

造纸法再造烟叶 MVR 蒸发系统节能技术研究

苏瑶¹, 高军², 苏曼²

(1. 安徽中烟工业有限责任公司蚌埠卷烟厂, 安徽蚌埠 233000; 2. 安徽中烟再造烟叶科技有限责任公司, 安徽蚌埠 233000)

摘要 为降低造纸法再造烟叶机械蒸汽再压缩(MVR)蒸发浓缩系统蒸汽消耗量,通过提高MVR压缩机功率来提高蒸发系统内温度,分析了蒸发系统内真空度和蒸发温度对系统蒸发量的影响,研究MVR压缩机功率对蒸汽消耗量的影响。结果表明,在设定的真空度和温度范围内,真空度和蒸发温度对系统蒸发量的影响达到极显著水平,降低系统内真空度和提高蒸发温度均可以提高单位时间内系统的蒸发量;通过将MVR压缩机功率由120 kW提高至151 kW,二次蒸汽温差由0.6 °C升至1.6 °C,蒸汽消耗量由267 kg/h降至0 kg/h,压缩机功率增加较使用蒸汽更具有经济性,可以降低蒸汽消耗量,年节约标煤160 t,节能效果显著。

关键词 造纸法再造烟叶;蒸发温度;压缩机功率;节能

中图分类号 TS452 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)01-0217-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.01.059



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Energy Saving Technology of MVR Evaporation Process for Reconstituted Tobacco Leaves by Paper-making Method

SU Yao¹, GAO Jun², SU Man² (1. Bengbu Cigarette Factory of Anhui China Tobacco Industrial Co., Ltd., Bengbu, Anhui 233000; 2. Anhui Reconstituted Tobacco Leaves Technology Limited Liability Company, Bengbu, Anhui 233000)

Abstract In order to reduce the consumption of raw steam in the mechanical vapor recompression (MVR) evaporation and concentration system of reconstituted tobacco leaves by paper-making method, MVR compressor power was increased so as to increase the temperature in the evaporation system. The effects of vacuum and evaporation temperature in the evaporation system on the evaporation capacity of the system were analyzed, and the influences of MVR compressor power on the consumption of raw steam were studied online. The results showed that the influences of vacuum and evaporation temperature on the evaporation capacity of the system reached extremely significant level in the range of set vacuum and evaporation temperature. The evaporation capacity of the system per unit time could be increased by decreasing the vacuum and increasing the evaporation temperature. The power of MVR compressor was increased from 120 kW to 151 kW online, the temperature difference of the secondary steam was increased from 0.6 °C to 1.6 °C, and the steam consumption was decreased from 267 kg/h to 0 kg/h. It was more economical than the use of steam to increase the compressor power, and the steam consumption could be decreased. The standard coal could be saved 160 tons each year, the energy saving effect was remarkable.

Key words Reconstituted tobacco leaves by paper-making; Evaporation temperature; Compressor power; Energy-saving

机械蒸汽再压缩(MVR)技术是利用少量的电能将系统内产生的二次蒸汽升温升压反复利用,具有节能减排、工艺简单等特点,已被广泛应用于化工(生产氧化铝、造纸、回收二氧化硫生产硫氨)、制盐、食品(饮料、淀粉、乳制品、糖)、环保(工业废水处理)、制药和海水淡化等领域^[1-6]。顾承真等^[7]研究表明,MVR风机的频率影响系统的蒸发量和风机的功耗,在MVR风机额定范围内增大风机频率,单位能耗蒸发量增加;汤添钧等^[8]研究表明,蒸发压力恒定时系统内蒸发量、能效系数和单位耗电量均随MVR风机频率的增加而增加;鞠婉兰^[9]研究表明传热温差对压缩机的工作工况以及性能有着重要影响,传热温差从5 °C增至10 °C时,系统蒸发量增加了1倍。

在造纸法再造烟叶传统蒸发工艺中,产生的二次蒸汽直接冷凝或排放大气,其潜热浪费严重,造成能源的极大损失。近年来,MVR蒸发技术在造纸法再造烟叶蒸发工艺中逐步得到应用^[10]。生产中,萃取液经过换热器升温,进入一效效体,蒸发得到汽液混合物。混合物在汽液分离室产生二次蒸汽,进入MVR压缩机进行压缩。压缩后的二次蒸汽温度升高,热焓增大,作为高品位的蒸汽进入蒸发器的壳程冷凝,释放出潜热后排出蒸发室。同时,管程内的萃取液吸收壳程中

蒸汽热量,汽化并产生二次蒸汽,进入上述循环过程。目前,对造纸法再造烟叶MVR蒸发系统的节能技术研究较少,MVR蒸发技术对蒸汽消耗量的影响尚未见报道。笔者对影响再造烟叶MVR蒸发系统蒸发量的主要控制参数进行了研究,并在线考察了MVR压缩机功率对蒸汽消耗量的影响,旨在为在线过程控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料和设备

1.1.1 材料。造纸法再造烟叶萃取液由安徽中烟再造烟叶科技有限责任公司提供,物料可溶性固含量^[11]为6.0%~7.0%。

1.1.2 设备。DMA4500M+Abbemat300+Xsample 452 密度折光联用仪(安东帕中国公司);Rotavapor R-215 旋转蒸发仪(瑞士BUCHI公司);烟草萃取液蒸发器(宜兴市格兰特干燥浓缩设备有限公司);Exvel MVR压缩机(瑞士Flakt Woods公司)。

1.2 方法

1.2.1 离线参数检测方法。称取在线生产的再造烟叶萃取液500 g,使用旋转蒸发仪对萃取液进行蒸发浓缩,通过旋转蒸发仪的控制面板来实现蒸发温度、真空度参数设置和控制。

1.2.1.1 真空度对蒸发量的影响。设定蒸发温度60 °C、旋转蒸发仪转速120 r/min,蒸发时间为1 h,记录不同真空度条件下蒸发后的剩余物料体积,得到萃取液蒸发量。

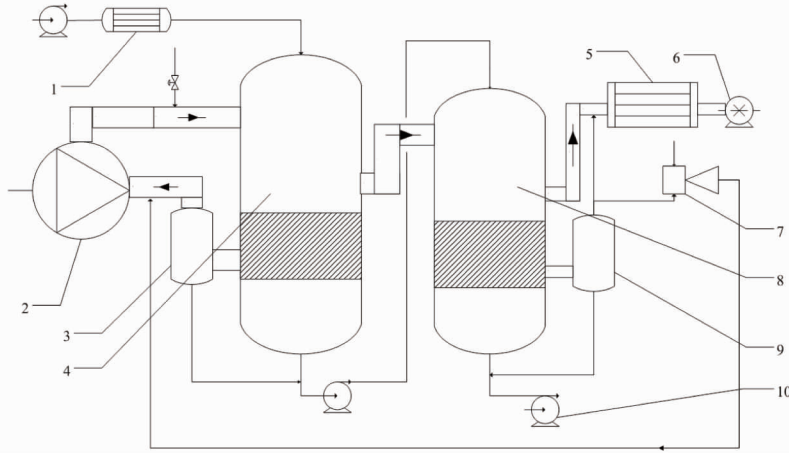
作者简介 苏瑶(1979—),女,安徽东至人,工程师,从事烟草类原料、加工、设备等方面的研究。

收稿日期 2021-05-17

1.2.1.2 蒸发温度对蒸发量的影响。设定蒸发真空度 11 kPa、旋转蒸发器转速 120 r/min、蒸发时间为 1 h,记录不同温度条件下蒸发后的剩余物料体积,得到萃取液蒸发量。

1.2.1.3 数据统计与分析方法。试验设 3 个平行,计算平均值。方差分析采用单因素方差分析 F 检验,分析蒸发参数(真空度、蒸发温度)对系统蒸发量的影响。

1.2.2 在线参数检测方法。进料温度和压缩机进出口温度分别使用热电阻仪表实时监测;系统真空度、压缩机进出口真空度使用压力变送器和真空管路上破空阀进行真空度控制;蒸汽流量使用涡街流量计与电动调节阀进行控制;浓缩液密度使用质量流量计进行实时反馈,并通过蒸汽调节阀开度控制浓缩液浓度。MVR 蒸发系统的工作原理如图 1 所示。



注:1. 进料换热器;2. MVR 压缩机;3. 一效汽液分离室;4. 一效效体;5. 表面冷凝器;6. 真空泵 7. 蒸汽喷射泵;8. 二效效体;9. 二效汽液分离室;10. 产品液出料泵

Note:1. Feed heat exchanger;2. MVR compressor;3. One-effect vapor-liquid separation chamber;4. One-effect body;5. Surface condenser;6. Vacuum pump;7. Steam jet pump;8. Two-effect body;9. Two-effect vapor-liquid separation chamber;10. Product liquid discharge pump

图 1 MVR 蒸发系统的工艺原理

Fig. 1 Process principle of MVR evaporation system

在线测试条件设定如下:测试过程中,保持进料浓度(6.5±0.2)%、进料温度(53±1)℃、进料量(13.0±0.2)m³/h、蒸汽压力(400±10)kPa、冷却水温度(23±1)℃、系统真空度(12.0±0.2)kPa、出料密度(1.20±0.01)g/cm³;蒸发器用清水进行水洗后排空,按照操作规程运行蒸发系统,设定 MVR 压缩机转速 2 600 r/min,通过蒸汽加热使蒸发器出口密度达到设定值(1.20 g/cm³),稳定运行 1 h 后,每小时记录蒸汽消耗量、MVR 压缩机进出口温度、MVR 进出口压力值,共记录 8 h,得到 2 600 r/min 转速下平均蒸汽消耗量、MVR 压缩机进出口温度、MVR 进出口压力值、压缩机功率;运行 8 h 后对蒸发器水洗 2 h,水洗完成后按照操作规程运行蒸发系统,逐渐提高转速(2 700、2 800、2 900、3 000、3 100 r/min),分别记录蒸发系统各参数运行值。

2 结果与分析

2.1 蒸发参数对蒸发量的影响 为了考察蒸发参数对蒸发量的影响,进行了单因素方差分析,结果显示不同真空度和蒸发温度对蒸发量的影响达到极显著水平(P 值均小于 0.001)。

在设定的真空度范围内,真空度与蒸发量呈线性相关(图 2),随着系统内真空度的降低,溶液沸点降低,单位时间蒸发量增大,真空度由 14 kPa 降至 9 kPa,单位时间内蒸发水量由 160.53 g 提升至 405.62 g,单位时间内蒸发水量增加 152.68%。理论上蒸发过程应在较高真空度下运行,但蒸发系统真空度受冷凝水温度及真空系统自身能力的限制,萃取

液在蒸发过程中有溶解的气体释出,负压设备系统亦难免有少量空气吸入,为避免不凝性气体在冷凝器内积聚,需用真空泵持续将不凝性气体抽除,以保持设备运行所需的真空度。真空系统也消耗一定的设备费和动力费^[12]。根据设备实际运行情况和经济性,设定真空度为(12±1)kPa。

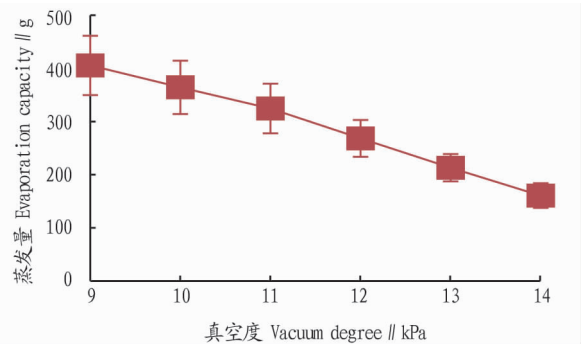


图 2 真空度对系统蒸发量的影响

Fig. 2 The effects of vacuum degree on the evaporation capacity of the system

在设定的蒸发温度范围内,蒸发温度与系统蒸发量呈线性相关(图 3),随着蒸发温度的提高,蒸发系统内能量上升,系统蒸发量呈线性增大,蒸发温度由 52℃ 提升至 62℃,单位时间内蒸发水量由 66.81 g 提升至 371.62 g,单位时间内蒸发水量增加 456.23%。实际生产过程中,蒸发温度提升需要加大生蒸汽使用量或提高 MVR 压缩机做功,且烟草萃取液中含有易挥发性香味成分,较高的蒸发温度对成品再造烟

叶的感官品质有较大影响^[13]。生产过程中根据前后生产工序物料平衡,再造烟叶萃取液进料量比较固定,从节能角度考虑,在保证出料浓度的情况下应减少蒸汽使用量,提高 MVR 压缩机做功。

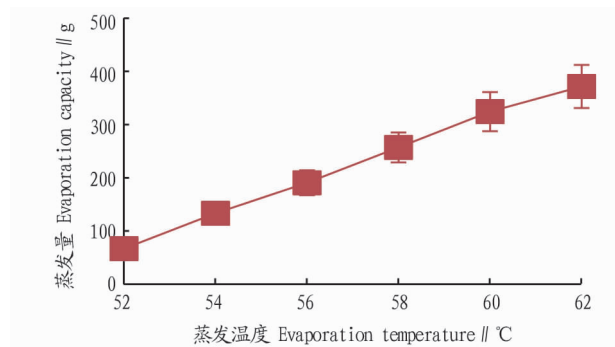


图3 蒸发温度对系统蒸发量的影响

Fig. 3 The effects of evaporation temperature on the evaporation capacity of the system

2.2 在线测试 MVR 压缩机性能和蒸汽消耗量

2.2.1 压缩机进出口温差与压缩比随压缩机转速的变化。从图4可以看出,随着压缩机转速的提高,二次蒸汽在压缩机内被压缩,蒸汽温度升高,压缩机进出口温差升高,压缩机进出口温差由 0.5 °C 升至 1.6 °C。压缩机转速提升使单位时间内进入压缩机的二次蒸汽量增加,压缩机压缩比升高,压缩比由 1.205 升至 1.269。通过压缩机转速增加使二次蒸汽温度升高,系统内能量处于上升过程。

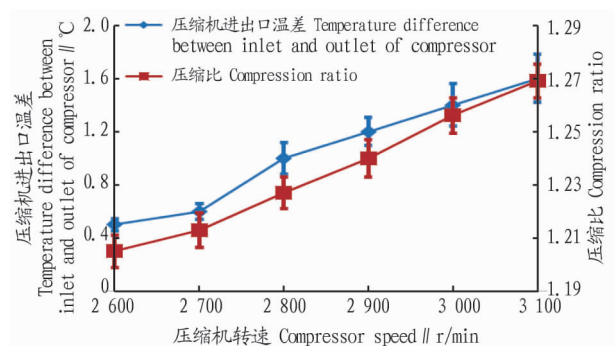


图4 压缩机进出口温差与压缩比随压缩机转速的变化

Fig. 4 Changes of temperature difference between inlet and outlet of compressor and compression ratio with compressor speed

2.2.2 蒸汽消耗量与压缩机功率随压缩机转速的变化。压缩机转速提升使压缩机功率提高,压缩机通过提高自身做功将电能转换为蒸发系统所需的热能,因进料温度、浓度和进料流量都处于稳定状态,同时系统真空度也处于设定值状态,在提高压缩机转速后,蒸发系统内能量处于上升状态,压缩机转速提升后如不及时降低生蒸汽阀门开度,则蒸发系统中物料浓度会一直上升,直到达到新的能量平衡。从图5可以看出,压缩机转速由 2 600 r/min 提高至 3 100 r/min,压缩机功率由 110 kW 提高至 151 kW,蒸汽消耗量由 380 kg/h 降至 0 kg/h。

蒸发的进行是靠消耗能量来维持的,蒸发量与系统能量

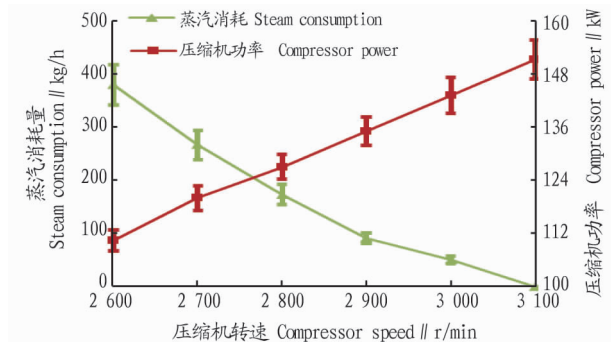


图5 蒸汽消耗量与压缩机功率随压缩机转速的变化

Fig. 5 Changes of steam consumption and compressor power with compressor speed

消耗量成正比。调控蒸发量实际上就是调控系统的能量消耗量,是一个能量平衡的过程。因此,对系统的能量调控最关键,同时也是最重要的调控方式。向系统输入能量有 2 个途径,直接输入蒸汽或输入电能,该试验通过提高输入 MVR 压缩机功率使二次蒸汽温度升高,提高了二次蒸汽的利用率,达到减少生蒸汽使用量的目的。

2.3 节能效果分析 在蒸发器使用过程中,依然需要补入饱和生蒸汽,蒸发器 MVR 压缩机的运行转速和功率较低, MVR 压缩机额定转速 3 100 r/min、最高转速 3 600 r/min,额定功率 317 kW、按 80% 负载运行功率 254 kW,目前生产过程中 MVR 压缩机运行转速 2 700 r/min、功率 120 kW。通过将 MVR 转速由 2 700 r/min 提升至 3 100 r/min,压缩机功率由 120 kW/h 提高至 151 kW/h,增加 31 kW/h,蒸汽消耗量由 267 kg/h 降至 0 kg/h,压缩机功率增加较使用蒸汽更具有经济性,可减少蒸汽消耗量。按每天生产 20 h、每年生产 330 d 计算,每年可节约标煤 160 t。

3 结论

采用单因素方差分析法分别考察了蒸发真空度、蒸发温度对系统蒸发量的影响,不同真空度和蒸发温度对蒸发量的影响达到极显著水平。降低蒸发系统真空度,使溶液沸点降低,单位时间蒸发量增大,系统蒸发能力提高,在蒸发系统能力范围内降低系统内真空度有利于系统的节能;提高蒸发温度使系统内能量上升,物料汽化速率加快,蒸发量增大;压缩机的功率直接影响系统的蒸发量和压缩机的功耗,在压缩机额定范围内提高压缩机功率,使压缩机输入系统能量增加,压缩机功率增加较使用蒸汽更具有经济性,可以节约生蒸汽耗用。该研究结果可为造纸法再造烟叶 MVR 蒸发工艺在线过程控制提供参考。

参考文献

- [1] 赵云松. 制浆废液蒸发技术与装备的最新进展[J]. 中华纸业, 2015, 36(2): 30-34.
- [2] 邢亚慧. 蒸发制盐 MVR 技改思路[J]. 中国井矿盐, 2018, 49(3): 1-3, 10.
- [3] 赵媛媛, 赵磊, 钱方, 等. 机械蒸汽再压缩(MVR)蒸发器在食品工业中的应用[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(1): 27-28, 50.
- [4] 董守亮, 赵飞. 基于硫酸钠废水蒸发过程的 MVR 系统热力分析[J]. 化工科技, 2017, 25(5): 29-33.

高。同时,近年来不断升高的土地和人工成本价格,造成较低的土地和劳动投入产出贡献率。

3 结论与对策

通过对2009—2018年间我国烤烟生产技术进步贡献率的分析可以发现,当前我国烤烟增产的主要因素为技术进步,其次为物质与服务费用的投入;而劳动投入和土地投入方面则已经对烤烟的增产产生了负效应。若继续增加劳动和土地方面的投入,会导致整个烤烟生产的不经济状况,不利于行业的发展。这说明当前烤烟生产已经转变为技术依赖型增产模式,而非要素依赖型的粗放型生产模式。根据上述全国及各地区的烤烟生产技术进步贡献率和要素投入贡献率状况可见,要保持烤烟生产的稳产增产需要做到以下几个方面:

3.1 保持科技进步,不断增加技术进步贡献率 虽然当前我国烤烟的生产增产已经转变为以技术进步为主的生产方式,但是在烤烟生产资源和社会因素限制的情况下,未来烤烟的增产稳产空间主要还是局限在科技进步层面,只有不断增加科技投入和科技进步,才能保持烤烟生产的可持续发展,这就需要不断增加烤烟生产的科技投入,如良种培育开发、新型生产技术研究、良好的生产管理技术研究与应用等。当前国内烤烟生产正在不断加强对职业烟农的培养,这同样是在增加烤烟生产的科学化技术化水平,增加人工和生产管理的投入有效性,减少投入浪费。

3.2 提高物质和服务要素投入配置效率 技术进步贡献率对烤烟增产具有较高贡献值,其次就是物质和服务费用的投入。要保持物质和服务投入的贡献率,就要提高该要素投入的配置效率,提高要素投入的科学性,如生产过程中的机械化投入、化肥的有效施用、农膜的使用,有效的灌溉方式等。增强各种投入要素的投入有效性,能够在减少投入浪费同时,降低生产的粗放性,提升生产的精细化程度,保证要素投入的效率,提高物质和服务投入的贡献率。

3.3 优化人工和土地要素投入 在各种要素投入的贡献中,只有人工和土地投入的要素贡献率为负值,表明这2项生产要素对烤烟增产的负效应,再持续增加这2项要素的投入会造成烤烟生产“不经济”后果,其主要原因是当前国内不

断上涨的人工成本和土地成本价格。在对烤烟生产要素投入贡献率排序中,劳动贡献率最低的是广东、黑龙江、湖北、安徽等,而劳动贡献率最高的为云南、湖南、广西、江西、贵州等。通过分析这些地区不难发现,劳动贡献率最低的地区,劳动成本价格均较高,而劳动贡献率较高的地区,当地的劳动力价格往往相对低廉,从而造成巨大的劳动力贡献差异。与此相似,土地贡献率较低的地区为广东、贵州、河南、安徽等,贡献率较高的地区为陕西、广西、四川、云南等,贡献率较低地区的土地要素价格比贡献率较高地区的土地要素价格高,从而造成土地贡献率的差异。所以要提高这两项要素投入的贡献率,需要优化劳动和土地投入配置,选择土地和人工成本较低的区域开展烤烟生产,从而提升整体的生产效率。这与当前我国烟草产业的“烟草扶贫”以及主要烤烟产区集中于我国西南地区的生产状况比较符合。

参考文献

- [1] 袁庆禄,蒋中一.我国烤烟生产的技术效率分析[J].农业技术经济,2010(3):79-88.
- [2] 李灿华,田伟.基于SFA的中国烤烟生产技术效率分析[J].湖南商学院学报,2010,17(4):23-27.
- [3] 田伟,何玲.中国烤烟TFP增长率的波动与地区差异分析:基于随机前沿分析方法[J].南方农村,2010,26(6):46-52.
- [4] 崔传斌.我国烟草农业生产效率研究[D].西安:西北大学,2010.
- [5] 张宏永.烟农种植规模效率研究:以福建省为例[D].福州:福建农林大学,2011.
- [6] 苏新宏,冯继红,徐敏,等.基于DEA的河南省烤烟生产效率分析[J].中国农学通报,2013,29(14):51-55.
- [7] 苏新宏,马聪,侯鹏,等.河南烤烟全要素生产率实证分析:基于DEA-Malmquist指数法[J].中国烟草学报,2016,22(1):130-137.
- [8] 蔡瑞林,陈万明,朱广华,等.我国烟草种植业的效率评价[J].中国烟草学报,2015,21(4):121-129.
- [9] 唐江云,胡亮,王志玲,等.基于DEA模型的四川烤烟生产效率及其影响因素研究[J].中国农学通报,2018,34(12):69-75.
- [10] 张琦.中国烤烟种植的效率及碳排放效率影响因素研究[D].重庆:西南大学,2017.
- [11] 王鑫磊,黄东兵.基于DEA-Malmquist模型的全国烤烟生产效率研究[J].农业与技术,2019,39(13):1-3.
- [12] 公娜,赵迎,刘军弟.苹果种植技术进步贡献率的测算与分析[J].西北林学院学报,2013,28(4):264-268.
- [13] 靳欣婷,孟志兴.技术进步对运城市苹果产业发展的作用分析[J].天津农业科学,2020,26(6):69-72.
- [14] 夏勇开,张佳,过建春.我国香蕉生产技术进步贡献率的实证分析[J].广东农业科学,2015,42(6):184-188.
- [15] 魏丹,王雅鹏.技术进步对三种主要粮食作物增长的贡献率研究[J].农业技术经济,2010(12):94-99.
- [5] 苗纯正,朱小飞,唐慧波,等.MVR技术在海水淡化中的应用研究[J].中国资源综合利用,2019,37(3):165-168.
- [6] 刘立,张继军,刘燕,等.机械蒸汽再压缩式热泵用于降膜蒸发系统的研究[J].现代化工,2014,34(9):128-132.
- [7] 顾承真,洪厚胜,张志强,等.罗茨压缩机驱动MVR热泵系统的实验研究[J].化工进展,2015,34(6):1602-1606,1612.
- [8] 汤添钧,刘成刚,徐翔,等.中药浓缩用MVR系统的性能测试与节能研究[J].节能,2016,35(12):15-18.
- [9] 鞠婉兰.用于丝光工艺碱回收的机械蒸汽再压缩蒸发系统热力性能研究[D].上海:东华大学,2015.
- [10] 杨紫刚,彭国岗,江文斌,等.降膜蒸发器在造纸法再造烟叶萃取液浓缩工艺中的应用[J].云南农业大学学报,2015,30(5):732-738.
- [11] 黄兰,葛少林,汪华,等.造纸法再造烟叶萃取液与浓缩液固形物含量的测定[J].烟草科技,2018,51(10):64-70.
- [12] 陈敏恒,从德滋,方图南,等.化工原理[M].3版.北京:化学工业出版社,2006:255.
- [13] 李华雨,常岭,王相凡,等.再造烟叶生产中浓缩温度对提取液中性香味成分的影响[J].烟草科技,2016,49(7):60-69.

(上接第219页)