(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111651874 A
(43)申请公布日 2020.09.11

(21)申请号 202010446230.6

(22)申请日 2020.05.25

(71)申请人 国网江西省电力有限公司电力科学研究院
地址 330006 江西省南昌市青山湖区民营科技园内民强路88号检测试验中心科研楼(第1-11层)
申请人 国家电网有限公司

(72)发明人 伍发元 陈雅琼 代小敏 刘平 刘晓磊 张员根

(74)专利代理机构 南昌青远专利代理事务所(普通合伙) 36123
代理人 刘爱芳

(51)Int.Cl.
G06F 30/20(2020.01)

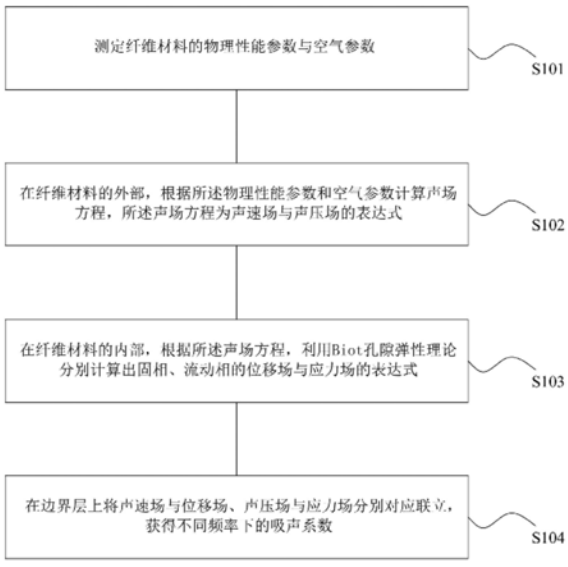
权利要求书3页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种纤维材料吸声性能计算方法

(57)摘要

本发明公开了一种纤维材料吸声性能计算方法,包括:测定纤维材料的物理性能参数与空气参数;在纤维材料的外部,根据物理性能参数和空气参数计算声场方程,声场方程为声速场与声压场的表达式;在纤维材料的内部,根据声场方程,利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式;在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立,获得不同频率下的吸声系数。本发明将纤维材料吸声系数与材料参数的关系概括到单一的模型方程中,只需要将材料参数与不同频率代入即可计算出不同频率下纤维材料的吸声性能,简化了计算的时间和空间复杂度,能够实现纤维材料的吸声性能的准确预测,对纤维材料在降噪领域的应用有重要意义。



CN 111651874 A

1.一种纤维材料吸声性能计算方法,其特征在于,包括:

测定纤维材料的物理性能参数与空气参数;

在纤维材料的外部,根据所述物理性能参数和空气参数计算声场方程,所述声场方程为声速场与声压场的表达式;

在纤维材料的内部,根据所述声场方程,利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式;

在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立,获得不同频率下的吸声系数。

2.根据权利要求1所述的纤维材料吸声性能计算方法,其特征在于,所述物理性能参数包括体积密度,厚度,静态杨氏模量,泊松比,损耗因子,孔隙率,空气流阻率,弯曲度。

3.根据权利要求2所述的纤维材料吸声性能计算方法,其特征在于,所述空气参数包括空气密度,空气声速,普朗克数,比热比。

4.根据权利要求3所述的纤维材料吸声性能计算方法,其特征在于,根据所述物理性能参数和空气参数计算声场方程的步骤中,采用下式计算声场方程:

$$v_{y1} = -ik_y e^{-ik_x x}\left(e^{-ik_y y} + I_R e^{ik_y y}\right)$$

$$v_{y2} = ik_y I_T e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

$$p_1 = i\omega\rho_0 e^{-ik_x x}\left(e^{-ik_y y} + I_R e^{ik_y y}\right)$$

$$p_2 = i\omega\rho_0 I_T e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

式中,I_R、I_T为反射、透射声振幅,ω为角频率,k_x、k_y为表面平行方向与法方向上的波数。

5.根据权利要求4所述的纤维材料吸声性能计算方法,其特征在于,根据所述声场方程,利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式的步骤中,采用下式计算固相、流动相的位移场:

$$u_x^s = ik_x e^{-ik_x x}\left[\frac{C_1}{{k_1}^2}e^{-ik_{1y}y} + \frac{C_2}{{k_1}^2}e^{ik_{1y}y} + \frac{C_3}{{k_2}^2}e^{-ik_{2y}y} + \frac{C_4}{{k_2}^2}e^{ik_{2y}y}\right]$$

$$-i\frac{k_{ty}}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

$$u_y^s = ie^{-ik_x x}\left[\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_1 e^{-ik_{1y}y} - \frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_2 e^{ik_{1y}y} + \frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_3 e^{-ik_{2y}y} - \frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_4 e^{ik_{2y}y}\right]$$

$$+ i\frac{k_x}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

$$u_x^f = ik_x e^{-ik_x x}\left[b_1\frac{C_1}{{k_1}^2}e^{-ik_{1y}y} + b_1\frac{C_2}{{k_1}^2}e^{ik_{1y}y} + b_2\frac{C_3}{{k_2}^2}e^{-ik_{2y}y} + b_2\frac{C_4}{{k_2}^2}e^{ik_{2y}y}\right]$$

$$-ig\frac{k_{ty}}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

$$u_y^f = ie^{-ik_x x}\left[b_1\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_1e^{-ik_{1y}y} - b_1\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_2e^{ik_{1y}y} + b_2\frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_3e^{-ik_{2y}y} - b_2\frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_4e^{ik_{2y}y}\right] + ig\frac{k_x}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5e^{-ik_{ty}y} + C_6e^{ik_{ty}y}\right)$$

采用下式计算固相、流动相的应力场：

$$\sigma_y^s = e^{-ik_x x}\left[\left(2N\frac{{k_{1y}}^2}{{k_1}^2} + A + b_1Q\right)\left(C_1e^{-ik_{1y}y} + C_2e^{ik_{1y}y}\right) + \left(2N\frac{{k_{2y}}^2}{{k_2}^2} + A + b_2Q\right)\left(C_3e^{-ik_{2y}y} + C_4e^{ik_{2y}y}\right) + 2N\frac{k_x k_{ty}}{{k_t}^2}\left(C_5e^{-ik_{ty}y} - C_6e^{ik_{ty}y}\right)\right]$$

$$\sigma_{xy}^s = e^{-ik_x x}N\left[2\frac{k_x k_{1y}}{{k_1}^2}\left(C_1e^{-ik_{1y}y} - C_2e^{ik_{1y}y}\right) + 2\frac{k_x k_{2y}}{{k_2}^2}\left(C_3e^{-ik_{2y}y} - C_4e^{ik_{2y}y}\right) + \frac{\left({k_x}^2 - {k_{ty}}^2\right)}{{k_t}^2}\left(C_5e^{-ik_{ty}y} + C_6e^{ik_{ty}y}\right)\right]$$

$$\sigma_{xy}^f = e^{-ik_x x}\left[(Q + b_1R)\left(C_1e^{-ik_{1y}y} + C_2e^{ik_{1y}y}\right) + (Q + b_2R)\left(C_3e^{-ik_{2y}y} + C_4e^{ik_{2y}y}\right)\right]$$

在以上各式中：

$$b_{1,2} = \frac{\rho_{11}^*R - \rho_{12}^*Q}{\rho_{22}^*Q - \rho_{12}^*R} - \frac{PR - Q^2}{\omega^2(\rho_{22}^*Q - \rho_{12}^*R)}{k_{1,2}}^2$$

$$\rho_{11}^* = \rho_b + \rho_a + b/i\omega,\ \rho_{12}^* = -\rho_a - b/i\omega,\ \rho_{22}^* = h\rho_0 + \rho_a + b/i\omega$$

$\rho_a = h\rho_0(\varepsilon' - 1)$，$P = A + 2N$，$N = E_1/2(1+\upsilon)$

$A = \upsilon E_1/(1+\upsilon)(1-2\upsilon)$，$E_1 = E_m(1+i\eta)$，$Q = (1-h)E_2$，$R = hE_2$

式中，k_1、k_2、k_t为慢、快纵波与横波的波数，k_{1y}、k_{2y}、k_{ty}为其法向分量，ρ_a为固相与流动相的耦合密度，E_2为流动相的体变模量，b为两相的粘滞耦

合因数，在孔隙为圆柱体结构的情况下，满足下式：

$$E_2 = \rho_0c^2\left[1 + \frac{2(\gamma-1)}{Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i}}\cdot\frac{J_1(Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i})}{J_0(Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i})}\right]^{-1},\ \lambda_c = \sqrt{8\omega\rho_0\varepsilon'/h\sigma}$$

$$b = i\omega\varepsilon'\rho_2(\rho_c^*/\rho_0 - 1), \rho_c^* = \rho_0\left[1 - 2/(\lambda_c\sqrt{-i})\cdot J_1(\lambda_c\sqrt{-i})/J_0(\lambda_c\sqrt{-i})\right]^{-1}$$

式中，i为虚数单位，$J_1(x)$和$J_0(x)$分别是一阶和零阶的第一类贝塞尔函数。

6.根据权利要求5所述的纤维材料吸声性能计算方法，其特征在于，在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立，获得不同频率下的吸声系数的步骤中，根据边界条件，在纤维材料表面上满足以下关系：

$$(1)\sigma_{xy}^f = -hp\ (2)\sigma_y^s = -(1-h)p\ (3)v_y = i\omega(1-h)u_y^s + i\omega hu_y^f\ (4)\sigma_{xy}^s = 0$$

通过联立边界条件，求解方程组，以计算反射、透射声振幅I_R、I_T，通过下式计算吸声系

数A：

$A=1-|I_I|^2-|I_T|^2$。

一种纤维材料吸声性能计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及纤维材料技术领域,特别是涉及一种纤维材料吸声性能计算方法。

背景技术

[0002] 纤维材料是目前品种规格最多,应用也最广泛的吸声材料,在材料内部含有大量相互连通且与外界相通的孔隙,能有效吸声,但由于吸声机理复杂,至今没有成熟的计算方法分析其吸声性能。

[0003] 目前,多孔吸声材料理论研究模型主要有3种:经验模型、现象模型和微观结构模型。经验模型以流阻率为基本参数构建,一般来说模型相对较为简单,所需参数少,但依赖于具体测试数据,准确度难以保证;现象模型以有效密度和有效压缩模量为基本参数构建,模型通常比较复杂;微观结构模型精确度取决于对吸声材料微观结构描述的准确性,而微观结构的描述难度较大,放大到完整材料上时容易出现偏差。因此,现有技术存在无法对纤维材料的吸声性能进行准确预测的问题。

发明内容

[0004] 为此,本发明的目的在于提出一种纤维材料吸声性能计算方法,以解决现有技术无法对纤维材料的吸声性能进行准确预测的问题。

[0005] 一种纤维材料吸声性能计算方法,包括:

[0006] 测定纤维材料的物理性能参数与空气参数;

[0007] 在纤维材料的外部,根据所述物理性能参数和空气参数计算声场方程,所述声场方程为声速场与声压场的表达式;

[0008] 在纤维材料的内部,根据所述声场方程,利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式;

[0009] 在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立,获得不同频率下的吸声系数。

[0010] 根据本发明提供的纤维材料吸声性能计算方法,当声波作用到纤维吸声材料时,通过纤维结构的微通道进入到材料内部,在此过程中声波与纤维表面发生摩擦转换热能而消耗,这一过程涉及到纤维材料的物理性能。为了建立统一的理论模型来解决不同纤维参数纤维材料吸声性能的预测问题,本发明将纤维材料吸声系数与材料参数的关系概括到单一的模型方程中,只需要将材料参数与不同频率代入即可计算出不同频率下纤维材料的吸声性能,大大简化了计算的时间和空间复杂度,能够实现纤维材料的吸声性能的准确预测,对纤维材料在降噪领域的应用有重要意义。

[0011] 另外,根据本发明上述的纤维材料吸声性能计算方法,还可以具有如下附加的技术特征:

[0012] 进一步地,所述物理性能参数包括体积密度,厚度,静态杨氏模量,泊松比,损耗因子,孔隙率,空气流阻率,弯曲度。

[0013] 进一步地，所述空气参数包括空气密度，空气声速，普朗克数，比热比。

[0014] 进一步地，根据所述物理性能参数和空气参数计算声场方程的步骤中，采用下式计算声场方程：

[0015] $$v_{y1} = -ik_y e^{-ik_x x}\left(e^{-ik_y y} + I_R e^{ik_y y}\right)$$

[0016] $$v_{y2} = ik_y I_T e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

[0017] $$p_1 = i\omega\rho_0 e^{-ik_x x}\left(e^{-ik_y y} + I_R e^{ik_y y}\right)$$

[0018] $$p_2 = i\omega\rho_0 I_T e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

[0019] 式中，I_R、I_T为反射、透射声振幅，ω为角频率，k_x、k_y为表面平行方向与法方向上的波数。

[0020] 进一步地，根据所述声场方程，利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式的步骤中，采用下式计算固相、流动相的位移场：

[0021] $$u_x^s = ik_x e^{-ik_x x}\left[\frac{C_1}{{k_1}^2}e^{-ik_{1y}y} + \frac{C_2}{{k_1}^2}e^{ik_{1y}y} + \frac{C_3}{{k_2}^2}e^{-ik_{2y}y} + \frac{C_4}{{k_2}^2}e^{ik_{2y}y}\right] - i\frac{k_{ty}}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0022] $$u_y^s = ie^{-ik_x x}\left[\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_1 e^{-ik_{1y}y} - \frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_2 e^{ik_{1y}y} + \frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_3 e^{-ik_{2y}y} - \frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_4 e^{ik_{2y}y}\right] + i\frac{k_x}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0023] $$u_x^f = ik_x e^{-ik_x x}\left[b_1\frac{C_1}{{k_1}^2}e^{-ik_{1y}y} + b_1\frac{C_2}{{k_1}^2}e^{ik_{1y}y} + b_2\frac{C_3}{{k_2}^2}e^{-ik_{2y}y} + b_2\frac{C_4}{{k_2}^2}e^{ik_{2y}y}\right] - ig\frac{k_{ty}}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0024] $$u_y^f = ie^{-ik_x x}\left[b_1\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_1 e^{-ik_{1y}y} - b_1\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_2 e^{ik_{1y}y} + b_2\frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_3 e^{-ik_{2y}y} - b_2\frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_4 e^{ik_{2y}y}\right] + ig\frac{k_x}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0025] 采用下式计算固相、流动相的应力场：

$$\sigma_y^s = e^{-ik_x x}\left[\left(2N\frac{k_{1y}^{\ 2}}{k_1^{\ 2}} + A + b_1 Q\right)\left(C_1 e^{-ik_{1y}y} + C_2 e^{ik_{1y}y}\right)\right.$$

[0026]
$$+\left(2N\frac{k_{2y}^{\ 2}}{k_2^{\ 2}} + A + b_2 Q\right)\left(C_3 e^{-ik_{2y}y} + C_4 e^{ik_{2y}y}\right)$$

$$\left.+2N\frac{k_x k_{ty}}{k_t^{\ 2}}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)\right]$$

$$\sigma_{xy}^s = e^{-ik_x x}N\left[2\frac{k_x k_{1y}}{k_1^{\ 2}}\left(C_1 e^{-ik_{1y}y} - C_2 e^{ik_{1y}y}\right) + 2\frac{k_x k_{2y}}{k_2^{\ 2}}\left(C_3 e^{-ik_{2y}y} - C_4 e^{ik_{2y}y}\right)\right.$$

[0027]
$$\left.+\frac{\left(k_x^{\ 2} - k_{ty}^{\ 2}\right)}{k_t^{\ 2}}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)\right]$$

[0028] $$\sigma_{xy}^f = e^{-ik_x x}\left[(Q + b_1 R)\left(C_1 e^{-ik_{1y}y} + C_2 e^{ik_{1y}y}\right) + (Q + b_2 R)\left(C_3 e^{-ik_{2y}y} + C_4 e^{ik_{2y}y}\right)\right]$$

[0029] 在以上各式中：

[0030] $$b_{1,2} = \frac{\rho_{11}^* R - \rho_{12}^* Q}{\rho_{22}^* Q - \rho_{12}^* R} - \frac{PR - Q^2}{\omega^2(\rho_{22}^* Q - \rho_{12}^* R)}k_{1,2}^{\ 2}$$

[0031] $$\rho_{11}^* = \rho_b + \rho_a + b/i\omega,\ \rho_{12}^* = -\rho_a - b/i\omega,\ \rho_{22}^* = h\rho_0 + \rho_a + b/i\omega$$

[0032] $\rho_a = h\rho_0(\varepsilon' - 1)$，$P = A + 2N$，$N = E_1/2(1+v)$

[0033] $A = vE_1/(1+v)(1-2v)$，$E_1 = E_m(1+i\eta)$，$Q = (1-h)E_2$，$R = hE_2$

[0034] 式中，k_1、k_2、k_t为慢、快纵波与横波的波数，k_{1y}、k_{2y}、k_{ty}为其法向分量，ρ_a为固相与流动相的耦合密度，E_2为流动相的体变模量，b为两相的粘滞耦合因数，在孔隙为圆柱体结构的情况下，满足下式：

[0035] $$E_2 = \rho_0 c^2\left[1 + \frac{2(\gamma-1)}{Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i}}\cdot\frac{J_1(Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i})}{J_0(Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i})}\right]^{-1},\ \lambda_c = \sqrt{8\omega\rho_0\varepsilon'/h\sigma}$$

[0036] $$b = i\omega\varepsilon'\rho_2(\rho_c^*/\rho_0 - 1),\ \rho_c^* = \rho_0\left[1 - 2/(\lambda_c\sqrt{-i})\cdot J_1(\lambda_c\sqrt{-i})/J_0(\lambda_c\sqrt{-i})\right]^{-1}$$

[0037] 式中，i为虚数单位，$J_1(x)$和$J_0(x)$分别是一阶和零阶的第一类贝塞尔函数。

[0038] 进一步地，在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立，获得不同频率下的吸声系数的步骤中，根据边界条件，在纤维材料表面上满足以下关系：

[0039] $$(1)\sigma_{xy}^f = -hp\ \ (2)\sigma_y^s = -(1-h)p\ \ (3)v_y = i\omega(1-h)u_y^s + i\omega h u_y^f\ \ (4)\sigma_{xy}^s = 0$$

[0040] 通过联立边界条件，求解方程组，以计算反射、透射声振幅I_R、I_T，通过下式计算吸声系数A：

[0041] $A = 1 - |I_I|^2 - |I_T|^2$。

附图说明

[0042] 本发明实施例的上述和/或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中

将变得明显和容易理解，其中：

[0043] 图1是根据本发明一实施例的纤维材料吸声性能计算方法的流程图。

具体实施方式

[0044] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0045] 请参阅图1，本发明一实施例提出的纤维材料吸声性能计算方法，包括步骤S101～S104。

[0046] S101，测定纤维材料的物理性能参数与空气参数。

[0047] 其中，所述物理性能参数包括体积密度，厚度，静态杨氏模量，泊松比，损耗因子，孔隙率，空气流阻率，弯曲度。

[0048] 例如，本实施例中的物理性能参数如表1：

[0049] 表1物理性能参数

[0050]

厚度(L,m)	0.03
体积密度$(\rho_b,kg/m^3)$	13.3333
静态杨氏模量(E_m,MPa)	1.00
泊松比(ν)	0.30
损耗因子(η)	0.005
孔隙率(h)	0.9871
弯曲度(ε')	1.2
流阻$(\sigma,Ns/m^4)$	40000

[0051] 所述空气参数包括空气密度，空气声速，普朗克数，比热比。

[0052] 例如，本实施例中的空气参数如表2：

[0053] 表2空气参数

[0054]

空气密度$(\rho_0,kg/m^3)$	1.21
声速$(c,m/s)$	343
普朗特数(Pr)	0.71
比热比(γ)	1.402

[0055] S102，在纤维材料的外部，根据所述物理性能参数和空气参数计算声场方程，所述声场方程为声速场与声压场的表达式。

[0056] 其中，具体采用下式计算声场方程：

[0057] $$v_{y1} = -ik_y e^{-ik_x x}\left(e^{-ik_y y} + I_R e^{ik_y y}\right)$$

[0058] $$v_{y2} = ik_y I_T e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

[0059] $$p_1 = i\omega\rho_0 e^{-ik_x x}\left(e^{-ik_y y} + I_R e^{ik_y y}\right)$$

[0060] $$p_2 = i\omega\rho_0 I_T e^{-i(k_x x + k_y y)}$$

[0061] 式中，I_R、I_T为反射、透射声振幅，ω为角频率，k_x、k_y为表面平行方向与法方向上的波数。

[0062] S103，在纤维材料的内部，根据所述声场方程，利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式。

[0063] 其中，具体采用下式计算固相、流动相的位移场：

[0064] $$u_x^s = ik_x e^{-ik_x x}\left[\frac{C_1}{{k_1}^2}e^{-ik_{1y}y} + \frac{C_2}{{k_1}^2}e^{ik_{1y}y} + \frac{C_3}{{k_2}^2}e^{-ik_{2y}y} + \frac{C_4}{{k_2}^2}e^{ik_{2y}y}\right] - i\frac{k_{ty}}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0065] $$u_y^s = ie^{-ik_x x}\left[\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_1 e^{-ik_{1y}y} - \frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_2 e^{ik_{1y}y} + \frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_3 e^{-ik_{2y}y} - \frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_4 e^{ik_{2y}y}\right] + i\frac{k_x}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0066] $$u_x^f = ik_x e^{-ik_x x}\left[b_1\frac{C_1}{{k_1}^2}e^{-ik_{1y}y} + b_1\frac{C_2}{{k_1}^2}e^{ik_{1y}y} + b_2\frac{C_3}{{k_2}^2}e^{-ik_{2y}y} + b_2\frac{C_4}{{k_2}^2}e^{ik_{2y}y}\right] - ig\frac{k_{ty}}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0067] $$u_y^f = ie^{-ik_x x}\left[b_1\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_1 e^{-ik_{1y}y} - b_1\frac{k_{1y}}{{k_1}^2}C_2 e^{ik_{1y}y} + b_2\frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_3 e^{-ik_{2y}y} - b_2\frac{k_{2y}}{{k_2}^2}C_4 e^{ik_{2y}y}\right] + ig\frac{k_x}{{k_t}^2}e^{-ik_x x}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)$$

[0068] 采用下式计算固相、流动相的应力场：

[0069] $$\sigma_y^s = e^{-ik_x x}\left[\left(2N\frac{{k_{1y}}^2}{{k_1}^2} + A + b_1 Q\right)\left(C_1 e^{-ik_{1y}y} + C_2 e^{ik_{1y}y}\right) + \left(2N\frac{{k_{2y}}^2}{{k_2}^2} + A + b_2 Q\right)\left(C_3 e^{-ik_{2y}y} + C_4 e^{ik_{2y}y}\right) + 2N\frac{k_x k_{ty}}{{k_t}^2}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} - C_6 e^{ik_{ty}y}\right)\right]$$

[0070] $$\sigma_{xy}^s = e^{-ik_x x}N\left[2\frac{k_x k_{1y}}{{k_1}^2}\left(C_1 e^{-ik_{1y}y} - C_2 e^{ik_{1y}y}\right) + 2\frac{k_x k_{2y}}{{k_2}^2}\left(C_3 e^{-ik_{2y}y} - C_4 e^{ik_{2y}y}\right) + \frac{\left({k_x}^2 - {k_{ty}}^2\right)}{{k_t}^2}\left(C_5 e^{-ik_{ty}y} + C_6 e^{ik_{ty}y}\right)\right]$$

[0071] $$\sigma_{xy}^{f} = e^{-ik_x x}\left[(Q + b_1 R)\left(C_1 e^{-ik_{1y}y} + C_2 e^{ik_{1y}y}\right) + (Q + b_2 R)\left(C_3 e^{-ik_{2y}y} + C_4 e^{ik_{2y}y}\right)\right]$$

[0072] 在以上各式中：

[0073] $$b_{1,2} = \frac{\rho_{11}^{*}R - \rho_{12}^{*}Q}{\rho_{22}^{*}Q - \rho_{12}^{*}R} - \frac{PR - Q^2}{\omega^2(\rho_{22}^{*}Q - \rho_{12}^{*}R)}{k_{1,2}}^2$$

[0074] $$\rho_{11}^{*} = \rho_b + \rho_a + b/i\omega,\ \rho_{12}^{*} = -\rho_a - b/i\omega,\ \rho_{22}^{*} = h\rho_0 + \rho_a + b/i\omega$$

[0075] $\rho a = h\rho 0(\varepsilon' - 1)$，$P = A + 2N$，$N = E_1/2(1+v)$

[0076] $A = vE_1/(1+v)(1-2v)$，$E_1 = E_m(1+i\eta)$，$Q = (1-h)E_2$，$R = hE_2$

[0077] 式中，k_1、k_2、k_t为慢、快纵波与横波的波数，k_{1y}、k_{2y}、k_{ty}为其法向分量，ρ_a为固相与流动相的耦合密度，E_2为流动相的体变模量，b为两相的粘滞耦合因数，在孔隙为圆柱体结构的情况下，满足下式：

[0078] $$E_2 = \rho_0 c^2\left[1 + \frac{2(\gamma-1)}{Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i}} \cdot \frac{J_1(Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i})}{J_0(Pr^{1/2}\lambda_c\sqrt{-i})}\right]^{-1},\ \lambda_c = \sqrt{8\omega\rho_0\varepsilon'/h\sigma}$$

[0079] $$b = i\omega\varepsilon'\rho_2(\rho_c^{*}/\rho_0 - 1),\ \rho_c^{*} = \rho_0\left[1 - 2/(\lambda_c\sqrt{-i}) \cdot J_1(\lambda_c\sqrt{-i})/J_0(\lambda_c\sqrt{-i})\right]^{-1}$$

[0080] 式中，i为虚数单位，$J_1(x)$和$J_0(x)$分别是一阶和零阶的第一类贝塞尔函数。

[0081] S104，在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立，获得不同频率下的吸声系数。

[0082] 其中，根据边界条件，在纤维材料表面上满足以下关系：

[0083] $$(1)\sigma_{xy}^{f} = -hp\ \ (2)\sigma_y^{s} = -(1-h)p\ \ (3)v_y = i\omega(1-h)u_y^{s} + i\omega h u_y^{f}\ \ (4)\sigma_{xy}^{s} = 0$$

[0084] 然后通过联立边界条件，求解方程组，以计算反射、透射声振幅I_R、I_T，由于在吸声性能测试中纤维材料的背面为光滑反射平面，不会产生透射，因此可以通过下式计算吸声系数A：

[0085] $A = 1 - |I_I|^2 - |I_T|^2$。

[0086] 本实施例中，计算得到的纤维材料的吸声性能如表3所示：

[0087] 表3计算得到的纤维材料的吸声性能

[0088]

中心频率[Hz]	125	160	200	250	315	400	500	630
吸声系数	0.12	0.17	0.23	0.29	0.36	0.43	0.48	0.54
中心频率[Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
吸声系数	0.60	0.66	0.71	0.77	0.82	0.86	0.92	0.90

[0089] 根据本实施例提供的纤维材料吸声性能计算方法，当声波作用到纤维吸声材料时，通过纤维结构的微通道进入到材料内部，在此过程中声波与纤维表面发生摩擦转换热能而消耗，这一过程涉及到纤维材料的物理性能。为了建立统一的理论模型来解决不同纤

维参数纤维材料吸声性能的预测问题，本发明将纤维材料吸声系数与材料参数的关系概括到单一的模型方程中，只需要将材料参数与不同频率代入即可计算出不同频率下纤维材料的吸声性能，大大简化了计算的时间和空间复杂度，能够实现纤维材料的吸声性能的准确预测，对纤维材料在降噪领域的应用有重要意义。

[0090] 在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0091] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例，本领域的普通技术人员可以理解：在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本发明的范围由权利要求及其等同物限定。

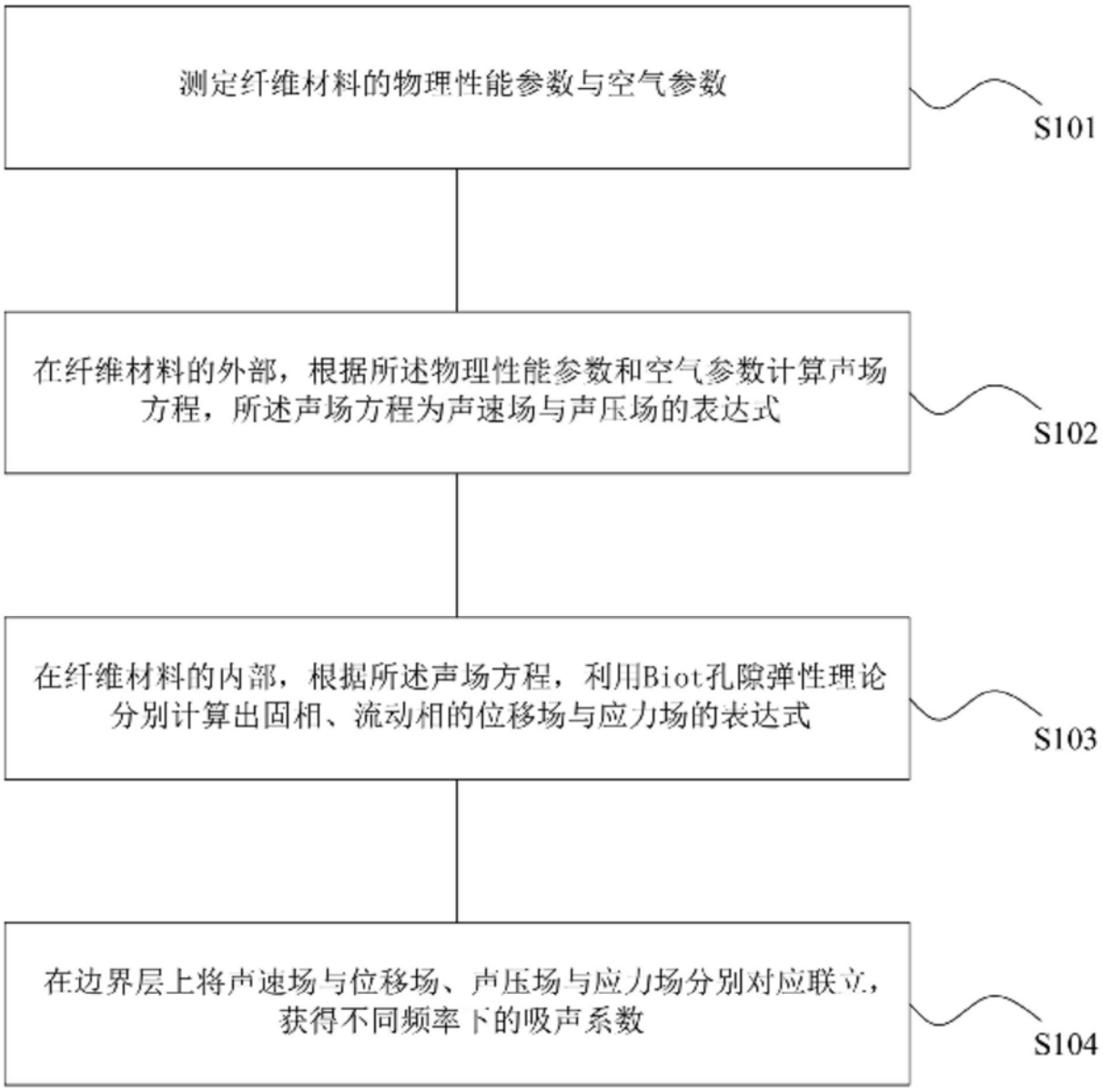

测定纤维材料的物理性能参数与空气参数
S101
在纤维材料的外部，根据所述物理性能参数和空气参数计算声场方程，所述声场方程为声速场与声压场的表达式
S102
在纤维材料的内部，根据所述声场方程，利用Biot孔隙弹性理论分别计算出固相、流动相的位移场与应力场的表达式
S103
在边界层上将声速场与位移场、声压场与应力场分别对应联立，获得不同频率下的吸声系数
S104

图1