

# 高浓度洗煤废水处理技术与工程实践

李亚峰<sup>1,2</sup>, 胡筱敏<sup>1</sup>, 陈健<sup>2</sup>, 张玲玲<sup>2</sup>

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004;

2. 沈阳建筑工程学院环境学院, 辽宁 沈阳 110168)

[摘要] 研究分析了晓明矿洗煤废水的性质及难处理的原因, 并针对晓明矿洗煤废水难以自然沉降的难题, 研究开发出采用电石渣和 PAM 处理洗煤废水的实用技术, 介绍了该项技术的实际应用情况。

[关键词] 洗煤废水; 混凝沉淀; 废水处理; 回用

[中图分类号] X784 [文献标识码] B [文章编号] 1005-829X(2004)12-0068-03

高浓度洗煤废水是指地质年代较短, 灰分和杂质含量较高的原煤洗选时所产生的废水。这种废水中悬浮物浓度很高, 且颗粒表面带有较强负电荷, 并且是一种稳定的胶体体系, 久置不沉, 难于处理。国内从 20 世纪 60 年代就开展了这方面的研究工作, 但始终没有找到一个好的解决办法。针对这类废水的特点, 笔者研制出用电石渣(或石灰)和聚丙烯酰胺混凝沉淀处理洗煤废水的处理技术, 并在铁法矿务局的几个矿推广应用, 取得了比较理想的处理效果。该项技术

2003 年通过了沈阳市科技局主持的技术鉴定, 并获得沈阳市科技进步二等奖。笔者以铁法矿务局晓明矿为例介绍高浓度洗煤废水的处理技术及应用情况。

## 1 高浓度洗煤废水处理方法的研究

### 1.1 晓明矿洗煤废水的水量及性质

铁法矿务局晓明矿洗煤厂是 1969 年建成并投入使用的。经过三次扩改后, 目前的洗选能力为  $1.4 \times 10^6$  t/a。每年要排放的煤泥水约  $4.0 \times 10^5$  m<sup>3</sup>。洗煤废水的性质如表 1 所示。

表 1 洗煤废水的性质

项目	SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	ζ 电位/V	污泥比阻/(10 <sup>-13</sup> ·m·kg <sup>-1</sup> )	< 75 μm 颗粒质量分数/%
数值	70 000 ~ 100 000	25 000 ~ 43 000	8.14 ~ 8.46	-0.074 2 ~ -0.071 8	3.47 ~ 3.63	62 ~ 65

从表 1 看出, 洗煤废水呈弱碱性, 悬浮物浓度和 COD 浓度很高, 颗粒表面带有较强的负电荷, 细小颗粒含量大, 且过滤性能不好。

### 1.2 静态试验确定治理方案

由上述的性质分析可知, 晓明矿洗煤废水是一个胶体分散体系, 并且胶粒表面带有较强的负电荷, 所以, 在处理这类洗煤废水时, 必须向废水中投加混凝剂, 降低 ζ 电位, 破坏胶体的稳定性, 从而达到泥水分离的目的。另外, 研究结果表明, 洗煤废水的 COD 虽然很高, 但 COD 与 SS 呈线性关系, SS 越高, COD 也越高。因此, 把 SS 作为主要污染因子进行去除是正确的。

#### 1.2.1 无机混凝剂的筛选试验

根据晓明矿洗煤废水的性质, 经过理论分析, 优选出 7 种无机药剂进行试验, 试验水样 SS 质量浓度

为 90.3 g/L, 每次取样 100 mL, 搅拌速度为 80 r/min, 搅拌时间为 60 s, 沉降时间为 48 h, 试验结果见表 2。

表 2 投加各种混凝剂的试验

项目	药 剂						
	FeCl <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>	石灰	电石渣	PFS	PAC	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
清水分离率/%	3	14	28	26	2	3	1
沉降速度/ (μm·s <sup>-1</sup> )		1.4	3.4	3.3			
清水中 SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )		54	58	63			
清水中 COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )		26	28	31			

注: 投药质量浓度均为 600 mg/L。

由表 2 可知, 所选 7 种药剂中, 石灰和电石渣的处理效果最好, 但形成的颗粒粒径较小, 沉降速度缓慢, 且凝聚体的过滤性能差, 难于进一步脱水, 需投

加絮凝剂。由于石灰和电石渣的化学成分基本一样(CaO),而电石渣是工业废渣,成本低,并且晓明矿本身就有这种废渣,所以,最后决定采用电石渣作为混凝剂。

### 1.2.2 治理方案的确定

试验结果表明,电石渣能破坏洗煤废水的稳定性,使煤泥颗粒凝聚沉降,但沉降速度比较缓慢,应投加絮凝剂,提高沉降速度,改善沉淀性能。通过试验,并考虑经济因素,选非离子型PAM作为絮凝剂,考虑到电石渣与PAM的加入量以及加药后的搅拌时间对沉速都有影响,因此,做了正交试验,每次取SS质量浓度为90.3 g/L的洗煤废水100 mL,加入电石渣溶液,搅拌,再加入质量分数为0.1%的PAM,再搅拌,然后静置沉降,测絮体沉降速度。电石渣加入前先用10 mL水配制成乳浊液,搅拌速度为80 r/min,试验结果见表3,方差分析见表4。

表3 正交试验结果

序号	电石渣加入量/g	加电石渣后搅拌时间/s	PAM加入量/mL	加PAM后搅拌时间/s	空白	沉速/(mm·s <sup>-1</sup> )
1	0.2	30	0.5	30	1	0.042 1
2	0.2	60	1.0	60	2	0.126 5
3	0.2	90	1.5	90	3	0.258 3
4	0.2	120	2.0	120	4	0.213 4
5	0.4	30	1.0	90	4	0.206 7
6	0.4	60	0.5	120	3	0.103 2
7	0.4	90	2.0	30	2	0.284 6
8	0.4	120	1.5	60	1	0.212 9
9	0.6	30	1.5	120	2	0.308 1
10	0.6	60	2.0	90	1	0.497 8
11	0.6	90	0.5	60	4	0.203 4
12	0.6	120	1.0	30	3	0.186 7
13	0.8	30	2.0	60	3	0.406 8
14	0.8	60	1.5	30	4	0.283 2
15	0.8	90	1.0	120	1	0.214 5
16	0.8	120	0.5	90	2	0.176 3
K <sub>1</sub>	0.630 3	0.963 7	0.525 0	0.796 6	0.973 0	
K <sub>2</sub>	0.807 4	1.000 7	0.724 4	0.949 6	0.895 5	
K <sub>3</sub>	1.171 0	0.960 8	1.062 5	1.129 1	0.955 0	
K <sub>4</sub>	1.085 8	0.789 3	1.385 5	0.839 2	0.906 7	

根据方差的分析结果可以看出,影响沉降效果的最主要因素是PAM的投加量,其次是电石渣的投加量,再次是投加PAM后的搅拌时间,而投加电石渣后的搅拌时间对沉降效果影响不显著。最佳组合条件:100 mL洗煤废水中投加0.6 g的电石渣(配成质量分数为6%的溶液),搅拌60 s,再投加质量分数为0.1%的PAM 2.0 mL,搅拌90 s。

表4 方差分析

项目	偏差平方和	自由度	均方	F	临界值 $\lambda_{0.05}$	临界值 $\lambda_{0.01}$	显著性
电石渣投加量	0.037 5	3	0.012 5	41.7	9.28	29.46	特别显著
投电石渣后的搅拌时间	0.006 8	3	0.002 3	7.7			不显著
PAM投加量	0.100 7	3	0.033 6	112			特别显著
投PAM后的搅拌时间	0.016 6	3	0.005 5	18.3			显著
误差	0.000 8	3	0.000 3				
总和	0.162 4	15					

### 1.2.3 沉降试验

取SS为90.3 g/L的试验水样,按正交试验确定的最佳组合条件进行试验,试验结果见表5。

表5 最佳组合条件下的试验结果

项目	实际清水分离率/%	沉速/(mm·s <sup>-1</sup> )	上清液中COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	上清液中SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	污泥比阻/(10 <sup>-10</sup> ·m·kg <sup>-1</sup> )
数值	41	0.543	25	56	12.3	3.42

上述试验结果说明采用电石渣加PAM方法处理洗煤废水是可行的,不仅能够分离出40%左右的清水,并且清水中SS浓度和COD浓度都远低于煤矿洗煤废水排放标准和回用标准,同时,絮凝体的过滤性能得到很大的改善,为煤泥的进一步脱水创造了条件,但由于上清液的pH值较高,所以需按V(上清液):V(废酸)=1 000:1投加工业废酸将pH值降到8左右。

## 2 工程应用与运行效果

### 2.1 晓明矿洗煤废水处理系统及设备

依据试验研究提出的治理方案和设计参数,并结合现场的具体情况,对晓明矿洗煤废水的治理工程进行改造设计。改造后的工艺流程如图1所示。主要设备见表6。



图1 工艺流程

(1)调节池。它是利用原有的洗煤废水贮存池,体积约150 m<sup>3</sup>,废水停留时间2 h。

(2)管道混合反应器。根据现场的场地情况,投药后的混合反应采用管道混合反应器。根据试验及计算结果,投加电石渣后的第一个管道反应器采用D 200 mm×2 000 mm。投加PAM后的第二个管道

表6 主要构筑物及设备

名称	规格	数量	备注
洗煤废水池	150 m <sup>3</sup>	1	已有
微电脑流量计	RML-160	1	
污泥泵			已有
管道反应器	D 200 mm × 2 000 mm	1	
管道反应器	D 250 mm × 2 000 mm	1	
沉淀池	100 000 mm × 30 000 mm × 2 000 mm	6	已有
清水池		1	已有
清水泵	IS80-50-315		
搅拌机	n=250 r/min, N=3.0 kW	2	
电石渣加药罐	D 3 200 mm, h 4 000 mm	2	防腐
耐酸泵	25F·S-16, N=1.5 kW	1	
泥浆泵	2PN, N=11.0 kW	2	
搅拌机	n=130 r/min, N=3.0 kW	2	
PAM加药罐	D 2 400 mm, h 3 000 mm	2	防腐
流量计	LZB-400-4000	2	
清水泵	IS50-32-125	2	
储酸罐	V=5 m <sup>3</sup>		防腐
流量计	LZB-F40-400	1	

表7 处理效果

进水			出水		
SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	pH	SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	pH
80 578	32 009	8.18	57	35	7.62
108 122	37 549	8.28	79	52	7.97
65 337	26 587	8.32	49	28	8.04
77 569	29 564	8.41	60	34	8.10
89 014	35 967	8.25	64	49	7.88
76 912	31 332	8.31	55	41	8.19

(1) 药剂费: 每 m<sup>3</sup> 废水中投加 PAM 20 g, 价格按 13 000 元/t 计; 投加电石渣 6 kg, 价格按 10 元/t 计。另外, 每 m<sup>3</sup> 废水投药后能分离出约 40% 的清水, 这些清水需投加 0.4 L 工业废酸将 pH 值调节到中性, 工业废酸价格按 10 元/t 计。将上述三项合计, 药剂费为 0.324 元/m<sup>3</sup>, 厂房折旧费为 0.011 元/m<sup>3</sup>; 设备折旧费为 0.062 元/m<sup>3</sup>; 人工费为(按每人每月工资 500 元计, 定员 8 人)0.123 元/m<sup>3</sup>, 电费[本工程设备工作容量及照明安装容量为 32 kW, 铁法市电费按 0.40 元/(kW·h) 计]0.197 元/m<sup>3</sup>, 维修费为 0.01 元/m<sup>3</sup>, 每 m<sup>3</sup> 废水运行成本为 0.727 元。

治理后的洗煤废水, 清水循环用于洗煤, 对周围水域不再造成污染, 煤泥可出售, 可以获得较好的环境效益和社会效益。

清水回用于洗煤, 可节约水费 6.24 万元/a, 每年可多回收干煤泥 2 万吨, 售价按 5 元/t 计, 每年可获经济效益 10 万元, 每年可免交排污费 80 万元, 去除每年的运行成本 28.353 万元, 每年可获得经济效益 67.887 万元, 一年半就收回了全部投资。

#### 4 结论

(1) 晓明矿洗煤废水具有悬浮物浓度高、粒度小、且颗粒表面带负电等特点, 是一种稳定的胶体体系。

(2) 试验结果和实际工程运行结果都说明采用电石渣加 PAM 工艺处理晓明矿这种年轻煤种的洗煤废水是可行的, 处理后水达到了回用标准和排放标准, 回收的煤泥可以作为燃料, 变废为宝。

(3) 该方法具有工艺简单, 成本低, 处理效果好等特点, 符合以废治废的原则, 同时可获得较好的环境效益和社会效益, 具有推广价值。

反应器采用 D 250 mm × 2 000 mm。采用管道反应器不仅节省占地面积, 而且节省投资。

(3) 沉淀池。晓明矿洗煤厂原来有六座大型的沉淀池, 在进行工程改造设计时, 根据企业的要求暂时保留了这六座沉淀池, 而没有新建沉淀池。由于原来六座沉淀池底部没有排泥设备, 煤泥是靠自然干化, 然后人工清挖, 所以, 本工程的煤泥处理暂时没有采用机械脱水设备, 仍然保留自然干化, 人工清挖的方法。

(4) 清水池。没有新建清水池, 用贮水池代替。处理后的废水直接排入洗煤用水的贮水池, 用于洗煤。

#### 2.2 运行效果

晓明矿洗煤废水处理系统自 1996 年正式投入生产以来, 年处理洗煤废水 3.9 × 10<sup>5</sup> t, 处理效果一直比较稳定, 出水的各项指标均达到了排放标准, 而且处理水全部回用于洗煤, 实现了洗煤废水的闭路循环。处理效果见表 7。实践证明采用电石渣-PAM 混凝沉淀工艺处理年轻煤种的洗煤废水是可行的。

#### 3 经济效益分析

本工程总投资 96.28 万元, 其中土建工程费 27.58 万元, 设备费 48.45 万元, 设计及其他费用 20 万元。

[作者简介] 李亚峰(1960—), 东北大学在读博士, 教授, 辽宁省优秀青年骨干教师, 沈阳建筑工程学院学术带头人, 系主任。现主要从事水污染控制技术教学和科研工作, 电话: 13066714018, E-mail: yafengli88@sina.com。

[收稿日期] 2004-02-09