



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101281239 B

(45) 授权公告日 2012. 02. 08

(21) 申请号 200810112289. 0

(22) 申请日 2008. 05. 22

(73) 专利权人 中国科学院电工研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村北二条 6 号

(72) 发明人 胡丽丽 王铮 杨文晖

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251

代理人 关玲 成金玉

(51) Int. Cl.

G01R 33/383 (2006. 01)

H01F 7/02 (2006. 01)

审查员 隋欣

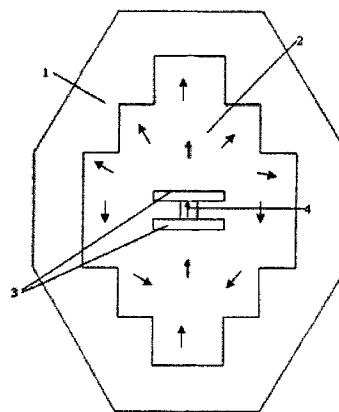
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于磁共振成像的永磁磁体及其制造方法

(57) 摘要

一种用于磁共振成像的永磁磁体, 其主磁体 (2) 由沿磁体环中轴呈阶梯状分布的多个磁体环 (21) 上下叠加而成。磁体环 (21) 沿径向分为多个磁瓣 (211), 磁瓣 (211) 在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化; 各磁瓣 (211) 在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴步进式变化, 且各磁瓣 (211) 磁化方向的切线呈连续性分布。磁体环 (21) 在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向。制造此永磁磁体的方法, 由主磁极 (213) 在径向左右叠加, 形成磁瓣 (211); 再依据磁瓣 (211) 在径向上的磁化方向, 按绕磁体环中轴呈 360° 步进式变化的顺序, 形成磁体环 (21); 沿磁体环中轴上下叠加磁体环 (21), 形成主磁体 (2)。



1. 一种用于磁共振成像的永磁磁体,包括轭铁(1)、主磁体(2)及上、下极靴(3);其特征在于,主磁体(2)由多个磁体环(21)构成;磁体环(21)为环形结构,沿径向分为多个磁瓣(211),磁瓣(211)在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化;各磁瓣(211)在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴呈步进式变化,且各磁瓣(211)磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布;磁体环(21)在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向;主磁体(2)为封闭式环形结构,在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向;主磁体(2)由多个沿磁体环中轴呈阶梯状分布的磁体环(21)上下叠加而成;叠加所得的主磁体(2)在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化,在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴呈 360° 步进式变化,且在同一二分之一纵截面上各阶磁体环(21)的各磁瓣磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布;主磁体(2)的轴向长度大于磁体环(21)的最大径向长度;轭铁(1)包裹在整个主磁体(2)的外周;上极靴位于主磁体成像区域(4)的一个端面处,下极靴位于主磁体成像区域(4)的另一个端面处,上、下极靴为成像区域(4)提供均匀磁场。

2. 如权利要求1所述的永磁磁体,其特征在于,所述的磁体环(21)在径向上由多个磁瓣(211)组成,磁瓣(211)分布在成像区域(4)的四周。

3. 如权利要求1所述的永磁磁体,其特征在于,所述磁体环(21)的外表形状为圆柱形、圆锥形、多棱柱形、多棱锥形、框形中的一种;磁体环(21)的内表形状为圆柱形、圆锥形、多棱柱形、多棱锥形、框形中的一种。

4. 一种制造权利要求1所述的用于磁共振成像的永磁磁体的制造方法,其特征在于,首先对永磁材料进行线切割加工成磁块,然后充磁,依据磁块磁化方向按顺序拼接、胶合,制成主磁极(213);多个磁化方向渐进变化的主磁极(213)在径向左右叠加,形成在任意二分之一纵截面上磁化方向顺着磁体环中轴呈步进式变化,且磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布的磁瓣(211);再依据磁瓣(211)在径向上磁化方向的唯一性,按绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化的顺序,形成在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向的磁体环(21)。

5. 如权利要求4所说的用于磁共振成像的永磁磁体的制造方法,其特征在于,依据在任意二分之一纵截面上磁化方向顺着磁体环中轴呈 360° 步进式变化的顺序,沿磁体环中轴上下叠加各阶磁体环(21),形成封闭式的主磁体(2);上极靴固定在主磁体的一个成像端面上,下极靴固定在主磁体的另一个成像端面上;再将内表面呈阶梯状分布,且阶梯的级数与磁体环(21)的阶数相适应的软磁轭铁(1)固定在主磁体(2)外周。

用于磁共振成像的永磁磁体及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振成像系统,特别涉及一种用于磁共振成像的永磁磁体及其制造方法。

背景技术

[0002] 磁共振成像可提供高的空间分辨率,无限的穿透深度和非常良好的软组织对比,以及极佳的空间解剖定位,因此磁共振成像具有其它影像学技术不可比拟的优势。新型的磁共振成像要求更高的磁场强度、更高的空间分辨率。对于提高磁场强度,超导磁体无疑是个选择。但是超导磁体制造、运行和维护费用高。永磁磁体因其工作可靠、价格较低,不需要附属设备,运行和维护简单,节约能源等优点,越来越得到重视。

[0003] 我们知道,常规的永磁磁体可以分为两大类:开放式和封闭式。其中开放式磁体的典型代表是C型磁体;封闭式磁体包含的类型较多,有“口”字型、立柱型、“工”字型、球型、圆柱型等等。与开放式磁体相比,封闭式磁体存在磁场稳定性好、均匀度高、漏磁小以及安装制作简单等优点。磁体设计遵循的原则是:场强要尽可能高;磁场尽可能均匀;不允许有明显漏磁;重量要尽可能轻。因此,我们首先考虑采用封闭式结构设计磁体。传统的框式结构磁体由轭铁、主磁块和极面构成。由于边缘效应,只有气隙中心区能得到高均匀度磁场,而气隙边缘区磁场是不均匀的。为了在气隙中心区小范围内得到不均匀度小于 10^{-4} 的高均匀度磁场,极面宽度与气隙高度的比值需要达到4-8,即磁体需要做得很大。为了降低磁体造价,1984年,美国Field Effect公司研制出一种改进型的永磁磁体。它是用若干块磁化方向不同的梯形磁块拼成一个多边环形磁体,环内部为气隙区。由于不用轭铁,这种磁体重量较轻,磁块材料的用量也低于上述普通永磁磁体。但由于各梯形磁块中的磁化方向不同,加工制造比较困难。而且磁块内各处工作点不一致,许多磁块处于磁能级较小的工作点,因而磁块材料的用量仍相当大。中国专利CN85103498是常见的有铁轭的框式磁体的改进结构。该结构采用了美国Field Effect公司的多边环形磁体结构,保留了普通永磁磁体结构中磁块形状简单(多为方形和三角形),便于加工制造,有框形轭铁形成封闭磁路因而磁通不会漏到轭铁外部等优点。与普通永磁磁体结构相比,增加了堵漏磁块和侧磁块,提高了气隙处的磁场均匀性。最早实际应用于磁共振成像的永磁磁体是美国Fonar公司设计制造的QED Beta 3000,其工作磁密为3000高斯,以恒磁铁氧体材料为磁源,总重几乎达到100吨。按照有关磁学定律推算,若采用中国专利CN85103498制造技术指标与Fonar公司的QED Beta3000相近的磁体时,估计总重将超过60吨,绝对重量仍然很大,而且由于加了侧磁块和堵漏磁块,磁体的加工和安装更加复杂。中国专利CN1042795是又一种改进的无铁轭的结构,采用锶钙铁氧体作为磁源,磁密为1500高斯时,重量达9吨,但漏磁场范围较大。纽约大学医学院研制的另一种磁体(见IEEE Transaction on Magnetics, Vol. Mag-25, No. 5, P3904-3906)由不同形状、不同充磁方向的永磁块拼装而成,加工和安装都非常复杂。中国专利200420009046.1和200420047676.8虽然都是封闭式结构,但场强都难以达到较高的水平。

[0004] 这一类磁体里,比较经典的磁体结构是 Halbach。在 Halbach 结构里,每一块磁钢的磁场方向理论上都遵循 $\varphi = \theta$ 分布。这种结构是非常实用和经济的,基本上常规取代了低场电磁体 ($< 1.8\text{T}$),尤其适合设计实验室的小型磁体。Halbach 圆柱型磁体的磁场强度计算公式为 $B_z = \mu_0 \cdot M \cdot \log(R_{\text{ext}}/R_{\text{int}})$,球型磁体的磁场强度计算公式为 $B_z = \frac{4}{3} \mu_0 \cdot M \cdot \log(R_{\text{ext}}/R_{\text{int}})$,从公式中可以看出,无论圆柱型或球型,理论上这种磁体的场强可以达到无限大。但是实际上,由于永磁材料工作于深度磁饱和和充磁后磁滞回线的第二象限退磁部分,当场强达到一定高度时,磁体会遭受磁材高矫顽力的强退磁作用,最终把场强限制在约 2.5T 左右,甚至达不到 2T。显然这种传统的永磁磁体设计是难以进一步提高磁场强度的。

发明内容

[0005] 为克服现有技术的缺点,本发明提出一种改进型的用于磁共振成像的永磁磁体及其制造方法。

[0006] 本发明提供的磁共振成像用永磁磁体,包括轭铁、主磁体及上、下极靴。其特征在于,主磁体由多个磁体环构成;磁体环为环形结构,沿径向分为多个磁瓣,磁瓣在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化;各磁瓣在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴步进式变化,且各磁瓣磁化方向的切线呈连续性分布;磁体环在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向。

[0007] 主磁体为封闭式环形结构,在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向;主磁体由多个磁体环沿磁体环中轴呈阶梯状分布上下叠加而成;叠加所得的主磁体在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化,在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴 360° 步进式变化,且在同一二分之一纵截面上各阶磁体环的磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布;主磁体的轴向长度大于磁体环的最大径向长度;轭铁包裹在整个主磁体的外周;上、下极靴位于主磁体成像区域的两个端面处,为成像区域提供均匀磁场。

[0008] 本发明提供一种磁共振成像用永磁磁体的制造方法,其特征在于,首先对永磁材料进行线切割加工成磁块,然后充磁,依据磁块磁化方向按顺序拼接、胶合,制成主磁极;一个或多个磁化方向渐进变化的主磁极在径向左右叠加,形成在任意二分之一纵截面上磁化方向顺着磁体环中轴步进式变化,且磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布的磁瓣;再依据磁瓣在径向上磁化方向的唯一性,按绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化的顺序,形成在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向的磁体环。

[0009] 依据在任意二分之一纵截面上磁化方向顺着磁体环中轴 360° 步进式变化的顺序,沿磁体环中轴上下叠加各阶磁体环,形成封闭式的环形主磁体;上、下极靴固定在主磁体的成像端面上;再将内表面呈阶梯状分布,且阶梯的级数与磁体环的阶数相适应的软磁轭铁固定在主磁体外周。

[0010] 通过本发明的上述技术方案,本发明提供的永磁磁体与现有的永磁磁体相比,在具有基本相同的大小和形状的情况下,场强能达到几个特斯拉,没有明显漏磁,耗材少,重量轻,最大限度地应用了永磁磁体的潜能。因此,这种永磁磁体不仅能用于进行磁共振成

像,而且还可以用于其它需要小型、高场磁体,且磁体便于移动和维护的任何情况。

附图说明

- [0011] 图 1 为本发明磁体环纵截面结构的示意图 ;
- [0012] 图 2a、图 2b 为本发明磁体环纵截面轴向步进式磁化方向示意图 ;
- [0013] 图 3a、图 3b 为本发明磁体环径向截面示意图 ;
- [0014] 图 4a 至图 4j 为本发明磁体环磁瓣径向截面的形状示意图 ;
- [0015] 图 5 为本发明主磁体纵截面结构示意图 ;
- [0016] 图 6 为本发明主磁体纵截面各阶磁体环示意图 ;
- [0017] 图 7 为本发明主磁体纵截面轴向步进式磁化方向示意图 ;
- [0018] 图 8a、图 8b 为本发明永磁磁体装置的纵截面结构示意图。
- [0019] 图中 :1 轭铁,2 主磁体,3 上下极靴,4 成像区域,5 成像物体的进出通道,21 磁体环,211 磁瓣,212 磁孔,213 主磁极。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。

[0021] 根据本发明的第一个内容,如图 1 至图 4 所示,本发明提供了一种环形结构的磁体环 21,所述环形结构磁体环 21 沿径向分为多个磁瓣 211,所述磁瓣 211 在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化 ;所述各磁瓣 211 在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴步进式变化,且各磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布 ;所述环形结构磁体环 21 在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向。

[0022] 图 2a 和图 2b 是本发明磁体环 21 的纵截面轴向步进式磁化方向示意图。如图 2a 和图 2b 所示,本发明磁体环 21 任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴从一端的磁化方向到另一端的磁化方向呈步进式变化,且变化着的各磁化方向的切线与磁体环中轴的夹角呈连续性分布。这种磁化趋势可以是沿着磁体环中轴从上到下顺时针变化,也可以是沿着磁体环中轴从上到下逆时针变化。图 2a 及图 2b 只显示了其中一种变化情况。当如图 2a 及图 2b 所示沿着磁体环中轴从上到下顺时针 360° 步进式变化时,所得到的磁体环 21 的主磁场方向向上 ;反之,沿着磁体环中轴从上到下逆时针 360° 步进式变化时,所得到的磁体环 21 的主磁场方向向下。

[0023] 本发明磁体环 21 中各磁瓣 211 的磁化方向由其组成单元主磁极 213 的磁化情况决定。一个或多个磁化方向渐进变化的主磁极 213 在径向左右叠加形成磁化方向渐进变化的磁瓣 211。如图 2a 所示,磁孔 212 处,即磁体环中轴处的磁化方向垂直向上 ;磁孔 212 的两边,随着主磁极 213 与磁孔 212 之间的距离渐渐加大,主磁极 213 的磁化方向由接近于垂直向上的方向向外顺时针渐进偏离磁体环中轴。如图 2b 所示,磁孔 212 处,即磁体环中轴处的磁化方向垂直向上 ;磁孔 212 的两边,随着主磁极 213 与磁孔 212 之间的距离渐渐加大,主磁极 213 的磁化方向由接近于垂直向上的方向向外逆时针渐进偏离磁体环中轴。

[0024] 图 3a 和图 3b 是与图 2a 和图 2b 相对应的本发明所示磁体环 21 的径向截面示意图,图中示出了各磁瓣绕磁体环中轴步进式变化的磁化方向。各磁瓣 211 在径向上的磁化方向具有唯一性,同一横截面上的所有磁瓣 211 的磁化方向完成绕磁体环中轴 360° 步进

式变化,其中各磁化方向的箭头可以由磁体环中轴指向圆周,如图 3a 所示,也可以由圆周指向磁体环中轴,如图 3b 所示。

[0025] 本发明磁体环 21 在径向上由多个磁瓣 211 组成,如图 1 所示,其中各磁瓣 211 可以以全对称的方式分布在成像区域 4 四周,也可以以轴对称的方式或者非对称性分布。图 1 只显示出了全对称的分布方式。

[0026] 本发明对于磁瓣 211 的大小,数量以及材料没有特别的要求。磁瓣 211 的大小可以根据所需要的磁体环 21 的大小及成像区域 4 的大小确定。磁体环 21 的场强要求越高,成像对象所要求的成像区域 4 越大,磁瓣 211 的尺寸将随之越大。磁瓣 211 的数量以在径向上可以形成封闭的磁体 21 为原则。理论上可以是 2 个或多个。磁瓣 211 的材料可以选用现有的任何永磁材料,如:烧结钕铁硼、粘结稀土永磁、稀土钴、恒磁铁氧体等。

[0027] 图 1 也示意性地说明了磁体环的磁瓣 211 由多个主磁极 213 沿径向左向右叠加而成。所述各磁瓣 211 对主磁极 213 的数量没有特别要求,理论上可以是 1 个或多个。各磁瓣 211 对主磁极 213 的大小、厚度、材料没有特别的要求。每一主磁极 213 的大小可以相同,也可以不同。每一主磁极 213 的厚度可以相同,也可以不同。所有磁瓣 211 的主磁极 213 可以具有相同的厚度,也可以具有不同的厚度。每一主磁极 213 依据局部磁场的分布可以选用相同的永磁材料,也可以选用不同的永磁材料。永磁材料可以选用现有的任何永磁材料,如:烧结钕铁硼、粘结稀土永磁、稀土钴、恒磁铁氧体等。

[0028] 本发明对于磁瓣 211 的形状没有特别的要求。每个磁体 21 中的磁瓣 211 可以具有相同的形状,也可以具有不同的形状。所述磁瓣 211 的内表面可以为点状、直线状、圆弧状、折线状、曲线状;所述磁瓣 211 的外表面可以为直线状、圆弧状、折线状、曲线状。因此,所述磁瓣 211 的径向剖面可以为扇形、三角形、尖锥形、梯形、弓形、平底锥形、方形中的任意一种,或是其它任意形状,如图 4a、图 4b、图 4c、图 4d、图 4e、图 4f、图 4g、图 4h、图 4i 和图 4j 示例性地给出了本发明几种磁体环磁瓣 211 的径向截面示意图。

[0029] 本发明所述磁体环 21 在径向上由多个磁瓣 211 组成,因此磁瓣 211 的形状决定了磁体环 21 的形状。

[0030] 本发明对于所述磁体环 21 的形状没有特别的限定。其中,所述磁体 21 的外表形状可以是规则形状也可以是不规则形状,如:圆柱形、圆锥形、多棱柱形、多棱锥形、框形中的任意一种或者横截面为不规则形状中的任意一种柱体;其中,所述磁体 21 的内表形状可以是规则形状也可以是不规则形状,如圆柱形、圆锥形、多棱柱形、多棱锥形、框形中的任意一种或者横截面为不规则形状中的任意一种柱体。图 3a 和图 3b 显示出了其中一种磁瓣 211 形状下的磁体环 21 的径向截面示意图,此时各磁瓣 211 的形状相同、大小相同,磁体环 21 的内外表面皆为规则的圆柱型。

[0031] 本发明同时提供了采用上述磁体环 21 的一种磁共振成像用磁体装置,该磁体装置包括轭铁 1、主磁体 2 及上、下极靴 3。

[0032] 其中,所述主磁体 2 为封闭式结构,在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向;所述主磁体 2 由上述多个磁体环 21 沿磁体环中轴呈阶梯状分布上下叠加而成;叠加所得的主磁体 2 在任意横截面上的磁化方向为绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化,在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴 360° 步进式变化,且在同一二分之一纵截面上各阶磁体环 21 的磁化方向的切线呈连续性分布;所述主磁体 2 的轴向长度大于磁体环 21

的最大径向长度。

[0033] 图 5 至图 7 示意性地显示了本发明主磁体 2 的结构及其磁化情况。这种磁化趋势可以是在任意二分之一纵截面上沿着磁体环中轴从上到下顺时针变化,也可以是沿着磁体环中轴从上到下逆时针变化。图 7 只显示了其中一种变化情况。当如图 7 所示沿着磁体环中轴从上到下顺时针 360° 步进式变化时,所得到的主磁体 2 的磁场方向向上,反之,沿着磁体环中轴从上到下逆时针 360° 步进式变化时,所得到的主磁体 2 的磁场方向向下。

[0034] 本发明中的主磁体 2 由上述多个磁体环 21 沿磁体环中轴呈阶梯状分布上下叠加而成,其中,所述各磁体环 21 在任意二分之一纵截面上的磁化方向为顺着磁体环中轴从一端的磁化方向到另一端的磁化方向的步进式改变,且各磁体环 21 在同一二分之一纵截面上的磁化方向与磁体环中轴的夹角呈波段式分布,共同承担从 0° 到 360° 的波段式变化。通过将各个磁体环 21 按磁化方向渐进变化的顺序上下叠置在一起,就可以方便的实现主磁体 2 从一端的磁化方向到另一端的磁化方向顺着磁体环中轴 360° 步进式改变。

[0035] 图 5 示意性地说明了主磁体 2 中各阶磁体环 21 之间的阶梯状分布,这种阶梯状分布可以是全对称方式或轴对称方式或不对称。

[0036] 图 6 不仅显示出了主磁体 2 中各阶磁体环 21 之间的阶梯状分布,而且显示出了各阶磁体环 21 在径向上包括多个磁瓣 211,每一磁瓣 211 可以含有一个或多个主磁极 213。

[0037] 所述主磁体 2 对于各阶磁体环 21 的大小、厚度以及材料没有特别的要求。每一磁体环 21 可以具有相同的大小,也可以具有不同的大小。每一磁体环 21 的厚度可以相同,也可以不同。每一磁体环 21 可以选用相同的永磁材料,也可以选用不同的永磁材料。永磁材料可以选用现有的任何永磁材料,如:烧结钕铁硼、粘结稀土永磁、稀土钴、恒磁铁氧体等。

[0038] 本发明对于所述主磁体 2 的形状没有特别的限定。各阶磁体环 21 的形状共同决定了主磁体 2 的形状。所述主磁体 2 的外表形状可以是规则形状也可以是不规则形状,图 7 显示出了其中一种磁瓣 211 形状下的主磁体 2 的纵向截面示意图,此时各磁瓣 211 的形状相同、大小相同,各阶磁体环 21 的内外表面皆为规则的圆柱型,主磁体 2 的外表形状则由多个圆柱体呈阶梯状分布而得。

[0039] 图 8a 至 8b 所示的磁共振成像用磁体装置是本发明磁体装置的一种实施方式。

[0040] 如图 8a、图 8b 所示,本发明磁共振成像用磁体装置中,轭铁 1 的作用是用来形成磁路、增强成像区域 4 处的磁场、屏蔽漏磁,而且可以用来固定各阶磁体环 21,加强主磁体 2 结构上的稳定性,对于整个磁体装置的安装提供了相当大的便利性。

[0041] 本发明的轭铁 1 选用高饱和度的软磁材料,材料可以是碳钢或工程纯铁。轭铁 1 的结构受主磁体 2 的外形所支配。本发明磁体装置中轭铁 1 的内表面由主磁体 2 的外表面决定,呈阶梯状分布,阶梯的级数与磁体环 21 的磁层数相适应。所述轭铁 1 相对于每个磁体环 21 来说可以是一体型结构,也可以是装配型结构,还可以具有其它一些辅助构件。所述轭铁 1 包裹在整个主磁体 2 的外周。

[0042] 所要说明的是,本发明磁体装置中,主磁体 2 在平行于主磁场方向上,磁体两端是封闭式结构,成像区域 4 位于主磁体 2 的中心处,如图 8a 和 8b 所示。在图 8b 中,在垂直于主磁场方向上,主磁体 2 是通透式结构,存在一个通道 5 用来取放成像物体。这个通道 5 也可以存在于与主磁场垂直的另一方向上。

[0043] 上下极靴 3 由高饱和度的软磁材料构成,其材料可以选自碳钢、工程纯铁以及它

们和硅钢片、铁基纳米晶的某种组合。上下极靴 3 位于成像区域的两个端面处,为成像区域 4 提供尽可能好的均匀磁场,以达到可以直接进行磁共振成像的目的。

[0044] 根据本发明的第二个内容,本发明提供了一种磁体环的制造方法,该方法包括:形成不同形状、不同磁化方向的主磁极 213;形成在任意二分之一纵截面上磁化方向顺着磁体环中轴步进式变化且磁化方向的切线呈连续性分布的磁瓣 211;依据磁瓣 211 在横截面上磁化方向的唯一性,沿径向组装多个磁瓣 211,形成在磁体环中轴处的主磁场磁化方向为轴向的磁体环 21。

[0045] 主磁极 213 可以通过采用所选永磁材料,对其进行线切割,然后充磁、拼接、胶合等制成所需形状和所需磁化方向的主磁极 213。

[0046] 磁瓣 211 依其在磁体环 21 中的位置的不同而有其不同的磁化方向。将先前得到的主磁极 213 依据其磁化方向按顺序拼接,胶合而得到所需各种规格的磁瓣 211。

[0047] 再依据磁瓣 211 在径向上磁化方向的唯一性,按绕着磁体环中轴呈 360° 步进式变化的顺序(如图 3a 和图 3b 所示),将各个磁瓣 211 沿着径向放置,经铆钉固定,最后形成磁体环 21。

[0048] 本发明同时提供了采用上述磁体环 21 的一种磁共振成像用磁体装置的制造方法,该磁体装置包括轭铁 1、主磁体 2、上下极靴 3。

[0049] 其中所述主磁体 2 的形成方法包括依据在任意二分之一纵截面上磁化方向沿着磁体环中轴从 0° 到 360° 分波段逐步变化的顺序,上下叠置各阶磁体环 21,就可以方便的形成封闭式的环形主磁体 2。所得主磁体 2 的磁化趋势可以是沿着磁体环中轴从上到下顺时针变化,也可以是沿着磁体环中轴从上到下逆时针变化。主磁体 2 的各阶磁体环 21 之间呈阶梯状分布,这种阶梯状分布可以是轴对称的,也可以是非轴对称形式。

[0050] 主磁体 2 的制造方法可以依据本发明上述磁体环 21 的制造方法加以实现。

[0051] 本发明的磁体装置中,极靴 3 的制造可以通过机械加工得到。上下极靴安装在主磁体成像区域 4 的相对端面上。

[0052] 本发明的磁体装置中,轭铁 1 由多个单元组成。轭铁 1 的单元数与磁体环 21 的阶数相同,轭铁 1 的内表面也与与之相对应的磁体环 21 的外表面一一对应。各个轭铁单元通过机械加工直接得到,轭铁包裹在各个磁体环 21 的外周。最后组装多个磁体环 21,形成成像磁体装置。

[0053] 下面通过实施例来进一步说明本发明的优点。

[0054] 实施例:

[0055] 步骤 1:使用钕铁硼材料制造 7 批每批 8 个相同的磁瓣,其中 6 批磁瓣的高度为 55mm,1 批磁瓣的高度为 20mm。其中,第 1 批磁瓣和第 7 批磁瓣厚度为 40mm,仅有 1 级主磁极,且主磁极选用磁能级居中的磁材;第 2 批磁瓣和第 6 批磁瓣厚度为 80mm,由 2 级主磁极构成,离轴近的主磁极选用磁能级居中的磁材,离轴远的主磁极选用磁能级较低的磁材;第 3 批磁瓣和第 5 批磁瓣厚度为 120mm,由 3 级主磁极构成,离轴近的主磁极选用磁能级较高的磁材,位于中间的主磁极选用磁能级较低的磁材,离轴最远的主磁极选用磁能级居中的磁材;第 4 批磁瓣位于成像区域,厚度为 106.5mm,由 2 级主磁极构成,离轴近的主磁极选用磁能级较低的磁材,离轴远的主磁极选用磁能级较高的磁材。

[0056] 步骤 2:使第 1 批磁瓣中的 1 级主磁极的磁化方向相对于轴向向外倾斜 30° ;使

第 2 批磁瓣中的 2 级主磁极的磁化方向由磁体环中轴向外依次相对于轴向向外倾斜 30 度和 60 度 ;使第 3 批磁瓣中的 3 级主磁极的磁化方向由磁体环中轴向外依次相对于轴向向外倾斜 60 度、120 度和 150 度 ;使第 4 批磁瓣中的 1 级主磁极的磁化方向相对于轴向倾斜 180 度 ;使第 5 批磁瓣中的 3 级主磁极的磁化方向由磁体环中轴向外依次相对于轴向向内倾斜 60 度、120 度和 150 度 ;使第 6 批磁瓣中的 2 级主磁极的磁化方向由磁体环中轴向外依次相对于轴向向内倾斜 30 度和 60 度 ;使第 7 批磁瓣中的 1 级主磁极的磁化方向相对于轴向向内倾斜 30 度。

[0057] 步骤 3 :使用工程纯铁制造 3 组 (每组 2 个,且两两之间的尺寸和外形完全相同) 导磁轭铁环,第 1 组轭铁的上端是直径为 120mm、高为 50mm 的圆板,下端是内径为 80mm、外径为 120mm、高为 25mm 的圆柱环 ;第 2 组轭铁的上端是内径为 80mm、外径为 200mm、高为 30mm 的圆柱环,下端是内径为 160mm、外径为 200mm、高为 25mm 的圆柱环 ;第 3 组轭铁的上端是内径为 160mm、外径为 360mm、高为 30mm 的圆柱环,下端是内径为 240mm、外径为 360mm、高为 65mm 的圆柱环。

[0058] 步骤 4 :将轭铁环依据其外径从小到大再从大到小的顺序依次呈对称状从上到下用螺钉固定,此时保留一封底圆板。

[0059] 步骤 5 :将第 1 批的 8 个磁瓣依据其磁化方向绕着磁体环中轴 360 度步进式变化的顺序沿着径向喂送到最上端的一个轭铁环里,此时,轭铁环的圆板居上。同理,依次按顺序喂送第 2 批、第 3 批、第 4 批、第 5 批、第 6 批、第 7 批的磁瓣,封装最后保留的封底轭铁圆板,便得到从上到下磁化方向沿着轴向 360 度步进式变化的封闭式环形磁体系统。

[0060] 步骤 6 :检测气隙中的磁场强度,得到的磁场强度大小为 3.4 特斯拉。

[0061] 本实施例所得到的永磁磁体的纵向长度为 450mm,径向长度为 360mm,成像区域为高 27mm、底面直径为 20mm 的柱体。

[0062] 因此,从上述数据中可以看出,使用本发明的结构和制造方法,使得永磁材料的效能得到充分发挥,漏磁得到全面抑制,所以与现有构成技术的磁体相比,可以在维持磁体开放度不变,磁体总重大体不变的情况下,大幅提高磁体场强,节省磁材费用。

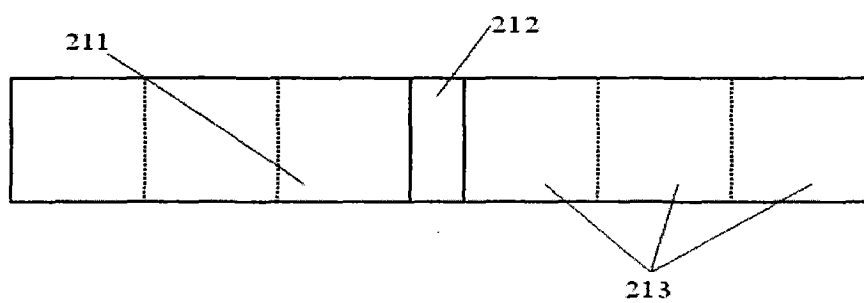


图 1

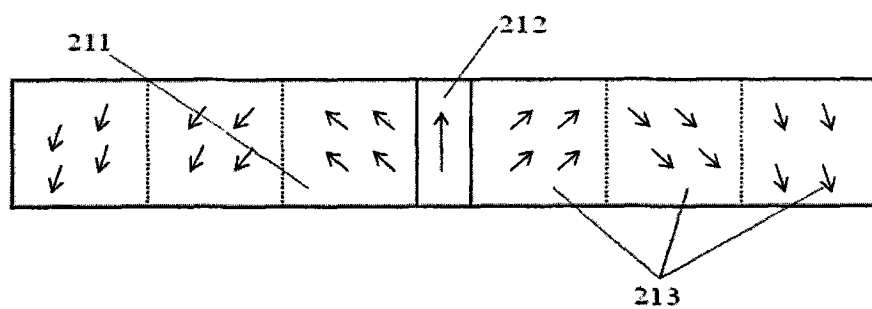


图 2a

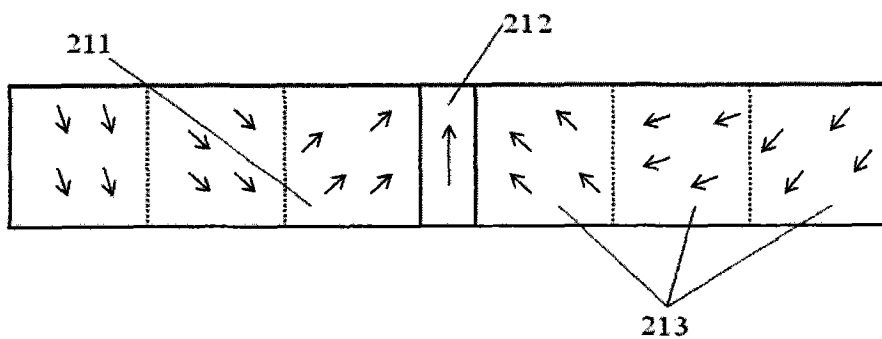


图 2b

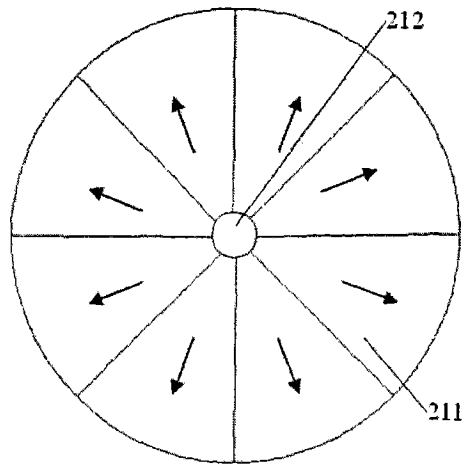


图 3a

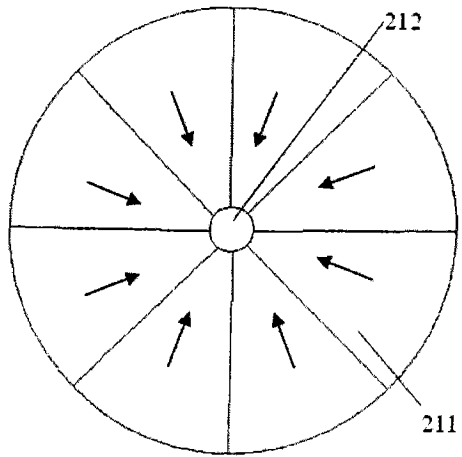


图 3b

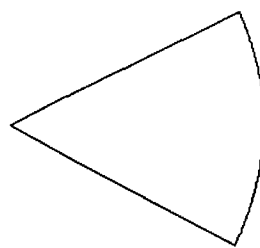


图 4a

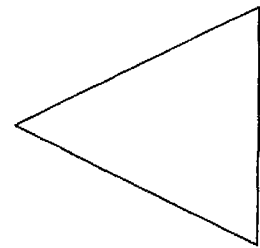


图 4b

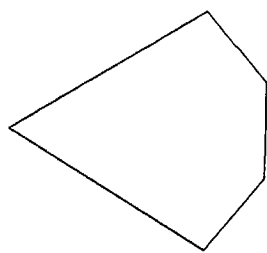


图 4c

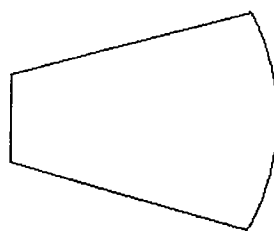


图 4d

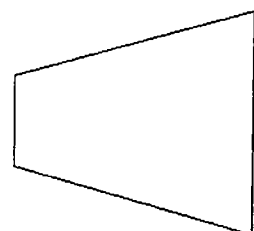


图 4e

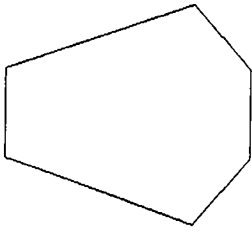


图 4f

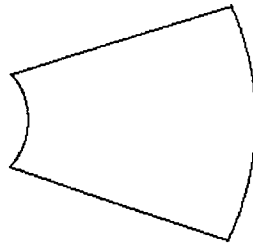


图 4g

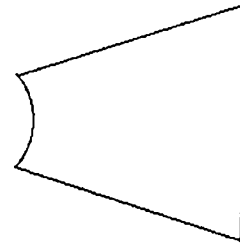


图 4h

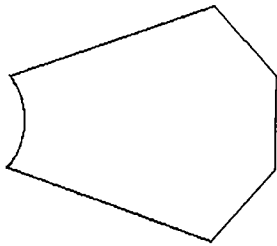


图 4i

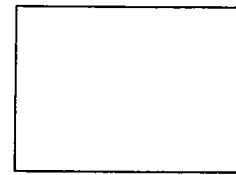


图 4j

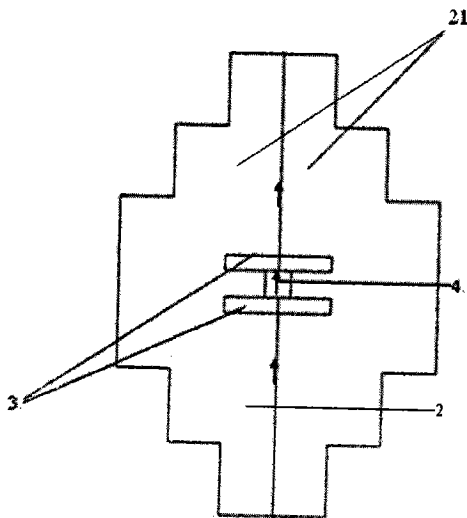


图 5

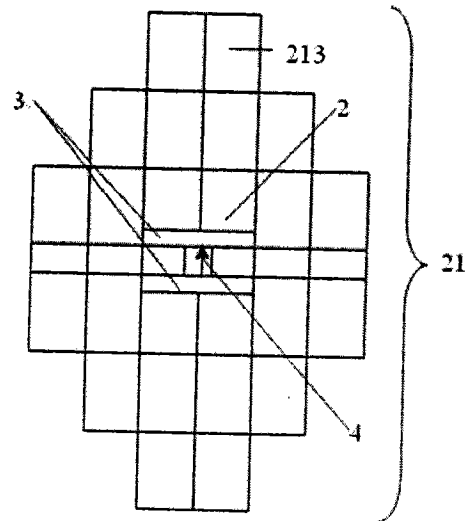


图 6

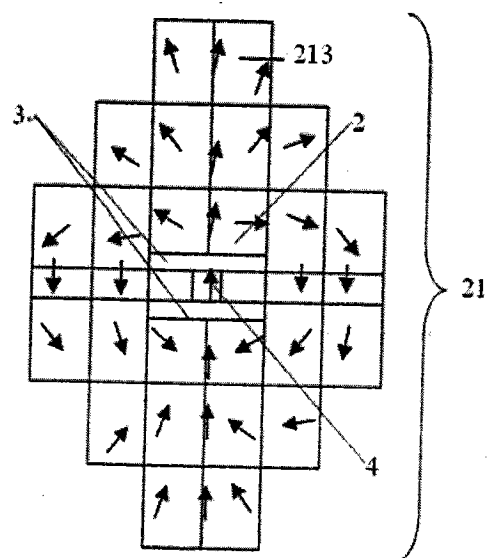


图 7

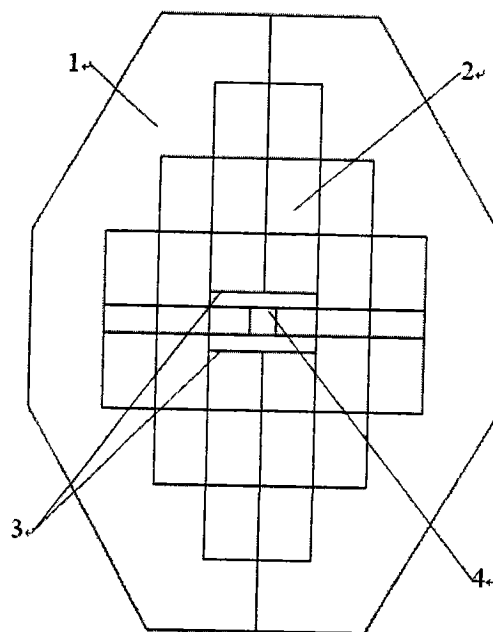


图 8a

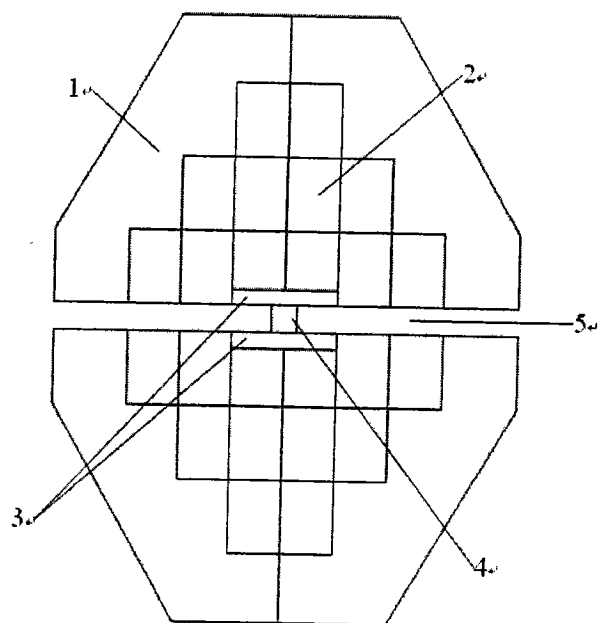


图 8b