

(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
2021 年 9 月 30 日 (30.09.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/189595 A1

(51) 国际专利分类号:
H02K 49/10 (2006.01)

华 (JI, Jinghua); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/087571

(22) 国际申请日: 2020 年 4 月 28 日 (28.04.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010208697.7 2020年3月23日 (23.03.2020) CN

(71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。

(72) 发明人: 赵文祥 (ZHAO, Wenxiang); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。
凌志健 (LING, Zhijian); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 吉敬

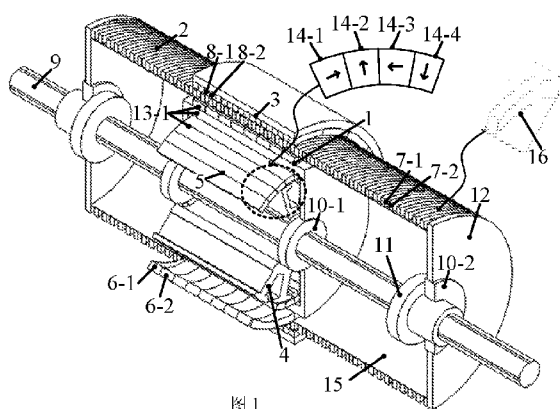
(74) 代理人: 南京智造力知识产权代理有限公司 (NANJING IPZHI INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国江苏省南京市江宁区芝兰路18号4幢1202室, Jiangsu 211100 (CN)。

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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,

(54) **Title:** MULTI-DEGREE-OF-FREEDOM MAGNETIC FIELD MODULATION-TYPE MAGNETIC SCREW ACTUATOR AND INTEGRATED DESIGN METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器及其集成设计方法



(57) **Abstract:** A multi-degree-of-freedom magnetic field modulation-type magnetic screw actuator and an integrated design method therefor. The multi-degree-of-freedom magnetic field modulation-type magnetic screw actuator comprises a spiral magnetic stator (3), a rotor spiral iron ring (2), a spiral magnetic rotor (1), and a rotating electric machine (4), wherein the four are coaxially placed. According to the characteristics of the spiral structure, the number of magnetic pole pairs between the spiral magnetic rotor (1), the rotor spiral iron ring (2), and the spiral magnetic stator (3) not only comply with a modulation mechanism in the linear direction, but also comply with the modulation mechanism in the circumferential direction. Under the premise of ensuring reliability and being economical, the problems of single degree of freedom of operation, single magnetic field modulation, short movement strokes, and low utilization rate of permanent magnets of existing magnetic screw linear actuators are solved, and the force and energy density of the multi-degree-of-freedom actuator are significantly increased.



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, 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))。

(57) 摘要：一种多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器及其集成设计方法，包括螺旋磁定子(3)、动子螺旋铁环(2)、螺旋磁转子(1)、旋转电机(4)，四者同轴放置；依据螺旋结构的特性，使得螺旋磁转子(1)、动子螺旋铁环(2)、螺旋磁定子(3)之间的磁极对数不仅满足直线方向的调制机理，又满足圆周方向的调制机理，在保证可靠性和经济性的前提下，解决了现有磁力丝杠直线作动器运行自由度单一、磁场调制单一、运动行程短，永磁体利用率低的问题，并且显著提升了多自由度作动器的力能密度。

一种多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器及其集成设计方法

技术领域

本发明涉及到多自由度的磁场调制式磁力丝杠及其一体化设计方法，特别设计到螺旋磁力传动和磁场调制技术，以及一体化集成设计方法，适用于多自由度复合运动，属于新型多自由度磁力作动器设计制造的技术领域。

背景技术

多自由度作动器具有多维运动、维护简单等特点，在工业驱动领域诸如机器人、医疗设备、航空航天等领域具有很强的应用前景。单自由度作动器只能实现单一方向的运动，为了获得直线-旋转多自由度运动，可以采用直线作动器和旋转作动器机械组合得到，通过中间传动机构输出多自由度运动。但是，组合式作动器结构复杂、体积重量大、运行效率低、运行精度差。

采用直线-旋转永磁电机，通过将定子绕组和转子永磁体之间的相互作用，通过控制电流相序，产生旋转磁场和行波磁场，从而驱动转子实现旋转和直线多自由度运行。然而，该结构存在力能密度低，长行程时永磁体用量多、成本高，应用面受到了极大的限制。

文献 Analysis of a magnetic screw for high force density linear electromagnetic actuators IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 47(10): 4477-4480, 2011 介绍了一种表贴式磁力丝杠，将径向充磁的螺旋形永磁体 N、S 极交替的表贴在电工铁棒上。相比于其他的直线驱动器，虽然这种结构可以极大的提升推力密度，增加气隙磁感应强度，但所介绍的磁力丝杠的磁场调制单一，直线运动行程短，若要增加行程，只有增加永磁体的用量。随着永磁材料的价格不断上涨，从而限制了磁力丝杠的应用进展。

中国发明专利申请号 201610821273.1 公开了一种磁场调制式磁力丝杠，实则是一种满足单一直线磁场调制的磁齿轮结构，转子永磁体以 N、S 极螺旋交替分布，在直线方向的极对数为 p_r ；动子由螺旋形电工铁环构成，在直线方向的极对数为 n_t ；定子永磁体以 N、S 极螺旋交替分布，在直线方向的极对数为 p_s ；并且满足 $p_s = n_t - p_r$ 的直线磁场调制关系。在该结构中动子仅能实现直线往复运动，限制了其多自由度的应用背景。文献 Designing and experimentally testing a magnetically geared lead screw, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 54(6): 5736-5747, 2018，设计并制造了一台理论样机，实验验

证直线运动磁场调制效应。

中国发明专利申请号 201610821273.1 公开了一种多定子单元的直线旋转永磁电机，通过控制电流相序，产生旋转磁场和行波磁场，从而驱动动子实现多自由度运行。但是相比与永磁磁力传动，该结构推力密度、转矩密度不足。

发明内容

本发明的目的是为了克服现有技术的缺陷，提出了一种多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器及其集成设计方法，在保证可靠性和经济性的前提下，解决了现有磁力丝杠运行自由度单一，运动行程短，永磁体利用率低的问题，并且显著提升了现有直线-旋转永磁作动器的力能密度。

具体地说，本发明的多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器是采取以下的技术方案来实现的：一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器，由外向内依次包括螺旋磁定子（3）、动子螺旋铁环（2）、螺旋磁转子（1）、旋转电机（4），四者同轴放置；其中，所述螺旋磁定子（3）和动子螺旋铁环（2）之间有气隙、所述动子螺旋铁环（2）和螺旋磁转子（1）之间有气隙；所述旋转电机（4）的旋转电机转子（5）和螺旋磁转子（1）中间无气隙；气隙厚度根据要求选取；

所述螺旋磁定子（3）由交替设置的两块充磁方向相反的螺旋形永磁体 C（8-1）、永磁体 D（8-2）组成，其中一个充磁方向为径向向内，另一个径向向外；永磁体 C（8-1）和永磁体 D（8-2）的导程为 λ ，则单块永磁体的轴向长度为 $l_s = \lambda / (2 \cdot p_s)$ ，其中 p_s 为螺旋磁定子永磁体在一个导程 λ 内的极对数，同理基于永磁体的螺旋效应，单块永磁体的径向弧度为 $\alpha_s = 2\pi / (2 \cdot p_s)$ ；

所述动子螺旋铁环（2）由螺旋导磁电工铁环 A（7-1）和螺旋非导磁材料 B（7-2）交替排列，表贴在不锈钢套筒（15）的外表面上，其螺旋铁环的导程为 λ ，导程 λ 与永磁体 C（8-1）、永磁体 D（8-2）的导程一致，则单个螺旋导磁电工铁环的轴向长度为 $l_t = \lambda / (2 \cdot n_t)$ ，其中 n_t 为螺旋铁环在一个导程 λ 内的极对数，同理基于螺旋铁环的螺旋效应，单个电工铁材料径向弧度为 $\alpha_t = 2\pi / (2 \cdot n_t)$ ；

所述螺旋磁转子（1）由交替设置的两块充磁方向相反的螺旋形永磁体 A（6-1）、永磁体 B（6-2）组成，其中一个充磁方向为径向向内，另一个径向向外；永磁体 A（6-1）和永磁体 B（6-2）的导程为 λ ，导程 λ 与永磁体 C（8-1）、永磁体 D（8-2）的导程一致，则单块永磁体的轴向长度为 $l_r = \lambda / (2 \cdot p_r)$ ，其中 p_r 为转子螺旋永磁体在一个导程 λ 内的极对数；同理基于永磁体的螺旋效应，单块永磁体的径向弧度为 $\alpha_r = 2\pi / (2 \cdot p_r)$ ；

上述螺旋磁转子(1)、螺旋磁定子(3)和动子螺旋铁环(2)的螺旋导程一定要保持相同,均为导程为 λ ,则螺旋磁转子(1)的极对数 p_r 、螺旋磁定子(3)的极对数 p_s ,和动子螺旋铁环(2)的极对数 n_l ,不仅满足 $p_s=n_l p_r$ 的轴向直线磁场调制关系,而且也满足 $p_s=n_l p_r$ 的径向旋转磁场调制关系。

进一步,螺旋磁转子(1)和螺旋磁定子(3)的轴向长度保持一致,最大限度的提升永磁体的利用率。所述动子螺旋铁环(2),其轴向长度比螺旋磁转子(1)和螺旋磁定子(3)要长,具体长度根据行程需求确定。

进一步,旋转电机(4)由旋转电机转子(5)和旋转电机定子组成;所述旋转电机(4)的旋转电机转子(5)与螺旋磁转子(1)集成形成复合转子(13-1),为了避免复合转子(13-1)中的旋转电机转子(5)与螺旋磁转子(1)之间的磁场耦合,旋转电机转子(5)由永磁体E(14-1)、永磁体F(14-2)、永磁体G(14-3)、永磁体H(14-4)排列组成,其中永磁体F(14-2)的充磁方向为径向向外,永磁体H(14-4)的充磁方向为径向向内,永磁体E(14-1)和永磁体G(14-3)的为轴向充磁,充磁方向指向永磁体F(14-2),形成聚磁式结构。

进一步,所述旋转电机(4)的旋转电机转子(5)与螺旋磁转子(1)集成形成复合转子(13-1),复合转子(13-1)的旋转轴承(10-1)固定在基轴(9)上,旋转电机(4)的旋转电机定子固定在基轴(9)上。

进一步,动子螺旋铁环(2)安装在螺旋磁转子(1)和螺旋磁定子(3)之间,动子螺旋铁环(2)两端安装有端盖(12),并在端盖(12)上预留有旋转轴承安装口,旋转轴承安装口处设置有旋转轴承(10-2);为了实现所述动子螺旋铁环(2)的螺旋运动、直线运动、旋转运动,在基轴(9)上配置有花键槽(9-1),在基轴(9)上还安装有直线花键套(11)实现直线运动,并在花键套(11)上安装有旋转轴承(10-2),两者配合实现螺旋运动和旋转运动。

进一步,所述动子螺旋铁环(2),螺旋导磁电工铁环A(7-1)和螺旋非导磁材料B(7-2)交替排列构成,螺旋导磁电工铁环A(7-1)由分段电工铁环16沿圆周方向依次交替表贴在不锈钢套筒15的外表面上,形成螺旋导磁电工铁环A(7-1)。

一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器的集成设计方法,包括如下步骤:

步骤1,确保螺旋形永磁体A(6-1)和螺旋形永磁体B(6-2)的螺旋导程 λ ,与螺旋导磁电工铁环A(7-1)和螺旋非导磁材料B(7-2)的螺旋导程 λ ,以及螺旋形永磁体C(8-1)和螺旋形永磁体D(8-2)的螺旋导程 λ ,三者螺旋导程 λ 长度保持一致;

步骤2,在满足螺旋导程 λ 长度一致的情况下,通过调整磁体的轴向长度 l , $l=\lambda/(\text{极对数} \times 2)$,来确定螺旋磁转子(1)的极对数 p_r 、动子螺旋铁环(2)的极对数 n_l 、和螺旋磁定子3的极

对数 p_s ，从而满足直线方向的气隙磁场调制机理；

步骤3，在满足直线方向气隙磁场调制机理的情况下，对螺旋磁转子(1)、动子螺旋铁环(2)、和螺旋磁定子(3)的圆周方向进行剖视，通过圆周弧度 α ， $\alpha=2\pi/(\text{极对数} \times 2)$ ，来验证螺旋磁转子(1)的极对数 p_r 、动子螺旋铁环(2)的极对数 n_l 、和螺旋磁定子(3)的极对数 p_s ，由于确保了螺旋导程长度的一致，圆周方向的极对数和直线方向的极对数保持一致，从而既满足直线方向的调制机理，又满足圆周方向的调制机理；

步骤4，在确定各个部件的极对数的情况下，对三维螺旋磁场，以及其磁场调制效果进行验证，螺旋磁转子(1)的极对数为 p_r ，在直线方向和圆周方向，其直线方向气隙磁密和圆周方向气隙磁密分布均为 p_r 对磁极分布；

步骤5，在螺旋磁转子(1)的三维螺旋磁场中，引入 n_l 极对数的动子螺旋铁环(2)后，由于螺旋导磁电工铁环A(7-1)和螺旋非导磁材料B(7-2)构成，存在 n_l 极对数的直线分量和圆周分量的气隙磁导分布，分别在直线方向和圆周方向调制出 $n_l \pm p_r$ 次磁场分布，从而确定螺旋磁定子(3)的极对数为 $n_l p_r$ 为合适的取值；

步骤6，通过对调制前后的圆周方向和直线方向的气隙磁密进行傅里叶谐波分析，验证上述调制原则的可行性，并验证转矩与推力之间的关系。

本发明具有以下收益效果：

1、本发明中动子螺旋铁环位于螺旋磁转子和螺旋磁定子之间，通过螺旋磁转子的旋转，形成三维螺旋旋转磁场，进而驱动螺旋动子铁环实现直线、旋转和螺进运动；

2、本发明在实现多自由度运行的同时，显著提升了推力密度和转矩密度，并且在长行程领域显著减少了永磁体的用量，降低了材料成本；

3、本发明获得了合适的磁场调制比值的设计方法，增加螺旋永磁体利用率，进而得到最大的推力密度和转矩密度；

4、本发明将外转子旋转电机与多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器集成设计，并采用花键直线轴承和旋转轴承叠加的方法，实现了摩擦力最小的螺旋轴承设计，并且通过开通关断旋转、直线轴承，分别实现直线、旋转的单一自由度运动。

综上，本发明的多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器，由三维螺旋磁场旋转运动，不仅满足轴向直线方向的磁场调制，也满足径向圆周方向的磁场调制，驱动螺旋动子铁环实现多自由度运动，与传统旋转-直线永磁作动器相比，可以显著提升推力、转矩密度；并且相比与传统的磁力传动作动器，采用该结构的螺旋磁场调制，在保证高力能密度传输的同时，进一步提高永磁体的利用率，并且在长行程直线应用领域，显著减少永磁材料的消耗，降低材料成本。

附图说明

图1为本发明第一实施例作动器的结构示意图；

图2为本发明结构轴向、径向剖视图；

图3为本发明螺旋转子永磁体螺旋示意图；

图4为本发明螺旋定子永磁体螺旋示意图；

图5为本发明螺旋动子铁环螺旋示意图；

图6为本发明螺旋转子三维螺旋磁场示意图；

图7为本发明螺旋转子被螺旋动子铁环调制后的磁场示意图；

图8为本发明气隙磁密谐波频谱分析图；(a)为磁密圆周分量；(b)为磁密直线分量；

图9为各部件转矩和推力波形示意图；(a)为转矩波形；(b)为推力波形；

图10为螺旋动子铁环的拼装示意图；

图中：1、螺旋磁转子，2、动子螺旋铁环，3、螺旋磁定子，4、旋转电机，5、旋转电机转子，6-1、永磁体A，6-2、永磁体B，7-1、螺旋导磁电工铁环A，7-2、螺旋非导磁材料B，8-1、永磁体C，8-2、永磁体D，9、基轴，10-1、内转子旋转轴承，10-2、动子螺旋铁环旋转轴承，11、花键套，12、端盖，13-1、复合转子，14、旋转电机转子永磁体，15、不锈钢套筒，16、分段电工铁环。

具体实施方式

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。在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”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，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中，除非另有说明“多个”的含义是两个或两个以上。

如图1所示，本发明公开了一种多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器及其集成设计的方法，螺旋磁转子1，由螺旋形永磁体A6-1和螺旋形永磁体B6-2构成，所述螺旋形永磁体A6-1充磁方向径向向外、螺旋形永磁体B6-2充磁方向径向向内，两者交替的表贴在电工铁环外

表面上;

动子螺旋铁环2, 由螺旋导磁电工铁环A7-1和螺旋非导磁材料B7-2构成, 所述螺旋导磁电工铁环A7-1和螺旋非导磁材料B7-2, 依次交替排布, 在动子螺旋铁环2的两端, 安装有端盖12, 并在端盖12上, 预留有轴承安装孔, 将旋转轴承10-2安装在预留孔内, 并将旋转轴承10-2固定在直线花键套11上, 直线花键套11与基轴9上的花键槽9-1配合, 实现直线运动;

螺旋磁定子3, 由永磁体C8-1和永磁体D8-2, 所述永磁体C8-1充磁方向径向向外、永磁体D8-2充磁方向径向向内, 两者交替的表贴在电工铁环内表面上;

外转子旋转电机, 由内定子4和旋转电机转子5构成; 旋转电机转子5和螺旋磁转子1集成, 形成复合集成转子13-1, 复合集成转子13-1的两端端盖上, 预留有旋转轴承10-1的安装孔, 并将旋转轴承10-1固定在基轴9上, 实现旋转运动;

获得多自由度磁场调制效应的磁力丝杠设计方法包括如下步骤:

步骤1, 确保螺旋形永磁体A6-1和螺旋形永磁体B6-2的螺旋导程 λ , 与螺旋导磁电工铁环A7-1和螺旋非导磁材料B7-2的螺旋导程 λ , 以及螺旋形永磁体C8-1和螺旋形永磁体D8-2的螺旋导程 λ , 三者螺旋导程 λ 长度保持一致;

步骤2, 在满足螺旋导程 λ 长度一致的情况下, 通过调整磁体的轴向长度 l , $l=\lambda/(\text{极对数} \times 2)$, 来确定螺旋磁转子1的极对数 p_r 、动子螺旋铁环2的极对数 n_t 、和螺旋磁定子3的极对数 p_s , 从而满足直线方向的气隙磁场调制机理;

步骤3, 在满足直线方向气隙磁场调制机理的情况下, 对螺旋磁转子1、动子螺旋铁环2、和螺旋磁定子3的圆周方向进行剖视, 通过圆周弧度 α , $\alpha=2\pi/(\text{极对数} \times 2)$, 来验证螺旋磁转子1的极对数 p_r 、动子螺旋铁环2的极对数 n_t 、和螺旋磁定子3的极对数 p_s , 由于确保了螺旋导程长度的一致, 圆周方向的极对数和直线方向的极对数保持一致, 从而既满足直线方向的调制机理, 又满足圆周方向的调制机理;

步骤4, 在确定各个部件的极对数的情况下, 对三维螺旋磁场, 以及其磁场调制效果进行验证, 螺旋磁转子1的极对数为 p_r , 在直线方向和圆周方向, 其直线方向气隙磁密和圆周方向气隙磁密分布均为 p_r 对磁极分布;

步骤5, 在螺旋磁转子1的三维螺旋磁场中, 引入 n_t 极对数的动子螺旋铁环2后, 由于螺旋导磁电工铁环A7-1和螺旋非导磁材料B7-2构成, 存在 n_t 极对数的直线分量和圆周分量的气隙磁导分布, 分别在直线方向和圆周方向调制出 $n_t \pm p_r$ 次磁场分布, 从而确定螺旋磁定子3的极对数为 $n_t - p_r$ 为合适的取值;

步骤6, 通过对调制前后的圆周方向和直线方向的气隙磁密进行傅里叶谐波分析, 验证上述调制原则的可行性, 并验证转矩与推力之间的关系。

实施例1

为了清楚阐述本发明的具体实施方式，下面将结合附图中的多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器对本发明加以说明。如图1所示，可以看到，螺旋磁转子1、动子螺旋铁环2、螺旋磁定子3、外转子旋转电机同轴放置，动子螺旋铁环2放置在螺旋磁转子1和螺旋磁定子3之间，并且之间存在气隙。螺旋磁转子1与旋转电机转子5采用集成设计，中间无气隙，从而螺旋磁转子1实现旋转运动。螺旋磁定子3保持固定不动，依据螺旋磁场调制原理，实现螺旋动子铁环2的多自由度运动。

如图2所示，可以看到，本发明提出的磁场调制型磁力丝杠从不同的视角方向的视图。根据视角方向1的侧视图，所提出的磁场调制式磁力丝杠可以等效为一个同心式旋转磁齿轮。同理，根据其螺旋形的设计，根据视角方向2的侧视图，可以看到所提出的磁场调制型磁力丝杠可以同时等效为一个圆筒式直线磁齿轮。

在本实施例中，所采用的螺旋磁转子1的永磁体，由充磁方向为径向向内和径向向外的螺旋永磁体6-1和6-2构成，两种充磁方向相反的螺旋形永磁体以螺旋交替的形式排列放置，其螺旋永磁体的导程为 $\lambda=100\text{mm}$ ，在一个导程为 λ 内，分为4对极的磁极结构，则单块永磁体的轴向长度为 $l_r=\lambda/(2\cdot p_r)=12.5\text{mm}$ ，其中 p_r 为转子螺旋永磁体在一个导程 λ 内的极对数。同理基于永磁体的螺旋效应，单块永磁体的圆周弧度为 $\alpha_r=2\pi/(2\cdot p_r)=45^\circ$ ，如图3所示。

所采用的动子螺旋铁环2，由螺旋导磁电工铁环A7-1和螺旋非导磁材料B7-2构成，所述螺旋导磁电工铁环A7-1和螺旋非导磁材料B7-2，依次交替排布，其螺旋导磁电工铁环的导程长度 $\lambda=100\text{mm}$ 与螺旋永磁体A6-1和B6-2相同，在一个导程 λ 内，分为13对极的磁极结构，则螺旋导磁电工铁环的轴向长度为 $l_t=\lambda/(2\cdot n_t)=3.84\text{mm}$ ，其中 n_t 为动子螺旋铁环2在一个导程 λ 内的极对数。同理基于螺旋效应，螺旋导磁电工铁环圆周弧度为 $\alpha_t=2\pi/(2\cdot n_t)=13.8^\circ$ ，如图4所示。上述螺旋导磁电工铁环的轴向长度为 l_t 和圆周弧度为 α_t ，需要进行尺寸的优化，达到最优的磁场调制效果，但具体优化范围需要在3.84mm和13.8度附近。

所采用的螺旋磁定子3的永磁体，由充磁方向为径向向内和径向向外的螺旋永磁体8-1和8-2构成，两种充磁方向相反的螺旋形永磁体以螺旋交替的形式排列放置，其螺旋永磁体的导程为 $\lambda=100\text{mm}$ ，在一个导程为 λ 内，分为9对极的磁极结构，则单块永磁体的轴向长度为 $l_s=\lambda/(2\cdot p_s)=5.55\text{mm}$ ，其中 p_s 为定子螺旋永磁体在一个导程 λ 内的极对数。同理基于永磁体的螺旋效应，单块永磁体的圆周弧度为 $\alpha_s=2\pi/(2\cdot p_s)=20^\circ$ ，如图5所示。

在本实施例中，螺旋磁转子1的极对数 $p_r=4$ 、螺旋磁定子3的极对数 $p_s=9$ ，和动子螺旋铁环2的极对数 $n_t=13$ ，不仅满足 $p_s=n_t\cdot p_r$ 的轴向直线磁场调制关系，而且也满足 $p_s=n_t\cdot p_r$ 的圆周旋转磁场调制关系。

在本实施例中,对螺旋磁转子1的螺旋磁场进行三维有限元分析,螺旋磁转子1的极对数 $p_r=4$,由于磁场采用螺旋形分布,因此存在径向气隙磁密圆周分量 $B_{\theta i}$ 和径向气隙磁密直线分量 B_{zi} ,如图6所示。其圆周分布气隙磁场和直线分布气隙磁场中均主要包含的4对极的谐波含量,以及4的奇数倍。

当引入极对数 $n_l=13$ 的动子螺旋铁环2后,由于存在调磁环在气隙中的磁导与无调制环时气隙磁导的圆周分量和直线分量 A_θ 和 A_z 。螺旋磁转子1的螺旋磁场的径向气隙磁密圆周分量 $A_\theta \cdot B_{\theta i}$ 和径向气隙磁密直线分量 $A_z \cdot B_{zi}$ 产生对应的螺旋磁场调制,出现了明显的9对极的谐波含量,如图7所示。为了满足磁场调制式磁力丝杠的工作原理,则螺旋磁定子3的极对数应选取9对极,即 $p_s=n_l-p_r$ 。并对径向气隙磁密圆周分量 $B_{\theta i}$ 和径向气隙磁密直线分量 B_{zi} 的气隙磁密进行谐波分析,如图8所示。

在本实施例中,螺旋磁转子1部分转动,将螺旋磁定子3部分固定,螺旋动子铁环2部分作为旋转-直线运动输出端口。当4对极螺旋磁转子1以 ω_r 的转速,旋转360度机械角度,依据螺旋磁场的转动效应,会使螺旋磁转子的螺旋磁场形成一个螺旋导程 $\lambda=100\text{mm}$ 的直线运动,其传动比为 $G=\lambda/2\pi$ 。依据螺旋磁场调制效应,螺旋磁场作用在13对极的螺旋动子铁环2上,形成一个 $\lambda \cdot 4/13$ 的直线位移,其直线速度为 $v_l=(\lambda/2\pi) \cdot (4/13) \cdot \omega_r$ 。同理,依据螺旋磁场的调制效应,螺旋磁场作用在13对极的动子螺旋铁环2上,形成一个 $2\pi \cdot 4/13$ 的旋转角度,其转动速度为 $\omega_l=(4/13) \cdot \omega_r$ 。则对应的两自由度推力转矩角特性如图9所示。

在本实施例中,动子螺旋铁环2的螺旋导磁电工铁环A7-1由分段电工铁环16沿圆周方向依次交替表贴在不锈钢套筒15的外表面上,形成螺旋导程电工铁环A7-1,如图10所示。

权 利 要 求 书

1、一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器，其特征在于，由外向内依次包括螺旋磁定子（3）、动子螺旋铁环（2）、螺旋磁转子（1）、旋转电机（4），四者同轴放置；其中，所述螺旋磁定子（3）和动子螺旋铁环（2）之间有气隙、所述动子螺旋铁环（2）和螺旋磁转子（1）之间有气隙；所述旋转电机（4）的旋转电机转子（5）和螺旋磁转子（1）中间无气隙；气隙厚度根据要求选取；

所述螺旋磁定子（3）由交替设置的两块充磁方向相反的螺旋形永磁体 C（8-1）、永磁体 D（8-2）组成，其中一个充磁方向为径向向内，另一个径向向外；永磁体 C（8-1）和永磁体 D（8-2）的导程为 λ ，则单块永磁体的轴向长度为 $l_s=\lambda/(2\cdot p_s)$ ，其中 p_s 为螺旋磁定子永磁体在一个导程 λ 内的极对数，同理基于永磁体的螺旋效应，单块永磁体的径向弧度为 $\alpha_s=2\pi/(2\cdot p_s)$ ；

所述动子螺旋铁环（2）由螺旋导磁电工铁环 A（7-1）和螺旋非导磁材料 B（7-2）交替排列，表贴在不锈钢套筒（15）的外表面上，其螺旋铁环的导程为 λ ，导程 λ 与永磁体 C（8-1）、永磁体 D（8-2）的导程一致，则单个螺旋导磁电工铁环的轴向长度为 $l_t=\lambda/(2\cdot n_t)$ ，其中 n_t 为螺旋铁环在一个导程 λ 内的极对数，同理基于螺旋铁环的螺旋效应，单个电工铁材料径向弧度为 $\alpha_t=2\pi/(2\cdot n_t)$ ；

所述螺旋磁转子（1）由交替设置的两块充磁方向相反的螺旋形永磁体 A（6-1）、永磁体 B（6-2）组成，其中一个充磁方向为径向向内，另一个径向向外；永磁体 A（6-1）和永磁体 B（6-2）的导程为 λ ，导程 λ 与永磁体 C（8-1）、永磁体 D（8-2）的导程一致，则单块永磁体的轴向长度为 $l_r=\lambda/(2\cdot p_r)$ ，其中 p_r 为转子螺旋永磁体在一个导程 λ 内的极对数；同理基于永磁体的螺旋效应，单块永磁体的径向弧度为 $\alpha_r=2\pi/(2\cdot p_r)$ ；

上述螺旋磁转子（1）、螺旋磁定子（3）和动子螺旋铁环（2）的螺旋导程一定要保持相同，均为导程为 λ ，则螺旋磁转子（1）的极对数 p_r 、螺旋磁定子（3）的极对数 p_s ，和动子螺旋铁环（2）的极对数 n_t ，不仅满足 $p_s=n_t\cdot p_r$ 的轴向直线磁场调制关系，而且也满足 $p_s=n_t\cdot p_r$ 的径向旋转磁场调制关系。

2、根据权利要求 1 所述的一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器，其特征在于，螺旋磁转子（1）和螺旋磁定子（3）的轴向长度保持一致，最大限度的提升永磁体的利用率。所述动子螺旋铁环（2），其轴向长度比螺旋磁转子（1）和螺旋磁定子（3）要长，具体长度根据行程需求确定。

3、根据权利要求 1 所述的一种多自由度磁场调制式磁力丝杠作动器，其特征在于，旋

转电机(4)由旋转电机转子(5)和旋转电机定子组成;所述旋转电机(4)的旋转电机转子(5)与螺旋磁转子(1)集成形成复合转子(13-1),为了避免复合转子(13-1)中的旋转电机转子(5)与螺旋磁转子(1)之间的磁场耦合,旋转电机转子(5)由永磁体E(14-1)、永磁体F(14-2)、永磁体G(14-3)、永磁体H(14-4)排列组成,其中永磁体F(14-2)的充磁方向为径向向外,永磁体H(14-4)的充磁方向为径向向内,永磁体E(14-1)和永磁体G(14-3)的为轴向充磁,充磁方向指向永磁体F(14-2),形成聚磁式结构。

4、根据权利要求1所述的一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器,其特征在于,所述旋转电机(4)的旋转电机转子(5)与螺旋磁转子(1)集成形成复合转子(13-1),复合转子(13-1)的旋转轴承(10-1)固定在基轴(9)上,旋转电机(4)的旋转电机定子固定在基轴(9)上。

5、根据权利要求1所述的一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器,其特征在于,动子螺旋铁环(2)安装在螺旋磁转子(1)和螺旋磁定子(3)之间,动子螺旋铁环(2)两端安装有端盖(12),并在端盖(12)上预留有旋转轴承安装口,旋转轴承安装口处设置有旋转轴承(10-2);为了实现所述动子螺旋铁环(2)的螺旋运动、直线运动、旋转运动,在基轴(9)上配置有花键槽(9-1),在基轴(9)上还安装有直线花键套(11)实现直线运动,并在花键套(11)上安装有旋转轴承(10-2),两者配合实现螺旋运动和旋转运动。

6、根据权利要求1所述的一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器,其特征在于,所述动子螺旋铁环(2),螺旋导磁电工铁环A(7-1)和螺旋非导磁材料B(7-2)交替排列构成,螺旋导磁电工铁环A(7-1)由分段电工铁环16沿圆周方向依次交替表贴在不锈钢套筒15的外表面上,形成螺旋导磁电工铁环A(7-1)。

7、根据权利要求1所述的一种多自由度磁场调试磁力丝杠作动器的集成设计方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1,确保螺旋形永磁体A(6-1)和螺旋形永磁体B(6-2)的螺旋导程 λ ,与螺旋导磁电工铁环A(7-1)和螺旋非导磁材料B(7-2)的螺旋导程 λ ,以及螺旋形永磁体C(8-1)和螺旋形永磁体D(8-2)的螺旋导程 λ ,三者螺旋导程 λ 长度保持一致;

步骤2,在满足螺旋导程 λ 长度一致的情况下,通过调整磁体的轴向长度 l , $l=\lambda/(\text{极对数} \times 2)$,来确定螺旋磁转子(1)的极对数 p_r 、动子螺旋铁环(2)的极对数 n_t 、和螺旋磁定子3的极对数 p_s ,从而满足直线方向的气隙磁场调制机理;

步骤3,在满足直线方向气隙磁场调制机理的情况下,对螺旋磁转子(1)、动子螺旋铁环(2)、和螺旋磁定子(3)的圆周方向进行剖视,通过圆周弧度 α , $\alpha=2\pi/(\text{极对数} \times 2)$,来验证螺

旋磁转子(1)的极对数 p_r 、动子螺旋铁环(2)的极对数 n_t 、和螺旋磁定子(3)的极对数 p_s ，由于确保了螺旋导程长度的一致，圆周方向的极对数和直线方向的极对数保持一致，从而既满足直线方向的调制机理，又满足圆周方向的调制机理；

步骤4，在确定各个部件的极对数的情况下，对三维螺旋磁场，以及其磁场调制效果进行验证，螺旋磁转子(1)的极对数为 p_r ，在直线方向和圆周方向，其直线方向气隙磁密和圆周方向气隙磁密分布均为 p_r 对磁极分布；

步骤5，在螺旋磁转子(1)的三维螺旋磁场中，引入 n_t 极对数的动子螺旋铁环(2)后，由于螺旋导磁电工铁环A(7-1)和螺旋非导磁材料B(7-2)构成，存在 n_t 极对数的直线分量和圆周分量的气隙磁导分布，分别在直线方向和圆周方向调制出 $n_t \pm p_r$ 次磁场分布，从而确定螺旋磁定子(3)的极对数为 $n_t - p_r$ 为合适的取值；

步骤6，通过对调制前后的圆周方向和直线方向的气隙磁密进行傅里叶谐波分析，验证上述调制原则的可行性，并验证转矩与推力之间的关系。

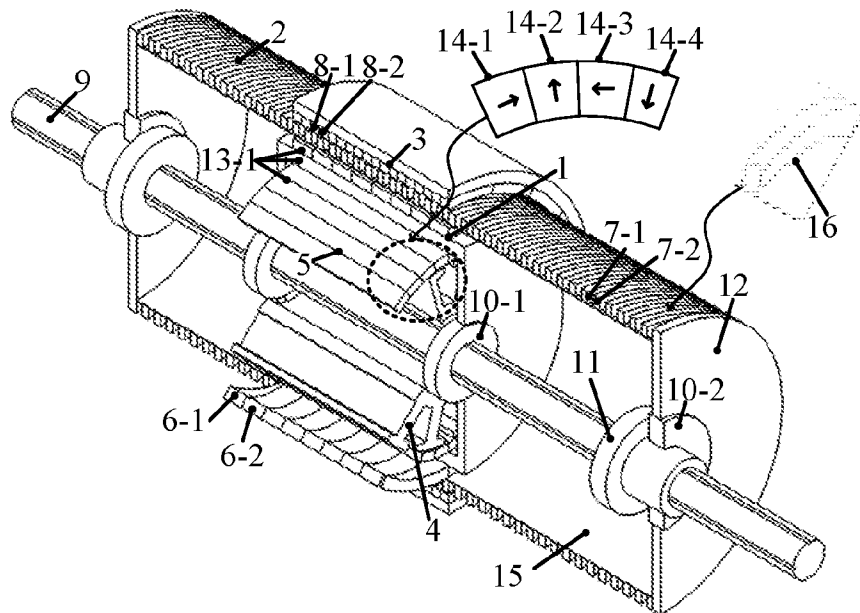


图 1

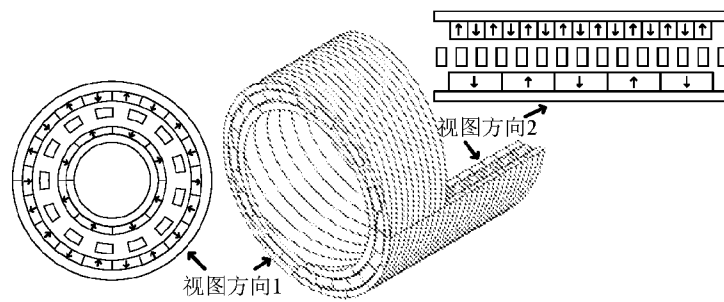


图 2

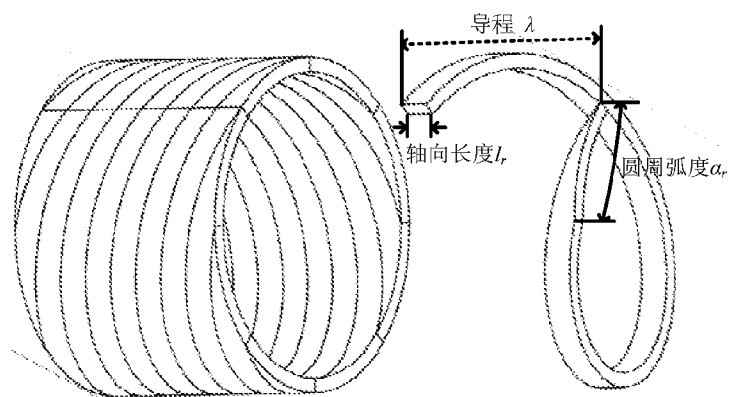


图 3

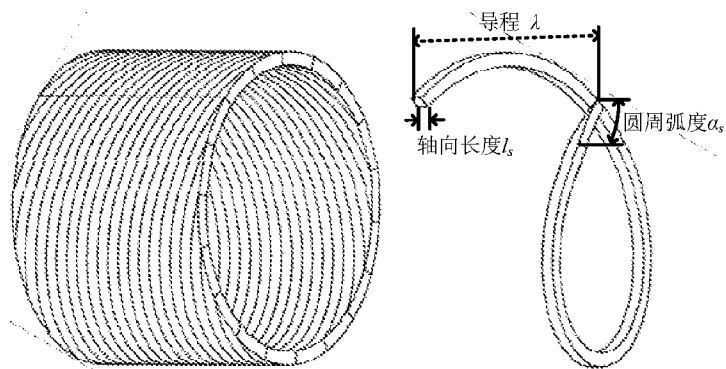


图 4

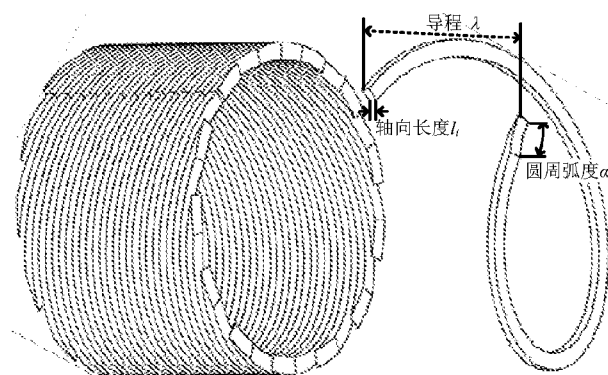


图 5

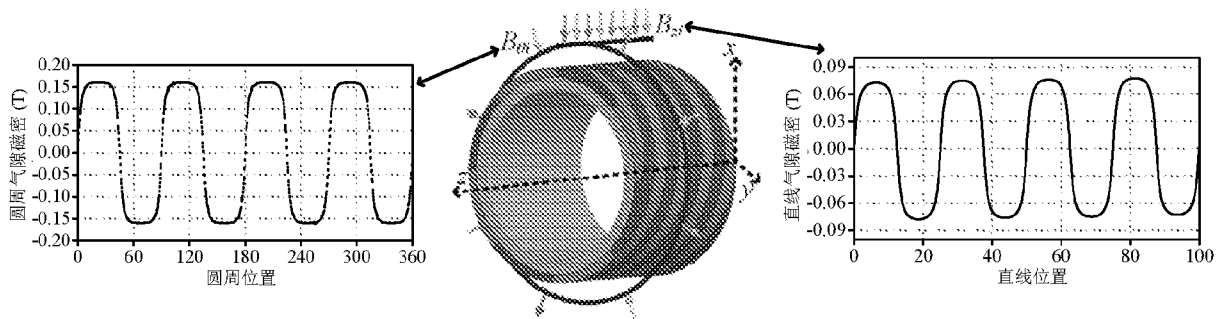


图 6

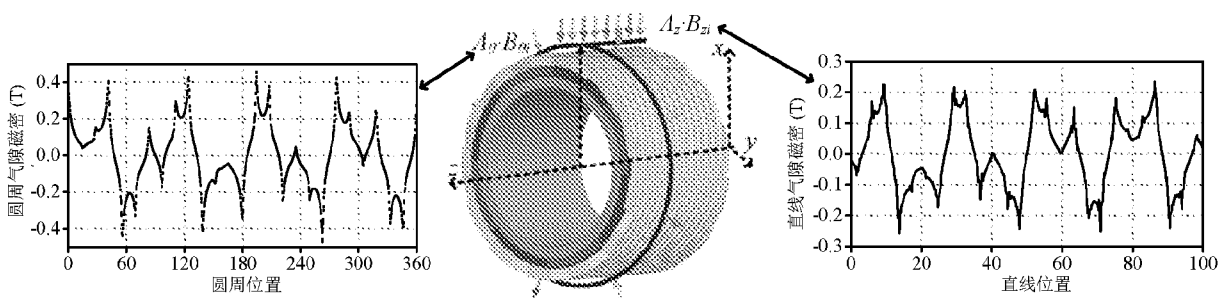
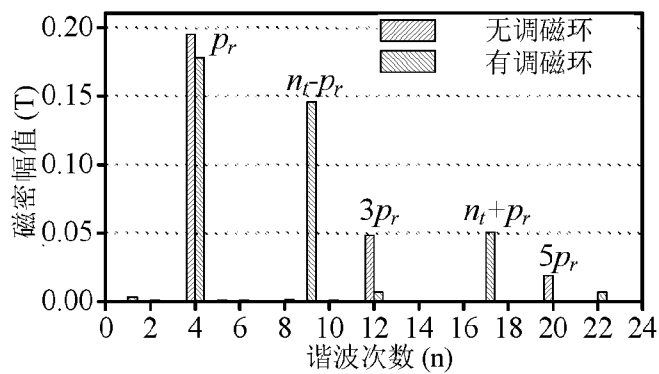
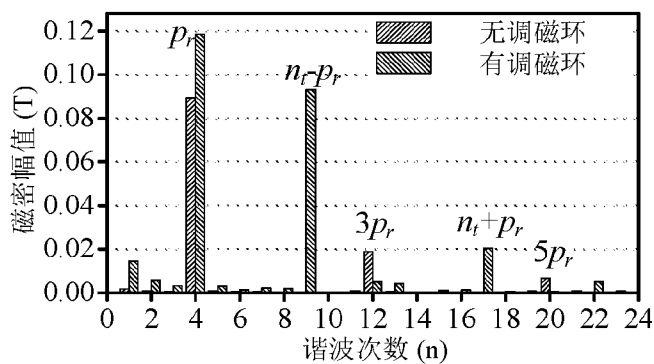


图 7

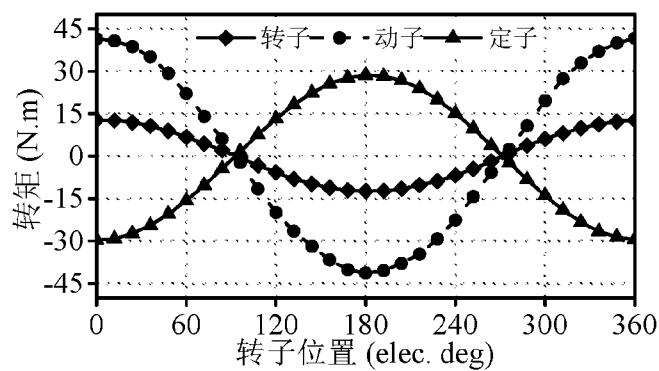


(a)

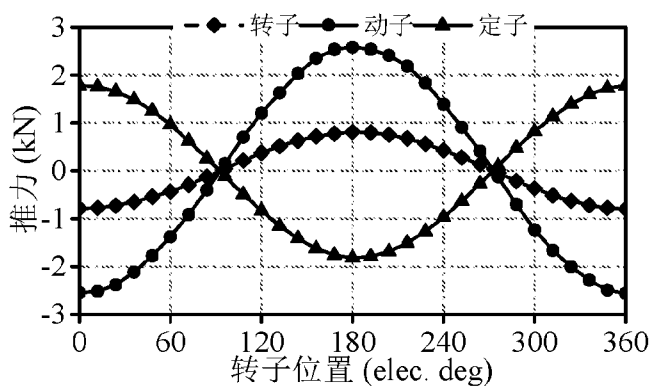


(b)

图 8



(a)



(b)

图 9

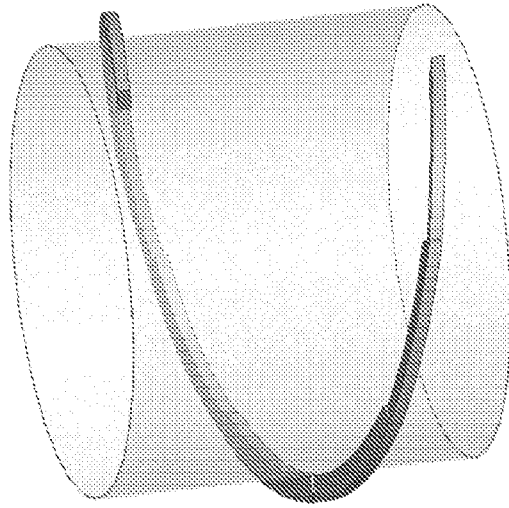


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/087571

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 49/10(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)

H02K

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 多自由度, 磁场调制, 磁力丝杠, 磁力丝杆, 作动器, 螺旋, 定子, 转子, 铁环, 转子, 旋转电机, 磁极, 极对数, 调制, multi degree of freedom, magnetic, lead, screw, spiral, permanent, magnet, helical, stator, rotor, ring, modulate

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KOUHSHAH, Mojtaba Bahrami et al. . "Designing and Experimentally Testing a Magnetically Geared Lead Screw," <i>IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS</i> , Vol. 54, No. 6, 31 December 2018 (2018-12-31), pages 5736-5747, and figures 1-35	1-7
A	CN 106341031 A (JIANGSU UNIVERSITY) 18 January 2017 (2017-01-18) entire document	1-7
A	CN 203482076 U (HEBEI UNITED UNIVERSITY) 12 March 2014 (2014-03-12) entire document	1-7
A	CN 105186832 A (JIANGSU UNIVERSITY) 23 December 2015 (2015-12-23) entire document	1-7
A	CN 105743322 A (JIANGSU UNIVERSITY) 06 July 2016 (2016-07-06) entire document	1-7
A	CN 103986305 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 13 August 2014 (2014-08-13) entire document	1-7



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

10 December 2020

Date of mailing of the international search report

21 December 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/087571

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6111491 A (KOYO MACHINERY INDUSTRIES CO., LTD. et al.) 29 August 2000 (2000-08-29) entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/087571

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106341031	A	18 January 2017	CN	106341031	B	14 December 2018
CN	203482076	U	12 March 2014	None			
CN	105186832	A	23 December 2015	CN	105186832	B	27 June 2017
CN	105743322	A	06 July 2016	CN	105743322	B	17 April 2018
				WO	2017173710	A1	12 October 2017
CN	103986305	A	13 August 2014	CN	103986305	B	17 February 2016
US	6111491	A	29 August 2000	JP	H1131615	A	02 February 1999

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/087571

A. 主题的分类 H02K 49/10 (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) H02K 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)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI: 多自由度, 磁场调制, 磁力丝杠, 磁力丝杆, 作动器, 螺旋, 定子, 转子, 铁环, 转子, 旋转电机, 磁极, 极对数, 调制, multi degree of freedom, magnetic, lead, screw, spiral, permanent, magnet, helical, stator, rotor, ring, modulate																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>KOUHSHAHI, Mojtaba Bahrami 等, "Designing and Experimentally Testing a Magnetically Geared Lead Screw," IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 第54卷, 第6期, 2018年 12月 31日 (2018 - 12 - 31), 第5736-5747页、图1-35</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106341031 A (江苏大学) 2017年 1月 18日 (2017 - 01 - 18) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 203482076 U (河北联合大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105186832 A (江苏大学) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105743322 A (江苏大学) 2016年 7月 6日 (2016 - 07 - 06) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103986305 A (哈尔滨工业大学) 2014年 8月 13日 (2014 - 08 - 13) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	KOUHSHAHI, Mojtaba Bahrami 等, "Designing and Experimentally Testing a Magnetically Geared Lead Screw," IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 第54卷, 第6期, 2018年 12月 31日 (2018 - 12 - 31), 第5736-5747页、图1-35	1-7	A	CN 106341031 A (江苏大学) 2017年 1月 18日 (2017 - 01 - 18) 全文	1-7	A	CN 203482076 U (河北联合大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-7	A	CN 105186832 A (江苏大学) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文	1-7	A	CN 105743322 A (江苏大学) 2016年 7月 6日 (2016 - 07 - 06) 全文	1-7	A	CN 103986305 A (哈尔滨工业大学) 2014年 8月 13日 (2014 - 08 - 13) 全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	KOUHSHAHI, Mojtaba Bahrami 等, "Designing and Experimentally Testing a Magnetically Geared Lead Screw," IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 第54卷, 第6期, 2018年 12月 31日 (2018 - 12 - 31), 第5736-5747页、图1-35	1-7																					
A	CN 106341031 A (江苏大学) 2017年 1月 18日 (2017 - 01 - 18) 全文	1-7																					
A	CN 203482076 U (河北联合大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-7																					
A	CN 105186832 A (江苏大学) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文	1-7																					
A	CN 105743322 A (江苏大学) 2016年 7月 6日 (2016 - 07 - 06) 全文	1-7																					
A	CN 103986305 A (哈尔滨工业大学) 2014年 8月 13日 (2014 - 08 - 13) 全文	1-7																					
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> "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 </td> </tr> </table>			* 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																			
* 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 2020年 12月 10日		国际检索报告邮寄日期 2020年 12月 21日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 曹阳 电话号码 86-(10)-53961232																					

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/087571

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 6111491 A (KOYO MACHINERY INDUSTRIES CO., LTD. 等) 2000年 8月 29日 (2000 - 08 - 29) 全文	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/087571

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)
CN	106341031	A	2017年 1月 18日	CN 106341031 B	2018年 12月 14日
CN	203482076	U	2014年 3月 12日	无	
CN	105186832	A	2015年 12月 23日	CN 105186832 B	2017年 6月 27日
CN	105743322	A	2016年 7月 6日	CN 105743322 B	2018年 4月 17日
				WO 2017173710 A1	2017年 10月 12日
CN	103986305	A	2014年 8月 13日	CN 103986305 B	2016年 2月 17日
US	6111491	A	2000年 8月 29日	JP H1131615 A	1999年 2月 2日