

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.24.024

海岛反渗透海水淡化透平式能量回收技术工程应用

李东洋¹, 汪程鹏¹, 王生辉¹, 杨志宏¹, 宋代旺¹, 刘思晗¹, 刘军²

(1. 自然资源部 天津海水淡化与综合利用研究所, 天津 300192; 2. 山东双轮股份有限公司, 山东 威海 264203)

摘要: 海岛海水淡化工程建设是保障我国离岸海岛军民用水安全的重要措施。西沙某岛 1 000 m³/d 海水淡化厂, 采用配置透平式能量回收装置的双膜法一级反渗透处理工艺, 介绍了海水淡化工程概况和一级反渗透系统工艺方案。系统运行表明, 在一级反渗透系统回收率 40% 的条件下, 能量回收装置效率可达 62% 以上, 节能效果显著, 产水能耗为 3.34 kW·h/m³。

关键词: 反渗透; 海水淡化; 透平; 能量回收

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)24-0130-05

Application of Turbine Energy Recovery Technology in an Island Reverse Osmosis Desalination Project

LI Dong-yang¹, WANG Cheng-peng¹, WANG Sheng-hui¹, YANG Zhi-hong¹,
SONG Dai-wang¹, LIU Si-han¹, LIU Jun²

(1. The Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, MNR <Tianjin>, Tianjin 300192, China; 2. Shandong Shuanglun Co. Ltd., Weihai 264203, China)

Abstract: The construction of an island desalination project is an important measure to ensure the water safety of the military and civilian in offshore islands. The double membrane reverse osmosis (RO) technology with turbine energy recovery device was used in the 1 000 m³/d seawater desalination plant in an island of Paracel Islands. The project situation and process scheme of primary RO desalination system are introduced. The operation results showed that the efficiency of energy recovery device was up to 62% under the condition of 40% recovery rate in the primary RO system. The effect of energy saving is remarkable and the energy consumption of unit water production is 3.34 kW·h/m³.

Key words: reverse osmosis; desalination; turbine; energy recovery

海岛作为海洋经济的重要载体,在资源开发、旅游开发、生态保护、国防建设等方面具有重要的战略意义,但是海岛通常远离大陆,水资源稀缺,调蓄水十分困难^[1]。海水淡化作为非常规水资源的增量

技术,能够解决沿海地区及海岛用水短缺的问题^[2]。推进海岛海水淡化工程建设,是保障我国离岸海岛军民用水安全的重要措施^[3]。能量回收技术能够回收反渗透膜海水淡化排出的浓盐水余压,

基金项目: 山东省重点研发计划课题(2019TSLH0304); 国家重点研发计划项目(2019YFC0408400); 天津市重点研发计划科技支撑重点项目(18YFZCSF00310); 天津市科技计划项目(18ZXSZSF00190); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K-JBYWF-2017-T16、K-JBYWF-2019-ZD01)

通信作者: 汪程鹏 E-mail: cpwang2003@foxmail.com

膜压力 4.9 MPa,浓水压力 4.8 MPa,透平式能量回收装置设计效率 62%,高压泵扬程 3.1 MPa。海水经高压泵加压后进入能量回收泵侧进一步加压,加压后的海水进入反渗透膜组脱盐,产出的淡水进入一级反渗透产水池,浓水进入能量回收涡轮侧,通过压力能-机械能-压力能的转化途径对进入泵侧原水进行加压,从而实现能量的回收利用^[9]。

1.2.2 设备选型

高压泵及透平式能量回收装置设备选型如表 1、2 所示。高压泵和能量回收装置采用一体化简化

结构设计,减少系统阀门数量;电机、高压泵和透平式能量回收装置共用底座并附有配套地脚螺栓固定。高压泵和透平式能量回收装置连接管采用双相钢 2 205 高压(8.27 MPa)拷贝林连接,只需连接低压原水进口、高压原水出口、高压浓水进口和低压浓水排放口即可快速投入使用。高压泵采用多级离心泵,高压泵及能量回收装置的主体均采用双相钢 2 205,轴承材质 PEEK,整装机封 John Crane-API682 USA,高压管路采用钛材 TA2,低压管路采用 UPVC 材质。

表 1 高压泵主要参数配置

Tab.1 Configuration of the main parameters of the high-pressure pump

技术参数	额定流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	额定扬程/MPa	额定转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	效率/ %	入口压力/MPa	出口压力/MPa	轴功率/ kW	电机功率/kW
设计值	55	3.1	2 980	74.2	0.1	3.2	65	75

表 2 透平能量回收主要参数配置

Tab.2 Configuration of the main parameters of turbine energy recovery

技术参数	泵侧			透平侧			设计效率/%	原水额定增压/MPa
	额定流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	进口压力/MPa	出口压力/MPa	额定流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	进口压力/MPa	出口压力/MPa		
设计值	55	3.2	4.9	32.4	4.8	0.1	62	1.7

1.2.3 仪表配置

系统在高压泵出口、能量回收高压出口设置压力传感器,压力信号可传至上位机,操作人员可远程监控高压泵及能量回收运行状态,压力异常时发出警报并连锁高压泵停机。压力传感器接触海水的材质选用哈氏合金,可有效应对海水腐蚀,提高使用寿命。进水及浓水排放设置电磁流量计,流量远传至上位机,远程监控流量的变化,结合各工况点的压力,判断系统的运行状态是否良好。

1.2.4 操作规程

① 高压动力中心启动。检查手动阀门,确保 HV01~HV04 处于开启状态,HV05~HV06 处于关闭状态。启动前序系统,当 PI01 的示数 >0.15 MPa 时,变频启动高压泵,同时打开膜组顶部的排气阀 CV01,当有水流稳定流出后,关闭排气阀 CV01。缓慢提升高压泵频率至设定值,同时微调能量回收装置内部的旁通阀和 HV04 背压阀,使 FT01 的流量示数稳定在 $55 \text{ m}^3/\text{h}$,FT02 的示数稳定在 $32.4 \text{ m}^3/\text{h}$,PI05 示数 >0.1 MPa,PT02 的示数稳定在 4.9 MPa,动力中心启动完毕。

② 高压动力中心关闭。缓慢降低高压泵运行频率,原海水对膜壳内及涡轮侧浓水进行置换,当

PT02 <2 MPa 时,打开排气阀 CV01,系统泄压至常压后,停止高压泵,并停止前序系统,动力中心关闭完毕。

③ 高压动力中心停运保护。当系统停机 3 d 以上时,需要打开阀门 HV08,关闭保安过滤器出水阀门,利用清洗系统对高压泵、膜组和能量回收进行淡水置换,防止动力中心再启动时因晶体析出对设备造成不可修复的破坏。

④ 系统高低压保护。为防止压力超范围运行对高压动力中心及膜元件造成破坏,系统设置了低压保护开关 PSL01 及高压压力传感器 PT02,并通过电信号与高压泵进行连锁,当高压泵进水压力 <0.1 MPa 或反渗透进膜压力 >6.0 MPa 时,系统将自动停止高压泵。

2 运行与评价

一级反渗透海水淡化系统运行 120 d,随机选取 5 组检测数据,具体如表 3 所示。检测结果计算如下:电机频率为 48.5 Hz 即可满足工况需要,转速为 2 910 r/min 左右,电流为 111.50~111.81 A,转矩为 79.2% 左右,脱盐率为 99.2%,产水量为 $20.9 \text{ m}^3/\text{h}$,水回收率为 40.5%,产水能耗为 $3.34 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,压降为 0.1 MPa。采用专业分贝

仪进行现场降噪测试,整套反渗透系统噪声范围为 80 ~ 88 dB,高压泵及能量回收装置振动范围在 0.7 ~ 1.5 mm/s,上述技术指标均符合《海水淡化反渗透

膜装置测试评价方法》(GB/T 32359—2015)和《反渗透能量回收装置通用技术规范》(GB/T 30299—2013)^[10]的要求。

表 3 一级反渗透系统数据记录

Tab. 3 Primary reverse osmosis system data records

高压泵			能量回收装置				产水	
进水流量/ (m ³ · h ⁻¹)	入口压力/ MPa	出口压力/ MPa	泵侧出口 压力/MPa	透平侧 入口压力/ MPa	透平侧 出口压力/ MPa	透平侧出 口流量/ (m ³ · h ⁻¹)	流量/ (m ³ · h ⁻¹)	电导率/ (μS · cm ⁻¹)
55.80	0.24	3.50	4.90	5.00	0.04	32.00	21.00	612.50
56.90	0.24	3.50	4.90	5.00	0.04	31.90	21.10	597.80
57.20	0.23	3.50	4.90	5.00	0.03	31.80	21.20	598.40
59.60	0.23	3.50	4.90	5.00	0.04	31.80	21.10	598.00
56.90	0.23	3.50	4.90	5.00	0.04	31.90	21.10	597.90

3 结论

作为西沙某岛淡水供应系统的一个重要组成部分,1 000 m³/d 海水淡化工程的顺利实施,有效缓解了岛上军民淡水供应压力。同时,透平式能量回收装置在反渗透海水淡化的成功实施,有效降低了海水淡化的运行能耗和运营成本。该工艺设计方案对海岛海水淡化工程应用及运营具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 宋代旺,刘玮,邱冠华,等. 中国海岛水资源和海水淡化技术[J]. 海洋开发与管理,2016,33(增刊):28 - 33.
Song Daiwang, Liu Wei, Qiu Guanhua, *et al.* Island water resource and seawater desalination of China[J]. Ocean Development and Management, 2016, 33 (S): 28 - 33 (in Chinese).
[2] 苏立永,潘献辉,葛云红,等. 大型反渗透海水淡化工程能耗降低方法探讨[J]. 工业水处理,2008,28(3): 81 - 83.
Su Liyong, Pan Xianhui, Ge Yunhong, *et al.* Discussion on the way of decreasing the energy consumption of large SWRO desalination [J]. Industrial Water Treatment, 2008, 28(3): 81 - 83 (in Chinese).
[3] 汪程鹏,管洪,王生辉,等. 基于国内专利分析的能量回收透平装置研发进展[J]. 中国发明与专利,2020, 17(7):49 - 55.
Wang Chengpeng, Guan Hong, Wang Shenghui, *et al.* Research and development of energy recovery turbine based on domestic patent analysis[J]. China Invention

& Patent, 2020, 17(7): 49 - 55 (in Chinese).
[4] 潘献辉,王生辉,杨守志,等. 反渗透海水淡化能量回收技术的发展及应用[J]. 中国给水排水,2010,26 (16):16 - 19.
Pan Xianhui, Wang Shenghui, Yang Shouzhi, *et al.* Development and use of energy recovery technology in RO seawater desalination [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(16): 16 - 19 (in Chinese).
[5] 杨树军,周冲,晏鹏. 海水淡化在海岛应用的工程案例[J]. 中国给水排水,2018,34(6):89 - 92.
Yang Shujun, Zhou Chong, Yan Peng. Case study on desalination application in an island[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6): 89 - 92 (in Chinese).
[6] 陆彬,杨志峰,沈小红,等. 两级膜法海淡系统的能耗及回收率模拟研究[J]. 中国给水排水,2017, 33 (21):72 - 78.
Lu Bin, Yang Zhifeng, Shen Xiaohong, *et al.* Investigation of optimization strategies on energy consumption reduction and water recovery enhancement in design of a two-phases SWRO desalination system [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(21): 72 - 78 (in Chinese).
[7] 李宏秀,范晓鹏,潘旗. 海水反渗透系统的设计要点[J]. 工业水处理,2009,29(8):98 - 100.
Li Hongxiu, Fan Xiaopeng, Pan Qi. Design essentials of the seawater reverse osmosis (SWRO) system [J]. Industrial Water Treatment, 2009, 29(8): 98 - 100 (in Chinese).
[8] 邵天宝,刘筱昱,李露,等. 小型海岛反渗透海水淡化设计要点[J]. 水处理技术,2015,41(10):134 - 136.
Shao Tianbao, Liu Xiaoyu, Li Lu, *et al.* The reverse (下转第 139 页)