煤炭加工与环保

高泥化难浮煤泥重选试验研究

武彦林,樊民强
(太原理工大学 矿业工程学院,山西 太原 030024)

摘 要: 为提高高泥化难浮煤泥分选效果,以西召选煤厂难浮煤泥为研究对象,采用50 mm小直径新型水介旋流器,在不同结构参数(旋流器锥段结构、溢流管内径、底流口直径)和入料压力下,对其进行了重选试验。结果表明:水介旋流器底流灰分达80%,溢流中+0.045 mm物料灰分仅为6%,实现了难浮煤泥的高效分选。将新型水介旋流器与水力旋流器串联,可有效脱除分选后溢流中-0.045 mm粒级物料,降低高灰细泥的污染,获得灰分18%的精煤,是难浮煤泥降灰提质的有效途径。

关键词: 难浮煤泥;泥化;重选;水介旋流器;煤炭分选;水力旋流器
中图分类号: TD94 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2013)12-0113-04

Study on Gravity Separation Experiment of High Muddy and Difficult Floated Slime

WU Yan-lin, FAN Min-qiang
(*School of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan* 030024, *China*)

Abstract: In order to improve the separation effect of the high muddy and difficult floated slime, taking the difficult floated slime in Xizhao Coal Preparation Plant as a study object, with different structure parameters(cone structure of the cyclone, inner diameter of the overflow pipe and diameter of underflow pipe) and the feeding pressure, a small diameter(50 mm) new mode water medium cyclone was applied to the gravity separation experiment. The results showed that the ash content of underflow in the water medium cyclone was about 80%, the ash content of +0.045 mm coal in the overflow was only 6% and thus a high efficient separation of the difficult floated slime could be realized. With the series connection between the new water medium cyclone and the hydraulic cyclone, the -0.045 mm particle material in the overflow could be effectively removed after the separation and the clean coal with an ash content of 18%. Thus the new water medium cyclone and the hydraulic cyclone would be effective access to separate the difficult floated slime.

Key words: difficult floated slime; argillitization; gravity separation; water medium cyclone; coal separation; hydraulic cyclone

0 引 言

近年来,随着机械化采煤水平提高,原生煤泥量逐渐增加,加之选煤过程中产生的次生煤泥,使得选煤厂的煤泥含量大幅度提高[1-2]。一般情况下,原生煤泥占入选原煤的10%~20%,次生煤泥占5%~10%[3-4]。对于易浮煤泥,一般用浮选方法回收,对于难浮煤泥,则多利用离心重选技术分选,常见的分选设备有小直径煤泥重介质旋流器、水介旋流器、高效离心分选机、螺旋分级机和离心跳汰机等[5]。小直径煤泥重介质旋流器对浮选难以处理的细粒煤泥(易泥化或易氧化煤泥)分选效果好,降灰效果明显,但该工艺具有生产成本较高,流程复杂,且小直径旋流器配置不够灵活等缺点[6]。水介旋流器是在一定压力下,以切线或渐开线方式给料的分选设备,它具有结构简单,处理量大,布置方便,分选细粒煤成本低等优点[7]。但其分选精度远不如重介旋流器,若用于细粒煤分选存在分选精度较差,分选下限高,溢流不经过脱泥达不到精煤灰分要求等缺点[8]。高效离心分选机在离心力场中实现

收稿日期: 2013-05-27; **责任编辑:** 代艳玲
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50974094)
作者简介: 武彦林(1986—),女,山西吕梁人,硕士研究生。**通信作者:** 樊民强,男,教授。E-mail: fanminqiang@sohu.com
引用格式: 武彦林,樊民强. 高泥化难浮煤泥重选试验研究[J]. 煤炭科学技术,2013,41(12):113-116,119.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

离心重力分选和流膜分选[9]。国外常见的设备有 Knelson 离心选矿机、Falcon 离心选矿机等，它们在处理未完全解离的中间物含量大或硫分含量较高的细粒原煤时，其效果要优于常规浮选法。R Q Honaker 等[10]利用 Falcon 离心分选机对伊利诺斯煤层进行分选，将 0.045 ~ 0.15 mm(100 ~ 325 目)的细粒煤灰分从 18% 降到了 8%，但当入料中含有大量高灰细泥时，设备处理能力下降，降灰效果也大幅降低。螺旋分级机是依靠液流特性，利用重力和离心力的作用实现不同密度矿物分离的重力分选设备，其有单位处理量大、吨煤投资低、能耗低、本身无运动部件和易于操作管理等优点，但缺点是机身高度大，煤质变化时参数不易调节，当分选密度较低时，分选效果较差[3,6]。李建光等[11]采用水力旋流器和螺旋分级机主再选的两段分选工艺对高灰难选的粉煤进行试验研究，既得到了低灰的精煤又保证良好的分选效果。离心跳汰分选机利用传统矿物跳汰原理，结合离心力场作用进行分选，分选下限可降至 0.1 mm[5]。工业上主要的跳汰设备有 Kelsey 离心跳汰机、Mozley 离心跳汰机等。M K Mohanty 等[12]使用 Altair 离心跳汰机对美国伊利诺伊州第 5 号煤层中 0.045 ~ 1 mm 的细粒煤进行分选，得到了精煤产率高达 82%，灰分 6.8%，尾煤灰分 85% 的物料，分选效果良好。

笔者采用课题组自制的小直径煤泥旋流重选柱和小直径水力旋流器，对高灰细粒难浮煤泥的分选和分级效果进行了试验研究，以期分选出灰分合格的精煤。煤泥旋流重选柱属于一种新型水力旋流器，其在上升水流、斜面流、自重力多重分选力的组合作用下作业，可提高细粒煤的分选效率[13]。

1　试　　验

1.1　煤泥小筛分和浮沉试验

试验所用煤样采自内蒙古伊泰集团西召选煤厂的浓缩机底流，试验前通过筛分脱除 +0.5 mm 粒级以上物料。根据 GB/T 477—2008《煤炭筛分试验方法》对煤样进行了小筛分试验，结果见表 1。

表 1　煤样小筛分试验结果

粒级/mm	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
0.5 ~ 0.25	9.50	13.97	9.50	13.97
0.25 ~ 0.125	5.33	21.06	14.83	16.52
0.125 ~ 0.074	11.60	27.82	26.43	21.48
0.074 ~ 0.045	11.64	23.07	38.07	21.96
-0.045	61.93	50.36	100	39.55

注：煤样灰分 39.55%。

根据 GB/T 478—2008《煤炭浮沉试验方法》对煤样进行了浮沉试验，结果见表 2。

表 2　煤样浮沉试验结果

密度级/(g·cm^{-3})	产率/%	灰分/%	浮物累计/%		沉物累计/%		δ±0.1 含量	
			产率	灰分	产率	灰分	密度/(g·cm^{-3})	产率/%
-1.30	0.71	5.60	0.71	5.60	100.00	39.25	1.30	2.58
1.30 ~ 1.40	1.86	6.64	2.58	6.35	99.29	39.49	1.40	8.20
1.40 ~ 1.50	6.34	9.83	8.91	8.82	97.42	40.12	1.50	14.09
1.50 ~ 1.60	7.75	15.86	16.67	12.10	91.09	42.23	1.60	22.97
1.60 ~ 1.70	15.21	26.52	31.88	18.98	83.33	44.68	1.70	31.88
1.70 ~ 1.80	16.67	37.69	48.55	25.40	68.12	48.73	1.80	40.87
1.80 ~ 1.90	24.20	43.68	72.75	31.48	51.45	52.31	1.90	44.64
1.90 ~ 2.00	20.44	52.85	93.19	36.17	27.25	59.98	2.00	27.25
+2.00	6.81	81.39	100	39.25	6.81	81.39	—	—

由表 1 可知，-0.045 mm 粒级物料含量最多，为 61.93%，灰分高达 50.36%，说明该煤泥为高灰高泥化煤泥。从浮沉试验结果可知，煤泥中仍有 30% 以上的灰分小于 20% 的煤，具有一定的回收价值。

1.2　煤泥可浮性试验

根据 GB/T 4757—2001《煤粉(泥)实验室单元浮选试验方法》，采用捕收剂煤油和起泡剂仲辛醇对煤泥进行浮选试验，结果见表 3。

表 3　煤泥浮选试验结果

煤油用量/(g·t^{-1})	仲辛醇用量/(g·t^{-1})	精煤		尾煤	
		产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
800	100	0.05	61.28	99.95	41.18
1 000	100	1.28	42.56	98.72	41.16
1 500	100	1.55	42.10	98.45	41.17
2 000	100	2.66	44.08	97.34	40.69
2 500	100	3.60	44.18	96.40	41.20

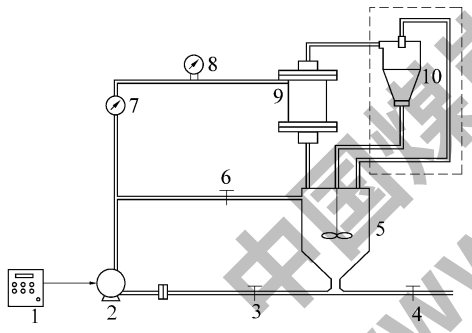
中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

由表 3 可知，煤油用量从 800 g/t 增加到 2 500 g/t 时精煤产率变化很小，最大差值仅为 3.60%；精煤灰分和尾煤灰分接近，可见该煤泥为极难浮煤泥，不宜采用浮选回收，应尝试采用重选方法进行回收。

2　煤泥重选试验及结果分析

2.1　煤泥重选试验系统

根据西召煤泥的性质，采用小直径(ø50 mm)水介旋流器对其进行分选试验，再将水介旋流器与小直径(ø50 mm)水力旋流器组合，对其进行分选分级试验。①分选: 首先在搅拌桶中配制质量浓度 100 g/L 的矿浆，经充分搅拌后由渣浆泵打入小直径水介旋流器中，入料压力和流量由调节渣浆泵变频来控制，待工况稳定后，同时接取溢流和底流。②分选分级: 水介旋流器的溢流产品进入水力旋流器，待工况稳定后，同时接取水介旋流器底流和水力旋流器的溢流、底流。接料后用筛孔分别为 0.125、0.074、0.045 mm 的筛子对样品进行筛分，筛分后烘干称重，并化验灰分。煤泥重选试验系统如图 1 所示。



1—变频器; 2—渣浆泵; 3—进料阀; 4—放料阀; 5—搅拌桶; 6—回流阀; 7—流量计; 8—压力表; 9—水介旋流器(分选); 10—水力旋流器(分级)

图 1　煤泥重选试验系统

2.2　煤泥分选试验

1) 旋流器最佳结构的确定。试验是在溢流管插入深度固定的条件下，将锥角、底流口直径、溢流管内径为 3 因素 2 水平组合，进行全面试验(表 4)。

表 4　水介旋流器

结构编号	锥角/(°)	底流口直径/mm	溢流口内径/mm	试验编号	锥角/(°)	底流口直径/mm	溢流口内径/mm
1	单锥 90	6	15	5	复锥 90	6	15
2	单锥 90	6	17	6	复锥 90	6	17
3	单锥 90	8	15	7	复锥 90	8	15
4	单锥 90	8	17	8	复锥 90	8	17

不同粒级物料在不同试验条件下的可燃体回收率与分选效率如图 2 所示。从图 2 可看出，①随着溢流管内径增大，各粒级物料的可燃体回收率增加，+0.074 mm 粒级物料的分选效率升高，−0.074 mm 物料略有降低，可见大溢流管有利于高泥化难浮煤泥的分选。②底流口直径增大，各粒级物料的可燃体回收率减少，分选效率降低，大底流口不利于该煤泥的分选。③锥段结构由单锥换成复锥时，各粒级物料的可燃体回收率升高，+0.045 mm 粒级物料的分选效率升高，−0.045 mm 的分选效率变化不大，复锥结构有利于改善该煤泥的分选效果。综合来说，大溢流管、小底流口和复锥结构是高泥化难浮煤泥分选的最佳结构，即锥角为复锥结构、底流口直径 8 mm，溢流口内径 15 mm 为最佳结构。

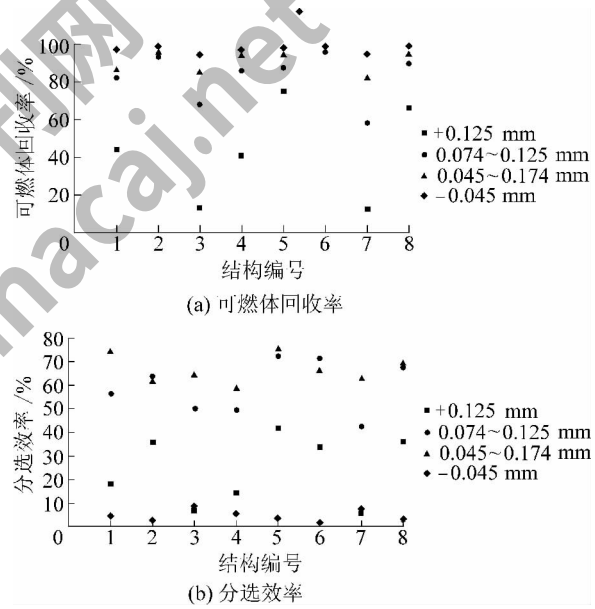
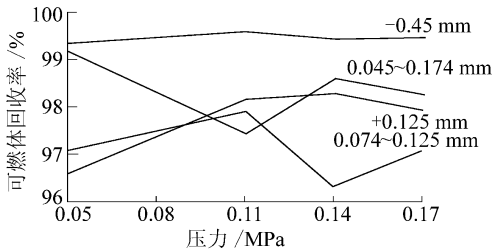


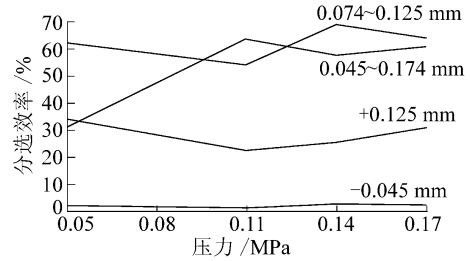
图 2　不同粒度级物料在不同试验条件下的可燃体回收率和分选效率计算结果

2) 最佳结构下最佳压力的确定。将新型水介旋流器锥段固定为复锥 90°、底流口直径 6 mm、溢流口内径 17 mm，选用压力分别为 0.05、0.11、0.14、0.17 MPa(试验可调节的最大压力)，对煤泥进行压力条件试验，结果如图 3 所示。由图 3 可知，相同结构下，随压力增大，各粒级物料的可燃体回收率变化不大，均在 98% 左右，但除 −0.045 mm 粒级外各粒级物料的分选效率却相差很大，由图 3b 中 +0.045 mm 各粒级物料的分选效率曲线看出，压力增大时各粒级物料分选效率基本升高。所以压力越大煤泥分选效果越好，由此确定的最优压力为 0.17 MPa。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net



(a) 可燃体回收率



(b) 分选效率

图 3　不同粒度级物料在相同结构、不同压力下的可燃体回收率和分选效率试验结果

3) 最佳试验条件下分选结果。最佳分选条件下的煤泥重选分选结果见表 5。由表 5 可知，溢流中 -0.045 mm 粒级物料产率占 67.5%，灰分高达 50%，对溢流产品整体质量的提高有很大影响。

2.3　煤泥分选分级试验

为了消除溢流中的细泥污染，分选试验后进行了分级试验，即在一段溢流后接一个分级水力旋流器对溢流产品进行粗细颗粒分级。试验中第一段结构仍选用复锥 90°、最大溢流管和最小底流口，第二段水力旋流器主直径为 50 mm，底流口为 6 mm，溢流管内径分别选用 8、12、18 mm 三种，压力选用 0.10、0.15 MPa，在水力旋流器溢流管内径最大(18 mm)、压力 0.15 MPa 下分选效果最好。第一段底流的产率和灰分分别为 12.81%、63.91%，第二段底流的产率和灰分分别为 17.71%、18.61%，第二段溢流的产率和灰分分别为 69.48%、41.99%。

表 5　最佳试验条件下的分选结果

粒级/mm	产率/%		灰分/%		累计产率/%		累计灰分/%		可燃体回收率/%	分选效率/%
	溢流	底流	溢流	底流	溢流	底流	溢流	底流		
+0.125	14.85	13.12	4.39	51.62	14.85	13.12	4.39	51.62	97.91	31.11
0.074~0.125	10.09	33.25	6.42	82.28	24.94	46.37	5.21	73.61	97.10	63.97
0.045~0.074	7.57	29.57	10.29	91.48	32.51	75.94	6.39	80.57	98.26	60.66
-0.045	67.50	24.05	49.28	83.76	100.00	100.00	35.34	81.33	99.46	2.27

在大溢流管、大压力下，水介、水力旋流器匹配使用，阻力增大，造成了第一段底流灰分比单独使用水介旋流器的底流灰分有所降低，但仍在 60% 以上，可作为尾煤泥排放；这种组合优化了细粒的脱除，使第二段底流灰分达 18.61%，压滤后可作为动力精煤。第二段溢流中 -0.045 mm 的物料占 84%，灰分为 48.64%，此结构分级效果良好，较好地消除了水介旋流器溢流产品中高灰超细粒煤泥的影响(表 6)。但是第二段底流中仍有 27% 左右灰分为 54% 的细泥夹带，第二段溢流中也有 16% 未被回收的精煤，说明分选旋流器和分级旋流器的组合仍需进一步优化。继续寻找提高 2 段旋流器配合使用时的底流产品灰分，进一步提高分级效率，是未来一段时间内高泥化煤泥利用中需尽快解决的问题。

表 6　煤泥分选分级产品小筛分试验结果　　%

粒级/mm	第一段底流				第二段底流				第二段溢流			
	产率	灰分	累计产率	累计灰分	产率	灰分	累计产率	累计灰分	产率	灰分	累计产率	累计灰分
+0.125	36.76	15.34	36.76	15.34	35.82	3.73	35.82	3.73	3.27	3.80	3.27	3.80
0.074~0.125	12.47	78.60	49.23	31.36	23.61	5.86	59.43	4.58	5.49	4.80	8.76	4.43
0.045~0.074	20.02	93.50	69.24	49.32	13.20	10.73	72.62	5.69	7.30	6.19	16.06	5.23
-0.045	30.76	94.19	100	63.12	27.38	53.98	100	18.91	83.94	48.64	100	41.67

3　结　　论

1) 西召选煤厂煤泥中含有大量的高灰细泥，这种高灰细泥在常规浮选中会严重地污染浮选精煤，影响精煤质量，所以用常规浮选方法降低其精煤灰分不可行。采用新型水介旋流器对西召选煤厂煤泥进行分选，在最佳旋流器结构和最佳压力(锥段为

(下转第 119 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

够进一步增大煤粉的堆积效率,从而提高了煤粉的制浆浓度,浓度的提高也大幅促进了煤浆的稳定性。

表 2　$D50 = 25$ μm 煤粉在若干粒径下的累积分布

粒径/μm	累积含量/%				模型计算结果/%
	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	
1	2.1	5.7	6.7	1.6	10.7
10	22.7	54.1	51.3	15.6	36.4
30	57.3	76.9	75.5	48.2	56.6
75	93.1	87.6	95.9	90.5	79.3
120	98.9	98.0	99.9	99.5	93.6

3　结　　语

采用 Alfred 模型对神府煤煤粉的粒度分布进行评估,单一粒度分布的煤粉的粒度分布曲线与模型差距较大,超细粉的填充在很大程度上能够改善煤粉粒度分布与模型的差距,进而增加煤粉的填充效率,提高煤粉的制浆浓度及稳定性。当然,模型参数 n 的选取会影响到 Alfred 模型对煤粉粒度分布的数值模拟,不同的 n 值会导致数值模拟结果的偏差,进一步优化模型参数将是今后的研究重点。

参考文献:

[1] 郑楚光. 洁净煤技术 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社,1996: 273 – 282.

[2] 段清兵,张　贵,何国锋,等. 神府煤制备高质量水煤浆技术研究 [J]. 煤炭加工与综合利用,2007(5):28 – 30.

[3] 吴国光,李建亮,孟献梁,等. 煤岩组成与水煤浆成浆性能的关系研究 [J]. 中国矿业大学学报,2009,38(3):35 – 38.

[4] 周新建. 水煤浆颗粒级配的研究 [J]. 煤炭学报,2001,26(10):557 – 560.

[5] 支献华. 水煤浆稳定性的影响因素及评定方法 [J]. 煤炭加工与综合利用,2000(1):38 – 39.

[6] 李　静,董慧茹,刘国文. 改善粒度级配提高大同水煤浆的稳定性 [J]. 北京化工大学学报,2002,29(2):93 – 95.

[7] 费祥俊. 高浓度煤浆管道运输问题 [J]. 水力采煤与管道运输,1995,20(4):35 – 40.

[8] 周新建. 水煤浆流变特性的研究 [C] //现代采矿与新技术. 西安: 陕西科技出版社,1999: 255 – 260.

[9] 艾伦 T. 颗粒大小测定 [M]. 北京: 中国建筑出版社,1984: 146.

[10] 余学海. 神华煤水煤浆成浆特性的优化方法、模型预测及改性机理研究 [D]. 杭州: 浙江大学,2008: 15.

[11] 张荣曾. 水煤浆制浆技术 [M]. 北京: 科学出版社,1996.

[12] 曾　凡,胡永平. 矿物加工颗粒学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社,1995.

[13] Funk J E, Dinger. Control Parameters for a 75 WT% Coal – Water Slurry [J]. Coal,1982(4):56 – 59.

[14] Funk J E. Preparation of a Highly Loaded Coal Water Mixture [J]. Coal,1982(4):64 – 68.

[15] Funk J E. Coal – Water Slurry and Methods for Its Preparation [P]. US: 4282006. 1979 – 02 – 15.

(上接第 116 页)

复锥 90°、底流口直径 6 mm、溢流口内径 17 mm、压力 0.17 MPa) 下,可使底流产品灰分达到 81.33%,且对溢流中 +0.045 mm 物料实现高效分选,但对溢流中 –0.045 mm 物料的分选效果却很差。

2) 将水介旋流器溢流与水力旋流器串联,对煤泥进行分选分级试验,可有效脱除分选后溢流中 –0.045 mm 粒级物料,降低其对精煤的污染,是对单段分选有利的补充。因此寻找高效的细粒分级脱泥方法,是难浮煤泥利用中亟待解决的技术难题。

参考文献:

[1] 徐建文,吴　松,彭　鲲,等. 浅谈我国细粒煤分选技术的现状及发展趋势 [J]. 山西焦煤科技,2010(1):54 – 56.

[2] 杨俊利,陈文卿. 我国细粒煤分选技术研究现状及发展方向 [J]. 煤,1998,7(6):11 – 13.

[3] 程　敢,徐宏祥,贾　凯,等. 细粒煤分选技术与设备的发展 [J]. 矿山机械,2012,40(8):1 – 6.

[4] 徐　博,徐　岩,于　刚. 煤泥浮选技术与实践 [M]. 北京: 化学工业出版社,2006.

[5] 梅国民,王全强,刘焕胜. 细粒煤分选方法评述 [J]. 煤炭技术,2005,24(12):60 – 62.

[6] 陶有俊,赵跃民. 强化重力场中细粒煤脱硫研究 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社,2007.

[7] 陈　宸. 细粒煤分选设备的现状与发展趋势 [J]. 能源技术与管理,2010(4):112 – 114.

[8] 焦红光,谌伦建,铁占续. 细粒煤重选设备的技术现状与分析 [J]. 设计技术,2006(1):14 – 17.

[9] 杨润全,吕子虎,王怀法. 细粒煤重力分选设备与技术发展现状 [J]. 中国矿业,2005,14(12):4 – 7.

[10] Honaker R Q, Wang D. Application of the Falcon Concentrator for Fine Coal Cleaning [J]. Minerals Engineering, 1996, 11(9):1143 – 1156.

[11] 李建光,夏云凯. 采用水力旋流器和螺旋分选机处理粉煤的工艺计算与选择 [J]. 选煤技术,2007(4):115 – 119

[12] Mohanty M K, Honaker R Q, Patwardhan A. An In – plant Eevaluation for Fine Coal Cleaning [J]. Minerals Engineering, 2002, 17(15):157 – 166.

[13] 樊民强. 煤泥旋流重选柱. 中国,200910073853.7 [P]. 2009 – 12 – 02.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net