尊敬的各位指导老师大家好，我是曲康杰，今天答辩的课题是相变材料蓄冷系统传热强化及能效分析，我的指导老师是梁林老师。本次答辩主要分为四个部分。

分别是选题背景，研究方法，研究内容和总结。

首先说一下我选取课题的背景，目前常见的发电手段有火力发电，水力发电，和核能发电等，我国电力供需在空间上和时间上存在不匹配的矛盾。蓄冷技术实现了冷量的转化与存储，起到了削峰填谷的作用。其中相变蓄冷是蓄冷领域重中之重，强化蓄冷系统传热是研究相变蓄冷系统的重点之一。

可以知道，相变材料大多具有高潜热的优点，但是从表格中我们可以看出，有机相变材料的导热系数比较低，过低的导热系数制约了相变蓄冷的发展。强化蓄冷系统传热性能有很多手段，其中纳米流体作为一种新型的高效率、高性能传热介质，广泛的应用于相变蓄冷。众多文献研究纳米颗粒的体积分数，材料等方面对蓄冷系统的影响，但是没有考虑到使用隔离板将纳米流体隔离开来的情况。

我的课题是基于格子玻尔兹曼方法进行模拟的。格子玻尔兹曼是一种基于介观模拟尺度的计算方法。Fi和gi分别是i方向的密度分布函数和焓分布函数，经过CE转换后，由微观方程转化为宏观方程，在这个过程中可以得到下面两个函数，分别是粘度和热扩散系数，将格子量和宏观量进行联系起来，可以得到密度，速度和焓分布函数。

这里我们引入一些假设，相变材料为牛顿不可压流体，并且材料在熔化前后物理性质保持不变，各向同性。

对蓄冷槽进行一个简化，如图所示。选取一个大小为L×L的二维单元作为研究模型。

研究单元的左侧壁面进行恒温加热，其他三个边界进行绝热隔离，在x=L/2，y=L/2的位置处分别插入一个隔离板，隔离板无限薄，他的目的是隔离四个区域的纳米相变流体，此时研究单元被分为四个区域，每个区域填充纳米相变流体，相变材料采用石蜡，纳米颗粒使用三氧化二铝。

下面对模型进行网络无关性验证，我们按照2倍数进行增长，当到400×400发现精度已经可以满足我们的需求，以此为基础选取3%的误差，此时100和200的网格大小都在这个区域范围内，为了计算资源的考虑，我们选择100×100的网格大小。将我们的模型和门格尔的研究进行对比，发现误差小于2%，说明我们的模型时可靠的。误差存在的原因可能是相变材料的初始温度和环境温度有一定的差别，也可能是因为石蜡发生了过热。

第三部分是我的研究内容，分别是瑞利数对模型的影响，排列方式对模型的影响以及纳米颗粒体积分数对模型的影响，下面谈论是不同结构下瑞利数的影响，计算的条件是瑞利数从104到106进行变化，斯提芬数保持为0.1，本节采用的模型如右侧表格所示。

这张云图是类型1在瑞利数为 5×104时不同无量纲时间的温度显示，通过观察可以看到左侧两个区域的顶部熔化的速度很快，下部熔化的相对较慢，这是因为对左侧进行加热，顶部相变材料收到加热后向右侧移动，并且由于浮力的影响的，底部会向上移动。随着时间的推进，温度逐渐聚集，当区域顶部完全熔化后，会逐渐向右下角移动。

类型2到类型4的的温度标准差都有一个极大值，呈现处急速上升和快速下降的两个阶段，这是因为左侧区域优先融化，导致局部温度升高，温度标准差上升，当内部纳米相变材料也达到相变温度时，此时纳米相变材料开始通过潜热的形式吸收大量的热量，由于该相变过程中温度保持温度不变，因此温度标准差开始逐渐减少，并且随着瑞利数的增加，温度标准差在上升和下降的速度也会加快。观察下面的平局努塞尔数的图可以看到，随着瑞丽数的增加，平局努塞尔数的增加速率变大，这反映了低瑞利数时，相变材料的热教皇更依赖导热机制，高瑞利数是对流换热。简单总结一下，加热过程中左侧区域出现顶部快速熔化，下部相对熔化缓慢的现象，随着瑞丽数的增加，温度标准差和加热面平均努塞尔数的上升和下降的速度都加快。

下面谈论不同排列方式对系统的影响，首先讨论的是类型2到类型4在瑞利数等于104的时候四个区域液相率的变化，可以看到左侧两个区域液相率增大的很快，并且左上区域的液相率的增长速率大于左下方区域的，右侧两个区域只有在左侧完全熔化或者是几乎完全熔化才会开始熔化，并且右上区域要比右下区域快，因此右侧区域是制约研究单元熔化速率的主要因素。其次要讨论是不同类型间相同区域液相率的变化，这里使用类型1作为对照组，对于左上区域，类型2到类型4的液相率均大于对照组，这是因为左上方的对流换热更加明显，对于类型5到类型7该区域的液相率小于对照组，这是因为它们纳米体积分数过大。对于左下区域，类型2、6和7的液相率大于对照组，它们热传递的能力更强，右上区域的类型4，5，6也大于对照组，类型2，3，7同样如此。

为了研究各个区域液相率相对值，对研究的类型进行了分析，其中可以发现k1呈增长趋势，这是因为左侧区域可以快速熔化，很快达到稳定值，此时的右侧的区域没有熔化或者熔化程度较低，因此K1有一段时间为0，随着时间的推进，右侧区域逐渐熔化，液相率变大，导致k1变大。K2呈先先减低后增长的趋势，这是因为在熔化的前期，k2主要依赖左侧区域的液相率，由于左上角的液相率变化大于左下角的，因此k2下降，右侧两区域逐渐熔化，k2下降的趋势降低，随着熔化程度的加深，k2逐渐变成1.在开始阶段，类型6和类型7的k2大于1，这是因为在体积分数变量为-0.01时，左下区域相对于左下区域熔化的速率要快一些。这是对这一节的总结。

我研究的最后一部分纳米流体体积分数对熔化速率的影响，前面两节都是基于体积分数的变化零正负0.01，为了研究更多的情况，这里添加变化量为正负0.02的情况，新增类型同样如右侧表格所示，使用类型1进行对照，与对照组进行完全熔化所需要的相对值结果如图所示。类型9和11在瑞丽数等于103的时候，大于0，随着瑞丽数的增大，小于0了.类型8、10和12，其都大于0.右侧两个图时具体的数值，例如类型9在瑞利数5×103、104、5×10 4、105、5×10 5、106情况下，类型9的熔化速率比对照组分别提高了2.13%、1.84%、1.9%、1.72%、1.8%、1.89%。

下面讨论具有相同类型区域分布，但是体积分数不一样的情况，我们可以类型9的𝛷始终小于类型3的，在瑞利数为103之前，类型11的𝛷大于类型5的，但是后面一旦瑞利数变大，此时类型11的𝛷就会小于类型5的，当∆𝜑=0.02情况下，研究单元中纳米相变材料实现完全熔化所需要的时间小于∆𝜑=0.01情况下的完全熔化时间。

第四部分是我的课题得到的结论，总共又三条。第一条是瑞利数越大，相变材料熔化的速率越快。第二条是左上区域的换热性能强于左下区域的，可以合理降低左下区域的纳米颗粒的体积分数优化传热特性。第三条是合理增加左上区域的体积，并且和左下区域的浓度差越大，对熔化速率的促进月明显。

这就是我今天答辩的内容。

问题

1. 空间不匹配的问题
2. 时间不匹配的问题
3. 为何进行网络无关性验证
4. 什么是无量纲时间