

黑色岩系型矿床的形成作用及其在我国的产出特征

叶 杰, 范德廉

(中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要:黑色岩系作为地史上反复出现的时限沉积相,反映了环境的突变及环境事件,构成了许多重要矿床的赋矿岩系。我国共有 25 种以上的有用元素和组份的聚集成矿与黑色岩系有关,它们呈自然金属、硫化物、氧化物、碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐等十余种形式产出。黑色岩系型矿床一般规模较大,我国南方赋存大—超大规模矿床的黑色岩系分布于 9 个纪级单位的 13 个含矿层位中,共形成了 4 个超大型矿床和 6 个大—中型矿床密集成矿区。根据盆地流体在黑色岩系型矿床成矿演化的阶段性,可以将其矿床的形成划分为:沉积期和成岩期。前者可形成大—超大型锰、磷、重晶石矿床,成岩期可能形成大—超大型金、银、铅锌、锑、锡多金属矿床。

关键词: 黑色岩系型矿床;成矿作用;盆地流体

中图分类号: P611 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2000)02-0095-08

1 黑色岩系及与之有关的矿床

黑色岩系是含较多有机碳($C_{\text{有机}} \geq 1\%$)及硫化物(铁硫化物为主)的暗灰—黑色的硅岩、碳酸盐岩、泥质岩(含层凝灰岩)及其相应变质岩石的组成的总称^[1]。导致岩石黑色的原因是有机碳、细分散硫化物及颗粒的超微粒度(如纳米级)。黑色岩系常常是两种以上岩石组成的岩类组合体系,虽然有时也以端元岩石为主。不同岩类组合代表不同的沉积环境和背景,赋存有不同种类的矿床。深入的岩石学研究在多处黑色岩系内确定了凝灰质的存在,从而将这些凝灰质岩石暂以层凝灰岩的统称包含于泥质岩中^[2]。

黑色岩系具有独特的形成环境,是地史上多次出现的时限沉积相,反映环境变化中的突变及环境事件,它是地球内部和外部因素、甚至地外因素相互作用的产物。而且由于黑色岩系作为稀有金属的富集层和某些成矿元素的异常富集层或矿源层具有明显的经济意义,促使地质学家对其进行了持续不断的研究。黑色岩系型矿床常能形成较大的规模,世界上著名的黑色岩系型矿床有中欧曼斯费尔

德含铜页岩(二叠纪)、澳大利亚的富集铅锌的蒙特页岩、摩洛哥的黑色岩系型银矿、美国肯塔基州的黑色岩系型铀矿(前寒武纪)、美国堪萨斯州的含金和银的黑色页岩(白垩纪)以及中国黑色岩系型的钒、铀和镍钴矿床(早寒武世)等。全球性大规模磷矿的聚集也与黑色岩系有关。需要特别指出,某些黑色岩系如下寒武统黑色岩系中含有分布广泛、低浓度的对人体有害的元素(U、As、Hg等)造成环境污染。因此,对黑色岩系的研究,不仅在地质和资源探查方面有重要意义,而且对环境治理和保护具有一定价值。

随着黑色岩系的地质、经济意义逐渐引起重视,自 80 年代起地质学界对黑色岩系和有关矿床、相关的缺氧环境(事件)和稀罕事件进行了大量研究。陆续实施了多个国际地质对比计划(IGCP),如 IGCP-199、254、357、429 等,全球沉积地质计划(GSGP, 1986)及美国国家委员会编写的“固体地球科学与社会”(1993)都将其作为重要研究内容;召开了许多有关的国际讨论会,如 1980 年的“黑色页岩”,1985 年的“黑色页岩生物地球化学”等;出版了为数众多的专著和论文。

黑色岩系、有机质和有关矿床。在 70 年代是作

为生油源岩受到重视的。Arthur 等^[3]、Leggett^[4] 与 Jenkyns^[5] 首先提出早古生代及侏罗白垩纪的多层黑色岩系为大洋缺氧环境产物的认识,并提出海平面上升模式。之后,许多研究者把大洋缺氧环境的形成与洋中脊的活动、火山喷溢、生物有机质生产率、全球温度变暖等联系起来,提出了各种各样的成因模式^[6~10]。Southam^[11] 讨论了缺氧环境的动力学。Wright^[12] 系统地研究各地质时代磷灰石铈异常的变化,讨论了缺氧环境的地史演化。Goodfellow^[13] 认为加拿大铅锌矿床的形成与奥陶纪—泥盆纪的三个缺氧旋回有关,将缺氧环境与矿产资源联系起来。Jenkyns^[14] 指出中欧含锰层与侏罗纪托尔早期的大洋缺氧环境有成因联系,Fan^[15,5] 将湘潭式锰矿的形成与冰川消融引起的海平面上升和大面积缺氧环境有关。Compton^[16] 认为佛罗里达磷块岩的成因与海平面升降有关。Alvarez 等^[17]、Ganapathy^[18]、Hsü^[19] 等在白垩纪—第三纪界线粘土中发现了铈异常,并将其与地外因素联系,探讨环境剧变。许靖华等^[20] 研究了中国南方前寒武/寒武纪界线岩石的碳同位素,提出发生过大劫难事件,范德廉等^[21] 认为下寒武统

黑色岩系内发现的铈异常代表了稀罕事件。可以看出,近 20 年来黑色岩系、缺氧环境及有关矿床的研究得到较大的发展,对黑色岩系、缺氧环境的形成和控制因素,以及与成矿作用的关系的认识在不断深入。

与黑色岩系有关的矿床种类很多,成因各异,与黑色岩系的关系也各不相同:有的矿床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;有的则形成于黑色岩系向浅色岩系过渡带,也就是由缺氧向氧化环境的过渡带(即微氧化环境),如碳酸锰、重晶石矿床等;还有一类矿床如铅、锌、汞、萤石、重晶石等产于碳酸盐岩中,但其成矿物质却主要来自邻近的黑色岩系,从而使两者具有密切的成因关系。这些矿床往往经历了不同程度的改造或变质。上述各类与黑色岩系有不同成因关系的矿床统称为与黑色岩系有关的矿床,或简称黑色岩系型矿床。

对黑色岩系型矿床的研究发现我国共有 25 种以上的有用元素和组分的成矿与黑色岩系有关(表 1)^[22],它们呈自然金属、硫化物、氧化物、碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐等十余种形式产出。

表 1 中国黑色岩系型矿床

Table 1 Ore deposits related to black shale series in China

矿 种	有用组分的存在形式	矿 床 实 例
Sn、U	氧化物	大厂锡-多金属硫化物矿,金银寨铀矿
Au、Ag、PGE	自然元素及硫化物	滥泥沟金矿,破山银矿,白果园银-钨矿,南方镍钼多元素层中的铂族元素
Cu、Pb、Zn、Sb、Hg、Ni、Mo、Co、Se、Tl、Re、Cd、Fe(硫铁)	硫化物及硫盐	桃园铜矿,落梅铅-锌矿,锡矿山锡矿,益兰汞矿,湘黔浙镍钼多元素层中的 Co、Se、Tl、Re 及硫镉矿,伍家坳硫铁矿
重晶石	硫酸盐	新晃-天柱重晶石矿
Mn、毒重石、钡解石	碳酸盐	湘潭式锰矿,巴山钡解石-毒重石矿
K、V、Ge	硅酸盐及吸附态	南方下寒武统富钾、富钒黑色页岩,临沧锆矿
P、U、绿松石	碳酸盐	秦岭黑色岩系中的磷、铀、绿松石矿
REE	碳酸盐,氟碳酸盐,硅酸盐	镍钼多元素层及磷块岩中的稀土元素
锰方硼石	硼酸盐	东水厂锰-硼矿
石 煤	富有机质泥质岩及碳酸盐岩	南方各地下寒武统石煤
Ni、V、Ge、U	卟啉,腐殖酸结合态,吸附态	南方各地下寒武统黑色岩系中的 Ni、V、U,临沧锆矿

据范德廉等,1998

黑色岩系代表了缺氧的沉积环境,与之有关矿床的形成是以不同的方式与缺氧环境密切相关。缺氧环境是指水体中溶解氧含量低于 0.1 mL/L 的环境,它限制了多细胞生物的发育。只有微生物,而且原则上只有硫酸盐还原细菌可以在这种环境中生存^[23]。缺氧环境具有不同的空间尺度,从陆地上的湖泊(如黑海)、大陆边缘海盆、大洋中的局限盆地以至整个大洋,从局部的缺氧环境、大面积缺氧环境以至大洋缺氧环境(简称 OAE)。因此,赋存于缺氧盆地中的黑色岩系型矿床具有不同的规模,其中不少具有大—超大规模。

黑色岩系是在地史上多次重复出现的特殊沉积相,与之有关的大、中、小型矿床及矿点广泛产出于我国元古代至第三纪的许多层位内。其中赋存大—超大矿床的黑色岩系分布于 9 个纪级单位的 13 个含矿层位内,如中元古代下昆阳群、晚元古代歪头山组、震旦系、下寒武统、下-中志留统、上泥盆统、下二叠统、中三叠统、中新统。但是,最为重要和矿床最为集中的时代是早寒武世,晚泥盆世,早、晚震旦世和中晚元古代。这几个时代不仅形成了 4 个超大型矿床(锡、锑、重晶石、锑),而且形成 6 个大-中型矿床相对密集成矿区^[22]。

2 我国黑色岩系型超大矿床及矿床相对密集成矿区

2.1 我国南方大—超大矿床相对密集成矿区

与黑色岩系有关的大小不等、类型各异的矿床广布于我国各地。就其重要者可划分为 6 个相对密集成区。

(1) 泥盆-石炭系桂北—湘中锡、锑、银、铅、锌、汞矿床相对密集成矿区:本区的锡、锑等矿床分布于狭长海沟型的半深海沉积区内,除了大厂、锡矿山两个超大型矿床外,在桂北还有益兰、箭猪坡、龙头山等汞、银、锡、铅、锌等矿床,湘中地区也赋存有下苏溪、甘溪、龙山、罗城等锡矿床,构成了锡、锑、银、铅、锌、汞等矿床的相对密集成矿区。

(2) 早寒武扬子地台南、北缘重晶石(毒重石)矿床相对密集成矿区:是我国的重晶石(毒重石)矿床主要集中地区。南缘分布有贡溪-大河边超大型及三江、石榴村等大型矿床,北缘集中了东风沟、城口巴山及柳林等大型重晶石、毒重石矿床。在早寒武

世早期扬子地台就聚集了上亿吨的重晶石,其分布面积广,且相当稳定。如此大量钡与硫的堆积,其物源、形成机理和形成背景都需深入研究。

(3) 中元古—晚震旦滇中铜矿床相对密集成矿区:本区是我国铜资源的重要地区之一,分布着不同时代、不同成因类型的铜矿床共 50 余个,其中大型 3 个,中型 12 个,小型 35 个。与黑色岩系有关的铜矿床共有 4 个,主要集中于东川和易门地区,已开采的均属中型规模,但多与其它类型的大中型矿床相依,如桃园、烂泥坪及狮子山等矿床。

(4) 早震旦湘潭式锰矿床相对密集成矿区:湘潭式锰矿赋存于早震旦世间冰期黑色页岩中,广泛分布于湘、黔、川、鄂等地,重要者有湘潭、民乐、大塘坡等 11 个大、中型矿床,形成湘、黔、川接壤区和湘中区两个锰矿相对密集成矿区^[24]。

(5) 晚元古豫南金、银矿床相对密集成矿区:豫南围山城金、银矿区位于秦岭褶皱系东段桐柏北部,处于泌阳、吴城两个中、新生代断陷盆地之间的隆起部位。西起大磨、东至河前庄,全长约 25 km,东宽西窄,平均宽约 1 km。矿区包括破山大型银矿、河坎银矿、银洞坡中型银金矿及月儿湾小型金矿,它们赋存于新元古代歪头山组的受变质火山-沉积岩系内,并形成规模较小的金、银矿相对密集成矿区。

(6) 晚震旦鄂西-湘中银矿床相对富集成矿区:鄂西大型银钨矿床,湘中银矿床及其附近的小型矿床虽分布于不同的大地构造单元,且相距较远,但含矿层序(晚震旦世陡山沱组)却惊人的一致,形成银矿床的相对密集,反映了这个时代银背景值的异常,值得进一步研究。

2.2 黑色岩系型超大矿床实例

(1) 桂西北大厂铜坑-长坡锡-多金属超大矿床:桂西北丹池盆地内广泛分布有黑色岩系型锡-多金属矿床(锡、锑、铜、铅、锌、钨、汞、银等)。赋存于泥盆纪黑色岩系的不同岩类组合中,种类多,规模大,成因复杂。其中铜坑-长坡的锡-多金属矿床具超大规模,赋存于总厚度达 200 m 的上泥盆统黑色岩系中,岩石类型组合有硅岩、灰岩-硅岩、页岩-硅岩等。15 块含矿黑色岩系标本有机质碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org-PDB}}$ 平均为 -23.7‰ ($-21.4\text{‰} \sim -25.7\text{‰}$),说明这些碳质是生物成因的^[2]。矿体与黑色硅岩关系极为密切,除直接产于硅岩层中外,还有产于灰岩的硅岩夹

层内。矿体形态多样,以层状和似层状为主,矿石都保存原生沉积阶段的组构特征(纹层状、条带状)。空间上各类矿体有密切联系,细网脉矿往往分布于层状、似层状矿体之上,较大脉体则分布于细网脉矿两侧或其上。改造作用使岩层和其中的纹层状、条带状矿体发生变形,并形成脉状、细网脉状矿体。各类矿床的矿物成分相似,以含锡石、硫化物和二氧化硅为基本共生组合,并含 F、Cl、K、Na 等。

含矿的丹池盆地是在江南古陆南侧边缘海基础上,随着拉伸性断裂裂陷的发育和自南向北的海侵而发展起来的。演化初期的拉伸断裂是 NW 和 NE 向,控制着一系列张裂断陷槽盆和台、沟相间的发展格局。桂北地区发育 4 个大的北西向断裂(南丹-都安、百色、田阳、靖西),其中南丹-都安断裂控制了丹池盆地的形成和发育。泥盆纪时广西处于热带、亚热带的低纬度区,有利于生物的发育并导致深海海水的缺氧环境。晚泥盆世早期海侵达最大规模,使西部台间海槽的海水加深,并使之相连成片,特别是弗拉斯期海侵使与之相通的钦州-玉林海槽加深加宽,云开岛被淹,也使丹池盆地的陆架海域通过局限通道与广阔大洋相连。当较氧化海流携带大量可溶性矿物质进入处于缺氧环境的丹池盆地中时,就可能形成黑色岩系和有用矿物质的堆积。在此期间,断裂构造活跃并出现海底的岩浆活动,导致形成层凝灰质沉积和火山熔岩,也为矿质富集提供了更好的条件。大厂矿田和丹池盆地的泥盆纪地层普遍有高含量的 Sb、Sn、W、Ag、Pb、Zn、Cu 等。该套地层中所含的矿床则可能是由盆地流体经沉积喷流作用形成的^[25]。

(2) 湘中锡矿山超大型锑矿床:湖南锡矿山超大型锑矿床产出由 D—T₃ 碳酸盐岩、硅岩、泥质岩地层组成的近南北向的湘中盆地内。锡矿山锑矿田为一长约 8 km、轴向 NE30° 的短轴背斜,矿体均分布于背斜的东翼。背斜核部由上泥盆统余田桥组(D₃s)和锡矿山组地层(D₃x)组成,四周为下石炭统地层(C₁)。矿区内部无大的岩浆岩体出露。含矿地层为中泥盆统棋子桥组和上泥盆统余田桥组,含矿系总厚 217 m,主要由灰黑色生物灰岩、细晶白云岩、页岩和硅质岩互层组成,矿体主要赋存于黑色硅质岩层中(SiO₂ 含量 86%~92%)。又可进一步细分为上、下两个含矿层。上含矿层厚 45 m,C 炭含量平均

为 0.82%(0.19%~1.67%),赋存有约占全区总储量 80%的、两层整合的层状、似层状主矿体和脉状为主的次要矿体。下含矿层厚 172 m,C 炭含量平均为 0.85%(0.36%~1.36%),赋存多层脉状、束状矿体,为 号矿体。

矿石主要呈致密块状、细脉状、浸染状及粗晶或放射状集合体。矿石中金属矿物以辉锑矿为主,脉石矿物以石英为主,次为方解石、重晶石、萤石等。总之,锡矿山锑矿床与含有机质高的黑色灰岩、生物屑灰岩、硅岩层、页岩有着密切的成因关系,特别是主矿体均赋存于重结晶程度不同的硅岩中。目前对赋矿硅岩有不同的看法,有的认为是硅化的结果^[26],有的认为是粉砂岩^[27]。由于再造作用强烈,确定硅岩是原生沉积还是硅化形成确有一定困难。但是在显微镜下常常可以看到的微晶石英(0.01~0.02 mm)集合体及似微生物的遗迹,因此我们认为这些硅岩是原生沉积的。岩石和矿石形成期次多,改造富集作用明显,应属沉积-再造型矿床。

(3) 贡溪-大河边超大型重晶石矿床:在湘、黔交界地区分布有一系列北东—南西向的复式背斜和向斜,重晶石矿层分布于坪地(贡溪)复向斜中,延伸达 30 km、宽 10 km。区域内出露有元古界板溪群、震旦系及寒武系地层。矿区内未发现火成岩侵入体,仅在地层中发现有火山凝灰物质。其中产出湖南贡溪—贵州大河边超大型重晶石矿床,主要赋存于下寒武统底部的暗灰色硅岩和黑色硅质页岩中。在贵州天柱大河边矿区含矿系剖面显示硅质磷块岩—黑色页岩(含磷结核)—重晶石—黑色富钒页岩的沉积序列,含矿系之下为留茶坡组的暗灰色硅岩;湖南新晃中寨草场含矿岩系地层剖面的沉积序列与之相同。

含矿系岩类组合比较简单,除磷块岩和重晶石外,主要有黑色硅质页岩及页岩,其主成分与一般页岩区别不大,Al/(Al+Fe+Mn)平均为 0.72,Fe/Ti 平均值为 6.4。微量元素以 Ba 和 V 含量高为特点,分别为黑色页岩标准样品 SDO-1 的 29 倍和 17 倍。V/Cr 平均 4.3,Sr/Ba 平均 0.015。

大河边矿床的重晶石矿石按组构可分为:致密状、纹层(条带)状、溶孔状及结核状。致密状和纹层(条带)状矿石主要由微-细粒重晶石组成,具少量中粒,个别为粗粒。纹层状矿石多由黑色有机质及伊

利石细纹层构成,而在条带矿石内还可以看到粒度分层。溶孔状矿石主要由重晶石与少量黄铁矿(5%~8%)等组成,后者风化后形成孔洞,重晶石仍以微-细粒状结构为主。结核状矿石数量较少,结核产于含细粒重晶石的黑色泥质硅岩中,并由放射状、板状重晶石集合体组成,显示为早期成岩过程中形成的。

重晶石形成于由黑色硅岩向黑色泥质岩的过渡部位,重晶石的淀积代表了一定的氧化环境,其硫同位素的高正值说明硫主要来自海水。矿层的产状、矿石的组构均证实重晶石为原生淀积成因,也经历了早期成岩作用。

(4) 临沧帮卖超大型锆矿床:位于喜马拉雅期形成的断陷盆地内,属冈底斯-念清唐古拉褶皱系的昌宁-勐连褶皱带的临沧-勐海褶皱束中段,断陷盆地总体走向为NW330°。成矿区由勐旺、临沧、帮卖、勐托4个盆地组成,其中帮卖盆地的锆矿床已达超大型规模。

帮卖盆地的基底主要为印支期二云母混合花岗岩,其上不整合地分布着中侏罗统的粗砂岩、砂砾岩等粗粒碎屑岩,厚150 m。中新世帮买组不整合地覆盖于侏罗纪地层上,共分8层(N_{1b}^{8}),总厚120~2 035 m,由陆相地层组成。主要由下部的洪积、冲积相的含岩块花岗质碎屑岩和上部的泥炭沼泽相、湖泊相、河流-湖泊相的砂岩、粉砂岩夹煤层及硅藻土等组成。

锆矿主要赋存于帮卖组内三个含煤段中的,第一含煤段(N_{1b}^2),其次分布于其下的花岗质碎屑岩及所夹煤线(N_{1b}^1)中。它们的锆储量分别为矿床总储量的92.5%和7.4%,矿石类型分别为锆煤岩型(锆含量平均为 450×10^{-6})和锆砂岩型(锆含量平均为 398×10^{-6})。其余层位内的锆矿仅占0.1%。

矿区内的、大小矿体约百余个,长70~470 m,延伸50~780 m,它们以似层状、延长透镜状呈带状产出,大致可分为三四个带。锆矿主要与煤层有关,并主要富集于腐殖体中,而未发现独立锆矿物。锆矿的主要物源应为盆地的基底岩石二云母花岗岩、白云母花岗岩等。帮卖超大型锆矿属沉积(成岩)类型,主要形成于中新世陆相泥炭沼泽相内。

3 黑色岩系型矿床的成矿作用

沉积体系的演化是连续的,一个矿床的形成可

以从沉积阶段、成岩阶段一直延续到后生改造阶段。因此,从盆地动力学演化的角度看,黑色岩系型矿床的形成可大致分为沉积同生期的沉积成矿作用和成岩-后生期的盆地流体成矿作用,且二者相辅相成。

3.1 沉积同生期的沉积成矿作用

成矿物质的富集主要发生在沉积阶段,与黑色岩系的沉积过程一致,主要形成一些大-超大型锰、磷、重晶石矿床。从黑色岩系型矿床形成于环境转变带内(由缺氧向氧化环境的转变带至微氧化环境)。垂直剖面上含矿岩系常常形成黑色岩系-矿层-浅色岩系的岩性序列,证实矿床形成于沉积地球化学环境的转变带内。Mn、P、Ba诸元素具有共同的地球化学特点:缺氧条件下,多呈分散的溶解态存在,不能淀积成矿;只有在程度不同的氧化条件下,它们才能形成矿层。但这些矿床的形成模式又有一定的区别。

湘潭式大中型碳酸锰矿床:储量很大(约1.5亿吨),分布较广,集中于湘、黔、川接壤地区和湘中地区。早震旦世为大屋冰期与南沱冰期的间冰期(湘锰期或大塘坡期)及南沱冰期之后均形成温暖气候,有利于微生物繁殖。冰川消融造成海平面上升,形成大面积较浅水和较稳定的缺氧环境(类似于大的潟湖),有利于锰和铁硫化物的聚集。一旦环境变为微氧化和碱性,碳酸锰则大量淀积,形成具工业价值的矿床;在早期成岩阶段锰还原细菌等微生物的作用下 $^{[28]}$ MnO_2 使沉积有机质氧化,锰还原为 Mn^{2+} 并以碳酸锰形式沉淀成矿 $^{[31]}$,碳酸锰矿石中沉积有机质所形成的生物碳约占30% $^{[32]}$ 。因此,湘锰期和陡山沱早期的黑色岩系及与之有关的碳酸锰矿、银-钒矿、黄铁矿及黑色岩系型磷矿等的形成都可能与气候事件有一定的成因联系。

早寒武世及晚震旦世的磷矿床规模更大,范围更广。大而富的矿床多赋存于台地相的碳酸盐岩及生物碳酸盐岩中,而黑色页岩或硅岩中的磷矿则往往质量较差、规模较小,并多呈磷结核或磷透镜体产出。大型磷矿的产出往往经历了在深层缺氧水体中的长期蕴集,经上升洋流将富含磷和有机质的深层水带至较氧化的台地边缘或直接淀积或由生物(如软舌螺等)吸取而淀积下来。

早寒武世重晶石矿床的规模大,分布广,与黑色硅岩有着极为密切的关系。两者不仅具有同源性

(多与海底火山活动或热流体有关),且均在富微生物和营养物质的缺氧海水中蕴集。当这种深层海水运移至微氧化环境或因振荡作用而形成微氧化环境时即可淀积成矿。

3.2 成岩-后生期的盆地流体成矿作用

成矿物质的富集主要由成岩-后生期的盆地流体的活动来完成。盆地流体是指活动于沉积盆地演化过程中,参与沉积物的成岩-后生变化的复杂流体相,主要是来自盆地内部沉积物压实和相变释放出来的流体及盆地边缘大陆区补给的下渗大气降水^[28,29]。形成黑色岩系的新鲜沉积物是一个高度分散的细颗粒体系,其沉积速率非常缓慢,从沉积开始直至最终固结成岩,沉积物自始至终都是被浸泡在盆地流体之中。由于盆地流体与沉积物颗粒长时间充分接触,成矿组分的萃取率远高于海水在已固结岩石中沿裂隙带流动而可能达到的淋滤萃取率。黑色岩系作为富含有机质的细粒沉积物组合,在形成黑色岩系的局限或半局限盆地中,大量沉积有机物通过一系列的降解和聚合作用生成有机流体,一方面消耗盆地底部水体中的大量氧气,导致缺氧环境,另一方面有机流体随着上覆沉积物加积引起的压实作用排出的沉积物空隙水向压力较小(即覆盖较薄)的部位流动,向上或向盆地边缘流动^[28,29],通过水—烃—岩反应将成矿物质带到盆地底部的缺氧水体中,由于环境条件的改变而发生沉淀卸载成矿。成岩-后生期的盆地流体成矿作用与一些大—超大型金、银、铅锌、锑、锡多金属矿床密切相关,这些矿床可划分为早期成岩富集型和晚期成岩改造型两个亚类。

早期成岩富集型多为硫化物矿床。主矿体形成于缺氧环境中并可能经历了早期成岩的富化,但未经强烈的改造,规模一般不太大。但也有成为大中型者,如兴山白果园银矿、武宣落梅铅锌矿、宁乡武家垌黄铁矿及滥泥沟金矿等。成矿盆地流体中有机化合物起了非常重要的作用,金和银的有机螯合物可以在水溶液中稳定迁移^[33~35],并为粘土等细小沉积颗粒所吸附沉淀。

后期成岩改造型也以硫化物矿床为主,它们在沉积(成岩)期的缺氧环境中初步富集形成矿源层或低品位矿体,在后期改造阶段形成主矿体或富矿体。由于改造方式不同,可区分出若干亚类。如大厂部

分矿体和锡矿山矿体是经热流体改造形成的;张家仑银矿在沉积(成岩)期的缺氧环境中与微粒及莓球状黄铁矿共生形成初步聚集,在表生阶段银为地表下降流体活化并与碘形成碘银矿,提高了矿石品位,形成了工业矿体;还有一种是由于变质作用的富化而形成工业矿体,如湘潭式碳酸锰矿床硫锰矿主要呈细分散状及胶状产出,不具工业价值,但在棠甘山矿区,由于沩山花岗岩的侵入,在外接触带与深部流体作用形成了硫化锰-硅酸锰-碳酸锰的工业矿石。

4 结语

总结上述几个黑色岩系型矿床的特征,可以看出黑色岩系型矿床的形成的有几个特点:1)矿床的形成与缺氧盆地的演化密切相关;2)成矿物质的多源性,供应的多期性和持续性以及物质的继承性;3)成矿物质富集的有利环境是大陆边缘和拉张活动环境,以及由拉张断裂控制的裂隙槽,且裂隙槽内地势起伏;4)地史转折期内发生的环境变化的波动与事件;5)环境变化的波动,突变界线和缺氧环境的多次出现;6)低纬度的古气候、古大洋环境是重要的环境背景因素;7)生物、微生物和有机组分的积极参与;8)盆地流体的强烈活动。

正是这些特点形成了黑色岩系型矿床的一些独特标志,而生物-有机作用尤为重要。在缺氧环境中,生物、微生物死亡后发生有机降解,而不会使有机质被氧化破坏,使这类成矿流体中含有特别丰富的有机组分,同时有机质的降解可促进缺氧环境的形成。金属元素可与复杂有机配位体中的S、Cl、N结合生成稳定的多齿杂环配合物。自然界广泛存在的有机螯合剂,所含的亲水官能团可以使其不受有机化合物分子大小的限制,稳定地保留在水溶液中。有机螯合剂尤其是大环配合物由于特殊的几何构型,经常表现出对某种金属明显的亲和性。像Ba、Sr、REE、Pb、Au、Ag、Hg等都有可能进入某些螯合配位体的大空腔内,呈有一定稳定性的螯合物迁移。金、银的有机地球化学模拟试验也证明了在一定条件下金、银的有机配位体是金、银进入盆地流体,并迁移、聚集成矿的主要机制^[34]。而有机配位体对金属的选择性则可能是造成这类矿床只富集金银,不富集铜铅锌等元素的主因之一。

参考文献:

- [1] 范德廉, 等. 某地下寒武统含镍钼多元素黑色岩系的岩石学及地球化学特点[J]. 地球化学, 1973, (3): 143 - 164.
- [2] 范德廉. 缺氧环境与成矿作用[A]. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室. 矿床地球化学[M], 北京: 地质出版社, 1997. 268-295.
- [3] Arthur M A. Stratigraphy, geochemistry and paleogeography of organic carbon-rich Cretaceous sequences [M]. Ginsburg and Bernard ed. Cretaceous Resources Events and Rhythms. Kluwer Academic Publishers, 1979.
- [4] Leggett J K. British Lower Paleozoic black shales and their paleoceanographic significance [J]. J. Geol. Soc., London, 1980, 137(2): 139 - 156.
- [5] Jenkyns H C. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans [J]. J. Geol. Soc., London, 1980, 137(2): 171 - 188.
- [6] Keith M L. Violent volcanism, Stagnant oceans and some inferences regarding petroleum, strata-bound ores and mass extinction [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1982, 46: 2621 - 2637.
- [7] Force E R. Influence of ocean anoxic events on manganese deposition and ophiolite-hosted sulfide preservation [J]. U. S. Geol. Surv., Circ., 1983, 822: 20 - 29.
- [8] Kuhnt W, et al. Oceanic Anoxic Conditions around the Cenomanian/Turonian Boundary and the Response of the Biota [A]. Degens E T, et al ed. Biogeochemistry of Black Shales [C]. 1986, 205 - 246.
- [9] Wilde P, et al. Maintenance of anoxic oceanic conditions by thalassocratic ridge circulation and coincidence of formation of pangaean with oceanic ventilation in Paleozoic. 28th IGC Abstracts (3). 1989, 358.
- [10] Coffin M F, Eldholm O. Large igneous provinces [J]. Scientific American. 1993, 269(4): 26 - 33.
- [11] Southam J R, et al. Dynamics of anoxia. palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, 1982, 40: 183 - 198.
- [12] Wright J. REE in fossil apatite record phanerozoic OAE. 28th IGC Abstracts (3). 1989, 383 - 384.
- [13] Goodfellow W D. Anoxic stratified oceans as a source of sulphur in sediment-hosted stratiform Zr-Pb deposits (Selwyn Basin, Yukon, Canada) [J]. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 1987, 65: 359 - 382.
- [14] Jenkyns H C, et al. Jurassic manganese carbonates of central Europe and the early Toarcian anoxic event [J]. J. Geol., 1991, 99(2): 137 - 149.
- [15] Fan Delian, et al. The anoxic environment and mineralization [A]. Advances in Geosciences (1) [C], Contributions to 28th IGC. Washington D. C., 1989. 164 - 174.
- [16] Compton J S, et al. Origin and age of phosphorite from the south central Florida Platform: Relation of phosphogenesis to sea-level fluctuations and $\delta^{13}\text{C}$ excursions [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1993, 57(1): 131 - 146.
- [17] Alvarez L W, et al. Extraterrestrial Cause for the Cretaceous—Tertiary Extinction [J]. Science. 1980, 208(4448): 1095 - 1108.
- [18] Ganapathy R. A Major meteorite impact on the earth 65 million years ago: Evidence from the Cretaceous—Tertiary boundary clay [J]. Science, 1980, 209(4459): 921 - 923.
- [19] Hsü K J. Terrestrial catastrophe caused by cometary impact at the end of Cretaceous [J]. Nature, 1980, 285: 201 - 203.
- [20] 许靖华, 等. 寒武纪生物爆发前的死劫难海洋 [J]. 地质科学, 1986, (1): 1 - 5.
- [21] 范德廉, 等. 扬子地台前寒武—寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用 [J]. 沉积学报, 1987, 5(3): 81 - 85.
- [22] 范德廉, 等. 缺氧环境与超大矿床的形成 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28(增刊): 57 - 62.
- [23] Cluff R M. Paleoenvironment of the new Albany Shale Group (Devonian-Mississippian) of Illinois [J]. J. Sed. Petrology, 1980, 50(30): 767 - 780.
- [24] Fan Delian, Liu Tiebing, Ye Jie. The process of formation of manganese carbonate deposits hosted in black shale series [J]. Econ. Geol., 1992, 87: 1430 - 1440.
- [25] 韩发, 赵汝松, 沈建忠, 等. 大厂锡—多金属矿床地质及成因 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 1 - 213.
- [26] 庄锦良. 锡矿山锡矿地质特征及成因探讨 [A]. 岩相古地理文集 [C], 4 辑. 1987, 1 - 12.
- [27] 谌锡霖, 等. 湖南锡矿山锡矿成因探讨 [J]. 地质论评, 1983, 29(5): 486 - 492.
- [28] Berner R A. Early diagenesis—A theoretical approach. Princeton University Press, Princeton N J, 1980. 241.
- [29] 刘建明, 等. 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用 [J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(4): 341 - 352.
- [30] 刘建明, 等. 我国与盆地流体有关的若干特殊矿床类型 [J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 47 - 50.
- [31] 李任伟. 生物与有机质成矿作用的生物标志物和同位素地质标志 [A]. 叶连俊, 等. 生物有机质成矿作用和成矿背景 [M]. 北京: 海洋出版社, 1998. 43 - 74.
- [32] 范德廉, 等. 黑色岩系型碳酸锰矿床形成过程中的微生物及生物化学作用 [A]. 叶连俊, 等. 生物成矿作用研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993. 84 - 97.
- [33] 涂光炽, 等. 中国层控矿床地球化学, 第二卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1 - 41.
- [34] 涂光炽, 等. 低温地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [35] 林清, 等. 黔西南金矿有机地球化学研究 [J]. 地球化学, 1995, 24(4): 402 - 408.

Characteristics and Mineralization of Ore Deposits Related to Black Shale Series

YE Jie , FAN De-lian

(*Institute of Geology and Geophysics , CAS , Beijing 100029 , China*)

Abstract: Black shale series is an association of dark colored chert , carbonate rock and mudrock (including tuffaceous rock) , rich in sulfides and organic matter. Black shale series usually represents an anoxic environment ; the ore-forming processes have genetic relations with anoxic environment through different ways. In south China , there are many ore deposits related to black shale series. On the base of geology-geochemical study of near 100 ore deposits of different scales , it is recognized that more than 25 useful elements are concentrated and formed economic deposits in black shale series. In south China , the large-superlarge ore deposits related to black shale series are distributed in 10 strata of geological age. Most of them are concentrated in strata of Lower Cambrian , Upper Devonian , Early and Late Sinian , and Proterozoic etc. From which the most important are Late Devonian and Lower Cambrian. During these time formed 5 superlarge deposits (from which Sn, Sb and barite are hosted in black shale series) and many medium—large deposits.

In a word , the most favorable conditions of the formation of superlarge ore deposits related to black shale series are : 1) development of anoxic environment , 2) coupling of ore formation process with environment background , 3) environmental change and environment event occurred during the turning period of geological history.

Key words : ore deposit in black shale serie ; ore formation ; basin fluid