

电吸附工艺在矿井水处理中的应用研究

李凤山, 杨磊, 马甜甜

(兖州煤业股份有限公司 济宁三号煤矿, 山东 济宁 272169)

摘要: 采用电吸附工艺处理经“混凝-澄清”后的矿井水, 并进行了工业试验研究。在试验条件下, 电吸附工艺能够有效去除矿井水中的无机盐、氯离子、碱度、硬度及部分有机物, 产水指标可以满足电厂循环冷却水要求。探讨了应用该工艺处理矿井水时需注意的能耗、浓水排放、预处理等问题。

关键词: 电吸附; 矿井水处理; 应用研究; 硬度; 碱度

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0959(2012)04-0067-03

矿井建设开发的过程中有大量的矿井水涌出, 大多需经提升、处理后排放至地表水系, 而坑口电厂在生产中需要大量的水资源, 若将矿井水利用于电厂生产, 不但具有节能减排的重要意义, 而且可以创造相应的经济效益。

据此笔者对经“混凝-澄清”处理后的矿井水质与电厂循环冷却水指标进行了对比, 其溶解性总固体、钙硬度、总碱度等多项水质指标不符合再生水作为电厂循环冷却水要求, 见表1。

表1 矿井水与电厂循环冷却水指标对比

指标	矿井水	循环冷却水
pH	8.0	7.0~8.5
溶解性总固体/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1930	≤ 1000
硬度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	260	≤ 250
总碱度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	233	≤ 200
Cl^- /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	46.4	≤ 250
SO_4^{2-} /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	970	-
COD_{Cr} /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	16.8	≤ 30

采用电吸附除盐工艺处理矿井水能够有效去除矿井水中的无机盐, 具有投资少、能耗低、维护简便^[2-3]的特点, 是一种相对经济有效的方法。

1 电吸附除盐原理及工艺流程

1.1 电吸附除盐原理

电吸附装置的核心是电吸附模块。电吸附除盐的基本原理是对流经电吸附模块内的水通过电极施加电压, 水中离子在电场作用下向带有相反电荷的电极处移动, 吸附在多孔极板上, 从而实现水的除盐处理。处理过程中, 模块产水电导率逐渐升高。当产水电导率无法满足处理要求时, 对电极进行短接放电, 通入原水进行冲洗, 至产水电导率与原水相当时进行下一次处理。电吸附原理示意图如图1

所示。

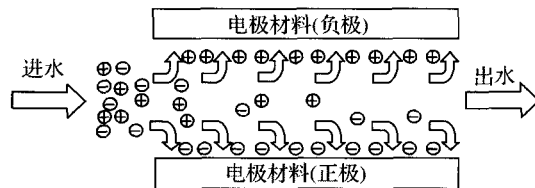


图1 电吸附原理示意图

1.2 工艺流程

电吸附工艺流程图如图2所示。矿井水(进水)经过加药混凝、澄清处理后, 为确保不堵塞电吸附模块, 再进行高速过滤和精密过滤。高速过滤设备为纤维球过滤器, 精密过滤设备为袋式过滤器。加酸曝气则是用以去除水中的 HCO_3^- , 以免其与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在模块内部结垢。经电吸附处理后的矿井水(产水)可以送至电厂利用, 冲洗排污水(浓水)则达标排放。

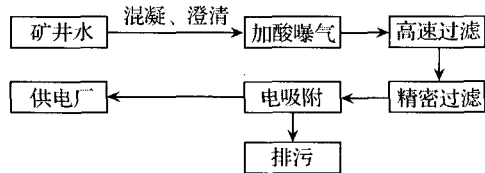


图2 电吸附工艺流程图

2 工业试验

工业试验所采用的电吸附装置包括A、B两组模块, 每组28个, 两组模块交替运行。试验期间, 系统累计进水20d, 平均处理量为 $4932\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.1 无机盐去除效果

溶解性总固体(TDS)指标反映水中无机盐和部分有机

收稿日期: 2011-12-29

作者简介: 李凤山(1969-), 男, 山东兖州人, 高级工程师, 现在济宁三号煤矿从事矿井环保节能方面的管理工作。

物的含量,其中无机盐含量占绝大部分^[4-5]。采用电导率法测定水中溶解性总固体^[4-7],测定结果如图3所示。

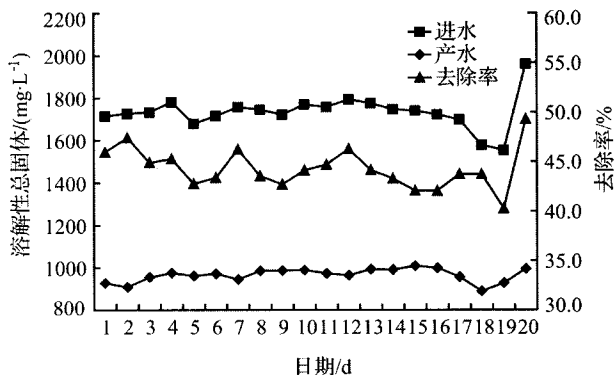


图3 进、产水无机盐去除效果

试验中,吸附进水 TDS 除第 20 天之外在 1600 ~ 1800mg · L⁻¹ 范围内波动,而产水 TDS 则始终保持在 900mg · L⁻¹ 左右。由于矿井水主要是采掘过程中产生的水,生产废水部分较少,经混凝澄清处理后,其水质相对稳定,对电吸附除盐设施的冲击负荷较小。在试验条件下,产水 TDS 可以满足电厂循环冷却水水质要求。第 20 天时,进水 TDS 或因前处理问题波动至约 2000mg · L⁻¹,产水 TDS 仍不超过电厂循环冷却水水质要求,这与文献 [8] 中的研究结果一致,表明电吸附处理工艺在一定范围内能够抵抗进水水质变化。试验条件下,TDS 去除率在 40% ~ 50% 之间。文献 [8] 提出,降低流量和提高模块电压可以提高电吸附模块的性能。实际操作中,由于产水仅用于电厂循环冷却水的补充水,对流量和电压的选择应考虑经济性。

2.2 硬度碱度去除效果

试验中产水硬度、碱度变化如图4所示,硬度、碱度去除率如图5所示。经电吸附工艺处理后,矿井水硬度、碱度指标均达到电厂循环冷却水水质要求。

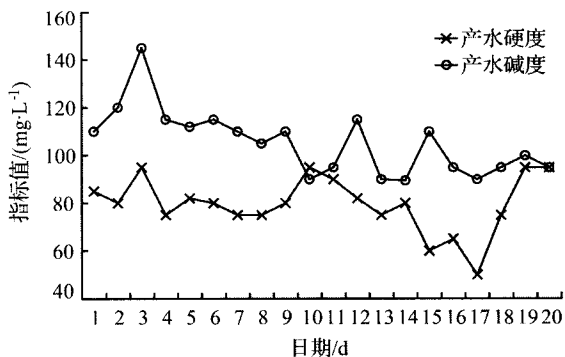


图4 产水硬度、碱度

产水硬度基本稳定在 60 ~ 100mg · L⁻¹ 之间,去除率最高可达 80%。构成硬度指标的 Ca²⁺、Mg²⁺ 均具有良好的吸附特性,在实验室条件下去除率可达 85% 以上^[8]。陈兆林等^[9] 采用电吸附工艺对 1.5t · h⁻¹ 的钢铁行业二级出水进行

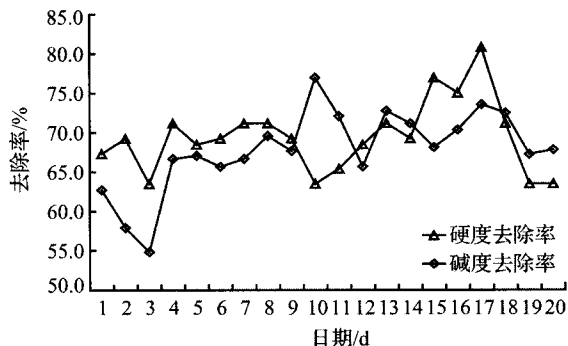


图5 硬度、碱度去除率

处理, Ca²⁺、Mg²⁺ 去除率亦高于 85%。因此,对于硬度较高的矿井水,采取电吸附技术进行处理能够达到较好的效果。

产水碱度除第 3 天外,在 90 ~ 120mg · L⁻¹ 之间波动,且随着试验的进行愈趋稳定,去除率约为 70%。碱度的去除一方面是调节 pH 值,另一方面是去除 HCO₃⁻。由于试验采用矿井水 pH 值在 8.0 左右,已符合电厂循环冷却水要求,工艺设计中采用加酸曝气的方法去除 HCO₃⁻,酸投加量取中和 HCO₃⁻ 的量。

赵雪娜等^[10] 研究了重碳酸盐碱度对电吸附除盐效果的影响,认为其含量从 170mg · L⁻¹ 增加到 400mg · L⁻¹,电吸附设备的除盐率明显下降,采用加酸曝气的方式能够保证电吸附设备稳定运行^[11]。该方法在石化污水^[12]、钢铁污水^[9] 等的除盐处理上均成功应用。对于弱碱性矿井水,其 HCO₃⁻ 含量大多较高,采用电吸附除盐工艺,加酸曝气具有必要性,亦具有可行性。

2.3 氯离子去除效果

试验矿井水中氯离子含量可以满足电厂循环冷却水要求。但在加酸曝气工序中,为去除 HCO₃⁻ 投加了盐酸,引入 Cl⁻ (SO₄²⁻ 含量相对较高,不适合投加硫酸)。Cl⁻ 浓度过高会加速设备的腐蚀,需控制产水中的浓度。进、产水中 Cl⁻ 浓度变化如图 6 所示。

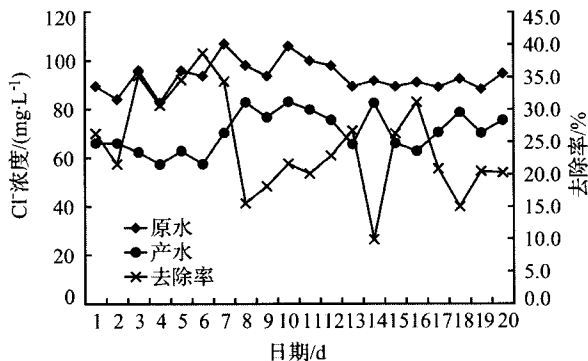


图6 进、产水 Cl⁻ 浓度及去除率

产水 Cl⁻ 浓度在投加盐酸后仍可低于进水浓度,且完全能够满足电厂循环冷却水的要求。Cl⁻ 在电吸附模块中具

有良好的吸附特性,文献[8]比较了几种阴离子的去除效果,认为电吸附对 Cl^- 的去除能力超过 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 。显然,对于 SO_4^{2-} 含量较高的矿井水,选择盐酸脱除 HCO_3^- 是合适的。

2.4 COD_{Cr} 去除效果

表1列出了电厂循环冷却水 COD_{Cr} 指标的要求,其值高于试验矿井水指标。文献[12]试验证明,电吸附对炼油污水 COD_{Cr} 有一定的去除作用,认为其机理是电极内部电解水产生的氧对有机物进行了氧化。为验证电吸附对矿井水 COD_{Cr} 的去除效果,试验测定了进、产、浓水 COD_{Cr} 指标,如图7所示。

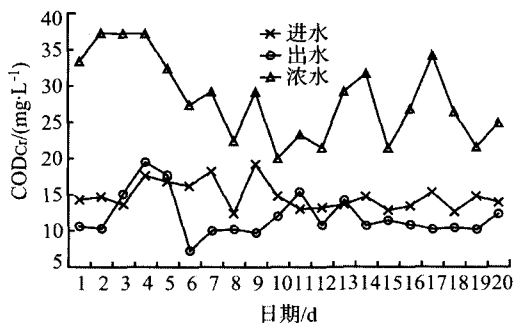


图7 进、产、浓水 COD_{Cr} 变化

产水 COD_{Cr} 浓度大体低于进水浓度,电吸附对去除 COD_{Cr} 具有一定的效果。试验期间,平均产水率65%,进水 COD_{Cr} 均值 $14.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,产水 COD_{Cr} 均值 $11.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浓水 COD_{Cr} 均值 $28.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,对进、产水 COD_{Cr} 进行核算,进水 COD_{Cr} 均值略高于产、浓水之和,这与文献[12]的试验结果相悖。原因可能有二:①试验中采用的工业盐酸含铁,其在负极被还原,随浓水排出。②部分有机物胶体带有电荷,亦被电极吸附,后随浓水排出,造成浓水 COD_{Cr} 高于进水。

3 存在问题

工业试验表明,电吸附应用于矿井水除盐是可行的,但是仍存在一些问题需要加以探索。

3.1 能耗问题

试验条件下,系统平均产水率65%,平均能耗为 $1.62\text{kWh}\cdot(\text{m}^3)^{-1}$,模块平均耗电 $1.48\text{kWh}\cdot(\text{m}^3)^{-1}$,较离子交换、反渗透等除盐工艺具有优良的经济性能。但是,如用作除盐要求相对严格的用途,提高产水水质与产水率将相对提高投资和运行成本,需要对该工艺的经济性重新评价。

3.2 浓水排放问题

试验证明,电吸附浓水对于进水的 COD_{Cr} 具有一定的浓缩效果。氨氮因具有一定的极性,亦有浓缩效果。因此,在工艺的设计上应充分考虑浓水中两种污染物指标的升高,不可造成违法排污。

3.3 预处理问题

电吸附工艺的预处理包括加酸曝气和过滤。试验中采用的酸为盐酸,可能因挥发、管理不善等导致人员健康损害及设备腐蚀。采用消石灰对矿井水进行预处理来避免该问题是一种可行的方法。

高速过滤与精密过滤两级工序基本可以确保水中悬浮物的完全去除。但是,若进水中悬浮物含量过高,纤维球过滤器将增加反冲洗频率和流量,袋式过滤器的过滤袋亦会更换频繁,从而提高了运行成本。因此,确保“混凝-澄清”的处理效果,尽量降低电吸附进水中的悬浮物浓度十分必要。

4 结语

利用电吸附除盐工艺对矿井水进行处理,产水溶解性总固体、碱度、硬度、氯离子浓度、 COD_{Cr} 等指标均可达到再生水作为电厂循环冷却水的要求,且具有比较明显的经济性能。在工程应用中,应注意能耗、浓水排放及预处理环节等问题。

参考文献:

- [1] GB50050-2007, 工业循环冷却水处理设计规范[S].
- [2] 陈兆林, 宋存义, 孙晓慰, 等. 电吸附除盐技术的研究与应用进展[J]. 工业水处理, 2011, 31(4): 11~14.
- [3] 陈兆林, 孙晓慰, 朱广东, 等. 电吸附设备工作过程的研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(7): 1307~1310.
- [4] 卢红. 电导率法测定水样中溶解性总固体[J]. 中国卫生检验, 2005, 15(12): 1524~1525.
- [5] 李立人. 地下水电导率与溶解性总固体相关性探讨[J]. 干旱环境监测, 1999, 13(2): 122~123.
- [6] 张海龙, 孙卫明, 李宏刚. 电导率法直接测定生活饮用水中溶解性总固体[J]. 中国卫生检验, 2008, 18(12): 2812, 2817.
- [7] 田永彬, 张学臣, 王继业, 等. 电导法测定地下水中溶解性总固体的研究[J]. 北方环境, 1999, (4): 39~41.
- [8] 陈兆林. 操作参数对电吸附设备除盐的影响[D]. 江苏: 江苏工业学院, 2006.
- [9] 陈兆林, 孙晓慰, 郭洪飞, 等. 电吸附技术处理首钢污水厂二级出水的中试研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(9): 115~116, 119.
- [10] 赵雪娜, 孙晓慰, 郭洪飞, 等. 重碳酸盐硬度对电吸附设备除盐性能影响的研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(5): 647~651.
- [11] 赵雪娜, 孙晓慰, 郭洪飞, 等. 酸化吹脱去除重碳酸盐对电吸附设备性能的影响[J]. 工业水处理, 2009, 29(1): 23~25.
- [12] 黄斌, 潘咸峰, 孙晓慰, 等. 电吸附组合工艺在炼油污水回用中的研究与应用[J]. 环境工程, 2009, 27(6): 115~116, 119.

(责任编辑 赵巧芝)