

我国腐植煤的还原性质及其 与沉积环境的关系

赵师庆

(淮南矿业学院)

一、不同还原性腐植煤的基本特征

在研究华北聚煤区东部晚古生代太原组(C_3)和山西组(P_1^1)煤性质差别及显微特征的基础上,作者认为除煤岩成分和变质程度外,还存在着影响煤质的第三个成因因素——还原性质。

不同还原性质的腐植煤,在煤岩、化学等一系列煤质指标上有明显差别,与弱还原性煤相比,强还原性煤具有如下特征:

1. 含有较多的镜质组组分和少量的丝质组组分;
2. 镜质组中以无结构镜质体(基质镜质体)占绝大多数,而结构镜质体数量很少(图版 I, 1—4);
3. 无结构镜质体的反射率稍低;
4. 煤和镜质组具有较高的 V^Y 、 Q^Y_{DT} 、 T^Y 、 H^Y 、可塑性、膨胀度(b)、基氏流动度(α_{max})和粘结性(坩埚粘性、 Y 、 LR)及较多的烷烃和单苯核芳烃。
5. 煤和镜质组具有较低的 O^Y 、 N^Y 、 fa 和软化温度及较少的多缩合芳烃、酚羟基和酸性成份;
6. 具有高的全硫含量(S^k_Q)和相对较高的以铁为主的 $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 灰成分及相对较低的 $SiO_2 + Al_2O_3$ 灰成分量,或者说具有较高的灰成分指数($Fe_2O_3 + CaO + MgO/SiO_2 + Al_2O_3$)。

但是,目前只有全硫量和灰成分量或灰成分指数尚可作为辨认还原性强弱的定量指标。从华北东部地区的实际资料看,根据这两个指标可初步划分出三种不同还原性类型煤(表1)。

比较典型的海陆交替相(近岸滨海环境)含煤建造的太原组煤一般均属较强还原性(C和B型),过渡相(三角洲平原环境)和陆相(远岸河流或湖泊环境)含煤建造的山西组煤则属弱还原性(A型)。所以,还原性质的差别主要为含煤建造的古地理环境所控制。

煤的还原性质定型于泥炭化到成岩化阶段,泥炭沼泽沉积期到成岩期沼泽介质的地球化学性质主要影响到同种成煤物质的性质和质量,并通过镜质组组分的类型得到表现。可以认为受古地理环境控制的腐植煤的还原性是华北地区晚古生代含煤建造沉积的

表1 华北东部腐植煤的还原类型
Table 1 Reductivity type of humic coal in the eastern part of North China

指 标 型	全 硫 $S_{Q\%}$	灰 成 分 含 量、 %		灰 成 分 指 数
		$Fe_2O_3 + CaO + MgO$	$SiO_2 + Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + CaO + MgO$ $SiO_2 + Al_2O_3$
C (强还原)	3~>5	>30	<60	0.55~1.23
B (中还原)	1~4	20~30	60~80	0.23~0.51
A (弱还原)	<1~2	5~20	75~>90	0.03~0.22

地球化学特征。

二、腐植煤还原性质的普遍显示及其受沉积环境的控制

我国各成煤时代腐植煤的还原特性与沉积环境的关系。综合列入表2—1至2—4中，现按时代简述如下：

1. 早石炭世煤

主要分布在我国南方湘、桂、粤等省区。湖南测水组和广西寺门组为海陆交替相煤系。煤层以含硫量高为特征，一般为1.0~7.0%，唯有湖南金竹山矿为低硫煤。灰成分 Fe_2O_3 含量虽然变化较大，但有随硫含量增高而增大的趋势， SiO_2 和 Al_2O_3 含量变化相反。

2. 中石炭世煤

另星分布于甘肃靖远、贺兰山和东北通化等地区。羊虎沟组（靖远组）为海陆交替相煤系，硫含量高达4.0%， Fe_2O_3 高达30%。在通化五道岭矿区称本溪统，为过渡相或陆相煤系、属低硫煤。

3. 晚石炭世煤

晚石炭也是我国一个主要成煤期。太原组煤系除西南地区外，其他省区均有分布，基本上都是典型海陆交替相煤系，煤层顶板往往为海相石灰岩。华北区太原组煤层以硫含量高（ FeS_2 为主）和 $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 含量相对比山西组高为特征，尤以南部为最，一般属强还原性的C型煤。剖面中灰岩层数多（12—16层）、灰岩总厚>20—50米，占剖面的50—70%，为泥岩—灰岩或灰岩—泥岩型岩性组合，浅海、滨海潮坪相为主，属浅海—滨海型古地理环境。

北京京西煤田煤系中上部、山西大同等煤田，由于太原组已非典型海陆交替相，煤的硫含量和 Fe_2O_3 含量都显著降低。

4. 早二叠世早期煤

1) 北方山西组（ P_1^1 ）煤 分布范围大体与太原组一致，属海退后的过渡相或陆相煤系，基本上不含海相层。硫含量低（<1.0—1.5%）， $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 含量、镜质组

表 2—1 不同含煤建造沉积环境煤的全硫及灰成分指标的变化
 Table 2—1 Change of total sulphur and ash composition indexes
 from coals formed in environment of defferent
 coal-bearing formations.

时 代 地 境	早 石 炭 世					
	海 陆 交 替 相		过 渡 相 或 陆 相			
煤田矿区 (煤层) 标	S _Q ^g %	SiO ₂ ·Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ·CaO· MgO %	S _Q ^g %	SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ ·CaO·MgO %
湘中新化等五个矿区 (1—6)	1.6~6.0					
湘南江永等二个矿区 (2—3)	5.1—6.6					
桂中北罗城三个煤田	4.0~7.0					
滇东宜良矿区	2.0~3.0					
		中 石 炭 世				
甘肃靖远井儿川矿	4.3	55.0	39.5			
辽宁通化五道岭矿				<1.0		
		晚 石 炭 世 (太原组)				
安徽淮南淮北煤田	1.0~7.0					
江苏大屯、贾汪矿区	1.5~6.5	<52.0	>33.0			
山东枣庄临沂、禹村	1.4~10.0	31~63	24~54			
河南平顶山, 宜洛	4.5	66.9	21.6			
陕西铜川	4.0~5.0	66.9				
青海乌丽玉树	1.5					
晋南沁水	>2.0					
河北临城	1.3	80.0	16.8			
山西大同、太原				0.5~1.3	72.4	14.9
京西(中、上煤层)				<1.0		
河北唐山				1.2	75.5	11.8
辽宁本溪、通化、红阳				0.9~1.3	84.7	11.3

表2—2 不同含煤建造沉积环境煤的全硫及灰成分指标的变化
 Table 2—2 Change of total sulphur and ash composition indexes from coals formed in environment of different coal-bearing formations.

时 代 地 层 煤田矿区 (煤层)	早 二 叠 世 早 期 (山西组)					
	海 相 交 替 相			过 渡 相 或 陆 相		
	S_Q^g %	$SiO_2 \cdot Al_2O_3$ %	$Fe_2O_3 \cdot CaO \cdot MgO$ %	S_Q^g %	$SiO_2 \cdot Al_2O_3$ %	$Fe_2O_3 \cdot CaO \cdot MgO$ %
安徽淮南北煤田				0.4~1.2	87.0	5.2
江苏大屯、贾汪矿区				0.4~1.0	>70~82.0	11.4~<18.0
山东枣庄, 临沂、禹村				0.3~1.1	70~93	10.0~17.2
河南平顶山、焦作、鹤壁				0.2~0.5	87.5	12.5
晋南泌水				0.5		
河北临城				0.8	91.4	6.0
山西大同、太原				0.5~0.7	94.6	3.8
京西煤田				0.6	78.5	13.4
河北唐山				0.5	80.5	6.1
辽宁本溪、通代、红阳				0.4~0.5	92.7	7.4
早 二 叠 世 早 期 (梁山组)						
湘北石门等四个矿区 (2.10)	2.3~7.0					
湘西辰溪等四个矿区 (9.10)	3.2~9.5					
鄂东、鄂西松宜(I)	3.5~7.0					
滇东宣威热水塘矿区	10.0					
皖西南贵池一带	高硫					
早二叠世晚期下石盒子组和晚二叠世早期上石盒子组						
豫西平顶山1.4.5.7矿 ($C_{15}-C_{17}$)				0.4~0.6	93.5	6.2
江苏贾汪(上、下)				0.4~0.9		
皖北宿县				0.5~0.9		
淮南新庄孜三个矿 (下石盒子)				0.3~1.0	96.4~72.6	2.5~11.0
淮南新庄孜三个矿 (上石盒子)				0.2~0.9	86.2	9.8
早 二 叠 世 晚 期 (茅口组)						
福建连城、加福煤田	1.6					
福建永定、龙岩、天湖山				0.3~0.8		
广东兴梅、广花、阳春	1.0~2.5					

表 2—3 不同含煤建造沉积环境煤的全硫及灰成分指标的变化
 Table 2—3 Change of total sulphur and ash composition indexes from coals formed in environment of different coal-bearing formations.

时 代 环 境 标 煤田矿区 (煤层)	晚 二 叠 世 早 期 (龙潭组)					
	海 陆 交 替 相			过 渡 相 或 陆 相		
	S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$ %	Fe_2O_3+CaO +MgO %	S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$ %	Fe_2O_3+CaO +MgO %
赣北九江、瑞昌(B ₁)	>6.0					
赣东北桥头岭鸣山六个矿	1.7~6.3	67.2~82.9	26.4~11.6			
赣西英岗岭等四个矿	1.7~7.9	67.0~78.7	29.7~15.4			
湘中邵阳、衡阳五个地区	1.5~5.6	69.5~59.9	17.9~28.0			
湘东、湘潭等三个矿区	2.0~9.8					
湘西黔阳等四个矿区	5.3~10.0					
川东宝顶, 南桐地区	2.0~6.0					
川北广元上寺	86.~11.5					
黔中(修文)、黔北(桐梓)三煤田	2.5~9.0					
黔西水域南部煤田(2—3)	0.2~5.2					
黔西盘县矿(三个煤组)				0.78		
滇东宣威羊场				0.2~0.5	73.0~90.0	10~30
桂中台山, 来宾泡水(二~五)	5.5~15.2					
桂南横县煤田	4.5~8.8					
桂北宜山煤田	5.9~11.5					
粤北连阳煤田(10,11)	3.0~8.9					
浙江长兴新杭、牛头山矿(C)	2.7~8.4	52.6~81.6	15.0~41.6			
皖南贵池、铜陵等矿(1~3)	3.0~6.0					
鄂东南大冶黄石煤田	5.7					
鄂西松宜、建始地区	2.0~8.0					
闽北将乐石林				0.4		
晚 三 叠 世						
陕西镇巴地区				<1.0		
新疆塔里木北缘				<1.0		
青海南部大通河木里门源煤矿				0.4~0.7		
粤北南岭关春地区	1.2~6.0					

续表 2—3

煤田矿区 (煤层)	时 代 环 境 标	晚二叠世早期 (龙潭组)					
		海陆交替相			过渡相或陆相		
		S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$	Fe_2O_3+CaO +MgO %	S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$ %	Fe_2O_3+CaO +MgO %
湘南宜章杨梅山等五个矿		1.9~4.5	80.4	24.9			
湘中衡阳、邵阳等六个矿		1.2~6.0					
湘中湘潭澄潭江矿 (3.5)					0.5~0.8		
赣西萍乡、新余、高安矿区					0.1~0.7	89.5	5.3
闽南龙岩-沙县					<0.6		
闽北崇安、浦城区					0.3~1.2		
川西南威远董家沟煤田					<1.0		
川中重庆-大邑煤田					<0.6		
川东南永川荣昌地区					<1.0~1.5		
滇东禄丰-平浪煤田					0.8~1.4		
藏北土门格拉矿		3.0±					

表 2—4 不同含煤建造沉积环境煤的全硫及灰成分指标的变化

Table 2—4 Change of total sulphur and ash composition indexes from coals formed in environment of different coal-bearing formations.

煤田矿区 (煤层)	时 代 环 境 标	早中侏罗世 (北方) 和 早侏罗世 (南方)					
		海陆交替相			过渡相或陆相		
		S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$	Fe_2O_3+CaO +MgO %	S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$ %	Fe_2O_3+CaO +MgO %
鄂北乌鲁木齐北煤田 (5~60)					<1.0		
疆中吐鲁番煤窑沟矿 (上、下煤组)					<1.0		
青海北部大通河木里、 大煤沟					0.1~0.9		
甘肃阿干镇、天祝、 华亭-新窑					0.4~0.9	31.8	59.1(富Fe,Ca)
陕南汉中3井					0.9		
内蒙大青山煤田					0.3~0.5		
山西大同同家梁					<0.1~1.4	65.6	32.9(富Fe,Ca)
北京京西矿长沟山谷					0.1~0.4	39.0	57.5(富Ca,Fe)

表 2—4

煤田矿区 (煤层)	早中侏罗世(北方)和早侏罗世(南方)					
	海陆交替相			过渡相或陆相		
	S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$ %	Fe_2O_3-CaO -MgO %	S_Q^g %	$SiO_2+Al_2O_3$ %	Fe_2O_3-CaO -MgO %
辽西北票煤田				0.1~0.5		
河南义马煤田				< 1.5		
山东坊子煤田				0.5~1.1		
鄂西荆当、秭归盆地 (11号)				0.7		
藏南日喀则南定日县区				< 1.0		
四川广旺、荣昌地区				0.2~0.7	93.8	6.0
桂东钟山西湾煤田	1.2~4.2					
晚侏罗世-早白垩世						
黑龙江鸡西、鹤岗、 双鸭山煤田				< 0.4~0.6		
吉林辽源、珲春煤田				< 1.0		
辽宁阜新煤田 (两个煤层群)				< 1.0		
早 第 三 纪						
辽宁抚顺、沈北煤田				0.4~0.7	90.0	7.0
吉林舒兰煤田				0.3	85.0	12.3
黑龙江虎林区				< 1.0		
鲁北黄县、五图盆地	1.2~5.3					
桂西百色盆地(2~5)	1.5~2.5					
晚 第 三 纪						
内蒙南部集宁	3.0					
冀北张家口张北	2.1					
吉林土门子组				< 1.0		
桂南钦灵煤田	3.0~4.0					
粤西南茂名、雷州半岛	1.6~2.3					
海南岛长坡盆地	3.5~4.5					
藏南南木林芒乡	1.7~3.3					
台湾木山组煤	1.5~2.5					
台湾石底组煤	1.2~3.5					
台湾南庄组煤	1.2~3.0					
滇东南开远小龙潭 (三)				1.8	35.0	41.0 (富Ca, Fe)

粘结性均比下部太原组煤层低,因而山西组煤属弱还原性A型煤为泥岩-粉砂岩-砂岩型岩性组合,有时以中粒或粗粒碎屑岩为主。过渡相(三角洲相为主)和冲积相(河流冲积相为主)构成了滨海平原型和滨海冲积平原型的古地理环境。

2)南方梁山组(P^1_1)煤 分布在湘、鄂等南部地区,属典型海陆交替相煤系。煤以高硫和强粘结性为特征。如滇东宣威热水塘矿区煤的 S^{eq} 高达10.0%,鄂西松宜干沟河矿区煤的粘结性指数(G值)高达77。根据华北区研究资料推测,梁山组煤应属强还原性类型煤。

5. 早二叠世晚期煤

1)北方下石盒子组(P^2_1)煤 主要分布在华北南部安徽两淮、徐州和河南平顶山一代,属陆相煤系,煤的硫含量一般低于1.0%, Fe_2O_3 含量相对也低。

2)南方茅口组(P^2_1)煤 主要分布在闽、粤一代。在福建称龙岩组等,是一套以滨海相为主的海陆交替相煤系。在清流一连城煤田,煤系中海相层较发育,煤的硫含量较高,属中硫煤。永定、龙岩和天湖山煤田,由于煤系中海相层不发育,因而均为低硫煤。粤东北兴梅煤田因同样原因,属中硫煤,而粤中的广花、阳春煤田,硫含量降低,但剖面中海相旋回段中的煤层(如广花 Y_{11} 、阳春 Y_2)硫含量高。

6. 晚二叠世早期煤

1)北方的上石盒子组(P^2_2)煤 与下部下石盒子组基本上是连续沉积,属陆相煤系,它的分布范围和煤层的煤质特点同下石盒子组相似。

2)南方的龙潭组(P^2_2)煤 该期是我国南方的一个主要成煤期。华东、中南、西南大区均有分布。龙潭组多属海陆交替相煤系,仅在局部范围,如广东、福建等地为过渡相或陆相沉积。这种海陆交替相煤的特点之一是硫含量往往很高,甚至普遍高于太原组煤,以有机硫为主。煤中 FeS_2 含量也高,多呈细分散侵染状分布在有机质中。 Fe_2O_3 含量普遍较高,为10—30%,甚至大于30%。煤系中海相层段越发育、往往硫含量越高。

以广西合山组、粤北连阳龙潭组、川北广元(上寺)和鄂西吴家坪组为代表的滨海-浅海型海陆交替相煤系,主要由一套碳酸盐岩组成,其中浅海或滨海灰岩比例很大,如合山泡水煤田,约占剖面的90%,其Sr/Ba比值均大于1.0。表明与海相环境有密切关系。煤的硫含量往往是海陆交替相煤系中的最高者,一般6.0—10.0%,高者可达11.0%、12.0%甚至15.0%。

浙、皖、湘、干、黔、鄂、川等地区的龙潭组或乐平组属滨海型海陆交替相煤系,以滨海相碎屑岩成分为主。其特点是煤的硫含量较高,一般为1.5—6.0%,有的高达10%, $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 的含量一般为10—30%。例如:浙北长兴煤田龙潭组以滨海相为主,煤层的顶底板,夹矸及煤层本身都含有大量多门类属正常盐度生存的海相动物化石;长兴牛头山和查扉村井田C煤层及分层(包括砂质灰岩)Sr/Ba比值均大于1.0,常为1.3—2.7,煤层的硫含量为2.7—8.4%, $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 含量可高达41%。

个别地区也有例外,如湖南宜章梅田、赣东北上饶一代及粤北曲仁煤田龙潭组煤层均属低硫煤、 Fe_2O_3 随之降低(如上饶吕江矿B₆煤层的 $S^{\text{eq}} = 0.75\%$, $Fe_2O_3 = 4.9\%$),可能是煤系中海相层不发育所致。

滇东和闽北的宣威组和翠屏山组则属陆相煤系，硫含量低。一般认为，龙潭组成煤期的海侵自东北向西南推进，海水至黔西一带已终止，黔西水城南部煤田和盘县煤矿地区有低硫、也有高硫煤层，可能是该地处于海陆交错部位的原因。

海陆交替相龙潭组煤的粘结性一般比同变质程度的煤偏高，这也是还原性强的一个特点。

7. 晚三叠系煤

1) 北方晚三叠世煤 主要分布在陕甘宁和新疆地区，称延长组瓦窑堡煤系和塔奇里克组；青海南部大通河流域的默勒群也属此期煤系。它们均为陆相煤系，硫含量一般都低于1.0%。

2) 南方晚三叠世煤 粤北、湘南的晚三叠世沉积分别称红卫坑组和杨梅垅组，是海陆交替相煤系，煤的硫含量一般为2.0~6.0%， $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 含量也高。唯有湘南资兴三都矿区为低硫煤（0.4—0.8%）。但从南而北，自粤北南岭、广花、曲仁经湘南到湘中湘潭地区一带，煤系逐渐变为陆相，因而硫含量显著降低；赣西、闽南和闽北的紫家冲段、大坑组和焦坑组，基本上是陆相煤系，煤的硫含量低，一般均小于1.0%， $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ 含量也低。唯有闽南漳平煤田煤的硫含量大于2.5%，四川和滇东的须家河组和一平浪群干海资组属陆相或过渡相煤系。须家河组属滨海盆地沉积，煤的 $S^{\text{K}}Q$ 一般低于1.0%，最高不超过1.5%。但个别地区，如川东南和滇西北地区， $S^{\text{K}}Q$ 含量高到10.0—15.5%，藏北的土门格拉群，属海陆交替相煤系，硫含量一般为3.0%左右。

8. 早、中侏罗世煤

1) 北方早中侏罗世煤 主要分布在新疆、甘肃、青海、陕西、内蒙、晋北及燕山等地区，均属陆相，如延安组等。煤的硫含量低，一般小于1.0—1.5%。仅个别地区硫含量比较高。有资料报导，西北和华北区该期煤的 CaO 含量普遍较高，有的 Fe_2O_3 含量也较高（如大同、京西等矿区）这是特殊之点。

2) 南方早侏罗世煤 主要分布在四川、湖北、广东、广西、福建和江苏等省。除了桂东外，煤系均属陆相，如香溪组等。煤的硫含量低于1.0%。但鄂西等地区硫含量高，可达2.0—5.0%。桂东西湾煤田西湾组为海相碳酸盐岩型的海陆交替相煤系，硫含量高，一般为2.0—4.0%，煤的粘结性也强。

9. 晚侏罗世—早白垩世煤

主要分布在黑龙江、吉林、辽宁等省区，如鸡西群、阜新组等，属陆相煤系，全硫及 Fe_2O_3 含量均低。

10. 早第三纪煤

1) 北方早第三纪煤 煤系主要分布在辽宁、吉林、黑龙江和华东地区。东北三省沉积属陆相煤系，硫含量低，铁、镁灰成分含量也低。山东北部煤盆地，如黄县、五图盆地，济阳拗陷、昌潍拗陷属滨海型海陆交替相煤系，有海相碳酸盐岩层，硫含量较高。

2) 南方早第三纪煤： 主要分布在粤桂两省，基本上为滨海煤盆地，如桂西百色煤盆地的那读组是一套富钙质细碎屑岩系，动物化石丰富，煤的硫含量较高，多为1.5~2.5%，少数大于3.0%。广西南宁及西藏拉萨地区的沉积也相似。

11. 晚第三纪煤

1) 北方晚第三纪煤 分布在内蒙、河北、辽宁、吉林等区, 可能属滨海含煤岩系, 煤的硫含量较高, 一般为2.0~4.0%。

2) 南方晚第三纪煤 主要分布在粤、桂、滇、海南岛和台湾等地区、属滨海盆地海陆交替相煤系, 煤的硫含量为1.6~4.5%。云南境内属小型内陆盆地型的陆相煤系, 煤的硫含量变动较大, 从<1.0%到6.6%。开远以北小龙潭区煤的CaO和Fe₂O₃含量也比较高。

综观我国主要含煤区不同时代含煤建造煤的特点可以发现, 凡海陆交替相或与海相环境关系比较密切的含煤建造中的煤, 一般都具有比较高的全硫量和以铁为主的Fe₂O₃-CaO-MgO灰成分量。有根据推测, 这种与海相关系比较密切的含煤建造中形成的煤应属于较强还原类型煤, 并且往往具有较强的粘结性。现有资料表明后一特征我国除了华北以外的其他地区基本上具有普遍意义, 现举典型实例说明之。

表3是我国进行煤分类工作积累的有代表性的对比资料。它说明, 等变质程度(反射率差小于0.1%)和煤岩成分相似的煤, 其化学工艺性质, 特别是粘结性, 有明显差别(如1.2; 5.6和7.8三组煤样对比)。主要体现粘结性的镜质组的R^o_{max}——镜质组平均最大反射率

含量较低的煤也比等变质镜质组含量较高的煤的粘结性要强(样品4比3; 10比9)。

表3 古生代煤与中生代煤的化学工艺指标对比

Table 3 Comparison of chemical-technological indexes between Paleozoic and Mesozoic coals

时 代	品 种 号	显 微 组 分 分 析					化 学 工 艺 指 标						反 射 率 R ^o _{max} %	
		镜 质 组	半 镜 质 组	半 丝 质 组	丝 质 组	灰 质	F ⁺	V _Y %	H _Y %	Y mm	G (RI)	b		lg _a max %
J ₁₋₂	1	86.0	4.5	3.1	2.7	3.7	42.3	5.7	0	5	仅收 缩	0.60	0.86	0.659
C ₃	2	85.0	2.2	4.5	4.3	3.1	46.3	5.9	30.5	99	269	5.50	3.18	0.679
J ₁₋₂	3	83.8	2.6	0.6	9.0	4.0	40.6	6.0	10.5	69	-10	2.49	0.30	0.738
C ₃	4	78.0	5.1	11.5	3.4	1.7	43.3	5.8	31.0	100	248	5.61	2.95	0.709
J ₁₋₂	5	76.6	8.3	19.1	2.7	2.3	30.7	5.5	17.1	80	51	3.13	0.88	0.959
P ₁	6	77.3	2.8	10.7	4.2	5.0	37.1	6.0	33.0	97	269	5.51	1.77	0.923
T ₁ -J ₁	7	77.9	4.4	14.6	0.1	3.0	29.1	5.2	18.0	90	119	3.46	0.65	1.166
C ₃	8	78.0	3.9	15.7	—	2.4	27.5	5.2	35.0	97	266	5.21	1.52	1.182
T ₁ -J ₁	9	70.6	9.7	14.9	0.3	4.5	24.9	5.0	16.0	79	55	2.82	0.84	1.380
P ₁	10	62.1	4.7	29.2	2.3	1.7	24.0	5.1	21.0	89	137	4.24	1.29	1.391

G(RI)——粘结指数; b——膨胀度 lg_amax——基氏流动度; (略简化)

依据上述这些事实, 并结合华北区资料, 可以得出如下初步结论:

1. 除煤岩成分和变质程度外，第三成因因素——表现泥炭沼泽沉积地球化学特征的还原性影响是普遍存在的。

2. 海陆交替相含煤建造中形成的煤，往往是高硫、富铁、贫硅、贫铝，并具强粘结性的强还原类型煤，过渡相和陆相的煤则相反。

3. 煤的全硫含量、灰成分含量（或指数）及镜质组粘结性，是能够较好反映煤还原性的参数。

4. 还原类型不同的煤，其形成主要取决于沉积环境而不决定于时代。如某些中生代的煤，像粤北南岭、湖南杨梅山的煤（ T_3 ），其硫含量、粘结性和基氏流动度均较同时代的西北和干北、闽南的煤高、强和大，而与古生代太原组（ C_3 ）和龙潭组（ P_2^1 ）的煤相似。某些古生代煤，像华东地区山西组（ P_1^1 ）和石盒子组（ $P_1^2-P_2^1$ ）的煤，其硫含量和粘结性均较同属古生代的太原组、梁山组（ P_1^1 ）、龙潭组（ P_2^1 ）的煤低和弱，而与中生代的低硫、弱粘结性煤相似。这种现象的原因就在于镜质组粘结性强和硫含量高的煤同属于海陆交替相沉积环境的产物；而镜质组粘结性弱和硫含量低的煤则同属于过渡相或陆相沉积环境的产物，尽管它们的时代不同。所以，时代相同或相近，含煤建造沉积环境不同，可以形成不同还原性的煤；反之，时代不同，沉积环境相同或相似，则可以形成相同或相似还原性的煤。

5. 含煤建造中海相层段越发育，与其下伏煤层的距离越近，形成的煤的还原性可能就越强，这种煤的粘结性和硫含量及灰成分指数也就越强和越高。

由此可见，研究我国煤的成因和性质及制定科学的烟煤成因工业分类时，除煤岩成分和变质程度外，还必须考虑还原性这个既反映成因又影响煤质的第三个重要因素。

三、沉积环境-成煤类型-煤质特征的成因联系

根据上述资料，可以看到沉积环境-成煤类型-煤质特征三者之间有密切的内在成因联系，沉积环境决定煤的（还原）类型，从而控制煤的原生特征——这可能是一个具有普遍性的规律。这一性质是古泥炭化到成岩化阶段形成的，是由该期泥炭沼泽的一系列地球化学特性决定的，而这一特性又是由古地理环境控制的。

作者认为环境、煤型和煤质之间可以构成一个概略的成因模型（表4），可简要概括为：

海陆交替相含煤建造-强还原类型煤-高硫、强粘结性

过渡或陆相含煤建造-弱还原类型煤-低硫、弱粘结性

目前先把这个模型中的还原类型煤作简单的二分（I和II型）这样，一来为了便于在全国的煤田煤系中进行这一模型的验证；二来也是为了遵循先粗后细的认识原则，以求积累更丰富的资料，逐步达到完善的境地。

成因模型表明，含煤建造环境的分析研究有助于了解和预测煤的类型和性质，反过来，煤相（包括还原性质）的分析研究也可加深对含煤建造沉积环境的认识。煤相研究应当而且也能够作为含煤建造环境分析的一种有效手段。

（收稿日期1983年1月31日）

表4 环境-煤型-煤质的概略成因模型

Table 4 The rough genetic model of sedimentary environment-type of coal-forming-characteristic of coal quality

沉积煤的 环境类型	还原 S _g Q	反映煤类型的指数 (参数)			煤层的 顶板组性质	煤的镜质 组性质	
		灰成分含量 % Fe ₂ O ₃ CaO·MgO	灰成分指数 SiO ₂ Al ₂ O ₃	灰成分指数 Fe ₂ O ₃ +CaO+MgO Al ₂ O ₃ +Si ₂ O			
海相交替 相含煤建造 (I)	强还原 (1)	1—>3	20—>30	<60—80	0.23—1.23	浅海、浅海 相灰岩或 碎屑岩	强粘 结性
过渡相或陆 相含煤建造 (II)	弱还原 (1)	<1—2	5—20	75—>90	0.03—0.22	过渡相 或陆相 碎屑岩	弱粘 结性

参 考 文 献

- 赵师庆 1981, 中国华北东部晚古生代煤层的煤质差别显微特征 中国矿业学院学报第二期。
 戴和武等 1981, 我国不同成煤时代的含煤分布及煤质特征的研究 燃料化学学报 9卷 1期。
 卓越 1980, 桂中晚二叠世合山组沉积特征和成煤环境煤田 地质与勘探第3期。
 骆善胜 1980, 长广煤田C煤层海相成煤的初步认识 煤炭学报第9期。
 张秀仪等 1981, 烟煤的成因—工业分类 煤炭学报第2期。
 武汉地质学院 1981, 煤田地质学(下册)地质出版社。

REDUCTIVITY OF HUMIC COAL IN CHINA AND ITS RELATION
TO SEDIMENTARY ENVIRONMENT

Zhao Shiqing (赵师庆)

(Huainan College of Mining)

Abstract

This paper deals with an preliminary study and analysis on the relationship between the sedimentary environment of coal-bearing formations and coal-forming quality in China. These coal-bearing formations are lower Carboniferous, Middle Carboniferous, Upper Carboniferous, the Early Lower Permian, Late Lower Permian, Early Upper Permian, Upper Triassic, Lower and Middle Jurassic, Upper Jurassic-Lower Cretaceous and the Lower and Upper Tertiary.

A large number of data have clearly shown that the third genetic factor affecting coal quality reductivity, not only is a geochemical feature of the coal deposits in

coal-bearing formations during the Late Paleozoic Era in North China, but also can be generally found in the humic coal seams in coal-bearing formations in different areas and ages in China. It also depends on the sedimentary environment.

The data have also shown that the coal of equal-metamorphic degree (its reflectance difference is less than 0.1%) and that of the same petrographic component are distinct or even quite different in chemical-technological character, particularly in caking property; even if the caking property of the coal with lower vitrite content is sometimes stronger than that with higher vitrite content in equal-metamorphic degree. This fully shows the marked difference in the reductivity of humic coal.

Researches have made clear that humic coals in coal-bearing formation alternating marine and continental facies (nearshore, littoral environment) are generally higher reductivity-type coal with high sulphur, richer iron and stronger caking property, whereas humic coals in coal-bearing formation of transitional (delta plain environment) and continental facies (farshore, fluvial or lacustrine environment) are generally lower reductivity-type coal with low sulphur, lower iron and weak caking property.

As a result of the study, the conclusion comes as follows:

(1) In addition to the coal petrographical components and the degree of coal metamorphism, the third genetic factor, which reflects the influence of reductivity in geochemical characteristics of peat swamp sedimentary environment generally existed.

(2) Generally speaking, high reductivity-type coal is of relatively high sulphur and iron, low silicon and aluminium and strong caking property; whereas low reductivity-type coal is of relatively low sulphur and iron, high silicon and aluminium and weak caking property.

(3) Up till now, total sulphur content, ash composition content and vitrite caking property are three parameters which give a better expression of reductivity.

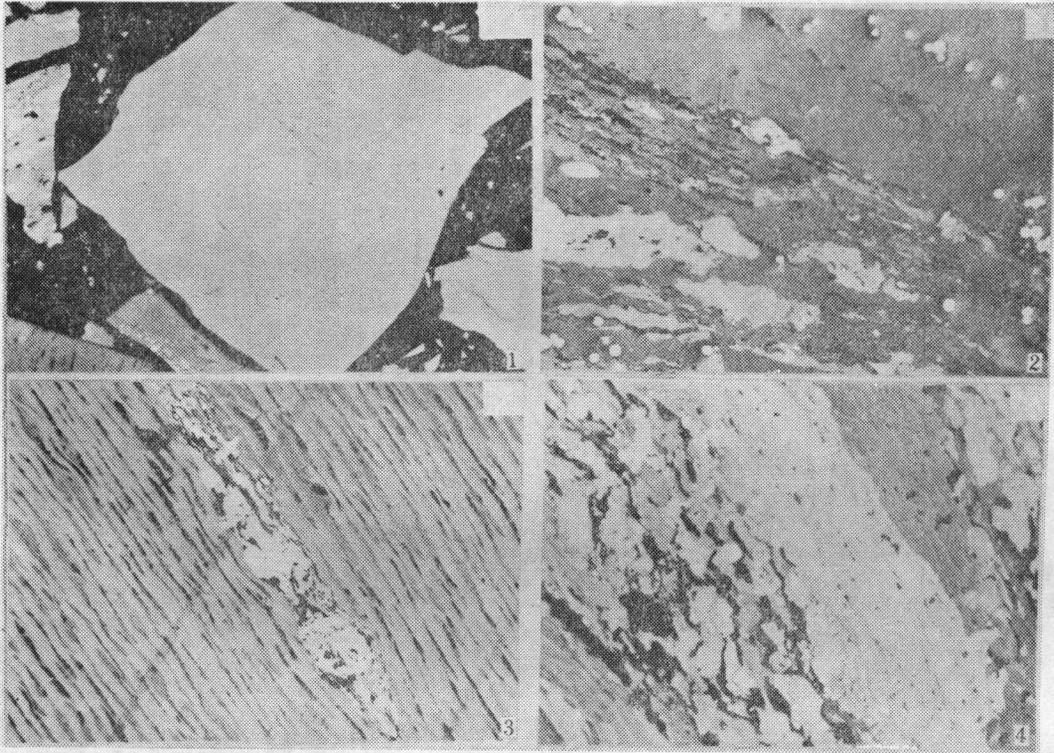
(4) The formation of various types of coal-forming reductivity depends more exactly on the sedimentary environment of the coal-bearing formation, but not on their age.

(5) The well developed the marine bed in coal-bearing formation is and the nearer to the underlying coal seam it is, the stronger the reductivity of coal formation will be; therefore, the higher the index of sulphur content, ash composition and caking property of these coals will be.

On the basis of the above researches, it is suggested that the inner link among sedimentary environment—type of coal-forming—characteristic of coal quality, may be closely related to one another, and a rough genetic model can be constituted.

赵师庆：我国腐植煤的还原性质及其与沉积环境的关系

图版 I



1. 无结构镜质体, 河北开滦马家沟矿 (C_3) 煤层, $\times 320$ 、反光 2. 无结构镜质体, 江苏徐州青山泉矿屯头 (C_3) 煤层X, $\times 320$, 反光 3. 结构镜质体, 河北开滦赵各庄矿西翼 (P'_1) T煤层, $\times 320$, 反光 4. 结构镜质体, 江苏徐州夹河矿井田 (P'_1) B煤层, $\times 320$, 反光