

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.02.016

纯水机浓水比例控制调节器设计

陶东娅¹, 金银旗²

(1. 台州职业技术学院 机电工程学院, 浙江 台州 318000;
2. 浙江光跃环保科技股份有限公司, 浙江 台州 318020)

摘 要:针对市场上现有纯水机制水速度慢且水资源浪费等问题,研究设计了基于比例控制算法的浓水比例调节控制器,并将此比例调节控制器设置在反渗透膜过滤器和储水压力桶之间。实验证明,所设计的带浓水比例调节控制器的新型纯水机能自适应水质来调节浓水比例,提升了制水速度。该设计方法可提高制水效率,节约水资源,为新型纯水机研究提供了新的方向。

关 键 词:纯水机;浓水;比例调节控制器;反渗透膜过滤器;自适应

中图分类号:R123.5;TQ028.8 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)02-0084-05

Design of Concentrated Water Proportional Control Regulator for Pure Water Machine

TAO Dongya¹, JIN Yinqi²

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou, Zhejiang 318000;
2. Zhejiang Guangyue Environmental Polytron Technologies Inc., Taizhou, Zhejiang 318020, China)

Abstract: The existing water purification system on the market has some problems such as slow water production and waste of water, a concentrated proportional control regulator based on proportional control algorithm was designed. The proportional control regulator was set between the reverse osmosis membrane filter and the water storage pressure tank. It is proved that the novel water purifier with proportional control regulator can adjust the proportion of concentrated water by self-adapting water quality with fast water production speed, which provides a new direction for the research of new type water purifier to improve water production efficiency and save water resources.

Keywords: water purifier; wasting water; proportion controller; reverse osmosis membrane filter; adaptive technique

纯水机在制水时,制水速度较慢,因此在制水系统中配置一个储水压力桶用以储存制备好的纯水,用户使用时可一次性提供较多的纯水。但是储水压力桶的存在,相当于在反渗透过滤器的纯水端设置了一个系统背压,从而使得纯水机在制水时反渗透过滤器的膜前膜后压差逐渐减小,导致纯水的制备速度逐渐减慢,即单位时间内的纯水制水量降低。而由于增压泵供水速度基本一致,这就使得反渗透纯水机的废水端的浓水比例提高,即更多的水被当作浓水排出,造成水资源

严重浪费。针对这一现象,课题组研究设计了一种带浓水调节控制器的自适应新型反渗透纯水机,用来改善制水速度和解决水资源浪费等问题。课题组通过实验研究,对比分析了带浓水调节控制器的自适应新型反渗透纯水机的性能^[1-5]。

1 系统整体设计

系统整体设计如图1所示,与一般纯水机不同的是,在反渗透膜过滤器和储水压力桶之间增加了浓水比例调节控制器,用以调节纯水机废水端的浓水比例,

收稿日期:2018-09-24;修回日期:2019-01-21

基金项目:2014年浙江省生态省建设目标责任制考核重大科技项目;台州市科技计划重点项目(14GY07);2014年度浙江省高校国内访问工程师校企合作项目(FG2014131)。

第一作者简介:陶东娅(1983),女,浙江临海人,硕士研究生,台州职业技术学院专职教师,主要研究方向为纯水机控制。E-mail:86333748@qq.com

提升制水速度,同时节约水资源^[6-10]。

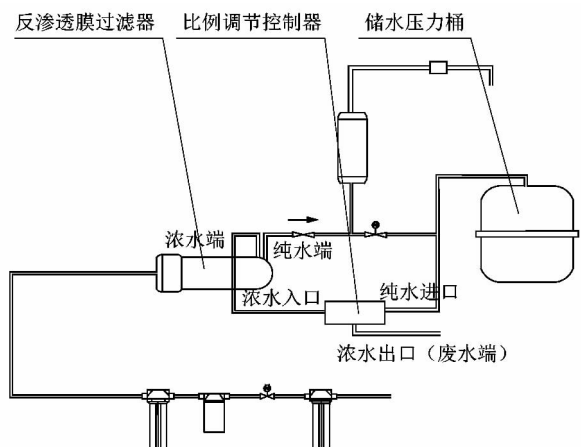
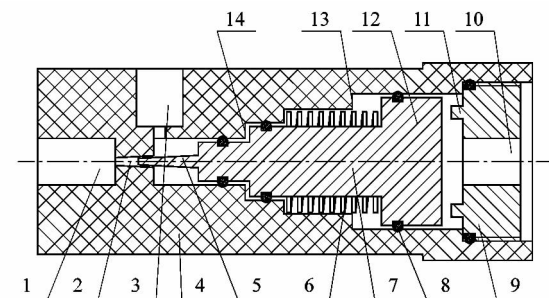


图1 反渗透纯水机的整体结构示意图

Figure 1 Overall structure of the reverse osmosis water purifier

2 比例调节控制器的结构设计

比例调节控制器如图2所示,由主体、弹簧、滑块、密封圈和调节帽组成。其中主体中有互相连通的浓水入口、浓水出口和纯水进口,浓水入口和浓水出口之间具有呈锥形的通水孔;滑块的一端呈细圆锥状(为方便描述,称其为顶针),另一端称为环形挡沿,滑块外套有弹簧;调节帽与主体用螺纹连接,可根据需要旋转调节帽来调整调节帽进入纯水进口的深度。当滑块向远离调节帽方向移动时,顶针逐渐深入通水孔,降低了通水孔的流通面积。



1—浓水入口;2—通水孔;3—浓水出口;4—主体;5—顶针;6—弹簧;7—滑块;8—密封圈;9—调节帽;10—纯水进口;11—间隔块;12—环形挡沿;13—环形挡肩;14—环形台阶面。

图2 比例调节控制器结构

Figure 2 Proportional controller figure

2.1 调节帽

调节帽的内端面上均匀分布有若干个间隔块,如图3所示。在比例调节控制器中,间隔块的作用是滑块与调节帽的内端面之间具有空隙。当反渗透纯水机开始制水,储水压力桶中具有一定的存水时,纯水通

过调节帽中间贯穿的通孔进入到滑块与调节帽之间的空隙中,提高纯水与滑块之间的接触面积,使储水压力桶中的纯水在达到一定的压力后能更好地推动滑块移动,提高调解控制器的灵敏度,减少浓水的排放,减少水资源的浪费。

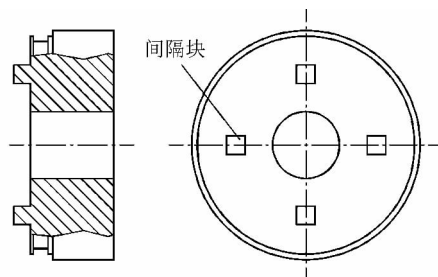


图3 调节帽

Figure 3 Adjusting cap

2.2 比例调节控制器主体结构

调节器主体4上有环形挡肩13和环形台阶面14,滑块7有环形挡沿12,弹簧6一端抵靠在环形台阶面上,另一端抵靠在环形挡沿上。在制水的过程中,纯水克服弹簧力推动滑块向浓水入口1处移动;当储水压力桶纯水制满达到设定压力时,弹簧6被压缩,此时滑块的环形挡沿靠在主体的环形挡肩上,滑块与主体相接触。环形挡沿、环形挡肩的设置起到定位作用,一是保护顶针,二是对浓水入口、浓水出口之间的流通面积起到限定作用。

2.3 比例调节控制器工作状态

储水压力桶中无纯水时(图4a),滑块在弹簧弹力的作用下与调节帽的内端面接触。当反渗透纯水机开始造水时(图4b),储水压力桶中的压力上升使反渗透膜过滤器膜前膜后压差变小,纯水制水速度下降;而此时与储水压力桶相连的调节控制器纯水进口处纯水的压力也逐渐上升,纯水进口处的纯水在压力上升后克服弹簧的弹力及浓水入口处浓水的压力使得滑块逐渐远离调节帽,顶针逐渐深入通水孔降低通水孔的流通面积,即降低反渗透膜过滤器浓水端浓水的流量,从而提高反渗透膜过滤器膜前的压力,使反渗透膜过滤器的膜前膜后压力差变大。如此,纯水机的制水速度较之前有所提高,克服了储水压力桶背压的影响。当出水压力桶纯水制满时(图4c),达到设定压力时,顶针使通水孔的流通面积降到最低,且由于顶针的形状、大小与通水孔相匹配,顶针不会受水压的影响而损坏,可保证较长的使用寿命长。由于顶针可以在通水孔中往复移动,因此实际上通水孔的孔径随着顶针进入的深度在逐渐改变,在此过程中一些易堵住通水孔的大颗粒杂

质被顶针清除,使通水孔不易堵塞,从而提高了纯水机的制水速度,降低了浓水的排放,减少了水资源的浪费。

2.4 自适应的实现

当滑块抵靠在间隔块上时,顶针的一部分位于通孔中,无论滑块如何移动,顶针均在通孔内,顶针在通

孔中的位置变化起到控制通水孔流通面积的作用。在初始状态时,可通过调节帽的旋转控制顶针进入纯水进口的深度,从而控制浓水入口、浓水出口之间的流通面积,使得该反渗透纯水机能自适应各种水质情况。该种结构设计可自由调节初始比例,使用范围更广。

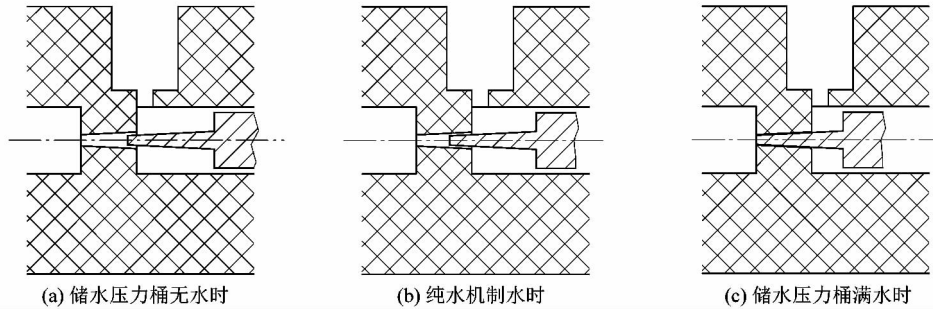


图4 比例调节控制器各工作状态顶针位置

Figure 4 Pin position of different working state in proportional adjustment controller

3 比例调节控制器的原理

正常工作时比例控制器如图5所示。

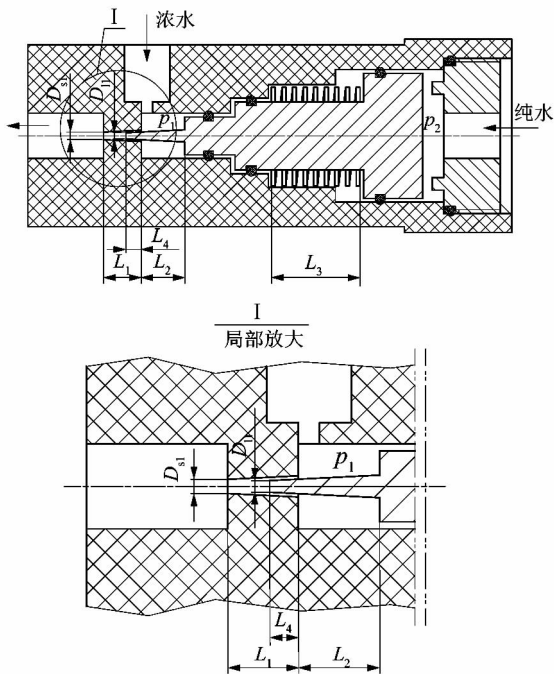


图5 正常工作时比例控制器结构

Figure 5 Proportional controller structure in normal operation

比例调节控制器的弹簧原长为 L_0 , 弹簧弹性系数为 k_0 , p_1 为浓水端压力即泵后工作压力, p_2 为纯水端压力, L_1 为通水孔孔深, L_3 为工作时弹簧长度, L_4 为顶针伸入通水孔深度, L_x 为顶针端面刚处于孔口时弹簧长度, S_2 为滑块在浓水端时横截面面积; S_3 为滑块在

纯水端时横截面面积, A_1 为通水孔锥度, A_2 为顶针的锥度, D_{sx} 为顶针针尖端面所处位置的孔的直径, S_x 为顶针针尖端面所处位置的过流面积, V_x 为浓水流速。

1) 力的计算

根据受力平衡,对顶针进行受力分析,得

$$p_1 \times S_2 + F = p_2 \times S_3. \quad (1)$$

弹簧弹力为

$$F = (L_0 - L_3) \times k_0. \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得

$$p_1 \times S_2 + (L_0 - L_3) \times k_0 = p_2 \times S_3. \quad (3)$$

式(3)转化得

$$L_3 = L_0 - (p_2 \times S_3 - p_1 \times S_2) / k_0. \quad (4)$$

则

$$L_4 = L_x - L_3 = L_x - L_0 + (p_2 \times S_3 - p_1 \times S_2) / k_0. \quad (5)$$

2) 过流面积计算

$$D_{sx} = 2(L_1 - L_4) \tan \frac{A_1}{A_2} + D_{s1} = 2[L_1 - L_x + L_0 - (p_2 S_3 - p_1 S_2) / k_0] \tan \frac{A_1}{A_2} + D_{s1}, \quad (6)$$

则

$$S_x = \frac{1}{4} \pi (D_{sx}^2 - D_{11}^2) = \frac{1}{4} \pi [2(L_1 - L_x + L_0 - \frac{p_2 S_3 - p_1 S_2}{k_0}) \tan \frac{A_1}{A_2} + D_{s1}]^2 - \frac{1}{4} \pi D_{11}^2. \quad (7)$$

3) 流量计算

$$Q_x = V_x S_x = V_x \left\{ \frac{1}{4} \left[(L_1 - L_x + L_0 - \frac{p_2 S_3 - p_1 S_2}{k_0}) \times 2 \times \tan \frac{A_1}{2} + D_{s1} \right]^2 \times \pi - \frac{1}{4} D_{11}^2 \times \pi \right\}. \quad (8)$$

式中 Q_x 为浓水流量。

高压开关闭合后,系统启动,进水阀开启,泵启动,膜前压力 p_1 基本不变、膜后压力 p_2 升高,此时 $\Delta p = p_1 - p_2$; Δp 随着 p_2 的增加不断降低,因此 RO 膜纯水端的通量不断降低。

当 $p_2 S_2 - p_1 S_1 > F$ 时,弹簧开始被压缩,两边受力达到平衡;随着 p_2 压力不断升高, L_x 值也不断减小,直到 $L_2 = 0$,不再运动。在此过程中,可以近似约定 V_x 值不变,由公式(8)可以看出 p_2 增加时浓水流量 Q_x 减小,即浓水流量降低。

RO 膜使用原理如图 6 所示。

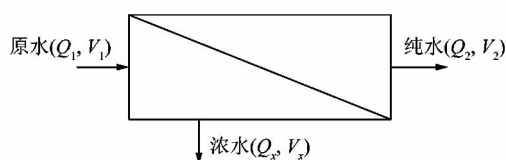


图 6 RO 膜使用原理

Figure 6 Principle of RO membrane

根据图 6 可得:

$$Q_1 = Q_x + Q_2, \quad (9)$$

$$\text{则} \quad Q_2 = Q_1 - Q_x. \quad (10)$$

浓水流量降低时,因为原水流量 Q_1 不变,因此纯水流量又会增加。实现自适应调节,解决了纯水机在制水时反渗透过滤器的膜前膜后压差逐渐减小而导致纯水的制备速度逐渐减慢问题。

4 实验数据与分析

4.1 系统配置及系统条件

4.1.1 系统配置

压力检测器型号,MIK-P300 的压力传感器(0 ~ 1.6 MPa);流速检测器的型号,YF-S40 的电磁流量计;水质检测器,TDS 检测器;前置活性炭,254 mm 长度规格的压缩椰壳炭;RO 泵,50 A 隔膜增压泵;RO 膜,75G 陶氏反渗透膜;后置炭,T33;PP 棉,长度为 254 mm,过滤精度为 10 μm 。

4.1.2 系统条件

环境温度 25 $^{\circ}\text{C}$;进水水源:以本地市政自来水作为水源添加 CaCl_2 制作加标原水,原水中总溶解固体 $\rho(\text{TDS})$ 为 50 mg/L,原水浊度为 1.0 NTU;进水压力为 0.3 MPa。

4.2 新旧系统膜前工作压力对比

新旧系统膜前工作压力对比如图 7 所示。

随着压力桶内压力升高,普通系统的膜前工作压力改变很小,而自适应调节浓水比例的新型纯水机系

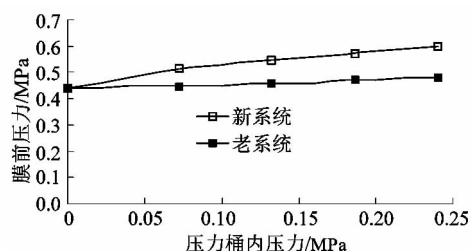


图 7 新旧系统膜前工作压力对比图

Figure 7 Old and new system before membrane pressure contrast figure

统由于其废水比结构自动调整,废水流速明显降低,其膜前工作压力会有明显上升。

4.3 新旧系统制水流量对比

随着压力桶内压力升高,普通系统的制水流量会逐渐降低,即制水效率衰减严重,而自适应调节浓水比例的新型纯水机的制水效率衰减速度很慢。新旧系统制水流量对比如图 8 所示。

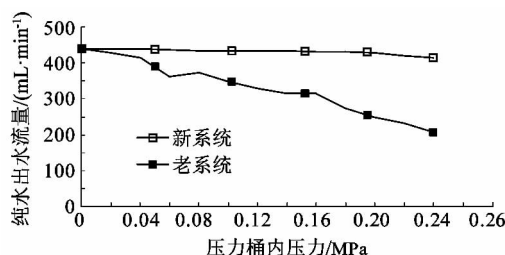


图 8 新旧系统制水流量对比图

Figure 8 Old and new system water velocity contrast figure

4.4 新旧系统废水流速对比

新旧系统废水流量对比如图 9 所示。

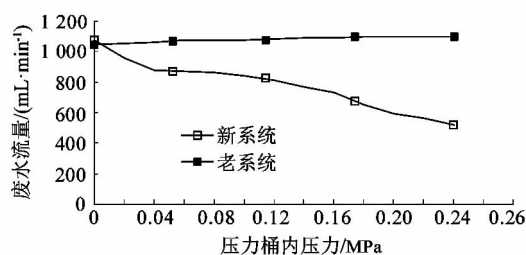


图 9 新旧系统废水流量对比图

Figure 9 Comparison of the wastewater flow between old and new system

随着压力桶内压力升高,普通系统的废水流量改变较小,而自适应调节浓水比例由于其废水比结构自动调整,废水流量明显降低。

4.5 新旧系统废水/纯水比例对比

新老系统废水/纯水之比如图 10 所示。

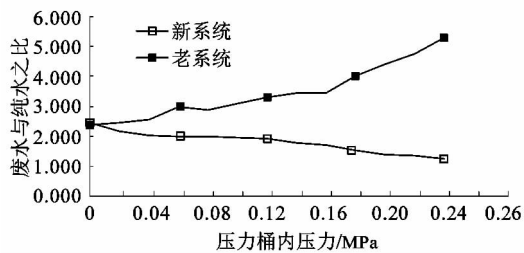


图 10 新老系统废水/纯水比例对比图

Figure 10 Comparison of the new and old system wastewater/water ratio

随着压力桶内压力升高,普通系统的废水流速改变较小而制水速度衰减明显,因此在制水过程中其废水/纯水的比例是明显上升的。而新系统由于其废水比结构自动调整,废水流速明显降低,纯水流速衰减较慢,因此其废水/纯水的比例不但可以做到不上升,甚至可以做到下降。

4.6 新旧系统废水 TDS 对比

新老系统废水 TDS 对比如图 11 所示。

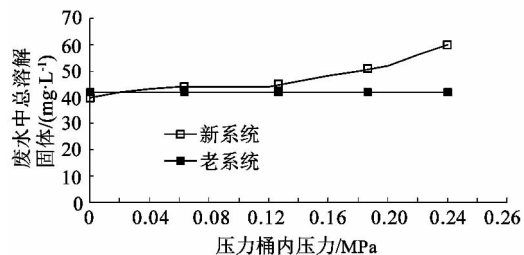


图 11 新老系统废水 TDS 对比图

Figure 11 Comparison of the new and old system wastewater TDS

随着压力桶内压力升高,普通系统的废水水质不

会有明显改变。而新系统由于其废水比结构自动调整,废水流速明显降低,纯水流速改变不大,其废水的出水 TDS 会有比较明显的提高,因此本系统设定时需充分考虑此问题,以防止出现废水浓度过高而影响膜的使用寿命。

5 结语

1) 通过以上实验数据分析可知,在普通纯水机的反渗透膜过滤器和储水压力桶之间增加浓水比例调节控制器,可以用来调节纯水机废水端的浓水比例,提升制水速度,同时节约水资源。

2) 采用浓水比例调节控制器后废水 TDS 会明显升高,将会影响膜的使用寿命。

参考文献:

- [1] 佟西伟. 小型反渗透纯水机设计及效率分析[D]. 北京:北方工业大学,2014:1-5.
- [2] 倪国强,解田,胡宏,等. 反渗透技术在水处理的应用进展[J]. 化工技术与开发,2012,41(10):23-27.
- [3] 白雪,李邵博,罗麟,等. 反渗透纯水机减少弃水及其利用研究[J]. 环境与可持续发展,2009(5):51-53.
- [4] 张培君. 家用智能型纯水机的特点与性能[N]. 电子报,2013-02-17(2).
- [5] 金银旗,陶东娅. 压力储水桶在家用纯水机中的应用[J]. 科技创新与生产力,2013(2):95-96.
- [6] 陶东娅,金银旗. 基于 PLC 的智能水质预警新型反渗透纯水机的研制[J]. 水处理技术,2016,42(2):118-125.
- [7] 张新荣. 基于 PWM 的按摩机传动智能控制系统设计[J]. 机械设计与制造,2012(5):124-126.
- [8] 张术兵. 反渗透水处理技术及其应用研究前景[J]. 甘肃石油与化工,2006(4):53-55.
- [9] 韩春燕. 水处理反渗透膜污染分析及清洗对策[J]. 科技创新与应用,2012(5):41.
- [10] 崔宇. 家用全自动反渗透纯水机水质处理效果分析[J]. 江苏预防医学,2009,20(2):51.

(上接第 83 页)

传算法对问题进行求解,得到最优的上药路径与上药次序,使系统自动上药更加高效。

参考文献:

- [1] 陈琳. 一种新型中药智能配药系统的研究和实现[D]. 成都:四川大学,2004:1.
- [2] 胡诚明. 中药自动调配药系统研究[D]. 厦门:集美大学,2014:5.
- [3] 白蕾蕾. 一种新型智能配药机器及其包装系统的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2013:1.
- [4] 涂传智,李刚,张增珠,等. 中药配方颗粒及其在中药智能化药房中的应用发展概况[J]. 世界科学技术:中医药现代化,2017,19(2):207-211.
- [5] 胡诚明,余顺年,陈韦. 一种中药自动调配药系统及 PLC 控制[J]. 机电技术,2014,6(3):61-63.

- [6] 于天彪,乔木,李明. 基于遗传算法的医药码垛机器人结构参数优化研究[J]. 机电工程,2016,33(11):1289-1294.
- [7] VEGA P, DE ROCCO R L, REVOLLAR S, et al. Integrated design and control of chemical processes: part I revision and classification[J]. Computers and Chemical Engineering, 2014, 71:602.
- [8] 赵雪峰,负超,刘相权. 自动化药房系统调度的优化[J]. 计算机工程,2009,35(10):193-200.
- [9] 柳赛男,柯映林,李江雄. 基于调度策略的自动化仓库系统优化问题研究[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(9):1438-1443.
- [10] HESKETT J L. Cube-per-order index: a key to warehouse stock location[J]. Transportation and Distribution Management, 1963(3):27-31.
- [11] 王恒山,浦志华. 一种基于实时控制的立体仓库出入库算法[J]. 系统工程理论与实践,1997,17(6):7-11.