

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.02.07

引用格式: 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.)

辽宁省金矿成矿规律及成矿系列

袁和¹, 王登红²

(1. 辽宁省第四地质大队有限责任公司, 辽宁 阜新 123000; 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)

摘要: 辽宁省大地构造位置处于华北陆块北缘东段, 省内金矿资源较为丰富。在研究典型金矿的基础上, 总结了辽宁省金矿的成因类型、矿产预测类型以及金矿的时空分布规律。基于对辽宁省大地构造演化与金矿成矿关系的新认识, 结合重大构造事件与金矿成矿效应的耦合关系, 运用成矿系列理论揭示了省内金矿的成矿动力学演化机制, 将全省金矿划分为3个成矿系列组合与6个成矿系列。研究表明, 前寒武纪辽东地区在碰撞拼合及伸展构造背景下形成了沉积变质–热液改造成矿系列与变质热液成矿系列; 中生代辽宁地区在构造体制转换过程中形成了陆相火山–次火山热液成矿系列、岩浆热液成矿系列、变质热液成矿系列以及沉积–变质热液成矿系列; 新生代辽宁地区进入喜马拉雅造山运动, 形成了沉积砂岩成矿系列。研究成果可为辽宁省金矿成矿作用的研究提供借鉴。

关键词: 成矿规律; 成矿系列; 成矿动力学演化机制; 辽宁省

中图分类号: P618.51; P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095–8706(2022)02–0073–10

0 引言

辽宁省的大地构造位置处于华北陆块北缘东段, 横跨2个一级大地构造单元, 以赤峰–开原断裂为界, 南侧为华北陆块, 北侧为内蒙–大兴安岭褶皱系和吉黑褶皱系^[1–2]。辽宁省作为我国重要的产金省份之一, 金矿资源较为丰富, 其类型多样, 成矿地质条件极为复杂。

目前, 关于辽宁省大地构造演化与金矿成矿效应之间耦合关系的研究较少。金矿的时空分布特征显示, 在前寒武纪, 华北陆块经变质–壳熔作用形成了统一的含金变质结晶基底^[3–5], 这一时期辽宁省内形成的金矿多集中在辽宁东部, 而在西部相对少见。中生代华北陆块在太平洋板块俯冲的作用下, 我国东部发生了重大构造体制转换事件, 由SN向挤压向NNE向伸展转换, 而构造样式转换在辽宁省内的地质响应还存在争议。针对

上述问题, 本文在前人研究成果的基础上总结了辽宁省金矿的成矿规律, 运用成矿系列理论探讨了辽宁省金矿的成矿动力学演化机制, 这对深化辽宁省金矿成矿作用的研究具有一定的借鉴意义。

1 辽宁省金矿资源概况

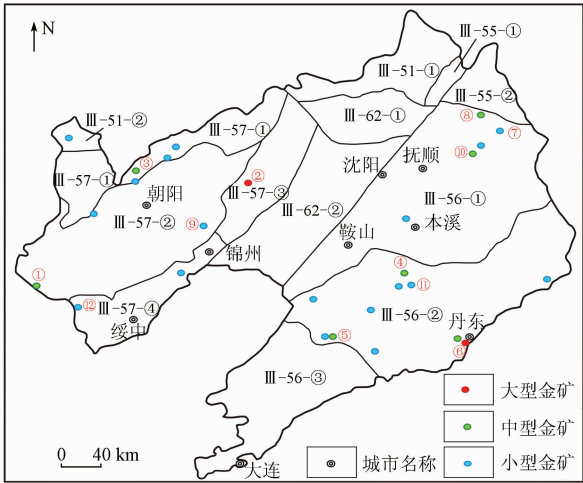
辽宁省金矿的发现和利用历史悠久, 据《东沟县志》^[6]记载, 辽宁五龙地区在道光年间就已经发现了金矿并开采利用。在20世纪80年代初期, 辽宁省开展了金矿第一轮区划以及攻关工作, 采用地质学、矿床学、地球物理学、地球化学、数学地质等一系列技术手段对全省金矿开展了成矿预测工作, 计算了全省金矿的资源总量。据统计, 辽宁省金矿资源总量达2 515.75 t, 全省金矿的资源潜力主要集中分布于辽宁东部和西部(图1)。截至2020年, 辽宁省金矿矿产地数量达435处,

收稿日期: 2022–02–11; 修订日期: 2022–03–16。

基金项目: 中国地质调查局“中国矿产地质志(编号: DD20160346, DD20190379)”项目资助。

第一作者简介: 袁和(1985—), 男, 高级工程师, 从事矿床学、地球化学研究工作。Email: yuanhe1985@126.com。

通信作者简介: 王登红(1967—), 男, 研究员, 从事矿床学研究工作。Email: wangdenghong@vip.sina.com。



Ⅲ-51-①. 通辽科尔沁盆地煤油气Ⅳ级成矿亚带; Ⅲ-51-②. 库里吐—汤家杖子 Mo-Cu-PbZn-W-Au Ⅳ级成矿亚带; Ⅲ-55-①. 山门—乐山 Mo-Ag-Au-Fe-Ni-Cu-Zn 成矿亚带; Ⅲ-55-②. 吉中 Mo-Ag-As-Au-Fe-Ni-Cu-Zn-W 成矿亚带; Ⅲ-56-①. 铁岭—靖宇(次级隆起) Fe-Au-Cu-Pb-Zn 煤成矿亚带; Ⅲ-56-②. 营口—长白(次级隆起-裂谷) Pb-Zn-Fe-Au-Ag-U-B-菱镁矿-滑石矿成矿亚带; Ⅲ-56-③. 瓦房店(次级拗陷) Cu-Pb-Zn-Fe-金刚石成矿亚带; Ⅲ-57-①. 内蒙隆起东段 Fe-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-U-P-膨润土成矿亚带; Ⅲ-57-②. 燕辽(拗陷) Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-Fe-Mn-煤成矿亚带; Ⅲ-57-③. 北镇(次级隆起) Au 成矿亚带; Ⅲ-57-④. 马兰峪—绥中(次级隆起) Fe-Au-Pb-Zn 成矿亚带; Ⅲ-62-①. 法库(断凸) Au 煤硅灰石Ⅳ级成矿亚带; Ⅲ-62-②. 辽河(断凹) 石油、天然气Ⅳ级成矿亚带; ①. 柏杖子金矿; ②. 排山楼金矿; ③. 二道沟金矿; ④. 白云金矿; ⑤. 猫岭金矿; ⑥. 五龙金矿; ⑦. 南龙王庙金矿; ⑧. 柴河金矿; ⑨. 红石砬子金矿; ⑩. 下大堡金矿; ⑪. 小佟家堡子金矿; ⑫. 大石沟金矿。

图1 辽宁省金矿分布简图^[7]

Fig.1 Distribution map of gold deposits in Liaoning Province^[7]

其中大型金矿 2 处,中型金矿 7 处,小型金矿 20 处,金矿点 305 处,金矿化点 101 处,在我国金矿矿产产地数量中位列全国第 4^[8]。

2 辽宁省金矿成因类型与典型金矿地质特征

2.1 金矿成因类型

由于 Au 元素具有独特的地球化学性质,能够参与各种地质作用并在适宜条件下富集成矿^[9],因此金矿成因类型的划分也需要考虑金矿产出形态的多样性。目前,辽宁省金矿成因类型的分类方案有 2 种,杨占兴^[10]以成矿物质来源、成矿作用、成矿环境为基础将金矿成因类型划分为岩浆热液型、陆相火山岩型、同韧性剪切变质热液型、变质-岩浆热液叠生型、砂砾岩型以及河相冲积型 6 个类型;曲亚军^[2]以成矿地质背景和成矿作用为主要依据,充分考虑含矿建造及矿化类型,注重于反映成矿物质来源,将辽宁省金矿划分为 11 个类型,即受变质火山沉积型、同韧性剪切变质热液型、后变质热液叠加改造型、变质热液交代型、岩浆热液叠加改造型、岩浆热液型、次火山(斑岩)热液型、火山-次火山热液型、爆发角砾岩型、砂砾岩型以及冲积砂砾岩型。辽宁省典型金矿的成因类型与地质特征见表 1。

表1 辽宁省典型金矿成因类型与地质特征^[11-26]

Tab.1 Genetic types and geological characteristics of typical gold deposits in Liaoning Province^[11-26]

矿床名称	成因类型	矿床规模	赋矿围岩	矿石矿物	围岩蚀变	成矿时代	成矿元素组合
猫岭金矿	岩浆热液叠加改造型	中型	盖县岩组二段绢云千枚岩	以毒砂、磁黄铁矿为主,其次为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿	中心带为强硅化带,边缘带为绢云母化和绿泥石化	前寒武纪	Au-As-Ag-Cu-Zn-Pb-Bi-Hg-S-Co-Ni
南龙王庙金矿	同韧性剪切变质热液型	小型	变粒岩、磁铁角闪石英岩	以黄铁矿、自然金、黄铜矿为主,其次为磁铁矿、闪锌矿、辉钼矿、赤铁矿、方铅矿、斑铜矿	以碳酸盐化、绿帘石化、硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化为主,其次为黑云母化和电气石化		—
白云金矿	变质热液交代型	中型	盖县岩组云母片岩及大石桥岩组三段大理岩	地表氧化矿石以褐铁矿、银金矿为主,原生矿石主要为黄铁矿,其次为黄铁矿、闪锌矿、自然金、自然银	以硅化、钾化为主,其次为碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化,偶见叶腊石化		Au-Ag-Pb-As-Sb-Hg-B-W-Mo-Mn-Co

(续表)							
矿床名称	成因类型	矿床规模	赋矿围岩	矿石矿物	围岩蚀变	成矿时代	成矿元素组合
水泉金矿	爆发角砾岩型 岩浆热液型	小型	花岗斑岩	以黄铁矿为主,其次为自然金、磁黄铁矿及少量黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、方铅矿	在黑云斜长片麻岩中绿泥石化、绿帘石化较发育,在花岗闪长岩中硅化、绢云母化较发育	中生代燕山期	Au - Ag - Cu - Cr - Ni
柏杖子金矿		中型	柏杖子花岗岩体	以黄铁矿为主,其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	主要为高岭土化和绢云母化,硅化较为普遍,常与黄铁矿化、绢云母化伴生		As - Sb - Ag - Au - Pb - Bi - Cu - Mo
五龙金矿		大型	五龙岩体	以黄铁矿为主,其次为磁黄铁矿、黄铜矿、辉铋矿、毒砂、自然金、方铅矿、闪锌矿	硅化、钾化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化		Au - Ag - As - Bi - Cu - Pb - Zn
下堡金矿		中型	南口前花岗岩体	以自然金、自然银为主,其次为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、赤铁矿、孔雀石、辉铜矿	蚀变带中心部位发育硅化,含矿破碎带外侧发育钾长石化,绢云母化由蚀变中心向两侧逐渐变弱,黄铁矿化与硅化、绢云母化紧密伴生		Au - Ag - Cu - Mo
四道沟金矿	岩浆热液叠加改造型	中型	盖县组变质砂岩	以黄铁矿为主,其次为毒砂、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿	黄铁矿化、硅化、绢云母化、黄铜矿化、绿泥石化等,在空间上常叠加出现	中生代燕山期	As - Sb - Ag
小佟家堡子金矿		小型	变粒岩	以黄铁矿、含砷黄铁矿、毒砂为主,其次为方铅矿、闪锌矿、砷黝铜矿、磁黄铁矿、黄铜矿、银金矿	硅化、黄铁矿化、绢云母化、毒砂化、碳酸盐化,其中硅化在不同含矿围岩和不同矿化蚀变中均有分布,且强度较高		Au - As - Sb
排山楼金矿	同韧性剪切变质热液型	大型	黑云斜长片麻岩 质糜棱岩、长英质糜棱岩	以自然金、黄铁矿为主,其次为黄铜矿、磁黄铁矿、钛铁矿、磁铁矿	以矿体为中心向外依次为黄铁矿 - 绢英岩化带、碳酸盐化带和绿泥石化带	中生代燕山期	Au - Ag - S - Cu - Pb - Mo - As - Bi
二道沟金矿	次火山(斑岩)热液型	中型	火山角砾岩、流纹岩、火山碎屑岩	以黄铁矿为主,其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黑铜矿、自然金、含少量辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、磁黄铁矿	以硅化、黄铁矿化、绢云母化为主,其次是绿泥石化、碳酸盐化,绢云母化是近矿围岩蚀变的主要类型		Au - Ag - Co - Ni
大石沟金矿		小型	安山质岩石	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉铜矿、斑铜矿、辉铋铅矿、磁铁矿等	硅化、黄铁矿化、绢云母化、钾化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化		Au - Cu - Pb - Zn - Ag - Sb - Hg - W - Mo - Bi
红石砬子金矿	火山 - 次火山热液型	小型	玄武安山岩	自然金、自然银、自然铜、银金矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉银矿,其中以辉银矿为主	主要蚀变有硅化、黄铁矿化,次要蚀变为绢云母化、钾化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化	新生代	浅部 Au - Ag - As - Sb - Ti; 深部 Cu - Pb - Zn - Bi - Co
柴河金矿	冲积砂砾岩型	中型	砂砾层	以自然金为主,其次为磁铁矿、钛铁矿	—		As - Au - Ag - Cu - Pb - Zn

2.2 典型金矿地质特征

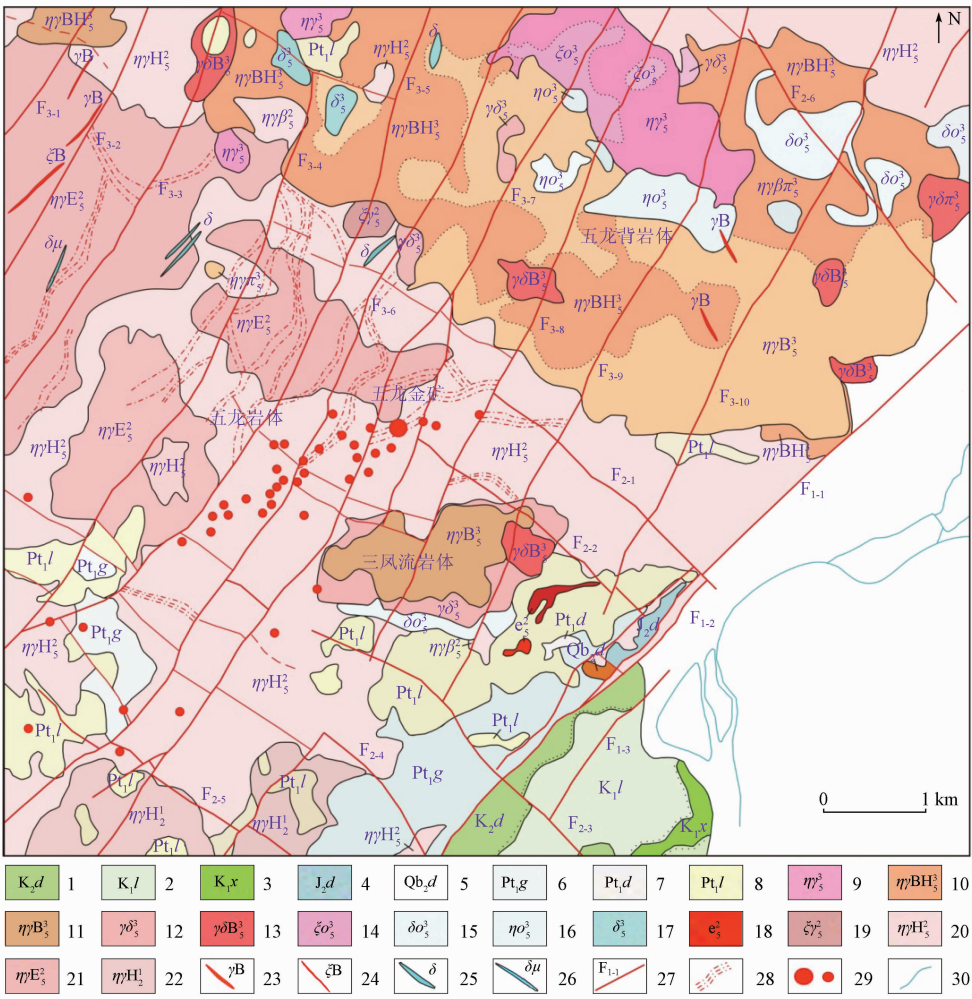
2.2.1 五龙金矿

五龙金矿位于辽宁省丹东市振安境内,构造上位于华北克拉通北部东缘胶—辽—吉古元古代裂谷内,鸭绿江成矿带的西南段。矿集区内仅在其南部出露有古元古界辽河岩群、新元古界青白口系、中生界侏罗系和白垩系。其中古元古界

辽河岩群中的盖县组和大石桥组具有较高的 Au 元素背景值,被认为是区域内主要的矿源层,为金矿的形成提供了有利的成矿物质来源。矿区内断裂构造以 NNE 向、NE 向和 NW 向 3 组脆性断裂最为发育,空间上构成菱形格子状构造格架(图 2)。其中 NNE 向断裂和 NW 向断裂控制着各类岩脉和金矿体的产出。NNE 向断裂呈近等

距离左行平移断裂,倾向 NW,倾角 40°~60°。NW 向断裂整体呈近 300°方向延展,在分布上具等距离出现的特点,该组断裂多为物探解译断

裂,断裂活动位置较深,地表地质现象不明显,多为实测性质不明的断裂。区内岩浆活动强烈,主要集中于吕梁期和燕山期。



1. 上白垩统大峪组; 2. 下白垩统梨树组; 3. 下白垩统小岭组; 4. 中侏罗统大堡组; 5. 新元古界青白口系鲛鱼台组; 6. 古元古界辽河岩群盖县组; 7. 古元古界辽河岩群大石桥组; 8. 古元古界辽河岩群里峪岩组; 9. 燕山晚期二长花岗岩; 10. 燕山晚期斑状黑云母二长花岗岩; 11. 燕山晚期斑状二长花岗岩; 12. 燕山晚期花岗岩闪长岩; 13. 燕山晚期斑状花岗岩闪长岩; 14. 燕山晚期石英正长岩; 15. 燕山晚期石英闪长岩; 16. 燕山晚期石英二长岩; 17. 燕山晚期闪长岩; 18. 燕山早期伟晶岩; 19. 燕山早期正长花岗岩; 20. 燕山早期黑云母二长花岗岩; 21. 燕山早期二云母二长花岗岩; 22. 古元古代黑云母二长花岗岩; 23. 花岗斑岩脉; 24. 正长斑岩脉; 25. 闪长岩脉; 26. 闪长玢岩脉; 27. 断裂; 28. 糜棱岩化带; 29. 大-中型或小型金矿; 30. 河流。

图2 五龙金矿区地质简图
Fig. 2 Geological map of Wulong gold deposit

五龙金矿的含金石英脉产于印支期片麻状黑云母花岗岩体中,含金石英脉严格受断裂构造控制,在空间上成群成带出现。近 SN 向矿体多呈脉状产出,连续性较好,长 10~600 m,宽 0.2~17.0 m,向下最大延伸超过 1 000 m。NW 向矿体多呈扁豆体状,少数呈脉状或透镜状,具有明显的尖灭再现特点。单脉长 10~350 m,宽 0.2~10.0 m,向下最大

延伸 300 m。五龙金矿累计探明金资源量 49.96 t,保有金资源量 5.96 t,金平均品位 7.19 g/t。

五龙金矿的矿化类型主要为石英脉型。矿石矿物以黄铁矿为主。脉石矿物以石英为主,含少量的方解石、绿泥石、绢云母等。矿石结构常见有碎裂充填和交代熔蚀结构,其次为半自形粒状结构、他形粒状结构等;常见的矿石构造主要有脉状构

造、细脉浸染状构造、网脉状构造,其次为块状构造、浸染状构造和斑杂状构造。

五龙金矿的蚀变类型有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化以及绢英岩化。其中,硅化最为普遍,绢云母化次之,黄铁矿化发育在矿脉两侧,碳酸盐化发生在矿化晚期,呈不规则脉状。蚀变分带性不明显,自矿脉向围岩由强变弱,直至消失。蚀变与矿化密切相关,可以作为找矿标志。

2.2.2 排山楼金矿

排山楼金矿位于辽宁省阜新市新民境内,构造上位于华北陆块北缘,燕山台褶带辽西台陷北镇凸起北部西缘。矿区内出露的地层主要有太古宇建平群大营口子岩组,中元古界长城系大红峪组和高于庄组。区内发育有 EW 向和 NNE 向韧性剪切带,其中 EW 向韧性剪切带形成时间更早。区内岩浆活动强烈,以燕山期为主,华力西期次之,岩性分别为二长花岗岩和黑云母花岗岩。

矿区内金矿体产于 EW 向上排山楼—马家荒韧性剪切带内,韧性剪切带即为控矿构造,赋矿围

岩主要为大营子组黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩夹斜长角闪扁豆体。金矿带由黄铁矿—绢云母化蚀变糜棱岩带组成,矿带长度超过 1 000 m,宽 20~80 m,倾斜延伸超过 1 000 m。矿带沿走向及倾向呈舒缓波状,并具膨胀现象(图 3)。排山楼金矿探明金资源量 36.902 t,保有金资源量 21.231 t,金平均品位 4.08 g/t。

排山楼金矿的矿石类型分为原生矿石和氧化矿石 2 种,原生矿石又分为蚀变长英质糜棱岩型和蚀变黑云斜长糜棱岩型。矿石工业类型属贫硫化物糜棱岩型。矿石矿物主要以自然金和黄铁矿为主。矿区内围岩蚀变在浅部水平上呈带状,主要有硅化、绿泥石化,碳酸盐化和黄铁矿—绢云母化等。它们在空间上呈带状分布,由外向内呈渐变过渡关系,时间上具有叠加分带的特征。强变形的矿化中心蚀变类型最多,组合复杂,向两侧趋于简单,在垂向上发育钾长石化。蚀变发生的时序依次为绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿—绢云母化、钾长石化。

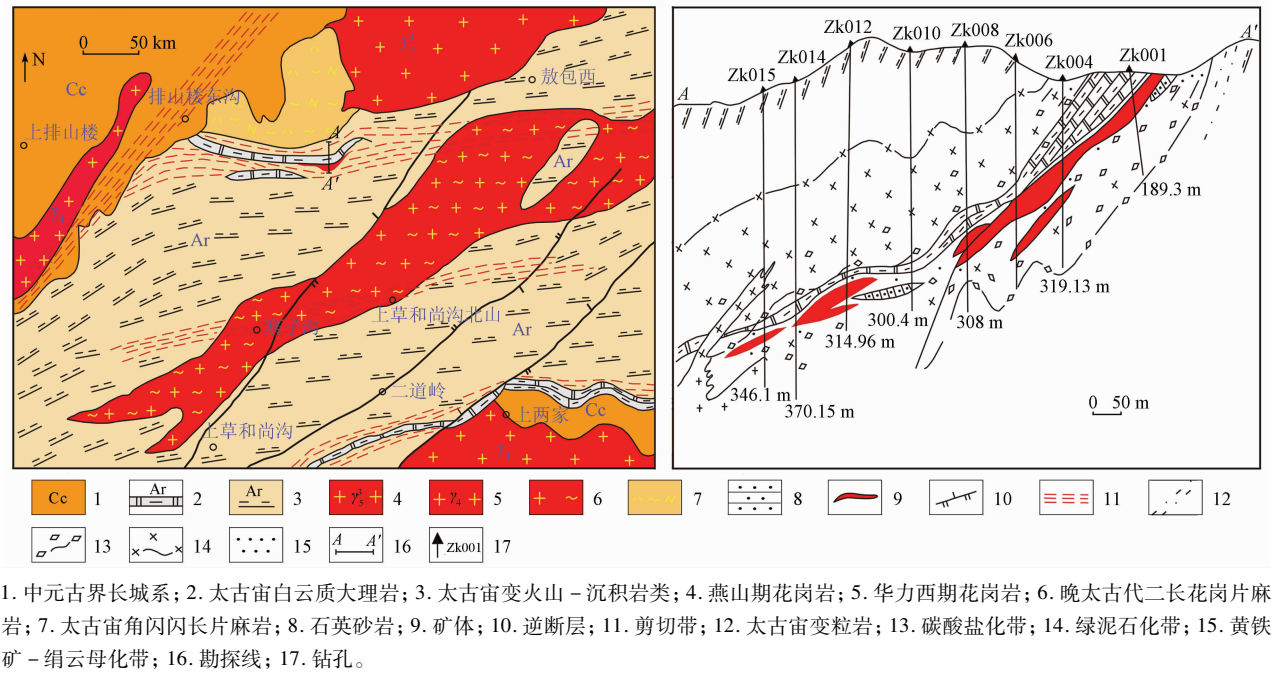


图 3 排山楼金矿矿区地质简图(左)与蚀变矿化分带图(右)

Fig. 3 Geological map (left) and alteration mineralization zoning map (right) of Paishanlou gold deposit

2.3 金矿预测类型

矿床类型是对已知矿床的分类,但对于在不同区域内待发现的矿床也可进行分类,即矿产预测类型^[27]。金矿预测类型是指为成矿预测划分的、具有区域性特点的金矿类型。依据《重要矿产预测类

型划分方案》^[28],并结合成矿地质背景、矿床成因和含金建造等,将辽宁省内的金矿预测类型划分为:花岗—绿岩型、火山岩型、岩浆热液型、沉积建造中的金矿(如变质碎屑岩中热液型)、与表生作用有关的金矿(如砂金型)。其中,省内以岩浆热液

型、沉积建造中的金矿和火山岩型作为重点预测类型,花岗-绿岩型以及与表生作用有关的金矿次之。

3 辽宁省金矿的时空分布规律

本文将辽宁省金矿形成期划分为 3 个主要成矿期,即前寒武纪成矿期、中生代成矿期以及新生代成矿期。辽宁省金矿的成矿时代以中生代为主,该时期形成的金矿约占总量的 50%,前寒武纪形成的金矿约占总量的 40%,新生代砂矿约占总量的

10%。3 个成矿期形成的金矿预测类型、成矿区带以及典型金矿见表 2。

前寒武纪成矿期的金矿预测类型主要以沉积建造中的金矿和花岗-绿岩型为主。金矿在空间上主要分布于太古宙-古元古代结晶变质岩系广泛出露的隆起区,主要产于铁岭-靖宇次级隆起区和营口-长白次级隆起区。太古宙-古元古代变质岩系是区内金矿的初始矿源层,在成矿过程中具有矿源层和赋矿围岩的双重作用。前寒武纪金矿的主要成矿时代为新太古代和古元古代,典型金矿包括南龙王庙金矿和猫岭金矿。

表 2 辽宁省金矿预测类型的时空分布
Tab. 2 Timeporal - spatial distribution of gold deposits prediction types of Liaoning Province

成矿时代	金矿预测类型	矿床数量/个			成矿区带	典型矿床
		大型	中型	小型		
新生代	与表生作用有关的金矿	0	1	5	Ⅲ-56-①: 铁岭—靖宇(次级隆起)Fe-Au-Cu-Pb-Zn-煤成矿亚带	柴河金矿
	花岗-绿岩型	1	0	0	Ⅲ-57-③: 北镇(次级隆起)Au 成矿亚带	排山楼金矿
	火山岩型	0	1	2	Ⅲ-57-①: 内蒙隆起东段 Fe-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-U-P-膨润土成矿亚带 Ⅲ-57-④: 马兰峪—绥中(次级隆起)Fe-Au-Pb-Zn 成矿亚带 Ⅲ-57-②: 燕辽(拗陷)Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-Fe-Mn-煤成矿亚带	二道沟金矿 大石沟金矿 红石砬子金矿
中生代	岩浆热液型	1	3	11	Ⅲ-56-①: 铁岭—靖宇(次级隆起)Fe-Au-Cu-Pb-Zn-煤成矿亚带 Ⅲ-56-②: 营口—长白(次级隆起)Pb-Zn-Fe-Au-Ag-U-B-菱镁矿-滑石矿成矿亚带 Ⅲ-57-②: 燕辽(拗陷)Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-Fe-Mn-煤成矿亚带	下大堡金矿 五龙金矿 柏杖子金矿
	沉积建造中的金矿	0	1	1	Ⅲ-56-②: 营口—长白(次级隆起)Pb-Zn-Fe-Au-Ag-U-B-菱镁矿-滑石矿成矿亚带	白云金矿
	沉积建造中的金矿	0	1	0	Ⅲ-56-②: 营口—长白(次级隆起)Pb-Zn-Fe-Au-Ag-U-B-菱镁矿-滑石矿成矿亚带	猫岭金矿
前寒武纪	花岗-绿岩型	0	0	1	Ⅲ-56-①: 铁岭—靖宇(次级隆起)Fe-Au-Cu-Pb-Zn-煤成矿亚带	南龙王庙金矿

中生代成矿期的金矿预测类型主要以岩浆热液型与火山岩型为主,花岗-绿岩型与沉积建造中的金矿次之。辽宁东部的金矿主要分布于铁岭—靖宇次级隆起区和营口—长白次级隆起区;西部的金矿分布于北镇次级隆起区和燕辽拗陷带内。中生代是我国东部重要的成矿期,从岩浆活动时间上看,燕山早期岩浆活动以中深成侵入为主,形成的矿床类型为重熔岩浆热液型及同熔岩浆热液型;燕山晚期岩浆活动以浅成侵入为主,形成的矿床类型为火山岩型。从空间分布上看,矿床(点)主要产于岩体内部、岩体或火山机构周围 1~5 km 范围

内。从成矿作用来看,岩浆活动不仅为金矿的形成提供了大量的热源,同时也提供了成矿物质。中生代金矿的主要成矿时代集中于印支期和燕山期,其中印支期形成的典型金矿为白云金矿,燕山期形成的典型金矿包括二道沟金矿、排山楼金矿、柏杖子金矿、红石砬子金矿、五龙金矿、四道沟金矿等。

新生代成矿期的金矿预测类型为与表生作用有关的金矿,以砂金型为主,主要分布于辽东地区。砂金主要富集于潮坪海滩、砂堤以及冲海积一级阶地的白砂层、黑砂层、砂质砾石层、砾质砂层。省内砂金型金矿已知产地较多,但多因品位低或规模小

而不具有工业意义。

4 辽宁省金矿成矿系列

矿床成矿系列是指在一定的地质历史时期及一定的地质构造单元内,与一定的地质成矿作用有关,并在时间、空间、成因上具有内在联系的一组矿床自然组合^[9]。矿床成矿系列可以为进一步划分出成矿区带并为找矿提供理论依据。王文清等^[8]根据矿床的成矿地质特征,将辽宁省的金矿划分为 4 个成矿系列组合、5 个成矿系列类型、7 个成矿系

列、13 个亚系列以及 17 个矿床类型。笔者在归纳和总结辽宁省金矿成矿地质特征的基础上,根据省内在不同时期、不同构造环境中形成的金矿特征,并结合前人成果^[2,8],重新厘定了辽宁省金矿的成矿系列,将省内金矿划分为 3 个成矿系列组合与 6 个成矿系列(表 3)。其中变质成矿系列组合中的沉积变质-热液改造成矿系列和沉积-变质热液成矿系列,以及新生代沉积成矿系列组合的金矿主要集中于辽宁东部。中生代岩浆成矿系列组合的金矿在省内的分布范围较为广泛,且矿床数量较多,这可能是我国东部中生代成矿大爆发事件的响应。

表 3 辽宁省金矿成矿系列
Tab.3 Gold deposit metallogenic series in Liaoning Province

成矿系列组合	成矿系列	构造背景	成矿时代	典型金矿
沉积成矿系列组合	沉积砂岩成矿系列	—	新生代	柴河砂金矿、化石里沟金矿
岩浆成矿系列组合	岩浆热液成矿系列	太平洋板块向欧亚板块边缘俯冲及构造体制转换	中生代	五龙金矿、柏杖子金矿、下大堡金矿
	陆相火山-次火山热液成矿系列			二道沟金矿、大石沟金矿、红石砬子金矿
	沉积-变质热液成矿系列			排山楼金矿 白云金矿
变质成矿系列组合	变质热液成矿系列	伸展构造背景下的胶—辽—吉地区	前寒武纪	南龙王庙金矿
	沉积变质-热液改造成矿系列	华北各微陆块的碰撞-拼合		猫岭金矿

5 讨论

矿床是在特定地质历史时期成矿动力学背景下形成的重要产物^[29]。据成矿年代学资料统计,辽宁省内已发现的金矿主要集中分布于前寒武纪、中生代、新生代 3 个成矿幕,且每个成矿幕在不同的成矿动力学演化过程中产出不同的金矿成矿系列。

5.1 前寒武纪大地构造演化与金成矿关系

前寒武纪成矿幕的成矿动力学演化机制如下:①在始太古代—中太古代华北陆块发生了重要的构造事件,即前鞍山旋回,包括任纪舜等^[30]命名的白家坟旋回、陈台沟旋回、迁西旋回、阜平旋回下部,为陆壳形成与增生的重要时期^[31]。这一时期也形成了条带状硅铁建造中的铁矿及含金丰度较高的上表壳岩系,即含金初始矿源层^[2];②新太古代,华北各微陆块发生了碰撞-拼合,在胶辽陆块与迁怀陆块的弧-陆碰撞、拼合作用下辽宁省形成了统一的基底陆块。受陆块碰撞、拼贴及大规模变质作用的影响,含金初始矿源层中

的成矿元素发生活化、富集,并在辽宁东部清原地区形成了块状硫化物铜锌矿和脉状、透镜状金矿,如红透山铜锌矿、南龙王庙金矿等,构成变质热液成矿系列;③古元古代初期,营口—宽甸一带出现雏地槽(即辽东裂谷),这时期胶—辽—吉地区处于伸展构造背景^[12],岩浆活动频繁^[32]。在此背景下,辽东地区形成了层状铅锌矿和层状、似层状、透镜状金矿,如青城子铅锌矿、猫岭金矿等,构成沉积变质-热液改造成矿系列。

辽宁省的大地构造位置处于华北陆块北缘东段,华北陆块北缘作为我国重要的黄金生产基地,区域内分布着数百处金矿。值得注意的是,在前寒武纪,华北陆块经变质-壳熔作用形成了统一的含金变质结晶基底^[3],这时期省内形成的金矿多集中于辽宁东部,而在辽宁西部相对少见,造成这种现象的原因可能与以下 3 个因素有关:①辽东地区与辽西地区的结晶基底在物质成分上存在差异^[33];②自太古宙以来,辽宁境内所经历的多次构造旋回都曾发生过不同性质的变质作用和岩浆活动,导致辽东地区和辽西地区发生的混合岩化程度及所混合的原岩成分存在较大的差异^[34];③前寒

武纪,由于华北陆块内部多个微陆块碰撞、拼贴,造成辽东地区和辽西地区在成矿背景和物质来源等方面存在显著的差异^[3]。

5.2 中生代—新生代大地构造演化与金成矿关系

中生代,华北陆块在太平洋板块向欧亚板块边缘的俯冲作用下,发生了由 SN 向挤压(160 ~ 145 Ma)向 NNE 向伸展(145 ~ 100 Ma)的转换^[35]。这种构造体制转换在辽宁省最显著的地质响应是辽宁境内发生的成矿大爆发事件。中生代成矿幕的成矿动力学演化机制主要表现在以下 2 个方面:

①在构造体制转换过程中,辽宁省部分地区发生了大规模的推覆走滑、韧性剪切等构造作用,并伴有相关的成矿作用,形成了与金矿有关的沉积—变质热液成矿系列和变质热液成矿系列。其中变质热液成矿系列的金矿主要分布于北镇次级隆起区,太古宙绿岩带内,成矿母岩为太古宙变质表壳岩,其成矿作用与容矿剪切变形变质同期、同步发生。沉积—变质热液成矿系列的金矿主要分布于辽东裂谷范围内,赋存于辽河岩群变质碎屑岩中,受韧性剪切带控制明显,以白云金矿最为典型;②发生重熔、同熔及大量的火山喷发事件,在营口—长白次级隆起区及燕辽拗陷等成矿区带内,分布着与燕山期岩浆作用有关的岩浆热液成矿系列和陆相火山—次火山热液成矿系列。以燕辽拗陷带为例,该带内分布着由柏杖子金矿、杨家杖子钼矿、小寺沟铜矿等构成的岩浆热液成矿系列;由肖家营子钼矿、二道沟金矿等构成的陆相火山—次火山热液成矿系列。

新生代,辽宁省进入喜马拉雅造山运动,由各地质历史时期形成的海相、陆相砂岩经过成矿作用,形成了与金矿有关的沉积砂岩成矿系列。

6 结论

(1)本文将辽宁省金矿划分为 5 个金矿预测类型,即岩浆热液型、花岗—绿岩型、火山岩型、沉积建造中的金矿以及与表生作用有关的金矿;并将辽宁省金矿的成矿时代划分为前寒武纪、中生代和新生代 3 个成矿期。

(2)辽宁省金矿的成矿系列组合可划分为沉积成矿系列组合、岩浆成矿系列组合以及变质成矿系列组合 3 个成矿系列组合以及 6 个成矿系列。

(3)前寒武纪、中生代以及新生代辽宁省金矿

的成矿动力学演化过程伴有 6 个成矿系列。前寒武纪辽东地区经历了华北陆壳形成与增生、碰撞拼合及辽东裂谷带拉伸的演化阶段,形成了变质热液成矿系列和沉积变质—热液改造成矿系列;中生代我国东部发生了构造体制转换事件,在此构造演化过程中辽宁地区形成了沉积—变质热液成矿系列、变质热液成矿系列、岩浆热液成矿系列及陆相火山—次火山热液成矿系列;新生代全省进入喜马拉雅造山运动,形成了沉积砂岩成矿系列。

参考文献(References):

- [1] 杨占兴. 辽宁省成矿系列与成矿区带研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006:1-117.
Yang Z X. Metallogenic Series and Metallogenic Belts in Liaoning Province[D]. Beijing: University of Geosciences(Beijing), 2006: 1-117.
- [2] 曲亚军. 辽宁省金矿成矿作用与成矿预测研究[D]. 长春:吉林大学,2006:1-244.
Qu Y J. The Gold Mineralization and Prognosis in Liaoning Province[D]. Changchun: Jilin University, 2006: 1-244.
- [3] 贾三石,王恩德,付建飞,等. 冀东—辽西主要金矿集区地质特征的差异性与成矿作用的统一性探析[J]. 地质学报, 2011, 85(9): 1493-1506.
Jia S S, Wang E D, Fu J F, et al. Geological differences and mineralization unity of the key gold ore concentrated regions in eastern Hebei and western Liaoning Provinces[J]. Acta Geol Sin, 2011, 85(9): 1493-1506.
- [4] 郝连成,王卫国,胡延斌,等. 冀西北怀安地区基底变质岩系构造变形序列研究[J]. 中国地质调查, 2018, 5(4): 57-66.
Hao L C, Wang W G, Hu Y B, et al. Study on tectonic deformation sequence of the basement metamorphic rock series in Huai'an of northwestern Hebei[J]. Geol Surv China, 2018, 5(4): 57-66.
- [5] 万渝生,董春艳,颜颜强,等. 华北克拉通古老大陆地壳组成及演化[J]. 中国地质调查, 2015, 2(3): 1-4.
Wan Y S, Dong C Y, Xie H Q, et al. Composition and evolution of the ancient basement of the North China Craton[J]. Geol Surv China, 2015, 2(3): 1-4.
- [6] 许敬文. 东沟县志[M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1996: 1-1262.
Xu J W. County Records of Donggou[M]. Shenyang: Liaoning People's Publishing House, 1996: 1-1262.
- [7] 王文清,王长峰. 辽宁省金矿成矿系列划分及特征[J]. 辽宁地质, 2001, 18(1): 21-27.
Wang W Q, Wang C F. Subdivision and characteristics of ore forming series of gold deposits in Liaoning Province[J]. Liaoning Geol, 2001, 18(1): 21-27.
- [8] 王成辉,徐珏,黄凡,等. 中国金矿资源特征及成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2315-2325.
Wang C H, Xu J, Huang F, et al. Resources characteristics and outline of regional metallogeny of gold deposits in China[J]. Acta

- Geol Sin, 2014, 88(12): 2315–2325.
- [9] 陈毓川, 李兆鼎, 毋瑞身, 等. 中国金矿床及其成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 1–465.
- Chen Y C, Li Z N, Wu R S, et al. Gold Deposits and Their Metallogenic Regularity in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 1–465.
- [10] 杨占兴. 辽宁省金矿成矿作用研究[J]. 辽宁地质, 1997(1): 40–54.
- Yang Z X. Studies on the mineralization of gold deposits in Liaoning Province[J]. Liaoning Geol, 1997(1): 40–54.
- [11] 邱小平. 猫岭金矿床成矿构造演化特征[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 198–205.
- Qiu X P. Evolution features of metallogenic structure in Maoling gold deposit[J]. Miner Depos, 2004, 23(2): 198–205.
- [12] 刘军, 李铁刚, 段超. 辽宁猫岭大型金矿床成岩成矿年龄及同位素地球化学特征[J]. 地质通报, 2018, 37(7): 1325–1337.
- Liu J, Li T G, Duan C. Geochronology and isotopic geochemistry characteristics of the Maoling large gold deposit, Liaoning Province, China[J]. Geol Bull China, 2018, 37(7): 1325–1337.
- [13] 戴仕炳, 刘连登. 浑北太古宙南龙王庙金矿床的成矿物质来源[J]. 辽宁地质, 1989(3): 216–229.
- Dai S B, Liu L D. Origin of ore-forming materials of S. Longwangmiao Archean greenstone gold deposit in northern Hunhe River, Liaoning Province, China[J]. Liaoning Geol, 1989(3): 216–229.
- [14] 刘国平, 艾永富. 辽宁白云金矿床成矿时代探讨[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 627–632.
- Liu G P, Ai Y F. Studies on the mineralization age of Baiyun gold deposit in Liaoning[J]. Acta Petrol Sin, 2000, 16(4): 627–632.
- [15] 陆红, 高娟, 金玉兰. 辽宁水泉金矿综合信息找矿模型及预测[J]. 世界地质, 1997, 16(2): 45–48.
- Lu H, Gao J, Jin Y L. The multivariate information prospecting model and Metallogenic prediction in Shuiquan gold deposit[J]. Global Geol, 1997, 16(2): 45–48.
- [16] 魏俊浩, 刘丛强, 李志德, 等. 论金矿床成矿年代的确定——以丹东地区成岩成矿 Rb–Sr、U–Pb 同位素年代为例[J]. 地质学报, 2003, 77(1): 113–119.
- Wei J H, Liu C Q, Li Z D, et al. U–Pb, Rb–Sr Isotopic dating of the diagenesis and mineralization of gold deposits in the Dandong area[J]. Acta Geol Sin, 2003, 77(1): 113–119.
- [17] 石连成, 骆燕, 江民忠, 等. 辽东半岛五龙金矿床航空电磁场特征及找矿意义[J]. 地质学报, 2020, 94(10): 3106–3119.
- Shi L C, Luo Y, Jiang M Z, et al. Characteristics of aero–electromagnetic field and its prospecting significance in the Wulong gold deposit, Liaodong peninsula[J]. Acta Geol Sin, 2020, 94(10): 3106–3119.
- [18] 曲广涛, 张晓东, 周文君, 等. 辽宁四道沟金矿成矿条件与找矿潜力评价[J]. 黄金, 2007, 28(9): 14–18.
- Qu G T, Zhang X D, Zhou W J, et al. Evaluation of metallogenic conditions and prospective potentials in Sidaogou gold deposit, Liaoning Province[J]. Gold, 2007, 28(9): 14–18.
- [19] 张立仕. 辽宁省清原县下大堡金矿床地质特征及成因探讨[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 1–82.
- Zhang L S. Study on Geological Characteristics and Genesis of Xiadapu Gold Deposit, Qingyuan County, Liaoning Province[D]. Changchun: Jilin University, 2013: 1–82.
- [20] 魏军, 王恩德, 门业凯, 等. 小佟家堡子金矿床微量稀土元素特征[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2018, 39(5): 689–692, 721.
- Wei J, Wang E D, Men Y K, et al. Characteristics of trace rare earth elements of Xiaotongjiapuzi gold deposit[J]. J Northeastern Univ: Nat Sci, 2018, 39(5): 689–692, 721.
- [21] 骆辉, 赵运起. 辽宁阜新排山楼金矿地质和成矿作用[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(4): 13–24.
- Luo H, Zhao Y Q. Geology and mineralization of Paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning Province[J]. Prog Precamb Res, 1997, 20(4): 13–24.
- [22] 王荣湖, 金成洙, 李景春. 排山楼金矿床⁴⁰Ar–³⁹Ar 年龄及其地质意义[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(10): 1482–1485.
- Wang R H, Jin C Z, Li J C. ⁴⁰Ar–³⁹Ar isotopic dating for Paishanlou gold deposit and its geological implication[J]. J Northeastern Univ: Nat Sci, 2008, 29(10): 1482–1485.
- [23] 聂飞, 刘书生, 董国臣, 等. 辽西二道沟金矿成矿物质来源: 来自 S–Pb 同位素的证据[J]. 现代地质, 2018, 32(6): 1283–1291.
- Nie F, Liu S S, Dong G C, et al. The ore-forming material of the Erdaogou gold deposit in west Liaoning Province: Evidence from S–Pb isotopes[J]. Geoscience, 2018, 32(6): 1283–1291.
- [24] 温佳伟, 史鹏亮, 刘彦兵, 等. 辽宁二道沟金矿构造叠加晕特征及深部找矿预测[J]. 现代地质, 2020, 34(6): 1291–1302.
- Wen J W, Shi P L, Liu Y B, et al. Characteristics of structural superimposed halos and deep prospecting prediction in Erdaogou gold deposit, Liaoning Province[J]. Geoscience, 2020, 34(6): 1291–1302.
- [25] 王和胜. 建昌县大石沟金矿床特征及矿床模式[J]. 辽宁地质, 1998(3): 195–204.
- Wang H S. The characteristics and model of Dashigou gold deposit in Jianchang County[J]. Liaoning Geol, 1998(3): 195–204.
- [26] 张招崇, 李兆鼎, 王富宝, 等. 红石砬子式火山岩型金矿的找矿问题[J]. 黄金, 1992, 13(12): 6–9, 5.
- Zhang Z C, Li Z N, Wang F B, et al. About prospecting of Hongshilaizi gold deposit type of volcanic rocks[J]. Gold, 1992, 13(12): 6–9, 5.
- [27] 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(4): 1092–1099, 1110.
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, et al. Prediction type of mineral resources and its application in the assessment work of mineral resources potential[J]. J Jilin Univ: Earth Sci Ed, 2013, 43(4): 1092–1099, 1110.
- [28] 陈毓川, 王登红, 李厚民, 等. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1–222.
- Chen Y C, Wang D H, Li H M, et al. Classification Scheme of Important Mineral Prediction Types[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1–222.

- [29] Mitchell A H G, Garson M S. Mineral Deposits and Global Tectonic Settings[M]. London: Academic Press, 1981: 1–405.
- [30] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1–204.
Ren J S, Chen T Y, Niu B G, et al. Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas[M]. Beijing: Science Press, 1992: 1–204.
- [31] 翟明国. 华北克拉通的形成演化与成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 24–36.
Zhai M G. Tectonic evolution and metallogenesis of North China Craton[J]. Miner Depos, 2010, 29(1): 24–36.
- [32] 陈井胜, 邢德和, 刘森, 等. 辽宁辽阳地区辽河群酸性火山岩锆石 U–Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(9): 2792–2810.
Chen J S, Xing D H, Liu M, et al. Zircon U–Pb chronology and geological significance of felsic volcanic rocks in the Liaohe Group from the Liaoyang area, Liaoning Province[J]. Acta Petrol Sin, 2017, 33(9): 2792–2810.
- [33] 李俊建, 罗镇宽, 燕长海, 等. 华北陆块的构造格局及其演化[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(2): 89–100.
Li J J, Luo Z K, Yan C H, et al. Structure framework and evolution of the North China Craton[J]. Contrib Geol Miner Resour Res, 2010, 25(2): 89–100.
- [34] 马光, 刘继顺, 宫丽, 等. 辽宁省早前寒武纪两类不同花岗岩类岩石元素地球化学模型及意义[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 50–54.
Ma G, Liu J S, Gong L, et al. The geochemistry model and the significance of two kinds of granitic rocks in early Precambrian period in Liaoning[J]. Geol Prospect, 2004, 40(1): 50–54.
- [35] 李三忠, 刘建忠, 赵国春, 等. 华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造的制约——以胶辽地区为例[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 633–646.
Li S Z, Liu J Z, Zhao G C, et al. Key geochronology of Mesozoic deformation in the eastern block of the North China Craton and its constraints on regional tectonics: A case of Jiaodong and Liaodong peninsula[J]. Acta Petrol Sin, 2004, 20(3): 633–646.

Metallogenic regularity and series of gold deposits in Liaoning Province

YUAN He¹, WANG Denghong²

(1. Liaoning Fourth Geological Team Limited Liability Company, Liaoning Fuxin 123000, China; 2. Key Laboratory of Mineralization and Resource Evaluation, Ministry of Natural Resource Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The tectonic position of Liaoning Province is located in the eastern segment of the northern margin of North China Block, and gold resources are rich in this province. By studying the typical gold deposits, the authors in this paper summarized the types of gold deposits, mineral prediction types and timeporal – spatial distribution of gold deposits in Liaoning Province. On the basis of new knowledge of relationship between tectonic evolution and gold mineralization in Liaoning Province, coupling relationship between major tectonic events and gold mineralization effect, this paper illustrated the dynamic evolution mechanism through metallogenic series theory, and the gold deposits in Liaoning Province was divided into three metallogenic series associations and six metallogenic series. The results show that the sedimentary metamorphic hydrothermal transformation metallogenic series and metamorphic hydrothermal metallogenic series were formed in the eastern Liaoning during Precambrian period under the background of collision amalgamation and extension structure. Continental volcanic subvolcanic hydrothermal metallogenic series, magmatic hydrothermal metallogenic series, metamorphic hydrothermal metallogenic series and sedimentary metamorphic hydrothermal metallogenic series were formed in Liaoning during the transformation of tectonic system in eastern China in Mesozoic, Liaoning Province was involved in Himalayan orogeny in Cenozoic, forming a sedimentary metallogenic series. The results can provide references for researches of Metallogenesis of gold deposits in Liaoning Province.

Keywords: metallogenic regularity; metallogenic series; metallogenic dynamic evolution mechanism; Liaoning Province

(责任编辑: 魏昊明)