



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116110525 B

(45) 授权公告日 2023.09.08

(21) 申请号 202310393847.X

G06F 119/08 (2020.01)

(22) 申请日 2023.04.13

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105928566 A, 2016.09.07

申请公布号 CN 116110525 A

CN 216791978 U, 2022.06.21

(43) 申请公布日 2023.05.12

CN 110907613 A, 2020.03.24

(73) 专利权人 香港理工大学

US 2004236456 A1, 2004.11.25

地址 中国香港红磡育才道11号

CN 114324768 A, 2022.04.12

专利权人 露乐健康科技股份有限公司

CN 106407532 A, 2017.02.15

(72) 发明人 寿大华 黄光汉 邹超 吴世同

CN 108647400 A, 2018.10.12

陈秋秋 周彧峰 彭海燕 潘嘉丽

CN 111444594 A, 2020.07.24

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

US 2005256686 A1, 2005.11.17

专利代理人 高棋

Fabian Wein等. Topology optimization of unsaturated flows in multi-material porous media: application to a simple diaper model.《Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation》.2019, 第78卷卷第1-18页.

(51) Int.Cl.

审查员 梁滔

G16C 60/00 (2019.01)

权利要求书3页 说明书12页 附图4页

G06F 30/20 (2020.01)
G06F 113/08 (2020.01)

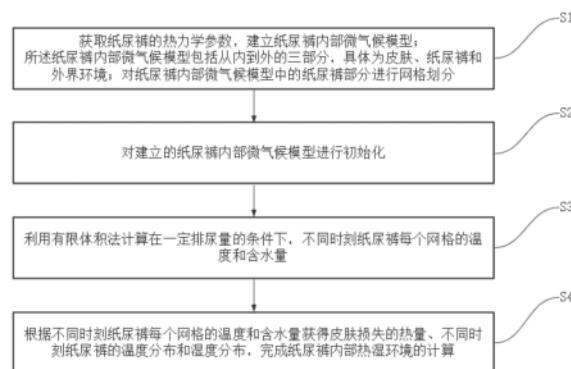
(54) 发明名称

一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法和系统

(57) 摘要

本发明提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法和系统,涉及婴幼儿健康护理技术领域,该方法包括获取纸尿裤的热力学参数,建立纸尿裤内部微气候模型并对纸尿裤部分进行网格划分;对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化;利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下,不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量;根据计算结果获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布,完成纸尿裤内部热湿环境的计算;本发明基于有限体积法进行计算,运算精度高、计算周期短,能快速精准地反映纸尿裤内微气候复杂的温湿度场及流场的分布情况,能够系统高效地预测纸尿裤微气候环境的湿热舒适性。

B CN 116110525



1. 一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，包括以下步骤：

S1：获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型，具体为：

所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分，具体为皮肤、纸尿裤和外界环境；

所述纸尿裤部分包括从内到外的面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层；

所述纸尿裤各层的厚度量级为毫米级；

所述皮肤和外界环境均为无厚度边界，皮肤边界为恒定温度；

基于以下假设：

假设一：纸尿裤内起主要锁水作用的吸水芯体层保水性强，吸水芯体层内部水分在短时间内传递缓慢，因此忽略纸尿裤内部的对流换热，将传热过程视为导热过程；

假设二：尿液在纸尿裤内扩散的区域有限，尿液所在区域的换热量远大于其他区域，因此将计算区域设置为尿液存在的区域；

假设三：纸尿裤内部各层之间存在间隙，在尿液存在的区域内含水量很高，因此本模型假设纸尿裤各层间隙内的空气湿度一直处于尿液存在的区域当前温度下的饱和湿度，同时忽略空气的对流传热和纸尿裤侧边界的传热；

假设四：尿液存在的区域所有边界均存在蒸发相变过程和热量传递过程，对于同种材料来说侧边界水分的流失速度大于中心区域，因此本模型考虑水分质量流失速度在皮肤切向上的差异；

对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分；

S2：对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；

所述初始化包括设置含水量关系拟合函数、相变类型、初始条件和边界条件；

所述含水量关系拟合函数包括对面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层均设置导热系数-含水量关系拟合函数、密度-含水量拟合函数、比热容-含水量拟合函数、水分传输比例-时间关系拟合函数和水分传输比例-水平分布拟合函数；

设置纸尿裤内部微气候模型的初始条件具体为：

设置纸尿裤内部微气候模型各部分的初始温度、纸尿裤的相对湿度、外界环境的初始温度和相对湿度，以及排尿次数；

设置纸尿裤内部微气候模型的边界条件具体为：

设置皮肤表面的边界条件为预设温度的恒温；

设置纸尿裤的边界条件为纸尿裤最外侧与外界环境的热交换过程包括蒸发和对流；

设置对流换热系数和水蒸气的蒸发速率；

S3：利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量，具体方法为：

所述纸尿裤的能量变化包括皮肤输入的热量、失去水分的内能、纸尿裤最外层对流换热和液态水汽化潜热；

纸尿裤每个网格的能量控制方程为

$$\begin{aligned}
& (\rho^1 c^1 T^1 - \rho^0 c^0 T^0) \Delta x \Delta y \\
&= k^0 \left(\frac{(T_e^1 - T^1)}{\delta x_e} - \frac{(T^1 - T_w^1)}{\delta x_w} \right) \Delta y \Delta t + k^0 \left(\frac{(T_n^1 - T^1)}{\delta y_n} - \frac{(T^1 - T_s^1)}{\delta y_s} \right) \Delta x \Delta t \\
&\quad - m_{water} c^0 T^0 + S \Delta x \Delta y \Delta t \\
& \left(\frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} \right) T^1 \\
&= \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} T_e^1 + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} T_w^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} T_n^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} T_s^1 + \left(\frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0 \right) T^0 + S \Delta x \Delta y
\end{aligned}$$

其中, ρ^1 为本时间步密度, ρ^0 为上一时间步密度, c^1 为本时间步比热容, c^0 为上一时间步比热容, k^0 为上一时间步导热系数, Δx 为网格宽度, Δy 为网格高度, δx_e 为网格中心与右侧相邻网格中心距离, δx_w 为网格中心与左侧相邻网格中心距离, δy_n 为网格中心与上侧相邻网格中心距离, δy_s 为网格中心与下侧相邻网格中心距离, T^1 为本时间步网格中心温度, T^0 为上一时间步网格中心温度, T_e^1 为右侧相邻网格中心点温度, T_w^1 为左侧相邻网格中心点温度, T_n^1 为上侧相邻网格中心点温度, T_s^1 为下侧相邻网格中心点温度;

T^1 、 T^0 、 T_e^1 、 T_w^1 、 T_n^1 和 T_s^1 的系数分别为:

$$\begin{aligned}
\alpha^1 &= \frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} \\
\alpha^0 &= \frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0 \\
\alpha_e &= \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \quad \alpha_w = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w}, \quad \alpha_n = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n}, \quad \alpha_s = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}
\end{aligned}$$

其中, α^0 为上一时间步温度系数, α^1 为本时间步温度系数, α_e 为右侧网格温度系数, α_w 为左侧网格温度系数, α_n 为上侧网格温度系数, α_s 为下侧网格温度系数;

根据每个网格的能量控制方程计算不同时刻纸尿裤各层的能量变化以及每个网格的温度;

纸尿裤每个网格的含水量计算方程为:

$$M_{water}^1 = M_{water}^0 + M_{evaporation}^t \times \partial_i \times \partial_x$$

其中, ∂_i 为纸尿裤第 i 层的水分传递比例, ∂_x 为水平方向上的分配比例, $M_{evaporation}^t$ 为时间当前时间下的水分蒸发量, M_{water}^1 为新时间步网格含水量, M_{water}^0 为上一时间步网格含水量;

纸尿裤每个网格的总含水量为各层含水量之和；

根据每个网格的含水量计算方程计算不同时刻纸尿裤各层的含水量，根据每个网格不同时刻纸尿裤各层的含水量计算每个网格不同时刻纸尿裤的总含水量；

S4：根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算。

2. 根据权利要求1所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，所述步骤S1中所述的纸尿裤的热力学参数包括：纸尿裤各层材料的导热系数、密度和孔隙率。

3. 根据权利要求2所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，所述纸尿裤各层含水量的切向分布呈二次函数分布，在法向方向上具有线性关系。

4. 根据权利要求1所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，所述皮肤输入的热量具体为：

$$P = \sum_{time=1}^{endtime} \left(\sum_{mesh=1}^m (T_{skin} - T_{mesh}) \times A \times K_{mesh} \right)$$

其中， T_{skin} 为皮肤温度， T_{mesh} 为皮肤相邻网格温度， A 为导热面积，具体为单个网格的面积， K_{mesh} 为单个网格的导热系数。

5. 根据权利要求1所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，所述纸尿裤最外层对流换热具体为：

$$S_{con} = h \times A \times (T_{mesh} - T_{air}) \times \Delta t$$

其中， h 为对流换热系数，表示对流强度， T_{air} 为外界环境温度， Δt 为时间步长。

6. 根据权利要求1所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，所述液态水汽化潜热具体为：

$$S_{gas} = 2266000 \times m_{gas}$$

其中， m_{gas} 为水蒸气质量。

7. 一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算系统，应用权利要求1~6任意一项中所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，其特征在于，包括：

模型构建和网格划分单元：用于获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型；

所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分，具体为皮肤、纸尿裤和外界环境；并对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分；

初始化单元：用于对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；

计算单元：用于利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；

计算结果处理单元：用于根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算。

一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及婴幼儿健康护理技术领域,更具体地,涉及一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法和系统。

背景技术

[0002] 纸尿裤对婴幼儿穿着舒适性和皮肤健康具有重要影响。纸尿裤通过多层结构有机组合实现以下功能:包括吸收尿液、保持透气性、防止尿液侧漏回渗等。在不同环境条件下,纸尿裤需要确保婴幼儿保排尿后,皮肤附近的微气候区域维持湿热平衡,处于一个让皮肤舒适的温湿度范围。

[0003] 随着人们对健康护理理念的深刻认识,健康舒适纸尿裤产品的需求日益增加。为了把微气候维持在舒适区,纸尿裤产品的选择需要充分考虑婴幼儿的尿液量、日用夜用、冬季夏季和环境潮湿程度等因素。因此,有必要开发出适应各种要求的健康舒适产品。

[0004] 然而,精准开发适应各种需求的健康舒适纸尿裤的产品有一定难度。首先,纸尿裤微气候环境中的湿热传递过程十分复杂,包括了液态水输运和吸收、湿气传递、多种形式的热传递以及湿热耦合作用。此外,排尿后的芯体吸湿和放湿过程、婴幼儿活动等因素大大增加了湿热舒适性预测的难度。同时,纸尿裤针对结构设计的性能要求也有一定矛盾性,例如增加厚度可以提高吸水量或促进皮肤干燥,但也会大幅增加热阻而影响热舒适性。目前的产品开发方法主要处于实验试错、评价测试和用户反馈阶段,缺乏深入系统的预测模型。

[0005] 目前的现有技术公开了一种多尺度框架下的热物理传输数值仿真方法,提出了一组多尺度非线性模型用来描述人体,织物,纤维材料和相变材料颗粒之间的混合型耦合热湿传输;所述多尺度模型整合了上述实体之间的动态热边界条件,采用了耦合偏微分方程描述,所述偏微分方程通过有限体积方法进行离散化;同时,考虑到不同的穿戴情景,提出了智能保暖服装数字化仿真的方案;现有技术中的方法主要利用在服装设计领域,能够在智能保暖服装的工程设计过程中提前评估服装的热智能质量,对于湿热传递过程十分复杂的个性化纸尿裤设计领域,现有技术存在空间分辨率低、设计效率较低和热湿环境预测精度不高的缺陷。

发明内容

[0006] 本发明为克服上述现有技术在针对个性化纸尿裤设计时效率较低且内部热湿环境计算精度不高的缺陷,提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法和系统,能够系统高效地预测纸尿裤微气候环境的湿热舒适性,揭示不同结构材料对湿热传递性能的影响,对个性化产品快速优化设计和保护婴幼儿皮肤健康,具有实际应用价值和重要现实意义。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明的技术方案如下:

[0008] 一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法,包括以下步骤:

[0009] S1:获取纸尿裤的热力学参数,建立纸尿裤内部微气候模型,具体为:

[0010] 所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分,具体为皮肤、纸尿裤和外界

环境；

- [0011] 所述纸尿裤部分包括从内到外的面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层；
- [0012] 所述纸尿裤各层的厚度量级为毫米级；
- [0013] 所述皮肤和外界环境均为无厚度边界，皮肤边界为恒定温度；
- [0014] 基于以下假设：
 - [0015] 假设一：纸尿裤内起主要锁水作用的吸水芯体层保水性强，吸水芯体层内部水分在短时间内传递缓慢，因此忽略纸尿裤内部的对流换热，将传热过程视为导热过程；
 - [0016] 假设二：尿液在纸尿裤内扩散的区域有限，尿液所在区域的换热量远大于其他区域，因此将计算区域设置为尿液存在的区域；
 - [0017] 假设三：纸尿裤内部各层之间存在间隙，在尿液存在的区域内含水量很高，因此本模型假设纸尿裤各层间隙内的空气湿度一直处于该位置当前温度下的饱和湿度，同时忽略空气的对流传热和纸尿裤侧边界的传热；
 - [0018] 假设四：尿液存在的区域所有边界均存在蒸发相变过程和热量传递过程，对于同种材料来说侧边界水分的流失速度大于中心区域，因此本模型考虑水分质量流失速度在皮肤切向上的差异；
- [0019] 对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分；
- [0020] S2：对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；
- [0021] 所述初始化包括设置含水量关系拟合函数、相变类型、初始条件和边界条件；
- [0022] 所述含水量关系拟合函数包括对面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层均设置导热系数-含水量关系拟合函数、密度-含水量拟合函数、比热容-含水量拟合函数、水分传输比例-时间关系拟合函数和水分传输比例-水平分布拟合函数；
- [0023] 设置纸尿裤内部微气候模型的初始条件具体为：
- [0024] 设置纸尿裤内部微气候模型各部分的初始温度、纸尿裤的相对湿度、外界环境的初始温度和相对湿度，以及排尿次数；
- [0025] 设置纸尿裤内部微气候模型的边界条件具体为：
- [0026] 设置皮肤表面的边界条件为预设温度的恒温；
- [0027] 设置纸尿裤的边界条件为纸尿裤最外侧与外界环境的热交换过程包括蒸发和对流；
- [0028] 设置对流换热系数和水蒸气的蒸发速率；
- [0029] S3：利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量，具体方法为：
 - [0030] 所述纸尿裤的能量变化包括皮肤输入的热量、失去水分的内能、纸尿裤最外层对流换热和液态水汽化潜热；
 - [0031] 纸尿裤每个网格的能量控制方程为

$$\begin{aligned}
 & (\rho^1 c^1 T^1 - \rho^0 c^0 T^0) \Delta x \Delta y \\
 &= k^0 \left(\frac{(T_e^1 - T^1)}{\delta x_e} - \frac{(T^1 - T_w^1)}{\delta x_w} \right) \Delta y \Delta t + k^0 \left(\frac{(T_n^1 - T^1)}{\delta y_n} - \frac{(T^1 - T_s^1)}{\delta y_s} \right) \Delta x \Delta t \\
 & [0032] \quad - m_{water} c^0 T^0 + S \Delta x \Delta y \Delta t \\
 & \quad \left(\frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} \right) T^1 \\
 & = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} T_e^1 + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} T_w^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} T_n^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} T_s^1 + \left(\frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0 \right) T^0 + S \Delta x \Delta y
 \end{aligned}$$

[0033] 其中, ρ^1 为本时间步密度, ρ^0 为上一时间步密度, c^1 为本时间步比热容, c^0 为上一时间步比热容, k^0 为上一时间步导热系数, Δx 为网格宽度, Δy 为网格高度, δx_e 为网格中心与右侧相邻网格中心距离, δx_w 为网格中心与左侧相邻网格中心距离, δy_n 为网格中心与上侧相邻网格中心距离, δy_s 为网格中心与下侧相邻网格中心距离, T^1 为本时间步网格中心温度, T^0 为上一时间步网格中心温度, T_e^1 为右侧相邻网格中心点温度, T_w^1 为左侧相邻网格中心点温度, T_n^1 为上侧相邻网格中心点温度, T_s^1 为下侧相邻网格中心点温度;

[0034] $T^1, T^0, T_e^1, T_w^1, T_n^1$ 和 T_s^1 的系数分别为:

$$\alpha^1 = \frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}$$

$$\alpha^0 = \frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0$$

$$\alpha_e = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \quad \alpha_w = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \quad \alpha_n = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n}, \quad \alpha_s = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}$$

[0038] 其中, α^0 为上一时间步温度系数, α^1 为本时间步温度系数, α_e 为右侧网格温度系数, α_w 为左侧网格温度系数, α_n 为上侧网格温度系数, α_s 为下侧网格温度系数;

[0039] 根据每个网格的能量控制方程计算不同时刻纸尿裤各层的能量变化以及每个网格的温度;

[0040] 纸尿裤每个网格的含水量计算方程为:

$$M_{water}^1 = M_{water}^0 + M_{evaporation}^t \times \partial_i \times \partial_x$$

[0042] 其中, ∂_i 为纸尿裤第 i 层的水分传递比例, ∂_x 为水平方向上的分配比例, $M_{evaporation}^t$ 为时间当前时间下的水分蒸发量, M_{water}^1 为新时间步网格含水量, M_{water}^0 为上一时间步网格含水量;

- [0043] 纸尿裤每个网格的总含水量为各层含水量之和；
 [0044] 根据每个网格的含水量计算方程计算不同时刻纸尿裤各层的含水量，根据每个网格不同时刻纸尿裤各层的含水量计算每个网格不同时刻纸尿裤的总含水量；
 [0045] S4：根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算。
 [0046] 优选地，所述步骤S1中所述的纸尿裤的热力学参数包括：纸尿裤各层材料的导热系数、密度和孔隙率。
 [0047] 优选地，所述纸尿裤各层含水量的切向分布呈二次函数分布，在法向方向上具有线性关系。

[0048] 优选地，所述皮肤输入的热量具体为：

$$[0049] P = \sum_{time=1}^{endtime} \left(\sum_{mesh=1}^m (T_{skin} - T_{mesh}) \times A \times K_{mesh} \right)$$

[0050] 其中， T_{skin} 为皮肤温度， T_{mesh} 为皮肤相邻网格温度， A 为导热面积，具体为单个网格的面积， K_{mesh} 为单个网格的导热系数。

[0051] 优选地，所述纸尿裤最外层对流换热具体为：

$$[0052] S_{con} = h \times A \times (T_{mesh} - T_{air}) \times \Delta t$$

[0053] 其中， h 为对流换热系数，表示对流强度， T_{air} 为外界环境温度， Δt 为时间步长。

[0054] 优选地，所述液态水汽化潜热具体为：

$$[0055] S_{gas} = 2266000 \times m_{gas}$$

[0056] 其中， m_{gas} 为水蒸气质量。

[0057] 本发明还提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算系统，应用上述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，包括：

[0058] 模型构建和网格划分单元：用于获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型；

[0059] 所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分，具体为皮肤、纸尿裤和外界环境；

[0060] 并对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分；

[0061] 初始化单元：用于对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；

[0062] 计算单元：用于利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；

[0063] 计算结果处理单元：用于根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算。

[0064] 与现有技术相比，本发明技术方案的有益效果是：

[0065] 本发明提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法和系统，该方法通过获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型并对纸尿裤部分进行网格划分；对建立的

纸尿裤内部微气候模型进行初始化；利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算；
[0066] 本发明基于有限体积法进行计算，运算精度高、计算周期短，能快速精准地反映纸尿裤内微气候复杂的温湿度场及流场的分布情况，能够系统高效地预测纸尿裤微气候环境的湿热舒适性，揭示不同结构材料对湿热传递性能的影响，对个性化产品快速优化设计和保护婴幼儿皮肤健康，具有实际应用价值和重要现实意义。

附图说明

- [0067] 图1为实施例1所提供的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法流程图。
- [0068] 图2为实施例2所提供的纸尿裤内部微气候模型结构图。
- [0069] 图3为实施例2所提供的纸尿裤各层含水量的分布图。
- [0070] 图4为实施例2所提供的能量变化示意图。
- [0071] 图5为实施例2所提供的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法计算结果图。
- [0072] 图6为实施例3所提供的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算系统结构图。

具体实施方式

- [0073] 附图仅用于示例性说明，不能理解为对本专利的限制；
- [0074] 为了更好说明本实施例，附图某些部件会有省略、放大或缩小，并不代表实际产品的尺寸；
- [0075] 对于本领域技术人员来说，附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。
- [0076] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案做进一步的说明。
- [0077] 实施例1
- [0078] 如图1所示，本实施例提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法，包括以下步骤：
 - [0079] S1：获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型；
 - [0080] 所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分，具体为皮肤、纸尿裤和外界环境；
 - [0081] 对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分；
 - [0082] S2：对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；
 - [0083] S3：利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；
 - [0084] S4：根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算。
- [0085] 在具体实施过程中，首先获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型并对纸尿裤部分进行网格划分；对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿

度分布,完成纸尿裤内部热湿环境的计算;

[0086] 本发明基于有限体积法进行计算,运算精度高、计算周期短,能快速精准地反映纸尿裤内微气候复杂的温湿度场及流场的分布情况,能够系统高效地预测纸尿裤微气候环境的湿热舒适性,揭示不同结构材料对湿热传递性能的影响,对个性化产品快速优化设计和保护婴幼儿皮肤健康,具有实际应用价值和重要现实意义。

[0087] 实施例2

[0088] 本实施例提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法,包括以下步骤:

[0089] S1:获取纸尿裤的热力学参数,建立纸尿裤内部微气候模型;

[0090] 所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分,具体为皮肤、纸尿裤和外界环境;

[0091] 对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分;

[0092] S2:对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化;

[0093] S3:利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下,不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量;

[0094] S4:根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布,完成纸尿裤内部热湿环境的计算。

[0095] 所述步骤S1中所述的纸尿裤的热力学参数包括:纸尿裤各层材料的导热系数、密度和孔隙率;

[0096] 所述步骤S1中所建立的纸尿裤内部微气候模型具体为:

[0097] 如图2所示,所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分,具体为皮肤、纸尿裤和外界环境;

[0098] 所述纸尿裤部分包括从内到外的面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层;

[0099] 所述纸尿裤各层的厚度量级为毫米级;

[0100] 所述皮肤和外界环境均为无厚度边界,皮肤边界为恒定温度;

[0101] 基于以下假设:

[0102] 假设一:纸尿裤内起主要锁水作用的吸水芯体层保水性强,吸水芯体层内部水分在短时间内传递缓慢,因此忽略纸尿裤内部的对流换热,将传热过程视为导热过程;

[0103] 假设二:尿液在纸尿裤内扩散的区域有限,尿液所在区域的换热量远大于其他区域,因此将计算区域设置为尿液存在的区域;

[0104] 假设三:纸尿裤内部各层之间存在间隙,在尿液存在的区域内含水量很高,因此本模型假设纸尿裤各层间隙内的空气湿度一直处于该位置当前温度下的饱和湿度,同时忽略空气的对流传热和纸尿裤侧边界的传热;

[0105] 假设四:尿液存在的区域所有边界均存在蒸发相变过程和热量传递过程,对于同种材料来说侧边界水分的流失速度大于中心区域,因此本模型考虑水分质量流失速度在皮肤切向上的差异。

[0106] 如图3所示,所述纸尿裤各层含水量的切向分布呈二次函数分布,在法向方向上具有线性关系;

[0107] 所述步骤S2中,对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化的具体方法为:

[0108] 所述初始化包括设置含水量关系拟合函数、相变类型、初始条件和边界条件;

[0109] 所述含水量关系拟合函数包括对面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层均设置导热系数-含水量关系拟合函数、密度-含水量拟合函数、比热容-含水量拟合函数、水分传输比例-时间关系拟合函数和水分传输比例-水平分布拟合函数；

[0110] 设置纸尿裤内部微气候模型的初始条件具体为：

[0111] 设置纸尿裤内部微气候模型各部分的初始温度、纸尿裤的相对湿度、外界环境的初始温度和相对湿度，以及排尿次数；

[0112] 设置纸尿裤内部微气候模型的边界条件具体为：

[0113] 设置皮肤表面的边界条件为预设温度的恒温；

[0114] 设置纸尿裤的边界条件为纸尿裤最外侧与外界环境的热交换过程包括蒸发和对流；

[0115] 设置对流换热系数和水蒸气的蒸发速率；

[0116] 所述步骤S3中，对初始化后的纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分，利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量，具体方法为：

[0117] 如图4所示，所述纸尿裤的能量变化包括皮肤输入的热量、失去水分的内能、纸尿裤最外层对流换热和液态水汽化潜热；

[0118] 纸尿裤每个网格的能量控制方程为

$$(\rho^1 c^1 T^1 - \rho^0 c^0 T^0) \Delta x \Delta y$$

$$= k^0 \left(\frac{(T_e^1 - T^1)}{\delta x_e} - \frac{(T^1 - T_w^1)}{\delta x_w} \right) \Delta y \Delta t + k^0 \left(\frac{(T_n^1 - T^1)}{\delta y_n} - \frac{(T^1 - T_s^1)}{\delta y_s} \right) \Delta x \Delta t$$

[0119]

$$-m_{water} c^0 T^0 + S \Delta x \Delta y \Delta t$$

$$\left(\frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} \right) T^1$$

$$= \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} T_e^1 + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} T_w^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} T_n^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} T_s^1 + \left(\frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0 \right) T^0 + S \Delta x \Delta y$$

[0120] 其中， ρ^1 为本时间步密度， ρ^0 为上一时间步密度， c^1 为本时间步比热容， c^0 为上一时间步比热容， k^0 为上一时间步导热系数， Δx 为网格宽度， Δy 为网格高度， δx_e 为网格中心与右侧相邻网格中心距离， δx_w 为网格中心与左侧相邻网格中心距离， δy_n 为网格中心与上侧相邻网格中心距离， δy_s 为网格中心与下侧相邻网格中心距离， T^1 为本时间步网格中心温度， T^0 为上一时间步网格中心温度， T_e^1 为右侧相邻网格中心点温度， T_w^1 为左侧相邻网格中心点温度， T_n^1 为上侧相邻网格中心点温度， T_s^1 为下侧相邻网格中心点温度；

[0121] T^1 、 T^0 、 T_e^1 、 T_w^1 、 T_n^1 和 T_s^1 的系数分别为：

$$[0122] \alpha^1 = \frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}$$

[0123] $\alpha^0 = \frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0$

[0124] $\alpha_e = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \alpha_w = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \alpha_n = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n}, \alpha_s = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}$

[0125] 其中, α^0 为上一时间步温度系数, α^1 为本时间步温度系数, α_e 为右侧网格温度系数, α_w 为左侧网格温度系数, α_n 为上侧网格温度系数, α_s 为下侧网格温度系数;

[0126] 根据每个网格的能量控制方程计算不同时刻纸尿裤各层的能量变化以及每个网格的温度;

[0127] 纸尿裤每个网格的含水量计算方程为:

[0128] $M_{water}^1 = M_{water}^0 + M_{evaporation}^t \times \partial_i \times \partial_x$

[0129] 其中, ∂_i 为纸尿裤第 i 层的水分传递比例, ∂_x 为水平方向上的分配比例, $M_{evaporation}^t$ 为时间当前时间下的水分蒸发量, M_{water}^1 为新时间步网格含水量, M_{water}^0 为上一时间步网格含水量;

[0130] 纸尿裤每个网格的总含水量为各层含水量之和;

[0131] 根据每个网格的含水量计算方程计算不同时刻纸尿裤各层的含水量, 根据每个网格不同时刻纸尿裤各层的含水量计算每个网格不同时刻纸尿裤的总含水量;

[0132] 所述皮肤输入的热量具体为:

[0133] $P = \sum_{time=1}^{endtime} \left(\sum_{mesh=1}^m (T_{skin} - T_{mesh}) \times A \times K_{mesh} \right)$

[0134] 其中, T_{skin} 为皮肤温度, T_{mesh} 为皮肤相邻网格温度, A 为导热面积, 具体为单个网格的面积, K_{mesh} 为单个网格的导热系数;

[0135] 所述纸尿裤最外层对流换热具体为:

[0136] $S_{con} = h \times A \times (T_{mesh} - T_{air}) \times \Delta t$

[0137] 其中, h 为对流换热系数, 表示对流强度, T_{air} 为外界环境温度, Δt 为时间步长;

[0138] 所述液态水汽化潜热具体为:

[0139] $S_{gas} = 2266000 \times m_{gas}$

[0140] 其中, m_{gas} 为水蒸气质量。

[0141] 在具体实施过程中, 首先获取纸尿裤的热力学参数, 在本实施例中, 首先通过实验法获取纸尿裤各层材料的导热系数、密度和孔隙率;

[0142] 基于以下假设, 建立纸尿裤内部微气候模型:

[0143] 假设一: 纸尿裤内起主要锁水作用的吸水芯体层保水性强, 吸水芯体层内部水分在短时间内传递缓慢, 因此忽略纸尿裤内部的对流换热, 将传热过程视为导热过程;

[0144] 假设二：尿液在纸尿裤内扩散的区域有限，尿液所在区域的换热量远大于其他区域，因此将计算区域设置为尿液存在的区域；

[0145] 假设三：纸尿裤内部各层之间存在间隙，在尿液存在的区域内含水量很高，因此本模型假设纸尿裤各层间隙内的空气湿度一直处于该位置当前温度下的饱和湿度，同时忽略空气的对流传热和纸尿裤侧边界的传热；

[0146] 假设四：尿液存在的区域所有边界均存在蒸发相变过程和热量传递过程，对于同种材料来说侧边界水分的流失速度大于中心区域，因此本模型考虑水分质量流失速度在皮肤切向上的差异；

[0147] 所建立的纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分，具体为皮肤、纸尿裤和外界环境；

[0148] 所述纸尿裤部分包括从内到外的面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层；

[0149] 所述纸尿裤各层的厚度量级均为毫米级，在本实施例中，面层厚度为0.4mm，覆盖层厚度为0.2mm，吸水芯体层厚度为3mm，底膜层厚度为0.1mm；

[0150] 并对纸尿裤部分进行网格划分，将纸尿裤部分划分为n×m的网格；

[0151] 对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化，具体为：设置含水量关系拟合函数、相变类型、初始条件和边界条件；

[0152] 所述含水量关系拟合函数包括对面层、覆盖层、吸水芯体层和底膜层均设置导热系数-含水量关系拟合函数、密度-含水量拟合函数、比热容-含水量拟合函数、水分传输比例-时间关系拟合函数和水分传输比例-水平分布拟合函数；

[0153] 设置纸尿裤内部微气候模型的初始条件具体为：

[0154] 设置纸尿裤内部微气候模型各部分的初始温度、纸尿裤的相对湿度、外界环境的初始温度和相对湿度；

[0155] 在本实施例中，纸尿裤内部微气候模型各部分的初始温度为36℃，纸尿裤的相对湿度为50%，外界环境的初始温度为25℃、相对湿度为50%，排尿次数设置为3次，每次排尿量为80mL；

[0156] 设置纸尿裤内部微气候模型的边界条件具体为：

[0157] 设置皮肤表面的边界条件为36℃的恒温；

[0158] 设置纸尿裤的边界条件为纸尿裤最外侧与外界环境的热交换过程包括蒸发和对流；

[0159] 设置对流换热系数和水蒸气的蒸发速率，在本实施例中，对流换热系数为8 W/(m² · K)；

[0160] 利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；

[0161] 所述纸尿裤的能量变化包括皮肤输入的热量、失去水分的内能、纸尿裤最外层对流换热和液态水汽化潜热；

[0162] 纸尿裤每个网格的能量控制方程为

$$\begin{aligned}
 & (\rho^1 c^1 T^1 - \rho^0 c^0 T^0) \Delta x \Delta y \\
 &= k^0 \left(\frac{(T_e^1 - T^1)}{\delta x_e} - \frac{(T^1 - T_w^1)}{\delta x_w} \right) \Delta y \Delta t + k^0 \left(\frac{(T_n^1 - T^1)}{\delta y_n} - \frac{(T^1 - T_s^1)}{\delta y_s} \right) \Delta x \Delta t \\
 [0163] \quad & - m_{water} c^0 T^0 + S \Delta x \Delta y \Delta t \\
 & \left(\frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} \right) T^1 \\
 & = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} T_e^1 + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} T_w^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} T_n^1 + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s} T_s^1 + \left(\frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0 \right) T^0 + S \Delta x \Delta y
 \end{aligned}$$

[0164] 其中, ρ^1 为本时间步密度, ρ^0 为上一时间步密度, c^1 为本时间步比热容, c^0 为上一时间步比热容, k^0 为上一时间步导热系数, Δx 为网格宽度, Δy 为网格高度, δx_e 为网格中心与右侧相邻网格中心距离, δx_w 为网格中心与左侧相邻网格中心距离, δy_n 为网格中心与上侧相邻网格中心距离, δy_s 为网格中心与下侧相邻网格中心距离, T^1 为本时间步网格中心温度, T^0 为上一时间步网格中心温度, T_e^1 为右侧相邻网格中心点温度, T_w^1 为左侧相邻网格中心点温度, T_n^1 为上侧相邻网格中心点温度, T_s^1 为下侧相邻网格中心点温度;

[0165] $T^1, T^0, T_e^1, T_w^1, T_n^1$ 和 T_s^1 的系数分别为:

$$[0166] \alpha^1 = \frac{\rho^1 c^1 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e} + \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_w} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n} + \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}$$

$$[0167] \alpha^0 = \frac{\rho^0 c^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} - m_{water} c^0$$

$$[0168] \alpha_e = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \quad \alpha_w = \frac{k^0 \Delta y}{\delta x_e}, \quad \alpha_n = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_n}, \quad \alpha_s = \frac{k^0 \Delta x}{\delta y_s}$$

[0169] 其中, α^0 为上一时间步温度系数, α^1 为本时间步温度系数, α_e 为右侧网格温度系数, α_w 为左侧网格温度系数, α_n 为上侧网格温度系数, α_s 为下侧网格温度系数;

[0170] 根据每个网格的能量控制方程计算不同时刻纸尿裤各层的能量变化以及每个网格的温度;

[0171] 纸尿裤每个网格的含水量计算方程为:

$$[0172] M_{water}^1 = M_{water}^0 + M_{evaporation}^t \times \partial_i \times \partial_x$$

[0173] 其中, ∂_i 为纸尿裤第 i 层的水分传递比例, ∂_x 为水平方向上的分配比例, $M_{evaporation}^t$ 为时间当前时间下的水分蒸发量, M_{water}^1 为新时间步网格含水量, M_{water}^0 为上一时间步网格含水量;

[0174] 纸尿裤每个网格的总含水量为各层含水量之和;

[0175] 根据每个网格的含水量计算方程计算不同时刻纸尿裤各层的含水量,根据每个网格不同时刻纸尿裤各层的含水量计算每个网格不同时刻纸尿裤的总含水量;

[0176] 根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布,完成纸尿裤内部热湿环境的计算;

[0177] 所述皮肤输入的热量具体为:

$$[0178] P = \sum_{time=1}^{endtime} \left(\sum_{mesh=1}^m (T_{skin} - T_{mesh}) \times A \times K_{mesh} \right)$$

[0179] 其中, T_{skin} 为皮肤温度, T_{mesh} 为皮肤相邻网格温度, A 为导热面积, 具体为单个网格的面积, K_{mesh} 为单个网格的导热系数;

[0180] 所述纸尿裤最外层对流换热具体为:

$$[0181] S_{con} = h \times A \times (T_{mesh} - T_{air}) \times \Delta t$$

[0182] 其中, h 为对流换热系数, 表示对流强度, T_{air} 为外界环境温度, Δt 为时间步长;

[0183] 所述液态水汽化潜热具体为:

$$[0184] S_{gas} = 2266000 \times m_{gas}$$

[0185] 其中, m_{gas} 为水蒸气质量;

[0186] 本实施例中纸尿裤内部热湿环境的计算结果如图5所示, 图5精确地展示出在14s 和86s两个时刻纸尿裤内部的温度分布和湿度分布, 计算精度较高, 效果较好;

[0187] 利用本实施例中的方法可以根据尿液所在区域大小不同计算婴儿不同尿液量时纸尿裤的热量损失; 还可以预测不同材料搭配和厚度比例时纸尿裤的热损失; 也可以通过设置户外室内不同的对流换热系数, 或冬天夏天不同的环境温度来模拟在不同的外界环境下, 纸尿裤内部的热湿环境, 以指导开发出适应各种要求的健康舒适产品;

[0188] 本发明基于有限体积法进行计算, 运算精度高、计算周期短, 能快速精准地反映纸尿裤内微气候复杂的温湿度场及流场的分布情况, 能够系统高效地预测纸尿裤微气候环境的湿热舒适性, 揭示不同结构材料对湿热传递性能的影响, 对个性化产品快速优化设计和保护婴幼儿皮肤健康, 具有实际应用价值和重要现实意义。

[0189] 实施例3

[0190] 如图6所示, 本实施例提供一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算系统, 应用实施例1或2所述的一种纸尿裤内部微气候热湿环境计算方法, 包括:

[0191] 模型构建和网格划分单元301: 用于获取纸尿裤的热力学参数, 建立纸尿裤内部微气候模型;

[0192] 所述纸尿裤内部微气候模型包括从内到外的三部分, 具体为皮肤、纸尿裤和外界环境;

[0193] 并对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分;

[0194] 初始化单元302: 用于对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化;

[0195] 计算单元303: 用于利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下, 不同时刻纸尿裤

每个网格的温度和含水量；

[0196] 计算结果处理单元304：用于根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算。

[0197] 在具体实施过程中，首先模型构建和网格划分单元301获取纸尿裤的热力学参数，建立纸尿裤内部微气候模型，并对纸尿裤内部微气候模型中的纸尿裤部分进行网格划分；之后初始化单元302对建立的纸尿裤内部微气候模型进行初始化；计算单元303利用有限体积法计算在一定排尿量的条件下，不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量；最后计算结果处理单元304根据不同时刻纸尿裤每个网格的温度和含水量获得皮肤损失的热量、不同时刻纸尿裤的温度分布和湿度分布，完成纸尿裤内部热湿环境的计算；

[0198] 本发明基于有限体积法进行计算，运算精度高、计算周期短，能快速精准地反映纸尿裤内微气候复杂的温湿度场及流场的分布情况，能够系统高效地预测纸尿裤微气候环境的湿热舒适性，揭示不同结构材料对湿热传递性能的影响，对个性化产品快速优化设计和保护婴幼儿皮肤健康，具有实际应用价值和重要现实意义。

[0199] 相同或相似的标号对应相同或相似的部件；

[0200] 附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明，不能理解为对本专利的限制；

[0201] 显然，本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例，而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

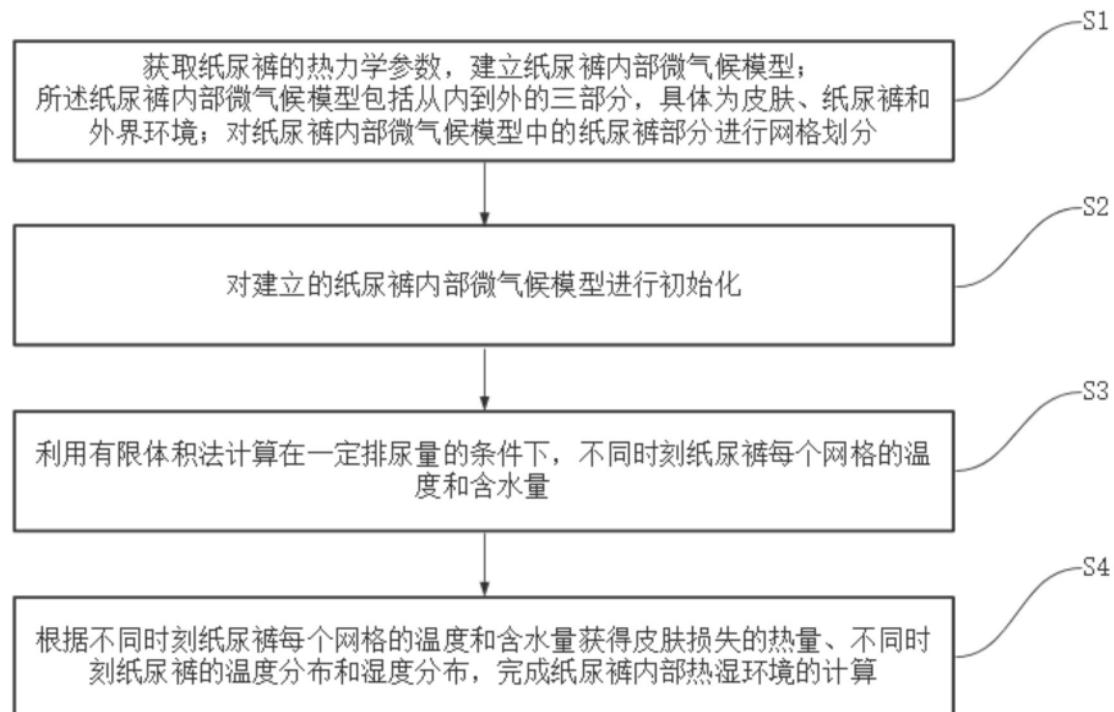


图1

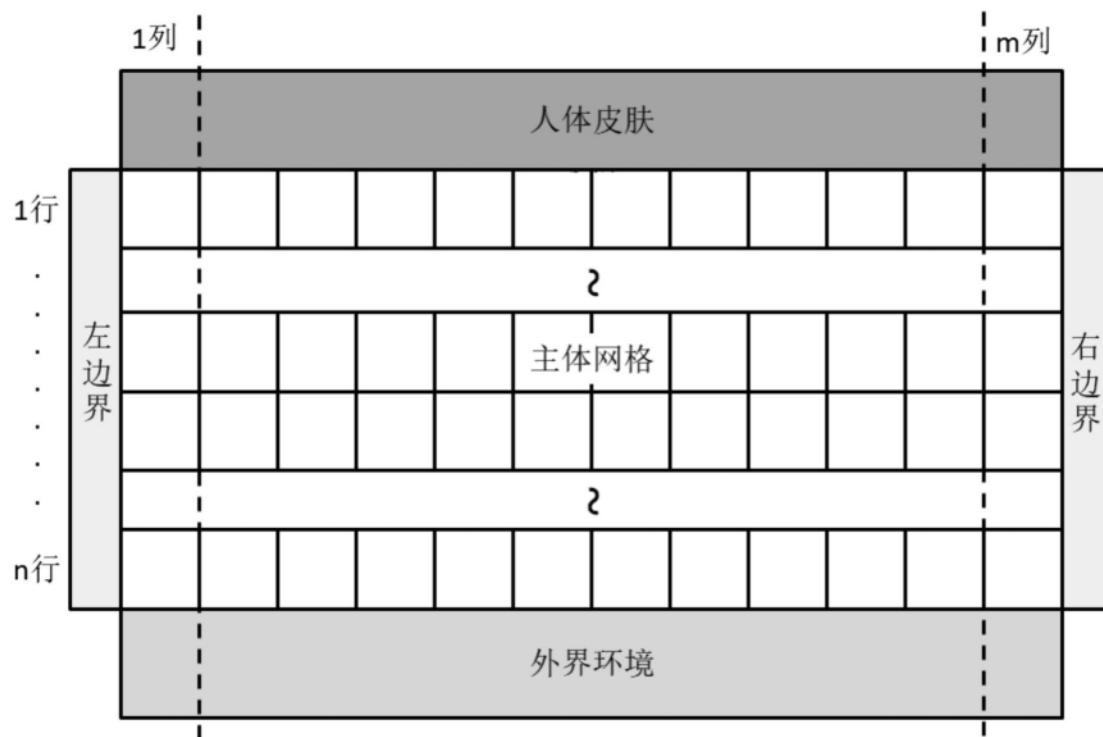


图2

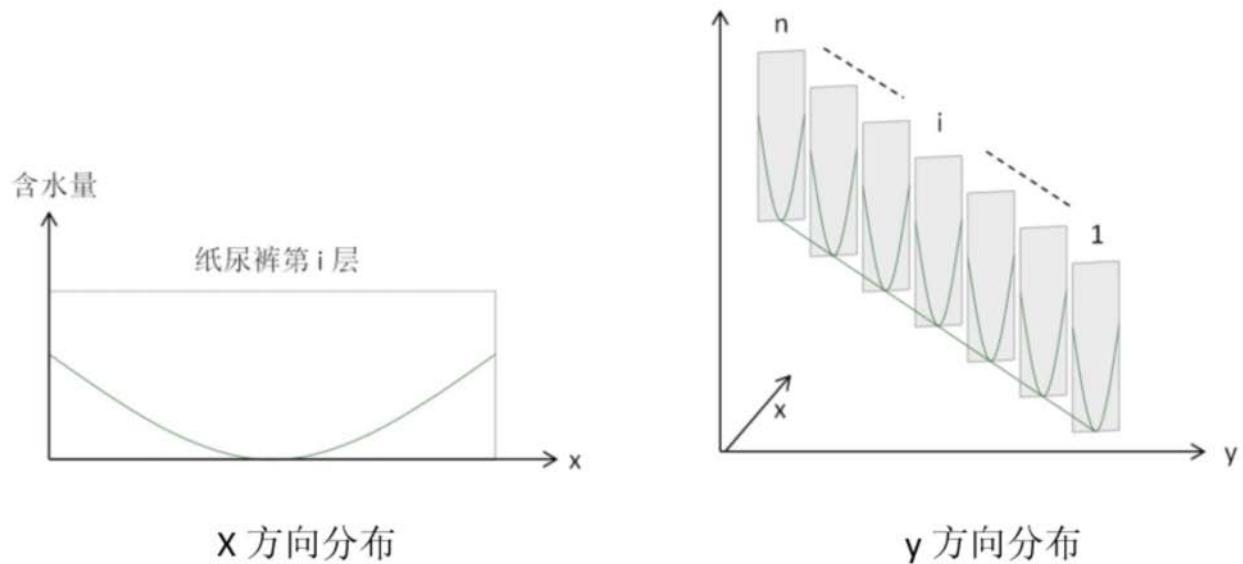


图3

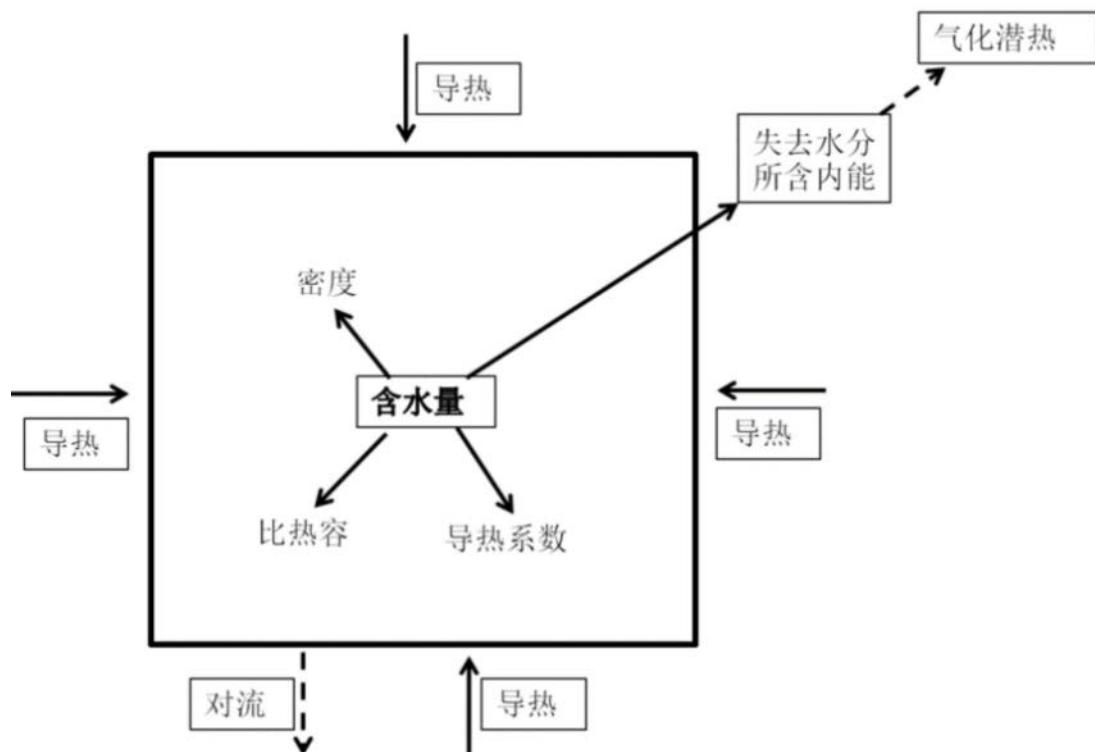
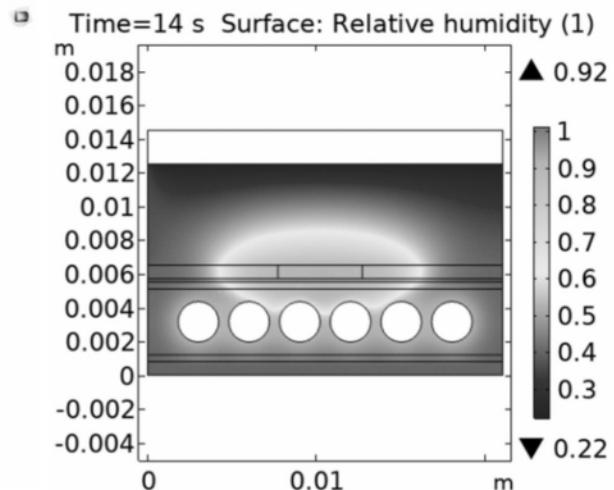
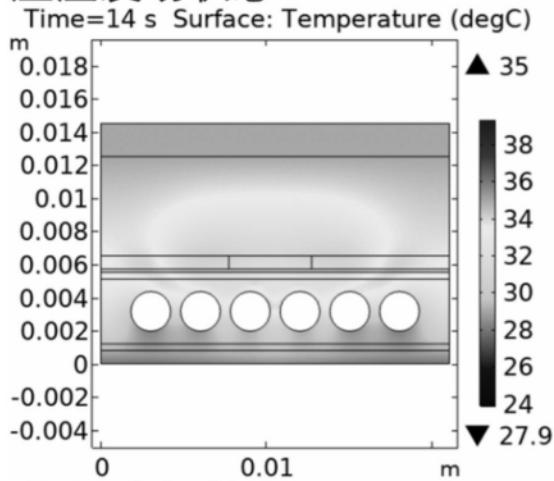


图4

温湿度场状态1



温湿度场状态2

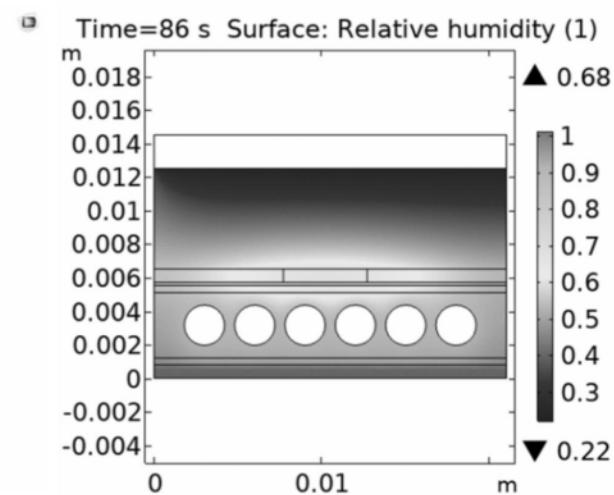
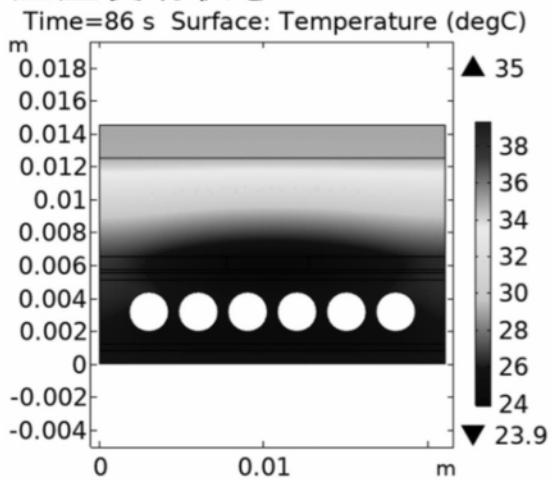


图5

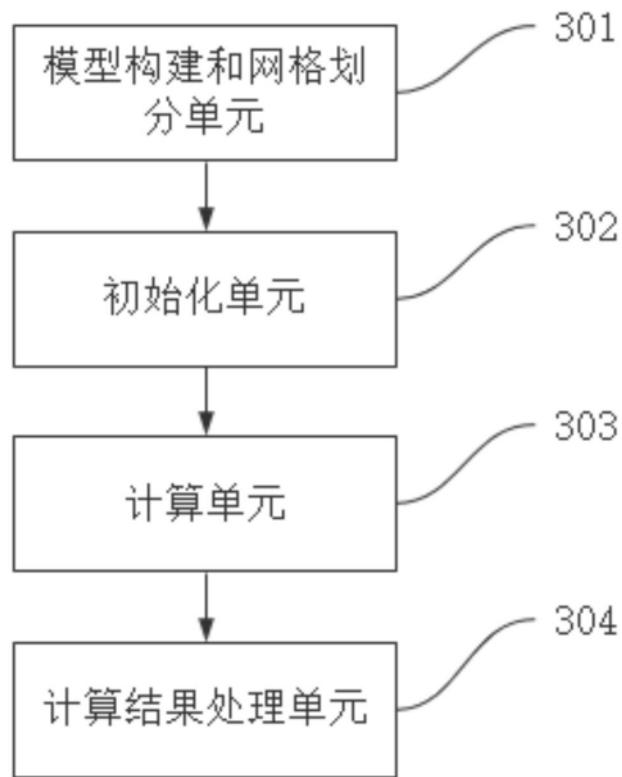


图6