

黑色岩系多金属矿床的研究现状与发展趋势

黄艳丽^{1,2}, 秦德先^{1,2}, 邓明国^{1,2}, 姬云波¹

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093;

2. 昆明理工大学 矿产地质研究所, 昆明 650093)

摘 要: 在参考国内外大量文献的基础上, 主要介绍了黑色岩系多金属矿床的研究意义, 及其最新成果; 总结了黑色岩系多金属矿床的发展趋势。

关键词: 黑色岩系; 多金属矿床; 黑色岩系矿床; 发展趋势

中图分类号: P588.2; P618.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2008)03-0177-05

1 概述

黑色岩系是含有较多有机碳($C_{\text{有机}} \geq 1\%$)及硫化物(铁的硫化物为主)的暗灰-黑色的硅岩、碳酸盐岩、泥质岩及其相应变质岩石组合的总称。常见的含矿岩石是碳质或沥青质黑色页岩。矿化黑色页岩经济上的重要性日益引起人们重视, 在世界许多地方都发现与黑色页岩建造有关的工业矿床和潜在金属堆积, 它们是诸如 U, Mo, Ni, Mn, V, Hg, Sb, W, Pt, Pd 和 Au 等金属矿产的重要来源。黑色页岩作为硫和金属元素的储存层, 作为后期成矿作用的矿源层, 具有良好的金属元素同生沉积环境和热液萃取、活化、再富集的有利环境。因此, 研究黑色页岩不仅有经济意义, 还有成矿理论上的意义。

黑色页岩是碳、氮、磷、硫、氧和重金属(如 Fe, Mo, V, U)的循环链。它既是一种矿产资源, 又是古环境研究的良好载体, 已引起国际地质组织的重视。1987 年, 国际地质对比纲要(IGCP) 254 项计划对含金属黑色页岩及有关矿床提出了讨论, 并对页岩、黑色页岩及含金屑黑色页岩分别定义, 并提出它们的位置、层位、变化规模、区域分布、厚度、沉积相、古生物、沉积环境、岩石学、结构、颜色、矿物学、有机碳的质量分数、碳酸盐碳的质量分数、硫化物硫的质量分数、黄铁矿化程度(DOP)和有机物质的类型及成熟度等方面的基本特征。此外, 还对沥青色和橙色沉

积物的地球化学、同位素等方面进行特征比较和其他方面的研究。

Y. Alexander 等从区域上研究了不同时代含碳岩石中贵金属定位的地质特征。在这些建造中, 有机碳 $w(C_{\text{有机}})$ 变化范围自 0. N% 至 N%。乌克兰地盾西部前寒武纪黑石墨成因地层以富 Au(约 2×10^{-6}) 和 Pd(约 5×10^{-6}) 为特征。在网状脉的黑石墨化部分的边缘, Rh, Ir, Os 与 Au 一起形成局部浓集。北哈萨克斯坦文德-里菲期(Vendian-Riphean) 碳质石英页岩柱状剖面研究表明, 其贵金属 $w(\text{Au}) = 0.02 \times 10^{-6} \sim 0.8 \times 10^{-6}$, $w(\text{Pd}, \text{Pt}) = 0.0001 \times 10^{-6} \sim 0.03 \times 10^{-6}$ 。在阿尔泰 Dzhungarsky 地区, 里菲期碳质页岩剖面的里菲多金属矿床中观察到 Pt 和 Pd 含量的增加。在西乌兹别克斯坦早古生代黑色页岩矿田边界具热液蚀变岩的构造位错带内发现 Pd(几乎没有 Pt 和 Ir) 的局部异常。在北勘察斯(Caucasus) 下侏罗统碳质燧石泥质页岩中发现 PGE(主要是 Pd) 和 Zn, Cu 以及 Au 的浓集异常, 浓集带位于溶液通过的辉绿岩带侵入接触带部分。东 Carpathians 黑色页岩建造(早白垩世和渐新世) 以 Au 和 Pd 的背景含量增加到 $0.0N \times 10^{-6}$ 为特征, 岩石中黄铁矿化煤-燧石相部分具有 Au 和 Pd ($0.1 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-6}$) 异常。在黑海大陆架某些泥质粘土中亦发现 Pd 和 Au 的高含量。贵金属元素组(PGE) 初始(沉积成因的) 异常富集出现在古成因煤和未成岩的现代沉积物中, 这一事实表明贵金属元素组(PGE) 初始堆积的沉积机制可能是主要

收稿日期: 2007-05-30

作者简介: 黄艳丽(1982-), 女, 湖北安陆人, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业。通信地址: 云南省昆明理工大学莲华校区国土资源工程学院矿产地质研究所 1-102 室, 邮编: 650093, E-Mail: hylforever@163.com

的。进入沉积盆地的贵金属元素组(PGE)和每个特殊区域过去沉积迁移的机制决定了地球化学组合的差异: Pd, Pt-Pd, Pd-Pt-Ir 等与 U-V, U-Cu-Ni, Cr, Au 等。不能排除由区域金属专属性来确定这些特殊参数。Y. S. Polekhovsky (1996)发现波罗的海前寒武纪地盾黑色页岩建造异常富集 V, U, Au, Ag, Pd, Pt, Cu, Mo, Pb, Zn, Cr, Ni 和 Re。中北欧 Kupferschiefer 和中非等巨型含铜砂页岩成矿带中也发现贵金属矿化。

在我国富含 Ni, Mo, V, Cu, U, Ba, Pt, Pd, Au 和 Ag 的黑色页岩含矿建造广泛分布于扬子地台下寒武统底部至震旦系陡山沱组上部。地理分布包括滇东、川西、川黔桂邻接区、粤北、湘(中西部)、鄂西(三峡)、皖浙赣等地区(Fan Delian 等, 1987; R. M. Coveney 等, 1991; Li Shengrong 等, 2000)。在华南海相三叠系黑色页岩中发育金矿化(Zhang Aiyun, 1996)。华南元古代双桥山组、下寒武统水口组 and 泥盆系余田桥组属于含金黑色页岩建造。在这些建造中, 有机碳与金含量呈正相关关系。据报道(R. M. Coveney 等, 1991), 贵州遵义钼矿床是世界上唯一从黑色页岩中开采钼的矿床, 矿山年产钼 1000 t, $w(\text{Mo})$ 平均 4%; 此外, $w(\text{Ni}) = 4\%$, $w(\text{Zn}) = 2\%$, $w(\text{Au}) = 0.7 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ag}) = 50 \times 10^{-6}$, $w(\text{Pt}) = 0.3 \times 10^{-6}$, $w(\text{Pd}) = 0.4 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ir}) = 30 \times 10^{-9}$; 类似的矿化亦产在加拿大育空地区的 Selwyn 盆地和美国中部地区泥盆纪密西西比黑色页岩建造中。

2 黑色岩系多金属矿床的研究意义和现状

2.1 研究黑色岩系的科学意义

黑色页岩是一种“具有沉积学、古生态学和地球化学特征的、沉积在缺氧或无氧水底的暗色细粒泥质岩”, 有机质含量较高是其主要特点(总有机碳(TOC)含量一般 $> 1\%$)。黑色页岩是重要的油气源岩、金属及非金属矿源层(如中东、墨西哥等地的油气田; 我国江西、湖南等地的大型金属非金属矿床); 但也常富集多种有害元素, 在其分布地区及其矿山开采过程会造成环境污染; 同时, 黑色页岩也是古环境研究的良好载体, 它反映的古气候和古环境特征对恢复地球演化过程、研究全球环境变化具有一定的借鉴作用。并且与黑色岩系有关的矿床种类

多、品位高、规模大、伴生组分丰富, 许多矿种在世界上有重要份额。因此, 对黑色页岩的研究具有重要的经济 and 理论意义。

对黑色页岩系的研究可以深化认识地球表层(浅部)化学元素的分布规律与机制, 特别是揭示地球演化中元素在沉积圈内时间和空间上涌现、聚集的不均一性及超大规模矿床的形成机制, 并有助于探索各种类型矿床的成因。特别是环境突变的成因, 从而有助于重塑地球演化历史和过程的认识。并且对小白垩世危机的研究中, 不仅涉及到地球自身, 而且涉及到地球与宇宙的联系。

同时, 黑色页岩系是在缺氧环境或缺氧事件中形成的, 它们都是直接或间接与生命活动有关的, 它们也均与生物地球化学元素, 如 C, N, P, O, S 及 Fe, Mn, Ca, Ni, Mo, V, U, Ba 等的循环有直接或间接的联系。因此, 地质历史上的黑色岩系及与之有关矿床的成矿作用, 特别是生物成矿作用, 将是生物地球化学体系研究(即研究古气圈、古水圈、古生物圈和岩石圈的相互作用和演化)的重要内容。

2.2 国外研究现状及存在问题

随着对地球资源及环境问题的日益重视, 黑色页岩研究吸引了不少学者的兴趣, 已成为国际上地球科学的重要前沿课题。黑色页岩的成因是近年来的热点问题之一, 对与黑色页岩有关金属矿床的研究极大地促进了其成因的研究。但是, 黑色页岩的成因涉及诸多方面的因素, 许多问题仍未得到圆满解决, 如缺氧事件的起因、有机质的保存转化条件, 以及对形成于不同背景条件下黑色页岩的特征等问题, 尚缺乏足够的认识。

近年来, 国外黑色页岩成因研究的成就主要表现在海相黑色页岩方面。根据各种沉积环境已提出了不同的海相黑色页岩成因模式, 其中最重要的几种主要模式包括: ①封闭盆地模式(Silled basin model); ②上升流模式(Upwelling model); ③开阔海氧气最低带模式(Oxygen minimize zone)。

陆相黑色页岩研究较详细的例子是位于中纬度地区美国西部早古近世陆相生油层绿河组(Green River Fm.)黑色页岩, 先后提出油页岩形成的几种模式: ①分层湖模式; ②干盐湖模式; ③生物化学分层湖模式; ④外因分层湖模式。并且已将油页岩的形成与地层、气候旋回联系起来。

以上几种成因模式的共同点都是有足够的有机质来源, 并存在有机质保存的有利环境, 但各种环境形成的动力学机制不同, 也即缺氧环境的成因和氧

气最低带出现的位置各异。现有的几种黑色页岩成因模式都是针对某一特定环境下沉积的黑色页岩提出的, 能否代表其他气候和沉积环境类型, 仍需要各地区不同类型黑色页岩的研究成果对比。尤其是作为陆相油气源岩的热岩- 亚热带湖相盆地黑色页岩, 研究工作较为薄弱, 更需要对其进行深入系统的研究, 以解决湖相黑色页岩成因以及海相陆相黑色页岩成因对比等问题。

2.3 国内研究现状及存在问题

我国关于黑色页岩的研究主要是在 80 年代中后期由王成善等介绍引入后才逐渐被重视并得到应用, 在海相黑色页岩沉积环境以及成矿方面的研究成果较显著。我国富集金属非金属矿产的黑色页岩主要形成于古生代, 而中生代以来的黑色页岩多富集油气矿产, 例如:

(1) 在震旦纪、寒武纪、奥陶纪、志留纪等时期, 大洋缺氧事件分布较广, 沉积的黑色页岩含有丰富的金属非金属矿产, 主要分布在湖南、江西一带, 如: 湖北鄂西兴山白果园黑色页岩型银钒矿床; 湘西震旦- 寒武纪黑色岩系矿床, 富含 V, Ni, Mo 等微量元素; 河北兴隆地区海底喷气成因的硫化物黑色页岩; 华南下古生界黑色页岩大型矿床, 富含磷、钒、银、重晶石等。

(2) 三叠纪、侏罗纪、白垩纪、第四纪等时期, 曾发生多次区域性海侵事件, 沉积了作为油气源岩的黑色页岩, 如: 西藏南部中白垩世大洋缺氧事件沉积的黑色页岩; 松辽盆地白垩系青山口组周期性海水侵入导致的黑色页岩沉积。

黑色页岩富含各类金属、非金属或油气矿产, 大多数研究都着重于矿产储存方面, 尤其是对于油气矿产, 多着重于后期的储层和盖层的研究, 而对其生油层黑色页岩成因方面的研究不多。目前, 黑色页岩的成因问题已成为争议诸多且讨论最为激烈的热点问题之一, 其中涉及的关键问题是关于缺氧、原始有机质生产率及其与有机质堆积之间的关系, 以及形成动力学机制等问题。国外海相黑色页岩在这方面做的工作较多, 而作为陆相油气源岩的湖相盆地黑色页岩, 其沉积背景有明显的特殊性, 成因条件与海相环境既有相似也有相异之处。对地史时期不同类型的湖泊盆地进行系统研究是解决湖相黑色页岩成因问题, 以及与海相成因对比问题的基础。目前已有的黑色成因模式都是针对于某一套黑色页岩提出的, 此类模式能否代表其他气候和沉积环境类型, 以及缺氧机制有所不同的黑色页岩, 仍需要各地区

黑色页岩的研究成果对比。然而, 从已有的成果来看, 湖相黑色页岩成因方面的研究较为薄弱; 同时, 湖相与海相黑色页岩成因的对比仍然有待于进一步的系统研究。这些都是当前黑色页岩研究领域的重要内容。关于黑色页岩的研究方法, 由于应用高分辨率分析手段能获取成因条件的详细信息, 并可以此为基础提取地质记录所反映的周期性信息, 为黑色页岩形成动力学机制研究提供条件, 因而, 已成为主要发展趋势。从总体上说, 我国仍缺乏对湖相盆地黑色页岩及其成因的系统研究, 在应用高分辨率分析手段获取湖相黑色页岩有机质堆积条件及其动力学机制信息方面几乎仍是空白。

3 黑色岩系多金属矿床研究发展趋势

黑色岩系中的矿产资源, 尽管有的已经被开发利用, 但是在整体上, 过去一般认为它们只具有潜在的经济价值。20 世纪 80 年代以前, 黑色岩系及有关矿床的研究甚为薄弱, 甚至对那些产于黑色岩系的金属矿床, 一般并不认为其形成与黑色岩系有关。笔者通过国内外典型矿床的研究对比, 确定 25 种元素的成矿与黑色岩系有密切的成因关系, 如金、银、锡、锑、锰、铜、铅、锌、铀、钒、镍、钼、硒、碲、铈、锆、磷光、重晶石、毒重石等, 并常聚集成带形成不少大型矿床。

如前所述, 黑色岩系型多金属矿床成因模式说法纷纭仍未得到完善解决, 概括来说, 其因为: 在热带- 亚热带暖湿的气候条件下具有丰富的植物生物量, 入湖径流为湖泊输入足够的陆源植物碎屑, 同时带入的营养物质也促使了湖泊表层水生生产力的提高, 这是黑色页岩沉积的先决条件。良好的有机质保存条件是黑色页岩沉积的关键性因素, 需要有稳定的缺氧环境。温暖气候下的温度分层和海侵作用下的盐度分层共同形成了稳定的水体结构。加上繁盛的生物化学作用所需的氧气量, 共同造成了底层水体长期缺氧。海水周期性的侵入则是作为对湖泊缺氧环境形成的促进机制。再者, 大面积的湖泊也为静水条件下细粒物质的沉积提供了必要的环境。

总的来说, 与黑色岩系有关的多元素金属矿床和相对密集成矿区形成的有利条件是: ①成矿物源的多源性、成矿物质输送、供应的多期性和持续性以及成矿物质的继承性; ②大陆边缘和持续的拉张构造活动环境, 以及由拉张断裂控制的裂陷槽, 而且裂

陷槽内地势起伏,“槽中有益”;③地史转折期内发生环境变化的大规模波动与事件;④盆地及其中的缺氧环境多次出现并持续发展;⑤低纬度的古气候和古大洋环境;⑥生物和微生物作用;⑦改造作用、变质作用多样性。

黑色岩系是具有重现性的时限沉积相,在地质历史发展过程中它多次重复出现。因此,在研究黑色岩系及有关多金属矿床的生物地球化学作用和生物成矿作用时,应当研究与成矿作用有关的生物地球化学元素的循环和生物地球化学体系,即研究古气圈、古水圈、古生物圈和岩石圈的相互作用和演化。并且地球古老地层有机物的研究,跨学科和高新技术的引进将推动黑色岩系型多金属矿床研究的新进展。

4 结束语

与黑色岩系有关矿床种类很多,成因各异,与黑色岩系的关系也十分不同,有的直接产于黑色岩系中,两者的形成和保存条件基本相同,如硫化物矿床等;有的形成于黑色岩系向浅色岩系的过渡带中,如碳酸锰、重晶石矿床等;有的产于碳酸盐岩和其他沉积岩中,如铅、锌、汞、铀、萤石、重晶石等,但其成矿物质却主要来自黑色岩系。它们往往经历了不同程度的改造或变质,并可具有超大规模。因此,黑色岩系多金属矿床的研究是国际地学研究的前沿课题,是应当重视和加强的研究领域。

参考文献:

- [1] 范德廉,张焘,叶杰,等. 中国的黑色岩系及其有关矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 涂光炽. 中国超大型矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 204-218.
- [3] 梁有彬, 刘同有, 宋国仁, 等. 中国铂族元素矿床[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998: 103-116.
- [4] Pasava J. A group of papers devoted to the metallogeny of black shales [J]. *Economic Geology*, 1996, 91: 134.
- [5] Cao Shuanglin, Ma Dongsheng, Pan Jiayong. Stable isotopic geochemistry of organic carbon and pyrite sulfur from the Early Cambrian black shales in Northwestern Hunan, China [J]. *Progress in Natural Science*, 2004, 14: 181.
- [6] 毛景文. 与黑色岩系有关的矿床研究的动向[J]. *矿床地质*, 2001, 20(4): 402-403.
- [7] 崔彬, 白光宇, 郭红霞. 从第 32 届国际地质大会看矿床学及相关学科的进展[J]. *现代地质*, 2004, 18(4): 460-462.
- [8] Meyer F M. The geochemistry of black shales from the Chuniesport group Transvaal sequence, eastern Transvaal, South Africa [J]. *Econ. Geol.*, 1996, 91: 111-121.
- [9] 杨競红, 蒋少涌, 凌洪飞, 等. 黑色页岩的 Re-Os 同位素定年[J]. *地球学报*, 2005, 26(增刊): 180-181.
- [10] 陈永清, 夏庆霖, 刘红光. 黑色页岩建造中的贵金属矿产评价研究[J]. *地球物理学进展*, 2003, 18(2): 261-268.
- [11] 彭渤, 吴甫成, 肖美莲, 等. 黑色页岩的资源功能和环境效应[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2005, 24(2): 153-158.
- [12] 白雁. 三水盆地古近系(土布)心组黑色页岩沉积地球化学特征及其古环境研究[C]. 2003.
- [13] 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.
- [14] 单卫国, 钟维敷, 宋懿红, 等. 黑色岩系成矿作用及相关金属矿床找矿[J]. *云南地质*, 2004, 23(2): 125-139.
- [15] Little R, Klusmann U, Krooss B, *et al.* Quantification of loss of calcite, pyrite, and organic matter due to weathering of Toarcian black shales and effects on kerogen and bitumen characteristics [J]. *Geochim. et Cosmochim. Acts*, 1991, 55(6): 3369-3378.
- [16] 秦继明. 黑色岩系中的多元金属矿床[J]. *贵州地质科技情报*, 1989, (1).
- [17] 常美镛, 白美康. 国内外与黑色页岩有关的金属矿床举例[J]. *青海地质科技情报*, 1993, (1).
- [18] 沃尔科娃 H B. 含矿黑色页岩的有机岩石学——现状和任务[J]. *国外地质与勘测*, 1993, (4).
- [19] Jan Pasava. 黑色页岩成矿作用——IGCP254 项活动及最新进展[J]. *地球科学进展*, 1990, (6).
- [20] 卫三元, 李田港. 关于黑色页岩矿床成因的一组论文[J]. *国外铀金地质*, 1997, 14(8): 233-234.
- [21] 高坪仙. 含金属黑色页岩及其成矿作用[J]. *国外前寒武纪地质*, 1994, (1).
- [22] 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[J]. *岩石学报*, 1999, (2): 65-71.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF BLACK ROCK SERIES POLYMETALLIC DEPOSITS

HUANG Yan-li^{1,2}, QIN De-xian^{1,2}, DENG Ming-guo^{1,2}, JI Yun-bo¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Institute of Geology

and Mineral Resources, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: This paper based on the current documents at home and abroad is to introduce a review of black rock series polymetallic deposits, method of black rock series study and its advancement at home and abroad and the development of black rock series polymetallic deposits in the future was also discussed.

Key Words: black rock series; ore deposit in black rock series; polymetallic deposits; development

欢迎订阅 2009 年《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》为国家科技部和新闻出版总署批准, 由中钢集团天津地质研究院有限公司主办的地学科技期刊, 于 1986 年创刊, 国内外公开发行。中国标准刊号: ISSN 1001-1412, CN 12-1131/P。

《地质找矿论丛》作为中国科技核心期刊, 被美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》、《中国学术期刊文摘(中文版)》等国内外著名文摘刊物收录, 是《中国科技论文统计》、《中国学术期刊综合评价数据库》和《中国科学引文数据库》的来源期刊, 期刊同时全文入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、《万方数据系统科技期刊群》、《中文科技期刊数据库》和《华艺 CEPS 中文电子期刊》等电子出版物和数据库, 以多种媒体方式向读者提供服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、矿产地质勘查新技术新方法及其应用、地学信息技术、水文地质与工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产技术经济等方面的科研成果、进展评介、研究简报, 并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》面向从事地质科研、矿产勘查、矿山企业、矿产品开发的科技人员和地学院校师生。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献信息部门的单位和个人踊跃订阅并投稿。

《地质找矿论丛》为季刊; 每期 80 页, A4(297 mm×210 mm) 开本, 每季度末月 25 日出版; 每期定价 10 元, 全年共计 40 元。

订阅办法:

(1) 向《地质找矿论丛》编辑部函索订单订阅。

编辑部地址: 天津市河东区友爱东道平房 4 号, 中钢地质院《地质找矿论丛》编辑部 邮政编码: 300181

电话: 022-84283083 联系人: 王书辉 E-mail: luncong@163.com ; luncong@yeah.net

(2) 通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅。

地址: 天津市大寺泉集北里别墅 17 号 全国非邮发报刊联合发行部 邮政编码: 300385

电话: 022-23973378; 23962479 传真: 022-23973378 E-mail: LHZD@public.tpt.tj.cn 网址: www.LHZD.com