

江南造山带湖南段金矿成矿事件及其构造背景

柏道远¹, 李彬^{1,2}, 周超¹, 孙骥¹, 魏方辉¹, 曾广乾^{1,3}, 姜文¹,
李银敏¹, 蒋启生¹

(1. 湖南省地质调查院, 湖南长沙 410016; 2. 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室, 江西南昌 330013;
3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 江南造山带湖南段为一重要的金成矿带, 目前关于带内金矿形成的时代背景存在较大争议。本文基于区域成岩成矿年代学、矿床(区)地质特征、矿床成因和流体来源、区域构造演化背景等多方面资料, 对带内各主要金矿区的成矿时代逐一进行详细解析, 以此为基础重新厘定了区域金矿成矿地质事件及其时代, 并探讨了各成矿事件的构造背景, 初步形成以下认识。江南造山带湖南段主要发生了加里东期、印支晚期和燕山期等3期金成矿事件。加里东期金矿成矿年代为430~410 Ma(志留纪后期), 产于同期雪峰冲断带中段-西南段和东段东部、湘中-湘东南构造岩浆带的东北部等3个地区, 各区赋矿地层分别为板溪群、冷家溪群、冷家溪群, 前两个地区的成矿与加里东运动变质变形和构造活化作用有关, 后一个地区的成矿与志留纪后期花岗质岩浆活动提供热能和流体有关。印支晚期金矿成矿年代为227~202 Ma(晚三叠世), 主要分布于同期雪峰冲断带东南缘构造岩浆隆起带, 与后碰撞花岗质岩浆活动的热能和热液驱动有关。燕山期金矿成矿年代为152~130 Ma(晚侏罗世—早白垩世初), 主要分布于同期雪峰冲断带东南部构造岩浆隆起带的东部, 与伸展环境下的花岗质岩浆活动有关。

关键词: 江南造山带; 金成矿事件; 加里东期; 印支晚期; 燕山期; 湖南

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2021)05-0897-26

Gold mineralization events of the Jiangnan Orogen in Hunan and their tectonic settings

BAI Dao-yuan¹, LI Bin^{1,2}, ZHOU Chao¹, SUN Ji¹, WEI Fang-hui¹, ZENG Guang-qian^{1,3}, JIANG Wen¹,
LI Yin-min¹ and JIANG Qi-sheng¹

(1. Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410016, Hunan, China; 2. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The Jiangnan Orogen in Hunan is an important gold metallogenic belt. There are debates about the gold ore-forming ages and geological settings of the belt. According to the ages of magmatic rocks and deposits, as well as geological characteristics of deposits, metallogeny and ore-forming fluids and regional tectonic evolutions, the authors analysed the metallogenic ages of every major ore concentration area in the Jiangnan Orogen in Hunan, and then defined the gold mineralization events and their ages, probed into the tectonic settings of the events. The following preliminary ideas are put forward. There occurred mainly three gold mineralization events in Jiangnan Orogen such as Caledonian, late Indosinian and Yanshanian. The Caledonian gold deposits with ore-forming age of 430~

收稿日期: 2020-10-09; 接受日期: 2021-04-27; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160031-04, DD20160346-17); 湖南省地勘局科研项目(201901); 湖南省地质院科研项目(201917); 国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项课题(2017YFC0601506); 湖南省自然资源厅科研项目(2017-03, 2019-02)

作者简介: 柏道远(1967-), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 长期从事区域地质调查与基础地质研究, E-mail: daoyuanbai@sina.com。

网络首发时间: 2021-08-31; 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20210831.1210.002.html>

410 Ma (late Silurian) were located in the three areas, such as the middle-southwestern segment of Xuefeng thrust-fault zone, the eastern segment of Xuefeng thrust-fault zone, and northeastern Central-Southeastern Hunan tectonomagmatic belt in the same time, with ore-bearing strata Banxi Group, Lengjiayi Group and Lengjiayi Group respectively. Gold mineralization in the first two areas was related with metamorphism, deformations and structural activation caused by Caledonian Movement, while in the last area was related with the thermal energy and hydrotherm provided by late Silurian granitic magmatism. The late Indosinian gold deposits with ore-forming age of 227~202 Ma (Late Triassic) took place mainly in southeastern Xuefeng tectonomagmatic uplift zone in Indosinian, and were related with the thermal energy and hydrotherm caused by post-collisional granitic magmatism. The Yanshanian gold deposits with ore-forming age of 152~130 Ma (Late Jurassic-initial Early Cretaceous) were mainly took place in east part of southeastern Xuefeng tectonomagmatic uplift zone in the same time, and were related with the granitic magmatism in extensional environment.

Key words: Jiangnan Orogen; gold mineralization events; Caledonian; late Indosinian; Yanshanian; Hunan

Fund support: China Geological Survey Project(DD20160031-04, DD20160346-17); Scientific Research Project of Hunan Geological Exploration Bureau(201901); Scientific Research Project of Geological Bureau of Hunan Province(201917); Key Special Project of “Exploration and Exploitation of Deep Earth Resources” in the National Key R & D Plan (2017YFC0601506); Scientific Research Projects of Department of Natural Resources of Hunan Province(2017-03, 2019-02)

江南造山带湖南段自西向东的走向由 NNE 向渐转为 EW 向, 总体呈向北西凸出的弧形展布(图 1)。该带是湖南省金矿的主要发育构造带(以下称江南金矿带湖南段)(黎盛斯, 1994), 有湖南省“金腰带”之称(黄建中等, 2020)。前人对江南金矿带湖南段内金矿床特征、成因和时代背景等进行过大量研究(罗献林, 1989, 1991; 刘亮明等, 1997; 彭建堂等, 1998; 彭建堂, 1999; 王秀璋等, 1999; 马东升等, 2002; Xu *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2021), 其中对时代背景的争议较大。如关于湘东北地区金矿成矿时代即存在雪峰期和燕山-喜山期(黎盛斯, 1994)、武陵-雪峰期和加里东期(罗献林, 1989)、武陵期和加里东期及印支-燕山期(陶诗龙等, 2015)、加里东期和印支-燕山期(彭建堂等, 1998; 彭建堂, 1999)、加里东期和印支期(韩凤彬等, 2010)、加里东期和燕山期(董国军等, 2008)、加里东-印支期和燕山期(文志林等, 2016)、印支期和燕山期(黄诚等, 2012)、燕山期(肖拥军等, 2004; Deng *et al.*, 2017)等不同认识; 再如关于沃溪金矿成矿时代, 顾雪祥等(2000)、董树义等(2008)认为形成于新元古代雪峰期, 彭建堂等(2003)认为形成于加里东期, 彭渤等(2006)认为形成于中生代。

近年来关于区域金(多金属)的成矿时代, 不同

研究者也提出了不同主张。Xu 等(2017)根据华南(包括江南造山带)自新元古代以来构造-岩浆与成矿特征, 提出了“陆内活化型”矿床概念以解释江南造山带金(多金属)矿床的成因, 认为存在早古生代(423~397 Ma)、侏罗纪(176~170 Ma)和早白垩世(144~130 Ma)等 3 期矿化事件, 且燕山晚期(130 Ma)是其主要成矿富化阶段; Zhang 等(2019)提出存在三叠纪(约 235 Ma)和早白垩世(142~130 Ma)的 2 期金成矿事件、早泥盆世(约 402 Ma)和晚三叠-早侏罗世(224~163 Ma)的 2 期金-锑成矿事件、早白垩世(约 130 Ma)的 1 期锑成矿事件; 黄建中等(2020)提出湖南“金腰带”成矿发生于加里东期和印支期; 柏道远等(2020a, 2020b)认为除加里东期和印支期外, 尚存在中晚燕山期金成矿作用。然而, 对“金腰带”不同期次成矿事件的构造格局及其对成矿的控制作用, 目前尚缺乏研究和探讨。鉴此, 本文采用区域成岩成矿年代学资料、矿床(区)地质特征、矿床成因和流体来源、区域构造演化背景等多要素相结合的研究方法, 对各主要金矿区的成矿时代逐一进行了详细解析, 并以此为基础重新厘定区域金矿成矿地质事件及其时代, 探讨各成矿期的区域构造格局(构造背景)控矿特征和机制, 以为江南金矿带湖南段成矿学研究提供更为全面、客观的参考资料。

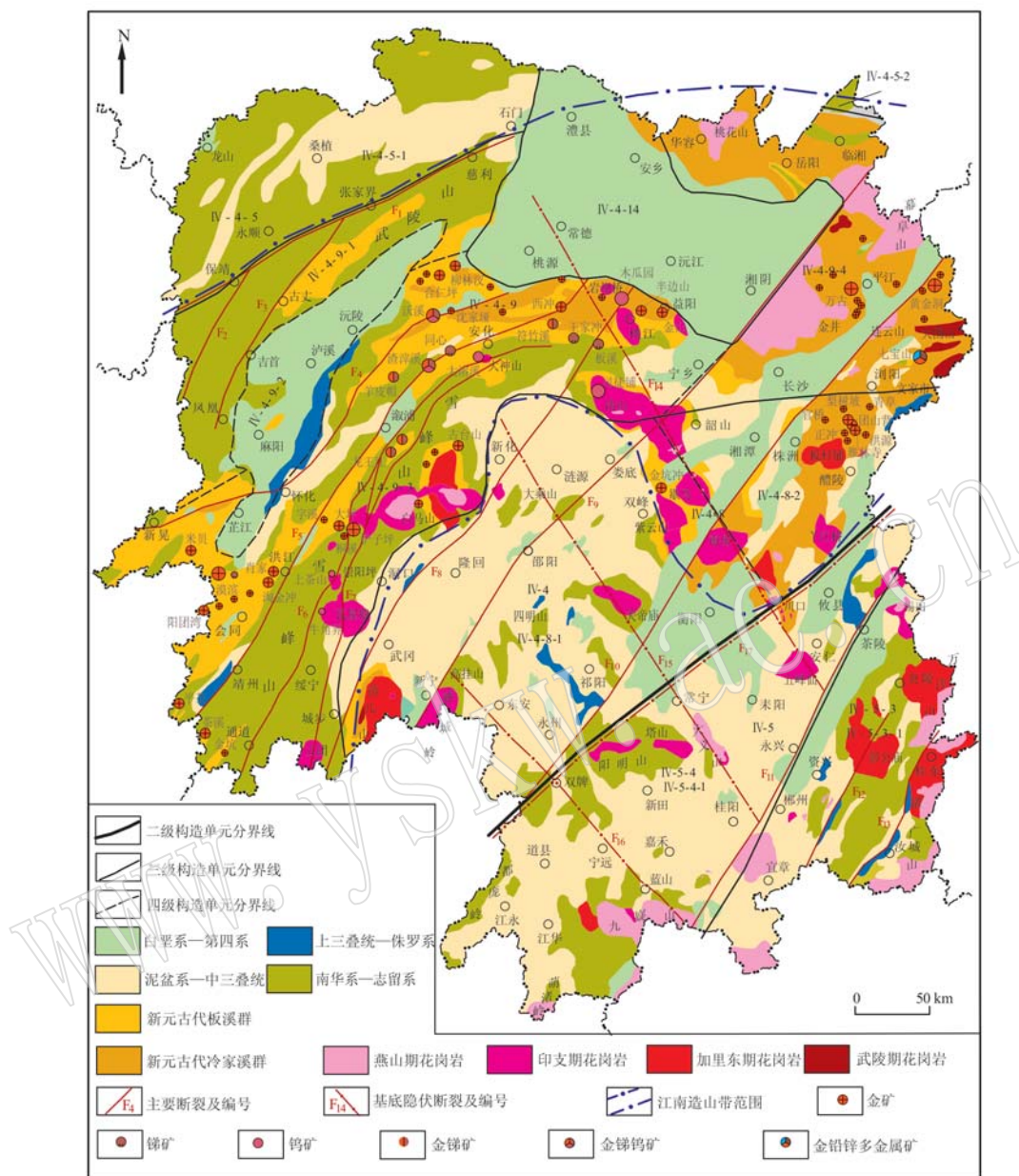


图1 湖南省综合构造单元划分(据湖南省地质调查院,2017)及江南造山带湖南段金矿分布略图

Fig. 1 Subdivision of comprehensive tectonic units in Hunan Province(Hunan Institute of Geology Survey, 2017) and distribution of gold ore deposits of Jiangnan Orogen in Hunan Province

IV—羌塘-扬子-华南板块; IV-4—扬子陆块; IV-4-5—湘北断褶带(八面山陆缘盆地); IV-4-5-1—石门-桑植复向斜; IV-4-5-2—沅潭褶冲带; IV-4-9—雪峰构造带(江南新元古代造山带); IV-4-9-1—武陵断弯褶皱带; IV-4-9-2—沅麻盆地; IV-4-9-3—雪峰冲断带; IV-4-9-4—湘东北断隆带; IV-4-8—邵醴坳-隆带(桂湘早古生代陆缘沉降带); IV-4-8-1—邵阳坳褶带; IV-4-8-2—醴陵断隆带; IV-4-14—洞庭盆地; IV-5—华夏板块; IV-5-3—粤湘赣早古生代沉陷带; IV-5-3-1—炎陵-汝城冲断褶隆带; IV-5-4—云开晚古生代沉陷带; IV-5-4-1—宁远-桂阳坳褶带; F₁—慈利-保靖断裂(江南断裂); F₂—保靖-铜仁断裂; F₃—古丈-吉首断裂; F₄—怀化-沃溪断裂; F₅—淑浦-靖州断裂; F₆—通道-江口断裂; F₇—城步-江口断裂; F₈—城步-新化断裂; F₉—公田-灰汤-新宁断裂; F₁₀—连云山-衡阳-零陵断裂; F₁₁—茶陵-郴州断裂;

F₁₂—瑶岗仙断裂; F₁₃—桂东-汝城断裂; F₁₄—常德-安仁断裂; F₁₅—郴州-邵阳断裂; F₁₆—蓝山-新宁断裂; F₁₇—川口-双牌断裂

IV—Qiangtang-Yantze-South China plate; IV-4—Yantze block; IV-4-5—North Hunan fault-fold zone (Bamianshan epicontinental basin); IV-4-5-1—Shimen-Sangzhi synclinore; IV-4-5-2—Yuantan fold-thrust fault zone; IV-4-9—Xuefeng tectonic belt (Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt); IV-4-9-1—Wuling fault-bend fold zone; IV-4-9-2—Yuanling-Mayang Basin; IV-4-9-3—Xuefeng thrust-fault zone; IV-4-9-4—Northeastern Hunan faulted uplift zone; IV-4-8—Shaoyang-Liling depression-uplift zone (Guangxi-Hunan Early Paleozoic epicontinental depression zone); IV-4-8-1—Shaoyang depression-fold zone; IV-4-8-2—Liling faulted uplift zone; IV-4-14—Dongting Basin; IV-5—Cathaysia block; IV-5-3—Guangdong-Hunan-Jiangxi Early Paleozoic depression zone; IV-5-3-1—Yanling-Rucheng thrust-fold uplift zone; IV-5-4—Yunkai Late Paleozoic depression zone; IV-5-4-1—Ningyuan-Guiyang depression-fold zone; F₁—Cili-Baojing fault (Jiangnan fault); F₂—Baojing-Tongren fault; F₃—Guzhang-Jishou fault; F₄—Huaihua-Woxi fault; F₅—Xupu-Jingzhou fault; F₆—Tongdao-Jiangkou fault; F₇—Chengbu-Jiangkou fault; F₈—Chengbu-Xinhua fault; F₉—Gongtian-Huitang-Xinning fault; F₁₀—Lianyunshan-Hengyang-Lingling fault; F₁₁—Chaling-Chenzhou fault; F₁₂—Yaogangxian fault; F₁₃—Guidong-Rucheng fault; F₁₄—Changde-Anren fault; F₁₅—Chenzhou-Shaoyang fault; F₁₆—Lanshan-Xinning fault; F₁₇—Chuankou-Shuangpai fault

1 地质背景

江南金矿带湖南段金矿主要分布于雪峰冲断带(IV-4-9-3)、湘东北断隆带(IV-4-9-4)南部、醴陵断隆带(IV-4-8-2)北部以及邵阳拗褶带(IV-4-8-1)北部的大乘山-龙山串珠状隆起带(图1)。

该带自早至晚经历了武陵期(冷家溪群沉积期)活动大陆边缘盆地、雪峰期(板溪群沉积期)-南华纪陆内裂谷盆地、震旦纪-早奥陶世被动陆缘盆地、晚奥陶世-志留纪前陆盆地、泥盆纪-中三叠世陆表海盆地、晚三叠世-第四纪陆相盆地等6个大的构造阶段(柏道远等, 2020b), 期间发生过武陵、雪峰、加里东、印支、早燕山、晚燕山等主要构造运动以及武陵期、加里东期、印支期和燕山期等主要花岗质岩浆侵入事件, 形成了复杂的沉积、岩浆、变形、变质和成矿等地质记录。

带内自早至晚发育地层包括青白口系冷家溪群弧后盆地陆缘碎屑夹火山沉积, 板溪群(或同期异相的高洞群)裂谷盆地陆缘碎屑夹火山和钙质沉积, 南华系裂谷盆地陆缘碎屑夹钙质、锰质沉积, 震旦系被动大陆边缘盆地白云质、硅质、炭泥质夹锰质沉积, 寒武系-志留系被动陆缘盆地-前陆盆地陆缘碎屑为主、钙质为辅沉积, 泥盆系-下三叠统陆表海盆地陆缘碎屑和碳酸盐为主夹硅质沉积, 上三叠统-下侏罗统陆相盆地碎屑夹钙质沉积, 白垩系-古近系陆相红盆碎屑夹膏盐沉积, 第四系河、湖相松散堆积。金矿产出地层主要为冷家溪群、板溪群和南华系, 其中冷家溪群主要分布于湘东北隆起带和雪峰冲断带北段; 板溪群主要分布于雪峰冲断带; 南华系分布于雪峰冲断带和邵阳拗褶带北部(图1)。

带内发育武陵期、加里东期、印支期和燕山期(主要为晚侏罗世)花岗质侵入岩。其中武陵期花岗岩分布于湘东北平江-浏阳一带, 加里东期花岗岩分布于东部醴陵板杉铺和西部白马山, 印支期花岗岩分布于通道-溆浦-益阳-醴陵一线以南, 3期花岗岩分别形成于俯冲和武陵运动之后(王孝磊等, 2004)、加里东运动之后(柏道远等, 2005; 关义立等, 2013)、印支运动之后(柏道远等, 2005; 曾认宇等, 2016)的后碰撞构造环境; 燕山期花岗岩分布于靖州-华容一线南东, 形成于早燕山运动之后的后造山(陈培荣等, 2002; 柏道远等, 2005)、后碰撞(李鹏春等, 2005)或太平洋板块俯冲后崩塌(Li and

Li, 2007; 许德如等, 2017)等构造环境。

江南金矿带湖南段现今最主要构造特征表现为构造隆起, 带内前白垩系各构造层褶皱、断裂变形强烈, 尤其以多条NE-NNE向主干断裂以及NW向常德-安仁基底隐伏断裂最为瞩目(图1)。带内构造变形主要与冷家溪群沉积期(武陵期)末弧-陆碰撞的武陵运动、奥陶纪末和志留纪后期的加里东陆内造山运动(分别称为北流运动和广西运动)、中三叠世后期的印支陆内造山运动、中侏罗后期的早燕山陆内造山运动等构造运动有关(柏道远等, 2020b)。此外, 还经历了青白纪末期的雪峰运动和白垩纪-古近纪构造伸展, 前者为陆内裂谷环境下断块旋转和差异升降所致, 后者形成了众多断陷盆地和盆-岭构造格局。

2 金矿基本特征

江南金矿带湖南段金矿床广泛分布于湘东北隆起区, 雪峰弧形构造带的北段(EW向段)、中段和南段(NE向、NNE向段)(图1)。其中较为知名或规模较大的有黄金洞、大万(大洞、万古)、沃溪、铲子坪、漠滨等金矿。带内不同规模金矿产地的成矿元素多以金为主, 同心锑矿、渣滓溪锑钨金矿、龙王江锑金矿田等(图1)少部分矿床中金以次要或伴生元素产出。

不同区带金矿的赋矿地层存在显著差异。湘东北地区金矿主要产于冷家溪群中; 雪峰弧形构造带北段(EW向段)金矿产于板溪群和冷家溪群中; 中段-南段金矿产于板溪群(西带)和南华系(东带)中(图1)。

江南金矿带湖南段内金矿体均产于断裂中, 但主容矿断裂类型多样, 或为顺层(局部切层)剪切断裂, 如黄金洞金矿和大万金矿的NWW向容矿剪切带(顾江年等, 2012; 文志林等, 2016; 高顺, 2017)、雁林寺地区NE向容矿层间剪切带(黄诚等, 2012)、沃溪金矿中的层间矿脉(鲍振襄等, 2002)、合仁坪金矿中控矿层间断裂(邓穆昆等, 2016)、大坪金矿中NE向容矿韧性剪切带(李华芹等, 2008)、漠滨金矿区NE向赋矿层间断裂(鲍振襄等, 1998)等; 或为顺岩层或构造线走向的切层断裂, 如黄金洞矿区金塘矿段3号矿脉容矿断裂(高顺, 2017)等; 或为走向与岩层或构造线大角度相交的切层断裂, 如雁林寺地区NW向容矿断裂(徐昊等, 2016)、铲

子坪金矿 NW 向主容矿断裂(骆学全, 1993)、渣滓溪锑钨金矿 NW 向主容矿断裂(鲍振襄等, 1991)等。成矿元素金一般沿矿脉走向分段富集, 矿脉走向与倾角突变转折、分枝、膨胀及多组断裂交切、主断裂与派生断裂交汇等部位金更为富集。

成因类型主要为与变质作用、构造作用和花岗质岩浆活动有关的中低温热液型金矿, 与变质作用和构造作用有关的代表性矿床有沃溪金矿(刘亚军, 1992; 彭建堂等, 2003)、漠滨金矿(鲍振襄等, 1998); 与花岗质岩浆活动有关的代表性矿床有雁林寺金矿和正冲金矿(陶诗龙等, 2015; 隗含涛等, 2020)、黄金洞金矿和万古金矿(许德如等, 2017; Xu *et al.*, 2017; Deng *et al.*, 2020)、板溪锑(金)矿(Li *et al.*, 2018)、铲子坪金矿(曹亮等, 2015)等。

根据矿石结构和组分特征主要可分为石英脉型和蚀变岩型等两大类, 另有个别花岗岩体接触带型金矿床发育。石英脉型金矿又可进一步分为顺层石英脉型和切层石英脉型, 前者以雁林寺、黄金洞、大万、沃溪、柳林汉、漠滨等金矿床等为代表, 后者以淘金冲金矿和肖家金矿等为代表。蚀变岩型金矿可进一步分为蚀变板岩型、蚀变破碎带型、蚀变构造角砾岩型等, 见于雁林寺、黄金洞、大万、铲子坪等金矿, 可为独立矿体, 也可分布于石英脉型矿体的两侧。花岗岩体接触带型见于湘东北隆起区南部的团山背金矿和正冲金矿(王淑军等, 2008)。

矿石常见构造有块状构造、(网)脉状构造、条带状构造、角砾状构造、浸染状构造等; 常见结构有粒状结构、片状结构、交代结构、包含结构、充填结构、碎裂结构、固溶体分离结构等。常见金属矿物有自然金、毒砂、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿等(部分有锑、钨矿物); 常见非金属矿物有石英、绢云母、方解石、绿泥石、白云母、铁白云石、粘土矿物等(部分有钠长石、斜长石); 金主要以裂隙金、晶隙金的形式充填于石英、毒砂、黄铁矿、辉锑矿、钠长石等矿物中或板岩碎块与石英脉接触处裂隙中。不同矿床的矿物组合和成矿元素可存在较大差异, 如湘东北黄金洞金矿和万古金矿中毒砂是最主要的载金矿物之一, 成矿元素以单一金为主; 而湘西沃溪金矿中却没有毒砂, 主要成矿元素有 Au、Sb、W 等多种。常见矿脉及围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、毒砂化、黄铁矿化、粘土化等, 部分伴有钨矿化、辉锑矿化、闪锌矿化、黄铜矿化、辉铜矿化、方铅矿化等; 金矿化与硅化、毒砂化、黄铁矿化关系密

切(鲍振襄等, 2002; 邓穆昆等, 2016; 文志林等, 2016; 高顺, 2017)。

成矿作用主要为中低温热液成矿(杨燮, 1992; 黄诚等, 2012; 曹亮等, 2015; 李伟等, 2016; 邓穆昆等, 2016), 流体包裹体均一温度主要集中在 150~300℃。同一矿体的成矿过程常具多阶段特征, 一般从早阶段到晚阶段成矿温度逐渐降低, 如沃溪金矿(杨燮, 1992)、古台山金矿(李伟等, 2016)等。

关于矿质(Au)来源存在地层(柳德荣等, 1994; 彭建堂, 1999; 董国军等, 2008)、岩浆(李伟等, 2016)、地层和深部岩浆(毛景文等, 1997; 贺转利等, 2004)等不同认识。基于硫、铅、碳、氢、氧等同位素研究提出的成矿流体来源认识不一, 有围岩或区域变质热液(邓穆昆等, 2016; Deng *et al.*, 2017)、变质热液与岩浆热液(李伟等, 2016)、变质热液与大气降水(杨燮, 1992; 韩凤彬等, 2010)、岩浆热液与大气降水(毛景文等, 1997)、海水热液(顾雪祥等, 2000; 董树义等, 2008)、混合热液(贺转利等, 2004; 曹亮等, 2015)等。总体而言, 前人研究表明成矿物质来源于围岩或下部基底构造层, 岩浆可能有部分贡献; 成矿流体以区域变质热液为主, 同时存在天水深循环流体和岩浆流体; 多期构造-岩浆-热作用是形成、驱动成矿流体的动力机制; 流体混合可能是成矿流体发生成矿元素卸载、沉淀和富集的原因。

3 成矿地质事件

3.1 金矿成矿时代研究的资料应用和分析方法

(1) 江南金矿带湖南段内成矿元素 Au、Sb、W 常常共生, 但是由于物理化学条件、成矿物质、成矿流体、成矿能量来源、成矿元素活化转移和沉淀的机制等存在差异, 形成单元素为主、双元素组合、三元素组合等不同类型矿床(刘英俊等, 1994), 但其成矿时代背景总体相同或密切相关。因此, 本文一并搜集了带内金矿、锑矿、钨矿、金锑矿、金锑钨矿等不同类型矿床的时代, 以形成有更多资料证据支持的关于金矿成矿时代背景的更全面、更客观的认识。

(2) 江南金矿带湖南段向南西延伸至邻省贵州, 黔东南金井金矿、平秋金矿、八克金矿等金矿床的大量年代学成果对本文研究具有重要的启示意义, 因此将其作为重要的参考资料。

(3) 江南金矿带目前已积累了较多的成矿年龄

资料,分析方法多样,包括石英和石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线法、金属矿物(辉钼矿、黄铁矿、毒砂等)的 Re-Os 等时线法、金属矿物(黄铁矿和白钨矿)和方解石 Sm-Nd 等时线法、K-Ar 法、Ar-Ar 法(表 1)。受矿物成因及其地质背景、初始同位素的均一化程度、同位素的分异、含量和赋存状态、同位素体系的封闭性等地质因素以及实验设备和分析方法的影响,各类测试方法各有优劣(刘建明等, 1998);就具体样品而言,其分析结果的可靠性及地质解释的合理性相对于客观实际可能存在偏差。总体而言,目前被认为可靠性较高的成矿年龄分析方法有 Re-Os 等时线法、Sm-Nd 等时线法、Ar-Ar 法等。受次生流体包裹体干扰以及 Sr 同位素均一化和 Rb 与 Sr 分异等环节不易满足分析条件等限制,近 20 年来应用很广的石英和石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法颇受质疑(刘建明等, 1998;姚海涛等, 2001)。尽管如此,研究区内黄金洞、铲子坪、大坪、平茶、肖家等矿床的石英或石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄与其它成岩成矿年龄和地质背景吻合较好(详见后文),本文视其为有限可靠或有重要参考价值的年龄资料。总之,本文在利用前人已有测年资料分析成矿年代时,总体上优先考虑方法更为可靠的测年数据,同时也考虑了测试结果可能存在的偏差,顾及测试结果的地质合理性。

(4) 部分侵入岩体与矿体具有密切的空间和成因联系,则侵入岩的成岩年龄可作为成矿年龄。

(5) 本着测年数据与地质资料相结合的原则进行成矿时代的综合分析厘定,如通过构造事件和构造变形的时代约束构造活化和变质相关矿床的时代,通过岩浆岩的时代约束岩浆流体相关矿床的时代,通过赋矿地层时代、含矿构造时代约束成矿时代的下限,通过成矿流体来源(如岩浆来源或变质来源)、矿床与区域侵入岩体的空间关系等约束成矿作用的构造或岩浆背景,等。

鉴于上述,表 1 中除江南金矿带湖南段金矿和金多金属矿的成矿年龄数据外,还列出了研究区内锑矿和钨矿的成矿年龄、成矿相关石英斑岩和花岗斑岩的成岩年龄数据以及黔东南金井等金矿床的测年数据。

3.2 主要金矿区成矿时代的厘定

本文按自东至西、自北至南的顺序,对江南金矿带湖南段(以下简称江南金矿带)各金矿区(床)成矿时代进行综合分析和厘定。

3.2.1 雁林寺金矿区成矿时代

雁林寺金矿区位于江南金矿带东段南部(图 1),分布有雁林寺、正冲、团山背、梨树坡、官桥、青草、洪源、楠竹坡、金鸡等大量中小型金矿床(点)。赋矿地层为冷家溪群雷神庙组、黄浒洞组和小木坪组含炭质板岩、粉砂质板岩、变质砂岩等。金矿区西南面为加里东期板杉铺岩体,正冲金矿和团山背金矿发育隐伏花岗质岩枝,雁林寺—团山背一带发育 NW 向隐伏辉绿岩脉。

根据含矿构造类型可将本区金矿分为以下 3 类。

第 1 类金矿的含矿构造为(近)顺层韧性剪切带和层间断裂,矿脉大多为 NE 走向,金宏金矿等局部地区受后期构造叠加可为 NW 走向。此外,受板杉铺岩体强力就位影响,岩体东侧、北侧构造线产生变形,矿脉分别呈近 SN 向和 EW 向。矿化类型主要有条带状石英脉型和蚀变岩型,蚀变岩型矿石主要分布于矿化石英脉两侧(陆文等, 2020)。

第 2 类金矿的含矿构造主要为 NW 向断裂(含韧性剪切带)或裂隙,其切割第 1 类矿体(脉),或受第 1 类含矿断裂限制而发育于后者上盘。矿化类型主要为构造破碎带型,由含金石英脉和矿化蚀变围岩组成。此类金矿为正冲金矿的主要金矿类型(徐昊等, 2016),但在其它金矿床矿石品位一般较低,总体工业意义不大,如雁林寺地区 NW 向矿脉数量少、延伸短、品位变化大,基本不具开采价值(陆文等, 2020)。

第 3 类金矿的含矿构造为花岗岩枝的内外接触带,此类矿体见于团山背金矿和正冲金矿(王淑军等, 2008),岩枝沿 NE 向断裂或韧性剪切带侵位。

根据上述矿床地质特征,结合区域构造演化过程以及成岩成矿测年资料,初步确定雁林寺金矿区主要存在加里东期和印支晚期金成矿事件。

加里东期成矿与加里东陆内造山运动诱发的志留纪后碰撞花岗质岩浆活动(关义立等, 2013)有关,形成了前述第 1 类金矿脉以及第 3 类金矿。最近孙骥等(面告,待发表)于团山背金矿、雁林寺金矿分别进行了 3 件、1 件矿脉样品的热液锆石 U-Pb 年龄测定,得到一致的 426 Ma 左右的成矿年龄;其还获得团山背金矿 420 Ma 左右的方解石 Sm-Nd 同位素年龄、矿化花岗岩 430 Ma 左右的年龄。隗含涛等(2020)获得板杉铺岩体东侧花岗岩枝和花岗闪长岩枝的锆石 U-Pb 年龄分别为 425.2 ± 1.5 Ma 和 $430.6 \pm$

表1 江南金矿带湖南段及邻区成矿和相关成岩年龄数据

Table 1 Metallogenic ages of deposits and related magmatic rocks in Jiangnan gold metallogenic zones in Hunan and its adjacent areas

取样地点	测试对象	分析方法	年龄/Ma	资料来源	备注
团山背金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	222±9	韩凤彬等, 2010	
青草金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	236±14	彭渤等, 1997	
金鸡金矿	花岗岩中锆石	LA-ICP-MS U-Pb	425.2±1.5	隗含涛等, 2020	
金鸡金矿	花岗闪长岩中锆石	LA-ICP-MS U-Pb	430.6±1.5	隗含涛等, 2020	
黄金洞金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	152±13	董国军等, 2008	
黄金洞金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	462±18	韩凤彬等, 2010	
黄金洞金矿	白钨矿	Sm-Nd 等时线	129.7±7.4	周岳强等, 2021 ^①	
黄金洞金矿	第1期石英脉中白云母	Ar-Ar	399~397	Deng <i>et al.</i> , 2020	主期成矿前的石英脉
大洞金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	70	董国军等, 2008	应为成矿后年龄
大岩金矿化点	白云母	Ar-Ar	130.0±1.4	Deng <i>et al.</i> , 2017	
万古金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	70	毛景文等, 1997	应为成矿后年龄
万古金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	425±33	韩凤彬等, 2010	
桃江木瓜园钨矿	花岗岩中锆石	LA-ICP-MS U-Pb	224.2±2.0	陕亮等, 2019	
桃江木瓜园钨矿	辉钼矿	Re-Os 等时线	225.4±1.4	陕亮等, 2019	
板溪锑矿	辉锑矿和毒砂	Rb-Sr 等时线	129.4±2.4	Li Huan <i>et al.</i> , 2018	
板溪锑矿	辉锑矿	Sm-Nd 等时线	130.4±1.9	Li Huan <i>et al.</i> , 2018	
板溪锑矿	含矿石英斑岩	全岩 K-Ar	202~194	彭建堂等, 2001	
板溪锑矿	矿脉中石英	Rb-Sr 等时线	196±4	Li <i>et al.</i> , 2019	
板溪锑矿	石英斑岩脉中锆石	LA-ICP-MS U-Pb	218.8±3.1	Fu <i>et al.</i> , 2019	
板溪锑矿	石英斑岩脉中锆石	LA-ICP-MS U-Pb	223.8±3.0	Fu <i>et al.</i> , 2019	
符竹溪金矿	含矿花岗岩	K-Ar	210±4	姚振凯等, 1993	
沈家垭金矿	含矿石英脉中石英	Rb-Sr 等时线	90.6±3.2	陈富文等, 2008	应为成矿后年龄
沃溪金锑钨矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	145±12	史明魁等, 1993	应为成矿后年龄
沃溪金锑钨矿	白钨矿	Sm-Nd 等时线	402±6	彭建堂等, 2003	
沃溪金锑钨矿	石英	Ar-Ar	420±20, 414±19	彭建堂等, 2003	
柳林汉金矿	钾长石	K-Ar	412	王秀璋等, 1999	
大溶溪钨矿	辉钼矿	Re-Os 等时线	223.3±3.9	张龙升等, 2014	
渣滓溪锑钨金矿	白钨矿	Sm-Nd 等时线	227.3±6.2	王永磊等, 2012	
古台山金矿	白云母	Ar-Ar 坪年龄	223.6±5.3	Li Wei <i>et al.</i> , 2018	
铲子坪金矿	含金石英脉中石英	Rb-Sr 等时线	206±9	李华芹等, 2008	
大坪金矿	含金石英脉中石英	Rb-Sr 等时线	205±6	李华芹等, 2008	
字溪金矿	毒砂	Re-Os 等时线	425±28	Wang <i>et al.</i> , 2019	
漠滨金矿	钾长石	K-Ar	404	王秀璋等, 1999	
平茶金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	435±9	彭建堂等, 1998	
肖家金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	412±33	彭建堂等, 1998	
肖家金矿	蚀变岩	Rb-Sr 等时线	418±4	彭建堂等, 1998	
黔东南金井金矿	石英脉型毒砂	Re-Os 等时线	174±15	王加昇等, 2011	多数样品 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os} < 5000$, 年龄不可靠
黔东南金井金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	340±16	朱笑青等, 2006	与区域构造背景不符
黔东南同古金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	425±16	朱笑青等, 2006	
黔东南平秋金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	492±37	朱笑青等, 2006	年龄值明显偏大
黔东南平秋金矿	石英流体包裹体	Rb-Sr 等时线	477±14	朱笑青等, 2006	年龄值明显偏大
黔东南平秋金矿	蚀变岩型毒砂	Re-Os 等时线	400±24	王加昇等, 2011	
黔东南平秋金矿	毒砂	Re-Os 等时线	235±3	顾尚义等, 2016	
黔东南八克金矿	毒砂	Re-Os 等时线	410±52	顾尚义等, 2016	

① 周岳强, 董国军, 许德如, 等. 2021. 湖南黄金洞金矿床白钨矿 Sm-Nd 年龄及其地质意义. 地球化学 (待刊).

1.5 Ma(表1),并根据地质产状确定金鸡金矿的成矿与岩枝密切相关。此外,关义立等(2013)获得 432.4 ± 2.6 Ma,李建华等(2015)获得 422 ± 2 Ma 和 421 ± 2 Ma 等板杉铺岩体锆石 U-Pb 年龄。上述测年数据反映出加里东期花岗质岩浆活动和成矿时代一致,约为 430~420 Ma。肖家山金矿石英流体包裹体特征反映中期成矿流体来源于岩浆(陶诗龙等, 2015),印证了本期与岩浆相关的成矿作用。

印支晚期成矿形成了前述第2类金矿,即以 NW 向断裂或裂隙为含矿构造的矿脉。相关成矿年龄有青草金矿 236 ± 14 Ma 和团山背金矿 222 ± 9 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(彭渤等, 1997; 韩凤彬等, 2010)。本金矿区东南部王仙花岗斑岩体的锆石 U-Pb 年龄为 224.7 ± 4.4 Ma(杨立志等, 2018),与成矿年龄一致,反映本期成矿主要与岩浆活动有关。据区域构造演化背景,初步推断赋存矿体的 NW 向断裂、裂隙形成于中三叠世后期印支运动主幕的 NW(W) 向挤压(柏道远等, 2005)。

由于处于相对统一的构造-岩浆演化背景下,本金矿区各金矿床可能不同程度发生过上述2期成矿作用,只是不同期次成矿对不同矿床的重要性存在差异。

3.2.2 黄金洞-万古金矿区成矿时代

黄金洞-万古金矿区位于江南金矿带东段北部,包括黄金洞金矿田、万古-大洞金矿田以及其它众多中小型金矿床(图1)。区内地层主要为冷家溪群和白垩系—古近系,同时发育大量燕山期花岗岩。赋矿地层为冷家溪群板岩、粉砂质板岩、凝灰质板岩等。含矿构造主要为 NWW 向(部分转为近 EW 向)、倾向北的顺层或近顺层脆韧性剪切破碎带,其与轴面北倾的同走向倒转褶皱相伴发育;黄金洞金矿尚见褶皱转折端控制矿体(顾江年等, 2012; 高顺, 2017)。此外,个别矿脉赋存于倾向南的切层断裂中,如黄金洞矿区金塘矿段3号矿脉(高磊等, 2017)。含矿断裂常具多期活动特征,如早期条带状石英脉可呈构造透镜体夹于后期挤压破碎带中,含矿石英脉可发生较强变形而形成揉皱。金矿体常表现出侧伏现象,但侧伏规律尚待进一步研究(顾江年等, 2012)。根据矿石结构和组分,矿石类型主要有蚀变破碎岩型、构造角砾岩型、石英脉型、碎裂石英脉型和蚀变板岩型等(顾江年等, 2012; 文志林等,

2016; 高顺, 2017)。

目前本金矿区内已有成矿年龄集中在加里东期和燕山期(表1)。加里东期年龄有黄金洞金矿 462 ± 18 Ma、万古金矿 425 ± 33 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(韩凤彬等, 2010)和黄金洞金矿第1期石英脉(主成矿期之前) $399 \sim 397$ Ma 的白云母 Ar-Ar 年龄(Deng *et al.*, 2020)。燕山期成矿年龄有黄金洞金矿 152 ± 13 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(董国军等, 2008)、 129.7 ± 7.4 Ma 的白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄(周岳强等, 2021)^①,大岩金矿(矿化点) 130.0 ± 1.4 Ma 的白云母 Ar-Ar 年龄(Deng *et al.*, 2017)等。此外,七宝山铜铅锌多金属矿床伴生金,其矿床 153.4 ± 2.0 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(胡俊良等, 2017)以及成矿相关石英斑岩 152.1 ± 1.3 Ma、 154.8 ± 2.1 Ma 的锆石 U-Pb 年龄(胡俊良等, 2016),为燕山期成矿提供了佐证。

除上述年龄外,前人尚获得大洞金矿 70 Ma 和万古金矿 70 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(毛景文等, 1997; 董国军等, 2008)。鉴于其所对应的白垩纪末期为伸展盆地发展阶段,区内无强烈构造变形和岩浆活动以提供成矿所需热能,因此推断上述年龄数据仅反映伸展期的一般低温蚀变,或与分析方法可靠性差有关,不能指示同期成矿事件。最新勘探进展表明,万古金矿矿脉往东延伸至下白垩统之下,表明白垩系开始沉积时金矿体即已出露地表,此为上述推断提供了有力佐证。

根据上述矿床地质特征和成矿年龄数据,结合区域构造演化过程,可初步确定黄金洞-万古金矿区存在加里东期和燕山期等2期成矿事件,并以燕山期成矿为主,加里东期成矿可能仅导致矿质的初步富集。

鉴于区内无加里东期花岗岩发育,加里东期成矿有别于前述花岗质岩浆活动有关的雁林寺金矿区,认为本矿区主要应与加里东陆内造山运动的构造活化有关。

燕山期成矿应与早燕山运动以及其后的花岗质岩浆活动有关。中侏罗世后期的早燕山运动中区域应力场为 NWW 向挤压(柏道远等, 2005),其导致武陵运动和加里东运动中形成的 NWW 向和 EW 向断裂拉张而形成良好的储矿空间(文志林等,

① 周岳强,董国军,许德如,等. 2021. 湖南黄金洞金矿床白钨矿 Sm-Nd 年龄及其地质意义. 地球化学(待刊).

2016)。晚侏罗世—早白垩世初期的大规模花岗质岩浆活动提供了成矿所需的流体和热源,于岩体围岩中形成带状分布的多金属矿产,其中最外带即为金矿发育的中低温成矿带(许德如等,2017)。

值得指出的是,前人(湖南省地质调查院,2017)曾将本区金井一带的多个小岩体时代归为三叠纪,但笔者在新近完成的1:5万区调中于金井地区新获得一批花岗岩和酸性斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,显示包括原三叠纪花岗岩在内的酸性侵入岩年龄值约 165~150 Ma(数据待发表),说明该区并无印支期花岗岩。这应该是本金矿区有燕山期而无印支期金矿成矿作用的原因所在。

3.2.3 半边山金矿区成矿时代

半边山金矿区位于江南金矿带中段东部(图1),区内发育半边山金矿、金山金矿和木瓜园钨矿等矿床。

木瓜园大型钨矿同时有少量金矿化。矿区发育的三仙坝花岗斑岩为含矿岩体,其全岩钨矿化,矿体产状与岩体一致,沿 NW 285° 断裂分布。少量金矿化赋存于围岩板溪群断裂破碎带中,为破碎带蚀变型(陕亮等,2019)。花岗斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 224.2 ± 2.0 Ma,矿体中辉钼矿 Re-Os 等时线为 225.4 ± 1.4 Ma(表1)(陕亮等,2019)。显然,上述矿床地质特征及同位素年龄反映木瓜园钨矿及其少量金矿化的形成与花岗斑岩密切相关,成矿作用和岩浆活动均发生于 225 Ma 左右的印支晚期(晚三叠世)。

半边山金矿位于印支期桃江花岗岩体东侧(图1),矿区出露地层为冷家溪群绢云母板岩、粉砂质板岩(鲍振襄,1994)。发育 NNE 向-近 SN 向陡倾斜断裂和劈理以及 NNE 向断裂之间的少数 NW 向和 NE 向断裂或羽状分枝断裂,为本区控岩控矿构造。矿区发育多条含金石英岩脉,主要充填于 NNE 向断裂带(主)及 NW 向和 NE 向断裂带(次)内。斑岩本身为含金异常体,其 Au 平均含量高于维氏酸性岩丰度 19~44 倍,高于围岩的 1.4~3.3 倍(鲍振襄,1994)。金矿化主要富集在石英斑岩内的石英脉、蚀变带及其接触破碎带,其中石英脉一般不穿入围岩中,属岩浆期后石英脉。上述矿床地质特征表明半边山金矿与石英斑岩在成因上相关且形成时代相同。空间上,半边山酸性斑岩和金矿体紧邻桃江岩体,并与木瓜园的酸性斑岩和钨矿以及岩坝桥岩体相近(图1),而锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定表明桃

江岩体时代为 222 ± 2 Ma,岩坝桥岩体的时代为 219.1 ± 1.1 Ma 和 220.7 ± 1.0 Ma(表1)(湖南省地质调查院,2017),结合前述木瓜园矿区成岩、成矿年龄,可推断半边山酸性斑岩及金矿的形成时代约为 225~220 Ma,属晚三叠世。金山金矿位于半边山金矿东侧,地质背景与后者相近(李晓峰,2002),最大可能也是形成于晚三叠世。

综上所述,半边山金矿区金矿的形成时代应为印支晚期,即晚三叠世。

3.2.4 板溪-符竹溪金矿区成矿时代

板溪-符竹溪金矿区位于江南金矿带中段中部,主要矿床有板溪锑矿、王家冲锑矿、符竹溪金锑矿、西冲金矿等(图1),其中板溪锑矿和符竹溪金锑矿有成岩成矿年龄。

板溪锑矿为中低温热液充填辉锑矿-石英脉矿床,主要赋矿围岩为板溪群五强溪组板岩、砂质板岩和砂岩。矿区北部发育东西向石英斑岩脉群,其含锑金较高,少数被含锑金石英脉穿插。矿体受 NE 向与 EW 向断裂控制,二者复合的弧形部位形成富矿体(罗献林,1995)。按矿石和矿物组合特征分为富锑石英脉型、含锑破碎带型、富锑金石英脉型等3种矿化类型。辉锑矿可分为两期,早期辉锑矿呈致密状、结晶较差,其被晚期结晶稍好的辉锑矿细脉充填切割(罗献林,1995)。彭建堂等(2001)对矿区含矿石英斑岩进行了全岩 K-Ar 分析,获得 202~194 Ma 的成岩年龄;Fu 等(2019)获得石英斑岩脉锆石 U-Pb 年龄为 218.8 ± 3.1 Ma 和 223.8 ± 3.0 Ma,表明其为印支晚期岩体,与东邻半边山矿区酸性斑岩的形成时代基本一致。Li 等(2019)获得成矿期石英 Rb-Sr 等时线年龄 196 ± 4 Ma,反映出印支期成矿作用。Li Huan 等(2018)对矿石中辉锑矿与毒砂以及辉锑矿分别进行了 Rb-Sr 等时线和 Sm-Nd 等时线分析,得到 129.4 ± 2.4 Ma 和 130.4 ± 1.9 Ma 的年龄(表1),反映出燕山期的成矿作用。上述矿床地质特征和成岩成矿年龄数据,大体反映出板溪锑矿经历了印支晚期和燕山期两期成矿事件,其中印支晚期的锑金成矿与同期酸性岩浆活动密切相关,形成早期致密状锑金矿;而燕山期成矿作用可能与区域岩浆作用驱动下的基底来源热流体与大气降水的混合流体有关(Li Huan *et al.*, 2018),形成晚期辉锑矿细脉。

符竹溪金锑矿赋存于板溪群马底驿组紫红色板岩内,为受断裂构造控制的中-低温热液脉状充填型矿床(姚振凯等,1993;潘灿军等,2015)。矿区内

发育沿断裂带侵入的花岗斑岩脉和钠长辉绿岩脉,岩脉多呈NW向、近EW向和NE向,成群成带分布。斑岩中金、锑含量分别高出上部陆壳平均值的13倍、650倍,表明花岗斑岩脉的侵入可以提供成矿物质和成矿流体(潘灿军等,2015)。成矿受区域性EW向符竹溪断裂及NNW-NW向断裂控制,主要矿脉走向NNW,矿体倾向SW近直立,向NW侧伏。锑金矿化具有明显的垂直分带性,上部以锑为主,下部以金为主。矿脉具有沿倾向延伸较大、侧伏成矿及柱状富集的特点,结合区域构造背景(柏道远等,2015,2018),推测柱状矿体的延伸方向受加里东运动所形成的EW向北倾断裂与印支运动中所形成的NNW向走滑断裂的交线控制。含矿花岗斑岩的K-Ar年龄为 210 ± 4 Ma(姚振凯等,1993),与半边山矿区和板溪矿区的酸性斑岩一样,为印支晚期岩体;矿区南东面的江石桥辉绿岩锆石U-Pb年龄为229 Ma(金鑫鏢等,2017),据此推断矿区钠长辉绿岩脉也形成于印支晚期。上述矿床地质特征和成岩年龄数据,表明符竹溪金锑矿形成于印支晚期,与同期花岗岩岩浆活动有关。

王家冲锑矿目前缺少测年资料,鉴于其位于板溪和符竹溪矿床之间,可大体推断其成矿时代背景与后者相同。

综上所述,板溪-符竹溪金矿区的成矿时代主要为印支晚期,其中板溪锑矿尚存在燕山期成矿作用。板溪锑矿发生燕山期成矿作用应与南邻沅山一带的岩浆活动驱动有关,以晚三叠世花岗岩为主的沅山岩体内部即出露有燕山期侵入体(图1)。

3.2.5 柳林汉-沃溪金矿区成矿时代

柳林汉-沃溪金矿区位于江南金矿带中段西部,该区南部发育沃溪超大型金锑钨矿和沈家垭金矿,北部发育柳林汉金矿、合仁坪金矿及众多小型金矿床(点)(图1)。各矿床(点)矿体主要产于马底驿组紫红色板岩的层间破碎带中。

沃溪金锑钨矿床赋存于板溪群马底驿组紫红色板岩、含钙质板岩中,矿脉位于EW向北倾沃溪大断裂下盘的层间剪切断裂中,包括层间脉型、下盘细脉带型和切层节理裂隙型(鲍振襄等,2002)。矿区位于NEE向仙鹅抱蛋背斜的北侧,矿床受多级褶皱控制(刘亚军,1992),反映多层次不同规模断裂及层间剪切带的存在。控矿主体褶皱为田香湾复向斜,矿田中90%的矿石储量产于其中(雷鸣波等,1998)。

柳林汉金矿和合仁坪金矿受NEE向褶皱、断裂

控制,含矿构造主要为马底驿组层间剪切带及其派生的节理裂隙。合仁坪矿床层间破碎带中断层角砾发育,角砾具脉动性液压致裂特征并被石英、钠长石胶结。

目前本金矿区获得的成矿年龄有 402 ± 6 Ma的白钨矿Sm-Nd等时线年龄(彭建堂等,2003)、 420 ± 20 Ma和 414 ± 19 Ma的石英Ar-Ar年龄(彭建堂等,2003),显示成矿时代为加里东期。此外,史明魁等(1993)获得沃溪矿床 145 ± 12 Ma、陈富文等(2008)获得沈家垭金矿 90.6 ± 3.2 Ma的石英Rb-Sr等时线年龄,区域上无对应时代的构造变形事件和岩浆活动,本文认为属伸展事件中热流体的反映,或与分析方法可靠性差有关。

基于上述成矿年龄和矿床地质特征并结合区域构造背景(柏道远等,2015),确定柳林汉-沃溪金矿区的金矿成矿时代为志留纪晚期(加里东期),并可形成该区金矿成矿和构造变形过程及背景的基本认识:志留纪晚期发生加里东运动,该区处于雪峰弧形构造北段西部而形成NEE向断裂、层间剪切滑脱带(上岩层自北向南滑移)及不同规模和级别的褶皱,同时因构造活化沿层间剪切带及其派生裂隙中形成矿脉。在此过程中,沃溪矿田南面形成向NEE倾伏的仙鹅抱蛋背斜,背斜北翼形成了NE-NEE向的田香湾复向斜,复向斜轴部区域因处于构造低点而成为流体汇聚和成矿的主要构造部位。

3.2.6 渣滓溪-大溶溪金矿区成矿时代

渣滓溪-大溶溪金矿区位于江南金矿带西段北部(图1),包括大溶溪钨矿、同心锑矿、渣滓溪锑钨金矿、羊皮帽锑金矿及区内众多小型金锑矿床(点)。

大溶溪钨矿位于大神山花岗岩体的西北侧及通道-江口大断裂带上,所发育白钨矿体主要赋存于南华系南沱组下段的变质砂岩层和大理岩、硅质板岩层中。主矿脉4条,主要受不同岩性接触界面附近的层间裂隙、层内裂隙控制,呈层状、似层状、条带状产出,矿石类型有矽卡岩型和石英网脉型(张龙升等,2014)。矿床的辉钼矿Re-Os等时线年龄为 223.3 ± 3.9 Ma(张龙升等,2014),与紧邻的大神山花岗岩 224.3 ± 1.0 Ma的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄(张龙升等,2012)完全一致,均形成于晚三叠世(印支晚期),说明成矿与岩浆作用密切相关。

渣滓溪锑钨金矿床位于溆浦-靖州大断裂东侧,产于板溪群五强溪组碎屑岩、含凝灰质碎屑岩和凝灰岩中。锑(金)矿脉沿NNW向和NW向共轭断裂

(断面发育水平擦痕)发育,矿体向SE侧伏,侧伏角一般 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$;白钨矿具层控特征,沿NE向砂质岩层产出,但充填于NW向层内细脉中(鲍振襄等,1991)。矿床内白钨矿Sm-Nd等时线年龄为 227.3 ± 6.2 Ma(王永磊等,2012),与大溶溪钨矿成矿时代一致,为印支晚期。

羊皮帽锑(金)矿床主要赋存于五强溪组NE向层间破碎带内,产状较稳定,具分段富集特征(鲍振襄等,1991)。该矿床目前缺乏成矿年龄资料,不过据同样的层间破碎带控矿特征以及居于同一NNE向构造带(图1),可大体推断其与北面的沃溪矿田、南面的字溪金矿、肖家金矿和漠滨金矿等矿床一样形成于加里东期。在外,矿区尚见产于近EW-NEE向陡倾断裂中的锑金矿体(鲍振襄等,1991),初步推断其与层间破碎带型矿化一样形成于加里东期,含矿断裂与加里东运动NW-NW向挤压(柏道远等,2015)有关。

综上所述,渣滓溪-大溶溪金矿区北部的大溶溪钨矿、渣滓溪锑钨金矿床形成于印支晚期,南部的羊皮帽锑(金)矿床很可能形成于加里东期。此外,同心锑矿位于大溶溪钨矿和渣滓溪锑钨金矿之间,推断其形成时代也为印支晚期。

3.2.7 古台山-龙王江-铲子坪金矿区成矿时代

古台山-龙王江-铲子坪金矿区位于江南金矿带西段中部(图1),包括古台山金锑矿、龙王江锑金矿田、铲子坪金矿、桐溪金矿、大坪金矿、字溪金矿及其它小型金矿床(点)。多数矿床产于溆浦-靖州断裂、通道-江口断裂、城步-江口断裂等断裂带上或两侧,少数产于古台山隆起;总体沿NNE向构造带(线)展布,局部沿NW向断裂展布,如大坪金矿和桐溪金矿。

古台山矿床位于白马山复式岩体北侧,主要赋存于南华系长安组含砾砂岩和含砾泥岩中,为石英脉型金锑矿床。NW向断裂为主要导矿构造,金(锑)矿体多呈脉状赋存于NNW向和NNE向剪切裂隙中,锆同位素组成指示成矿流体源于岩浆流体与基底碎屑岩的水岩相互作用(孙骥等,2020)。成矿期白云母Ar-Ar坪年龄为 223.6 ± 5.3 Ma(Li Wei et al., 2018),为印支晚期(晚三叠世)。

铲子坪金矿位于黄茅园岩体(白马山岩体西体)南西侧,赋矿地层为长安组含砾砂质板岩夹砂岩。其为构造破碎蚀变岩型金矿床(主矿脉旁侧发育与之平行的石英细脉型矿脉),矿脉产于NW向陡倾断裂带和裂隙中,矿床西面的通道-江口断裂则为导矿

构造(骆学全,1993)。含金石英脉Rb-Sr等时线年龄为 206 ± 9 Ma,而紧邻的黄茅园岩体黑云母花岗岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为 222.3 ± 1.7 Ma(李华芹等,2008),二者在误差范围内基本一致,均属印支晚期(晚三叠世),暗示成矿与岩浆活动密切相关,曹亮等(2015)等对矿床流体包裹体的研究也揭示其成因类型为中高温岩浆热液型。值得指出的是,同位于NNE向通道-江口断裂带上的上茶山钨矿和牛角界钨矿分别产于崇阳坪岩体和瓦屋塘岩体中,受同侵位断裂控制,而两岩体的锆石U-Pb年龄分别为 223.1 ± 2.1 Ma和 214.2 ± 1.7 Ma(苏康明等,2016),进一步印证了印支晚期成矿作用。

大坪金矿紧邻铲子坪金矿西面,位于通道-江口断裂带旁侧(图1),赋矿地层为高涧群含凝灰质板岩、粉砂质板岩、板岩。含金石英脉产于NE向韧性断裂带和片理化蚀变带以及NW向破碎蚀变带中,前者矿体延伸较长且稳定,后者矿脉数量多、延伸短但蚀变更强(李华芹等,2008)。NW向断裂中的含金石英脉Rb-Sr等时线年龄为 205 ± 6 Ma(李华芹等,2008),与铲子坪金矿完全一致,属印支晚期。NE向韧性剪切带中金矿缺少测年数据,笔者根据地表构造调查和岩芯观察,初步推断其主要形成于加里东期,印支期产生了叠加矿化作用(详细证据与论证拟另文介绍);志留纪后期加里东运动中形成了NNE向绢云母化韧性剪切带(常表现为强劈理化带并与劈理带过渡),同时形成因递进剪切作用而褶皱变形的硅化矿化脉;中三叠后期印支运动中在NW向挤压下形成横切先期糜棱面理的NW向左行平移断裂;晚三叠世沿NW向断裂发生毒砂化、黄铁矿化、金矿化而形成深色金属矿化体。

龙王江锑金矿田位于通道-江口断裂和城步-江口断裂之间的淘金坪-龙鼻桥复背斜(图1),自北而南分布着淘金坪、江东湾、江溪垄、泥潭冲和白竹坪等锑砷金矿床(点)。赋矿地层为板溪群五强溪组;含矿构造为NE-NNE向脆性剪切带及其派生的EW-NEE向南倾韧性剪切带;矿化类型有石英脉型、破碎蚀变岩型和蚀变糜棱岩型(鲍振襄,1996)。龙王江锑金矿田与大坪金矿位于同一NNE向构造带上,控矿地层和控矿构造类型相近,因此初步推断其成矿时代为加里东期和印支晚期。

字溪金矿位于溆浦-靖州大断裂东侧,赋矿地层为高涧群砖墙湾组,含矿构造为NE向层间剪切带,成矿作用的毒砂Re-Os等时线年龄为 425 ± 28 Ma,属

加里东期(Wang *et al.*, 2019)。

综上所述,古台山-龙王江-铲子坪金矿区的金矿成矿时代有加里东期和印支晚期,加里东期矿床有字溪金矿,印支晚期矿床有古台山金锑矿、铲子坪金矿,加里东期和印支晚期两期成矿的矿床有大坪金矿、龙王江锑金矿田。此外,桐溪金矿紧邻铲子坪金矿,印支晚期成矿的可能性大。

3.2.8 漠滨-平茶金矿区成矿时代

漠滨-平茶金矿区位于江南金矿带西段南部,包括漠滨、米贝、肖家、淘金冲、阳团湾、平茶、茶溪等金

矿床及众多金矿点(图1),赋矿地层为高洞群沉凝灰岩及凝灰质砂岩、板岩等。以下首先简介典型矿床的地质特征,然后结合区域成矿年代学资料和区域构造演化过程厘定其成矿时代背景。

漠滨金矿的含矿构造主要为走向 NE、向 NW 缓倾的层间断裂及其派生的节理裂隙(鲍振襄等, 1998),矿化类型主要为石英脉型,成矿流体主要为变质流体(丁清峰等, 2009)。笔者于 290 巷道内层间矿脉底部见剪切碎粉岩, S-C 组构指示上岩层向 SSE 逆冲(图 2a)。

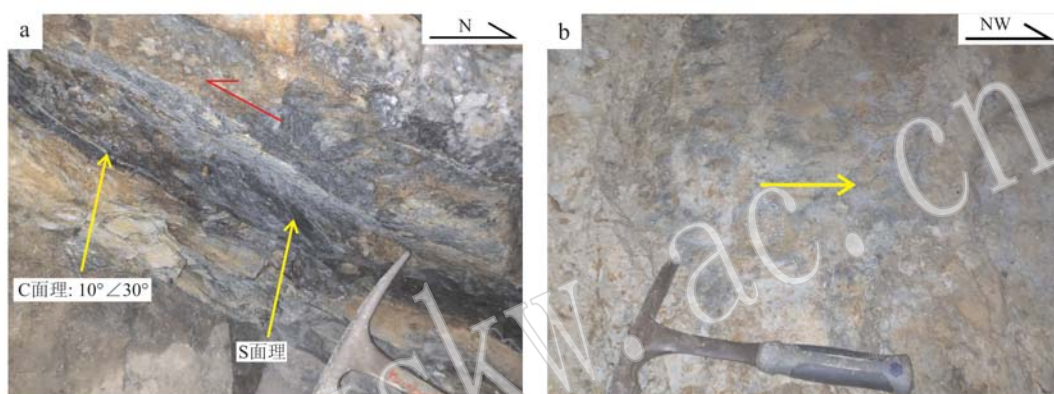


图2 漠滨金矿区控矿构造特征

Fig. 2 Characteristics of the ore-controlling structures of Mobin gold deposit

a—层间脉底部 S-C 组构指示逆冲; b—正阶步指示 NW 向断裂左行走滑

a—S-C fabric at the bottom of interlayer vein indicates thrust; b—positive steps indicate left-lateral slipping of the NW-trending fault

矿区尚发育一组切割早期层间断裂的 NW 向近直立含矿断裂,宽窄不一,于一矿洞中见裂面上正阶步指示左行走滑特征(图 2b);断裂中矿化类型为硅化破碎带型。290 巷道内清楚见到 NW 向断裂与层间断裂交汇处形成规模很大、品位极高的富金矿包。

淘金冲金矿位于 NE 向肖家田背斜南东翼近轴部,含金石英脉的断裂构造可分为 NE 向、NWW-NNW 向、层间断裂等几组(罗鸣皋, 1984)。NWW-NNW 向断裂为主要含矿断裂,包括 NWW 向与 NNW 向“X”型节理和一组 NW 向横张节理,均垂直层面发育;该组断裂平面上集中发育而形成 3 个 NW 向至 NNE 向的矿脉带(裂隙带)。NE 向断裂为与褶皱轴向一致的压扭性断裂;层间断裂常错切 NWW-NNW 向穿层断裂,其交汇处往往形成富集体。上述断裂系统与加里东运动中 NW 向挤压有关(罗鸣皋, 1984)。笔者野外观察表明,除上述构造外,矿区尚发育 NNE 向产状直立的右行平移断裂、NNW 向陡倾右行平移断裂、NEE 向逆断裂等中生代形成的断裂构造。

肖家金矿位于 NE 向肖家田背斜核部偏南东翼, NE 向肖家-坡脚压扭性断层控制矿体的产出。代表性 I 号矿体为一由含金石英细脉带组成的走向 NEE 板状矿体,矿体则由充填于 NWW 向裂隙的密集矿脉组成;肖家-坡脚断层以西即下盘金矿化强于断层以东上盘金矿化。笔者野外观察发现 NWW 向裂隙局部变化为近 EW 向且为右行平移特征,并于一矿洞中见 EW 向直立石英脉被顺层滑脱断裂切错,切错部位见倾向 SE 的小型切层逆断裂,显示上岩层由 SE 往 NW 的滑移(图 3)。

区域成矿年代学资料表明漠滨-平茶金矿区存在加里东期和印支期两期成矿作用。金矿区内漠滨金矿层间矿脉中成矿相关钾长石 404 Ma 的 K-Ar 年龄(王秀璋等, 1999)、肖家金矿 412±33 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄和 418±4 Ma 的蚀变岩 Rb-Sr 等时线(彭建堂等, 1998)以及平茶金矿 435±9 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线(彭建堂等, 1998)等(表 1),明确反映出加里东期成矿作用。与金矿区位于同一构造带上的黔东南平秋金矿 400±

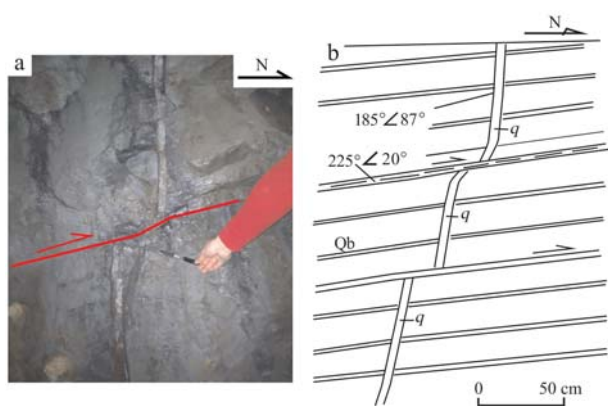


图3 肖家金矿区层间滑脱断裂切错EW向矿脉
Fig. 3 Interlayer faults cut and moved EW-trending ore vein in Xiaojia gold deposit

24 Ma 的毒砂 Re-Os 等时线年龄(王加昇等, 2011)、八克金矿 410 ± 52 Ma 的毒砂 Re-Os 等时线年龄(顾尚义等, 2016)以及同古金矿 425 ± 16 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(朱笑青等, 2006)等(表1), 为漠滨-平茶金矿区加里东期成矿提供了有力佐证。顺便说明, 朱笑青等(2006)获得的平秋金矿 492 ± 37 Ma 和 477 ± 14 Ma 的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄相对加里东运动时代明显偏大, 而获得的金井金矿 340 ± 16 Ma 的 Rb-Sr 等时线年龄(表1)则无区域构造或岩浆事件对应, 结合分析方法的可靠性考虑, 本文不将这3个数据视为成矿年龄。

漠滨金矿两期含矿构造的存在, 说明漠滨-平茶金矿区除加里东期成矿外尚存在后期成矿事件。尽管区内缺少相关年龄报道, 但邻区黔东南有关研究初步指示后期成矿事件的时代为印支期, 如顾尚义等(2016)获得平秋金矿毒砂 Re-Os 等时线年龄为 235 ± 3 Ma。此外, 顾尚义等(2016)对王加昇等(2011)报道的金井金矿 174 ± 15 Ma 的毒砂 Re-Os 等时线年龄测试数据进行了再研究, 认为分析结果中 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os} > 5\,000$ 的两个样品的印支期模式年龄(242.6 Ma 和 231.3 Ma)才代表实际成矿年龄。

根据上述矿床地质特征和成矿年龄, 结合区域构造演化背景(柏道远等, 2015), 确定漠滨-平茶金矿区成矿时代有加里东期和印支期, 且两期金矿成矿背景及相关控矿构造形成机制如下:

志留纪晚期(加里东期)发生加里东运动, 在区域 NW 向挤压体制下高洞群产生褶皱和断裂变形, 金元素随构造活化形成的变质热液于各类断裂和节理裂隙中沉淀而形成矿体。漠滨矿区形成 NE 走向

的缓倾层间断裂并派生节理裂隙, 含矿石英脉于层间断裂和节理裂隙中充填。淘金冲—肖家一带形成 NE 向肖家田背斜和肖家—坡脚压扭性断裂, 两者成为控矿和导矿构造。淘金冲矿区首先在 NW 向挤压下形成 NWW 向和 NNW 向共轭“X”型断裂以及 NW 向横张节理, 随着变形过程的发展形成 NE 向背斜和层间剪切断裂, 上述断裂提供了矿脉充填空间。肖家矿区在类似的构造机制下先后形成 NWW-EW 向右行平移断裂和层间剪切断裂, 前者成为主要容矿构造。米贝、阳团湾、平茶、茶溪等金矿的主要含矿构造也为层间断裂, 成矿时代主要也应为加里东期。

中三叠世后期的印支运动中遭受 NWW 向挤压, 漠滨矿区形成 NW 向左行走滑断裂, 深部流体作用下于 NW 向断裂及其与层间断裂交汇处形成矿体充填。

3.2.9 金坑冲矿区成矿时代

金坑冲矿区位于常德-安仁隆起带与湘中凹陷交接地带、紫云山岩体的北侧(图1), 自西向东分布有金坑冲、包金山、王家湾等中小型金矿床。其矿床地质特征以包金山金矿最为典型。该矿床赋矿地层主要为板溪群马底驿组钙质板岩; 矿区发育走向 NW、倾向 NE 的花岗斑岩脉, 以及近 EW 向、NNE 向、层间破碎带和 NW 向等4组断层, 其中近 EW 向断裂控制矿床的空间定位, 层间破碎带和 NW 向断层为重要的赋矿构造; 矿化类型可分为石英脉型和破碎带蚀变岩型(鞠培姣等, 2016)。在花岗斑岩脉弧状拐弯处上、下盘的破碎蚀变带中常发育较富金矿体, 暗示岩浆活动提供了部分成矿物质和热源。成矿作用划分为变质热液期、岩浆热液期和热液叠加期等3个成矿期, 主成矿期为岩浆热液期(鞠培姣等, 2016)。鉴于成矿作用与岩浆活动密切相关, 而矿区南侧紫云山岩体的锆石 U-Pb 年龄为 222 Ma(刘凯等, 2014), 因此推断成矿时代为印支晚期(晚三叠世)。

3.3 成矿地质事件的厘定

以上通过测年数据与矿床地质特征、矿床成因和流体来源、区域构造演化背景等综合约束的方法, 对江南金矿带湖南段各金矿区(床)成矿时代进行了解析和厘定, 结果表明存在加里东期、印支晚期和燕山期等3期金成矿事件, 各成矿事件涉及矿床如表2所示。顺便指出, 鉴于江南金矿带湖南段内成矿元素 Sb、W 常与 Au 共生, 锑矿和钨矿与金矿的成矿时代背景总体相同或密切相关, 因此表2中除金矿和金

表 2 江南金矿带湖南段成矿地质事件及相关矿床一览表
Table 2 Gold mineralization events and related deposits of Jiangnan gold zones in Hunan

成矿地质事件	相关矿床
加里东期成矿	雁林寺金矿区内金矿床、黄金洞-万古金矿区内金矿床;沃溪金锑钨矿、沈家垭金矿、柳林汉金矿、合仁坪金矿及众多小型金矿床(点);羊皮帽锑(金)矿床;宇溪金矿;大坪金矿、龙王江锑金矿田内有关矿床;漠滨、米贝、肖家、淘金冲、阳团湾、平茶、茶溪等金矿床
印支晚期成矿	雁林寺金矿区内金矿床;半边山金矿、金山金矿和木瓜园钨矿等;板溪锑矿、王家冲锑矿、符竹溪金锑矿、西冲金矿等;大溶溪钨矿、同心锑矿、渣滓溪锑钨金矿;古台山金锑矿、铲子坪金矿;大坪金矿、龙王江锑金矿田内有关矿床;桐溪金矿;漠滨金矿;金坑冲、包金山、王家湾等金矿
燕山期成矿	黄金洞-万古金矿区内金矿床;板溪锑矿

多金属矿外,也列出了锑矿和钨矿。

据已有测年数据(表 1),加里东期成矿年龄在 462~402 Ma 之间,如考虑误差值和年龄本身的不准确以及加里东运动和加里东期花岗质岩浆活动的时代背景(详见 4.2 节),估计实际成矿年代为 430~410 Ma,对应于志留纪后期(跨泥盆纪初)。如考虑年龄数据的误差值和不准确,印支晚期成矿年龄约在 227~202 Ma 之间,对应于晚三叠世;燕山期成矿年龄约在 152~130 Ma,对应于晚侏罗世—早白垩世初。

值得指出的是,湘东北雁林寺金矿区及黄金洞-万古金矿区的冷家溪群经历过新元古代中期武陵运动强烈构造变形,相应的构造活化作用很可能于(近)顺层断裂(或剪切带)及两侧围岩中产生了金的初步富集。雁林寺地区部分条带状矿化石英脉中的硅化条带与围岩岩性条带之间可呈过渡关系,即暗示武陵期矿化作用存在的可能性较大。鉴于目前缺乏可靠的成矿年龄数据,武陵期金成矿作用存在与否及其强度是值得关注和研究的重要问题之一。

4 多阶段金成矿事件的构造背景

江南金矿带湖南段各成矿地质事件的发生与特定的构造阶段即构造环境密切相关,各期金矿的分布还受同期构造格局的控制。本节即就各期成矿的构造背景和构造格局控制特征予以分析阐述。顺便指出,加里东、印支和燕山等成矿期的构造格局厘定即构造单元划分方案依据已发表文献(柏道远等, 2020a, 2020b),其主要根据同期构造变形类型和强度差异、隆-凹构造格局及花岗质岩浆活动的差异等进行厘定,但限于篇幅,具体证据和表现本文不展开阐述。

4.1 加里东期金成矿事件的构造背景

根据构造变形、岩浆活动、角度不整合特征及抬升剥蚀幅度等,厘定加里东成矿期即志留纪后期构

造格局如图 4 所示。省境自南东至北西分为湘中-湘东南构造岩浆带(Ⅰ)、雪峰构造带(Ⅱ)、湘西北构造抬升带(Ⅲ)等 3 个构造带,其中雪峰构造带根据构造样式和变形强度差异可进一步分为雪峰冲断带(Ⅱ₁)和武陵低缓褶皱带(Ⅱ₂)等 2 个次级构造带。

湘中-湘东南构造岩浆带(Ⅰ)的西边界受城步-江口断裂控制,北边界大体为浏阳-城步汇聚带的东段。该带既有强烈的构造变形,又有大规模的花岗岩浆活动,岩体所在部位多为加里东期次级构造隆起(图 4),表现在泥盆系角度不整合在岩体之上,反映出岩浆的形成与局部更强烈的挤压作用、断裂活动以及更大幅度的地壳增厚有关。雪峰构造带(Ⅱ)具断裂、褶皱变形,但无明显的花岗质岩浆活动。其东部雪峰冲断带(Ⅱ₁)变形更强,逆冲断裂活动导致断块叠置和地壳大幅抬升;西部武陵低缓褶皱带(Ⅱ₂)主要发育较宽缓的断弯褶皱,地壳抬升幅度较小。湘西北构造抬升带(Ⅲ)内泥盆系与志留系为平行不整合接触,反映加里东运动中仅有抬升而无变形。

上述构造格局由加里东运动及其后的后碰撞花岗质岩浆活动塑造。早古生代后期的加里东运动为陆内造山运动(张国伟等, 2013),构造运动造成中、上地壳叠置、增厚和升温,在变形峰期之后由于挤压减弱、应力松弛的后碰撞构造环境下深部地壳岩石减压熔融并向上侵位而形成 S 型花岗岩体(柏道远等, 2015)。需要说明的是,这一构造-岩浆活动在湖南尚表现出较为复杂的迁移特征:城步-新化断裂以东,加里东运动构造变形分为 2 期,即奥陶纪末—志留纪初的北流运动以及志留纪后期的广西运动,相应产生了早志留世(约 445~430 Ma)和志留纪末—泥盆纪初(410 Ma 左右)等 2 期花岗质岩浆活动;城步-新化断裂以西,仅经历晚期的广西运动和志留纪末—泥盆纪初的花岗质岩浆活动,此前的奥陶纪末—志留纪早期则为前陆盆地而接受沉积(柏

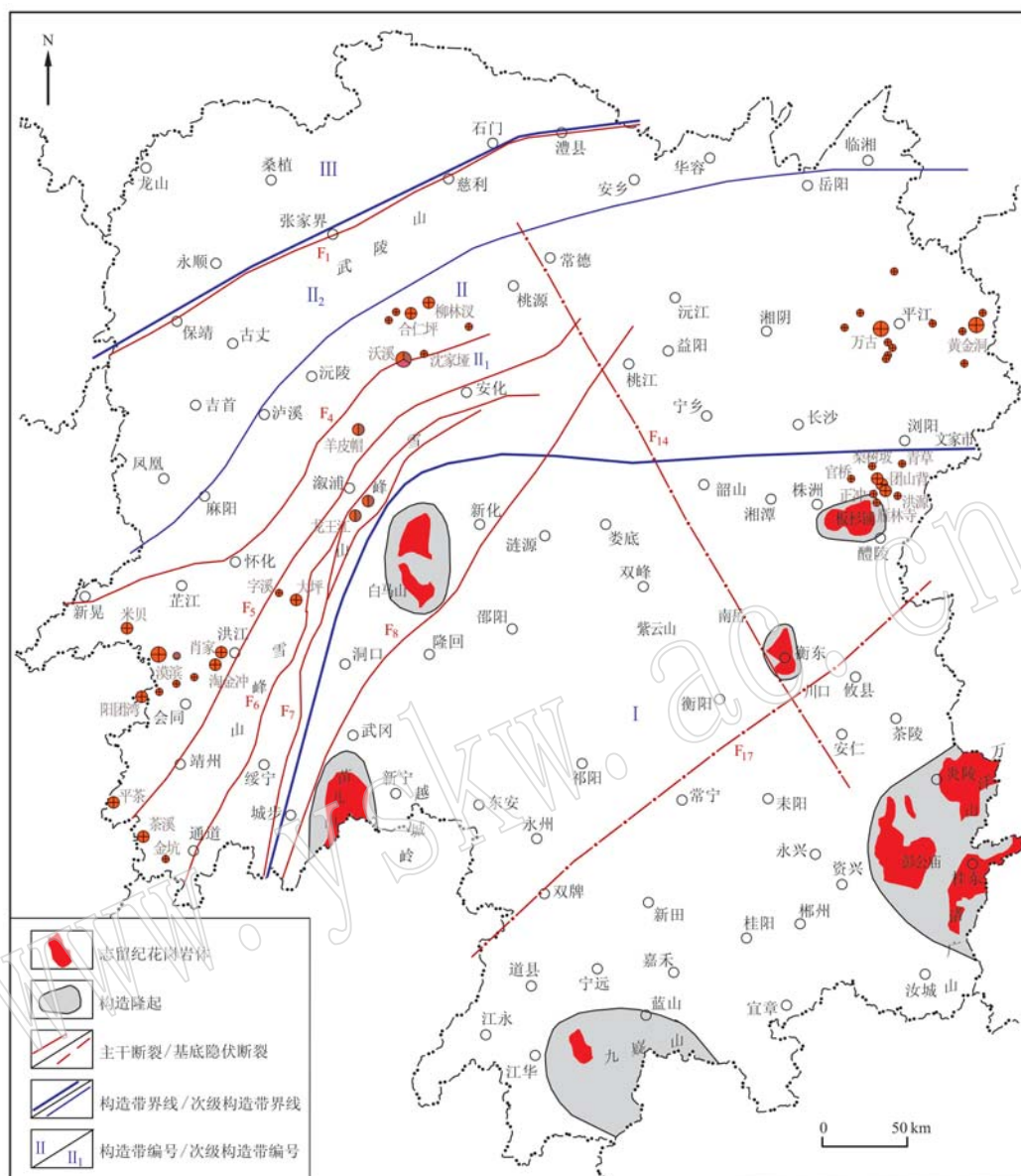


图4 加里东期(志留纪后期)构造格局及金矿分布

Fig. 4 Tectonic framework and distribution of gold deposits in Caledonian (late Silurian)

构造格局据柏道远等(2020a, 2020b)略修改; 断裂名称及矿床类型同图1; I—湘中-湘东南构造岩浆带; II—雪峰构造带;

II₁—雪峰冲断带; II₂—武陵低缓褶皱带; III—湘西北构造抬升带

tectonic framework is modified from Bai Daoyuan *et al.*, 2020a, 2020b; names of faults and types of deposits as for Fig. 1; I—Central-Southeastern Hunan tectonomagmatic belt; II—Xuefeng tectonic belt; II₁—Xuefeng thrust-fault zone; II₂—Wuling gentle fold zone; III—Northwestern Hunan tectonic lifting belt

道远等, 2015)。

值得指出的是,湘中-湘东南构造岩浆带与雪峰构造带之间的岩浆活动性差异,可能与区域加里东运动由南东向北西扩展以及武陵期洋-陆构造格局及其形成的深部岩石圈结构差异有关,具体分析如下:区域上加里东运动由南东向北西扩展(陈旭等,

1999; 柏道远等, 2015),使得变形强度总体由南东往北西变弱,岩浆活动也限于城步-江口断裂以东、浏阳-城步汇聚带东段以南地区,从而形成湘中-湘东南构造岩浆带与雪峰构造带之构造分野。此外,雪峰构造带在武陵期属扬子陆块边缘而具更加稳定的岩石圈结构,湘中-湘东南构造岩浆带因武陵期为

弧后扩张带、岛弧和海南洋(柏道远等, 2018)而岩石圈强度较低,使得后期构造运动中后者的深部构造变形和热扰动强于前者。

上述构造格局控制了加里东期金矿的发育与分布。在雪峰冲断带(Ⅱ₁)中段—西南段,受加里东陆内造山运动控制,板溪群产生低级变质并形成顺层滑脱断裂、逆冲断裂、与层面大角度相交的剪切断裂、褶皱及其派生的层间剪切断裂等地质构造。变质和变形产生的成矿流体以及变形相关构造活化作用(刘亮明等, 1997),使成矿元素得以萃取、运移、聚集而最终于顺层滑脱断裂、层间断裂、切层断裂(裂隙)中沉淀,从而于柳林汉—沃溪、羊皮帽—龙王江—大坪、米贝—漠滨—淘金冲、平茶—茶溪等地区形成了众多规模不一的造山型金矿床(点)(表2、图4)。值得指出的是,雪峰冲断带(Ⅱ₁)中段—西南段的加里东期金矿均产于该带西部的板溪群中,而该带东部的南华系中无同期金矿发育,可能与金矿化发生于较深构造层次有关,即一定深度的断裂中才具备成矿发生的温度、压力和流体条件。

在雪峰冲断带(Ⅱ₁)东段东部的黄金洞—万古地区,冷家溪群受加里东运动SN向挤压(柏道远等, 2015)控制而形成EW向逆断裂,武陵期NWW向(近)顺层剪切带和层间断裂产生继承性剪切活动,构造活化作用萃取围岩中Au元素并使之随流体运移、聚集后沉淀成矿(图4)。这一成矿作用可形成新的矿脉(体),但更多的可能是叠加在武陵期矿(化)体之上,使成矿元素进一步富集,矿石品位进一步提高。

在湘中—湘东南构造岩浆带(Ⅰ)东北部雁林寺地区,继加里东陆内造山运动之后产生较大规模的后碰撞花岗质岩浆活动,受其提供的热能和流体驱动,形成了岩体接触带型金矿和石英脉型金矿(图4),后者叠加在武陵期矿脉之上使矿石品位进一步提高,矿床规模进一步增大。

4.2 印支晚期金成矿事件的构造背景

据已有地层、岩浆岩和构造等资料,厘定印支晚期(晚三叠世)构造格局如图5所示。省境自南东至北西分为湘中—湘东南构造岩浆带(Ⅰ)、雪峰构造带(Ⅱ)、湘西北褶皱带(Ⅲ)等3个构造带,其中湘中—湘东南构造岩浆带根据隆—凹构造格局可进一步分为炎陵—汝城隆起带(Ⅰ₁)、湘中凹陷带(Ⅰ₂)和雪峰东南缘构造岩浆隆起带(Ⅰ₃)等3个次级构造带。

湘中—湘东南构造岩浆带(Ⅰ)的北西边界为溆

浦—靖州断裂,北东边界大体沿浏阳—益阳一线,与冷家溪群沉积期的弧后扩张带走向基本一致(柏道远等, 2018)。该带主要特征是花岗质岩体发育,这些岩体大多沿NE-NNE向和NW向大断裂或其旁侧分布,暗示岩浆形成与断裂剪切生热、断裂逆冲增厚升温等有关,而岩体侵位则与断裂提供良好的侵位通道和就位空间有关(图5)。此外,带内形成了NW向川口—浏山、EW向白马山—龙山、NE向高挂山—关帝庙和都庞岭—阳明山等多个构造隆起。雪峰构造带(Ⅱ)印支期褶皱和断裂变形强烈,但无花岗质岩浆活动。湘西北褶皱带(Ⅲ)主要为褶皱变形,也无岩浆活动。

除漠滨金矿外,印支晚期金(锑、钨)矿均分布于湘中—湘东南构造岩浆带(Ⅰ)内,其中绝大部分位于雪峰东南缘构造岩浆隆起带(Ⅰ₃),少量位于湘中凹陷带(Ⅰ₂)东缘;矿床大多位于同期表露花岗岩体的内外接触带和外围附近(图5)。符竹溪、王家冲、板溪、雁林寺等部分离花岗岩体较远的矿床,其矿区或外围也往往伴生有晚三叠世石英斑岩、花岗斑岩等酸性岩脉,说明深部有同时代隐伏花岗岩体存在。

目前对五团、瓦屋塘、崇阳坪、黄茅园、白马山、大神山、浏山、桃江、岩坝桥、丫江桥、歇马、紫云山、南岳等花岗质岩体以及龙山隆起周缘酸性岩脉进行的SHRIMP或LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄分析(丁兴等, 2005; 陈卫锋等, 2007; 李华芹等, 2008; 张龙升等, 2012; 马铁球等, 2013; 刘凯等, 2014; 苏康明等, 2016; 黄子进等, 2017; 湖南省地质调查院, 2017; 杨立志等, 2018),表明雪峰东南缘构造岩浆隆起带(Ⅰ₃)内及湘中凹陷带(Ⅰ₂)龙山隆起印支期花岗岩(或酸性斑岩)的侵位时代为230~205 Ma的晚三叠世,此与带内227~202 Ma的印支期金矿成矿时代完全一致。成矿与成岩在空间和时间上的耦合,表明印支晚期金(锑、钨)成矿与花岗质岩浆活动密切相关。

印支晚期花岗质岩浆活动和成矿作用发生于后碰撞构造环境。中三叠世晚期发生印支运动,雪峰东南缘构造岩浆隆起带(Ⅰ₃)及湘中凹陷带(Ⅰ₂)龙山隆起产生强烈的褶皱、断裂变形。晚三叠世进入应力松弛的后碰撞阶段(柏道远等, 2005; 刘凯等, 2014; 曾认宇等, 2016),深部岩石减压熔融形成的酸性岩浆于相对张性环境下向上侵位。受大规模花岗质岩浆活动的热能和流体驱动,含矿热液于先期断裂中运移、沉淀而成矿。值得指出的是,桃江岩体

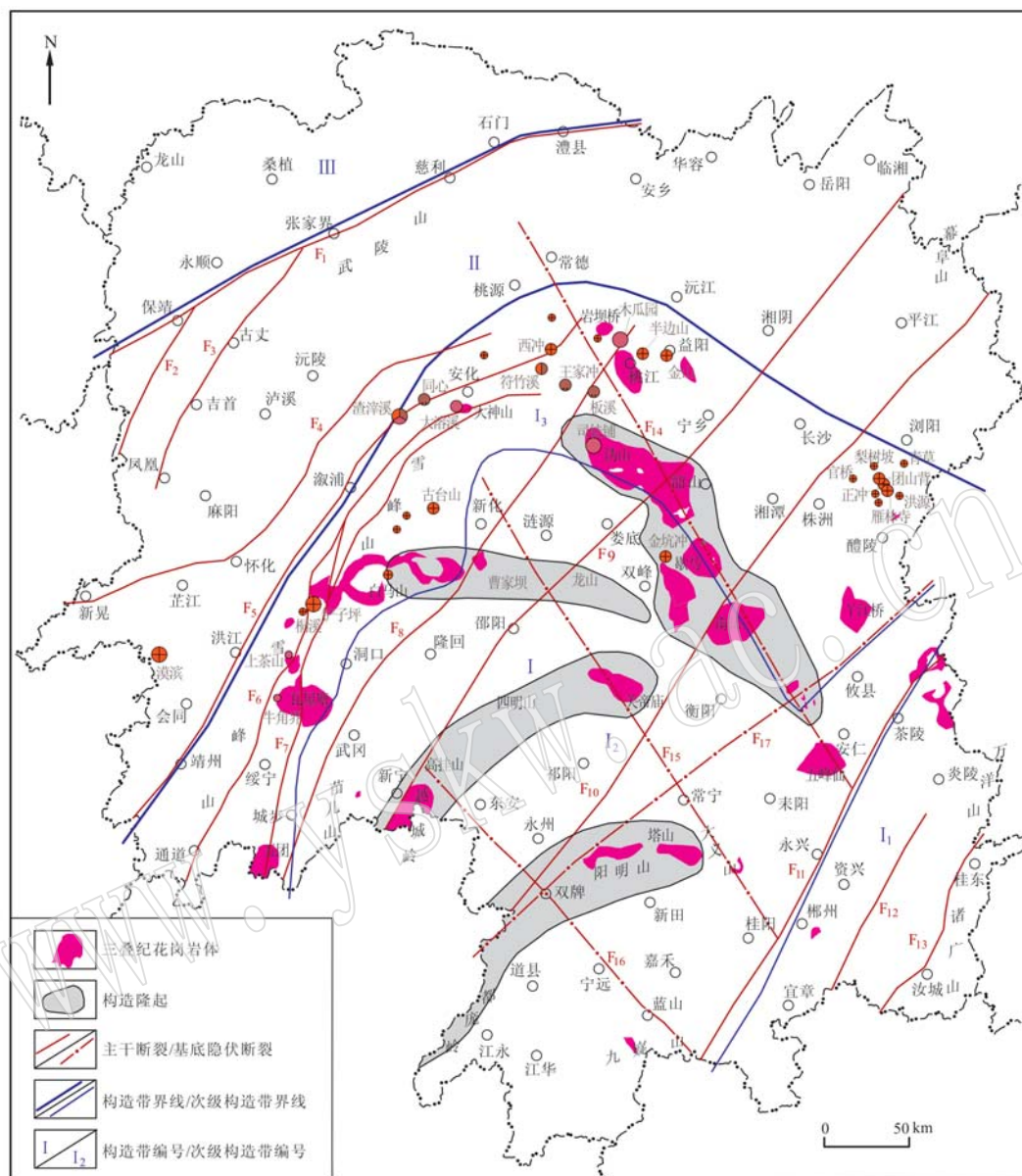


图5 印支晚期(晚三叠世)构造格局及金矿分布

Fig. 5 Tectonic framework and distribution of gold deposits in late Indosinian (Late Triassic)

构造格局据柏道远等(2020a, 2020b)略修改; 断裂名称及矿床类型同图1; I—湘中-湘东南构造岩浆带; I₁—炎陵-汝城隆起带;

I₂—湘中凹陷带; I₃—雪峰东南缘构造岩浆隆起带; II—雪峰构造带; III—湘西北褶皱带

tectonic framework is modified from Bai Daoyuan *et al.*, 2020a, 2020b; names of faults and types of deposits as for Fig. 1; I—Central-Southeastern Hunan tectonomagmatic belt; I₁—Yanling-Rucheng uplift zone; I₂—Central Hunan depression zone; I₃—southeastern Xuefeng tectonomagmatic uplift zone; II—Xuefeng tectonic belt; III—Northwestern Hunan fold belt

南面约 10 km 江石桥辉绿岩的锆石 U-Pb 年龄为 229 Ma(金鑫鏢等, 2017), 为晚三叠世张性环境提供了佐证。由此可见, 印支期金矿为岩浆活动相关的热液矿床, 且容矿断裂为成矿前断裂。

与前述加里东期构造-岩浆活动类似, 印支期雪峰构造带与湘中-湘东南构造岩浆带岩浆活动的差

异, 也可能与武陵期构造格局及其形成的深部岩石圈结构差异有关。

与其它矿床处于花岗质岩浆活动区不同的是, 漠滨金矿位于无花岗质岩浆活动的雪峰构造带(II), 其印支晚期成矿可能与印支运动相关的深部流体活动有关。

4.3 燕山期金成矿事件的构造背景

据地层、岩浆岩、地质构造等分析,晚侏罗世—早白垩世初省境自南东往北西可分为湘中-湘东构造岩浆带(Ⅰ)、雪峰西部构造带(Ⅱ)、湘西北褶皱

带(Ⅲ)等3个构造带(图6)。湘中-湘东构造岩浆带(Ⅰ)早燕山运动中发生较强烈的褶皱和断裂变形,并以燕山期花岗岩广泛发育为特征(图6;图中未包括隐伏岩体);其具区域隆-凹构造格局而可进

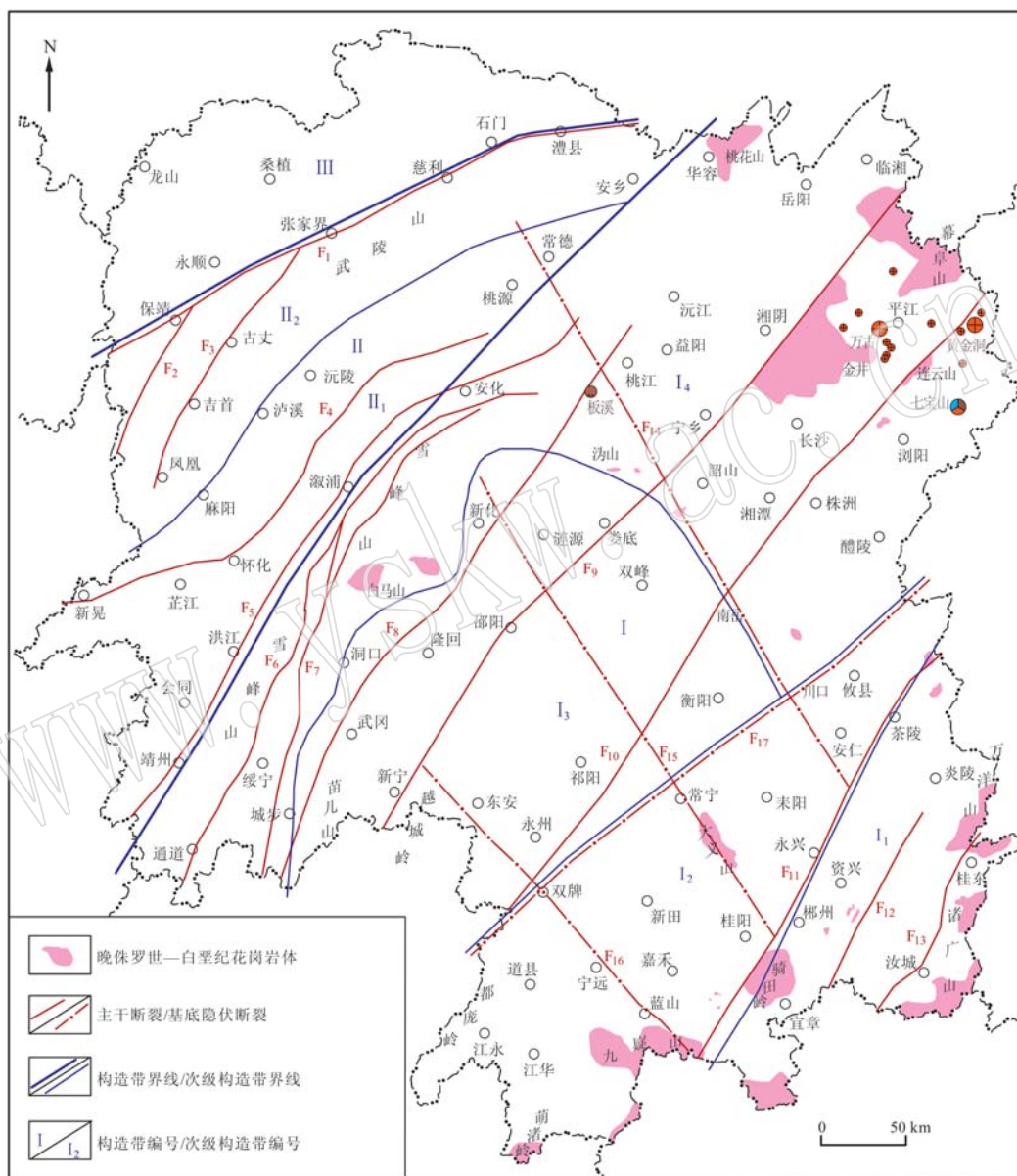


图6 早燕山期(晚侏罗世)构造格局及金矿分布

Fig. 6 Tectonic framework and distribution of gold deposits in Early Yanshanian (Late Jurassic)

构造格局据柏道远等(2020a, 2020b)略修改;断裂名称及矿床类型同图1;Ⅰ—湘中-湘东构造岩浆带;Ⅰ₁—炎陵-汝城冲断褶皱带;Ⅰ₂—宁远-桂阳拗褶带;Ⅰ₃—邵阳拗褶带;Ⅰ₄—雪峰东南部构造岩浆隆起带;Ⅱ—雪峰西部构造带;Ⅱ₁—怀化-桃源冲断带;Ⅱ₂—武陵断弯褶皱带;Ⅲ—湘西北褶皱带

tectonic framework is modified from Bai Daoyuan *et al.*, 2020a, 2020b; names of faults and types of deposits as for Fig. 1; Ⅰ—Central-Eastern Hunan tectonomagmatic belt; Ⅰ₁—Yanling-Rucheng thrust-fold uplift zone; Ⅰ₂—Ningyuan-Guiyang depression-fold zone; Ⅰ₃—Shaoyang depression-fold zone; Ⅰ₄—southeastern Xuefeng tectonomagmatic uplift zone; Ⅱ—western Xuefeng tectonic belt; Ⅱ₁—Huaihua-Taoyuan thrust-fault zone;

Ⅱ₂—Wuling fault-bend fold zone; Ⅲ—Northwestern Hunan fold belt

一步划分为炎陵-汝城冲断褶隆带(I_1)、宁远-桂阳坳褶带(I_2)、邵阳坳褶带(I_3)和雪峰东南部构造岩浆隆起带(I_4)等4个次级构造带;该隆-凹构造格局主要继承自印支期并在早燕山期有进一步发展。雪峰西部构造带(II)进一步分为怀化-桃源冲断带(II_1)和武陵断弯褶皱带(II_2)等2个次级构造带,地表均无燕山期花岗岩出露。

燕山期金(锑、钨)矿主要分布于中部的板溪一带和雪峰东南部构造岩浆隆起带(I_4)东部的黄金洞-万古一带(图6),矿床深边部或外围有燕山期花岗岩体发育。黄金洞-万古地区的众多金矿床以及南邻七宝山铜铅锌多金属矿位于燕山期花岗岩和酸性斑岩广泛出露区(图6),金矿位于岩体围岩多成矿带的外带(许德如等,2017)。

七宝山石英斑岩 155~152 Ma(胡俊良等,2016)、连云山岩体 145±1 Ma(许德如等,2017)和 149.4±1.1 Ma(张鲲鹏等,2019)、幕阜山岩体 131.9±1.1 Ma(张鲲鹏等,2017)和 142.9±0.9 Ma(许畅等,2019)以及笔者新获得的金井地区花岗岩和酸性斑岩 165~150 Ma(5个样品)(数据待发表)等锆石 U-Pb 年龄,反映江南金矿带内燕山期花岗质岩浆活动的时代为 165~131 Ma,与前述燕山期金(锑、钨)矿床 152~130 Ma 的成矿时代基本一致,均为晚侏罗世—早白垩世初。

综上,燕山期成岩与成矿在空间上和时间上高度耦合,表明江南金矿带湖南段燕山期成矿与花岗质岩浆活动紧密相关,岩浆活动为金成矿提供了热能和流体。值得指出的是,前人对黄金洞、万古(董国军等,2008)、沃溪(彭渤等,2006)等金矿成矿流体进行的研究均反映岩浆流体成矿或参与成矿,为这一认识提供了进一步佐证。

已有研究认为,晚侏罗世花岗岩形成于继中侏罗世末早燕山陆内造山运动之后的后造山(陈培荣等,2002;柏道远等,2005)、后碰撞(李鹏春等,2005)或太平洋板块俯冲后崩塌(Li *et al.*, 2007;许德如等,2009,2017)等伸展构造环境。值得注意的是,燕山中晚期花岗岩分布区的西边界呈 NNE 走向,向北延伸范围则相对于印支期后碰撞花岗岩大幅北移(图5、图6),暗示岩浆活动除与后碰撞或后造山环境下的原地构造体制有关外,还与太平洋板块向北西的俯冲有一定关系。在燕山期伸展构造体制下,酸性岩浆向上侵位,含 Au 成矿流体于武陵、加里东、印支和早燕山等构造运动形成的断裂中运移、

交代、沉淀而形成金矿。

5 结论

(1) 江南造山带湖南段主要发生了加里东期、印支晚期和燕山期等3期金成矿事件,其中加里东期金矿成矿年代为 430~410 Ma,即志留纪后期;印支晚期金矿成矿年代为 227~202 Ma,即晚三叠世;燕山期金矿成矿年代为 164~130 Ma,即晚侏罗世—早白垩世初。

(2) 加里东期金矿大多与加里东运动变质变形和构造活化作用有关,但位于雁林寺金矿区的金矿与志留纪后期花岗质岩浆活动有关;印支晚期金矿成矿主要与后碰撞花岗质岩浆活动有关;燕山期金矿成矿与伸展环境下的花岗质岩浆活动有关。

致谢 匿名审稿人对本文提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

References

- Bai Daoyuan, Huang Jianzhong, Liu Yaorong, *et al.* 2005. Framework of Mesozoic tectonic evolution in southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area[J]. *Geology in China*, 32(4): 557~570(in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Li Bin, Jiang Wen, *et al.* 2020a. Tectonic framework controlling characteristics and dynamic mechanisms of main endogenous mineralization events in Hunan Province, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 42(1): 49~70(in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Li Yinmin, Zhong Xiang, *et al.* 2018. Geological features, activity history and tectonic attribute of NW-trending Changde-Anren Fault in Hunan[J]. *Earth Science*, 43(7): 2 496~2 517(in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Tang Fenpei, Li Bin, *et al.* 2020b. Summary of Main Mineralization Events in Hunan Province[J/OL]. *Geology in China*. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200325.1824.005.html> (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Zhong Xiang, Jia Pengyuan, *et al.* 2015. Progresses in the deformations and tectonic evolutions of the Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 31(4): 321~343 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhenxiang. 1994. Characteristics of Banbianshan gold-bearing por-

- phyry in Taojiang county and discussion on related issues[J]. *Hunan Geology*, 13(4): 212~216 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhenxiang. 1996. Geological characteristics and ore-control factors of Longwangjiang Sb-As-Au mineralized belt in Hunan[J]. *Gold Geology*, 2(4): 21~27 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhenxiang and Bao Juemin. 1991. Geologic feature of Zhazaixi antimony ore belt and discussion on its ore-forming condition[J]. *Hunan Geology*, 10(1): 25~32 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhenxiang, Wan Rongjiang and Bao Juemin. 1998. Geological-geochemical characteristics of metallization in Mobin gold deposit, Hunan[J]. *Gold Geology*, 4(3): 54~60 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhenxiang, Wan Rongjiang and Bao Juemin. 2002. Metallogenetic particularity of the Woxi W-Sb-Au deposit[J]. *Hunan Metallurgy*, 32(4): 30~32 (in Chinese with English abstract).
- Cao Liang, Duan Qifa, Peng Sanguo, *et al.* 2015. Characteristics of fluid inclusions in the Chanziping gold deposit in western Hunan Province and their geological implications[J]. *Geology and Exploration*, 51(2): 212~224 (in Chinese with English abstract).
- Chen Fuwen, Dai Pingyun, Mei Yuping, *et al.* 2008. Metallogenetic and isotopic chronological study on the Shenjiaya gold deposit in Xuefeng Mountains, Hunan Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 906~911 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, *et al.* 2002. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints on and geodynamic settings[J]. *Science in China (D)*, 45(8): 755~768.
- Chen Weifeng, Chen Peirong, Huang Hongye, *et al.* 2007. Geochronology and geochemistry of granites and their enclaves from Baimashan pluton in Hunan[J]. *Science in China (Series D)*, 37(7): 873~893 (in Chinese).
- Chen Xu and Rong Jiayu. 1999. From Biostratigraphy to Tectonics—With Ordovician and Silurian of south China as an example[J]. *Geoscience*, 13(4): 385~389 (in Chinese with English abstract).
- Deng Mukun, Peng Jiantang, Hu Shiqian, *et al.* 2016. Sulfur and lead isotope geochemistry of Herenping gold deposit, western Hunan[J]. *Mineral Deposits*, 35(5): 953~965 (in Chinese with English abstract).
- Deng Teng, Xu Deru, Chi Guoxiang, *et al.* 2017. Geology, geochronology, geochemistry and ore genesis of the Wangu gold deposit in northeastern Hunan Province, Jiangnan Orogen, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 88: 619~637.
- Deng Teng, Xu Deru, Chi Guoxiang, *et al.* 2020. Caledonian (Early Paleozoic) veins overprinted by Yanshanian (Late Mesozoic) gold mineralization in the Jiangnan Orogen: A case study on gold deposits in northeastern Hunan, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 124: 1~20.
- Ding Qingfeng and Wang Guan. 2009. Study on fluid inclusions and genesis of Mobin gold deposit in Hunan Province[J]. *Global Geology*, 28(4): 467~475 (in Chinese with English abstract).
- Ding Xing, Chen Peirong, Chen Weifeng, *et al.* 2005. Zircon LA-ICPMS dating for Weishan pluton in Hunan and its apocalypse for rock-forming and significance[J]. *Science in China (Series D)*, 35(7): 606~616 (in Chinese).
- Dong Guojun, Xu Deru, Wang Li, *et al.* 2008. Determination of mineralizing ages on gold ore deposits in the eastern Hunan province, south China and isotopic tracking on ore-forming fluids[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(4): 482~491 (in Chinese with English abstract).
- Dong Shuyi, Gu Xuexiang, Oskar S, *et al.* 2008. Fluid inclusion evidence for the genesis of the Woxi W-Sb-Au deposit, Hunan Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(5): 641~647 (in Chinese with English abstract).
- Gao Lei and Peng Jinsong. 2017. The characteristics and rules of native gold orebody in Jintang oreblock vein No. 3[J]. *Land & Resources Herald*, 14(2): 69~73 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shun. 2017. Geological characteristics and genesis of Huangjindong gold deposit in Hunan[J]. *World Nonferrous Metals*, (10): 101~106 (in Chinese with English abstract).
- Gu Shangyi, Du Dingquan, Fu Yong, *et al.* 2016. Re-Os isotopic dating of arsenopyrite from auriferous quartz vein-type gold deposits in the southwestern margin of Jiangnan Orogen[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 35(5): 542~549 (in Chinese with English abstract).
- Gu Jiangnan, Ning Juntao and Wu Jun. 2012. Ore-controlling characteristics and prospecting direction for shear zone type gold deposits in Jiuuling-Qingshui area, northeastern Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 28(1): 27~34 (in Chinese with English abstract).
- Gu Xuexiang, Liu Jianming, Zheng Minghua, *et al.* 2000. Evidence of submarine plume hydrothermal sedimentary origin of Woxi W-Sb-Au deposit in Hunan from fabric characteristics and geochemistry[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(4): 235~238 (in Chinese).
- Guan Yili, Yuan Chao, Long Xiaoping, *et al.* 2013. Early Paleozoic intracontinental orogeny of the Eastern South China Block: Evidence from I-type granitic plutons in the SE Yangtze Block[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 37(4): 698~720 (in Chinese with English abstract).
- Fu Shanling, Hu Ruizhong, Yan Jun, *et al.* 2019. The mineralization age of the Banxi Sb deposit in Xiangzhong metallogenic province in south-

- ern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 112: 103033.
- Han Fengbin, Chang Liang, Cai Minghai, *et al.* 2010. Ore-forming epoch of gold deposits in northeastern Hunan[J]. *Mineral Deposits*, 29(3): 563~571(in Chinese with English abstract).
- He Zhuanli, Xu Deru, Chen Guanghao, *et al.* 2004. Gold-polymetallic ore-forming geochemistry of Yanshanian intracontinental collision orogen, northeastern Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 23(1): 39~51(in Chinese with English abstract).
- Hu Junliang, Xu Deming, Zhang Kun, *et al.* 2016. Zircon U-Pb Dating, Hf isotope and REE geochemistry of the quartz-porphyry in the Qibaoshan Cu-polymetallic deposit in Hunan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(6): 1185~1199 (in Chinese with English abstract).
- Hu Junliang, Chen Jiaoxia, Xu Deming, *et al.* 2017. Age and sources of the ore-forming material for the Qibaoshan Cu-polymetallic deposit in Hunan Province: Evidence from quartz vein Rb-Sr isotopic dating and S-Pb isotopes[J]. *Geological Bulletin of China*, 36(5): 857~866 (in Chinese with English abstract).
- Hunan Institute of Geology Survey(HIGS). 2017. The Regional Geology of China, Hunan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Huang Cheng, Fan Guangming, Jiang Gaolei, *et al.* 2012. Structural ore-controlling characteristics and electron spin resonance dating of the Yanlinsi gold deposit in northeastern Hunan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(1): 76~84 (in Chinese with English abstract).
- Huang Jianzhong, Sun Ji, Zhou Chao, *et al.* 2020. Metallogenic Regularity and Resource Potential of Gold Deposits of Hunan Area in the Jiangnan Orogenic Belt, South China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 41(2): 230~252 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zijin, Fu Jianming, Lu Yuanfa, *et al.* 2017. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age, geochemistry and tectonic significance of Wutuan granite in western Nanling[J]. *Geological Science and Technology Information*, 36(6): 83~93 (in Chinese with English abstract).
- Jin Xinbiao, Wang Lei, Xiang Hua, *et al.* 2017. Petrogenesis of diabase from Jiangshiqiao in Taojiang City, Hunan Province: Constrains from geochemistry, geochronology and Sr-Nd-Pb isotopes[J]. *Geological Bulletin of China*, 36(5): 750~760 (in Chinese with English abstract).
- Ju Peijiao, Lai Jianqing, Mo Qingyun, *et al.* 2016. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Baojinshan gold deposit in Shuangfeng County, Hunan Province, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 26(12): 2 625~2 639 (in Chinese with English abstract).
- Lei Mingbo and Yu Jingming. 1998. The ore-controlling structure of Xian-gxi Woxi Au-Sb-W deposit and the meaning of ore-prospecting at this area[J]. *Gold*, 19(2): 3~7 (in Chinese with English abstract).
- Li Huan, Kong Hua, Zhou Zhekai, *et al.* 2019. Genesis of the Banxi Sb deposit, South China: Constraints from wall-rock geochemistry, fluid inclusion microthermometry, Rb-Sr geochronology, and H-O-S isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 115: 103~162.
- Li Huan, Wu Qianhong, Noreen J E, *et al.* 2018. Geochemistry and geochronology of the Banxi Sb deposit: Implications for fluid origin and the evolution of Sb mineralization in central-western Hunan, South China[J]. *Gondwana Research*, 55: 112~134.
- Li Huaqin, Wang Denghong, Chen Fuwen, *et al.* 2008. Study on chronology of the Chanziping and Daping gold deposit in Xuefeng Mountains, Hunan Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 900~905 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianhua, Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, *et al.* 2015. LA-MC-ICPMS zircon U-Pb geochronology of the Hongxiaqiao and Banshanpu granitoids in eastern Hunan Province and its geological implications[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 36(2): 187~196(in Chinese with English abstract).
- Li Pengchun, Xu Deru, Chen Guanghao, *et al.* 2005. Constraints of petrography, geochemistry and Sr-Nd isotopes on the Jinjing granitoids from northeastern Hunan province, China: Implications for petrogenesis and geodynamic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 921~934(in Chinese with English abstract).
- Li Shengsi. 1994. Gold metallogeny and metallogenic prognosis in Hunan province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 18(2): 97~107(in Chinese with English abstract).
- Li Wei, Xie Guiqing, Mao Jingwen, *et al.* 2018. Muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and in situ sulfur isotope analyses of the slate-hosted Gutaishan Au-Sb deposit, South China: Implications for possible Late Triassic magmatic-hydrothermal mineralization[J]. *Ore Geology Reviews*, 101: 835~853.
- Li Wei, Xie Guiqing, Zhang Zhiyuan, *et al.* 2016. Constraint on the genesis of Gutaishan gold deposit in central Hunan Province: Evidence from fluid inclusion and C-H-O isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(11): 3 489~3 506(in Chinese with English abstract).
- Li Xiaofeng, Hua Renmin, Yang Fenggen, *et al.* 2002. K-Ar age of illite in Jinshan gold deposit and its implication to the tectonic evolution of northeastern Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(1): 49~54(in Chinese with English abstract).
- Li Zhengxiang and Li Xianhua. 2007. Formation of the 1300 km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model[J]. *Geology*, 35: 179~182.
- Liu Jianming, Zhao Shanren, Shen Jie, *et al.* 1998. Review on direct

- isotopic dating of Hydrothermal ore-forming processes[J]. Progress in Geophysics, 13(3): 46~55(in Chinese with English abstract).
- Liu Kai, Mao Jianren, Zhao Xilin, *et al.* 2014. Geological and geochemical characteristics and genetic significance of the Ziyunshan Pluton in Hunan Province [J]. Acta Geologica Sinica, 88(2): 208~227(in Chinese with English abstract).
- Liu Liangming, Peng Shenlin and Wu Yanzhi. 1997. Features of metallogenic-tectonics and mechanism of tectonic-metallization for vein-type gold deposits in the north-eastern Hunan, China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 21(3): 197~204(in Chinese with English abstract).
- Liu Yajun. 1992. Fold structure of the Woxi gold-antimony-tungsten deposit in west Hunan and its ore-controlling regularity as well as dynamic ore-forming process[J]. Mineral Deposits, 11(2): 134~141(in Chinese with English abstract).
- Liu Yingjun, Ma Dongsheng and Niu Hecai. 1994. Mineralization geochemistry of gold deposits in Yiyang-Yuanling area[J]. Geochimica, 23(1): 1~12(in Chinese with English abstract).
- Liu Derong, Wu Yanzhi and Liu Shinian. 1994. Geochemistry of Wangu gold deposit[J]. Hunan Geology, 13(2): 83~90(in Chinese with English abstract).
- Lu Wen, Sun Ji, Zhou Chao, *et al.* 2020. A study of the source of metallogenic material and characteristics of the ore-forming fluid in the Yanlinsi Gold Deposit in Northeastern Hunan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 41(3): 384~394(in Chinese with English abstract).
- Luo Minggao. 1984. Structural features of Taojinchong veinlet gold deposit in Huitong county[J]. Hunan Geology, 3(1): 37~41, 70(in Chinese).
- Luo Xianlin. 1989. On the epoch of the formation of Precambrian gold deposits in Hunan Province[J]. Journal of Guilin College of Geology, 9(1): 25~34(in Chinese with English abstract).
- Luo Xianlin. 1991. Main characteristics and genetic types of gold ore deposits in Hunan[J]. Journal of Guilin College of Geology, 11(1): 23~33(in Chinese with English abstract).
- Luo Xianlin. 1995. Geological characteristics of the formation of Banxi antimony deposits in Hunan[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 15(3): 231~242 (in Chinese with English abstract).
- Luo Xuequan. 1993. Tectonic metallogenesis of Chanziping gold deposit [J]. Hunan Geology, 12(3): 171~176(in Chinese with English abstract).
- Ma Dongsheng, Pan Jiayong and Lu Xinwei. 2002. Geochemical signals for ore-forming process by mid-low temperature fluid in Au-Sb deposits in NW-Central Hunan, China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 38(3): 435~445(in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Li Bin, Chen Yanming, *et al.* 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemical characteristics of Nanyue granites in Hunan Province[J]. Geology in China, 40(6): 1 712~1 724(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Yanhe, Li Hongyan, *et al.* 1997. Helium isotopic evidence on metalgenesis of mantle fluids in the Wangu gold deposit, Hunan province[J]. Geological Review, 43(6): 646~649(in Chinese with English abstract).
- Pan Canjun, Bao Zhenxiang and Bao Juemin. 2015. Geological characteristics and metallogenesis of Fuzhuxi gold deposit in the west Hunan province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 30(1): 53~59(in Chinese with English abstract).
- Peng Bo and Liu Xiang. 1997. Tectono-geochemistry of gold mineralization in Qingcaopo ductile shear zone, east Hunan [J]. Geology-Geochemistry, (3): 1~6(in Chinese with English abstract).
- Peng Bo, Robert F and Tu Xianglin. 2006. Nd-Sr-Pb isotopic geochemistry of scheelite from the Woxi W-Sb-Au deposit, western Hunan; Implications for sources and evolution of ore-forming fluids [J]. Acta Geologica Sinica, 80(4): 561~570(in Chinese with English abstract).
- Peng Jiantang. 1999. Gold mineralization and its evolution in the Xuefeng district, Hunan[J]. Geotectonica et Metallogenia, 23(2): 144~151 (in Chinese with English abstract).
- Peng Jiantang and Dai Tegen. 1998. On the mineralization epoch of the Xuefeng gold metallogenic province[J]. Geology and Prospecting, 34(4): 37~41(in Chinese with English abstract).
- Peng Jiantang and Hu Ruizhong. 2001. Metallogenic epoch and metallogenic tectonic environment of antimony deposits, South China [J]. Geology-Geochemistry, 29(3): 104~108 (in Chinese with English abstract).
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Zhao Junhong, *et al.* 2003. Scheelite Sm-Nd dating and quartz Ar-Ar isotopic dating from Woxi Au-Sb-W deposit in Western Hunan [J]. Chinese Science Bulletin, 48(18): 1 976~1 981(in Chinese).
- Shan Liang, Pang Yingchun, Ke Xianzhong, *et al.* 2019. Diagenetic and metallogenic age of the Muguayuan tungsten polymetallic deposit and its effect on regional mineralization, Yaojiang County, northeastern Hunan province, China[J]. Geological Science and Technology Information, 38(1): 100~112 (in Chinese with English abstract).
- Shi Mingkui, Fu Biqin, Jin Xixiang, *et al.* 1993. Antimony Metallogeny in Central Part of Hunan Province[M]. Changsha: Hunan Press of Science and Technology, 1~151(in Chinese).
- Su Kangming, Lü Shujun, Kong Lingbing, *et al.* 2016. Geological characteristics, metallogenetic regularity and model of quartz vein type tungsten deposits in Chongyangping, Hunan Province [J]. Mineral

- Deposits, 35(5): 902~912 (in Chinese with English abstract).
- Sun Ji, Zhou Chao, Lu Wen, *et al.* 2020. He-Ar-Sr isotope geochemistry of ore-forming fluids in the Gutaishan Au-Sb deposit in Hunan Province and its significance for deep prospecting [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 41(2): 267~279 (in Chinese with English abstract).
- Tao Shilong, Lai Jianqing, Song Weiguo, *et al.* 2015. Geological characteristics and metallogenic conditions of Xiaojiashan gold deposit in Liling of Hunan [J]. *Mineral Resources and Geology*, 29(2): 195~202 (in Chinese with English abstract).
- Wang Cheng, Shao Yongjun, Noreen J E, *et al.* 2019. Genesis of Zixi gold deposit in Xuefengshan, Jiangnan Orogen (South China): Age, geology and isotopic constraints[J/OL]. *Ore Geology Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103301>.
- Wang Jiasheng, Wen Hanjie, Li Chao, *et al.* 2011. Re-Os isotope dating of arsenopyrite from the quartz vein-type gold deposit, southeastern Guizhou Province, and its geological implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(6): 955~964 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shujun and Xie Zhiyong. 2008. Metallogenic regularity and ore-finding of gold deposit from Liling to Liuyang [J]. *Journal of Huaihua University*, 27(5): 119~122 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, *et al.* 2004. Petrogenesis of Neoproterozoic Peraluminous granites from northeastern Hunan province: Chronological and geochemical constraints[J]. *Geological Review*, 50(1): 65~76 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiuzhang, Liang Huaying, Shan Qiang, *et al.* 1999. Metallogenic age of the Jinshan gold deposit and Caledonian gold mineralization in South China [J]. *Geological Review*, 45(1): 19~25 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Chen Yuchuan, Wang Denghong, *et al.* 2012. Scheelite Sm-Nd dating of the Zhazixi W-Sb deposit in Hunan and its geological significance[J]. *Geology in China*, 39(5): 1 339~1 344 (in Chinese with English abstract).
- Wei Hantao, Shao Yongjun, Wang Cheng, *et al.* 2020. Petrogenesis of the granitoids in the Jinji Au Deposit, Northeastern Hunan Province [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 41(2): 253~266 (in Chinese with English abstract).
- Wen Zhilin, Deng Teng, Dong Guojun, *et al.* 2016. Characteristics of ore-controlling structures of Wangu gold deposit in northeastern Hunan Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(2): 281~294 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Yongjun and Chen Guanghao. 2004. Preliminary study on the tectono-metallogenic orientation mechanism of the Dadong-Wangu gold deposit zone, northeastern Hunan province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1): 38~44 (in Chinese with English abstract).
- Xu Chang, Li Jiankang, Shi Guanghai, *et al.* 2019. Zircon U-Pb age and Hf isotopic composition of porphyreous biotite granite in south margin of Mufushan and their geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 38(5): 1 053~1 068 (in Chinese with English abstract).
- Xu Deru, Deng Teng, Chi Guoxiang, *et al.* 2017. Gold mineralization in the Jiangnan Orogenic Belt of South China: Geological, geochemical and geochronological characteristics, ore deposit type and geodynamic setting [J]. *Ore Geology Reviews*, 88: 565~618.
- Xu Deru, Deng Teng, Dong Guojun, *et al.* 2017. Zircon U-Pb geochronological and geochemical characteristics of the Lianyungshan two-mica monzogranites in northeastern Hunan Province: Implications for petrogenesis and tectonic setting associated with polymetallic mineralization [J]. *Earth Science Frontiers*, 24(2): 104~122 (in Chinese with English abstract).
- Xu Deru, Wang Li, Li Pengchun, *et al.* 2009. Petrogenesis of the Lianyungshan granites in northeastern Hunan Province, South China, and its geodynamic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(5): 1 056~1 078 (in Chinese with English abstract).
- Xu Hao and Wen Ting. 2016. Metallogenic geological characteristics and new breakthrough of Zhengchong gold deposit in Liling [J]. *Land & Resources Herald*, 13(3): 8~13 (in Chinese with English abstract).
- Yang Lizhi, Wu Xiangbin, Hu Bin, *et al.* 2018. Geochemistry, geochronology and zircon Hf isotope of Wangxian granodiorite-porphry in eastern Hunan Province and its geological significance [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 49(9): 2 280~2 291 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xie. 1992. Source of ore material and paragenesis of ore-building elements in Woxi Au-Sb-W deposit, Hunan [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 19(2): 20~28 (in Chinese with English abstract).
- Yao Haitao and Zheng Haifei. 2001. Comment on the reliability of Rb-Sr isochron dating by using fluid inclusion in minerals [J]. *Geochimica*, 30(6): 507~511 (in Chinese with English abstract).
- Yao Zhenkai and Zhu Rongbin. 1993. Polygenetic compound model for the Fuzhuxi gold deposit of Hunan Province and its prospecting [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 17(3): 199~209 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Renyu, Lai Jianqing, Zhang Lijun, *et al.* 2016. Petrogenesis of mafic microgranular enclaves: Evidence from petrography, whole-rock and mineral chemistry of Ziyunshan Pluton, Central Hunan [J]. *Earth Science*, 41(9): 1 461~1 478 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Yuejun, *et al.* 2013. Tectonics of South China continent and its implications [J/OL]. *Science China: Earth Sciences*, 56: 1 804~1 828, doi: 10.1007/s11430-013-4679-1.

- Zhang Kun, Xu Deming, Hu Junliang, *et al.* 2017. Petrogenesis of the granites in Sandun area-Constraints from petrochemistry, zircon U-Pb chronology and Hf Isotope[J]. Geological Bulletin of China, 36(9): 1 591~1 600(in Chinese with English abstract).
- Zhang Kun, Xu Deming, Ning Juntao, *et al.* 2019. Petrogenesis of the Lianyungshan granites in Jingchong Co-Cu polymetallic deposit in northeastern Hunan: Constraints from zircon U-Pb chronology, petrochemistry and Hf isotope[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 38(1): 21~33(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liang, Yang Liqiang, Groves D I, *et al.* 2019. An overview of timing and structural geometry of gold, gold-antimony and antimony mineralization in the Jiangnan Orogen, southern China[J]. Ore Geology Reviews, 115: 103~173.
- Zhang Longsheng, Peng Jiantang, Hu A'xiang, *et al.* 2014. Re-Os dating of molybdenite from Darongxi tungsten deposit in Western Hunan and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 33(1): 181~189 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Longsheng, Peng Jiantang, Zhang Dongliang, *et al.* 2012. Geochemistry and petrogenesis of the Indosinian Dashenshan granite, western Hunan, South China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 36(1): 137~148(in Chinese with English abstract).
- Zhou Yueqiang, Xu Deru, Dong Guojun, *et al.* 2021. The role of structural reactivation for gold mineralization in northeastern Hunan Province, South China[J/OL]. Journal of Structural Geology, doi: 10.1016/j.jsg.2021.104306.
- Zhu Xiaoping, Wang Ganlu, Lu Huanzhang, *et al.* 2006. Determination of the age of gold deposits in southeastern Guizhou: With a discussion of the Caledonian Hunan-Guizhou gold ore belt[J]. Geology in China, 33(5): 1 092~1 099(in Chinese with English abstract).
- 柏道远, 黄建中, 刘耀荣, 等. 2005. 湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造发展框架的厘定[J]. 中国地质, 32(4): 557~570.
- 柏道远, 李彬, 姜文, 等. 2020a. 湖南省主要内生成矿事件的构造格局控矿特征及动力机制[J]. 地球科学与环境学报, 42(1): 49~70.
- 柏道远, 李银敏, 钟响, 等. 2018. 湖南NW向常德-安仁断裂的地质特征、活动历史及构造性质[J]. 地球科学, 43(7): 2 496~2 517.
- 柏道远, 唐分配, 李彬, 等. 2020b. 湖南省成矿地质事件纲要[J/OL]. 中国地质. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200325.1824.005.html>.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等. 2015. 雪峰造山带及邻区构造变形和构造演化研究新进展[J]. 华南地质与矿产, 31(4): 321~343.
- 鲍振襄. 1994. 桃江半边山含金斑岩特征及其相关问题探讨[J]. 湖南地质, 13(4): 212~216.
- 鲍振襄. 1996. 湖南龙王江铋砷金矿田地质特征及控矿因素[J]. 黄金地质, 2(4): 21~27.
- 鲍振襄, 鲍珏敏. 1991. 渣滓溪铋矿带地质特征及成矿条件探讨[J]. 湖南地质, 10(1): 25~32.
- 鲍振襄, 万溶江, 鲍珏敏. 1998. 湖南漠滨金矿成矿地质地球化学特征[J]. 黄金地质, 4(3): 54~60.
- 鲍振襄, 万溶江, 鲍珏敏. 2002. 沃溪钨铋金矿床成矿的独特性[J]. 湖南冶金, (4): 11~14.
- 曹亮, 段其发, 彭三国, 等. 2015. 雪峰山铲子坪金矿床流体包裹体特征及地质意义[J]. 地质与勘探, 51(2): 212~224.
- 陈富文, 戴平云, 梅玉萍, 等. 2008. 湖南雪峰山地区沈家垭金矿成矿学及年代学研究[J]. 地质学报, 82(7): 906~911.
- 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 2002. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球化学动力学背景[J]. 中国科学, 32(4): 279~289.
- 陈卫锋, 陈培荣, 黄宏业, 等. 2007. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 37(7): 873~893.
- 陈旭, 戎嘉余. 1999. 从生物地层学到大地构造学——以华南奥陶系和志留系为例[J]. 现代地质, 13(4): 385~389.
- 邓穆昆, 彭建堂, 胡诗倩, 等. 2016. 湘西合仁坪金矿床硫、铅同位素地球化学[J]. 矿床地质, 35(5): 953~965.
- 丁清峰, 王冠. 2009. 湖南漠滨金矿流体包裹体研究和成因探讨[J]. 世界地质, 28(4): 467~475.
- 丁兴, 陈培荣, 陈卫锋, 等. 2005. 湖南沩山花岗岩中锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年: 成岩启示和意义[J]. 中国科学 D 辑 地球科学, 35(7): 606~616.
- 董国军, 许德如, 王力, 等. 2008. 湘东地区金矿床矿化年龄的测定及含矿流体来源的示踪——兼论矿床成因类型[J]. 大地构造与成矿学, 32(4): 482~491.
- 董树义, 顾雪祥, Oskar S, 等. 2008. 湖南沃溪 W-Sb-Au 矿床成因的流体包裹体证据[J]. 地质学报, 82(5): 641~647.
- 高磊, 彭劲松. 2017. 湖南省平江县黄金洞矿区金塘矿段 3 号脉明金矿体特征及规律[J]. 国土资源导刊, 14(2): 69~73.
- 高顺. 2017. 湖南黄金洞金矿床地质特征及成因[J]. 世界有色金属, (10): 101~106.
- 顾尚义, 杜定全, 付勇, 等. 2016. 江南造山带西南缘石英脉型金矿中毒砂 Re-Os 同位素定年研究[J]. 岩矿测试, 35(5): 542~549.
- 顾江年, 宁钧陶, 吴俊. 2012. 湘东北九岭-清水地区韧性剪切带

- 型金矿控矿特征及找矿方向[J]. 华南地质与矿产, 28(1): 27~34.
- 顾雪祥, 刘建明, 郑明华, 等. 2000. 湖南沃溪钨-铋-金建造矿床海底喷流热水沉积成因的组构学和地球化学证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 19(4): 235~238.
- 关义立, 袁超, 龙晓平, 等. 2013. 华南地块东部早古生代的陆内造山作用: 来自I型花岗岩的启示[J]. 大地构造与成矿学, 37(4): 698~720.
- 韩凤彬, 常亮, 蔡明海, 等. 2010. 湘东北地区金矿成矿时代研究[J]. 矿床地质, 29(3): 563~571.
- 贺转利, 许德如, 陈广浩, 等. 2004. 湘东北燕山期陆内碰撞造山带金多金属成矿地球化学[J]. 矿床地质, 23(1): 39~51.
- 胡俊良, 陈娇霞, 徐德明, 等. 2017. 湘东北七宝山铜多金属矿床成矿时代及成矿物质来源——石英脉 Rb-Sr 定年和 S-Pb 同位素组成[J]. 地质通报, 36(5): 857~866.
- 胡俊良, 徐德明, 张鲲, 等. 2016. 湖南七宝山铜多金属矿床石英斑岩时代与成因: 锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素与稀土元素证据[J]. 大地构造与成矿学, 40(6): 1185~1199.
- 湖南省地质调查院. 2017. 中国区域地质志·湖南志[M]. 北京: 地质出版社.
- 黄诚, 樊光明, 姜高磊, 等. 2012. 湘东北雁林寺金矿构造控矿特征及金成矿 ESR 测年[J]. 大地构造与成矿学, 36(1): 76~84.
- 黄建中, 孙骥, 周超, 等. 2020. 江南造山带(湖南段)金矿成矿规律与资源潜力[J]. 地球学报, 41(2): 230~252.
- 黄子进, 付建明, 路远发, 等. 2017. 南岭地区五团岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年、地球化学特征及其地质构造意义[J]. 地质科技情报, 36(6): 83~93.
- 金鑫鏢, 王磊, 向华, 等. 2017. 湖南桃江地区印支期辉绿岩成因——地球化学、年代学和 Sr-Nd-Pb 同位素约束[J]. 地质通报, 36(5): 750~760.
- 鞠培姣, 赖健清, 莫青云, 等. 2016. 湖南双峰县包金山金矿成矿流体与矿床成因[J]. 中国有色金属学报, 26(12): 2625~2639.
- 雷鸣波, 余景明. 1998. 湘西沃溪金铋钨矿床控矿构造及其找矿意义[J]. 黄金, 19(2): 3~7.
- 李华芹, 王登红, 陈富文, 等. 2008. 湖南雪峰山地区铲子坪和大坪金矿成矿作用年代学研究[J]. 地质学报, 82(7): 900~905.
- 李建华, 张岳桥, 董树文, 等. 2015. 湘东宏夏桥和板杉铺岩体 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地球学报, 36(2): 187~196.
- 李鹏春, 许德如, 陈广浩, 等. 2005. 湘东北金井地区花岗岩成因及地球动力学暗示: 岩石学、地球化学和 Sr-Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 21(3): 921~934.
- 黎盛斯. 1994. 湖南区域内生金成矿学分析与找矿预测[J]. 大地构造与成矿学, 18(2): 97~107.
- 李伟, 谢桂青, 张志远, 等. 2016. 流体包裹体和 C-H-O 同位素对湘中古台山金矿床成因制约[J]. 岩石学报, 32(11): 3489~3506.
- 李晓峰, 华仁民, 杨凤根, 等. 2002. 金山金矿 K-Ar 年龄及其对赣东北构造演化的指示意义[J]. 岩石矿物学杂志, 21(1): 49~4.
- 刘建明, 赵善仁, 沈洁, 等. 1998. 成矿流体活动的同位素定行方法评述[J]. 地球物理学进展, 13(3): 46~55.
- 刘凯, 毛建仁, 赵希林, 等. 2014. 湖南紫云山岩体的地质地球化学特征及其成因意义[J]. 地质学报, 88(2): 208~227.
- 刘亮明, 彭省临, 吴延之. 1997. 湘东北地区脉型金矿床成矿构造特征及构造成矿机制[J]. 大地构造与成矿学, 21(3): 197~204.
- 刘亚军. 1992. 湘西沃溪金铋钨矿床褶皱构造及其控矿规律与动力成矿作用[J]. 矿床地质, 11(2): 134~141.
- 刘英俊, 马东升, 牛贺才. 1994. 湖南益阳—沅陵一带金矿床的成矿作用地球化学[J]. 地球化学, 23(1): 1~12.
- 柳德荣, 吴延之, 刘石年. 1994. 平江万占金矿床地球化学研究[J]. 湖南地质, 13(2): 83~90.
- 陆文, 孙骥, 周超, 等. 2020. 湘东北雁林寺金矿床成矿物质来源及成矿流体类型[J]. 地球学报, 41(3): 384~394.
- 罗鸣皋. 1984. 会同县淘金冲细脉浸染型金矿的构造特征[J]. 湖南地质, 3(1): 37~41, 70.
- 罗献林. 1989. 论湖南前寒武系金矿床的形成时代[J]. 桂林冶金地质学院学报, 9(1): 25~34.
- 罗献林. 1991. 湖南金矿床的成矿特征与成因类型[J]. 桂林冶金地质学院学报, 11(1): 23~33.
- 罗献林. 1995. 湖南板溪铋矿床的成矿地质特征[J]. 桂林工学院学报, 15(3): 231~242.
- 骆学全. 1993. 铲子坪金矿的构造成矿作用[J]. 湖南地质, 12(3): 171~176.
- 马东升, 潘家永, 卢新卫. 2002. 湘西北-湘中地区金-铋矿床中-低温流体成矿作用的地球化学成因指示[J]. 南京大学学报(自然科学), 38(3): 435~445.
- 马铁球, 李彬, 陈焰明, 等. 2013. 湖南南岳岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J]. 中国地质, 40(6): 1712~1724.
- 毛景文, 李延河, 李红艳, 等. 1997. 湖南万古金矿床地幔流体成矿的氮同位素证据[J]. 地质论评, 43(6): 646~649.
- 潘灿军, 鲍振襄, 鲍珏敏. 2015. 湘西符竹溪金矿地质特征及成矿作用[J]. 地质找矿论丛, 30(1): 53~59.
- 彭渤, 刘翔. 1997. 湘东青草坡韧性剪切带金成矿构造地球化学初步研究[J]. 地质地球化学, (3): 1~6.
- 彭渤, Robert F, 涂湘林. 2006. 湘西沃溪 W-Sb-Au 矿床白钨矿 Nd-Sr-Pb 同位素对成矿流体的示踪[J]. 地质学报, 80(4): 561~570.

- 彭建堂. 1999. 湖南雪峰地区金成矿演化机理探讨[J]. 大地构造与成矿学, 23(2): 144~151.
- 彭建堂, 戴塔根. 1998. 雪峰地区金成矿时代问题的探讨[J]. 地质与勘探, 34(4): 37~41.
- 彭建堂, 胡瑞忠. 2001. 华南锑矿带的成矿时代和成矿构造环境[J]. 地质地球化学, 29(3): 104~108.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 2003. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年[J]. 科学通报, 48(18): 1 976~1 981.
- 陕亮, 庞迎春, 柯贤忠, 等. 2019. 湖南省东北部地区桃江县木瓜园钨多金属矿成岩成矿时代及其对区域成矿作用的启示[J]. 地质科技情报, 38(1): 100~112.
- 史明魁, 傅必勤, 靳西祥, 等. 1993. 湘中锑矿[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 1~151.
- 苏康明, 吕书君, 孔令兵, 等. 2016. 湖南崇阳坪地区石英脉型钨矿床的地质特征、成矿规律及成矿模式[J]. 矿床地质, 35(5): 902~912.
- 孙骥, 周超, 陆文, 等. 2020. 湖南古台山金锑矿床成矿流体 He-Ar、Sr 同位素地球化学及深部找矿意义[J]. 地球学报, 41(2): 267~279.
- 陶诗龙, 赖健清, 宋维国, 等. 2015. 湖南醴陵肖家山金矿地质特征及成矿条件研究[J]. 矿产与地质, 29(2): 195~202.
- 王加昇, 温汉捷, 李超, 等. 2011. 黔东南石英脉型金矿毒砂 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 地质学报, 85(6): 955~964.
- 王淑军, 谢志勇. 2008. 湘东醴陵-浏阳一带金矿成矿规律及找矿[J]. 怀化学院学报, 27(5): 119~122.
- 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 2004. 湘东北新元古代强过铝花岗岩的成因: 年代学和地球化学证据[J]. 地质论评, 50(1): 65~76.
- 王秀璋, 梁华英, 单强, 等. 1999. 金山金矿成矿年龄测定及华南加里东成金期的讨论[J]. 地质论评, 45(1): 19~25.
- 王永磊, 陈毓川, 王登红, 等. 2012. 湖南渣滓溪 W-Sb 矿床白钨矿 Sm-Nd 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 39(5): 1 339~1 344.
- 魏含涛, 邵拥军, 汪程, 等. 2020. 湘东北金鸡金矿床岩体成岩机制[J]. 地球学报, 41(2): 253~266.
- 文志林, 邓腾, 董国军, 等. 2016. 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, 40(2): 281~294.
- 肖拥军, 陈广浩. 2004. 湘东北大洞-万古地区金矿构造成矿定位机制的初步研究[J]. 大地构造与成矿学, 28(1): 38~44.
- 许畅, 李建康, 施光海, 等. 2019. 幕阜山南缘似斑状黑云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 矿床地质, 38(5): 1 053~1 068.
- 许德如, 邓腾, 董国军, 等. 2017. 湘东北连云山二云母二长花岗岩的年代学和地球化学特征: 对岩浆成因和成矿地球动力学背景的启示[J]. 地学前缘, 24(2): 104~122.
- 许德如, 王力, 李鹏春, 等. 2009. 湘东北地区连云山花岗岩的成因及地球动力学暗示[J]. 岩石学报, 25(5): 1 056~1 078.
- 徐昊, 文亭. 2016. 醴陵市正冲金矿区成矿地质特征及找矿新突破[J]. 国土资源导刊, 13(3): 8~13.
- 杨立志, 吴湘滨, 胡斌, 等. 2018. 湘东王仙花岗岩闪长斑岩的岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素组成[J]. 中南大学学报(自然科学版), 49(9): 2 280~2 291.
- 杨燮. 1992. 湖南沃溪金-锑-钨矿床成矿物质来源及成矿元素的共生机制[J]. 成都地质学院学报, 19(2): 20~28.
- 姚海涛, 郑海飞. 2001. 流体包裹体 Rb-Sr 等时线定年的可靠性[J]. 地球化学, 30(6): 507~511.
- 姚振凯, 朱蓉斌. 1993. 湖南符竹溪金矿床多成因成矿模式及其找矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 17(3): 199~209.
- 曾认宇, 赖健清, 张利军, 等. 2016. 湘中紫云山岩体暗色微粒包体的成因: 岩相学、全岩及矿物地球化学证据[J]. 地球科学, 41(9): 1 461~1 478.
- 张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 2013. 中国华南大陆构造与问题[J]. 中国科学: 地球科学, 43(10): 1 553~1 582.
- 张鲲, 徐德明, 胡俊良, 等. 2017. 湘东北三墩铜铅锌矿区花岗岩的岩石成因——锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学和 Hf 同位素约束[J]. 地质通报, 36(9): 1 591~1 600.
- 张鲲, 徐德明, 宁钧陶, 等. 2019. 湘东北井冲钻铜矿区连云山花岗岩的岩石成因——锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学和 Hf 同位素约束[J]. 岩石矿物学杂志, 38(1): 21~33.
- 张龙升, 彭建堂, 胡阿香, 等. 2014. 湘西大溶溪钨矿床中辉钨矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 33(1): 181~189.
- 张龙升, 彭建堂, 张东亮, 等. 2012. 湘西大神山印支期花岗岩的岩石学和地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 36(1): 137~148.
- 朱笑青, 王甘露, 卢焕章, 等. 2006. 黔东南金矿形成时代的确定兼论湘黔加里东金矿带[J]. 中国地质, 33(5): 1 092~1 099.