

# 矿井水深度处理中使用电吸附除盐技术的研究与应用

韩秀娟

枣庄矿业(集团)有限责任公司 山东 枣庄 277000

**摘要:** 电吸附法是新型的水处理除盐工艺。已经在石油化工、冶金等行业中进行了大量产业化应用,并达到了理想的效益,在超高矿化率矿井废水的回用中往往由于含盐量或浓度超标,因此采用光电吸附式除盐工艺回收该类矿废水,也有着不错的效益。

**关键词:** 电吸附; 除盐; 矿化度; 矿井水

## 1 工程背景

矿井供水的主要是深层地下水,但一般含盐量较多。目前,矿山水资源利用率不高,是很多的,是因为含盐量超标达不到回用水水质的标准,若要提高回用率,需要进行除盐处理。煤矿地区最主要的工矿企业是煤炭、选煤厂和发电站,供应的来源大,一部分为地下水资源。由自备井供应,另一部分是矿水的回用。总用水量大约28000m<sup>3</sup>/d,其中矿水回用大约8500m<sup>3</sup>/d,里水再用大约三千五百m<sup>3</sup>/d,其他的大约16000m<sup>3</sup>/d用于地下水。目前,矿山水排水量一般为17000m<sup>3</sup>/d,主要物质

为煤尘和岩尘等,总矿物质含量约为1690mg/L,并新建矿井给水处理站一座,利用了混凝、沉淀、过滤等的水处理工艺,处理后的水源已解决了日常使用和部分重复使用的需要,并回用于井上井下消防洒水系统和选煤厂的日常使用中,回用水量大约为9000m<sup>3</sup>/d,但剩下的将近8000m<sup>3</sup>/d的水量若要达到重复使用,则需要进一步适应于对日常杂用水和可再生水源使用的需要(见表1)<sup>[1]</sup>。而基于这种传统的处理方式,对脱盐基本没有影响。图一是现矿井出水处理站出水与相应数据的对照图。

表1 水质对照表(主要指标)

项目名称	单位	矿井水	再生水标准 (用于循环水)	生活杂用水水质标准
pH		8.2	6.5-9	6.5-9
溶解性总固体	mg/L	1690	≤1000	≤1000
总硬度	mg/L	216	≤450 (CaCO <sub>3</sub> )	≤450 (CaCO <sub>3</sub> )
浊度	mg/L	1.1	≤3	≤5
电导率	μS/cm	2800		
COD	mg/L	<10		50
BOD <sub>5</sub>	mg/L	3.3	10	5
SS	mg/L	3.0	30	10
氨氮	mg/L	0.48	10	10

## 2 电吸附技术基本原理

电吸附研究基本原理是根据电化学中的双电层原理,依靠研究带电电极本身的电化学特征,来达到对水中带电粒子的消除、有机质的溶解等目的。电子吸附除盐方法见图,原水从一侧进入由阴有阳极组成的孔隙内,从相对侧流出。在水中的阴、阳极相互移动时受电荷的作用,在水中带电颗粒依次向带相反电荷的负极迁移时,由该阴极的吸附而储存在水双电层内。而由于阴

极吸收带电粒子的逐渐增多,带电粒子也从阴极表层逐渐富集于中国近代史,最后完成了与水中的脱离,并使水中的溶解性盐类停留于高压下阴极表层,从而得到了净化/淡化的出水。

## 3 工作原理

电吸附除盐工艺的基本原理就是通过使用外加电压产生静电场,促使分子在带有相反电荷的阴极上移动,使分子在双电层中富集,这样降低了水溶液的自然本体

浓度，从而完成了对水溶液的除盐。原水从一边进入由二电极板间隔而成的小间隙中，由另一端排出。原水在阴、阳极间运动中由于电荷的相互影响，原水中离子依次沿具有相反电荷的阴极移动，被该阴极所吸收并贮存于双电子层中。而由于高压电极吸收离子的数量增加，离子逐渐在高压电极上富集浓缩，最后完成了与海水的脱离，从而得到了提纯、淡化后的新水体，双电子吸收除盐的方法如图一所示<sup>[2]</sup>。

在金属离子吸收系统中，能量的储存/释放主要是通过金属离子的吸收/脱附进行调节，并迅速地产生充放

电能量。但由于在对电容器的充放电中，仅出现了金属离子的吸收/脱附现象，且高压下电极结构并不会发生变化，故对电容器的充放电时间在理论上并无影响。但当含有大量盐类的原水，在经过由高能或皮质者高压阴极结构所组成的离子吸收系统之后，离子在直流电场的作用下被贮存在阴极表面的双电层中，直至在高温阴极结构中趋于饱和。此时，如果把直流电源全部去掉，并将正负电极短路，而由于直流电场的逐渐下降，贮存于双电层内的金属离子就会重新返回通道内，随水流逐渐排除，而高压电极也随之进行了复原，如图2所显示

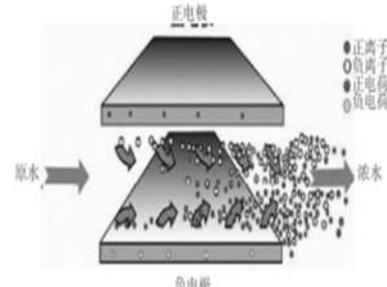
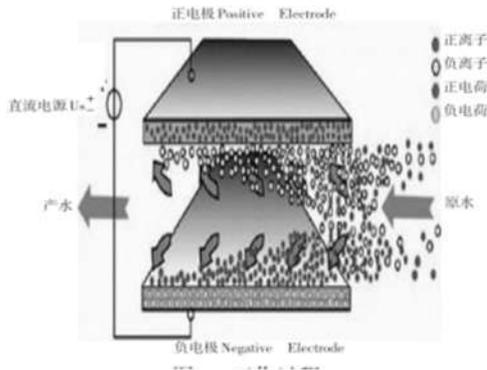


图2 再生过程

4 常用的除盐方法

常见的除盐水处理工艺:电子吸附EST、电渗析法、反渗透。经过对图二的研究，并根据某井煤炭矿井水的质量现状，进行了电吸附EST比较研究，电渗析与反渗透RO的工艺都具有维修与保养频繁复杂、处理周期短、消耗大、产品原件使用寿命短、使用成本高等的弊端，从而选用电吸附除盐工艺。规划中对该井煤炭矿井水处理站，将采用电吸附除盐工艺产生的深层处理能力，将深层处理后的污水用于该井煤炭工业、生活、绿化降尘以及该井煤矿洗煤厂生活所用，而剩余的污水则将向附近湖电厂、村子等供应。

5 工艺流程

电子吸附除盐技术的主要工作流程:原池内的水通过提升泵被输送至保安过滤器中，在固体自由流的堆积层中此道工序中被截流后，水又被重新送入电子吸收(EST)模块。水中可溶性的盐被吸附，水体也得到了净化，如图三所显示:

表2 3种常用除盐方法对比

项目	电吸附EST	电渗析	反渗透RO(双膜法)
膜类型	无分离膜	离子膜	不对称膜复合膜
除盐率	70%~95%	60%~90%	80%~95%
维护保养性	无需特别保养、简单	频繁、复杂	频繁、复杂
清洗周期	12个月,长	不固定	1周至3个月,短
能耗	0.5~2kWh	1~2kWh	1~2kWh
核心元件使用寿命	≥8a	——	2~3a
运行成本	低≤1.5元/m <sup>3</sup>	中2~3元/m <sup>3</sup>	高3~6元/m <sup>3</sup>
对高硬水适应能力	无不良反应	难于处理	需加阻垢剂或软化

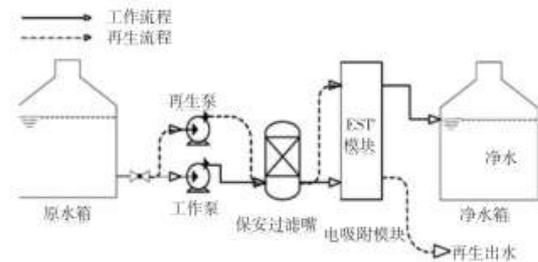


图3 电吸附除盐工艺流程

该工艺的优点:

(1)耐受性好核心部件使用寿命长，保守估计大于五年，避免了因核心部件频繁更换而带来的运行成本的提高。(2)水效率较高电的处理工艺也可以提高水的效率，在通常情形下的水效率能够达到百分之七十五以上，而通过特殊工艺组合，则可以达到百分之八十五以上。对氟、溴、钙、镁等离子的高去除率效果尤佳。(3)无二次污染电吸附系统不加入其他药物，排放的浓水所含成份

都系取自于原水,而体系本身也不会形成新的废水排出物。(4)对颗粒污染物要求低由于电吸附脱盐装置采用通道式结构(通道宽度为毫米级),所以不易堵塞。对前处置需求也就相对较少,从而可以减少设备投入和运行的成本。另外,光电吸收型除盐装置本身还具备着较强的耐冲击功能。(5)抗结垢当原水硬度较高,且碱度也较高时,极易结垢( $\text{CaCO}_3$ )。但也因为电子吸收方法,一般是利用电荷效应将阴、阳离子分开的。但是,因为阴、阳离子所处环境的不同,并不会因为相互结合而产生垢物。(6)防油性物质污染,由于电吸附脱盐器使用了特制的惰性物质作为高压电极,因此可以防油类污垢。电吸附脱盐工艺已成熟运用于石化冶炼污水回收用(齐鲁石化工程),实践证明了此点。(7)耐冲击负荷能力高由于加入电吸附体系的原水各粒子浓度增加,电吸附体系就会相应增加工作频率,电压增加的时候系统除盐能力会提高;相反,由于流入电吸附体系的原水各分子的浓度减少,电吸附体系也会相应减少工作频率,电流减少的时候系统除盐能力会下降。因此。尽管原水的浓度变化很大,电吸附设备仍可采用最有效的工作模式确保产品出水符合其需求。(8)操作和维护简便由于电吸附装置中一般不采用膜等部件,所以对原水的需求也不大。在停机期间,也就不必再对核心部件进行特别保养。而控制系统也普遍采用计算机控制,由于自动化水平高,所以对操作者的技术要求也较少。(9)运行成本较低该设备采用常压运行,能量消耗也很低,其最大的能源消耗方式就是直接对离子进行转化。它和其他的除盐工艺一样,能够极大地节约能源。而其根本原因就在于用电吸附技术净化/淡化水质<sup>[4]</sup>。原理就是有区别化的把在水中成为稀溶物质的金属分子提取或分离,但不能直接将用作溶液的金属水分子从弥散在待处理的金属原水中分离。

## 6 经济效益和节能分析

### 6.1 经济效益分析

#### 6.1.1 投资计算

查询2019年年度梅花井煤矿相关记录:梅花井煤矿的一般涌水流量为498m<sup>3</sup>/h,最高最大涌水流量约为516.3m<sup>3</sup>/h。梅花井煤矿的一般用水量6990m<sup>3</sup>/d,最高使用量8638m<sup>3</sup>/d。而梅花井煤矿洗煤厂的一般用水量则约

为76m<sup>3</sup>/d,最高使用量约为98m<sup>3</sup>/d。梅花井煤矿污水处理所一般每天的最大利用水量约为20888m<sup>3</sup>,最高利用水量约为22659m<sup>3</sup>。对工业、生产及服务行业的最大利用价格则为约6.3元/m<sup>3</sup>。通过查询相关资料得知,电吸附法除盐及污泥再生循环处理项目的一般投入费用为约2000万元/t,(原污水为经二次污水处理达到排放标准后的污水),每吨原水的费用约1万元/t,每单位制水耗成本约1.5元/t(包括设备折旧费、材料消耗费、大修基金等)。

#### 6.1.2 年度利润计算

电吸附型除盐水再生回用装置平均每制备吨水的收费1元/t,每单位制水成本则是一点五元/t(包括设备折旧费、材料消耗费、大修基金等),而制造业、生产服务业的用水价格则为6.03元/m<sup>3</sup>,因此平均每吨水的利润也仅有3.8万元/t。电吸附式除盐水再生用装置,基本五年可以收回利润。

#### 6.1.3 节能分析

梅花井煤矿和洗煤厂每年可节约生产用水257.909亿m<sup>3</sup>,矿井水资源的有效复用量达到了百分之九十五点一二,每年节约用水总量为1624.8亿元,利用剩余的生产用水可盈利677.6亿多元<sup>[1]</sup>。

结语:随着中国工农业经济的迅速发展,对地下水资源保护将受到地方政府部门的高度重视,对地下水的再利用也将更加规范,地下水取水的收费也会更加昂贵,而选择可靠的矿水再利用技术为企业供水,对减少企业成本将具有良好的促进作用,对未来的经济效益也将更加突出。

## 参考文献

- [1]段小月,刘伟.前处理对活性炭电极电吸附除盐性能的影响[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2009(2).
- [2]李定龙,申晶晶,姜晟,等.电吸附除盐技术进展及其应用[J].水资源保护,2008(4).
- [3]孙晓慰.电吸附技术在饮用水深度处理中的应用[J].中国水利,2006(1).
- [4]陈慧婷,赵玉明,陈慧妃.电吸附方法在水处理领域的研究进展及其应用现状[J].西南给排水,2004