

钢丝绳典型缺陷的漏磁场有限元仿真

赵敏, 张东来

(哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 深圳 518055)

摘要:采用有限元仿真的方法,分析了提离距离、缺陷宽度和深度以及缺陷在钢丝绳内的深度等参数与漏磁场的关系,得出了提离距离并不是越小越好的结论;并且缺陷宽度与提离距离的和等于漏磁场径向分量峰-峰值间距;漏磁场轴向分量与缺陷深度近似成线性关系;漏磁场轴向分量与缺陷在绳内深度成线性关系。

关键词:漏磁检测;钢丝绳;有限元方法;缺陷仿真

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)03-0177-04

Magnetic Flux Leakage of Typical Defect of Wire Rope Based on FE Simulation

ZHAO Min, ZHANG Dong-Lai

(Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Finite element simulation was used to analyze the relationship between MFL and the lift-offs, defects' width, depth and in-rope depth. It concluded that lift-offs was not the smaller the better; the sum of defects width and lift-offs were equal to the distance of peak-peak at the radial part of MFL; the axial part of MFL and defect depth were in linear relation approximately, so were the defects' in-rope depth.

Keywords: Magnetic flux leakage testing; Wire rope; Finite element method; Defect simulation

目前,检测钢丝绳缺陷最可靠的方法是漏磁场检测方法。然而,由于钢丝绳结构的复杂性、缺陷状态及特征的随机性、检测环境恶劣、干扰严重、钢丝绳规格及尺寸的多样性,影响了钢丝绳缺陷的定量识别^[1]。

漏磁检测的基本原理是使用直流磁场或永磁体对钢丝绳进行轴向饱和励磁,采用霍尔元件或者差分线圈检测漏磁场^[2]。

1 基本模型

通常缺陷漏磁场由于缺陷形位、大小和材质等方面的差异,分布情况很复杂。为研究方便,一般将复杂的漏磁场进行分类归纳,采用近似模型进行分析计算。目前使用的大部分钢丝绳无损检测装置的结构如图1所示。

文献[3]提出的基于霍尔阵列的钢丝绳无损检

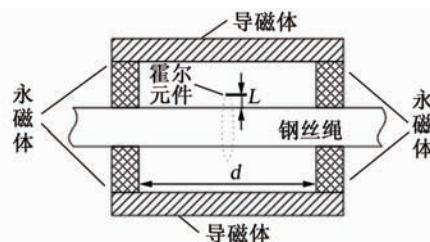


图1 钢丝绳无损检测装置轴向截面图

测装置,将检测信号增加到二维,提高了漏磁场检测的解析度。图1中磁极间距 d 和霍尔元件的提离距离 l 直接影响漏磁场检测结果。同样,缺陷的深度、宽度、形状以及在钢丝绳内分布都将对漏磁场的分布有很大影响,分析这些数据与漏磁场分布的关系有利于对漏磁场检测方法的改进。

利用ANSYS软件分析漏磁场的步骤如下^[4]:

(1) 永久磁铁、空气、钢丝绳和导磁体的单元类型选择及材料属性设置。仿真中,使用PLANE13单元类型。

(2) 输入永久磁铁、钢丝绳、导磁体的非线性

收稿日期: 2008-04-11

基金项目: 深圳市科技研究基金资助项目(NSKJ-200709)

作者简介: 赵敏(1984—),男,硕士生,研究方向为无损检测。

$B-H$ 曲线。永磁体采用 N48 材料, 钢丝绳采用 M54 钢模型, 导磁体的相对磁导率为 8 000。

- (3) 建立二维几何模型。
- (4) 属性匹配, 划分网格。
- (5) 施加边界条件。
- (6) 利用麦克斯韦方程组对节点求解。
- (7) 分析计算结果。

通过以上分析可以得到漏磁场的磁力线分布图, 见图 2。

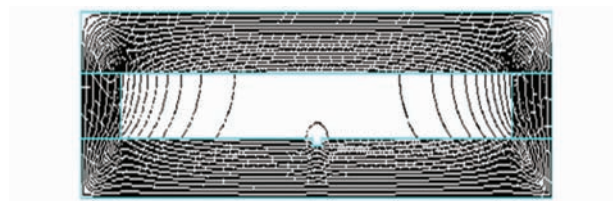


图2 上半截面漏磁场磁力线分布图

2 仿真分析

在 ANSYS 后处理得到相关仿真数据, 基于以下几个方面对仿真数据进行分析。

2.1 提离距离仿真

霍尔元件的提离距离对漏磁场的检测信号的强弱有很大影响, 不同提离距离下的漏磁场分布如图 3。通过分析不同的提离距离 (0.5~5.5 mm) 下漏磁场 B_x 分量的峰值变化规律, 获得漏磁场在空气中的衰减特性如图 4 所示。

对数据进行曲线拟合, 得到漏磁场 B_x 分量峰

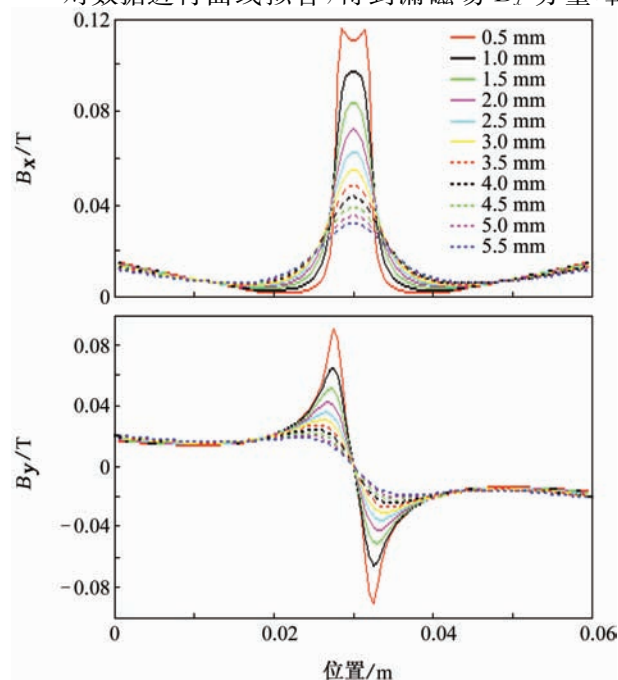


图3 不同提离距离下漏磁场分布

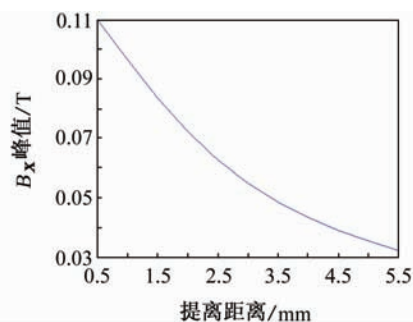


图4 漏磁场 B_x 分量峰值在空气中的衰减特性

值在空气中的衰减特性公式如下:

$$B_{x(\max)} = 0.01455 + 0.1142e^{-0.3422L} \quad (1)$$

式中 L 为提离距离, mm。每提离相同距离 0.5 mm, 分析 B_x 最大值的衰减值的变化规律如图 5 所示。从图中可见, 当提离到一定大的距离 (如图中的 4.5 mm) 后, 再每提离相同距离时, B_x 最大值的衰减值改变很小。可见, 提离距离并不是越小越好。在提离距离较小时, 检测装置或者钢丝绳的小范围波动都会给检测结果带入较大的测量噪声。对缺陷定量识别不利。所以要根据实际情况合理选择提离值, 一般取 2 mm 左右即可满足要求。

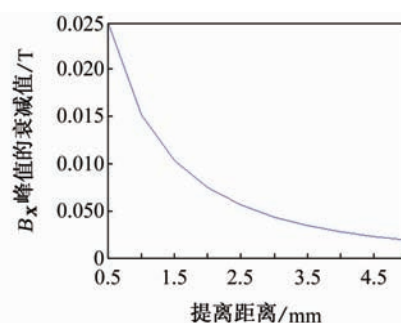


图5 提离距离相同变化时 B_x 峰值的衰减值

2.2 不同宽度缺陷的漏磁场仿真

缺陷宽度 W 是一个重要参数, 图 6 即为 3 mm 提离距离下, B_y 分量的峰峰值的间距与缺陷宽度的关系。图 7 为不同宽度缺陷的漏磁场分布情况。

在不同提离距离下, 对不同宽度缺陷漏磁场进

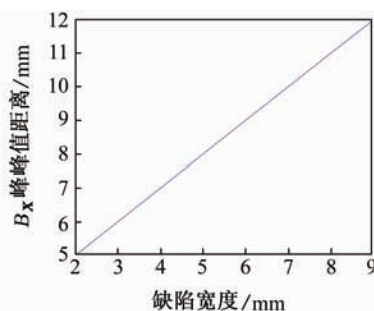


图6 B_y 峰峰值间距与缺陷宽度关系

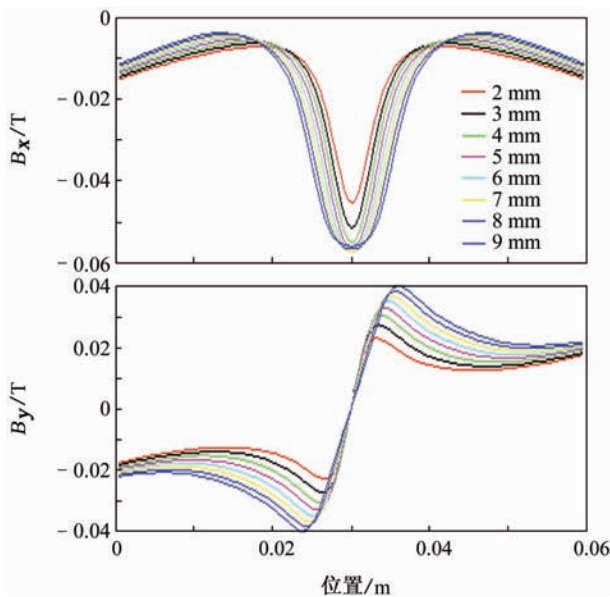


图7 不同宽度缺陷的漏磁场分布

行综合分析,可发现漏磁场径向 B_y 分量峰峰值间的轴向距离 D_y 不仅与缺陷宽度 W 有关,还与提离距离 L 有关, D_y 与 L 和 W 存在一定的函数关系^[5]:

$$D_y = f(L, W) \quad (2)$$

通过对图6中的数据拟合得到的结果为:

$$D_y = 1.003W + 0.992L + 0.005 \quad (3)$$

拟合结果非常接近下述公式:

$$D_y = W + L \quad (4)$$

利用式(4)来代替式(3)可以省去系数带来的不便,更方便地反映出三者间的关系,而由此简化带来的系数误差仅为0.3%和0.8%。

2.3 不同深度缺陷的漏磁场仿真

缺陷深度也是影响漏磁场分布的一个重要参数,同时它决定着钢丝绳的判废结果。由磁偶极子理论证明,表面开口缺陷引起的漏磁场 H 正比于 $(d/2 - k\delta)$,其中 d 是缺陷深度,而 δ 是取决于工件和缺陷横截面的形状与尺寸的一较小长度, k 是一个系数,它取决于缺陷侧壁上的磁荷分水岭。从而可以得出结论,当 d 很小时, H 与 d 间近似为线性关系;而 d 增大时,它们之间则呈非线性关系^[6]。

在3 mm提离距离下,对相同宽度、不同深度缺陷所产生的漏磁场进行仿真,得到其变化曲线如图8所示。其中横轴为缺陷深度与钢丝绳半径的比。漏磁场的 B_x 和 B_y 分量的分布如图9所示。

对图8曲线进行拟合,得到以下关系式:

$$B_{x(\max)} = -1.908e^{-5}r^2 + 0.04209r + 0.0144 \quad (5)$$

式中 r 为缺陷深度与钢丝绳半径比%。由式(5)可得到 B_x 峰值与缺陷深度近似成线性关系。

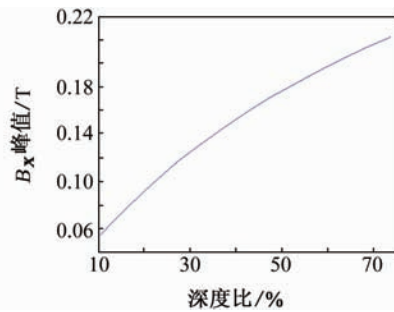
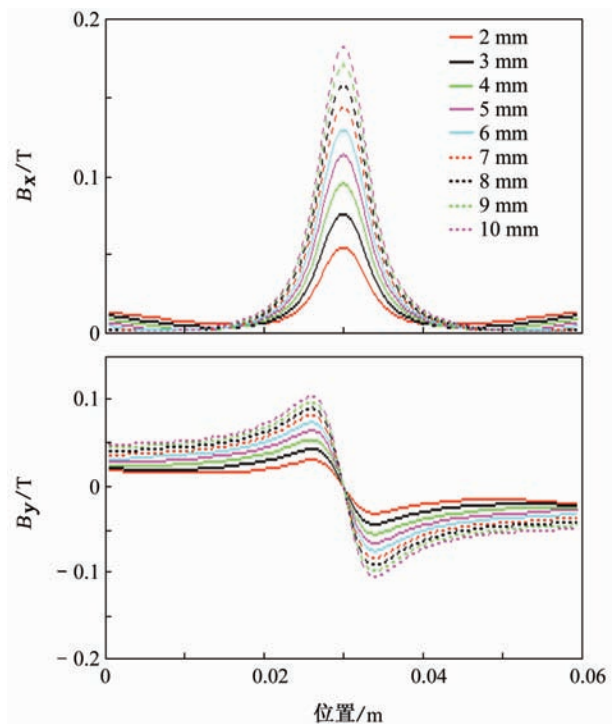
图8 B_x 峰值与缺陷深度的关系

图9 不同深度缺陷漏磁场的分布

2.4 不同分布缺陷的漏磁场仿真

钢丝绳无损检测过程中,缺陷分布复杂,总体来说可分为表面缺陷和绳内缺陷。分析内部缺陷漏磁场的变化规律将有利于对内部漏磁场定量识别。

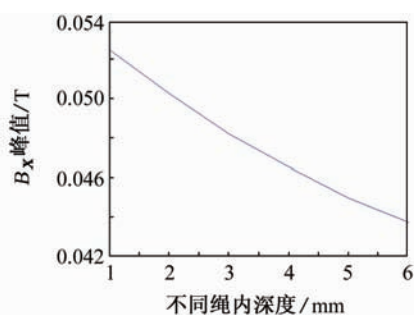
在提离距离为3 mm情况下,通过对矩形缺陷在绳内不同深度的漏磁场分布进行仿真研究,得到漏磁场 B_x 分量的最大值与绳内深度成线性变化的规律,其变化曲线如图10所示。漏磁场的 B_x 和 B_y 分量的分布如图11所示。对图10进行拟合得:

$$B_{x(\max)} = 1.232e^{-4}d - 2.622e^{-3}d + 0.05503 \quad (6)$$

式中 d 为缺陷在绳内的深度,mm。随着 d 的增大, B_x 的峰值改变较小,且与 d 近似成线性关系。

3 结论

应用有限元法实现了对钢丝绳缺陷漏磁场的研究,弥补了传统物理实验方法需要大量人力物力的

图10 B_x 的峰值与缺陷在绳内深度的关系

缺憾。通过以上的不同仿真结果,发现缺陷的深度主要影响峰-峰值大小,缺陷越深,峰-峰值越大;缺陷的宽度对峰-峰值影响很小,它主要影响峰-峰值间隔,缺陷越宽峰-峰值间隔越大。同时给出了相关的漏磁场与缺陷大小、形状和分布等因素的关系拟合公式,为缺陷定量识别的进一步研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 康宜华,杨克冲,朱文凯,等. 钢丝绳断丝断口漏磁场分析计算[J]. 中国机械工程,1993,4(4):1-3.
- [2] 杨叔子,康宜华. 钢丝绳断丝定量检测原理与技术[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [3] Cao Y N, Zhang D L, Wang C, et al. A novel electromagnetic method for local defects inspection of wire rope[A]. TENCON 2006. 2006 IEEE Region 10 Conference[C]. Hongkong:2006.

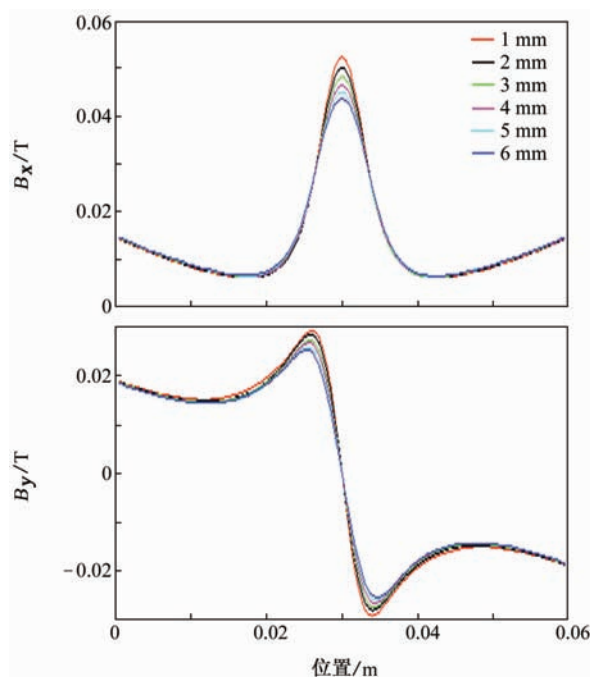


图11 不同绳内深度缺陷漏磁场分布

- [4] 纪凤珠,王长龙,陈正阁,等. 基于三维有限元法的漏磁场分析[J]. 兵工学报,2007,28(7):876-879.
- [5] 李路明,郑鹏,黄松岭,等. 表面裂纹宽度对漏磁场Y分量的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版),1999,32(2):43-45.
- [6] 仲维畅. 工件表面沟槽深度对漏磁场的影响[J]. 无损检测,1997,19(11):304-307.

美国无损检测学会(ASNT)3级考试通知

中国无损检测学会(ChSNDT)与美国无损检测学会(ASNT)计划联合举办2009年ASNT 3级考试,具体考试安排如下:

报到日期:2009年11月30日

报到地点:上海材料研究所无损检测学会711房间

考试时间:2009年12月1-3日

考试费用:①一般考生 US\$ 495.00/每卷;或人民币 3500 元/每卷。②补考生 US\$ 185/每卷,外国考生另加 US\$ 40(人民币按当日牌价计算)。

申请表索取网址:<http://www.asnt.org/certification/schedules/index.htm>

请考生在递交申请表前慎重考虑,因为只要递交申请表,美方就要收取考试费用,无论是否最终参加考试。考生必须于9月15日前将填写完毕的申请表和背景材料(补考考生需重新填写申请表)采用挂号信方式邮寄至学会。由学会审核后统一递交

ASNT 总部复审。ASNT 在收到考试费用后方才审核考生申请表。

费用支付:考生必须在9月15日之前支付全部考试费用

人民币支付帐号:户名:中国机械工程学会无损检测分会;帐号:044023-8570-14825908091001;开户行:中国银行上海市运光支行。

美金支付帐号:请直接致电学会索取

考试地点:中国无损检测学会考试中心(上海材料研究所内)

地址:上海市邯郸路99号;邮编:200437;电话/传真:021-65550277;E-mail: chsndt@public2.sta.net.cn, chsndt2008@163.com;联系人:朱亚青,王莹赞。

注:① 本次考试的主考官仍由 ASNT 总部直接派遣,并由 ASNT 指定考官助理 1-2 名。

② 报考 1 个方法者必须考 2 张试卷(1 张基础,1 张方法),如报考 2 个方法或以上者则不必重复考基础试卷。