

控制与保护开关电器电磁机构 运动轨迹仿真研究

黄世泽¹, 郭其一¹, 章敏娟¹, 朱奇敏²

(1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 200331;

2. 浙江中凯科技股份有限公司, 浙江 温州 325604)



黄世泽(1983—)
男, 博士后, 研究方向
为低压电器虚拟
样机技术、智能配
电系统。

摘要: 针对控制与保护开关电器(CPS)电磁铁长期吸合、释放过程造成的线圈骨架磨损和变形问题, 根据动态仿真轨迹, 提出了线圈骨架限位槽的改进措施, 并通过仿真验证了其可行性。仿真结果显示, 改进措施能达到降低轴和限位槽间的摩擦力, 减少E形电磁铁工作时产生的噪声, 提高E形电磁铁的工作稳定性的目的。

关键词: 控制与保护开关电器(CPS); 电磁机构; Ansys; Adams; 动态仿真

中图分类号: TM 564.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-5531(2013)11-0005-05

Simulative Study on Movement Trajectory of Control and Protective Switching Device Electromagnetic Body

HUANG Shize¹, GUO Qiyi¹, ZHANG Minjuan¹, ZHU Qimin²

(1. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200331, China;

2. Zhejiang Jonk Technology Co., Ltd., Wenzhou 325604, China)

Abstract: Aimed at the attrition and deformation of coil framework in the course of E-shaped electromagnet closing up and separating from the other for quite large number of times, and according to the simulative movement trajectory, an improvement method applied to the coil framework limit groove was put forward, and its feasibility was verified. The simulative results reveal that the improvement method lowers the friction among the axis and limit groove, reduces the noise caused by the operation of E-shaped electromagnet, and improves the stability of E-shaped electromagnet.

Key words: control and protective switching device (CPS); electromagnetic body; Ansys; Adams; dynamic simulation

0 引言

控制与保护开关电器(Control and Protective Switching Device, CPS)是一种新型多功能集成电器。CPS将断路器、接触器、热继电器及隔离器的功能融为一体,汇集了分立元器件的优点,并克服其缺点,解决了各电器之间的协调配合问题,具有连续工作的能力^[1-2]。随着现场环境和要求的日益严苛,CPS暴露出较多问题。根据现场失效数据的反馈,线圈烧毁是其主要失效模式之一。对相关失效产品进行现场拆机检查后发现,故障大

部分是因线圈骨架的磨损和严重变形。究其原因,由于E型电磁铁的动铁心运动轨迹并不是理想中的平行运动,而是一定程度上的弧线旋转运动,且E型动铁心中心轴由平行槽限位,因此,在E型电磁铁吸合运动的过程中轴与平行限位槽之间产生摩擦,导致限位槽磨损而产生粉末。这些粉末会使E型电磁铁在工作过程中产生噪声,且磨损会导致机械寿命不断缩短。因此急需一种方法能较为真实地模拟电磁铁吸合过程,协助开发和改进电磁机构。

针对该问题,本文对模型的动铁心及其与线

郭其一(1961—)男,博士后,研究方向为低压电器虚拟样机技术、智能配电系统。

章敏娟(1987—)女,硕士研究生,研究方向为低压电器仿真技术。

圈骨架相连接的转轴运动轨迹进行了运动学仿真,模拟衔铁在动作过程中的受力情况,以对 CPS 电磁铁在吸合运动过程中轴的运动轨迹和范围进行仿真。

1 电磁机构工作原理及其数学模型

1.1 电磁机构工作原理

CPS 是由电磁机构作为动作控制部件的电磁式开关电器。其结构简图如图 1 所示。

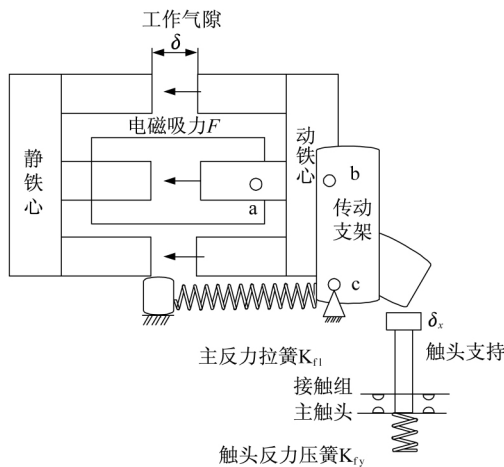


图 1 电磁机构结构简图

图 1 中,静铁心与主体外壳固定,动铁心通过 3 处转轴与支架和触头支持相固定。a 转轴约束动铁心和线圈骨架,当动铁心运动时,转轴 a 在线圈骨架的滑槽中运动,确保了动铁心相对静铁心作水平靠近运动;b 转轴将动铁心和触头支持机构形成转动连接,确保了动、静铁心吸合、释放时能带动传动支架,通过超程 δ_x 与触头反力压簧间的配合带动触头支持动作,使接触组的主触头闭合、断开,完成主电路的通、断;c 转轴将动铁心和主反力拉簧连接,反力拉簧提供的反力与动、静铁心间的电磁吸力完成吸、反力配合。线圈通电后,其内部产生感应磁场,继而动、静铁心间产生电磁吸力,当电磁吸力足以克服主反力拉簧产生的反力后,动铁心开始运动,工作气隙 δ 开始减小,电磁吸力逐渐增大,直至动、静铁心可靠吸合,传动支架随动铁心上抬,释放触头支持顶杆和触头反力压簧,主触头可靠吸合,传动机构动作完成。线圈断电后,动、静铁心间磁场消失,动、静铁心随电磁力的消失而释放,传动支架顶开触头,带动主触头分开,传动机构动作完成。

1.2 电磁机构数学模型

CPS 的双 E 型电磁铁工作过程是电磁场、热场及机械运动的综合过程。其在运动上受达朗贝尔运动方程约束^[3],在电路方面受电压平衡方程约束,在磁场上遵循麦克斯韦方程,在热场问题中受热平衡方程约束,这些约束方程间同时还存在联系,对系统总体约束构成电磁传动系统的动态数学模型。该模型的微分方程组为

$$\begin{cases} U = iR(T) + \frac{d\psi}{dt} \\ m \frac{d^2x}{dt^2} = F_x - F_f(x, \frac{dx}{dt}) \\ \psi = i\delta(x) \\ F_x = f_2(W_\mu) = \frac{1}{2}i^2 \frac{d\delta(x)}{dx} \\ \frac{dT}{dt} = f(P, T_0, D_x, H_x) \end{cases}$$

式中 U ——电磁线圈的励磁电压
 R ——电磁线圈的电阻值,是 T 的函数
 T, T_0 ——线圈工作温度和周围环境温度
 i, ψ ——线圈电流值和全磁链
 m ——电磁传动机构运动部件质量
 $\delta(x)$ ——电磁传动机构运动部件重心位移
 F_x, F_f ——折算到铁心极面中心处动态吸力和运动反力,衔铁极面空气阻力则是 dx/dt 的函数;
 W_μ ——电磁系统的磁能,是电流和全磁链的函数
 P ——电磁机构的功耗
 D_x, H_x ——线圈外径和高度

由于上述电磁传动机构的动态方程组未考虑涡流及磁滞效应,故电流和吸力都是磁链和气隙的二元函数,可采用插值法,即用离散数据来表示不同的气隙和磁链值所对应的电流和吸力值,并造出相应的插值表格。当进行动特性分析时,查表即可求出任意气隙或磁链对应的电磁机构的电流和吸力值。从离散化的概念可知,气隙-吸力的插值表就是电磁传动机构的静态吸力特性。

2 CPS 电磁机构吸合过程动态仿真

2.1 E 型电磁铁静态电磁吸力计算

有限元法是根据变分原理求得与磁势偏微分方程对应的能量泛函,然后对求解域剖分插值离

散化处理,求得一组多元代数微分方程组,并求解该方程组,即得各节点矢量磁位值;根据磁位和磁密关系式,可求得各节点的磁密和磁场强度。本文采用三维静态磁场标量法,对电磁机构进行仿真分析^[4]获取不同气隙值时动铁心所受电磁吸力,作为 Adams/View 中载荷。

通过建立模型、赋予特性、划分网格、施加边界条件等步骤,最终计算求解并可查看电磁力和磁场分布等结果。将不同工作气隙代入仿真程序获得不同电磁力值,供后续计算使用。由动、静铁心和线圈构成的电磁系统有限元模型如图 2 所示。

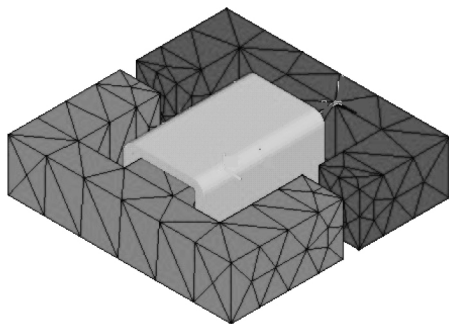


图 2 电磁系统有限元模型

2.2 电磁机构动态仿真模型

考虑到 UG 软件在建立模型方面的优势,以及 Adams 软件在机械系统动力学仿真方面的优势,本文对电磁传动机构的动态仿真采用 UG 和 Adams 的联合仿真。

首先在 UG 中建立 CPS 电磁传动机构三维模型,并约束各零部件的位置,再利用 UG 和 Adams 的转换接口将模型导入。由于实际模型和提供的 UG 模型有一定的区别,还要利用 Adams/View 模块对模型进行修正,如合并硅钢片、添加触头支持、添加滑槽和弹簧等;同时还要添加相应的约束及驱动力,为仿真做好前期准备^[5]。修正后的模型如图 3 所示。

2.3 电磁机构动力学仿真

在仿真前通过软件自带的模型检查工具进行检查,确定无误后,对以下几个参数进行设定^[6]:

(1) 仿真类型。该模型仿真分析自由度不等于零,所以选择电磁机构动态仿真为动力学仿真,可得到各处的力学、运动学特性。

(2) 仿真分析时间。定义仿真分析从开始到

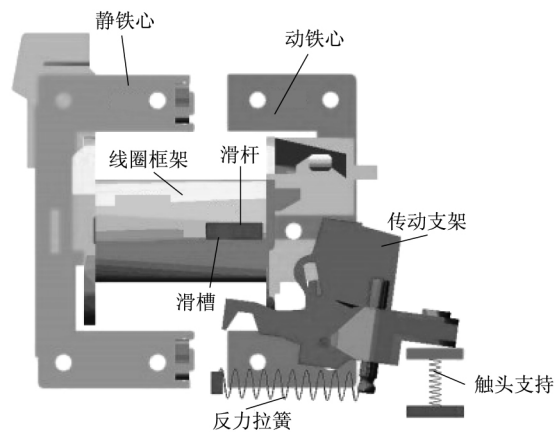


图 3 电磁机构动态仿真模型

停止的时间为 0.01 s。

(3) 仿真过程中,Adams/View 输出仿真结果的频率 Steps 为 1 000 步。

由于 E 型电磁机构在组装时,通常有 2 种装配方法:水平装配和竖直装配。前者动铁心平动,后者动铁心上下运动。以下分情况讨论。

2.3.1 E 型电磁铁平行装配特性曲线

将重力方向设为竖直向下(Y 轴负向)方向,仿真所得曲线如图 4 所示。

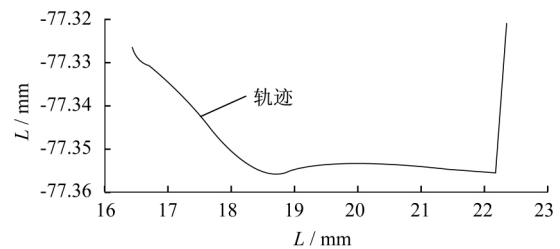


图 4 动铁心支轴沿滑槽和法向位移-位移(轨迹)曲线

由图 4 可见,电磁铁吸合过程中动铁心的运动轨迹并不一定是水平的,在电磁力、重力和动、静铁心吸合撞击等影响下,存在竖直方向的抖动。

动铁心滑杆与滑槽法向接触力-位移曲线如图 5 所示。

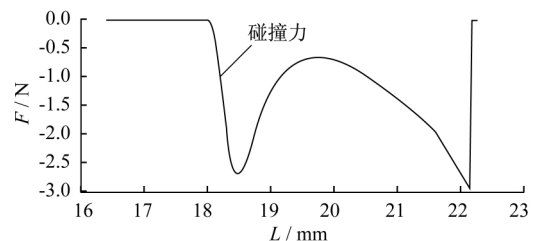


图 5 动铁心滑杆和滑槽法向接触力-位移曲线

进一步查看该支轴在动作过程中的受力情况,理论上该轴在线圈骨架的滑槽中进行水平移动,但是由于重力及电磁场的作用,当衔铁开始运动后该支轴与线圈骨架之间产生一定的摩擦力。这是实际应用中骨架磨损的主要原因。

2.3.2 E型电磁铁竖直装配特性曲线

在实际的安装使用中,大部分情况下CPS处于竖直安装位置,即重力方向由静铁心指向动铁心,与衔铁的运动方向相反,对动铁心与线圈骨架间支轴的运动轨迹会产生不同的影响,这需要在仿真前处理时就考虑进去。在Adams的设置菜单中,改变模型的重力方向,由-Y轴调整为X轴,重复上述仿真过程,得到仿真结果如图6、图7所示。

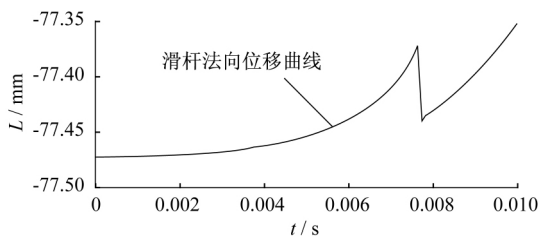


图6 动铁心支轴滑槽法向位移曲线

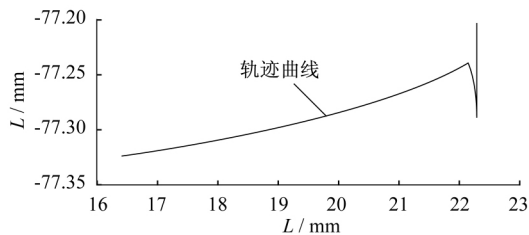


图7 动铁心支轴沿滑槽和法向位移-位移(轨迹)曲线

由图6、图7可见,支轴在线圈骨架滑槽中的运动仍存在往返和法向上的偏离,支轴运动时沿纵坐标绝对值减小方向偏离,即向线圈骨架侧靠拢。这与实际失效产品的线圈骨架磨损情况相符。

3 仿真结果验证和改进措施

仿真初步结果真实地反映了电磁机构的吸合过程,克服了传统的设计和试验中吸合过程实时观测的困难,此举可为电磁机构的设计和改进提供帮助。

仿真结果显示,吸合过程中动铁心和静铁心发生碰撞时,并未发生触头弹跳的情况,吸合还是

可靠、稳定的。铁心水平装配仿真时动铁心的运动不是平动,而是有上、下、左、右波动。在此过程中,动铁心对线圈骨架会造成摩擦和碰撞,阻碍电磁机构的吸合,摩擦和碰撞也会产生许多粉末和飞屑,导致电磁机构吸合环境恶化,并引起大量的噪声,降低了CPS开关电器的可靠性。在产生磨损和飞屑后,造成的碰撞和摩擦会更大。

针对上述问题,尝试在铁心水平装配仿真试验中对滑槽进行改进,改进结果如图8所示。



图8 滑槽改进措施

这种结构的好处在于当动铁心滑杆运动时,在较长一段距离里未和滑槽接触或接触力较小,释放时也可随着渐变的斜面回位,不影响下次的仿真分析。

为说明该方法是可取的,可用极端方法验证,将平行槽消去,让动铁心滑杆在没有约束的情况下运行,通过观察其吸合的动态曲线。若和本文开始的动态仿真基本一致,则证明可行。仿真结果如图9~图12所示。

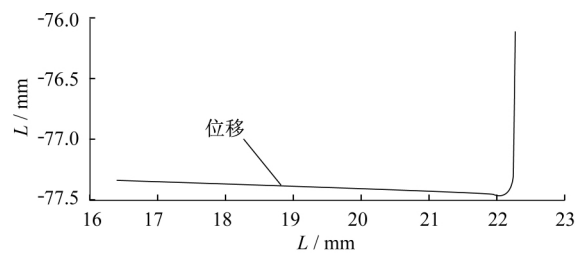


图9 改进后滑杆竖直方向运动轨迹

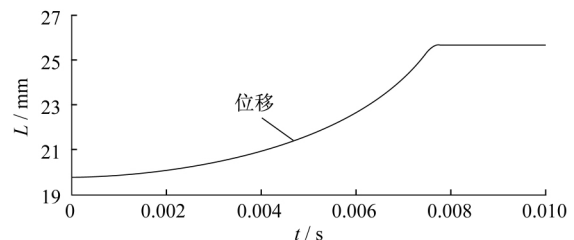


图10 改进后动铁心水平方向位移-时间曲线

由图9~图12可见,当约束失去以后,动铁心滑杆未受到限位滑槽的阻挡,呈下降趋势,但直到吸合时,仅比原来位置降约1 mm。因此,从吸合过程来看,与原来的模型是一致的,不会出现因

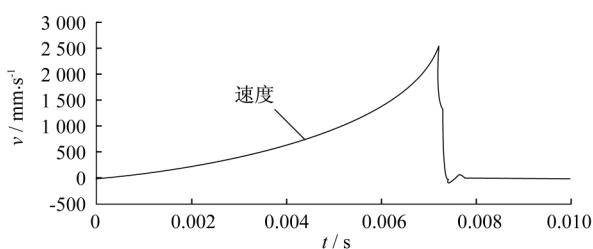


图 11 改进后动铁心速度 - 时间曲线

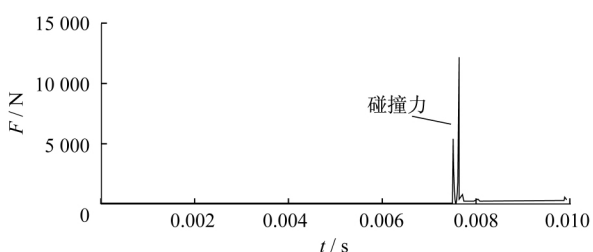


图 12 改进后动、静铁心碰撞力 - 时间曲线

限位槽变大而动铁心倾倒的情况;从仿真来看,有一定的轻微倾斜,由于路径变长等原因,导致吸合时间有 0.3 ms 的延迟,可忽略;从实际来看,在保证可靠吸合的情况下,这种改进能有效地避免因迅速吸合而产生的飞屑、粉末,对保证电磁铁工作环境和降低噪声有着非常重要的意义。

同理,竖直装配时,采用的改进措施与图 8 提到的改进措施相反,且经试验验证是可行的。

模型仿真和真实产品存在许多的不同之处,如省略部分摩擦力、载荷的加载、动铁心初始位置和电磁力本身不精确等,整个系统比较理想化,不能完全代表原系统。但通过对简化模型的计算,

依然会对产品设计前期工作提供很大的帮助,有效地避免了传统设计前期容易出现的较大纰漏,并提高了效率,节约了人力。

4 结 语

本文利用有限元分析软件 Ansys 对 CPS 电磁机构进行静态电磁力计算,然后利用机械系统动力学分析软件 Adams 进行动态仿真,得到电磁机构的动态特性。根据实际观测到的碰撞、摩擦等情况,对电磁机构中滑槽进行了一定的设计修改,并经过仿真验证,确定了改进思路的可行性和正确性。对比试验结果表明,经改进后的铁心噪声明显减少,长期良好运行也验证了其机械寿命得到了提高。

【参考文献】

- [1] 曾萍,胡景泰,朱文灏,等. 智能化控制与保护开关电器的现状与发展[J]. 低压电器, 2010(22): 1-4.
- [2] 胡景泰. 智能化控制与保护开关电器(CPS)[J]. 电气时代, 2004(8): 64-66.
- [3] 崔芮华,贾峰,柳杰,等. 交流接触器电磁机构动态仿真分析[J]. 微计算机信息, 2006(19): 286-288.
- [4] 孙明礼,胡仁喜,崔海蓉,等. Ansys 10.0 电磁学有限元分析实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [5] 陈德桂,李兴文. 低压断路器的虚拟样机技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [6] 郑健荣. Adams——虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.

收稿日期: 2012-12-27

【主要栏目设置】

- | | | | |
|-------------|----------|-----------|-------------|
| • 综述 | • 研究与分析 | • 智能电器 | • 现场总线与网络通信 |
| • 智能配电技术与系统 | • 储能与微电网 | • 新能源管理技术 | • 电动汽车 |
| • 检测技术 | • 分布式电源 | • 电能质量 | • 智能制造 |
| • 标准研究与分析 | • 新产品介绍 | • 行业信息 | • 应用 |

投稿邮箱: lva@seari.com.cn

在线投稿: http://elva.chinaelc.cn

欢迎投稿 欢迎刊登广告