

# 利用反渗透浓水制备水煤浆的实验研究

姚彬<sup>1,2,3</sup>, 杨鸿鹰<sup>1,2</sup>, 金鹏康<sup>3</sup>

(1. 陕西省石油化工研究设计院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省工业水处理工程技术研究中心, 陕西 西安 710054; 3. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710054)

**摘要:**以四海煤样为研究对象, 利用反渗透浓水和自来水分别制备水煤浆。实验结果表明, 在水煤浆添加剂作用下, 使用浓水和自来水均可制得质量分数 $\geq 58\%$ 、黏度 $\leq 1\ 200\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ 的水煤浆, 水煤浆稳定性较好, 72 h 析水率 $\leq 7\%$ 且没有硬沉淀产生, 水煤浆 pH 和粒度分布均达到技术指标要求。

**关键词:**水煤浆; 反渗透; 浓水

**中图分类号:** TQ423; TQ536

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2015)04-0071-02

## Experiment study on preparation of coal-water slurry by reverse osmosis concentrated water

YAO Bin<sup>1,2,3</sup>, YANG Hong-ying<sup>1,2</sup>, JIN Peng-kang<sup>3</sup>

(1. Shaanxi Research Design Institute of Petroleum and Chemical Industry, Xi'an 710054, China;  
2. Shaanxi Industrial Water Treatment Engineering Technology Research Center, Xi'an 710054, China;  
3. Xi'an University Of Architecture And Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The coal-water slurry is prepared with Sihai coal sample by using reverse osmosis concentrated water and tap water separately. The results show that in the presence of the additives, reverse osmosis concentrated water and tap water can both produce the coal-water slurry with the concentration higher than 58% and the viscosity  $\leq 1200\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ . This coal-water slurry has good stability. There is no hard sediment and the water segregation rate is  $\leq 7\%$  after 72 hours. The pH value and particle size distribution of the obtained coal-water slurry both meet the requirements of technical indicators.

**Key words:** coal-water slurry; reverse osmosis; concentrated water

采用反渗透膜工艺(RO)处理废水,会产生约1/3的浓缩水,又称浓水。浓水中含有各种有机、无机污染物及难生物降解有机物质,若直接排放可能会对土壤、地表水、海洋等产生污染,危害人类健康和生态环境,其污染问题亟待解决<sup>[1]</sup>。

目前,国内外 RO 浓水处理方式有以下几种:

①回流法。②回用作生产用水。③资源化利用。④蒸馏浓缩。⑤去除污染物。⑥电化学法<sup>[2-4]</sup>。以上处理方法中,浓水处理具有难度大,处理成本高,工艺复杂、可操作性差等缺点,制约着浓水处理技术的应用推广。

水煤浆由 60% 左右的煤、40% 的水及少量化学添加剂制成,是一种浆体燃料,可以像油一样泵送、雾化、贮存和稳定燃烧,其热值相当于燃料油的一半,可代替燃料油用于锅炉、电站、工业炉和窑炉,用于代替煤炭燃用,具有燃烧效益高,负荷调整便利,减少环境污染、改善劳动条件和节省用煤等优点。煤、添加剂和水是水煤浆制备过程中必不可少的三要素,在水煤浆制备技术领域,目前国内外研究侧重于煤和添加剂对水煤浆制备的影响,就制浆用水的

理论研究相对较少,对水煤浆制备用水的研究基本上是半经验性的。制浆用水的研究可作为日后水煤浆技术研究领域的一个方向。

笔者利用反渗透浓水制备水煤浆,并与自来水制浆进行对比试验,研究浓水制浆的成浆性能,为工业化试验提供理论依据。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料及分析数据

原料:实验所用煤种选取神木县四海煤;水煤浆添加剂采用自制添加剂 SWF-1;反渗透浓水选自榆

表 1 反渗透浓水水质分析 mg/L

项目	结果
总硬度(以 $\text{CaCO}_3$ 计)	649.94
总碱度(以 $\text{CaCO}_3$ 计)	525.82
$\text{Ca}^{2+}$ 质量浓度	137.18
$\text{Cl}^-$ 质量浓度	1156.83
$\text{SO}_4^{2-}$ 质量浓度	345.42
总铁质量浓度	未检出
COD	15
pH	8.16
TDS	1086

表 2 国家自来水水质标准

项目	限值	mg/L
总硬度(以 CaCO <sub>3</sub> 计)	450	
Cl <sup>-</sup> 质量浓度	250	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 质量浓度	250	
总铁质量浓度	0.3	
pH	6.5 ~ 8.5	
TDS	1000	

林醋酸厂反渗透系统出水,水质分析如表 1 所示;自来水水质标准 GB5749-85(摘选部分指标)如表 2 所示。

## 1.2 实验设备及分析仪器

XPC-60 × 100 颚式破碎机;XSB-88 标准振筛机;HLXMQ-φ240 × 300 球磨(棒磨)机;JB500D 电动搅拌机;MA35 水分测试仪;NXS-4C 水煤浆黏度计;BT-2002 激光粒度分布仪。

## 1.3 实验方法

(1)将适量块煤放入颚式破碎机中粉碎,取出破碎好的煤粒,在标准振筛机中用 50 目(-300 μm)试验筛充分筛分。

(2)将筛分好的煤粉、水煤浆添加剂和水按计算值称量好,加入球磨机中研磨 10 min。

(3)在电动搅拌机的剪切作用下将形成的水煤浆充分搅拌混捏。

(4)分析测定水煤浆的质量分数、黏度、粒度分布和 pH,并对浆体稳定性进行观察。

## 1.4 分析方法

### 1.4.1 水煤浆质量分数的测定

称量约 2 ~ 3 g 的水煤浆置于快速水分测试仪中,测试温度为 105℃、测试时间为 20 min,水分烘干至恒重后仪器显示的读数即为煤浆质量分数。

### 1.4.2 水煤浆黏度测定

参考 GB/T 18856.4 试验方法。

### 1.4.3 水煤浆稳定性评价方法

稳定性评价是对水煤浆 72 h 的析水率进行测定。将水煤浆于密闭容器中放置一定时间后,在没有硬沉淀产生的情况下,称量析水部分的体积,析水量与原水煤浆体积之比称为析水率。

### 1.4.4 水煤浆粒度测定

利用水煤浆专用粒度分布仪进行检测。

### 1.4.5 水煤浆 pH 测定

参考 GB/T 18856.14 试验方法。

## 2 结果与讨论

分别使用自来水和浓水制备质量分数为 58% ~

63% 的水煤浆,测试水煤浆的黏度、稳定性、pH 和粒度分布,实验结果如表 3、表 4 所示。

表 3 浓水制备水煤浆检测结果

指标	水煤浆的质量分数/%					
	58	59	60	61	62	63
黏度/(mPa·s)	617	821	896	924	975	1036
稳定性(72 h 析水率)/%	<6	<5	<5	<5	<4	<4
pH	8.0	8.2	8.1	8.2	8.1	8.0
粒度(累计质量分数)/%						
20 目	100	100	100	100	100	100
40 目	95	92	94	93	92	90
120 目	48	49	52	51	53	52
200 目	35	37	38	40	36	37
325 目	26	28	33	27	29	32

表 4 自来水制备水煤浆检测结果

指标	水煤浆的质量分数/%					
	58	59	60	61	62	63
黏度/(mPa·s)	721	745	820	903	943	966
稳定性(72 h 析水率)/%	<6	<6	<5	<5	<5	<4
pH	8.1	8.0	7.9	7.8	7.9	7.8
粒度(累计质量分数)/%						
20 目	99	100	100	100	99	100
40 目	90	92	94	92	94	93
120 目	49	51	51	51	49	50
200 目	35	35	36	38	40	38
325 目	28	27	25	26	29	31

由表 3 可知,使用浓水可制备出水煤浆,当成浆质量分数为 58% ~ 63% 时,水煤浆黏度为 600 ~ 1 100 mPa·s,成浆质量分数越高,水煤浆黏度越大;水煤浆 72 h 析水率小于 6%,没有硬沉淀产生,水煤浆质量分数越高,稳定性越好;水煤浆 pH 为 8 ~ 9,粒度分布满足气化工艺要求。对照表 4 可知,浓水制浆与自来水制浆相比,各项测试指标的数值相近,成浆性能良好。

从水煤浆的成浆机理分析表明,自制的水煤浆添加剂 SWF-1 为高分子表面活性剂,具有两亲的表面活性剂的性质,即非极性的疏水端吸附在煤粒表面,极性亲水端引入水中,使煤的疏水表面转化为亲水,形成一层水化膜,外层添加剂极性端与水有较强亲合力,使凝聚的煤粉颗粒表面易于湿润。另一方面,该添加剂加入到煤水体系中,增加了煤粒表面静电斥力,使得煤粒之间不易接近,难以形成聚集状态,增强了水煤浆的分散稳定性。煤粒与水之间形成一种较弱但又有一定强度的三维空间结构,从而对煤粒的沉淀起到阻碍作用。

(下转第 74 页)

后,在室温下陈化 12 h,105℃干燥 24 h,在 750℃下焙烧 5 h,得到铈锆固溶体催化剂。

### 1.1.2 普通共沉淀法

将所需比例及物质的量的硝酸铈、硝酸锆溶解于去离子水中,滴加 25% 的氨水溶液(质量分数),控制 pH 为 10~11,继续搅拌 2 h,过滤,洗涤至 pH=7,得到的固体在 120℃下干燥 24 h,在 750℃下焙烧 5 h,得到铈锆固溶体催化剂。

### 1.1.3 CTAB 模板剂共沉淀法

将所需比例及物质的量的硝酸铈、硝酸锆溶解于去离子水中,一滴滴地加入溶解有十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)的水溶液中,搅拌均匀,再逐滴加入氨水,直至 pH 到 11,搅拌 2 h,陈化 24 h,过滤,用 500 mL 去离子水洗涤,再用 500 mL 甲醇洗去剩余的表面活性剂。得到的固体在 120℃下干燥 24 h,在 750℃下焙烧 5 h,得到铈锆固溶体催化剂。

## 1.2 催化剂的活性测试

催化剂催化燃烧甲苯的实验装置如图 1 所示。装置由鼓泡法甲苯发生装置和催化反应装置组成。反应器为不锈钢管反应器,反应管长为 550 mm,内径为 20 mm,催化剂装填区为 50 mm。用流量计控制原料气的 2 个气路,通过调节空气流量和甲苯流量来控制原料气中甲苯浓度。量取 5 mL 催化剂装入反应管中,调节甲苯进气流量为 1.0 L/min(反应空速为 6 000 h<sup>-1</sup>),甲苯进气质量浓度为 300 mg/m<sup>3</sup>左右。从 150~450℃每隔 50℃采样测定甲苯的进出口质量浓度,甲苯质量浓度由 VARIAN CP-3800 气相色谱仪进行检测,通过甲苯去除率评价催化剂

的活性。

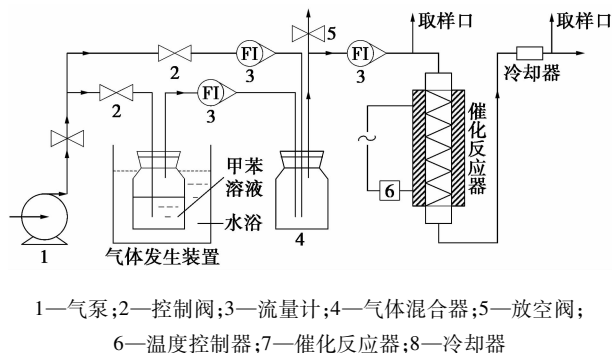
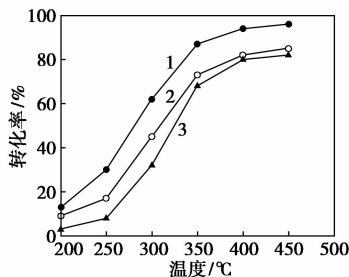


图 1 催化燃烧实验装置流程

## 2 结果与讨论

### 2.1 制备方法对催化剂性能的影响

为了考察制备方法对催化剂催化活性的影响,用 3 种不同的方法(溶胶凝胶法、普通共沉淀法、CTAB 模板剂共沉淀法)分别制备了 Ce<sub>0.6</sub>Zr<sub>0.4</sub>O<sub>2</sub> 催化剂,催化剂的焙烧温度为 550℃,3 种催化剂对甲苯燃烧效率与反应温度的影响如图 2 所示。



1—溶胶凝胶法;2—CTAB 模板剂法;3—普通共沉淀法

图 2 不同制备方法对催化活性的影响

(上接第 72 页)

从反渗透浓水的分析结果可知,浓水的 pH 在 7~9 之间,符合水煤浆的 pH 要求,TDS 与自来水水质相近,其他指标对水煤浆的成浆性能没有明显影响。浓水总硬度相对较高,分析认为,一定量的 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等金属阳离子加入到水煤浆体系中,会形成一种较稳定的空间络合作用,使得水煤浆不易分层沉淀,可增加水煤浆稳定性。因此,从理论分析和试验证明,该浓水可作为实际生产中水煤浆制备的水源。

## 3 结论

(1)以四海煤为试验煤种,在自制添加剂 SWF-1 的作用下,利用反渗透浓水可制得水煤浆,成浆性能良好,与使用自来水制备的水煤浆的性能无明显差异。

(2)使用浓水制浆的试验结果均满足以下气化工艺技术要求:成浆质量分数为 58%~63% 时,水煤浆黏度 ≤1 200 mPa·s,72 h 析水率 ≤7%,无硬沉淀产生,水煤浆 pH 为 7~9,粒度分布满足: <20 目 98%~100%; <40 目 90%~95%; <120 目 48%~53%; <200 目 34%~40%; <325 目 25%~35%。

## 参考文献

- [1] 赵春霞,顾平,张光辉. 反渗透浓水处理现状与研究进展[J]. 中国给水排水,2009,(18):1-5.
- [2] 苏艳敏,郑化安,付东升,等. 煤化工反渗透浓水浓缩的研究现状[J]. 洁净煤技术,2014,(1):104-109.
- [3] 赵世刚,石维平. 反渗透浓水回收利用的探讨[J]. 工业用水与废水,2005,(3):58-59.
- [4] 官赞赞,顾锡慧,雷太平,等. 反渗透浓水处理技术的试验研究[J]. 工业水处理,2014,(2):33-36. ■