

# 西成矿化集中区矿床有机地球化学特征

孙省利<sup>1)</sup> 陈践发<sup>1)</sup> 唐南安<sup>2)</sup>

(1)中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室,甘肃 兰州,730000;

2)中国地质调查局西安地质矿产研究所,陕西 西安,710054)

**摘 要** 通过对西成矿化集中区泥盆系海底热水沉积型和热水沉积-改造型矿床中的有机地球化学特征研究,认为赋存在海相富有机质沉积层段中的两类矿床,其中的有机质富集作用与泥盆纪海底热水流体活动有关,且热流体活动导致菌藻类微生物繁盛,是沉积物中有机质富集的主导原因。

**关键词** 西成矿化集中区 有机地球化学 海底热水流体活动

## Geochemical Characteristics of Mineral Deposits in Xicheng Metallogenic Province, Gansu

SUN Xingli<sup>1)</sup> CHEN Jianfa<sup>1)</sup> TANG Nanan<sup>2)</sup>

(1)State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, CAS, Lanzhou, Gansu, 730000;

2)Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi, 710054)

**Abstract** There are submarine hydrothermal sedimentary type and hydrothermal sedimentary-reformed type ore deposits in Xicheng metallogenic province, Gansu. Two types of deposits are hosted in Devonian organic sedimentary strata. Geological and organic geochemical studies indicate that the formation of organism-rich sedimentary strata is intimately associated with hydrothermal venting at sea-floor, and precursors of organic matter are mainly marine bacteria and algae. Hydrothermal venting at sea-floor can provide nutrients and energy for microorganism and result in microbe blooming, which is a dominating factor for the formation of organism-rich sedimentary strata.

**Key words** Xicheng organic geochemistry hydrothermal venting at sea-floor

中国层控矿床储矿层在时代上出现的几个高峰,均对应于几套富碳质地层(涂光炽等,1988)。在世界范围内,海底热水沉积型矿床或与海底热水沉积作用有关的矿床几乎都赋存于富含有机质的沉积层段之中(孙海田等,1990;祁思敬等,1993;解启来等,1999;Glikson等,2000)为什么这些沉积层段中的有机质含量较高?这是一个在矿床学、地球化学和古生物学研究方面值得深思的问题。

## 1 地质概况

甘肃省西成矿化集中区在泥盆纪处于扬子板块北缘的裂陷槽之中,属于高热流区。矿田内出露地

层主要为泥盆系碎屑岩和碳酸盐岩,属于浅海相沉积,此外尚有中、新生界地层零星分布。依据矿田内矿床产出的地质特征及地球化学特征,矿床可分为厂坝-李家沟式热水沉积型和毕家山-邓家山式热水沉积-改造型两类(孙省利等,1992;王集磊等,1996)。热水沉积型矿床主要分布在矿化集中区的北成矿带,即沿黄渚关深大断裂带分布,而热水沉积-改造型矿床则分布在矿化集中区的南成矿带,沿江洛-人土山断裂带分布。西成矿化集中区主要分布在近EW向断裂带——黄渚关深大断裂带和江洛-人土山断裂带与NE向断裂带的交汇部位。

在矿化集中区内热水沉积型矿床主要产在泥盆

系中统安家岔组中,赋矿岩性为浅变质的细碎屑岩夹碳酸盐岩,热水沉积改造型矿床集中产在西汉水组的中上部地层中,且位于生物碎屑灰岩、碳质泥灰岩向碳质千枚岩的过渡部位。两类矿床与热水沉积岩紧密伴生,产出层位稳定,在剖面上,呈层状或透镜状与围岩整合产出并同步褶曲,改造期形成的矿体有穿层现象。

## 2 有机质与矿床的关系

通过对该矿田铅(银)矿床厂坝式矿床和毕家山式矿床的赋矿地层、不同类型矿石及围岩中的有机碳含量分析结果表明:

(1)厂坝式矿床矿石及围岩的有机碳介于0.12%~0.85%,所有热水沉积岩及具有条带条纹状构造的矿石中有机碳普遍较高,如白云岩有机碳最高可达0.2%,碳硅质角砾有机碳最高可达1.05%,条带条纹状矿石有机碳达0.54%等;毕家山式矿床矿石及围岩中的有机碳介于0.46%~2.74%,以矿化硅质岩角砾中最高,可达3.75%,次为热水沉积作用形成的碳硅泥岩层。

(2)从空间上观察,距离矿体越近,岩层中的有机碳愈高,尤其是在接近矿体上下盘时,有机碳遽然增高,而在矿体内部,除了具明显热水沉积特征的矿体外,后期块状或脉状矿体的有机碳则明显降低。远离矿区的同时代地层中有机碳一般小于0.1%,即使在碳质灰岩或碳质千枚岩中,有机碳也并不高。

对厂坝式和毕家山式矿床的矿石、含矿硅质岩及围岩光薄片中的有机质的观察研究,发现有机质主要有以下几种赋存状态:①呈粉尘状较均匀地分布在近矿灰岩、黑色硅质岩及矿化硅质岩角砾中;②呈黑色粉尘条带富集于千枚岩及含矿灰岩中;③呈薄膜状分布在容矿硅质岩的石英颗粒之间及硅质岩角砾与灰岩角砾间;④呈包裹体存在于石英、方解石及白云石中。

## 3 有机地球化学特征

将毕家山式矿床矿石和围岩标本碎至粒径为0.18~0.154 mm,用氯仿溶解,能溶于氯仿的有机质称之为氯仿沥青“A”。对氯仿沥青“A”进行气相色谱和色质谱连机分析,检出的有机物有正构烷烃、类异戊二烯烃、萜烷类、藿烷类、甾烷类和芳香烃类等。据有机物的色谱和色质谱分析结果,烷烃及芳香烃的特征如下:

(1)正构烷烃的碳数分布在 $nC_{14}$ - $nC_{35}$ 之间(图1),矿石碳数主要集中在 $nC_{15}$ - $nC_{23}$ 之间,呈微弱的双峰分布。高碳数部分峰态不明显,主峰碳数为 $nC_{29}$ 或 $nC_{27}$ ,具奇偶碳数优势。低碳数部分峰态明显,主峰碳数为 $nC_{18}$ 或 $nC_{17}$ ,奇偶优势明显。围岩中碳数主要集中在 $nC_{13}$ - $nC_{30}$ ,呈双峰分布。

(2)类异戊二烯烃,主要有植烷(Ph)、姥鲛烷(Pr)、降姥鲛烷、异十烷等组成。样品Ph/Pr=0.46~0.84, $nC_{17}$ /Pr=1.2~2.46, $nC_{18}$ /Ph=0.8~1.47,具有明显的植烷优势,说明有机质形成

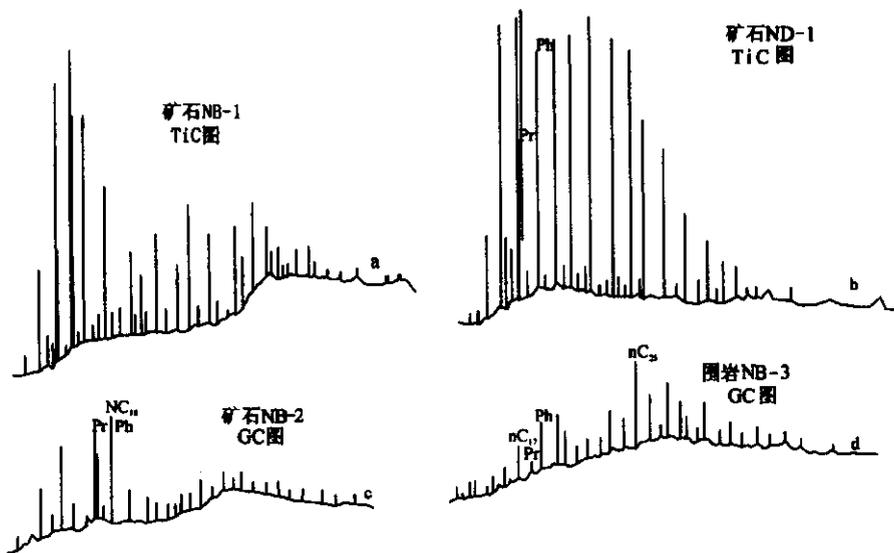


图1 毕家山式矿床矿石和围岩的烷烃总离子图和气相色谱图

Fig. 1 Total-ion and gas chromatogram paraffin hydrocarbon from the ores and wall rocks  
万方数据  
of Bijiaoshan-Dengjiashan type deposits

于还原环境(Didyk等,1978)。

(3)在M/123质量色谱图(图2-a)上,矿石抽提物烷烃馏分中有三环萜烷和五环萜烷(藿烷),其中五环萜烷丰度较高。三环萜烷有C<sub>19</sub>-C<sub>29</sub>(M/Z191),同时亦有三萜烯和二环倍半萜存在。五环三萜烷(M/Z191)以17α(H)21β(H)藿烷为主和少量17β(H)21α(H)莫烷形式存在,无ββ构型萜烷,以αβ-C<sub>30</sub>为基峰,且C<sub>30</sub>>C<sub>29</sub>>C<sub>31</sub>>C<sub>27</sub>>C<sub>32</sub>>C<sub>33</sub>>C<sub>34</sub>。C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>-C<sub>30</sub>-8,14-断藿烷中(M/Z123),C<sub>30</sub>-8,14-断藿烷占优势。这三种8,14-断藿烷的检出,表明它们曾经历了较高的热力作用。C<sub>29</sub>-C<sub>31</sub>D环芳构化8,14-断藿烷(M/Z365)系列化合物中,C<sub>29</sub>>C<sub>30</sub>>C<sub>37</sub>。在中国原油和煤中均有D环芳构化8,14-断藿烷,其在接近生油门限时才开始出现,达到高值较晚,减小速度缓慢,是在热力增大的条件下,有藿烷类先体经芳构化和开环而形成(卢松年等,1988)。

(4)甾烷以重排甾烷(图2-b)为主,其次是规则甾烷C<sub>17</sub>-C<sub>31</sub>、孕甾烷C<sub>21</sub>-C<sub>23</sub>和αββ异胆甾烷,此外尚有少量4-甲甾烷和三芳甾烷C<sub>27</sub>-C<sub>29</sub>。在重排甾烷中C<sub>29</sub>ββR/ααR=1.1~3.1,C<sub>27</sub>dia=2.4%~

3.1%。另外,两个降藿烷(T<sub>m</sub>,T<sub>s</sub>)的质量比接近1.0,反应了矿石中有机质成熟度很高,接近平衡终点值。

(5)芳香烃类有:苯、连苯、萘、菲、芘、芴和噻吩等系列化合物(图3)及苯并芘、苯并萤蒽、苯并蒽、卡达西等单体多环芳香烃化合物。在芳香烃类中,苯并硫物占明显的优势,同时二苯并噻吩系列亦有很高的丰度。萘的成熟度指标MNP为0.94,甲基菲指数MPI为0.28。芳香族在氯仿沥青“A”中约占13.5%~15.3%,饱和烃/芳香烃=2.4~3.1。芳香烃中多核芳烃化合物含量高,说明有机物曾经历过高温、高压热水流体的蚀变作用,这与现代海底热液石油的组成有相似之处(Simoneit等,1990;Yamanaka等,2000)。

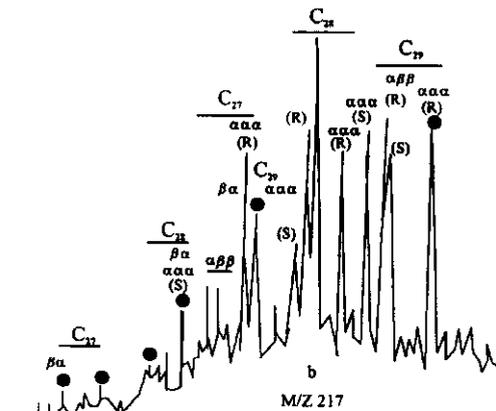
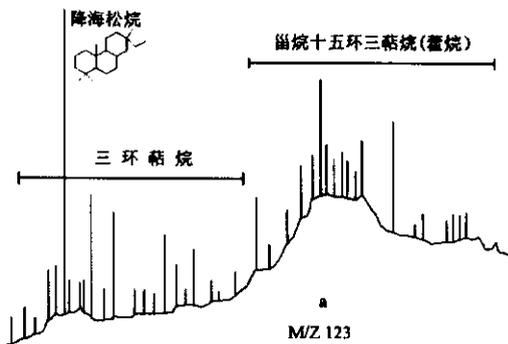


图2 毕家山式矿床矿石烷烃馏分的质量色谱图  
Fig.2 Mass chromatogram of paraffin hydrocarbon from Bijiashan-Dengjiashan type deposits

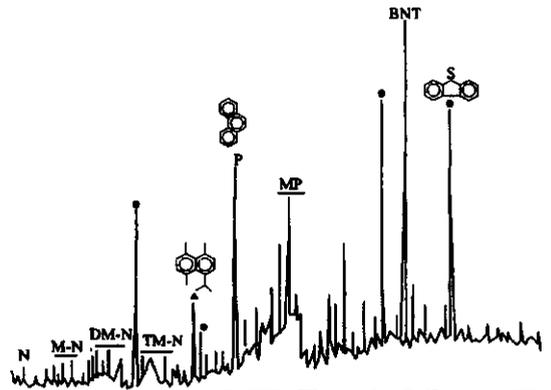


图3 毕家山式矿床矿石中芳香烃馏分的总离子图  
Fig.3 Total-ion diagram of aromatic hydrocarbon fraction of the matters extracted from ores

### 4 讨论与结论

从矿床中纹层状矿石和热水沉积岩有机质的高含量来看,生物活动的繁盛与海底热水流体的活动有直接的关系;另外,从地质剖面上看,海相富含有机质的容矿沉积层呈透镜状,以离开矿区沉积层中的有机质含量迅速降低,达到正常沉积区的低含量,这也暗示着在容矿层中有机质的富集作用与海底热水流体作用有关;从沉积环境来看,两类矿床均产在浅海相沉积环境中,按照目前人们对海相沉积岩中有机质的富集规律来判断,在这种环境下,是难以形成的。以上地质特征证明,赋矿沉积层中有机质的富集与海底热水流体活动有着直接的关系,热流体活动导致海底大地热流值增高,引起微生物的大量繁殖(Jannasch等,1985;Haymon等,1993),同时,热水流体带来的大量还原性气体会导致海底底层水

体缺氧,有利于生物死亡后遗体快速堆积埋藏形成丰富的干酪根,否则,要在浅海盆地相沉积环境的沉积物和矿床中要形成如此高含量的有机质是难以想象的。

有机地球化学特征表明,热水沉积作用形成的矿石和热水沉积岩中的有机质主要来源于藻类和细菌类微生物,与干酪根为腐泥型分析结果相吻合。在芳香烃类化合物中含硫的化合物含量相对较高,说明这些与海底热水活动有关的微生物是以热水流体中的  $H_2S$ 、P、K 和 N 等为营养物质的厌氧生物,吸收 S 进入微生物有机体(Pichler 等,1996)。现代海底热水流体活动调查结果表明,海底热水体系中微生物藻类和细菌是主要的生物种类(Rona 等,1983;Jones 等,1997),这与地质历史中的热水沉积物和热水沉积矿床中的生物研究结果相吻合(Walsh 等,1985;Walter 等,1996)。对红海海底 28 000 a 来热水沉积物中的微量元素和有机质分析表明,除了 Cu、Pb、Zn 等成矿元素富集外,有机碳含量普遍较高,分布范围为 0.85%~7.76%,且绝大多数样品的 TOC 分布在 1~2 之间(Shanks 等,1980),这也进一步说明海底热水流体活动不但能形成金属或非金属矿床,而且还能导致沉积层中有机质含量增高,形成海相烃源岩。

从以上分析推断,在泥盆纪西成矿化集中区中的海底热水流体活动,是导致金属硫化物富集和海底嗜热微生物繁盛,形成赋存有热水沉积矿床的富有机质沉积层段的主要原因。

## 参 考 文 献

卢松年,李伟民,向伟. 1988. D 环芳构化 8,14 断藿烷的形成、演化及其地球化学意义. 沉积学报, (3): 41~49.

祁思敬,李英等. 1993. 秦岭泥盆系铅锌成矿带. 北京: 地质出版社.

孙省利,王国安,袁明坤. 1992. 西成铅锌矿田铅硫同位素特征及成矿物质来源的研究. 甘肃地质学报, 1(2): 51~65.

孙海田,葛朝华. 1990. 中条山式热液喷气成因铜矿床. 北京: 北京科学技术出版社.

涂光炽等. 1988. 中国层控矿床地球化学(III 卷). 北京: 科技出版社.

王集磊,何伯耀,李健中,何典仁. 1996. 中国秦岭型铅锌矿床. 北京:

地质出版社.

解启来,陈多福,陈先沛. 1999. 贵州松桃锰矿沉积有机特征研究. 沉积学报, 17(2): 280~283.

Didyk B N, Simoneit B R T, Brassell S C, Eglinton G. 1978. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental condition of sedimentation. *Nature*, 272(5650): 429~222.

Haymon R M, Fornari D J, Von Damm K L et al. 1993. Volcanic eruption of the mid-ocean ridge along the East Pacific Rise crest at 9°45'~9°52'N: Direct submersible observations of seafloor phenomena associated with an eruption event in April, 1991. *Earth Planetary Science Letter*, 119: 85~101.

Glikson M, Mastalerz M, Golding S D, McConachie B A. 2000. Metallogenesis and hydrocarbon generation in northern Mount Isa Basin, Australia: Implications for ore grade mineralization. In: *Organic matter and mineralisation* (Glikson, M. and Mastalerz, M. eds.), Kluwer Academic Publishers, 149~184.

Jannasch H W, Mottl M J. 1985. Geomicrobiology of deep-sea hydrothermal vents. *Science*, 229: 717~725.

Jones B, Renaut R W. 1997. Formation of silica oncoids around geysers and hot spring at El Tatio, northern Chile. *Sedimentology*, 44(2): 287~304.

Jones B, Rosen M R, Renaut R W. 1997. Silica-cemented beachrock from Frost Lake Taupo, North Island, New Zealand. *Journal of sedimentary Research*, 67(3): 805~814.

Pichler T, Dix G R. 1996. Hydrothermal venting within a coal reef ecosystem, Ambitle Island, Papua New Guinea. *Geology*, 20: 435~438.

Rona P A et al. 1983. Hydrothermal processes at seafloor spreading centers. New York: Plenum Press.

Simoneit B R T, Brault M, Saliot A. 1990. Hydrocarbons associated with hydrothermal minerals, vent waters and talus on the east Pacific rise and Mid-Atlantic ridge. *Appl. Geochem.*, 5: 115~124.

Shanks W C III, Bischoff J L. 1980. Geochemistry, sulfur isotope composition, and accumulation rates of Red Sea geothermal deposits. *Economic Geology*, 75: 445~459.

Walsh M M, Lowe D R. 1985. Filamentous microfossils from the 3,500-Myr-old Onverwacht Group, Barberton Mountain Land, South Africa. *Nature*, 314: 530~532.

Walter M R, Desmarais D, Farmer J D, Hinman NW. 1996. Lithofacies and biofacies of mid-paleozoic thermal springs in the Drummond Basin, Queensland, Australia. *Palaios*, 11: 497~518.

Yamanaka T, Ishibashi J, Hashimoto J. 2000. Organic geochemistry of hydrothermal petroleum generated in the submarine Wakamiko caldera southern Kyushu, Japan. *Organic Geochemistry*, 31: 1117~1132.