



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116381574 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 04

(21) 申请号 202310177535.5

(22) 申请日 2023.02.23

(71) 申请人 中国人民解放军海军工程大学
地址 430033 湖北省武汉市硚口区解放大道717号

(72) 发明人 丁志超 孙春生 李佳佳 张爽
马丽衡 韩宏伟 张甦

(74) 专利代理机构 武汉华之喻知识产权代理有限公司 42267
专利代理师 刘娅婷 张彩锦

(51) Int. Cl.
G01R 33/02 (2006.01)

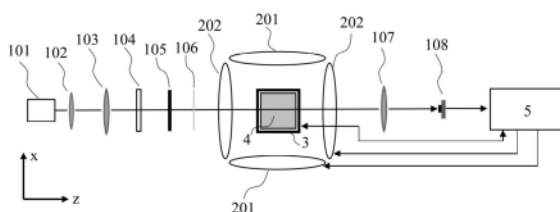
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置

(57) 摘要

本发明公开了一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,包括原子气室、光路机构、二维磁场产生机构和信号处理机构,其中,信号处理机构,用于获取不同光功率下,施加的恒定磁场在相反两方向时的¹³³Cs原子的磁共振谱;提取各光功率下,恒定磁场在相反两方向时的¹³³Cs原子的磁共振谱的中心频率,得到不同光功率下待测P点处的磁场B₁和B₂; (3) 利用多项式函数,对(B₁+B₂)/2与光功率Φ的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项,该常数项为磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿x、y、z轴方向的磁场分量;根据三轴磁场分量,计算磁屏蔽空间内的剩磁。本发明能实现对磁屏蔽空间内剩磁的高精度测量。



1. 一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,包括原子气室、光路机构和信号处理机构,原子气室放置在磁屏蔽空间的待测P点处,原子气室中充有 ^{133}Cs 原子与缓冲气体,原子气室外设有二维磁场产生机构;

所述二维磁场产生机构,包括正交设置的一号亥姆霍兹线圈和二号亥姆霍兹线圈,用于在所述原子气室处产生恒定磁场和激励磁场;

所述光路机构,包括圆偏振光产生部件、圆偏振光功率调节部件和光电探测部件,用于调节圆偏振光的光功率 Φ 和极化原子气室中的 ^{133}Cs 原子,同时还用于探测穿过原子气室后的圆偏振光,得到 ^{133}Cs 原子的磁共振谱;

所述信号处理机构,用于执行如下流程:(1)获取不同光功率 Φ 下,施加的恒定磁场在相反两方向时的 ^{133}Cs 原子的磁共振谱;(2)提取各光功率 Φ 下,恒定磁场在相反两方向时的 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,得到不同光功率 Φ 下待测P点处的磁场 B_1 和 B_2 ;(3)利用多项式函数,对 $(B_1+B_2)/2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项,该常数项为磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿x轴、y轴或z轴方向的磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z ,磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z 通过调节所述圆偏振光传播方向及施加的恒定磁场和激励磁场的方向得到;(4)根据磁场分量 B_x 、 B_y 和 B_z ,根据公式 $\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$,计算磁屏蔽空间内待测P点处的剩磁。

2. 根据权利要求1所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,所述信号处理机构驱动二号亥姆霍兹线圈产生恒定磁场,驱动并控制一号亥姆霍兹线圈产生激励磁场并扫描激励磁场的频率;

当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向x轴,且施加的激励磁场朝向z轴时,即可得到磁屏蔽空间内待测P点处沿x轴方向的磁场分量 B_x ;当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向y轴,且施加的激励磁场朝向z轴时,即可得到磁屏蔽空间内待测P点处沿y轴方向的磁场分量 B_y ;当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向z轴,且施加的激励磁场朝向x轴时,即可得到磁屏蔽空间内待测P点处沿z轴方向的磁场分量 B_z 。

3. 根据权利要求2所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,所述测量装置还包括加热机构,所述加热机构用于加热原子气室,保持原子气室的温度稳定。

4. 根据权利要求3所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,所述加热机构包括夹具、无磁电阻加热片和无磁温度传感器;

其中,所述夹具用于固定原子气室;所述无磁电阻加热片与信号处理机构电相连,所述信号处理机构用于产生远离磁共振频率的高频振荡电流,通入无磁电阻加热片对原子气室进行加热;所述无磁温度传感器与信号处理机构电相连,所述信号处理机构用于采集无磁温度传感器测量到的原子气室的温度,通过反馈控制,调节所述高频振荡电流的幅值,以稳定所述原子气室的温度。

5. 根据权利要求4所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,所述圆偏振光产生部件包括894nm半导体激光器、一号凸透镜、二号凸透镜、线偏振片和 $\lambda/4$ 玻片;

其中,所述894nm DFB半导体激光器被调节到 ^{133}Cs 原子D1线跃迁共振频率,用于输出激光;一号凸透镜和二号凸透镜用于对所述激光进行扩束准直;线偏振片和 $\lambda/4$ 玻片用于将扩

束准直后的激光转变为圆偏振光。

6. 根据权利要求5所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,所述圆偏振光调节部件采用中性滤波器。

7. 根据权利要求6所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,其特征在于,所述光电探测部件采用三号凸透镜和光电探测器。

8. 一种基于权利要求7所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置的测量方法,其特征在于,包括如下步骤:

(a) 打开894nm DFB半导体激光器,将其调节到 ^{133}Cs 原子D1线跃迁共振频率,输出激光,激光沿着z轴方向的光路传播,用光功率计测量并记录进入原子气室前圆偏振光的光功率;

(b) 信号处理机构驱动二号亥姆霍兹线圈产生沿z轴方向的恒定磁场 B_0 ,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈产生x轴方向的激励磁场 B_{ex} ;另外,信号处理机构采集光电探测器的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,得到待测P点处的磁场 B_1 ;

(c) 信号处理机构驱动二号亥姆霍兹线圈产生沿-z轴方向的恒定磁场 B_0 ,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈产生x轴方向的激励磁场 B_{ex} ;另外,信号处理机构采集光电探测器的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,得到待测P点处的磁场 B_2 ;

(d) 调节中性滤波器,改变进入原子气室前圆偏振光的光功率,重复步骤(b)~(c),测量不同光功率 Φ 下待测P点处的 B_1 和 B_2 ,并计算不同光功率 Φ 下的 $(B_1+B_2)/2$;

(e) 利用多项式函数,对 $(B_1+B_2)/2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项作为磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿z轴方向的磁场分量 B_z 的值;

(f) 将圆偏振光沿x轴方向传播,并沿x轴方向施加恒定磁场,沿z轴方向施加激励磁场,重复步骤(c)~(e),测得磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿x轴方向的磁场分量 B_x 的值;将圆偏振光沿y轴方向传播,并沿y轴方向施加恒定磁场,沿z轴方向施加激励磁场,重复步骤(c)~(e),测得磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿y轴方向的磁场分量 B_y 的值;

(g) 根据测量得到的磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z ,根据公式 $\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$,计算磁屏蔽空间内待测P点处的剩磁。

一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置

技术领域

[0001] 本发明属于测量技术领域,更具体地,涉及一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置。

背景技术

[0002] 在许多重要的应用领域,如电子电路、医学检测以及原子物理等,为抑制地磁场以及其它一些干扰磁场的影响,通常会将核心设备放置在磁屏蔽装置内。磁屏蔽装置一般由高磁导率的材料(如坡莫合金)制成,其可以改变地磁场以及其它一些干扰磁场的方向,使这些磁场偏离磁屏蔽空间。虽然如此,仍存在部分磁场不可避免地泄漏到磁屏蔽空间内,使得磁屏蔽空间存在剩磁。在实际应用中,磁屏蔽空间内剩磁常常会造成一些不良影响。例如,其会引起原子钟、原子磁力仪的测量误差,另外,其也会增大核磁共振成像设备的噪声。因此,为获取更佳的性能,磁屏蔽空间内剩磁的影响需要抑制或消除,然而,前提是能够精确地测量磁屏蔽空间内剩磁。

[0003] 目前,磁屏蔽空间内剩磁常常由磁通门所测定。在这种测量中,为了抵消磁通门的零偏,磁屏蔽空间内某处沿某一方向的剩磁需要沿正反两个方向分别进行测量。在两次测量中,磁通门的放置偏差将会导致剩磁的测量误差。另外,由于磁通门的精度不高,剩磁的测量精度会受到磁通门精度的限制。由于碱金属原子的磁共振频率正比于碱金属原子周围磁场的大小,磁屏蔽空间内剩磁也可以利用探测碱金属原子的磁共振频率而推导得到。虽然这种方法由于利用了共振效应,对磁共振频率的探测能够实现较高的精度,然而,光移效应会导致碱金属原子的磁共振频率的移动,进而引起剩磁的测量误差。因此,基于上述利用碱金属原子的磁共振频率测量剩磁的原理,并消除光移的效应影响,实现一种高精度的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置具有重要的应用价值。

发明内容

[0004] 针对现有技术的缺陷,本发明的目的在于提供一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,能实现对磁屏蔽空间内剩磁的高精度测量。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,包括原子气室、光路机构和信号处理机构,原子气室放置在磁屏蔽空间的待测P点处,原子气室中充有 ^{133}Cs 原子与缓冲气体,原子气室外设有二维磁场产生机构;

[0006] 所述二维磁场产生机构,包括正交设置的一号亥姆霍兹线圈和二号亥姆霍兹线圈,用于在所述原子气室处产生恒定磁场和激励磁场;

[0007] 所述光路机构,包括圆偏振光产生部件、圆偏振光功率调节部件和光电探测部件,用于调节圆偏振光的光功率 Φ 和极化原子气室中的 ^{133}Cs 原子,同时还用于探测穿过原子气室后的圆偏振光,得到 ^{133}Cs 原子的磁共振谱;

[0008] 所述信号处理机构,用于执行如下流程:(1)获取不同光功率 Φ 下,施加的恒定磁场在相反两方向时的 ^{133}Cs 原子的磁共振谱;(2)提取各光功率 Φ 下,恒定磁场在相反两方向时的 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁

场大小的特性,得到不同光功率 Φ 下待测P点处的磁场 B_1 和 B_2 ; (3) 利用多项式函数,对 $(B_1+B_2)/2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项,该常数项为磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿x轴、y轴或z轴方向的磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z ,磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z 通过调节所述圆偏振光传播方向及施加的恒定磁场和激励磁场的方向得到; (4) 根据磁场分量 B_x 、 B_y 和 B_z ,根据公式 $\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$,计算磁屏蔽空间内待测P点处的剩磁。

[0009] 本发明提供的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,通过改变圆偏振光传播方向及施加的恒定磁场和激励磁场的方向,并测量不同圆偏振光光功率下的 ^{133}Cs 原子磁共振谱,以及采用拟合的手段,消除光移效应的影响,实现对磁屏蔽空间内剩磁的高精度测量;且本发明提供的测量装置简单易搭建,同时能够实现较高的测量精度。因而,本发明实现的一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置具有重要的应用价值。

[0010] 在其中一个实施例中,所述信号处理机构驱动二号亥姆霍兹线圈产生恒定磁场,驱动并控制一号亥姆霍兹线圈产生激励磁场并扫描激励磁场的频率;

[0011] 当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向x轴,且施加的激励磁场朝向z轴时,即可得到磁屏蔽空间内待测P点处沿x轴方向的磁场分量 B_x ;当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向y轴,且施加的激励磁场朝向z轴时,即可得到磁屏蔽空间内待测P点处沿y轴方向的磁场分量 B_y ;当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向z轴,且施加的激励磁场朝向x轴时,即可得到磁屏蔽空间内待测P点处沿z轴方向的磁场分量 B_z 。

[0012] 在其中一个实施例中,所述测量装置还包括加热机构,所述加热机构用于加热原子气室,保持原子气室的温度稳定。

[0013] 在其中一个实施例中,所述加热机构包括夹具、无磁电阻加热片和无磁温度传感器;

[0014] 其中,所述夹具用于固定原子气室;所述无磁电阻加热片与信号处理机构电相连,所述信号处理机构用于产生远离磁共振频率的高频振荡电流,通入无磁电阻加热片对原子气室进行加热;所述无磁温度传感器与信号处理机构电相连,所述信号处理机构用于采集无磁温度传感器测量到的原子气室的温度,通过反馈控制,调节所述高频振荡电流的幅值,以稳定所述原子气室的温度。

[0015] 在其中一个实施例中,所述圆偏振光产生部件包括894nm半导体激光器、一号凸透镜、二号凸透镜、线偏振片和 $\lambda/4$ 玻片;

[0016] 其中,所述894nm DFB半导体激光器被调节到 ^{133}Cs 原子D1线跃迁共振频率,用于输出激光;一号凸透镜和二号凸透镜用于对所述激光进行扩束准直;线偏振片和 $\lambda/4$ 玻片用于将扩束准直后的激光转变为圆偏振光。

[0017] 在其中一个实施例中,所述圆偏振光调节部件采用中性滤波器。

[0018] 在其中一个实施例中,所述光电探测部件采用三号凸透镜和光电探测器。

[0019] 第二方面,本发明提供了一种基于上述所述的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置的测量方法,包括如下步骤:

[0020] (a) 打开894nm DFB半导体激光器,将其调节到 ^{133}Cs 原子D1线跃迁共振频率,输出

激光,激光沿着z轴方向的光路传播,用光功率计测量并记录进入原子气室前圆偏振光的光功率;

[0021] (b) 信号处理机构驱动二号亥姆霍兹线圈产生沿z轴方向的恒定磁场 B_0 ,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈产生x轴方向的激励磁场 B_{ex} ;另外,信号处理机构采集光电探测器的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,得到待测P点处的磁场 B_1 ;

[0022] (c) 信号处理机构驱动二号亥姆霍兹线圈产生沿-z轴方向的恒定磁场 B_0 ,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈产生x轴方向的激励磁场 B_{ex} ;另外,信号处理机构采集光电探测器的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,得到待测P点处的磁场 B_2 ;

[0023] (d) 调节中性滤波器,改变进入原子气室前圆偏振光的光功率,重复步骤(b)~(c),测量不同光功率 Φ 下待测P点处的 B_1 和 B_2 ,并计算不同光功率 Φ 下的 $(B_1+B_2)/2$;

[0024] (e) 利用多项式函数,对 $(B_1+B_2)/2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项作为磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿z轴方向的磁场分量 B_z 的值;

[0025] (f) 将圆偏振光沿x轴方向传播,并沿x轴方向施加恒定磁场,沿z轴方向施加激励磁场,重复步骤(c)~(e),测得磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿x轴方向的磁场分量 B_x 的值;将圆偏振光沿y轴方向传播,并沿y轴方向施加恒定磁场,沿z轴方向施加激励磁场,重复步骤(c)~(e),测得磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿y轴方向的磁场分量 B_y 的值;

[0026] (g) 根据测量得到的磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z ,根据公式 $\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$,计算磁屏蔽空间内待测P点处的剩磁。

附图说明

[0027] 图1是本发明一实施例提供的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置的结构示意图。

具体实施方式

[0028] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0029] 为消除光移效应对剩磁测量的影响,本发明提供了一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,并通过拟合的手段消除光移效应的影响,实现对磁屏蔽空间内剩磁的高精度测量。

[0030] 本发明基于以下原理:假定需要测量磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿z轴方向的磁场分量 B_z 。将充有 ^{133}Cs 金属颗粒以及缓存气体的原子气室置于磁屏蔽空间内的P点处,并用沿z轴方向传播的圆偏振光抽运 ^{133}Cs 原子。圆偏振光会引发光移效应。由于光移效应会导致 ^{133}Cs 原子磁共振频率的移动,因而,光移效应的影响可以等效为一个在P点处沿z轴方向的虚拟磁场 B_1 。当沿z轴方向施加恒定磁场 B_0 ,且 B_0 远大于磁屏蔽空间内的剩磁时,可以忽略垂直于z轴方向的剩磁分量,于是磁屏蔽空间内P点处的总磁场 B_1 可表示为:

$$[0031] \quad B_1 = B_0 + B_z + B_1 \quad (1)$$

[0032] 当使施加的恒定磁场反向,即沿 $-z$ 轴方向施加恒定磁场 B_0 时,磁屏蔽空间内P点处的总磁场 B_2 可表示为:

$$[0033] \quad B_2 = -B_0 + B_z + B_1 \quad (2)$$

[0034] 由式(1)与(2)可得,

$$[0035] \quad B_z + B_1 = (B_1 + B_2) / 2 \quad (3)$$

[0036] 从上式可以看出,通过测量 B_1 与 B_2 ,即可得 $B_z + B_1$ 的大小。当改变圆偏振光光功率时,则可以测量得到不同圆偏振光光功率下 $B_z + B_1$ 的大小。

[0037] B_1 与 B_2 可以通过测量原子气室内 ^{133}Cs 原子的磁共振谱获取。当沿 x 轴方向施加激励磁场 $B_{\text{ex}} = B_a \cos(\omega t)$,其中, B_a 与 ω 分别为激励磁场的幅值与频率,扫描激励磁场的频率 ω ,并用光电探测器探测穿过原子气室后的圆偏振光时,即可以得到 ^{133}Cs 原子的磁共振谱。当施加的恒定磁场沿 z 轴方向时, ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率等于 B_1 与 γ 的比值, γ 为Cs原子自旋的旋磁比,为一定值;而当施加的恒定磁场沿 $-z$ 轴方向时, ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率等于 B_2 与 γ 的比值。因此,提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,即可得到 B_1 与 B_2 。

[0038] 由于 B_1 与圆偏振光光功率 Φ 相关,而 B_z 与圆偏振光光功率 Φ 无关,另外,当 $\Phi = 0$ 时,显然 $B_1 = 0$,因而,由式(3)可知,

$$[0039] \quad (B_1 + B_2) / 2 = B_z + f(\Phi) \quad (4)$$

[0040] 上式中, $f(\Phi)$ 表示以 Φ 为变量的函数,且 $f(0) = 0$ 。

[0041] 由式(4)可知,通过测量不同 Φ 下的 B_1 与 B_2 ,推导得不同 Φ 下 $(B_1 + B_2) / 2$ 的大小,然后利用多项式函数,对 $(B_1 + B_2) / 2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项,即可得剩磁 B_z 。按照同样的方法,当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向 x 轴时,即可得到磁屏蔽空间内P点处沿 x 轴方向的磁场分量 B_x ;当将圆偏振光传播方向与施加的恒定磁场方向同时朝向 y 轴时,即可得到磁屏蔽空间内P点处沿 y 轴方向的磁场分量 B_y 。于是,

磁屏蔽空间内P处的总剩磁为 $\sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$ 。

[0042] 对此,本发明提供了一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置,包括原子气室、光路机构和信号处理机构,原子气室放置在磁屏蔽空间的待测P点处,原子气室中充有 ^{133}Cs 原子与缓冲气体。

[0043] 其中,原子气室外设有二维磁场产生机构,二维磁场产生机构包括正交设置的一号亥姆霍兹线圈和二号亥姆霍兹线圈,用于在原子气室处产生恒定磁场和激励磁场。

[0044] 光路机构,包括圆偏振光产生部件、圆偏振光功率调节部件和光电探测部件,用于调节圆偏振光的光功率 Φ 和极化原子气室中的 ^{133}Cs 原子,同时还用于探测穿过原子气室后的圆偏振光,得到 ^{133}Cs 原子的磁共振谱。

[0045] 信号处理机构,用于执行如下流程:(1)获取不同光功率 Φ 下,施加的恒定磁场在相反两方向时的 ^{133}Cs 原子的磁共振谱;(2)提取各光功率 Φ 下,恒定磁场在相反两方向时的 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性,得到不同光功率 Φ 下待测P点处的磁场 B_1 和 B_2 ;(3)利用多项式函数,对 $(B_1 + B_2) / 2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项,该常数项为磁屏蔽空间内待测P点处剩磁沿 x 轴、 y 轴或 z 轴方向的磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z ,磁场分量 B_x 、 B_y 、 B_z 通过调节所述圆偏振光传播方向及施加的恒定磁场和激励磁场的方向得到;(4)根据磁场分量 B_x 、 B_y 和 B_z ,根据公

式 $\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$ ，计算磁屏蔽空间内待测P点处的剩磁。

[0046] 本发明提供的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置，利用 ^{133}Cs 原子的磁共振频率正比于 ^{133}Cs 原子周围磁场大小的特性，通过改变圆偏振光传播方向及施加的恒定磁场和激励磁场的方向，并测量不同圆偏振光功率下的 ^{133}Cs 原子磁共振谱，以及采用拟合的手段，消除光移效应的影响，实现对磁屏蔽空间内剩磁的高精度测量；且本发明提供的测量装置简单易搭建，同时能够实现较高的测量精度。因而，本发明实现的一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置具有重要的应用价值。

[0047] 以下结合具体实施例对本发明进行详细说明：

[0048] 参见图1，本实施例提供的一种磁屏蔽空间内剩磁的测量装置，包含由894nm DFB半导体激光器101、一号凸透镜102、二号凸透镜103、线偏振片104、 $\lambda/4$ 玻片105、中性滤波器106、三号凸透镜107和光电探测器108组成的光路机构、由正交的一号亥姆霍兹线圈201和二号亥姆霍兹线圈202组成的二维磁场产生机构、加热机构3、原子气室4、信号处理机构5。

[0049] 在本实施例中，原子气室4中充有 ^{133}Cs 原子与缓冲气体。

[0050] 光路机构用于调节圆偏振光的光功率以及探测 ^{133}Cs 原子的磁共振谱，同时用于极化原子气室4中的 ^{133}Cs 原子，以大幅提高光传播方向 ^{133}Cs 原子系综的磁化强度，从而提高 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的信噪比。其中，894nm DFB半导体激光器101被调节到 ^{133}Cs 原子D1线跃迁共振频率，输出激光。一号凸透镜102与二号凸透镜103被组合为扩束准直机构。线偏振片104和 $\lambda/4$ 玻片105将激光转变为圆偏振光，实现对原子气室4中的 ^{133}Cs 原子的极化。中性滤波器106用于调节圆偏振光的光功率。圆偏振光与原子气室4中 ^{133}Cs 原子相互作用后，圆偏振光的光功率会受到光传播方向 ^{133}Cs 原子系综磁化强度的调制。穿过原子气室4的圆偏振光经过三号凸透镜107收集后，到达光电探测器108，光电探测器108的输出信号反映圆偏振光光功率的变化。

[0051] 组成二维磁场产生机构的一号亥姆霍兹线圈201与二号亥姆霍兹线圈202均由铜线绕制，一号亥姆霍兹线圈201与二号亥姆霍兹线圈202正交，用于产生恒定磁场与激励磁场；二维磁场产生机构中的电流由信号处理机构5驱动与调节。

[0052] 加热机构3包含夹具、无磁电阻加热片以及无磁温度传感器。其中，夹具用于固定原子气室4，优选采用铜夹具。无磁电阻加热片用于对原子气室4进行加热，以适当提高原子气室4内 ^{133}Cs 原子蒸汽密度，从而提高 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的信噪比。无磁温度传感器用于测量原子气室4的温度。信号处理机构5产生远离磁共振频率的高频振荡电流，通入无磁电阻加热片，对原子气室4进行加热。同时，信号处理机构5采集无磁温度传感器测量得到的原子气室4的温度值，通过反馈控制，调节高频振荡电流的幅值，以稳定原子气室4的温度。

[0053] 信号处理机构5包含数据采集卡与计算机，负责信号的采集、产生与处理，同时用于驱动与控制二维磁场产生机构，提供恒定磁场与激励磁场，信号处理机构5还用于驱动与控制加热机构3，使其加热原子气室4，并保持原子气室4温度的稳定。

[0054] 本实施例提供的磁屏蔽空间内剩磁的测量装置的测量原理为：

[0055] 894nm DFB半导体激光器101输出的激光经过一号凸透镜102与二号凸透镜103后被扩束准直，再由线偏振片104和 $\lambda/4$ 玻片105将其转变为圆偏振光，圆偏振光的光功率由中性滤波器106所调节。随后，圆偏振光照射原子气室4，实现对原子气室4中 ^{133}Cs 原子的极化。

圆偏振光与原子气室4中 ^{133}Cs 原子相互作用后,圆偏振光的光功率会受到光传播方向 ^{133}Cs 原子系综磁化强度的调制。穿过原子气室4的圆偏振光经过三号凸透镜107收集后,到达光电探测器108,光电探测器108的输出信号反映圆偏振光光功率的变化。信号处理机构5驱动与控制加热机构3,使其加热原子气室4,并保持原子气室4温度的稳定。信号处理机构5驱动二号亥姆霍兹线圈202产生恒定磁场,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈201产生激励磁场,并扫描激励磁场的频率。另外,信号处理机构5采集光电探测器108的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,得到 B_1 与 B_2 。

[0056] 本实施例对磁屏蔽空间剩磁的测量是通过以下步骤实现的:

[0057] 步骤一,信号处理机构5产生远离 γB_0 的高频振荡电流,输入到加热机构3中的无磁电阻加热片,对原子气室4进行加热,并采集加热机构3中的无磁温度传感器测量得到原子气室4的温度值,通过反馈控制,调节高频振荡电流的幅值,以稳定原子气室4的温度。

[0058] 步骤二,打开894nm DFB半导体激光器101,将其调节到 ^{133}Cs 原子D1线跃迁共振频率,输出激光,激光沿着z轴方向的光路传播,用光功率计测量并记录进入原子气室4前圆偏振光的光功率。

[0059] 步骤三,信号处理机构5驱动二号亥姆霍兹线圈202产生沿z轴方向的恒定磁场 B_0 ,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈201产生x轴方向的激励磁场 B_{ex} 。另外,信号处理机构5采集光电探测器108的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,得到 B_1 。

[0060] 步骤四,信号处理机构5驱动二号亥姆霍兹线圈202产生沿-z轴方向的恒定磁场 B_0 ,同时驱动与控制一号亥姆霍兹线圈201产生x轴方向的激励磁场 B_{ex} 。另外,信号处理机构5采集光电探测器108的输出信号,获取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱,并提取 ^{133}Cs 原子的磁共振谱的中心频率,得到 B_2 。

[0061] 步骤五,调节中性滤波器106,改变进入原子气室4前圆偏振光的光功率。重复步骤二、三与四,测量不同光功率 Φ 下的 B_1 和 B_2 ,并计算不同光功率 Φ 下的 $(B_1+B_2)/2$ 。

[0062] 步骤六,利用多项式函数,对 $(B_1+B_2)/2$ 与 Φ 的依赖关系进行拟合,提取拟合结果的常数项作为磁屏蔽空间内剩磁沿z轴方向的分量 B_z 的值。

[0063] 步骤七,将圆偏振光沿x轴方向传播,并沿x轴方向施加恒定磁场,沿z轴方向施加激励磁场,重复步骤三至六,测得磁屏蔽空间内剩磁沿x轴方向的分量 B_x 的值。将圆偏振光沿y轴方向传播,沿y轴方向施加恒定磁场,沿z轴方向施加激励磁场,重复步骤三至六,测得磁屏蔽空间内剩磁沿y轴方向的分量 B_y 的值。

[0064] 步骤八,根据测量得到的 B_x 、 B_y 、 B_z ,根据公式 $\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$,计算磁屏蔽空间内的剩磁。

[0065] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,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,均应包含在本发明的保护范围之内。

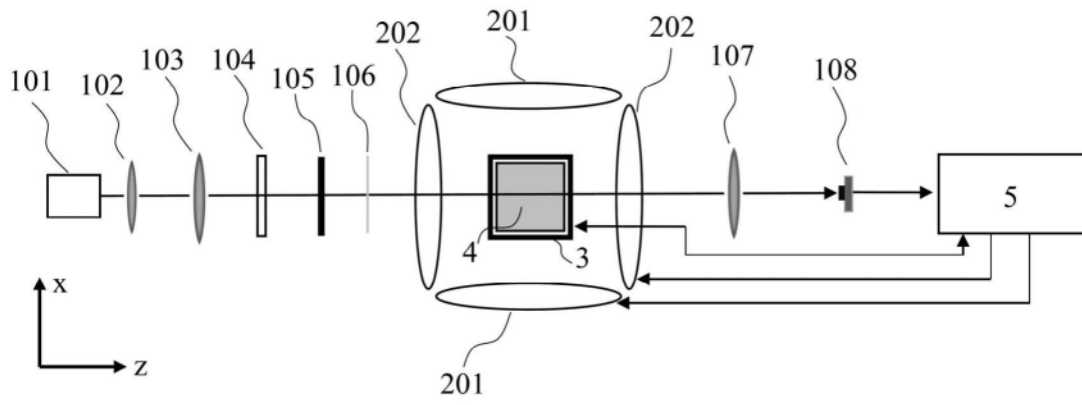


图1