

王冬祥, wxiang@mail.ustc.edu.cn

基于仿真的榨汁机柜体制冷系统设计研究

Design and research of refrigeration system for juicer cabinet based on simulation

黄胜华¹ 王冬祥¹ 刘宏宇¹ 李乾坤¹

Huang ShengHua¹ Wang DongXiang¹ Liu HongYu¹ Li Qiankun¹

1. 合肥美菱股份有限公司 安徽合肥 230000

1.Hefei Meiling Company Limited Co.,Ltd, Hefei 230000

摘要:

本文通过蒸发器盘管对榨汁机柜体直冷制冷,详细分析了三种蒸发器结构方案,利用 CFD 仿真分析进行筛选,结果显示,方案 3 在顶部两侧和背部添加蒸发器,箱体内部温度较均匀,排水管口处温度满足可靠性要求,通过 CFD 仿真分析,可以有效预测直冷制冷温度场并优化,为榨汁机制冷系统设计提供一些参考。

关键词

蒸发器盘管、榨汁机、CFD 仿真

Abstract

In this paper, three kinds of evaporator structure schemes are analyzed in detail through the evaporator coil unit. The CFD simulation analysis is used to screen. The results show that program 3 adds evaporator on both sides and back of the top, the temperature is more uniform inside the box, the temperature of the outlet pipe meets the requirement of dependability, and the simulation analysis of the CFD can be used. It can effectively predict the temperature field and optimize the direct cooling refrigeration, and provide some reference for the design of the refrigeration system of the juice extractor.

Keywords

Evaporator coil, Juicer cabinet, CFD simulation

1 前言

自动榨汁机经常出现在商场、游乐场、大学、地铁站等人流量较大的地方,由于其榨汁纯天然无添加,榨汁过程无需人员手动操作,操作简单方便,受到广大消费者的喜欢。一般来说,自动榨汁机分为两个部分:鲜果保存区和榨汁区,鲜果保存区一般位于柜体的上半部分,主要作用是储存用于榨汁的水果,而榨汁区主要包括控制模块、榨汁模块、包装模块等,为了保证水果新鲜,提升榨汁饮料的口感,需要对柜体内部制冷保鲜。

目前家用常用的器具制冷方式有直冷和风冷两种方式^[1],直冷是通过空气自然对流进行制冷,具有结构简单、制冷空间湿度高、成本较低的优点,风冷是依靠风扇转动强制驱动空气与换热器对流换热,具有制冷速度快,制冷空间温度均匀性好、无霜等优势。由于风冷制冷需要添加风扇、换热器等组件,成本相对较高,同时水果在长时间风冷风吹的条件下,容易出现风干脱水的现象,影响榨汁机的榨汁效率和使用效果,因此一般榨汁机柜体选用直冷制冷方式。

2 柜体描述

图 1 为需要设计制冷系统的榨汁机柜体,外型高度为 1900mm,宽度 810mm,厚度为 800mm,设计内部容积为 850L,其中区域一为鲜果保存区域,位于整个柜体的上半部分,区域二为榨汁区。由于需要在柜体内部安装果篮、榨汁机等模块,柜体上预留有螺钉安装位置(图中内胆上的黄色位置)。

系统设计为直冷制冷,将蒸发器盘管安装在内胆外侧壁面上发泡,利用制冷剂在蒸发器盘管中相变流动,使蒸发器盘管和榨汁机内胆冷却,进而通过空气自然对流使整个柜体内部降温。

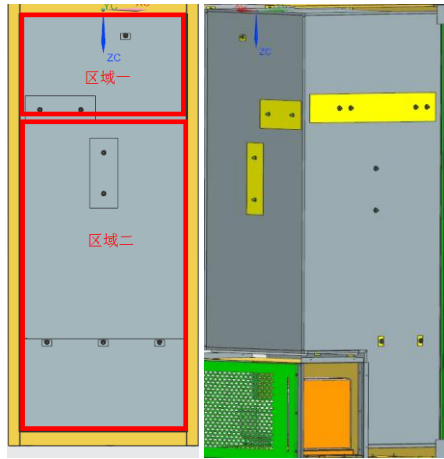


图1 榨汁机柜体示意图

3 系统设计

根据上述描述，我们将设计蒸发器盘管安装在柜体内胆外侧壁面上，同时需要避免和内胆上预留的螺钉安装位置干涉，根据图纸我们主要设计了三款蒸发器，其中方案1是将蒸发器盘管布置在柜体的背部和顶部，方案2是将蒸发器盘管仅布置在柜体的背部，安装方式最简单，方案3是考虑顶部设计蒸发器盘管，容易造成顶部凝露滴水，如果滴入区域一中的水果或者区域二中的部分电器，可能会影响榨汁效果，因此将顶部蒸发器盘管去除，改在柜体两侧上部添加部分蒸发器盘管。为了进一步提高蒸发器盘管对榨汁机柜体的制冷效率，将蒸发器盘管压扁，提升蒸发器盘管和榨汁机内胆的接触面积，同时方便贴合安装。三种方案蒸发器盘管的展开图示意图见图2，方案3蒸发器盘管安装在柜体上的示意图见图3。

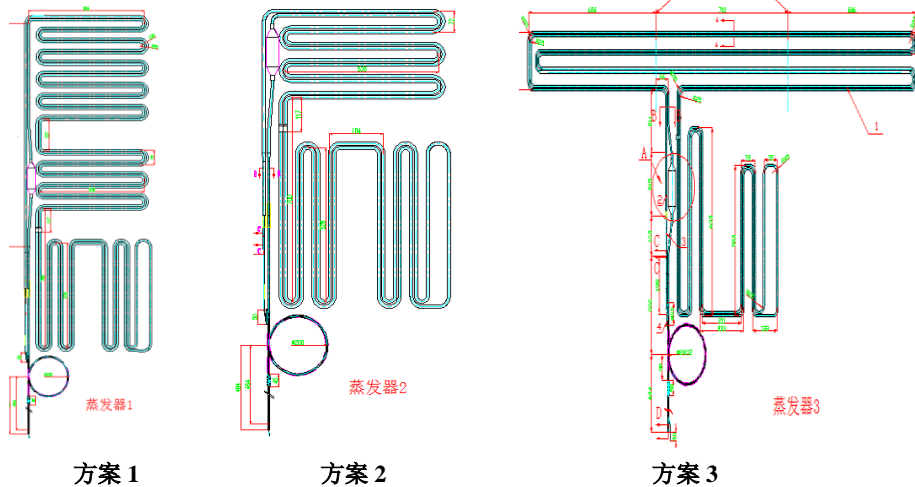


图2 蒸发器示意图

首先计算榨汁机柜体热负荷，发泡层导热率按照 $0.02W/(M.K)$ ，热负荷计算环境温度为 $38^{\circ}C$ ，由于是水果保鲜，柜体内部温度按照 $4^{\circ}C$ 设计，根据图纸中各个面的发泡层厚度，计算得柜体的热负荷约为 $120W$ 。结合热负荷数据，考虑到我们的制冷区域的温区要求，选择中高背压的压缩机，预估蒸发器盘管温度约为 $-15^{\circ}C$ ，选型获得压缩机型号和冷凝器结构。

根据预估蒸发器盘管温度和蒸发器盘管面积，初步估算发现方案2中仅有背部蒸发器盘管，蒸发器面积较小，难以满足降温要求，因此舍弃方案2蒸发器结构。

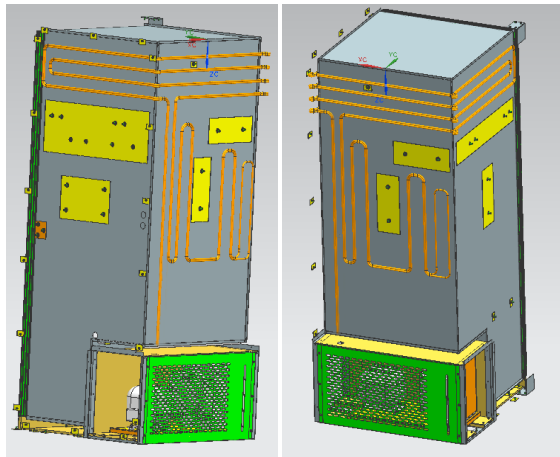


图 3 方案 3 蒸发器安装在柜体示意图

4 制冷系统仿真

根据榨汁机图纸，抽取仿真模型，如图 4 所示，主要包括三部分：1) 外发泡层，就是榨汁机内胆外侧的保温层，根据图纸得到各个面不同的尺寸；2) 蒸发器结构，根据上述分析，仅剩下方案 1 和方案 3 两种蒸发器盘管结构；3) 箱体内部空气，主要的监测对象，需要观察箱体内部是否满足降温要求。

根据上述建模，各个求解区域之间主要包含三种接触面：1) 外发泡层的外表面，根据柜体测试环境温度设置；2) 蒸发器盘管内表面，蒸发器盘管材料设置为铜，内表面温度根据设计蒸发温度设置；3) 内胆表面，榨汁机内胆材料设计为钢，其温度根据仿真计算得到。

建立的方案 3 仿真模型如图 4 所示，仿真设置中，由于箱体内制冷主要依靠空气的自然对流，因此需要考虑重力加速度，设置为 10m/s^2 ，打开能量方程，选择 k-e 模型，密度选用 Boussinesq 假设，柜体外侧壁面为 38°C 环温，蒸发器管道内统一设置蒸发温度为 -15°C 。

由于实际柜体制冷是上下浮动的动态过程，因此采用非稳态计算，在柜体模型从上至下 1/4 处、中部、3/4 处设置 3 个监测点，初始设置柜体温度均为 38°C ，监测柜体内监测点平均温度小于 4°C 后停止计算，方案 3 计算结果温度场见图 4。

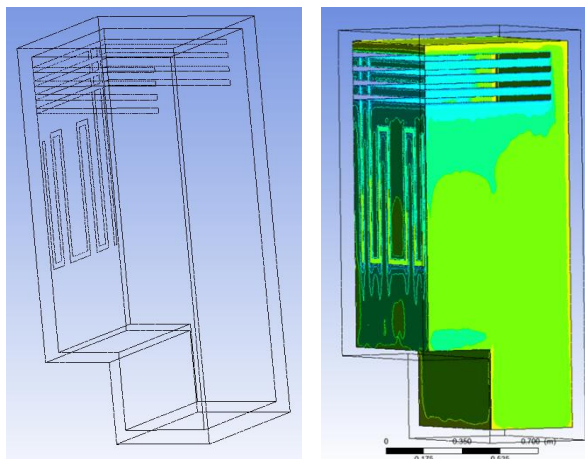


图 4 方案 3 蒸发器计算模型及计算结果温度场

根据表 1 数据我们看到方案 1 和方案 3 均可以使箱体内部满足制冷需求，方案 1 中温差较大，仿真箱体内温差在 1°C 以上，而方案 3 中温差在 1°C 以内，同时考虑方案 1 中蒸发器在顶部，容易形成顶部滴水，最终选择方案 3 作为最终的样机制作方案。

查看方案 3 温度场，除了蒸发器盘管附近温度较低，整体剖视图上下温度还是比较均匀的。另外我们观察箱体底部排水管处的温度，防止低温结冰堵塞影响榨汁机柜体内部排水，实际中如果冰堵，需要改变排水孔或者蒸发器盘管的位置，再或者在排水孔处添加加热丝，影响生产效率。通过仿真数据可以监测观察，底部排水管处温度在 2°C 左右，监测整个仿真降温过程中没有降到零度之下，因此不需要在排水管处添加加热器来提升箱体使用可靠性。

表 1 仿真温度场数据

蒸发器方案	1/4 处点	中部点	3/4 处点
方案 1	3.10	4.40	3.80

5 样机制作及测试

根据上述分析确定制冷系统结构并制作样机,如图 5 所示。在 38℃ 环境温度下平衡至环温后开机测试,和仿真模型中监测位置相同,在柜体内布置上中下三个点,实际平均温度点降低至 4℃ 时,三个测试点的温差在 0.7℃ 左右。

测试过程中监测排水管处测试点,基本在 3℃ 左右,没有排水管结冰的风险,测试相关可靠性实验合格,实验测试结果和仿真结果趋势基本符合。



图 5 榨汁机柜体样机图

6 结论

本文通过蒸发器盘管对榨汁机进行直冷制冷,详细分析了三种蒸发器结构方案,利用 CFD 仿真分析进行筛选,结果表明:

(1) 方案 3 在顶部两侧和背部添加蒸发器,仿真和实测结果均表明,箱体内部温度较均匀,排水管口处温度满足可靠性要求;

(2) 利用 CFD 仿真分析,可以有效预测直冷制冷性能并优化;

参考文献

[1]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,家用和类似用途制冷器具,中国标准出版社,2016.12