

## 陕西镇坪地区唐家垭子钼钒多金属矿床 地质特征与成因

李普涛<sup>1</sup>, 温志亮<sup>1</sup>, 赵 民<sup>1</sup>, 王 锋<sup>2</sup>, 叶健华<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**陕西镇坪地区唐家垭子钼钒多金属矿床是近年来新发现的钼钒矿床, 含矿地层及矿化带延伸情况显示其具有达到大型规模的潜力。矿体产于寒武系下统鲁家坪组黑色岩系, 与地层展布方向一致, 受黑色岩系控制; 矿石类型有含炭板岩型、粉砂质板岩型及含炭硅质岩型 3 种; 矿石含钼矿物主要有铁钼华、钼华、胶硫钼矿等, 钒主要存在于钒云母中, 其次为高岭土、电气石等; 矿石化学成分以 Mo、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为主, 主成矿元素为 Mo、V, 伴生金属元素有 Ag 等。矿床地球化学综合分析认为, 寒武系下统鲁家坪组为(较封闭的)浅海盆地相; 含矿地层鲁家坪组的 Mo、Cu、Ni、Pb 含量分析表明, 沉积的深度可能大于 250 m;  $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  值表明, 沉积的离岸距离为 100~300 km;  $w(\text{V})/w(\text{Ni})$ 、 $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$  值反映成矿期处于缺氧—强缺氧的还原沉积环境; 矿床地质地球化学分析表明, 该矿床为明显的深海冷水沉积型矿床。

**关键词:**钼钒多金属矿床; 鲁家坪组; 黑色岩系; 沉积环境; 镇坪地区; 陕西

中图分类号: P618.65; P618.61

文献标志码: A

## Geological Characteristics and Genesis of Tangjiayazi Mo-V Polymetallic Deposit in Zhenping Area of Shaanxi

LI Pu-tao<sup>1</sup>, WEN Zhi-liang<sup>1</sup>, ZHAO Min<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>2</sup>, YE Jian-hua<sup>2</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. School of Earth Science and Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Tangjiayazi Mo-V polymetallic deposit in Zhenping area of Shaanxi is a newfound Mo-V deposit in recent years, and potentially reaches a large scale according to the extension of ore-bearing strata and mineralized belt. Orebody occurs in the black rock series of Lower Cambrian Lujiaping Formation, and the extension is consistent with stratum, and is controlled by the black rock series; ore types include carbonaceous slate rock, silty slate rock and carbonaceous siliceous rock; Mo-bearing minerals include ferrimolybdate, molybdine, jordisite, etc., and V-bearing minerals include roscoelite primarily, and secondarily kaolin and tourmaline, etc.; the chemical components of ore are mainly Mo and V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, the main ore-forming elements are mainly Mo and V, and the associated metal elements are Ag, etc. Comprehensive analysis for geochemistry of mineral deposit indicates Lower Cambrian Lujiaping Formation is closed shallow-sea basin facies; the contents of Mo, Cu, Ni and Pb elements in Lujiaping Formation of ore-bearing strata show

收稿日期: 2014-09-22

基金项目: 陕西省地勘基金项目(61200901017)

作者简介: 李普涛(1982-), 男, 陕西户县人, 工程师, E-mail: 5745812@qq.com。

通讯作者: 温志亮(1964-), 男, 甘肃天水人, 教授级高级工程师, E-mail: 516770594@qq.com。

that sediment depth may be greater than 250 m; the values of  $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$  and  $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  show that sediment offshore distance is 100-300 km; the values of  $w(\text{V})/w(\text{Ni})$  and  $w(\text{V})/(w(\text{V}) + w(\text{Ni}))$  show that the sedimentary environment is reduction-strong reduction in metallogenic period; the geological and geochemical analysis of deposit indicates that Tangjiayazi Mo-V polymetallic deposit is significantly deep-sea cold-water sedimentary.

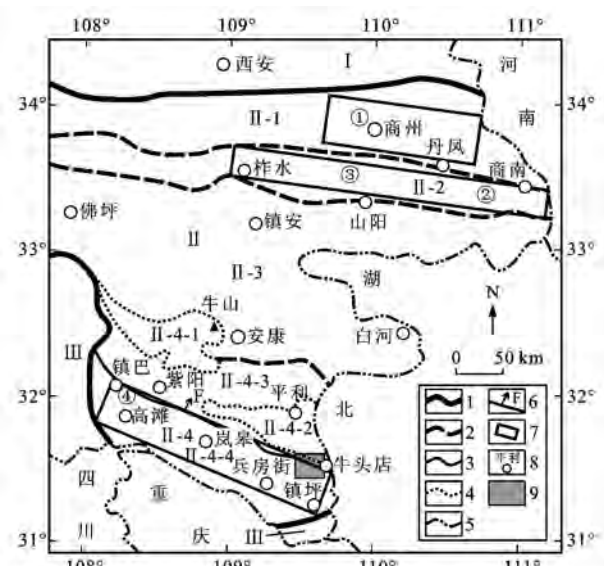
**Key words:** Mo-V polymetallic deposit; Lujiaping Formation; black rock series; sedimentary environment; Zhenping area; Shaanxi

## 0 引言

南秦岭—北大巴山一带成矿地质条件良好<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 70 年代开始,开展的 1:200 000 区域化探扫面工作在该区圈定出多种成矿元素的异常区。近年来,开展的矿产地质调查项目在陕西省镇坪县牛头店镇一带的寒武系—奥陶系黑色岩系中圈定出 1:50 000 的 Mo、V、Ag 等元素综合异常区;在牛头店镇唐家垭子一带新发现钼钒矿(化)带 4 条,圈定出矿(化)体 11 个。根据含矿地层及矿(化)带延伸来看,本区钼钒多金属矿床具有达到大型规模的潜力。

王立社将秦岭—北大巴山(陕西省境内)黑色岩系划分为北、中、南 3 个成矿区带(图 1)<sup>[2]</sup>,分别为:北部的寒武纪—奥陶纪华北板块南缘的活动大陆边缘海的黑色岩系含矿建造(以奥陶系庙湾组(Om)为主),典型矿床为陕西省商洛市商州区清岩沟钼钒矿床等<sup>[3-4]</sup>;中部的早古生代及其前期的秦岭微板块古隆升岛链特定的深水—半深水滞留断陷盆地之边缘海向深海过渡环境的黑色岩系含矿建造(以寒武系下统水沟口组( $\epsilon_1sh$ )为主),典型矿床为陕西省商南县夏家店钒银矿床、陕西省商洛市商州区中村—银华超大型钒矿床等<sup>[5-10]</sup>;南部的震旦纪—早古生代扬子板块北缘的堑—垒相间裂谷断陷盆地中的黑色岩系(以寒武系下统鲁家坪组( $\epsilon_1l$ )和斑鸠关组( $\epsilon_1b$ )为主),典型矿床有陕西省镇巴县鲤鱼山钼钒矿床等<sup>[2]</sup>。镇坪县唐家垭子钼钒多金属矿床位于秦岭黑色岩系南带(图 1),含矿地层为鲁家坪组。

黑色岩系是含有有机炭质的细碎屑沉积岩和化学沉积岩的总称,其分布广泛,具有特定的时代和沉积环境,往往与特殊地质事件有关(如全球性缺氧事件)<sup>[11-14]</sup>。黑色岩系中蕴藏着丰富的金属与非金属矿产资源,具备形成大型和超大型矿床的成矿条件和成矿机制,因此,研究黑色岩系矿床具有十分重要的意义<sup>[15-19]</sup>。笔者对陕西省镇坪县牛头店镇唐家垭子新发现的钼钒多金属矿床的地质特征进行了描述,并通过沉积环境的地质地球化学分析,对该矿床



I 为华北板块;II 为秦岭造山带;III 为扬子板块;II-1 为北秦岭加里东褶皱带;II-2 为中秦岭华力西褶皱带;II-3 为南秦岭印支褶皱带;II-4 为北大巴山加里东褶皱带;II-4-1 为牛山复背斜;II-4-2 为平利复背斜(紫阳—平利地层小区);II-4-3 为紫阳—平利复式背斜(紫阳—平利地层小区);II-4-4 为高滩—兵房街复式向斜(高滩—兵房街地层小区);①为商州区清岩沟钼钒矿床;②为商南县夏家店钒银矿床;③为商州区中村—银华钒矿床;④为镇巴县鲤鱼山钼钒矿床;1—一级构造单元界线;2—二级构造单元界线;3—三级构造单元界线;4—四级构造单元界线;5—省界;6—红椿坝—曾家坝同沉积断裂;7—陕西省黑色岩系 3 个成矿区带位置示意;8—地名;9—镇坪县唐家垭子钼钒矿区位置

图 1 陕南东部区域地质概况及研究区位置

Fig. 1 Geologic Sketch Map of the Eastern Region in Southern Shaanxi and Location of the Study Area

成因进行探讨,为本区黑色岩系中矿产资源的勘查开发提供参考。

## 1 区域地质背景

陕西镇坪地区唐家垭子钼钒多金属位于秦岭造山带、北大巴山加里东褶皱带、平利复背斜(穹隆)的南缘东部(图 1)。本区基底主要分布在平利复背斜(穹隆)(图 1 中 II-4-2),地层主要为中元古界武当岩群( $\text{Pt}_2w$ )上部的蓟县系杨坪岩组( $\text{Jxy}$ )、青白口

系耀岭河岩组(Qbyl)等(图1中II-4-2),岩性主要为一套变质的火山岩系、火山沉积岩系及砾岩。盖层(图1中II-4-3、II-4-4)为基底之上的震旦纪—奥陶纪地层,岩性主要为一套以被动陆缘碎屑岩、碳酸盐岩等为主的黑色岩系。

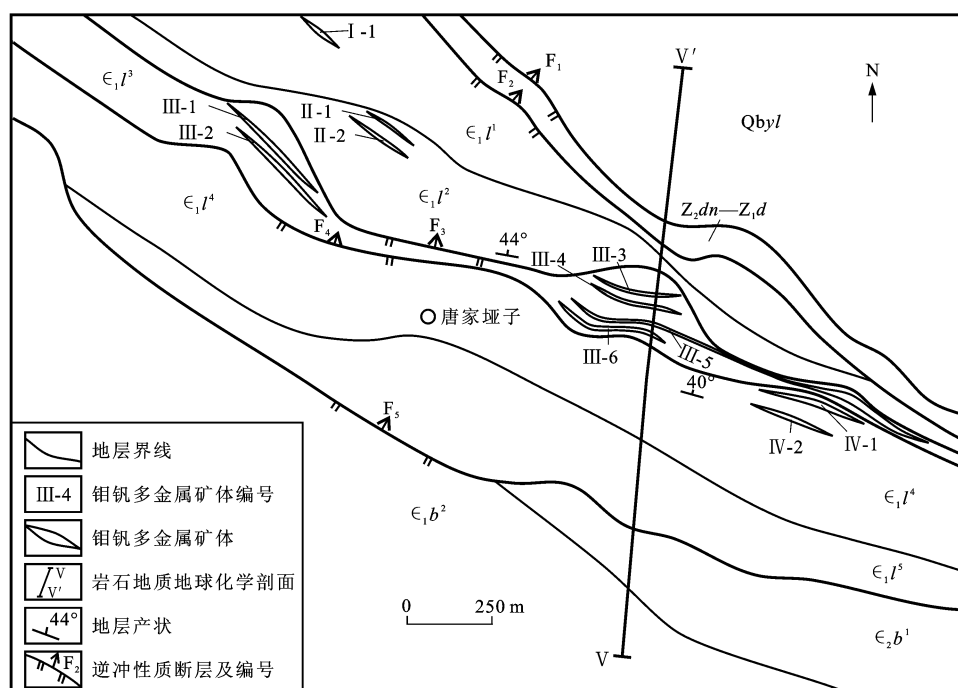
该矿区在区域上以红椿坝—曾家坝同沉积断裂为界(图1),断裂南、北两侧沉积具明显差异(南侧以碳酸盐岩为主,北侧以细碎屑岩为主),断裂以北为紫阳—平利地层小区,以南为高滩—兵房街地层小区。地层广泛发育中低级的区域变质作用、接触变质作用等。基底及盖层普遍发育区域变质作用,变质地层主要为青白口系耀岭河岩组、震旦系及寒

武系等,变质作用形成的岩石以片岩、板岩为主。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿区地质

唐家垭子钼钒多金属矿区总体表现为倒转的单斜地层,倾向为NE,走向为NW—SE(图2、3)。断裂构造较发育,红椿坝—曾家坝断裂带由5条断裂( $F_1 \sim F_5$ )组成(图2),在矿区中北部通过;断裂带内断层泥、炭化带较发育;断裂带呈NW走向,断面波状起伏,断裂面产状( $35^\circ \sim 55^\circ$ ) $\angle$ ( $20^\circ \sim 60^\circ$ ),局部倾角陡,不对称的褶皱构造发育,指示断层的右行走滑性质,且劈理发育,产状为 $80^\circ \angle 70^\circ$ 。



图件引自 1:10 000 地质填图及探槽工程绘制图(内部资料)

图2 唐家垭子钼钒多金属矿区地质概况

Fig. 2 Geologic Sketch Map of Tangjiayazi Mo-V Polymetallic Mining Area

该矿区地层分属紫阳—平利地层小区和高滩—兵房街地层小区(图2)。紫阳—平利地层小区位于矿区北部,岩石包括青白口系耀岭河岩组绢云钠长绿泥片岩,震旦系陡山沱组( $Z_1d$ )绢云绿泥片岩、含炭硅质板岩,震旦系灯影组( $Z_2dn$ )泥质、白云质灰岩。高滩—兵房街地层小区位于矿区中南部,岩石包括寒武系下统鲁家坪组第一岩性段( $E_1l^1$ )含炭硅质岩、第二岩性段( $E_1l^2$ )灰岩夹钙质板岩、第三岩性段( $E_1l^3$ )钙质粉砂质板岩、第四岩性段( $E_1l^4$ )硅质岩、第五岩性段( $E_1l^5$ )钙质粉砂质板岩夹薄—中层灰岩,寒武系中统八卦庙组第一岩性段( $E_2b^1$ )灰岩夹钙质粉砂质板岩、钙质

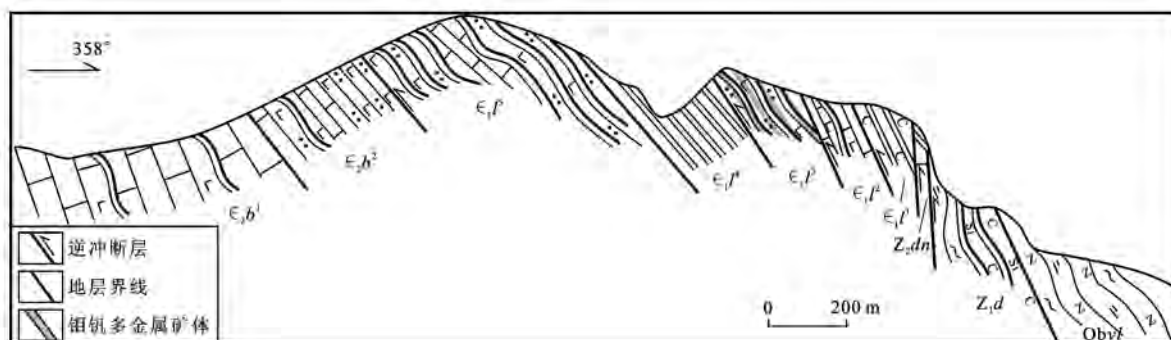
粉砂岩,寒武系中统八卦庙组第二岩性段( $E_2b^2$ )灰岩夹钙质板岩(图3)。

### 2.2 矿体特征

该矿区内新发现钼钒多金属矿化带4条。在4个矿化带中,共圈定钼钒多金属矿体11个(图2)。钼钒多金属矿体产于寒武系下统鲁家坪组黑色岩系中(图2、3),含矿岩石主要为褐铁矿化碎裂含炭板岩、炭硅质岩。钼、钒矿化于同一岩系中,成矿具有一定的相关性。矿化带与地层展布方向一致,成矿主要受地层层位控制,矿层顶、底板岩性与赋矿地层层位一致(图2、4),与围岩整合接触。

I矿化带位于矿区北部,含矿地层为寒武系





图件引自 1:2 000 岩石地质地球化学剖面绘制图

图 3 唐家垭子钼钒多金属矿区 V-V' 地质剖面

Fig. 3 Geologic Section of Tangjiayazi Mo-V Polymetallic Mining Area



(a) 含矿地层



(b) 钼钒多金属矿体及围岩

图 4 含矿地层、钼钒多金属矿体及围岩照片

Fig. 4 Photos of Ore-bearing Strata, Mo-V Polymetallic Ore Body and Surrounding Rock

下统鲁家坪组第一岩性段含炭硅质岩,长度约为 100 m。矿化带北倾,以钒矿化为主,由 I-1 矿体组成。

II 矿化带位于矿区北部,含矿地层为寒武系下统鲁家坪组第二岩性段灰岩夹钙质板岩,长度约为 100 m,宽度为 60~80 m,钼、钒均有矿化。矿化带由 II-1、II-2、II-3 等 3 个矿体组成。

III 矿化带位于矿区中部,是目前发现的规模最大的矿化带。含矿地层为寒武系下统鲁家坪组第三

岩性段钙质粉砂质板岩,初步控制矿化带长度为 1 000~1 500 m,宽度为 50~180 m,钼、钒均有较强的矿化。矿化带由 III-1、III-2、III-3、III-4、III-5、III-6 等 6 个矿体组成,其中 III-5 矿体规模最大,为钼钒多金属矿体。该矿体长 890 m,倾向 25°~75°,倾角 37°~53°,经钻孔控制斜深 230 m;钼矿体厚为 3.33~13.86 m,Mo 品位为 0.036%~0.038%,平均为 0.037%;钒矿体厚 1.37~10.92 m,V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.561%~0.938%,平均为 0.708%。

IV 矿化带位于矿区东部,含矿地层为寒武系下统鲁家坪组第四岩性段硅质岩,矿化带长度约为 100 m,宽度约为 200 m,以钼矿化为主。该矿化带由 IV-1、IV-2、IV-3 等 3 个矿体组成。

## 2.3 矿石特征

该矿区主要矿石类型有含炭板岩型、粉砂质板岩型和含炭硅质岩型 3 种。含炭板岩型为主要矿石类型[图 5(a)],矿石风化面为灰色,新鲜面为黑色,结构致密,构造呈块状;该类矿石呈薄层状分布于板岩中,单层厚度 0.2~0.3 m;V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.50%~1.12%、Mo 品位为 0.030%~0.068%。粉砂质板岩型矿石的风化面为灰绿—灰黄色,新鲜面为灰色[图 5(b)],结构呈疏松状,构造呈鳞片状;该类矿石呈薄层状夹在板岩中,单层厚度 0.20~0.30 m;V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.500%~0.836%;Mo 品位为 0.033%~0.058%。含炭硅质岩型为次要矿石类型[图 5(c)],矿石风化面为深灰色,新鲜面为黑色,结构致密,构造呈薄层状;该类矿石呈薄层状单独产出,单层厚度一般为 3~5 cm,V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.580%~0.701%,Mo 品位为 0.034%~0.055%。

主要矿石矿物为黄铁矿、黑云母及炭质等,与本地区同类型黑色岩系矿石矿物相同<sup>[20]</sup>。物相分析显示(表 1、2):含钼矿物主要有铁钼华、钼华、胶硫钼

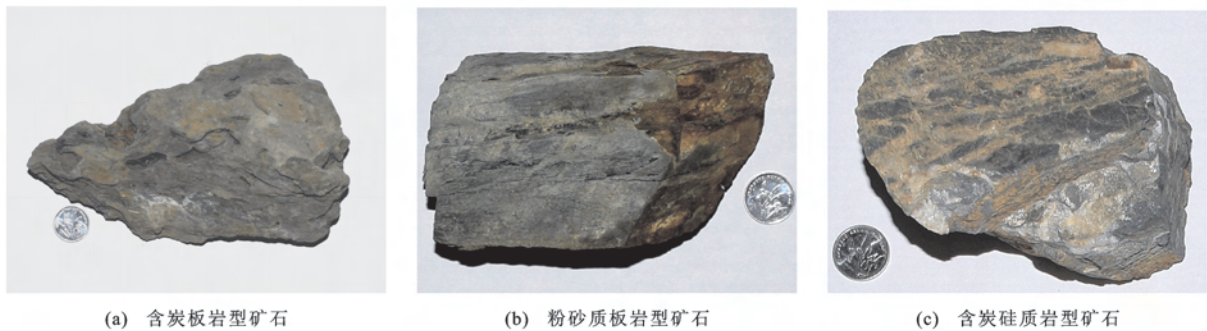


图 5 不同类型矿石照片

Fig. 5 Photos of Different Types of Ores

表 1 唐家垭子钒矿石物相分析结果

Tab. 1 Phase Analysis Results of Tangjiayazi V Ores

钒类型	样品 TC0-1WX1		样品 TC0-1WX2	
	质量/g	比例/%	质量/g	比例/%
游离钒	0.001	0.44	0.001	0.29
氧化铁-高岭土钒	0.037	16.37	0.048	13.87
云母钒	0.134	59.29	0.217	62.72
电气石-石榴石钒	0.054	23.89	0.080	23.12
总钒	0.226	100.00	0.346	100.00

注:测试方法为化学定量法,测试单位为中国地质调查局西安地质调查中心,测试时间为 2010 年。

矿等,钼主要分布在铁结合相、氧化相及硫化相中;钼在铁结合相中体积分数为 10.96%~84.38%,在氧化相中为 10.94%~84.93%,在硫化相中为

3.57%~11.11%。钒主要存在于钒云母中,其次在高岭土、电气石等矿物中也有少量;钒在钒云母中体积分数为 59.3%~62.7%,在电气石-石榴石中为 23.1%~23.9%,在高岭土中为 13.9%~16.4%。

矿石化学成分以  $\text{Mo}$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$  为主,其次有  $\text{Ag}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  等(表 3)。矿石中主成矿元素为  $\text{Mo}$ 、 $\text{V}$ ,伴生金属元素有  $\text{Ag}$  等。

3 沉积环境分析

唐家垭子钼钒多金属矿体赋存于寒武系下统鲁家坪组黑色岩系中。矿体呈 NW 向展布,与地层展布方向一致,受黑色岩系控制。这表明本区钼钒多金属成矿与早期沉积作用关系较为密切,表现出明显的沉积型矿床特征<sup>[4,13]</sup>。

表 2 唐家垭子钼矿石物相分析结果

Tab. 2 Phase Analysis Results of Tangjiayazi Mo Ores

钼类型	样品 TC0-1WX3		样品 TC0-1WX5		样品 TC20-1WX1		样品 TC20-1WX2	
	质量/g	比例/%	质量/g	比例/%	质量/g	比例/%	质量/g	比例/%
氧化钼	0.019	33.93	0.007	10.94	0.010	55.56	0.062	84.93
铁结合钼	0.035	62.50	0.054	84.38	0.006	33.33	0.008	10.96
硫化钼	0.002	3.57	0.003	4.69	0.002	11.11	0.003	4.11
总钼	0.056	100.00	0.064	100.00	0.018	100.00	0.073	100.00

注:测试方法为化学定量法,测试单位为中国地质调查局西安地质调查中心,测试时间为 2010 年。

表 3 唐家垭子钼钒矿石元素分析结果

Tab. 3 Elemental Analysis Results of Tangjiayazi Mo-V Ores

样品编号	$w(\text{Cu})/\%$	$w(\text{Pb})/\%$	$w(\text{Zn})/\%$	$w(\text{Ni})/\%$	$w(\text{Co})/\%$	$w(\text{Mo})/\%$	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$w(\text{Ag})/10^{-6}$	$w(\text{V}_2\text{O}_5)/\%$
ZH-9	0.02	<0.01	0.01	0.005	<0.001	0.018	<0.05	<2.00	0.720
ZH-10	0.02	<0.01	0.03	0.014	<0.001	0.029	0.05	3.30	0.710
ZH-11	0.04	<0.01	0.07	0.050	0.003	0.044	0.05	8.98	0.730
ZH-12	0.04	<0.01	0.08	0.042	0.002	0.056	<0.05	4.09	0.710
ZH-13	0.03	<0.01	0.07	0.038	0.002	0.051	<0.05	2.81	0.600
ZH-14	0.02	<0.01	0.05	0.038	<0.001	0.059	<0.05	2.88	0.710

注: $w(\cdot)$ 为元素或化合物含量;测试方法为化学定量法,测试单位为中国地质调查局西安地质调查中心,测试时间为 2010 年。

### 3.1 地球化学参数与沉积环境

#### 3.1.1 Mo、Cu、Ni、Pb 元素含量与沉积深度

与浅海沉积物相比,深海沉积物通常比较容易富集某些微量元素。文献[21]中提到:当 Mo 含量(质量分数,下同)高于  $5 \times 10^{-6}$ , Cu 含量高于  $90 \times 10^{-6}$ , Ni 含量高于  $150 \times 10^{-6}$ , Pb 含量高于  $40 \times 10^{-6}$ , 特别是伴有含量低于  $1 \times 10^{-6}$  的 U 和含量低于  $3 \times 10^{-6}$  的 Sn 时,其沉积深度可能大于 250 m。

#### 3.1.2 $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$ 值与离岸距离

海洋沉积物中,元素 Ni、Cu 的分布主要受沉积环境的 pH 值和氧化还原电位控制,而  $\text{TiO}_2$  作为陆源碎屑物,其含量伴随离岸距离的增加而减少。因此,  $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  值可作为距陆地距离的标志。Sugisak 研究太平洋沉积物发现:  $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  值在近岸地区大陆架沉积物中大部分小于 0.1,在离岸距离 100 km 左右的沉积物中为 0.1,在超过 300 km 的深海地区为 0.1~0.3,这种比值仅与离岸距离有关,而与水深的关系不大<sup>[22]</sup>。

#### 3.1.3 $w(\text{V})/w(\text{Ni})$ 、 $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$ 值与沉积环境

$w(\text{V})/w(\text{Ni})$  值可用来判断氧化或还原环境及盐度,并用于区分河湖相、淡水与咸水湖相<sup>[23-27]</sup>。河流—三角洲、开阔湖相(远岸)、闭塞湖和非闭塞咸水湖相区分盐度指标的  $w(\text{V})/w(\text{Ni})$  值分别为 3~

4.5、4~12、10~20 和 10~15<sup>[23-27]</sup>。

文献[2]中提到:  $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$  值可以显示岩石形成时的氧化或还原环境;  $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$  值高于 0.46 显示缺氧环境,介于 0.84~0.89 显示强缺氧环境。由此可以看出,氧化与还原环境大体以  $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))=0.46$  为界线。

### 3.2 矿床形成的沉积环境

V-V' 岩石地质地球化学剖面贯穿矿区南北(图 2、3)。剖面长度约 1.6 km,共采集岩石化探样品 89 个。该剖面自北向南穿越的地层及岩性依次为:青白口系耀岭河岩组钠长绿泥片岩、震旦系陡山沱组绢云绿泥片岩、含炭硅质板岩以及灯影组白云质灰岩,寒武系下统鲁家坪组第一岩性段灰岩夹钙质板岩、第二岩性段含炭硅质板岩、第三岩性段钙质板岩、第四岩性段硅质岩、第五岩性段钙质板岩,寒武系中统八卦庙组第一岩性段灰岩、钙质粉砂岩、粉砂质板岩以及八卦庙组第二岩性段灰岩夹板岩、泥灰岩。

根据地球化学参数所指示的地质意义,分别统计了 Mo、Cu、Ni、Pb、V、Ni 等元素含量,并对  $w(\text{V})/w(\text{Ni})$ 、 $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$ 、 $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  值进行了计算,结果见表 4。对表 4 所计算的地球化学参数进行相关性分析(表 5)。

表 4 唐家埡子钼钒矿石地球化学参数分析结果

Tab. 4 Analysis Results of Geochemical Parameters of Tangjiayazi Mo-V Ores

地层代号	地层岩性	样品数量	$w(\text{Mo})/10^{-6}$	$w(\text{V})/10^{-6}$	$w(\text{Ni})/10^{-6}$	$w(\text{Cu})/10^{-6}$	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(\text{Ti})/10^{-6}$	$w(\text{V})/w(\text{Ni})$	$w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$	$w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$	$w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$
$\epsilon_2 b^2$	灰岩夹板岩	11	28	157	24	36	16	1 868	4.91	0.80	0.01	0.020
	泥灰岩	2	3	58	19	57	21	1 515	3.33	0.73	0.01	0.050
$C_2 b^1$	灰岩	4	1	33	13	14	11	723	2.84	0.73	0.02	0.020
	钙质粉砂岩	4	15	300	20	32	13	1 864	18.75	0.86	0.01	0.020
	粉砂质板岩	4	94	1 298	32	66	21	2 046	28.54	0.90	0.01	0.030
$\epsilon_1 l^5$	钙质板岩	8	37	635	22	72	12	2 899	34.28	0.93	0.01	0.030
$\epsilon_1 l^4$	硅质岩	16	7	651	17	39	6	451	43.25	0.96	0.04	0.080
$\epsilon_1 l^3$	钙质板岩	1	940	1 529	2 954	605	44	4 838	0.52	0.34	0.61	0.130
$\epsilon_1 l^2$	含炭硅质板岩	7	84	1 750	25	11	45	4 642	135.93	0.99	0.01	0.002
$\epsilon_1 l^1$	灰岩夹钙质板岩	5	151	1 643	36	913	38	2 642	43.89	0.92	0.03	2.590
$Z_2 dn$	白云质灰岩	6	93	625	22	67	30	1 366	41.34	0.94	0.02	0.060
$Z_1 d$	绢云绿泥片岩	5	4	137	33	23	14	768	9.47	0.83	0.03	0.030
	含炭硅质板岩	10	104	955	80	285	32	5 332	29.77	0.94	0.03	0.080
$Q_{byl}$	钠长绿泥片岩	6	1	280	77	95	7	7 179	3.98	0.78	0.01	0.010

注:元素含量为该组地层所采样品的含量平均值;元素含量比值为该组地层元素含量平均值的比值;测试方法为半定量光谱法,测试单位为陕西省地质矿产勘查开发局测试中心,测试时间为 2010 年。



表 5 地球化学参数相关系数  
Tab. 5 Correlation Coefficients of Geochemical Parameters

参数	$w(\text{Mo})$	$w(\text{V})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Pb})$	$w(\text{Ti})$	$w(\text{V})/w(\text{Ni})$	$w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$	$w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$	$w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$
$w(\text{Mo})$	1.00									
$w(\text{V})$	0.53	1.00								
$w(\text{Ni})$	0.98	0.38	1.00							
$w(\text{Cu})$	0.59	0.61	0.48	1.00						
$w(\text{Pb})$	0.60	0.81	0.46	0.59	1.00					
$w(\text{Ti})$	0.34	0.39	0.32	0.28	0.36	1.00				
$w(\text{V})/w(\text{Ni})$	-0.13	0.62	-0.23	-0.05	0.50	0.15	1.00			
$w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$	-0.78	0.03	-0.86	-0.31	-0.17	-0.19	0.57	1.00		
$w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$	0.98	0.38	1.00	0.49	0.46	0.28	-0.24	-0.86	1.00	
$w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$	0.08	0.45	-0.04	0.83	0.36	-0.01	0.11	0.13	-0.02	1.00

从表 4、5 可以看出:Mo 含量与 Cu、Ni、Pb 含量的相关性较好,分别达到 0.59、0.98 和 0.60(表 5),尤其是 Mo 含量在鲁家坪组第三岩性段呈现高值,这与鲁家坪组第三岩性段作为主要含矿地层的特征是一致的;根据 Mo、Cu、Ni、Pb 含量指示的沉积深度,推测鲁家坪组沉积深度可能大于 250 m,其余地层可能小于 250 m; $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  值和  $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$  值在鲁家坪组第一岩性段和第三岩性段呈现高值,分别为 0.61 和 2.59,表明该地层沉积的离岸距离可能大于 300 km,其余地层的  $w(\text{Ni})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Cu})/w(\text{Ti})$  值都小于 0.1,表明这些地层沉积的离岸距离可能小于 100 km;除鲁家坪组第三岩性段的  $w(\text{V})/w(\text{Ni})$  值小于 1 外,其余地层都远大于 1,表明鲁家坪组第三岩性段地层有弱还原—氧化环境的特征,其余地层则显示强还原环境。 $w(\text{V})/w(\text{Ni})$  值与  $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$  值的相关性可达 0.57(表 5),二者的变化趋势亦相似, $w(\text{V})/(w(\text{V})+w(\text{Ni}))$  值指示的沉积环境也与  $w(\text{V})+w(\text{Ni})$  值相同。

4 沉积背景与矿床成因

4.1 沉积背景

震旦纪晚期,唐家垭子钼钒多金属矿区为开阔海盆,沉积相为半封闭的浅海盆地相;早寒武世,本区总体为浅海盆地相,可能受汉南古陆和武当古陆制约,海水不太流畅,形成还原—弱还原盆地环境;中寒武世,海侵范围扩大,海水较深且平稳,仍为浅海盆地相;晚寒武世早期,本区可能为深水碳酸盐岩沉积,为浅海盆地相;晚寒武世晚期,短暂海退之后,逐渐向陆棚相过渡;奥陶纪早期,发生大规模海侵;奥陶纪晚期,则发生大规模海退;早志留世,总体特

征为浅海盆地相;晚志留世,本区属于正常浅海陆棚沉积环境;晚志留世晚期,加里东运动发生,使得本区逐渐抬升<sup>[25-28]</sup>。

泥盆纪以来,在构造运动的根本控制下,扬子地块北缘开始发生大规模裂解作用,于印支期(三叠纪)开始大规模汇聚并发生大规模的碰撞造山作用,使本区结束洋盆的演化历史,进入陆内构造演化阶段。三叠纪及以后,本区主要发生以收缩变形为主的造山作用。受特提斯构造域的推动,整个扬子地块向北做陆内俯冲作用,扬子地块在藏滇造山系推动下向北、向东、向秦岭造山带做右旋平移汇聚,在本区发育形成多级推覆—逆冲断裂构造系和多级褶皱构造群落<sup>[25-28]</sup>。

本区基底为青白口系耀岭河岩组的一套变质杂岩,基底之上的盖层为震旦纪—奥陶纪形成的一套以被动陆缘碎屑岩、碳酸盐岩等为主的含 Mo、V 等多金属元素的黑色岩系建造<sup>[29-31]</sup>。地层沉积后伴随着一系列挤压构造运动的作用,广泛发生区域变质作用,并在构造运动的控制下发生抬升、倒转等一系列变形<sup>[29-31]</sup>,形成现今这种赋存于黑色岩系中以及具明显沉积特征的沉积型钼钒多金属矿床。

4.2 矿床成因

结合表 6 中矿区综合柱状图,根据矿床形成的沉积环境对矿区地层的氧化或还原环境、沉积水深及离岸距离等沉积特征进行总结;根据矿区沉积背景对矿区地层的原岩沉积相进行分析(表 6)。

寒武系下统鲁家坪组作为矿区钼、钒含矿地层,整个成矿期总体都处于缺氧—强缺氧的还原环境,沉积水深大于 250 m,离岸距离 100~300 km,原岩沉积相为(较封闭的)浅海盆地相。沉积环境特征表

表 6 唐家埡子钼钒多金属矿区综合柱状图及沉积环境

Tab. 6 Synthesis Column and Sedimentary Environment of Tangjiayazi Mo-V Polymetallic Mining Area

地层代号	地层厚度/m	综合柱状图	岩性	沉积环境特征			
				原岩沉积相	氧化或还原环境	沉积水深/m	离岸距离/km
$\epsilon_2 b^2$	270		灰岩夹钙质板岩	浅海盆地相	还原	<250	<100
$\epsilon_2 b^1$	170		灰岩夹板岩 钙质粉砂岩	滨海—浅海盆地相	还原	<250	<100
$\epsilon_1 l^5$	180		钙质粉砂质板岩夹灰岩	浅海盆地相	还原	>250	<100
$\epsilon_1 l^4$	190		硅质岩	浅海盆地相	还原	>250	<100
$\epsilon_1 l^3$	80		钙质粉砂质板岩	浅海盆地相	弱还原	>250	100~300
$\epsilon_1 l^2$	70		灰岩夹钙质板岩	浅海盆地相	还原	>250	<100
$\epsilon_1 l^1$	55		含炭硅质岩	浅海盆地相	还原	>250	<100
$Z_2 dn$	15		泥质白云质灰岩	陆棚相	还原	>250	<100
$Z_1 d$	100		绢云绿泥片岩 含炭硅质板岩	半封闭浅海盆地相	还原	<250	<100
Qbyl	500		绢云钠长绿泥片岩	沉积基底			

明本区寒武系下统鲁家坪组黑色岩系中的钼钒多金属矿床为典型的深海冷水沉积矿床。

## 5 结 语

(1) 陕西镇坪地区唐家埡子钼钒多金属矿体产于寒武系下统鲁家坪组黑色岩系, 呈 NW—SE 向展布, 与地层展布方向一致, 受黑色岩系控制。主要矿石类型有含炭板岩型、粉砂质板岩型及含炭硅质岩型; 含钼矿物主要有铁钼华、钼华、胶硫钼矿等, 钒主要存在于钒云母中, 其次在高岭土、电气石等矿物中; 矿石化学成分以  $\text{MoO}_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$  为主, 主成矿元素为 Mo、V, 伴生金属元素有 Ag 等。

(2) 寒武系下统鲁家坪组作为矿区钼、钒含矿地层, 整个成矿期总体都处于缺氧—强缺氧的还原环境, 沉积水深大于 250 m, 离岸距离 100~300 km, 原岩沉积相为(较封闭的)浅海盆地相。沉积环境特征表明, 本区寒武系下统鲁家坪组黑色岩系中的钼、钒多金属矿为典型的深海冷水沉积型矿床。

### 参考文献:

### References:

- [1] 刘家军, 吕志成, 吴胜华, 等. 南秦岭大巴山大型钼成矿带中锆同位素组成及其成因意义[J]. 地学前缘,

2014, 21(5): 23-30.

LIU Jia-jun, LU Zhi-cheng, WU Sheng-hua, et al. Strontium Isotopic Composition and Its Genetic Significance of the Dabashan Large Barium Metallogenic Belt in Southern Qinling Mountains[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(5): 23-30.

- [2] 王立社. 陕西秦岭黑色岩系及其典型矿床地质地球化学与成矿规律研究[D]. 西安: 西北大学, 2009.

WANG Li-she. Study on the Metallogenic Regularity and Geological-geochemistry for Black Rock Series and Related Typical Deposits in Qinling Mountains, Shaanxi[D]. Xi'an: Northwest University, 2009.

- [3] 王立社, 侯俊富, 张复新, 等. 北秦岭庙湾组黑色岩系稀土元素地球化学特征及成因意义[J]. 地球学报, 2010, 31(1): 73-82.

WANG Li-she, HOU Jun-fu, ZHANG Fu-xin, et al. REE Geochemical Characteristics of the Miaowan Formation Black Rock Series in North Qinling Mountain and Their Genetic Significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(1): 73-82.

- [4] 宗静婷, 张复新, 郑 炜, 等. 陕西省黑龙口清岩沟钼—镍矿床地质特征与成因[J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1501-1510.

ZONG Jing-ting, ZHANG Fu-xin, ZHENG Wei, et al. Geological Features and Genesis of the Qingyangou



- Molybdenum-nickel Deposit in Heilongkou, Shaanxi Province[J]. *Geology in China*, 2010, 37(5): 1501-1510.
- [5] 王立社, 张复新, 侯俊富, 等. 秦岭山阳水沟口组黑色岩系微量元素地球化学及其沉积成矿背景的指示意义[J]. *中国地质*, 2012, 39(2): 311-325.
- WANG Li-she, ZHANG Fu-xin, HOU Jun-fu, et al. Trace Element Geochemical Characteristics of the Shuigoukou Formation Black Rock Series in Shanyang Area of the Qinling Mountains and Their Indication Significance for Sedimentation-mineralization[J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 311-325.
- [6] 任涛, 樊忠平, 原莲肖, 等. 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[J]. *西北地质*, 2007, 40(2): 85-94.
- REN Tao, FAN Zhong-ping, YUAN Lian-xiao, et al. 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[J]. *Northwestern Geology*, 2007, 40(2): 85-94.
- [7] 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(钒)矿床为例[J]. *西北地质*, 2014, 47(1): 150-158.
- REN Tao, WANG Rui-ting, MENG De-ming, et al. Geological Characteristics and Metallogenic Model of the Orogenic-type Gold Deposit in South Qinling: A Case of Xiajiadian Gold (Vanadium) Deposit, Shanyang County, Shaanxi Province[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(1): 150-158.
- [8] 李赛赛, 魏刚锋, 聂江涛, 等. 陕西省商南县湘河地区钒矿成矿特征及成因[J]. *地球科学与环境学报*, 2009, 31(3): 236-244.
- LI Sai-sai, WEI Gang-feng, NIE Jiang-tao, et al. Metallogenic Characteristics of V Ore Deposit in the Xianghe Area of Shangnan County in Shaanxi Province and Its Genesis[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2009, 31(3): 236-244.
- [9] 李赛赛, 魏刚锋, 李小兵. 陕西省商南县穆家河钒矿床地质特征及钒的赋存状态研究[J]. *地质与勘探*, 2013, 49(4): 609-619.
- LI Sai-sai, WEI Gang-feng, LI Xiao-bing. Geological Characteristics and Occurrence of Vanadium in the Mujiahe Vanadium Deposit in Shangnan County, Shaanxi[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(4): 609-619.
- [10] 李赛赛, 魏刚锋, 聂江涛, 等. 南秦岭水沟钒矿床地质地球化学特征及成因[J]. *现代地质*, 2012, 26(2): 243-253.
- LI Sai-sai, WEI Gang-feng, NIE Jiang-tao, et al. The Geological and Geochemical Characteristics of Shuigou Vanadium Deposit in Southern Qinling and Its Genesis[J]. *Geoscience*, 2012, 26(2): 243-253.
- [11] 叶杰, 范德廉. 黑色岩系型矿床的形成作用及其在我国的产出特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2000, 19(2): 95-102.
- YE Jie, FAN De-lian. Characteristics and Mineralization of Ore Deposits Related to Black Shale Series[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2000, 19(2): 95-102.
- [12] 罗泰义, 宁兴贤, 罗远良, 等. 重庆城口地区早前寒武系黑色岩系研究: (1) 铂族元素成矿潜力评估[J]. *矿物学报*, 2007, 27(3/4): 287-301.
- LUO Tai-yi, NING Xing-xian, LUO Yuan-liang, et al. Pre-Early Cambrian Black Rock Series in Chengkou District, Chongqing: (1) PGE Mineralization Potential Reassessment[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2007, 27(3/4): 287-301.
- [13] 陈高潮, 张清盛, 孔文年, 等. 南秦岭东段下寒武统黑色岩系钒矿成矿地质背景浅析[J]. *西北地质*, 2011, 44(4): 50-57.
- CHEN Gao-chao, ZHANG Qing-sheng, KONG Wen-nian, et al. Mineral Characteristics and Exploration Prospect of Vanadium Deposit of Lower Cambrian Black Rock Series in South Qinling East Segment[J]. *Northwestern Geology*, 2011, 44(4): 50-57.
- [14] 黄艳丽, 秦德先, 邓明国, 等. 黑色岩系多金属矿床的研究现状与发展趋势[J]. *地质找矿论丛*, 2008, 23(3): 177-181.
- HUANG Yan-li, QIN De-xian, DENG Ming-guo, et al. Research and Development of Black Rock Series Polymetallic Deposits[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2008, 23(3): 177-181.
- [15] 张复新, 王立社, 侯俊富. 秦岭造山带黑色岩系与金属矿床类型及成矿系列[J]. *中国地质*, 2009, 36(3): 694-704.
- ZHANG Fu-xin, WANG Li-she, HOU Jun-fu. Black Rock Series, Types of Ore Deposits and Ore-forming Systems in Qinling Orogenic Belt[J]. *Geology in China*, 2009, 36(3): 694-704.
- [16] 施春华, 曹剑, 胡凯, 等. 华南早寒武世黑色岩系 Ni-Mo 多金属矿床成因研究进展[J]. *地质论评*, 2011, 57(5): 718-730.
- SHI Chun-hua, CAO Jian, HU Kai, et al. A Review on Origin of Ni-Mo Polymetallic Deposits in Lower Cambrian Black Rock Series in South China[J]. *Geological Review*, 2011, 57(5): 718-730.
- [17] 刘林, 吴景平, 杨译, 等. 陕西石泉—汉阴北部下

- 志留统黑色岩系中的金矿床[J]. 地质与资源, 2011, 20(4): 304-309.
- LIU Lin, WU Jing-ping, YANG Yi, et al. Gold Deposit in the Lower Silurian Black Rock Series in Northern Shiquan-Hanyin, Shaanxi Province[J]. *Geology and Resources*, 2011, 20(4): 304-309.
- [18] 徐文礼, 郑荣才, 颜雪, 等. 下扬子地区早古生代黑色岩系地球化学特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2014, 44(4): 1108-1122.
- XU Wen-li, ZHENG Rong-cai, YAN Xue, et al. Trace and Rare Earth Element Geochemistry of the Early Paleozoic Black Shales in the Lower Yangtze Area and Its Geological Significances[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2014, 44(4): 1108-1122.
- [19] 施春华, 曹剑, 胡凯, 等. 黑色岩系矿床成因及其海水、热水与生物有机成矿作用[J]. 地学前缘, 2013, 20(1): 19-31.
- SHI Chun-hua, CAO Jian, HU Kai, et al. A Review of Origins of Mineral Deposits Hosted in Black Rock Series and the Mineralizing Functions of Their Sea Water, Hydrothermal Fluid and Bio-organics[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(1): 19-31.
- [20] 朱红周, 侯俊富, 原莲肖, 等. 南秦岭千家坪钒矿床钒赋存状态研究[J]. 地质与勘探, 2010, 46(4): 643-648.
- ZHU Hong-zhou, HOU Jun-fu, YUAN Lian-xiao, et al. Study on Occurrence of Vanadium in the Qianjiaping Vanadium Deposit of South Qinling[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(4): 643-648.
- [21] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
- DENG Hong-wen, QIAN Kai. *Sedimentary Geochemistry and Environmental Analysis*[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1993.
- [22] SUGISAKI R. Relation Between Chemical Composition and Sedimentation Rate of Pacific Ocean-floor Sediments Deposited Since the Middle Cretaceous: Basic Evidence for Chemical Constraints on Depositional Environments of Ancient Sediments[J]. *The Journal of Geology*, 1984, 92(3): 235-259.
- [23] 南京大学地质学系. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- Department of Geology, Nanjing University. *Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 1961.
- [24] 叶健华. 陕西镇坪唐家垭子钼钒多金属矿地质特征及成矿分析[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- YE Jian-hua. *Research on Geological Characteristics and Genesis of the Zhenping Molybdenum Deposit in Shaanxi Province*[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [25] 唐永忠, 杨兴科, 张宝荣, 等. 南秦岭造山带安康石梯—旬阳神河早古生代热水沉积盆地构造-沉积相与热水聚矿特征[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1261-1270.
- TANG Yong-zhong, YANG Xing-ke, ZHANG Bao-rong, et al. Structure-sedimentary Facies and Hydrothermal Mineralization Characteristics of Shiti(in Ankang)-Shenhe(in Xunyang) Early Paleozoic Hydrothermal Basin in South Qinling Orogenic Belt[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1261-1270.
- [26] 唐永忠, 齐文, 刘淑文, 等. 南秦岭古生代热水沉积盆地与热水沉积成矿[J]. 中国地质, 2007, 34(6): 1091-1100.
- TANG Yong-zhong, QI Wen, LIU Shu-wen, et al. Paleozoic Hydrothermal Sedimentary Basin and Hydrothermal Sedimentary Mineralization in the Southern Qinling[J]. *Geology in China*, 2007, 34(6): 1091-1100.
- [27] 熊小辉, 肖加飞. 沉积环境的地球化学示踪[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 405-414.
- XIONG Xiao-hui, XIAO Jia-fei. Geochemical Indicators of Sedimentary Environments: A Summary[J]. *Earth and Environment*, 2011, 39(3): 405-414.
- [28] 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.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi Province. *Regional Geology in Shaanxi Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [29] 庄汉平, 卢家烂, 傅家谟, 等. 白果园黑色岩系型银(钒)矿床沉积古环境与银(钒)初始富集[J]. 地质论评, 1997, 43(4): 373-380.
- ZHUANG Han-ping, LU Jia-lan, FU Jia-mo, et al. Paleoenvironment and Preliminary Enrichment of Ag (V) in the Baiguoyuan Black Shale Series-Hosted Ag (V) Deposit[J]. *Geological Review*, 1997, 43(4): 373-380.
- [30] 徐强, 翟刚毅, 杨志华, 等. 东秦岭南带沉积盆地性质和演化[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 27-33.
- XU Qiang, ZHAI Gang-yi, YANG Zhi-hua, et al. Property and Evolution of Sedimentary Basin in the Southern Belt of East Qinling[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2001, 21(3): 27-33.
- [31] 刘军威. 陕西夏家店金钒矿床特征与控矿因素分析[J]. 西北地质, 2011, 44(2): 102-109.
- LIU Jun-wei. *Ore Body Characteristics and the Controlling Factors of Shaanxi Xiajiadian Gold-vanadium Ore Region*[J]. *Northwestern Geology*, 2011, 44(2): 102-109.