

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.022

用于饮料超高温杀菌的空压机热能回收系统设计

徐敏珍, 邱毅军, 洪毅潇, 叶 鹏

(杭州娃哈哈集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘 要:针对空压机使用过程中大部分能量被浪费的情况,提出了将空压机热能回收用于 UHT 杀菌系统中料液预热的方案,设计了一种空压机热能回收系统。该热能回收系统采用热交换器和保温管道实现了空压机与 UHT 杀菌系统的联接,并利用水进行循环。空压机的热能通过热交换器进行回收,并经过保温管道输送到饮料 UHT 杀菌系统处,再利用热交换器用于饮料料液 UHT 杀菌的预热过程。经过实际改造应用和计算,该热能回收系统每天可减少能耗 9 500 kW·h,节约蒸气 15 t,每年可节省开支 93.4 万元。研究表明,该空压机热能回收系统具有很好的实用价值和显著的经济效益。

关 键 词: 饮料生产;空压机;热能回收;超高温杀菌系统预热

中图分类号:TK114

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)05-0092-04

Design of an Air Compressor Heat Recovery System for UHT Sterilization

XU Minzhen, QIU Yijun, HONG Yixiao, YE Peng

(Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at most of the energy waste in the process of air compressor, a scheme that the heat recovery of air compressor used for the beverage liquid preheating in UHT sterilization system was put forward, and an air compressor heat recovery system was designed. In the heat recovery system, two heat exchangers and some thermal insulation pipes were used for the connection between air compressor and UHT sterilization system, and water was running round in the pipes. With a heat exchanger, the heat of air compressor was recycled by water. Then the water flowed to the UHT sterilization system and was used for the beverage liquid preheating by another heat exchanger. Through practical application and calculation, the air compressor heat recovery system could reduce 9 500 kW·h of energy and 15 tons of steam per day. And it could reduce ¥170,000 each year. The results indicate that the air compressor heat recovery system has good practical value and significant economic benefits.

Key words: drink liquid production; air compressor; heat recovery; ultra high temperature (UHT) preheat

当今中国,人们越来越关注能源与环境的问题。能源问题关乎社会经济发展,而环境问题关乎居民的身体健康。能源不足将长期制约中国的经济发展,而能源本身的利用,又会带来一系列的环境影响。因此,企业采取节能减排的措施,保障其长期可持续健康地发展;同时社会各界也达成了共识,采取各种技术措施,提高能源利用效率,实现轻污染,低排放^[1]。在国家《节能减排“十二五”规划》中已经提出:“到 2015 年,单位工业增加值能耗比 2010 年下降 21% 左右;工业重点行业、农业主要污染物排放总量大幅降低”的

约束性指标。

空气压缩机是将空气压缩制成高压空气,以提供气体压力能的机械,在工业领域中应用十分广泛。据统计,在中国,空压机的耗电量约占用气企业总耗电量的 15%~35%,在空气压缩机的寿命周期成本中,能耗成本占了约 70%。同时,空压机的使用中普遍存在着“大马拉小车”的现象,空压机的平均使用负荷只有 66% 左右,因此压缩机的节能空间很大,有的能量可回收率甚至能达到 50%^[2-6]。不仅在中国,空压机的节能在世界范围内也引起了高度重视,各种针对空压机

收稿日期:2015-05-17;修回日期:2015-06-09

作者简介:徐敏珍(1974),女,浙江杭州人,工程师,长期从事食品、饮料机械的研究与开发工作。E-mail:kathy@wahaha.com.cn

的节能改造技术层出不穷。目前空压机节能改造技术措施主要包括:热能回收、恒压控制、空压机变频改造、联控系统、气体输送管路优化设计与改造等手段,其中热能回收是空压机节能中最为显著且直接的措施^[7-10]。

1 热回收系统设计原理分析

1.1 系统框架

热能回收系统是在对压缩机性能不产生任何负面影响的前提下,利用空压机在压缩空气时产生的余热,通过水进行热交换,将热能传递给其他需要应用热水的领域,例如作为产品预热用水或洗浴用水等。本文中,将回收的热水用于对超高温杀菌系统(ultra high temperature treated, UHT)中的料液进行预热,以减少 UHT 的蒸气消耗。UHT 是目前主流的饮料产品的灭菌工艺,主要通过将物料加热至 135 ~ 140 °C,并保持 4 ~ 10 s 来达到杀灭细菌的目的^[11]。而在通常的生产过程中,料液并非直接从常温加热到 135 °C 以上,首先需要采用蒸气对饮料料液预热。

热能回收系统的工作流程如图 1 所示,其中左侧空压机中产生的热量通过水循环进行回收利用,提供给 UHT 预热使用,节约蒸气消耗。

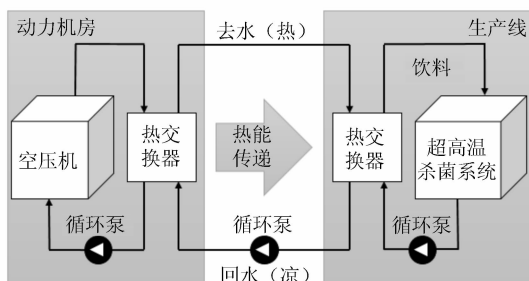


图 1 热能回收系统流程框图

Figure 1 Flow diagram of heat recovery system

1.2 热能回收预期分析

为了计算出 UHT 能够节约的蒸气量,需要知道 UHT 能够获得多少回收的热能,根据热力学第一定律:

$$Q_{in} = Q_o - Q_{lost} \quad (1)$$

式中: Q_{in} 为 UHT 可以利用的热能; Q_o 为空压机可以输出的热能; Q_{lost} 为热传递过程中损耗的热能。

为方便计算与理解,热能的单位统一使用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

空压机每天可以输出的热能:

$$Q_o = (P \cdot \eta_L \cdot \eta_{T1} \cdot \eta_{T2}) \cdot t \quad (2)$$

式中: P 为空压机总输入轴功率; η_L 为空压机负载率; η_{T1} 为空压机冷却水效率; η_{T2} 为热回收换热器效率; t

为空压机运行时间。

热传递过程中损耗的热能 Q_{lost} 主要是热水管路在运输途中的损耗,该损耗包括辐射、传导和对流 3 种方式^{[12]10}。其中由于管道表面温度和环境温度的温差只有 15 °C,辐射传导的热量非常小,不到 1 W;干燥空气是热的不良导体,热传导率只有 0.2 W/(m · K),热传导所导致的热损大约为 4 W。因此,热辐射和传导均可忽略不计,对流散热是热能回收管道热损的主要因素。具体公式为:

$$R_c = \frac{1}{h \cdot s} \quad (3)$$

式中: R_c 为热管道的热阻/(K · W⁻¹); h 为对流传热系数,室内取值为 5 ~ 15 W · m⁻² · K⁻¹^{[12]15}; s 为对流传热面积/m²。

对于热回收管道来讲,可近似为圆柱管道,其外表面面积计算公式为

$$S = \pi dL \quad (4)$$

式中: d 为热回收管道的外径/m; L 为热回收管道的长度/m。

因此,根据公式(3)和公式(4),可计算管损热能为:

$$Q_{lost} = \frac{\Delta T}{R_c} \cdot t = \Delta T \cdot h \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot t \quad (5)$$

式中 ΔT 为热回收管道外表面与周围环境的温度差值/°C,文中表面温度为 35 °C,平均环境温度为 20 °C。

热能回收系统回收的热量主要用于 UHT 中料液预热,因此可以计算出节约的蒸气量。因此回收的热量应与节约蒸气所含热量相等,即

$$Q_{in} = Q_1 \quad (6)$$

式中 Q_1 为蒸气中所含热量,计算公式为

$$Q_1 = Q_{KOT} \cdot M \cdot \eta \quad (7)$$

式中: M 为蒸气的质量/t; Q_{KOT} 为每吨蒸气含有的热能,根据化工手册,0.3 MPa 饱和蒸气的热值约为 $2.7 \times 10^6 \text{ J/kg}$ ^{[13]295},即 $7.5 \times 10^{-4} \text{ kW} \cdot \text{h/t}$; η 为蒸气换热效率,受到一些生产因素的影响,实际效率在 85% 左右。

2 工程实施

该饮料公司共安装有 ZR 系列空压机 3 台,其中 2 台 ZR275 型空压机,配套电机功率为 275 kW,1 台 ZR200 型空压机,配套电机功率为 200 kW。采用上述热能回收系统,需对空压机侧冷却系统和 UHT 侧进行改造工作。增加温控系统、水循环管道和换热器装置等^[14],具体改造内容如下:

1) 在空压机侧增加冷却系统与温度控制系统,用

于回收空压机运行时产生的热能,并控制换热的循环热水出口温度。热能回收机组^[15]将空压机的热水送至热水回用罐,如图2所示。

2) 在空压机冷却系统和 UHT 预热之间增加水循环系统,通过换热器将回收的热能转移至水循环系统中。

3) 水循环系统增加 5 根管式换热器对 UHT 中的饮料进行预热,如图3所示。

4) 热能回收系统采用全自动控制确保系统的可靠性。热水缓存罐补水气动阀根据液位自动控制补水,确保热水循环管路不缺水。

5) 热水循环泵自动恒压变频控制,确保系统压力、流量稳定。



图2 空压机侧改造内容

Figure 2 Modification of air compressor



图3 UHT 侧改造内容

Figure 3 Modification of UHT

3 实测结果与分析

热能回收系统实施后,进行了持续4个月的数据统计和分析工作。分析过程中,剔除了回收系统不工作时的一些数据,如生产线清洗、停机维修等,采用了其中的有效数据。经统计与分析,目标生产线已知各参数的情况如表1所示。

表1 饮料生产线各参数数值

Table 1 Value of parameter in beverage production line

P/kW	t/h	$\eta_L/\%$	$\eta_{T1}/\%$	$\eta_{T2}/\%$	$\Delta T/^\circ\text{C}$
750	24	80	80	85	15
$h/$ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	$Q_{\text{KOT}} \times 10^{-4}/$ ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1}$)	$\eta/\%$	d/m	L/m	
0.01	7.5	85	0.1	200	

根据表1中的参数,由公式(1)、公式(2)和公式(5)可算得相关节约蒸气量和所取得的经济效益。

每天节约的热量为

$$Q_{\text{in}} = Q_o - Q_{\text{lost}} = (P \cdot \eta_L \cdot \eta_{T1} \cdot \eta_{T2}) \cdot t - \Delta T \cdot h \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot t = 750 \times 80\% \times 80\% \times 85\% \times 24 - 15 \times 0.01 \times 3.14 \times 0.1 \times 200 \times 24 = 9\,565.92 \text{ kW} \cdot \text{h}.$$

则可节约的蒸气量为

$$M = \frac{Q_1}{Q_{\text{KOT}} \cdot \eta} = \frac{Q_{\text{in}}}{Q_{\text{KOT}} \cdot \eta} = \frac{9\,565.92}{7.5 \times 10^{-4} \times 85\%} \approx 15 \text{ t}.$$

节约的费用 c 为

$$c = c_{\text{steam}} - c_{\text{power}}$$

式中: c_{steam} 为节约蒸气的费用, c_{power} 为增加的电费。

其中,蒸气市价约合 280 元/t,因此每天节约的蒸气费用为

$$c_{\text{steam}} = 280 \times 14.7 = 4\,200 \text{ 元}.$$

增加的费用包括:①空压机上增加的管路将导致空压机耗电增加;②增加的热水循环泵消耗的电费。电费平均单价按 0.7 元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$ 计算,空压机耗电增加约为 3%,则每天增加的费用为

$$c_{\text{power}} = 0.7 \times (750 \times 3\% \times 80\% + 12 \times 80\%) \times 24 = 463.68 \text{ 元}.$$

因此安装了空压机热能回收系统后,一条生产线每天能够节约的总费用 c 为

$$c = c_{\text{steam}} - c_{\text{power}} = 4\,200.00 - 463.68 \approx 3\,736.00 \text{ 元}.$$

按生产线全年生产 250 d 计算,则每年可节约总费用为

$$c_{\text{总}} = 250 \times c = 250 \times 3\,736 = 93.4 \text{ 万元}.$$

由此可见,使用了空压机热能回收系统后,此条饮料生产线每年可减少能量消耗约为 9 565 $\text{kW} \cdot \text{h}$,节约费用为 93.4 万元,具有很好的实用价值。

4 结论

本文针对空压机使用过程中大部分能量被白白浪费的情况,设计了一种空压机热能回收系统,将空压机

(下转第 98 页)