

陕西山阳县黑色岩系中中村 —银花钒矿床地质特征

李 玫¹ 张复新²

(1.忻州师范学院地理系,山西忻州 034000;2.西北大学地质学系,陕西西安 710069)

摘要:秦岭黑色岩系中带的钒矿构成超大型规模,中村—银花钒矿是大型钒矿的典型代表,产于下寒武统水沟口组中段硅质板岩—泥板岩—粘土质泥板岩岩性转换过渡层位中。矿石根据岩性划分为硅板岩型、粘土质泥板岩型和硅质泥板岩型 3 种类型。矿层延长及厚度稳定, V_2O_5 品位为 0.70%~1.17%。研究查明,钒与粘土质、泥质板岩密切相关,钒在粘土泥板岩中相对富集。钒与铝、钾、铁存在较密切的地球化学共生关系。钒以钒酸盐、磷酸盐及吸附状态存在于高岭石、水云母中。研究认为,含钒黑色岩系是扬子大陆向华北大陆俯冲启动下,于早寒武世扬子大陆北缘斜坡出现在拉伸裂谷式沉积环境,发育滞留深水环境下的炭—泥—灰—重晶石—硅质含钒沉积建造,含钒的炭质硅板岩—炭质泥板岩层具有热水沉积产物的特征。

关键词:沉积钒矿床;黑色岩系;钒赋存状态;中村银花;陕西山阳;秦岭造山带

中图分类号: P618.61 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)05-1099-11

随着找矿难度的加大,20 世纪末,人们对秦岭黑色岩系及其矿产引起关注^[1]。秦岭造山带黑色岩系按产出地质背景划分为南、北、中 3 带:南带勘查出安康市鲤鱼山含钼—钒矿床,北带勘查出商州市清岩沟钼—镍矿床,中带勘查出山阳县夏家店钒—金矿床、山阳中村银花钒矿。其中,中村银花钒矿早在 20 世纪 80 年代初已被勘查,矿床赋存于中带下寒武统水沟口组含炭硅质泥板岩中,初步查明了钒的成矿地质条件、矿床规模、矿层各岩性层中 V_2O_5 的品位变化等。在钒矿层位局部叠加较强烈的韧—脆性剪切构造带时,形成夏家店微细浸染型钒—金矿床,中村银花钒矿属本地区轻微改造的钒矿层大型矿床的典型代表。开展秦岭黑色岩系中的金—钒、钒、有色金属等新一轮找矿与成矿规律研究,有望使秦岭成矿带找矿出现新突破。

1 大地构造背景

中村—银花钒矿床的形成是与华北与扬子两大陆,于古生代进入现代板块活动体制的陆—陆俯冲—

碰撞构造背景的演化密不可分的,下寒武统水沟口组含矿岩系是扬子大陆向华北大陆俯冲启动下,在早寒武世扬子大陆北缘斜坡出现拉伸裂谷式沉积环境^[2],沉积一套滞留深水环境下的热水成因的炭—泥—灰—重晶石—硅质沉积和在炭泥质板岩层中形成中村银花大型钒矿床(图 1)。寒武纪地层中的钒矿是中国的重要含钒层位^[3],秦岭造山带黑色岩系 3 个带,以宁陕—山阳—商南中矿带成矿地质条件最好,自山阳—商南形成一超大型钒矿田,典型矿床为山阳中村银花钒矿床(图 2)。

2 矿区地质

2.1 矿区地层

2.2.1 震旦系(Z)

分别由下震旦统耀岭河组、上震旦统陡山沱组和灯影组组成,矿区范围内仅出露上震旦统灯影组上段地层,沿含钒的矿层顶部分布,构成倒转矿层的顶板围岩。根据岩性、岩石结构构造,分为上、下两个岩段:下岩段($Z_2d_3^{-1}$)为灰色、厚层—巨厚层花蚀状

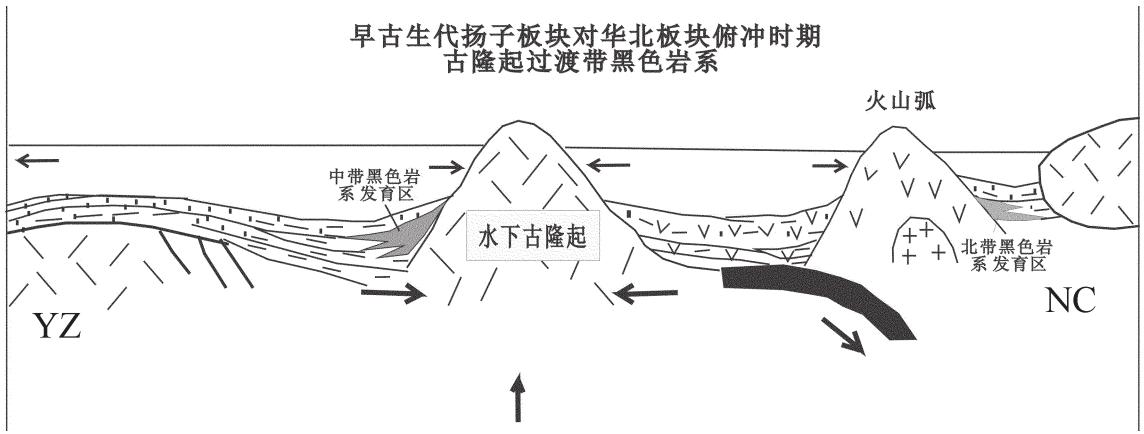


图1 秦岭造山带黑色岩系中带沉积构造背景
Fig.1 Sedimentary tectonic setting of mesozone black shale in Qinling orogenic belt

白云岩组成,总厚 150 m。下岩段(Z_2dy^{3-2})由灰色厚层微晶白云岩组成,总厚 25~41 m。该层上层可见凹凸不平的古风化壳与上覆地层呈平行不整合接触。

2.1.2 寒武系(ϵ)

分别由下寒武统水沟口组、中寒武统岳家坪组和上寒武统蜈蚣丫组组成,矿区内发育水沟口组,水沟口组下岩段为钒的赋存层位,按沉积旋回和岩性组合可划分 3 个岩段。

水沟口组下岩段(ϵ_{1sg1}):是重要的金-钒含矿与容矿层系,可分 4 个岩性段:

①第一岩性段(ϵ_{1sg1}^1):肉红色、黑灰色厚-中厚层状硅质岩为含矿层顶板(倒转),为水沟口组下段标志层。岩石主要由微晶石英(90%~98%)条带及层状构造,细晶方解石(1%~3%)、细微鳞片绢云母(1%

~5%)、细晶重晶石(0.5%~5%)稀疏散布或断续层状分布,纹层及散状粉末炭质(0.5%~1%),少量草莓黄铁矿及微晶黄铁矿等组成。单层厚 10~50 cm,岩段厚 3.7~19.6 m。岩石中 V_2O_5 平均含量 0.023%~0.1%,随泥质含量增高 V_2O_5 含量同步增长。岩石呈微晶-微细晶结构,块状-厚层状构造。

②第二岩性段(ϵ_{1sg1}^2):薄层硅质岩夹薄层泥板岩(含磷结核),为上含矿层,薄层硅质岩矿物组成与第一岩性段硅质岩相同。薄层泥板岩主要由显微鳞片绢云母(90%~95%),细晶方解石(1%~3%),炭质(2%~5%)纹层及粉末状分布,微晶石英(1%~5%)条带状分布,胶磷矿(0.5%~2%)隐晶胶状集合体,微晶黄铁矿(少量~0.5%)等组成。泥板岩单层厚 0.05~0.20 m,岩段层厚 16.9 m,是钒矿层自下而上由贫变

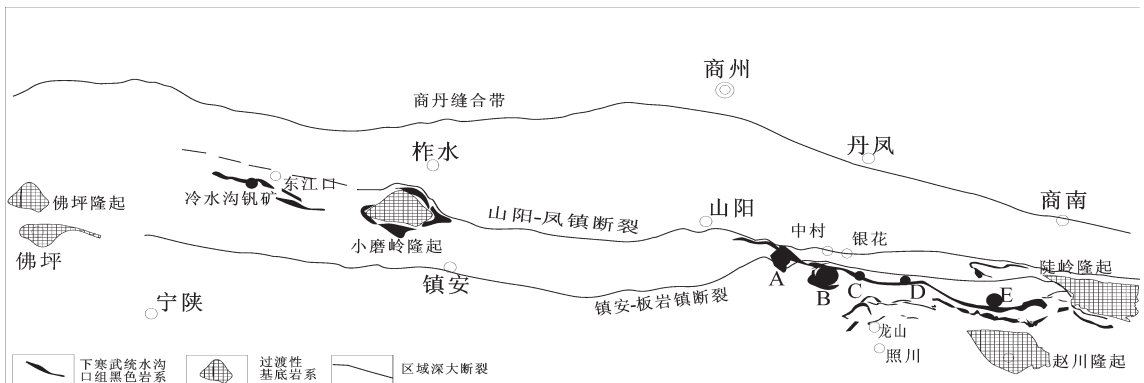


图2 秦岭区黑色岩系中带及相关矿床分布
A—夏家店金-钒矿床; B—中村银花钒矿床; C—五色沟钒矿床; D—甘沟金(钒)矿点; E—千家坪钒矿床
Fig.2 Mesozone black rock series and related ore deposits in Qinling region
A—Xiajiadian gold-vanadium deposit; B—Zhongcun-Yinhua vanadium deposit; C—Wusegou vanadium deposit; D—Gangou gold-vanadium ore spot; E—Qianjiaping vanadium deposit

富的一个标志性岩段,局部可形成钒的工业矿体。

③第三岩性段(ϵ_{1sg_1}):含炭质岩的炭质泥板岩与硅板岩互层。该层位属硅板岩向泥板岩变化的过渡层位,也是钒矿的主体层位,主体为含炭质泥板岩,岩段层厚 16.5 m。主体岩石炭质泥板岩由显微鳞片绢云母(95%~98%)、微晶石英(1%~3%)、炭质(1%~3%)纹层—丝絮状、胶磷矿(1%~3%)呈球藻及藻丝体微体化石及隐晶胶状集合体组成的结核、草莓黄铁矿及该薄互层状泥板岩层段中含有磷结核层,磷结核层的出现钒的品位增高。

④第四岩性段(ϵ_{1sg_4}):炭质泥板岩—泥板岩(粘土岩)为下含矿层,单层厚 0.05~0.30 m,微细鳞片及泥状结构,主要矿物为高岭石与水云母(74%~98%)微晶集合、炭质(15%)粉尘状散布,次为微晶石英、方解石等,层面夹含大小不等的磷结核。下部为石煤。中部含炭泥板岩—粘土岩,厚度 0.5~1.0 m;上部炭质粘土岩。钒矿层主要赋存于下部层位,总厚 9.75~18.75 m。

水沟口组中岩段(ϵ_{1sg_2}):可分 2 个岩性段:①下部薄层微晶灰岩为含矿层底板,单层厚 5~10 cm。主要由不等粒细晶方解石(93%~99%),次为白云石、石英、泥质、水云母等微晶组成。岩性段厚 24 m。②上部微晶砾屑灰岩—微晶灰岩夹互层微晶砾屑灰岩,岩性段 17~22 m 厚。由细晶方解石(75%)、微晶白云石(25%)、少量硅质石英。岩石中钙质砾屑约占 60%,呈杆条状。岩性段顶部泥质白云质增高,与上覆地层整合过渡。

水沟口组上岩段(ϵ_{1sg_3}):下部深灰色—灰色薄层泥灰岩夹含少量粒屑状白云质灰岩,上部中厚层微晶白云岩夹薄层灰岩及泥灰岩,厚度 39.94 m。

2.2 含矿岩系特征

2.2.1 含矿岩系组成及产出背景

综上通过对水沟口组含矿岩系的观测与研究,表明其是由炭质硅板岩、炭质泥板岩、微晶灰岩、粘土岩及石煤组成,为多岩性组合的细粒沉积岩体系,是缺氧环境中的还原性岩石,莓球群黄铁矿、沉积重晶石和磷结核是该岩系常见矿物,属于较典型的黑色岩系。

已知黑色岩系形成于多种沉积环境,根据研究区所处地质背景,扬子稳定大陆北部边缘凹陷带;产于震旦系与寒武系平行不整合面之上;由一套海相黑色细粒、以硅质岩—泥质岩—粘土岩等多岩性组合

而成;形成沉积古环境为局限性断陷盆—隆(或台—沟)体系;硅板岩中含有均匀散布的沉积重晶石及莓球群黄铁矿;含有的成矿元素组合为 Au、Ag、V、P、Ba、U、Mn、Ni、Cr、Cu、Pb、Zn 等。表明该含矿岩系应在水循环不畅、微生物发育的滞留环境中形成,与海底同生断裂喷溢的含较丰富金、钒等成矿物质的海底热水混入有直接关系。

2.2.2 含矿岩系地球化学特征

中带总体黑色岩系硅质岩所占比例大,以高 SiO_2 为特征,泥质岩较富含 K_2O ,富集有机炭。按主要成分重点采集硅质岩和泥板岩两类,硅质岩类 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值为:10.81~281.63,21 件平均 68.48,泥质岩类 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值为:3.14~8.42,15 件平均 6.83。两类岩石 $n(\text{SiO}_2)/n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值均高于 3.6,间接表明其物源有大量海水中热水沉积产物补充。

Jewell et al^[6]提出沉积岩中 $n(\text{Al})/n(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 值 >0.5 时,其物源为陆源,该比值 <0.35 时为热水注入。本地区硅质岩类 $n(\text{Al})/n(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 值为 0.36~0.83(表 1),泥质岩类 $n(\text{Al})/n(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 值 0.34~0.91,其物源应为陆源和海底热水沉积物两者混合组成。

Aitchison et al^[6]提出沉积岩石中 $n(\text{Si})/n(\text{Si}+\text{Al}+\text{Fe})$ 值为 0.9~1 时反映物源为生物硅,该值 <0.9 则更接近碎屑物源区。本地区硅质岩类 $n(\text{Si})/n(\text{Si}+\text{Al}+\text{Fe})$ 值为 0.88~0.99(表 1),21 件平均 0.95;泥质岩类 $n(\text{Si})/n(\text{Si}+\text{Al}+\text{Fe})$ 值为 0.70~0.86,15 件平均 0.70,反映本区沉积物源来自海底热水及近陆源剥蚀区混合。

Murray^[7]使用 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 值来确定沉积岩的沉积大地构造环境,该比值为 0.6~0.9 时为大陆边缘环境,该值为 0.4~0.7 时为深海沉积环境,0.1~0.4 时为洋脊海岭环境。研究区硅质岩类 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 值为 0.56~0.91(表 1),21 件平均 0.69;泥质岩类 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 值为 0.52~0.96,15 件平均 0.77。介于大陆边缘地质背景(0.6~0.9)和深海沉积环境(0.4~0.7)的过渡地带的环境,恰为黑色岩系发育的背景环境。

$n(\text{MnO})/n(\text{TiO}_2)$ 值 <0.5 一般为边缘海和大陆坡环境,大洋硅质沉积物该比值达 0.5~3.5。研究区硅质岩的 $n(\text{MnO})/n(\text{TiO}_2)$ 值为 0.02~2.89(表 1),反映该区黑色岩系中硅质岩主要形成于大陆边缘与深海环境过渡带上,硅岩主要为热水沉积成因。

以下现象显示该赋矿岩系的热热水沉积成因特

表 1 黑色岩系岩石化学全分析 (10^{-2}) 及相关参数
Table 1 Petrochemical bulk analyses and related parameters of Zhongcun-Yinhua black rock series (10^{-2})

岩 性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	n(SiO ₂)/ n(Al ₂ O ₃)	n(Al)/ n(Al+Fe +Mn)	n(Si)/n (Si+Al +Fe)	n(Al ₂ O ₃) /n(Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	n(MnO) /n(TiO ₂)
炭质泥板岩型 钒矿石	56.98	6.36	5.23	0.03	0.21	8.96	0.48	0.83	0.66	0.16
含磷泥板岩	51.39	2.51	1.27	0.05	0.08	20.47	0.59	0.93	0.76	0.65
土黄泥质岩型 钒矿石	72.99	9.84	6.10	0.01	0.42	7.42	0.55	0.82	0.72	0.02
黑色硅质岩	97.51	0.58	0.71	0.05	0.02	0.02	0.09	0.26	0.56	2.89
泥灰岩	35.18	4.23	1.70	0.21	0.13	0.13	0.07	25.66	0.80	1.60
炭质泥板岩型 钒矿石	67.80	8.05	3.67	0.04	0.41	0.41	0.66	8.64	0.77	0.11
硅质板岩型钒矿石	93.00	1.04	1.38	0.04	0.06	0.06	0.68	2.62	0.54	0.72
炭质泥板岩	70.59	9.85	4.26	0.05	0.53	0.53	0.24	5.89	0.78	0.10
炭质质板岩型 钒矿石	72.52	9.83	3.57	0.03	0.50	0.50	0.21	5.36	0.81	0.07
片理化泥板岩 型钒矿石	49.85	14.6	5.97	0.01	0.57	0.57	0.15	16.88	0.79	0.02
含磷泥板岩型 钒矿石	65.66	5.45	2.10	0.02	0.23	12.05	0.66	0.89	0.80	0.07
砖红泥板岩	63.51	9.95	14.59	0.02	0.43	6.38	0.34	0.74	0.52	0.04
含炭硅质泥板岩	66.50	9.87	4.71	0.03	0.52	6.74	0.61	0.81	0.77	0.06
硅质板岩	95.33	0.98	1.15	0.03	0.04	97.28	0.39	0.98	0.57	0.68
炭质泥板岩型 钒矿石	80.22	7.42	1.09	0.01	0.42	10.81	0.84	0.89	0.91	0.02
硅质泥板岩	79.51	6.16	5.18	0.01	0.29	12.90	0.47	0.88	0.65	0.03
条带泥板岩	14.50	3.25	1.12	0.01	0.15	4.46	0.68	0.76	0.82	0.07
炭质硅岩	88.50	1.15	0.87	0.04	0.04	76.96	0.49	0.98	0.67	1.02
碎裂硅质岩	95.60	0.60	0.64	0.03	0.02	159.3	0.40	0.99	0.59	1.90
炭质泥板岩	68.80	10.74	3.81	0.01	0.57	6.41	0.68	0.82	0.82	0.02
硅质板岩	25.47	1.90	1.35	0.04	0.11	13.43	0.51	0.89	0.69	0.33

注:由西北大学大陆动力学国家重点实验室分析。

征:①硅质板岩的沉积特征及成因毋庸置疑,层状岩石、发育的层理构造、多有泥质纹层夹互层。与下伏震旦系呈平行不整合接触关系,重要的沉积构造环境导致该岩石的形成;②岩石硅质石英和泥质绢云母结晶细微、颗粒大小均匀,沿层位走向稳定,不含任何热液蚀变迹象;③含有沉积成因重晶石,微细粒重晶石集中分布呈现沉积纹层,或均匀散布硅岩中与硅质石英混生均显示沉积特征;④沉积重晶石的存在表明沉积环境盐度与矿化度高,钡与硫的出现是热水-热泉活动的直接产物;⑤该硅质、重晶石与沉积成岩莓球状黄铁矿共生一起,进而佐证该重晶

石硅质岩的热水沉积成因;⑥岩石稀土含量低,稀土标准化模式与南秦岭热水沉积硅岩相似,进而表明是高盐度海底热水喷流沉积产物^[4]。

2.3 矿区构造

矿区位于位于夏家店—龙泉倒转背斜南翼,矿区内地层倒转,呈一向南倾斜的单斜构造,出露地层以下寒武统水沟口组为主,地层产状倾向 20°~40°,倾角<40°~55°,近东西稳定展布。区内断裂不发育,矿体形态完整,局部构造裂隙发育,多有细网脉状石英、碳酸盐充填。褶皱构造强烈部位,特别是倒转翼的硅质岩与泥板岩的薄互过渡层段,岩石破碎。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

中村银花钒矿床位于下寒武统水沟口组下段,西起五色沟西沟 K10 探槽,东至东梅子沟 TC9 探槽,近东西展布,层状、似层状,矿层长超过 4 km,矿带宽 31.25~67.05 m,矿体产状与地层一致,平均倾角 48°,共圈出 3 个矿体,其中,Ⅲ号矿体规模最大,占储量的 48%。

3.1.1 Ⅲ号矿体

产于赋矿层位南部,沿含炭硅质岩夹互炭质泥板岩及炭质泥板岩层组成,产状与地层一致,矿体横贯全区,东西长 4000 m,延伸稳定,厚度 1.85~7.73 m,中部膨大部位厚 5.96~10.08 m, V_2O_5 平均品位 0.53%,最高 1.78%,一般在 0.70%~1.17%。在 Tc-1-K21 之间可圈出表内工业矿体,矿层东西两端薄(1.85~3.00 m)、中间厚(5.96~7.97 m), V_2O_5 品位 0.86%~1.17%,最高 1.78%,平均 1.02%。深部 1145 m 标高矿体厚由 6.00 m 增加到 13.736 m,品位由 0.79%增至 1.17%。

3.1.2 I 号矿体

矿层沿薄层硅质岩顶板层状产出,控制长度约 3850 m,厚度 1.24~5.04 m,平均 2.40 m,各工程 V_2O_5 品位一般 0.58%~0.89%,个别达 1.07%。

3.1.3 II 号矿体

位于 I 号矿体之下,由薄层硅质岩夹互微薄层炭质泥板岩组成,矿体长 3250 m,向两端厚度较小,一般 1.50~5.85 m, V_2O_5 品位 0.61%~0.86%;矿体中部厚度大且稳定,平均厚 4.73 m,可圈出两个表内工业矿段,其中一矿段长 500 m,厚度 1.50~2.90 m,平均厚 2.43 m, V_2O_5 品位 0.81%~1.02%,平均 0.93%。另一矿段长 350 m,平均厚 3.35 m, V_2O_5 品位 0.91%~1.03%,平均 0.95%。

3.2 矿石特征

据赋矿岩性及矿层结构构造,可将矿石划分为硅质岩型、炭质粘土质泥板岩型和硅质-炭质泥板岩型 3 种钒矿石类型。

3.2.1 炭质粘土质泥板岩型钒矿石

主要分布于Ⅲ号矿体中, V_2O_5 品位相对较高,0.58%~1.24%。按粘土矿物种类及杂质成分又可细分为 3 种亚类:

①含藻类炭质粉砂质高岭石泥板岩型:分布于Ⅲ

号矿体底部,矿石品位富, V_2O_5 平均品位达 1.05%。组成矿物为高岭石、绢云母、水云母,含量 85%~95%;次为由炭质及磷质组成的球藻 3%~5%,粒径 0.03~0.05 mm;石英粉砂 2%,另含有少量磷结核。

②炭质高岭石粘土泥板岩型:多分布Ⅲ号矿体中,品位较富, V_2O_5 含量平均达 0.92%,主要由微细高岭石组成,少量水云母、炭质尘埃,布于高岭石集合体之间,莓球状黄铁矿(3%±),微晶硅质石英散布或纹层状布于矿石中。

③炭质水云母粘土泥板岩型:多为矿化,局部可达工业品位,显微鳞片水云母 85%、微晶高岭石 10%,微晶石英 5%、条纹硅质及微细脉状,炭质微粒散布于高岭石、水云母中,重结晶黄铁矿少量。

3.2.2 硅质岩型钒矿石

在钒矿体中普遍出现,多为贫矿, V_2O_5 平均 0.68%,由硅质岩夹薄层粘土板岩组成。硅质岩中石英 85%~95%,粒径小于 0.02 mm,微晶粒间分布有水云母、绢云母、黄铁矿等,丝缕状-粉尘状炭质散布岩石中。

3.2.3 硅质-炭质粘土泥板岩型钒矿石

该矿石类型发育于地层岩性的过渡层位,由硅质岩与炭质粘土岩薄互层组成,矿石兼有粘土泥板岩型和硅质岩型矿石特征, V_2O_5 品位 0.82%~1.63%。

3.3 矿石地球化学特征

各类矿石的 X 荧光光谱常量分析见表 1,炭质泥板岩型、硅质泥板岩型为富钒矿石类型,其中含 Si 质较低,Al、K、Fe 相对较高,贫钒矿石含 Si 质较高,Al、K、Fe 相对较低。钒与铝、钾、铁存在较密切的地球化学共生关系。

3.4 钒的赋存状态

3.4.1 钒与岩性的关系

对Ⅲ号上、下部矿体矿石分别进行统计:矿体上部硅质岩占 61%,粘土泥板岩占 39%, V_2O_5 含量 0.91%。矿体下部硅质岩占 44%,粘土泥板岩占 56%, V_2O_5 含量 1.16%(表 2),表明钒在含矿层下部矿石品级高,钒在粘土质泥质岩相对富集。

对Ⅱ号矿体硅质岩夹互粘土泥板岩过渡层中两种岩性分别进行 V_2O_5 测定,了解钒在矿石中的含量分配,粘土泥板岩占全岩的 75.2%,硅质岩中占全岩的 24.8%(表 3),粘土泥板岩含 V_2O_5 1.77%,硅质岩含 0.25%,全岩分析 V_2O_5 品位 0.72%。再一次表明,钒与岩石粘土质、泥质成分密切相关,钒在粘土泥板岩中相对富集。

表 2 矿石的 X 荧光光谱常量组分分析 ($\times 10^{-2}$)

Table 2 X-fluorescence spectral analyses of major components in ores ($\times 10^{-2}$)

矿石类型 (件)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TFe	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
硅质岩型 (4)	85.31	4.85	0.47	0.54	0.08	1.94	1.96	0.23	0.34	2.59
炭质泥板岩型 (4)	60.07	8.62	0.97	1.92	0.09	4.39	4.24	0.36	0.31	16.94
硅质泥板岩型 (3)	72.69	9.86	4.03	0.66	0.10	4.06	3.46	0.43	0.24	6.07

注:由西北有色地质研究院测试中心分析。

表 3 中村—银花钒矿床钒在主要容矿岩石中赋存状态

Table 3 Mode of occurrence of vanadium in host rocks of the Zhongcun-Yinhua vanadium deposit

III号硅岩与泥岩薄互层段	上 部	硅质岩比例	61%	V ₂ O ₅ 含量	0.91%	下 部	硅质岩比例	44%	V ₂ O ₅ 含量	1.16%
		泥板岩比例	39%	泥板岩比例	56%					
II号硅岩与泥岩薄互层段	硅质岩比例		24.8%	V ₂ O ₅ 含量	0.72%	硅质岩层 V ₂ O ₅ 含量		0.25%		
	泥板岩比例		75.2%			泥板岩层 V ₂ O ₅ 含量		1.77%		

3.4.2 钒矿石的物相分析

由于至今显微镜下未见独立的钒矿物,对粘土质泥板岩型钒矿石物相分析,试样中被硫酸盐溶解的钒为 1.27%,钒酸盐、磷酸盐中的吸附状态钒占 62.42%,硅酸盐中钒占 35.67%。说明钒以钒酸盐、磷酸盐及吸附状态存在于高岭石、水云母中为主。

3.4.3 钒与炭质的关系

通过坑道系统密集采样,表明有机炭含量与 V 的品位具有较密切的相关性。如 PD3 坑 III 号矿体,系统样品中钒的品位随有机炭含量增加而提高,两者具同消长关系。应考虑到的是,矿石在秦岭造山带地质演化中,特别是在夏家店矿区及其外围,构造叠加极其强烈,势必造成有机质较强烈的热演化,部分有机质烧灼逸散,变质转变,氧化消耗等。这些过程会改变有机炭质与金、钒等成矿元素的赋存关系,特别是使金属元素活化、迁移,现今测定矿石中有机炭与成矿元素含量关系表现出假象,可能导致认识上的误解。实际上,原生沉积有机炭及微生物活动密不可分,已发现显量的球藻、藻丝类微生物化石,有机质的含量及转化对金属元素的吸附、化合、搬运、沉淀、富集至关重要。

4 矿床地球化学

4.1 矿床微量元素地球化学

研究区黑色岩系微量元素分析(表 4~6)与大陆

地壳值 (CCV) 相比, V、Ni、Mo、Ba、Cd、In、Tl、Cu、Zn、U 等元素值相对较高; Cr、Co、Mn、Sr、In、Ga、Ge、Pb、Sn、Th、Zr、Hf 等元素相对亏损(图 3)。与美国泥盆纪俄亥俄页岩均值(SDO-1)相比,总体显示 V、Ba、Zn、Sr、W 元素含量较高, Mo、U、Cd 等元素亏损(图 4)。

4.2 矿床稀土元素地球化学

研究区黑色岩系稀土元素组成(表 7),泥板岩较硅质岩稀土总量偏高,硅质岩最低为 33.87×10^{-6} , δ Ce 值为 0.60。不同岩性稀土配分模式曲线组成有层次,呈近平行分布,表明物质来源一致(图 5);

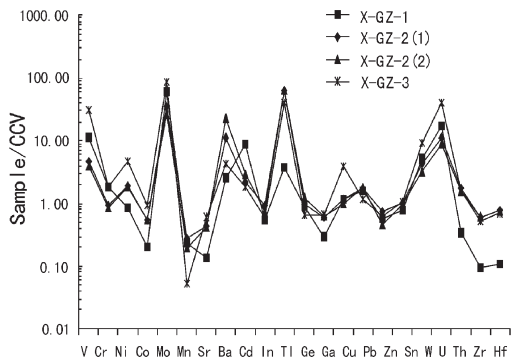


图 3 黑色岩系中带微量元素 CCV 标准化蛛网图
Fig.3 Trace element CCV distribution patterns of mesozone black rock series

表 4 中村—银花地区黑色岩系岩石微量元素分析(10^{-6})及相关参数
 Table 4 Trace element analyses and related parameters of rocks and ores
 from the Zhongcun—Yinhua black rock series (10^{-6})

样号 岩(矿石)	竹照地区			CCV 大陆壳值	SDO-1 泥盆纪 俄亥俄页岩
	X-Z-Z-1 炭质泥板岩型钒矿	X-Z-Z-3 磷结核泥板岩	X-Z-Z-6 硅-泥板岩型钒矿石		
Ba	3103	4310	12390	390	397
Cr	190	1316	105	119	66.4
Cu	94	581	78	24	60.2
Sr	45	1000	64	325	75.1
Ti	1283	500	2509	4196	4256
Li	8	7	39	11	28.6
Be	1.4	2.6	2.9	1.7	3.3
Sc	14	12	16	22	13.2
V	302	13310	1886	128	160
Zn	48	3419	103	73	64.1
Co	37	7	10	25	46.8
Ni	226	381	372	51	99.5
Ga	10.7	13	13	16	16.8
Ge	1.4	1.0	1.9	1.25	1.3
Rb	108	30	116	8	126
Y	26	215	69	20	
Zr	55	14	65	123	165
Nb	7	2	9	12	11.4
Mo	23	26	11	0.65	134
Ag	2.7	1.3	2.6	0.052	0.09
Cd	0.49	112.1	0.64	0.075	<6
In	0.04	0.09	0.05	0.05	<0.2
Sn	1.9	7.6	1.5	1.5	2.9
Cs	1.5	9.4	2.6	2.6	6.9
Hf	1.4	1.1	2.5	3.7	4.7
Ta	0.5	0.3	0.9	0.7	1.1
W	1.2	1.4	1.0	0.69	3.3
Tl	5.6	2.5	1.9	0.39	8.3
Pb	29	22	16	12.6	27.9
Bi	0.4	0.3	0.5	0.27	2-<10
Th	6.2	2.3	7.6	5.6	10.5
U	28	66	33	0.91	48.8
n(V)/n(V+Ni)	0.61	0.98	0.85		
n(V)/n(Cr)	1.62	10.32	18.34		
n(U)/n(Th)	4.34	27.92	4.21		
δ U	1.86	1.98	1.85		

注: δ U=2U/(U+Th/3)。

表 5 中村—银花地区黑色岩系岩石微量元素分析(10^{-6})及相关参数
 Table 5 Trace element analyses and related parameters of rocks and ores from the
 Zhongcun-Yinhua black rock series (10^{-6})

样号 岩(矿)石	下寨子地区				五色沟地区			
	X-GZ-1 硅质岩型 钒矿石	X-GZ-2(1) 炭泥硅质岩	X-GZ-2(2) 炭泥硅质岩 型钒矿石	X-GZ-3 炭质泥 板岩型 钒矿石	X-WS-3 炭质硅质 岩	X-WS-4 炭泥硅质岩 型钒矿石	X-WS-5 土黄色硅 质泥板岩	X-WS-6 砖红-灰黑 色泥板岩
Ba	1012	4294	8873	1678	710	7055	9414	202
Cr	217	110	103	222	540	770	80	45
Cu	28	29	23	92	186	87	18	16
Sr	46	140	133	201	15	56	48	460
Ti	352	3160	2989	3406	261	2508	1758	882
Li	9	28	31	57	4	17	15	20
Be	0.5	1.6	1.5	5.0	0.5	2.3	1.7	0.5
Sc	12	13	13	15	11	13	13	14
V	1459	622	499	3831	2020	4007	2279	186
Zn	42	53	33	46	45	29	76	27
Co	5	14	14	23	7	6	10	5
Ni	44	97	93	246	47	31	256	28
Ga	4.8	9.6	10	11	3.5	11.7	10.9	5.3
Ge	1.1	1.2	1.5	0.8	1.1	1.3	1.9	1.5
Rb	15	120	103	130	10	108	70	37
Y	10	13	11	20	19	30	21	15
Zr	12	74	75	64	10	63	49	23
Nb	1	9	9	11	1	8	7	3
Mo	39	23	18	57	3	13	17	1
Ag	1.6	1.5	1.5	3.0	1.3	2.5	5.6	0.2
Cd	0.66	0.17	0.23	0.14	0.51	0.07	12.06	0.25
In	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03
Sn	1.1	1.5	1.5	1.6	1.0	5.4	1.0	1.1
Cs	1.1	3.9	3.6	8.4	0.5	3.9	1.3	1.5
Hf	0.4	2.9	2.9	2.6	0.3	2.2	1.8	0.8
Ta	0.1	1.0	1.0	1.0	0.1	0.8	0.7	0.2
W	3.6	3.0	2.2	6.3	0.5	1.2	1.1	0.6
Tl	1.4	24.3	25	16	1.4	2.3	1.5	0.4
Pb	20	22	23	15	15	18	15	15
Bi	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.3	0.1
Th	2.0	9.8	8.9	8.7	1.2	6.8	5.0	3.7
U	16	10	7.9	38	4.6	36.4	23.3	2.3
n(V)/n(V+Ni)	0.97	0.88	0.86	0.95	0.98	0.99	0.91	0.88
n(V)/n(Cr)	6.86	5.77	4.95	17.62	3.82	5.31	29.08	4.22
n(U)/n(Th)	7.86	0.99	0.86	4.21	3.73	5.18	4.57	0.59
δU	1.92	1.5	1.44	1.85	1.84	1.88	1.86	1.28

注: $\delta U=2U/(U+Th/3)$ 。

表 6 中村—银花地区黑色岩系岩石微量元素分析(10^{-6})及相关参数
 Table 6 Trace element analyses and related parameters of rocks and ores from the
 Zhongcun—Yinhua black rock series (10^{-6})

样号 岩(矿)石	金狮剑沟地区			龙山地区			CCV 大陆 壳值	SDO-1 泥盆 纪俄亥俄页 岩值
	X-JS-4 含磷结核泥 板岩型钒矿	X-JS-5 砖红泥 质板岩	X-JS-6 炭硅质泥 板岩	X-LS-1 黑色硅 质板岩	X-LS-2 砖红色硅 质板岩	X-LS-5(2) 炭质泥板岩 型钒矿		
Ba	7079	10330	1593	481	4942	5929	390	397
Cr	2710	96	79	166	26	221	119	66.4
Cu	205	60	114	61	92	126	24	60.2
Sr	63	59	196	15	136	54	325	75.1
Ti	1368	2599	3101	110	791	2442	4196	4256
Li	20	23	35	3	15	35	11	28.6
Be	2.8	3.3	1.8	0.4	0.7	2.4	1.7	3.3
Sc	14	15	14	12	16	16	22	13.2
V	20360	1509	650	1474	197	2116	128	160
Zn	1242	110	49	47	736	195	73	64.1
Co	10	22	18	5	12	23	25	46.8
Ni	490	259	143	38	144	507	51	99.5
Ga	11	16	7.3	4.2	5.5	16	16	16.8
Ge	1.2	3.2	0.8	1.5	1.6	1.2	1.25	1.3
Rb	114	134	127	5	18	114	8	126
Y	130	58	24	15	19	35	20	—
Zr	56	72	81	14	29	67	123	165
Nb	4	11	8	1	3	8	12	11.4
Mo	185	26	27	5	13	177	0.65	134
Ag	3.1	5.8	1.9	4.9	1.7	1.1	0.052	0.09
Cd	37.51	0.32	0.52	0.20	1340	19.95	0.075	<6
In	0.04	0.04	0.02	0.01	0.09	0.04	0.05	<0.2
Sn	2.0	0.8	1.7	1.0	1.4	2.8	1.5	2.9
Cs	3.8	2.8	9.8	0.5	0.8	8.1	2.6	6.9
Hf	1.7	2.5	2.9	0.2	1.1	2.4	3.7	4.7
Ta	0.4	1.0	0.6	0.0	0.2	0.8	0.7	1.1
W	1.9	0.8	1.0	0.4	0.8	0.9	0.69	3.3
Tl	6.0	9.6	4.8	0.5	3.3	6.2	0.39	8.3
Pb	15	15	20	17	15	15	12.6	27.9
Bi	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.27	2-<10
Th	6.6	8.6	11.3	0.5	4.6	12	5.6	10.5
U	74	64	10.4	4.0	1.4	23	0.91	48.8
n(V)/n(V+Ni)	0.98	0.87	0.84	0.98	0.61	0.83		
n(V)/n(Cr)	7.67	16.05	8.4	9.06	7.73	9.77		
n(U)/n(Th)	10.88	7.24	0.9	7.95	0.29	1.94		
δU	1.94	1.91	1.46	1.92	0.93	1.71		

注: $\delta U=2U/(U+Th/3)$ 。

表 7 中村—银花地区稀土元素组成及相关参数 (10^{-6})
Table 7 RRE analyses and related parameters of rocks and ores from the Zhongcun–Yinhua black rock series (10^{-6})

样号	岩石与矿石	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
X-GZ-1	硅质岩	7.3	8.5	1.4	5.6	1.0	4.0	1.0	0.4	1.2
X-GZ-2-1	炭泥硅质岩	24.3	39.9	4.7	18.4	3.1	11.6	3.2	0.5	2.4
X-GZ-2-2	炭泥硅质岩	19.5	31.0	3.6	13.7	3.1	9.9	3.3	0.7	2.1
X-GZ-3	炭质泥板岩	31.6	47.7	6.2	21.2	3.4	4.8	3.7	0.6	3.0

Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	La_N/Yb_N	δ Eu	δ Ce
0.4	0.9	0.3	1.7	0.3	33.87	27.78	6.09	4.56	2.94	12.25	0.60
0.6	1.6	0.4	3.5	0.8	114.90	101.96	12.93	7.88	4.66	11.29	0.83
0.5	1.6	0.3	2.8	1.0	93.22	80.87	12.35	6.55	4.74	9.46	0.81
0.8	2.1	0.4	2.8	0.4	128.69	114.97	13.72	8.38	7.76	4.08	0.76

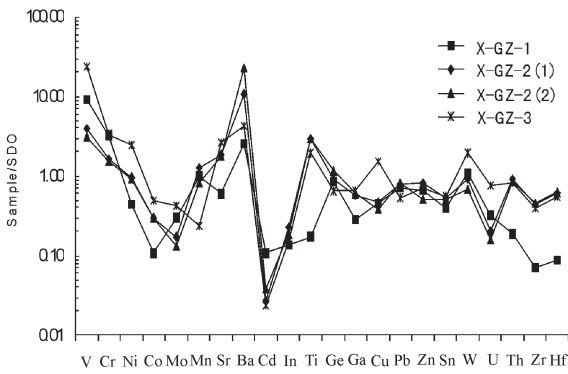


图 4 黑色岩系中带微量元素 SDO-1 标准化蛛网图
 Fig.4 Trace element SDO-1 distribution patterns of mesozone black rock series

轻稀土中等—轻微右倾,重稀土平坦稍有上翘;曲线均显示出铈负异常特征,铈具有较高的正异常,铈的负异常表明岩石生成于缺氧环境,而铈的正异常显然与热水沉积物的加入有关。

5 矿床成因及富集规律

综上所述认为,中村—银花钒矿床的形成与秦岭两大古陆的俯冲—碰撞构造背景的演化密不可分,下寒武统水沟口组含矿黑色岩系是扬子大陆向华北大陆俯冲启动下,于早寒武世扬子大陆北缘斜坡出现拉伸裂谷式沉积环境,发育滞留深水环境下的炭—泥—灰—重晶石—硅质沉积建造,硅质岩—重晶石硅质岩层是热水喷流沉积产物。在该岩系的炭泥

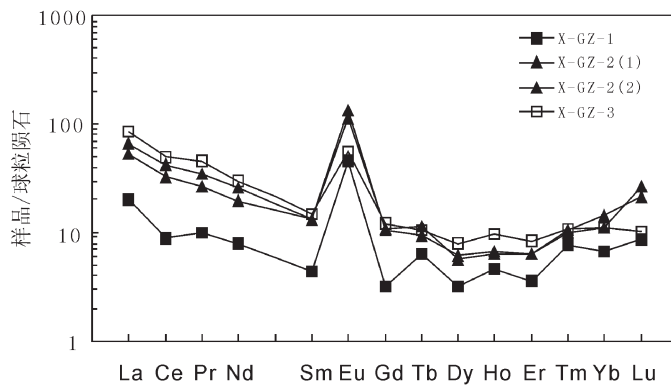


图 5 秦岭区中带黑色岩系稀土元素配分模式图
 Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of mesozone black rock series

质板岩层与炭质泥板岩—炭质硅板岩薄互层中形成中村银花大型钒矿床。中村银花钒矿床矿体呈层状产出,矿层属于地层组成的一部分,矿层产出随沉积旋回有规律的变化,往往赋存在海进与海退的岩性转变过渡带上,其标志性的层位是含炭硅质岩和含炭粘土泥板岩薄互层段。该过渡层下部为含重晶石黑色硅质中厚岩层,表明拉张构造环境下的含热水喷流沉积产物,其上部为中薄层状碳酸盐岩,代表海退趋势环境下的沉积。两者之间薄互层状黑色硅质岩和粘土泥板岩组成,反映海水沉积构造动荡环境,形成钒的工业富集。

参考文献 (References):

- [1] 涂光炽,等. 分散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京:地质出版社, 2004:368-380.
Tu Guangchi, et al. The Geochemistry and Ore-forming Mechanism of the Dispersed Elements [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:368-380.
- [2] 张复新, 杜孝华, 王伟涛, 等. 秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应[J]. 地质科学, 2004, 39(4):486-495.
Zhang Fuxin, Du Xiaohua, Wang Weitao, et al. Mineralization responded to Mesozoic geological evolution of Qinling orogen and

its environs[J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(4):486-495(in Chinese with English abstract).

- [3] 王靖华, 张复新, 于在平, 等. 秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J]. 中国地质, 2002, 29(2):192-196.
Wang Jinghua, Zhang Fuxin, Yu Zaiping, et al. Minerogentic series of metallic ore deposits in Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts [J]. Geology in China, 2002, 29(2):192-196 (in Chinese with English abstract).
- [4] 高菊生, 王瑞廷, 张复新, 等. 南秦岭寒武系黑色岩系中夏家店金矿床地质地球化学特征[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1371-1378.
Gao Jusheng, Wang Ruiting, Zhang Fuxin, et al. Geology - geochemistry of Xiajiadian gold deposit in black rock series of Cambrian system in south Qinling [J]. Geology in China, 2006, 33(6):1371-1378(in Chinese with English abstract).
- [5] Jewell P W, Stallard R F. Geochemistry and paleoceanographic setting of central Nevada bedded harites [J]. Jour. of Geology, 1991, 99:151-170.
- [6] Aitchison J C, Flood P G. Geochemical constrains on the depositional setting of Paleozoic cherts from the New England orogen, NSW, eastern Australia[J]. Marine Geology, 1990, 94:79-95.
- [7] Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principal and applications [J]. Sedimentary Geology, 1994, 90(3/4):213-232.

Characteristics of the Zhongcun-Yinhua vanadium deposit in black rock series, Shanyang County, Shaanxi Province

LI Mei¹, ZHANG Fu-xin²

(1. Department of Geography, Xinzhou Normal University, Xinzhou 034000, Shanxi, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract: The Zhongcun-Yinhua superlarge vanadium deposit is a typical sedimentary vanadium deposit in the mesozone black rock series of Qinling region. The deposit occurs on the lithologic transitional horizon of siliceous slate-argillite-clayey argillite in Lower Cambrian Shueigoukou Formation. The vanadium ores are of three types, namely siliceous slate type, clayey argillite type and siliceous-argillite type. Strike extension and thickness of the ore bed are stable, and the V_2O_5 content of the ores is 0.70%-1.17%. Vanadium is closely related to clayey and politic slate and is relatively abundant in clayey argillite. There exists close geochemical paragenetic relationship between vanadium and aluminum, potassium and iron. Vanadium occurs in kaolinite and hydromica in the forms of phosphate, vanadate and adsorption. Studies have revealed that the vanadium-bearing black rock series was formed in a sedimentary environment of rift zone on the marginal continental slope of North Yangtze Plate in Lower Cambrian under the action of Yangtze Continent-North China Continent underthrust convergence. In the stagnant deep-water sedimentary environment there developed vanadium-bearing sedimentary formation of anthrinooid-lime-mud-barite-siliceous rock. Therefore, the vanadium-bearing sedimentary formation has the genetic characteristic of hot spring exhalative-sedimentary deposition.

Key words: sedimentary vanadium deposit; black rock series; mode of occurrence of vanadium; Zhongcun-Yinhua; Shanyang County in Shaanxi Province, Qinling orogenic belt