文章编号：1000-1964(2005)06-0740-04

一种新的浮选尾煤高附加值综合利用技术

付晓恒，何为军，王新文，周建军，王祖讷
（中国矿业大学 化学与环境工程学院，北京 100083）

摘要：浮选尾煤是选煤厂中一种低价值、严重污染环境的副产品，为了充分利用炼焦煤资源和改善矿区环境，提出和研究了一种高附加值综合利用尾煤的技术方案. 试验研究表明，尾煤中大于 250 μm 的粗粒级经超细粉碎后，采用絮团浮选技术可以分选出灰分为 8.29%～8.87%，产率达 60.24%～68.01%的精煤产品. 小于 250 μm 的细粒级尾煤制备成水煤浆燃料，该水煤浆为典型的假塑性流体，浓度为 74%，对应于剪切率 100 s^{-1} 的黏度为 80 mPa·s，可以在链条炉中实现稳定燃烧.

关键词：尾煤；超细粉碎；絮团浮选；水煤浆；燃烧
中图分类号：TD 94　　**文献标识码**：A

A Novel Technology of Profitably Comprehensive Utilization of Flotation Tailing

FU Xiao-heng, HE Wei-jun, WANG Xin-wen, ZHOU Jian-jun, WANG Zu-ne
(School of Chemical and Environmental Engineering,
China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The flotation tailing in coal preparation plant is a low grade pollutant. For efficiently utilizing coking coal resource and protecting environment, a scheme of profitably comprehensive utilization of flotation tailing was presented. The experimental results show that a clean coal of 8.29%～8.87% ash contend and 60.24%～68.01% yield was achieved by flocculation-flotation of coarse fraction of > 60 mesh in flotation tailing after ultra-fine grinding and a coal-water slurry of 74% concentration and 80 mPa·s viscosity at 100 s^{-1} shear rate was prepared with its fine fraction of < 60 mesh, which was stably fired in chain grate boiler.

Key words: tailings; grinding; flocculation-flotation; coal-water slurry; combustion

浮选尾煤作为选煤厂的副产品，灰分高、热值低、粒度细、黏度大，遇水流失，遇风起尘，目前一般都是就地销售或用汽车外运，低价处理，滞销时期，堆积如山，污染环境. 开发煤泥的利用技术，洁净、高附加值处理选煤厂的尾煤，对于保护我国的炼焦煤资源，改善矿区环境具有十分重要的意义.

国外处理浮选尾煤的方法一般都是排放到尾矿坝沉淀堆积，澄清水循环使用. 法国爱米吕希电厂自 1990 年起，将附近一座煤矿的煤泥加水和添加剂调制成浓度为 66%～67%的煤泥浆，用泵送入 125 MW 循环流化床锅炉中掺烧. 美国宾洲一处煤矿挖取尾矿坝的煤泥加水但不加添加剂调成浓度约为 50%的稀浆，泵送到电厂煤粉炉中掺烧.

我国已经成功地把煤泥调成浓浆给入沸腾炉燃烧[1]，还成功地开发了完全燃烧尾煤滤饼的沸腾床锅炉[2]. 再一种处理方式是把尾煤滤饼加热烘干后掺入中煤外销[3]，但需要燃烧原煤获得热源.

把尾煤作为燃料，尤其是把灰分较低的炼焦煤

收稿日期：2004－11－20
基金项目：国家技术创新重点专项计划项目(国经贸技术[2000]490 号(12-01))
作者简介：付晓恒(1957-)，男，江西省南昌市人，副教授，博士，从事选矿、洁净煤技术以及水煤浆的制备与燃烧方面的研究.
E-mail：fuxiaoheng@263.net　　Tel：010-62331694

尾煤完全作为燃料，经济效益有限，对炼焦煤资源是一种浪费.

美国在肯塔基州一处矿区的尾矿沉积区内挖取煤泥，掺水后用泵送到水力分级机，分级的溢流到浮选，精煤过滤回收细粒含碳燃料，浮选尾矿到尾矿坝舍弃，水力分级机底流进入螺旋分选机和弧形筛，回收粗粒含碳燃料，螺旋分选机的尾矿经筛子脱水作为砂料使用. 这个项目实现了煤泥整体加工利用的技术，但文中未提到回收的细粒和粗粒碳燃料是如何利用的，估计可能是混入相应的选煤产品中外销. 该项目引起美国参、众两院的议员和能源部重视. 但该项技术仍然存在尾矿坝，只是存积的尾矿量显著减少，而且是高灰含量[4].

为此，本文探讨和研究了一种新的高附加值处理炼焦煤选煤厂浮选尾煤的方法，目前该技术已经进入工业示范阶段①.

1　技术方案

该试验是以平顶山煤业集团田庄选煤厂的浮选尾煤为研究对象. 该厂的煤泥水采用角锥池分级，由于分级效果欠佳，进入浮选的粗颗粒量较大，故浮选作业跑粗严重，粗颗粒在尾矿中的损失加大，浮选尾煤的粒度组成见表 1.

表 1　浮选尾煤的粒度分布

Table 1　Size distribution of flotation tailings

粒级/μm	产率 γ/%	w(A$_{ad}$)/%	累计	
			产率 γ/%	w(A$_{ad}$)/%
＞420	18.28	29.51	18.28	29.51
420～250	11.86	34.86	30.14	31.62
250～180	9.49	36.54	39.63	32.80
180～150	2.72	37.79	42.35	33.12
150～125	5.62	38.25	47.97	33.72
125～105	0.88	34.40	48.85	33.73
105～90	0.35	19.91	49.20	33.63
90～75	4.06	40.10	53.26	34.13
＜75	46.74	50.09	100.00	41.59
合计	100.00	41.59		

由该粒度分布可以看出：1）尾煤中粗粒含量较高，大于 250 μm 的占 30.14%，特别是大于 420 μm 的跑粗颗粒占18.28%；2）该尾矿中大于 420 μm 粒级的灰分比较高，说明在浮选环节，特别是重选环节该粒级没有获得有效地分选，如果进入重选精煤产品，将污染重选精煤，如果进入重选中煤或浮选尾矿，又是损失；3）小于 250 μm 细粒级物料的灰分为 45.89%，其中含有 54.11%的可燃体，制备成尾煤水煤浆仍是具有较高热值的洁净燃料. 为此，提出了高附加值综合利用该尾煤的技术方案：按 250 μm 分级，大于 250 μm 粗粒级物料经超细粉碎后采用絮团浮选的方法分选出其中的低灰精煤，经加压脱水后掺入重选精煤销售，小于 250 μm 的细粒级制备成尾煤水煤浆用于本选煤厂或本矿区的取暖锅炉(图 1).

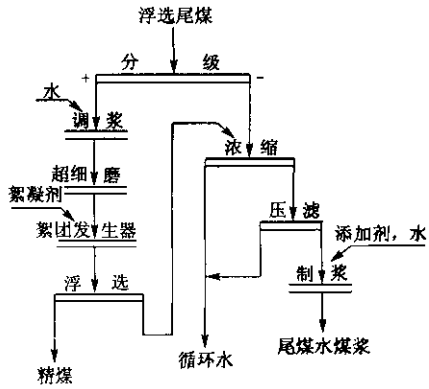


图 1　浮选尾煤高附加值综合利用原则工艺流程

Fig. 1　Basic flowsheet of scheme profitably comprehensive utilization of flotation tailing

2　试验研究

2.1　分选试验

煤样的工业分析和元素分析见表 2. 首先把选煤厂的尾煤样按 250 μm 分级，大于 250 μm 的粗粒级采用瓷球磨以 30%的浓度湿法研磨，由研磨后激光粒度仪测定的粒度分布(表 3)可见，10%的小于 0.64 μm，50%的小于 3.10 μm，90%小于 9.43 μm，可见其平均粒度很细. 因为尾煤中主要是以有机可燃体与无机矿物连生体为主，根据前期研究表明，一般要破碎到 10 μm 以下才可获得较好的解离效果[5].

因为普通的泡沫浮选难以有效分选这种粒度特别细的物料，故采用适合于分选特细物料的絮团浮选，即首先使矿浆中的低灰精煤结成尺度较大的，普通浮选可实现有效分选的絮团，再采用普通的泡沫浮选把絮团精煤从矿浆中分选出来[6]. 由分选试验结果(表 4)可见，随絮凝剂用量的增加，分选效果变好，当絮凝剂用量在 3.7～6.7 kg/t 时，已取得满意的分选结果. 田庄选煤厂出厂精煤灰分为 9.51%～10.00%，从该表中数据可见，粗选泡沫再精选一次，精煤灰分即可降到 8.29%～8.87%，精煤产率高达 60.24%～68.05%.

① 煤泥二次开发利用成套技术[R]. 国家 2000 年技术创新重点项目中期评审报告(12-01). 中国矿业大学(北京校区)，2002.

表 2 煤样的工业分析和元素分析
Table 2 Proximate and ultimate analysis of flotation tailings

w_B/%				发热量 $Q_{net,ad}$/(MJ·kg^{-1})
水分 M_{ad}	灰分 A_{ad}	挥发分 V_{daf}	固定碳 FC_{daf}	
0.88	41.50	38.72	61.28	15

w_B/%				
碳 C_{daf}	氢 H_{daf}	氧 O_{daf}	氮 N_{daf}	硫 $S_{t,daf}$
76.71	4.84	14.73	1.53	2.19

表 3 粗颗粒超细磨后的粒度分布
Table 3 Size distribution of coarse particles after ultra-fine grinding

粒度/μm	产率/%	累计产率/%	粒度/μm	产率/%	累计产率/%
<0.15	0.17	0.17	2.83～4.30	17.18	63.54
0.15～0.23	1.02	1.19	4.30～6.52	16.13	79.67
0.23～0.35	2.32	3.51	6.52～9.91	11.83	91.05
0.35～0.53	4.14	7.65	9.91～15.04	5.53	96.58
0.53～0.81	6.14	13.79	15.04～22.84	1.83	98.41
0.81～1.23	7.68	21.47	22.84～34.69	0.27	98.68
1.23～1.86	10.21	31.68	34.69～52.68	0.17	98.84
1.86～2.83	14.69	46.36	>52.68	1.16	100.00

表 4 煤样中粗颗粒超细磨后的分选结果
Table 4 Separation results of coarse particles in sample after ultra－fine grinding

絮凝剂用量/(kg·t^{-1})	产品	产率 γ/%	$w(A_{ad})$/%	累计 γ/%	累计 $w(A_{ad})$/%
1.7	精煤 1	39.47	6.32	39.47	6.32
	精煤 2	30.91	22.46	70.38	13.41
	尾煤	29.62	67.62	100.00	29.47
2.7	精煤 1	38.25	5.89	38.25	5.89
	精煤 2	14.95	12.85	53.20	7.85
	精煤 3	19.30	33.66	72.50	14.72
	尾煤	27.50	70.34	100.00	30.01
3.7	精煤 1	49.06	5.81	49.06	5.81
	精煤 2	11.18	19.15	60.24	8.29
	精煤 3	15.49	40.88	75.73	14.95
	尾煤	24.27	75.78	100.00	29.72
4.7	精煤 1	52.50	6.26	52.50	6.26
	精煤 2	10.98	21.14	63.48	8.83
	精煤 3	13.37	49.48	76.85	15.91
	尾煤	23.15	76.01	100.00	29.82
6.7	精煤 1	62.93	6.82	62.93	6.82
	精煤 2	5.12	34.79	68.05	8.87
	精煤 3	10.00	59.36	78.05	15.34
	尾煤	21.95	78.76	100.00	29.30

2.2 尾煤的成浆性和燃烧试验

因为该尾煤水煤浆的燃烧试验是在实际的 4 蒸吨快装链条锅炉中进行，需要的水煤浆量较大，所以尾煤水煤浆成浆性试验及其燃烧试验用的煤样是把选煤厂送来的尾煤样在一个中试生产线上按 250 μm 筛机分级后筛下的尾煤样，并没有掺入粗粒级超细磨后分选出的微细粒尾煤，这是因为实验室用的容量为 1 L 的浮选机分选试验选出的尾煤量很少，无法按比例掺入到经筛机分级的小于 250 μm 的制浆煤样中去作燃烧试验. 成浆性试验结果表明，添加剂用量为 0.3%，质量分数为 74.00%，12 个月未见硬沉淀，由 Haake 粘度计测得的流变曲线图 2 可见，该尾煤水煤浆为典型的假塑性，对应于 100 s^{-1} 剪切速率对应的粘度为 80 mPa·s. 因此，该尾煤水煤浆浓度高，粘度低，流型好，稳定性强，为燃烧创造了条件.

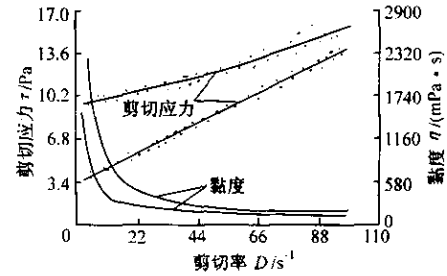


图 2 尾煤水煤浆流变曲线
Fig. 2 Rheologic curve of coal water slurry

燃烧试验是在一台上海锅炉厂生产的 K2L240-10/115/70-A 型卧式快装 4 蒸吨锅炉进行的，燃烧器为偏置式预燃室水煤浆燃烧器，直径 0.5 m，长 1.6 m. 喷枪为低压外混式水煤浆喷枪，雾化空气压力为 0.25～0.3 MPa. 燃烧系统见图 3.

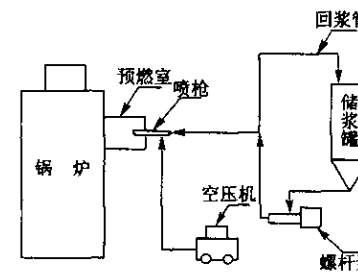


图 3 尾煤水煤浆燃烧试验系统
Fig. 3 Flow chart of combustion of coal water slurry

首先采用用油枪向预燃室中喷入柴油燃烧加热预燃室，待预燃室的温度上升到约 700℃，开始向锅炉中喷尾煤水煤浆，浆量由小到大，一般再和柴油掺烧 15 min，即可撤出油枪，此时尾煤水煤浆可以实现稳定燃烧，尾煤水煤浆燃烧后的灰分大部分作为飞灰随烟气排出，小部分落到炉排上，随着炉排排出. 燃烧实验结果见表 5. 由该试烧结果可见：1）由于采用外混式喷枪，雾化空气压力和供浆压力都远小于目前水煤浆喷枪燃烧的气压和浆压，这对于减少高灰水煤浆对喷头的磨损是很有利的；2）由于预燃室安装的位置不是最佳，加大喷浆量时在预燃器的正对前方炉壁处有结渣现象，所以，尾煤水煤浆的供浆量不大，只有 270～430 kg/h（根据理论计算，喷浆量应为 1 727 kg/h），造成炉

膛温度不均匀；3）燃烧效率远高于该链条炉烧散煤（一般在 60%左右），但比精煤水煤浆燃烧效率低（一般可达 90%以上），这可能是尾煤水煤浆灰分较高，加上炉膛温度不均匀所致. 今后在项目的实际实施过程中，要开发更加适合尾煤水煤浆这种低热值燃料的燃烧器，并选择合适的安装位置，使燃烧器与这种链条炉达到最佳配合.

表 5　尾煤水煤浆燃烧试验结果
Table 5　Experimental results of combustion of coal water slurry

项 目	工况 1	工况 2
煤浆流量/(kg·h^{-1})	270	430
供浆压力/MPa	0.13	0.16
雾化空气压力/MPa	0.25	0.35
预燃室出口温度/℃	970	1100
炉膛平均温度/℃	710	840
燃烧效率/%	84.5	88.2
烟气氧含量/%	11.7	9.5
烟气一氧化碳含量/%	0.48	0.61
氮氧化物含量/10^{-6}	～20	～20

3　结　论

对于灰分不是特别高的浮选尾煤，按某一合适的粒度分级，较粗粒级一般可燃体含量较高，采用超细粉碎的方法，使其中的可燃体和无机矿物充分解离，再采用絮团浮选方法，可以分选出灰分为 8.29%～8.87%的精煤，精煤产率高达 60.24%～68.05%，该技术的实施，增加了选煤厂的精煤产率和经济效益，节约了焦煤资源. 小于 250 μm 的细粒级可以制备出高浓度，低粘度，高稳定性，流型好的尾煤水煤浆，经在一台 4 蒸吨链条取暖锅炉上的试烧证明，燃烧稳定，预燃器出口温度达到 1 100℃.

参考文献：

[1] 段世方. 电站锅炉掺烧煤泥可行性研究[J]. 热能动力工程，2002，17(4)：408-409.
Duan S F. Research on feasibility of co-combustion of tailings slime in power plant boiler[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power，2002，17(4)：408-409.

[2] 王敦曾. 煤泥燃烧的现状及发展建议[J]. 中国煤炭，1999，25(5)：9-13.
Wang D Z. Status &. developmental advice of combustion of tailings slime[J]. China Coal，1999，25(5)：9-13.

[3] 胡其波. 浮选尾煤的干燥与综合利用[J]. 煤炭加工与综合利用，2002(6)：40-41.
Hu Q B. Thermal drying and comprehensive utilization of flotation tailing[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization，2002(6)：40-41

[4] Ashes to Energy，Periodic publication for applied energy research，university of kentucky[J]. Energeia，2001，12(15)：3-4.

[5] 杨巧文，王祖讷. 先进的尾煤物理精选方法研究及评价[J]. 煤炭科学技术，2000，28(5)：24-26.
Yang Q W，Wang Z N. Study and evaluation of advanced physical fine preparation method for tailings[J]. Coal Science and Technology，2000，28(5)：24-26.

[6] 付晓恒，王祖讷. 疏水絮凝-浮选法分选主焦中煤的研究[J]. 中国矿业大学学报，1996，25(1)：9-13.
Fu X H，Wang Z N. Study on separation of middling from coking coal cleaning by hydrophobicflocculation-flotation process[J]. Journal of China University of Mining &.Technology，1996，25(1)：9-13.

（责任编辑　陈其泰）