

吉中-延边地区燕山期岩浆作用与 矿床成矿系列研究

赵华伟¹⁾, 李德洪¹⁾, 臧兴运¹⁾, 彭玉鲸²⁾, 马晶¹⁾

1) 吉林省地质调查院, 长春, 130102; 2) 吉林省区域地质调查所, 长春, 130061

内容提要:运用矿床的成矿系列理论,以构造岩浆演化为基础,对吉中-延边成矿带与燕山期岩浆作用有关的矿床成矿规律进行了分析总结。研究表明,受古太平洋板块俯冲方向、速度的制约,吉中-延边地区燕山期构造岩浆活动复杂,总体上可分为5次成岩成矿事件:①晚三叠世初基性超基性岩侵入,形成红旗岭铜镍矿床等岩浆型矿床;②晚三叠世—早侏罗世初,吉中地区高钾钙碱性岩浆活动,形成兰家金矿床等岩浆热液型矿床,延边地区中低钾钙碱性—高钾钙碱性岩浆活动,形成前山金矿床等火山-潜火山岩型矿床;③早侏罗世末—中侏罗世初,富铝酸性岩浆活动,形成大黑山钼矿床等斑岩型钼矿床;④中侏罗世末—晚侏罗世初,研究区以抬升剥蚀为主,成岩成矿作用较弱;⑤晚侏罗世末—早白垩世,吉中地区高钾钙碱性岩浆活动,形成二道甸子金矿床等岩浆热液型矿床,延边地区中低钾钙碱性—高钾钙碱性岩浆活动,形成小西南岔金铜矿床等火山-斑岩型矿床。在建立吉中-延边地区与燕山期岩浆作用有关的矿床成矿系列的基础上,进一步划分为6个矿床成矿亚系列,各亚系列在时间、空间上既有联系,又有区别,显示了成矿作用的复杂性。

关键词:成矿系列;燕山期;岩浆作用;吉中-延边成矿带

吉中-延边成矿带主要位于吉林省境内(图1)。燕山构造旋回(晚三叠世至早白垩世)^①,受古太平洋板块俯冲影响,构造岩浆活动强烈,形成了许多大中型金、钼、镍等贵金属及有色金属矿床,使研究区成为吉林省重要的矿产地之一。该地区的成矿规律历来也是各科研院所及勘查单位重点研究的对象之一,有关论文专著较多。多数观点认为,吉林东部与铜镍矿床有关的镁铁质—超镁铁质侵入岩,形成于晚三叠世古亚洲洋最终闭合后的伸展背景(Wang Zhigang, 2012; Zhao Xinyun, 2015; Zhang Haihong, 2017);延边地区火山-潜火山岩可分为闪长质与花岗质两类,随着岩浆由中性闪长岩类向酸性花岗岩类演化,成矿作用也由贵金属向多金属转化^②,区内火山热液型矿床与火山岩受同一成岩成矿系统控制,具有壳幔混合的区域成矿模式(Jia Dacheng et al., 2002);吉林省境内钼矿成矿作用与壳源花岗岩(193~165Ma)岩浆热液有关,受北东、北西向断裂

控制(Zhao Keqiang, 2016; Hou Xuegang, 2017)。本文运用矿床成矿系列理论,对研究区与燕山期岩浆作用有关的矿床成矿规律从时空上进行了总结。

1 构造岩浆演化

从晚三叠世燕山运动开始,吉林省进入了一个新的滨西太平洋陆缘洋陆互动的区域地质发展阶段,在以走滑-挤压为主构造机制下,发生了多期次的构造岩浆活动,至早白垩世末燕山运动结束,在研究区形成了燕山期黑东-吉北构造岩浆带(Chen Yuchuan et al., 2007)。根据成岩构造背景、岩石组合特征及成矿作用不同,可分为五次构造岩浆活动。

1.1 晚三叠世早期基性—超基性岩浆活动

形成两套基性—超基性岩侵入岩组合,未发现相关火山岩。侵入岩基本上沿北西西向古洞河断裂构造分布,局部沿北东向敦密断裂带、鸭绿江断裂带分布。

注:本文为中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号DD20190379)资助成果。

收稿日期:2019-09-25;改回日期:2019-12-11;网络发表日期:2019-12-17;责任编辑:周健。

作者简介:赵华伟,男,1984年生。工程师,主要从事地质矿产勘查工作及有色矿产成矿规律研究。Email:408871463@qq.com;通讯作者:臧兴运,男,1969年生。研究员,主要从事区域地质、成矿规律与隐伏矿体预测等方面的研究。Email:zangxingyun01@163.com。

引用本文:赵华伟,李德洪,臧兴运,彭玉鲸,马晶. 2020. 吉中-延边地区燕山期岩浆作用与矿床成矿系列研究. 地质学报, 94(1):241~254. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020119.
Zhao Huawei, Li Dehong, Zang Xingyun, Peng Yujing, Ma Jing. 2020. A study of magmatism and ore deposit series of Yanshanian magmatism in the central Jilin-Yanbian area. Acta Geologica Sinica, 94(1):241~254.

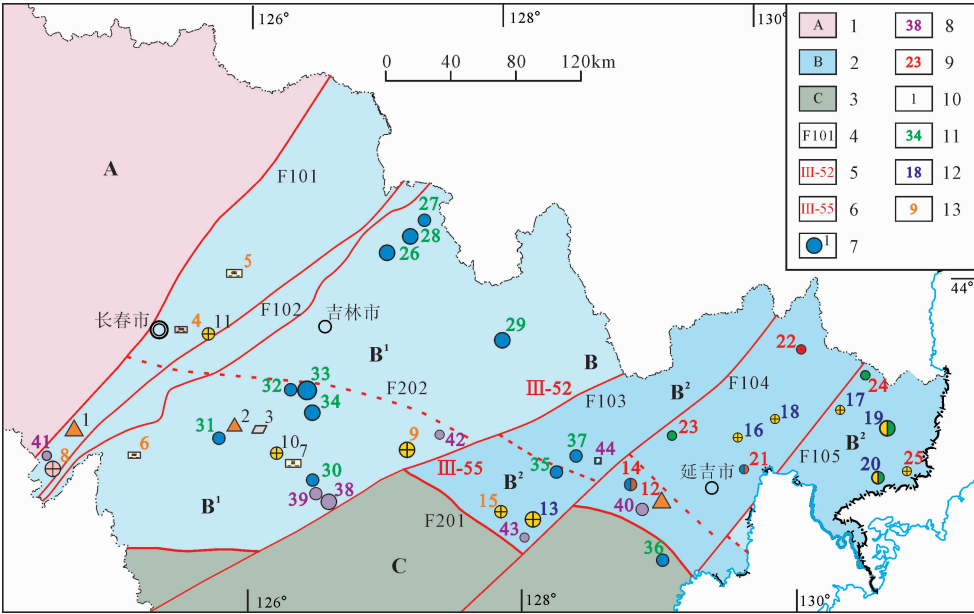


图 1 吉中—延边地区与燕山期岩浆作用有关的主要矿床分布简图

Fig. 1 Distribution sketch of main deposits related to Yanshan magmatism in the central Jilin-Yanbian region

1—松嫩盆地;2—黑东-吉北构造岩浆带(B1—吉中地区构造岩浆带,B2—延边地区构造岩浆带);3—吉南-辽东构造岩浆带(龙岗地块);4—断裂带及编号:F101—四平-德惠断裂带;F102—伊通-舒兰断裂带;F103—敦密断裂带;F104—鸭绿江断裂带;F105—图们江断裂带;F201—古洞河断裂带;F202—长春-延吉断裂带(晚古生代古亚洲洋缝合线);5—小兴安岭-张广才岭成矿带;6—吉中-延边成矿带;7—矿床及其编号(与表 1 相同);8—亚系列 Mz-1I¹ 矿床编号颜色;9—亚系列 Mz-1I² 矿床编号颜色;10—亚系列 Mz-1I³ 矿床编号颜色;11—亚系列 Mz-1I⁴ 矿床编号颜色;12—亚系列 Mz-1I⁵ 矿床编号颜色;13—亚系列 Mz-1I⁶ 矿床编号颜色

1—Songnen basin; 2—East Heilongjiang-North Jilin tectomagmatic belt (B1—central Jilin tectonic magmatic belt, B2—Yanbian tectonic magmatic belt); 3—South Jilin-East Liaoning tectomagmatic belt (Longgang block); 4—fault zone and number; F101—Siping-Dehui fault zone; F102—Yitong-Shulan fault zone; F103—Dunmi fault zone; F104—Yalujiang fault zone; F105—Tumen river fault zone; F201—Gudonghe fault zone; F202—Changchun-Yanji fault zone (late Paleozoic ancient Asian Ocean suture); 5—Xiaoxing'anling-Zhangguangcailing metallogenic belt; 6—Jizhong-Yanbian metallogenic belt; 7—deposit and its numbering (same as Table 1); 8—subseries Mz-1I¹ contains deposit numbering color; 9—subseries Mz-1I² contains deposit numbering color; 10—subseries Mz-1I³ contains deposit numbering color; 11—subseries Mz-1I⁴ contains deposit numbering color; 12—subseries Mz-1I⁵ contains deposit numbering color; 13—subseries Mz-1I⁶ contains deposit numbering color

第一套侵入岩由青林子、和平营子、宣羊砬子、二青背、团结等含磷钒钛磁铁矿的碱性似层状杂岩体组成,以青林子岩体为代表,其角闪正长岩与石英二长岩中锆石 U-Pb 测年数据分别为 223±1Ma 和 222±5Ma^①。

第二套侵入岩由四平山门、红旗岭、漂河川、长仁等地区的含硫化铜镍矿的基性—超基性杂岩组成。和龙长仁地区橄榄辉石岩锆石 U-Pb 测年数据为 226±1Ma(Wu Qiong et al., 2019);红旗岭 2 号岩体辉长岩和闪长伟晶岩锆石 U-Pb 测年数据分别为 212.5±2.8Ma、212.2±2.68Ma(Hao Libo et al., 2012);四平山门铜镍矿化辉长岩 U-Pb 测年数据为 225.1Ma(Xi Aihua et al., 2008)。

研究表明,红旗岭基性—超基性岩岩浆来源于亏损地幔(Sun Liji, 2013)。两套基性—超基性岩组

合均具有走滑-伸展(裂解)构造属性^①,受北西西向古洞河断裂构造控制,说明此时区内仍受古亚洲洋闭合后伸展构造体制影响;局部又受北东向敦密断裂带、鸭绿江断裂控制,说明此时北东向构造体系已形成,可能说明法库隆板块已开始俯冲,研究区处于应力积累和地壳缩短加厚状态。

1.2 晚三叠世至早侏罗世早期中酸性岩浆活动

与此同时或稍后,至早侏罗世,受法库隆板块、伊泽奈崎板块北北西向俯冲影响,研究区处于北东向走滑-挤压构造体制下,区域应力场处于左旋走滑状态,岩浆活动强烈(Peng Yujing et al., 2009)。吉中地区代表性的火山岩有官马火山岩(222Ma)、南楼山组(174~180Ma),侵入岩有红石砬子岩体(196.1Ma)、天桥岗岩体(182Ma)等。

延边地区代表性的火山岩有托盘沟组(220~

210Ma)、天桥岭组(201Ma),侵入岩有珲春-老黑山(220~215Ma)、七十二顶子岩体(206Ma)、老爷岭岩体(190Ma)等^①。总体来说,此阶段岩浆岩,受北东向断裂带控制明显,空间上基本呈北东向带状展布;岩性以中酸性为主,基性及碱性岩石少量,为钙碱性岩石系列,显示典型活动大陆边缘的地球化学属性^①。吉中地区岩浆岩属高钾钙碱性系列,延边地区则为中低钾钙碱性-高钾钙碱性系列,构成平行洋壳俯冲方向的成分分带,反映了晚三叠世一早侏罗世东侧古太平洋板块北北西向俯冲对本地区构造岩浆作用的影响。

1.3 早侏罗世晚期至中侏罗世早期酸性岩浆活动

以酸性侵入岩为主,主要岩性组合为黑云母花岗岩闪长岩-二长花岗岩-二云母花岗岩-含榴白云母二长花岗岩。代表性岩体有大黑山二长花岗岩(178±3.2Ma)(Xu Wenxi, 2018)及花岗闪长斑岩(175.3Ma)^①、大石河角闪花岗岩闪长斑岩(187Ma)^①、福安堡似斑状黑云母二长花岗岩(179Ma)(Liu Wanzhen et al., 2014)、季德屯花岗岩闪长岩(180.2Ma)及二长花岗岩(180.1Ma)(Lu Zhiqiang et al., 2016; Wang Hui et al., 2011)等,形成时间比较集中。

多数岩体含有白云母,一些岩体(如石马洞二长花岗岩)还含有石榴子石等富铝矿物,岩石化学具有高硅、富铝属高钾钙碱性-钾玄岩系列,部分具有过铝质-强铝质岩石的特征;岩浆起源于中下地壳经不同程度部分熔融,不同程度的幔源组分参与)(Liu Wanzhen et al., 2014; Hou Xuegang, 2017),岩浆的形成与伊则奈崎板块俯冲作用背景下的弧后引张,以及大型断裂构造剪切作用有关^①。

空间展布上,表现出受北东、北西向断裂带联合控制的特点,一般沿大型北东、北西西断裂带分布,或位于这两组断裂构造交汇处。

该时期侵入岩的空间展布,受北东、北西向断裂构造联合控制,在岩石学、岩石化学特征上吉中地区与延边地区无明显差别,暗示此时与晚三叠世至早侏罗世相比,区域构造背景发生了改变。而吉林辉南-桦甸地区龙岗地块边部北东向石棚沟-庆阳堡断裂带、北西向大砬子-夹皮沟断裂带在早侏罗世晚期一中侏罗世同时发生韧性剪切作用并形成较具规模的金矿床(点)^①(Yu Jingshan, 2018),证明此时应力场状态为北东、北西向断裂带同时进行剪切作用。可能说明伴随着法库隆板块消亡,伊泽奈崎板块俯冲,俯冲方向向西发生偏移,造成北东、北西两个方

向上应力分量基本相同。

1.4 中侏罗世晚期至晚侏罗世早期中酸性岩浆活动

大致相当于 175~161Ma,研究区岩浆岩发育很少,代表性岩体有黄泥岭花岗闪长岩(165Ma)^①等,为偏铝质钙碱性岩石,显示活动大陆边缘特征。

该期间为一次较长地质时期隆升剥蚀过程,且由北西至南东,剥蚀程度逐渐增强(Hou Yuebin et al., 2014),使晚三叠世至早侏罗世形成的火山机构,延边地区基本遭受剥蚀而残破不全,而吉中地区保存相对完好^①。

北东向断裂构造运动方式的改变,暗示区域应力场状态发生了改变。可能说明伊泽奈崎板块俯冲方向持续向西偏移,导致俯冲方向与北东向断裂构造基本垂直,造成北东向断裂构造以垂向运动为主,水平左旋走滑为辅。由于北东向断裂构造产状(倾向)不同,造成差异性断块升降,从而使各断块剥蚀程度不同。

1.5 晚侏罗世晚期至早白垩世中酸性岩浆活动

该时期岩浆活动十分强烈,火山活动十分频繁且规模较大。形成的火山-陆屑含煤沉积盆地基本上呈北东向产出,吉中地区代表性的有南楼山-四合屯-烟筒山火山盆地、九台-营城火山盆地,延边地区主要有大兴沟-屯田营火山盆地、珲春-十里坪-地荫沟火山盆地等,火山岩同位素测年,最早为 159Ma±,最晚为 103Ma±,计约发生 12 期火山事件^①。

相应的岩浆侵入活动,侵入体主要呈串珠状,小岩株状沿北东向断裂构造分布。代表性的黄泥河子二长花岗岩(153±2Ma),营厂片麻状花岗闪长岩(156±3Ma),新田石英闪长岩(129±2Ma),东南岔花岗斑岩(102.64±1.3Ma),仙景台晶洞花岗岩(114Ma)等^①。

岩石化学特征,延边地区化学成分以中钾钙碱性系列为主,其次为高钾钙碱性系列,指示火山岩形成于活动大陆边缘环境。洋壳俯冲作用导致上覆交代地幔楔部分熔融,形成区内玄武安山质和安山质岩浆,岩浆沿断裂上侵,发生分异演化,可能混染了部分基底壳层物质,形成区内成分多变的火山岩-潜火山岩共生组合(Wan Fei, 2013)。吉中地区则以高钾钙碱性系列为主,形成环境主要为造山带火山岩,兼有弧后盆地扩张型火山岩特点,岩浆来源于加厚的下地壳部分熔融,其形成机制为古太平洋板块的持续俯冲造成区内岩石圈弧后引张,软流圈隆起造成下地壳发生部分熔融,以壳源为主,不同程度地

混有幔源的混合熔体沿构造裂隙上侵,形成了本区的岩浆活动(Wang Shuo,2014)。

该时期岩浆活动为晚三叠世至早侏罗世岩浆活动在新的构造发展阶段的延续。但此时发育的岩浆侵入活动的峰期是在早白垩世晚期,且岩体数量及单个岩体规模远不如晚三叠世—早侏罗世,可能是因为虽然库拉板块也向北北西向俯冲,但俯冲速度不同所致。

自晚白垩世始,研究区大陆玄武岩兴起,处于伸展-走滑构造机制,盆岭(山)构造开始形成,进入喜马拉雅运动旋回。

2 成矿作用

研究区成矿作用十分复杂,其中具有代表性的有 44 个矿床(点),如图 1、表 1 所示。

(1)晚三叠世初基性超基性岩浆活动成矿作用:

主要形成与基性-超基性岩有关的岩浆型铜镍矿产(图 1,表 1 中矿床编号 38-44),基本上沿北西向古洞河断裂带分布,但红旗岭—漂河川一带的铜镍矿床沿北东向敦密断裂带分布;安图县青林磷矿床沿北东向鸭绿江断裂带分布(图 1,图 2a)。

(2)晚三叠世至早侏罗世、晚侏罗世至早白垩世中酸性岩浆活动成矿作用:为研究区主要成矿期次,形成了金、银、铜、铅、锌、铁等大多数矿床,表 1(图 1,图 2b、e))中编号 1~25 为代表性矿床。由于该两期岩浆活动与成矿作用特点基本相同,因此放在一起讨论归纳。总体上,各矿床(点)呈北东向展布,显示出受北东向构造岩浆带控制的特征。大致以北东向敦密断裂带为界,吉中地区与延边地区差异性也很明显:① 延边地区,表现出明显的岩浆岩成矿专属性,而吉中地区则不明显。如延边地区,与闪长岩有关的矿床一般为矽卡岩型铁矿,与闪长玢岩潜

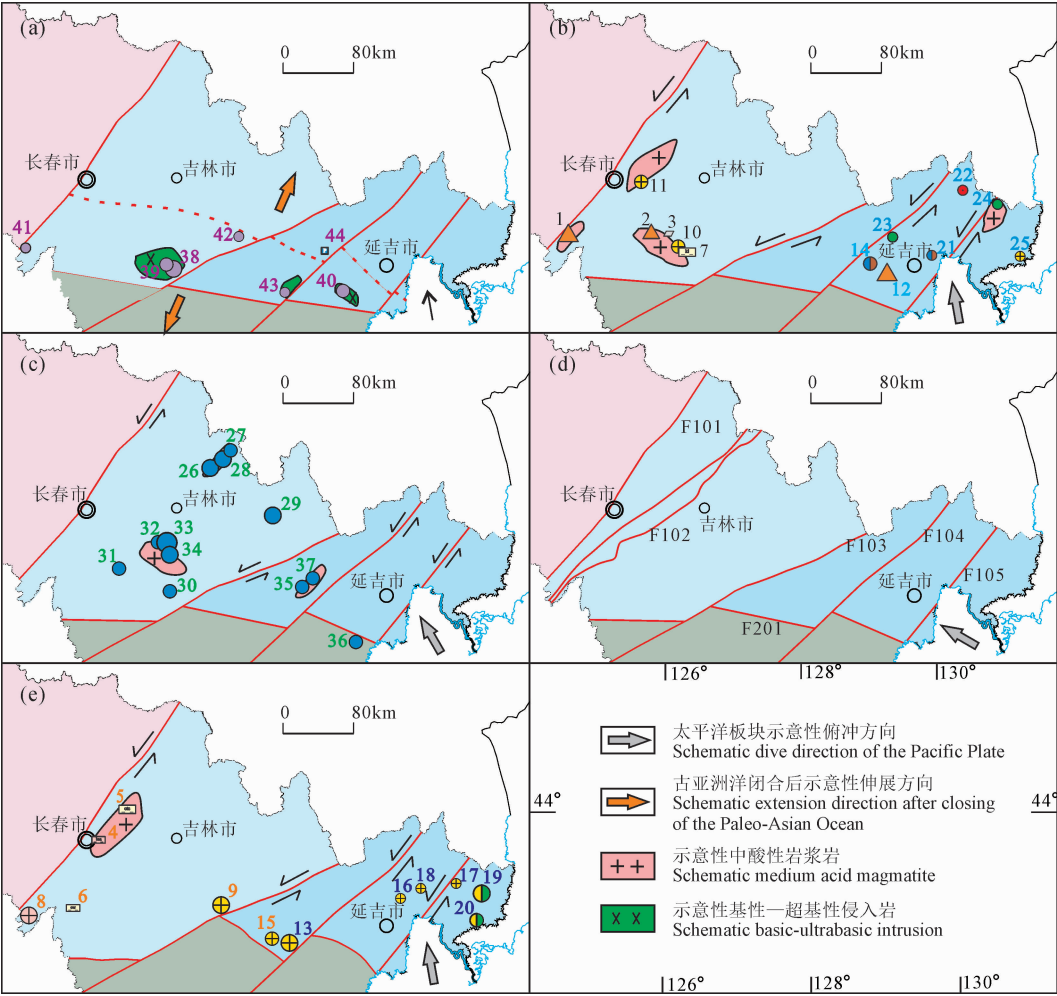


图 2 吉中-延边成矿带燕山期不同阶段的大地构造演化与成矿作用示意图

Fig. 2 Schematic diagram of tectonic evolution and mineralization in different stage of Yanshanian in the central Jilin-Yanbian metallogenic belt

表 1 吉中-延边成矿带主要矿床特征(编号与图 1 相同)

Table 1 Main characteristics of deposits in the central Jilin-Yanbian metallogenic belt (the number is the same as Fig. 1)					
编号	矿床名称	规模	成矿时代	成因类型	相关岩浆岩
1	吉林省梨树县铁汞山硅灰石矿床	超大型	J ₂	变成型	碱性花岗岩
2	吉林省磐石市长崴子硅灰石矿床	大型	J ₂	变成型	碱性花岗岩
3	吉林省磐石市石墨矿床	中型	J ₁	变成型	花岗岩
4	吉林省长春市石砬岭膨润土矿床	中型	J ₃	陆相火山岩型	火山碎屑岩
5	吉林省长春市九台区银矿山沸石膨润土矿床	大型	K ₁	陆相火山岩型	中酸性火山岩
6	吉林省东辽县下湾陶瓷黏土矿床	中型	K ₁	陆相火山岩型	中酸性火山岩
7	吉林省磐石市新立屯高岭土矿床	大型	T ₃	陆相火山岩型	中酸性火山岩
8	四平市山门银金矿床	大型	K ₁	岩浆热液型	二长花岗岩
9	桦甸市二道甸子金矿床	大型	K ₁	岩浆热液型	二长花岗岩
10	磐石市烟筒山镇粗榆金银矿床	中型	J ₁	岩浆热液型	二长花岗岩
11	长春市二道区兰家金矿床	中型	T ₃	接触交代型	黑云母花岗岩
12	吉林省龙井市细鳞河硅灰石矿床	超大型	J ₁	变成型	花岗闪长岩
13	吉林省安图县海沟金矿床	大型	K ₁	岩浆热液型	二长花岗岩
14	吉林省龙井市天宝山立山-新兴矿区铅锌矿床	中型	T ₃	接触交代型	花岗闪长岩
15	敦化市松江河金矿床	中型	K ₁	岩浆热液型	钾长花岗岩
16	汪清县闹枝沟金矿床	小型	K ₁	陆相火山岩型	中性火山岩
17	汪清县九三沟金矿床	小型	K ₁	陆相火山岩型	中性火山岩
18	汪清县刺猬沟金矿床	小型	J ₃	陆相火山岩型	中性火山岩
19	珲春市小西南岔金铜矿床	大型	K ₁	斑岩型	花岗斑岩
20	珲春市马滴达北山金铜矿床	中型	K ₁	斑岩型	花岗斑岩
21	图们市碧水铅锌矿床	小型	J ₁	接触交代型	花岗岩
22	汪清县太平岭铁矿床	小型	J ₁	接触交代型	花岗闪长岩
23	延吉市东沟铜钨矿床	小型	J ₁	接触交代型	花岗闪长岩
24	汪清县六道崴子铜矿床	小型	T ₃	接触交代型	花岗斑岩
25	珲春市前山金矿床	小型	T ₃	岩浆热液型	闪长玢岩
26	吉林省舒兰市季德钼矿床	大型	J ₂	斑岩型	花岗闪长岩
27	舒兰市长安堡-长发堡铜钼矿床	中型	J ₂	斑岩型	花岗闪长岩
28	吉林省舒兰市福安堡钼矿床	大型	J ₂	斑岩型	二长花岗岩
29	吉林省敦化市大石河钼矿床	大型	J ₁	斑岩型	花岗闪长斑岩
30	吉林省磐石市胜利屯钼铅锌矿床	中型	J ₂	接触交代型	石榴子石花岗岩
31	磐石市后倒木钼矿床	中型	J ₂	岩浆热液型	二长花岗岩
32	吉林省永吉县芹菜沟钼矿床	中型	J ₂	斑岩型	二长花岗岩
33	吉林省永吉县大黑山钼矿床	超大型	J ₂	斑岩型	花岗闪长斑岩
34	吉林省桦甸市双杨树钼矿床	大型	J ₂	斑岩型	花岗闪长岩
35	吉林省安图县刘生店钼矿床	中型	J ₂	斑岩型	二长花岗斑岩
36	吉林省和龙市石马洞钼矿床	中型	J ₂	斑岩型	二长花岗岩
37	吉林省安图县双山钼矿床	中型	J ₂	斑岩型	二长花岗斑岩
38	吉林省磐石市红旗岭矿区富家铜镍矿床	大型	T ₃	岩浆型	橄榄辉岩
39	吉林省磐石市红旗岭镍铜矿床	中型	T ₃	岩浆型	辉石橄榄岩
40	和龙市长仁铜镍矿床	中型	T ₃	岩浆型	辉石橄榄岩
41	吉林省四平市山门镍矿床	小型	T ₃	岩浆型	辉长岩
42	吉林省蛟河市漂河川铜镍矿床	小型	T ₃	岩浆型	辉长岩
43	吉林省安图县石人沟镍铜矿床	小型	T ₃	岩浆岩	橄榄辉长岩
44	吉林省安图县青林磷矿床	矿点	T ₃	岩浆型	碱性辉长岩

火山相小岩株有关的多为金矿,与正常花岗岩有关的多为铅锌矿,与花岗斑岩小岩株有关的多为铜矿。在同一个火山机构里,随着岩浆作用由中性向酸性演化,成矿作用由贵金属向多金属转变的现象非常明显^②;而吉中地区,同一矿种,可以由不同岩浆岩引起:如金矿,二道甸子金矿为二长花岗岩,兰家金矿为黑云母花岗岩,山门银金矿为二长花岗岩,松江

河金矿为钾长花岗岩等。成矿专属性的不同,说明延边地区成矿物质主要来源于岩浆岩,而吉中地区则主要来源于围岩,岩浆岩主要提供了与成矿有关的汽水热液。② 与火山岩有关的矿床差异更明显:吉中地区多为膨润土、黏土、高岭土等非金属矿产,而延边地区多为金、铜等金属矿产(如图 1、表 1),进一步说明了成矿物质来源的不同。吉中、延边地区

成矿作用的差异,比成岩作用的差异明显得多,可能说明在活动陆缘岩浆弧同一构造背景下,二者构造环境的细微不同,即延边地区为俯冲背景下的陆缘活动带特点,而吉中地区兼有弧后引张特点。

(3)早侏罗世晚期至中侏罗世早期酸性岩浆活动成矿作用:该时期为钼矿床的主要成矿期,其他矿床很少。表 1(图 1,图 2c)中编号 26~37 为代表性矿床。有以下特点:① 成矿时间集中,且略晚于成岩时间,如表 2 所示(成矿时间为辉钼矿 Re-Os 法测年数据,成岩时间为锆石 U-Pb 测年数据),除个别矿床外,多数矿床成矿时间集中在 168~170Ma,一般比成岩年龄晚 10~15 Ma 左右。② 成矿元素相对单一。除胜利屯、双山等钼矿床伴生少量铜铅锌等有益组分外,大多数矿床为单一钼矿床。③ 矿床的空间展布上,多沿大型北东、北西向断裂带分布,或位于它们平行次级断裂的交汇处,表现出受北东、北西联合控制的特点。这些特点与晚三叠世一早侏罗世岩浆岩成矿作用明显不同,说明此时区域构造机制发生了改变。在伊则奈崎板块持续俯冲作用下导致岩石圈拆沉,以及大型断裂构造剪切机制作用下,中下地壳物质发生重熔形成富含钼元素的岩浆,沿北东、北西向断裂构造上升就位,由于具体的就位环境不同形成不同类型的钼矿床,多数为斑岩型,也形成一些矽卡岩型、岩浆热液型。

与钼矿有关的花岗岩,多为二长花岗岩、花岗闪长岩类,具有较高的 SiO₂ 含量、贫镁、铁、钙以及低 Sr 高 Y 和 Yb 的特征,属于准铝质-弱过铝质的高钾钙碱性 I 型花岗岩(Hou Xuegang,2017)。岩浆源区岩石应为中-新元古代增生的地壳物质,不同程度地混有幔源物质(Zhao Keqiang,2016)。

但此时形成的侵入岩,并不都形成钼矿床,且岩

石类型、岩石化学特点,晚三叠世一早侏罗世一些侵入岩也具备。由此可见该时期形成的侵入岩,与钼成矿作用的关系,与晚三叠世一早侏罗世侵入岩的关系,均有待于进一步研究。该时期形成的侵入岩以酸性为主,本文暂将称之为早侏罗世晚期一中侏罗世早期形成的酸性侵入岩,以示与其他时期中酸性岩浆岩的区别。

(4)中侏罗世晚期至晚侏罗世早期岩浆活动成矿作用:构造以抬升剥蚀为主,岩浆活动较少,暂没有发现较具规模(小型及以上)的矿床(图 2d)。

3 成矿系列

3.1 成矿区带划分

按照全国成矿区带划分方案,研究区以近东西向古亚洲洋缝合线为界,分为两个Ⅲ级成矿带(图 1):以北为小兴安岭-张广才岭成矿带(Ⅲ-52);以南为吉中-延边成矿带(Ⅲ-55)(Xu Zhigang et al.,2008)。但是燕山期(晚三叠世至早白垩世),缝合线两侧成岩成矿作用并没有明显差别。

3.2 构造单元划分

燕山构造演化旋回,研究区处于黑东-吉北构造岩浆带(Ⅲ级),以北东向敦密断裂带为界,以西为吉中地区构造岩浆带(亚Ⅲ级);以东为延边构造岩浆带(亚Ⅲ级)(Chen Yuchuan et al.,2007)。

3.3 矿床的成矿系列

3.3.1 矿床成矿系列

在一定的时间段内,划分出矿床成矿系列,地质构造环境及形成此环境的地质作用是基础,地质作用中的成矿作用是关键(Chen Yuchuan et al.,2016)。燕山期研究区处于黑东-吉北构造岩浆省一个Ⅲ级构造单元,因此本文所研究的矿床(点)可建

表 2 吉中-延边成矿带主要钼矿床成岩成矿时间对比表(编号与图 1 相同)

Table 2 Comparison of diagenesis and mineralization time of main molybdenum deposit in the central Jilin-Yanbian metallogenic belt (the number is the same as Fig. 1)						
编号	矿床名称	规模	成矿时间(Ma)	相关岩浆岩	成岩时间(Ma)	资料来源
26	吉林省舒兰市季德屯钼矿床	大型	169±3	花岗闪长岩	180.2±0.8	Shao Jianbo et al.,2016; Lu Zhiqiang et al.,2016
				二长花岗岩	180.1±0.6	
27	舒兰市长安堡-长发堡铜钼矿床	中型	168±1	二长花岗岩	170.2	Zhou Yi et al.,2016;①
28	吉林省舒兰市福安堡钼矿床	大型	168~171	二长花岗岩	179±2	Li Lixing et al.,2016; Liu Wanzhen et al.,2014
29	吉林省敦化市大石河钼矿床	大型	186.7±5	花岗闪长斑岩	187±4	①;Ju Nan et al.,2012
31	磐石市后倒木钼矿床	中型	167.5±1.2			Hou Xuegang,2017
33	吉林省永吉县大黑山钼矿床	超大型	168.2±3.2	花岗闪长斑岩	175.3	Wang Chenghui et al.,2009;⑤
35	吉林省安图县刘生店钼矿床	中型	169.36±0.97	二长花岗斑岩		Wang Hui et al.,2011
36	吉林省和龙市司马洞钼矿床	中型	169.3±1.9	二长花岗岩		Shao Jianbo et al.,2016
37	吉林省安图县双山钼矿床	中型	174.5±2.0	二长花岗斑岩	178.42±0.73	Wang Hui,2013

立吉中—延边地区与燕山期岩浆作用有关的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Fe、Ni、硅灰石、石墨、膨润土、粘土、高岭土、磷等矿床成矿系列,包括两个Ⅲ级成矿带(Ⅲ-52、Ⅲ-55)。

成矿亚系列为在同一个构造旋回内,由于成矿构造环境和成矿作用的差异进一步划分所形成的一组矿床,矿床式为成矿系列或成矿亚系列矿床组合中具有典型代表意义的矿床类型(Chen Yuchuan et al.,2007)。时间上,以中侏罗世晚期至晚侏罗世早期抬升剥蚀时期为界,可分为燕山早期与燕山晚期;而空间上,以敦密断裂带为界,吉中地区与延边地区的成矿作用也有所不同。

因此,研究区以表 1 中 44 个代表性矿床为基础,可划分为 1 个矿床成矿系列,6 个矿床成矿亚系列,具体划分情况如表 3、图 1(各亚系列,用矿床编号不同颜色区分)所示。

3.3.2 矿床成矿系列特征

如图 1、图 2、表 1、表 3,研究区各亚系列主要特征如下:

(1)吉中—延边地区与燕山早期超基性基性岩

浆作用有关的 Cu、Ni 矿床成矿亚系列(Mz-11¹):共包括矿床(点)7 个(编号为 38~44),其中大型 1 个,中型 2 个,小型 3 个,矿点 1 个。矿种主要为镍,其次为铜,少量磷。矿床类型均为岩浆型(Yang Minggui et al.,2015)。典型矿床为吉林省磐石市红旗岭矿区富家铜镍矿床(图 1、表 1 中 38 号矿床)。该矿床位于吉林中部,北东向敦密深断裂带与北西向傅家-偏脸子断裂带交汇处。红旗岭区内出露 33 个镁铁质-超镁铁质岩体,呈北西向成群出现和分带展布,由南西而北东分为 3 个岩带,其中以 I 岩带最为重要。I 岩带内 16 个岩体呈北西向串珠状排列,其中 1、2、3、7 和 9 号等岩体伴随有铜镍矿化。富家铜镍矿床赋存于 7 号岩体内(208~223 Ma),岩体平面上呈狭长带状,剖面上呈岩墙状岩相,走向北西,倾向北东,主要岩石类型为斜方辉岩,岩体即矿体,其中的金属硫化物含量可达 10%~15%。研究表明,富家矿床的成岩成矿物质来源于上地幔;成矿作用方式以岩浆熔离作用为主,兼具岩浆期后热液叠加成矿作用;矿床为通道式成矿,属于深部熔离-贯入式成因(Lv Linsu et al.,2017)。

表 3 吉中-延边成矿带主要矿床的成矿系列划分表
Table 3 Metallogenic series division of main deposits in the central Jilin-Yanbian metallogenic belt

代号	矿床成矿系列	矿床亚系列	矿床式	代表性矿床及其序号
Mz-11	吉中—延边地区与燕山期岩浆作用有关的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Fe、Ni、硅灰石、石墨、膨润土、黏土、高岭土、磷等矿床成矿系列	Mz-11 ⁶ 吉中地区与燕山晚期中酸性岩浆作用有关的 Au、Ag、膨润土、沸石、黏土等矿床成矿亚系列	山门式 二道甸子式 松江河式	6 吉林省东辽县下湾陶瓷黏土矿床 8 四平市山门金银矿床 9 桦甸市二道甸子金矿床 15 敦化市松江河金矿床
		Mz-11 ⁵ 延边地区与燕山晚期中酸性岩浆作用有关的 Au、Cu 矿床成矿亚系列	九三沟式 刺猥沟式 小西南岔式 海沟式	17 汪清县九三沟金矿床 18 汪清县刺猥沟金矿床 19 珲春市小西南岔金铜矿床 13 吉林省安图县海沟金矿床
		Mz-11 ⁴ 吉中—延边地区与燕山早期酸性岩浆作用有关的 Mo 矿床成矿亚系列	后倒木式 胜利屯式 大黑山式	31 磐石市后倒木钼矿床 30 吉林省磐石市胜利屯钼铅锌矿床 29 吉林省敦化市大石河钼矿床 26 吉林省舒兰市季德钼矿床 33 吉林省永吉县大黑山钼矿床
		Mz-11 ³ 吉中地区与燕山早期中酸性岩浆作用有关的 Au、硅灰石、石墨、高岭土等矿床成矿亚系列	长崴子 兰家式	1 吉林省磐石市长崴子硅灰石矿床 3 吉林省磐石市石墨矿床 7 吉林省磐石市新立屯高岭土矿床 10 磐石市烟筒山镇粗榆金银矿床 11 长春市二道区兰家金矿床
		Mz-11 ² 延边地区与燕山早期中酸性岩浆作用有关的 Au、Cu、Pb、Zn、Fe、硅灰石等矿床成矿亚系列	前山式	12 吉林省龙井市细鳞河硅灰石矿床 22 汪清太平岭铁矿床 14 吉林省龙井市天宝山立山-新兴矿区铅锌矿床 24 汪清县六道崴子铜矿床 25 珲春市前山金矿床
		Mz-11 ¹ 吉中—延边地区与燕山早期超基性基性作用活动有关的 Cu、Ni 矿床成矿亚系列	红旗岭式	39 吉林省磐石市红旗岭铜镍矿床 40 和龙市长仁铜镍矿床

(2) 延边地区与燕山早期酸性岩浆作用有关的 Au、Cu、Pb、Zn、Fe、硅灰石等矿床成矿亚系列 ($Mz-1I^2$): 共包括矿床 7 个 (编号为 12, 14, 21~25)。矿种有金 1 个 (岩石热液型, 小型), 铜 2 个 (接触交代型, 小型), 铁 1 个 (接触交代型, 小型), 铅锌 2 个 (接触交代型, 中型 1 个, 小型 1 个), 硅灰石矿 1 个 (变成型, 超大型)。硅灰石矿床虽然是热接触变质成因, 但矿床的形成离不开岩浆的侵入, 归根结底还是与中酸性岩浆活动有关。珲春市前山金矿床, 为该亚系典型代表。矿床位于珲春东部, 近南北向春化-四道沟断裂带与近东西向新合-马滴达断裂带交汇处。矿体为硅化蚀变岩型, 呈缓倾斜似板状赋存于岩基状黑云母斜长花岗岩和岩株状闪长岩接触部位外侧, 金矿化与闪长岩株关系密切。目前, 已发现 2 条工业矿体, 均位于闪长岩体南侧。但接触带其他部位, 1/1 万土壤测量 Au、Ag 等元素异常也很发育, 围绕闪长岩株呈环状分布。结合区域成矿规律^⑨认为, 该闪长岩株为潜火山岩相, 该矿区为一个遭受剥蚀的火山机构。

(3) 吉中地区与燕山早期酸性岩浆作用有关的 Au、硅灰石、石墨、高岭土等矿床成矿亚系列 ($Mz-1I^3$): 共包括矿床 6 个 (编号为 1~3, 7, 10, 11)。矿种有金 2 个 (接触交代型 1 个, 岩浆热液型 1 个, 均为中型), 硅灰石 2 个 (变成型, 超大型 1 个, 大型 1 个), 石墨 1 个 (变成型, 中型), 高岭土矿 1 个 (陆相火山岩型, 大型)。如同硅灰石矿, 本地区石墨矿也与岩浆侵入有关。典型矿床为长春市二道区兰家金矿床。兰家金矿床位于吉林省大黑山条垒中段南缘, 北东向伊兰-舒兰左行剪切断裂与近东西向断裂带交汇处。矿区地层主要有下二叠统范家屯组, 为一套海相火山岩-碎屑岩-硅质建造, 该建造是区内金 (银)、铜、铁、金铁、金铜等矿床 (点) 较为集中分布的层位 (除本矿床外, 还有吉林省永吉县八台岭金银矿、吉林省九台市放牛沟孔家店金矿、吉林省九台半拉山铜矿点、吉林省九台市小烧锅铁矿点等), 金矿化主要与建造中的大理岩夹层或大理岩透镜体以及具层间破碎带的含硅质的陆源碎屑岩有关, 它为金成矿提供了物质来源。侵入岩为南泉眼岩体石英闪长岩, 金矿体主要为蚀变岩型, 叠加于侵入体与范家屯组砂卡岩外接触带上。研究表明, 兰家金矿具有多期次成矿特点, 先期形成砂卡岩型铁矿, 后期形成岩浆热液型金矿。与成矿有关的南泉眼岩体年龄为 211.5 Ma, 兰家金矿床方铅矿铅模式年龄为 205 ± 3.5 Ma, 金矿床的成因类型为叠加于砂卡岩接触

带上的中温热液破碎带蚀变岩型 (Zhang Wenbo, 1998)。磐石市长崴子硅灰石矿床, 为本亚系列另一典型矿床。矿床位于吉中地区张广才-哈达岭火山-沉积隆盆带中部, 南楼山-双阳盆地南侧。地层主要为古生界上石炭统石咀组 and 磨盘山组, 为浅海盆地相硅质碳酸盐岩建造, 北西向断裂构造发育, 为压扭性, 控制了早侏罗世花岗岩侵入。矿体主要位于花岗岩与古生界外接触带上, 与地层产状基本一致, 多为层状, 似层状或透镜状, 分支复合现象多见, 呈北西向展布, 矿石的矿物成分和化学成分较稳定。矿体硅灰石矿体均赋存于距岩体不超过 200m 的外接触带内。该矿床成矿作用机理是: 富含硅质的碳酸盐岩遭到岩浆侵入时, 在热力作用下, 发生强烈的热变质作用。原岩中的灰岩在发生大规模重结晶形成大理岩的同时, 硅质和钙质的成分重新组合, 形成硅灰石矿。重要的是在成矿作用中无明显的交代作用和成矿物质的带入, 成矿物质组分来源于成矿原岩的原始物质组分, 形成具有吉林特色的硅灰石矿床。

(4) 吉中—延边地区与燕山早期酸性岩浆作用有关的 Mo 矿床成矿亚系列 ($Mz-1I^4$): 共包括矿床 12 个 (编号为 26~37)。矿种为钼矿, 按类型划分, 多为斑岩型 (大黑山式, 10 个, 超大型 1 个, 大型 4 个, 中型 5 个), 接触交代型 (胜利屯式, 1 个, 中型), 岩浆热液型 (后倒木式, 1 个, 中型)。大黑山钼床, 为本亚系列典型矿床。矿床位于吉中地区南楼山-双阳盆地北缘, 为一典型的超大型斑岩型钼矿床, 一直倍受国内外科研工作者的关注。矿区东部、东南部为下古生界头道沟组变质基性火山岩, 为大黑山斑岩钼矿床含矿岩体的直接围岩。北东、北西向、近东西向断裂构造发育, 沿断裂构造交汇处多次岩浆侵入形成大黑山复式岩体, 按侵入先后顺序划分为长岗岭黑云母花岗闪长岩、前撮落不等粒黑云母花岗闪长岩、花岗闪长斑岩及霏细状花岗闪长斑岩体四期岩浆侵入活动。矿体主要赋存在花岗闪长斑岩体 (175.3 Ma), 及其周围的不等粒花岗闪长岩体中, 成矿作用主要发生在岩浆期后。含矿岩体呈复式岩体产出, 平面呈椭圆形, 长轴为北东向, 平面上近似为圆形, 截面较大, 在垂直方向上单向延伸, 立体形态表现为一规模巨大的岩筒状。辉钼矿呈细脉状充填于岩石的裂隙或节理中, 或产于石英细脉的两侧; 或呈浸染状较均匀散布于花岗闪长岩内; 还有的辉钼矿呈星点状粗粒晶体散布于轻微蚀变地段及矿体的边缘部位。研究表明, 大黑山钼矿花岗岩来源于中—新元古代增生的地壳部分熔融, 在早侏罗世太

平洋板块向亚欧板块俯冲过程中的局部拉张背景下沿断裂构造上侵就位成矿(Chen Jingshen et al., 2015)。其他类型钼矿床,成矿机制与大黑山钼矿基本相同,由于花岗岩就位时具体环境不同形成不同类型钼矿床;吉林省磐石市胜利屯胜利屯钼铅锌矿床,成矿岩体早侏罗世含石榴子石花岗岩与花岗斑岩侵入于奥陶系小三个顶子岩组中酸性火山岩-正常碎屑沉积岩-碳酸盐岩建造,钼矿体主要位于矽卡岩接触外带上,部分矿体为石英脉型及浸染状花岗斑岩型。磐石市后倒木钼矿床,成矿岩体钾化黑云母花岗岩侵入于黑云斜长花岗岩中,蚀变岩型、石英脉型矿体位于二者接触带上,黑云斜长花岗岩裂隙中。

(5)延边地区与燕山晚期中酸性岩浆作用有关的 Au、Cu 矿床成矿亚系列(Mz-1I⁵):共包括矿床 6 个(编号为 13, 16~20)。矿种金 5 个(陆相火山岩型 3 个,小型;岩浆热液型 1 个,大型;斑岩型 1 个,中型),金铜矿 1 个(斑岩型,金伴生铜,金为大型,铜为中型)。珲春市小西南岔金铜矿床,经过多年勘查工作,证实为一大型受破火山机构控制的斑岩型金铜矿床。矿床位于近东西向牡丹岭-春化断裂带与近南北向春化-四道沟断裂带交汇处,北西向断裂带为主要控矿断裂,并被北东向断裂带分为南、北两处。矿区侵入杂岩发育,围岩为岩基状分布的晚三叠世花岗闪长岩、斜长花岗岩(206~234 Ma),岩株状侵入杂岩有中细粒闪长岩(123.45 ± 2.2 Ma)、细粒黑云母花岗岩、花岗斑岩,脉岩有闪长玢岩及闪斜煌斑岩(Wang Keyong et al., 2010)。矿石类型分为两类:金铜矿体(呈石英脉型及之间的浸染状矿化,主要分布于晚三叠世花岗岩围岩及闪长岩中,空间上与小细粒闪长岩关系密切),铜钼矿体(石英脉型,以钼为主,暂不具工业意义。辉钼矿进行了 Re-Os 测年为 109.4 ± 1.7 Ma 及 109.5 ± 2.0 Ma)。野外常见有铜钼矿体穿切金铜矿体,以及隐伏的花岗斑岩体侵位于细粒(花岗)闪长岩及斑岩体内及其接触带处发育浸染状铜、钼矿化等现象。研究表明,金铜矿化与小细粒(花岗)闪长岩侵入活动有直接关系;而铜钼矿化则是其后侵位的隐伏花岗斑岩活动的产物(Wang Keyong et al., 2010)。本区金-铜及钼矿化成矿流体均主要来源于岩浆热液,成矿物质来源较深,主要来自深部地壳或上地幔。花岗杂岩体的源区为先存岩石圈地幔受到俯冲交代形成的次生岩石圈地幔,成岩成矿作用是次生岩石圈地幔部分熔融产生的埃达克质岩浆与下地壳重熔产生的钾

质熔体的混合熔体结晶分异、上侵就位的结果。成矿构造环境为燕山晚期伊泽奈崎板块向古亚洲大陆边缘俯冲造成的岩石圈伸展背景下的活动陆缘环境(Ren Yunsheng et al., 2011)。

(6)吉中地区与燕山晚期中酸性岩浆作用有关的 Au、Ag、膨润土、沸石、黏土等矿床成矿亚系列(Mz-1I⁶):共包括矿床 6 个(编号为 4~6, 8, 9, 15)。矿种金 2 个(岩浆热液型,大型 1 个,中型 1 个),银金 1 个(岩浆热液型,银共生金,银大型,金中型),膨润土 1 个(陆相火山岩型,中型),沸石 1 个(陆相火山岩型,大型),黏土 1 个(陆相火山岩型,中型)。二道甸子金矿床,为该亚类典型矿床。矿床位于吉林中部,哈达岭隆起东南侧,敦密断裂带的北缘。矿区区域上为北东东向的二道甸子-漂河岭倾没复背斜的转折端,核部为早白垩世黑云母花岗岩、二长花岗岩(134~136 Ma),呈岩株状侵入。奥陶系呼兰群漂河川组斜长角闪片岩、泥板岩、含炭板岩、红柱石板岩等围绕该花岗岩呈弧形分布,由北向南,其走向为北西、北北西,近南北转向北东。矿体主要为含金石英脉型,走向与漂河川岩组基本一致,但倾向上有小角度夹角。研究表明,漂河川组变质原岩陆源碎屑岩和碳酸盐岩夹基性-中酸性火山岩,金丰度值为 6.02×10^{-9} ,为成矿作用提供了主要物质来源,花岗岩只为金矿的形成提供了热源和流体。来源于地层中的金等成矿物经过多次的构造热事件作用所形成的成矿流体,并与矿床东部(褶皱核部)的花岗岩热穹窿组成了成矿流体库,在构造成矿有利部位成矿,矿床成因类型为岩浆热液型(Wang Yanhua et al., 2011)。

4 矿床成矿谱系

成矿谱系是指特定区域内成矿作用的演化历史和分布规律(Xu Zhigang et al., 2008)。根据上述燕山期岩浆活动、成矿作用及矿床成矿系列,建立研究区燕山期与岩浆作用有关的构造岩浆演化图示(图 3)及矿床成矿谱系(图 4)。

晚三叠世早期,研究区处于古亚洲洋闭合后伸展状态,北东向构造体系已形成。法库隆板块已开始俯冲,处于地壳缩短及应力积累状态。沿北西西向、北东向断裂构造发育了基性超基性岩组合及相关的铜镍矿产,形成了矿床亚系列 Mz-1I¹。

几乎同时或稍后,至早侏罗世,法库隆板块、伊泽奈崎板块向北北西向俯冲,研究区处于左旋走滑应力场状态,形成了一系列北东向展布的以中酸性

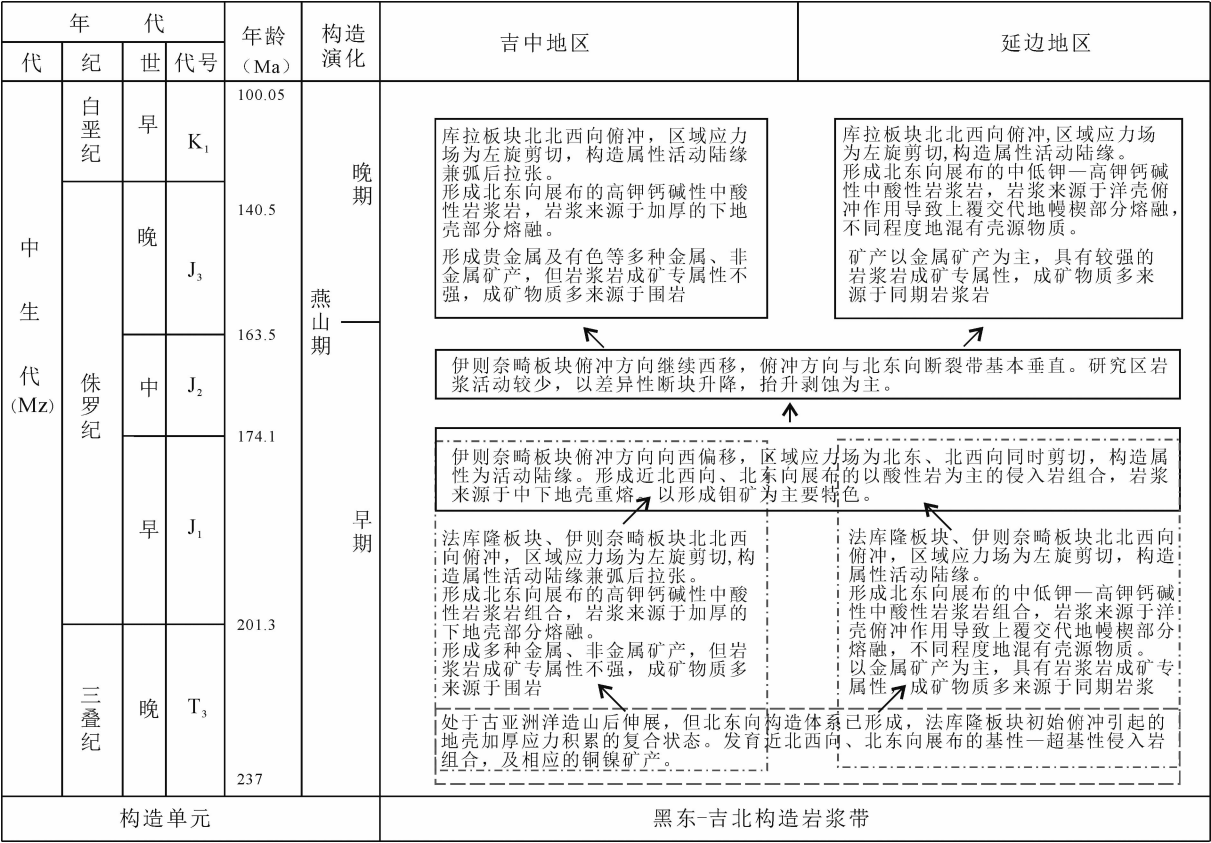


图 3 吉中-延边成矿带燕山期构造岩浆演化与成矿作用图示

Fig. 3 Tectonomagmatic evolution and mineralization of Yanshan period in the central Jilin-Yanbian metallogenic belt

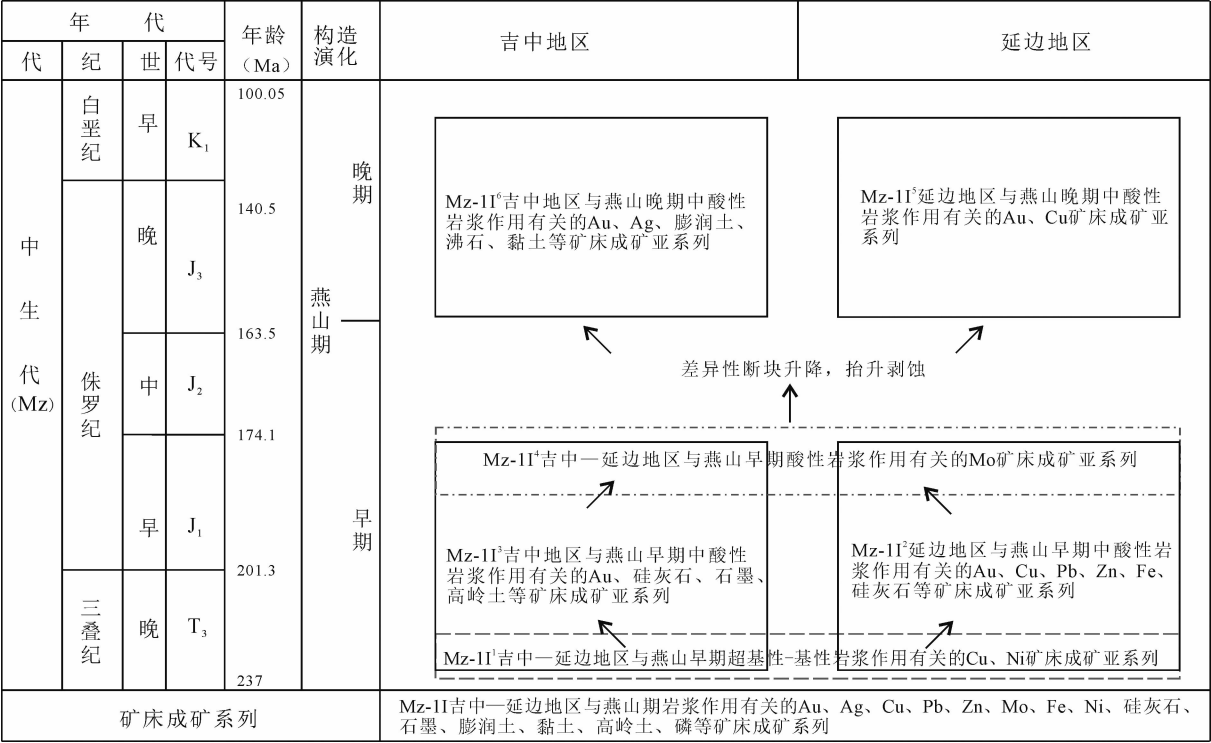


图 4 吉中-延边成矿带与燕山期岩浆作用有关的矿床成矿谱系

Fig. 4 Metallogenic genealogy of ore deposits related to Yanshanian magmatism in the central Jilin-Yanbian metallogenic belt

为主的岩浆带。由于成岩成矿作用的差异,在延边地区形成矿床亚系列 $Mz-1I^2$;在吉中地区形成矿床亚系列 $Mz-1I^3$ 。

早侏罗世至中侏罗世早期,伊泽奈崎板块俯冲方向向西偏移,研究区北西西向、北东向断裂构造同时处于剪切状态,沿北西西、北东向断裂带形成了以酸性为主的侵入岩带,成矿作用以钼为主,形成了矿床亚系列 $Mz-1I^4$ 。

中侏罗世晚期至晚侏罗世早期,研究区以抬升剥蚀为主,岩浆岩较少,没有发现较具规模的矿床。

晚侏罗世晚期至早白垩世,库拉板块向北北西向俯冲,研究区成岩成矿作用与晚三叠世至早侏罗世基本相同。在延边地区形成矿床亚系列 $Mz-1I^5$;在吉中地区形成矿床亚系列 $Mz-1I^6$ 。

5 讨论

5.1 成岩与成矿关系

研究区燕山期(晚三叠世—早白垩世)岩浆活动十分频繁,吉林省第二版区域地质志依据地质及同位素测年资料,确定了侵入时代及期次,并大致进行了 I 型、S 型、A 型等的成因类型的划分^①。彭玉鲸等(Liu Xingqiao et al., 2010; Qi Chengdong et al., 2009)将其与沉积盆地演化阶段相联系,划分为三大成因构造类型:裂解型、走滑型、会聚型,随着盆地的新生与消亡,呈现节律式更新递进,各自有不同的成矿专属性。这种将成岩成矿作用与沉积盆地开合联系起来的做法,从一个较新的角度提高了研究区成矿规律的研究。

如上所述,本文所建立的 6 个矿床亚系列,每个亚系列对应了多类型、多期次甚至不同时代的岩浆岩,但同一亚系列的岩浆岩具有大致相同的成岩机制及成矿作用,只是由于岩浆来源、就位构造环境不同而形成不同种类、不同类型的矿床;而不同的亚系列之间的岩浆岩成岩机制及成矿作用,在时间上、空间上总是存在一定的差异性。可见本文的矿床成矿谱系整体反映了研究区燕山期岩浆活动、成矿作用规律及动态过程,阐明了其活动及演化的规律(图 4)。

5.2 古太平洋板块俯冲与成矿关系

本文所划分的五次构造岩浆活动,分别对应于晚三叠世初期古太平洋板块(法库隆板块)北北西向初期俯冲(叠加古亚洲洋闭合后伸展作用)→晚三叠世至早侏罗世(法库隆板块、伊泽奈崎板块)北北西向俯冲→早侏罗世末至中侏罗世初期(伊泽奈崎板

块)北西西向俯冲(向西偏移)→中侏罗晚期至晚侏罗世早期(伊泽奈崎板块)北西向俯冲→晚侏罗世至早白垩世(库拉板块)北北西向俯冲,分别引起研究区应力场状态为近北西向拉伸兼北东向左旋剪切→北东向左旋剪切→北东北西向同时剪切→北东向断裂构造差异性断升降→北东向左旋剪切的变化,而引起研究区岩浆岩成岩物质来源及岩浆空间展布等特征的节律性变化。尽管在燕山期古太平洋板块俯冲过程中,多个板块(法库隆、伊泽奈崎、库拉)之间的转换,俯冲角度(包括水平、垂向)、速度的变化是十分复杂的(Zhao Chunjin et al., 1996; Wang Shuo, 2014),但能够引起成岩成矿作用明显变化的是本文所划出的如上五个时段,而在同一时段内,吉中、延边地区由于距俯冲带的距离不同,其成岩成矿作用有时(如晚三叠世至早侏罗世,晚侏罗世晚期至早白垩世)也有所差异。如此,研究区在燕山期与岩浆作用有关的成矿作用在时间、空间上的规律性,集中反映于本文所建立的 6 个矿床亚系列中。

6 结论

(1)研究区可建立吉中—延边地区与燕山期岩浆作用有关的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Fe、Ni、硅灰石、石墨、膨润土、黏土、高岭土、磷等矿床成矿系列,进一步可建立六个矿床亚系列。

(2)各矿床亚系列之间既有区别,又有联系,成矿谱系是各亚系列的有机组合,反映了研究区燕山期构造岩浆作用、成矿作用的时空演化。

(3)距离俯冲带的远近、古太平洋板块俯冲方向及速度的变化,是形成各矿床亚系列的根本原因。

注 释

- ① 周晓东,等. 2015. 吉林省区域地质志. 北京:地质出版社(出版中).
- ② 王建新,臧兴运,谢海东,等. 2006. 吉林辉春烟筒砬子—柳树河子成矿地质条件研究报告. 长春:吉林大学.
- ③ 杨占军,臧兴运,孙永杰,等. 2016. 吉林 1:5 万和龙县、朝阳村、青山里、高岭村、白金公社、三合村幅区域地质矿产调查. 吉林省地质调查院.
- ④ 臧兴运,李军,孙永杰,等. 2012. 吉林辉南样子哨地区矿产远景调查. 吉林省地质调查院.
- ⑤ 王元德,翟永岩,鲁宗林,等. 1986. 吉林省永吉县大黑山钼矿床地质研究报告. 吉林省地质矿产局第二地质调查所.

References

Chen Jingshen, Ge Wenchun, Chen Huijun, Xing Dehe, Liu Miao, Li Weiwei. 2015. Geochemistry and genesis of the host rock of Daheishan molybdenum deposit in Yongji, Jilin Province. *Geology and Resources*, 24(2): 93~101 (in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Chang Yinfuo, Pei Rongfu, Ren Jishunl, Tang

- Zhongli, Zhai Yusheng. 2007. Metallogenic System and Regional Metallogenic Assessment in China (The last volume). Beijing: Geological Publish House, 1~1005 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong, Huang Fan. 2016. Minerogenetic series for mineral deposits; discussion on minerogenetic series (V). *Acta Geoscientica Sinica*, 37(5): 519~527 (in Chinese with English abstract).
- Hao Libo, Sun Liji, Zhao Yuyan, Lu Jilong, Zhao Xinyun. 2012. The No. 2 mafic-ultramafic intrusion SHRIMP U-Pb zircon dating and its geological significance in Hongqiling area of Jilin Province, China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42 (add 3): 166~178 (in Chinese with English abstract).
- Hou Xuegang. 2017. Metallogenic rocks of Mesozoic porphyry molybdenum deposits in eastern Jilin-Heilongjiang: From genesis to mineralization. Doctoral dissertation of Jilin University, 1~166 (in Chinese with English abstract).
- Hou Yuebin, Zang Xingyun, Yang ZhanJun, Shen Junxiang, Li Yanfeng, Ma Chunsheng. 2016. Analysis and contrast of prospecting potential between Helong area and Maoshan area. *Jilin Geology*, 35(4): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Lu Yan. 2002. Continental margin shear belt volcanic rocks and regional metallogenic model in Yanbian region, eastern Jilin Province. *Mineral Deposits*, 21 (supp.): 2733~2750 (in Chinese with English abstract).
- Ju Nan, Ren Yunsheng, Wang Chao, Wang Hui, Zhao Hualei, Qu Wenjun. 2012. Ore genesis and molybdenite Re-Os dating of Dashihe molybdenum deposit in Dunhua, Jilin. *Global Geology*, 31(1): 68~76 (in Chinese with English abstract).
- Li Lixing, Song Quanheng, Wang Denghong, Wang Chenghui, Qu Wenjun, Wang Zhigang, Bi Shouye, Yu Cheng. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Fu'anpu molybdenum deposit of Jilin Province and discussion on its metallogenesis. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 283~287 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wanzhen, Sun Fengyue, Huang Weiping, Wang Linin, Su Bin, Huan Fengming. 2014. Zircon U-Pb ages and petrochemical characteristics of Bangzishan granite in Fu'anpu of Jilin and their geological significance. *Global Geology*, 33(2): 289~298 (in Chinese with English abstract).
- Lu Zhiqiang, Li Xujun, Qiu Chen, Lang Bensheng. 2016. Geology, geochemistry and geochronology of ore-bearing intrusions in Jidetun molybdenum deposit in mid-east Jilin Province. *Mineral Deposits*, 35(2): 349~364 (in Chinese with English abstract).
- Lv Linsu, Li Hongbo, Zhou Zhenhua, Xu Ligu, Yang Xiaonan, Mao Bing. 2017. Mineral chemistry and sulfur isotopic characteristics of ores from the Fujia deposit in Hongqiling area, Jilin Province: onstraints on the genesis and ore-forming processes of Ni-Cu sulfide deposit. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(2): 193~207 (in Chinese with English abstract).
- Peng Yujing, Zhai Yuchun, Zhang Hehe. 2009. Age determination and characteristics of the late Indosinian-Yanshanian metallogenetic events of Jilin Province. *Jilin Geology*, 28(3): 1~5 (in Chinese with English abstract).
- Ren Yunsheng, Wang Hui, Qu Wenjun, Zhao Hualei, Chu Guangqin. 2011. Re-Os isotopic dating of molybdenite from Xiaoxi'nancha copper-gold deposit in the Yanbian area and its geological significance. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience s*, 36(4): 721~728 (in Chinese with English abstract).
- Shao Jianbo, Chen Dianyi, Pan Yuedong, Wang Hongtao. 2016. Re-Os isotopic dating of molybdenites from Jidetun and Shimadong large molybdenum deposits in centro-eastern Jilin and its geological significance. *Global Geology*, 35(3): 718~728 (in Chinese with English abstract).
- Sun Liji. 2013. Study on geological and geochemical characteristics of Hongqiling copper-nickel sulfide deposit and its prospecting technology. Doctoral dissertation of Jilin University, 1~171 (in Chinese with English abstract).
- Wan Fei. 2013. Characteristics, genesis and prospecting criteria of Mesozoic epithermal gold deposits in Yanbian area. Master's thesis of Jilin University, 1~67 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chenghui, Song Quanheng, Wang Denghong, Li Lixing, Yu Cheng, Wang Zhigang, Qv Wenjun, Du Andao, Ying Lijuan. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Daheishan molybdenum deposit of Jilin Province and its geological significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 269~273 (in Chinese with English abstract).
- Wang Hui. 2013. Geological characteristics and metallogenic regularity of molybdenum (copper) deposit in Antu county, Jilin province. Master's thesis of Jilin University, 1~66 (in Chinese with English abstract).
- Wang Hui, Ren Yunsheng, Zhao Hualei, Ju Nan, Qv Wenjun. 2011. Re-Os dating of molybdenite from the Liushengdian molybdenum deposit in Antu area of Jilin province and its geological significance. *Acta Geoscientica Sinica*, 32(6): 707~715 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shuo. 2014. Study on Phanerozoic magma evolution and mineralization in eastern Jilin-Heilongjiang. Master's thesis of Jilin University, 1~196 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhigang. 2012. Study on metallogenesis of Mesozoic endogenetic metal deposits in the eastern part of Jilin province. Doctoral dissertation of Jilin University, 1~205 (in Chinese with English abstract).
- Wu Qiong, Sun Fengyue, Liu Jinlong, Tian Lidan, Fan xingzhu. 2019. Zircon U-Pb geochronology of ore-bearing olivine-pyroxenite of Changren Cu-Ni mining area in Helong, Jilin, and its geological significance. *Mineral Deposits*, 38(3): 620~630 (in Chinese with English abstract).
- Xi Aihua, Cai Yuanfeng, Ge Yuhui, Sun Guosheng, Li Bile. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Longwang gabbro of Shanmen silver deposit in Siping city and its geological significance. *Mineral Deposits*, 27(1): 57~63 (in Chinese with English abstract).
- Xu Wenxi. 2018. Lithogeochemical characteristics and geodynamics of the molybdenum deposits in Xiao Hinggan Mountains - Zhangguangcai range metallogenic belt. *Jilin Geology*, 37(1): 38~51 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008. Division Scheme about the Metallogenic Zones of China. Beijing: Geological Publish House, 1~138 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jingshan. 2018. Geological characteristics and concealed ore body prediction of Banmiaozhi gold deposit, Jilin province. Master's thesis of Jilin University, 1~95 (in Chinese with English abstract).
- Wang Keyong, Qing Min, Sun Fengyiue, Wan Duo, Wang Li, Li Xiangwen. 2010. Study on the geochemical characteristics of ore-forming fluids and genesis of Xiaoxinancha gold-copper deposit, Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3727~3734 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yanhua, Feng Xiuyun, Li Guolian, Luo Lixin. 2011. Geological characteristics and ore-prospecting direction of Erdaodianzi gold deposit, Jilin province. *Gold*, 32(3): 23~28 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Haihong. 2017. Mesozoic magmatic events in northern Liaoning and central Jilin provinces: constraints on the regional tectonic evolution. Doctoral dissertation of Jilin University, 1~166 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenbo. 1998. Geology and metallogenic condition of the Lanjia gold deposit, Jilin. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 7(1): 12~16 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xinyun. 2015. Platinum group element geochemistry and metallogenic potential of mafic-ultramafic intrusions from the eastern area of Jilin province. Doctoral dissertation of Jilin

University, 1~130 (in Chinese with English abstract).

Zhao Chunjin, Peng Yujing, Dang Zengxin, Zhang Yunping. 1996. Tectonic framework and crustal evolution in the east of Jihei. Changcun: Liaoning University Press, 1~158 (in Chinese with English abstract).

Zhao Keqiang. 2016. Magmatic fluids and metallogenesis of Mesozoic porphyry molybdenum mineralization system in the eastern Xingmeng orogenic belt. Doctoral dissertation of Jilin University, 1~158 (in Chinese with English abstract).

Zhou Yi, Song Quanheng, Zhang Yong, Wang Yan, Yu Cheng. 2016. Zircon U-Pb ages and Hf isotope composition of the ore-bearing intrusion from the Chang'anpu Mo-Cu deposit, Jilin Province. *Gold*, 37(7): 25~29 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

陈井胜,葛文春,陈会军,邢德和,刘森,李巍巍. 2015. 吉林永吉大黑山钼矿寄主岩体地球化学特征及其成因. *黄金*, 24(2): 93~101.

陈毓川,常印佛,裴荣富,任纪舜,汤中立,翟裕生. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价(上下册). 北京:地质出版社,1~1005.

陈毓川,裴荣富,王登红,黄凡. 2016. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题. *地球学报*, 37(5): 519~527.

郝立波,孙立吉,赵玉岩,陆继龙,赵新运. 2012. 吉林红旗岭 2 号岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 42(增 3): 166~178.

侯雪刚. 2017. 吉黑东部中生代斑岩型钼矿床的成矿岩体:从成因到成矿. 吉林大学博士学位论文,1~166.

侯跃斌,臧兴运,杨占军,沈君祥,李延峰,马春生. 2016. 和龙地区与茂山地区找矿前景对比分析. *吉林地质*, 35(4): 1~6.

贾大成,胡瑞忠,卢焱. 2002. 吉林东部延边地区陆缘剪切火山岩及区域成矿模式. *矿床地质*, 21(增): 136~139.

鞠楠,任云生,王超,王辉,赵华雷,屈文俊. 2012. 吉林敦化大石河钼矿床成因与辉钼矿 Re-Os 同位素测年. *世界地质*, 31(1): 68~76.

李立兴,松权衡,王登红,王成辉,屈文俊,汪志刚,毕守业,于诚. 2009. 吉林福安堡钼矿中辉钼矿铼-钼同位素定年及成矿作用探讨. *岩矿测试*, 28(3): 283~287.

刘万臻,孙丰月,黄维平,王琳琳,苏斌,桓凤明. 2014. 吉林福安堡棒子山花岗岩锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及其地质意义. *世界地质*, 33(2): 289~298.

卢志强,李绪俊,秋晨,梁本胜. 2016. 吉林中东部季德屯钼矿床含矿岩体地质、地球化学及年代学研究. *矿床地质*, 35(2): 349~364.

吕林素,李宏博,周振华,徐立国,杨小男,毛冰. 2017. 吉林红旗岭富家矿床矿石矿物化学和硫同位素特征——对铜镍硫化物矿床成因及成矿过程的约束. *地球学报*, 38(2): 193~207.

彭玉鲸,翟玉春,张鹤鹤. 2009. 吉林省晚印支期—燕山期成矿事件年谱的拟建及特征. *吉林地质*, 28(3): 1~5.

任云生,王辉,屈文俊,赵华雷,褚广勤. 2011. 延边小西南岔铜金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义. *地球科学—中国地*

质大学学报, 36(4): 721~728.

邵建波,陈殿义,潘月栋,王洪涛. 2016. 吉林省中东部季德屯及石马洞大型钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义. *世界地质*, 35(3): 718~728.

孙立吉. 2013. 红旗岭铜镍硫化物矿床地质地球化学特征及找矿技术方法研究. 吉林大学博士学位论文,1~171.

万飞. 2013. 延边地区中生代浅成低温热液型金矿特征、成因及找矿标志. 吉林大学硕士论文,1~67.

王成辉,松权衡,王登红,李立兴,于城,汪志刚,屈文俊,杜安道,应立娟. 2009. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼-钼同位素定年及其地质意义. *岩矿测试*, 28(3): 269~273.

王辉. 2013. 吉林安图县钼(铜)矿床地质特征及成矿规律. 吉林大学硕士论文, 1~66.

王辉,任云生,赵华雷,鞠楠,屈文俊. 2011. 吉林安图刘生店钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义. *地球学报*, 32(6): 707~715.

王硕. 2014. 吉黑东部显生宇岩浆演化与成矿作用研究. 吉林大学硕士论文,1~196.

汪志刚. 2012. 吉林东部中生代内生金属矿床成矿作用研究. 吉林大学博士学位论文,1~205.

吴琼,孙丰月,刘金龙,田力丹,范兴竹. 2019. 吉林和龙长仁铜镍矿床含矿橄榄辉石岩年代学及其地质意义. *矿床地质*, 38(3): 620~630.

郝爱华,蔡元峰,葛玉辉,孙国胜,李碧乐. 2008. 四平山门 Cu-Ni 矿化辉长岩体锆石 LA-ICP-MS 年龄及其意义. *矿床地质*, 27(1): 57~63.

徐文喜. 2018. 小兴安岭-张广才岭成矿带钼矿床岩石地球化学特征及地球动力学研究. *吉林地质*, 37(1): 38~51.

徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案. 北京:地质出版社,1~138.

于景山. 2018. 吉林板庙子金矿地质特征及隐伏矿体预测. 吉林大学硕士论文,1~95.

王可勇,卿敏,孙丰月,万多,王力,李向文. 2010. 吉林小西南岔金-铜矿床成矿流体地球化学特征及矿床成因研究. *岩石学报*, 26(12): 3727~3734.

王彦华,冯修云,李国廉,罗立新. 2011. 吉林省二道甸子金矿床地质特征及找矿方向. *黄金*, 32(3): 23~28.

张海洪. 2017. 辽北-吉中地区中生代岩浆事件及其对区域构造演化的制约. 吉林大学博士学位论文,1~166.

张文博. 1998. 吉林省兰家金矿床地质特征及控矿地质条件. *有色金属矿产与勘查*, 7(1): 11~16.

赵新运. 2015. 吉林省东部镁铁-超镁铁质岩体铂族元素地球化学特征及其成矿潜力分析. 吉林大学博士学位论文, :1~130.

赵春荆,彭玉鲸,党增欣,张允平. 1996. 吉黑东部构造格架及地壳演化. 辽宁大学出版社,1~158.

赵克强. 2016. 兴蒙造山带东部中生代斑岩型钼矿成矿系统的岩浆流体作用与成矿研究. 吉林大学博士学位论文,1~158.

周毅,松权衡,张勇,王岩,于诚. 2016. 吉林长安堡钼铜矿床含矿岩体锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成. *黄金*, 37(7): 25~29.

A study of magmatism and ore deposit series of Yanshanian magmatism in the central Jilin-Yanbian area

ZHAO Huawei¹⁾, LI Dehong¹⁾, ZANG Xingyun^{*1)}, PENG Yujing²⁾, MA Jing¹⁾

1) *Institute of Geological Survey of Jilin Province, Changchun, 130102;*

2) *Institute of Regional Geological Survey of Jilin Province, Changchun, 130061*

** Corresponding author: zang.xingyun01@163.com*

Abstract

The metallogenic regularity of the central Jilin-Yanbian metallogenic belt related to Yanshanian magmatism were analyzed and summarized based on the study of tectonic-magmatic evolution and ore deposit metallogenic series theory. The study shows that due to the subduction direction and velocity of the ancient Pacific plate, the complex Yanshanian tectonic-magmatic activity in the central Jilin-Yanbian area can be divided into five diagenetic and mineralizing events: (1) the late Triassic intrusion of mafic-ultramafic rocks that led to the formation of magmatic deposits such as Hongqiling copper-nickel deposit; (2) the late Triassic to early Jurassic high-potassium calcium-alkali magmatic activity in the Jizhong area and the formation of magmatic hydrothermal deposits such as the Lanjia Gold deposit, and the low potassium calcium alkali-high potassium calcium alkali magmatic activities in Yanbian resulting in the formation of volcanic-subvolcanic rock type deposits such as Qianshan gold deposit; (3) the early Jurassic to the middle Jurassic aluminum-rich acidic magma activity and the formation of porphyry molybdenum deposits such as Daheishan molybdenum deposit; (4) the middle Jurassic to late Jurassic was marked by uplift and erosion in the research area resulting in weak diagenesis and mineralization; (5) the late Jurassic to the early Cretaceous high-potassium calcium-alkali magmatic activity in the Jizhong area, and the formation of magmatic hydrothermal deposits such as the Erdaodianzi gold deposit; low-potassium calcium-alkali and high-potassium-calcium-alkali magmatic activity in the Yanbian leading to formation of volcano-porphyry deposits such as the Xiaoxinancha gold-copper deposit. Based on the establishment of the ore-forming series of magmatic processes during the Yanshanian period in the Jizhong-Yanbian area, they are further divided into 6 metallogenic subseries. Despite geospatial and temporal differences, the subseries are related indicating the complexity of the mineralization process.

Key words: metallogenic series; Yanshanian period; magmatism; central Jilin-Yanbian metallogenic belt