

秦岭造山带以金矿为主的多金属矿床研究进展

刘瑞杨

西北大学地质学系，大陆演化与早期生命全国重点实验室 陕西西安

【摘要】 秦岭造山带经历了逆冲推覆构造运动，同时有酸性岩浆侵入活动，进而形成了与花岗岩浆活动相关的金、银、铜、钼多金属矿化带。在东秦岭的小秦岭-熊耳山金矿集区内，发育有东闯、文峪、大湖、祁雨沟、上宫、北岭、桐沟等典型矿床。除此之外，北秦岭的阳山、镰子沟、庞家河、凤太多金属矿集区以及“勉略宁”三角区也有金矿产出；西南秦岭的金矿床大多形成于印支期，如马鞍桥、夏家店、柞水-山阳矿集区、铈厂沟、李子园、八卦庙、镇旬盆地等共同构成了秦岭造山带西部金矿集区。本研究以秦岭全域金矿为研究对象，系统梳理了秦岭造山带金矿的时空分布、成矿流体特征及成矿模式。重点以小秦岭-熊耳山矿集区为例，通过统计前人的实验方法和研究成果，归纳秦岭造山带金矿的特征信息与研究方法；结合流体包裹体、同位素地球化学等手段，揭示了该区金矿多期次叠加成矿的特征，旨在对研究区金矿进行系统的总结与分类。

【关键词】 金矿集区；小秦岭；熊耳山；造山型金矿；多金属矿床；秦岭造山带

【收稿日期】 2025 年 9 月 12 日 **【出刊日期】** 2025 年 10 月 31 日 **【DOI】** 10.12208/j.jesr.20250002

Research Progress of Polymetallic Deposits Dominated by gold in Qinling Orogenic belt

Ruiyang Liu

State Key Laboratory of Continental Evolution and Early Life, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi

【Abstract】 The Qinling orogenic belt undergone thrust nappe structure and accompanied acid magmatic intrusion, forming gold, silver, copper and molybdenum polymetallic mineralization belt related to granite magma activity. The Xiaoqinling-Xiong'ershan gold deposit cluster located in the eastern Qinling is the second largest gold deposit cluster in China after Jiaodong. The typical deposits developed in Dongchuang, Wenyu, Dahu, Qiyugou, Shangong, Beiling and Tonggou. In addition, there are gold deposits in Yangshan, Lianzigou, Pangjiahe, Fengtai polymetallic belt and 'Mian-Lue-Ning' triangle area in northern Qinling; the gold deposits in western and southern Qinling mostly formed in the Indosinian period, with Ma'anqiao, Xiajiadian, Zhashui-Shanyang gold deposit cluster, Huachanggou, Liziyuan, Baguamiao, Zhendian basin tectonic Qinling orogenic belt western gold deposit cluster. In this study, the spatial and temporal distribution, ore-forming fluid characteristics and metallogenic model of gold deposits in Qinling orogenic belt sorted out systematically. Taking the Xiaoqinling-Xiong'ershan gold deposit cluster as an example, the characteristic information and research methods of gold deposits in Qinling orogenic belt summarized by counting previous experimental methods and research results. Combined with fluid inclusions, isotope geochemistry and other methods, the characteristics of multi-stage superimposed mineralization of gold deposits in study area are revealed, aiming at summarize and classify the gold deposits systematically.

【Keywords】 Gold deposit cluster; Xiaoqinling; Xiong'ershan; Orogenic gold deposit; Polymetallic deposits; Qinling orogenic belt

引言

金(Au)被列为24个战略性矿种之一^[1]。据统计,全球金储量约5.4万吨,其中南非的金矿产出量占世界总量的25%以上。在全球金矿生产格局中,美国、澳大利亚、加拿大、中国、巴西及埃及等国家的产量占据主导地位,合计贡献了全球约80%的金矿^[2]。从国内分布来看,金矿在各省均有发现,但空间分布差异显著(表1)。产地数量较多的省份包括新疆、西藏、青海、黑龙江、四川与山东,这些产区主要集中在西北、西南两大区域。其中,新疆、西藏、青海等地的金矿以矿点及小型矿床为主,具备较好的找矿前景^[1]。在国内重要矿集区中,秦岭造山带金矿床的地位尤为突出,其规模仅次于胶东金矿,是我国第二大金矿集区^[3-7]。该区域的金矿类型丰富,主要涵盖斑岩型Cu-Ag矿、造山型Au-Ag矿、低温热液型金矿、卡林型金矿,以及与其他矿床伴生的金矿资源。基于研究需求,本次选取造山型与卡林型这两类最具代表性的金矿展开对比分析^[1-2,8-10](表2)。成矿时代集中于中生代,具有“成矿强度老弱新强、东西南北成矿有别、叠加成矿时间跨度大、新生代金矿资源潜力大”的特点^[1,8]。秦岭造山带可以作为矿源层的岩石有太华群、熊耳群、碧口群的浅变质火山-沉积岩。秦岭造山带金矿成矿流体来源复杂:地幔流体,在高温和高压条件下形成的超临界流体;初始成矿流体来源于地幔,随着成矿作用的进行,逐渐加入壳源流体,导致多源流体的混合^[11-16]。成矿流体是花岗岩浆在侵位过程中演化过来的热液,在演化过程中与太华群围岩发生物质交换。在中生代,花岗岩浆演化中分异形成热液流体萃取太华群地层的金等成矿物质,或是大气降水在花岗岩基的热动力作用下循环流动萃取太华群地层中的金等成矿物质,并在有利的构造部位形成脉状矿体^[11-12,15,17-19]。本研究系统总结了秦岭造山带多金属矿床的分布特征,以及成矿流体特征、成矿模式和期次划分,为理解秦岭地区多金属矿床的关系打下基础。

1 域地质概况

1.1 秦岭造山带大地构造背景

秦岭造山带是重要的南北地理分界线,N32°~N34.5°,E108°~E114°。该地区构造演化阶段可分为:前寒武纪两类变质基底、新元古-中晚三叠的主

造山期,以及中生代陆内构造建造,构造断陷盆地,前后陆盆地沉积岩层与以花岗岩为主的侵入岩系与成矿以及各类构造岩系^[20-25]。秦岭造山带由2条主缝合带和由其分划的3个地块组成:商丹-勉略缝合带、华北陆块南缘、秦岭微地块和扬子地块北缘。三地块历经不同期次板块洋盆扩张与消减作用,板块洋-陆俯冲造山,陆-陆俯冲碰撞造山,后又复合叠加陆内造山形成现今大陆复合造山带^[2,25,26-31]。

1.1.1 构造分区与断裂体系

秦岭造山带可划分为三条主断裂带:灵宝-鲁山-舞阳,以及四个断裂带:华北克拉通南缘、洛南-栾川、北秦岭、商丹缝合带,还有四个主要构造单元:南秦岭、勉略缝合带、华南海块北缘(图1)。秦岭造山带是在前寒武纪先期构造基础上,三地块历经不同期次板块洋盆扩张与消减的板块洋-陆俯冲造山,陆-陆俯冲碰撞造山,后又复合叠加陆内造山而形成成为现今的大陆复合造山带^[24,26,28,32-33]。中生代整个秦岭造山带,特别是西、南秦岭经历了强烈的早中生代构造岩浆热事件,奠定了秦岭造山带基本构造格架。晚中生代构造岩浆热事件主要集中发育于东秦岭,形成巨量的中生代花岗岩体。强烈的构造运动发育有较强的岩浆热液活动及其成矿作用,为相关矿产的成矿提供了充足的物质来源^[29,34-36]。秦岭成矿带主要赋矿地层为前寒武系,以元古宇地层为主要找矿标志。秦岭造山带最终形成于中生代华南与华北大地的碰撞,以龙门山-大巴山断裂以南、三门峡-宝丰断裂以北为主要边界,逆冲推覆体和其所限定的中生代碰撞区域,三宝-龙门山-大巴山断裂之间的区域属于秦岭造山带^[37-38]。

1.1.2 构造演化过程

秦岭造山带构造演化过程分为八个时期:(1)晚太古代-古元古代:发生两期裂解、汇聚岩浆热事件,与早期陆壳增的两期克拉通化对应。(2)中元古代是板块构造时期,古大陆裂解,晋宁运动使多陆块汇聚拼合,北部碰撞造山,南部俯冲造山,最终形成陆块。(3)南华纪-震旦纪时期形成克拉通化稳定沉积。(4)震旦纪末期发生超大陆裂解、离散,形成原特提斯大洋盆地。(5)晚寒武纪存在俯冲造山作用,形成洋盆消减的伸展环境,在陆壳上产生地堑式多级裂陷、剥离断陷盆地及断隆、穹状

隆起等伸展体制构造。(6)晚古生代-晚三叠世,以商丹地壳对接带为标志,北秦岭活动大陆边缘发生后碰撞连续增生造山作用,转化为壳幔垂向增生,形成南北秦岭石炭-晚三叠世花岗岩带。(7)燕山期陆内阶段,形成与中国东部呼应的 NE 向沉降带和隆起带。隆起带垂向增生,产生深源浅成岩体-超

浅成花岗斑岩、隐爆角砾岩岩浆岩带。产生钼多金属斑岩成矿带,伴随大规模逆冲推覆构造。(8)喜山期-始新世,受印度次大陆向欧亚板块下俯冲作用影响,导致山盆耦合,形成汾渭、汉中等断陷盆地和掀斜地块、推覆滑移等新构造单元,形成现今地质地貌^[21,30,37,39-48]。

表 1 中国主要金矿床特征总结

金矿矿集区名称	金矿资源储量/t	成矿密度 10 ⁴ Km ²	成矿强度 t/10 ⁴ Km ²
藏西南日喀则	383.67	12.37	365.11
延边	129.95	81.81	354.39
西天山	121.58	57.55	318.05
巴颜喀拉	233.30	42.80	237.72
江南古陆中段	167.74	38.25	229.13
西天山那拉提	88.21	4.76	209.74
陕南凤县镇安	234.61	31.09	202.60
华北地台北缘中段	422.71	44.80	191.31
白云鄂博商都	368.72	19.12	167.89
陕甘川	703.23	41.93	159.37
柴达木北缘	83.60	28.57	159.23
辽东	430.93	33.84	158.51
琼西南	100.09	27.49	152.87
西秦岭	492.76	17.66	150.05
华北地台北缘东段	277.62	45.46	140.22
浙西南	25.06	44.20	138.45
阿拉善	73.60	3.29	120.91
东准噶尔	85.70	63.19	115.22
滇黔桂	1120.03	15.46	112.47
西准噶尔	109.10	57.20	104.00
喜马拉雅	231.55	27.36	100.58
北大兴安岭—张广才岭	163.56	34.15	93.10
赣南东段	23.20	11.98	92.63
五台—太行	353.81	41.10	89.76
大瑶山	142.93	24.20	88.71
川西南木里—冕宁	117.70	13.68	84.72
漠河黑河	363.32	31.69	78.32
粤西	122.40	26.15	72.74
兴海玛曲	76.50	19.82	60.66
雪峰山	157.62	15.64	53.59
佳木斯	123.29	18.25	51.12
额尔古纳	131.21	11.17	45.80
东天山巴里坤	24.76	17.97	44.48
鲁西	81.15	12.99	43.91
阿尔泰	103.30	26.69	43.08
白乃庙—锡林浩特	63.59	6.03	34.87
康古尔—镜儿泉北山	70.05	23.22	18.28
藏西南措勤纳木错	14.33	23.54	16.06
藏西北	101.76	9.11	9.97
胶西北	4864.04	143.65	4566.68

(续)			
金矿矿集区名称	金矿资源储量/t	成矿密度 10 ⁴ Km ²	成矿强度 t/10 ⁴ Km ²
桐柏	200.60	125.25	2512.57
豫西灵宝(崤山)	705.94	125.57	2161.99
赣东北	394.99	74.08	1463.03
闽西南	315.56	27.76	1460.15
胶莱	508.40	224.09	1294.63
哀牢山中段	141.86	25.09	711.92
台东北	110.93	12.79	709.22
哀牢山北段	347.68	18.25	705.12
小秦岭-熊耳山	527.42	93.07	672.39
湘鄂赣	252.49	45.55	605.28
哀牢山南段	94.28	86.16	580.19
燕辽	262.62	110.98	571.45
南天山	119.19	4.60	548.00
安庆铜陵	259.52	58.35	420.61
湘中南	100.33	24.05	402.13

注：数据来源[1]

表 2 造山型和卡林型金矿特征对比总结

对比项目	造山型	卡林型
构造背景	活动大陆边缘的挤压、挤压-伸展的转换环境	大陆边缘与俯冲有关的伸展环境
控矿构造	韧性剪切带和褶皱转折端	高角度正断层和背斜或穹隆
富矿地质体	无特定的岩性，可产于各个时代的变质体中	多为富含铁的不纯碳酸盐岩和钙质细碎屑岩
矿区岩浆岩	部分有岩浆岩出露	部分有岩浆岩出露
富矿围岩的变质程度	多为绿片岩相变质，少量的可达低角闪岩相变质，中等变形	浅变质或未变质
矿化类型	脉状、角砾状和浸染状	微细浸染状矿化
蚀变特征	硫化、绢云母化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化等	去碳酸盐化、硫化、硅化（似碧玉岩化）和泥化
矿物组合	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	黄铁矿、雄黄、雄黄、辉锐矿
金的赋存状态	可见金，显微金	主要以不可见金赋存于含砷黄铁矿中
成矿元素组合	Au-As-Sb	Au-As-Sb-Hg-Tl
流体包裹体特征	富含 CO ₂ 的流体	水盐溶液包裹体为主，可有含 CO ₂
成矿流体物理化学条件	不同矿床温度变化范围大（200-650），中低度，还原性、近中性流体	中低温（180-240）、低盐度（4-6）、还原性 pH<5
成矿深度/km	2-20	小于 3
成矿机制	流体沸腾、流体不混溶和水岩反应	水-岩反应

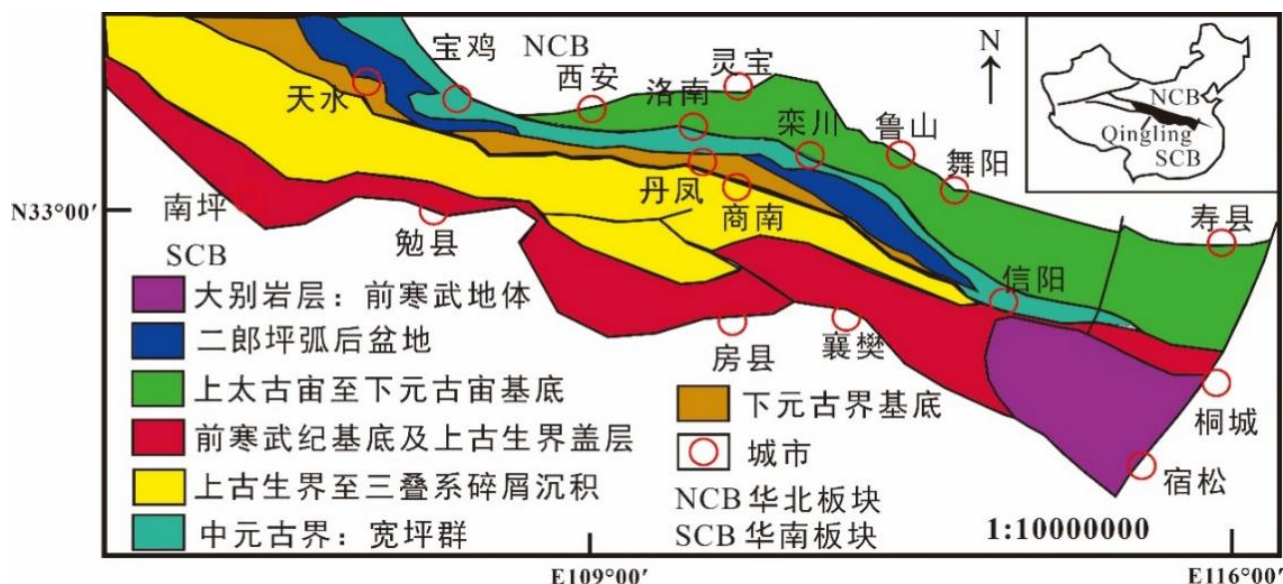


图1 秦岭造山带构造简图

1.2 区域地层与岩浆作用

华北地块南缘是秦岭造山带逆冲断裂褶皱带, 研究区出露地层有太华群结晶基底, 是一组中-高级变质序列的基性-中酸性火山沉积变质岩系, 主要由英云闪长质-奥长花岗质-花岗闪长质 (TTG) 片麻岩和斜长角闪岩组成。出露中新元古代的熊耳群、汝阳群^[1,30,46,49]。中元古界熊耳群为一套中基性-中酸性双峰式火山岩夹海陆相碎屑沉积的火山沉积岩系, 呈角度不整合覆盖于太华群结晶基底之上, 是华北克拉通南缘最主要的盖层岩系^[12,43,50-52]。燕山期的花岗质岩浆源区主要为古老下地壳, 基底太华群和熊耳群在幔源玄武岩浆底侵过程中部分熔融形成, 有少量幔源组分参与。华北陆块南缘经历三次伸展构造旋回, 分别是中元古代华北东部陆块和西部陆块碰撞拼合后的拉伸事件^[12,39,45]。

地层发育经历六大时期: (1) 太古代-古元古代: 除华北地块南缘有少量早元古代浅变质陆缘滨海碎屑岩建造外, 其余都是片麻岩、混合岩、变粒岩等, 以一套表壳岩为主。(2) 中元古代-晚元古代早期: 地层空间分布具二分性, 前者由下部陆缘碎屑岩和中上部为碳酸盐岩组成, 后者平行于北秦岭呈 NWW-EW 走向。地层由陆壳裂解-扩张, 发育弧、盆系建造混杂一体的古活动陆缘型建造组成。

(3) 元古代晚期-志留纪: 地层种类多样, 层序完整, 由商丹洋、秦岭古岛弧和其北侧的弧后盆地组

成。早期以裂解扩张为主, 形成洋盆, 晚期以俯冲汇聚为主, 构成沟、弧、盆体系, 发育一套基性、中基性, 中酸性沉积-火山岩系。(4) 泥盆纪-中三叠世: 华北地区晚奥陶世上升成陆, 上石炭统、下二叠统为海陆交替相砂泥质岩夹煤层。中上二叠统, 下中三叠统为河湖相杂色砂泥质岩。(5) 晚三叠世-白垩纪: 由特提斯和西太平洋控制, 在 NNE 隆起带和沉降带中, 海水退出后由晚三叠世开始转为陆相盆地。(6) 古近纪-至今: 晚三叠世-白垩纪, 发生构造反转造就现代地势地貌大格局。在现代陕北被黄土覆盖, 秦岭-巴山不断隆起, 地势为南北高中间低。秦岭由大小不同的掀斜块体群组成, 沿块体边界分布有掀斜式盆地^[21,30,39-48]。

1.2.1 结晶基底与沉积盖层

金矿床产出位置常与矿源层所在地一致, 在秦岭造山带有几种金矿来源的地层: (1) 变质地层 (太华群变质火山岩)。(2) 官道口群和栾川群 (陆-陆碰撞的造山作用, 俯冲到熊耳地体之下的官道口群和栾川群发生变质脱水, 萃取成矿物质形成金矿床)。(3) 燕山期花岗岩类侵入体 (形成时间早于金成矿时间, 且侵入体与金矿床大多存在 2~10 km 距离, 空间关系并不密切)。(4) 地幔 (岩墙本身金含量很低, 不能为华北克拉通大规模的金矿化提供物质来源^[12,15,18,53-55]。小秦岭地区太华群变质岩的原岩为岩浆岩。从远离矿体到靠近矿体, 变质岩

Au、Ag、Cu、Pb 和 Zn 等成矿元素的丰度明显升高,表明岩石的蚀变作用使成矿元素明显富集。黑云斜长片麻岩和斜长角闪片麻岩与含金矿石具有相似的 REE 分布模式,金的富集与成矿主要与此类变质岩中金的活化、迁移及富集有关。太华群变质岩系含金量变化于 $0.14 \times 10^{-9} \sim 69.7 \times 10^{-9}$, 均值 12.01×10^{-9} , 高于华北板块陆壳金丰度 1.0×10^{-9} 和金的克拉克值 3.0×10^{-9} [12,15,36,43,56], 因此可推断太华群为金矿的矿源层。

1.2.2 岩浆作用特征

侏罗纪至白垩纪的构造事件及其构造变形、岩浆作用和成矿作用统称为燕山构造运动,是秦岭造山带最重要的构造-岩浆-成矿事件[57]。华北克拉通南缘区域内岩浆岩十分发育,且岩浆岩具有时代跨度较大,种类多及成因较多的特征。根据区域内岩浆岩形成的时代大致可划分为:太古代、古元古代、早中生代、晚中生代四个不同的岩浆构造旋回

[24,28-29,58-60]。秦岭造山带内花岗岩类岩浆活动强烈,分布广泛。具有多期次、多阶段的特点。(1)加里东早期分布于安康岩区北部,岩性为白岗岩。(2)加里东晚期分布于商丹岩区,岩性为混合花岗岩、混合二长花岗岩。(3)华力西期分布于宁陕岩区勉略地带-斜长花岗岩、二长花岗岩。(4)印支期花岗岩类岩浆活动最强烈,出露面积最大,分布于太白岩区、商丹岩区、宁陕岩区,以大岩基形式产出。岩性为二长花岗岩、闪长花岗岩、花岗岩、混合花岗岩。(5)燕山早期第一阶段花岗岩体分布在洛华岩区,其次为太白岩区-二长花岗岩、闪长花岗岩、花岗岩、少量的角闪二长岩、石英闪长岩。第二阶段花岗岩岩浆作用表现为地幔分异成因的中酸性小侵入体成群出现,分布于洛华岩区、安康岩区的柞山地区、太白岩区的闪长玢岩、闪长岩、石英闪长玢岩、闪长花岗斑岩、花岗斑岩、石英二长斑岩、石英二长岩、二长花岗岩[15,18,47,61-63] (图2)。

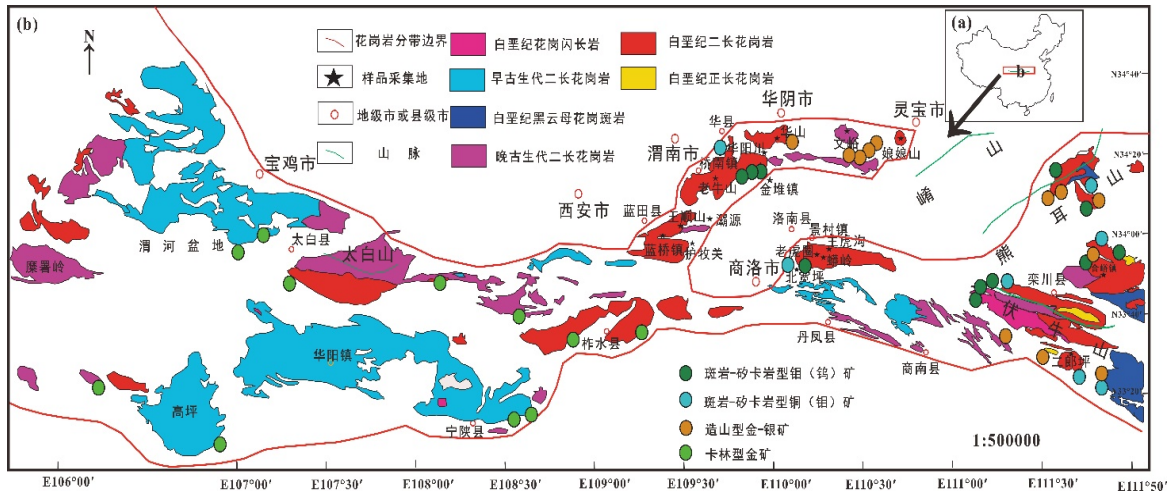


图2 秦岭造山带金-铜矿产资源与花岗岩分布图

秦岭造山带主要的典型剖面有(1)老牛山杂岩位于小秦岭西南部,为大花岗岩基,岩体北东-南西展布,出露面积 450 km^2 。老牛山岩体位于太华群和熊耳群,见太华群变质岩捕虏体。(2)磨沟岩体位于外方山,岩体呈椭圆形,长约 6.8 km ,宽 $2 \sim 3 \text{ km}$,出露面积为 15 km^2 。岩体由霓辉正长岩,正长岩以及少量似斑状正长岩构成。(3)牧户关岩体位于牧户关镇,岩体沿洛南-栾川断裂东西向展布,出露面积大于 250 km^2 。岩体由二长花岗岩、黑云母花岗岩、花岗闪长岩组成。(4)蓝田岩体位于陕西

蓝田县,栾川断裂以北,岩体沿断裂呈东西向展布,出露面积 150 km^2 。(5)华山岩体出露于陕西华阴县南部,岩体呈东西向展布,出露面积为 130 km^2 。华山岩体侵入太华群变质岩和熊耳群火山岩。(6)文峪岩体出露于河南文峪地区,出露面积 70 km^2 。岩体呈长轴椭圆状,长轴近东西向展布。(7)娘娘山岩体位于灵湖市东部,呈椭圆状侵入太要-故县断裂和巡马道-小河断裂之间的太华群变质岩中,岩体面积 33 km^2 。(8)花山岩体位于熊耳山地区中部,侵入于太华群变质岩中,岩体主要由花山、蒿坪沟、

金山庙组成,出露面积为 280 km²。(9)合峪岩体位于熊耳山合峪,岩体沿西北方向分布,岩体出露面积 800 km²,为华北克拉通南缘出露面积最大的岩基,合峪岩体为多期次岩浆侵入形成的复式岩基。

(10)五丈山岩体位于熊耳山地区嵩县西北部,沿北西向分布,侵入太华群变质岩和熊耳群火山岩中,出露面积 60 km²。

2 研究方法

金矿床的研究利用流体包裹体地球化学、元素富集系数计算等方法得到了金矿体具有明显的成带分布特征,与矿源层关系密切。Au 等成矿元素首先在地层沉积成岩过程中先进行预富集,之后随着构造作用的影响及成矿热液的加入使 Au 等元素再次活化、迁移,最终在有利成矿的位置聚集成矿^[2,64-69]。在小秦岭地区前人研究利用黄铁矿微区原位、H-O-S-Pb 同位素、Re-Os 同位素等时线、金红石年代学、激光拉曼光谱分析、独居石年代学、微区原位、BSE 等方式,得到了与金矿共生的上 Te-Bi 矿,碲化物型金矿床研究现状,矿物共生组合现象,受晚中生代岩浆-热液事件叠加作用影响的结果。厘定了成矿流体为低盐度富 CO₂ 流体,发生于中温热液作用、中压环境;成矿流体的扩容减压和大气降水混染是矿质沉淀的原因^[7,49,70-75],具体研究方法见表 3。

3 典型矿床特征时空分布规律

基于前述研究方法,本节系统梳理了秦岭造山带典型金矿床的时空分布特征。秦岭造山带各金矿类型在不同构造单元中,表现出金矿床在西部发育集中,东部相对较少的特点(图 3)。华北板块南缘金矿集区,自小秦岭-熊耳山-鲁山-舞阳,金矿逐渐减少;南秦岭地块金矿集中区,自西秦岭(西成-岷礼)-中秦岭(凤太-板沙)-东秦岭(山柞-镇旬),金矿数量及储量均明显减少(表 4)。造成两大金矿集中区东西差异的主要原因,与两构造单元地壳厚度或盆地沉积厚度及发育程度有关。小秦岭与熊耳山金矿发育,地壳厚度约 42 km,舞阳金矿较少,地壳厚度在 42 km 以下。西秦岭金矿较多,盆地范围广阔且封闭较晚,东秦岭金矿较少,盆地面积较小^[53,76-80]。陕甘川地区是中国重要的卡林-类卡林型金矿集中区,金主要产于南秦岭泥盆系和三叠系碳酸盐岩-碎屑岩建造中,包括寨上、阳山及金龙山等代表性超大型和规模不等的金矿^[2,10,81-82]。秦岭地

区矿产呈水平或垂直分布的规律性变化,垂直方向上可在大岩体顶部形成 W-Mo 等热液矿床^[4,53,80,83-84]。

3.1 东-北秦岭

东秦岭是秦岭造山带的重要组成部分,中生代造山型金矿床广泛分布,以东秦岭崤山、东闯和槐树坪金矿床作为主要研究对象^[8,18,50,85-87]。典型的金矿床成矿阶段可划分为石英-黄铁矿、石英-多金属硫化物和石英-碳酸盐阶段。东秦岭中生代造山型金矿床主要有三叠纪(250~200 Ma)和晚侏罗世-早白垩世(160~100 Ma),前者成矿为华北克拉通与扬子克拉通陆陆碰撞挤压-伸展环境,后者为古太平洋板块向华北克拉通南缘持续俯冲环境^[8,44,47,74,57-58,88-90]。崤山金矿、东闯金矿、槐树坪金矿主要赋存于太古界太华群、中元古界长城系熊耳群地层中,岩性主要为太华群片麻状奥长花岗岩、太华群斜长角闪岩及熊耳群低变质安山岩、英安岩等,赋矿围岩呈现多样性特征^[12,18,42,91-93]。

3.1.1 小秦岭-大湖

小秦岭位于陕西省渭南市潼关县以南,商洛市洛南县以北,西起华阴罗敷河东至灵宝。典型剖面有东闯、文峪、华山、大湖、祁雨沟、上宫、北岭、桐沟、康山、东桐峪等^[6,8,18,54-55,59,86-88,93-100]。上宫金矿是中国东部秦岭成矿带中生代最大的造山型金矿床之一。巡马道断裂对研究区内元素富集具有一定的控制作用。在成矿期前,巡马道断裂是岩浆热液上升的运移通道;在成矿期,巡马道断裂及其次级断裂为金矿的产生提供储矿空间;在成矿期后,巡马道断裂对金矿的影响较小^[57,60,98,101]。小秦岭地区主要为中元古代和中生代岩浆岩侵入,元古代为小河花岗岩、桂家略岩体,分布于巡马道断裂周边;中生代主要以燕山期中酸性岩浆岩为主,出露老牛山岩体、华山岩体、文峪岩体、娘娘山岩体。此外,巡马道断裂南侧分布一些中元古界侵入岩,产状多样,主要为岩株和小岩脉,岩性主要为黑云母花岗岩^[6,18,60,98,95-96]。小秦岭地区是在印支期开始发成矿作用,主要形成了金钼矿,在燕山中晚期,秦岭的陆内造山运动影响下使得小秦岭区受到严重的改造和破坏,发生大规模成矿事件^[29,37,54,102]。此外还有一部分规模较小的矿床(崤山、东闯、槐树坪、东桐峪等),基本特征见表 4。

表 3 秦岭造山带金矿研究方法总结

矿床名称	研究方式	研究对象	文献来源
北秦岭西段所有矿床	电子探针、全岩微量、C-H-O-S 同位素	黄铁矿、毒砂、石英、金属硫化物	[11]
秦岭造山带不同类型热液金矿	流体包裹体测温、激光拉曼	流体包裹体、岩石薄片	[103]
西秦岭金钨矿床	发射光谱法、极谱法、原子荧光法等	白钨矿脉体	[65]
小秦岭金矿田	流体包裹体测温、激光拉曼、盐度测定、石英包裹体	石英脉、金矿石	[86]
金龙山矿床	流体包裹体气液成分测定、C-H-O-S-Pb-Sr 同位素	金矿石中流体包裹体、黄铁矿、方解石、铁白云石	[53]
南秦岭铅锌矿-金矿-汞锑矿带	铅同位素	金矿、铅锌矿、岩体普通铅	[77]
西秦岭造山带天子山铜金矿床	主微量元素、锆石测年、锆石微量	二长花岗岩	[82]
小秦岭杨砦峪金矿	C-H-O 同位素	脉矿（石英、方解石）、包裹体	[16]
小秦岭	^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学	糜棱岩中的黑云母	[19]
小秦岭大湖	流体包裹体岩相学、激光拉曼成分分析和冷热台测温	含矿石英脉	[99]
西秦岭天子坪金矿	锆石测年	含金石英脉中的热液锆石	[84]
小秦岭杨砦峪金矿	包裹体岩相学、显微测温及激光拉曼、C-H-O-Pb-S 同位素	石英岩、方解石包裹体、黄铁矿、方铅矿	[104]
小秦岭桐沟金矿	原位微区 LA-ICP-MS 微量元素、原位 S 同位素、电子探针	黄铁矿、硫化物、含金石英脉、碲铋矿	[54]
东秦岭崮山-东闯和槐树坪金矿	流体包裹体测温、C-H-O-S 同位素、Re-Os 同位素定年	黄铁矿、石英流体包裹体	[8]
小秦岭康山金多金属矿床	热液独居石测年、单矿物微区、S 同位素	黄铁矿	[100]
小秦岭东桐峪、祁雨沟金矿	测年、单矿物微量、O-S-Pb 同位素、包裹体分析	独居石、角砾岩、黄铁矿、石英	[55]
小秦岭金矿区华山和文峪花岗岩	磷灰石中锰离子价态和锆石钛	锆石、磷灰石计算	[96]
西秦岭矿集区	微量元素	野外特征观察，含矿岩石-花岗岩等	[113]
小秦岭太华群蚀变金矿	全岩主微量、单矿物电子探针	黑云斜长片麻岩和斜长角闪片麻岩	[12]
南秦岭金矿带	S-Pb-Zn-H-O-C 同位素、测年、绢云母 Ar-Ar 测年、流体包裹体	石英脉、金矿围岩、铁白云石、方解石、锆石	[135]
熊耳山祁雨沟金矿	锆石测年、全岩 O-S-Pb 同位素、辉钼矿 Re-Os 定年、绢云母 Ar-Ar 测年	石英斑岩、角闪二长花岗岩	[59]
熊耳山太华群	锆石测年、S-Pb 同位素	片麻状二长花岗岩和变辉绿岩	[93]
凤县庞家河金矿	矿物标型特征、电子探针、结晶温度	黄铁矿	[121]
小秦岭镰子沟金矿床	C-H-S-Ar-Pb 同位素	黄铁矿、石英包裹体、含金硫化物	[13]

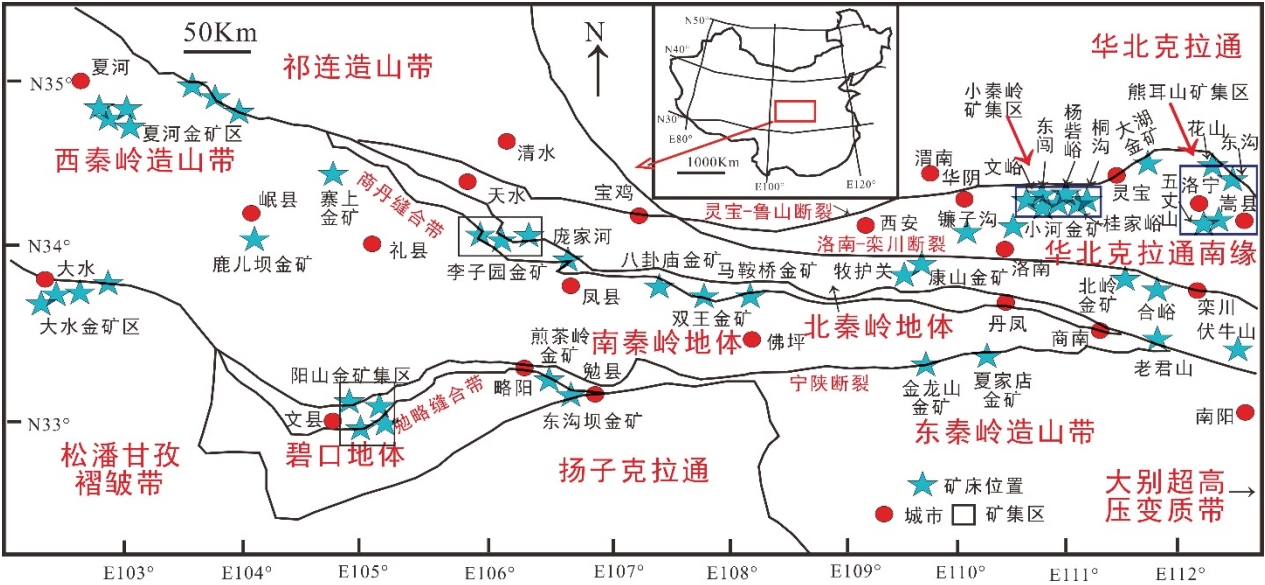


图 3 秦岭造山带金矿床分布典型剖面图

表 4 秦岭造山带典型金矿床特征总结

位置	马 鞍 桥	寨 上	上 宫	祁 雨 沟	铍 厂 沟
剖面地点	陕西省周至县	甘肃省西和县岷县	河南省洛宁县	河南省嵩县城关镇陶村	陕西省略阳县郭镇
经纬度	107°58'10"E33°50'23"N	34°31'51"N, 104°12'54"E	34°08'40"N, 110°31'00"E	34°20'40"N, 110°51'00"E	33°18'30"N, 105°46'00"E
形成时代	120Ma (锆石 U-Pb)	144Ma (方解石 Sm-Nd)	242–222Ma、165Ma、 113Ma	128.6Ma (锆石 U-Pb)	218-195Ma
岩浆岩类型	二长花岗岩	二长花岗岩	花岗岩、正长斑岩、	斑状花岗闪长岩	蚀变细碧岩
构造演化	韧性剪切带	北西向断裂	NE 向断裂，倾向北西 碰撞后伸展环境	角砾岩构造和断裂构造	近东西向逆冲断层和韧性剪切带
矿床类型	造山-卡林型	卡林型	热液型	斑岩型	造山型
基底岩性	罗汉寺群晚奥陶世-早志留世弧前沉积序列	太古宙碎屑岩和下伏围岩，来自深部，与岩浆活动有关	元古界安山岩属熊耳群	角砾岩中含有早前寒武纪基底岩系（混合岩、片麻岩、斜长角闪岩）古元古代熊耳群火山岩岩屑中中生代花岗岩岩石	石英砂岩、泥质粉砂岩、含碳泥质粉砂岩组成的基质以
控矿岩体	上泥盆统桐峪寺组浅变质细碎屑岩	薄层灰岩、钙质板岩、粉砂质板岩	熊耳群的安山岩和玄武安山岩	隐爆角砾岩筒	灰岩、细碧岩和凝灰质绢云千枚岩
围岩蚀变	硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化	硅化，以及碳质、黄铁矿、辉锑矿、重晶石	硅化、绢云母化、碳酸岩化、黄铁矿化	硅化、钾化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化	黄铁矿化、碳酸盐化、硅化、绢云母化、钠长石化
矿石组合	石英、方解石、铁白云石、绢云母、绿泥石	自然金、毒砂、辉锑矿、黄铁矿、黄铜矿、铜蓝	黄铁矿、石英、黄铜矿、铁白云石	主要矿物为黄铁矿、自然金和电气石，次要矿物为黄铜矿、方铅矿、辉钼矿和碲化物	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿及自然金
脉体特征	金石英脉、石英脉为顺层或沿千枚理发育的石英细脉	石英、斜长石白云母、绢云母、方解石	石英-黄铁矿细脉	石英斑岩脉	石英、铁白云石、白云石、绢云母
矿体规模/m	长几十米到上百米，厚几米到十几	长约 7200m，宽 800~1000m	长 365-860、厚 1.4-2.8	0.01-0.03km2，深度大于 660m	断续展布长度为 230m，长度为 135m。矿体整体厚度为 3~5m
元素组合	Au-Ag-As	Au-Pb-Cu	Au-Ag-Pb	Au-Ag-Cu	Au-Cu-Mo
金储量 t/品位%	23.7 万吨，4.5g/t	30t，6.9g/tAu	29t6.9g/t	40t，2.15g/t	10 万 t，4.5g/t
资料来源	[27，80，132，135]	[78，113]	[76，85，88]	[55，59，76，85，97]	[53，78，142，143，144]

(续)

位置	八卦庙	金龙山	双王	东闯	文峪
剖面地点	宝鸡市凤县西-二凤县-太白山	镇安-旬阳	奉贤-镇安断层	河南省灵宝市豫灵镇	河南灵宝
经纬度	E106°55', N33°54'	33°48'57"N, 109°36'51"E	33°50'50"N, 107°10'36"E	34°24'15"N, 110°26'35"E	N34°29'52.86", E110°25'55.47"
形成时代	209Ma (锆石 U-Pb)	190-170Ma	202Ma ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	150Ma	138Ma 绢云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar
岩浆岩类型	上泥盆统星红铺组浅变质泥质碎屑岩和碳酸盐岩	花岗斑岩	中粗粒二长花岗岩	黑云二长花岗岩	斑状钾长花岗岩
构造演化	受脆韧性剪切带控制, 总体走向 NWW	EW-NW-NE-SN 向韧性-脆性剪切带	北西向断裂	东西向转换挤压断裂控制	EW-NNE 向展布的断裂构造; 侵入接触结构
矿床类型	造山型	卡林型	造山型	造山型	造山型
基底岩性	泥盆系绿片岩相变质碎屑岩	上泥盆统南羊山组	碎屑岩热水沉积建造	太古界太华群变质杂岩	太古界-古元古界太华组
控矿岩体	热水沉积凝灰岩	灰岩、砂屑灰岩、含泥质粉砂质灰岩、粉砂质页岩、钙质板岩	隐爆角砾岩筒	太华群斜长角闪岩	花岗斑岩
围岩蚀变	硅化、辉锑矿化、黄铁矿化、重晶石化	黄铁矿化, 绢云母化, 钾长石化, 硅化	硅化、钾化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化	硅化、黄黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、黑云母化、钾长石化	硅化、钾化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化
矿石组合	酸性钠长岩脉、花岗斑岩脉和闪长玢岩脉	石英, 黄铁矿、闪锌矿、显微金	自然金、黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、砷黝铜矿、毒砂、赤铁矿、磁铁矿	自然金、银金矿、碲金银矿、黄铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿	黄铁矿和自然金。其他从属种有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿, 局部为辉钼矿和白钨矿
脉体特征	脉石矿物为石英、绢云母、铁白云石	含砷黄铁矿	煌斑岩脉和石英钠长岩脉	脉状	石英、方解石
矿体规模/m	500m 长, 1.8-t22m 宽, 200-m 深	约 10km	全长 11.5Km	1300 米高, 4km, 宽 3km, 矿区面 12km ²	100-2000m 长, 0.5-1.5m 厚, upto 1km 宽
元素组合	Au-Ag-As	Au-Ag-Pb-Te-W	Au-Ag-Cu	Au-Ag-Pb-Te	Au-Mo-W
金的储量 t/品位%	50-106t, 2-6Ppm1.56g/t	80t, 1-3ppm	80t, 1.0g/t	27.6tAu	32.7t, 7.65g/t
资料来源	[78, 85, 122, 133, 135, 139]	[78, 129, 149]	[76, 83, 85, 113, 130]	[8, 85]	[18, 85, 95]

(续)

位置	大湖	北岭	崆山-申家窑	李子园	阳山
剖面地点	小秦岭矿省北矿带五里村背斜	河南省栾川	河南省三门峡市陕县	甘肃省李子镇	甘肃省陇南市文县
经纬度	34°23'50"N, 110°36'29"E	34°03'05"N, 110°30'18"E	34°56'05"N, 111°37'18"E	34°12'31.4"N, 105°55'35.8"E	E104°40'10", N33°02'58"
形成时代	223Ma 辉钼矿 Re-Os	292Ma ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	156Ma (Ar-Ar)	229.2-206Ma 绢云母 K-Ar	210Ma
岩浆岩类型	花岗岩	花岗闪长岩株岩脉、花岗斑岩	花岗斑岩	二长花岗岩	斜长花岗斑岩、细晶岩及花岗斑岩
构造演化	韧性剪切带	北西西向/北东向断裂构造发育	北东向转换挤压断裂、东西向压性断裂	上丹缝合带向西延伸的正断层-走滑断裂	EW 向断裂, 脆性剪切带与 NE 向张扭性叠加构造
矿床类型	造山型	构造蚀变岩型	造山型	造山型	造山型
基底岩性	太华系鲁家峪组混合岩化花岗岩、片麻岩和黑云斜长片麻岩	中元古代安山岩和流纹岩	太古界太华群深变质岩系、中元古界熊耳群中基性	古元古代秦岭群	碧口群和泥盆系
控矿岩体	混合花岗岩和黑云斜长片麻岩	引爆角砾岩	太古代片麻状奥长花岗岩	变质火山岩	碎裂状碳质千枚岩、绢云母千枚岩
围岩蚀变	微斜长石、斜长石、方解石绢云母、黑云母、锂辉石、磷灰石	石英、绢云母、碳酸盐矿物、绿泥石、高岭石、重晶石	硅化, 绢云母化, 黄铁矿化及方铅矿化	长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、	硅化、硫化去碳酸盐化
矿石组合	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、斑铜矿	黄铁矿、褐铁矿、自然金、方铅矿	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、自然金	斜长角闪片岩、石英片岩	黄铁矿、毒砂等
脉体特征	石英-辉钼矿脉	石英、长石、云母、方解石	脉状、透镜状或囊状	闪长玢岩脉、煌斑岩脉	酸性脉岩破碎强烈
矿体规模/m	厚度 260 米	长约 1020m, 宽 0.15~14.64m	长 3.5km, 宽 3km, 面积 10.5km ²	13-265m 长, 0.2-2.5m 宽, 10-200m 深	长约 30km, 宽大约 3-5km
元素组合	Au-Mo-Cu-Pb	Au-Mo-Te	Au-Ag	Au-Ag-Pb	Au-As-Ag-Sb-W
金的储量 t/品位%	38t, 6.8g/t	44t, 8g/t	3.8t	3.20t, 64.5g/t	500t4.77g/t
资料来源	[85, 101]	[85, 93]	[8, 50, 85]	[17, 130, 145, 147]	[102, 109, 110, 112, 111, 113, 114]

(续)

位置	镰子沟	夏家店	杨砦峪	天子坪	槐树坪
剖面地点	陕西省洛南县驾鹿乡	陕西省山阳县城	小秦岭老鸦岔背形中段-豫陕交界	甘肃省徽县	河南嵩县大章乡
经纬度	E110°09′ 15″ , N34°21′ 45″	E110°06′ 56″ , N33°24′ 47″	E110°28′ 40″ , N34°23′ 31″	N33°45′ 20″ , E106°11′ 16″	N33°35′ 21″ , E112°24′ 16″
形成时代	128Ma 辉钼矿 Re-Os	139.64MaSm-Nd 等时线	161-124Ma (Ar-Ar)	110Ma 锆石 U-Pb	202.8Ma (Re-Os)
岩浆岩类型	黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩	岩浆岩不发育, 未见同时期岩浆岩出露, 可能存在隐伏岩体	黑云母花岗岩、花岗细晶岩、花岗伟晶岩、辉绿岩脉	二长花岗岩	花岗岩、花岗斑岩
构造演化	NE-NEE 向断裂破碎带	控矿构造为 NE 向张扭性断和近 EW 向的层间断裂	NE 向分枝背斜及 NWW 向小型褶皱	NW-SE 向的单斜构造	陡倾切层断裂和缓倾层断裂
矿床类型	热液金矿床	热液型	造山型	卡林型	构造蚀变型
基底岩性	太古宇太华群秦仓沟组深变质片麻岩系中	下寒武统黑色岩系地层和泥盆系碎屑岩中	太古宙太华群深变质片麻岩	长城纪秦岭岩群、新元古代木其滩组和早古生代李子园岩群	中元古界熊耳群
控矿岩体	花岗岩	角砾岩、碎裂岩、糜棱岩	各类混合岩和黑云斜长片麻岩	NW-SE 向的单斜构造	低变质安山岩类
围岩蚀变	钾长石化、硅化、黄铁矿化、方铅矿化	硅化、方解石化、绢云母化、高岭土化、萤石化、重晶石化	硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化	硅化、绢云母化、高岭土化、黄铁矿化、碳酸盐化	硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸盐化、高岭石化
矿石组合	黄铁矿、方铅矿, 其次为赤铁矿、黄铜矿、辉钼矿、黝铜矿	褐铁矿, 少量黄铁矿、黄铜矿、自然金	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、白钨矿	自然金、黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、黄铜矿	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、自然金、辉钼矿
脉体特征	石英脉	0.03-0.5 毫米, 分布于岩石裂隙	石英, 方解石、白云石、绢云母	碎裂石英脉型	脉状
矿体规模/m	长度 55-550m, 厚度 0.5-15m	成矿深度 0.8-26	长 6km, 最厚 20m	长 920, 深 545, 厚 1.84	6.58km ²
元素组合	Au-Mo	Au-As-Ag-Sb-V	Au-Ag-Pb-Cu-W	Au	Au
金的储量 t/品位%	23t2.3g/t	50t4.29g/t	50t4g/t	50t, 2.59g/t	4.27g/t
资料来源	[13, 115, 117, 118]	[135138, 141]	[16, 18]	[82, 84]	[8]

(续)

位置	桐沟	东桐峪	左家庄(三台山)	煎茶岭	铜厂
剖面地点	陕西省商洛市洛南县桐沟	陕西省潼关县东桐峪镇	陕西凤县	陕西省汉中市略阳县	略阳县
经纬度	N34°25′ 21.86″ , E110°34′ 16.47″	110°20′34″E, 34°27′00″N	E106°30′ 45″N33°58′5″	N33°34′.86, E106°16′3.47″	东经 101°04′, 北纬 37°47′
形成时代	128Ma	127.1Ma 绢云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	248Ma	/	/
岩浆岩类型	花岗伟晶岩、辉绿岩	燕山期花岗岩	花岗斑岩	蛇纹岩等超基性岩	英云闪长岩、花岗闪长岩
构造演化	近东西向断裂为主	受脆-韧性构造控制	东西向剪切构造	压扭性断裂构造及次级 紧闭线型褶皱	东西向区域性断裂控制, 断层地貌显示为沟谷
矿床类型	热液型	造山型	造山型	与超基性岩有关的构造 蚀变岩型金矿床	与中酸性侵入岩浆活动 有关的岩浆热改造矿床
基底岩性	新太古界太华群枪马峪 组深变质岩	太古代-古元古代太华 群变质岩	前泥盆系强变形变质碎 屑岩	渔洞子变质岩群, 超基 性岩体北缘与震旦系白 云岩接触带	基底拼合构造带, 细碧 角斑岩建造, 中酸性岩 浆岩及热蚀变岩
控矿岩体	黑云母斜长片麻岩、斜 长角闪岩	糜棱岩	中粒似斑状黑云母二长 花岗岩	花岗斑岩	花岗闪长岩
围岩蚀变	硅化、黄铁矿化、绢云 母化、碳酸盐化	绢云母化、黄铁矿化、 硅化	黄铁矿化、硅化、绿泥 石化、绢云母化和碳酸 盐化	硅化、碳酸盐化、滑石 化、叶蛇纹石化、络云 母化	角岩化、硅化绿帘石化、 绢云母化、硅化
矿石组合	黄铁矿、方铅矿、黄铜 矿次之、磁铁矿、闪锌 矿	黄铁矿、方铅矿、黄铜 矿、自然金、银金矿, 闪锌矿	斜长石、钾长石、黑云 母、石英/黄铁矿等, 方 铅矿、黄铜矿、闪锌矿、 斑铜矿	自然金□少量的银金矿 和自然银金属矿物主要 为褐铁矿、黄铁矿	黄铁矿、闪锌矿、方铅 矿、黄铜矿
脉体特征	糜棱岩金矿脉	含金石英脉	硫化物石英脉	含金石英脉	蚀变闪长岩、绿泥片岩 内, 金石英脉和蚀变闪 长岩
矿体规模/m	1.80 平方千米	长大于 1Km, 厚度 3 米	均厚度 2.01m	面积 30Km ²	面积 70Km ²
元素组合	Au-Ag-Te-Bi	Au	Au-Zn-Pb	Au-Ni	Au-Cu-Zn-S-Fe
金的储量 t/品位%	20t20g/t	30t1g/t	10.42g/t	2.36g/t	8.41g/t
资料来源	[8, 54]	[55]	[125]	[128]	[128]

前人对小秦岭金矿的研究集中在流体包裹体成分分析: 小秦岭金矿田南中矿带流体包裹体类型可划分为 C 型、V 型、V+L 型、型和 L 型 5 种, 而北矿带与之存在一定差异, 基本不发育 S 型包裹体; 矿田内众多矿床流体系统上关系密切, 总体表现为以中温为主的中高温热液矿床, 少存在 4 个成矿阶段, 流体性质为中-低盐度流体, 且北矿带包裹体盐度和温度跨度较南矿带更高^[86,103]。矿集区内杨砦峪

金矿的金矿脉 C-H-O 同位素研究表明: 成矿热液中的碳可能来自深部幔源, 成矿流体与高盐度的变质流体不同, 而与燕山期花岗岩岩浆期后低盐富 CO₂、H₂O 的流体相似^[16,18,104], 该矿属于岩浆热液型金矿床, 在中生代晚期华北克拉通破坏, 岩石圈发生拆沉作用导致软流圈热物质上涌与上地幔部分熔融, 为大规模成矿提供充分的热能、流体热液与成矿物质, 并使华北克拉通南缘产生伸展构造运动,

形成许多剪切裂隙,来自地幔的成矿流体上升,与浅部大气水混合,随温度压力降低富集成矿。小秦岭地区金矿床主要以大型含金石英脉的形式产出于太华群变质基底的脆性韧性剪切带中,而与区域内燕山期大型花岗岩岩基没有直接联系,矿床地质特征与造山型金矿吻合,同位素特征表明金矿床形成时有幔源物质的加入。小秦岭地区脉状金-钼矿床印支期成矿年龄(215~256 Ma, 辉钼矿 Re-Os)表明印支期是小秦岭地区金成矿的主要时期,小秦岭金矿属于陆-陆碰撞造山过程中形成的造山型金矿[12,81]。

大湖造山型金-钼矿床位于小秦岭以北,成矿具有多期多阶段特点,包括热液期和表生期。根据矿脉穿切关系、矿石矿物组成、结构构造研究,分为4个成矿阶段:石英-钾长石-辉钼矿、石英-黄铁矿-自然金、石英-多金属硫化物-自然金、石英-碳酸岩阶段[94,99,104]。大湖金钼矿床受近东西向断裂构造控制,属于断控脉状矿床,成矿流体以变质水为主,矿床主要特征与典型的造山型金矿特征相符。大湖金矿成矿时代为印支期(232~256 Ma),前人研究利用独居石定年得到了两期矿化结果:215 Ma 和 125 Ma^[101,105]。大湖金矿呈现如下特征:(1)矿床主要蚀变类型为钾长石化、黄铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化。矿脉中主要矿物组合为石英-黄铁矿等。(3)流体包裹体研究表明早、中阶段成矿流体以富二氧化碳、低盐度为特征,最大成矿压力为196 MPa,成矿深度为7.1 km,具有变质流体特点,主成矿阶段流体发生沸腾,流体性质的剧烈变化导致成矿物质沉淀。(4)同位素数据和地球化学特征表明成矿流体为变质流体,水岩反应导致同位素迁移平衡[94,99,104]。

3.1.2 熊耳山-祁雨沟-外方山

熊耳群中元古代变质火山岩为赋矿围岩。中生代花岗岩类(178~104 Ma)存在于大多数金矿区,但矿床通常赋存于前寒武纪基底岩系中,距离岩体及相关角闪岩带数十米至数十公里。崆山和熊耳山地区可能是由隆起带内的进变质作用引起的岩浆演化或变质作用的结果。在熊耳山地区较浅的浅成低温热液金矿床中,虽然有大气降水的参与,但金的成矿流体主要来自同期岩浆。熊耳山-外方山矿集区位于秦岭造山带之华北板块南缘,经历了复杂的碰撞

造山过程,成矿时间跨度大,成矿强度高,成矿作用多样。是秦岭造山带东段仅次于小秦岭的金矿集区^[91,106]。矿区主要发育金-钼矿床:造山型 Mo 矿床(250 Ma)、斑岩型 Mo 矿床(160 Ma)、岩浆热液脉型 Mo 矿床(220 Ma)、造山型 Au 矿床(150 Ma)和岩浆热液型 Au 矿床(130 Ma) 5 个类型。熊耳山金矿分布在祁雨沟与雷门沟,成矿流体活动性较强,高氧逸度和高流体活动性对金矿形成具有重要意义,祁雨沟主要富集金钼矿;雷门沟金矿以伴生金产出^[5,16,55,85,91-93,97,106-107]。该地有两期叠加成矿作用:槐树坪金-钼矿床、祁雨沟金矿床在早白垩世先后经历斑岩型钼成矿系统、岩浆热液型金成矿系统叠加成矿,含金的隐爆角砾岩筒底部有斑岩型钼矿找矿潜力^[55,91,93,97]。祁雨沟矿田位于熊耳山的东北部,是以发育有重要经济价值的隐爆角砾岩型金矿而闻名^[59,93,97]。矿田内发现了三种不同类型的金矿化:花岗岩型金矿、隐爆角砾岩型金矿和脉状金矿。祁雨沟矿田出露的侵入岩主要有石英斑岩脉、角闪二长花岗岩体和角闪二长花岗斑岩脉。这些花岗岩以东北向或者北西向的脉体或者是岩株的形式侵入到太华群片麻岩中。该地区的成矿模式为:在158 Ma期间,岩构造薄弱带侵入石英斑岩脉,在早白垩世(130 Ma)富集岩石圈地幔部分熔融,形成了角闪二长花岗岩。之后经历蚀变过程,最终形成含金矿花岗岩^[5]。

3.1.3 阳山-镰子沟-庞家河-双王-寨上

阳山金矿床位于甘肃省陇南市文县,是秦岭少数大型金矿之一。阳山金矿带中斜长花岗斑岩脉为控矿岩体,通过对斜长花岗斑岩元素地球化学、同位素示踪以及成岩成矿年代学等手段,研究阳山金矿床中花岗岩成因,并探讨岩浆岩与金成矿关系:阳山金矿形成于220~180 Ma,此时印支晚期岩浆活动强烈,花岗岩大规模发育,来自地幔的流体进入地层,高温使深部的变质流体和地层中的海相碳酸盐受热分解,产生大量有机碳加入成矿流体,致使围岩压力较大,流体系统相对封闭,流体萃取周围岩群、三河口群地层中的成矿物质^[14,102,108-112]。阳山金矿形成原因:在晚三叠世,华北板块与扬子板块的挤压碰撞向伸展转换的构造背景下,源于富 Au 的碧口群部分熔融形成的岩浆上升过程中,受泥盆系三河口组地层混染。当岩浆上升到地壳浅部

时, 由于压力下降和岩浆结晶, 造成岩浆中挥发分溶解度减小, 逐渐导致 Au 过饱和并出溶, 从岩浆中析出, 形成了分布于花岗斑岩和泥盆系地层中的金矿体。前人研究对比了贫矿和富矿岩石地球化学差异: 花岗斑岩脉 Au-As-Ag-Sb-W 含量偏高, 与岩浆期后热液叠加交代作用相关^[14,102,109,110-114]。

镰子沟金矿床位于华北陆块南缘小秦岭金矿集区西部, 矿体赋存于太华群上部, 受断裂构造和石英脉控制, 带状钾长石化是矿床典型的围岩蚀变类型, 矿物组合为石英-黄铁矿-方铅矿-黄铜矿-重晶石-磁铁矿^[115-117]。前人用 S 同位素分析不同成矿阶段的矿物(钾长石、黄铁矿、黄铜矿、重晶石)表明太华群不是硫化物的主要来源, 金矿床成矿与深部流体或隐伏岩体有关, 是晚中生代区域性伸展背景下岩石圈大规模减薄背景下的产物; 矿床成因为构造-钾质蚀变岩型金矿床^[115-118]。H-O 同位素分析表明, 成矿流体具有岩浆水和大气降水混合的特征; S 同位素组成显示矿石硫明显富集轻硫, 成矿过程中硫同位素分馏作用有关。矿石 Pb 同位素组成较为稳定, 矿石中铅的来源主要为太华群^[116,118]。

双王金矿为中生代花岗质的侵入体, 代表性岩体为西坝复式花岗岩体, 西坝岩体以中细粒二长花岗岩为主^[90,113,119]。寨上金矿伴生铜矿-铅锌矿等, 详细矿床特征见表 4。庞家河金矿处于商丹结合带中部, 属于秦岭-大别成矿省北秦岭成矿带天水-唐藏-蟒岭金及多金属成矿亚带^[107,120-121], 利用黄铁矿标型特征得到金矿可初步划分为浅成中低温热液金矿, 成矿热液应主要来自于秦岭地区印支期强烈造山变质作用, 金的赋存状态以晶格金为主, 含少量自然金包裹体。

寨上金矿床位于秦岭西段民-利成矿带西段, 在卓罗-扎马树斜长岩带内, 属区域性脆性-韧性剪切带。地球化学、稳定同位素组成及流体包裹体特征研究表明, 成矿热液来源于受大气降水补给的热循环地下水, 富含无机物, 混入了与岩浆活动有关的深源流体。构造热效应和地温梯度是激活和驱动流体的两个主要因素。泥盆纪和二叠纪含金量较高的碳质页岩地层为金的预富集和成矿流体与沉积盆地岩石之间的物质交换奠定了基础。构造变形不仅为成矿提供了热源, 为后期成矿提供了大量的适宜空间。成矿流体在与盆地沉积物发生充分的物质交换

后, 向构造变形带运移, 同时由于各种流体的混合和压力的突然下降, 使金属硫化物沉淀富集, 导致寨上金矿床中自然金的沉淀^[78]。

3.1.4 凤太矿集区

凤县-太白矿集区位于东-西秦岭造山带东部, 是秦岭铅锌等多金属成矿带的组成部分。矿集区内已探明八卦庙超大型金矿床、双王大型金矿床和丝毛岭等多处小型金矿床。金储量超过 200 吨, 铅锌矿等金属储量 500 多万吨^[19,90,119,123-124]。区内金矿床主成矿年龄为 220 ~ 170 Ma, 属晚印支期, 主成矿期后叠加燕山期构造热液。空间上金矿带与铅锌矿带呈平行展布, 金矿与韧性构造关系密切, 显示构造边界对金矿带的控制, 具有继承性特征的脆韧性剪切带为含矿构造, NNE 向与近东西向断裂的复合是金矿富集的主要构造特征, 凤太矿集区铅锌金矿床是多种成矿作用叠加改造形成的, 早期泥盆纪热水沉积预富集形成矿, 晚期印支-燕山期脆韧性变形-岩浆热液作用富集形成工业矿床^[122,124-125]。左家庄金矿位于西秦岭凤太矿集区西北角的何家庄岩体西端南侧与上石炭统侵入接触的内接触带。矿体受构造与岩体双重控制, 主要发育于东西向构造内充填的石英脉中。区内中粒二长花岗岩与粉砂质绢云板岩接触带是金矿化的有利部位^[125](表 5)。

3.1.5 勉略宁“三角”地区

勉县-略阳-宁强县地区位于陕、甘、川三省相邻处, 区内有煎茶岭金矿床、铜厂铜矿床、李家沟金矿床、东沟坝 Pb-Zn-Au-Ag 多金属块状硫化物矿床等^[53,106,126]。中部成矿带有东皇沟、旧房梁多金属硫化物矿床。地球化学特征分析表明: 铜厂铜矿床成矿物质来自上元古宙碧口岩群海相火山岩, 经过海西期岩浆作用, 特别是印支-燕山期构造改造作用形成的岩浆-构造叠加改造^[127-128]。北部成矿带的煎茶岭金矿、金洞子金矿的地球化学特征表明: 前者成矿物质来自煎茶岭超基性岩, 岩体在活动的韧-脆性断裂构造改造下发生蚀变, 使岩体中成矿元素活化、迁移, 形成成矿流体而就位于岩体^[127,129]。南部成矿带的李家沟金矿床及其外围 Cu-Au 矿化点的地球化学特征研究表明: 成矿元素来自基底大安岩群及辉绿岩、钠长岩、钠长斑岩, 成矿受勉县-阳平关边界断裂旁次级断裂的多期活动产生的岩浆-构造-热液控制, 特别是印支-燕山期构造活动对矿带的形成起

到决定作用^[127-128]。勉略宁地块是由基底和盖层组成,以及不同时期、环境条件下的岩浆岩及构造带组成。基底部分主要由新太古宙鱼洞子岩群结晶基底和早中元古宙大安岩群、何家岩岩群、中晚元古宙碧口岩群基底组成,盖层由震旦系及泥盆、石炭系组成。

3.2 西-南秦岭

西秦岭为秦岭多金属成矿带的重要组成部分,发现李坝金矿、温泉钼矿、柞水金矿、阳山金矿等大型矿床,这些矿床的形成与岩体或岩脉具有密切的空间关系^[65,77,83,102,130-131]。西秦岭金矿床为卡林型和造山型两类。卡林型金矿床集中在南秦岭和松潘-甘孜造山带的东北部。三叠纪和早侏罗世的同构造花岗闪长岩广泛分布于西秦岭中部和南部、松潘-甘孜盆地以及扬子克拉通边缘^[83,105,131]。造山型脉状金矿床分布于西秦岭造山带中的脆韧性剪切带内。金龙山矿床为典型卡林型金矿、双王金矿是类卡林型、造山型金矿分布广泛(李子园、八卦庙)。秦岭西段卡林型矿床的地球化学和矿物学特征与美国内华达州卡林趋势相似。拉尔玛、金龙山等金矿床多产于秦岭西段东南缘。矿床赋存于浅变质的寒武-三叠纪沉积岩中,显示出受构造和地层控制的特征。矿床为次显微和显微金-砷黄铁矿和毒砂,特征成矿元素为 Au-As-Sb 成矿流体为早期充注的地层水和晚期充注的大气降水。大气降水显著演化为环状-条带状的成矿流体,指示伸展背景,并导致浅部富铝等元素的冰水-透水岩沉积,形成浸染状矿床^[130]。

3.2.1 马鞍桥-八卦庙-夏家店

八卦庙和马鞍桥金矿位于南秦岭造山带,毗邻商丹缝合带,赋存于泥盆系变质细碎屑岩系,是受脆-韧性剪切带控制的脉状和蚀变型金矿床^[83,108,199,122,132-136]。马鞍桥和八卦庙金矿成矿特征相似:(1)矿体呈脉状、透镜状和似层状产出。(2)矿石类型为石英脉型和蚀变岩型,矿石矿物主要有黄铁矿和磁黄铁矿,脉石矿物主要有石英、方解石、铁白云石、绢云母、绿泥石和黑云母,围岩蚀变类型有硅化、硫化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化。(3)马鞍桥金矿矿化表现为石英-黄铁矿-磁黄铁矿脉和蚀变围岩中的浸染状硫化物,是主成矿阶段的产物。二者都被晚成矿阶段的钾长石-方解石-绿泥石-黄铁矿脉穿^[64,80,119,122,134,137-139]。(4)八卦庙金矿黄

铁矿-石英成矿期分为四个成矿阶段、两期热液活动:自形磁黄铁矿-黄铁矿-粗粒石英阶段、他形黄铁矿-银金矿-细粒石英阶段、他形磁黄铁矿-自然金-方解石阶段和黑云母阶段^[133,139]。

夏家店金矿床位于深大断裂附近的次级断裂内,控矿构造为 NE 向张扭性断裂和近 EW 向层间断裂,矿体赋存于下寒武统黑色岩系地层和泥盆系碎屑岩中,矿体呈似层状、板状和透镜状产出,矿石类型为角砾岩型、碎裂岩型、蚀变岩型和石英-碳酸盐-硫化物脉型,围岩蚀变特征与前者相似,均发育硅化、碳酸盐化、硫化和绢云母化。夏家店金矿床的成矿流体主要为盆地建造水和深部循环大气降水,有深部岩浆流体混入,成矿物质来自寒武系黑色岩系。水岩反应、流体混合、流体温度降低为成矿机制^[80,119,140]。该地区三个金矿床形成过程均经历了早期拉张环境,后期构造-岩浆-热液作用导致金元素活化、迁移、富集成矿(表 6)。

2.2.2 柞水-山阳矿集区

柞水-山阳矿集区是秦岭重要的矿产资源基地,以 Fe、Ag、Au 矿产为主,区内大中小型矿床广泛分布^[110,141]。金矿主要受 EW 向断裂与 NE 向张扭性叠加构造控制。矿区内岩浆活动频繁,分为新元古代、古生代和中生代 3 个时期,以中生代晚侏罗世-早白垩世侵入岩矿化蚀变作用强烈,该期岩体主要呈小岩体群分布于矿集区,具有“东西成带、南北成群”的特征,岩性主要为闪长斑岩、花岗斑岩等^[10,134]。柞-山矿集区金矿床沿山阳-凤镇断裂两侧及镇安-板岩镇断裂南侧分布,受中生代构造-岩浆活动控制,矿床带成群产于东西向构造与近南北向、北北东向构造交汇部位;金矿体多赋存于秦岭造山带俯冲-造山过程中形成的褶皱及其伴生的脆-韧性剪切构造中,后期张性断裂携带的大量热液、深部存在的岩浆活动与这些构造叠加耦合,导致矿质进一步富集就位而成矿^[135,138,141]。

2.2.3 铍厂沟-李子园

铍厂沟矿床位于秦岭造山带勉略缝合带以南 4 km。赋存于岩石中的 Au 主要分为显微金和明金两类。铍厂沟金矿与成矿有关的构造主要包括片理化、褶皱、韧性剪切带等。铍厂沟金矿床中的金属矿物种类较少,黄铁矿占主导地位。矿体的形成主要受控于印支期南秦岭增生造山过程中的俯冲-碰撞以

及走滑作用,结合前人对该矿区矿石的矿物化学研究,认为铍厂沟金矿是典型的造山型金矿[78,129,142-144]。S 同位素表明成矿流体系统的硫主要来自赋矿建造,并在流体-赋矿围岩相互作用过程中汲取了围岩中的硫,使得同位素值变化较大^[143]。李子园金矿床位于秦岭造山带西段北缘,由 5 个变质火山岩容矿点和 1 个天子山二长花岗岩容矿点组成。李子园矿区的天子山金矿出露典型二长花岗岩,具有埃达克岩性质,含金石英细脉、网脉的蚀变岩型金矿。李子园金矿床的成矿流体具有低盐度特征。构造活动可以分为四期。西秦岭地区绝大多数金矿与埃达克岩在时空分布上具有相关性,许多金矿的围岩是埃达克岩,二者可能在大体类似的温度-压力条件下形成^[82-84,145]。达克质岩浆有利于金铜成矿,可能是埃达克质岩浆水含量高、氧逸度和富硫;岩浆源区为基性岩,金铜等元素丰度高;形成的温压高,角闪石脱水熔融带来大量流体有利于对成矿元素的萃取^[17,146-147]。

3.2.4 镇旬盆地-金龙山

南秦岭镇旬盆地处于扬子地块北部被动边缘,盆地北以镇安-板岩镇区域性断裂,南界为安康区域性断裂为边界,西至宁陕岩体以东,东至武当古陆。镇旬盆地西缘大致范围为:宁陕岩体以东,旬阳汞锑金矿集区以西所控制的区域。盆地现已经发现小河、金龙山、惠家沟等多处卡林型金矿床^[148],秦岭造山的卡林型金矿较少,与美国西部的较为相似,但是也有明显差异:美国卡林型金矿形成于 40 Ma,属于大陆边缘弧后盆地金矿,秦岭卡林型金矿形成于中生代,属于碰撞造山带。本区成矿物质和成矿流体主要来自南秦岭海西-印支构造层中,形成于减压增温环境中^[53,130,149]。最近,镇旬盆地中的王庄金矿取得探矿突破:镇(安)-旬(阳)沉积盆地处于东秦岭一带是在秦岭地块独立演化过程中发展形成的^[148-149]。镇旬盆地金矿床成矿模式为:中晚泥盆纪镇旬盆地内富含陆源物质和区域大断裂、同生断裂带来的深部物质的热卤水在深水-半深水环境下沉积使 Au-Ag-As-Sb-Hg 等成矿物质聚集;经沉积压实作用形成矿源层,同时成矿流体初次形成;在印支碰撞造山作用下,造山期后的热液脉动和持续的近 SN 向挤压作用以及地热、岩浆热使由多种流体成分混合而成的渗流热卤水发生环流,对深部地层

中的 Au-Ag-As-Sb-Hg-Ba 等元素发生较强的淋滤作用;进一步的挤压,褶皱紧闭岩石破裂出现了破劈理、同生断裂使成矿流体因应力释放而迁移至开放性构造部位,使 Au 及其化合物发生沉淀、富集而成矿。

4 成矿流体特征

东秦岭造山型金矿床成矿流体主要为变质热液,少量混入岩浆水,中晚期有大量大气降水的混入,变质热液的来源为两类:深部地幔和地层建造变质脱水。其成矿物质的来源可分为两类:一类主要源于深部地幔,在成矿的过程中可能不同程度的受到地壳物质的混染,区域构造处于伸展环境时,深部地幔隆升,地壳上抬,深部的幔源流体向上运移并萃取周围地壳中的成矿物质,沿着裂隙下渗的大气降水,和初始成矿流体发生混合,造成成矿热液的物理化学条件发生骤变,矿质沉淀^[8,15,18,59]。另一类为变质流体(熊耳山地区上宫金矿床)、燕山期花岗岩热液体系(大气水参与到金沉淀的过程中)、演化的大气降水、幔源流体(文峪-东闯脉状金矿床,熊耳山地区上宫金矿以及祁雨沟爆破角砾岩型金矿)^[95,97-98]。

形成金矿的主要热液流体为造山作用产生的变质流体。地球化学特征表明:成矿流体中的造山型、卡林型和类卡林型金矿主要来源于深变质的脱挥发分反应,来源于具有显著大气降水成分的地层水,以及岩浆水和变质水的混合来源。类卡林型金矿床通常与花岗岩类矿床在空间上紧密相连。造山型金矿床成矿流体具有低盐度特征,富 CO₂,中温。流体不混溶作用是两类金矿床的共同特征,也是造山型金矿床中金和硫化物沉淀的最重要机制。成矿流体在造山伸展阶段汇聚成扩张性裂缝,物理化学条件。若环境条件低于各流体成分所需的溶浸量,流体不混溶就会发生,导致硫化物沉淀和金矿化^[78,130]。华北克拉通南缘晚中生代金矿床具有相似成矿物质和流体来源。在晚中生代受古太平洋板块西向俯冲和回撤影响,华北克拉通东部岩石圈地幔发生强烈伸展减薄作用,岩石圈地幔发生部分熔融并形成大量的中基性岩浆岩,为华北克拉通南缘金矿床提供热、流体等成矿物质,这些成矿物质随流体到达地壳浅部后在不同环境中形成了不同矿化类型的金矿床^[55]。

5 成矿模式与期次划分

金成矿模式可以分为岩浆热液模型和变质脱气模型（造山型金矿的成矿流体形成于次绿片岩相-角闪岩相的变质过程中，含水矿物破裂形成成矿流体，并萃取 Au-S 等成矿物质，经由断裂系统运移到成矿部位形成矿床）、侧向扩散模型、同生喷流沉积模型和地幔来源模型^[8]。与太平洋板块俯冲有关的造山型金矿床（矿形成于太平洋板块向华北克拉通俯冲时，

洋壳发生脱挥发分萃取 Au、S 等成矿物质，向上经地幔楔时活化的金属物质，使流体的成矿物质进一步富集，随后流体沿深大断裂向上运移成矿）。与华北克拉通破坏有关的岩浆热液矿床（太平洋板块在早白垩世向华北克拉通俯冲、滞留、后撤过程中，软流圈上涌，洋壳在地幔中滞留交代改造华北克拉通的岩石圈地幔并注入 Au、S 等成矿物质，这种富集的岩石圈地幔形成的流体与地壳作用形成金矿）。

表 5 凤太地区典型金矿床对比

对比项目	大箭沟	庞家河	庙沟
地质背景	商丹板块对接带	商丹板块对接带	商丹板块对接带
赋矿地层	丹凤群木其滩组	上泥盆下东沟组	早古生代罗汉寺岩组
含金建造及岩性	火山碎屑岩建造	浅变质细碎屑岩建造	火山碎屑岩建造
沉积环境	裂解洋盆	活动陆缘	活动陆缘盆地
矿化主岩岩性	绢云绿泥石英片岩	绢云千枚岩、粉砂岩	含碳绢云千枚岩、变粉砂岩
矿化与蚀变特征	绢云母、硅化、黄铁矿化	绢云母化、硅化黄铁矿化	绢云母化、碳酸岩化
矿石的矿物组合	黄铜矿、绢云母、闪锌矿	黄铁矿、石英、绢云母	黄铁矿、磁铁矿、石英
含金矿物	自然金	自然金、自然银	自然金、自然银
特征元素组合	Au-As-Ag-Sb	Au-As-Ag-Sb	Au-As-Ag-Sb

表 6 西秦岭典型矿床对比

对比项目	八卦庙	马鞍桥	夏家店
构造背景	造山带内挤压向伸展转换背景	造山带内挤压向伸展转换背景	挤压向伸展转换背景
控矿构造	NWW 向脆韧性剪切带、复式褶皱、断裂和节理	近 EW 脆韧性剪切带和复式褶皱，叠加后期脆性断裂	近 EW 向区域性断裂，背斜、层间断裂及 NE 向断裂
富矿地质体	泥盆系绿片岩相变质浊积岩系，铁白云质千枚岩、绢云母千枚岩等	泥盆系绿片岩相变质浊积岩系，绢云石英千枚岩、绢云绿泥千枚岩和钙质千枚岩等	寒武系硅质岩、硅质板岩和碳硅质泥岩，及泥盆系砂砾岩，变质程度较低
矿区岩浆岩	岩浆岩发育，与金成矿具有一定的时空联系	岩浆岩发育，与金成矿具有一定的时空联系	岩浆岩不发育，未见同时期岩浆岩出露，地球物理工作表明可能存在隐伏岩体
富矿围岩的变质程度	绿片岩相变质	绿片岩相变质	次绿片岩相变质
矿化类型	石英脉型和蚀变岩型	石英脉型和蚀变岩型	角砾岩型、碎裂岩型、构造蚀变岩型和石英碳酸盐脉型
蚀变特征	硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、（铁）碳酸盐化	硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、（铁）碳酸盐化	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、萤石化、绢云母化、重晶石化和泥化
矿物组合	黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂为主，少量的方铅矿、闪锌矿和黄铜矿	黄铁矿、磁黄铁矿和毒砂为主，少量的闪锌矿、方铅矿和黄铜矿	黄铁矿为主，少量的毒砂、闪锌矿、方铅矿，表生褐铁矿化
金的赋存状态	可见金，显微金	可见金，显微金	不可见金
成矿元素组合	Au-Ag-As	Au-Ag-As	Au-As-Sb-Hg-Ba-V
流体包裹体特征	富含 CO ₂ 的流体	富含 CO ₂ 的流体	水盐溶液包裹体
成矿流体物理化学条件	中温（200-300）、低盐度（0.6~13.0）、弱酸性-近中性和还原性流体	中温（260-300）、低盐度（2.2~9.1）、原性流体	中低温（160-260）、中低盐度（0.9~18.6）、近中性，还原-氧化性流体
成矿深度/km	6.75-15	7.3-12.1	0.8-2.6
成矿机制	流体不混溶/沸腾、水岩反应	流体不混溶、水岩反应	流体混合、流体温度降低和水岩反应

6 结论

本研究系统总结了秦岭造山带以金矿为主的多金属矿床研究的进展,对比了典型地区的矿床分布的地球化学特征,加之对成矿流体特征和成矿模式与期次的讨论,得到以下结论:(1)秦岭造山带金矿主要分布于东秦岭的小秦岭-熊耳山地区,西南秦岭的金矿床相较于东秦岭的含量更高。(2)秦岭造山带以造山型、热液型金矿为主,出露少量卡林型金矿。(3)金成矿时代跨度大,从侏罗至白垩均有形成。(4)金矿的形成和基底岩系具有成矿专属性,主要为太华群和熊耳群为矿源层。(5)金矿床矿化经历围岩蚀变、流体出溶等过程,在温度和压力等物化条件满足时,降温沉淀成矿。

参考文献

- [1] 王岩,王登红,王成辉等.基于地质大数据的中国金矿时空分布规律定量研究[J/OL].地学前缘:2023,1-17.
- [2] Phillips N. Formation of Gold Deposits[M]. Springer, 2022.
- [3] 姜晓辉,范宏瑞,胡芳芳等.胶东三山岛金矿中深部成矿流体对比及矿床成因[J].岩石学报,2011,27(05):
- [4] 杨晓红.陕西秦岭金属矿产的成矿条件研究[J].科技风,2013(16):149.
- [5] 吴强.华北克拉通南缘熊耳山地区晚中生代钼、金成矿关系研究—以祁雨沟金矿和雷门沟钼矿为例[D].广州:中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所),2021.
- [6] 温子豪,李胜荣,袁茂文等.小秦岭华山和文峪岩体成金潜力异同分析:来自锆石群形态标型的证据[J].地球科学与环境学报,2018,40(05):535-545.
- [7] 代军治,高菊生,钱壮志等.小秦岭镰子沟金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄和锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2019,38(08):1369-1377.
- [8] 陈晶.东秦岭中生代造山型金成矿作用[D].中国地质大学(北京),2018.
- [9] 曹根深,张宇,陈华勇.造山型金矿床黄铁矿微量元素对成矿机制的指示[J].岩石学报,2023,39(08):2330-2346.
- [10] 葛战林,顾雪祥,章永梅等.南秦岭柞水-山阳矿集区金盆梁金矿床载金硫化物矿物学特征及成矿指示[J].西北地质,2023,56(05):278-293.
- [11] 冯益民,李增庆,何世平等.北秦岭西段金矿主要控矿因素[J].河南地质,1994(04):294-303.
- [12] 赵东杰.豫西小秦岭太华群变质岩蚀变与金成矿[D].中国地质大学(北京),2018.
- [13] 王雷,刘家军,翟德高等.小秦岭镰子沟金矿床成矿物质来源与成矿过程[J].地质学报,2018,92(02):341-358.
- [14] 李璇,也尔哈那提,马万里等.甘肃文县阳山金矿成矿物质及成矿流体来源的稳定同位素约束[J].兰州大学学报(自然科学版),2021,57(01):1-7.
- [15] 王社全,徐建昌,孙保花等.幔枝构造对小秦岭金矿成矿作用的控制[J].矿产勘查,2022,13(06):721-726.
- [16] 王鹏飞,冯帆,陈书印等.小秦岭金矿田杨砦峪金矿深部矿脉碳-氢-氧同位素特征及其对成矿流体来源的制约[J].矿产与地质,2022,36(01):120-128.
- [17] 南国卫.西秦岭李子金矿控矿构造研究[D].西北大学,2017.
- [18] 王晋定,王大钊,詹小飞等.小秦岭金成矿区南矿带构造控矿规律和矿床定位样式[J].大地构造与成矿学,2018,42(06):1064-1077.
- [19] 王义天,陈绍聪,胡乔青等.陕西凤太矿集区多金属成矿作用的构造控制[J].岩石学报,2018,34(07):1959-1976.
- [20] 刘淑文.南秦岭古生代盆地演化中幕式流体成岩成矿作用研究[D].西安:长安大学,2006.
- [21] 丁丽雪,马昌前,李建威等.华北克拉通南缘蓝田和牧护关花岗岩体:LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].地球化学,2010,39(05):401-413.
- [22] 王晓霞,王涛,齐秋菊等.秦岭晚中生代花岗岩时空分布、成因演变及构造意义[J].岩石学报,2011,27(06): 1573-1593.
- [23] 段友强.华北陆块南缘碱性岩地球化学研究及其大地构造意义[D].合肥:中国科学技术大学,2016.
- [24] 吴元保.秦岭造山带古生代岩浆作用及地球动力学意义[J].地球科学,2019,44(12):4173-4177.
- [25] 张国伟,郭安林,董云鹏等.关于秦岭造山带[J].地质力学学报,2019,25(05):746-768.
- [26] 杜玉良,汤中立,蔡克勤等.秦岭—祁连造山带印支—燕山

- 期构造与大型-超大型矿床的形成关系[J].矿床地质, 2003 (01):65-71.
- [27] 朱赖民,张国伟,李桦等.秦岭造山带重大地质事件、矿床类型和成矿大陆动力学背景[J].矿物岩石地球化学通报,2008,27(04):384-390.
- [28] 王晓霞,王涛,张成立.秦岭造山带花岗质岩浆作用与造山带演化[J].中国科学:地球科学,2015,45(08):1109-1125.
- [29] 朱赖民,郑俊,姜航等.秦岭造山带燕山期构造岩浆事件与成岩成矿动力学背景[J].矿物学报,2015,35(S1):107
- [30] 林鑫,刘浩,梁利鹏等.北秦岭及周缘花岗岩地球化学特征与构造环境分析[J].矿物岩石,2016,36(04):74-85.
- [31] 杨阳. 秦岭造山带中段花岗岩的时空格架、源区物质及其对地壳深部物质组成的示踪[D].中国地质科学院,2017.
- [32] 豆敬兆,何俊,黄曦光等.西秦岭造山带早中生代花岗岩成分多样性及形成机制[J].地球科学与环境学报,2023, 45(02):227-239.
- [33] 黄艳娜,黎敦朋,肖爱芳等.北秦岭造山带翠华山黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及地球化学特征[J].地质找矿论丛,2023,38(02):197-208.
- [34] 杨宗让. 秦岭造山带大型矿集区成矿系统研究[D]. 西安: 长安大学,2012.
- [35] 熊潇. 秦岭造山带典型矿床地质—地球化学及其对关键造山事件的指示[D]. 西安: 西北大学,2017.
- [36] Chang Z, Shu Q, Meinert L. Skarn deposits of China[J]. 2019.
- [37] 董树文,张岳桥,李海龙等.“燕山运动”与东亚大陆晚中生代多板块汇聚构造——纪念“燕山运动”90周年[J].中国科学:地球科学,2019,49(06):913-938.
- [38] Yuan F, Jiang S Y, Liu J, et al. Origin and evolution of uraniferous pegmatite: A case study from the Xiaohuacha granite-pegmatite system and related country rocks in the Shangdan uranium mineralization district of North Qinling Orogenic Belt, China[J]. Lithos, 2020, 356: 105379.
- [39] 卢欣祥.秦岭花岗岩揭示的秦岭构造演化过程—秦岭花岗岩研究进展[J].地球科学进展,1998(02):102-103.
- [40] 陕西省地质矿产局.陕西省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989: 1-551.
- [41] 梁文天. 秦岭造山带东西秦岭交接转换区陆内构造特征与演化过程[D].西安: 西北大学,2009.
- [42] Yang X Y, Lu X X, Du X W, et al. Ore geochemistry, petrogenesis and metallogenic dynamics of the Nangou molybdenum district in the East Qinling orogenic belt[J]. Acta Geol Sin, 2010, 84: 1049-1079.
- [43] Deng X H, Chen Y J, Santosh M, et al. Genesis of the 1.76 Ga Zhaiwa Mo—Cu and its link with the Xiong'er volcanics in the North China Craton: implications for accretionary growth along the margin of the Columbia supercontinent[J]. Precambrian Research, 2013, 227: 337-348.
- [44] Han Y, Zhang S, Pirajno F, et al. U—Pb and Re—Os isotopic systematics and zircon Ce^{4+}/Ce^{3+} ratios in the Shiyagou Mo deposit in eastern Qinling, central China: insights into the oxidation state of granitoids and Mo (Au) mineralization[J]. Ore Geology Reviews, 2013, 55: 29-47.
- [45] 段友强,张正伟,杨晓勇.华北克拉通南缘张士英岩体大陆动力学背景:来自地球化学、锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素的证据[J].岩石学报,2015,31(07):1995-2008.
- [46] Li N, Chen Y J, Santosh M, et al. Late Mesozoic granitoids in the Qinling Orogen, Central China, and tectonic significance[J]. Earth-Science Reviews, 2018, 182: 141-173.
- [47] 江小均,任纪舜,周鼎武等.东秦岭加里东期沉积-构造演化过程[J].地球科学,2019,44(01):88-108.
- [48] 王安琪.秦岭造山带晚古生代-中生代构造演化: 碎屑锆石 U-Pb 年龄与 Hf-O 同位素制约[D]. 吉林: 吉林大学,2020.
- [49] 李普涛,李永军,辜平阳,何世平,庄玉军,陈锐明,汪双双. 2023. 小秦岭华阳川地区古元古代和三叠纪铀成矿作用:来自含铀伟晶岩锆石独居石 U-Pb 年代学的证据. 岩石学报, 39(9): 2795-2816.
- [50] 李磊,孙卫志,孟宪锋等.华北陆块南缘崞山地区燕山期花岗岩类地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素特征及其地质意义[J].岩石学报,2013,29(08):2635-2652.
- [51] 韦乐乐,严康,李康宁.西秦岭窗尔山一带侵入岩地球化

- 学特征及成矿意义[J].黄金,2021,42(07):17-24.
- [52] 郑博洋,冉亚洲,李建刚等.秦岭造山带晚三叠世花岗岩体侵位深度及其构造意义[J/OL].矿物岩石地球化学通报:2023, 1-15.
- [53] 张复新,陈衍景,李超等.金龙山-丘岭金矿床地质地球化学特征及成因:秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制[J].中国科学(D 辑:地球科学),2000a(S1):73-81.
- [54] 郝建瑞,王义天,刘俊辰等.小秦岭金矿田桐沟金矿床黄铁矿微量元素组成及其成因意义[J].黄金,2021,42(08):8-16.
- [55] 林海涛. 华北克拉通南缘脉状金矿与角砾岩型金矿成矿作用对比研究及对区域成矿的启示[D].中国地质大学,2023.
- [56] 顾文帅. 栾川矿集区钼多金属矿床共伴生元素富集特征及找矿意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京),2012.
- [57] Mao J W, Pirajno F, Xiang J F, et al. Mesozoic molybdenum deposits in the east Qinling-Dabie orogenic belt: characteristics and tectonic settings[J]. Ore Geology Reviews, 2011, 43(1): 264-293.
- [58] 张振.东秦岭一大别山燕山期岩浆作用与钼矿成矿作用研究进展[J].世界有色金属,2020(13):82-83.
- [59] 王鹏. 熊耳山祁雨沟矿田燕山期岩浆活动与金成矿作用[D].中国地质大学(北京),2021.
- [60] 武浩东. 小秦岭地区巡马道断裂构造特征与深部成矿探讨[D].长安大学,2023.
- [61] 李洪英,杨磊,柯昌辉等.东秦岭金堆城钼矿床辉绿岩地球化学特征及其地质意义[J].矿床地质,2016,35(05):1099-1114.
- [62] 张方毅,赖绍聪,秦江锋等.北大巴山早古生代辉绿岩地球化学特征及其地质意义[J].岩石矿物学杂志,2020, 39(01): 35-46.
- [63] 韩峰. 北秦岭构造带蟒岭岩体中黑云母闪长岩与二长花岗岩成因研究[D]. 西安: 长安大学,2021.
- [64] 李声浩. 南秦岭夏家店金矿床成因与成矿机制探讨[D]. 西安: 西北大学,2019.
- [65] 董运如,董化祥,谢祥等.甘肃西秦岭地区当庆沟脑金钨矿床地球化学异常特征及找矿前景[J].西北地质,2019, 52(03): 136-142.
- [66] 汪超,王瑞廷,刘云华等.陕西商南三官庙金矿床地质特征、金的赋存状态及矿床成因探讨[J].矿床地质,2021, 40(03): 491-508.
- [67] 冯京,徐仕琪,邓军等.西昆仑沃克金矿床地质特征、金的赋存状态及矿床成因探讨[J].矿床地质,2022,41(03): 623-642.
- [68] 赵增霞,左昌虎,刘磊等.湘南龙王山金矿床金的赋存状态及成矿物质来源研究[J/OL].大地构造与成矿学: 2023:1-16.
- [69] 赵海香,戴宝章,李斌等.小秦岭车仓峪钼矿成因研究:辉钼矿 Re-Os 年龄及黄铁矿微量元素制约[J].岩石学报,2015,31(03):784-790.
- [70] 赵海香,蒋少涌,Frimmel H E 等.小秦岭地区车仓峪钼矿中黄铁矿微量元素原位 LA-ICP-MS 分析及其对矿床成因的指示意义[J].矿床地质,2010,29(S1):553-554.
- [71] 刘俊辰. 小秦岭金矿集区成矿物质来源与富集机制[D]. 北京: 中国地质大学(北京),2020.
- [72] 冯伟华,余鹏涛,彭海练等.陕西小秦岭金矿成矿流体特征及成矿过程研究[J].西北地质,2021,54(02):149-156.
- [73] 饶世成.东秦岭造山带中-低级变质金红石矿床矿物学特征与成矿过程[D]. 北京: 中国地质大学(北京),2021.
- [74] 张宏睿,杨立强.胶状黄铁矿成因类型与鉴别特征[J].地质通报,2022,41(06):1039-1052.
- [75] 王相,刘平.秦岭造山带金矿控矿条件及资源前景[J].有色金属矿产与勘查,1995(05):264-271.
- [76] 朱华平,张蓉,郭健等.秦岭造山带成矿作用演化的铅同位素特征[J].西北地质科学,2000(02):20-27.
- [77] Liu J, Liu C, Carranza E J M, et al. Geological characteristics and ore-forming process of the gold deposits in the western Qinling region, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015a, 103: 40-69.
- [78] 何重果. 西秦岭造山带北亚带典型金矿床成矿作用特征及矿床成因[D]. 北京: 中国地质大学,2022.
- [79] He C, Li J, Kontak D J, et al. An Early Cretaceous gold mineralization event in the Triassic West Qinling orogen revealed from U-Pb titanite dating of the Ma'anqiao gold

- deposit[J]. Science China Earth Sciences, 2023, 66(2): 316-333.
- [80] 蒋少涌,戴宝章,姜耀辉等.胶东和小秦岭:两类不同构造环境中的造山型金矿省[J].岩石学报,2009,25(11).
- [81] 黄邦毅,汪龙,辛宇佳等.西秦岭造山带天子山埃达克岩地球化学特征及 Cu-Au 成矿[J].南方金属,2015(05): 13-16.
- [82] 毛景文.西秦岭地区造山型与卡林型金矿床[J].矿物岩石地球化学通报,2001(01):11-13.
- [83] 柳永刚,杨玉平,李建军等.西秦岭造山带天子坪金矿床成矿时代及成因[J].地质通报,2020,39(08):1212-1220.
- [84] Mao J, Qiu Y, Goldfarb R J, et al. Geology, distribution, and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37: 352-377.
- [85] 杨生强,张苏坤,王鹏飞等.河南灵宝市小秦岭金矿田流体包裹体特征及地质意义[J].矿产与地质,2022, 36(01): 111-119+128.
- [86] 郑远方.小秦岭金矿田金成矿规律分析[J].河南科技, 2023,42(09):59-64.
- [87] Chen Y J, Pirajno F, Qi J P. The Shanggong gold deposit, Eastern Qinling Orogen, China: isotope geochemistry and implications for ore genesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 33(3-4): 252-266.
- [88] 张航. 东秦岭燕山期成矿小斑岩体成因机制及构造背景[D]. 西安: 西北大学,2015.
- [89] 王义天,叶会寿,刘俊辰等.小秦岭金矿田三叠纪成矿事件的伸展构造背景:构造岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学证据[J]. 岩石学报,2021,37(08):2419-2430.
- [90] 贺昕宇,王长明,袁继明等.熊耳山—外方山矿集区中生代 Au-Mo 成矿系统[J].地学前缘,2019,26(05):33-52.
- [91] 胡晓光. 熊耳山矿集区燕山期岩体地质地球化学特征及控矿条件探讨[D].中国地质大学(北京),2020.
- [92] 李肖龙. 豫西熊耳山地区金矿成矿作用与找矿模型研究[D].中国地质大学(北京),2022.
- [93] 简伟. 河南小秦岭大湖金钼矿床地质特征、成矿流体及矿床成因研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京),2010.
- [94] Zhou Z J, Chen Y J, Jiang S Y, et al. Geology, geochemistry and ore genesis of the Wenyu gold deposit, Xiaoqinling gold field, Qinling Orogen, southern margin of North China Craton[J]. Ore Geology Reviews, 2014, 59: 1-20.
- [95] 刘嘉玮,李胜荣,袁茂文等.小秦岭金矿区花岗岩磷灰石-锆石对岩浆氧逸度的约束[J].矿物学报,2019,39(05): 494-506.
- [96] Qi N, Wang P, Yu J, et al. Geochronology and origin of the Q189 porphyry gold deposit in Qiyugou Orefield, Qinling Orogen, China[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 114: 103121.
- [97] Tang L, Hu X K, Santosh M, et al. Multistage processes linked to tectonic transition in the genesis of orogenic gold deposit: A case study from the Shanggong lode deposit, East Qinling, China[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 111: 102998.
- [98] 郭云成,刘家军,尹超等.小秦岭大湖金钼矿床地质特征及成矿流体[J].现代地质,2021,35(06):1536-1550
- [99] 张哲铭,曾庆栋,王永彬等.华北克拉通南缘康山金多金属矿床成矿时代及流体演化—来自独居石 U-Pb 年龄、黄铁矿微量元素和原位 S 同位素制约[J].岩石学报,2023, 39(03):865-885.
- [100] Ni Z Y, Li N, Zhang H. Hydrothermal mineralization at the Dahu Au-Mo deposit in the Xiaoqinling gold field, Qinling Orogen, central China[J]. Geological Journal, 2014, 49(4-5): 501-514.
- [101] 杨贵才. 西秦岭阳山金矿带印支期花岗岩成因及金成矿作用[D].中国地质大学(北京),2020.
- [102] 陈衍景,倪培,范宏瑞等.不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J].岩石学 报,2007(09):2085-2108.
- [103] 吴桐. 小秦岭杨砦峪金矿床地球化学特征及矿床成因探讨[D].中国地质大学(北京),2020.
- [104] 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(03):409-435.
- [105] 白凤军.豫西地区钼矿床类型、控矿因素与找矿模型研究[D].中国地质大学(北京),2010.

- [106] 赵玉. 熊耳山矿集区早白垩世 Au-Mo 多金属矿床成矿系列与找矿方向[D]. 北京: 中国地质大学(北京),2020.
- [107] 朱赖民,张国伟,李犇等.陕西省马鞍桥金矿床地质特征、同位素地球化学与矿床成因[J].岩石学报,2009,25(02): 431-443.
- [108] 范可静. 甘肃文县阳山金矿带斜长花岗斑岩成因及其成矿意义[D].成都理工大学,2023.
- [109] 王瑞廷,冀月飞,成欢等.南秦岭柞水—山阳矿集区金铜矿床成矿规律与找矿方向[J].现代地质,2021,35(06): 1487-1503.
- [110] 李小宇.甘肃省文县阳山金矿矿化花岗斑岩岩石地球化学特征[J].甘肃地质,2023a,32(01):10-19.
- [111] 陈柏林.甘南阳山金矿床控矿构造的思考[J].地质学报,2023,97(08)
- [112] 刘伟. 西秦岭地区金矿床地球化学找矿模型[D].中国地质大学(北京),2018.
- [113] 李小宇,赵静.阳山金矿矿化-未矿化岩脉中锆石年代学研究[J].四川冶金,2023b,45(01):31-35.
- [114] 靳嘉. 陕西省洛南县小秦岭西段镰子沟金矿床地质特征[D].长安大学,2016.
- [115] 王雷,刘家军,朱文兵等.陕西小秦岭镰子沟碲金矿床物质组成特征及矿质沉淀机理研究[J].矿床地质,2016, 35(03):456-474.
- [116] 代军治,高菊生,钱壮志等.小秦岭镰子沟金矿床地质特征、黄铁矿原位硫同位素组成及成因意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2018,48(06):1669-1682.
- [117] 常羲昊. 陕西镰子沟金矿矿物学研究[D].中国地质大学(北京),2022.
- [118] 贺永平,闫宝华.秦岭凤太地区金矿床成矿地质条件与时空分布特征[J].陕西地质,2019,37(01):49-57.
- [119] 罗华国.凤县庞家河金矿金的赋存状态研究[J].中国金属通报,2021(05):51-53.
- [120] 卢飞,吕新彪,杨帅等.陕西省庞家河金矿黄铁矿标型特征及对深部找矿的启示[J].中国地质,2023,50(01): 277-288.
- [121] 张娟. 陕西凤太矿集区八卦庙超大型金矿床成矿过程与成矿机制研究[D].中国地质科学院,2016.
- [122] 陈绍聪,王义天,胡乔青等.西秦岭凤太矿集区花岗闪长斑岩脉的成因类型和年龄及其地质意义[J].地球学报,2018,39(01):14-26.
- [123] 魏丽,杨文博,马尚伟等.秦岭凤太矿集区铅锌金矿区域成矿规律研究[J].矿产与地质,2021,35(01):1-8.
- [124] 王颖维,赵端昌,杜彪等.陕西凤县左家庄金矿床流体包裹体地球化学特征与成因[J].矿物学报,2022,42(01): 71-82.
- [125] 张利亚,陈守余,廖时理.陕西勉略宁地区旧房梁金矿床元素地球化学特征及成矿意义[J].地质科技情报,2017, 36(02):151-159.
- [126] 汪军谊. 秦岭“勉略宁”三角地块成矿地质背景、矿化类型、成矿规律及找矿方向[D].西北大学,2004.
- [127] 任小华. 陕西勉略宁地区金属矿床成矿作用与找矿靶区预测研究[D].长安大学,2008.
- [128] 张复新,张旺定,张正兵.秦岭造山带金矿床类型与构造背景[J].黄金地质,2000b(04):59-65.
- [129] Liu J, Dai H, Zhai D, et al. Geological and geochemical characteristics and formation mechanisms of the Zhaishang Carlin-like type gold deposit, western Qinling Mountains, China[J]. Ore Geology Reviews, 2015b, 64: 273-298.
- [130] Yu H C, Qiu K F, Nassif M T, et al. Early orogenic gold mineralization event in the West Qinling related to closure of the Paleo-Tethys Ocean—Constraints from the Ludousou gold deposit, central China[J]. Ore Geology Reviews, 2020, 117: 103217.
- [131] 朱赖民,郭波,李犇等.西秦岭马鞍桥金矿床成矿流体地球化学及矿床成因研究[J].矿物学报,2011,31(S1): 446-447.
- [132] 蔡光耀,安芳,袁轶等.陕西八卦庙金矿床 NE 向黄铁矿-石英成矿期成矿物质来源和成矿机制探讨: 原位硫同位素证据[J].地质学报,2021,95(05):1561-1572.
- [133] 丁坤,王瑞廷,刘凯等.南秦岭柞水—山阳矿集区夏家店金矿床黄铁矿微量元素和氢、氧、硫同位素对矿床成因的制约[J].现代地质,2021,35(06):1622-1632.
- [134] 丁乐乐. 南秦岭金矿床地质-地球化学及其成矿动力学背景研究[D].西北大学,2023.

- [135] 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(02):300-318.
- [136] 张娟,刘新星,李鹏志.八卦庙金矿床金的成矿作用——来自围岩蚀变的约束[J].河北地质大学学报,2019,42(03): 7-13.
- [137] 王艺. 陕西省山阳县夏家店金钒矿金的赋存状态及成矿作用研究[D].中国地质大学(北京),2020.
- [138] 徐一帆,贺文彬,安芳等.西秦岭八卦庙金矿床原位 S-Pb 同位素组成对成矿物质来源和成矿过程的指示意义[J].矿床地质,2023,42(04):773-790.
- [139] Jianzhong F, Dongbo W, Xueming W, et al. Magmatic gold mineralization in the Western Qinling orogenic belt: Geology and metallogenesis of the Baguamiao, Liba and Xiaogouli gold deposits[J]. Acta Geologica Sinica - English Edition, 2004, 78(2): 529-533.
- [140] 刘凯,赵亮,任涛等.南秦岭柞水—山阳矿集区成矿特征及找矿方向[J].矿产勘查,2020,11(05):849-857.
- [141] 贾磊. 陕西铼厂沟金矿床控矿因素及成矿预测研究[D]. 中国地质大学(北京),2016.
- [142] 林振文,秦艳,岳素伟等.陕西省铼厂沟金矿围岩蚀变和元素迁移特征[J].地球化学,2014,43(06):602-618.
- [143] 杨皓. 陕西勉略地区铼厂沟造山型金矿构造控矿特征[D].中国地质大学(北京),2018.
- [144] Yang T, Zhu L, Zhang G, et al. Geological and geochemical constraints on genesis of the Liziyuan gold-dominated polymetal deposit, western Qinling orogen, central China[J]. International Geology Review, 2012, 54(16): 1944-1966.
- [145] 张旗等. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 2-256.
- [146] 朱赖民,杨涛,鲁如魁等.西秦岭李子园金矿床地质-地球化学与成矿地质背景[J].矿物学报,2013,33(S2):384-385.
- [147] 陈艳,吴昊,李景晨等.南秦岭镇旬盆地西缘金成矿性探讨[J].世界有色金属,2018(14):138-140.
- [148] 史光德,刘新会,张永文等.镇旬盆地金矿成矿规律研究[J].地质找矿论丛,2005(S1):15-19.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS