

降硫提质生产洁净煤 实现煤炭清洁供应

朱子祺^{1,2}

(1. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221116;
2. 神华神东煤炭集团 洗选中心, 陕西 神木 719315)

摘要: 详细分析了神东矿区大柳塔、上湾、石圪台、布尔台、补连塔等选煤厂各产品的灰分、挥发分、硫分、发热量等煤质指标以及硫分在煤中的赋存状态, 并制定了详细的生产方式及配煤方案, 最终成功生产出硫分低于 0.4%、发热量达到 21.736 MJ/kg 的洁净煤, 不仅降低了环境污染, 还增加了销售收入。

关键词: 洁净煤; 环保; 降硫; 洗选; 配煤

中图分类号: TD94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8397(2016)01-0051-05

1 环保压力对煤炭清洁供应提出新要求

近年来, 随着恶性环境事件不断增长, 人民群众对于生活质量要求不断提高^[1,2], 原来煤矿生产企业边污染边治理、先污染后治理的发展思路已然不可取^[3], 政府对企业也提出了更高的环境保护要求。为改善环境, 加强环境保护监管及处置力度, 2015年1月1日起, 被称为史上最严的新《环境保护法》开始实施^[4], 而同样被认为史上最严的《大气污染防治法》也于2014年12月22日被提交全国人大常委会首次审议。

“富煤、贫油、少气”是我国最为鲜明的能源现状^[5], 长期以来, 煤炭一直是我国的基础能源^[6], 并长期占一次能源消费比例的70%以上^[7], 是我国国民经济快速发展的主要助推剂。但是近年来冬春之际弥漫全国的雾霾将煤炭推向了风口浪尖, 各种数据显示, 燃煤可能是导致雾霾产生的主要原因之一。在《大气污染防治法》修订草案中第三章共计八条的内容介绍了防治燃煤产生的大气污染。事实上, 燃煤所造成的大气污染问题并不在于煤炭本身, 而在于能否实现煤炭的清洁利用^[8]。为此, 神华集团提出了“清洁能源发展战略”, 该战略的目标是“创建世界一

流清洁能源供应商”。因为是煤炭企业, 这里的清洁能源自然是指清洁煤, 具体而言, 要实现煤的清洁开发、清洁利用、清洁转化^[9], 而煤的清洁开发是所有后续利用和转化的基础。研究和实现商品煤降硫提质是神华集团实现清洁能源发展战略的第一步。

2015年以来, 神东洗选中心积极响应集团公司战略目标, 努力实现商品煤的降硫提质, 并于2015年7月15日成功向京津冀地区发运首列洁净煤, 降低燃煤对环境污染的同时还创造了可观的经济效益。

2 煤中硫的赋存状态

硫是煤中的有害元素之一, 因为煤在利用中主要作为燃料燃烧, 硫的存在将使煤在燃烧过程中产生有害气体 SO_2 和 SO_3 , 不仅会腐蚀锅炉等燃煤设备, 还会带来较为严重的大气污染, 对人体、动植物、地面建筑物均有害^[10]。

煤中硫可以分为有机硫和无机硫两大类, 而无机硫主要指的是硫铁矿硫和硫酸盐硫两类^[11]。根据两种不同赋存状态硫的含量可以将我国的高硫煤划分为三种类型, 即高有机硫煤、高无机硫煤及有机硫与无机硫都较高的高硫煤。煤中的有

收稿日期: 2015-10-13 DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2016.01.017

作者简介: 朱子祺(1982—), 男, 江苏徐州人, 中国矿业大学矿物加工工程专业2012级在读博士研究生, 神华神东煤炭集团洗选中心工艺煤质部经理, 工程师。

引用格式: 朱子祺. 降硫提质生产洁净煤 实现煤炭清洁供应 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2016(1): 51-55.

机硫主要包括硫醇、二硫化物、噻吩、硫醚等(见图1),这部分硫与煤的分子有机结合,通过物理途径无法有效脱除。煤中有机硫的脱除是脱硫的难点,在实际生产中一般采用燃中或燃后脱硫。煤中的无机硫主要以硫化铁(黄铁矿)为主,此外还有少量的硫酸盐硫,在煤中以层状、块状结核、微细颗粒等形式均匀或不均匀的分布,无机硫不是煤中分子的有机组成,大部分可以通过物理途径脱除。因此,在高硫煤降硫脱硫时,应充分考虑有机、无机两种赋存状态硫的比例。根据研究,煤中硫主要分为原生硫与次生硫两类,前者为成煤植物所固有,例如植物中所含有的含硫氨基酸等,后者来自成煤环境与变质过程,一般而言高硫煤中的硫分以后者为主^[12,13]。

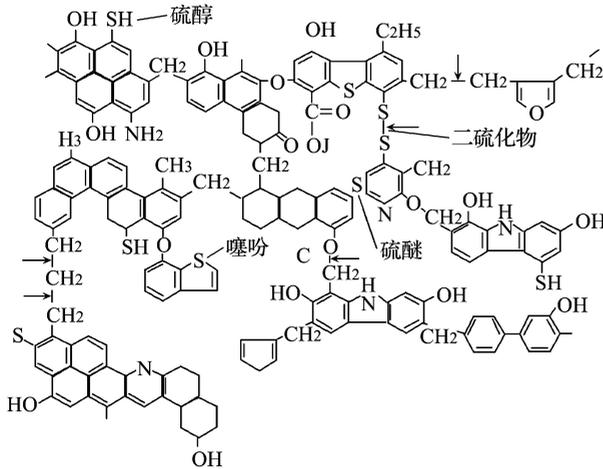


图1 煤的分子结构模型(有机硫的赋存状态)

据前所述,因有机硫一般存在于煤分子结构中的有机组成中,因此无法采用物理的煤炭洗选方式进行有效脱除,对于这部分煤,硫分不仅不会随着入洗比例的提高而降低,反而会随入洗量的增加而升高。而无机硫一般存在于无机物,即矽石中,这部分硫分与煤的灰分变化具有极好地正相关性,即灰分越高,硫分越高。研究显示,我国的中、高硫煤大部分具有此特点,因此对于我国大部分的中、高硫煤,采用物理的洗选加工方式在排出矽石的同时能够较好地达到脱硫、降硫的目的。数据显示,我国的高硫煤平均硫分2.76%,其中黄铁矿硫约占58%,而有机硫仅占37%左右,如能有效脱除63%的无机硫,将极大地降低燃煤对环境的污染。高效而先进的物理洗选是目前公认的高硫煤燃前降硫最为经济的手

段,即根据煤与矽石的密度差异,排出矽石的同时将存在于矽石中的无机硫排出,达到降硫的目的^[14,15]。

神东矿区的煤虽然属于低硫煤,但是为了提高煤炭质量,在脱硫方面也需进行更加具体的分析。

3 神东矿区原煤中硫的赋存特点及洗选降硫可行性分析

资料显示,榆神低硫煤中的硫同样以黄铁矿硫和有机硫为主,平均分别为0.09%~0.48%和0.08%~0.29%^[16]。据此,神东矿区煤中的硫主要为无机硫,这些无机硫主要存在于矽石中,完全可以采用物理洗选的方式进行脱除,这就为神东矿区洗选脱硫提供了理论基础。

为具体分析神东矿区硫的赋存特点,并为后续生产提供可供参考的依据,选取近期硫分较高的大柳塔煤矿活井系统原煤、商品煤及选煤厂中间产品进行分析,见表1和表2。表1中,大柳塔选煤厂活井系统入洗原煤、选块、混煤的化验结果为月度累计结果,通过累计结果推算出商品煤各指标的合计情况。由表1可以看出,通过洗选加工作业,商品煤中的硫分从1.01%降至0.73%,降低了0.28个百分点,从中硫煤成为低硫煤,说明降硫效果显著。从这些数据中可以看出,大柳塔矿活井系统原煤中的硫分主要为无机硫,与现有资料的结论一致。

表2中列举了大柳塔选煤厂活井系统中间产品的化验结果,由此可以更明显地看出大柳塔煤矿活井系统原煤中硫的赋存状态——大量硫分存在于矽石中,而低灰分的精煤则含硫量较低。数据显示,块矽石硫分低于螺旋矽石硫分,螺旋矽石硫分低于末矽石硫分;块精煤硫分大于螺旋精煤硫分,螺旋精煤硫分大于末精煤硫分;煤泥硫分与原煤硫分相近,这说明块煤和块矽石中低硫煤与高硫矽石未实现充分分离,粒度越小分离程度越高,分选后的精煤硫分越低,矽石硫分越高。此外也可以看出,煤与矽石的泥化程度相近,但是矽石更易泥化,且矽石易碎。

大柳塔煤矿活井系统所得的结论同样适用于神东矿区其他煤矿和选煤厂。神东洗选中心对比了石圪台矿及其选煤厂、补连塔矿及其选煤厂、

上湾矿及其选煤厂、布尔台选煤厂的数据, 详见 表3。

表1 大柳塔选煤厂活井系统原煤及商品煤累积化验结果

产品	全水分 $M_t/\%$	分析水 $M_{ad}/\%$	灰分 $A_d/\%$	挥发分 $V_d/\%$	全硫 $S_{t,d}/\%$	发热量 $Q_{net,ar}/MJ \cdot kg^{-1}$
原煤	15.50	5.75	9.25	31.88	1.01	23.617
混煤	16.60	6.80	7.60	32.56	0.80	23.993
选块	14.60	6.45	5.75	33.40	0.54	24.955
商品煤合计	16.10	6.71	7.10	32.79	0.73	24.244

表2 大柳塔选煤厂活井系统各产品化验结果

产品	全水分 $M_t/\%$	分析水 $M_{ad}/\%$	灰分 $A_d/\%$	挥发分 $V_d/\%$	全硫 $S_{t,d}/\%$	发热量 $Q_{net,ar}/MJ \cdot kg^{-1}$
原煤	14.84	4.55	8.39	31.75	1.10	24.114
末原煤	15.80	3.90	9.86	31.41	1.38	23.362
块矸石	6.20	0.93	70.55	17.46	7.43	4.782
末矸石	12.82	1.54	60.12	23.68	10.77	6.479
块精煤	14.98	4.67	7.02	31.18	1.06	24.503
末精煤	15.64	4.99	5.90	33.10	0.66	24.737
螺旋矸石	18.40	1.89	57.86	27.32	8.71	5.288
螺旋精煤	23.25	4.11	6.55	31.94	0.70	22.091
细煤泥	32.25	4.50	12.27	29.80	1.10	17.694

表3 神东矿区石圪台、补连、上湾、布尔台原煤及商品煤累积化验结果

煤源矿点	中间产品	全水分 $M_t/\%$	分析水 $M_{ad}/\%$	灰分 $A_d/\%$	挥发分 $V_d/\%$	全硫 $S_{t,d}/\%$	发热量 $Q_{net,ar}/MJ \cdot kg^{-1}$
石圪台矿	原煤	18.20	6.41	16.24		0.45	20.398
石圪台矿	商品煤合计	18.60	7.75	13.63	32.10	0.42	21.527
补连塔矿 2-2 煤	原煤	15.80	5.68	10.32		0.43	23.157
补连塔矿 2-2 煤	商品煤合计	16.00	4.86	8.02	34.29	0.34	23.993
补连塔矿 1-2 煤	原煤	17.20	5.45	14.38		0.52	21.360
补连塔矿 1-2 煤	商品煤合计	17.10	6.21	11.12	29.79	0.49	22.572
上湾矿	原煤	15.00	5.42	11.61	31.25	0.55	23.074
上湾矿	商品煤合计	15.40	7.21	8.68	32.17	0.53	24.077
布尔台选煤厂	原煤	16.70	6.05	20.15	28.98	0.55	19.939
布尔台选煤厂	商品煤合计	17.30	6.37	15.00	30.48	0.51	21.569

根据上述以大柳塔煤矿活井系统原煤为基础进行的分析, 并结合石圪台等四矿的化验结果可以验证, 神东矿区原煤中硫的赋存状态以无机硫为主, 大部分以无机硫的形式存在于矸石中, 随着商品煤灰分的降低, 硫分显著降低。据此, 可以通过调整入洗率和分选密度的方式有效降低商品煤的硫分, 即采用洗选加工的方式来降低商品煤的硫分是可行的。此外, 因经过充分解离后的末原煤入洗后所得到的末精煤硫分更低、末矸石硫分更高, 因此加大末煤的入洗率能够更好地达

到降低商品煤硫分的目的。

4 生产洁净煤采取的措施

为响应神华集团清洁能源发展战略以及创建世界一流清洁能源供应商的战略目标, 按照神东公司煤炭营销中心安排, 洗选中心补连塔选煤厂、石圪台选煤厂、布尔台选煤厂组织生产洁净煤, 产品指标要求硫分必须低于 0.4%, 干燥无灰基挥发分小于 39%, 发热量高于 21.736 MJ/kg。由表 1 和表 3 可以看出, 组织生产洁净煤最

大的难度不在于降低挥发分和提高发热量,而在于如何将商品煤的硫分控制在0.4%以下。

综上所述,通过洗选能够有效降低商品煤的硫分,另外也可以采用掺配的方式进行指标调整,掺配后的商品煤各项指标符合加权平均原则^[17]。以硫分为例:

$$S = (S_1 \times m_1 + S_2 \times m_2 + S_3 \times m_3 + \dots + S_n \times m_n) \div (m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n) \quad (1)$$

式中: S 为掺配后商品煤的硫分,%; S_1 、 S_2 、 S_3 、…… S_n 为各掺配商品煤的硫分,%; m_1 、 m_2 、 m_3 、…… m_n 为各掺配商品煤的质量或所占比例。

为此,神东洗选中心采取原煤部分入洗获取低硫精煤后,再掺配高硫末原煤的方式,通过控制掺配比例,获得硫分合格并能满足产量要求的洁净煤产品。

以补连塔选煤厂为例。根据洁净煤煤质指标,有两种配比方案可达到指标要求。方案一是2-2煤块精煤与2-2煤混煤按2:1掺配,方案二是2-2煤块精煤与1-2煤块精煤按2:1掺配,见表4和表5。

表4 神东洁净煤指标测算表—方案一

产品	指标				发热量 $Q_{\text{net,ar}}/$ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
	灰分 $A_d/\%$	水分 $M_t/\%$	硫分 $S_t/\%$		
原 产品	2-2煤块精煤	5.36	14.90	0.33	25.038
	2-2煤混煤	9.49	15.30	0.41	23.408
2:1掺配获得洁净煤					
		6.74	15.03	0.36	24.495

表5 神东洁净煤指标测算表—方案二

产品	指标				发热量 $Q_{\text{net,ar}}/$ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
	灰分 $A_d/\%$	水分 $M_t/\%$	硫分 $S_t/\%$		
原 产品	2-2煤块精煤	5.36	14.90	0.33	25.038
	1-2煤块精煤	6.43	16.60	0.43	24.035
2:1掺配获得洁净煤					
		5.72	15.47	0.36	24.704

补连塔选煤厂共有8个产品仓,其中1号产品仓存储外来煤,2号产品仓存储2-2煤块精煤,3号产品仓存储1-2煤块精煤,4号、7号、8号仓存储1-2煤混煤,5号、6号产品仓存储2-2煤混煤。每个产品仓下对应4台给煤机,其

中,1号、2号、3号、4号产品仓下为一套装车系统,5号、6号、7号、8号产品仓下为一套装车系统,共两套装车系统。其中,1号、2号、3号、4号产品仓下各有两台GLD3300/7.5/S甲带给煤机(处理量3300t/h),可实现单仓装车,不影响装车时间,而5号、6号、7号、8号产品仓下都为XZG1800×3200×375振动给煤机(处理量1500t/h),需至少开启6台给煤机才能保证装车时间,无法实现单仓装车。

根据洁净煤指标测算及补连塔选煤厂实际生产工艺情况,按照表4和表5的测算结果,可提供两套可行性生产组织方案。

方案一:2-2煤的块精煤与2-2煤的混煤掺配。因2-2煤块精煤进2号产品仓,2-2煤混煤进5号、6号产品仓,而2号与5号、6号产品仓不在同一装车系统,无法实现直接回掺,根据现场工艺条件,可将2-2煤块精煤进6号产品仓,2-2煤混煤进2号、5号产品仓,从而实现5号、6号产品仓配掺,满足洁净煤生产要求。由于2-2煤原煤煤质较稳定,此方案可做为长期生产方案执行。

方案二:2-2煤的块精煤与1-2煤的块精煤掺配。2-2煤的块精煤进2号产品仓,而1-2煤的块精煤进3号产品仓,两种产品在同一装车系统,无需进行生产工艺调整,可直接在产品仓下实现按比例掺配。但由于1-2煤煤质较差,且原煤煤质波动较大,因此,此方案只做近期生产方式。

通过分析和测算,补连塔选煤厂成功生产出了符合要求的洁净煤,此外,石圪台选煤厂、布尔台选煤厂也都通过详细分析、测算,组织生产出符合要求的洁净煤,为神华集团清洁能源发展战略的实现迈出了坚实的一步。

5 神华集团清洁煤成功发运

经过前期的分析、测算、生产组织,2015年7月15日,神华集团供京津冀地区的首列洁净煤在石圪台站装车发往沧州西站,供给河北冀春集团,标志着神华集团京津冀散煤替代工作进入实际性供应阶段。首列车洁净煤干基硫分不大于0.4%、干燥无灰基挥发分不高于39%,是品质优良的神华清洁煤。首列洁净煤发运成功,既是

落实神华集团和河北省人民政府散煤治理协议的具体行动, 又是落实国务院京津冀及周边地区大气污染防治协作机制会议精神的具体体现。神东洗选中心将继续在公司的领导下, 积极响应集团公司的清洁能源发展战略, 打响神华环保清洁煤的品牌。

洁净煤的成功生产发运, 不仅创造了环境效益, 降低了燃煤对环境的污染, 还收到了较好的经济效益。与相同发热量的混煤相比, 吨煤销售价格提高了 75 元, 每列车增加销售收入 31.68 万元。

参考文献

- [1] 孟福来. 生态文明的提出, 问题及对策思考 [J]. 西北大学学报: 哲学社会科学版, 2010, 40(3): 168-170.
- [2] 李绪国. 我国煤炭资源安全高效绿色开发现状与思路 [J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 53-57, 73.
- [3] 叶鸿蔚, 高雅雯. 我国环境政策演变的特点和发展趋势 [J]. 理论导刊, 2013 (4): 92-94.
- [4] 常纪文. 新《环境保护法》: 史上最严但实施最难 [J]. 环境保护, 2014, 10: 23-28.
- [5] 刘刚, 宋华岭. 中国能源缺口探析 [J]. 中国矿业, 2008, 17(8): 1-4.
- [6] 尚海涛. 煤炭作为我国基础能源的重要地位不可动摇

[J]. 中国煤炭, 2001, 27(4): 5-8.

- [7] 刘宇, 周梅芳. 煤炭资源税改革对中国的经济影响——基于 CGE 模型的测算 [J]. 宏观经济研究, 2015 (2): 008.
- [8] 廖雯颖. 一块煤从黑到白的旅行 [N]. 齐鲁晚报, 2015-03-09(A6).
- [9] 孙怡. 用煤把火箭送上天或成现实 [J]. 科技中国, 2015 (005): 12-13.
- [10] 刘大猛, 刘志华, 李运勇. 煤中有害物质及其对环境的影响研究进展 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(6): 840-847.
- [11] 曹新鑫, 柳菲, 高艳芳, 等. 煤中硫的赋存状态及成因 [J]. 安徽化工, 2008, 34(2): 1-3.
- [12] 张文军, 欧泽深. 高硫煤的合理降硫利用途径探讨 [J]. 矿产综合利用, 2001 (2): 31-35.
- [13] 路迈西, 刘文礼. 高硫煤中硫的分布和燃前脱硫可行性的研究 [J]. 煤炭科学技术, 1999, 27(2): 42-45.
- [14] 瞿建威, 杨洪英, 巩恩普. 煤中硫的赋存特征及微生物脱硫 [J]. 选煤技术, 2004 (1): 4-8.
- [15] 么秋香, 杜美利, 王水利, 等. 高硫煤中硫的赋存形态及其可选性评价 [J]. 煤炭转化, 2013, 36(1): 24-27.
- [16] 高连芬, 刘桂建, 郑刘根. 中国煤中硫的地球化学研究 [J]. 煤, 2005, 92: 4.
- [17] 陈怀珍, 张贤法. 中国动力配煤工业分析和发热量的可加性研究 [J]. 洁净煤技术, 1999, 5(2): 51-54.

(上接第 48 页)

洗选加工成本, 提高企业经济效益。

(3) 弛张筛作为专门用于细粒级筛分的一种筛分设备, 完全能满足我国动力煤选煤厂细粒级筛分、节能增效的需要, 也完全适应我国原煤的煤质特点。

(4) 弛张筛的成功应用, 为粘湿、难筛物料的筛分提供了一套新的解决方案, 是对我国选煤工艺的丰富和发展。

(上接第 50 页)

节约 540 万元外购煤费用。

(3) 唐家会矿。经济效益分析: ① 2014 年春节期间唐家会矿生产精煤产品 6 000 多吨, 发热量大于 17.556 MJ/kg, 完全满足锅炉房用煤需求, 按外购煤到场价格 410 元/t 计算, 可节约外购煤费用 246 万元。② 2—6 月份, 销售额 679.20 万元, 加工费 141.45 万元, 利润 537.75 万元。

参考文献

- [1] 包小燕, 李宏静, 鲁和德. 香蕉型弛张筛 3 mm 干法脱粉在寺河矿选煤厂的应用 [J]. 洁净煤技术, 2014, 20 (3): 5-7.
- [2] 方爽, 杜杰, 赵宏霞. 宾得弛张筛在张集选煤二厂的应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2012(2): 15-17.
- [3] 谢广元, 等. 选矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.

5 结语

淮矿西部公司三座矿井采用了干法选煤技术处理工程煤, 解决了因工程煤长时间堆积可能带来的自燃、粉尘污染等问题。同时, 提高了工程煤质量, 使其成为可销售的商品煤, 不仅满足本矿锅炉用煤要求, 而且增加了企业的经济效益。