

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.04.004

南秦岭香沟—夏家店金成矿带中重晶石的 矿物学特征及其找矿意义

薛玉山^{1,2}, 王瑜亮¹, 门文辉¹, 刘新伟^{1,2}

(1. 西安西北有色地质研究院有限公司, 西安 710054;

2. 陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心, 西安 710054)

摘要: 陕西山阳县香沟—夏家店金成矿带, 是南秦岭地区重要的金多金属成矿带, 产出有王家坪金矿、龙头沟金矿、香沟金—钨矿、夏家店金矿等矿床; 在金矿的勘查和研究中均发现 Ba 元素异常或重晶石化是重要的找矿标志之一。本文通过矿床地质资料对比分析, 结合龙头沟金矿、香沟金矿和桐树沟金矿重晶石的电子探针测试研究, 发现重晶石中具有一定的金、银矿化特征, 尤其是桐树沟金矿区内重晶石中显示一定的金异常($w(\text{Au})=0.03\%$), 同时具有 Sb、Cu、Mo、Bi 元素异常, 与矿区金异常化探元素组合特征一致, 有同期矿化的特点。重晶石化或 Ba 元素化探异常与金化探异常叠加部位均已发现金矿体(金矿床)。结合研究区区域磁异常带是构造岩浆活动带的认识, 认为重晶石是深部成矿热液反复活动的指征; 在山阳县桐树沟金矿—磨房沟金矿一带和商南县青石沟、过风楼地区还具有发现金矿床的潜力。

关键词: 金矿床; 重晶石化; 找矿意义; 香沟—夏家店成矿带; 南秦岭

中图分类号: P618.51; P612 **文献标识码:** A

0 引言

香沟—夏家店金多金属成矿带位于陕西省山阳县南部, 其地处南秦岭印支期褶皱带东段, 夹持于山阳—凤镇断裂和镇安—板岩镇断裂之间。该成矿带是山阳东部重要的金矿床产区, 区域上已发现有金矿床(点)多处, 如王家坪金矿(中型)、龙头沟金矿(中型)、香沟金—钨矿、夏家店金矿(大型)、桐树沟金矿(矿点)、宽坪沟金矿等^[1-4]。在这些金矿的找矿过程中, 均发现存在明显的 Ba 元素异常或者产出重晶石矿物, 如龙头沟金矿中重晶石—黄铁矿石英脉是重要的赋矿地质体。重晶石在山阳县香沟—夏家店金成矿带已成为找矿标志之一, 并且可东延至商南湘河一带。

前人对研究区的成矿作用及找矿标志进行过

系统的研究工作, 胡西顺等^[3]对山阳中村—商南湘河一带的金矿进行成矿特征的论述; 刘新伟等^[5-6]通过近 10 年的野外勘查和研究工作, 系统总结了王家坪金矿的成矿地质特征和同位素特征; 薛玉山等^[7]对香沟金矿中白钨矿进行了年代学测定, 确定矿区内白钨矿为印支期成矿的产物; 丁坤等^[8]、胡西顺等^[9-10]、赵超^[11]对龙头沟金矿进行了矿床地质特征和关键矿物学研究和总结; 刘凯等^[4, 12-16]对夏家店金矿的地质特征、成矿流体和关键矿物学特征方面进行了详细的研究, 确定了矿床的热液成矿作用。上述研究工作虽注意到成矿带内矿床具有明显的 Ba 异常或者重晶石化特征, 但未对其进一步找矿评价意义进行探讨。因此, 本文在系统收集和总结香沟—夏家店金成矿带中重晶石相关资料的基础上, 通过开展重晶石的电子探针分析研究, 以期探讨重晶石的矿物学特征及其找矿意义。

收稿日期: 2022-04-07; **责任编辑:** 沈名星

基金项目: 西安西北有色地质研究院有限公司科研基金项目(编号:2020-J02)资助。

作者简介: 薛玉山(1987—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事矿床勘查与找矿研究工作。通信地址: 陕西省西安市雁塔区西影路 25 号, 西安西北有色地质研究院有限公司; 邮政编码: 710054; E-mail: ysxuecugb@126.com

1 区域地质背景

香沟—夏家店金多金属成矿带出露地层隶属于云镇—银花地层小区,自上元古界耀岭河岩组至上古生界石炭系均有出露。其中,耀岭河岩群为一套由绿帘—绿泥片岩、钠长绿泥片岩为主的变质中基性—中酸性海相火山岩系;震旦系至奥陶系为碳酸盐岩、炭硅质岩、夹泥岩建造,其中下古生界寒武系水沟口组、岳家坪组与区域钒矿成矿关系密切;泥盆系至石炭系以碳酸盐岩和变质泥砂岩为主要岩性,为一套由碳酸盐岩和陆缘碎屑岩及浅变质岩组成的弧前盆地构造环境岩石组合^[17],具体包括中泥盆统石家沟组、大枫沟组、古道岭组,上泥盆统星红铺组,上泥盆统—下石炭统九里坪组,下石炭统四峡口组。寒武系水沟口组、泥盆系星红铺和大枫沟组,是区域金矿的主要赋矿层位^[1]。

区内构造主要呈近 EW 向带状展布,发育山阳—凤镇大断裂(简称山凤断裂, F_1)、镇安—板岩镇断裂(简称镇板断裂, F_2)和老沟口—桥耳沟倒转背斜、北沟寺—中村复式向斜、耀岭河复式倒转背斜、白龙洞—汪家店倒转向斜,构成本区构造基本骨架。其中,山凤断裂和镇板断裂是区域内重要深大断裂构造,具有多期活动特点,是区域内岩浆和热液活动通道,其两侧次级构造发育,为金多金属矿床形成提供了重要的储矿空间,已发现有王家坪卡林型金矿(中型)、龙头沟石英脉—构造蚀变岩型金矿(中型)、夏家店与黑色岩系有关的卡林型金矿(大型),此外还有香沟金矿、宽坪沟金矿、桐树沟金矿和铁峪沟—磨房沟

金矿等正在勘查中的中小型矿床。吴发富等^[18]利用 Ar-Ar 法测得山凤断裂主断裂形成于 $287\text{ Ma} \pm 2.6\text{ Ma}$,但其后在 200.9 Ma 还有较强热液活动。

区内岩浆岩以中酸性岩为主,其分布受山凤断裂的控制,地表出露于山凤断裂两侧的红椿沟—黄土凸一带(图 1),呈东西向展布,包括晚元古代板板山岩体和印支期花岗岩及少量辉绿岩脉,其中印支期花岗岩与本地区成矿关系密切。位于研究区北侧的板板山岩体,为一复式岩基,其成岩年龄为 743.2 Ma ^[19],为新元古代花岗岩体。台子沟岩体岩性为碎裂绢云母化花岗闪长岩,其成岩年龄为 743.7 Ma ^[19],与板板山岩体为同期岩体。研究区内热液脉体发育,其遥感解译发现多处环形构造,与深部隐伏岩浆活动有关。1:2.5 万沟系次生晕测量覆盖整个研究区,圈定的多个异常中均已发现金多金属矿(化)体。

香沟—夏家店金多金属成矿带发育不同程度的重晶石化蚀变。在香沟金矿区重晶石主要在矿体边部蚀变带内发现,呈重晶石—钾长石—石英脉,表明在成矿作用早期既有重晶石化的产出。在龙头沟金矿,重晶石在早期和晚期均有发育,体现为重晶石—石英脉,或者重晶石—方解石脉等。在桐树沟金矿位于山凤断裂内,普遍可见重晶石化。在夏家店金矿,与金矿化密切的矿化蚀变类型为黄铁矿化、硅化、铁碳酸盐化及重晶石化^[20]。

2 典型矿床地质特征

山阳香沟—夏家店金成矿带内代表性的矿床主

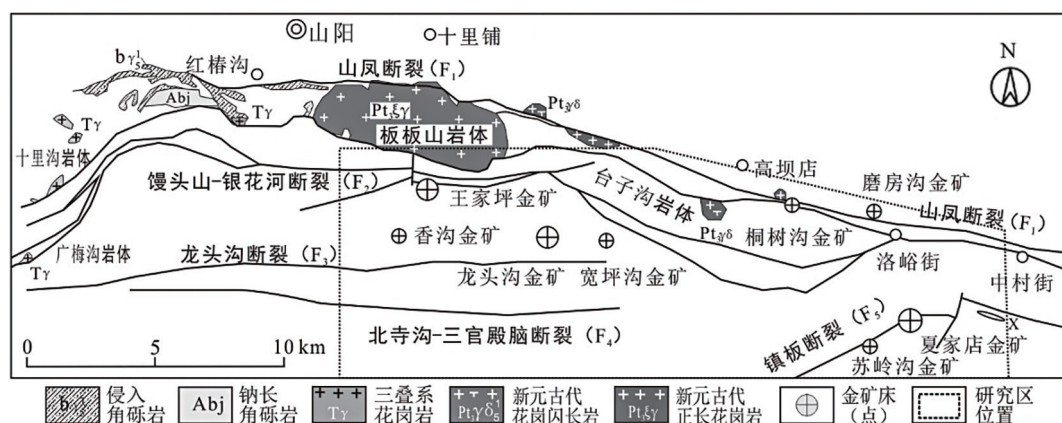


图 1 研究区区域构造岩浆分布示意图

Fig. 1 Sketch showing regional structural-magmatic activity distribution in the study area

要为3处:北部的王家坪金矿、龙头沟金矿和南部的夏家店金矿。

(1)王家坪金矿

王家坪金矿发现于2010—2011年,为卡林型金矿矿床。赋矿地层为泥盆系星红铺组下段(D_3x^1),矿体受EW向馒头山—大坪—银花河断裂及其次级平行断裂控制。金矿体在矿化蚀变带内呈透镜状产出,走向和倾向上具有膨大收缩、分支复合和尖灭再现特征^[5],其中Ⅱ号和Ⅲ号为主矿体,为半隐伏—隐伏矿体,长100~600 m,厚1.0~17.0 m,矿体产状为 $350^\circ\sim 10^\circ\angle 70^\circ\sim 80^\circ$,金品位为 $w(\text{Au})=1.26\times 10^{-6}\sim 11.00\times 10^{-6}$,平均 $w(\text{Au})=4.50\times 10^{-6}$ 。矿石类型主要为蚀变构造角砾岩、蚀变灰岩和蚀变钙质板岩^[5]。

王家坪金矿矿石矿物有黄(褐)铁矿、雌黄、雄黄等,脉石矿物有方解石、石英、白云石等;矿石自然类型有原生矿石(以黑色含少量碳质为主要特征)和氧化矿2种。在钻孔编录中偶见重晶石斑点,分布于石英方解石脉体中。矿石结构以交代残余结构、碎裂结构为主,构造以角砾状构造和浸染状构造为主。

矿区内围岩蚀变主要有黄铁矿化、硅化、去碳酸盐化、雌黄化、炭化、泥化、铁碳酸盐化、雄黄化等,与成矿关系最密切的是黄铁矿化、硅化、雌黄化,其次是铁碳酸盐化、雄黄化。基于野外地质的详细观察和工程编录,研究^[21]认为该矿床经历了3期,分别为构造变形期、热液成矿期及表生氧化期。

(2)龙头沟金矿

龙头沟金矿由西北有色地质研究院发现于2003年。赋矿地层主要为中泥盆统大枫沟组下段的石英砂岩夹粉砂质板岩,矿体受EW向龙头沟断裂及其次级平行断裂控制^[9]。矿体走向和倾向上均呈舒缓波状变化,长400~2400 m,平均厚0.20~3.59 m,发育平行或分支矿体,矿体产状 $190^\circ\sim 205^\circ\angle 50^\circ\sim 70^\circ$,矿床平均品位 $w(\text{Au})=4.13\times 10^{-6}$ ^[10]。赋矿地质体黄(褐)铁矿化重晶石石英方解石脉及构造角砾岩。与金矿化最密切的矿化蚀变类型为黄铁矿(五角十二面体为主)化、硅化和重晶石化。矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿等,脉石矿物为石英、方解石、斜长石等。自然金以裂隙金和包裹金为主。矿石结构为粒状结构、碎裂结构,构造为脉状构造、角砾状构造及浸染状构造等。

龙头沟金矿成矿阶段可分为3个主要阶段:①硅化阶段,该时期就有一定的重晶石产出;②石英—硫化物阶段,是龙头沟金矿的主成矿阶段,典型的特

征是(重晶石)黄铁矿化石英脉产出;③碳酸盐化阶段,为成矿晚期阶段,产出大量方解石石英脉、石英晶洞或者梳状结构。成矿后期构造再次活动,矿石破碎,硫化物碎裂释放了部分包裹金,使得局部矿体富厚。

(3)香沟金矿、宽坪沟金矿

香沟金矿、宽坪沟金矿分别为龙头沟金矿的西延和东延。

香沟金矿区分南矿带与北矿带。北矿带是王家坪金矿西延,发现Ⅱ号金矿体及W4号钨矿体等;南矿带是龙头沟金矿西延。目前矿区内主矿体位于南矿带,为SⅣ号金矿体,矿体长度>500 m,由辰砂化—黄铁矿化石英脉组成,局部赋矿地质体为含石英脉构造角砾岩,矿体产状 $112^\circ\sim 148^\circ\angle 55^\circ\sim 72^\circ$;与金矿化有关的矿化蚀变类型为黄(褐)铁矿、硅化和辰砂化蚀变;矿石矿物主要为褐(黄)铁矿,少见菱锌矿、硅锌矿、白铅矿等;非金属矿物主要为石英,其次是白(绢)云母、方解石、(铁)白云石、长石和重晶石等;贵金属矿物为自然金。在SⅣ号主矿体上盘处多见重晶石化石英细脉。

宽坪沟金矿与龙头沟金矿紧邻,为龙头沟金矿体向西延伸。矿体与矿石特征与龙头沟金矿一致。

(4)桐树沟金矿、磨房沟金矿

桐树沟金矿、磨房沟金矿是龙头沟金矿东部新发现的金矿。

桐树沟金矿主体位于山风断裂之内,矿区内化探异常发育,构造蚀变发育,圈出金矿体5条,其中Ⅱ号金矿规模最大,矿体长度>300 m,产状 $320^\circ\sim 15^\circ\angle 56^\circ\sim 82^\circ$ 。矿石类型以构造蚀变型为主。矿石矿物组成中的非金属矿物为方解石、石英、重晶石、绢云母、绿泥石等,金属矿物主要为褐铁矿、黝铜矿、辉铜矿、黄铁矿等,偶见黄铜矿等;贵金属矿物为自然金。其中重晶石、黄铁矿(褐铁矿)、石英与金的关系密切。

磨房沟金矿赋矿地质体为破碎黄铁矿石英脉,金品位 $w(\text{Au})=0.11\times 10^{-6}\sim 6.47\times 10^{-6}$ ^[3]。矿体厚度小、品位变化大,矿石中金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、铜蓝等;脉石矿物主要为石英,少量重晶石。

(5)夏家店金矿

夏家店金矿床由西北有色地质勘查局七一三总队在1998年发现,目前矿区内共发现12条具有工业价值的金矿体^[4,13]。矿体赋存于寒武系水沟口组含碳硅质泥岩建造和泥盆系西岔河组复成分砾岩

中。NE 向老林沟断裂(F_4)控制了 I 号矿化蚀变带的产出,圈出了 I-1、I-2 号金矿体以及 I-2 号钒矿体。寒武系水沟口组第一、二岩性段层间断裂(F_5)控制了 II 号矿化蚀变带的产出,分别圈出了 II-1 号金矿体西段、中段、东段以及 II-1 号钒矿体;破碎强度与金矿化关系较密切,破碎带内岩石破碎程度越强,金品位越高。矿体呈透镜状、似层状产出,具有尖灭再现和等间距分布的特征,其总体产状与断裂带产状基本一致。矿石矿物为黄铁矿、白铁矿、褐铁矿等;脉石矿物为石英、方解石、白(绢)云母和少量萤石、重晶石等。

夏家店金矿成矿过程可以划分为 3 个阶段:早期石英阶段(I)、主成矿期石英-方解石-萤石-硫化物阶段(II)、晚期方解石阶段(III)^[4]。

3 重晶石矿物学特征

3.1 研究区 Ba 元素异常特征

研究区 Ba 元素异常可以分为南北 2 条异常带(图 2)。北带与区域山风断裂及其次级断裂带有关,分布于香沟—中村街一带;南带则为研究区南侧,分布于白龙—水草坪—天桥乡一带,重晶石与矾等关系密切,受层位和构造双重控制,产出有山阳县红岩沟重晶石矿、山阳县水草坪矾及重晶石矿等^[22]。

在北异常带内,重晶石矿化以龙头沟金矿、桐树沟金矿、磨房沟金矿以及夏家店金矿为代表,重晶石产于石英脉或构造角砾岩共生。其中,龙头沟金矿重晶石含量 5%~10%,夏家店金矿中重晶石含量

5%~13%。

南异常带,红岩沟重晶石矿,产于震旦系灯影组(Z_2dn_1)的白云质灰岩和奥陶系吊床沟组(O_2d)中,矿体呈切层呈脉状产出,产状 $267\sim 272^\circ\angle 56\sim 62^\circ$,矿石品位 $w(\text{BaSO}_4)=90\%\sim 96\%$ 。

3.2 重晶石矿物学成分特征

(1) 样品采集与测试分析条件

本次工作对龙头沟、五条沟、宽坪沟至桐树沟金矿的重晶石开展研究测试。样品采自龙头沟金矿主矿体(IV 号矿体)、香沟金矿及桐树沟金矿 II 号矿体等位置。样品新鲜,矿化蚀变强烈。镜下观察工作在西北大学进行,利用透射光和反射光对研究样品进行显微观察。

电子探针成分测试工作在西安地质调查中心实验中心完成,使用仪器为日本岛津公司生产的 EP-MA-1600 型电子探针,配有高稳定的电子光学系统、真空系统及高精度机械系统,EDAX 公司生产的 Genesis 能谱仪以及波谱仪 WDS。元素分析范围 $^5\text{B}-^{92}\text{U}$,电子束流稳定性好于 $1.5\times 10^{-3}/\text{h}$,加速电压 25 kV;电流 4.5 nA;束斑小于 $1\mu\text{m}$;修正方法 ZAF;标准样品是美国 SPI 公司 53 种矿物。

矿石荧光光谱分析在有色金属西北矿产地质测试中心进行,检测依据 YD1.2.1-91《X 射线荧光光谱粉末压片法测定 24 种主、次痕量元素》,使用仪器为 X 荧光光谱仪,型号为 PW4400/40。

(2) 重晶石矿物学特征

图 3 为研究区重晶石宏-微观照片。龙头沟金矿中见黄铁矿化重晶石石英脉(图 3a),显微镜下见重晶石与黄铁矿共生(图 3b 和图 3c),重晶石以叶片状和规则状为主,其背散射图像呈现高亮特征。

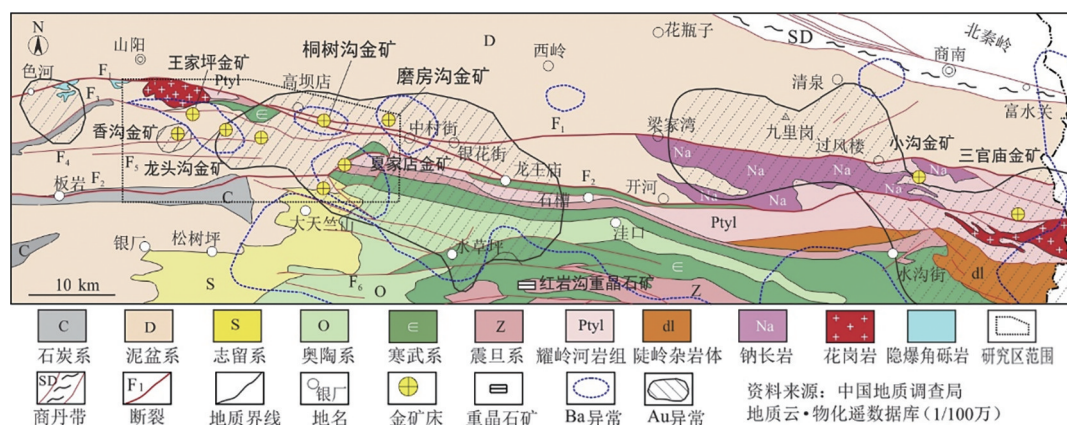


图 2 研究区 Au、Ba 化探异常与矿床分布示意图

Fig. 2 Sketch showing distribution of Au, Ba geochemical anomalies and Au deposits

重晶石主要形成于成矿中早期,是成矿期主要矿物之一,多呈自形板条状,与早期方解石(图 3d)、石英共生。局部重晶石呈微粒状包含于黄铁矿中,可见重晶石形成可能略早于黄铁矿。表明研究区内重晶石与成矿作用息息相关,是重要的找矿标志之一。

香沟金矿地表石英方解石细脉中也发现重晶石化石英脉,重晶石呈自形板条,与石英共生(图 3e)。

桐树沟金矿中重晶石与褐铁矿化共生,呈板柱状,粒径 0.5~3.0 mm。与方解石一起形成胶结物,分布于角砾之间(图 3f)。

夏家店金矿中主要以石英-重晶石脉与方解石-重晶石脉的形式呈脉状分布于矿体上下盘,为晚期成矿阶段产物^[4,20]。重晶石呈无色透明粒状,多呈它形或不规则状,粒径 0.2~0.6 mm,粒状集合体,矿石中含量 5%~10%,沿岩石裂隙呈不规则团块状、条纹状产出。

(3) 重晶石化学成分特征

表 1 为龙头沟、五条沟和桐树沟金矿重晶石电子探针测试结果。从表 1 中不难看出,研究区内重晶石中具有一定的金、银矿化现象,尤其是桐树沟金矿区内重晶石中显示一定的金异常($w(\text{Au}) =$

0.03%),同时具有 Sb、Cu、Mo、Bi 元素异常,与矿区金异常化探元素组合特征一致,显示了同期矿化的特点。在王家坪金矿中虽没有发现重晶石矿物,但金矿矿石中可见较高的 $w(\text{BaO})$ 值(0.04%~0.24%),同时具有明显的 Cu、As、Sb 等元素异常(表 2)。

4 讨论

4.1 关于 Ba 的来源问题

南秦岭地区早古生代属于大陆边缘裂谷构造环境,寒武-奥陶纪形成较典型的滞留盆地,利于热液上升和 Ba 成矿^[23-24]。秦巴地区当时海水中的 Ba^{2+} 非常充分,在有充足的 SO_4^{2-} 的条件下,优先形成重晶石,进入成岩阶段,形成毒重石或钡解石^[24]。该时期重晶石成分稳定,其中 Sr 含量较高,表明其形成可能与热卤水活动有关^[25]。南秦岭安康平利地区下寒武统鲁家坪组是重要的毒重石-重晶石赋矿层位,下寒武统鲁家坪组其下伏地层是一套酸性火山岩、火山碎屑岩和凝灰岩等火山岩组合,可能是 Ba 重要的来源^[24]。

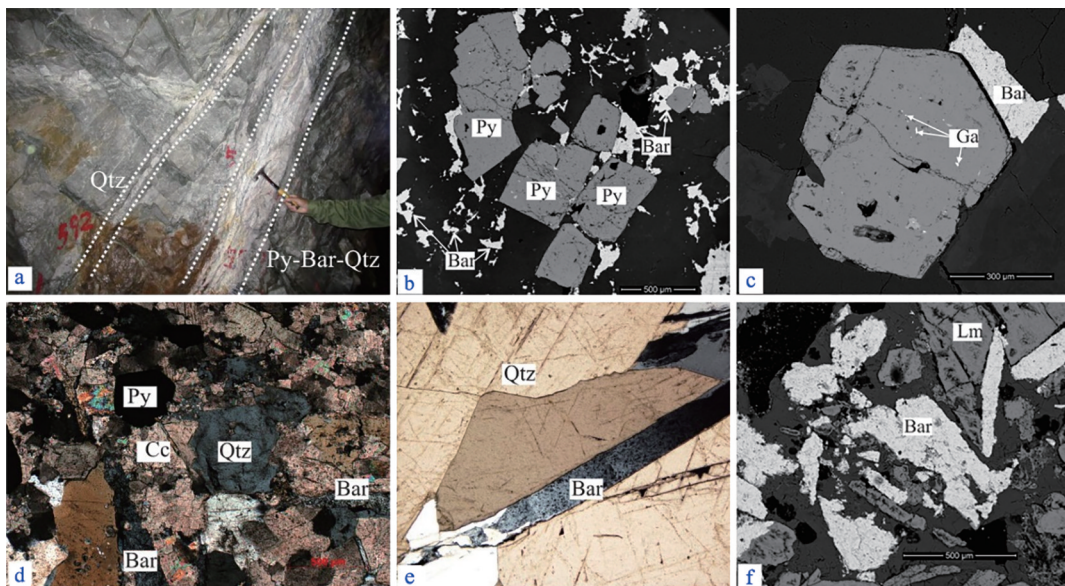


图 3 研究区重晶石宏-微观照片

Fig. 3 Photos of barite taken from field and under microscope

- a. 龙头沟金矿 PD1080 中段黄铁矿化重晶石石英脉; b. 龙头沟金矿重晶石与黄铁矿共生;
c. 龙头沟金矿重晶石与黄铁矿共生; d. 龙头沟金矿重晶石与早期自形方解石共生;
e. 香沟金矿石英脉中自形重晶石; f. 桐树沟金矿中重晶石与褐铁矿共生
Qtz. 石英; Py. 黄铁矿; Bar. 重晶石; Ga. 石榴子石; Cc. 方解石; Lm. 浊沸石

表 1 重晶石电子探针测试结果
Table 1 Electronic probe analysis of barite

样号	Lt-14	Lt-4	Lt-20	Xb-23	Tsg-1
矿区	龙头沟	龙头沟	龙头沟	五条沟	桐树沟
As ₂ O ₅	0.07	—	—	0.04	—
WO ₃	—	—	—	—	—
Sb ₂ O ₅	0.01	0.06	0.01	0.01	0.04
BaO	62.31	64.47	61.87	66.05	65.67
ZnO	—	0.02	—	—	—
CuO	—	—	0.02	—	0.03
FeO	0.00	—	—	0.03	0.17
Au ₂ O	—	—	—	—	0.04
HgO	0.05	0.04	0.09	0.03	0.01
MoO ₃	—	0.03	—	—	0.09
SO ₃	34.21	34.32	34.47	33.91	34.67
PbO	—	—	—	—	—
Bi ₂ O ₃	0.38	0.49	0.39	0.46	0.40
Ag ₂ O	0.02	—	0.03	0.02	—
Total	97.05	99.42	96.88	100.56	101.12

注:量单位:w_B/%;“—”未检出。测试单位:西安地质调查中心实验中心。

表 2 王家坪金矿矿石 X 荧光光谱分析结果
Table 2 XRF spectral analysis of ore from Wangjiaping Au deposit

样号	岩性	SO ₃	CuO	ZnO	As ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	BaO	HgO
B01	构造蚀变岩	7.14	0.02	0.5	0.15	0.08	0.24	0.01
B02	构造蚀变岩	11.9	<0.01	0.37	0.17	0.11	0.06	0.02
B03	构造蚀变岩	8.75	0.03	0.26	0.11	0.1	0.04	0.07
B04	构造蚀变岩	2.64	<0.01	0.11	0.04	<0.01	0.06	<0.01

注:量单位:w_B/%。测试单位:有色金属西北矿产地质测试中心。

前人研究发现,南秦岭黑色岩系富含与热液有关的重晶石、萤石矿物^[26];山阳县王阎一天桥一带,重晶石矿化主要分布于奥陶系地层(如奥陶系两岔口组(O₂l)、震旦系灯影组等接触带。夏家店金矿赋矿地层为下寒武统水沟口组为薄含重晶石板岩,岩石中具有 Ba 元素富集的特征。龙头沟金矿石黄铁矿硫同位素集中于 0 值附近,重晶石的硫同位素组成集中于 $15.2 \times 10^{-3} \sim 19.3 \times 10^{-3}$,黄铁矿和重晶石两类硫化物硫同位素平均值为 7.41×10^{-3} ,与上元古界耀岭河岩组中的硫同位素特征($7.6 \times 10^{-3} \sim 14.5 \times 10^{-3}$)接近^[2]。

本次工作测试了 1 件耀岭河岩组变质火山岩的钡、金、银等元素含量,其 $w(\text{Ba}) = 1282 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Au}) = 2.90 \times 10^{-9}$ 、 $w(\text{Ag}) = 0.089 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{As}) = 22.4 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Sb}) = 1.60 \times 10^{-6}$,可见

Ba 元素在耀岭河岩组变质火山岩也有一定的富集。

综上,研究区内 Ba 具有明显的地层来源特征,寒武系—奥陶系黑色含泥质碳酸盐岩、上元古界耀岭河岩组变质火山岩可能都是 Ba 元素的重要来源。

4.2 重晶石化指示热液活动

有研究资料表明,重晶石的大量富集是渗流热卤水活动的一个重要标志,高盐度的热液活动对金、汞、重晶石等迁移富集成矿非常有利^[27]。重晶石重砂异常也是金矿的重要化探异常指证元素^[28-29],是深部岩浆成矿热液反复活动成矿的重要标志之一,尤其是(类)卡林型金矿床^[30-31]。

青海抗得弄舍重晶石型金矿床的重晶石化为矿区最主要的典型矿化蚀变^[32],与金矿化呈正相关,常与少量石英共同形成石英重晶石脉。陈耀宇等^[33]研究了甘肃一些大型矿床的重晶石化、Ba 异

常及其对矿床成因等的指示意义,发现重晶石矿化在镜铁矿山铁矿、小铁山铅锌矿、西-成铅锌矿田、碌曲拉尔玛金矿和天祝干沙鄂博稀土矿的评价中有重要意义,是强烈热液活动的指示。杨富全等^[34-35]对新疆布隆石英重晶石脉型金矿研究显示,重晶石和金来源于地层,在下伏岩体热能的驱动下,成矿热液反复循环萃取地层物质后在氧化环境下形成矿床。夏家店金矿中含矿围岩碎裂板岩-碎裂石英脉中 Ba 含量达到 $2405 \times 10^{-6} \sim 70562 \times 10^{-6}$, 远高于其它围岩地层,显示了热液矿化作用特征^[20]。

研究区边部的山阳县王阎一天桥一带早古生代富含 Ba 的岩系发育,但是重晶石成矿却显示了明显的热液富集作用。目前已发现的窑沟、红岩沟等重晶石矿床,其重晶石矿化主要分布于奥陶系地层(如奥陶系两岔口组(O_2l))、震旦系灯影组等接触带,矿体呈脉状,切层产出,属于热液型重晶石矿床。窑沟重晶石能谱分析显示,重晶石中 As、Ag、Bi、Mo (1.93%) 等元素含量较高。

本研究区典型金矿床及其重晶石化特征统计结果(表 3)表明,重晶石是成矿阶段内的重要产物,多形成重晶石-方解石脉等,分布于金矿体的边部。以

龙头沟金矿为例,含重晶石型金矿石往往是成矿环境氧化还原变化的重要指示^[36],富厚金矿多与之相关。

事实上,区域化探测量也证实了上述论述,区域上 Ba 异常区域往往是金矿床的聚集地区,香沟—王家坪—龙头沟金矿区,恰好是 Ba 异常高值区域,与金矿位置套合良好。不仅如此,金矿床分布和 Ba 异常地区也是区域内磁异常分布区域,异常区内新元古代板板山岩体等岩浆岩发育,是区域内深部强烈岩浆活动的表现。

4.3 找矿方向

山风断裂是重要的构造-岩浆热液活动带,两侧平行次级构造发育,具有良好的储矿空间。目前研究区内部已知矿床边部,无疑是重要的找矿靶位(图 4)。此外,①桐树沟金矿—磨房沟金矿一带,重晶石化发育,具有寻找中型规模金矿的潜力;②山风断裂带东部商南县九里岗—清泉一带(青石沟地区)、小沟金矿(过风楼地区)及其周边也是寻找构造蚀变岩型金矿的重要靶位,尤其是商南县过风楼地区在强烈土壤金异常发育地段也有重晶石矿化发育,矿区内还有进一步扩大找矿的潜力。

表 3 区域典型金矿床及其重晶石化特征

Table 3 Characteristics of the regionally typical Au deposit and Barite mineralization

序号	矿床	矿化蚀变组合	成矿阶段
1	龙头沟金矿	重晶石-黄铁矿-硅化土黄铜矿化	早阶段和晚阶段均有产出
2	香沟金矿	硅化、黄铁矿化、辰砂化及重晶石化	成矿早期
3	宽坪沟金矿	重晶石-黄铁矿-硅化土黄铜矿化	成矿早阶段
4	王家坪金矿	未见明显重晶石矿化,但是具有 Ba 异常	
5	桐树沟金矿	重晶石化、硅化、褐铁矿化	
6	夏家店金矿	硅化、碳酸盐化及重晶石化	成矿晚期重晶石-方解石阶段
7	磨房沟金矿	黄铁矿化、重晶石化	

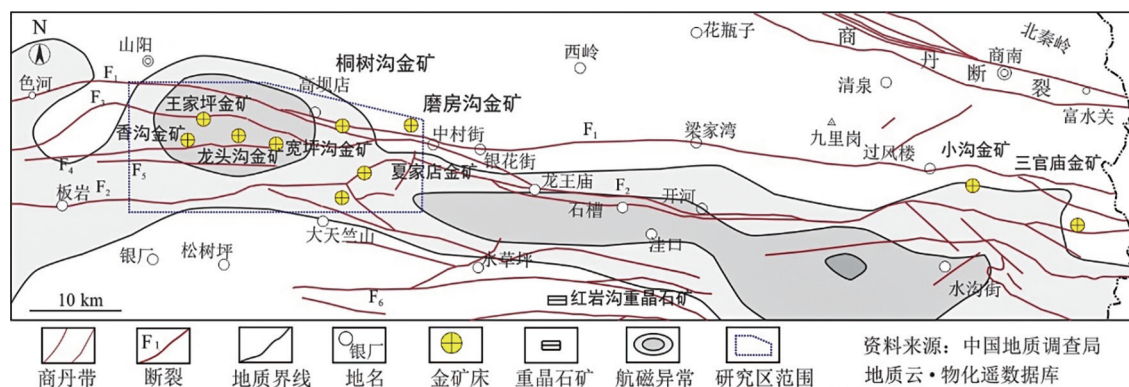


图 4 区域航磁异常及金矿分布示意图

Fig. 4 Sketch showing distribution of regional aerial magnetic anomalies and Au deposits

7 结论

通过对南秦岭山阳县香沟—王家坪—夏家店金成矿带主要金矿床的资料总结分析和重晶石矿物的岩矿鉴定、电子探针分析,取得以下认识:

(1)南秦岭山阳县香沟—王家坪—夏家店金成矿带重晶石是金矿近矿蚀变特征矿物之一。

(2)研究区内重晶石中具有一定的金、银矿化特征,尤其是桐树沟金矿区内重晶石中显示一定的金异常($w(\text{Au})=0.03\%$),同时具有 Sb、Cu、Mo、Bi 元素异常,与矿区金异常化探元素组合特征一致,显示了同期矿化的特点。

(3)重晶石是成矿热液反复活动的指征,成矿流体同时萃取地层中 Ba 元素成矿。

(4)研究区矿床边部及外围 1/5 万重晶石或 Ba 异常地段和金异常叠加地段,是重要的金矿找矿部位。

参考文献:

- [1] 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(6): 1487–1503.
- [2] 薛玉山,寸小妮,刘新伟,等. 南秦岭龙头沟金成矿带成矿物质来源:元素及硫同位素证据[J]. 现代地质,2020,34(5): 1077–1091.
- [3] 胡西顺,李建斌,刘新伟,等. 山阳中村—商南湘河一带金矿成矿地质背景、矿床类型与找矿方向[J]. 陕西地质,2015,33(2): 70–77.
- [4] 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): 1278–1296.
- [5] 刘新伟,胡西顺,王民良,等. 陕西省山阳县王家坪金矿勘探地质报告[R]. 西安:西安西北有色地质研究院有限公司,2017.
- [6] 刘新伟,汪超,韩璐,等. 王家坪金矿床地质地球化学特征及成因探讨[J]. 黄金科学技术,2016,24(4): 39–46.
- [7] 薛玉山,刘新伟,胡西顺,等. 南秦岭香沟金钨矿白钨矿原位微区分析及方解石 Sm-Nd 同位素定年:对钨成矿过程的限定[J]. 中国地质,2021,48(6): 1818–1837.
- [8] 丁坤,王瑞廷,刘凯,等. 南秦岭柞水—山阳矿集区龙头沟金矿床硫化物微量元素和硫同位素地球化学特征[J]. 地质与勘探,2021,57(5): 969–980.
- [9] 胡西顺,朱红周,原莲肖,等. 陕西省山阳县龙头沟金矿区详查地质报告[R]. 西安:西北有色地质研究院,2008.
- [10] 胡西顺,原莲肖,朱红周,等. 陕西龙头沟金矿床的地质地球化学特征及其成因探讨[J]. 黄金科学技术,2010,18(2): 1–5.
- [11] 赵超. 陕西山阳龙头沟金矿金属矿物特征及成矿作用研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2019.
- [12] 曾志杰,陈雷. 南秦岭山阳—柞水矿集区夏家店金矿床微量-铂族元素地球化学特征及其对矿床成因的指示[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2021,51(3): 704–722.
- [13] 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(6): 1622–1632.
- [14] 郭旭飞. 陕西省山阳县夏家店金矿床地质特征及成因研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2020.
- [15] 李声浩,朱赖民,丁乐乐,等. 南秦岭夏家店金矿床赋矿黑色岩系元素地球化学及其成矿意义[J]. 地学前缘,2019,26(5): 129–145.
- [16] 任涛,王瑞廷,孟德明,等. 南秦岭造山型金矿地质特征及成矿模式:以陕西山阳夏家店金(钼)矿床为例[J]. 西北地质,2014,47(1): 150–158.
- [17] Shi G, Wang H, Huang C, et al. Provenance and tectonic setting of middle-upper Devonian sandstones in the Qinling Orogen (Shanyang area): New insights from geochemistry, heavy minerals and tourmaline chemistry [J]. Tectonophysics, 2016, 688: 11–25.
- [18] 吴发富. 中秦岭山阳—柞水地区岩浆岩及其成矿构造环境研究[D]. 北京:中国地质科学院,2013.
- [19] 杨志军,魏丽,蔡文春,等. 南秦岭板板山二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志,2020,39(5): 539–551.
- [20] 齐亚林. 陕西山阳夏家店卡林型金矿床地质地球化学研究[D]. 西安:西北大学,2005.
- [21] 薛玉山,王瑞廷,汪超,等. 陕西省山阳县王家坪金矿断裂构造控矿规律[J]. 地质力学学报,2020,26(3): 391–404.
- [22] 郭翔,曹理,沈楷琦. 陕西山阳两岔—水草坪一带找矿潜力分析[J]. 世界有色金属,2017(12): 110–114.
- [23] 吴胜华,刘家军,张鼎,等. 南秦岭钼成矿带重晶石与毒重石成矿特征[J]. 现代地质,2010,24(2): 237–244.
- [24] 夏学惠,赵玉海. 秦巴地区毒重石-重晶石矿床地质及成矿远景分析[J]. 化工矿产地质,2005,27(4): 201–205.
- [25] 陶银龙,刘家军,代鸿章,等. 南秦岭钼成矿带钼矿床矿物组成的电子探针研究[J]. 矿物学报,2016,36(2): 277–284.
- [26] 刘思聪,宁淑媛,郑德顺. 南秦岭地区下寒武统水沟口组黑色岩系成因及其沉积环境[J]. 地质学报,2021,95(2): 549–564.
- [27] 张攀华. 湘西凤凰—吉首地区的重晶石矿带及其对卡林型金矿的找矿意义[J]. 湖南地质,1986,5(2): 12–16.
- [28] 潘彦宁,董国臣,刘铭初,等. 重晶石矿自然重砂矿物组合规律及其找矿意义[J]. 地质通报,2014,33(12): 1933–1940.
- [29] 韦少港,董国臣,莫宣学,等. 金矿自然重砂矿物组合规律及其找矿指示意义[J]. 地质通报,2014,33(12): 1890–1908.
- [30] Fa A, Ty B, Aa B, et al. Primary geochemical haloes and alteration zoning applied to gold exploration in the Zarshuran Carlin-type deposit, northwestern Iran [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2021, 231: 106864.
- [31] Groff J A. Genetic implications of regional vs. fracture-con-

- trolled fluid flow in carlin-type gold deposits, Nevada [J]. *Ore Geology Reviews*, 2020, 117: 103282.
- [32] 何财福. 青海抗得弄舍重晶石型金多金属矿床成矿地质特征 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [33] 陈耀宇, 刘伯崇, 周焯. 甘肃一些大型矿床的重晶石化及其对矿床成因等的指示意义[J]. *矿床地质*, 2014, 33(S1): 501 - 502.
- [34] 杨富全, 毛景文, 王义天. 新疆阿合奇县布隆金矿床成矿流体及成矿作用[J]. *地学前缘*, 2004, 11(2): 501 - 514.
- [35] 杨富全, 王义天, 毛景文, 等. 新疆阿合奇县布隆石英重晶石脉型金矿地质特征和硫、氮、氩同位素研究[J]. *地质论评*, 2004, 50(1): 87 - 98.
- [36] 陈煜嵩, 董晓杰, 刘正宏, 等. 克拉通破坏型金矿成矿机制: 吉南板庙子金矿床闪长玢岩与重晶石流体包裹体、H-O-S 同位素证据[J]. *岩石学报*, 2020, 38(8): 2537 - 2557.

Mineralogical characteristics and prospecting significance of barite in Xianggou-Xiajiadian Au ore belt in South Qinling area of Shanyang county

XUE Yushan^{1,2}, WANG Yuliang¹, Men Wenhui¹, LIU Xinwei^{1,2}

(1. Xi'an Northwest Research Institute of Nonferrous Metals Co., Ltd, Xian 710054, China;

2. Shaanxi Engineering Technology Research Center of Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Xi'an 710054, China)

Abstract: Xianggou-Xiajiadian Au ore belt is an important Au-polymetallic ore belt in South Qinling area. In the belt occur Wangjiaping Au deposit, Longtougou Au deposit, Xianggou Au-W deposit and Xiajiadian Au deposit etc. The Au ore prospecting and related researches show that there are Ba anomaly and barite can be used as Au ore prospecting mark in the belt. Comparative analysis of the geological data and electronic probe analysis of barite from Longtougou Au deposit, Xianggou Au deposit and Tongshugou Au deposit show that some Au, Ag occur in the barite. Especially barite of Tongshugou Au deposit shows Au anomaly ($w(\text{Au})=0.03\%$) and Sb, Cu, Mo and Bi anomaly. The anomaly is coincided with that of Au anomaly of geochemical survey for the study area. The barite is contemporaneous with the Au mineralization. At over-printing area of Ba anomaly and Au geochemical anomaly Au ore bodies (deposit) have been discovered. Based on viewpoint that the regional magnetic anomaly belt represent the structural-magmatic active belt we consider that the barite is the product of repeated hydrothermal fluid activity at depth and the area from Tongshugou Au deposit to Mofanggou Au deposit and Guofenglou area are potential to find new Au deposits.

Key Words: Au deposit; barite; prospecting significance; Xianggou-Xiajiadian Au ore belt; South Qinling