



引文格式:高永宝,李航,杨可,等.秦岭成矿带金成矿规律及资源潜力[J].西北地质,2026,59(1):23-43. DOI: 10.12401/j.nwg.2025149

Citation: GAO Yongbao, LI Hang, YANG Ke, et al. Gold Metallogenic Regularity and Resource Potential in the Qinling Metallogenic Belt[J]. Northwestern Geology, 2026, 59(1): 23-43. DOI: 10.12401/j.nwg.2025149

秦岭成矿带金成矿规律及资源潜力

高永宝,李航,杨可,薛仲凯,马承,宋伊圩,葛战林,刘诚

(中国地质调查局金矿勘查技术创新中心,中国地质调查局西安矿产资源调查中心,陕西 西安 710100)

摘要:秦岭成矿带是中国重要的金多金属成矿带,也是中国仅次于胶东的第二大金成矿带。近年来在早子沟等众多矿床中取得了找矿新突破,亟需对其金成矿规律与资源潜力进行深入研究。笔者通过对带内地层、构造、岩浆岩、地球物理-地球化学特征以及 613 处金矿床(点)成矿背景、矿化特征和控矿要素的梳理,揭示秦岭成矿带金矿分布具有“北西成行、北东成串”空间分布特征,认为大型金矿床往往发育在 NW 向和 NE 向构造交汇及岩浆作用发育部位。东、西秦岭金成矿作用具有明显差异:西秦岭多数金矿赋存于泥盆系、二叠系和三叠系,金成矿作用集中于 250~230 Ma 与 225~210 Ma,与同期岩浆活动关系密切,成矿类型包括变质碎屑岩中热液型与岩浆热液型;东秦岭金矿多赋存于太古宇太华群、寒武系与泥盆系,金成矿时代主要为 145~110 Ma,金矿类型以岩浆热液型为主。深部结构上,西秦岭在青藏高原扩张影响下表现为地壳解耦,其深部岩浆通道控制了金矿集区的分布,而东秦岭主要在古太平洋板块影响下出现壳幔贯通的高导体,与燕山期成矿作用关系密切。通过综合对比,笔者在秦岭成矿带划分出 25 个Ⅳ级金成矿亚带以及 10 个金成矿系列,其中印支期与中酸性岩浆侵入有关及燕山期与岩浆-热液活动有关的两个金多金属成矿系列最为重要。综合地质矿产、地球物理和地球化学多元信息,圈定秦岭成矿带金找矿远景区 73 处(28 个Ⅰ类、34 个Ⅱ类和 11 个Ⅲ类)。基于上述成矿规律与资源潜力综合评价,西秦岭地区应以夏河-合作、寨上-李坝矿集区为重点,开展矿床深边部及外围找矿工作;在花崖沟-九条沟、凤太等找矿远景区加强勘查工作;对文县-康县矿集区应重点关注与岩浆-热液作用有关隐伏矿体的寻找。东秦岭地区需加强综合地球物理技术在深部找矿中的应用,小秦岭矿集区应重视深部找矿工作,同时重点关注夏家店、刘家峡、苏岭沟等已知矿床的深部及外围找矿。

关键词:秦岭成矿带;金矿;时空分布;成矿规律;资源潜力

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2026)01-0023-21

Gold Metallogenic Regularity and Resource Potential in the Qinling Metallogenic Belt

GAO Yongbao, LI Hang, YANG Ke, XUE Zhongkai, MA Cheng, SONG Yiwei, GE Zhanlin, LIU Cheng

收稿日期: 2025-10-25; 修回日期: 2025-12-24; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 中国地质调查局项目“全国金矿资源潜力评价”(DD202202066),“全国金矿重点调查区调查评价”(DD20230060)和“秦岭-豫西地区战略性矿产调查”(DD20240019)联合资助。

作者简介: 高永宝(1982-),男,研究员,博士,主要从事矿床学及区域成矿规律研究。E-mail: gaoyongbao2006@126.com。

© Editorial Office of *Northwestern Geology*. OA under CC BY-NC-ND

(Technology Innovation Center for Gold Ore Exploration, Xi'an Mineral Resources Survey of
China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: The Qinling metallogenic belt is one of China's most important Au-polymetallic metallogenic belts and the country's second-largest Au-metallogenic belt after Jiaodong. In recent years, new breakthroughs have been achieved in many deposits such as Zaozigou, creating an urgent need for in-depth research on its Au-metallogenic regularities and resource potential. Based on a systematic review of strata, structures, magmatism, geo-physical-geochemical characteristics, and the metallogenic setting, mineralization features, and ore-controlling factors of 613 Au deposits (or occurrences) within the belt, this study reveals that Au deposits in the Qinling metallogenic belt display a spatial pattern of "NW-trending belts and NE-trending clusters". Large Au deposits commonly occur at the intersections of NW- and NE-trending structures and in areas with intense magmatic activity. The Au metallogenesis of the eastern and western Qinling exhibits significant differences. In western Qinling, most Au deposits are hosted in the Devonian, Permian, and Triassic strata, with mineralization ages concentrated at 250~230 Ma and 225~210 Ma, closely related to contemporaneous magmatism. Metallogenic types include hydrothermal type hosted in metamorphosed clastic rocks and magmatic-hydrothermal type. In eastern Qinling, Au deposits are mainly hosted in the Archean Taihua Group, the Cambrian, and the Devonian strata, with mineralization ages primarily between 145 and 110 Ma. Their metallogenic type is mainly magmatic-hydrothermal type. For crustal structure, western Qinling shows crustal decoupling influenced by the expansion of the Tibetan Plateau, with deep magmatic channels controlling the distribution of Au deposit districts. In contrast, eastern Qinling exhibits high-conductivity crust-mantle penetrating structures influenced by the Paleo-Pacific Plate, contributing to the Yanshanian metallogenesis. Through comprehensive comparison, this study delineates 25 fourth-order Au metallogenic sub-belts and 10 Au metallogenic series within the Qinling metallogenic belt. Among these, the two most important series are the Indosinian series related to intermediate-felsic magmatic intrusions and the Yanshanian series associated with magmatic-hydrothermal activity. Integrating geological, geo-physical, and geochemical information, 73 prospective Au exploration targets are identified within the Qinling metallogenic belt (28 Class I, 34 Class II, and 11 Class III). Based on the metallogenic regularities and resource-potential assessment, It is suggested that exploration in western Qinling should focus on the Xiahe-Hezuo and Zhaishang-Liba ore districts, targeting the deep and peripheral zones of existing deposits. In addition, exploration should also be strengthened in Huayagou-Jiutiaogou, FengTai, and other prospective areas, and particular attention should be given to concealed orebodies related to magmatic-hydrothermal activity in the Wenxian-Kangxian ore district. In eastern Qinling, the application of integrated geophysical techniques should be enhanced for deep-level exploration. Deep exploration should be prioritized in the Xiaoqinling ore district, with special attention to deep and peripheral zones of known deposits such as Xiajiadian, Liujiaxia, and Sulinggou.

Keywords: Qinling metallogenic belt; gold deposits; spatiotemporal distribution; metallogenic regularity; prospecting potential

秦岭成矿带位于中央造山带中部,西接东昆仑造山带,东连大别-苏鲁造山带,北邻祁连造山带和华北地块,南邻松潘-甘孜造山带和华南地块(Yang et al., 2015; Duan et al., 2016; Qiu et al., 2018)。构造单元上,以洛南-栾川断裂带、商丹缝合带、勉略缝合带为界,将秦岭成矿带自北向南划分为华北板块南缘、北秦岭、南秦岭和扬子板块北缘(Dong et al., 2016; Qiu et al.,

2016)。地理位置上,以徽成盆地和佛坪穹隆为界,将秦岭成矿带分为东秦岭成矿带以及西秦岭成矿带(Dong et al., 2016)。秦岭成矿带历经多期复杂的构造-岩浆演化,包括早古生代洋壳俯冲、三叠纪陆-陆碰撞和侏罗纪—白垩纪陆内造山。多期次构造-岩浆活动与大规模金成矿作用关系密切,造就中国规模仅次于胶东地区的第二大金成矿带,目前已探明大型—

超大型金矿床 15 处、中型 31 处(图 1; 陈毓川等, 1994; 张国伟等, 2001; 冯益民等, 2002; 陈衍景, 2010; Yang et al., 2015; Dong et al., 2016; 杨合群等, 2022)。

众多学者对秦岭成矿带的区域成矿规律已开展大量研究(李宗会等, 2012; 赵东宏等, 2019; 王义天等, 2021; 杨合群等, 2022; 姜寒冰等, 2023), 近年来带内取得一系列重要金矿找矿新突破: ①在夏河-合作金矿集区, 建立了早子沟超大型金矿床深部地质-地球化学找矿模型(陈国忠等, 2014)。此外, 在该矿集区新发现了拉古河等一批大、中型金矿, 表明夏河-合作金矿集区仍具有较大的找矿前景(付男等, 2025)。②在寨上-李坝金矿集区, 中川岩体远端的寨上超大型金矿床深部发现隐伏矿体; 中川岩体外接触带附近的李坝超大型金矿外围新发现 5 条含金构造蚀变带, 其中Ⅲ号带圈定金矿体长为 0.6 km, 显示良好找矿潜力。地球物理资料显示, 该矿集区超大型金矿就位于 NE 向岩浆活动带边缘与 NWW 向深大断裂交汇部位, 深部仍有较大找矿空间。③在九条沟-八卦庙矿集区, 中部花崖沟-大水沟一带发现一条矿化蚀变带以及余家塘、花崖沟西、麻地沟、大水沟 4 处矿点, 其中花崖沟西经地表及钻探施工验证具大型远景潜力(杜宛鸽等, 2024)。④在文县-康县金矿集区, 以阳山超大型金矿为代表, 矿体整体受 NEE 向安昌河-观音坝断裂及葛条湾-草坪梁复背斜构造控制, 就位于其次级断裂中, 区内发育大量脉岩, 航磁资料分析表明深部存

在大规模隐伏岩体, 显示该区具有岩浆热液成矿作用的进一步找矿潜力(葛良胜等, 2020; 杨科等, 2024)。⑤在双王金矿深部发现微细浸染型矿体, 具备进一步寻找隐伏金矿体的良好潜力(李尚启等, 2025)。⑥在东秦岭巡马道区域断裂带中深部, 新发现厚大蚀变岩型金矿体, 最大厚度超过 10 m, 最高品位达到 13.4 g/t; 地球物理资料显示, 深部可能存在燕山期岩体, 仍具有较大的找矿前景(郑向光等, 2020)。⑦在夏家店、刘家峡、苏岭沟等金矿均取得最新勘查成果, 深边部找矿潜力仍较大。上述勘查成果表明, 秦岭成矿带主要矿集区及重点矿床的深边部与外围仍具有广阔的找矿空间。基于秦岭成矿带金矿勘查新突破与研究现状, 亟需解决的核心科学问题是如何揭示东、西秦岭金矿时空分布规律与深部构造的耦合关系, 以深化成矿规律并指导找矿预测。因此, 需综合最新进展, 对秦岭成矿带金矿床时空分布特征进行总结, 结合深部结构特征, 加强东、西秦岭金成矿作用对比, 深化金成矿规律认识, 分析成矿潜力, 指导区域金矿找矿勘查工作。

1 大地构造背景

秦岭造山带大地构造位置处于中央造山带核心部位, 与原特提斯洋和古特提斯洋的闭合事件有关, 是夹持于华北与扬子克拉通板块之间的典型复合造

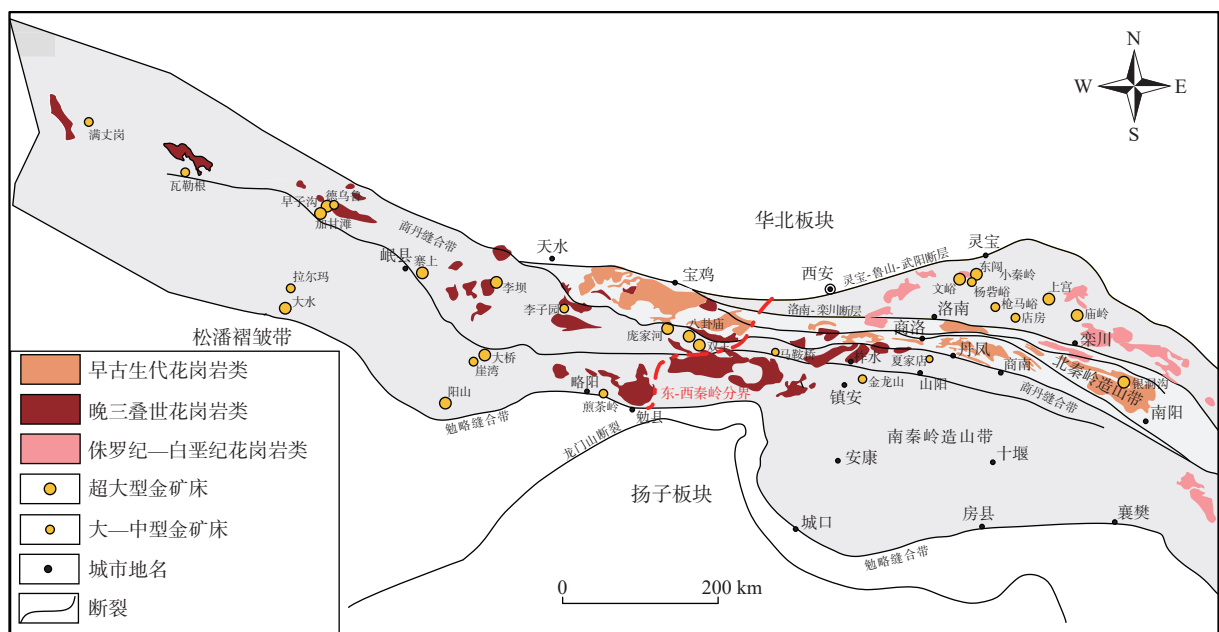


图1 秦岭成矿带金矿分布图(据 Li et al., 2024 修改)

Fig. 1 Distribution of gold deposits in the Qinling metallogenic belt

山带(图 1)。该区域显生宙的构造格架主要奠基于早古生代商丹洋向北的俯冲-增生事件,形成了北秦岭的活动陆缘及相关的弧-盆体系。晚古生代至早中生代,勉略洋的打开与南向俯冲,导致了南秦岭的伸展及弧后盆地发育。至印支期,勉略洋盆闭合、华北与扬子克拉通的陆-陆碰撞,导致地壳大规模缩短、逆冲推覆,并伴随超高压变质岩的快速折返,标志着主造山期的完成。燕山期其构造体制转为陆内造山,在古太平洋板块俯冲的远程效应下,先存缝合带与断裂发生强烈的再活化,表现为广泛的陆内收缩、大规模走滑剪切及同构造的花岗质岩浆侵位。秦岭造山带印支期和燕山期的构造-岩浆-热事件为区内金矿系统的形成提供了至关重要的热驱动力、流体通道与赋矿空间。新生代以来,在印度-欧亚碰撞的远程效应影响下,造山带整体发生差异性隆升与断块活动,塑造了现今的构造格局(图 2; 李春昱等, 1978, 1982; Hsu et al., 1987; 许志琴等, 1988; 张国伟等, 1996, 2001; 冯益民等, 2002)。近年来,董云鹏等(2019)通过系统的构造解析,提出“微地块群拼贴”模型,认为秦岭造山带是由华北南缘、北秦岭、南秦岭等多个前寒武纪地块及其间的微陆块拼贴而形成的异质复合地质体,厘定了从古生代洋壳俯冲到中生代陆内构造叠加的动力学过程,其研究为深化该区金成矿作用认识提供了重要的构造背景依据。

由于不同时期构造体制存在显著差异,所形成的

含矿建造、成矿作用及矿床组合也表现出明显的成矿多样性。笔者沿用陈毓川等(2010)、王登红等(2023)依据矿床成矿系列理论提出的金矿床划分方案,将秦岭成矿带金矿床分为花岗-绿岩型、火山岩型、岩浆热液型、石英脉型、微细浸染型、变质碎屑岩中热液型、砂金型、风化壳型等 8 大类和 15 个亚型。根据构造背景、建造特征、成矿作用及矿床组合特征,秦岭成矿带金矿的形成主要受如下 5 期地质作用控制。①中晚元古代与海底火山活动、岛弧火山作用及岩浆侵入有关的金成矿作用,如陕西略阳县东沟坝火山岩型金银矿床(涂怀奎等, 1989; 樊会民等, 2018)。②寒武纪-志留纪与黑色岩系有关,且受印支期-燕山期构造-岩浆活动叠加改造的金成矿作用,如陕西山阳夏家店变质碎屑岩中热液型金矿、甘肃碌曲县拉尔玛微细浸染型金矿(Wang et al., 2001; Ding et al., 2021; Yu et al., 2024)。③志留纪-泥盆纪,陆内构造断陷-同生沉积与印支期中酸性岩浆侵入叠加改造共同控制的金成矿作用,典型代表为镇旬盆地淋湘变质碎屑岩中热液型金矿(薛仲凯等, 2024, 2025)。④晚二叠世-三叠纪,勉略洋俯冲及伸展转换阶段是秦岭重要的金成矿期,主要金矿类型包括岩浆热液型(陕西凤县八卦庙、甘肃李坝、早子沟、阳山等)和变质碎屑岩中热液型金矿(青海同德县石藏寺锑金矿)(赵海军等, 2015; Song et al., 2023a; Mao et al., 2024; Qiu et al., 2024; Wang et al., 2025)。⑤侏罗纪-白垩纪陆内碰撞造山

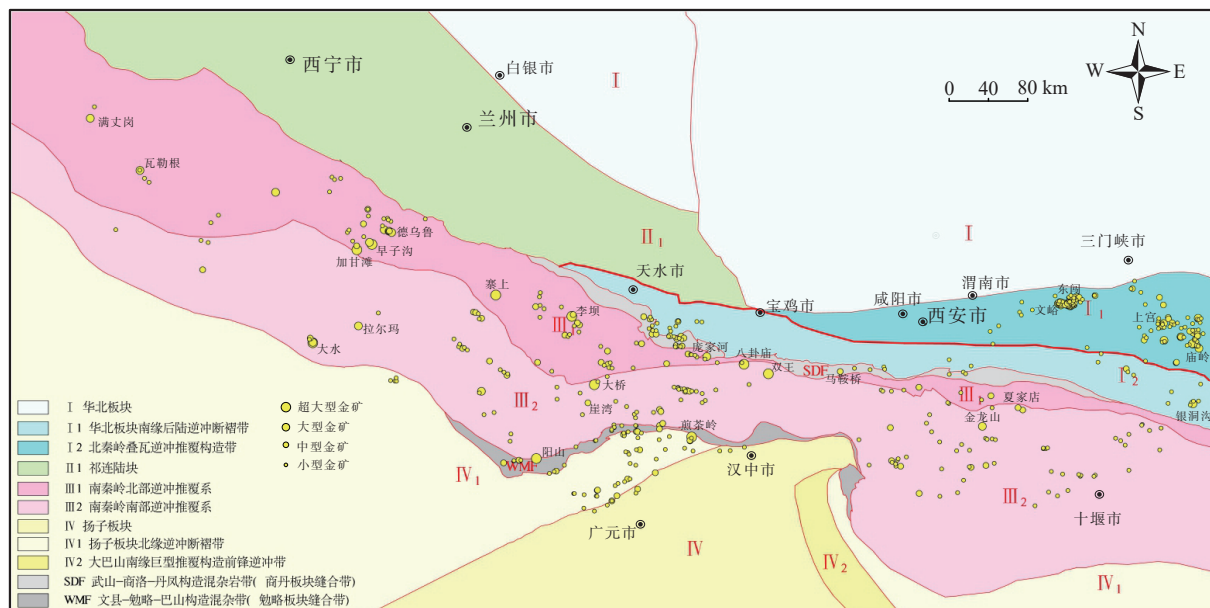


图2 秦岭成矿带构造单元划分及金矿分布图(秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 2 Tectonic subdivision map of the Qinling metallogenic belt with locations of gold deposits labelled

及后碰撞转换阶段的多种类型金矿, 包括岩浆热液型(河南上官)、花岗-绿岩型(陕西潼关县桐峪、善车峪等)和变质碎屑岩中热液型金矿(甘肃文县安坝)(Hu et al., 1990; 陈虹等, 2021; Meng et al., 2022; Qiao et al., 2024)。

2 金成矿规律

2.1 时空分布特征

本研究共收集梳理秦岭成矿带金矿产地 613 处。其中, 特大型(20~100 t)、超大型(>100 t)金矿共 9 处(早子沟、加甘滩、大水、寨上、李坝、阳山、大桥、八卦庙、双王), 大型金矿 22 处(如老豆、以地南、拉尔玛、庞家河、煎茶岭)、中型金矿 66 处, 小型金矿 216 处及矿点 126 处。

据成矿年代统计结果, 印支期和燕山期的金矿床资源量占比分别为 48.4% 和 28.9%, 即秦岭成矿带中生代金矿床的资源量占比达 77.3%(图 3)。其中, 西秦岭金矿以印支期为主(占比 80% 以上), 成矿类型以变质碎屑岩中热液型和岩浆热液型为主; 东秦岭金矿主要形成于燕山期(占比 90% 以上), 矿床类型主要为岩浆热液型和花岗绿岩型, 砂金也占有较大比例(图 4)。

2.2 地层建造与成矿关联

根据区域地层金背景含量, 中新元古代火山岩地层、寒武纪—志留纪黑色岩系以及志留纪—泥盆纪构造断陷—同生沉积地层均呈现明显的金富集(图 5b)。其中, 早古生代秦岭陆缘裂谷盆地发育, 泥盆系在东、西秦岭广泛发育并且是重要的赋矿层位。西秦岭以

中生界为主, 金矿主要赋存于泥盆系、二叠系和三叠系中(图 5a); 东秦岭出露地层以太古宇—下古生界为主, 金矿赋存于太古界太华群、寒武系与泥盆系中。东、西秦岭地层的构造背景在晚古生代—中生代发生分异, 西秦岭为二叠纪—三叠纪半深水断陷盆地, 东秦岭已经开始隆升剥蚀而发生沉积缺失。

2.3 构造、地球化学特征与成矿关联

文中地球化学特征的数据及成果来自 Song et al. (2022) 的相关研究。1:20 万水系沉积物地球化学测量结果(共 28 558 件样品)(图 6a)显示, 秦岭成矿带 Au 地球化学异常发育, 常伴有 As、Sb 等低温元素组合, 异常形态呈线性展布, 与区域构造线方向一致, 金矿的形成依赖于深大断裂系统所产生的高渗透性通道(Bierlein et al., 2005; Song et al., 2022)。通过对水系沉积物数据的因子分析(Song et al., 2022), 西秦岭主要发育 As-Sb-Au 组合异常(图 6b), 已有矿床基本分布于中—高 As-Sb-Au 组合异常内; 组合异常带分布范围广, 呈 NWW-SEE 向展布, 与区域主要构造线方向基本一致(图 6b); 组合异常长轴方向局部呈 NE-SW 向展布, 可能与深部断裂的 NE 走向一致。东秦岭造山带 As-Sb-Au 组合以背景值为主, 局部发育的中等强度组合异常, 且与已知矿床套合性较好。

2.4 岩浆作用与成矿关联

秦岭成矿带岩浆岩以印支期花岗岩类为主, 广泛分布于中偏西段, 燕山期花岗岩类主要分布于东秦岭, 元古代—古生代花岗岩类主要分布于中偏东段。岩浆岩多沿深大断裂带分布, 与韧性剪切带密切相关, 印支期—燕山期花岗岩类与金矿床(点)在时空分布上表现出显著的耦合关系(图 7a)。空间上, 金矿床(点)主要丛聚于岩体周边, 与岩浆岩带整体展布相吻合, 呈现出“沿带分布、集中成区”的格局(图 7a)。时间上, 西秦岭印支期岩浆岩存在两个峰期: 印支早期(235~252 Ma), 主要以壳幔混合花岗岩及其中丰富的镁铁质包体为主, 源区主要为亏损地幔与古老地壳物质的混合(李雷等, 2012); 印支晚期(峰期为 210~225 Ma), 主要为壳源花岗岩, 常见过铝质 S 型花岗岩, 与混合岩、淡色体紧密共生, 源区主要为加厚的新元古代地壳(张贺, 2017)。东秦岭岩浆活动的两个峰期分别为三叠纪(250~190 Ma)和晚侏罗世—早白垩世(170~110 Ma)(图 7b)。其中, 燕山期岩浆岩具有 I 型、A 型花岗岩特征, 指示了下地壳的部分熔融, 并有岩石圈地幔物质的加入, 主要与陆内造山作用及构造体

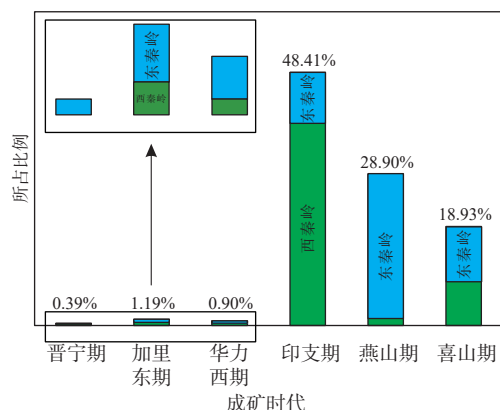


图3 秦岭成矿带不同时期金矿资源量占比(秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 3 Proportion of gold resources formed in different periods within the Qinling metallogenic belt

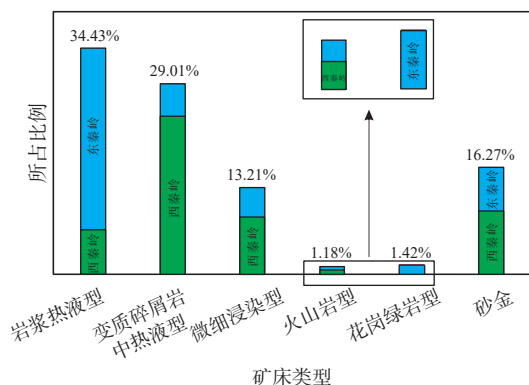


图4 秦岭成矿带金矿成矿类型占比(秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 4 Proportion of gold deposit types in the Qinling metallogenic belt

制从挤压向伸展转换有关(Xiong et al., 2019)。

在西秦岭地区,岩浆作用与金成矿活动存在较为明显的时空与成因联系(图 8a),如夏河—合作地区早—中三叠世(约 250~230 Ma)的还原性钛铁矿系列中酸性侵入岩是区内多种金矿床(如矽卡岩型、石英脉型、微细浸染型)的主要成矿母岩,成矿流体和物质具有明显的岩浆来源特征,构成了一个与还原性侵入岩有关的金成矿系统(李建威等, 2019)。岷礼地区的寨上金矿虽以往认为以卡林型—类卡林型为主,但近年研究揭示其可能存在早二叠世(约 273 Ma)的岩浆热液成矿期,暗示深部岩浆活动对成矿的贡献;该矿后期

还叠加了印支期—燕山期的岩浆热液改造,体现了多期岩浆—热液叠加成矿的特点(王宇昊等, 2022)。凤太矿集区内的庞家河、八卦庙、双王等典型金矿虽赋存于泥盆系浅变质碎屑岩中,具有造山型金矿特征,但其成矿流体中均发现岩浆热液组分,成矿时代与印支期—燕山期岩浆活动(约 240~130 Ma)吻合,表明区域碰撞—后碰撞过程中的岩浆热液活动为金的大规模富集提供了关键的热动力和流体来源(王颖维等, 2022)。

在东秦岭地区,中生代以来的岩浆活动同样与多金属成矿作用之间存在着密切的成因联系(图 8b)。该区域经历了从印支期到燕山期的构造体制转换,伴随岩石圈拆沉减薄和强烈的岩浆事件,为金、铜、铅、锌等内生金属矿床的形成提供了关键的构造—热液条件(张凯等, 2022)。研究表明,印支期花岗岩类(230~200 Ma)以壳源为主,形成于碰撞后伸展环境,其成矿作用主要集中于 210 Ma 左右;而燕山期岩浆活动(200~100 Ma)则以壳幔混源为特征,与太平洋板块俯冲的远程效应相关,成矿高峰出现在 130 Ma 左右,形成了包括小秦岭、熊耳山等矿集区在内的大规模金、钼多金属矿床(李照义等, 2025)。河南省金矿成矿特征进一步表明,金矿化对地层选择性不明显,主要受多期深大断裂控制,早白垩世(135~120 Ma)为最主要的成矿期,与板内伸展背景下的岩浆—热液活动密切相关。典型矿床(如北岭金矿)黄铁矿标型

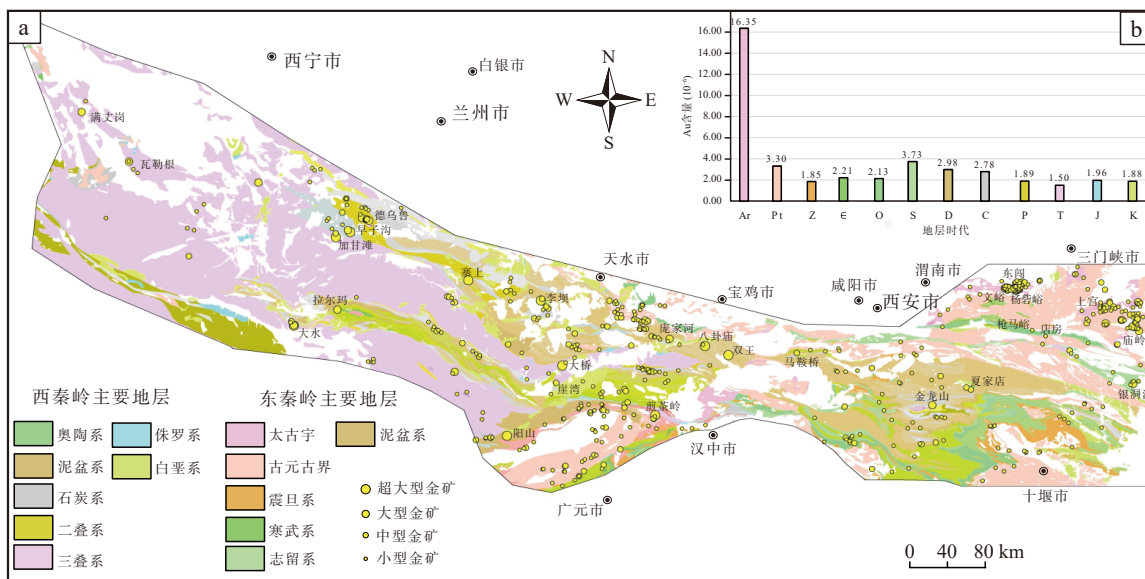


图5 秦岭成矿带地层与金矿床(点)分布特征(a)和各时代赋矿地层 Au 元素背景统计(b)

(资料来源于秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 5 (a) Distribution of strata and gold deposits (occurrences) and (b) Au background statistics of ore-host strata from various periods in the Qinling metallogenic belt

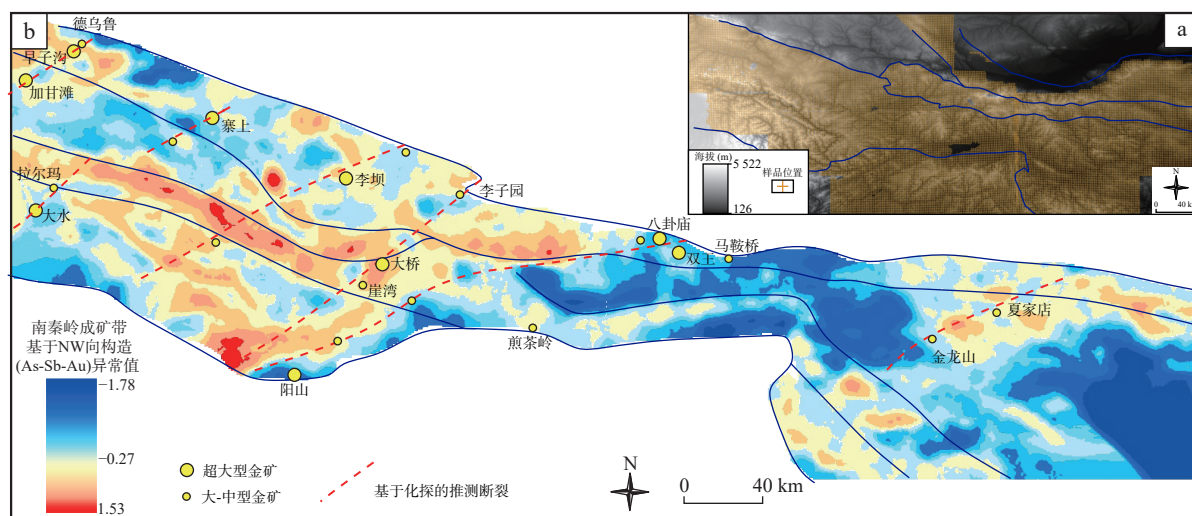


图6 秦岭成矿带水系沉积物采样点(a)和 As-Sb-Au 组合异常与金矿空间分布关系图(b)(据 Song et al., 2022 修改)

Fig. 6 (a) Stream sediment sampling sites, and (b) spatial distribution relationship between As-Sb-Au composite anomalies and gold deposits in the Qinling metallogenic belt

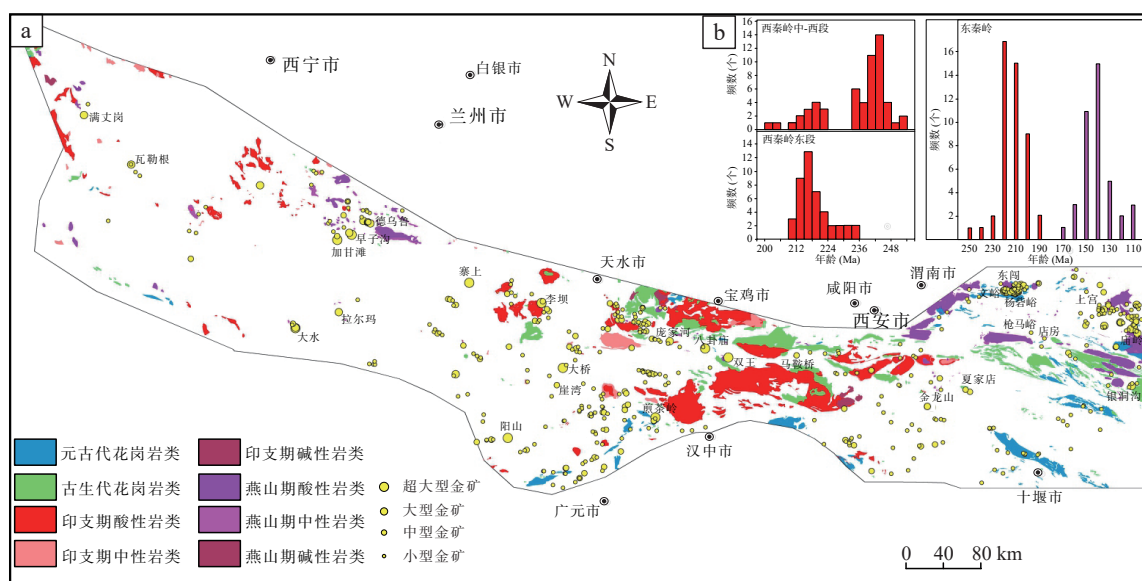


图7 秦岭成矿带岩浆岩与金矿床(点)分布图(a)和东、西秦岭岩浆岩时代直方图(b)

(资料来源于秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 7 (a) Distribution of magmatic rocks and gold deposits (occurrences) in the Qinling metallogenic belt, and (b) histogram of magmatism ages for the Eastern and Western Qinling belts

特征亦显示其岩浆热液成因,且矿体向深部仍具延伸潜力,进一步印证了东秦岭地区岩浆活动对成矿系统的关键控制作用(辛明宇等, 2025)。因此,东秦岭的金成矿是多期次、多阶段岩浆-构造-流体耦合产物,体现了该区域内生金属成矿的时空集中性与成因复杂性。

综上所述,东、西秦岭的金及多金属成矿均与中酸性岩浆活动存在紧密的时空与成因联系:西秦岭地区以三叠纪以来还原性侵入岩及多期次岩浆热液活

动为主导,驱动了金的活化、迁移与沉淀,形成了多类型叠加的成矿系统;东秦岭地区则主要受中生代以来壳幔相互作用的岩浆事件控制,在伸展背景下形成大规模金多金属矿集区。

2.5 地球物理特征与成矿关联

秦岭成矿带重力、航磁等地球物理场特征均反映了本区地壳深部存在以近 EW、NW 和 NE 向为主的基底构造格局(张国伟等, 1996; Xiong et al., 2016)。根

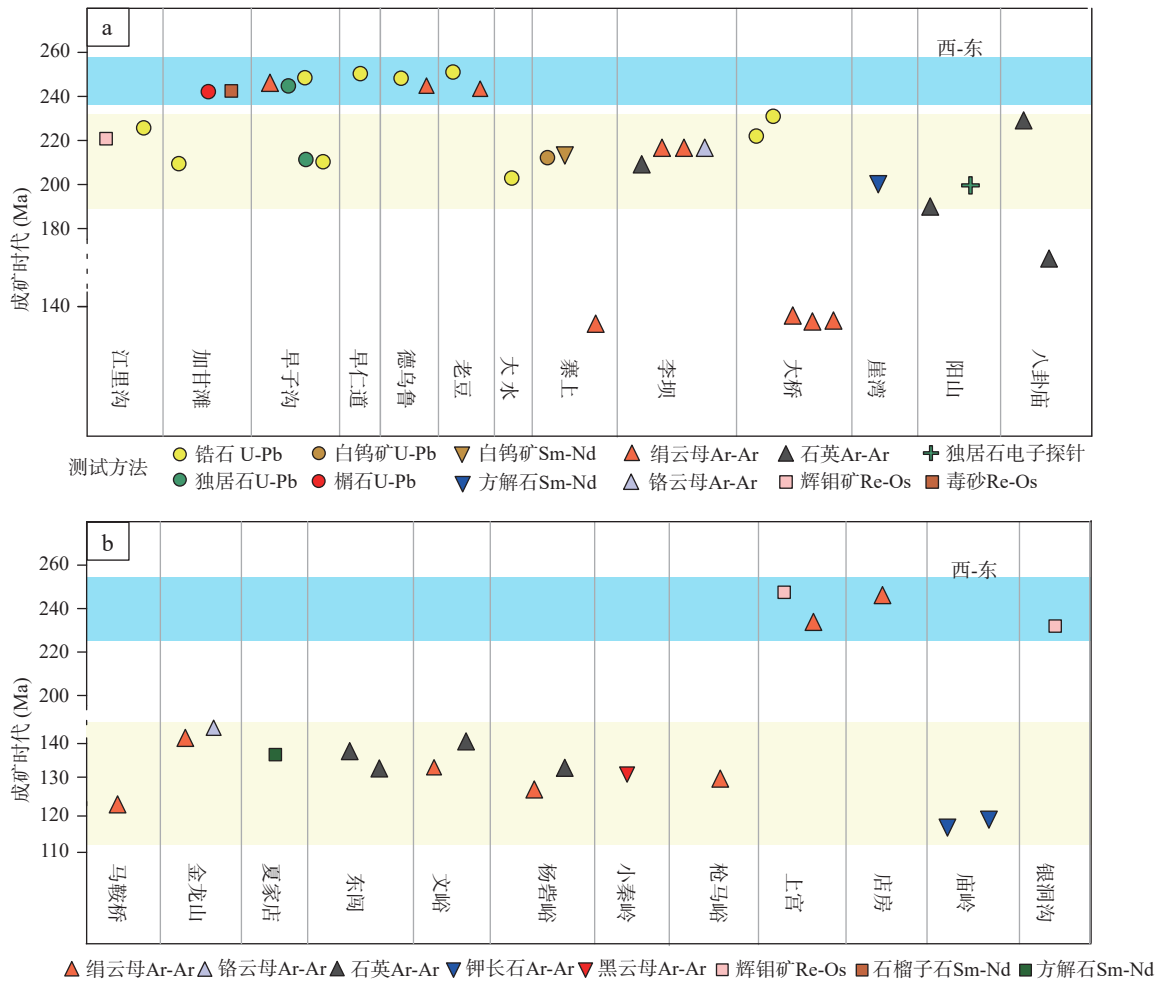


图8 西秦岭典型金矿床成矿时代统计图(a)和东秦岭典型金矿床成矿时代统计图(b)

Fig. 8 Statistical diagrams of metallogenic ages of typical gold deposits in the (a) Western Qinling and (b) Eastern Qinling belts

据区域地质演化,推测近EW向梯度带与秦岭EW向构造带有关,可能代表了印支期秦岭造山带形成时的古构造形迹。而SN向展布的梯度带则反映了印度板块与欧亚板块碰撞,造成青藏高原隆升、SN向缩短、地壳物质增厚,进而导致物质侧向挤出、侧翼SN向走滑的构造特征。东秦岭早白垩世构造背景为E-W向伸展模式,与古太平洋板块西向俯冲引发的碰撞后伸展相对应(Yang et al., 2019)。秦岭造山带的最新活动与青藏高原东北部的扩张有关(Hu et al., 2006),与东秦岭相比,西秦岭直接受到青藏高原扩张的影响,其地貌和深部结构与青藏高原相似(Zhang et al.,

1995)。

采用基于非线性共轭梯度算法的ModEM代码对实测的472个大地电磁测点进行了三维反演,获得了覆盖秦岭造山带的岩石圈电阻率模型(图9)。对频率为100~0.0001 Hz内的数据,每个频段使用5个频点,总计30个频点的全阻抗数据进行了反演,对角和非对角元素的误差基数分别为 $|Z_{xy} \cdot Z_{yx}|/2$ 的10%和5%,初始模型为100 Ωm 的均匀半空间。X和Y方向分别以10 km进行网格剖分,然后4个方向各以1.5倍步长额外增加12个网格,达到无穷远的边界条件。Z方向首层100 m,用1.1倍递增系数,最终的剖分深

度为 1 500 km。反演中初始的拉格朗日算子 λ 设置为 100, 以 10 为单位更新 λ 值, 步长 $\text{step}=5$, 经过 400 次迭代计算得到了研究区三维电阻率模型, 最终拟合误差为 2.265 5。

秦岭成矿带东西段深部电性结构差异显著, 西秦岭成矿带上地壳仍保存三叠纪以来的构造形迹, 岩浆岩一般呈高阻特征(Chave et al., 2012), 以中生代为代表, 西秦岭成矿带爆发了多期次岩浆活动, 分布大量的岩浆岩, 故中上地壳(~ 20 km)高阻体可能代表了多期次叠置的火成岩。西秦岭几处小规模的高阻异常(如中川岩体群、柴家庄岩体深部)代表了幔源岩浆活化的痕迹(喻学惠等, 2003; 侯增谦等, 2021), 围绕深源岩浆源区发育一系列金矿集区。东秦岭则出现了多处壳幔贯通的高导体, 可能代表地幔软流圈物质上涌的通道在地壳尺度形成了一系列低阻-低速体, 但未出现壳内高导层。上述低阻-低速体与东秦岭燕山期岩体高度相关, 指示了古太平洋板块回撤形成的伸展环境。秦岭造山带东西段过渡部位

岩石圈地幔具有高电阻率特征, 暗示着致密、完整的地壳, 其周缘四川盆地和鄂尔多斯地块南部也保存着古老的克拉通基底, 晚侏罗—白垩纪伴随华北克拉通破坏的构造运动并未直接影响西秦岭成矿带, 仅在原有 NW-NWW 向岩浆-构造活动带叠加 NE 向构造, 引发了西秦岭部分金矿的活化富集, 深部结构及动力学过程是影响秦岭成矿带东西段差异化的成矿特征。

3 IV级金成矿亚带及成矿系列划分

3.1 IV级金成矿亚带划分

本次研究以构造分区和构造-岩浆作用为主线, 结合赋矿建造特征, 通过系统总结和综合研究, 对秦岭成矿带进行了 4 级成矿单元划分, 更加客观地反映了各矿集区的差异性特征。秦岭成矿带的 I、II、III 级成矿区带划分、单元命名和编号主要依据《中国成矿区带划分方案》进行划分(徐志刚等, 2008), 且参考赵东宏等(2019)划分方案结合最新找矿进展进行适

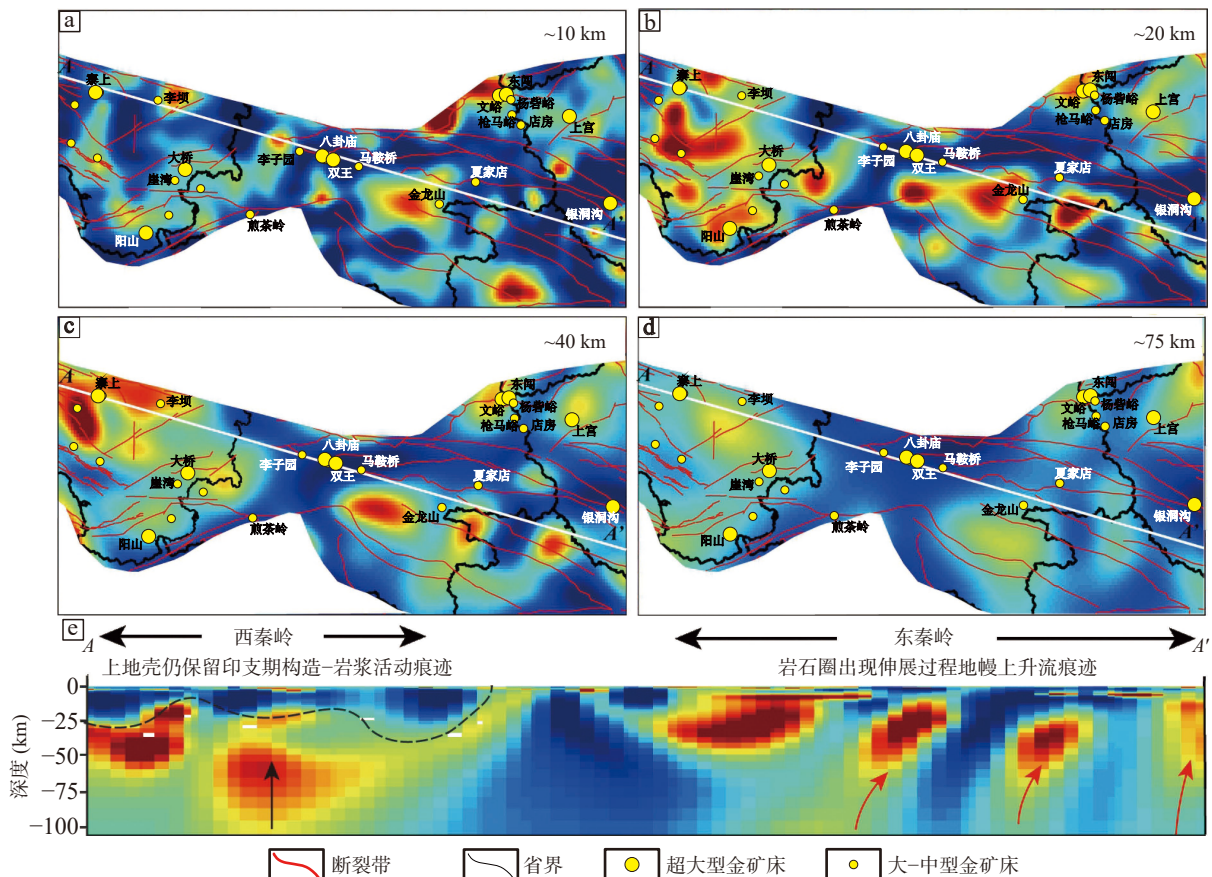


图9 秦岭成矿带大地电磁三维反演(10 km、20 km、40 km、75 km)深度水平切片(a~d)和NW向剖面电阻率模型(e)
Fig. 9 Three-dimensional inversion electrical model of the Qinling metallogenic belt: (a~d) horizontal slices at depths of 10 km, 20 km, 40 km, 75 km, and (e) NW-trending resistivity profile

当调整。综合考虑具体成矿地质背景,对Ⅲ级成矿带进行了局部修订,最终将秦岭成矿带划分为7个Ⅲ级成矿带(表1)。

在上述Ⅲ级成矿带划分基础上,进一步依据沉积相分布和构造-岩浆叠加时空特征,划分出25个Ⅳ级金成矿亚带。其中,本次研究将商丹蛇绿混杂岩带作为一个独立的Ⅳ级成矿亚带划入北秦岭Ⅲ级成矿带;将碧口地体归入北巴颜喀拉-马尔康Ⅲ级成矿带;将龙门山-大巴山(陆缘拗陷)Ⅲ级成矿带进一步划分为川-宽川铺、镇巴-万源、宁强-镇巴、紫阳-镇坪4个Ⅳ级成矿亚带(表1,图10)。

3.2 成矿系列

20世纪70年代,程裕淇、陈毓川院士创立的矿床成矿系列理论,经过20余年的探索与实践已日趋完善,特别是陈毓川院士在《中国成矿体系与区域成矿评价》中构建了中国大陆的矿床成矿系列体系,提出金矿成矿系列涵盖成矿时代、构造环境、地质作用及元素聚集等4个方面,是对区域成矿规律的系统总结,并需结合成矿谱系研究以揭示成矿演化过程。基于此,笔者在划分成矿带的基础上,结合秦岭地区金矿成矿特征,将该区进一步细分为10个成矿系列(表2)。其中,印支期与中酸性岩浆侵入有关的金多金属成矿系列及燕山期与岩浆热液活动有关的金多金属成矿系列,是区内最重要的两个金成矿系列。

4 中生代构造演化与金成矿作用

以往对秦岭造山带的研究多聚焦于南、北秦岭的构造单元划分与演化差异,而对其东西向构造格局的对比及其与金成矿作用的内在关联相对薄弱。本研究在继承南北秦岭构造框架认知的基础上,重点加强对西秦岭与东秦岭的对比研究,旨在揭示二者在构造-岩浆演化过程中的异同及其对金成矿系统的控制机理。研究结果初步表明,西秦岭的金成矿作用主要与印支期强烈的构造-岩浆事件密切相关,其矿床成因类型以发育于褶皱造山过程中的变质碎屑岩型和岩浆-热液型为主;而东秦岭则显著叠加了燕山期广泛的岩浆活动,该期次的热液成矿系统对前期地质体进行了强烈的叠加与改造,主要形成岩浆热液型金矿床。

早中生代是秦岭成矿带构造体制发生重大转换的关键时期,该阶段构造背景由板块俯冲体制逐渐转变为陆内构造体制,并发生了强烈的板内造山作用。

秦岭成矿带内主要出露泥盆纪至三叠纪沉积建造,这些地层在三叠纪俯冲-碰撞过程中经历了区域变质作用,并发育广泛的褶皱与断裂构造(李曙光等,1996)。区域上的变形与变质时代以勉略缝合带附近(221 ± 13)Ma(片岩 Rb-Sr 等时线年龄)(Li et al., 2000)及(214 ± 11)Ma(麻粒岩-角闪岩相退变质年龄)为代表(梁莎等,2013)。Hu et al. (2020)将秦岭中生代早期的岩浆-构造事件进一步划分为4个阶段。第Ⅰ阶段(约250~235 Ma):以钾钙碱性岩浆活动为特征,反映了大洋俯冲及板块回旋作用(Kusky et al., 2014; Zhu et al., 2015)。第Ⅱ阶段(约235~225 Ma):岩浆间歇期,地壳持续增厚,沉积相与挤压变形特征的转变指示该区发生初始碰撞(Li et al., 2013)。第Ⅲ阶段(约225~210 Ma):以大规模岩浆爆发为标志,幔源与壳源熔体广泛混合,导致秦岭成矿带快速隆升,并发育走滑运动与地壳显著增厚(Hu et al., 2020),反映了碰撞-伸展转换阶段的复杂构造过程。第Ⅳ阶段(约210~190 Ma):岩浆活动以源自变质沉积岩的高硅花岗岩为主,暗示地壳处于快速剥蚀和伸展环境,代表了增厚地壳的重力垮塌与区域性伸展作用(Liu et al., 2019)。

在西秦岭地区,金成矿作用与造山过程在时空和成因上紧密相关。俯冲-碰撞阶段(约240~210 Ma),古特提斯洋俯冲-初始碰撞引发软流圈上涌,形成早—中三叠世中酸性侵入岩(图11a)。该阶段岩浆-热液成矿系统与地球物理揭示的深部高阻岩浆岩体及壳幔高导通道在时空上耦合,表明岩浆热液对金成矿具有重要贡献。夏河-合作地区与钛铁矿系列侵入岩相关的金成矿系统提供了直接证据(李建威等,2019)。岷-礼等地区发育李坝等与岩浆作用密切相关的矿床(图11a)。需要指出的是,同一时期的成矿作用可能具有多样性。例如,对于早子沟金矿,尽管新证据支持其与石英闪长质岩脉存在时空与成因联系(陈炳翰等,2024; Du et al., 2025),但也有研究强调其造山型或卡林-类卡林型特征,认为成矿流体以变质来源为主(Qiu et al., 2020),表明该阶段成矿流体来源与演化过程仍十分复杂。后碰撞阶段(约210~180 Ma),构造体制转为陆内伸展,地壳垮塌与软流圈上涌引发晚三叠世高硅花岗岩侵位(图11b)。地球物理揭示深部存在隐伏高阻岩体及沿断裂发育的高导通道,指示深部岩浆活动强烈。该阶段岩浆活动与金成矿空间关系密切。例如,凤太矿集区研究显示,八卦庙、双王等金

表 1 秦岭Ⅳ级成矿亚带划分表

Tab. 1 Division of Grade-IV metallogenic sub-belts in the Qinling metallogenic belt

I级(成矿域)	Ⅱ级(成矿省)	Ⅲ级(成矿带)	Ⅳ级成矿亚带	
古亚洲成矿域(叠加滨太平洋成矿域)(Ⅰ-1)	华北(陆块)成矿省(Ⅱ-14)	Ⅲ-63华北陆块南缘(小秦岭)Fe-Cu-Au- Mo-W-Pb-Zn-U-REE-铝土矿-硫铁矿-萤石-煤成矿带	Ⅳ-63-①太华台拱Au-U-Pb-Fe-W-U-REE-石墨-蛭石成矿亚带	
			Ⅳ-63-②金堆城-楼房村Mo-Fe-Cu-Pb-U-REE-黄铁矿成矿亚带	
			Ⅳ-63-③牧护关-蟒岭Pb-Zn-Mo-W-Fe-Cu-U成矿亚带	
秦祁昆成矿域(叠加滨太平洋成矿域)(Ⅰ-2)	秦岭-大别(造山带)成矿省(Ⅱ-7)	Ⅲ-95北秦岭Au-Cu-Mo-Sb-U-石墨-蓝晶石-红柱石-金红石成矿带	Ⅳ-95-①铜峪-东流水Cu-Pb-Zn成矿亚带	
			Ⅳ-95-②天水-黄牛铺-太白-首阳山Au-Cu-Pb-Zn-Mo-W-Sn-红柱石-矽线石-石墨成矿亚带	
			Ⅳ-95-③丹凤-商南Sb-Fe-Cr-U-稀有金属-白云母-石墨成矿亚带	
		Ⅳ-66-①柞水-山阳Ag-Fe-Cu-Pb-Zn-Au成矿亚带		
		Ⅳ-66-②镇安-旬阳Au-Hg-Sb-Pb-Zn-Cu-V成矿亚带		
		Ⅳ-66-③石泉-汉阴Au-Fe-Cu-U-重晶石-石煤成矿亚带		
		Ⅳ-66-④宁陕-柞水Mo-W- Pb-Zn-Au-Cui-Fe成矿亚带		
		Ⅳ-66-⑤佛坪稀有金属成矿亚带		
		Ⅳ-66-⑥武当隆起西缘Ag- Pb-Zn-Au-稀有金属-黄铁矿-石煤-重晶石成矿亚带		
		Ⅳ-28-①夏河-西和-凤县-黄柏塬Pb-Zn-Cu(Fe)-Au(Ag)-Mo-Sb-Hg成矿亚带		
Ⅲ-28西秦岭西段Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb成矿带	Ⅳ-28-②碌曲-岷县-徽县Au-Sb-Hg-Pb-Zn-Ag-Fe成矿亚带			
	Ⅳ-28-③玛曲-舟曲-留坝Au-Fe-Mn-Cu-Sb-Hg-As-Se-磷-硫铁矿成矿亚带			
	Ⅳ-28-④玛曲(西倾山)Au-Fe成矿亚带			
古亚洲成矿域(叠加滨太平洋成矿域Ⅰ-1)	上扬子成矿省(Ⅱ-15)	Ⅲ-29摩天岭-碧口Cu-Au-Fe-Ni-Mn成矿带	Ⅳ-28-⑤勉略蛇绿杂岩Cu-Ni-Au-Fe-Mn-Pb-Zn-P-Cr成矿亚带	
			Ⅳ-29-①碧口-阳坝(摩天岭隆起)Fe-Au-Ag-Pb-Zn-Cu(Co)-S-石棉-重晶石成矿亚带	
		Ⅲ-30北巴颜喀拉-马尔康Au-Ni-Pt-Fe-Mn-Pb-Zn-Li-Be-白云母成矿带	Ⅳ-30-①加给龙洼-昌马河印支期—燕山期Au-Sb-Ree-W-Sn-Hg成矿亚带	
			Ⅳ-30-②碧口Au-Mn-Cu成矿带	
		Ⅲ-73 龙门山-大巴山(陆缘拗陷)Fe-Cu-Pb-Zn-Mn-V-P-S-重晶石-铝土矿成矿带	Ⅳ-30-③后龙门山Au-Cu-Mn-Fe-Pb-Ag成矿带	
			Ⅳ-73-①青川-宽川铺Au-Cu-Pb-Zn成矿亚带	
			Ⅳ-73-②镇巴-万源Fe-Pb-Zn-Cu-Au成矿亚带	
			Ⅳ-73-③宁强-镇巴Fe-Pb-Zn-Cu-Au-石膏-煤成矿亚带	
				Ⅳ-73-④紫阳-镇坪Fe-V-Ti-Mo-Ni-Zn-重晶石-石煤成矿亚带
				D-1合作-玛曲叠加带
D-2武山-舟曲叠加带				
北东向叠加成矿带		D-3宝鸡-康县叠加带		
		D-4华阴-宁陕-汉南叠加带		
		D-5商洛-安康叠加带		

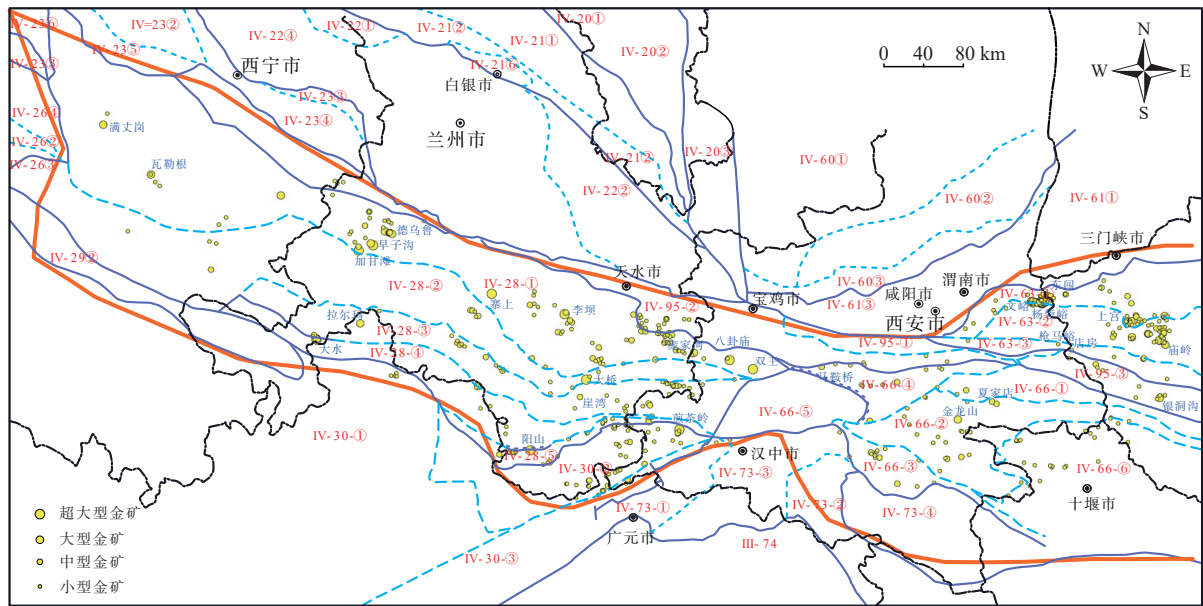


图10 秦岭Ⅳ级成矿亚带分布图(成矿带编号信息见表1)(秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 10 Distribution map of Grade-IV metallogenic sub-belts in the Qinling region
(Numbering information of metallogenic belts is listed in Table 1)

表 2 秦岭成矿带与金有关成矿系列

Tab. 2 Gold-related metallogenic series in the Qinling metallogenic belt

成矿系列组合	成矿系列	成矿亚系列	矿床式	重要矿床
与基性-超基性岩 岩浆作用有关的矿 床成矿系列组合	与海相中基性-中酸 性火山岩有关的金 银铅锌重晶石矿成 矿系列		东沟 坝式	陕西略阳县东沟坝金银矿
与中酸性岩浆作用 有关的矿床成矿系 列组合	燕山期与变质-岩浆 热液有关的多金属 矿成矿系列	小秦岭潼关地区燕山期 与构造-岩浆活动有关 的多金属矿成矿系列	小秦岭 式金矿	陕西潼关县桐峪金矿、陕西潼关县善车峪金矿、陕西洛南县大王西峪金矿
	商丹-勉略构造带与 构造-岩浆活动有关 的金矿成矿系列	商丹缝合带与构造-岩 浆活动有关的金矿成 矿亚系列	八卦庙 式、马 鞍桥式 煎茶岭 式、铍 厂沟式	陕西凤县庞家河金矿、陕西凤县八卦庙金矿、陕西周至县马鞍桥金矿、陕西周至县金牛坪金矿、甘肃天水市柴家庄金矿
	东秦岭与构造-岩浆 活动有关的金矿成 矿系列	略勉缝合带与岩浆热液 有关的金矿成矿亚系列		陕西略阳县煎茶岭金矿、陕西略阳县铍厂沟金矿
		东秦岭北部印支期— 燕山期与碱性碳酸岩 有关的金矿成矿亚系列	双王式	陕西太白县双王金矿、陕西镇安二台子金矿
		东秦岭南部黑色岩系 中与印支期—燕山期 岩浆活动及韧性剪切 带有关的金矿成矿亚 系列	黄龙式	陕西汉阴县黄龙金矿
	西秦岭与印支期—燕 山期中酸性岩浆侵 入作用有关的Au-Hg- Sb多金属矿成矿系 列	西秦岭中带与印支期 中酸性二长花岗岩有 关的Au、Ag多金属矿 成矿亚系列	李坝式、 寨上式	甘肃礼县李坝金矿、甘肃岷县锁龙金矿、甘肃礼县金山金矿、甘肃礼县马泉金矿、甘肃岷县寨上金矿
		文县、康县地区印支 期—燕山期与中酸性 岩浆热液作用有关的 Au-Cu-Sn-W-Fe矿成矿 亚系列	阳山式	甘肃文县阳山金矿、甘肃文县石鸡坝金矿

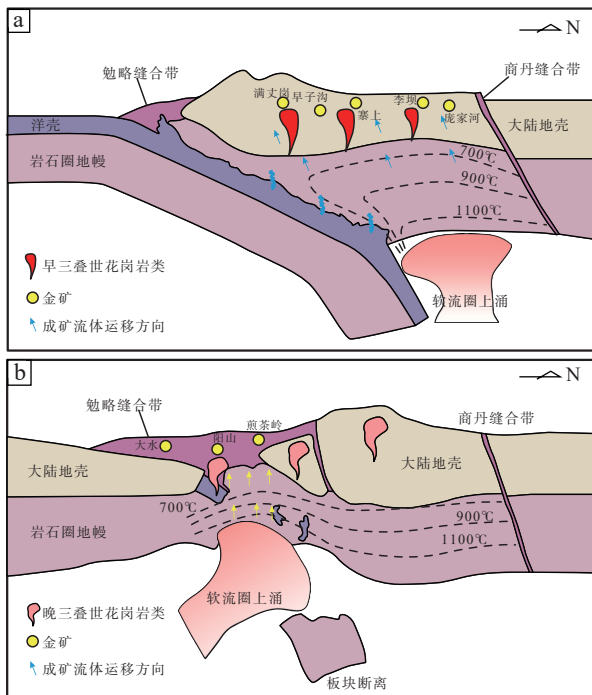
续表 2

成矿系列组合	成矿系列	成矿亚系列	矿床式	重要矿床
		西秦岭南带黑色岩系中与含矿热液作用有关的 Au 多金属矿成矿亚系列	拉尔玛式	甘肃碌曲县拉尔玛金矿
	西秦岭与印支期—燕山期岩浆—热液作用有关的 Au-Hg-As-Sb-Ag-PbZn 矿成矿系列	西倾山地区与印支期—燕山期中酸性浅成—超浅成岩浆侵入有关的金矿成矿亚系列	大水式	甘肃玛曲县大水金矿
		中西段燕山期与浅成中酸性侵入岩及低温热液作用有关的 Au、Sb 矿成矿亚系列	早子沟式、加甘滩式	甘肃合作市早子沟金矿、甘肃夏河县加甘滩金矿
		中西段中生代(三叠纪)—二叠纪碳酸盐岩、碎屑岩与中低温热液作用有关的 Hg-Sb-Au 矿成矿亚系列	鹿儿坝式、崖湾式	甘肃岷县鹿儿坝金矿、甘肃西和县大桥金矿、甘肃西和县崖湾锑矿
与火山作用有关的矿床成矿系列组合	与陆相火山岩有关的 Fe-Au 矿成矿系列	西秦岭印支期与陆相中酸性火山热液作用有关的 Fe-Au 矿成矿亚系列	解板沟式	甘肃两当县解板沟铁矿、甘肃两当县金厂沟金矿
与沉积作用有关的矿床成矿系列组合	现代河流中的冲—洪积砂金矿成矿系列	河床、河漫滩、低阶地砂金矿成矿亚系列	恒口式、碧口式	陕西安康市恒口砂金矿、甘肃文县碧口砂金矿、甘肃康县岸门口砂金矿、甘肃西和县六巷河砂金矿
与复合作用有关的矿床成矿系列组合	层控—改造型铅锌铜金矿床成矿系列	旬阳北部志留纪—泥盆纪与喷流沉积作用、热液改造作用有关的 Pb、Zn、Cu、Au 矿成矿亚系列	焦山寨式、南沙沟式	陕西旬阳县焦山寨铅锌金、陕西旬阳县南沙沟铅锌金矿
	与构造—热液作用有关的金矿成矿系列		金龙山式、夏家店式	陕西镇安县金龙山金矿、陕西旬阳县惠家沟金矿、陕西山阳县夏家店金矿、陕西汉阴县黄龙金矿

矿成矿流体以岩浆水为主导, 浅部混入大气降水(王颖维等, 2022)。深部高导通道与矿集区空间耦合, 暗示岩浆热液沿此向上运移并参与成矿(图 11b)。寨上金矿研究揭示主成矿期矿化与多期岩浆热液活动高度耦合, 说明岩浆作用不仅提供热动力, 更可能直接提供成矿物质与流体(王宇昊等, 2022)。也有观点认为尽管后碰撞岩浆活动与金矿化在空间上相邻, 但两者间的物质联系仍不明确, 如大水、拉尔玛金矿床的研究则认为其成矿流体可能以建造水或大气降水为主, 岩浆活动主要扮演了区域热驱动源的角色(Yang et al., 2014; He et al., 2017)。综上所述, 笔者认为西秦岭后碰撞阶段金成矿主要为伸展背景下以岩浆热液为主导, 受多源流体混合与后期改造共同控制的复杂成矿系统。区域金矿类型差异, 可能反映岩浆热液系统在不同局部地质条件下的成矿差异。

东秦岭金矿的主要成矿期集中于晚侏罗世至早白垩世(约 160~100 Ma), 其形成与中生代构造体制转换密切相关。这一时期, 古太平洋板块向欧亚大陆的俯冲, 引发了华北克拉通南缘及东秦岭地区强烈的岩石圈伸展与减薄, 导致软流圈地幔上涌, 并触发大规

模的岩浆活动(图 12a; 张凯等, 2022)。深部地球物理探测揭示的壳幔贯通高导异常体, 为该深部过程提供了直接证据, 也指示了成矿流体向上运移密切相关。这一时期, 古太平洋板块向欧亚大陆的俯冲, 引发了华北克拉通南缘及东秦岭地区强烈的岩石圈伸展与减薄, 导致软流圈地幔上涌, 并触发大规模的岩浆活动(张凯等, 2022)。移的重要通道。研究表明, 区内金矿以岩浆热液型为主, 但在不同矿集区表现出明显差异: 小秦岭矿集区(如东闯、文峪金矿)以石英脉型为主, 成矿流体具中高温、富 CO₂ 特征, H-O-S 同位素指示, 成矿物质主要来源于深部岩浆(陈虹等, 2021); 而上宫、马鞍寨等金矿则以蚀变岩型为主, 成矿流体温度和盐度相对较低, S 同位素常呈负值, H-O 同位素分布范围更宽, 反映出显著的岩浆水与大气降水或建造水的混合作用(何重果等, 2023)。这种空间上的成矿分带现象, 反映了在区域伸展背景下, 不同矿床在成矿流体来源、运移路径及围岩反应等方面的局部差异。因此, 尽管燕山期岩浆活动为整个区域提供了重要的热动力条件, 但其成矿系统更可能是在深部岩浆热驱动下, 诱发大规模地壳流体循环, 并在有



a. 俯冲-碰撞阶段 (240~210 Ma); b. 后碰撞阶段 (210~180 Ma)

图11 西秦岭区域金成矿模式图(据 Zhao et al. 2021 修改)

Fig. 11 Regional gold metallogenic model of the West Qinling belt

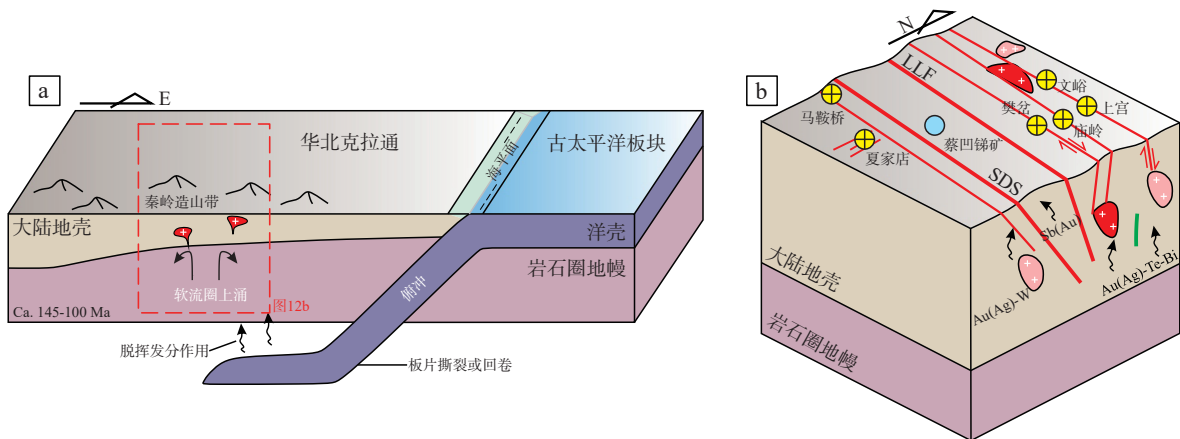
利构造部位沉淀形成的复合成矿系统。笔者认为东秦岭金矿是燕山期岩石圈伸展背景下,多期次、多阶段的岩浆-构造-流体耦合产物,尤其与早白垩世岩石圈伸展和幔源物质上涌所引发的大规模成矿作用密切相关(图12b)。

综上所述,西秦岭与东秦岭的中生代金成矿作用均与深部构造-岩浆过程紧密耦合,并在地球物

理场上体现为高阻岩体与高导通道等特征。西秦岭在俯冲-碰撞阶段(240~210 Ma)形成岩浆热液型与卡林-类卡林型金矿,后碰撞伸展阶段(210~180 Ma)则发育以岩浆热液为主导但类型多样的金矿系统。东秦岭在早白垩世(约140~100 Ma)岩石圈伸展背景下,壳幔相互作用强烈,形成了以岩浆热液型为主的金矿床。但不同部位因深部过程、局部地质条件及流体演化的差异,导致了金矿类型与特征呈现显著多样性。

5 秦岭成矿带金资源潜力

文中找矿远景区的圈定以成矿带背景及大型-超大型矿床成矿潜力为基础,综合考虑成矿地质条件、研究程度、找矿线索(如矿床、矿点、化探与重砂异常等)及地理交通条件等因素,将远景区划分为I、II、III等3类。I类代表研究程度高、成矿条件优越、已知矿化显示良好、具备实现大型找矿突破前景的区域。II类为研究程度较低但具大中型成矿潜力,已有一定矿化显示,经工作可进一步扩大资源潜力。III类则属研究程度低、矿化信息有限但具成矿前景,需投入较多工作予以验证的区域。在优选方法上,基于成矿有利度、资源潜力、成矿条件匹配度、自然地理等指标,开展人机交互式远景区排序。优选准则包括成矿要素的确定,地质条件及自然地理环境的考量,强调突出关键成矿信息。其中,成矿要素主要参考区内或邻区超大-大型金矿床的成矿要素,包括成矿环境及矿床特征,如岷县寨上金矿床成矿要素表所示(表3)。



LLF: 洛南-栾川断裂; SDS: 商丹缝合带

图12 东秦岭区域金成矿模式图(据 Liu et al., 2022 修改)

Fig. 12 Regional gold metallogenic model of the Eastern Qinling belt

在重点区基于成矿地质参数法,以矿化系统规模与资源量正相关为原理,利用 MRAS、MOPAS 等软件圈定最小预测区。基于 1:5 万地质、物探、化探、遥感及自然重砂等多元信息集成,动态跟踪区域找矿勘查最新进展,对秦岭成矿带开展金矿资源潜力动态评价。结合典型矿床成矿模式及预测模型,对秦岭成矿带各找矿远景区 1 000 m 以浅潜在资源进行预测,在秦岭成矿带共圈定金矿找矿远景区 73 处。其中,Ⅰ类 28 个、Ⅱ类 34 个和Ⅲ类 11 个(图 13),较上一轮秦岭成矿带资源潜力评价增加 7 处。以寨上远景区(I-7)为例,预测要素主要包括:①地层(岩性)预测要素,主要赋矿地层为泥盆系、二叠系,找矿标志为岩性界面、斑点千枚岩和脆性岩石,以及灰岩与碎屑岩(千枚岩、砂岩等)接触带、砂岩与板岩接触带。②构造预测要素:深大断裂控制金矿的集中分布,次断裂带的交汇部位、断裂与岩体(脉)相交相切部位和褶皱构造的轴部控制金矿脉(体)的产出。③岩浆岩预测要素:印支期闪长玢岩脉及其他脉岩可作为金矿找矿

表 3 岷县寨上金矿床成矿要素表(示例)

Tab. 3 Metallogenic factors of the Zhaishang gold deposit in Min County (example)

成矿要素		描述内容	成矿要素分类
特征描述		岩浆热液型	
地质环境	大地构造位置	中秦岭新元古—晚古生代裂陷大陆边缘夏河—礼县陆缘沉积区	必要
	成矿区带	中秦岭成矿带合作—两当铅-锌-铜(铁)-金-汞-锑-银-钼-钨-锡-硅灰石-石灰岩成矿亚带	必要
成矿环境	成矿时代	印支期	必要
	含矿建造	泥盆系—二叠系浅变质碎屑岩和碳酸盐岩建造	必要
	岩石类型	砂岩、灰岩、钙质板岩、粉砂质板岩、碳质板岩、泥质板岩等	重要
	岩石结构	微隐晶质结构、半自形粒状结构、砂状结构等	次要
	岩石构造	块状构造、纹层构造、板理状构造等	次要
	成矿构造	NWW—NW向断层及倒转背斜	必要
	岩浆活动	钻孔和坑道中见有闪长玢岩	必要
矿床特征	矿体特征	围岩为碎裂化钙质板岩、灰岩、碎裂岩、碎裂化碳质板岩、碎裂化泥质板岩、蚀变砂岩等。矿区主要工业矿体呈似板状、脉状等	重要
	矿石矿物成分	金属矿物主要有自然金、黄铁矿、白钨矿、黄铜矿、黝铜矿、毒砂、辉锑矿、辉钼矿、辉锑铅矿等,脉石矿物主要有石英、长石、方解石、绿泥石、白云石、菱铁矿、重晶石等	重要
	矿石结构	主要有压碎结构、自形晶粒状结构、半自形—他形粒状结构、包含结构、交代残余结构等	次要
	矿石构造	主要为团块状、角砾状、网脉状、浸染状、碎裂状、细脉状、疏松粉末状构造等	次要
	控矿条件	①NWW—NW向主干断裂与背斜构造控制了矿体的展布。②泥盆系、二叠系,Au元素等含量较高,是金等成矿物质的重要来源。③岩脉为矿床的形成提供了部分成矿热液	必要
	蚀变	主要有硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化和毒砂化,次生蚀变有褐铁矿化、高岭土化	必要
	风化	形成由褐铁矿、铜蓝等矿物组成的氧化矿石	次要
	矿床规模	超大型	重要
化探特征	化探异常	1:5万水系沉积物异常为Au、Ag、Sb、As等综合异常,元素异常套合好,面积大,强度高,浓集中心明显	重要

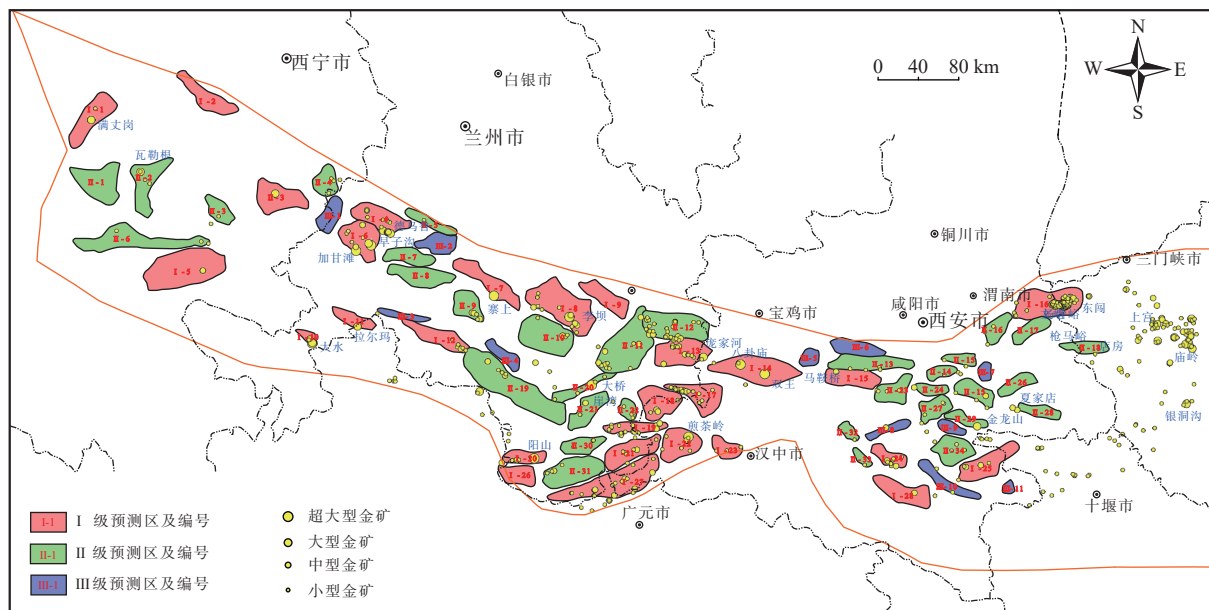


图13 秦岭成矿带金找矿远景区分布图(资料来源于秦岭成矿带金矿资源潜力动态评价 2025 年度进展报告)

Fig. 13 Distribution map of gold prospective targets in the Qinling metallogenic belt

的重要标志之一。④遥感解译构造预测要素:线性构造相交部位、线性构造与环形构造相交或相切部位是矿化有利场所;铁蚀变、羟基蚀变异常区是重要的遥感找矿标志。⑤隆起-坳陷接合部位预测要素:隆起-坳陷接合部位靠近隆起一侧及坳陷中的次级隆起区边缘是金矿主要成矿部位。⑥地球化学预测要素:异常元素组合为 Au-Cu-Pb-Zn-Sb-Hg-As, 当综合异常强度大、面积大、衬度大时,往往易于金矿富集;分散流元素、次生晕元素组合异常及原生晕元素组合异常为地化找矿的直接预测要素。⑦蚀变预测要素:硅化、绢云母化、黄铁矿化、赤铁矿化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐岩化等与金矿化关系密切,多种蚀变的叠加直接指示富矿体。⑧古采铜或民采遗迹:古采铜或古采遗迹为直接的预测要素。

综合考虑 I-II 类远景区资源潜力、最新找矿勘查进展及成矿规律认识,秦岭成矿带未来的金矿找矿应聚焦于:①在早子沟-加甘滩(I-6)找矿远景区,早子沟、加甘滩矿床深边部(如早子沟金矿 1 500 m 以下)及外围(如拉古河等金矿)仍具有较大的找矿前景。②在寨上-李坝(I-7、I-8)找矿远景区,重点关注“五朵金花”岩体周围岩浆活动带边缘与 NWW 向深大断裂交汇部位,以及矿田 NW 向构造及闪长岩、煌斑岩等脉岩与叠加富集金矿体的寻找。③在花崖沟-九条沟(I-13)、凤太(I-14)找矿远景区,重点针对钠长岩与断裂交汇部位加强“岩浆热液叠加改造富集成矿”认

识研究,加强花崖沟、余家塘等新区找矿,关注隐爆角砾岩型金矿深部隐伏矿体的寻找。④在阳山(I-20)找矿远景区,重点关注隐伏岩体及花岗斑岩脉与矿化作用的研究,深边部仍具有较大的成矿潜力。⑤在小秦岭找矿远景区(I-16),沿巡马道断裂深部仍具有较大的找矿潜力。⑥在金龙山-夏家店找矿远景区(II-20、II-26),重视夏家店、刘家峡、苏岭沟等已知矿床深部及外围找矿,加强物探方法在深部找矿应用。

6 结论

(1)秦岭成矿带金成矿背景及矿床类型上表现出显著的东西差异:西秦岭金成矿作用集中于印支期(250~230 Ma 与 225~210 Ma),主要赋存于泥盆系至三叠系,成矿作用与印支期岩浆活动密切相关,主要矿床类型为变质碎屑岩型及岩浆热液型,深部岩浆通道控制了金矿集区的分布。东秦岭则存在印支期与燕山期(145~110 Ma)两期金成矿事件,主要赋存于太古宇太华群变质基底及寒武系—泥盆系中,其形成与陆内构造体制转换背景下加厚下地壳的部分熔融及多期热事件叠加密切相关,主要矿床类型为岩浆热液型及花岗绿岩型,深部结构揭示在古太平洋板块俯冲影响下形成壳幔贯通的高导体,该深部构造与燕山期成矿作用具有密切的时空耦合关系。

(2)基于成矿系统解析,将秦岭成矿带划分为 25

个IV级成矿带和10个金成矿系列。其中,印支期与中酸性岩浆侵入有关的金多金属成矿系列以及燕山期与岩浆热液活动有关的金多金属成矿系列,是区内最重要的两个金成矿系列。

(3)综合考虑最新找矿勘查进展及资源潜力评价,提出西秦岭夏河-合作、寨上-李坝、阳山找矿远景区已知矿床深边部和外围,以及花崖沟-九条沟、凤太找矿远景区具有较大的找矿潜力;东秦岭小秦岭、金龙山-夏家店找矿远景区仍具有较大的找矿潜力,应加强综合地球物理技术在深部找矿的应用。

利益冲突声明(Conflict of Interests):

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors disclose no relevant conflict of interests.

参考文献(References):

- 陈炳翰, 张勇, 李康宁. 西秦岭加甘滩金矿成因研究: 毒砂 Re-Os 定年、载金矿物原位微量元素和硫同位素限定[J]. 岩石学报, 2024, 40(6): 1767-1783.
- CHEN Binghan, ZHANG Yong, LI Kangning. Genesis of the Jiagantan gold deposit in West Qinling, China: Constraints from Re-Os dating, in-situ trace elements and S isotope of gold bearing minerals[J]. Acta Petrologica Sinica, 2024, 40(6): 1767-1783.
- 陈国忠, 梁志录, 王建龙, 等. 甘肃合作早子沟金矿原生叠加晕特征及深部预测[J]. 物探与化探, 2014, 38(2): 268-277.
- CHEN Guozhong, LIANG Zhilu, WANG Jianlong, et al. Primary superimposed halo characteristics and deep prediction of the Zaozigou gold deposit in Hezuo, Gansu Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(2): 268-277.
- 陈虹, 牟培吉, 张欢欢, 等. 小秦岭 NNE 向金矿脉构造变形特征与成矿关系[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(2): 291-314.
- CHEN Hong, MOU Peiji, ZHANG Huanhuan, et al. Structural deformation and mineralization of NNE-striking gold-bearing veins in Xiaoqinling area, Central China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(2): 291-314.
- 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 854-865.
- CHEN Yanjing. Indosinan tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, Central China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 854-865.
- 陈毓川, 王平安, 秦克令, 等. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律探讨[J]. 矿床地质, 1994, 13(4): 289-298.
- CHEN Yuchuan, WANG Pingan, QIN Keling, et al. Metallogenic series of main ore deposits and regional metallogeny in the Qinling area[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(4): 289-298.
- 陈毓川. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- 杜宛鸽, 严康, 高永宝, 等. 西秦岭花崖沟一带金矿找矿新进展[J]. 中国地质调查, 2024, 11(1): 9-15.
- DU Wange, YAN Kang, GAO Yongbao, et al. New progress in gold exploration in the Hua'yagou area, West Qinling[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(1): 9-15.
- 董云鹏, 张国伟, 孙圣思, 等. 中国大陆“十字构造”形成演化及其大陆动力学意义[J]. 地质力学学报, 2019, 25(5): 769-797.
- DONG Yunpeng, ZHANG Guowei, SUN Shengsi, et al. The “crosstectonics” in china continent: formation, evolution, and its significance for continental dynamics[J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25(5): 769-797.
- 樊会民, 安兴, 张嘉声, 等. 陕西省秦巴地区金元素找矿预测区划分及其地球化学特征[J]. 物探与化探, 2018, 42(4): 682-688.
- FAN Huimin, AN Xing, ZHANG Jiasheng, et al. Division of gold element prospecting area in Qinba region of Shaanxi Province and its geochemical characteristics[J]. Geophysical & geochemical exploration, 2018, 42(4): 682-688.
- 冯建忠, 邵世才, 汪东波, 等. 陕西八卦庙金矿脆-韧性剪切带控矿特征及成矿构造动力学机制[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 58-66.
- FENG Jianzhong, SHAO Shicai, WANG Dongbo, et al. Baguamiao superlarge gold deposit in the Qinling orogen: the characteristics of its control by the brittle-ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure[J]. Geology in China, 2002, 29(1): 58-66.
- 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带构造山过程及动力学—1: 100 万西秦岭造山带及邻区大地构造说明书[M]. 西安: 西安地图出版社, 2002.
- 付男, 金鼎国, 田向盛, 等. 探讨甘南高寒草甸覆盖区不同层位取样介质对金矿区土壤测量效果的影响[J/OL]. 地球化学, 2025: 1-15.
- FU Nan, JIN Dingguo, TIAN Xiangsheng, et al. Discussion on the influence of sampling media at different levels on the effectiveness of soil geochemical survey in gold mining areas within the alpine meadow-covered region of southern Gansu[J/OL]. Geochimica, 2025: 1-15.
- 葛良胜, 杨贵才, 赵由之, 等. 甘肃阳山金矿整装勘查区成矿与找矿关键科学问题[J]. 矿床地质, 2020, 39(1): 147-167.
- GE Liangsheng, YANG Guicai, ZHAO Youzhi, et al. Key scientific issues of metallogeny and prospecting in the Yangshan gold ore integrated exploration area of Gansu Province[J]. Mineral Deposits, 2020, 39(1): 147-167.
- 何重果, 李建威, Daniel J Kontak, 等. 西秦岭造山带早白垩世金成矿事件: 来自马鞍桥金矿床锆石 U-Pb 定年的证据[J]. 中国科学: 地球科学, 2023, 53(2): 300-318.
- HE Zhongguo, LI Jianwei, Daniel J Kontak, et al. Early Cretaceous gold mineralization event in the West Qinling Orogen: Evidence from titanite U-Pb dating of the Ma'anqiao gold deposit[J]. Science China Earth Sciences, 2023, 53(2): 300-318.

- 侯增谦, 许博, 郑远川, 等. 地幔通道流: 青藏高原大规模生长的深部机制[J]. 科学通报, 2021, 66(21): 2671–2690.
- HOU Zengqian, XU Bo, ZENG Yuanchuan, et al. Mantle flow: The deep mechanism of large-scale growth in Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2021, 66(21): 2671–2690.
- 梁莎, 刘良, 张成立, 等. 南秦岭勉略构造带高压基性麻粒岩变质作用及其锆石 U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2013, 29(5): 1657–1674.
- LIANG Sha, LIU Liang, ZHANG Chengli, et al. Metamorphism and zircon U-Pb age of highpressure mafic granulites in in Mianlue suture zone, South Qinling orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(5): 1657–1674.
- 姜寒冰, 杨合群, 赵国斌, 等. 西秦岭成矿带区域成矿规律概论[J]. 西北地质, 2023, 56(2): 187–202.
- JLANG Hanbing, YANG Hequn, ZHAO Guobin, et al. Discussion on the Metallogenic Regularity in West Qinling Metallogenic Belt, China[J]. Northwestern Geology, 2013, 56(2): 187–202.
- 靳晓野, 李建威, 隋吉祥, 等. 西秦岭夏河—合作地区德乌鲁杂岩体的侵位时代、岩石成因及构造意义[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(3): 20–38.
- JIN Xiaoye, LI Jianwei, SUI Jixiang, et al. Geochronological and geochemical constraints on the genesis and tectonic setting of Dewulu intrusive complex in Xiahe-Hezuo district of Western Qinling[J]. Journal of Earth Science and Environment, 2013, 35(3): 20–38.
- 李曙光, 孙卫东, 张国伟, 等. 南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学—古生代洋盆及其闭合时代的证据[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 1996, 26(3): 223–230.
- LI Shuguang, SUN Weidong, ZHANG Guowei, et al. Chronology and geochemistry of the metamorphic volcanic rocks in the Heigou Gorge of the Mianlue tectonic belt in the Southern Qinling Mountains: Evidence of the Paleozoic Ocean basin and its closure age[J]. Science in China (Series D), 1996, 26(3): 223–230.
- 李春昱, 刘仰文, 朱宝清, 等. 秦岭及祁连山构造发展史[J]. 西北地质, 1978, (4): 1–12.
- LI Chunyu, LIU Yangwen, ZHU Baoqing, et al. 1978. The tectonic development history of the Qinling and Qilian Mountains[J]. Northwestern Geology, 1978, (4): 1–12.
- 李春昱, 王荃, 刘雪亚, 等. 亚洲大地构造图及说明书[M]. 北京: 地图出版社, 1982.
- 李雷, 张成立, 周莹, 等. 秦岭早中生代壳幔岩浆混合作用——来自东江口花岗岩体闪长质包体的地球化学证据[J]. 高校地质学报, 2012, 18(2): 291–306.
- LI Lei, ZHANG Chengli, ZHOU Ying, et al. Early Mesozoic Crust-Mantle Magma Mixing in the Qinling Orogen: Geochemical Evidence from Dioritic Enclaves in the Dongjiangkou Granitic Pluton[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(2): 291–306.
- 李强之, 陈衍景, 钟增球, 等. 小秦岭东闯金矿成矿作用的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学研究[J]. 地质学报, 2002, 76(4): 565.
- LI Qiangzhi, CHEN Yanjing, ZHONG Zengqiu, et al. A $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic chronology study on mineralization in the Dongchuang Gold Deposit of the Xiaqingling Mountains[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(4): 565.
- 李建威, 隋吉祥, 靳晓野, 等. 西秦岭夏河—合作地区与还原性侵入岩有关的金成矿系统及其动力学背景和勘查意义[J]. 地学前缘, 2019, 26(5): 17–32.
- LI Jianwei, SUI Jixiang, JIN Xiaoye, et al. Gold Mineralization System Associated with Reduced Intrusive Rocks in the Xiahe-Hezuo Area, West Qinling: Dynamic Setting and Exploration Implications[J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(5): 17–32.
- 李尚启, 张彬, 全孝勤, 等. 陕西省双王金矿床新类型金矿体的发现及找矿前景分析[J]. 矿产勘查, 2025, 16(1): 108–119.
- LI Shangqi, ZHANG Bin, QUAN Xiaolin, et al. Discovery of a new type of gold orebody and prospecting potential analysis of the Shuangwang gold deposit in Shaanxi Province[J]. Mineral Exploration, 2025, 16(1): 108–119.
- 李照义, 李中明, 张宇, 等. 河南省金矿成矿规律及成矿系列[J/OL]. 矿产勘查, 2025: 1–23.
- LI Zhaoyi, LI Zhongming, ZHANG Yu, et al. Metallogenic Regularity and Metallogenic Series of Gold Deposits in Henan Province[J/OL]. Mineral Exploration, 2025: 1–23.
- 李宗会, 宋晓霞, 罗根根, 等. 秦岭成矿带 Pb、Zn 化探异常与铅锌矿常无对应关系的原因[J]. 地质通报, 2012, 31(5): 794–798.
- LI Zonghui, SONG Xiaoxia, LUO Gengen, et al. A discussion on the reasons for discordance between Pb-Zn ore deposits and Pb-Zn geochemical anomalies in Qinling metallogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(5): 794–798.
- 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦. 小秦岭金矿地质和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- 刘凯, 王瑞廷, 樊忠平, 等. 秦岭造山带柞水-山阳矿集区夏家店金矿床成矿时代及其地质意义[J]. 矿床地质, 2019, 38(6): 1279–1291.
- LIU Kai, WANG Ruiting, FAN Zhongping, et al. Metallogenic age of Xiajiadian gold deposit in the Zhashui-Shanyang ore concentration, Qinling orogenic belt and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2019, 38(6): 1279–1291.
- 路东宇. 西秦岭江里沟砂卡岩型 W-(Cu-Mo) 矿床成因研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020: 1–215.
- LU Dongyu. Study on Genesis of Jiangligou W-(Cu-Mo) Deposit, West Qinling Orogenic Belt, NW China: Constraints from Geological, Geochronology and Geochemical Evidence[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020: 1–215.
- 邵世才, 汪东波. 南秦岭三个典型金矿床的 Ar-Ar 年代及其地质意义[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 106–110.
- SHAO Shicai, WANG Ddongbo. ^{39}Ar - ^{40}Ar dating of the three typical gold deposits and its geological significance in the Southern Qinling Regin[J]. Acta Geological Sinica, 2001, 75(1): 106–110.
- 唐克非. 华北克拉通南缘熊耳山地区金矿床时空演化、矿床成因及成矿构造背景[D]. 武汉: 中国地质大学, 2014: 1–168.
- TANG Kefei. Characteristics, genesis, and Geodynamic setting of representative gold deposits in the Xiong'ershan district, Southern margin of the North China Craton[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014: 1–168.
- 涂怀奎. 北秦岭区域地质特征和金矿找矿前景[J]. 西北地质, 1989(2): 31–36+13.

- TU Huaikui. Geological characteristics and gold exploration prospects of the Northern Qinling region[J]. *Northwestern Geology*, 1989(2): 31–36+13.
- 王登红, 赵如意, 陈毓川, 等. 中国金矿床的预测类型及其应用[J]. *矿床地质*, 2023, 42(5): 945–954.
- WANG Denghong, ZHAO Ruyi, CHEN Yuchuan, et al. Predictive Types of Gold Deposits in China and Their Applications[J]. *Mineral Deposits*, 2023, 42(5): 945–954.
- 王颖维, 赵端昌, 杜彪, 等. 陕西凤太矿集区典型金矿地质特征及其成矿规律[J]. *中国地质调查*, 2022, 9(2): 63–72.
- WANG Yingwei, ZHAO Duanchang, DU Biao, et al. Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Typical Gold Deposits in the Fengtai Ore Concentration Area, Shaanxi Province[J]. *Geological Survey of China*, 2022, 9(2): 63–72.
- 王义天, 毛景文, 胡乔青, 等. 西秦岭西成和凤太矿集区三叠纪多金属成矿作用特征、规律及找矿方向[J]. *地球科学与环境学报*, 2021, 43(3): 409–435.
- WANG Yitian, MAO Jingwen, HU Qiaoping, et al. Characteristics and metallogeny of Triassic polymetallic mineralization in Xicheng and Fengtai ore cluster zones, West Qinling, China and their implications for prospecting targets[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 2021, 43(3): 409–435.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 等. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义[J]. *科学通报*, 2002, 47(18): 1427–1431.
- WANG Yitian, MAO Jingwen, LU Xinxian, et al. The ^{40}Ar - ^{39}Ar age of deep mineralized and altered rocks in the Q875 vein of the Xiaolinling Gold mining area in Henan Province and its significance[J]. *Science Bulletin*, 2002, 47(18): 1427–1431.
- 王宇昊, 杜志伟, 焦学尧, 等. 甘肃岷县寨上金矿成矿年代及矿床成因探讨[J]. *岩石学报*, 2022, 38(4): 1237–1252.
- WANG Yuhao, DU Zhiwei, JIAO Xueyao, et al. Metallogenic age and genesis of the Zhaishang gold deposit in Minxian County, Gansu Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2022, 38(4): 1237–1252.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1–138.
- 薛仲凯, 范堡程, 李航, 等. 镇旬盆地南缘淋湘金矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. *岩石学报*, 2024, 40(6): 1748–1766.
- XUE Zhongkai, FAN Baocheng, LI Hang, et al. Geological Characteristics, metallogenic material source and the genesis of the Linxiang gold deposit in south margin of the Zhenxun Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2024, 40(6): 1748–1766.
- 薛仲凯, 范堡程, 李航, 等. 镇旬盆地南缘淋湘金矿床流体来源及其成因探讨: C-H-O-Fe 同位素、磷灰石裂变径迹的证据[J]. *矿床地质*, 2025, 44(2): 413–431.
- XUE Zhongkai, FAN Baocheng, LI Hang, et al. Discussion on fluid source and genesis of Linxiang gold deposit in southern margin of Zhenxun Basin: Evidence from C-H-O-Fe isotope and apatite fission track[J]. *Mineral Deposits*, 2025, 44(2): 413–431.
- 杨合群, 赵国斌, 姜寒冰, 等. 西秦岭成矿带矿床成矿系列概论[J]. *西北地质*, 2022, 55(1): 114–128.
- YANG Hequn, ZHAO Guobin, JIANG Hanbing, et al. Discussion on the metallogenic series of mineral deposits in the metallogenic belt of West Qinling, China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(1): 114–128.
- 杨荣生, 陈衍景, 张复新, 等. 甘肃阳山金矿独居石 Th-U-Pb 化学年龄及其地质和成矿意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2603–2610.
- YANG Rongsheng, CHEN Yanjing, ZHANG Fuxin, et al. Chemical Th-U-Pb ages of monazite from the Yangshan gold deposit, Gansu province and their geologic and metallogenic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(10): 2603–2610.
- 辛明宇, 刘丽, 盛渊明, 等. 东秦岭北岭金矿床黄铁矿标型特征及成矿指示意义[J]. *西北地质*, 2025, 58(5): 75–86.
- XIN Mingyu, LIU Li, SHENG Yuanming, et al. Typomorphic Characteristics of Pyrite and Its Metallogenic Significance in the Beiling Gold Deposit, East Qinling Mountains[J]. *Northwestern Geology*, 2025, 58(5): 75–86.
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 东秦岭复合山链的形成[M]. 北京: 中国环境科学出版, 1988: 1–193.
- 杨科, 樊自春, 杨晓飞, 等. 西秦岭阳山金矿床黄铁矿标型特征及成矿意义[J]. *甘肃地质*, 2024, 33(3): 7–15.
- YANG Ke, FAN Zichun, YANG Xiaofei, et al. Typomorphic characteristics and metallogenic significance of pyrite from the Yangshan gold deposit in West Qinling[J]. *Gansu Geology*, 2024, 33(3): 7–15.
- 余超. 西秦岭寨上金矿床成矿特征与非线性成矿动力学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015: 1–118.
- YU Chao. Research on Metallogenic Character and Nonlinear Metallogenic Dynamics at the Zhaishang Gold Deposit, Western Qinling Mountains, China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015: 1–118.
- 喻学惠, 莫宣学, 苏尚国, 等. 甘肃礼县新生代火山喷发碳酸岩的发现及意义[J]. *岩石学报*, 2003, 19(1): 105–116.
- YU Xuehui, MO Xuanxue, SU Shangguo, et al. Discovery and significance of Cenozoic volcanic carbonatite in Lixian, Gansu province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1): 105–116.
- 翟雷, 叶会寿, 周珂, 等. 河南嵩县庙岭金矿地质特征与钾长石 ^{40}Ar / ^{39}Ar 定年[J]. *地质通报*, 2012, 31(4): 569–576.
- ZHAI Lei, YE Hhuishou, ZHOU Ke, et al. Geological characteristics and K-feldspar ^{40}Ar / ^{39}Ar dating of the Miaoling gold deposit in Songxian County, Henan Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(4): 569–576.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[M]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 1996, 26(3): 193–200.
- ZHANG Guowei, MENG Qingren, YU Zaiping, et al. The orogenic process and dynamic characteristics of the Qinling Orogenic belt [M]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 1996, 26(3): 193–200.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1–885.
- 张贺. 南秦岭佛坪穹窿地区晚三叠世岩浆作用和构造演化[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017.
- ZHANG He. Late Triassic magmatism and tectonic evolution of the Foping Dome area, South Qinling[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2017.
- 张凯, 王居里. 论东秦岭印支—燕山期岩浆活动与成矿作用[J]. *陕西地质*, 2022, 40(2): 4–16.
- ZHANG Kai, WANG Juli. On the Indosinian-Yanshanian Magmatic

- Activities and Metallogenesis in the East Qinling Mountains[J]. *Shaanxi Geology*, 2022, 40(2): 4–16.
- 赵东宏, 杨忠堂, 李宗会, 等. 秦岭成矿带成矿地质背景及优势矿产成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 1–401.
- 赵海军, 张青草, 张晨洁. 青海西藏寺锦金矿中金的赋存状态研究[J]. *矿冶*, 2015, 24(3): 80–84.
- ZHAO Haijun, ZHANG Qingcao, ZHANG Chenjie. Study on occurrence states of gold in Shizangsi antimony-gold ore in Qinghai province[J]. *Mining & Metallurgy*, 2015, 24(3): 80–84.
- 郑向光, 卢琳, 刘会毅, 等. 小秦岭地区矿田构造深部探测初步认识[J]. *物探与化探*, 2020, 44(4): 894–904.
- ZHENG Xiangguang, LU Lin, LIU Huiyi, et al. Preliminary understanding of deep exploration of ore-field structure in the Xiaolinling area[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(4): 894–904.
- 朱峰, 李文博, 胡传胜. 南秦岭银洞沟银金矿床矿相学与成矿时代[J]. *矿物学报*, 2017, 37(4): 386–394.
- ZHU Feng, LI Wbenbo, HU Chuansheng. Mineragraphy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Yindonggou Ag-Au deposit, South Qinling Mountains, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2017, 37(4): 386–394.
- Bierlein F, Foster D, Gray D, et al. Timing of orogenic mineralization in northeastern Tasmania: Implications for the tectonic and metallogenetic evolution of Palaeozoic SE Australia[J]. *Mineralium Deposita*, 2005, 39: 890–903.
- Chave A D, Jones A G. The magnetotelluric method: Theory and practice[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- Dong Y P, Yang Z, Liu X M, et al. Mesozoic intracontinental orogeny in the Qinling Mountains, central China[J]. *Gondwana Research*, 2016, 30: 144–158.
- Ding K, Wang R T, Liu K, et al. Pyrite Trace Element, Hydrogen, Oxygen, and Sulfur Isotope Geochemistry of the Xiajiadian Gold Deposit in Zhashui-Shanyang Orefield, South Qinling Orogen, and Its Metallogenic Constraints[J]. *Geoscience*, 2021, 35(6): 1622–1632.
- Du S G, Tian X S, Ren Z, et al. Laser ablation ICP-MS scheelite U-Pb dating constraints on two discrete gold mineralization events of the Zaozigou Au-Sb deposit, West Qinling orogen, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2025, 176: 106437.
- Duan M, Niu Y L, Kong J J, et al. Zircon U-Pb geochronology, Sr-Nd-Hf isotopic composition and geological significance of the Late-Triassic Baijiazhuang and Lvjing granitic plutons in West Qinling orogen[J]. *Lithos*, 2016, 260: 443–456.
- Gou Z Y, Yu H C, Qiu K F, et al. Petrogenesis of ore-hosting diorite in the Zaorendao gold deposit at the Tongren-Xiahe-Hezuo polymetallic district, West Qinling, China[J]. *Minerals*, 2019, 9: 76.
- He W M, Li W J, Ning J, et al. The geological characteristics and ore-controlling factors of Laerma gold deposit in Luqu County, Gansu Province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2017.
- Hsu K J, Wang Q. Tectonic evolution of Qinling Mountains, China[J]. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 1987, 80(3): 735–752.
- Hu F Y, Liu S W, Ducea M N, et al. Early Mesozoic magmatism and tectonic evolution of the Qinling Orogen: Implications for oblique continental collision[J]. *Gondwana Research*, 2020, 88: 296–332.
- Hu S, Raza A, Min K, et al. Late Mesozoic and Cenozoic thermotectonic evolution along a transect from the north China craton through the Qinling orogen into the Yangtze craton, central China[J]. *Tectonics*, 2006, 25(6): TC6009.
- Hu Z G, Qian Z Z. Formation Mechanism of the Tongyu Gold Deposit, Shaanxi: A Discussion of a Model for the Formation of Syntectonic Gold Deposits[J]. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 1990, 3(4): 409–425.
- Jin X Y, Li J W, Hofstra A H, et al. Magmatic-hydrothermal origin of the early Triassic Laodou lode gold deposit in the Xiahe-Hezuo district, West Qinling orogen, China: Implications for gold metallogeny[J]. *Mineral Deposita*, 2017, 52: 883–902.
- Kusky T M, Windley B F, Wang L, et al. Flat slab subduction, trench suction, and craton destruction: comparison of the North China, Wyoming, and Brazilian cratons[J]. *Tectonophysics*, 2014, 630: 208–221.
- Li J W, Li Z K, Zhou M F, et al. The early Cretaceous Yangzhaiyu lode gold deposit, North China craton: A link between craton reactivation and gold veining[J]. *Economic Geology*, 2012, 107(1): 43–79.
- Li J Z, Liu J J, Carranza E J, et al. Unraveling the genesis of wolframite mineralization in the West Qinling Belt, China: Evidence from geochronology, geochemistry, and fluid inclusion study[J]. *Ore Geology Reviews*, 2024, 173: 106229.
- Li S G, Jagoutz E, Chen Y Z, et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, Central China[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64: 1077–1093.
- Li X W, Mo X X, Yu X H, et al. Petrology and geochemistry of the early Mesozoic pyroxene andesites in the Maixiu Area, West Qinling, China: products of subduction or syn-collision?[J]. *Lithos*, 2013, 172–173: 158–174.
- Liu H, Shen J, Santosh M, et al. Polymetallic droplets within trapped globules in a quartz diorite porphyry from Gangcha-Kemo gold deposit, West Qinling orogen, China: Implications for petrogenesis and prospecting[J]. *Lithos*, 2019, 326: 446–459.
- Mao C, Lv X B, Jiang S Y, et al. The genesis of the Baguamiao orogenic gold deposit linked to multistage ore-forming processes in Triassic tectonic transition of South Qinling, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2024, 166: 105964.
- Meng L, Lan C Y, Zhan Q, et al. Origin of the Shanggong gold deposit, the southern margin of the North China Craton: Constraints from Rb-Sr ages of sericite, and trace elements and sulfur isotope of pyrite[J]. *Ore Geology Reviews*, 2022, 142: 104728.
- Qiao Y, Han Z X, Zhang B M, et al. Gold Migration and Precipitation as Collaurum in Orogenic Gold Deposits: Constrains from Microscopic Gold Particles Observed in the Alteration Zone in Shanggong Gold Ore, Henan, China[J]. *Minerals*, 2024, 14(3): 327.
- Qiu K F, Taylor R D, Song Y H, et al. Geologic and geochemical insights into the formation of the Taiyangshan porphyry copper-molybdenum deposit, western Qinling orogenic belt, China[J].

- Gondwana Research, 2016, 35: 40–58.
- Qiu K F, Yu H C, Gou Z Y, et al. Nature and origin of Triassic igneous activity in the Western Qinling orogen: the Wenquan composite pluton example[J]. International Geology Review, 2018, 60: 242–266.
- Qiu K F, Yu H C, Deng J, et al. The giant Zaozigou Au-Sb deposit in West Qinling, China: Magmatic- or metamorphic-hydrothermal origin[J]. Mineralium Deposita, 2020, 55(2): 345–362.
- Qiu K F, Deng J, Yu H C, et al. The Zaozigou orogenic gold-antimony deposit, West Qinling Orogen, China: Structural controls on multiple mineralization events[J]. Geological Society of America Bulletin, 2024, 136(9): 4218–4232.
- Song Y W, Lin Y, Emmanuel J M, et al. Contrasting Anomaly Patterns of Magmatic-Hydrothermal Polymetallic and Orogenic Gold Deposits and their Suitable Exploration Methods: A Case Study from the Qinling Orogen[J]. Natural Resources Research, 2022, 31(3): 1083–1102.
- Song Y W, Yang L, Yang K, et al. Characteristics, geochronology, and formation conditions of W mineralization and its relationship with Au mineralization in the Zhaishang gold deposit, West Qinling Orogen, China[J]. Ore Geology Reviews, 2023a, 163: 105763.
- Song Z Y, Yang Y C, Han S J, et al. Genesis of the Yawan Sb deposit, West Qinling Orogen, Central China: Constraints from S–Pb–C–O isotopes and Sm–Nd geochronology[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2023b, 249: 107217.
- Sui J X, Li J W, Hofstra A H, et al. Genesis of the Zaozigou gold deposit, West Qinling orogen, China: Constraints from sulfide trace element and stable isotope geochemistry[J]. Ore Geology Review, 2020, 122: 103477.
- Sui J X, Li J W, Jin X Y, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U–Pb constraints on the age of the Zaozigou gold deposit, Xiahe-Hezuo district, West Qinling orogen, China: relation to early Triassic reduced intrusions emplaced during slab rollback[J]. Ore Geology Review, 2018, 101: 885–899.
- Wang X C, Zhang Z R. Geology of sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits in northwestern Sichuan, China[J]. International Geology Review, 2001, 43(1): 69–90.
- Wang Z L, Liu J J, Emmanuel J M, et al. Constraints on the metallogenesis of the Liba gold deposit, West Qinling Orogen, China: Evidence from rutile U–Pb dating, pyrite geochemistry and sulfides in-situ S–Pb isotopes[J]. Ore Geology Reviews, 2025, 184: 106741.
- Wu Y F, Li J W, Evans K, et al. Late jurassic to early cretaceous age of the daqiao gold deposit, west Qinling Orogen, China: Implications for regional metallogeny[J]. Mineral Deposita, 2019, 54: 631–644.
- Xiong S Q, Tong J, Ding Y Y et al. Aeromagnetic data and geological structure of continental China: A review[J]. Appl. Geophys, 2016, 13: 227–237.
- Xiong X, Zhu L, Zhang G, et al. Origin of the Xiaohekou skarn copper deposit and related granitoids in the Zha-Shan ore cluster area, South Qinling, China[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 114: 103143.
- Yang B, Peng X H. The Application of Fluid Inclusion in the Dashui Gold Deposit of Gansu[J]. Acta Geologica Sinica, 2014.
- Yang F, Xue F, Santosh M, et al. Late Mesozoic magmatism in the East Qinling Orogen, China and its tectonic implications[J]. Geoscience Frontiers 2019, 10: 1803–1821.
- Yang L Q, Deng J, Qiu K F, et al. Magma mixing and crust-mantle interaction in the Triassic monzogranites of Bikou terrane, central China: Constraints from petrology, geochemistry, and zircon U–Pb–Hf isotopic systematics[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 98: 320–341.
- Yu H C, Qiu K F, Sai S X, et al. Paleo-Tethys Late Triassic orogenic gold mineralization recorded by the Yidi’nan gold deposit, West Qinling, China[J]. Ore Geology Review, 2019, 116: 103211.
- Yu X L, Li J W, Jin X Y, et al. Monazite U–Th–Pb and sericite Rb–Sr dating of the Xiajiadian black shale-hosted gold deposit in the Qinling orogen, central China: Implications for regional gold metallogeny[J]. Science China: Earth Sciences, 2024, 67(8): 2478–2494.
- Zhao H, Wang Q, Groves D I, et al. Progressive spatial and temporal evolution of tectonic triggers and metasomatized mantle lithosphere sources for orogenic gold mineralization in a Triassic convergent margin: Kunlun–Qinling Orogen, central China[J]. Geological Society of America Bulletin, 2021, 133(11–12): 15.
- Zhang G, Meng Q G, Lai S C. Tectonics and structure of Qinling orogenic belt[J]. Science in China, Series B–Chemistry life Science & Earth Sciences, 1995, 38: 1379–1394.
- Zeng Q, McCuaig T C, Hart C J R, et al. Structural and geochronological studies on the Liba goldfield of the West Qinling Orogen, Central China[J]. Mineral Deposita, 2012, 47: 799–819.
- Zhu X, Chen F, Liu B, et al. Geochemistry and zircon ages of mafic dikes in the South Qinling, central China: Evidence for late Neoproterozoic continental rifting in the northern Yangtze block[J]. International Journal of Earth Sciences, 2015, 104(1): 27–44.