

## 湖南古丈县双溪钒矿床地质特征及成矿机制初探

刘光昭, 尹华锋, 付益平

(湖南省有色地质勘查局二四五队, 湖南 吉首 416007)

**摘要:**湖南双溪钒矿床产于寒武系下统木昌组, 赋矿岩层为一套富含有机质的硅、磷、碳组合的黑色岩系。钒矿( $V_2O_5$ )的品位为 0.61%~1.51%, 矿石主要分为 3 种类型: 黑色碳硅质岩-页岩型、含磷结核页岩型及页岩型。钒的赋存状态主要有吸附态和类质同象态。通过对成岩、成矿的研究, 初步认为双溪钒矿为海底喷气热水溶液同生沉积生成。

**关键词:**钒矿床; 成矿机制; 双溪; 湖南古丈

黑色岩系是指一套以含硫化物(黄铁矿为主)和有机质较多为特征的滞水海盆或浅海相的暗色硅质岩的组合。目前已发现的沉积型或层控型钒矿床基本上与其有关, 主要分布在华北地块、扬子地块与秦岭-祁连褶皱系两侧, 在塔里木地块、华南褶皱系也有分布。岩性上受震旦纪-早寒武世、志留纪和二叠纪的含碳硅质岩、铝(黏)土岩和磷块岩的控制。

湖南省古丈县双溪钒矿是近年在扬子准地台武陵褶皱断束内黑色岩系中发现的一个中型钒矿床, 该矿床位于我国著名的湘西-鄂西区域成矿带内。本文通过对双溪钒矿床地质特征和钒的赋存状态与成矿条件的研究、分析, 初步探索钒矿床的成矿机制。

### 1 区域地质概况

区域大地构造隶属扬子地块扬子准地台武陵褶皱断束内湘西帚状弧形构造带。北邻张家界-铜仁断裂带、南邻古丈-吉首断裂带。区内次级构造发育。主要为古丈复背斜次一级构造-万岩溪背斜的北西翼和古丈逆断层的下盘(见图 1)。古丈复背斜由新元古界板溪群浅变质岩组及震旦系、寒武系与奥陶系、志留系等地层组成, 总体构成一轴面倾向南东的复式背斜; 万岩溪背斜斜部由板溪群五强溪组组成, 两翼分别为震旦系及寒武系, 背斜枢纽走向为 NE 向, 轴面向南东倾斜。区域上出露地层主要有震旦系、寒武系。岩浆岩不发育, 仅在古丈县龙鼻嘴出露基性岩小岩株。

### 2 矿区地质概况

#### 2.1 地质特征

双溪钒矿位于古丈复背斜之次一级构造万岩溪背斜的北西翼。区内出露的地层主要有震旦系洪江组( $Z_h$ )、金家洞组( $Z_j$ )、留茶坡组( $Z_l$ )及寒武系木昌组( $E_m$ )、杷榔组( $E_p$ )、清虚洞组( $E_q$ )。其中震旦系留茶坡组( $Z_l$ )的岩性为黑色碳质页岩; 寒武系木昌组( $E_m$ )的岩性为黑色薄层碳硅质岩夹薄层黑色页岩→薄层黑色页岩夹薄层硅质岩→含磷结核黑色页岩→黑色页岩的沉积建造; 其他组的岩性主要为碳酸盐沉积建造。

区内构造简单, 为一单斜构造, 岩层走向北东 35~45°, 倾角 20~43°。岩石挠曲发育、层面波状起伏, 并伴随有小断层, 走向北东, 倾向北西, 平均倾角 30°。古丈逆断层走向 30°, 倾向南东, 倾角 70°, 上盘为板溪群, 下盘为震旦-寒武系。

区内未见断层破坏矿体, 矿体连续产出(见图 2)。

#### 2.2 赋矿地层特征

双溪钒矿床的赋矿地层为寒武系木昌组的一套碳硅质岩、碳质页岩互层组合。区域上赋矿地层稳定, 呈北东向展布。赋矿地层与上覆地层杷榔组为整合接触, 与下伏地层留茶坡组为渐变过渡关系, 呈整合接触。木昌组在矿区可分为 2 大层 5 小段。下部黑色层由碳硅质岩、页岩夹少量泥质白云岩透镜体, 含磷结核黑色页岩及黑色页岩 3 段组成。该层为主要含矿层位。上部的页岩层由高碳质页岩、黑色页岩 2 段组成, 高碳质页岩的发热量达 3.35~5.31 MJ/kg, 可形成石煤, 基本不含钒矿。

#### 2.3 岩相古地理特征

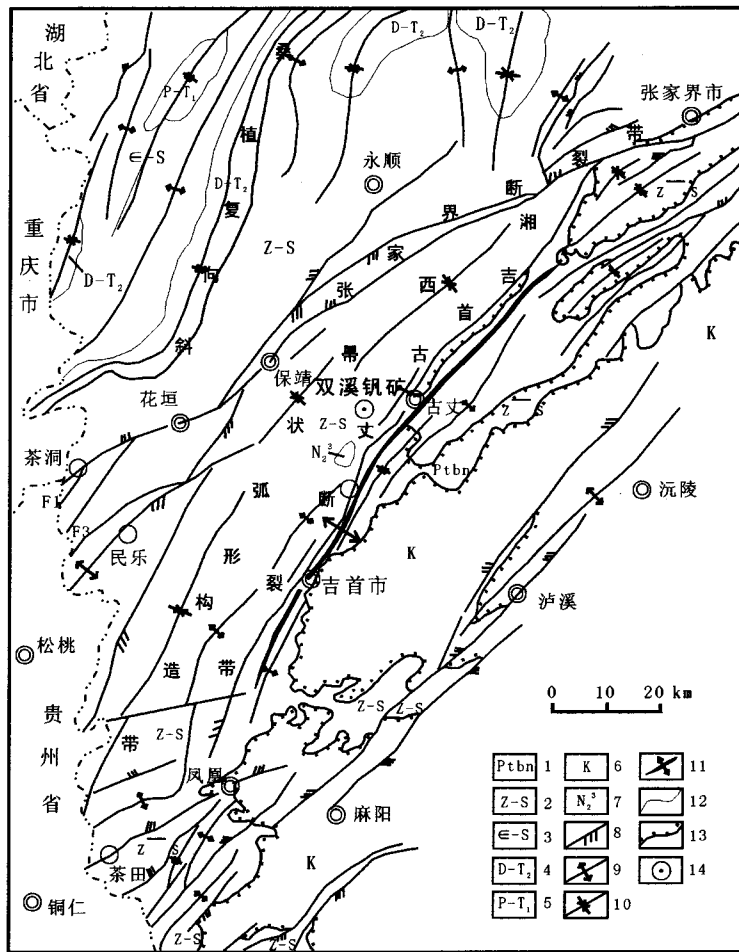


图 1 构造纲要图

Fig. 1 Structural outline map of the studied area

1—板溪群(Banxi fm.); 2—震旦-志留系(Sinian-Silurian); 3—寒武-志留系(Cambrian-Silurian); 4—泥盆-二叠系(Devonian-Permian); 5—二叠-三叠系(Permian-Triassic); 6—白垩系(Cretaceous); 7—雪峰期基性-超基性岩体(basic-ultrabasic rock body of Xuefeng age); 8—断裂(fault); 9—背斜(anticline); 10—向斜(syncline); 11—复背斜(anticlinorium); 12—整合地层界线(conformity); 13—角度不整合界线(angular unconformity); 14—双溪钒矿(Suangxi vanadium deposit)

本区位于扬子准地台东侧, 邻近江南地轴的武陵褶皱断束内。前寒武纪是地史上一个重大转折期, 从隐生宙向显生宙过渡, 大陆、大气、大洋发生了显著不同的变化, 是一个重大质变和特殊意义的时期, 该期发生的生物带壳演化, 基本上奠定了显生宙以来生物界的基本面貌。随着寒武纪初期植物的繁衍和带壳动物的爆发, 在大气圈和水圈中 CO<sub>2</sub> 含量降低, 底泥中有机物质堆积, 产生硫化氢地球化学环境, 有利于磷、锰、钒等许多金属的沉积。黑色岩系沉积建造的特征: 有机物质增高, SiO<sub>2</sub> 含量高(出现较多的石英、燧石), 磷和钒含量增高, 其次是 Ag 及稀土元素相应增高。

湘西晚震旦世以藻类生物为主, 至早寒武世早期, 生物群繁盛, 形成首次的小壳动物群。早寒武世早-中

期, 存在一次较大规模的缺氧事件, 对有机质的保存和演化有利, 形成了一套富有机质的黑色岩系。

湘西黑色岩系沉积作用有以下特点: (1) 生物沉积作用居重要地位, 它向海底供应了丰富的生物遗体和有机质, 以及生物在其生活过程中富集的各种元素。(2) 陆源(包括水山喷发物) 物质以粉砂和黏土级细质点为主, 部分来自附近的火山喷发物。(3) 洋底为还原环境, 底栖生物不发育, 在弱还原环境下, 导致元素的再迁移和再分配。(4) 具有十分缓慢的沉积速率, 湘西黑色页岩一直被认为是凝缩层沉积。(5) 地质构造背景对沉积作用有直接或间接的影响, 洋壳扩张及壳上的断裂和火山活动造就了海底地形的原始起伏, 从而造成不同地区有不同类型沉积物的形成和分布。沿断

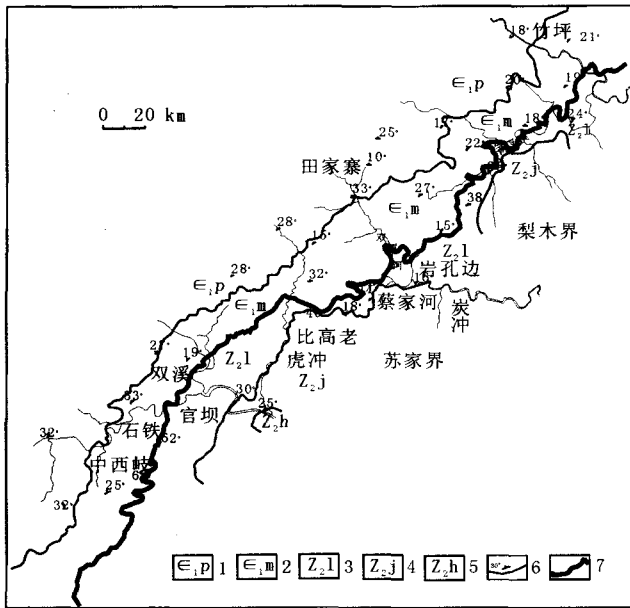


图 2 双溪矿区地质图

Fig. 2 Geologic map of Shuangxi ore field

1—下寒武统杷榔组(Lower Cambrian Palang fm.); 2—下寒武统木昌组(Lower Cambrian Muchang fm.); 3—上震旦统留茶坡组(Upper Sinian Liuchapo fm.); 4—上震旦统金家洞组(Upper Sinian Jinjiadong fm.); 5—上震旦统洪江组(Upper Sinian Hongjiang fm.); 6—地层界线及产状(stratigraphic boundary and occurrence); 7—钒矿层(vanadium ore bed)

裂带活动的热水溶液不仅可能供应部分金属元素,还可能生成重晶石类矿物. 根据古生物、岩性组合和有机岩石学特征分析, 推测湘西黑色岩系形成时的古沉积环境为浅水陆缘海盆地, 水体深度不超过 250 m.

总之, 湘西地区晚震旦世—早寒武世的黑色页岩形成于多物源、缺氧的沉积环境, 通过有机岩石学和微体化石分析认为, 黑色岩系的有机质主要来源于藻、菌类生物. 自南沱冰期以后至早寒武世早期, 扬子海域具有明显的缺氧特征, 黑色页岩中的锰、钒、石煤、重晶石和磷块岩等矿床的形成受控于海平面的变化, 含矿层段发育于海平面上升期的海侵系列和凝缩层沉积中.

### 3 矿石特征

#### 3.1 含矿岩石特征

矿区内含矿岩石主要为碳硅质岩、页岩两种, 均产于寒武系下统木昌组内, 并存在大量的含磷结核. 其基本特征如下:

(1) 碳质、黑色页岩: 主要由黏土质页岩组成, 页岩中碳的含量为 7.97%~11.94%. 矿石物质成分主要为水云母、高岭石、不透明矿(碳质)、石英、氧化铁等, 其中黏矿物含量在 78%以上. 矿石为隐晶—泥质结构、粉砂质结构, 薄层状、条带状构造, 矿石类型为页岩型.

(2) 碳硅质岩: 主要由黑色碳硅岩组成, 无泥质夹层, 但在碳硅岩层层面之间夹薄层状页岩, 含碳质 1.19%~8.97%. 组成岩石的矿物以隐晶—微晶石英为主, 含量为 75%~95%; 次为黏土矿物水云母、高岭石, 含量为 5%~10%; 其他矿物为白云石、黄铁矿等. 矿石呈隐晶结构, 纹层状、薄层状、条带状及结核状构造, 矿石类型为硅质岩—页岩型矿石. 化学成分见表 1.

#### 3.2 矿石类型、物质组成及钒赋存状态

表 1 荧光光谱分析结果

Table 1 Analysis result by fluorescence spectrum

| 序号 | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | Na <sub>2</sub> O | MgO  | 总碳    | S     | P     | Sc    | Ba    | Ti    | La   | V    | Cr   | Mn   |     |      |      |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|------|------|
| 1  | 86.23            | 2.09                           | 7.01                           | 1.01             | 0.19 | 0.04              | 0.46 | 1.19  | 1852  | 2168  | 25.86 | 27245 | 8892  | 41   | 7014 | 1129 | <1   |     |      |      |
| 2  | 66.51            | 2.75                           | 8.87                           | 1.89             | 2.84 | 1.06              | 1.21 | 11.94 | 19284 | 1860  | 22.23 | 16786 | 7342  | 25   | 4806 | 660  | 12   |     |      |      |
| 3  | 60.81            | 1.22                           | 5.52                           | 0.60             | 8.42 | 0.31              | 1.22 | 7.96  | 10106 | 18571 | 21.7  | 16703 | 6945  | 13   | 1745 | 248  | 114  |     |      |      |
| 序号 | Co               | Ni                             | Cu                             | Zn               | Ga   | As                | Br   | Rb    | Sr    | Y     | Zr    | Nb    | Mo    | Sn   | Hf   | Tl   | Pb   | Th  | U    | Ta   |
| 1  | 3.5              | 48.7                           | 23.1                           | 162              | 15.8 | 30.08             | 4.85 | 45    | 137   | 104   | 79    | 20.6  | 57.1  | 8.7  | 2.2  | 0.8  | 36.0 | 5.0 | 23.8 | 1.48 |
| 2  | 11.7             | 222.6                          | 300                            | 4388             | 27.0 | 54.67             | 1.65 | 69    | 175   | 75    | 103   | 15.4  | 151.1 | <0.5 | 2.7  | 0.7  | 47.3 | 6.5 | 35.0 | 0.51 |
| 3  | 3.8              | 85.7                           | 192                            | 1369             | 7.7  | 17.81             | 2.58 | 21    | 652   | 66    | 45    | 9.4   | 45.7  | 0.8  | 1.5  | 0.4  | 11.2 | 3.4 | 17.9 | 0.61 |

测试单位: 国土资源部湖南省中心实验室. 含量单位: 氧化物和总碳为 10<sup>-2</sup>, 其余为 10<sup>-6</sup>.

矿床的矿石类型有黑色碳硅质岩—页岩型、含磷结核页岩型及页岩型 3 种. 主要由碳质、黏土质和微晶—细晶石英组成, 次为石墨、白云石、重晶石、绿泥

石、水云母等. 矿石多具叶片状、薄片状、互层状构造, 泥质、微晶—细晶结构. 黑色碳硅质岩—页岩型、页岩型矿石为主要矿石类型, 其次为含磷结核页岩型. 表 1 的

数据显示, 矿石以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  高为特征; 贵金属的含量并不高, 不能单独形成独立的矿床;  $\text{Ni}+\text{Mo}$  平均含量为  $457.6 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Ga}$  平均含量为  $16.8 \times 10^{-6}$ , 在钒矿体中含量达不到工业品位, 只能作为伴生元素综合利用。经采样分析, 双溪钒矿矿石中  $\text{V}_2\text{O}_5$  的含量为 0.61%~1.51%, 平均品位 0.98%, 已超过钒的工业品位(0.7%)。双溪钒矿矿石因未作电子探针分析, 钒的独立矿物没有查明。但据有关资料, 钒的独立矿物在岩石中的数量非常少, 不能成为钒的主要载体矿物; 钒主要以吸附态和类质同象形式赋存在含钒岩系中, 其中黏土矿物吸附的占 68%以上, 以类质同象态及其他形态存在的钒所占比例不足 32%。根据张爱云等的资料<sup>[1]</sup>, 黑色岩系层控钒矿中钒赋存状态有 3 种, 分别富集在有机质、黏土矿物水云母(钾伊利石)及独立的钒矿物中。双溪钒矿中的钒主要以吸附状态赋存于黏土矿物中, 其他形式的钒只占 1/3 左右。在地质作用过程中,  $\text{V}^{5+}$  离子可以取代  $\text{Al}^{3+}$  的位置而进入硅酸盐矿物中, 少量的钒存在于独立矿物中。

### 3.3 结核特征

双溪钒矿床含矿岩系中, 底部、中部结核普遍发育, 规律性地产于碳硅质岩与黏土岩接触面附近。结核的形状各异, 主要有球形、椭球形, 结核大小从数毫米到数十厘米。有少量结核由于脱水时体积收缩而产生裂隙, 被石英、方解石等矿物充填。结核的同心层状构造发育。

双溪钒矿中的含磷结核按物质组成可分为泥质结核、硅质结核两种。泥质结核成分主要为泥、碳酸盐、褐铁矿, 内外圈成分基本相同, 但含量不同, 由内而外, 碳酸盐含量逐渐增多; 硅质结核主要由隐晶-微晶石英组成, 含褐铁矿、钒铁矿, 在结核的外圈钒铁矿较多, 而内圈褐铁矿较多。

双溪钒矿赋矿地层的底部、中部普遍发育结核特征, 反映沉积环境为浅水陆缘海盆地<sup>[2]</sup>。

## 4 矿床形成机制

双溪钒矿的赋存层位位于扬子准地台东侧浅水陆

缘海盆中, 邻近江南地轴的武陵褶皱束内。成岩特征以同生沉积和化学沉积为主, 在缺氧条件下形成一套碳硅质岩、碳质页岩及页岩建造。据有关资料, 认为硅质岩有两种成因: 化学成因和生物成因, 但以化学成因为主。据岩矿鉴定资料, 双溪钒矿床含钒岩系中的硅质岩具非晶质结构、微晶结构, 块状构造, 主要矿物成分为玉髓、蛋白石及少量自生石英, 矿物粒径约 0.01mm。大量镜下观察未发现生物活动证据。据此可初步判断双溪钒矿主要由化学沉积作用形成。由于扬子海域洋壳扩张及壳上的断裂和火山活动正处于扩张期, 构造活动频繁, 海底喷流作用及沿断裂带活动的水溶液带来的大量物质流向沉积盆地, 在缺氧的环境下, 沉积形成典型的黑色岩系, 为矿床的形成储备了物质基础。黏土矿物对金属离子的强烈吸附性能, 使成岩作用过程中, 进入流体相的钒等金属离子被吸附、固定而富集成矿; 赋矿岩石的碳质对金属离子也具有吸附作用。对钒的富集成矿也有一定的帮助。

根据上述矿区地质及矿石组合和钒的赋存状态研究, 认为双溪钒矿是同生沉积成因的矿床。在扬子海域洋壳扩张及壳上的断裂和火山活动的扩张期, 构造活动频繁, 形成海底地形的变化, 形成滞流海盆; 海底喷流作用及沿断裂带活动的水溶液带来的大量物质流向沉积盆地, 在缺氧的环境下, 沉积形成典型的黑色岩系, 为矿床的形成储备了物质基础。由于特定的构造条件及热液活动背景, 造成缺氧、滞流的陆缘裂陷海盆地沉积环境。海底喷气、喷流作用带来的钒等金属离子在黏土矿物的强烈吸附作用下, 发生迁移、富集, 并固定在特定的层位或介质中, 形成双溪钒矿床。同时在岩浆、海底喷气、喷流等内生作用下, 部分钒以类质同象形式进入硅酸盐矿物中, 这些硅酸盐矿物进入上述沉积体系, 对钒的富集成矿提供物质来源。

### 参考文献:

- [1] 张爱云, 伍大茂, 郭丽娜, 等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M]. 北京: 科学出版社, 1987.72—73.
- [2] 朱红周, 郑厚义, 范红科. 陕西省商南县千家坪钒矿地质特征及找矿前景[J]. 西北金属矿产地质, 2001, (1—2).

## ANALYSIS ON THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND MATERIAL ORIGIN OF THE SURFACE SEDIMENTS IN THE MID-PACIFIC OCEAN

YANG Rui<sup>1,2</sup>, LI Guo-sheng<sup>1,3</sup>, ZHANG Hong-rui<sup>4</sup>

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2. *Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China*; 3. *Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China*; 4. *China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** The major and trace element contents of surface sediment samples in the mid-Pacific Ocean are studied, with element correlation and R-mode factor analysis. The result indicates a positive correlation between  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$  and  $\text{Na}_2\text{O}$ , showing the same terrigenous origin. They are in negative correlation to  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$  and Sr, which originated mainly from biogenic deposition.

**Key words:** the mid-Pacific Ocean; surface sediment; geochemical characteristics; material origin

**作者简介:** 杨锐(1958—),女,副教授,高级工程师,1982年2月毕业于焦作矿业学院地质勘探专业,现为中国科学院广州地球化学研究所博士研究生,主要从事沉积地球化学、沉积学、环境工程地质学与灾害防治等方面的教学与研究,通信地址 广州市东风东路729号 广东工业大学,邮政编码 510076.

(上接第199页)

## A PRELIMINARY STUDY ON GEOLOGY AND METALLOGENESIS OF THE SHUANGXI VANADIUM DEPOSIT IN HUNAN PROVINCE

LIU Guang-zhao, YIN Hua-feng, FU Yi-ping

(NO.245 Brigade, Hunan Bureau of Nonferrous Metallic Geologic Exploration, Jishou 416007, Hunan Province, China)

**Abstract:** The Shuangxi vanadium deposit in Guzhang County, Hunan Province occurs in Lower Cambrian Muchang formation, which is composed of the black rock series rich in organic Si, P and C. The content of  $\text{V}_2\text{O}_5$  in the ore ranges from 0.61% to 1.51%. The ore rocks can be divided into three types, i.e. black carbonaceous-siliceous rock-shale, phosphatic nodule-bearing shale and shale. The occurrences of vanadium are mainly in adsorption and isomorphism states. Study on diagenesis and metallogenesis shows that the Shuangxi vanadium deposit is formed by the syndeposition of submarine exhalative hydrothermal solution.

**Key words:** vanadium deposit; metallogenic mechanism; Shuangxi of Guzhang County, Hunan Province

**作者简介:** 刘光昭(1963—),男,地质工程师,1988年毕业于中南工业大学地质矿产勘查专业,主要从事技术管理、地质找矿与勘探工作,通信地址 湖南省吉首市乾州 湖南省有色地质勘查局二四五队,邮政编码 416007, E-mail//liu245245@163.com