

# 四川晚二叠世煤中硫与成煤环境的关系<sup>①</sup>

唐跃刚<sup>1</sup> 任德贻<sup>1</sup> 刘钦甫<sup>1</sup> 姚光华<sup>2</sup> 甘志杰<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (中国矿业大学北京研究生部, 北京 100083)

<sup>2</sup> (重庆市南桐矿务局, 重庆 630803)

**提 要** 本文从沉积学、成煤环境、地球化学等方面研究了煤中硫的分布规律, 并详细阐明了煤中硫与成煤环境的关系。研究表明: 煤中硫的赋存状况, 不仅受成煤环境的影响, 而且受其顶板沉积环境的影响。成煤环境奠定了煤中硫的分布基础, 而顶板环境则是促使煤富硫、高硫的重要因素。微咸水浑水潮坪的顶板沉积环境, 导致了下伏煤高黄铁矿硫, 而咸水的清水潮坪顶板环境则导致下伏煤高有机硫。

**关键词** 四川 二叠纪 煤 硫 成煤环境

**第一作者简介** 唐跃刚 男 35岁 副教授 煤地球化学

煤中硫的聚集过程受沉积环境制约, 因而它在煤中的赋存特征反映了成煤环境的某些地球化学特性, 如沉积介质的古盐度。如何剔出硫形成的后生作用影响, 选择具有指相意义的硫类型和参数, 定量表征煤的微相或微环境的介质条件、煤的还原程度和煤质煤工艺性(结焦性), 以及寻找低硫煤等, 正是许多煤地质学家和沉积地球化学家所关心和从事的研究工作。

许多研究者通过对现代淡水、半咸水、咸水泥炭沼泽的研究表明, 海岸附近沼泽中泥炭的硫含量通常比较高<sup>[1]</sup>, 一般海水下聚积的泥炭比在淡水环境中聚积的泥炭含有更多的硫, 所以煤中的含硫量是鉴别古盐度较好的指标。Casagrande (1987) 等认为, 海相泥炭中的硫比淡水泥炭至少要多一个数量级或半个数量级, 全硫(S)可超过10%<sup>[2]</sup>。海相环境中, 从植物到泥炭, 硫含量增高, 而淡水环境中硫含量或略增或略减, 变化不明显<sup>[3]</sup>。任德贻等(1992, 1993)在实测煤中镜质体的有机硫(S)时, 所得结果是由内陆湖滨三角洲环境→滨海湖沼→滨海三角洲平原→泻湖海湾→碳酸盐台地, 有机硫逐渐增高<sup>[4]</sup>。Renton (1991)等研究表明, 泥炭沼泽 pH> 4.5时, 微生物活动增加, 前镜质组物质丰度减少, 前壳质物质增加, 硫铁矿增加。而在 pH< 4.5的沼泽中, 微生物活动减弱, 多木质组织, 少孢子花粉、角质类物质, 形成光亮煤, 低硫(以有机硫为主), 植物组织保存程度高<sup>[5]</sup>。中国太原西山煤田的沉积学和地球化学研究表明, 上石炭统太原组中硫到高硫煤沉积于潮坪至三角洲平原环境, 而下二叠统山西组的大多数低硫煤形成于三角洲冲积平原环境<sup>[6]</sup>。

本文研究的目的是以四川的南桐、沐川、筠连、松藻、中梁山、天府以及安县五一等

① 国家自然科学基金项目 (名称: 高硫煤中硫的赋存规律及可选性研究 编号: 48970128)

矿区的主采煤层为研究对象,从沉积环境 相序和地球化学等方面揭示煤中硫的分布规律,并详细探讨煤中硫与成煤环境,尤其是与煤顶底板沉积环境的关系

### 1 煤层的沉积环境及相序

下面就四川晚二叠世含煤岩系不同硫类型、具有代表性的主要可采煤层的沉积环境及相序,进行研究,参见图 1

#### 1. 1 沐川宣威含煤岩系

沐川晚二叠世宣威组是一套陆源碎屑含煤岩系,主要由泥岩 (6%)、砂岩 (28%)、砾岩 (1%)、煤 (2%) 组成。煤系下段主要是含凝灰质泥岩、铁质泥岩,底部为含有赤铁矿化球粒的湖相砂岩 (下部为细砂岩、中部可达粗砂岩,具斜层理,与下伏峨嵋山玄武岩冲刷接触),为一套不典型的湖泊—沼泽环境沉积

煤系上段由数个泥岩、粉砂岩、砂岩组成组合分层,组合分层内粒度向上变细,见有小型斜层理、波状层理、板状斜层理,常与下伏层呈冲刷接触,局部有少量泥砾。其泥岩多含球粒状黄铁矿结核及绿泥石。地层中夹火山

碎屑熔岩,反映该区近康滇地轴,位于玄武岩喷发区,火山活动频繁。煤层主要分布于上段,夹矸为高岭石泥岩。其沉积序列为河床相 (板状斜层理砂岩)→河漫滩相 (含球粒状菱铁矿泥岩、粉砂质泥岩)→闭流沼泽相 (含 *Stigmaria ficoiodes*-Sternb, 根化石泥岩)→泥炭沼泽相 (煤),为河流旋回含煤建造,在此环境中形成重要煤层— C<sub>2</sub>煤,煤厚 1.28 m,属高变质高灰特低硫无烟煤,其顶板为漫滩相的粉砂质泥岩,总体来看,含煤岩系为一套不典型的湖泊→漫滩→沼泽相沉积体系。

据此认为,沐川晚二叠世古地理类型为发育河流沼泽沉积和少量湖泊→湖沼相沉积的上冲积平原内陆盆地型,山麓相不发育,说明古陆与沉积区高差小。整个含煤岩系发育于峨嵋山玄武岩之上。

#### 1. 2 筠连龙潭含煤岩系

为一套陆相、海陆交互相含煤岩系,由砂岩、泥岩、煤和灰岩组成。煤层顶板一般为粉砂、细砂岩;泥岩多分布于煤层底板,不显层理,含较多植物根化石;灰岩 (1%) 最大厚度 0.48 m,含蜓、腕足、瓣鳃、藻类等生物碎屑化石。C<sub>3</sub>成煤序列为:湖泊相 (泥岩及

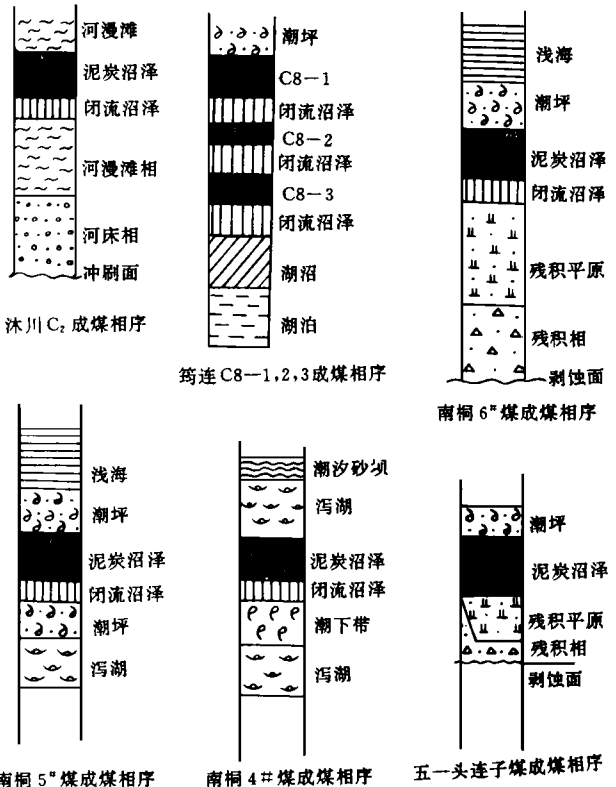


图 1 各煤层成煤序列图

Fig. 1 Coal-forming sequence of different coal seams

粉砂岩, 水平、微波层理, 含鲕粒状菱铁矿) → 浅湖沼相 (含菱铁矿结核泥岩, 水平层理或无层理) → 岸后沼泽相 (泥岩、粉砂质泥岩, 含植物化石) → 泥炭沼泽相 ( $C_{8-3}$ ) → 闭流沼泽相泥炭沼泽相 ( $C_{8-2}$ ) → 闭流沼泽相 → 泥炭沼泽相 ( $C_{8-1}$ ) → 潮坪相 (细砂岩, 脉状, 透镜状层理, 交错层理), 古地理类型为湖泊、潮坪环境发育的滨海平原型。 $C_8$ 煤层是在湖泊基础上发育形成,  $C_{8-1}$ 煤为高灰高黄铁矿无烟煤,  $C_{8-2}$ 、 $C_{8-3}$ 皆为高灰低硫无烟煤, 随后海水加深, 形成潮坪相沉积顶板。

### 1.3 中梁山、松藻龙潭含煤岩系

中梁山含煤地层由一套碎屑岩、灰岩 (大小铁板, 共 5—10 m 厚) 组成, 沉积环境为泻湖、潮坪、潮道、障壁岛、冲积平原、河流、沼泽、泥炭沼泽等组成的滨海平原。煤层  $K_4$  是在近海河流发育而成的, 其相序为: 河床 → 漫滩 → 闭流沼泽 → 泥炭沼泽, 与沐川  $C_2$  相似。顶板为漫滩相, 不同的是  $K_4$  处于近海的河流发育的冲积平原,  $K_4$  煤为高灰中硫烟煤。

松藻晚二叠世含煤地层由泥岩 (45.9%)、砂岩 (7.8%)、灰岩、泥灰岩 (35.82%)、煤 (10.4%) 组成, 其环境有近海的残积平原、沼泽、泥炭沼泽、潮坪泻湖、碳酸盐台地等。 $M_6$  煤层相序是: 泻湖 → 潮坪 → 沼泽 → 泥炭沼泽 → 潮坪。 $M_6$  为高灰高黄铁矿硫煤层。天府磨心坡矿  $K_7$  (臭炭层) 煤层相序是: 潮坪 → 沼泽 → 泥炭沼泽 → 泻湖, 其间接底板是典型的砂泥互层层理。 $K_7$  亦为高灰高黄铁矿硫煤层。

### 1.4 南桐矿区龙潭含煤岩系

含煤岩系为一套碳酸盐岩、碎屑岩 (清水、浑水) 交替出现的潮坪体系。其下部主要含煤段形成过程为: 东吴运动, 使地壳上升, 茅口灰岩风化剥蚀形成残积相的角砾岩, 灰岩的风化壳上沉积了高岭石、含铝质泥岩——残积平原相, 由于近海岸, 常受海水影响, 海水  $SO_4^{2-}$  与风化壳的铁形成黄铁矿, 尤其是在含灰高的部位, 随后沼泽化, 形成含植物根、茎的褐灰色沼泽沉积——根土岩, 其上形成泥炭沼泽 (6号煤); 继后海进, 潮坪环境沉积钙质泥岩、泥灰岩超覆于 6号煤之上, 该环境中沉积了含植物碎屑、腕足、海百合、粗枝藻等化石生物碎屑灰岩, 生物碎屑定向排列, 尤其是粗枝藻碎屑受潮汐作用而顺层分布; 接着泻湖环境出现, 以含小个体腕足化石, 不显层理, 并含黄铁矿结核为特征; 紧接着为砂泥互层, 人字形交错层理, 脉状透镜状及砂纹层理的潮间相带, 出现泥坪 (炭泥与泥夹杂) 和沼泽环境, 沉积 5号煤层 (富含黄铁矿); 之后发生缓慢的海进, 潮坪带重新超覆于 5号煤之上, 形成钙质泥岩沉积, 并富含粗枝藻长条形碎片, 定向排列, 间含少量有孔虫、腕足、裸松藻、腹足类等, 间夹含有较多小海绵骨针的细粒纹层; 继后灰岩沉积, 有粘土夹层, 灰岩内是正常盐度的海相化石碎片, 有潮间、潮下、台地、风暴等, 灰岩厚度大, 可达 20—30 m。

海退序列, 沉积了泻湖相的含菱铁矿层、透镜体及结核的粉砂岩、泥岩, 而后滨海下三角洲相潮汐砂坝出现, 与广海隔离, 接受潮下具水平、微波层理的泥岩、粉砂岩沉积和富纹层 (富含植物叶、根) 的粘土岩沉积; 后沉积 4号煤层; 4号煤之后, 强烈的海进, 沉积闭流泻湖粉砂岩、泥岩 (含黄铁矿、海绿石, 具纹层), 后出现潮汐砂坝、潮道沉积。

三个煤层成煤相序 (见图 1): ① 残积平原 → 闭流沼泽 → 泥炭沼泽 (6号煤) → 潮坪 → 浅海; ② 泻湖 → 潮坪 → 闭流沼泽 → 泥炭沼泽 (5号煤) → 潮坪 → 浅海; ③ 泻湖 → 潮下 (潮坪) → 闭流沼泽 → 泥炭沼泽 (4号煤) → 闭流泻湖 → 潮汐砂坝。

4号煤为中灰富至高硫煤, 部分地区为富有机硫煤; 5号煤中高灰高黄铁矿硫煤; 6号

煤为中高灰高硫煤,一般为富有机硫煤,局部区有机硫达 2.5% 以上。

### 1.5 安县五一煤矿吴家坪含煤岩系

五一煤矿吴家坪含煤岩系为一套碳酸盐台地沉积,岩性为灰岩占 90.4%、泥岩占 7.2%、煤为 2.4%,为一浅海型古地理类型。

由于东吴运动,地壳上升成陆,茅口灰岩受风化、剥蚀。在海侵之前,已基本夷为准平原状态,沉积一套 3—5 m 厚铁铝质岩的残积平原相,铁质页岩、铝土页岩常充填于茅口灰岩风化洞及砾间。在铁质页岩的地方沉积头连子煤,煤下部含细晶层状黄铁矿,上部半光亮煤,直接顶板为纹层状泥晶藻屑灰岩,灰岩中含 70% 的裸松藻屑,定向排列,还有少量的有孔虫、蜓,灰岩形成于潮坪环境。沼泽基底不平,底部起伏较大,顶板平整。头连子煤成煤相序为:残积平原→泥炭沼泽→潮坪。头连子煤为中灰高有机硫煤

## 2 顶底板岩石地球化学特征

岩石中一些伴生元素的赋存特征能反映古环境及介质条件、古盐度。一般,陆相的硼

表 1 煤层顶底板岩石伴生元素地球化学特征

Table 1 Geochemistry characters of associated elements in roof and floor rocks of coals

样 品			Sr <sup>†</sup>	Ba <sup>†</sup>	$\frac{Sr}{Ba}$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Co}{Ni}$	S/Fe 原子比	Fe% (相对)	S% (相对)	V*	$\frac{K}{Na}$	Ga*
地点	产状	岩性											
沐川 C <sub>2</sub> 煤	顶板	粉砂质 泥岩	132	400	0.33	0.96	0.78	0.015	12.94	0.11	618	2.57	25
	底板	炭质 泥岩	206	348	0.59	6.70	0.36	0.025	4.93	0.07	721	5.33	32
筠连 C <sub>8-3</sub> 煤	顶板	高岭石 粘土	178	298	0.60				6.31			2.58	80
	底板	粉砂 泥岩	142	639	0.22	0.56	0.05	0.088	0.99	0.05	856	1.28	42
南桐 6号 煤	顶板	泥灰岩	1432	23	62.28							0.44	25
	底板	含炭 泥岩	233	134	1.74	1.08	0.04	0.137	1.27	0.10	400	2.13	66
南桐 5号 煤	顶板	钙质 泥岩	582	169	3.44	9.19	0.72	0.181	5.07	0.47	240	1.41	18
	底板	泥岩	834	212	3.93	0.43	0.22	0.101	2.77	0.16	516	2.37	35
五一矿头 连子煤	顶板	灰岩	1692	35	48.37	37.94	0.18	0.739	0.33	0.14	40	0.65	9
	底板	泥岩	66	61	1.08	2.13	0.52	0.179	3.81	0.39	178	5.00	51

\*  $\times 10^{-6}$

镓比小于 4,海相的多在 10 左右。煤科院地勘分院在总结现代泥炭沉积环境时得出这样的结论:陆相沉积 Sr/Ba 为 0.1—0.5(±),滨海过渡带为 0.7—1.2(±),海湾和近岸边缘海则

为 1.3—1.6 以上。S、B、As、Mn、Sr 在海相中高, Ca 在湖相中高<sup>[7]</sup>。

将四川晚二叠世各煤层顶底板岩石的 X 荧光光谱、等离子光量计分析数据汇于表 1, 可以看出, Sr/Ba 在陆相沼泽中都小于 0.6, 而过渡相的沼泽的 Sr/Ba 为 1—4, 岩性为灰岩、泥灰岩的潮坪相, 其 Sr/Ba 比大于 40, Sr 含量亦有同步变化, Ba 则相反; Ca 在湖泊相的筠连煤 C<sub>3-3</sub> 顶底板及残积平原较高, 说明残积平原具有湖泊的性质, 钙质岩性中 Ga 很低; Ca/Mg 比值在五一灰岩顶板及南桐 5 号煤顶板钙质泥岩中较高, 然而沐川煤底板相对富 Ca, S 在海相沼泽中相对较高; Fe 是陆源多, S/Fe 比在陆相低, 海陆过渡相、海相则高, 显然五一煤矿顶板灰岩相对富硫而缺铁, 而沐川富铁。钒在泥质岩中含量最高; 在碳酸盐岩中很低; 在海水比在湖水高<sup>[8]</sup>。关于钒的来源有两种意见: ① 钒的富集与有机体的生理作用有关 (一些棘皮动物和被囊动物等海生动物需从海水中吸取大量钒); ② 与钒的陆相悬浮物有关, 如沐川陆相含煤地层。以上矛盾可用后者加以解释。K/Na 与 Sr/Ba 呈反比, 海相的 K/Na 低而陆相高。风化作用 K 增高, 所以残积平原环境形成的沼泽 K/Na 高。

综上所述, 南桐 6 号煤和五一矿头连子煤从底板向顶板为海侵过程, 沉积环境由淡水、微咸水向咸水变化, 我们若将下列指标定为:

淡水: Sr/Ba < 0.7    微咸水: Sr/Ba = 0.7—4.0    咸水: Sr/Ba > 4.0

沐川、筠连 C<sub>3</sub>—C<sub>3-3</sub> 煤的成煤环境都为淡水, 南桐矿区、五一矿煤都是在微咸水环境中发育的, 而南桐 6 号煤与五一煤顶板环境则为正常海咸水环境。

### 3 各煤层硫的赋存状态与环境的关系

煤中硫的主要赋存状态有: 硫铁矿硫、有机硫、硫酸盐硫和元素硫, 其中以前两者为主, 元素硫含量甚微。常规煤质分析中主要测定硫铁矿硫 (S<sub>id</sub>)、硫酸盐硫 (S<sub>s</sub>) 和全硫 (S<sub>t</sub>)。有机硫 (S<sub>o</sub>) 由 S<sub>t</sub> 与 (S<sub>id</sub> + S<sub>s</sub>) 差减而得, 一般不测元素硫 (S<sub>e</sub>)。通常, 硫铁矿硫主要以黄铁矿为主, 故又叫黄铁矿硫。

一般淡水环境所形成的煤为低硫特低硫煤, 往往以有机硫为主; 半咸水、咸水环境所形成的煤为富硫高硫煤, 大多以黄铁矿硫为主。沐川 C<sub>2</sub> 形成于冲积平原河流沼泽环境中, 顶板为温滩相, 这种淡水环境形成 C<sub>2</sub> 低硫煤, 但各种硫分析并未显示以有机硫为主 (表 2)。显微分析表明 C<sub>2</sub> 煤中含大量脉状充填型黄铁矿, 排除这种后生作用形成的黄铁矿因素, C<sub>2</sub> 煤仍然是以有机硫为主的特低硫煤。筠连 C<sub>3</sub> 煤自下而上分为 C<sub>3-3</sub>、C<sub>3-2</sub> 和 C<sub>3-1</sub> 分层, 其间由此 1—2 m 厚的湖沼泥岩所隔, 整个 C<sub>3</sub> 煤形成在近海平原淡水湖沼环境中, 使 C<sub>3-3</sub>—C<sub>3-2</sub> 为低硫煤, 随后海浸, 形成 C<sub>3-1</sub> 的潮坪环境的顶板, 致使 C<sub>3-1</sub> 高黄铁矿硫煤。中梁山 K<sub>4</sub> 煤是在近海上三角洲发育形成, 多少受点海水影响, 使 K<sub>4</sub> 为中硫煤。松藻 N<sub>6</sub> 煤、天府 K<sub>7</sub> 和南桐的 5 号煤层都是在潮坪环境上发育起来的, 顶板都为浑水潮坪沉积, 致使下伏煤高黄铁矿硫, 尤其是南桐 5 号煤层硫的分布, 自上而下, 硫酸盐硫和有机硫变化不大, 黄铁矿硫与全硫成正比, 两者从上而下含量逐渐降低。南桐 4 号煤顶板为离岸较远的泻湖沉积, 使下伏煤有机硫含量有所增加。南桐 6 号煤和安县五一矿头连子煤都是在残积平原环境发育, 后海浸, 形成清水潮坪环境的泥灰岩、灰岩顶板, 中上部煤层以有机硫为主, 下部底部黄铁矿硫增多, 尤其是五一煤的上部有机硫可达 8% 以上, 自上而下有机硫缓慢减少, 显微组份强烈凝胶化, 镜质组份发褐色荧光, 灰分和矿物质很少。故此, 潮坪顶板沉积环境导致

## 下伏煤高硫

将四川具有代表性的主要可采煤层的硫分析汇于表 2, 由此可见: ① 随着陆相至海相, 煤中硫含量在增加, 成煤环境奠定了煤中硫分布的基础, 顶板环境是促使煤富硫高硫的重要因素 (如  $C_{8-4}$  NT<sub>6</sub> WY 等高硫煤)。② 一般低硫煤多半以有机硫为主, 然而本研究区内  $C_3$   $C_{8-3}$   $C_{8-3}$ , 低硫煤都是以黄铁矿硫为主, 这也是本区特点之一。③ 按中国煤中硫分类, 上冲积平原河流相发展的泥炭沼泽为低硫煤, 近海淡水湖沼发育低硫煤, 近海冲积平原河流相发育中硫煤, 近海潮坪、残积平原上沼泽形成富硫。而顶板海相环境是造成富硫高硫煤的重要原因 (多是潮坪环境)。④ 陆相煤灰分 ( $A_d$ ) 都较高; 海陆交替相煤  $A_d$  正比于  $S_{p,d}$

表 2 各煤层硫分析及顶底板沉积环境

Table 2 Sulfur analysis in coal beds and their roof and floor depositional environments

地 点	煤 层	编 号	工业分析			焦 渣 特 征	硫 分 析				成煤环境 (底板)	顶板 环境
			$M_{ad}$ (%)	$A_d$ (%)	$V_{daf}$ (%)		$S_{i,d}$ (%)	$S_{p,d}$ (%)	$S_{s,d}$ (%)	$S_{b,d}$ (%)		
沐川	$C_2$	Mc	1.14	52.7	18.23	2	0.62	0.26	0.12	0.24	上冲积平原 河流沼泽	漫滩
筠连	$C_{8-3}$	$C_{8-3}$	2.05	30.53	8.48	2	0.82	0.46	0.10	0.26	近海平原 湖沼	湖沼
	$C_{8-2}$	$C_{8-2}$	1.36	29.08	12.69	2	0.89	0.69	0.02	0.18	近海平原 湖沼	湖沼
	$C_{8-1}$	$C_{8-1}$	1.56	28.07	9.32	2	5.51	4.70	0.09	0.72	近海平原 湖沼	潮坪
中梁 山	$K_4$	ZNK <sub>4</sub>	1.28	25.64	20.76	6	1.55	1.17	0.06	0.30	上三角洲 河流	洪泛平原
南 桐	4号煤	NT <sub>4</sub>	0.77	12.00	26.12	7	2.19	1.48	0.01	0.70	泻湖潮坪	闭流泻湖
	5号煤	NT <sub>5</sub>	1.12	17.50	23.61	6	4.81	4.06	0.06	0.69	潮坪	潮坪
	6号煤	NT <sub>6</sub>	1.15	21.56	27.10	7	2.73	1.53	0.12	1.08	残积平原	潮坪
松藻	$M_6$	SH	2.01	29.09	8.81	2	8.51	6.86	0.54	1.11	潮坪	潮坪
天府	$K_7$	MX	1.02	27.88	22.36	6	6.85	5.85	0.31	0.69	潮坪	泻湖潮坪
安县	头连子	WY	0.55	13.81	27.40	7	13.1	5.97	0.16	7.01	残积平原	碳酸盐台 地潮坪

若将各种硫占总硫的百分比来分析, 可用有机硫率  $S_i/S$  (%) 将煤划分出三种类型硫相: I 型 无机硫相, 有机率 < 20%; II 型 混合硫相, 有机硫率为 20%—50%; III 型 有机硫相, 有机硫率 > 50%。MG  $C_{8-4}$   $C_{8-3}$  ZNK<sub>4</sub> NT<sub>5</sub> SH MX 为 I 型;  $C_{8-3}$  NT<sub>4</sub> 为 II 型; WY YTB<sub>6</sub> (南桐鱼田堡 6 号煤)、(NT<sub>6</sub>) 为 III 型。显然, 各种不同成因的硫相, 对环境的指示有非常重要的意义。

总之, 煤中硫的赋存状况, 不仅受成煤环境的影响, 而且受其顶板沉积环境的影响。成

煤环境奠定了煤中硫的分布基础, 而顶板环境则是促使煤富硫、高硫的重要因素。微咸水、浑水潮坪的顶板沉积环境, 导致下伏煤高黄铁矿硫, 而咸水的清水潮坪顶板环境则导致下伏煤高有机硫。

致谢 X 荧光光谱及等离子光量计数据由北京中关村分析测试基金委提供仪器测试和经费资助, 煤工业分析及硫分析是在江苏煤田地质研究所测试的, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Cohen A D, Spackman W, Dolsen P. *Int, J. Coal Geol.*, 1983, 4, 73- 96.
- [2] Casagrande D J. *Coal and coal Bearing Strata: Recent Advance*; Scott, Ed; Geological Society: London, 1987, 87- 105.
- [3] 杨起等主编. 煤地质学进展. 北京: 科学出版社, 1987, 3.
- [4] 任德胎, 雷加锦, 唐跃刚, 郭国莉, 姚玉琴. 煤田地制裁与勘探. 1993, 21 (1): 25- 30.
- [5] J J Renton & D S Bird. *Int. J. Coal Geol.*, 1991, 17, 21- 50.
- [6] 潘随贤等. 中国石炭二叠纪含煤地层及地质学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1987.
- [7] 杨起, 韩德馨主编. 中国煤田地质学 (上册). 北京: 煤炭工业出版社, 1979.
- [8] 刘英俊等编著. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984.

## Relationship Between the Coal-Forming Environment and Sulfur in the Late Permian Coal of Sichuan, China

Tang Yuegang<sup>1</sup> Ren Deyi<sup>1</sup> Liu Qinfu<sup>1</sup> Yao Guanghua<sup>2</sup> and Gan Zhijie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (Beijing Graduate School of China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

<sup>2</sup> (Nantong Coal Bureau at Chongqin of Sichuan, Chongqin 630803)

### Abstract

The distributive regulation of sulfur in coal is discussed on the basis of sedimentology, coal-forming environment, geochemistry, etc. in this study. And the relationship between the coal-forming environment and sulfur in coal is clarified in detail. The study indicates that the occurrence information of sulfur in coal is not only influenced by coal-accumulating environment, but also by roof depositional environment. The coal-forming environment has laid a foundation of sulfur occurrence in coal, while roof depositional environment is important and key link to make coal with high sulfur. The roof depositional environment of brackish muddy water tidal flat leads to high pyritized sulfur in underlying coal while that of clean marine water tidal flat leads to high organic sulfur in underlying coal.

**Key words** Late Permian coal sulfur coal-forming environment