

磁流体强制对流传热数值计算

史晓玉, 王丽丽, 李晓南
中国科学院电工研究所, 北京

简介:磁流体由于具有磁性和流动性, 在外加磁场作用下, 利用磁场调控能够有效增强换热效果。针对二维通道内磁性流体进行数值仿真计算研究磁流体的传热性能。

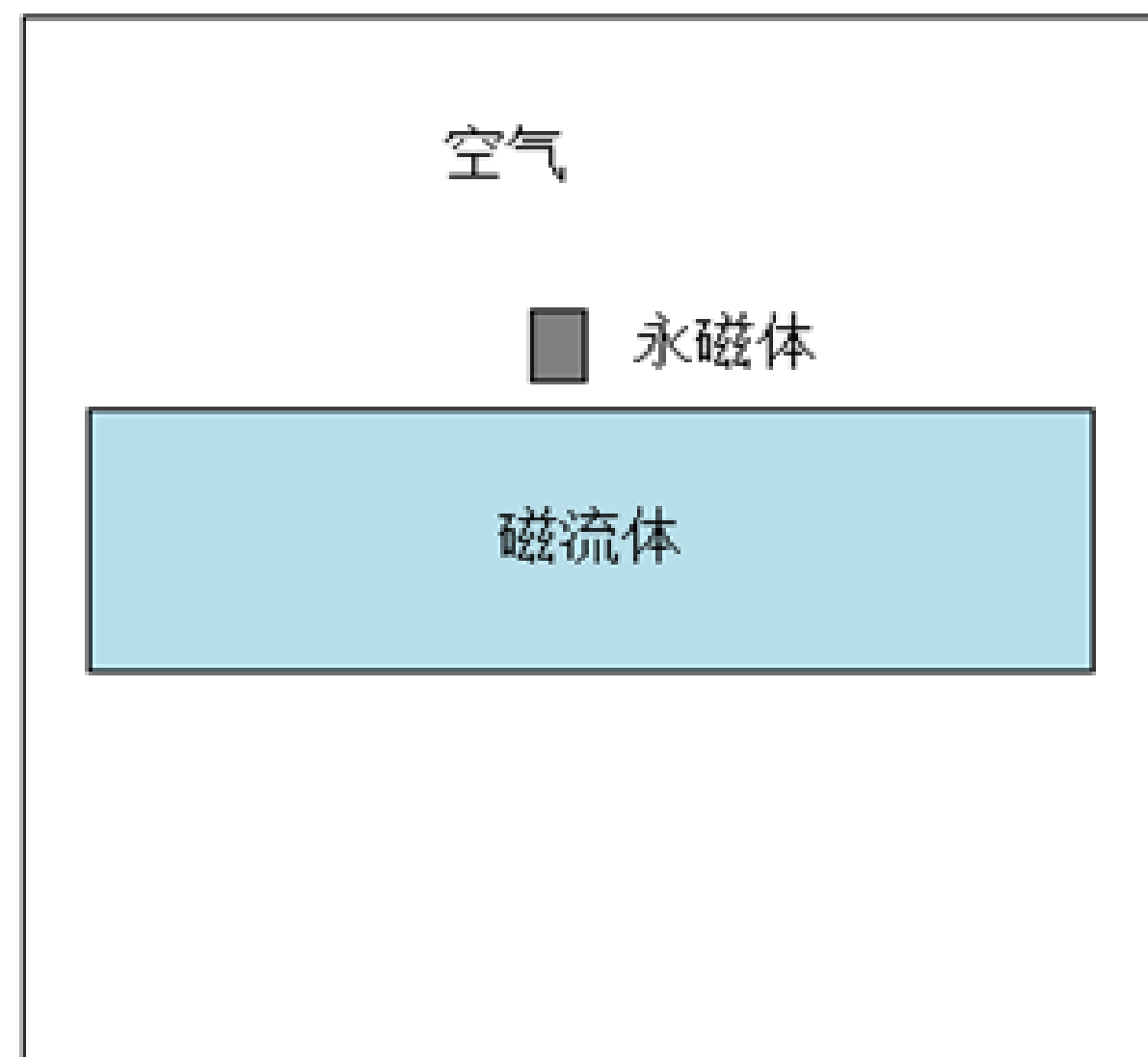


图 1. 几何模型

计算方法:AC/DC磁场、流体和传热物理场。

- 永磁体稳态方程为

$$\begin{aligned} H &= -\nabla V_m \\ B &= \mu_0 \mu_r H + B_r \end{aligned}$$

- 流体区域稳态方程为

$$\begin{aligned} \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} &= \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mathbf{K}] + \mathbf{F} + \rho \mathbf{g} \\ \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) &= 0 \\ \mathbf{K} &= \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3} \mu(\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \end{aligned}$$

- 传热方程

$$\begin{aligned} d_z \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} &= d_z Q + q_0 \\ \mathbf{q} &= -d_z k \nabla T \end{aligned}$$

表 1. 相关参数

名称	表达式	值
体积分数	ϕ	0.1
磁矩	m_0	$2.93e-25 \text{ J} \cdot \text{m} / \text{A}$
玻尔兹曼常数	k_b	$1.38e-23 \text{ J} / \text{K}$
初始温度	T_0	295K
磁流体饱和磁化强度	M_d	423kA/m
粒子数密度	n	$\mu_0 \phi M_d / m_0$
初始朗之万磁化率	χ	$n \cdot m_0^2 / (3 \cdot \mu_0 \cdot k_b \cdot T_0)$
磁流体磁化率	χ'	$\chi(1 + \chi/3)$
边界温度	T	295K
入口流速	v	0.1m/s

结果: 仿真研究的结果如下图。

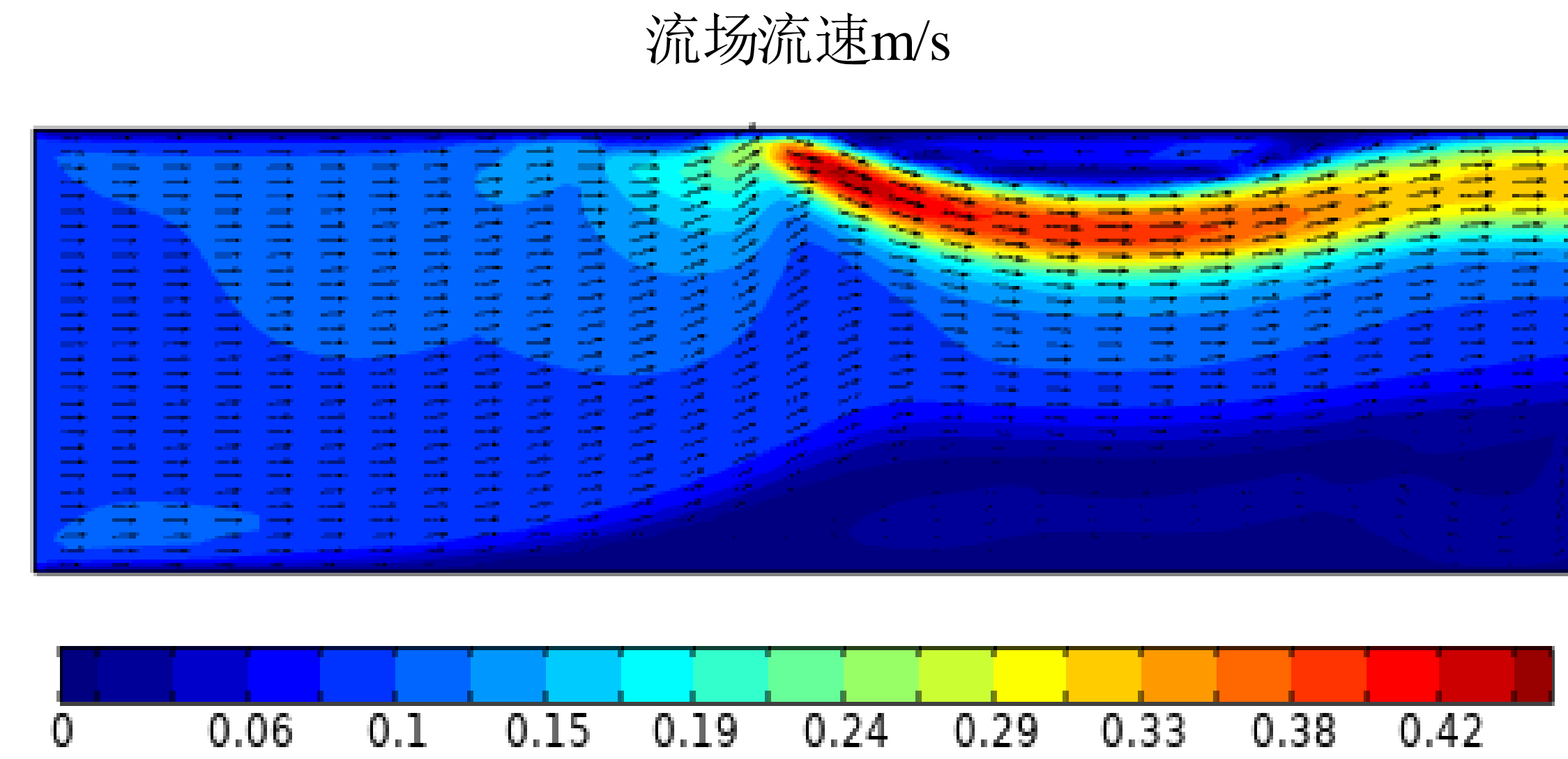


图 2. 流体区域流速分布

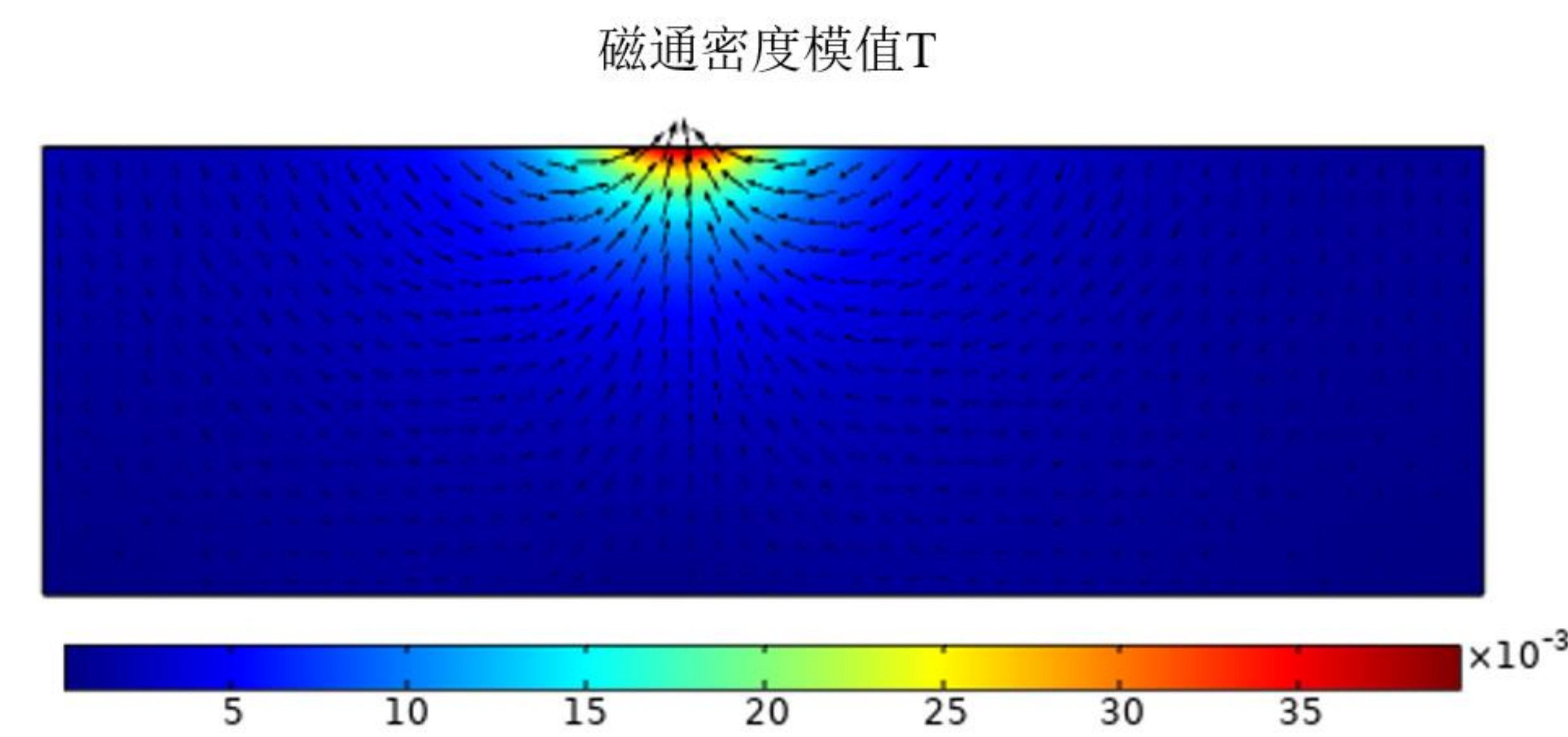


图 3. 流体区域磁场分布

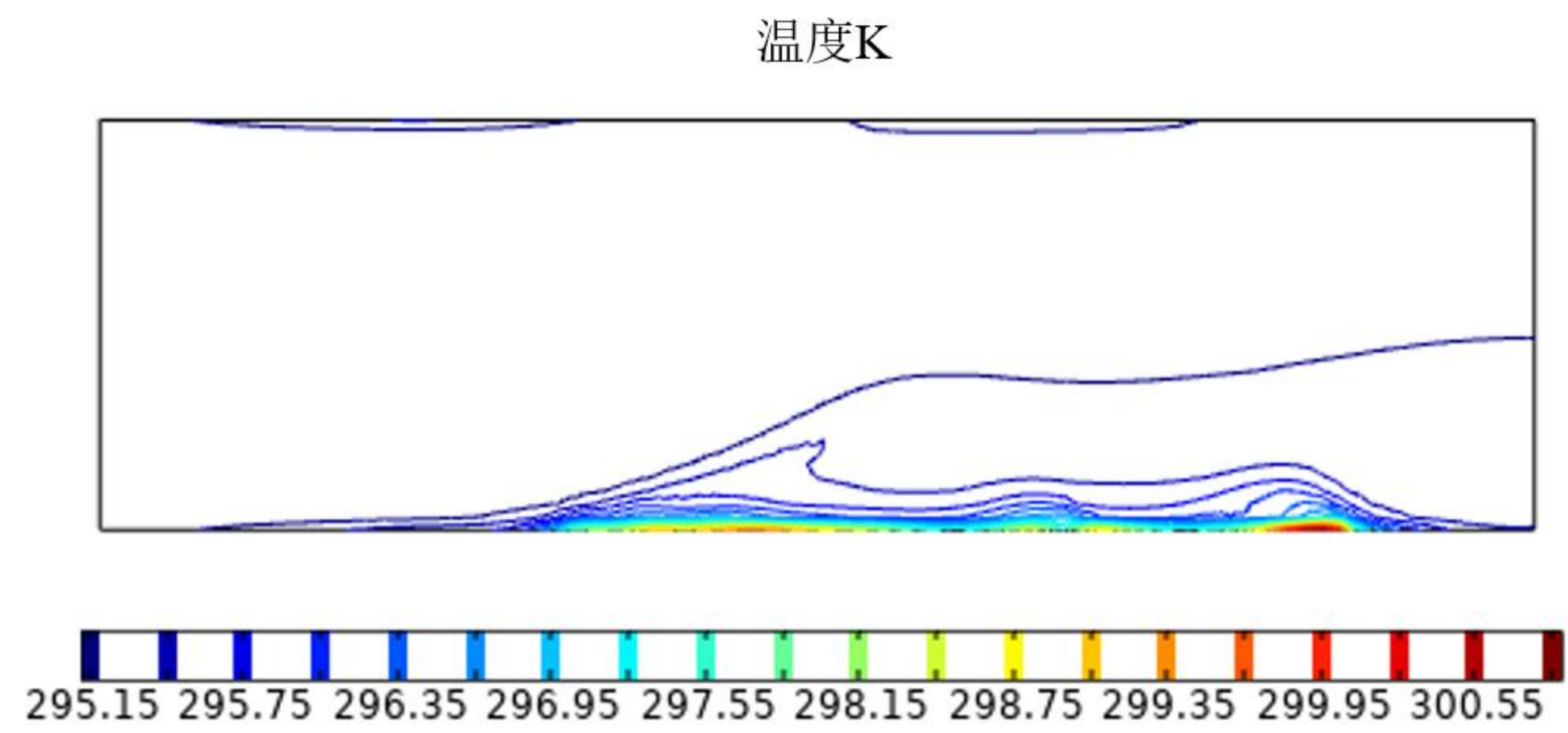


图 4. 流体区域温度分布

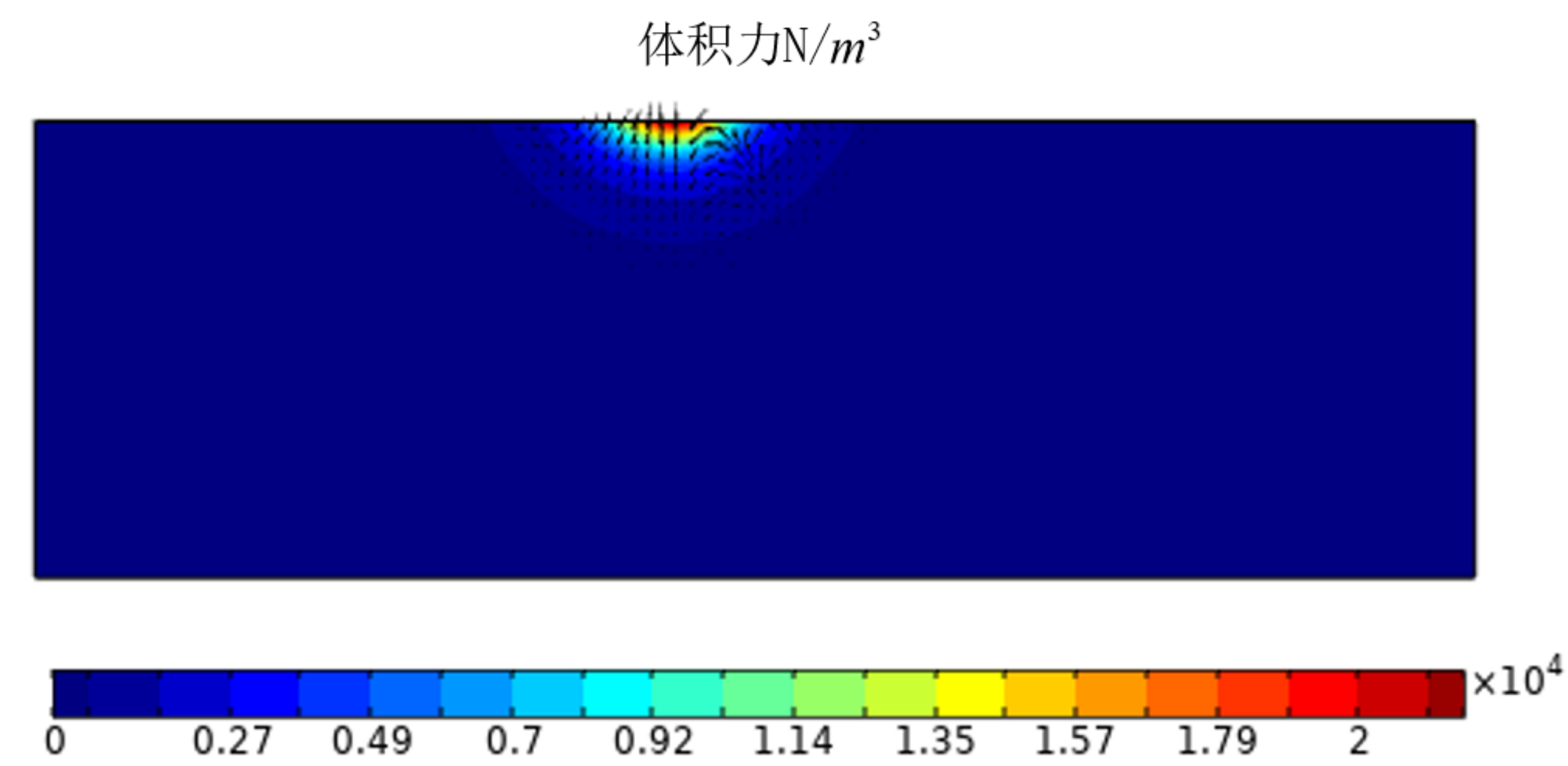


图 5. 流体区域体积力分布

结论: 建立外加磁场作用下的磁流体对流传热特性, 与重力方向同向的磁场力则可强化磁流体对流。

参考文献:

Peter S.B. Szabo, Wolf-Gerrit Fröh, The transition from natural convection to thermomagnetic convection of a magnetic fluid in a non-uniform magnetic field, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 447 (2018) 116–123