

疫苗冷链运输保温箱的设计

豆孟柯¹, 陈州旗¹, 刘宝林¹

1.生物系统热科学研究所, 上海理工大学, 上海市

简介:以疫苗冷链运输保温箱为研究对象,基于疫苗产品对冷藏温度(2~8°C)的需求,通过对蓄冷腔体的相变释冷特性、相界面演化的数值模拟分析,在此基础上设计了新型相变蓄冷腔体和冷链运输箱的整体保温包装方式,从而完善冷链运输流程,对疫苗冷链包装进行热管理。

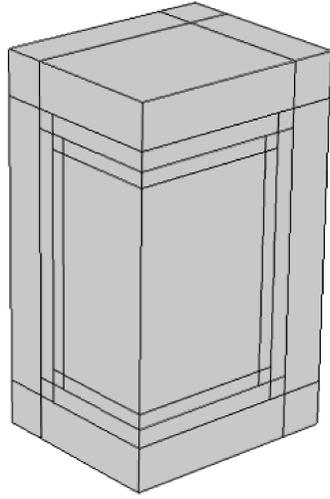


图1.疫苗冷链运输保温箱三维模型

计算方法:利用COMSOL Multiphysics 软件的CFD模块对模型进行仿真,利用冷冻至8°C的冰盒使疫苗冷链运输箱维持在2~8°C。

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{\text{ted}}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

考虑粘度对流体流动速度的影响,冰到水相变过程的动力粘度 μ 由公式(1)图1给出,其中 t —温度, °C, μ —动力粘度, Pa*s;

$$\mu = \frac{0.001779}{1 + 0.03368t + 0.000221t^2}$$

在蓄冷腔体内,由温度差的存在引起腔内流体自然对流,为了直观的观察释冷特性及相界面演化,将双层蓄冷腔体简化成二维几何模型如图2。双层蓄冷腔初始温度分别为-14°C、5°C,考虑到温度的不连续性对模拟收敛性的影响,双层蓄冷腔体设置为位置的分段函数 $T(x)$

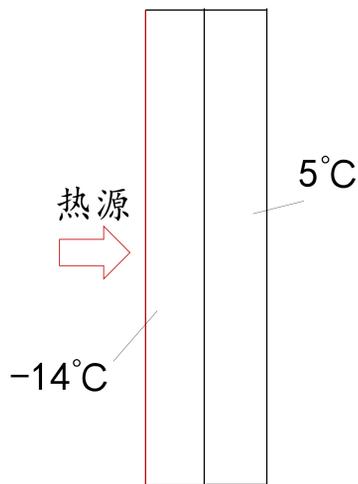


图2.相变蓄冷腔体二维几何模型

结果:随着时间的增加,垂直方向上蓄冷腔体上部融化较快于底部(温度场),温度较高的一侧流速高于温度较低的一侧(速度场)。

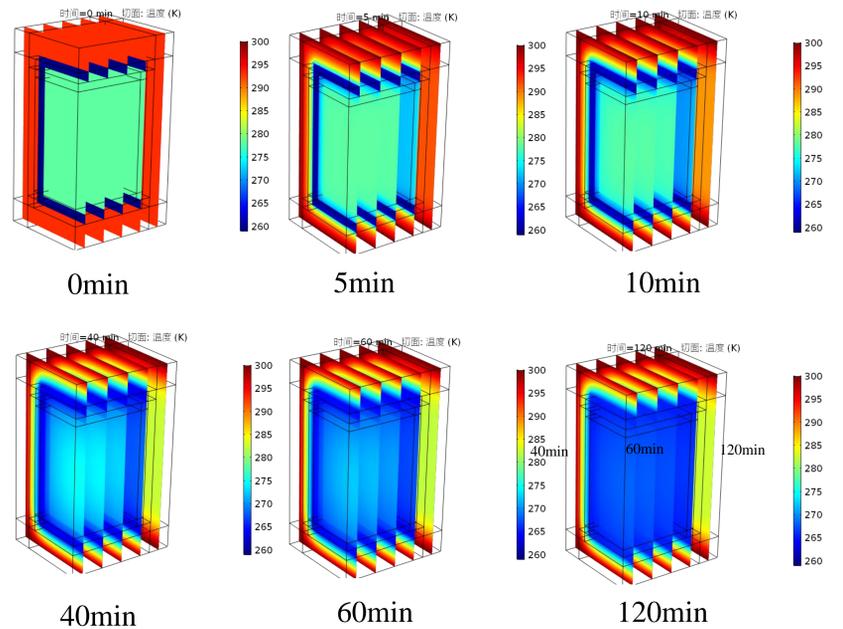


图3.疫苗冷链箱内温度分布随时间的变化

表1.参数设置

| 名称 | 表达式 | 值 | 描述 |
|-----------|----------------|---------------|------------------------|
| k_water | 0.613[W/(m*K)] | 0.613 W/(m·K) | Thermal conductivity |
| Cp_water | 4179[J/(kg*K)] | 4179 J/(kg·K) | Specific heat capacity |
| rho_water | 997[kg/m^3] | 997 kg/m³ | Density |
| rho_ice | 918[kg/m^3] | 918 kg/m³ | Density |
| Cp_ice | 2052[J/(kg*K)] | 2052 J/(kg·K) | Specific heat capacity |
| k_ice | 2.22[W/(m*K)] | 2.22 W/(m·K) | Thermal conductivity |

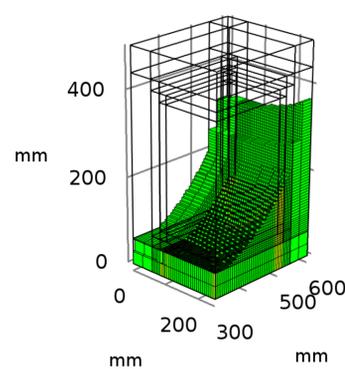


图4.网格过滤

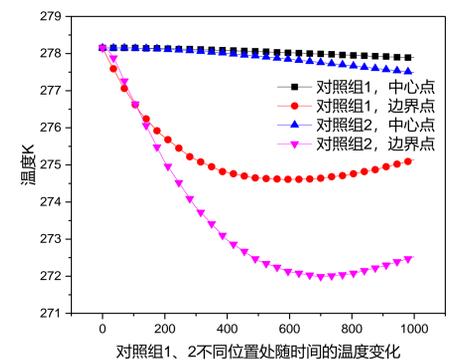


图5.温度变化曲线图

结论:冷链运输箱内,随着时间的增加,垂直方向上蓄冷腔体上部融化较快于底部,中部温度波动较小,贴壁处易发生“冻结”。为了防止冷链击穿,应当对冷暖蓄冷腔体温度比进行进一步优化

参考文献:

1. 夏全刚, 刘宝林, 宋晓燕. 一种新型冷藏车箱体模型的设计与实验验证[J]. 制冷学报, 2014(4):108-112.
2. DEVRANI S, PANDEY S, CHATURVEDI S, et al. Design and Analysis of an Efficient Vaccine Cold Chain Box[C]// ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. 2016:V003T04A018.