

从西南硫矿带内黄铁矿生物组构 论微生物成矿作用

夏学惠

(化工部地质研究所)

提要 西南硫矿带黄铁矿床主要产于二叠系龙潭组底部,硫铁矿的形成与峨眉山玄武岩喷发活动有一定关系。本文主要研究了区内生物结构黄铁矿的成因,认为生物组构莓状黄铁矿成因与生物菌群及微生物富集作用有关。研究表明,该区内的黄铁矿成矿作用主要由玄武岩海解而析出铁质与细菌还原硫酸盐及分解有机硫所产生的 H_2S 作用,形成黄铁矿。生物一方面直接参与了成矿,另一方面又间接参与了成矿作用。

关键词 黄铁矿生物组构 莓群黄铁矿 生物成矿作用

作者简介 夏学惠 男 37 岁 工程师 岩石矿物学

云、贵、川交界地区,二叠系煤系底部沉积硫铁矿床分布广泛,拥有巨大的硫矿潜在资源,按硫矿床分布规律划分属西南硫矿带(图 1)。

西南硫矿带硫铁矿床主要产出在二叠系龙潭煤系底部与茅口灰岩侵蚀面上,矿床层位较稳定,呈层状、似层状,规模较大。矿床一般形成上下两层,上部矿层碳质含量较高,匀称“黑矿”;下部矿层脉石矿物以灰白色粘土岩为主,习称“白矿”。硫铁矿的形成与峨眉山玄武岩喷发活动有一定联系,在平面上由西而东呈带状展布(图 1)。形成了沉积火山碎屑岩型硫铁矿床—火山碎屑沉积型硫铁矿床—沉积粘土岩型硫铁矿床^①。在四川叙永、大树,贵州遵义等沉积粘土岩型硫铁矿床内,发现一些生物组构黄铁矿与莓群状黄铁矿。笔者对这些生物组构黄铁矿进行了研究,并从生物组构黄铁矿与莓黄铁矿特征,探讨生物成矿作用及其地质意义。

1 黄铁矿生物组构与莓群特征

西南硫矿带内沉积粘土岩型硫铁矿床的矿物组分主要有黄铁矿、高岭石、水铝石、石英,少量有机质(炭质)、植物化石,微量白铁矿、锐钛矿等。矿床中的矿石矿物主要有星散状立方体黄铁矿、放射菊花状黄铁矿、环带状黄铁矿、莓群状黄铁矿、生物组构黄铁矿等。根据生物组构黄铁矿的不同特征,可把本区生物组构黄铁矿划分为以下几类:

1.1 莓状黄铁矿有孔虫结构

黄铁矿显微莓群生长在有孔虫内(图版 1, 1),沿有孔虫隔壁做有规律排列。有孔虫每个房室内可见莓群呈环状排列。其中球型或椭球形莓体由许多大小基本相同的微粒组合而成,原始莓体基本保留着形成时的特征。放大 500 倍后莓粒清晰显示出圆切面。扫描电镜观测,有孔虫

^① 甘朝勋,1985,西南硫矿带的矿床类型及找矿方向,化工地质,第 3 期。

内的莓体呈球状(图版 1, 2), 莓粒的形态特点表明它们为硫细菌化石。每个莓体由许多球形微粒聚集在一起。莓粒个体一般在 1—2.5 μm 。电子探针测定表明, 莓粒成分主要为 S 45.51%, Fe 38.18%, Ca 15.0%。从莓群的组构特征看, 黄铁矿由显微莓体组成, 莓体又生长在生物化石内。这种生物组构与黄铁矿莓群之间有机结合的内在联系, 反映生物死亡之后, 在微酸性到微碱性环境中硫氧化菌大量繁殖(Buchanan, 1974)。当其进入强还原环境后, 菌体周围的 Fe^{2+} 、 HS^- 和 FeS 与细胞体内的 S^0 反应。形成黄铁矿莓群。这一成矿过程, 对于探讨该地区黄铁矿床成因机制与莓状黄铁矿的形成具有一定意义。

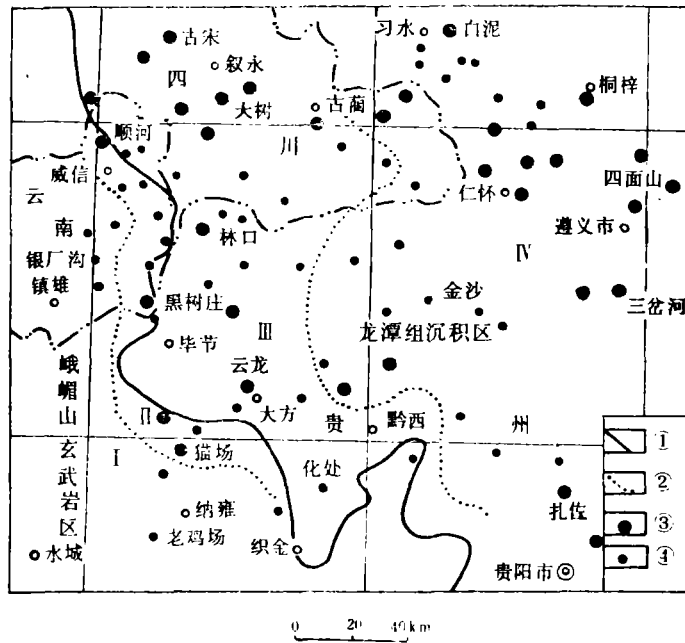


图 1 西南硫矿带黄铁矿床分布略图(据甘朝勋, 1985)
 I—碎碎率武岩区; II—粘土化率武岩区; III—火山碎屑粘土岩区; IV—粘土岩区;
 ①—玄武岩分区界线; ②—分区线; ③—矿床; ④—矿点

Fig. 1 Schematic map showing the distribution of pyrite deposits in metallogenic belt of Southwestern China

1.2 黄铁矿环状、线状、串球状结构

在含碳粘土岩层内, 发现一些黄铁矿呈层状、不规则串球状(图版 I, 3)。经多种方法分析, 证实主要为黄铁矿, 探针分析 S 52.77%, Fe 46.53%。串球个体一般在 3 μm 左右。不规则线状黄铁矿多分布在莓状黄铁矿的周围(图版 I, 4), 线状个体很小。这些不同形态特点的黄铁矿可能是一种硫细菌, 从又一侧面反映了微生物直接成矿作用的产物。

1.3 黄铁矿生物组构

在含碳质矿层内, 生物化石及化石碎片相当普遍(动物和植物), 这些生物化石部分均已黄铁矿化。其中矿化生物主要有腕足类和蠕类化石(图版 I, 5、6)。黄铁矿在化石内呈细粒集合体产出, 颗粒界线已不清楚。黄铁矿化的生物化石有三种情况: ①整个化石均已矿化(图版 I, 5); ②化石部分矿化(图版 I, 7); ③黄铁矿在化石内做选择交代(图版 I, 6), 蠕房室内未矿化,

充填的为粘土矿物。这种生物化石矿化特征显然与前者有一定区别。反映在成岩过程中,由细菌还原的 H_2S 及富含 FeS 的水溶液交代生物化石中 $CaCO_3$, $CaCO_3$ 溶解后的空间内沉淀了黄铁矿,形成生物组构黄铁矿。

2 生物组构黄铁矿化学组分特征

对生物组构及莓状黄铁矿进行电子探针微区分析。其结果与标准黄铁矿(Fe 46.55%, S 53.45%)进行对比,二者差别较大。生物矿化及莓状黄铁矿主要化学成分 Fe 38.18—40.93%, S 45.42—52.77%。反映该类黄铁矿 S 高 Fe 低的特点, S/Fe 原子比在 1.279—1.1896。矿石微量元素分析 Co 含量为 5—100ppm, Ni 为 10—300ppm, Co/Ni 比值均小于 1。 As 与 F 含量较高, As 0.002—0.02%, F 0.016—0.057%, 个别样品可高达 0.1%。单矿物电子探针分析表明莓状黄铁矿 As 含量可高达 0.86—0.90%, Mn 含量为 0.22—0.35%。黄铁矿微量元素分析 As 含量变化为 336.9—405.8ppm。本区黄铁矿与生物矿化黄铁矿内如此高含量的砷是何原因有待进一步研究。与生物矿化有关的黄铁矿 Se 含量一般在 1ppm 左右, S/Se 比值均大于 25 万, Se/Te 比值为 0.2。这些特点反映该区黄铁矿为沉积作用的产物。

3 硫同位素特征

本区黄铁矿硫同位素组成见图 2, 以富集轻同位素 S^{32} 为特征。矿区内黄铁矿 $\delta^{34}S$ (PDB‰) 为较低的负值, $\delta^{34}S$ 值变化在 -27.6—+13.7‰, 一般值变化在 -22—-8‰。这种轻而变化较大的同位素特点, 显然与生物参与成矿作用有关。

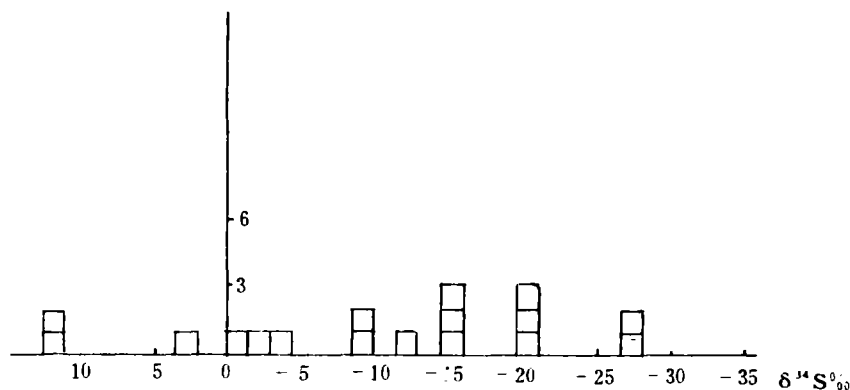


图 2 黄铁矿硫同位素组成直方图(数据引自甘朝勋等, 1984)⁽¹⁾

Fig. 2 Sulfur isotopic composition of phrites

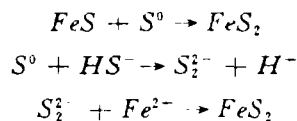
硫化物的同位素组成, 能说明它的来源和成因。在生物及细菌作用下, 海水硫酸盐被还原为 H_2S 。 H_2S 与海解后玄武岩析出的铁质化合作用形成矿区内大量星散状黄铁矿(图版 1, 8); 当沉积物进入早期成岩阶段时, 有机质及死亡生物大量腐烂, 使软泥水和孔隙水进入中性—弱碱性还原条件。由细菌还原的 H_2S 与游离的 Fe^{2+} 作用, 形成富含 FeS 的水溶液。这些水溶液交代生物化石, 形成了本区生物组构黄铁矿。上述这两种成矿作用, 均反映为生物间接成矿作用的不同方式。硫同位素组成中 ^{32}S 相对富集, 而且变化大, 也说明了这一特点。

4 生物成矿作用及其意义

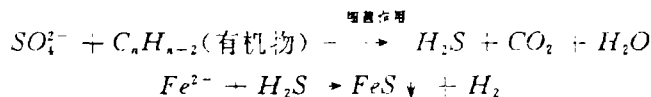
生物及微生物在沉积矿产形成中的作用,早已为地质学家和微生物学家所重视。H. 史奈德洪(1923)首先发现微生物作用形成硫化物莓状结构,并对细菌成矿进行了详细研究。目前已发现细菌富集硫化物的重要种属有 *Disulfoxiro*, *Disuffotomaculum*, *Ferrobacillus*, *ferrooxidans* T. M. 和 *Thiobacillus ferroxidns* 等(Kasipathi 等)。这些细菌对硫化物的成矿无疑起了一定富集作用。Molisch(1925)研究铁细菌认为,生物细胞可以使胶质膜维持一定的物理—化学状态,从而使膜吸收微量铁的化合物,生物体内液晶态的研究认为(蔡浩然,1978),生物体不少组织和细胞处于液晶态,这种液晶态能选择吸收一些元素,并能从低浓度的一方输送到高浓度的一方。生物的这种特殊功能为海洋内某种元素的富集起了一定作用。是否可以推测本区海解后的 Fe 元素在成矿前经过一定的生物富集作用,而进入还原环境。

西南硫矿带矿石中金属矿物生物组构与生物体内保存莓菌结构的研究,表明矿床的成矿机理与生物成矿作用有密切关系。只有生物参与造矿它的遗骸才能出现在矿物矿石中。生物参与的成矿作用,通过本区生物内的莓状黄铁矿与生物组构及黄铁矿硫同位素等特征,反映的较为清楚。可见生物在硫铁矿成矿过程中,即可参与直接成矿也间接参与了成矿作用。

该矿区内发现生物组构黄铁矿与黄铁矿莓菌之间的有机结合,对探讨硫铁矿的成因提供了依据。生物遗体之所以能派生显微莓菌,这和生物体在沉积成岩环境中有机体的分解作用有关。生物死亡后在其还原偏碱性环境中,使生物体内的硫细菌大量繁殖。这些硫细菌为生物体内黄铁矿莓群的最终形成奠定了基础。由于该区二叠纪特定的古地理构造环境,当其海水与玄武岩喷发物质被动进入泥炭沼泽环境时,使 pH 值高的富含碳酸盐类的海水渗入泥炭层中。在含矿岩系内,时而出现碳酸盐岩层及透镜体,充分反映了这种环境变化特点。当介质环境由酸性转变为偏碱性时,不再适合生物类的生存。而这种偏碱性环境有利于还原硫酸盐细菌的繁殖。在细菌的生命活动中,一方面在生物体内合成铁—硫的蛋白质(iron-sulphur proteinis)(余江滨等,1988)。同时又选择吸收进入海盆中的 Fe^{2+} 元素。当其进入强还原环境后,硫细菌不能生存,菌体周围的 Fe^{2+} 、 FeS 和 HS^- 与细胞体内的 S^0 反应,形成生物化石内的莓群状黄铁矿:



这一过程反映了生物参与造硫的直接成矿特点。另一方面,菌解作用又将海水内的硫酸盐还原为硫化氢:



H_2S 与海水中经海解后玄武岩析出的 Fe^{2+} 离子化合,生成水陨硫铁($FeS \cdot nH_2O$)。经成岩作用形成矿区内的另一类星散状黄铁矿(图版 1, 8)。在成岩过程中由于孔隙水作用,竞争富含 FeS 的水溶液交代了生物化石内的 $CaCO_3$ 。 $CaCO_3$ 溶后的空间中沉淀了黄铁矿,形成了生物组构黄铁矿。

生物成矿作用的研究,为进一步探讨西南硫矿带内黄铁矿的成因提供了依据。同时黄铁矿

生物组构及生物内莓群的研究又为丰富生物成矿理论提供了实际资料。从成矿物质来源与成因环境分析,其中黄铁矿内的铁可能与峨眉山玄武岩入海而发生海解释放出大量铁质有关。通过对矿区内的粘土岩及粘土化玄武岩分析与正常玄武岩进行对比,区内正常玄武岩含 TFe 10% 以上,而含矿岩石在剔除黄铁矿后分析含 TFe 均小于 1%。矿区内的粘土化玄武岩含 Fe_2O_3 0.92%, FeO 0.39%。远低于正常玄武岩,显然岩石中的铁质在海解粘土化过程中绝大多数被转化形成了黄铁矿。但矿床中的硫,并非来源于玄武岩的后期热液,而是生物作用的结果。由此可见,西南硫矿带二叠系煤系底部黄铁矿床的成矿作用既与峨眉山玄武岩入海海解带来铁质有关,又与生物成矿作用有关。研究认为,在该类矿床成矿过程中,生物直接与间接参与了成矿作用。

参 考 文 献

- 沈树勋等,1984,我国西南硫矿带硫同位素组成特征,贵州地质,2期,1-8页。
 于江波等,1988,原始黄铁矿莓体的发现与研究,矿物学报,4期,357-362页。
 蔡志然,1978,液晶态生物膜,科学通报,4期。
 Buchanan R. E. and N. E. Gibbons., 1974, Bergey's Manual of determinative bacteriology, 8th edition, Waverly press, Baltimore, p. 456-464.
 Kasipathi 等,1990,细菌成矿作用,地质科技动态,14期,6-7页。
 Williams D. R., 1976, An introduction to Bio-inorganic chemistry, p. 18-30.

On Biological Mineralization with Reference to the Biological Textures of the Pyrites from the Southwest Sulfide Zone

Xia Xuehui

(Geological Institute, Ministry of Chemical Industry)

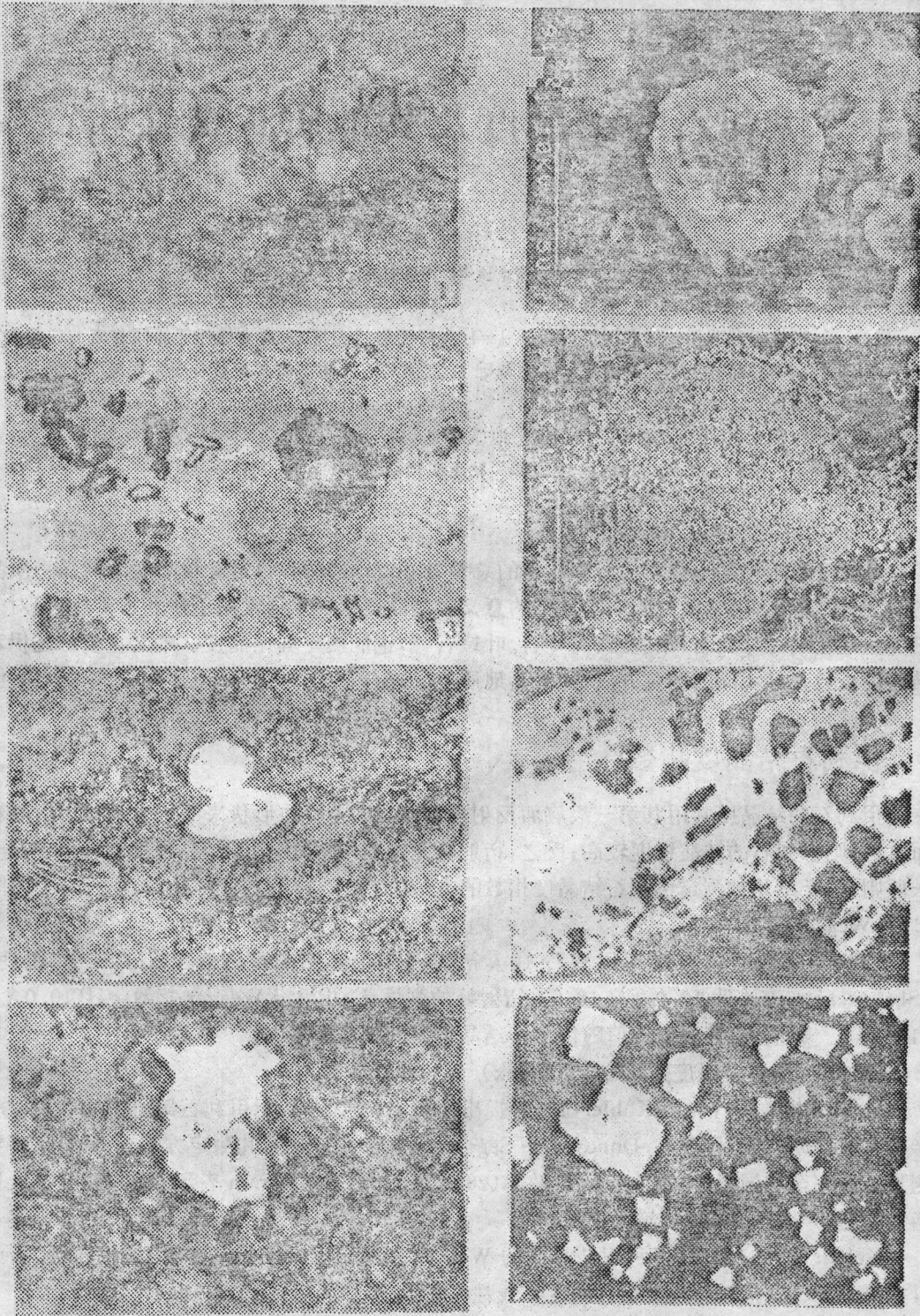
Abstract

The pyrite deposits of the Southwest sulfide zone mainly develop at the bottom of the Permian Longtan coal series, which to a certain extent, has relation with the eruption of the Emeishan Basalt. Investigations of deposits by the author point out some biotexture-marked pyrites and framboidal pyrites. Under SEM and EPA examinations, framboidal aggregate of pyrite enclosed within organisms is proved as a kind of framboidal bacteria while biotextures of pyrite are caused by replacement. On the basis of the above studies, the authors describes a close correlation between the biotextures and the formation of the framboidal pyrite. To speak in detail, when basaltic erupted, flowed and reached sea basin, it decomposed right away in the presence of sea water and separated into a great number of ferruginous materials. These linked before long with the H_2S produced through reduction of sulfate and decomposition of organic sulfur, all by bacterium, finally to form pyrite.

In the course of later sedimento-diagenesis, framboidal sulfur bacterium were able to highly breed

within buried organisms. In the meantime, if there existed a strongly reducing regime around the microorganisms, the S^0 of their bodies would react with the nearby Fe^{2+} , HS^- and FeS . This led not only to precipitation of framboidal pyrites also to perfect preservation of the biotextures which featured them.

From the above explanation, one can easily conclude that the pyrite of the study area its mineralization to the ferruginous influx related to decomposition of basalt by sea water and, what is more important, to activities of microorganisms and bacterium: one directly having a band in sulfur production and the other being responsible for sulfate reduction and, indirectly, for sulfur mineralization.



1. 生物化学内生生长的黄铁矿莓群, 反射光, $\times 125$ 。 2. 生物化石内莓体的放大, 单个莓粒呈球形, 扫描电镜图像。 3. 串珠状黄铁矿(黑色), 透射光, $\times 125$ 。 4. 莓状黄铁矿周围分布线状黄铁矿(白色), 扫描电镜图像。 5. 黄铁矿生物组构, 蛭化石均已黄铁矿化, 反射光, $\times 30$ 。 6. 黄铁矿生物组构, 黄铁矿(白色)选择交代生物化石, 反射光, $\times 80$ 。 7. 喇叭蛭化石部分黄铁矿化(白色), 反射光, $\times 80$ 。 8. 粘土岩内星散状黄铁矿立方体(白色), 反射光, $\times 30$ 。