

极端热湿气候下围护结构热湿耦合传递数值模拟研究

李复翔¹, 陆筱慧¹, 孟庆林¹, 李琼¹

1. 亚热带建筑科学国家重点实验室, 华南理工大学, 广东, 广州

简介: 我国南海地区常年高温高湿、雨量充沛、太阳辐射强度大, 风速大且风中包含大量水汽, 处于多强场耦合的热带海洋环境下, 建筑围护结构承受着远高于大陆地区的热湿压力。尽管我国已开始对南海地区进行开发建设, 但尚无相应的建筑热工设计指标体系进行指导, 使得热工选材无据可依, 围护结构设计有所失真。作为指标体系建立的重要基础研究工作, 探究极端热湿气候下围护结构热湿耦合传递特点具有重要的科学价值和实际意义。

本文针对南海地区建立了一维瞬态热湿耦合传递模型, 利用COMSOL数学模块系数型PDE接口进行了求解, 探讨了热量传递、水分传输过程中相关参数的变化特点, 为求解南海地区热湿耦合传递提供了一种高效的求解方法。

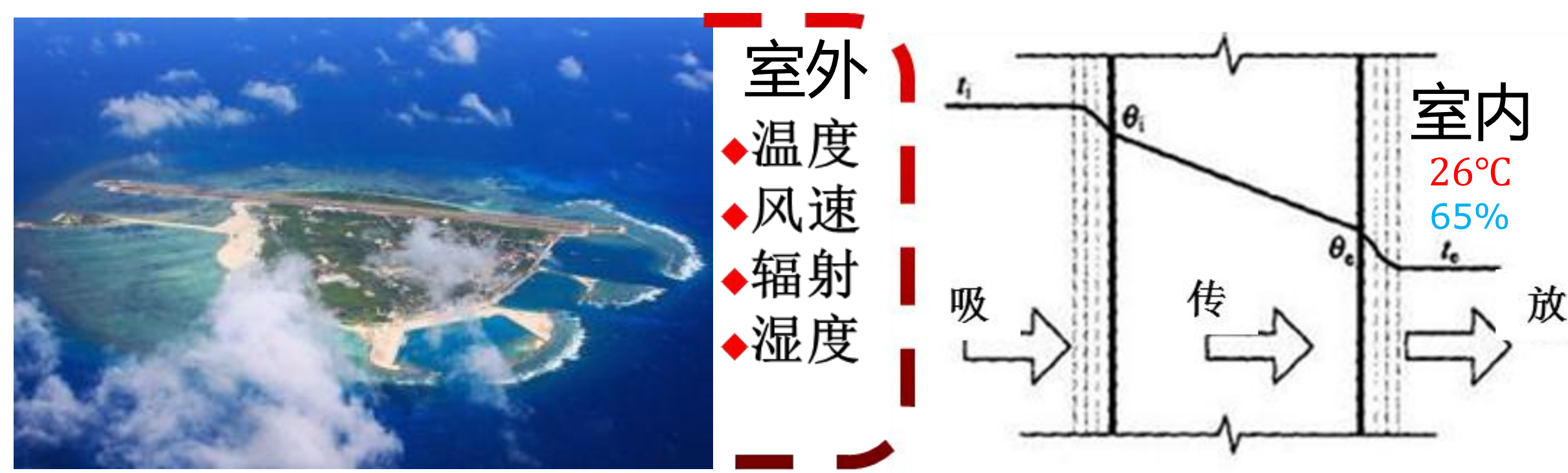


图 1. 南海地区围护结构热湿耦合传递过程及边界条件

计算方法:

控制方程

$$\begin{bmatrix} \rho \cdot c + c_w \cdot w & 0 \\ 0 & \frac{\partial w}{\partial p_c} \cdot \frac{\partial p_c}{\partial L p c} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\partial L p c}{\partial t} \end{bmatrix} = \nabla \cdot \begin{bmatrix} \lambda + \delta_v \cdot L \cdot \varphi \cdot \frac{\partial P_s}{\partial T} & -\delta_v \cdot L \cdot P_s \cdot \frac{\varphi}{\rho_w \cdot R_v \cdot T} \cdot \frac{\partial P_c}{\partial L p c} \\ \delta_v \cdot \varphi \cdot \frac{\partial P_s}{\partial T} & -\delta_v \cdot P_s \cdot \frac{\varphi}{\rho_w \cdot R_v \cdot T} \cdot \frac{\partial P_c}{\partial L p c} - D_l \cdot \frac{\partial p_c}{\partial L p c} \end{bmatrix} \cdot \nabla \begin{bmatrix} T \\ L p c \end{bmatrix}$$

设置COMSOL 数学模块 PDE(c)接口

$$e_a \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} + d_a \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (-c \nabla \mathbf{u} - \alpha \mathbf{u} + \gamma) + \beta \cdot \nabla \mathbf{u} + \mathbf{a} \mathbf{u} = \mathbf{f}$$

$$\mathbf{u} = [T, L p c]^T$$

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial x} \right]$$

除 d_a 、 c 外, 其余系数均为 0

模型验证

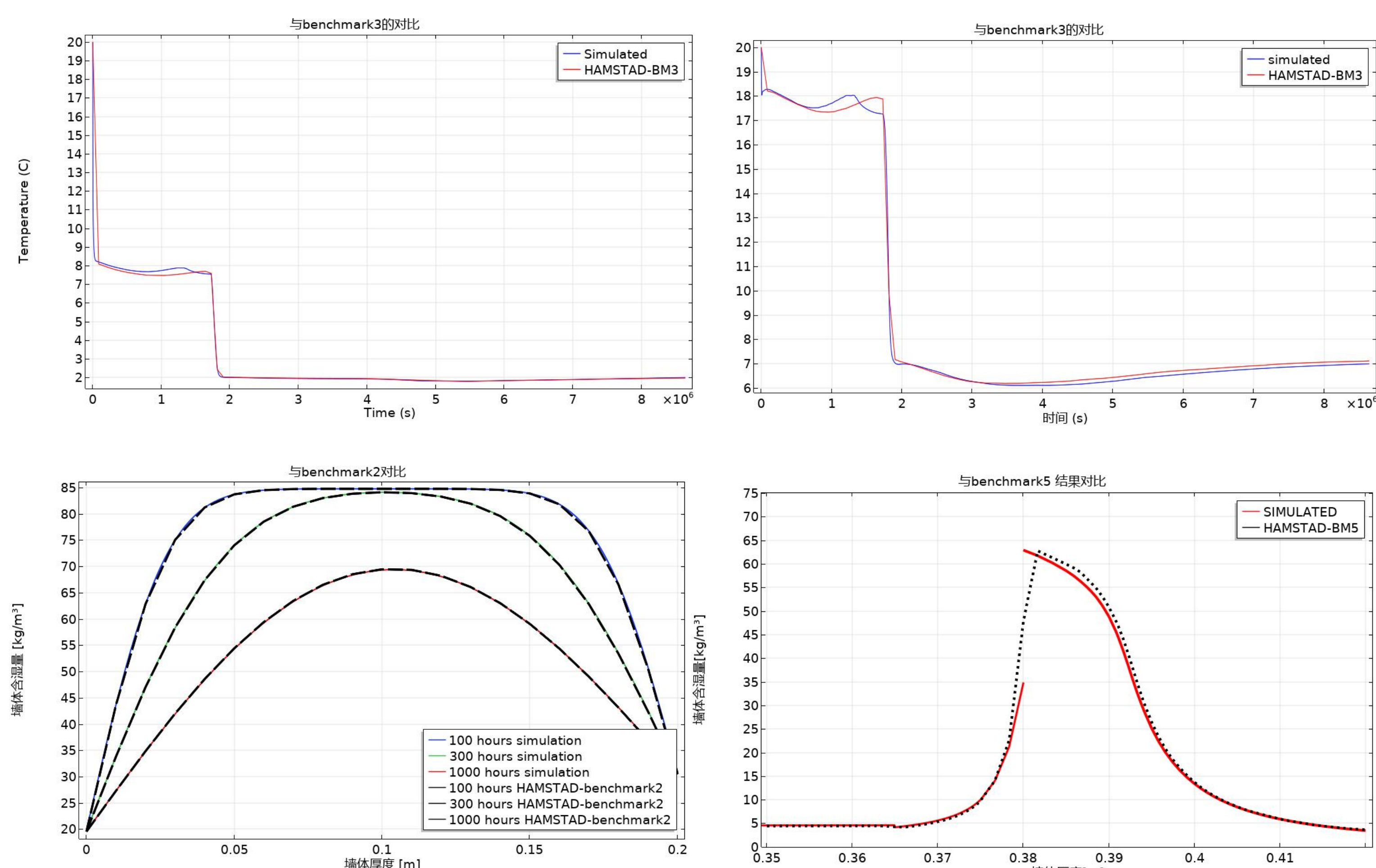


图 2. HAMSTAD 基准案例验证结果

结果: 菲律宾气候下的砖墙结构热湿模拟

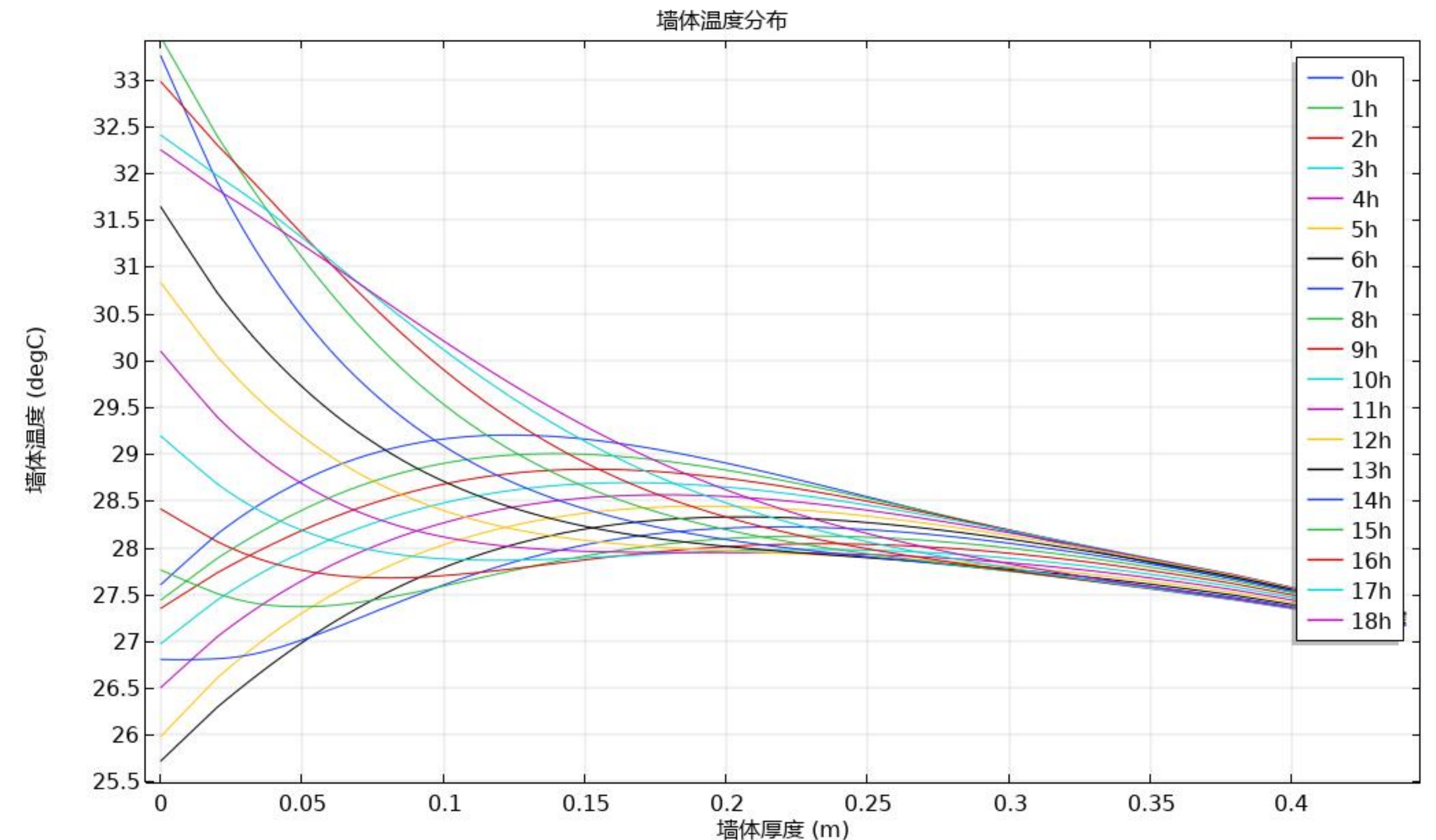


图 3. 单纯传热的墙体温度分布

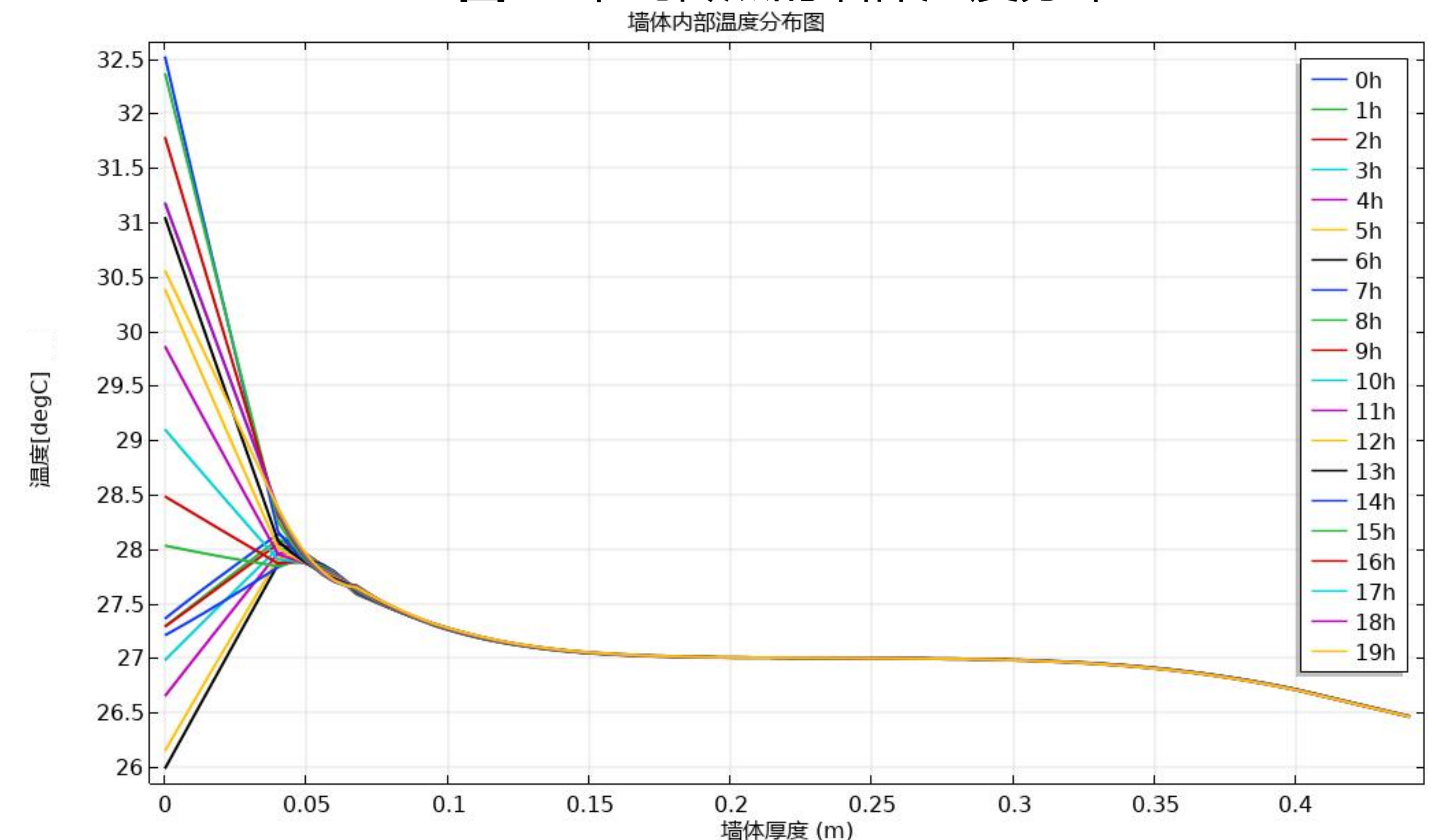


图 4. 热湿耦合条件下的墙体温度分布

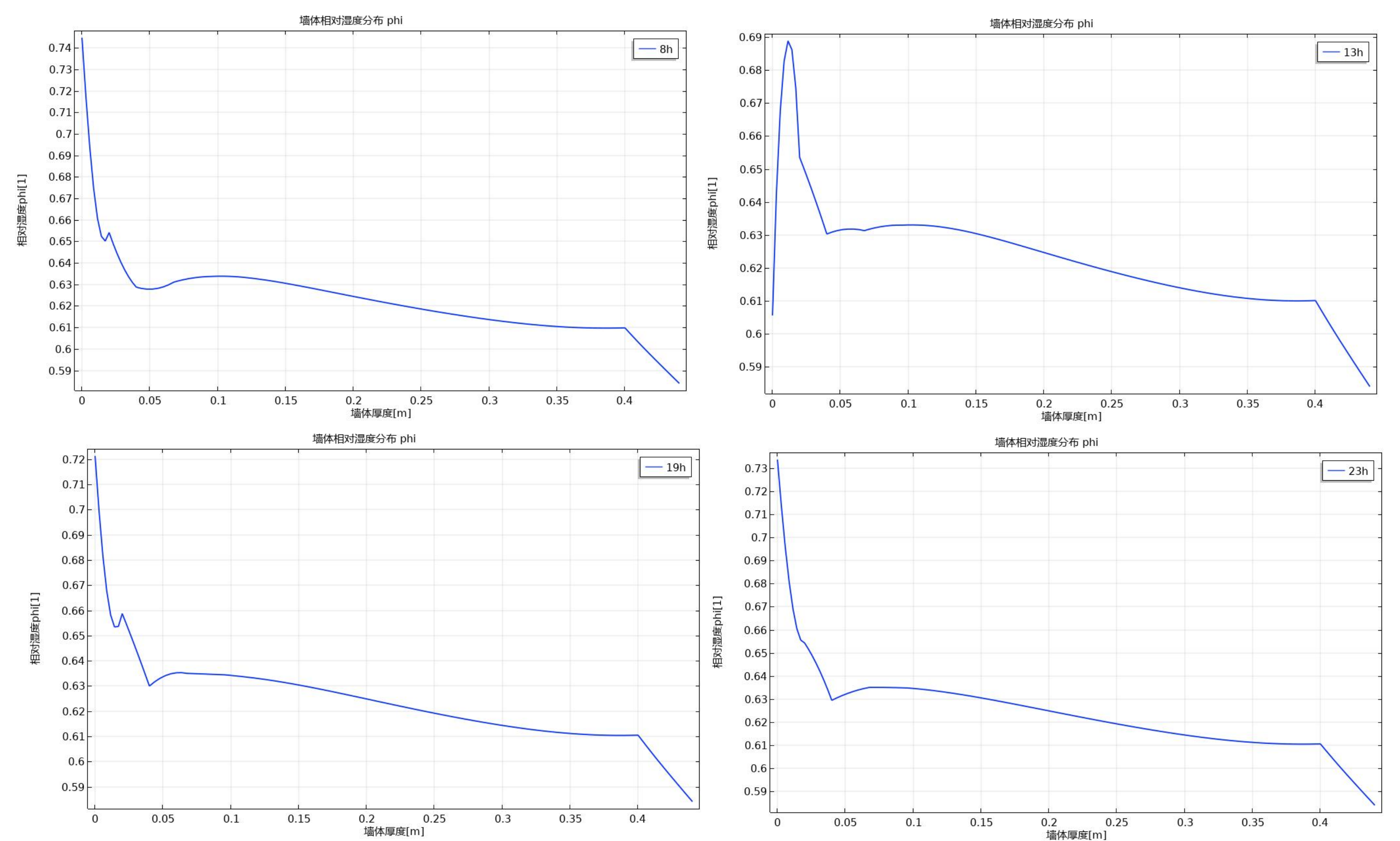


图 5. 热湿耦合条件下的墙体内部湿度分布

结论:

1. 采用COMSOL数学模块PDE接口可实现针对极端热湿地区的热湿耦合传递模型的准确求解
2. 该地区湿传递过程对于热传递具有强烈影响, 墙体内部温度波较单纯热传递衰减更快, 进行围护结构热工计算时, 不可忽略湿份影响
3. 围护结构内部湿传递近似稳态传递, 室外侧表面受温度影响, 周期性吸放湿, 室内侧波动不大

展望:

1. 通量/源 边界条件增加太阳辐射、降雨、长波辐射、风速项
2. 多物理场模型增加描述盐分迁移的偏微分方程及相应边界条件

参考文献:

1. Pedersen C R. Prediction of moisture transfer in building constructions[J]. Building and Environment, 1992, 27(3): 387-397.
2. Goesten S, Schellen H L, van Schijndel A W M, et al. Hygrothermal simulation model: Damage as a result of insulating historical buildings[J]. MSc report Eindhoven University of Technology, 2016.
3. 董浩. 极端热湿气候状况下空调房间外墙热湿传递特性研究[D]. 西安建筑科技大学, 2017.