

多温区冷藏运输车气流组织特性研究

Research of air distribution characteristic for single evaporator multiple temperature zones refrigerated truck

赵 曜 唐刚志 朱孙科

ZHAO Yao TANG Gang-zhi ZHU Sun-ke

(重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆 400074)

(School of Machinery & Electronic Engineering & Vehicle Engineering,
Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

摘要:多温区公路冷藏运输车比单温区冷藏运输车更能适应货量变化和温度变化需求,车内冷间气流组织方式很大程度上影响冷间温度,采用 CFD 技术研究了单蒸发器多温区冷藏运输车内上供下回气流组织方式对温度分布影响,并针对温度不均匀问题进行分析探讨,为多温区冷藏运输车的设计优化提供了理论依据。

关键词:冷藏运输车;多温区;气流组织;温度特性

Abstract: Compared to single temperature zones refrigerated truck, multiple temperature zones refrigerated truck is more comfortable with cargo demand and temperature changes. Air distribution in the truck cold room could affect its temperature significantly. In this paper, the influence of air distribution to temperature range in single evaporator multiple temperature zones refrigeration truck was studied based on CFD technology. Moreover, temperature non-uniformity problems were also analyzed. The results provided a theory basis for the design optimization of multiple zones refrigerated truck.

Keywords: refrigerated truck; multiple temperature zones; air distribution; temperature characteristic

中国公路冷藏运输车占冷链物流的 30%,欧美国家达到 60%,食品种类多样和货量变化对新鲜食品的运输保鲜方面提出更大挑战,也对冷链物流系统提出了更高要求^[1]。对于单一温度冷藏运输车,货量的不足可能导致冷藏运输车空载,而有时又有多种货物同时运输的需要,因此多温区冷藏运输车是解决空载和多种货物同时运输很好的选择,更加符合食品运输市场的配置需求。

基金项目:重庆市自然科学基金项目(编号: cstc2016jcyjA0401, cstc2016jcyjA0467)

作者简介:赵曜,男,重庆交通大学讲师,博士。

通信作者:唐刚志(1980—),男,重庆交通大学讲师,博士。

E-mail: qcx_cqjtu@hotmail.com

收稿日期:2016-09-22

CFD 应用范围涉及到冷冻、冷藏、真空冷却等过程中食品的传热问题。Liu M 等^[2-3]研究了相变材料在冷藏车运输过程中的 4 个融化阶段,并分析了融化速度随时间变化规律。Oro E 等^[4-5]研究了无低温冷藏运输车的食品温度响应曲线,并将结果应用到实际设计中。张哲^[6]建立了一个冷藏车内部气流组织特性的数学模型,并分析研究了多种因素对流场的影响。郭嘉明^[7]分析了 CFD 在国内外冷藏库和冷藏车研发中应用研究现状,针对 CFD 模拟过程中典型问题,提出了 CFD 在食品储运设备研发应用中可以提高模型科学性、提高网格质量的合适求解模型。与以上研究不同,本研究只在冷冻区设置出风口,而其它温区的气流靠隔板上下两侧空间渗透,基于 CFD 仿真技术,对单蒸发器多温区冷藏车上部送风,下部回风气流组织方式作用下的不同冷间参数场进行数值模拟,根据计算结果,分析局部温度场不均匀原因,并对设计中风速、风向及冷间布置等气流组织方法提出合理建议。

1 物理模型建立

以单蒸发器机械式冷藏运输车为研究对象,共分为 3 个温度区(冷冻区、冷藏区和常温区),3 个冷间均采用上供下回的气流组织方式,不同冷间之间用隔板分隔,可根据货量变化的不同需求来调节隔板位置进而改变各冷间大小。简化后整体车厢的尺寸为(长宽高三)8 000 mm×2 500 mm×2 500 mm,设定气流温度为冷冻区 240~250 K,冷藏区 260~270 K,常温区 290~300 K。

2 数学模型假设

计算过程中作以下假设:

- ① 冷间内气体为不可压缩气体且符合 Boussienq 假设;
- ② 冷间内流动传热过程为稳态过程;
- ③ 冷间没有车门开关过程气体出入流动;
- ④ 气体物性参数为常数。

3 计算条件

尺寸参数:冷间总尺寸 8 000 mm×2 500 mm×2 500 mm,其中冷冻间长度 2 800 mm,冷藏间长度 2 300 mm,常温间长度 2 500 mm;冷冻间与冷藏间,冷藏间与常温间之间为 200 mm 宽度聚苯乙烯保温材料,进风口位于车厢内侧靠近车头上部位置,风向为水平方向,风口尺寸为 1 000 mm×500 mm。

计算参数:室外温度取 300 K,车厢保温材料传热系数 K 取 $0.5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,采用稳态传热计算,进口风速取 0.05 m/s ,温度 240 K,隔板材料边界条件取绝热条件,热流密度为 0,计算状态为空载状态。

4 物理模型

模型送风口位于冷冻室上方,计算采用上侧送风,下侧回风,两个冷间隔板均在上部和下部留有送风口与回风口,采用结构化网格划分模型,车厢整体计算网格划分见图 1。由于冷空气密度较大,经冷间加热后密度变小,体积膨胀,因此隔板上送风口高度较小,为 100 mm,下方回风口高度为 300 mm。车长方向 $x=0$ 截面冷间布置见图 2。

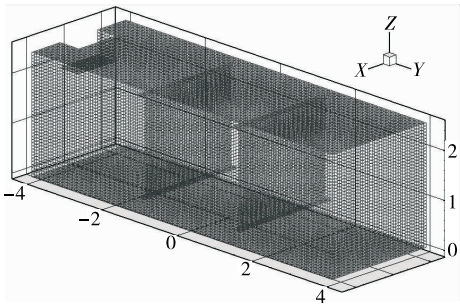


图 1 冷冻、冷藏及常温区网格划分
Figure 1 Meshing of frozen, refrigerated and normal temperature zone

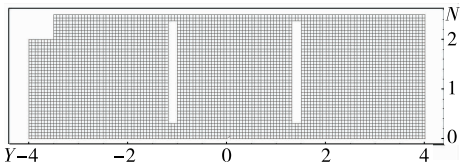


图 2 $x=0$ 截面
Figure 2 Cross-section of $x=0$

5 结果分析

利用隔板与车厢内壁之间的间隔可以实现供回风气流组织与风量控制,可以实现单蒸发器工况下的多温区功能^[8]。图 3 为车长方向中心 $x=0$ 截面温度分布等值线。由图 3 可知,冷冻间、冷藏间、常温间空载状态温度分别分布在 240、270、290 K 附近,符合相应冷间温度需求。图 4 为车长方向 $x=1$ 截面温度分布等值线,由于宽度方向远离进风口,与壁面进行对流换热使气体温度有所升高,但仍在合理范围内,冷冻间由于存在进风口,在冷间上侧和右侧,由于气流影响,温度较低,而左下侧和中间温度相对较高。

从冷藏运输车三维温度分布图(图 5)中可以看出,在冷

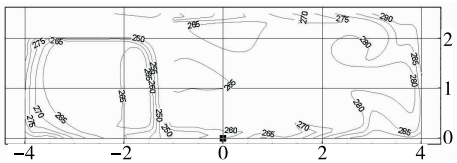


图 3 $x=0$ 截面温度等值线
Figure 3 Temperature isoclines in cross-section of $x=0$

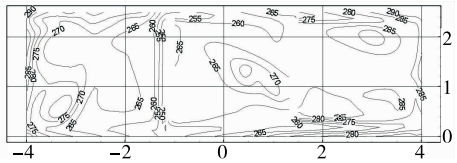


图 4 $x=1$ 截面温度等值线
Figure 4 Temperature isoclines in cross-section of $x=1$

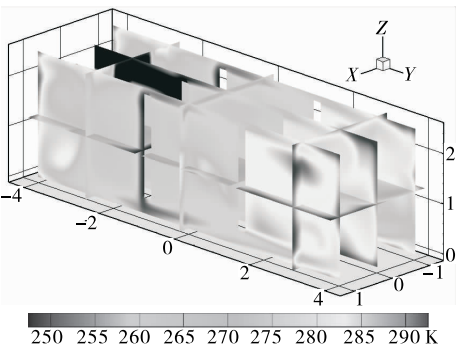


图 5 冷藏运输车三维温度场云图
Figure 5 Three dimensional temperature field of refrigerated transport truck

风出口附近的中间区域,温度较低,而在车厢两侧离车厢壁面较近区域,受外界温度影响,温度较高,从冷冻间到常温间,温度分布不均匀性依次降低,常温间温度分布较均匀。

冷间温度的主要影响因素是风速与冷间布局,两者相互协调是设计中的重点内容^[9],图 6 与图 7 是与以上温度分布相对应截面上的速度分布,冷风出口气流速度较高,在冲击隔板后很快衰减,从冷冻室到常温室涡旋尺度逐渐减小,冷冻室和冷藏室中心处的涡旋明显,即冷间四周流速高,中心流速低, $x=1$ 截面处涡旋不明显,各个冷间速度分布较均匀。从速度-温度图对比中可以发现小涡旋存在位置温度较高,因此,促进小涡旋的耗散可以进而增加温度分布的均匀性,风口空间位置,出风面积和出风角度是影响气流组织过程的重要因素。

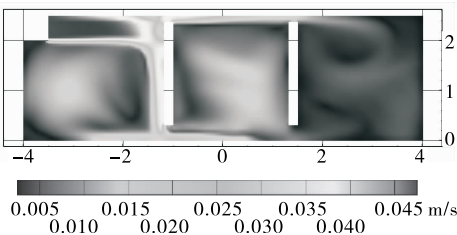


图 6 $x=0$ 截面速度分布云图
Figure 6 Velocity contour in cross-section of $x=0$

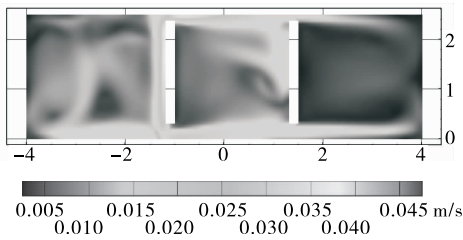


图 7 $x=1$ 截面速度分布云图

Figure 7 Velocity contour in cross-section of $x=1$

6 结论

冷藏运输车供冷受限于驱动条件,一般功率较小,因此,保证温度均匀,合理分配冷量是气流组织过程的重点内容,本研究结论如下:

(1) 多温区冷藏车中靠近出风口最近的冷间流场流速分布不均匀,中间区域温度较高,气流组织过程中应采用导流手段使中间区域流速增加。

(2) 沿车厢宽度方向温度分布中间低,两端高,在布置风口时可以采用多个风口在宽度方向平均分配的方式,有利于宽度方向温度均匀。

(3) 本研究基于空载工况下,考虑实际工况食品的冷藏要求,建议冷风机出风速度在 1~5 m/s 左右。

(4) 适当增加冷冻室长度,使冷冻间、冷藏间和常温间之间沿车长方向长度保持合理比例,避免冷气冲击隔板产生摩擦热量,有利于冷却出风口下部区域。

(5) 出风口方向可以适当向上倾斜,有利于沿车长方向冷空气均匀分布。

(6) 冷间之间尽量采用导热系数小的隔板,更有利于保持温度分区。

参考文献

[1] 于学军. 冷冻冷藏食品贮藏与运输[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 25-28.

[2] LIU Ming, BRUNO F, SAMAN W. Thermal performance analysis of a flat slab phase change thermal storage unit with liquid-based heat transfer fluid for cooling applications [J]. Solar Energy, 2011, 85(11): 3 017-3 027.

[3] LIU Ming, SAMAN W. Development of a novel refrigeration system for refrigerated trucks incorporating phase change material [J]. Applied Energy, 2012, 92: 336-342.

[4] ORO E, MIRO L, FARID M M, et al. Thermal analysis of a low temperature storage unit using phase change materials without refrigeration system [J]. International Journal of Refrigeration, 2012, 35(6): 1 709-1 714.

[5] ORO E, MIRO L, FARID M M. Improving thermal performance of freezers using phase change materials [J]. International Journal of Refrigeration, 2012, 35(4): 984-991.

[6] 张哲, 田津津. 冷藏车内部流场的数值研究[J]. 低温与超导, 2009, 37(8): 59-61.

[7] 郭嘉明, 陆华忠, 吕恩利. CFD 在食品储运设备研发中的应用 [J]. 农机化研究, 2012(8): 219-222.

[8] 谢品, 汤毅, 王金锋. 三维流体力学预测风机不同布置形式对冷库气流的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(11): 349-351.

[9] 赵鑫鑫, 王家敏, 李丽娟. 多温区冷藏车回风导轨对厢内温度场的影响分析[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 149-154.

(上接第 113 页)

参考文献

[1] 温丽洁, 李争艳. 我国玉米生产现状及发展趋势[J]. 农业技术与装备, 2013(24): 31-31.

[2] 刘焱, 翟焕珍, 蔡静平. 利用监测 CO₂ 方法预警储藏玉米中黄曲霉菌产毒[J]. 现代食品科技, 2015(5): 309-315.

[3] 龚阿琼, 李文华, 戴晋军. 2015 年国内市场玉米霉菌毒素污染情况分析[J]. 中国饲料, 2016(4): 42-44.

[4] 李瑞芳, 韩北忠, 陈晶瑜. 黄曲霉生长预测模型的建立及毒素含量变化[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(12): 129-132.

[5] 罗小虎, 齐丽君, 房文苗, 等. 黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米的比重筛分研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 13-18.

[6] 高秀芬, 蔺士安, 张宏元, 等. 中国部分地区玉米中 4 种黄曲霉毒素污染调查[J]. 卫生研究, 2011, 40(1): 46-49.

[7] 王后苗, 廖伯寿, 雷永, 等. 黄曲霉菌主要真菌毒素次级代谢与调控的研究进展[J]. 微生物学通报, 2014, 41(7): 1 425-1 438.

[8] 计成, 赵丽红, 马秋刚, 等. 黄曲霉毒素生物降解的研究及前景展望[J]. 动物营养学报, 2009, 31(21): 6-9.

[9] DAS A, BHATTACHARYA S, PALANISWAMY M, et al. Aflatoxin B₁ degradation during co-cultivation of Aspergillus flavus and Pleurotus ostreatus strains on rice straw [J]. 3 Biotech, 2015, 5(3): 279-284.

[10] JEBALI R, ABBÈS S, SALAH-ABBÈS J B, et al. Ability of Lactobacillus plantarum MON03 to mitigate aflatoxins (B₁ and M₁) immunotoxicities in mice [J]. Journal of Immunotoxicology, 2015, 12(3): 1-10.

[11] 曹铭, 樊明涛. 黄曲霉毒素脱除技术研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 260-264.

[12] 罗小虎, 齐丽君, 王韧, 等. 臭氧降解黄曲霉毒素 B₁ 污染玉米的体内毒性评价[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 58-62.

[13] 蔡静平, 蒋澎, 张燕燕, 等. 储粮早期霉变监测方法测试研究 [J]. 中国粮油学报, 2013, 28(11): 58-62.

[14] 黄曲霉毒素高快准检测技术难题破解[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 44.

[15] ZHAI Huan-chen, ZHANG Shuai-bing, HUANG Shu-xia, et al. Prevention of toxigenic fungal growth in stored grains by carbon dioxide detection [J]. Food Additives & Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment, 2015, 32(4): 596-603.

[16] 翟焕珍, 张帅兵, 黄淑霞, 等. 小麦和玉米中微生物污染和生长的快速检测[J]. 现代食品科技, 2014(8): 231-237.

[17] ZHANG Shuai-bing, ZHAI Huan-chen, HU Yuan-sheng, et al. A rapid detection method for microbial spoilage of agro-products based on catalase activity [J]. Food Control, 2014, 42(2): 220-224.