

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

白果园黑色岩系型银(钒)矿床沉积 古环境与银(钒)初始富集

庄汉平 卢家烂 傅家谟 刘金钟
(中国科学院广州地球化学研究所)

内容提要 白果园银(钒)矿床产于震旦系陡山沱组黑色岩系中。矿床的地球化学和有机地球化学研究表明,黑色页岩含丰富以低等海生生物为主的腐泥型有机质,黑色页岩形成于局限的滞留海盆。陡山沱期海平面上升导致海盆发育O-A-E三层结构的水柱,在E层水富H₂S的还原环境下,死亡生物有机体被还原细菌快速分解,而银、钒在富还原硫环境中活动性降低,滞留在沉积物中而发生初始富集。

关键词 白果园银(钒)矿床 黑色页岩 有机质 初始富集

白果园银(钒)矿床是新近发现的一个新类型的沉积银矿床^[1],成因与震旦系陡山沱组(Z₂d)黑色岩系有关^[2],其理论意义和工业价值均受到国内地质学家的高度重视。本文通过对该矿床的地球化学和有机地球化学特征研究,阐明含银(钒)黑色页岩的沉积古环境,并探讨了银(钒)的初始富集机理。

1 地质概况

白果园银(钒)矿床位于扬子板块北缘黄陵背斜的西北缘。矿体赋存于震旦系陡山沱组上段的黑色页岩(Z₂d⁴)中。矿区构造简单,构造破坏不强烈。有关含矿岩系的地层、岩性特征,前人已作过详尽描述^[1,2],在此不再赘述。

2 矿床的地球化学与有机地球化学

2.1 岩石化学

白果园银(钒)矿床赋矿地层岩性主要有两种。一种是黑色水云母页岩,薄层状,层理和纹层极为发育,镜下观察表明主要由水云母、蒙脱石、白云石、方解石和黄铁矿组成,有少量的重晶石,其化学成分以富还原铁、镁和钾为特征(表1);另一种为泥晶白云岩,中薄层状、透镜状,主要由白云石组成,有少量的黄铁矿和泥质胶结物,化学成分以富镁和钾为特征(表1)。

2.2 银、钒富集特征

白果园银(钒)矿床分为上矿段(Z₂d⁴⁻²)和下矿段(Z₂d⁴⁻¹)(图1)。上矿段以黑色页岩为主,夹少量薄层白云岩,仅有钒达到工业品位,又称钒矿段;下矿段为黑色页岩与白云岩互层,银、钒均达到工业品位,亦称银-钒矿段。

银、钒在不同岩石中的富集程度是不一样的,黑色页岩中银、钒含量总比相邻的白云岩高

出几倍,甚至十几倍(表2,图1)。银、钒富集主要发生在下矿段的黑色页岩中。黑色页岩中银最高含量达 250×10^{-6} ,最低 49×10^{-6} ,平均 116.8×10^{-6} 。白云岩中银最高含量为 17.8×10^{-6} ,最小 3.7×10^{-6} ,平均 11.6×10^{-6} 。下矿段黑色页岩中钒最高含量(以 V_2O_5 计,下同)为 2.484%,最小 0.577%,平均 1.444%,而白云岩中最大为 0.168%,最小 0.009%,平均 0.078%。在上矿段底部钒含量可达 0.933%,但规模较小。

表1 白果园银(钒)矿床岩石化学成分(%)

Table 1 Chemical compositions of rocks of the Baiguoyuan silver-vanadium deposit

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	烧失	总量
SH10	59.85	0.64	14.29	0.81	1.44	0.01	2.02	0.32	0.25	7.06	0.09	2.01	10.50	99.29
ZH36	56.23	0.61	14.30	1.43	3.40	0.01	2.09	1.03	0.25	6.95	0.21	1.74	10.92	99.17
SH11	27.15	0.32	6.90	0.25	2.20	0.05	11.34	19.47	0.35	3.59	0.13	—	27.86	99.61

注:SH10和ZH36为黑色页岩,SH11为白云岩。

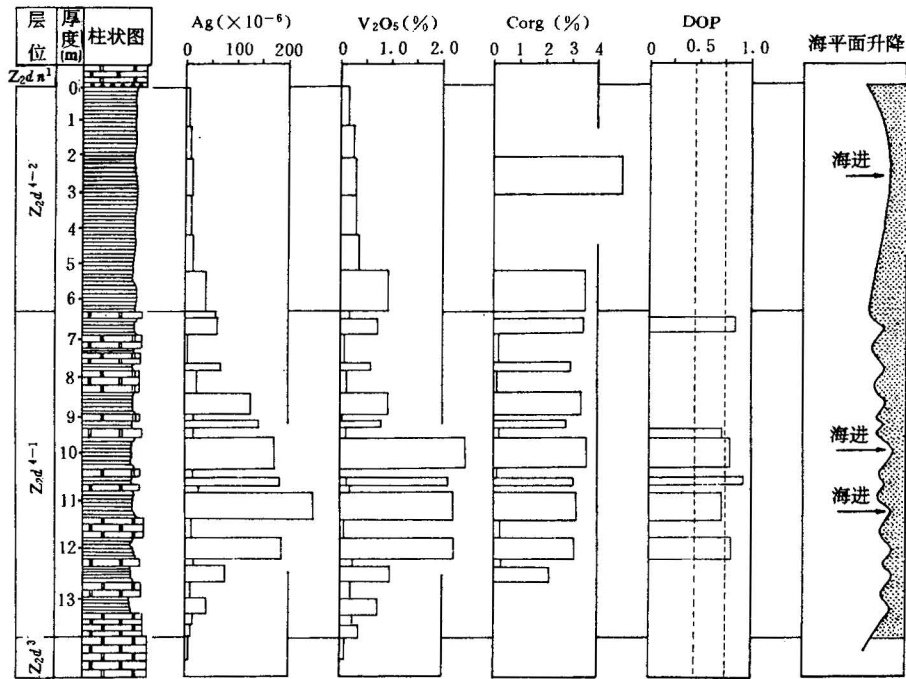


图1 白果园银(钒)矿床地层地球化学剖面图

Fig. 1 The section of strata and geochemistry of the Baiguoyuan silver-vanadium deposit

Corg—有机碳(organic carbon); DOP—黄铁矿化程度(degree of pyritization)

2.3 有机地球化学特征

有机碳 黑色页岩中含丰富的有机碳,一般 $>2.0\%$,最高达 5.04% ,平均 3.23% (表2)。黑色页岩中有机碳含量比相邻的白云岩高出十多倍,白云岩中有机碳含量 $<0.20\%$,平均 0.12% 。有机碳与银、钒含量呈正相关关系,黑色页岩和白云岩中有机碳含量越高,银、钒含量也越高(图1)。

分散有机质 黑色页岩中的有机质呈高度分散状,很难见到形态有机质,即使在干酪根光片中也难找到可供测量粒度的镜质体。无定形有机质与粘土矿物紧密结合,有的包裹黄铁矿或白云石,少量与粘土、黄铁矿结合沿页岩纹层形成黑色透镜状有机质集合体,或由沥青基质与细粒黄铁矿形成黑色条带。白云岩中分散有机质稀少,呈凝胶状充填于白云石颗粒间隙,有的被白云石包裹,致使白云石变黑。

可溶有机质 黑色页岩中抽提率较低,一般 $< 100\mu\text{g/g}$ 。气相色谱分析表明,饱和烃主要由低碳数的正构烷烃组成,主峰碳数为 C_{22} (图2),反映了原始母质为以低等生物为主的腐泥型有机质。 $\text{Pr}/\text{Ph}=0.41-0.64$,表明有机质形成于还原性水体。GC-MS分析表明,有机质成熟度较高, $T_m/T_s=1.61-1.80$, $C_{31}22\text{S}/(22\text{S}+22\text{R})$ 萘烷比值为 $33.92\%-34.40\%$, $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$ 甾烷比值为 $34.03\%-38.32\%$ 。此外,黑色页岩中还含丰富的 β -胡萝卜素和伽玛蜡烷, β -胡萝卜素/ $nC_{17}=1.94-3.05$,伽玛蜡烷/ $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷 $=0.18-0.22$,这表明有机质形成于一个还原的咸水环境。上述特征综合表明黑色页岩中的有机质形成于一相对局限的较高盐度的还原性局限海盆,海水中含有丰富的低等海生生物。

2.4 还原铁与还原硫

黑色页岩除含有丰富的有机质外,还含有丰富的

表2 部分样品银、钒、有机碳、还原硫含量和DOP值

Table 2 The contents of silver, vanadium, organic carbon, reduced sulfur and value of DOP of selected samples

样号	岩性	矿段	Ag ($\times 10^{-6}$)	V_2O_5 (%)	Corg (%)	Sred (%)	DOP
SH20	黑色页岩	上矿段	7.0	0.270	5.04	—	—
SH19	黑色页岩	上矿段	10.0	0.933	3.66	—	—
SH18	黑色页岩	下矿段	62.0	0.705	3.57	—	0.85
SH17	白云岩	下矿段	4.1	0.017	0.06	—	—
SH16	黑色页岩	下矿段	70.0	0.557	3.06	—	—
SH15	白云岩	下矿段	8.1	0.009	0.03	—	—
SH14	黑色页岩	下矿段	88.4	0.889	3.41	—	—
SH13	白云岩	下矿段	14.1	0.045	—	—	—
SH12	黑色页岩	下矿段	145.8	0.786	2.95	—	—
SH11	白云岩	下矿段	17.8	0.088	0.24	—	0.71
SH10	黑色页岩	下矿段	101.0	1.974	3.56	—	0.79
SH8	黑色页岩	下矿段	72.5	1.252	3.12	—	—
SH6	黑色页岩	下矿段	124.7	1.413	3.22	—	0.71
SH5	白云岩	下矿段	3.7	0.015	0.05	—	0.83
SH4	黑色页岩	下矿段	73.4	1.385	3.21	—	0.72
SH2	黑色页岩	下矿段	49.0	0.766	2.01	—	—
ZH31	黑色页岩	下矿段	175.1	2.484	3.16	2.40	0.78
ZH32	白云岩	下矿段	11.2	0.118	0.14	0.70	0.83
ZH33a	黑色页岩	下矿段	189.0	2.144	2.71	2.55	0.92
ZH33b	白云岩	下矿段	17.2	0.168	—	—	—
ZH34	黑色页岩	下矿段	250.0	2.203	3.32	—	—
ZH36	黑色页岩	下矿段	190.0	2.220	2.51	3.49	0.81
ZH37a	白云岩	下矿段	16.6	0.160	0.19	2.34	0.85

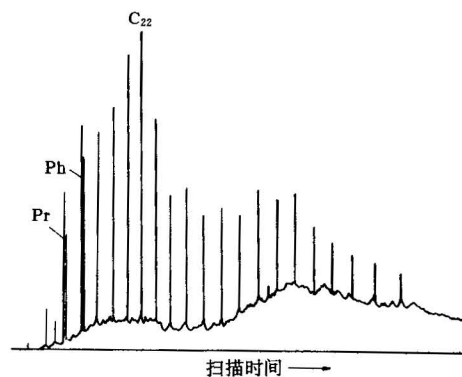


图2 饱和烃气相色谱图
Fig. 2 Gas chromatogram of saturated hydrocarbon

黄铁矿。黄铁矿呈浸染状,或呈层纹状或带状沿层理、纹层分布,此外还有较多的细粒莓球状黄铁矿,表明黑色页岩形成过程中有强烈的微生物作用。

黄铁矿矿化的 DOP 值是度量底层水体环境的良好指标^[3],其数学表达式为:

$$DOP = \text{Fe(py)} / [\text{Fe(py)} + \text{Fe(x)}]$$

式中:Fe(py)为呈黄铁矿状态的铁,Fe(x)为非黄铁矿铁,如硅酸盐、碳酸盐等。Fe(x)分析化学定义为:1N HCl 浸泡 24h 后从样品(<100 目)中淋出的铁^[3]。

一般认为 DOP < 0.45 指示底层水为氧化性,0.45 < DOP < 0.75 指示局限性的底层水,DOP > 0.75 则表明底层水为滞留环境(euxinic, inhospitable)^[4]。

11 件样品的分析结果表明,白果园银(钒)矿床黑色岩系 DOP = 0.71—0.92,除 3 件样品外均 > 0.75,表明当时底层水为无氧富 H₂S 的滞留环境。DOP 与银和有机碳含量没有正相关关系(图 3),高品位矿石 DOP 较大,低品位的岩石 DOP 也较大,这表明还原的底层水是银(钒)富集的必要条件,而不是充分条件。类似的,还原的底层水也不是有机碳积累的充分条件。

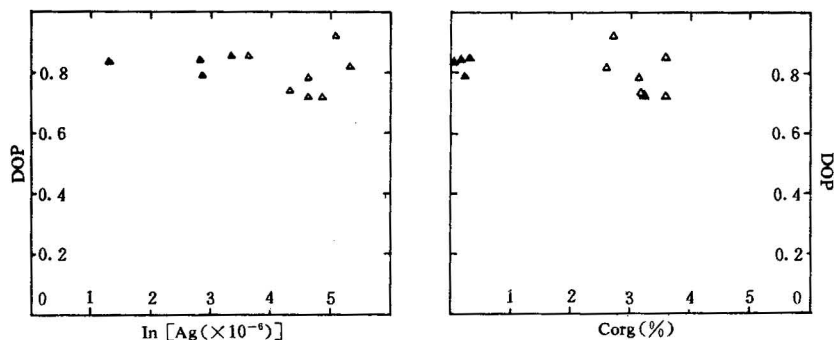


图 3 DOP 值与银, Corg 的关系

Fig. 3 Plots of DOP vs. contents of silver and vs. Corg

△—黑色页岩(black shale); ▲—白云岩(dolostone)

黑色页岩中含较高含量的还原硫:2.40%—3.49%,平均 2.86%;白云岩中相对低一些,0.70%—2.34%。Leventhal 认为 C/S 值也可反映沉积环境^[5],在 Sred-Corg 投影图(图 4)上,黑色页岩均落在滞留环境平均演化线上方,表明形成黑色页岩的底层水为强还原环境;而白云岩较分散,上下均有,可能反映白云石沉淀时的底层水的环境变化较大,有时强还原,有时可能为弱还原。此外,在 C-S-Fe 三角组成图上,5 件样品均落在还原区,并在 FeS₂ 线上方(图 5),表明黑色岩系中铁相对还原硫是充足的,还原硫以无机硫形式存在。

3 讨论

3.1 有机质富集银、钒的可能性

黑色页岩中金属的富集一般认为与有机质有关^[6,7]。海生植物可以从海水中将银富集 830 倍,钒富集 2000 倍(表 3)。有机地球化学特征表明,陡山沱组黑色页岩中的有机质是以海生低等生物为主的腐泥型有机质。在震旦系陡山沱组的磷块岩中发现有磷质红藻和蓝绿藻^[9,10],在陡山沱组底部还有石煤^[11]。古地理研究表明,继南沱冰期之后,海面抬升,气候变暖,从陡山沱

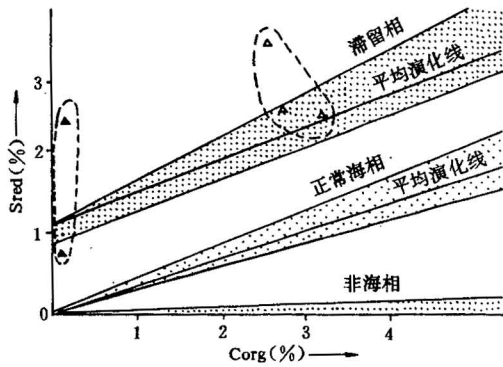


图 4 有机碳-还原硫判识底层水环境

Fig. 4 Schematic plot of organic carbon vs. reduced sulfur

△—黑色页岩(black shale); ▲—白云岩(dolostone)

期开始,疑源类球藻群和宏观藻类开始繁盛,发育了大量的柱状叠层石^[11]。由此可见,陡山沱期海水中丰富的藻类等低等生物为银、钒富集提供了保证。

在黑色页岩形成的局限滞留静水环境,悬浮物质相对较少;此外,白果园银(钒)矿床中未见到热液活动和变质作用证据,因此可以认为黑色岩系中的银、钒主要是通过生物有机体富集到沉积物中的。由于银、钒和 Corg 呈正相关关系,可选取 ZH34 和 ZH37 两件样品(表 2)分别代表白果园银(钒)矿床黑色页岩和白云岩的最大富集例子。

3.2 有机质积累与金属富集的关系

沉积过程中有机质积累与金属元素富集是相互矛盾的,快速堆积有利于提高有机质含量,但势必引起金属的稀释和贫化。可以将海水中银、钒随生物有机体进入到沉积物并发生富集看成是有机碳循环和金属元素地球化学循环两种作用的结果。在有机碳循环过程中,生物体死亡后沉入水底,遭受氧化分解或细菌分解,生成 CH_4 和 CO_2 ,其最终保存部分以有机碳含量表示出来。银、钒随有机质沉入水底后同样因有机质分解,水解等作用而发生沉淀与溶解、吸附与解吸、配合与解离等一系列可逆的化学反应,最终结果以银、钒含量表示出来。

一般沉积物石化后保留下来的有机碳仅为成岩前有机碳的 1/10 左右,由此可以推算黑色页岩(ZH34)成岩前积累的有机碳总量占沉积物的 32.2%,若银以

250×10^{-6} 计,则当时死亡有机体中银达 766×10^{-6} ,这个值也远远超出现代海生植物(干重)中

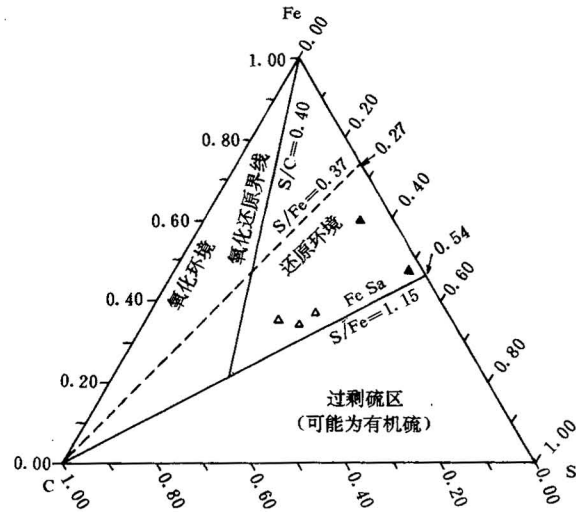


图 5 Fe-S-C 三角组成图

(底图据 Arthur 和 Sageman,1994)^[8]

Fig. 5 Fe-S-C ternary diagram

(after Arthur and Segeman,1994)^[8]

△—黑色页岩(black shale); ▲—白云岩(dolostone)

表 3 银、钒在不同地质体中的分配

Table 3 Distribution of Ag and V in various units

元素	海水平均 ^[12] ($\times 10^{-6}$)	海生植物 ^[13] ($\times 10^{-6}$)	海生植物 海水平均	页岩 ^[14] ($\times 10^{-6}$)	碳酸盐岩 ^[14] ($\times 10^{-6}$)	地壳 ^[15] ($\times 10^{-6}$)
Ag	0.0003	0.2500	830	0.0700	0.0n	0.0700
V	0.001	2.000	2000	130.000	20.000	135.000

银的含量(0.25×10^{-6} , 表 3)。这就有两种可能, 其一是陡山沱期的低等生物比现代生物更容易从海水中富集银等金属元素, 由此推算出当时的海生生物必须从海水中将银富集 250 万倍, 钒则须 4100 万倍, 但至今尚未发现有如此能力富集银、钒的生物体, 因此这种可能性可以排除。另一种可能原因是有机碳循环与银、钒金属元素循环不重合, 有机质沉到水底后, 可以通过某种方式绝大部分消耗掉, 而金属元素在底层水特殊的环境中不会随有机质分解而重新回到上层水体中, 从而达到银、钒富集。若以此方式积累, 通过水-沉积物界面向下的有机质通量应为成岩前总有机质的 3104 倍($776/0.25$), 99.97% 的有机质在成岩前就已被消耗了。那么, 是什么原因导致有机质有如此消耗的还原环境呢? 作者认为震旦纪陡山沱间冰期广泛的海进是造成这种环境的根本原因。

3.3 海平面升降与沉积环境

局限的滞留水柱可出现分层结构, 从上往下氧含量逐渐降低, H_2S 含量升高。不同学者对水柱分层结构的理解存在差异, Arthur 和 Sageman^[8]以氧含量为基础将水柱分为氧化的、贫氧的和无氧的 3 种水体(表 4); Leventhal^[16]则理解为氧化的、缺氧的和滞留的 3 种, 并强调指出缺氧环境与滞留环境的主要差别在 H_2S 含量的多少, 滞留环境含丰富的 H_2S , 更适合于黑色页岩的形成。本文采用 Leventhal 的方案, 并将氧化的、缺氧的和滞留的 3 种水体分别简称为 O 层、A 层和 E 层。

表 4 沉积水柱的分层结构

Table 4 The structure of water column

层位	Arthur and Sageman (1994) ^[8]	Leventhal (1993) ^[16]
上	氧化的(oxic), $O_2 > 1.0$ mL/L	氧化的(oxic), 富 O_2
中	贫氧的(dysoxic), $0.1 < O_2 < 1.0$ mL/L	缺氧的(anoxic), 少 O_2
下	无氧的(anoxic), 无 O_2	滞留的(euxinic), 无 O_2 , 富 H_2S

海进导致海平面上升, 水柱变厚, 在局限海盆将发育良好的 O-A-E 三层结构的水柱(图 6-A), 底层水(E 层)中无氧而含丰富的 H_2S , 还原细菌繁盛。死亡的生物有机体在

沉积物表层被还原细菌快速分解, 所生成的 H_2S 将加剧底层水的还原性。海进还阻止了海盆与大洋的物质交换, 使海水中银、钒被生物充分富集提供可能。

海退导致海平面下降, 水柱变浅, 海盆将缺失 E 层而只有 O 和 A 两层结构(图 6-B), 在 A 层水的少氧无 H_2S 环境中, 有机质被分解的同时银、钒金属元素可以再度回到上层水体中。此外, 海退还可能将海盆中的银、钒带入大洋, 不利于有机质的富集。

3.4 银、钒初始富集

白果园黑色岩系中富含铁、镁成分, 表明银、钒的初始来源与矿区北部的超镁铁质火山喷发有关。富镁铁质火山岩风化过程中银、钒等金属元素随风化产物进入到海水中。由于海进, 海平面抬升, 局限的滞留海盆将发育 O-A-E 三层结构水柱。河水携带铁、镁、银、钒等元素进入海盆, 由于前寒武纪大气中 CO_2 含量很高^[17], 并且河水中 Mg/Ca 较高, 首先在台坪形成白云石沉积, 银、钒可进一步迁移到海盆中心。温暖的气候, 藻类繁盛, 这些低等生物从海水中富集银、钒, 死亡后沉入水底, 在 E 层的富 H_2S 环境中, 有机质将被细菌分解而迅速消耗; 而随有机质进入沉积物的银、钒金属元素因在强还原环境中活动性急剧下降, 难以重新回到 A 层和 O 层, 而被粘土、铁锰氧化物、氢氧化物吸附, 或被成岩早期形成的黄铁矿表面配合(图 6-A)。此外, 海平面上升还将导致深水区沉积速度降低。经过漫长的沉积周期, 形成既富金属元素又富有机质的黑色页岩。

海退导致海平面下降,沉积水柱变为 O-A 两层结构,水体变浅,整个水盆 Mg/Ca 值较大,海盆中心以白云石沉积为主。有机质沉到水底后在少氧的条件下发生分解而消耗殆尽,由于底层水中缺乏 H_2S ,沉积物中缺乏粘土、铁锰(氢)氧化物和黄铁矿,银、钒则可重新回到 A 层和 O 层,部分还可能随海流进入大洋(图 6-B)。因此,海退期间形成的白云岩中有机碳和银、钒均很少。

如此海进海退,每一次陆表抬升河水就不断带来丰富的矿质,如此反复,就形成了白果园下矿段黑色泥质和白云质互层的初始沉积物,并在黑色泥质沉积物中形成银、钒富集。长时间的海进虽然对有机碳积累有利,但缺乏丰富的矿质来源,因此上矿段虽有机碳含量高,仍仅在底部早期形成的黑色页岩中有小规模的矿化。

4 几点认识

(1)白果园陡山沱组黑色页岩形成于一局限的还原性滞留海盆;

(2)陡山沱间冰期海面上升导致海盆水柱发育良好的 O-A-E 三层结构,有机质在富 H_2S 的底层水环境中被细菌迅速消耗,而银、钒则被限制在还原性的沉积物中,最终形成富银、钒和有机碳的黑色页岩;

(3)海退期间,海盆水柱褪化为 O 和 A 两层结构,有机质在少氧无 H_2S 的底层水中迅速分解,银、钒则可回到上层水柱中,最终形成有机碳和银、钒含量均低的白云岩。

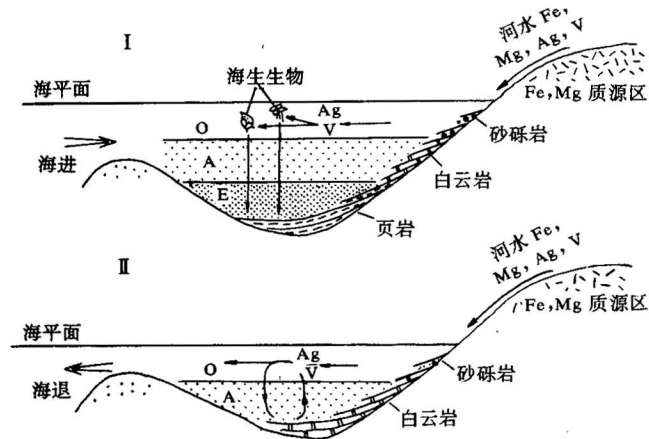


图 6 海平面升降、沉积环境与银、钒初始富集

Fig. 6 Eustatic change, sedimentary environment and preliminary enrichment of silver and vanadium in the Baiguoyuan deposit

参 考 文 献

- 1 陈超,谢发鹏. 白果园黑色页岩型银钒矿床. 矿床地质, 1986, 5(1): 53—62.
- 2 Fan Delian, Ye Jie, Liu Tiebing. Black shale series-hosted silver-vanadium deposits of the Upper Sinian Doushantuo Formation, Western Hubei Province, China. Explor. Mining Geol., 1992, 1(1): 29—38.
- 3 Raiswell R, Berner R. Pyrite formation in euxinic and semi-euxinic sediments. Amer. J. Sci., 1985, 285: 710—924.
- 4 Raiswell R, Buckley F, Berner R, Anderson T. Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation. J. Sediment Petrol., 1988, 58: 812—819.
- 5 Leventhal J. Interpretation of C and S relationship in Black Sea sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 1983, 47: 133—147.
- 6 Vine J D, Tourtelot E B. Geochemistry of black shale deposits—A summary report. Econ. Geol., 1970, 65: 253—272.
- 7 范德廉, 刘铁兵, 叶杰. 黑色岩系成矿过程中的生物地球化学作用. 岩石学报, 1991, (2): 65—72.
- 8 Arthur M A, Sageman B B. Marine black shales: Depositional mechanisms and environments of ancient deposits. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 1994, 22: 499—551.
- 9 赵东旭. 震旦纪陡山沱组磷质红藻的发现. 沉积学报, 1986, 4(1): 126—127.
- 10 曹仁关. 湖北震旦系磷块岩中的藻类化石. 沉积学报, 1988, 6(1): 97—101.

- 11 夏文杰,杜森官,徐新焯等. 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用. 北京:地质出版社,1994. 109页.
- 12 Green J. Geochemical table of the elements for 1959. Geol. Soc. America Bull., 1959, 70:1127—1193.
- 13 Bowen H J M. Trace elements in biochemistry. Academic Press, London, 1965. 241.
- 14 Turkian K K, Wedepohl K H. Distribution of the element in some major units of the Earth's crust. Geol. Soc. America Bull., 1961,72:175—192.
- 15 Taylor S R. Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. Geochim. Cosmochim. Acta, 1964, 28:1273—1285.
- 16 Leventhal J. Metals in black shales. In: Engel M H, Macko S A, ed., Organic geochemistry: principles and applications. Plenum Press, New York, 1993. 581—592.
- 17 Berner R A. 3 Geocarb II: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. Amer. J. Sci., 1994, 294:56—91.

PALEOENVIRONMENT AND PRELIMINARY ENRICHMENT OF Ag (AND V) IN THE BAIGUOYUAN BLACK SHALE SERIES -HOSTED Ag(-V) DEPOSIT, HUBEI PROVINCE, CHINA

Zhuang Hanping, Lu Jialan, Fu Jiamo and Liu Jinzhong

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Baiguoyuan Silver-Vanadium deposit is hosted by the Upper Sinian Doushantuo Formation black shales that were rich in Ag (up to 250ppm) and V (V₂O₅ up to 2.484 weight percent). Studies on geochemistry and organic geochemistry show that the black shales contain amount sapropelic organic matter deriving from marine plankton and their DOP (degree of pyritization) values is very high, greater than 0.70, indicating a euxinic bottom water environment. The marine transgression during the early Early Sinian was responsible for the formation of the black shales rich in Ag and V and organic carbon. The sea level rise during transgression made the water column thicker and a oxic-anoxic-euxinic three-storeyed structure of water column formed. Marine organisms collecting Ag and V from sea water and were deposited on the surface of sediment covering by euxinic bottom water. Within such a euxinic condition, organic matter would be decomposed rapidly by reducing bacteria; however, Ag and V appeared inactive in a reduced euxinic environment rich in H₂S and they might be adsorbed by residual organic matter, clays or Fe, Mn oxide/hydroxide, or surface-complexed with pyrite formed in the early diagenesis. After a long sedimentation period, the black shales that were rich in both Ag, V and organic matter formed.

Key words: Baiguoyuan Ag(-V) deposit, black shale, organic matter, preliminary enrichment

作者简介

庄汉平,男,1968年生。1991年毕业于昆明工学院地质系地质与勘探专业,1993年于该校研究生毕业,获硕士学位。现为中国科学院地球化学研究所93级博士生,学习地球化学和有机地球化学。通讯地址:广州市五山中国科学院广州地球化学研究所,邮政编码:510640。