

吉黑东部中生代晚期中酸性岩浆活动与金成矿作用

陈永福, 闫家盼, 王晓军, 郭晓东, 杨玉霞

(中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北廊坊 065000)

[摘要] 吉黑东部金矿床集中分布于小兴安岭北麓、完达山和太平岭(东宁-延边), 矿床类型以斑岩型-浅成低温热液型矿床为主。成矿年代大约为 110 Ma 左右。稳定同位素显示成矿流体具有岩浆水特征, 而成矿物质则主要来源于深源岩浆, 这说明吉黑东部金成矿可能与岩浆活动有关。同时, 研究显示吉黑东部广泛发育一套 120~95 Ma 的中酸性火山-侵入岩, 其与 110 Ma 金成矿事件时空关系密切。这套火山-侵入岩在矿区表现为英安-流纹质或安山-英安质火山岩组合和闪长玢岩、花岗斑岩及花岗岩等脉岩和小侵入体。而岩石化学特征则表明其属中酸性的钙碱性系列, 为一套俯冲流体交代地幔楔起源的岩浆。区域对比研究表明, 吉黑东部金成矿与俄罗斯远东地区 Sikhote-Alin 锡成矿、韩国南部金-银成矿可能处于同一大地构造环境的不同构造部位。成矿年代从吉黑东部向东南方向有变年轻的趋势, 且成矿岩浆岩的酸性成分增强而幔源成分减少。综合区域岩浆岩和区域成矿特征, 表明吉黑东部存在一期 110 Ma 的金成矿事件, 其与中生代晚期板块俯冲及其后的岩石圈折沉作用和弧后伸展有关, 成矿大地构造环境为大陆边缘弧。

[关键词] 金成矿作用 中酸性岩浆活动 吉黑东部 中生代晚期

[中图分类号] P612 + P617 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2014)增刊-1248-09

Chen Yong-fu, Yan Jia-pan, Wang Xiao-jun, Guo Xiao-dong, Yang Yu-xia. Late Mesozoic intermediate-acid magmatism and gold mineralization in eastern Jilin and Heilongjiang Provinces [J]. *Geology and Exploration*, 2014, 50(Supp.): 1248-1256.

中国东部在燕山期是重要的金属成矿区域, 且尤以燕山晚期最为重要(毛景文和王志良, 2000; Chen *et al.*, 2007; Pirajno, 2013)。由于受太平洋板块的影响, 中国东部在中生代晚期成矿作用大爆发, 产生一系列重要的成矿系列和成矿类型, 形成中国东北、胶东地区、长江中下游地区以及浙闽粤沿海等矿集区(梅燕雄等, 2004)。这些矿床多以岩浆矿床或和岩浆活动有关的热液矿床为主(Pirajno, 2013)。中国东北作为中国东部的重要成矿集中区之一, 分布着四个重要的金属成矿省(Pirajno, 2013), 而吉黑东部则包括了其中两个成矿省的主体部分, 为重要的金矿产区。

近年研究发现, 吉黑东部的金矿床成矿年代多集中于 110 Ma 左右(Zhang *et al.*, 2010; 赵羽军等, 2010; 赵玉锁等, 2012; Han *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013)。这些矿床的成矿年代与区域 120~95 Ma 的

中酸性火山-侵入岩成岩年代(纪伟强, 2007; 李超文等, 2007; Zhang *et al.*, 2010)基本一致。说明吉黑东部可能存在着一期与岩浆活动有关的 110 Ma 金成矿事件。因此, 在已有研究的基础上, 系统总结和研究吉黑东部中生代晚期金矿床区域成矿特征及与其有关的岩浆活动, 不仅对找矿勘探实际和矿床成矿作用理解具有重要意义, 而且还有助于理解区域大地构造演化(Pirajno, 2009, 2013)。

1 地质背景

中国东北位于中亚造山带东段, 由额尔古纳、孙嫩地块、佳木斯地块、兴凯地块等微板块拼贴形成(Wu *et al.*, 2007, 2011; Zhou *et al.*, 2009, 2010; Wilde *et al.*, 2010), 这些微板块在古生代末期基本完成块体拼贴的造山作用(Wu *et al.*, 2007, 2011),

[收稿日期] 2014-03-28; [修订日期] 2014-09-16; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 中国人民武装警察部队黄金指挥部计划内重点项目(HJY10-03)资助。

[第一作者] 陈永福(1980年-), 男, 2009年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所, 获博士学位, 高级工程师, 从事金矿地质勘查工作。E-mail: saiwaijiaozi@163.com。

并形成统一的“佳蒙地块”(王成文等,2008,2009)。该区早中生代的地质演化主要受控于北部的西伯利亚地块和南部的华北地块及其间所夹的兴安-蒙古造山带。但从晚古生代末期开始,特别是进入中生代以来,西侧的蒙古-鄂霍次克洋俯冲碰撞(Zorin *et al.*, 2001)、东部西太平洋板块的俯冲作用及布列亚-佳木斯-兴凯和纳丹哈达等块体的拼贴,开始对本区产生重要影响(Wu *et al.*, 2007, 2011)。

吉黑东部地区位于兴凯-佳木斯-布列亚地块南部(图1),该块体由西太平洋板块俯冲拼贴外来块体形成(Zhou *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2011),后经断裂构造分离(Zhou *et al.*, 2009, 2010; Wilde *et al.*, 2010)。黑龙江杂岩(Zhou *et al.*, 2009; 1010)、罗圈站组火山岩(Xu *et al.*, 2009)以及张广才岭和小兴安岭的同碰撞花岗岩(Wu *et al.*, 2007, 2011)记录了吉黑东部南北向运动向东西向运动的转变,而滨太平洋板块的俯冲及与之有关的地壳底部和岩石圈地幔拆沉在侏罗世以来占主导地位(Wang *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2011)。

吉黑东部中生代岩浆岩分布非常广泛(图1)。侵入岩主要为三叠纪末-中侏罗世的花岗岩类以及

少量早白垩世花岗岩(Wu *et al.*, 2011),其中220~170 Ma的花岗岩浆活动形成了重要的小兴安岭-张广才岭钼成矿带,产出鹿鸣钼矿、翠岭钼矿以及霍吉河钼矿等(杨言辰等,2012)。火山岩主要为三叠纪末期的罗圈站组火山岩,为华北板块与兴凯-佳木斯板块拼合产物(Xu *et al.*, 2009;),该期火山岩存在金的预富集,为中生代晚期金成矿作用提供部分成矿物质(陈永福等,2011)。吉黑东部分布较广的火山岩集中于中生代晚期,以流纹岩-英安岩及玄武岩-安山岩组合为主(纪伟强,2007;李超文等,2007;Zhang *et al.*, 2010)。

2 金矿床基本特征

2.1 成矿集中区

吉黑东部主要指松辽盆地以东的黑龙江与吉林两省区域,大地构造上位于兴凯-佳木斯-布列亚地块的中南部(图1)。中国东北分布着大兴安岭北部、大兴安岭南部、小兴安岭以及长白山等四个金属成矿省(Pirajno, 2013),而吉黑东部则包括了其中小兴安岭北麓、长白山北麓的太平岭(延边-东宁)以及完达山三个成矿集中区,典型矿床如下(表1)。

表1 吉黑东部金矿床列表

Table 1 Gold deposits in eastern Jiling and Heilongjiang Provinces

序号	成矿集中区	矿床	金属	矿石矿物	热液蚀变	围岩	矿化类型
1	小兴安岭北麓	东安	Au, Ag	黄铁矿,少量毒砂、辉铜矿、方铅矿、黄铜矿等	硅化、冰长石化、萤石化等	安山岩流纹岩	脉状、透镜体型
2	小兴安岭北麓	高松山	Au	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、自然金、赤铁矿化等	硅化、青磐岩化、碳酸岩化	安山岩	脉状、角砾岩型
3	小兴安岭北麓	平顶山	Au	黄铁矿、毒砂、银金矿,少量雌黄铁矿、黄铜矿等	硅化、绢云母化、叶腊石化	燕山期花岗岩	脉状、蚀变岩型
4	小兴安岭北麓	团结沟	Au	金、黄铁矿、白铁矿,少量辉铋矿、辰砂、方铅矿	青磐岩化、泥化、硅化、钾化	斜长花岗岩斑岩	细网脉型、浸染状
5	完达山	四平山	Au	黄铁矿,黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、白铁矿、银金矿	硅化、青磐岩化、绢云母化	流纹岩	脉状、网脉状
6	完达山	四山林场	Au, Ag	毒砂、黄铁矿,黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,斑铜矿	硅化、高岭土化、碳酸盐化	流纹岩变质岩	脉状、角砾岩型
7	完达山	金厂	Au, Cu	黄铁矿,黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、雌黄铁矿	硅化、高岭土化、黄铁矿化、钾化	闪长岩	裂控型、角砾岩型
8	太平岭	五凤五星	Au	黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿、方铅矿、银金矿	钠长石化、绿泥石化、硅化	火山岩花岗岩	细脉浸染状石英脉
9	太平岭	闹枝	Cu, Au	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,自然金、银金矿	青磐岩化、沸石化、黄铁绢英岩	花岗闪长岩	石英脉型
10	太平岭	刺猬沟	Au	黄铁矿,闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、辉铋矿、辰砂等	青磐岩化、绢云母化、硅化	安山质凝灰岩	脉型
11	太平岭	九三沟	Au, Cu	黄铁矿,毒砂、黄铜矿、砷黝铜矿、辉铋矿	硅化、高岭土化、绿泥石化、泥化	石英闪长玢岩	细脉浸染状
12	太平岭	杜荒岭	Au, Cu	黄铁矿,雌铁矿、黄铜矿、斑铜矿,雌黄铁矿	硅化、沸石化、绿泥石化	石英闪长岩	角砾岩破碎蚀变岩
13	太平岭	小西南岔	Cu, Au	雌黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿,毒砂、钛铁矿等	钾化、黑云母化、硅化、绢云母化	闪长岩	脉状、细脉浸染状
14	太平岭	农坪	Cu, Au	黄铁矿,黄铜矿,磁黄铁矿、辉钼矿、胶黄铁矿	硅化、黄铁矿化、绢云母化	花岗闪长斑岩	浸染状、细脉浸染

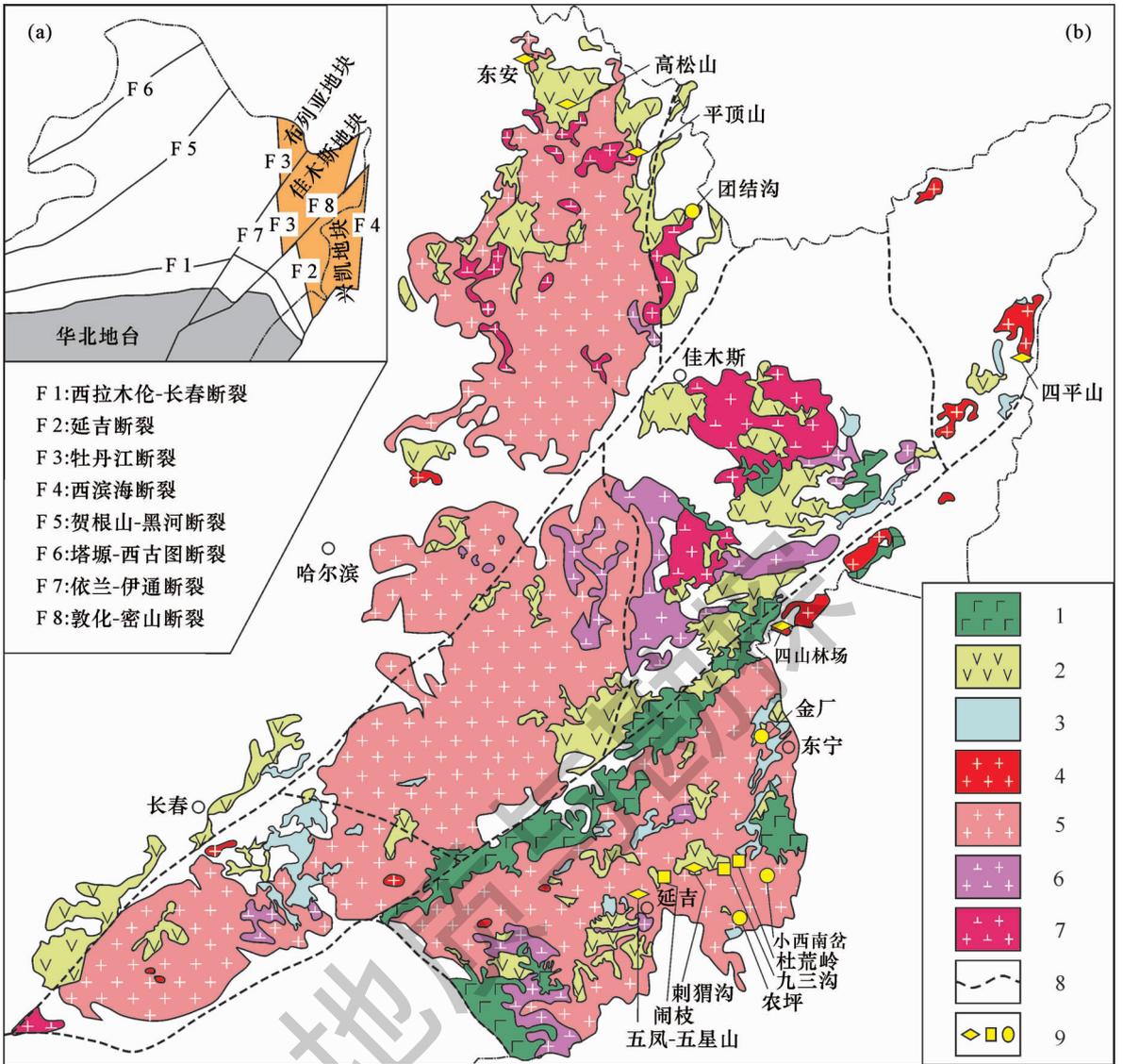


图 1 (a) 兴凯 - 佳木斯 - 布列亚地块及邻区各微板块的大地构造位置图 (据 Zhou *et al.*, 2010); (b) 吉黑东部古生代以来火山 - 侵入岩分布简图及中生代晚期斑岩 - 浅成低温热液矿床相对位置图 (据 Zhang *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013)

Fig.1 (a) Tectonic setting of the Khanka - Jiamusi - Bureya massif and adjacent areas (after Zhou *et al.*, 2010); (b) Distribution of volcanic and intrusive rocks and location of porphyry - epithermal gold (copper) deposits in eastern Jilin and Heilongjiang Provinces (after Zhang *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013)

1 - 新生代火山岩; 2 - 白垩纪火山岩; 3 - 晚三叠世 - 中侏罗世火山岩; 4 - 早白垩世花岗岩; 5 - 晚三叠世 - 中侏罗世花岗岩; 6 - 石炭纪 - 泥盆纪花岗岩; 7 - 寒武纪 - 奥陶纪花岗岩; 8 - 断裂; 9 - 金矿床 (低硫、高硫、斑岩型)

1 - Cenozoic volcanic rocks; 2 - Cretaceous volcanic rocks; 3 - late Triassic - middle Jurassic volcanic rocks; 4 - early Cretaceous granite; 5 - late Triassic - middle Jurassic granite; 6 - Carboniferous - Devonian granite; 7 - Cambrian - Ordovician granite; 8 - fault; 9 - gold deposit (low sulfur, high sulfur, porphyry type)

2.2 矿床地质

总结的 14 处典型矿床基本特征列于表 1, 矿床多以独立金矿床、金 - 银和金 - 铜矿床为主, 也见少量铜 - 金矿床。矿石矿物多以黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿等为主并见浅成低温热液型矿床的特

征矿物如辰砂、辉锑矿、雌黄、雄黄等, 其中以太平岭 (东宁 - 延边) 成矿金属矿物较为复杂, 种类较多。热液蚀变不同矿床类型有其特征的蚀变矿物, 其中斑岩型矿床以钾化、青盘岩化和硅化为主, 低硫型浅成低温热液矿床以冰长石化、萤石化和绢云母代

主,而高硫化型浅成低温热液矿床则可见比较特征的高岭土化和沸石化。

矿床矿体多以脉型为主,有时也见角砾岩筒型矿体。矿化类型多为脉状、细脉状、网脉状、浸染状、细脉浸染状和角砾岩型等。矿体围岩侵入岩多为同期或者早期的花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩,火山岩多为同期的流纹岩和英安岩。

综合吉黑东部基本矿床特征,划分为三类:斑岩型主要有金厂金矿、小西南盆金铜矿床及农坪金矿;低硫化浅成低温热液矿床有团结沟金矿、五凤-五星山金矿、刺猬沟金矿、东安金矿、高松山金矿、四平山金矿、四山林场金矿和平顶山金矿;而高硫化浅成低温热液矿床为杜荒岭金矿、九三沟金矿及闹枝金矿。这些矿床可能属于不同的斑岩-浅成低温热液型成矿系统,分布于吉黑东部各火山盆地边部,受隆拗过渡带控制(Pirajno, 2013)。成矿与岩浆-热液活动密切相关。

2.3 成矿流体和物质来源

吉黑东部金矿床氢氧同位素数据见图2。数据选取主要以成矿期黄铁矿为主,但考虑到区域成矿主要以中低温为主,黄铜矿、方铅矿等矿物与黄铁矿之间的同位素分馏不大,也选取了少部分数据以供研究。

数据显示,接近岩浆水端元主要有小西南盆、金厂两个斑岩型矿床,大气水端元则主要为东安金矿和刺猬沟金矿。其它矿床则见于两端元的连续演化区间。总体显示从斑岩型矿床到浅成低温热液型矿床具大气水交换增强的趋势。另外,氢氧同位素演化趋势分为两支(图2),分别为小兴安岭北麓矿集区矿床(团结沟金矿、东安金矿)与完达山、太平岭矿集区矿床。这可能与成矿时矿床的古地理纬度控制有关,地理位置靠北的小兴安岭矿集区具有更负的H同位素。另外,小西南盆同位素数据显得比较分散,部分 $\delta D\text{‰}$ 值接近长英质岩浆水的范围,可能与去汽前岩浆水有关,流体包裹体以富气相为主并含有 SO_4^{2-} (门兰静, 2011)也是佐证。

吉黑东部矿床的硫同位素组成总体变化范围较窄(图3),与幔源 $\delta^{34}\text{S}$ 接近,反应深部岩浆硫源的特征。从斑岩型-浅成低温热液型矿床,成矿硫同位素与外界硫交换增强,且硫同位素组成有变负的趋势。但团结沟金矿具有较大的变化范围,为 $32.7 \sim 10.5 \text{‰}$,可能与成矿围岩地层中硫同位素交换有关。

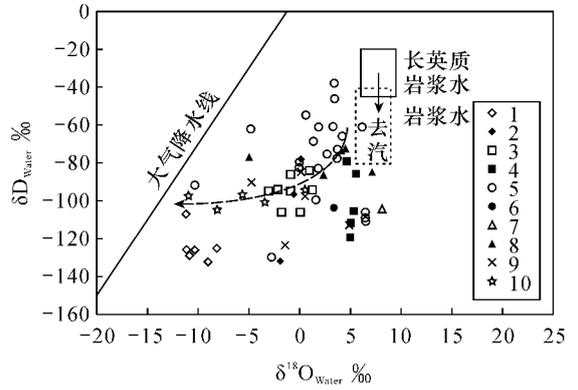


图2 吉黑东部金矿床氢-氧同位素($\delta D - \delta^{18}\text{O}$, ‰)图解其中,长英质岩浆水(相当于原始岩浆水)和传统的岩浆水(岩浆去汽后的水)的同位素数据范围来自 Talar (1992), Hedenquist & Lowenstern (1994); 矿床的数据来自杨天奇 (1994), 杨铁铮 (2008), 黄永卫 (2010), 门兰静 (2011) 及其中文献

Fig. 2 Plot of δD versus $\delta^{18}\text{O}$ values of hydrothermal fluids in various porphyry and epithermal ore deposits in eastern Jiling and Heilongjiang provinces (Yang *et al.*, 1994; Yang, 2008; Huang, 2010; Men, 2011; and references therein). (The data range of hydrogen and oxygen isotopic compositions of water dissolved in felsic magmas prior to fluid release are from Talar, 1992; Hedenquist & Lowenstern, 1994)

- 1 - 东安; 2 - 团结沟; 3 - 四平山; 4 - 四山林场; 5 - 小西南盆; 6 - 杜荒岭; 7 - 九三沟; 8 - 金厂; 9 - 闹枝; 10 - 刺猬沟
- 1 - Dongan; 2 - Tuanjiegou; 3 - Sipingshan; 4 - Sishanlinchang; 5 - Xiaoxinancha; 6 - Duhuangling; 7 - Jiusangou; 8 - Jinchang; 9 - Naozhi; 10 - Ciweigou

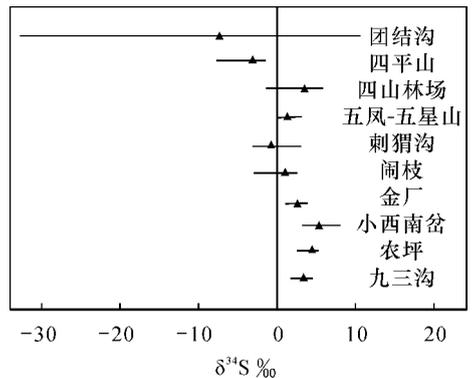


图3 吉黑东部金矿床硫同位素组成($\delta^{34}\text{S}$, ‰)斑岩-浅成低温热液金铜矿床硫同位素数据来源于文献(芮宗瑶, 1995; 赵宏光, 2007; 黄永卫, 2010; Pirajno, 2013)

Fig. 3 $\delta^{34}\text{S}$ values of hydrothermal fluids in various porphyry and epithermal copper and gold deposits in eastern Jiling and Heilongjiang provinces (Rui, 1995; Zhao, 2007; Huang, 2010; Pirajno, 2013)

综合稳定同位素组成($\delta D - \delta^{18}O, \delta^{34}S$)特征显示吉黑东部金矿床成矿流体斑岩型以岩浆来源为主,浅成低温热液矿床则与大气水交换增强。而成矿物质则主要与深部地幔物质有关,少部分矿床可能显示围岩特征。说明吉黑东部金矿床具有岩浆-热液成矿特征(孙景贵,2009; Pirajno, 2013),金成矿可能与中生代晚期岩浆活动有关。

3 金成矿作用与岩浆活动

3.1 成岩成矿时代

成矿时代集中于 110 Ma 左右(Zhang *et al.*, 2010),分布范围为 120 ~ 100 Ma。其中,完达山的四平山、四山林场和太平岭北麓的金厂金矿成矿年龄较大,为 120 Ma 左右(赵玉锁等,2012; Zhang *et al.*, 2013);小兴安岭北麓的成矿年代多小于 110 Ma,东安金矿为 107.2 Ma(Zhang *et al.*, 2010),团结沟金矿为 106 Ma(王永彬等,2012),高松山金矿为 104 Ma(郝柏武,未发表数据);而太平岭地区矿床主要为 110 ~ 100 Ma,但个别年龄小于 100 Ma(赵羽军等,2010; Han *et al.*, 2013)。

矿区与成矿有关的侵入-岩浆岩主要以中生代晚期中酸性岩浆岩为主,年代集中分布于 120 ~ 95 Ma。其中小兴安岭东安金矿测得福民河组火山岩为 108.1 Ma(Zhang *et al.*, 2010)、团结沟斜长花岗岩斑岩为 108 Ma(郝柏武,未发表数据),总体为 110 ~ 105 Ma。完达山成岩年代为 110 Ma 左右(Zhang *et al.*, 2013)。太平岭(东宁-延边)火山岩年代集中于 116 ~ 95 Ma(纪伟强,2007;李超文等,2007),而花岗岩则集中于 120 ~ 100 Ma(Wu *et al.*, 2011),矿区与区域火山-侵入岩年代总体相同。成岩成矿年龄数据进一步说明吉黑东部中生代晚期金成矿与火山-侵入岩成岩有关。

3.2 岩浆活动与金成矿关系

吉黑东部中生代晚期金矿床与同期岩浆岩空间关系密切。特别是其中的一些浅成低温热液型金矿床,主要发育于中生代晚期的火山岩和火山碎屑岩中。如刺猬沟金矿、五星金矿和闹枝金矿发育于长英质火山岩里(Zhou *et al.*, 2002),东安金矿产在福民河组流纹斑岩之中(Zhang *et al.*, 2010),四平山金矿则产在大塔山林场组斜长流纹斑岩中(Zhang *et al.*, 2013)。而斑岩型矿床则主要与同期小侵入体有关,如团结沟金矿产于潜火山斑岩里(Zhou *et al.*, 2002),而金厂金矿则与闪长玢岩有关(赵玉锁等,2012)。吉黑东部金矿床多与隆拗过渡带相关,

矿床主要产在隆起区和盆地边缘,主要靠近盆地一侧和火山岩一侧,有些矿床甚至产在同期和早期的火山机构中(陈永福等,2011; Pirajno, 2013)。

吉黑东部金矿床成矿年龄与成岩年龄基本一致但稍滞后。而火山岩地区成岩成矿年龄一般会有时差,约为 1 Ma 到几个 Ma(李兆鼎等,2004)。总体显示中生代晚期成岩与金成矿时空关系密切,结合稳定同位素数据揭示吉黑东部存在一期 110 Ma 的金成矿事件,其与中生代晚期火山-侵入岩浆活动有关。吉黑东部金成矿为斑岩-浅成低温热液系统型矿床,受地表成矿环境开放程度的影响,小兴安岭北麓和完达山-太平岭可能分属两个不同的系统,但同受幔源岩浆-热液活动控制。区域可能存在与成矿密切相关的大火成岩省(Bryan, 2007),是重要的找金地区。

3.3 与邻区对比

吉黑东部存在一期 110 Ma 的金铜成矿事件,其与西太平洋板块俯冲有关(Zhang *et al.*, 2010)。不仅吉黑东部,东北亚地区的岩浆活动可能都与西太平洋板块俯冲有关,从中国东北向东及东南方向,火山岩年龄有变小的趋势(Wang *et al.*, 2006)。因此,对比俄罗斯远东地区和日韩等国家的矿床有助于理解区域成矿特征及大地构造环境(Pirajno, 2013)。本文选取了俄罗斯远东地区和韩国南部的矿床为对象。

俄罗斯远东地区的 Sikhote - Alin 锡矿带成矿年代集中在 105 ~ 55 Ma,有 96 Ma、63 Ma 和 55 Ma 三个主期,成矿均与岩浆活动密切相关,但各期成矿物质来源有差异(Genevchuk *et al.*, 2010)。其中 130 ~ 95 Ma 板片窗岩浆活动,以幔源的碱性亚碱性玄武岩为主,随后混有少量熔融来自布列亚-兴凯大陆地块和增生楔的壳源物质。95 ~ 60 Ma 年以俯冲为主,上地幔岩浆底辟熔融浊积盆地和增生楔物质,壳幔混合作用加强(Genevchuk *et al.*, 2010)。为与俯冲有关的活动大陆边缘环境,但更靠近海沟地区。

韩国南部的 Au - Ag 成矿主要为脉型矿床,与火山-侵入岩浆活动相关,与白垩纪花岗岩岩浆活动关系最为密切,成矿时代集中于 110 ~ 45 Ma(So *et al.*, 199; Choi *et al.*, 2005),成矿主期为 81.9 Ma,为大陆边缘弧环境(So *et al.*, 1999)。

4 成矿大地构造背景

4.1 岩石地球化学特征

吉黑东部各矿集区与成矿有关的火山-侵入岩

总体以中酸性为主。其中小兴安岭火山岩以福民河组,甘河组流纹岩、安山岩组合为主,侵入岩为细晶闪长岩和闪长玢岩。完达山为火山岩为大塔山林场组流纹斑岩、斜长流纹岩为主,侵入岩以石英闪长玢岩、闪长玢岩以及花岗斑岩为主。而太平岭(东宁-延边)火山岩以绥芬河组、屯田营组安山-英安岩组合为主,侵入岩为闪长岩、闪长玢岩、花岗闪长岩、花岗斑岩以及花岗闪长斑岩等。总体属亚碱性的钙碱性演化系列。

吉黑东部中生代晚期部分矿区中酸性火山-侵入岩的微量元素蛛网图如下(图4)。数据显示这几组中酸性火山-侵入岩都具有 Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素的亏损,且各组火山-侵入岩随岩浆酸性的增强,其 P 和 Ti 的亏损具有增强的趋势。另外,火山-侵入岩总体显示相对富 Pb 趋势,说明具有陆壳混染特征。表明吉黑东部与成矿有关的中酸性火山-侵入岩是一套受俯冲流体交代地幔楔起源的岩浆,构造环境可能为与大洋板片俯冲有关的大陆边缘弧(纪伟强,2007;门兰静,2011)。

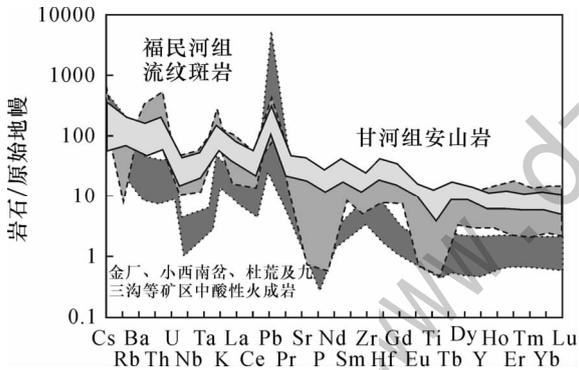


图4 吉黑东部与成矿相关火山-侵入岩微量元素蛛网图微量元素数据据 Zhang, *et al.*, 2010; 门兰静, 2011), 标准化数据根据 Sun and Mc-Donough (1989)

Fig. 4 Primitive mantle - normalized trace element patterns of the late Mesozoic volcanic rocks in eastern Jiling and Heilongjiang Provinces. Trace element data are from Zhang, *et al.* (2010) and Men (2011). Normalized values are from Sun and Mcdonough (1989)

4.2 中生代晚期重要金成矿事件及其构造背景

吉黑东部是中国东部中生代晚期大规模成矿作用的一部分,与西太平洋板块俯冲有关,成矿与岩浆活动密不可分(毛景文等,2000;孙卫东等,2008)。但中国东部南北成矿时代有差异,可能与板块俯冲方向的改变有关(孙卫东等,2008;贾大成,2012),

吉黑东部中生代晚期的重要成矿事件集中于 110 Ma 左右(Zhang *et al.*, 2010;陈永福等,2011;门兰静,2011),时代稍晚于长江中下游和华南地区,该区在 122 ~ 110Ma 为岩浆活动间歇期(孙卫东等,2008)。

中国东北及其邻区的中生代晚期火山-侵入岩浆活动在区域上可能存在随时间由西北向东南迁移(Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2010),成矿物质来源具有同样的演化趋势(Choi *et al.*, 2005; Genevchuk *et al.*, 2010)。从吉黑东部向 Sikhote - Alin 和韩国南部地区,由金成矿分别变为锡成矿和金银成矿。吉黑东部以幔源物质为主,向南东方向壳源岩浆活动有加强的趋势。此外,存在同大地构造环境相关的不同构造位置的可能,如俄罗斯远东地区早期锡成矿可能与吉黑东部金成矿同期,但更靠近海沟方向(Genevchuk *et al.*, 2010)。

广义的斑岩系统型矿床主要与板块俯冲相关(Pirajno, 2009),而中国东北低硫型浅成低温热液型矿床往往生长在盆地边缘(Pirajno, 2009, 2013; Zhang *et al.*, 2010),不仅与板块俯冲作用相关,而且与中国东部的斑岩矿床一样,还受大陆下岩石圈地幔的破坏的影响(Pirajno, 2009),吉黑东部 130 ~ 90Ma 的大陆下地壳和岩石圈地幔拆沉和软流圈上涌作用控制着吉黑东部的 110 Ma 金成矿事件(Pirajno, 2009, 2013; Wu *et al.*, 2011),是与幔源岩浆有关的岩浆-热液成矿事件。综合矿床和与成矿相关火山-侵入岩特征,并通过区域对比认为成矿大地构造环境为太平洋板块俯冲背景下的大陆边缘弧环境,并受拆沉作用影响。

5 结论

吉黑东部金矿床主要为斑岩型和浅成低温热液型金矿床,属广义的斑岩系统型矿床。

区域金成矿时代集中于 110 Ma,与吉黑东部中生代晚期壳幔源火山-侵入岩浆活动密切相关。

吉黑东部金成矿与太平洋板块俯冲有关并受随后拆沉作用的控制,板块俯冲有由吉黑东部向东南方向迁移的趋势,带动岩浆活动与成矿带的迁移。

致谢:在野外工作中得到了黄金一支队金厂矿区技术工作者的大量帮助,在此表示感谢。

[References]

- Bryan S E. 2007. Silicic Large Igneous Provinces [J]. *Episodes*, 30: 20 - 31
Chen Yong-fu, Zhao Yu-suo, Xiao Li, Kun Yuan-yuan, Qing Ming, Liu

- Gang. 2011. Geological and geochemical characteristics of volcanic rocks from the Jinchang Gold Deposit in Dongning, Heilongjiang Province [J]. *Geology and Exploration*, 47(5): 772 – 781 (in Chinese with English abstract)
- Chen Yan-jing, Chen Hua-yong, Zaw K, Pirajno F, Zhang Zeng-jie. 2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: an overview [J]. *Ore Geology Reviews*, 31: 139 – 169
- Choi S G, Kwon S T, Ree J H, So C S and PAK S J. 2005. Origin of Mesozoic gold mineralization in South Korea [J]. *Island Arc*, 14: 102 – 114
- Genevchuk V G, Gonevchuk G A, Korostelev P G, Semenyark B I and Seltmann R. 2010. Tin deposits of the Sikhote-Alin and adjacent areas (Russian Far East) and their magmatic association [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 57: 777 – 802
- Han Shi-Jiong, Sun Jing-Gui, Bai Ling-An, Xing Shu-Wen, Chai Peng, Zhang Yong, Yang Fan, Meng Lan-jing, Li Yi-xin. 2013. Geology and ages of porphyry and medium-to high-sulphidation epithermal gold deposits of the continental margin of Northeast China [J]. *International Geology Review*, 55(3): 287 – 310
- Huang Yong-wei. 2010. Study on metallogenetic regularities and ore-forming forecast of Epithermal Gold Deposits in Wanda Mountain and Taiping mountain Belts in Southeast of Heilongjiang Province [D]. Beijing: China University of Geoscience; 1 – 158 (in Chinese with English abstract)
- Ji Wei-qiang. 2007. Chronology and geochemistry of Late Mesozoic volcanic rocks in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces [D]. Changchun: Jilin University; 1 – 64 (in Chinese with English abstract)
- Jia Da-cheng, Du Ming-long, Gao Wen, Zhang Xiao, Jiang Tao, Tang Shuo, He Kuan-min. 2012. Genesis and geochemical characteristics of the Wufeng-Wuxingshan Gold Deposit in Yanbian, Jilin, China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 31(5): 470 – 478 (in Chinese with English abstract)
- Li Chao-wen, Guo Feng, Fan Weiming, Gao Xiao-feng. 2007. Ar-Ar geochronology of Late Mesozoic volcanic rocks from the Yanji Area, NE China and tectonic implications [J]. *Science China Earth Sciences*, 37(3): 319 – 330 (in Chinese)
- Li Zhao-nai, Wu Rui-sheng, Lin Bao-qin, Zhang Zhao-chong, Wu Cailai, Li Han-sheng. 2004. Gold deposits in volcanic areas of China [M]. Beijing: Geological Publishing House; 1 – 30 (in Chinese)
- Mao Jing-wen and Wang Zhi-liang. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in East China [J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289 – 296 (in Chinese with English abstract)
- Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G and Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Island; Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. *Island Arc*, 6: 121 – 142
- Mei Yan-xiong, Pei Rong-fu, Li Jin-wen, Fu Xu-jie. 2004. Metallogenic series types of Mesozoic mineral deposits in China and their evolution [J]. *Mineral Deposits*, 32(2): 190 – 197 (in Chinese with English abstract)
- Men Lan-jing. 2011. An ore-forming fluid study on Late Mesozoic epithermal Au-Cu deposits in Yanbian-Dongning area; implication for the metallogenic mechanism [D]. Changchun: Jilin University; 1 – 107 (in Chinese with English abstract)
- Pirajno F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems* [M]. Springer Science and Business Media B. V., 165 – 203
- Pirajno F. 2013. *The Geology and Tectonic Settings of China's Mineral Deposits* [M]. Springer Science and Business Media Dordrecht; 331 – 365
- Rui Zong-yao, Zhang Hong-tao, Wang Long-sheng and Chen Ren-yi. 1995. The multiple metallogenic model of the porphyry-epithermal Copper-Gold deposits in Eastern Jilin and Heilongjiang [J]. *Mineral Deposits*, 14(2): 174 – 184 (in Chinese with English abstract)
- So C S, Yun S T, Heo C H and Youm S J. 1999. Geochemistry and genesis of mesothermal gold deposits in Korea: Base metal-rich gold mineralization of the Byungjibang mine, Hwoingsung area [J]. *Journal of Mineralogy, Petrology, Economic Geology*. 94: 65 – 82
- Sun Jing-gui, Men Lan-jing, Chen Dong, Chen Lei, Pang Wei, Liang Shu-neng, Chang Yan, Zhang Peng, Nie Xi-tao. 2009. Constraints of magmatism on the ore-forming progress of magmatic hydrothermal gold-rich copper deposits as recorded from the element geochemistry and zircon CL image features: A case study of the Xiaoxinancha Gold-rich Copper Deposit, Yanbian, Jilin Province [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 29(3): 43 – 52 (in Chinese with English abstract)
- Sun Wei-dong, Ling Ming-xing, Wang Fang-yue, Ding Xing, Hu Yan-hua, Zhou Li-bin, Yang Xiao-yong. 2008. Pacific Plate subduction and Mesozoic geological event in Eastern China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(3): 218 – 225 (in Chinese with English abstract)
- Taylor, B E. 1992. Degassing of H₂O from rhyolite magma during eruption and shallow intrusion, and the isotopic composition of magmatic water in hydrothermal systems [A]. Hedenquist J. W., *Magmatic Contributions to Hydrothermal Systems* [C]. Geological Survey of Japan, Report 279: 190 – 194
- Wang Cheng-wen, Jin Wei, Zhang Xing-zhou, Ma Zhi-hong, Chi Xiaoguo, Liu Yong-jiang and Li Ning. 2008. New understanding of the Late Paleozoic tectonics in Northeastern China and adjacent areas [J]. *Journal of Stratigraphy*, 32(2): 119 – 136 (in Chinese with English abstract)
- Wang Cheng-wen, Sun Yue-wu, Li Ning, Zhao Guo-wei, Ma Xiao-qin. 2009. Tectonic implications of Late Paleozoic stratigraphic distribution in Northeast China and adjacent region [J]. *Science China Earth Sciences*, 39(10): 1429 – 1437 (in Chinese)
- Wang Fei, Zhou Xin-hua, Zhang Lian-chang 2006. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and implications for the dynamic setting of NE Asia [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 251: 179 – 198.
- Wang Yong-bin, Liu Jian-ming, Sun Shou-ke, Li Yan, Li Feng-you and Hu Hai-tao. 2012. Zircon U – Pb geochronology, petrogenesis and geological implication of ore-bearing granodiorite porphyry in the Wulaga gold deposit, Heilongjiang Province. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 557 – 570 (in Chinese with English abstract)

- Wilde S A., Wu Fu-Yuan and Zhao Guo-chun. 2010. The Khanka Block, NE China, and its significance for the evolution of the Central Asian Orogenic Belt and continental accretion [J]. Geological Society, London, Special Publications, 338: 117 - 137
- Wu F Y., Sun D Y., Ge W C., Zhang Y B., Grant M L., Wilde S A., Jahn B M. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granites in northeastern China [J]. *J. Asian Earth Science*, 41: 1 - 30
- Wu F Y., Yang J H., Lo C H., Wilde S A., Sun D Y., Jahn B M. 2007. The Heilongjiang Group: a Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China [J]. *Island Arc*, 16: 156 - 172
- Xu Wen-liang, Ji Wei-qiang, Pei Fu-Ping, Meng En, Yang De-bin, Zang Xing-zhou. 2009. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin provinces, NE China: Chronology, geochemistry, and tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34: 392 - 402.
- Yang Tian-qi, Wei Yi-fang, He Gao-wen. 1994. Metallogenic Model for superlarge gold deposits in continental volcanic, China [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 103 - 115 (in Chinese with English abstract)
- Yang Yan-chen, Han Shi-jiong, Sun De-you, Guo Jia, Zhang Su-liang. 2012. Geological and geochemical features and geochronology of porphyry molybdenum deposits in the Lesser Xing'an Range-Zhangguancai Range metallogenic belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 379 - 390 (in Chinese with English abstract)
- Yan Tie-Zheng. 2008. Volcanic rocks around the Dong'an Gold Mine, Xiaoxing'anling and the relationship to the gold deposit [D]. Beijing: China University of Geosciences: 1 - 88 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Guo-Bin, Yang Yan-Chen, Wang Jian, Wang Ke-Yong, Ye Song-Qing. 2013. Geology, geochemistry, and genesis of the hot-spring-type Sipingshan gold deposit, eastern Heilongjiang Province, Northeast China [J]. *International Geology Review*, 55(4): 482 - 495
- Zhang Zhao-chong, Mao Jing-wen, Wan Yan-bin, Pirajno F., Liu Jun-lai, Zhao Zhi-dan. 2010. Geochemistry and geochronology of the volcanic rocks associated with the Dong'an adularia - sericite epithermal gold deposit, Lesser Hinggan Range, Heilongjiang province, NE China: Constraints on the metallogenesis [J]. *Ore Geology Reviews*, 37: 158-174
- Zhao Hong-guang. 2007. Study on the metallogenesis and models in Mesozoic epithermal gold deposits in Yanbian, Jilin Province [D]. Changchun: Jilin University: 1 - 193 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Yu-jun, Sun Jing-gui, Wang Qing-hai, Men Lan-jing, Li Yi-xin, Guo Jia, Cui Pei-long. 2010. $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ laser probe dating and discussion on metallogenic epoch of epithermal Au-Cu deposit in Yanbian area of Jilin [J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 156 - 169
- Zhao Yu-suo, Yang Li-qiang, Chen Yong-fu, Qing Min, Yan Jia-pan, Ge Liang-sheng, Guo Xiao-dong, Wang Jing-rui. 2012. Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the diorite porphyry associated with the Jinchang Cu-Au deposit, Heilongjiang Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 451 - 467
- Zhou Jian-bo, Wilde S A., Zhang Xing-zhou, Zhao Guo-chun, Zheng Chang-qing, Wang Yue-jun, Zhang Xiao-hui. 2009. The onset of Pacific margin accretion in NE China: Evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt [J]. *Tectonophysics*, 478: 230 - 246
- Zhou Jian-bo, Wilde S A., Zhao Guo-chun, Zhang Xing-zhou, Wang Hu and Zheng Chang-qing. 2010. Was the easternmost segment of the Central Asian Orogenic Belt derived from Gondwana or Siberia: An intriguing dilemma [J]. *Journal of Geodynamics*, 50: 300 - 317
- Zhou Tai-he, Goldfarb R J., Phillips N G. 2002. Tectonics and distribution of gold deposits in China-an overview [J]. *Mineralium Deposita*, 37: 249 - 282
- Zorin Y A., Zorina L D., Spiridonov A M., Rutshtein I G. 2001. Geodynamic setting of gold deposits in Eastern and Central Trans-Baikal (Chita Region, Russia) [J]. *Ore Geology Reviews*, 17: 215 - 232

[附中文参考文献]

- 陈永福,赵玉锁,肖力,闫家盼,孔媛媛,卿敏,刘纲. 2010. 黑龙江省东宁金厂金矿区火山岩地质地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 47(5): 772 - 781
- 黄永卫. 2010. 黑龙江省东南部完达山 - 太平岭一带浅成低温热液矿床区域成矿规律及找矿前景研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 1 - 169
- 纪伟强. 2007. 吉黑东部中生代晚期火山岩的年代学和地球化学[D]. 长春, 吉林大学: 1 - 64
- 贾大成,杜明龙,高文,张潇,姜涛,唐烁,何宽民. 2012. 吉林延边五凤、五星山金矿床地球化学特征及其成因[D]. *矿物岩石地球化学通报*, 31(5): 470 - 478
- 李超文,郭锋,范蔚茗,高晓峰. 2007. 延吉地区晚中生代火山岩的 Ar - Ar 年代学格架及其大地构造意义[J]. *中国科学(地球科学)*, 37(3): 319 - 330
- 李兆冀,毋瑞声,林宝钦,张招崇,吴才来,李汉声. 中国火山岩地区金矿床[M]. 北京: 地质出版社: 1 - 30
- 毛景文,王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. *矿床地质*, 19(4): 289 - 296
- 梅燕雄,裴荣富,李进文,傅旭杰. 2004. 中国中生代矿床成矿系列类型及其演化[J]. *矿床地质*, 23(2): 190 - 197
- 门兰静. 2011. 延边 - 东宁地区晚中生代浅成热液金铜矿床的成矿流体与成矿机理研究[D]. 长春: 吉林大学: 1 - 118
- 芮宗瑶,张洪涛,王龙生,陈仁义. 1995. 吉黑东部斑岩型 - 浅成低温热液型铜金矿床多重成矿模型[J]. *矿床地质*, 14(2): 174 - 184
- 孙景贵,门兰静,陈冬,陈雷,逢伟,梁树能,常艳,张鹏,袁喜淘. 2009. 岩浆作用对岩浆热液金铜成矿制约的元素地球化学和锆石 CL 图像记录——以延边小西南岔富金铜矿床为例[J]. *矿物岩石*, 29(3): 43 - 52
- 孙卫东,凌明星,汪方跃,丁兴,胡艳华,周级彬,杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 27(3): 218 - 225
- 王成文,金巍,张兴洲,马志红,迟效国,刘永江,李宁. 2008. 东北及邻区晚古生代大地构造属性新认识[J]. *地层学杂志*, 32

(2): 119 - 136

- 王成文, 孙跃武, 李 宁, 赵国伟, 马小琴. 2009. 中国东北及邻区晚古生代地层分布规律的大地构造意义[J]. 中国科学(地球科学), 39(10): 1429 - 1437
- 王永彬, 刘建明, 孙守恪, 李 艳, 李凤友, 胡海涛. 2012. 黑龙江省乌拉嘎金矿赋矿花岗岩闪长斑岩锆石 U - Pb 年龄、岩石成因及其地质意义[J]. 岩石学报, 28(2): 557 - 570
- 杨天奇, 魏仪方, 何高文. 1994. 中国陆相火山岩区特大型金矿床模型[M]. 北京: 冶金工业出版社: 103 - 115
- 杨铁铮. 2008. 小兴安岭地区东安金矿区火山岩及其与金矿关系研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 1 - 88

- 杨言辰, 韩世炯, 孙德有, 郭 佳, 张苏江. 2012. 小兴安岭 - 张广才岭成矿带斑岩型钼矿床岩石地球化学特征及其年代学研究[J]. 岩石学报, 28(2): 379 - 390
- 赵宏光. 2007. 延边中生代浅成热液铜金矿床的成矿模式研究[D]. 长春: 吉林大学: 1 - 193
- 赵羽军, 孙景贵, 王清海, 门兰静, 李怡欣, 郭 佳, 崔培龙. 2010. 吉林延边地区浅成热液金(铜)矿床的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 激光探针测年与成矿时代讨论[J]. 地学前缘, 17(2): 156 - 169
- 赵玉锁, 杨立强, 陈永福, 卿 敏, 阎家盼, 葛良胜, 郭晓东, 王景瑞. 2012. 黑龙江金厂铜金矿床闪长玢岩地球化学及锆石 U - Pb 年代学[J]. 岩石学报, 28(2): 451 - 467

Late Mesozoic Intermediate-Acid Magmatism and Gold Mineralization in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces

CHEN Yong-fu, YAN Jia-pan, WANG Xiao-jun, GUO Xiao-dong, YANG Yu-xia

(*Institute of Gold Geology in Chinese Armed Police Force, Langfang, Hebei 065000*)

Abstract: Eastern of Jilin and Heilongjiang provinces host a large number of porphyry to epithermal gold deposits with a mineralization age of ca. 110 Ma, most of which are distributed in Wanda Shan, northern Xiao Hingan Ling and Taiping Ling. Stable isotope data indicate that the ore-forming fluids have features of magma water and mineralization material stems from magma at depth. It implies that the gold ore mineralization in this region is probably associated with magma activity. Furthermore, studies show that the intermediate-acid volcanic-intrusive rocks with ages of between 120 ~ 95 Ma are widely developed in this region, which is closely associated with the 110 Ma gold mineralization events in space and time. These volcanic-intrusive rocks include rhyolite-dacite and dacite-andesite, and diorite porphyry, granitic porphyry and granite which appear as dikes or/and small intrusions. And petrochemistry suggests that they belong to calc-alkaline series and derived from mantle wedges which are influenced by metasomatic subduction fluids. Regional comparison shows that gold mineralization in eastern Jilin and Heilongjiang provinces, tin mineralization of Sikhote-Alin in Russia Far East and gold-silver mineralization in South of Korea all occurred at different localities in a same tectonic setting. With the younger trend of mineralization ages from eastern Jilin and Heilongjiang provinces to the southeast, the acid content in magma increases while its mantle-source composition reduces. Combined the regional gold mineralization and magma activity, we propose that the 110 Ma gold mineralization event is associated with the late Mesozoic plate subduction and subsequent lithospheric delamination and extension of the back-arc area, which resulted in a continental margin arc.

Key words: gold mineralization, intermediate-acid magmatism, eastern Jilin and Heilongjiang provinces, Late Mesozoic