。

2.2 分析方法

锆石挑选由河北省廊坊区域地质调查研究所实

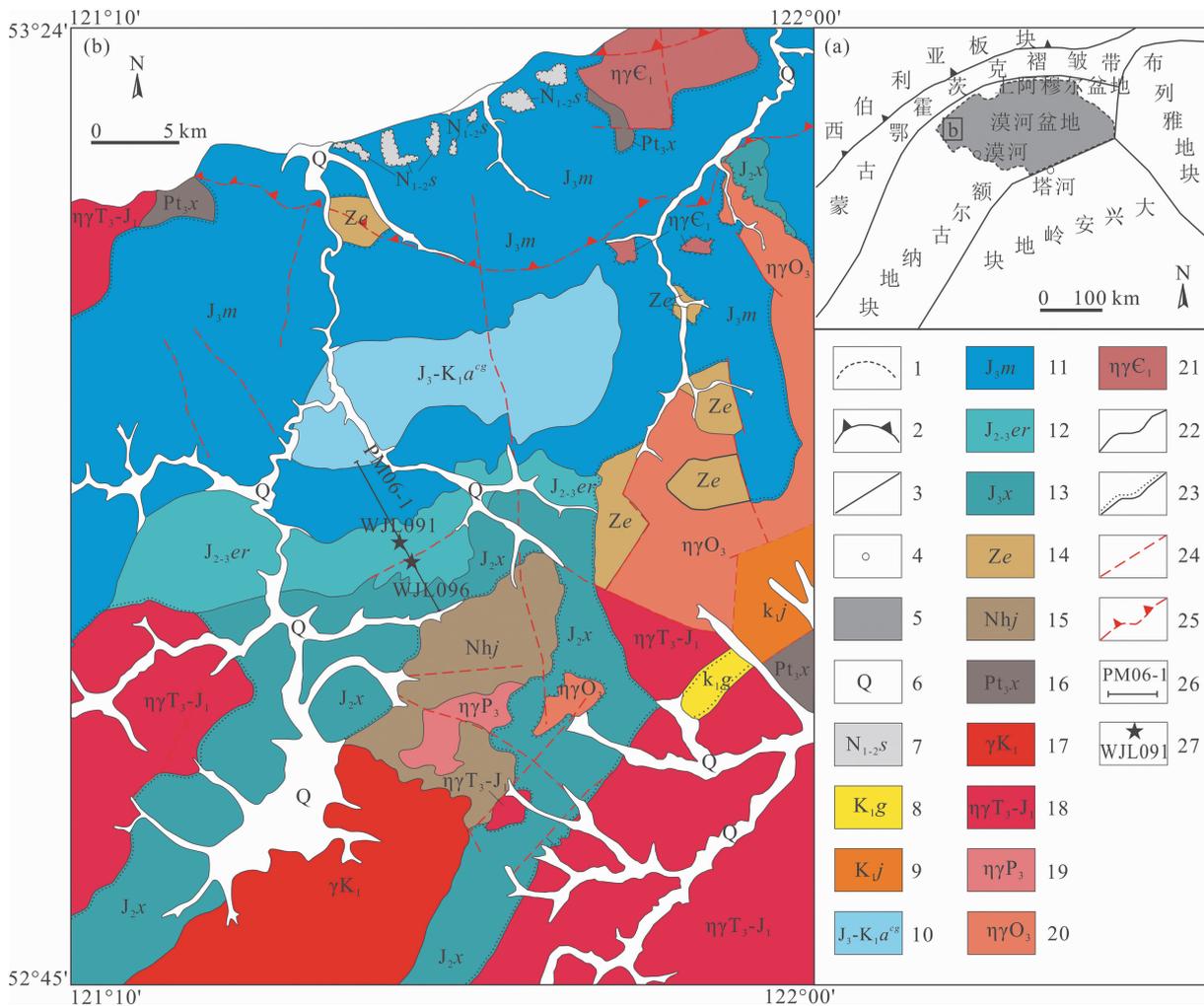


图 1 大兴安岭北部大地构造分区图(a)和漠河盆地西缘地质简图(b)

Fig. 1 Geotectonic map (a) and geological sketch map of the western margin of Mohe basin northern Daxing'an mountains

(a)据 Zhang Shun et al. (2003)修改;(b)据 1 : 25 万恩和哈达幅、齐乾幅、漠河幅和漠河县幅地质图●●; 1—盆地边界;2—缝合带;3—构造边界;4—城镇;5—盆地范围;6—第四系;7—孙吴组;8—甘河组;9—九峰山组;10—开库康组;11—漠河组;12—二十二站组;13—绣峰组;14—额尔古纳组;15—佳疙瘩组;16—兴华渡口群;17—早白垩世花岗岩;18—晚三叠世—早侏罗世二长花岗岩;19—晚二叠世二长花岗岩;20—晚奥陶世二长花岗岩;21—早寒武世二长花岗岩;22—整合界线;23—角度不整合界线;24—遥感解译断层;25—推覆构造;26—实测剖面位置及编号;27—测年样品位置及编号

(a) is modified after Zhang Shun et al. (2003); (b) is after 1 : 250000 geological maps of Enhehada, Qiqian, Mohe, Mohe County●●; 1—basin boundary; 2—suture zone; 3—tectonic boundary; 4—town; 5—basin; 6—Quaternary; 7—Sunwu Formation; 8—Ganhe Formation; 9—Jiufengshan Formation; 10—Kaikukang Formation; 11—Mohe Formation; 12—Ershierzhan Formation; 13—Xiufeng Formation; 14—Erguna Formation; 15—Jiageda Formation; 16—Xinghuadukou Group; 17—Early Cretaceous granite; 18—Late Triassic—Early Jurassic monzogranite; 19—Late Permian monzogranite; 20—Late Ordovician monzogranite; 21—Early Cambrian monzogranite; 22—conformable boundary; 23—boundary of angular unconformity; 24—remote sensing interpreting fault; 25—nappe structure; 26—location and number of cross section; 27—location and number of dating sample

实验室完成,采用浮选和电磁选法进行分选,锆石的制靶、透射光、反射光、阴极发光(CL)照相及锆石 U-Pb 年龄测定在天津地质矿产研究所同位素实验室完成,采用 193 nm 激光器对锆石进行剥蚀,采用的激光剥蚀斑束直径为 35 μm,激光能量密度为 13~14 J/cm²,频率为 8~10 Hz,激光剥蚀物质以氦为

载气送入 Neptune,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,从而进行锆石 U-Pb 同位素原位测定。采用 TEMORA 作为外部锆石年龄标准。利用 NIST610 玻璃样作为外标。采用 ICP-MS Data Cal 和 Isoplot 程序进行数据处理,数据处理方法同文献(Liu Yongsheng et

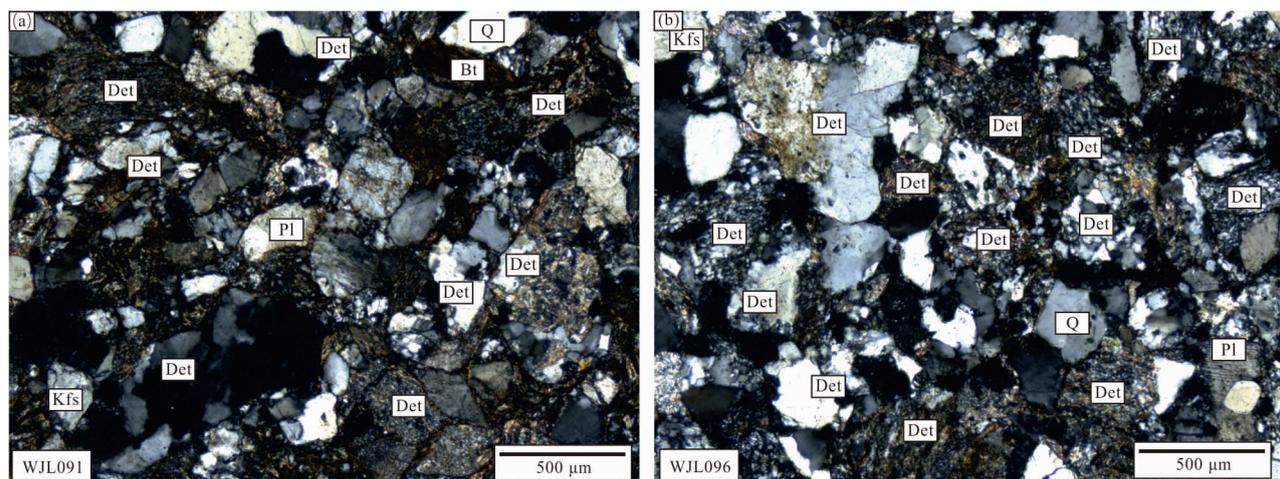


图2 漠河盆地西缘二十二站组砂岩显微照片

Fig. 2 Microscopic photographs of sandstones of the Ershi'erzhan Formation in the western margin of Mohe basin

a—样品 WJL091; b—样品 WJL096; Q—石英; Kfs—钾长石; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Det—岩屑

a—Sample WJL091; b—sample WJL096; Q—quartz; Kfs—potassium feldspar; Pl—plagioclase; Bt—biotite; Det—detritus

al., 2008)。

全分析样品测试工作在河北省区域地质矿产调查研究所完成。其中主量元素采用熔片法 X 射线荧光光谱(XRF)测定,利用 X 射线激发样品产生二次 X 射线,对仪器误差和样品成分的二次 X 射线进行适当校准,通过射线的强度最终确定元素的含量,分析准确度和精度优于 2%~3%;微量元素和稀土元素是用 Teflon 熔样罐进行熔样,而后采用高分辨电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行测定,分析流程采用 AGV-1 和 BHVO-1 等国际标准物质进行质量监测,分析过程中加入重复样以监测分析流程的精密度。准确度和精度优于 10%。主量元素和微量元素分析测试具体实验条件和步骤参考文献(Liang Qi et al., 2000)。

3 分析结果

3.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学

如图 3 所示,所有碎屑锆石均无色透明,金刚光泽,颗粒粗大,粒径多为 90~250 μm ,部分为完整的长柱状,部分为锆石碎片,锆石棱角分明,磨圆度差,反映搬运距离较近,锆石晶体具有清晰的震荡生长环带。一般来讲,岩浆锆石 Th/U 比值较大(> 0.4),而变质锆石的 Th/U 比值多小于 0.1(Li Yaping et al., 2007),本次所测定的锆石 Th/U 比值在 0.02~1.43 之间,多数锆石显示岩浆锆石的成因,其中 WJL096 样品中 6 号、16 号、17 号等 7 粒锆石可见变质增生边,Th/U 比值在 0.02~0.09 之间,应为变质成因锆石。所有样品分析点数据均表

现出较好的谐和性,仅少数测点谐和度较低,可能为后期铅丢失或者有非放射性成因铅混入的影响,其年龄无意义。阴极发光特征和 Th/U 比值均显示出二十二站组碎屑锆石大部分都类似于中-酸性深成岩锆石特征。

本次测定的二十二站组 132 个碎屑锆石 U-Pb 表面年龄(表 2)为 2426~178 Ma,时间跨度较大,表明二十二站组砂岩源区复杂。按年龄及频率分布特征划分为 4 个年龄组(图 4):① 508.3~492.3 Ma,峰值年龄 496 Ma,该组共 41 粒,占总数的 31.06%,属晚寒武世;② 486.9~435.5 Ma,峰值年龄 468 Ma,该组共 11 粒,占总数的 8.33%,属晚奥陶世;③ 278.3~254.2 Ma,峰值年龄 265.5 Ma,该组共 28 粒,占总数的 21.21%,属晚二叠世;④ 209.5~178.1 Ma,峰值年龄 184.5 Ma,该组共 12 粒,占总数的 9.09%,属早侏罗世。

4 个年龄峰值分别代表了区域上 4 个时期的岩浆活动事件(详见 4.3 节论述),不同时代的碎屑锆石所占的比例也各不相同,以晚寒武世最多,晚二叠世次之,晚奥陶世与早侏罗世最少,这一时间跨度较大的碎屑锆石年龄分布结构反映了碎屑物质的来源较为广泛。

3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素特征

二十二站组样品主量元素测试结果(表 3)显示,砂岩中 SiO_2 含量为 60.5%~75.18%,平均含量为 69.53%, Al_2O_3 含量为 11.37%~18.01%,平均含量为 13.16%, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值为 4.17~5.98,

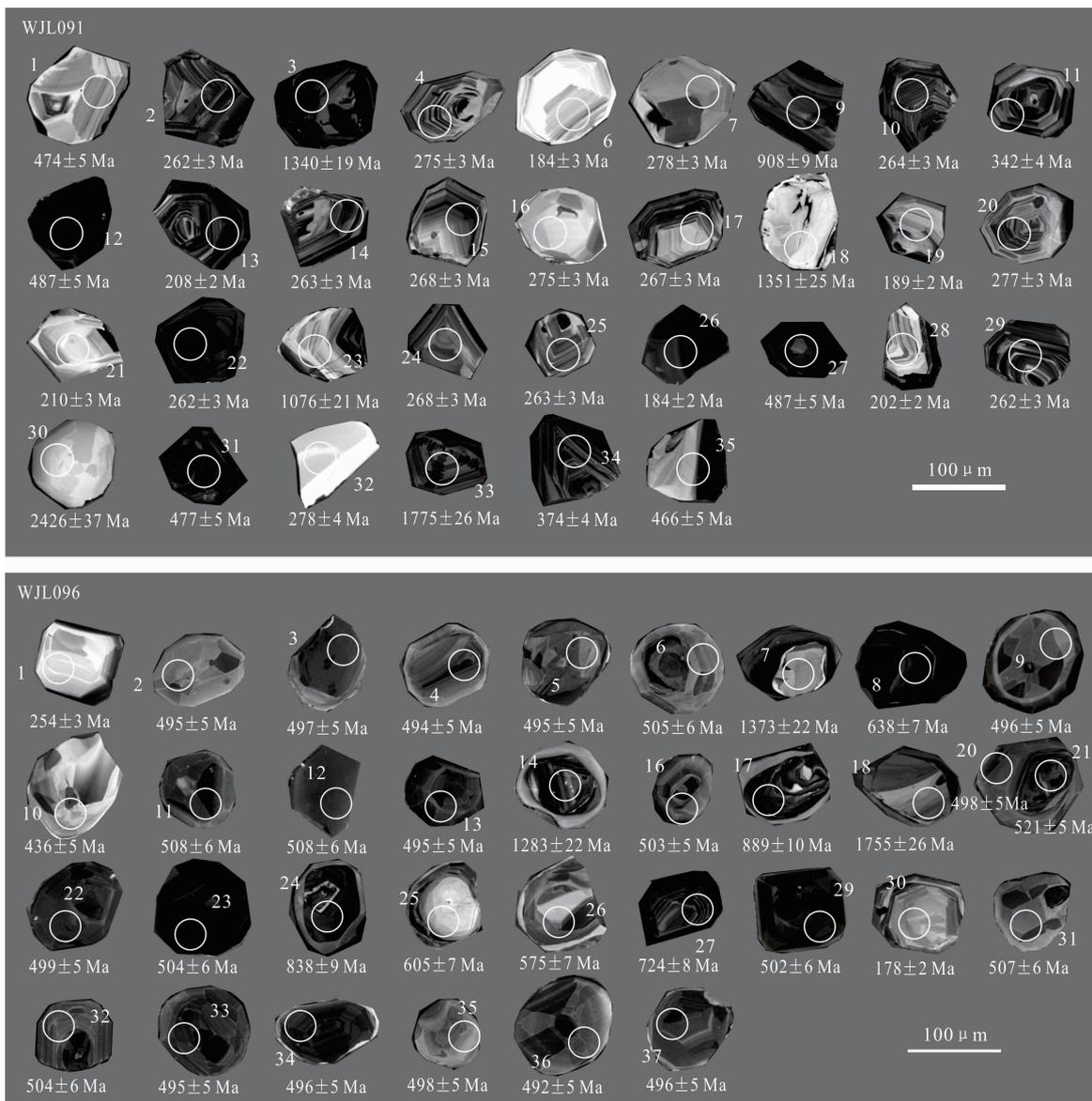


图 3 漠河盆地西缘二十二站组砂岩代表性锆石 CL 图像与表面年龄

Fig. 3 Typical zircon CL images and surface ages of sandstone in the Ershi'erzhan Formation, western margin of Mohe basin

平均值为 5.37, K_2O 含量为 1.85%~3.23%, 平均含量为 2.33%, Na_2O 含量为 0.11%~2.70%, 平均含量为 2.04%, K_2O/Na_2O 值除个别样品 (WJL092:28.48) 外为 0.71~1.41 (WJL092 含量未参与计算), 平均值为 1.02。 Fe_2O_3 含量为 1.37%~8.90%, FeO 含量为 0.27%~3.28%, MgO 含量为 0.90%~3.62%, 除 WJL092 样品 (岩性为铁质粉砂岩, 可能反映局部氧化环境) 外, 含量明显较低。结合镜下二十二站组源区岩石主要为长英质岩石为主, 少量为黑云母等, 各氧化物的含量与活动大陆边缘环境的碎屑岩较为接近 (表 4)。

3.2.2 稀土、微量元素特征

沉积岩中稀土元素含量主要受源区岩石的元素

丰度及源区风化条件控制, 成岩过程及成岩期后对稀土元素的含量改变较小 (Bhatia, 1985; Taylor et al., 1985; Yang Zhixin et al., 2018)。因此用沉积岩中稀土元素特征来反映源区岩石的性质是可行的。二十二站组砂岩 ΣREE 值在 $73.11 \times 10^{-6} \sim 195.50 \times 10^{-6}$, 平均值为 147.35×10^{-6} , 与平均大陆上地壳的 146.40×10^{-6} 相当 (Taylor et al., 1985), $LREE/HREE$ 值为 6.13~9.91, 平均值为 7.73, 并结合稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图 (图 5a), 二十二站组砂岩总体表现为轻稀土富集, 重稀土亏损的特征, $(La/Yb)_N$ 的比值为 2.98~13.61, 平均值为 9.18, 表明轻、重稀土分异较明显, δEu 值为 0.70~0.90, 平均值为 0.76, 具有较弱的

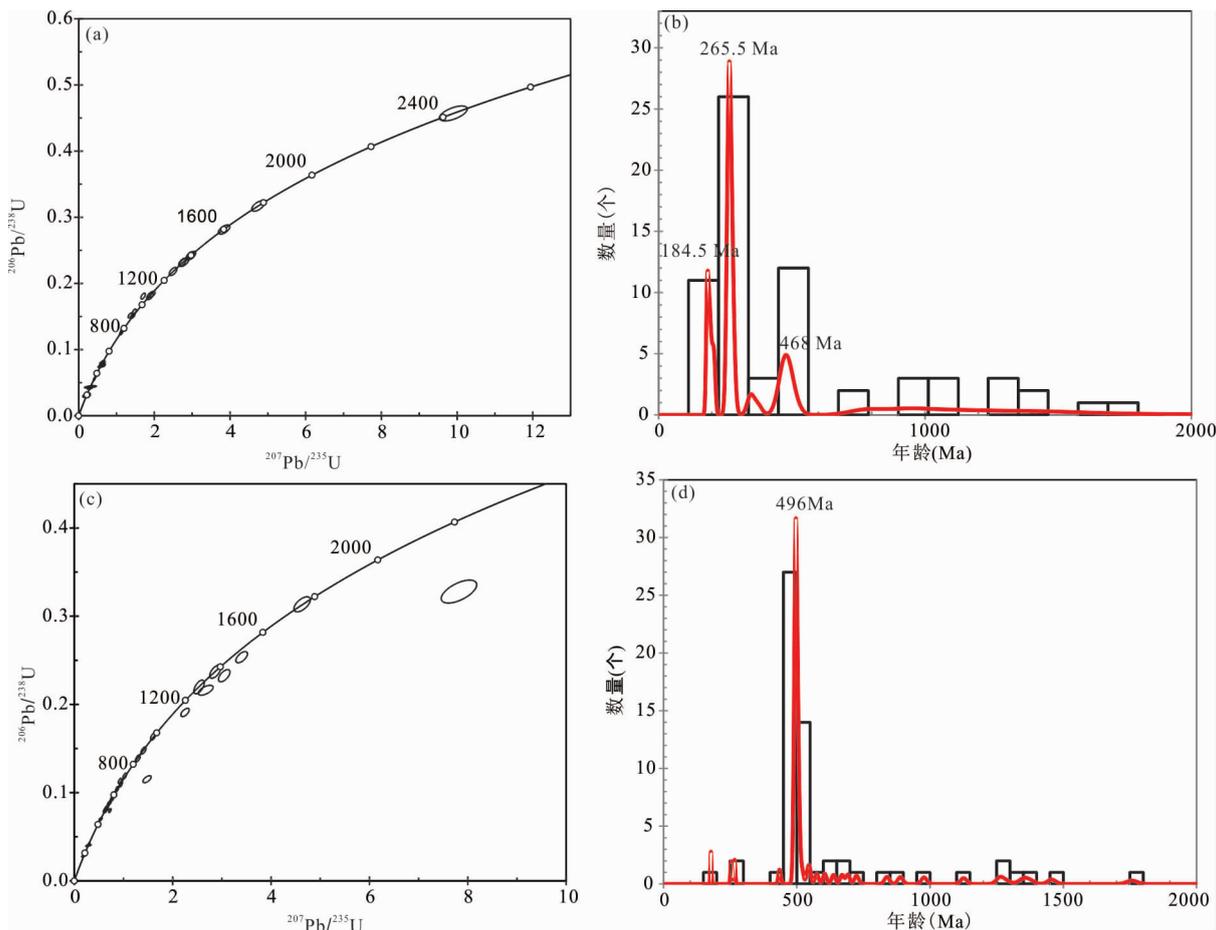


图4 漠河盆地西缘二十二站组砂岩锆石 U-Pb 谐和图(a,c)、年龄直方图(b,d)(a,b—样品 WJL091;c,d—样品 WJL096)
 Fig. 4 Zircon U-Pb concordance diagrams (a, c) and U-Pb histograms (b, d) for sandstone of the Ershi'erzhan Formation in the western margin of Mohe basin (a, b from sample WJL091; c, d from sample WJL096)

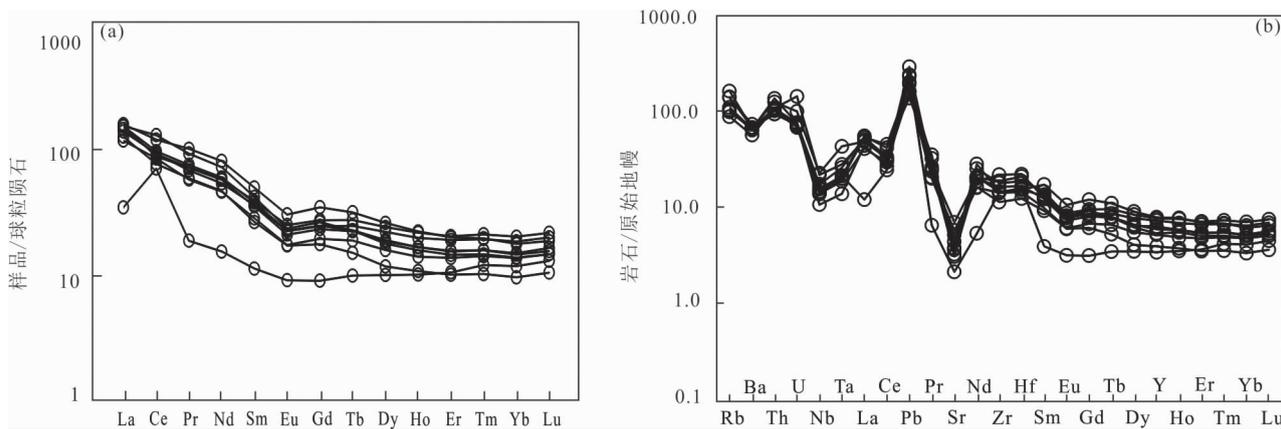


图5 漠河盆地西缘二十二站组砂岩球粒陨石(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)
 (球粒陨石与原始地幔数据引自 Sun et al., 1989)

Fig. 5 Normalized REE patterns (a) and trace element spider diagrams (b) for sandstones from the western margin of the Mohe basin (chondrite and primitive mantle data are form Sun et al., 1989)

负 Eu 异常,Ce 异常不明显。球粒陨石标准化曲线上,呈右倾模式,重稀土分配曲线较为平坦。图 5b

中可见,样品相对亏损高场强元素(Nb 和 Ta)和大离子亲石元素(Ba 和 Sr),相对富集高场强元素

(La、Th、Zr、Hf)。

4 讨论

4.1 二十二站组形成时代

二十二站组的形成时代乃至漠河盆地的形成时代, 一直以来就是众多学者争论的焦点, 由于漠河盆地额木尔河群缺少标准化石, 而碎屑锆石的年龄常被用来限制地层沉积时代的下限 (Williams, 2001), 因此二十二站组的形成时代一直未得到准确厘定, 时代归属还存在争议。考虑到二十二站组在漠河盆地广泛分布, 盆地东西部的沉积环境、形成时代可能存在一定的差异, 针对漠河盆地内二十二站组形成时代, 本次研究将从盆地西部二十二站组沉积地层的碎屑锆石年龄数据, 结合漠河盆地东部与西部区域地质调查成果^{⑨⑩}, 对整个漠河盆地二十二站组地层时代进行探讨。

漠河盆地内绣峰组、二十二站组、漠河组作为一个连续稳定沉积的盆地盖层的一部分, 近年来部分学者通过对绣峰组碎屑锆石进行分析, 将绣峰组的形成时代置于中侏罗世中期 (Zhao Liguang et al., 2014), 漠河盆地西部绣峰组与二十二站组之间为整合接触, 沉积相上为辫状河三角洲相向湖泊相过渡, 其沉积时代应与二十二站组接近。盆地西部获得碎屑锆石中最小的年龄为 166 ± 3 Ma、 181 ± 2 Ma、 196 ± 2 Ma、 193 ± 2 Ma^⑨, 同时出现少量晚侏罗世年龄, 因此笔者认为将西部绣峰组形成时代定为中侏罗世较为合理。

近年来对漠河组的时代的研究相对较多, 从传统的化石研究到碎屑锆石 U-Pb 测年, 划分结果也众说纷纭, 一部分学者通过对额木尔河群的古植物系统分析与研究, 将漠河组划分为中侏罗世中晚期 (Xiao Chuantao et al., 2015), 一部分学者通过对额木尔河群中孢粉化石的研究, 将漠河组置于晚侏罗世 (Wu Heyong et al., 2003b), 也有学者通过对漠河组碎屑锆石测年, 认为漠河组沉积年龄为早白垩世 (Guo Zhixin, 2018), 而近年来在漠河组获得较可信的凝灰岩夹层加权平均年龄 157 Ma、158 Ma, 同时获得碎屑锆石中最小的年龄为 165 Ma、166 Ma (Zhou Chuanfang et al., 2020), 因此漠河盆地西部漠河组形成年龄 $166 \sim 157$ Ma^⑨, 时代应属晚侏罗世; 另在漠河盆地东部, 获得漠河组碎屑锆石中最小的年龄为 156 ± 3 Ma, 同时漠河组一段砂岩见有花岗闪长斑岩 (136.9 ± 4.8 Ma) 侵入^⑨, 故漠河盆地东部漠河组时代为晚侏罗世, 因此笔者认为

区域上漠河组时代应置于晚侏罗世比较合理。

二十二站组建组之初根据蠕虫的生活遗迹化石将该组置于中侏罗世 (Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 2009); 近年来对于包括二十二站组在内的额木尔河群的孢粉化石、双壳类、介形类动物群化石的研究, 将二十二站组的时代厘定为中一晚侏罗世 (Sun Guangrui et al., 2002; Wu Heyong et al., 2003b), 最近通过对漠河盆地西部砂宝斯金矿床内出露的二十二站组的碎屑锆石 U-Pb 定年, 将二十二站组形成时代置于晚侏罗世 (Li Liang et al., 2017), 本次在盆地西部获得二十二站组碎屑锆石中最小的年龄为 181~178 Ma, 故将西部二十二站组时代定为中侏罗世。漠河盆地东部获得二十二站组碎屑锆石中最小的年龄为 153 ± 9 Ma、 143 ± 3 Ma^⑨, 故将东部二十二站组时代定为晚侏罗世。因而笔者认为将区域上二十二站组时代置于中一晚侏罗世较为合理。

4.2 构造背景分析

近年来, 陆源碎屑岩地球化学研究与锆石 U-Pb 年龄测定已经成为追溯其物质来源、分析构造环境的重要手段之一 (Hofmann, 2005; Sugitani et al., 2006)。化学元素的迁移、溶解、交代等对陆源碎屑岩的化学成分影响不大, 仍然能反映物源区特征 (Rollinson, 1993); 不同物源区碎屑岩主量元素、微量元素 (例如 REE、Th、Sc、Cr、Ni 等) 含量比值具有明显差异, 对沉积环境、构造背景的判别具有一定的指示作用 (Roser et al., 1996)。

不同构造环境下的碎屑岩在主量元素上差异明显, 从大洋岛弧到被动大陆边缘的碎屑岩其 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 TiO_2 、 Al_2O_3 与 SiO_2 的比值逐渐减小, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ 的比值逐渐增大 (McLennan et al., 1991)。二十二站组砂岩主量元素与典型大地构造背景下的砂岩主量元素相比较, 其 SiO_2 、 MgO 、 TiO_2 与上地壳砂岩主量元素较为相似 (表 4), Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 与活动大陆边缘较为相似 (表 4), 通过主量元素构造环境判别图解 (图 6a) 辅助分析, 显示其为活动大陆边缘构造环境特征。

由于稀土元素、微量元素不受沉积和成岩作用的影响, 保留了母岩的稀土元素特征, 因此用于分析物源是比较可靠的。从二十二站组砂岩样品分析结果看, 非迁移元素 La/Sc 比值为 0.58~4.27, 平均值为 2.38; La/Y 比值为 0.54~1.74, 平均值为 1.21; Th/Sc 比值为 0.37~1.13, 平均值为 0.7; Sc/

表2 漠河盆地西缘二十二站组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素地质年龄测定结果表
Table 2 LA-ICP-MS Zircon U-Pb analysis results of sandstone in the Ershi'erzhan Formation
in the western margin of Mohe basin

样品号	含量 ($\times 10^{-6}$)		同位素比值							年龄(Ma)					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
WJL091															
1	15	199	0.0762	0.0008	0.5889	0.0192	0.0560	0.0018	0.6140	474	5	470	15	453	70
2	23	536	0.0415	0.0004	0.2987	0.0073	0.0522	0.0012	0.6624	262	3	265	6	296	54
3	126	544	0.2319	0.0025	2.7418	0.0395	0.0857	0.0011	0.2975	1344	14	1340	19	1333	24
4	20	442	0.0435	0.0005	0.3104	0.0087	0.0517	0.0014	0.8255	275	3	274	8	274	61
5	33	207	0.1517	0.0016	1.3672	0.0247	0.0654	0.0011	0.6681	910	9	875	16	787	34
6	3	90	0.0289	0.0004	0.1976	0.0341	0.0496	0.0088	0.8341	184	3	183	32	175	413
7	13	289	0.0440	0.0005	0.3149	0.0112	0.0519	0.0018	0.6136	278	3	278	10	280	80
8	57	732	0.0766	0.0008	0.6785	0.0106	0.0642	0.0010	0.6114	476	5	526	8	749	33
9	76	483	0.1512	0.0015	1.4326	0.0220	0.0687	0.0010	0.5311	908	9	903	14	890	29
10	24	559	0.0418	0.0004	0.3022	0.0066	0.0524	0.0011	0.5048	264	3	268	6	304	46
11	40	730	0.0544	0.0006	0.4066	0.0070	0.0542	0.0009	0.4534	342	4	346	6	379	36
12	68	888	0.0784	0.0008	0.6105	0.0092	0.0565	0.0008	0.2726	487	5	484	7	471	31
13	31	969	0.0328	0.0003	0.2253	0.0045	0.0498	0.0010	0.3977	208	2	206	4	185	45
14	21	511	0.0416	0.0004	0.2952	0.0077	0.0514	0.0013	0.3947	263	3	263	7	260	56
15	27	586	0.0424	0.0005	0.3052	0.0071	0.0522	0.0011	0.8313	268	3	270	6	294	49
16	9	195	0.0435	0.0005	0.3073	0.0198	0.0512	0.0032	0.4176	275	3	272	18	251	145
17	9	205	0.0423	0.0004	0.3044	0.0162	0.0522	0.0028	0.4682	267	3	270	14	295	120
18	35	152	0.2320	0.0026	2.7838	0.0512	0.0870	0.0013	0.2798	1345	15	1351	25	1361	30
19	11	361	0.0297	0.0003	0.2068	0.0105	0.0505	0.0025	0.4066	189	2	191	10	220	116
20	15	335	0.0440	0.0005	0.3123	0.0116	0.0515	0.0019	0.4516	277	3	276	10	264	83
21	4	108	0.0330	0.0004	0.2309	0.0299	0.0507	0.0066	0.7086	210	3	211	27	227	302
22	38	942	0.0415	0.0004	0.2901	0.0052	0.0507	0.0008	0.3440	262	3	259	5	227	38
23	27	151	0.1807	0.0021	1.8861	0.0362	0.0757	0.0013	0.4535	1071	13	1076	21	1087	33
24	24	561	0.0425	0.0004	0.3009	0.0065	0.0513	0.0010	0.3457	268	3	267	6	257	47
25	10	230	0.0417	0.0004	0.2957	0.0155	0.0514	0.0027	0.6623	263	3	263	14	260	119
26	18	624	0.0290	0.0003	0.2014	0.0060	0.0503	0.0014	0.3686	184	2	186	6	210	66
27	67	829	0.0785	0.0008	0.6240	0.0100	0.0577	0.0008	0.6854	487	5	492	8	518	32
28	10	304	0.0318	0.0003	0.2246	0.0108	0.0513	0.0024	0.5522	202	2	206	10	252	109
29	24	584	0.0415	0.0004	0.2968	0.0073	0.0519	0.0012	0.5603	262	3	264	6	282	52
30	43	87	0.4569	0.0046	9.9011	0.1512	0.1572	0.0022	0.5761	2426	24	2426	37	2425	24
31	59	767	0.0768	0.0008	0.6073	0.0109	0.0574	0.0010	0.5494	477	5	482	9	505	37
32	4	99	0.0440	0.0006	0.3084	0.0361	0.0508	0.0059	0.6169	278	4	273	32	231	267
33	153	479	0.3170	0.0032	4.7425	0.0692	0.1085	0.0014	0.3728	1775	18	1775	26	1775	24
34	46	827	0.0597	0.0006	0.4508	0.0087	0.0547	0.0010	0.1355	374	4	378	7	401	40
35	9	130	0.0749	0.0008	0.5938	0.0327	0.0575	0.0031	0.3476	466	5	473	26	511	119
36	5	160	0.0303	0.0004	0.2085	0.0208	0.0500	0.0050	0.9567	192	2	192	19	193	234
37	95	386	0.2416	0.0026	2.9431	0.0432	0.0884	0.0012	0.6396	1395	15	1393	20	1390	26
38	13	299	0.0441	0.0005	0.3101	0.0125	0.0510	0.0020	0.6769	278	3	274	11	240	89
39	103	592	0.1808	0.0019	1.7036	0.0243	0.0683	0.0009	0.4190	1071	11	1010	14	879	27
40	23	566	0.0431	0.0005	0.3184	0.0067	0.0535	0.0011	0.4190	272	3	281	6	352	45
41	151	1021	0.1573	0.0017	1.4711	0.0216	0.0678	0.0009	0.1551	942	10	919	14	863	29
42	33	391	0.0806	0.0009	0.6312	0.0285	0.0568	0.0024	0.9186	500	6	497	22	483	92
43	83	653	0.1289	0.0013	1.1513	0.0173	0.0648	0.0009	0.4865	781	8	778	12	768	29
44	2	75	0.0307	0.0004	0.2104	0.0407	0.0496	0.0102	0.9407	195	3	194	37	178	479
45	11	367	0.0285	0.0003	0.2004	0.0139	0.0510	0.0035	1.1634	181	2	185	13	240	157
46	34	114	0.2814	0.0028	3.8448	0.0620	0.0991	0.0015	0.8032	1599	16	1602	26	1607	28
47	36	168	0.2181	0.0025	2.4964	0.0418	0.0830	0.0012	0.2947	1272	15	1271	21	1269	28
48	24	330	0.0769	0.0008	0.6105	0.0118	0.0576	0.0011	0.1668	477	5	484	9	515	41
49	70	789	0.0814	0.0008	0.6367	0.0099	0.0567	0.0008	1.1128	505	5	500	8	480	32

续表 2

样品号	含量 ($\times 10^{-6}$)		同位素比值							年龄(Ma)					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
50	70	283	0.2423	0.0025	2.9847	0.0444	0.0893	0.0012	0.5675	1399	14	1404	21	1412	26
51	11	234	0.0420	0.0004	0.3050	0.0140	0.0527	0.0024	1.1067	265	3	270	12	318	104
52	9	304	0.0285	0.0003	0.1950	0.0140	0.0496	0.0036	1.0873	181	2	181	13	178	167
53	23	298	0.0761	0.0008	0.5925	0.0135	0.0564	0.0012	0.5354	473	5	472	11	470	48
54	4	85	0.0438	0.0007	0.3128	0.0638	0.0519	0.0109	0.8529	276	4	276	56	279	481
55	29	947	0.0305	0.0004	0.2118	0.0086	0.0503	0.0021	0.4542	194	3	195	8	209	94
56	16	385	0.0416	0.0004	0.2934	0.0096	0.0512	0.0016	0.8024	262	3	261	9	250	74
57	16	394	0.0417	0.0005	0.3058	0.0088	0.0532	0.0016	0.5290	264	3	271	8	335	67
58	28	158	0.1835	0.0019	1.9231	0.0405	0.0760	0.0014	0.2458	1086	11	1089	23	1095	38
59	15	361	0.0431	0.0005	0.3037	0.0108	0.0512	0.0018	0.6136	272	3	269	10	248	83
60	22	403	0.0560	0.0006	0.4184	0.0102	0.0542	0.0013	0.4291	351	4	355	9	379	52
61	19	454	0.0412	0.0004	0.2923	0.0109	0.0515	0.0019	0.9894	260	3	260	10	262	85
62	50	413	0.1254	0.0013	1.1242	0.0174	0.0650	0.0010	0.3996	762	8	765	12	774	31
63	14	344	0.0421	0.0004	0.3006	0.0113	0.0518	0.0019	0.4949	266	3	267	10	277	84
64	15	351	0.0423	0.0004	0.3055	0.0095	0.0524	0.0016	0.6987	267	3	271	8	302	70
65	31	772	0.0418	0.0004	0.2958	0.0064	0.0514	0.0011	0.3586	264	3	263	6	258	47
66	49	666	0.0750	0.0008	0.5784	0.0092	0.0560	0.0008	0.5510	466	5	463	7	451	32
67	6	136	0.0413	0.0005	0.2898	0.0251	0.0509	0.0044	0.6580	261	3	258	22	238	200
68	31	422	0.0778	0.0008	0.6030	0.0171	0.0562	0.0016	0.2948	483	5	479	14	460	63
WJL096															
1	5	119	0.0402	0.0005	0.2880	0.0224	0.0519	0.0040	0.6253	254	3	257	20	283	175
2	22	286	0.0799	0.0009	0.6258	0.0128	0.0568	0.0011	0.2037	495	5	493	10	484	43
3	37	472	0.0802	0.0009	0.6356	0.0103	0.0575	0.0009	0.3991	497	5	500	8	511	33
4	33	445	0.0796	0.0009	0.6237	0.0127	0.0568	0.0010	0.1574	494	5	492	10	485	40
5	31	421	0.0799	0.0009	0.6304	0.0111	0.0573	0.0010	0.1273	495	5	496	9	502	37
6	35	465	0.0816	0.0009	0.6438	0.0119	0.0572	0.0010	0.0860	505	6	505	9	501	38
7	91	382	0.2371	0.0030	2.8661	0.0462	0.0877	0.0011	0.4691	1371	18	1373	22	1375	24
8	137	1400	0.1040	0.0012	0.8703	0.0128	0.0607	0.0008	0.1614	638	7	636	9	628	27
9	38	493	0.0800	0.0008	0.6272	0.0106	0.0569	0.0009	0.3474	496	5	494	8	487	34
10	16	236	0.0699	0.0007	0.5350	0.0130	0.0555	0.0013	0.5188	436	5	435	11	433	51
11	36	464	0.0819	0.0009	0.6408	0.0119	0.0567	0.0010	0.1721	508	6	503	9	480	39
12	31	368	0.0820	0.0009	0.6540	0.0116	0.0578	0.0009	0.8291	508	6	511	9	523	35
13	56	740	0.0798	0.0009	0.6197	0.0092	0.0563	0.0008	0.2014	495	5	490	7	464	30
14	111	506	0.2198	0.0032	2.5369	0.0431	0.0837	0.0010	0.4432	1281	19	1283	22	1286	24
15	84	771	0.1133	0.0012	0.9266	0.0136	0.0593	0.0008	0.3489	692	7	666	10	578	28
16	40	535	0.0812	0.0009	0.6417	0.0132	0.0573	0.0011	0.0697	503	5	503	10	503	41
17	123	894	0.1478	0.0016	1.4075	0.0216	0.0691	0.0009	0.0453	889	10	892	14	901	26
18	66	212	0.3135	0.0035	4.6317	0.0683	0.1072	0.0014	0.2812	1758	20	1755	26	1752	24
19	79	308	0.2536	0.0026	3.4027	0.0484	0.0973	0.0012	0.5001	1457	15	1505	21	1573	23
20	27	357	0.0803	0.0008	0.6298	0.0114	0.0569	0.0010	0.2982	498	5	496	9	486	37
21	47	610	0.0841	0.0009	0.6740	0.0121	0.0581	0.0010	0.0236	521	5	523	9	534	37
22	44	579	0.0805	0.0009	0.6307	0.0108	0.0568	0.0009	0.1632	499	5	497	9	484	35
23	72	943	0.0812	0.0010	0.6423	0.0146	0.0573	0.0010	0.1298	504	6	504	11	505	40
24	110	782	0.1389	0.0016	1.2927	0.0199	0.0675	0.0009	0.5369	838	9	842	13	854	27
25	51	555	0.0984	0.0011	0.8076	0.0127	0.0595	0.0008	0.0669	605	7	601	9	585	31
26	31	350	0.0933	0.0011	0.7705	0.0145	0.0599	0.0010	0.1769	575	7	580	11	599	36
27	122	1054	0.1189	0.0013	1.0254	0.0152	0.0625	0.0008	0.3232	724	8	717	11	692	28
28	37	166	0.2161	0.0023	2.6706	0.0621	0.0896	0.0018	0.4145	1261	13	1320	31	1418	39
29	63	796	0.0809	0.0009	0.6341	0.0098	0.0568	0.0008	0.3869	502	6	499	8	484	30
30	9	306	0.0280	0.0003	0.1855	0.0152	0.0480	0.0039	0.5157	178	2	173	14	100	192
31	31	410	0.0818	0.0009	0.6437	0.0131	0.0571	0.0011	0.1189	507	6	505	10	495	41
32	48	608	0.0813	0.0009	0.6424	0.0109	0.0573	0.0008	0.3284	504	6	504	9	503	33
33	48	625	0.0798	0.0009	0.6273	0.0101	0.0570	0.0008	0.2978	495	5	494	8	491	31

续表 2

样品号	含量 ($\times 10^{-6}$)		同位素比值						年龄(Ma)						
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
34	68	868	0.0800	0.0009	0.6277	0.0097	0.0569	0.0008	0.3620	496	5	495	8	488	31
35	31	403	0.0802	0.0009	0.6231	0.0107	0.0563	0.0009	0.3056	498	5	492	8	465	35
36	72	976	0.0794	0.0008	0.6238	0.0094	0.0570	0.0007	0.1176	492	5	492	7	491	29
37	47	590	0.0799	0.0009	0.6304	0.0099	0.0572	0.0008	0.5385	496	5	496	8	500	32
38	34	458	0.0800	0.0009	0.6321	0.0109	0.0573	0.0009	0.0575	496	5	497	9	502	35
39	158	958	0.1637	0.0017	1.6047	0.0222	0.0711	0.0009	0.5588	978	10	972	13	960	25
40	38	878	0.0422	0.0004	0.2981	0.0056	0.0512	0.0009	0.8183	267	3	265	5	249	40
41	35	455	0.0802	0.0009	0.6259	0.0112	0.0566	0.0009	0.4364	497	5	494	9	477	36
42	59	777	0.0801	0.0009	0.6302	0.0095	0.0571	0.0008	0.1816	497	5	496	7	495	30
43	36	483	0.0805	0.0010	0.6281	0.0118	0.0566	0.0010	0.1063	499	6	495	9	475	37
44	34	428	0.0808	0.0009	0.6418	0.0118	0.0576	0.0010	0.4740	501	5	503	9	516	38
45	53	708	0.0798	0.0009	0.6334	0.0098	0.0576	0.0008	0.0994	495	5	498	8	513	30
46	51	647	0.0801	0.0008	0.6389	0.0097	0.0578	0.0008	0.4682	497	5	502	8	524	30
47	68	896	0.0801	0.0008	0.6336	0.0094	0.0573	0.0008	0.2213	497	5	498	7	504	29
48	103	393	0.2326	0.0028	3.0484	0.0477	0.0951	0.0012	1.4332	1348	16	1420	22	1529	24
49	187	2499	0.0797	0.0009	0.7238	0.0103	0.0659	0.0008	0.2370	494	5	553	8	803	26
50	56	725	0.0815	0.0010	0.6442	0.0123	0.0573	0.0009	0.1811	505	6	505	10	504	33
51	128	1688	0.0797	0.0009	0.6278	0.0089	0.0571	0.0007	0.2771	494	5	495	7	497	27
52	41	525	0.0795	0.0009	0.6315	0.0127	0.0576	0.0011	0.4790	493	5	497	10	515	44
53	37	449	0.0888	0.0009	0.7239	0.0118	0.0591	0.0009	0.0492	549	6	553	9	571	33
54	64	621	0.1096	0.0012	0.9451	0.0141	0.0626	0.0008	0.1258	670	7	676	10	693	27
55	50	259	0.1909	0.0019	2.2522	0.0348	0.0855	0.0012	0.4131	1126	11	1197	19	1328	28
56	35	472	0.0794	0.0008	0.6253	0.0106	0.0572	0.0009	0.1513	492	5	493	8	497	35
57	31	399	0.0795	0.0009	0.6327	0.0117	0.0577	0.0010	0.3804	493	5	498	9	519	40
58	20	53	0.3279	0.0053	7.8199	0.1473	0.1730	0.0025	1.0536	1828	30	2210	42	2586	24
59	86	1035	0.0876	0.0010	0.7021	0.0117	0.0581	0.0008	0.1674	541	6	540	9	534	29
60	88	783	0.1152	0.0016	1.4790	0.0339	0.0931	0.0016	0.1787	703	10	922	21	1490	32
61	32	401	0.0807	0.0008	0.6477	0.0179	0.0582	0.0015	0.3910	500	5	507	14	537	55
62	56	749	0.0796	0.0008	0.6212	0.0096	0.0566	0.0008	0.2287	494	5	491	8	475	31
63	78	1032	0.0795	0.0008	0.6290	0.0095	0.0574	0.0008	0.3006	493	5	495	7	508	30
64	69	920	0.0802	0.0008	0.6249	0.0099	0.0565	0.0008	0.2129	497	5	493	8	473	31

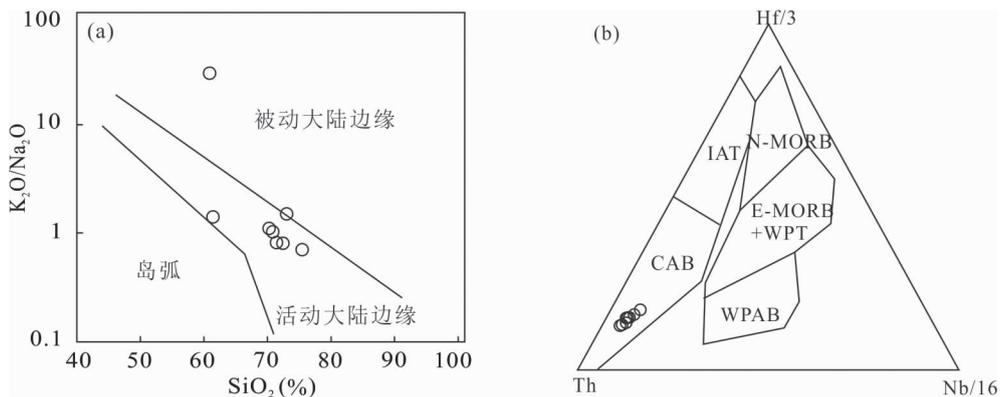


图6 漠河盆地西缘二十二站组砂岩构造环境判别图解(a底图据 Roser et al., 1986; b底图据 Wood, 1980)

Fig. 6 Tectonic setting discrimination diagrams of sandstone from the Ershierzhan Formation in the western margin of Mohe basin (a is after Roser et al., 1986; b is after from Wood, 1980)

N-MORB—正常洋脊玄武岩区; E-MORB+WPT—富集型洋脊拉斑玄武岩区和板内玄武岩;

WPAB—板内碱性玄武岩区; IAT—岛弧拉斑玄武岩; CAB—钙碱性火山弧玄武岩区

N-MORB—Normal mid-ocean ridge basalt; E-MORB+WPT—Enriched mid-ocean ridge basalt and intraplate basalt;

WPAB—intraplate alkaline basalt; IAT— island arc tholeiite; CAB—calc-alkaline basalt

Cr 比值为 0.15~0.21,平均值为 0.18。并通过稀土、微量元素构造判别图解(图 6b)辅助分析,可以看出二十二站组微量元素特征总体与火山弧构造环境的特征较为相似。

漠河盆地处于蒙古-鄂霍茨克造山带东南缘,额尔古纳地块北端,该地块古生代时期受控于古亚洲洋构造体系,经历了与周围块体(如:兴安地块、松嫩地块、华北板块)的碰撞拼合,近年来区域上的古生代岩石地球化学特征表明其具有活动大陆边缘性质(Sun Deyou et al., 2004; Li Jinyi et al., 2007; Liu Yongjiang et al., 2011);中生代时期经历了太平洋构造体系和蒙古-鄂霍茨克构造体系的叠加与改造,由于西伯利亚板块相对于中蒙古地块旋转,致使蒙古-鄂霍茨克洋呈“剪刀式”自西向东闭合,西部晚三叠世开始闭合至东部于晚侏罗世或早白垩世初期闭合(Zonenshain et al., 1990; Zorin, 1999; Mo Shenguo et al., 2005),近年来越来越多的报道蒙古-鄂霍茨克洋具有南北双向俯冲的构造背景(Tomurtogoo et al., 2005; Chen Zhiguang et al., 2010; Wu Fuyuan et al., 2011; Xu Wenliang et al., 2013; Tang Jie et al., 2018)。因此,根据二十二站组砂岩的碎屑物质组成、主量和微量元素地球化学研究,结合区域构造背景,认为二十二站组砂岩主要物源区的大地构造环境应以活动大陆边缘背景下的陆缘弧环境为主。

4.3 物源区分析

沉积物的物源分析是盆地分析的重要组成部分,它将有助于建立源区和沉积区的关系,确定盆地沉积时的盆山体系和岩相古地理格局,为盆地性质和演化提供重要证据(Morton et al., 1994; Gray et al., 1997)。本次在二十二站组砂岩中获得了多组碎屑锆石 U-Pb 年龄,显示了多物源沉积特征,最老物源为古元古代兴华渡口岩群。本次获得的四组峰值年龄(496 Ma、468 Ma、265.5 Ma、184 Ma)数据与盆地南缘(额尔古纳地块、兴安地块)出露的地质体时代吻合较好。第一组峰值 496 Ma 与盆地南缘晚寒武世二长花岗岩年龄 504 ± 8 Ma(Wu Guang et al., 2005)和 486 ± 3 Ma^①相当;第二组峰值 468 Ma 与盆地南缘晚奥陶世二长花岗岩 458 ± 4 Ma(Duan Mingxin et al., 2019)相当;第三组峰值 265.5 Ma 与盆地南缘晚二叠世二长花岗岩 257 ± 2 Ma^①相当;第四组峰值 184.5 Ma 与盆地南缘广泛出露的晚三叠世一早侏罗世二长花岗岩 202~200 Ma(Hu Junhai et al., 2018)相当,反映了二十二站

组物源以早古生代、晚古生代及中生代花岗岩为主,进一步说明了漠河盆地南缘存在大量隆升剥露地表的早古生代—中生代花岗岩类,209.51~178.1 Ma 年龄数据说明二十二站组最新物源有早侏罗世侵入岩。因此本次研究认为盆地南缘额尔古纳地块、兴安地块等的古老陆壳物质及年轻的火成岩应为二十二站组沉积物的主要来源。

稀土元素在指示沉积物源区中非常可靠(Cullers et al., 2000),其配分模式是判定盆地沉积岩源区性质的重要手段之一(McLennan, 1989)。漠河盆地二十二站组稀土总量平均值为 147.35×10^{-6} ,LREE/HREE 平均值为 7.73,具有中等偏弱的负 Eu 异常,(La/Yb)_N 的比值为 2.98~13.61,平均值为 9.18, La/Yb-La/Th(图 7a)、F₁-F₂(图 7b)、 \sum REE-La/Yb(图 7c)、Hf/10-La/Th(图 7d)图解显示二十二站组砂岩物源区岩石主要来自于上地壳、石英质沉积岩区及花岗岩区。本次工作以镜下鉴定结合野外观测,对典型长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩的薄片统计分析结果表明,二十二站组砂岩的岩屑成分以花岗岩、变质岩、沉积岩为主,少量玄武岩、流纹岩等,含量为 15%~65%,大多超过 25%,局部碎屑中含少量方解石,岩屑整体含量较高,表明二十二站组为近源堆积。

本次研究通过对二十二站组 13 件样品粒度分析研究,发现该组砂岩分选程度中等—较好,砂岩粒度概率累计曲线及 C-M 模式图(图 8)结果显示为河流相沉积,水体主要为牵引流沉积,少量重力流沉积,以跳跃搬运为主,次为悬浮搬运,少量滚动搬运,其沉积环境为三角洲河口—湖泊,因此认为二十二站组为早期干热,晚期温暖潮湿气候条件下河流—湖泊相沉积。前人对沉积相和古水流方向的研究,认为漠河盆地沉积物源来自南侧(He Zhonghua et al., 2008),但也有学者持双向物源区(He Zhengjun et al., 2003),近年来通过野外观测和地震剖面中前积反射结构研究认为二十二站组时期漠河盆地存在南北双向物源(Hou Wei et al., 2010)。综上所述,本文认为,漠河盆地整体物源主要来自盆地南部,尚未发现有来自北部俄罗斯海相地层的充分证据,但同时无法排除这种可能,因为从区域资料上看,相当于二十二站组层位在俄罗斯境内有海相层发现,但在漠河盆地至今未发现海相化石夹层(Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 2009),盆地西部二十二站组湖泊相水体具有半咸水的性质,另外盆地西部漠河组砂岩 U-

表3 漠河盆地西缘二十二站组砂岩岩石地球化学特征表

Table 3 Geochemical characteristics of sandstones in the Ershi'erzhan Formation in the western margin of Mohe basin

样品号	WJL089	WJL090	WJL091	WJL092	WJL093	WJL094	WJL095	WJL096	WJL097
SiO ₂	72.14	61.24	75.18	60.50	72.68	72.22	71.26	70.51	70.09
Al ₂ O ₃	11.97	15.74	11.37	18.01	11.64	12.58	11.71	12.68	12.68
TiO ₂	0.68	1.02	0.55	1.07	0.78	0.67	0.83	0.90	0.39
Fe ₂ O ₃	1.37	4.39	2.19	8.90	2.62	1.84	1.68	2.01	1.55
FeO	2.38	3.05	1.42	0.27	2.32	2.48	3.28	3.05	1.35
CaO	1.73	1.33	0.61	0.25	0.37	0.37	0.79	0.34	1.77
MgO	1.69	3.62	1.43	0.90	2.35	2.01	2.69	2.65	2.35
K ₂ O	2.19	2.59	1.93	3.23	2.00	2.15	1.85	2.12	2.92
Na ₂ O	2.65	1.84	2.72	0.11	1.32	2.66	2.28	2.08	2.70
MnO	0.08	0.12	0.09	0.16	0.15	0.09	0.10	0.11	0.13
P ₂ O ₅	0.12	0.23	0.13	0.23	0.15	0.14	0.15	0.18	0.10
LOI	2.89	4.69	2.29	6.23	3.52	2.67	3.27	3.26	3.86
Total	99.89	99.87	99.90	99.86	99.90	99.89	99.89	99.89	99.89
Fe ₂ O ₃ ^T	4.02	7.78	3.76	9.19	5.20	4.60	5.33	5.40	3.05
K ₂ O/Na ₂ O	0.82	1.41	0.71	28.48	1.51	0.81	0.81	1.02	1.08
Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	0.63	1.69	1.14	2.75	1.31	0.86	0.90	0.95	0.53
F ₁	-4.78	-4.86	-4.23	1.62	-6.47	-5.30	-6.84	-6.76	-5.54
F ₂	-3.46	-6.30	-4.17	-4.55	-6.08	-4.53	-5.84	-5.74	-3.00
La	37.59	33.87	28.56	35.50	8.28	37.36	38.75	37.46	30.76
Ce	55.17	58.32	53.05	57.24	43.96	60.65	75.15	81.67	48.06
Pr	6.92	6.60	5.57	6.99	1.79	7.30	9.85	9.03	5.70
Nd	27.17	25.46	21.83	27.79	7.18	28.43	38.66	34.47	22.12
Sm	5.44	5.58	4.36	6.00	1.72	5.83	7.71	6.48	4.07
Eu	1.22	1.30	1.01	1.46	0.52	1.32	1.78	1.37	1.00
Gd	4.79	5.08	4.00	5.65	1.84	5.10	7.19	5.46	3.62
Tb	0.84	0.93	0.71	1.03	0.37	0.86	1.19	0.85	0.56
Dy	4.71	5.64	4.02	6.16	2.53	4.84	6.65	4.52	2.97
Ho	0.95	1.12	0.79	1.24	0.57	0.94	1.27	0.89	0.61
Er	2.55	3.16	2.26	3.39	1.73	2.58	3.32	2.40	1.66
Tm	0.40	0.49	0.36	0.54	0.31	0.40	0.50	0.37	0.26
Yb	2.47	3.16	2.32	3.45	1.99	2.54	3.01	2.34	1.62
Lu	0.39	0.51	0.37	0.55	0.33	0.42	0.47	0.37	0.26
Eu/Eu*	0.73	0.75	0.74	0.77	0.90	0.74	0.73	0.70	0.79
Ce/Ce*	0.84	0.96	1.03	0.89	2.80	0.90	0.94	1.09	0.89
∑REE	150.62	151.21	129.23	157.00	73.11	158.56	195.50	187.67	123.26
LREE/HREE	7.81	6.53	7.71	6.13	6.57	7.97	7.28	9.91	9.66
(La/Yb) _N	10.92	7.69	8.82	7.38	2.98	10.57	9.22	11.48	13.61
(Eu/Eu*) _{UCC}	1.04	1.06	1.05	1.09	1.28	1.05	1.04	1.00	1.13
(La/Yb) _{UCC}	0.98	0.69	0.79	0.66	0.27	0.95	0.83	1.03	1.22
Li	23.23	45.64	22.24	57.57	33.96	25.99	28.88	36.81	28.61
Be	1.61	2.23	1.71	2.53	1.54	1.87	1.61	1.79	2.08
Sc	11.17	20.27	10.73	25.26	14.15	14.12	18.08	14.13	7.20
V	76.63	152.39	72.79	167.11	98.56	83.99	97.18	104.58	63.44
Cr	53.29	119.24	53.12	155.09	73.85	71.72	106.26	77.94	47.55
Co	8.90	26.12	9.72	25.79	17.79	14.10	15.12	16.65	8.96
Ni	27.54	67.64	28.81	77.61	33.61	43.00	61.29	37.19	24.26
Ga	14.64	22.29	14.83	24.15	15.74	15.71	15.09	16.95	14.88
Rb	67.72	92.49	64.99	106.64	64.25	67.67	57.25	71.83	90.87
Sr	146.35	91.70	108.29	67.35	44.05	75.25	78.37	63.95	120.41
Y	28.50	33.06	23.39	34.78	15.31	26.78	35.71	24.06	17.67
Ba	454.14	485.33	480.11	476.72	477.33	472.72	403.54	469.55	523.77
Pb	11.60	14.80	11.74	21.45	17.06	11.83	10.08	14.18	17.72
Th	9.33	10.91	8.20	9.43	8.87	8.99	9.43	11.96	8.16
U	1.63	2.15	1.55	3.10	1.46	1.63	1.49	1.63	1.61

续表 3

样品号	WJL089	WJL090	WJL091	WJL092	WJL093	WJL094	WJL095	WJL096	WJL097
Nb	10.42	16.36	9.96	15.67	11.15	9.83	11.36	12.46	7.60
Ta	0.88	1.80	0.77	1.16	0.88	0.82	0.82	1.07	0.57
Zr	184.20	246.74	158.58	211.86	160.34	163.01	164.57	202.20	127.03
Hf	5.16	6.91	4.48	6.52	4.90	4.74	4.76	5.82	3.82
Mo	0.04	0.53	0.17	1.26	0.20	0.19	0.27	0.39	0.28
In	0.05	0.10	0.06	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04
Cs	2.60	5.18	2.51	8.87	4.09	3.67	3.47	4.13	5.63
W	1.03	1.50	0.89	2.70	2.39	1.08	1.05	1.72	1.02
Tl	0.45	0.60	0.45	0.82	0.46	0.45	0.37	0.48	0.70
Bi	0.14	0.29	0.15	0.34	0.22	0.16	0.14	0.18	0.11
Ag	0.04	0.04	0.04	0.12	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04
Sn	3.24	2.97	2.10	3.41	2.15	2.15	2.31	2.05	2.25
B	31.94	89.93	22.06	113.09	28.08	32.76	37.28	39.40	57.42
F	622.22	1022.22	566.67	944.44	555.29	470.00	683.33	766.67	814.44
Cl	47.42	74.30	31.72	77.31	50.65	45.81	42.26	52.37	51.18
Hg	6.39	4.35	13.53	304.23	82.89	143.07	23.73	24.75	33.93
Cu	14.92	54.77	17.66	62.80	24.23	15.70	19.48	27.27	8.07
Zn	54.45	111.24	53.54	122.25	84.71	72.32	66.28	78.14	43.89
Rb/Sr	0.46	1.01	0.60	1.58	1.46	0.90	0.73	1.12	0.75
Rb/Nb	6.50	5.65	6.52	6.80	5.76	6.88	5.04	5.76	11.96

注:主量元素单位为%, 稀土、微量元素单位为 10^{-6} ; $F_1 = -1.773Ti_2O + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_3 - 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O - 1.224K_2O - 9.09$; $F_2 = -0.445Ti_2O + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_3 - 1.142MgO + 0.438CaO + 0.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.861$; 据 Roser et al., 1988; “N”表示相对于球粒陨石标准化值; UCC 据 Rudnick et al., 2003。

表 4 不同大地构造环境砂岩的化学成分含量(%)平均值对比

Table 4 Comparison of average chemical composition (%) of sandstones in different geotectonic environments

	大洋岛弧	大陆岛弧	活动大陆边缘	被动大陆边缘	上地壳	本文二十二站组数据
SiO ₂	58.83	70.69	73.86	81.95	66.00	69.54
Al ₂ O ₃	17.11	14.04	12.89	8.41	15.20	13.16
Fe ₂ O ₃	1.95	1.43	1.30	1.32		2.95
CaO	5.83	2.68	2.48	1.89	4.20	0.84
MgO	3.65	1.97	1.23	1.39	2.20	2.19
Na ₂ O	4.10	3.12	2.77	1.07	3.90	2.04
K ₂ O	1.60	1.89	2.90	1.71	3.40	2.33
TiO ₂	1.06	0.64	0.46	0.49	0.50	0.76
Fe ₂ O ₃ ^T +MgO	11.73	6.79	4.63	2.89	7.15	7.56
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.29	0.20	0.18	0.10	0.23	0.19
K ₂ O/Na ₂ O	0.39	0.61	0.99	1.60	0.87	4.07
La	8.20	27.00	37.00	39.00	30.00	32.01
Ce	19.40	59.00	78.00	85.00	64.00	59.25
∑REE	58.00	146.00	186.00	210.00	146.00	147.35
δEu	1.04	0.80	0.60	0.55	0.65	0.76
La/Yb	4.20	11.00	12.50	15.90	13.60	12.80
(La/Yb) _N	2.80	7.50	8.30	10.80	9.20	9.18
LREE/HREE	3.80	7.70	9.10	8.50	9.47	7.73
Sc	19.50	14.80	8.00	6.00	11.00	15.01
La/Th	4.26	2.36	1.77	2.20	2.80	3.39
La/Y	0.48	1.02	1.33	1.31	1.36	1.21
La/Sc	0.55	1.82	4.55	6.25	2.73	2.38

注:大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘据 Bhatia(1983)和 Bhatia et al. (1986); 上地壳据 Taylor et al. (1985)。

Pb 锆石测年结果表明, 48 个测年点中约有 16.6% 的年龄值为 D₂-C₁⁹。因此, 推测漠河盆地二

十二站组时期可能曾发生过间歇性海侵, 有部分北部、东部俄罗斯的海水混入。

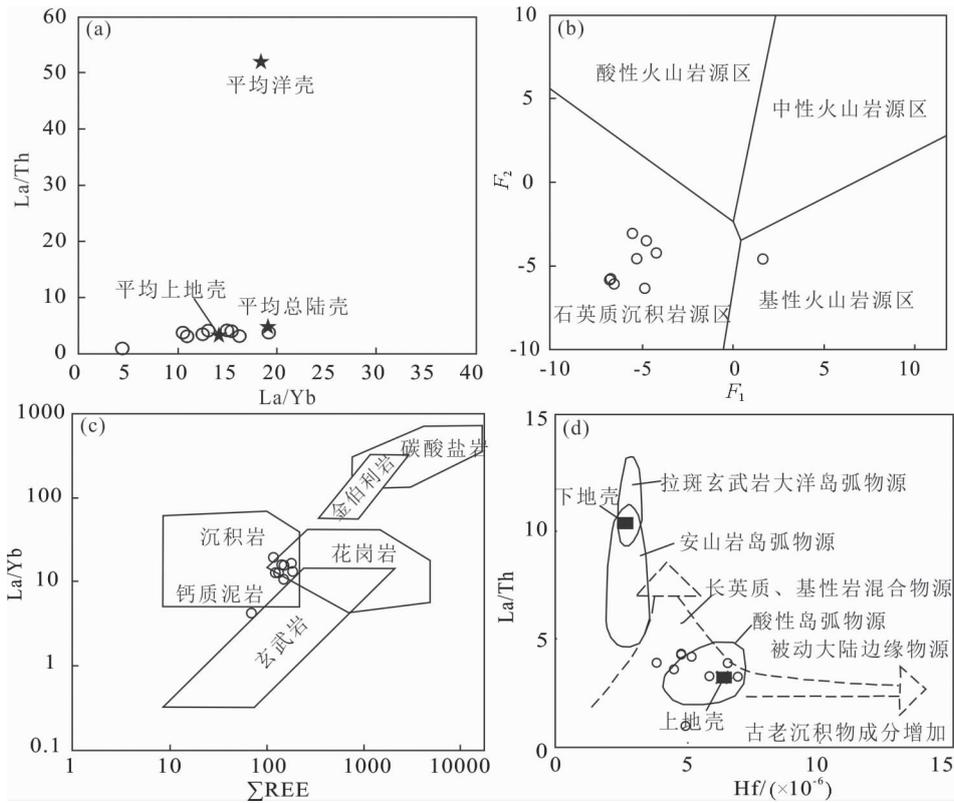


图7 漠河盆地西缘二十二站组砂岩 La/Th-La/Yb 图解(a)(据 Shao et al.,2001)、 F_1 - F_2 图解(b)(据 Roser et al. ,1988)、 Σ REE-La/Yb 图解(c)(据 Allgre et al. ,1978)以及 Hf-La/Th 图解(d)(据 Floyd et al. ,1987)

Fig. 7 Diagrams of La/Th-La/Yb (a) (after Shao et al., 2001), F_1 - F_2 (b) (after Roser et al. ,1988), REE-La/Yb (c) (after Allgre et al. ,1978) and Hf-La/Th (d) (after Floyd et al. ,1987) for sandstones of the Ershi'erzhan Formation in the western margin of the Mohe basin

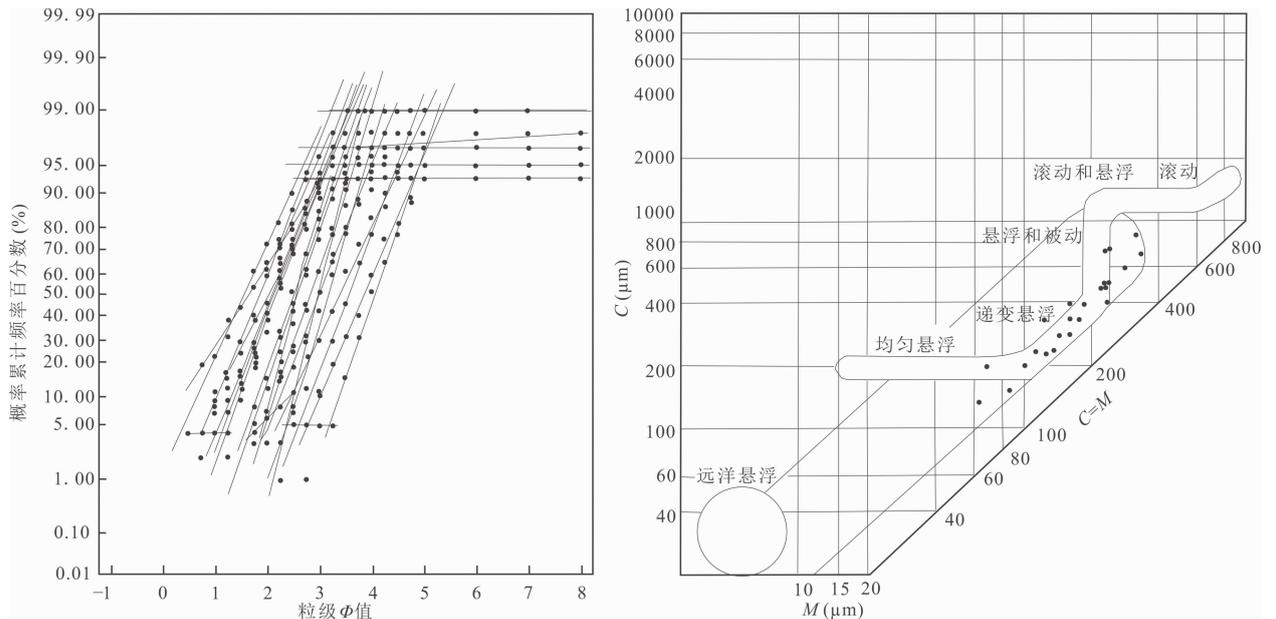


图8 漠河盆地西缘二十二站组砂岩概率累计曲线分布图和帕塞加的牵引流沉积 C-M 模式图

Fig. 8 Diagram of granularity probability cumulative curve (left)(after Visser, 1969) and C-M model (right) (after Passega, 1964) in the sandstones from the Ershi'erzhan Formation on the western margin of the Mohe basin

5 结论

(1) 二十二站组砂岩碎屑锆石大部分为岩浆锆石, 测年结果可以分为 4 个年龄区间: 508.3~492.3 Ma, 峰值年龄 496 Ma; 486.9~435.5 Ma, 峰值年龄 468 Ma; 278.3~254.2 Ma, 峰值年龄 265.5 Ma; 209.5~178.1 Ma, 峰值年龄 184.5 Ma, 漠河盆地内二十二站组形成时代应置于中—晚侏罗世。

(2) 二十二站组物源区大地构造环境以活动大陆边缘背景下的陆缘弧环境为主。二十二站组砂岩形成于中—晚侏罗世蒙古—鄂霍茨克洋闭合造山过程中物源区快速剥蚀、快速搬运沉积环境。

(3) 二十二站组砂岩的母岩主要来源于盆地南缘广泛分布的前中生代沉积-变质基底(兴华渡口岩群、佳疙瘩组、额尔古纳河组等)及各期中酸性火成岩岩石。

注 释

- ① 内蒙古自治区地质调查院. 2004. 大兴安岭北部奇乾—莫尔道嘎地区 N51C003001(恩和哈达)、N51C004001(奇乾)、M51C001001(莫尔道嘎镇)等三幅 1/25 万区域地质调查报告。
- ② 黑龙江省地质调查总院. 2011. 黑龙江 1: 25 万漠河县(N51C004002)、漠河(N51C003002)、兴安(N51C003003)幅区调修测报告。
- ③ 武警黄金第三支队. 2018. 黑龙江省大兴安岭十五里桥、腰站林场、依西肯幅、开库康、下鱼亮子、绥安站、瓦干、闰王店岛、双合站 1: 5 万综合地质调查报告。
- ④ 武警黄金第三支队. 2019. 黑龙江大兴安岭洛古河、兴华沟林场、阿凌河、1072.3 高地幅 1: 5 万区域地质矿产调查报告。

References

Allègre C J, Minster J F. 1978. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 38(1): 1~25.

Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 91(6): 611~627.

Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic gneisses mudrocks: Provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology*, 45(1-2): 97~113.

Bhatia M R, Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2): 181~193.

Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Lu Baizhi, Li Zhanlong, Wu Huaying, Xiang Peng, Huang Shiwu. 2010. Geochronology and geochemistry of the Taipingchuan copper-molybdenite deposit in Inner Mongolia, and its geological significances. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1437~1449 (in Chinese with English abstract).

Cullers R L, Podkovyrov V N. 2000. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control, and recycling. *Precambrian Research*, 104(1): 77~93.

Duan Mingxin, Zhou Chuanfang, Yang Huaben, Wei Xiaoyong, Cai Yanlong, Xu Jianxin, Wang Bochao, Liu Ningbo, Yang Qun. 2019. Geochronology and geochemistry of Fuyuangoulinchang tourmaline-bearing granites in Mohe County, Heilongjiang Province, NE China, and their implications. *Chinese Journal of*

Geology, 54(4): 1290~1307 (in Chinese with English abstract).

Floyd P A, Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbidites and stones. *Journal of the Geological Society*, 144(4): 531~542.

Gray M B, Peter K Z. 1997. Comparison of clastic wedge provenance in the Appalachian foreland using U-Pb ages of detrital zircons. *Tectonic*, 16(1): 151~160.

Guo Zhixin. 2018. Late Mesozoic tectonostratigraphic evolution of the Northeast China and adjacent regions: case studies of the Erlian and Mohe basins. Doctoral dissertation of University of Science and Technology of China, 1~96 (in Chinese with English abstract).

He Zhengjun, Li Jinyi, Mo Shenguo, Sorokin A A. 2003. Geochemical discriminations of sandstones from the Mohe foreland basin, northeastern China: tectonic setting and provenance. *Science in China(Series D)*, 33(12): 1219~1226 (in Chinese).

He Zhonghua, Liu Zhaojun, Guo Hongwei, Hou Wei, Dong Linsen. 2008. Provenance analysis of Middle Jurassic sediments and its geological significance in Mohe basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(3): 398~404 (in Chinese with English abstract).

Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. 2009. *Lithostratigraphy of Heilongjiang Province*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 133~141 (in Chinese).

Hofmann A. 2005. The geochemistry of sedimentary rocks from the Fig Tree Group, Barberton greenstone belt: implications for tectonic, hydrothermal and surface processes during Mid-Archean times. *Precambrian Research*, 143(1-4): 23~49.

Hou Wei, Liu Zhaojun, He Jianping, He Zhonghua, Zhang Lei. 2010. Sedimentary characteristics and tectonic setting of the upper Jurassic Mohe basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(2): 286~297 (in Chinese with English abstract).

Hu Junhai, Yang Huaben, Zhou Chuanfang, Gao Xiaoqi, Wei Xiaoyong, Sun Tong, Li Yuhan, Ma Jing. 2018. Early Jurassic granites in Fuyuangou forest farm of Mohe country, northern Daxinganling mountains: chronology, geochemistry and tectonic implications. *Geology and Resources*, 27(3): 224~234 (in Chinese with English abstract).

Li Chunlei. 2007. Structural characteristic, tectonic evolution and basin dynamics of Mohe basin. Master dissertation of China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).

Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, Li Yaping, Wang Yanbin. 2007. Shuangjingzi middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 565~582 (in Chinese with English abstract).

Li Liang, Sun Fengyue, Li Bile, Xu Qinglin, Zhang Yajing, Lan Lishi. 2017. Geochronology of Ershi'erzhan Formation sandstone in Mohe basin and tectonic environment of its provenance. *Earth Science*, 42(1): 35~52 (in Chinese with English abstract).

Li Yaping, Li Jinyi, Sun Guihua, Zhu Zhixin, Yang Zhiqing. 2007. Basement of Junggar basin: evidence from detrital zircons in sandstone of previous Devonian Kalamaili Formation. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1577~1590 (in Chinese with English abstract).

Liang Qi, Jing Hu, Gregoire D C. 2000. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasmas spectrometry. *Talanta*, 51(3): 507~513.

Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther D, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 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.

Liu Yongjiang, Zhang Xingzhou, Chi Xiaoguo, Wen Quanbo, Liang

- Chenyue, Han Guoqing, Zhao Limin, Zhao Yingli. 2011. Deformation and tectonic layer division of the upper Paleozoic in Daxing'anling area. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(5): 1404~1313 (in Chinese with English abstract).
- McLennan S M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks; influence of provenance and sedimentary processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 21: 169~200.
- McLennan S M, Taylor S R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution; tectonic setting and secular trends. *Journal of Geology*, 99(1): 1~21.
- Mo Shenguo, Han Meilian, Li Jinyi. 2005. Compositions and orogenic processes of Mongolia-Okhotsk orogen. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 24(3): 50~52 (in Chinese with English abstract).
- Morton A C, Hallsworth C R. 1994. Identifying provenance specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90(3): 241~256.
- Passega, R. 1964. Grain size representation by CM patterns as a geologic tool. *Journal of Sedimentary Research*, 34(4): 830~847.
- Rollinson H R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. London: Longman Scientific Technical Press.
- Roser B P, Korsch R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *The Journal of Geology*, 94(5): 635~650.
- Roser B P, Korsch R J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67: 119~139.
- Roser B P, Cooper R A, Nathan S, Tulloch A J. 1996. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the Lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 39(1): 1~16.
- Rudnick R L, Gao S. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 1~64.
- Shao L, Statterger K, Garbe-Schoenberg C. 2001. Sandstone petrology and geochemistry of the Turpan Basin (NW China); implications for the tectonic evolution of continental basin. *Journal of Sedimentary Research*, 71: 37~49.
- Sugitani K, Yamashita F, Nagaoka T, Yamamoto K, Minami M, Mimura K, Suzuki K. 2006. Geochemistry and sedimentary petrology of Archean clastic sedimentary rocks at Mt. Goldsworthy, Pilbara Craton, Western Australia: evidence for the early evolution of continental crust and hydrothermal alteration. *Precambrian Research*, 147(1-2): 124~147.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, Gao Shan. 2004. The final closing time of the West Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(2): 174~181 (in Chinese with English abstract).
- Sun Guangrui, Liu Xuguang, Han Zhenzhe, Liu Shiwei, Guo Kuicheng, Zhang Jinlian, Zhu Chunyan, Wang Deping. 2002. Stratigraphic division and age of the mid-upper Jurassic Ershi'erzhan Group in the upper Heilongjiang River Basin. *Geological Bulletin of China*, 21(3): 150~155 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts; implications for mantle composition and processes. In Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publications, 42: 313~345.
- Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng, Ge Wenchun. 2018. Subduction history of the Paleo-Pacific slab beneath Eurasian continent Mesozoic-Paleogene magmatic records in Northeast Asia. *Science China Earth Sciences*, 61: 527~559.
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 2~57.
- Tomurtogoo O, Windley B F, Kroner A, Badarch G, Liu D Y. 2005. Zircon age and occurrence of the Aadaatsag ophiolite and Muron Shear Zone, central Mongolia; constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean, suture and orogen. *Journal of the Geological Society*, 162(1): 125~134.
- Visher G S. 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Research*, 39(3): 1074~1106.
- Wang Shaoyi, Xu Hong, Yang Xiaoping, Zhang Wenlong. 2015. Detrital zircon U-Pb dating of Middle Jurassic Mohe Formation in northern Da Hinggan Mountains: reconstruction of the provenance of Mohe basin. *Geology in China*, 42(5): 1293~1302 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S. 2001. Response of detrital zircon and monazite and their U-Pb isotopic systems to regional metamorphism and host-rock partial melting, Cooma Complex, southeastern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48(4): 557~580.
- Wood D A. 1980. The application of Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50(1): 11~30.
- Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, Zhang Y B, Grant M L, Wilde S A, Jahn B M. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1): 1~30.
- Wu Genyao, Feng Zhiqiang, Yang Jianguo, Wang Zaijun, Zhang Liguoy, Guo Qingxia. 2006. Tectonic setting and geological evolution of Mohe basin in northeast China. *Oil and Gas Geology*, 27(4): 528~535 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guang, Sun Fengyue, Zhao Caisheng, Li Zhitong, Zhao Ailin, Pang Qingbang, Li Guangyuan. 2005. Granite after collision discovery and geological significance of Early Paleozoic in northern margin of Erguna block. *Chinese Science Bulletin*, 50(20): 1437~1449 (in Chinese).
- Wu Heyong, Xin Renchen, Yang Jianguo. 2003a. The middle Jurassic sedimentary evolution and petroleum potential of the Mohe Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 25(2): 116~121 (in Chinese with English abstract).
- Wu Heyong, Yang Jianguo, Huang Qinghua, Liu Wenlong. 2003b. Sequence and age of the Mesozoic strata in the Mohe basin. *Journal of stratigraphy*, 27(3): 193~198 (in Chinese with English abstract).
- Wu Heyong, Wang Shihui, Yang Jianguo, Tang Zhenhai, Wang Zaijun, Zhang Qingshi. 2004. Analysis of exploration potential in surrounding basins of Daqing oilfield. *Petroleum Geology*, 4: 23~31 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Chuantao, Ye Ming, Wen Zhigang, Zhao Shengmin, Yang Xiaoping, Zhang Wenlong. 2015. A study on paleoflora in Emuerhe Group, Mohe basin. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 299~309 (in Chinese with English abstract).
- Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, Meng En, Tang Jie, Xu Meijun, Wang Wei. 2013. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 339~353 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhixin, You Guoqing, Tong Ying, Li Jialin, Jia Xiaoxin. 2018. Geochemical characteristics and provenance analysis of the sandstone from Obootinghundi Formation in Sonid Left Banner, Inner Mongolia. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 37(3): 434~444 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shun, Lin Chunming, Wu Chaodong, Yang Jianguo. 2003. Tectonic characteristics and basin evolution of the Mohe Basin, Heilongjiang Province. *Geological Journal of China University*, 9(3): 411~418 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Handong, Yin Zhigang, Ma Liling, Zhou Xingfu, Tan Chengyin, Zhao Yan, Liu Zhixun, Liu Yong. 2007.

Sedimentary environment and tectonic setting of the Middle Jurassic Xiufeng Formation in the Upper Heilongjiang River Basin. *Geological Bulletin of China*, 26(7): 823~829 (in Chinese with English abstract).

Zhao Ligu, Yang Xiaoping, Zhao Shengmin, Liu Yuan, Zhang Wenlong. 2014. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of the sedimentary rock and volcano rock zircons from the Emoerhe Group in the Mohe basin and its geological significance. *Journal of Geomechanics*, 20(3): 285~291 (in Chinese with English abstract).

Zhao Shuyue, Han Yandong, Zhang Wenlong, Hou Tingting. 2016. Discussion on sedimentary age of the Mohe Formation in north area of Mohe basin: constraint of zircon LA-ICP-MS U-Pb geological age of biotite quartz diorite mylonite. *Geological Survey and Research*, 39(3): 177~183 (in Chinese with English abstract).

Zhou Chuanfang, Yang Huaben, Cai Yanlong, Zhang Yuanhou, Jiang Lili, Wei Xiaoyong, Duan Mingxin, Feng Jia, Wang Bochao, Zhao Xidong. 2021. Stratigraphic age of Mohe Formation in the western margin of Mohe basin and discrimination of tectonic environment in provenance area. *Geology in China*, 48(3): 832~853 (in Chinese with English abstract).

Zonenshain L P, Kuzmin M L and Natapov L M. 1990. *Geology of the USSR: a Plate-tectonics Synthesis*. Washington DC: American Geophysical Union, Geodynamics Series, 21: 1~242.

Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33~56.

参 考 文 献

陈志广, 张连昌, 卢百志, 李占龙, 吴华英, 相鹏, 黄世武. 2010. 内蒙古太平川铜钼矿成矿斑岩时代、地球化学及地质意义. *岩石学报*, 26(5): 1437~1449.

段明新, 周传芳, 杨华本, 魏小勇, 蔡艳龙, 徐建鑫, 王博超, 刘宁波, 杨群. 2019. 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. *地质科学*, 54(4): 1290~1307.

郭知鑫. 2018. 晚中生代中国东北及邻区地层、构造演化: 以二连盆地和漠河盆地为例. 中国科学技术大学博士学位论文.

和政军, 李锦轶, 莫中国, Sorokin A A. 2003. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析. *中国科学(D)*, 33(12): 1219~1226.

和钟铎, 刘招君, 郭宏伟, 侯伟, 董林森. 2008. 漠河盆地中侏罗世沉积源区分析及地质意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 38(3): 398~404.

黑龙江省地质矿产局. 2009. 黑龙江省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.

侯伟, 刘招君, 何玉平, 和钟铎, 张雷. 2010. 漠河盆地上侏罗统沉积特征与构造背景. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(2): 286~297.

胡军海, 杨华本, 周传芳, 高晓琦, 魏小勇, 孙桐, 李宇菡, 马靖. 2018. 大兴安岭北段漠河富源沟林场早侏罗世花岗岩-年代学、地球化学特征及构造意义. *地质与资源*, 27(3): 224~234.

李春雷. 2007. 漠河盆地构造特征演化与成盆动力学研究. 北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文.

李锦轶, 高立明, 孙桂华, 李亚萍, 王彦斌. 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞亮源花岗岩的确定及其对西伯利亚中朝古板块碰撞时限的约束. *岩石学报*, 23(3): 565~582.

李良, 孙丰月, 李碧乐, 许庆林, 张雅静, 兰理实. 2017. 漠河盆地二十二站组砂岩形成时代及物源区构造环境判别. *地球科学*, 42(1): 35~52.

李亚萍, 李锦轶, 孙桂华, 朱志新, 杨之青. 2007. 准噶尔盆地基底的探讨: 来自原泥盆纪卡拉麦里组砂岩碎屑锆石的证据. *岩石学报*, 23(7): 1577~1590.

刘永江, 张兴洲, 迟效国, 温泉波, 梁琛岳, 韩国卿, 赵立敏, 赵英利. 2011. 大兴安岭地区上古生界变形特征及构造层划分. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(5): 1304~1313.

莫中国, 韩美莲, 李锦轶. 2005. 蒙古-鄂霍茨克造山带的组成及造山过程. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 24(3): 50~52.

孙德有, 吴福元, 张艳斌, 高山. 2004. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据. *吉林大学学报(地球科学版)*, 34(2): 174~181.

孙广瑞, 刘旭光, 韩振哲, 刘世伟, 郭奎城, 张金莲, 朱春燕, 王德平. 2002. 上黑龙江盆地中上侏罗统二十二站群的地层划分与时代. *地质通报*, 21(3): 150~155.

唐杰, 许文良, 王枫, 葛文春. 2018. 古太平洋板块在欧亚大陆下的俯冲历史: 东北亚陆缘中生代-古近纪岩浆记录. *中国科学: 地球科学*, 48: 549~583.

王少轶, 许虹, 杨晓平, 张文龙. 2015. 大兴安岭北部中侏罗统漠河组砂岩 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄: 对漠河盆地源区的制约. *中国地质*, 42(5): 1293~1302.

吴根耀, 冯志强, 杨建国, 汪在君, 张立国, 郭庆霞. 2006. 中国东北漠河盆地的构造背景和地质演化. *石油与天然气地质*, 27(4): 528~535.

吴河勇, 辛仁臣, 杨建国. 2003a. 漠河盆地中侏罗统沉积演化及含油气远景. *石油实验地质*, 25(2): 116~121.

吴河勇, 杨建国, 黄清华, 刘文龙. 2003b. 漠河盆地中生代地层层序及时代. *地层学杂志*, 27(3): 193~198.

吴河勇, 王世辉, 杨建国, 唐振海, 汪在君, 张庆石. 2004. 大庆外围盆地勘探潜力. *中国石油勘探*, 4: 23~31.

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.

肖传桃, 叶明, 文志刚, 赵省民, 杨晓平, 张文龙. 2015. 漠河盆地额尔古纳群古植物群研究. *地学前缘*, 22(3): 299~309.

许文良, 王枫, 裴福萍, 孟恩, 唐杰, 徐美君, 王伟. 2013. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约. *岩石学报*, 29(2): 339~353.

杨志新, 游国庆, 童英, 李佳林, 贾孝新. 2018. 内蒙古苏尼特左旗地区敖包亭浑迪组砂岩地球化学特征及物源分析. *岩石矿物学杂志*, 37(3): 434~444.

张顺, 林春明, 吴朝东, 杨建国. 2003. 黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化. *高校地质学报*, 9(3): 411~418.

赵寒冬, 尹志刚, 马丽玲, 周兴福, 谭成印, 赵焱, 刘志逊, 刘勇. 2007. 上黑龙江盆地中侏罗统绣峰组的沉积环境与大地构造背景. *地质通报*, 26(7): 823~829.

赵立国, 杨晓平, 赵省民, 刘渊, 张文龙. 2014. 漠河盆地额尔古纳群锆石 U-Pb 年龄及地质意义. *地质力学学报*, 20(3): 285~291.

赵书跃, 韩彦东, 张文龙, 侯婷婷. 2016. 漠河盆地北部漠河组地层形成时代探讨——糜棱岩化微晶闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄的制约. *地质调查与研究*, 39(3): 177~183.

周传芳, 杨华本, 蔡艳龙, 张元厚, 姜丽莉, 魏小勇, 段明新, 冯嘉, 王博超, 赵喜东. 2021. 漠河盆地西缘漠河组形成时代及物源区构造环境判别. *中国地质*, 48(3): 832~853.

Detrital zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the Ershi'erzhan Formation in western Mohe basin and its provenance significance

DUAN Mingxin^{1,2)}, ZHOU Chuanfang^{* 2)}, YANG Huaben²⁾,
CAI Yanlong²⁾, WEI Xiaoyong²⁾, XU Jianxin²⁾, ZHAO Jiaqi²⁾

1) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2) Harbin Center for Integrated Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150081, China

* Corresponding author: 546011015@qq.com

Abstract

To address the controversy regarding the formation age of the Ershi'erzhan Formation sandstone, in the Mohe basin of the northern Da Hinggan Mountains, this study presents results of LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb dating in this paper, and discusses its provenance and tectonic setting together with the geochemistry of major and trace elements. The zircon U-Pb dating results show that 132 data are distributed in the following four periods, 508.3~492.3 Ma, 486.9~435.5 Ma, 278.3~254.2 Ma, and 209.5~178.1 Ma. It is considered that the age of the Ershi'erzhan Formation should be Middle-Late Jurassic combined with the minimum age (178.1 Ma) of the zircon and the age of zircon in the east and west of Mohe basin. The geochemical analysis results show that the REE curves of the Ershi'erzhan Formation sandstone are in good agreement with the REE curves of the active continental margin, and are relatively depleted in high field strength elements (Nb and Ta) and large ion lithophile elements (Ba and Sr), and are relatively enriched in high field strength elements (La, Th, Zr and Hf). Based on the analysis of paleocurrent, source rock, zircon dating and trace element characteristics, it is believed that the parent rocks of the Ershi'erzhan Formation sandstone are mainly from the pre-Mesozoic sedimentary metamorphic basement (Xinghuadukou Group, Jiageda Formation, Erguna River Formation, etc.) and the intermediate acid igneous rocks.

Key words: Mohe basin; Ershi'erzhan Formation; forming age; tectonic environment discrimination; provenance