

# 煤炭资源洁净等级评价研究

杨淑婷<sup>1</sup>, 唐跃刚<sup>1</sup>, 解锡超<sup>1</sup>, 王凤娟<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;

2. 安徽省煤田地质局 第三勘探队, 安徽 宿州 234000)

**摘要:** 对煤炭资源进行洁净等级评价是评定煤炭质量的重要方法。结合新一轮中国煤炭资源预测工作的要求,建立了煤炭资源洁净等级评价指标体系,并确定了评价方法,进行了等级量化,为进一步进行全国煤炭资源洁净等级的评价奠定了良好基础。

**关键词:** 煤炭资源; 洁净等级; 评价; 6级划分

中图分类号: TD98; F426.21

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2011)01-0005-04

对煤炭资源的洁净程度进行等级界定及等级区域的划分,是洁净煤地质的主要研究内容之一<sup>[1]</sup>。做好煤炭资源洁净等级评价工作,必须建立科学、完善、实用的评价指标体系,选取合适的评价方法,确定科学的洁净等级划分方案。煤炭资源洁净等级评价是新一轮全国煤田预测工作的重要组成部分,等级划分科学与否对评价煤炭质量好坏起着举足轻重的作用。

在煤炭资源洁净等级4级、5级划分方案的基础上,依据最新的国家标准和煤炭行业标准,建立煤炭资源洁净等级6级划分方案。笔者将着重介绍新一轮全国煤田预测工作中煤炭资源洁净等级评价体系的建立过程。

## 1 评价指标的选取

煤炭资源洁净等级评价尚在起步阶段,可参考的资料极少。唐书恒等<sup>[1]</sup>在筛选评价因子时,选定的评价指标有: S,  $A_d$ , F, Hg, As, Cr, Cd, Se, Pb, Cl, Mn。此评价指标体系应用于实际时,发现煤样中检测出的一些微量元素在评价指标体系中并不存在,因此,笔者在综合参考各类资料<sup>[2-8]</sup>和中国各地煤样检测结果的基础上,选定 S,  $A_d$ , As, Pb, Hg, Cd, Cr, Se, Co, Ni, Mn, Be, Sb, U, F, Cl, Mo, Th, Br 作为评

价指标。

## 2 等级划分

煤炭资源洁净等级的划分主要有2种:一种是2004年中国煤炭地质总局采用的5级划分方案,另一种是唐书恒等在《中国洁净煤地质研究》一书采用的4级分类法<sup>[9]</sup>。

新一轮全国煤炭资源预测中,中国煤炭资源洁净等级的划分,主要依据中国煤炭地质总局“十五”重点科技项目“中国洁净煤地质研究”成果<sup>[9]</sup>,并根据最新国家标准和煤炭行业标准进行修订,提出了煤炭资源洁净等级6级划分方案,具体见表1。

与煤炭资源洁净等级6级划分方案相对应,确定了评价因子的6级浓度限值。在确定浓度限值时, S 和  $A_d$  采用了国标 GB/T 15224.2—1994 中的6级划分方案。由于国标中其余元素的划分均非6级,研究时采取了变通方法,采纳国标中浓度的最低、最高限值分别作为 I 级、VI 级浓度限值,中间级别的浓度限值根据 S 和  $A_d$  的划分方案进行近似等比计算得出,最终确定了评价因子的6级浓度限值。

### 2.1 评价方法

在新一轮全国煤田预测工作中,结合煤炭资源

表1 煤的洁净等级划分方案

等级名称		等级描述
I级	特好洁净煤	以特低硫和特低灰煤为主,有害微量元素的含量不超过其分级的最高界限。
II级	好洁净煤	以低硫分和低灰分煤为主,有害微量元素的含量不超过其分级的最高界限。
III级	较好洁净煤	以中低硫分和中低灰分煤为主,有害微量元素的含量不超过其分级的最高界限。
IV级	中等洁净煤	以中硫分和中灰分煤为主,有害微量元素的含量不超过其分级的最高界限。
V级	较差洁净煤	以中高硫分和中高灰分煤为主,有害微量元素的含量不超过其分级的最高界限。
VI级	差洁净煤	煤中硫分质量分数大于3.0%(高硫分煤)或者灰分大于40.0%(高灰分煤)或者某种有害微量元素的含量大于其分级的最高界限。

洁净等级评价的特殊性,在对比多种评价方法优缺点的基础上,确定采用广义对比加权标度指数法进行评价。在进行评价时,用标度分指数  $K_j$  反映污染物危害程度的等比变化:

$$K_j = \frac{\lg(C_{jk}/C_{jo})}{\lg a_j} \quad (1)$$

式中,  $C_{jk}$  为  $j$  元素的实测浓度值;  $C_{jo}$  为  $j$  元素的背景浓度值;  $a_j$  为元素相邻2级的重要性比值  $a_j = (C_{jd}/C_{jo})^{1/9}$ , 其中  $C_{jd}$  为明显危害浓度值。

与公式(1)相对应的  $j$  元素的归一化标度分指数为:

$$I_j = \frac{1}{9} K_j = \frac{\lg C_{jk} - \lg C_{jo}}{\lg C_{jd} - \lg C_{jo}} \quad (2)$$

因子赋权的原則总体上应是标度分指数愈大的因子权值愈大。但每种元素对洁净煤等级的影响程度并不是简单的直线关系,而是呈S型曲线。因此,因子赋权时,标度分指数为0.5的因子权值不改变;标度分指数大于0.5,特别是愈接近于1的因子的权值要适当加以抑制;而标度分指数小于0.5,特别是愈接近于0的因子的权值要适当加以增强。各因子权重  $W_j$  可由式(3)求得:

$$W_j = \begin{cases} \alpha I_j^p & (0 \leq I_j \leq 0.5) \\ 1 - \alpha(1 - I_j)^p & (0.5 \leq I_j \leq 1) \end{cases} \quad (3)$$

式中  $\alpha$  为待定常数  $p$  为控制权值变化快慢的可调参数

表2 评价因子的6级浓度限值( $\mu\text{g/g}$ )及其标度分指数

污染物	背景值 $C_{jo}$	I级		II级		III级		IV级		V级		VI级外推
		浓度限值	分指数	浓度 $C_{jd}$								
		$C_{j1}$	$I_{j1}$	$C_{j2}$	$I_{j2}$	$C_{j3}$	$I_{j3}$	$C_{j4}$	$I_{j4}$	$C_{j5}$	$I_{j5}$	
S/%	0.30	0.50	0.189	1.00	0.445	1.50	0.594	2.00	0.701	3.00	0.85	4.50
$A_d$ /%	3.00	5.00	0.182	10.00	0.428	20.00	0.674	30.00	0.818	40.00	0.921	50.00
As	2.50	4.00	0.17	6.00	0.316	10.00	0.5	16.00	0.67	25.00	0.83	40.00
Pb	17.00	20.00	0.158	24.00	0.336	28.00	0.486	34.00	0.675	40.00	0.833	47.50
Hg	0.12	0.15	0.156	0.20	0.358	0.25	0.514	0.30	0.642	0.40	0.844	0.50
Cd	0.30	0.60	0.207	1.00	0.36	1.70	0.519	3.00	0.689	5.00	0.841	8.50
Cr	13.00	15.00	0.187	17.00	0.35	19.00	0.495	22.00	0.686	25.00	0.852	28.00
Se	2.00	3.00	0.132	5.00	0.299	9.00	0.49	15.00	0.657	25.00	0.823	43.00
Co	5.00	7.00	0.204	9.00	0.357	12.00	0.531	15.00	0.666	20.00	0.841	26.00
Ni	16.00	25.00	0.166	39.00	0.332	62.00	0.504	97.00	0.671	150.00	0.833	235.00
Mn	46.00	70.00	0.17	105.00	0.335	159.00	0.503	239.00	0.668	360.00	0.834	542.00
Be	1.60	2.50	0.17	4.00	0.35	6.00	0.504	9.00	0.659	14.00	0.828	22.00
Sb	0.70	1.00	0.16	1.50	0.342	2.00	0.471	3.00	0.653	4.50	0.835	6.50
U	2.50	3.50	0.156	5.00	0.322	7.00	0.479	10.00	0.644	15.00	0.833	21.50
F	64.00	80.00	0.163	100.00	0.327	126.00	0.496	159.00	0.666	200.00	0.834	251.00
Cl	319.00	500.00	0.167	782.00	0.333	1225.00	0.5	1917.00	0.667	3000.00	0.833	4695.00
Mo	2.00	3.50	0.163	6.00	0.32	11.00	0.496	20.00	0.671	35.00	0.833	62.00
Th	5.60	7.00	0.191	8.00	0.305	10.00	0.497	12.00	0.653	15.00	0.844	18.00
Br	5.00	8.00	0.189	12.00	0.352	18.00	0.515	27.00	0.679	40.00	0.837	60.00
综合指数 $I$			0.174		0.347		0.516		0.677		0.842	

( $0 < p < 1$ )。当  $I_j = 0.5$  时  $\alpha I_j^p = 1 - \alpha^p (1 - I_j)^p$   $\alpha = 2^{p-1}$ 。式(3)变为:

$$W_j = \begin{cases} 2^{p-1} I_j^p (0 \leq I_j \leq 0.5) \\ 1 - 2^{p-1} (1 - I_j)^p (0.5 \leq I_j \leq 1) \end{cases} \quad (4)$$

在式(2)中,计算得出的分指数  $I_j$  可能出现大于1或者小于0的情况,因此,对式(4)进行扩展,最终得出因子权重  $W_j$  的计算公式:

$$W_j = \begin{cases} -2^{p-1} I_j^p (I_j < 0) \\ 2^{p-1} I_j^p (0 \leq I_j \leq 0.5) \\ 1 - 2^{p-1} (1 - I_j)^p (0.5 \leq I_j \leq 1) \\ 1 + 2^{p-1} (I_j - 1)^p (I_j > 1) \end{cases} \quad (5)$$

由式(4)可知,可以通过调节  $p$  值的大小来控制权重随分指数的变化快慢,一般地,取  $p = 1/2$ ,代入式(5),再将  $W_j$  归一化为  $W_j^*$ ,从而得到反映煤炭洁净程度的广义对比加权标度指数计算公式:

$$I = \sum_{j=1}^m W_j^* I_j \quad (6)$$

## 2.2 等级量化

根据各评价因子的分级标准浓度限制,通过公式(6)计算出各类煤炭资源的综合指数  $I$  作为等级评价基准。为提高评价结果的准确性,在具体的评价过程中,采用了动态综合指数计算。即根据样本数据中检出元素(评价因子)的不同,其对应的综合

指数、等级划分标准是不同的。

表2为所有元素都检测的情况下,评价因子的6级浓度限值及其指数计算结果。表3为煤炭资源洁净等级划分标准与综合指数的对应关系。

表3 等级划分标准与综合指数的对应关系

等级名称	综合指数
I级 特好洁净煤	$I \in (-\infty, 0.174]$
II级 好洁净煤	$I \in (0.174, 0.347]$
III级 较好洁净煤	$I \in (0.347, 0.516]$
IV级 中等洁净煤	$I \in (0.516, 0.677]$
V级 较差洁净煤	$I \in (0.677, 0.842]$
VI级 差洁净煤	$I \in (0.842, +\infty]$

## 3 应用

选用安徽省的煤样检测数据对所建立的煤炭资源洁净等级评价体系进行试验性评价。表4为采用综合指数计算和人工判定2种方法对淮北13-1煤层部分煤样进行洁净评价结果对比。从表4可知,采用动态综合指数评价方法判定的等级与依据  $A_d$  和  $S$  的国标等级划分进行人工判定的结果差别不大。

表4 淮北13-1煤层部分煤样洁净评价结果对比

孔号	$A_d / \%$	$S / \%$	综合指数	等级	$A_d$ 国标等级	$S$ 国标等级	人工判定等级
宿县矿区、朱仙庄芦岭、25-3	22.12	0.91	0.583	III	IV	II	IV
宿县矿区、朱仙庄芦岭、VII3	28.24	1.66	0.722	IV	IV	IV	IV
宿县矿区、朱仙庄芦岭、VIII-IX3	37.74	0.58	0.696	IV	V	II	V
宿县矿区、朱仙庄芦岭、XIII-XIV6	26.65	1.13	0.654	IV	IV	III	IV
宿县矿区、龙王庙、40-4	35.34	0.3	0.877	V	V	I	V
宿县矿区、祁南、13-11	18.29	0.91	0.541	III	III	II	III
宿县矿区、祁南、14-156	18.02	0.84	0.526	III	III	II	III
宿县矿区、桃园、补1-3	17.69	0	0.631	III	III	I	III
宿县矿区、钱营孜、28-5	27.73	1.24	0.675	IV	IV	III	IV
宿县矿区、钱营孜、42-3	29.18	1.25	0.689	IV	IV	III	IV
宿县矿区、祁东、24-2512	23.07	0	0.725	IV	IV	I	IV
宿县矿区、祁东、补30-12	25.22	1.79	0.711	IV	IV	IV	IV
宿县矿区、祁东、27-10	28.84	0.49	0.614	III	IV	I	IV
宿县矿区、祁东、28-8	36.86	0.31	0.811	V	V	I	V
宿县矿区、祁东、31-7	27.88	0.44	0.609	III	IV	I	IV

续表

孔号	$A_d / \%$	$S / \%$	综合指数	等级	$A_d$ 国标等级	S 国标等级	人工判定等级
宿县矿区、祁东、25-269	27.13	1.97	0.741	IV	IV	IV	IV
宿县矿区、祁南、10-1113	24.25	0.66	0.574	III	IV	II	IV
宿县矿区、祁南、补-145	32.46	2.95	0.845	V	V	V	V
宿县矿区、祁南、11-14	26.34	1.24	0.664	IV	IV	III	IV
宿县矿区、邹庄、66-2	13.23	0.63	0.421	II	III	II	III
临涣矿区、海孜、1-27	12.07	0.65	0.405	II	III	II	III
临涣矿区、海孜、1-4	20.41	1	0.578	III	IV	II	IV
宿县矿区、邹庄、20-6	19.44	0.71	0.524	III	III	II	III
宿县矿区、邹庄、24-8	29.71	1.57	0.724	IV	IV	IV	IV
宿县矿区、祁东、31-9	24.44	0.83	0.597	III	IV	II	IV

此外,采用唐书恒等在《中国洁净煤地质研究》一书提出的4级分类法和动态综合指数法2种方法对开滦矿区的部分样品检测数据进行了评价计算,具体见表5。

表5 开滦煤洁净评价结果

$\mu\text{g/g}$

样品编号	$A_d / \%$	$S / \%$	F	As	Hg	Cr	Cd	Se	Pb	4级划分方案		6级划分方案	
										综合指数	等级	综合指数	等级
QK-5	8.49	0.58	103.42	3.31	0.088	20.59	0.32	0.99	10.66	0.549	III	0.265	II
QK-9	13.35	1.49	47.64	3.38	0.061	19.12	0.23	1.81	15.71	0.576	III	0.352	III
DHT-11	8.19	1.84	67.21	6.58	0.118	22.16	0.28	1.95	27.81	0.628	III	0.295	II
JK-12	24.69	0.55	0	5.84	0	17.41	0.26	0.68	15	0.572	III	0.458	III
LK-5	31.72	0.96	249.47	24.89	0.374	53.2	0.34	2.61	41.59	0.695	III	0.595	IV
TS-9	15.98	0.58	0	5.57	0.435	25	0.2	2.11	25.46	0.618	III	0.41	III
LNC-12	20.85	0.51	858.84	5.72	0.523	22.73	0.25	2.5	20.4	0.597	III	0.511	III
TS-5	8.49	0.47	0	2.79	0.115	16.53	0.19	0.82	7.88	0.533	III	0.261	II
QK-7	17.93	0.59	241.89	3.82	0.031	19.09	0.22	1.46	37.28	0.666	III	0.397	III
ZGZ-E-12	18.56	1.32	0	4.22	0	17.7	0.24	2.08	15.96	0.577	III	0.398	III
LK-12	13.76	1.51	48.91	3.03	0.132	22.34	0.18	1.18	13.51	0.565	III	0.339	II
DHT-8	20.2	0.42	113.34	5.17	0.115	36.54	0.11	1.59	18.29	0.588	III	0.414	III
LK-8	16.04	0.53	0	4.12	0	34.64	0.13	1.43	25.44	0.618	III	0.435	III
TS-8	15.01	0.49	0	1.32	0	27.09	0.15	0.61	10.04	0.546	III	0.45	III
MK-9	21.16	0.49	110.05	5.9	0.142	36.02	0.14	2.14	26.86	0.624	III	0.416	III

由表5可知,采用评价等级6级划分方案得出的评价结果等级区分更加明显,对煤炭资源洁净等级评价的精确度更高。目前,煤炭资源洁净等级评价研究尚在起步阶段,随着研究的不断深入,评价等级划分方案必定会日趋完善、合理,评价结果的准确性也会日益提高。

参考文献:

[1] 唐书恒,马彩霞.中国煤炭资源洁净潜势评价指标探讨[J].河北建筑科技学院学报(自然科学版),2005,22

(3):104-106.  
 [2] TJ 36-79,工业企业设计卫生标准[S].  
 [3] GB 5749-85,生活饮用水卫生标准[S].  
 [4] GH ZB1-1999,地表水环境质量标准[S].  
 [5] GB 5089-1992,农田灌溉水质标准[S].  
 [6] GB 8978-1996,污水综合排放标准[S].  
 [7] GB 15618-1995,土壤环境质量标准[S].  
 [8] CAAA,1990,洁净空气补充法案[S].  
 [9] 唐书恒,秦勇,姜尧发,等.中国洁净煤地质研究[M].北京:地质出版社,2002.

(下转第11页)

合成氨作为重点项目来建设可以促进企业循环经济的转型,合成氨主要用来制化学肥料,也作为生产其他化工产品的原料。除液氨本身可作为化学肥料外,农业上使用的所有氮肥、含氮复合肥和复合肥,都以氨为原料<sup>[9]</sup>。同时焦炉气生产合成氨项目极大保护了环境。因此焦炉气制合成氨对循环经济的实现和增长具有重大意义。

#### 4 结 语

焦炉气是煤炭产业的排放物,对其再利用可以提高资源利用效率、降低成本,同时实现降低排放

污染的目标,可以说是一举多得。焦炉气制合成氨可以为企业带来巨大的经济效益、环保效益和循环效益,因此扩建焦炉气制合成氨项目对山西省循环经济的发展有着重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 杨维富. 焦炉气转化合成氨操作工艺浅析[J]. 安徽科技 2005(3): 17-18.
- [2] 白越川. 焦炉煤气催化部分氧化转化炉的设计与运行[J]. 科技情报开发与经济 2008(20): 25-26.

### Influence of coke oven gas ammonia on recycling economy

GAO Rong-chuan, XIE Hong-fei

(Jishan Branch Office, Shanxi Yangmei Fengxi Fertilizer Industry (Group) Co., Ltd., Jishan 043200, China)

**Abstract:** According to analyzing the economic development pattern of Shanxi Province. Provide that the reasonable utilization of coke oven gas is important for the transformation of industrial projects. Especially review the technology of coke oven gas ammonia project and economic benefits, social benefits and environmental benefits that this technology brings. This technology with its high efficiency and low pollution emission advantage can become recycling and downstream industry of good project, expanding production scale can push enterprises turn to circular economy from traditional economy and therefore is of great significance.

**Key words:** recycling economy; coke oven gas ammonia; benefits

(上接第8页)

### Research on clean potential assessment of coal resources

YANG Shu-ting<sup>1</sup>, TANG Yue-gang<sup>1</sup>, XIE Xi-chao<sup>1</sup>, WANG Feng-juan<sup>2</sup>

(1. Institute of Earth Science and Surveying and Mapping Engineering,  
China University of Mining & Technology( Beijing), Beijing 100083, China;

2. Geological Surveying and Exploration Party No. 3, Anhui provincial Bureau of Coal Geology, Suzhou 234000, China)

**Abstract:** Cleaning potential assessment of coal resources is the main content of the clean coal geological study. The cleaning potential evaluation system, the evaluation method, and the level of quantification are established depending on the requirements of new round national coal resource forecasting, which is a good basement for further conducting the cleaning potential evaluation of national coal resources.

**Key words:** coal resources; clean grade; evaluation; six grades division

《洁净煤技术》被收录为中国科技核心期刊