

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.253

引用格式: 刘长纯, 许国雨, 王琰凯, 等. 辽东吉南成矿带金矿成矿系列、成矿谱系及成矿演化历史[J]. 中国地质调查, 2024, 11(5): 104–111. (Liu C C, Xu G Y, Wang L K, et al. Metallogenic series, metallogenic lineage and metallogenic evolution history of gold deposits in Liaodong – Jinan metallogenic belt[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(5): 104–111.)

辽东吉南成矿带金矿成矿系列、成矿谱系 及成矿演化历史

刘长纯¹, 许国雨^{1*}, 王琰凯¹, 王刚¹, 姚志宏²

(1. 中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157020; 2. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101)

摘要: 辽东吉南成矿带位于渤海东陆块北部, 金矿成矿地质条件优越。通过分析成矿带金矿资源情况, 研究不同成矿作用所形成金矿的时空分布及地质特征, 划分出与沉积作用有关、与岩浆作用有关及与变质作用有关的3个金矿成矿系列组合, 以及5个成矿系列、12个成矿亚系列、18个矿床式。将大地构造单元、成矿时代及成矿区带与金矿成矿系列结合, 建立了金矿成矿谱系, 并按照新太古代、古元古代、中生代和新生代4个金矿成矿期, 对辽东吉南成矿带金矿的成矿演化历史进行总结。研究成果可增强辽东吉南成矿带金矿成矿规律的研究程度, 为在成矿区带内开展金矿研究提供基础资料。

关键词: 成因类型; 成矿系列; 成矿谱系; 成矿演化史; 辽东吉南成矿带

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2024)05–0104–08

0 引言

辽东吉南成矿带处于松辽平原以东, 桦甸—和龙以南、中朝边境以西, 是2008年确定的首批16个重要成矿带之一^[1], 也是我国重要的金、银、铜、铅、锌、菱镁矿、滑石、硼矿、金刚石矿产区。成矿带内已发现的大中型金矿床有夹皮沟金矿、板庙子金矿、五龙金矿、白云金矿等^[2], 累计查明金资源量超过700 t。近年来, 前人对辽东吉南地区中生代火山岩的成因、早中生代构造岩浆作用与动力学背景^[3–4]、中生代花岗质岩石成因等方面进行了研究, 厘定了古元古界含矿岩系和成矿带的主要地质成矿特征, 分析了重要矿产资源潜力, 并对辽吉裂谷深部结构进行了研究, 构建了三维地质模型^[5–6]。此外, 刘敬党^[7]和王妍洁^[8]建立

了成矿带内铅锌矿和硼矿的成矿模式, 指出了找矿方向。

以往对辽东吉南成矿带的矿产勘查多集中于硼矿、铅锌矿、菱镁矿等, 对于金矿成矿系列和成矿谱系的研究较少^[9]。本文在对辽东吉南成矿带内金矿开展详细研究的基础上, 划分金矿成矿系列, 建立金矿成矿谱系, 并对金矿的成矿演化历史进行讨论。研究可为辽东吉南成矿带的金矿研究提供基础资料。

1 成矿带金矿概况

1.1 金矿资源分布

本文根据《中国矿产地质志 省级矿产地质志 编编技术要求》^[10]将辽东吉南成矿带的金矿成因类型划分为3级, 其中三级成因类型分别为岩浆热

收稿日期: 2024–07–08; 修订日期: 2024–10–03。

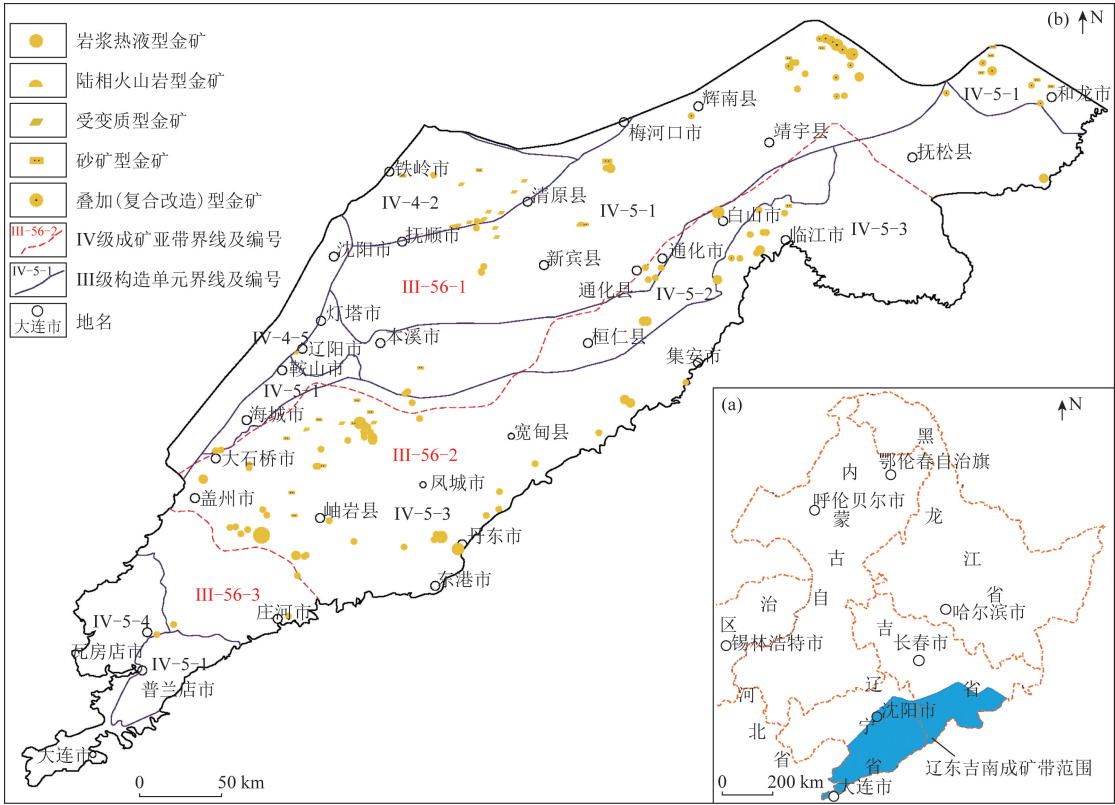
基金项目: 中国地质调查局“辽东吉南地区金矿资源潜力动态评价(编号: DD20242751)”项目资助。

第一作者简介: 刘长纯(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事成矿规律、矿产预测及矿产资源潜力评价方面的研究工作。Email: 978258515@qq.com。

通信作者简介: 许国雨(1992—), 男, 工程师, 主要从事基础地质调查和矿床方面的研究工作。Email: xuguoyu@mail.cgs.gov.cn。

液型、陆相火山岩型、受变质型、砂矿型和叠加(复合改造)型。辽东吉南成矿带共有金矿产地 242 处,其中超大型 1 处、大型 6 处、中型 20 处(图 1)、小型 128 处、矿点 87 处,累计查明资源量 724.71 t。

金矿成矿时代跨度较大,从新太古代至新生代均有金矿形成,其中侏罗纪—白垩纪(燕山期)是成矿带内金矿的主要成矿时代,燕山期金矿的累计查明资源量占总累计资源量的 72.4%。



IV-4-2. 凡裂谷; IV-5-1. 龙岗岩浆弧; IV-5-2. 太子河—浑江陆表海盆地; IV-5-3. 辽吉陆缘裂谷盆地; IV-5-4. 大连陆表海盆地; III-56-1. 铁岭—靖宇(次级隆起)铁—金—银—铜—铅—锌成矿亚带; III-56-2. 营口—长白(次级隆起、古元古代裂谷)铅—锌—铁—金—银—铀—硼—菱镁矿—滑石成矿亚带; III-56-3. 瓦房店(次级拗陷)铜—铅—锌—铁—金刚石成矿亚带

图 1 辽东吉南成矿带地理位置(a)及矿产地分布(b)
Fig.1 Location of Liaodong-Jinan metallogenetic belt (a) and distribution of its mineral lands (b)

1.2 金矿类型

1.2.1 与岩浆作用有关的金矿

与岩浆成作用有关的金矿在辽东吉南成矿带内的分布最为广泛,矿产地数量最多,共有 134 处,占全部矿产地的 55.37%,分布于龙岗岩浆弧(IV-5-1)、太子河—浑江陆表海盆地(IV-5-2)、辽吉陆缘裂谷盆地(IV-5-3) III 级构造单元内,位于铁岭—靖宇(次级隆起)铁—金—银—铜—铅—锌成矿亚带(III-56-1)和营口—长白(次级隆起、古元古代裂谷)铅—锌—铁—金—银—铀—硼—菱镁矿—滑石成矿亚带(III-56-2) IV 级成矿亚带内(图 1(b))。

与该类型金矿有关的岩浆岩主要有燕山期花岗闪长岩、印支期片麻状黑云母花岗岩,以及吕梁

期黑云母花岗片麻岩,同时发育有闪长岩脉、花岗斑岩脉、闪长玢岩脉、煌斑岩脉、石英脉等,不同时期的中酸性岩体及脉岩为成矿提供了必要的物质来源,同时也为成矿提供了运移的动力^[11-12]。错综复杂的断裂构造为各类岩体、脉岩的上侵和含金石英脉的充填成矿提供了必要的空间和环境。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绢英岩化、黑云母化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化等。矿石类型为脉状矿石、细脉浸染状矿石、网脉状矿石,主要金属矿物有银金矿、黄铁矿、辉铋矿、自然银、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等,金的形态主要呈包体金、裂隙金及晶隙金^[13]。

与岩浆作用有关的金矿三级成因类型主要为岩浆热液型,其次为陆相火山岩型,代表性矿床有

五龙金矿、下大堡金矿和新房金矿等。

1.2.2 与变质作用有关的金矿

与变质作用有关的金矿数量较少,仅 19 处,占全部矿产地的 7.85%,金矿为伴生矿种,铜、锌等有色金属为主矿种。该类型金矿集中分布于龙岗岩浆弧(IV-5-1),属铁岭—靖宇(次级隆起)铁—金—银—铜—铅—锌成矿亚带(III-56-1)。

该类型金矿主要产于新太古界清原群红透山组上部岩段,容矿围岩为黑云斜长片麻岩、角闪变粒岩、黑云变粒岩等,原岩为以安山质凝灰岩、安山岩和流纹岩为主的一套钙碱性中—酸性火山岩系,是铜、锌、金等成矿物质的主要来源,强烈的韧性剪切作用和多期次的变质变形构造使地层中的含矿物质发生“物理重就位”,为矿床形成创造了必要条件。围岩蚀变主要有透闪石化、硅化、金云母化、绢云母化、绿泥石化、滑石化和碳酸盐化。矿石自然类型为铜锌金矿石,金属矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿,其他次要矿物有方黄铜矿、方铅矿、辉钼矿、磁铁矿、金红石、赤铁矿和银金矿^[14]。与变质作用有关的金矿三级成因类型为受变质型,代表性矿床为红透山铜锌矿。

1.2.3 与沉积作用有关的金矿

与沉积作用有关的金矿均为砂矿型金矿,集中分布于龙岗岩浆弧(IV-5-1),属铁岭—靖宇(次级隆起)铁—金—银—铜—铅—锌成矿亚带(III-56-1),共有矿产地 41 处,占全部矿产地的 16.94%。

砂矿型金矿的形成需要含矿地质体,如新太古代、古元古代以及各时期含金的岩体等,原生金矿床也是部分砂金矿的主要物质来源,分布于主谷、支谷或谷底的含矿地质体最易形成砂矿型金矿。强烈的风化和剥蚀作用,以及以寒冷为主、冷暖相间的古地理环境是形成砂矿型金矿的必要条件^[15]。金属矿物为自然金,伴生矿物为磁铁矿、赤铁矿、石榴石、磷灰石、钛铁矿等。砂金以片状金为主,粒状金、枝杈状金次之,粒度以中—粗粒为主,细粒次之^[16]。砂矿型金矿的代表性矿床为万良砂金矿和中汤河砂金矿。

1.2.4 与叠加(复合改造)作用有关的金矿

与叠加(复合改造)作用有关的金矿集中分布于龙岗岩浆弧(IV-5-1),属铁岭—靖宇(次级隆起)铁—金—银—铜—铅—锌成矿亚带(III-56-

1),共有矿产地 48 处,占全部矿产地的 19.84%。

叠加(复合改造)型金矿的成矿期有新太古代—古元古代及印支期—燕山期。新太古代—古元古代成矿期形成了新太古界夹皮沟群三道沟岩组、清原群红透山岩组,古元古界辽河群大石桥组、盖县组等赋矿地层,岩性主要有斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、黑云绢云千枚岩、绿泥绢云千枚岩、石英绢云千枚岩浅、粒岩、绢云石英片岩、绢云绿泥片岩、磁铁石英岩、黑云变粒岩、云母片岩和变粒岩等,新太古代和古元古代形成的地层金含量较高,金平均含量为克拉克值的数倍^[17],是叠加(复合改造)型金矿的矿源层。印支期—燕山期侵入的似斑状黑云母二长花岗岩体、斜长花岗岩、钾长花岗岩、花岗闪长岩等是成矿流体的主要来源,萃取了矿源层中的成矿物质。脉岩主要有花岗斑岩脉、二长斑岩脉、石英斑岩脉、蚀变闪长玢岩脉、煌斑岩,空间上石英斑岩脉和闪长玢岩脉断续出现在含金蚀变带附近的围岩中,与金矿体密切伴生^[18]。与金矿形成有关的构造主要有 NNE 向、NW 向、EW 向、SN 向等断裂构造,这些不同方向的断裂构造控制了岩体和脉岩的侵入,是重要的导矿和容矿构造。同时,褶皱构造和韧性剪切构造促进了载矿物质的活化和成矿^[19-20]。矿石类型有金—黄铁矿型、金—黄铁矿—黄铜矿—方铅矿型;主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿,其次为磁黄铁矿、闪锌矿、磁铁矿、白铁矿、白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、辉银矿、铜银铅铋矿、菱铁矿;金矿物有自然金、银金矿、针碲金矿、碲金矿。该类型金矿的代表性矿床有夹皮沟金矿、板庙子金矿、猫岭金矿、白云金矿等。

2 成矿系列与成矿谱系

2.1 成矿系列

成矿系列是在一定地质单元内和在一定地质作用的影响下,形成于一定地质历史时期的两个或多个矿床类型组合^[21-23]。本文按地质作用将辽东吉南成矿带金矿划分为与沉积作用有关、与岩浆作用有关及与变质作用有关的 3 个金矿成矿系列组合,在每个成矿系列组合中按所处构造单元、含矿建造划分出成矿系列、亚系列及矿床式。辽东吉南成矿带金矿共划分出 5 个成矿系列、12 个成矿亚系列和 18 个矿床式(表 1)。

表 1 辽东吉南成矿带金矿成矿系列

Tab.1 Gold deposits metallogenic series in Liaodong – Jinan metallogenic belt

成矿系列编号及描述	成矿亚系列编号及描述	矿床式	典型矿床
Cz – 1S(辽东—吉南地区与第四纪冲积 – 洪积作用有关的砂金型金矿床成矿系列)	Cz – 1S – 1(与第四纪冲积 – 洪积作用有关的砂金型金矿床成矿亚系列)	万良河式、柴河式、中汤河式	万良河砂金矿、柴河砂金矿、辽阳中汤河砂金矿
	Mz – 1I – 1(夹皮沟—和龙与新太古代花岗岩及印支期—燕山期花岗岩有关的沉积变质热液改造型金矿床成矿亚系列)	夹皮沟式	夹皮沟金矿、板庙子金矿
	Mz – 1I – 2(桦甸三道溜河—梅河口烟甸桥子与燕山期花岗岩有关的岩浆热液型金矿床成矿亚系列)	六批叶式、香炉碗子式	六批叶金矿、香炉碗子金矿
	Mz – 1I – 3(白山狼洞沟—集安金厂沟与古元古代火山沉积变质作用及印支期—燕山期花岗岩、闪长岩有关的岩浆热液型金矿床成矿亚系列)	西岔式	西岔金矿
	Mz – 1I – 4(荒沟山—南岔与古中元古代变质岩及印支期—燕山期花岗岩、花岗闪长岩有关的金成矿亚系列)	荒沟山式、南岔式	荒沟山金矿、南岔金矿
Mz – 1I(华北陆块北缘东段与新太古代—古元古代沉积变质作用及印支期—燕山期中酸性侵入岩有关的金、铅、锌矿床成矿系列)	Mz – 1I – 5(凤城—岫岩地区与古元古代碎屑岩 – 碳酸岩建造及印支期—燕山期似斑状二长花岗岩有关的岩浆热液型金矿床成矿亚系列)	猫岭式、白云式、小佟家堡子式、大东沟式	猫岭金矿、白云金矿、小佟家堡子金矿、大东沟金矿
	Mz – 2I – 1(清原红透山—柞甸乃与中浅成侵入岩有关的岩浆热液型金矿床成矿亚系列)	下大堡式	下大堡金矿
	Mz – 2I – 2(宽甸—丹东与印支期—燕山期似斑状二长花岗岩有关的岩浆热液型金矿床成矿亚系列)	五龙式	五龙金矿
Mz – 2I(华北陆块北缘东段与印支期—燕山期中 – 酸性侵入岩有关的金矿床成矿系列)	Mz – 2I – 3(瓦房店华铜—新房与燕山期斑状、似斑状花岗岩有关的岩浆热液型金矿床成矿亚系列)	新房式	新房金矿
Pt ₁ – 1M(辽东隆起与古元古代裂谷带火山 – 沉积变质改造作用有关的金矿床成矿系列)	无	大安口式	大安口金矿
Ar ₃ – 1M(华北陆块北缘东段与新太古代表壳岩有关的铜、锌、金矿床成矿系列)	Ar ₃ – 1M – 1(辽北(抚顺—清原)地区与新太古代早期双峰式海相火山作用有关的块状硫化物铜、锌、金矿床成矿亚系列)	红透山式	红透山铜锌矿

2.2 成矿谱系

成矿谱系揭示出一定区域内,在地质历史发展过程中成矿作用的演化轨迹及其时空结构^[24],反映出在一定的构造演化过程中成矿物质的演化规律。辽东吉南成矿带金矿成矿谱系如图 2 所示:成矿谱系中列从上到下为大地构造单元、成

矿区带及成矿系列,表示了成矿系列所处位置,箭头则表明金矿形成过程中成矿物质的继承关系;左列为成矿时代,右列为构造演化阶段,分别表示了成矿系列的成矿时代和构造演化发展历史。成矿谱系全面反映了金矿形成的时间、空间、构造演化及成矿作用等重要信息。

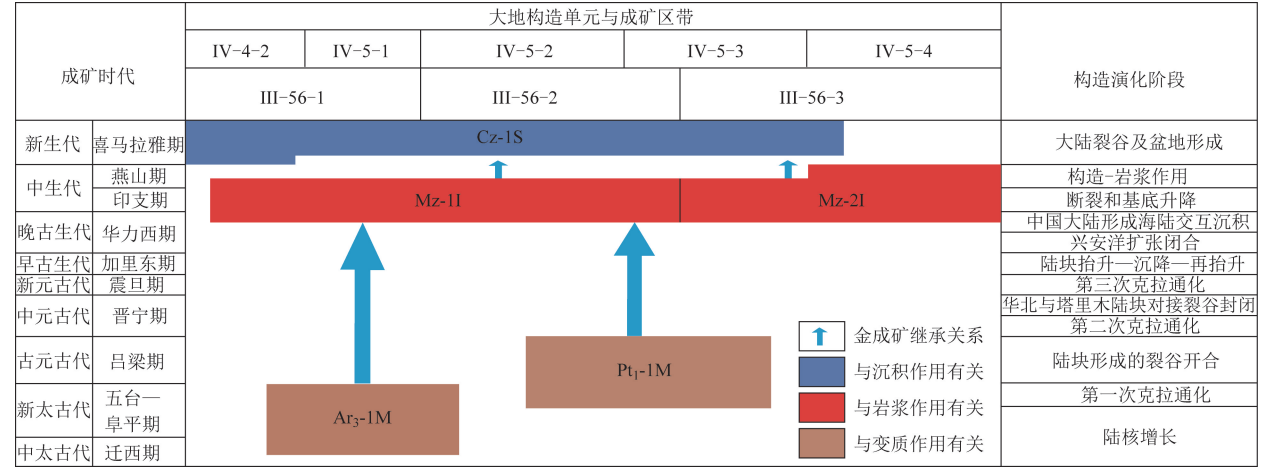


图 2 辽东吉南成矿带金矿成矿谱系

Fig.2 Metallogenic lineage of gold deposits in Liaodong – Jinan metallogenic belt

3 成矿演化历史

辽东吉南成矿带按照金矿成矿时代可划分为新太古代、古元古代、中生代与新生代 4 个成矿期^[25],现按时间顺序叙述金矿成矿演化历史。

3.1 新太古代

辽东吉南成矿带在经历了中太古代陆核形成期后,新太古代进入了华北陆克拉通快速增生时期,在洋-陆俯冲过程中,大陆一侧产生了弧-盆系统,包括新太古代火山岛弧、英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩组合、花岗岩-二长花岗岩-正长花岗岩组合及其他有关岩石组成的构造单元。多数构造环境具有弧盆系特点,少数已经具有陆缘盆地性质^[26]。

随着陆壳的快速增生,这一时期也发生了较大规模的火山喷发活动,火山在喷发过程中携带了大量的铁、铜、锌、金等成矿物质^[27],经变质变形作用后形成了成矿带内的受变质型金矿,如红透山铜矿形成于新太古界清原群红透山组内^[28],这一时期是辽东吉南成矿带内重要的铁、铜、锌、金成矿期。

3.2 古元古代

辽东吉南成矿带内的古元古代地层主要形成于 2 350 Ma^[29],在渤海东陆块形成了火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩建造,即辽东地区的辽河群和吉林南部地区的集安群与老岭群。在构造裂谷盆地的西北侧为北辽河群^[30]和老岭群^[31],东南侧为南辽河群和集安群^[30],前者分布于陆架构造背景,后者表现出洋盆沉积的特点^[32],根据前人划分的东北地区大地构造单元,古元古代构造谷即为辽吉陆缘裂谷盆地,北西侧为太子河-浑江陆表海盆地,且表现出被动陆缘的演化过程^[33-34]。

古元古代构造裂谷盆地在这一时期形成的辽河群、集安群和老岭群是金、铅、锌等矿产的矿源层,在构造裂谷盆地形成过程中发生了大规模的双峰式火山喷发^[35-36],携带了大量的金、银、铜、镍、铅、锌等成矿物质,后经变质变形作用^[37],成矿物质初步富集,为金矿的形成提供了重要的成矿物质,造就了受变质型金矿,如大安口金矿、水泉冯家金矿等。

3.3 中生代与新生代

中三叠世之前,辽东吉南成矿带的岩石圈相对

稳定,是华北克拉通沉积盖层发展的重要阶段^[38],晚三叠世之后成矿带进入大陆边缘活动带发展阶段^[39],中国东部进入环太平洋陆缘活化阶段(板内造山)^[40]。

中生代成矿带受到古亚洲洋、古特提斯洋和古太平洋三大构造域影响^[41],总体处于挤压-走滑构造体制,形成了巨型断裂构造带、构造-岩浆带和盆-山体系,构成 NE—NNE 向的滨太平洋构造域,导致成矿带内发生了大规模岩浆侵入和火山喷发^[42],发育中一晚侏罗世中酸性侵入岩、基性火山岩、火山熔岩及火山碎屑岩,以及白垩纪中酸性侵入岩、陆相英安质火山岩、火山岩、凝灰岩及火山碎屑岩,形成以 NE 向、NNE 向、NW 向为主的断裂构造。这样的构造背景使得金矿的形成迎来了顶峰期,大规模的构造-岩浆活动携带了大量的成矿物质、热源和含矿热液。断裂构造是含矿热液运移的通道,同时也是含矿热液沉淀成矿的最佳位置,形成了岩浆热液型金矿床,如五龙金矿和四道金矿^[43],同时岩浆活动过程中形成的含矿热液造成古元古代矿源层中的成矿物质发生活化和再富集,继承了以往的成矿物质^[44],形成了数量众多的岩浆热液型、叠加(复合改造)型金矿,如夹皮沟金矿、猫岭金矿、白云金矿、小佟家堡子金矿、新房金矿等,无论是矿产地数量还是累计查明资源量均远高于其他成矿时代。

新生代时期,辽东吉南成矿带构造盆地发育,沉积地层迅速形成,虽然板内变形微弱,但风化作用强烈,迫使金矿或矿源层中的金在冲积、洪积作用下形成砂金矿,如柴河砂金矿、万良砂金矿等。

4 结论

(1)通过对辽东吉南成矿带的详细研究,本文厘定了成矿带内金矿成因类型,研究了金矿主要特征,划分出 3 个金矿成矿系列组合、5 个成矿系列、12 个成矿亚系列及 18 个矿床式。

(2)建立了辽东吉南成矿带金矿成矿谱系,将金矿的成矿时代、大地构造单元、构造演化阶段、成矿区带与金矿成矿系列相结合,全面反映成矿带内金矿的时空演化规律。

(3)根据辽东吉南成矿带的构造演化及金矿形成时间,将成矿带内金矿的成矿期划分为新太古代、古元古代、中生代和新生代,从构造活动的主要

特点、金矿形成条件及形成的金矿类型出发,论述了成矿带内金矿成矿演化历史。

参考文献(References):

- [1] 马玉波,邢树文,肖克炎,等. 辽东—吉南 Fe—菱镁矿—Cu—Au 成矿带主要地质成矿特征及潜力分析[J]. 地质学报, 2016, 90(7): 1298—1315.
- Ma Y B, Xing S W, Xiao K Y, et al. Geological metallogenic characteristics and resource analysis of the Liaodong—Jinan Fe—Mg—Cu—Au metallogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(7): 1298—1315.
- [2] 王岩,秦燕,黎华,等. 东北地区金矿成矿规律及找矿方向[J]. 地学前缘, 2024, 31(3): 235—244.
- Wang Y, Qin Y, Li H, et al. Metallogenic regularity and prospecting direction of gold deposits in northeast China[J]. Earth Science Frontiers, 2024, 31(3): 235—244.
- [3] 袁和,王登红. 辽宁省金矿成矿规律及成矿系列[J]. 中国地质调查, 2022, 9(2): 73—82.
- Yuan H, Wang D H. Metallogenic regularity and series of gold deposits in Liaoning Province[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(2): 73—82.
- [4] 于泓超. 胶—辽—吉造山带吉南地区古元古代沉积—岩浆作用及构造意义[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- Yu H C. Paleoproterozoic Sedimentary—Magmatism and its Tectonic Significance in the Southern Jilin Province of Jiao—Liao—Ji Orogenic Belt[D]. Changchun: Jilin University, 2023.
- [5] 袁和,白银增,耿树峰,等. 辽宁省重点金矿集区地质特征及成岩成矿作用[J]. 中国地质调查, 2023, 10(4): 37—45.
- Yuan H, Bai Y Z, Geng S F, et al. Geological characteristics, diagenesis and mineralization of key gold concentration areas in Liaoning Province[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(4): 37—45.
- [6] 夏学惠,赵玉海,闫飞. 辽东—吉南地区硼矿床地质特征及成矿远景[J]. 化工矿床地质, 2007, 29(3): 169—177.
- Xia X H, Zhao Y H, Yan F. Metallogenic prospective and its geological characters of boron deposits in east Liaoning and South Jilin Area[J]. Geology of Chemical Minerals, 2007, 29(3): 169—177.
- [7] 刘敬党. 辽东地区下元古界镁硼酸盐矿床控矿模型及其勘查与评价研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- Liu J D. Mineralization Model and Survey & Evaluation of Early Proterozoic Mg—Borate Deposits in East Liaoning[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.
- [8] 王妍洁. 辽东—吉南硼矿带区域成矿特征及成因[J]. 西部探矿工程, 2023, 35(4): 181—184.
- Wang Y J. Regional metallogenic characteristics and genesis of Liaodong—Jinan boron metallogenic belt[J]. West—China Exploration Engineering, 2023, 35(4): 181—184.
- [9] 王登红,赵如意,陈毓川,等. 中国金矿床的预测类型及其应用[J]. 矿床地质, 2023, 42(5): 945—954.
- Wang D H, Zhao R Y, Chen Y C, et al. Prediction types of gold deposits and its application in China[J]. Mineral Deposits, 2023, 42(5): 945—954.
- [10] 中国矿产地志项目办公室,中国地质科学院矿产资源研究所. 中国矿产地志 省级矿产地志研编技术要求[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所, 2016.
- Office of China Mineral Geology Project, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. Geology of Mineral Resources in China · Technical Requirements for the Research and Compilation of Provincial Mineral Geology[R]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 2016.
- [11] 朱日祥,杨进辉,王功文,等. 辽东地区金矿床成因与资源潜力[J]. 中国科学: 地球科学, 2024, 54(3): 677—692.
- Zhu R X, Yang J H, Wang G W, et al. The genesis and resource potential of gold deposits in the Liaodong Peninsula[J]. Science China Earth Sciences, 2024, 67(3): 657—672.
- [12] 李嘉欣. 辽东白云—小佟家堡子金矿田三维地质建模与找矿方向[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- Li J X. 3D Geological Modeling and Prospecting Direction of Baiyun—Xiaotongjiapuzi Gold Deposit in Eastern Liaoning Province[D]. Changchun: Jilin University, 2023.
- [13] 刘金龙,孙丰月,王力,等. 吉林省老岭成矿带南岔和荒沟山金矿床成因[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2019, 46(6): 722—733.
- Liu J L, Sun F Y, Wang L, et al. Genesis of Nancha and Huanggoushan gold deposits in the Laoling metallogenic belt, Jilin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2019, 46(6): 722—733.
- [14] 赵朋,任立国,艾旭光,等. 辽宁抚顺地区金成矿系列划分与典型矿床特征研究[J]. 矿产勘查, 2020, 11(4): 647—655.
- Zhao P, Ren L G, Ai X G, et al. Division of metallogenic series and the typical characteristics of gold mineralization in Fushun, Liaoning Province[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(4): 647—655.
- [15] 吕英杰. 辽宁、吉林、黑龙江地区流水成因的砂金矿[J]. 中国地质科学院院报, 1988, 18: 79—91.
- Lv Y J. Placer gold deposits formed by running water in northeast China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1988, 18: 79—91.
- [16] 王瑞山. 辽东地区砂金矿成矿地质条件研究[J]. 黄金科学技术, 1999, 7(3): 26—31.
- Wang R S. A study on the mineralized geological conditions of gold placer of Liaodong Region[J]. Gold Science and Technology, 1999, 7(3): 26—31.
- [17] 林作超. 吉林省夹皮沟地区综合找矿信息及金矿找矿预测[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- Lin Z C. Comprehensive Mining Information and Ore—Prospecting Prognosis of Gold Mining in Jiapiougou Area of Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [18] 孙宝亮,金成洙,崔卫利. 猫岭—王家崴子金成矿带成矿模式

- 研究[J]. 黄金学报, 2001, 3(1): 19–23.
- Sun B L, Jin C Z, Cui W L. The Study of the metallogenetic model of Maoling – Wangjiawaizi gold mineralization belt[J]. Gold Journal, 2001, 3(1): 19–23.
- [19] 王富春. 辽宁白云金矿床的控矿构造特征[J]. 黄金, 2002, 23(5): 4–7.
- Wang F C. The tectonic characteristics of Baiyun Gold Deposit, Liaoning Province[J]. Gold, 2002, 23(5): 4–7.
- [20] 田豫才. 辽东小佟家堡子金矿床地质特征及成矿机理探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(5): 264–269.
- Tian Y C. Geology and metallogenesis of the Xiaotongjiapuzi gold deposit[J]. Geological Exploration for Non – Ferrous Metals, 1999, 8(5): 264–269.
- [21] 吾克依拉·吾铁朴. 吉林省夹皮沟成矿区金矿多元信息成矿预测[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- Wutiepu W. Multi – Information Metallogenic Prediction of Gold Deposits in Jiapiou Metallogenic Belt, Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [22] 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.
- [23] 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]. Journal of Chinese Academy of Geological Sciences, 1979, 1(1): 32–58.
- [24] 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.
- [25] 王登红, 黄凡, 王岩, 等. 区域矿床成矿谱系的概念、内涵及其应用[J]. 矿床地质, 2022, 41(5): 879–892.
- Wang D H, Huang F, Wang Y, et al. Metallogenic pedigree of regional mineral deposits: Concept, connotation and application[J]. Mineral Deposits, 2022, 41(5): 879–892.
- [26] 刘英才, 付俊彧, 赵春荆, 等. 《东北地区 1: 150 万大地构造相图》的编制[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 1–6.
- Liu Y C, Fu J Y, Zhao C J, et al. Compilation of the 1: 1500 000 tectonic facies map of northeast China [J]. Geology and Resources, 2020, 29(1): 1–6.
- [27] 张长捷, 赵春荆, 张允平, 等. 东北地区成矿地质背景研究成果报告[R]. 沈阳: 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 2013.
- Zhang C J, Zhao C J, Zhang Y P, et al. Report on Research Results of Metallogenic Geological Background in Northeast China[R]. Shenyang: Shenyang Geological Survey Center, China Geological Survey, 2013.
- [28] 党奔, 吴昌志, 杨涛, 等. 辽宁红透山块状硫化物矿床中矿体的变质变形特征与形成过程[J]. 地质通报, 2021, 40(4): 545–556.
- Dang B, Wu C Z, Yang T, et al. Metamorphic deformation characters and forming process of ore bodies in the Hongtoushan massive sulfide deposit, Northeast China[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(4): 545–556.
- [29] 金文山, 林源贤, 段文宽. 辽宁清原地区清原群 Rb – Sr 和 Sm – Nd 同位素地质年龄[C]//中国地质科学院天津地质矿产研究所文集(28). 1993: 7.
- Jin W S, Lin Y X, Duan W K. Rb – Sr and Sm – Nd isochron age of the Qingyuan group in Qingyuan area, Liaoning province [C]// Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(28). 1993: 7.
- [30] 杨玉伟, 于海峰, 石玉学, 等. 华北克拉通东部辽河群中两类斜长角闪岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2021, 95(12): 3705–3720.
- Yang Y W, Yu H F, Shi Y X, et al. Chronology, geochemical characteristics and geological significance of the two types of amphibolites within the Liaohe Group in the eastern block of the North China Craton[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(12): 3705–3720.
- [31] 耿志忠. 辽北开原地区“辽河群”年代学、地球化学特征及其地质意义[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- Geng Z Z. Geochronology, Geochemical Characteristics and Geological Significance of “Liaohe Group” in Kaiyuan Area, Northern Liaoning[D]. Changchun: Jilin University, 2023.
- [32] 王鹏森. 辽东地区南辽河岩群沉积、变质作用及其构造意义[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- Wang P S. Sedimentation, Metamorphism and Tectonic Significance of the South Liaohe Group in Liaodong Area[D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- [33] 柴源. 丹东地区辽吉裂谷的深部地质结构及三维地质模型[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- Chai Y. The Deep Geological Structure and 3D Geological Model of Liao – Ji Rift in Dandong Area[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [34] 李三忠. 胶辽吉带古元古代构造 – 热演化与早前寒武纪构造体制巨变[J]. 科技成果, 2014: 12–15.
- Li S Z. Paleoproterozoic tectono – thermal evolution and early Precambrian tectonic regime change in Jiaoliaoji Belt[J]. Scientific and Technological Achievements, 2014: 12–15.
- [35] 李三忠, 杨振升, 刘永江, 等. 胶辽吉地区古元古代早期花岗岩的侵位模式及其与隆滑构造的关系[J]. 岩石学报, 1997, 13(2): 189–202.
- Li S Z, Yang Z S, Liu Y J, et al. Emplacement model of palaeoproterozoic early – granite in Jiao – Liao – Ji area and its relation to the uplift bedding – delamination structural series [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(2): 189–202.
- [36] 王伟. 辽吉裂谷西南段金矿化集中区成矿地质特征及找矿预测[D]. 沈阳: 东北大学, 2015.

Wang W. Metallogenic – Geological Characteristics and Prospecting Prediction of Gold Mineralization Zone in Southwestern Part of Liaoning – Jilin Rift [D]. Shenyang: Northeastern University, 2015.

[37] 李守义. 辽吉古裂谷中的双峰式火山岩及岩浆演化[J]. 长春地质学院学报, 1994, 24(2): 143 – 147.

Li S Y. The bimodal volcanic rocks and magma evolution in Liaoji paleo – rift [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1994, 24(2): 143 – 147.

[38] 翟安民, 沈保丰, 杨春亮, 等. 辽吉古裂谷地质演化与成矿[J]. 地质调查与研究, 2005, 28(4): 213 – 220.

Zhai A M, Shen B F, Yang C L, et al. Geological evolvement and ore – forming of the Liaoning – Jilin paleoproterozoic rift [J]. Geological Survey and Research, 2005, 28(4): 213 – 220.

[39] 李忠水. 华北克拉通龙岗地块吉南地区新太古代构造岩浆事件与地壳演化[D]. 长春: 吉林大学, 2023.

Li Z S. Neoproterozoic Tectono – Magmatic Events and Crustal Evolution of Southern Jilin Province, Longgang Block, North China Craton [D]. Changchun: Jilin University, 2023.

[40] 张琪琪, 张拴宏, 赵越, 等. 辽北地区克拉通与造山带边界的限定: 来自晚古生代—早中生代花岗岩锆石 Hf 同位素证据[J]. 地质学报, 2024, 98(6): 1715 – 1731.

Zhang Q Q, Zhang S H, Zhao Y, et al. Constraints on the craton – orogen boundary in the northern Liaoning Province: Evidence from zircon Hf isotopes of the late Paleozoic – early Mesozoic granitoids [J]. Acta Geologica Sinica, 2024, 98(6): 1715 – 1731.

[41] 邢恺晨. 古亚洲洋东段晚期演化历史及其对华北克拉通北缘地幔属性的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2023.

Xing K C. The Late Evolution History of the Eastern Segment of the Paleozoic – Asian Ocean and its Contribution to Mantle Modification Beneath the Northern Margin of the North China Craton [D]. Changchun: Jilin University, 2023.

[42] 张广宇, 欧阳兆灼. 辽东—吉南成矿带成矿规律及找矿方向[J]. 地质与资源, 2013, 22(5): 376 – 382.

Zhang G Y, Ouyang Z H. Metallogenesis and prospect of the eastern Liaoning – southern Jilin metallogenic belt [J]. Geology and Resources, 2013, 22(5): 376 – 382.

[43] 刘志敏. 丹东四道沟金矿构造控矿特征、成矿机理与找矿方向[J]. 有色矿冶, 2005, 21(5): 1 – 3.

Liu Z M. Structural ore – controlling character metallogenic mechanism and ore – hunting orientation of Sidaogou gold deposit in Dandong [J]. Non – Ferrous Mining and Metallurgy, 2005, 21(5): 1 – 3.

[44] 辛未, 丁正江, 许志河, 等. 胶—辽—吉带北段集安群中古元古代变质辉长岩侵入体成因研究及其地球动力学演化意义[J]. 岩石学报, 2024, 40(6): 1922 – 1942.

Xin W, Ding Z J, Xu Z H, et al. Petrogenesis of Late Paleoproterozoic metamorphic gabbroic intrusions of Ji'an Group in the northern segment of Jiao – Liao – Ji Belt and their geodynamic evolution significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2024, 40(6): 1922 – 1942.

Metallogenic series, metallogenic lineage and metallogenic evolution history of gold deposits in Liaodong – Jinan metallogenic belt

LIU Changchun¹, XU Guoyu¹, WANG Longkai¹, WANG Gang¹, YAO Zhihong²

(1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Investigation Center, China Geological Survey, Heilongjiang Mudanjiang 157020, China;
2. Geology Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100101, China)

Abstract: Liaodong – Jinan metallogenic belt is located in the northern part of the eastern Bohai Sea block, and the geological conditions for gold mineralization are superior. On the basis of analyzing the gold resources profile in the metallogenic belt, the authors analyzed the temporal and spatial distribution and geological characteristics of gold deposits formed by different mineralization processes. Then, 3 gold metallogenic series associations, 5 metallogenic series, 10 metallogenic subseries and 18 deposit types were classified. The tectonic units, mineralization periods, and mineralization zones were combined with gold mineralization series to establish the gold mineralization lineage. According to four gold ore – forming periods of Neoproterozoic, Paleoproterozoic, Mesozoic and Cenozoic, the gold ore – forming evolution history of the southern and eastern Liaoning metallogenic belt was summarized. The identification of genetic type of gold deposits, the classification of metallogenic series, the establishment of metallogenic lineage and the research of evolution history would further enhance the research degree of gold mineralization regularity of Liaodong – Jinan metallogenic belt, and could provided basic data for future study of gold deposits in this metallogenic belt.

Keywords: genetic type; metallogenic series; mineralization lineage; metallogenic evolution history; Liaodong – Jinan metallogenic belt

(责任编辑: 魏昊明)