陈井胜, 彭艳东, 刘淼, 等. 辽西建平烧锅营子金矿花岗岩的锆石U−Pb年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 395−409.
Chen Jingsheng, Peng Yandong, Liu Miao, et al. Zircon U−Pb geochronology, geochemical characteristics and geological significance of the pluton in the Shaoguoyingzi gold ore deposit in Jianping, western Liaoning[J]. Geology in China, 2016, 43(1): 395−409(in Chinese with English abstract).

辽西建平烧锅营子金矿花岗岩的锆石U−Pb年代学、地球化学特征及地质意义

陈井胜[1,2] 彭艳东[3] 刘 淼[1,2] 邢德和[2] 李崴崴[4]

（1.地球科学学院，吉林大学，吉林 长春 130026；2.沈阳地质调查中心，辽宁 沈阳 110034；
3.东北大学秦皇岛分校，河北 秦皇岛 066004；4.辽宁省地质矿产研究院，辽宁 沈阳 110029）

提要：辽西建平烧锅营子花岗岩岩体位于华北地台北缘朝阳—赤峰金矿成矿带，岩体周围分布着烧锅营子、撰山子等金矿床或金矿点。与金矿同源关系的岩体主要为二长花岗岩。3个不同粒度的二长花岗岩LA−ICP−MS锆石U−Pb测年结果分别为（159.1±1.5）Ma、（160.2±4.4）Ma、（160.1±1.1）Ma，表明烧锅营子岩体形成晚侏罗世早期；其周边金矿床也形成于此时期或稍晚。结合前人资料总结认为160 Ma左右是朝阳—赤峰地区一个重要的金矿成矿时期。烧锅营子花岗岩体主量元素以富Si、低Al、中偏低碱、高钾和低Mg、低Ca为特点；微量元素表现出富集Th、Zr、Nd、Rb、K和亏损Ba、Sr、P、Ti的特点，具有强烈的负Eu（δEu=0.08~0.60）、Sr异常。岩石总体上属于经历了高度结晶分异的高钾钙碱性I型花岗岩，Sr−Yb−Y元素特征显示其源区深度为30 km。晚侏罗世整个中国东部处于构造域转折期，结合区域上构造环境分析，烧锅营子岩体是太平洋板块俯冲背景下的弧后伸展环境的产物。

关 键 字：烧锅营子岩体；金矿床；锆石U−Pb年代学；地球化学；动力学背景
中图分类号：P597^{+}.3；P595 **文献标志码**：A **文章编号**：1000−3657(2016)02−0395−15

Zircon U−Pb geochronology, geochemical characteristics and geological significance of the pluton in the Shaoguoyingzi gold ore deposit in Jianping, western Liaoning

CHEN Jing−sheng[1,2], PENG Yan−dong[3], LIU Miao[1,2], XING De−he[2], LI Wei−wei[4]

(1. *College of Earth Sciences*, *Jilin University*, *Changchun* 130026, *Jilin, China;* 2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resource*, *Shenyang* 110034, *Liaoning, China;* 3. *Qinhuangdao Branch of Northeast University*, *Qinhuangdao* 066004, *Hebei, China;* 4. *Institute of Geology and Mineral Resources of Liaoning*, *Shenyang* 110029, *Liaoning, China)*

Abstract: The Shaoguoyingzi intrusion is located in the Chifeng−Chaoyang gold concentration area on the northern margin of the North China Craton, surrounded by Shaoguoyingzi and Zhuanshanzi gold deposits or gold ore spots. The lithology of the intrusion is

收稿日期：2015−3−18 **改回日期**：2015−04−21
基金项目：中国地质调查局地质大调查项目（1212011206662、12120113053400）资助。
作者简介：陈井胜，男，1983年生，博士生，工程师，矿物学、岩石学、矿床学专业；E−mail：5202268@qq.com。

monzogranite which shares the same source with the gold deposits. The zircon U−Pb age data obtained by using laser ablation ICP−MS technique are 159.1±1.5 Ma, 160.2±4.4 Ma and 160.1±1.1 Ma, which indicate that the Shaoguoyingzi intrusion was formed in Late Jurassic and the gold deposits were formed at the same time or a little later. The major and rare elements are characterized by high Si, low Al, medium alkali, poor Mg and Ca, rich Th, Zr, Nd, Rb and K and comparatively low Ba, Sr, P and Ti, with obvious negative Eu（δEu=0.08−0.60）and Sr anomalies; which indicates that the Shaoguoyingzi intrution is a high−K calc−alkaline I−type granite that has experienced a high degree of crystallization and differentiation. The depth of the source is about 30km, as shown by the characteristics of Sr−Yb−Y. This area was a tectonic transition period in late Jurassic, and the intrusion was formed by back−arc extension in the Pacific plate subduction environment, as shown by an analysis of the regional tectonic environment.

Key words: Shaoguoyingzi intrusion; gold deposit; zircon U−Pb age; characteristics of geochemistry; dynamic background

About the first author: CHEN Jing−sheng, male, born in 1983, engineer, doctor, majors in mineralogy, petrology and economic geology; E−mail: 5202268@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 1212011206662,12120113053400).

赤峰—朝阳金矿化集中区是中国重要的金矿产地之一，一直是研究的热点[1−3]，区内已发现大中型金矿床4处，小型金矿床10余处，金矿化点200余处[4]。前人对区内典型金矿的研究认为，与金成矿关系最为密切的是燕山期侵入体[1−2,5−13]。对金厂沟梁金矿、二道沟金矿、郝杖子金矿、小塔子沟金矿及东五家子金矿的研究表明，金矿床受中心岩体的控制作用，分布在中心岩体周围特定的空间位置[9−10,14]。陈勇等运用证据权方法对本区进行综合信息金矿成矿预测，认为该区还具有105 t金的潜在资源量，具有非常好的找矿前景[15−17]，所以对本区燕山期侵入体的研究对区域上金矿的找矿工作具有重要的指导意义。烧锅营子金矿区处于赤峰—朝阳金矿化集中区，乌克朝、张家沟、孟家沟（张家沟与孟家沟合起来也叫松岭金矿）、霍家地、偏山线及烧锅营子（黑水）金矿产于烧锅营子岩体南部内接触带[18−20]，笔者在此区域进行区域地质调查时，又新发现了山前与水泉沟2处金矿化点也处于岩体内接触带（图1），梨树沟金矿及撰山子金矿产于此岩体外接触带，这些金矿的成因与烧锅营子岩体关系密切[21−28]。结合前人对金厂沟梁、二道沟、郝杖子、安家营子等金矿的研究结果，即在中心岩体的控制作用下，金矿床分布在中心岩体周围特定的空间位置[9−10]，因此对烧锅营子岩体的研究对本区地表、深部金矿找矿工作具有重要意义。

前人对烧锅营子地区矿床开展过研究工作，在该区花岗岩体特征、矿田构造特征、矿床地质特征、矿物标型特征、矿床成因[29−35]及构造控矿规律[18]等方面取得了重要成果。前人研究结果表明，烧锅营子岩体形成于燕山期早期，岩体与金矿脉体为同时、同源的产物[34]，确定岩体时代即为金矿成矿时代，但对其形成时代一直缺乏精确、可靠的年代学制约。故本文主要报道烧锅营子岩体的高精度锆石U−Pb年代学研究结果，以此限定烧锅营子金矿的形成时代，并结合花岗岩岩石地球化学特征，探讨岩石成因及其动力学背景，对华北克拉通北缘金矿床的成矿背景具有重要意义，为区域上此种类型岩体周边的金矿勘察提供岩石学依据。

1 地质概况及样品特征

烧锅营子岩体位于内蒙古自治区东南和辽宁省西部的交界位置，构造位置处于华北克拉通北缘中段，其北紧邻兴蒙造山带。烧锅营子岩体位于辽宁省建平县境内，向西距离赤峰约50 km（图1）。该岩体呈岩基状构成烧锅营子隆起主体，面积达388 km^2。前人研究❶描述岩体中央相主要由粗−中粗粒黑云母花岗岩组成；边缘相多为细粒二长岩类。岩体因受构造破坏形状极不完整，其侵入古元古代宝音图群（Pt_1by）、二叠系三面井组（P_1sm）、额里图组（P_1e）并使其发生硅化、绿帘石化等；在岩体与孙家湾组（K_2sj）接触位置发育有断层，岩体与断层一起被孙家湾组（K_2sj）角度不整合覆盖（图1）。对于此岩体年代学研究还未见报道，仅根据其接触关系，认为烧锅营子花岗岩是燕山期的侵入体。

笔者在此区域进行1∶5万区域地质调查时发现，该花岗岩体岩石类型较单一，仅出露二长花岗岩，边缘相为细粒二长花岗岩，往中心粒度逐渐变

❶辽宁地质局第二区域地质测量队.1∶20万敖汉旗幅区调地质调查报告[R]. 1976.

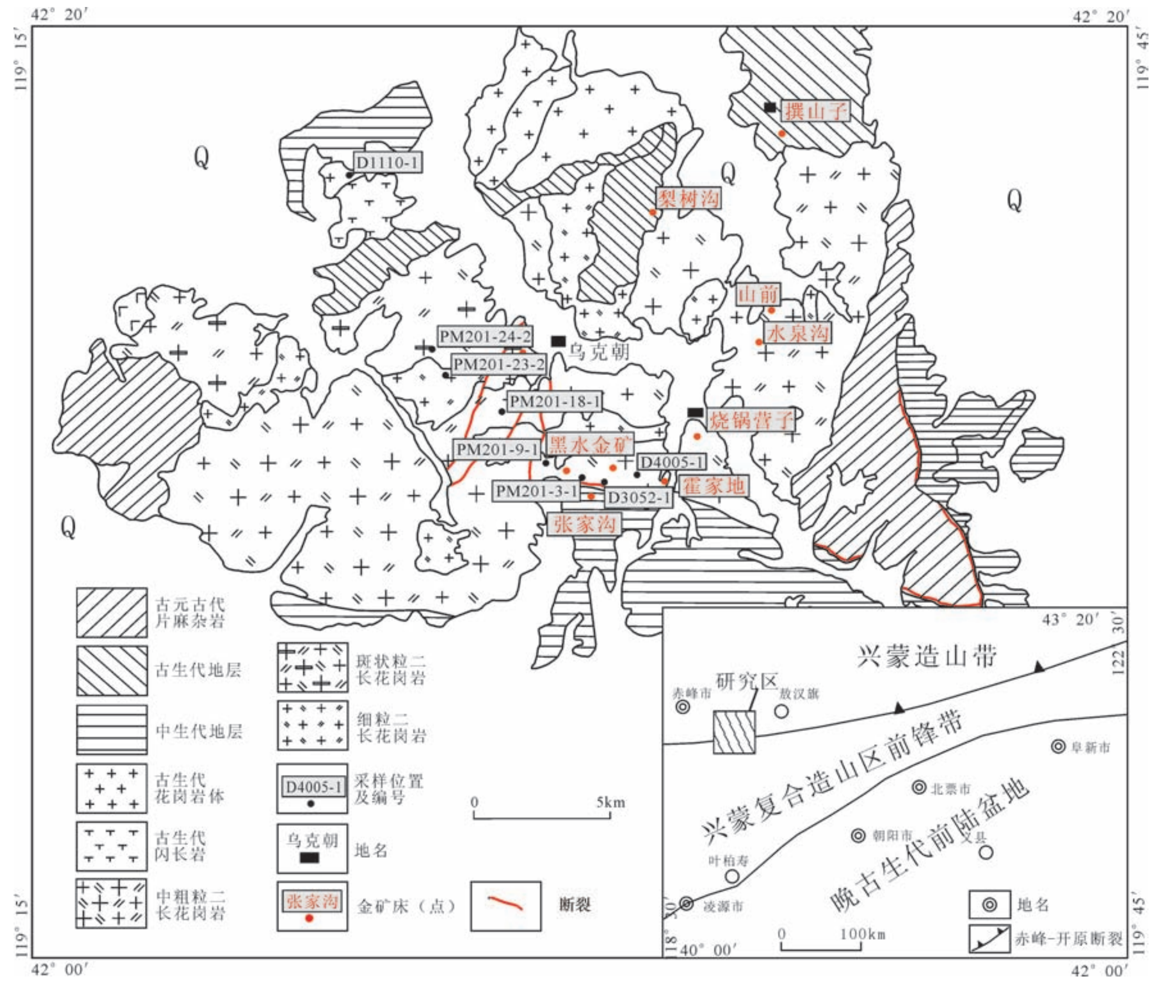

图1 烧锅营子地区地质简图

Fig.1 Simplified geological map of Shaoguoyingzi area

为中粗粒二长花岗岩，逐渐过渡为有粒径1~2 cm的似斑晶的斑状二长花岗岩。岩石风化面灰褐色，新鲜面浅肉红色，半自形粒状结构，块状构造。主要矿物成分为石英（25%~27%），颗粒大小不均一，波状消光明显，表面干净；斜长石（30%~35%）呈半自形粒状，粒径约为1 mm，聚片双晶发育，一般作为基质成分，多蚀变为绢云母和粘土矿物；碱性长石（30%~35%）多为斑晶，主要为正长石、条纹长石以及微斜长石等，镜下可见简单双晶和格子双晶，呈宽板状，颗粒较大约为3~5 mm×10~15 mm，斑晶周围可看到石英和长石形成的蠕虫结构；暗色矿物有少量黑云母（5%~8%）出现，副矿物有锆石、磷灰石、榍石及磁铁矿等。

2 锆石年代学

2.1 样品制备及测试

本文采集的样品采用常规方法进行粉碎、筛选、清洗和烘干，然后采用磁选和重液分选出锆石晶体，随后在双目镜下挑选透明度和晶形较好、无明显裂痕的锆石颗粒置于双面胶上，灌上环氧树脂制靶，固化后打磨抛光使锆石内部结构暴露，用于透射光、反射光、阴极发光（CL）锆石图像采集和锆石原位单点U-Pb定年。样品的破碎和锆石挑选由河北省廊坊市宇能矿物分选有限公司完成，背散射图像在吉林大学完成，锆石阴极发光图像（CL）采集在中国科学院地质与地球物理研究所完成。

表1 烧锅营子侏罗纪花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of Jurassic granites of Shaoguoyingzi intrusion

样品号及分析点号	含量 /10^{-6}			Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma	
	Pb	Th	U		$^{207}Pb/^{235}U$	±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	±1σ
PM201-18-1-01	4.95	119	167	0.71	0.16675	0.00722	0.02455	0.00034	156	2
PM201-18-1-02	8.26	221	274	0.81	0.16489	0.00494	0.02444	0.00032	156	2
PM201-18-1-03	4.50	126	145	0.87	0.16819	0.00581	0.02471	0.00034	157	2
PM201-18-1-04	13.28	317	438	0.72	0.16942	0.00438	0.02517	0.00032	160	2
PM201-18-1-05	5.30	126	173	0.72	0.17082	0.00724	0.02519	0.00034	160	2
PM201-18-1-06	14.07	455	419	1.09	0.17498	0.00451	0.02556	0.00033	163	2
PM201-18-1-07	11.44	309	352	0.88	0.17972	0.00514	0.02619	0.00034	167	2
PM201-18-1-08	17.10	544	509	1.07	0.17461	0.00416	0.02578	0.00033	164	2
PM201-18-1-09*	3.19	65.7	113	0.58	0.17283	0.00834	0.02406	0.00035	153	2
PM201-18-1-10	5.34	122	170	0.71	0.17285	0.00634	0.02590	0.00036	165	2
PM201-18-1-11	16.05	592	469	1.26	0.21578	0.00580	0.02546	0.00033	162	2
PM201-18-1-12	5.72	143	188	0.76	0.16947	0.00612	0.02493	0.00034	159	2
PM201-18-1-13	8.36	252	268	0.94	0.16883	0.00601	0.02457	0.00032	156	2
PM201-18-1-14	10.13	343	317	1.08	0.16706	0.00485	0.02429	0.00032	155	2
PM201-18-1-15	3.99	90.9	133	0.68	0.17355	0.00670	0.02505	0.00035	159	2
PM201-18-1-16	7.35	220	236	0.93	0.16600	0.00584	0.02447	0.00033	156	2
PM201-18-1-17	8.38	254	273	0.93	0.16664	0.00614	0.02442	0.00033	156	2
PM201-18-1-18	6.62	221	202	1.09	0.17259	0.00570	0.02503	0.00034	159	2
PM201-18-1-19	3.85	103	119	0.87	0.17660	0.00829	0.02583	0.00038	164	2
PM201-18-1-20	5.74	127	199	0.64	0.16608	0.00771	0.02459	0.00034	157	2
PM201-18-1-21*	6.30	220	204	1.08	0.16453	0.00675	0.02378	0.00032	152	2
PM201-18-1-22	4.08	129	127	1.01	0.17067	0.00668	0.02501	0.00036	159	2
PM201-18-1-23	3.01	63.4	103	0.62	0.18094	0.00881	0.02526	0.00037	161	2
PM201-18-1-24	6.59	197	212	0.93	0.17094	0.00560	0.02495	0.00034	159	2
PM201-18-1-25	7.16	281	211	1.34	0.17404	0.00750	0.02495	0.00035	159	2
PM201-23-2-01	334	1507	5946	0.25	0.15713	0.02035	0.02475	0.00031	158	2
PM201-23-2-02	320	1141	5761	0.20	0.17550	0.02705	0.02694	0.00039	171	2
PM201-23-2-03*	380	4655	10128	0.46	0.25210	0.00697	0.03400	0.00042	216	3
PM201-23-2-04*	320	3304	6195	0.53	0.33579	0.02990	0.02895	0.00045	184	3
PM201-23-2-05	212	914	4029	0.23	0.16154	0.02262	0.02544	0.00034	162	2
PM201-23-2-06*	340	17226	5623	3.06	1.23567	0.02925	0.03348	0.00040	212	2
PM201-23-2-07*	591	9656	4195	2.30	0.57858	0.14024	0.02485	0.00106	158	7
PM201-23-2-08*	583	11508	6497	1.77	0.28845	0.08579	0.01465	0.00063	94	4
PM201-23-2-09*	280	3030	5427	0.56	0.34036	0.02896	0.02888	0.00044	184	3
PM201-23-2-10*	395	1537	9655	0.16	0.21329	0.01401	0.03092	0.00039	196	2
PM201-23-2-11*	308	2840	5166	0.55	0.30085	0.04527	0.02575	0.00050	164	3
PM201-23-2-12*	252	3646	7962	0.46	0.22015	0.00989	0.02581	0.00033	164	2
PM201-23-2-13	251	2367	9365	0.25	0.17219	0.00421	0.02575	0.00031	164	2
PM201-23-2-14*	613	23529	14522	1.62	0.59743	0.02555	0.02759	0.00042	175	3
PM201-23-2-15*	632	12782	15185	0.84	0.27754	0.02088	0.02441	0.00035	155	2
PM201-23-2-16*	153	2196	5368	0.41	0.27504	0.00891	0.02540	0.00031	162	2
PM201-23-2-17*	161	1145	2577	0.44	0.26152	0.04771	0.02475	0.00050	158	3
PM201-23-2-18	245	1674	9684	0.17	0.16874	0.00430	0.02481	0.00030	158	2
PM201-23-2-19*	222	4229	4676	0.90	0.44419	0.02815	0.02698	0.00042	172	3
PM201-23-2-20	236	991	7884	0.13	0.15736	0.00888	0.02414	0.00031	154	2
PM201-23-2-21	114	821	3920	0.21	0.18843	0.01040	0.02443	0.00033	156	2
PM201-23-2-22	306	1411	5173	0.27	0.20140	0.04186	0.02374	0.00044	151	3
PM201-23-2-23*	332	27370	7385	3.71	0.65512	0.01808	0.02573	0.00033	164	2
PM201-23-2-24*	230	2743	6096	0.45	0.30251	0.01782	0.02625	0.00036	167	2
PM201-23-2-25	219	1762	8219	0.21	0.18781	0.00498	0.02562	0.00031	163	2
PM201-24-2-01	16.77	307	592	0.52	0.16767	0.00444	0.02497	0.00032	159	2
PM201-24-2-02*	104.57	254	247	1.03	4.94269	0.09158	0.32261	0.00396	1802	19
PM201-24-2-03*	38.03	1070	1271	0.84	0.23046	0.00449	0.02517	0.00031	160	2
PM201-24-2-04	47.14	1206	1490	0.81	0.18661	0.00380	0.02551	0.00032	162	2
PM201-24-2-05	87.85	1107	3236	0.34	0.17725	0.00312	0.02497	0.00031	159	2
PM201-24-2-06	33.94	874	1132	0.77	0.17563	0.00442	0.02451	0.00032	156	2
PM201-24-2-07	74.76	983	2789	0.35	0.17468	0.00310	0.02490	0.00031	159	2
PM201-24-2-08*	9.43	339	150	2.26	0.27885	0.00859	0.03847	0.00051	243	3
PM201-24-2-09	10.97	193	390	0.50	0.17345	0.00643	0.02487	0.00035	158	2
PM201-24-2-10	8.92	192	315	0.61	0.17636	0.00536	0.02471	0.00032	157	2
PM201-24-2-11	29.06	465	1032	0.45	0.17075	0.00361	0.02542	0.00032	162	2
PM201-24-2-12	8.34	155	295	0.52	0.17366	0.00563	0.02484	0.00033	158	2
PM201-24-2-13	81.17	662	3132	0.21	0.16708	0.00305	0.02508	0.00031	160	2
PM201-24-2-14	15.76	336	542	0.62	0.17307	0.00464	0.02510	0.00032	160	2
PM201-24-2-15*	12.65	213	287	0.74	0.27533	0.00991	0.03644	0.00050	231	3
PM201-24-2-16	15.00	311	514	0.60	0.17279	0.00438	0.02533	0.00033	161	2
PM201-24-2-17*	137.98	1390	3357	0.41	0.26630	0.00469	0.03726	0.00046	236	3
PM201-24-2-18*	45.07	782	1402	0.56	0.19680	0.00386	0.02888	0.00036	184	2
PM201-24-2-19	74.10	949	2786	0.34	0.17013	0.00312	0.02490	0.00031	159	2
PM201-24-2-20	61.96	677	2301	0.29	0.18470	0.00337	0.02577	0.00032	164	2
PM201-24-2-21*	6.61	107	201	0.54	0.20478	0.00706	0.02936	0.00040	187	3
PM201-24-2-22	9.38	200	314	0.64	0.17883	0.00632	0.02595	0.00036	165	2
PM201-24-2-23	4.73	70.6	172	0.41	0.17319	0.00746	0.02535	0.00035	161	2
PM201-24-2-24	62.00	873	2284	0.38	0.18201	0.00338	0.02516	0.00031	160	2
PM201-24-2-25	40.71	955	1419	0.67	0.17470	0.00361	0.02527	0.00032	161	2

注:*样品为调谐度太大剔除样品。

表2 烧锅营子花岗岩体主量元素（%）、微量元素及稀土元素（10^{-6}）分析结果

Table 2 Major element (%), rare element and trace element(10^{-6}) composition of Shaoguoyingzi intrusion

分析项目	D3052-1	D4005-1	PM201-18-1	PM201-3-1	PM201-9-1	D1110-1	PM201-23-2	PM201-24-2
	中粗粒黑云母二长花岗岩					细粒黑云母二长花岗岩		斑状黑云母二长花岗岩
SiO_2	74.94	73.99	75.12	76.13	77.80	75.67	75.98	75.90
TiO_2	0.08	0.12	0.15	0.14	0.07	0.09	0.13	0.21
Al_2O_3	12.65	12.73	12.56	12.55	11.37	12.05	12.26	12.30
TFe_2O_3	1.47	1.84	0.40	0.75	0.31	1.14	1.96	0.71
FeO	0.70	1.15	2.05	0.97	1.64	0.61	1.51	1.42
MnO	0.03	0.04	0.08	0.02	0.11	0.02	0.07	0.06
MgO	0.14	0.21	0.24	0.19	0.21	0.12	0.19	0.36
CaO	1.02	0.82	0.24	0.62	0.85	0.35	0.62	1.24
Na_2O	4.03	3.97	3.21	3.37	2.91	3.62	3.65	3.63
K_2O	4.89	4.67	5.12	4.85	4.34	5.13	5.02	3.76
P_2O_5	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
LOI	0.57	0.42	0.43	0.13	0.04	0.51	0.04	0.08
K_2O+Na_2O	8.92	8.64	8.32	8.22	7.25	8.75	8.67	7.39
K_2O/Na_2O	1.21	1.18	1.60	1.44	1.49	1.42	1.38	1.03
A/CNK	0.92	0.97	1.12	1.05	1.03	0.99	1.01	1.00
A/NK	1.06	1.10	1.16	1.16	1.20	1.05	1.08	1.22
分异指数(*DI*)	93.89	92.41	92.68	93.50	91.53	96.03	92.88	89.79
La	22.50	17.6	30.96	32.37	15.42	25.19	52.20	30.53
Ce	44. 90	38.10	64.10	94.95	29.92	58.52	105.76	69.95
Pr	5.60	4.13	6.55	6.92	3.41	5.27	13.10	6.94
Nd	19.60	15.10	21.70	22.90	11.30	17.40	51.95	23.05
Sm	4.29	3.43	3.62	3.69	2.44	3.35	9.01	4.79
Eu	0.38	0.63	0.29	0.17	0.20	0.46	1.63	0.32
Gd	2.77	2.30	3.06	3.22	1.53	2.26	6.00	3.60
Tb	0.56	0.46	0.40	0.39	0.24	0.37	0.85	0.53
Dy	4.44	4.30	2.62	1.87	1.80	2.60	4.23	4.38
Ho	0.89	0.88	0.55	0.36	0.44	0.54	0.75	1.03
Er	2.20	2.14	1.53	0.92	1.25	1.32	1.97	2.92
Tm	0.47	0.49	0.26	0.16	0.19	0.26	0.27	0.57
Yb	2.09	2.07	1.58	0.95	1.05	1.60	1.84	3.37
Lu	0.44	0.41	0.27	0.15	0.19	0.24	0.28	0.54
ΣREE	111.12	92.06	137.54	169.04	69.39	119.40	249.84	152.53
LREE/HREE	7.02	6.06	12.38	20.09	9.40	11.98	14.43	8.00
$(La/Yb)_N$	5.40	4.40	14.06	24.46	10.49	11.28	1.45	6.50
δEu_N	0.31	0.60	0.32	0.20	0.33	0.54	0.08	0.23
Y	27.42	24.77	14.72	10.96	12.21	15.50	18.99	27.76
K	40552	38734	42444	40228	36038	42593	41680	31175
Ti	473.60	731.39	917.23	851.29	437.63	515.57	761.36	1240.96
P	15.27	48.00	74.18	52.37	65.46	0.00	48.00	218.19
Hf	4.23	3.70	6.73	10.07	13.61	2.88	3.89	5.84
Ta	2.73	3.17	7.85	5.24	1.98	2.67	0.57	3.05
Rb	205.95	93.71	218.26	109.66	164.76	397.07	180.11	294.73
Li	7.50	8.16	10.55	3.44	6.31	1.20	12.33	57.80
Be	5.65	3.43	1.87	1.92	6.00	2.39	2.92	7.22
Sc	6.00	5.65	4.38	4.04	4.03	4.39	4.57	4.99
Th	23.60	20.83	16.93	4.95	5.70	8.50	11.51	29.43
U	2.37	2.61	2.72	1.26	14.36	2.27	1.80	4.95
Ba	125.36	334.46	231.53	201.33	226.41	81.26	222.67	212
Co	2.095	2.11	2.30	0.44	0.95	1.72	1.37	3.07
Cr	6.44	6.21	8.61	4.69	8.95	6.87	5.10	12.51
Nb	34.29	17.16	15.46	12.47	16.85	12.95	15.80	29.75
Ni	2.11	4.10	0.62	0.04	0.77	2.78	2.53	0.83
Sr	36.97	74.76	44.74	92.98	93.06	39.25	48.92	99.74
V	1.79	3.46	6.23	1.55	2.43	6.45	1.81	6.38
Zr	90.58	87.30	126.73	142.16	63.99	67.71	105.12	138.77

样品锆石U-Pb同位素定年是由中国地质大学（北京）科学研究院地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。分析仪器为由激光（波长193 nm）剥蚀进样系统（UPI93SS）和Agilent 7500a型四级杆等离子质谱仪联合构成的激光等离子质谱仪（LA-ICP-MS）。采用He作为剥蚀物质的载气，激光器工作频率为10 Hz。测试点的激光束斑直径为36 μm，剥蚀时间为45 s。锆石U-Pb及年龄标准选用标准锆石91500，使用锆石中含量稳定^{29}Si作为内标，以标准锆石TEMORA（416±5）Ma和QH（160±1）Ma作为辅助变样。锆石U-Pb同位素比值由ICP-MS测定，比值采用GLITTER 4.4程序，年龄计算采用国际标准程序Isoplot/Ex(3.0)。普通铅校正方法同Anderson[36]。实验过程参见徐平文献[37]。实验测试结果列于表1。同时对烧锅营子岩体样品进行了主量元素、微量元素和稀土元素测定，测试在

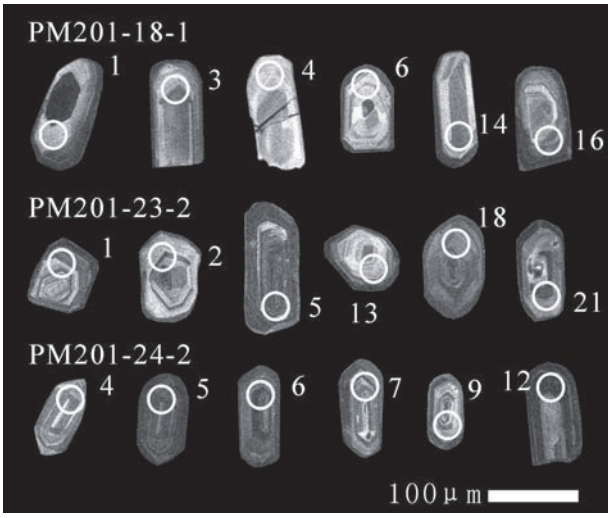

图2 烧锅营子岩体锆石CL显微图像
Fig.2 Zircon CL microscopic images of Shaoguoyingzi intrusion

国土资源部沈阳地质调查中心检测分析中心完成，数据列于表2。

2.2 定年结果

本文对取自烧锅营子花岗岩体的3个样品进行了锆石U−Pb同位素测年，测试结果见表1。由于所测定的岩石形成于中生代，其结果以 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄计算，年龄误差为2σ。

样品PM201−18−1，岩性为中粗粒黑云母二长花岗岩。从CL阴极发光图像可以看出锆石的晶型好，多为短柱状（长宽比多为4∶1），具有较清晰的内部结构，岩浆振荡型环带发育（图2）。锆石的Th/U比值较高，分布在0.64~1.34，这些特征指示锆石为典型的岩浆锆石[38−40]。该样品共进行了25个锆石颗粒的测定，9号点与11号点调谐度比较高，故在作图中舍掉。其余23个点测试结果位于谐和线上及其附近，数据变化范围小，数据点成群分布，具有很好的谐和度（图3−a），指示这些锆石为同一期岩浆事件形成的。这些锆石的年龄代表了岩石的形成年龄。$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为（159.1±1.5）Ma（n=23），MSDW=2.9，代表了样品PM201−18−1岩浆结晶年龄。

样品PM201−23−2，岩性为细粒黑云母二长花岗岩。从分析结果可以看出（表1），此样品的Pb、Th、U含量都很高，锆石的Th/U比值比较低，分布在0.13~0.21，但并没有＜0.1，而且锆石晶型良好，多为柱状，边部为棱角状，具有典型的岩浆振荡型环带，显示其岩浆成因特征[40−41]。该样品共进行了25个锆石颗粒的测定。由于16个点的调谐度都很高，仅有9个点在谐和曲线上，但是分布稍微有些离散（图3−b）。$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为(160.2±4.4) Ma，MSDW=7.7，代表了细粒黑云母二长花岗岩结晶年龄。

样品PM201−24−2，岩性为斑状黑云母二长花岗岩。锆石晶型良好，多为柱状，具有岩浆振荡型环带，锆石的Th/U比值较高（0.21~0.81），显示岩浆成因特征[38−40]。该样品共进行了25个锆石颗粒的测定，其中3号点调谐度很高故舍掉，2、8、15、17、18、21等6个点数据年龄为(1802±19) Ma、(243±3) Ma、(231±3) Ma、(236±3) Ma、(184±2) Ma和(187±3) Ma，为捕获锆石（图3−c）。其余18个点均在谐和曲线上或附近（图3−d）。$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为(160.1±1.1) Ma，MSDW=1.3，代表了样品PM201−24−2岩浆结晶年龄。

3 岩石地球化学特征

选择了8个样品进行了主量元素、微量元素和稀土元素测定，测试在国土资源部沈阳地质调查中心检测分析中心完成，数据列于表2。

3.1 主量元素

该区花岗岩高 SiO_2 含量（73.99%~77.8%），分异指数 *DI* 为89.79~96.03，显示岩石经历了高分异演化；*A/CNK* 值介于0.91~1.11，属于过铝质到准铝质花岗岩（图4−a）；碱含量中等偏低，K_2O+Na_2O=7.39%~8.92%，K_2O 含量较高（3.7%~5.1%），K_2O/Na_2O 介于1.03~1.59；Fe、Mg、Ti氧化物含量相对较低。在 SiO_2-K_2O 图解（图4−b），8个样品基本落入了中钾—高钾钙碱性系列中。上述特点显示该地区花岗岩具有富硅、略富铝、高钾、低镁、钠、贫钙的特征。

3.2 稀土元素

岩石稀土总量ΣREE除1个样品较高（249.84×10^{-6}）外，其他稀土总量都比较低，92.06×10^{-6}~169.03×10^{-6}，平均含量为 137.61×10^{-6}。轻重稀土比值为6.06~20.09，在稀土元素球粒陨石标准化图解上（图5−a）可以看出，轻重稀土分馏明显，重稀土呈比较平坦分布。δEu为0.08~0.60，具有中等−比较

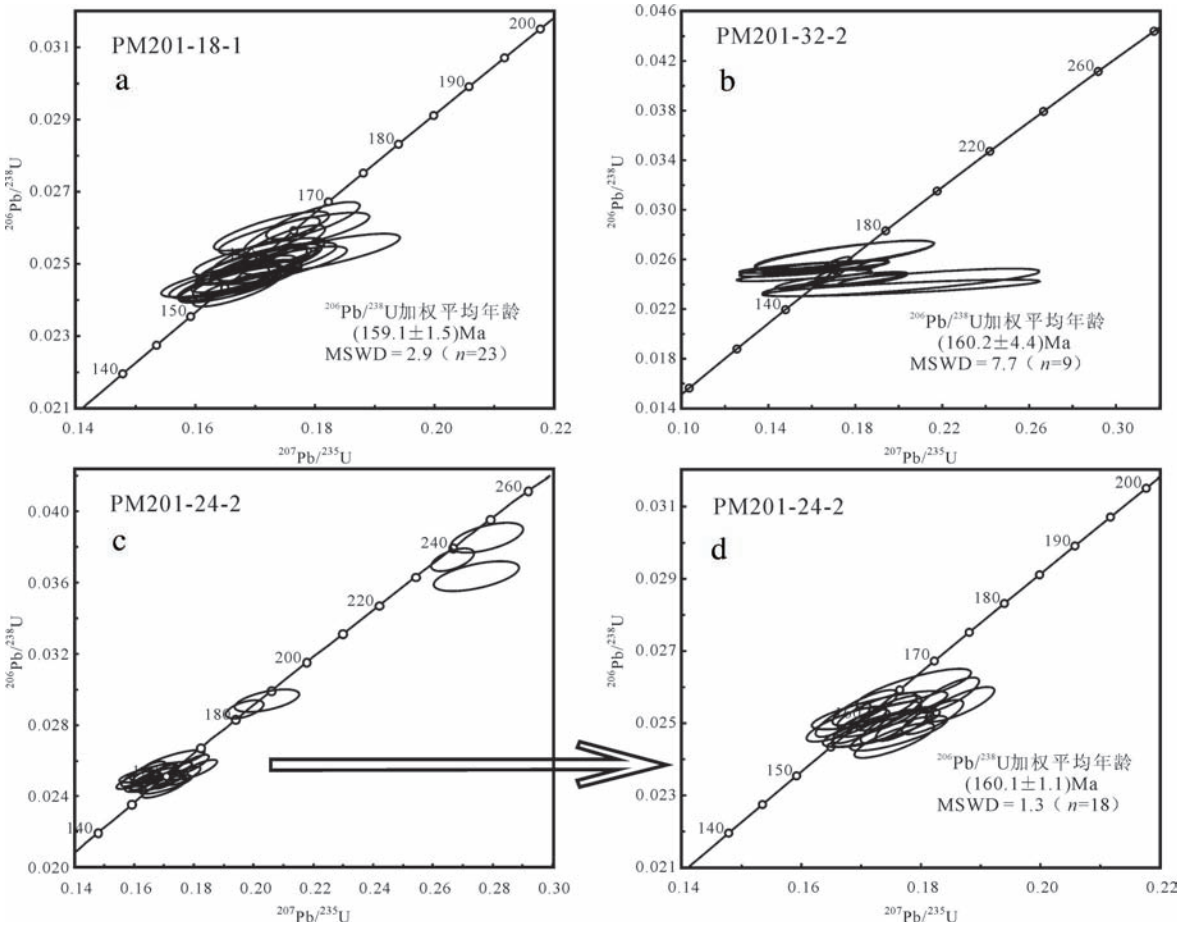

图3 烧锅营子岩体花岗岩锆石U-Pb年龄谐和图

Fig.3 U-Pb concordia diagram of zircons from granites in Shaoguoyingzi intrusion

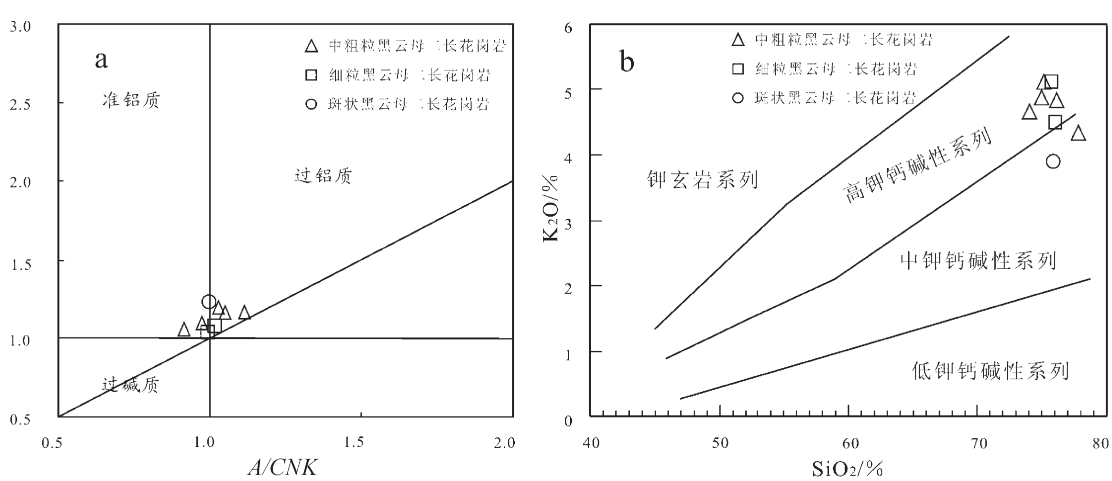

图4 烧锅营子岩体的*A/CNK*-*A/NK*(a)及 SiO_2-K_2O(b)图解

Fig.4 *A/CNK*-*A/NK* (a) and SiO_2-K_2O (b) patterns of Shaoguoyingzi intrusion

强烈的负铕异常。

3.3 微量元素

在原始地幔蛛网图上可以看出(图5-b),烧锅营子岩体具有富集高场强元素Th、Zr、Nd和Rb、K,相对亏损大离子亲石元素Nb、Sr和P、Ti,显示在岩浆演化过程中存在长石类矿物或Fe-Ti氧化物等矿物

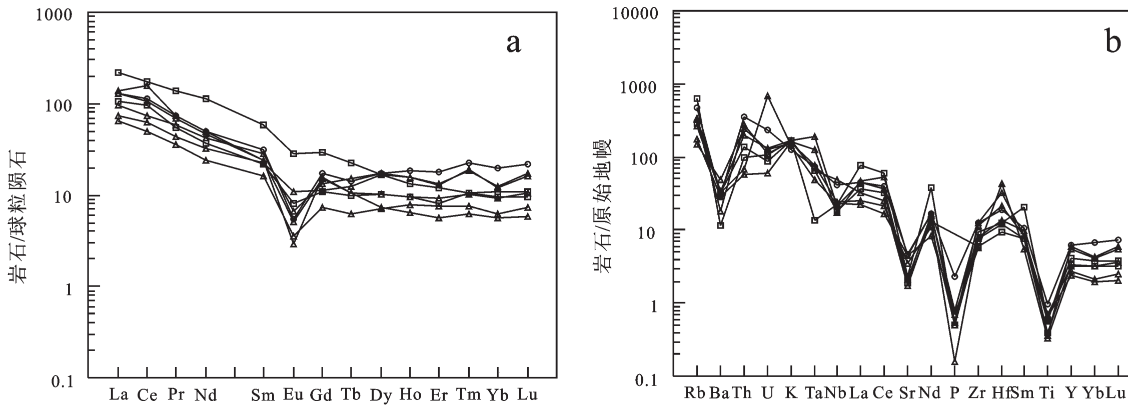

图5 烧锅营子花岗岩稀土元素配分曲线(a)和微量元素蛛网图(b)(图例同图4)
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements spidergrams (b) of Shaoguoyingzi intrusion

的强烈结晶分异。具有低的Sr含量($36.97×10^{-6}$~$99.74×10^{-6}$)、低Yb($0.94×10^{-6}$~$3.36×10^{-6}$)含量,显示出强烈的负Sr异常。

4 讨 论

4.1 花岗岩的形成年龄及其对成矿作用时代的制约

通过锆石U-Pb测试结果可以看出烧锅营子岩体3个年龄在误差范围内一致,由此可知,烧锅营子地区侏罗纪不同结构的二长花岗岩均形成于160 Ma左右,时代为晚侏罗世早期。前人通过总结认为金成矿作用通常大体同时或稍晚于各自区内最后一次花岗质岩浆作用的时间[14,42]。烧锅营子岩体周边的金矿化与烧锅营子岩体于时间、空间及成因上呈现出同源联系[34],因此,烧锅营子岩体周边金矿床(点)的形成时代为160 Ma或稍晚。

朝阳—赤峰金矿区其他金矿床研究结果显示,金矿成矿时代主要为早白垩世。区内代表性的金矿床金厂沟梁—二道沟金矿田内金矿化作用发生在123~116 Ma[14],安家营子金矿田形成年龄为132~126 Ma[9]。在华北地台北缘其他金矿的重要成矿时代也是这个时期[43-45]。从表3和图6可以看出,朝阳—赤峰地区金矿大规模成矿作用发生在245~237 Ma、132~123 Ma两个时间段。

本文研究的烧锅营子岩体时代为晚侏罗世,其周边的金矿点也是此时代形成,而在华北地台北缘还未见此时期的金矿床。但在整个中国东部,此时期与金矿有关的花岗岩体分布比较多。胶东地区

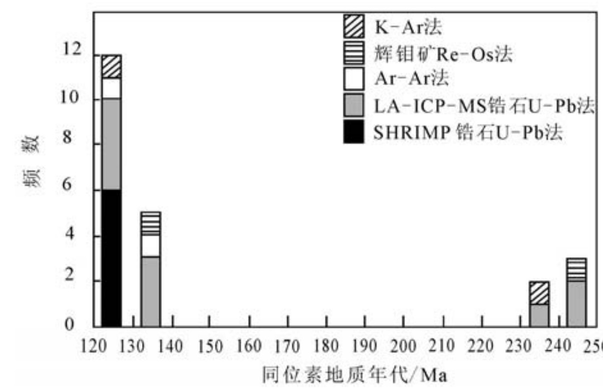

图6 赤峰-朝阳地区主要金矿床同位素年龄直方图
Fig.6 Histogram of the geochronological data of the major gold deposits in Chifeng-Chaoyang area

晚侏罗世是重要的金矿形成时代[46],例如玲珑花岗岩形成时间为158.5 Ma[47];在中国东北部160 Ma左右也是金矿重要成矿时代[48],夹皮沟金矿斑状二长花岗岩158~168 Ma[49]、花岗闪长岩153 Ma[48],海沟岩体二长花岗岩167 Ma[50],海沟金矿成矿年龄为165~170 Ma[51]。韩世炯等总结中国东北部陆缘的金矿成矿时代分为170~160 Ma、130~110 Ma、110~90 Ma 3个时间段[48],这段与胶东地区成矿时代(160~141 Ma、130~110 Ma、105~81 Ma)[46]十分耦合,说明中国东部地区金矿主要的成矿时期除早白垩世外[52],还存在一期160 Ma左右的金的成矿作用。

因此,结合前人资料总结认为朝阳—赤峰地区金矿成矿时代除了245~237 Ma、132~123 Ma两个时间段外,可能在160 Ma左右也存在一期金的富集

表3 朝阳—赤峰地区金矿成矿年龄统计

Table 3 Statistics of metallogenic ages of gold deposits in Chifeng-Chaoyang area

矿床名称	测试样品	测试方法	年龄/Ma	资料来源
金厂沟梁	对面沟辉钼矿	辉钼矿 Re-Os	131.45±0.93	候万荣 [53]
	西矿区辉钼矿	辉钼矿 Re-Os	243.5±1.3	
	与58号脉相互穿插的黑云粗安岩脉	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	131.7±1.1	
	与成矿关系密切的大庙岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	245±1	孙珍军 [42]
	与金矿关系密切闪长斑岩墙	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	126～124	苗来成 [45]
二道沟	蚀变矿物绢云母	Ar-Ar	140±2.8	庞奖励 [54]
	成矿区闪长玢岩脉	SHRIMP 锆石 U-Pb	126±1	苗来成 [14]
撰山子	与成矿关系密切撰山子岩体	K-Ar	123	魏存弟 [55]
	与矿化同期的撰山子岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	245.8±3.1	孙珍军 [42]
东风	赋矿围岩-梅林岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	1699.6±6.9	
奈林沟	赋矿围岩安山岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	125.5±0.87	
	赋矿围岩安山岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	124.7±1.2	内部数据
红花沟	与成矿有关的闪长岩脉	K-Ar	237	佘宏全 [56]
小塔子沟		LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	239±2/233±4	宋维民 [57]
安家营子	赋矿围岩-安家营子岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	132～138	李永刚 [9]
	穿切矿体的流纹斑岩脉	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	124.9～126.5	
			124～122	Trumbul [58]
	粗粒似斑状二长花岗岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	132±5～126±1	孙珍军 [42]
排楼山	前变形的闪长玢岩脉	SHRIMP 锆石 U-Pb	126±2	罗镇宽 [44]
	变形花岗斑岩脉	SHRIMP 锆石 U-Pb	124±1	
	成矿后的闪长玢岩脉	SHRIMP 锆石 U-Pb	125±1	
	大石头沟黑云母花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	124±1	
	矿石中蚀变黑云母	Ar-Ar	124.4±0.4	骆辉等 [59]

成矿。这3个时间段与赤峰—朝阳地区中生代3期岩浆作用在时间上耦合[42]。

4.2 岩体成因及源区特征

主量元素特征显示烧锅营子岩体花岗岩具有富硅、略富铝、高钾、低镁、钠、磷、贫钙的特征，铝饱和指数（A/CNK）仅有一个大于1.1，其余为0.92~1.05，因此不具备S型花岗岩特征，而中低碱含量，低钠含量，也不具备A型花岗岩特征。岩体显示出高钾特征（图4-a），稀土元素表现出轻、重稀土元素的明显分异且均具有Eu负异常，稀土元素配分曲线显示出右倾V字型波谷状特征，结合其矿物组合特征判断出烧锅营子岩体为高钾钙碱性I型花岗岩[60]。烧锅营子岩体具有富集高场强元素Th、Zr、Nd和Rb、K，相对亏损大离子亲石元素Nb、Sr和P、Ti，显示在岩浆演化过程中存在长石类矿物或Fe-Ti氧化物等矿物的强烈结晶分异。明显的Sr负异常及负Eu异常，表明源区具有斜长石残留，或可能在岩浆演化结晶过程中发生明显的斜长石分离结晶作用。

Sr对于石榴石和辉石是强不相容元素，而HREE和Y对于石榴石是强相容元素，因此与石榴石平衡的花岗岩富Sr，相应的Sr/Yb和Sr/Y比值高，形成于高压环境[61-63]。Hollocher and Robinson的模拟计算也表明，低Sr花岗岩的源岩无石榴石出现，形成在相对低的压力下（<10 kbar）[64]。张旗等[65-66]总结认为从非常低Sr高Yb型→低Sr高Yb型→低Sr低Yb型→高Sr低Yb型花岗岩，其源区深度可能是增加的。烧锅营子侏罗系花岗岩体具有低Sr、低Yb、Y（表2）含量的特点，在Yb-Sr（图7）演化图解上，处于低Sr低Yb区，说明岩体形成于低压环境，

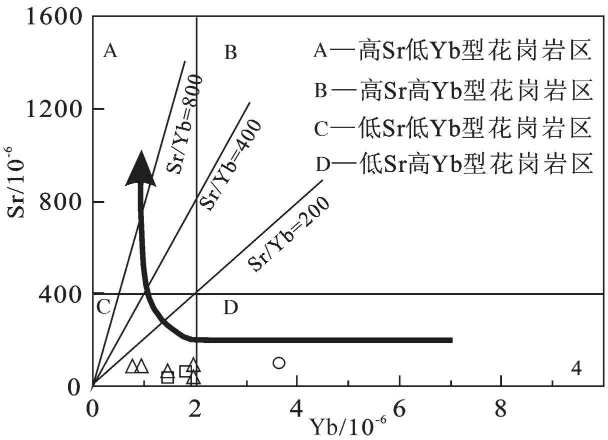

图7 烧锅营子岩体Sr−Yb图(图例同图4)
Fig.7 Sr−Yb diagram of Shaoguoyingzi intrusion (legends as for Fig. 4)

花岗岩岩体源区较浅,深度可能为30 km左右[65]。

4.3 岩体形成的动力学背景

目前对冀北—辽西地区中—晚侏罗世的构造背景存在争议,一种观点认为中生代本区受古太平洋板块俯冲作用影响[3,67−69];而近些年另一种观点认为本区此时是受蒙古—鄂霍茨克构造体系影响[70−72]。本区域在二叠纪末—三叠纪初,古亚洲洋关闭,华北地块与南蒙古复合地体最终碰撞拼合[73],中三叠世—早侏罗世进入后造山地壳伸展环境,产生一系列幔源及壳源岩浆活动,并可能持续到早侏罗世[74]。随后进入构造转折期,构造线由近东西向变为北东及北北东向,构造体制由挤压为主转变为以伸展为主体[75]。张连昌对西拉木伦铜钼成矿带研究也显示,在本区180~150 Ma为构造体系转折期[68]。但贾三石通过对冀北—辽西金矿矿集区地质特征研究认为200~145 Ma为板内挤压隆升期,其动力来源于太平洋板块的俯冲[3]。也就是说此时已经开始受到太平洋板块俯冲作用的影响。晚中生代以来,华北边缘及中国东部经历了强烈的岩石圈减薄与伸展[76],张拴宏[77]认为晚侏罗世—早白垩世以来,华北地块北缘侵入体的隆升及剥露应与本区及中国东部地壳强烈伸展有关[76],并且本区中侏罗世—早白垩世(163~125 Ma) 岩浆活动发育在伸展构造背景中,与岩石圈减薄存在密切的成因联系[78],这种减薄是在太平洋板块俯冲的背景下形成的。

烧锅营子花岗岩的形成时代为160 Ma,地球化学特征显示烧锅营子岩体源区形成深度可能在30 km左右,深度比较浅,与此时区域上的地壳强烈伸展的构造背景有关。在Y−Nb图解上(图8−a)烧锅营子岩体处于火山弧和同碰撞的区域,而在(Y+Nb)−Rb图解上(图8−b)烧锅营子岩体为火山弧区域,也说明烧锅营子岩体形成于伸展拉张的背景下。在晚侏罗世—早白垩世是东北地区火山岩的主要喷发阶段,而此时的火山活动是受太平洋板块俯冲作用影响[67,69],并且烧锅营子岩体NE向展布也符合太平洋构造域的构造方向(图1)。综上认为,烧锅营子岩体形成于太平洋板块俯冲背景下的弧后伸展环境。

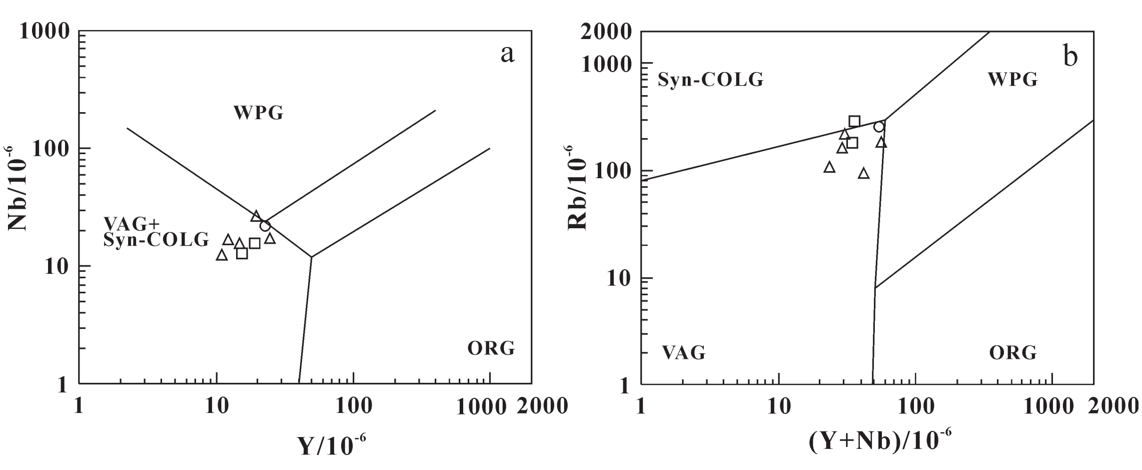

图8 烧锅营子岩体的Y−Nb(a)和(Y+Nb)−Rb(b) 图解(图例同图4)
Fig.8 Nb−Y and Rb−Y+Nb patterns of Shaoguoyingzi intrusion (legends as for Fig. 4)

5 结 论

（1）通过锆石LA-ICP-MS U-Pb定年，确定了烧锅营子花岗岩的结晶年龄为160 Ma左右，为晚侏罗世早期，而非早侏罗世。代表了烧锅营子岩体周围金矿（点）形成于此时或稍晚于此时，为华北地台北缘金矿成矿时代研究提供了新资料。结合前人研究成果将朝阳—赤峰地区金矿成矿时代分为245~237 Ma、160 Ma、132~123 Ma三期。

（2）地球化学特征研究表明，富硅、略富铝、高钾、低镁、钠、磷、贫钙的特征，铝饱和指数（A/CNK）中等，轻、重稀土元素的明显分异且均具有Eu负异常等地球化学特征显示烧锅营子岩体为高钾钙碱性I型花岗岩。富集高场强元素Th、Zr、Nd和Rb、K，相对亏损大离子亲石元素Nb、Sr和P、Ti，明显的Sr、Eu负异常，其岩浆形成于30 km左右深度。

（3）综合区域地质背景及地球化学特征分析，烧锅营子岩体形成于古太平洋板块俯冲背景下的伸展环境。

参考文献（References）：

[1] 朴寿成,李绪俊, 师磊, 等. 赤峰—朝阳金矿化集中区元素分带特征及其应用[J]. 地质与勘探, 2006, 42（1）：17-20.
Piao Shoucheng, Li Xujun, Shi Lei, et al. Element zoning and its application in the Chifeng—Chaoyang Au riferous province[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(1):17- 20(in Chinese with English abstract).

[2] 许庆林, 李碧乐, 薛昊日, 等. 辽宁省朝阳市东五家子金矿成矿流体特征及矿床成因探讨[J]. 西北地质, 2010, 43（3）：75-84
Xu Qinglin, Li Bile, Xue Haori, et al. Ore-forming fluid features and metallogenesis of Dongwujiazi gold deposit, Chaoyang City, Liaoning Province[J]. Northwestern Geology, 2010, 43(3): 75- 84 (in Chinese with English abstract).

[3] 贾三石, 王恩德, 付建飞, 等. 冀东—辽西主要金矿矿集区地质特征的差异性与成矿作用的统一性探析[J]. 地质学报, 2011, 85（9）：1493-1506.
Jia Sanshi, Wang Ende, Fu Jianfei, et al. Study on the difference of the geological character and the unity of metallization of the regions of gold deposits in east Hebei and west Liaoning Province[J]. Acta Geological Sinica, 2011, 85(9): 1493- 1506(in Chinese with English abstract).

[4] 陈伟军, 刘红涛. 赤峰—朝阳金矿化集中区主要金矿类型及地质特征研究[J]. 黄金科学技术, 2006, 14（5）：1-7.
Chen Weijun, Liu Hongtao. Major types and geological features of gold mineralization occurred in the Chifeng—Chaoyang gold concentration region[J]. Gold Science and Technololgy, 2006, 14 (5): 1-7 (in Chinese with English abstract).

[5] 李杰. 赤峰市柴胡栏子金矿床地质特征及低品位矿石的开发利用[J]. 黄金, 1997, 18: 14-19.
Li Jie. The geological characteristics of Chaihulanzi gold deposit of Chifeng City and the exploitation of low grade ore[J]. Gold, 1997, 18(9):14-19(in Chinese with English abstract).

[6] 李晓季, 孙立军, 蒋振和, 等. 辽西地区金矿床类型及找矿方向探讨[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2008, 10（3）：18-20
Li Xiaoji, Sun Lijun, Jiang Zhenhe, et al. Discussion gold deposit type and prospecting direction in the west of Liaoning[J]. Journal of Liaoning Provincial College of Communications, 2008, 10 (3) : 18-20(in Chinese with English abstract).

[7] 敖颖锋, 付庆, 玄力, 等. 朝阳地区金矿床类型及找矿前景[J]. 有色矿冶, 2008, 24（1）：2-4.
Ao Yingfeng, Fu Qing, Xuan Li, et al. Types of gold deposit and ore- finding prospecting in Chaoyang Area[J]. Non- ferrous Mining and Metallurgy, 2008, 24(1):2-4(in Chinese with English abstract).

[8] 李永刚, 翟明国, 杨进辉, 等. 内蒙古赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义[J]. 中国科学（D辑）, 2003, 33（10）：960-966.
Li Yonggang, Zhai Mingguo, Yang Jinhui, et al. [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(10):960-966(in Chinese).

[9] 李永刚, 翟明国, 苗来成, 等. 内蒙古安家营子金矿与侵入岩的关系及其地球动力学意义[J]. 岩石学报, 2003b, 19（4）：808-816.
Li Yonggang, Zhai Mingguo, Miao Laicheng, et. Relationship between intrusive rocks and gold mineralization of the Anjiayingzi gold deposit, Inner Mongolia and its implications for geodynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(4):808- 816 (in Chinese with English abstract).

[10] 李碧乐, 许庆林, 张晗, 等. 辽宁省朝阳市小塔子沟金矿1#脉成矿流体特征及成因[J]. 地学前缘, 2010, 17（2）：295-305.
Li Bile, Xu Qinglin, Zhang Han, et al. A study of ore-forming fluid features and metallogenesis of 1# vein from Xiaotazigou gold deposit, Chaoyang city, Liaoning Province[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(2):295-305(in Chinese with English abstract).

[11] 李戈非, 徐发, 刘国庆. 赤峰市索虎沟金矿床地球化学特征及找矿意义[J]. 内蒙古科技与经济, 2011, 15: 57-59.
Li Gefei, Xu Fa, Li Guoqing. Geochemical characteristics and prospecting significance of Suohugou gold deposit in Chifeng city, [J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2011, (15): 57-59(in Chinese with English abstract).

[12] 李春贵, 陈东杰, 寇云飞. 赤峰市红花沟金矿床地质特征及成矿规律[J]. 内蒙古科技与经济, 2008, 20: 9-10.
Li Chungui, Chen Dongjie, Kou Yunfei. Geological characteristics and metallogenic regularity of Honghuagou gold

deposit in Chifeng [J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2008, (20):9−10(in Chinese with English abstract).
[13] 张彦生, 骆剑英, 陈红军. 内蒙古赤峰市红花沟金矿区石英脉中石英和黄铁矿的标型特征及研究意义[J]. 内蒙古科技与经济, 2010, 9:34−35
Zhang Yansheng, Luo Jianying, Chen Hongjun. Typomorphic characteristics and significance of pyrite and quartz in the quartz veins in Honghuagou gold deposit in Chifeng, Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2010, (9):34−35(in Chinese with English abstract).
[14] 苗来成, 范蔚茗, 翟明国, 等. 金厂沟梁—二道沟金矿田内花岗岩类侵入体锆石的离子探针U−Pb年代学及意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(1):71−80
Miao Laicheng, Fan Weiming, Zhai Minguo, et al. Zircon SHRIMP U−Pb geochronology of the granitoid intrusions from Jinchanggouliang−Erdaogou gold orefield and its significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(1):71−80(in Chinese with English abstract).
[15] 陈勇, 陈建平, 赵洁, 等. 赤峰金矿资源定量预测与评价[J]. 中国地质, 2008, 35(3):551−556.
Chen Yong, Chen Jianping, Zhao Jie, et al. Quantitative prediction and evaluation of gold resources in Chifeng[J]. Geology in China, 2008, 35(3): 551−556(in Chinese with English abstract).
[16] 沈柳生, 高州, 王陵. 赤峰—朝阳地区金矿控矿因素及找矿方向探讨[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(2):1335−139.
Shen Liusheng, Gao Zhou, Wang Ling. Research on control factor and prospecting direction of gold deposit in Chifeng−Chaoyang area[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2008, 23(2): 135−139(in Chinese with English abstract).
[17] 陈红军. 从地质勘查工作的新进展谈赤峰地区金矿勘探思路[J]. 内蒙古科技与经济, 2010, 10:47−49.
Chen Hongjun. The thought on explorating prospect for gold ore deposits from new developments about geological exploration in Chifeng distric[J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2010, (10): 47−49(in Chinese with English abstract).
[18] 李鹏飞. 烧锅营子金矿区构造控矿规律与成矿预测[D]. 东北大学, 2009: 1−90.
Li Pengfei. Structural Ore Controlling Regularity and Metallogenic Prognosis of Shuoguoyingzi Gold Deposit Area[D]. Master's thesis:1−90, 2009: 1−90(in Chinese with English abstract).
[19] 郑超, 马民涛, 王建国, 等. 建平烧锅营子金矿区矿化类型及围岩蚀变特征[J]. 沈阳黄金学院学报, 1995, 14(3):301−308.
Zheng Chao, Ma Mintao, Wang Jianguo, et al. Types of mineralization and wall rock alteration characteristics of the Shaoguoyingzi gold deposit in Jianping[J]. Journal of gold College of Shenyang, 1995, 14(3):301−308(in Chinese with English abstract).
[20] 郑超. 辽西建平北部脉状金矿[M]. 沈阳:东北大学出版社, 1996.
Zheng Chao. The Vein Gold Deposit in North of Jianping, western Liaonig[M]. Shenyang: Northeastern University Press, 1996(in Chinese).
[21] 刘克义, 金相浩. 内蒙古敖汉旗撰山子金矿矿体赋存规律及深部预测[J]. 黄金, 1991, 12(4):1−6
Liu Keyi, Jin Xianghao. The occurrence regularity of orebody and deep prediction of the Zhuanshanzi gold deposit in Aohan banner, Inner Mongolia[J]. Gold, 1991, 12(4):1−6(in Chinese with English abstract).
[22] 阴翠珍. 内蒙古撰山子成矿规律探讨[J]. 贵金属地质, 1992, 2/3:187−190.
Yin Cuizhen. A study on metallogenic regularity of the Zhuanshanzi gold deposit, Inner Mongolia[J]. Joural of Precious Metallic Geology, 1992, 2/3:187−190(in Chinese with English abstract).
[23] 阴翠珍, 礼彦君. 内蒙撰山子金矿流体包裹体特征和成矿物理化学条件探讨[J]. 太原理工大学学报, 2007, 38(6):477−480.
Yin Cuizhen, Li Yanjun. The investigation of fluid inclusion features and ore−forming physical−chemical condition in Zhuanshanzi gold deposit[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2007, 38(6): 477−480(in Chinese with English abstract).
[24] 王志华, 张林. 内蒙古撰山子金矿成矿作用与成晕作用中元素行为差异分析及研究意义[J]. 贵金属地质, 1995, 4(2):131−137.
Wang Zhihua, Zhang Lin. Analysis on elements behaviour difference in mineralization and halo−forming action and research significance of Zhuanshanzi gold deposit in Inner Mongolia[J]. JourNal of Precious Metallic Geology, 1995, 4(2):131−137(in Chinese with English abstract).
[25] 阎志军, 阴翠珍, 孙洪礼, 等. 撰山子金矿田燕山期花岗岩特征及其与金矿的关系[J]. 黄金, 1997, 18(2):8−15.
Yan Zhijun, Yin Cuizhen, Sun Hongli, et al. The characteristics of granite of Yanshan Period in Zhuanshanzi gold field and its relation with gold deposit[J]. Gold, 1997, 18(2):8−15(in Chinese with English abstract).
[26] 张林, 吴琼, 杨春雷. 内蒙撰山子金矿构造控矿规律与成矿预测[J]. 地质与勘探, 1998, 34(2):9−12.
Zhang Lin, Wu Qiong, Yang Chunlei. Metallogenic prognosis and structure control of metallogenic in Zhuanshanzi gold mine Inner Monlogia [J]. Geology and Prospecting, 1998, 34(2): 9−12(in Chinese with English abstract).
[27] 李秀琴, 杨吉. 内蒙古撰山子金矿赋存规律及成矿预测[J]. 长春科技大学学报, 1998, 30(1):32−35
Li Xiuqin, Yang Ji. The occurrence regularity of orebody and metallogenic prediction of the Zhuanshanzi gold deposit in

Inner Mongolia [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(1):32− 35(in Chinese with English abstract).

[28] 王艳, 樊春学, 解丙德. 辽宁省建平县梨树沟金矿矿化地质特征及找矿方向[J]. 中国高新技术企业, 2011, 88−89.

Wang Yan, Fan Chunxue, Xie Bingde. Mineralization geological characteristics and prospecting direction of the Lishugou gold deposit in Jianping Liaoning Province[J]. Chinese High− tech Enterprises, 2011, 88−89(in Chinese with English abstract).

[29]黄菲, 郑超, 王建国, 等. 烧锅营子金矿床金矿物的标型特征及赋存状态研究[J]. 贵金属地质, 1996, 5(4)：288−297.

Huang Fei, Zheng Chao, Wang Jianguo, et al. The study on the typomorphic characteristics and occurrence state of gold in Shaoguoyingzi gold deposit[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1996, 5(4): 288−297(in Chinese with English abstract).

[30] 黄菲, 王建国, 郑超, 等. 烧锅营子金矿黄铁矿的化学成分标型特征[J]. 贵金属地质, 1997, 6(5)：132−137.

Huang Fei, Wang Jianguo, Zheng Chao, et al. The typomorphic characteristics of chemical composition in pyrite from the Shaoguoyingzi gold deposit[J]. Joural of Precious Metallic Geology, 1997, 6(5)：132−137(in Chinese with English abstract).

[31] 黄菲, 王建国, 郑超, 等. 烧锅营子金矿石英的化学成分和热发光特征[J]. 贵金属地质, 1998, 7(1): 43−47

Huang Fei, Wang Jianguo, Zheng Chao, et al. The characteristics of composition and thermoluminescence of quartz in Shaoguoyingzi gold deposit[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1998, 7(1): 43−47(in Chinese with English abstract).

[32] 黄菲, 郑超. 辽宁建平烧锅营子金矿床地质特征及成因探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 1998, 7(1)：22−26.

Huang Fei, Zheng Chao. A study of geological features and genesis of the Shaoguoyingzi gold deposit in Jianping Liaoning[J]. Nonferrous metal mineral resources and exploration, 1998, 7(1) : 22−26(in Chinese with English abstract).

[33] 黄菲, 章云平. 建平烧锅营子金矿流体包裹体特征研究[J]. 矿产与地质, 1999, 13(4)：212−216.

Huang Fei, Zhang Yunping. Analysis on characteristics of the fluid inclusions and metallogenic condition of Shaoguoyingzi gold deposit, Jianping[J]. Mineral Resources and Geology, 1999, 13(4): 212−216(in Chinese with English abstract).

[34] 郑超, 王建国, 赵纯福, 等. 建平烧锅营子金矿区成矿构造−岩浆控制[J]. 沈阳黄金学院学报, 1995, 14(1)：1−7.

Zheng Chao, Wang Jianguo, Zhao Chunfu, et al. Metallogenic tectonic −magmatic control of the Shaoguoyingzi gold deposit in Jianping[J]. Journal of Gold College of Shenyang, 1995, 14(1): 1−7(in Chinese with English abstract).

[35] 郑超, 王建国, 赵纯福, 等. 建平烧锅营子金矿区矿化地质特征及找矿标志[J]. 沈阳黄金学院学报, 1995, 14(2):101−109

Zheng Chao, Wang Jianguo, Zhao Chunfu, et al. Mineralization geological characteristics and prospecting marks of the Shaoguoyingzi gold deposit in Jianping[J]. Journal of Gold College of Shenyang, 1995, 14(2):101− 109(in Chinese with English abstract).

[36] Andersen T. Correction of common lead in U−Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chem. Geol., 2002, 192：59−79.

[37] 徐平, 吴福元, 谢烈文, 等. U−Pb同位素定年标准锆石Hf同位素[J]. 科学通报, 2004, 49（14）：1403−1410.

Xu Ping, Wu Fuyuan, Xie Liewen, et al. Hf isotope of standard zircon of U− Pb isotopic dating[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(14):1403−1410(in Chinese with English abstract).

[38] Belousova E A, Griffin W L, O, Reilly S Y, et al. Igneous zircon：Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2002, 143：602−622.

[39] Hoskin P W O. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator[J].Geology, 2001, 28(7)：627−630

[40] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 2009, 33（3）：161−174.

Li Changmin. A review on the minerageny and situ microanalytical dating techniques of zircons[J]. Geological Survey and Research, 2009, 32(3):161− 174(in Chinese with English abstract).

[41] 钟玉芳, 马昌前, 佘振兵. 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）：27−35.

Zhong Yufang, Ma Changqian, She Zhenbing. Geochemical characteristics of zircon and its applications in geosciences[J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(1): 27−35(in Chinese with English abstract).

[42] 孙珍军. 华北克拉通北缘赤峰—朝阳地区金矿成矿作用研究[D].吉林大学, 2013.

Sun Zhenjun. Study on Gold Deposits Mineralization in Chifeng− Chaoyang Region, Northern Margin of North Craton[D]. Jilin University, 2013(in Chinese with English abstract).

[43] 罗镇宽, 苗来成, 关康. 华北地台北缘金矿床成矿时代讨论[J]. 黄金地质, 2000, 6(2)：70−76

Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Guan Kang. Discussion on the metallogenetic epoch of gold deposit on north fringe of North China platform[J]. Gold Geology, 2000, 6(2):70− 76(in Chinese with English abstract).

[44] 罗镇宽, 苗来成, 关康, 等. 辽宁阜新排山楼金矿区岩浆岩锆石SHRIMP定年及其意义[J]. 地球化学, 2001, 30（5）：483−490.

Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Guan Kang, et al. SHRIMP U Pb zircon age of magmatic rock in Paishanlou gold mine district, Fuxin, Liaoning Province, China[J]. Geochimica, 2001 , 30(5): 483−490(in Chinese with English abstract).

[45] 苗来成, Yumin Qiu, 关康. 等哈达门沟金矿床成岩成矿时代的定点定年研究[J]. 矿床地质, 2000, 19（2）: 182−190.

Miao Laicheng, Qiu Yumin, Guan Kang, et al. SHRIMP chronological study of the granitoids and mineralization in the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2000, 19(2):182−190(in Chinese with English abstract).

[46] 李洪奎, 时文革, 李逸凡, 等. 山东胶东地区金矿成矿时代研究[J]. 黄金科学技术, 2013, 21(3):1−9.

Li Hongkui, Shi Wenge, Li Yifan, et al. A study on metallogenic epoch of gold deposits in Jiaodong area, Shandong [J]. Gold Science and Technololgy, 2013, (3):1−9(in Chinese with English abstract).

[47] 林博磊, 李碧乐. 胶东玲珑花岗岩的地球化学、U−Pb年代学、Lu−Hf同位素及地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(2):147−160.

Lin Bolei , Li Bile. Geochemistry, U−Pb dating, Lu−Hf isotopic analysis and geological significance of Linglong granite in Jiaodong Peninsula[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science of Technology Edition), 2013, 40(2):147−160 (in Chinese with English abstract).

[48] 韩世炯, 孙景贵, 邢树文, 等. 中国东北部陆缘内生金矿床成因类型、成矿时代及地球动力学背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(3):716−733.

Han Shijiong, Sun Jinggui, Xing Shuwen, et al. Genetic types, metallogenic epoch and geodynamic settings of endogenetic gold deposits in the continental margin, Northeast China[J]. Journal of Jilin Unviersity:Earth Science Edition, 2013, 43(3):716− 733(in Chinese with English abstract).

[49] 张艳斌, 吴福元, 李惠民, 等. 吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石U−Pb年龄[J]. 岩石学报, 2002, 18(4):475−481.

Zhang Yanbin, Wu Fuyuan, Li Huimin, et al. Single grain zircon U− Pb ages of the Huangniling granite in Jilin Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(4):475−481(in Chinese with English abstract).

[50] 焦保权, 李世平, 王艳萍, 等. 海沟岩体的成岩时代及成因探讨[J]. 吉林地质, 2008, 27(2):1−4.

Jiao Baoquan, Li Shiping, Wang Yanping, et al. Diagenetic epoch and genesis of Haigou rock bodies[J]. Jilin Geology, 2008, 27(2):1−4(in Chinese with English abstract).

[51] 于介江, 郭佳, 崔培龙. 延边海沟金矿床石英流体包裹体激光探针 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年与成矿背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(4):835−844

Yu Jiejiang, Guo Jia, Cui Peilong. Ore− forming geologic settings and $^{40}Ar/^{39}Ar$ laser probe dating of fluid inclusions in quartzs from Haigou gold deposit, Yanbian City, Northeastern China[J]. Journal of Jilin Unviersity:Earth Science Edition, 2010, 40(4):835−844(in Chinese with English abstract).

[52] Yang J H, Wu F Y, Wilde S A. A review of the geodynamic setting of large− scale Late Mesozoic gold mineralization in the North China Craton: An association with lithospheric thinning [J]. Ore Geology Reviews , 2003, 23 (3/4): 125−152.

[53] 侯万荣. 内蒙古哈达门沟金矿床与金厂沟梁金矿床对比研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.

Hou Wanrong. Comparative study between the Hadamengou gold deposit and the Jinchanggouliang gold deposit in Inner Mongolia[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011(in Chinese with English abstract).

[54] 庞奖励. 二道沟矿床绢云母的 $^{39}Ar/^{40}Ar$ 年龄及其地质意义[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1999, 27(1):103−107.

Pang Jiangli. $^{39}Ar/^{40}Ar$ age and its geological significance of sericite in Erdaogou deposit[J]. Journal of Shaanxi Normal University, 1999, 27(1): 103− 107(in Chinese with English abstract).

[55] 魏存弟. 赤峰—朝阳金矿化区远程式及近程式金矿类型的划分及其研究[D]. 长春: 吉林大学, 2001.

Wei Cundi. Classification and Research on Gold− deposits of Long Distance Type and Short Distance Type in Chifeng−Chaoyang area[D]. Changchun: Jilin University , 2001(in Chinese with English abstract).

[56] 佘宏全, 徐贵忠, 周瑞, 等. 内蒙东部红花沟金矿田早中生代构造−岩浆活动及对金成矿的控制作用[J]. 现代地质, 2000, 14(4):408−416.

She Hongquan, Xu Guizhong, Zhou Rui, et al. Tectonic and magmatic activities in Early Mesozoic and their controlling on the gold mineralization in Honghuagou gold ore field, east of Inner Mongolia[J]. Geoscience, 2000, 14(4):408−416 (in Chinese with English abstract).

[57] 宋维民, 邢德和, 郭胜哲, 等. 内蒙古金厂沟梁西对面沟岩体岩石地球化学特征及意义[J]. 地质与资源, 2009, 18(2):134−139.

Song Weimin, Xing Dehe, Guo Shengzhe, et al. Lithogeochemistry and significance of the Xiduimiangou rock body in Jinchanggouliang, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 2009, 18(2):134− 139(in Chinese with English abstract).

[58] Trumbull R B. Granitoid−hosted gold deposits in the Njiayingzi district of Inner Mongolia, People Republic of China[J]. Economic Geology , 1996, 91:875−895.

[59] 骆辉, 赵运起. 辽宁阜新排山楼金矿地质作用和成矿作用[J]. 前寒武研究进展, 1997, 20(4):13−24.

Luo Hui, Zhao Yunqi. The geological process and mineralization of the Paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning[J]. Advances in Precambrian research, 1997, 20(4): 13− 24(in Chinese with English abstract)

[60] Baarbarin B A. Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 1999, 46(3):605−626.

[61] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern magmas by melting of young subduction lithosphere[J]. Nature, 1990, 347:662−665

[62] Martin H, Smithies R H, Rapp R, et al. An overview of adakite tonalite− trondhjemite− granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implieations for crustal evolution[J]. Lithos, 2005, 79:1−4.

[63] Rapp P R, Shimizu N, Norman M D. Growth of early continental crust by partial melting of eclogite[J]. Nature, 2003, 425：605−609

[64] Hollocher, Bull J, Robinson P. Geochemistry of the metamorphosed Ordovician Taconian Magmatic Arc, Bronson Hill anticlinorium, western New England[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002, 27：5−45.

[65] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的Sr−Yb分类及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(9)：2249−2269.
Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, et al. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications.[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(9):2249− 2269(in Chinese with English abstract).

[66] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 晚中生代的中国东部高原：证据、问题和启示[J]. 地质通报, 2008, 27(9)：1404−1430
Zhang Qi, Wang Yuanlong, Jin Weijun, et al. Late Mesozoic east China plateau: Evidence, remained problems and implication [J]. Geologcal Bulletin of China, 2008, 27(9):1404− 1430(in Chinese with English abstract).

[67] 吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘, 2003, 10(3)：51−60
Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou. Discussions on the lithospheric thinning in eastern China[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3):51−60(in Chinese with English abstract).

[68] 张连昌, 吴华英, 相鹏, 等. 中生代复杂构造系的成矿过程与成矿作用——以华北大陆北缘西拉沐伦钼、铜多金属成矿带为例[J].岩石学报, 2010, 26(5)：1351−1362.
Zhang Lianchang, Wu Huaying, Xiang Peng, et al. Ore−forming processes and mineralization of complex tectonic system during the Mesozoic: A case from Xilamulun Cu− Mo metallogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(5):1351−1362(in Chinese with English abstract).

[69] Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchunl. Geochronology of the Phanerozoic Granitoids in Northeastern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41:1−30.

[70] 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 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[J]. 岩石学报, 2013, 29(2)：339−353.
Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, et al. Mesozoic tectonic regimes and regional ore− forming background in NE China: Constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29 (2): 339−353(in Chinese with English abstract).

[71] 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等. 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[J]. 岩石学报, 2011, 27(4) : 1209−1226
Meng En, Xu Wenliang, Yang Debin, et al. Zircon U− Pb chronology, geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Lingquan basin in Manzhouli area, and its tectonic implications.[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(4): 1209−1226(in Chinese with English abstract).

[72] Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. Spatial−temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic systems[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 74:17−193.

[73] Zhang S H, Zhao Y, Song B. Two contrasting Late Paleozoic−Early Mesozic intrusive belts from the northern margin of the North China block: geochronology, petrogenesis and tectonic implications[J]. Revision submitted to Geol. 2007, Soc. Am. Bull.

[74] 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. 岩石学报, 2007, 23(03)：565−582.
Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, et al. Shuangjingzi middle Triassic syn− collisional crust− derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino− Korean paleo− plates.[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(3):565−582(in Chinese with English abstract).

[75] 陈衍景, 郭光军, 李欣, 等. 华北克拉通花岗绿岩地体中中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(1)35−40.
Chen Yanjing, Guo Guangjun, Li Xin. The mineralization dynamic background of Mesozoic gold deposit in the granite greenstone terrane in North China Craton [J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 1998, 28(1): 35− 40(in Chinese).

[76] Davis G A, Zheng Y D, Wang C. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, Northern China[J]. Geo. Soc. Am.Mem., 2001,194: 171−197

[77] 张拴宏, 赵越, 刘健, 等. 华北地块北缘晚古生代−中生代花岗岩体侵位深度及其构造意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(3)：625−638.
Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jian, et al. Emplacement depths of the Late Paleozoic−Mesozoic granitoid intrusions from the northern North China block and their tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica , 2007, 23(3)：625−638(in Chinese with English abstract).

[78] 王彦斌, 韩娟, 李建波, 等. 内蒙赤峰楼子店拆离断层带下盘变形花岗质岩石的时代、成因及其地质意义锆石U−Pb年龄和Hf同位素证据[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6)：763−778.
Wang Yanbin, Han Juan, Li Jianbo, et al. Age, petrogenesis and geological significance of the deformed granitoids in the Louzidian metamorphic core complex, southern Chifeng, Inner Mongolia: Evidence from zircon U−Pb dates and Hf isotopes[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2010, 29(6)：763− 778(in Chinese with English abstract).