

# 中药提取液蒸发浓缩过程 采用机械蒸汽再压缩技术特性研究

侯超<sup>1,2</sup>, 张振涛<sup>2\*</sup>, 杨鲁伟<sup>3</sup>, 刘军<sup>2</sup>

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国科学院理化技术研究所, 北京 100190;  
3. 南京科盛环保科技有限公司, 江苏 南京 210022)

**摘要:**为了解决一些具有高黏度、易结垢性质的热敏性中药提取液的蒸发浓缩问题,设计研究了一套高效、节能的机械蒸汽再压缩热泵蒸发浓缩系统,并以常见的4种中成药(清热解毒口服液、感冒清热颗粒、六味地黄丸、天麻片)为原料进行实验研究。结果表明,这4种药品沸点温升较低,平均在1℃左右,适用于MVR热泵蒸发浓缩系统;系统蒸发量、COP、SMER均随压缩比变化明显;该系统相比单效蒸发,可以节约70%以上的运行费用;对于双效蒸发,节约60%~70%;对于三效蒸发,节约40%左右的费用,节能效果较为显著。

**关键词:**中药;MVR;热泵;蒸发;浓缩;沸点温升;节能

**中图分类号:**TQ51

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2016)11-0172-03

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.11.040

## Characteristics research of mechanical vapor recompression technology used in evaporation and concentration of Chinese medicine extract

HOU Chao<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhen-tao<sup>2\*</sup>, YANG Lu-wei<sup>3</sup>, LIU Jun<sup>2</sup>

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Technical Institute of Physics and Chemistry, CAS, Beijing 100190, China;

3. Nanjing KeSheng Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanjing 210022, China)

**Abstract:** In order to evaporate and concentrate the extract of traditional Chinese medicine which has properties of high-viscosity, easy-scaling and thermo-sensitivity, an efficient and energy-saving Mechanical Vapor Recompression (MVR) heat pump evaporation concentration system is designed. Four common traditional Chinese medicines (Qingrejiedu oral liquid, Ganmaoqingre granules, Liuweidihuangwan, Tianma piece) are used as test media for a series of experimental studies. The results show that the boiling points rising of these four medicines are quite low (with an average values of 1℃), indicating that these medicines are suitable for MVR heat pump evaporation concentration system. The evaporation capacity, COP and SMER of this system are significantly changed when the pressure ratio changes. The significant energy-saving effect of this system is also achieved. It can save up to 70% of operation cost than the single-effect evaporation, 60%~70% than double-effect evaporation and about 40% than triple-effect evaporation.

**Key words:** traditional Chinese medicine; MVR; heat pump; evaporation; concentration; boiling points rising; energy-saving

中草药的研究在我国具有几千年的历史,通过历代人的研究、探索,已形成了一套完整的体系。近年来,因其天然药物的性质和无副作用的特点,广受人们的追捧<sup>[1-2]</sup>。

在中药制药过程中,浓缩是必不可少的重要环节,而且也是能耗比较高的一个环节<sup>[3]</sup>。传统的蒸发浓缩过程多采用多效蒸发,不但能耗较高,而且体积庞大,对外界蒸汽比较依赖。由于多效蒸发的蒸汽温度较高,对于一些热敏性较高的药品,高温容易影响药品中有效成分的性质<sup>[4]</sup>。采用机械蒸汽再压缩(MVR)热泵蒸发浓缩技术,把从原料液蒸发出来的二次蒸汽通过压缩机压缩,提升其热焓后通入蒸发器来加热原料液,这样不但可以余热回收、降低能耗,而且属于温和蒸发,能够保证药品质量,不易

结垢。但目前在中药制药行业,关于MVR技术研究还比较少,通过本次实验研究将为今后MVR技术在该行业的推广起到一定作用。

## 1 实验系统分析

### 1.1 系统流程介绍

本实验采用的MVR热泵蒸发浓缩系统主要由压缩机、蒸发器、气液分离器、冷凝水箱、循环泵、储液罐、浓缩液罐等设备组成。图1所示为系统流程图,开机前关闭阀1、阀2,开启压缩机,造成蒸发器和分离器内部负压环境;开启阀1(进料阀)开始进料,当分离器中料液达到一定量时,在蒸发器壳侧通入外界蒸汽将料液加热至蒸发温度后关闭补汽阀,料液在蒸发温度下沸腾蒸发;蒸发出的二次蒸汽由

收稿日期:2016-03-22;修回日期:2016-09-22

基金项目:国家科技重大专项(2014ZX07214003);河南省中国科学院科技成果转移转化项目(2014303);林业公益性行业科研专项项目(201504610)

作者简介:侯超(1991-),男,硕士生;张振涛(1968-),男,博士,副研究员,研究方向为热力过程节能与优化,通讯联系人,010-82543287, zzth1@163.com。

分离器上部排出后进入压缩机内压缩;同时从冷凝水箱引小部分水向压缩机内喷水,以降低过热蒸汽的过热度,使之成为排气温度下对应的饱和蒸汽;接着从压缩机排气口排出的饱和蒸汽进入蒸发器壳侧,释放潜热,对料液加热,使之沸腾、蒸发。之后饱和蒸汽冷凝为冷凝水,进入冷凝水箱。冷凝水箱内的水通过排液泵一部分用作压缩机喷水,另一部分排入储液罐以备用。蒸发浓缩结束后,关闭阀1,开启阀2(排料阀),浓缩液通过蒸发器下部的排液口由泵打入浓缩液罐完成循环。

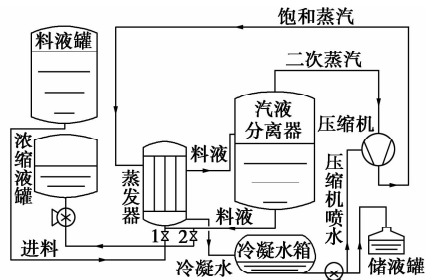


图1 系统流程图

## 1.2 实验系统分析

实验所用的MVR热泵蒸发浓缩系统如图2所示,该系统具有良好的抗腐蚀性和密封性,可以在常压和负压下对一些黏度较高的易结垢的热敏性料液进行高效低耗的蒸发浓缩;与传统多效蒸发相比,该系统在启动前需要部分蒸汽预热料液,蒸发过程中进行一些补热,其余时间依靠电能驱动;并且自动化水平较高,通过PLC来调控系统,使其稳定运行,方便操作。该系统采用罗茨压缩机,排气量为 $27\text{ m}^3/\text{min}$ ,由额定功率为 $75\text{ kW}$ 的变频调速三相异步电动机作为动力支持,可以在变频器的精准控制下,根据负载需求不同,在不同转速下运行。



图2 MVR热泵中药蒸发浓缩系统

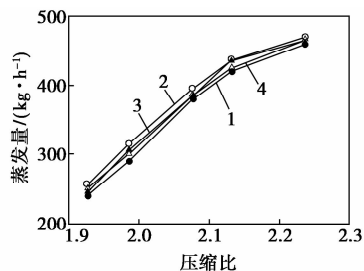
本实验主要针对常见的4种中成药品(清热解毒口服液、天麻片、六味地黄丸、感冒清热颗粒,成分见表1)进行蒸发浓缩。蒸发器换热面积为 $13.7\text{ m}^2$ ,蒸发温度为 $80\sim 90^\circ\text{C}$ 。实验中主要测量参数有料液温度、料液压力、压缩机吸气温度、吸气压力、排气温度、排气压力、压缩机喷水流量、冷凝水体积流量、冷凝水箱液位、压缩机频率、系统总耗电量等。

表1 蒸发实验所用药品成分

药品	成分
清热解毒口服液	石膏、金银花、玄参、地黄、连翘、栀子、黄芩、龙胆、知母、麦冬等
天麻片	天麻、羌活、独活、杜仲(盐炒)、牛膝、粉萆薢、附子(制)、当归、地黄、玄参
六味地黄丸	熟地黄、山茱萸、牡丹皮、山药、泽泻、茯苓
感冒清热颗粒	荆芥穗、薄荷、防风、柴胡、紫苏叶、葛根、桔梗、苦杏仁等

## 2 实验数据处理与分析

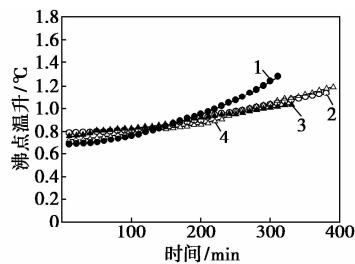
图3为4种不同中成药的蒸发量随压缩比的变化。由图3可知,蒸发量随压缩比增加而增大。压缩比越高,压缩机功率越大,单位时间内二次蒸汽通过压缩机压缩后获得的热量越多,因此蒸发量增大。



1—感冒清热颗粒;2—清热解毒口服液;3—六味地黄丸;4—天麻片

图3 蒸发量随压缩比的变化

图4为4种不同中成药的沸点温升随蒸发时间变化曲线。实验开始时,料液浓度较低,沸点温升较低;在蒸发过程中,随着时间的推移,水不断蒸出,料液浓度和黏度不断增大,沸点升高,沸点温升逐渐增大。但4种料液的温升都比较小,最大值不超过 $1.4^\circ\text{C}$ ,平均值 $1^\circ\text{C}$ 左右,因此适合采用MVR技术进行蒸发浓缩。



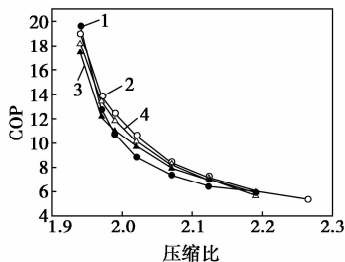
1—感冒清热颗粒;2—清热解毒口服液;3—六味地黄丸;4—天麻片

图4 沸点温升随系统运行时间变化

图5为实验过程中COP(制热性能系数)随压缩比的变化情况。COP为制热量与压缩机功率之比,用来评价MVR系统的节能情况,如下式:

$$\text{COP} = \gamma Q / 3600 P_i \quad (1)$$

式中, $\gamma$ 为蒸发器壳侧蒸汽的气化潜热, $\text{kJ/kg}$ ;  $Q$ 为系统蒸发量, $\text{kg/h}$ ;  $P_i$ 为压缩机实际功率, $\text{kW}$ 。



1—感冒清热颗粒;2—清热解毒口服液;3—六味地黄丸;4—天麻片

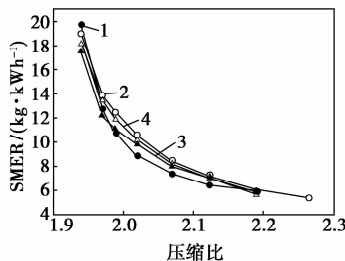
图5 COP随压缩比的变化

如图5, COP随压缩比增加而减小,并且减小速率随压缩比增大而减小。在压缩比小于2时,随着压缩比增加,压缩机功率增加的速率远大于换热量增加的速率,因此COP迅速减小;压缩比大于2时,换热量逐渐增大,COP下降速率变小。

图6为实验过程中SMER(单位能耗蒸发水量)随压缩比的变化情况,计算公式如下:

$$SMER = Q/P \quad (2)$$

式中,  $Q$  为系统蒸发量,  $kg/h$ ;  $P$  为系统实际消耗功率,  $kW$ 。实验过程中, SMER变化趋势与COP一致, 随压缩比增加而减小, 并且减小速率随压缩比增大而减小。



1—感冒清热颗粒;2—清热解毒口服液;3—六味地黄丸;4—天麻片

图6 SMER随压缩比的变化

表2为各料液蒸发静态COP、SMER比较。从表2中可以看出,各料液蒸发实验静态COP、SMER比较接近,COP在8~9,SMER在13~15。

表2 各料液蒸发静态COP、SMER比较

	感冒清热颗粒	清热解毒口服液	六味地黄丸	天麻片
COP	8.34	8.96	8.91	8.30
SMER	14.25	14.35	14.27	13.29

### 3 经济性分析

在相同条件下,对采用多效蒸发和采用MVR热泵蒸发进行能耗比较。

根据多效蒸发加热蒸汽消耗量计算公式<sup>[5]</sup>:

$$d = w / (0.85n)$$

式中,  $w$  为各效蒸发器蒸水量总和,  $kg$ ;  $n$  为蒸发器效数; 0.85 为考虑加热损失在内的一个综合计算系数。

按公式计算的结果及经验数据见表3。

表3 蒸发1 kg水所需加热蒸汽量

蒸发器效数	1	2	3
消耗蒸汽量/kg	1.176	0.588	0.392
经验数据/kg	1.100	0.750	0.400

由表4可知, MVR热泵每蒸发1 kg水耗电在0.07~0.08 kWh。结合表1所给出数据,对用MVR热泵技术和传统多效蒸发技术运行费用进行比较(如表5)。可以看出,采用MVR热泵蒸发比单效蒸发节约70%以上的费用;比双效蒸发节约60%~70%的费用;比单效蒸发节约40%左右的费用(注:当地电价为0.8元/kWh,蒸汽价格为240元/t)。

表4 蒸发单位质量水耗电量

	感冒清热颗粒	清热解毒口服液	六味地黄丸	天麻片
蒸发单位质量水耗电量/(kWh·kg <sup>-1</sup> )	0.0748	0.07	0.07	0.075

表5 MVR对于多效蒸发运行费用节约百分比

	感冒清热颗粒	清热解毒口服液	六味地黄丸	天麻片
一效蒸发	77.7	78.8	78.8	77.3
二效蒸发	67.2	68.9	68.9	67.2
三效蒸发	38.5	41.7	41.7	38.5

### 4 结论

为探究MVR热泵蒸发浓缩系统在中药制药行业的适用性,以实际中成药为原料,进行了蒸发浓缩实验。通过实验得到以下结论。

(1)以上4种中成药的沸点温升较小,最大值不超过1.4℃,平均值在1℃左右,适合采用MVR热泵系统来蒸发浓缩,而且能够有效保证药品质量,防止结垢。

(2)系统蒸发量、COP、SMER随压缩比变化比较明显。蒸发量随压缩比增加而增大;COP、SMER随压缩比增大而减小,变化趋势基本一致。

(3)相比传统多效蒸发, MVR热泵蒸发浓缩系统节能效果显著。

### 参考文献

[1] 王莹. 中药的应用与发展前景[J]. 中国卫生产业, 2011, (s4): 113.  
 [2] 卫斌. 中医中药的发展前景[J]. 临床合理用药杂志, 2015, (10): 167-168.  
 [3] 王国振, 赵海栋, 张丽琴, 等. MVR蒸发器应用与中药提取液相关物理特性研究(一种节能型中药浓缩技术)[J]. 中国医学装备, 2014, (s2): 200-201.  
 [4] 刘军, 张冲, 杨鲁伟, 等. 夹套式MVR热泵蒸发浓缩系统性能分析[J]. 化工学报, 2015, (5): 1904-1911.  
 [5] 许业仁. 蒸发装置与热泵——节能措施分析[J]. 轻金属, 1996, (11): 3-10. ■