

煤矿酸性矿井水中和出水 脱盐利用研究^{*}

胡文容 高廷耀

摘要 作者比较电渗析和反渗透脱盐技术的进水水质、运行费用、投资费用、运行可靠性等方面认为,利用电渗析技术处理煤矿酸性矿井水中和出水是合理的, SO_4^{2-} 和硬度的脱除率均高于脱盐率。频繁倒换电极的方法是防止和消除电渗析器结垢的一种有效办法。

关键词 煤矿酸性矿井水 酸碱中和出水 脱盐 电渗析 反渗透

目前,我国煤矿酸性矿井水的处理方法主要是中和法^[1],中和剂以石灰或者石灰石为主,处理后出水(下称中和出水)含盐量约 $1000 \sim 5000 \text{ mg/L}$,其中阴离子主要是 SO_4^{2-} ,阳离子主要是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,总硬度 $5.0 \sim 12.0 \text{ mmol/L}$ ^[2],故难以利用,一般是直接排入接收水体。统计资料表明^[3],全国目前约70%的矿区面临缺水,有40%的煤矿严重缺水。全国国有煤矿年缺水2.6亿 m^3 ,其中生活用水缺1.2亿 m^3 ,尤其是东北、西北、山西、内蒙古及豫西等主要产煤区,煤矿供水尤为紧张。因此,研究中和出水脱盐利用,具有重要的理论和实际意义。

一、脱盐方法的选择

目前,我国对含盐 $1000 \sim 5000 \text{ mg/L}$ 的含盐水电脱盐方法主要有两种^[4]:电渗析和反渗透脱盐技术。下面,本文将从这两种脱盐技术的进水水质、运行费用、运行可靠性等方面进行比较,选择本次研究的脱盐技术。

1. 进水水质

反渗透和电渗析脱盐技术都属于膜分离技术,对进水水质均有严格的要求,以防止膜污染和堵塞。由于反渗透脱盐技术操作压力高,装置也比电渗析复杂,若膜受到污染,清洗更为困难。所以,反渗透脱盐技术对进水水质要求比电渗析高,其预处理的设备投资和操作费用就相应增多。

2. 运行费用

在进水含盐为 $1000 \sim 3000 \text{ mg/L}$ 条件下,电渗析和反渗透脱盐技术的操作费与进水流量关系如图1所示。其中,操作费用包括工人工资、能量消耗和膜的损耗费用。反渗透技术的操作费比电渗析高(见图1),原因有两个:电渗析膜的寿命比反渗透长。据统计^[5],在苦咸水淡化中,电渗析膜的寿命平均为7a,反渗透仅3a;

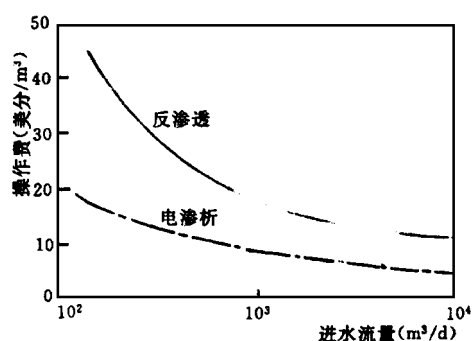


图1 进水流量与操作费用关系图

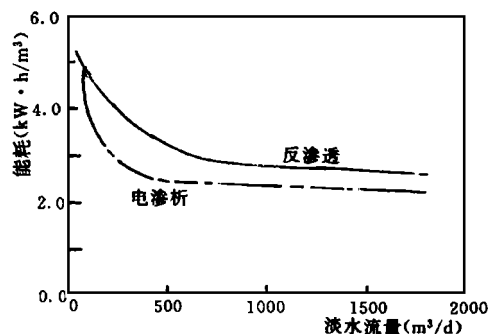


图2 淡水流量与能耗关系图

^{*} 本课题获高校博士点基金资助

若日淡水产量小于 2000m^3 , 采用反渗透技术生产 1m^3 淡水的能耗比电渗析高 (见图 2)。

3. 投资费用

投资费用包括市政工程和污水处理设备。电渗析和反渗透技术的投资费用与进水流量关系如图 3 所示。在相同进水流量、淡水产率的条件下, 反渗透技术投资费用比电渗析低。其主要原因是电渗析技术的脱盐效率和淡水产率一般比反渗透低。要得到同样的脱盐率和淡水产率, 电渗析技术必需增加脱盐设备。

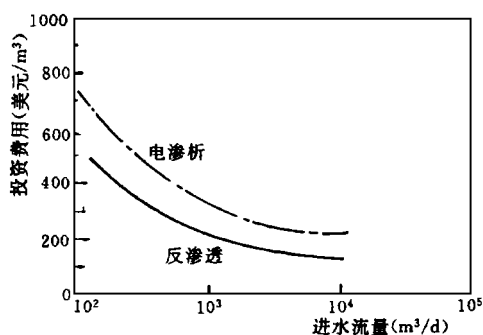


图 3 进水流量与投资费用关系

4. 运行可靠性

因反渗透技术操作压力比电渗析高, 设备复杂, 在系统运转和设备维护上要求就更加严格。电渗析技术自 50 年代末引入我国以来, 现已在苦咸水淡化等方面得到广泛的利用。反渗透技术目前在国内仍处于深入研究和试用阶段。所以, 在国内电渗析技术运行可靠性相对较高。

综合各因素认为, 选择电渗析技术作为中和出水的脱盐方法是合理的。

二、工艺流程与主要试验设备

图 4 为本次试验工艺流程。电渗析器为浙江嘉兴市竹林电渗析器厂生产的 JX-D 型, 组装方式为单台二极二段, 膜对 90 对, 隔板有效尺寸为 $720 \times 160 \times 0.8\text{mm}$ 。

三、结果与讨论

1. 极限电流

为了确保电渗析器的安全运行, 避免极化沉淀的产生, 电渗析器应控制在极限电流以下操作。本次研究采用电压-电流变化法进行测

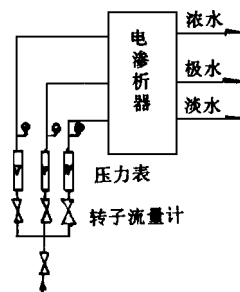


图 4 工艺流程图

定。考虑到中和出水硬度大, 故选择膜对电压为 0.5V 。试验结果表明, 当操作电压为 45V 时, 对应的电流小于极限电流, 所以选择操作电压为 45V 作为本次试验的电渗析器操作电压。

2. 耗电量与脱盐率

在进水流量确定的条件下, 进水含盐量与生产 1m^3 淡水的耗电量关系如图 5 所示。我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85) 规定, 溶解性总固体 $\text{TDS} < 1000\text{mg/L}$ 。所以, 生产 1m^3 合格淡水的耗电量取决于中和出水的含盐量和进水流量。当进水含盐量 $\leq 2000\text{mg/L}$ 时, 若控制进水流量 Q 为 $200、300\text{L/h}$, 则生产 1m^3 合格的淡水所需能耗 $< 0.5\text{kW} \cdot \text{h}$; 若进水流量提高至 $400、500\text{L/h}$, 其能耗低于 $1\text{kW} \cdot \text{h}$; 当进水含盐量 $> 2500\text{mg/L}$ 时, 生产 1m^3 合格淡水的能耗随进水含盐量升高几乎呈直线上

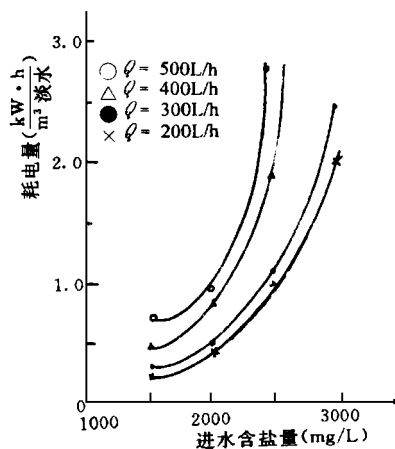


图 5 进水含盐量与生产 1m^3 含盐量小于 1000mg/L 淡水的耗电量关系

脱盐率、硬度及 SO_4^{2-} 的去除率

表 1

原水水质				操作条件			淡水水质				脱盐率	硬度去除率	SO_4^{2-} 去除率	生活饮用水标准	
含盐量 (mg/L)	pH	硬度 (mgCaCO ₃ /L)	SO_4^{2-} 含量 (mg/L)	进水流量 (L/h)	电压 (V)	电流 (A)	含盐量 (mg/L)	pH	硬度 (mgCaCO ₃ /L)	SO_4^{2-} 含量 (mg/L)	(%)	(%)	(%)	硬度 (mgCaCO ₃ /L)	SO_4^{2-} (mg/L)
2000	7.07	591	728.0	300	45	3.8	700	6.97	111.0	200.1	65	81	73	≤450	≤250
				400	45	5.0	850	6.89	155.2	294.0	58	74	60		
2000	7.10	708	818.1	300	45	3.9	700	6.75	146.1	210.7	65	79	74		
				400	45	5.0	870	6.85	204.3	335.8	57	71	59		
2000	7.08	910	953.7	300	45	4.0	750	6.87	231.7	248.0	63	75	74		
				400	45	5.1	880	6.89	311.2	400.6	56	66	58		

升。这种结果表明,将煤矿酸性水中和出水的脱盐率控制在 50~60% 是经济的。

3. SO_4^{2-} 及硬度的去除

为了考察电渗析技术对硬度及 SO_4^{2-} 的去除率,在实验室配制含盐量为 2000mg/L 的含盐水,其操作条件为:进水流量分别为 300、400L/h,操作电压 45V,试验结果如表 1 所示。

表 1 结果表明,硬度的去除率维持在 66~81% 之间,进水硬度高达 910mgCaCO₃/L 时,经脱盐处理后,淡水硬度下降至 311mgCaCO₃/L,达到生活饮用水要求。 SO_4^{2-} 的去除率有两种情况,当进水流量 $Q = 300\text{L/h}$, SO_4^{2-} 含量在 728~953.7mg/L 时,淡水 SO_4^{2-} 含量低于 250mg/L,符合生活饮用水要求;当进水流量提高至 400L/h 时, SO_4^{2-} 去除率下降,淡水 SO_4^{2-} 高于 250mg/L,饮用时会感到苦涩味,一般将这种水用作洗涤用水如井下工人洗澡用。表 1 还说明,硬度去除率总是高于脱盐率,在工程设计中,硬度去除率按照脱盐率的计算进行,完全能达到设计要求。

4. 频繁倒极防止与消除沉淀结垢

当原水硬度高时,若操作不当,水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 将与 OH^- 、 CO_3^{2-} 结合形成沉淀析出附于阴膜表面上,造成阴膜阻力增大。本试验采用时间间隔为 15min 的定时倒极方法,使淡水室和浓水室交替变换以防止和消除结垢。试验方法是配制硬度 8.0mmol/L、含盐 2000mg/L 的 100L 水循环运行,即原水经电渗析器运行后,浓、淡极水全部返回配水槽,连续运行

60h 后(每 10h 测硬度 1 次),硬度减少约 0.5mmol/L,可以认为电渗析器运转状态良好,不产生结垢现象。

四、结论

利用电渗析脱盐技术淡化中和出水生产生活用水是可行的,也是经济的。频繁倒极电渗析技术是克服沉淀结垢的有效措施。

在控制进水流量不高于 500L/h,中和出水含盐不高于 2000mg/L 时,生产 1m³ 含盐 < 1000mg/L 的淡水,能耗不大于 1.0kW·h。

硬度和 SO_4^{2-} 的去除率高于脱盐率,在工程设计中,硬度去除率的计算按照脱盐率计算进行,其结果完全能达到设计要求。

参考文献

- [1] 胡文容等,“酸性矿井水的处理方法和利用途径”,《煤矿环境保护》,1994 年第 1 期。
- [2] 胡文容等,“酸性矿井水的除铁研究”,《中国给水排水》,1995 年第 1 期。
- [3] 杨信荣等,“论我国煤矿矿井水的资源化”,《煤矿环境保护》,1993 年第 1 期。
- [4] 国家环保局,《膜法分离技术及其应用》,中国环境科学出版社,1991 年。
- [5] Stephenson D., Developments in Water Science, Elsevier Science publishing company Inc., 1988.

▲作者通讯处:200092 同济大学环境工程学院

收稿日期:1996-11-13