

南秦岭东段早寒武世黑色岩系金钒 成矿特征与找矿方向 ——以夏家店矿床为例

任 涛^{1,2}, 樊忠平², 原莲肖³, 蒋 蕊⁴

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北武汉 430074; 2. 西北有色地质勘查局
七一三总队, 陕西商洛 726000; 3. 西北有色地质研究院, 陕西西安 710054;
4. 西北有色地质勘查局, 陕西西安 710054)

摘 要: 南秦岭东段广泛分布着寒武系黑色岩系, 中村钒矿、银花钒矿、千家坪钒矿等大中型矿床产于其中。夏家店金钒矿床的发现与勘查, 揭示钒矿具有鲜明的层控和岩控特征, 矿体产在下寒武系水沟口组底部, 沉积成矿与寒武系的缺氧事件有关, 而金的成矿过程不但受其制约, 重要的是受到造山后期构造的叠加形成。在勘查过程中注重综合找矿, 北东向的断裂构造与黑色岩系的叠加部位, 是找金的有利部位。

关键词: 成矿特征; 找矿方向; 黑色岩系; 早寒武世; 南秦岭东段

中图分类号: P612 **文献标识码:** A

南秦岭东段发育早寒武世一套深灰—黑色的硅质岩、碳酸盐岩、泥质岩沉积岩组合, 分布于陕西南部山阳、丹凤、商南县境内, 东延至河南省境内。厚度 100~217 m, 在区域上分布稳定, 厚度变化不大。富含钒、磷、镍、钴、铜、铀和石煤矿产, 相继发现中村、银花、千家坪等大中型钒矿 13 个, 成为我国重要的钒矿产地。夏家店金钒矿床的发现与勘查, 实现了金矿找矿的新突破。本文通过夏家店金钒矿特征揭示早寒武世黑色岩系成矿性, 明确找矿方向。

1 成矿地质背景

秦岭造山带是由华北大陆与扬子大陆在隐生宙的长期“开合”与显生宙俯冲—碰撞—对接构造背景下演化形成的。早寒武世在扬子陆块北部被动大陆边缘, 由于拉张作用形成了岛、盆相间的构造格局, 如武当、陡岭、小磨岭、平利、佛坪等前寒武系地块隆起成为孤岛, 其间为广阔的古扬子海。海浸规模最大, 北部可能已达现今山阳—凤镇一线, 沿夏家店—耀岭河一带为海陆坡环境, 炎热干旱的气候条件和富 CO₂ 的氧化大气, 海平面的波动、上升洋流强烈活动、生物的高生产率诸因素的耦合, 导致了缺氧事件, 控制了黑色岩系的发育和分布, 形成有机质、钒、磷、镍、钴、铜、铀、金等多元素的聚集, 促成石煤等资源的形成(张复新等, 2005; 范

收稿日期: 2007-01-25; 修回日期: 2007-04-25

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(200110200101)、西北有色地质勘查局重点地质勘查项目和科研项目联合资助

作者简介: 任 涛(1967-), 男, 高级工程师, 在读硕士, 地质工程专业, 从事金属矿产勘查及技术管理工作。通讯地址: 726000, 陕西省商洛市商州区东关 11 号, 西北有色地质勘查局 713 总队; 电话 0914-2313967; E-mail: 713dky@163.com。

德廉等, 2004)。

古生代以来扬子与华北两大陆进入现代板块构造活动机制, 南北相对持续俯冲—碰撞对接, 在华北大陆强有力的砥柱下, 产生了对扬子大陆北缘的挤压动力, 使扬子被动大陆前缘产生隆升带。加里东期末期表现强烈, 形成了南秦岭东段耀岭河背斜

及白龙洞向斜, 同时形成了凤镇断裂、镇板断裂, 并发生了酸性岩浆活动。

中生代整个秦岭进入陆内造山, 区域上形成了以镇板断裂为主的一系列逆冲推覆构造, 下寒武统水沟口组进一步发生构造变形, 为其中的动热流体改造黑色岩系含矿层, 提供了有利条件 (图 1)。

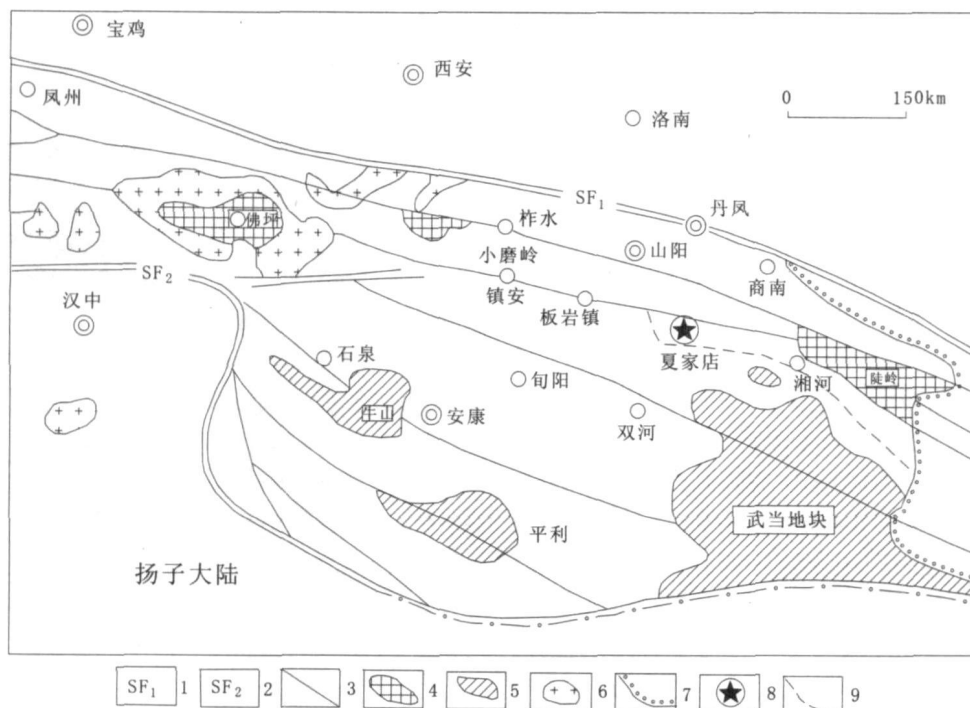


图 1 南秦岭东段大地构造背景 (据祁思敬等, 1999 修改)

Fig. 1 The geological tectonic bedrock of eastern section in South Qinling (Modified from Qi Sijing et al. 1999)

1. 商丹缝合带; 2. 勉略缝合带; 3. 推覆断层; 4. 结晶基底岩块; 5. 过渡性基底岩块;
6. 花岗岩; 7. 新生界; 8. 金钒矿床; 9. 黑色岩系分布区

2 夏家店矿床特征

夏家店矿床位于陕西省山阳县境内, 大地构造位置处于南秦岭印支褶皱带东段, 夏家店—千家坪金钒成矿带的西端, 扬子大陆北缘部分。

2.1 赋矿地层

矿区内出露的地层有震旦系、寒武系、奥陶系、泥盆系。

水沟口组是研究区内最有成矿价值的层位之一, 平行不整合于震旦系灯影组之上, 可分为 3 个岩性段, 自上而下其特征分别为:

上段 (C_{1s}^3): 灰色—深灰色薄层—中厚层状微

晶白云岩、细晶白云岩、泥质白云岩。中段 (C_{1s}^2): 深灰色中厚层状灰岩、灰质白云岩、泥灰岩、泥页岩、碳质灰岩夹页岩、灰色—灰黑色硅质板岩, 局部含磷结核。其中:

(1) 灰色—灰黑色硅质板岩: 为主要的含矿岩性层, 碳质及泥质多呈断续纹层状分布, 多有莓球状成岩黄铁矿散布其中; 沉积硅质石英呈显微不规则状、微压扁拉长他形微粒状、规则多边形或花边状微粒镶嵌; 少量微细粒沉积重晶石及成岩黄铁矿莓球散布硅质岩基质中。

(2) 褐色、紫红色含碳钙质泥质板岩: 为重要的含矿岩性层, 泥碳质纹层平行层理分布; 泥晶钙质呈薄层状与硅质岩互层, 微细粒状方解石晶粒中

含泥质而浑浊呈泥晶状;微细粒莓球状成岩黄铁矿多分布在泥碳质纹层中。

(3) 灰白色黏土岩:灰白—灰色泥状物,部分重结晶为显微鳞片状绢云母,夹泥质板岩薄层,混入少量碳质纹层和硅质石英。

(4) 微晶灰岩、微晶砾屑白云质灰岩:为该岩性段上部岩性层,由半自形—他形微细粒方解石及少量白云石镶嵌组成,部分泥晶方解石集合体呈沉积砾屑(粒屑);另外,岩石中含有少量硅质石英微团块集合体及微含柳絮状碳质。

下段(C_{1s}^1):褐红色—暗紫色薄层—中厚层状硅质岩,局部含白云质条带。主要由显微细粒硅质石英、微细粒状重晶石、碳泥质、莓球状黄铁矿组成。据岩石学研究,组成岩石矿物致密微细粒状、均具纹层状分布或均匀散布,与成岩莓球状黄铁矿共生等,可确定紫红色硅质岩为海底热水喷流沉积产物。

该组层位稳定,岩层厚度130至175.62 m。矿区东部地层稳定,走向为近东西向,倒转倾向北,倾角一般为55至62°;西部受镇板断裂和次级推覆断裂构造影响,被震旦系灯影组覆盖,地表断续分布,深部卷入F4断裂带中。岩性组合为含碳硅质板岩、黏土岩、泥页岩、泥灰岩,是典型的黑色岩系建造,是磷、钒、银、金矿的主要赋存层位;区内、号金矿化带及号钒矿体和-3号金矿体产于该层中。

2.2 构造

矿区主要褶皱构造为夏家店—耀岭河—湘河倒转背斜的西部倾伏端,背斜核部地层为耀岭河群;南翼依次出露震旦系陡山沱组、灯影组和下古生界寒武系、奥陶系,北翼地层有震旦系陡山沱组、灯影组,受镇板断裂构造破坏,两翼不对称,北翼部分缺失下古生界地层,南翼地层倒转倾向北。

断裂构造发育裂镇板断裂(F1),为区域性大断裂,呈北东—南西向横穿矿区西北部。区内长5200 m,破碎带宽数米至40 m,由碎裂岩、角砾岩、碳化断层泥、构造透镜体组成,并见有石英脉、方解石脉。断裂构造总体倾向北西,倾角37至76°。该断裂性质复杂,具多期活动的特征,既有正断层特征,又具有逆断层特征,并且显示左行平移性质。次级派生F2、F3、F4发育。

其中F4断裂为金矿主要控矿断裂,走向北东—南西向,倾向北西,倾角50至63°。断裂破碎带

长千余米,宽数米至数十米,一般宽度为十余米左右,由碎裂岩(白云岩、硅质岩)、角砾岩(硅质岩、硅质板岩)、糜棱岩、方解石脉、石英脉组成,铁质钙质碳酸盐、硅质胶结(图2)。

2.3 矿体地质特征

矿区共圈定3个金矿体和1个钒矿体。单一矿体远景规模均在中型以上。

-1和-2金矿体赋存在F4断层破碎带中,产状严格受断裂控制,倾向北西,倾角50至63°。矿体形态简单,呈透镜状、似板状。长数百米,厚数十米。主要有用组分为金,平均品位 3×10^{-6} 左右,局部伴生钒。

-3号金矿体产于水沟口组第二岩性段硅质板岩、泥质板岩中,位于地层折曲部位,研究认为受北东向断裂叠加。呈控呈透镜状,制长百余米,厚数至数十米。矿体主要由碎裂硅化硅质板岩、硅质板岩揉皱破碎带及少量泥质板岩组成。有用组分为金,伴生钒。金平均品位 5×10^{-6} 左右,钒平均品位0.6%,产状变化简单,走向220至15°,总体倾向北西,倾角为43~73°。

号钒矿体产于寒武系水沟口组第二岩性段硅质板岩、泥质板岩中,形态简单,呈层状,总体较为规则,局部地段出现褶皱弯曲及分枝现象。长数千米,平均厚数十米。 V_2O_5 平均品位0.931%。矿体产状比较稳定,呈东西走向,局部发生褶曲。总体走向320~330°,倾向北东,倾角50~65°。

2.4 矿石特征

2.4.1 矿物组成及组构特征

金矿石矿物以石英为主,次为白云石、方解石、褐铁矿,少量的绢云母、硫化物、泥质、碳质等,金的矿物为自然金,金的成色为996‰。自然金呈角粒状、浑圆状、集合体状等位于岩石裂隙、矿物粒间、断层泥、岩石空洞中,以裂隙金为主,约占52.32%,粒间金为次,约占39.22%,包裹进较少,约占8.46%。金的粒度一般为0.001~0.0025 mm,以细粒金为主,约占69.21%,显微金为次,约占30.79%。金矿石结构主要为他形粒状结构、半隐晶质—晶质结构、碎裂结构碎斑、碎粒结构、交代结构。矿石构造主要有角砾状构造、变余纹层状构造、糜棱状构造、脉状构造、星散状构造等。

钒矿石以石英为主,次为绢云母、黏土矿物、白云石,少量铁质、碳质。钒主要与云母类、黏土矿

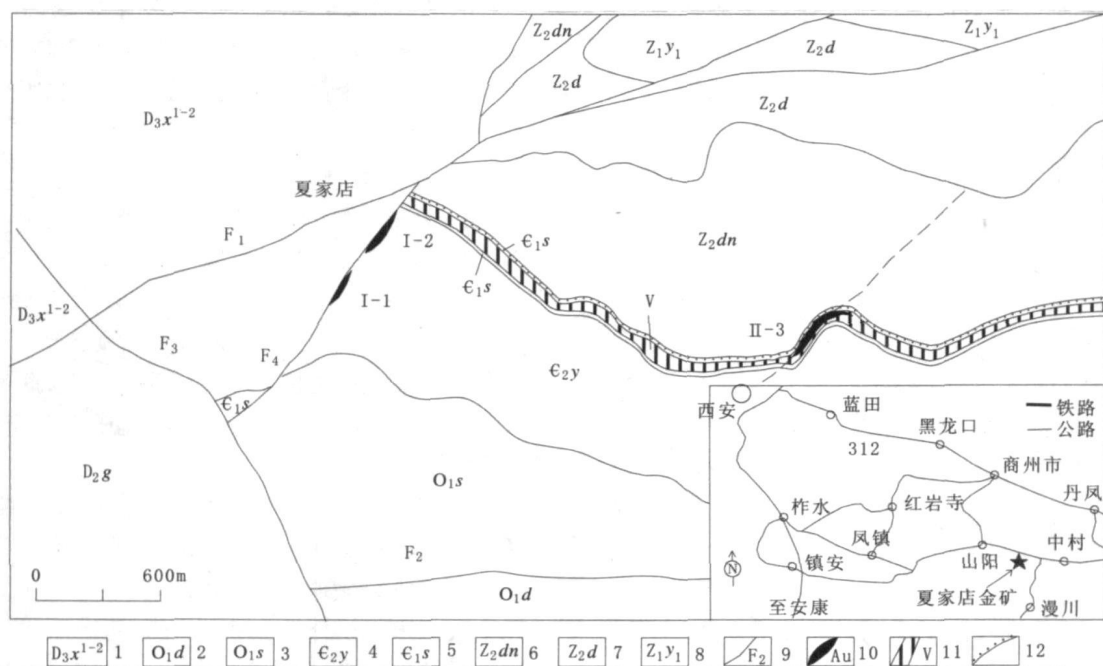


图2 夏家店金钒矿区地质图

Fig. 2 The geology map of Xiajiadian gold-vanadium deposit

1. 泥盆统星红铺组、古道岭组千枚岩、灰岩; 2. 奥陶系吊床沟组灰岩、泥灰岩; 3. 奥陶系水四沟组白云岩; 4. 寒武系岳家坪组蜈蚣垭组白云岩; 5. 寒武系水沟四组硅质(板)岩、板岩、灰岩; 6. 震旦纪灯影组(藻凝块)白云岩; 7. 陡山沱组灰岩、大理岩凝灰岩; 8. 耀岭河组钠长片岩; 9. 断层及编号; 10. 金矿体; 11. 钒矿体; 12. 不整合地质界线

物和氧化铁关系密切, 含钒矿物主要为钒云母, 钒以类质同象形式替代了云母中的Al, 其次是黏土矿物和铁的氧化物, 有少量的钒钛矿和含钒磷钼矿等。钒矿石结构主要有半隐晶质—微晶质结构, 他形粒状结构、碎裂结构、碎斑、碎粒结构、交代结构等。矿石构造主要为碎裂板状构造、角砾状构造、脉状构造、块状构造、稀疏浸染状—星散状构造等。

2.4.2 矿石类型

金矿石据构造岩类型划分为角砾岩型、碎裂岩型、碎斑岩型、碎裂碳硅质板岩型4种类型。

(1) 角砾岩型: 矿石呈褐红色, 角砾状构造, 角砾为次棱角状—次圆状, 成分有板岩、硅质板岩、石英岩、硅质岩、白云岩, 胶结物为极细粒石英及方解石, 为矿床主要矿石类型, 一般含金 $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。

(2) 碎裂岩型: 依岩石类型可分为3个亚型: 碎裂硅质板岩型、碎裂硅质岩型、碎裂硅化石英岩型。

碎裂硅质板岩型: 呈深灰色, 碎裂结构, 变余纹层状构造, 原岩为硅质板岩、泥质板岩, 受构造

挤压破碎, 有石英、方解石细脉穿插, 也为矿床主要矿石类型之一。一般金品位 $5 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ 。

碎裂硅质岩型: 呈褐色, 碎裂结构, 变余纹层状构造, 原岩为隐晶硅质岩, 受构造影响以生破碎及重结晶, 有石英、方解石细脉沿裂隙充填。此类型矿石较少, 含金一般为 1×10^{-6} 。

碎裂硅化石英岩型: 白色为主, 少量褐红、灰色、咖啡色, 碎裂结构, 块状构造及残余状构造。原岩为石英岩(脉), 受构造及热液作用, 发生碎裂及重结晶, 为矿床矿石类型之一, 金品位一般小于 2×10^{-6} 。

(3) 碎斑岩型: 呈灰色夹有褐红色条纹, 碎斑、碎粒结构, 角砾状及糜棱状构造。原岩为板岩、硅质板岩, 受构造强烈挤压而成。该类型矿石为矿床主要类型, 但含量少, 一般呈透镜状, 分布于金矿体上盘或下盘, 含金较高, 一般为 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ 。

(4) 碎裂碳硅质板岩型: 呈灰黑色—黑色, 隐晶—非晶质结构, 变余纹层状构造, 原岩为碳质板岩, 经构造作用而成, 主要成分为石英、绢云母、黏

土矿物、碳质。为 I- 2 号矿体主要类型，金品位一般 $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。

钒矿石按容矿岩石分为硅质板岩型、泥质板岩型 2 种类型。

(1) 硅质板岩型：矿石呈灰黑色，板状层状构造，主要为薄层状硅质板岩，层间及裂隙间充填有少量薄层状黏土岩，为矿床主要钒矿石类型，一般含金 $0.8 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ ，含钒 $0.5\% \sim 1.0\%$ 。

(2) 泥质板岩型：矿石呈黄褐色、红褐色或浅灰白色，中薄层板状构造，岩石发生不同程度的揉皱破碎，局部形成角砾状，为矿床的主要钒矿石类型，一般含钒 $0.5\% \sim 1.5\%$ 。局部地段含金，但品位较低，一般 $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。

2.5 围岩蚀变

金矿围岩蚀变发育，近矿围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、方解石化、褐铁矿化、重晶石化等。而钒矿围岩蚀变不发育，仅有弱的铁碳酸盐化，褐铁矿化。

(1) 硅化：是本区最普遍的蚀变，石英以脉状、

网脉状、透镜状分布于围岩中，使围岩发生不同程度的重结晶。主要的硅化有两期，硅化与金矿化的关系比较密切。

(2) 褐铁矿化：比较发育，由于后期氧化作用，黄铁矿普遍氧化成褐铁矿，而褐铁矿仍保留有黄铁矿立方体或五角十二面体假晶。

(3) 方解石化：比较发育，呈脉状、网脉状分布于围岩及岩石角砾中，与金矿化有一定的关系。

(4) 重晶石化：呈断续脉状，分布于岩石裂隙中。

(5) 绢云母化：主要分布于泥硅质板岩中，由于区域或后期构造热液的作用，使原岩的泥质成分变质而形成绢云母，一般沿岩石的板理及脉体附近比较发育。

2.6 地球化学特征

2.6.1 常量元素地球化学特征

金矿石中高硅低铝，硅化、角砾岩化、去泥化、铁碳酸盐化与金矿化关系最密切，钒与 Al_2O_3 、 K_2O 的关系最密切， SiO_2 含量太高不利于钒的富集（表 1）。

表 1 夏家店金钒矿床岩石常量元素分析结果

Tab.1 Analysis of major element of rocks in the Xiajiadian gold-vanadium deposit

样号	岩性	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Au	V ₂ O ₅
Tq1	碳质岩	76.60	0.55	1.02	5.82	12.70	0.76	0.64	0.117	0.43	0.57	1.83	—
Tq2	硅质岩	85.57	1.35	3.50	1.22	7.28	0.58	0.45	0.074	0.11	0.33	0.25	—
Tq3	白云岩	7.85	17.60	31.0	1.84	2.72	0.19	0.47	0.044	0.065	0.059	0.19	—
Tq4	藻凝块白云岩	10.36	18.20	27.40	0.46	2.98	0.10	0.45	0.037	0.043	0.019	0.19	—
Tq5	板岩角砾岩	77.10	3.80	10.20	0.92	5.80	0.40	0.43	0.081	0.042	0.28	3.63	—
Tq6	硅化石英脉	88.61	0.35	1.68	0.61	7.64	0.13	0.38	0.044	0.043	0.002	0.50	—
Tq7	板岩角砾岩	75.50	0.45	12.50	1.12	8.60	0.22	0.42	0.052	0.043	0.089	4.75	—
Tq8	混合角砾岩	74.25	1.05	12.80	3.11	5.26	1.20	0.45	0.044	0.15	0.063	3.63	—
Tq9	浅色硅质板岩	90.27	0.50	0.90	0.71	4.12	1.20	0.45	0.074	0.28	0.099	37.6	—
Tq10	板岩角砾岩	77.82	0.50	8.80	3.72	7.20	0.24	0.40	0.044	0.11	0.035	3.88	—
Tq11	泥质板岩	84.39	0.45	0.33	8.11	4.47	1.17	0.05	0.214	—	0.027	0.13	0.801
Tq12	硅质板岩	96.80	0.18	0.42	0.76	1.57	0.13	0.05	0.036	—	0.690	1.13	0.039
Tq13	硅质岩	93.69	1.38	1.30	0.87	1.12	0.17	0.06	0.107	—	0.500	0.13	0.010

注：测试单位：西北有色地质勘查局七—三总队实验室；Au 含量： $\times 10^{-6}$ ，氧化物含量：%，Tq1—Tq1 为 2003 年分析，Tq11—Tq12 为 2006 年分析，— 未分析。

2.6.2 稀土元素特征

夏家店岩、矿石稀土元素分析结果见表 2。以富轻稀土（ $\sum Ce / \sum Y > 1$ ）、稀土总量（ $\sum REE$ ）较低为特征，相比较而言，矿石中稀土总量较围岩高，钒矿石比金、金钒矿石高。稀土元素配分模式（图 3）为右倾的缓倾斜型，矿石与围岩大体一致，均显示

较明显的 Ce 负异常。Ce 负异常反映了海相热水沉积特征。较特殊的是矿石样品稀土模式还具有明显的 Nd 异常，这与秦岭地区已知的金矿床均有所不同，这一特点可能反映了夏家店金矿在形成过程中或在成矿期后存在着强烈的风化淋滤作用和黏土矿物对 Nd 的强烈选择性吸附，岩石的“红色化”可能

与之有关。这种“红色化”常见于武当隆起西北的滑脱剥离断层带。

表 2 夏家店矿石及围岩稀土元素分析数据

Tab. 2 Analysis of REE in the Xiajiadian ore and wall rock

岩矿石类型	件数	$w B/10^{-6}$										
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
围岩 ^①	4	6.907	8.977	2.831	5.134	1.116	0.913	1.108	0.554	0.761	0.468	0.675
金矿石	4	23.175	24.35	5.95	7.375	5.675	1.625	5.775	1.175	5.525	1.15	3.325
金钼矿石	7	42.971	41.000	10.057	18.357	7.871	2.071	8.286	1.686	9.443	2.243	7.614
钼矿石	14	56.429	50.200	11.822	18.629	8.965	5.000	10.350	2.207	12.893	3.171	10.843
球粒陨石*		0.33	0.88	0.112	0.6	0.181	0.069	0.249	0.047	0.31	0.07	0.2

岩矿石类型	件数	$w B/10^{-6}$				含量 $w B/10^{-6}$			比值		异常系数	
		Tm	Lu	Y	Yb	ΣCe	ΣY	ΣREE	$\Sigma Ce / \Sigma Y$	Sm/Nd	δCe	δEu
围岩 ^①	4	0.517	0.413	3.043	0.709	25.878	8.246	30.942	3.143	0.261	0.764	1.103
金矿石	4	0.5	0.425	34.275	2.675	68.15	54.825	122.975	1.243	0.780	0.445	1.071
金钼矿石	7	1.129	1.057	56.514	6.657	122.329	94.629	216.957	1.293	0.830	0.527	0.821
钼矿石	14	1.657	1.735	87.000	10.236	151.043	140.093	291.135	1.113	1.005	0.422	2.180
球粒陨石*		0.03	0.034	1.96	0.2							

注：测试单位：西北有色地质研究院 2003，2006 年；①朱宏州，夏家店金矿控矿条件和赋矿规律研究，西北有色地质研究院，2003 年；
* 球粒陨石丰度值参考《稀有元素地球化学》及《稀土地球化学》，刘英俊等编。

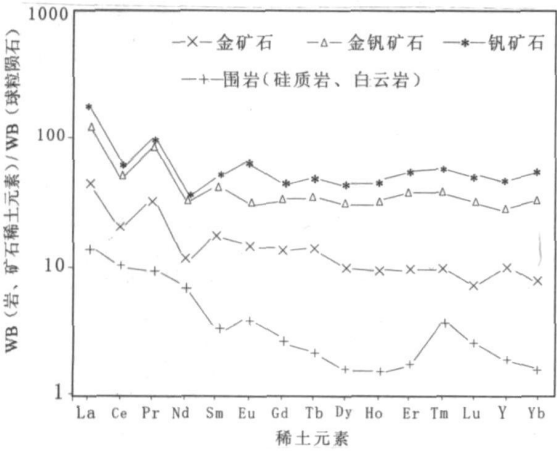


图 3 夏家店金钼矿稀土酸分模式图
Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns
of ores and rocks

2. 6. 3 成矿流体包体特征及均一温度

包裹体样品主要采自与金矿化关系密切的石英脉和方解石脉。

(1) 早期石英脉（块）中的包体特征。由于岩石受到不同程度的挤压破碎，所以原石英中的包体

绝大多数已自然破裂或渗漏，仅在一些破碎程度较轻，有一些破裂现象的样品中见到石英的原生包体。以纯液相包体为主，气-液两相包体较少，偶见三相 CO₂ 包体。均一法测温范围 220 ~ 336 °C。

(2) 角砾岩石英裂隙中的包体特征。岩石破裂，空隙和裂隙给热液形成了通道，使角砾中的石英有明显重结晶现象，沿着石英的愈合裂隙、空隙处及其附近形成较多的包体（次生包体）。其特征为包体较大，以纯液相居多，多为富有机包体和有机包体，温度范围 152 ~ 360 °C，主要温度范围为 199 ~ 300 °C。

(3) 环带状重结晶石英中包体特征。石英中包体比较普遍，但非常细小，纯液相包体为主，均一法测温范围为 160 ~ 360 °C，主要范围为 200 ~ 300 °C，基本与石英裂隙中包体均一温度吻合，说明二者在同一阶段形成。

(4) 方解石脉及方解石胶结物中包体特征。方解石除了构造角砾岩的胶结物外，在各种不同的岩石的裂隙中，往往形成脉状和细脉状穿插，其包体普遍可见，包体特征以纯液相为主，气液包体较少，而且较小，均一测温范围是 140 ~ 234 °C。位于角砾岩胶结物中的

方解石，其包体特征与方解石脉相同，测温范围为 150 ~ 244 °C，说明二者是同一阶段的产物。

包体的形成可分为 3 个阶段，第一阶段为石英中的原生包体（ ），第二阶段为石英裂隙及重结晶石英中的包体（ ）；第三阶段为方解石胶结物及方解石脉中的包体（ ）。

121 个包体测试数据统计结果表明：早期石英

包体中，均一温度范围为 220 ~ 336 °C，平均 267. 12 °C；晚期石英裂隙及重结晶石英中包体均一温度范围为 152 ~ 345 °C，平均 237. 27 °C；方解石胶结物及方解石脉中包体均一温度范围为 131 ~ 273 °C，平均 197. 57 °C。因此，随着成矿作用的进行，包体均一温度逐渐下降。不同阶段矿物包体中均一温度不同，说明了金成矿具多阶段性的特点。

表 3 各成矿阶段均一温度统计表
Tab. 3 Statistics of homogenization temperatures in each metallogenic stage

阶段					
包体特征	早期石英中 原生包体	石英裂隙及 裂隙愈合处包体	重结晶石英 中包体	方解石胶 结物中包体	方解石脉 中包体
温度范围 (°C)	220 ~ 336 (23)	152 ~ 345 (29)	124 ~ 328 (34)	131 ~ 273 (15)	148 ~ 234 (20)
		152 ~ 345 (63)		131 ~ 273 (35)	
平均值	267. 12 (23)	237. 27 (63)		197. 57 (35)	

注：测试单位：西北有色地质研究院。2002、2006 年。

2. 6. 4 H、O 同位素地球化学特征

夏家店金钒矿包体氢、氧同位素分析结果见表

4，从图 4 中可看出：成矿水介质是以大气水为主，有热卤水、地热水参与、向岩浆水靠近的混合水。

表 4 夏家店金钒矿氢氧同位素
Tab. 4 D-O isotopes of inclusions fluid in Xiajiadian gold-vanadium deposit

样 号	岩 性	矿物名称	$\delta D_{V-SMOW(水)}$ (‰)	$\delta^{18}O_{V-SMOW(矿物)}$ (‰)	$\delta^{18}O_{V-SMON(水)}^{①}$ (‰)	温度范围 (°C)
X-53	青灰色石英脉	石英	- 88	22. 8	10. 768 ~ 13. 631	193 ~ 245
X-121-1	青灰色石英脉	石英	- 99	21. 0	8. 233 ~ 9. 409	182 ~ 200
X-105-1	青灰色石英脉	石英	- 98	23. 3	11. 203 ~ 12. 591	192 ~ 215
X-23-2	青灰色石英脉	石英	- 91	24. 4	12. 809 ~ 14. 021	200 ~ 221
X-126	白色石英脉	石英	- 95	22. 7	6. 568 ~ 12. 158	140 ~ 218
变化范围			- 99 ~ - 88		6. 568 ~ 14. 021	140 ~ 245

注：测试单位：中国地质科学院矿产资源研究所；①根据 $\Delta A - B = 3. 26 \times 10^6 T^{-2} - 2. 98$ 计算。

2. 7 成矿控制因素

夏家店金钒矿赋矿层位主要是寒武系水沟口组，黑色岩系控制矿床主要金钒矿体的分布。从灯影期同生角砾岩开始局部发展，到早寒武世早期(-C_{1s}1)，海盆裂陷热水沉积作用可能达到高峰，广泛发育以硅质岩为主的热热水沉积黑色岩系，是区域 V、Au、Ag 矿的主要成矿岩石建造。其微量元素丰度较高，碳硅质岩平均含 Au 4. 8 × 10⁻⁹、Cu 163 × 10⁻⁶、Zn 219 × 10⁻⁶、Ag 2. 95 × 10⁻⁶、V 847 × 10⁻⁶、Hg 2 225 × 10⁻⁹。金以吸附态为主，钒则以类质同象态存在，是夏家店金钒矿的主要含矿岩石建造。碳硅质岩具有较

好的渗透性、还原性和吸附性，有利于成矿热卤水的运移、沉淀，成为主要控矿岩石建造。

夏家店金钒矿床金矿主导控矿因素为区域大断裂高热流带、构造断裂系统。镇-板断裂为夏家店金矿的主要导矿构造，其次级断裂为配、储矿构造。F4 断裂是夏家店金矿 I 号矿体的主要储矿构造。I-1、I-2 号金矿体赋存于 F4 断裂破碎带中，此构造带构造变形复杂，经历了多期变形，形成脆性构造岩。由于强烈的构造切割，与镇-板断裂高热流带连通，在断裂带内形成构造成矿热液循环系统。系统具渗透性、吸附性、隔挡性、半开放性特点，为金的工业

富集创造必要的定位条件。

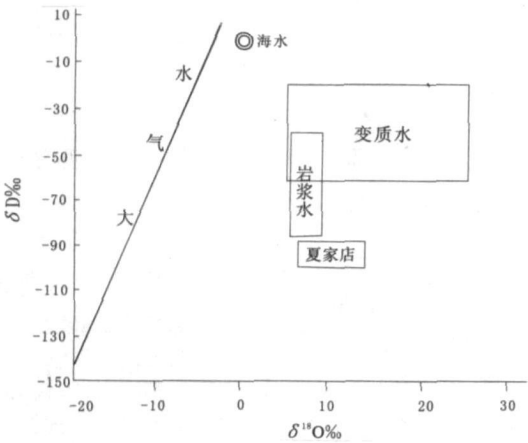


图 4 夏家店金矿成矿流体氢氧同位素图解

Fig.4 Diagram for D-O isotopes of ore-forming fluid in Xiajiadian gold-vanadium deposit

3 找矿方向

早寒武世是地史上一个重要的转折期，也是一个重要的成矿期。在全球拉张构造动力背景下，扬

子大陆边缘矿沉积了黑色岩系，形成了多种金属、非金属和有机质超大规模聚集。南秦岭东段黑色岩系钒矿带是扬子大陆北缘典型的成矿带，它的成矿时代、容矿岩石特征都与其南缘的成矿带有相似性和对比性。但其矿化类型主要为钒金矿，又别于其他成矿带矿床特征，表明有其独特的地球构造动力背景和沉积环境。该成矿带是在震旦纪构造裂陷带进一步发育的深海半深海滞留缺氧环境下，是由多种因素作用、耦合成矿的产物。海底同生断裂热水喷流与有机质及生物爆发、基底和隆起岩石氧化、海浸和海平面波动之间的耦合作用是影响矿化类型和矿床规模的重要因素（范德廉等，2004）。在加里东期以来的造山过程中，它们又受到明显的改造作用。

南秦岭东段黑色岩系分布如图 5，以下寒武统水沟口组第二岩性段泥灰岩、泥页岩、碳质灰岩夹页岩、硅质板岩为组合。分布于白龙洞至梁家坟复式向斜两翼，北翼划分为北带，工作程度较高，从夏家店至湘河街已形成数十个大型钒矿，整个矿带已探明储量数百万吨，规模达到超大型。该矿带含矿层位稳定，矿体均呈层状产出，矿体倾向延伸大，

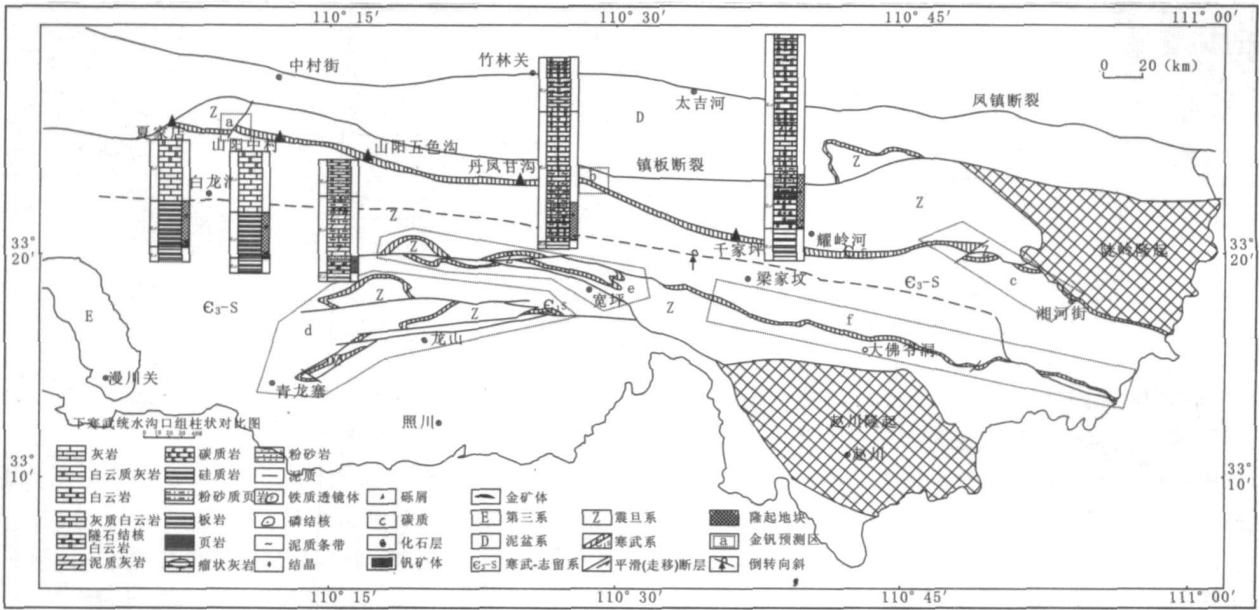


图 5 南秦岭东段早寒武世黑色岩系分布及含矿层位柱状图

Fig. 5 Distributions of early Cambrian black rock series and stratigraphic columns of ore-bearing in the eastern south Qinling

被认为是典型的沉积矿床。夏家店金钒矿床的发现与勘查,不但揭示了钒矿具有鲜明的层控和岩控特征,而且实现了金矿找矿的新突破,金矿体就是在黑色岩系基础上叠加了印支期挤压推覆、燕山期剪切平移断裂构造形成的。金矿具有浅成低温热液特征,蚀变较弱,含极少硫化物,金呈微细粒浸染状,矿体受北东向断裂以及枢纽为北东向的褶曲控制,容矿岩石主要为黑色岩系底部含碳硅质板岩。因此北带 a、b、c 区(图 5)是找金有利靶区。

白龙洞至梁家坟复式向斜的南翼划分为南带,工作程度较低,与北带有高度相似地球构造动力背景和沉积环境,通过初步调查,钒矿化普遍,断裂发育,褶曲强烈,其中 d、e、f 区寻找金、钒潜力巨大。

参考文献 (References):

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 [J]. 中国科学 (D), 1996, 26 (3): 193–200.

冯德廉, 张涛, 叶杰, 等. 中国的黑色岩系及其有关矿床 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

王相, 唐荣扬, 李实, 等. 秦岭造山与金属成矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.

朱华平, 任涛, 李建斌, 等. 陕西山阳县夏家店金矿床地质特征、控矿因素与金的富集规律 [J]. 地质通报, 2004, (7): 695–701.

任涛. 陕西山阳夏家店金 (钒) 矿床地质特征及找矿前景分析 [J]. 西北金属矿产地质, 2001, (26–27): 82–85.

祁思敬, 李英. 南秦岭晚古生代海底喷气沉积系统 [J]. 地学前缘, 1999, 16 (1): 171–179.

姚书振, 丁振举, 周宗桂, 等. 秦岭造山带金属成矿系统 [J]. 地球科学, 2002, 27 (5): 599–604.

张国伟, 董云鹏, 姚安平. 造山带与造山作用及其研究的新起点 [J]. 西北地质, 2001, 34 (1): 1–9.

夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 南秦岭中新元古代火山岩性质与前寒武纪大陆裂解 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (3): 237–243.

周鼎武, 张成立, 韩松, 等. 东秦岭早古生代两条不同构造—岩浆杂岩带的形成构造环境 [J]. 岩石学报, 1995, 11 (2): 115–126.

张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及其找矿 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985: 1–267.

扬志华, 等. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.

翟裕生. 论成矿系统 [J]. 地学前缘, 1996, 6 (1): 13–27.

王伟涛, 肖丽, 周铁锁, 等. 南秦岭夏家店卡林型金矿床构造特征与成矿关系 [J]. 西北地质, 2004, 37 (3): 61–66.

李文渊, 董福辰, 姜寒冰, 等. 西北地区重要金属矿产成矿特征及其找矿潜力 [J]. 西北地质, 2006, 39 (2): 1–15.

ZHANG Guowei, MENG Qingren, YU Zaiping, et al. The orogenic process and dynamics characters of the Qinling orogenic belt [J]. China Sciences (D series), 1996, 26 (3): 193–200 (in Chinese with English abstract).

FAN Delian, ZHANG Tao, YE Jie, et al. Chinese black rock series and relevant ore deposits [M]. Science Publishing House, Beijing, 2004.

WANG Xiang, TANG Rongyang, LI Shi, et al. Qinling orogeny and metallogenesis [M]. Metallurgical Industry Press, Beijing, 1996.

ZHU Huaping, REN Tao, LI Jianbin, et al. Geological characteristics, ore-controlling factors and gold enrichment regularity of the Xiajiadian gold deposit, Shanyang County, Shaanxi Province [J]. Geological Bulletin of China, 2004, (7): 695–701.

REN Tao. Geological characteristics and ore prospecting potential of the Xiajiadian gold (vanadium) deposit, Shanyang County, Shaanxi Province [J]. Geology of Metal Mineral Resources of Northwestern China, 2001, (26–27): 82–85.

QI Sijing, LI Ying. The upper Paleozoic submarine exhalative sedimentary metallogenic system in South Qinling [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 16 (1): 171–179.

YAO Shuzhen, DING Zhenju, ZHOU Zonggui, et al. metallogenic systems of qinling orogen [J]. Earth Science-journal of China University of Geosciences, 2002, 27 (5): 599–604.

ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, YAO Anping, et al. Review on the development of studies on the tectonic and orogen of orogenic belt, and discussing on some key problem [J]. Northwestern Geology, 2001, 34 (1): 1–9.

XIA Linqi, XIA Zoucun, XU Xueyi. Mid-Proterozoic volcanic attribute of South Qinling and Precambrian continent cracking [J]. Science in China (series D), 1996, 26 (3): 237–243.

ZHOU Dingwu, ZHANG Chengli, HAN Shong, et al. Tectonic settings on two different tectono-magma complex of eastern Qinling in Early Paleozoic [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11 (2): 115-126.

ZHANG Ligang. Geological appliance for the stable isotope [M]. Shaanxi Science and Technology Publishing House, Xi'an, 1985: 1-267.

YANG Zhihua, et al. Constructive structure faces and mineralizations in plate transmitted edge basin [M]. Science Publishing House, Beijing, 1991.

ZHAI Yusheng, On the Metallogenic System [J]. *Earth Science Frontiers*, 1996, 6 (1): 13-27.

WANG Weitao, XIAO LI, Zhou Tiesuo, et al. Tectonic and mineralization of Xiajiadian Carlin-type gold deposit in South Qinling.

LI Wenyuan, DONG Fuchen, JIANG Hanbing, et al. Metallogenetic characteristics and prospecting potential of major minerals in Northwest China [J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39 (2): 1-15.

Metallogenic Characteristics and Prospecting Target of Au-V Deposits in Early Cambrian Black Rock Series in the Eastern South Qinling: A Case Study of the Xiajiadian Deposit

REN Tao^{1,2}, FAN Zhong-piny², YUAN Lian-xiao³, JIANG Rui⁴

(1. *College of Resources, China University of Geology (Wuhan), Wuhan 430074, China*; 2. *No. 713 Survey Team of Northwest China Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Shangluo 726000, China*; 3. *Northwest China Institute of Geology for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, China*; 4. *Northwest China Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, China*)

Abstract: The black rock series is developed in eastern South Qinling, which contains large scale Au and V deposits, such as the Zhongcui, the Yinhua and the Qianjiaping vanadium deposits. With the finding of the Xiajiadian gold (vanadium) deposit in the series, it is now clear that the vanadium deposit is obviously controlled by strata and lithology and was formed in the lower part of the early Cambrian Shuigoukou formation. The formation of the deposit is related to the anoxic setting. However, the formation of the gold deposit is not only controlled by the black rock series, but is also controlled by structure activities after organic processes. Therefore, it is crucial to carry out combination approach in the exploration, particularly in the area where the east and north striking structures were in superposition in the black rock series.

Key words: metallogenic characteristics; prospecting target; black rock series; early Cambrian; eastern South Qinling belt