

刘敬党, 梁帅, 肖荣阁, 等. 内蒙古宝音图钼矿成矿岩体地球化学、年代学及成因研究[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 149–168.

Liu Jingdang, Liang Shuai, Xiao Rongge, et al. Geochemistry, geochronology and petrogenesis of the ore-forming intrusive body in the Baoyintu molybdenum deposit, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2015, 42(1): 149–168(in Chinese with English abstract).

内蒙古宝音图钼矿成矿岩体地球化学、 年代学及成因研究

刘敬党^{1,2} 梁 帅¹ 肖荣阁³ 张艳飞²

(1. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁省化工地质勘查院 地勘院, 辽宁 锦州 121000;
3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100000)

摘要:内蒙古宝音图钼矿是狼山北段大型斑岩石英脉型钼矿床, 成矿岩体为斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩及酸性细晶斑岩株组成的复合岩体, LA-ICP-MS U-Pb 上交点年龄 2400 Ma, 反映花岗岩源区岩石是新太古代到古元古代陆壳变质岩。各岩性锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定显示成矿岩体形成于印支期(225.9±4.4) Ma~(237.5±5.9) Ma、(236.8±4.5) Ma~(244.3±4.2) Ma、(247.5±4.4) Ma 和(252.1±3.4) Ma~(258.8±3.3) Ma 4 个阶段, 同位素年龄反映的每个岩浆侵入阶段持续时间长, 各侵入阶段间隔时间短。岩浆侵入期不同阶段元素经历了一定分异, 各阶段岩石化学组成均显示铝过饱和, 富钾特征, 以晚期细晶岩 K₂O/Na₂O 最高, K₂O 对 CaO 呈反相关关系。与世界主要岩浆岩带微量元素 Sr/Ba-Zr/Y 的比较显示, 其不同于洋壳熔融成因花岗岩, 而与燕山带、秦岭带岩浆岩地球化学特征一致, 与矿区元古界变质岩围岩地球化学特征比较接近, 这些特征显示本区成矿花岗岩是陆壳岩石熔融成因 S 型花岗岩。

关键词:成矿花岗岩; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄; 岩石化学; 花岗岩成因

中图分类号: P588.12¹; P595 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)01-0149-20

Geochemistry, geochronology and petrogenesis of the ore-forming intrusive body in the Baoyintu molybdenum deposit, Inner Mongolia

LIU Jing-dang^{1,2}, LIANG Shuai¹, XIAO Rong-ge³, ZHANG Yan-fei²

(1. Mining College of Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China; 2. Geological exploration Institute, Liaoning Academy of Chemical Geological Exploration, Jinzhou 121000, Liaoning, China; 3. College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Baoyintu molybdenum deposit in Inner Mongolia is a large porphyry quartz vein type molybdenum deposit discovered in the northern part of the Langshan Mountain, and the ore-forming intrusive body consists of plagiogranite, monzogranite, moyite and acidic fine-grained porphyry stock. The LA-ICP-MS U-Pb upper intercepting age is 2400 Ma,

收稿日期: 2014-07-11; 改回日期: 2014-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(40073013)、内蒙古自治区地质矿产勘查开发局勘查项目(NMKD200801)联合资助。

作者简介: 刘敬党, 男, 1959 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿产地质研究工作; E-mail: liu@lnhg.com。

通讯作者: 梁帅, 男, 1986 年生, 博士生, 主要从事地球化学与矿床地质研究; E-mail: ls476476@163.com。

suggesting that the granite was derived from late Archean to early Proterozoic crustal rocks. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating shows that the ore-forming intrusive body was formed at four stages in the Indosinia period, i.e., (225.9±4.4) Ma-(237.5±5.9) Ma, (236.8±4.5) Ma-(244.3±4.2) Ma, (247.5±4.4) Ma and (252.1±3.4) Ma-(258.8±3.3) Ma; the isotopic ages imply that each stage of magma intrusion lasted for a long time, and the intervals between various stages of invasion were short. Elements at different stages of magmatic intrusion underwent some differentiation, the chemical composition of various stages of rocks shows oversaturated aluminum, potassium-rich features, with late aplite K₂O/Na₂O being the highest, and K₂O and CaO being inversely correlated with each other. A comparison with Sr/Ba-Zr/Y ratios of major magmatic belts in the world shows that it is different from the oceanic crust melt granite, consistent with the Yanshan belt, Qinling belt magmatic rocks, and close to Proterozoic metamorphic country rocks in geochemical characteristics. These features indicate that mineralized granites are genetically continental crust melt S-type granites.

Key words: mineralized granites; zircon LA-ICP-MS U-Pb ages; rocks; granite genesis

About the first author: LIU Jing-dang, male, born in 1959, professor, supervisor of doctor candidates, engages in the study of geology and mineral resources; E-mail: liu@lnhg.com.

About the corresponding author: LIANG Shuai, male, born in 1986, doctor, engages in the study of geochemistry and mineral deposits; E-mail: ls476476@163.com.

内蒙古宝音图钼矿行政区属乌拉特后旗巴彦前达门苏木—查干敖包一带,大地构造位置处于华北地台北缘(I)西段宝音图台隆(II)中部(图1),属于狼山北东构造带北段宝音图台隆^[1-4],是2008年发

现的大型钼、伴生钨铜多金属矿。

矿区大面积分布印支期斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩及酸性细晶斑岩株组成的复合岩体,侵入于下元古界宝音图群斜长角闪岩相云母石英片

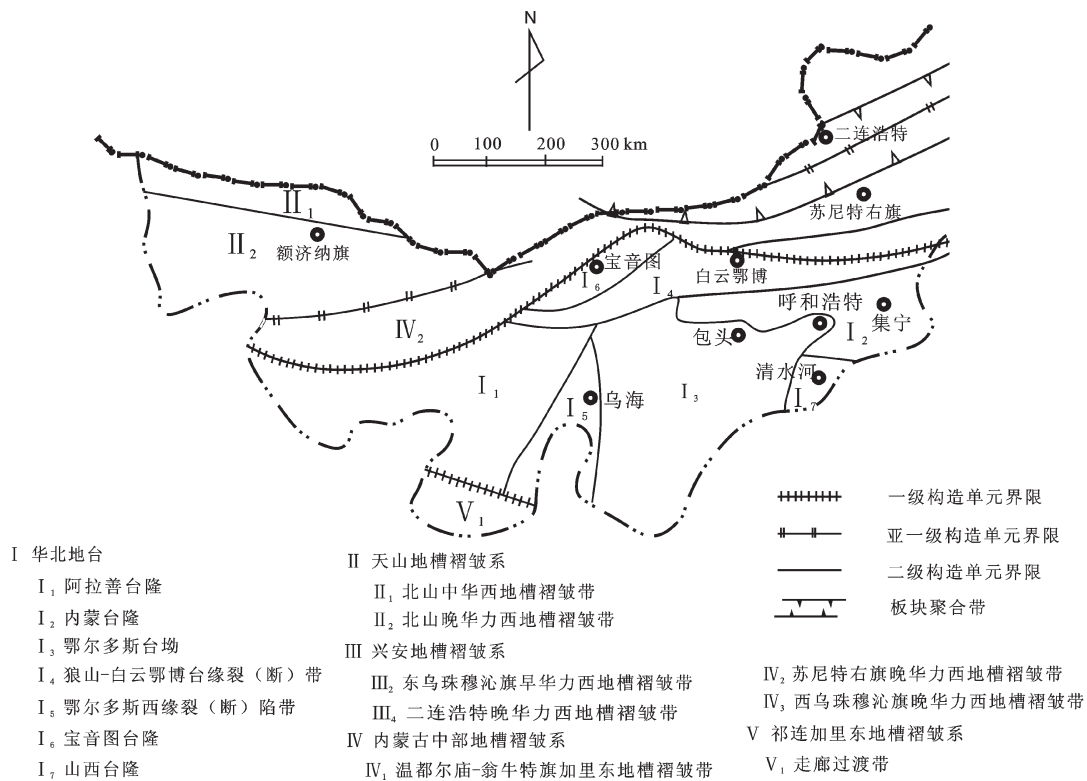


图1 宝音图钼矿区域构造位置图(据文献[2]修改)

Fig.1 Regional tectonic location of the Baoyintu molybdenum deposit (modified after reference [2])

岩、花岗片麻岩、变粒岩夹斜长角闪岩等深变质岩中。

区内构造复杂,褶皱、断裂构造发育,以NE向断裂构造发育为特征,区域地层、岩体均NE向展布,NE向构造带也控制了成矿岩体及矿床矿化的展布方向。

二长花岗岩及钾长花岗岩中发育的白云母石英脉是主要的矿化体,呈现密集平行细脉带或者大脉带状矿体群,从N向S由查干楚鲁矿段、查干花矿段、查干敖包矿段、查干德尔斯矿段4个矿化地段组成。区域地质概况见图2。

1 元古界变质岩

区内地层为下元古界宝音图群(Pt₁By),矿区周围大面积出露,总厚度大于5176 m^[1,5]。矿区宝音图背斜隆起核部主要岩性为青灰色片状石英岩、含石榴二云片岩、浅褐色白云母石英片岩组成;矿区东部岩性为二云石英片岩为主夹石英岩、花岗片麻岩、变粒岩及斜长角闪岩。在矿区中东部的花岗片麻岩、二云石英片岩夹薄层石英岩,在斜长花岗岩内呈残留体或者顶垂体分布,在外接触带,角岩化

明显,局部形成角岩。

本文采集了各种新鲜未蚀变质岩进行了系统的岩石化学和微量元素、稀土元素分析(表1),岩石化学组成显示具有高钾、富铝特征,A/CNK为1.11~3.34,平均2.52;(K₂O+Na₂O)为2.66~7.89,平均4.74;(K₂O/Na₂O)为1.73~7.55,平均4.27;N/C比值平均1.93,反映岩石中变质成因斜长石为富Na₂O酸性斜长石为主。岩石化学成分及地球化学特征比较均匀一致,这些特征表现了表壳沉积岩变质岩特征^[6-7]。

微量元素中Rb、Ba、Zr、V含量较高,相对Rb/Sr、Zr/Y、V/Cr比值高,而Sr/Ba比值小于0.6,Th/U比值平均4.04,这也与表壳变质岩地球化学特征一致。

所测试变质岩样品稀土元素地球化学特征非常一致,稀土总量一般在200×10⁻⁶~300×10⁻⁶,最高在400×10⁻⁶以上,最低小于100×10⁻⁶,表现为轻稀土富集、重稀土亏损,LREE/HREE平均8.35,偏差较小,均为负铈异常,δEu为0.36~0.86,平均0.62,偏差很小,因此稀土配分曲线模式图非常一致(图3)。这些特征表现岩石变质是一种均匀的区域变质作用^[7],其变质物理化学条件是均匀的深源变质环境。

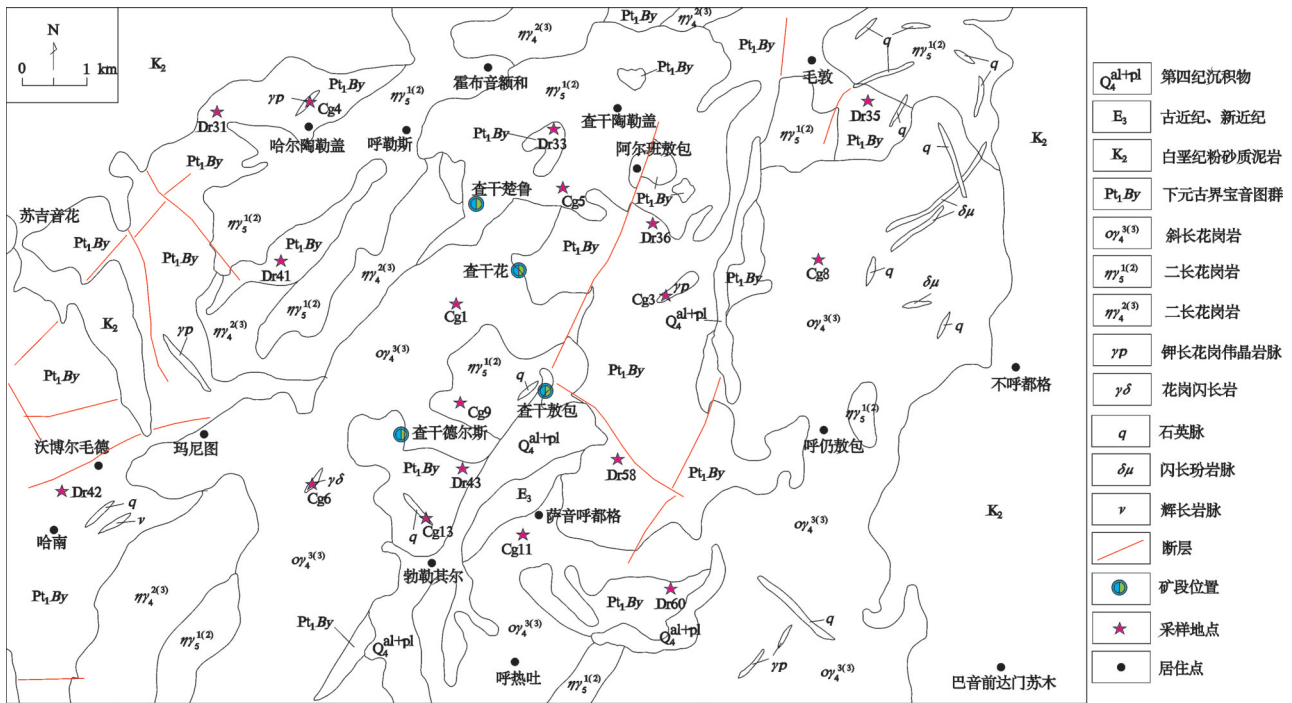


图2 宝音图钼矿床地质图
Fig.2 Geological map of the Baoyintu molybdenum deposit

表1 元古宇宝音图群变质岩化学成分(主量元素/%; 微量及稀土元素/ 10^{-6})Table 1 Chemical composition of the Proterozoic metamorphic Baoyintu Group (rock composition %; trace elements and REE/ 10^{-6})

分析项目	yDr31	yDr33	yDr35	yDr36	yDr41	yDr42	yDr43	yDr58	yDr60	平均	最大	最小
SiO ₂	63.56	66.33	52.46	65.46	72.23	77.02	72.57	64.32	53.60	65.28	77.02	52.46
TiO ₂	0.82	0.86	0.95	0.84	0.74	0.55	0.78	0.78	0.94	0.81	0.95	0.55
Al ₂ O ₃	20.36	17.29	15.28	19.73	13.46	11.76	13.30	18.96	23.48	17.07	23.48	11.76
Fe ₂ O ₃	2.15	1.27	2.01	0.75	0.73	0.97	0.36	2.40	1.21	1.32	2.40	0.36
FeO	2.87	3.77	8.51	3.59	3.19	2.22	4.91	2.55	6.51	4.24	8.51	2.22
MnO	0.20	0.10	0.09	0.06	0.08	0.05	0.25	0.06	0.10	0.11	0.25	0.05
MgO	0.96	1.36	7.98	1.04	0.48	0.54	0.60	1.11	2.01	1.79	7.98	0.48
CaO	0.34	1.31	4.69	0.13	0.98	0.33	0.49	0.42	0.19	0.99	4.69	0.13
Na ₂ O	1.32	1.89	1.41	0.74	0.84	0.32	0.38	1.06	0.52	0.94	1.89	0.32
K ₂ O	3.87	3.26	2.71	4.22	2.73	2.43	2.28	5.35	7.37	3.80	7.37	2.28
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.19	0.02	0.03	0.02	0.13	0.04	0.04	0.06	0.19	0.02
LOI	3.50	2.34	3.46	3.32	4.43	3.70	3.85	2.89	3.79	3.48	4.43	2.34
TOTAL	99.98	99.83	99.73	99.90	99.93	99.92	99.91	99.95	99.76	99.88	99.98	99.73
K ₂ O+Na ₂ O	5.20	5.15	4.12	4.95	3.56	2.75	2.66	6.41	7.89	4.74	7.89	2.66
K ₂ O/Na ₂ O	2.93	1.73	1.92	5.71	3.27	7.55	5.99	5.06		4.27	7.55	1.73
A/CNK	2.91	1.91	1.11	3.27	2.20	3.12	3.34	2.28	2.56	2.52	3.34	1.11
A/NK	3.19	2.60	2.90	3.41	3.10	3.71	4.29	2.51	2.65	3.15	4.29	2.51
N/C	3.53	1.30	0.27	5.14	0.77	0.88	0.70	2.28	2.51	1.93	5.14	0.27
Li	44.61	48.21	79.11	30.92	7.97	15.58	15.18	76.58	96.70	46.10	96.70	7.97
Rb	184.7	170.60	223.4	170.00	88.60	102.80	92.50	338.20	610.00	220.09	610.00	88.60
Sr	66.30	125.30	201.5	80.90	42.20	31.90	33.00	48.70	43.20	74.78	201.50	31.90
Ba	851.0	1107.8	425.1	934.00	663.40	550.80	343.40	931.00	626.50	714.78	1107.80	343.40
Zr	200.50	230.90	122.50	226.20	344.90	375.60	264.00	177.00	198.70	237.81	375.60	122.50
Hf	5.32	6.48	3.15	6.06	9.21	9.71	7.14	4.73	5.71	6.39	9.71	3.15
Th	22.65	17.68	7.61	19.17	18.65	11.54	18.56	16.07	11.04	15.89	22.65	7.61
U	7.11	15.88	2.17	7.30	2.60	1.35	4.15	2.94	41.21	9.41	41.21	1.35
Y	47.49	28.60	17.99	35.27	39.55	20.45	87.39	31.44	25.18	37.04	87.39	17.99
Nb	20.26	17.69	9.54	19.73	15.22	11.58	19.51	31.74	31.74	19.67	31.74	9.54
Ta	1.78	1.36	0.42	1.49	1.16	0.75	1.03	2.27	2.25	1.39	2.27	0.42
Cr	78.90	76.60	621.50	81.30	64.70	49.50	63.80	76.40	96.90	134.40	621.50	49.50
Ni	29.02	19.88	190.09	30.86	21.64	21.45	32.90	27.48	38.32	45.74	190.09	19.88
Co	24.73	15.56	49.44	18.25	16.63	16.05	24.82	12.93	27.03	22.83	49.44	12.93
V	104.70	95.70	213.90	103.50	84.30	65.50	82.80	102.50	122.00	108.32	213.90	65.50
Cs	13.33	11.92	82.86	9.06	5.14	7.82	7.76	46.55	86.70	30.13	86.70	5.14
Sc	20.11	17.30	32.11	18.11	11.86	8.49	14.80	16.99	19.41	17.69	32.11	8.49
Ga	29.20	24.19	18.85	28.05	18.52	13.27	15.22	40.48	32.72	24.50	40.48	13.27
Be	2.26	3.28	5.48	2.59	2.57	2.35	2.77	4.44	9.59	3.93	9.59	2.26
Cd	0.11	0.28	0.26	0.25	0.05	0.03	0.07	0.15	0.68	0.21	0.68	0.03
Rb/Sr	2.79	1.36	1.11	2.10	2.10	3.22	2.80	6.94	14.12	4.06	14.12	1.11
Sr/Ba	0.08	0.11	0.47	0.09	0.06	0.06	0.10	0.05	0.07	0.12	0.47	0.05
Th/U	3.19	1.11	3.50	2.62	7.17	8.55	4.48	5.46	0.27	4.04	8.55	0.27
V/Cr	1.33	1.25	0.34	1.27	1.30	1.32	1.30	1.34	1.26	1.19	1.34	0.34
Zr/Y	4.22	8.07	6.81	6.41	8.72	18.37	3.02	5.63	7.89	6.42	18.37	3.02
La	54.52	41.21	14.92	49.46	56.23	35.08	72.62	42.46	51.12	46.40	72.62	14.92
Ce	119.11	97.18	38.17	112.24	126.31	75.99	174.91	96.17	103.07	104.79	174.91	38.17
Pr	13.54	10.87	4.79	12.41	13.77	8.06	18.54	11.20	11.51	11.63	18.54	4.79
Nd	50.42	41.42	19.83	45.98	52.02	30.06	73.02	42.29	43.46	44.28	73.02	19.83
Sm	9.52	7.72	4.39	7.85	10.20	5.54	16.55	7.68	8.28	8.64	16.55	4.39
Eu	1.76	2.02	1.17	1.58	1.80	1.08	2.00	1.27	1.19	1.54	2.02	1.08
Gd	9.05	6.70	4.07	6.55	9.07	4.80	17.06	6.72	6.84	7.87	17.06	4.07
Tb	1.57	1.07	0.65	1.10	1.47	0.77	3.03	1.10	1.02	1.31	3.03	0.65
Dy	9.21	5.94	3.70	6.60	8.20	4.21	17.68	6.32	5.34	7.47	17.68	3.70
Ho	1.70	1.06	0.67	1.34	1.52	0.77	3.13	1.19	0.93	1.37	3.13	0.67
Er	5.06	3.14	1.88	4.05	4.48	2.29	8.72	3.58	2.60	3.98	8.72	1.88
Tm	0.79	0.49	0.29	0.68	0.70	0.34	1.33	0.57	0.38	0.62	1.33	0.29
Yb	5.15	3.21	1.91	4.26	4.58	2.24	8.59	3.86	2.64	4.05	8.59	1.91
Lu	0.85	0.53	0.30	0.73	0.77	0.38	1.39	0.64	0.44	0.67	1.39	0.30
ΣREE	282.24	222.56	96.75	254.81	291.10	171.60	418.56	225.03	238.82	244.61	418.56	96.75
LREE/HREE	7.45	9.05	6.18	9.07	8.46	9.87	5.87	8.39	10.83	8.35	10.83	5.87
δ Ce	1.06	1.11	1.09	1.09	1.09	1.09	1.15	1.06	1.02	1.08	1.15	1.02
δ Eu	0.58	0.86	0.85	0.67	0.57	0.64	0.36	0.54	0.49	0.62	0.86	0.36

注: 数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析测试; A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), A/NK=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O), N/C=Na₂O/CaO, 三者均为摩尔比, 比值单位为1; ΣREE为不包含Y的稀土元素测试值总和, LREE/HREE、δCe、δEu为球粒陨石标准化后计算值。

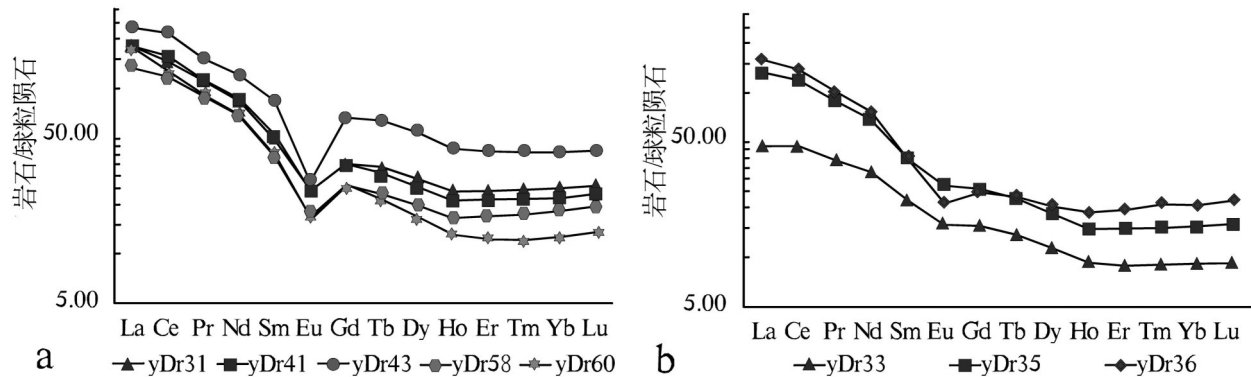


图3 宝音图群变质岩稀土元素配分曲线图

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of Baoyintu Group metamorphic rocks

2 成矿花岗岩

由于其与钼矿空间关系密切,我们在矿区周围无矿化地区段(图2)的新鲜岩石出露区分别采集了各类花岗岩样品,同时作了岩石学、岩石化学、微量元素、稀土元素测试,并分别挑选锆石进行铀铅同位素测年,以便于对比研究。

2.1 岩石学特征

斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩和细晶花岗岩及花岗斑岩主要差别是结构构造不同,斜长花岗岩呈灰白色粗晶似斑状结构(图4-a),二长花岗岩呈黄褐色中粒花岗结构(图4-b),钾长花岗岩红褐色中粒花岗结构,细晶花岗岩及花岗斑岩为细晶质或者隐晶质斑状结构。主要矿物组成是斜长石、钾长石和石英,少量白云母及黑云母。

斜长石以更长石和钠长石为主,聚片双晶不太发育,常发育宽缓环带构造,外部环带类似次生边构造(图4-c),一些斜长石发育绿帘石化和绿泥石化蚀变,尤其是核部蚀变明显(图4-d)。钾长石有卡式双晶的正长石(图4-e)、格子双晶的微斜长石(图4-f)和条纹构造的条纹长石(图4-g),钾长石泥化较强,局部见绢云母、白云母化蚀变。上述组成矿物在不同岩石中含量比例略有不同,斜长花岗岩中斜长石含量较高,而二长花岗岩和钾长花岗岩中钾长石含量增加。细晶花岗岩包括细晶钾长花岗岩、细晶二长花岗岩和石英斑岩等,具有板状结构(图4-h)。

2.2 岩石化学特征

各类花岗岩岩石化学组成均显示铝过饱和, A/

CKN 为 1.04~1.18, 平均 1.11; (K_2O+Na_2O) 为 6.56~8.03, 平均 7.30, 钾长花岗岩及细晶岩中略高; (K_2O/Na_2O) 为 0.89~1.60, 平均 1.21, 细晶岩最高(表2)。各种岩石中 Na_2O 含量变化不大, 但是 K_2O 对 CaO 有一定变化, 两者呈反相关关系, 由斜长花岗岩—二长花岗岩—钾长花岗岩—细晶岩顺序, CaO 逐渐降低, 而 K_2O 逐渐增加(图5), 这些特征与 S 型花岗岩特点一致, 表明了陆壳岩熔融成因^[8-12]。

岩石中微量元素具有继承性, 同样可以反映花岗岩原始岩石成因^[13], 在沉积岩中 Sr/Ba 比值可以判别海陆沉积环境, 由于 $BaSO_4$ 的难溶性, 在海水中 Ba 一般比较低, 因此海底洋壳较陆壳 Sr/Ba 比值明显较高, 而岩石中 Zr/Y 比值则反映陆源物质的多少, 陆壳岩石较洋壳 Zr/Y 比值要高。

作者查阅了环太平洋东南亚岛弧、智利岩浆岩带及特提斯岩浆岩带岩浆岩及中国大陆典型岩浆岩地球化学元素^[14-22], 计算了 Sr/Ba 比值和 Zr/Y 比值, 并绘制相关图, 进行比较分析。环太平洋岛弧岩浆岩 Sr/Ba 比值均大于 0.6, Zr/Y 比值小于 8.0, 代表了洋壳重熔成因特征。其他地区如华北南缘秦岭大别山岩浆岩带和河北北缘燕山岩浆岩带岩浆岩的 Sr/Ba 比值均 0.15~1.0, Zr/Y 比值大部分大于 5.0; 南岭岩浆岩带岩浆岩 Sr/Ba 比值和 Zr/Y 比值均比较小; 祁连昆仑岩浆岩 Sr/Ba 比值和 Zr/Y 比值比较分散, 表明了岩浆岩成因的复杂性(图6-a)。上述资料分析显示, Sr/Ba 比值和 Zr/Y 比值可以有效区分岩浆岩形成环境和成因特征。

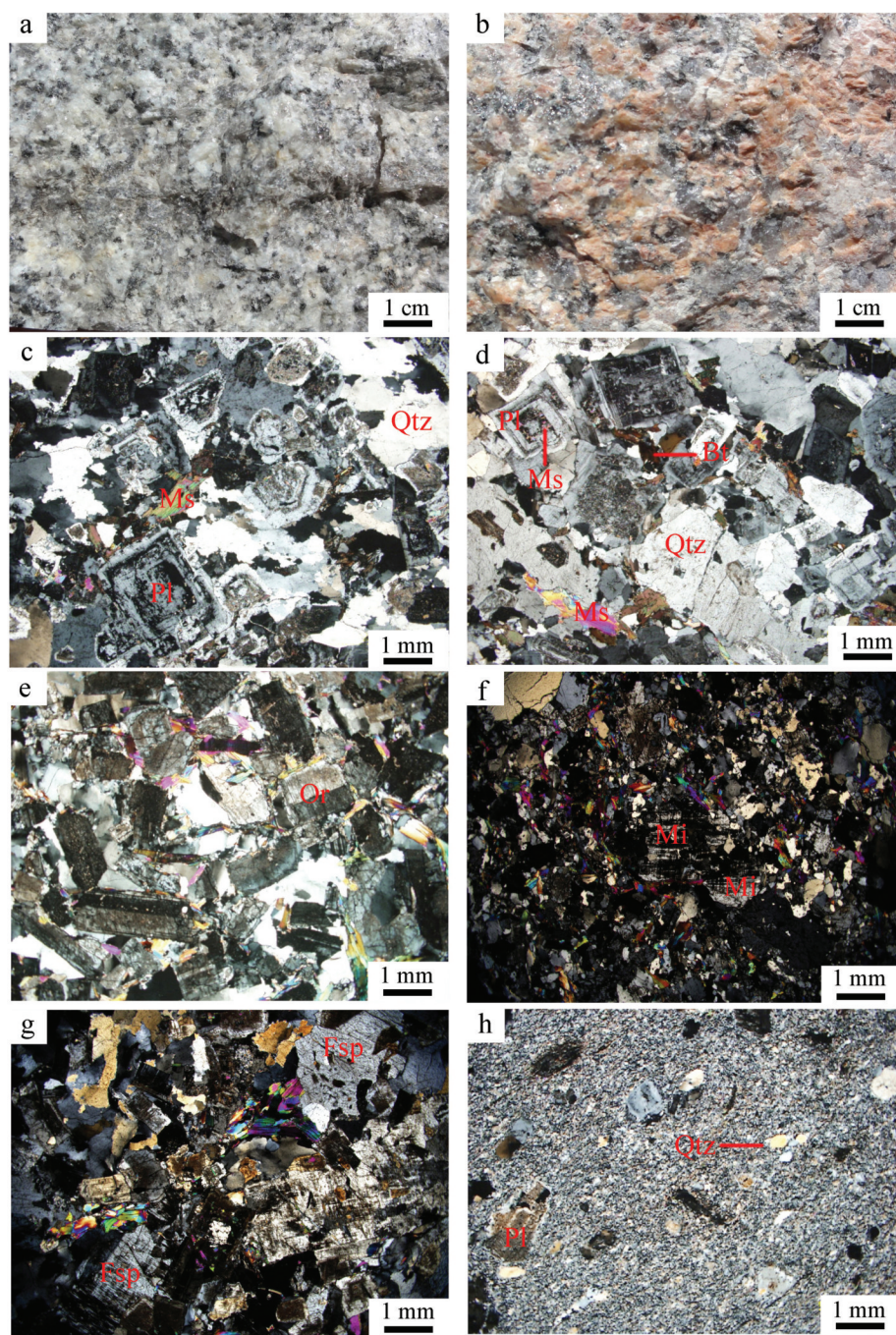


图4 成矿花岗岩野外和镜下照片

a—灰白色似斑状斜长花岗岩; b—黄褐色中粒二长花岗岩; c—灰白色中粒斜长花岗岩具有环带构造; d—黄褐色中粒二长花岗岩中斜长石具有环带构造, 环带中含白云母; e—肉红色中细粒钾长花岗岩中具有卡式双晶的正长石; f—黄褐色中粒二长花岗岩中具有格子双晶的微斜长石; g—钾长花岗岩中条纹构造的条纹长石; h—黄褐色细粒花岗斑岩脉, 含斜长石、石英斑晶; Qtz—石英; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Ms—白云母; Or—正长石; Mi—微斜长石; Fsp—条纹长石

Fig. 4 Field and microscopic photographs of the ore-forming granite

a—Grayish white porphyritic plagioclase granite; b—Yellowish brown medium-grained adamellite; c—Grayish white medium-grained plagioclase with zonal structure; d—plagioclase with zonal structure in brown medium-grained adamellite, containing muscovite; e—Orthoclase with Carlsbad twin in pale red fine-grained K-feldspar granite; f—Twin crystal lattice feldspar in yellowish brown medium-grained adamellite; g—Perthite with stripe structure in K-feldspar granite; h—Yellowish brown fine-grained granite porphyry vein, containing plagioclase, quartz phenocrysts; Qtz—Quartz; Pl—Plagioclase; Bt—Biotite; Ms—Muscovite; Or—Orthoclase; Mi—Feldspar; Fsp—Perthite

表2 花岗岩岩石化学成分(主量元素/%，微量及稀土元素/ 10^{-6})
 Table 2 Chemical composition of granite (major element/%, trace element and REE/ 10^{-6})

分析项目	Cg1	Cg8	Cg11	Cg9	Cg3	Cg4	Cg5	Cg6	Cg13	平均	最大	最小
SiO ₂	75.56	75.02	75.73	75.30	74.75	76.69	78.12	74.40	75.82	75.71	78.12	74.40
TiO ₂	0.19	0.24	0.20	0.22	0.17	0.13	0.05	0.23	0.07	0.17	0.24	0.05
Al ₂ O ₃	13.22	13.21	13.21	13.47	13.63	13.07	12.44	13.76	13.74	13.31	13.76	12.44
Fe ₂ O ₃	0.19	0.73	0.74	0.38	0.41	0.40	0.11	0.84	0.09	0.43	0.84	0.09
FeO	0.98	0.86	0.60	0.91	0.65	0.36	0.37	0.68	0.48	0.65	0.98	0.36
MnO	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02
MgO	0.32	0.32	0.21	0.40	0.29	0.13	0.09	0.29	0.14	0.24	0.40	0.09
CaO	1.70	1.11	1.04	1.85	1.81	1.00	0.64	0.99	0.64	1.20	1.85	0.64
Na ₂ O	3.11	3.43	3.30	3.47	3.48	3.44	3.33	3.16	3.09	3.31	3.48	3.09
K ₂ O	3.74	4.00	4.04	3.09	3.74	3.88	3.95	4.53	4.95	3.99	4.95	3.09
P ₂ O ₅	0.08	0.06	0.06	0.09	0.06	0.04	0.10	0.06	0.07	0.07	0.10	0.04
LOI	0.62	0.82	0.81	0.78	0.96	0.78	0.69	1.01	0.84	0.81	1.01	0.62
TOTAL	99.77	99.83	99.98	99.99	99.99	99.94	99.91	99.98	99.94	99.93	99.99	99.77
K ₂ O+Na ₂ O	6.86	7.43	7.34	6.56	7.23	7.32	7.27	7.69	8.03	7.30	8.03	6.56
K ₂ O/Na ₂ O	1.20	1.16	1.23	0.89	1.08	1.13	1.19	1.43	1.60	1.21	1.60	0.89
A/CNK	1.08	1.10	1.13	1.08	1.04	1.12	1.14	1.15	1.18	1.11	1.18	1.04
A/NK	1.44	1.32	1.35	1.49	1.39	1.33	1.28	1.36	1.32	1.36	1.49	1.28
N/C	1.65	2.79	2.86	1.70	1.73	3.09	4.71	2.89	4.39	2.87	4.71	1.65
Li	44.74	47.65	17.95	61.08	42.91	39.47	60.54	48.70	36.27	44.37	61.08	17.95
Rb	202.50	185.30	174.10	184.30	193.40	224.30	347.70	236.50	298.40	227.39	347.70	174.10
Sr	265.00	136.30	133.40	305.70	279.30	171.60	132.60	193.50	71.30	187.63	305.70	71.30
Ba	630.70	339.40	337.50	738.70	710.30	590.80	95.10	847.90	132.30	491.41	847.90	95.10
Zr	106.70	194.30	155.70	100.30	88.10	64.70	36.30	135.70	39.70	102.39	194.30	36.30
Hf	3.32	7.03	5.33	2.91	3.05	2.61	2.29	3.86	1.94	3.59	7.03	1.94
Th	14.96	32.82	40.80	15.95	14.95	13.42	6.69	22.29	8.53	18.93	40.80	6.69
U	2.94	2.97	3.70	2.34	1.77	1.88	2.59	5.95	16.53	4.52	16.53	1.77
Y	12.73	68.11	165.64	9.97	11.20	9.27	14.07	6.39	10.27	34.18	165.64	6.39
Nb	11.03	14.42	14.95	10.08	9.02	11.03	16.26	11.43	17.50	12.86	17.50	9.02
Ta	1.44	0.80	0.68	1.59	1.51	1.66	2.92	0.99	4.07	1.74	4.07	0.68
Cr	9.10	15.40	10.00	13.00	8.00	9.50	11.60	14.60	10.00	11.24	15.40	8.00
Ni	2.16	3.97	3.21	1.99	2.10	1.61	1.88	2.03	1.51	2.27	3.97	1.51
Co	1.57	3.28	2.31	1.76	1.76	0.97	0.50	1.79	0.68	1.62	3.28	0.50
V	16.20	23.20	18.40	19.50	18.50	12.70	15.70	17.90	14.20	17.37	23.20	12.70
Cs	9.03	19.01	5.89	13.35	11.69	17.42	17.43	17.06	10.37	13.47	19.01	5.89
Sc	3.42	5.40	5.57	3.28	3.18	3.08	2.48	2.67	3.12	3.58	5.57	2.48
Ga	19.75	19.87	20.52	19.28	18.71	17.97	21.53	23.68	21.53	20.32	23.68	17.97
Be	3.84	3.29	2.76	5.18	3.57	4.45	4.16	4.55	7.62	4.38	7.62	2.76
Cd	0.21	0.06	0.09	0.08	0.15	0.06	0.06	0.09	0.19	0.11	0.21	0.06
Rb/Sr	0.76	1.36	1.31	0.60	0.69	1.31	2.62	1.22	4.19	1.56	4.19	0.60
Sr/Ba	0.42	0.40	0.40	0.41	0.39	0.29	1.39	0.23	0.54	0.50	1.39	0.23
Th/U	5.09	11.06	11.03	6.80	8.43	7.15	2.58	3.74	0.52	6.27	11.06	0.52
V/Cr	1.78	1.51	1.84	1.50	2.31	1.34	1.35	1.23	1.42	1.59	2.31	1.23
Zr/Y	8.38	2.85	0.94	2.58	10.06	7.87	6.98	21.24	3.87	3.00	1.17	5.68
La	32.74	58.81	61.86	33.55	25.33	15.41	9.14	44.74	11.02	32.51	61.86	9.14
Ce	56.63	110.29	123.29	53.48	41.85	25.85	15.96	70.74	18.08	57.35	123.29	15.96
Pr	6.41	13.24	14.90	6.09	4.61	3.00	1.88	7.48	2.09	6.63	14.90	1.88
Nd	22.37	49.25	57.60	21.10	16.19	10.77	6.45	24.42	7.49	23.96	57.60	6.45
Sm	3.94	10.36	14.93	3.50	2.99	2.18	1.75	3.59	1.72	5.00	14.93	1.72
Eu	0.72	0.81	0.64	0.71	0.61	0.41	0.15	0.76	0.18	0.55	0.81	0.15
Gd	3.08	10.48	17.42	2.60	2.37	1.79	1.65	2.58	1.62	4.84	17.42	1.62
Tb	0.46	1.90	3.78	0.39	0.38	0.30	0.37	0.30	0.29	0.91	3.78	0.29
Dy	2.56	12.52	26.98	2.06	2.07	1.79	2.51	1.43	1.87	5.98	26.98	1.43
Ho	0.45	2.44	5.51	0.34	0.37	0.31	0.44	0.22	0.31	1.15	5.51	0.22
Er	1.25	7.26	16.46	0.93	1.11	0.94	1.42	0.62	0.96	3.44	16.46	0.62
Tm	0.19	1.04	2.39	0.14	0.15	0.14	0.21	0.08	0.16	0.50	2.39	0.08
Yb	1.18	6.29	14.25	0.85	1.06	0.90	1.55	0.49	1.07	3.07	14.25	0.49
Lu	0.17	0.91	2.02	0.14	0.16	0.13	0.21	0.07	0.17	0.44	2.02	0.07
REE	132.15	285.58	362.03	125.87	99.25	63.94	43.70	157.51	47.05	146.34	362.03	43.70
LRE/HRE	13.14	5.67	3.08	15.93	11.95	9.13	4.23	26.22	6.28	10.63	26.22	3.08
δCe	0.94	0.95	0.98	0.90	0.93	0.92	0.93	0.93	0.91	0.93	0.98	0.90
δEu	0.63	0.24	0.12	0.72	0.70	0.64	0.28	0.76	0.32	0.49	0.76	0.12

注: 数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析测试; A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), A/NK=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O), N/C=Na₂O/CaO, 三者均为摩尔比, 比值单位为1; ΣREE为不包含Y的稀土元素测试值总和, LREE/HREE、δCe、δEu为球粒陨石标准化后计算值。

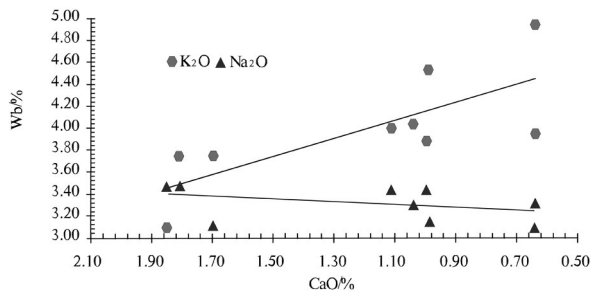


图5 K₂O、Na₂O-CaO相关图
Fig.5 K₂O, Na₂O-CaO correlation diagram

与上述不同环境岩浆岩比较, 宝音图钼矿区岩浆岩的 Sr/Ba-Zr/Y 值更接近于秦岭大别带岩浆岩

和燕山带岩浆岩的 Sr/Ba-Zr/Y 值(图 6-b), 属于陆缘隆起带陆壳重熔型岩浆岩特征^[23-25]。

稀土元素特征显示, 斜长花岗岩稀土总量较高, 轻重稀土分异不明显, 而二长花岗岩、钾长花岗岩和细晶花岗斑岩稀土总量较低, 轻重稀土分异明显, 负铕异常大小不同, 均具有弱负铕异常, 显示两种配分模式, δEu 与 LREE/HREE 值正相关, 铕异常明显的样品轻重稀土比值小(图 7-a), 反之轻重稀土比值大的样品铕异常小(图 7-b)。

3 花岗岩体年龄及其时代顺序

本文分别在复合岩体不同部位采取斜长花岗

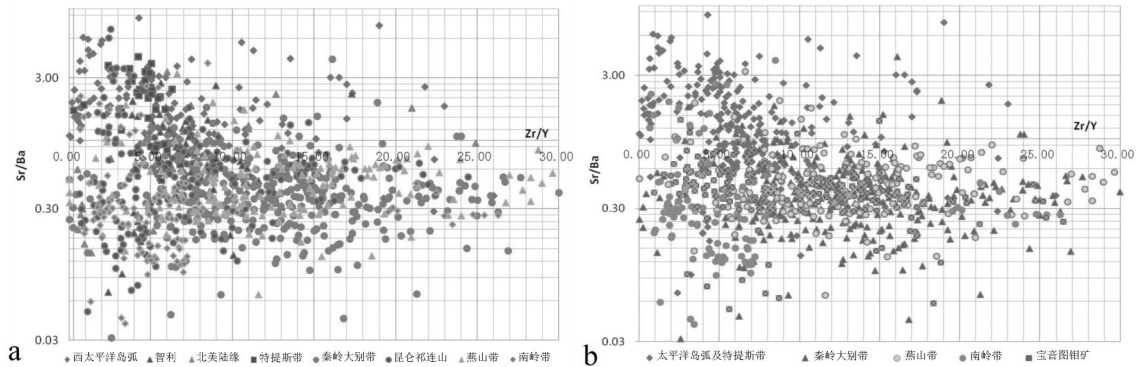


图6 岩浆岩的 Sr/Ba 对 Zr/Y 特征分布
a—世界各岩浆岩带岩浆岩 Sr/Ba 对 Zr/Y 变化趋势图; b—宝音图、太平洋岛弧及中国陆内花岗岩 Sr/Ba 对 Zr/Y 比较图
Fig.6 Sr / Ba versus Zr / Y characteristic distribution of magmatic rocks

a- Sr/Ba versus Zr/Y variation trend diagram of magmatic rocks in various magmatic rock belts of the world; b- Sr/Ba versus Zr/Y correlation diagram of Baoyintu, Pacific island arc and intracontinental granites of China

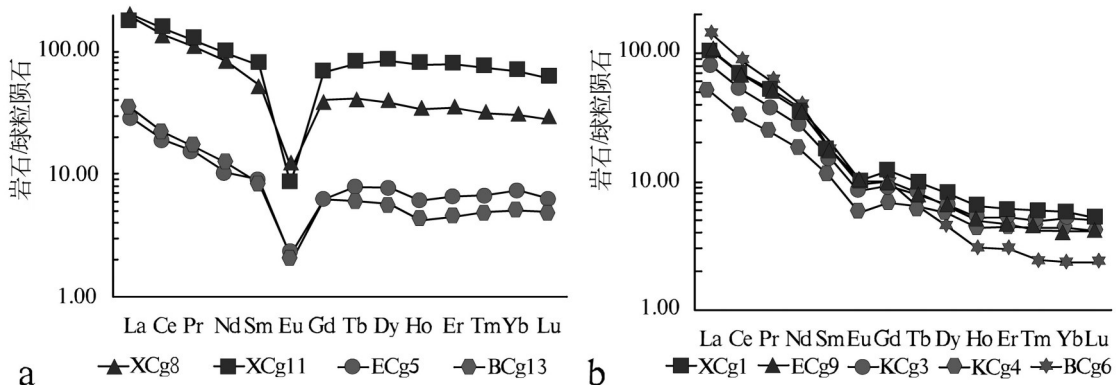


图7 花岗岩稀土配分曲线图
a—花岗岩强负铕异常稀土配分曲线图; b—花岗岩弱负铕异常稀土配分曲线图
Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns of granite
a-Strong negative europium anomaly REE patterns of granite; b-Weak negative europium anomaly REE patterns of granite

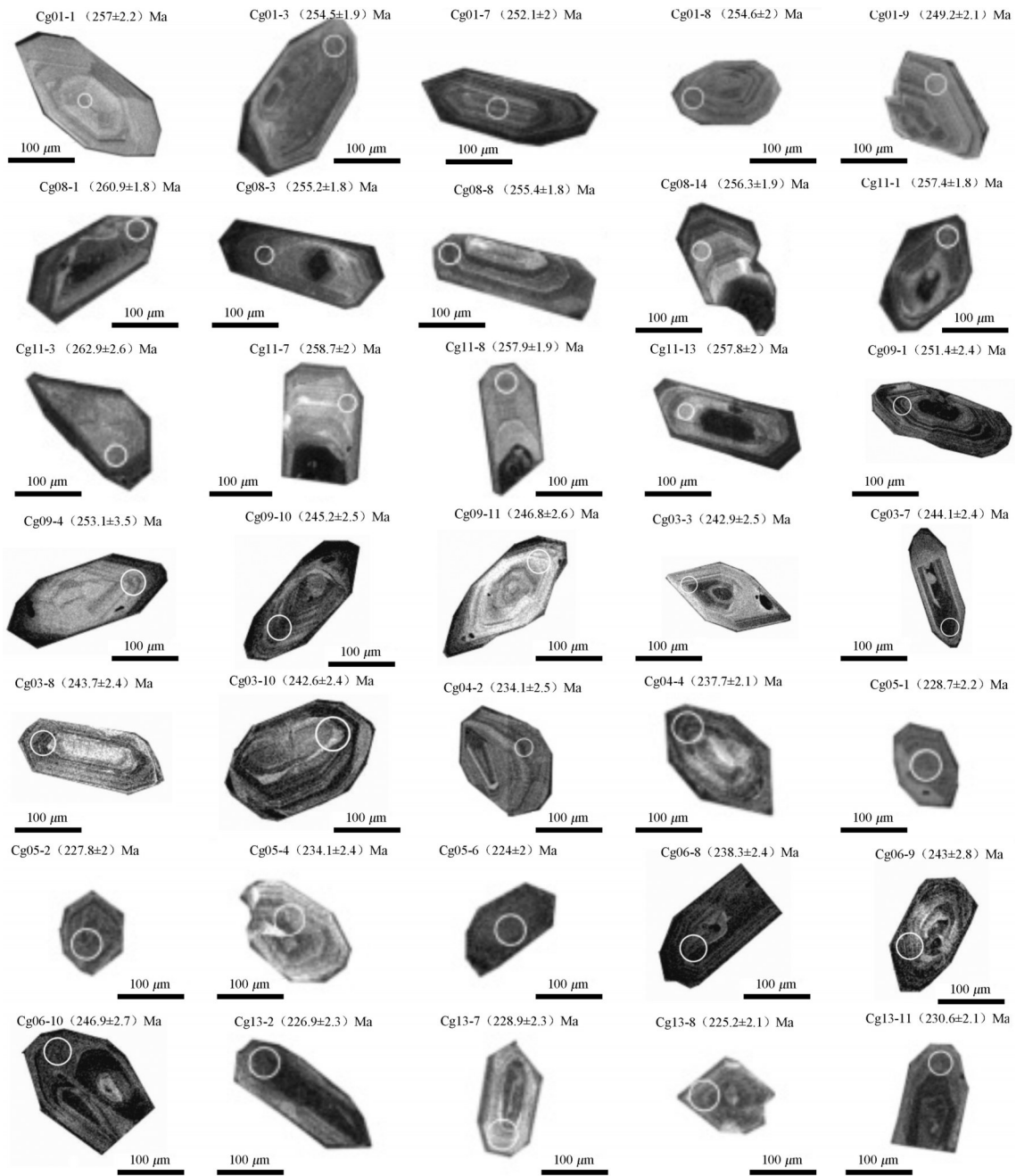


图8 锆石U-Pb同位素测点分布图
Fig.8 Distribution of zircon U-Pb isotope measuring points

岩、二长花岗岩、钾长花岗岩和细晶花岗岩及花岗斑岩,分选锆石单矿物。每个花岗岩样品中都分选了上百颗锆石颗粒,锆石结构形态不同,大部分锆石自形程度较好,均为无色透明的柱状双锥晶体。锆石颗粒CL图呈典型的岩浆韵律环带,均为岩浆成因锆石,本文选择自形程度好、环带结构明显、透

明度较高的自生锆石进行LA-ICP-MS U-Pb年龄测定(图8)。

锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄测定在国家地质测试实验中心完成测试和计算。LA-ICP-MS为Perkin Elmer/SCIEX公司带有动态反应池的四极杆ICP-MS Elan6100DRC,参考物质为美国国家标准

表3 花岗岩中锆石LA-ICP-MSU-Pb年龄测定值
Table 3 LA-ICP-MSU U-Pb dating data of zircon from the granite

Spot	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/\text{Pb}_0\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma} \pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma} \pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}/\text{Ma} \pm \sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}/\text{Ma} \pm \sigma$				
Cg01-1	3.79	1.26	107	32	0.31	0.0654	15	0.367	15	0.0407	2.2	257	5.5	787	320	463	31
Cg01-2	6.65	0.44	187	117	0.65	0.0594	6.6	0.338	6.9	0.0413	1.9	260.7	4.9	582	140	241	12
Cg01-3	9.12	0.72	262	72	0.29	0.0542	7.6	0.301	7.9	0.0403	1.9	254.5	4.7	381	170	241	12
Cg01-4	12.8	0.62	374	177	0.49	0.0505	4.1	0.277	4.4	0.0397	1.8	251	4.4	219	94	241	12
Cg01-5	15.2	0.36	437	79	0.19	0.052	3.3	0.289	3.8	0.0403	1.8	254.5	4.4	286	76	241	12
Cg01-6	9.37	1.6	278	100	0.37	0.0524	11	0.279	12	0.0386	2.2	243.9	5.2	303	260	243	25
Cg01-7	8.59	1.56	247	117	0.49	0.0494	16	0.272	16	0.0399	2	252.1	5	168	380	240	33
Cg01-8	6.46	1.14	184	99	0.55	0.0625	11	0.347	11	0.0403	2	254.6	4.9	692	230	278	25
Cg01-9	8.22	1.61	239	84	0.36	0.0431	17	0.234	17	0.0394	2.1	249.2	5	-164	420	204	41
Cg01-10	7.05	1.13	201	79	0.41	0.0599	9.3	0.333	9.5	0.0404	2	255	5	601	200	283	25
Cg01-11	18.5	0.74	522	201	0.4	0.0503	3.6	0.284	4	0.041	1.8	259	4.5	208	83	243	10
Cg01-12	11.5	2.36	326	204	0.65	0.049	7.7	0.272	7.9	0.0402	1.9	254.3	4.7	146	180	497	17
Cg01-13	13.9	0.25	414	158	0.39	0.0509	4.4	0.274	4.8	0.039	1.8	246.4	4.3	237	100	247.2	9.7
Cg01-14	10.3	1	313	152	0.5	0.0455	6.6	0.238	6.9	0.0379	1.9	240	4.4	-31	160	217	12
Cg01-15	12	6.23	344	187	0.56	0.1221	6.6	0.64	6.9	0.038	2	240.6	4.7	1987	120	463	31
Cg8-1	17.8	0.66	499	175	0.36	0.0498	4.6	0.284	5	0.0413	1.8	260.9	4.5	186	110	241	12
Cg8-2	26.8	1.59	979	425	0.45	0.0712	3.5	0.308	3.9	0.0314	1.8	199.2	3.4	962	71	222	10
Cg8-3	22	0.49	632	158	0.26	0.0523	4.1	0.291	4.5	0.0404	1.8	255.2	4.4	300	94	245	12
Cg8-4	14.1	2.73	434	398	0.95	0.0511	8.4	0.26	8.6	0.0369	1.8	233.4	4.2	245	190	225	10
Cg8-5	24.3	1.47	941	264	0.29	0.0634	3.5	0.259	3.9	0.0296	1.7	187.9	3.2	723	74	239	12
Cg8-6	9.15	1.44	247	88	0.37	0.0477	10	0.28	10	0.0425	1.9	268.4	5.1	84	240	240	24
Cg8-7	57.1	0.45	368	42	0.12	0.1079	2.3	2.676	2.9	0.1798	1.8	1066	17	1765	42	956	170
Cg8-8	24.1	0.18	692	178	0.27	0.0515	2.3	0.287	2.9	0.0404	1.8	255.4	4.4	263	52	266	9.3
Cg8-9	13.3	0.92	369	126	0.35	0.0525	12	0.302	12	0.0417	1.9	263.4	5	306	270	245	33
Cg8-10	44.7	0.27	213	123	0.6	0.0874	1.2	2.929	2.2	0.243	1.8	1402	22	1370	24	1339	31
Cg8-11	15.2	3.66	425	140	0.34	0.059	8.2	0.326	8.4	0.0401	1.9	253.2	4.6	568	180	280	31
Cg8-12	37.7	0.92	1191	353	0.31	0.0508	3.6	0.256	4	0.0365	1.7	230.9	3.9	234	82	201.2	9.8
Cg8-13	19.7	1	568	233	0.42	0.0508	7.2	0.28	7.4	0.04	1.8	252.8	4.5	234	170	237	18
Cg8-14	9.86	1.15	280	101	0.37	0.0513	9.2	0.287	9.3	0.0406	1.9	256.3	4.7	252	210	258	16
Cg8-15	32.7	0.82	1037	383	0.38	0.0519	4.3	0.261	4.6	0.0364	1.8	230.5	4	283	98	216	11
Cg11-1	14.1	1.47	398	191	0.5	0.0484	8.1	0.272	8.3	0.0407	1.8	257.4	4.6	119	190	227	16
Cg11-2	17.1	0.52	494	135	0.28	0.0505	4.7	0.279	5	0.04	1.8	252.9	4.5	219	110	254	17

续表3

Spot	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}/\text{Ma}$	$\pm\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}/\text{Ma}$	$\pm\sigma$
Cg11-3	10.9	0.91	302	133	0.46	0.0523	11	0.3	11	0.0416	2.6	262.9	6.7	297	250	241	26
Cg11-4	7.7	2.01	206	96	0.48	0.0431	17	0.254	17	0.0427	2.1	269.5	5.6	-160	410	250	34
Cg11-5	9.99	1.35	274	139	0.52	0.05	11	0.288	11	0.0418	1.9	264.1	4.9	197	250	248	18
Cg11-6	12.7	1.29	361	124	0.36	0.0506	8.5	0.281	8.7	0.0403	1.8	254.7	4.6	225	200	230	23
Cg11-7	6.74	2.24	187	89	0.49	0.0464	15	0.262	15	0.0409	2	258.7	5.2	17	360	237	23
Cg11-8	9.4	0.81	266	102	0.4	0.0501	7.6	0.282	7.8	0.0408	1.9	257.9	4.8	199	180	247	18
Cg11-13	10	1.34	282	110	0.4	0.0495	8.5	0.279	8.7	0.0408	2	257.8	5	174	200	236	23
斜长花岗岩均	15.91	1.30	412.31	158.05	0.42	0.06	7.84	0.42	8.11	0.05	1.91	250.17	5.45	396.51	179.23	303.84	24.12
最大	57.1	6.23	1191	425	0.95	0.1221	17	2.929	17	0.243	2.6	269.5	22	1987	420	1339	170
最小	3.79	0.18	107	32	0.12	0.0431	1.2	0.234	2.2	0.0296	1.7	187.9	3.2	-164	24	201.2	9
Cg9-1	29.7	0.72	864	392	0.47	0.0518	4.3	0.284	4.9	0.0398	2.4	251.4	5.8	278	99	246	11
Cg9-2	30.8	0.96	857	60	0.07	0.0486	6.4	0.277	6.9	0.0414	2.4	261.4	6.1	127	150	149	57
Cg9-3	11.5	2.92	347	184	0.55	0.0444	15	0.229	15	0.0374	2.6	236.9	6.1	-86	370	214	22
Cg9-4	4.1	6.95	111	66	0.61	0.036	58	0.2	58	0.04	3.5	253.1	8.6	-600	1600	193	57
Cg9-5	170	0.11	557	147	0.27	0.1251	1.1	6.14	2.6	0.356	2.3	1963	39	2030	20	2287	93
Cg9-6	91.7	0.06	284	43	0.16	0.1191	0.7	6.17	2.5	0.3753	2.4	2054	42	1943	13	2149	63
Cg9-7	135	0.15	445	50	0.12	0.1166	0.7	5.67	2.4	0.3527	2.3	1948	39	1905	12	1899	74
Cg9-8	10.8	2.15	320	179	0.58	0.0463	14	0.246	14	0.0386	2.6	244.2	6.2	12	340	241	22
Cg9-9	12.4	1.35	368	191	0.54	0.0513	11	0.273	12	0.0386	2.6	243.8	6.1	254	260	246	22
Cg9-10	17.6	0.93	522	205	0.41	0.0512	9	0.274	9.3	0.0388	2.5	245.2	5.9	251	210	250	22
Cg9-11	9.1	1.8	267	96	0.37	0.0515	12	0.277	12	0.039	2.6	246.8	6.3	264	270	261	32
二长花岗岩均	47.52	1.65	449.27	146.64	0.38	0.07	12.02	1.82	12.69	0.13	2.56	247.85	15.55	579.82	304.00	739.55	43.18
最大	170.00	6.95	864.00	392.00	0.61	0.13	58.00	6.17	58.00	0.38	3.50	261.40	42.00	2030.00	1600.00	2287.00	93.00
最小	4.10	0.06	111.00	43.00	0.07	0.04	0.70	0.20	2.40	0.04	2.30	236.90	5.80	-600.00	12.00	149.00	11.00
Cg3-1	26.5	0.21	784	122	0.16	0.0524	2	0.284	3.1	0.0393	2.4	248.2	5.8	302	47	260	17
Cg3-2	22.3	7.83	573	180	0.33	0.0433	16	0.249	16	0.0417	2.5	263.3	6.6	-153	390	209	59
Cg3-3	16.8	1.93	498	239	0.5	0.0422	13	0.223	13	0.0384	2.5	242.9	5.9	-217	320	212	18
Cg3-4	12.6	2.7	362	118	0.34	0.053	21	0.285	21	0.0393	2.6	248.6	6.4	308	480	232	48
Cg3-5	19.5	0.86	576	262	0.47	0.0474	6.1	0.256	6.6	0.0391	2.4	247.2	5.9	71	150	230	13
Cg3-6	19.6	4.5	623	179	0.3	0.0444	13	0.214	13	0.035	2.5	221.7	5.4	-90	310	209	38
Cg3-7	19.2	1	573	539	0.97	0.0468	6.5	0.249	6.9	0.0386	2.5	244.1	5.9	38	150	233.7	8.5
Cg3-8	28.3	0.46	852	298	0.36	0.0503	4.1	0.267	4.7	0.0385	2.4	243.7	5.7	208	94	235	11

续表3

Spot	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}/\text{Ma}$	$\pm\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}/\text{Ma}$	$\pm\sigma$
Cg3-9	18.9	2.63	570	323	0.59	0.0427	10	0.222	10	0.0377	2.5	238.4	5.7	-183	250	228	16
Cg3-10	20.8	0.77	627	284	0.47	0.0503	5.3	0.266	5.8	0.0384	2.4	242.6	5.7	209	120	236	11
Cg4-1	11.1	0.87	335	205	0.63	0.0519	5.7	0.273	6	0.0382	2.1	241.4	5	283	130	239.4	9.5
Cg4-1.2	10.7	1.57	319	90	0.29	0.0453	10	0.239	11	0.0382	2.2	241.9	5.1	-39	250	190	31
Cg4-2	8.46	4.86	253	169	0.69	0.045	29	0.227	29	0.037	2.5	234.1	5.8	-78	700	203	31
Cg4-3	9.16	5.79	292	113	0.4	0.048	26	0.228	26	0.0345	2.4	218.3	5.1	100	610	188	45
Cg4-4	15.8	2.28	477	191	0.41	0.0487	8.4	0.252	8.6	0.0376	2.1	237.7	4.9	135	200	209	20
Cg4-5	17	0.99	541	168	0.32	0.0503	10	0.251	10	0.0362	2.1	229.1	4.8	207	240	216	29
钾长花岗岩均	17.30	2.45	515.94	217.50	0.45	0.05	11.63	0.25	11.92	0.04	2.38	240.20	5.61	68.81	277.56	220.63	25.31
最大	28.30	7.83	852.00	539.00	0.97	0.05	29.00	0.29	29.00	0.04	2.60	263.30	6.60	308.00	700.00	260.00	59.00
最小	8.46	0.21	253.00	90.00	0.16	0.04	2.00	0.21	3.10	0.03	2.10	218.30	4.80	-217.00	47.00	188.00	8.50
Cg5-1	9.97	3.16	311	163	0.54	0.0495	16	0.246	16	0.0361	2.2	228.7	5	170	370	220	23
Cg5-2	21.4	0.5	687	142	0.21	0.0546	3	0.271	3.6	0.036	2	227.8	4.5	394	67	240	16
Cg5-3	31.2	0.96	1034	327	0.33	0.0497	4	0.238	4.5	0.0348	2	220.3	4.3	182	94	215	12
Cg5-4	8.59	1.96	265	143	0.56	0.0457	21	0.233	21	0.037	2.4	234.1	5.5	-16	500	216	33
Cg5-5	32.2	2.94	1090	301	0.29	0.0521	6.6	0.24	6.9	0.0334	2	211.5	4.3	291	150	207	24
Cg5-6	16.3	2.24	525	148	0.29	0.0486	8.7	0.237	8.9	0.0354	2.2	224	4.8	127	200	201	25
Cg5-7	22.2	3.72	661	514	0.8	0.0535	14	0.278	14	0.0376	2.2	238.2	5.2	351	320	221	20
Cg5-8	56.2	0.38	1205	37	0.03	0.0642	1.9	0.478	2.7	0.054	2	339.3	6.5	748	40	1060	97
Cg5-9	31.9	3.08	1110	491	0.46	0.0542	6.6	0.242	7	0.0324	2.3	205.6	4.6	378	150	165	15
Cg5-10	25.6	1.53	870	238	0.28	0.0467	11	0.217	12	0.0338	2.1	214.1	4.4	33	270	198	30
Cg6-1	61.7	0.12	169	110	0.68	0.1519	0.8	8.92	2.6	0.426	2.4	2,287	47	2367	14	2238	59
Cg6-2	21.6	2.72	595	252	0.44	0.0499	8.1	0.282	8.5	0.0411	2.4	259.4	6.2	191	190	277	22
Cg6-3	122	8.61	1042	210	0.21	0.109	11	1.87	11	0.1243	2.9	755	21	1786	200		
Cg6-4	22.3	1.96	711	331	0.48	0.0513	5.6	0.254	6.1	0.0359	2.4	227.2	5.3	253	130	217	13
Cg6-5	45.8	1.4	1162	143	0.13	0.0551	6.8	0.343	7.2	0.0452	2.4	285	6.7	414	150	180	38
Cg6-6	91.7	0.37	669	49	0.08	0.0663	1.2	1.452	2.6	0.1589	2.3	951	21	815	26	720	81
Cg6-7	19.9	0.94	731	388	0.55	0.0516	3.9	0.224	14	0.0314	13	200	25	268	89	204	27
Cg6-8	37.7	4.02	1119	597	0.55	0.0541	6.4	0.281	6.8	0.0377	2.4	238.3	5.5	376	140	233	17

技术协会研制的人工合成硅酸盐玻璃 NIST-SRM610, 锆石 U-Pb 年龄的测定采用国际标准锆石 91500 作为外标校正方法, 以 Si 做内标, 测定锆石中的 U、Th、Pb 含量^[26-27]。

实验室给出 U、Th、Pb 含量和年龄测试数据(表 3), 结果显示锆石中放射性铅 $^{206}\text{Pb}^*$ 含量低, 为 $2.90 \times 10^{-6} \sim 170.00 \times 10^{-6}$, 平均 25.15×10^{-6} , 普通铅 ^{206}Pb 占全铅比例 0.06%~13.96%, 平均 2.10%, 并根据 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 测试值绘制谐和图和年龄加权平均值图(图 9、10)。

各期花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图显示, 上交点年龄 2400 Ma(图 11), 与新太古代—古元古代变质岩年龄基本一致, 表明成矿花岗岩源区岩石是新太古代—新元古代变质岩。大部分样品年龄集中于 250 Ma 左右, 表示是岩浆侵入年龄。从 2400 Ma 到 250 Ma 有一系列同位素年龄, 是相同年龄的锆石发生不同程度放射成因铅丢失的表现。

复合岩体平均年龄 $(225.9 \pm 4.4) \text{ Ma} \sim (258.8 \pm 3.3) \text{ Ma}$ (图 9、10), 属于印支晚期复合岩体(表 4)。从斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩到细晶花岗岩和花岗斑岩的测试的平均年龄结果显示很好的变化规律, 年龄逐渐变小, 斜长花岗岩为 $(252.1 \pm 3.4) \text{ Ma} \sim (258.8 \pm 3.3) \text{ Ma}$; 二长花岗岩 $(247.5 \pm 4.4) \text{ Ma}$; 钾长花岗岩 $(236.8 \pm 4.5) \text{ Ma} \sim (244.3 \pm 4.2) \text{ Ma}$; 细晶花岗岩、细晶二长花岗岩及花岗斑岩为 $(225.9 \pm 4.4) \text{ Ma} \sim (237.5 \pm 5.9) \text{ Ma}$ 。因此从斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩到细晶花岗岩和花岗斑岩的年龄看, 其分别代表了岩浆的不同演化阶段, 每个演化阶段持续时间在 10 Ma 之内, 而各个阶段之间间隔约在 5 Ma 之内, 显示了岩浆演化具有每个阶段延续时间长, 各阶段之间间隔时间短的特点。

4 成矿花岗岩成因与演化

从成矿花岗岩岩石化学特征比较, 具有铝过饱和, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 大于 1.1, 显 S 型花岗岩成分特征。并且各类花岗岩均显示低 Sr, 高 Rb, 高 Zr, 高 U, 低 Th, Sr/Ba 低于 1, V/Cr 低于 1.5 等特征, 本文采集同位素样品的 Zr/Y 在 1.17~5.68, 而全区测的样品中 Zr/Y 在 1~20, 这些特征明显不同于环太平洋岛弧洋壳熔融形成的埃达克岩特征, 是陆壳熔融成因花岗岩, 并且与华北北缘燕山花岗岩带及华北

南缘秦岭大别山花岗岩带岩浆岩地球化学特征极其相似^[14-25]。

与区内元古宇宝音图群变质岩成分比较^[28-31], 有许多相近之处, 宝音图群变质岩显示高铝高钾, 低铈低铁族元素的表壳沉积变质岩特点, 因此区域内成矿花岗岩可能属于元古界表壳岩熔融形成。

从元古宇表壳岩组成元素聚类分析图谱与成矿花岗岩组成元素聚类分析图谱比较, 又有明显不同, 表明在花岗岩岩浆熔融演化过程中发生了元素分异。

变质岩岩石化学成分集中为 3 个群组, SiO_2 、Zr、Hf、Th、Y、La、Ce 相关组显示为碎屑矿物组成, K_2O 、 Al_2O_3 、Rb、U、 Na_2O 相关组显示为继承粘土矿物组成, FeO、MgO、Cr、V、CaO、Sr 相关组显示为新生铁镁矿物组成(图 12-a)。

成矿花岗岩化学成分也集中为 3 个群组, 但组成不同, SiO_2 、 K_2O 、Rb、U、Nb 为富钾碱性矿物组, Al_2O_3 、FeO、MgO、CaO、Sr、Ba 相关组显示为基性矿物组成, Zr、Hf、Co、Th、Y、La、Ce、Cr、V 与 Na_2O 相关组显示为分散元素组(图 12-b)。

与变质岩岩石化学群组比较, U、Rb、Nb 迁移到硅钾矿物组, 稀土元素及 Th 被迁出, 而 Sr、Ba 碱土金属元素仍然在基性矿物组中。由于成矿岩石是富钾长石的岩石, 因此岩石中 U、Rb、Nb 含量相对较高, 而 Th/U 低、Rb/Sr 比值较高。因此可以认为地壳深部变质岩熔融阶段是发生元素迁移和成矿元素分异富集到岩浆中的重要阶段。

岩石同位素年龄显示成矿岩体形成于印支期 $(225.9 \pm 4.4) \text{ Ma} \sim (258.8 \pm 3.3) \text{ Ma}$ 4 个阶段, 斜长花岗岩阶段—二长花岗岩阶段—钾长花岗岩阶段和细晶岩阶段。4 个阶段岩石的化学成分有一定差异, 表明岩浆侵入期不同阶段元素经历了一定分异。这与同位素年龄反映的每个岩浆侵入阶段持续时间长, 不同阶段间隔时间短, 不同成岩元素组分来不及充分集中分异作用有关, 只显示了微弱分异, 而这种作用也许有利于晚期及前缘岩浆热液中缓慢集中成矿元素^[32-36]。

考虑到区域上似斑状斜长花岗岩是分布面积巨大的岩基, 二长花岗岩和钾长花岗岩仅是局部分布的岩体, 而细晶花岗岩及石英斑岩更是分布局限的小岩株, 因此岩浆晚期在有限的局限区域内集中了大量的

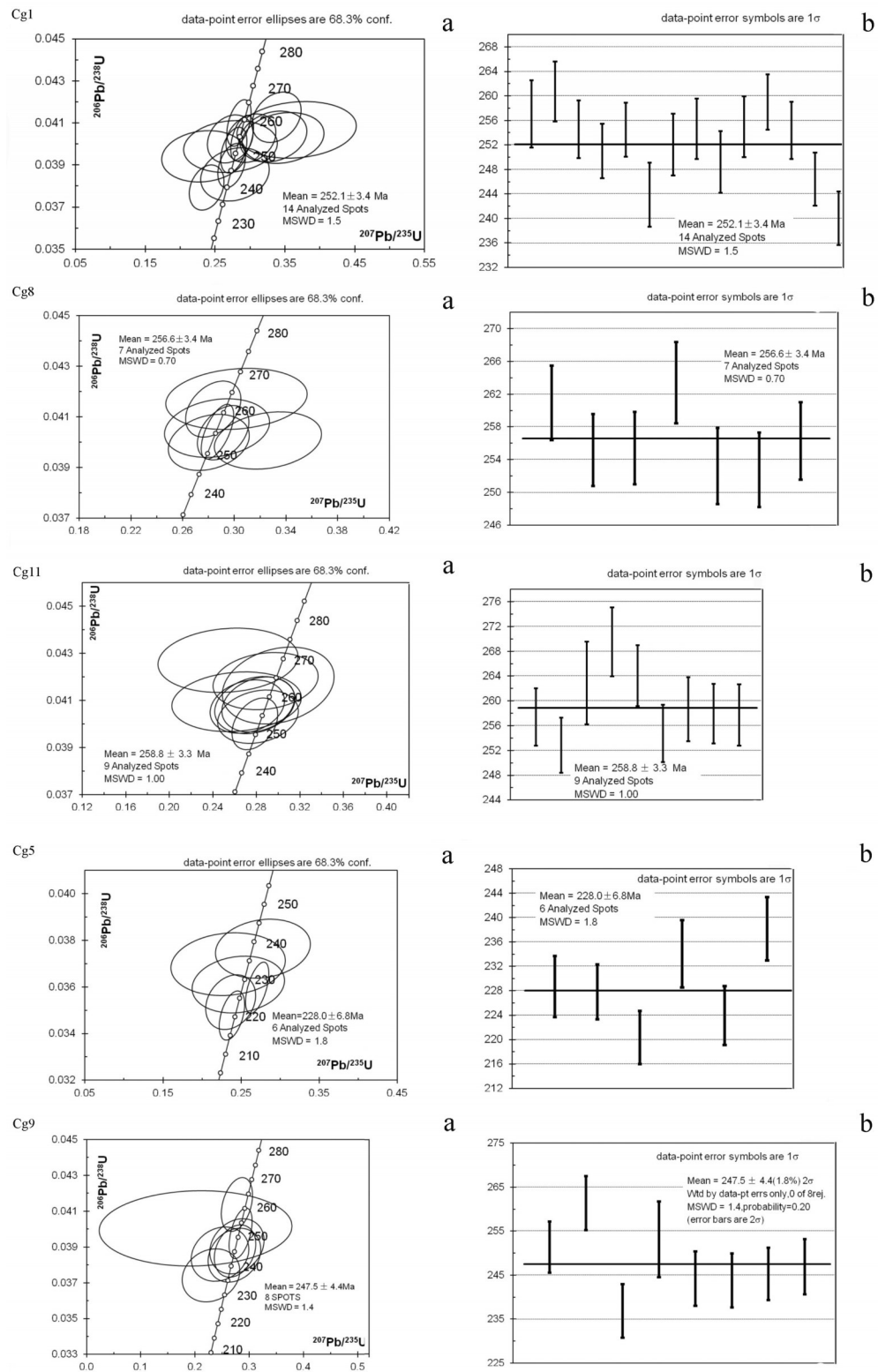


图9 Cg1、Cg8、Cg11、Cg5和Cg9花岗岩样品锆石U-Pb年龄谐和图及加权平均年龄图谱
a—锆石U-Pb年龄谐和图;b—加权平均年龄图

Fig.9 Zircon U-Pb age concordia diagram and weighted average age spectra of Cg1, Cg8, Cg11, Cg5 and Cg9 granite samples
a-Zircon U-Pb age concordia diagram; b-Weighted average age

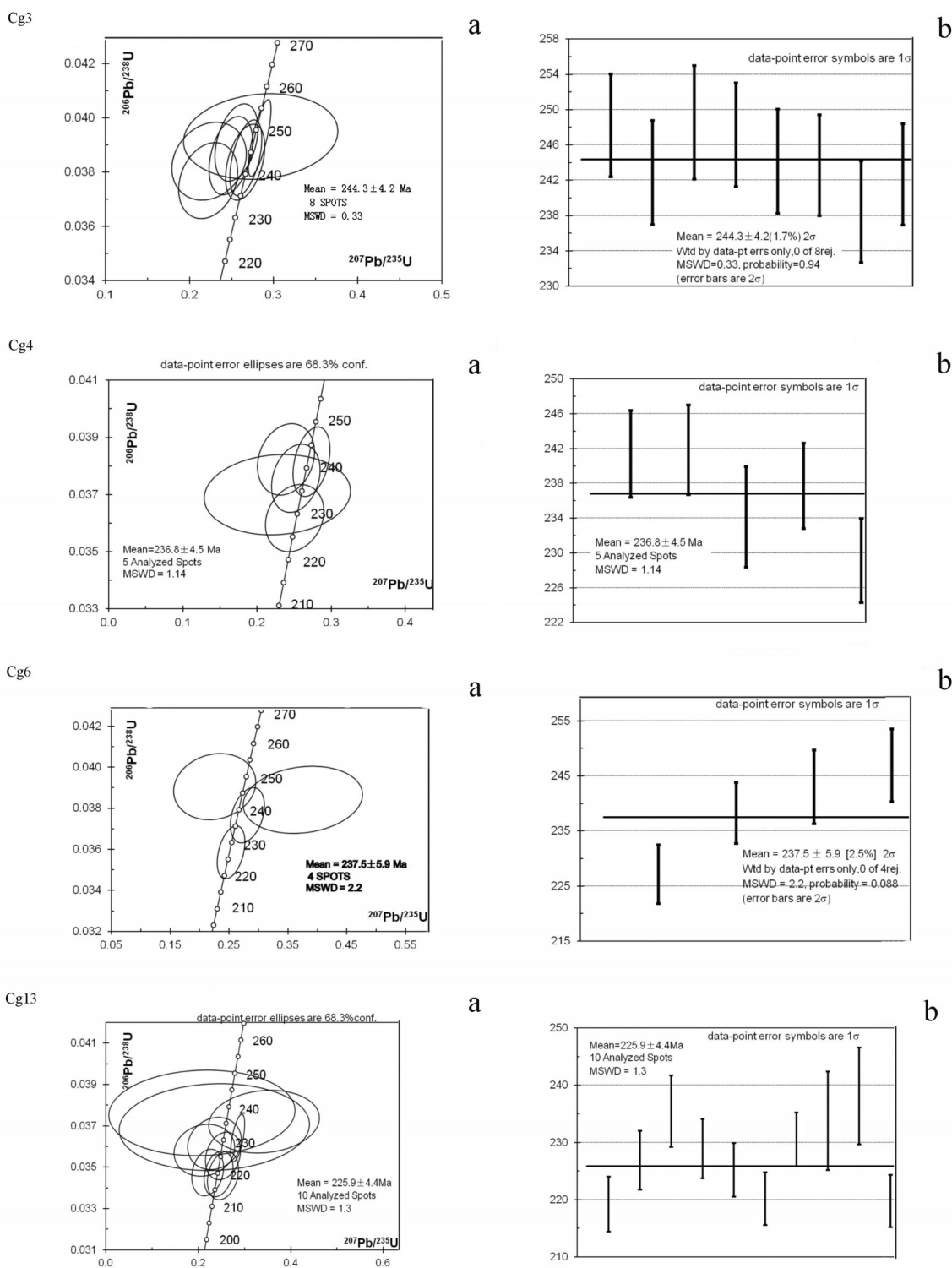


图 10 Cg3、Cg4、Cg6 和 Cg13 花岗岩样品锆石 U-Pb 年龄谱和图及加权平均年龄图

a—锆石 U-Pb 年龄谱和图; b—加权平均年龄图

Fig. 10 Zircon U-Pb age concordia diagram and weighted average age spectrum of Cg3, Cg4, Cg6, and Cg13 granite samples

a—Zircon U-Pb age concordia diagram; b—Weighted average age

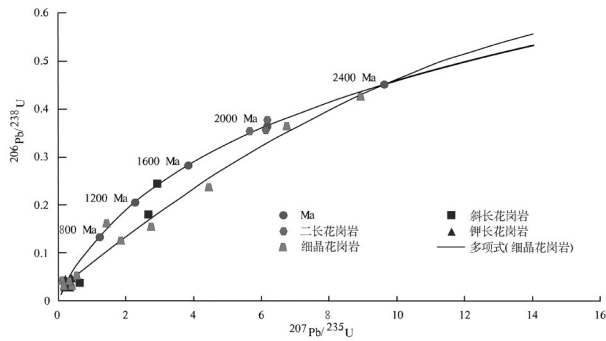


图 11 宝音图钼矿成矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐合图
Fig.11 Zircon U-Pb age concordia diagram of ore-forming granite in the Baoyintu molybdenum deposit

表 4 各类花岗岩 U-Pb 同位素年龄值
Table 4 U-Pb isotopic age values of various kinds of granite

岩样编号	岩性	年龄 /Ma	MSWD	测试锆石数/颗
Cg1	灰白色粗粒似斑状斜长花岗岩	252.1±3.4	1.5	14
Cg8	灰白色粗粒似斑状斜长花岗岩	256.6±3.4	0.7	7
Cg11	灰白色粗粒似斑状斜长花岗岩	258.8±3.3	1.0	9
Cg9	黄褐色中粒二长花岗岩	247.5±4.4	1.4	8
Cg3	红褐色中粒钾长花岗岩	244.3±4.2	0.33	8
Cg4	红褐色中粒钾长花岗岩	236.8±4.5	1.14	5
Cg6	肉红色细晶花岗岩脉	237.5±5.9	2.2	4
Cg5	黄褐色细晶二长花岗岩	228.0±6.8	1.8	6
Cg13	黄褐色细粒石英斑岩	225.9±4.4	1.3	10

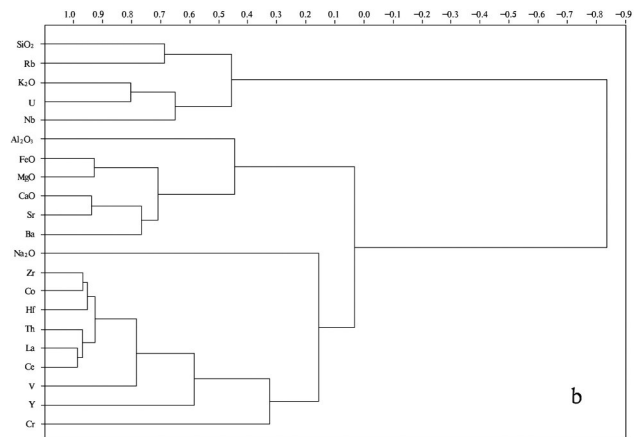
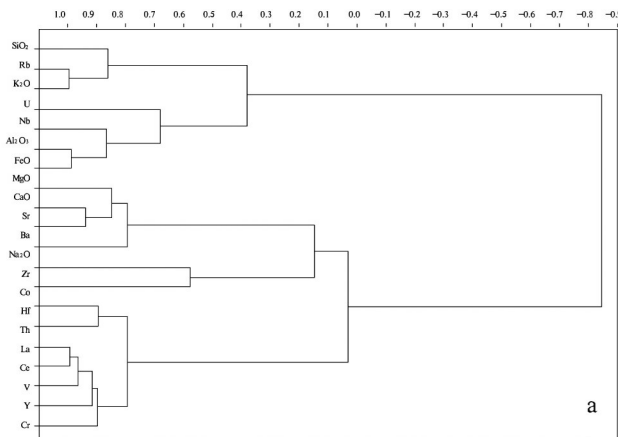


图 12 岩石 R 型聚类图解
a—变质岩; b—花岗岩
Fig.12 R cluster diagrams of granite
a—Metamorphic rock; b—Granite

有用物质, 是有利于形成大金属矿床的条件。

5 结论

内蒙古宝音图钼矿复合岩体锆石 U-Pb 上交点年龄 2400 Ma, 表明花岗岩源区岩石是新太古代—古元古代变质岩。

成矿岩体为同源不同阶段侵入的斜长花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩及酸性细晶斑岩株组成的复合岩体, 各阶段岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定显示成矿岩体形成于印支期 (225.9±4.4) Ma~ (258.8±3.3) Ma 4 个阶段。每个演化阶段持续时间在 10 Ma 之内, 而各个阶段之间间隔约在 5 Ma

之内, 显示了岩浆演化具有每个阶段延续时间长, 各阶段之间间隔时间短的特点。

不同阶段侵入的岩体中岩石化学组成成分及元素经历了一定分异, 各阶段岩体岩石化学组成均显示铝过饱和, 富钾特征, 以晚期细晶岩 K₂O/Na₂O 最高, K₂O 对 CaO 呈反相关关系。

各类花岗岩均显示低 Sr, 高 Rb, 高 Zr, 高 U, 低 Th, Sr/Ba 低于 1, V/Cr 低于 1.5 等特征, 本文采集同位素样品的 Zr/Y 在 1.17~5.68, 而全区测的样品中 Zr/Y 在 1~20, 这些特征明显不同于环太平洋岛弧带及特提斯带洋壳熔融形成的埃达克岩特征, 而与华北北缘燕山岩浆岩带、南缘秦岭带岩浆岩地球化学

特征一致,与矿区元古宇变质岩围岩地球化学特征比较接近,这些特征显示本区成矿花岗岩是S型陆壳岩石熔融成因花岗岩。

由于每个岩浆侵入阶段持续时间长,各阶段间隔时间短,岩浆来不及充分集中分异,各种岩浆岩只显示了微弱差异,而这种作用也许有利于化学性质活跃的成矿元素快速集中于晚期岩浆岩中,尤其是前缘岩浆热液中。因此区域上巨大的似斑状斜长花岗岩岩基中局部分布的二长花岗岩、钾长花岗岩及细晶花岗岩、石英斑岩是岩浆晚期在局限区域内富集成矿物质的机体,是有利于形成石英脉型金属矿床,而不是浸染状斑岩矿床的条件。

致谢: 审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 589-609.
Inner Mongolia Geology and Mineral Exploration and Development Bureau. Inner Mongolia Regional Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 589-609(in Chinese with English abstract).
- [2] 邵积东, 王惠, 张梅, 等. 内蒙古大地构造单元划分及其地质特征[J]. 西部资源, 2011, 12(1): 51-56.
Shao Jidong, Wang Hui, Zhang Mei, et al. Inner Mongolia tectonic units divided and geological features[J]. Resources, 2011, 12 (1): 51-56(in Chinese with English abstract).
- [3] 彭润民, 翟裕生, 韩雪峰, 等. 内蒙古狼山造山带构造演化与成矿响应[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 679-687.
Peng Runmin, Zhai Yusheng, Han Xuefeng, et al. Mineralization response to the structural evolution in the Langshan orogenic belt, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (3): 679-687 (in Chinese with English abstract).
- [4] 沈存利, 陈志勇, 常忠耀. 内蒙古“宝音图隆起”的归属讨论[J]. 地质调查与研究, 2004, 27(1): 18-22.
Shen Cunli, Chen Zhiyong, Zhong Yao Chang. The Caledonian Foldbelt or the North China Platform does the Buyant Uplift in Inner Mongolia Belong to ? [J]. Geological Survey and Research, 2004, 27 (1): 18-22(in Chinese with English abstract).
- [5] 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: 263-264.
Inner Mongolia Geology and Mineral Exploration and Development Bureau. Inner Mongolia Rock Formations[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 263-264(in Chinese with English abstract).
- [6] 张海祥, 张伯友. 赣北星子群变质岩的原岩恢复及其形成构造环境判别[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 254-260.
Zhang Haixiang, Zhang Boyou. Reconstruction of protoliths of metamorphic rocks of the Xingzi Group and discrimination of their tectonic setting[J]. Geology in China, 2003, 30(3): 254-260(in Chinese with English abstract).
- [7] 路凤香, 桑隆康. 岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 243-303.
Lu Fengxiang, Sang Longkang. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 243-303(in Chinese with English abstract).
- [8] 扬帆, 肖荣阁, 李娜, 等. 内蒙古宝音图钼矿床花岗岩稀土元素地球化学特征及花岗岩成因[J]. 现代地质, 2013, (4): 831-840.
Yang Fan, Xiao Rongge, Li Na, et al. REE Geochemical Characteristics and Genesis of Granites in Baoyintu Molybdenum deposit, Inner Mongolia[J]. Geoscience, 2013, (4): 831-840(in Chinese with English abstract).
- [9] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 2007, (6): 1217-1238.
Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, et al. Discussions on the petrogenesis of granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, (6): 1217-1238(in Chinese with English abstract).
- [10] 华仁民. 关于花岗岩成因分类与花岗岩成矿作用若干基本问题的思考—与张旗先生等商榷[J]. 矿床地质, 2011, (1): 163-170.
Hua Renmin. On some basic problems related to the genetic classification and mineralization of granites: A discussion with Mr. Zhang Qi[J]. Mineral Deposits, 2011, (1): 163-170(in Chinese with English abstract).
- [11] 肖庆辉, 邱瑞照, 邓晋福, 等. 中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 343-352.
Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, et al. Granitoids and continental crustal growth modes in China[J]. Geology in China, 2005, 32(3): 343-352(in Chinese with English abstract).
- [12] 肖庆辉, 邓晋福, 邱瑞照, 等. 花岗岩类与大陆地壳生长初探——以中国典型造山带花岗岩类岩石的形成为例[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 594-622.
Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Qiu Ruizhao, et al. A preliminary study of the relationship between granitoids and the growth of continental crust: A case study of the formation of key orogen granitoids in China[J]. Geology in China, 2009, 36(3): 594-622 (in Chinese with English abstract).
- [13] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 172-191.

- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Quan, et al. The Way of Investigation on Granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 172–191(in Chinese with English abstract).
- [14] 王德滋, 沈渭洲. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 209–220.
- Wang Dezi, Shen Weizhou. Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 209–220(in Chinese with English abstract).
- [15] Atsushi Kamei. An adakitic pluton on Kyushu Island, southwest Japan arc[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004(24): 43–58.
- [16] Garwin S L. The geologic setting of intrusion– related hydrothermal systems near the Batu Hijau porphyry copper– gold deposit, Sumbawa, Indonesia[J]. Soc. Econ. Geol. Spec. Publ, 2002, 9: 333–366.
- [17] Junxing Zhao, Kezhang Qin, Guangming Li, et al. Geochemistry and petrogenesis of granitoids at Sharang Eocene porphyry Mo deposit in the main– stage of India– Asia continental collision, Northern Gangdese, Tibet[J]. Resource Geology, 2011, 62(1): 84–98.
- [18] 屈云燕. 宝音图斑岩铜矿与智利斑岩铜矿带成矿岩浆岩地球化学特征对比[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- Qu Yunyan. Comparison on Geochemical Characteristics of Ore– Forming Magmatic Rocks in Baoyintu Porphyry Molybdenum Mine and Chilean Porphyry Copper– Molybdenum Belt[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013(in Chinese with English abstract).
- [19] Charles R S, M. Alexandra Skewes, Alejandra Arévalo. Magmatic Evolution of the Giant El Teniente Cu– Mo Deposit, Central Chile[J]. Journal of Petrology, 2011, 52: 1591–1617.
- [20] Charles R Stern, Jonathan A, Funk, M, Alexandra Skewes. Magmatic anhydrite in plutonic rocks at the El Teniente Cu– Mo deposit, Chile, and the rock of sulfur– and copper– rich magmas in its formation, Society of Economic Geologists[J]. Inc. Economic Geology, 2007(102): 335 – 1344.
- [21] 张旗, 李承东, 王焰, 等. 中国东部中生代高Sr低Yb和低Sr高Yb型花岗岩: 对比及其地质意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(6): 1527–1537.
- Zhang Qi, Li Chengdong, Wang Yan, et al. Mesozoic high– Sr and Low Yb granites and low– Sr and high Yb– type granites: in eastern China: comparison and geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(6): 1527– 1537(in Chinese with English abstract).
- [22] 柏道远, 陈必河, 孟德保, 等. 中昆仑崑崙山地区晚古生代花岗岩地球化学特征、成岩作用与构造环境研究[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1236–1245.
- Bai Daoyuan, Chen Bihe, Meng Debao, et al. Geochemical characteristics, rock– forming processes and tectonic setting of Late Paleozoic granites in the Songshishan area, Central Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1236– 1245(in Chinese with English abstract).
- [23] 王晓霞, 王涛, 齐秋菊, 等. 秦岭晚中生代花岗岩时空分布、成因演化及构造意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(6): 1573–1593.
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Qi Qiuju, et al. Temporal– spatial variations, origin and their tectonic significance of the Late Mesozoic in Qinling, Central China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(6): 1573–1593(in Chinese with English abstract).
- [24] 陈跃志, 韩梗, 邵桂请, 等. 大别山区司空山两类花岗岩体的岩石学和地球化学特征及其成因[J]. 岩石学报, 1989, (1): 59–68.
- Chen Yuechi, Han geng, Shao Guiqing, et al. Petrological and geochemical characteristics and genesis of two kinds of granitoids from Sikongshan, Dabieshan region[J]. Acta Petrologica Sinica, 1989, (1): 59–68(in Chinese with English abstract).
- [25] 曲以秀, 柳彬德, 郝淑琴, 等. 燕山地区中生代花岗岩的成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 1997, 1: 11–17.
- Qu Yixiu, Liu Binde, Hao Shuqin, et al. The genesis of the Mesozoic granite in Yanshan area[J]. Contributions To Geology and Mineral Resources Research, 1997, 1: 11–17(in Chinese with English abstract).
- [26] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA–MC–ICP–MS 锆石微区原位 U–Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481–492.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. In situ U–Pb zircon dating using laser ablation– multi ion counting– MC– ICP– MS[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(4): 481–492(in Chinese with English abstract).
- [27] 侯可军, 李延河, 邹天人, 等. LA–MC–ICP–MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2595–2604.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Zou Tianren, et al. Laser ablation– MC– ICP– MS technique for Hf isotope microanalysis of zircon and its geological applications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2595–2604(in Chinese with English abstract).
- [28] 刘翼飞, 聂风军, 江思宏, 等. 内蒙古查干花铜矿成矿花岗岩地球化学、年代学及成岩作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 409–420.
- Liu Yifei, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. Ore– forming granite form chaganhua molybdenum deposit, Central Inner Mongolia, China: Geochemistry, geochronology and petrogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28 (2): 409– 420(in Chinese with English abstract).

- [29] 王兴阵, 陶琰, 马言胜. 壳幔混合及花岗质岩浆的形成[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(2): 183-188.
Wang Xingzhen, Tao Yan, Ma Yansheng. The Crust-mantle mixing and the Generation of granitic magma[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 25(2): 183-188 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张玉清. 内蒙古白云鄂博北部宝音图岩群变质基性火山岩的年龄、构造背景及地质意义[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 177-183.
Zhang Yuqing. Ages, tectonic environment and geological significance of metabasic volcanic rocks of the Buyant Group-complex in the north of Bayan Obo, Inner Mongolia[J]. Geology Bulletin of China, 2004, 23 (2): 177-183(in Chinese with English abstract).
- [31] 伍光英, 肖序常, 肖庆辉, 等. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的主元素地球化学特征和成因探讨[J]. 中国地质, 2008, 35(2): 217-231.
Wu Guangying, Xiao Xuchang, Xiao Qinghui, et al. Major element geochemistry and genesis of Yanshanian mineralized granites in the polymetallic deposit concentration region, southern Hunan[J]. Geology in China, 2008, 35(2): 217-231(in Chinese with English abstract).
- [32] 徐备, 刘树文, 王长秋, 等. 内蒙古西北部宝音图群 Sm-Nd 和 Rb-Sr 地质年代学研究[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 86-90.
Xu Bei, Liu Shuwen, Wang Changqiu, et al. Sm-Nd, Rb-Sr geochronology of The northwestern of Baoyintu group in northwestern Inner Mongolia[J]. Geological Review, 2000, 46(1): 86-90(in Chinese with English abstract).
- [33] 张玉清, 苏宏伟. 内蒙古宝音图岩群变质基性火山岩锆石 U-Pb 年龄及意义[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(3/4): 199-204.
Zhang Yuqing, Su Hongwei. U-Pb Single Zircon Ages of Metamorphic Basic Volcanic Rocks of Baoyintu Rock Group in Inner Baoyintu[J]. Progress In Precambrian Research, 2002, 25(3/4): 199-204(in Chinese with English abstract).
- [34] 蔡明海, 彭振安, 屈文俊, 等. 内蒙古乌拉特后旗查干德尔斯钼矿床地质特征及 Re-Os 测年[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 377-384.
Cai Minghai, Peng Zhenan, Qu Wenjun, et al. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Chagandeersi molybdenum deposit, western Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(3): 377-384(in Chinese with English abstract).
- [35] 蔡明海, 张志刚, 屈文俊, 等. 内蒙古乌拉特后旗查干花钼矿床地质特征及 Re-Os 测年[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 64-68.
Cai Minghai, Zhang Zhigang, Qu Wenjun, et al. Geological Characteristics and Re-Os Dating of the Chaganhua molybdenum deposit in Urad Rear Banner, Western Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32(1): 64-68(in Chinese with English abstract).
- [36] 孙立新, 赵凤清, 王惠初, 等. 内蒙古狼山地区宝音图地块变质基底的锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. 地质学报, 2013, 87(2): 197-207.
Sun Lixin, Zhao Fengqing, Wang Huichu, et al. Zircon U-Pb geochronology of metabase rocks from the Baoyintu Block in the Langshan area, Inner Mongolia, and its tectonic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(2): 197-207(in Chinese with English abstract).