

## 小型冷库内温度场的数值模拟

李艺哲,谢晶\*

上海海洋大学 食品学院, 上海 201306

**摘要:** 本文利用数值模拟技术模拟了开关门各 30 s 过程中库门附近及库内温度场的变化情况, 结果表明在短时间的开门过程中, 库外空气能很快渗入库内并扰乱其温度场; 关门后, 库内下部的空气降温较快, 上部降温缓慢。因此, 在冷库开关门过程中会造成一定的能耗损失, 应在库门处安装节能装置。

**关键词:** 冷库; 温度场; 数值模拟

**中图分类号:** P412.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2327(2017)04-0525-03

## Numerical Simulation of Temperature Field in Small Cold Store

LI Yi-zhe, XIE Jing\*

College of Food Science and Technology/Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** This paper simulated the temperatures changes nearby cold store door and inside cold store whenever the door was open and closed 30 S respectively with the numerical simulation technology. The results showed outside air was able to enter room and disturb the temperature field during a moment of opening the door. After closing the door, the air in the lower part of the storehouse is cooled rapidly, and the upper part is cooled slowly. Cold store door opening and closing process will cause some energy loss, energy saving device should be installed in the door.

**Keywords:** Cold store; temperature field; numerical simulation

随着生活水平的提高, 人们对冷冻食品的质量要求越来越高, 这推动了冷库的快速发展, 但是冷库的设计也存在很多问题, 不合理的设计会造成库内气流分布不均匀, 造成能源的浪费<sup>[1-7]</sup>。特别是在冷库开关门过程中, 由于库内外温度差别较大, 库门处会产生热湿、热质交换, 导致库门处不同程度的结霜、库温升高、热负荷增加等诸多问题<sup>[8]</sup>。近年来, 数值模拟技术在各领域得到了广泛的应用, 并取得了很好的效果。本文利用计算流体力学 (CFD) 软件, 以及数值模拟理论, 对一冷库开关门过程中, 库门处温度场的变化情况进行模拟, 为下一步的研究提供理论基础。

### 1 模型建立

选取上海市杨浦区某冷库为研究对象, 该库的内部尺寸为长×宽×高=4.2 m×3.6 m×3.0 m。冷库采用吊顶排管式蒸发器制冷, 由于研究要采用非稳态模型的运算量极大, 现有计算机的运算水平有限, 为了得到准确的模拟结果, 应对物理模型进行简化, 因而将蒸发器模型简化为一个长方体, 其尺寸为长×宽×高=3.6 m×3.0 m×0.38 m。冷库门位于中间, 尺寸为长×高=1.2 m×2.0 m。冷库壁面采用 0.15 m 厚的保温隔热层。冷库的三维模型如图 1 所示。

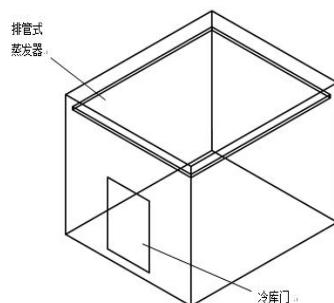


图 1 冷库模型

Fig.1 The model of a cold store

收稿日期: 2017-02-16

修回日期: 2017-03-23

基金项目: 国家“十三五”重点研发项目(2016YFD0400303);上海市科委平台能力提升项目(16DZ2280300)

作者简介: 李艺哲(1989-),男,硕士研究生.主要研究方向为动力工程. E-mail:liyizhemt@163.com

\*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:jxie@shou.edu.cn

### 2 边界条件的设定

当有货物进出冷库时，库门需要开启，而门附近的流体由于气压和风压的作用，产生强烈的热质交换，这不仅严重破坏库内的流场分布，还影响食品的冻结质量。因此，本文分别对开关门 10 s,20 s,30 s 三个时间点库门附近的温度场进行模拟。

对蒸发器采用恒温壁面， $t=-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；对于冷库壁面采用第二类边界条件，壁面总热阻为 5.193，室内外设计温度分别为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，因此可求得壁面的热流密度 $q=7.68\text{ W/m}^2$ ；开门时，门附近的流体处于自然对流状态，此时可采用速度入口， $V=0.2\text{ m/s}$ ， $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；关门时，库门设为壁面。

### 3 计算及结果分析

模拟中前处理采用 CAD 和 GAMBIT 软件进行几何建模及网格划分，为了使模拟结果更准确，网格步长设置为 0.25，一生成大约 226000 个网格。将划分好的网格文件导入 FLUENT 软件中，并设置上述的边界条件，采用 SIMPLEC 算法来求解压力、速度的耦合。在计算过程中，将门设为壁面，先计算冷库稳态的结果，再将此结果作为非稳态情况的初始条件进行计算。

通过模拟计算先得到冷库在稳态条件下的结果，如图 2 所示的三维温度场分布图以及图 3 的截面图，两图反映出库内的温度基本分布均匀，达到了冷库所需的温度，但在库内的拐角处温度偏高。

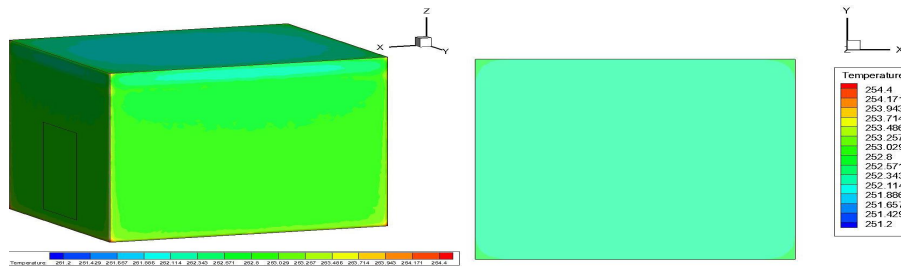


图 2 稳态结果的温度场

图 3 稳态结果的截面温度场

Fig.2 The temperature field of steady state Fig.3 The sectional temperature field of steady state

为了更清晰直观地研究在非稳态过程中库内温度场的分布，本文选取了两个具有代表性的截面  $Z=1.7\text{ m}$ ， $Z=2.85\text{ m}$ 。由模拟结果图 4、5 可以看出，开门后 10 s 时，库门处发生了强烈的热质交换，室外的热空气逐渐渗入库内；20 s 时，外界空气对库内的影响范围不断加大，库门附近上部的流体温度升高较快，并不断从上部向库内蔓延，这是由于冷空气的密度比热空气大，开门后，外界的一部分热空气从库门上部流进库内；30 s 时，库内温度进一步升高，冷库内的大部分空气都受到不同程度的影响，但上部的整体温度还是比下部略高。图 6、7 分别是关门 10 s、20 s、30 s 的温度场截面，当冷库门关闭后 10 s 时，冷库内的温度场变化不是很大；20 s 时，库内的热空气由于密度作用流向顶部，下部温度逐渐下降，上部空气降温较慢；30 s 时，库内下部的空气大面积降温。库内上部的空气虽然也在降温，但由于大量的热空气导致此区域温度下降较缓慢，因此，库内流场若要恢复至稳态状态，还需一段时间。

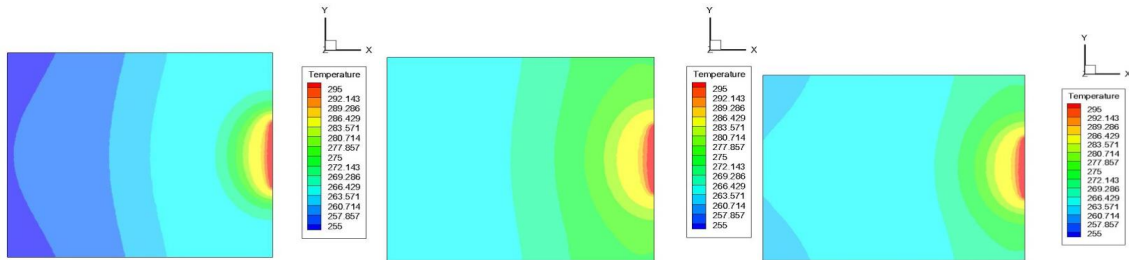
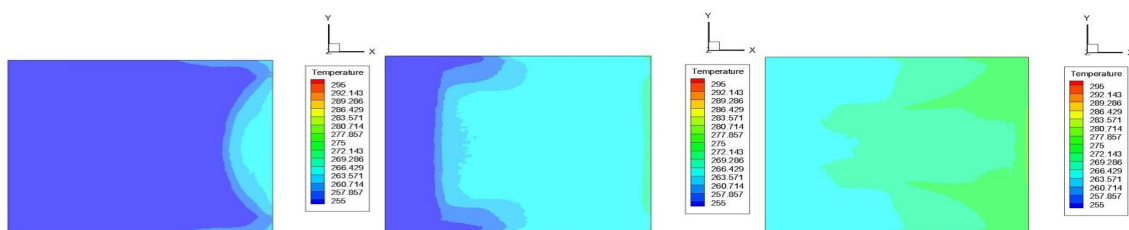
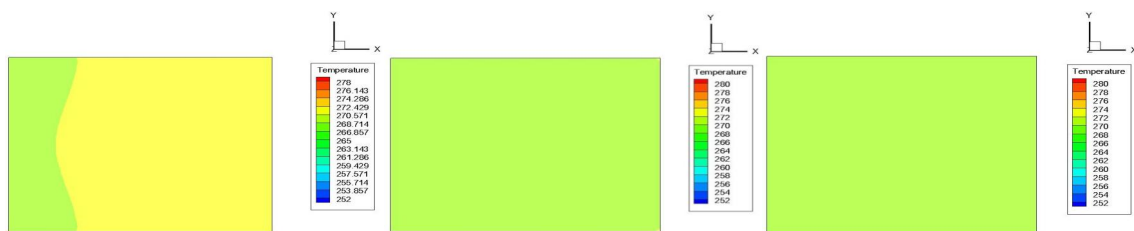


图 4 开门 10 s、20 s、30 s 的温度场截面图 ( $Z=1.7\text{ m}$ )

Fig.4 The sectional temperature fields when opening door at 10 s, 20 s, 30 s ( $Z=1.7\text{ m}$ )

图 5 开门 10 s、20 s、30 s 的温度场截面图 ( $Z=2.85\text{ m}$ )Fig.5 The sectional temperature fields when opening door at 10 s, 20 s, 30 s ( $Z=2.85\text{ m}$ )图 6 关门 10 s、20 s、30 s 的温度场截面图 ( $Z=1.7\text{ m}$ )Fig.6 The sectional temperature fields when closing door at 10 s, 20 s, 30 s ( $Z=1.7\text{ m}$ )图 7 关门 10 s、20 s、30 s 的温度场截面图 ( $Z=2.85\text{ m}$ )Fig.7 The sectional temperature fields when closing door at 10 s, 20 s, 30 s ( $Z=2.85\text{ m}$ )

#### 4 小 结

本文使用 FLUENT 软件对冷库开关门的非稳态过程进行了模拟分析。结果发现,冷库在开关门的过程中,由于在库门处产生强烈的热质交换,库内温度场受到剧烈扰动,特别在库门处及库门上部影响更加严重。为了保证冷库内的温度场波动较小,避免库门处和排管结霜严重的现象,以及降低冷库运行的能耗,可在库门处安装空气幕机来有效阻隔外界的空气,同时,在库顶加装风扇使上部空气加速流动。本研究是以空库为研究对象,模拟结果较好的预测了冷库开关门的实际情况,希望能为下一步对带货物冷库的研究打下基础。

#### 参考文献

- [1] 谢 晶,吴 天.小型冷库开关门过程温度场的数值模拟[J].上海海洋大学学报,2006,15(3):333-339
- [2] 杨 磊,汪小昆.冷藏库预冷降温过程中温度场的数值模拟与试验研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(9):219-223
- [3] 刘妍玲,张 岩,王世清,等.果蔬摆放形式对冷库内气流场分布影响的研究[J].青岛农业大学学报:自然科学版,2008,25(1):24-27
- [4] 谢 晶,瞿晓华,徐世琼.冷藏库内气体流场数值模拟与验证[J].农业工程学报,2005,21(2):11-16
- [5] Hu Z, Sun DW. CFD simulation of heat and moisture transfer for predicting cooling rate and weight loss of cooked ham during air-blast chilling process[J]. Journal of Food Engineering, 2000,46(3):189-197
- [6] Cortella G, Manzan M, Comini G. CFD simulation of refrigerated display cabinets[J]. International Journal of Refrigeration, 2001,24(3):250-260
- [7] Guyot S, Marnet N, Sanoner P, et al. Direct thiolysis on crude apple materials for high-performance liquid chromatography characterization and quantification of polyphenols in cider apple tissues and juices[J]. Methods in Enzymology, 2001,335(2):57-70
- [8] 何嘉鹏.冷库大门的流场分析[J].冷藏技术,1994(2):11-14