

云南者桑金矿地质特征及其与基性岩的关系

彭正鑫, 皮桥辉

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林
Email: 919042343@qq.com

收稿日期: 2021年2月24日; 录用日期: 2021年3月22日; 发布日期: 2021年3月30日

摘要

基性岩与金矿成矿关系密切。本文从者桑金矿的地质特征入手, 详细描述了矿床地质特征、矿体围岩蚀变及矿化特征等, 并依据前人对者桑金矿的年龄测定及华南区域构造演化史, 在年代学及区域构造方面阐述基性岩与金矿的关系, 并在此基础上提出一种印支期成矿的动力学模型, 即: 古特提斯洋的封闭导致了印支板块与扬子板块的碰撞, 强大的区域构造事件为矿化提供了驱动力, 形成了滇黔桂地区的卡林型金矿床。

关键词

地质特征, 基性岩, 卡林型金矿, 印支运动

Geological Characteristics of Zhesang Gold Deposit in Yunnan and Its Relationship with Basic Rocks

Zhengxin Peng, Qiaohui Pi

Earth Sciences College, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi
Email: 919042343@qq.com

Received: Feb. 24th, 2021; accepted: Mar. 22nd, 2021; published: Mar. 30th, 2021

Abstract

Basic rocks are closely related to gold mineralization. This article starts with the geological characteristics of the Zhesang gold deposit, and describes in detail the geological characteristics of the deposit, the alteration and mineralization of the surrounding rocks of the ore body, etc., and based

on the age determination of the Zhesang gold deposit and the tectonic evolution history in South China. The relationship between basic rocks and gold deposits is explained in terms of chronology and regional tectonics, and on this basis, a dynamic model of Indosinian metallogenesis is proposed, that is: the closure of the Paleo-Tethys Ocean led to the Indosinian plate and the Yangtze Plate collisions and strong regional tectonic events provided a driving force for mineralization, forming the Carlin-type gold deposits in the Yunnan, Guizhou, and Guizhou regions.

Keywords

Geological Features, Basic Rock, Carlin-Type Gold Deposit, Indosinian Movemet

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

基性岩与金成矿作用的关系多年来一直是国内外学者的研究热点,许多学者把基性岩中的煌斑岩作为金矿化的标志[1] [2] [3] [4] [5]。近几年对国内外卡林型金矿的研究均表明基性岩与金矿化紧密相关[6] [7] [8],如滇东南的老寨湾金矿、湖南的万古金矿、陕西凤县的八卦庙金矿等,它们在成矿过程中均有地幔流体参与[9]-[15],对于一些金矿床来说基性岩中的地幔流体不仅作为成矿物质,也是成矿流体的重要物质来源[16],此外,基性岩与金矿在时间和空间关系上也存在着密切的关系[17] [18]。

云南省富宁县的者桑金矿是我国西南地区“金三角”矿区中的卡林型金矿床之一,从20世纪90年代以来,该矿床的找矿勘查工作已经取得了很大的进展,目前已达到大型矿床的规模,但由于该矿床探明时间较晚,且区域地质背景为复杂,因此该矿区的基础地质研究工作相对薄弱。许多研究学者已经在成矿流体[19] [20]、金的赋存状态[21] [22]、控矿规律[23] [24] [25]、地球化学特征[26]等方面对该矿床进行了详细的研究。富宁地区发育有两期基性岩,分别侵入于中三叠世和石炭纪、二叠纪地层中。前人研究表明,富宁地区得基性岩可能与经过华南板块和印支板块的缝合带有关,也有学者认为富宁地区基性岩是由陆缘裂谷扩张形成的弧后裂谷盆地形成的,还有学者认为富宁地区基性岩是峨眉山地幔柱与特提斯洋俯冲的产物。本文将在前人研究的基础上分析者桑金矿的地质特征及基性岩的地球化学性质,结合区域构造运动阐述基性岩与金成矿的关系。

2. 区域地质与矿床地质

2.1. 区域地质

工作区出露地层(图 1)由老至新依次为二叠系上统吴家坪组(P2w)、三叠系下统罗楼组(T11)和三叠系中统百逢组(T2b)。其中吴家坪组(P2w)主要出露于者桑背斜的核部,上部主要为硅质泥岩及凝灰质粉砂岩,是矿区的主要赋矿层位,金多赋存于断裂接触带及侵入接触带中。下部主要为灰岩、碎屑岩互层,碎屑岩主要是凝灰质粉砂岩夹凝灰岩。与上部的罗楼组呈平行不整合接触;罗楼组(T11)主要出露于者桑背斜翼部,上部为黄灰色的中厚层细砂岩、灰绿色的薄中层钙质粉砂岩。下部为灰黄色的中厚层砂岩夹泥岩,局部夹杂有基性凝灰岩。下部为紫红色薄层泥岩夹白色薄层石英细砂岩,是矿区主要的赋金层位。与下部的吴家坪组呈平行不整合接触;百逢组(T2b)主要岩性为紫红色、黄色及灰绿色的薄层泥岩,中厚层的细砂岩夹凝灰岩,是矿区的重要赋矿层位。

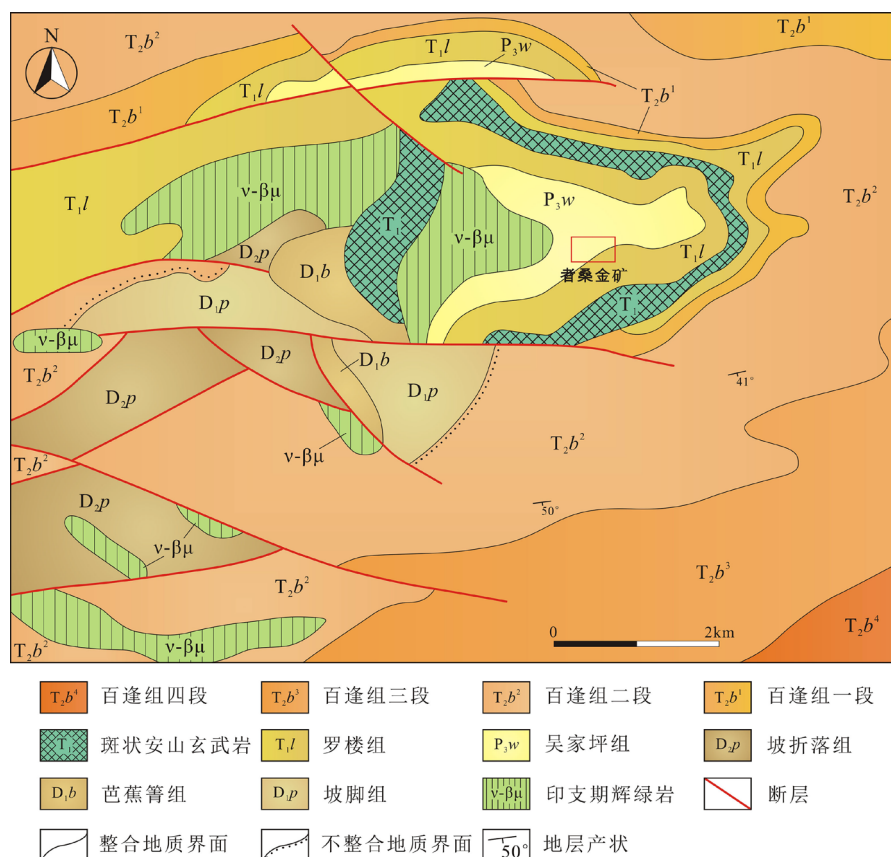


Figure 1. Geological sketch map of Zhesang Gold Mine

图 1. 者桑金矿地质简图[27]

2.2. 矿床地质

矿区(图 2)位于者桑背斜的南部,受区域构造应力的影响,次级褶皱和断裂极为发育,不仅控制着地层及基性岩脉的分布和产状,很大程度上还控制了矿体的分布形态和产状。者桑背斜的核部为二叠系吴家坪组,两翼为罗楼组。区内发育有三期构造断裂活动,NE 向的为早期断裂,NW 向和近 EW 向的为后期断裂,主要控矿断裂有 F2 断裂,位于矿区中部,走向为 NE 59°,倾向为 SE 150°,倾角为 60°~80°。断裂带内各种平卧褶皱、揉皱褶皱、倒转褶皱十分发育,是矿区内主要的控矿断裂。F3 断裂位于矿区南部的辉长辉绿岩与粉砂岩的接触带,走向为 NE,倾向为 NW 330°,倾角为 50°~80°。F5 断裂位于矿区北东部,走向为 NW 335°,倾向为 NW,倾角为 60°~70°,该断裂是晚期断裂,一般对矿体和地层有破坏作用,但也为矿体的氧化和次生富集提供了有利的通道及空间。

矿区矿体呈 NE 向近平行排列,受一系列 NE 向、NEE 向断裂构造控制,多产于次级背斜和向斜的核部。主要出露的矿体有 8 个,其中 III、VI、VII 号矿体的规模最大。III 号矿体赋存于罗楼组细砂岩和吴家坪组粉砂岩的接触带中,受 F3 断裂带和基性岩脉控制,矿体呈透镜状产出,受构造和捕掳体形态的控制,与岩体中的捕掳体(灰岩、凝灰岩、粉砂岩等)关系密切,矿体总体品位约为 2.0×10^{-6} 。VI 号矿体呈似层状产于 F2 断裂带内,受断裂褶皱的控制位于次级褶皱核部,总体走向为 NE 60°,倾向为 SE 150°,倾角为 40°~75°,长约一公里,赋存于吴家坪组粉砂岩和凝灰质粉砂岩中,岩石黄铁矿化、硅化、褐铁矿化和毒砂化强烈,矿石平均品位约为 1.44×10^{-6} [28]。VII 号矿体与 VI 号矿体呈近似平行排列,受岩脉和构造控制比较明显,矿石平均品位约为 1.93×10^{-6} ,岩脉接触带附近的矿石品位较高,可达 $3 \sim 6 \times 10^{-6}$ 。

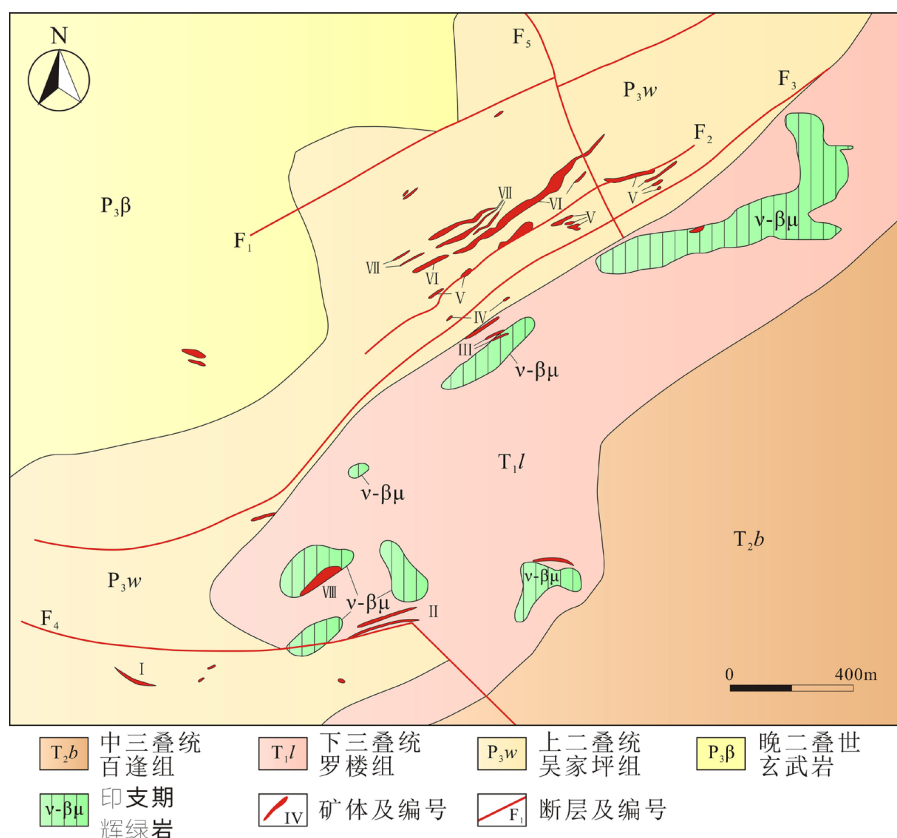


Figure 2. Plane distribution map of ore bodies of Zhesang gold deposit
图 2. 者桑金矿床矿体平面分布图[27]

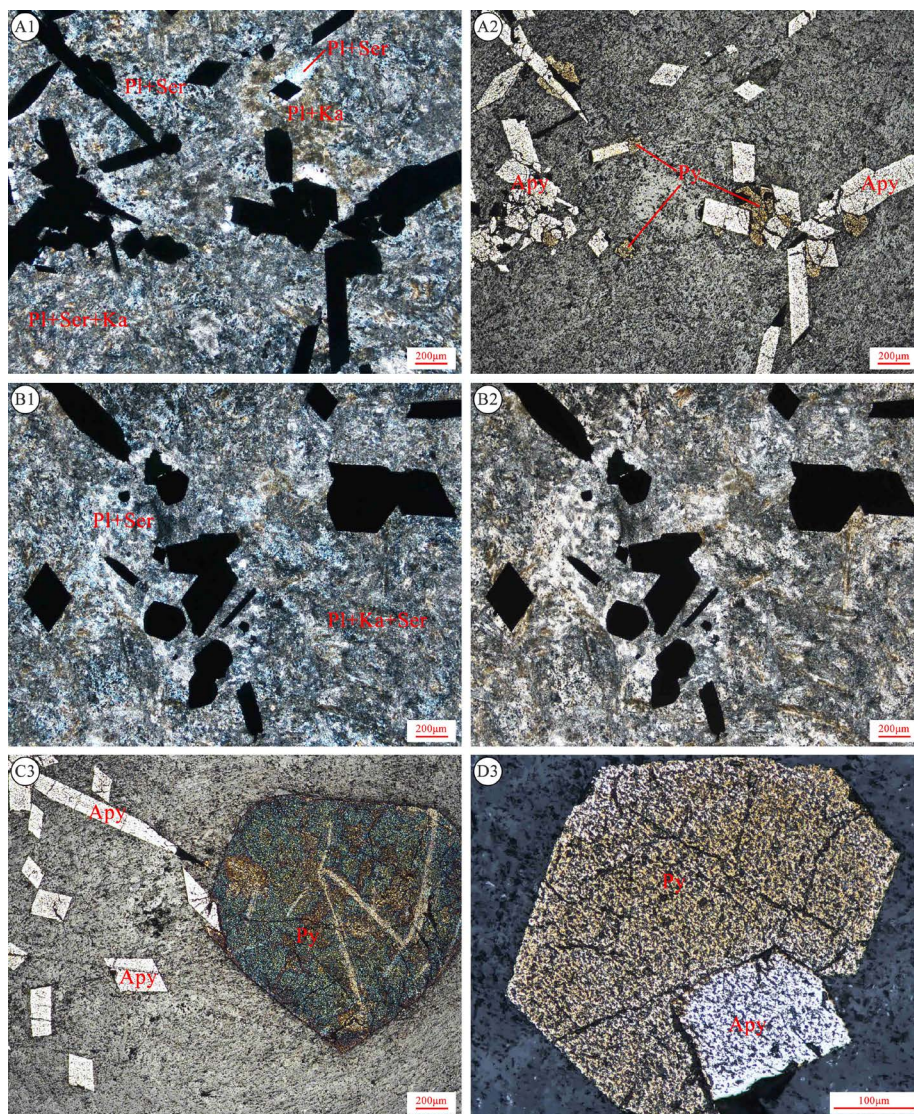
矿区矿石按氧化程度可分为原生矿石及氧化矿石, 原生矿石品位总体上高于氧化矿石品位, 原生矿石中主要的金属矿物有毒砂、黄铁矿及少量黄铜矿。氧化矿石中褐铁矿化十分明显, 可见毒砂和黄铁矿氧化后形成的孔洞, 此外还存在着一定的次生富集现象, 金主要富集在构造后形成的孔洞里[29]。矿床中主要的矿石矿物有毒砂、黄铁矿、褐铁矿, 还有微量黝铜矿、黄铜矿、闪锌矿。其中黄铁矿占矿石矿物的 75% 以上, 常与黄铁矿共生的毒砂约占 15%, 褐铁矿主要为黄铁矿和毒砂的次生氧化淋滤所致。主要的脉石矿物有碳酸盐矿物、石英(主要为脉石英, 还有少量玉髓), 另外还有少量的白云母、绢云母、泥状及碎片状的炭质物[30]。

根据矿区矿石的围岩类型, 可将矿石分为辉绿岩、泥质板岩及粉砂岩和泥灰岩三种矿石类型。矿区围岩蚀变及金矿化主要沿着东西向背斜的核部断裂带发育, 矿区围岩蚀变主要有黄铁矿化、毒砂化、硅化、褐铁矿化、粘土化, 各种矿化的主要特征如下: 黄铁矿化: 黄铁矿一般呈细小的星点状和浸染状产出, 粒径可达 4 mm, 主要的晶形有五角十二面体、立方体和不规则体, 黄铁矿化的发育程度可直接反应出金矿化的强弱及金品位的高低, 因此黄铁矿是该矿床矿石的主要载金矿物, 也是该类型矿床的主要找矿标志[31]。毒砂化: 多与黄铁矿化密切共生, 普遍发育于断裂接触带附近, 近地表部分多已风化褐铁矿, 一般呈短柱状、针状、放射状、星点状分布, 颜色为钢灰色。毒砂化也是重要的找矿标志。褐铁矿化: 主要发生在近地表的断裂带内, 其中在细小的石英脉存在的附近最为发育, 多呈浸染状、细脉状、星点状、薄膜状产出于断裂带两侧的凝灰质玄武岩、凝灰岩和粉砂岩中, 部分保留有黄铁矿和毒砂的晶形, 经风化淋滤后呈褐黄色、姜黄色。硅化: 矿区硅化普遍发育, 局部较强, 有大量石英脉发育在断裂接触带附近, 因此石英脉附近的金矿化一般较好。硅化可分为三期: 主成矿期为早期含黄铁矿和毒砂的

石英脉；次成矿期为含黄铜矿的石英脉；矿化后期为纯白色的石英脉。粘土化：一般发生在断裂破碎带内，局部伴随有炭化。

3. 矿石与矿物学特征

3.1. 矿化辉绿岩特征



Pl: 斜长石 Ser: 绢云母 Py: 黄铁矿 Apy: 毒砂 Ka: 粘土化

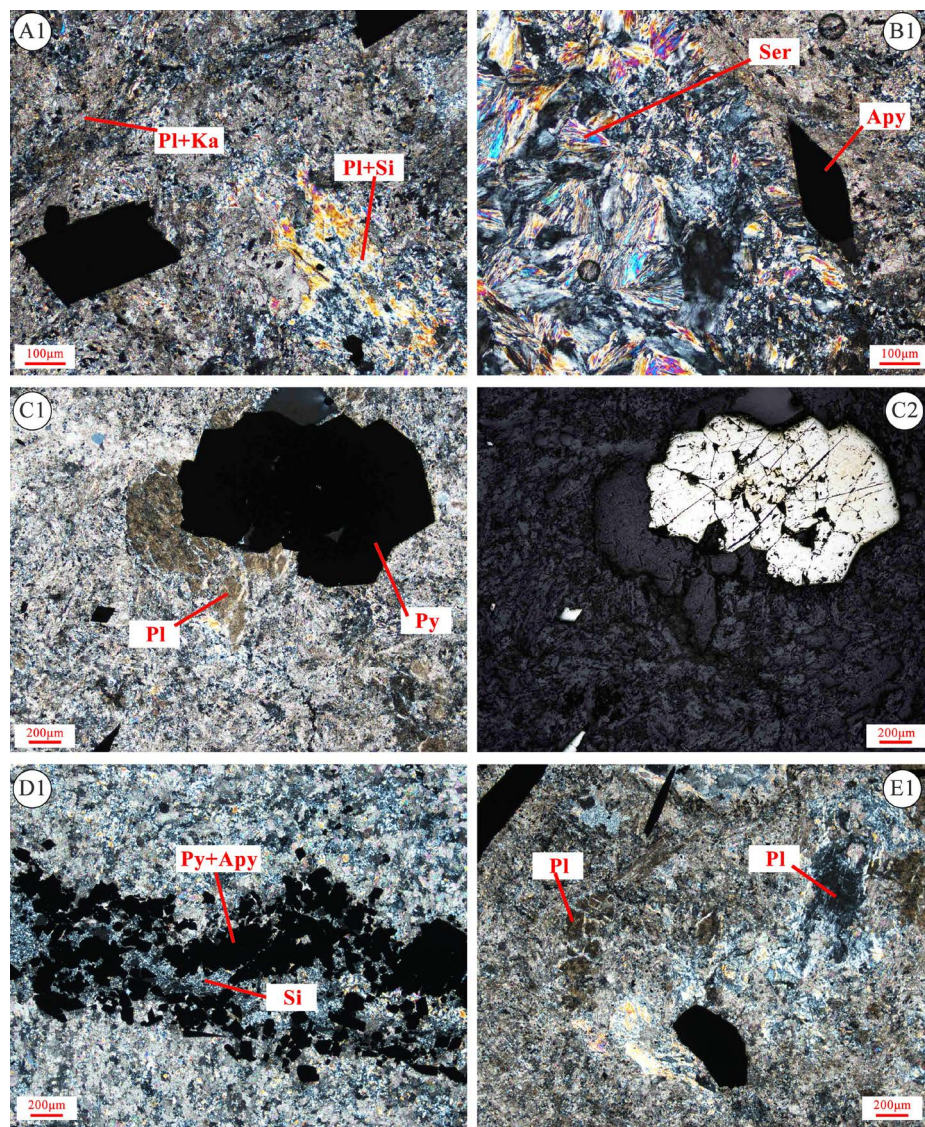
Figure 3. Mineral characteristics of diabase ore

图 3. 辉绿岩型矿石矿物特征

图 3A: 早期的黄铁矿被后期的毒砂所交代；矿物蚀变强烈导致大部分矿物无法辨认，仅部分长石保留着长条结构、呈 I 级灰干涉色、斜消光，保留有聚片双晶等原矿物特征；图 3B: 斜长石强烈交代绢云母，部分斜长石被泥化，呈黄褐色细长条状；早期粗粒五角十二面体黄铁矿被细粒的菱形毒砂交代成骸晶结构。图 3C: 粗粒五角十二面体黄铁矿和中 - 细粒拉长菱形毒砂；图 3D: 后期细粒菱形毒砂交代早期粗粒五角十二面体黄铁矿，呈骸晶结构。

辉绿岩型矿石中矿石矿物主要有毒砂、黄铁矿, 还有少量的褐铁矿和闪锌矿, 脉石矿物主要有蚀变(粘土化、绢云母化)斜长石、方解石(脉)、石英(脉)、云母组成(图 3)。黄铁矿粒径约为 10~500 μm , 主要呈中粗粒破碎状五角十二面体, 有部分自形黄铁矿被针状毒砂所交代呈浸染状构造, 部分成矿前期黄铁矿经热液蚀变作用形成胶状结构。毒砂粒径约为 10 \times 30~50 \times 1000 μm , 主要呈细粒、粗粒拉长菱形结构, 部分呈微细粒菱形结构、超粗粒拉长菱形结构; 蚀变斜长石多被粘土化和绢云母化, 但残留着长柱状或板柱状晶形。方解石一般与石英呈脉状产出, 部分以充填状产出, 粒径约为 30 \times 100~70 \times 300 μm , 呈板状、菱面体结构, 有一组或两组节理, 在镜下可观察到聚片双晶结构; 强绢云母化的斜长石在单偏光下呈白色、灰白色, 在正交偏光镜下呈密集星点状, 斜长石的粘土化一般与绢云母化共生, 两者在长石内部共存时会使斜长石产生节理的假象。

3.2. 矿化泥质板岩及矿化粉砂岩特征



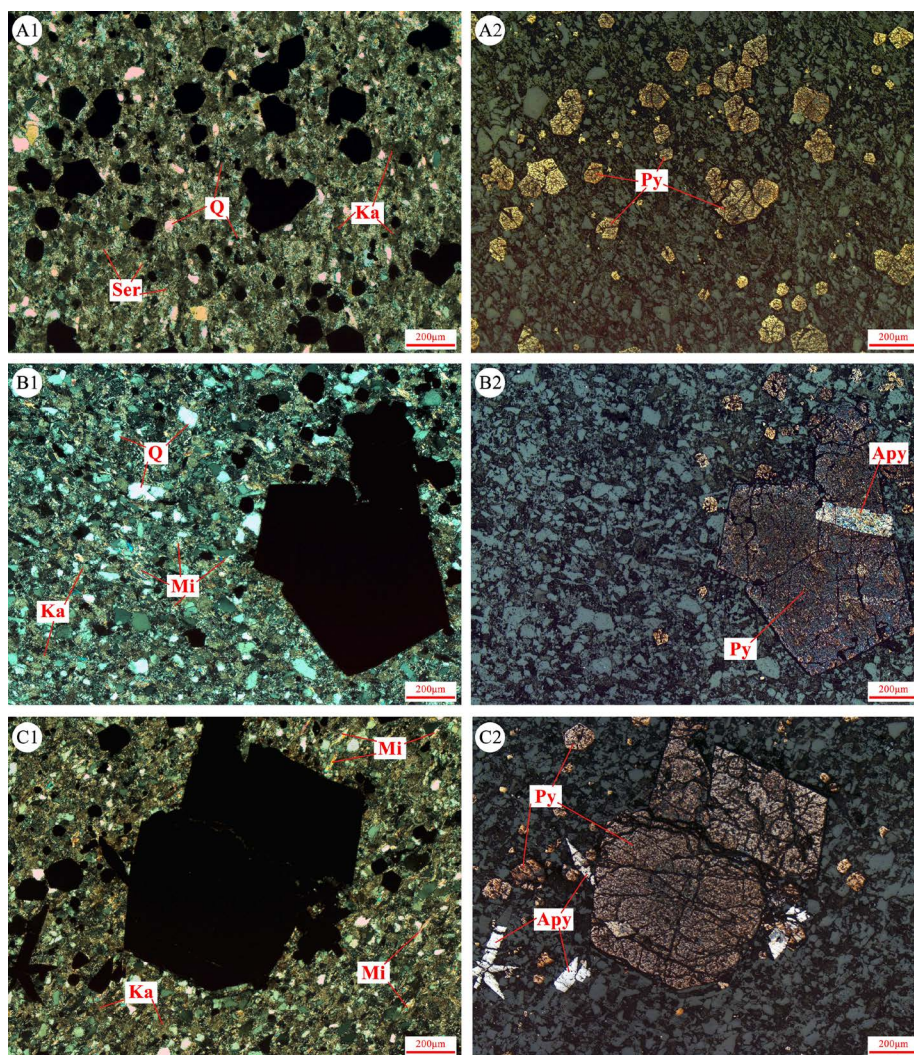
Py: 黄铁矿 Apy: 毒砂 Pl: 长石 Si: 硅化 Ser: 绢云母 Ka: 粘土化

Figure 4. Mineral characteristics of argillaceous slate ore

图 4. 泥质板岩矿石矿物特征

图 4A: 不同特征的两种条状斜长石, 可能已产生较为强烈的粘土化, 还可能与辉石的蚀变关系密切; 主要矿化有绢云母化、硅化; 图 4B: 典型的鳞片状绢云母, 与毒砂为密切的共生关系; 图 4C: 长石中穿插着粗粒黄铁矿; 图 4D: 细粒毒砂、中-细粒黄铁矿呈脉状产出, 沿着硅化带分布, 表明矿化与热液活动紧密相关, 可能是侵入岩体的烘烤作用使地层中的矿物元素发生了萃取、富集、沉淀过程; 图 4E: 典型的粉砂岩型矿石, 主要由毒砂、黄铁矿、粉砂质、云母、石英、长石等组成。

黄铁矿一般以中-细粒破碎状五角十二面体结构产出, 在反射光下多呈暗黄色, 部分呈暗蓝色。毒砂在反射光下较黄铁矿高, 一般呈亮黄色, 多以中-细粒拉长菱形结构产出。石英多数以中细粒杂乱分布, 部分以石英脉产出。白铁矿、褐铁矿、闪锌矿含量较少, 多产出在黄铁矿的裂隙中, 使黄铁矿形成残留或骸晶结构。泥质板岩或粉砂岩型矿石的炭化也普遍发育, 泥质板岩是从辉绿岩到粉砂岩的过渡, 在一些泥质板岩里可观察到部分斜长石还保留着聚片双晶结构。方解石多以空隙充填状产出, 呈杏仁状结构, 而且一般伴随着石英的产出。此外硅化、绢云母化、碳酸盐化也普遍存在于泥质板岩中, 与之产生的矿化也比较强烈。



Py: 黄铁矿 Apy: 毒砂 Mi: 云母 Ser: 绢云母化 Ka: 粘土化 Q: 石英

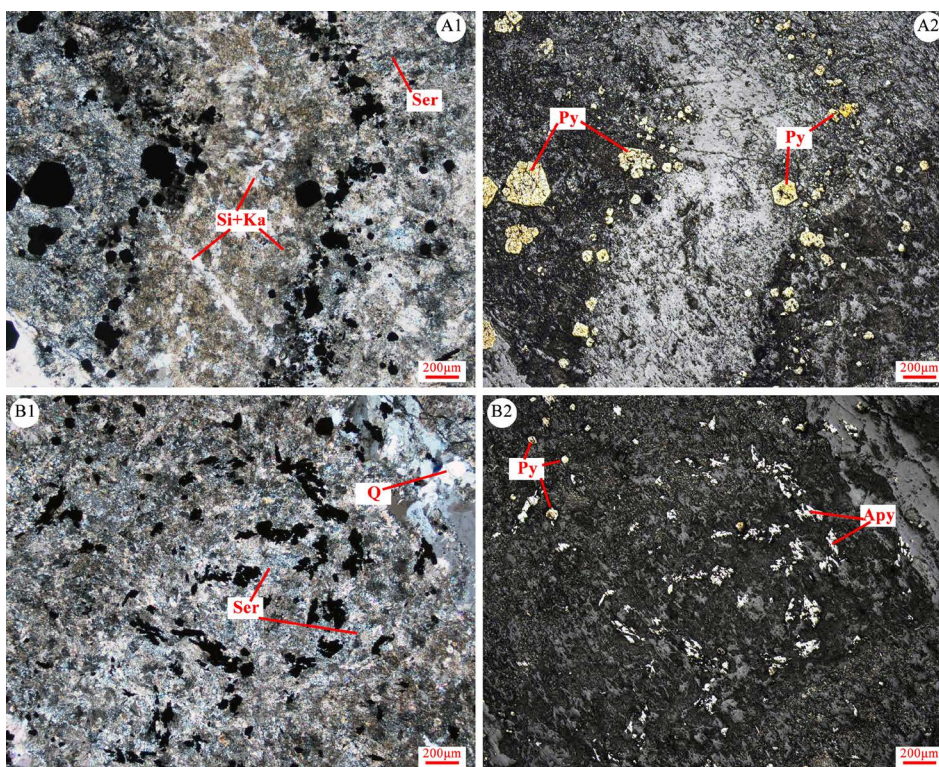
Figure 5. Mineral characteristics of siltstone ore

图 5. 粉砂岩矿石矿物特征

图 5A: 立方体和中等-细粒五角十二面体黄铁矿; 图 5B: 中粒的毒砂穿插于粗粒五角十二面体黄铁矿中; 图 5C: 粗粒破碎状黄铁矿、细粒胶状黄铁矿、中等-细粒拉长菱形毒砂。

3.3. 矿化泥灰岩特征

泥灰岩型矿石主要矿物有黄铁矿、毒砂、石英、方解石、云母等, 在显微镜下偶见闪锌矿和褐铁矿。黄铁矿粒径一般为 $50 \times 100 \sim 200 \times 400 \mu\text{m}$, 多为细粒和粗粒, 主要为五角十二面体结构和立方体结构, 呈浸染状构造产出, 有粗粒的毒砂穿插于黄铁矿中, 部分黄铁矿以脉状集合体形式产出, 蚀变带主要遭受了硅化及粘土化, 并伴有早期石英细脉生成。毒砂以中细粒为主, 粒径一般为 $30 \times 200 \sim 100 \times 1000 \mu\text{m}$, 多呈菱形或拉长菱形结构, 少数呈胶状或溶蚀状结构, 部分呈放射状集合体产出。



Py: 黄铁矿 Apy: 毒砂 Q: 石英 Si: 硅化 Ka: 粘土化

Figure 6. Mineral characteristics of marl ore

图 6. 泥灰岩矿石矿物特征

图 6A: 细粒脉状黄铁矿产出在矿物蚀变带边缘, 蚀变带主要遭受了硅化和粘土化, 伴有早期细石英脉; 图 6B: 毒砂呈胶状产出于强绢云母化与硅化部位。

4. 讨论

4.1. 卡林型金矿基性岩与成矿关系

基性岩与金矿化关系密切, 二者之间的关系一直是国内外学者的研究重点。本世纪初的一些国内外研究表明, 许多热液金矿床都分布有基性岩[32], 许多矿床进一步佐证了基性岩与金矿密切相关, 即在时间[33] [34]和空间[35] [36] [37]关系上密切相关[38]。对者桑金矿的年代学进行研究, 发现该区基性岩年龄和金矿化年龄高度一致(图 7), 分别为 $215 \pm 5 \text{ Ma}$ 和 $215.3 \pm 1.9 \text{ Ma}$ [39]。中三叠世晚期, 富宁地区的

岩浆侵入活动为成矿物质的运移活化提供了热源和驱动力, 促使成矿热液从高压部位运移并沉淀在低压断裂破碎带内, 再经历后期多次构造运动得以叠加成矿。滇黔桂“金三角”地区的构造运动十分复杂。经过长期的陆内伸展, 形成了裂谷盆地。在此期间, 大量的基性岩岩浆被侵入和喷出, 形成热液。岩浆活动对金的迁移和富集起着重要作用。因此该区金矿化可能与基性岩岩浆活动密切相关。者桑金矿区主要的赋矿岩体是辉绿岩, 有学者通过对矿物包裹体的 H-O 同位素研究发现, 成矿流体来源于地幔分异的可能性十分微小, 应该主要来源于大气降水及地层水, 这些证据从时间和成矿物质来源上说明成矿流体与基性岩活动有直接联系。就空间关系来说, 我们认为存在着花岗岩隐伏岩体, 其意义是在时间和空间关系上对该区成矿热驱动机制进行了进一步的佐证。

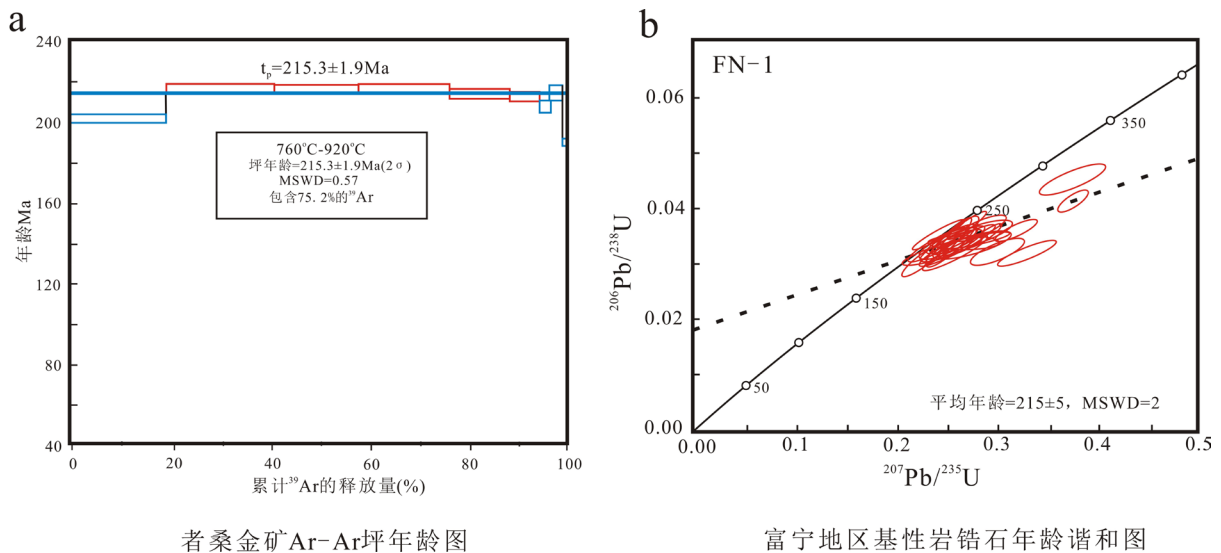


Figure 7. Map of Ar-Ar plateau age and zircon age of basic rock in Zhesang Gold Mine
图7. 者桑金矿 Ar-Ar 坪年龄与基性岩锆石年龄图

4.2. 卡林型金矿床多期矿化历史

三叠纪时期由于印支运动的影响, 华南地块的南部沿着松马缝合带与印支地块相连, 北部沿着秦岭-大别造山带与华北克拉通相连。扬子地块西南部在中生代发生了大规模的低温成矿作用, 形成了华南低温成矿域。在此期间滇黔桂“金三角”地区形成了大量的卡林型金矿[40]。华南地块一个极为重要的中生代事件是在扬子板块和华夏板块中形成了一个大型花岗岩省和众多矿化事件[41]。近年来的同位素资料表明, 中生代的多金属矿化主要形成了二个阶段(表 1)。印支晚期(230~200 Ma): 印支期的岩浆事件主要体现在华夏板块在 258~205 Ma 之间形成的过铝质 S 型花岗岩矿床和与之伴生的 W-Sn-Nb-Ta 矿化间的密切联系, 如形成于 214 Ma 的栗木 Sn-Nb-Ta 矿床和荷花坪 Sn 矿床[42]。燕山期(180~125 Ma): 燕山期的矿化类型主要有高温 W-Sn 矿床、Cu-Fe-Mo 多金属矿床、Cu-Mo 斑岩型矿床、低温 Sb-Au-Hg-Tl 矿床。低温矿床年龄大多在 170~150 M, 主要分布在华夏板块, 如 165 Ma 的大宝山铜铅锌矿、170 Ma 的德兴斑岩铜矿、158 Ma 的水口山热液多金属矿、155 Ma 的瑶岗仙钨矿床、158 Ma 的西华山钨矿床[43] [44]。

滇黔桂金三角地区的卡林型金矿床主要矿化时代为中生代的印支期、燕山早期及晚期。以往的研究认为印支期是金三角地区金矿的主成矿年代, 而燕山早期和晚期则主要是对印支期形成的矿床进一步的改造、萃取、叠加。对者桑金矿中热液蚀变成因的绢云母进行 Ar-Ar 测年, 测得年龄为 215.3 ± 1.9 Ma, 而该区基性岩的锆石 U-Pb 年龄为 215 ± 5 Ma, 成岩成矿时代非常一致[39]。此外, 对矿床中与含金硫化

物有关的热液金红石进行锆石 U-Pb 年龄测定, 结果为 213.6 ± 5.4 Ma, 与该地区的烂泥沟、金牙、水银洞金矿的 Re-Os 同位素年龄十分相近, 分别为 204 ± 19 Ma、 206 ± 22 Ma、 235 ± 33 Ma。最新的研究显示, 皮桥辉[9]等人利用独居石 U-Pb 定年法测定了老寨湾金矿的热液年龄, 结果分别为 228 ± 9 Ma 和 230 ± 16 Ma, 种种例证均表明金三角地区的卡林型金矿主成矿期在印支晚期(200~230 Ma)。动力学研究表明, 印支期的岩浆作用和成矿作用可能是由古特提斯洋的封闭导致印支板块与扬子板块碰撞所导致的[45][46][47]。印支早期, 研究区受峨眉山幔柱的影响形成了早期基性岩, 地层中的成矿元素被岩浆进行了萃取, 形成了该区较小的几个矿化点。晚二叠世-中三叠世, 研究区受华南板块和印支板块俯冲碰撞的影响, 使地幔物质与俯冲物质混合, 岩浆在上升过程中萃取了部分地层中的成矿物质, 使成矿物质活化运移, 与大气降水进行物质交换, 最终形成成矿流体, 成矿流体在上移的过程中反复浸取地层中的金, 同时与基性岩相互作用, 最终在构造叠加部位成矿。基性岩在成矿过程中除了作为热源, 同时也萃取了大量地层中的成矿物质。

Table 1. Statistical age of basic rocks in South China

表 1. 华南地区基性岩石的统计年龄

矿床	测年方法	年龄(Ma)	参考文献
自溪 - 广泽	锆石 U-Pb	220.1~231.7 Ma	覃晓云, 2015
Chunan papaya	锆石 U-Pb	135 ± 2 Ma	李福林等, 2011
迎江	锆石 U-Pb	183.7 ± 1.8 Ma	刘慧民, 2018
建水	锆石 U-Pb	169.6 ± 2 Ma	刘娇等, 2016
班轮	锆石 U-Pb	175 Ma	熊风等, 2014
下栏	锆石 U-Pb	205~241 Ma、150~160 Ma	舒徐洁, 2014
保伦	锆石 U-Pb	224.6 ± 7.2 Ma	周岳强, 2015
Guangdong coast	K-Ar	132~138 Ma	曹建劲, 2006
福建	K-Ar	125 Ma、165~180 Ma	杨永峰, 2008
大容山	锆石 U-Pb	229~231 Ma	Chen <i>et al.</i> 2011
Kuokeng	锆石 U-Pb	164.1 ± 1.8 Ma、 230 ± 5 Ma	Li <i>et al.</i> 2016
Western Zhejiang	锆石 U-Pb	125~145 Ma	Li <i>et al.</i> 2018
Kyanigan Hills	锆石 U-Pb	128~112 Ma、185~170 Ma	Zhang <i>et al.</i> 2018
金沙江	锆石 U-Pb	231 ± 1.6 Ma	Zhu <i>et al.</i> 2011
福建古田	锆石 U-Pb	158~161 Ma	Li <i>et al.</i> , 2016
紫金山	锆石 U-Pb	150~165 Ma	Duan <i>et al.</i> 2017
江南造山带	锆石 U-Pb	130~144 Ma、170~176 Ma	Xu <i>et al.</i> 2017
响鹿山	Re-Os	125.5 ± 0.7 Ma	Dai <i>et al.</i> 2018
南岭	锆石 U-Pb	150~165 Ma	Ye <i>et al.</i> 2013
松达	锆石 U-Pb	205~225 Ma	Faure <i>et al.</i> 2014
橘州	zircon U-Pb	133 ± 2.1 Ma	Yang <i>et al.</i> 2017
西华山	zircon U-Pb	120~136 Ma、150~165 Ma	Zhao <i>et al.</i> 2017
western SCB	zircon U-Pb	205~235 Ma	Shu <i>et al.</i> 2008
仙游	zircon U-Pb	135 ± 5 Ma	Wang <i>et al.</i> 2017

5. 结论

1) 者桑金矿的成矿年龄是 215.3 Ma, 基性岩的年龄为 215 Ma, 二者高度一致, 在时间尺度上表明基性岩与金矿关系密切。此外, 滇黔桂地区矿床的主成矿期是印支晚期, 燕山期也存在小规模的金矿化, 但成矿作用相对较弱, 主要是对印支晚期形成的矿床进行进一步的改造叠加。

2) 滇黔桂“金三角”地区的矿床主要形成于印度板块与华南板块俯冲后的伸展构造环境中, 与沿着地幔构造裂隙上升的基性岩浆热液关系密切, 因此认为该地区的金矿化、基性岩浆活动、及区域范围内的构造热事件活动之间存在着密切的关系, 即板块碰撞导致基性岩浆活化, 在运移过程中萃取了大量地层中的金, 最终在有利的构造位置沉淀成矿。

参考文献

- [1] 吴涂光炽. 我国西南地区两个别具一格的成矿带[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(1): 1-2.
- [2] Mcneil, A.-M. and Kerrich, R. (1986) Archean Lamprophyre Dykes and Gold Mineralization, Matheson, Ontario: The Conjunction of LILE-Enriched Mafic Magmas, Deep Crustal Structures, and Au Concentration. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **23**, 324-343. <https://doi.org/10.1139/e86-035>
- [3] Chen, Y.H., Yao, S.Z. and Pan, Y.M. (2014) Geochemistry of Lamprophyres at the Daping Gold Deposit, Yunnan Province, China: Constraints on the Timing of Gold Mineralization and Evidence for Mantle Convection in the Eastern Tibetan Plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*, **93**, 129-145. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.07.033>
- [4] Lanjewar, S. and Randive, K. (2017) Lamprophyres from the Harohalli Dyke Swarm in the Halaguru and Mysore Areas, Southern India: Implication for Backarc Basin Magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, **157**, 329-347. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.11.031>
- [5] Gan, T. and Huang, Z.L. (2017) Platinum-Group Element and Re-Os Geochemistry of Lamprophyres in the Zhenyuan Gold Deposit, Yunnan Province, China: Implications for Petrogenesis and Mantle Evolution. *Lithos*, **282-283**, 228-239. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.03.018>
- [6] Yan, Y.T., Zhang, N., Li, S.R. and Li, Y.S. (2014) Mineral Chemistry and Isotope Geochemistry of Pyrite from the Heilangou Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, Eastern China. *Geoscience Frontiers*, **5**, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.05.003>
- [7] Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G. and Robert, F. (1998) Orogenic Gold Deposits: A Proposed Classification in the Context of Their Crustal Distribution and Relationship to Other Gold Deposit Types. *Ore Geology Reviews*, **13**, 7-27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)
- [8] Kovalev, K.-R., Kuzmina, O.N., Dyachkov, B.-A. and Vladimirov, A.-G. (2016) Disseminated Gold-Sulfide Mineralization at the Zhaima Deposit, Eastern Kazakhstan. *Geology of Ore Deposits*, **58**, 116-133. <https://doi.org/10.1134/S1075701516020045>
- [9] 皮桥辉, 胡瑞忠, 彭科强. 云南富宁者桑金矿床与基性岩年代测定——兼论滇黔桂地区卡林型金矿成矿构造背景[J]. 岩石学报, 2016, 32(11): 3331-3342.
- [10] 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠, 陈丰. 中国西南部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究——以贵州烂泥沟大型卡林型金矿床为例[J]. 矿物学报, 1998, 18(3): 359-362.
- [11] 陈阳阳, 陈兵. 黔西南水银洞卡林型金矿地质地球化学特征及成因[J]. 中国地质调查, 2016, 3(2): 10-14.
- [12] 庞保成, 林杨松. 滇黔桂地区微细浸染型金矿成因的地球化学制约[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 38-45.
- [13] Chen, M.H., Zhang, Z.Q. and Santosh, M. (2015) The Carlin-Type Gold Deposits of the “Golden Triangle” of SW China: Pb and S Isotopic Constraints for the Ore Genesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, **103**, 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.08.022>
- [14] Ressel, M.-W. (2006) Igneous Geology of the Carlin Trend, Nevada: Development of the Eocene Plutonic Complex and Significance for Carlin-Type Gold Deposits. *Economic Geology*, **101**, 347-383. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.2.347>
- [15] Sillitoe, R.-H. (2008) Special Paper: Major Gold Deposits and Belts of the North and South American Cordillera: Distribution, Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations. *Economic Geology*, **103**, 663-687. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.4.663>
- [16] 张静, 苏蔷薇, 刘学飞. 滇东南老寨湾金矿床地质及同位素特征[J]. 岩石学报, 2014, 30(9): 2657-2668.
- [17] Feng, J.Z., Wang, D.B. and Wang, X.M. (2004) Magmatic Gold Mineralization in the Western Qinling Orogenic Belt:

- Geology and Metallogensis of the Baguamiao, Liba and Xiaogouli Gold Deposits. *Acta Geologica Sinica*, **78**, 529-533. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2004.tb00163.x>
- [18] 何鸿, 韦龙明, 张寿庭. 陕西八卦庙金矿床成矿流体 He、Ar、H、O 同位素特征[J]. 黄金地质, 2009, 30(8): 9-11.
- [19] 林志林, 邓腾, 董国军. 湘东北万古金矿床控矿构造特征与控矿规律研究[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 7(2): 281-294.
- [20] 毛景文, 李延河, 李红艳. 湖南万古金矿床地幔流体成矿的氦同位素证据[J]. 地质论评, 1997, 43(6): 646-649.
- [21] 周余国, 刘继顺, 王作华. 从滇黔桂“金三角”区域地层地球化学演化特征探讨卡林型金矿的物质来源[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 199-208.
- [22] 贾大成, 胡瑞忠. 滇黔桂地区卡林型金矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 378-384.
- [23] Zhai, M.G. and Santosh, M. (2013) Metallogeny of the North China Craton: Link with Secular Changes in the Evolving Earth. *Gondwana Research*, **24**, 275-297. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.02.007>
- [24] Li, L., Li, S.R., Santosh, M. and Li, Q. (2016) Dykeswarms and Their Role in the Genesis of World-Class Gold Deposits: Insights from the Jiaodong Peninsula, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **130**, 2-22. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.06.015>
- [25] Bierlein, F.-P., Arne, D.-C., Mcknight, S. and Lu, J. (2000) Wall-Rock Petrology and Geochemistry in Alteration Halos Associated with Mesothermal Gold Mineralization, Central Victoria, Australia. *Economic Geology*, **95**, 283-311. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.95.2.283>
- [26] Zhu, R.X., Fan, H.R. and Li, J.W. (2015) Decratonic Gold Deposits. *Science China Earth Science*, **58**, 1523-1537. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5139-x>
- [27] 章永梅, 顾雪祥, 摆祥, 等. 云南富宁者桑金矿床硫铅同位素地球化学特征与成矿物质来源[J]. 地学前缘, 2013, 20(1): 32-39.
- [28] 陈翠华, 代鸿章, 顾雪祥. 云南省富宁县者桑金矿床成因矿物学研究[J]. 矿床地质, 2012(S1): 729-730.
- [29] 李晓敏, 魏存第, 周喜文. 黑龙江省老柞山金矿床毒砂的形态标型[J]. 黄金地质, 2000, 21(8): 5-7.
- [30] 代鸿章, 陈翠华, 顾雪祥, 等. 云南省富宁县者桑金矿床成矿流体特征[J]. 现代地质, 2014, 28(5): 893-904.
- [31] 代鸿章. 云南富宁县者桑金矿床成因矿物学研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012: 1-53.
- [32] Rock, N.M.S., Groves, D.I., Perring, C.S., *et al.* (1989) Gold, Lamprophyres, and Porphyries: What Does Their Association Mean. *Economic Geology Monograph*, **6**, 609-625. <https://doi.org/10.5382/Mono.06.47>
- [33] Goldfarb, R.J. and Santosh, M. (2014) The Dilemma of the Jiaodong Gold Deposits: Are They Unique. *Geoscience Frontiers*, **5**, 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.11.001>
- [34] Yan, Y., Zhang, N., Li, S., *et al.* (2014) Mineral Chemistry and Isotope Geochemistry of Pyrite from the Heilangou Gold Deposit, Jiaodong Peninsula, Eastern China. *Geoscience Frontiers*, **5**, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.05.003>
- [35] Ressel, M.W. and Henry, C.D. (2006) Igneous Geology of the Carlin Trend, Nevada: Development of the Eocene Plutonic Complex and Significance for Carlin-Type Gold Deposits. *Economic Geology*, **101**, 347-383. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.2.347>
- [36] Nie, F.J., Jiang, S.H., Hou, W.R., *et al.* (2010) Geological Features and Genesis of Gold Deposits Hosted by Low-Grade Metamorphic Rocks in Central-Western Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, **29**, 58-70.
- [37] Zhao, H.X., Frimmel, H.E., Jiang, S.Y., *et al.* (2011) LA-ICP-MS Trace Element Analysis of Pyrite from the Xiaoqinling Gold District, China: Implications for Ore Genesis. *Ore Geology Reviews*, **43**, 142-153.
- [38] 李红阳, 杨竹森, 丁振举, 等. 河北金家庄超基性岩型金矿床的地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2000, 36(4): 24-27.
- [39] Hu, R.-Z., *et al.* (2002) Geology and Geochemistry of Carlin-Type Gold Deposits in China. *Mineralium Deposita*, **37**, 378-392. <https://doi.org/10.1007/s00126-001-0242-7>
- [40] Mao, J.W., Cheng, Y.B., Chen, M.H. and Pirajno, F. (2012) Major Types and Time-Space Distribution of Mesozoic Ore Deposits in South China and Their Geodynamic Settings. *Mineralium Deposita*, **48**, 267-294. <https://doi.org/10.1007/s00126-012-0446-z>
- [41] Cai, J.X. and Zhang, K.J. (2009) A New Model for the Indochina and South China Collision during the Late Permian to the Middle Triassic. *Tectonophysics*, **467**, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.12.003>
- [42] Lu, J.J. (2005) Re-Os Age for Molybdenite from the Dexing Porphyry Cu-Au Deposit of Jiangxi Province, China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **69**, A882.
- [43] Peng, J., Zhou, M.F., Hu, R., *et al.* (2006) Precise Molybdenite Re-Os and Mica Ar-Ar Dating of the Mesozoic Yao-

-
- gangxian Tungsten Deposit, Central Nanling District, South China. *Mineralium Deposita*, **41**, 661-669. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0084-4>
- [44] Chen, M., Mao, J., Li, C., *et al.* (2015) Re-Os Isochron Ages for Arsenopyrite from Carlin-Like Gold Deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi “Golden Triangle”, Southwestern China. *Ore Geology Reviews*, **64**, 316-327. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.07.019>
- [45] Chen, C.H., Hsieh, P.S., Lee, C.Y., *et al.* (2011) Two Episodes of the Indosinian Thermal Event on the South China Block: Constraints from LA-ICPMS U-Pb Zircon and Electron Microprobe Monazite Ages of the Darongshan S-Type Granitic Suite. *Gondwana Research*, **19**, 1008-1023. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.10.009>
- [46] Hu, R., Fu, S., Huang, Y., *et al.* (2017) The Giant South China Mesozoic Low-Temperature Metallogenic Domain: Reviews and a New Geodynamic Model. *Journal of Asian Earth Sciences*, **137**, 9-34. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2016.10.016>
- [47] Hu, R.Z., Chen, W.T., Xu, D.R., *et al.* (2017) Reviews and New Metallogenic Models of Mineral Deposits in South China: An Introduction. *Journal of Asian Earth Sciences*, **137**, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2017.02.035>