

贵州天柱大河边铅锌矿床的发现及其意义

温汉捷^{1,2}, 周正兵^{1,2}, 刘 灵³, 秦朝建¹, 黄远成³, 文星桥³, 石庆鹏³,
徐东波⁴, 王文杰³

WEN Hanjie^{1,2}, ZHOU Zhengbing^{1,2}, LIU Ling³, QIN Chaojian¹, HUANG Yuancheng³,
WEN Xingqiao³, SHI Qingpeng³, XU Dongbo⁴, WANG Wenjie³

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 贵州省地矿局101地质大队, 贵州 凯里 556000;
4. 黔东南苗族侗族自治州国土资源局, 贵州 凯里 556000

1. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;*
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*
3. *No. 101 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Kaili 556000, Guizhou, China;*
4. *Bureau of Land and Resources, Kaili 556000, Guizhou, China*

摘要:大河边重晶石矿床是一个世界级的超大型重晶石矿床。最近在该区重晶石矿床下部的震旦系陡山沱组碳酸盐岩(白云岩)和碎屑岩中,新发现一套规模较大、层位产出稳定的铅锌矿化。铅锌矿体和重晶石矿床具有“上部为重晶矿,下部为铅锌硫化物矿床”的矿化特征。铅锌矿段矿石矿物主要为闪锌矿、黄铁矿及方铅矿,含少量白铁矿、黄铜矿及磁黄铁矿;脉石矿物主要为石英和重晶石,少量白云石、热液磷灰石、炭沥青及钡冰长石。成矿流体特征类似于形成沉积喷流型铅锌矿床的流体特征。铅锌矿化中的硫源自局限海盆内早寒武世海水经硫酸盐还原作用提供。此种类似于喷流沉积型铅锌矿床在南华裂谷盆地一带矿化层位稳定、分布范围较广泛,体现早寒武世时在裂谷盆地内存在一次大规模的热液事件。天柱大河边铅锌矿床的发现具有重要的资源意义及区内该种矿床的勘查意义。

关键词:大河边铅锌矿床;重晶石矿床;南华裂谷盆地;喷流沉积

中图分类号:P618.4 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2017)07-1288-06

Wen H J, Zhou Z B, Liu L, Qin C J, Huang Y C, Wen X Q, Shi Q P, Xu D B, Wang W J. The discovery of the Dahebian Pb-Zn deposit in Tianzhu area of Guizhou Province and its prospecting significance. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(7): 1288-1293

Abstract: The Dahebian barite deposit is a world-class superlarge barite deposit. Beneath this deposit, a new zinc-lead deposit was discovered. Sulfide ores are mainly discordant but stratabound in the Doushantuo Formation that consists of micrite dolomite and carbonaceous mudstone. This type of zinc-lead mineralization has a close spatial relationship with the stratiform barite mineralization. The sulfide ores primarily contain sphalerite, pyrite and galena, with minor amounts of marcasite, chalcopyrite and pyrrhotite. The gangue minerals primarily consist of quartz, barite and minor calcite, bitumen and hydrothermal apatite, and trace amounts of hyalophane. Ore-forming fluids in this deposit are similar to fluids in the sedimentary exhalative zinc-lead deposit. The sulfur in the Dahe-

收稿日期:2016-06-05;修订日期:2016-09-25

资助项目:国家科技部“973”计划项目《华南低温成矿作用》(编号:2014CB440904)和贵州省国土资源厅项目《天柱重晶石矿整装勘查整装勘查》(编号:GZ2-17)

作者简介:温汉捷(1971-),男,研究员,博士生导师,从事矿床地质地球化学研究。E-mail: wenhanjie@vip.gyig.ac.cn

bian zinc-lead deposit was derived from the Early Cambrian restricted seawater column through sulfate reduction processes. The stable occurrence of this type of sulfide and barite mineralization along the Nanhua rift basin suggests that giant hydrothermal fluid exhalative event occurred during the early Cambrian period in this basin. The discovery of the Dahebian zinc-lead deposit has an important prospecting significance in this area.

Key words: Dahebian zinc-lead deposit; barite deposit; Nanhua rift basin; exhalative sedimentation

贵州天柱大河边铅锌矿床是近年来通过国家科技部“973”项目“华南低温成矿作用”和贵州省“天柱重晶石矿整装勘查”项目的实施,在该区重晶石矿床下伏震旦系陡山沱组碳酸盐岩(白云岩)和碎屑岩中发现的一套规模较大、层位产出稳定的铅锌矿床,目前控制的铅锌资源储量已达中-大型规模。该矿床无论矿床地质特征(矿体产出形态、矿石结构构造、蚀变特征和矿物组合),还是成矿的物理化学条件、元素-同位素特征都明显区别于MVT型或扬子型铅锌矿床,而与喷流沉积型(SEDEX)铅锌矿床极其相似。本文通过对该矿床地质地球化学特征的研究,为认识矿床成因和在该区域勘查类似矿床提供重要信息。

1 矿床地质特征

天柱大河边铅锌矿床位于扬子陆块东南缘,湘黔桂陆缘断陷盆地内的天柱-新晃-玉屏次级沉积盆地内。矿体分布于贡溪(坪地)复式向斜北西翼,位于著名的天柱大河边重晶石矿床西侧^[1](图1)。矿床主要赋存于震旦系陡山沱组白云岩中,少数产于留茶坡组硅质岩和炭质页岩中。铅锌矿体距上部重晶石矿床的垂直高度为20~50m,具有上部为重晶矿、下部为铅锌硫化物矿床的分布规律。矿体分上、下2层铅锌矿化层(图2),呈层状、似层状、透镜状,并表现出严格受地层控制的特征。

I 矿化层:位于陡山沱组顶部白云岩及粉砂质粘土岩中,距留茶坡组0.2~19.1m,Zn品位为1.60%~2.06%,厚度为0.38~1.60m,矿体延伸不稳定,多呈透镜体状产出。

II 矿化层:位于陡山沱组下部白云岩中,多见于陡山沱组与南沱组界线附近的白云岩中;矿化层距南沱组0.0~5.2m,Pb品位为1.24%~1.36%、Zn品位为0.91%~10.15%,厚度为0.74~5.26m,矿体延伸稳定,呈层状、似层状体产出。

矿石结构构造主要为浸染状、环带状、韵律条带(层纹)状、细脉-网脉状、角砾状构造等(图3)。细粒浸染状和韵律条带(层纹)状构造为矿床的主

要结构构造类型,其中韵律条带(层纹)由白云石、硅质(石英)与黄铁矿、闪锌矿和方铅矿按不同比例互层构成。总体上,由下到上发育角砾状→脉状-网脉状→浸染状构造→环带状构造→条带-纹层状构造等构造组合序列,具典型的海底热水沉积矿石构造序列^[2]。围岩蚀变类型主要有硅化、白云石化、黄铁矿化、重晶石化、方解石化等,均与成矿关系密切。硅化、黄铁矿化是研究区最主要的矿化蚀变类型,石英沿岩石裂隙和孔隙分布,呈网脉状或团块状;黄铁矿呈细粒浸染状、条带状和层纹状分布,大多数闪锌矿与黄铁矿紧密共生,少部分闪锌矿沿石英脉边部呈环状分布,而方铅矿沿重晶石、白云石或方解石间隙分布。

矿石矿物组成较简单,主要的金属矿物为闪锌矿、黄铁矿和方铅矿,次为白铁矿、少量磁黄铁矿、黄铜矿等,脉石矿物主要为石英、重晶石、方解石、钡冰长石及少量石膏、热液磷灰石、炭沥青等。按照矿物生成序列可分为4个成矿阶段:①同生沉积成岩阶段:草莓球状黄铁矿分散在含炭泥页岩中,白云岩中见少量重结晶的方解石;②成矿早阶段:团块状、粗晶黄铁矿居多,棕黄色闪锌矿在该阶段开始沉淀,伴有大量石英;③成矿主阶段:主要矿物组合为细晶黄铁矿、白铁矿、细晶(米黄色)闪锌矿及少量方铅矿,与细晶硫化物共生的主要为方解石、石英和钡冰长石,少量的磷灰石和炭沥青。其中钡冰长石是热水沉积成因矿床的指示矿物,天然的钡冰长石多产于浅成中低温热水(热泉)型矿床和喷气-沉积型块状硫化物矿床中^[3];④成矿晚阶段:方铅矿和黄铜矿充填在黄铁矿、闪锌矿颗粒之间,伴有大量重晶石、方解石、白云石和炭沥青沉淀。

2 地球化学特征

2.1 流体包裹体特征

通过对该矿床流体包裹体的初步研究,成矿早阶段的石英流体包裹体均一温度变化范围为165~353℃,平均值为255.8℃;盐度2.6%~11.2% NaCleqv.,平均值为5.4% NaCleqv.(表1)。闪锌矿的

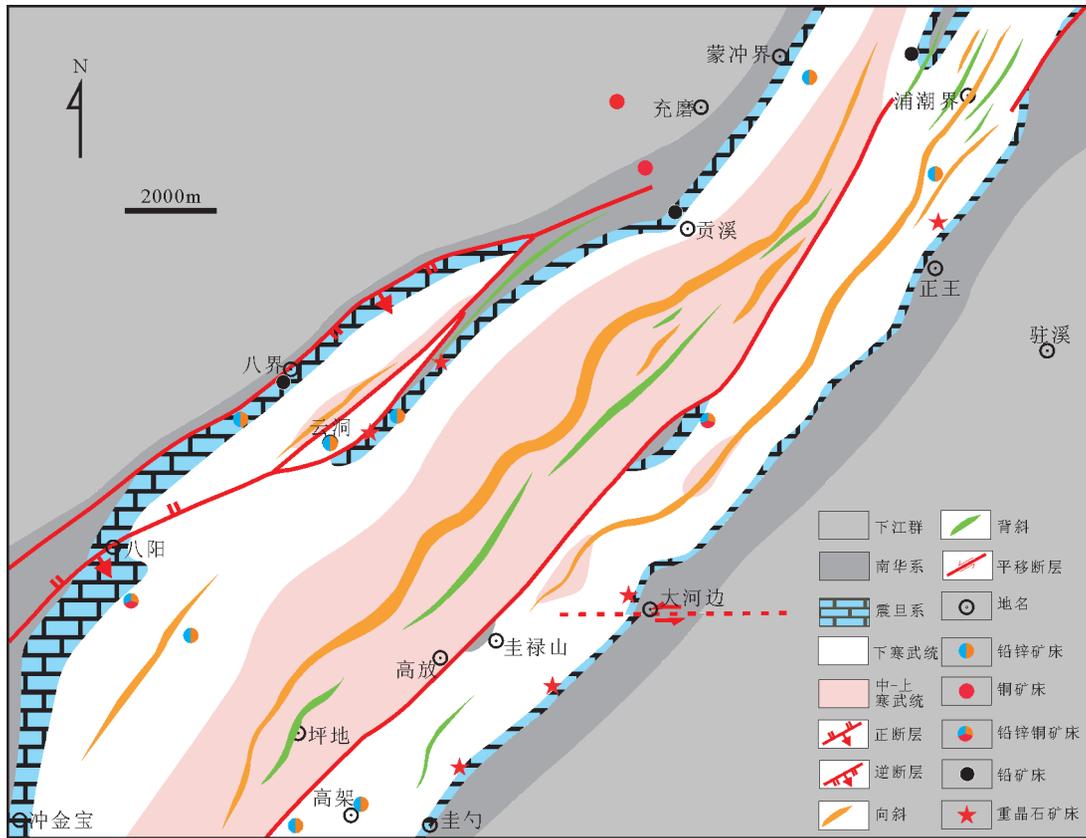


图1 大河边铅锌矿床矿区地质简图

Fig. 1 Geological map of the Dahebian zinc-lead deposit

流体包裹体可分为低温高盐度和中低温低盐度2类流体,前者均一温度在188~255℃之间,盐度在2.06%~4.63% NaCleqv.之间;后者均一温度在142~168℃之间,盐度在21.0%~25.62% NaCleqv.之间(图4)。重晶石的流体包裹体均一温度在142~198℃之间,平均值为170℃,盐度变化范围为2.6%~15.4% NaCleqv.(图4)。因此,成矿流体初始可能为中高温低盐度成矿热液,当运移到陡山沱组白云岩中的裂隙后,由于压力、温度等降低,发生流体沸腾,使闪锌矿在2种不同的温度-盐度条件下发生沉淀。这

种流体性质及演化显然不同于MVT型铅锌矿床(其成矿流体多为低温高盐度性质)^[4],而与典型的SEDEX矿床相似,如现代对洋底黑烟囱及洋底热液温度测试反映其温度为240~334℃,最高可达350℃^[5]。

表1 大河边铅锌矿床流体包裹体测温数据

Table 1 Fluid inclusion data of the Dahebian zinc-lead deposit

矿物	测试数量	冰点/℃	均一温度/℃	盐度/% NaCleqv.
闪锌矿	21	-1.2~-24.4 (-9.9)	142~255 (190)	2.1~25.6 (11.6)
石英	21	-7.6~-1.5 (-3.4)	165~353 (256)	2.6~11.2 (5.4)
重晶石	24	-1.5~-11.4 (-5.8)	142~198 (170)	2.6~15.4 (8.6)

注:数据表中,括号内为平均值,其前面为相应数据的范围

表2 大河边铅锌矿床及重晶石矿床的硫同位素特征

Table 2 Sulfur isotope composition of the Dahebian zinc-lead deposit and the barite deposit

样品号	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}/\text{‰}$	样品号	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}/\text{‰}$
GS-2	重晶石	39.4	H103	闪锌矿	21.6
GS-3	重晶石	39.0	H111	细晶黄铁矿	19.4
DHB-1	重晶石	42.4	H117	黄铁矿	20.8
H2	重晶石	32.3	H117	闪锌矿	17.9
H10	重晶石	48.3	H121	黄铁矿	25.3
H37	黄铁矿	30.0	H121	闪锌矿	19.2
H48	黄铁矿	17.5	H127	黄铁矿	25.4
H75	重晶石	57.4	H127	棕色闪锌矿	14.3
H75-1	黄铁矿	22.4	02-1	米黄色闪锌矿	21.1
H83	细晶黄铁矿	19.1	02-1	重晶石	29.5
H83-1	粗晶黄铁矿	19.2	H87-1	粗晶黄铁矿	20.2
H97	细晶黄铁矿	21.2			

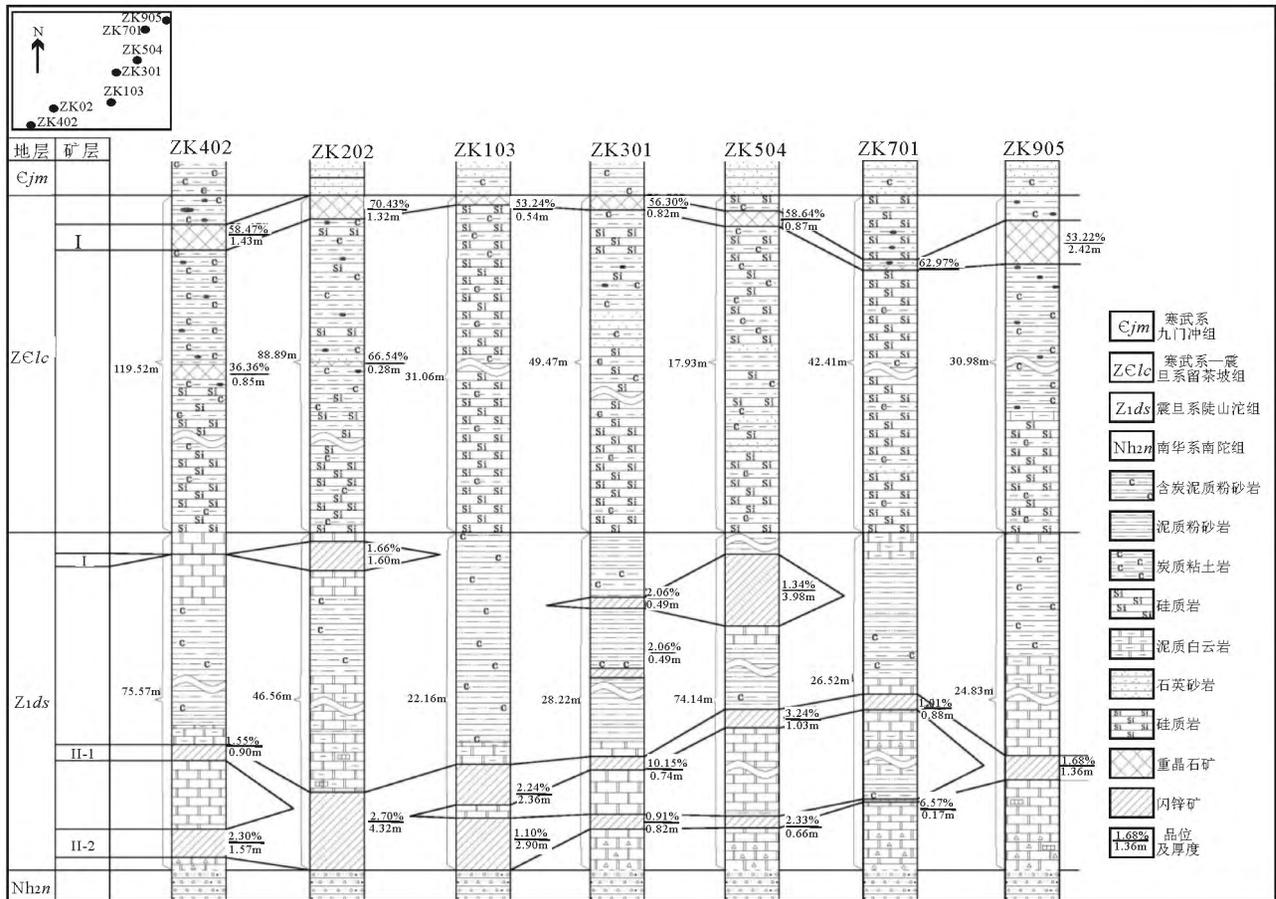


图2 天柱大河边铅锌矿层(体)-重晶石矿走向对比

Fig. 2 Contrast of strike between Pb-Zn ore layer and barite ore in the Dahebian Pb-Zn deposit of Tianzhu area

2.2 硫同位素特征

硫化物的硫同位素分布呈塔式分布, $\delta^{34}\text{S}$ 集中在 19‰~21‰ 之间, 反映单一硫来源(表 2; 图 5)。铅锌矿床中和留茶坡组上部的重晶石硫同位素组成为 32.3‰~57.4‰, 中值在 40‰ 左右^[6-7]。如果按照早寒武世时海水硫同位素为 25‰~31‰^[8], 硫化物和重晶石的硫同位素组成很可能是以硫酸盐的还原作用导致相对海水硫酸盐造成硫同位素分馏。硫酸盐被还原为 H_2S , 并与 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 等结合沉淀出闪锌矿、黄铁矿等硫化物, 轻硫同位素优先富集在硫化物中, 导致残余的成矿热液富集重硫同位素, 含重硫同位素的硫酸盐的成矿流体继续沿断裂上升, 喷出海底, 与 Ba^{2+} 结合沉淀出重晶石。天柱-新晃-玉屏沉积盆地在早寒武世为局限盆地, 在当时分层海洋的控制下, 盆内易形成缺

氧、富硫环境, 属于形成 SEDEX 型铅锌矿床的极佳环境^[9-10]。

3 矿床成因及区域铅锌成矿潜力分析

从以上分析可以看出, 天柱大河边铅锌矿床在矿体形态、矿石结构构造、围岩蚀变、矿物组合及成矿流体性质上与典型 SEDEX 型铅锌矿床相似。从构造背景分析, 晚震旦世-早寒武世, 该区地处扬子板块与南华活动带的过渡区域, 沉积相为台地碳酸盐相向深水斜坡相过渡区域, 构造背景为被动大陆边缘。天柱-张家界一带同生沉积断裂发育, 为热液活动提供了良好的运移通道。区域上超大型重晶石矿床(如大河边、新晃)已被证明是沉积喷流型成因^[11]。天柱大河边铅锌矿床很可能是与重晶石矿床同期的热液活动在陡山沱组白云岩中形成的铅锌

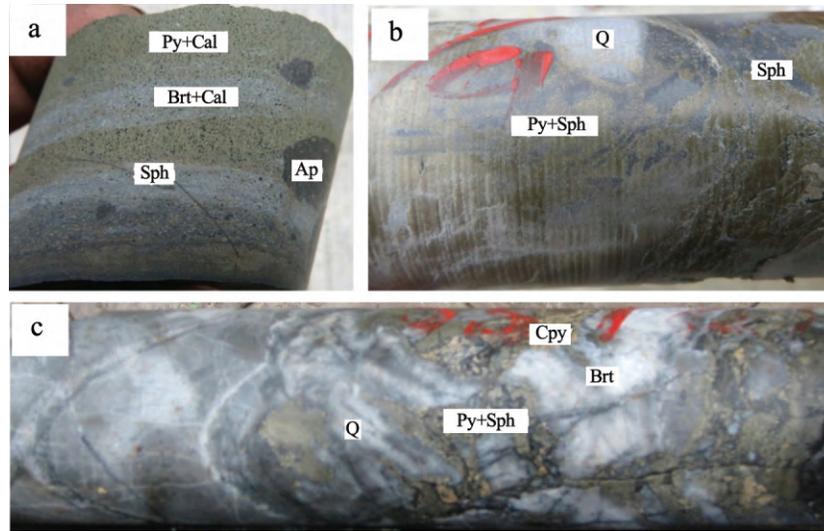


图3 天柱大河边铅锌矿床主要矿石结构构造

Fig. 3 Main ore structure in the Dahebian Pb-Zn deposit of Tianzhu area
a—韵律条带(层纹)状矿石;b—稠密细粒浸染状矿石;c—细脉-网状状矿石。Py—黄铁矿;
Sph—闪锌矿;Cpy—黄铜矿;Cal—方解石;Q—石英;Brt—重晶石;Ap—磷灰石

矿化,是同一成矿流体在不同空间部位就位成矿的结果,形成上部为重晶石矿、下部为铅锌硫化物矿床的分布规律,这与世界上典型的超大型SEDEX铅锌矿床,如美国Reddog、Anarraaq等矿床表现出相似的矿化分布形式^[12]。

事实上,在扬子板块东南缘下震旦统陡山沱组中已发现类似的铅锌矿床,如湖北神农架地区的冰洞山铅锌矿床,湖南西部沅陵一带的董家河、低炉铅锌矿床,广西北部的老堡铅锌矿^[13-15]。关于这些矿床的成因,有学者将其归入后生浅成低温热液矿

床^[13-14],属MVT矿床。近期,曹亮等^[16]将其归入扬子型铅锌矿床,定义为“产于扬子地台周缘震旦系—奥陶系海相碳酸盐岩中受岩性控制且受断裂控矿明显的以层状、似层状为主,成矿温度相差较大,成矿流体盐度高,成矿流体为热卤水的沉积岩型铅锌矿床”,其中陡山沱组是重要的含矿层位。然而,从天柱大河边铅锌矿床的构造背景和地质地球化学

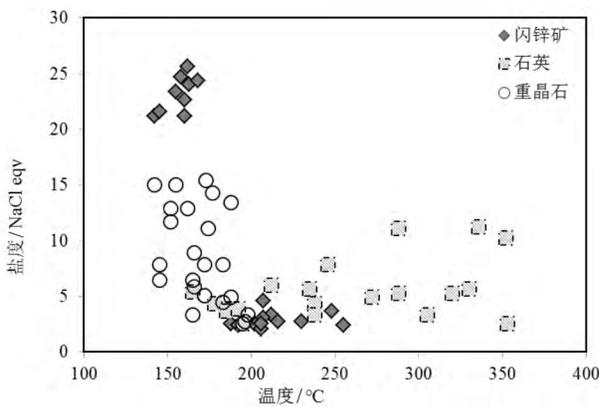


图4 天柱大河边铅锌矿床流体包裹体均一温度-盐度图解
Fig. 4 Plot of homogenization temperature (T_h) versus salinity in the Dahebian Pb-Zn deposit of Tianzhu area

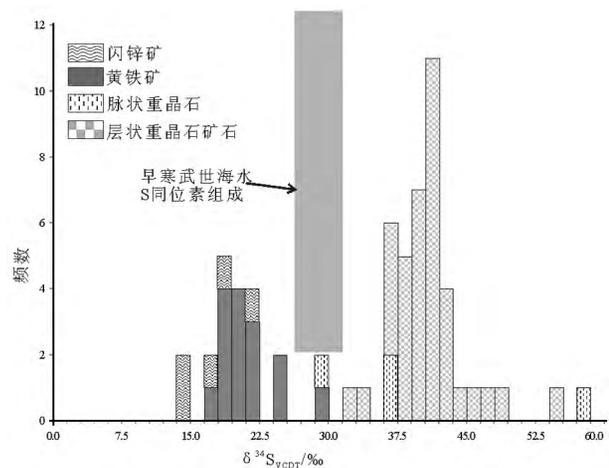


图5 天柱大河边铅锌矿床及上覆重晶石矿床硫同位素组成 (层状重晶石矿石部分数据参考文献[6-7];早寒武世海水硫同位素组成据参考文献[8])
Fig. 5 Sulfur isotope composition of sulfides and barite from the Dahebian zinc-lead deposit and the Dahebian barite deposit

特征看,其与MVT型或扬子型铅锌矿床均有较大的区别,而与典型的SEDEX型铅锌矿床类似。这种相似性在南华裂谷盆地一带分布范围较广泛,表明早寒武世裂谷盆地内存在一次大规模的热液事件。因此,天柱大河边铅锌矿床的发现不仅具有重要的资源意义,而且为区域内类似铅锌矿床的成因认识提供了新的思路,对区域内寻找类似矿床提供了重要方向。

4 结 论

(1)大河边铅锌矿床的矿化与上覆层状重晶石矿化在空间上具有紧密联系。铅锌矿化对应的成矿流体温度与SEDEX型铅锌矿床的成矿流体性质类似,并且铅锌矿床中的重晶石与重晶石矿床中重晶石矿物的硫同位素组成一致、铅锌矿床及重晶石矿床中的硫化物的硫同位素组成几乎相同,二者中的重晶石及硫化物的硫同位素相对早寒武世海水的分馏特征指示,其硫源由早寒武世海水中硫酸盐经还原作用提供,体现铅锌矿化为与重晶石矿化同期的沉积喷流作用。

(2)结合晚震旦世—早寒武世南华裂谷盆地活动,沿裂谷边缘同沉积断裂一带热液活动频发的地质背景,早寒武世南华裂谷盆地内存在一次大规模的铅—锌—钡热液喷流事件。天柱大河边铅锌矿床的发现具有重要的资源意义,同时为区域内类似铅锌矿床的成因认识及勘探提供了新的思路及方向。

致谢:审稿专家对文章提出了建设性的意见,在此表示诚挚的谢意。

参考文献

- [1]贵州省地矿局. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1987: 554-608.
- [2]Sangster D F, Hillary E M. Sedex lead-zinc deposits; proposed subtypes and their characteristics[J]. *Exploration and Mining Geology*, 1998, 7(4): 341-357.

- [3]韩善楚, 胡凯, 曹剑. 华南早寒武世黑色岩系重晶石矿床环带钼冰长石新发现及其意义[J]. *地质论评*, 2013, 59(6): 1143-1149.
- [4]Leach D, Sangster D, Kelley K, et al. Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective[J]. *Economic Geology*, 2005, 100: 561-607.
- [5]Tivey M K. The influence of hydrothermal fluid composition and advection rates on black smoker chimney mineralogy: Insights from modeling transport and reaction[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(10): 1933-1949.
- [6]吴卫芳, 潘家永, 夏菲, 等. 贵州天柱大河边重晶石矿床S同位素研究[J]. *东华理工大学学报:自然科学版*, 2009, 32(3): 205-208.
- [7]侯东壮, 吴湘滨, 李贞, 等. 贵州省天柱大河边重晶石矿床成矿物质来源[J]. *中国有色金属学报*, 2015, 25(4): 1039-1048.
- [8]Shields G A, Strauss H, Howe S S, et al. Sulphur isotope compositions of sedimentary phosphorites from the basal Cambrian of China: implications for Neoproterozoic-Cambrian biogeochemical cycling[J]. *Journal of the Geological Society*, 1999, 156(5): 943-955.
- [9]Goodfellow W D, Jonasson I R. Ocean stagnation and ventilation defined by $\delta^{34}\text{S}$ secular trends in pyrite and barite, Selwyn Basin, Yukon[J]. *Geology*, 1984, 12(10): 583-586.
- [10]Turner R J W. Formation of phanerozoic stratiform sediment-hosted zinc-lead deposits: evidence for the critical role of ocean anoxia[J]. *Chemical Geology*, 1992, 99(92): 165-188.
- [11]杨瑞东, 魏怀瑞, 鲍森, 等. 贵州天柱上公塘—大河边寒武纪重晶石矿床海底热水喷流沉积结构构造特征[J]. *地质论评*, 2007, 53(5): 675-680.
- [12]Kelley K D, Jennings S. A special issue devoted to barite and Zn-Pb-Ag deposits in the Red Dog district, Western Brooks Range, Northern Alaska[J]. *Economic Geology*, 2004, 99(7): 1267-1280.
- [13]段其发. 湘西—鄂西地区震旦系—寒武系层控铅锌矿床成矿规律[D]. 中国地质大学(武汉)博士学位论文, 2014: 36-75.
- [14]向华, 罗长江. 湘西辰溪—沅陵黄铁矿、铅锌矿集中区成矿地质特征、控矿因素及找矿标志[J]. *华南地质与矿产*, 2013, 29(1): 28-36.
- [15]梁金城, 刘之葵, 李晓峰, 等. 桂北老堡铅锌矿床的成因研究[J]. *桂林工学院学报*, 2009, 29(2): 161-168.
- [16]曹亮, 段其发, 彭三国, 等. 扬子型铅锌矿的成矿特征及找矿进展[J]. *华南地质与矿产*, 2013, 29(4): 308-317.