

文章编号: 1001-1986(2009)02-0018-04

# 古交邢家社勘探区煤中镓的分布及其地质影响因素

刘新花, 秦勇, 王文峰

(中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 依据煤炭资源勘探资料, 探讨了山西古交矿区邢家社勘探区石炭-二叠系煤中镓的分布状况及其地质影响因素。结果显示: 研究区煤中镓的加权平均质量分数为  $15.87 \times 10^{-6}$ , 比全球平均值要高 0.5~3 倍; 煤层层位降低, 镓含量呈明显的递减趋势。同时, 煤中镓含量与灰分产率、灰分组成、硫含量及煤层厚度之间也有明显的关系。这些特征表明, 区内煤中镓的矿物载体主要为粘土矿物, 水动力较强和还原性较弱的泥炭沼泽条件可能有利于镓在煤中富集, 且成煤期地壳的稳定程度也可通过一定方式影响到煤中镓的富集。

**关键词:** 古交矿区; 石炭-二叠系; 煤; 镓; 地质影响因素

中图分类号: P618.11; P618.74 文献标识码: A

## Occurrence and geological controls of gallium in coal from Xingjiashan, Gujiao Mining District, Shanxi

LIU Xinhua, QIN Yong, WANG Wenfeng

(School of Mineral Resources and Geoscience, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** Gallium is an important basic and strategical material, and occurs in coal as a rare and dispersive metal element with various bound form. Based on the data from coal resource exploration, the authors in the paper discussed the occurrence and geological controls on the gallium in the Permo-Carboniferous coal seams from the Xingjiashan, Gujiao Mining District, Shanxi. The results show that the gallium in Xingjiashan coals is  $15.87 \times 10^{-6}$  in weighted average content, and is 0.5 to 3 times more than mean content of the gallium in global coals. The gallium content tends evidently to reduce with depth of coal seams, and also is specifically relative to the coal ash yield and component, sulfur content and coal seam thickness. These indicate that gallium in Xingjiashan coals occurs mainly in clay mineral, might be enriched in the peat bog with the conditions of both stronger hydrodynamics and weaker reduction. Moreover, the activity of lithosphere during coal accumulation might impact the enrichment of gallium in coals through some ways.

**Key words:** Gujiao Mining District ; Permo-Carboniferous ; coal ; gallium ; geological control

镓是一种基础材料和重要战略资源。关于煤中镓的分布特征和成矿价值, 前人做过一定的地质调查。李春阳<sup>[1]</sup>、李河名等<sup>[2]</sup>、杨伟林等<sup>[3]</sup>分别研究了滕县矿区、鄂尔多斯盆地、登封矿区煤中镓的分布, 发现了镓的一些地球化学异常特征。代世峰等<sup>[4]</sup>发现, 准格尔煤田 6 号煤层一个剖面上镓的平均含量超过了镓矿床的边界品位, 勃姆石是镓的主要载体。易同生等<sup>[5]</sup>报道了贵州凯里下二叠统梁山组高硫煤中镓的分布及其地球化学成因。唐修义等<sup>[6]</sup>和任德贻等<sup>[7]</sup>分别统计了我国不同地区煤中镓等微量元素的背景值和异常状况。

山西省煤炭资源虽然很丰富, 但只有卫宏等<sup>[8]</sup>

对西山矿区部分井田煤中镓含量与煤岩类型和煤层之间关系进行过研究。本文基于煤炭资源勘探中获得的详细测试资料, 分析了山西古交矿区邢家社勘探区石炭-二叠系煤中镓的分布状况, 并探讨了其地质影响因素。

### 1 煤层与煤质

邢家社勘探区属于我国重要的炼焦煤产地太原西山古交国家规划矿区的一个组成部分, 位于山西省清徐县境内, 面积约 38 km<sup>2</sup>。

区内含煤地层为石炭-二叠系, 含煤 20 层左右, 煤层总厚约 15 m。其中, 01—5 号煤层赋存于山西

收稿日期: 2008-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572095); 教育部博士点基金项目(20060290503)

作者简介: 刘新花(1982—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 从事煤地质学研究。

组, 6—11号煤层赋存于太原组。区内煤层有6~8层, 全部发育且大部可采: 02煤层厚度0.65~2.77 m, 平均1.31 m; 2煤层厚度0.62~2.41 m, 平均1.59 m; 4煤层厚度0.35~3.65 m, 平均1.45 m; 6煤层厚度

0.30~2.08 m, 平均2.71 m; 7煤层厚度0.37~2.77 m, 平均0.78 m; 8煤层厚度0.7~4.1 m, 平均2.61 m; 9煤层0.50~3.92 m, 平均2.30 m。总之, 太原组煤层发育程度优于山西组(表1)。

表1 古交邢家社勘探区主要煤层基础数据  
Table 1 Basic data of main coal seams in Xingjashe, Gujiao Mining District

煤层 编号	钻孔数	平均煤厚 /m	工业分析 $w_B/\%$		硫分分析 $w_B/\%$				灰成分分析 $w_B/\%$				Ga $w_B/\%$			
			$A_d$	$V_{daf}$	$S_{t,d}$	$S_{p,d}$	$S_{y,d}$	$S_{o,d}$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$CaO$	$MgO$	最小	最大	平均
02	9	1.31	17.28	16.52	1.30	—	—	—	57.41	3.27	34.94	1.06	0.71	11.5	32.0	20.2
03	3	0.55	32.70	19.32	1.14	—	—	—	57.68	5.89	31.8	0.82	0.70	22.4	26.0	25.0
2	14	1.59	23.02	15.58	1.40	0.89	0.03	0.48	55.17	6.87	33.52	1.84	0.83	14.5	37.8	18.9
4	10	1.45	33.80	20.27	0.58	0.15	—	—	54.52	4.34	36.13	1.23	0.77	11.5	40.8	24.2
6	12	2.71	19.33	15.71	2.65	1.91	0.03	0.71	57.54	12.52	21.56	2.51	1.02	0.8	23.0	12.6
7	7	0.78	22.89	17.78	2.20	1.41	0.06	0.73	49.17	13.19	23.84	5.11	1.10	9.0	19.5	14.9
8	2	0.54	—	—	2.57	1.63	0.05	0.89	58.98	5.43	21.24	5.65	1.25	11.5	12.5	13.0
8	13	2.61	14.96	12.64	3.27	2.02	0.13	1.12	47.99	15.33	29.76	3.84	0.70	8.9	17.5	12.8
9	10	2.30	23.16	17.58	1.37	0.7	0.06	0.61	50.84	8.56	31.76	2.82	1.02	8.0	17.5	12.2

区内以瘦煤为主, 但煤化程度随煤层层位的降低而逐渐增高。例如: 02—6煤层以瘦煤为主, 有焦煤发育; 8煤层以瘦煤为主, 有贫瘦煤; 9煤层以贫煤为主, 有贫瘦煤发育。煤层硫分和灰分均相对较高, 但山西组和太原组有所不同。根据煤炭分级国家标准, 山西组一般为中—高灰中硫煤, 太原组一般为中灰中—高硫煤(表1)。就硫分组成来看, 黄铁矿硫一般占全硫的2/3左右, 即以无机硫为主(表1)。

煤中灰成分主要由 $SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 构成, 两者之和占灰成分的比例在山西组煤中普遍高于88%, 在太原组煤中一般高于75%, 且与 $Fe_2O_3$ 含量互为消长关系(表1)。这种规律一方面指示煤中矿物质以粘土矿物为主, 另一方面说明太原组煤中含铁矿物相对较多, 而粘土矿物相对较少。进一步来看,  $Fe_2O_3$ 含量随硫化物硫含量的增长而增高, 表明煤中硫化物硫主要来自黄铁矿类矿物(图1)。

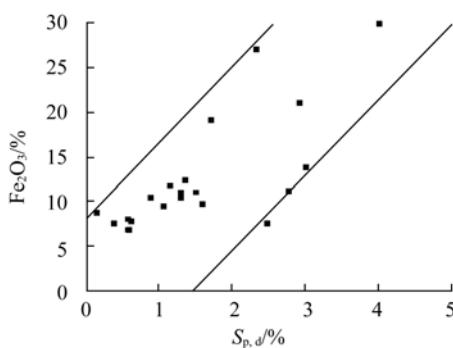


图1 煤中硫化物硫与 $Fe_2O_3$ 的关系

Fig. 1 Correlation between sulfide sulfur and  $Fe_2O_3$  contents in coal seam

## 2 煤中镓的分布

根据80件煤心煤样的统计, 该区煤中镓的质量分数为 $0.8\times 10^{-6}$ ~ $40.8\times 10^{-6}$ , 加权平均值为 $15.87\times 10^{-6}$ 。前人通过研究煤中镓的分布后认为, 全球煤中镓的平均质量分数为 $5\times 10^{-6}$ ~ $10\times 10^{-6}$ [6~7, 9~10]。因此, 邢家社勘探区煤中镓的含量比全球平均值要高出0.5~3倍。

随煤层层位的降低, 煤中镓的含量有明显递减趋势, 且以太原组顶部煤层为界, 上部与下部煤层中镓含量水平截然不同, 两者相差1倍左右(表1)。山西组煤中镓的加权平均质量分数为 $21.48\times 10^{-6}$ , 主要煤层中镓的平均质量分数一般为 $20\times 10^{-6}$ ~ $25\times 10^{-6}$ , 最低值也在 $19\times 10^{-6}$ 左右; 太原组煤中镓的加权平均质量分数只有 $12.79\times 10^{-6}$ , 主要煤层中镓的平均质量分数一般为 $12\times 10^{-6}$ ~ $13\times 10^{-6}$ , 最高不超过 $15\times 10^{-6}$ 。

此外, 个别钻孔中镓含量超过其边界品位, 如P16孔02号煤层为 $32.0\times 10^{-6}$ , P29孔2号煤层为 $37.8\times 10^{-6}$ , P11孔和P17孔4号煤层分别为 $40.8\times 10^{-6}$ 和 $34.5\times 10^{-6}$ 。

## 3 讨论

80件煤样测试数据统计分析显示, 区内煤中镓含量与工业分析、灰成分分析、煤层厚度等参数具有确定的相关趋势。这些关系, 蕴涵着较为丰富的地质-地球化学信息, 为进一步探讨煤中镓的赋存状态和成因来源提供了一定的依据。

首先，灰分产率增高，煤中镓含量趋于增大(图 2)。一方面，煤的灰分产率与煤中有机物含量互为消长关系，灰分产率越高，有机物质在煤中所占比例就越低；另一方面，煤中灰分主要来源于陆源碎屑物质，陆源碎屑物含量越高，在一定程度上指示泥炭沼泽水动力条件越强。因此，镓含量与灰分产率之间的上述关系表明，镓主要赋存在矿物之中，主要来自于陆源物质，较强的泥炭沼泽水动力条件有利于镓在煤中富集。

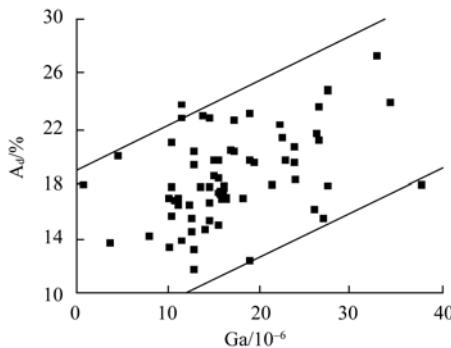


图 2 煤中镓与灰分产率的关系

Fig. 2 Correlation between gallium content and ash yield in coal seam

第二，灰成分中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量增高，煤中镓含量随之增大(图 3)。此关系中蕴涵着另外一个地质信息，即  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量之间也具有正相关趋势，这是铝硅酸盐矿物的显示。在煤中，铝硅酸盐矿物通常为粘土矿物。也就是说，区内煤中镓的矿物载体主要为粘土矿物。镓作为典型的分散元素，主要以类质同象置换形式进入其他矿物晶格，置换矿物中的  $\text{Al}^{3+}$  和部分  $\text{Fe}^{3+}$  及  $\text{Ti}^{4+}$  离子<sup>[11]</sup>。由于镓和铝的地球化学性质相似，含铝矿物晶格中的部分铝被镓所置换。此外，镓还能替代部分硅氧四面体中的硅，使得其中含有一定数量的镓。

第三，全硫、有机硫以及煤灰  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量增高，煤中镓含量趋于降低(图 4a—图 4c)。从图 1 可知，煤中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  主要来自黄铁矿类物质。因此， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、全硫与煤中镓含量之间的负相关关系表明，有利于黄铁矿形成的环境条件可能不利于镓的富集。与全硫相比，有机硫含量与煤中镓含量间的负相关关系更为显著。也就是说，与可能具有多阶段成因的黄铁矿相比，形成于同生—准同生阶段的有机硫含量更具有沉积环境条件指示意义。通常，沼泽水体滞流，导致沉积水介质还原性增强，一方面有利于黄铁矿等矿物的形成，另一方面也促进了凝胶化作用的进行，使得硫酸根离子与有机质结合生成有机硫的机会增多<sup>[12]</sup>。鉴于这些机理，煤中镓含量与上述 3 个参数之间的关系蕴涵着共同的煤中镓成因信息，即还原

性较强的泥炭沼泽环境可能不利于镓的富集。

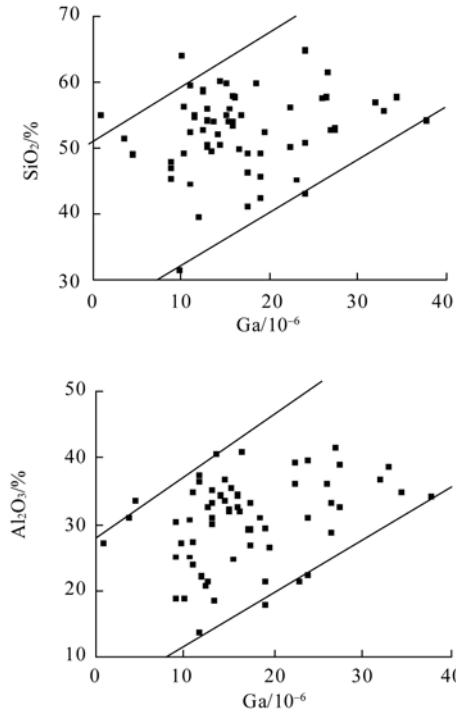


图 3 煤中镓与灰成分中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的关系

Fig. 3 Correlation between gallium and  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  contents in coal seam

第四，煤中镓含量与灰成分指数具有负相关关系(图 4d)。此处煤灰成分指数  $R_I = [\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO}] / [\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3]$ ，这一关系式由赵师庆<sup>[13]</sup>通过对华北晚古生代煤的研究而建立，用以考察泥炭沼泽的还原程度。一般地，灰成分指数越大，泥炭沼泽的还原性越强。因此，研究区煤中镓含量与灰成分指数之间的相关性从另外一个角度指示，还原性较强的泥炭沼泽条件不利于镓的富集。

第五，煤层厚度减小，煤中镓含量明显增高，无论山西组或太原组均如此。这一现象目前尚未见文献报道，或可表明煤层厚度对煤中镓含量高低有明显影响(图 5)。这一关系，可能暗示了成煤时期地壳的稳定程度通过对陆源区风化程度以及陆源物质搬运程度的控制，进而影响到泥炭堆积厚度和煤中镓富集程度，这值得今后进一步研究探讨。

#### 4 结 论

a. 邢家社勘探区石炭-二叠系煤中镓的加权平均质量分数为  $15.87 \times 10^{-6}$ ，比全球平均值要高 0.5~3 倍，个别钻孔煤中镓含量超过其边界品位。随着层位降低，镓含量呈明显的递减趋势。山西组煤中镓平均含量高出太原组 1 倍左右。

b. 统计分析显示，随着灰分产率以及灰成分中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的增高，煤中镓含量趋于增大。由此表明，区内煤中镓的矿物载体主要为粘土矿物。

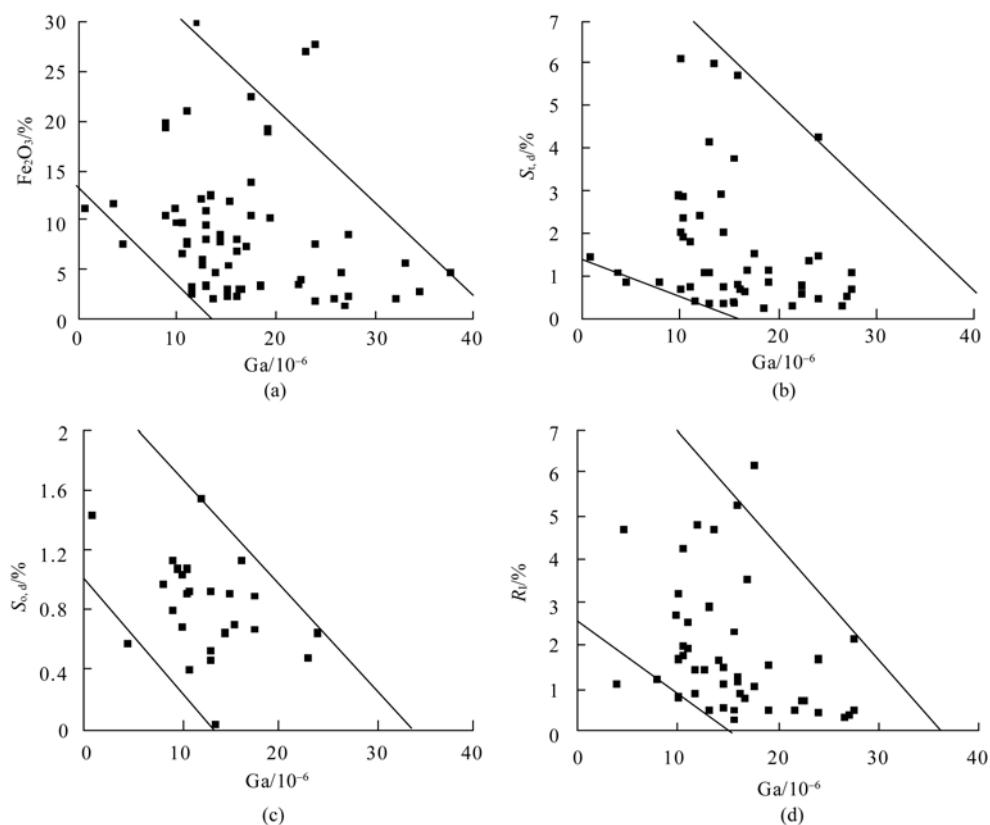
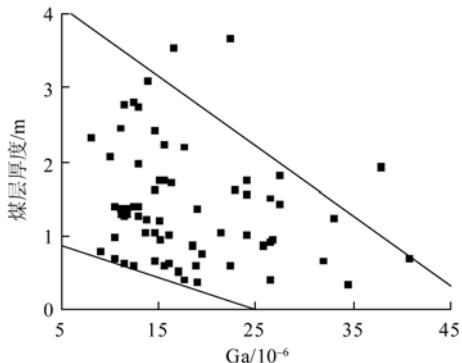
图4 煤中镓与 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、硫及灰成分指数的关系Fig. 4 Correlation among gallium content,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sulfur contents and ash component index in coals

图5 煤中镓与煤层厚度的关系

Fig. 5 Correlation between gallium content and coal seam thickness

c. 随着全硫、有机硫、煤灰  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量、灰成分指数及煤层厚度的增大，煤中镓含量趋于减少。因此，水动力较强和还原性较弱的泥炭沼泽条件有利于镓在煤中富集。

d. 成煤时期地壳的稳定程度可能通过对陆源区风化程度和陆源物质搬运程度的控制，来影响煤中镓的富集程度。

## 参考文献

- [1] 李春阳. 滕县煤田石炭二叠纪煤系锗镓分布特征[J]. 中国煤田地质, 1991, 3(1): 30-36.
- [2] 李河名, 费淑英, 王素娟, 等. 鄂尔多斯盆地中侏罗世含煤岩

系煤的无机地球化学研究[M]. 北京: 地质出版社, 1993:

- [3] 杨伟林, 朱绍军. 登封煤田主要煤层中镓的赋存规律及综合利用[J]. 中国煤田地质, 1993, 5(1): 34-36.
- [4] 代世峰, 任德贻, 李生盛. 内蒙古准格尔超大型镓矿床的发现[J]. 科学通报, 2006, 51(2): 177-185.
- [5] 易同生, 秦勇, 吴艳艳, 等. 黔东凯里梁山组煤层及其底板中镓的富集与地质成因[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(3): 330-334.
- [6] 唐修义, 黄文辉. 中国煤中微量元素[M]. 北京: 商务印书馆, 2004: 136-141.
- [7] 任德贻, 赵峰华, 代世峰, 等. 煤的微量元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 191-196.
- [8] 卫宏, 陆昌后. 太原西山煤田煤层中的镓元素及其工业意义[J]. 山西矿业学院学报, 1990, 8(4): 382-386.
- [9] SWAINE D J. Trace elements in coal[M]. London: Butterworths, 1990.
- [10] BOUSKA V, PESEK J. Probable models of occurrence of chemical elements in coal [J]. Acta Montana (Ser. B), 2000, 10(117): 53-91.
- [11] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 56-69.
- [12] 秦勇, 王文峰, 李壮福, 等. 海侵作用影响下的高分辨煤相序列及其古泥炭沼泽发育模式——以山西北部安太堡上石炭统太原组11号煤层为例[J]. 地质学报, 2008, 82(2): 234-245.
- [13] 赵师庆. 我国腐植煤的还原性及其与沉积环境的关系[J]. 沉积学报, 1981, 2(2): 53-64.