

# 彬长矿区4号煤层煤质特征及洁净等级划分

李聪聪<sup>1,2</sup>

(1. 中国煤炭地质总局航测遥感局, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地理空间信息工程技术研究中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:**为实现彬长矿区优质煤炭资源的清洁高效利用,在对彬长矿区以往勘查钻孔的煤质化验资料统计分析的基础上,系统分析了该矿区主采煤层4号煤的煤岩、煤质特征,论述了硫分、灰分、挥发分、发热量和有害微量元素的分布规律,依据最新煤炭资源潜力评价提出的煤炭洁净等级6级划分方案,选用灰分、硫分、有害元素(F、Cl、As及Pb)6个评价指标对矿区内4号煤层的煤炭资源洁净等级进行了初步划分。彬长矿区4号煤层以低硫、低中灰、中高挥发分、特高热值不黏煤为主,局部含小范围的弱黏煤,彬长矿区4号煤层原煤洁净等级为Ⅲ级,属较好洁净煤;浮煤洁净等级为Ⅱ级,属好洁净煤。整个矿区内4号煤层原煤洁净等级以Ⅲ级较好洁净煤为主,分布区占矿区面积的73.03%,仅在矿区西部洪家镇—巨家镇一带和中东部出现小范围的Ⅳ级中等洁净煤分布区,面积占比为26.97%。

**关键词:**彬长矿区;4号煤层;煤质特征;洁净等级

中图分类号:TQ531 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)01-0028-08

## Characteristics and cleanliness class of Binchang mining area No. 4 coal seam

LI Congcong<sup>1,2</sup>

(1. Aerophotogrammetry & Remote Sensing Bureau of China National Administration of Coal Geology, Xi'an 710054, China;  
2. Shaanxi Provincial Geo-Spatial Information Engineering Technology Research Center, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In order to use Binchang coal efficiently and cleanly, the coal rock and coal quality characteristics of the main mineable coal seam No. 4 coal seam were systematically analyzed based on the past Binchang mining area exploration drilling coal quality testing statistics analysis. The distribution of sulfur, ash content, volatile matter, calorific value and harmful trace elements of No. 4 coal seam were discussed. According to the new coal resource potential evaluation of the proposed clean coal classification scheme grade 6, the cleanliness of Binchang mining area No. 4 coal seam was drew primarily from the aspects of ash, sulfur, F, Cl, As and Pb. The low sulfur, low-medium ash, medium-high volatile, extra-high calorific value non-caking coals were the main coal types of No. 4 coal seam, the weakly caking coal was a few. The cleanliness class of raw coal was Ⅲ which belonged to the better clean coal. The cleanliness class of float coal was Ⅱ which was good clean coal. The clean coal rank of No. 4 coal seam in the whole mining area was mainly grade Ⅲ clean coal, the distribution area occupied 73.03% of the mining area, only a small range of Ⅳ grade in the area of Hongjia Town-Jujia Town and the Middle East clean coal distribution area, accounting for an area of 26.97%.

**Key words:** Binchang mining area; No. 4 coal seam; coal quality characteristics; cleanliness

## 0 引 言

煤炭是我国的主体能源和重要工业原料。近年来,煤炭工业取得了长足发展,但煤炭利用方式粗放、污染重的问题仍存在。推进煤炭优质化分选与

提质加工,提高煤炭产品质量,构建清洁、高效、低碳、安全、可持续的现代煤炭清洁利用体系是未来煤炭产业发展的重要途径<sup>[1-3]</sup>。煤炭液化、气化是煤炭清洁高效利用的重要措施,而煤岩、煤质特征是研究气化、液化用煤指标的主要依据<sup>[4-6]</sup>。彬长矿区

收稿日期:2016-09-20;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.01.006

基金项目:中国地质调查局资源调查资助项目(DD20160187)

作者简介:李聪聪(1984—),男,山西临汾人,高级工程师,硕士,从事遥感地质、能源地质工作。E-mail: cumtdaxue@163.com

引用格式:李聪聪.彬长矿区4号煤层煤质特征及洁净等级划分[J].洁净煤技术,2017,23(1):28-35,47.

LI Congcong. Characteristics and cleanliness class of Binchang mining area No. 4 coal seam[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(1): 28-35, 47.

作为黄陇基地的主力矿区,是陕西省规划建设的重要原煤生产基地和煤化工基地<sup>[7]</sup>。彬长矿区煤炭开发程度相对较高,整个彬长矿区延安组区内为曲流河沉积体系,沉积微相以河漫沼泽、河漫滩、分流间湾为主<sup>[8]</sup>。优质煤的空间分布与煤厚具有明显相关关系,煤层厚度与灰分呈负相关,与硫分呈正相关性<sup>[9]</sup>。煤岩特征以半暗型煤和暗淡型煤为主,夹有少量半亮型煤或光亮型煤条带<sup>[10-11]</sup>。4号煤层属中~低灰,中高挥发分、低硫~特低硫、高热值、高热稳定性煤<sup>[12-17]</sup>。煤中微量元素 Ga、Ge、V、As 等属正常含量水平,Cl、F、P 属低含量水平,U 含量明显高于全国值<sup>[18-19]</sup>,彬长矿区煤炭可用于气化、液化、高炉喷吹用煤、水煤浆及动力用煤<sup>[20-21]</sup>。前人对彬长矿区煤岩煤质特征的分析主要以统计分析为主,暂未对影响煤炭洁净等级的主要煤质指标和煤中有害元素的分布区域进行系统划分,尤其未对煤炭资源洁净等级进行专门研究。笔者系统分析了该矿区主采煤层4号煤的煤岩、煤质特征,论述了硫分、灰分、挥发分、发热量和有害微量元素的分布规律,依据最新煤炭资源潜力评价提出的煤炭洁净等级6级划分方案,对矿区4号煤层的煤炭资源洁净等级进

行初步划分,对实现矿区内煤炭资源的清洁高效利用具有现实意义。

## 1 矿区概况

彬长矿区为国家批复的重点规划矿区,位于黄陇侏罗纪煤田中部,地跨陕西省咸阳市彬县、长武两县。矿区北部和西部均以陕甘省界为界,南部和东部均以无煤区边界线为界。东西长46 km,南北宽36.5 km,面积978 km<sup>2</sup>,资源储量89.8亿t,共划分为13个井田,生产建设规模5380万t/a。

彬长矿区位于鄂尔多斯盆地西南部的渭北挠褶带北缘庙彬凹陷区,总体形态为一NW向缓倾的单斜构造,地层倾角3°~9°,断裂构造较不发育,矿区整体构造简单。

本区的含煤地层为侏罗系中统延安组。自下而上发育4号、4上、4上<sup>-1</sup>、4上<sup>-2</sup>、3号、2号及1号煤层,其中延安组下部的4号煤层赋存稳定,且多为中厚~特厚煤层,为矿区内主采煤层(图1)。因成煤古地理和后期改造的影响,矿区内4号煤层由南向北出现一系列无煤区,无煤区占矿区面积的比例为9.29%。

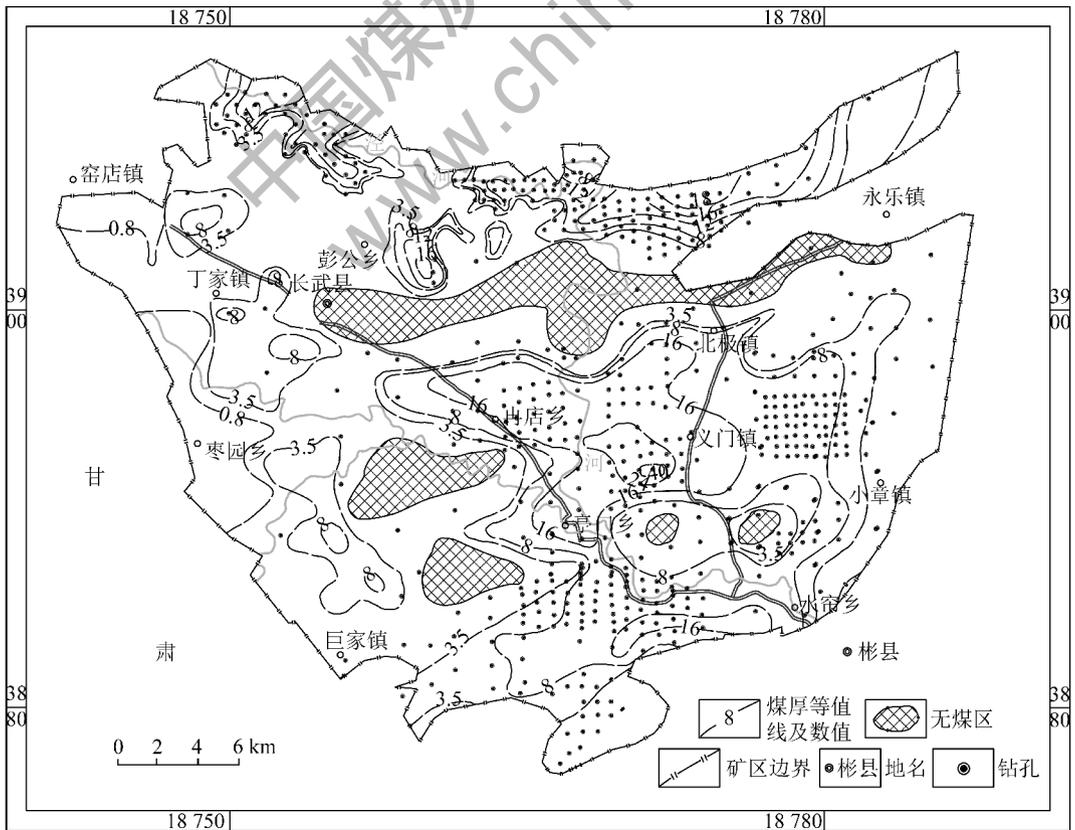


图1 4号煤层厚度等值线分布

Fig. 1 Thickness contour map of No. 4 coal seam

## 2 煤岩特征

4号煤层宏观煤岩类型以暗淡、半暗型煤为主,夹半亮型煤。4号煤层显微煤岩中有机质显微组分含量较高,平均值92.90%,其中镜质组及半镜质组含量相对较低,平均值为25.30%。惰质组含量平均值66.00%。壳质组含量较少,平均值3.00%,无机组分含量平均为7.30%,以黏土类和碳酸盐类为主,硫化物类含量较少。4号煤层显微煤岩组合单一,显微煤岩类型以微惰煤、微镜惰煤及微镜煤为主,微矿化煤含量极少。煤岩组分中,镜质组含量为12.10%~57.80%,平均27.68%;惰质组含量7.09%~78.50%,平均60.37%;壳质组含量0.60%~4.30%,平均2.24%;镜质组平均最大反射率为0.64%~0.73%,平均0.68%。

## 3 煤质特征

彬长矿区4号煤层浮煤 $V_{daf}$ 为23.99%~37.51%,平均32.17%。黏结指数小于5,以不黏煤31号(BN31)为主,含小范围的弱黏煤32号(RN32)。

矿区内绝大部分为中高挥发分煤,参与统计的

593个钻孔点仅有10个钻孔的浮煤挥发分测试数据为中等挥发分。平面上4号煤层挥发分东部永乐镇—水帘乡一带较低,中部相公镇北和亭口—蒋家河及西部杨家坪一带较高,其余地段相对中等,以31%~33%为主。

### 3.1 硫分( $S_{td}$ )

本次工作共统计588个钻孔点样品的全硫含量,4号煤层原煤全硫含量0.08%~2.90%,平均为0.84%,浮煤全硫含量0.07%~2.38%,平均为0.41%。属低硫分煤。4号煤层原煤各种形态硫以硫铁矿硫(平均占全硫的70%以上)为主,次为有机硫(约占全硫的20%),硫酸盐硫少许(约占全硫的8%)。

4号煤层全硫在平面上的变化规律为:以4号煤硫分等值线初步统计,矿区内大部分为低硫分煤和低中硫分煤,以低硫分煤为主,占矿区面积的50%;其次为低中硫分煤分布区,占矿区面积的28%。在矿区西南部枣园乡—巨家镇、矿区中部冉店乡附近以及大佛寺井田东部分布有特低硫煤区,约占矿区面积的14%;中硫分煤主要分布于矿区南部巨家镇东和义门镇—水帘乡一带,面积占比为6%;此外在矿区内还零星分布少量的中高硫分区,占矿区面积的2%左右(图2)。

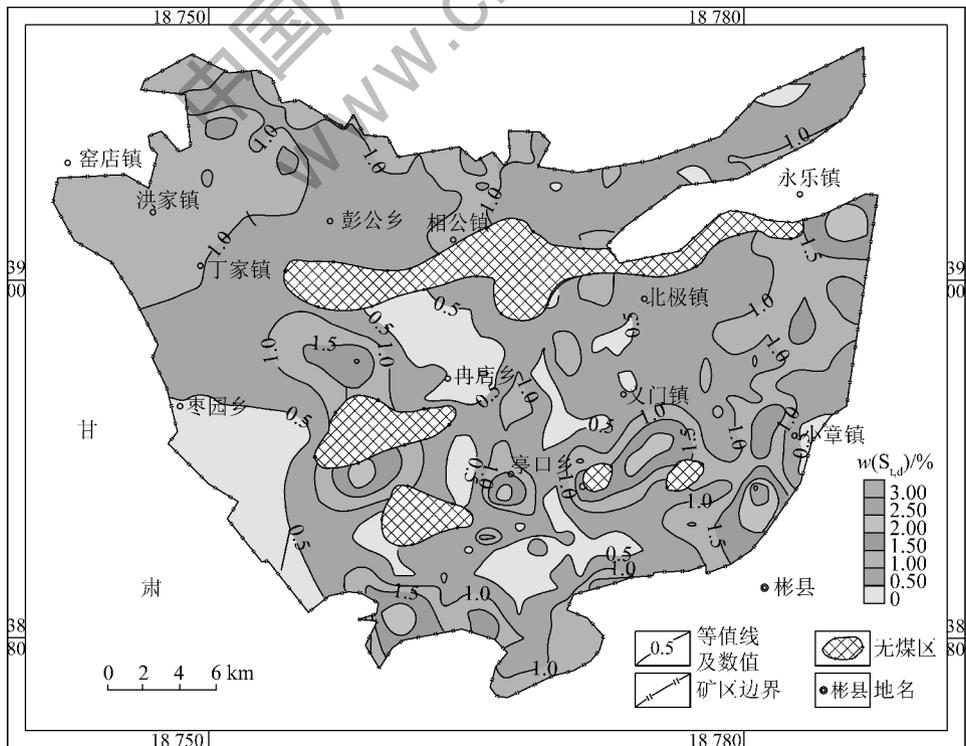


图2 4号煤层硫分等值线分布

Fig. 2 Sulfur contour map of No. 4 coal seam

4号煤层全硫垂向上的变化特点为:以矿区中部孟村井田和文家坡井田内9个钻孔为例说明,煤层顶部全硫含量高,底部全硫含量低(图3)。

3.2 灰分( $A_d$ )

本次工作共统计615个钻孔点的灰分,4号煤层原煤灰分为7.73%~28.82%,平均为15.33%,仅个别钻孔灰分大于30%,浮煤灰分为3.18%~

12.88%,平均为5.54%。

与全硫分在垂向上的分布特征相反,4号煤层原煤灰分具有上部低,下部高的规律(图3)。

以4号煤灰分等值线初步统计,矿区内大面积为低中灰分煤,面积占比为81%,其次为中灰分煤,占全区面积的17%,还有在矿区中部冉店—义门一线零星分布的特低灰煤区,约占全区面积的2%(图4)。

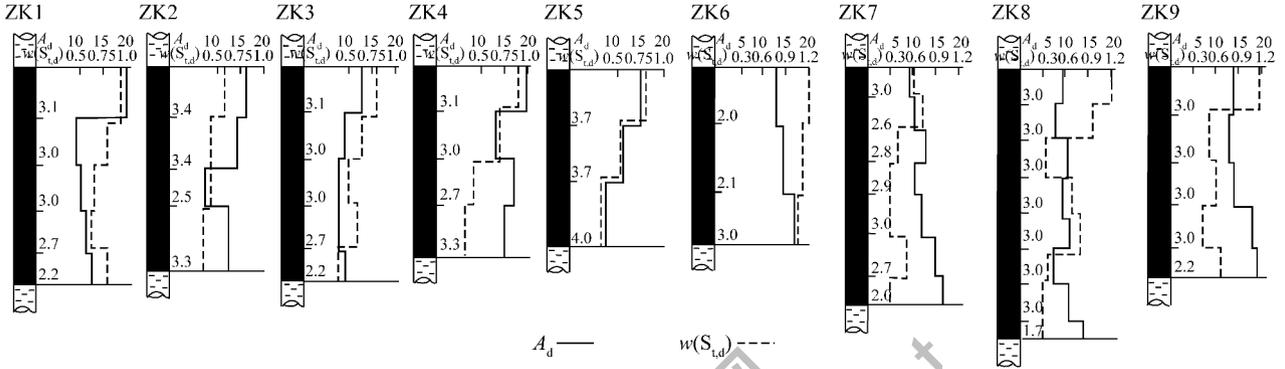


图3 4号煤层硫分、灰分垂向变化  
Fig. 3 Sulfur and ash vertical variation of No. 4 coal seam

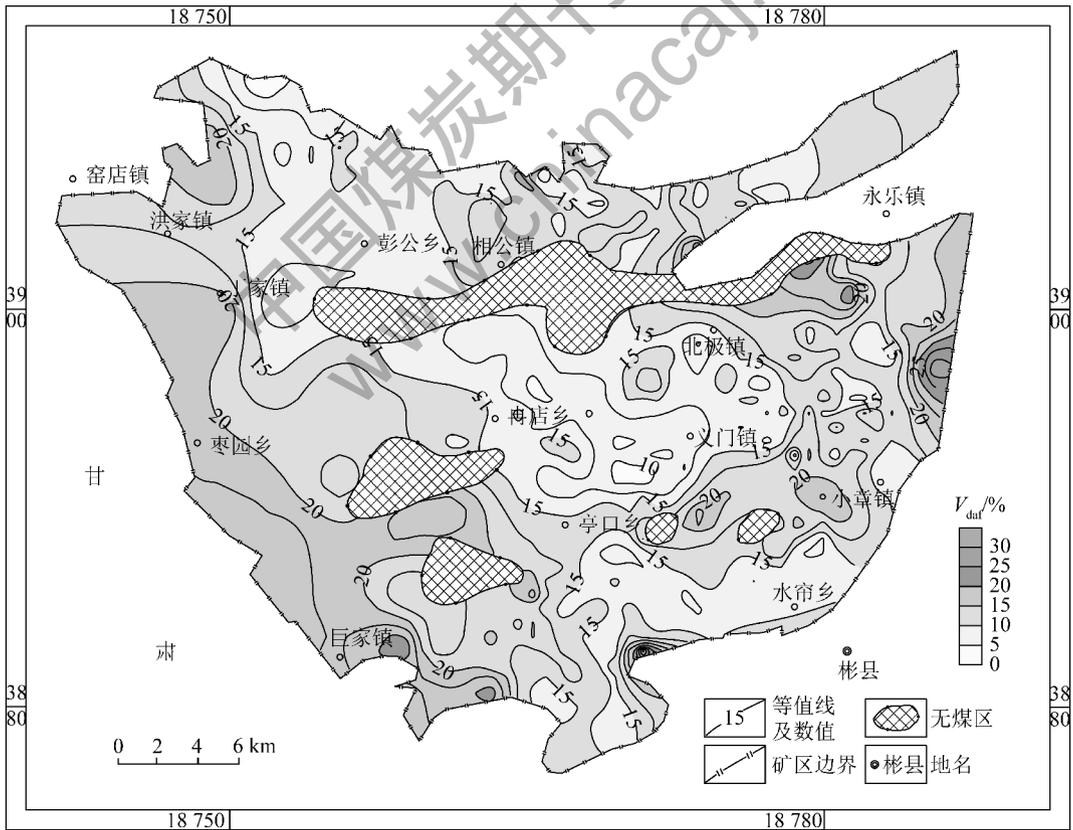


图4 4号煤层原煤灰分等值线分布  
Fig. 4 Ash contour map of No. 4 coal seam

3.3 发热量( $Q_{gr,d}$ )

4号煤层原煤干燥基高位发热量  $Q_{gr,d}$  为

21.48~33.84 MJ/kg,平均为29.42 MJ/kg,属特高热值煤,大体具有自西北向南东增高的趋势。

### 3.4 有害元素

煤中有害微量元素的研究已成为洁净煤地质研究的重要内容,主要对彬长矿区4号煤层的氟、氯、砷和铅的干燥基含量进行统计分析。

1) 氟( $F_d$ )。氟是煤中挥发性较强的有害元素,在煤的开采及加工利用过程中,尤其是燃煤过程中释放的氟易对生态环境造成污染。整个矿区4号煤层原煤氟含量测试数据显示,氟含量为5~275  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,

平均值为69.85  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,远低于我国晚侏罗世煤中氟平均含量189  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,属特低氟煤。根据分布面积统计,特低氟煤分布区占比大于75%,低氟煤分布区占比大于20%,中氟煤分布区占比约为4%,高氟煤分布面积极小,仅在矿区东部中段义门镇—小章镇之间有7个钻孔的原煤氟含量较高,为359~635  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,平均值达495  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,形成范围约1.8  $\text{km}^2$ ,呈北东向展布的狭长的高氟煤异常区(图5)。

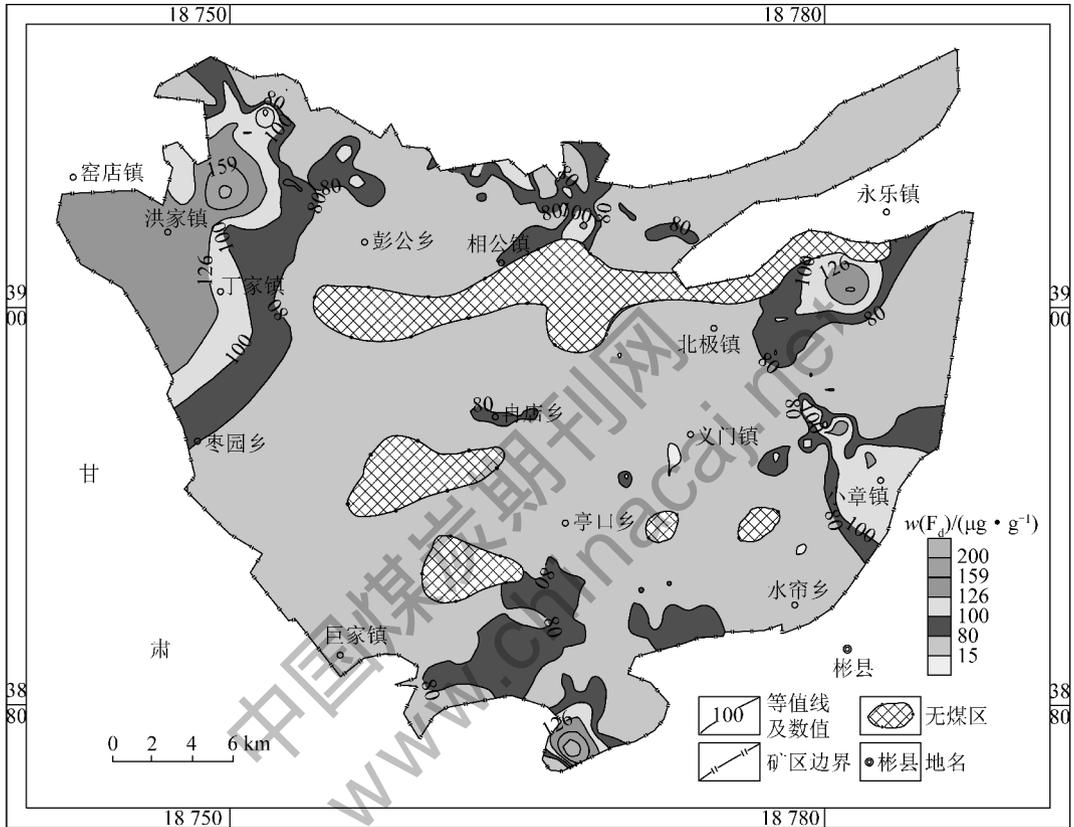


图5 4号煤中氟含量等值线分布

Fig. 5 Fluorine content contour map of No. 4 coal seam

2) 氯( $Cl_d$ )。煤中氯含量为0.004%~0.310%,平均值为0.04%,按照MT/T 597—1996《煤中氯含量分级》,矿区内4号煤以特低氯和低氯煤为主,原煤中氯含量小于0.050%的特低氯煤占矿区面积的70%以上,氯含量0.050%~0.150%的低氯煤占比28%,0.150%~0.300%中氯煤占比不足2%,大于0.300%高氯煤仅为零星分布的个别点(图6)。

3) 砷( $As_d$ )。对矿区内13个井田共418个钻孔的4号煤原煤砷化验数据统计,砷含量为0~17  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,平均值为2.89  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,总体属一级含砷煤。4号煤中砷含量等值线分布如图7所示。由图7可知,原煤砷含量小于4  $\mu\text{g}/\text{g}$ 的一级含砷煤区占矿区

面积的73.74%,砷含量4~8  $\mu\text{g}/\text{g}$ 的二级含砷煤分布区面积占比约24.28%,砷含量大于8  $\mu\text{g}/\text{g}$ 的三级含砷煤区仅零星分布,合计占比小于2%。

4) 铅( $Pb$ )。4号煤层原煤中的铅含量介于0.00040%~0.00434%,平均值为0.0015%,属低铅煤。整个矿区的铅变化范围较小,总体上属于低铅煤。

## 4 洁净等级划分

煤炭资源洁净等级评价必须建立在科学、完善的评价指标体系基础上。本次煤炭资源洁净等级划分依据最新完成的煤炭资源潜力评价中提出的6级划分方案,确定了评价因子的6级浓度限值。硫分

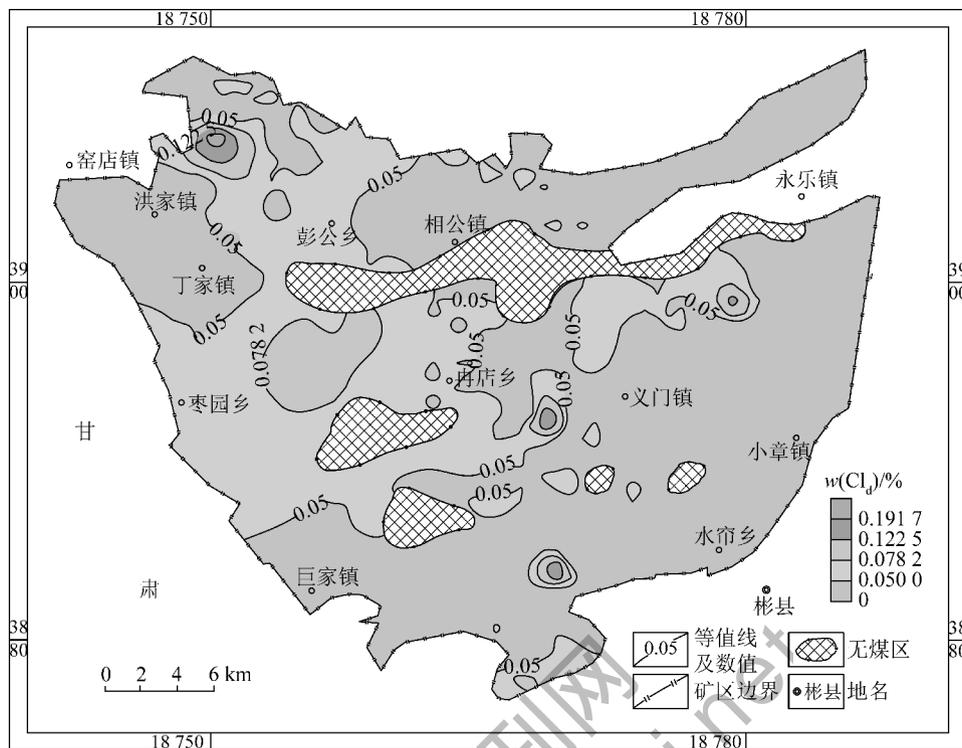


图6 4号煤中氯含量等值线分布

Fig. 6 Chlorine content contour map of No. 4 coal seam

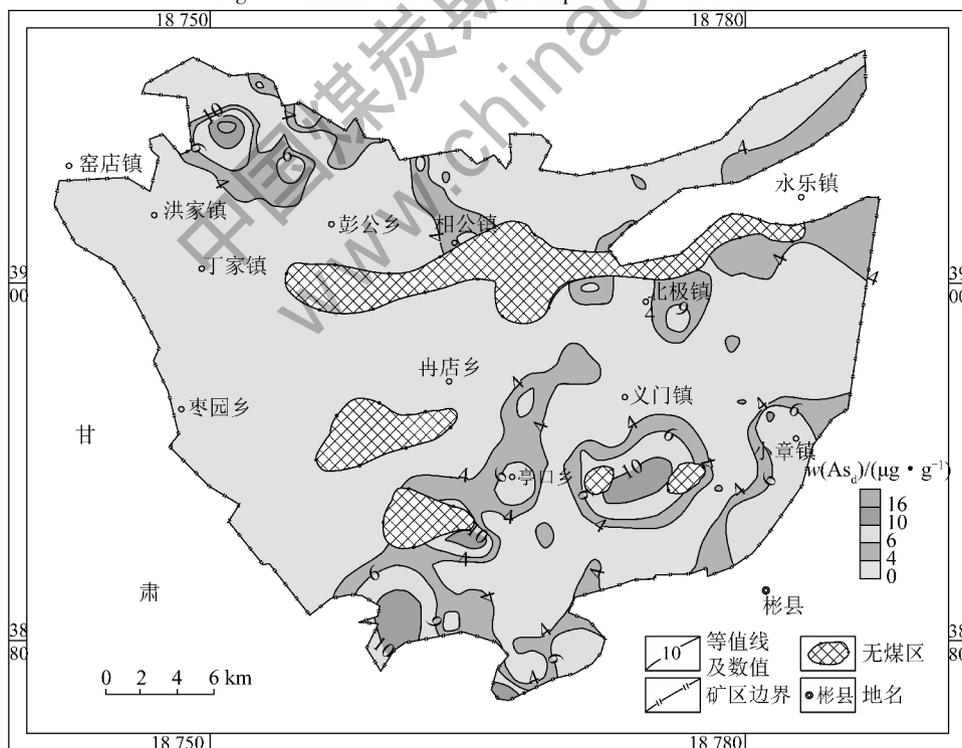


图7 4号煤中砷含量等值线分布

Fig. 7 Arsenic content contour map of No. 4 coal seam

限值按照 GB/T 15224.2—2010《煤炭质量分级 第2部分:硫分》,灰分限值按照 GB/T 15224.1—2010《煤炭质量分级 第1部分:灰分》确定,其他微量元素的

限值根据硫分、灰分的划分方案进行近似等比计算得出。本次主要以有害元素砷、铅、氯及氟进行分析(表1),对研究区煤炭资源洁净等级进行初步划分。

表 1 洁净煤等级划分方案及评价因子

Table 1 Division scheme and evaluation factors of coal cleanliness

分级	等级名称	$w(S_{t,d})/\%$	$A_d/\%$	$w(As_d)/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$w(\text{Pb})/\%$	$w(\text{Cl}_d)/\%$	$w(F_d)/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$
I	特好洁净煤	0.50	5	4	0.002 00	0.050 0	80
II	好洁净煤	1.00	10	6	0.002 40	0.078 2	100
III	较好洁净煤	1.50	20	10	0.002 80	0.122 5	126
IV	中等洁净煤	2.00	30	16	0.003 40	0.191 7	159
V	较差洁净煤	3.00	40	25	0.004 00	0.300 0	200
VI	差洁净煤	4.50	50	40	0.004 75	0.469 0	251

在最新的煤炭资源潜力评价中,结合煤炭资源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,采用广义对比加权标度指数法进行煤洁净等级评价,采用动态综合指数评价方法与依据  $A_d$  和  $S$  的国标等级划分进行人工判定的结果差别不大<sup>[22]</sup>。

由于本区煤有害元素浓度均小于洁净等级 I 级

的浓度限值,因此,本区只按照灰分和硫分来划分煤的洁净等级。当灰分和硫分不一致时,以综合评价等级差者为准。4 号煤洁净等级划分结果见表 2。根据 6 个评价因子,对彬长矿区 4 号煤层的洁净等级进行划分。通过对 6 个因子等值线分区的叠加分析,进一步划分出矿区内不同洁净等级的煤分布区(图 8)。

表 2 4 号煤洁净等级划分结果

Table 2 coal cleanliness ranked results of No. 4 coal seam

项目		$w(S_{t,d})/\%$	$A_d/\%$	$w(As_d)/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$w(\text{Pb})/\%$	$w(\text{Cl}_d)/\%$	$w(F_d)/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	综合评级
原煤	平均值	0.84	15.51	2.95	0.015	0.040	77	III
	评级	II	III	I	I	I	I	
浮煤	平均值	0.41	5.54	0.50~2.00	<0.001 5	0.040	<77	II
	评级	I	II	I	I	I	I	

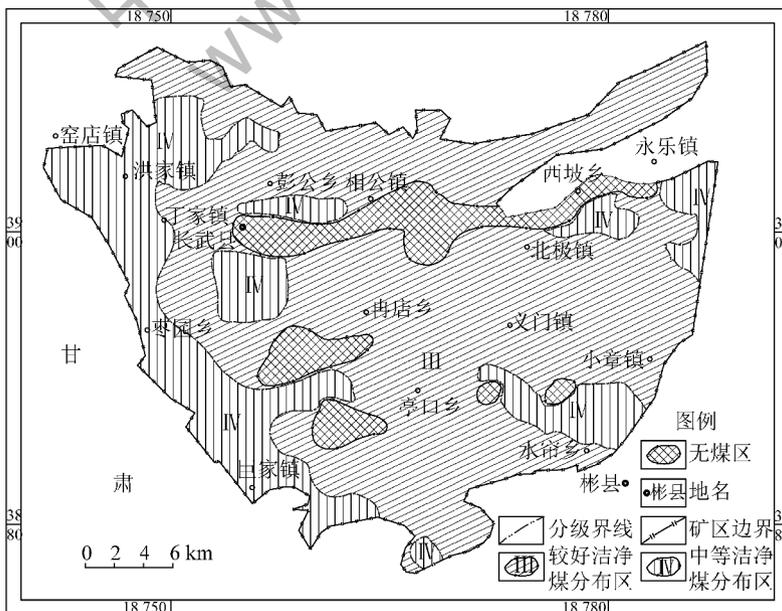


图 8 彬长矿区 4 号煤洁净等级分布

Fig. 8 Cleanliness class distribution of No. 4 coal seam in Binchang mining area

由表2可知,4号煤层原煤灰分平均值为15.51%,硫分平均值为0.84%,综合评价洁净等级为Ⅲ级,属较好洁净煤。4号煤层浮煤灰分平均值为5.54%,硫分平均值为0.41%,综合评价煤层洁净等级为Ⅱ,属好洁净煤。由图8可知,整个矿区内4号煤层原煤洁净等级以Ⅲ级较好洁净煤为主,分布区占矿区面积的73.03%,仅在矿区西部洪家镇—巨家镇一带和中东部出现小范围的Ⅳ级中等洁净煤分布区,面积占比为26.97%。

## 5 结 论

1)通过对彬长矿区以往煤质测试资料的分析,对4号煤层主要煤质指标的变化规律进行了统计分析。该煤层以低硫、低中灰、中高挥发分、特高热值不黏煤为主,局部含小范围的弱黏煤。

2)依据新一轮煤炭资源潜力评价中提出的煤炭资源洁净等级6级划分方案,结合矿区内钻孔煤质化验资料的分析,以煤中灰分、硫分、砷、铅、氯及氟含量6个评价因子,对彬长矿区4号煤层的洁净等级进行了初步划分,整个矿区内4号煤层原煤洁净等级为Ⅲ级,属较好洁净煤;浮煤洁净等级为Ⅱ级,属好洁净煤。

### 参考文献 (References) :

[1] 陈贵锋,罗 腾. 煤炭清洁利用发展模式与科技需求[J]. 洁净煤技术,2014,20(2):99-103.  
Chen Guifeng, Luo Teng. Development patterns and technology requirements of clean coal utilization [J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(2): 99-103.

[2] 许红星. 我国煤炭清洁利用战略探讨[J]. 中外能源, 2012, 17(4): 1-13.  
Xu Hongxing. A discussion on China's clean coal utilization strategy [J]. Sino-Globol Energy, 2012, 17(4): 1-13.

[3] 陆小泉. 我国煤炭清洁开发利用现状及发展建议[J]. 煤炭工程, 2016, 48(3): 8-10, 14.  
Lu Xiaoquan. Present situation and suggestion for clean coal development and utilization in China [J]. Coal Engineering, 2016, 48(3): 8-10, 14.

[4] 舒歌平, 史士东, 李克健. 煤炭液化技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003: 186-258.

[5] 蒋立翔. 煤质对煤液化效果的影响分析[J]. 煤质技术, 2008(5): 46-49.  
Jiang Lixiang. Analysis on the effect of coal quality on coal liquefaction [J]. Coal Quality Technology, 2008(5): 46-49.

[6] 申凤山. 浅析煤种、煤质对气化的影响[J]. 化工技术与开发, 2013, 42(7): 36-37, 41.

Shen Fengshan. Analysis on influence of coal type and coal property on gasification [J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2013, 42(7): 36-37, 41.

[7] 辛 欣, 张培河, 姜在炳, 等. 彬长矿区煤层气储层参数及开发潜力 [J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(3): 19-22.  
Xin Xin, Zhang Peihe, Jiang Zaibing, et al. Reservoir parameters and development potential of CBM reservoir in Binchang mining area [J]. Coal Geology of China, 2014, 26(3): 19-22.

[8] 陈晓智, 汤达祯, 许 浩, 等. 彬长矿区延安组煤层发育特征及其控制因素分析 [J]. 中国矿业, 2011, 20(2): 110-113.  
Chen Xiaozhi, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. Development characteristics of coal seam and their controlling factors in Yan'an formation in Binchang area [J]. China Mining Magazine, 2011, 20(2): 110-113.

[9] 王 兴. 彬长矿区优质富煤带及控制因素 [J]. 陕西煤炭, 2005(2): 7-9.  
Wang Xing. High quality coal-rich belt and its controlling factors in Binchang mining area [J]. Shaanxi Coal, 2005(2): 7-9.

[10] 田树华, 曹毅然. 鄂尔多斯盆地侏罗纪延安组的煤岩学及煤化学特征 [J]. 中国地质科学院 526 综合大队集刊, 1997(13): 60-69.  
Tian Shuhua, Cao Yiran. Petrological and chemical characteristics of coals of Yan'an coal-bearing series of middle jurassic in Ordos basin [J]. Bulletin of the 562 Comprehensive Geological Brigade Chinese Academy of Geological Sciences, 1997(13): 60-69.

[11] 严 康, 韦乐乐, 马东民, 等. 彬长矿区煤岩孔隙特征的实验研究 [J]. 煤质技术, 2015(10): 98-100.  
Yan Kang, Wei Lele, Ma Dongmin, et al. Experimental study of coal and rock pore characteristics in Binchang mining area [J]. Coal Quality Technology, 2015(10): 98-100.

[12] 张 昕, 鲍 江. 彬长矿区煤质特性及其利用 [J]. 陕西煤炭, 2008(4): 62-63.  
Zhang Xin, Bao Jiang. Binchang mine coal quality and utilization [J]. Shaanxi Coal, 2008(4): 62-63.

[13] 秦建强, 杨占盈. 彬长矿区北部的煤质特征 [J]. 煤炭技术, 2010(7): 107-110.  
Qin Jianqiang, Yang Zhanying. Coal quality characteristics in the north of Binchang mining area [J]. Coal Technology, 2010(7): 107-110.

[14] 谢 涛, 张光超, 乔军伟. 陕北及黄陇侏罗纪煤田煤中硫分、灰分成因探讨 [J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(6): 11-14, 29.  
Xie Tao, Zhang Guangchao, Qiao Junwei. A genetic discussion on coal sulfur and ash in Jurassic North Shaanxi and Huanglong coalfields [J]. Coal Geology of China, 2012, 24(6): 11-14, 29.

[15] 李小彦, 王杰玲, 赵 平. 鄂尔多斯盆地优质煤的分类与评价 [J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(4): 1-4.  
Li Xiaoyan, Wang Jieling, Zhao Ping. Classification and evaluation of the high quality coal in Ordos basin [J]. Coal Geology & Exploration, 2007, 35(4): 1-4.

- [7] 李振宇,黄格省,乔明.我国煤制天然气技术发展现状与经济性分析[J].国际石油经济,2013,21(12):65-71.  
Li Zhenyu, Huang Gesheng, Qiao Ming. Current situation and economic analysis of coal to gas technology development in China[J]. International Petroleum Economics, 2013, 21(12):65-71.
- [8] 朱铭,徐道一,孙文鹏,等.世界煤地下气化的快速发展[J].自然杂志,2012,34(3):161-180.  
Zhu Ming, Xu Daoyi, Sun Wenpeng, et al. Rapid progress of underground coal gasification in the world[J]. Chinese Journal of Nature, 2012, 34(3):161-180.
- [9] 刘宁宁,邱亮亮,敬毅.国内外煤炭地下气化技术发展现状[J].煤炭技术,2009,28(6):5-7.  
Liu Ningning, Qiu Liangliang, Jin Yi. Present development of underground coal gasification (UCG) both in China and abroad[J]. Coal Technology, 2009, 28(6):5-7.
- [10] 陈峰,潘霞,庞旭林.新奥无井式煤炭地下气化试验进展及产业化规划[J].煤炭科学技术,2013,41(5):19-22.  
Chen Feng, Pan Xia, Pang Xulin. Progress and industrialization plan of ENN's No mine shaft type underground coal gasification[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(5):19-22.
- [11] 赵娟,陈峰,刘洪涛,等.煤炭地下气化过程中块煤CO<sub>2</sub>气化反应特性研究[J].煤炭科学技术,2013,41(12):125-128.  
Zhao Juan, Chen Feng, Liu Hongtao, et al. Study on CO<sub>2</sub> gasification reaction features of lump coal in underground gasification process[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(12):125-128.
- [12] 陈峰,潘霞,刘洪涛,等.O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>煤炭地下气化模型试验[J].煤炭学报,2013,38(S2):495-500.  
Chen Feng, Pan Xia, Liu Hongtao, et al. O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> underground coal gasification model test[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S2):495-500.

## (上接第35页)

- [16] 顾广明,李小彦,晋香兰.鄂尔多斯盆地优质煤资源分布及有利区块[J].地球科学与环境学报,2006,28(4):26-30.  
Gu Guangming, Li Xiaoyan, Jin Xianglan. Resource distribution and available block of high quality coal in Ordos coal basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(4):26-30.
- [17] 王双明.鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M].北京:地质出版社,1996.
- [18] 刘大锰,杨起,汤达帆.鄂尔多斯盆地煤的灰分和硫、磷、氯含量研究[J].地学前缘,1999(S1):53-59.  
Liu Dameng, Yang Qi, Tang Dazhen. A Study on abundances and distribution of ash yield, sulfur, phosphorus and chlorine content of the coals from Ordos basin[J]. Earth Science Frontier, 1999(S1):53-59.
- [19] 吕俊娥,赵元媛.黄陇侏罗纪煤田煤中元素特征分析[J].中国煤炭地质,2015,27(7):15-18.  
Lyu Jun'e, Zhao Yuanyuan. Characteristic analysis of elements in coal in Huanglong Jurassic coalfield[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(7):15-18.
- [20] 鲍江.陕西主要煤田的煤质特性及利用方向[J].煤质技术,2006(4):67-69.  
Bao Jiang. The coal characteristic and utilization direction of main coal fields in Shaanxi[J]. Coal Quality Technology, 2006(4):67-69.
- [21] 常德亮,张硕.彬长矿区高家堡煤矿末煤作高炉喷吹煤的分析[J].煤炭加工与综合利用,2015(7):70-71,7.  
Chang Deliang, Zhang Shuo. Analysis of coal injection from blast furnace at Gaojiapu coal mine, Binchang mining area[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2015(7):70-71,7.
- [22] 杨淑婷,唐跃刚,解锡超,等.煤炭资源洁净等级评价研究[J].洁净煤技术,2011,17(1):5-8,11.  
Yang Shuting, Tang Yuegang, Xie Xichao, et al. Research on clean potential assessment of coal resources[J]. Clean Coal Technology, 2011, 17(1):5-8,11.