論文

高硫黄中国炭の急速熱分解における 固相からの硫黄の除去特性

(キーワード 高硫黄含有炭, 急速熱分解, 形態別硫黄, 有機硫黄)

— 1994.10.14 受理 —

秋田大学*¹ 菅原 勝康, 阿部 圭子, 菅原 拓男

Montana Tech of The University of Montana*² Mark A. Sholes

1. 緒 言

一般に石炭は賦存量の多いエネルギー資源であるといわれているが、硫黄含有量の低い石炭は限られており、今後は硫黄含有量の高い低品位の石炭を多く使用せねばならないであろう。石炭中の硫黄の形態や量は、産炭地ごとに大きく異なることが知られているが、石炭資源を輸入に頼らざるを得ない日本では、世界中のあらゆる種類の石炭について物理的および化学的な脱硫技術を開発しておく必要がある。

ところで化石燃料由来の硫黄や窒素に起因する酸性雨の発生が、世界の各地で大きな問題となっている。とくに中国からの硫黄の排出量は16Tg/年であり、米国に次いで世界第2位の値である。しかも中国における近年の高いGNPの伸びから予想すると硫黄の排出量はますます増加し、酸性雨による被害が深刻化するのではないかと懸念される。また排出されたSO₂による越境汚染も懸念され、日本国土においても高レベルの酸性雨が降ることが予想される。中国におけるSO₂排出量のうち、9割が石炭燃焼によるものとされ、そのうち3割が火力発電所、残りは産業ならびに民生部門での石炭利用により発生しているといわれている¹⁾。火力発電所等の大規模発生源に対しては排煙脱硫のような事後処理を行うにしても、多くの中小規模発生源については、事前処理によるクリーンコールの製造が必要であると考えられる。

著者らは、石炭クリーン化技術の開発に関する研究

の一環として、これまで国内外炭十数種を用い、熱分解における形態別硫黄の挙動を明かにするとともに、その速度論的検討を行ってきた²⁾³⁾。その結果、熱分解における硫黄の挙動は炭種により大きく異なり、例えば炭素含有量が同一であっても、固相からの有機硫黄の除去率には30%以上の違いがみられることがあった。また比重分離により微細組織成分の含有割合が異なる試料を調製し、それらの急速熱分解における硫黄の挙動を追跡したところ、エクジニットとビトリニットの含有量に比例して有機硫黄の固相からの放出速度ならびに除去率が増加する傾向にあり、有機硫黄除去に及ぼす石炭組織の影響が大きいことがわかった⁴⁾。

本研究では、先の著者らの研究で少なかった高炭化度の石炭についての硫黄の挙動を調べること、そしてとくに比較的情報が少ない中国炭についての硫黄の挙動を明かにすることを目的として、現在、工業活動が盛んで酸性雨の被害が顕在化している中国四川省重慶地区で多く使用されている硫黄含有の高い3炭種ならびに山東省の1炭種を試料として、急速熱分解における形態別硫黄の挙動を追跡した。またこれら試料炭の硫黄の挙動の違いを比重分布の観点から検討した。

2. 実 験

2.1 試 料

石炭試料として、四川省のNan Tong (南桐) 炭, Zhong Liang Shan (中梁山) 炭, Fu Rong (芙蓉) 炭および山東省のYanzhou (B) (兗州-北宿) 炭の4種類を使用した。これらの試料炭を-45+65meshに粉砕ふるい分けしたものを実験に用いた。Table 1に、試料炭の元素分析、工業分析ならびに形態別硫黄分析値

*1 鉱山学部資源素材工学科 秋田市手形学園町1-1

*2 Dept. of Geological Engineering,
Butte, Montana 59701 U. S. A.

Table 1 Analyses for sample coals

Sample	Ultimate [wt.%, dry basis]					Proximate [wt.%, dry basis]			Sulfur form [wt.% of total sulfur]		
	C	H	N	S	Diff.	V.M.	F.C.	Ash	Pyritic	Sulfate	Organic
Nan Tong	73.6	4.0	0.5	4.1	18.3	17.0	65.2	17.8	34.2	0.1	65.7
Fu Rong	69.7	2.4	0.7	5.2	22.0	10.5	66.5	21.6	76.7	0	23.3
Zhong Liang Shan	73.9	3.1	0.6	4.3	18.7	21.6	60.4	18.0	67.4	0	32.6
Yanzhou (B)	81.0	5.0	1.0	2.9	11.1	43.2	47.7	9.1	38.3	0.4	61.3

を示した。4炭種とも高炭化度炭であり、炭素含有量は無水無灰ベースで88.9-90.1%とほぼ同一の値を示している。またいずれも高硫黄含有炭であるが、とくにFu Rong炭とZhong Liang Shan炭では、黄鉄鉱硫黄の量が多いことがわかる。

2.2 実験装置および方法

試料炭の急速熱分解は、粒子自由落下型反応器を用いて、常圧窒素気流中(2 l-NTP/min)、反応器内最高温度980℃の条件下で行った。反応管は内径36mmの石英管であり、また全長150cmの加熱区間を30cmずつ5段階に変えることにより、石炭粒子の反応器内滞在時間を変化させた。粒子自由落下型反応器の詳細は、他に記した²⁾⁵⁾。

石炭および熱分解チャーの形態別硫黄の分析は、ASTM D2492およびGladfelter-Dickerhoofの方法を改良した方法により行った。これら形態別硫黄の分析法の詳細は、先に報告した⁶⁾。また種々の塩化亜鉛水溶液を用いて、各試料の比重分布を調べるとともに、比重の違いによる試料のグループ分けを行った⁴⁾。

3. 実験結果および考察

3.1 揮発分放出挙動

Fig. 1に、各石炭試料を急速熱分解したときの、揮発分放出量と石炭粒子の反応器内滞在時間の関係を示した。ここで石炭粒子の反応器内滞在時間は、石炭粒子に関する運動量収支方式および熱収支式を解くことにより推算したものである⁵⁾。また図中の実線は、揮発分放出速度式が、固相中に残留する揮発分量に一次の反応として、

$$dV/dt = k_v \exp(-E/RT)(V^* - V)$$

で表されるものと仮定し、シミュレートした値である。ここで V^* は、最大揮発分量、 V は任意の時間 t における揮発分量である。Table 2に、シミュレーションにより決定した揮発分放出速度の頻度因子 k_v ならびに活性化エネルギー E の値を示す。Yanzhou (B)炭は、高炭化度炭にも関わらず工業分析における揮発分量が多く、急速熱分解においても最大揮発分量は52%と、

Fig.1 Experimental results and simulated curves for release of volatile matter with residence time

Table 2 Kinetic parameters determined for devolatilization

Sample	K_v [1/s]	E [kcal/mol]
Nan Tong	1.5×10^4	14
Fu Rong	3.0×10^3	14
Zhong Liang Shan	1.6×10^4	16
Yanzhou (B)	1.0×10^4	10

4炭種中、最も大きな値を示した。昇温速度が大きいほど工業分析値に比べ揮発分量が増加することが知られているが、Yanzhou (B)、Zhong Liang Shan炭では急速熱分解により、それぞれ1.2-1.3倍の増加がみられ、Nan Tong炭では2.1倍の値が得られた。一方、Fu Rong炭では、急速熱分解による揮発分量は工業分析による値と同一であった。

Fig.2に、反応器内滞在時間が約0.6秒の条件で得られた急速熱分解チャーの電子顕微鏡写真を示す。Nan Tong、Zhong Liang ShanおよびYanzhou (B)炭では、較化、膨潤の形跡が認められるが、Fu Rong炭で

Fig.2 SEM micrographs of rapid pyrolysis chars from (a) Nan Tong, (b) Fu Rong, (c) Zhong Liang Shan and (d) Yanzhou (B) coals

は急速熱分解による裂け目の発生が観察されるものの、高炭化度炭に多くみられる軟化溶解性は見られなかった。

軟化膨潤性を示した石炭では、粒子の反応器内滞在時間とともに平均粒径は増加し、最大値を示した後また減少する傾向があった。とくに Nan Tong および Zhong Liang Shan 炭では、急速熱分解により原炭の 2.1-2.2 倍まで平均粒径が増大し、また Yanzhou (B) 炭では 1.2 倍ほど増加した。軟化膨潤性が見られなかった Fu Rong 炭では、熱分解に伴う平均粒径の増減はほとんど無かった。

3.2 形態別硫黄の挙動

Figs.3-6 に、各試料炭を急速熱分解したときの形態別硫黄分布の変化を示す。図中、横軸にはコールホッパーからの距離 X あるいは反応器内粒子滞在時間 t_R を取った。Fig. 3 に示した Nan Tong 炭では、有機硫黄の固相からの放出反応が約 0.3 秒以内に終了し、その後はほぼ一定値を取っていることがわかる。いま有機硫黄の固相からの除去率を石炭ベースで、

$$\left\{ 1 - \left(\frac{\text{チャー中の有機硫黄量}}{\text{原炭中の有機硫黄量}} \right) \right\} \times 100 \text{ [\%]}$$

と定義すれば、Nan Tong 炭における有機硫黄の除去率は、39%であった。有機硫黄の固相からの放出が

Fig.3 Experimental results and simulated curves for sulfur-form distribution for Nan Tong coal

0.3秒以内で終了しているのに対し、黄鉄鉱から硫化第一鉄への還元反応は0.25秒以降から徐々に進行している。

Fig. 4 に、Fu Rong 炭における形態別硫黄分布の変化を示した。Fu Rong 炭では、全硫黄中約 8 割が黄鉄鉱硫黄であり、反応器滞在時間とともに徐々に硫化第一鉄硫黄への還元が進んでいることがわかる。Fu Rong 炭の有機硫黄は、揮発分の放出挙動と同様に反応時間とともに徐々に減少しているが、その減少割合は大きく、最終的な有機硫黄の除去率は89%に達して

Fig.4 Experimental results and simulated curves for sulfur-form distribution for Fu Rong coal

Fig.6 Experimental results and simulated curves for sulfur-form distribution for Yanzhou (B) coal

Fig.5 Experimental results and simulated curves for sulfur-form distribution for Zhong Liang Shan coal

Fig.7 Desulfurization scheme of coal

Table 3 Kinetic parameters determined for desulfurization

Step i	Nan Tong	Fu Rong	Yanzhou	Zhong Liang Shan
1	5.0×10^5	1.0×10^4	5.0×10^4	2.0×10^6
2+3	3.0×10^5	1.5×10^5	1.0×10^5	4.0×10^5
4	8.0×10^8	6.0×10^8	9.0×10^8	2.0×10^9

k_{i0} ($i=1-3$) [s^{-1}]; k_{40} [$(mgS/g-coal)^{0.5}s^{-1}$]

いる。
次に Fig. 5 に示した Zhong Liang Shan 炭では、揮発分が Fu Rong 炭に比べ2.5倍以上放出されているが、有機硫黄は熱分解の初期0.22秒以内に若干減少するものの、その後は一定値を示し、有機硫黄の除去率は、4 炭種中最も低い19%であった。そして Fig. 6 の Yanzhou (B)炭では、有機硫黄は反応時間と共に比較的なだらかに減少し、最終的な除去率は73%である。Figs.3-6に示したこれら4 炭種では、急速熱分解という短い反応時間内に、熱分解反応はすべて終了しているが形態別硫黄の挙動は炭種により大きく異なることがわかる。
Figs.3-6中の実線は、Fig. 7 に示した脱硫スキームをもとにシミュレートした値である。本シミュレーションは、反応器内を自由落下する石炭粒子に関する運動量文支、熱収支ならびに形態別硫黄各種の物質収支からなる連立方程式を解くことにより行った。シ

ミュレーションの詳細は他に記したが²⁾、Fig. 7 に示した脱硫スキームにおける各反応ステップの反応次数および活性化エネルギーは、Yergey ら⁷⁾が提出した値を使用した。そして各反応ステップの頻度因子を実験値のフィッティングパラメーターとした。Table 3 に、各炭種について決定した頻度因子の値を示した。但し、文献値⁷⁾に従い、1-3のステップの反応次数は1、活性化エネルギーは22kcal/mol とし、4 のステップについては反応次数は0.5、活性化エネルギーは42.1kcal/mol とした。5 と 6 のステップは本試料の急速熱分解では無視できた。また本実験では、気相

中へ移行した硫化水素量とタール中へ移行した有機硫黄量を実測していないことから、ここではステップ2と3の反応については頻度因子の和として表現した。

Fig. 8に、4種の高炭化度中国炭と共に炭素含有量が66%から90% dafの石炭12種、計16種の石炭について、急速熱分解したときの有機硫黄の除去率と原炭中の炭素含有率を示した。ここで炭素含有量が77%と89%に Yanzhou 炭の除去率が示されているが、これらは同一名の石炭であるが炭層が異なり、炭素含有量が低い方が Xing Long Zuang 地区、高い方が Beishu 地区より得られたものである。炭素含有量が増加するほど熱的に安定なチオフェン構造の有機硫黄がほぼ直線的に増加するといわれていることから⁸⁾、有機硫黄の除去率が炭素含有量の増加とともに減少するものと予想されるが、急速熱分解により得られた除去率の結果は、炭素含有量に依存せず炭種により大きく異なっている。とくに本実験の4種の中国炭では、炭素含有量がほぼ同一であるにも関わらず、有機硫黄の除去率は19%から89%まで大きく異なっている。とくに Fu Rong 炭の除去率は16炭種中2番目の高い値を示した。

Fig.8 Change in extent of organic sulfur removal from solid phase with carbon content

a. Fushun	i. PSOC 1493
b. PSOC 830	j. PSOC 592
c. Fuxin	k. Muswell Brook
d. Obed Mountain	l. Fu Rong
e. Ermelo	m. Yanzhou (B)
f. Rosebud	n. Nan Tong
g. Sheerness	o. Zhong Liang Shan
h. Smoky River	p. Yanzhou (X)

3.3 比重分離炭における硫黄の挙動

さて先に著者らは、炭素含有量77%の PSOC592と Muswell Brook 炭について、比重分離法により3種に区分しそれらの急速熱分解を行い形態別硫黄の挙動を追跡した⁴⁾。その結果比重の小さい試料ほどエクジニットとビトリニットの含有量が多く、そしてエクジニットとビトリニットの含有量に比例して有機硫黄の固相からの放出速度ならびに除去率が増加することがわかった。このことから本実験で使用した4種の高炭化度炭においても有機硫黄の除去率の違いに有機硫黄の偏在もしくは比重分布の違いが関与している可能性があると考えられる。とくに揮発分発生量が少ないにも関わらず有機硫黄の除去率が高い Fu Rong 炭では、揮発分を多く含む部分に有機硫黄が偏在しているのではないかと推測される。そこで Fu Rong, Nan Tong, Yanzhou (B)の3炭種について、塩化亜鉛水溶液を用いて比重分布を調べるとともに、比重の違いによる分割を行った。Fig. 9に、比重分布の測定結果を示す。炭素含有量がほぼ同一の試料であっても、比重分布は大きく異なることがわかる。いま比重分離により得られる石炭の収率を考慮して、それぞれの石炭について図中に破線で示したようなグループ分けを行った。すなわち Nan Tong 炭では、1.32以下をグループⅠ、1.32-1.40をグループⅡ、1.40以上をグループⅢとした。また他の石炭に比べ比重分布のピークが低比重側にある Yanzhou (B)炭では、1.26以上をグループⅠ、1.26-1.40をグループⅡ、1.40以上をグループⅢとし

Fig.9 Yield distribution in specific gravity separation

(a) Nan Tong, (b) Yanzhou (B), (c) Fu Rong

た。そして Yanzhou (B)炭とは逆に高比重側に分布する Fu Rong 炭の場合には、1.42以下をグループⅠ、1.42-1.50までをグループⅡ、1.50以上をグループⅢとした。但し、図中 Nan Tong および Fu Rong 炭の比重が1.5-1.52と Yanzhou 炭の1.40-1.42に示した収率の値は、それぞれ1.5以上および1.40以上の値を表している。これら各グループ試料の各種分析値を Table 4 に示した。いずれの試料炭も全硫黄量は、比重の大きなグループⅢの方が高い値を示している。各グループ試料の形態別硫黄分析結果より、いずれの石炭においても比重の大きなグループほど黄鉄鉱硫黄の占める割合が大きいことがわかる。また逆に各グループごとの全硫黄に占める有機硫黄の割合は、比重の小さなグループほど大きい。有機硫黄の量は Nan Tong 炭ではⅠ>Ⅱ>Ⅲの順であり、Yanzhou (B)炭および Fu Rong 炭ではⅢ>Ⅰ>Ⅱの順となった。各グループ試料の工業分析による灰分の値は、比重の大きなグループほど大きな値を示しているが、揮発分の値は Yanzhou (B)炭のグループⅢがⅠやⅡに比べ小さな値となっているものの、Nan Tong 炭や Fu Rong 炭では、グループの違いによる揮発分量に大差はみられなかった。一般に比重の小さい成分ほど揮発分量が多いことから、有機硫黄の除去率が89%と高い値を示した Fu Rong 炭では、比重の小さなグループに有機硫黄が濃縮されているのではないかと予想されたが、逆に比重の大きなグループⅢの方が有機硫黄濃度が高いという結果になった。

また Table 4 に、各グループ試料を急速熱分解したときの有機硫黄の除去率を併せ示した。グループⅠとⅢを比較すれば、Nan Tong 炭では約7倍、Yanzhou (B)炭では約3倍ほど、比重の小さなグループⅠの方が有機硫黄の除去率が高いことがわかる。高炭化

度の石炭では、エクジニットのビトリニット化が進み、光学顕微鏡による微細組織成分の区別は困難であったが、比重の小さい試料ほど熱分解しやすいエクジニット由来の成分が多く含まれているものと考えられる。そしてエクジニット中の有機硫黄としては、スルフィド類が多いという報告があり⁹⁾、これらのことがグループⅠの有機硫黄の反応性が高いことに深く関わっているものと推測される。また比重の大きな成分ほどイナートニットを多く含み、熱分解性が劣ることから、比重の大きな成分ほど有機硫黄の除去率は低いものと推測される。しかしながら Fu Rong 炭の場合にはグループⅠがⅡより大きな除去率を示しているものの、比重の大きなグループⅢの有機硫黄除去率が93%に達し、グループⅠ、Ⅱに比べ非常に高い値を示している。ところで Stock 炭¹⁰⁾は、Illinois No. 6 炭を大気中に晒したところ、元素状硫黄が生成したことを報告している。またこの元素状硫黄の前駆体は黄鉄鉱であり、黄鉄鉱の酸化による元素状硫黄の生成は、湿度や温度の増加と共に急速に進行することが明らかになった。本研究における Fu Rong 炭の場合には、黄鉄鉱硫黄を4%と多量に含み、その多くがグループⅢに存在している。また他の試料では、グループⅢに比べ、Ⅰ、Ⅱの有機硫黄濃度が高い傾向にあるが、Fu Rong 炭の場合にはグループⅢの有機硫黄濃度が高くなっている。元素状硫黄は熱的に不安定であることも考慮すれば、Fu Rong 炭において、形態別硫黄の分析上、有機硫黄と見積もられた硫黄の中には元素状硫黄も含まれていた可能性があり、このため有機硫黄の除去率も高い値を示したのではないかと推測される。

Fig.10に、原炭並びにそのグループ試料を急速熱分解したときの、有機硫黄の除去率と平均比重の関係を示した。平均比重と有機硫黄の除去率は良い相関を示

Table 4 Yield, analyses and extents of organic sulfur removal of density separated samples

Coal	Group	Yield	S	VM	Ash	Pyritic	Sulfate	Organic	Extent of organic sulfur removal [%]
		[wt.%, d.b.]				[wt.% of total sulfur]			
Nan Tong	I	18	3.5	17.8	6.8	3.8	0.2	96.0	65
	II	47	3.6	17.4	10.2	12.1	0.2	88.7	52
	III	35	4.9	16.6	33.4	66.3	0.1	33.6	9
Yanzhou (B)	I	32	2.1	44.3	7.0	5.4	0.2	94.4	82
	II	60	2.3	40.7	7.8	19.3	0	80.7	76
	III	8	12.9	27.6	53.5	76.6	0.2	23.2	28
Fu Rong	I	17	1.1	11.8	8.6	43.3	3.6	53.1	26
	II	39	1.3	11.9	16.2	53.9	2.0	44.1	9
	III	44	10.2	14.9	31.4	87.7	0.3	12.0	93

Fig.10 Correlation between extent of organic sulfur removal and average specific gravity

Sample	Raw	I	II	III
Nan Tong	○	①	●	●
Yanzhou(B)	□	▨	■	■
Fu Rong	◇	◊	◆	◆

し、平均比重が大きくなるにつれ、除去率は低下する傾向にあることがわかる。但し、Fu Rong 炭におけるグループ I、II についての有機硫黄の除去率と平均比重の関係は、ほぼ他の石炭試料と同じ線上に位置するが、グループ III の除去率とそれに伴う原炭の値は、他の試料の値から大きくかけ離れている。

さらに今後、比重の違いに伴う有機硫黄形態の変化を明らかにするとともに、元素状硫黄の存在についても詳しく調べる必要があると考えられる。また Zhong Liang Shan 炭では、比重分離した際に黄鉄鉱のばらつきが激しく再現性に問題があるため、現在石炭組織間での黄鉄鉱の分布や比重分離の方法を併せて検討中である。

4. 結 言

現在、中国四川省ならびに山東省で多く使用されている高硫黄含有炭である Nan Tong, Fu Rong, Yanzhou (B) および Zhong Liang Shan 炭を試料として、急速熱分解における形態別硫黄の動的挙動を調べた。4 種の石炭とも炭素含有量は約 90% でほぼ同一であるにも関わらず、急速熱分解における脱硫や揮発分の放出、粒子の膨潤の挙動は、炭種により異なる結果が得られた。とくに固相からの有機硫黄の除去率は、Zhong

Liang Shan 炭の 19% から Fu Rong 炭の 89% までと大きく異なる値を示した。

また比重分離法により、石炭を 3 つのグループに分別後、それぞれの試料を急速熱分解し形態別硫黄の挙動を追跡した。その結果、Nan Tong 炭と Yanzhou (B) 炭では、最も比重の小さいグループ試料が最も高い有機硫黄の除去率を示した。一方、Fu Rong 炭では、最も比重の大きなグループが最も高い硫黄含有量と最も高い有機硫黄の除去率を示した。Fu Rong 炭の最も比重の大きなグループと比重分離していない試料における結果を除いて、有機硫黄の固相からの除去率は、試料の平均比重とともにほぼ直線的に減少する傾向にあることがわかった。

【謝 辞】実験に御協力頂いた学部学生、永井健一氏、森山英司氏、郡司知訓氏ならびに深瀬賢一氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 定方正毅ら、文部省人間環境系重点領域研究、1990/1992 年度研究成果報告書、p. 1 (1993)
- 2) Sugawara, T., Sugawara, K., Nishiyama, Y. and Sholes, M. A., *Fuel*, **70**, 1091 (1991)
- 3) Sugawara, K., Tozuka, Y., Sugawara, T. and Nishiyama, Y., *Fuel Proc. Technol.*, **37**, 73 (1994)
- 4) 菅原勝康, 戸塚康人, 阿部圭子, 菅原拓男, Sholes, M. A., 日エネ誌, **73**, 841 (1994)
- 5) Sugawara, T., Sugawara, K., Sato, S., Chambers, A. K., Kovacic, G. and Ungarian, D., *Fuel*, **69**, 1177 (1990)
- 6) Sugawara, T., Sugawara, K. and Ohashi, H., *Fuel*, **67**, 1263 (1988)
- 7) Yergey, A. L., Lampe, F. W., Vestal, M. L., Day, A. G., Fergusson, G. J., Johnstone, W. H., Snyderman, J. S., Essenhigh, R. H. and Hudson, J. E., *Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop.*, **13**, 233 (1974)
- 8) Kelemen, S. R., Gorbaty, M. L., George, G. N., Kwiatek, P. J. and Sansone, M., *Fuel*, **70**, 396 (1991)
- 9) Huffman, G. P., Mitra, S., Huggins, F. E., Sha, N., Vaidya, S. and Lu, F., *Energy Fuels*, **5**, 574 (1991)
- 10) Stock, L. M., Wolny, R. and Bal, B., *Energy Fuels*, **3**, 651 (1989)

Rapid Pyrolysis Desulfurization Characteristics of High Sulfur Coals from China

Katsuyasu SUGAWARA^{*1}, Keiko ABE^{*1}, Takuo SUGAWARA^{*1} and Mark A. SHOLES^{*2}

(^{*1} Division of Materials Process Engineering, Mining College, Akita University
^{*2} Department of Geological Engineering, Montana Tech of The University of Montana)

SYNOPSIS : — Four high sulfur and high rank Chinese coals (Nan Tong, Fu Rong, Yanzhou (B) and Zhong Liang Shan) were pyrolyzed rapidly in a nitrogen stream by using a free fall pyrolyzer. Rapid pyrolysis desulfurization, devolatilization and swelling behaviors were different from coal to coal though the four coals have same carbon content. The extent of organic sulfur removal from solid phase ranged from 19% for Zhong Liang Shan to 89% for Fu Rong coals.

Nan Tong, Fu Rong and Yanzhou (B) coals were fractionated into three groups by a sink-float method and each group was pyrolyzed rapidly. The highest specific gravity group of Fu Rong coal containing the highest organic sulfur showed the highest removal of organic sulfur. The lowest specific gravity group of the Nan Tong and Yanzhou (B) coals were desulfurized higher than other groups. The extent of organic sulfur removal decreases linearly with the increase of average specific gravity with exception of the highest specific gravity group and non-separated sample of Fu Rong coal.

Key Words

High sulfur coals, Rapid pyrolysis, Sulfur form, Organic sulfur