



基于矿床的成矿系列理论构建吉南地区成矿作用演化轨迹图

闫冬¹, 王岩², 李斌¹, 赵华伟³, 臧兴运¹, 陶传忠⁴, 王浩⁵

1. 吉林省地质调查院, 吉林 长春 130102;

2. 中国地质科学院 矿产资源研究所/自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

3. 吉林省区域地质矿产调查所, 吉林 长春 130022; 4. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

5. 吉林省地质矿产勘查开发局, 吉林 长春 130021

摘要: 运用矿床的成矿系列理论, 在吉林南部地区划分矿床成矿系列, 构建成矿作用演化轨迹图, 总结吉南地区不同构造演化时期成矿构造环境及成矿作用的时空演化规律. 研究表明, 吉南地区可建立从新太古代至新生代不同地质历史时期的 4 个矿床成矿系列组、3 个矿床成矿系列组合、3 个矿床成矿系列类型、12 个矿床成矿系列、16 个矿床成矿亚系列、27 个矿床式. 以构造演化阶段为横坐标, 构造演化旋回为纵坐标, 构建成矿作用演化轨迹图, 每一个矿床成矿系列组(组合、类型)、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式在图中都有自己特定的位置. 轨迹图反映了吉南地区构造演化的旋回性与成矿作用的规律性存在的内在联系, 揭示了矿床成矿系列各序次的属性内涵及其之间的相互关系, 体现了吉南地区构造演化和成矿过程的历史, 是吉南地区构造演化不同旋回成矿作用的客观记录.

关键词: 成矿作用演化; 矿床成矿系列; 构造演化旋回; 成矿规律; 吉林省

Minerogenetic evolution path in southern Jilin Province based on minerogenetic series theory of deposits

YAN Dong¹, WANG Yan², LI Bin¹, ZHAO Hua-wei³, ZANG Xing-Yun¹, TAO Chuan-zhong⁴, WANG Hao⁵

1. Geological Survey Institute of Jilin Province, Changchun 130102, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences

MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Beijing 100037, China; 3. Regional Geological and Mineral Resources Survey

of Jilin Province, Changchun 130022, China; 4. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;

5. Jilin Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Changchun 130021, China

Abstract: The study adopts the minerogenetic series theory of mineral deposits to divide the minerogenetic series, construct the minerogenetic evolution path, and summarize the metallogenic environment and spatiotemporal evolution regularity of mineralization in southern Jilin Province in different tectonic evolution periods. The result establishes 4 deposit minerogenetic series groups, 3 minerogenetic series combinations, 3 minerogenetic series types, 12 minerogenetic series, 16 minerogenetic subseries and 27 deposit types in different geological periods from Neoproterozoic

收稿日期: 2023-11-20; 修回日期: 2023-12-14. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“中国地质矿产志·吉林卷”(DD20221695, DD20190379, DD20160346).

作者简介: 闫冬(1980—), 女, 高级工程师, 主要从事地质矿产研究, 通信地址 吉林省长春市高新北区明溪路 961 号, E-mail//2091992446@qq.com

通信作者: 王岩(1983—), 女, 博士, 研究员, 从事矿床地质研究, 通信地址 北京市西城区百万庄大街 26 号, E-mail//wangyan@mail.cgs.gov.cn

引用格式: 闫冬, 王岩, 李斌, 赵华伟, 臧兴运, 陶传忠, 王浩. 基于矿床的成矿系列理论构建吉南地区成矿作用演化轨迹图[J]. 地质与资源, 2025, 34(1): 21-34.

Yan D, Wang Y, Li B, Zhao H W, Zang X Y, Tao C Z, Wang H. Minerogenetic evolution path in southern Jilin Province based on minerogenetic series theory of deposits[J]. Geology and Resources, 2025, 34(1): 21-34.

to Cenozoic. Taking the tectonic evolution stage as abscissa axis and the evolution cycle as ordinate axis, the evolution path diagram of mineralization is completed, with each minerogenetic series group (combination, type), minerogenetic series, minerogenetic subseries and deposit type at a specific position. The diagram reflects the interrelation between the cyclicity of tectonic evolution and regularity of mineralization, the attribute connotation of each sequence of metallogenic series and their mutual relations, as well as the history of tectonic evolution and metallogenic process in southern Jilin Province, which is an objective record of mineralization in different tectonic evolution cycles in the area.

Key words: minerogenetic evolution; minerogenetic series of deposit; tectonic evolution cycle; metallogenic regularity; Jilin Province

0 引言

自1979年程裕淇等提出矿床的成矿系列概念以来^[1],经过广大地质工作者40多年来的不断研究,形成了许多研究成果,使其逐步完善^[2-10].矿床的成矿系列是研究区域成矿规律的一种学术思想,由6级序次组成:第一序次为成矿体系;第二序次为矿床成矿系列组、矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型;第三序次为矿床成矿系列;第四序次为矿床成矿亚系列;第五序次为矿床式;第六序次为矿床产物^[11-13].矿床成矿系列是成矿系列概念中的核心组成部分,是从地球演化的时空四维域中研究成矿作用及其形成的矿床自然体,也是一种新的矿床自然分类,它本身包含4个要素,即时间、空间、作用与矿床产物,缺一不可.

成矿系列概念在中国地质矿产志研编工作中(2014年至今)得到了广泛应用,极大地提高了区域成矿规律的研究水平.在《中国地质矿产志·吉林卷》的研编过程中,吉南地区初步建立了从新太古代到新生代12个不同地质历史时期的矿床成矿系列.本文试图通过构建吉南地区成矿作用演化轨迹图,从时间和空间两条主线对不同次级构造单元和不同地质历史时期成矿作用进行系统研究,探讨吉南地区成矿作用的演化过程及组织结构,揭示吉南地区成矿规律,为该地区的地质找矿工作提供一些线索和思路.

1 吉南地区构造演化及成矿作用

龙岗地块是从属于华北克拉通东北部的一个微小地块^[14-15],吉南地区为其北部吉林省出露部分,经历了前新元古代基底演化、新元古代至古生代盖层沉积、中生代滨西太平洋活动带3个构造演化阶段^[16].

1.1 前新元古代基底演化及成矿作用

1.1.1 新太古代五台构造-成矿旋回

新太古代五台期(2 800~2 500 Ma),吉南龙岗地

块(Ⅲ级构造单元)处于初始克拉通化演化阶段.

新太古代早期,伴随前新太古代吉辽古陆核裂解而形成的伸展拉张构造环境下的基性-超基性岩浆侵入作用^[17-18],形成新太古代早期的矿床,主要有柳河县双河堡岩浆型铬矿床、桦甸市大肚川铬矿点.

吉辽古陆核裂解后,各微地块(夹皮沟地块、白山镇地块、清源地块、和龙地块等)之间洋盆发育火山-沉积表壳岩建造,五台运动使各微地块再次拼合形成初始的龙岗地块,并使表壳岩发生褶皱及麻粒岩-高角闪岩相区域变质作用,形成受变质型金铁矿床(如夹皮沟金矿床)和铁矿床(如桦甸市老牛沟铁矿床、和龙市官地铁矿床)^[19].

新太古代末期,在各微陆块拼合后的伸展环境下,岩石圈地幔部分熔融并快速侵位形成桦甸市白山镇超基性-基性岩体群、会全栈超基性-基性岩体群^[18].相关矿产有小陈木沟岩浆型铜镍矿床、会全栈岩浆型铜镍矿点等.

1.1.2 古元古代中条构造-成矿旋回

古元古代中条构造演化旋回(2 500~1 800 Ma),吉南地区为成熟克拉通化过程,进一步可划分为龙岗隆起区、辽吉古元古代裂谷区(简称辽吉裂谷)两个Ⅳ级构造单元.

辽吉古元古代裂谷区以辽吉裂谷演化为特征.裂谷演化初期(约2 300 Ma)至中期(约2 150 Ma),在拉伸裂陷构造环境下北部构造带形成与超基性、基性岩浆熔离-贯入作用有关的钒钛磁铁矿和铜镍矿床^[15,18],相关矿床有五道羊岔铁矿床和赤柏松铜镍矿床.古元古代末(约1 800 Ma)裂谷闭合,裂谷北侧老岭岩群变质程度为低角闪岩相至高绿片岩相^[20],相关矿床有大栗子铁矿床、大横路钴矿床、荒沟山铅锌矿床等;裂谷南侧集安岩群变质程度为麻粒岩相至高角闪岩相^[21-22],相关矿床有高台沟硼矿床、双兴石墨矿床等.

龙岗隆起区北部夹皮沟微地块夹皮沟岩群在古元古代末亦发生绿片岩相-低角闪岩相区域变质作用(即退变质作用),北西向大砬子-夹皮沟断裂带发生韧性剪切作用,夹皮沟成矿带第二次成矿作用。相关矿床有大架子金矿床片糜岩型金矿体、小北沟金矿床^[23-24]。

中元古代四堡成矿-构造旋回(1 800~1 000 Ma),吉南地区未发现相关矿产。

1.2 新元古代至古生代盖层演化及成矿作用

吉南地区新元古代-古生代,包括新元古代-始寒武世兴凯构造-成矿旋回(1 000~521 Ma)、早寒武世-晚志留世加里东构造-成矿旋回(521~423 Ma)、顶志留世-晚二叠世华里西构造-成矿旋回(423~252.17 Ma),为相对稳定的克拉通演化阶段^[16]。在前新元古代克拉通基底之上,叠加有3个新元古代-古生代拉分盆地:样子哨盆地、浑江盆地、鸭绿江盆地,盆地内发育有新元古界-古生界陆表海沉积盖层。

第一套盖层沉积为新元古界沉积地层,为陆源碎屑岩夹页岩、台地碳酸盐岩-藻礁碳酸盐岩-礁后盆地黑色页岩建造组合^[25],以含铁、松花石为特点,如临江白房子铁矿床、临江式青沟铁矿床、白山市库仓沟松花石矿床。

第二套盖层为下古生界沉积地层,为一套红色页岩夹浅海碳酸盐岩建造^[26],以石膏、石灰岩为特征,代表性矿床为白山市江源区大阳岔石膏矿床。

第三套盖层为上古生界沉积地层,为含煤单陆屑、河流相红色多陆屑建造^[27],构成了浑江煤田的主体,如白山市浑江煤田八宝矿区。

1.3 中生代构造演化及成矿作用

中生代,包括早三叠世-晚三叠世印支构造-成矿旋回(252.17~201.3 Ma)、晚三叠世-早白垩世燕山构造-成矿旋回(237~100.5 Ma)、晚白垩世-新生代喜马拉雅构造-成矿旋回(100.5 Ma 以来),晚三叠世(237~201.3 Ma)为印支期与燕山期叠加时期。吉南地区沿续了前中生代构造格局,也可划分为龙岗隆起、辽吉古元古代裂谷区(简称辽吉裂谷)两个IV级构造单元。

印支期吉南地区尚无发现成矿作用,燕山期、喜马拉雅期成岩成矿作用较强。

1.3.1 燕山构造-成矿旋回

龙岗隆起的北部,即夹皮沟-金城洞地区,晚三叠

世至中侏罗世早期中酸性脉岩十分发育,形成夹皮沟成矿带上大多数金矿床^[28-29]。矿石类型多为含金石英脉型(包括大架子金矿床含金石英脉型矿体),为其第三次成矿作用。

龙岗隆起的边部及中部,受敦密断裂带、鸭绿江断裂带、图们江断裂带等大型北东向断裂带影响形成一系列幔源岩浆岩^[30],以火山-次火岩为主。成矿作用表现为成岩成矿物质同源^[31-33],如香炉碗子金矿床(敦密断裂带)、天合兴铜钼矿床(敦密断裂带)、百里坪银矿床(图们江断裂带)、临江铜矿床(鸭绿江断裂带)。

辽吉裂谷区的岩浆岩主要分布于集安-荒沟山等地区,以侵入岩为主,多为壳源^[34-35]。与之相关的成矿作用,成矿物质主要来源于老岭岩群、集安岩群,岩浆活动主要提供成矿所需的气水热液,如白山市江源区金英金矿床、临江市荒沟山金矿床、集安市金厂沟金矿床。

在前中生代基底之上叠加的中生代北东向火山-断陷盆地,如柳河盆地、三源浦盆地、样子哨盆地、浑江盆地、鸭绿江盆地,成矿作用以沉积成矿作用为主,有关矿产以煤为主,如辉南县杉松岗煤矿二区。

1.3.2 喜马拉雅构造-成矿旋回

喜马拉雅期吉南地区总体上处于右旋拉张应力场机制,在燕山期构造岩浆带之上,叠加拗陷沉积盆地。

岩浆活动以多期次的玄武岩喷发为特征,伴随少量基性岩侵入,形成浮岩、宝石等矿产,如辉南县大椅子山火山渣矿床。

拗陷沉积盆地内形成一系列沉积建造,形成上白垩统、古近系和新近系地层。成矿作用为沉积成矿作用,形成硅藻土、砂金等矿床,如长白朝鲜族自治县马鞍山硅藻土矿床。

2 吉南地区矿床成矿系列

2.1 矿床成矿系列划分原则

1)矿床成矿系列:在一定地质历史时期或构造阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,与一定的地质成矿作用有关,形成一组具有成因联系的矿床自然组合^[10-13]。

矿床成矿系列4个要素缺一不可:①一定地质历史时期或构造阶段指成矿时间,以构造演化旋回为基

本单元; ②一定的地质构造单元及构造部位指成矿空间,原则上为成矿时的Ⅲ级构造单元; ③一定的地质成矿作用指岩浆成矿作用、沉积成矿作用、变质成矿作用、表生成矿作用、非岩浆变质流体成矿作用,吉林省基本为前3种成矿作用; ④矿床组合指有成因联系的一组矿床。

2)矿床成矿亚系列:同一矿床成矿系列内,同一成矿作用在不同的演化阶段或不同地段(Ⅳ级构造单元)成矿作用有一定差异,形成的矿床组合构成矿床成矿系列内的亚系列。

3)矿床式(矿床类型):矿床成矿系列中的矿床组合由各种具有相同成因和相似矿物构成的矿床类型所组成,各个矿床类型的主要矿床类型为矿床式。

4)矿床:组成矿床成矿系列最基础的单位,基本上研究小型以上矿床,特殊情况下也考虑有资源前景的矿点、矿化点。

2.2 矿床成矿系列划分结果

根据划分原则,吉南地区可划分为12个矿床成矿系列、16个矿床亚系列、27个矿床式。

前新元古代克拉通演化阶段,分为五台、中条两个构造演化旋回。龙岗隆起区、辽吉裂谷两个Ⅳ级构造单元具有岩浆、变质两种成矿作用,形成金、铁、铜镍、硼、钴、铅锌、石墨等代表性矿床29个,可划分为5个矿床成矿系列,7个亚系列(没有亚系列的矿床系列,亚系列统计时也计为1个)^[10-11],12个矿床式(图1,表1)。

新元古代至古生代盖层沉积演化阶段,分为兴凯、加里东、华力西3个构造演化旋回(3套沉积盖层),主要为沉积成矿作用,形成铁、砷石、石膏、煤等代表性矿床21个,可划分3个矿床成矿系列,5个矿床式(图2,表2)。

中生代构造演化阶段,成矿作用以燕山期、喜马拉雅期为主。燕山期可分为龙岗隆起区、辽吉裂谷区(Ⅳ级构造单元),主要为岩浆成矿作用、沉积成矿作用,形成金、铜、钼、煤、火山渣、硅藻土等代表性矿床38个,可划分为2个矿床成矿系列,4个亚系列,8个矿床式(图3,表3)。

喜马拉雅期吉南地区总体上处于右旋拉张应力场机制,以多期次的玄武岩喷发为特征,形成浮岩、宝石等矿产,可建立吉南地区与喜马拉雅期火山活动有关

的浮岩、宝石等矿床成矿系列(Cz-1I),矿床式有大椅子山式火山渣。拗陷沉积盆地内成矿作用为沉积成矿作用,形成硅藻土、砂金等矿床。建立吉南地区与晚白垩世—第四纪沉积作用有关的金、硅藻土、泥炭等矿床成矿系列(Cz-2S),矿床式为马鞍山式硅藻土。

3 成矿作用演化轨迹

以吉南地区构造演化阶段为横坐标,构造演化旋回为纵坐标,各矿床成矿系列、亚系列、矿床式放于相应位置,便构成吉南地区成矿作用演化轨迹图(图4)。

以矿床成矿系列在矿床世界中的共性特征进行归类:由同类成矿作用所形成的矿床成矿系列归类为矿床成矿系列组合;在同一地质构造旋回中形成的各矿床成矿系列归类为矿床成矿系列组;由类似的成矿地质构造环境及地质成矿作用形成的类似的矿床成矿系列归类为矿床成矿系列类型^[36]。据此,吉南地区可划分为4个矿床成矿系列组,3个矿床成矿系列组合,3个矿床成矿系列类型。

4个矿床成矿系列组分别是(编号与图4中编号相同):(1)吉南地区与五台构造演化旋回有关的矿床成矿系列组,包括Ar₃-1I、Ar₃-2M两个矿床成矿系列;(2)吉南地区与中条构造演化旋回有关的矿床成矿系列组,包括Pt₁-1I、Pt₁-2M、Pt₁-3M三个矿床成矿系列;(3)吉南地区与燕山构造演化旋回有关的矿床成矿系列组,包括Mz₂-1I和Mz₂-2S两个矿床成矿系列;(4)吉南地区与喜马拉雅构造演化旋回有关的矿床成矿系列组,包括Cz-1I和Cz-2S两个矿床成矿系列。兴凯旋回、加里东旋回、华力西旋回,每个旋回只形成一个矿床成矿系列(Pt₃-1S、Pz₁-1S、Pz₂-1S),暂不建立矿床成矿系列组。

3个矿床成矿系列类型分别是(编号与图4中编号相同):①吉南地区与板块裂解(裂谷)演化阶段有关的矿床成矿系列类型,包括Ar₃-1I¹、Pt₁-1I两个矿床成矿(亚)系列;②吉南地区与造山期后伸展阶段区域变质作用有关的矿床成矿系列类型,包括Ar₃-2M、Pt₁-2M两个矿床成矿系列;③吉南地区与克拉通盖层沉积有关的矿床成矿系列类型,包括Pt₃-1S、Pz₁-1S、Pz₂-1S三个矿床成矿系列。

3个矿床成矿系列组合:a)变质作用矿床成矿系列组合,包括3个矿床成矿系列,分别是Ar₃-2M、Pt₁-2M、

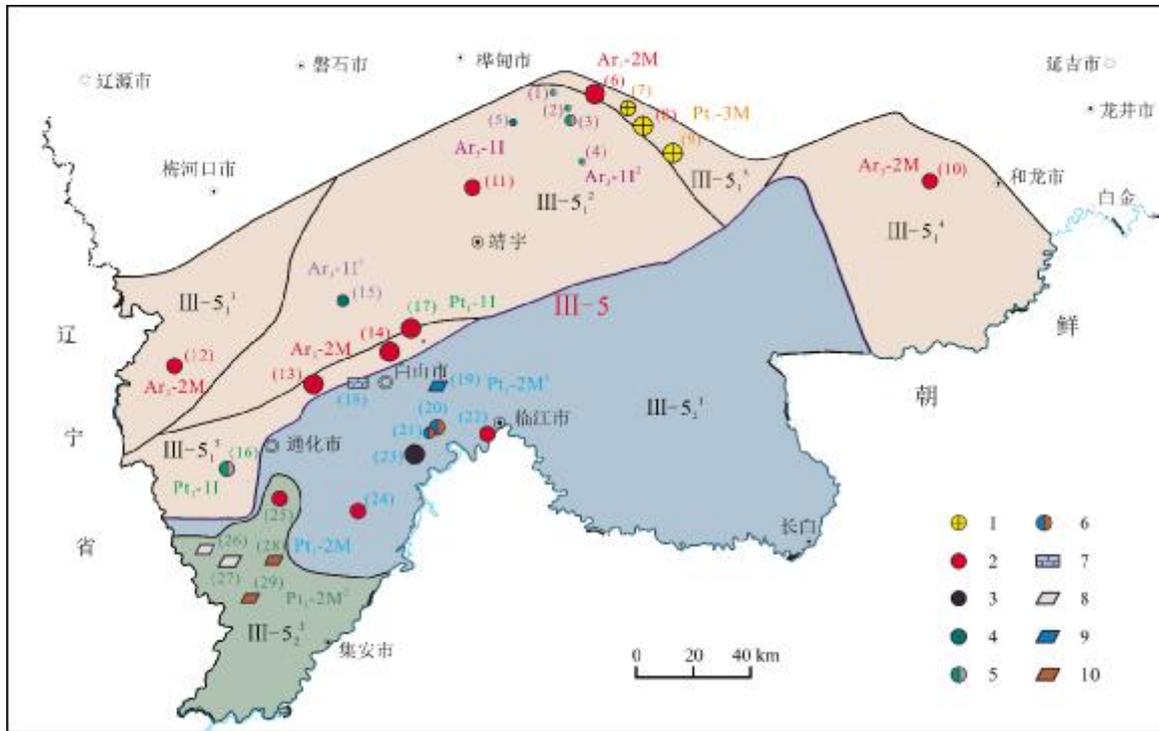


图 1 吉南地区前新元古代矿床成矿系列简图

Fig. 1 Pre-Neoproterozoic minerogenetic series of deposits in southern Jilin Province

III-5—龙岗地块 (Longgang block); III-5₁—龙岗隆起 (Longgang uplift); III-5₁¹—清源地块 (Qingyuan block); III-5₂¹—白山地块 (Baishan block); III-5₃¹—夹皮沟地块 (Jiapigou block); III-5₄¹—和龙地块 (Helong block); III-5₅¹—板石沟地块 (Banshigou block); III-5₂²—辽吉裂谷 (Liaoning-Jilin rift valley); III-5₂²¹—裂谷北部活动带 (northern active zone of rift valley); III-5₂²²—裂谷南部活动带 (southern active zone of rift valley); Pt₁-3M—夹皮沟地块与古元古代末区域变质作用有关的金矿床成矿系列 (minerogenetic series of gold deposit related to late Paleoproterozoic regional metamorphism in Jiapigou block); Pt₁-2M—吉南地区与古元古代辽吉裂谷火山-沉积变质作用有关的钴、铁、铅锌、硼、石墨、滑石、白云岩矿床成矿系列 (minerogenetic series of Co, Fe, Pb-Zn, B, graphite, talc and dolomite deposits related to Paleoproterozoic volcano-sedimentary metamorphism of Liaoning-Jilin rift valley in southern Jilin); Pt₁-2M¹—与南部活动带火山-沉积变质作用有关的硼、石墨、铁矿床成矿亚系列 (minerogenetic subseries of B, graphite and Fe deposits related to volcano-sedimentary metamorphism in the southern active zone); Pt₁-2M²—与北部活动带沉积变质作用有关的钴、铁、铅锌、白云岩、滑石矿床成矿亚系列 (minerogenetic subseries of Co, Fe, Pb-Zn, dolomite and talc deposits related to sedimentary metamorphism in the northern active zone); Pt₁-1I—吉南地区与古元古代基性-超基性侵入杂岩有关的铜镍、铁矿床成矿系列 (minerogenetic series of Cu-Ni, and Fe deposits related to Paleoproterozoic basic-ultrabasic intrusive complex in southern Jilin); Ar₃-2M—吉南地区与新太古代表壳岩沉积变质作用有关的铁、金矿床成矿系列 (minerogenetic series of Fe and Au deposits related to sedimentary metamorphism of Neoproterozoic supracrustal rock in southern Jilin); Ar₃-1I—吉南地区与新太古代基性-超基性岩浆作用有关的铬、铜镍矿床成矿系列 (minerogenetic series of Cr and Cu-Ni deposits related to Neoproterozoic basic-ultrabasic magmatism in southern Jilin); Ar₃-1I¹—与新太古代末期基性-超基性岩浆作用有关的铜镍矿床成矿亚系列 (minerogenetic subseries of Cu-Ni deposits related to late Neoproterozoic basic-ultrabasic magmatism); Ar₃-1I²—与新太古代早期基性-超基性岩浆作用有关的铬矿床成矿亚系列 (minerogenetic subseries of Cr deposit related to early Neoproterozoic basic-ultrabasic magmatism); 1—金矿床 (Au deposit); 2—铁矿床 (Fe deposit); 3—钴矿床 (Co deposit); 4—铬矿床 (Cr deposit); 5—铜镍矿床 (Cu-Ni deposit); 6—铅锌矿床 (Pb-Zn deposit); 7—白云岩矿床 (dolomite deposit); 8—石墨矿床 (graphite deposit); 9—滑石矿床 (talc deposit); 10—硼矿床 (B deposit)

Pt₁-3M; b) 岩浆作用矿床成矿系列组合, 包括 4 个矿床成矿系列, 分别是 Ar₃-1I、Pt₁-1I、Mz₂-1I、Cz-1I; c) 沉积作用矿床成矿系列组合, 包括 5 个矿床成矿系列, 分别是 Pt₃-1S、Pz₁-1S、Pz₂-1S、Mz₂-2S、Cz-2S.

可见, 吉南地区成矿作用演化轨迹图 (图 4) 体现

的是吉南地区构造演化和成矿过程的历史, 是吉南地区构造演化不同旋回成矿作用的客观记录. 每个矿床成矿系列组 (类型、组合)、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式在成矿体系图中都有自己特定的位置, 体现了吉南地区复杂的成矿作用.

表 1 吉南地区前新元古代矿床成矿系列表

Table 1 Pre-Neoproterozoic minerogenetic series of deposits in southern Jilin Province

代号	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	矿床式	主要矿床及序号	规模
Pt1-3M	夹皮沟地块与古元古代末区域变质作用有关的金矿床成矿系列		夹皮沟式金 2	(7)桦甸市小北沟金矿床	中型
				(9)桦甸市大架子金矿床	大型
Pt1-2M	吉南地区与古元古代辽吉裂谷火山-沉积变质作用有关的钴、铁、铅、锌、硼、石墨、滑石、白云岩矿床成矿系列	Pt ₁ -1M ¹ : 与北部活动带沉积变质作用有关的钴、铁、铅、锌、白云岩、滑石矿床成矿亚系列	大横路式钴	(18)白山市黑沟九队白云岩矿床	超大型
				(19)白山市遥林滑石矿床	中型
				(23)白山市大横路钴矿床	大型
				(24)通化县七道沟铁矿床	中型
				(22)临江市大栗子铁矿床	中型
		Pt ₁ -1M ² : 与南部活动带火山-沉积变质作用有关的硼、石墨、铁矿床成矿亚系列	荒沟山式铅锌	(20)临江市荒沟山铅锌矿床	中型
				(21)临江市当石沟铅锌矿床	小型
				(26)通化县三半江晶质石墨矿床	中型
				(27)集安市双兴晶质石墨矿床	大型
				(25)集安市砬子沟铁矿床	中型
	高台沟式硼	(28)集安市高台沟硼矿床	中型		
		(29)集安市四道河子硼矿床	中型		
Pt1-1I	吉南地区与古元古代基性-超基性侵入杂岩有关的铜镍、铁矿床成矿系列		五道阳岔式铁 赤柏松式铜镍	(16)白山市五道羊岔铁矿床	大型
				(17)通化县赤柏松铜镍矿床	中型
Ar ₃ -1M	吉南地区与新太古代壳岩沉积变质作用有关的铁、金矿床成矿系列		鞍山式铁	(6)桦甸市老牛沟铁矿床	大型
				(10)和龙市官地铁矿床	中型
				(11)靖宇县双阳铁矿床	中型
				(12)柳河县大兴铁矿床	中型
				(13)通化县四方山铁矿床	大型
				(14)白山市板石沟铁矿床	大型
				(8)桦甸市夹皮沟金矿床	大型
Ar ₃ -1I	吉南地区与新太古代基性-超基性岩浆作用有关的铬、铜镍矿床成矿系列	Ar ₃ -1I ² 与新太古代末期基性-超基性岩浆作用有关的铜镍矿床成矿亚系列	小陈木沟式铜镍	(1)桦甸市高兴屯铜镍矿点	矿点
				(2)桦甸市苇沙河铜镍矿点	矿点
				(3)桦甸市小陈木沟铜镍矿床	小型
				(4)桦甸市会全栈铜镍矿点	矿点
				(5)桦甸市大肚川铬矿点	矿点
	双河堡式铬	Ar ₃ -1I ¹ 与新太古代早期基性-超基性岩浆作用有关的铬矿床成矿亚系列		(15)柳河县双河堡铬矿床	小型

注:矿床序号与图 1 矿床编号相同。

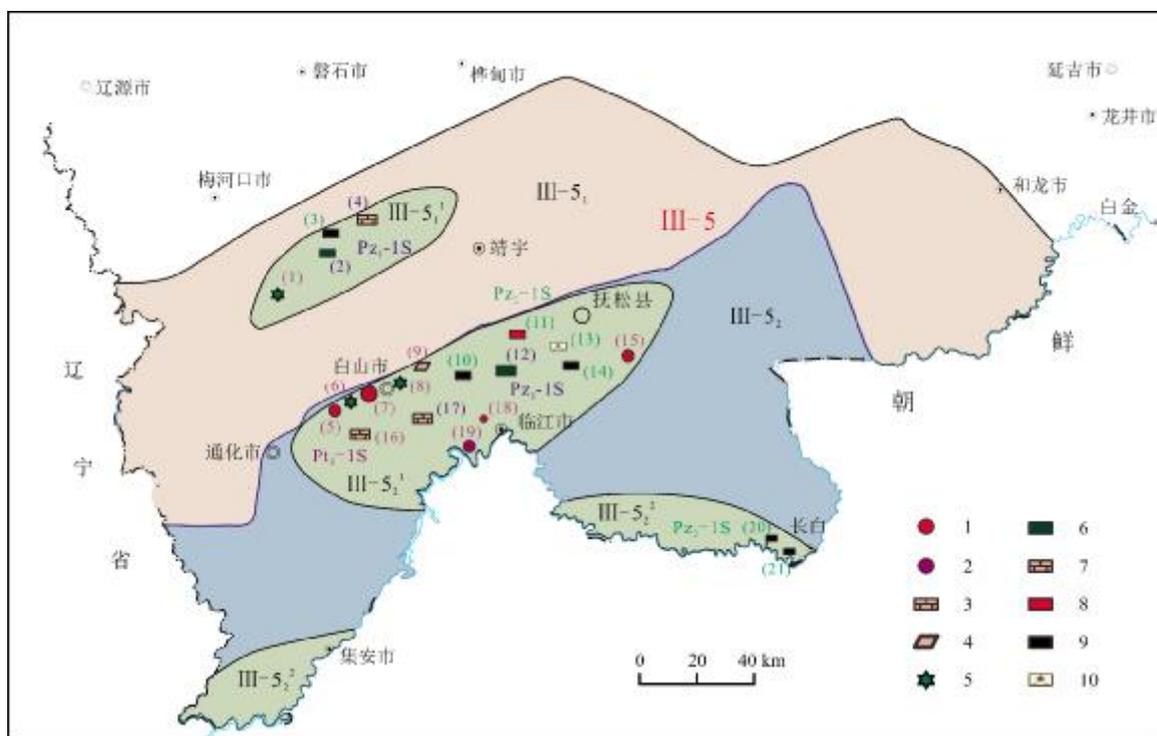


图 2 吉南地区新元古代—晚古生代矿床成矿系列简图

Fig. 2 Neoproterozoic-Late Paleozoic minerogenetic series of deposits in southern Jilin Province

III-5—龙岗地块(Longgang block); III-5₁—龙岗隆起(Longgang uplift); III-5₁'—样子哨盆地(Yangzishao basin); III-5₂—辽吉裂谷(Liaoning-Jilin rift valley); III-5₂¹—浑江盆地(Hunjiang basin); III-5₂²—鸭绿江盆地(Yalu River Basin); Pz₁-1S—吉南地区与晚古生代沉积作用有关的煤、耐火黏土、铝土矿床成矿系列(minerogenetic series of coal, fireclay and bauxite deposits related to Late Paleozoic sedimentation in southern Jilin); Pz₁-1S—吉南地区与早古生代沉积作用有关的石膏、石灰岩矿床成矿系列(minerogenetic series of gypsum and limestone deposits related to Early Paleozoic sedimentation in southern Jilin); Pt₁-1S—吉南地区与新元古代沉积作用有关的铁、锰、砚石、石英砂岩、石灰岩矿床成矿系列(minerogenetic series of Fe, Mn, inkstone, quartz sandstone and limestone deposits related to Neoproterozoic sedimentation in southern Jilin); 1—铁矿床(Fe deposit); 2—锰矿床(Mn deposit); 3—石灰岩矿床(limestone deposit); 4—石英砂岩矿床(quartz sandstone deposit); 5—砚石矿床(inkstone deposit); 6—石膏矿床(gypsum deposit); 7—石灰岩矿床(limestone deposit); 8—铝土矿床(bauxite deposit); 9—煤矿床(coal deposit); 10—耐火黏土矿床(fireclay deposit)

4 讨论

由于地壳发展演化的不均衡性,成矿作用在时空上也不是“平均分配”的。吉南地区成矿作用的不均衡性在轨迹图中得到了体现(图 4)。

4.1 时间上的不均匀性

每个区域可经历一个旋回活动,亦可经历多个旋回活动,构造旋回是从构造伸展到强烈挤压活动(伴随岩浆活动)造山到平稳升降活动的全过程^[12]。理想情况下,一个构造演化旋回应包括地块的板内(稳定)演化、裂谷拉张、洋盆扩张、碰撞闭合、(造山后)构造伸展 6 个构造演化阶段,每个演化阶段地球动力学环境不同,相应的成岩成矿作用也不尽相同。

而实际情况是一个构造旋回可能仅有一个或几个演化阶段。如吉南地区在兴凯旋回、加里东旋回、华力

西旋回均处于相对稳定的克拉通盖层沉积演化阶段,各只有一个构造演化阶段;燕山旋回、喜马拉雅旋回处于滨西太平洋构造演化阶段,也只有一个构造演化阶段;中条旋回,目前识别出裂解、碰撞闭合、造山后伸展 3 个构造演化阶段。不同的构造演化阶段,其成矿作用不相同,根据实际情况,分别建立相应的矿床成矿(亚)系列(图 1—4)。

4.2 空间上的不均匀性

对于一个Ⅲ级构造单元,在一个构造演化旋回内,其成矿作用在次级构造单元往往也呈现出一定程度的差异性。因此,在构造演化旋回图解纵坐标上加上次级(Ⅳ或Ⅴ级)构造单元,有利于充分地反映出成矿作用在不同次级构造单元的差异(图 4)。

如吉南地区古元古代中条构造演化旋回,裂谷可分

表2 吉南地区新元古代至晚古生代矿床成矿系列简表

Table 2 Neoproterozoic-Late Paleozoic minerogenetic series of deposits in southern Jilin Province

代号	矿床成矿系列	矿床式	主要矿床类型及序号	规模
Pz ₂ -1S	吉南地区与晚古生代沉积作用有关的煤、耐火黏土、铝土矿矿床成矿系列	碎子式煤	(3)辉南县杉松岗煤矿一区	小型
			(10)白山市浑江煤田八宝矿区	中型
			(14)白山市浑江煤田松树镇矿区	小型
			(20)长白县十八道沟煤矿	小型
			(21)长白县沿江煤矿	小型
			(13)白山市松树镇耐火黏土矿床	中型
Pz ₁ -1S	吉南地区与早古生代沉积作用有关的石膏、石灰岩矿床成矿系列	太阳盆式石膏	(2)柳河县大通沟石膏矿床	小型
			(12)白山市太阳盆石膏矿床	大型
			(4)辉南县三合顶子石灰岩矿床	大型
			(17)通化市小梨树沟水泥用灰岩矿床	大型
Pt ₃ -1S	吉南地区与新元古代沉积作用有关的铁、锰、砚石、石英砂岩、石灰岩矿床成矿系列	仓库沟式砚石	(1)柳河县三源浦松花石矿床	小型
			(6)通化县大安镇小臭沟松花石矿床	小型
			(8)白山市仓库沟松花石矿床	小型
		浑江式铁	(9)白山市板石沟石英砂岩矿床	中型
			(16)通化县安岭石灰石矿床	大型
			(5)通化县园宝顶子铁矿床	小型
		临江式铁	(7)临江市青沟铁矿床	中型
			(15)抚松县松山铁矿床	小型
			(18)临江市白房子铁矿床	小型
			(19)临江市白房子锰矿床	小型

注:矿床序号与图2矿床编号相同.

为北部活动带和南部活动带,两侧岩石建造不同使得成矿种类有所差异,据此可划分为两个亚系列 Pt₁-2M¹和 Pt₁-2M²(见图4).

再如中生代燕山构造演化旋回,整个吉南地区处于滨西太平洋活动带构造演化阶段,所形成矿床总体上可以构建吉南地区与燕山活动岩浆作用有关的矿床成矿系列.但亚系列的划分,则根据所处次一级构造单元及其具体的成矿机制,分别建立矿床成矿亚系列 MZ₂-1I¹、MZ₂-1I²、MZ₂-1I³(见图4).

4.3 复杂成矿带矿床成矿系列的划分

夹皮沟金成矿带发育大中小等矿床(点)百余个,经历了新太古代末、古元古代末、燕山早期3期成矿作用,每一期成矿机制都不相同,为一复杂的叠加型金成矿带^[19,23].首先将3期成矿作用形成的矿床归纳整理,建立3个矿床式,分别命名为夹皮沟式金1、夹皮沟式金2、夹皮沟式金3,然后根据各自成矿机制,或并入其他矿床成矿(亚)系列,或单独建立矿床成矿系列.如夹皮沟式金1成矿机制为区域变质,与矿床式鞍山

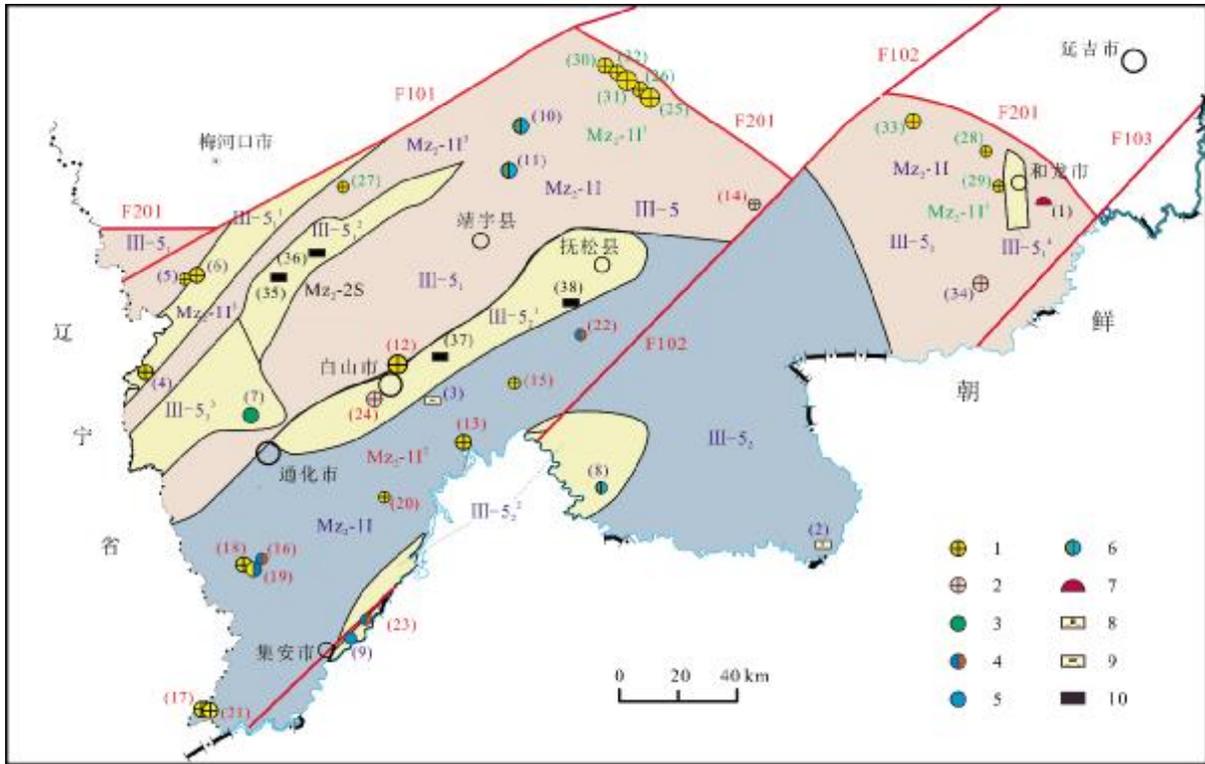


图 3 吉南地区与燕山构造-成矿旋回有关的矿床成矿系列简图

Fig. 3 Minerogenetic series of deposits related to Yanshanian tectonic-metallogenic cycle in southern Jilin Province

III-5—龙岗地块(Longgang block); III-5₁—龙岗隆起(Longgang uplift); III-5₁¹—柳河盆地(Liuhe Basin); III-5₁²—样子哨盆地(Yangzishao basin); III-5₁³—三源浦盆地(Sanyuanpu basin); III-5₁⁴—和龙盆地(Helong basin); III-5₂—辽吉裂谷(Liaoning-Jilin rift valley); III-5₂¹—浑江盆地(Hunjiang basin); III-5₂²—鸭绿江盆地(Yalu River Basin); Mz₂-2S—吉南地区与晚三叠世至早白垩世沉积作用有关的煤等矿床成矿系列(minerogenetic series of coal deposits related to Late Triassic-Early Cretaceous sedimentation in southern Jilin); Mz₂-1I—吉南地区与燕山期岩浆作用有关的金、银、铜、铅锌、钼、沸石、黏土、高岭土、沸石矿床成矿系列(minerogenetic series of Au, Ag, Cu, Pb-Zn, Mo, zeolite, clay, kaolin and zeolite deposits related to Yanshanian magmatism in southern Jilin); Mz₂-1I¹—与燕山晚期火山-次火山岩、斑岩有关的金、铜、钼、陶瓷黏土、高岭土、沸石矿床成矿亚系列(minerogenetic subseries of Au, Cu, Mo, ceramic clay, kaolin and zeolite deposits related to late Yanshanian volcanic-subvolcanic rocks and porphyry); Mz₂-1I²—与燕山晚期中酸性侵入岩有关的金、银、铅锌矿床成矿亚系列(minerogenetic subseries of Au, Ag and Pb-Zn deposits related to late Yanshanian acid-intermediate intrusive rocks); Mz₂-1I³—夹皮沟-金城洞地区与燕山早期岩浆活动有关的金、银矿床成矿亚系列(minerogenetic subseries of Au and Ag deposits related to early Yanshanian magmatism in Jiapiyou-Jinchengdong area); F101—敦化-密山断裂带(Dunhua-Mishan fault zone); F102—鸭绿江断裂带(Yalujiang fault zone); F103—图们江断裂带(Tumenjiang fault zone); F201—富尔河-古洞河断裂带(Fu'erhe-Gudonghe fault zone); 1—金矿床(Au deposit); 2—银矿床(Ag deposit); 3—铜矿床(Cu deposit); 4—铅锌矿床(Pb-Zn deposit); 5—钼矿床(Mo deposit); 6—铜钼矿床(Cu-Mo deposit); 7—沸石矿床(zeolite deposit); 8—高岭土矿床(kaolin deposit); 9—陶瓷黏土矿床(ceramic clay deposit); 10—煤矿床(coal deposit)

铁一起构建矿床成矿系列 Ar₃-2M; 夹皮沟式金 2 为区域变质+韧脆性剪切, 单独建立矿床成矿系列 Pt₁-3M; 夹皮沟式金 3 为岩浆活动+韧脆性剪切, 建立矿床成矿亚系列 Mz₂-1I¹.

夹皮沟金矿床 3 个矿床式分别形成于不同构造演化阶段、不同构造环境、不同成矿机制, 体现了夹皮沟金成矿带多期次多成因成矿作用叠加的特点(图 4).

4.4 时空演化规律及找矿方向

如图 4, 吉南地区中条构造演化旋回共形成 4 个

矿床成矿(亚)系列(Pt₁-1I, Pt₁-2M¹, Pt₁-2M², Pt₁-3M), 8 个矿床式(五道阳岔式铁、赤柏松式铜镍、大栗子式铁、大横路式铜钴、荒沟山式铅锌、高台沟式硼、双兴式石墨、夹皮沟式金 2); 燕山构造演化旋回形成 4 个矿床成矿(亚)系列(Mz₂-1I¹, Mz₂-1I², Mz₂-1I³, Mz₂-2S), 8 个矿床式(夹皮沟式金 3、二密式铜、香炉碗子式金、临江式铜、金英式金、金厂沟式金、荒沟山式金、杉松岗式煤). 可见中条期与燕山期为吉南地区两个重要的成矿期, 但形成的矿种有所不同: 中条期主要有铁、铜镍、

表 3 吉南地区与燕山构造-成矿旋回有关的矿床成矿系列简表

Table 3 Minerogenetic series of deposits related to Yanshanian tectonic-metallogenic cycle in southern Jilin Province

代号	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	矿床式	主要矿床及序号	规模		
M ₂ -11	吉南地区与燕山期岩浆作用有关的金、银、铜、铅锌、钼、沸石、黏土、高岭土、沸石矿床成矿系列	M ₂ -11 ³ : 与燕山晚期火山-次火山岩、斑岩有关的金、铜、钼、陶瓷黏土、高岭土、沸石矿床成矿亚系列	矿床式	(1)和龙市福洞沸石矿床	中型		
				(2)长白县马鹿沟高岭土矿床	中型		
				(3)白山市小石人西山陶瓷黏土矿床	中型		
				(4)柳河县金厂沟金矿床	中型		
			香炉碗子式金	(5)梅河口市张家沟金矿床	小型		
				(6)梅河口市香炉碗子金矿床	中型		
			二密式铜	(7)通化县二密铜矿床	中型		
				(8)临江市临江铜钼矿床	小型		
			临江式铜钼	(9)集安市太王矿区钼矿床	小型		
				(10)靖宇县常发沟铜金钼矿床	中型		
				(11)靖宇县天合兴铜钼矿床	中型		
			金英式金	(12)白山市金英金矿床	大型		
				(13)临江市荒沟山金矿床	中型		
			荒沟山式金	(14)抚松县西林河银矿床	小型		
				(15)白山市小四平金矿床	小型		
				(16)集安市正岔铅锌矿床	小型		
				(17)集安市古马岭金矿床	中型		
			M ₂ -11 ² 与燕山晚期中酸性侵入岩有关的金、银、铅锌矿床成矿亚系列	金厂沟式金	(18)集安市金厂沟金矿床	中型	
					(19)集安市金厂沟矿区西岔金铅矿床	中型	
					(20)通化县南岔金矿床	小型	
					(21)集安市门坎哨金矿床	中型	
					(22)抚松县大营铅锌矿床	小型	
					(23)集安市郭家岭-矿洞子铅锌矿床	小型	
					(24)白山市刘家堡子-狼洞沟银矿床	中型	
					(25)桦甸市夹皮沟金矿床	大型	
					(26)桦甸市老金厂金铁矿床	大型	
					(27)辉南县石棚沟金矿床	小型	
					(28)和龙市金城洞金矿床	小型	
				M ₂ -11 ¹ 夹皮沟-金城洞与燕山早期岩浆活动有关的金、银矿床成矿亚系列	夹皮沟式金 3	(29)和龙市积水洞金矿床	小型
						(30)桦甸市板庙子金矿床	中型
						(31)桦甸市大线沟金铜矿床	中型
						(32)桦甸市三道沟援朝沟-菜抢子金矿床	中型
						(33)和龙市和安河金矿	中型
						(34)和龙市百里坪银矿床	中型
		M ₂ -2S	吉南地区与晚三叠世—早白垩世沉积作用有关的煤等矿床成矿系列	杉松岗式煤		(35)辉南县杉松岗煤矿二区	小型
						(36)辉南县杉松岗煤矿龙王庙-煤窑沟区	小型
						(37)白山市里岔沟煤矿勘探区	小型
						(38)白山市江源县石人煤矿	小型

注:矿床序号与图 3 矿床编号相同.



图 4 吉南地区成矿作用演化轨迹图

Fig. 4 Evolution path diagram of mineralization in southern Jilin Province

- (1) 吉南地区与五台构造演化旋回有关的矿床成矿系列组 (minero-genetic series group related to Wutai tectonic evolution cycle in southern Jilin);
- (2) 吉南地区与中条构造演化旋回有关的矿床成矿系列组 (minero-genetic series group related to Zhongtiao tectonic evolution cycle in southern Jilin);
- (3) 吉南地区与燕山构造演化旋回有关的矿床成矿系列组 (minero-genetic series group related to Yanshanian tectonic evolution cycle in southern Jilin);
- (4) 吉南地区与喜马拉雅构造演化旋回有关的矿床成矿系列组 (minero-genetic series group related to Himalayan tectonic evolution cycle in southern Jilin);
- ① 吉南地区与板块裂解 (裂谷) 演化阶段有关的矿床成矿系列类型 (minero-genetic series types of deposits related to plate splitting [rift valley] evolution stage in southern Jilin);
- ② 吉南地区与造山期后伸展阶段区域变质作用有关的矿床成矿系列类型 (minero-genetic series types of deposits related to regional metamorphism in postorogenic extension stage in southern Jilin);
- ③ 吉南地区与克拉通盖层沉积有关的矿床成矿系列类型 (minero-genetic series types of deposits related to cratonic cover deposits in southern Jilin)

钴、铅、锌、硼、石墨、金等,燕山期主要有金、铜、煤。

从图 4 中还可以看出,吉南地区基本构造格局比较稳定,可分为龙岗隆起区、辽吉裂谷区两个Ⅳ级构造单元。前者共包括 11 个矿床成矿(亚)系列(Ar_3-1I 、 Ar_3-2M 、 Pt_1-3M 、 Pt_3-1S 、 Pz_1-1S 、 Pz_2-1S 、 Mz_2-1I^1 、 Mz_2-1I^2 、 Mz_2-2S 、 $Cz-1I$ 、 $Cz-2S$)、12 个矿床式(双河堡式铬铁、小陈木沟式铜镍、鞍山式铁、夹皮沟式金 1、夹皮沟式金 2、大阳岔式石膏、夹皮沟式金 3、二密式铜、香炉碗子式金、杉松岗式煤、大椅子山式火山渣、马鞍山式硅藻土);后者包括 10 个矿床成矿(亚)系列(Pt_1-1I 、 Pt_1-2M^1 、 Pt_1-2M^2 、 Pt_3-1S 、 Pz_1-1S 、 Pz_2-1S 、 Mz_2-1I^2 、 Mz_2-2S 、 $Cz-1I$ 、 $Cz-2S$)、19 个矿床式(五道阳岔式铁、赤柏松式铜镍、大栗子式铁、大横路式铜钴、荒沟山式铅锌、高台沟式硼、双兴式石墨、临江式铁、浑江式铁、库仓沟式松花石、大阳岔式石膏、咋子式煤、临江式铜、金英式金、金厂沟式金、荒沟山式金、杉松岗式煤、大椅子山式火山渣、马鞍山式硅藻土)。两个Ⅳ级构造单元均显示出较强的成矿作用,龙岗隆起区形成的矿种主要有金、铁、铜等,矿床类型(式)为夹皮沟式金、鞍山式铁、二密式铜等,这些矿床类型(式)应作为以后主要找矿方向。辽吉裂谷区为吉林省一个重要的成矿带——吉南老岭成矿带^[37],成矿作用较强,矿种多(主要有铁、铅、锌、钴、铜、镍、金、硼、石墨、煤、硅藻土等),类型复杂,19 个矿床类型(式)应作为以后主要找矿方向。

5 结 论

1) 吉南地区可划分为 4 个矿床成矿系列组,3 个矿床成矿系列组合,3 个矿床成矿系列类型,12 个矿床成矿系列、16 个矿床成矿亚系列、27 个矿床式。

2) 中条期与燕山期为吉南地区两个重要的成矿期,但形成的矿种有所不同:中条期主要有铁、铜、镍、钴、铅、锌、硼、石墨、金等,燕山期主要有金、铜、煤。

3) 吉南地区可划分为龙岗隆起区和辽吉裂谷区两个Ⅳ级构造单元。龙岗隆起区形成的矿床类型(式)主要有夹皮沟式金、鞍山式铁、二密式铜等,应作为以后主要找矿方向;辽吉裂谷区形成的矿床类型(式)主要有五道阳岔式铁、赤柏松式铜镍、大栗子式铁、大横路式铜钴、荒沟山式铅锌、高台沟式硼、双兴式石墨、金英式金、金厂沟式金、荒沟山式金、马鞍山式硅藻土等,应

作为以后主要找矿方向。

4) 吉南地区成矿作用演化轨迹图呈现的是吉南地区构造演化和成矿过程的历史,是构造演化不同旋回成矿作用的客观记录,每个矿床成矿系列组(类型、组合)、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式在成矿体系图中都有自己特定的位置,体现了吉南地区复杂的成矿作用。

致谢: 文章撰写过程中得到了中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员的支持和指导,在此深表谢意!

参考文献(References):

- [1] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1979, 1(1): 32-58.
Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. Bulletin Chinese Academy of Geological Sciences, 1979, 1(1): 32-58.
- [2] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1983(6): 1-64, 134-135.
Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1983(6): 1-64, 134-135.
- [3] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等. 再论矿床的成矿系列问题——兼论中生代某些矿床的成矿系列[J]. 地质论评, 1983, 29(2): 127-139.
Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. Geological Review, 1983, 29(2): 127-139.
- [4] 陈毓川. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘, 1994, 1(3/4): 90-94.
Chen Y C. Metallogenic series of ore deposits [J]. Earth Science Frontiers, 1994, 1(3/4): 90-94.
- [5] 陈毓川,裴荣富,王登红. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1501-1508.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H. On minerogenetic (metallogenetic) series: Third discussion [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(10): 1501-1508.
- [6] 陈毓川,裴荣富,王登红,等. 论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1092-1106.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H, et al. Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits (IV) [J]. Mineral Deposits, 2015, 34(6): 1092-1106.
- [7] 陈毓川,裴荣富,王登红,等. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 2016, 37(5): 519-527.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H, et al. Minerogenetic series for mineral deposits: Discussion on minerogenetic series (V) [J]. Acta

- Geoscientica Sinica, 2016, 37(5): 519–527.
- [8]王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2020, 94(1): 18–35.
Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, et al. Minerogenetic series group: Discussion on minerogenetic series (VI) [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(1): 18–35.
- [9]陈毓川, 裴荣富, 王登红, 等. 论地球系统四维成矿及矿床学研究趋向——七论矿床的成矿系列[J]. 矿床地质, 2020, 39(5): 745–753.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H, et al. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion on minerogenetic series (VII) [J]. Mineral Deposits, 2020, 39(5): 745–753.
- [10]陈毓川, 裴荣富, 王登红, 等. 八论矿床的成矿系列[J]. 地质学报, 2022, 96(1): 123–130.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H, et al. A discussion on minerogenetic series of mineral deposits (VIII) [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(1): 123–130.
- [11]陈毓川, 叶天竺, 张洪涛, 等. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1–240.
Chen Y C, Ye T Z, Zhang H T, et al. Mineral resources assessment of major metallogenic provinces in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1–240. (in Chinese)
- [12]陈毓川, 王登红, 朱裕生, 等. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1–1005.
Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, et al. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1–1005.
- [13]陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 中国重要矿产和区域成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 1–179.
Chen Y C, Wang D H, Xu Z G, et al. Important mineral and regional metallogenic regularity in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 1–179.
- [14]王荃. 华北克拉通与全球构造[J]. 地质通报, 2011, 30(1): 1–18.
Wang Q. North China Craton and global tectonics [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(1): 1–18.
- [15]许王. 中朝克拉通古元古代胶-辽-吉带的构造演化: 来自岩浆岩地球化学和年代学的约束[D]. 北京: 中国地质科学院, 2019, 1–247.
Xu W. Geochemical and geochronological insights into the tectonic evolution of the Paleoproterozoic Jiao-Liao-Ji Belt, Sino-Korean Craton [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2019, 1–247.
- [16]杨晓平, 付俊彧, 汪岩, 等. 东北地区大地构造演化与成矿制约[J]. 地质与资源, 2024, 33(4): 417–446, 550. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.002.
Yang X P, Fu J Y, Wang Y, et al. Tectonic evolution and mineralization constraints in Northeast China [J]. Geology and Resources, 2024, 33(4): 417–446, 550. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.002.
- [17]彭勃. 吉林东南部那尔轰-天合兴地区及邻区铜成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017, 1–240.
Peng B. Study on metallogenesis of copper deposits in Naerhong-Tianhexing region and its adjacent area in southeast Jilin Province, NE China [D]. Changchun: Jilin University, 2017, 1–240.
- [18]辛后田, 邢德和, 刘超, 等. 辽吉构造带钴-镍成矿地质背景及找矿方向[J]. 地质与资源, 2024, 33(4): 447–466. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.003.
Xin H T, Xing D H, Liu C, et al. Geological setting and prospecting direction of cobalt-nickel mineralization in Liaoning-Jilin tectonic belt [J]. Geology and Resources, 2024, 33(4): 447–466. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.003.
- [19]李斌, 孙伟国, 臧兴运, 等. 吉林省金矿成矿系列及区域成矿谱系[J]. 地质与资源, 2024, 33(4): 509–518. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.006.
Li B, Sun W G, Zang X Y, et al. Metallogenic series and regional metallogenic pedigree of gold deposits in Jilin Province [J]. Geology and Resources, 2024, 33(4): 509–518. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.006.
- [20]贺高品, 叶慧文. 辽东-吉南地区早元古代两种类型变质作用及其构造意义[J]. 岩石学报, 1998, 14(2): 152–162.
He G P, Ye H W. Two types of Early Proterozoic metamorphism and its tectonic significance in eastern Liaoning and southern Jilin areas [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 14(2): 152–162.
- [21]王福润. 吉南地区早元古代变质岩系的划分和对比[J]. 吉林地质, 1995, 14(4): 1–15.
Wang F Y. Subdivision and correlation of an Early Proterozoic metamorphic system in the southern Jilin Province [J]. Jilin Geology, 1995, 14(4): 1–15.
- [22]赵岩, 谢园宏, 辛后田, 等. 辽东-吉南成矿带硼矿成矿规律与找矿探讨[J]. 地质与资源, 2024, 33(4): 493–508, 594. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.005.
Zhao Y, Xie Y H, Xin H T, et al. Metallogenic regularity and prospecting of boron deposits in eastern Liaoning-southern Jilin metallogenic belt [J]. Geology and Resources, 2024, 33(4): 493–508, 594. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.005.
- [23]臧兴运, 姜建军, 李德洪, 等. 夹皮沟金成矿带成矿模式讨论[J]. 吉林地质, 2020, 39(3): 1–14, 28.
Zang X Y, Jiang J J, Li D H, et al. Discussion on metallogenic model of Jiapigou gold metallogenic belt [J]. Jilin Geology, 2020, 39(3): 1–14, 28.
- [24]王文武, 殷茜, 程新民, 等. 吉林夹皮沟地区金矿床流体包裹体特征差异及其地质意义[J]. 黄金, 2004, 25(5): 5–7.
Wang W W, Yin Q, Cheng X M, et al. The difference in fluid

- inclusion characteristics among gold deposits in Jiapigou district and its geological significances[J]. *Gold*, 2004, 25(5): 5-7.
- [25]周晓东, 陈跃军. 吉南地区新元古代地层沉积模式[J]. *吉林地质*, 1999, 18(1): 13-18.
Zhou X D, Chen Y J. The sedimentary model of the Neoproterozoic strata in the southern part of Jilin Province[J]. *Jilin Geology*, 1999, 18(1): 13-18.
- [26]祝有海, 马丽芳. 华北地区下寒武统的划分对比及其沉积演化[J]. *地质论评*, 2008, 54(6): 731-740.
Zhu Y H, Ma L F. Division and correlation of Lower Cambrian and its sedimentary evolution in North China [J]. *Geological Review*, 2008, 54(6): 731-740.
- [27]武子玉, 周永昶. 吉南地区不同沉积环境原煤微量元素地球化学特征[J]. *岩石矿物学杂志*, 2004, 23(4): 361-364.
Wu Z Y, Zhou Y C. Microelements geochemical characteristics of coals in different sedimentary environments of southern Jilin Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2004, 23(4): 361-364.
- [28]孙忠实, 冯亚民. 吉林夹皮沟金矿床主成矿时代的确定及找矿方向[J]. *地球学报*, 1997, 18(4): 367-372.
Sun Z S, Feng Y M. Main minerogenetic epoch, determine and exploratory direction of Jiapigou gold deposit, Jilin[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1997, 18(4): 367-372.
- [29]李碧乐, 陈广俊, 宋宗维. 论吉林夹皮沟金矿成矿时代[J]. *世界地质*, 2004, 23(4): 354-359.
Li B L, Chen G J, Song Z W. Discussion on minerogenetic epoch of the gold deposit in Jiapigou of Jilin Province [J]. *Global Geology*, 2004, 23(4): 354-359.
- [30]刘洪文, 邢树文, 周永昶. 吉南地区斑岩-热液脉型金多金属矿床成矿模式[J]. *地质与勘探*, 2002, 38(2): 28-32.
Liu H W, Xing S W, Zhou Y C. The metallogenic model of the porphyry-hydrothermal gold-multiple metallogenic deposits in south Jilin Province[J]. *Geology and Prospecting*, 2002, 38(2): 28-32.
- [31]李长顺. 吉林省香炉碗子全矿床矿化特征及成因机理探讨[J]. *黄金*, 1996, 17(6): 3-8.
Li C S. Mineralizing characteristics and genetic mechanism of Xiang-Lu-Wan-Zi gold deposit, Jilin Province[J]. *Gold*, 1996, 17(6): 3-8.
- [32]邢树文, 张增杰, 马玉波, 等. 吉林二密铜矿区含矿次火山岩年代学及其形成环境探讨[J]. *地球学报*, 2014, 35(5): 619-626.
Xing S W, Zhang Z J, Ma Y B, et al. A discussion on the chronology and formation environment of the ore-bearing sub-volcanic rocks in the Ermi copper deposit, Jilin Province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2014, 35(5): 619-626.
- [33]赵院冬, 杨仲杰, 马承, 等. 吉黑东部地区金矿资源禀赋及成矿规律特征[J]. *地质与资源*, 2024, 33(4): 551-563. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.009.
Zhao Y D, Yang Z J, Ma C, et al. Gold resources endowment and metallogenic regularity in eastern Jilin and Heilongjiang provinces[J]. *Geology and Resources*, 2024, 33(4): 551-563. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.009.
- [34]秦亚, 梁一鸣, 胡兆初, 等. 吉林南部荒沟山地区侏罗纪花岗岩地球化学特征及构造意义[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2013, 40(1): 97-105.
Qin Y, Liang Y M, Hu Z C, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of Jurassic granites in Huanggoushan area, south of Jilin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2013, 40(1): 97-105.
- [35]裴福萍. 辽南-吉南中生代侵入岩锆石 U-Pb 年代学和地球化学: 对华北克拉通破坏时空范围的制约[D]. 长春: 吉林大学, 2008: 1-240.
Pei F P. Zircon U-Pb chronology and geochemistry of Mesozoic intrusive rocks in southern Liaoning and Jilin provinces: Constraints on the spatial-temporal extent of the North China Craton destruction [D]. Changchun: Jilin University, 2008: 1-240.
- [36]梅燕雄, 裴荣富, 李进文, 等. 中国中生代矿床成矿系列类型及其演化[J]. *矿床地质*, 2004, 23(2): 190-197.
Mei Y X, Pei R F, Li J W, et al. Metallogenic series types of Mesozoic mineral deposits in China and their evolution [J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23(2): 190-197.
- [37]郑源豪. 吉林省临江铜矿床地质特征及矿化富集规律研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018: 1-62.
Zheng Y H. Study on the geological characteristics and enrichment regularities of mineralization of Linjiang copper deposit, Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University, 2018: 1-62.