



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116052978 A

(43) 申请公布日 2023.05.02

(21) 申请号 202211612361.2

G06N 3/126 (2023.01)

(22) 申请日 2022.12.15

(71) 申请人 深圳航天科技创新研究院

地址 518063 广东省深圳市南山区科技园  
十路6号

申请人 徐征 吴嘉敏 贺玉成 廖英翔  
何为

(72) 发明人 吴嘉敏 徐征 贺玉成 温开旭

何为 廖英翔

(74) 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有

限公司 11275

专利代理师 方钟苑

(51) Int. Cl.

H01F 7/02 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

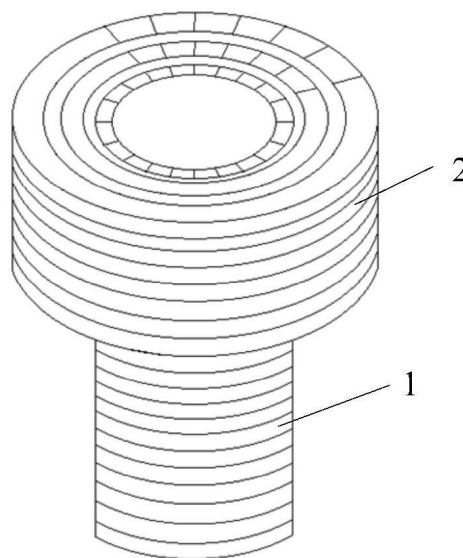
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体及  
优化方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体及优化方法,属于磁共振技术领域。该磁体包括主磁体、端部旋转调节单元、两个匀场环、主磁体基板及端部旋转基板;主磁体由M个相同直径的磁环阵列沿轴向堆叠构成空心圆柱;端部旋转调节单元设置在主磁体一端外围,沿磁环圆周方向任意位置旋转,包括若干层轴向磁环和若干径向磁环。本发明在传统圆柱的基础上,利用遗传算法调整端部旋转调节单元各层磁环内磁块的尺寸,而且磁体两端增加了匀场环,增大对磁体目标区域磁场的补偿,均匀化目标区域磁场分布,有效解决传统磁体由于高度降低而导致的端部效应,该结构无需外加磁场补偿装置,整体结构简单,极大的降低了磁体的装配难度。



1. 一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,该磁体包括主磁体、端部旋转调节单元、两个匀场环、主磁体基板及端部旋转基板;

所述主磁体是由M个相同直径的磁环阵列沿轴向堆叠构成空心圆柱,其中 $M \geq 2$ ,每层磁环阵列由N块完全相同的磁块沿圆周阵列排布在主磁体基板上,相邻层磁环阵列之间通过无磁螺杆同轴相连;

所述端部旋转调节单元设置在主磁体一端的外围,能沿磁环圆周方向任意位置旋转;所述端部旋转调节单元包括若干层轴向磁环和若干径向磁环,其中,轴向磁环与主磁体同轴,沿主磁体轴向堆叠构成,每层轴向磁环的半径相同,径向磁环与主磁体磁环同心,并沿主磁体磁环半径方向向外依次叠加,径向磁环半径从内向外依次增大,轴向磁环和径向磁环能沿圆环任意位置滑动,轴向磁环和径向磁环用于调节成像区域的磁场均匀性;

两个匀场环预先设置在主磁体两端,且在空腔范围内紧贴内壁,与主磁体同轴,具体位置通过优化方法调节;匀场环在目标区域内产生特定磁场,用于抵消静态磁场中的不均匀分量;

所述主磁体的每层磁环对应配置一个主磁体基板,用于主磁体内磁块组装的定位;

所述端部旋转基板用于固定端部旋转调节单元内的磁块。

2. 根据权利要求1所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述端部旋转基板上设置有滑轨及定位杆,每个端部旋转基板上的磁块的形状和厚度不同,每层磁块的总长度预先设置为其对应磁环周长的三分之一,磁块的位置根据人体检查部位移动,实际径向磁环上排布磁块的数量、层数及位置,根据遗传算法获得最佳排布。

3. 根据权利要求1所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述无磁螺杆上还设置有用于调节相邻磁环之间间距的不同厚度的垫片。

4. 根据权利要求1所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述磁环阵列的组成磁块的横截面形状为三角形、梯形、矩形、圆形、椭圆形或规则多边形。

5. 根据权利要求1或4所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述磁环阵列的组成磁块为永磁体材料;

所述磁环阵列的组成磁块及磁环之间的缝隙用非导磁材料填充,非导磁材料用于固定磁块;

所述主磁体基板和端部旋转基板为不导磁材料。

6. 根据权利要求1所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述轴向磁环的总长度为成年人肩膀到头顶的距离。

7. 根据权利要求1所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述磁环阵列的组成磁块的磁化方向随磁块位置规律旋转,每相邻的两块磁块的磁化方向沿圆环依次偏转且对称分布,第i个磁块的位置偏转角 $\theta = 2(i-1) \cdot \pi/N$ ,则对应磁块的磁化转角 $\omega_i = 2\theta, i=0,1,\dots,N$ 。

8. 根据权利要求1或2所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,其特征在于,所述优化方法是采用遗传算法对端部调节单元的磁环结构及匀场环进行优化,具体步骤为:

S1:先对端部旋转调节单元的轴向磁环进行调节,设轴向磁环有x个磁环,轴向磁环上磁块总数设定为 $n_x$ 个,从最外环到最内环依次编号为 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_x$ ,第1圈磁环上的若干个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为1,2,3, ...,  $n_1$ ;第2圈磁环上的若干个磁块沿顺时针

或逆时针方向依次编号为 $n_1+1, n_1+2, n_1+3, \dots, n_2$ , 依次类推, 第 $x$ 圈磁环上的若干个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $n_{x-1}+1, n_{x-1}+2, n_{x-1}+3, n_{x-1}+4, \dots, n_x$ , 其中 $n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < \dots < n_x$ ;

S2: 将端部旋转调节单元的多个磁环的若干个磁块的结构参数以 $R_1, T_1, b_1, h_1, R_2, T_2, b_2, h_2, R_3, T_3, b_3, h_3, \dots, R_x, T_x, b_x, h_x$ 表示, 得到若干个磁环的若干组磁块结构参数, 其中,  $R$ 为磁块内圆弧的半径,  $b$ 为厚度,  $h$ 为高度,  $T$ 为圆弧夹角, 将两匀场环离端部旋转调节单元圆柱体的中心距离相应分别记为 $r_1, H_1, r_2, H_2, r_3, H_3, \dots, r_x, H_x$ ;

S3: 通过3、4或5位二进制编码对每个结构参数变量进行编码, 将某一变量分为若干等份;

S4: 将所有结构参数变量组成一段基因编码, 字符数 $(3、4或5) * n_x * 6$ , 其中, 第一个 $(3、4或5) * 6$ 的字段依次为磁块1的变量 $(R_1, T_1, b_1, h_1, r_1, H_1)$ , 最后一个字段依次为磁块 $n_x$ 的变量 $(R_x, T_x, b_x, h_x, r_x, H_x)$ ;

S5: 按照S1-S4步骤, 对端部旋转调节单元的径向子磁环进行基因编码;

S6: 选择若干个样本, 随机生成若干组结构参数样本作为优化的初始值, 然后由计算机计算每组样本产生的磁场, 计算目标区域磁场的均匀度, 将样本按照均匀度最佳的情况排序, 将相邻两个样本个体进行交叉, 形成新的样本个体;

S7: 新生成的样本个体的某个字段以一定的概率发生变异, 形成新个体群后, 由计算机计算每个结构参数下目标区域的磁场均匀度;

S8: 重复步骤S6~S7若干次, 直到获得均匀度最佳的磁块结构, 从而得到每个磁块的结构参数及匀场环的具体位置。

9. 根据权利要求8所述的用于头部磁共振成像的Halbach磁体, 其特征在于, 步骤S1中, 端部旋转调节单元若干个磁环初步优化时, 每个磁环上的磁块数量相等或不等。

## 一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体及优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于磁共振技术领域,涉及一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体及优化方法。

### 背景技术

[0002] 磁共振成像(MRI)是一种广泛用于医学临床诊断和医学研究的影像技术。磁共振成像系统工作时,将人体置于一个强的静磁场中,通过向人体发射射频脉冲使人体组织部分区域的原子核受到激发。射频场撤除后,这些被激发的原子核辐射出射频信号,由天线接收。由于在这一过程中加入了梯度磁场,因此通过射频信号可以获得人体的空间分布信息,从而重建出人体的二维或三维图像。

[0003] 由于磁体是磁共振成像系统的核心部件之一,一直是一个重要的研究对象。MRI设备在成像区需要有一个非常均匀的磁场,这个均匀磁场的区域为球形,将待成像部位置于该球形区域后,通过扫描可以捕获被成像部位的图像。因此,磁体的性能直接关系到磁共振系统的磁场大小与均匀性,在一定程度上决定着图像的清晰度。

[0004] 传统的磁共振系统重量较大,不能满足在医院任意楼层任意科室使用的需求。为了实现磁共振系统进入各大科室普通病房的需求,首先需要解决的便是主磁体轻量化的问题。与其他永磁体相比,Halbach磁体构型具有大场强质量比(与其他构型相比,单位质量可产生的磁场强度),杂散磁场小、无需铁轭、质量轻等优点。但是,当磁体体积进一步减小时,磁场的均匀性会变得很差。因此,如何对于磁体进行设计和优化,在保持磁体较高均匀性的同时能够兼具体积小是目前Halbach磁体亟需解决的技术问题。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体及优化方法,通过对磁体形状进行优化,使磁体的磁通密度最大化,以便在目标区域内形成高均匀度的磁场,并能够无需使用铁轭,以减轻磁共振成像设备重量的磁共振成像用的磁体优化方法。

[0006] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体,包括:主磁体、端部旋转调节单元、两个匀场环、主磁体基板及端部旋转基板;

[0008] 所述主磁体是由M个相同直径的磁环阵列沿轴向堆叠构成空心圆柱,其中 $M \geq 2$ ,每层磁环阵列由N块完全相同的磁块沿圆周阵列排布在主磁体基板上,相邻层磁环阵列之间通过无磁螺杆同轴相连;所述无磁螺杆上还设置有用于调节相邻磁环之间间距的不同厚度的垫片。

[0009] 所述端部旋转调节单元设置在主磁体一端的外围,能沿磁环圆周方向任意位置旋转;所述端部旋转调节单元包括若干层轴向磁环和若干径向磁环,其中,轴向磁环与主磁体同轴,沿主磁体轴向堆叠构成,每层轴向磁环的半径相同,其轴向磁环的总长度约为20cm

(成年人肩膀到头顶的大概距离为20cm), 径向磁环与主磁体磁环同心, 并沿主磁体磁环半径方向向外依次叠加, 径向磁环半径从内向外依次增大, 轴向磁环和径向磁环能沿圆环任意位置滑动, 轴向磁环和径向磁环用于调节成像区域的磁场均匀性;

[0010] 两个匀场环预先设置在主磁体两端, 且在空腔范围内紧贴内壁, 与主磁体同轴, 具体位置通过优化方法调节; 匀场环在目标区域内产生特定磁场, 用于抵消静态磁场中的不均匀分量;

[0011] 所述主磁体的每层磁环对应配置一个主磁体基板, 用于主磁体内磁块组装的定位;

[0012] 所述端部旋转基板用于固定端部旋转调节单元内的磁块。

[0013] 优选的, 所述端部旋转基板上设置有滑轨及定位杆, 每个端部旋转基板上的磁块的形状和厚度不同, 每层磁块的总长度预先设置为其对应磁环周长的三分之一, 磁块的位置可根据人体检查部位移动, 实际径向磁环上排布磁块的数量、层数及位置, 根据遗传算法获得最佳排布。

[0014] 优选的, 所述磁环阵列的组成磁块为永磁体材料, 其横截面形状可为三角形、梯形、矩形、圆形、椭圆形或规则多边形。

[0015] 优选的, 所述磁环阵列的组成磁块及磁环之间的缝隙用非导磁材料填充, 非导磁材料用于固定磁块。

[0016] 优选的, 所述主磁体基板和端部旋转基板为不导磁材料。

[0017] 优选的, 所述磁环阵列的组成磁块的磁化方向随磁块位置规律旋转, 每相邻的两块磁块的磁化方向沿圆环依次偏转且对称分布, 第*i*个磁块的位置偏转角 $\theta = 2(i-1) \cdot \pi/N$ , 则对应磁块的磁化转角 $\omega_i = 2\theta, i = 0, 1, \dots, N$ 。

[0018] 优选的, 所述优化方法是采用遗传算法对端部调节单元的磁环结构及匀场环进行优化, 具体步骤为:

[0019] S1: 先对端部旋转调节单元的轴向磁环进行调节, 设轴向磁环有*x*个磁环, 轴向磁环上磁块总数设定为 $n_x$ 个, 从最外环到最内环依次编号为 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_x$ , 第1圈磁环上的若干个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $1, 2, 3, \dots, n_1$ ; 第2圈磁环上的若干个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $n_1+1, n_1+2, n_1+3, \dots, n_2$ , 依次类推, 第*x*圈磁环上的若干个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $n_{x-1}+1, n_{x-1}+2, n_{x-1}+3, n_{x-1}+4, \dots, n_x$ , 其中 $n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < \dots < n_x$ ;

[0020] S2: 将端部旋转调节单元的多个磁环的若干个磁块的结构参数以 $R_1, T_1, b_1, h_1, R_2, T_2, b_2, h_2, R_3, T_3, b_3, h_3, \dots, R_x, T_x, b_x, h_x$ 表示, 得到若干个磁环的若干组磁块结构参数, 其中, *R*为磁块内圆弧的半径, *b*为厚度, *h*为高度, *T*为圆弧夹角, 将两匀场环离端部旋转调节单元圆柱体的中心距离相应分别记为 $r_1, H_1, r_2, H_2, r_3, H_3, \dots, r_x, H_x$ ;

[0021] S3: 通过3、4或5位二进制编码对每个结构参数变量进行编码, 将某一变量分为若干等份;

[0022] S4: 将所有结构参数变量组成一段基因编码(基因编码的字符数随编码的位数的增加而使精确度提高), 字符数 $(3, 4 \text{ 或 } 5) * n_x * 6$ , 其中, 第一个 $(3, 4 \text{ 或 } 5) * 6$ 的字段依次为磁块1的变量 $(R_1, T_1, b_1, h_1, r_1, H_1)$ , 最后一个字段依次为磁块 $n_x$ 的变量 $(R_x, T_x, b_x, h_x, r_x, H_x)$ ;

[0023] S5: 按照S1-S4步骤, 对端部旋转调节单元的径向子磁环进行基因编码;

[0024] S6:选择若干个样本,随机生成若干组结构参数样本作为优化的初始值,然后由计算机计算每组样本产生的磁场,计算目标区域磁场的均匀度,将样本按照均匀度最佳的情况排序,将相邻两个样本个体进行交叉,形成新的样本个体;

[0025] S7:新生成的样本个体的某个字段以一定的概率发生变异,形成新个体群后,由计算机计算每个结构参数下目标区域的磁场均匀度;

[0026] S8:重复步骤S6~S7若干次,直到获得均匀度最佳的磁块结构,从而得到每个磁块的结构参数及匀场环的具体位置。

[0027] 进一步,步骤S1中,端部旋转调节单元若干个磁环初步优化时,每个磁环上的磁块数量可以相等,也可以不等。

[0028] 本发明的有益效果在于:本发明提供的用于头部磁共振成像的Halbach磁体,在传统圆柱的基础上,调整端部调节单元各层磁环内磁块的尺寸,磁体两端增加匀场环,增大对磁体目标区域磁场的补偿,均匀化目标区域磁场分布,有效解决传统磁体由于高度降低而导致的端部效应,该结构无需外加磁场补偿装置,整体结构简单,极大的降低了磁体的装配难度,因此,本发明提供的永磁体可以在小体积结构中产生较高强度和均匀度的磁场,可适用于便携式核磁共振检测系统。

[0029] 本发明的其他优点、目标和特征在某种程度上将在随后的说明书中进行阐述,并且在某种程度上,基于对下文的考察研究对本领域技术人员而言将是显而易见的,或者可以从本发明的实践中得到教导。本发明的目标和其他优点可以通过下面的说明书来实现和获得。

## 附图说明

[0030] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作优选的详细描述,其中:

[0031] 图1为磁共振体装置的整体结构图;

[0032] 图2为主磁体结构图;

[0033] 图3为端部旋转调节单元俯视图;

[0034] 图4为本发明实施例中磁块的极化方向图;

[0035] 图5为本发明实施例中磁共振磁体块的参数结构图;

[0036] 图6为本发明实施例中磁块编码示意图。

[0037] 附图标记:1-主磁体,2-端部旋转调节单元。

## 具体实施方式

[0038] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。需要说明的是,以下实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0039] 其中,附图仅用于示例性说明,表示的仅是示意图,而非实物图,不能理解为对本

发明的限制;为了更好地说明本发明的实施例,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;对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。

[0040] 本发明实施例的附图中相同或相似的标号对应相同或相似的部件;在本发明的描述中,需要理解的是,若有术语“上”、“下”、“左”、“右”、“前”、“后”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明,不能理解为对本发明的限制,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0041] 请参阅图1~图6,本发明提供一种用于头部磁共振成像的Halbach磁体,包括:主磁体、端部旋转调节单元、两个匀场环、主磁体基板及端部旋转基板。

[0042] 如图1所示,主磁体是由M个相同直径的磁环阵列沿轴向堆叠构成空心圆柱,其中 $M \geq 2$ ,每层磁环阵列由N块完全相同的磁块沿圆周阵列排布在主磁体基板上,相邻层磁环阵列之间通过无磁螺杆同轴相连;无磁螺杆上还设置有用于调节相邻磁环之间间距的不同厚度的垫片。

[0043] 端部旋转调节单元设置在主磁体一端的外围,可沿磁环圆周方向任意位置旋转,由若干层轴向磁环和若干径向磁环构成,其中,轴向磁环与主磁体同轴,沿主磁体轴向堆叠构成,每层轴向磁环的半径相同,其轴向磁环的总长度约为20cm(成年人肩膀到头顶的大概距离为20cm),径向磁环与主磁体子磁环同心,并沿主磁体磁环半径方向向外依次叠加,径向磁环半径从内向外依次增大,轴向磁环和径向磁环可沿圆环任意位置滑动,轴向磁环和径向磁环用于调节成像区域的磁场均匀性。

[0044] 两个匀场环预先设置在主磁体两端,且在空腔范围内紧贴内壁,与主磁体同轴,具体位置通过优化调节,匀场环在目标区域内产生特定磁场,用于抵消静态磁场中的不均匀分量。

[0045] 主磁体基板为不导磁材料,主磁体的每层磁环对应配置一个主磁体基板,用于磁块组装的定位。

[0046] 端部旋转基板为不导磁材料,端部旋转基板上设置有滑轨及定位杆,每个端部旋转基板上的磁块的形状和厚度不同,每层磁块的总长度预先设置为其对应磁环周长的三分之一,磁块的位置可根据人体检查部位移动,实际径向磁环上排布磁块的多少,层数及位置,根据遗传算法获得最佳排布。

[0047] 磁环阵列的组成磁块及磁环之间的缝隙用非导磁材料填充,非导磁材料用于固定磁块。

[0048] 磁环阵列的组成磁块为永磁体材料,其横截面形状可为三角形、梯形、矩形、圆形、椭圆形及规则多边形。

[0049] 本发明旨在对磁体结构进行优化,其涉及磁共振成像用的磁体结构的优化方法。

[0050] 本发明的磁共振成像用的磁体结构的优化方法是采用遗传算法对端部调节单元的磁环结构及匀场环进行优化,具体包括如下步骤:

[0051] S1、参阅图1~图4,将若干个磁块沿圆周方向排列成磁环,将若干个直径相同的磁环沿轴向间隔排列,若干个磁环初步优化时,每个磁环上的磁块数量可以相等,也可以不

等。

[0052] 本实施例中,将五个直径不同的磁体圆环沿径向间隔排列,每个磁环上的磁块数量相等形成磁体。

[0053] S2、将上磁环、下磁环的各磁环上沿圆周方向顺序排列,将五个磁环从最外环到最内环依次编号为 $n$ 、 $2n$ 、 $3n$ 、 $\dots$ 、 $5n$ ,第 $n$ 圈磁环上的 $n$ 个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $1, 2, 3, \dots, n$ ;第 $2n$ 圈磁体圆环上的 $n$ 个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $n+1, n+2, n+3, \dots, n+n$ ,依次类推,第 $5n$ 圈磁体圆环上的 $n$ 个磁块沿顺时针或逆时针方向依次编号为 $4n+1, 4n+2, 4n+3, \dots, 5n$ 。其中磁块可以是扇形、矩形或梯形块状体。

[0054] S3、将五个磁环的 $5n$ 个磁块的结构参数以 $R_1, T_1, b_1, h_1, R_2, T_2, b_2, h_2, R_3, T_3, b_3, h_3, \dots, R_{5n}, T_{5n}, b_{5n}, h_{5n}$ 表示,得到若干个磁环的五组磁块结构参数,其中, $R$ 为磁块内圆弧的半径, $b$ 为厚度, $h$ 为高度, $T$ 为圆弧夹角,将两匀场环离端部调节单元圆柱体的中心距离相应分别记为 $r_1, H_1, r_2, H_2, r_3, H_3, \dots, r_5, H_5$ 。

[0055] S4、通过3~5位二进制编码对每个结构参数变量进行编码,将某一变量取值范围以毫米为单位分为若干等份。本实施例中,将某一变量取值范围分为八份,例如,000,001,010, $\dots$ ,111,本例中,如 $h_1$ 范围为 $1\text{mm} \sim 15\text{mm}$ ,则将其均匀分成8份等间距分量:1 3 5 7 9 11 13 15。当 $h_1$ 的编码值为000,则表示 $h_1$ 的值为 $1\text{mm}$ ,当 $h_1$ 的值为111,则表示 $h_1$ 的值为 $15\text{mm}$ 。其他变量类似。

[0056] S5、将所有结构参数变量组成一段基因编码,字符数 $3*5n*6$ ,其中,第一个 $3*6$ 的字段依次为磁块1的变量( $R_1, T_1, b_1, h_1, r_1, H_1$ ),最后一个字段依次为磁块 $5n$ 的变量( $R_{5n}, T_{5n}, b_{5n}, h_{5n}, r_{5n}, H_{5n}$ )。

[0057] S6、选择若干个样本,其数量不限,越多则数据越精确。本实施例中为20个样本,随机生成20组结构参数样本作为优化的初始值:

[0058] 1 001 010 101 110 010 100 101 101 $\dots$ 101 110 111 101

[0059] 2 001 011 101 100 010 000 011 001 $\dots$ 101 010 111 100

[0060] 3 001 110 111 101 010 001 001 101 $\dots$ 011 011 101 110

[0061] 4 101 010 111 110 001 011 101 001 $\dots$ 011 110 111 101

[0062]  $\dots$

[0063] 20 100 011 101 101 100 101 011 101 $\dots$ 101 010 111 110

[0064] 然后由计算机计算每组样本产生的磁场,计算目标区域磁场的均匀度,再将样本按照均匀度最佳的情况排序,并将相邻两个样本个体进行交叉,排序为1和2,3和4, $\dots$ 19和20,形成新的样本个体。例如:

[0065] 原来的个体为:

[0066] 1 001 010 101 110 010 100 101 101 $\dots$ 101 110 111 101

[0067] 2 001 011 101 100 010 000 011 001 $\dots$ 101 010 111 100

[0068] 方框位置处交叉后形成2个新的样本个体:

[0069] 1 001 010 101 110 010 100 111 101 $\dots$ 101 110 111 101

[0070] 2 001 011 101 100 010 000 001 001 $\dots$ 101 010 111 100

[0071] S7、新生成的样本个体的某个字段以一定的概率发生变异,即由1变为0,或者0变为0,例如,上述第一个新个体其中的0变为1(方框表示的):



[0072] 1 001 010 111 110 010 100 111 101……101 110 111 101

[0073] 形成新个体群后,由计算机计算每个结构参数下目标区域的磁场均匀度。

[0074] S8、重复步骤S6、S7若干次,直到获得均匀度最佳的磁块结构,从而得到每个磁块的结构参数。

[0075] 上述优化结果使得目标区域磁场的均匀度达到最优。

[0076] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本技术方案的宗旨和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

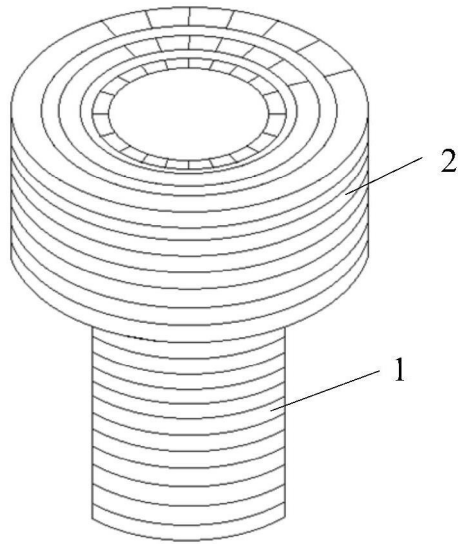


图1

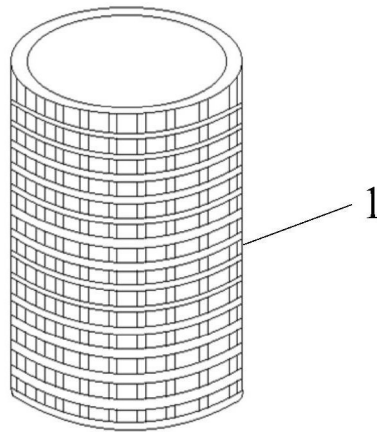


图2

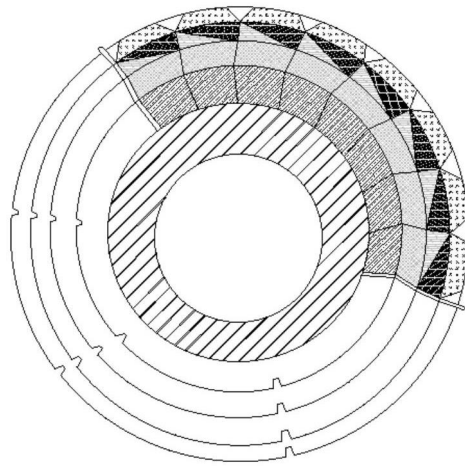


图3

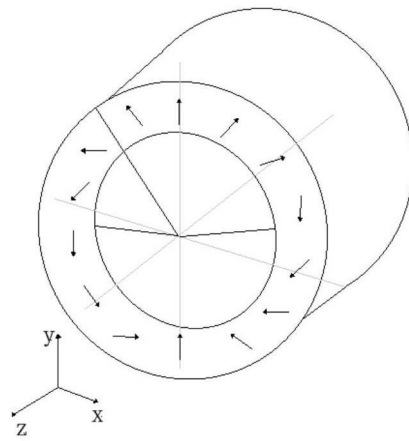


图4

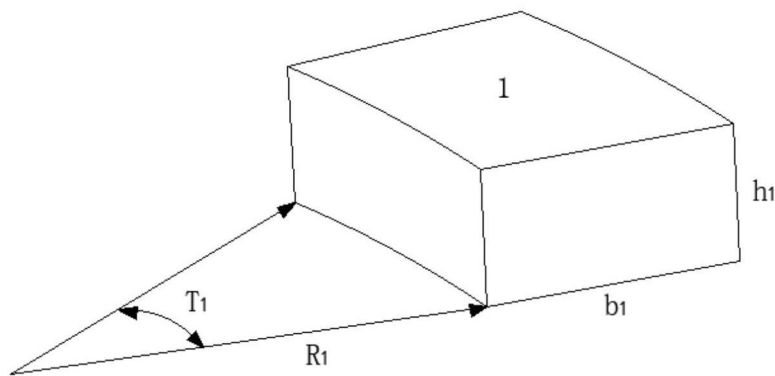


图5

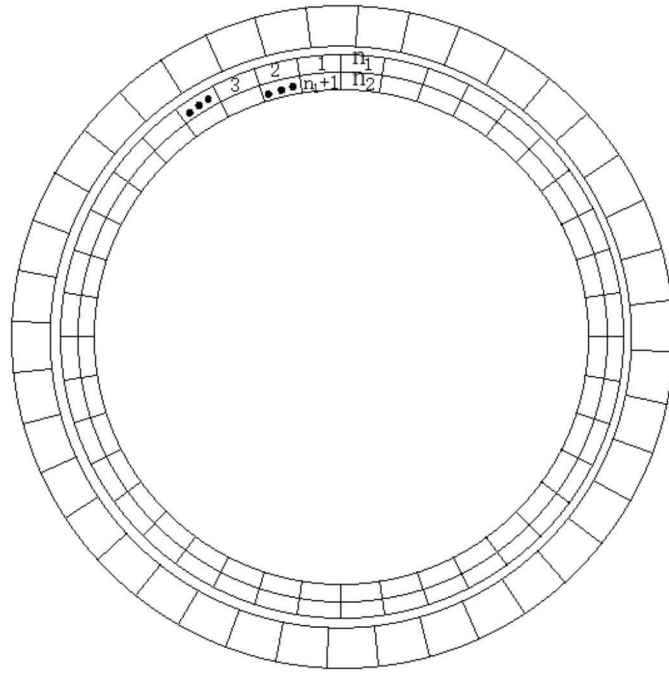


图6