

电磁盘式制动器电磁力吸合特性分析及参数优化设计

安林超, 张盼盼, 程雪利, 李可宁

(河南工学院 机械工程学院, 河南 新乡 453003)

摘要: 研究了电磁盘式制动器的吸合特性并对其磁路参数进行了优化。基于离散法建立电磁盘式制动器的电磁吸力数学模型, 采用 MATLAB 对其解析求解并进行可靠性验证计算; 基于 Maxwell 电磁仿真软件对电磁盘式制动器进行磁场仿真分析得到电磁盘式制动器的吸合特性, 验证了电磁吸力数学模型及其计算结果的准确性。在制动器总磁路密封体积不变的条件下, 以最大电磁吸力为优化目标, 对电磁盘式制动器的磁路参数进行优化, 优化后的电磁吸力相比优化前提高了约 20%。

关键词: 电磁盘式制动器; 电磁力吸合特性; 电磁场仿真; 参数优化

中图分类号: TH215

文献标志码: A

文章编号: 2096-7772-(2025)04-0001-08

0 引言

电磁盘式制动器因其结构简单、响应迅速、制动效果好^[1], 广泛应用于航空航天和起重运输领域^[2-5], 其结构设计过程涉及机械、电气、磁学和材料等多个学科^[6]。电磁吸力作为影响其动态性能的关键因素, 对制动器的响应速度、使用寿命和可靠性等起着重要作用^[7-8]。

近些年, 国内外学者对电磁盘式制动器做了许多研究工作。Yusuf Yasaa 等^[9]提出了一种电磁盘式制动器设计流程, 推导出力学和热学模型, 优化输入电流和电压组合下的线圈匝数、导体半径和气隙长度, 并对制动器模型进行了仿真分析, 得到制动器壳体和衔铁的磁场密度分布、气隙长度及线圈匝数对磁链和磁力的影响。陈开楼等^[10]通过 Ansys 对制动器进行了有限元仿真分析, 得到制动器的锁制和解锁时的动态特性。刘强等^[11]对制动器的磁路进行设计优化, 提高和改善了摩擦片的性能, 保证了产品的可靠性以及轻量化要求。陈博闻^[12]通过对电磁盘式制

动器进行有限元分析, 提高了电磁盘式制动器电磁吸力理论计算和优化的有效性。李炎姝^[13]等通过分析制动器的几何模型、漆包线的规格和匝数, 基于 Maxwell_3D 仿真软件设计出 5 组线圈参数数据, 经过对这 5 组数据进行研究、分析、比较, 确定数据为线径 0.18、绕制 1426 匝的方案产生的吸合力最大, 得到了一种有效的电磁制动器设计方案。马鑫^[6]针对电磁盘式制动器的体积和发热问题, 通过运用 Ansys 研究了线圈参数对电磁吸力的影响。李荣^[14]等研制出电磁盘式制动器电磁吸力的试验平台, 对电磁盘式制动器的气隙和电磁吸力进行了测量。但目前国内外学者的研究主要集中在电磁盘式制动器模型建立和电磁体结构的改进创新, 对制动器动态性能优化的研究相对较少, 尤其是对电磁吸力的解析求解, 通常是根据经验公式求解获得, 其他解析求解方法少有报道。

基于此, 本文将对电磁盘式制动器的工作原理和磁路结构进行分析, 通过离散法建立电磁力数学模型, 并用 MATLAB 进行求解; 然后通过 Maxwell 电磁仿真软件建立电磁盘式制动器磁场仿真模型, 验

收稿日期: 2024-12-15

基金项目: 河南省科技攻关计划项目 (242102220069、252102221004)

第一作者简介: 安林超 (1982—), 男, 河南武陟人, 副教授, 博士, 主要从事物料搬运装备设计和电化学光整加工研究。

通信作者简介: 程雪利 (1978—), 女, 河南濮阳人, 教授, 硕士, 主要从事数字化设计和超声光整加工研究。

证 MATLAB 计算结果的准确性。在制动器总磁路密封体积不变的条件下,以最大电磁吸力为优化目标,对电磁盘式制动器的尺寸参数进行优化,以使其满足设计和工作要求。

1 电磁力吸合特性分析

1.1 电磁盘式制动器电磁吸力理论分析

电磁盘式制动器结构如图 1 所示,其主要由制动盘、衔铁、磁轭、调隙螺栓、电磁线圈、弹簧等组成。线圈通电时,产生的电磁吸力克服弹簧施加的轴向力,使制动盘和衔铁分离,电机正常运转;线圈断电时,电磁吸力消失,在弹簧轴向力作用下,衔铁和制动盘之间产生摩擦力矩使电机制动。

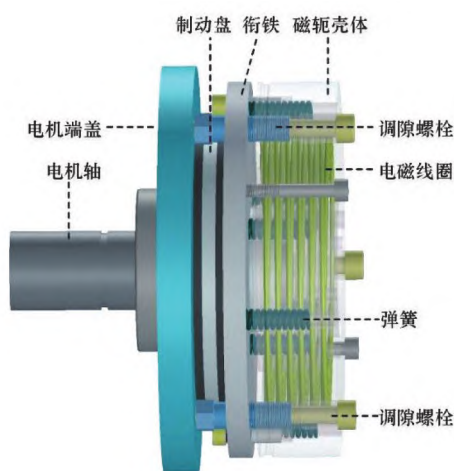


图 1 电磁盘式制动器结构图

电磁制动器对于电磁吸力的要求,主要是能够有效地克服弹簧轴向力的做功,以达到制动盘和衔铁顺利分离的目的。弹簧力和电磁吸力的关系如式 (1) 所示:

$$f_e > f_t \quad (1)$$

式中: f_e 为电磁吸力, f_t 为弹簧轴向力。结合图 2 制动器电磁组件结构尺寸参数可知,制动器的电磁吸力的计算式为:

$$f_e = \int_{r_1}^{r_2} \frac{B_{r1}^2 \times \pi r}{\mu_0} dr + \int_{r_3}^{r_4} \frac{B_{r2}^2 \times \pi r}{\mu_0} dr \quad (2)$$

式中: μ_0 为空气磁导率, B_{r1} 为内气隙磁通密度, B_{r2} 为外气隙磁通密度。

为了计算制动器的气隙磁通密度,需要引入多项参量。电磁盘式制动器为圆柱回转体结构,因此只需对其一半进行分析计算,电磁盘式制动器得电时的磁路如图 3 所示。

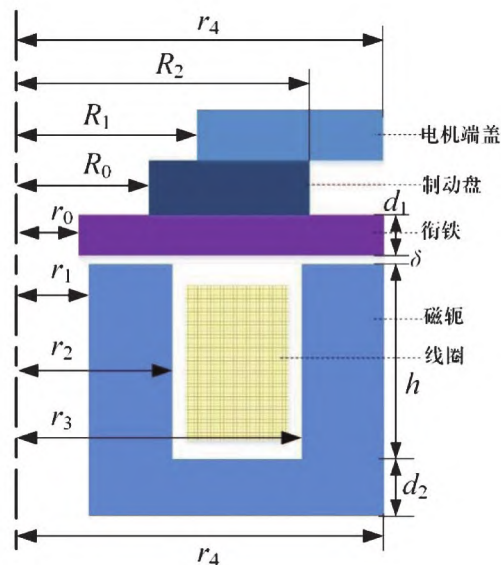


图 2 制动器电磁组件结构尺寸参数

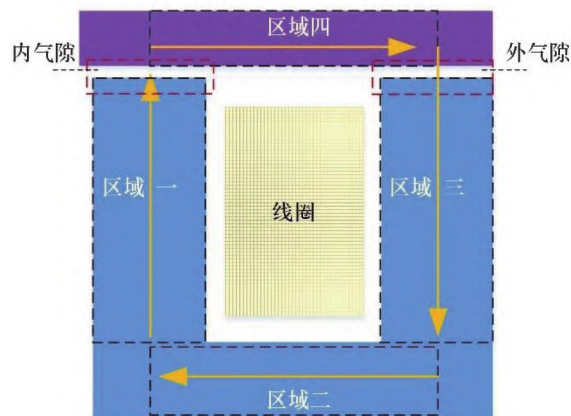


图 3 电磁盘式制动器磁路

为了便于计算,将整个磁路分为六个区域(区域一、区域二、区域三、外气隙、区域四、内气隙),对每个区域分别计算。主磁路的磁通量与内、外气隙磁通密度的关系为:

$$\phi = \int_{r_1}^{r_2} B_{r1} \cdot 2\pi r dr = \int_{r_3}^{r_4} B_{r2} \cdot 2\pi r dr \quad (3)$$

式中: ϕ 为主磁路磁通量。

主磁路磁通量与内、外气隙的磁动势关系为:

$$\phi = \frac{R_{in}}{F_{in}} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{R_{out}}{F_{out}} \quad (5)$$

式中: F_{out} 为外气隙的磁动势, F_{in} 为内气隙的磁动势, R_{in} 为内气隙磁阻, R_{out} 为外气隙磁阻。

气隙磁阻的计算公式为:

$$R = \frac{\sigma \cdot \mu}{A} \quad (6)$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (7)$$

式中: A 为磁环的面积, μ_r 为材料的磁导率。

对于一、三两个区域, 可以认为磁通密度分布均匀, 主磁路磁通量与一、三两个区域的磁通密度关系为:

$$\phi = B_1 S_1 = B_3 S_3 \quad (8)$$

式中: S_1 、 S_3 分别为区域一、三的面积, B_1 、 B_3 分别为区域一、三的磁通密度。

一、三区域的磁动势可通过下式计算:

$$F_1 = H_1 \left(h + \frac{d_1 + d_2}{2} \right) \quad (9)$$

$$F_3 = H_3 \left(h + \frac{d_1 + d_2}{2} \right) \quad (10)$$

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (11)$$

式中: H_1 、 H_3 分别为 B_1 、 B_3 对应的磁场强度。

H 与 B 的关系可通过式 (11) 计算得到。

对于区域二和区域四磁动势可以通过以下公式计算:

$$\phi = 2\pi d_2 B_{2-i} \left[r_2 + \frac{2i-1}{20} (r_3 - r_2) \right] \quad (12)$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^{10} H_{2-i} \cdot \frac{r_3 - r_2}{10} \quad (13)$$

$$\phi = 2\pi d_1 B_{4-i} \left[r_2 + \frac{2i-1}{20} (r_3 - r_2) \right] \quad (14)$$

$$F_4 = \sum_{i=1}^{10} H_{4-i} \cdot \frac{r_3 - r_2}{10} \quad (15)$$

式中: B_{2-1} — B_{2-10} 是将区域二分成 10 个磁环的磁通密度, B_{4-1} — B_{4-10} 是将区域四分成 10 个磁环的磁通密度。

由以上公式可得总磁动势为:

$$F_0 = NI = F_{in} + F_{out} + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (16)$$

式中: I 为电路电流, N 为铜丝线圈的安匝数目。

1.2 电磁吸力计算

通过 MATLAB 进行电磁吸力求解, 具体流程如图 4 所示。首先定义属性参数和尺寸参数的具体值, 然后根据公式建立各个主回路与各个区域磁动势的关系, 并对其中的变量加以定义和约束, 求得 ϕ 值。再利用 ϕ 值求出内、外气隙的磁通密度, 最后求得电磁吸力的值。

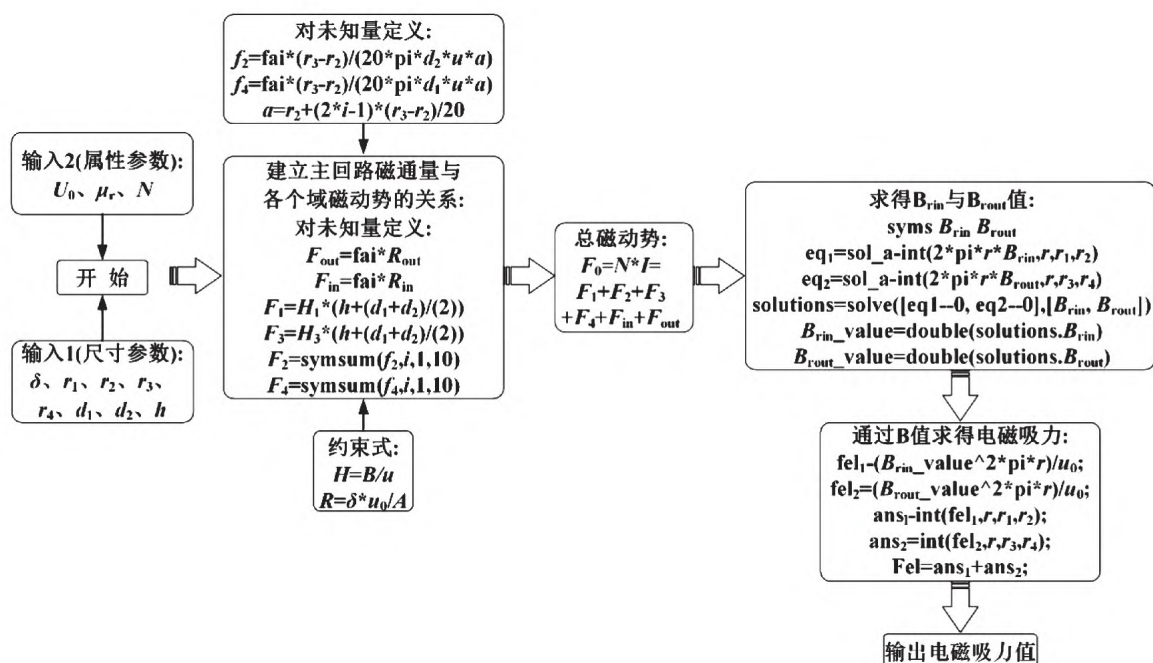


图 4 电磁吸力求解流程图

电磁盘式制动器各项参数数值如表 1 示。通过 MATLAB 建立数学模型计算得到电磁吸力值为 11,782.0 N。

1.3 可靠性验证计算

为了保障电磁盘式制动器能够可靠地完成制动和解除制动功能, 需要对弹簧弹力和制动器电磁吸力进行可靠性验证计算。

表 1 制动器各项参数

参数	数值
内气隙内径 r_1/mm	35
内气隙外径 r_2/mm	55
外气隙内径 r_3/mm	77
外气隙外径 r_4/mm	95
槽深 h/mm	36
衔铁厚度 d_1/mm	11
磁轭底部厚度 d_2/mm	15
气隙长度 σ/mm	0.3
线圈匝数 $N/\text{圈}$	4600

1.3.1 弹簧弹力验算

电磁盘式制动器的制动力矩为 $80 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，根据公式求得弹簧施加给衔铁的轴向力的值为

$$F_k = \frac{T \times f}{2\mu r} = \frac{80 \times 1.25}{2 \times 0.45 \times 0.127} = 874.9 \text{ N} \quad (17)$$

式中： F_k 为弹簧施加给制动盘的轴向力的最小许用值， T 为制动力矩， f 为安全系数， μ 为摩擦系数， r 为摩擦半径。

初选弹簧长度为 39 mm ，预压缩量 $\Delta x = 7.7 \text{ mm}$ ，螺距为 3 mm ，线径为 2.2 mm ，有效圈数为 12 圈，弹簧刚度 $k = 32.2 \text{ N/mm}$ ，弹簧个数 $n = 9$ 。则实际弹簧弹力为

$$F = nk\Delta x = 9 \times 32.2 \times 7.7 = 2231.46 \text{ N} \quad (18)$$

求得弹簧弹力 F 大于最小许用弹簧轴向力 F_k 时，可以达到制动要求。

1.3.2 电磁吸力与弹簧轴向力验算

电磁盘式制动器的制动力矩为 $80 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，安全系数 $f = 1.25$ 时，克服弹簧轴向力所需的最小许用电磁吸力为

$$F_{\text{电}} = f \times F = 1.25 \times 2231.46 = 2789.33 \text{ N} \quad (19)$$

则电磁盘式制动器电磁吸力与克服弹簧轴向力所需的最小许用电磁吸力对比如表 2 所示。

表 2 电磁吸力与最小许用电磁吸力对比表

匝数	电磁吸力 f_e	克服弹簧轴向力所需最小许用电磁吸力 $F_{\text{电}}$	超出倍数
4600	11,782.0 N	2789.33 N	4.22

从表 2 可看出，实际的电磁吸力远大于克服弹簧轴向力所需最小许用电磁吸力，电磁盘式制动器的动态响应速度加快，摩擦减小，大大提高了其寿命和工作可靠性。

2 磁场有限元仿真分析

2.1 模型的建立和有限元网格划分

通过 Maxwell 建立电磁盘式制动器的三维模型，并进行网格划分，磁轭划分的网格数目为 61,346，线圈为 13,105，衔铁为 20,458，其磁轭、线圈和衔铁的有限元网格模型如图 5 所示。

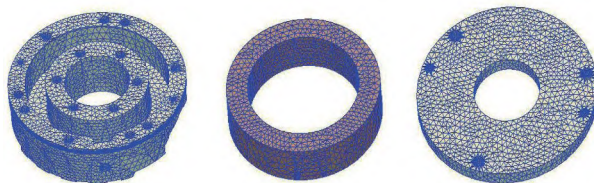


图 5 磁轭、线圈和衔铁有限元网格模型

2.2 设置边界条件

2.2.1 材料属性的设置

电磁盘式制动器的核心零件衔铁和磁轭的导磁材料选择至关重要。为了确保优异的导磁性能，衔铁和磁轭选用 10 号钢，其饱和磁通密度为 2.275 T ，相对磁导率为 902.6，屈服强度为 305 MPa 。

2.2.2 激励和绕组的设定

在三维模型的内部做一个二维端面进行电流激励的设定，并将其定义为电流流入的端口。然后进行添加绕组设置，在界面最左侧工程项目中把 Winding 与 CoilTerminal1 建立子属联系。

外电路是仿真的重要条件，它直接影响仿真的结果。在 Maxwell Circuit 界面进行外电路的绘制，绘制结果如图 6 所示。绘制完成之后，在工程管理栏内选中绕组激励源 Winding，执行 Edit External Circuit 命令，即导入在外电路编辑界面中绘制好的外电路模型。

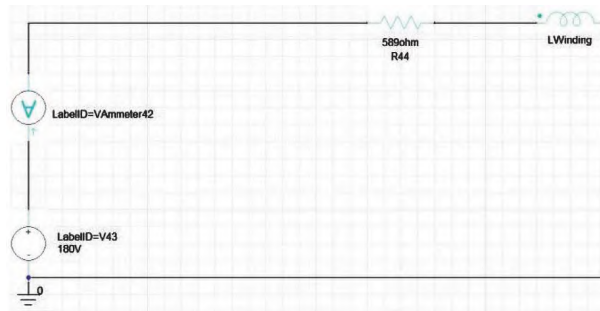


图 6 外电路图

2.3 求解设定

在对模型进行网格划分之后，设定求解器参数、仿真时长和步长；对运动域和衔铁的运动进行条件限制；利用 Maxwell 检验功能检查是否符合仿真条件。在以上步骤全部完成之后，按照图 7 所示流程进行仿真。

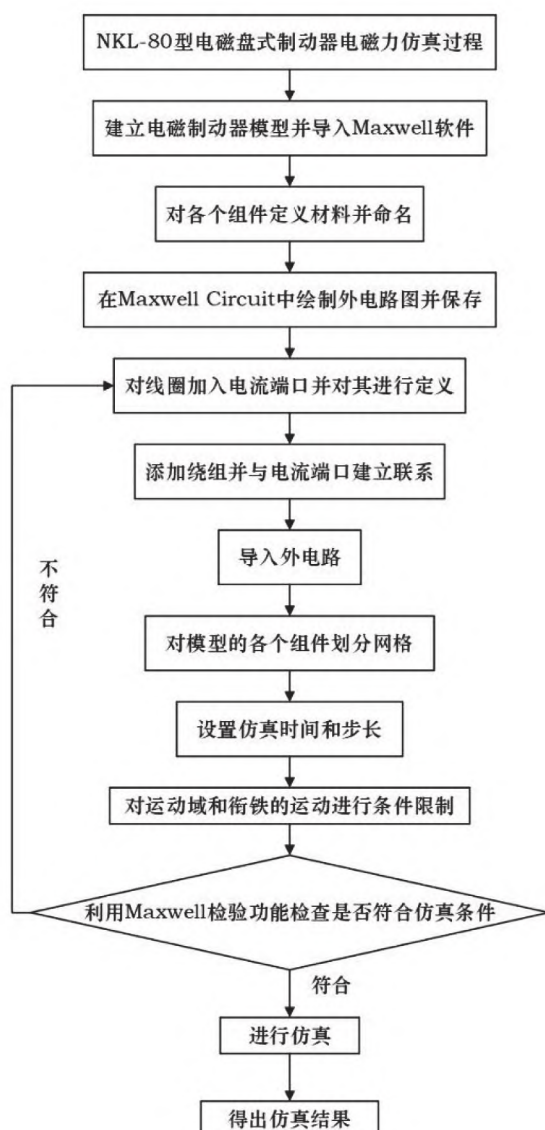


图7 仿真流程图

2.4 有限元仿真结果分析

通过 Maxwell 对电磁盘式制动器进行磁场有限元仿真, 得出电磁盘式制动器在稳定时的最大电磁吸力为 13,827.0N, 考虑仿真过程中模型网格的划分精细程度以及其他因素所导致误差的影响, 仿真结果与 MATLAB 计算值 11,782.0N 接近, 验证了 MATLAB 所计算电磁吸力结果的准确性。电磁吸力随电流变化的关系如图 8 所示, 由图 8 可以看出, 电磁吸力在衔铁未被吸合前和完全吸合之后, 随电流的增大而增大。在吸合的过程中, 由于气隙的变化会使电流的大小产生一定的波动。

电磁盘式制动器在电磁吸力最大时的磁轭和衔铁磁通密度分布如图 9 和图 10 所示。

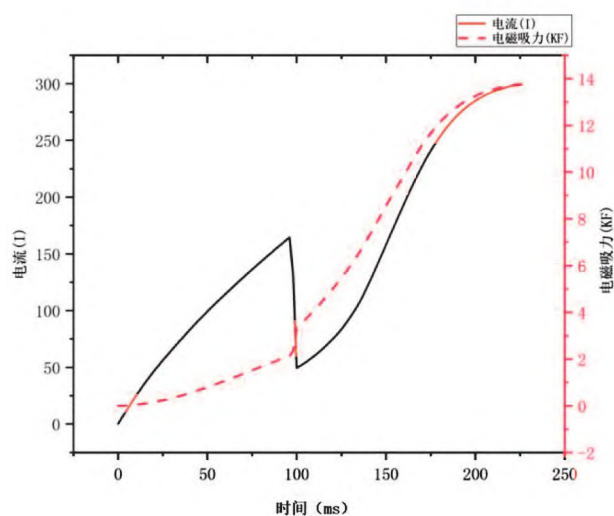


图8 电流与电磁吸力的变化曲线

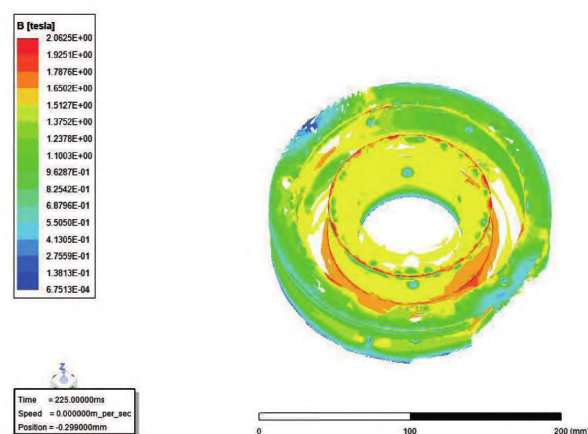


图9 磁轭磁通密度分布云图

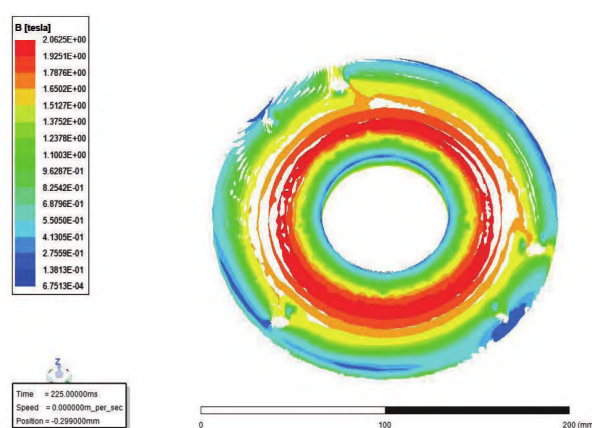


图10 衔铁磁通密度分布云图

为了更加准确地分析内外气隙磁通密度的大小及变化规律, 在内外气隙各取四个点, 对这一共八个点进行磁通密度的变化规律进行分析。内外气隙的取点如图 11 所示。

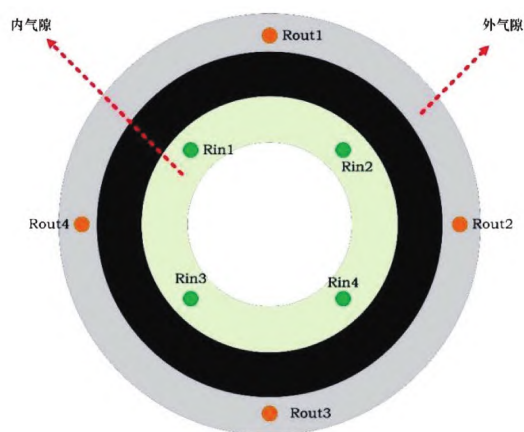


图 11 内外气隙取点图

内气隙磁通密度随时间变化的关系如图 12 所示，内气隙磁通密度稳定时的平均值为 1.5T；外气隙磁通密度随时间变化的关系如图 13 所示，外气隙磁通密度稳定时的平均值为 1.1T。内、外气隙磁通密度的分布不是很均匀，会导致衔铁受到的电磁吸力不均匀，影响吸合的效率，同时会影响摩擦片的使用寿命。

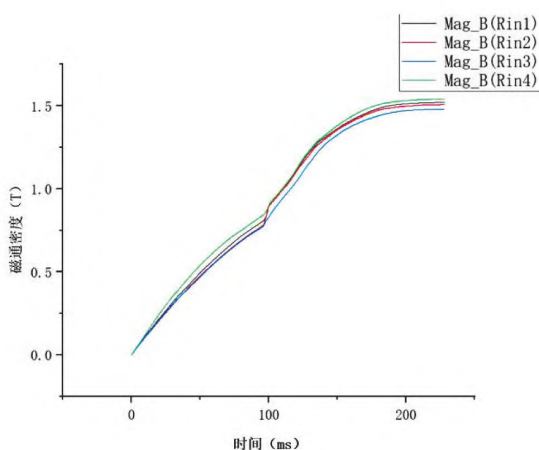


图 12 内气隙磁通密度

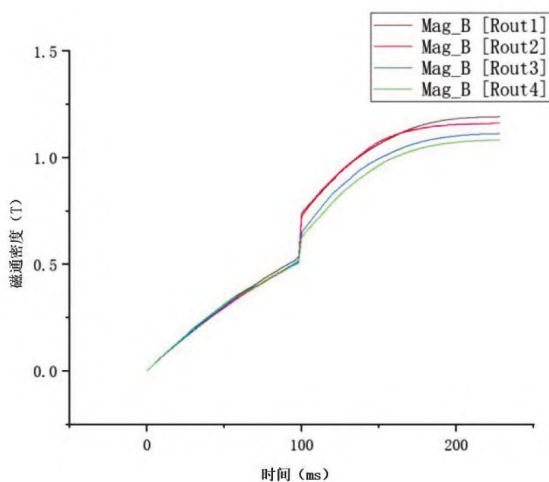


图 13 外气隙磁通密度

3 电磁盘式制动器优化设计

3.1 优化理论分析计算

由公式 (2) 可知，电磁吸力的大小由内、外气隙磁通密度及他们所对应的面积决定。对于公式 (2) 进一步优化可得：

$$f_e = \frac{\phi(B_{r1}^* + B_{r2}^*)}{2\mu_0} \quad (20)$$

式中： B_{r1}^* 、 B_{r2}^* 分别为内、外气隙磁通密度的平均值。定义如式 (21) 和 (22) 所示。

$$\frac{B_{r1}^* \int_{r1}^{r2} 2\pi r dr}{2\mu_0} = \int_{r1}^{r2} \frac{B_{r1}^2 \times \pi r}{\mu_0} dr \quad (21)$$

$$\frac{B_{r2}^* \int_{r3}^{r4} 2\pi r dr}{2\mu_0} = \int_{r3}^{r4} \frac{B_{r2}^2 \times \pi r}{\mu_0} dr \quad (22)$$

式中： μ_0 为空气磁导率。

通过公式 (21) 和 (22) 可以看出，内、外气隙平均磁通密度之和越大，电磁吸力的值就越大。但由公式 (3) 可知，当内气隙磁通密度增大时，必定会导致外气隙的磁通密度减小；反之亦然。所以当内、外气隙的磁通密度平均值相同时，电磁吸力达到最大值。此时有：

$$\frac{B_{r1}^*}{B_{r2}^*} = 1 \quad (23)$$

在不改变最大形体尺寸和包含总磁路最小密封体积 V 的情况下，只改变 r_2 和 r_3 的值使内外气隙磁通密度的平均值发生变动，并对 r_2 和 r_3 的取值范围加以限定，使结构合理。

$$V = \pi \left[(r_4^2 - r_0^2) d_1 + (r_4^2 - r_1^2) (h + d_2 + \delta) \right] \quad (24)$$

式中 V 为总磁路最小密封体积，式中各参数的值如表 1 所示。

通过 MATLAB 计算得出优化前后的电磁盘式制动器磁路结构尺寸参数如表 3 所示。

表 3 电磁盘式制动器优化前后参数对比

参数	初始数值	优化数值
内气隙内径 r_1/mm	35	35
内气隙外径 r_2/mm	55	55
外气隙内径 r_3/mm	77	65.73
外气隙外径 r_4/mm	95	95
槽深 h/mm	36	40
衔铁厚度 d_1/mm	11	10
磁轭底部厚度 d_2/mm	15	10
气隙长度 σ/mm	0.3	0.3
线圈匝数 $N/\text{圈}$	4600	4600
电磁吸力计算值 /N	11,728.0	15,117.0

3.2 优化结果仿真验证

根据优化后的电磁盘式制动器模型再次进行仿真, 得到优化后的衔铁和磁轭的磁通密度分布如图 14 和 15 所示。

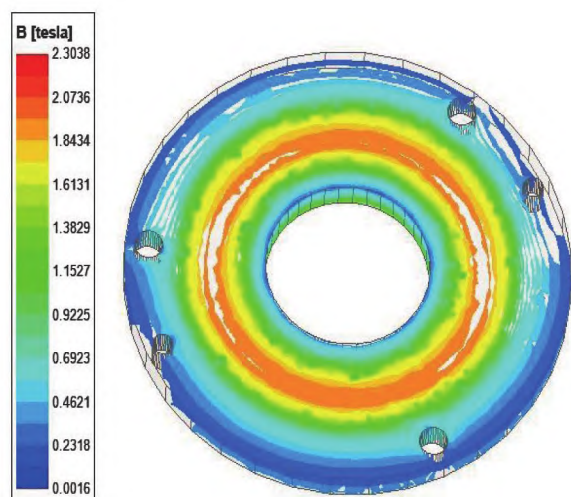


图 14 衔铁优化仿真结果

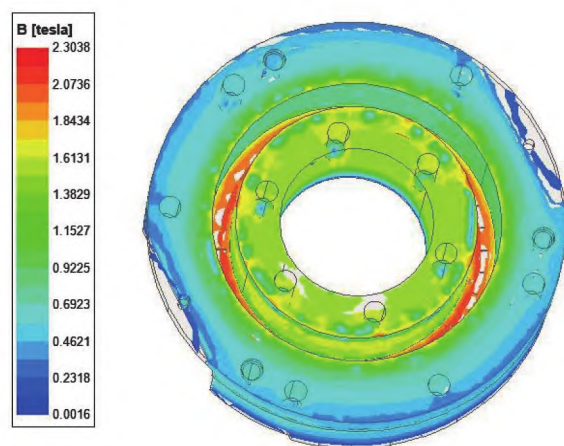


图 15 磁轭优化仿真结果

优化后的内、外气隙磁通密度随时间变化的关系如图 16 和图 17 所示, 可以看出优化后的内、外气隙稳定时的平均磁通密度均为 1.4T, 电磁吸力在此时达到最大值。

优化前后的内、外气隙磁通密度比值随时间的变化关系如图 18 所示。从图 18 可以看出, 优化前的内外气隙磁通密度比值在电磁吸力达到最大值时为 1.2 左右; 而优化后的内外气隙磁通密度的比值在电磁吸力达到最大值时为 1, 满足了电磁吸力优化的条件。优化后的电磁吸力图像如图 19 所示。

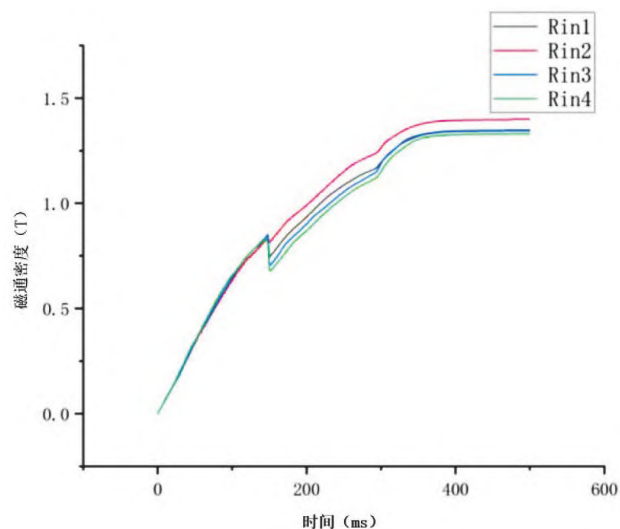


图 16 优化后的内气隙磁通密度

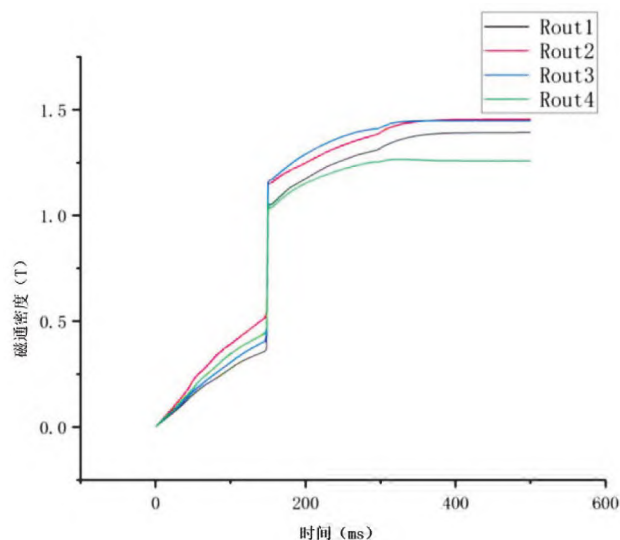


图 17 优化后的外气隙磁通密度

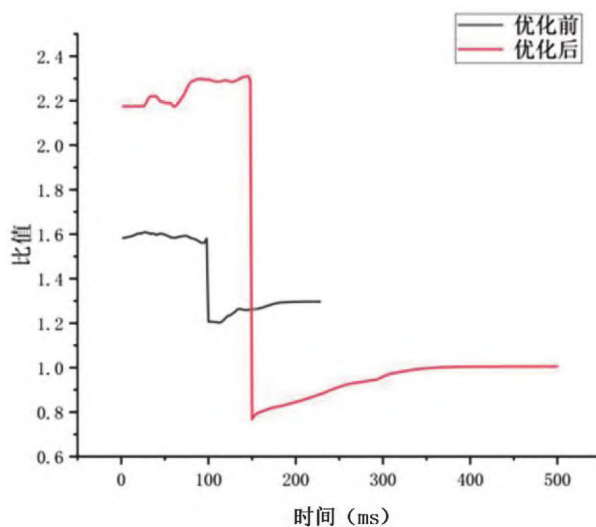


图 18 优化前后内、外气隙磁通密度的比值

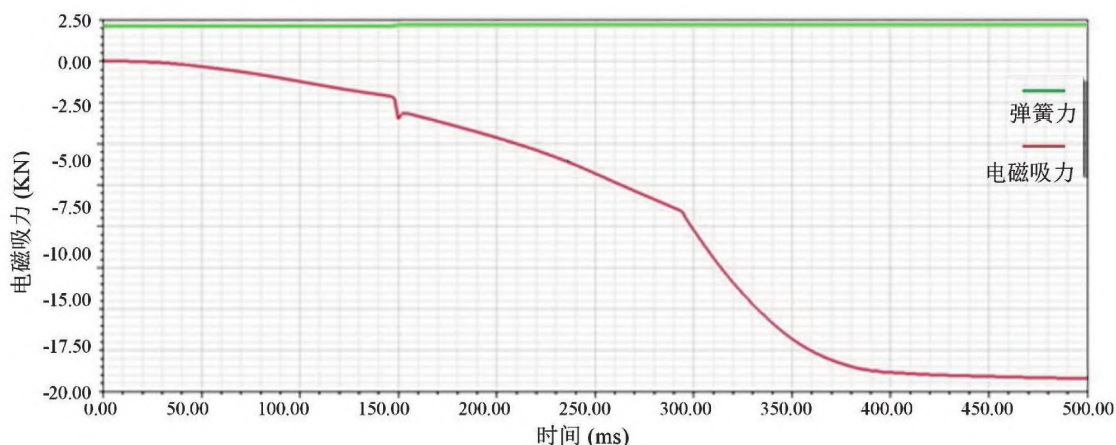


图 19 优化后电磁吸力图像

从图 19 可以看出优化后的电磁吸力的值为 19,000.0N, 相比于优化模型尺寸参数前的 13,827.0N 相比, 提高了约 20%。同时也验证了优化设计的思路和方向是正确的, 为电磁盘式制动器的优化设计提供参考。

4 结论

本文对电磁盘式制动器进行了电磁吸力分析计算和电磁场仿真。

(1) 通过对电磁盘式制动器电磁吸力的理论分析, 建立了电磁吸力数学模型, 并运用 MATLAB 对其进行求解, 结果表明制动器的电磁吸力远远大于克服弹簧轴向力所需最小许用电磁吸力, 电磁盘式制动器响应释放时间变快。

(2) 通过 Maxwell 电磁仿真软件对电磁盘式制动器进行磁场仿真分析, 得到电磁盘式制动器在稳定时的最大电磁吸力, 验证了 MATLAB 计算电磁吸力结果的准确性, 同时, 也得到制动器在电磁吸力最大时的磁轭和衔铁磁通密度分布以及内、外气隙的磁通密度分布情况。

(3) 在基于制动器总磁路密封体积不变的条件下, 以最大电磁吸力为优化目标, 对电磁盘式制动器的磁路结构尺寸进行了优化, 优化后的电磁吸力相比优化前提高了约 20%。

参考文献:

[1] 胡小飞, 王毅, 朱炎, 等. 电磁制动器的发展现状及应用前

景[J]. 微特电机, 2019, 47(4): 71-75.

[2] 张博, 王会玲, 黄琳娣, 等. 基于 Ansys 的电磁失电制动器设计与仿真[J]. 微电机, 2015, 48(2): 21-31.

[3] 刘强, 房建成, 韩邦成. 磁悬浮飞轮锁紧保护技术研究与展[J]. 光学精密工程, 2014, 22(9): 2465-2475.

[4] ZHANG L S, GUO S X, YU H D, et al. Design and principle analysis for electromagnetic brake clamping mechanism of a novel slave Manipulator[C] // IEEE International Conference on Mechatronics & Automation. 2016.

[5] 熊长炜, 吕宏展, 舒雨锋, 等. 一种机器人臂关节电磁制动器的设计与仿真分析[J]. 机器人研究, 2019, 32(1): 171-173.

[6] 马鑫, 郑庆华, 周挺, 等. 基于永磁直驱用电磁制动器的设计与研究[J]. 电工电气. 2024(1): 16-20.

[7] 王立超. 电磁式磁轨制动器吸力的仿真分析与优化[J]. 铁道车辆, 2017(12): 21-26.

[8] 郑龙现. SEW 制动电动机与普通制动电动机的比较[J]. 聚氯乙烯, 2018, 12(5): 10-15.

[9] YUSUF Y, EYYUP S, BARIS T E, et al. A multidisciplinary design approach for electromagnetic brakes[J]. Electric Power Systems Research 141 (2016) 165 - 178.

[10] 陈开楼, 张稳桥, 曾晓松, 等. 电磁失电制动器机电一体化仿真技术研究[J]. 现代机械, 2022(5): 10-15.

[11] 刘强, 刘德良, 王安康. 电磁制动器性能优化[J]. 起重运输机械, 2017(8): 76-79.

[12] 陈博闻, 吴建华, 孙庆国, 等. 电磁制动器电磁吸力解析计算与设计优化[J]. 日用电器, 2018(11): 128-134.

[13] 李炎姝, 李涛, 侯乃歌, 等. Maxwell_3D 的电磁制动器线圈设计与仿真研究[J]. 办公自动化, 2024(9): 81-83.

[14] 李荣, 赵静, 吴彪, 等. 电磁制动器电磁力测试平台的研制及试验[J]. 煤矿机械, 2022, 43(12): 52-55.

(下转第 80 页)

而推动竞技体育在“以人民为中心”的轨道上实现可持续、高质量发展,为建设体育强国和满足人民美好生活需要做出积极贡献。

(4) 随着科技的不断进步,竞技体育将与新兴技术如人工智能、虚拟现实、区块链等深度融合,为运动员的训练、赛事的组织 and 观众的体验带来全新的变革和提升。例如,智能训练系统将为运动员提供更加个性化、科学化的训练方案,虚拟赛事平台将打破时间和空间的限制,让观众能够身临其境地感受体育赛事的魅力,进一步拓展竞技体育的发展空间和影响力,使竞技体育在新时代焕发出新的生机与活力。

参考文献:

- [1] 陈胜云. 以人民为中心是中国共产党人的基本价值理念[J]. 党政论坛, 2019(3):20-21.
- [2] 本报评论员. 总局召开党组扩大会议学习十八届七中全会公报[N]. 中国体育报, 2017-10-16(1).
- [3] 任鹏, 颜维琦. “铿锵玫瑰”是怎样炼成的[N]. 光明日报, 2022-03-18(5).
- [4] 刘琳琳, 宋磊, 谢金迪, 等. 习近平关于以人民为中心发展体育重要论述的探究[J]. 哈尔滨体育学院学报, 2022, 40(6):62-66.
- [5] 张业安, 李崑, 杜恺, 等. 以人民为中心的体育主体性的实践逻辑[J]. 体育科学, 2021, 41(12):30-38, 97.

Exploration of the Sustainable Development Path of Competitive Sports Under the People-Centered Concept

KONG Weiman

(School Union, Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The people-centered concept has a crucial guiding significance for the sustainable development of current competitive sports, but the sustainable development of current competitive sports faces challenges such as talent cultivation disconnection, uneven resource allocation, and imbalanced commercialization and public welfare. On the basis of drawing on the practices of Shanghai and Zhejiang, this article follows the people-centered concept and explores the sustainable development path of competitive sports, including optimizing the talent training system, balancing resource allocation, and coordinating commercialization and public welfare.

Key words: people-centered; competitive sports; sustainable development; route

(责任编辑 吕春红)

(上接第 8 页)

Analysis and Parameter Optimization Design of Electromagnetic Force Attraction Characteristics of Electromagnetic Disc Brake

AN Linchao, ZHANG Panpan, CHENG Xueli, LI Kening

(School of Mechanical Engineering, Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: Studied the attraction characteristics of electromagnetic disc brakes and optimized their magnetic circuit parameters. Establish a mathematical model of electromagnetic suction force for electromagnetic disc brakes based on discrete method, and use MATLAB to analytically solve and verify its feasibility; Based on Maxwell electromagnetic simulation software, magnetic field simulation analysis was conducted on the electromagnetic brake to obtain the suction characteristics of the electromagnetic brake, verifying the accuracy of the electromagnetic suction mathematical model and its calculation results. Under the condition that the total magnetic circuit sealing volume of the brake remains unchanged, the magnetic circuit parameters of the electromagnetic disc brake were optimized with the maximum electromagnetic suction force as the optimization objective. The optimized electromagnetic suction force increased by about 20% compared to before optimization, providing reference for the optimization design of electromagnetic disc brakes.

Key words: electromagnetic disc brake; electromagnetic attraction characteristics; electromagnetic field simulation; parameter optimization

(责任编辑 吕春红)