

# Magnetic Field Analysis of the Eddy Current Sensor Dynamic Calibration Device

Xiang Xu, Xin Zhou\*, Hengji Zhou

Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Yuxi Yunnan  
Email: 06000262@hongta.com

Received: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Feb. 4<sup>th</sup>, 2018; published: Feb. 11<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

To verify the rationality of the eddy current sensor dynamic calibration device magnetic circuit and induction plate size, this paper uses Ansoft Maxwell to calculate moving coil working air-gap magnetic field and eddy current distribution of the induction plate. The moving coil working air-gap magnetic field intensity of the eddy current sensor dynamic calibration device at about 0.58 T makes the maximum acceleration of moving coil meets the requirement of calibration, and the induction plate eddy current radial distribution of envelope is in induction plate, which accords with our using requirements.

## Keywords

Eddy Current Sensor, Dynamic Calibration Device, Air-Gap Magnetic Field, Eddy Current Distribution

---

## 电涡流传感器动态校准装置磁场分析

徐 祥, 周 鑫\*, 周恒继

红塔烟草(集团)有限责任公司, 云南 玉溪  
Email: 06000262@hongta.com

收稿日期: 2018年1月23日; 录用日期: 2018年2月4日; 发布日期: 2018年2月11日

---

## 摘 要

为了验证电涡流传感器动态校准装置磁路和感应盘尺寸设计的合理性, 本文运用Ansoft Maxwell对设计的一种电涡流传感器动态校准装置的动圈工作气隙磁场和感应盘的涡流径向分布进行了计算求解。验证

\*通讯作者。

了所设计的电涡流传感器动态校准装置动圈工作气隙磁场强度在0.58 T左右,使得动圈产生的最大加速度满足校准要求,感应盘的涡流径向分布包络在感应盘内,符合使用要求。

## 关键词

电涡流传感器, 动态校准装置, 气隙磁场, 涡流分布

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

电涡流传感器在长期使用过程中,可能会因为老化或者受客观环境的影响,指示值会出现很大的误差甚至错误,所以需要根据电涡流传感器的性能定期的对其进行动态或者静态校准,及时发现并处理电涡流传感器存在的问题,校准时,感应盘使用被校准传感器实际工况中所感应的金属导体材料制成,这样来保证电涡流传感器测量结果的准确性,校准周期一般不超过一年[1]。

目前国内对电涡流传感器的动态校准分圆盘式动圈仪和标准振动台两种形式。前者如上海瑞视仪表电子有限公司设计了一种转动斜盘式的电涡流传感器动态校准装置[2],该装置通过电机带动斜感应盘周期性的转动,改变电涡流传感器与感应盘之间的距离来模拟振动,装置结构简单但校准频率范围具有局限性,同时感应盘与被校准传感器之间存在夹角,会引入校准误差。后者如浙江大学对于标准振动台在超低频、低频、中频和高频的振动标准装置的研究较为深入[3] [4] [5]。标准振动台对电涡流传感器的动态校准精度高、频率范围广。磁路和感应盘设计的合理性是电涡流传感器动态校准标准振动台设计的关键。

## 2. 电涡流传感器动态校准装置结构

电涡流传感器动态校准装置结构主要为电磁振动台,电磁振动台由不动部分和可动部分组成。不动部分包括永磁体和内外磁轭,目的是在导磁体和前端盖之间产生均匀的气隙磁场;可动部分——工作台面、动圈架、动圈和支撑弹簧等组成,其示意图如图1所示。电磁振动台的工作原理是运动的电荷在磁场中受到洛伦兹力的作用,处于磁场中的通电导体会受到电磁力  $F = BIL$  的作用。当在动圈线圈通以标准的正弦电流  $I = I_1 \sin(\omega t + \varphi)$  时,在导体的有效长度  $L$  以及导体所处磁场的感应强度  $B$  一定的情况下,工作台面在电磁力  $F = BLI_1 \sin(\omega t + \varphi)$ ,呈标准的正弦规律变化,进而驱动工作台面做标准的正弦振动[6]。

## 3. 静磁场分析

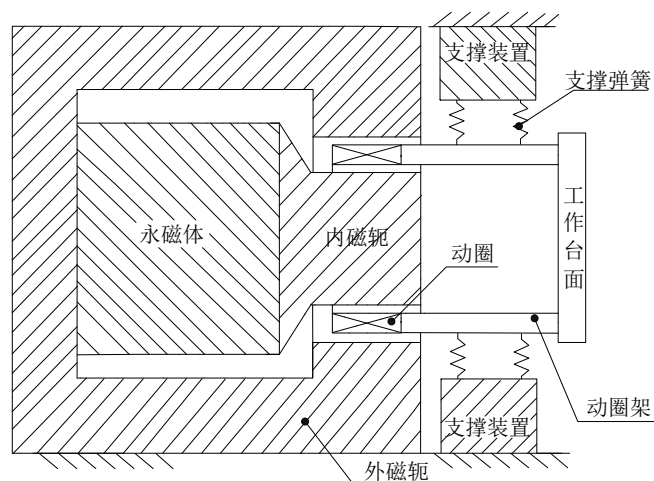
为了使得振动台的输出加速度达到设计要求,必须在磁场气隙产生足够的磁感应强度。下面运用 Maxwell 2D 软件对动圈工作的气隙磁场强度进行仿真计算[7] [8]。

### 1) 模型建立

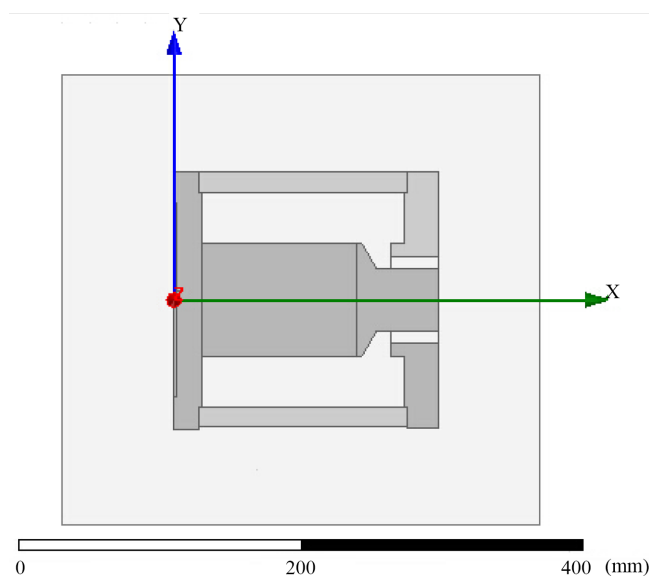
利用 Maxwell 2D 对永磁体在导磁体和前端盖之间产生均匀的气隙磁场进行仿真分析,其模型包括永磁体、外磁轭、内磁轭和前后端盖的二维有限元模型。建立的有限元模型如图2所示。

### 2) 材料特性

有限元模型包含3种不同的介质,即空气、AlNiCo 永磁体和纯铁,在 Ansoft 软件中完成各材料的电导率、相对磁导率等属性进行定义。



**Figure 1.** Schematic diagram of electromagnetic vibration table  
**图 1.** 电磁振动台结构示意图



**Figure 2.** Electromagnetic simulation finite element model  
**图 2.** 电磁仿真有限元模型

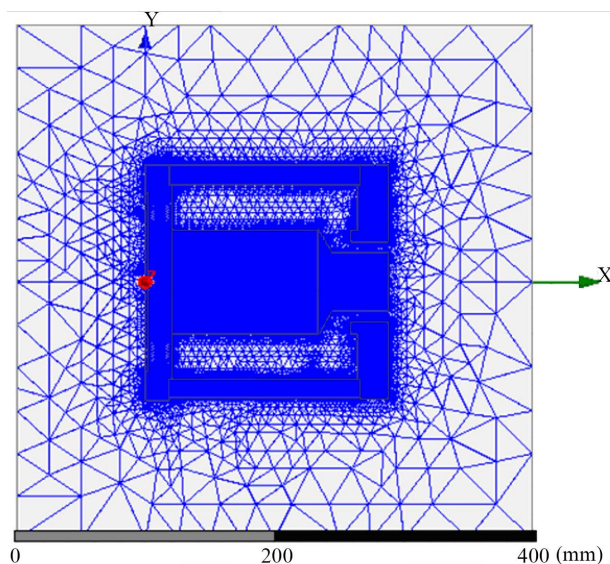
### 3) 单元特性

为了提高仿真计算的精度，本文选择手动剖分中基于长度的剖分方式。选择网格长度时，将仿真模型分为两组，永磁体单独成组，选择网格长度为 1 mm，磁场回路中起到此作用的零件分为一组选择网格长度为 2 mm，电磁仿真模型网格剖分结果如图 3 所示。

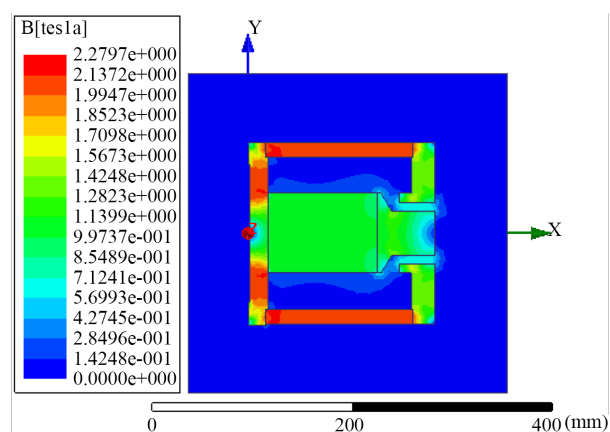
### 4) 磁场仿真

通过 Maxwell 2D 电磁场分析计算动圈工作气隙磁场的强度，通过上述模型的建立并运用 Ansoft Maxwell 求解，求解的气隙磁场强度云图如图 4 所示。将工作气隙的磁感应强度沿动圈工作路径映射，得到动圈工作路径上的磁场强度如图 5 所示。从图中可以看出动圈所处的磁场强度约为 0.58 T。

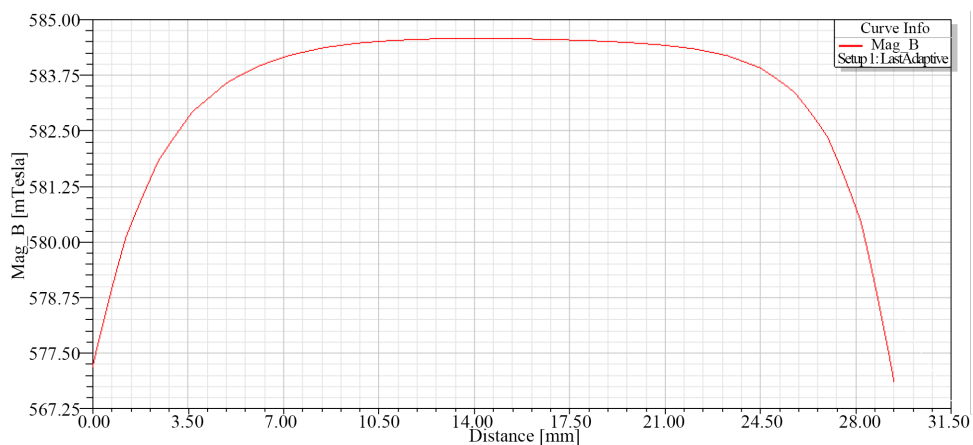
该校准装置校准的电流感传感器的最大加速度为  $50 \text{ m/s}^2$ ，满足使用要求的动圈气隙磁场要大于 0.4 T。说明该设计符合设计要求。



**Figure 3.** Electromagnetic simulation model mesh subdivision  
**图 3.** 电磁仿真模型网格剖分结果



**Figure 4.** Imagery of electromagnetic simulation results  
**图 4.** 电磁仿真结果云图



**Figure 5.** Intensity of the moving coil working air-gap magnetic field  
**图 5.** 动圈工作气隙磁场强度

#### 4. 电涡流径向分布规律的研究

在进行感应盘大小的设计时, 需要保证感应盘能够满足指标要求的各种尺寸的电涡流传感器的校准。感应盘的大小需要保证被校准电涡流传感器校准时产生的电涡流处在感应盘尺寸范围内。因此需要对电涡流传感器在感应盘上产生的涡流场的径向分布进行分析。

本文利用 Maxwell 2D 进行涡流场仿真分析, 直观的体现电涡流密度的径向分布规律。涡流场仿真分析的对象为电涡流传感器的探头线圈和感应盘。电涡流传感器涡流场仿真模型的几何尺寸如表 1 所示。

在柱坐标系下建立电涡流传感器探头线圈和感应盘的有限元模型, 传感器和感应盘的模型关于 Z 轴对称, 鉴于此仅建立 1/2 的二维模型, 涡流场有限元模型如图 6 所示, 完成模型的建立以后通过 Eddy Current 求解器进行求解[9]。

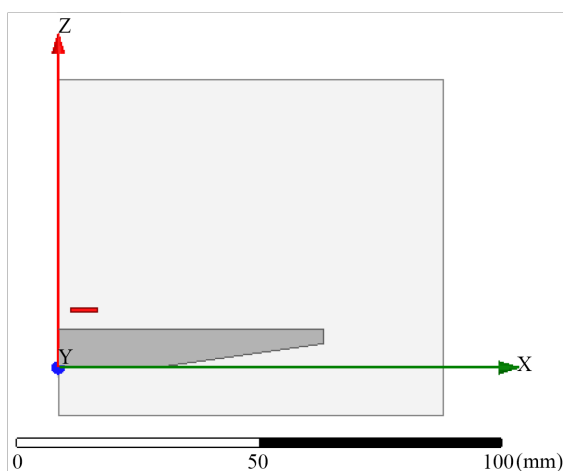
在涡流场仿真分析中, 仿真模型包含电涡流传感器线圈、感应盘和空气 3 种介质, 为了使仿真结果更加接近实际情况, 仿真分析是在一个空气的求解域中进行, 电涡流传感器线圈的材料是铜, 感应盘的材料为 42CrMo。在 Maxwell 2D 中运用 Eddy Current 求解器进行求解。求解结果如图 7 所示, 在进行涡流场仿真时需要特别注意的是要设置集肤效应[10]。通过对涡流场的有限元仿真可得到电涡流传感器的磁力线分布, 从测试结果可以看出, 在线圈直径附近的磁力线密度最为集中, 这与电涡流传感器的实际情况及理论分析一致。

将感应盘中的涡流密度在表面路径映射, 可以得到电涡流的密度沿感应盘表面径向的分布曲线, 如图 8 所示。从图中可以看出电涡流密度随着径向距离的增大呈现先快速增大, 增大到最大值后逐渐变小, 在距离感应盘圆心较远处电涡流密度趋于零。电涡流密度最大点在其线圈等效直径的位置, 与理论分析中电涡流密度沿径向坐标的变化规律一致。同时电涡流传感器在感应盘上产生的电涡流均分布在感应盘的直径范围内, 满足使用要求。

**Table 1.** Simulation model geometric parameters

**表 1.** 仿真模型几何参数

名称	大小	名称	大小
线圈内半径	2.5 mm	感应盘半径	55 mm
线圈外半径	9 mm	感应盘厚度	8 mm
线圈厚度	1 mm	距离 d	3.5 mm



**Figure 6.** Induction plate eddy current field analysis model

**图 6.** 感应盘涡流场分析模型

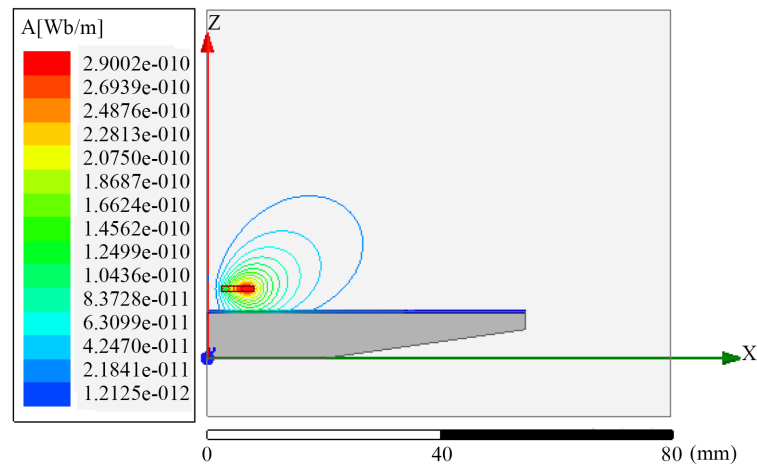


Figure 7. Simulation diagram of magnetic force line distribution of eddy current sensor

图 7. 电涡流传感器的磁力线分布仿真图

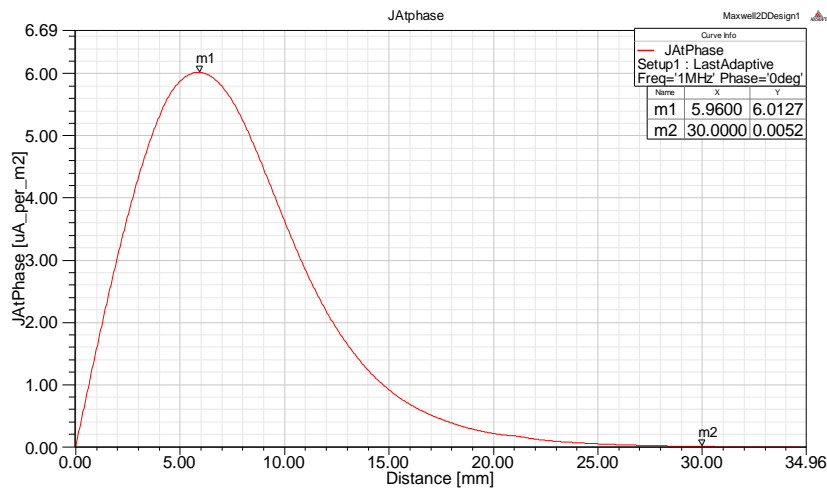


Figure 8. Radial distribution of eddy current density in induction plate

图 8. 感应盘中电涡流密度径向分布图

## 5. 结论

运用 Ansoft Maxwell 对电涡流传感器动态校准装置的气隙磁场以及电涡流传感器在感应盘上感应的电涡流分布的求解计算, 验证了其动圈工作气隙磁场强度满足所要校准传感器的最大加速度使用要求, 同时电涡流传感器在感应盘上感应的电涡流分布在感应盘直径范围内, 验证了感应盘尺寸设计的合理性。

## 参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国国家计量检定规程 JJG644-2003[S]. 2004.
- [2] 杨晓伟. 振动校准现状及发展综述[J]. 宇航计测技术, 2002, 20(6): 41-47.
- [3] 潘良明. 振动校准装置测控系统的开发与研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [4] 韩冬. 地震计校准用超低频标准振动系统关键技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [5] 王志鹏. 超低频振动校准装置自动测控系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [6] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

- 
- [7] 丁毓峰. ANSYS12.0 有限元分析完全手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [8] 王新敏. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [9] 赵博, 张洪亮. Ansoft 12 在工程电磁场中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [10] 李移. 数字式电涡流位移传感器的研制[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2013.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-8696, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [mos@hanspub.org](mailto:mos@hanspub.org)