

# 高矿化度矿井水处理综述

余欢

安徽理工大学, 安徽 淮南  
Email: 1195583466@qq.com

收稿日期: 2021年3月17日; 录用日期: 2021年4月20日; 发布日期: 2021年4月27日

---

## 摘要

本文对高矿化度矿井水的处理方法进行了综述, 分析处理方法的利弊, 以及对高效处理高矿化度矿井水方法进行展望。

## 关键词

高矿化度矿井水, 处理方法, 脱盐机理

---

# Summary of Mine Water Treatment with High Salinity

Huan Yu

Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui  
Email: 1195583466@qq.com

Received: Mar. 17<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2021; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

This article reviews the treatment methods of mine water with high salinity, analyzes the advantages and disadvantages of the treatment methods, and the efficient treatment methods of high salinity mine drainage are prospected.

## Keywords

High Salinity Mine Water, Treatment Method, Desalination Mechanism

---



## 1. 高矿化度矿井水的特征

高矿化度矿井水一般指含盐量高于 1000 mg/L 的矿井水,我国矿井水含盐量基本上在 1000~3000 mg/L,部分地区的矿井水含盐量达到 4000 mg/L 以上,这类矿井水的主要含盐离子为:  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ ,因而此类矿井水硬度较高。据资料显示高矿化度矿井水多从我国西北和北部涌现,因为我国北部和西北地区缺水特征较为明显,土壤含盐量相对较高,因而,矿区开采过程涌出的矿井水含盐量高,例如陕西、甘肃、新疆、抚顺、内蒙等地区,而淮南地区的高矿化度矿井水占到整个地区矿井水的 50%,此类地区矿井水含盐量在 1000~10,000 mg/L,有的甚至含盐量超过了 10,000 mg/L。受开采作业的影响,此类矿井水不仅矿化度高,还伴有高悬浮物、浊度大的特征。

## 2. 高矿化度矿井水危害

1) 高矿化度矿井水未经处理直接排放,会对生态环境造成危害。其主要表现是:入河会使地表水盐度上升,浅层地下水位上升,土壤滋生盐渍化,耐盐树种减弱,作物减产。它还影响到该地区的工业生产,因为许多工业不能使用高盐度的水,使用之前必须先降低水的盐度,这将增加成本。如果改用地下水,就会导致大量的地下水开采,造成地下水资源的短缺,将严重影响该地区的经济发展。

2) 大量高矿化度矿井水的排放会使浅层地下水位相对上升,增加了附近土壤的含水量和可溶性盐分,加剧了土壤盐碱化,对农业和林业有一定的影响。一方面,由于土壤含水量高,湿度大,容易产生结块,形成粘结现象,极不利于农业生产,也影响土壤养分对作物生长的有效性,导致产量降低,当某些盐类的离子过多时,会直接毒害作物,由于土壤理化性质和生化性质的恶化,影响土地的可持续利用。

## 3. 国内高矿化度矿井水脱盐技术及应用现状

目前国内水处理脱盐技术主要有化学法、热力法以及膜分离法。由于化学法和热力法存在一定的局限性,在高矿化度矿井水脱盐处理中应用较少。现阶段广泛应用的脱盐技术是膜分离法,包括电渗析技术和反渗透技术,电渗析技术适用于处理含盐量在 500 mg/L~4000 mg/L 的情况,较电渗析技术,反渗透技术应用范围更广,既能够处理含盐量 4000 mg/L 以下的矿井水,也能够处理含盐量 10,000 mg/L 的矿井水。在实际应用中,应根据原水水质、出水要求、以及投资估算选择经济、有效的脱盐技术。

### 3.1. 化学法脱盐

化学法脱盐主要包括化学药剂法和离子交换法。

#### 3.1.1. 化学药剂法

化学加药又称化学沉淀法[1],是将化学药剂注入水中引起化学反应,直接与水中的一些可溶性物质形成难以溶解的物质,然后进行固液分离。药剂法主要是通过化学方法(加药),有时还辅以化学添加石灰、石膏等,对硬度较高的水或碱性物质转化成易沉淀的难溶性化合物对水进行软化。此外,钡盐沉淀法用于脱除  $\text{SO}_4^{2-}$ ,国内广泛应用于氯碱工业。对于高矿化度矿井水,上述两种方法在去除目标离子种类上稍显单一,由于石灰石法主要用于  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  为主的高矿化度水。而钡盐沉淀仅用于  $\text{SO}_4^{2-}$  为主的高矿化度水。此外,钡盐具有剧毒,储存要求高难度大而且生产成本低,主要被水处理标准高的

小型工矿公司使用。

### 3.1.2. 离子交换法

离子交换法是一种通过离子交换器上的离子与水中的离子进行交换，去除水中有害离子的方法。在工业水处理中，可以通过离子交换制得软化水、脱盐水和纯水。含有硬度成分的水( $\text{Ca}^{2+}$ 和  $\text{Mg}^{2+}$ )经常被  $\text{Na}^+$ 和  $\text{H}^+$ 离子交换器软化。采用离子交换法脱盐时，同时具备阳离子和阴离子的交换器，通过离子交换反应去除水中的阴离子和阳离子。离子交换脱盐方法使用复床，混合床技术，原水第一次经过阳离子交换和阴离子交换器处理后，称为一级复床脱盐，当对于水质要求更高时，需要进行二次复床脱盐，如果需要高纯度的水，可以混合床脱盐，混合床层是将  $\text{H}$ 、 $\text{OH}$  离子交换树脂放在同一交换器中，操作混合均匀后运行。离子交换法具有设备简单、操作控制方便，运行稳定，去除离子的种类多等优点，在处理中、低盐水方面具有优势。但当进水总含盐量 $>$ 为  $500 \text{ mg/L}$  时，是否采用离子交换法脱盐，需要对蓄水的经济性进行比较后确定。离子交换树脂脱盐技术的主要缺点是运行过程中产生大量的废酸废碱液的再生树脂会导致环境污染，离子交换法对处理的水质要求更高，在水中有机污染物，重金属离子对离子交换树脂有毒性危害，并且难以恢复，所以在离子交换树脂脱盐技术难以用于污水回用工业。

## 3.2. 热力法脱盐

采用膜蒸馏技术对含盐量在  $3000 \text{ mg/L}$  以上的高盐矿井水进行热脱盐。这是一个膜过滤和蒸馏过程的结合，在不同温度下用微孔膜分离溶液，并在较高温度下检测溶液中的挥发性物质作为气体通过膜进入另一侧的冷凝过程。与传统蒸馏相比，它不需要复杂的蒸馏系统，可以得到更多的纯馏分，对设备要求低和溶液浓度变化的影响较小，此外，膜蒸馏可以在常压下进行，运行，温度可略高于常温。在太阳能资源丰富、日照强度高的西部地区具有较高的开发利用价值。

## 3.3. 膜分离法

膜分离法脱盐技术主要包括电渗析和反渗透，是目前脱盐淡化的主要方法。

### 3.3.1. 电渗析法

电渗析过程是电化学过程和渗析扩散过程的结合，在外加直流电场的驱动下，利用离子交换膜的选择透过性(即阳离子可以透过阳离子交换膜，阴离子可以透过阴离子交换膜)，阴、阳离子分别向阳极和阴极移动。离子迁移过程中，若膜的固定电荷与离子的电荷相反，则离子可以通过；如果它们的电荷相同，则离子被排斥，从而实现溶液淡化、浓缩、精制或纯化等目的。电渗析技术主要用于处理含盐量在  $500 \text{ mg/L} \sim 4000 \text{ mg/L}$  的进水。电渗析器具有工艺简单，除盐率高，制水成本低、操作方便、不污染环境等主要优点，缺点是有机物和细菌不能从进水中去除，因而增加离子交换膜的阻塞，缩短其使用寿命，而且整个电渗析设备处理过程能耗大。

### 3.3.2. 反渗透法

反渗透法是膜法的一种，用反渗透法处理高矿化度矿井水，脱盐处理的核心是  $\text{RO}$  膜，而  $\text{RO}$  膜的选定要求要确保仅使水通过，其他溶质离子不能通过，反渗透法系统的动力来源于高压泵的压力。反渗透法对进水水质要求较高，所以高矿化度矿井水进入反渗透之前，除必要的预处理之外，还需做一定的软化处理，防止  $\text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Mg}^{2+}$  形成反渗透膜化学性结构而造成堵塞[2]。此法对水的含盐量适用范围为  $3000 \sim 35,000 \text{ mg/L}$ 。此法与电渗析(ED)法相比，其优点是产品水的回收率、脱盐率以及水的纯度均较高。缺点是操作压力高，对进水水质要求高，浓水若得不到适当处理将会造成二次污染。上世纪 90 年代，反渗透水处理技术已在我国得到较多的应用。

### 1) 反渗透法工艺核心

反渗透膜的选择一般有两个系列：CPA (醋酸纤维)和 CAB (芳香聚酰胺)系列膜组件。对于处理难度较大的地表水或污水处理系统，常采用 CAB 膜。该膜具有表面光滑、不带电、表面不易粘附微生物等优点。对于经过良好预处理的废水，选用 CPA 膜。如表 1，与 CAB 膜相比，CPA 具有以下特点：脱盐率高，一般在 99% 以上，CAB 膜出水水质在 95%~98% 之间，因此经 CPA 膜处理，出水水质较高；膜的耐久性强，使用寿命长，所需给水压力低，从而可以进一步降低反渗透给水泵的功率消耗，操作 PH 值范围较宽，使反渗透给水不添加酸或少酸，允许温度上限高，易于清洗。

**Table 1.** Comparison of CPA and CAB membrane elements

**表 1.** CPA 和 CAB 膜元件的对比

膜种类		CPA (醋酸纤维)	CAB (芳香族聚酰胺)
运行条件			
PH		4~10	5~8
温度上限		45°C	35°C
脱盐率		>99%	95%~98%
给水压力		较低	较高
耐久性		高	低

注：数据来源于[3]。

为了提高出水率和产水量，有研究表明可以增大给水压力，给水压力在 0.3~0.6 M 范围，随压力升高，产水率线性增加，当超过 0.6 M，则产水率变化无明显影响；增加水温也可以增加产水率，水温每增加 1°C，产水率增加 0.6% [4]。

反渗透法目前是针对高矿化度矿井水处理应用较为广泛的技术，但是反渗透法的问题也无可避免，即反渗透膜的通量问题。随着反渗透系统的运行，反渗透膜会不可避免的遇到结垢及阻塞问题。从而会一定影响反渗透膜的使用寿命问题。脱盐率的下降，影响系统运行稳定和效率。为了使出水水质达标，一般会在原水中加药，所以加药剂对反渗透膜的氧化作用也会影响膜的使用寿命。

## 4. 脱盐新工艺

### 4.1. 超滤 - 反渗透法

超滤 - 反渗透法，两种工艺结合，在废水进入反渗透装置前，先进入超滤设备，将颗粒、胶体、细菌等污染物质去除的膜过滤装置[5] [6] [7] [8]，其产水水质稳定且 SDI < 3，能有效地保证反渗透膜的寿命及其脱盐率，而且占地面积小，自动化程度高[9]。

### 4.2. 纳滤适度脱盐技术

纳滤原理与超滤及反渗透等膜分离过程一样，纳滤也是以压力差为推动力的膜分离过程，是一个不可逆过程。其分离机制可以运用电荷模型(空间电荷模型和固定电荷模型)、细孔模型以及近年来才提出的静电排斥和立体阻碍模型等来描述。与其他膜分离过程比较，纳滤的一个优点是能截留透过超滤膜的小分子量的有机物，又能透析反渗透膜所截留的部分无机盐——也就是能使“浓缩”与脱盐同步进行。

纳滤膜的性能决定了其在饮水处理中特有的广阔的应用，简述如下：

1) 软化：膜软化水主要是利用纳滤膜对不同价态离子的选择透过特性[10]而实现对水的软化。膜软

化在去硬度的同时,还可以去除其中的浊度、色度和有机物,其出水水质明显优于其他软化工艺。而且膜软化具有无须再生、无污染产生、操作简单、占地面积省等优点[11],具有明显的社会效益和经济效益。然而,在高氟、高氮矿井水中,纳滤作为净化终端技术仍有一价离子( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{F}^-$ 等)超标的风险。

2) 用于去除水中有机物:纳滤膜在饮水处理中除了软化之外,多用于脱色、去除天然有机物与合成有机物(如农药等)、三致物质、消毒副产物(三卤甲烷和卤乙酸)及其前体和挥发性有机物,保证饮用水的生物稳定性等。

### 4.3. 膜蒸馏结合新能源技术

随着国家鼓励开发新能源的相关政策力度加大,地热能作为零污染和可再生的特点逐渐被重视,在煤炭资源开发过程中,地热可以作为膜蒸馏处理高矿化度矿井水技术的能源,在煤炭资源深部开采的过程,可以利用地热对矿井水进行加热,膜蒸馏技术需要将矿井水加热至  $60^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$ ,利用地热代替常规能源的消耗,减少污染的同时,实现节能脱盐。出水离子浓度达到饮用水标准,浓缩水满足消防灭火的要求。膜蒸馏与地热能井下淡化技术的结合将发挥更大的作用[12]。

## 5. 展望

中国高矿化度矿井水脱盐技术主要有化学法、热力法、膜法,因反渗透法的去除效率高,相对能耗低,所以被广泛采用,但反渗透法的缺点不可忽视,即反渗透问题,会影响反渗透膜的使用寿命问题。脱盐率的下降,会影响反渗透法除盐系统的稳定运行和脱盐效率。为了使出水水质达标,一般会在原水中加药,所以加药剂对反渗透膜的氧化作用[13]也会影响膜的使用寿命。虽然,膜清洗工艺日渐成熟,但反渗透法的改进工艺和新兴工艺的发展,传统除盐方法与新能源的结合,为低能耗脱盐开辟了思路。

## 参考文献

- [1] 郭建秋. 中国高矿化度矿井水脱盐技术应用现状研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(7): 123-125.
- [2] 桂和荣, 姚恩亲, 宋晓梅, 等. 矿井水资源化技术研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011.
- [3] 杨慧敏, 何绪文, 何咏. 反渗透技术用于高矿化度矿井水处理的研究[J]. 水处理技术, 2009, 35(10): 82-85.
- [4] 柳炳俊, 郑彭生, 谢毫, 高杰, 安士凯. 反渗透处理淮南矿区矿井水试验研究[J]. 能源环境保护, 2014, 28(2): 17-19+8.
- [5] 李圭自, 李星, 瞿芳术, 等. 试谈深度处理与超滤历史观[J]. 给水排水, 2017, 43(7): 1.
- [6] 刘百仓, 陈洁, 梁英, 等. 强化混凝超滤组合工艺对有机污染物去除效能的研究[J]. 给水排水, 2011, 37(31): 23-27.
- [7] 刘利, 张玉政, 于凤, 等. 青岛某膜法海水淡化厂 T 艺设计[J]. 给水排水, 2017, 43(8): 1416.
- [8] 王瑞, 闫红梅, 金宏, 等. 某核电厂海水淡化系统超滤装置选型分析[J]. 给水排水, 2018, 44(S1): 117-119.
- [9] 朱泽民, 刘晨. 超滤-反渗透双膜法在甘肃某矿井水处理中的应用[J]. 给水排水, 2019, 55(6): 77-81.
- [10] 侯立安, 刘晓芳. 纳滤水处理应用研究现状与发展前景[J]. 膜科学与技术, 2010, 30(4): 1-7.
- [11] 麦正军, 赵志伟, 彭伟, 等. 苦咸水淡化工艺的应用研究进展[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(1): 174-177.
- [12] 靳德武, 葛光荣, 张全, 等. 高矿化度矿井水节能脱盐新技术[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(9): 12-18.
- [13] 张永华. 反渗透技术应用中存在的问题及措施[J]. 大氮肥, 2010, 33(2): 102-104.