

陈州旗¹, 豆孟柯², 刘宝林²

¹上海理工大学, 上海, 中国

²上海理工大学

Abstract

1) 网格剖分

利用COMSOL Multiphysics4.4软件对模型进行网格划分。采用结构化网格对冻存管单独扫掠操作, 样本域固定单元数为20, 管帽和管内空气域固定单元数为5, 其余部件采用自由四面体的剖分方法。网格大小按普通物理场超细化处理, 最大单元尺寸均不超过1cm。为保证计算精确度, 对冻存管管壁网格局部加密。

2) 边界条件

(1) 空气域。冷台外部空气初温为25°C (298.15K), 设定空气外壁面绝热, 不与外界换热。

(2) 冻存管。将管壁设置为薄层边界, 管内样本(水)设置为相变材料, 相变起始温度0°C (273.15K), 相变区间10K。

(3) 导冷部件。冷台和导冷平板初始温度为25°C (298.15K), 与空气接触部分设置对流传热边界。导冷平板底面绝热。

(4) 边界热源。参照Cryo-s 80W产品参数, 计算得出制冷机制冷量 Q 与冷头温度 T 关系式为:

$$Q=0.0024T^2-0.5983T+40.611 \quad (7)$$

因此设置热耗率 $Q_b=-Q/A$, 其中 A 为制冷机冷头与导冷平板接触面积。

3) 数值模拟方法

利用COMSOL Multiphysics4.4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。

研究意义: 由于应用场合和样本实际保存的需求, 急需开发出一种高效便携的速冻装置。本文基于斯特林制冷机设计了一种便携式样本速冻装置, 并对冷台的形状进行了模拟优化, 提出了最优形状方案, 为今后冷冻样本的装置设计与实验提供参考。

Figures used in the abstract

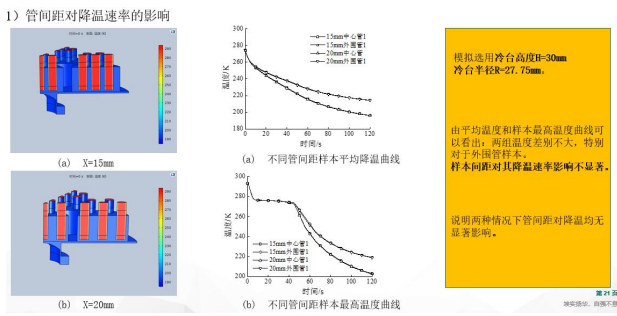


Figure 1: 摘要附图是模拟管间距对其降温速率影响，为整个模拟工作的一部分，由平均温度和样本最高温度曲线可以看出：两组温度差别不大，特别对于外围管样本。由此说明样本间距对其降温速率影响不显著。