

# Comsol Multiphysics 应用于玻璃钢化炉内温度场及流场模拟

洪立昕、林飞、陈招娣、杨忠林、罗云侠、林美灵  
研发处，科立视材料科技有限公司，福州，福建，中国

## 简介：

化学钢化玻璃是将玻璃置于熔融的碱盐中，使玻璃表层中的离子与熔盐中的离子交换，由于交换后的体积变化，在玻璃的两表面形成压应力，内部形成张应力，从而达到提高玻璃强度的效果。化学钢化玻璃强度高、热稳定性好、无自爆现象<sup>[1][2]</sup>。玻璃钢化炉内温度场和流场的数值分析已有研究<sup>[3][4]</sup>，但并无在钢化炉内建立二维玻璃片模拟研究，本文利用Comsol Multiphysics 方便的计算模块，仿真三面加热强化炉之温度场和流场分布。

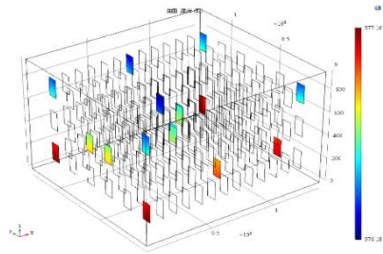


图 1. 满载情况下玻璃在钢化炉内熔融碱盐溶液中的温度分布

由图1可知，强化炉在满载的情况下，炉内熔融碱盐溶液的温度约为576K，温度场分布均匀，温度差小于1K，炉内玻璃在恒温场下进行化学钢化。

## 计算方法：

采用 流体传热模块和湍流模块，湍流模型选用 k-epsilon

模型涉及的物理场为流体的湍流和传热，其数学描述分别如下：

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} - \nabla \cdot \eta (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \nabla p = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \nabla T + \nabla q = Q + q_0 + Q_p + Q_{vd}$$

$$q = -k \nabla T$$

化学钢化玻璃制程可分低温和高温离子交换，大部分盖板玻璃均采用低温离子交换工艺制造的，所谓低温系是指交换温度不高于玻璃转变温度的范围内，是相对于高温离子交换工艺在转变温度以上，软化点以下的温度范围而言。低温离子交换工艺好处在于减少翘曲，节省能耗和降低成本，其简单原理是在400℃左右的盐溶液中，使玻璃表层中半径较小的离子与溶液中半径较大的离子交换，比如玻璃中的锂离子与溶液中的钾或钠离子交换，玻璃中的钠离子与溶液中的钾离子交换，利用离子体积上的差别在玻璃表层形成表面压应力。可抑制玻璃表面微裂纹扩展，大幅提高玻璃机械性能。

## 物理模型

化学钢化炉内胆的基本尺寸为1380(L)×1275(W)×960(H) mm，其模型如图2。

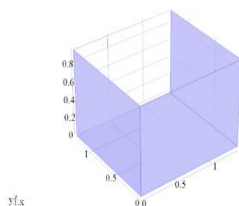


图 2. 化学钢化炉的加热模型

## 物性参数

熔融硝酸钾基本参数如下表。

表 1. 强化炉内熔融硝酸钾参数

属性	名称	值	单位
动力粘度	mu	0.020	Pa.s
比热容	gamma	1	1
常压热容	Cp	33.7	KJ/(Kg.°C)
密度	rho	2.109	g/cc
导热系数	k	0.5	W/(m.K)

## 结果：

### 强化炉内的温度场分布

强化炉内装硝酸钾时，采用Comsol Multiphysics 软件对强化炉做温度场仿真分析，结果如图3所示。

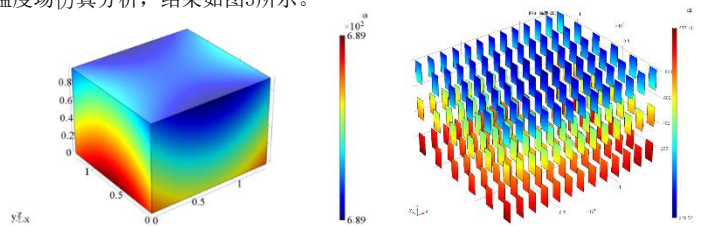


图 3. 强化炉内熔融硝酸钾溶液的温度场分布（稳态）

由图3可知，炉内熔融硝酸钾溶液的温度约为689K，温度场分布均匀，温度差小于1K。

### 强化炉内的流场分布

强化炉内装硝酸钾时，采用Comsol Multiphysics 软件对强化炉做流场仿真分析，结果如图4所示。

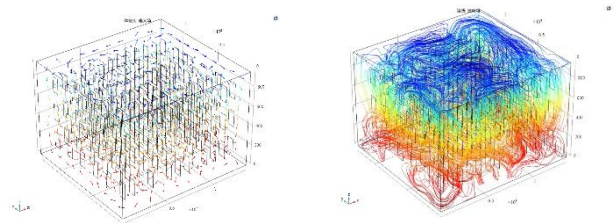


图 4. 强化炉内熔融硝酸钾溶液的流场分布（稳态）

由图可知，强化炉内的溶液流场主要为中间及两侧共三个湍流场，且湍流强度最强处位于两侧湍流场的上部，同时也是强化炉内温度较低的位置。

## 结论：

使用 Comsol Multiphysics 流体和传热模块，可以很方便的建立模型、设定边界条件、模拟计算和绘图。模拟结果可方便看出熔融硝酸钾溶液的流场分布图，可指导强化炉多面设计加热工作。未来可在此基础上进一步加入化学组分传递模块，研究微量成分在强化炉中分布以模拟抗菌制程，其系于熔融硝酸钾溶液中掺微量抗菌剂。

## 参考文献

1. 王立祥, 刘振甫, 金文国. 影响化学钢化玻璃质量的因素分析[J]. 玻璃, 2012, 39 (04) : 27-31.
2. 张峙琪, 李伟捷, 杨修春, 黄文昆. 超薄玻璃化学钢化的研究进展[J]. 玻璃与搪瓷, 2009, 37 (04) : 40-45+49.
3. 刘光辉. 玻璃钢化炉炉内温度场和流场的数值分析[D]. 昆明理工大学, 2015.
4. 和浩浩. 玻璃钢化炉炉内的玻璃及辊道的三维温度场仿真[D]. 昆明理工大学, 2017.