

doi:10.3799/dqkx.2017.003

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

李良¹, 孙丰月^{1*}, 李碧乐¹, 许庆林², 张雅静¹, 兰理实³

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061
2. 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东青岛 266590
3. 武警黄金第一支队, 黑龙江牡丹江 157021

摘要: 大兴安岭北部的漠河盆地广泛发育中生界二十二站组砂岩, 其形成时代一直备受争议. 首次利用碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法测年对其形成时代作出较为精确的限定, 并结合地球化学特征对其物源区及大地构造背景进行了探讨. 研究结果表明, 二十二站组砂岩碎屑物磨圆度较低、分选差, 表现出源区相对不稳定, 快速剥蚀、搬运及沉积的特征. 锆石颗粒粗大, 具有清晰的震荡环带, Th/U 值为 0.35~1.07, 为典型的岩浆锆石. 测年结果显示, 90 个测点年龄主要分布在 3 个群落: 152~170 Ma, 峰值年龄约为 158 Ma, 这一年龄区间揭示了二十二站组沉积成岩的下限为晚侏罗世; 179~193 Ma, 峰值年龄约为 190 Ma; 205~214 Ma, 峰值年龄约为 210 Ma. 3 个年龄峰值为蒙古-鄂霍茨克洋演化过程中一系列岩浆活动的地质记录, 其中 210 Ma 与 190 Ma 峰值年龄与盆地南缘额尔古纳地块晚三叠世、早侏罗世的岩浆事件相吻合, 而 158 Ma 峰值年龄则对应于盆地北缘晚侏罗世的岩浆事件. 主、微量元素构造判别图解揭示其物源区具有活动大陆边缘的特征, 同时锆石定年数据显示其没有任何前中生代的碎屑物, 暗示了该 3 期岩浆岩均形成于额尔古纳地块北缘的中生代活动大陆边缘环境, 并为二十二站组的形成提供了主要碎屑物质. 由此说明, 二十二站组砂岩形成于晚侏罗世蒙古-鄂霍茨克洋闭合后的造山过程中, 漠河盆地南北两侧物源区快速剥蚀、快速搬运与快速沉积的环境.

关键词: 漠河盆地; 二十二站组; 砂岩; 碎屑锆石; 地球化学; 活动大陆边缘; 蒙古-鄂霍茨克洋.

中图分类号: P581; P597.3 **文章编号:** 1000-2383(2017)01-0035-18 **收稿日期:** 2016-07-25

Geochronology of Ershi'erzhan Formation Sandstone in Mohe Basin and Tectonic Environment of Its Provenance

Li Liang¹, Sun Fengyue^{1*}, Li Bile¹, Xu Qinglin², Zhang Yajing¹, Lan Lishi³

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China
3. No. 1 Gold Geological Party of CAPF, Mudanjiang 157021, China

Abstract: To address the controversy of the Ershi'erzhan Formation sandstone formation ages in the Mohe basin of the northern Great Khingan Range, this study presents an accurate limit to its formation ages using the LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb dating for the first time in this paper, and discusses its provenance and tectonic setting combined with the geochemistry of major and trace elements. The results show that the fragmental material in sandstone has poor psephicity and sorting, indicating that source region is relatively unstable with characteristics of rapid denudation, transportation and sedimentation. The grains of detrital zircons are big with clear oscillatory zoning, and Th/U values range from 0.35–1.07, which is indicative of a magmatic origin. Zircon U-Pb dating results show that 90 dating data are distributed in the following three periods, namely, 152–170 Ma with the peak of 158 Ma, standing for the lower limit of Ershi'erzhan Formation sedimentary rocks at Late Jurassic; 179–193 Ma with the peak of 190 Ma and 205–214 Ma with the peak of 210 Ma. The three peak ages are the evolution

基金项目: 中国地质调查局项目(No. 1212011085485); 国家自然科学基金项目(No. 41272093).
作者简介: 李良(1986—), 男, 博士研究生, 主要从事矿床成矿理论与预测方面的研究. OCRID: 0000-0002-0898-306X.
E-mail: liliangjlu2011@163.com
* **通讯作者:** 孙丰月, OCRID: 0000-0001-9408-7298, E-mail: sunfeng0669@sina.com

records of the Mongolia-Okhotsk ocean. The peak ages of 210 Ma and 190 Ma are consistent with the Late Triassic and Early Jurassic magmatic events of south margin of the basin in the Erguna massif, the peak age of 158 Ma fits the Late Jurassic magmatic event of north margin of the basin. The geochemical diagrams of major and trace elements reveal that the provenance has the background of active continental margin. Meanwhile, the zircon dating shows that there is no Pre-Mesozoic clastics in the Ershi'erzhan Formation. It suggest that these were generated within an active continental margin setting at the north margin of the Erguna massif in Mesozoic, and provided the most clastics for the Ershi'erzhan Formation. Combining with the previous studies, it is concluded that the Ershi'erzhan Formation sandstone was formed in Late Jurassic under the environment of rapid denudation, transportation and sedimentation, controlled by the uplift of the Mongolia-Okhotsk orogenic belt, indicating that the eastern Mongolia-Okhotsk ocean has already closed in Late Jurassic.

Key words: Mohe basin; Ershi'erzhan Formation; sandstone; detrital zircon; geochemistry; active continental margin; Mongolia-Okhotsk ocean.

0 引言

漠河盆地(MHB)位于大兴安岭北段的黑龙江省漠河县境内,大地构造位置处于额尔古纳地块北东端,东侧为布列亚地块,北部为蒙古-鄂霍茨克造山带.该盆地是大庆外围油气勘探的战略展开目标(吴河勇等,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的唯一窗口(和政军等,2003).漠河盆地一直是大兴安岭地区的研究热区,众多金属矿床产于其中,其沉积序列、物源区、盆地的形成与演化等对蒙古-鄂霍茨克造山带的演化具有“探针”作用,其中二十二站组是该盆地最重要的地层之一,其形成时代、物源区及其大地构造背景等对盆地的形成与演化具有很强的约束作用.

关于二十二站组的属性,众多学者先后作过相关的研究,形成了不同的观点,争论的焦点主要集中在沉积时代,其中有 3 种主要观点:中侏罗世(其和日格,1995;和政军等,2003;侯伟,2006;王骞,2007;和钟铎等,2008a, 2008b),晚侏罗世(孙广瑞等,2002;吴河勇等,2003b;辛仁臣等,2003;张顺等,2003;杨建国等,2006;李春雷,2007;侯伟等,2010a, 2010b, 2010c;孙求实,2013),中一晚侏罗世(孙广瑞等,2002).此外,该地层的物源区至今仍未取得统一认识,和政军等(2003)、侯伟(2006)、李春雷(2007)、和钟铎等(2008a, 2008b)、侯伟等(2010a, 2010b, 2010c)认为二十二站组的物源来自北部的蒙古-鄂霍茨克造山带与南部的额尔古纳地块;和钟铎等(2008a)认为盆地沉积物主要来自南侧的陆块抬升基底,即古元古界兴华渡口群与寒武系兴隆群、古生代同碰撞和后碰撞花岗质岩石及早中生代中酸性火成岩;而孙求实(2013)认为盆地的物源除来自南北两侧外,盆地内部也提供了部分物源.

近年来,碎屑锆石的年龄已经成为确定物源区

组成、沉积时代和形成构造环境的一种有效的新途径(Bruguier *et al.*, 1997;Becker *et al.*, 2005;万渝生等,2003;李碧乐等,2016;王键等,2016),碎屑锆石含有物源区地质体组成和时代的信息,同时也可以用来确定碎屑岩沉积时代的下限(李亚萍等,2007).砂岩岩石地球化学特征对沉积盆地形成时期构造背景具有很强的“示踪”作用,已成为地质构造复杂地区的重要研究对象.由此,本文在前人的研究基础上运用碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年法对二十二站组的形成时代进行约束,并结合岩相学、微量地球化学特征探讨其沉积物来源及物源区大地构造环境.

1 地质背景

漠河盆地位于蒙古-鄂霍茨克造山带南缘,长约 300 km,宽约 80 km,呈近 EW 向展布(图 1).盆地的前中生代基底主要由古元古界兴华渡口群、下泥盆统及前中生代各期侵入岩组成,盖层主要由侏罗系陆源碎屑岩和白垩系火山岩组成,为晚侏罗世南北挤压的前陆盆地叠加早白垩世伸展的火山断陷盆地(李春雷,2007;孙求实,2013;李良等,2015),NE、SN 及 EW 向的深大断裂控制了盆地的边界与火山岩的分布,在蒙古-鄂霍茨克造山带形成过程中漠河盆地经历了原型盆地形成、挤压回返、火山断陷盆地形成和抬升萎缩 4 个演化阶段(张顺等,2003).侏罗纪是漠河盆地的重要形成时期,该盆地在整个大兴安岭北部地区形成了巨厚的陆源碎屑沉积,总厚度为 3 000~8 000 m,地层有绣峰组、二十二站组、额木尔河组和开库康组,其中二十二站组是该盆地最重要的地层(黑龙江省地质矿产局,1993).

二十二站组最先由黑龙江省第二区调大队于 1983 年在塔河县卫东林场建组,代表剖面在二十二

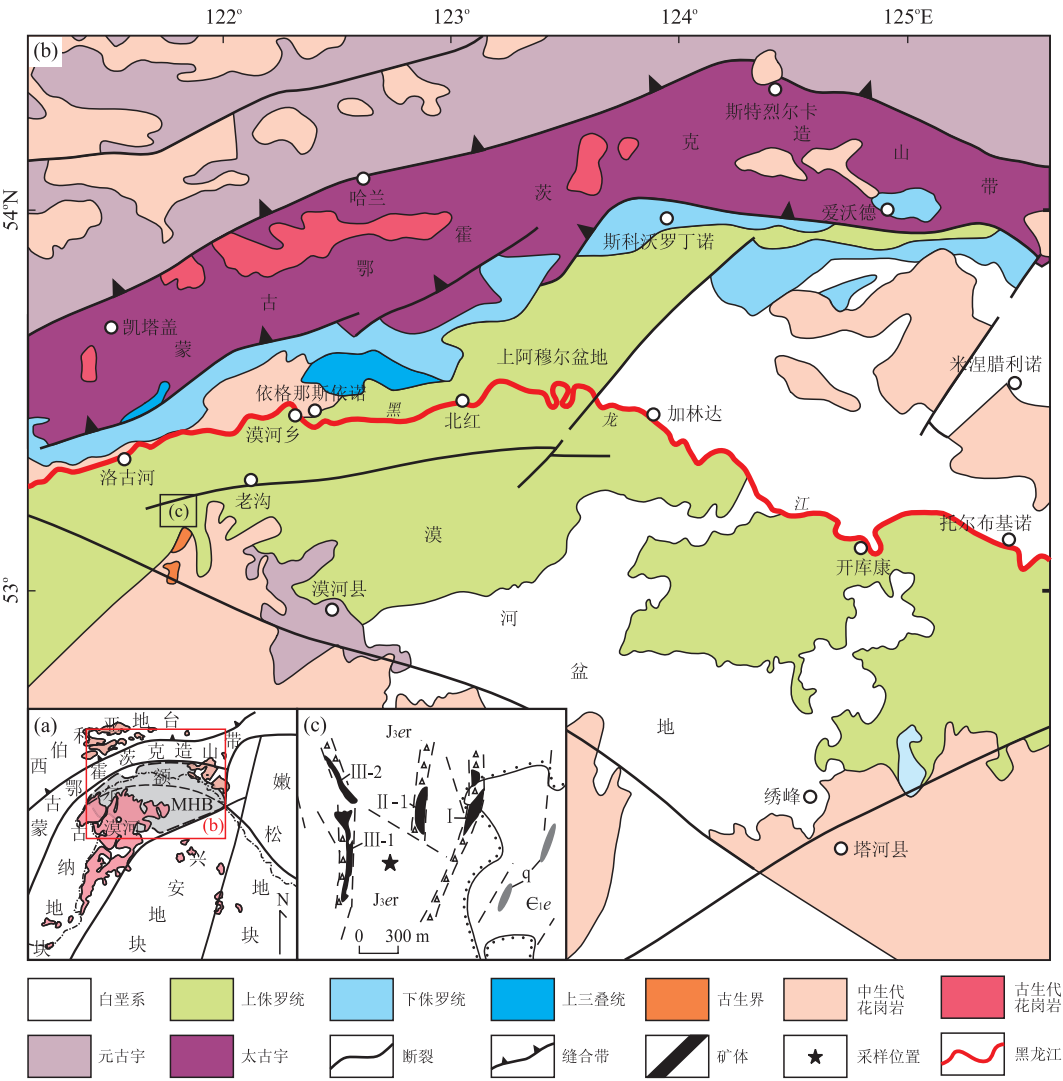


图 1 漠河盆地区域构造分区(a)、漠河盆地及邻区上阿穆尔盆地区域地质图(b)和砂宝斯金矿区地质图(c)

Fig. 1 Regional tectonic subdivisions of the Mohe basin (a), regional geological sketch of the Mohe basin and Amur basin (b) and Shabaosi gold deposit (c)

图 a 据和钟铎等(2008a)修改;图 b 据和政军等(2003)修改;图 c 据齐金忠等(2000)

站后山(黑龙江省地质矿产局,1993),主要分布在呼玛、塔河、漠河县的二十二站、马林、瓦拉干林场、河湾林场等地.岩性以灰黑色、灰绿色粉、细、中、粗粒长石岩屑砂岩、泥质粉砂岩互层为主,局部夹含砾砂岩、泥岩及煤线;属于河流冲积相、河漫滩相、沼泽相沉积建造(李春雷,2007).从岩石组构来看,该地层为近源快速沉积成岩,岩屑含量多在 30%左右,磨圆度中等.水平层理发育,河流边缘相韵律混合序列式堆积特点清晰,产植物和孢粉化石,最大厚度达 4 400.6 m,与下伏的绣峰组、上覆额木尔河组之间均为整合接触,显示了统一背景条件下快速堆积的特点(李春雷,2007).

2 样品特征及分析方法

2.1 样品特征

本文样品采自砂宝斯金矿区新鲜无蚀变的二十二站组砂岩,地理坐标为 121°52′46″E,53°12′24″N.测年样品编号为 SBS-N1,配套的全岩分析样品编号为 SBS-N1-B1~B10.岩石具块状构造和陆源碎屑结构(图 2),颗粒支撑,孔隙式胶结,碎屑颗粒之间多为点一线接触,部分为线一线接触和点接触.碎屑物的磨圆度很差,成分成熟度较差,分选也很差,颗粒大小比较悬殊.碎屑物约占 70%~85%,填隙物约占 15%~30%.碎屑物主要由石英(40%~60%)、长石(20%~30%)和少量的黑云母和白云母

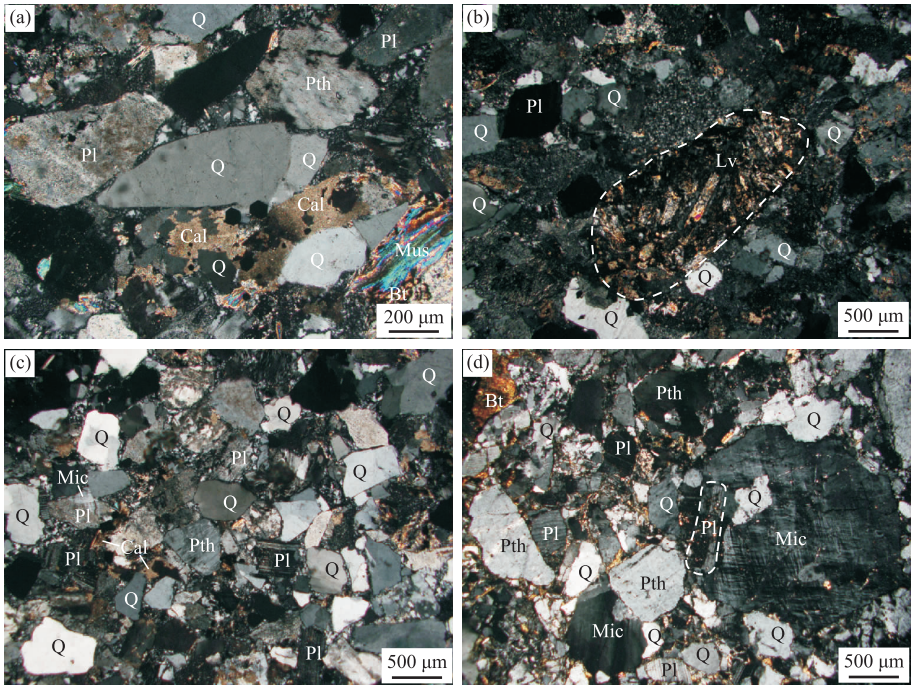


图 2 二十二站组砂岩显微镜下照片(正交偏光)

Fig. 2 Micrographs of the Ershi'erzhan Formation sandstone

Q. 石英;Pl. 斜长石;Pth. 条纹长石;Mic. 微斜长石;Lv. 火成岩岩屑;Bt. 黑云母;Cal. 方解石;Mus. 白云母

($<5\%$)、岩屑($<5\%$)组成。其中石英碎屑以单晶石英为主, Q_m/Q (单晶石英碎屑/总石英碎屑)约为 0.9, 呈棱角状, 具双锥形特征, 粒度大小为 0.5~1.0 mm。长石碎屑分为斜长石和碱性长石(包括条纹长石和微斜长石), 碱性长石含量高于斜长石, K/F (碱性长石/长石总量)约为 0.7; 斜长石形态呈他形或板柱状, 表面轻微绢云母化, 聚片双晶清晰可见; 碱性长石多呈他形, 棱角状, 粒度多在 0.2~1.8 mm, 条纹长石的格子双晶明显。黑云母呈片状产出, 少数见于碎屑颗粒之间。岩屑碎屑含量较少, 且以火成岩岩屑为主(图 2b), L_v/L (火成岩岩屑/岩屑)约为 0.8, 粒度为 1~2 mm。填隙物由胶结物和基质组成, 其中胶结物约占填隙物总量的 70%。胶结物主要为硅质胶结物($\sim 80\%$)、碳酸盐胶结物($\sim 20\%$), 显晶质结构。硅质胶结物呈细小的石英充填于碎屑物颗粒之间, 呈他形产出, 偶见石英加大边, 以次生加大或微晶石英生长于石英碎屑的边缘。基质主要由泥质碎屑和细粉砂构成。

2.2 分析方法

2.2.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年 锆石挑选由河北省廊坊区域地质调查研究所实验室利用标准重矿物分离技术分选完成。经过双目镜下仔细挑选, 将不同特征的锆石粘在双面胶上, 并用无色透明的环氧树脂固定; 待其固化之后, 将表面抛光至锆石中

心。在测试前, 通过反射光和 CL 图像仔细研究锆石的晶体形态与内部结构特征, 以选择最佳测试点。锆石制靶、反射光、阴极发光以及锆石 U-Pb 年龄测定和痕量元素分析均在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行(表 1)。本次测试采用的激光剥蚀束斑直径为 32 μm , 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm ; 实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标, 元素含量采用 NIST SRM610 作为外标,²⁹Si 作为内标元素(锆石中 SiO₂ 的质量分数为 32.8%), 分析方法见文献 Yuan *et al.* (2004); 普通铅校正采用 Andersen(2002)推荐的方法; 样品的同位素比值及元素含量计算采用 ICP-MS-DATCAL 程序(Liu *et al.*, 2008, 2010), 年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 程序。

2.2.2 岩石地球化学分析 本次实验主量及微量元素的分析在核工业北京地质研究院分析测试研究中心测试完成, 主量元素使用 X-射线荧光光谱仪(飞利浦 PW2404)完成, 其中 Al₂O₃、SiO₂、MgO、Na₂O 检测限为 0.015%, CaO、K₂O、TiO₂ 检测限为 0.01%, Fe₂O₃^T、MnO、P₂O₅ 检测限为 0.005%; FeO 用容量法完成(检测限为 0.1%)。微量元素及稀土元素使用电感耦合等离子体质谱 Finingan MAT HR-ICP-MS(Element I 型)完成(表 2)。

表 1 二十二站组砂岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析结果

Table 1 Detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb analytical results of the Ershi'erzhan Formation sandstones

编号	Pb (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	U (10 ⁻⁶)	Th/ U	207Pb/ 235U			206Pb/ 238U			207Pb/ 235U			206Pb/ 238U			208Pb/ 232Th		
					1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ				
SBS-N1-01	6.1	104	189	0.55	0.050 21	0.003 47	0.164 86	0.011 04	0.023 82	0.000 41	158	155	10	152	3	151	2		
SBS-N1-02	9.9	224	329	0.68	0.052 28	0.002 65	0.173 20	0.007 34	0.024 03	0.000 40	298	66	6	153	3	150	3		
SBS-N1-03	4.8	83	153	0.54	0.046 27	0.002 75	0.155 68	0.008 89	0.024 40	0.000 40	12	130	8	155	3	157	4		
SBS-N1-04	8.8	158	258	0.61	0.047 42	0.003 35	0.159 35	0.010 89	0.024 37	0.000 43	70	157	10	155	3	156	3		
SBS-N1-05	8.8	206	281	0.73	0.051 27	0.002 53	0.171 93	0.006 94	0.024 32	0.000 38	253	64	6	155	2	157	3		
SBS-N1-06	7.1	127	233	0.55	0.052 24	0.002 37	0.175 77	0.006 34	0.024 40	0.000 38	296	54	5	155	2	169	3		
SBS-N1-07	24.6	778	794	0.98	0.057 35	0.002 05	0.192 46	0.004 45	0.024 34	0.000 35	505	27	4	155	2	104	2		
SBS-N1-08	4.6	129	130	0.99	0.049 26	0.003 08	0.166 85	0.009 24	0.024 56	0.000 43	160	94	8	156	3	166	4		
SBS-N1-09	10.0	199	307	0.65	0.049 89	0.002 47	0.168 73	0.006 92	0.024 53	0.000 40	190	65	6	156	3	143	3		
SBS-N1-10	8.7	197	278	0.71	0.049 73	0.002 11	0.168 02	0.005 45	0.024 50	0.000 37	182	48	5	156	2	153	3		
SBS-N1-11	6.7	134	222	0.61	0.050 07	0.002 39	0.169 45	0.006 58	0.024 54	0.000 39	198	61	6	156	2	152	3		
SBS-N1-12	8.3	164	269	0.61	0.052 48	0.002 31	0.178 68	0.006 05	0.024 69	0.000 37	306	50	5	157	2	154	3		
SBS-N1-13	7.8	144	242	0.59	0.052 31	0.002 58	0.178 10	0.007 24	0.024 69	0.000 40	299	63	6	157	3	167	4		
SBS-N1-14	7.4	151	235	0.64	0.048 83	0.002 17	0.166 40	0.005 82	0.024 71	0.000 38	140	53	5	157	2	170	3		
SBS-N1-15	6.8	135	210	0.64	0.051 95	0.002 84	0.176 54	0.008 28	0.024 64	0.000 42	283	76	7	157	3	152	4		
SBS-N1-16	9.6	179	298	0.60	0.051 03	0.002 66	0.173 99	0.007 64	0.024 73	0.000 41	242	70	6	157	3	154	4		
SBS-N1-17	11.5	280	357	0.78	0.050 16	0.002 04	0.172 04	0.005 18	0.024 88	0.000 37	202	43	4	158	2	150	2		
SBS-N1-18	11.1	207	353	0.59	0.049 66	0.002 12	0.170 42	0.005 54	0.024 88	0.000 37	179	48	5	158	2	161	3		
SBS-N1-19	5.7	100	175	0.57	0.052 27	0.003 10	0.178 38	0.009 27	0.024 75	0.000 44	297	86	8	158	3	164	5		
SBS-N1-20	11.3	259	317	0.82	0.050 70	0.002 70	0.173 01	0.007 79	0.024 75	0.000 42	227	73	7	158	3	156	4		
SBS-N1-21	7.6	193	218	0.88	0.047 52	0.002 64	0.162 90	0.007 81	0.024 86	0.000 41	75	75	7	158	3	151	3		
SBS-N1-22	7.8	140	242	0.58	0.047 97	0.002 67	0.163 72	0.007 90	0.024 75	0.000 41	98	78	7	158	3	148	4		
SBS-N1-23	11.5	260	358	0.73	0.048 60	0.001 98	0.166 08	0.005 02	0.024 78	0.000 37	129	43	4	158	2	152	2		
SBS-N1-24	7.2	131	227	0.58	0.049 08	0.002 66	0.167 58	0.007 77	0.024 77	0.000 41	152	77	7	158	3	147	4		
SBS-N1-25	9.1	159	274	0.58	0.049 36	0.002 73	0.168 93	0.008 00	0.024 82	0.000 42	165	79	7	158	3	161	4		
SBS-N1-26	8.1	139	256	0.54	0.053 82	0.002 38	0.183 78	0.006 33	0.024 76	0.000 38	364	50	5	158	2	187	4		
SBS-N1-27	11.3	220	326	0.68	0.049 04	0.002 77	0.168 82	0.008 23	0.024 96	0.000 43	150	81	7	159	3	160	4		
SBS-N1-28	9.1	189	272	0.70	0.050 89	0.002 45	0.174 97	0.006 87	0.024 94	0.000 40	236	61	6	159	3	152	3		
SBS-N1-29	14.0	291	428	0.68	0.049 55	0.002 02	0.170 58	0.005 14	0.024 96	0.000 37	174	43	4	159	2	161	3		
SBS-N1-30	9.5	234	288	0.81	0.047 10	0.002 23	0.161 95	0.006 24	0.024 94	0.000 39	54	56	5	159	2	144	3		
SBS-N1-31	11.8	254	363	0.70	0.047 62	0.002 00	0.163 92	0.005 24	0.024 96	0.000 37	80	48	5	159	2	159	3		
SBS-N1-32	10.4	183	317	0.58	0.052 03	0.002 63	0.178 69	0.007 49	0.024 91	0.000 41	287	66	6	159	3	173	4		
SBS-N1-33	10.7	188	329	0.57	0.051 01	0.002 25	0.175 81	0.006 02	0.024 99	0.000 38	241	51	5	159	2	179	3		
SBS-N1-34	11.0	225	349	0.65	0.050 99	0.002 10	0.175 24	0.005 34	0.024 92	0.000 37	240	43	4	159	2	154	3		
SBS-N1-35	18.2	436	520	0.84	0.048 41	0.002 04	0.166 91	0.005 28	0.025 00	0.000 37	119	47	5	159	2	160	3		
SBS-N1-36	6.9	156	192	0.81	0.045 75	0.003 06	0.157 57	0.009 50	0.024 98	0.000 45	15	95	8	159	3	154	4		
SBS-N1-37	10.4	210	329	0.64	0.048 77	0.002 09	0.167 84	0.005 49	0.024 96	0.000 37	137	49	5	159	2	157	3		
SBS-N1-38	12.9	208	421	0.49	0.048 40	0.001 90	0.167 19	0.004 69	0.025 05	0.000 36	119	39	4	159	2	161	3		
SBS-N1-39	8.7	193	250	0.77	0.047 88	0.002 76	0.164 60	0.008 30	0.024 93	0.000 43	93	81	7	159	3	156	4		
SBS-N1-40	7.4	146	222	0.66	0.050 00	0.003 16	0.173 03	0.010 56	0.025 10	0.000 41	195	145	9	160	3	160	2		
SBS-N1-41	12.2	277	377	0.74	0.051 38	0.002 10	0.177 79	0.005 33	0.025 09	0.000 37	258	42	5	160	2	156	3		
SBS-N1-42	11.2	309	308	1.00	0.048 78	0.003 58	0.168 63	0.012 03	0.025 07	0.000 43	137	166	10	160	3	160	2		
SBS-N1-43	10.5	187	313	0.60	0.049 26	0.002 67	0.170 55	0.007 87	0.025 11	0.000 42	160	76	7	160	3	173	4		
SBS-N1-44	9.1	117	295	0.40	0.053 22	0.002 41	0.186 79	0.006 62	0.025 45	0.000 39	338	53	6	162	2	194	4		
SBS-N1-45	6.8	123	201	0.61	0.051 72	0.002 55	0.189 30	0.007 67	0.026 54	0.000 42	273	64	7	169	3	181	4		

续表 1

编号	Pb (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	U (10 ⁻⁶)	Th/ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		年龄(Ma)							
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ
SBS-N1-46	11.1	213	330	0.64	0.051 30	0.002 24	0.188 82	0.006 32	0.026 69	0.000 40	254	49	176	5	170	3	165	3
SBS-N1-47	6.4	99	190	0.52	0.051 05	0.004 30	0.198 39	0.015 52	0.028 18	0.000 61	243	138	184	13	179	4	184	8
SBS-N1-48	10.1	167	298	0.56	0.052 07	0.002 65	0.207 63	0.008 75	0.028 92	0.000 47	288	66	192	7	184	3	176	4
SBS-N1-49	6.8	144	197	0.73	0.049 50	0.003 03	0.199 10	0.010 74	0.029 17	0.000 51	172	92	184	9	185	3	187	5
SBS-N1-50	23.9	569	605	0.94	0.051 75	0.002 11	0.208 96	0.006 26	0.029 28	0.000 43	274	42	193	5	186	3	194	3
SBS-N1-51	10.8	156	301	0.52	0.051 24	0.002 35	0.207 72	0.007 59	0.029 40	0.000 46	252	55	192	6	187	3	199	4
SBS-N1-52	20.8	38	601	0.51	0.048 98	0.002 30	0.199 16	0.007 59	0.029 49	0.000 47	147	59	184	6	187	3	181	4
SBS-N1-53	8.1	128	197	0.65	0.046 34	0.002 73	0.188 58	0.010 71	0.029 51	0.000 46	15	129	175	9	187	3	189	4
SBS-N1-54	6.6	133	185	0.72	0.050 43	0.003 26	0.205 19	0.011 86	0.029 51	0.000 54	215	100	190	10	187	3	174	5
SBS-N1-55	17.1	233	453	0.51	0.051 62	0.002 17	0.210 53	0.006 63	0.029 58	0.000 44	269	45	194	6	188	3	197	4
SBS-N1-56	8.5	105	229	0.46	0.050 64	0.002 27	0.208 02	0.007 34	0.029 79	0.000 46	224	53	192	6	189	3	195	4
SBS-N1-57	14.2	180	385	0.47	0.049 45	0.002 18	0.203 00	0.008 42	0.029 77	0.000 44	169	102	188	7	189	3	189	2
SBS-N1-58	13.5	251	392	0.64	0.049 79	0.002 26	0.203 80	0.007 36	0.029 69	0.000 46	185	55	188	6	189	3	216	5
SBS-N1-59	11.3	173	292	0.59	0.050 89	0.002 61	0.209 10	0.010 24	0.029 80	0.000 46	236	120	193	9	189	3	189	2
SBS-N1-60	8.6	134	228	0.59	0.050 63	0.002 26	0.209 33	0.007 33	0.029 98	0.000 46	224	53	193	6	190	3	181	4
SBS-N1-61	8.8	185	236	0.78	0.049 83	0.002 44	0.205 90	0.008 32	0.029 96	0.000 48	187	64	190	7	190	3	181	4
SBS-N1-62	9.8	197	271	0.73	0.048 74	0.002 35	0.201 30	0.007 95	0.029 96	0.000 48	135	63	186	7	190	3	196	4
SBS-N1-63	11.9	273	290	0.94	0.067 20	0.002 87	0.277 64	0.009 00	0.029 96	0.000 47	844	42	249	7	190	3	218	4
SBS-N1-64	10.0	191	260	0.73	0.062 20	0.002 19	0.230 40	0.006 47	0.029 97	0.000 46	681	42	232	7	190	3	219	4
SBS-N1-65	15.1	236	423	0.56	0.055 81	0.002 61	0.257 10	0.008 14	0.029 97	0.000 44	445	37	211	5	190	3	209	4
SBS-N1-66	23.2	310	625	0.50	0.050 06	0.001 75	0.208 09	0.004 54	0.030 14	0.000 42	198	26	192	4	191	3	190	3
SBS-N1-67	24.8	339	671	0.51	0.051 76	0.001 78	0.214 65	0.004 50	0.030 07	0.000 42	275	24	197	4	191	3	200	3
SBS-N1-68	19.2	285	536	0.53	0.049 14	0.001 84	0.203 66	0.005 24	0.030 06	0.000 43	155	34	188	4	191	3	191	3
SBS-N1-69	3.3	51	85	0.60	0.052 13	0.004 61	0.215 71	0.017 86	0.030 01	0.000 67	291	147	198	15	191	4	208	8
SBS-N1-70	28.7	434	767	0.57	0.049 38	0.001 69	0.205 05	0.004 34	0.030 11	0.000 42	166	25	189	4	191	3	192	3
SBS-N1-71	13.9	195	368	0.53	0.048 44	0.002 10	0.200 74	0.006 76	0.030 06	0.000 46	121	51	186	6	191	3	185	4
SBS-N1-72	11.4	194	302	0.64	0.049 76	0.002 08	0.205 83	0.006 53	0.030 00	0.000 45	184	46	190	5	191	3	185	3
SBS-N1-73	12.4	217	338	0.64	0.051 08	0.002 16	0.211 62	0.006 79	0.030 04	0.000 45	244	46	195	6	191	3	190	3
SBS-N1-74	19.2	305	503	0.61	0.052 27	0.001 96	0.217 32	0.005 61	0.030 15	0.000 44	297	33	200	5	191	3	185	3
SBS-N1-75	23.4	364	631	0.58	0.051 80	0.001 89	0.214 56	0.005 16	0.030 04	0.000 43	277	30	197	4	191	3	200	3
SBS-N1-76	6.7	163	152	1.07	0.050 50	0.002 81	0.211 54	0.010 13	0.030 38	0.000 51	218	80	195	8	193	3	200	4
SBS-N1-77	19.5	411	450	0.91	0.050 79	0.003 11	0.225 86	0.013 37	0.032 25	0.000 51	232	142	207	11	205	3	204	2
SBS-N1-78	20.1	285	519	0.55	0.051 38	0.001 96	0.229 20	0.006 15	0.032 35	0.000 47	258	36	210	5	205	3	203	3
SBS-N1-79	17.5	211	453	0.47	0.050 82	0.002 02	0.227 73	0.006 50	0.032 50	0.000 48	233	39	208	5	206	3	222	4
SBS-N1-80	6.8	137	161	0.85	0.052 40	0.003 13	0.236 54	0.012 38	0.032 73	0.000 58	303	87	216	10	208	4	207	5
SBS-N1-81	15.2	249	381	0.66	0.050 73	0.001 92	0.230 68	0.006 07	0.032 97	0.000 48	229	35	211	5	209	3	214	3
SBS-N1-82	31.0	291	821	0.35	0.051 62	0.001 81	0.234 43	0.005 07	0.032 93	0.000 46	269	26	214	4	209	3	214	3
SBS-N1-83	21.9	293	550	0.53	0.053 88	0.002 44	0.244 84	0.010 45	0.032 95	0.000 50	366	105	222	9	209	3	207	3
SBS-N1-84	17.9	261	439	0.60	0.050 59	0.001 92	0.230 30	0.006 06	0.033 01	0.000 48	222	35	210	5	209	3	223	3
SBS-N1-85	14.7	162	397	0.41	0.050 61	0.002 13	0.231 24	0.007 31	0.033 13	0.000 50	223	45	211	6	210	3	225	5
SBS-N1-86	11.6	130	303	0.43	0.048 64	0.001 99	0.222 53	0.006 83	0.033 18	0.000 50	131	44	204	6	210	3	194	4
SBS-N1-87	20.1	299	517	0.58	0.051 25	0.002 05	0.234 14	0.006 78	0.033 13	0.000 49	252	40	214	6	210	3	208	4
SBS-N1-88	24.6	390	585	0.67	0.055 80	0.002 02	0.255 01	0.006 08	0.033 14	0.000 47	444	29	231	5	210	3	227	3
SBS-N1-89	28.3	421	686	0.61	0.050 26	0.001 80	0.231 83	0.005 29	0.033 45	0.000 47	207	28	212	4	212	3	218	3
SBS-N1-90	17.8	269	357	0.75	0.050 60	0.002 59	0.235 09	0.010 04	0.033 69	0.000 55	223	68	214	8	214	3	224	5

表 2 二十二站组砂岩主量元素、微量元素及稀土元素分析结果

Table 2 Major, trace and rare earth elements compositions of the Ershi'erzhan Formation sandstones

样品号	SBS-N1-B1	SBS-N1-B2	SBS-N1-B3	SBS-N1-B4	SBS-N1-B5	SBS-N1-B6	SBS-N1-B7	SBS-N1-B8	SBS-N1-B9	SBS-N1-B10
SiO ₂	73.94	72.08	65.85	70.19	71.39	72.07	71.50	67.26	70.98	68.28
TiO ₂	0.19	0.27	0.40	0.33	0.18	0.23	0.25	0.43	0.24	0.40
Al ₂ O ₃	14.22	13.96	13.96	13.96	12.73	13.55	14.20	15.11	13.88	13.50
Fe ₂ O ₃	1.91	1.79	3.73	3.13	2.06	1.70	2.47	3.40	2.26	2.90
FeO	0.96	1.36	2.98	2.82	1.66	1.44	1.00	2.75	1.92	1.95
MnO	0.07	0.09	0.13	0.11	0.12	0.09	0.09	0.11	0.09	0.10
MgO	0.22	0.41	0.91	0.41	0.48	0.51	0.22	0.97	0.41	0.64
CaO	0.28	0.75	2.59	0.98	2.63	1.42	1.32	1.99	1.33	2.88
Na ₂ O	4.47	4.42	3.66	4.25	4.76	4.82	4.33	3.60	4.34	3.71
K ₂ O	3.43	4.39	3.61	3.54	2.54	2.78	3.02	3.66	3.23	2.89
P ₂ O ₅	0.06	0.06	0.11	0.08	0.06	0.07	0.07	0.11	0.07	0.08
LOI	1.13	1.70	4.84	2.84	2.92	2.64	2.42	3.22	2.99	4.37
Total	100.88	101.28	102.77	102.65	101.53	101.31	100.89	102.61	101.74	101.70
Fe ₂ O ₃ ^T	2.98	3.30	7.04	6.26	3.90	3.30	3.58	6.46	4.39	5.07
K ₂ O/Na ₂ O	0.77	0.99	0.99	0.83	0.53	0.58	0.70	1.02	0.74	0.78
Fe ₂ O ₃ /K ₂ O	0.56	0.41	1.03	0.88	0.81	0.61	0.82	0.93	0.70	1.00
F ₁	-1.42	-3.02	-0.82	-1.01	0.09	-0.82	-0.05	-0.97	-0.90	-0.24
F ₂	0.46	1.77	-0.01	0.21	-0.08	-0.15	0.09	-0.15	0.22	-0.41
La	18.1	43.7	37.7	65.5	18.6	24.1	28.5	38.4	36.7	78.4
Ce	37.0	82.2	75.4	123.0	34.9	46.9	51.9	75.1	68.8	151.0
Pr	4.03	8.70	8.30	12.70	3.79	5.05	5.68	8.12	7.25	16.20
Nd	14.5	28.8	28.7	41.7	13.8	17.9	19.9	29.1	24.9	54.3
Sm	2.48	4.32	4.30	5.37	2.53	2.97	3.09	4.44	3.55	7.83
Eu	0.58	0.64	0.71	0.64	0.48	0.49	0.57	0.80	0.59	1.17
Gd	1.87	2.90	3.74	3.94	1.75	2.12	2.71	3.97	2.89	5.49
Tb	0.36	0.54	0.56	0.66	0.36	0.40	0.44	0.59	0.51	0.80
Dy	1.85	2.59	3.37	3.16	1.69	2.06	2.28	3.34	2.31	4.14
Ho	0.34	0.52	0.64	0.60	0.35	0.38	0.48	0.68	0.47	0.80
Er	0.81	1.27	1.68	1.61	0.94	1.00	1.19	1.74	1.26	1.98
Tm	0.16	0.25	0.29	0.28	0.18	0.19	0.23	0.34	0.23	0.38
Yb	1.00	1.47	1.90	1.73	1.06	1.22	1.35	2.06	1.46	2.42
Lu	0.14	0.21	0.28	0.28	0.15	0.17	0.22	0.29	0.21	0.36
Eu/Eu*	0.83	0.55	0.54	0.42	0.69	0.59	0.60	0.58	0.56	0.55
Ce/Ce*	1.06	1.03	1.05	1.05	1.02	1.04	1.00	1.04	1.03	1.04
ΣREE	83.2	178.0	168.0	261.0	80.6	105.0	119.0	169.0	151.0	325.0
LREE/HREE	11.7	17.3	12.5	20.3	11.5	12.9	12.3	12.0	15.2	18.9
(La/Yb) _N	13.0	21.3	14.2	27.2	12.6	14.2	15.1	13.4	18.0	23.2
(Eu/Eu*) _{UCC}	1.27	0.84	0.83	0.65	1.06	0.91	0.92	0.90	0.86	0.83
(La/Yb) _{UCC}	1.33	2.18	1.46	2.78	1.29	1.45	1.55	1.37	1.84	2.38
Li	4.45	3.24	5.00	4.56	17.9	4.05	4.62	53.1	5.12	7.11
Be	2.02	1.83	2.46	1.98	1.32	1.37	1.81	1.92	1.80	1.80
Sc	2.96	3.71	6.35	5.87	3.05	3.21	5.13	6.27	3.76	6.12
V	15.5	17.7	37.7	29.4	17.8	16.8	22.7	37.7	20.6	34.7
Cr	15.20	19.00	27.50	19.50	23.90	7.50	8.70	16.50	15.80	12.40
Co	2.18	3.89	5.90	4.22	3.63	3.37	2.98	5.55	3.63	4.49
Ni	4.91	6.60	7.48	5.66	6.42	4.26	3.95	6.73	5.14	5.65
Ga	15.6	21.0	22.7	27.9	13.6	15.3	17.5	23.0	21.0	32.4
Rb	90.5	113.0	106.0	96.8	70.1	72.5	82.5	103.0	100.0	91.3
Sr	176	140	196	147	178	177	184	225	143	179
Y	9.06	14.10	17.70	17.10	10.40	11.10	13.20	19.20	13.10	22.00
Ba	500	703	438	515	490	481	456	625	560	331
Pb	17.5	15.8	14.4	12.0	16.1	16.7	16.8	19.3	16.8	11.3
Th	4.75	9.89	10.80	15.20	4.68	5.47	7.39	11.10	9.04	18.40
U	1.07	2.31	1.98	1.94	1.18	1.03	1.56	2.15	1.31	2.62
Nb	5.22	7.62	9.55	9.60	5.04	6.03	6.18	10.50	6.70	12.70
Ta	0.36	0.58	0.61	0.77	0.37	0.40	0.48	0.71	0.48	1.30
Zr	46.4	54.9	87.8	69.7	39.0	43.2	54.6	92.3	56.7	121.0
Hf	1.45	1.87	2.74	2.34	1.33	1.37	1.83	2.86	1.79	3.81
Rb/Sr	0.51	0.81	0.54	0.66	0.39	0.41	0.45	0.46	0.70	0.51
Rb/Nb	17.30	14.80	11.10	10.10	13.90	12.00	13.30	9.81	14.90	7.19

注:主量元素单位为%,稀土、微量元素单位为10⁻⁶;F₁=-1.773w(TiO₂)+0.607w(Al₂O₃)+0.76w(Fe₂O₃)-1.5w(MgO)+0.616w(CaO)+0.509w(Na₂O)-1.224w(K₂O)-9.09;F₂=-0.445w(TiO₂)+0.07w(Al₂O₃)-0.25w(Fe₂O₃)-1.142w(MgO)+0.438w(CaO)+0.475w(Na₂O)+1.426w(K₂O)-6.861,据 Roser and Korsch(1988).

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, 粒度粗大, 粒径多为 150~250 μm , 部分为完整的长柱状, 部分为

锆石碎片, 锆石的棱角分明, 磨圆差, 反映搬运距离较近. 锆石晶体具有清晰的震荡生长环带, 无明显变质边. 岩浆锆石具有较高的 Th、U 含量, Th/U 比值较大(>0.4); 而变质锆石的 Th/U 比值则多小于 0.1(李亚萍等, 2007). 所测定的锆石的 Th/U 比值

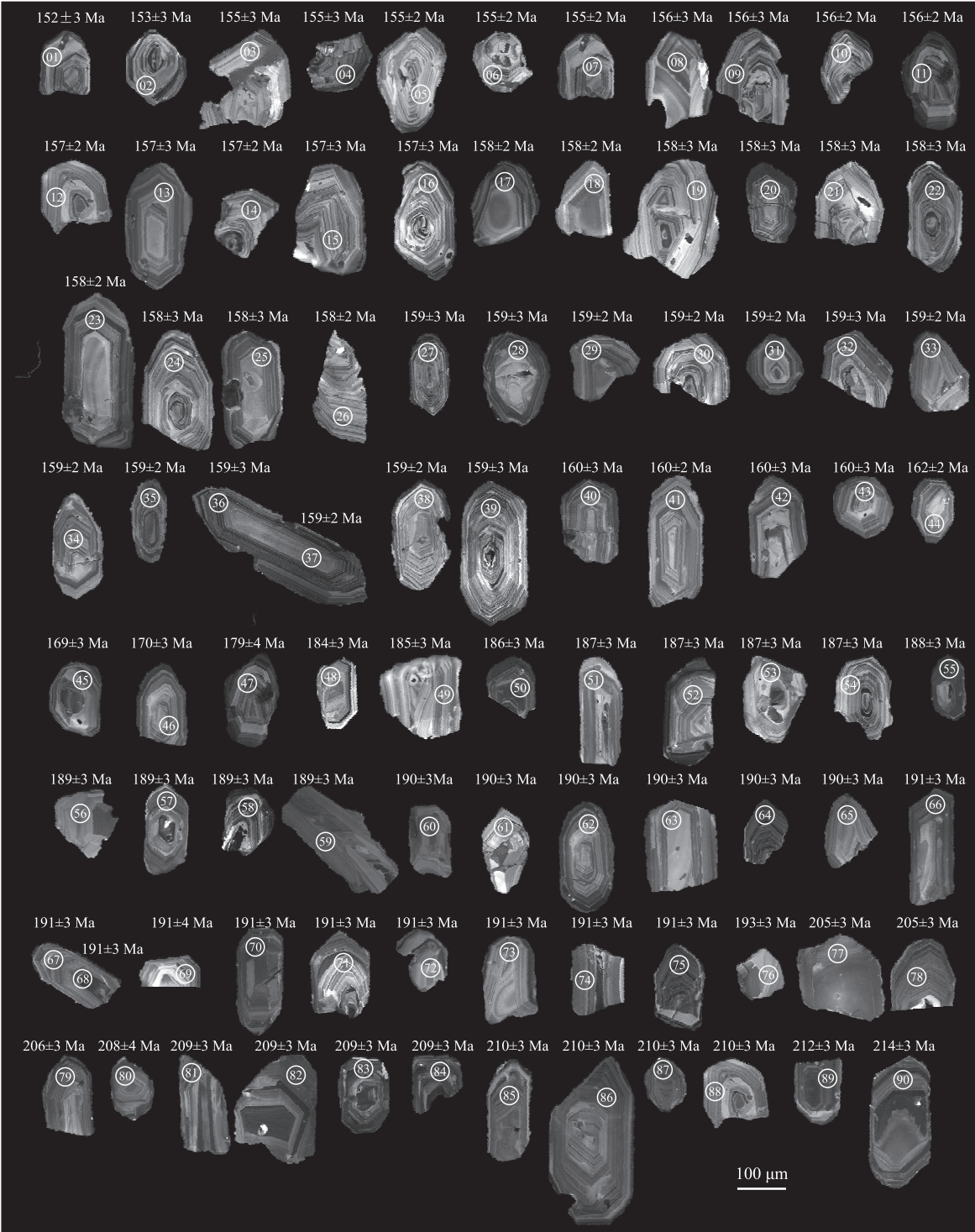


图 3 二十二站组砂岩碎屑锆石阴极发光照片
Fig. 3 CL images of detrital zircons from the Ershi'erzhan Formation sandstone

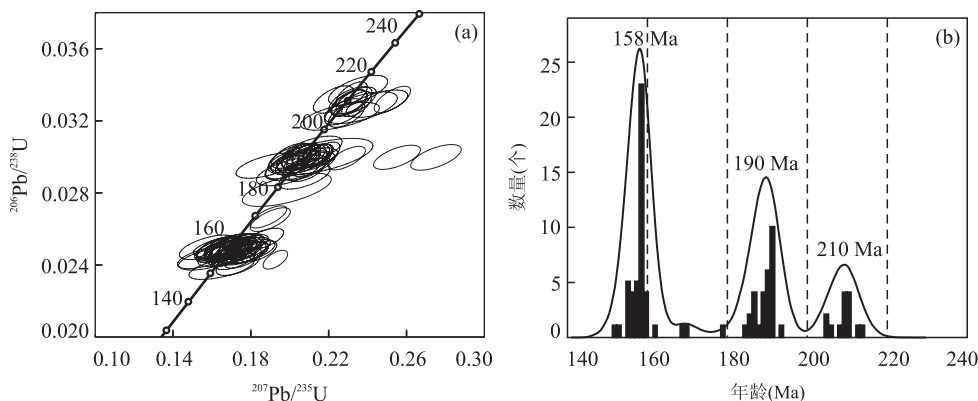


图 4 二十二站组砂岩碎屑锆石的 U-Pb 年龄谐和图(a)和年龄概率分布(b)

Fig. 4 Diagrams of U-Pb concordia ages of zircons for the Ershi'erzhan Formation sandstone (a), and probability density distribution (b)

均大于 0.1, 落在 0.35~1.07 区域, 显示其为典型的岩浆锆石, 表明岩石未经过强烈的变质作用或热液活动的改造。打点位置均为岩浆结晶幔, 所有样品分析点数据均落在谐和线及其附近(图 4), 呈现出很好的谐和性, 表明岩石没有经历过 Pb 丢失事件, 反映了原生岩浆锆石的特点。阴极发光特征和 Th/U 比值显示二十二站组碎屑锆石绝大部分都类似于中-酸性深成岩的锆石。

本次测定的 90 个碎屑锆石 U-Pb 表面年龄均属于中生代, 可分为以下 3 个年龄段(图 4b)。

(1) 205~214 Ma: 该组共 14 粒锆石, 占总数的 16%, Th、U 含量分别变化于 $130.0 \times 10^{-6} \sim 421.0 \times 10^{-6}$ 与 $303.3 \times 10^{-6} \sim 820.5 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.35~0.91, 该组年龄的范围为 205 ± 3 Ma ~ 214 ± 3 Ma, 峰值年龄为 210 Ma, 属于晚三叠世。

(2) 184~193 Ma: 该组共 30 粒锆石, 占总数的 33%, Th、U 含量分别变化于 $51.3 \times 10^{-6} \sim 569.2 \times 10^{-6}$ 与 $85.0 \times 10^{-6} \sim 767.2 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.46~1.07, 该组年龄的范围为 179 ± 4 Ma ~ 193 ± 3 Ma, 峰值年龄为 190 Ma, 属于早侏罗世。

(3) 152~162 Ma: 该组共 46 粒锆石, 占总数的 51%, Th、U 含量分别变化于 $82.8 \times 10^{-6} \sim 777.7 \times 10^{-6}$ 与 $129.5 \times 10^{-6} \sim 794.1 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.40~1.00, 该组年龄的范围为 152 ± 3 Ma ~ 170 ± 3 Ma, 峰值年龄为 158 Ma, 属于晚侏罗世。

3 个年龄峰值分别代表了区域上 3 次强烈的岩浆活动事件。不同时代的碎屑锆石所占的比例也各不相同, 其中以晚侏罗世为最多, 早侏罗世次之, 晚三叠世最少, 这一时间跨度较窄的碎屑锆石年龄分布结构反映了碎屑物搬运距离较短的特征。

3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素 二十二站组砂岩的岩石地球化学分析结果表明砂岩的 SiO_2 的含量较高, 为 65.85%~73.94%, 平均为 70.35%, 变化范围较小, 属于酸性岩系列。 Al_2O_3 含量为 12.73%~15.11%, 变化较稳定。而 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 的含量普遍较低, 说明二十二站组碎屑岩为长英质岩石。各氧化物的含量与活动大陆边缘环境的碎屑岩比较接近。岩石的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均值为 0.39, 显示出典型杂砂岩的特征(和政军等, 2003)。在图 5a、5b 中, 大部分样品落入杂砂岩范围, 与镜下及野外观察所获得的结果一致。岩石的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ 值(平均 0.78)较高, 反映砂岩中含有相对较多的富铁矿物(镜下可见黑云母), 这些易风化矿物的保存, 暗示二十二站组是近源或较快速成岩过程的产物(Herron, 1988)。

3.2.2 稀土和微量元素 二十二站组砂岩的稀土元素总量变化范围较大($\Sigma\text{REE} = 80.6 \times 10^{-6} \sim 325.0 \times 10^{-6}$), 平均为 164.0×10^{-6} , 反映源区的多样性。在图 6a 上, 大部分样品曲线变化趋势非常一致, 表明物源区可能具有相似的构造背景, 而个别样品的不一致曲线则反映了其来自于其他源区。样品总体表现为轻稀土元素富集, 重稀土相对亏损的特征, $\text{LREE}/\text{HREE} = 11.46 \sim 20.31$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 12.98 \sim 27.16$ 。样品的 Eu/Eu^* 值为 0.42~0.83, 具有微弱一中等的负 Eu 异常。样品的稀土曲线处于南部与北部砂岩的曲线范围之内(和政军等, 2003), 但更为接近盆地南部砂岩的曲线。不同构造背景下形成的砂岩具有不同的稀土元素特征(Bhatia, 1985; Floyd *et al.*, 1991), 二十二站组砂岩与活动

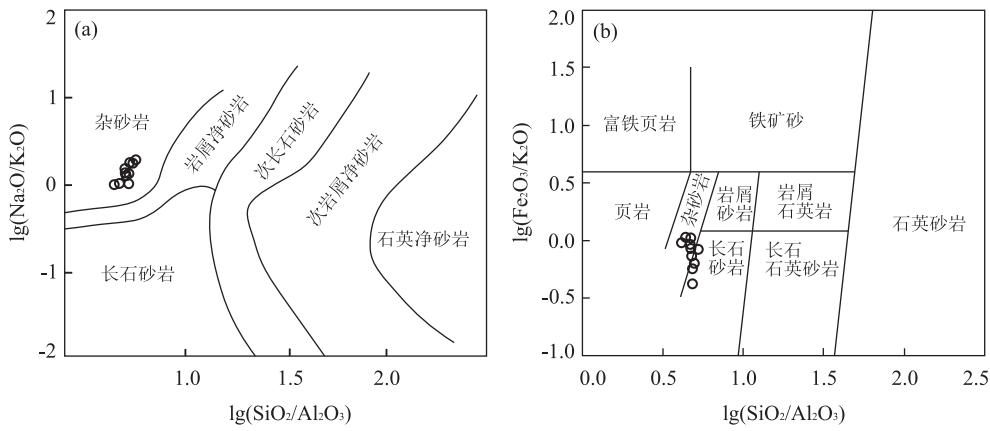


图 5 二十二站组砂岩岩石地球化学分类图解
Fig. 5 Geochemical classification diagrams of the Ershi'erzhan Formation sandstone

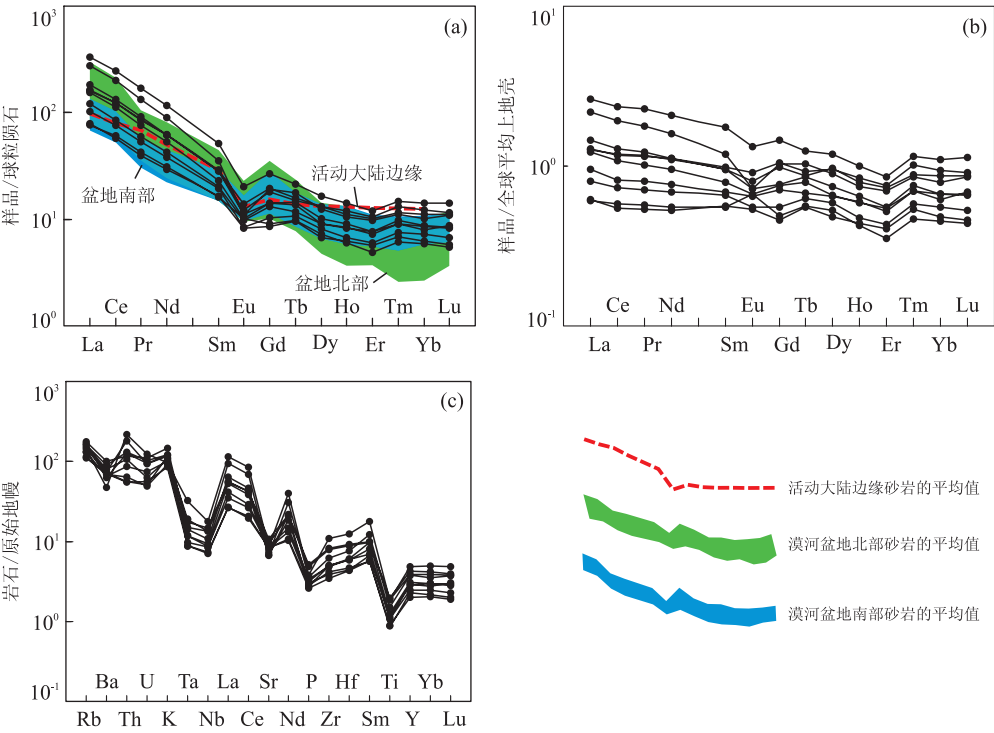


图 6 二十二站组砂岩球粒陨石(a)、全球平均大陆上地壳(b)标准化稀土元素配分曲线和原始地幔标准化微量元素蛛网图(c)
Fig. 6 Chondrite-normalized (a), UCC-normalized (b) rare earth element patterns and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (c) of the Ershi'erzhan Formation sandstone

大陆边缘背景下的稀土元素特征非常接近,稀土元素球粒陨石标准化曲线与活动大陆边缘的曲线高度吻合(图 6a;Bhatia,1985). 样品全球平均大陆上地壳(UCC)标准化稀土元素配分曲线较为平缓,总体表现出轻微的轻稀土富集, $(La/Yb)_{UCC} = 1.29 \sim 2.78$; 大部分呈现出轻微的 Eu 负异常, $(Eu/Eu^*)_{UCC} = 0.65 \sim 1.27$,与全球平均大陆上地壳的稀土元素含量非常接近(图 6b;Bhatia,1985). 图 6c 中,样品亏损高场强元素(Ta 和 Nb)和大离子

亲石元素(Ba 和 Sr),富集高场强元素(Th、La、Ce、Nd 和 Sm)和大离子亲石元素(Rb、K).

4 讨论

4.1 二十二站组的形成时代

二十二站组的形成时代一直是个悬而未决的问题,也是众多学者争论的焦点. 建组之初其和日格(1995)依据其中发育的淡水底栖无脊椎动物(蠕虫)

的生活遗迹化石将该地层置于中侏罗世,但是吴河勇等(2003b)发现并系统研究了包括二十二站组在内的额尔古纳河群中的孢粉化石组合,认为二十二站组应形成于晚侏罗世。而孙广瑞等(2002)依据1:5万区域地质调查过程中在该地层中发现的双壳类、介形类动物群化石将原中侏罗统二十二站组的时代重新厘定为中—晚侏罗世 Bajocian-Tithonian 期,并改称为二十二站群。但二十二站组的形成时代一直未见其他年龄数据报导,本文试图采用碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年法对其进行约束。

由于地层的沉积时代一定比沉积物形成的时代年轻,因此碎屑锆石的年龄常被用来制约地层沉积时代下限(Williams, 2001; Fedo, 2003)。本次所测的锆石年龄均属于中生代,早三叠世至中侏罗世时期研究区处于蒙古—鄂霍茨克大洋板块同时向南北双向(额尔古纳地块与西伯利亚地台)俯冲的构造背景(Tomurtogoo *et al.*, 2005; Orolmaa *et al.*, 2008; 陈志广等, 2010; Wu *et al.*, 2011; 许文良等, 2013; Tang *et al.*, 2014),而晚侏罗世时蒙古—鄂霍茨克洋东段已经闭合(Zorin, 1999; Sorokin *et al.*, 2004; 许文良等, 2013),测年的结果应为蒙古—鄂霍茨克洋演化过程中一系列岩浆活动的地质记录。二十二站组砂岩碎屑锆石测年结果主要分布在3个群落,分别代表了物源区的3次岩浆事件。其中第一组205~214 Ma(峰值年龄210 Ma)与第二组179~193 Ma(峰值年龄190 Ma)分别对应于盆地南缘额尔古纳地块中晚三叠世与早侏罗世的两次岩浆事件(Wu *et al.*, 2011),这两次岩浆事件形成的岩浆岩作为二十二站组物源之一。此外,一组最年轻的年龄152~170 Ma(峰值年龄158 Ma)表明了二十二站组的最大沉积时代不早于152 Ma的晚侏罗世,代表了沉积成岩时间的下限。漠河盆地在前中生代基底上发育一套具有典型的二元结构特点的侏罗系陆源碎屑岩地层和白垩系火山岩地层的盖层。侏罗系陆源碎屑岩地层自下而上划分为绣峰组、二十二站组、额尔古纳河组和开库康组,相邻地层均为整合接触关系。白垩系火山岩地层自下而上划分为上库力组和依列克得组(黑龙江省地质矿产局, 1993)。上库力组主要由酸、中酸性火山碎屑沉积岩构成(黑龙江省地质矿产局, 1993),主体形成年龄为116~148 Ma及其建组剖面的流纹岩年龄为119 Ma(锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法; 张吉衡, 2005),属早白垩世。上库力组与下伏的开库康组为不整合接触关系,表明二十二站组的形成时间早于上库力组。由此可

知,二十二站组的沉积成岩时代应为晚侏罗世。

4.2 物源区分析

漠河盆地与俄罗斯境内的上阿穆尔盆地连为一体,上阿穆尔盆地堆积了三叠纪至侏罗纪的以陆源碎屑岩为主的海相—陆相沉积地层。而漠河盆地仅发育一套陆相碎屑岩,底部不整合覆盖在前晚侏罗世花岗岩之上,顶部被“大兴安岭火山岩”不整合覆盖。部分学者认为额尔古纳地块北缘的新元古代和古生代侵入岩(黑龙江省地质矿产局, 1993)或古生代增生带(和钟铨等, 2008a, 2008b)为漠河盆地上侏罗统的主要物源区,同时也有部分学者持南北双向物源区(和政军等, 2003; 李锦轶等, 2004; 侯伟, 2006; 李春雷, 2007; 侯伟等, 2010a, 2010b, 2010c)及盆地内部物源区(孙求实, 2013)的观点。但盆地南缘具体是何时代的侵入岩为其提供碎屑物则尚未取得统一认识。本文研究结果表明漠河地区的早中生代花岗岩应为南部的物源。

砂岩的地球化学是源区岩石经历各种表生作用的结果,其中的一些元素会发生迁移和再分配,但是稀土元素和微量元素(如 Cr、Th、Sc、Co、Zr)在沉积成岩过程中相对稳定且最难溶解,因此可以反映物源区的地球化学性质,而被广泛运用于源区岩石类型的恢复及构造环境的判别(Bhatia, 1985)。沉积盆地中砂岩的地球化学特征主要受物源区母岩控制,二十二站组砂岩的稀土元素球粒陨石配分曲线呈现轻稀土富集,重稀土相对亏损且曲线较为平缓的右倾模式, Eu 负异常明显, ΣREE 含量为 $80.6 \times 10^{-6} \sim 325.0 \times 10^{-6}$, 具有较大的 LREE/HREE 值(图 6a),与壳源岩石的稀土元素特征相同(邵磊等, 1998),暗示碎屑物的母岩岩浆与上地壳有关。Eu/Eu* 的变化完全取决于碎屑物母岩的组成,中酸性斜长岩一般具有 Eu 正异常($1.01 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 2.33$),玄武岩 Eu 异常不明显($0.90 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 1.0$),而花岗岩多为 Eu 负异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* < 0.9$),样品具有中等的 Eu 负异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.42 \sim 0.83$),表明二十二站组的碎屑源岩为花岗岩类等酸性火成岩。如图 6b 所示,样品具有显著的“TNT”效应,即亏损 Ta、Nb 和 Hf 等高场强元素和富集 Rb、K 等大离子亲石元素,与活动大陆边缘背景下的花岗岩类具有相似的特征。但近年来的研究表明,沉积过程不仅可能对元素产生分异作用,而且还能分异同位素。与形成于活动大陆边缘的钙碱性—酸性侵入岩相比,二十二站组砂岩相对富集高场强元素(Th、La、Ce、Nd 和 Sm),应为碎屑物在搬运、沉积过程中

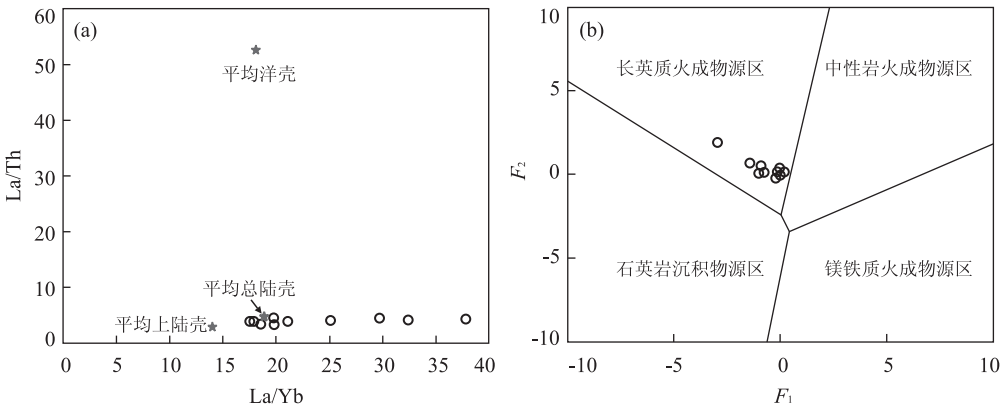


图 7 二十二站组砂岩源区母岩性质判别图解
Fig. 7 Discrimination diagrams of mother rock for the Ershi'erzhan Formation sandstone

大离子亲石元素等易溶组分发生迁移而使得高场强元素等难溶组分相对富集. 此外, 样品的 Rb/Sr 比值(0.39~0.69, 平均值为 0.54)明显高于地幔和下地壳相应元素的比值, 而与上地壳平均值大致一致, 表明物源区母岩的岩浆起源于地壳. 此外, 图 7a 显示物源区母岩具有地壳的特征, 图 7b 显示碎屑物来源于长英质火成岩区, 阴极发光特征和 Th/U 比值显示其碎屑锆石绝大部分都类似于中-酸性深成岩的锆石. 由此可知, 二十二站组碎屑岩的碎屑物母岩应为花岗岩类岩石, 母岩的岩浆起源于地壳.

本文测得的二十二站组砂岩碎屑锆石年龄均属于中生代, 没有携带任何结晶基底的信息, 前中生代的碎屑物几乎没有贡献. 该地层的碎屑锆石年龄与额尔古纳地块北缘中生代锆石年龄谱线图显示两者在峰值约 210 Ma、190 Ma 处高度一致(图 8), 表明漠河地区中晚三叠世与早侏罗世形成的花岗岩类为二十二站组提供部分碎屑物, 碎屑锆石的年龄峰值(210 Ma 与 190 Ma)为花岗质岩浆侵入事件的地质记录, 而非前人认为的新元古代(和钟铎等, 2008b). 但对于峰值年龄为 158 Ma 的碎屑锆石, 笔者在盆地南缘的额尔古纳地块北缘并未能找到与之年龄相匹配的岩浆活动记录(图 8), 而在距离漠河盆地较远的满洲里地区发育着一套同时期的亚碱性-碱性的过渡类型火山岩(158~166 Ma; Wang *et al.*, 2006; Yang and Li, 2008; Zhang *et al.*, 2008; 孟恩等, 2011; 徐美君等, 2011; 张超等, 2014). 但二十二站组杂砂岩较差的成分和结构成熟度、较多的黑云母及较高的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ 比值反映其形成于快速剥蚀、快速搬运、近源沉积的环境, 因此, 该火山岩经过远距离搬运至漠河盆地的可能性不大, 而是就近搬运至海拉尔盆地. 此外, 侯伟(2006)依据地

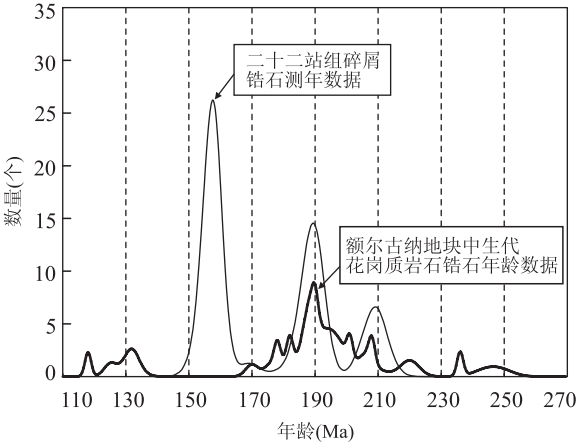


图 8 二十二站组碎屑锆石年龄与额尔古纳地块岩浆锆石年龄对比
Fig. 8 Probability curves of ages for detrital zircons from the Ershi'erzhan Formation sandstone and magmatic zircons from the Erguna massif
额尔古纳地块中生代花岗岩岩石锆石年龄数据引自 Wu *et al.* (2011)

层的沉积标志及地球物理特征等恢复出的漠河地区晚侏罗世时期的古水流方向为南北双向, 表明该时期的物源来自南北两个方向, 而南部物源已被证明为盆地南缘晚三叠世和早侏罗世形成的花岗岩类. 因此, 碎屑锆石峰值年龄为 158 Ma 的碎屑物只能来自的盆地北缘的物源区(图 1a).

4.3 物源区大地构造背景

碎屑沉积岩的地球化学特征主要取决于其组成成分, 而成分与其物源则和大地构造环境密切相关. 成岩构造背景对物源同样具有一定的控制作用, 沉积物的化学组成记录了沉积成岩过程中构造活动变化情况. 部分元素特别是 Th、La、Sc、Zr 等微量元素在搬运、沉积成岩过程中的化学性质非常稳定, 对物源区的构造背景具有很好的限制作用. 因此, 沉积岩

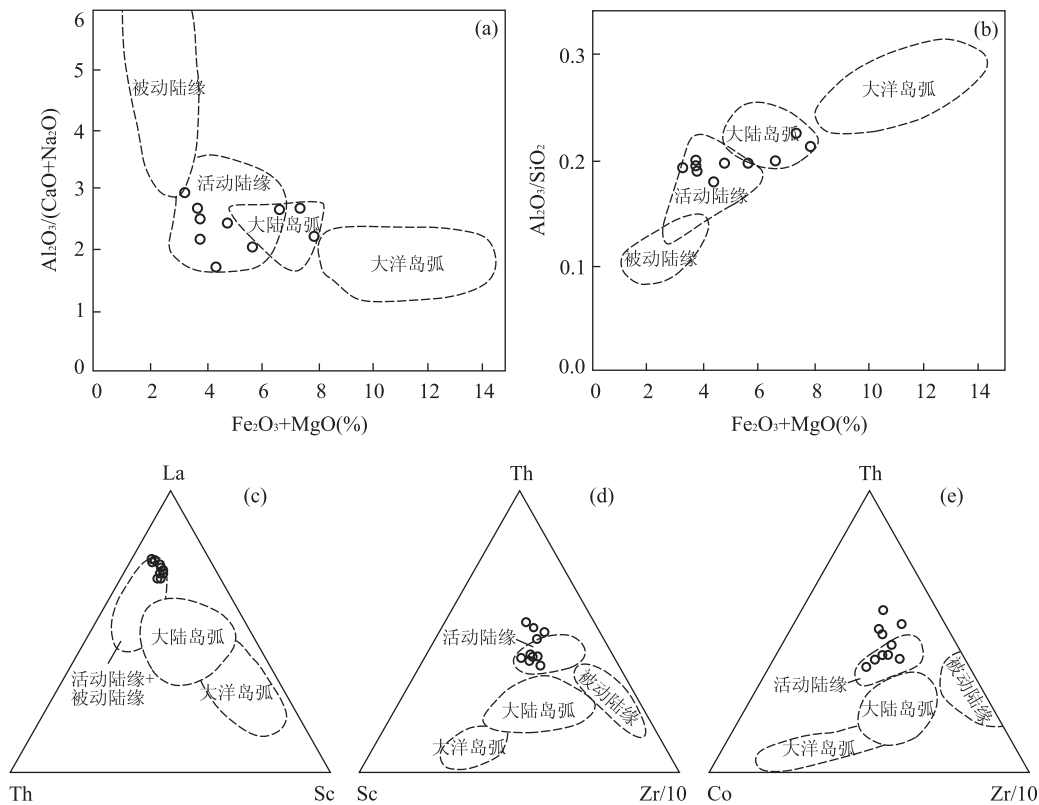


图 9 二十二站组砂岩物源区主量元素(a,b)和微量元素(c,d,e)构造环境判别图解

Fig. 9 Tectonic setting discrimination diagrams of the major elements (a,b) and trace elements (c,d,e) for the provenance from the Ershi'erzhan Formation sandstone

的成分对恢复物源区构造背景发挥了重要作用。

关于额尔古纳地块北缘早三叠世至中侏罗世时期的大地构造背景,过去大多数学者认为其为被动陆缘环境;蒙古—鄂霍茨克洋向北俯冲(Zorin 1999),但是否还存在向南俯冲则一直存在争议(Wu *et al.*, 2011). 近年来,越来越多的研究显示该地区处于蒙古—鄂霍茨克洋南北双向俯冲的构造背景(Tomurtogoo *et al.*, 2005; Orolmaa *et al.*, 2008; 陈志广等, 2010; Wu *et al.*, 2011; 许文良等, 2013; Tang *et al.*, 2014). 不同构造背景下形成的砂岩具有不同的稀土元素特征(Bhatia, 1985; Floyd *et al.*, 1991), 二十二站组砂岩与形成于活动大陆边缘背景下的岩石稀土元素特征最为接近, 稀土元素球粒陨石标准化曲线与活动大陆边缘的曲线高度吻合, 这种稀土元素配分模式反映了沉积物母岩与板块俯冲有关的弧火成岩的亲缘性, 表明其物源区母岩形成的构造背景具有活动大陆边缘的特征(Bhatia, 1985). 微量元素中的 Th、Sc、Zr、Co 和 La 等元素最难溶, 相对稳定, 不受搬运过程和沉积过程的影响, 即具有非迁移性, 能准确反映物源区的地球化学性质及构造背景(Bhatia, 1985). 相关的主、微量元素

构造环境判别图解显示样品主要落入活动大陆边缘的区域(图 9), 进一步支持了该大洋板块同时向南北俯冲的观点. 同时, 锆石定年数据显示二十二站组砂岩没有携带任何前中生代碎屑物的信息, 暗示了该 3 期岩浆岩形成于额尔古纳地块北缘的中生代活动大陆边缘环境, 并且为二十二站组的形成提供了几乎所有的碎屑物质. 俄罗斯境内的地质资料表明, 北部的上阿穆尔盆地始于晚三叠世, 止于侏罗纪末, 该盆地在中—晚侏罗世期间有明显向南超覆和沉积中心向南迁移的演化特点: 在北部俄罗斯境内, 沉积物时代为三叠纪至侏罗纪晚期, 下部为海相, 上部为陆相; 在中国境内, 仅沉积了中—上侏罗统, 且均为陆相地层. 在 T_3 - J_1 期间, 盆地的沉积中心主要位于北部的俄罗斯境内, 该时期形成的是海相地层(图 10a). 杂砂岩形成于快速剥蚀与沉积的环境, 表明在晚侏罗世(不早于 152 Ma)盆地北缘快速抬升, 由此可知此时蒙古—鄂霍茨克洋已经闭合并开始造山(Zorin, 1999; Sorokin *et al.*, 2004; 许文良等, 2013). 随后在 J_2 - J_3 期间, 随着蒙古—鄂霍茨克洋逐渐关闭而迫使盆地的沉积中心由北往南逐渐迁移, 盆地北缘快速抬升和快速剥蚀, 并于晚侏罗世(不早

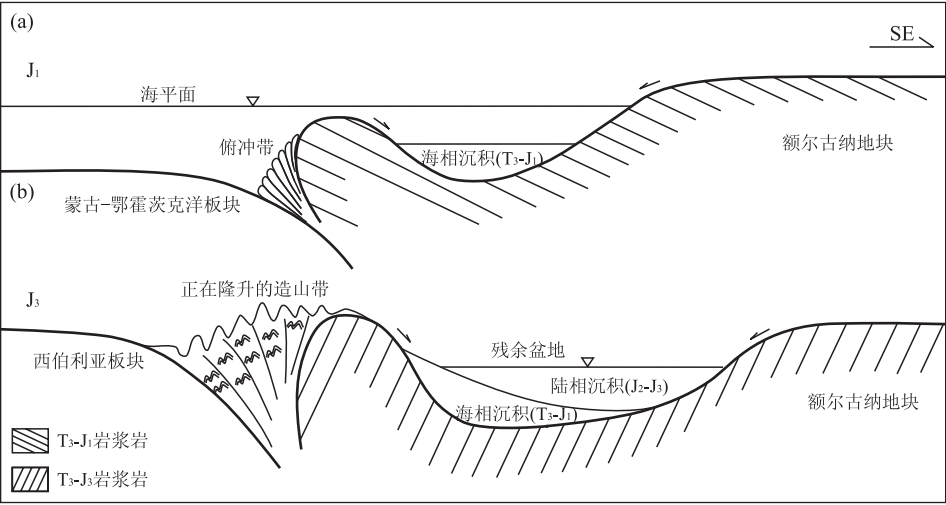


图 10 二十二站组砂岩形成构造背景示意

Fig. 10 Sketch showing the forming tectonic setting of the Ershi'erzhan Formation

于 152 Ma) 盆地南北两侧大量的花岗岩类碎屑物 (T_3 - J_3) 被快速搬运至盆地的南部并形成了巨厚的陆相碎屑岩(图 10b)。

5 结论

(1) 二十二站组砂岩碎屑锆石均为岩浆锆石, 测年结果可分为以下 3 个年龄区间: 152~170 Ma, 峰值年龄为 158 Ma; 179~193 Ma, 峰值年龄为 190 Ma; 205~214 Ma, 峰值年龄为 210 Ma。二十二站组形成的时间下限为 152 Ma, 为晚侏罗世。

(2) 该三期岩浆岩均为蒙古-鄂霍茨克洋板块向南面额尔古纳地块俯冲的产物, 形成的岩浆岩为二十二站组的形成提供了主要物质来源, 具有南北双向物源的特征。二十二站组砂岩形成于晚侏罗世蒙古-鄂霍茨克洋闭合造山过程中漠河盆地南北两侧花岗岩类物源区快速剥蚀、快速搬运并快速沉积成岩的环境。

致谢: 野外工作得到了漠河县砂宝斯金矿区工作人员的大力支持, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作得到了西北大学大陆动力学国家重点实验室同仁的鼎力帮助, 岩石地球化学分析得到了核工业北京地质矿产研究院测试研究中心的大力支持, 两位审稿专家对本文提出了许多建设性的意见和建议, 笔者在此一并表示衷心的感谢!

References

Andersen, T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That do not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1—

2): 59—79. doi:10. 1016/s0009—2541(02)00195—x
Becker, T. P., Thomas, W. A., Samson, S. D., et al., 2005. Detrital Zircon Evidence of Laurentian Crustal Dominance in the Lower Pennsylvanian Deposits of the Alleghanian Clastic Wedge in Eastern North America. *Sedimentary Geology*, 182(1—4): 59—86. doi: 10. 1016/j. sedgeo. 2005. 07. 014
Bhatia, M. R., 1985. Rare Earth Element Geochemistry of Australian Paleozoic Graywackes and Mudrocks: Provenance and Tectonic Control. *Sedimentary Geology*, 45(1—2): 97—113. doi:10. 1016/0037—0738(85)90025—9
Bruguier, O., Lancelot, J. R., Malavieille, J., 1997. U-Pb Dating on Single Detrital Zircon Grains from the Triassic Songpan-Ganze Flysch (Central China): Provenance and Tectonic Correlations. *Earth and Planetary Science Letters*, 152: 217—231. doi:10. 1016/s0012—821x(97)00138—6
Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province (BGMRH), 1993. Regional Geology of Heilongjiang Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
Chen, Z. G., Zhang, L. C., Lu, B. Z., et al., 2010. Geochronology and Geochemistry of the Taipingchuan Copper-Molybdenum Deposit in Inner Mongolia, and Its Geological Significances. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1437—1449 (in Chinese with English abstract).
Fedo, C. M., 2003. Detrital Zircon Analysis of the Sedimentary Record. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 277—303. doi:10. 2113/0530277
Floyd, P. A., Shail, R., Leveridge, B. E., et al., 1991. Geochemistry and Provenance of Rhenohercynian Synorogenic Sandstones: Implications for Tectonic Environment Discrimination. Geological Society, London, Spe-

- cial Publications, 57(1): 173—188. doi: 10. 1144/gsl.sp. 1991. 057. 01. 14
- He, Z. H., Liu, Z. J., Guo, H. W., et al., 2008a. 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).
- He, Z. H., Wang, Y. F., Hou, W., 2008b. Geochemistry and Provenance Analysis of the Middle Jurassic Sandstones in the Mohe Basin, Heilongjiang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 28(4): 93—100 (in Chinese with English abstract).
- He, Z. J., Li, J. Y., Mo, S. G., et al., 2003. Geochemistry, Tectonic Background and Provenance Analysis of the Sandstones from the Mohe Foreland Basin. *Science in China (Series D)*, 33(12): 1219—1226 (in Chinese).
- Herron, M. M., 1988. Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data. *Journal of Sedimentary Research*, 58: 820—883. doi: 10. 1306/212f8e77-2b24-11d7-8648000102c1865d
- Hou, W., 2006. Evolution of Sedimentary and Provenance Analysis in Middle Jurassic of Mohe Basin (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Hou, W., Liu, Z. J., He, Y. P., et al., 2010a. Provenance Analysis of Upper Jurassic and Its Geological Significances in Mohe Basin. *Geological Review*, 56(1): 71—81 (in Chinese with English abstract).
- Hou, W., Liu, Z. J., He, Y. P., et al., 2010b. 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).
- Hou, W., Liu, Z. J., He, Y. P., et al., 2010c. Application of REE Geochemical Characteristics of Sandstone to Study on Provenance: A Case from the Middle Jurassic of Mohe Basin in Northeast China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(2): 285—293 (in Chinese with English abstract).
- Li, B. L., Sun, Y. G., Chen, G. J., et al., 2016. Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopic Composition and Its Geological Implication of the Fine-Grained Syenogranite in Dong'an Goldfield from the Lesser Xing'an Mountains. *Earth Science*, 41(1): 1—16 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. L., 2007. Structural Characteristic, Tectonic Evolution and Basin Dynamics of Mohe Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Y., He, Z. J., Mo, S. G., et al., 2004. The Age of Conglomerates in the Lower Part of the Xiufeng Formation in the Northern Da Hinggan Mountains, NE China, and Their Tectonic Implications. *Geological Bulletin of China*, 23(2): 120—129 (in Chinese with English abstract).
- Li, L., Sun, F. Y., Li, B. L., et al., 2015. Ore-Forming Fluid Features and Genesis of Shabaosi Gold Deposit in Mohe County, Heilongjiang Province. *Earth Science*, 40(7): 1163—1176 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. P., Li, J. Y., Sun, G. H., et al., 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).
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1—2): 537—571. doi: 10. 1093/petrology/egp082
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1—2): 34—43. doi: http://dx. doi. org/10. 1016/j. chemgeo. 2008. 08. 004
- Meng, E., Xu, W. L., Yang, D. B., et al., 2011. Zircon U-Pb Chronology, Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks from the Lingquan Basin in Manzhouli Area, and Its Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1209—1226 (in Chinese with English abstract).
- Orolmaa, D., Erdenesaihan, G., Borisenko, A. S., et al., 2008. Permian-Triassic Granitoid Magmatism and Metallogeny of the Hangayn (Central Mongolia). *Russian Geology and Geophysics*, 49(7): 534—544. doi: 10. 1016/j. rgg. 2008. 06. 008
- Qihe, R. G., 1995. Vestigiofossils of the Middle Jurassic Ershi'erzhan Group in Mohe Area, Heilongjiang Province. *Regional Geology of China*, (3): 243—244 (in Chinese).
- Qi, J. Z., Li, L., Guo, X. D., 2000. Geological Characteristics of the Shabaosi Altered Sandstone Type Gold Deposit in North Da Hinggan Mountains. *Mineral Deposits*, 19(2): 116—125 (in Chinese with English abstract).
- 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(1—2): 119—139. doi: 10. 1016/0009-2541(88)90010-1
- Shao, L., Statterger, K., Li, W. H., 1998. Discussion of Tectonic Background by the Sandstone's Geochemistry. *Chinese*

- Science Bulletin*, 43(9):985—987 (in Chinese).
- Sorokin, A. A., Yarmolyuk, V. V., Kotov, A. B., et al., 2004. Geochronology of Triassic-Jurassic Granitoids in the Southern Framing of the Mongol-Okhotsk Foldbelt and the Problem of Early Mesozoic Granite Formation in Central and Eastern Asia. *Doklady Earth Sciences*, 399(8):1091—1094.
- Sun, G. R., Liu, X. G., Han, Z. Z., et al., 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, Q. S., 2013. Study on the Exhumation Process from Late Jurassic of Mohe Basin (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Tang, J., Xu, W. L., Wang, F., et al., 2014. Geochronology and Geochemistry of Early-Middle Triassic Magmatism in the Erguna Massif, NE China: Constraints on the Tectonic Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean. *Lithos*, 184—187:1—16. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2013.10.024>
- Tomurtogoo, O., Windley, B. F., Kroner, A., et al., 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*, 162(1):125—134. doi:10.1144/0016-764903-146
- Wan, Y. S., Zhang, Q. D., Song, T. R., 2003. Detrital Zircon SHRIMP Chronology of the Mesoproterozoic Changzhougou Formation Clastic Rocks in Beijing Ming Tombs: Limitation on the Provenance and Maximal Sedimentary Age of Cap Rocks in North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 48(18):1970—1975 (in Chinese).
- Wang, F., Zhou, X. H., Zhang, L. C., et al., 2006. Late Mesozoic Volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and Implications for the Dynamic Setting of NE Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, 251(1—2):179—198. doi:10.1016/j.epsl.2006.09.007
- Wang, J., Sun, F. Y., Li, B. L., et al., 2016. Age, Petrogenesis and Tectonic Implications of Permian Hornblendite in Tugurige, Urad Zhongqi, Inner Mongolia. *Earth Science*, 41(5):792—808 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q., 2007. The Geophysical Research of the Structure Characteristics in the Western of the Mohe Basin (Dissertation). Jilin University, Changchun (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. doi:10.1046/j.1440-0952.2001.00883.x
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Ge, W. C., et al., 2011. Geochronology of the Phanerozoic Granitoids in Northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1):1—30. doi:10.1016/j.jseaes.2010.11.014
- Wu, H. Y., Xin, R. C., Yang, J. G., 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, H. Y., Yang, J. G., Huang, Q. H., et al., 2003b. Sequence and Age of the Mesozoic Strata in the Mohe Basin. *Journal of Stratigraphy*, 27(3):193—198 (in Chinese with English abstract).
- Xin, R. C., Wu, H. Y., Yang, J. G., 2003. Upper Jurassic Sequence-Stratigraphic Framework of the Mohe Basin. *Journal of Stratigraphy*, 27(3):199—204 (in Chinese with English abstract).
- Xu, M. J., Xu, W. L., Meng, E., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Chronology and Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks from the Shanghulin-Xiangyang Basin in Ergun Area, Northeastern Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 30(9):1321—1338 (in Chinese with English abstract).
- Xu, W. L., Wang, F., Pei, F. P., et al., 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, J. G., Wu, H. Y., Liu, J. L., 2006. Stratigraphic Correlation of the Mesozoic and Cenozoic in the Outer Basins of the Daqing Exploration Area, Heilongjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 25(9—10):1088—1093 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W., Li, S. G., 2008. Geochronology and Geochemistry of the Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning: Implications for Lithospheric Thinning of the North China Craton. *Lithos*, 102(1/2):88—117. doi:10.1016/j.lithos.2007.09.018
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3):353—370. doi:10.1111/j.1751-908x.2004.tb00755.x
- Zhang, C., Yang, W. H., He, Z. H., et al., 2014. Chronology and Geochemistry of Rhyolites in Mankegou'ebo For-

- mation from Ta'erqi Area, Southern-Central Greater Xing'an Range. *Global Geology*, 33(2): 255—265 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. H., 2005. Geochronological Framework of the Mesozoic Volcanic Rocks in the Great Xing'an Range, NE China (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. H., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2008. Large-Scale Early Cretaceous Volcanic Events in the Northern Great Xing'an Range, Northeastern China. *Lithos*, 102(1—2): 138—157. doi:10.1016/j.lithos.2007.08.011
- Zhang, S., Lin, C. M., Wu, C. D. et al., 2003. Tectonic Characteristics and Basin Evolution of the Mohe Basin, Heilongjiang Province. *Geological Journal of China Universities*, 9(3): 411—419 (in Chinese with English abstract).
- 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. doi:10.1016/s0040-1951(99)00042-6
- ### 附中文参考文献
- 黑龙江省地质矿产局, 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 陈志广, 张连昌, 卢百志, 等, 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.
- 和钟铎, 刘招君, 郭宏伟, 等, 2008a. 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.
- 和钟铎, 王玉芬, 侯伟, 2008b. 漠河盆地中侏罗统砂岩地球化学特征及物源属性分析. *沉积与特提斯地质*, 28(4): 93—100.
- 和政军, 李锦轶, 莫申国, 等, 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辑)*, 33(12): 1219—1226.
- 侯伟, 2006. 漠河盆地中侏罗世沉积演化与物源分析(硕士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 侯伟, 刘招君, 何玉平, 等, 2010a. 漠河盆地上侏罗统物源分析及其地质意义. *地质论评*, 56(1): 71—81.
- 侯伟, 刘招君, 何玉平, 等, 2010b. 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.
- 侯伟, 刘招君, 何玉平, 等, 2010c. 砂岩稀土元素地球化学特征在沉积物源区分析中的应用: 以中国东北漠河盆地中侏罗统为例. *沉积学报*, 28(2): 285—293.
- 李碧乐, 孙永刚, 陈广俊, 等, 2016. 小兴安岭东安金矿区细粒正长花岗岩 U-Pb 年龄、岩石地球化学、Hf 同位素组成及地质意义. *地球科学*, 41(1): 1—16.
- 李春雷, 2007. 漠河盆地构造特征演化与成盆动力学研究(硕士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 李锦轶, 和政军, 莫申国, 等, 2004. 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. *地质通报*, 23(2): 120—129.
- 李良, 孙丰月, 李碧乐, 等, 2015. 黑龙江省漠河县砂宝斯金矿床流体特征及矿床成因. *地球科学*, 40(7): 1163—1176.
- 李亚萍, 李锦轶, 孙桂华, 等, 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.
- 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等, 2011. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义. *岩石学报*, 27(4): 1209—1226.
- 其和日格, 1995. 黑龙江省漠河地区中侏罗统二十二站组的遗迹化石. *中国区域地质*, (3): 243—244.
- 齐金忠, 李莉, 郭晓东, 2000. 大兴安岭北部砂宝斯蚀变砂岩型金矿地质特征. *矿床地质*, 19(2): 116—125.
- 邵磊, Stattegger, K., 李文厚, 1998. 从砂岩地球化学探讨盆地构造背景. *科学通报*, 43(9): 985—987.
- 孙广瑞, 刘旭光, 韩振哲, 等, 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.
- 孙求实, 2013. 漠河盆地晚侏罗系以来剥露过程研究(硕士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 万渝生, 张巧大, 宋天锐, 2003. 北京十三陵长城系常州沟组碎屑锆石 SHRIMP 年龄: 华北克拉通盖层物源区及最大沉积年龄的限定. *科学通报*, 48(18): 1970—1975.
- 王键, 孙丰月, 李碧乐, 等, 2016. 内蒙古乌拉特中旗图古日格二叠纪角闪石岩年龄、岩石成因及构造背景. *地球科学*, 41(5): 792—808.
- 王骞, 2007. 漠河盆地西部构造特征的地球物理研究(硕士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 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, 等, 2003b. 漠河盆地中生代地层序及时代. *地层学杂志*, 27(3): 193—198.
- 辛仁臣, 吴河勇, 杨建国, 2003. 漠河盆地上侏罗统层序地层格架. *地层学杂志*, 27(3): 199—204.
- 徐美君, 许文良, 孟恩, 等, 2011. 内蒙古东北部额尔古纳地区上护林一向阳盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征. *地质通报*, 30(9): 1321—1338.
- 许文良, 王枫, 裴福萍, 等, 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.
- 杨建国, 吴河勇, 刘俊来, 2006. 大庆探区外围盆地中、新生代地层对比及四大勘探层系. *地质通报*, 25(9—10):

1088—1093.

张超,杨伟红,和钟铎,等,2014. 大兴安岭中南段塔尔气地区
满克头鄂博组流纹岩年代学和地球化学研究. 世界地
质,33(2): 255—265.

张吉衡,2005. 大兴安岭地区中生代火山岩的年代学格架(硕
士学位论文). 长春:吉林大学.

张顺,林春明,吴朝东,等,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—419.

“沉积盆地源—汇系统研究”中文专辑征稿启事

一、专辑的目的和意义

目前,“源—汇”研究已逐渐成为世界范围内地球科学领域颇为关注的重要课题,而这些方面的研究不仅源于人们对环境科学或环保的关注,而且也源自人们不断认识到理解地球表层动力学过程对揭示地球整体动力学过程的重要性. 近十年来,“源—汇”系统研究领域主要进展集中于 3 大部分,即:(1)构造、气候、海平面变化等控制因素如何影响沉积物和溶解质从源到汇的产出、转换与堆积;(2)物质侵蚀、转换过程及其相伴生的反馈机制;(3)全球变化历史记录和地层层序形成如何响应于沉积过程的变化.

国内也于 2000 年启动了国家重大基础研究规划项目“中国边缘海的形成演化及重要资源的关键问题”,研究人员在莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地、渤海湾盆地等地区综合运用多种分析手段,开展了洋陆边缘或封闭的陆相湖盆内主要含油层系的“源—汇”系统研究. 通过将物源区的构造、剥蚀作用,沉积物的搬运方式,以及最终的沉积样式作为一个完整的系统,对控制该系统的内、外因之间的相互作用及其产生的结果进行综合分析,建立较为准确的“源—汇”系统定量模型,进而指导相应地质事件的预测,为我国油气实际勘探工作,尤其是复杂陆相断陷盆地油气储层预测工作中的应用与发展提供设想与借鉴.

国际上的研究侧重于洋陆边缘从造山带的物源区到冲积平原、浅海陆架,最终到深海盆地的源—汇系统,研究以盆地尺度为主,且集中于第四纪地层. 本次专辑结合我国主要含油气盆地发育特征,以陆相盆地的多尺度(盆地—坳陷—凹陷—洼陷)源—汇系统研究为主,研究层段覆盖主要含油层系.

“源—汇”系统研究作为一项跨学科领域的课题,较多的概念和思想已融入并深刻影响着沉积学理论的发展,可预见将取得更大的进展. 但是,针对不同类型的盆地、不同的时间尺度的“源—汇”系统及相关理论的研究大多仍处于定性—半定量分析阶段,研究方法、理论与技术手段还有待完善. 为进一步推动我国沉积盆地“源—汇”系统研究的发展进程和总结相关研究成果,完善陆相盆地“源—汇”系统理论,及时刊登陆相盆地“源—汇”系统具有原创性、创新性的科学理论和实践技术成果,同时也给广大石油地质、地球物理科研工作者提供一个交流平台,经国内外相关领域的知名专家和学者联名与《地球科学》编辑部协商,决定出版“沉积盆地源—汇系统研究”专辑,欢迎国内外广大专家学者踊跃投稿.

二、专辑召集人

朱红涛,教授,中国地质大学(武汉);徐长贵,教授级高工,中海石油(中国)有限公司天津分公司;朱筱敏,教授,中国石油大学(北京);姜在兴,教授,中国地质大学(北京);刘可禹,教授,澳大利亚科廷科技大学;曾洪流,教授,美国德州大学奥斯汀分校.

三、征稿启事

现将征稿的具体事宜通知如下:

(1) 征稿主题(包括但不限于):①“源—汇”系统驱动机制及地球动力学过程;②“源—汇”系统和深时古气候;③沉积盆地古物源区演化恢复与古水系重建;④“源—汇”系统要素分析;⑤“源—汇”系统剥蚀—搬运—沉积过程耦合模式;⑥“源—汇”系统定量分析技术及方法;⑦“源—汇”系统实际应用分析.

(2) 征稿要求

①论文应属于作者的原创成果,数据真实、可靠,未在正式出版物上发表过,严禁一稿多投. ②内容需突出作者的创新成果,具有一定的学术价值和推广应用价值. ③论文各部分完整,论文格式参照《地球科学》投稿要求. ④录用稿件,作者自理版面费. ⑤投稿方式:登陆《地球科学》投稿网站(<https://mc03.manuscriptcentral.com/es>)进行投稿,投稿时选择“沉积盆地源—汇系统研究”专辑. ⑥投稿截止日期:2017 年 5 月 15 日.