

不可逆反渗透分离过程的性能分析

舒礼伟, 陈林根, 孙丰瑞

(海军工程大学 研究生院, 湖北武汉 430033)

摘要: 在内可逆反渗透过程模型的基础上, 进一步考虑了反渗透模块的摩擦损失(压力降)、水泵和水轮机的流动阻力和效率对反渗透分离过程性能的影响, 建立了不可逆反渗透分离过程模型, 应用有限时间热力学理论和流体流动做功装置原理对其进行研究。结果表明, 增大纯水回收率或水泵效率可提高系统的热效率, 增大进料压力或水轮机效率可提高纯净水的流量, 而反渗透模块的摩擦损失对系统性能的影响较小。同时, 也证明了反渗透分离过程消耗的功率存在最大值, 即机械能转化为化学能的转化率有最大值。

关键词: 反渗透过程; 不可逆; 效率; 分离功率; 摩擦损失率; 有限时间热力学

中图分类号: O351 文献标识码: A

引 言

反渗透过程是通过半透膜进行传质的^[1], 平衡态热力学不能对其进行全面的热力学分析, 因此需要采用新理论对其进行研究。近年来, 有限时间热力学得到了快速发展^[2~4], 为研究分离过程提供了强有力的热力学工具。Demirel总结了减小分离系统的能耗、热力学耗损和生态学耗损的常规方法和热力学方法^[5]。文献[6]从优化方法、优化目标和优化结果等几个方面重点介绍了蒸馏与分离过程理论循环和工程循环、化学反应器的有限时间热力学性能优化问题。文献[7]得到了序接换热器热导率的最优分配和非绝热蒸馏塔的最优性能。Sorin等人研究了半透膜混合过程的最大功率问题, 并得到了分离过程消耗的最大功率及相应的效率^[8~9]。Sorin等人首次将有限时间热力学理论应用于反渗透分离过程, 在忽略反渗透模块的摩擦损失(压力降)的情况下, 建立了内可逆反渗透分离过程模型^[10]。该模型由一台理想水泵、一台理想水轮机和—个反渗透模块组成。应用—台理想水泵加压把进

料分离成为两股流体, 其中—股流体是浓缩水, 另—股流体是纯净水。浓缩水的机械能全部被—台理想水轮机回收。本研究在 Sorin等人建立的内可逆反渗透过程模型的基础上, 进一步考虑反渗透模块的摩擦损失(压力降)、水泵和水轮机的流动阻力和效率对系统性能的影响, 分别应用不可逆水泵和不可逆水轮机代替文献[10]中的理想水泵和理想水轮机, 建立不可逆反渗透分离过程模型, 应用有限时间热力学理论对其进行分析。

1 不可逆反渗透过程分析

1.1 模型描述

不可逆反渗透系统的基本组成为—台不可逆水泵、—个反渗透模块和—台不可逆水轮机, 如图 1 所示。计入反渗透模块的摩擦损失(压力降) ΔR_M 、水泵和水轮机的流动阻力和效率对不可逆反渗透过程性能的影响, 其它假设条件与内可逆模型的假设条件相同^[10]。系统应用不可逆水泵加压把流量为 Q_M 、压力为 P_0 和浓度为 C_M 的进料分离成为两股流体, 其中—股流体是流量为 Q_{RM} 、压力为 P_{RM} 和浓度为 C_{RM} 的浓缩水, 另—股流体是流量为 Q_{PM} 、压力和浓度分别为 P_{PM} 和 C_{PM} 的纯净水。应用—台不可逆水轮机回收浓缩水的机械能。不可逆水泵的效率为 η_{P_M} 其进、出口的流动阻力为 ΔP_1 和 ΔP_2 消耗的功率为 W_{TOT_RR} ; 反渗透模块的摩擦损失(压力降) $\Delta R_M > 0$ 分离功率为 W_{SEP_RR} ; 不可逆水轮机的效率为 η_{H_R} 其进、出口的流动阻力为 ΔP_3 和 ΔP_4 , 水轮机回收的功率为 W_{REC_RR} 。不可逆反渗透系统的流量平衡方程为:

$$Q_M = Q_{PM} + Q_{RM} \quad (1)$$

收稿日期: 2009-01-05 修订日期: 2009-07-15

基金项目: 教育部新世纪优秀人才基金资助项目(NCET04-1006); 全国优秀博士学位论文作者专项基金资助项目(200136)

作者简介: 舒礼伟(1978-), 男, 河南信阳人, 海军工程大学博士研究生, 现工作海军驻中国船舶重工集团公司第七一九研究所军事代表室。

式中: Q_{FM} 、 Q_{PM} 和 Q_{RM} —不可逆反渗透分离系统的进料流量、纯净水流量和浓缩水流量, m^3/s

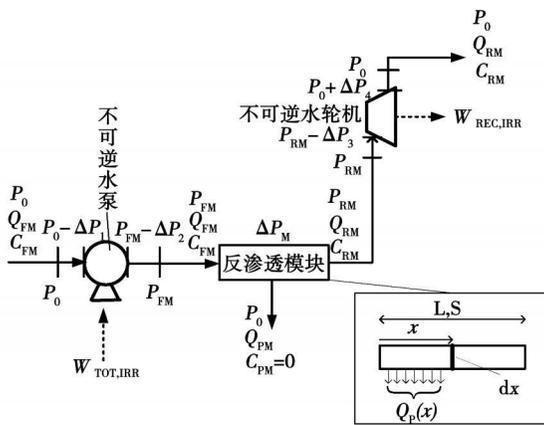


图 1 不可逆反渗透分离过程

系统的纯水回收率为 r , 定义为:

$$r = Q_{PM} / Q_{FM} = 1 - C_{RM} / C_{FM} = 1 - \pi_{RM} / \pi_{FM} \quad (2)$$

式中: C_{FM} 和 C_{RM} —系统进料和浓缩水的含盐量; π_{FM} 和 π_{RM} —系统进料和浓缩水的渗透压力, Pa

反渗透模块的压力平衡和浓度平衡为:

$$P_{FM} = P_{RM} + \Delta P_M, \quad C_{RM} = C_{FM} + \Delta C, \quad \pi_{RM} = \pi_{FM} + \Delta \pi$$

式中: P_{FM} —系统的进料压力, Pa ; ΔP_M —反渗透模块的摩擦损失 (压力降), Pa ; ΔC —系统的浓缩水与进料的浓度差, g/l ; $\Delta \pi$ —浓缩水与进料的浓度差导致的渗透压差, Pa

1.2 分离功率

分离纯净水 Q_{PM} 所需的功率为 $W_{SEP,RR} = Q_{PM} \pi_{AVQ}$ 其中, π_{AVQ} 是系统内纯净水的平均渗透压力, $\pi_{AVQ} = (1/Q_{PM}) \int_0^{Q_{FM}} \pi_R dQ$ 根据 Van tHoff定律, 溶液的渗透压力与溶液中盐的浓度 C 有关: $\pi = CRT/M$ 其中 C 是每个盐分子所含离子的数量; R 是普适气体常数, $J/(mol \cdot K)$; T 是绝对温度, K ; M 是盐的摩尔质量, g/mol 忽略因盐的浓度变化引起的溶液密度的变化。分离过程中溶质的质量平衡式为^[11]:

$$Q_{FM} = C_{FM} = (Q_{FM} - Q_p) C_{RM} \quad (3)$$

式中: Q_{FM} —系统的进料流量, m^3/s ; C_{FM} —进料中盐的浓度, g/m^3 ; Q_p —单位纯净水流量, m^3/s ; C_{RM} —单位浓缩水中盐的浓度, g/m^3 。根据溶质的质量平衡, 可把单位纯净水流量 Q_p 表示为渗透压力的函数:

$$Q_p = (1 - \pi_{FM} / \pi_R) Q_{FM} \quad (4)$$

式中: π_{FM} —系统进料的渗透压力, Pa ; π_R —单位浓缩水的渗透压力, Pa 。故有:

$$\pi_{AVQ} = \pi_{RM} \pi_{FM} \ln(\pi_{RM} / \pi_{FM}) / (\pi_{RM} - \pi_{FM}) \quad (5)$$

可得分离所需的功率为:

$$W_{SEP,RR} = Q_{FM} \pi_{RM} \pi_{FM} \ln(\pi_{RM} / \pi_{FM}) / (\pi_{RM} - \pi_{FM}) = Q_{FM} \pi_{FM} \ln[1 / (1 - r)] / r \quad (6)$$

反渗透模块的膜元件表面积为 S 长度为 L 。纯净水渗透系数为 A 。在距离膜元件进料口 x 处, 纯净水的流率 $J_p(x)$ 为:

$$J_p(x) = A (P_{FM} - \pi_R(x)) \quad (7)$$

式中: $\pi_R(x)$ —距离膜元件进料口 x 处的渗透压力, Pa 。因此, 总的纯净水流量是:

$$Q_{PM} = (S/L) \int_0^L J_p(x) dx = AS (P_{FM} - \pi_{AVQ}) \quad (8)$$

式中: $\pi_{AVQ} = (1/L) \int_0^L \pi_{AVQ} dx$ 是沿膜元件长度方向的平均渗透压力, Pa 。故有:

$$Q_{PM} = AS (P_{FM} - \pi_{AVQ}) \quad (9)$$

1.3 水泵消耗的功率

设不可逆水泵的效率为 η_{pu} , 则系统的总能耗, 即水泵消耗的功率为 $W_{TOT,RR}$:

$$W_{TOT,RR} = \{ [(P_{FM} + \Delta P_2) - (P_0 - \Delta P_1)] Q_{FM} \} / \eta_{pu} \quad (10)$$

根据流体流动做功装置原理^[12-14], 设不可逆水泵进口和出口的流动阻力与流体流动的关系服从 $\Delta P_1 = r'_1 Q_{FM}^n$, $\Delta P_2 = r'_2 Q_{FM}^n$ 非线性关系式, 其中, $1 \leq n \leq 2$, r'_1 和 r'_2 取决于水泵进出口流道的几何形状和流体性质的常数^[12-14]。故有:

$$W_{TOT,RR} = \{ [(P_{FM} - P_0) + (r'_1 + r'_2) Q_{FM}^n] Q_{FM} \} / \eta_{pu} \quad (11)$$

联立式(2)和式(11)可得:

$$W_{TOT,RR} = (1/\eta_{pu}) [(P_{FM} - P_0) Q_{FM} / r + (r'_1 + r'_2) (Q_{FM} / r)^{n+1}] \quad (12)$$

由式(12)可见, 当流阻系数 r'_1 和 r'_2 给定时, 水泵消耗的功率 $W_{TOT,RR}$ 随压差 $(P_{FM} - P_0)$ 的增大而增大, 同时随纯水回收率 r 的增大而减小。

1.4 水轮机回收的功率

应用一台效率为 η_{HT} 的不可逆水轮机回收系统中浓缩水流的机械火用, 则系统的回收功率 $W_{REC,IRR}$ 是:

$$W_{REC,IRR} = \eta_{HT} [(P_{RM} - \Delta P_3) - (P_0 + \Delta P_4)] Q_{RM} \quad (13)$$

根据流体流动做功装置原理^[12-14], 设不可逆水轮机进口和出口的流动阻力与流体流动的关系服从

$\Delta P_3 = r'_3 Q_M^n$, $\Delta P_4 = r'_4 Q_M^n$ 非线性关系式, 其中, $1 \leq r'_3 \leq 2$, r'_3 和 r'_4 取决于水轮机进出口流道的几何形状和流体性质的常数^[12~14]。故有:

$$W_{REC, RR} = \eta_{HT} [(P_{FM} - P_0) / (r'_3 + r'_4) Q_M^n] Q_M \quad (14)$$

联立式 (2) 和式 (14), 可得:

$$W_{REC, RR} = \eta_{HT} \{ (P_{FM} - \Delta R_M - P_0) (1 - r) Q_M / r - (r'_3 + r'_4) [(1 - r) Q_M / r]^{n+1} \} \quad (15)$$

由 $\partial W_{REC, RR} / \partial r = 0$ 可得最佳纯水回收率之和相

$$\eta = Q_M \left[\frac{\pi_{FM}}{r} \ln \left(\frac{1}{1-r} \right) \right] \left\{ \frac{1}{\eta_{PL}} [(P_{FM} - P_0) \frac{Q_M}{r} + (r'_1 + r'_2) \left(\frac{Q_M}{r} \right)^{n+1}] - \eta_{HT} \left\{ \frac{(P_{FM} - \Delta R_M - P_0) (1 - r) Q_M}{r} - (r'_3 + r'_4) \left[\frac{(1 - r) Q_M}{r} \right]^{n+1} \right\} \right\} \quad (19)$$

由式 (19) 可见, 反渗透系统的热力学效率不仅与系统的进料压力、进料的渗透压力和纯净水流量有关, 还与反渗透模块的摩擦损失、纯水回收率、水泵和水轮机的流动阻力和效率等参数有关。

2 数值算例与讨论

对具有单个反渗透模块的不可逆反渗透系统的性能进行计算分析。给定 C_{FM} 和 P_{FM} / π_{FM} 的数值, 可得 $W_{SEP, RR}$, Q_M , η 和 r 等参数之间的关系。设 $n = 1.3$, $r'_1 = 1.7684 \times 10^7$ ($i = 1, 2, 3, 4$)。系统的进料浓度为 $C_{FM} = 1.0 \times 10^4 \text{ g/m}^3$ 的 NaCl 溶液, 相应的渗透压力是 $\pi_{FM} = 8.47 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。系统的进料压力 P_{FM} 分别是 25.4×10^5 , 33.9×10^5 和 $42.4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。即 P_{FM} / π_{FM} 的值分别是 3, 4, 5。由于含盐量在 0.5% ~ 1.5% 之间的苦咸水的主要溶质是 NaCl, 因此可把浓度为 $C_{FM} = 1.0 \times 10^4 \text{ g/m}^3$ 的 NaCl 溶液当作具有中等盐度的苦咸水。假设温度为 25 °C, 半透膜的除盐率是 100%。根据文献 [11], 设反渗透模块的摩擦损失 ΔR_M 分别为 0.35×10^4 和 $6.9 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

图 2 是系统进料压力对纯水回收率与纯净水流量之间关系的影响曲线。设反渗透模块的摩擦损失为 $\Delta R_M = 6.9 \times 10^4 \text{ Pa}$, 水泵效率为 $\eta_{pu} = 0.85$, 水轮机效率为 $\eta_{HT} = 0.85$ 。由图可见, 纯净水流量随系统进料压力增大而增大。实际上, 低回收率意味着较低的平均渗透压力 π_{AVQ} , 相应的平均净驱动压力较高而且纯净水流量 Q_M 较大。当 π_{RM} 逼近其最小值时, π_{FM} 和过程的平均净驱动压力 $(P_{FM} - \pi_{AVQ})$ 逼近各自的极大值。另一方面, 当平均净驱动压力

应的水轮机最大回收功率为:

$$r_{pi} = 1 / \{ 1 + \{ (P_{FM} - \Delta R_M - P_0) / [(r'_3 + r'_4) \times (n+1)] \}^{1/n} / Q_M \} \} \quad (16)$$

$$W_{REC, RR}^{max} = \eta_{HT} (P_{FM} - \Delta R_M - P_0)^{(n+1)/n} / [(r'_3 + r'_4)^{1/n} (n+1)^{(n+1)/n}] \quad (17)$$

1.5 过程效率

根据文献 [10], 系统的热力学效率为:

$$\eta = W_{SEP, RR} / (W_{TOT, RR} - W_{REC, RR}) \quad (18)$$

将式 (6)、式 (12) 和式 (15) 代入式 (18) 可得:

$(P_{FM} - \pi_{AVQ}) \rightarrow 0$ 即 $\pi_{RM} \rightarrow P_{FM}$ 时, 系统的纯水回收率逼近其极大值:

$$r_{max} = 1 - \pi_{FM} / P_{FM} \quad (20)$$

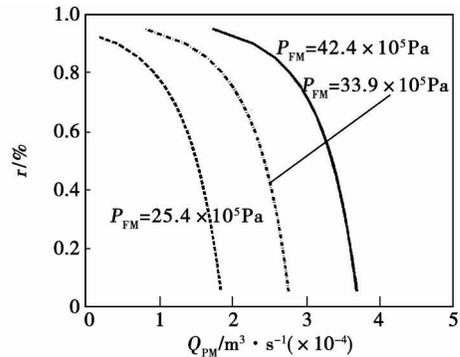


图 2 系统进料压力对纯水回收率与纯净水流量之间关系的影响

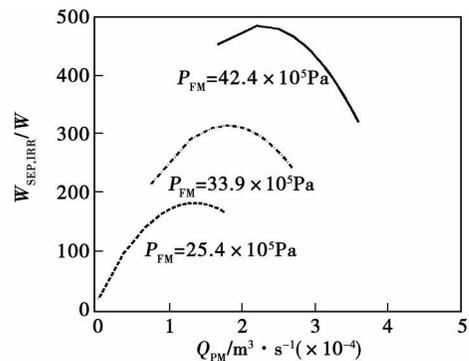


图 3 系统进料压力对分离功率与纯净水流量之间关系的影响

由式 (20) 可见, 过程的纯水回收率界限与文献 [10] 中的纯水回收率界限相等。图 3 为系统进料

压力对分离功率与纯净水流量之间关系的影响曲线。由图可见,系统进料压力的增大导致分离功率增大,相应的纯净水流量也增大,且存在分离功率的最大值。当 Q_M 达到一定值后,系统的机械火用的转化为分离产物的化学火用的转化率存在最大一个最大值。当 W_{SEP_RR} 达到其最大值后,为了获得更大的纯净水流量,必须增大系统的输入功率,但此时系统的机械火用转化为分离产物的化学火用的转化率减小,即系统的经济性降低。从热力学角度看,图 3 反映的

是机械火用向化学火用转化的最大转化率问题。

图 4 为系统进料压力对分离功率与系统热效率之间的关系曲线。由图可见,给定系统热效率时,分离功率随系统进料压力的增大而增大。在给定的条件下,当系统热效率增大时,分离功率也增大,并且当热效率增大到一定值时,分离功率达到其最大值。随后,分离功率 W_{SEP_RR} 随热效率的增大而减小。同时,这表明浓缩水的渗透压力逼近其界限值 P_{FM} , 此时热效率 η 逼近其最大值:

$$\eta_{max} = \frac{[\pi_{FM} / [1 - \pi_{FM} / P_{FM}]] \ln(P_{FM} / \pi_{FM})}{[P_{FM} - P_0 + (r'_1 + r'_2) Q_M] / \eta_{pu} - \eta_{HT} (1 - \eta) [(P_{FM} - \Delta P_M - P_0) - (r'_3 + r'_4) (1 - \eta) Q_M]} \quad (21)$$

由式 (21) 可见,当 $\Delta P_M \rightarrow 0$, $r'_i \rightarrow 0$ ($i=1, 2, 3, 4$), $\eta_{pu} \rightarrow 1$ 和 $\eta_{HT} \rightarrow 1$ 时,不可逆反渗透分离过程的最大热效率 η_{max} 为:

$$\eta_{max} = \frac{\pi_{FM}}{P_{FM} - P_0} \frac{1}{1 - \pi_{FM} / P_{FM}} \ln \left(\frac{P_{FM}}{\pi_{FM}} \right) \quad (22)$$

系统进料压力能增大纯净水流量^[11],最大可增大 $1.80 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ 而不同运行压力下,纯净水流量均随系统热效率的增大而减小。

图 6 为系统进料压力对系统热效率与纯水回收率之间的关系曲线。由图可见,系统的热效率随纯水回收率的增大而增大。给定纯水回收率时,系统热效率随进料压力的增大而减小。

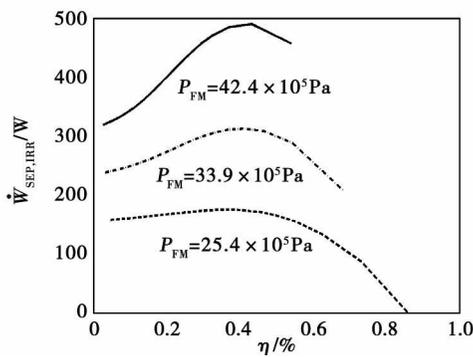


图 4 系统进料压力对分离功率与系统热效率之间关系的影响

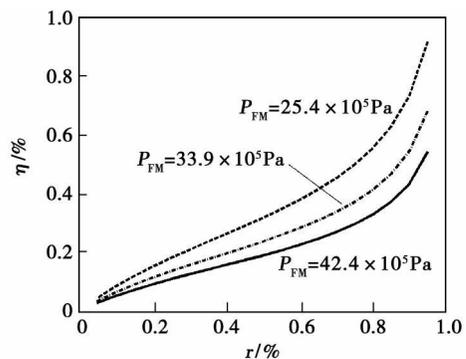


图 6 系统进料压力对系统热效率与纯水回收率之间关系的影响

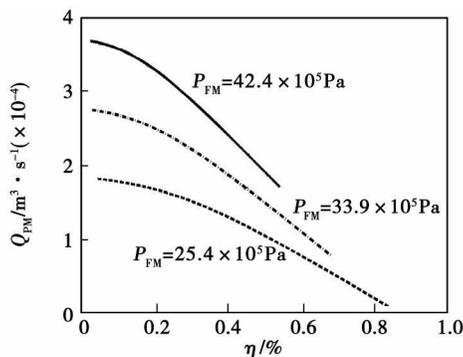


图 5 系统进料压力对纯净水流量与系统热效率之间关系的影响

图 5 为系统进料压力对纯净水流量与系统热效率之间的关系曲线。由图可见,给定系统热效率时,纯净水流量随系统进料压力的增大而增大,即提高

数值计算还表明:反渗透模块摩擦损失取不同值时,分离功率 W_{SEP_RR} 随系统热效率增大的变化趋势是先增大而后减小,且分离功率存在最大值,而纯净水流量随系统热效率的增大而减小;分离功率随系统热效率增大而增大,且存在最大值,当把水泵效率由 0.70 提高为 1.00 时,分离功率的最大值点对应的系统热效率由 35% 提高到 52%,即提高了系统的运行经济性,纯净水流量随系统热效率的增大而减小,随水泵效率的增大而增大;当分离功率给定时,系统热效率随水轮机效率的增大而减小;当给定系统热效率时,纯净水流量随水轮机效率的增大而增大;系统热效率达到一定值时,水轮机效率对纯净水流量的影响逐渐减小。

3 结 论

本研究在 Sorin 等人建立的内可逆反渗透分离模型的基础上, 进一步考虑了反渗透模块的摩擦损失(压力降)、水泵和水轮机的流动阻力和效率对反渗透分离过程性能的影响, 分别应用不可逆水泵和不可逆水轮机代替文献 [10] 中的理想水泵和理想水轮机, 建立了不可逆反渗透分离过程模型, 应用有限时间热力学理论对其进行了分析。结果表明, 增大纯水回收率或水泵效率可提高系统的热效率, 增大进料压力或水轮机效率可提高纯净水的流量, 最大可增大 $1.80 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$; 而反渗透模块的摩擦损失对系统性能的影响很小, 在工程应用中可忽略不计。同时, 结果强调过程的纯净水流量与纯水回收率之间的折衷, 证明了不可逆反渗透分离过程消耗的功率存在最大值, 即机械火用转化为化学火用的转化率有最大值。

参考文献:

- [1] KING J C Separation Processes [M]. New York: McGraw-Hill, 1993
- [2] BEJAN A Entropy generation minimization: The new thermodynamics of finite size devices and finite-time processes [J]. J APPL Phys 1996 79 (3): 1191-1215
- [3] CHEN L, SUN F, WU C Finite time thermodynamics optimization or entropy generation minimization of energy systems [J]. J Non-Equilib Thermodyn 1999 24 (3): 327-359
- [4] 陈林根. 不可逆过程和循环的有限时间热力学分析 [M]. 北

- 京: 高等教育出版社, 2005
- [5] DEMIREL Y Thermodynamic analysis of separation systems [J]. Separation Science and Technology 2004 39 (16): 3897-3942
- [6] SHU L, CHEN L, SUN F et al. Thermodynamic optimization of distillation, separation, drying and reaction processes and devices: The state of the art [J]. Int J Energy Environment and Economics 2006 12 (4): 203-214
- [7] SHU L, CHEN L, SUN F Performance optimization of a diabatic distillation column by allocating sequential heat exchanger inventory [J]. Applied Energy 2007 84 (9): 893-903
- [8] SORN M, RHEAULT F Maximum power from membranemixing processes // In Proceedings of 19th International Conference on Efficiency, Cost Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS2006 [C]. Ashja, Pelagia, Crete Greece 2006 Vol 659-662
- [9] SORN M, RHEAULT F Thermodynamically guided intensification of separation processes [J]. Applied Thermal Engineering 2007 27 (7): 1191-1197
- [10] SORN M, JEDRZEJAK S, BOUCHARD C On maximum power of reverse osmosis separation processes [J]. Desalination 2006 190 (1-3): 212-220
- [11] 冯逸仙, 杨世纯. 反渗透水处理工程 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000
- [12] BEJAN A Maximum power from fluid flow [J]. Int J Heat Mass Transfer 1996 39 (6): 1175-1181
- [13] CHEN L, BI Y, WU C The influence of nonlinear flow resistance relations on the power and efficiency from fluid flow [J]. J Phys D: Appl Phys 1999 32 (12): 1346-1349
- [14] BEJAN A Entropy Generation Minimization [M]. Boca Raton FL: CRC Press 1996

(本文责任编辑 孙显辉)

新技术、新产品

用于培训蒸燃联合装置操作人员的全尺度练习器

据《Теплоэнергетика》2008年10月号报道, 莫斯科某热电站3号动力机组(ПГУ-450)的全尺度练习器于2007年8月投入使用, 它与目前现有练习器不同之处是(除了物理模型外), 其组成中包括实际算法的软件和实用的操作人员接口。

工艺过程模型离散度的小步长(约100 ms)和完成控制算法的离散度的实际步长能保证小惯性过程, 诸如汽轮机和燃气轮机转子转速的调节, 以及给水流量调节等过程模拟高的精确性。

在调整工作前和在其进行时使用练习器的可能性, 允许预先培训操作人员并完成最复杂控制算法的检查和预先的调整。

(吉桂明 摘译)

mal Energy & Power — 2010 25 (1). — 102 ~ 106

By using test and numerical simulation methods studied was the influence of hydrogen content on the diffusion combustion characteristics of a hydrogen/methane mixture fuel. It has been found that under the precondition of keeping the total heating value unchanged, the increase in hydrogen content has not caused a remarkable change in flame length. This is the result of a joint action of the increase of the hydrogen content, which will result in a tendency to shorten the flame and the increase of the fuel flow rate, which will lead to a tendency to lengthen the flame. The highest temperature of all the fuel flames happens in the return flow zone. With an increase of the hydrogen content, the flame in the high temperature zone becomes higher and higher in the axial direction. The flame stability is notably enhanced with an increase of the hydrogen content. The results of the OH concentration distribution measured by PLIF (Planar laser induced fluorescence) show that with an increase of the hydrogen content, the boundary at the root of the flame becomes more and more clear, indicating that the combustion at the root grows in intensity ever strongly. The NO_x emissions concentration assumes an exponent ascending tendency and corresponds with the variation tendency of the flame temperature when the hydrogen content in the fuel is increased. When the hydrogen content of the fuel increases from 0% to 80%, the NO_x concentration relatively increases by 46%. When the hydrogen content increases from 80% to 100%, the NO_x concentration relatively increases by 48%. From such a standpoint, the fuel with a hydrogen content of 80% is perhaps more advantageous than pure hydrogen fuel. Key words: hydrogen; methane; diffusion flame; hydrogen content; combustion characteristics

不可逆反渗透分离过程的性能分析 = Performance Analysis of an Irreversible Reverse Osmosis Separation Process [刊, 汉] / SHU Liwei, CHEN Lin-gen, SUN Feng-rui (Postgraduate School, Naval University of Engineering, Wuhan, China, Post Code: 430033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25 (1). — 107 ~ 111

On the basis of a model for an inner reversible reverse osmosis process and with a further consideration of the influence of the friction loss of the reverse osmosis module (pressure drop), the flow resistance and efficiencies of a water pump and water turbine on the performance of a reverse osmosis separation process, set up was a model for an irreversible reverse osmosis separation process. Moreover, an investigation of the process has been performed by using the theory of finite time thermodynamics and the working principle of a fluid flow based work doing device. It has been found that to increase the pure water recovery rate or the efficiency of the water pump can enhance the thermal efficiency of the system. To boost the material feeding pressure or improve the efficiency of the water turbine can increase the pure water flow rate. However, the friction loss of the reverse osmosis module exercises a relatively small influence on the system performance. In the meantime, it has been proven that there exists a maximal value of the power consumed by the reverse osmosis separation process, i.e. the conversion rate of a mechanical energy to a chemical one has a maximal value. Key words: reverse osmosis process; irreversible efficiency; separation power; energy loss rate; finite time thermodynamics

压汽闪蒸法海水淡化装置的热力学分析 = A Thermodynamic Analysis of a Pressurized-steam Flash Evaporation Method-based Seawater Desalination Plant [刊, 汉] / CHOU Qiao-li, JIN Cong-zhuo (Hefei Swan Refrigeration Science and Technology Co., Ltd., Hefei, China, Post Code: 230088), JIN Cong-zhuo, SHU Peng-cheng (Xian Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25 (1). — 112 ~ 115

Key words: pressurized steam; flash evaporation; seawater desalination; plant