

# 内蒙古东胜煤田矿井水水质特征与水环境评价

刘艺芳<sup>1</sup>, 武强<sup>1</sup>, 赵昕楠<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. 煤炭科学研究总院 矿用油品研究所 北京 100013)

**摘要:** 以中国内蒙古东胜煤田的矿井水为研究对象,以地球化学、煤化学、矿井地质学、水文地质学等学科为理论指导,在现场地质调研的基础上针对性地采集水样,并通过仪器对矿井水的pH值、总硬度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 及 $\text{HCO}_3^-$ 进行测试评价,对水质的化验结果进行了分析。结合矿井水评价方法,利用灰色聚类法,以总硬度、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 三项因素作为评价指标,通过建立水质数学模型,进行统计计算,定量化的实现对东胜煤田矿井水环境的评价。结果表明:东胜煤田的矿井水水质属于中等-较好型,优良型地下水占39%,Ⅲ型地下水占44%,因此东胜煤田的矿井水为Ⅲ型地下水环境。

**关键词:** 矿井水;水质;水环境评价;灰色聚类法

中图分类号: P641.4; TD849.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2013)01-0101-06

## Mine water quality characteristics and water environment evaluation of Inner Mongolia Dongsheng coal field

LIU Yi-fang<sup>1</sup>, WU Qiang<sup>1</sup>, ZHAO Xin-nan<sup>2</sup>

(1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Mine Oil Research Institute, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Taking Inner Mongolia Dongsheng coal field as research object, guided by geochemistry, coal chemistry, mine geology, hydrogeology and so on, collect water samples pertinently, then test its pH value, total hardness,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  concentration. Analyse the assay results of water quality on the basis of field geological investigations. Combining the evaluation methods for mine water with water quality mathematical models, made statistics and calculations with grey clustering method, through the evaluation index of three factors including total hardness,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ . The results show that, the mine water quality of Dongsheng coal field is middle-better type, good underground water cover 39 percent and Ⅲ-type underground water cover 44 percent, it is Ⅲ-type underground water environment.

**Key words:** mine water; water quality; water environment evaluation; grey clustering method

收稿日期: 2012-12-05 责任编辑: 孙淑君

作者简介: 刘艺芳(1988—),女,辽宁沈阳人,助理工程师,硕士研究生,研究方向为区域矿井水环境。

引用格式: 刘艺芳,武强,赵昕楠. 内蒙古东胜煤田矿井水水质特征与水环境评价[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(1): 101-106.

煤炭是中国重要的基础能源,中国煤炭以井工开采为主,约占整个煤炭产量的97%,由于含煤地层一般在地下含水层以下,在采煤过程中,为确保煤矿井下安全生产,必须排出大量矿井涌水。矿井水按其性质一般可以分为以下几种:洁净的矿井水、含悬浮物矿井水、高矿化度矿井水、酸性矿井水、碱性矿井水和特殊污染型矿井水。矿井水的直接排放不仅浪费宝贵的水资源,而且也污染了环境<sup>[1-3]</sup>。

随着科学的发展和人们环境保护意识的增强,对矿井水的重视程度也日益提高,开始对矿井水质特征进行研究并进行水环境评价,以便将矿井水作为一种水资源加以处理利用。矿井水作为一种特殊的水资源能否资源化,当地矿区矿井水是否具备长期使用价值,矿井水是否有恢复和更新能力,矿井水抽取是否会影响生态环境和生存条件变化等问题予以重视。在矿井水资源化利用之前,应该对矿井水资源进行评价,以使矿井水资源达到合理开发、高效利用、优化配置、有效保护,最终实现综合

治理和利用<sup>[4-6]</sup>。

## 1 矿井水的测定分析

东胜-神府煤田是目前中国发现的最大煤田,面积约12860 km<sup>2</sup>,累计探明储量约为1496亿t,位居世界八大煤田之一,位于内蒙古鄂尔多斯市东部和陕西省北部。东胜煤田是东胜-神府煤田的一部分,行政隶属于内蒙古鄂尔多斯市,其含煤面积约占全市总面积的一半以上。

东胜煤田位于半干旱气候区,降水少、蒸发量大,矿区地下水主要来源于大气降水的渗入,因此区内地下水比较贫乏。地下水中各类阳离子和阴离子的浓度总和表明了该地区地下水的矿化程度。通常地下水系统中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>浓度较高的为低矿化水;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>较高的为中矿化水;Cl<sup>-</sup>较高的为高矿化水。对东胜煤田主要煤矿工作面采集的矿井水进行试验分析,可得到水质指标pH值、总硬度、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>及HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的测定结果,见表1。

表1 东胜煤田水质测定结果

水 样	pH 值	总硬度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / (mg·L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> / (mg·L <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / (mg·L <sup>-1</sup> )
J1 神东综采一队81300-2面	7.87	267.21	157.23	24.71	286.86
J2 神东补连塔矿综采二队	5.97	4.93	0.95	8.00	7.16
J3 神东寸草塔一矿22112面	8.11	59.16	227.32	216.39	588.60
J4 神东柳塔矿12109面	8.38	34.51	148.70	40.00	549.79
J5 神东柳塔矿12109面	8.05	29.34	111.67	40.00	601.54
J6 神东寸草塔一矿综采队	8.15	68.46	199.85	224.79	672.68
J7 神东补连塔矿12404面	7.85	73.35	182.13	96.80	706.32
J8 神东补连塔矿12405面	7.85	71.39	239.44	109.20	769.71
J9 神东补连塔矿12404面	8.38	63.49	234.22	122.80	711.65
J10 神东寸草塔矿	8.30	192.29	235.19	235.19	653.01
J11 神东柳塔矿12109面	8.03	67.46	89.57	146.40	486.43
J12 神东补连塔矿12405面	8.02	67.46	223.74	109.60	681.00
J13 神东补连塔矿12405面	8.31	73.41	193.24	87.20	506.42
J14 神东补连塔矿	7.99	78.68	250.59	99.13	513.08
J15 神东柳塔矿12109面	8.15	74.70	218.06	99.54	453.78
J16 神东寸草塔矿	8.25	59.76	181.71	242.69	605.04
J17 神东补连塔矿12404面	8.18	80.68	327.13	123.81	433.12
J18 神东补连塔矿12405面	8.12	92.63	324.26	132.04	473.10

## 2 水质变化规律与水质特征

东胜煤田各水质指标变化如图1所示。由图1可知,东胜煤田地下水pH值在8左右波动,属于弱碱性,仅在神东补连塔矿综采二队处取得的水样为弱酸性。地下水总硬度多数小于150 mg/L,属于低硬度水,极个别检测点的总硬度稍大,如J1神东综采

一队813002-2面水样的总硬度为267.21 mg/L。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量较低,一般在200 mg/L左右,极个别大于300 mg/L。Cl<sup>-</sup>含量均小于250 mg/L,属于中等水平。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量一般大于400 mg/L,在J8神东补连塔矿12405面取得的水样中,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量达到了769.71 mg/L。总体来说东胜煤田地下水的各项指标处于中等-较好水平,水质中等-较好。

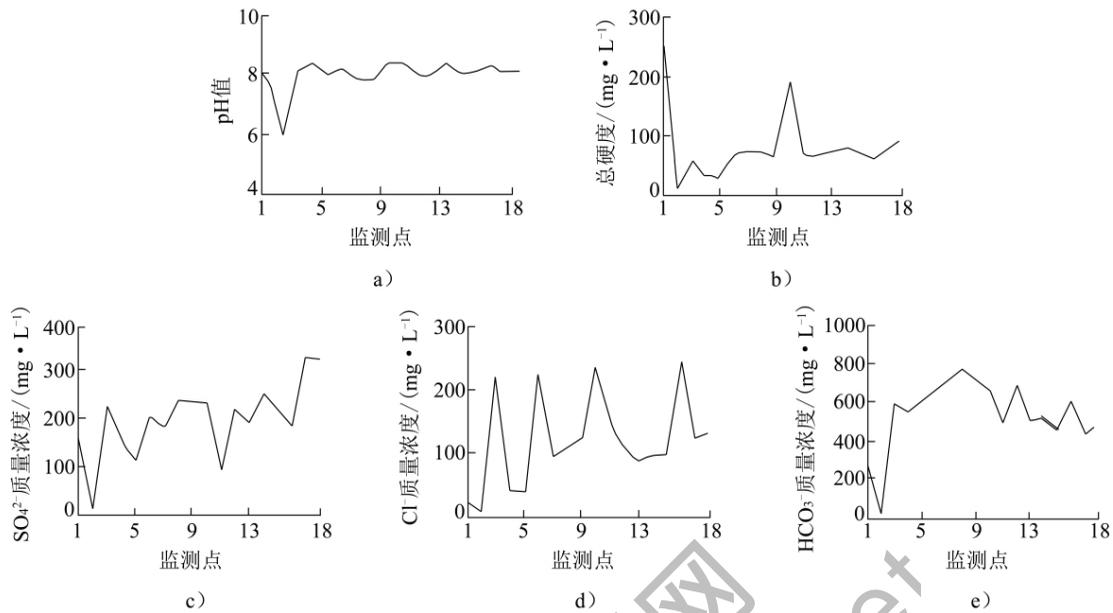


图1 东胜煤田各水质指标变化

### 3 灰色聚类法评价地下水水环境

评价水环境的方法主要有综合指数法、模糊综合评判法、灰色聚类法与神经网络法等。灰色聚类法是最常用的方法之一。灰色系统理论应用于水环境质量评价是设想将水体质量的几个级别认定为相应的类别,按此类别,对水域中各水质检测点获得的水质特征进行等级分析归纳,并最终得到这些水质检测点处的水体质量的等级,从而达到水环境评价目的<sup>[11-14]</sup>。

本文采用此分析法,以总硬度、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>三项因素作为评价指标对东胜煤田地下水水环境进行评价。依照 GB/T 14848—93 对研究区地下水进行水质评价。表 2 为地下水质量分类标准。

表2 地下水质量分类标准

类别	总硬度	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
I	≤150	≤50	≤50
II	≤300	≤150	≤150
III	≤450	≤250	≤250
IV	≤550	≤350	≤350
V	>550	>350	>350

对东胜煤田 18 个检测点测得的水质数据进行无量纲化处理,处理后的结果见表 3,同时对 I, II, III, IV 及 V 五个灰类评价标准进行无量纲化处理,同样以第 I 灰类作为标准进行处理,处理后的数据见表 4。

表3 东胜煤田地下水水质指标无量纲化数据

$d_{ij}$	总硬度	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1	1.78	0.49	3.14
2	0.03	0.16	0.02
3	0.39	4.33	4.55
4	0.23	0.80	2.97
5	0.20	0.80	2.23
6	0.46	4.50	4.00
7	0.49	1.94	3.64
8	0.48	2.18	4.79
9	0.42	2.46	4.68
10	1.28	4.70	4.70
11	0.45	2.93	1.79
12	0.45	2.19	4.47
13	0.49	1.74	3.86
14	0.52	1.98	5.01
15	0.50	1.99	4.36
16	0.40	4.85	3.63
17	0.54	2.48	6.54
18	0.62	2.64	6.49

表4 评价标准无量纲化数据

$r_{ij}$	I	II	III	IV	V
总硬度	1	2	3	3.666667	3.666667
Cl <sup>-</sup>	1	3	5	7	7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	3	5	7	7

将表 4 中的数据带入白化函数公式,可得到各个指标对每一灰类的白化函数。

由白化函数对表 3 中东胜煤田水质指标的无量纲化数据进行白化,其结果为表 6 中的  $f$ 。

根据聚类权公式计算表 4 中各污染物分别对

5个地下水质量标准级别灰类的权重( $\eta_{jk}$ ) ,其结果见表5。

表5 地下水质量标准级别灰类权重

$\eta_{jk}$	I	II	III	IV	V
总硬度	0.075	0.150	0.225	0.275	0.275
Cl <sup>-</sup>	0.043	0.130	0.217	0.304	0.304
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.043	0.130	0.217	0.304	0.304

白化函数值与地下水质量标准级别灰类权重的乘积为某一检测点的某一指标对某一灰类的聚类系数,某一检测点各指标的聚类系数之和为聚类向量 $\delta_{ik} = \{\delta_{i1}, \delta_{i2}, \dots, \delta_{ik}\}$ ,按照聚类系数最大归类原则,取聚类向量中聚类系数最大值为对应的该聚类样本的水环境质量等级,各 $\delta_{ik}$ 及水环境质量等级见表6。

表6 东胜煤田地下水水质指标白化函数值、 $f\eta_{jk}$ 及水环境等级

指标	F					$f\eta_{jk}$					等级	
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
J1	总硬度	0.22	0.78	0	0	0	0.02	0.12	0	0	0	II
	Cl <sup>-</sup>	1.00	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.93	0.07	0	0	0	0.12	0.02	0	0	
$\delta$						0.06	0.24	0.02	0	0		
J2	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	I
	Cl <sup>-</sup>	1.00	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.00	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	
$\delta$						0.16	0	0	0	0		
J3	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0	0.34	0.66	0	0	0	0.04	0.14	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.23	0.77	0	0	0	0.03	0.17	0	0	
$\delta$						0.08	0.07	0.31	0	0		
J4	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	II
	Cl <sup>-</sup>	1.00	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.01	0.99	0	0	0	0	0.13	0	0	0	
$\delta$						0.12	0.13	0	0	0		
J5	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	I
	Cl <sup>-</sup>	1.00	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.38	0.62	0	0	0	0.02	0.08	0	0	0	
$\delta$						0.14	0.08	0	0	0		
J6	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0	0.25	0.75	0	0	0	0.03	0.16	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.50	0	0	0	0	0.07	0	0	0	
$\delta$						0.08	0.10	0.16	0	0		
J7	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	II
	Cl <sup>-</sup>	0.53	0.47	0	0	0	0.02	0.06	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0.68	0.32	0	0	0	0.09	0.07	0	0	
$\delta$						0.10	0.15	0.07	0	0		
J8	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0.41	0.59	0	0	0	0.02	0.08	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.11	0.89	0	0	0	0.01	0.19	0	0	
$\delta$						0.10	0.09	0.19	0	0		
J9	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0.27	0.73	0	0	0	0.01	0.09	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.16	0.84	0	0	0	0.02	0.18	0	0	
$\delta$						0.09	0.12	0.18	0	0		

续表 6

指标	F					f <sub>jk</sub>					等级	
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
J10	总硬度	0.86	0.14	0	0	0	0.06	0.02	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0	0.15	0.85	0	0	0	0.02	0.19	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.15	0.85	0	0	0	0.02	0.19	0	0	
	δ						0.06	0.06	0.38	0	0	
J11	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	II
	Cl <sup>-</sup>	0.04	0.96	0	0	0	0	0.13	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.60	0.40	0	0	0	0.03	0.05	0	0	0	
	δ						0.11	0.18	0	0	0	
J12	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0.40	0.60	0	0	0	0.02	0.08	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0.26	0.74	0	0	0	0.03	0.16	0	0	
	δ						0.10	0.11	0.16	0	0	
J13	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	II
	Cl <sup>-</sup>	0.63	0.37	0	0	0	0.03	0.05	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.57	0.43	0	0	0	0.07	0.09	0	0	
	δ						0.11	0.12	0.09	0	0	
J14	总硬度	1.00					0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0.51	0.49				0.02	0.06	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			0.99	0.01		0	0	0.22	0	0	
	δ						0.10	0.06	0.22	0	0	
J15	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	IV
	Cl <sup>-</sup>	0	0.50	0.50	0	0	0	0.07	0.11	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0.32	0.68	0	0	0	0.07	0.21	0	
	δ						0.08	0.07	0.18	0.21	0	
J16	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	III
	Cl <sup>-</sup>	0	0.07	0.93	0	0	0	0.01	0.20	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0.68	0.32	0	0	0	0.09	0.07	0	0	
	δ						0.08	0.10	0.27	0	0	
J17	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	V
	Cl <sup>-</sup>	0	0.26	0.74	0	0	0	0.03	0.16	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0	0.23	0.77	0	0	0	0.07	0.23	
	δ						0.08	0.03	0.16	0.07	0.23	
J18	总硬度	1.00	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	IV
	Cl <sup>-</sup>	0.18	0.82	0	0	0	0.01	0.11	0	0	0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0.26	0.74	0	0	0	0.06	0.23	0	
	δ						0.09	0.11	0.06	0.23	0	

利用灰色聚类法对东胜煤田 18 个检测点地下水水环境等级进行分级,可发现该区地下水水环境以Ⅲ型为主,占总检测点的 44%,Ⅲ型地下水水环境条件为较好;其次为Ⅱ型地下水,占 28%;Ⅰ型和Ⅳ型地下水均为 11%;水环境等级最差的Ⅴ型地下水在极个别检测点发现,仅在 J17 检测点神东补连塔矿 12404 面的采集到的水样为Ⅴ型地下水如图 2

所示。

研究发现在所有的 18 个检测点中,大部分检测点的水环境较好,符合人体健康基准值,主要适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水。对于水环境稍差的各别地区,符合农业和工业用水要求,主要适用于农业和部分工业用水,此外在适当处理后可作生活饮用水。

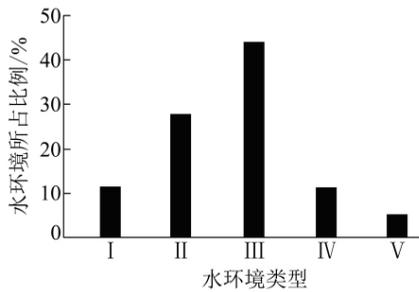


图2 东胜煤田地下水水环境各等级比重

#### 4 结 论

1) 东胜煤田典型矿区的地下水为弱碱性,低硬度水,  $SO_4^{2-}$  和  $Cl^-$  含量较低,  $HCO_3^-$  含量偏高,矿化程度较低。总体来说东胜煤田地下水的各项指标处于中等-较好水平,水质中等-较好。

2) 东胜煤田地下水环境等级为Ⅲ型地下水环境。其中优良型地下水仅占 39%,Ⅲ型地下水却高达 44%,基本符合工农业用水要求。

#### 参考文献:

[1] 李喜林,王来贵,刘浩. 矿井水资源评价——以阜新矿区为例[J]. 煤田地质与勘探, 2012, 40(2): 49-54.  
 [2] 李喜林. 阜新矿区矿井水资源评价研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.  
 [3] 王洪林,陈见行,董合祥. 矿井水的主要类型及其防治措施[J]. 山东煤炭科技, 2010(3): 193-194.

[4] 许世华. 矿井水的来源及其防治措施[J]. 矿业安全与环保, 2002, 29(S0): 84-88.  
 [5] 孙福元,郑世燕. 矿井水质特征研究及在涌水水源判别中的应用[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(10): 25-28.  
 [6] 张顶山,常凤生. 沈阳市水资源质量评价[J]. 东北水利水电, 2004, 22(11): 48-50.  
 [7] 刘玲,刘滨霞. 阜新矿区矿井水水质模糊综合评价研究[DB/OL]. [2007-05-16]. 中国科技论文在线, http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200705-228.  
 [8] 袁家柱. 煤矿塌陷型水域水质控制因素研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.  
 [9] 李定龙,汪茂连,孙本魁,等. 灰色聚类法在煤矿区地下水水质评价中的应用[J]. 煤矿环境保护, 1997, 11(4): 56-59.  
 [10] 姬亚东,李云峰,郭路. 运用模糊综合评判法评价银川地区地下水质量[J]. 陕西地质, 2004, 22(1): 88-92.  
 [11] 刘洪,孙国夕. 灰色聚类法在常州市第Ⅱ承压地下水水质评价中的应用[J]. 地下水, 2007, 29(6): 29-32.  
 [12] 于皓,刘志斌,王昭君. 基于灰色聚类分析法的矿井水质评价[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003, 22(S0): 74-76.  
 [13] 叶巧文,张新政. 基于灰色聚类的水质评价方法[J]. 五邑大学学报: 自然科学版, 2003, 17(4): 4-7.  
 [14] 刘洪,孙国曦. 灰色关联法在淮安市地下水水质评价中的应用[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(S2): 51-53.

## 1200 万 t/a 综采工作面超重型成套输送装备 通过中国煤炭工业协会科技成果鉴定

2013年1月,由宁夏天地奔牛实业集团有限公司研制的具有自主知识产权的“年产1200万t综采工作面超重型成套输送装备”顺利通过中国煤炭工业协会组织的科技成果鉴定。与会专家一致认定该套装备技术先进,填补了中国高性能的特厚煤层一次采全高装备的空白,促进了中国煤机装备制造业的技术提升,提高了特厚煤层综采机械化水平和资源回收率,符合中国能源产业高效、安全、低碳、环保的发展方向。

“年产1200万t综采工作面超重型成套输送装备”是公司集40余年专业研制煤炭机械装备的经验和技术的结晶,充分考虑中国开采技术的主要特点和用户需求开发研制的适用于特厚煤层机械化开采的高效输送装备,设计年生产能力1200万t以上,可用于7m特厚煤层一次采全高工作面。此套装备于2010年底制造完成。2011年10月正式投入工业性试验,平均月产原煤达110万t,完全具备单产工作面年产1200万t的输送能力。

目前,公司生产的此类机型可完全替代进口装备,打破了国外进口7m大采高煤矿井工开采输送装备的行业垄断地位,与此机型配套的1600kW减速器亦于2012年在公司研制成功,顺利通过各项试验检验,具备投入运行的条件。此套装备及关键部件的成功研制对提升中国煤机装备制造业在国际上的竞争地位,促进世界煤炭工业的发展具有重要意义。

(马雪静 供稿)