

文章编号:1008-0244(2003)02-0087-03

## 煤中发现含硫、锌、汞矿物

丁振华<sup>1,2</sup>, 郑宝山<sup>1</sup>, Finkelmann R B<sup>3</sup>, Belkin H E<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240; 3. National Center, U. S. Geological Survey, Reston VA, 20192, USA)

**摘要:**利用电子探针、扫描电子显微镜和 X 光能谱在黔西南高砷煤中发现了由硫、锌、汞组成的矿物, 该矿物可能为硫锌汞矿, 它的发现对研究煤中汞的赋存状态、有害微量元素在煤中的成因具有积极的意义。**关键词:**煤; 硫锌汞矿; 黔西南**中图分类号:** P575; **文献标识码:** A

燃煤是造成大气汞污染的主要原因之一<sup>[1]</sup>, 近年来煤燃烧产生的汞对环境污染已引起世界许多国家的高度重视<sup>[2]</sup>。由于汞的易挥发性及煤中低含量(通常  $< 0.5 \mu\text{g/g}$ )给煤中汞的赋存状态研究带来一定的困难<sup>[3]</sup>。在研究黔西南高砷煤的过程中我们发现了一些高砷煤同时含有极高的汞<sup>[4]</sup>, 其中含有新的含汞矿物, 这对于煤中汞赋存状态的研究和煤的清洁燃烧都具有积极的意义,

为此, 我们对其进行了初步研究。

含汞高砷煤是产于贵州省黔西南苗族布依族自治州兴仁县的上二叠统龙潭组的无烟煤, 位于微细浸染型金矿区, 其砷含量在该区高砷煤中属于较低的, 呈碎块状产出, 黑灰色, 在光学显微镜下可以见到石英、粘土矿物、黄铁矿等矿物, 其基本特征见表 1。

表 1 含汞高砷煤样的基本特征

Table 1. Properties of high-Hg and high-As coal samples

Ash(干基)/%	As/ $10^{-6}$	Hg/ $10^{-6}$	SS/%	S(sul)/%	S(py)/%	S(org)/%
58.04	105.0	57.9	2.49	0.14	0.19	2.16

注: As 用 INAA 测定, Hg 用冷原子吸收测定, 由美国地质调查所(USGS)完成, 其它项目由宾夕法尼亚州立大学完成; SS 表示全硫, S(s)表示硫酸盐硫, S(Py)表示黄铁矿硫, S(org)表示有机硫。

含汞矿物是一种主要由 Zn、Hg、S 组成的矿物, 粒度小于 1 个微米。在样品中含汞矿物产于石英脉和煤基质的结合部(见图 1)。由于硬度的差异, 在加工样品时, 这些部位常形成一些坑洞, 虽均经电子探针定量分析, 但数据质量不高, 能谱结果见表 2。

目前已知的化学成分主要为 S、Zn、Hg 的矿物有硫锌汞矿(polhemusite)和含锌的黑辰砂。在辰砂中还没有类质同象锌存在的现象, 而闪锌矿中汞一般以机械混入物的形式存在, 在黑辰砂中 Zn 的含量少于 5%<sup>[5]</sup>。据现有资料<sup>[6]</sup>, 硫锌汞矿

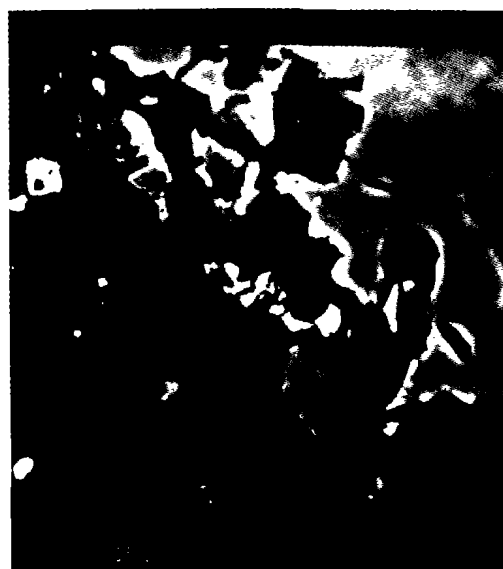


图 1 高砷煤中的含 Zn、Hg、S 矿物

Fig. 1. The image of the mineral containing Zn, Hg and S.  
(注: 照片中的标尺为 1 微米)

收稿日期: 2002-08-13; 修回日期: 2002-10-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(40133010, 49803004); 中国科学院王宽诚基金; 美国地质调查所(USGS) Venture Capital Found  
第一作者简介: 丁振华(1966—), 男, 博士, 主要从事地球化学和矿物学研究。

中  $w(\text{Hg})$  为 18.0% ~ 34.7%、 $w(\text{Zn})$  为 42.6% ~ 54.7%、 $w(\text{S})$  为 24.0% ~ 28.9%、 $w(\text{Fe})$  为 0.3% ~ 0.7% (均为质量百分比), 相当于  $\text{Hg}_{0.10}\text{Zn}_{0.92}\text{S}_{0.99}$  到  $\text{Hg}_{0.22}\text{Zn}_{0.83}\text{S}_{0.95}$ 。而高砷煤中含汞矿物的

基本化学组成为  $w(\text{Hg})$ : 27.40% ~ 35.15%,  $w(\text{Zn})$  为 31.03% ~ 45.15%,  $w(\text{S})$  为 26.59% ~ 32.09%, 同硫锌汞矿的化学组成极为相符, 该矿物可能为硫锌汞矿。

表 2 含汞矿物的化学组成 (%)

Table 2. Composition of the Hg-bearing mineral (%)

测点	Se	As	Fe	S	Ni	Cl	Zn	Hg	Cr	Tot.
1	1.02	-	0.32	26.59	-	-	42.59	29.48	-	100
2	0.59	-	0.53	28.00	-	-	42.93	27.95	0.01	100
3	0.04	0.01	0.38	26.99	-	-	45.15	27.40	0.03	100
4	0.12	-	0.46	28.44	0.01	-	42.20	28.78	-	100
5	1.05	-	0.30	30.07	-	-	42.85	25.70	-	100
6	1.19	-	-	32.09	-	0.54	31.03	35.15	-	100

注: --表示低于检测限。

黔西南处于滇-黔-桂微细浸染型金矿区, 同时也处于贵州碳酸盐建造中的 Hg-Sb-As-Tl 成矿带上<sup>[7]</sup>, 中低温成矿元素 (Hg、Sb、As、Tl) 和卤族元素富集<sup>[8]</sup>。中国煤中汞含量最高区主要分布于贵州黔西断陷区, 区内晚二叠世煤中汞含量算术均值高达  $1.094 \mu\text{g}/\text{g}$ <sup>[9]</sup>。

煤中的汞主要与黄铁矿有关<sup>[3,10-12]</sup>。Finkelman<sup>[10]</sup>用浮沉实验及单矿物分析表明汞主要分布于无机组分中, 尤其是黄铁矿中, 并在煤中发现了含汞的硫化物 (含汞闪锌矿) 和汞的硒化物。Cahill 和 Shiley 在煤中发现方铅矿中含汞。Dvornikov 提出煤中汞以下列三种形式存在: 辰砂、金属汞和有机汞化合物<sup>[11]</sup>。但大部分汞以固溶物形式分布于黄铁矿中<sup>[3,10-12]</sup>, 尤其是后期成因

的黄铁矿中<sup>[10]</sup>。汞矿物很少, 主要有辰砂和汞的硒化物<sup>[10]</sup>, 本文叙述的汞矿物从照片上看是独立的矿物。

为了减轻煤燃烧对大气环境的造成的汞污染, 近年许多学者对于煤中汞的含量、分布和赋存状态给予了极大的关注<sup>[10-12]</sup>, 希望能为煤的清洁利用提供可靠的依据, 本文发现的汞矿物也可为有关研究提供一点佐证。

致谢: 笔者衷心感谢在美期间美国地质调查局国家中心的 Palmer 博士和 Kolker 博士给予的大力帮助, 同时对黔西南苗族布依族自治州卫生防疫站周运书主任医师、州黄金管理局的陈朝刚工程师在采样过程中的无私帮助表示诚挚的谢意。

## 参 考 文 献

- [1] Nriagu J O, Pacyna J M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace elements [J]. *Nature*, 1988, 333: 134 ~ 139.
- [2] Rasmussen P T. Current methods of estimating atmospheric mercury fluxes in Remote Areas [J]. *Enviro. Sci. Technol.*, 1994, 28 (13): 233 ~ 241.
- [3] Toole-O'Neil B, Tewalt S J, Finkelman R B, et al. Mercury concentration in coal---unraveling the puzzle [J]. *Fuel*, 1999, 78: 47 ~ 54.
- [4] Belkin H E, Warwick P D, Zheng B S, et al. High arsenic coals related to sedimentary rock hosted gold deposition in southwestern Guizhou province, People's Republic of China [A]. In: 15th annual international Pittsburgh coal conference [C]. Pittsburgh, IL, USA. 1998.
- [5] 王濮, 潘兆槽, 翁玲宝. 系统矿物学(上)[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [6] Leonard B F, Desborough G A, Mead C W. Polhemusite, a new Hg-Zn sulfide from Idaho [J]. *America Mineral.*, 1978, 63: 1 153 ~ 1 161.
- [7] 陈履安. 试论贵州碳酸盐建造中 Hg、Sb、As、Au 成矿作用的地球化学机理[J]. *贵州地质*, 1990, 7: 196 ~ 203.
- [8] 张忠. 卡林型金矿指示元素研究[J]. *地质地球化学*, 1996, 24(1): 35 ~ 38.
- [9] 张军营, 任德懿, 许德伟, 等. 煤中汞及其对环境的影响[J]. *环境科学进展*, 1999, 17: 100 ~ 104.

- [10] Finkelman R B. Modes of occurrence of trace elements in coals [R]. USGS Open-file Report, 1981, 81 ~ 99, PP312.
- [11] Swaine D J. Trace elements in coal [M]. London: Butterworths, 1992.
- [12] 冯新斌, 洪业汤, 倪建宇, 等. 贵州煤中汞的分布、赋存状态及对环境的影响[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26 (2): 12 ~ 14.

## DISCOVERY OF A Hg-, Zn-, S-BEARING MINERAL IN COAL

DING Zhen-hua<sup>1, 2</sup>, ZHENG Bao-shan<sup>1</sup>, Finkelman, R B<sup>3</sup>, Belkin, H E<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Minhang 200240;

3. National Center, U.S. Geological Survey, Reston VA, 20192, USA)

### Abstract

A Hg-, Zn-, S-bearing mineral was found in high-arsenic coal from Southwest Guizhou Province by means of electron microprobe, and scanning electron microscope with X-ray energy disperse analyzer. The mineral is probably polhemusite. Discovery of polhemusite is helpful to shed light on the mode of occurrence of mercury in coals and the origin of harmful trace elements in coals.

**Key words:** coal; polhemusite; Southwest Guizhou