

1-4-2019

Electromagnetic Property of Axial Piston Pump/Motor Magnetic Slipper Pair

Haishun Deng

1. School of Mechanical Engineering, Auhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;;

Xu Pan

1. School of Mechanical Engineering, Auhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; ;2. Anhui Jinzhai Professional Technician Institute, Jinzhai 237300, China;

Huang Ran

1. School of Mechanical Engineering, Auhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;;

Yuefei Deng

1. School of Mechanical Engineering, Auhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Electromagnetic Property of Axial Piston Pump/Motor Magnetic Slipper Pair

Abstract

Abstract: *In order to control the oil film for the slipper pair more conveniently and flexibly, the magnetic slipper pair is proposed which maintains balance by hydraulic pressure and electromagnetic force, and its mathematical model and finite element model are built. The impact of voltage, electric field strength etc. on magnetic slipper pair's working performance and service life is analyzed.* The results show that: the position of the swash plate in contact with the core of magnetic slipper pair has maximum electric field strength and prone to discharging electric which affect the service life. The main magnetic path forms a closed loop and has less leakage flux, there are no superposition and interference in each magnetic field distribution; The more ampere-turns, the larger electromagnetic force generates, when different currents are switched on, the magnetic strength's peak appears in the place near the top of the pole coil. When the magnetic strength gets to its peak and decay rapidly, it then tends to be smooth. When it gets to the bottom of the excitation winging pole coil, the magnetic strength gets to its minimum.

Keywords

magnetic slipper pair, electric field, electromagnetic force, ampere-turns, magnetic strength

Authors

Haishun Deng, Xu Pan, Huang Ran, Yuefei Deng, and Dai Peng

Recommended Citation

Deng Haishun, Xu Pan, Huang Ran, Deng Yuefei, Dai Peng. Electromagnetic Property of Axial Piston Pump/Motor Magnetic Slipper Pair[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(10): 3875-3882.

轴向柱塞泵/马达磁性滑靴副电磁特性分析

邓海顺¹, 许攀^{1,2}, 黄然¹, 邓月飞¹, 代鹏¹

(1. 安徽理工大学机械工程学院, 安徽 淮南 232001; 2. 安徽金寨职业技术学院, 安徽 金寨 237300)

摘要: 为更方便灵活的控制滑靴副的油膜特性, 提出了一种以液压力和电磁力相平衡的磁性滑靴副结构, 并建立了数学模型和有限元模型。分析了电压、电场强度等对磁性滑靴副工作性能与使用寿命的影响。结果表明: 磁性滑靴副中铁芯与斜盘接触处电场强度最大, 易出现放电影响使用寿命; 主磁路能构成闭合回路且漏磁较少, 励磁绕组线圈之间的磁场不存在叠加和干涉; 安匝数越多电磁力越大, 通入不同的电流磁感应强度峰值均出现在励磁绕组线圈顶端, 磁感应强度达到峰值后迅速衰减并趋于平滑, 在励磁绕组线圈底端时磁感应强度最小。

关键词: 磁性滑靴副; 电场强度; 电磁力; 安匝数; 磁感应强度

中图分类号: TH137.51 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 10-3875-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201810034

Electromagnetic Property of Axial Piston Pump/Motor Magnetic Slipper Pair

Deng Haishun¹, Xu Pan^{1,2}, Huang Ran¹, Deng Yuefei¹, Dai Peng¹

(1. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Anhui Jinzhai Professional Technician Institute, Jinzhai 237300, China)

Abstract: In order to control the oil film for the slipper pair more conveniently and flexibly, the magnetic slipper pair is proposed which maintains balance by hydraulic pressure and electromagnetic force, and its mathematical model and finite element model are built. The impact of voltage, electric field strength etc. on magnetic slipper pair's working performance and service life is analyzed. The results show that: the position of the swash plate in contact with the core of magnetic slipper pair has maximum electric field strength and prone to discharging electric which affect the service life. The main magnetic path forms a closed loop and has less leakage flux, there are no superposition and interference in each magnetic field distribution; The more ampere-turns, the larger electromagnetic force generates, when different currents are switched on, the magnetic strength's peak appears in the place near the top of the pole coil. When the magnetic strength gets to its peak and decay rapidly, it then tends to be smooth. When it gets to the bottom of the excitation winging pole coil, the magnetic strength gets to its minimum.

Keywords: magnetic slipper pair; electric field; electromagnetic force; ampere-turns; magnetic strength

引言

滑靴副是轴向柱塞泵的关键三大摩擦副之一,



收稿日期: 2016-09-22 修回日期: 2017-03-06;
基金项目: 国家自然科学基金(51575002), 安徽省自然科学基金(1508085ME80, gxyqZD2016084);
作者简介: 邓海顺(1978-), 男, 安徽桐城, 博士, 教授, 研究方向为流体传动与控制、新型矿山设备的研发等。

滑靴副是连接斜盘和柱塞的中间环节, 既承受来自柱塞腔高压油液的轴向作用力, 又承受滑靴周向运动引起的离心力矩以及随缸体旋转所产生的摩擦力矩^[1]。为使柱塞与滑靴紧贴斜盘上, 现有滑靴副均采用弹簧力、液压力与经过阻尼减压后的液压力形成静压支撑, 使压紧力稍大于分离力, 确保柱塞压紧在斜盘斜面上^[2-3]。一方面滑靴副油膜厚度太

薄导致金属固体间剧烈干摩擦和局部高温,极易形成磨损失效,使滑靴副工作性能和使用寿命急剧下降^[4-5]。另一方面油膜过厚,将使泄漏量增大,泵的容积效率降低,无法形成轴向柱塞泵所需的高压^[6]。由此可见,滑靴副由于弹簧力的不可控制性是导致现有滑靴副磨损失效的一个重要原因。

磁性滑靴副是以液压力和电磁力相平衡的一种新型滑靴副^[7],其工作原理类似于普通滑靴副。磁性滑靴副采用电磁力取代弹簧力,一方面取消了回程盘结构,避免了回程盘的破损;另一方面由于电磁力的易控性,较易实现滑靴副油膜厚度的控制。本文介绍了磁性滑靴副的基本结构和工作原理,建立磁性滑靴副的数学模型和有限元模型。分析了电压、电场强度、磁场和磁感应强度等因素对磁性滑靴副工作性能与使用寿命的影响,为其在轴向柱塞泵/马达尤其在两排或多排平衡式轴向柱塞泵/马达的应用提供理论基础和技术支持。

1 磁性滑靴副工作原理

轴向柱塞泵/马达磁性滑靴副结构如图 1(a)所示,在斜盘背面沿圆周方向均布四个圆柱铁芯,每个铁芯上绕有相同匝数的励磁绕组线圈。轴向柱塞泵/马达工作时,首先接通可调节直流电源,将绕在铁芯上的励磁绕组线圈通电,绕组周围产生磁场,铁芯被磁化,磁化后的铁芯也变成了一个磁体,两个磁场互相叠加,使励磁绕组磁性增强进而加大吸附力,将滑靴吸附在斜盘表面上,起到初始密封效果。如图 1(b)所示,在高压区,柱塞腔中通入的高压油液在柱塞端部产生的压紧力、高压油液经过柱塞阻尼孔后进入斜盘表面形成的反推力与线圈励磁绕组产生的电磁力,三力相互作用产生静压支撑效果。如图 1(c)所示,在低压区,柱塞泵内排出油液时,油液的压力降低,电磁力克服由于柱塞运动惯性而产生的离心力,此时可以认为仅仅通过线圈产生的电磁力将滑靴吸附在斜盘的斜面上,同时低压油液通过柱塞阻尼孔流入滑靴表面,使得滑靴始终处于油膜润滑状态。改变直流电流值的大小,

即可改变电磁力的值,达到调节滑靴副油膜厚度的目的,保证滑靴副始终处于流体润滑状态。

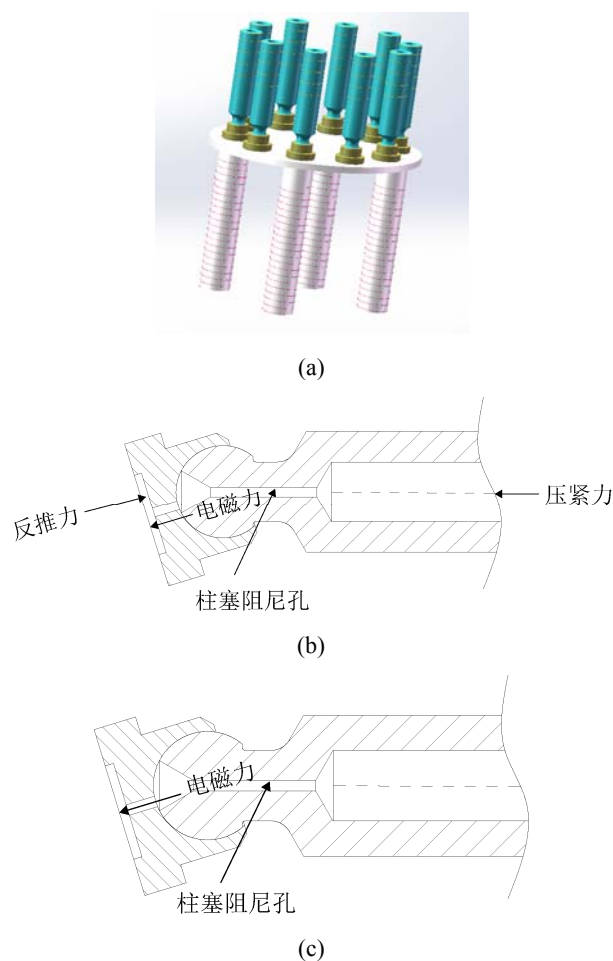


图 1 磁性滑靴副
Fig. 1 Magnetic slipper pair

2 磁性滑靴副模型

2.1 数学模型

图 2 为磁性滑靴副磁场结构示意图,磁性滑靴副由斜盘、第一励磁绕组线圈、第二励磁绕组线圈、第三励磁绕组线圈、第四励磁绕组线圈、第一铁芯、第二铁芯、第三铁芯、第四铁芯等部分组成,其中斜盘的尺寸为 $\phi 140 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$,四个铁芯的尺寸为 $\phi 20 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$,四个励磁绕组的线圈匝数均为 100 匝。为使结构紧凑,选择凸台铁芯为具有较高的相对磁导率的铁氧化体材料,励磁绕组线圈为导电特性良好的铜性材料。

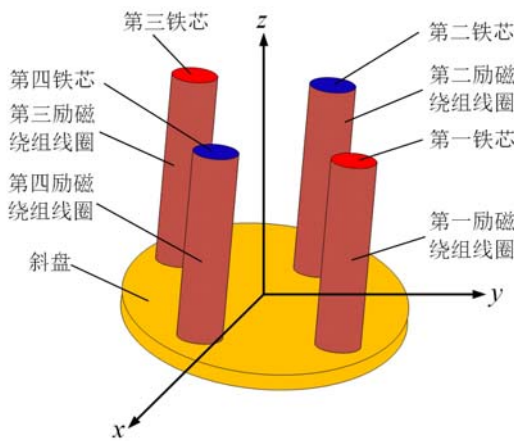


图2 磁性滑靴副磁场结构

Fig. 2 Magnetic slipper pair's magnetic structure

磁性滑靴副是以电磁感应原理为基础进行工作的, 必然遵从麦克斯韦方程组^[8], 其表达式如下:

$$\begin{cases} \nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \\ \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \cdot D = \rho \\ \nabla \cdot B = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, ∇ 是拉普拉斯微分算子; t 是时间, s ; H 是磁场强度, A/m ; B 是磁感应强度, T ; E 是电场强度, N/C ; D 是电位移矢量, C/m^2 ; J 是电流密度, A/m^2 ; ρ 是电荷密度, C/m^2 。

假设可调节电源通入的电流值恒定, 将形成恒定磁场, 即:

$$\begin{cases} \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial D}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

代入式(1), 可得:

$$\begin{cases} \nabla \cdot B = 0 \\ \nabla \cdot H = J \end{cases} \quad (3)$$

磁感应强度和磁场强度之间的关系为^[8]:

$$B = u_0 H \quad (4)$$

式中, u_0 是真空磁导率, 取值为 $4\pi \times 10^{-7} H/m$ 。

由式(3)知: $\nabla \cdot B = 0$, 存在一个静磁矢量 A 满足:

$$\begin{cases} B = \nabla \cdot A \\ \nabla \cdot A = 0 \end{cases} \quad (5)$$

整理可得:

$$\nabla \times B = -\nabla^2 A \quad (6)$$

即励磁绕组线圈磁场的有限元方程为:

$$\nabla^2 A = -u_0 J \quad (7)$$

2.2 边界条件

结合轴向柱塞泵/马达磁性滑靴磁场分布的具体情况可知, 静磁矢势 A 在边界上的值为 0, 满足第一类边界条件(狄利克雷条件), 即:

$$A = 0 \quad (8)$$

静磁磁势 A 在 Z 方向上的偏导数为 0, 满足第二类边界条件(诺依曼条件), 即:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

式中: z 是励磁绕组线圈轴线距离。

3 磁性滑靴副仿真分析

电压分布的不均匀和电场强度的集中是局部放电、电弧产生的根源, 前者易引发闪烁, 后者易引起材料老化而影响使用寿命^[9-11]。因此, 有必要对物体的电压分布和电场强度^[12-15]进行分析, 为磁性滑靴副的设计、优化、制造和选型提供参考。

3.1 电压分布

为便于观察电压在斜盘上的分布, 在 Ansoft Maxwell 软件中搭建斜盘的模型, 并在斜盘的中心绘制一个空心圆柱, 并在空心圆柱中绘制一个真空材质的箱体(此时空心圆柱是便于观察电压在斜盘中心处的电压分布, 实际制造过程中不需要)。为了能够清楚的观察电压分布, 设置第一、第三励磁绕组线圈的输入电压为 +24 V, 第二、第四励磁绕组线圈的输入电压是 -24 V, 箱体和斜盘的电压是 0 V, 如图 2 所示。电压正负值的选择与势点位置有关。

研究磁性滑靴副表面的电势分布情况, 可为其结构设计做好铺垫作用。观察励磁绕组线圈绕在铁芯不同位置的电压分布, 选择 xy 平面作为参考平面, 将斜盘的透视度设为透明, 分析可得绕组线圈在铁芯底端、中端、顶端电势分布, 其结果如图 3 所示。

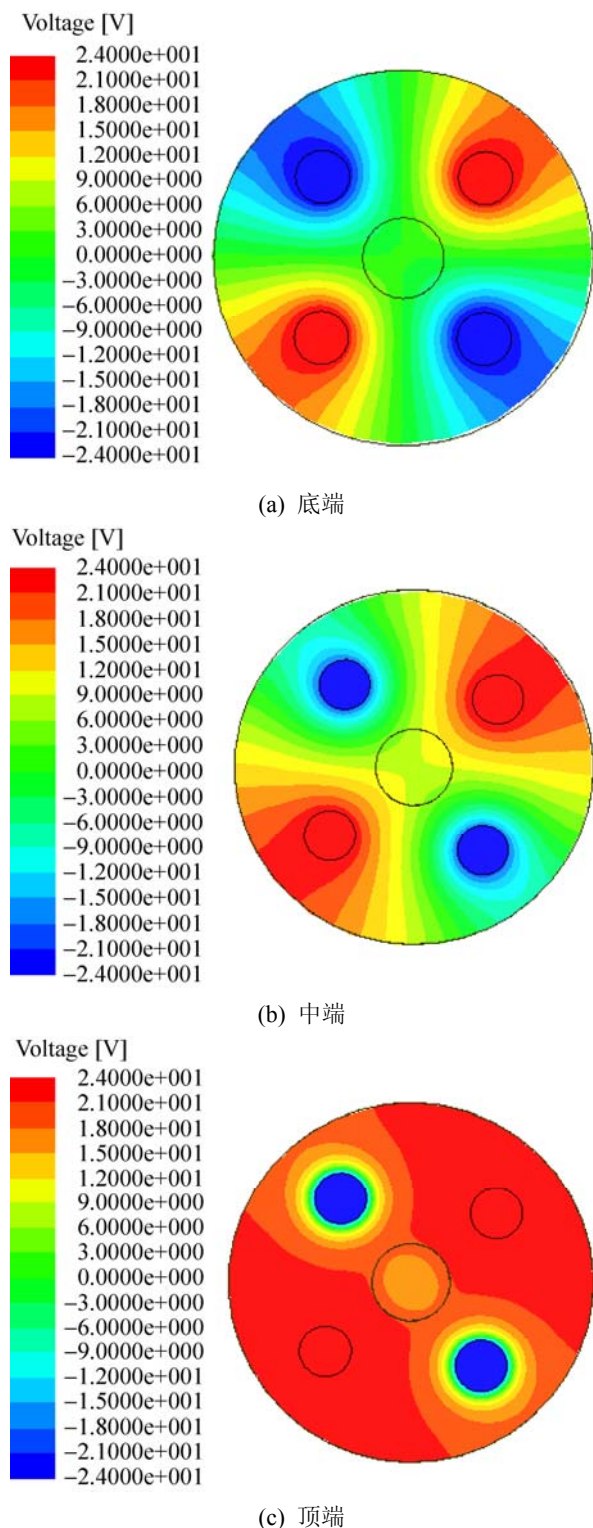


图3 xy 平面的电压分布
Fig. 3 Voltage distribution of xy plane

由图3可知:励磁绕组铁芯中心处的电压始终保持最大,随着位置的上移励磁绕组周围的电压不断增大,到达顶端时电压关于 x 轴对称分布,且电

压除了第二、第四励磁绕组线圈中心处-24 V 外,其余各处电压值均为正值。

图3的结果仅为励磁绕组在不同位置的电势分布情况,并不能显示出斜盘中的电压分布。为了进一步研究斜盘中电压的大小,将其它部件隐藏,只显示箱体表面电压,可得斜盘中心的电压分布情况如图4所示,箱体表面的电压从最底端到与斜盘中心齐平的位置,电压不断增大,达到最大值后开始逐渐减少。由此可见通过图4分析的结果能够更好地、更直观地显示出所关心区域具体的电压分布情况。图4验证图3结果的正确性同时说明励磁绕组与斜盘接触的位置存在电压的传导,致使斜盘从先前的0 V 变成15 V 左右。

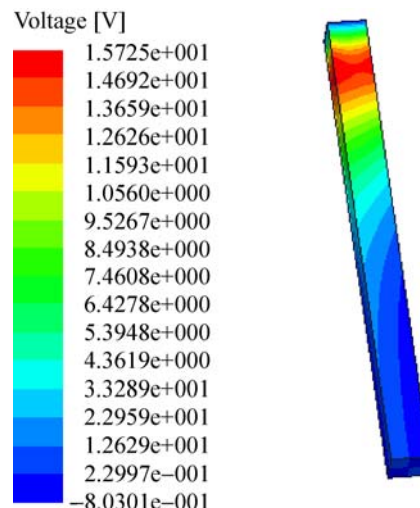


图4 斜盘中心的电压分布
Fig. 4 Voltage distribution of swash plate's centre

3.2 电场强度分布

制造磁性滑靴副时,斜盘表面电场强度的分布对材料选型至关重要。如局部电场强度过高在气隙中会出现放电现象,将在界面或铁芯中产生碳化通道,对铁芯造成腐蚀最终影响磁性滑靴副的使用寿命。因此,需进一步考察电场强度 E 的分布。选择 xy 平面作为参考平面,其结果如图5所示。

由图5可知:斜盘与铁芯接触位置电场强度最大值为 1.6970×10^3 V/m 且分布较集中,斜盘的外边缘电场强度最小为 0 V/m。由于接触位置的电场强

度比周围的电场强度大, 易在接触的气隙中出现放电现象而影响其寿命, 因此铁芯与斜盘接触处应用绝缘材料, 使其接触位置电场强度分布更为均匀。

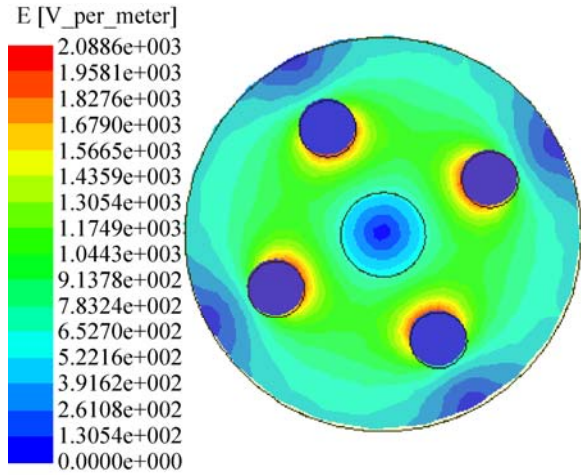


图 5 xy 平面的电场强度分布
Fig. 5 Field strength of xy plane

3.3 电磁力

为了研究电磁力与电流大小之间存在的关系, 在 Ansoft Maxwell 中绘制磁性滑靴副的三维仿真模型如图 2 所示, 并设置仿真参数。其中安匝数是指励磁绕组线圈的匝数乘以输入励磁绕组线圈的电流, 其取值从 0 安匝到 300 安匝并等分 12 等份, 当线圈匝数为 100 时, 对应的电流取值为 0 A 到 3 A, 由此得出励磁绕组线圈电流与电磁力之间的关系如图 6 所示。

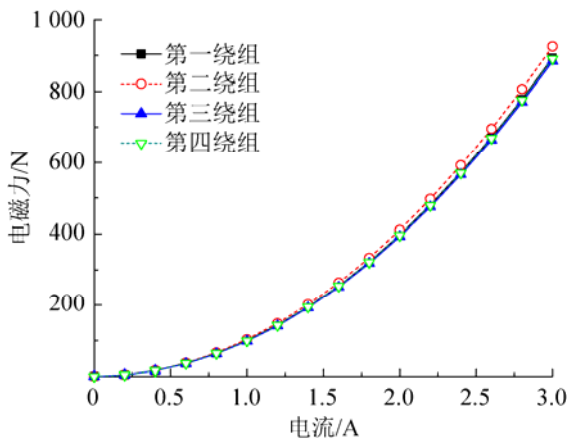


图 6 励磁绕组电流与电磁力关系
Fig. 6 Relation of exciting winding current and magnetic force

由图 6 可知: 励磁绕组线圈一定时, 电磁力随着电流的增大而线性增大, 且线性度良好; 当油膜厚度发生改变时, 通过调节电流的大小能够改变电磁力, 从而改变电磁力对滑靴的吸附力; 在相同安匝数的条件下, 4 个励磁绕组线圈产生的电磁力几乎相等, 且能使作用在斜盘上的每个滑靴受力均等。

3.4 电磁场

为了判断磁性滑靴副的磁路设计是否合理, 对磁场各个部分磁密值的大小、磁过饱和情况等进行研究。在磁性滑靴副模型中以安匝数 200 为例分析 xy 平面和 yz 平面的磁通密度矢量分布云图, 如图 7~8 所示。

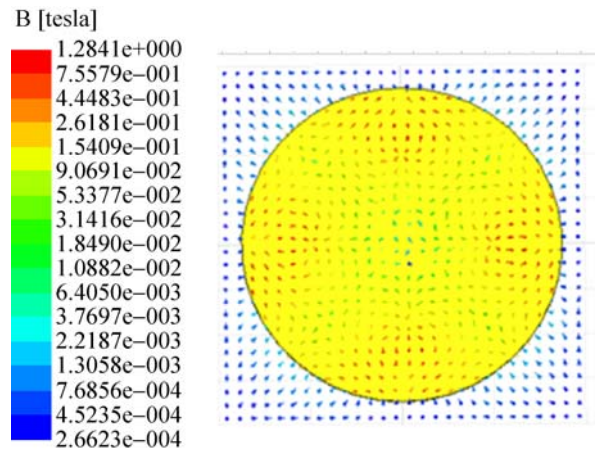


图 7 xy 平面磁通密度矢量云图分布
Fig. 7 Field density's vectogram of xy plane

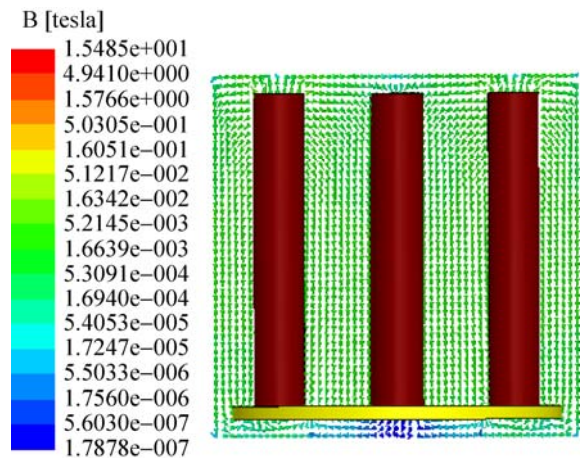


图 8 yz 平面磁通密度矢量云图分布
Fig. 8 Field density's vectogram of yz plane

由图7可知:铁芯上励磁绕组线圈与斜盘接触处磁感应强度最大且斜盘中的磁感应强度分布呈对称关系。励磁绕组线圈所在斜盘中位置(励磁绕组线圈顶端位置)的磁感应强度高于其它位置的磁感应强度。这是由于磁感应线离励磁绕组顶端越远,磁感应线越少,发散越快,铁磁材料的磁导系数远远大于非铁磁材料的磁导系数,可认为漏磁场的磁势绝大部分消耗在与励磁绕组等高那一段磁路上,使得励磁绕组顶端的磁感应强度比自身其它位置的磁感应强度大。

根据两种不同媒介之间的折射规律,磁感应线由一种媒介进入另一种媒介过程中会发生折射现象,在自身媒介当中则不会发生折射。由图8可知:磁力线由铁芯材料进入到真空中时,在分界面上发生了折射,而在铁芯内部没有发生折射现象。铁芯中的磁力线几乎与轴平行,在励磁绕组底端磁力线发生弯曲且趋于水平分布。假设边界没有漏磁发生,磁力线在绕组的左右两侧分布相对密集,几乎与轴平行,构成磁性滑靴副完整的主磁回路。

结合图7和图8可知:磁性滑靴副各个部分的磁密值较适中,均未达到磁性过饱和;磁性滑靴副能使磁场构成闭合回路,直观的观察磁性滑靴副磁场分布及变化情况,可知漏磁现象较少,说明磁性滑靴副磁路设计合理;斜盘上的磁感应强度整体分布上比其它位置的磁感应强度分布大,使得斜盘上产生的电磁力大于其它位置的电磁力。

为进一步观察整个励磁绕组线圈上磁感应强度的分布,在铁芯顶端绘制一条直线直至铁芯的底端(4个励磁绕组线圈均绘制直线)。横轴是铁芯的高度,自上而下。纵轴为磁感应强度。设置4个励磁绕组线圈安匝数200时,可得4个励磁绕组线圈在整个长度内磁感应强度的分布,见图9。

由图9可知:4个励磁绕组线圈的磁感应强度在5mm时附近均达到峰值,该值为0.37tesla,在5mm到30mm之间随着距离的增加磁感应强度衰减速度很快,30mm之后磁感应强度衰减趋于平滑,到达120mm时,磁感应强度几乎为0。通常

情况下磁场中存在相互的叠加和干涉现象,从4个励磁绕组的磁感应强度分布知,磁感应强度分布几乎一致,说明磁场的叠加和干涉现象对该结构影响较小,磁性滑靴副结构设计合理、可靠。

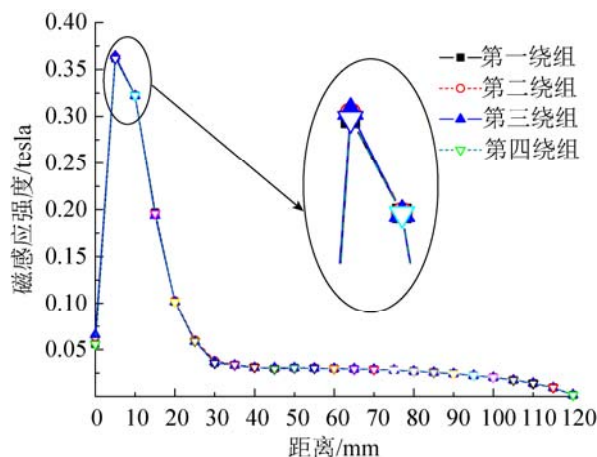


图9 距离与磁感应强度的关系

Fig. 9 Relation of distance and magnetic strength

为了研究励磁绕组线圈的安匝数与磁感应强度之间的关系即确定励磁绕组线圈电流与磁感应强度的关系,从图9可知,4个励磁绕组线圈的磁感应强度几乎相同且励磁绕组线圈在斜盘上对称分布,选择任意励磁绕组线圈为研究对象,仿真安匝数在100、150、200、250、300下励磁绕组线圈的磁感应强度分布,则通入的电流分别为1.0 A、1.5 A、2.0 A、2.5 A、3.0 A,结果如图10所示。

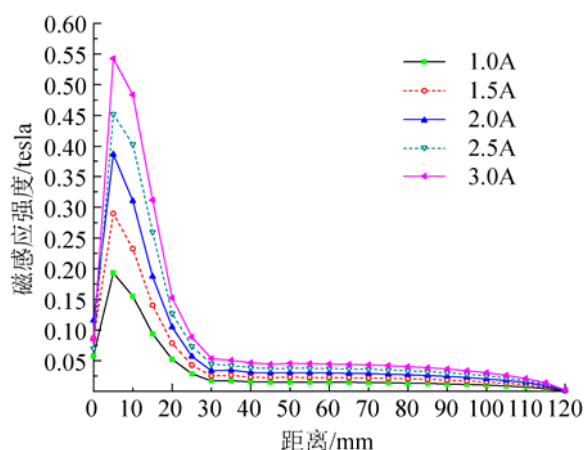


图10 电流与磁感应强度的关系

Fig. 10 Relation of current and magnetic strength

由图 10 可知: 通入的电流(安匝数)越大磁感应强度越大, 随着电流的增大其峰值也相应增大, 且出现峰值处在励磁绕组线圈的相同位置。通入励磁绕组线圈的电流不同时, 磁感应强度曲线分布轨迹相似, 出现在 5 mm 时磁感应强度达到峰值, 5 mm 到 30 mm 时磁感应强度衰减很快, 30 mm 后磁感应强度衰减趋于平滑, 达到 120 mm 时几乎为 0; 通入的电流不同磁感应强度不同, 产生的电磁力不同, 可见通过调节电流大小可以达到改变电磁力的目的。

4 结论

本文提出了一种新型的磁性滑靴副结构, 在此基础上, 建立磁性滑靴的数学模型和有限元模型。分析了磁性滑靴副的电压、电场强度、磁场和磁感应强度分布, 得出如下结论:

1) 绕在铁芯上的励磁绕组线圈电压从底端到顶端不断增大, 铁芯中励磁绕组线圈的顶端与斜盘接触处存在电压的传导;

2) 斜盘中铁芯与斜盘接触处电场强度最大, 其接触处的气隙易出现放电现象, 影响磁性滑靴副的使用寿命, 接触处应使用绝缘材料可有效的提高其寿命;

3) 当励磁绕组线圈匝数一定时, 通入电流越大产生的电磁力越大, 且 4 个励磁绕组线圈产生的电磁力相等, 能使斜盘上的每个滑靴受力相等; 通入不同的电流时, 磁感应强度的峰值出现在铁芯 5 mm 处的励磁绕组线圈上, 并且 5 mm 到 30 mm 时磁感应强度衰减很快, 30 mm 后磁感应强度衰减趋于平滑, 达到 120 mm 时几乎为 0;

4) 通过磁通密度矢量云图分布结果知, 磁性滑靴副结构能使磁场的主磁构成闭合回路且漏磁现象较少, 4 个励磁绕组线圈磁场分布之间不存在相互叠加与干涉, 说明磁性滑靴副结构设计合理、可靠。

参考文献:

- [1] 汤何胜, 高耀保, 李晶. 轴向柱塞泵滑靴副间隙泄漏及摩擦转矩特性 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2014, 42(7): 74-79.
Tang Hesheng, Yin Yaobao, Li Jing. Characteristics of clearance leakage and friction torque of slipper pair in axial piston pump [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 42(7): 74-79.
- [2] Pelosi M, Ivantysynova M. Heat transfer and thermal elastic deformation analysis on the piston/cylinder interface of axial piston machines [J]. Journal of tribology (S0742-4787), 2012, 134(4): 101-115.
- [3] 翟江, 周华. 海水淡化轴向柱塞泵静压支承滑靴副的流固耦合分析 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2012, 45(11): 1889-1894.
Zhai Jiang, Zhou Hua. Fluid-solid coupling analysis for hydrostatic supporting slipper pair of axial piston pump for seawater desalination [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 45(11): 1889-1894.
- [4] Roccatello A, Mancò S, Nervegna N. Modelling a variable displacement axial piston pump in a multibody simulation environment [J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control (S0022-0434), 2007, 129(4): 456-468.
- [5] 王慧, 宋宇宁, 宋叶姣. 水压轴向柱塞泵滑靴副的流场仿真 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(3): 634-642.
Wang Hui, Song Yuning, Song Yejiao. Flow distribution simulation about slipper pair of hydraulic axial ram pump [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2015, 27(3): 634-642.
- [6] 刘洪, 苑士华, 荆崇波, 等. 磨损轮廓与弹性变形对滑靴动态特性的影响 [J]. 机械工程学报, 2013, 49(5): 75-82.
Liu Hong, Yuan Shihua, Jing Chongbo, et al. Effects of wear profile and elastic deformation on the slipper's dynamic characteristics [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(5): 75-82.
- [7] 安徽理工大学. 一种轴向柱塞泵及马达用磁力预紧的滑靴副 [P]. 中国专利: ZL 201510090272, 2015-02-28.
Anhui University of Science Technology. A kind of slipper pair of the axial piston pump and motor electromagnetic force preload [P]. Chinese Patent: ZL201510090272, 2015-02-28.
- [8] 赵博, 张洪亮. Ansoft12 在工程电磁场中的应用 [M].

- 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- Zhao Bo, Zhang Hongliang. Ansoft12 application in the engineering electromagnetic field [M]. Beijing, China: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2010.
- [9] 高海峰, 贾志东, 关志成. 运行多年 RTV 涂料绝缘子表面涂层老化分析研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(9): 158-163.
- Gao Haifeng, Jia Zhidong, Guan Zhicheng. Aging study on rtv coating covered on insulators and energized for many years [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(9): 158-163.
- [10] 梁英, 丁立建, 李成榕, 等. 基于热刺激电流的硅橡胶合成绝缘子老化诊断方法初探 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(21): 7-12.
- Liang Ying, Ding Lijian, Li Chengrong, et al. Primary research on the diagnosis of aging silicone rubber insulators using thermally stimulation current [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(21): 7-12.
- [11] 周远翔, 聂琼, 姜绿先, 等. 针尖曲率半径对硅橡胶电树枝老化特性的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 27-32.
- Zhou Yuanxiang, Nie Qiong, Jiang Lvxiang, et al. Influence of curvature radius of needle tip on characteristics of electrical treeing in silicone rubber [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(34): 27-32.
- [12] 姚刚, 文习山, 蓝磊. 室温硫化硅橡胶表面污秽水珠放电特性 [J]. 电力建设, 2010, 31(2): 111-113.
- Yao Gang, Wen Xishan, Lan Lei. Discharge characteristics of polluted water droplets on insulating medium surface [J]. Electric Power Construction, 2010, 31(2): 111-113.
- [13] 徐志钮, 律方成, 李和明, 等. 分离水珠对支柱绝缘子电场分布的影响 [J]. 高电压技术, 2010, 36(9): 2278-2284. (Xu Zhiniu, Lv Fangcheng, Li Heming, et al. Influence of separated globules on post insulator electric field distribution [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(9): 2278-2284.
- [14] 陈秀娟, 陈维江, 沈海滨, 等. 可控避雷器的静态电位分布计算方法 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(25): 130-134.
- Chen Xiujuan, Chen Weijiang, Shen Haibin, et al. Calculation method for voltage distribution of controlled metal oxide arresters [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(25): 130-134.
- [15] 蒋兴良, 夏强峰, 胡琴, 等. 劣化绝缘子对悬垂串电场分布特性的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(16): 118-124.
- Jiang Xingliang, Xia Qiangfeng, Hu Qin, et al. Influence of deteriorated insulator on the electric field distribution of overhang string [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(16): 118-124.

《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心, 发布了 2017 版《中国学术期刊国际引证年报》, 《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》(2017 版) 采用的统计源期刊为 20192 种, 涵盖 WoS 收录的 SCI 期刊 8874 种、SSCI 和 A&HCI 期刊 4645 种, ESCI 期刊 5578 种; 增补期刊 1762 种。参照中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标, 计算期刊影响力指数(CI), 对国内 6210 种学术期刊排序, 遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的 TOP10% 为国际影响力品牌学术期刊。TOP5% 以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10% 之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。