

文章编号:1673-1212(2006)07-0096-03

# 渗透法处理高盐废水的原理及工艺

付守琪<sup>1</sup>, 陈萍<sup>2</sup>, 罗专溪<sup>3</sup>

(1.2 安徽理工大学 资源与环境工程系, 安徽 淮南 232001; 3. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:**高浓度含盐废水的主要处理方法有反渗透、离子交换、蒸馏等,目前处理成本比较高。为改变当前高盐废水处理成本居高不下的现状,受渗透的基本原理启发,以分析渗透法处理高盐废水的基本原理为基础,提出渗透法处理高盐废水的新工艺。以溶质氨的设计溶液为例,分析高盐废水处理的新工艺流程及工艺的可行性,并对比反渗透工艺,详细阐述新工艺的特点。经计算分析认为,基于渗透原理的高盐废水处理工艺可降低高盐废水的处理成本,可作为高含盐废水处理的一个新的研究方向。

**关键词:**脱盐; 渗透法; 工艺

**中图分类号:** X52

**文献标识码:** B

高盐废水可损伤水体的使用价值,并威胁人类健康。如硫酸盐的浓度超过 250mg/l 时,人饮用时就会对人的健康造成伤害。若高盐废水未处理而外排,即浪费水资源又污染环境。水与国计民生密切相关,是国家重要的自然资源。因而,许多学者致力于含盐废水的去盐研究,并取得一定的成效。如范振强利用组合膜工艺反渗透法研究含盐废水<sup>[3]</sup>;高旭阔利用电渗析法研究城市污水三级出水回用于电厂的盐含量的降低<sup>[4]</sup>;徐恒阔及王方利用电渗析和离子交换相结合的电去离子技术研究水中盐的去除<sup>[5-6]</sup>;王车礼等采用减压膜蒸馏技术处理高含盐废水<sup>[7]</sup>;姚永毅等利用微滤、超滤和反渗透三种膜的集成膜来研究含盐废水<sup>[8]</sup>;同时,利用电渗析和反渗透法研究高矿化度矿井水中盐的去除亦有诸多研究。

当前处理高盐废水的主要技术包括:电渗析法、反渗透法、蒸馏法以及比较新的组合工艺法。目前,反渗透和电渗析法投资大约为 528-793 美元/m<sup>3</sup>·d,运行费用为 0.26-0.52 美元/m<sup>3</sup>·d;反渗透投资相对较省,运行费用稍高,而电渗析则投资稍高,运行费用相对低一些;蒸馏法处理含盐废水投资为 1321-2268 美元/m<sup>3</sup>·d,运行费用为 1.06-2.11 美元/m<sup>3</sup>·d;可见高含盐废水处理技术费用居高不下,经济效益不好,虽已有许多研究尝试提高其应用价值,但效果并不显著,尚无良好的应用前景。因此,本文以渗透基本原理出发,提出高浓度含盐废水处理的新思路和工艺,试图改观该类处理技术的经济效益。

## 1 渗透原理

### 1.1 基本概念

渗透原理系指在合适半透膜隔开情况下稀溶液的溶剂自发进入至浓溶液中的一种基本原理。对透过的物质具有选择性的薄膜称为半透膜。一般将只能透过溶剂而

不能透过溶质的薄膜视为理想的半透膜。渗透是溶剂从稀溶液一侧通过半透膜向浓溶液一侧自发流动的过程。这是稀溶液中溶剂分子的化学位比浓溶液中溶剂分子的化学位高的缘故。可见,渗透系由化学位梯度引起的自发扩散现象。若以淡水为稀溶液,则渗透进行过程中淡水一侧的液面会不断下降,溶液一侧的液面会不断上升,直到两侧液面不再变化,此时渗透便达到平衡状态。这时,两侧的液面差称为该种溶液的渗透压。溶液的渗透压值根据溶液中溶质分子数目而定,且与溶液的浓度及溶液的绝对温度成正比,而与溶质的本性无关,其数学表达式为:

$$\pi = iRTc \quad (1)$$

式中  $\pi$ ——渗透压, Pa;

$R$ ——理想气体常数, Pa·L/(mol·K);

$c$ ——溶质的浓度, mol/L;

$T$ ——绝对温度, K;

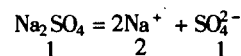
$i$ ——范特霍夫系数,它表示溶质的电离状态,其值等于 1 或大于 1,当完全电离时,  $i$  等于阴、阳离子的总数,对非电解质  $i = 1$ 。

### 1.2 渗透原理进行废水处理的理论分析

从渗透压的表达式(1)中可见,在相同的温度下,两种溶液的渗透压受范特霍夫系数  $i$  和溶质的摩尔浓度  $c$  的影响。范特霍夫系数  $i$  是极为重要的一个系数。对于强

电解质,比如 NaCl, 
$$\text{NaCl} = \underset{1}{\text{Na}^+} + \underset{1}{\text{Cl}^-}$$

若 NaCl 在不饱和溶液中完全电离,则此时的范特霍夫系数应该为 2,实际上 NaCl 在水溶液中并不能完全电离,即 NaCl 溶液的范特霍夫系数应略小于 2;若对于 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;



收稿日期:2006-06-20

作者简介:付守琪(1979-),男,河南新乡人,硕士研究生,从事水处理研究。

即  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  在不饱和溶液完全电离,则此时的范特霍夫系数应该为 3,同理  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液的范特霍夫系数也应略小于 3;综合分析各种强电解质,则不饱和强电解质溶液的范特霍夫系数不会大于 4。对于弱电解质,则不饱和弱电解质溶液的范特霍夫系数应该大于 1。而对于非电解质,则不饱和非电解质的范特霍夫系数为 1。以上分析可以得出,在相同温度下,强电解质溶液的范特霍夫系数应该是弱电解质的 1~4 倍之间。

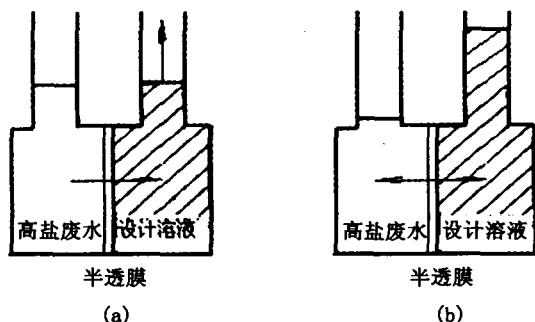


图 1 高盐废水渗透示意图

式中,渗透压与范特霍夫系数  $i$  和溶质的摩尔浓度  $c$  成正比关系。受此启发,即可设计出一种新的水溶液,该水溶液具如下特征:①在一定条件下,摩尔浓度比较高;②在外部条件改变的情况下,水和溶质较易分离。接下来,如图 1 所示,在一个容器的中间安装一个合适的半透膜,把容器分成左右两个室,在左室图 1(a)中倒入待处理的高含盐废水,在右室图 1(a)中加入设计配制的水溶液。在渗透作用下,左室液面下降,右室液面上升,最后达到图 1(b)所示。高盐废水转变成可接受、较易处理的水溶液。

## 2 高盐废水处理的渗透原理工艺

### 2.1 工艺流程

根据设计溶液的性质,可设计出不同的处理工艺。假设设计溶液在常温下摩尔浓度较高,则在相对条件下溶质易从设计溶液中挥发出来,如氨的设计水溶液。以溶质氨的设计溶液为例,详细探讨高盐废水处理的新工艺。

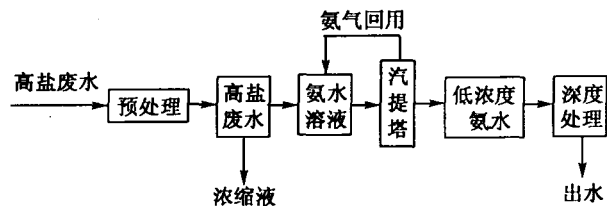


图 2 高盐废水处理工艺流程图

设计的新处理工艺流程如图 2 所示。在自然条件下,该工艺使高含盐废水浓缩,同时通过半透膜的作用,使水进入到氨的设计溶液(氨水溶液)中去。汽提塔将排出的氨水溶液的氨气提出回用,补充膜反应器中氨水溶液的浓度。从汽提塔出来的低浓度氨水溶液,通过进一步的处理,可得到高质量出水。同时,据处理的高盐废水中的含

盐类型,可将有价值的盐类回收。氨气是工作气体,在处理过程中循环使用,需要定期补充。

### 2.2 工艺理论分析

在 1 个大气压和 20℃ 的条件下,1 体积的水可以溶解 700 体积的氨气,按 1mol 的气体 22.4 升计算,  $700/22.4 > 31$ ,则 1 升的水至少可以溶解 30 摩尔的氨气。以氨水为非电解质考虑,则近似饱和的氨水溶液的渗透压可以近似表示为  $\pi = iRTc = 30RT$ 。在相同的温度下,假设强电解质溶液的范特霍夫系数是氨水的 4 倍,则近似饱和的氨水溶液的渗透压至少大于 7mol/L 的强电解质溶液。故理论用氨水作为设计溶液是符合设计溶液的第一点要求,即在常温下具有很高的摩尔浓度。

由于氨具有较强的挥发性,可采用汽提法来分离氨和水。汽提法是借助废水和通入蒸汽的直接接触,使废水中的挥发性物质按照一定的比例扩散到气相中,因而把挥发性的污染物从废水中分离出去。据以往的汽提塔的运行数据,可把氨的浓度降至 50mg/L。此时氨的溶液在处理上属于低浓度溶液。进一步的处理方法可有离子交换法、生物脱氮法、硝化—反硝化法、折点氯化法、催化湿式氧化法等。

### 2.3 工艺的理论优点

与反渗透工艺相比,此工艺去掉了高压泵和增压泵这两个主要的耗能器件,代之变成氨水的汽提处理。由于不再采用高压,各种反应、运行设备的要求会相对降低,同时,膜的寿命也会相应延长。因此整个工艺投资和运行费用都会有一定的降低。与电渗析处理工艺相比,原水的利用率比较高。因为氨水的摩尔浓度可以很高,所以理论上可以使很多盐溶液达到饱和甚至过饱和,根据浓缩的盐不同,还可以对盐进行其它回收利用。还可以省掉电渗析处理工艺中的极水、浓水的排放,是比电渗析更环保的一种处理工艺。并且此工艺不存在膜的极化现象。在此工艺中,氨气主要是作为工作循环气体,需要定期进行补充。综上所述,新工艺具设备运行费用低,膜寿命较长,盐类回水利用高等优点,较有发展前途。

## 3 展望

本文仅从理论上探讨设计溶液溶质为氨时对高盐废水处理的新工艺,须进行相应实验以确定此工艺具体的应用参数,比如合适的氨的浓度。新工艺关键是设计理想的溶液配制,以氨等为溶质进行溶液的配制是以后重要的研究方向。分析还认为以下几个方面是渗透法在高盐废水处理应用中的研究重点:

(1)借压制压:如何利用其它更易处理的溶液的渗透压来抑制高含盐废水的渗透压,从而进一步减少该项技术的处理成本。

(2)抗碱性膜的研究。由于氨的水溶液 pH 值较高,存在膜的水解问题,所以采用这种技术必须有一种抗碱性强

的膜。

(3)高浓度有机废水浓缩。在许多高浓度有机废水中,采用焚烧法处理热值不够,可以采用此方法对这类废水进行浓缩,然后再采用焚烧法最终处理比较合理。不过对这类废水进行浓缩对膜的要求比较高。

渗透法处理高盐废水工艺具设备运行费用低,膜寿命较长,盐类可回收利用等优点,是电渗析和反渗透的理想替代工艺,具较好应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 邹家庆.工业废水处理技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 丁忠浩.有机废水处理技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [3] 范振强.组合膜工艺城市含盐污水回用处理试验研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:哈尔滨工业大学,2003.
- [4] 高旭阔.城市污水三级出水回用于电厂锅炉补给水的试验研究[D].硕士学位论文.西安:西安建筑科技大学,2003.
- [5] 徐晖阔.电去离子除盐过程及其用于脱除水中铜离子的研究[D].硕士学位论文.天津:天津大学,2002.
- [6] 王方.电去离子软水法[J].工业水处理,1999.19

(2).8-9转44.

[7] 王车礼等.膜蒸馏淡化处理油田高含盐废水的实验研究[J].膜科学与技术,2004.24(1).46-49.

[8] 姚永毅等.采用膜法淡化苦咸水流程和设备的集成化[J].四川大学学报(工程科学版),2004.36(2).54-57.

[9] 卢彦越等.反渗透海水淡化系统的优化设计[J].水处理技术,2005.31(3).9-14.

[10] 丛鑫等.海州矿高矿化度矿井水脱盐试验[J].安全与环境学报,2005.5(1).53-55.

[11] 王广金等.内陆油气田高含盐废水处理技术综述[J].过滤与分离,2003.13(1).

[12] 邵刚.膜法水处理技术[M].北京:冶金工业出版社,1992.

[13] 韦鲁滨等.反渗透技术在煤矿苦咸水处理中的应用研究[J].中国矿业大学学报,2002.31(6).618-621.

[14] 彭昌盛.碱性化学法及电渗析法联合处理混合电镀废水的研究[D].博士学位论文.北京:北京科技大学,2002.

[15] 胡文容.煤矿矿井水及废水处理利用技术[M].北京:煤炭工业出版社,1998.

## Principle and Technical Process of Osmosis Method in High Concentration Salty Wastewater Treatment

FU Shou - qi<sup>1</sup>, CHEN Ping<sup>2</sup>, LUO Zhuan - xi<sup>3</sup>

(1.2 Resources and Environment Engineering Department, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

3. Chengdu Institute of Mountain Hazard and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** This article briefly introduced principle of osmosis method and initiated a new theoretic technical process in high concentration salty wastewater (HCSW) treatment based on osmosis principle in order to provide a tradeoff solution of such wastewater treatment. Taking ammonia as a design solution, a new technical process of HCSW treatment were discussed, as well as its application feasibility and benefits, compared with the reverse osmosis process of these relevant wastewater. In general, it is interesting prospective that the new technique of HCSW treatment based on the osmosis principle, owing to its advantages, that is, tradeoff solutions in wastewater treatment.

**Key words:** Desalination; Osmosis principle; technical process

### 投 稿 须 知

投稿请用 word 软件横排格式撰写,以“附件”方式发至本刊电子邮箱内。请在文章后注明作者的联系地址、邮政编码、电话及手机号码、电子邮箱,以便本刊与作者在第一时间取得联系。