

# 小兴安岭东南伊春一带早中生代 花岗岩与多金属成矿作用

韩振哲<sup>1,2,3</sup> 赵海玲<sup>1,2</sup> 李娟娟<sup>3</sup> 冷昌恩<sup>1,2</sup> 吕 军<sup>1,2,3</sup> 李文龙<sup>3</sup>

(1.中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;2.中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室,北京 100083;3.黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161005)

**摘要:**小兴安岭东南伊春地区晚三叠世—早侏罗世二长花岗岩中普遍具有岩浆混合成因 MME 型暗色微细粒闪长质包体和同深成岩墙—中基性脉岩群等,反映出壳幔混合成因的特点,而正长—碱长花岗岩具铝质 A<sub>2</sub> 型花岗岩的特征,两者的岩相学、主微量及同位素特征显示,其形成均与古亚洲洋闭合之后大陆碰撞向碰撞后转变的伸展崩塌构造环境下的底侵作用有关。两者形成时代、成因及物质来源和成矿构造背景等特征上的相似性,也反映在矿床成矿系列的相似性上,二长花岗岩表现出 Mo—Pb—Zn—Fe—Au—Ag 矿床成矿系列,并以 Mo、Pb 成矿作用强烈为特征,而正长—碱长花岗岩矿床成矿系列表现为 Zn—Pb—Cu—Mo—W—Fe,其成矿作用较弱且分散,同时也说明了成矿系列中存在一定差异,这可能与壳幔混合程度不同有关;早中生代花岗岩有关成矿特征、矿床类型、矿化强度、矿化类型等矿床成矿系列上的差异,说明该地区仍具有巨大的多金属找矿潜力。

**关键词:**矿床成矿系列;早中生代;碰撞后;底侵作用;伊春地区

**中图分类号:**P588.12<sup>+</sup>1;P611 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)01-0074-14

小兴安岭东南伊春地区位于黑龙江省重要的铁多金属及金银等成矿带上,又是兴蒙造山带东端中生代“花岗岩海”的一部分,尽管近年对该地区“花岗岩海”的形成时代、成因及其形成的大地构造背景,以及与多金属成矿作用的研究取得了许多重要进展<sup>[1-28]</sup>,但目前仍然存在许多亟待解决的重大基础地质问题,如花岗岩时空分布规律、显生宙花岗岩与壳幔相互作用以及地壳垂向增生、多金属、贵金属成矿作用之间内在关系;古亚洲洋与环太平洋两大构造域转换过程的机制及转换的时间等一系列基础问题,制约着与两大构造域有关成矿带的划分、展布、叠加关系等成矿作用的认识,以及找矿模式建立及找矿工作部署。近年来在小兴安岭东南一带相继发现了鹿鸣斑岩钼矿、东安岩金矿等超大型矿床和众多铅锌钼矿(点),说明了该地区找矿潜力仍十分巨大。因此,笔者试图讨论早中生代花岗岩形成时代、成因及

成矿构造背景,以及花岗岩有关矿床成矿系列与地球动力学演化的关系,这些将有助于该地区构造—岩浆及金银、多金属成矿作用之间的内在联系的认识和找矿工作。

## 1 区域成矿地质背景

研究区属于兴蒙造山带东端的佳木斯地块和松嫩—张广才岭地块结合部位的陆缘造山带<sup>[9]</sup>,经历了多次伸展拉张与挤压拼贴,地质构造复杂,具多旋回性,且岩浆活动十分发育。区域上主要经历了古—中元古代前寒武纪变质结晶基底形成、古生代古亚洲洋陆缘增生和中—新生代滨太平洋大陆边缘活动等 3 个主要的构造发展阶段,构造域由古亚洲洋构造域向滨太平洋构造域转化,其中以伊春—张广才岭早古生代陆缘增生构造岩浆活动和中生代伊春—玉泉构造岩浆岩带强烈发育为特征,前者被后者强

收稿日期:2009-04-06;改回日期:2009-09-24

基金项目:中国地质调查局基础地质调查项目(200313000035)资助。

作者简介:韩振哲,男,1965年生,博士生,高级工程师,主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究工作;E-mail:hzhzhenz65@163.com。

烈改造。

### 1.1 地层

研究区前寒武纪结晶基底由古元古界兴东岩群、东风山岩群等变质表壳岩(为富硼碎屑岩-碳酸盐岩-火山岩建造)和中元古界黑龙江岩群、蛇绿混杂岩等组成;古生代盖层由寒武系西林群(为浅海相富含镁质的大理岩、白云质大理岩夹千枚状板岩、绢云母石英片岩等)、奥陶系宝泉组和小金沟组(一套正常沉积碎屑岩-碳酸盐岩组合,岩性主要为:钙质砂岩、石英砂岩、粉砂质-泥质板岩夹结晶灰岩、大理岩等钙质砂岩、石英砂岩、粉砂质-泥质板岩夹结晶灰岩、大理岩等),以及二叠系土门岭组、红山组、五道岭组等构成。中生代地层包括侏罗系太安屯组(为一套陆相中酸性火山-沉积岩组合)和帽儿山组(为一套陆相酸性火山岩组合)、白垩系板子房组(安山岩及其凝灰熔岩、含角砾凝灰岩等)、宁远村组(陆相中酸性火山岩)和白垩系鸡西群、桦山群含煤沉积岩系等。

### 1.2 侵入岩

研究区内花岗岩类从老到新其空间分布表现出较为明显的分带规律性。早前寒武纪花岗岩类集中分布于佳木斯地块之上,与古老结晶基底密切伴生;属古亚洲洋构造域时期的加里东期—华力西期的花岗岩类则表现为由老到新围绕佳木斯地块依次向西、向外增生为特征;晚二叠世末期南、北两侧的华北板块,西伯利亚两大板块碰撞拼合,形成了印支期大陆碰撞后陆内环境的二长花岗岩组合,呈岩基状近南北向展布于研究区中西部,之后晚三叠世晚期形成造山后伸展垮塌构造环境的铝质 A 型正长-碱长花岗岩和碱性 A 型花岗岩的侵位,代表两大板块碰撞拼合后岩石圈伸展崩塌事件,标志着该区最终形成了成熟固结统一大陆板块并向滨太平洋构造域发展演化。燕山期花岗岩类主要受断裂构造控制。

### 1.3 构造

研究区经历了多次伸展拉张与挤压拼贴,地质构造复杂且具多旋回的特点。以沉积建造组合、岩浆作用、变质变形作用、深大断裂多期演化等以活动论为划分基础,划分出:佳木斯地块和张广才岭造山带 2 个一级构造单元和 10 个二级构造单元<sup>①</sup>(I—古元古代结晶地块;II—中元古代蛇绿混杂岩带;III—早

寒武世五星裂陷盆地;IV—晚奥陶世构造岩浆岩带;V—早泥盆世裂陷盆地;VI—晚石炭世构造岩浆岩带;VII—晚二叠世陆内拗陷盆地;VIII—晚三叠世构造岩浆岩带;IX—晚白垩世构造岩浆岩带;X—中生代乌云—嘉荫—乌拉嘎断陷火山—沉积盆地)。区内地质构造形迹主要有 SN 向断裂、NE—NNE、NW 断裂和 NE 向褶皱及次级断裂等。

### 1.4 矿产

迄今为止,研究区已探明翠宏山铁多金属矿、西林铅锌矿、二股西山和东山铁多金属及银矿床、徐老九沟铅锌矿床、鹿鸣钼矿,以及大安河岩金、东安岩金矿床等等大小矿床近 30 处,还有诸多金及多金属矿点、矿化点几十余处(图 1),属于矿集区<sup>②</sup>。该成矿带内的多金属矿床大多数与印支晚期花岗岩类关系密切,其矿床成因类型主要包括斑岩型钼矿、矽卡岩型铁多金属矿、矽卡岩-热液型、岩浆热液型、火山-次火山热液型多金属、岩金矿和低温热液型多金属矿床等。

## 2 与早中生代花岗岩有关的多金属成矿系列及其演化

小兴安岭东南伊春地区的早中生代二长花岗岩、正长-碱长花岗岩等岩体,侵入上二叠统五道岭组流纹岩,被下白垩统宁远村组流纹岩等覆盖,岩体年龄为 190~234 Ma<sup>[2-3,11-27]</sup>,属晚三叠世—早侏罗世,已发现与其侵入密切相关的铁多金属等大小矿床近 20 余处<sup>③</sup>。笔者依据其构造-岩浆演化、成因及其碰撞不同阶段的构造背景,将矿床成矿系列划分为 2 个矿床成矿亚系列:碰撞-碰撞后转换型二长花岗岩 Mo-Pb-Zn-Fe-W-Au(Ag)成矿亚系列和碰撞后崩塌型正长-碱长花岗岩 Fe-Mo-Pb-Zn 成矿亚系列。这些矿床的形成与古太平洋构造域向滨太平洋构造域转换期碰撞向碰撞后崩塌环境下的底侵作用有关。

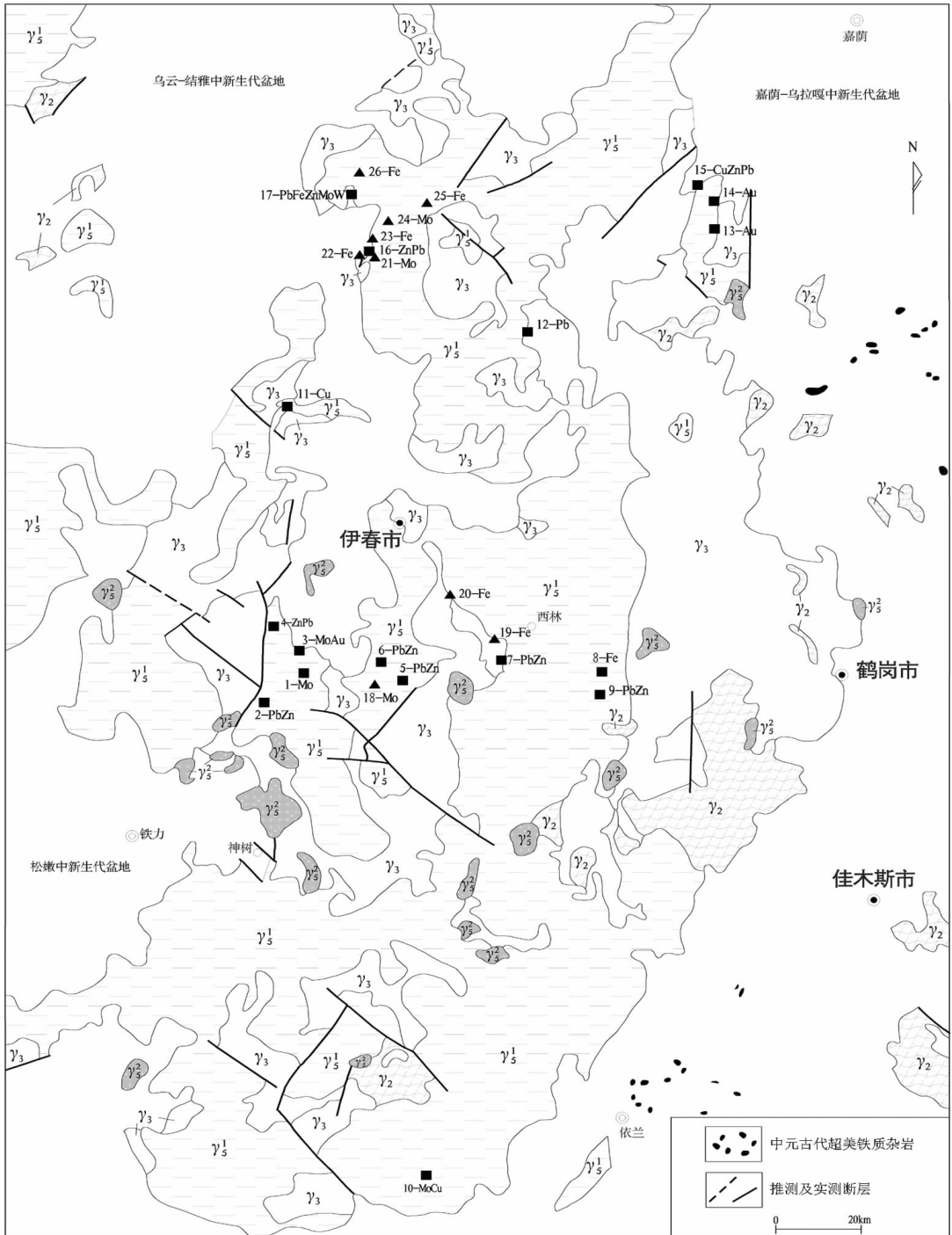
### 2.1 碰撞-碰撞后构造转型型二长花岗岩成矿亚系列

#### 2.1.1 岩体岩相学、主微量特征及其成因

岩体呈巨大复式岩基(由中粗粒似斑状-细中粒巨斑状-细中粒含粗斑状结构依次演化形成结构

①黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万鹤岗市幅区域地质调查报告,2006.

②杨言辰,王可勇,马志红,等.黑龙江小兴安岭—张广才岭成矿带金、多金属矿床成矿规律与成矿预测,2005.



■—早中生代碰撞—碰撞后构造转变期二长花岗岩有关矿床成矿亚系列典型矿床(点): 1—Mo: 鹿鸣; 2—PbZn: 徐老九沟; 3—MoAu: 翠岭; 4—ZnPb: 昆仑气; 5—PbZn: 前进东山; 6—PbZn: 西岭南山; 7—PbZn: 小西林; 8—Fe: 丰茂; 9—PbZn: 馒头山; 10—MoCu: 冰浪沟; 11—Cu: 密林; 12—Pb: 五星; 13—Au: 平顶山; 14—Au: 连珠山; 15—CuZnPb: 守虎山; 16—ZnPb: 库滨; 17—PbFeZnMoW: 翠宏山; ▲—碰撞后伸展型正长—碱长花岗岩有关矿床成矿亚系列典型矿床(点): 18—Mo: 前进南山; 19—Fe: 西林十二林场; 20—Fe: 大西林; 21—Mo: 红旗林场; 22—Fe: 库源; 23—Fe: 宏铁山; 24—Mo: 永续林场; 25—Fe: 红旗山; 26—Fe: 翠北;  $\gamma^2$ —晋宁期花岗岩类;  $\gamma^3$ —加里东期花岗岩类;  $\gamma^1$ —印支期花岗岩类;  $\gamma^2_s$ —燕山期花岗岩类

图 1 小兴安岭东南伊春一带早中生代花岗岩有关矿产分布(略修改)<sup>[7]</sup>

Fig.1 Distribution of mineral resources related to Early Mesozoic granite in Yichun area, Xiao Hingan Mountains (slightly modified)

演化序列),大体上呈巨型宽带状,宽>50 km,长>100 km,沿牡丹江深大断裂带的西侧近 SN 向侵位。岩石类型主要有:中粗粒似斑状二长花岗岩、细中粒巨斑状黑云母二长花岗岩、细中粒含粗斑状黑云母二长花岗岩等,岩石中普遍发育微细粒闪长质包体,包体形态多呈浑圆的外形,显示出明显的塑性流变特点,具典型的岩浆结构及针状磷灰石和含寄主岩钾长石、石英熔蚀晶,具有明显的岩浆混合成因的包体(MME)特征;微观上,寄主岩局部仍可见显微混合不平衡的矿物异常共生现象,主要表现在造岩矿物长石、石英、黑云母等具明显的世代性和矿物结晶顺序混乱、各种矿物相互包裹和穿插关系上。另外,岩体中发育形态各异的中基性脉岩群,为壳幔混合作用形成的同深成岩墙群特征,以上说明岩体具壳幔混合成因<sup>[2]</sup>。

二长花岗岩岩石化学分析结果见表 1 和表 2。岩石表现出高硅(SiO<sub>2</sub> 含量 68.18%~76.90%)、富碱质((K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)为 7.03%~9.30%、K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O)、略富铝(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 12.04%~14.96%)和低钛钙镁(TiO<sub>2</sub> 含量为 0.05%~0.40%、CaO 为 0.42%~2.63%、MgO 为 0.01%~0.93%)的碰撞后陆内岩浆岩-构造组合特征,为 KCG 富钾钙碱性花岗岩类<sup>[2-24]</sup>。稀土配分曲线总体上呈左高右低、左陡右缓的不对称右倾型,显示轻稀土富集、Eu 较强亏损的特征(图 2-a)。岩石中 Cu、Pb、Zn、Mo、Sn 等含量较高,微量元素蛛网图上显示出 LILE 元素 Ba、Rb 峰和 Sr 谷,以及 HFS 元素 Zr、

Th、Ce 峰和 Ti 谷(图 2-b),岩石中 Sr<400×10<sup>-6</sup>,Yb>2×10<sup>-6</sup>,属于低 Sr 高 Yb 花岗岩类<sup>[22,27]</sup>。

2.1.2 成矿特征及矿床成矿系列

区域上与二长花岗岩有关的矿床有:鹿鸣钼矿、库滨锌铅矿、徐老九沟铅锌矿、前进东山铅锌矿、翠岭钼金矿、西岭南山铅锌矿、守虎山铜锌铅矿、平顶山金矿等大小矿床(点)12 个,包括斑岩型、中温岩浆热液型、矽卡岩型等,以及与加里东期花岗岩有关西林铅锌矿、翠宏山多金属矿床中,后期晚印支期二长花岗岩侵入有关的岩浆中温热液型的叠加-改造成因型等<sup>[6-7,26]</sup>,表现为 Mo-Pb-Zn-Fe-W-Au-(Ag)矿床成矿亚系列。鹿鸣-前进地区与钼矿有关成矿岩体年龄为 180~204 Ma (据杨言辰书信,2009),与区域上的主岩体似斑状二长花岗岩(年龄为 191~234 Ma,峰值约为 205 Ma)<sup>[2-3,11-27]</sup>的形成时代相差 1~10 Ma,这可能暗示含矿斑岩体形成于岩浆结晶分异的晚期,也说明了鹿鸣-前进地区含矿斑岩体开始形成于晚印支期,最终结束于早燕山期的过渡时期。

鹿鸣钼(铜)矿:为一大型斑岩型矿床,矿体受岩性控制十分明显,均产于早中生代强硅化、破碎似斑状二长花岗岩中。圈定出两条钼矿体,走向近 SN,矿体呈似板状、透镜状、脉状为主,由细脉-浸染状或细微网脉交织而成,矿石矿物主要有辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿等。主要蚀变为硅化、钾长石化、黑云母化、黄铁矿化、青磐岩化和云英岩化,其中硅化、钾长

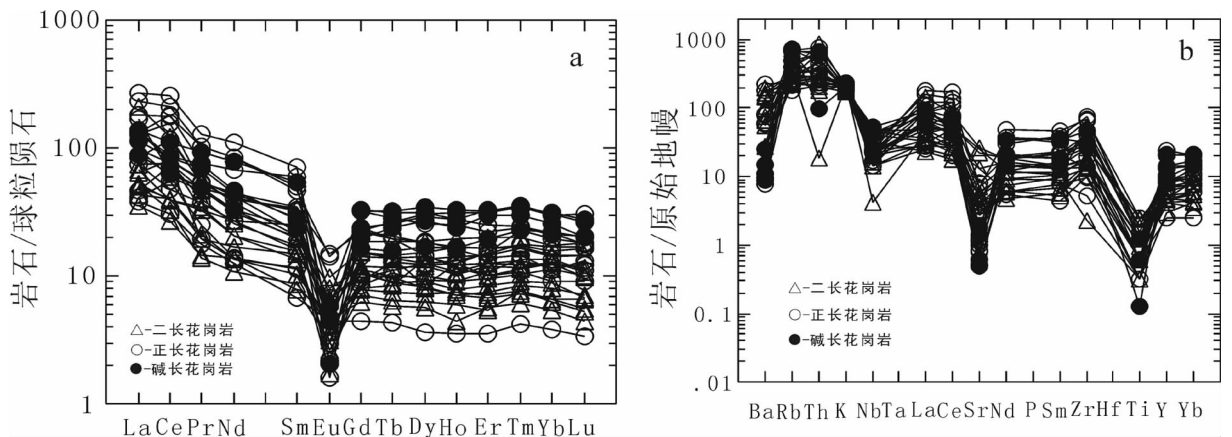


图 2 早中生代花岗岩稀土元素配分曲线图(a)及微量元素蛛网图(b)  
Fig.2 Chondrite-normalized REE patterns(a)and primitive mantle-normalized spidergrams of trace elements(b)

①杨言辰,王可勇,马志红,等. 黑龙江小兴安岭—张广才岭成矿带金、多金属矿床成矿规律与成矿预测, 2005.

表 1 早中生代花岗岩主量元素分析结果(%)

Table 1 Major elements analgses of early Mesozoic granites(%)

序号	样号	岩性	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOS	Σ	δ	
1	XT2159	碱 长 花 岗 岩	76.34	0.20	12.76	1.12	0.80	0.04	0.24	0.62	3.46	4.45	0.02	0.30	100.35	1.88	
2	P <sub>16</sub> XT17		74.98	0.20	12.58	0.84	1.50	0.04	0.01	0.54	4.05	4.45	0.10	0.22	99.51	2.26	
3	P <sub>16</sub> XT19		76.30	0.10	11.84	0.97	1.70	0.06	0.01	0.27	3.55	4.45	0.05	0.18	99.48	1.92	
4	P <sub>16</sub> XT21		73.36	0.10	13.29	0.76	1.58	0.44	0.01	0.67	4.80	4.45	0.10	0.16	99.72	2.82	
5	P <sub>36</sub> XT6		74.3	0.02	12.39	1.01	2.62	0.02	0.32	1.01	4.12	4.10	0.02	0.02	99.95	2.16	
6	P <sub>36</sub> XT46		75.92	0.10	12.75	1.18	0.98	0.04	0.21	0.38	4.10	4.32	0.02	0.26	100.26	2.15	
7	P <sub>39</sub> XT39		72.50	0.10	12.10	0.48	2.70	0.03	0.20	0.46	4.80	5.1	0.10	0.24	98.81	3.32	
8	XT1088	正 长 花 岗 岩	74.06	0.10	13.33	0.77	0.74	0.02	0.51	0.19	3.50	5.46	0.05	0.74	99.47	2.59	
9	XT1596		75.12	0.05	12.72	1.25	1.74	0.01	0.22	1.53	2.43	4.12	0.05	0.24	99.48	1.34	
10	XT2432S		75.86	0.42	12.25	0.81	1.50	0.03	0.14	0.38	4.84	3.60	0.01	0.10	99.94	2.17	
11	XT2643		75.56	0.05	12.68	0.76	1.64	0.02	0.16	1.18	3.52	3.89	0.05	0.20	99.71	1.69	
12	P <sub>15</sub> XT56		72.56	0.20	13.86	0.91	2.10	0.01	0.48	0.77	4.42	4.65	0.05	0.42	100.43	2.78	
13	P <sub>16</sub> XT14		74.34	0.10	12.73	1.06	1.70	0.03	0.05	0.27	4.15	4.78	0.10	0.20	99.51	2.55	
14	P22XT3		69.13	0.30	15.90	1.65	2.37	0.03	0.24	0.63	3.79	5.06	0.10	0.95	100.15	3.00	
15	P <sub>22</sub> XT53b		66.24	0.40	16.45	1.37	4.46	0.07	0.30	1.46	4.41	3.93	0.10	0.53	99.72	2.99	
16	P <sub>22</sub> XT56		66.87	0.30	15.88	1.86	3.69	0.07	0.29	1.64	3.93	4.70	0.10	0.53	99.86	3.12	
17	P <sub>31</sub> XT44		75.26	0.10	12.29	0.57	1.00	0.02	0.47	0.93	3.50	4.50	0.10	0.48	99.22	1.98	
18	P <sub>45-2</sub> XT9		72.7	0.20	13.39	1.67	1.06	0.02	0.01	0.27	4.45	4.10	0.05	0.30	98.22	2.46	
19	P <sub>45</sub> XT5-1		71.26	0.10	14.95	1.52	0.98	0.04	0.05	0.47	4.85	4.10	0.05	0.68	99.05	2.83	
20	P <sub>47</sub> XT70-1		68.50	0.20	15.29	1.57	2.00	0.06	0.07	1.00	5.45	4.35	0.10	0.42	99.01	3.77	
21	P <sub>47</sub> XT113		72.82	0.20	13.42	1.39	1.68	0.04	0.07	0.64	4.20	5.10	0.10	0.52	100.18	2.90	
22	P <sub>48-1</sub> XT137		70.26	0.25	13.46	1.11	4.06	0.08	0.10	0.67	4.20	4.60	0.45	0.14	99.38	2.84	
23	P <sub>49</sub> XT16		74.20	0.20	12.66	1.09	1.48	0.04	0.24	0.94	3.30	5.05	0.05	0.50	99.75	2.24	
24	P <sub>52</sub> XT1		76.72	0.10	11.80	1.00	1.36	0.03	0.07	0.44	3.35	5.28	0.05	0.30	100.50	2.21	
25	P <sub>52</sub> XT6		76.38	0.05	11.79	0.73	1.02	0.03	0.10	0.67	3.35	4.78	0.03	1.10	100.03	1.98	
26	XT0161		二 长 花 岗 岩	69.16	0.29	14.19	1.77	1.73	0.08	0.84	1.57	4.05	4.43	0.11	1.14	99.36	1.72
27	XT0172			68.18	0.38	15.6	0.80	2.61	0.07	0.54	1.90	4.14	4.3	0.17	0.72	99.41	2.83
28	XT4022			72.20	0.20	14.47	0.37	1.66	0.03	0.26	1.49	3.95	4.64	0.05	0.40	99.72	2.53
29	P <sub>2</sub> XT8			74.91	0.15	13.90	0.84	1.04	0.03	0.27	0.8	3.38	4.53	0.05	0.24	100.14	1.96
30	P <sub>2</sub> XT10			74.08	0.15	13.98	1.21	0.71	0.02	0.42	0.99	3.56	4.62	0.05	0.40	100.19	2.15
31	P <sub>2</sub> XT19			75.00	0.05	13.23	0.48	1.81	0.02	0.20	0.67	3.46	4.45	0.05	0.02	99.44	1.96
32	P <sub>2</sub> XT21			75.90	0.05	13.63	0.51	0.82	0.02	0.25	0.79	3.61	4.56	0.05	0.02	100.21	2.03
33	P <sub>2</sub> XT22b	75.09		0.05	12.78	0.64	2.15	0.04	0.23	0.79	3.43	4.38	0.05	0.03	99.66	1.90	
34	P <sub>2</sub> XT23	74.60		0.10	13.08	0.89	1.86	0.05	0.40	0.81	3.82	4.16	0.05	0.27	100.09	2.02	
35	P <sub>2</sub> XT25	75.32		0.10	12.65	0.70	1.14	0.06	0.46	1.29	3.22	3.81	0.05	0.56	99.36	1.53	
36	P <sub>2</sub> XT33	71.06		0.25	14.20	1.13	2.96	0.07	0.64	1.88	3.91	3.54	0.08	0.54	100.26	1.98	
37	P <sub>2</sub> XT74	70.64		0.20	14.96	0.81	2.88	0.04	0.66	2.06	3.96	4.08	0.10	0.28	100.67	2.34	
38	P <sub>2</sub> XT80	70.94		0.40	14.75	1.04	1.72	0.06	0.78	2.08	4.03	3.91	0.10	0.44	100.25	2.26	
39	P <sub>2</sub> XT97	70.22		0.30	14.58	0.80	2.08	0.04	0.53	2.63	4.21	3.80	0.10	0.46	99.75	2.36	
40	P <sub>3</sub> XT182	75.80		0.10	12.15	0.66	2.06	0.09	0.23	0.46	3.56	4.56	0.02	0.06	99.75	2.01	
41	P <sub>5</sub> XT140	74.58		0.15	12.42	0.54	2.98	0.02	0.32	0.84	3.16	4.47	0.10	0.20	99.78	1.84	
42	P <sub>15</sub> XT97	69.76		0.30	14.29	0.75	3.01	0.02	0.93	2.47	3.61	3.79	0.15	0.44	99.52	2.05	
43	P <sub>41</sub> XT19	75.24		0.10	12.43	0.60	0.90	0.01	0.24	0.42	3.26	5.04	0.05	0.78	99.07	2.71	
44	P <sub>42</sub> XT15	75.66		0.18	12.92	0.50	2.00	0.04	0.17	0.64	3.46	4.42	0.01	0.24	100.24	2.14	
45	P <sub>42</sub> XT20	76.86		0.05	12.04	0.35	1.62	0.02	0.09	0.52	3.27	4.35	0.01	0.30	99.48	1.90	
46	P <sub>41</sub> XT21	75.34		0.10	12.54	0.35	1.20	0.01	0.24	0.42	4.02	5.27	0.05	0.30	99.84	2.67	
47	P <sub>41</sub> XT51	76.90		0.10	12.06	0.58	0.80	0.01	0.01	0.72	3.54	4.48	0.05	0.64	99.89	1.90	
48	P <sub>41</sub> XT64	74.40		0.10	12.78	0.51	1.78	0.02	0.12	0.42	3.65	4.59	0.05	0.58	99.00	2.16	
49	P <sub>48</sub> XT21	70.78		0.40	13.62	1.66	1.80	0.06	0.32	1.00	4.24	4.44	0.12	0.60	99.04	1.84	

注：由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院实验室测试。Si 和烧失量采用重量法,Al、Fe 采用滴定法,Ti、P 采用比色法,K、Na、Ca、Mg、Mn 采用原子吸收光谱法。

表 2 早中生代花岗岩微量元素和稀土元素分析结果( $10^{-6}$ )  
Table 2 Trace element and REE analyses of early Mesozoic granites( $10^{-6}$ )

序号	样号	岩性	Ba	Li	Rb	Cs	Sr	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	Ga	Pb	Zn	Ni	Cr	Sc	U	Sn	Mo
1	XT2159	碱 长 花 岗 岩	55.5	45.0	399	16.1	9.2	12.8	1.60	390	7.80	6.2	25.2	65		1.65	86.2	1.84	0.70	36	1.09
2	P16XT21		45	90.6	379	6.3	11.0	23.4	0.98	265	9.01	39	22.0	39		5.0	76		7.97	2.9	2.4
3	P36XT6		75.6	31.7	369	5.25	31.9	30.3	1.67	221	9.7	43	38.9	27		6.3	570	0.48	8.91	46	3.81
4	P36XT46		131	44.8	274	5	24.8	23.4	0.98	265	9.01	39	31.9	43.8		1.0	82.6	1.14	7.97	45	4.07
5	XT1596		298		178	3.65	47.6	7.9	0.50	43.6	1.18	22	16.0	21		1.0	9.7	2.20	5.01	5.0	0.96
6	XT2643		290		183	4.9	52.6	14.4	1.44	79.6	2.86	23	14.6	12		15.2	6.3	2.73	5.43	3.8	1.8
7	P22XT53b		923	19.6	120	6.65	120.0	15.8	1.63	540	15.00	35	27.0	48		14.4	15.7	8.50	1.95	3.4	0.98
8	P22XT56		1130	8.5	127	4.3	147.0	12.3	0.62	229	6.61	19	23.9	28		5.8	3.9	10.9	6.41	3.6	1.6
9	P45-2XT9		310	9.3	170	4	22.0	12.7	1.60	380	12.00	29	25.0	23		7.0	122		2.35	3.5	2.1
10	P45XT5-1		40	18.9	219	5.5	8.9	26.0	2.50	160	6.80	42	20.0	31		4.0	138		5.87	3.5	2.0
11	P47XT170-1		420	3.4	99	1.4	18.0	16.9	2.00	620	16.00	14	23.0	15		4.0	123		0.86	2.2	2.0
12	P47XT113		130	4.3	124	2.1	14.0	9.7	1.20	335	8.40	14	18.0	20		6.0	162		1.82	3.3	1.5
13	P48-1XT37		130	14.1	142	3.2	20.0	13.4	1.60	560	14.00	19	17.0	25		5.0	268		2.09	3.3	2.2
14	P52XT6		49	49.0	385	15.9	15.0	18.8	2.00	110	5.00	49	16.0	59		2.0	86		21.4	5.4	1.6
15	XT0161	502		202	16.7	93.6	26.1	2.44	419	15.9	55	21.9	29	73.6	10.3	25.0	6.15	10.40	8.0	3.69	
16	XT0172	1020		162	6.6	478.0	11.4	1.14	267	8.67	41	24.4	31	107.0	1.0	12.3	3.64	5.47	6.0	0.81	
17	XT4022	823	49.3	178	7.2	233.0	11.3	0.61	127	4.17	1.2	23.3	35	70.8	1.0	3.6	1.50	2.54	7.2	0.6	
18	P2XT8	547	32.3	162	5.1	102.0	12.5	1.08	139	4.80	18	16.4	27.5	53.2	1.05	35.7	2.90	2.76	30.0	1.43	
19	P2XT10	765	19.1	160	5.6	128.0	11.5	0.84	147	4.49	19	18.1	23	44.5	1.0	66.3	3.51	3.15	10.0	1.17	
20	P2XT21	375	17.7	144	5.4	69.9	2.30	0.50	19.2	0.78	12	17.1	38	54.0	1.8	67.8	1.41	4.07	9.0	0.9	
21	P2XT25	329	21.2	133	6.5	85.5	8.99	1.02	113	4.20	13	18.5	334	92.8	1.0	4.4	2.15	4.07	9.0	0.43	
22	P2XT74	754	35.0	125	7.0	233.0	8.03	1.69	155	4.99	16	26.2	27	77.2	4.3	88.2	2.97	5.3	13.0	1.57	
23	P2XT80	836	32.2	134	6.6	393.0	12.3	1.09	214	6.52	17	28.5	35	115	1.9	25.0	3.11	5.15	13.0	0.94	
序号	样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	$\delta$ Eu		
1	XT2159	碱 长 花 岗 岩	32.4	59.8	6.69	23.2	5.49	0.39	5.06	0.91	6.35	1.41	4.84	0.80	5.48	0.77	32.7	186.29	0.23		
2	P16XT21		50.9	105	12.8	55.3	12.30	0.18	9.90	1.88	13.10	2.80	8.05	1.25	7.50	0.99	70.4	352.35	0.05		
3	P36XT6		49.4	83.4	10.2	33.4	6.35	0.42	7.37	1.49	11.10	2.35	8.28	1.20	7.79	1.04	67.8	291.59	0.19		
4	P36XT46		41.5	80.2	9.39	31.2	6.49	0.50	5.97	1.38	10.20	2.04	7.38	1.06	6.40	0.77	48.5	252.98	0.24		
5	XT1596		17.1	69.2	2.70	9.66	2.71	0.35	2.57	0.61	3.54	0.78	2.69	0.48	3.37	0.42	21.4	137.58	0.40		
6	XT2643		14.9	52.5	3.44	9.76	2.64	0.32	2.78	0.74	4.67	1.06	3.78	0.80	4.79	0.69	27.6	130.47	0.36		
7	P22XT53b		85.8	202.0	14	59.5	10.70	1.22	7.22	1.13	5.47	1.00	2.47	0.38	2.23	0.35	18.0	411.47	0.41		
8	P22XT56		30.5	111.0	7.31	31.7	7.94	1.29	6.72	1.13	7.13	1.35	3.45	0.52	2.77	0.50	35.4	248.71	0.53		
9	P45-2XT9		66.9	171.0	13.9	59.6	11.70	0.42	6.70	1.20	6.84	1.43	4.07	0.62	3.9	0.62	30.6	379.50	0.13		
10	P45XT5-1		27.3	45.8	5.04	19.0	3.67	0.19	2.91	0.64	4.74	1.12	3.74	0.63	4.15	0.65	28.0	147.58	0.17		
11	P47XT170-1		48.6	174.0	10.4	47.4	13.60	0.58	10.00	1.81	11.90	2.33	6.28	0.88	5.30	0.68	48.0	381.76	0.15		
12	P47XT113		46.8	150.0	7.29	28.8	7.53	0.26	4.38	0.80	5.44	1.04	3.13	0.47	2.88	0.46	23.1	282.38	0.13		
13	P48-1XT37		99.8	247.0	17.5	79.4	16.40	0.35	9.79	1.65	9.77	2.12	5.57	0.84	5.25	0.79	43.8	540.03	0.08		
14	P52XT6		61.0	61.0	6.7	29.5	7.47	0.14	6.88	1.51	11.50	2.65	7.85	1.23	7.38	1.15	80.4	286.36	0.06		
15	XT0161	19.3	37.4	4.75	14.7	3.63	0.15	4.68	0.8	3.23	1.06	2.49	0.40	3.14	0.37	16.3	112.4	0.19			
16	XT0172	78.0	117.0	7.14	28.6	7.74	0.85	4.76	0.8	4.78	0.92	3.12	0.44	3.13	0.44	24.6	282.32	0.40			
17	XT4022	16.0	38.5	2.89	9.49	2.38	0.41	1.94	0.34	2.15	0.38	1.40	0.22	1.33	0.17	14.4	92.00	0.57			
18	P2XT8	27.1	72.6	5.49	18.1	3.96	0.46	3.67	0.67	4.55	0.88	2.94	0.41	3.21	0.41	23.9	168.35	0.37			
19	P2XT10	35.9	72.2	6.54	22.5	4.66	0.57	3.13	0.57	3.82	0.78	2.36	0.37	2.84	0.38	20.6	177.22	0.44			
20	P2XT21	24.7	37.5	4.51	14.7	3.12	0.23	2.16	0.37	2.37	0.51	1.36	0.27	1.54	0.20	10.2	103.74	0.26			
21	P2XT25	35.6	57.5	6.32	23.4	4.52	0.32	3.22	0.51	3.47	0.67	2.10	0.32	2.17	0.26	15.3	155.68	0.25			
22	P2XT74	50.1	77.2	7.74	26.2	4.8	0.57	3.33	0.51	3.15	0.6	1.87	0.30	2.01	0.27	15.7	194.35	0.42			
23	P2XT80	49.1	76.6	7.48	30.1	5.06	0.7	3.48	0.57	3.05	0.61	1.66	0.26	1.64	0.21	14.2	194.72	0.49			

注:由国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试分析。采用 PE Elan6000 型等离子体质谱测定,Nb、Ta 采用碱熔法测定外,其他元素均采用酸熔法测定,以 AMH-1 和 GBPG-1 为参考标样,相对误差(RSD)均小于 10%。

石化与辉钼矿化关系密切,二者呈正相关关系。蚀变中心为硅化-钾长石化带,向外是硅化-黄铁矿化带、黑云母化带,最外侧为青磐岩化带<sup>[26]</sup>。

徐老九沟铅锌矿:在早中生代中粗粒似斑状二长花岗岩与下寒武统铅山组镁质大理岩、白云岩的接触部位,形成了多金属矿化及矽卡岩化、硅化等,矽卡岩带宽几米至几十米,长 200~400 m,矿石主要为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等,地表共圈出 10 个铅锌矿体,为层控-矽卡岩型中型铅锌多金属矿床。

库滨锌铅矿:矿床成因为矽卡岩型,矿体产于早中生代二长花岗岩与铅山组接触带的矽卡岩和外接触带的层间构造中。铅锌矿体呈脉状、透镜状或扁豆状,金属矿物以方铅矿、闪锌矿、磁铁矿为主,黄铁矿、黄铜矿、锡石等为次。围岩蚀变以矽卡岩化为主,其次为硅化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化及萤石化,其中矽卡岩化、硅化、绿泥石化、萤石化与成矿关系密切<sup>[7]</sup>。

翠岭钼金矿:圈出钼矿(化)体 2 条,钼金矿体 1 条,矿体主要产在细粒二长斑岩岩体顶部或外接触带的早中生代中粗粒似斑状二长花岗岩中,辉钼矿化多呈巨大鳞片状充填于岩石晶洞或呈微细脉状贯入围岩中,局部伴有钼华,矿石金属矿物为辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿等。围岩蚀变为硅化、钾化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化等,蚀变中心为硅化-钾化蚀变带,已发现的钼金矿(化)体均产在其中,并被黄铁矿-硅化-绿泥石化蚀变带叠加,向外渐变为黄铁矿化-硅化带,矿化明显减弱,最外围为黄铁绢英岩化带,为成矿前蚀变,总体上反映出斑岩型钼(金)矿的特征。

区域上随着早中生代二长花岗质岩浆及其分异晚期二长斑岩体的侵入,以及就位的围岩岩性不同、就位构造环境不同,产出不同成因类型矿床。当围岩为下寒武统铅山组富镁碳酸盐岩时形成了矽卡岩型徐老九沟铅锌矿等和西林铅锌矿、翠宏山铁多金属矿等,且后两者是在加里东期、印支期二长花岗岩岩浆期后中温岩浆热液成矿作用叠加形成,而西林铅锌矿成因类型可能更为复杂,具有早期火山喷流-岩浆热液叠加型和后期热液-改造型等复合成因型,并以 Pb、Zn、Fe 成矿作用为主,W、Mo、Ag 成矿作用为次;浅成侵入时主要形成斑岩型鹿鸣钼矿、翠

岭钼金矿(点)以及么河上游钼矿化点、西北河东山钼矿化点等,以 Mo 成矿作用为主,局部伴有 Au 矿化;在超浅成侵入时形成中温热液型西岭东山、西岭南山铅锌矿(点)和中温热液-矽卡岩复合型前进东山铅锌矿等<sup>[28]</sup>①,以 Pb、Zn 成矿作用为主,局部以中温热液型金矿产出。上述不同成因类型多金属矿床在时空上相互伴生、依次演化和空间上具分带性为特点,由北向南主成矿元素由 Pb-Zn-Fe-W-Au (Ag) 向 Mo-Pb-Zn-Au 演化。在伊春西南的鹿鸣-前进-兴安林场一带,其成矿强度较大,以中高温岩浆热液-斑岩型鹿鸣钼矿床为中心,外围主要形成了中温热液、矽卡岩型或两者复合成因的徐老九沟、前进东山铅锌矿床,局部斑岩与火山岩共存的地段,则形成与花岗质火山-侵入杂岩有关的中温热液型新第八南山钼矿化、西岭南山铅锌矿(点),反映出不同成矿元素的多期成矿作用及矿化中心的位移,它们共同构成了与晚三叠世-早侏罗世二长花岗岩及其分异演化的二长花岗斑岩、花岗斑岩超浅成侵入活动相关的 Mo-Pb-Zn-Au 等多金属成矿系列。

## 2.2 碰撞后崩塌型正长-碱长花岗岩成矿亚系列

### 2.2.1 岩体岩相学、主微量元素特征及其成因

正长-碱长花岗岩广泛分布于小兴安岭东南端的南岔-金山屯至五营-汤旺河区一带,在时空上与上述壳幔混合成因巨量似斑状二长花岗岩紧密相伴,局部与同期略晚的 A 型含钠闪石碱性花岗岩相伴,岩体具有明显高温岩浆浅成就位的特征,且闪长质包体明显减少,可能反映壳幔岩浆混合作用的减弱<sup>[7]</sup>。

从正长花岗岩和碱长花岗岩的岩石化学分析结果(表 1~2)可以看出:岩石以高硅( $\text{SiO}_2$  含量为 72.02%~76.72%)、富碱质( $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  为 7.91%~9.25%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ )、富铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 11.80%~13.86%)和低钙镁( $\text{MgO}$  为 0.01%~0.51%, $\text{CaO}$  为 0.19%~1.64%)为特点。 $A/\text{CNK}$  为 0.95~1.24(平均为 1.04),在  $A/\text{CNK}-A/\text{NK}$  图中均落入偏铝质-过铝质岩石区;岩石富含稀土元素( $70.37 \times 10^{-6} \sim 540.03 \times 10^{-6}$ ,平均  $266.31 \times 10^{-6}$ )、钕强烈亏损( $\delta \text{Eu}$  为 0.05~0.53,平均 0.27),稀土配分曲线形态呈轻稀土略微富集的、向右缓倾斜的右倾型,而重稀土则为较平坦、钕亏损的海鸥型(图 2-a)。岩石中 Pb、Mo、Sn 等含量较高,

①杨言辰,王可勇,马志红,等.黑龙江小兴安岭-张广才岭成矿带金、多金属矿床成矿规律与成矿预测.2005.

微量元素蛛网图(图 2-b)显示 Rb、Zr、Th、Ce 峰和 Sr、K、Ti 谷; 岩石 HFS 元素 (Zr+Nb+Y+Ce 为  $142.1 \times 10^{-6} \sim 495.3 \times 10^{-6}$ , 平均  $353.23 \times 10^{-6}$ ) 和 Ga 含量 ( $14.6 \times 10^{-6} \sim 38.9 \times 10^{-6}$ ) 高; 岩石的  $\delta^{18}O$  为  $5.1\text{‰} \sim 7.8\text{‰}$ ,  $< 10\text{‰}$ 。在  $FeO^T/MgO-SiO_2$  图、 $10000Ga/Al-Zr$  图、 $10000Ga/Al-(Na_2O+K_2O)$  图、 $(Zr+Nb+Ce+Y)-(Na_2O+K_2O)/CaO$  图、 $(Zr+Nb+Ce+Y)-FeO^T/MgO$  图、 $Rb/Ba-(Zr+Ce+Y)$  图中, 岩石均落入 A 型花岗岩区, 不同于高分异 I 型花岗岩, 为铝质 A 型花岗岩<sup>[7]</sup>。

2.2.2 成矿特征及矿床成矿系列

与正长-碱长花岗岩有关的矿床有: 库源铁钼矿、西林十林场铁矿、大西林铁矿、红旗山铁矿、翠北铁矿、宏铁山铁矿点、丰茂馒头山铅锌矿点、丰茂铁矿点、前进南钼矿点等 10 余个矿床(点), 矿化类型为铁及多金属, 其矿床类型以矽卡岩型为主, 岩浆热液型为次, 表现出 Fe-Mo-Pb-Zn 矿床成矿系列, 多以铁矿为主, 多金属矿化作用不强且分散为特征, 并向南与张广才岭接壤地段过渡为 Zn-Mo-Fe-Pb 矿床成矿系列, 且以 Zn、Mo、Pb 成矿作用增强为特征<sup>[6-7]</sup>。

库源铁钼矿: 矿体呈脉状、透镜状或扁豆状产于碱长花岗岩与下寒武统铅山组接触带及断裂构造中。钼矿体产于铁矿体下部的矿化矽卡岩中, 金属矿物以磁铁矿、磁黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿为主, 矿石具块状构造、浸染状、细脉-浸染状及条带状构造等。围岩蚀变以矽卡岩为主, 其次为硅化、绿泥石化、绢

云母化等, 矿床成因类型为矽卡岩型<sup>[7]</sup>。

大西林铁矿: 矿体呈不规则透镜状、脉状、扁豆状产于碱长花岗岩与铅山组接触带的矽卡岩及围岩层间裂隙中。金属矿物以磁铁矿为主, 黄铁矿、方铅矿为次, 围岩蚀变有矽卡岩化、萤石化、绿化、硅化及绢云母化等, 矿床成因类型为矽卡岩型<sup>[7]</sup>。

2.3 成矿构造背景及其演化探讨

二长花岗岩在微量元素 Y-Nb、(Y+Nb)-Rb 构造判别图(图 3-a,b)中, 大多数落入碰撞后花岗岩区, 在  $R_1-R_2$  构造环境判别图(图 4)落入同碰撞与造山晚期区, 在 Maniarr 构造环境判别图<sup>[24]</sup>中, 落入大陆碰撞(CCG)和后造山花岗岩(POG)区<sup>①</sup>。说明具有壳幔岩浆混合成因的二长花岗岩反映出由大陆碰撞向碰撞后花岗岩转变的构造环境特点, 它可能暗示了古亚洲构造域的碰撞后伸展作用机制下的构造-岩浆活动, 其形成可能与碰撞后伸展动力学机制下的基性岩浆底侵作用有关。区域上岩体与围岩的接触关系及 U-Pb 锆石年龄(191~234Ma)说明其形成于晚三叠世-早侏罗世<sup>[2-3,11-27]</sup>。

正长-碱长花岗岩岩体形成时代为 190~222 Ma, 为晚三叠世-早侏罗世<sup>[2-3,11-27]</sup>。岩体总体上近 SN 向展布, 局部 NNE 向, 岩浆活动具有由北向南逐渐减弱的趋势。岩体中无主动侵位造成的构造应变, 显示出拉张环境下被动就位的构造样式。在 Y/Nb-Ce/Nb、Rb/Nb 图、Nb-Y-Ce 和 Nb-Y-3Ga 图中, 岩石大多数落入  $A_2$  型花岗岩区<sup>[7]</sup>; 在花岗岩

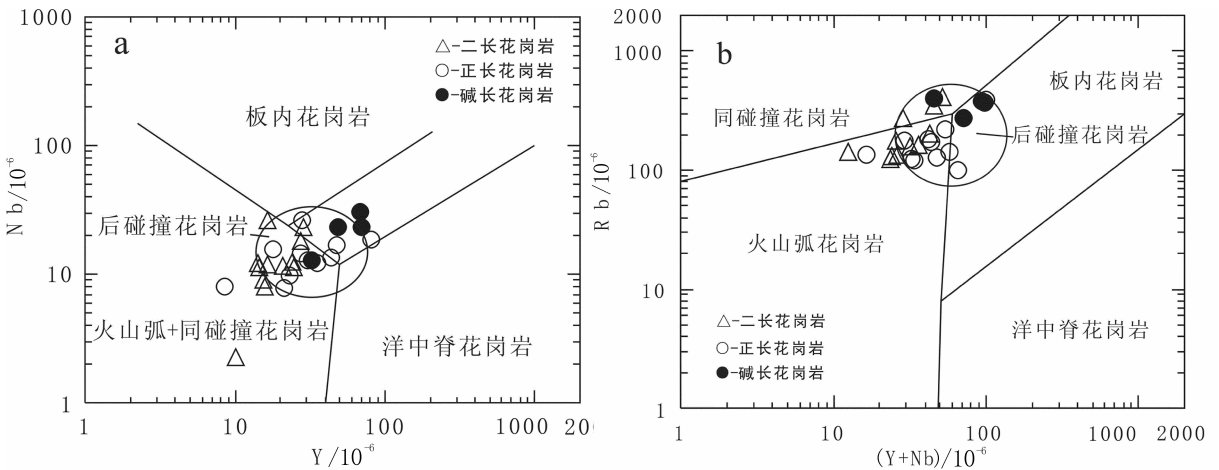


图 3 花岗岩微量元素 Y-Nb(a)和(Y+Nb)-Rb(b)构造环境判别图(据 Forster, 1997)  
Fig.3 Discrimination diagrams of tectonic setting from Y-Nb(a)and (Y+Nb)-Rb(b) (after Forster, 1997)

①黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万鹤岗市幅区域地质调查报告, 2006.



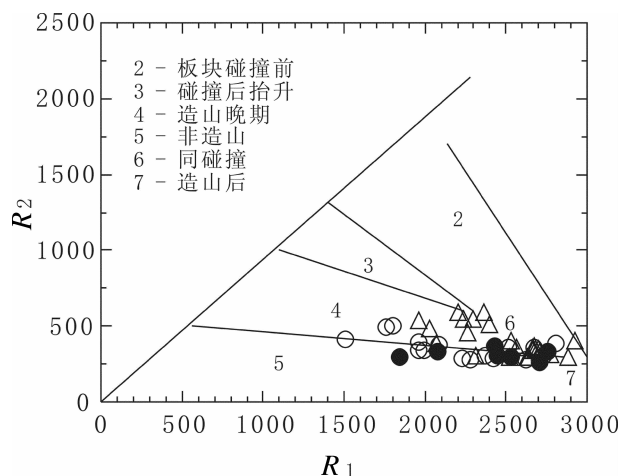


图 4 花岗岩构造环境  $R_1$ - $R_2$  判别图

Fig.4  $R_1$ - $R_2$  discrimination diagram for tectonic environment of granite (legend as for Fig. 3)

图例同图 3

微量元素 Y-Nb、(Y+Nb)-Rb 构造判别图(图3)中大多数样品落入后碰撞花岗岩区;在  $R_1$ - $R_2$  构造环境判别图(图 4)中,大多数落入造山晚期区,少量为非造山区,暗示岩体形成于构造松弛、崩塌的环境,可能与古亚洲洋构造域最终闭合之后的大陆碰撞后伸展动力学机制有关。

下面概要讨论一下碰撞—碰撞后构造转变型二长花岗岩和碰撞后崩塌型正长—碱长花岗岩之间在时间演化上的关系。由上可知,二长花岗岩岩体具显著的壳幔岩浆混合成因的岩相学与主量、微量元素特征,并表现出由大陆碰撞花岗岩向碰撞后花岗岩转变的构造环境特点,而铝质  $A_2$ (或  $PA$ )型正长—碱长花岗岩受控于张性构造背景已得到广泛共识,它不同于非造山板内环境的  $AA$  或  $A_1$  型,而是反映了造山后构造环境,从而使  $A_2$  型花岗岩成为判断造山作用结束时间的重要岩石学标志<sup>[29-30]</sup>。区域上二长花岗岩与正长—碱长花岗岩一起构成了小兴安岭地区独特的构造峰林—花岗岩石林地貌,这也暗示了古亚洲构造域的碰撞—碰撞后构造转变及其碰撞后崩塌的伸展作用机制下的同一构造—岩浆活动。

研究区内的二长花岗岩时代为 234~191 Ma(峰值约为 205 Ma),铝质  $A_2$  型正长—碱长花岗岩时代为 222~190 Ma(峰值约为 201 Ma)<sup>[2-3,11-27]</sup>。按 Sylvester P J<sup>[31]</sup>、Turner S<sup>[32]</sup>认为,造山后  $A$  型花岗岩与主造山事件的间隔约 40 Ma,则其主造山时代为 260~230 Ma,结合 Sylvester P J(1998)<sup>[33]</sup>认识,碰撞后

花岗岩出现比碰撞峰期晚 10~26 Ma,这也与该地区大量出现碰撞向碰撞后转变期的壳幔混合型二长花岗岩(234~191 Ma)的基本事实相吻合。而最晚形成的二长花岗岩与正长—碱长花岗岩岩体时代均为 190~191 Ma,这可能代表了古亚洲构造域、滨太平洋构造域的转换时间,而且又恰好与区域上的含钨铅锌等多金属成矿岩体形成峰期年龄 190.5 Ma(与杨言辰书信,2009)吻合。这一方面说明该地区含矿斑岩体形成于主体岩浆结晶分异晚期,其中含矿斑岩体开始形成于晚印支期,最终结束于早燕山期的过渡时期,另一方面也说明该地区早中生代大规模多金属成矿作用与碰撞后伸展构造背景有关。

### 3 底侵作用与成矿作用关系探讨

自从 Fyfe 等(1973)提出幔源岩浆底侵作用和 Bird 等(1979)<sup>[34-35]</sup>提出拆沉作用的概念以来,底侵和拆沉作用作为壳幔相互作用的重要方式和大陆动力学演化的主要动力之一,均得到了广泛应用。近年来地质学家们认识到花岗岩及其成矿作用实际上是对流地幔物质热输入的产物,强调将壳幔相互作用引入花岗岩的形成机制,认为岩石圈拆沉和幔源岩浆底侵过程中的壳幔相互作用,对花岗岩及其成矿作用具有重要的控制作用。因此,从壳幔相互作用角度研究花岗岩成因与大陆地壳增生、成矿作用等有关大陆动力学及其演化与成矿关系研究,越来越受到国内外地学界的高度重视<sup>[36-39]</sup>。

小兴安岭东南伊春地区的早中生代二长花岗岩、正长—碱长花岗岩有关多金属成矿作用强烈,其成矿作用与古亚洲洋构造域闭合后的陆—陆碰撞向碰撞后垮塌转换期的伸展动力学机制下的基性岩浆底侵作用密切相关。其底侵作用相关的基本地质事实和依据是:①壳幔混合成因二长花岗岩在时空上与铝质  $A$  型正长—碱长花岗岩之密切伴生,构成巨量的  $I-A$  型花岗质复合岩基。基于幔源岩浆底侵作用的产物要么与岩浆混合成因花岗岩产在一起,要么与深变质岩(如麻粒岩相包体)紧密共生的原则<sup>[40]</sup>,结合伊春地区至今尚未发现与中生代拆沉作用有关的高密度的榴辉岩(或榴辉岩包体)和拆沉后的大面积暗色岩系<sup>[24,41-42]</sup>,且地表仅出露少量基性岩,也缺少岩浆分异演化中间成分—闪长岩类来看,认为巨量酸性岩不可能是由小面积的基性岩浆演化形成的,这些可能暗示与底侵作用有关<sup>[40]</sup>。②二长花

花岗岩岩体中广泛发育壳幔混合成因的 MME 型微细粒闪长质包体(mafic microgranitoid enclave 的缩写,为镁铁质微粒包体,俗称暗色微粒包体)为特征<sup>[2-24]</sup>;且二长花岗岩岩体内中基性脉岩群也较为发育,可能代表了底侵作用导致的壳幔岩浆混合有关的同深成作用形成的同生岩墙;而在正长-碱长花岗岩中 MME 型包体明显减少,可能反映壳幔岩浆混合作用的减弱。③二长花岗岩、正长-碱长花岗岩的  $Sr < 400 \times 10^{-6}$ ,  $Yb > 2 \times 10^{-6}$ <sup>[22,27]</sup>,属于低 Sr 高 Yb 花岗岩类,与华南花岗岩具可比性,暗示熔融源区为麻粒岩或斜长角闪岩,而不是榴辉岩类,说明不具备拆沉的物质条件,可能与底侵作用有关<sup>[25]</sup>;另外,岩石中斜长石为主要造岩矿物,说明了低 Sr 与斜长石的分离无关,也可能暗示了底侵作用下的低 Sr 下地壳熔融<sup>[31-40]</sup>;二长花岗岩、正长-碱长花岗岩的微量元素地幔标准化蛛网图、稀土元素球粒陨石配分曲线图形态基本相似<sup>[19,22,27]</sup>,岩体稀土曲线特征也与中国东南沿海晚中生代由底侵作用形成的巨量壳幔混合型花岗岩相类似<sup>[40]</sup>。④二长花岗岩  $I_{Sr}$  值(0.70730~0.72429)、 $I_{Nd}$  值(0.512289)和  $t_{DM}$  模式年龄((1295±13)Ma)和正长-碱长花岗岩的  $I_{Nd}$  值(0.512144~0.512513)、 $I_{Sr}$  值(0.72056~0.73990)、 $t_{DM}$  模式年龄(1118~1328 Ma)相似。岩石的  $I_{Sr}$  值(其变化很大,可能说明了物质来源、形成过程的复杂性)、低  $I_{Nd}$  值特征反映了与富含地幔物质的年轻地壳重熔或壳幔相互作用有关,从  $t_{DM}$  模式年龄反映出花岗岩岩浆源区物质均为中元古代变质基底物质,这与实际出露的中元古代黑龙江群岩性特征相符<sup>[27]</sup>。⑤正长-碱长花岗岩  $\delta^{18}O$  值(5.1‰~10.3‰)、二长花岗岩  $\delta^{18}O$  值(6.9‰~9.0‰)略偏低,可能说明其源区物质成熟度低,与地幔物质混入有关<sup>[27,43]</sup>。区域上与印支晚期二长花岗岩有关的多金属矿床的铅同位素组成具有较高的均一性( $^{206}Pb/^{204}Pb=17.99\sim 18.73$ ;  $^{207}Pb/^{204}Pb=14.96\sim 15.60$ ;  $^{208}Pb/^{204}Pb=37.49\sim 38.53$ )<sup>[7]</sup>,且高于原始地幔值,明显富含放射性成因铅。在  $^{207}Pb/^{204}Pb-^{206}Pb/^{204}Pb$  图中均落入上地幔与上地壳演化线之间的造山带演化线附近,反映铅为壳幔混合源成因,这与岩体的壳幔混合成因特征相吻合。矿床金属硫化物  $\delta^{34}S$  值低(-0.2‰~4.4‰)<sup>[7]</sup>,说明来自深源(下地壳或上地幔)的岩浆原生硫( $\delta^{34}S$  值<5‰)特征。

综上所述,小兴安岭东南地区是中国重要的中生代环太平洋西带的斑岩型-矽卡岩型 Cu-Au 矿带和

浅成低温热液型 Au 矿带的北延部分<sup>[20,44]</sup>,它们构成了统一的、有机的构造-岩浆-成矿系列。在该地区早中生代底侵作用的识别,可从壳幔相互作用的角度去解释该地区早中生代巨量花岗岩成因、地壳垂向增生和演化,以及碰撞后的大规模伸展体制是多金属矿集区、(超)大型矿床形成有利构造环境<sup>[38-39]</sup>,这些为该地区早中生代花岗岩有关多金属及金矿床成矿系列、找矿方向,提供了新的依据与思路。

## 4 成矿系列的对比及找矿前景

小兴安岭东南地区的晚三叠世—早侏罗世二长花岗岩、正长-碱长花岗岩有关的成矿系列中,花岗岩岩体的形成时代、成因及物质来源和成矿构造背景等特征上具有相似性,均与古亚洲洋闭合之后大陆碰撞向碰撞后转变的伸展构造环境下的底侵作用有关。但目前为止,其成矿元素、成矿特征、矿床类型、矿化强度等矿床成矿系列上存在一些差异。与二长花岗岩有关的 Mo-Pb-Zn-Fe-W-Au-(Ag) 矿床成矿系列中以单一的 Mo 或 Pb 成矿作用强烈为特征,其资源量约占黑龙江省钼铅储量的一半;而与正长-碱长花岗岩有关的 Fe-Mo-Pb-Zn 成矿系列中,以 Fe 成矿作用为主,多金属成矿作用较为分散,说明早中生代两个成矿亚系列间存在一定程度的差异性,这可能与成矿系列密切相关的二长花岗岩、正长-碱长花岗岩岩体成因与壳幔岩浆混合作物质混合比例、混合作用强度、混合及就位部位不同等壳幔作用的复杂控制因素有关。在壳幔混合作用较强烈的二长花岗岩成矿系列中以中高温的 Mo(W) 为主,中温 Pb、Zn、Ag 等矿化类型为次;而正长-碱长花岗岩中壳幔混合作用明显减弱,但其高温岩浆浅成就位的特征,仍能预测斑岩有关的中高温 W、Mo 矿化类型,以及两个成矿亚系列中均缺少中低温 Au、Ag 矿化类型,说明了该地区仍具有巨大找矿潜力。

另外值得注意的是,该地区大多数超大型矿床均产在伊春—玉泉早中生代近 SN 向构造-岩浆带与中生代盆地接壤的盆缘断裂带附近,如鹿鸣—徐老九沟钼铅锌铁矿田产在松辽盆地东侧铁力—逊克盆缘断裂构造带的南部,而翠宏山铁及多金属矿田则产在铁力—逊克盆缘断裂构造带北部,与乌云—结雅盆地边缘接壤部位,包括燕山期浅成低温热液型东安岩金矿也产于此,这可能与深大断裂驱动了巨大的热液成矿系统,构造薄弱地带壳幔混合

岩浆输导至此,使得成矿元素得以萃取、浓集,形成了以晚三叠世—早侏罗世花岗质岩浆侵入活动为核心的多金属成矿体系,并为矿床产出提供了有利空间,而矽卡岩型西林铅锌铁矿田产于早中生代岩浆岩带的中央,这可能与围岩岩性条件、构造条件双重控制作用有关。以上充分说明了区域上中生代盆地与早中生代花岗岩构造—岩浆岩带结合部位,具有较好的多金属及金的找矿前景。

综上所述,小兴安岭东南地区早中生代巨量壳幔岩浆混合成因二长花岗岩的出露,很可能暗示该地区是一个与花岗岩有关多金属及金成矿作用强烈的地区。矿床成矿系列的互补性、差异性说明该地区具有寻找同类矿床的先天条件,并且近年已取得了很好的找矿效果,具有广阔的找矿前景。在今后工作中充分利用不同花岗岩有关的成矿系列时空分带性、成矿强度,以及从高温到中温、中低温一系列不同类型的矿化类型等特征上的差异性、互补性特征来开展找矿工作部署,本着“全位成矿、缺位找矿”的原则,在传统的寻找与早中生代花岗岩有关矽卡岩型铅锌铁矿床的同时,注意在已知矿田外围寻找与相应缺少的矿化类型,如在伊春南部鹿鸣矿田外围寻找东安式低温 Au—Ag 矿化类型,在北部则寻找中高温鹿鸣式斑岩型 W—Mo—Cu 矿化类型等。

**致谢:**中国地质调查局严光生研究员及编辑部老师审阅本文并提出了宝贵意见,在此深表谢意!

## 参考文献 (References):

- [1] 李之彤,赵春荆.吉黑东部晚三叠世岩浆活动及其与板块构造的关系[J].中国地质科学院院报,1988,18:21-32.  
Li Zhitong, Zhao Chunjing. Late Triassic magmatic activities in relation to plate tectonics of the eastern part of Jilin and Heilongjiang Provinces,northeast China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1988, 18:21-32 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张海驹.黑龙江省印支期花岗岩的确定及其构造意义 [J]. 黑龙江地质, 1991, 2(1):8-18.  
Zhang Haiji. Ascertainableness of Indo-Chinese epoch granite in Heilongjiang Province and tectonic implications [J]. Geology of Heilongjiang, 1991, 2(1):8-18(in Chinese with English abstract).
- [3] 黑龙江省区域地质志. 黑龙江省地质矿产局[M]. 北京:地质出版社, 1993.  
Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993(in Chinese with English abstract).
- [4] 邓晋福,赵海玲,莫宣学,等. 中国大陆根—柱构造—大陆动力学的钥匙[M]. 北京:地质出版社, 1996:1-100.  
Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. Continental Roots—Plume Tectonics of China——Key to the Continental Dynamics [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:1-100 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵春荆,彭玉鲸,党增欣,等. 吉黑东部构造格架及地壳演化[M]. 沈阳:辽宁大学出版社, 1996.  
Zhao Chunjing, Peng Yujing, Dang Zengxin, et al. Tectonic Framework and Crust Evolution of Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces [M]. Shenyang: Liaoning University Press, 1996 (in Chinese with English abstract).
- [6] 尹冰川,冉清昌. 小兴安岭—张广才岭地区区域成矿演化[J]. 矿床地质, 1997, 16(3):235-242.  
Yin Bingchuang, Ran Qingchang. Metallogenic evolution in Xiao Hingganling—Zhangguangcailing region, Heilongjiang Province [J]. Mineral Deposits, 1997, 16 (3):235-242 (in Chinese with English abstract).
- [7] 韩振新,徐衍强,郑庆道,等. 黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化[M]. 哈尔滨:黑龙江人民出版社, 2004:150-160.  
Han Zhenxin, Xu Yanqiang, Zheng Qingdao, et al. The Important Metals and Nonferrous Metals Deposit Minerogenetic Series and Their Evolution [M]. Harbin:Heilongjiang People's Publishing House, 2004:150-160(in Chinese with English abstract).
- [8] 李锦轶,牛宝贵,宋彪,等. 长白山北段地壳的形成和演化[M]. 北京:地质出版社, 1999:1-137.  
Li Jinyi, Niu Baogui, Song Biao, et al. Crustal Formation and Evolution of Northern Changbai Mountains, Northeast[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:1-137 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李锦轶. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识[J]. 地质论评, 1998, 44(4):339-347.  
Li Jinyi. Some new ideas on tectonics of NE China and its neighboring areas [J]. Geological Review, 1998, 44 (4):339-347(in Chinese with English abstract).
- [10] 吴福元,江博明,林强,等. 中国北方造山带造山后花岗岩的同位素特点与地壳生长意义 [J]. 科学通报, 1997, 42 (20):2188-2192.  
Wu Fuyuan, Jahn Borming, Lin Qiang, et al. Highly fractionated I-type granites in northeastern China: geochemistry, petrogenesis and implications for continental crustal growth [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42 (20):2188-2192 (in Chinese with English abstract).
- [11] 吴福元,孙德有,林强. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 1999, 15(2):181-189.  
Wu Fuyuan, Sun Deyou, Lin Qiang. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(2):181-189(in Chinese with English abstract).
- [12] Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Heming, et al. The zircon U—Pb ages

- of Songliao basement rocks[J]. Chin. Sci. Bull., 2000, 45:656-660.
- [13] Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Heming, et al. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. Chemical Geology, 2002, 187:143-173.
- [14] Wu Fuyuan, Jahn Borming, Lo C H, et al. Highly fractionated I-type granites in NE China (I):Geochronology and Petrogenesis[J]. Lithos,2003, 66:241-273.
- [15] 张兴洲, 穆石敏, 杨宝俊, 等. 黑龙江板块群的地球动力学[M]//张贻侠等主编.中国满洲里-绥芬河地学断面 1:1000000 说明书.北京:地质出版社, 1998:20-23.
- Zhang Xingzhou, Mu Shimin, Yang Baojun, et al. Geodynamic of Heilongjiang Plates//ZhangYixia, et al(ed).The 1:1000000 direction of the area crossed by M-S GGT. Beijing:Geological Publishing House, 1998:20-23(in Chinese with English abstract).
- [16] 孙德有, 吴福元, 林强, 等. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用[J]. 岩石学报, 2002, 17(2):227-235.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Lin Qiang, et al. Petrogenesis and crust-mantle interaction of early Yanshanian Baishishan pluton in Zhangguangcai Range [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 17 (2): 227-235(in Chinese with English abstract).
- [17] 孙德有, 吴福元, 高山, 等. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球学报, 2004, 25(2):213-218.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. LA-ICPMS Zircon U-Pb Age of the Qingshui pluton in the east Xiao Hinggan Mountains [J].Acta Geoscientica sinica, 2004, 25 (2):213-218(in Chinese with English abstract).
- [18] 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河-长春-延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据 [J]. 吉林大学学报(自然科学版), 2004, 34(2):174-181.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. The final closing time of the west Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone:Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition, 2004, 34(2): 174-181(in Chinese with English abstract).
- [19] 孙德有, 吴福元, 高山, 等. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J]. 地学前缘, 2005, 12(2):263-275.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang area, China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (2):263-275 (in Chinese with English abstract).
- [20] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 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 [J]. 科学通报, 2007, 52(20): 2407-2417.
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, et al. Mineralization ages and geodynamic implications of porphyry Cu-Mo deposits in the east of Xingmeng orogenic belt [J]. Science Bulletin, 2007, 52 (20):2407-2417(in Chinese with English abstract).
- [21] 葛肖虹, 马文璞. 东北亚南区中-新生代大地构造轮廓 [J]. 中国地质, 2007, 34(2):212-228.
- Ge Xiaohong, Ma Wenpu. Mesozoic -Cenozoic tectonic framework of southern Northeast Asia[J]. Geology in China, 2007, 34(2):212-228(in Chinese with English abstract).
- [22] 韩振哲, 赵海玲, 苏士杰, 等. 小兴安岭东南金山屯一带晚三叠世二长花岗岩成因及其地质意义 [J]. 现代地质, 2008, 22(2): 197-206.
- Han Zhenzhe, Zhao Hailing, Su Shijie, et al. Genesis and geologic significance of Late Triassic monzonitic granite in Jinshantun, the southeast of Xiaoxinanlin Mountains [J]. Geoscience, 2008, 22(2): 197-206(in Chinese with English abstract).
- [23] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 岩石成因、构造环境与成矿作用 [M]. 北京:地质出版社, 2004.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, et al. Petrogenesis, Tectonic Setting and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese with English abstract).
- [24] 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 2002:12-279.
- Xiao Qinghui, Den Jinfu, Ma Dashun, et al. Thought and Method of Study on Granites [M]. Beijing:Geological Publishing House 2002:12-279(in Chinese).
- [25] 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 Cengdong, Wang Yan, et al. Mesozoic high-Sr and low-Yb granitoids and low-Sr and high-Yb granitoids in eastern China: comparison and geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(6):1527-1537(in Chinese with English abstract).
- [26] 时永明, 崔彬, 贾维林. 黑龙江省铁力市鹿鸣钨矿床地质特征[J]. 地质与勘探, 2007, 43(2):19-22.
- Shi Yongming, Cui Bin, Jia Weilin. Geological features of Luming molybdenum deposit at Tielin the Heilongjiang Provinces [J]. Geology and Prospecting, 2007, 43 (2):19-22 (in Chinese with English abstract).
- [27] 韩振哲, 赵海玲, 王盘喜, 等. 黑龙江省伊春地区晚三叠世-早侏罗世铝质 A 型正长-碱长花岗岩地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(2):97-108.
- Han Zhenzhe, Zhao Hailing, Wang Panxi, et al. Geochemistry of the late Triassic-the early Jurassic aluminous A-type syenogranite-alkali feldspar granite in Yichun area, Heilongjiang Province and tectonic implications [J]. Acta Petrologia et Mineralogica, 2009, 28 (2):97-108(in Chinese with English abstract).
- [28] 韩振哲, 赵海玲, 李娟娟, 等. 黑龙江铁力兴安一带斑岩型钨矿资源潜力预测[J]. 地质与勘探, 2009, 45(3):253-259.
- Han Zhenzhe, Zhao Hailing, Li Juanjuan, et al. Metallogenic prognosis of porphyry style molybdenum mineralization potential Xingan area, Tieli City, Heilongjiang Province [J]. Geology and Prospecting, 2009, 45 (3):253-259 (in Chinese with English abstract).

- [29] 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. 中国科学(B辑), 1995, 25(4):418-426.  
Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baofu, et al. Tectonic setting classifications and discrimination criteria for alkaline granites [J]. Science in China(Series B), 1995, 5(4):418-426(in Chinese with English abstract).
- [30] Edy G N. Chemical subdivision of the A-Type granitoids: petrogenesis and implications[J]. Geology, 1992, 20:641-644.
- [31] Sylvester P J. Post-collisional alkaline granites [J]. J. Geol., 1989, 97:261-280.
- [32] Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the Padthaway Ridge, South Australia[J]. Lithos, 1992, 28:151-179.
- [33] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 1998, 45:29-44.
- [34] Bird P. Initiation of intracontinental subduction in the Himalaya[J]. J. Geophys. Res., 1978, 83:4975-4987.
- [35] Bird P. Continental delamination and Colorado Plateau[J]. Geophys. Res., 1979, 84:2561-2571.
- [36] 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 等. 火成岩构造组合与壳幔成矿系统 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (2): 259-269.  
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, et al. Igneous petro-tectonic assemblage and crust - mantle metallogenetic system [J]. Earth Sci. Front., 1999, 6 (2):259-269(in Chinese with English abstract).
- [37] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图及其说明书[M]. 北京:地质出版社, 1997:9-18.  
Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei, et al. Tectonics of China as Viewed over the Globe—Brief Explanatory Notes on the Tectonic Map of China and Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997:9-18(in Chinese).
- [38] 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 青藏高原碰撞造山带: III 后碰撞伸展成矿作用[J]. 地球化学, 2008, 37(4):344-352.  
Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Yang Zhusen, et al. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(6):629-651(in Chinese with English abstract).
- [39] 胡瑞忠, 毛景文, 毕献武, 等. 浅谈大陆动力学与成矿关系研究的若干发展趋势[J]. 地球化学, 2008, 37(4):344-352.  
Hu Ruizhong, Mao Jingwen, Bi Xianwu, et al. Several developing directions of relationship between continental geodynamics and mineralization [J]. Geochimica, 2008, 37 (4):344-352 (in Chinese with English abstract).
- [40] 王德滋, 周金城, 邱检生, 等. 中国东南部中生代花岗质火山-侵入杂岩特征与成因[J]. 高校地质学报, 2000, 6(4):487-498.  
Wang Dezi, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, et al. Characteristics and Petrogenesis of late Mesozoic granitic volcanic -intrusive complexes in southeastern China [J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(4):487-498(in Chinese with English abstract).
- [41] 徐夕生, 周新民, O'Reilly S Y, 等. 中国东南部下地壳物质与花岗岩成因探索[J]. 岩石学报, 1999, 15(2):217-223.  
Xu Xisheng, Zhou Xinmin, O'Reilly S Y, et al. Exploration for the lower crustal materials and granite genesis in southeast China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(2): 217-223(in Chinese with English abstract).
- [42] 罗照华, 魏阳, 辛后田, 等. 造山后脉岩组合的岩石成因—对岩石圈拆沉作用的约束[J]. 岩石学报, 2006, 22(6):1672-1684.  
Luo Zhaohua, Wei Yang, Xin Houtian, et al. Petrogenesis of the post-orogenic dike complex—Constraints to lithosphere delamination [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1672-1684(in Chinese with English abstract).
- [43] 李之彤, 朱群. 吉黑东部花岗岩类的稳定同位素组成[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3):353-359.  
Li Zhitong, Zhu Qun. Stable isotope composition of granitoids in east Jilin and Heilongjiang Provinces [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2001, 20 (3):353-359 (in Chinese with English abstract).
- [44] 沙德铭, 苑丽华. 浅成低温热液型金矿特点、分布和找矿前景[J]. 地质与资源, 2003, 12(2):115-124.  
Sha Deming, Yuan Lihua. The characteristics, distribution and prospect of epithermal gold deposits [J]. Geology and Resources, 2003, 12(2):115-124(in Chinese with English abstract).

## Early Mesozoic granites and polymetallic mineralization in southeastern Yichun area, Xiao Hinggan Mountains

HAN Zhen-zhe<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Hai-ling<sup>1,2</sup>, LI Juan-Juan<sup>3</sup>,  
LENG Cheng-en<sup>1,2</sup>, LU Jun<sup>1,2,3</sup>, LI Wen-long<sup>3</sup>

(1. State Key laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobeing Technology, Ministry of Education; China University of Geosciences, Beijing 100083,

China; 3. Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Investigation and Research, Qiqihar 161005, Heilongjiang, China)

**Abstract:** The Late Triassic–Early Jurassic monzonitic granite in southern Yichun area of the Xiao Hinggan Mountains extensively has migmatitic MME–type fine–grained dark dioritic enclaves and plutonic intermediate–basic mafic dikes, characterized by crust–mantle mixture. In contrast, the syenitic–alkali feldspar granite is characterized by aluminian A<sub>2</sub> type granite. Their petrographic, major and minor element and isotopic features show that their formation was related to underplating in an extension–collapse environment of the transition period from continental collision to post–collision after the closure of the palaeo–Asia Ocean. The similarity of the two types of granites in genesis, material source and metallogenic background also finds expression in their similarity of metallogenic series. The monzonitic granite assumes the Mo–Pb–Zn–Fe–Au–Ag metallogenic series, with Mo and Pb ore–forming processes being most intense, whereas syenitic–alkali feldspar assumes the Zn–Pb–Cu–Mo–W–Fe metallogenic series, characterized by weak and scattered mineralization. Their certain degrees of difference in metallogenic series might have to do with the somewhat different degrees of crust–mantle mixture. The difference of these Mesozoic granites in ore–forming features, ore deposit types, mineralization intensities and mineralization types indicates that this area still has great potential in search for polymetallic ore deposits.

**Key words:** metallogenic series; Early Mesozoic; post–collision; underplating; Yichun area

---

**About the first author:** HAN Zhen-zhe, male, born in 1965, doctor and senior engineer, engages in regional geological survey and research; E–mail: hzhenz65@163.com.