

环模修复机模孔定位关键技术研究

郭庆, 刘星, 徐翠锋

(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 环模在饲料加工机械中是一个易阻塞的核心部件; 国内外常见清理手段是人工手动逐孔清理; 针对现有技术存在清理效率低、易产生误操作及毁坏环模等瓶颈, 提出了一套有效的环模模孔定位方法; 首先运用磁敏元件检测漏磁原理, 分析了模孔定位方法的可行性; 然后根据电磁屏蔽对屏蔽材料的选择角度, 制作关键探测探头; 最后根据捕获模孔的信号特征, 基于高效的黄金分割优化搜索的设计思想, 构建了环模模孔定位算法模型, 分析了模孔定位方案的有效性; 结果表明研制的修复机系统模孔定位精度在 mm 级以下, 模孔刮伤率大大降低, 进而环模的使用寿命得到延长。

关键词: 环模; 霍尔元件; 黄金分割优化搜索; 定位; 清理

Research on Key Technology Towards Locaton of Die Hole in Intelligent CNC Ring—die Repair Instrument

Guo Qing, Liu Xing, Xu Cuifeng

(College of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Ring mold is a core but easily blocked component in feed processing machinery. The Common cleaning methods are manually holes by holes both in China and abroad. For those bottlenecks just like low cleaning efficiency, vulnerable to misoperation by carelessness and damage the ring mold, an effective method was proposed to locate the die of ring mold. First, the feasibility towards the location the die of ring mold was studied based on MFL by magnetic sensitive element. Then, a detection probe was made on the basis of the relationship between electromagnetic shielding and shielding materials. Finally, according to the captured signal characteristics of die hole, a ring die bore localization algorithm mode was built to analyze the effectiveness of the die hole positioning program based on the design ideas of efficient Golden search optimization. The results showed that the positioning accuracy of system developed was below the rank of mm. The scratch rate of die hole was greatly reduced. And thus the service life of ring mold was extended.

Keywords: ring mold; hall sensor; golden section optimized search; location; repair

0 引言

饲料、生物质燃料等制粒机的核心部件—环模, 经过长时间的生产运作后, 环模孔内壁黏附着饲料或者铁屑等残余, 影响环模的正常出料, 进而影响制粒机的生产效率。

环模孔若被堵塞, 必须对其进行有效修复才能继续使用。稍大的环模模孔 (3.5 mm 以上) 不易堵塞, 需每天油料保养, 保证模孔好用且不干。稍小的模孔必须及时发现并清理, 不然越堵越严重。当前修复传统方式^[1]是模孔被堵塞后通常用闲置机油泡煮蒸环模后用冲模料压制, 残余堵塞模孔还需依靠人工运用手电钻、台钻对环模孔逐孔进行敲通。其步骤繁琐, 成本高, 自动化低, 模孔定位精度极差, 易刮伤损坏环模孔, 并且工厂环境恶劣, 不适宜人亲自操作。再者, 生产车间中仅环模损耗费占整个车间维修费用都高达 25% 以上。在人工成本日渐增加的当今, 此种清理手段远远无法满足生产实际

需要。因此针对现有技术瓶颈, 对环模修复装置设计的关键技术进行相关的研究, 设计了一种既能降低劳动强度, 提高清理效率, 又能保证较好环模清理质量的智能环模自动清理装置。

本文介绍的装置系统是以嵌入式微控制器及各种外围集成芯片为硬件基础, 以实时多任务操作系统为支撑, 具有自主知识产权, 支持工业总线标准和接口的, 适合中、小型企业使用的嵌入式智能数控平台。

1 模孔探测

1.1 模孔探测原理

核心的模孔探测源于漏磁检测技术^[2], 其基本原理是: 高磁导率的铁磁性导体受到外界磁场磁化后, 磁力线分布会在其缺陷处发生扭曲, 甚至会有部分磁力线从缺陷处溢出, 使用磁传感器可以检测到泄露的磁场, 进而检测到缺陷的存在。环模模孔探测原理示意图如图 1 所示。

研究发现铁磁性导体的磁化强度与溢出的磁力线强弱有关, 在受到外磁场激励的条件下, 导体的磁场强度 H 与磁感应强度 B 有着如下的关系式

$$B = \mu H \quad (1)$$

B 与 H 不是线性的关系, 且磁导率 μ 是一个与磁场强度 H 呈非线性关系的参数, 如图 2。

假设分别用 S_1 和 S_2 表示环模壁和带模孔环模壁的横截面积, 环模壁在受到磁场强度为 H 的磁场激励下, 无模孔模壁

收稿日期: 2015-01-12; 修回日期: 2015-03-20。

基金项目: 广西重点学科重点实验室; 新型专用数控设备研发中心、桂林市科学技术局资助项目 (LD14042E)。

作者简介: 郭庆 (1962-), 男, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事信号处理、微弱信号检测及测控技术方向的研究。

通讯作者: 徐翠锋 (1977-), 女, 讲师, 主要从事嵌入式测控系统方向的研究。

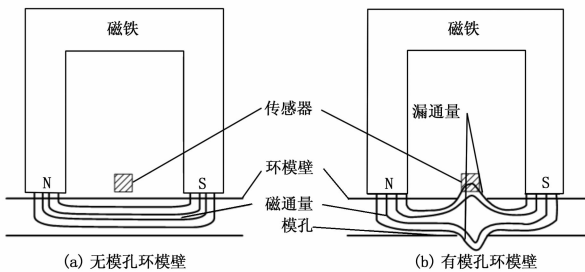


图 1 环模模孔探测原理示意图

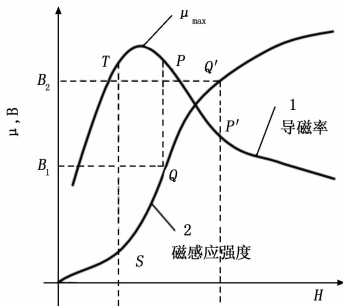


图 2 磁感应强度、导磁率与磁场强度的关系曲线

处的磁感应强度 B_1 对应图示磁化曲线中的 Q 点, 此时对应磁导率曲线中的 P 点, 正常模壁截面的磁通量为 $S_1 - S_2$,

$$\Phi = B_1 S_1 \tag{2}$$

设模孔处磁感应强度为 B_2 , 由于通过模壁总磁通量是一定的, 则

$$B_2 = B_1 S_1 / (S_1 - S_2) \tag{3}$$

环模截面示意图如图 3。

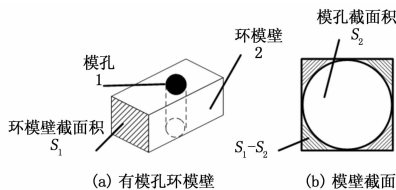


图 3 环模截面示意图

对应图 2 示磁化曲线 2 中的 Q 点偏移到 Q' , 说明带模孔模壁处的磁感应强度增大, 但对应的磁导率曲线 1 中的 P 点偏移到 P' , 可知模孔处的磁导率减小了。由此可知由于模壁上模孔的存在, 在横截面处, 磁感应强度增强而磁导率却减小了, 在相同磁通量的情况下, 容限不下的磁通量则通过模孔泄漏到周围介质里, 因此就形成了漏磁场。

1.2 模孔探测探头

探测探头是整个系统设计中的重中之重, 良好的电磁屏蔽措施^[3]是获取准确模孔信息的必备条件。

电磁屏蔽的本质是为了限制外界的电磁干扰通过屏蔽材料进入被保护的空間。电磁波接触屏蔽材料时, 有 3 种衰减方式: 一是屏蔽材料表面进行反射衰减; 二是进入屏蔽层被其直接吸收衰减; 三是进入屏蔽体后产生多次反射衰减。屏蔽材料的屏蔽性能用 Schelkunoff 公式^[1]表示为:

$$SE = R + A + B \tag{4}$$

单位为分贝数 (dB)。

R 为单次反射损耗 (表面); A 为吸收损耗; B 为多次反射损耗 (内部)。

SE 越大, 衰减效率越高。根据 SE 取值对电磁衰减程度分级如下表 1 示。

表 1 电磁衰减程度标准

SE/dB	0	≤10	10~30	30~60	60~90	≥90
衰减程度	无	差	较差	中等	良好	优

波阻抗: 磁场强度与电场强度之比, 决定着材料的屏蔽性能;

Z_m 为屏蔽材料为金属时的电磁波阻抗;

Z_w 为屏蔽材料为空气时的电磁波阻抗;

$$Z_m = 6.39 \times 10^{-7} f \mu_f / \sigma_f \tag{5}$$

当 $d > 2n\lambda$ 时, 称区域内的电磁场为远场;

当 $d < 2n\lambda$ 时, 称区域内的电磁场为近场。

由于电磁屏蔽材质针对的主要是阻抗比较高的电场, 屏蔽效能上 R 占主要成份, A 则是次要。因此, 电屏蔽可考虑较薄的金属材质; 而磁屏蔽损耗上 A 占主要成份, R 是次要的。根据基本电磁学知识可知, 三者的相关公式^[1]如下。

$$A = 1.314 d (f \mu_f \sigma_f)^{1/2} \tag{6}$$

式中, d 为屏蔽材料厚度 (cm); f 为电磁波频率 (Hz); μ_f 为相对磁导率; σ_f 为相对电导率。

由上述公式可知, 吸收损耗 A 与场源的类型无关, 与材料厚度、磁导率和电导率呈正比例关系。

R 与材料表面本身的阻抗、场源到屏蔽体距离和场源的类型相关。

当 $d > 2n\lambda$ 时,

$$R = 168 - 10 \lg(f \mu_f / \sigma_f) \tag{7}$$

当 $d < 2n\lambda$ 时, 近场磁场:

$$R(\text{磁场}) = 20 \lg \{ [1.173 (\mu_f / f \sigma_f)^{1/2} / D] + 0.0535 D (f \sigma_f / \mu_f)^{1/2} + 0.354 \} \tag{8}$$

式中, D 为屏蔽体与辐射源的距离 (cm)。

当 $d < 2n\lambda$ 时, 近场电场:

$$R(\text{电场}) = 362 - 20 \lg [(f \mu_f / \sigma_f)^{1/2} D] \tag{9}$$

通常使用的屏蔽材料较薄, A 较小, 则主要考虑屏蔽体内部的多次反射损耗 B 。

$$\delta = (\pi \mu \sigma f)^{-1/2} \tag{10}$$

$$B = 20 \lg (1 - e^{-2d/\delta}) \tag{11}$$

式中, δ 为趋肤深度。

由上述公式可知, 屏蔽材料对电磁具有良好的屏蔽性能必须具备高磁导率与电导率等特点。依照电导率高低, 常用材料中排序分别为银、铜、铝、黄铜、铁、钢。在吸收效果上, 依次是铜、铝、铁。反射效果上, 也是如此。可知银成本较高, 铜的整体屏蔽性能最佳。

霍尔器件是磁检测中最常用的磁传感器^[4], 具有较高的检测灵敏度、较好的检测方向性和不均匀性等特性。将一小型永磁体贴合在传感器标记面, 整体放于厚度为 0.5 mm 的屏蔽铜管中, 信号传输采用专用的屏蔽线缆进行信号传递。模孔探测的专用探头制作完毕后, 经仪器测试 SE 达 97 dB, 由电磁衰减程度分级标准表 1 可知, 检测探头达到良好以上的电磁屏蔽效果。探测示意图如图 4。

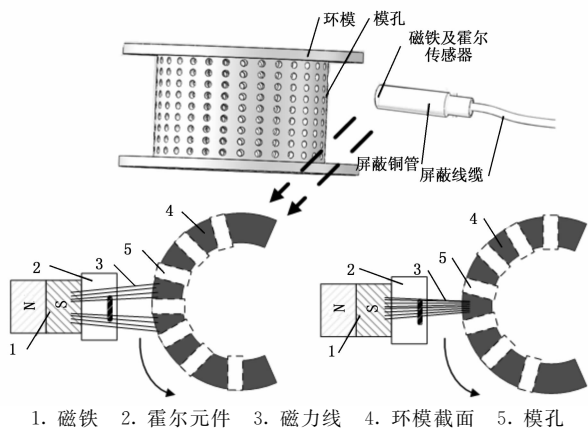


图 4 模孔探测示意图

2 模孔定位及算法分析

适当增加模孔探测探头相对于环模壁的移动速度，可以增大探头信号输出的幅值，易于采集及传输给处理器进行数据处理。以下分别是低速和高速探测下两种情形下测得的前端模孔探测模块信号输出波形，如图 5。

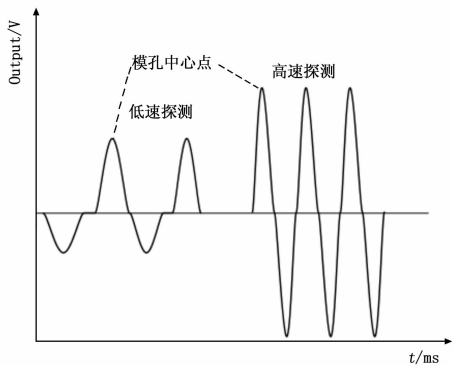
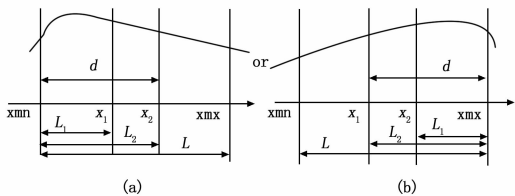


图 5 低速和高速下模孔探测输出波形

根据采集的模孔特征，黄金分割搜索优化法^[6]的设计思想比较匹配本文研究的模孔定位研究。评估模型图如图 6。



在 d 区间内进行二次迭代搜索

图 6 搜索模型图

黄金分割法主要是针对于单峰函数。讨论形式为

$$\min\{H(x), x \in X\}, X = \prod_{k=1}^n [a_k, b_k] \quad (12)$$

$H(x)$ 为目标函数，在被搜索区间内近似为凸函数； X 为被搜索区间。

取两试探点 $x_1, x_2 \in X$ ，目标函数具有以下特点：

$$H[\tau x_1 + (1 - \tau)x_2] \leq \tau H(x_1) + (1 - \tau)H(x_2), \quad \tau \in [0, 1] \quad (13)$$

$$H[\tau x_1 + (1 - \tau)x_2] \leq \max\{H(x_1), H(x_2)\} \quad (14)$$

其主要算法如下：

1) 假设在被评估数值范围区间内存在极值点，且被评估小范围内曲率不变。

当 $H(x_1) > H(x_2)$ 时，极大值若存在于 x_{mn} 和 x_2 之间，则在区间 $[x_{mn}, x_2]$ 中继续查找。右图同理，逐步缩短搜索区间并重复上述极值搜索原则。通过比较取试探点和进行函数值，逐步缩小极值的搜索区间。

2) 为实现更高效的搜索功能，对于选取划分区间内部两评估点可按以下步骤进行：

如图 6 (a) 中示设定：

$$L = L_1 + L_2 \quad (15)$$

$$R = L/L_2 = L_2/L_1 \quad (16)$$

式 (15) 代入 (16) 得

$$1 + R = 1/R \quad (17)$$

求解被称为黄金比例的 R 。

$$R = (\text{sqrt}(5) - 1)/2 = 0.618 \ 03 \quad (18)$$

若设在 $[0, 1]$ 区间内，

$$x_1 = 1 - R = 0.381 \ 97 \quad (19)$$

$$x_2 = 0 + R = 0.618 \ 03 \quad (20)$$

较大长度与较小者比率保持在

$$L_2/L_1 = R = 0.618 \ 03 \quad (21)$$

3) 以上述比例对图 6 示模型重新分配区间，在取值区间为 $[x_{mn}, x_{mx}]$ 范围内，

$$x_1 = x_{mx} - R * (x_{mx} - x_{mn}) \quad (22)$$

$$x_2 = x_{mn} + R * (x_{mx} - x_{mn}) \quad (23)$$

由于执行比例 $L/L_2 = L_2/L_1$ ，并且每次连续迭代重新使用先前内部的一个值。因此，选择的内部特殊评估点能达到高效的评判效果。

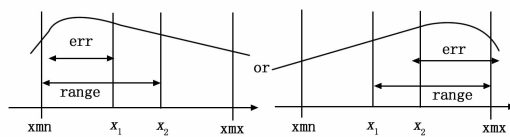


图 7 阈值区间搜索

规定当前猜测值与当前范围端点的最大间隔称为 err (俗称区间阈值)。相对于 x 轴，用以下式子替代评估 err 。如图 7 示。

$$err = (1 - R) * (x_{mx} - x_{mn}) \quad (24)$$

将评估区间缩短至设定最小阈值区间后即可停止搜索。

4) 假设公差为 0.001，最终猜想 x 必定在偏离真实值 0.001 的位置。以下是四次迭代搜索过程，如图 8 所示。

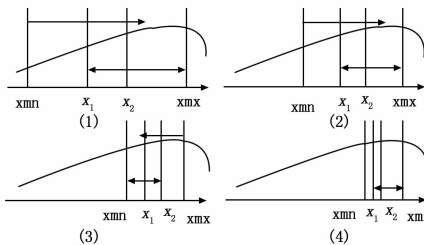


图 8 四次迭代搜索过程图

图 8 中阐述了算法中查找极值的构思。如图 8 (1) 示， x_{mn} ， x_1 和 x_{mx} 三处点函数值被计算出来后 $H(x_1)$ 小于 H

(x_{mn}) 和 $H(x_{mx})$, 则知此时极大值在 x_1 和 x_{mx} 之间。然后取图 (1) 示中区间作为 $[x_{mn}, x_{mx}]$, 同理所得极大值在图 8 (2) 示中 x_1 和 x_{mx} 之间。经过多次迭代后, 建立一个新的更窄的区间, 利用数值搜索方法逼近函数的极值, 在一定误差内找到函数极值的近似值。

因此采取上述的黄金分割搜索优化法, 可以更好地判断真实模孔的定位信息, 保证环模修复的准确性。

3 模孔定位及修复系统应用及创新点

本文介绍的饲料环模模孔定位装置通过基于硬件优化兼软件滤波技术来降低干扰, 可以有效地提高模孔探测部分的抗干扰性能, 确保系统准确性^[6]。适用于从较强噪声环境中检测所需微弱信号。

3.1 应用

- 设计的环模修复机在实验室和饲料厂均进行了长期生产测试, 很好地验证了系统的可操作性、可靠性和稳定性。
- 为模孔修复质量提供了定量和定性参考, 避免当今技术缺陷存在的人工修复效率及质量依赖人工操作经验等问题。

3.2 创新点

- 搭建的数控修复平台不仅具备环模修复加工工艺所需所有功能, 并具有较好的兼容性和扩展能力, 在不改变主体结构的前提下, 通过外围模块和应用软件的优化与扩展, 以最小开发成本, 组成满足其他生产需求、具有全新功能的数控系统。
- 实现精确找孔并修复。处理器准确捕获模孔的信号特征, 能保证孔心定位误差不超过 0.2 mm。
- 以内径 $\varphi 320$ mm、外径 $\varphi 350$ mm、孔数为 3 591 个的环模为例, 人工修复须 2 个工作日, 利用修复机修复只需 2 个小时。
- 修复机疏通模孔时环模孔的刮伤比率为 1.12%, 相对

(上接第 2537 页)

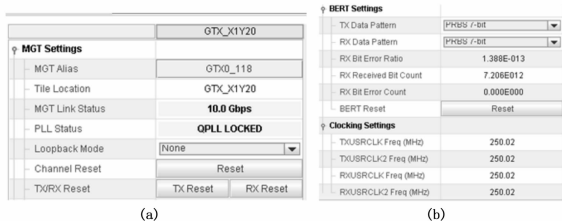


图 7 GTX 测试参数设置图

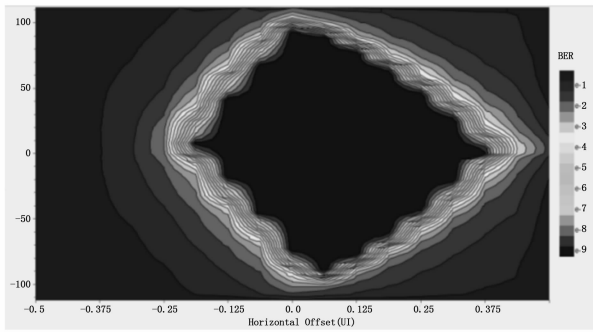


图 8 ChipScope 软件捕获的测试数据比特流误码率测试图

人工修复损伤模孔数量大大减少, 从而可延长环模使用寿命, 提高颗粒生产的质量和产量。

4 结论

论文介绍的数控智能环模修复机已经申请获得 3 项国家发明专利, 第一代样品机在第九届“华为杯”全国研究生电子设计竞赛中荣获团体一等奖和个人二等奖殊荣。

论文结合现有饲料环模模孔疏通修复关键技术及发展, 侧重分析论述了根据环模模孔自身的物理特征提出的模孔探测技术、模孔探测探头抗干扰设计技术、根据模孔探测到的信号特征提出的模孔中心定位技术。论文不仅从模孔探测机理上分析了模孔定位实施方案的可行性, 而且结合了相关算法与理论模型得出的结果表明模孔定位的有效性。再者, 制作的专用模孔探测探头经专业仪器测试, 其检测探头达到良好以上级的电磁屏蔽效果。并且实际定位结果表明修复机模孔定位精度达到 mm 级以下, 有效地减少模孔修复时对孔壁的刮伤。使用的方法简便、实用、易于推广应用。

参考文献:

- [1] 张兴德. 一种模孔清理装置: 中国, CN201120306419. 1 [P]. 2012-05-23.
- [2] 唐 莺, 潘孟春, 罗飞路, 等. 管道腐蚀检测中的脉冲漏磁检测技术 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 38-39.
- [3] 张丽芳, 李文明, 等. 磁控溅射 Cu/Ni 薄膜的电磁屏蔽作用 [J]. 塑料工业, 1995 (3): 95-97.
- [4] 江铭波, 阎旭东, 徐国旺. 霍尔效应及霍尔元件在物理量测量中的应用 [J]. 湖北工业大学学报, 2011 (2): 143-144.
- [5] 金培源, 高波涌, 陆慧娟. 一种黄金分割优化的极限学习机算法 [J]. 中国计量学院学报, 2014 (2): 210-212.
- [6] 徐晓栋. 深削钻孔过程中的智能控制 [J]. 甘肃兰州: 兰州理工大学, 2007 (12): 97-98.

ADC12D1800RF, 并采用高速 DDR3 作为存储设备, 解决海量数据存储问题, 最终实现了两路 1.35 GHz 信号的带通采样、数据传输存储、数据处理功能, 在已完成的硬件设计进行了性能指标的测试, 测试结果验证了方案的可行性。

参考文献:

- [1] 王 军. 基于 ADC083000 的高速数据采集系统设计 [J]. 实验科学与技术, 2010 (2): 8-11.
- [2] Brad Brannon. Sampled Systems and the Effects of Clock Phase Noise and Jitter [EB/OL]. Analog Devices.
- [3] 陈 兵, 马小兵, 雷 宏. 2 GHz 的超高速数据采集系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (12): 1978-1981.
- [4] 步 麟, 司伟建. 一种双通道中频数字接收机的硬件设计实现 [J]. 应用科技, 2009, 36 (3): 26-30.
- [5] 杨小牛, 陆安南, 金 飏, 等. 宽带数字接收机 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [6] 杨胜华. 1.5 GHz 高精度数据采集与信号处理平台设计 [J]. 电视技术, 2009, 49 (6): 74-76.
- [7] 张 焱, 余海龙, 罗进川. 超高速数据采集系统设计与实现 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 2006, 30 (4): 44-47.