

吉林省兰家金矿南泉眼闪长岩 U-Pb 年代学和地球化学特征

闻 爽¹, 李碧乐^{1*}, 李立宝², 王 斌³

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

2. 河北省地质调查院, 河北石家庄 050081

3. 河北地勘局第五地质大队, 河北唐山 063004

摘要: 南泉眼闪长岩是兰家矽卡岩型金矿的成矿岩体, 研究程度极低。通过岩石地球化学和 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究, 讨论了岩石成因、来源和构造背景。研究表明, 南泉眼闪长岩为准铝质的钙碱性岩石; 岩石明显富集大离子亲石元素(如 Rb、K、Sr)、活泼的不相容元素(如 Th、U)和轻稀土元素, 相对亏损高场强元素(如 Nb、Ta、Ti、P)和重稀土元素, 具有明显的负 Eu 异常, Nb/Ta、La/Nb、Th/La 比值显示岩石具壳源特征, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{FeO}_t$ 图解显示岩浆具弧型活动大陆边缘特征。闪长岩岩浆锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 170.21 ± 0.73 Ma(MSWD=0.14); 谐和年龄值为 170.21 ± 0.39 Ma(MSWD=0.018), 为中侏罗世。成岩构造背景为燕山早期太平洋板块俯冲引起大陆弧伸展和岩石圈减薄, 软流圈物质上涌、底侵提供热动力, 不成熟下地壳物质部分熔融形成南泉眼闪长岩。

关键词: 地球化学; 锆石 U-Pb 测年; 地质年代学; 南泉眼闪长岩; 金矿; 吉林。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2013)02-0305-11

收稿日期: 2012-05-18

Zircon U-Pb Age and Geochemistry of Nanquanyan Diorite in the Lanjia Gold Deposit, Jilin Province

WEN Shuang¹, LI Bi-le^{1*}, LI Li-bao², WANG Bin³

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, China

3. No. 5 Exploration Team of Hebei Geological and Prospecting Bureau, Tangshan 063004, China

Abstract: Nanquanyan diorite, hardly well-studied, is the metallogenetic intrusion of the Lanjia skarn type gold deposit. Based on the studies of geochemistry, zircon LA-ICP-MS U-Pb data, this paper mainly discusses petrogenesis, magma source, tectonics setting of the diorite. Studies show that Nanquanyan diorite belongs to calc-alkaline and metaluminous series. The trace elements of diorite show enrichment in LILE (such as K, Rb, Sr), more mobile incompatible elements (such as Th, U) and LREE, relative depletions of HFSE (such as Nb, Ta, Ti, P) and HREE, and show obvious negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu}=0.19\sim0.25$). The ratios of Nb/Ta, La/Nb and Th/La indicate that the diorite mainly comes from the crust. In the $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{FeO}_t$ diagram, the characteristics of the diorite are similar to those of arc-type active continental margin magmatic rocks. LA-ICP-MS U-Pb zircon data of the diorite give weighted average ages of 170.21 ± 0.73 Ma(MSWD=0.14) and concordant age of 170.21 ± 0.39 Ma (MSWD = 0.018), which are in the middle Jurassic period. It is suggested that during the early Yanshan, subduction of Pacific plate led to extension of continental arc and lithospheric thinning, and asthenosphere mantle magma underplated subsequently and provided thermopower, finally partial melting of the immature lower crust formed Nanquanyan diorite.

Key words: geochemistry; zircon U-Pb age; geochronology; Nanquanyan diorite; gold deposit; Jilin Province.

基金项目:吉林省科技发展计划重点项目(No. 20100445);国家自然科学基金项目(No. 41272093)。

作者简介:闻爽(1988—),女,硕士研究生,主要从事热液矿床预测方面研究. E-mail: wenshuang10@mails.jlu.edu.cn

*通讯作者:李碧乐,E-mail: lbl66@sina.com

近年来,吉林东部陆续有大型斑岩型钼矿被发现的报道,引起我国矿床界和矿床勘查界的高度重视,随之与成矿作用有关的一批研究成果被推出。研究发现,吉林东部该类矿床均与燕山早期(J_2)钙碱性侵入岩有关(葛文春等,2007; Li and Shen, 2012)。同时笔者又注意到,区域内中温热液脉型金矿、矽卡岩型金矿均与 J_2 时期钙碱性侵入岩有关,180~160 Ma期间是兴蒙造山带东段吉黑褶皱造山带大规模钙碱性侵入活动和金、钼多金属热液矿床主要的成矿时期(Li and Shen, 2012)。兰家金矿是吉林省发现的首例矽卡岩型金矿床,成矿岩体为典型的钙碱性侵入体,之前尚未开展过专门和系统的地球化学和年代学研究。本文将通过该成矿岩体的岩石地球化学及年代学研究,探讨岩石成因和成岩成矿构造背景,厘定成岩时代,旨在提升该金矿综合研究程度,并为吉林东部燕山早期大规模岩浆热液成矿作用研究提供重要资料。

1 地质背景

吉林东部斜跨兴蒙造山带与华北板块两大构造单元,是我国地质历史演化悠久、构造岩浆活动极为强烈和复杂的地区。古生代以前,本区地壳经历了多次超大陆汇聚—裂解。古生代早期,本区处于整体隆升状态且相对稳定,岩浆作用很不发育。晚古生代是

位于西伯利亚板块和华北板块之间古亚洲洋的发生、发展和消亡的主要时期,晚古生代末至早中生代,华北克拉通和西伯利亚克拉通对接碰撞,使变质基底受到活化改造和深部岩浆大规模侵位。燕山早期太平洋板块向欧亚大陆俯冲,区内发生强烈的继承性的构造岩浆活动。燕山晚期本区进入以伸展体制为主的盆—岭构造演化阶段。郯—庐断裂的北延两分支断裂敦化—密山断裂和佳木斯—伊春断裂均斜贯本区。这种特殊的构造背景和地质演化史,极有利于本区不同类型成矿作用的发生,燕山期金、铁和有色金属热液成矿作用达到高潮。

兰家金矿位于兴蒙造山带的大黑山条带中段,紧邻佳木斯—伊通深断裂带和松辽盆地(图 1)。矿床产于二叠系范家屯组大理岩与燕山早期南泉眼闪长岩接触带及其附近,大理岩呈残块形式产出,主矿体受 NNE 向接触带构造控制(图 2)。该矿床经历了完整的矽卡岩型矿床蚀变和矿化过程,为典型的矽卡岩型矿床。其矿石矿物成分复杂,主要有磁铁矿、黄铁矿,其次有黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、自然铋和毒砂等,金矿物为自然金和金银矿。金矿化主要在石英硫化物期的早期硫化物阶段发育,辉铋矿和自然铋是主要载金矿物;其次是晚期硫化物阶段,载金矿物主要是方铅矿。铁矿化发育于矽卡岩期的湿矽卡岩(阳起石—透闪石矽卡岩)阶段和氧化物阶段,后一阶段伴生少量金。

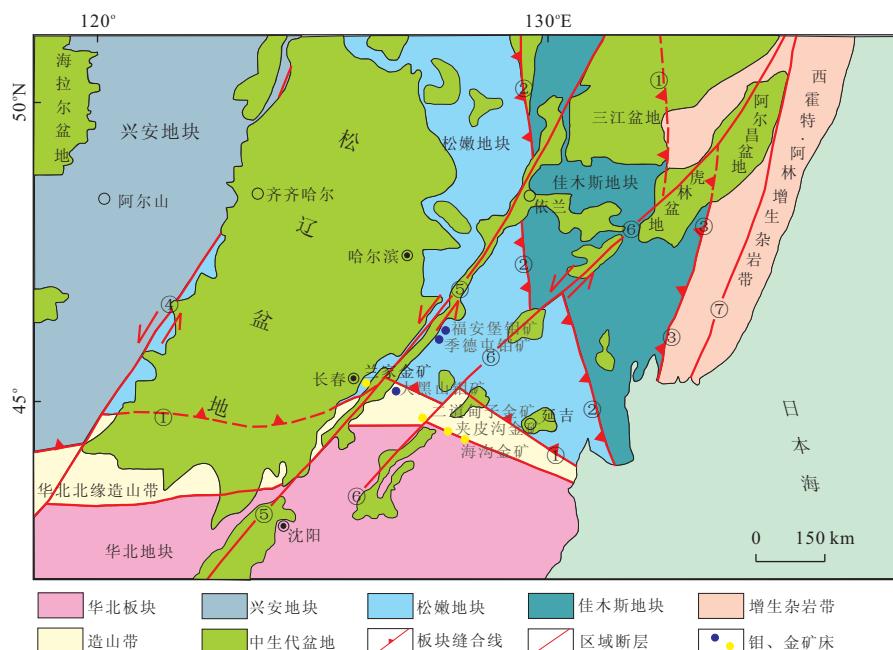


图 1 东北地区区域地质简图(据 Li and Shen, 2012)

Fig. 1 Geological sketch map of Northeast China

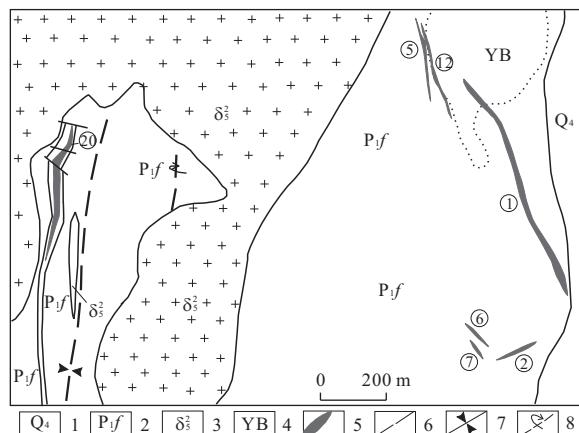


图2 兰家金矿矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketchmap of the Lanjia gold deposit
1.第四系;2.二叠系范家屯组;3.早燕山闪长岩;4.隐爆角砾岩;5.金矿体;6.断层;7.向斜;8.倒转背斜

2 岩相学特征和样品描述

兰家金矿矿区成矿岩体为南泉眼闪长岩,面积约0.64 km²,长轴长约1.3 km,北东向延伸;短轴约0.5 km。岩体内很少见捕虏体,暗色矿物以普通角闪石、黑云母为主。吉林长春市幅1:20万区域地质调查报告(1978)将该岩体划归为海西末—印支早期,兰家金矿方铅矿铅模式年龄为205±3.5 Ma,并认为与印支晚期岩体侵入有关(张文博,1998)。

测试样品均取自兰家金矿区内未蚀变的南泉眼闪长岩体,岩石新鲜面颜色为暗灰—灰黑色,中粒半自形结构,块状构造。主要矿物有斜长石(50%)和角闪石(15%~25%),少量的黑云母(5%~10%)和石英(<5%)。主要特征为:斜长石,半自形—自形板状,聚片双晶发育,粒径1~4 mm;角闪石,多色性明显,半自形,粒径1~3 mm;黑云母,粒径0.5~2 mm;石英:他形粒状,粒径0.5~1 mm。

3 分析方法

3.1 锆石LA-ICP-MS年代学

用于锆石年龄测定的样品均采自兰家金矿矿区岩石露头,锆石的挑选在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表面平整光洁且具不同长宽比例、不同柱锥面特征、不同颜色的锆石颗粒,再将这些锆石粘在双面胶上,用无色透明环氧树脂固定,待环氧树脂固化之后对其表面抛光至锆石中心。在

原位分析之前,通过反射光和CL图像详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,以选择同位素分析的最佳点。锆石制靶、反射光、阴极发光以及锆石U-Pb年龄测定和微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。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含量为32.8%,袁洪林等,2003),分析方法见参考文献(Yuan et al., 2004);普通铅校正采用Anderson(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-DATACAL程序(Liu et al., 2008; Liu et al., 2010),年龄计算及谐和图的绘制采用Ludwing(2003)编写的Isoplot程序。

3.2 岩石地球化学测试

样品的常量和微量元素在吉林大学测试实验中心测定。常量元素的测定采用X射线荧光光谱法(XRF);微量元素和稀土元素分析在吉林大学测试科学实验中心采用美国安捷伦科技有限公司Agilent 7500A型耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)完成。对国际标准参考物质BHVO-2、BCR-2和国家标准参考物质GBW07103、GBW07104的分析结果表明,微量元素和稀土元素的分析精度为:元素含量大于10×10⁻⁶的误差小于5%,小于10×10⁻⁶的误差小于10%。

4 测试结果

4.1 锆石LA-ICP-MS年代学

南泉眼闪长岩样品的阴极发光图像显示锆石颜色明亮,形态以长柱状为主,部分短柱状,还有个别呈粒状,晶体内部自形生长环带明显发育,部分锆石具有清晰的振荡环带,晶面发育,大部分两侧棱锥发育完好,为典型的岩浆锆石(图3)。本文22个分析点测试结果(表1)显示U和Th含量分别介于523.12×10⁻⁶~1469.43×10⁻⁶和294.37×10⁻⁶~1512.29×10⁻⁶之间,Th/U比值为0.46~1.08,具有岩浆锆石特征。22个²⁰⁶Pb/²³⁸U分析数据的加权平均年龄为170.21±0.73 Ma,MSWD=0.14;谐和年龄值为170.21±0.39 Ma,MSWD=0.018(图4),确定本期岩浆活动时代应为早燕山期(中侏罗世)。

表1 兰家金矿南泉眼闪长岩锆石LA-ICP-MS U-Pb定年结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

点号	^{238}U (10^{-6})	^{232}Th (10^{-6})	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
			比值	误差	比值	误差	比值	误差	年龄(Ma)	误差
LJ-N1-01	919.18	651.81	0.04987	0.00170	0.18390	0.00644	0.02667	0.00024	169.7	1.5
LJ-N1-02	983.69	924.68	0.04938	0.00132	0.18260	0.00498	0.02672	0.00019	170.0	1.2
LJ-N1-03	783.07	645.88	0.04940	0.00240	0.18295	0.00893	0.02680	0.00036	170.5	2.2
LJ-N1-04	523.12	294.37	0.04952	0.00436	0.17988	0.01539	0.02651	0.00061	168.7	3.8
LJ-N1-07	868.49	613.83	0.04953	0.00387	0.18257	0.01411	0.02668	0.00040	169.7	2.5
LJ-N1-08	1 262.49	1 321.77	0.04937	0.00205	0.18310	0.00744	0.02686	0.00029	170.8	1.8
LJ-N1-10	1 020.14	765.69	0.05009	0.00314	0.18318	0.01101	0.02668	0.00043	169.7	2.7
LJ-N1-11	556.23	428.77	0.04971	0.00166	0.18250	0.00602	0.02673	0.00027	170.1	1.7
LJ-N1-12	1 075.90	884.23	0.04927	0.00280	0.18345	0.01165	0.02682	0.00040	170.6	2.5
LJ-N1-13	1 291.93	1 372.54	0.04948	0.00130	0.18276	0.00488	0.02674	0.00023	170.1	1.4
LJ-N1-14	766.38	396.49	0.04948	0.00152	0.18259	0.00584	0.02675	0.00030	170.2	1.9
LJ-N1-15	1 400.61	1 512.29	0.04937	0.00169	0.18254	0.00640	0.02674	0.00023	170.1	1.5
LJ-N1-18	953.91	438.58	0.04980	0.00301	0.18361	0.00994	0.02685	0.00041	170.8	2.6
LJ-N1-21	1 045.74	971.17	0.04937	0.00186	0.18425	0.00716	0.02699	0.00027	171.7	1.7
LJ-N1-22	658.53	412.11	0.04906	0.00161	0.18232	0.00600	0.02700	0.00031	171.8	1.9
LJ-N1-23	1 469.43	1 475.00	0.04982	0.00335	0.18174	0.00953	0.02663	0.00061	169.4	3.9
LJ-N1-24	747.25	340.75	0.04934	0.00361	0.18212	0.01311	0.02683	0.00055	170.7	3.5
LJ-N1-26	974.65	743.62	0.04959	0.00135	0.18232	0.00495	0.02673	0.00024	170.0	1.5
LJ-N1-27	752.28	411.95	0.04986	0.00147	0.18296	0.00561	0.02663	0.00028	169.4	1.7
LJ-N1-28	947.15	616.39	0.04969	0.00131	0.18286	0.00482	0.02679	0.00024	170.4	1.5
LJ-N1-29	1 177.17	963.36	0.04891	0.00240	0.18126	0.00899	0.02692	0.00077	171.2	4.8
LJ-N1-30	790.35	611.81	0.05015	0.00252	0.18270	0.00816	0.02666	0.00035	169.6	2.2

测试单位:西北大学大陆动力学国家重点实验室,2011; $\pm \sigma$ 为误差;普通 Pb 用测量的 ^{204}Pb 校正。

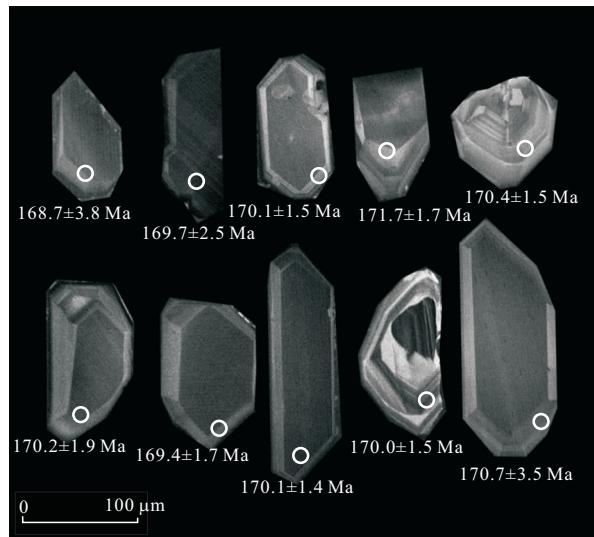


图3 兰家金矿南泉眼闪长岩锆石CL图像(圆圈数字代表U-Pb分析点)

Fig. 3 CL images of zircons from Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

4.2 岩石地球化学特征

4.2.1 主量元素 南泉眼闪长岩13个样品的主量元素中, SiO_2 含量变化范围为 54.04%~61.55%, TAS 图解(图略)所有样品均落入闪长岩区域内。

MgO 含量 2.57%~4.21%, Al_2O_3 含量 13.86%~15.59%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为 2.70%~5.23% (表2). 在硅碱图、AFM图解(图略)和 A/CNK-A/NK图解上(图5a), 样品分别落入亚碱性区域、钙碱性区域和准铝质区域. 在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解上(图5b), 大部分样品落入钙碱性系列区域, 个别样品落入低钾拉斑玄武岩系列区域. 在 Harker 图解上(图6), 样品 K_2O 、 Na_2O 与 SiO_2 呈正相关, 而 FeO_{t} (全铁)、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 和 TiO_2 与 SiO_2 均呈明显的负相关, 表明在成岩过程中存在着辉石、磷灰石、磁铁矿等矿物的分离结晶作用(李献华等, 2000).

4.2.2 微量元素 13个样品的稀土总量 $\sum \text{REE}$ 介于 129.45×10^{-6} ~ 169.24×10^{-6} 之间, 平均 152.92×10^{-6} . 重稀土总量 $\sum \text{HREE}$ 与轻稀土总量 $\sum \text{LREE}$ 分别介于 15.50×10^{-6} ~ 20.20×10^{-6} 和 89.59×10^{-6} ~ 120.89×10^{-6} 之间, $\sum \text{HREE}$ 变化不大, 而 $\sum \text{LREE}$ 与 $\sum \text{HREE}$ 变化趋势一致(表2), 表明岩体 $\sum \text{REE}$ 主要受控于 $\sum \text{LREE}$. 从稀土配分模式图(图7a)来看, 各配分曲线形式基本一致且明显右倾, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 5.52~7.40, 表明轻稀土富集, 重稀土亏损, 轻重稀土分馏明显. δEu 为 0.19~0.25, 显示出明显 Eu负异常, 表明此岩体形成过程

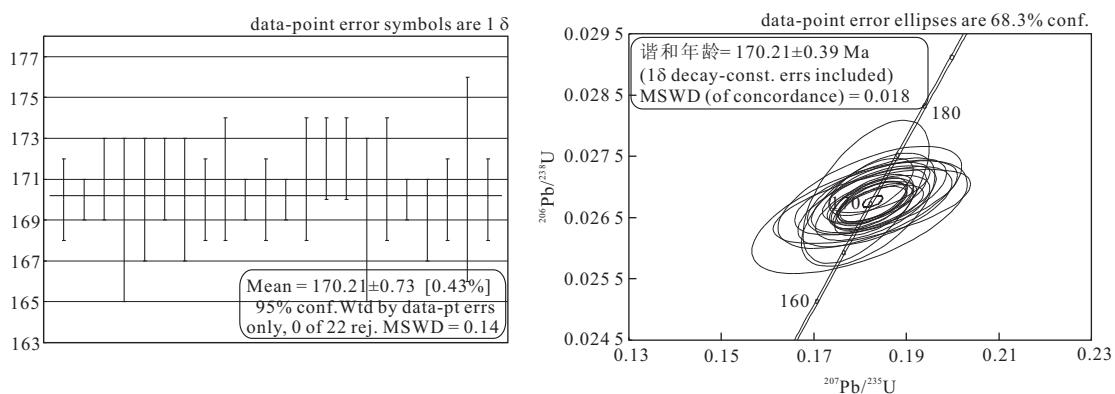


图4 南泉眼闪长岩锆石加权平均年龄与U-Pb年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram and weighted average ages from Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

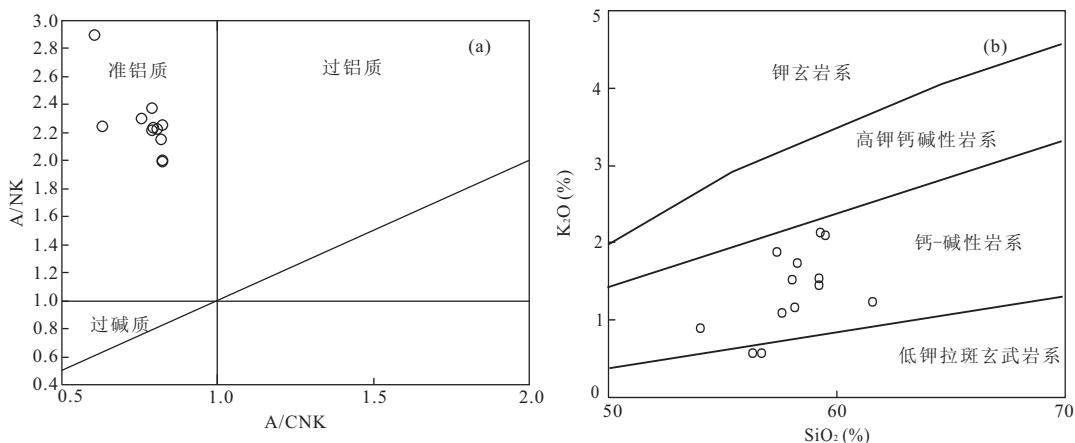
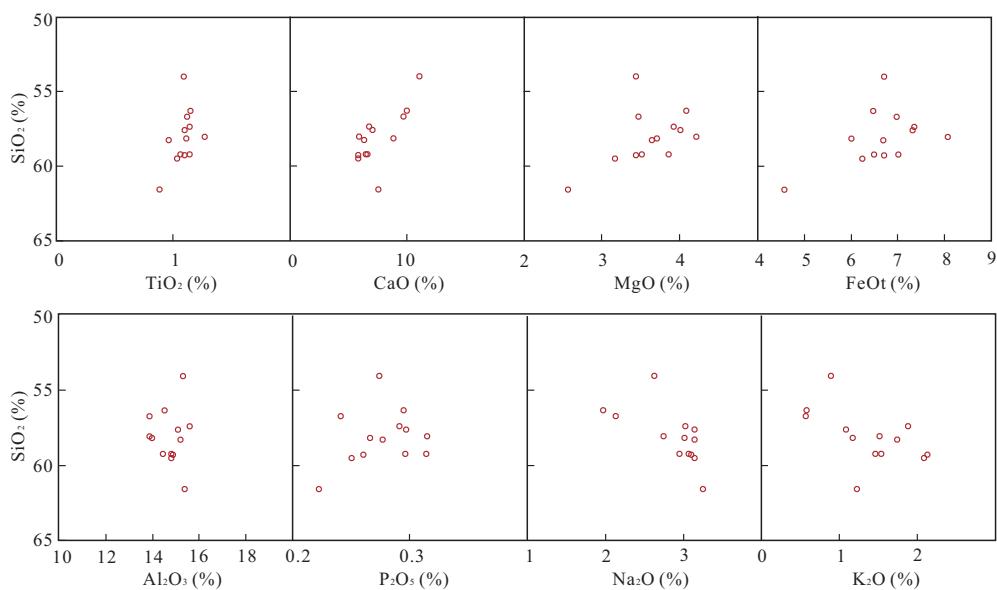
图5 兰家金矿南泉眼闪长岩的A/CNK-A/NK(a)和K₂O-SiO₂(b)图解Fig. 5 A/CNK-A/NK (a) and K₂O-SiO₂ (b) diagram of Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

图6 兰家金矿南泉眼闪长岩的Harker图解

Fig. 6 Harker diagram of Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

表2 兰家金矿南泉眼闪长岩主量元素(%)和微量元素含量(10^{-6})

Table 2 Contents of major elements (%) and trace elements (10^{-6}) of acid intrusive rocks of Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

样品	LJ-1	LJ-2	LJ-3	LJ-4	LJ-5	LJ-6	LJ-7	LJ-8	LJ-9	LJ-10	LJ-11	LJ-12	LJ-13
SiO ₂	59.26	56.29	59.22	59.24	57.37	58.17	61.55	54.04	59.48	57.60	58.28	58.03	56.69
Al ₂ O ₃	14.86	14.52	14.81	14.45	15.59	13.97	15.38	15.30	14.81	15.09	15.20	13.86	13.89
FeO _t	7.45	7.19	7.21	7.79	8.18	6.67	5.09	7.46	6.94	8.13	7.44	8.96	7.76
CaO	5.84	9.99	6.61	6.49	6.77	8.81	7.51	11.01	5.79	7.04	6.32	5.86	9.67
MgO	3.44	4.09	3.52	3.86	3.92	3.71	2.57	3.44	3.17	4.01	3.65	4.21	3.47
Na ₂ O	3.10	1.97	3.06	2.95	3.02	3.01	3.25	2.62	3.14	3.14	3.14	2.74	2.13
K ₂ O	2.13	0.58	1.46	1.54	1.88	1.17	1.23	0.89	2.09	1.09	1.74	1.52	0.57
TiO ₂	1.10	1.15	1.06	1.14	1.14	1.11	0.88	1.09	1.03	1.10	0.96	1.27	1.12
MnO	0.21	0.29	0.21	0.22	0.16	0.29	0.22	0.29	0.21	0.20	0.15	0.26	0.37
P ₂ O ₅	0.260	0.295	0.296	0.314	0.291	0.266	0.222	0.274	0.250	0.297	0.277	0.315	0.241
SrO	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06
BaO	0.04	0.00	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.00
LOI	1.34	3.29	1.50	1.47	1.30	2.40	1.59	2.27	1.30	2.12	1.40	1.47	2.54
Total	99.08	99.72	99.04	99.54	99.70	99.66	99.58	98.76	98.29	99.88	98.63	98.56	98.50
Ba	518	108	519	469	389	553	596	324	503	289	408	399	136
Ce	46.0	46.6	50.1	51.1	46.0	42.0	39.9	45.4	48.1	50.0	48.4	54.4	53.0
Cr	50	50	40	40	40	40	30	40	40	40	40	40	30
Cs	8.41	14.55	6.69	6.64	4.10	9.54	9.86	6.51	9.55	5.06	5.38	6.85	19.05
Dy	4.71	4.08	5.11	5.08	4.71	4.32	4.11	5.18	4.79	5.45	4.46	4.78	4.72
Er	2.66	2.29	2.82	2.90	2.61	2.44	2.41	2.75	2.79	3.01	2.49	2.71	2.58
Eu	1.10	1.19	1.06	1.07	1.26	1.07	1.09	1.32	1.05	1.24	1.25	1.11	1.13
Ga	18.5	15.9	17.6	17.7	19.7	16.0	16.7	18.9	17.6	18.9	19.4	16.6	15.5
Gd	5.18	4.64	5.55	5.70	5.47	4.74	4.43	6.17	5.38	6.14	5.07	5.13	4.86
Hf	4.9	5.5	5.1	5.3	4.7	4.5	4.2	4.5	4.9	4.7	4.7	5.4	5.0
Ho	0.99	0.85	1.04	1.06	0.97	0.89	0.85	1.05	1.02	1.11	0.91	0.95	0.93
La	22.6	22.4	24.1	24.3	21.9	18.4	19.0	21.0	23.4	23.1	23.9	25.9	25.8
Lu	0.40	0.36	0.43	0.44	0.37	0.37	0.36	0.36	0.42	0.42	0.37	0.42	0.41
Nb	8.0	8.4	8.0	8.8	7.9	8.0	7.2	7.3	7.2	7.8	6.9	8.8	8.0
Nd	23.6	23.3	25.8	26.6	24.7	22.5	20.2	26.4	24.3	27.8	24.5	27.0	25.7
Pr	5.77	5.75	6.34	6.42	5.82	5.49	5.00	6.02	5.96	6.55	5.98	6.77	6.47
Rb	76.3	34.5	48.5	55.6	68.9	39.7	42.0	24.8	70.1	32.7	60.1	56.3	28.0
Sm	5.13	4.86	5.58	5.73	5.37	4.84	4.40	6.04	5.35	6.12	5.08	5.71	5.50
Sn	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
Sr	400	654	390	382	432	450	474	529	403	418	427	379	582
Ta	0.7	0.7	0.6	0.7	1.1	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.8	0.7
Tb	0.81	0.72	0.86	0.88	0.82	0.74	0.70	0.91	0.82	0.92	0.77	0.78	0.76
Th	11.30	13.50	11.40	12.65	7.88	12.30	11.05	9.26	11.80	10.40	11.90	12.50	11.95
Tm	0.38	0.34	0.41	0.42	0.37	0.36	0.35	0.39	0.40	0.42	0.36	0.40	0.39
U	2.89	3.66	3.31	3.52	4.09	4.20	4.50	2.74	3.54	3.38	2.98	3.61	4.48
V	226	251	223	250	251	233	157	223	214	254	223	189	153
W	2	3	2	2	1	3	3	3	2	2	1	2	3
Y	26.0	23.6	28.3	29.0	26.5	24.4	24.3	28.9	27.9	30.8	25.4	30.5	29.6
Yb	2.54	2.27	2.66	2.81	2.46	2.39	2.35	2.39	2.72	2.73	2.41	2.68	2.50
Zr	167	188	171	184	167	139	129	138	163	139	150	190	168
ANK	2.01	3.75	2.24	2.21	2.22	2.25	2.30	2.90	1.99	2.38	2.15	2.25	3.37
ACNK	0.82	0.66	0.79	0.79	0.81	0.63	0.76	0.60	0.82	0.79	0.82	0.82	0.64
(La/Yb) _N	6.38	7.08	6.50	6.20	6.39	5.52	5.80	6.30	6.17	6.07	7.11	6.93	7.40
Zr/Y	6.42	7.97	6.04	6.34	6.30	5.70	5.31	4.78	5.84	4.51	5.91	6.23	5.68
La/Nb	2.8	2.7	3.0	2.8	2.8	2.3	2.6	2.9	3.3	3.0	3.5	2.9	3.2
Nb/Ta	11.4	12.0	13.3	12.6	7.2	11.4	12.0	12.2	10.3	13.0	13.8	11.0	11.4
Th/Nb	0.48	0.58	0.44	0.48	0.32	0.55	0.55	0.35	0.49	0.37	0.49	0.46	0.46
Th/La	0.50	0.60	0.47	0.52	0.36	0.67	0.58	0.44	0.50	0.45	0.50	0.48	0.46

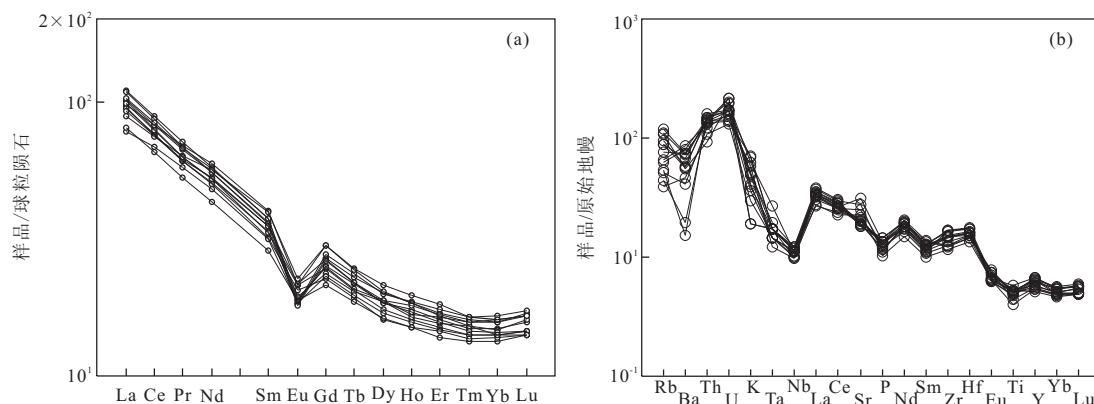


图7 兰家金矿南泉眼闪长岩的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(a)(球粒陨石标准化值引自 Boynton, 1984)和原始地幔标准化蛛网图(b)(原始地幔值引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagrams (b) of Nanquandian diorite in the Lanjia gold deposit

中存在长石分离结晶作用,或者在部分熔融作用中有长石残留在源区。

13个样品Zr/Y为4.51~7.97,La/Nb为2.3~3.0,其微量元素原始地幔标准化配分曲线(图7b)形式基本一致,均显示岩石富集Rb、K、Sr等大离子亲石元素和Th、U等活泼的不相容元素,相对亏损Nb、Ta、Ti、P等高场强元素。P、Ti、Nb、Ta的亏损可能受到了磷灰石、钛铁矿、金红石和榍石等矿物分离结晶作用的影响。

5 讨论

5.1 岩浆源区和岩石成因

南泉眼闪长岩的主量元素CaO、MgO、FeO_t、P₂O₅和TiO₂与SiO₂呈负相关,K₂O和Na₂O与SiO₂呈正相关,Al₂O₃与SiO₂无明显的相关关系,表明了岩浆分异在演化中的主导作用。从微量元素蛛网图来看,岩石具有富集大离子亲石元素(如Rb、K、Sr)和活泼的不相容元素(如U、Th),相对亏损高场强元素(如Ta、Nb、Ti、P)的特征,与岛弧或活动大陆边缘弧岩浆的特征相吻合。Nb、Ta及Ti的亏损,暗示岩浆不可能由软流圈部分熔融直接产生(Foley, 1992)。Nb、Ta由于性质相近,Nb/Ta比值在岩浆分异中不会造成较大的分异,可以指示岩浆源区特征及演化过程,一般来说,幔源岩浆的Nb/Ta比值在17.5±2,而壳源岩浆的Nb/Ta比值为11~12(Green, 1995)。兰家13个闪长岩样品Nb/Ta比值为7.2~13.8,其中7个样品介于11~12,平均12.64,主要反映岩浆的壳源特点。La/Nb比值

为2.3~3.0,平均2.9,高于大陆地壳平均值2.2,Th/Nb比值为0.32~0.58,平均0.45,高于大陆地壳平均值0.44,Th/La比值为0.36~0.668,平均0.5,亦高于大陆地壳平均值0.204(Saunders et al., 1988; Weaver, 1991)。总之,微量元素特征反映了闪长岩岩浆的壳源特点。

5.2 构造背景

在Al₂O₃+MgO+FeO_t图解(图8)上,样品均落入岛弧及活动大陆边缘区域,显示南泉眼闪长岩具弧型活动大陆边缘特征。

关于中国北东部燕山早期构造背景,目前主要有两种观点:一是30多年来一直被提及的与太平洋板块俯冲有关;二是属板内构造体制,与太平洋板块的俯冲无关。成岩构造背景的讨论,区域对比显得尤为重要。区域构造—岩浆作用方面,中生代早期,古亚洲洋演化历程完成,实现了华北与西伯利亚板块的对接(肖庆辉等,2009)。中侏罗世,东亚大陆构造发展进入到重要转折时期,此时,中国东北出现主动大陆边缘,表明其开始进入环太平洋构造域演化阶段(赵越等,1994)。东北地区中晚侏罗世均发生了大规模的钙碱性岩浆活动,构成了宏伟的NNE向分布的岩浆岩带(Li and Shen, 2012)。NE-NNE向构造—岩浆岩带与太平洋板块NW-NWW俯冲方向近垂直。另一方面,古亚洲洋构造域印支期—早燕山的碰撞造山对中晚侏罗世构造—岩浆活动具有继承性影响。横贯中国北方的近EW向分布的海西—印支期形成的华北北缘造山带,却发育大量燕山期中酸性小侵入体,形成和分布受NE-NNE、EW向断裂联合控制。

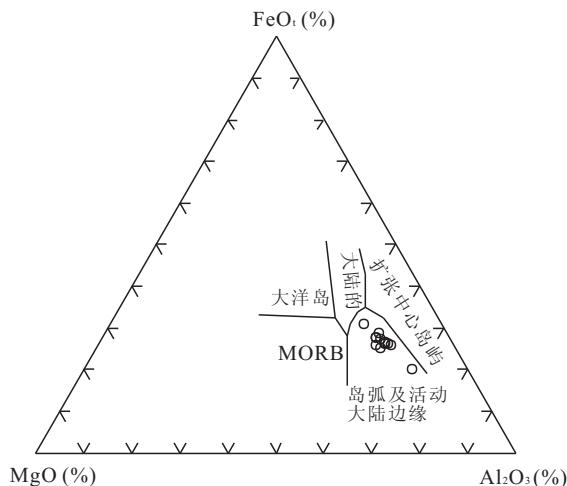


图8 兰家金矿南泉眼闪长岩的 Al_2O_3 - MgO - FeO_t 图解
Fig. 8 Al_2O_3 - MgO - FeO_t diagram of Nanquanyan diorite in the Lanjia gold deposit

日本列岛存在大量侏罗纪甚至更早的增生杂岩(Isozaki, 1997; Taira, 2001)。李延兴等(2006)通过对中国大陆及周边地区GPS的最新观测结果建立的应力模型研究,亦显示了太平洋板块俯冲对中国大陆地壳运动与形变有影响,其影响范围正是东北和华北地区;其中,东北块体距太平洋板块向欧亚板块俯冲的边界近,受俯冲的影响大,几乎整个块体都受到影响。

中国东部中生代岩浆岩分布宽度巨大(超过1000 km),众多研究者对太平洋俯冲波及范围提出质疑。近年来研究表明随着俯冲洋壳年龄的变新,板块的俯冲角度会逐渐变小,导致所形成的岩浆弧逐渐向大陆板块内部延伸(Busby, 2004; Barbarin, 2005),大洋板块可以深俯冲到660 km的地幔过渡带(Maruyama *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2007)。对于中国东部而言,太平洋板块俯冲的影响更多表现在其远程效应,即强烈地俯冲挤压导致远离海沟一侧大陆的伸展。

关于该时期区域成矿构造背景,李碧乐等(2002)主要从控矿构造角度提出包括夹皮沟金矿、二道甸子金矿和海沟金矿在内的中温热液脉型金矿床受郯庐断裂带北沿分支敦—密断裂带燕山早期(主要是J₂)大规模左旋平移控制。而大黑山和福安堡钼矿、兰家金矿等矿床均分布于郯庐断裂带北沿另一分支佳—伊断裂带附近,通过对比可以认为,佳—伊断裂带燕山早期大规模左旋平移控制了区内构造岩浆活动、斑岩型和矽卡岩型矿床的形成(Li and Shen, 2012)。葛文春等(2007)从岩石地球化学角度

论证了包括大黑山钼矿在内的吉黑造山带成矿岩体具有活动大陆边缘岩浆岩特征。而夹皮沟金矿与成矿有关的侵入岩为黄泥河复合岩体内燕山早期形成的钙碱性小侵入体,亦形成于活动大陆边缘环境(李碧乐, 2001)。总之,吉林东部形成于中侏罗世的中温热液脉型金矿、矽卡岩型金矿、斑岩型钼矿、热液脉型钼矿,成矿深度上由地壳深层次至浅层次,它们受控于相似的构造岩浆岩条件,在时间和成因上有密切联系,构成一定成矿区域内的成矿系列(Li and Shen, 2012)。

关于区域成岩与成矿的耦合,成矿时间上与燕山早期(J₂-J₃)钙碱性侵入岩有关的斑岩型矿床在中国北东部具有一致性,包括近年来发现的一批斑岩型钼矿床如大黑山、福安堡、霍吉河、鹿鸣等和矽卡岩型铁、钼多金属矿床,其成矿时代在180~160 Ma期间(葛文春等, 2007; 李立兴等, 2009; 王成辉等, 2009; 陈静, 2011; Li and Shen, 2012)。岩浆起源对于矽卡岩型金矿的形成有重要影响。除了幔源岩浆有利于矿床形成外,起源于不成熟陆壳岩浆优于成熟陆壳,起源于下地壳岩浆优于上地壳(陈衍景等, 1997)。这与不同起源岩浆亲硫元素和亲铜元素含量高低密切相关(Taylor and McLennan, 1985; Condie, 1993)。由于本区处于西太平洋大陆边缘与古亚洲洋构造域叠合部位,构造活动强烈,岩浆源岩成熟度低,对形成矽卡岩化金矿比较有利。

由于兰家金矿紧邻松辽盆地,其成矿岩体南泉眼闪长岩的形成应与松辽盆地演化相关联。闫全人等(2002)通过大量同位素年龄测试,获得松辽盆地火山岩年龄为170~75 Ma,通过盆地火山岩地球化学研究,认为盆地早期为断陷成盆期,构造背景为活动陆缘弧。郭福祥(1998)将该类盆地称为火山弧后扩张盆地,并强调了其与岛弧后扩张盆地密切的空间和成因联系。通过对比认为,松辽盆地早期以玄武安山质、安山质火山岩为主的岩系与南泉眼闪长岩在时空、岩石成因、构造背景方面应具有一致性。

综合南泉眼闪长岩地球化学特征、成矿闪长岩体年龄和区域构造演化等资料分析认为,兰家金矿成岩成矿作用受到中侏罗世太平洋板块与欧亚板块之间相互作用的控制。在太平洋板块向欧亚板块俯冲的过程中,燕山早期强烈的俯冲作用导致深俯冲带之上远离海沟的中国北东部大陆一侧造山带发生伸展和岩石圈减薄。海西—印支期华北与西伯利亚板块的碰撞造山使地壳加厚和具有大的势能差,使得造山带的伸展变得更加容易。软流圈地幔物质

上涌,引发底侵作用,地壳受到岩浆高温作用的强烈影响,并导致大陆一侧形成与岛弧近平行分布的火山弧及弧后扩张盆地。此时,由底侵岩浆提供热动力,使不成熟下地壳物质部分熔融,形成包括南泉眼岩体在内的大面积分布的中晚侏罗世闪长岩。

6 结论

(1) 南泉眼闪长岩属钙碱性、准铝质系列岩石。岩石明显富集大离子亲石元素(如Rb、K、Sr)、活泼的不相容元素(如Th、U)和轻稀土元素,相对亏损高场强元素(如Nb、Ta、Ti、P)和重稀土元素,具有明显的负Eu异常。Nb/Ta、La/Nb、Th/La比值等显示岩石具壳源特征。(2) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{FeO}_t$ 构造判别图解、区域构造背景对比表明岩浆具弧型活动大陆边缘特征。(3) 闪长岩岩浆锆石LA-ICP-MS U-Pb加权平均年龄为 170.21 ± 0.73 Ma,谐和年龄为 170.21 ± 0.39 Ma,为中侏罗世。燕山早期太平洋板块俯冲引起大陆弧伸展和岩石圈减薄,软流圈地幔物质上涌、底侵提供热动力,不成熟下地壳物质部分熔融形成南泉眼闪长岩。

References

- Anderson, 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
- Barbarin, B. , 2005. Mafic Magmatic Enclaves and Mafic Rocks Associated with Some Granitoids of the Central Sierra Nevada Batholith, California: Nature, Origin, and Relations with the Hosts. *Lithos*, 80(1–4): 155–177. doi: 10.1016/j.lithos.2004.05.010
- Boynton, W. V. , 1984. Geochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P. , ed., Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier Science Publishers, New York, 63–114.
- Busby, C. , 2004. Continental Growth at Convergent Margins Facing Large Ocean Basins: A Case Study From Mesozoic Convergent-Margin Basins of Baja California, Mexico. *Tectonophysics*, 392(1–4): 241–277. doi: 10.1016/j.tecto.2004.04.017
- Chen, J. , 2011. Metallogenic Setting and Metallogenesis of Nonferrous-Precious Metals in Lesser Hinggan Mountain, Heilongjiang Province(Dissertation). Jilin University, Changchun, 34–73 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. J. , Qin, S. , Li, X. , 1997. Mineralization Time, Space, Geodynamic Background and Metallogenic Model of the Skarn Gold Deposits, China. *Acta Scientiarum Naturalium-Universitatis Pekinensis*, 33(4): 456–466 (in Chinese with English abstract).
- Condie, K. C. , 1993. Chemical Composition and Evolution of the Upper Crust: Contrasting Results from Surface Samples and Shales. *Chemical Geology*, 104(1–4): 1–37. doi: 10.1016/0009-2541(93)90140-E
- Foley, S. , 1992. Vein-Plus-Wall-Rock Melting Mechanisms in the Lithosphere and the Origin of Potassic Alkaline Magmas. *Lithos*, 28(3–6): 435–453. doi: 10.1016/0024-4937(92)90018-T
- Ge, W. C. , Wu, F. Y. , Zhou, C. Y. , et al. , 2007. Porphyry Cu-Mo Deposits in the Eastern Xing'an-Mongolian Orogenic Belt: Mineralization Ages and Their Geodynamic Implication. *Chin. Sci. Bull.* , 52(20): 2407–2417 (in Chinese with English abstract).
- Green, T. H. , 1995. Significance of Nb/Ta as an Indicator of Geochemical Processes in the Crust-Mantle System. *Chemical Geology*, 120(3–4): 347–359. doi: 10.1016/0009-2541(94)00145-X
- Guo, F. X. , 1998. Meso-Cenozoic Nanhua (South China) Orogenic Belt-Subaerial Tridirectional Orogen. *Acta Geologica Sinica*, 72(1): 22–33 (in Chinese with English abstract).
- Isozaki, Y. , 1997. Jurassic Accretion Tectonics of Japan. *The Island Arc* , 6(1): 25–51. doi: 10.1111/j.1440-1738.1997.tb00039.x
- Li, B. L. , 2001. Study on the Tectono-Magmatic Events and Their Control on Gold Metallogeny at Jiapigou Area, Jilin Province (Dissertation). Jilin University, Changchun, 84–105 (in Chinese with English abstract).
- Li, B. L. , Shen, X. , 2012. Discussion on Middle Jurassic Metallogenic Mechanism of Au-Mo Polymetallic Hydrothermal Deposits in Eastern Jilin. *Global Geology*, 15(1): 19–25. doi: 10.3969/j.issn.1673-9736.2012.01.03
- Li, B. L. , Sun, F. Y. , Yao, F. L. , 2002. Large Scale Sinistral Strike-Slip Movement of Dunhua-Mishan Fracture Zone and Its Control on Gold Metallogeny in the Mesozoic. *Geotectonica et Metallogenesis* , 26(4): 390–395 (in Chinese with English abstract).
- Li, L. X. , Song, Q. H. , Wang, D. H. , et al. , 2009. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from the Fuanpu Molybdenum Deposit of Jilin Province and Discussion on Its Metallogenesis. *Rock and Mineral Analysis* , 28(3): 283–287 (in Chinese with English abstract).

- Li, X. H., Zhou, H. W., Liu, Y., et al., 2000. Mesozoic Shoshonitic Intrusives in the Yangchun Basin, Western Guangdong, and Their Tectonic Significance: I. Petrology and Isotope Geochronology. *Geochimica*, 29(6): 513—520 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. X., Zhang, J. H., Li, Z., et al., 2006. The Under-thrust of Pacific Plate to Eurasian Plate and Its Effect on Chinese Mainland. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 35(2): 99—105 (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. doi: 10.1093/petrology/egp082
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1—2): 34—43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Ludwig, K. R., 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4; 70.
- Maruyama, S., Santosh, M., Zhao, D., 2007. Superplume, Supercontinent, and Post-Perovskite: Mantle Dynamics and Anti-Plate Tectonics on the Core Mantle Boundary. *Gondwana Res.*, 11(1—2): 7—37. doi: 10.1016/j.gr.2006.06.003
- Saunders, A. D., Norry, M. J., Tarney, J., 1988. Origin of MORB and Chemically Depleted Mantle Reservoirs: Trace Element Constraints. *Journal of Petrology*, Special_Volume(1): 415—445. doi: 10.1093/petrology/Special_Volume.1
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Process. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., Magmatism in the Ocean Basins. *Spec. Publ. Geol. Soc. Lond.*, 42: 313—345.
- Taira, A., 2001. Tectonic Evolution of the Japanese Island Arc System. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, 29: 109—134. doi: 10.1146/annurev.earth.29.1.109
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Black-Well, London.
- Wang, C. H., Song, Q. H., Wang, D. H., et al., 2009. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from the Dabeishan Molybdenum Deposit of Jilin Province and Its Geological Significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 269—273 (in Chinese with English abstract).
- Weaver, B. L., 1991. The Origin of Ocean Island Basalt End-Member Compositions: Trace Element and Isotopic Constraints. *Earth Planet Sci.*, 104(2—4), 381—397. doi: 10.1016/0012-821X(91)90217-6
- Xiao, Q. H., Wang, T., Deng, J. F., et al., 2009. Study on Typical Orogenic Belt Granite and the Growth of Continental Crust in China. Geological Publishing House, Beijing, 256—288 (in Chinese).
- Yan, Q. R., Gao, S. L., Wang, Z. Q., et al., 2002. Geochronology and Geochemistry of Volcanic Rocks from the Songliao Basin and Their Implications. *Geochimica*, 31(2): 169—179 (in Chinese with English abstract).
- 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
- Yuan, H. L., Wu, F. Y., Gao, S., et al., 2003. Zircon Laser Microprobe U-Pb Dating and Rare Earth Element Component Analysis of Cenozoic Intrusions in Northeastern China. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511—1520 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. B., 1998. The Division of Mineralized Series of Gold-Silver in the North Eastern Section of Dabeishan Striped Rampart. *Gold*, 19(1): 13—17 (in Chinese).
- Zhao, Y., Yang, Z. Y., Ma, X. H., 1994. Geotectonic Transition from Paleoasian System and Paleotethyan System to Paleopacific Active Continental Margin in Eastern Asia. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105—119 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. F., Zheng, Y. F., Wei, C. S., et al., 2007. Post-Collisional Granitoids from the Dabie Orogen in China: Zircon U-Pb Age, Element and O Isotope Evidence for Recycling of Subducted Continental Crust. *Lithos*, 93: 248—272. doi: 10.1016/j.lithos.2006.03.067

附中文参考文献

- 陈静, 2011. 黑龙江小兴安岭区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用(博士学位论文). 长春: 吉林大学, 34—73.
- 陈衍景, 秦善, 李欣, 1997. 中国矽卡岩型金矿的成矿时间—空间—地球动力学背景和成矿模式. 北京大学学报(自然科学版), 33(4): 456—466.
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等, 2007. 兴蒙造山带东段斑岩型Cu, Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义. 科学通报, 52(20): 2407—2417.
- 郭福祥, 1998. 中国南方中新生代大地构造属性和南华造山

- 带褶皱过程. 地质学报, 72(1):22—33.
- 李碧乐, 2001. 吉林省夹皮沟地区构造、岩浆事件及其对金矿形成的控制作用研究(博士学位论文). 长春: 吉林大学, 84—105.
- 李碧乐, 孙丰月, 姚凤良, 2002. 中生代敦化—密山断裂大规模左旋平移及其对金矿床形成的控制作用. 大地构造与成矿学, 26(4):390—395.
- 李立兴, 松权衡, 王登红, 等, 2009. 吉林福安堡钼矿中辉钼矿铼—锇同位素定年及成矿作用探讨. 岩矿测试, 28(3):283—287.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等, 2000. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: I. 岩石学和同位素地质年代学. 地球化学, 29(6):513—520.
- 李延兴, 张静华, 李智, 等, 2006. 太平洋板块俯冲对中国大陆的影响. 测绘学报, 35(2):99—105.
- 王成辉, 松权衡, 王登红, 等, 2009. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼—锇同位素定年及其地质意义. 岩矿测试, 28(3):269—273.
- 肖庆辉, 王涛, 邓晋福, 等, 2009. 中国典型造山带花岗岩与大陆壳生长研究. 北京: 地质出版社, 265—288.
- 闫全人, 高山林, 王宗起, 等, 2002. 松辽盆地火山岩的同位素年代、地球化学特征及意义. 地球化学, 31(2):169—179.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等, 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14):1511—1520.
- 张文博, 1998. 吉林省大黑山条带北东段金—银成矿系列的划分. 黄金, 19(1):13—17.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华, 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. 地质科学, 29(2):105—119.

《地球科学——中国地质大学学报》2013 年参考文献著录格式

本刊参考文献采用著者—出版年制,包括“References”和“附中文参考文献”两部分,其中,“References”包括“文中引用的英文参考文献”和“附中文参考文献对应的英文翻译”,都是按参考文献作者姓氏的首字母顺序排列。

1. 文内引用参考文献:文内引用的参考文献与文后的参考文献是一一对应的。文内引用时,中文参考文献用“作者全名,年份”,英文参考文献用“作者姓,年份”。在一条参考文献中若有 3 个或 3 个以上作者,在文内仅列出一个作者,后面加“et al.”(英文文献)或“等”(中文文献);若有 2 个作者,在文内必须全部列出,并用“and”(英文文献)或“和”(中文文献)连接。文内同一位置引用多条参考文献时,按出版年从老到新的顺序排列。

2. 中文参考文献:中文参考文献要有对应的英文翻译,没有英文摘要的和有英文摘要的中文参考文献,分别在其对应的英文翻译后注明“(in Chinese)”和“(in Chinese with English abstract)”。

3. 英文参考文献:英文参考文献题目中,实词首字母全用大写,虚词首字母全用小写(句首除外)。外国作者姓名也按姓前名后顺序书写,姓用全称,名用简写,中文参考文献对应的英文翻译也按此方法。英文参考文献有 doi 号的,请放在每条英文文献的最后。

4. 未公开发表的资料或研究报告,在正文中用括号注明其详细出处。

根据参考文献种类,融合以上说明,详细示例如下:

(1) 连续出版物析出文献著录:作者(只列出前 3 名,多出的用“等”省略),年份. 题名. 期刊名,卷(期):起—止页。

例 1 (文内) ……经过几代人几十年对生物地层的潜心研究,建立了该剖面各门类生物组合,如牙形石在界线层和早三叠世自下而上划分了 5 个带(张克信等,1995; Mei et al., 1998; Tong and Yang, 1998),菊石建立了 3 个带,…… 对应的文献:

Mei, S. L., Zhang, K. X., Wardlaw, B. R., 1998. A Refined Succession of Changhsingian and Grriesbachian Neogondolellid Conodonts from the Meishan Section, Candidate of the Global Stratotype Section and Point of the Permian-Triassic Boundary. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 143: 213—226.

Tong, J. N., Yang, Y., 1998. Advance in Study of the Lower Triassic Conodonts at Meishan Section, Zhejiang Province. *Chinese Science Bulletin*, 43 (16): 1350—1353.

张克信,赖旭龙,丁梅华,等,1995. 浙江长兴煤山二叠—三叠系界线层牙形石序列及其全球对比. 地球科学——中国地质大学学报,20(6): 669—676.

Zhang, K. X., Lai, X. L., Ding, M. H., et al., 1995. Conodont Sequence and Its Global Correlation of Permian-Triassic Boundary in Meishan Section, Changxing, Zhejiang Province. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 20 (6): 669—676 (in Chinese with English abstract).

例 2 (文内) ……Mo-W 成矿作用主要出现在石英脉和石英细脉中,也出现在岩钟顶部和石英脉周围的云英岩中(Burmistrov et al., 1990),…… 对应的文献:

Burmistrov, A. A., Ivanov, V. N., Frolov, A. A., 1990. Structural and Mineralogical Types of Molybdenum-Tungsten Deposits of Central Kazakhstan. *International Geology Review*, 32(1): 92—99. doi: 10.1080/00206819009465758

(2) 专著、译著著录:著者(只列出前 3 名,多出的用“等”省略),年份. 著作名. 出版地:出版社,起—止页。

例 1 (文内) ……王尚彦和殷鸿福(2001)对贵州省威宁县哲觉剖面早三叠世卡以头组 57 层至 61 层孢粉进行了研究,从剖面上所获得的孢粉数量较少,…… 对应的文献:

王尚彦,殷鸿福,2001. 滇东黔西陆相二叠纪—三叠纪界线地层研究. 武汉:中国地质大学出版社,88.

Wang, S. Y., Yin, H. F., 2001. Study on Terrestrial Permian-Triassic Boundary in Eastern Yunnan and Western Guizhou. China University of Geosciences Press, Wuhan, 88 (in Chinese).

(3) 学位论文著录:作者,年份. 题名(硕士/博士学位论文). 保存地点:保存单位,起—止页。

例 1 (文内) ……潘少達(2009)对鄯善县阿尔沙布拉克地区小热泉子组中流纹岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年法,…… 对应的文献:

潘少達,2009. 新疆鄯善县阿尔沙布拉克地区小热泉子组火山岩构造环境和岩石成因分析(硕士学位论文). 西安:长安大学, 26—29.