

# 上扬子台区下寒武统黑色岩系中的钒矿床

鲍正襄 万榕江 包觉敏

(湘西地勘5队, 湖南 乾州 4160077)

**摘 要:** 我国南部早寒武世黑色岩系中, 蕴藏丰富的金属和非金属矿产。而位于扬子地台东南缘的钒矿床尤其令人瞩目。本文以湘西为例, 剖析该类钒矿地质特征和成矿规律。矿床产于下寒武统黑色岩系底部的碳质页岩、硅岩及黑色页岩组合中。矿层呈层状、似层状, 产状稳定, 埋藏浅, 储量大。矿石主要由水云母(伊利石)和石英组成, 含有机质及藻类化石。成矿受地层、岩性、古构造和古地理条件控制。矿床具有微生物成矿与海底热水沉积双重特征, 成因应属生物地球化学沉积矿床范畴。

**关键词:** 钒矿; 地质特征; 控矿因素; 湘西

**中图分类号:** P618.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1885(2002)02-08

我国南部寒武系下统黑色岩系广泛分布于云南、贵州、四川、湖南、湖北、江西、浙江以及广东、广西等省、区, 系一套含有机质(3%~13%)的硅、泥质岩石。包括碳质页岩、白云质碳质页岩、含磷结核碳质页岩和硅质岩、碳泥质硅质岩、硅碳质页岩及磷块岩等。形成于震旦纪晚期~早寒武世构造拉张背景下的深水斜坡区<sup>[1][2]</sup>, 长期处于被动大陆边缘, 特别是在扬子区及其两侧深水斜坡发育。研究表明, 早寒武世荷塘期是我国成矿作用的一个重要时期, 目前已发现大型或超大型的矿床有磷矿、重晶石矿、石煤矿、钒矿等, 此外尚有镍、钼、铜、铀、硒、金、银、稀土以及铂族元素(PGE)等数十种中小型矿床、矿点、矿化点, 均产于黑色岩系中, 且主要位于古大陆边缘斜坡和上扬子台地上。其中石煤矿、钒矿、镍钼多元素矿更是集中分布于此类地区(图1), 具有独特的形成过程。因此, 进一步开展黑色岩系含金属页岩的找矿研究大有作为。本文以湘西为例, 探讨黑色岩系中的钒矿床成矿特征及其分布规律, 对华南地区相应层位钒矿勘查开发必有帮助。

## 1 区域地质背景

本区位于扬子准地台东南缘的上扬子台褶带与江南地轴结合部位之深大断裂带上或其附近。区域构造、地层、岩相呈NNE向带状分布, 主要受保(靖)-铜(仁)深大断裂控制。地史上, 本区在早寒武世早期为继承性的陆内裂谷盆地。由于断裂作用, 使盆地边坡变得较陡, 形成构造斜坡, 为钒矿沉积创造了有利条件。钒矿床就是在台地东部边缘断陷盆地北西侧的深断裂带边缘成矿。

收稿日期: 2001-07-03, 改回日期: 2002-01-03

作者简介: 鲍正襄(1933~), 男, 湖北襄樊市人, 高级工程师, 从事金属矿床找矿勘探、综合研究。

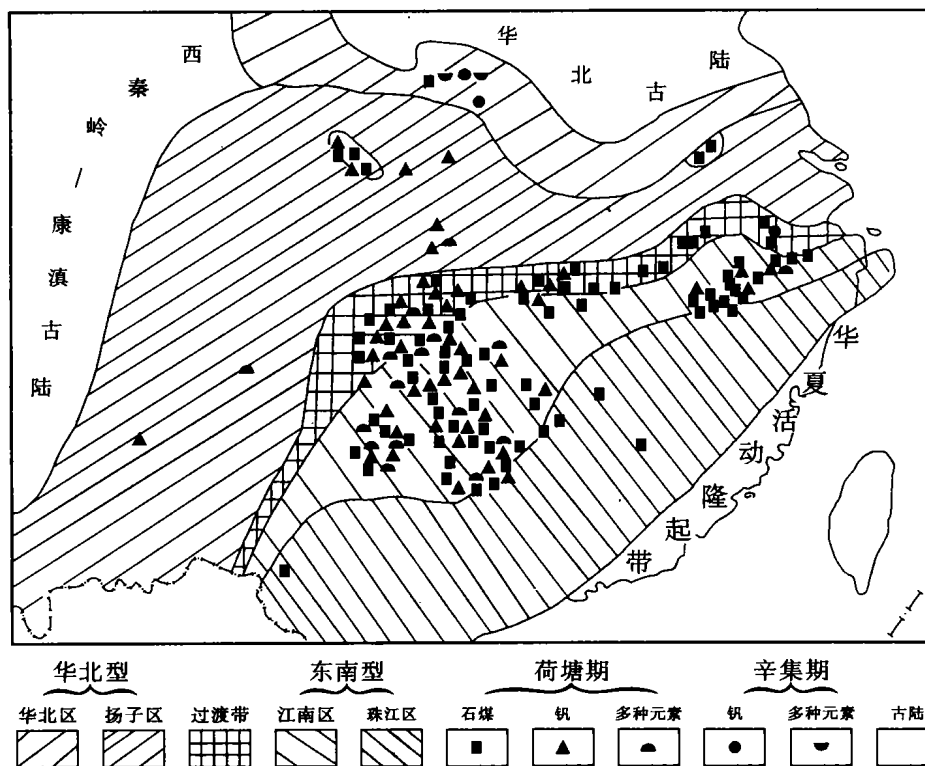


图1 华南寒武纪石煤、钒、多种元素矿床分布及生物地理分区示意图 (据卢衍豪, 1979)

Fig.1 Map of Distribution of Cambrian Stone Coal, V and Polymetallic Deposit and Biogeographic Division of South China

区域出露地层有晚前寒武系、寒武系及奥陶系等。早寒武世地层分区属于武陵山过渡区<sup>[1]</sup>。该区西北和东南二小区的地层存在差异：东南小区碳泥质成分较高，生物较繁盛，岩性、生物群则以具有江南型的特征；而西北小区则白云质较高，岩性、生物群具有扬子区的特征。区内钒矿床分布于东南小区的富含碳质成分的地层中，即凤凰-吉首-常德一线西北陆棚相区以及陆棚边缘相区之远硅质建造中。

区域构造：主要为 NE 向古丈复式背斜褶皱，轴部地层为上元古界板溪群浅变质硅铝质岩系，两翼地层不对称，局部被白垩系超覆。钒矿床分布在古丈复背斜北西翼，沿下寒武统黑色岩系作 NE 向带状分布 (图 1)，其次见于东南侧的凤凰木江坪-水围背斜和长溪田湾背斜构造的北西翼等。

区内岩浆活动微弱，仅在古丈龙鼻嘴一带相当于下震旦统江口组见有橄榄玄武岩、辉绿岩及橄榄辉石岩体 (床)，从构造位置和岩石化学成分判断，代表弧后盆地火山活动产物。此外，在凤凰水田木昌组底部见有火山凝灰岩 (出露厚度仅 0.12m ~ 0.3m)，夹于结核状磷块岩与黑色页岩之间，表明当结核状磷块岩沉积后，该区曾有过火山喷发活动。

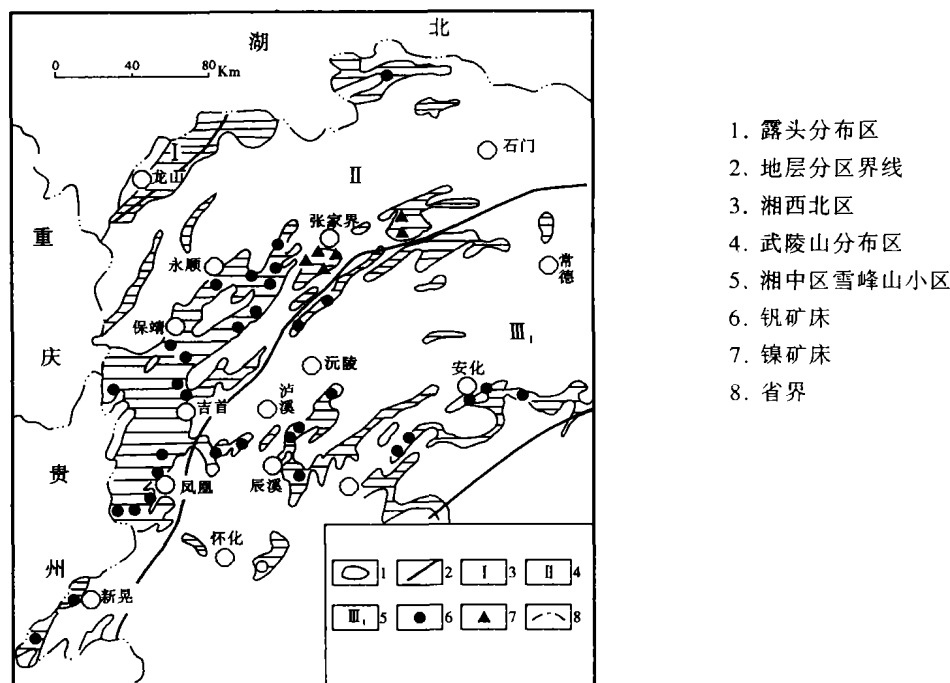


图2 湖南西部下寒武统露头、分区及钒矿分布图

Fig.2 Map of Lower Cambrian Outcropping, Division and V Deposit Distribution

## 2 矿床地质

### 2.1 含矿岩系岩性组合

湘西钒矿床主要赋存于下寒武统木昌组黑色岩系底部一套厚度不大(7m~25m)、富含有机质的硅泥质岩石中,为薄层碳质页岩(或含硅质磷结核)夹薄层硅质岩(或互层)→碳质页岩→黑色页岩;下伏地层为上震旦统留茶坡组黑色硅质岩,二者呈整合接触关系。现以研究程度较高的凤凰长坪钒矿床为例<sup>[2]</sup>,自上而下分层。

#### 下寒武统 木昌组

- |   |          |
|---|----------|
| (6) 黑色页岩, 碳质含量明显减少。含 $V_2O_5$ 0.2%~0.5%。  | 15m      |
| (5) 黑色碳质页岩, 局部含粉砂质条带。含 $V_2O_5$ 0.5%~0.6%。该层固定碳含量高, 发热量为3 600KJ/kg <sup>[3]</sup> 。 | 4~6m     |
| (4) 含硅质磷结核的黑色薄层页岩, 俗称磷结核层。含 $V_2O_5$ 0.6%~1.0%。                                     | 0.5~1.5m |
| (3) 黑色碳质页岩夹薄层硅质岩。其间往往夹有0.02m厚的火山凝灰质砂岩, 偶见磷结核分布, 含 $V_2O_5$ 1.0%~1.5%。               | 3~5m     |
| (2) 黑色碳质页岩与薄层硅质岩互层, 偶夹硅质磷结核。含 $V_2O_5$ 1.0%~2.0%。                                   | 3~6m     |
| (1) 深灰色薄层硅质岩夹黑色碳质页岩。含 $V_2O_5$ 0.2%~0.5%。   | 0.5~2m   |

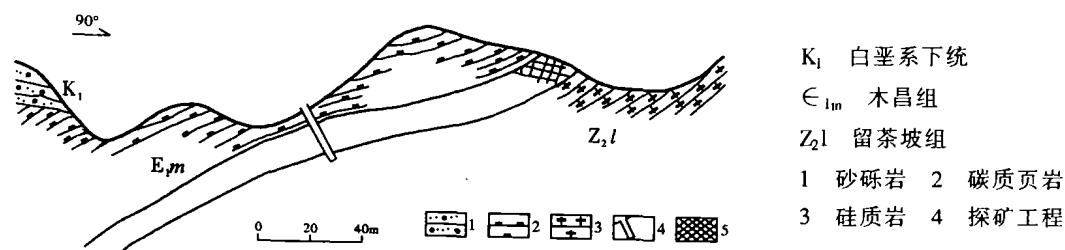


图 3 凤凰长坪钒矿地质剖面图 (据湖南地质 405 队)

Fig.3 Geological Section of Changping V Deposit, Fenghuang

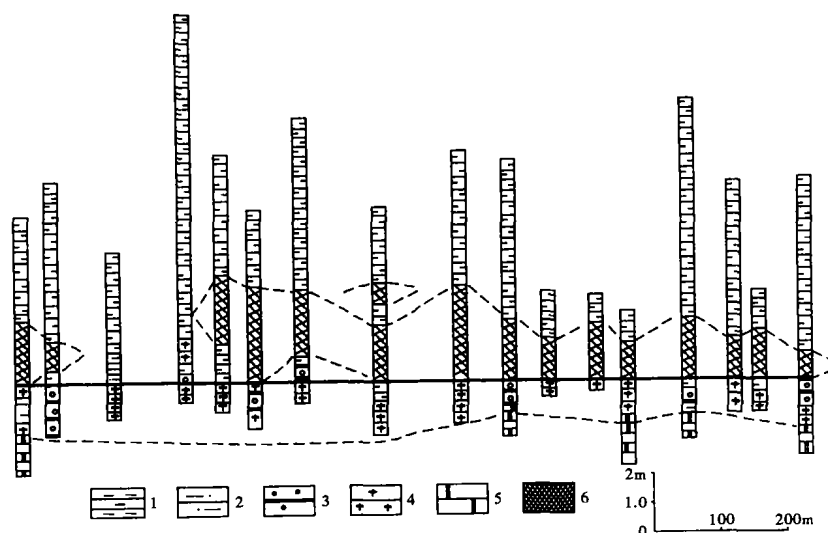


图 4 永顺中山坪下寒武统木昌组钒矿层柱状对比图

Fig.4 Columnar Section Correlation of V Ore Bed in Shuchang Formation of Lower Cambrian at Zhongshanping, Yongshun

1-黑色页岩 2-含磷结核黑色页岩 3-含磷结核硅质岩 4-硅岩 5-白云岩 6-钒矿层

## 2.2 矿层形态

钒矿床呈缓倾斜层状、似层状产出 (图 3), 与围岩产状一致, 二者无明显界线。多数矿床, 为 1 层矿, 也有 2 层或多层矿者。相邻矿层在地层-岩石柱状剖面上可以对比 (图 4), 具有沉积矿床的地质特征: 矿层产状稳定, 形态简单, 且基本上没有受到后期构造破坏。单个矿床含矿岩系出露长 3 000m~7 000m, 矿层长 450m~1 500m, 最长 2 100m~2 800m, 已控制倾斜延深达 600m 以上。矿层平均厚度 1.63m~7.50m, 最厚 11.98m, 平均含  $V_2O_5$  0.99%~1.50%, 最高 1.79%。

## 2.3 矿石特征

### 2.3.1 矿物成分

经高倍显微镜鉴定和差热分析, 有用矿物主要为含钒水云母 (即含钒伊利石), 占总量 60%~80%, 含量依不同矿石类型而定。其次为有机碳 (可见沥青质), 占总量 10%。石英

占总量 3%~5%。此外还见极少量的磷灰石、白云石、方解石、黄铁矿等。含钒硅质岩中的矿物成分主要是石英和玉髓,占 85%~87%,碳泥质 10%,含钒水云母 2%~3%,极少量的高岭石及微量磷灰石、黄铁矿等。

含钒水云母呈鳞片状,具珍珠光泽,低~中正突起,近于平行消光,且有光性定向现象。石英颗粒细小,多为陆缘石英砂屑。有机碳多呈丝状、线状、片状,顺层理充填于水云母间,或污染其它矿物。

### 2.3.2 化学成分

主要成分:  $\text{SiO}_2$  (75.62 $\omega\%$ ~75.98 $\omega\%$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (6.59 $\omega\%$ ~6.96 $\omega\%$ ), 有机质总量 Corg (8.24 $\omega\%$ ~10 $\omega\%$ ); 其次为 TFe (1.71 $\omega\%$ ~1.96 $\omega\%$ ),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.27 $\omega\%$ ~1.23 $\omega\%$ ), CaO (0.54 $\omega\%$ ~1.51 $\omega\%$ ),  $\text{K}_2\text{O}$  (0.44 $\omega\%$ ~0.65 $\omega\%$ ) 等。其它挥发组分有 As (0.003 $\omega\%$ )、Sb (0.005 $\omega\%$ )、Hg (0.0003 $\omega\%$ ) 等。值得注意的是,矿石中 Se 含量较高,  $\omega(\text{Se}) = 0.0014\omega\% \sim 0.039\omega\%$ , 平均 0.0019 $\omega\% \sim 0.018\omega\%$ ; Ag 含量  $\omega(\text{Ag}) = 5 \times 10^{-6} \sim 16.25 \times 10^{-6}$ 。Se、Ag 在矿石中的赋存状态未做专门研究,根据矿石中矿物成分特征,其富集可能主要与黄铁矿有关,其次分散在粘土矿物中。

### 2.3.3 矿石类型

依据矿物成分及结构构造,可将矿石划分为 3 类: (1) 硅质板状钒矿石,由板状页岩夹板状硅质岩和粉砂质页岩组成,含大量藻化石; (2) 碳泥质页片状钒矿石,由碳泥质页岩组成,含大量藻化石和沥青质。此二类矿石均为重要的矿石类型,约占总量的 80% 以上。 (3) 含磷结核钒矿石,由大量球粒状磷结核和薄片状碳泥质页岩组成,也含大量藻化石和沥青质团块,主要分布于矿层上部。经测定,上述钒矿石发热量为 3 481KJ/Kg~4 605KJ/Kg。

此外,部分矿床还见有风化淋滤钒矿石。风化淋滤带很浅,一般 0.1m~1.0m,最深 2m。矿石含量  $\text{V}_2\text{O}_5$  1.2%~1.6%,较未见化矿石品位稍有增高,其发热量为 1 005KJ/Kg~2 093KJ/Kg<sup>[2]</sup>。

## 2.4 钒的赋存状态

大量的化学分析结果表明;钒主要存在于碳质页岩中。如古丈排口钒矿床,在平均含  $\text{V}_2\text{O}_5$  1.16% 的矿石里(碳质页岩与薄层硅质岩之比约为 1.62:1),碳质页岩含  $\text{V}_2\text{O}_5$  1.504%。硅质岩含  $\text{V}_2\text{O}_5$  0.36%,表明钒主要赋存于粘土岩石中。经对提纯的粘土矿物作 X 射线粉晶分析和差热分析,确定含钒粘土矿物为含钒伊利石(即含钒水云母)。而且,矿石中  $\text{V}_2\text{O}_5$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  成正相关关系,揭示钒可能是以类质同象混入物存在于水云母中。这与产于扬子区外缘鄂西南同层位的钒矿石的特征相一致:后者经 X 射线衍射分析结果,计算伊利石中钒的配分约占 80%;差热分析结果,表明钒在伊利石晶格中以  $\text{V}^{3+}$  或  $\text{V}^{4+}$  置换八面体层中的  $\text{Al}^{3+}$  的形式存在<sup>[4]</sup>。所以,伊利石是黑色岩系中钒矿床提钒的主导矿物。

## 3 成矿机制与矿床成因

上述成矿地质特征可以看出:湘西下寒武统木昌组黑色岩系控制着区域钒矿床的分布,表明木昌组地层是钒矿床形成的基本条件。早寒武世早期广海陆棚、陆坡的强还原滞流及海盆缓慢沉降环境,则是钒矿床发生沉积成矿作用的古地理环境和古构造条件。黑色岩系中特定的含碳、磷、硅的岩性组合序列是钒矿床形成的必须具备的岩相条件,其厚度越大,岩性

序列发育越完整,所形成的矿床规模相应越大。

本区钒矿床在空间上与石煤共存,且与含磷结核层共生<sup>[3]</sup>。石煤是多菌藻、海绵等的遗骸构成的腐泥,在不断缓慢沉降构造条件下,逐渐堆积和进一步转化而成。湘西地区石煤及碳质页岩中的藻类除兰藻外,几乎主要由褐藻组成<sup>[5]</sup>。这种以褐藻为主要有机物质来源的石煤及碳质页岩,有机形态分子指示较深水环境,亦可包含较浅水(数 m~30m 左右)环境中生活的兰藻。由此,可以推测其形成深度和地理范围甚为广泛;与之对应,湘西地区石煤分布区域内的钒矿床甚是广泛。石煤富含钒,在可溶的有机质中  $V_2O_5$  含量达 22.59  $\omega\%$ ~27.74  $\omega\%$ ,比原样品的  $V_2O_5$  含量提高近 10 倍,其中大部分与脂类化合物组合,且钒的含量随绿色素增高而增高<sup>[6]</sup>。这是石煤生物成因的标志。

区内钒矿的成矿期,正是早寒武世“成磷期”。丰富的磷质表明,当时气候温暖,水体营养度高,有大量低等生物出现,磷结核中有时见多量四射硅质海绵骨针便是佐证。生物活动对磷质的富集起着至关重要的作用,而生物参与成磷作用的本身就是有机过程的反映。在强还原滞流的海盆环境中生成的磷酸盐对钒起着吸附(富集)作用。当磷结核中的主要矿物为胶磷矿推测,它是在相对稳定,较深水环境中形成。因此,与之相关的钒矿生成深度及广度亦应较大。这与上述石煤及磷质页岩中的藻类形态分子所指示的较深水环境互为印证。由此可见,生物作用对石煤及含磷层(结核)的形成起了重要作用,并为有机成因(成矿)的标志。

综上所述,湘西黑色岩系中钒的富集与有机质、菌藻类生物及磷质的关系极其密切。在地质演化过程中,有机质经历了细菌降解、转化,并与粘土矿物结合而成为主要含钒矿物。如长坪钒矿床矿石中含有丰富的有机质(沥青,10%左右)和碳质叶绿素( $1.16 \times 10^{-6}$ ~ $2.85 \times 10^{-6}$ )特别是烷类、三萜类是细菌和陆缘有机质的有价值的生物标志化合物,其中干酪根代表了黑色页岩中的主要有机成分。矿层中发现大量的藻类生物(或称微生物藻席)也证明了有机碳属生物成因,钒与生物密切相关。P-U-V-Ni-Corg 元素组合的显著相关特征表明,钒是与生物地球化学富集作用有直接关系。上述与钒共生的石煤及磷结核的形成也充分说明了这一点。

湘西黑色岩系中还出现硅质岩或硅质岩类层,可能是同生沉积阶段硅质有序化作用的结果。 $SiO_2$  可能具有多源性,包括陆源、热水来源甚至还可能有火山来源<sup>[7]</sup>。但含钒岩石则以富含菌藻类的含钒碳质页岩为主,硅质岩中钒的含量并不高。

可以认为,原始沉积盆地形成于被动大陆边缘的相对稳定时期,是一种富含微生物强还原、滞流特征的沉积环境,这种环境使嗜热细菌大量繁殖与聚集,微生物群又起了吸取、吸附、聚集、还原成矿元素的作用。以海底热水交换作用为媒介,加上广海盆地(陆棚及陆坡)沉积环境和大量有机碳与硫酸盐的产出,伴随同生断裂的发生与发展,在裂陷作用下形成的次级同生盆地和热液通道,为后继的钒矿沉积创造了极其有利的成矿条件。

湘西下寒武统木昌组黑色岩系中的钒矿床,受地层、岩性、有机质、古构造和古地理条件控制,是在有机质(生物化学)参与下发生成矿作用<sup>[8]</sup>。矿床具有微生物成矿与海底热水沉积的双重特征,属于生物地球化学沉积矿床范畴。

## 4 开发应用

### 4.1 市场

钒属于高熔点金属、广泛应用于钢铁工业、钛工业、化学工业、交通运输、电子和无线电工业、宇航材料和核工业等方面。随着新技术新材料的大量开发，钒的消耗量也日益增长。过去国内钒的消耗量较小，大部分用于出口。现在由于国内钢铁工业、机械工业和化学工业的发展，钒的需求量也在增大。近 20 多年来，由于受供求关系制约，钒的市场价格变化很大。70 年代初期，出现了钒的消耗高峰，1974 年，全世界钒的用量约 3.2 万 t，精钒价格高达 12 万元/t。在高价的刺激下产量猛增，又造成产品过剩，价格暴跌，1981 年降到 1.83 万元/t。80 年代初期，由于世界经济走向复苏与繁荣，钒的需求量又大增。1986 年西方国家钒的消耗量为 3.76 万 t，1984 年钒价又回升到 2.8 万元/t，1989 年暴涨到 16 万元/t。由此看来，钒虽属高利高创汇产品，但市场供求波动风险很大。

据外电报道，1997 年以来国际市场钒铁价格坚挺上扬。国际市场鹿特丹仓库交货价含量 80% 的钒铁，由 15.30 USD/Kg 上升到 19.75 USD/Kg，估计将进一步上涨到 20 USD/Kg 以上，钒铁价格持续上涨的主要原因是市场供不应求和钒价上扬的结果。我国  $V_2O_5$  98.5% 最新价格也已达到 7.2 万元/t。

### 4.2 产品

钒矿的深加工利用和产品主要有三方面：(1) 五氧化二钒 ( $V_2O_5$ )：用于冶金工业铁合金、合成氨工业中脱碳、脱硫和催化剂；用作印染、陶瓷的着色材料；石油化工装置防腐缓蚀剂；制备钒化合物的原料。石煤钙化-铵浸提钒是常用的石煤提钒工艺之一。(2) 偏钒酸铵和偏钒酸钠，市场前景较好。(3) 制造钒电池。中国地质大学(北京)和北京大学联合制成钒氧化还原流态电池，填补了我国在新能源研究领域的一项空白<sup>①</sup>。该电池是从含钒石煤中提取  $V_2O_5$ ，再制备电活性物质硫酸氧钒，合成的钒电池材料制成。该电池的推广应用，为我国黑色岩系中钒矿资源开辟了新的应用领域。

本文系湘西自治州“十五”时期矿产品深加工研究课题之一，是在吉首大学副校长张子康教授指导下完成。成文过程中，参考本队历年有关资料，谨此说明并致谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 姜月华，岳文浙，业治铮. 华南下古生界缺氧事件与黑色页岩及有关矿产，有色金属矿产与勘查，1994，3 (5)：272~278.
- [2] 卢衍豪. 中国寒武纪沉积矿产与“生物-环境控制论”. 北京：地质出版社，1979：3~57.
- [3] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志 [M]. 北京：地质出版社，1988：41~52.
- [4] 刘金山. 凤凰县东方钒矿床地质特征和矿床成因探讨 [J]. 湖南地质，1989，8 (4)：25~31.
- [5] 包正湘，陈延福. 湘西北石煤地质及煤质特征 [J]. 湖南地质，1988，7 (3)：42~49.
- [6] 张爱云，翁成敏. 黑色页岩型钒矿提钒的主导矿物 [J]. 地球科学，1989，14 (4)：391~397.

①. 中国地质矿产报，1997.10.9。

- [7] 朱丽英. 早古生代高变质藻煤的煤岩特征及其地质意义 [J]. 地质论评, 1983, 29 (3): 245~261.
- [8] 张爱云, 潘治贵. 鄂湘一带早寒武世海相黑色岩系中煤炭沥青和钒矿床之间的成因联系 [J]. 中国矿物岩石地球化学学会沉积学会: 有机地球化学学术会议论文集 (摘要). 贵阳, 贵州科技出版社, 1982: 170~171.
- [9] 鲍正襄, 万榕江, 包觉敏. 湘西北镍钼矿床成矿特征与成因. 湖北地矿, 2001, 13 (1): 14~21.
- [10] 鲍振襄 (鲍正襄). 湘西北地区镍钼钒多金属矿床及金银矿化的地质特征与成矿条件 [J]. 地质找矿论丛. 1989, 5 (3): 49~62.

## VANADIUM DEPOSITS OF BLACK SHALE IN UPPER YANGTZE PLATFORM

BAO Zheng-xiang, WAN Rong-jiang, BAO Jue-min

(*Geoexploration Team 5 of West Hunan, QianZhou 416007*)

**Abstract:** In South China, the Early Cambrian black rock series is rich in metallic and nonmetallic mineral resources. And the V deposit in SE margin of the Yangzi platform is especially attractive. Taking the V deposit in west Hunan as an example, we analyse the geological characteristics and metallogenetic law of it. The ore deposit is occurred in the assemblage of carbonaceous shale, silicalite and black shale of the bottom of Lower Cambrian black rock series. The ore beds are stratified, stratoid, with stable, shallow occurrence and large reserves. And the ore contains hydromica (illite), quartz, organic material and algal fossil. The metallogenesis is controlled by strata, lithology, palaeostructure and palaeogeographic conditions, characterized by microbial and seabed hydrothermal activities. The genesis of the ore deposit must belong to the biogeochemical sedimentation type.

**Key words:** Vanadium Deposit; Geological Features; Ore-Controlling Factor; West Hunan