

## 甘蔗糖厂汽凝水除糖新工艺研究

# New Technique of Sugar-removing from the Condensate in Sugarcane Mills

郝媛媛<sup>1</sup>, 钮德明<sup>2</sup>, 潘树林<sup>1</sup>

HAO Yuan-yuan<sup>1</sup>, NIU De-ming<sup>2</sup>, PAN Shu-lin<sup>1</sup>

(1. 广西大学化学化工学院, 广西南宁 530004; 2. 广西工业职业技术学院, 广西南宁 530004)

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Industrial Vocational Technical College, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**摘要:**为了解决甘蔗糖厂二效汽凝水除糖不稳定、不彻底的问题,采用新的工艺方法即反渗透技术对二效汽凝水进行深度处理后作为锅炉补给用水的实验研究。实验结果表明:反渗透系统脱盐率能够稳定在87.28%左右,含糖量低于 $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,出水水质稳定,完全达到中压锅炉补充给水水质标准。该工艺在经济上可行且经济效益显著。

**关键词:**汽凝水 反渗透 焓分析 甘蔗糖厂

**中图分类号:**TS241 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2010)02-0132-03

**Abstract:** In order to solve the problem that the sugar can not be removed stably and completely from the second effect condensate in sugarcane mills, the paper puts forward a new technique, namely reverse osmosis. The condensate of evaporator with the second effect has been treated carefully by reverse osmosis treatment technology, and has been applied to boiler water recycling. The results show that after the treatment, the conductivity removal rate of reverse osmosis system is stabilized about 87.28%, the sugar content is lower than  $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and the effluent water quality is stable. The effluent water quality has completely reached the standards of the medium pressure boiler supply water. Exergy analysis reveals that the technique is not only feasible in economy but also has good economic profit.

**Key words:** condensate, reverse osmosis, exergy analysis, sugarcane mills

甘蔗制糖业是一项高耗水、高污染的产业。制糖企业每处理1t甘蔗耗用新鲜水约 $6\text{m}^3$ ,排放污水约 $6.2\text{m}^3$ <sup>[1,2]</sup>。多年来,由于含糖污水大量排放而引起的环境污染事故时有发生,制糖工业的结构性污染和区域性污染已经成为国民经济发展的一大忧患。为了节约水资源,减少环境污染,对糖厂用水的工艺性改进势在必行。

糖厂蒸发站的二效汽凝水是锅炉给水的良好补充水源。以二效汽凝水取代原水回用锅炉,将大大降低锅炉的运行成本。二效汽凝水含有糖分,目前糖厂现有技术除糖不彻底、不稳定,对锅炉的高效、安全使用带来隐患。为此我们进行了甘蔗糖厂汽凝水除糖新

工艺研究。汽凝水除糖新工艺是使用反渗透技术对二效汽凝水进行除糖处理,为制糖生产的“零取水”奠定了基础,做到了制糖生产用水的资源化。本研究分析反渗透技术的适应性和可靠性,并且通过实验进行了在线验证。

## 1 汽凝水除糖新工艺

### 1.1 二效汽凝水水质

实验用水取自广西来宾市某糖厂蒸发工段的二效汽凝水。取样分析二效汽凝水得其水质指标如下:总硬度 $\leq 2.0\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,电导率 $\leq 316\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,氧 $\leq 15.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,糖 $36\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,铁 $\leq 50.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,铜 $\leq 10.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,pH值6.8~7.5,油 $\leq 1.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,温度 $105^\circ\text{C}$ 。

### 1.2 汽凝水除糖新工艺流程

参照其他行业的污水回用处理方法,选择应用反

收稿日期:2009-07-09

修回日期:2009-09-03

作者简介:郝媛媛(1983-),女,硕士研究生,主要从事过程流体机械研究。

渗透技术来去除二效汽凝水所含的微量糖分。二效汽凝水首先通过换热器冷却至常温,再经过活性炭过滤器、保安过滤器预处理后进入反渗透系统,反渗透透过液经清水泵送到板式换热器与105℃的二效汽凝水进行热量交换,加热到95℃以上,送到锅炉给水箱,以补充锅炉给水。二效汽凝水温度达105℃,必须经过冷却才能符合反渗透膜正常工作温度(不高于40℃)。活性炭过滤器和保安过滤器用于吸附去除水中微粒悬浮物,防止膜组件被污染。实验工艺流程如图1所示。

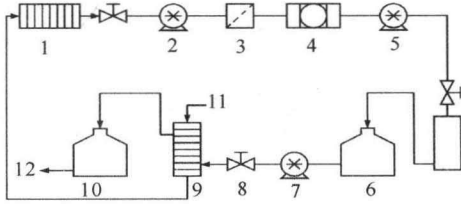


图1 实验工艺流程

Fig. 1 Flowchart of experiment

1. 板式换热器(冷却), 2. 汽凝水泵, 3. 活性炭过滤器, 4. 保安过滤器, 5. 高压泵, 6. 反渗透装置, 7. 纯净水贮, 8. 净水泵, 9. 板式换热器(加热), 10. 锅炉给水箱, 11. 二效汽凝水, 12. 锅炉。

1. plate heat exchange, 2. condensate pump, 3. activated carbon filter, 4. security filter, 5. high pressure pump, 6. RO equipment, 7. pure water tank, 8. clean water pump, 9. plate heat exchange, 10. feed water tank, 11. condensate, 12. boiler.

### 1.3 反渗透膜元件及系统

系统核心工艺为美国海德能科技有限公司生产的PA2-4040型复合膜反渗透膜元件,材料为聚酰胺复合材料,其主要技术参数为:产水量 $7.2\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ,公称脱盐率99.5%,有效膜面积 $7.9\text{m}^2$ ,pH值运行范围为3~10,单支膜元件回收率15%,进水温度 $5\sim 45\text{℃}$ 。该反渗透系统的排列方式为一级二段,膜元件数量为9根。

基于锅水的电导率与二效汽凝水含糖量关系,实验过程中研制使用了二效汽凝水含糖量在线控制装置。此装置可以实现二效汽凝水电导率的实时在线监视和二效汽凝水可否入炉的控制操作。

### 1.4 试验数据处理

采用甲乙丙三班,每隔4h记录下相关的试验数据:进水电导率、净水电导率、进水糖量、净水糖量、净水流量、浓水流量、膜前压力及膜后压力等,以考察反渗透装置运行情况,使实验是在实际工况下进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 反渗透运行情况

整理试验数据,可得到反渗透进水压力 $P_1$ 、操作

压力 $\Delta P$ 及产水量 $Q_f$ 变化情况如图2所示。反渗透系统进水含糖量变化情况如图3所示。

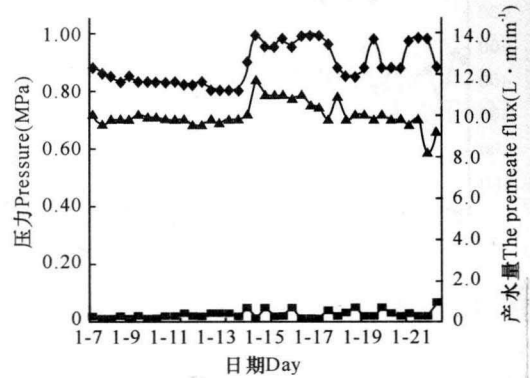


图2 进水压力、操作压力和产水量变化情况

Fig. 2 The change of the inflow pressure, the operating pressure and the permeate flux

◆: 进水压力; ■: 操作压力; ▲: 产水量。

◆: The inflow pressure; ■: The operating pressure; ▲: The permeate flux.

The permeate flux.

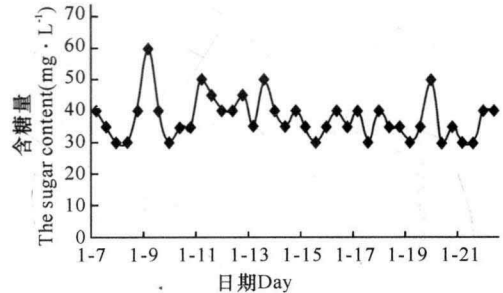


图3 含糖量变化情况

Fig. 3 The change of the sugar content

结合图2和图3分析可知,该系统反渗透进水含糖量比较高( $30\sim 60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),反渗透系统的操作压力 $\Delta P$ 稳定在 $0.03\text{Mpa}$ ;反渗透系统的运行约480h后产水量没有明显下降,说明PA2-4040型复合膜具有很好的耐污染能力。

### 2.2 反渗透系统的脱盐效果

根据火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准(GB/T12145-1999),中压(锅炉过热蒸汽压力 $3.8\sim 5.8\text{MPa}$ )锅炉给水水质指标对比糖厂二效汽凝水样的水质指标,发现除了糖分含量外其他指标均未超标,所以实验中,主要检验糖分的去除情况即可。在反渗透系统中用脱盐率来表示糖分的去除情况。整理实验数据,反渗透系统进水电导率、产水电导率及脱盐率的变化情况如图4所示。

图4结果显示,反渗透系统的脱盐率能够稳定在87.28%左右。处理后的二效汽凝水的含糖量 $\leq 10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,低于中压锅炉回用二效汽凝水含糖量 $\leq 25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的允许值,说明采用一级反渗透装置处理二效汽凝水,其水质完全达到中压锅炉补充给水水质标准。

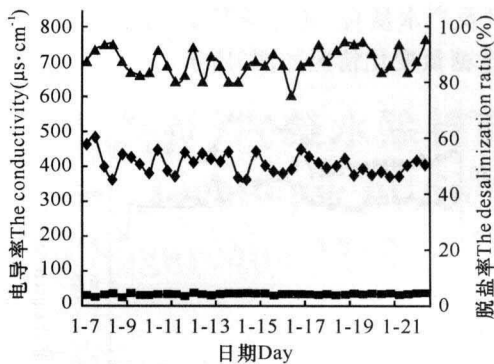


图4 进水电导率、产水电导率及脱盐率变化情况

Fig. 4 The change of the influent and product conductivity, the desalination ratio

◆: 进水电导率; ■: 产水电导率; ▲: 脱盐率。  
◆: Influent conductivity; ■: Product conductivity; ▲: Desalination ratio.

## 2.3 主要经济指标分析

### 2.3.1 节水减排效益

以日榨7000t的糖厂为例,锅炉需水量为120t/h。一效乏汽汽凝水无污染,流量为105t/h可直接回用锅炉(回收率为70%),流量为100t/h的二效汽凝水,实际运行中按60%回收率产水达到锅炉补水要求。1个榨季(120d)可以节省新鲜原水172800t,按每吨新鲜水综合费用为0.5元计,则每年节约新鲜水综合费8.64万元;每年可减少外排污水172800t,按每吨外排污水综合费用为1.5元计,则每年节约外排污水综合费25.92万元。

### 2.3.2 节能效益

对甘蔗糖厂锅炉使用焓分析方法,基本依据为焓平衡方程<sup>[3,4]</sup>:

$$I = (E_i + E_q) - E_e \quad (1)$$

$$\eta_{ex} = \frac{E_e}{E_i + E_q} \quad (2)$$

带入焓( $E_i$ )为锅炉给水的焓,供给焓( $E_q$ )为燃料的焓,有效焓( $E_e$ )为蒸汽所获得焓,焓损失分为内部焓损失(燃烧的焓损失、未燃烧燃料的焓损失、热燃气对给水、蒸汽及燃烧空气传热所引起的焓损失)和外部焓损失(热量散失于环境的焓损失)。经查阅相关文献资料得锅炉的焓效率( $\eta_{ex}$ 一般仅能达到50%左右或更低,其中燃烧不可逆焓损失和传热不可逆焓损失占据了焓损失中的主体,故此假设锅炉的焓效率为50%<sup>[5]</sup>,即: $\eta_{ex} = 50\%$ 。

选取0.1MPa, 20℃(293.15K)的新鲜原水为焓分析的基准态。以日榨7000t的糖厂为例,新鲜原水(基态)带入锅炉的焓 $E_{i1}$ 为0kJ,经反渗透处理后的二效汽凝水(0.1MPa, 90℃)带入锅炉的焓 $E_{i2}$ 为 $7.7397 \times 10^{10}$ kJ,中压锅炉产生蒸汽(3.8MPa, 450℃)

的焓即为有效焓 $E_e$ ,其值为 $2.2215 \times 10^{11}$ kJ。利用公式(2)计算出所需锅炉燃料的供给焓值分别为供给焓 $E_{q1}$ 为 $4.4430 \times 10^{11}$ kJ,  $E_{q2}$ 为 $3.6690 \times 10^{11}$ kJ。

则由此可知,以二效汽凝水取代原水回用锅炉一个榨季可以节省燃料的供给焓 $\Delta E_q$ 为 $7.7400 \times 10^{10}$ kJ。

锅炉燃料为含49%水分的蔗渣,可提供的焓为 $e_q = 17760.53$ kJ/kg。1个榨季可减少蔗渣消耗4358t(折合标准煤2642t),以蔗渣售价120元/吨计算,折合人民币为52.3万元。

合计经济效益为节约新鲜水费用、节约外排水费用及节省蔗渣费用的总合,共计86.9万元。

按处理能力为1t二效汽凝水的反渗透系统需投资3.3万元人民币计,糖厂汽凝水除糖新工艺的技改项目总投资为330万元。因反渗透系统运行费用低于锅炉取用原水所采用的全离子交换法水处理工艺的运行费用,项目年收益为86.9万元。项目投资回收期为 $330/86.9 = 3.8$ a,即项目投资4年便可收回成本,该项目在经济上是可行的。

## 3 结论

(1)采用反渗透技术深度处理二效汽凝水在技术上是切实可行的。连续运行表明,糖厂二效汽凝水经该工艺处理后,出水水质稳定,反渗透的脱盐率能够稳定在87.28%左右,含糖量低于 $10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,完全达到中压锅炉补充给水水质标准,处理效果良好。做到了制糖生产废水资源化,使二效汽凝水得到合理的利用。

(2)糖厂能以二效汽凝水取代原水回用锅炉,达到了节水减排、节能降耗的目的,以日榨7000t的甘蔗糖厂为例年收益近86.9万元人民币,取得了良好的经济效益和社会效益。为糖厂在“技术创新”和“节能减排”方面起到良好的示范作用。

### 参考文献:

- [1] 翁卓. 糖厂生产用水的循环利用与节水[J]. 甘蔗糖业, 2006(3): 34-35.
- [2] 保国裕. 甘蔗糖业循环经济及节能减排探讨[J]. 甘蔗糖业, 2007(6): 25-30.
- [3] 甄志, 崔晓钢, 陈鸿伟, 等. 分析方法及在工程领域中的应用[J]. 电力科学与工程, 2003(1): 62-65.
- [4] 项新耀. 工程焓分析方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [5] 董厚忱. 焓分析与锅炉设计[J]. 动力工程, 2008, 28(1): 1-5.
- [6] 范健, 桑卫民. 化肥污水回用于锅炉补给水的应用[J]. 工业水处理, 2008, 28(10): 91-92.

(责任编辑: 邓大玉)