

# 太阳能纳滤苦咸水淡化技术在西北地区饮用水处理中的应用

刘 莉,王庚平,赵虎群

(甘肃省膜科学技术研究院,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**采用适合西北地区苦咸水专用的 NF 膜,以 3 种典型的苦咸水水质为例,研究利用以太阳能为动力的直流水泵和纳滤法对苦咸水进行淡化,为解决居住分散且无常规电力供应的牧区人畜饮水问题指出了一条新的途径。

**关键词:**纳滤膜;苦咸水;光伏发电

**中图分类号:** X52

西北地区地下水水质属于苦咸水,绝大部分地区地下水含盐量超标,无法饮用。长期饮用会造成脱发、腹泻等现象,严重影响人民的健康。在西北地区的农村和牧区,还存在着部分农牧居民居住分散,集中供电难以实现,喝的是苦咸水,没有常规电力的供应直接导致水处理无法进行,据统计,仅甘肃的无电人口就达 523394。因而探索利用可再生能源之一的太阳能作为动力提供能源就应运而生了。采用太阳能为动力的纳滤水处理装置,解决人们的饮水困难问题,可以整体解决农村的饮用水水质,改善农村的生活质量。

## 1 离网独立光伏发电(太阳能)技术

离网光伏发电技术指的是完全独立于现有电网,为没有常规电网供电能力的用户提供电力服务,它的基本目的是利用太阳能光伏发电技术向常规电网不能到达,而又必须使用电力的用户提供电力服务。

光伏系统是指利用太阳能电池将太阳辐射能直接转换为电能的发电系统。它有太阳电池板、控制器、直流/交流逆变器、蓄电池组和直流/交流负载组成<sup>[2]</sup>,如图 1 所示。

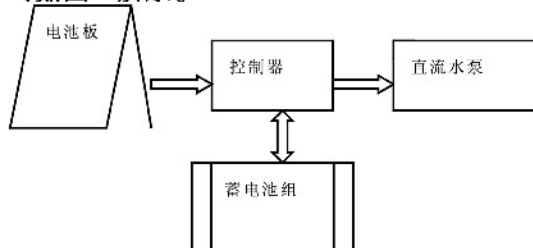


图 1 太阳能发电系统

## 2 纳滤苦咸水淡化工艺及处理原理

苦咸水是经预沉淀和精密过滤器预处理后,再经纳滤、浓水排放,淡化水收集。选用中低度苦咸水试验水源。其工艺流程如下:

苦咸水→预沉淀(可选)→供水泵→精密过滤→(直流)压力泵→纳滤膜分离→淡化水(浓水排放)→淡水收集。

渗透及反渗透是一种物理现象,含有盐份的水有一种自然渗透压力,当把含盐水(原水)与纯水用微孔直径为万分之一微米的半透膜隔开时,纯水由于渗透压的作用将透过半透膜而进入原水侧。相反,要是在原水侧施加一高于其本身渗透压的压力,则原水中的分子将透过半透膜而进入纯水侧,但原水中的盐份、细微杂质、有机物等成分却不能进入纯水侧,这就是反渗透。基于此种原理,人们发明了反渗透膜和反渗透技术,并将其应用于水处理。

纳滤技术是从反渗透技术中分离出来的一种膜分离技术,是超低压反渗透技术的延续和发展分支。纳滤膜存在着纳米级的细孔,且截留率大于 95% 的最小分子约为 1nm。在过去的很长一段时间里,纳滤膜被称为超低压反渗透膜(LPRO: Low Pressure Reverse Osmosis),或称选择性反渗透膜或松散反渗透膜(Loose RO: Loose Reverse Osmosis)。日本学者大谷敏郎曾对纳滤膜的分离性能进行了具体的定义:操作压力  $\leq 1.50\text{MPa}$ ,截留分子量 200 ~ 1000, NaCl 的截留率  $\leq 90\%$  的膜可以认为是纳滤膜。

## 3 太阳能纳滤膜法苦咸水淡化试验研究

一般来讲,含盐量 1 ~ 5g/L 的水叫低盐度

苦咸水,10g/L以上为高盐度苦咸水。黄河流域微咸水和咸水资源量见表1,依据此法分类,对表1中青海、甘肃、宁夏、内蒙、陕西等西北地区和黄河流域苦咸水进行分析,低盐度苦咸水占

苦咸水总量的84.7%,中、高盐度苦咸水占苦咸水总量的15.3%,因而西北地区的苦咸水淡化的水源以含盐量1~5g/L低盐度苦咸水为主<sup>[3]</sup>。

表1 黄河流域微咸水和咸水资源量

| 省(区) | 2~5g/L              |                          | ≥5g/L               |                          | 合计资源量<br>(亿 m <sup>3</sup> /a) |
|------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
|      | 面积(m <sup>2</sup> ) | 资源量(亿 m <sup>3</sup> /a) | 面积(m <sup>2</sup> ) | 资源量(亿 m <sup>3</sup> /a) |                                |
| 青海   | 550                 | 0.97                     |                     |                          | 0.97                           |
| 甘肃   | 24735               | 1.47                     | 14324               | 0.37                     | 1.84                           |
| 宁夏   | 15202               | 3.29                     | 19227               | 1.40                     | 4.69                           |
| 内蒙   | 8732                | 7.67                     | 692                 | 0.484                    | 8.15                           |
| 陕西   | 8421                | 4.93                     | 4149                | 1.46                     | 6.39                           |
| 山西   | 432                 | 0.44                     | 38                  | 0.03                     | 0.47                           |
| 河南   | 807                 | 1.86                     |                     |                          | 1.86                           |
| 合计   |                     |                          |                     | 24.37                    |                                |

### 3.1 实验装置

太阳能动力系统由太阳能板,太阳能控制器,蓄电池组成。

淡化机由纳滤膜组件,直流供水泵,直流高压泵,阀门,管线和装置架构成,核心部件为1根2521的卷式纳滤膜。最高耐受压4.0MPa、最高耐受温度40℃、pH范围:3~11。预过滤采用10μm滤芯。

实验流程如下所示:

苦咸水→预沉淀(可选)→供水泵→精密过滤→(直流)压力泵→纳滤膜分离→淡化水(浓水排放)→淡水收集

### 3.2 实验原料及仪器

实验时各采用1000~2000mg/L,2000~3000mg/L,3000~5000mg/L的苦咸水,考察其产水特性和工艺参数,最后达到淡化的目的。

流量计:现场测定,以L/H记。

电导仪:选用DDS-307型电导率仪进行现场测定,以us/cm计。

太阳光强度检测仪:TN3000。

### 3.3 实验过程

实验在甘肃省膜科学技术研究院进行了大约2

个月,主要内容是考察在相同产水量下纳滤膜对不同浓度原水的脱盐情况;考察太阳能的持续时间和各种不同天气的充电时间。为推广使用提供依据。

### 3.4 实验结果及探讨

#### 3.4.1 考察3种水质在不同压力下的产水量

同温下压力对流量(产水量)的影响考察:

在15℃下选不同压力,考察其对流量的影响,如图2所示。

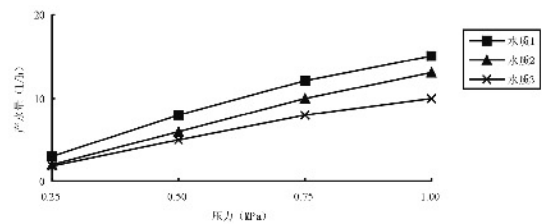


图2 压力和产水量的关系

如图2所示,随着压力的升高,流量成比例的提升。另外,进水含盐量越高,产水量越低。对于上述3种水质而言,操作压力在1.0MPa都可满足产水量的要求。

#### 3.4.2 考察三种水质在产水量满足时的产水水质及达标情况

水质情况记录1~3见表2~4。

表2 水质情况记录1

| 项目        | 总硬度(mg/L) | TDS(mg/L) | Cl <sup>-</sup> (mg/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) |
|-----------|-----------|-----------|------------------------|--------------------------------------|
| 原水水质(平均值) | 441.3     | 1582      | 426.12                 | 512.5                                |
| 产水水质(平均值) | 8.9       | 310       | 130                    | 11.4                                 |
| 国家标准要求    | <450      | <1000     | <250                   | <250                                 |
| 是否达到国标    | 是         | 是         | 是                      | 是                                    |

表 3 水质情况记录 2

| 项目        | 总硬度(mg/L) | TDS(mg/L) | Cl <sup>-</sup> (mg/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) |
|-----------|-----------|-----------|------------------------|--------------------------------------|
| 原水水质(平均值) | 188       | 2900      | 332                    | 1478                                 |
| 产水水质(平均值) | 26        | 579       | 102                    | 30                                   |
| 国家标准要求    | <450      | <1000     | <250                   | <250                                 |
| 是否达到国标    | 是         | 是         | 是                      | 是                                    |

表 4 水质情况记录 3

| 项目        | 总硬度(mg/L) | TDS(mg/L) | Cl <sup>-</sup> (mg/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) |
|-----------|-----------|-----------|------------------------|--------------------------------------|
| 原水水质(平均值) | 1541      | 4041      | 312                    | 860                                  |
| 产水水质(平均值) | 28        | 900       | 88                     | 18.4                                 |
| 国家标准要求    | <450      | <1000     | <250                   | <250                                 |
| 是否达到国标    | 是         | 是         | 是                      | 是                                    |

由以上记录可以看出,对 3 种进水水质而言,其出水水质均达到国家标准要求。

3.4.3 考察在工作压力为 1.0MPa 时,长期运转条件下的充电-工作时间(见表 5)

表 5 太阳光强度和充电-放电时间的关系

| 太阳光强度(w/m <sup>2</sup> ) | 充电时间(h) | 工作时间(h) |
|--------------------------|---------|---------|
| 590.00                   | 6.00    | 4.00    |
| 650.00                   | 5.50    | 4.25    |
| 630.00                   | 5.25    | 4.50    |
| 680.00                   | 5.00    | 4.50    |
| 740.00                   | 4.75    | 4.25    |
| 760.00                   | 4.25    | 4.50    |
| 780.00                   | 4.50    | 4.00    |
| 840.00                   | 4.50    | 4.25    |
| 860.00                   | 4.00    | 4.50    |

注:连续考察充电饱和(充电指示灯开始闪烁)-工作时间,工作均为晴天,光照充足的时候测试。

从表 5 可以看出,在正常工作状态下,最短连续工作时间能够达到 4h 以上。

## 4 经济效益分析

太阳能纳滤苦咸水淡化机是对常用的反渗透工艺进行代替,用独立光伏发电的电力将常规电力取代,将 1000~5000mg/L 的苦咸水淡化为合格的生活饮用水。在压力为 1.0MPa 以下即可实现水的淡化。因此,太阳能纳滤苦咸水淡化机的主要优势及经济效益表现为运行成本的低廉。

太阳能纳滤苦咸水淡化机运行成本与常规反渗透技术的比较:

采用常规反渗透技术高压泵及原水泵能耗约为

(0.03+0.12)=0.15kW。按电费 0.60 元/度计算  
 小时电耗 = 0.15kW · h × 0.60 元/度 = 0.090 元  
 纳滤苦咸水淡化为饮用水的动力能耗比反渗透法降低 20% 左右<sup>[4]</sup>。

折算为反渗透技术而言:

= 0.090 元 × 1.2

= 0.108 元

每天按 5h 计算:

一年可节约电费: 5h × 0.108 元/h × 30 × 12 = 194.4 元

## 5 结论

1) 在西北地区,对 TDS ≤ 5000 以下的苦咸水,可以选择采用纳滤淡化技术。

2) 其产水水质完全可以达到生活饮用水的理化指标。

3) 太阳能淡化机工作时间能够连续达到 4 小时以上,可以满足单个家庭的使用要求。

### 参考文献:

- [1] 许洪华. 中国可再生能源农村电气化[M]. ISES Solar World Congress 2007 (SWC2007) Sept 2007.
- [2] 都志杰. 可再生能源离网独立发电技术及应用[M]. 化学工业出版社, 2009: 61.
- [3] 安兴才, 王文正, 雷进武. 反渗透苦咸水淡化技术在西部地区的应用[R]. 海水淡化与水再利用西湖论坛论文集, 2006.
- [4] 安兴才, 赵虎群, 许亚红. 纳滤膜分离技术在西部苦咸水淡化为饮用水工程中的应用[R]. 中国苦咸水淡化论文集. 2008.