

大兴安岭北段扎兰屯地区铜山组源区特征： 地球化学及碎屑锆石 U-Pb 年代学制约

李仰春^{1,2} 汪 岩³ 吴淦国^{1,4} 金哲岩⁵ 张 达^{1,4} 杨晓平⁵

(1.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083;2.中国地质调查局发展研究中心,北京 100037;
3.沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034;4.中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;
5.黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161005)

摘要:大兴安岭北段扎兰屯地区铜山组是扎兰屯—多宝山岛弧构造带的重要组成部分,铜山组的源区性质、沉积时限和形成构造环境的研究是该岛弧构造带研究的重要环节,该地区也是研究古亚洲构造域早期构造演化的重要窗口。铜山组细碎屑岩组分和岩相学研究以及岩石主、微量元素地球化学研究表明,铜山组形成于大陆岛弧区或活动大陆边缘及附近,物源主要为长英质岩石及由上地壳向安山弧过渡的混合长英质岩石,部分可能混入少量被动陆缘区物质。本研究首次确定了铜山组细碎屑岩 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄谱特征,反映出铜山组源区多样性特点。碎屑岩中 566~632 Ma 和 789~889 Ma 碎屑锆石的存在,结合区域年代学信息,暗示本区应该存在新元古代结晶基底和新元古代岩浆事件和变质作用,它们构成铜山组沉积岩的主要物源区;2 543~2 705 Ma 和 1 773~2 120 Ma 古老碎屑锆石信息揭示兴蒙造山带存在前寒武纪微陆块基底,并成为铜山组的重要物源区;根据谐和年龄(572±5)Ma 并结合区域对比,确定铜山组沉积时限为早奥陶世。这一研究成果为确定早古生代扎兰屯—多宝山岛弧构造带的演化提供了重要基础资料,为探讨西伯利亚板块南缘大陆地壳演化及构造动力学研究提供了新的制约。

关键词:铜山组;碎屑锆石;地球化学;物源分析;构造环境;扎兰屯地区;大兴安岭北段

中图分类号:P588.2;P595;P597 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0391-12

扎兰屯—多宝山岛弧构造带具有特殊的地质构造背景和有利于成矿的环境,是近年来诸多地质工作者广泛关注的地区^[1-8]。铜山组是此构造带的重要组成部分,其为挤压—伸展型弧后残余盆地中滨浅海相沉积—火山喷发活动的产物。该岛弧构造带由扎兰屯地区向北东经博克图至黑龙江省多宝山区的铜山组构成,呈北东向断续延伸,长约 300 km、平均宽约 30 km^[9]。其间被大面积的中生代火山—侵入岩覆盖及少量晚古生代地质体破坏。

研究区位于扎兰屯市西北,已发现巴林小型铜锌矿床和许多金属矿(化)点(图 1)。该区不仅是东乌珠穆沁旗—多宝山铜多金属成矿带的重要组成部分,

而且也是研究古亚洲构造域早期构造演化的重要窗口。因此,铜山组的成岩环境、物质来源和成岩时代的研究已成为研究扎兰屯—多宝山岛弧构造带的重要环节。

碎屑沉积岩源区与构造环境和地壳演化关系密切^[10],碎屑锆石能较好地保存源区岩石组成的信息,碎屑锆石 U-Pb 同位素示踪是研究沉积物源区的有效方法。本文通过对出露于扎兰屯地区具代表性的铜山组中含砂质粉砂质泥岩开展 LA-MC-ICPMS 碎屑锆石 U-Pb 定年,确定其年龄谱特征,同时结合岩石学和岩石地球化学的综合研究,系统讨论铜山组的源区性质、沉积时限和形成的构造环境等,为深

收稿日期:2012-08-14;改回日期:2013-01-07

基金项目:中国地质调查局地质矿产调查评价专项“1:5 万沃力嘎沟等 4 幅区域地质调查”项目(1212010781030)资助。

作者简介:李仰春,男,1968 年生,教授级高级工程师,从事地质矿产调查及战略规划部署研究;E-mail:liyanchun999@163.com。

入揭示扎兰屯—多宝山岛弧构造带乃至西伯利亚板块南缘早古生代大地构造演化提供新的制约。

1 地质概况及岩石学特征

研究区位于兴蒙造山带东段，为早古生代扎兰屯—多宝山岛弧构造带西缘(图 1)^[6,9,11-12]。区内出露的地层主要为下奥陶统铜山组和中生界上侏罗统火山岩,中生界火山岩为区内主体地层,厚度大于 1 044 m 岩石类型主要为中酸-酸性火山熔岩及其碎屑岩,另外就是大面积的中-晚侏罗世侵入岩,岩石类型主要为中细粒似斑黑云母二长花岗岩。

本次研究对象为扎兰屯地区的铜山组,铜山组在平面上呈断续的北东-南东向弧形展布,长度大于 36

km,宽度 1.5 km,地层呈倾向北西的单斜产出,总厚度大于 535 m。该套地层顶底多被中生代火山-侵入岩覆盖,地层内部多处被中生代侵入岩脉破坏,从而使得接触带外侧发育明显的角岩化、矽卡岩化,受热液作用影响形成具工业价值的铜、锌矿床。

扎兰屯地区铜山组典型剖面位于扎兰屯市西北 40 km 铜矿沟一带,地层层序具明显的两分性:下部以变(泥质)粉砂岩为主,夹少量的变酸性熔岩,地层厚度大于 250 m;上部以粉砂质板岩为主,夹砂质粉砂质泥岩和少量的大理岩和泥质粉砂岩,地层厚度大于 285 m,其与下部层位呈整合接触。本次测试样品采自铜山组上部层位的含砂质粉砂质泥岩夹层中,夹层厚度 28.65 m(图 2),采样点地理坐标:北纬

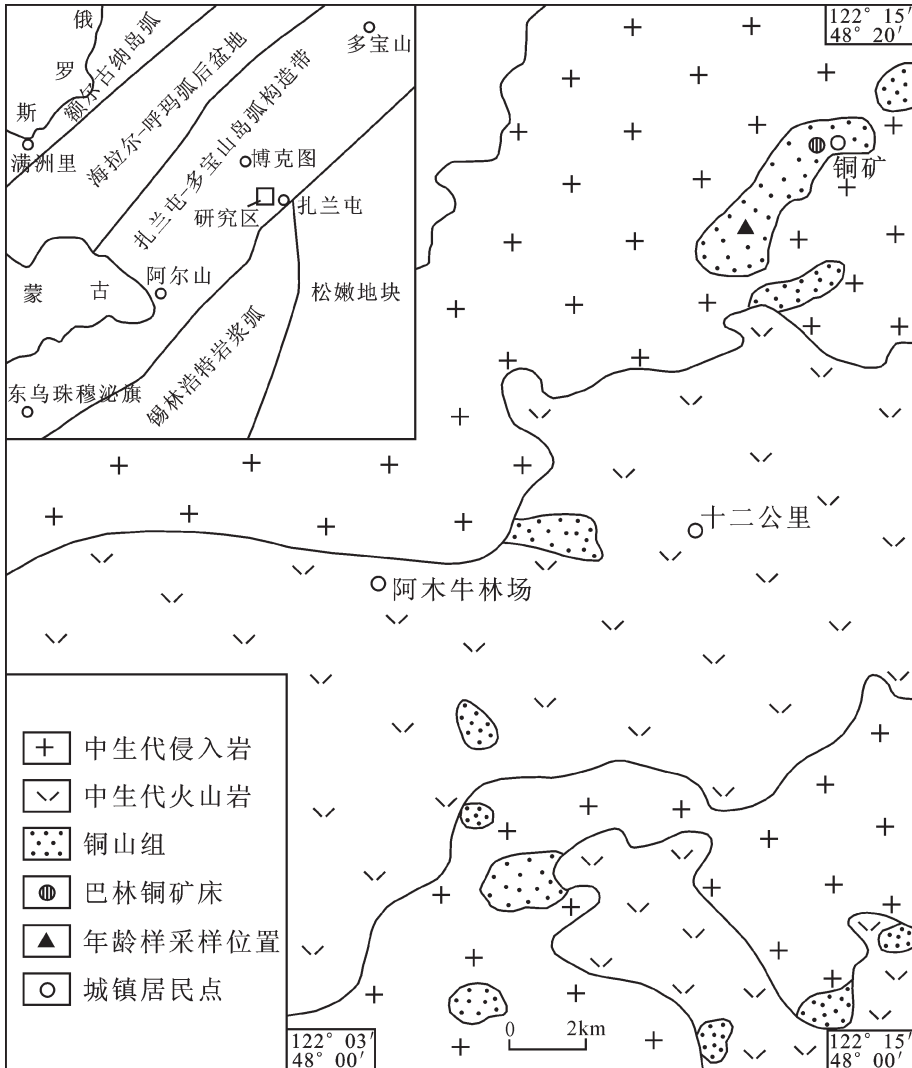


图 1 研究区地质略图
Fig.1 Geological sketch map of the study area

48°15'35",东经 122°11'34"(图 1)。

含砂质粉砂质泥岩呈暗灰-灰黑色,(变余)砂状粉砂状泥质结构,分选一般-中等,砂屑呈次棱角状-次圆状,成分以长石为主,含少量石英,粘土矿物及鳞片状变质矿物一起杂乱充填在砂屑、粉砂屑颗粒之间;小于 0.004 mm 泥质占 55%,0.06~0.004 mm 粉砂质占 30%,0.5~0.06 mm 中细砂占 15%。

(变)泥质粉砂岩呈灰-灰黑色,(变余)粉砂状结构(鳞片粒状变晶结构),长英质及黑云母重结晶发育,少量粘土矿物、粉砂屑残留,石英颗粒间有少量绿泥石和绢云母。

粉砂质板岩呈灰-灰白色,变余粉砂质结构,板状构造、弱千枚状构造。

大理岩呈灰-灰白色,粒状变晶结构,块状(少量条带状)构造,主要由方解石组成,粒度不均匀,呈自形半自形晶,粒径多在 0.5 mm 左右,滑动双晶发育,干涉色高,互相镶嵌紧密,含量大于 90%,可见极少量石英及绿帘石;有些岩石含有透辉石,含量一般小于 10%,呈细粒或柱状,粒径 0.2 mm,散布在碳酸盐集合体中。

变酸性熔岩呈浅灰-灰色,鳞片粒状变晶结构或变余斑状结构,局部发育片理化构造,变余斑晶主要为斜长石,呈碎裂边缘粒化,多有变余熔蚀结构,大小 0.4~3.4 mm,含量 5%~8%。基质为重结晶长英质及细小绢云母鳞片状集合体,粒度为 0.01~0.1 mm。少量绿帘石呈散状或沿微裂隙分布。

2 岩石地球化学特征

碎屑沉积岩的元素地球化学可以判断构造环境和源区特征,尤其是微量元素和稀土元素,特别是不活动的微量元素,更为有效。本文通过对铜山组碎屑岩的元素地球化学的研究对其物源进行分析。岩石地球化学分析结果见表 1。

2.1 主量元素地球化学

岩石化学镁铝含量比值可表示为 $M=100 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$,是根据沉积岩石中 MgO 的亲海性和 Al_2O_3 的亲陆性建立起来的,在由淡水向海水过渡的沉积环境中,M 值随沉积水体中盐度增加而增大,淡水沉积环境 $M < 1$,海陆过渡的沉积环境 $1 < M < 10$,海水沉积环境 $10 < M < 500$ ^[13]。本区铜山组细碎屑岩 M 值为 14.7~39.4,并且在黑龙江省多宝山地区铜山组黑色粉砂岩中产笔石化石、浅色粗碎屑岩中产腕足类和

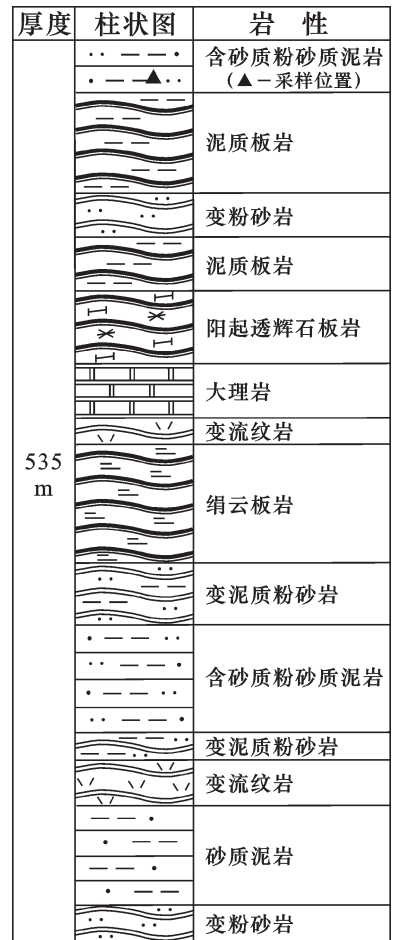


图 2 PM005 剖面取样地层柱状图
Fig.2 Sampling stratigraphic column of PM005 profile

三叶虫化石,显示海相沉积环境。

成分成熟度与沉积物形成的气候背景和构造背景有关,ICV(index chemical variation)指数可以用来确定沉积物的成分成熟度^[14]。成分成熟度低的泥质岩石含有较高比例的非粘土的 ICV 值;相反,含非粘土硅酸盐矿物少或以高岭石矿物占优势的泥质岩,其 ICV 值低。构造活动区泥质岩石的成分成熟度低,而在构造稳定区或者是强烈的化学风化背景下泥质岩的成分成熟度高^[14]。研究区铜山组细碎屑岩类 ICV 指数在 0.73~1.48,平均 1.09,成分成熟度较低,说明其物源区的化学风化作用较弱或处于构造较活跃的区域。

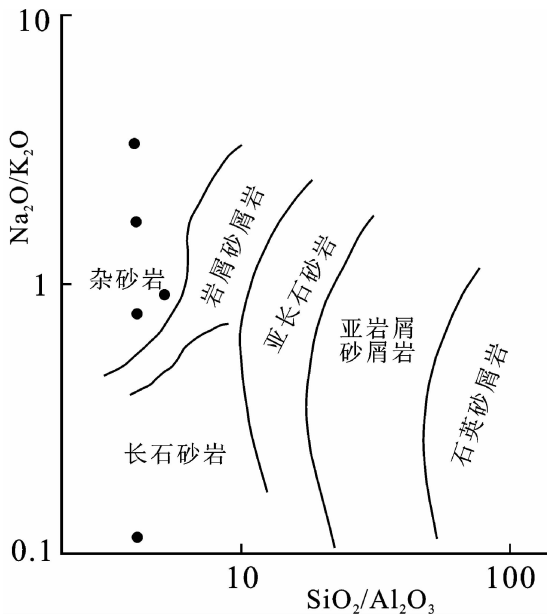
在 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 图解中(据 Pettijohn 等,1972)(图 3),样品多落入杂砂岩区,表明其成熟度较低,推测其原岩相当于(类)复理石建造,形成于活动性较大的构造地带。在 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2-(\text{FeO}+$

表 1 研究区铜山组岩石地球化学分析结果

Table 1 Geochemical analytical results of Tongshan Formation in the study area

样号	PT84	D704	PT15	PT20	PL30	样号	PT84	D704	PT15	PT20	PL30
SiO ₂	65.64	56.32	59.9	59.92	56.74	Er	2.61	2.7	3.22	3.58	2.96
TiO ₂	0.7	1.12	0.84	0.69	0.8	Tm	0.55	0.57	0.48	0.65	0.64
Al ₂ O ₃	14.05	15.44	17.5	18.09	16.45	Yb	2.81	2.92	3.23	4.29	3.23
Fe ₂ O ₃	1.42	1.79	1.03	3.98	3.18	Lu	0.5	0.54	0.5	0.61	0.59
FeO	5.18	5.7	6.1	2.78	4.49	REE	202.98	203.97	179.2	208.23	208.71
MnO	0.08	0.31	0.1	0.23	0.11	dEu	0.64	0.82	0.69	0.53	0.64
MgO	3.62	6.09	3.61	2.66	4.11	Cr	126	218	114	61.1	115
CaO	3.17	6.56	2.87	2.87	4.05	Ni	51.8	138	63.9	31.2	55.4
Na ₂ O	1.88	3.77	2.15	0.3	6.3	Li	81.7	34.1	83.5	33	44.1
K ₂ O	2.21	1.4	3.01	4.62	1.49	Rb	89.1	55.6	130	183	66.9
P ₂ O ₅	0.19	0.41	0.17	0.1	0.22	Cs	2.17	4.59	9.88	8.26	1.6
Los	1.92	0.58	1.86	4	1.66	W	64.9	33.1	52.6	34.4	33
La	52.4	44.5	50	41.7	56.3	Mo	4.41	4.02	1.21	0.77	0.89
Ce	82.6	82.7	97.4	81.5	81.6	Sr	319	1470	498	63.3	915
Pr	8.87	9.96	11	11.1	9.08	Ba	614	539	596	637	547
Nd	33.2	37	40.6	40.2	33.5	Sc	8.4	9.39	19.8	16.7	8.94
Sm	6.38	7.92	7.12	7.84	6.71	Nb	12.5	8.25	18	13.3	15.5
Eu	1.23	1.9	1.56	1.28	1.29	Ta	0.75	1.29	1.74	1.42	1.25
Gd	5.1	5.95	6.5	6.67	5.35	Zr	171	198	174	233	195
Tb	0.88	1.01	1	1.09	0.98	Hf	5.15	5.54	5.5	7.29	5.75
Dy	4.77	5.18	5.53	6.46	5.29	U	1.77	1.32	3.24	4.46	1.92
Ho	1.08	1.12	1.06	1.26	1.19	Th	11.4	6.07	14.1	13.2	9.6

注:样品由中国地质调查局武汉地质调查中心分析;常量元素单位为%,稀土及微量元素为 10^{-6} 。

图 3 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 图解Fig.3 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ diagram

$\text{MgO}/(\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 图解中 (据 Kumon 等 1994), 样点多位于进化岛弧与不成熟岛弧及其附近 (图 4), 这里 Kumon et al. 所定义的进化岛弧相当于 Bhatia et al. 的小型边缘海盆或弧后盆地^[15]。

2.2 稀土元素与微量元素地球化学

沉积岩的稀土元素特征主要受控于物源区类型和沉积作用过程, 而受后期改造作用影响较小^[16-18], 因此, 稀土元素可以作为良好的地球化学演化指示剂, 通过对比岩石中的轻、重稀土比值以及整体的分配特征, 可以准确判断沉积物源及演化特征。微量元素的分配系数主要受温度和压力的影响, 即便同一矿物中在不同环境之下其元素的分配也有较大差异, REE、Th、Sc 和高场强元素性质稳定, 基本不受沉积过程的影响, 也不受热液蚀变及变质作用影响^[9], 微量元素含量与源区类型和构造背景之间存在着对应关系^[7], 可以分析砂岩物源。

铜山组细碎屑岩稀土总量较高, $\Sigma \text{REE} =$

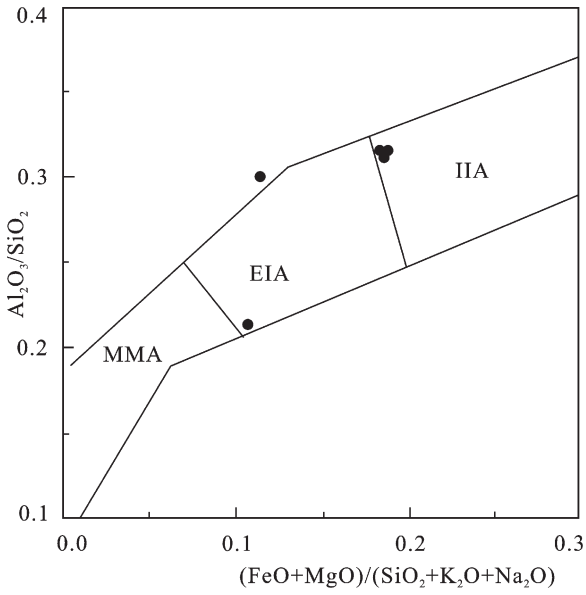


图 4 $Al_2O_3/SiO_2-(FeO+MgO)/(SiO_2+K_2O+Na_2O)$ 图解
IIA—不成熟岛弧;EIA—进化岛弧;MMA—成熟岩浆弧
Fig.4 $Al_2O_3/SiO_2-(FeO+MgO)/(SiO_2+K_2O+Na_2O)$ diagram
IIA—Immature island arc; EIA—Evolved island arc; MA—Mature magmatic arc

$179.20 \times 10^{-6} \sim 208.71 \times 10^{-6}$, 配分曲线总体一致并右倾(图 5), LREE 富集, HREE 亏损, 轻重稀土分馏明显, $\delta Eu = 0.53 \sim 0.82$, 具轻微负异常; $\delta Ce = 0.78 \sim 0.94$, 平均 0.86, Ce 基本无异常。据现代海洋沉积物及深海钻探表明, 稀土元素 Ce 未发生明显异常, 说明本区当时沉积水盆相对封闭, 形成环境应属较温暖、潮湿的气候条件, 这样利于 Ce 的迁入^[20]。

微量元素富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、Th、Ta、Zr, 具有典型活动大陆边缘沉积岩的微量元素组合特征, 微量元素曲线配分模式相似(图 6)。在 La-Th-Sc 及 Th-Sc-Zr/10 图解中(据 Bhatia 等, 1986)^[21], 铜山组细碎屑岩类样品多落入大陆岛弧区或活动大陆边缘及附近(图 7)。为进一步提示物源, 利用 Hf-La/Th 源岩属性图解进行判别分析(图 8), 研究区铜山组碎屑岩样品物源主要为长英质岩石及由上地壳向安山弧缘过渡的混合长英质岩石, 个别样品有古老沉积成分的混入, 显示物源可能混入部分被动陆缘地区物质。

3 锆石 U-Pb 定年及铜山组沉积时限

3.1 锆石 LA-MC-ICPMS 测试结果

近年来, 随着碎屑锆石单颗粒 U-Pb 年龄测试技术的发展, 沉积岩中碎屑锆石的年龄谱分析广泛应用

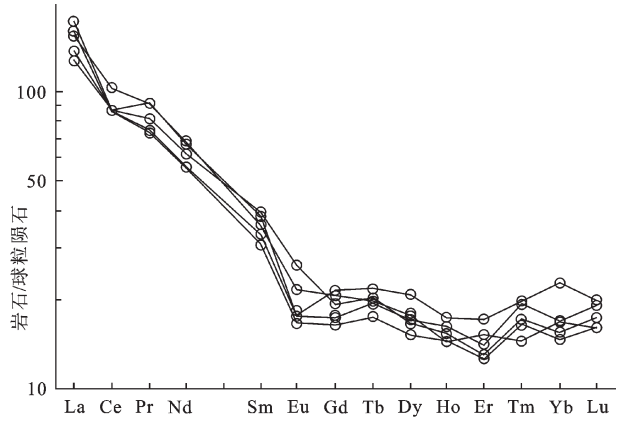


图 5 稀土元素分配模式图
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns

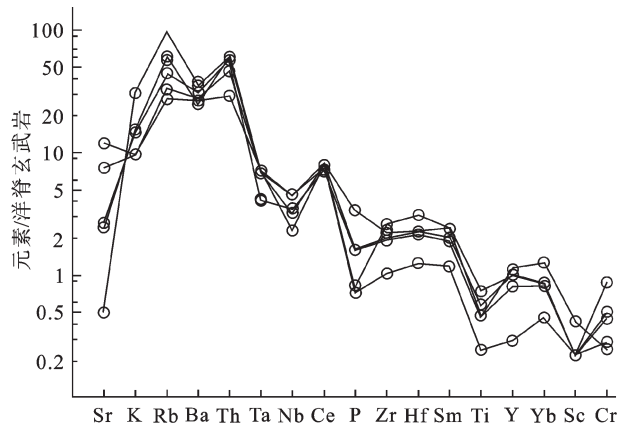


图 6 微量元素蛛网图
Fig.6 Trace elements distribution patterns

于沉积岩源区物质成分组成和地壳演化的研究^[22]。其不仅能够提供沉积地层年代学信息, 估算地层的最大沉积年龄, 同时还能有效厘定沉积岩源区岩石年龄特征, 通过对比沉积物中锆石的 U-Pb 年龄谱, 可以了解某一沉积时期沉积物源区的多样性变化。

本次研究对扎兰屯地区铜山组新鲜的含砂质粉砂质泥岩进行了锆石 U-Pb LA-MC-ICPMS 年龄测试。锆石分选在河北省廊坊地质调查所实验室完成, 在天津地质矿产研究所同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪进行了锆石微区原位 U-Pb 同位素测定。

对扎兰屯地区铜山组含砂质粉砂质泥岩的 1 件样品进行了锆石定年, 测年矿物锆石短轴/长轴为 1/2 左右, 锆石长轴一般为 100~120 μm , 锆石多呈次棱角、椭圆粒状晶体, 生长环带不发育, 表明它们

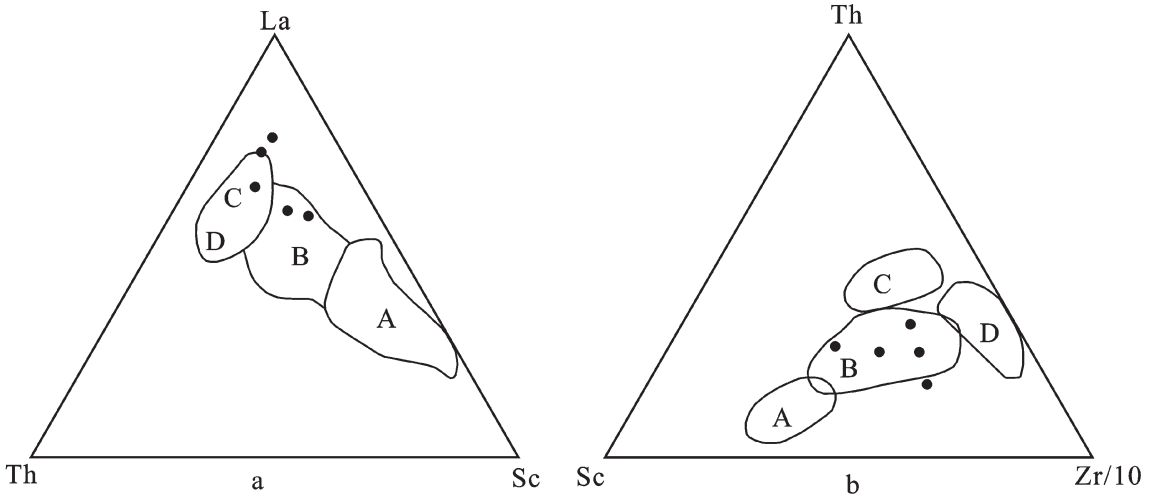


图7 La-Th-Sc 及 Th-Sc-Zr/10 图解
 A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

Fig.7 La-Th-Sc and Th-Sc-Zr/10 diagram
 A-Oceanic island-arc; B-Continental island-arc; C-Active continental margin; D-Passive continental margin

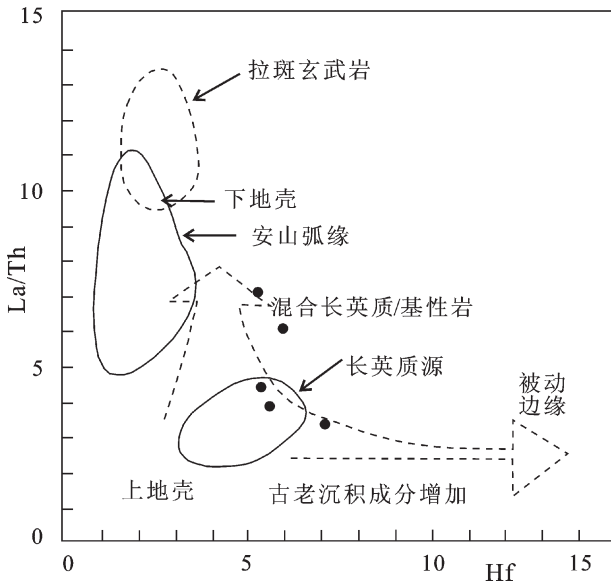


图8 Hf-La/Th 源岩属性判别图解

Fig.8 Hf-La/Th source rocks attribute discrimination diagram

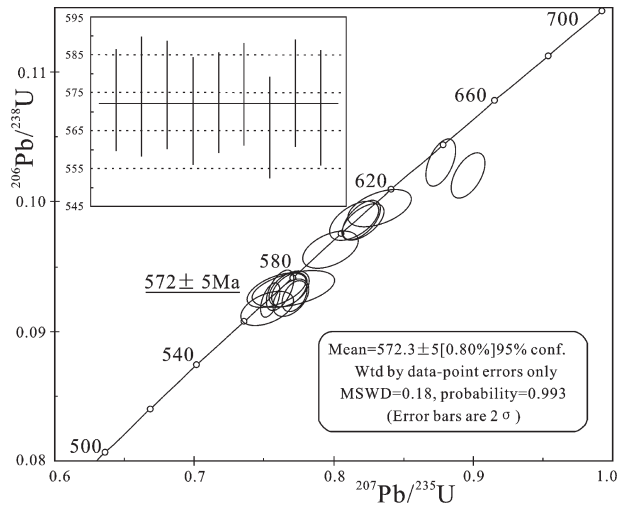


图9 含砂质粉砂质泥岩中锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 同位素谱和图

Fig.9 LA-MC-ICPMS U-Pb concordia diagram of the zircon from arenaceous mudstone

为经历过一定距离的搬运和磨蚀作用的碎屑锆石, 应该是变质成因或深熔成因的碎屑锆石^[23-24]。

32个锆石 U-Pb 同位素数据点测定结果见表2, 将谐和度小于90的两个数据点剔除, 其余30个数据点沿谐和线或其附近分布, 锆石 U-Pb 同位素体系基本上保持封闭, 不存在明显铅丢失, 其 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄或 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄可以反映锆石的形成时代。大于1000 Ma 的锆石因含有大量放射性成因 Pb,

采用 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄; 小于1000 Ma 的锆石, 由于放射性成因 Pb 含量低和普通 Pb 校正的不确定性, 而采用更为可靠的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄。

结果显示样品中碎屑锆石具有从2705~566 Ma 很大的年龄谱范围, 包括1个(2705±9)Ma 的数据点、1个(2543±9)Ma 数据点、2个2120 Ma 左右数据点、1个(1853±10)Ma 数据点、1个(1773±10)Ma 数据点 (以上6个点为 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄); 另外

表 2 含砂质粉砂质泥岩锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 同位素分析结果
Table 2 LA-MC-ICPMS U-Pb isotopic data of zircons from arenaceous and silty mudstone

点号	Pb(10^{-6})	U(10^{-6})	$^{232}\text{Tl}/^{238}\text{U}$	表面年龄/Ma				同位素原子比率					
				$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	谐和度	测值	误差(%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	测值	误差(%)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	39	222	0.0070	1082±10	1266±13	1594±11	68	0.1827	0.0017	2.4782	0.0260	0.0984	0.0006
2	8	58	0.0094	868±5	868±3	868±11	100	0.1442	0.0009	1.3514	0.0051	0.0680	0.0004
3	39	109	0.0074	2005±12	2062±9	2120±10	95	0.3649	0.0023	6.6221	0.0289	0.1316	0.0007
4	6	60	0.0092	611±4	615±7	630±27	97	0.0995	0.0006	0.8331	0.0100	0.0607	0.0008
5	7	86	0.0087	573±3	575±3	584±13	98	0.0930	0.0005	0.7624	0.0035	0.0595	0.0004
6	21	173	0.0075	789±5	807±4	856±13	92	0.1302	0.0008	1.2136	0.0058	0.0676	0.0004
7	15	124	0.0073	808±5	812±3	823±12	98	0.1335	0.0008	1.2240	0.0048	0.0665	0.0004
8	16	54	0.0076	1698±11	1732±7	1773±10	96	0.3014	0.0019	4.5060	0.0191	0.1084	0.0006
9	4	46	0.0090	632±5	639±3	665±13	95	0.1030	0.0008	0.8770	0.0045	0.0617	0.0004
10	25	196	0.0065	818±5	819±12	821±32	99	0.1353	0.0008	1.2398	0.0188	0.0665	0.0010
11	17	127	0.0060	889±5	889±4	888±11	100	0.1478	0.0009	1.3990	0.0056	0.0686	0.0004
12	10	77	0.0086	810±5	814±3	824±12	98	0.1340	0.0008	1.2296	0.0046	0.0666	0.0004
13	12	135	0.0071	593±4	596±6	607±25	98	0.0963	0.0006	0.7978	0.0083	0.0601	0.0007
14	15	29	0.0084	2700±20	2703±16	2705±9	99	0.5203	0.0039	13.3279	0.0811	0.1858	0.0010
15	28	211	0.0067	873±5	875±4	880±12	99	0.1450	0.0009	1.3664	0.0056	0.0684	0.0004
16	11	131	0.0077	574±4	575±3	578±13	99	0.0931	0.0006	0.7616	0.0041	0.0593	0.0004
17	12	143	0.0064	574±4	579±10	598±17	96	0.0932	0.0006	0.7691	0.0128	0.0598	0.0010
18	26	88	0.0112	1726±11	1784±7	1853±10	93	0.3070	0.0019	4.7941	0.0186	0.1133	0.0006
19	10	123	0.0066	570±4	579±4	613±17	93	0.0925	0.0006	0.7684	0.0052	0.0603	0.0005
20	9	63	0.0087	889±6	896±4	914±12	97	0.1478	0.0010	1.4163	0.0070	0.0695	0.0004
21	8	98	0.0071	572±3	582±3	618±15	93	0.0929	0.0005	0.7733	0.0041	0.0604	0.0004
22	6	65	0.0098	575±3	574±6	573±24	100	0.0932	0.0005	0.7606	0.0076	0.0592	0.0007
23	16	182	0.0072	606±4	608±4	615±16	99	0.0985	0.0006	0.8194	0.0050	0.0603	0.0004
24	10	114	0.0086	605±4	608±5	621±18	97	0.0984	0.0006	0.8208	0.0063	0.0605	0.0005
25	6	64	0.0080	606±4	605±6	605±22	100	0.0985	0.0006	0.8154	0.0075	0.0600	0.0006
26	2	28	0.0080	566±3	570±6	584±24	97	0.0918	0.0005	0.7523	0.0079	0.0595	0.0007
27	7	78	0.0163	626±4	650±4	733±15	85	0.1020	0.0007	0.8963	0.0049	0.0637	0.0005
28	2	26	0.0072	575±4	579±4	596±19	96	0.0933	0.0006	0.7692	0.0055	0.0598	0.0005
29	37	108	0.0071	1919±12	2012±12	2108±11	91	0.3467	0.0022	6.2514	0.0381	0.1308	0.0008
30	11	124	0.0084	571±4	580±4	613±16	93	0.0926	0.0006	0.7697	0.0054	0.0603	0.0004
31	12	86	0.0099	883±6	891±6	910±15	97	0.1469	0.0010	1.4049	0.0091	0.0694	0.0005
32	52	108	0.0119	2496±17	2522±14	2543±9	98	0.4728	0.0033	10.9900	0.0614	0.1686	0.0009

注:①表中所列误差均为 1σ ; ②Pb 为锆石中全铅含量; ③同位素比率已采用 ^{206}Pb 校正法进行了普通铅校正; ④表面年龄谐和度的计算公式为: $t_{\text{表面}} = t_{\text{谐和}} / t_{\text{表面}} \times 100$ 。

24 个点的分布范围在 566~889 Ma 之间 (为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄), 可划分为两组: 第一组 15 个数据点具有基本一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄 (566~632 Ma), 其中 9 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(572\pm 5)\text{Ma}$ (95% 置信度, $\text{MSWD}=0.18, n=9$) (图 9); 第二组 9 个数据点的年龄范围在 789~889 Ma, 这一年龄组大致有两个峰值, 分别为 806 Ma 左右和 880 Ma 左右。

3.2 铜山组沉积岩沉积时限

普遍认为铜山组形成时代为早—中奥陶世, 1:20 万区调将研究区铜山组划为早石炭世莫尔根河组; 内蒙地质志称其为铜山组, 时代为中奥陶世^[1]; 1:25 万区调根据大理岩中发现的苔藓虫化石将铜山组置于早奥陶世。在黑龙江省多宝山区铜山组黑色粉砂岩中产笔石 (*Glyptograptus* sp., *Dicellograptus sextans*, *D.sp.*, *Climacograptus putilus*, *C.sp.*) 化石、浅色粗碎屑岩中产腕足类 (*Paurorthis* sp., *Hesperorthis* sp., *Christiania subquadrata*) 和三叶虫 (*Remorpleurides* sp., *Trinodus* sp.,

Eudolaites cf. angelini, *Encrinurides aihuiensis*) 化石^[25], 时代归属为早—中奥陶世。

本次研究在铜山组含砂质粉砂质泥岩中获得 $(572\pm 5)\text{Ma}$ U-Pb 同位素加权平均年龄值, 最年轻锆石年龄为 $(566\pm 3)\text{Ma}$, 是目前在大兴安岭北段铜山组中首次利用沉积岩碎屑锆石 LA-MC-ICPMS 方法所取得的高精度年龄, 表明铜山组最大沉积年龄不早于晚震旦世晚期。

崔根等 (2008) 在黑龙江省多宝山区获得侵入铜山组花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $(479.5\pm 4.6)\text{Ma}$ ^[8], 综合化石特征及区域对比, 将扎兰屯地区铜山组时代置于早奥陶世最为适宜。

4 铜山组物源及构造背景讨论

4.1 岩石地球化学特征反映的物源和构造背景

通过与各类大地构造环境砂岩岩石地球化学成分进行对比 (表 3), 扎兰屯地区铜山组中原岩为细碎屑沉积岩类的样品除个别比值与大洋岛弧和被动

表 3 研究区含砂粉砂泥岩样品与不同构造背景砂岩稀土元素特征比较^[17]

Table 3 Comparison of REE characteristics between arenaceous and silty mudstone samples in the study area and those in different tectonic backgrounds

参数	大洋岛弧	大陆岛弧	活动陆缘	被动陆缘	本区砂泥岩类平均值
SiO ₂	58.83	70.69	73.86	81.95	59.70
Al ₂ O ₃	17.11	14.04	12.89	8.41	16.31
Na ₂ O	4.1	3.12	2.77	1.07	2.88
K ₂ O	1.6	1.89	2.9	1.71	2.55
Fe ₂ O ₃ +MgO	11.73	6.79	4.6	2.89	6.30
Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+CaO)	1.72	2.42	2.56	4.15	3.01
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.29	0.2	0.18	0.1	0.27
La	8±1.7	27±4.5	37	39	48.98
Ce	19±3.7	59±8.2	78	85	85.16
SREE	58.0	146	186	210	200.62
LR/WR	3.8±0.9	7.7±1.7	9.1	8.5	9.14
La/Yb	4.2±1.3	11±3.6	12.5	15.9	14.03
(La/Yb) _N	4.2±1.3	7.5±2.5	8.50	10.8	10.08
dEu	1.04±0.11	0.79±0.13	0.60	0.56	0.66
(Gd/Yb) _N	1.31	1.49	1.26	2.75	1.42
Th/U	2.1	4.6	4.8	5.6	4.67
Zr/Hf	45.7	36.3	26.3	29.5	33.29
Zr/Th	48	21.5	9.5	19.1	19.58
Zr/Nb	49.3	31.5	16.7	37.2	15.49
La/Sc	0.55	1.82	4.55	6.25	4.46
Th/Sc	0.15	0.85	2.59	3.06	0.92

注: 由中国地质调查局武汉地质调查中心分析; 常量元素单位为%, 稀土及微量元素为 10⁻⁶。

陆缘相似外,总体相当于大陆岛弧-活动陆缘的化学成分,显示了活动大陆边缘构造环境下砂岩特点,与区域上奥陶纪处于弧后盆地的构造背景吻合^[12,26]。并且 LR/WR 比值较高,显示 Eu 负异常,可以判断该区铜山组沉积碎屑岩物源主要为长英质岩石。

综合分析岩石主、微量元素地球化学特征,扎兰屯地区铜山组细碎屑岩物源构造背景主要为大陆岛弧-活动陆缘环境,极少数样品的个别参数显示了大洋岛弧和被动陆缘特点。Hf-La/Th 图显示物源主要为长英质岩石及由上地壳向安山弧缘过渡的混合长英质岩石,个别样品有古老沉积成分的混入,显示物源可能混入部分被动陆缘地区物质。

4.2 碎屑锆石测试结果反映的物源信息

(1)碎屑锆石测试反映的主体年龄最重要的有两个时段,分别为 566~632 Ma 和 789~889 Ma,反映了新元古代早期和新元古代晚期的年龄信息,在这一过程中普遍发生了变质作用和岩浆活动。近年来,这两个时段的年龄信息在中国东北许多地区都有相关报道,包括佳木斯地块、额尔古纳地块、兴安地块和松嫩-张广才岭地块,而且在黑龙江省滨东地区早泥盆世黑龙宫组沉积岩中也存在大量 903~749 Ma 的碎屑锆石年龄^[28-31]。另外,在内蒙、新疆等地也陆续识别出这两个时期形成的地质体和构造热事件的年代学信息。以上这些信息暗示包括本区在内的大兴安岭广大地区应该存在新元古代早期和新元古代晚期的结晶基底,从而进一步说明中亚造山带东段的多个微陆块存在新元古代岩浆事件和变质作用,并且它们也是研究区铜山组沉积岩的主要物源区。

(2)本次年龄测定有 6 个大于 1000 Ma 年龄信息,它们均位于谐和线上,表明其年龄值是可信的。可划分两组,分别为 2543~2705 Ma 和 1773~2120 Ma,反映了新太古代晚期及古元古代晚期-中元古代早期的年龄信息。最近对内蒙东部和黑龙江省境内古老地质体的研究证实,区域上 1800 Ma 和 2500 Ma 左右的峰期年龄有大量报道:出露于额尔古纳地块的兴华渡口群变碎屑岩中存在 1600~1800 Ma 及 2400~2700 Ma 碎屑锆石^[30],佳疙瘩群(与兴华渡口群相当)云母片岩经历了 2450 Ma 的构造-岩浆热事件^[32];松辽盆地北部基底变质岩中存在大量以 1800 Ma 为主的碎屑锆石和捕获锆石^[33-34];葛文春等(2007)在研究大兴安岭北部早古生代花岗岩时,发现古元古代(1983~2409 Ma)和中元古代(1500~1000

Ma)Hf 模式年龄及 Nd 模式年龄锆石^[35];另外,在锡林郭勒杂岩和贺根山蛇绿岩中也发现了这一时期的碎屑锆石及捕获锆石^[5,36-37]。这些年龄信息揭示兴蒙造山带存在前寒武纪微陆块基底,因此,包括本区在内的大兴安岭地区应该存在新太古代-中元古代的古老结晶基底,并成为研究区铜山组古老锆石的重要源区。

5 结论

(1)普遍认为分布于多宝山-扎兰屯地区的铜山组形成时代为早-中奥陶世,但通过本次研究结合前人研究成果,铜山组的形成时代应为早奥陶世。

(2)综合铜山组碎屑沉积岩的地球化学分析,扎兰屯地区铜山组细碎屑岩物源构造背景主要为大陆岛弧-活动陆缘环境,源岩物质以长英质岩石为主,少数物源可能混入部分被动陆缘地区物质。

(3)通过对铜山组沉积岩碎屑锆石年代学研究,暗示本区应该存在新元古代结晶基底和新元古代岩浆事件和变质作用,它们构成铜山组沉积岩的主要物源区;并且结合区域研究,揭示兴蒙造山带存在前寒武纪微陆块基底,并成为研究区铜山组沉积岩的重要物源区。

(4)研究区铜山组沉积岩系物源区与形成大地构造环境的研究,为确定早古生代扎兰屯-多宝山岛弧构造带的演化提供了重要依据,对探讨西伯利亚板块南缘大陆地壳演化具有重要的地质意义。

致谢:感谢天津地质矿产研究所李怀坤研究员在锆石 U-Pb 测试中给予的热情指导和帮助。

参考文献(References):

- [1] 崔革. 小兴安岭西北部奥陶纪大陆边缘火山岛弧的确定及其演化 [C]//中国北方板块构造文集. 北京:地质出版社, 1983:293-315.
Cui Ge. Ordovician continental margin of the volcanic island arc determined and its evolution in northwest Xiaoxinganling [C]// North China Plate Tectonic Corpus. Beijing: Geological Publishing House, 1983:293-315(in Chinese with English abstract).
- [2] 杜琦, 赵玉明, 卢秉刚, 等. 多宝山斑岩铜矿床 [M]. 北京:地质出版社, 1988:152-155,302-306.
Du Qi, Zhao Yuming, Lu Bingang, et al. Duobaoshan Porphyry Copper Deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 152-155, 302-306(in Chinese with English abstract).
- [3] 尹冰川, 冉清昌. 多宝山超大型铜矿床的成矿构造环境 [J]. 矿物学报, 1997, 17(2):220-224.
Yin Bingchuan, Ran Qingchang. The tectonic environments of

- metallogenesis of Duobaoshan superlarge copper deposit [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1997, 17(2):220-224(in Chinese with English abstract).
- [4] 王喜臣, 王训练, 王琳, 等. 黑龙江多宝山超大型斑岩铜矿的成矿作用和后期改造[J]. *地质科学*, 2007, 42(1):124-133.
Wang Xicheng, Wang Xunlian, Wang Lin, et al. Metallogeny and reformation of the Duobaoshan superlarge porphyry copper deposit in Heilongjiang[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2007, 42(1):124-133(in Chinese with English abstract).
- [5] 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 等. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. *科学通报*, 2007, 52(5):591-601.
Miao Laicheng, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, et al. U-Pb SHRIMP dating of zircons from the Xinghuadukou Group and the Zhalantun Group in Hanjiayuanzi and Xinlin area, Daxinganling [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(5):591-601(in Chinese with English).
- [6] 陶继雄, 许立权, 贺锋, 等. 内蒙古巴特敖包地区早古生代洋壳消减的岩石证据[J]. *地质调查与研究*, 2005, 28(1):1-8.
Tao Jixiong, Xu Liquan, He Feng, et al. Petrological evidence for subduction of the early Paleozoic oceanic crust in Bart-Obo, Inner Mongolia[J]. *Geological Survey and Research*, 2005, 28(1):1-8(in Chinese with English abstract).
- [7] 李德荣, 朱朝利, 吕军, 等. 黑龙江三矿沟—多宝山成矿带构造—岩浆成矿作用[J]. *中国矿业*, 2010, 19(增刊):142-146.
Li Derong, Zhu Chaoli, Lv Jun, et al. Structural-magmatic mineralization of Sankuanggou-Duobaoshan metallogenic belt, Heilongjiang[J]. *China Mining Magazine*, 2010, 19(Supp.):142-146 (in Chinese with English abstract).
- [8] 崔根, 王金益, 张景仙, 等. 黑龙江多宝山花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *世界地质*, 2008, 27(4):388-394.
Cui Gen, Wang Jinyi, Zhang Jingxian, et al. U-Pb SHRIMP dating of zircons from Duobaoshan granodiorite in Heilongjiang and its geological significance[J]. *Global Geology*, 2008, 27(4):388-394 (in Chinese with English abstract).
- [9] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分 [J]. *中国地质*, 2009, 36(1):1-28.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. *Geology in China*, 2009, 36 (1): 1-28 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李秋根, 刘树文, 王宗起, 等. 中条山绛县群碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(6):1359-1368.
Li Qiugen, Liu Shuwen, Wang Zongqi, et al. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of the detrital zircons from the Jiangxian Group in the Zhongtiao Mountain and its tectonic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (6):1359-1368 (in Chinese with English abstract).
- [11] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996:1-36.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. *Rock stratigraphy of Inner Mongolia Autonomous Region* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996:1-36 (in Chinese with English abstract).
- [12] 黑龙江地矿局. 黑龙江省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1993:509-584.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. *Regional Geology of Heilongjiang Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:509-584 (in Chinese with English abstract).
- [13] 邱家骧, 林景任. 岩石化学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991:253-254.
Qiu Jiexiang, Lin Jingqian. *Lithochemistry* [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1991:253-254 (in Chinese with English abstract).
- [14] 阚泽忠, 梁斌, 王全伟, 等. 广元恐龙化石埋藏地沙溪庙组地球化学特征及对物源区和古风化作用的指示 [J]. *中国地质*, 2006, 33(5):1023-1029.
Kan Zezhong, Liang Bin, Wang Quanwei, et al. Geochemistry of the Shaximiao Formation in a dinosaur fossil site, Guangyuan, Sichuan, and its implications for the source area and paleoweathering [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (5):1023-1029(in Chinese with English).
- [15] Kumon F, Kiminami K. Model and chemical compositions of the representative sandstones from the Japanese Islands and their tectonic implications [C]//Kumon F, Yu K M. *Proceedings 29th IGC, Part A. Utrecht: VSP, 1994:135-151.*
- [16] Bhatia M R, Taylor S R. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: a study from the Tasman geosyncline [J]. *Chemical Geology*, 1981, 33(1/4):115-125.
- [17] Bhatia M R. Composition and classification of Palaeozoic flysch mudrocks of eastern Australia: implications in provenance and tectonic setting interpretation [J]. *Sedimentary Geology*, 1985, 41:249-268.
- [18] McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics [J]. *Geological Society of American Special Paper*, 1993, 284:21-40.
- [19] 朱弟成, 廖忠礼, 潘桂棠, 等. 正确使用构造判别图解和地球化学数据的一些建议[J]. *地质地球化学*, 2001, 29(3):152-157.
Zhu Dicheng, Liao Zhongli, Pan Guitang, et al. Some suggestions of how to correctly use the tectonic discrimination diagrams and geochemical data[J]. *Geology-Geochemistry*, 2001, 29(3):152-157 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学技术出版社, 1989:88-276.
Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. *Geochemistry of Rare-earth elements* [M]. Beijing: Science Press, 1989:88-276 (in Chinese with English).
- [21] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins

- [21] [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1986, 92:181-193.
- [22] 钟玉芳, 马昌前, 余振兵. 锆石地球化学特征及地质应用研究综述[J]. *地质科技情报*, 2006, 25(1):27-34.
Zhong Yufang, Ma Changqian, Yu Zhenbing. Geochemical characteristics of zircon and its application in geosciences [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25 (1):27-34(in Chinese with English abstract).
- [23] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. *地学前缘*, 2001, 8(3):183-191.
Jian Ping, Cheng Yuqi, Liu Dunyi. Petrographical study of metamorphic zircon: Basic roles in interpretation of U-Pb age of high grade metamorphic rocks [J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8 (3):183-191(in Chinese with English abstract).
- [24] 姚晓娟. 锆石学研究在花岗岩和变质岩中的应用[D]. 南京:南京大学, 2005.
Yao Xiaojuan. Zircon Science Research in the Application of Granite and Metamorphic Rocks[D]. Nanjing:Nanjing University, 2005(in Chinese with English abstract).
- [25] 黑龙江地矿质矿产局. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997:1-35.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang. Rock Stratigraphy of Heilongjiang Province [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1997:1-35 (in Chinese with English abstract).
- [26] 内蒙古自治区地矿局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:556-656.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991, 556-656(in Chinese with English abstract).
- [27] 李江海. 前寒武纪的超大陆旋回及其板块构造演化意义[J]. *地学前缘*, 1998, 5(增刊):141-151.
Li Jianghai. Supercontinent cycle in the Precambrian and its implication for the plate tectonics[J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5(Supp.):141-151(in Chinese with English abstract).
- [28] Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z, et al. The onset of Pacific margin accretion in NE China: Evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt [J]. *Tectonophysics*, 2009, 478: 230-246.
- [29] 颜炳强, 张福勤, 苗来成, 等. 东北牡丹江地区“黑龙江群”中斜长角闪岩与花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(6):1237-1250.
Xie Hangqiang, Zhang Fuqin, Miao Laicheng, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the amphibolite from “Heilongjiang Group” and the granite in Mudanjiang area, NE China, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6):1237-1250 (in Chinese with English abstract).
- [30] 吕志成, 段国正, 郝立波, 等. 佳疙瘩组变碎屑岩地球化学特征及古构造环境[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2002, 32(2):111-115.
Lv Zhicheng, Duan Guozheng, Hao Libo, et al. Geochemistry and tectonic setting of metamorphic detrital rock of Jiageda Group [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2002, 32 (2): 111-115(in Chinese with English abstract).
- [31] 隋振民. 大兴安岭东北部花岗岩类锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及地壳演化[D]. 长春:吉林大学博士学位论文, 2007.
Sui Zhenmin. Zircon U-Pb ages, petrogenesis and crustal evolution of granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China [D]. Changchun:Jilin University Ph.D. Thesis, 2007(in Chinese with English abstract).
- [32] 罗毅, 王正邦, 周德安. 额尔古纳超大型火山热液型铀成矿带地质特征及找矿前景[J]. *华东地质学院学报*, 1997, 20(1):1-10.
Luo Yi, Wang Zhengbang, Zhou Dean. The geologic characteristics and prospecting prospect of Eerguna super-large volcanic hydrothermal type uranium metallogenic belt [J]. *Journal of East China Geological Institute*, 1997, 20(1):1-10(in Chinese with English abstract).
- [33] Pei F P, Xu W L, Yang D B, et al. Zircon U-Pb geochronology of basement metamorphic rocks in the Songliao Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52:942-948.
- [34] 章凤奇, 陈汉林, 董传万, 等. 松辽盆地北部存在前寒武纪基底的证据[J]. *中国地质*, 2008, 35(3):421-428.
Zhang Fengqi, Chen Hanlin, Dong Chuanwan, et al. Evidence for the existence of Precambrian basement under the northern Songliao basin [J]. *Geology in China*, 2008, 35(3):421-428(in Chinese with English abstract).
- [35] 葛文春, 隋振民, 吴福元, 等. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(2):423-440.
Ge Wenchun, Sui Zhenmin, Wu Fuyuan, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (2):423-440(in Chinese with English abstract).
- [36] Chen B, Jahn B M, Tian W. Evolution of the Solonker suture zone: constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction and collision-related magmas and forearc sediments [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34(3):245-257.
- [37] Shi G H, Liu D Y, Zhang F Q, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology and significance of the Xilinhot metamorphic complex, Inner Mongolia, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(24):2742-2748.

The Provenance characteristics of Tongshan Formation in north Zalantun area of the Da Hinggan Mountains: The constraint of geochemistry and LA-MC-ICPMS U-Pb dating of detrital zircons

LI Yang-chun^{1,2}, WANG Yan³, WU Gan-guo^{1,4},
JIN Zhe-yan⁵, ZHANG Da^{1,4}, YANG Xiao-ping⁵

- (1. Faculty of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. Shenyang Center of Geological Survey, CGS, Shenyang 110034, Liaoning, China; 4. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 5. Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China)

Abstract: The Tongshan Formation is a very important part of Zalantun-Duobaoshan island arc tectonic belt in northern Zalantun area of the Da Hinggan Mountains. The properties, deposition epoch and tectonic environment type of the source area of Tongshan Formation are important links in the study of the island arc tectonic belt, and also constitute an important window in the study of early tectonic evolution of the old Asian Ocean tectonic domain. Studies of fine elastic rocks and petrography of the Tongshan Formation in combination with geochemistry of the main elements and trace elements in fine elastic rocks show that Tongshan Formation was formed in the continental island arc area or active continental margin as well as the nearby places, and the source materials of Tongshan Formation were mainly felsic rocks and migmatitic felsic rocks formed by the transition from the upper crust to the edge of the andesite island arc, with part of the source material probably derived from the mixture of a small amount of passive continental margin material. The LA-MC-ICPMS zircon U-Pb age spectrum characteristics of fine elastic rocks in Tongshan Formation were determined for the first time, and the results show the diversity of the source area of Tongshan Formation. The U-Pb age spectrum contains 566~632Ma and 789~889Ma detrital zircons and, in combination with regional chronologic information, these data suggest that there must have existed the Neoproterozoic crystalline basement and the Neoproterozoic magmatism and metamorphism in this area, which constituted the main provenances of sedimentary rocks in Tongshan Formation. 2543~2705 Ma and 1773~2120 Ma ancient detrital zircons information revealed in the Xing-Meng orogenic belt suggests the probable existence of Precambrian micro-landmass basement, which became the important provenances of sedimentary rocks in Tongshan Formation. According to 572 ± 5 Ma concordant age, in combination with regional contrast, the deposition time of Tongshan Formation was dated at early Ordovician. The research results provide an important basic material for determining the evolution of the early Paleozoic Zalantun-Duobaoshan island arc tectonic belt and also offer a new constraint for the investigation of the continental crustal evolution on the southern margin of the Siberia plate and the researches on tectonodynamics.

Key words: Tongshan Formation; detrital zircons; geochemistry; provenance analysis; structural setting; Zalantun area; northern part of the Da Hinggan Mountains

About the first author: LI Yang-chun, male, born in 1968, senior engineer, mainly engages in the study of geological and mineral resources survey as well as strategic planning and deployment; E-mail: liyangchun999@163.com.