

磁轭式磁粉探伤机工作原理及计量校准方案研究

黄思杨^{1*}, 朱文杰¹, 袁梦芹²

(1. 江西省检验检测认证总院, 南昌 330000;
2. 江西省检验检测认证总院计量科学研究院, 南昌 330000)

摘要: **目的** 合理设置磁轭式磁粉探伤机计量校准方案并实施, 具体包括校准需求分析、校准前准备、校准实施、校准后作业、校准工作总结分析等内容, 提升磁轭式磁粉探伤机的提升力、安全性、磁导率和灵敏度。**方法** 以 CDX-III 磁轭式磁粉探伤机为例, 合理进行校准实施准备、工作环境模拟、通电检查、绝缘电阻和强度试验、电流误差测试、电流测量装置接入、灵敏度检测等具体方案设计, 采用实验研究法, 通过实验结果分析校准方案合理性。**结果** 通过本次计量校准方案的使用, 可以提升磁轭式磁粉探伤机提升力、安全性、磁导率和灵敏度, 达到国家计量标准和要求。**结论** 本次的计量校准方案具有系统性和精细性特点, 并注重使用环境模拟, 增强其实用性及合理性, 较为全面和精准, 值得推广使用。

关键词: 磁轭式磁粉探伤机; 计量特性; 校准

Research on working principle and measurement calibration scheme of yoke magnetic particle flaw detector

HUANG Si-Yang^{1*}, ZHU Wen-Jie¹, FEI Meng-Qin²

(1. Jiangxi Provincial Inspection and Certification Institute, Nanchang 330000, China;
2. Institute of Metrology, Jiangxi Provincial Inspection and Certification Institute, Nanchang 330000, China)

ABSTRACT: Objective Reasonably set up and implement the measurement and calibration scheme of the yoke magnetic particle flaw detector, including calibration demand analysis, calibration preparation, calibration implementation, calibration work after calibration, calibration summary and analysis, etc., to improve the lifting force, safety, permeability and sensitivity of the yoke magnetic particle flaw detector. **Methods** Taking the CDX-III magnetic yoke magnetic particle flaw detection machine as an example, the calibration implementation preparation, working environment simulation, power inspection, insulation resistance and strength test, current error test, current measuring device access, sensitivity detection and other specific schemes were reasonably designed. Experimental research method was adopted to analyze the rationality of the calibration scheme through experimental results. **Results** Through the use of this measurement calibration scheme, the lifting force, safety, permeability and sensitivity of the yoke magnetic particle flaw detection machine can be improved to meet the national metrology standards and requirements. **Conclusion** This measurement calibration scheme has systematic and fine characteristics, and pays attention to the use of environmental simulation, enhance its practicality and rationality, more comprehensive and accurate, worthy of promotion and use.

KEY WORDS: yoke magnetic particle flaw detection machine; measurement characteristics; calibrate

0 引言

磁轭式探伤机属于磁粉探伤机的一种, 具有便于携带、测试精准、适应能力较强等优势, 因此, 被广泛应用于工件探伤工作之中^[1]。同时, 为了促进磁轭式探伤机的应用推广, 国内已经在有关方面制定相应的检定规程和校准依据 JJF 1458-2014《磁轭式磁粉探伤机校准规范》, 尤其是在经济一体化建设的背景下, 如果校准结果不一, 则会影

响工件质量认定和相关方彼此之间的合作、交易, 因此, 需要在有关方面加强研究, 为校准方法制定和使用提供有力支持^[2]。本文基于磁轭式磁粉探伤机的工作原理, 设计校准方案, 且在这一过程中进行创新, 注重磁轭式磁粉探伤机工作环境模拟, 在工作环境下校准, 增强其实际应用价值。具体完成提升力、安全性、磁导率、灵敏度等项目的校准工作, 得出结果和结论。此外, 制定针对性的方案实施保障措施, 为校准工作提供有力支持。

*通信作者: 黄思杨, 硕士, 工程师, 研究方向为计量检测。E-mail: 1643280862@qq.com

*Corresponding author: HUANG Si-Yang, Master, Engineer, Jiangxi General Institute of Testing and Certification, Nanchang 330000, China. E-mail: 1643280862@qq.com

1 材料与方法

1.1 材料

CDX-III磁轭式磁粉探伤机(济宁铭诚检测科技有限公司),尺寸为230×120×150 mm能够对铁磁性材料表面及与表面相距一定范围内的裂缝、缺陷等进行探测,具有一定的精准性,属于相关方面工作开展的专用设备。

其工作原理如下:借助磁粉探伤机形成一定幅度的电流,对被测对象实施磁化处理。在其表面之上,按照一定的顺序和厚度,喷洒磁粉^[3]。通过磁粉均匀性分布信息搜集,分析被测对象裂缝或者缺陷的位置、形状和深度等。通常情况下,具有裂缝或者损伤的位置,其磁粉厚度降低,产生的磁感应强度也会发生变化,从而形成相应的探测信息,作为探测结果判定依据^[4]。绘制其工作流程示意图,具体如图1所示。

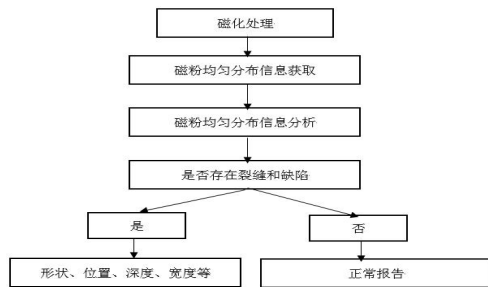


图1 工作流程示意图

Fig.1 Schematic diagram of work flow

1.2 方法

本次研究注重创新,基于系统化思想开展计量校准方案设计,主要包括:校准需求分析、校准前准备、校准实施、校准后处理、校准工作总结与分析。其中,校准需求分析,则是明确校准对象、目标、要点等,为后续的校准工作提供导向。校准前准备,则是根据校准工作开展的环境、设备及其他需求,针对性开展准备工作,保证后续工作顺利。校准实施,则是按照一定流程和规范开展具体工作。校准后处理,则是进行设备回收、整理、清理等工作。校准工作总结与分析,则是按照要求给出结果、报表等,并总结经验教训,作为后续相关工作改进的依据。构建基于系统化的磁轭式磁粉探伤机计量校准体系,具体如图2所示。

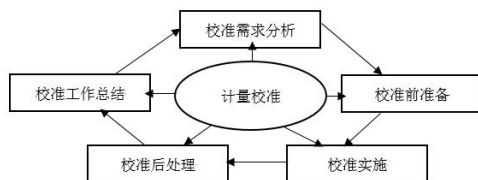


图2 系统化校准体系图

Fig.2 Systematic calibration system diagram

1.2.1 校准需求分析

在校准工作开展之前,相关部门工作人员,需要明确

校准对象、校准环境、校准影响因素、校准设备情况等,制定针对性的校准方案,作为后续工作开展指导。此外,还应对一些突出问题和需求进行沟通,有效解决。采用这一模式之后,可以尽量提升校准工作的效率和规范性,降低操作风险^[5]。

1.2.2 校准前的准备

校准前的准备工作,包括工作人员的素质认定、要求明晰、设备性能检验、室内环境勘察与分析等,为后续工作做好准备^[6]。例如,在校准环境方面,需要测量其温度、湿度、粉尘含量等,如果未达到要求,需要进行处理。同时,还要检视是否存在易燃、易爆、腐蚀性物品,如果存在,及时移除^[7]。此外,对于辐射较为强烈、电磁干扰较为突出的物品,也需要移除,以免影响计量精准性。例如,在环境温度方面,需要保持在 $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$,湿度为85%以下。

1.2.3 校准实施

这一环节属于整个工作的核心环节,必须严格按照要求,规范化操作,具体包括以下六个步骤:

第一步,工作环境模拟。这一环节属于本次研究的创新,本次研究认为,磁轭式磁粉探伤机校准,不可单纯的基于理论层面开展具体工作,需要满足应用需求,保证校准后的性能在工作环境下可以正常发挥。因此,在校准工作开展之前,进行工作环境模拟,具体包括工作强度、作用力等。

第二步,通电检查。对探伤机的规格、最大输出电流、纵向磁化线圈匝数、操作系统运行工况、数据识别准确、结果展示清晰等各方面皆需要进行检查。此外,还要对试件夹持装置的性能进行检查,灵活可靠,不存在停滞问题^[8]。在夹头位置,具有良好的导电性能,不会形成电弧。

第三步,进行绝缘电阻和强度试验。开展安全性能测试之前,对于一些难以承受试验电压的元器件断开,以免其烧毁^[9]。使用耐压测试仪在电源和接地保护端之间施加1.50 kV电压,持续60 s,观察其是否存在击穿、飞弧等现象,不存在相关现象方可使用^[10]。

第四步,电流误差测试。首先,夹紧被测试件,按照由大到小的方式调整磁化电流,观察探伤机的电流值是否达到目标值^[11]。然后,在磁化电流输出端位置,接入相应的电流表和电压表,分别记录周向磁化电流指示表在30%、60%、100%三个节点时的电流和电压信息^[12]。最后,对于相应的电流表指示值,重复测量三次,计算周向磁化电流值的示值误差。

第五步,电流测量装置接入。按照相应的要求和位置,将电流测量装置接入纵向磁化电流线圈,当磁化电流为零或者最小值时,计算其示值误差^[13]。

第六步,灵敏度检测。按照要求将标准灵敏度试件置于标准试件的中间位置,铺设磁粉,当电流达到额定数值时,观察标准试片显示是否清晰。

1.2.4 校准后作业

在完成探伤工作之后,应进行探伤机清理,并使用涂有防锈油的纸将其遮盖,放置在指定的保存环境之中。保证保存环境的干燥、通风,并适时使用汽油对其清洗。此外,对于其他相关设备和电源等,也应按照要求放置在指定位置^[14]。

1.2.5 校准工作总结分析

根据校准后的结果,出具相应的报告,保证其规范性。同时,还应对本次校准工作中存在的问题和不足进行总结,作为后续再次开展这一工作的借鉴。例如,发现现有测试环境影响较大,尤其是气流方面,需要控制通风,因此,在下次探伤工作开展时,则应测试室内气流速度,有效控制^[15]。除此以外,在进行探伤时,对于环境应实施动态监视,即实时进行温度、湿度、气流流动性的监测,这样可以避免环境突然变化带来的影响。

2 结果与分析

2.1 提升力

提升力,属于探伤仪磁轭磁极端面与被测物体探伤面之间形成的引力,其在大小方面必须可以提起工作要求的质量,国内外多将其作为设备性能、校验及校准的指标。尤其是在设备探伤标准中,提升力已经成为不可或缺的重要指标。具体的标准如表1所示。如果不考虑单位转化带来的影响,所有标准规定的提升力皆较为一致,其中,交流(AC),45.0 N/4.50 kg,直流(DC)177.0 N/18.0 kg,极间距最大值为300.0 mm,最小值为50.0 mm。

表1 提升力要求标准
Table 1 Lifting force requirements

标准名称	DC (直流)		AC (交流)	
	测量最大间距/mm	提升力	测量最大间距/mm	提升力
ASTM E709	50.0-100.0	135.0 N (30.0 ibs)		
ASTM A275	75.0-150.0	175.0 N	/	/
BS 6072	75.0-150.0	18.0 kg	≤300.0	4.50 kg
RCC-M	75.0-250.0	18.0 kg	75.0-250.0	4.50 kg
AS 1171	75.0-300.0	18.0 kg	75.0-300.0	4.50 kg
P3C-AL-0003	MAX	30.0 ibs	MAX	10.0 ibs
EP.490-327LE	75.0-150.0	40.0 ibs	/	/
ALSTHOM	MAX	18.0 kg	MAX	4.50 kg
GB/T 15822	50.0-200.0	177.0 N	50.0-200.0	44.0 N
JB/T 8468	75-150.0	180.0 N	75.0-150.0	45.0 N
JB 4730	50.0-200.0	18.0 kg	50.0-200.0	4.50 kg

2.2 安全性

有关方面的校准,主要参考国内JJF 1458-2014《磁轭式磁粉探伤机校准规范》中的相关规定,测试时应使用500.0 V的绝缘电阻测试仪,在电源进线和设备壳体之间的电阻控制为2.0 MΩ以上。且一次测与二次测能够承受的电压值皆在1.5 kV以上,能保证探伤仪的绝缘能力满足要求。

2.3 磁导率

磁导率属于影响磁通和励磁电流的重要因素,因此,必须注重磁导率的校准。在交流电环境下,磁导率变化,磁通不受其影响,励磁电流可以自动调整。在直流电环境

下,磁导率变化,磁通则会自动变化,励磁电流保持不变。当磁轭式磁粉探伤仪处于正常状态时,磁化电流与有效电流之间的差值在0.1以内。

2.4 灵敏度

灵敏度,属于磁轭式磁粉探伤机性能方面的重要测量指标,其主要受到标准试片的影响。根据现行行业标准,磁粉检测使用的标准试片为A₁-30/100型。如果被测试位置相对较为狭窄,存在检测难度,则应使用尺寸相对较小的试片,具体为C-15/50型标准试片。如果存在特殊需求,也可以根据具体情况,适当使用D型或者M₁型试片。具体标准如表2所示。

表2 灵敏度检测试片类型和规格
Table 2 Types and specifications of sensitivity test pieces

类型	规格: 缺陷槽深/试片厚度μm	结果
A ₁ 型	7.0/50.0	可清晰完整地显示标准试片上的刻槽
	30.0/50.0	清晰度良好,完整度一般
	15.0/50.0	可以清晰显示,完整度良好
	60.0/100.0	可以清晰显示,完整度良好
C型	8.0/50.0	显示清晰、完整
	15.0/50.0	显示清晰、完整
D型	7.0/50.0	显示清晰、完整
	15.0/50.0	清晰度和完整度皆较好

	Φ12.0 mm 7.0/50.0	清晰度和完整度皆较好
M ₁ 型	Φ9.0 mm 15.0/50.0	清晰度和完整度皆较好
	Φ6.0 mm 30.0/50.0	清晰且完整

3 讨论与结论

通过本次实验研究结果得出如下结论:其一,本次设计的磁轭式磁粉探伤机计量校准方案具有合理性,在提升力、安全性、磁导率、灵敏度方面皆达到要求;其二,在磁轭式磁粉探伤机计量校准实施时,需要注重工作环境设计,增强其实用性;其三,本次设计的计量校准方案,可以推广使用。此外,还应学习该探伤机应用要点和操作技巧,设置实施保障措施,加强实施过程管控,保证校准工作规范、标准、高效的开展,具体如下所示:

3.1 人员方面

人员属于校准工作开展的重要影响因素,必须注重相关工作人员的选择,保证其在操作过程中规范、熟练、专业,避免因工作人员操作问题带来的校准误差。在具体实施时,有关方面的工作人员,应具有磁轭式磁粉探伤机校准方面工作实践经验,可以按照要求完成校准工作。此外,在校准实施之前,还应对其进行校准交底,详细阐明校准的要点、注意事项、具体方法和标准等,为其实践操作提供支持。例如,在校准前,向操作人员介绍新型校准设备使用要点,避免其产生操作误差。

3.2 设备方面

在校准工作开展时,需要使用相应的设备,完成这一工作。在设备选择时,必须保证其在功能和性能方面皆满足要求,降低设备因素带来的校准影响。其中,对于一些性能较差的设备,应及时更换。同时,还要分析设备的精准性是否满足校准需求,如果不满足要求,需要对其进行更换。为了实现这一目标,在开展校准工作实操之前,需要进行每个设备的检查和测试,保证所有设备均适用于本次校准工作。

3.3 环境方面

磁轭式磁粉探伤机校准,受到环境影响较大,因此,需要进行环境影响因素分析,对其有效控制,保证校准结果准确性。例如,在校准环境方面,需要测量其温度、湿度、粉尘含量等,如果未达到要求,需要进行处理。同时,还要检视是否存在易燃、易爆、腐蚀性物品,如果存在,及时移除。此外,对于辐射较为强烈、电磁干扰较为突出的物品,也需要移除,以免影响计量精准性。例如,在环境温度方面,需要保持在(20±10)℃,湿度为85%以下。

参考文献

- [1] 李胜春,张燕,王攀峰,等.磁轭式磁粉探伤机提升力测量装置的研制[J].计量与测试技术,2020,(02):24-26.
- [2] 王建立.磁粉探伤机磁化时间校准方法研究[J].计量与测试技术,2020,47(5):3.
- [3] 陈新波,李小丽,黄富明.固定式智能磁粉探伤机的研制[J].无损探伤,2020,44(3):4.
- [4] 宗翔宇,段海涛.磁轭式磁粉探伤机综合校验标准装置的研制[J].中国计量,2019,(10):3.
- [5] 欧阳晶晖,魏效玲,薛会民,等.荧光磁粉探伤机磁化方法的研究[J].河北建筑科技学院学报(自然科学版),2023,(5):6-8.
- [6] 刘寒遥,胡浩,刘卫,等.在线磁粉探伤机磁化电流校准装置研制[J].计量科学与技术,2023,(3):50-55.
- [7] 郭磊,盖晓朋.侧架磁粉探伤机故障诊断与维修[J].金属加工:冷加工,2021,(9):3.
- [8] 杨健琪.提高磁粉探伤机完好率[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(10):2.
- [9] 陈心一,杨双羊.一种磁粉探伤机的维保装置[J].石油和化工设备,2020,23(7):3.
- [10] 姜陈杭.CJW-3000Z型微机控制车轴荧光磁粉探伤机退磁模式改造[J].上海铁道,2020,(S02):000.
- [11] 张文杰.复合磁化技术在本田转向节磁粉探伤中的应用[J].铸造设备与工艺,2021,(2):4.
- [12] 张守亮,胡元元,姜永元,等.固定式磁粉探伤机校准装置研制[J].铁道技术监督,2022,(002):050.
- [13] 叶福钰.金属构件磁粉探伤机校准的磁化电流不确定度分析[J].世界有色金属,2020,(3):2.
- [14] 王建立.磁粉探伤机磁化时间校准方法研究[J].计量与测试技术,2020,47(5):3.
- [15] 韩卫,张勇,解江涛.高剩磁透平叶片的退磁技术研究[J].无损探伤,2023,47(05):39-41.

作者简介



黄思杨,工程师,研究方向:计量检测。



朱文杰,助理工程师,研究方向:计量检测。



袁梦芹,工程师,研究方向:计量检测。