

张大维,徐彩云,王德利,等. 高压蒸汽灭菌器余热回收系统的建立 [J]. 中国比较医学杂志, 2019, 29(5): 116-119.
Zhang DW, Xu CY, Wang DL, et al. Establishment of a waste heat recovery system for a high-pressure steam sterilizer [J]. Chin J Comp Med, 2019, 29(5): 116-119.
doi: 10.3969/j.issn.1671-7856. 2019.05.018

高压蒸汽灭菌器余热回收系统的建立

张大维¹,徐彩云¹,王德利²,王彦¹,甘振威^{3*}

(1. 吉林大学基础医学院,长春 130021;2. 吉林大学生命科学院,长春 130021;
3. 吉林大学公共卫生学院,长春 130021)

【摘要】目的 通过换热器降低高压蒸汽灭菌器排放废汽废水的温度,使之能在 PVC 管道中排放,回收排放的废汽废水中的热能加以利用,降低排放废汽造成的环境污染。方法 通过采用热交换器元件,对排放的高温气体和液体进行高效热交换。并通过在关键控制节点布置温度传感器的方法,对交换过程中的温度进行精密控制。结果 灭菌器停止工作后,蒸汽排出温度降低到 15℃,换热后水温也随之降低。在有效热回收过程中,热回收效率达到 72%。结论 解决高温高压灭菌器高温气体排放及所造成的空气污染问题,实现节能减排。
【关键词】 高压蒸汽灭菌;热回收系统;高温气体排放
【中图分类号】 R-33 【文献标识码】 A 【文章编号】1671-7856(2019) 05-0116-04

Establishment of a waste heat recovery system for a high-pressure steam sterilizer

ZHANG Dawei¹, XU Caiyun¹, WANG Deli², WANG Yan¹, GAN Zhenwei^{3*}

(1. College of Basic Medical Sciences, Jilin University, Changchun 130021, China. 2. College of Life Science, Jilin University, Changchun 130021. 3. College of Public Health, Jilin University, Changchun 130021)

【Abstract】 **Objective** To reduce the temperature of waste water and gas through a heat exchanger so it can be discharged in a polyvinyl chloride (PVC) pipe, and so the heat energy can be controlled by arranging the temperature sensor at the critical control node. **Methods** High temperature gas and liquids were exchanged efficiently using a heat exchanger element. The temperature sensor was arranged at the key control node to control the temperature precisely. **Results** After the sterilizer was stopped, the steam discharge temperature was reduced to 15℃ and the water temperature after heat transfer was reduced. In the heat recovery process, the heat recovery efficiency reached 72%. **Conclusions** The problem of air pollution caused by high temperature and high pressure gas discharge is reduced allowing energy saving and emission reduction.
【Keywords】 high-pressure steam sterilization; heat recovery system; high-temperature gas emission

目前,在灭菌方法上采用最广泛的是高压蒸汽灭菌法^[1]。由于其产生的蒸汽容易进入微生物的细胞而引起微生物的蛋白质变性或者凝固,进而造成微生物的死亡,以达到杀死微生物的目的^[2]。高压蒸汽灭菌不仅可以杀死一般的细菌、真菌等微生物,对芽胞、孢子也有明显的杀灭^[3]。随着生产研

[基金项目] 吉林省科技发展计划项目任务书(20170623093-01TC)。
[作者简介] 张大维(1963—),男,高级工程师,硕士研究生,研究方向:实验动物学。E-mail: 13019225999@126.com
[通信作者] 甘振威(1966—),男,高级工程师,硕士研究生,研究方向:人体健康与实验动物营养。E-mail: ganzw@jlu.edu.cn

究过程中的要求日益增长,为此对大型自动高压蒸汽灭菌器也提出了更高的要求^[4]。而高压蒸汽灭菌器工作时,高压蒸汽灭菌器排放的高温气体和液体温度高达 80℃~135℃^[5],一般设施排水管路材质为 PVC 材料最高耐热温度为 80℃,排放液体温度过高极易造成排水管路的损坏,存在较大安全隐患^[6]。本研究拟通过采用热交换器元件对排放的高温气体和液体进行高效热交换,并通过在关键控制节点布置温度传感器^[7]的方法对交换过程中的温度进行精密控制,最终实现高温排放气体和液体安全排放,并实现能源的高效利用。

1 高压蒸汽灭菌器热回收系统的基本原理

高压蒸汽灭菌器余热回收系统的基本原理如图 1 所示,余热回收系统由高压蒸汽灭菌器、电蒸汽发生器、换热器、循环泵、保温水箱、过滤器、温度传感器、液位传感器、阀门、排水设施等组成。

图 1 中,电蒸汽发生器产生高压蒸汽输入至灭菌器中,灭菌器灭菌后产生的废汽与夹层空气通过过滤器过滤后进入板式换热器中,经板式换热器的换热作用后,将热量传输至保温水箱循环水中,废水通过排水设施排出。保温水箱中水在循环泵的作用下,依次通过板式换热器进行热交换,交换后的热水一部分进入到电蒸汽发生器中,一部分通过与自来水混水后,温度调节至适宜温度供洗刷等生活用水。纯化水水箱中的纯化水通过阀门控制对

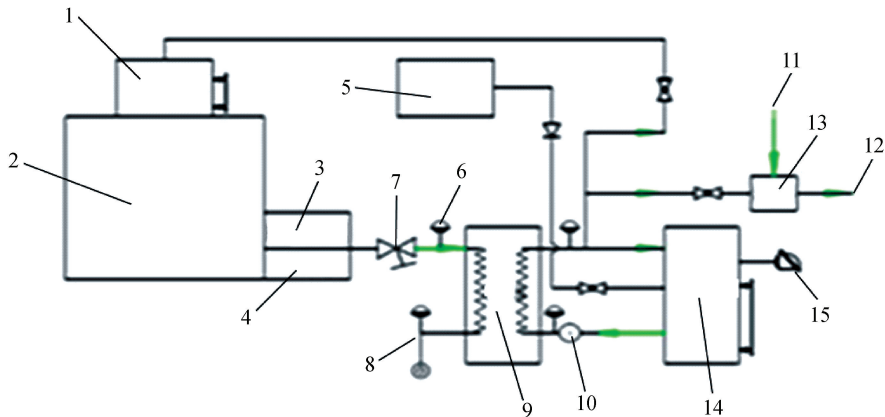
保温水箱中水容量进行实时补充。

2 关键输入输出控制节点

通过上节对高压蒸汽灭菌器热回收系统基本原理的分析,关键的控制输入输出节点主要为温度控制节点,包括灭菌后废汽与夹层空气通过过滤器排出后温度测量点 T_1 ,废水排出前温度测量点 T_2 ,保温水箱换热前温度测量点 T_3 ,保温水箱换热后温度测量点 T_4 。

在余热回收系统的控制系统选择上,选择在工业领域应用较广的 PLC(可编程逻辑控制)控制是一种较为理想的控制方法,其具备使用方便、功能性强、可靠性高、抗干扰能力强等优点,适用于我们的对安全性和可靠性要求较高的应用场合。选择西门子公司的 SIMATIC S7-200 可编程序控制器对整个热回收系统的工作流程进行程序控制,S7-200 内置高速计数器,PID 控制器,RS-486 通信/编程接口,具备点对点及多点接口的通讯协议和自由端口模式通信功能,最大可以扩展到 248 点数字量 I/O,或 35 路模拟量 I/O^[8]。

温度传感器选择在应用较多的热电偶元件,其具备较好的鲁棒性,适用于对测温精度要求不高,但可靠性要求较高使用场所^[9]。热电偶元件可以选择美国 Omega 公司生产的 GJMQSS 系列产品,其测量温度范围 -29℃~120℃,测温精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,模拟量信号输出^[10]。



注:1:电蒸汽发生器;2:灭菌器;3:灭菌后废汽;4:夹层空气;5:纯化水;6:温度传感器;7:过滤器;8:排水设施;9:换热器;10:循环泵;11:自来水;12:生活用水;13:混水阀;14:保温水箱;15:液位显示。

图 1 高压蒸汽灭菌器余热回收系统原理图

Note. 1, Electric steam generator; 2, Sterilizer; 3, Waste steam after sterilization; 4, Interlayer of air; 5, Purified water; 6, Temperature sensor; 7, Filter; 8, Drainage facility; 9, heat exchanger; 10, Circulating pump; 11, Tap water; 12, Domestic water; 13, Mixing valve; 14, Insulated water tank; and 15, Liquid level display.

Figure 1 Schematic diagram of the autoclave waste heat recovery system

3 控制流程图

通过前文对高压蒸汽灭菌器热回收系统的原理,关键输入输出控制节点,控制系统等分析,建立如图 2 所示的控制流程图。

图中,通过检测蒸汽换热前水温 T_1 ,判断换热循环泵的开启与关闭。通过检测蒸汽换热后水温 T_2 判断换热循环泵的高功率与低功率运行^[11]。并实时输出显示保温水箱换热前后的水温,以供操作人员判断保温水箱内的温度及换热后输出水温度^[12]。

4 高压蒸汽灭菌器余热回收系统热回收效率测试与分析

通过上述分析与研究,建立实验室用高压蒸汽灭菌器余热回收系统,并对其热回收效率进行测试。热回收效率计算公式^[13]如下:

$$\eta = \frac{T_1 - T_4}{T_1 - T_3} \times 100\%$$

其中 T_1 为蒸汽换热前温度, T_3 为保温水箱内水换热前温度, T_4 为保温水箱内水换热后温度。

通过对高压蒸汽灭菌器余热回收系统 8 h 的实际工作时间各温度控制节点的温度进行测量分析,得到如图 3 所示的热回收系统换热效率曲线。

可以看到,蒸汽排出温度 T_1 初始在 15℃ 左右,此时循环泵处于关闭状态^[14]。当灭菌器工作时,蒸汽排出温度迅速升至接近 100℃,此时热回收循环泵受到稳定影响处于开启状态,低功率运行,开始换热工作^[15]。此时保温水箱内水换热前温度 T_3 为 100℃,保温水箱内水换热后水温 T_4 开始逐渐增高,当蒸汽换热后 T_4 温度超过 50℃ 后,热回收设备的循环泵运行,换热后水温 T_4 达到最高值 75℃,之后随换热后水温逐渐减小。当灭菌器停止工作后,蒸汽排出温度降低到 15℃,换热后水温也随之降低。在有效热回收过程中,热回收效率达到 72% 以上。

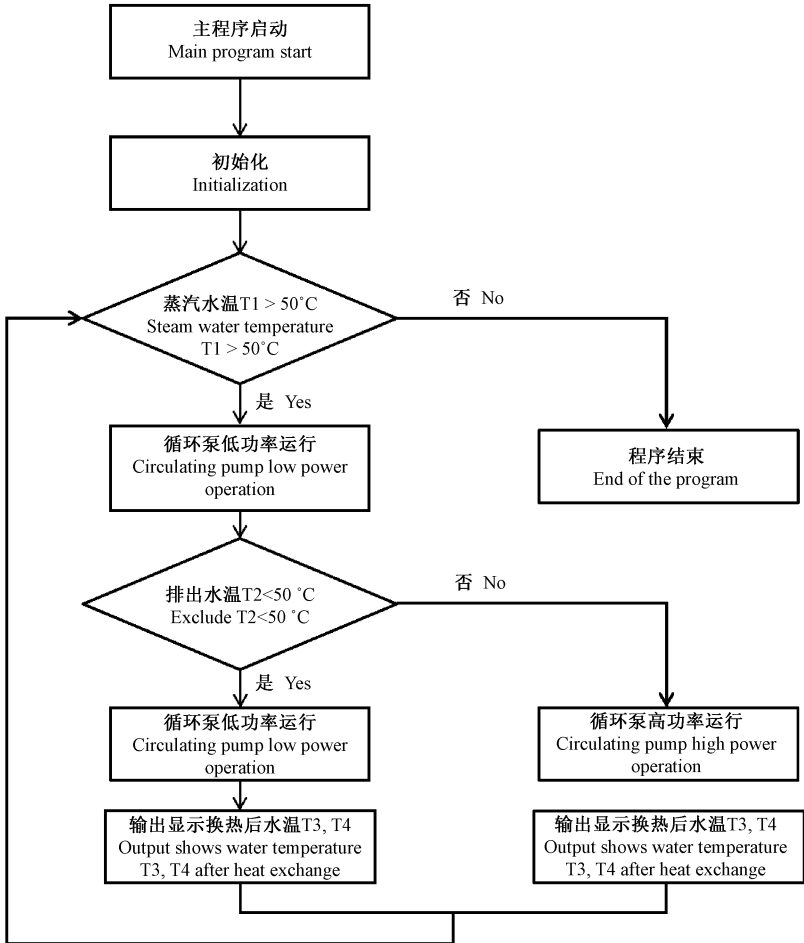


图 2 高压蒸汽灭菌器余热回收系统控制流程图

Figure 2 Flow chart of controlling of the high-pressure steam sterilizer waste heat recovery system

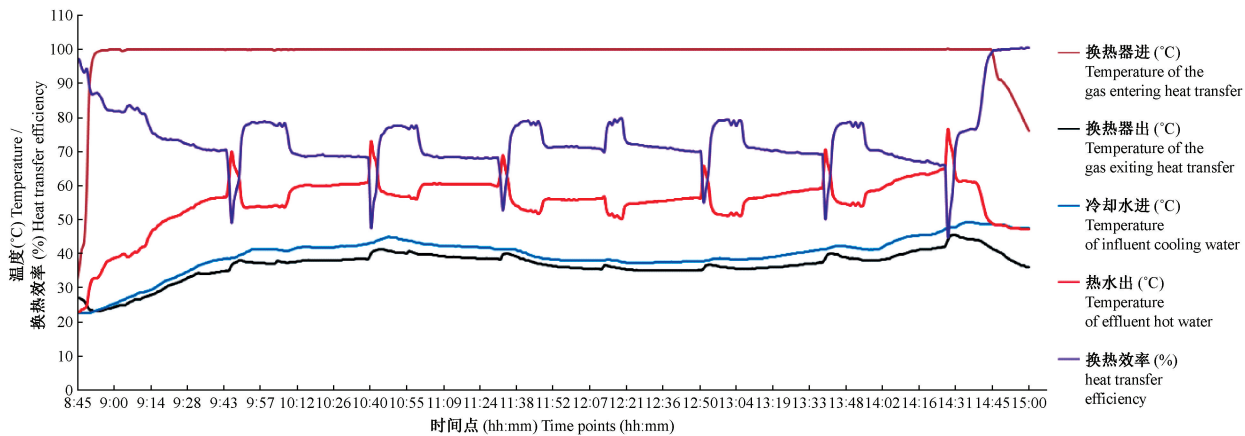


图 3 高压蒸汽灭菌器余热回收系统热回收效率曲线

Figure 3 Heat recovery efficiency curve of the autoclave waste heat recovery system

5 结论

在生物制药、医院、生命科学领域对高压蒸汽灭菌消毒是常用消毒方式^[16]，多篇研究表明，随着我国对节能减排需求的提高，对余热的回收已然成为发展趋势^[17-18]。

本研究通过对高压蒸汽灭菌器余热回收系统的工作原理的介绍，并对系统中的关键输入输出控制节点，控制系统及温度传感器选择，控制系统流程图等进行了详细阐述。建立余热回收系统，并对余热回收系统的热回收效率通过实验进行测试与分析。通过余热回收系统的建立，实现了高压蒸汽灭菌器排放无污染，回收了部分热能量，并加以利用，降低了设施和设备能耗，达到了节能减排的目的，在生物制药、医院、生命科学研究等灭菌消毒领域，具备较好的应用前景。

参考文献：

[1] 陈爱琴, 郑文, 戚维舒, 等. 广东省部分医疗机构压力蒸汽灭菌器性能监测执行现状调查 [J]. 中国消毒学杂志, 2018, 35(2): 102-104.

[2] Chen T, Peng Z, Lu J, et al. Self-degradation of sea cucumber body wall under 4°C storage condition [J]. J Food Process Pres, 2016, 40(4): 715-723.

[3] 伍胤杰, 张名, 周健, 等. 微载体预处理方式对其灭菌温度及 Vero 细胞贴壁率的影响 [J]. 云南大学学报:自然科学版, 2017, 39(5): 876-882.

[4] Deng Y, Li J, Yu J, et al. Silver nanoparticles well-dispersed in amine-functionalized, one-pot made vesicles as an effective antibacterial agent [J]. Mat Sci Eng C, 2016, 60: 92-99.

[5] 曹玲丽, 金云玉, 吴杰. 395 家医院压力蒸汽灭菌器的使用情况现状调查 [J]. 中华医院感染学杂志, 2017, 27(24): 5728-5731.

[6] 陆烨, 陆龙喜, 李晔, 等. 医院自动清洗消毒机和压力蒸汽灭菌器物理检测分析 [J]. 中华医院感染学杂志, 2017, 27(18): 4255-4257.

[7] 高树国, 高骏, 潘瑾, 等. 荧光光纤温度传感器护套材料在变压器油中的热老化 [J]. 高电压技术, 2017, 43(8): 2599-2607.

[8] 刘美丽, 燕旭, 杨凯, 等. 低温余热回收 ORC 系统工质的筛选 [J]. 制冷与空调, 2017, 17(1): 44-49.

[9] 薛小怀, 王志颖, 李天宇, 等. CAP1400 蒸汽发生器压力边界焊接接头的显微组织 [J]. 机械工程材料, 2018, 42(2): 22-26.

[10] 周智勇, 吴青青, 韦中师, 等. 二次热回收热管式空调系统 [J]. 化工学报, 2017, 68(5): 1823-1832.

[11] 柴玉鹏, 马国远, 周峰, 等. 单通道户式双向换气热回收装置性能分析 [J]. 暖通空调, 2017, 47(2): 82-87.

[12] 全永娟, 杨朵, 李娜, 等. 低温低压环境对小鼠褐色脂肪组织形成的影响 [J]. 中国比较医学杂志, 2017, 27(12): 61-65.

[13] 田立立, 魏晓锋, 高诚. 实验动物行为与环境质量研究进展 [J]. 实验动物与比较医学, 2016, 36(3): 237-242.

[14] Orr B, Akbarzadeh A, Mochizuki M, et al. A review of car waste heat recovery systems utilising thermoelectric generators and heat pipes [J]. Appl Therm Eng, 2016, 101: 490-495.

[15] Calautit JK, O' Connor D, Hughes BR. A natural ventilation wind tower with heat pipe heat recovery for cold climates [J]. Renew Energ, 2016, 87: 1088-1104.

[16] Wang H, Zhou S, Wei Z, et al. A study of secondary heat recovery efficiency of a heat pipe heat exchanger air conditioning system [J]. Energ Buildings, 2016, 133: 206-216.

[17] Khodami R, Nejad AA, Khabbaz MRA. Experimental investigation of energy and exergy efficiency of a pulsating heat pipe for chimney heat recovery [J]. Sustainable Energy Technol Assessm, 2016, 16: 11-17.

[18] Winarta A, Putra N, Bakhtiar F. Thermal performance of oscillating heat pipe with ethanol/methanol for heat recovery application design [J]. Int J Therm Sci, 2017, 7(4): 1268.