

卧式双温无霜冰柜的研发及应用

王冬祥, 魏邦福, 李乾坤, 张波
(合肥美菱股份有限公司 安徽合肥 230000)
(15956909160, wdxiang@mail.ustc.edu.cn)

摘要: 本文提出并详细分析了三种卧式双温无霜风冷冰柜方案的优缺点, 针对其中之一的结构设计进行详细研究, 利用 CFD 仿真优化风道效率, 提升箱体性能, 最终制作产品样机试验验证, 结果显示, 样机满足新国标一级能效和 T 型高环温储藏温度, 去除内置辅助风道显著降低了产品安装工艺难度, 风冷无霜、冷藏室变温以及间室精确控温极大的提升了消费者体验, 为卧式冰柜无霜化、风冷化提供一些参考。

关键词: 卧式双温无霜冰柜、卧式风冷冰柜、CFD 仿真

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF HORIZONTAL DOUBLE TEMPERATURE FROSTLESS FREEZER

Wang DongXiang Wei BangFu Li QianKun Zhang Bo
(Hefei Meiling Company Limited Co.,Ltd, Hefei 230000)

Abstract In this paper, the advantages and disadvantages of the three horizontal double temperature frostless air-cooled freezer are analyzed in detail. The structure design of one of them is studied. CFD simulation is used to optimize the efficiency of the air duct, improve the performance of the box, and finally make a prototype test. The results show that the sample machine meets the first level energy efficiency and the T type performance test. the removal of the built-in auxiliary air duct significantly reduced the difficulty of the product installation process. the air-cooling frost free, the temperature change and the precise temperature control greatly improved the consumer experience, and provided some reference for the horizontal air-cooling freezer.

Keywords Horizontal double temperature freezer, Horizontal air-cooled freezer, CFD simulation

0 前言

卧式双温冰柜作为一种便利的制冷工具, 广泛应用于商业、家用领域。市面上的卧式双温冰柜一般采用直冷方式制冷, 将蒸发器管道缠绕在冷藏间室和冷冻间室内胆上发泡, 造成卧式双温冰柜的通病: 1、结霜严重, 开门费力; 2、控温不准确, 冷藏间室温区难以变化。

在冰箱领域, 无霜冰箱早已是一个成熟的产品, 借鉴无霜冰箱的经验, 部分厂家已经研发出单温卧式无霜风冷冰柜, 将蒸发器和风道组件设置在冰柜的一侧, 由于冰柜送风距离较远且堆积式储物容易阻挡风量循环, 使冷量难以达到蒸发器远端一侧, 因此需要在泡层内安装辅助风道加强风量循环。

卧式双温冰柜间室温区更加广泛, 更易满足消费者需求, 但当前还未见卧式双温无霜风冷冰柜相关产品和研究。由于卧式双温冰柜结构上的特殊性, 直接套用无霜冰箱或者单温无霜冰柜的结构方案不能满足, 本文对卧式双温无霜风冷冰柜的结构设计、风道优化等进行研究, 利用 CFD 仿真保证箱体性能, 制作样机进行试验验证, 为双温冰柜无霜化提供一些参考。

1 系统设计

考虑到家用卧式双温冰柜的一般容积段处于 100-300L, 本文选取某一款 209L 卧式双温冰柜作为研究平台, 原型机中冷藏 66L, 冷冻 143L, 由于要在箱内内部设计翅片蒸发器和风扇等组件, 初步设计了三种方案, 如图 1 所示, 表 1 将三种方案的优缺点进行对比。

* 作者简介: 王冬祥, (1990-), 男, 制冷工程师, 从事风道结构优化设计及制冷系统匹配等工作

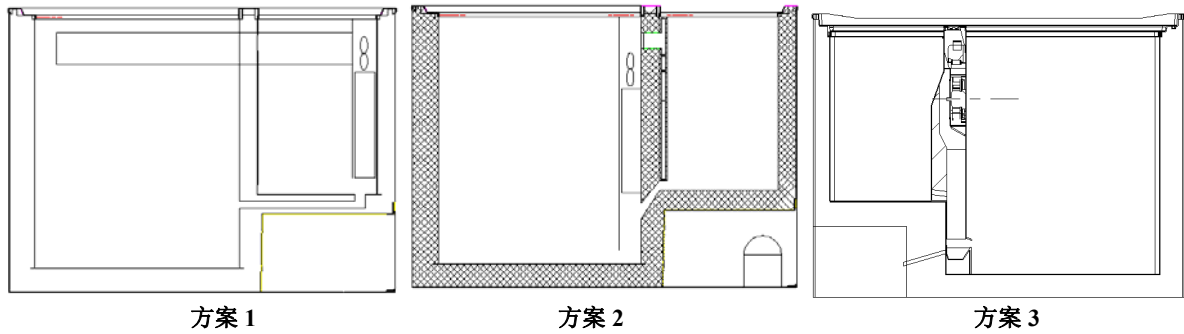


图 1 卧式双温无霜冰柜示意图

表 1 三种方案简介和优缺点对比

方案	简介	优点	缺点
方案 1	将翅片蒸发器等设置在箱体冷冻室较远的一侧，利用辅助风道往冷藏送风和回风	模式和单温风冷冰柜基本相同，部分结构和模具可以借用	冷藏室回风和风门位置难以设计和安装，实际生产时辅助风道安装麻烦
方案 2	将翅片蒸发器等组件设置在箱体冷冻室内靠近冷藏室一侧，在两个箱体之间的泡层内安装冷藏送风风道	去除了较长的辅助送风风道，便于安装	组件在箱体中间，一打开门会看到箱体中梁太厚，影响美观和消费者体验，占用容积较多
方案 3	去除卧式双温冰柜原有发泡中梁，将蒸发器设置在中间，两侧利用风罩组件隔离出两个间室	占用容积小，较美观	冷藏间室、蒸发器腔室、冷冻间室之间的密封传热需重点设计

根据图 1 所示，如果将蒸发器和风扇组件设计在双温冰柜的中间位置，其两侧单程送风距离与单温无霜冰柜相比，减短了很多，因此方案 2 和方案 3 中均将辅助风道去除，通过风道和附件的设计尽量减小冰柜内食物对风量循环的影响，降低实际制造的工艺难度。通过对比，方案 3 比前两个方案有明显的优势，因此选择方案 3 作为卧式双温无霜风冷冰柜结构初步方案。

结构初步图形如图 2 所示，蒸发器设置在两个间室之间，蒸发器上方有风扇和控制冷藏风量的风门，冷藏侧有保温泡沫避免冷藏温度过低，顶部中梁的厚度仅有 55mm 左右，和一般的直冷卧式双温冰柜中梁厚度相当，实际测试容积冷冻 141L，冷藏 61L，与原有平台相比仅减少了 7L，大大提升了箱体的空间使用率和美观度。将间室出风口设计在靠近两侧壁面，借助冰柜附件吊篮可以保证冷量沿壁面输送至冰柜两端，减少箱体内物品对空气循环的影响。

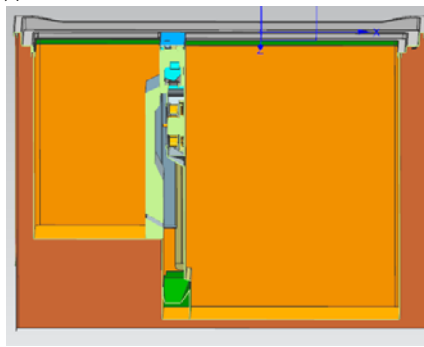


图 2 卧式双温无霜风冷冰柜结构剖视图

2 风道设计及仿真

为了提升冷藏间室的用途和竞争力，冷藏间室设计为 5 至 -6℃（冷冻一星级室），利用风门和冷藏间室传感器精确控制冷藏室温度，解决了常规直冷双温冰柜难以控温的难题。设计储藏温度需满足 43℃ 高环温储藏温度，表 2 列举了高环温时的冷藏和冷冻间室热负荷。

表 2 卧式双温无霜冰柜热负荷

冷藏温度℃	冷冻温度℃	环温℃	冷藏热负荷 W	冷冻热负荷 W	总热负荷 W
-6	-18	43	29.23	47.54	76.77

* 作者简介：王冬祥，（1990- ），男，制冷工程师，从事风道结构优化设计及制冷系统匹配等工作

CFD 仿真已经成为风道性能分析优化的重要工具，在 UGS NX 中建立卧式双温无霜冰柜计算模型，网格划分为非均分，计算方法选用 k-ε 湍流模型，二阶迎风格式离散，SIMPLE 算法，整个箱体为内流场，仅依靠风扇旋转驱动空气循环，建模图形和仿真流线图形见图 3，重点关注沿壁面吹往冷冻室远端上下的流线。

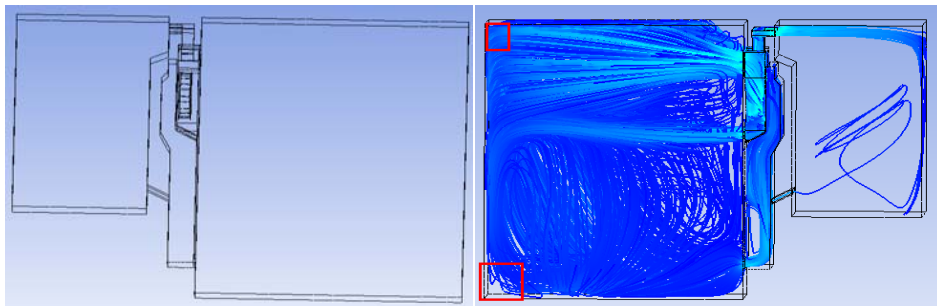


图 3 卧式双温无霜风冷冰柜仿真模型及结果

表 3 为优化后的风门开关时风量的仿真数据，由于没有卧式双温无霜冰柜产品的风量仿真数据作为对比，与一般单系统无霜冰箱的风量（约为 18g/s）对比，卧式双温无霜冰柜的循环流程更短，但从仿真风量数据来看两者相当，主要由于为了压缩中梁厚度，风道内结构更加紧凑，风扇吸风距离较小，影响了部分循环效率。

表 3 卧式双温无霜冰柜仿真风量

风门开冷冻风量 g/s	风门开冷藏风量 g/s	风门开总风量 g/s	风门关冷冻风量 g/s
16.11	2.62	18.73	17.57

依据经验假设高环温储藏温度同时制冷和冷冻单独制冷时的蒸发温度分别为-24℃和-28℃，根据风量计算，冷藏间室和冷冻间室冷量远远满足相应热负荷要求，因此风道设计满足制冷性能需求。

3 样机制作及测试

根据上述分析结果，确定结构并制作样机，如图 3 所示，产品变频压缩机依据冷量计算结果进行选择。测试方法参照国标 GB/T 8059-2016《家用和类似用途制冷器具》[1]，根据容积计算，T 型新国标一级限定值为 0.697。



图 4 卧式双温无霜风冷冰柜样机图

表 4 中给出了样机测试的能耗数据，根据标准方法计算，卧式双温无霜冰柜标准耗电量为 0.658，标准能效指数 33%，满足新国标一级能效。测试 43℃储藏温度，冷冻和冷藏最高点温度均在-18℃和-6℃之下，低温 10℃储藏温度下，冷藏室温度为 2℃，冷冻室为-19℃，样机满足高低储藏温度要求，同时测试其它一些性能试验和可靠性试验，均符合标准要求。

表 4 卧式双温无霜冰柜能耗测试数据

耗电量	Kwh/24h
32 度稳态能耗	0.840
16 度稳态能耗	0.378
32 度化霜增量	0.085
16 度化霜增量	0.04

4 结论

* 作者简介：王冬祥，（1990- ），男，制冷工程师，从事风道结构优化设计及制冷系统匹配等工作

本文考虑目前市场上卧式双温无霜风冷冰柜产品的空白，提出并详细分析了三种卧式双温无霜风冷冰柜方案的优缺点后，选择其中一种，利用 CFD 仿真分析优化并做产品样机试验验证，结果表明：

（1）去除中梁，将蒸发器中置，有利于提升风冷冰柜空间利用率，将风口设置在两侧壁面附近，同时辅助冰柜附件吊篮可以明显降低间室内物品对风量循环的影响，去除内置辅助风道，大大降低了安装工艺；

（2）利用 CFD 仿真分析，可以有效预测风冷产品性能并优化；

（3）卧式双温无霜风冷冰柜样机满足新国标一级能耗和 T 型储藏温度，风冷无霜、冷藏室变温以及精确控温可以极大的提升消费者体验，使家用卧式冰柜向无霜化、风冷化、高端化转变。

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