

生物样本速冻装置冷台模拟研究

陈州旗¹,刘宝林¹,宋晓燕¹,豆孟柯¹

1.生物系统热科学研究所,上海理工大学,上海

简介:在低温生物学及转化医学等研究中需要冷冻复苏后的样本具有较高的成活率,冻存装置是保证其质量的重要一环。本文设计了以80W斯特林制冷机为冷源的新型样本速冻平台,并基于COMSOL Multiphysics有限元模拟软件对冷台结构进行了模拟分析,得到了冷台几何参数中对样本降温影响较大的因素,以此提出优化改进方案,对后续更大制冷功率及不同体积样本的冷台设计提供参考。

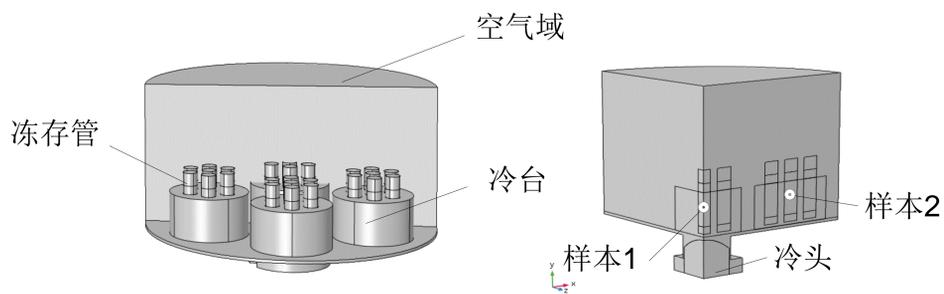


图1. 速冻平台几何模型

Fig.1 Geometry model of quick freezing platform

计算方法:利用COMSOL Multiphysics 求解器对不同几何参数速冻平台进行数值模拟,模拟冷冻时间300s。添加传热和层流多物理场耦合。由于为瞬态非等温流模型,瞬态求解器采用计算精度及稳定性都较高的直接式MUMPS求解器。

结果:

1) 管间距对样本降温速率的影响

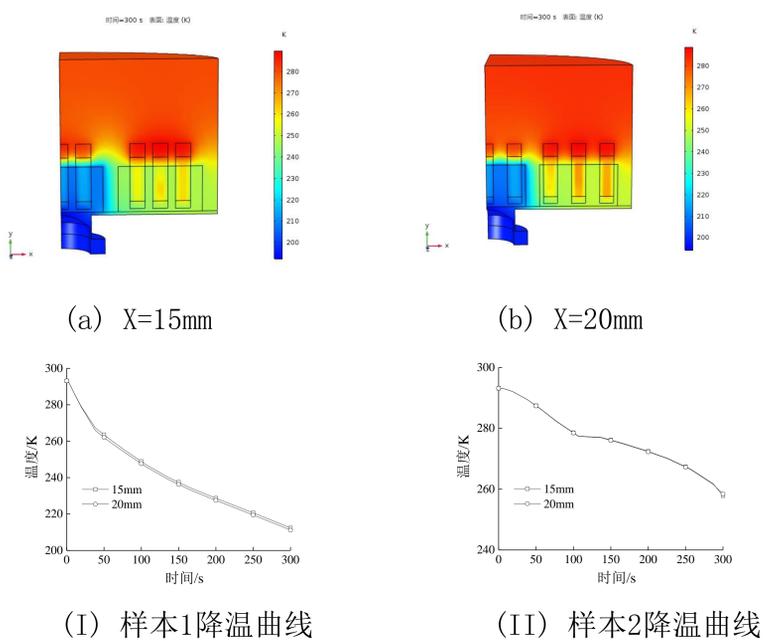


图2.不同管间距下降温300s模拟结果

Fig.2 The simulation results of temperature distribution at 300s for different tube spacing

2) 冷台高度对样本降温速率的影响

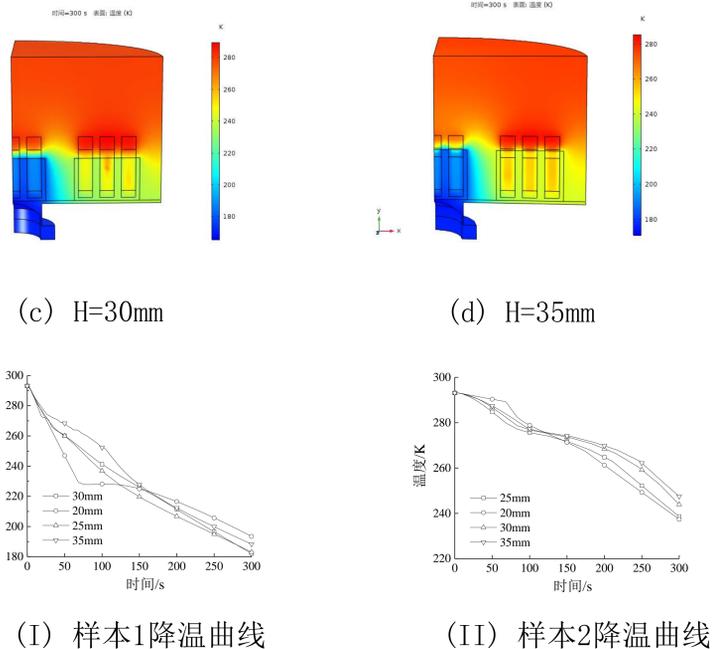
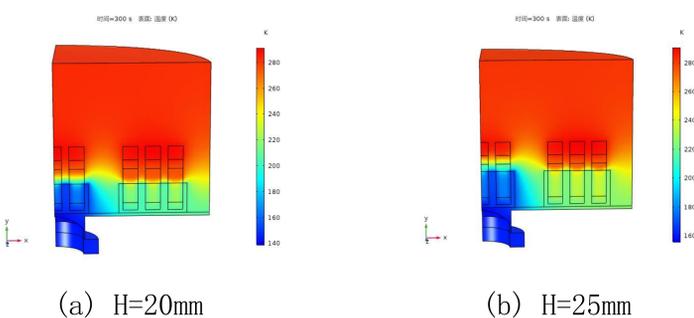


图3.不同冷台高度下降温300s模拟结果

Fig.3 The simulation results of temperature distribution at 300s for different cooling stage heights

3) 冷台半径对样本降温速率的影响

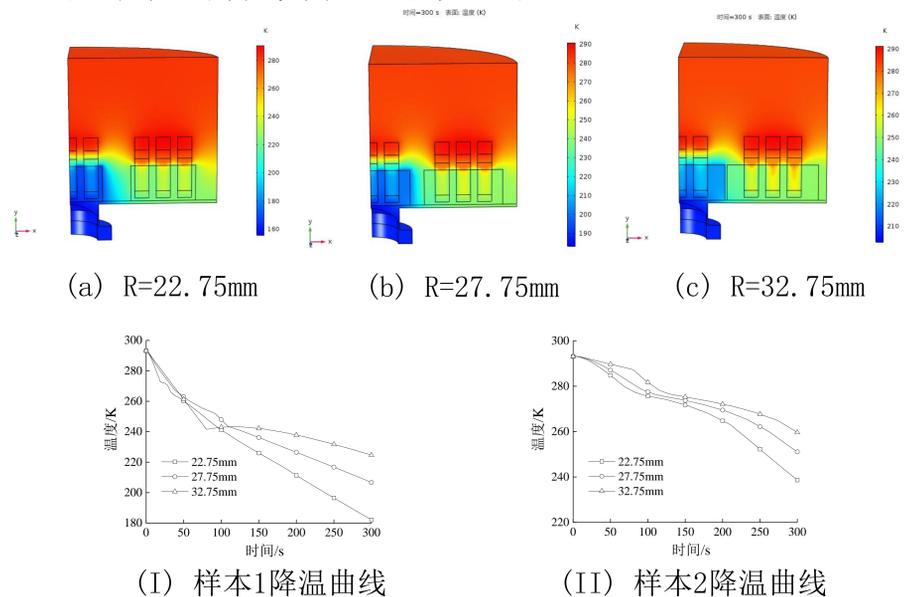


图4.不同冷台半径下降温300s模拟结果

Fig.4 The simulation results of temperature distribution at 300s for different cooling stage radius

结论:

- 1) 管间距对样本降温无显著影响 后续冷台设计时在不影响样本取放的基础上,可以尽量减小管间距以提升冷台利用率及冷量传输效率。
- 2) 冷台高度对样本冷冻过程中降温速率及温度均匀性影响较大。模拟四组样本效果最好的是H=25mm,比样本高度略低。
- 3) 冷台半径越小,样本降温速率越快。半径越大管内温差相对越小。后续设计时对降温速率要求较高的样本可采取缩小冷台半径的方法,而对需要超低温暂存或冷冻转运的样本冷台半径可适量增加。

参考文献:

1. 华泽钊, 任和盛. 低温生物医学技术[M]. 北京: 科学出版社, 1994:3-16.
2. 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.
3. Massie I, Selden C, Hodgson H, et al. GMP cryopreservation of large volumes of cells for regenerative medicine: active control of the freezing process. [J]. Tissue Eng Part C Methods, 2014, 20(9):693-702.