

基于COMSOL的仓储粮堆内部自然对流和热湿传递的模拟研究

王远成 潘钰 尉尧方 鲁子枫 崔宏英
山东建筑大学热能工程学院, 济南250101

简介: 基于仓储粮堆内部自然对流、热湿耦合传递的数学模型, 采用COMSOL模拟的方法, 探讨了圆筒仓仓储粮堆内部自然对流、热量传递和水分迁移过程的相互关系。分析了外界气温和小麦分别为0°C和20°C, 小麦初始水分为14%时直径为10m高度为10m的圆筒仓内部热湿迁移过程, 研究了近似冬季和夏季仓储粮堆内部温度和湿度的动态变化规律。提出了判断粮堆内部自然对流强弱的瑞利数及其影响因素, 分析了仓型结构、粮种对粮堆内部自然对流、热量传递和水分迁移的影响。

1. 圆筒仓的物理模型和网格

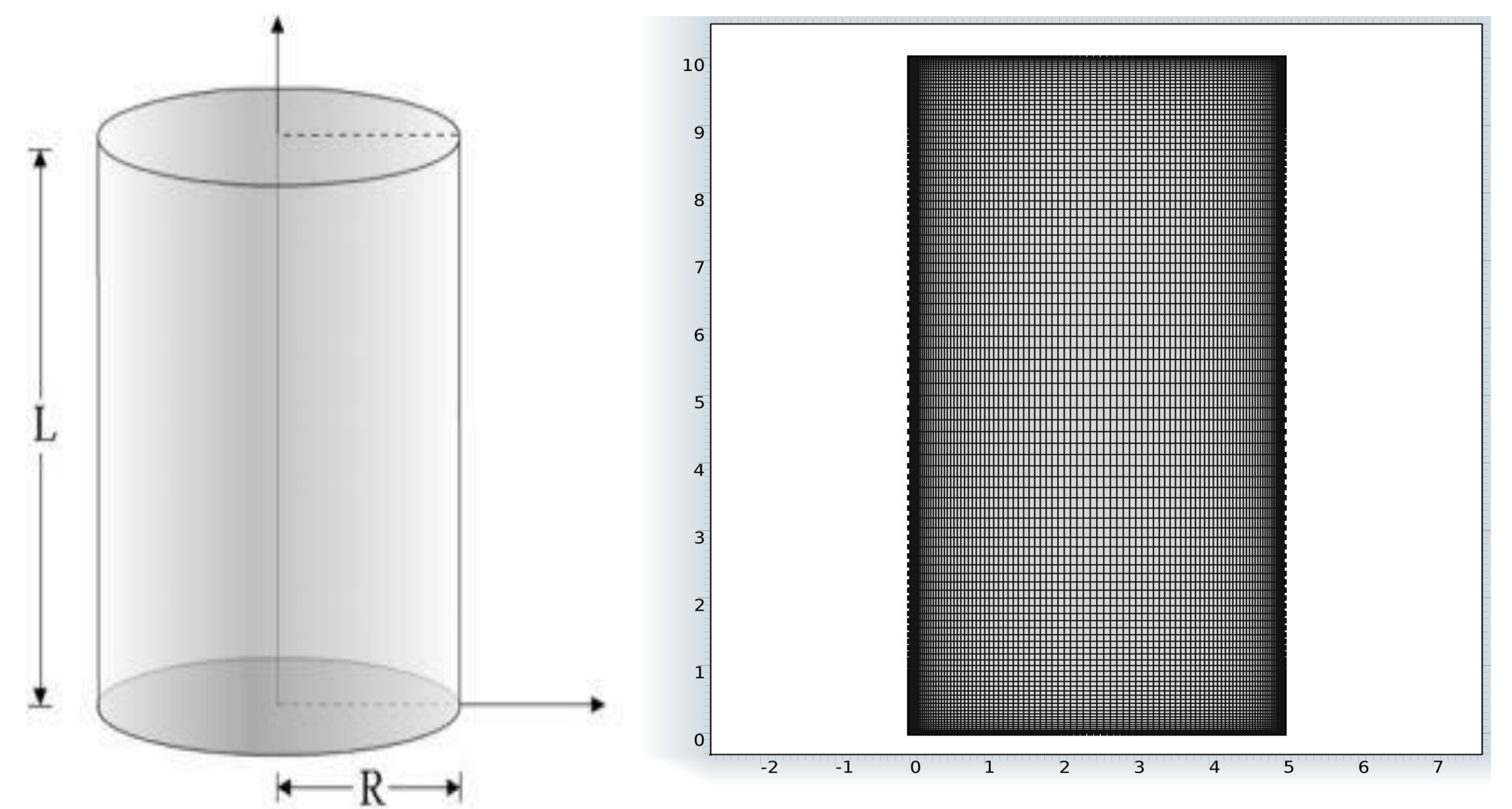
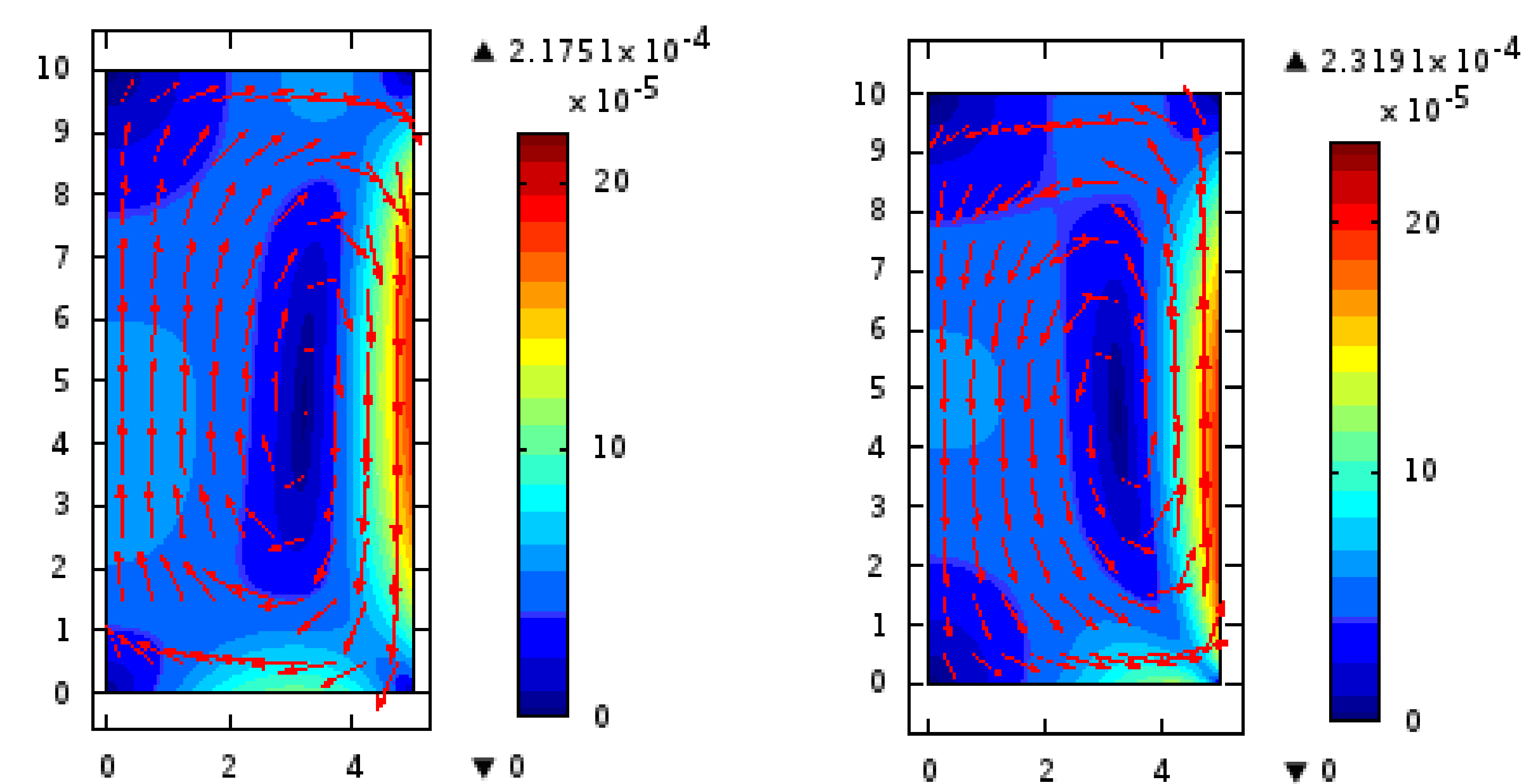


图1 圆筒仓物理模型

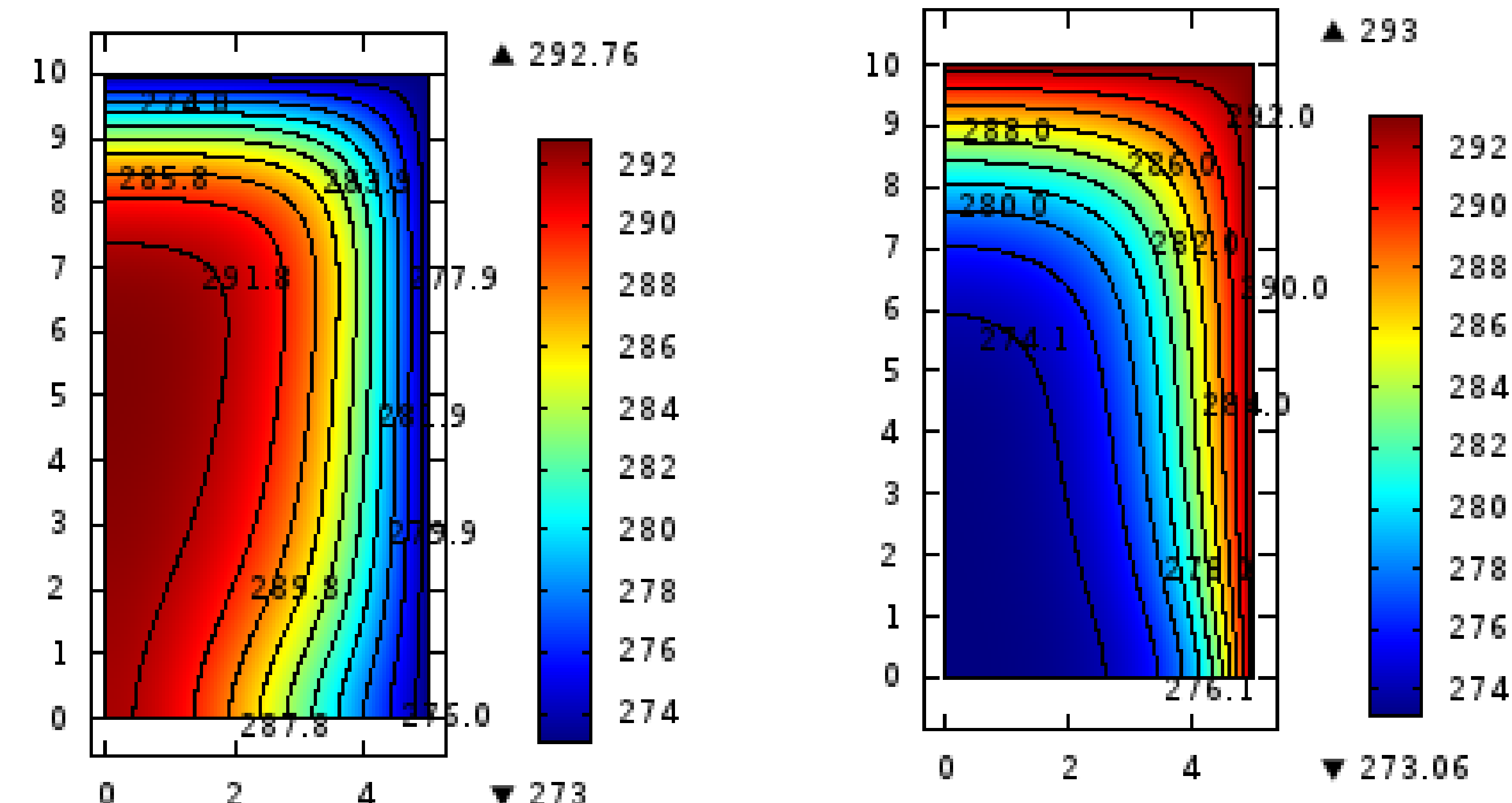
图2 数值模拟计算区域

3. 数值模拟结果



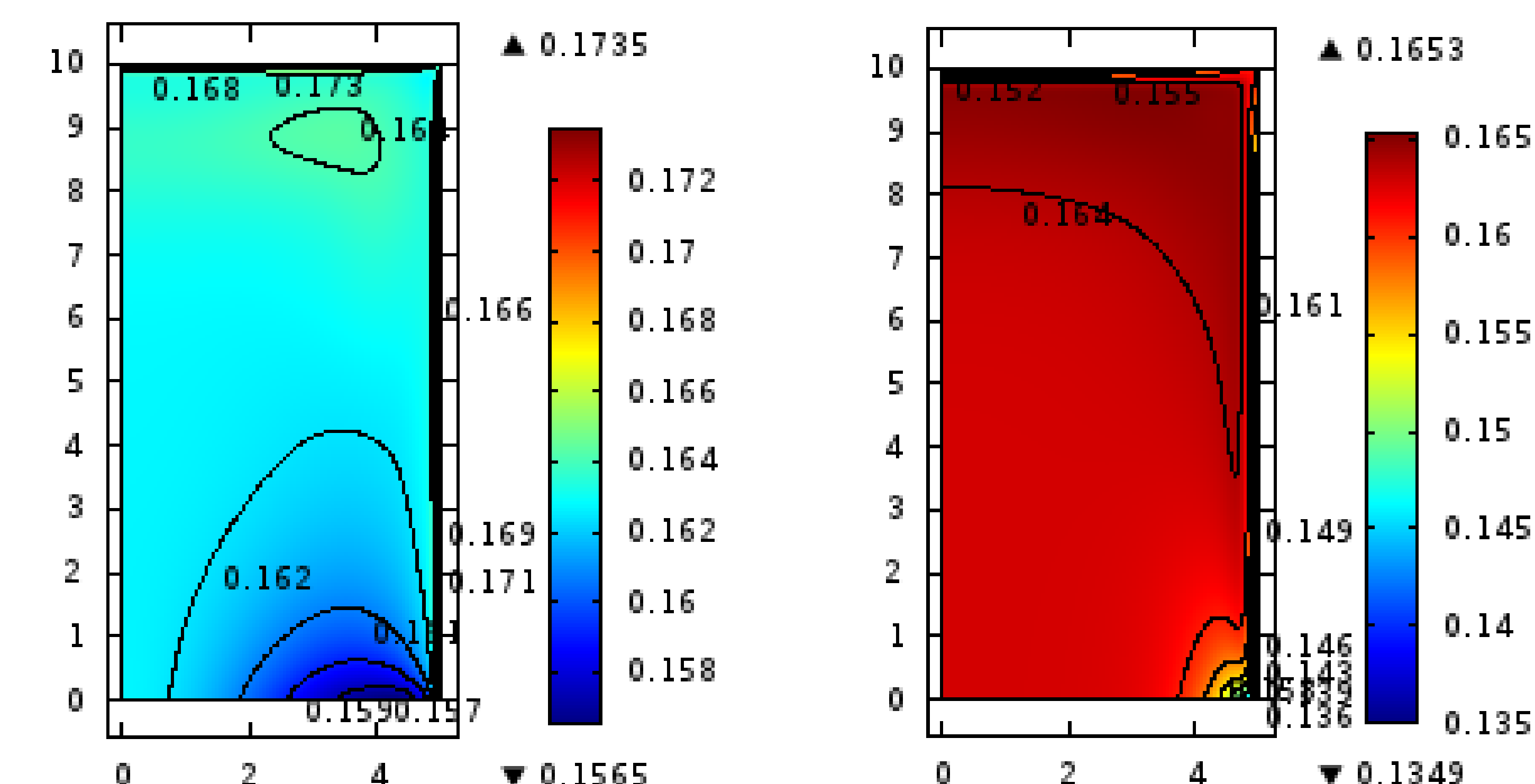
a 热芯粮自然对流场 (冬季)

b 冷芯粮自然对流场 (夏季)



a 热芯粮温度场 (冬季)

b 冷芯粮温度场 (夏季)



a 热芯粮水分场 (冬季)

b 冷芯粮水分场 (夏季)

图3 冬季和夏季储藏150天时浅圆仓内小麦的自然对流流场、温度场和水分场

2. 仓储粮堆内热湿耦合传递数学模型

$$\rho_a \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\rho_a u_j}{\varepsilon} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] + \rho_0 g \beta (T - T_0) - \frac{\varepsilon \mu u_i}{K}$$

$$(\rho_b c_b) \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho_a c_a) u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[k_b \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + \rho_b h_s \frac{\partial W}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [(\varepsilon \rho_a w) + (\rho_b W)] + \rho_a u_j \frac{\partial w}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{D_v \varepsilon}{\tau} \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_a w) \right]$$

4. 结论

(1) 通过对仓储粮堆内部自然对流、热湿耦合传递的数学模型的近似分析和数值模拟验证, 粮堆内部热量传递和水分迁移是相互耦合的, 但是, 热量传递对水分迁移影响较大, 而水分迁移对热量传递影响较小。同时, 自然对流作用会加剧水分的迁移和再分配。

(2) 冬夏两季都会在的粮堆内部形成空气自然对流运动, 夏季时在粮堆中形成逆时针方向的自然对流流动, 冬季时形成顺时针方向的自然对流流动。

(3) 冬季工况下水分从粮堆内部向顶部和右侧壁面迁移, 粮堆顶部和右侧水分升高, 粮堆右下角水分降低, 顶部水分最高, 形成所谓“结顶”现象。夏季工况时, 水分从粮堆的顶部、右侧面和右下角向右上半部区域迁移, 使得顶部、右侧附近和右下角粮堆水分降低。比较冬夏两季的水分分布图可以看出, 在相同的初始水分以及相同的温差情况下, 夏季达到150天后粮堆内部水分变化幅度比冬季工况要大, 但冬季升高幅度 (相对于初始水分) 要大于夏季。