

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.04.05

引用格式: 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.)

# 辽宁省重点金矿集区地质特征及成岩成矿作用

袁和<sup>1</sup>, 白银增<sup>2</sup>, 耿树峰<sup>1</sup>, 洪秀伟<sup>1</sup>, 王登红<sup>3</sup>

(1. 辽宁省第四地质大队有限责任公司, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁省有色地质一〇九队有限责任公司, 辽宁 朝阳 122000; 3. 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:** 作为我国重要的产金省份, 辽宁省的中生代构造、岩浆活动较为强烈, 并伴有强烈的金成矿作用。根据金矿床的空间分布特征, 将辽宁省划分出5个重点金矿集区, 为深入了解各金矿集区内金矿床的成岩成矿作用, 对金矿集区的地质特征、成岩成矿时代、地球化学等方面进行了系统分析。研究表明: 各金矿集区的金成矿作用与印支期、燕山期岩浆活动有关, 成矿时间集中于126~118 Ma, 225~188 Ma; 辽西金矿集区金矿石中的S属于地幔硫, 而辽东金矿集区S来源于岩浆和变质岩地层, 各矿集区矿石的Pb具有壳幔混合源特征, 5个重点金矿集区的成矿物质源区组成为同一岩浆源区、不同岩浆演化阶段的产物, 成岩成矿物质为下地壳部分熔融的产物, 并有部分幔源物质参与。结合近年找矿进展, 建立了辽宁省金矿找矿预测地质模型, 可为下一步开展区域矿产勘查工作提供新思路。

**关键词:** 金矿集区; 成岩成矿作用; 找矿预测地质模型; 辽宁省

**中图分类号:** P618.51; P612

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2023)04-0037-09

## 0 引言

辽宁省作为我国金矿的矿产集中地之一, 其金矿床主要分布于二道沟、排山楼、猫岭、青城子、五龙等地区, 前人对这些地区产出的大型和中型金矿床的成矿时代、成矿类型、矿床成因等方面做了大量的研究工作<sup>[1-10]</sup>, 一般认为金矿床的形成与印支期和燕山期的岩浆作用有关<sup>[2-3, 11-12]</sup>。

近年来, 前人主要针对辽宁省内的典型金矿床开展系统研究, 但缺乏对中生代形成的金矿床的整体研究, 如省内与中生代2期岩浆作用有关的不同类型金矿床间成矿物质来源的区别, 以及各金矿集区成矿物质源区组成的成因联系等科学问题。本文在梳理前人成果的基础上, 提出了辽宁省金矿集区的划分原则, 并对金矿集区的地质特征、成岩成矿时

代、地球化学特征等进行分析, 建立了辽宁省金矿找矿预测地质模型, 为深化辽宁省金矿成矿作用的研究以及开展区域矿产勘查工作提供新思路。

## 1 区域构造演化与金成矿

辽宁省处于华北陆块北缘东段, 其区域构造演化经历了4个阶段: ①古老基底形成阶段, 新太古代华北克拉通发生了各微陆块碰撞—拼合事件<sup>[11]</sup>, 辽宁省形成了统一的结晶基底, 这一阶段辽宁省部分地区形成含金原始矿源层<sup>[5]</sup>; ②裂谷演化阶段, 古元古代辽宁省经历了陆内裂谷事件, 辽东裂谷形成, 在裂谷拉张、沉降期间辽东地区沉积了辽河群厚层陆源碎屑岩和碳酸盐岩, 且部分碎屑岩区继承了源区新太古代含金原始矿源层富金的特征, 形成金矿衍生矿源层<sup>[13]</sup>, 同时在冀东—辽西地区分布的燕辽裂

收稿日期: 2022-06-27; 修订日期: 2023-04-20。

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, 主要从事矿床学研究工作。Email: yuanhe1985@126.com。

通信作者简介: 王登红(1967—), 男, 二级研究员, 中国地质调查局“战略新兴矿产调查工程”首席专家, 主要从事矿产资源研究工作。

Email: wangdenghong@vip.sina.com。

陷槽为金矿床的形成提供了赋存空间；③陆壳盖层演化阶段，中元古代—晚古生代华北陆块经历了超过 1 Ga 的稳定盖层沉积期<sup>[14]</sup>，这一阶段金成矿作用不明显；④构造体制转换阶段，中生代华北克拉通东部发生了构造体制转换事件，总体由挤压构造向伸展构造转换，由此引发了华北克拉通东部与岩浆侵入和喷发作用有关的成矿大爆发事件<sup>[15,11]</sup>。

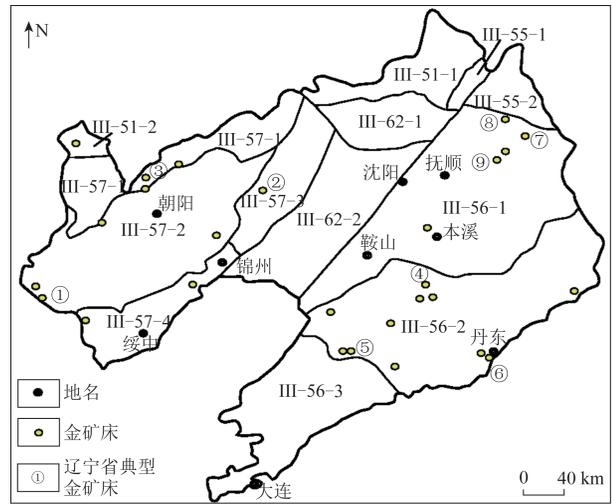
## 2 金矿集区的划分及其地质特征

### 2.1 金矿集区划分

根据《辽宁省矿产资源潜力评价报告》<sup>[15]</sup>，辽宁省共划分为 13 个四级成矿亚带（图 1），但辽宁省金矿集区的划分方案尚不明确。因此，本文提出辽宁省金矿集区的划分原则：①矿集区的划分必须建立在成矿区带的基础上，原则上不能跨成矿带，且具有相似的成矿地质环境及成矿机制；②不同时期的矿床在同一地区密集分布，且存在一个以上的大型矿床或 2 个以上的中型矿床，以及伴有若干小型矿床（点）；③以区域构造演化史为基础，综合考虑区域地层、构造、岩浆岩等因素。根据上述原则将本省划分出 5 个重点金矿集区（表 1）。

贾三石等<sup>[5]</sup>将辽西与内蒙古赤峰、河北冀东接壤地带产出的金矿床划分金厂沟梁—二道沟为金厂峪—峪耳崖（包括柏杖子金矿）金矿集区。本文重新圈定了辽西地区的金矿集区，并补充了前人遗漏的金矿床，其中由于柏杖子地区仅柏杖子金矿床为中型矿床，且部分小型金矿床存在跨成矿带现象，本文不再将其划入金矿集区。此外，辽东地区的南龙王庙（花岗—绿岩型）、柴河（砂金型）、下大堡（岩浆热液型）等金矿床具有不同的成矿机制，因

此也不再将其划入金矿集区。



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 - Pb - Zn - 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 - 硼 - 菱铁矿 - 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柏杖子金矿床；②排山楼金矿床；③二道沟金矿床；④白云金矿床；⑤猫岭金矿床；⑥五龙金矿床；⑦南龙王庙金矿床；⑧柴河金矿床；⑨下大堡金矿床

图 1 辽宁省代表性金矿分布

Fig. 1 Distribution of representative gold deposits in Liaoning Province

表 1 辽宁省金矿集区统计

Tab. 1 Statistics of gold concentration areas in Liaoning Province

金矿集区名称	所处Ⅲ级成矿区带	代表性金矿床		
		大型	中型	小型
二道沟	III-57 华北陆块北缘东段 Fe - Cu - Mo - Pb - Zn - Au - U - 磷 - 煤 - 膨润土成矿带	无	二道沟、东五家子	小塔子沟、沙金沟等
排山楼	III-56 辽东（隆起）Fe - Cu - Pb - Zn - Au - U - 硼 - 菱铁矿 - 滑石 - 石墨 - 金刚石成矿亚带	排山楼	新民	靳家店、二道岭等
青城子		无	白云、小佟家堡子	林家、桃源等
猫岭		无	猫岭、王家砬子	金厂沟等
五龙		五龙	四道沟	杨家、红石等

### 2.2 金矿集区地质特征

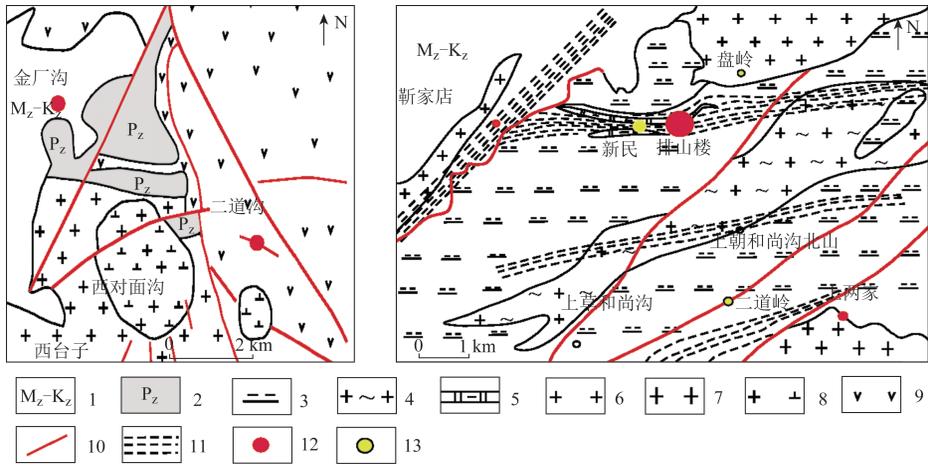
#### 2.2.1 辽西地区金矿集区

根据金矿集区划分原则，将辽西地区划分为二

道沟矿和排山楼金矿集区（表 1，图 2）。二道沟金矿集区内出露的基底岩系为新太古界建平群小塔子沟组变质岩，岩性由片麻岩、斜长角闪岩组成，为

东五家子、小塔子沟等金矿床的赋矿围岩,而陆相火山岩为二道沟金矿的赋矿围岩。区内金矿化的成因多与西对面沟花岗闪长岩体有关,其成岩年龄

为128 Ma<sup>[2]</sup>。矿床多发育于由该岩体侵位形成的放射状断裂带内,矿体倾角较陡,矿化类型以石英脉型为主,蚀变岩型次之<sup>[16]</sup>。



1. 中生界—新生代; 2. 古生界; 3. 建平群角闪斜长片麻岩; 4. 太古代二长花岗片麻岩; 5. 白云质大理岩; 6. 海西期黑云母花岗岩; 7. 燕山期二长花岗岩; 8. 花岗闪长岩; 9. 流纹岩; 10. 断裂; 11. 韧性剪切带; 12. 金矿床; 13. 补充金矿床

图2 金厂沟梁—二道沟金矿床(左)与排山楼地区(右)地质简图

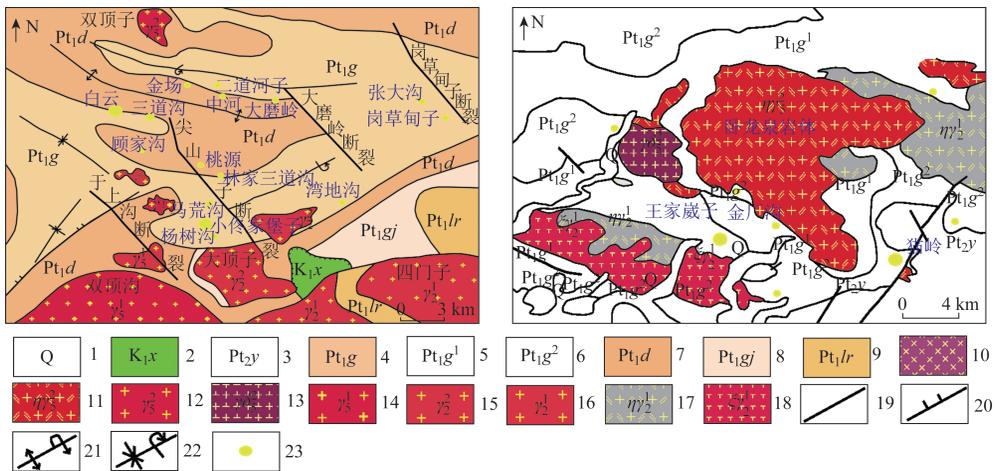
Fig. 2 Geological sketch of Jinchanggouliang - Erdaogou gold mine (left) and Paishanlou area (right)

排山楼金矿集区赋矿围岩为新太古界建平群大营子组黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩。矿床受近EW向和NE向韧性剪切带控制,韧性剪切带多呈低角度(35°~55°)产出。矿体呈似层状、透镜状产于糜棱岩带内,岩浆岩有海西期黑云母花岗岩和燕山期二长花岗岩,其中与金矿化有

关的岩体为二长花岗岩,成岩年龄为124 Ma和128 Ma<sup>[6,17]</sup>。矿化类型为蚀变糜棱岩型。

2.2.2 辽东地区金矿集区

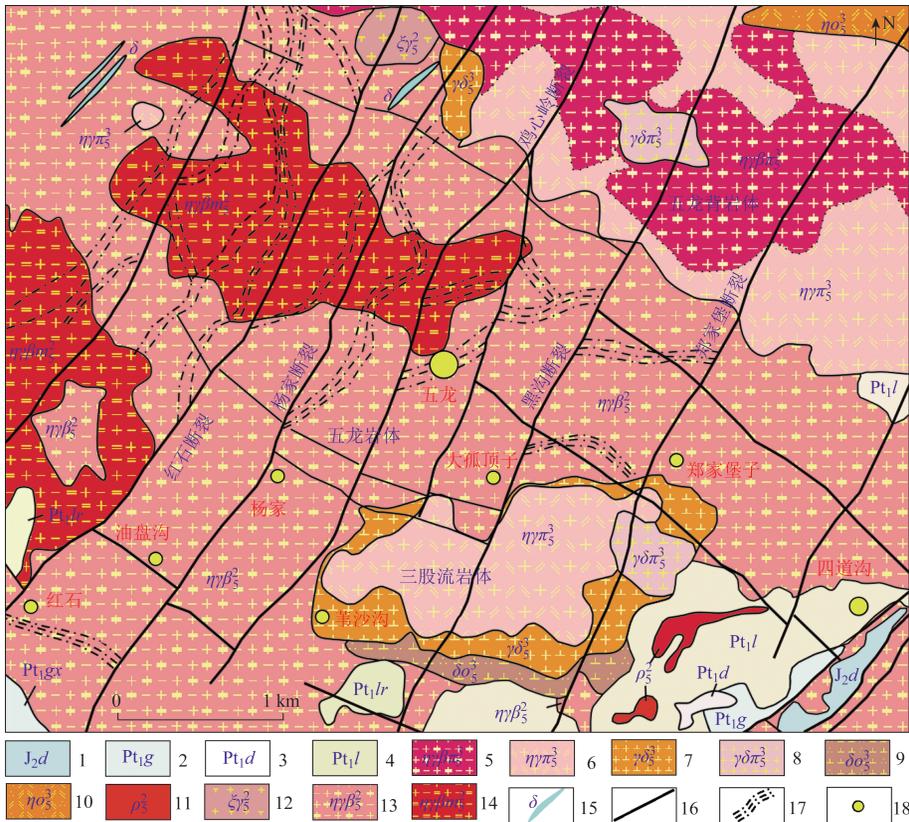
本文将辽东地区划分为3个金矿集区,分别为猫岭、青城子和五龙金矿集区(表1,图3,图4)。



1. 第四系; 2. 白垩系小岭组; 3. 中元古界榆树砬子组; 4. 古元古界辽河群盖县组; 5. 盖县组下段; 6. 盖县组上段; 7. 辽河群大石桥组; 8. 辽河群高家峪组; 9. 辽河群里尔峪组; 10. 燕山期面理化花岗岩; 11. 燕山期二长花岗岩; 12. 燕山期花岗岩; 13. 燕山期花岗闪长岩; 14. 印支期似斑状花岗岩; 15. 中元古代钠质花岗岩; 16. 古元古代钾质混合花岗岩; 17. 古元古代二长花岗岩; 18. 古元古代正长岩; 19. 断裂; 20. 压型、压扭型性断裂; 21. 背斜、倒转背斜; 22. 向斜、倒转向斜; 23. 金矿床

图3 青城子地区(左)与猫岭地区(右)地质简图

Fig. 3 Geological sketch of Qingchengzi area (left) and Maoling area (right)



1. 侏罗系大堡组; 2. 辽河群盖县组; 3. 辽河群大石桥组; 4. 辽河群里尔峪组; 5. 燕山晚期斑状黑云母花岗岩; 6. 燕山晚期斑状二长花岗岩; 7. 燕山晚期花岗闪长岩; 8. 燕山晚期斑状花岗闪长岩; 9. 燕山晚期石英闪长岩; 10. 燕山晚期石英二长岩; 11. 燕山早期伟晶岩; 12. 燕山早期正长花岗岩; 13. 燕山早期黑云母二长花岗岩; 14. 燕山早期二云母二长花岗岩; 15. 闪长岩脉; 16. 断裂; 17. 糜棱岩化带; 18. 金矿床

图 4 五龙地区地质简图  
Fig. 4 Geological sketch of Wulong area

青城子金矿集区出露的地层有古元古代辽河群盖县组、大石桥组及高家峪组。由于受 EW 向推覆构造影响,辽河群产出低角度层间断裂带,金矿化主要赋存于盖县组云母片岩、夕线石云母片岩的层间断裂带内。区内脆性断裂构造发育,金矿床多分布于 NW 向断裂带两侧。区内与金成矿作用有关的双顶沟花岗岩体成岩年龄为 224 Ma<sup>[18]</sup>。矿化以蚀变岩型为主,少量为石英脉型。

猫岭金矿集区出露的地层包括古元古代辽河群盖县组与中元古界榆树砬子组。盖县组下段岩性为片岩夹变粒岩、石英岩,上段为变质长石石英砂岩、绢云千枚岩并夹板岩和石英砂岩,榆树砬子组岩性主要为厚层石英砂岩。金矿床多赋存于盖县组上段,控矿构造以 NE 向、NW 向韧性剪切带为主。区内与金成矿有关的岩体有卧龙泉和猫岭花岗岩体,成岩年龄分别为 183 Ma 和 128 Ma<sup>[8]</sup>。矿化类型为石英脉型和蚀变岩型,前者以王家崴子金矿床和金

厂沟金矿床为代表,后者以猫岭金矿床为代表。

五龙金矿集区广泛分布的黑云母二长花岗岩为主要赋矿围岩,以发育片麻状构造为特征(图 4)。出露地层包括古元古界辽河群、中生界侏罗系。断裂构造发育 NNE 向、NE 向和 NW 向 3 组脆性断裂,其中 NNE 向断裂呈等距离产出,为主要导矿、容矿构造,其倾向北西,倾角 75°~85°。区内与金成矿有关的岩体为三股流岩体<sup>[19]</sup>,岩石类型由岩体中心向外依次为斑状二长花岗岩、花岗闪长岩、斑状花岗闪长岩、石英闪长岩,成岩年龄为 125 Ma<sup>[20]</sup>。矿化类型以石英脉型为主,蚀变岩型次之。

### 3 成岩成矿作用

#### 3.1 成岩成矿时代

二道沟、排山楼和五龙金矿床的成矿年龄集中于 126~118 Ma,属燕山晚期成矿(表 2)。猫岭和白

云金矿床的成矿年龄集中于 225 ~ 188 Ma,属印支晚期—燕山早期成矿。而二道沟、排山楼和五龙矿集区内岩浆活动时间为燕山晚期(128 ~ 124 Ma),猫岭和青城子矿集区内岩浆活动时间为印支晚期—燕山晚期(224 ~ 128 Ma)。其中猫岭矿集区内的卧龙泉与猫岭岩体为复式岩体,属多阶段岩浆活动的产物<sup>[10]</sup>。

表 2 辽宁省代表性金矿床成矿时代统计

Tab.2 Statistics of the metallogenic ages of representative gold deposits in Liaoning Province

金矿床名称	成因类型	成矿年龄/ Ma	侵入岩体	
			岩体名称	成岩时代/Ma
二道沟 <sup>[2]</sup>	火山岩型	126 ~ 118	西对面沟岩体	128
排山楼 <sup>[6,17]</sup>	花岗岩型	126 ~ 124	二长花岗岩体	128、124
猫岭 <sup>[8,21]</sup>	沉积变质—热液改造型	188	卧龙泉、猫岭岩体	183、128
白云 <sup>[18,22]</sup>	沉积变质—热液富集型	225	双顶沟岩体	224
五龙 <sup>[9,20]</sup>	岩浆热液型	122	三股流岩体	125

### 3.2 矿质来源

辽西金矿集区代表性金矿床的金属硫化物 $\delta^{34}S$ 变化范围较窄,属地幔硫范畴(-3.0‰ ~ 3.0‰),显示 S 具有一定的相似性和深源性(表 3)。

表 3 辽宁省代表性金矿床 S 同位素组成

Tab.3 Sulfur isotopic composition of representative gold deposits in Liaoning Province

金矿床名称	$\delta^{34}S/\text{‰}$	
	变化范围	均值
二道沟 <sup>[5]</sup>	-2.2 ~ 3.4	0.80
东五家子 <sup>[24-25]</sup>	1.91 ~ 3.14	2.42
排山楼 <sup>[26-27]</sup>	0.3 ~ 4.3	2.68
猫岭 <sup>[8,10]</sup>	4.3 ~ 10.5	7.90
王家崴子 <sup>[28]</sup>	7.7 ~ 11.56	9.98
白云 <sup>[10,23]</sup>	-7.7 ~ 1.9	-5.50
小佟家堡子 <sup>[29]</sup>	1.87 ~ 15.98	8.15
五龙 <sup>[9-10]</sup>	1.1 ~ 2.4	1.80
四道沟 <sup>[30]</sup>	9.23 ~ 12.6	无数据
杨树沟 <sup>[31]</sup>	7.0 ~ 7.6	7.30

表 4 成矿岩体岩石地球化学特征

Tab.4 Geochemical characteristics of ore-forming rock mass

金矿集区	成矿岩体	元素含量及特征参数						
		w(SiO <sub>2</sub> )/%	FeO/MgO	A/CNK	w(Eu)/‰	Sm/Nd	Sm/Yb	<sup>87</sup> Sm/ <sup>86</sup> Sr
二道沟金矿集区 <sup>[2,33]</sup>	西对面沟岩体	64.08 ~ 69.42	0.96 ~ 1.17	0.918 ~ 1.003	0.52 ~ 1.62	0.15 ~ 0.20	3.34 ~ 5.09	0.706 ~ 0.707
排山楼金矿集区 <sup>[6]</sup>	二长花岗岩体	69.76 ~ 71.01	1.18 ~ 1.52	0.900 ~ 0.980	0.85 ~ 1.01	0.15 ~ 0.16	4.23 ~ 5.35	无数据
猫岭金矿集区 <sup>[21]</sup>	猫岭和卧龙泉岩体	69.32 ~ 71.94	0.83 ~ 2.01	0.950 ~ 1.100	0.77 ~ 1.17	0.14 ~ 0.19	4.20 ~ 5.27	0.713 ~ 0.716
青城子金矿集区 <sup>[18,34]</sup>	双顶沟岩体	69.83 ~ 71.31	0.72 ~ 2.14	0.880 ~ 0.917	1.13 ~ 1.43	0.12 ~ 0.14	5.08 ~ 6.35	0.709 ~ 0.709
五龙金矿集区 <sup>[20]</sup>	三股流岩体	69.38 ~ 71.32	1.73 ~ 2.03	0.950 ~ 0.990	0.14 ~ 1.16	0.15 ~ 0.16	3.27 ~ 3.52	0.715 ~ 0.715

辽东金矿集区(除五龙金矿外)金矿床的金属硫化物 $\delta^{34}S$ 变化范围较宽,表明硫来源于岩浆和变质岩地层<sup>[8,21,23]</sup>。Pb 同位素图解(图 5)显示,大多数代表性金矿床的矿石 Pb 投点落在地壳与地幔演化曲线之间,呈明显的线性分布(如辽东五龙、王家崴子、猫岭、白云等金矿床;辽西排山楼、二道沟等金矿床),显示出矿石 Pb 具有混合源特征。

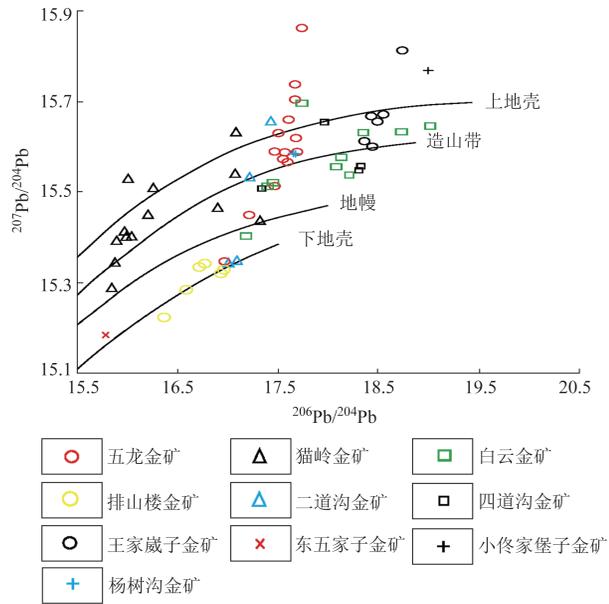


图 5 辽宁省代表性金矿床 Pb 同位素图解

Fig.5 Pb isotope diagram in representative gold deposits of Liaoning Province

### 3.3 成矿物质源区的属性

二道沟、排山楼、猫岭、青城子和五龙金矿集区内与金成矿有关的岩体均具有高硅、富碱、低 FeO/MgO 及 A/CNK 值均小于 1.1 的特征,且轻重稀土元素之间分馏明显, Eu 呈弱—中等负异常(表 4),指示成矿岩体属典型的 I 型花岗岩。

Sm/Yb 值可用于判别岩浆源区的残留相主要为石榴子石、角闪石或辉石<sup>[32]</sup>。Sm/Yb 值大于 6,代表含水量较低的榴辉岩相熔融残留体; Sm/Yb 值

介于 3~6,代表含水角闪石相残留体;Sm/Yb 值小于 3,代表以辉石相为主的残留体。矿集区内成矿岩体中 Sm/Yb 值介于 3.27~6.35 之间(表 4),表明 2 期成矿岩体的岩浆源区是以含水角闪石为主的残留相。

### 3.4 成矿物质源区组成的联系

各金矿集区内成矿岩体中 Sr、Nd 同位素变化范围较小(表 4),在 Sr-Nd 同位素图解(图 6)上,样品多分布于下地壳演化曲线附近,仅个别样品分布在上地壳附近。根据岩石初始 Sr 变化范围介于地幔源( $\leq 0.706$ )与地壳源( $\geq 0.720$ )之间, $\epsilon_{Nd}(t)$  值为较大的负值,且岩石具有高硅、低 MgO、TF<sub>e2</sub>O<sub>3</sub> 和 Sm/Nd 值,以及 Rb、Th、U 富集和 Nb、P、Ti 亏损的特征<sup>[2,6,18,20-21]</sup>,指示成岩成矿物质主要为下地壳部分熔融的产物,并有部分幔源物质参与。各金矿集区成矿岩体具有相似的地球化学特征,指示它们可能为同一岩浆源区不同岩浆演化阶段的产物。

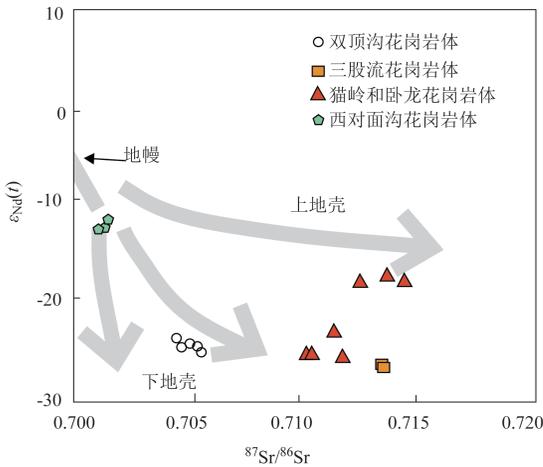


图 6 金矿集区成矿岩体的 Sr-Nd 同位素图解<sup>[35]</sup>

Fig. 6 Sr-Nd isotope diagram of ore-forming rock mass in gold concentration area<sup>[35]</sup>

## 4 找矿预测地质模型

### 4.1 基本特征

辽宁省内 5 个重点金矿集区主要存在 2 种金成矿体系:一种为高角度断裂控矿体系(倾角大于 70°),矿集区内与含金石英脉紧密伴生的闪长玢岩脉较发育,矿体受脆性断裂控制;矿化类型以石英脉型为主,成矿期蚀变以硅化、绢英岩化、绢云母化

为特征,此类矿床以二道沟和五龙金矿床为代表;另一种为低角度断裂控矿体系(倾角小于 60°),矿区内发育少量中酸性脉岩,矿体受辽河群低角度层间破碎带或受建平群内低角度韧性剪切带控制;矿化类型以蚀变岩型、蚀变糜棱岩型为主,成矿期蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化为特征,此类矿床以白云、猫岭、排山楼金矿床为代表。

### 4.2 矿床空间结构特征

排山楼和猫岭金矿集区的金矿床空间结构受矿源层+韧性剪切带+侵入岩体控制。矿体赋存于新太古界建平群变质岩系(古元古界辽河群变质岩系)内,受韧性剪切带控制。矿体呈低角度倾斜的似层状、透镜状产出。成矿作用与燕山晚期二长花岗岩体、印支晚期卧龙泉岩体及燕山晚期猫岭岩体有关。矿化类型以蚀变糜棱岩型、蚀变岩型为主,黄铁矿(毒砂)作为主要载金矿物。

青城子金矿集区的金矿床受 EW 向推覆构造+赋矿地层+次级断裂带+侵入岩体控制。金矿集区受 EW 向推覆构造影响,辽河群产生低角度层间断裂带。矿体赋存于辽河群盖县组、大石桥组的层间破碎带内,呈似层状产出。以小佟家堡子金矿床为例,矿体受辽河群大石桥组与盖县组之间的层间破碎带控制;而白云金矿床受辽河群盖层组低角度层间破碎带控制。矿化类型以蚀变岩型为主。成矿作用与印支晚期双顶沟岩体有关。

五龙和二道沟金矿集区的金矿床受区域断裂构造+次级断裂带+侵入岩体控制。矿体赋存于区域断裂构造产生的次级断裂带内,并受断裂构造形态控制,如五龙金矿床受断裂侧伏规律控制,总体向 NW 向侧伏;而二道沟金矿床受放射状断裂构造控制。成矿作用分别与燕山晚期三股流、西对面沟岩体有关,矿化类型以石英脉型为特征。

## 5 结论

(1) 辽宁省内 5 个重点金矿集区金成矿作用与印支期、燕山期岩浆岩有关,成矿时间集中于 126~118 Ma、225~188 Ma。辽西金矿集区金矿石中的 S 属于地幔硫,而辽东金矿集区的矿石 S 来源于岩浆和变质岩地层,各金矿集区的矿石 Pb 来源具有混合源特征。各金矿集区的成矿物质源区组成为同一岩浆源区不同岩浆演化阶段的产物,成岩成矿物质为下地壳部分熔融的产物,并有部分幔源

物质参与。

(2) 辽宁省金矿集区存在 2 种成矿体系: 一种产于高角度断裂控矿体系, 矿化类型以石英脉型为主; 另一种产于低角度断裂控矿体系, 矿化类型以蚀变岩型、蚀变糜棱岩型为主。

## 参考文献 (References):

- [1] 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 Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 627-632.
- [2] 苗来成, 范蔚茗, 翟明国, 等. 金厂沟梁—二道沟金矿田内花岗岩类侵入体锆石的离子探针 U-Pb 年代学及意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 71-80.  
Miao L C, Fan W M, Zhai M G, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of the granitoid intrusions from Jinchanggouliang-Erdaogou gold orefield and its significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(1): 71-80.
- [3] 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 Geologica Sinica, 2003, 77(1): 113-119.
- [4] 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.
- [5] 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 Geologica Sinica, 2011, 85(9): 1493-1506.
- [6] 孙守恪, 刘红涛, 褚少雄. 辽宁省排山楼矿区二长花岗岩成因及其与金矿化的关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 607-618.  
Sun S K, Liu H T, Chu S X. Origin of the Paishanlou monzogranite in Liaoning Province and its genetic connection with gold mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 607-618.
- [7] 郝立波, 赵昕, 赵玉岩. 辽宁白云金矿床稳定同位素地球化学特征及矿床成因[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2017, 47(2): 442-451.  
Hao L B, Zhao X, Zhao Y Y. Stable isotope characteristics and ore genesis of the Baiyun gold deposit, Liaoning Province[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2017, 47(2): 442-451.
- [8] 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]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(7): 1325-1337.
- [9] 刘军, 王树岭, 李铁刚, 等. 辽宁省五龙金矿床成岩成矿年代学及同位素地球化学特征[J]. 矿床地质, 2018, 37(4): 712-728.  
Liu J, Wang S L, Li T G, et al. Geochronology and isotopic geochemical characteristics of Wulong gold deposit in Liaoning Province[J]. Mineral Deposits, 2018, 37(4): 712-728.
- [10] 曾庆栋, 陈仁义, 杨进辉, 等. 辽东地区金矿床类型、成矿特征及找矿潜力[J]. 岩石学报, 2019, 35(7): 1939-1963.  
Zeng Q D, Chen R Y, Yang J H, et al. The metallogenic characteristics and exploring ore potential of the gold deposits in eastern Liaoning Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2019, 35(7): 1939-1963.
- [11] 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]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 24-36.
- [12] 杨凤超, 宋运红, 杨佳林, 等. 辽东五龙—四道沟金矿区花岗岩类 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42(5): 940-954.  
Yang F C, Song Y H, Yang J L, et al. SHRIMP U-Pb Age and geochemical characteristics of granites in Wulong-Sidaogou gold deposit, East Liaoning[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2018, 42(5): 940-954.
- [13] 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.  
Qu Y J. The Gold Mineralization and Prognosis in Liaoning Province[D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [14] 翟明国. 克拉通化与华北陆块的形成[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(8): 1037-1046.  
Zhai M G. Cratonization and the Ancient North China Continent: A summary and review[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(8): 1110-1120.
- [15] 辽宁省地质矿产调查院. 辽宁省矿产资源潜力评价报告[R]. 沈阳: 辽宁省地质矿产调查院, 2012.  
Institute of Geological and Mineral Survey of Liaoning Province. Report on Evaluation Results of Mineral Resources Potential in Liaoning Province[R]. Shenyang: Institute of Geological and Mineral Survey of Liaoning Province, 2012.
- [16] 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.
- [17] 罗镇宽, 苗来成, 关康, 等. 辽宁阜新排山楼金矿区岩浆岩锆

- 石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 地球化学, 2011, 30(5): 483 - 490.
- Luo Z K, Miao L C, Guan K, et al. SHRIMP U - Pb zircon age of magmatic rock in Paishanlou gold mine district, Fuxin, Liaoning Province, China[J]. *Geochimica*, 2001, 30(5): 483 - 490.
- [18] 段晓侠, 刘建明, 王永彬, 等. 辽宁青城子铅锌多金属矿田晚三叠世岩浆岩年代学、地球化学及地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 595 - 606.
- Duan X X, Liu J M, Wang Y B, et al. Geochronology, geochemistry and geological significance of Late Triassic magmatism in Qingchengzi orefield, Liaoning[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(2): 595 - 606.
- [19] 顾玉超. 辽东五龙金矿区中生代构造 - 岩浆作用对金成矿制约[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- Gu Y C. The Mesozoic Tectonic - magmatic Constraints on the Gold Mineralization in Wulong Gold Mining Area, Eastern Liaoning[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.
- [20] 王志强, 胡清志帆, 陈斌, 等. 辽东半岛早白垩世三股流岩体岩石成因: 微量元素模拟和 Sr - Nd 同位素的制约[J]. 岩石学报, 2020, 36(12): 3683 - 3704.
- Wang Z Q, Hu H Z F, Chen B, et al. The petrogenesis of the Early Cretaceous Sanguliu pluton in the Liaodong Peninsula, NE China: constrained from the trace - element modelling and Sr - Nd isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(12): 3683 - 3704.
- [21] 张朋. 辽宁省东南部典型有色、贵金属矿床成矿特征、成因与成岩成矿地球动力学过程[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- Zhang P. Metallogenic Characteristics, Ore Genesis, Diagenesis and Metallogenic Geodynamic Process of Precious and Non Ferrous Metals Ore Deposits in Southeast Liaoning Province [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [22] 张朋, 李斌, 李杰, 等. 辽东裂谷白云金矿载金黄铁矿 Re - Os 定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(4): 731 - 738.
- Zhang P, Li B, Li J, et al. Re - Os isotopic dating and its geological implication of gold bearing pyrite from the Baiyun gold deposit in Liaodong rift[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 40(4): 731 - 738.
- [23] 马玉波, 邢树文, 张增杰, 等. 辽吉裂谷区铅锌金矿床 S、Pb 同位素组成特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(9): 1399 - 1410.
- Ma Y B, Xing S W, Zhang Z J, et al. Characteristics of the sulfur and lead isotope compositions of the polymetallic deposit in the Liaoji rift and their geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(9): 1399 - 1410.
- [24] 王义文. 辽宁省金矿床铅同位素组成特征及其地质意义[J]. 辽宁地质, 1992(3): 241 - 254.
- Wan Y W. Lead isotope features of gold deposits of Liaoning province and its geological significance [J]. *Liaoning Geology*, 1992(3): 241 - 254.
- [25] 张博文, 孙丰月, 常国林, 等. 辽宁朝阳东五家子金矿床成因类型讨论[J]. 世界地质, 2009, 28(3): 297 - 304.
- Zhang B W, Sun F Y, Chang G L, et al. Discussion on genetic type of Dongwujiazi gold deposit of Chaoyang, Liaoning[J]. *Global Geology*, 2009, 28(3): 297 - 304.
- [26] 王安建, 李树勋, 曲亚军. 脉状金矿地质与成因[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1996.
- Wang A J, Li S X, Qu Y J. Geology and Origin of Lode Gold Deposits [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1996.
- [27] Zhang X H, Liu Q, Ma Y J, et al. Geology, fluid inclusions, isotope geochemistry, and geochronology of the Paishanlou shear zone - hosted gold deposit, North China Craton [J]. *Ore Geology Reviews*, 2005, 26(3/4): 325 - 348.
- [28] 郝瑞霞, 彭省临. 辽宁王家崴子金矿床地球化学研究[J]. 黄金地质, 1999, 5(2): 47 - 51.
- Hao R X, Peng S L. Geochemical study of Wangjiawaizi gold deposit in Liaoning[J]. *Gold Geology*, 1999, 5(2): 47 - 51.
- [29] 张森, 张迪, 沙德喜, 等. 辽东林家三道沟 - 小佟家堡子地区金(银)矿成矿特征及成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(3): 725 - 732.
- Zhang S, Zhang D, Sha D X, et al. Metallogenic characteristics and genesis of the gold (silver) mineralization in Linjiasandaogou - Xiaotongjiapuzi area, eastern Liaoning Province[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(3): 725 - 732.
- [30] 吴兴华, 关广岳, 金成洙. 四道沟金矿床地质地球化学研究[J]. 地质与勘探, 1990, 26(10): 1 - 6.
- Wu X H, Guan G Y, Jin C Z. Geological and geochemical studies on the Sidaogou gold deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 1990, 26(10): 1 - 6.
- [31] 杨凤超, 宋运红, 张朋, 等. 辽宁青城子矿集区金银矿成矿流体特征和成矿物质来源示踪[J]. 地质学报, 2016, 90(10): 2775 - 2785.
- Yang F C, Song Y H, Zhang P, et al. Forming fluid characteristics and tracing of Ore - forming source materials of gold - silver deposit in the Qingchengzi ore concentration area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(10): 2775 - 2785.
- [32] Haschke M, Ahmadian J, Murata M, et al. Copper mineralization prevented by arc - root delamination during Alpine - Himalayan collision in central Iran [J]. *Economic Geology*, 2010, 105(4): 855 - 865.
- [33] 付乐兵. 华北克拉通北缘赤峰 - 朝阳地区中生代构造岩浆演化与金成矿[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- Fu L B. The Mesozoic Tectonic - magmatic Evolution Process and Gold Metallogenesis in Chifeng - Chaoyang Region, Northern, North China Craton [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012.
- [34] 李阳. 辽东青城子矿集区三叠纪侵入岩地球化学特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- Li Y. Study on the Origin and Genesis of Metallogenic Materials in Baiyun Gold Deposit in Eastern Liaoning Province [D]. Beijing:

China University of Geosciences (Beijing), 2020.  
[35] Jahn B M, Wu F Y, Hong D W. Important crustal growth in the

Phanerozoic: Isotopic evidence of granitoids from east - central Asia [J]. Journal of Earth System Science, 2000, 109(1): 5 - 20.

## Geological characteristics, diagenesis and mineralization of key gold concentration areas in Liaoning Province

YUAN He<sup>1</sup>, BAI Yinzen<sup>2</sup>, GENG Shufeng<sup>1</sup>, HONG Xiuwei<sup>1</sup>, WANG Denghong<sup>3</sup>

(1. No. 4 Geological Team of Liaoning Limited Liability Company, Liaoning Fuxin 123000, China; 2. No. 109 Team of Liaoning Nonferrous Geology Co., Ltd, Liaoning Chaoyang 122000, China; 3. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, China Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** As the important gold producing province in China, Liaoning Province has strong Mesozoic tectonic and magmatic activities, with great gold mineralization. Liaoning Province is divided into five key gold concentration areas, according to the spatial distribution characteristics of gold deposits. In order to deeply understand the diagenesis and mineralization of gold deposits in each gold concentration area, the authors systematically analyzed the geological characteristics, diagenesis and mineralization age, and the geochemistry of the gold concentration area. The results show that the gold mineralization in each gold concentration area is related to the magmatic activities of Indosinian and Yanshanian periods, and the metallogenic time is concentrated in 126 ~ 118 Ma and 225 ~ 188 Ma. The sulfur in gold ores in Western Liaoning gold concentration area belongs to mantle sulfur, while the sulfur in Eastern Liaoning gold concentration area comes from magmatic and metamorphic rock strata. The Pb in ore source of each ore concentration area has the characteristics of crust mantle mixed source. The source areas of the five key gold concentration areas are composed of the products of different magmatic evolution stages in the same magmatic source area. The ore material sources of five important gold concentration areas are magmatic evolution products from one magmatic source under different stages, and the diagenetic and diagenetic minerals are the products of partial melting of the lower crust, with the participation of some mantle derived materials. The geological model for gold prospecting prediction in Liaoning Province was established, combined with the recent prospecting progress, which could provide a new idea for further regional mineral exploration.

**Keywords:** gold concentration area; diagenesis and mineralization; geological model for prospecting prediction; Liaoning Province

(责任编辑: 魏昊明, 王晗)