

# 离网型海水淡化装置模块化技术研究

徐英特 刘军梅

华北电力设计院有限公司，北京，100120；

**摘要：**离网型海水淡化装置是一种具有广阔应用前景的水资源利用技术，它利用可再生能源实现海水的淡化处理，为缺水地区提供淡水资源。为探讨离网型海水淡化装置的实际应用效果，本文按照不同用水量的需求，对离网型海水淡化装置系列化、模块化的设计进行研究，为离网型海水淡化装置应用提供借鉴经验。

**关键词：**离网型海水淡化装置；模块化；系列化

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.02.026

## 1 前言

### 1.1 离网型海水淡化装置的概念和特点

离网型海水淡化装置是指远离电网覆盖范围，不依赖传统电网供电，能够独立运行的海水淡化设备。这类装置通常利用可再生能源（如太阳能、风能等）作为动力源，通过特定的技术和工艺将海水转化为淡水。

### 1.2 离网型海水淡化装置的应用场景

中国是一个岛屿众多的国家，国内距陆地较近的海岛或者居住人口较多的海岛，其用电基本在大陆电网覆盖范围之内，距陆地较远居住人口较少的岛屿或者远离大陆架的海上孤岛没有电网支撑。

离网型海水淡化装置适用于远离大陆架的海上孤岛，还可以为电力供应不便的偏远地区、有应急供水需求的地区、远洋船舶用淡水、海上作业平台等场景进行供水。

## 2 离网型海水淡化技术的选择

海水淡化技术包括反渗透（RO）、多级闪蒸（MSF）、多效蒸馏（MED）等多种技术方案。

多级闪蒸、多效蒸馏技术主要利用热能，适用于有热源的应用场景。

反渗透技术启动时间短、设备投资低、运行能耗低，可变工况运行，因此离网型海水淡化装置宜选择反渗透技术作为研究方向。

离网型海水淡化装置可以选用风能、光伏，结合储能的方式供电，通过对风能、光伏、储能供电方式的研究，实现风能、光伏设备与海水淡化设备的最佳匹配和

高效运行。

## 3 离网型海水淡化装置规模的确定

离网型海水淡化系统远离电网覆盖范围，依靠风能、光伏、储能进行供电，因此规模不宜过大。并且根据统计，国内没有电网支撑的海岛居民人数从几十人到几千人不等，因此，离网型海水淡化装置规模按照满足100人~3000人的用水要求进行设计。

离网型海水淡化系统系列化设计装置规模将根据岛屿人口数量，并依据《室外给水设计规范》GB 50013-2019规定的一区、中小城市综合生活用水定额的上限值（240L/（人·d））确定。不同人口数量的淡水需求和对应的海水淡化装置产水量见表1。

表1 不同人口数量的淡水需求

人口数量 (人)	淡水日需求量 (m <sup>3</sup> /d)	平均到24h 淡水需求 量(m <sup>3</sup> /h)	平均到8h 淡水需求 量(m <sup>3</sup> /h)	每天运行 8h, 产水量 (m <sup>3</sup> /h)
100	24	1.00	3.00	5
200	48	2.00	6.00	
300	72	3.00	9.00	10
400	96	4.00	12.00	
500	120	5.00	15.00	
600	144	6.00	18.00	20
700	168	7.00	21.00	
800	192	8.00	24.00	
900	216	9.00	27.00	
1000	240	10.00	30.00	
1500	360	15.00	45.00	50

人口数 量 (人)	淡水日需 求量 (m <sup>3</sup> /d)	平均到 24h 淡水需求 量 (m <sup>3</sup> /h)	平均到 8h 淡水需求 量 (m <sup>3</sup> /h)	每天运行 8h, 产水量 (m <sup>3</sup> /h)
2000	480	20.00	60.00	
2500	600	25.00	75.00	
3000	720	30.00	90.00	100

从表1可以看出,100人至3000人的综合用水指标,平均到24小时为1m<sup>3</sup>/h~30m<sup>3</sup>/h,平均到8小时为3m<sup>3</sup>/h~90m<sup>3</sup>/h。因此,离网型海水淡化装置按单套出力5m<sup>3</sup>/h、10m<sup>3</sup>/h、20m<sup>3</sup>/h、50m<sup>3</sup>/h、100m<sup>3</sup>/h进行模块化系列设计。对于具体工程,应结合用水需求,以及电源情况确定。

各系列离网型海水淡化装置对应的适应人数见表2,可根据居民人数选择不同系列的离网型海水淡化装置。

表2 各系列离网型海水淡化装置适用居民人数范围

序号	离网型海水淡化装置设备出力(m <sup>3</sup> /d)	居民人数最小值(人)	居民人数最大值(人)
1	5	1	100
2	10	101	300
3	20	301	600
4	50	601	1500
5	100	1501	3000

## 4 离网型海水淡化装置模块化设计

### 4.1 模块化设计原则及设计条件

对于离网型电海水淡化装置,从以下两个方面考虑:

(1) 提高供电系统的稳定性,配置储能。

(2) 优化海水淡化系统设计,降低对电源的需求,提高系统用电设备对不稳定电源的适应性。

离网型海水淡化装置侧重模块化和系列化,对于取水方式、取水设施及管道、输送至居民用水点的管道、用水点的储水设施仅兼顾考虑其可能性,为之提供便利条件。

### 4.2 离网型海水淡化装置工艺流程

反渗透海水淡化技术属于技术成熟、应用较多的处理工艺,离网型海水淡化装置的工艺流程如下:

海水取水泵→海水箱→海水升压泵(变频)→浅层砂滤器→保安过滤器→高压泵(变频)→反渗透

装置(配套能量回收装置、高压增压泵)→淡水箱→淡水输送泵→用户

辅助设施配有加药装置,运行加药点的设置如下:过滤器前加絮凝剂;反渗透保安过滤器前加阻垢剂;反渗透产水管道加入杀菌剂、矿化物质。同时配套清洗\冲洗水箱、清洗\冲洗水泵。

离网型海水淡化系统主要包括“预处理、膜分离技术、后处理、储存及化学清洗”等几个功能区域。

离网型海水淡化系统各功能区域的作用如下:

(1) 预处理:去除海水中的悬浮物、沉积物、大颗粒物等杂质,以防止后续反渗透膜处理设备的堵塞和污染。根据离网型海水淡化装置简便的特点,选用双介质过滤器或浅层过滤器作为预处理,不设置专用的反洗水泵。过滤器前加絮凝剂;反渗透保安过滤器前加阻垢剂;

海水经预处理后,进入反渗透海水淡化的海水水质指标如下:

pH: 2~11;

污染指数(SDI): <5;

游离氯: <0.1mg/L;

Fe: <0.1mg/L;

COD(Mn): <1.0mg/L。

(2) 膜分离技术:经过预处理的海水进入反渗透膜分离系统,这是海水淡化的核心步骤。反渗透技术通过压力使海水通过半透膜,允许水分子通过而阻止盐分和其他杂质通过,从而实现盐水和淡水的分离。反渗透装置需配套设置保安过滤器、高压泵、能量回收装置、高压增压泵等设备。

(3) 后处理及储存:反渗透膜分离后得到的淡水可能含有微量的盐分和其他杂质,因此需要进行后处理以提高水质。后处理步骤包括消毒(使用氯或其他消毒剂杀菌)以及水质调整(如加入矿物质或调节pH值以满足特定用水要求)。

(4) 化学清洗:海水中含杂质和盐分,会造成反渗透膜会生污垢、结垢,因此需要在运行期间加入絮凝剂、阻垢剂,并且在运行一定时间后对反渗透膜进行化学清洗,因此设置了化学清洗箱、化学清洗泵。

### 4.3 海水淡化工艺关键设备选型

离网型海水淡化系统模块化设计的核心即是通过优化主要用电设备的选型和配置,提高海水淡化系统对不稳定电源的适应性。而反渗透海水淡化系统的主要能耗在反渗透本体(包括高压泵、升压泵、能量回收装置和反渗透膜组)。

(1) 高压泵:目前海水反渗透处理系统使用的高压泵主要有两种形式:往复式容积泵和叶片式离心泵。这两种型式的泵技术都很成熟,已在反渗透海水淡化系统中广泛应用。

(2) 能量回收装置:应用于海水淡化膜的能量回收装置总体上分为两类,即水力透平式和正位移式(或功交换式)。两种能量回收装置的系统连接示意图1、图2。

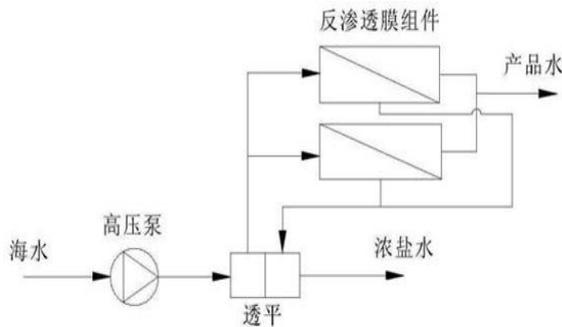


图1 透平式能量回收装置连接示意

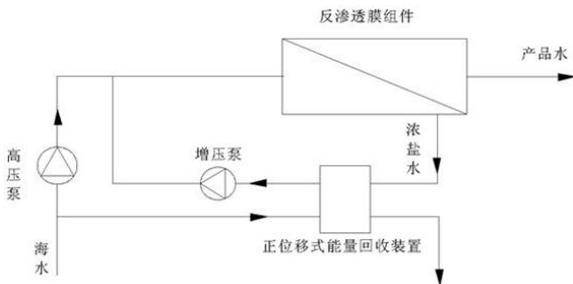


图2 正位移式能量回收装置连接示意

透平式能量回收装置的能量回收效率为35%~70%,其原理是利用浓盐水驱动涡轮转动,通过轴与泵和电机相连,将能量输送至进料原海水,过程需要经过“水压能-机械能-水压能”两步转换,故能量损失大,效率低。透平式能量回收装置可使电机、泵、高压设备和电气分配设备投资减少30%~50%,节省占地,压力从6.2MPa~8.3MPa可调。低回收率时制水能耗高,水回收率提高,系统能耗明显降低。因此,透平式能量回收装置适合在高回收率下运行。

#### 4.4 离网型海水淡化装置的设备配置

离网型海水淡化装置按模块化、系列化进行设计,各系列的设备出力分别为5 m<sup>3</sup>/h、10m<sup>3</sup>/h、20m<sup>3</sup>/h、50m<sup>3</sup>/h、100m<sup>3</sup>/h。

为提高整套系统对不稳定电源的适配性,同时结合投资最优化,每个系列海水反渗透(SWRO)设备出力按照两个方案进行对比分析,各系列两个方案海水反渗透(SWRO)出力配置见下表3:

表3 离网型海水淡化装置各系列的两个方案

序号	离网型海水淡化装置设备出力 (m <sup>3</sup> /d)	方案一 1x100%	方案二 2x50%
1	5	1x5 m <sup>3</sup> /h	2x2.5m <sup>3</sup> /h
2	10	1x 10m <sup>3</sup> /h	2x5m <sup>3</sup> /h
3	20	1x 20m <sup>3</sup> /h	2x10m <sup>3</sup> /h
4	50	1x 50m <sup>3</sup> /h	2x25m <sup>3</sup> /h
5	100	1x 100m <sup>3</sup> /h	2x50m <sup>3</sup> /h

方案一:海水反渗透膜的设备出力按1x100%配置;膜元件分为一个整体单元,母管制连接,母管制运行。高压泵、能量回收装置、增压泵根据设备出力、设备型号、与储能模块匹配情况进行设置。

方案二:海水反渗透膜的设备出力按2x50%配置;膜元件分为两个单元,两个单元可以单独运行,母管制连接。高压泵、能量回收装置、增压泵根据设备出力、设备型号、与储能模块匹配情况进行设置。

离网型海水淡化装置的设备配置还需考虑以下几点:

(1) 为了应对供电电源的不稳定性,离网型海水淡化装置中高压泵采用变频调节,以便根据供电负荷调节流量。

(2) 海水反渗透膜元件选用SW30HRLE-400,根据《发电厂海水淡化工程设计规范》NB/T 10979-2022,膜通量控制在12L(m<sup>2</sup>h)~17L(m<sup>2</sup>h),采用反渗透计算软件计算可以确定膜元件数量、压力容器的排列。

(3) 离网型海水淡化装置各系列设备出力的不同,配套设备的参数不同。每个系列的两个方案中海水取水泵、海水箱、海水升压泵、过滤器等设备配置相同,只有高压泵、反渗透、能量回收装置、增压泵不同,分为一个单元或两个单元配置。

结合风能、光伏和储能设备的匹配情况，对高压泵、反渗透装置、能量回收装置、增压泵的配置情况进行数据对比，对比得出如下结论：

(1) 5m<sup>3</sup>/h、10m<sup>3</sup>/h 这两个系列设备出力较小，能量回收装置、增压泵设备出力按 1x100%配置和 2x50%配置的经济性差别不大，推荐能量回收装置、增压泵设备出力按 1x100%配置。

(2) 出力较大离网型海水淡化装置，比如 20m<sup>3</sup>/h、50m<sup>3</sup>/h、100m<sup>3</sup>/h 系列，高压泵、反渗透装置、能量回收装置、增压泵设备出力按 2x50%配置的情况下，海水反渗透系列运行灵活，风能、光伏板和储能的一次性投资最低，经济性较好。推荐能量回收装置、增压泵设备出力按 2x50%配置。

#### 4.5 设备布置情况

各系列离网型海水淡化装置的设备按照模块化、集约化布置，工艺设备、控制柜、动力柜布置在首层，太阳能光伏板、储能装置布置在二层。

各系列装置的布置及占地情况见表 4。

表 4 各系列海水淡化装置布置及占地情况

序号	设备出力 (m <sup>3</sup> /d)	面积 (m <sup>2</sup> )
1	5	~27.96
2	10	~48.15
3	20	~80.30
4	50	175.57
5	100	274

从表 4 看 5m<sup>3</sup>/h、10m<sup>3</sup>/h、20m<sup>3</sup>/h、50m<sup>3</sup>/h 这四个系列的离网型海水淡化装置可集约化布置在一个或几个集装箱内，但是 100m<sup>3</sup>/h 系列的设备单体占地和总体占地均较大，建议布置在简易厂房内。

#### 4.6 能量消耗情况

根据经验，对于大型海水淡化装置，采用能量回收

装置后，海水淡化水的吨水电耗约为 4.5kWh，海水反渗透本体范围内的吨水电耗约为 3kWh，占制水总能耗的 2/3 左右。

对于离网型海水淡化装置各系列的用电设备，总电气负荷和吨水小时电耗见表 5：

表 5 各系列用电设备的总电气负荷和吨水小时电耗

序号	离网型海水淡化装置设备出力 (m <sup>3</sup> /h)	用电设备的总电气负荷 kW	吨水小时电耗 kW
1	5	32.59	6.52
2	10	51.59	5.16
3	20	90.66	4.53
4	50	223.74	4.47
5	100	447.10	4.47

从表 5 看，100m<sup>3</sup>/h、50m<sup>3</sup>/h 和 20m<sup>3</sup>/h 这三个系列的吨水小时电耗与经验数据基本相当；10m<sup>3</sup>/h 和 5m<sup>3</sup>/h 这两个系列出力较小，海水淡化装置吨水电耗较高。

#### 5 结语

综上所述，离线型海水淡化装置具有独立性强、灵活性高、水质优良和技术成熟的特点，但受风力、光照、水源等自然条件的影响较大。在实际应用中，可结合应用场景的自然环境条件，根据具体需求和条件进行选择。

#### 参考文献

- [1] 全国海水资源综合调查报告，海洋出版社，1996，P7
- [2] 工业泵选用手册（第二版），化学工业出版社，2010.09

作者简介：徐英特（1973-），女，大学本科，高级工程师，主要从事电力行业水处理、海水淡化设计工作。