(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2015 年 12 月 17 日 (17.12.2015)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2015/188669 A1

(51) 国际专利分类号:
H02N 15/00 (2006.01) *F16C 39/06* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2015/078539

(22) 国际申请日: 2015 年 5 月 8 日 (08.05.2015)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201410259063.9 2014 年 6 月 11 日 (11.06.2014) CN

(71) 申请人: **珠海格力电器股份有限公司 (GREE ELECTRIC APPLIANCES,INC,OF ZHUHAI)** [CN/CN]; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。

(72) 发明人: **黄辉 (HUANG, Hui)**; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。 **胡余生 (HU, Yusheng)**; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。 **李燕 (LI, Yan)**; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。 **郭伟林 (GUO, Weilin)**; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。 **胡叨福 (HU, Daofu)**; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。 **贺永玲 (HE, Yongling)**; 中国广东省珠海市前山金鸡西路, Guangdong 519070 (CN)。

(74) 代理人: **北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW)**; 中国北京市朝阳区建国门外大街 22 号赛特广场 7 层, Beijing 100004 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) **Title**: MAGNETIC BEARING SYSTEM CONTROL METHOD, CONTROL DEVICE AND AIR CONDITIONER

(54) **发明名称** : 磁悬浮轴承系统的控制方法、控制装置及空调

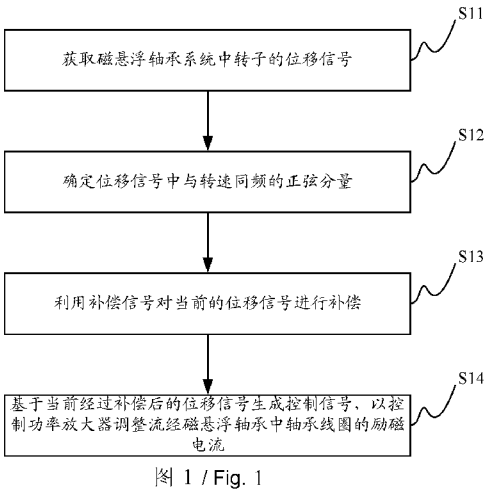


图 1 / Fig. 1

S11 Obtaining a displacement signal of a rotor in a magnetic bearing system
S12 Determining in the displacement signal a sinusoidal component at the same frequency with the rotational speed
S13 Compensating the current displacement signal with a compensation signal
S14 Generating a control signal based on the current compensated displacement signal so as to control a power amplifier to adjust the exciting current flowing through the bearing coil in the magnetic bearing

(57) **Abstract**: A magnetic bearing system control method, comprising: obtaining a displacement signal of a rotor in a magnetic bearing system; determining in the displacement signal a sinusoidal component at the same frequency with the rotational speed; compensating the displacement signal with a compensation signal, the compensation signal being a product of the sinusoidal component and an optimal vortex motion separation weighted coefficient; generating a control signal based on the current compensated displacement signal so as to control a power amplifier to adjust the exciting current flowing through the bearing coil in the magnetic bearing. The control method can reduce control signal fluctuation and improve the levitation precision and stability of a rotor. In addition, the present invention also relates to a corresponding control device and air conditioner.

(57) **摘要**: 一种磁悬浮轴承系统的控制方法，包括：获取磁悬浮轴承系统中转子的位移信号；确定该位移信号中与转速同频的正弦分量；利用补偿信号对位移信号进行补偿，补偿信号为正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积；基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流。该控制方法能够减小控制信号的波动成分，提高转子的悬浮精度和稳定性。另外，本发明还涉及相应的控制装置及空调。

WO 2015/188669 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

磁悬浮轴承系统的控制方法、控制装置及空调

本申请要求于 2014 年 6 月 11 日提交中国专利局、申请号为201410259063.9、发明名称为“磁悬浮轴承系统的控制方法、控制装置及空调”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明属于磁悬浮轴承技术领域，尤其涉及磁悬浮轴承系统的控制方法、控制装置及空调。

背景技术

磁悬浮轴承系统是一种新型轴承系统，在其运行过程中，利用磁力作用将转子悬浮于空中，使转子与定子之间没有机械接触，具有磨损小、能耗低、噪音小的优点。目前磁悬浮轴承系统多应用于压缩机，也就是磁悬浮压缩机。在磁悬浮轴承系统运行过程中，其转子的质量偏心会引发振动，从而影响转子的悬浮精度和稳定性。其中，悬浮精度表征了转子偏离中心位置的位移量。

如何对磁悬浮轴承系统的运行过程进行控制，以便提高其悬浮精度和稳定性，是本领域技术人员所面临的问题。

发明内容

有鉴于此，本发明的目的在于提供磁悬浮轴承系统的控制方法及控制装置，以实现对磁悬浮轴承系统的控制，提高转子的悬浮精度和稳定性。另外，本发明还公开一种空调。

为实现上述目的，本发明提供如下技术方案:

本发明公开了一种磁悬浮轴承系统的控制方法，所述控制方法包括:

获取所述磁悬浮轴承系统中转子的位移信号;

确定所述位移信号中与转速同频的正弦分量;

利用补偿信号对所述位移信号进行补偿，所述补偿信号为所述正弦分量与

最优涡动分离加权系数的乘积;

基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号,以控制功率放大器调整流经所述磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流。

优选的,涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1,确定最优涡动分离加权系数的操作,包括:

确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

若是,则利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数,返回执行确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度的步骤;

若否,则将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

优选的,所述第一步长位于 0.001 至 0.01 之间。

优选的,涡动分离加权系数的初始值为大于 0 且小于 1 的第一数值,确定最优涡动分离加权系数的操作,包括:

确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

若是,则利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数,返回执行确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度的步骤;

若否,则将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权系数,将所述涡动分离加权系数调整至第二数值,所述第二数值位于所述第一数值的第二方向上,判断基于第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度是否低于基于所述第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度,若是,则确定所述第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数,否则,利用第三步长沿所述第二方向调整所述涡动分离加权系数,直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精

度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

优选的，所述第二步长和所述第三步长位于 0.001 至 0.01 之间。

本发明还公开一种磁悬浮轴承系统的控制装置，包括:

位移信号获取单元，用于获取所述磁悬浮轴承系统中转子的位移信号;

正弦分量确定单元，用于确定所述位移信号获取单元获取到的位移信号中与转速同频的正弦分量;

补偿单元，用于利用补偿信号对所述位移信号进行补偿，所述补偿信号为所述正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积;

控制单元，用于基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经所述磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流;

加权系数确定单元，用于确定最优涡动分离加权系数。

优选的，涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，所述加权系数确定单元包括:

悬浮精度确定模块，用于确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

第一判断模块，用于判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

第一处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为是的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，之后触发所述悬浮精度确定模块;

第二处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为否的情况下，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

优选的，涡动分离加权系数的初始值为大于 0 且小于 1 的第一数值，所述加权系数确定单元包括:

悬浮精度确定模块，用于确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

第一判断模块，用于判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一

周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

第三处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为是的情况下，利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，之后触发所述悬浮精度确定模块;

第四处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为否的情况下，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权系数，将涡动分离加权系数调整至第二数值，所述第二数值位于所述第一数值的第二方向上，之后触发所述悬浮精度确定模块;

第二判断模块，用于判断基于第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度是否低于基于所述第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度;

第五处理模块，用于在所述第二判断模块的判断结果为是的情况下，确定所述第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数;

第六处理模块，用于在所述第二判断模块的判断结果为否的情况下，利用第三步长沿所述第二方向调整所述涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

本发明还公开一种空调，包括磁悬浮压缩机，所述磁悬浮压缩机包括磁悬浮轴承系统，所述磁悬浮轴承系统包括：磁悬浮轴承、转子、功率放大器、位移检测装置和上述任意一种控制装置。

由此可见，本发明的有益效果为：本发明公开的磁悬浮轴承系统的控制方法和控制装置，在获取到转子的位移信号后，确定当前的位移信号中与转速同频的正弦分量，将该正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积作为补偿信号，对当前的位移信号进行补偿，以减小甚至抵消位移信号中的周期性干扰信号，从而减小控制信号的波动成分，提高转子的悬浮精度和稳定性。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明公开的磁悬浮轴承系统的一种控制方法的流程图；

图 2 为本发明中确定最优涡动分离加权系数的一种方法的流程图；

图 3 为本发明中确定最优涡动分离加权系数的另一种方法的流程图；

图 4 为采用变步长 LMS 方法确定位移信号中与转速同频的正弦分量的原理框图；

图 5 为本发明公开的磁悬浮轴承系统的控制过程的原理框图；

图 6 为基于本发明公开的控制方法对磁悬浮轴承系统施加控制后与现有控制方法的效果对比图；

图 7 为本发明公开的磁悬浮轴承系统的一种控制装置的结构示意图；

图 8 为本发明中加权系数确定单元的一种结构示意图；

图 9 为本发明中加权系数确定单元的另一种结构示意图。

具体实施方式

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。

本发明公开一种磁悬浮轴承系统的控制方法，以实现对磁悬浮轴承系统的控制，提高转子的悬浮精度和稳定性。

参见图 1，图 1 为本发明公开的磁悬浮轴承系统的一种控制方法的流程图。该控制方法包括：

步骤 S11：获取磁悬浮轴承系统中转子的位移信号。

磁悬浮轴承系统主要包括磁悬浮轴承、转子、控制装置、功率放大器和位移检测装置。在磁悬浮轴承系统运行过程中，位移检测装置能够检测转子偏离于中心位置的位移，并输出位移信号。

步骤 S12：确定位移信号中与转速同频的正弦分量。

步骤 S13：利用补偿信号对当前的位移信号进行补偿，该补偿信号为该正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积。

位移检测装置检测到的位移信号既包含周期性干扰信号，也包含随机振动信号（有用信号）。位移信号中的周期性干扰信号会导致控制信号中产生同频率的波动成分，最终导致转子的振动。本发明中提取位移信号中与转速同频的正弦分量，利用正弦分量中的一部分对位移传感器检测到的位移信号进行补偿，可以减小甚至抵消位移信号中的周期性干扰信号，从而减小控制信号中的波动成分，提高转子的悬浮精度和稳定性。

步骤 S14：基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流。

磁悬浮轴承系统中的控制装置基于经过补偿后的位移信号生成控制信号，与现有技术中基于位移信号生成控制信号的处理过程一致。控制装置生成的控制信号传输至磁悬浮轴承系统中的功率放大器，由功率放大器对控制信号进行放大处理，调整流经磁悬浮轴承系统中轴承线圈的电流，从而改变作用在转子上的磁力，调整转子的悬浮位置。

本发明公开的磁悬浮轴承系统的控制方法，在获取到转子的位移信号后，确定当前的位移信号中与转速同频的正弦分量，将该正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积作为补偿信号，对当前的位移信号进行补偿，以减小甚至抵消位移信号中的周期性干扰信号，从而减小控制信号的波动成分，提高转子的悬浮精度和稳定性。

本发明中的最优涡动分离加权系数以转子的悬浮精度为寻优目标经过自动寻优获得。确定最优涡动分离加权系数的操作可以在磁悬浮轴承系统首次运

行时执行，也可以周期性执行，例如每天或者每周执行一次。最优涡动分离加权系数可以通过多种方式确定，下面结合图 2 和图 3 进行说明。

参见图 2，图 2 为本发明中确定最优涡动分离加权系数的一种方法的流程图。其中，涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，该方法包括:

步骤 S21：确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度。

转子的悬浮精度表征了转子偏离中心位置的位移量，当转子的悬浮精度较高时，表示转子当前位置与其中心位置之间的距离较小，当转子的悬浮精度较低时，表示转子当前位置与其中心位置之间的距离较大。

步骤 S22：判断当前获取到的转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度，若是，则执行步骤 S23，否则，执行步骤 S24。

步骤 S23：利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，执行步骤 S21。

如果基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后，转子的悬浮精度高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度，就利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数。具体的：在涡动分离加权系数的初始值为 0 的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数具体是利用第一步长增大涡动分离加权系数；在涡动分离加权系数的初始值为 1 的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数具体是利用第一步长减小涡动分离加权系数。

实施中，第一步长可以为定值，也可以为变值。作为优选方案，第一步长位于 0.001 至 0.01 之间。

步骤 S24：将前一周期内的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

如果基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后，转子的悬浮精度低于前一周期内获取到的转子的悬浮精度，则说明进行最近一次调整之前的涡动分离加权系数是最优涡动分离加权系数，也就是前一周期内使用的涡动分离加权系数是最优涡动分离加权系数。

在本发明图 2 所示的方法中，涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，以第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，在每次调整涡动分离加权系数后，确定转子在基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度，并判断该悬浮精度是否高于转子在前一周期内的悬浮精度，直至转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

参见图 3，图 3 为本发明中确定最优涡动分离加权系数的另一种方法的流程图。其中，涡动分离加权系数的初始值为大于 0 小于 1 的第一数值，该方法包括:

步骤 S31：确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度。

步骤 S32：判断当前获取到的转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度，若是，则执行步骤 S33，否则，执行步骤 S34。

步骤 S33：利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，执行步骤 S31。

其中，利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数具体为：利用第二步长增大涡动分离加权系数，或者利用第二步长减小涡动分离加权系数。

在利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数后，确定基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度，如果该悬浮精度高于前一周期内转子的悬浮精度（也就是基于最近一次调整前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度），则继续利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系。

步骤 S34：将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权系数，将涡动分离加权系数调整为第二数值。

其中，第二数值位于第一数值的第二方向上。第二方向与第一方向相反，当第一方向为增大涡动分离加权系数时，第二方向为减小涡动分离加权系数，当第一方向为减小涡动分离加权系数时，第二方向为增大涡动分离加权系数。

在转子的悬浮精度低于前一周期内转子的悬浮精度时，表明前一周期内使用的涡动分离加权系数是涡动分离加权系数从初始值沿第一方向调整过程中的最优涡动分离加权系数，之后要将涡动分离加权系数调整为第二数值，以判断涡动分离加权系数从初始值沿第二方向调整过程中是否存在更优的数值。

步骤 S35：判断基于第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度是否低于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度，若是，则执行步骤 S36，否则，执行步骤 S37。

步骤 S36：确定第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数。

步骤 S37：利用第三步长沿第二方向调整涡动分离加权系数。

步骤 S38：判断基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度是否低于前一周期内的悬浮精度，若是，执行步骤 S39，否则，执行步骤 S37。

步骤 S39：将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

在将涡动分离加权系数调整为第二数值后，确定基于该第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度。在该悬浮精度低于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度时，确定第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数。在该悬浮精度高于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度时，利用第三步长沿第二方向调整涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数，也就是将最近一次调整前的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

实施中，第二步长和第三步长可以为定值，也可以为变值。作为优选方案，第二步长和第三步长位于 0.001 至 0.01 之间。

在本发明图 3 所示的方法中，涡动分离加权系数的初始值位于 0 至 1 之间，首先以第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，以确定第一涡动分离加权系数，该第一涡动分离加权系数是从初始值沿第一方向调整过程中的最优涡动

分离加权系数，之后将涡动分离加权系数调整为位于初始值的第二方向上的第二数值，在转子基于该第二数值进行补偿后的悬浮精度低于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度时，确定第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数，在转子基于该第二数值进行补偿后的悬浮精度高于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度时，以第三步长沿第二方向调整涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

实施中，可以采用变步长 LMS（最小均方）方法确定转子的位移信号中与转速同频的正弦分量，其原理如图 4 所示。

转子的位移信号中既包含周期性干扰信号，也包含随机振动信号（有用信号）。$e(k)$ 为转子的位移信号。参考输入 $x_1(k)$和 $x_2(k)$是与干扰信号同周期的标准正弦信号，两个信号相位相差 90° 。LMS 算法的目的是获得权向量 $w_1(k)$和 $w_2(k)$的值，使得组合后的输出信号 $y(k)$与原始位移信号 $e(k)$ 中的周期干扰信号相抵消，从而达到误差的均方值最小。输出信号 $y(k)$即为位移信号 $e(k)$ 中与转速同频的正弦分量，$y(k)=x_1(k)*w_1(k)+x_2(k)*w_2(k)$。LMS 算法在每个采样时间更改增益参数，在算法实现上比较容易。

权向量 $w_1(k)$和 $w_2(k)$迭代采用最速下降法搜索最优的权向量，使得均方误差达到最小，迭代公式为：

$$\begin{cases} w_1(k+1)=w_1(k)+2\mu e(k)x_1(k) \\ w_2(k+1)=w_2(k)+2\mu e(k)x_2(k) \end{cases}$$

其中，μ 为固定补偿因子。这种算法的关键在于 μ 的选取，μ 越大系统收敛的越快，但是自适应滤波器的带宽将变大，会对不需要补偿的信号产生影响，甚至被过滤掉，这样会对整个系统的稳定性产生影响，最终导致 LMS 算法的发散。另一方面 μ 取得过小时，系统收敛速度会变慢，但是性能会变好，μ 可通过如下公式进行调节：

$$\mu(k)=\frac{f\mu_1}{1+\alpha f\mu_1 e(k)}$$

其中，f 为转子的转动频率，α 为加权系数，目的是增加误差信号对可变步长的影响。

本发明公开的磁悬浮轴承系统的控制过程如图 5 所示。申请人依据本发明公开的控制方法对磁悬浮轴承系统施加控制之后，与现有控制方式相比，轴承线圈中励磁电流的波动减小约 55%，转子的悬浮精度提高约 30%，效果如图 6 所示。

本发明上述公开了磁悬浮轴承系统的控制方法，相应的，本发明还公开磁悬浮轴承系统的控制装置，以实现该控制方法。

参见图 7，图 7 为本发明公开的磁悬浮轴承系统的一种控制装置的结构示意图。该控制装置包括位移信号获取单元 1、正弦分量确定单元 2、补偿单元 3、控制单元 4 和加权系数确定单元 5。

其中：

位移信号获取单元 1，用于获取磁悬浮轴承系统中转子的位移信号。在磁悬浮轴承系统运行过程中，位移检测装置能够检测转子偏离于中心位置的位移，并输出位移信号，位移信号获取单元 1 从位移检测装置获取转子的位于信号。

正弦分量确定单元 2，用于确定位移信号获取单元 1 获取到的位移信号中与转速同频的正弦分量。

补偿单元 3，用于利用补偿信号对位移信号进行补偿，其中，补偿信号为正弦分量确定单元 2 确定的正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积。

控制单元 4，用于基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流。

加权系数确定单元 5，用于确定最优涡动分离加权系数。

本发明公开的磁悬浮轴承系统的控制装置，在获取到转子的位移信号后，

确定当前的位移信号中与转速同频的正弦分量，将该正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积作为补偿信号，对当前的位移信号进行补偿，以减小甚至抵消位移信号中的周期性干扰信号，从而减小控制信号的波动成分，提高转子的悬浮精度和稳定性。

最优涡动分离加权系数可以通过多种方式确定，相应的，加权系数确定单元 5 有不同结构。下面分别进行说明。

参见图 8，图 8 为本发明中加权系数确定单元的一种结构示意图。涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，该加权系数确定单元包括悬浮精度确定模块 501、第一判断模块 502、第一处理模块 503 和第二处理模块 504。

其中：

悬浮精度确定模块 501，用于确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度。

第一判断模块 502，用于判断当前获取到的转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度。

第一处理模块 503，用于在第一判断模块 502 的判断结果为是的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，之后触发悬浮精度确定模块 501。

在涡动分离加权系数的初始值为 0 的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数具体是利用第一步长增大涡动分离加权系数；在涡动分离加权系数的初始值为 1 的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数具体是利用第一步长减小涡动分离加权系数。实施中，第一步长可以为定值，也可以为变值。作为优选方案，第一步长位于 0.001 至 0.01 之间。

第二处理模块 504，用于在第一判断模块 502 的判断结果为否的情况下，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

本发明图 8 所示的加权系数确定单元，涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，以第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，在每次调整涡动分离加

权系数后，确定转子在基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度，并判断该悬浮精度是否高于转子在前一周期内的悬浮精度，直至转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

参见图 9，图 9 为本发明中加权系数确定单元的一种结构示意图。涡动分离加权系数的初始值为大于 0 且小于 1 的第一数值，该加权系数确定单元包括悬浮精度确定模块 511、第一判断模块 512、第三处理模块 513、第四处理模块 514、第二判断模块 515、第五处理模块 516 和第六处理模块 517。

其中：

悬浮精度确定模块 511，用于确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度。

第一判断模块 512，用于判断当前获取到的转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度。

第三处理模块 513，用于在第一判断模块 512 的判断结果为是的情况下，利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，之后触发悬浮精度确定模块 511。

第四处理模块 514，用于在第一判断模块 512 的判断结果为否的情况下，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权系数，将涡动分离加权系数调整至第二数值，第二数值位于第一数值的第二方向上，之后触发悬浮精度确定模块 511。第二方向与第一方向相反。

第二判断模块 515，用于判断基于第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度是否低于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度。

第五处理模块 516，用于在第二判断模块 515 的判断结果为是的情况下，确定第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数。

第六处理模块 517，用于在第二判断模块 515 的判断结果为否的情况下，

利用第三步长沿第二方向调整涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数具体为：利用第二步长增大涡动分离加权系数，或者利用第二步长减小涡动分离加权系数。第二方向与第一方向相反，当第一方向为增大涡动分离加权系数时，第二方向为减小涡动分离加权系数，当第一方向为减小涡动分离加权系数时，第二方向为增大涡动分离加权系数。实施中，第二步长和第三步长可以为定值，也可以为变值。作为优选方案，第二步长和第三步长位于 0.001 至 0.01 之间。

在本发明图 9 所示的加权系数确定单元，涡动分离加权系数的初始值位于 0 至 1 之间，首先以第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，以确定第一涡动分离加权系数，该第一涡动分离加权系数是从初始值沿第一方向调整过程中的最优涡动分离加权系数，之后将涡动分离加权系数调整为位于初始值的第二方向上的第二数值，在转子基于该第二数值进行补偿后的悬浮精度低于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度时，确定第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数，在转子基于该第二数值进行补偿后的悬浮精度高于基于第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度时，以第三步长沿第二方向调整涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

本发明还公开一种空调，包括磁悬浮压缩机，该磁悬浮压缩机包括磁悬浮轴承系统，其中磁悬浮轴承系统包括磁悬浮轴承、转子、功率放大器、位移检测装置和本发明上述公开的控制装置。本发明公开的空调，其磁悬浮轴承系统中的转子的悬浮精度和稳定性较高。

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅

仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言，由于其与实施例公开的方法相对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法部分说明即可。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种磁悬浮轴承系统的控制方法，其特征在于，所述控制方法包括:

获取所述磁悬浮轴承系统中转子的位移信号;

确定所述位移信号中与转速同频的正弦分量;

利用补偿信号对所述位移信号进行补偿，所述补偿信号为所述正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积;

基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经所述磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流。

2、根据权利要求 1 所述的控制方法，其特征在于，涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，确定最优涡动分离加权系数的操作，包括:

确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

若是，则利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，返回执行确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度的步骤;

若否，则将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

3、根据权利要求 2 所述的控制方法，其特征在于，所述第一步长位于 0.001 至 0.01 之间。

4、根据权利要求 1 所述的控制方法，其特征在于，涡动分离加权系数的初始值为大于 0 且小于 1 的第一数值，确定最优涡动分离加权系数的操作，包括:

确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

若是，则利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，返回执行确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度的步骤;

若否，则将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权

系数，将所述涡动分离加权系数调整至第二数值，所述第二数值位于所述第一数值的第二方向上，判断基于第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度是否低于基于所述第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度，若是，则确定所述第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数，否则，利用第三步长沿所述第二方向调整所述涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

5、根据权利要求 4 所述的控制方法，其特征在于，所述第二步长和所述第三步长位于 0.001 至 0.01 之间。

6、一种磁悬浮轴承系统的控制装置，其特征在于，包括:

位移信号获取单元，用于获取所述磁悬浮轴承系统中转子的位移信号;

正弦分量确定单元，用于确定所述位移信号获取单元获取到的位移信号中与转速同频的正弦分量;

补偿单元，用于利用补偿信号对所述位移信号进行补偿，所述补偿信号为所述正弦分量与最优涡动分离加权系数的乘积;

控制单元，用于基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经所述磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流;

加权系数确定单元，用于确定最优涡动分离加权系数。

7、根据权利要求 6 所述的控制装置，其特征在于，涡动分离加权系数的初始值为 0 或 1，所述加权系数确定单元包括:

悬浮精度确定模块，用于确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

第一判断模块，用于判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

第一处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为是的情况下，利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数，之后触发所述悬浮精度确定模块;

第二处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为否的情况下，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

8、根据权利要求 6 所述的控制装置，其特征在于，涡动分离加权系数的初始值为大于 0 且小于 1 的第一数值，所述加权系数确定单元包括:

悬浮精度确定模块，用于确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度;

第一判断模块，用于判断当前获取到的所述转子的悬浮精度是否高于前一周期内获取到的所述转子的悬浮精度;

第三处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为是的情况下，利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数，之后触发所述悬浮精度确定模块;

第四处理模块，用于在所述第一判断模块的判断结果为否的情况下，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权系数，将涡动分离加权系数调整至第二数值，所述第二数值位于所述第一数值的第二方向上，之后触发所述悬浮精度确定模块;

第二判断模块，用于判断基于第二数值的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度是否低于基于所述第一涡动分离加权系数进行补偿后的悬浮精度;

第五处理模块，用于在所述第二判断模块的判断结果为是的情况下，确定所述第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数;

第六处理模块，用于在所述第二判断模块的判断结果为否的情况下，利用第三步长沿所述第二方向调整所述涡动分离加权系数，直至基于调整后的涡动分离加权系数进行补偿后所述转子的悬浮精度低于前一周期内的悬浮精度，将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数。

9、一种空调，包括磁悬浮压缩机，所述磁悬浮压缩机包括磁悬浮轴承系统，其特征在于，所述磁悬浮轴承系统包括：磁悬浮轴承、转子、功率放大器、位移检测装置和如权利要求 6、7 或 8 所述的控制装置。

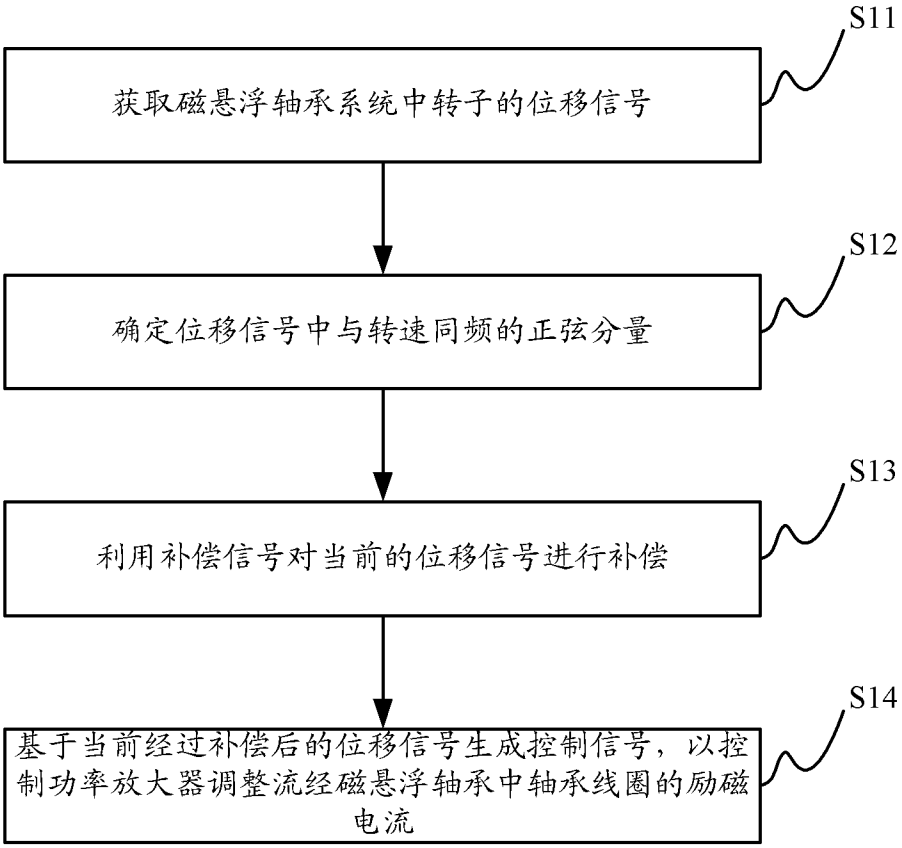

S11
获取磁悬浮轴承系统中转子的位移信号
S12
确定位移信号中与转速同频的正弦分量
S13
利用补偿信号对当前的位移信号进行补偿
S14
基于当前经过补偿后的位移信号生成控制信号，以控制功率放大器调整流经磁悬浮轴承中轴承线圈的励磁电流

图 1

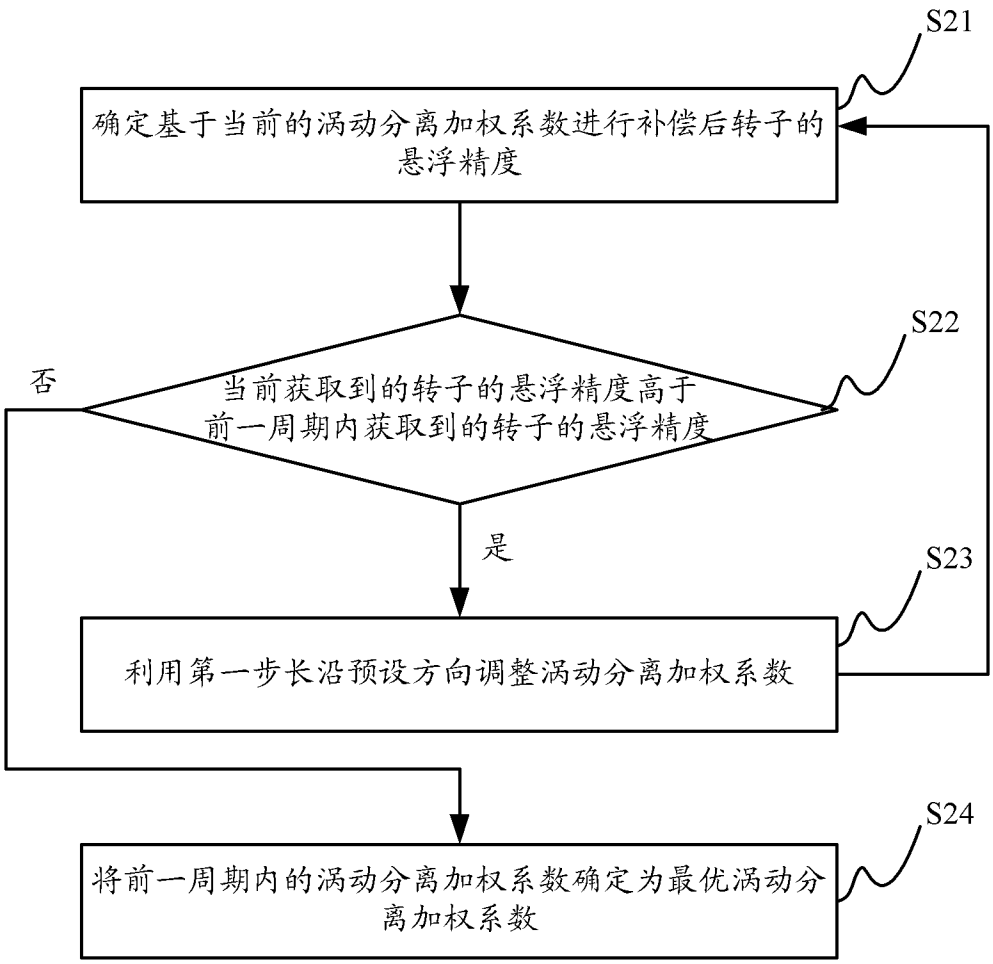

S21
确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度
S22
当前获取到的转子的悬浮精度高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度
否
是
S23
利用第一步长沿预设方向调整涡动分离加权系数
S24
将前一周期内的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数

图 2

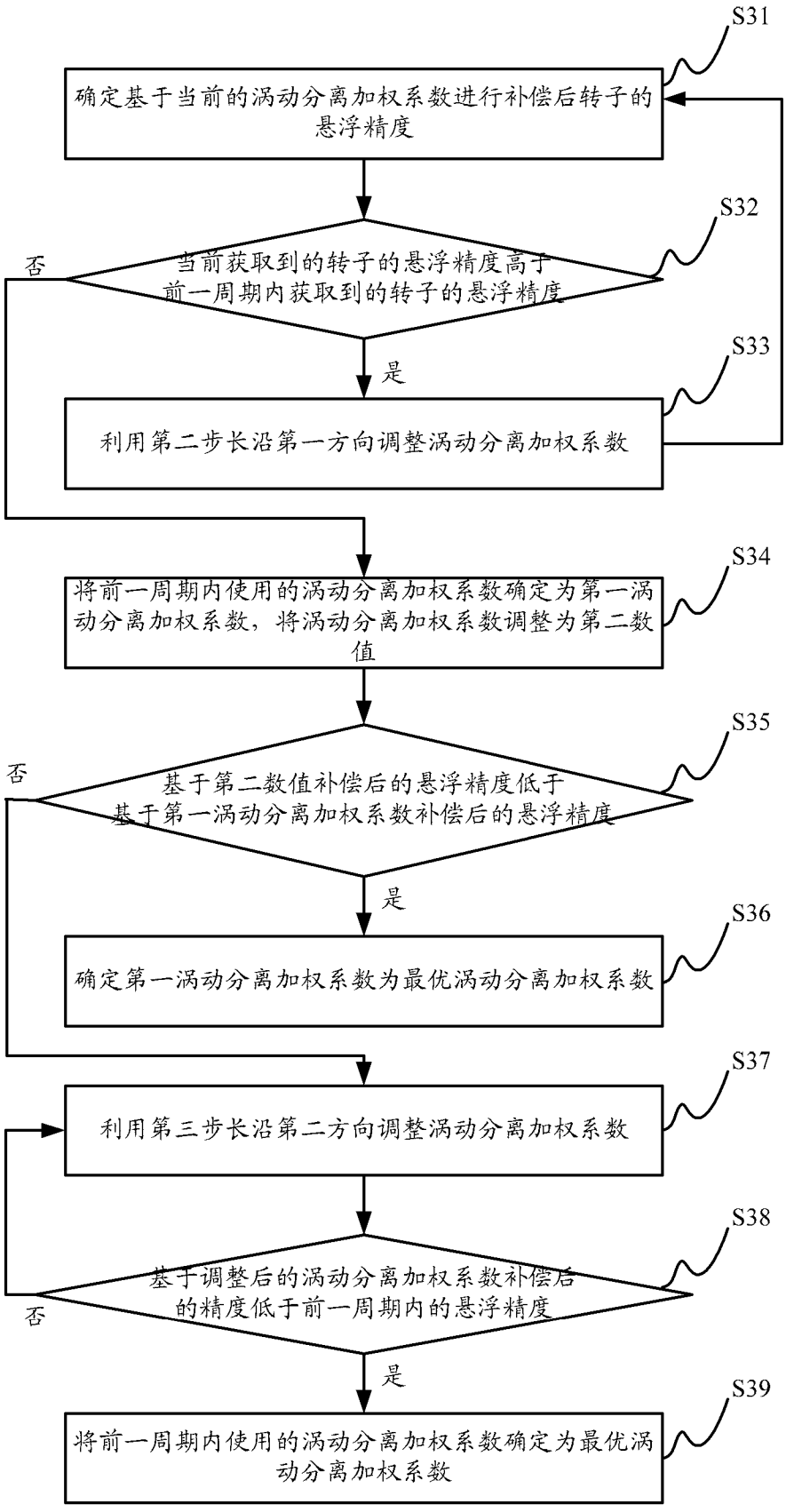

S31
确定基于当前的涡动分离加权系数进行补偿后转子的悬浮精度
S32
当前获取到的转子的悬浮精度高于前一周期内获取到的转子的悬浮精度
否
是
S33
利用第二步长沿第一方向调整涡动分离加权系数
S34
将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为第一涡动分离加权系数，将涡动分离加权系数调整为第二数值
S35
基于第二数值补偿后的悬浮精度低于基于第一涡动分离加权系数补偿后的悬浮精度
否
是
S36
确定第一涡动分离加权系数为最优涡动分离加权系数
S37
利用第三步长沿第二方向调整涡动分离加权系数
S38
基于调整后的涡动分离加权系数补偿后的精度低于前一周期内的悬浮精度
否
是
S39
将前一周期内使用的涡动分离加权系数确定为最优涡动分离加权系数

图 3

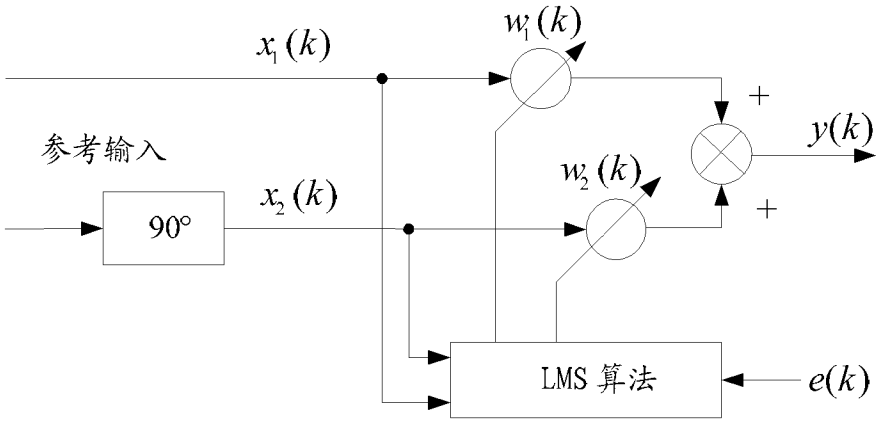

$x_1(k)$
$w_1(k)$
参考输入
90°
$x_2(k)$
$w_2(k)$
+
+
$y(k)$
LMS 算法
$e(k)$

图 4

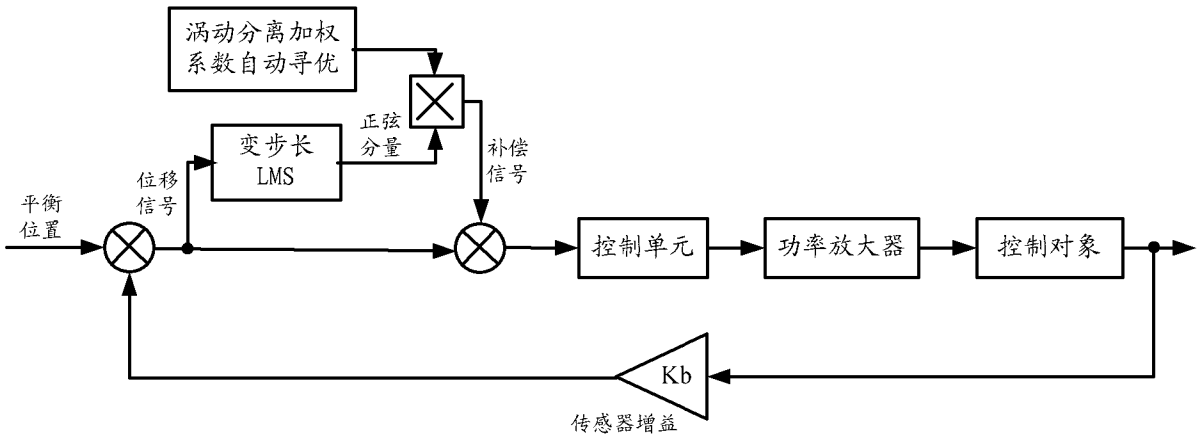

涡动分离加权
系数自动寻优
正弦
分量
变步长
LMS
补偿
信号
位移
信号
平衡
位置
控制单元
功率放大器
控制对象
Kb
传感器增益

图 5

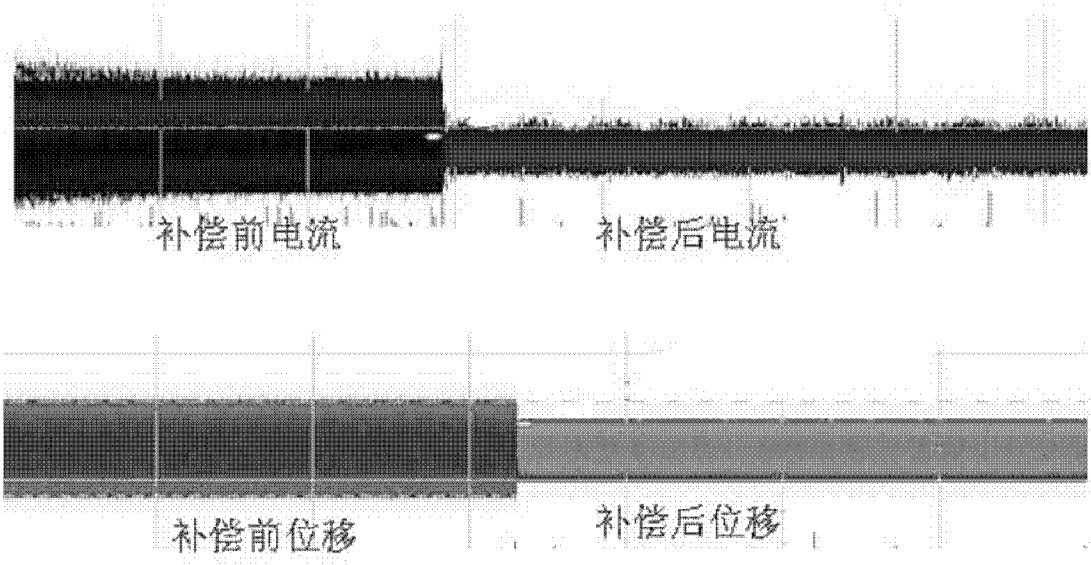

补偿前电流
补偿后电流
补偿前位移
补偿后位移

图 6

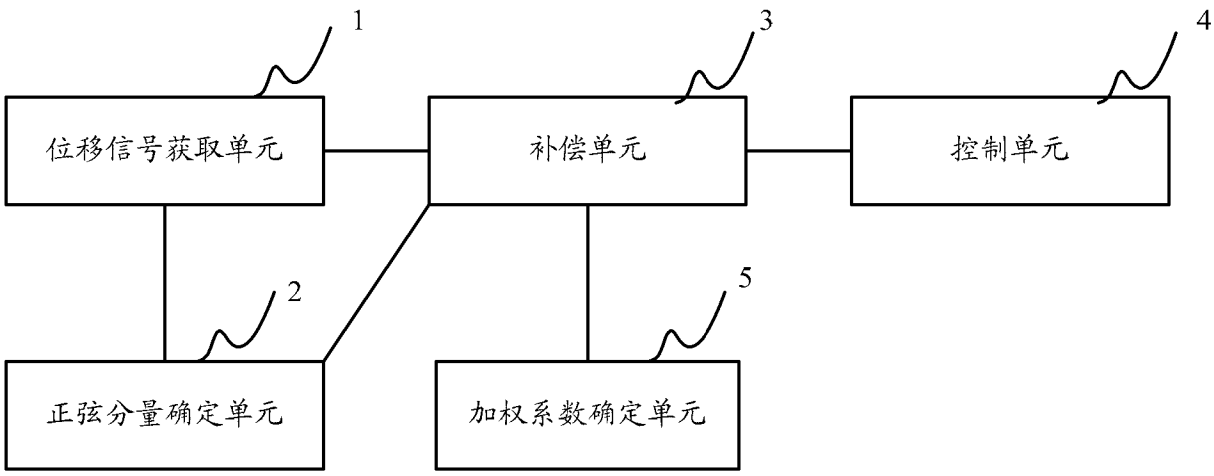

1
3
4
位移信号获取单元
补偿单元
控制单元
2
5
正弦分量确定单元
加权系数确定单元

图 7

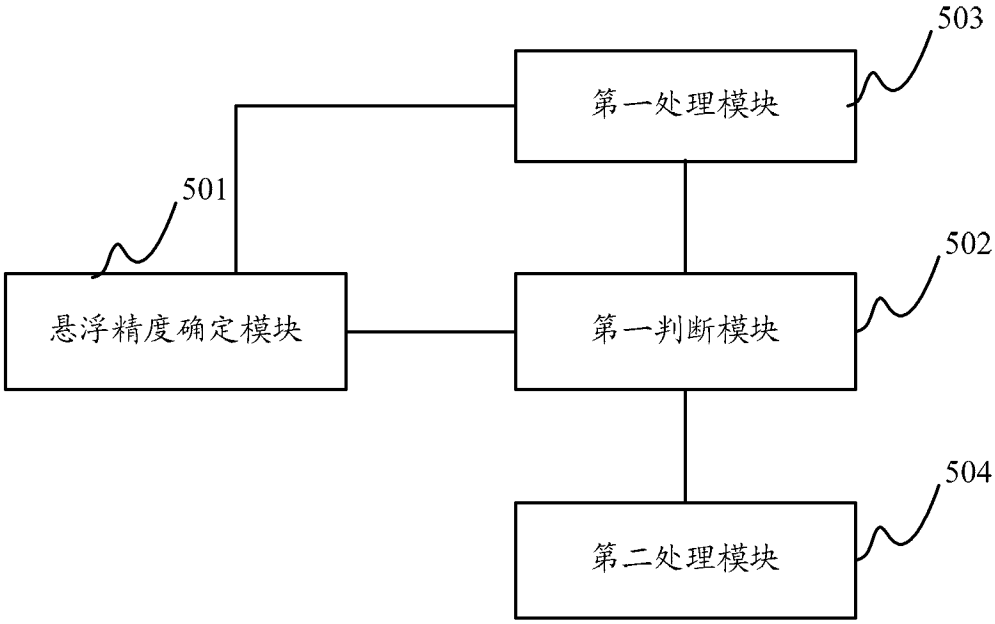


图 8

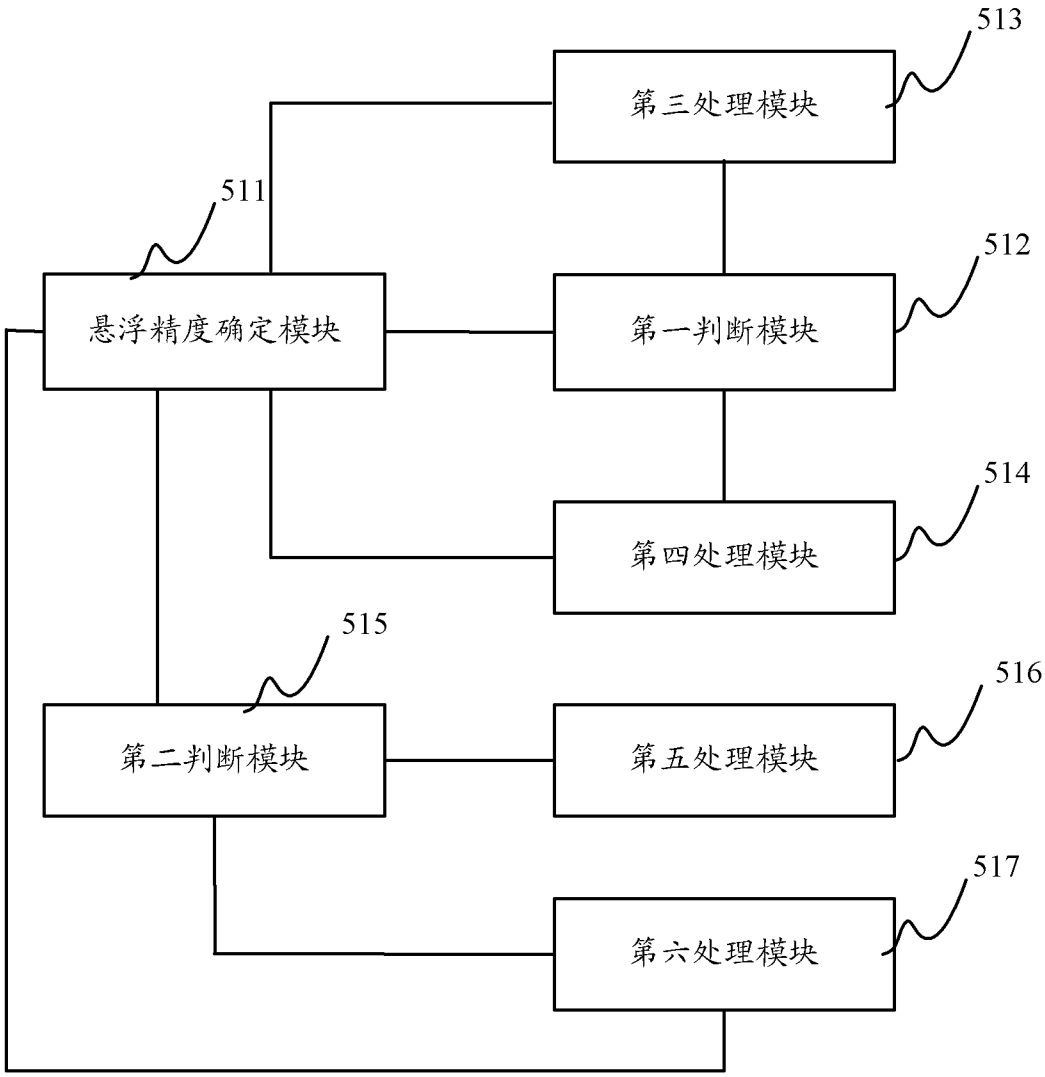

513
第三处理模块
511
512
悬浮精度确定模块
第一判断模块
514
第四处理模块
515
516
第二判断模块
第五处理模块
517
第六处理模块

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/078539

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N 15/00 (2006.01) i; F16C 39/06 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02N, F16C, F25B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; SIPOABS; DWPI; USTXT; CNKI: suspend, Gree, magnetic w levitation, magnetic w suspension, maglev, bearing, shaft, control+, adjust, displacement, shift+, offset, vibrat+, sine, sin, cosine, cos, compensat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5400256 A (DRAPER LAB CHARLES S), 21 March 1995 (21.03.1995), description, column 5, line 31 to column 6, line 39, and figures 1-5	1-9
A	CN 1928489 A (WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 14 March 2007 (14.03.2007), the whole document	1-9
A	US 2013251502 A1 (WORLD HEART CORP.), 26 September 2013 (26.09.2013), the whole document	1-9
A	JP 4232573 B2 (SHIMADZU CORP.), 04 March 2009 (04.03.2009), the whole document	1-9
A	CN 101488031 A (BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 22 July 2009 (22.07.2009), the whole document	1-9
A	CN 102664566 A (UNIVERSITY OF JINAN), 12 September 2012 (12.09.2012), the whole document	1-9
A	CN 103671223 A (NANJING JIUSHUN MAGNETIC LEVITATION TECHNOLOGY CO., LTD.), 26 March 2014 (26.03.2014), the whole document	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 July 2015 (16.07.2015)	**14 August 2015 (14.08.2015)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **ZHANG, Rentian** Telephone No.: (86-10) **62085297**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/078539

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 5400256 A	21 March 1995	None	
CN 928489 A	14 March 2007	CN 100437018 C	26 November 2008
US 2013251502 A1	26 September 2013	WO 2013142121 A1	26 September 2013
JP 4232573 B2	04 March 2009	JP 2005061573 A	10 March 2005
CN 101488031 A	22 July 2009	CN 101488031 B	02 February 2011
CN 102664566 A	12 September 2012	CN 102664566 B	16 July 2014
CN 103671223 A	26 March 2014	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2015/078539

A. 主题的分类

H02N 15/00(2006.01)i；F16C 39/06(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02N,F16C,F25B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNABS;CNTXT;SIPOABS;DWPI;USTXT;CNKI:格力，悬浮，磁悬浮，磁浮，轴，轴承，控制，调节，调整，位移，偏移，振动，正弦，余弦，补偿,Gree,magnetic w levitation,magnetic w suspension,maglev,bearing,shaft,control+,adjust,displacement,shift+,offset,vibrat+,sine,sin,cosine,cos,compensat+

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 5400256 A (DRAPER LAB CHARLES S) 1995年 3月 21日 (1995-03-21) 说明书第5栏第31行至第第6栏第39行，附图1-5	1-9
A	CN 1928489 A (武汉理工大学) 2007年 3月 14日 (2007-03-14) 全文	1-9
A	US 2013251502 A1 (WORLD HEART CORP) 2013年 9月 26日 (2013-09-26) 全文	1-9
A	JP 4232573 B2 (SHIMADZU CORP) 2009年 3月 4日 (2009-03-04) 全文	1-9
A	CN 101488031 A (北京航空航天大学) 2009年 7月 22日 (2009-07-22) 全文	1-9
A	CN 102664566 A (济南大学) 2012年 9月 12日 (2012-09-12) 全文	1-9
A	CN 103671223 A (南京九舜磁悬浮科技有限公司) 2014年 3月 26日 (2014-03-26) 全文	1-9

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2015年 7月 16日	2015年 8月 14日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国 传真号 (86-10)62019451	张人天 电话号码 (86-10)62085297

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2009年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2015/078539

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	5400256	A	1995年 3月 21日		无		
CN	1928489	A	2007年 3月 14日	CN	100437018	C	2008年 11月 26日
US	2013251502	A1	2013年 9月 26日	WO	2013142121	A1	2013年 9月 26日
JP	4232573	B2	2009年 3月 4日	JP	2005061573	A	2005年 3月 10日
CN	101488031	A	2009年 7月 22日	CN	101488031	B	2011年 2月 2日
CN	102664566	A	2012年 9月 12日	CN	102664566	B	2014年 7月 16日
CN	103671223	A	2014年 3月 26日		无		