



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104434100 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201410771496. 2

(22) 申请日 2014. 12. 14

(71) 申请人 中国科学院电工研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条 6 号

(72) 发明人 刘国强 夏慧 夏正武 李士强
杨延菊 刘宇

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 关玲

(51) Int. Cl.

A61B 5/053(2006. 01)

A61B 8/08(2006. 01)

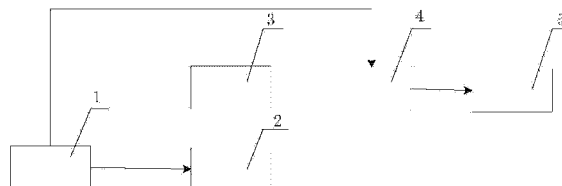
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种磁热声成像的电阻率重建方法

(57) 摘要

一种磁热声成像的电阻率重建方法, 包括以下步骤: 首先通过激励线圈 (2) 对导电物体 (3) 施加 MHz 电流激励, 导电物体 (3) 由于感应电流的作用产生焦耳热, 进而产生热声信号; 所述的热声信号通过耦合剂耦合到超声换能器 (4) 内; 超声换能器 (4) 接收到超声信号后通过超声信号处理、采集子系统进行前置放大、滤波、二级放大等处理后, 进行存储, 获取高分辨率的磁热声信号; 第二步利用获取的磁热声信号重建热声源分布; 第三步重建矢量电位空间分量; 第四步利用矢量电位空间分量求解电阻率。



1. 一种磁热声成像的电阻率重建方法,其特征在于:磁热声成像的电阻率重建方法包括以下步骤:

第一步:获取磁热声信号

首先通过激励线圈 (2) 对导电物体 (3) 施加 MHz 电流激励,导电物体 (3) 由于感应电流的作用产生焦耳热,进而产生热声信号;所述的热声信号通过耦合剂耦合到超声换能器 (4) 内;超声换能器 (4) 接收到超声信号后通过超声信号处理、采集子系统进行前置放大、滤波、二级放大等处理后,进行存储;

第二步:获取热声源分布

已知磁热声成像的声压波动方程:

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = -\frac{\beta}{C_p} S(\mathbf{r}) \delta'(t) \quad (1)$$

其中, $\mathbf{r}$ 为热声源位置坐标, $p(\mathbf{r}, t)$ 是声压, c_s 为热声源在介质中的传播声速, C_p 为导电物体 (3) 的比热容, β 为导电物体 (3) 的热膨胀系数, $\delta(t)$ 是狄拉克函数, t 为时间相, $S(\mathbf{r})$ 为热声源分布;

对方程 (1) 进行解方程,首先选取导电物体的某一断层面 $z = z_0$,断层面 $z = z_0$ 上利用方程 (1),解方程 (1) 获取热声源 $S(x, y, z_0)$;导电物体 (3) 上的热声源 $S(x, y, z)$ 通过断层数据 $S(x, y, z_0)$ 在 z 方向的插值得到,或者分层计算得到;

热声源分布同时是电阻率和电流密度的函数,因此热声源表示为:

$$S = \rho J^2 = \rho \mathbf{J} \cdot \mathbf{J} \quad (2)$$

其中, S 为热声源分布, ρ 为导电物体 (3) 的电阻率, $\mathbf{J}$ 为导电物体 (3) 内电流密度分布;

第三步:获取矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$

考虑电流连续性定理 $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$, 引入矢量电位,有:

$$\mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{T} \quad (3)$$

其中, $\mathbf{T}$ 为矢量电位空间分量, $\nabla \times \mathbf{T}$ 为矢量电位空间分量的旋度, ∇ 为哈密度算符;

考虑欧姆定律 $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$, 有:

$$\nabla \times \rho \nabla \times \mathbf{T} = -\mathbf{B}_1 \quad (4)$$

其中, ρ 为导电物体 (3) 的电阻率, B_1 为磁感应强度,由式 (3) 代入式 (2),得:

$$\rho = \frac{S}{\nabla \times \mathbf{T} \cdot \nabla \times \mathbf{T}} \quad (5)$$

将式 (5) 代入式 (4),有

$$\nabla \times \left(\frac{S}{\nabla \times \mathbf{T} \cdot \nabla \times \mathbf{T}} \nabla \times \mathbf{T} \right) = -\mathbf{B}_1 \quad (6)$$

将 $S(x, y, z)$ 代入公式 (6) 后,结合电绝缘边界条件,对公式 (6) 进行非线性有限元法求解,即可重建得到矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$;

第四步:获取电导率

将矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$ 代入公式 (5),即可重建电阻率 ρ 。

一种磁热声成像的电阻率重建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电导率图像的重建方法,特别涉及一种磁热声成像的电阻率重建方法。

背景技术

[0002] 目前传统电阻抗成像技术的灵敏度和空间分辨率不高,主要因为电阻抗成像通常采用频率较低的电磁波作为激励,由于波长远远大于成像体,导致电磁场探测对比度高,但分辨率低。毋庸置疑,单一场都有其物理局限性。因此多物理场成像技术受到越来越多的关注,即将一种物理场作用于生物组织,转换为另一种物理场进行检测,由一种物理场提供分辨率,另一种物理场提供对比度,实现对比度和分辨率的同时提高。电磁场和超声相结合的多物理场成像技术正是考虑到电磁场对人体组织电导率的高对比度和超声波探测的高分辨率特性,成为人们的研究热点,最近一年,磁热声成像作为一种新型的多物理场成像技术受到重视。

[0003] 磁热声成像是由新加坡南洋理工大学在 2013 年首次提出的新型的电阻抗成像方法,通过对导电物体施加低于 20MHz 的交变磁场,在导电物体内部产生感应电场,进而产生焦耳热,激发热弹性的声信号,检测声信号进行成像。该方法是一种以交变磁场作为激励源,基于生物组织内部焦耳热吸收率的差异,以超声作为信息载体的无损生物医学影像技术。与微波热声成像技术相比,激励源的频率降低,可以深入到导电体的更深处,使磁热声图像扩展到人体组织的深层。由测量的超声信号到电阻率的重建分为两个过程,首先由测量的超声信号重建热声源分布,然后利用热声源分布重建电阻率分布,目前的相关文献和专利只重建了热声源 ($S = \rho J^2$),这里 E 为电场强度的空间分量),而没有提及电阻率 ρ 的重建。显然,电场强度 E 与电阻率 ρ 的分布有关,从热声源 S 中重建出电阻率 ρ 是非常困难的。

发明内容

[0004] 本发明的目的是克服现有的磁热声成像方法电阻率分布的不足的缺点,提出一种利用热声源分布重建电阻率分布的重建方法。本发明可以精确的重建导电物体的电阻率。

[0005] 本发明基于磁热声电导率成像的成像原理为:利用激励线圈对导电物体施加 MHz 电流激励,在导电物体内部产生焦耳热,进而产生热声信号。利用超声换能器接收超声信号,对接收到的超声信号进行超声信号的处理和采集,得到放大滤波后的超声信号后,采用图像重建算法获取导电物体的电阻率图像。

[0006] 本发明磁热声成像的电阻率重建方法包括四个步骤,第一步首先获取高分辨率的磁热声信号;第二步利用获取的磁热声信号重建热声源分布;第三步重建矢量电位空间分量;第四步利用矢量电位空间分量求解电阻率。

[0007] 第一步:获取磁热声信号

[0008] 首先通过激励线圈对导电物体施加 MHz 电流激励,导电物体由于感应电流的作用

产生焦耳热,进而产生热声信号,热声信号通过耦合剂耦合到超声换能器内。耦合剂可以为去离子水也可以为绝缘油。超声换能器接收到超声信号后通过超声信号处理、采集子系统进行前置放大、滤波、二级放大等处理后,进行存储。

[0009] 第二步:获取热声源分布

[0010] 已知磁热声成像的声压波动方程:

$$[0011] \quad \nabla^2 p(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = -\frac{\beta}{C_p} S(\mathbf{r}) \delta'(t) \quad (1)$$

[0012] 其中, $\mathbf{r}$ 为热声源位置坐标, $p(\mathbf{r}, t)$ 是声压, c_s 为热声源在介质中的传播声速, C_p 为导电物体的比热容, β 为导电物体的热膨胀系数, $\delta(t)$ 是狄拉克函数, t 为时间相, $S(\mathbf{r})$ 为热声源分布;

[0013] 对方程 (1) 进行解方程,首先选取导电物体的某一断层面 $z = z_0$,断层面 $z = z_0$ 上利用方程 (1),解方程获取热声源 $S(x, y, z_0)$;导电物体上的热声源 $S(x, y, z)$ 通过断层数据 $S(x, y, z_0)$ 在 z 方向的插值得到,或者分层计算得到;

[0014] 热声源分布同时是电阻率和电流密度的函数,因此热声源表示为:

$$[0015] \quad S = \rho J^2 = \rho \mathbf{J} \cdot \mathbf{J} \quad (2)。$$

[0016] 其中 S 为热声源分布, ρ 为导电物体的电阻率, $\mathbf{J}$ 为导电物体内部电流密度分布;

[0017] 第三步:获取矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$

[0018] 考虑电流连续性定理 $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$, 引入矢量电位,有:

$$[0019] \quad \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{T} \quad (3)$$

[0020] 其中 $\mathbf{T}$ 为矢量电位空间分量, $\nabla \times \mathbf{T}$ 为矢量电位空间分量的旋度, ∇ 为哈密顿算符;

[0021] 考虑欧姆定律 $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$, 有:

$$[0022] \quad \nabla \times \rho \nabla \times \mathbf{T} = -\mathbf{B}_1 \quad (4)$$

[0023] 其中, ρ 为导电物体的电阻率, B_1 为磁感应强度。由式 (3) 代入式 (2), 得:

$$[0024] \quad \rho = \frac{S}{\nabla \times \mathbf{T} \cdot \nabla \times \mathbf{T}} \quad (5)$$

[0025] 将式 (5) 代入式 (4), 有

$$[0026] \quad \nabla \times \left(\frac{S}{\nabla \times \mathbf{T} \cdot \nabla \times \mathbf{T}} \nabla \times \mathbf{T} \right) = -\mathbf{B}_1 \quad (6)$$

[0027] 将 $S(x, y, z)$ 代入公式 (6) 后, 结合电绝缘边界条件 $\mathbf{n} \times \mathbf{T}|_{\partial\Omega} = \mathbf{0}$, 对公式 (6) 进行非线性有限元法求解, 即可重建得到矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$;

[0028] 第四步:获取电导率

[0029] 将矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$ 代入公式 (5), 即可重建电阻率 ρ 。

[0030] 通过以上过程则可以重建导电物体的电阻率, 求解导电物体的电阻率后, 根据电阻率的分布则可以判断被测的导电物体的病变信息或生理活动信息。

附图说明

[0031] 图 1 本发明重建方法所涉及的磁热声信号获取装置示意图；

[0032] 图中：1 电流激励源 2 激励线圈 3 导电物体 4 超声换能器 5 上位机。

具体实施方式

[0033] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。

[0034] 本发明所依据磁热声成像的成像原理为：利用激励线圈对导电物体施加 MHz 电流激励，在导电物体内部产生焦耳热，进而产生超声信号，利用超声换能器接收超声信号，对接收到的超声信号进行超声信号的处理和采集，得到放大滤波后的超声信号后，采用图像重建算法获取导电物体的电阻率图像。

[0035] 本发明磁热声成像的电阻率重建过程包括四个步骤，第一步首先获取高分辨率的磁热声信号；第二步利用获取的磁热声信号重建热声源分布；第三步重建矢量电位空间分量；第四步利用矢量电位空间分量求解电阻率。

[0036] 磁热声成像的测量过程描述如下：

[0037] 第一步：获取磁热声信号

[0038] 如图 1 所示，首先通过激励线圈 2 对导电物体 3 施加 MHz 电流激励，导电物体 3 由于感应电流的作用产生焦耳热，进而产生热声信号；所述的热声信号通过耦合剂耦合到超声换能器 4 内；超声换能器 4 接收到超声信号后通过超声信号处理、采集子系统进行前置放大、滤波、二级放大等处理后，进行存储；

[0039] 第二步：获取热声源分布

[0040] 已知磁热声成像的声压波动方程：

$$[0041] \quad \nabla^2 p(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = -\frac{\beta}{C_p} S(\mathbf{r}) \delta'(t) \quad (1)$$

[0042] 其中， $\mathbf{r}$ 为热声源位置坐标， $p(\mathbf{r}, t)$ 是声压， c_s 为热声源在介质中的传播声速， C_p 为导电物体 3 的比热容， β 为导电物体 3 的热膨胀系数， $\delta(t)$ 是狄拉克函数， t 为时间相， $S(\mathbf{r})$ 为热声源分布；

[0043] 对方程 (1) 进行解方程，首先选取导电物体的某一断层面 $z = z_0$ ，断层面 $z = z_0$ 上利用方程 (1)，解方程获取热声源 $S(x, y, z_0)$ 。导电物体 3 上的热声源 $S(x, y, z)$ 通过断层数据 $S(x, y, z_0)$ 在 z 方向的插值得到，或者分层计算得到；

[0044] 热声源分布同时是电阻率和电流密度的函数，因此热声源表示为：

$$[0045] \quad S = \rho J^2 = \rho \mathbf{J} \cdot \mathbf{J} \quad (2)$$

[0046] 其中， S 为热声源分布， ρ 为导电物体 3 的电阻率， $\mathbf{J}$ 为导电物体 3 内电流密度分布；

[0047] 第三步：获取矢量电位的空间分量 $\mathbf{T}$

[0048] 考虑电流连续性定理 $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$ ，引入矢量电位，有：

$$[0049] \quad \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{T} \quad (3)$$

[0050] 其中 $\mathbf{T}$ 为矢量电位空间分量， $\nabla \times \mathbf{T}$ 为矢量电位空间分量的旋度， ∇ 为哈密度算符；

[0051] 考虑欧姆定律 $J = \sigma E$, 有

$$[0052] \quad \nabla \times \rho \nabla \times \mathbf{T} = -\mathbf{B}_1 \quad (4)$$

[0053] 其中, ρ 为导电物体的电阻率, B_1 为磁感应强度。由式 (3) 代入式 (2), 得:

$$[0054] \quad \rho = \frac{S}{\nabla \times \mathbf{T} \cdot \nabla \times \mathbf{T}} \quad (5)$$

[0055] 将式 (5) 代入式 (4), 有

$$[0056] \quad \nabla \times \left(\frac{S}{\nabla \times \mathbf{T} \cdot \nabla \times \mathbf{T}} \nabla \times \mathbf{T} \right) = -\mathbf{B}_1 \quad (6)$$

[0057] 将 $S(x, y, z)$ 代入公式 (6) 后, 结合电绝缘边界条件, 对公式 (6) 进行非线性有限元法求解, 即可重建得到矢量电位的空间分量 T ;

[0058] 第四步: 获取电导率

[0059] 将矢量电位的空间分量 T 代入公式 (5), 即可重建电阻率 ρ 。

[0060] 通过以上过程则可以重建导电物体 3 的电阻率, 求解导电物体 3 的电阻率后, 根据电阻率的分布则可以判断被测的导电物体的病变信息或生理活动信息。

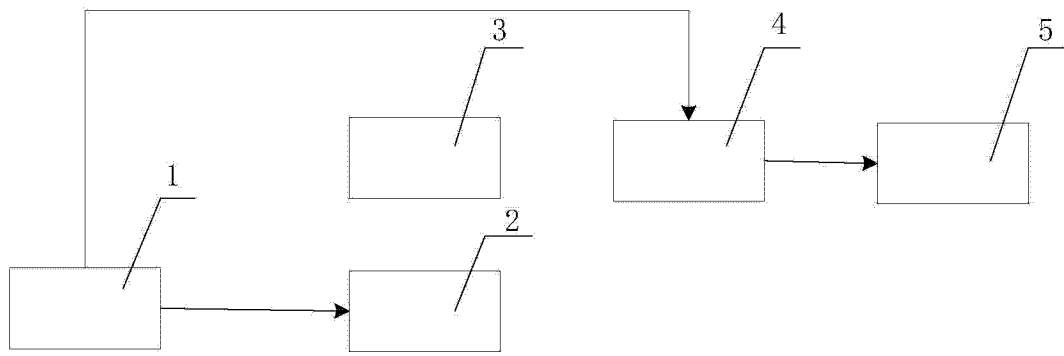


图 1

专利名称(译)	一种磁热声成像的电阻率重建方法		
公开(公告)号	CN104434100A	公开(公告)日	2015-03-25
申请号	CN201410771496.2	申请日	2014-12-14
[标]申请(专利权)人(译)	中国科学院电工研究所		
申请(专利权)人(译)	中国科学院电工研究所		
当前申请(专利权)人(译)	中国科学院电工研究所		
[标]发明人	刘国强 夏慧 夏正武 李士强 杨延菊 刘宇		
发明人	刘国强 夏慧 夏正武 李士强 杨延菊 刘宇		
IPC分类号	A61B5/053 A61B8/08		
CPC分类号	A61B5/0093 A61B5/053 A61B8/0833		
代理人(译)	关玲		
其他公开文献	CN104434100B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种磁热声成像的电阻率重建方法，包括以下步骤：首先通过激励线圈(2)对导电物体(3)施加MHz电流激励，导电物体(3)由于感应电流的作用产生焦耳热，进而产生热声信号；所述的热声信号通过耦合剂耦合到超声换能器(4)内；超声换能器(4)接收到超声信号后通过超声信号处理、采集子系统进行前置放大、滤波、二级放大等处理后，进行存储，获取高分辨率的磁热声信号；第二步利用获取的磁热声信号重建热声源分布；第三步重建矢量电位空间分量；第四步利用矢量电位空间分量求解电阻率。

