

基于智能制造新模式的电机在线检测装备研制

石 浩, 李怀珍

(上海电科电机科技有限公司, 上海 200063)

摘 要: 针对电机智能制造新模式下的成品电机在线检测需求,研究了电机在线检测工艺,研制了全自动、智能化和信息化的电机在线检测装备。装备实现了 0.75~15 kW 功率段、220~690 V 电压范围内的三相异步电机的直流电阻、绝缘、耐压、堵转、空载、噪声、温度的全自动无人检测,测试节拍 60 s/台。装备的研制和应用提高了电机在线检测数据的一致性、准确性和溯源性,保障了高强度、快速作业下的电机质量,为电机智能制造新模式的推广应用提供了设备支持和技术保障。

关键词: 智能制造; 在线检测; 静态测试; 动态测试

中图分类号: TM 306 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2021)02-0096-05

doi: 10.12177/emca.2020.193

Development of On-Line Test Equipment for Motor Based on the New Mode of Intelligent Manufacturing

SHI Hao, LI Huaizhen

(SEARI Motor Science and Technology Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: Aiming at the demand for on-line test of factory motors based the new mode of intelligent motor manufacturing, the on-line test technology of motors has been studied, and fully automatic, intelligent and information-based on-line motor test equipment has been developed. The equipment can complete the automatic unmanned detection of DC resistance, insulation, voltage resistance, locked-rotor, no-load, noise, and temperature of three-phase asynchronous motors in the power range of 0.75~15 kW and voltage range of 220~690 V, with a test cycle of 60 seconds per unit. The development and application of the equipment have improved the consistency, accuracy and traceability of the motor on-line test data, and the quality of the motor under high-intensity and fast operation is guaranteed. It provides equipment support and technical support for the promotion and application of the new mode of motor intelligent manufacturing.

Key words: intelligent manufacturing; on-line test; static test; dynamic test

0 引 言

新一代信息技术与制造业的深度融合,已形成新的生产方式、产业形态和新经济增长点,制造业数字化、智能化成为全球先进制造业的核心技术^[1-2]。

传统电机生产制造是典型的劳动密集型产业,随着人力成本的增加和人口红利的逐步消失,

电机行业亟须开展集智能制造关键技术与装备研发、关键工艺模型研究和信息化管理系统开发为一体的智能化运营综合平台建设,通过研究探索形成成熟、可复制、可推广的电机智能制造新模式并以此引导行业开展智能制造工程建设,加快转型发展,提升中国电机制造业整体水平及国际竞争力^[3-4]。

电机在线检测是电机生产制造过程中的重要

收稿日期: 2020-10-27; 收到修改稿日期: 2020-12-16

作者简介: 石 浩(1985—),男,工程师,研究方向为电机智能制造及智能电机检测设备。

李怀珍(1985—),男,硕士,高级工程师,研究方向为机电控制技术、电机检测技术和设备等。

环节之一,开展基于智能制造新模式的电机在线检测关键技术研究并开发相应装备是电机智能制造的关键和核心,在电机智能制造中具有重要地位,对引领以手工方式、劳动密集型模式的传统电机制造企业向全面自动化、数字化、智能化转型具有重要意义。本文针对电机智能制造新模式下的成品电机在线检测需求,研究了电机在线检测工艺,并基于检测工艺研制了全自动、智能化和信息化的电机在线检测装备。

1 电机在线检测特点

传统的电机制造涉及电机配件加工和电机总装等,多采用人工密集型流水线生产方式,自动化程度非常低,且工序环节多、效率低、信息流通不畅。传统总装工艺流程如图1所示。基于传统的电机在线检测装备具有如下特点:

- (1) 装置分散、信息孤立;
- (2) 自动化水平低,人工参与度高;
- (3) 测试节拍较慢,生产效率低下;
- (4) 测试数据稳定性差、溯源困难。

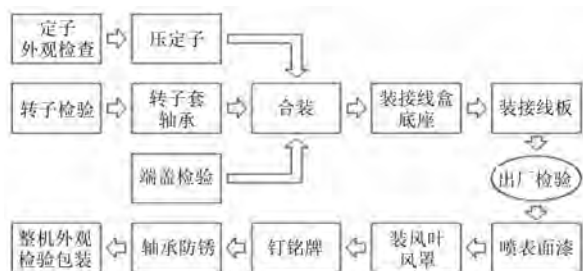


图1 传统总装工艺流程图

与传统“孤岛分立式”电机在线检测装备不同的是,基于智能制造新模式的电机在线检测具有如下特点:

(1) 装备分散,信息化程度高。电机制造由于其制造工艺的特殊性,多采用离散型数字化车间模式,造成电机在线检测装备具有分布范围广且分散等特点,而基于智能制造新模式的电机在线检测需要与线体、信息平台可以实现信息的互联互通。

(2) 自动化水平高。传统工艺严重依赖人工,自动化水平差,无法快速应对小批量、多品种的主流生产模式,基于智能制造新模式的电机在线检测对自动检测、柔性检测、快速检测均具有较

高的需求。

(3) 协同质量管理。基于智能制造新模式质量管理对电机在线检测数据实时性、安全性、溯源性等均具有较高要求。

2 电机在线检测的设计

2.1 基于智能制造新模式的在线检测工艺及需求

电机总装主要由电机定子、转子、机座、端盖、轴承及附属配件总装加工工序组成,通过快换夹具工装,进行产品的无缝切换生产,大量采用机器人等柔性化设备,通过使用机器人进行数字化流水装配作业。电机智能制造新模式对电机总装提出了更高的要求:在更少的人工参与的情况下高效率、高质量的完成电机的装配、检测、喷涂、打包等工序。基于智能制造新模式的电机生产线总装工艺流程如图2所示。



图2 基于智能制造新模式的电机生产线工艺流程

在线自动检测是产线工艺流程中很重要的一环,既是对前面工艺环节的直接检验,也是对后续电机出厂后质量的直接保证,其自动化、智能化水平直接关系产线的正常运转。

基于示范产线建设需求,示范在线检测装备主要用于0.75~15 kW功率段、220~690 V范围内的三相异步电机的在线检测,测试节拍60 s/台。基于电机产线智能制造新模式质量管理需要,在线检测装备需具有数据接口,检测数据需实时交互,通过与质量管理体系联动,保证检测产品的溯源。依据GB/T 1032—2012《三相异步电动机试验方法》^[5]等标准规定和电机检测工艺需要,电机在线检测装备检测项目包括:冷态绝缘电阻、工频耐电压、绕组直流电阻、堵转电流和堵转损耗的测定,额定电压、额定频率时的空载电流、损耗和噪声、温度的测定。

2.2 在线检测装备设计

基于电机智能制造新模式的在线检测工艺及需求,设计电机在线检测装备原理图如图3所示。

包括二维码扫描识别系统、变频电源、变压器 1T、触摸式一体机、可编程控制器 PLC、测量用仪器仪表电参数测量仪 QZ8967B、直流电阻仪 RM3545、绝缘/耐压仪 3153、在线噪声仪等。

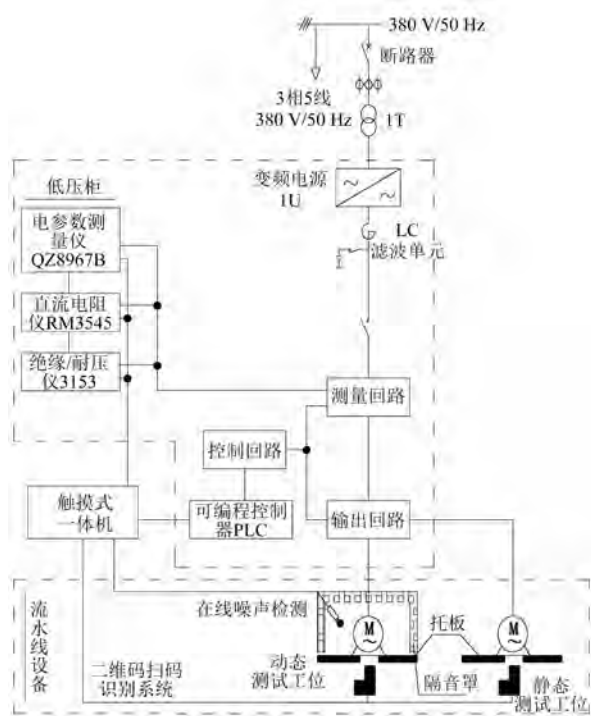


图3 在线检测装备原理图

鉴于传统检测工艺检测节拍约 180 s/台,无法满足电机智能制造新模式对在线检测节拍 60 s/台的需求,在线检测装置在检测工艺上设计了静态测试和动态测试 2 个独立测量工位,静态测试工位用于对电机的冷态绝缘电阻、工频耐电压和绕组直流电阻测试,动态测试工位进行电机的堵转、空载以及噪声的测定,2 个测试工位可同时试验,测试节拍均可控制在 60 s/台以内,即在 60 s 内能够同时进行 2 台电机的检测,能够满足电机智能制造 60 s 下线 1 台电机的工艺要求。

2.2.1 工作原理

被测电机在前道工序(前端盖)装配完成后,电机置于托板,由人工将托板上的测试线与电机接线端子连接,通过流水线控制自动流转到静态测试工位,托板自动顶起,与静态测试流水线测试接口自动对接,对接信号发送到测试台,在线检测装置通过二维码扫描识别系统识别电机本体二维码,由在线检测装置软件在本地自动建立测试信

息数据库并将被测电机信息数字化后进行测试,测试过程全程无人操作,检测工艺流程为:直流电阻→绝缘电阻→耐压测试。静态测试完成后,由流水线控制自动切换转入至动态测试工位进行电机堵转和空载性能测试,待电机测试完成后,装置反馈测试完成信号给流水线控制系统,合格品由流水线自动控制流向下一道工序(喷漆线),不合格品则由流水线控制流向环形检修区域,维修人员可根据质量管理体系反馈不合格项对电机进行检修,待电机检修完成后重新流入测试工位测试。

2.2.2 控制系统

控制系统由触摸式一体机+上位机软件+可编程控制器 PLC 等受控部分组成,通过触摸式一体机实现集中控制和分散管理,受控部分包括可编程控制器 PLC、变频电源、测量用仪器仪表等。控制系统通信连接组态结构如图 4 所示。

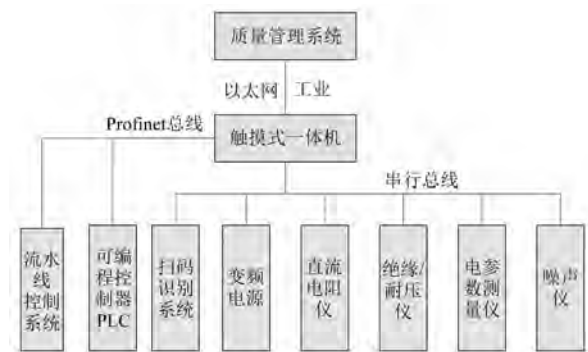


图4 控制系统通信连接组态结构

在该控制系统中,流水线控制系统、触摸式一体机和可编程控制器 PLC 通过 Profinet 总线组成自动控制和检测的核心,触摸式一体机通过串行总线与变频电源、测量用仪器仪表等通信控制以完成对被试电机的测试,通过工业以太网总线与质量管理体系进行实时检测数据交互以完成测试电机的质量管控,从而实现在线检测装备与线体以及质量、信息平台的数据交互和互联互通。

2.3 主要功能的实现

2.3.1 在线检测的功能实现

在线检测装备通过 Profinet 总线与流水线控制系统通信完成电机的接线,通过扫码识别系统对试验电机进行电机规格型号识别,进而通过工业以太网总线与质量管理体系进行信息交互完成电机的试验标准检索,通过装置自动控制对试验

电机进行在线检测和试验结果的判定。基于智能制造新模式的电机在线检测装备检测流程图如图 5 所示。

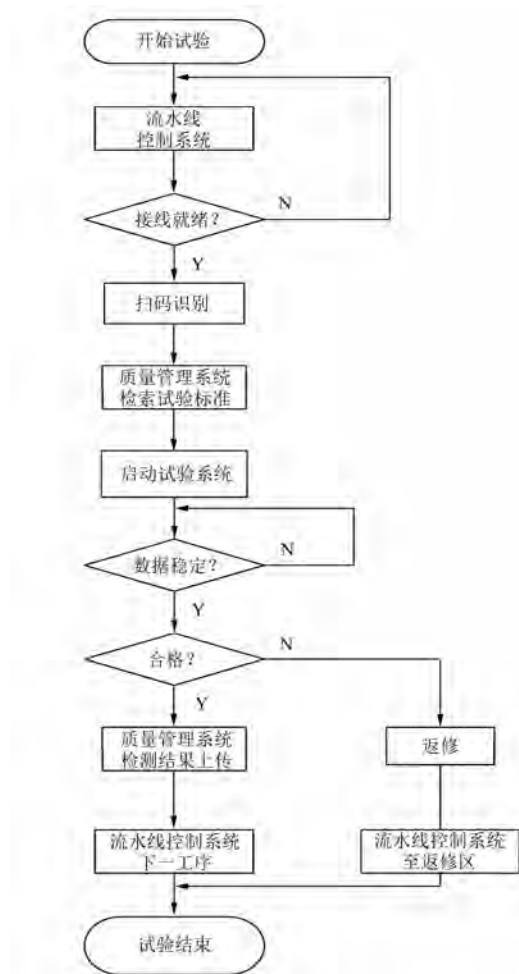


图 5 电机在线检测装备检测流程图

2.3.2 静态测试

直流电阻测试仪器:日置 RM3545 精密电阻测试仪,测量范围 0~1 200 M Ω ,基本精度 0.006%,最小分辨率为 0.01 $\mu\Omega$,最大测量电流 1 A。

测试方法:利用直流电阻测试仪对电机绕组进行检测,测量时,电机转子保持不动,连接绕组各相引出端,利用电阻测试仪测量各引出端之间的电阻,在线检测装置软件自动采集环温并据此将电阻值修正到 20 $^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值,自动计算不平衡度,并与质量管理系统进行实时数据交互和判断是否合格。

绝缘/耐压测试仪器:日置 3153 自动绝缘/耐压测试仪,绝缘电阻测量范围为 0.10~9 999 M Ω ,

电流测量范围为 0.1~100 mA,测试时间为 0.3~999 s 可调。

测试方法:检测绕组与机壳、绕组之间的绝缘电阻、工频耐电压和漏电流,在线检测装置软件自动采集所测得的结果并与质量管理系统进行实时数据交互和判断是否合格。

2.3.3 动态测试

测试仪器:QZ8967B 综合电量监测仪,电压测量范围为 5~800 V,电流测量范围为 0.01~40.00 A;在线噪声仪 HS6288D。

测试方法:将变频电源调整至试验电机额定频率和约 1/4 额定电压输出,通过电参数测量仪 QZ8967B 的快速测量功能采集电机起动瞬间的电参数作为电机的堵转测试数据(堵转电流和堵转损耗)。堵转试验完成后由在线检测装置软件自动控制变频电源将电源输出调整至电机额定电压和额定频率,通过噪声仪实时测量电机的噪声值,经运转磨合一定时间后测取试验电机额定电压、额定频率时的空载电流、损耗和噪声值,由软件进行分析计算后与质量管理系统进行实时数据交互和判断是否合格。

2.4 试验验证

电机在线检测装备已在某司投入生产检测,实物图如图 6 所示。该装备运行稳定、数据准确、操作简单、维护方便,既实现了电机在线检测的全自动无人化作业,又能够与质量管理系统信息互通进行实时数据交互,满足电机智能制造新模式的自动化、信息化及智能化建设需求。设备投入生产使用后,实现年检 4 万台电机且无故障,检测效率提高了 200%,同时提高了产品质量的一致性。经测算,该整机总装数字化生产线总体生产

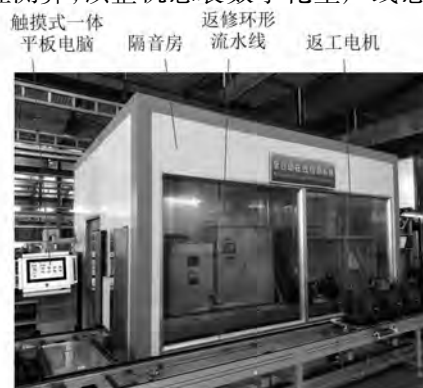


图 6 电机在线检测装备实物图

效率提升了 35.75%, 生产运营成本降低了 26.21%, 不良品率下降了 75.8%, 能源综合利用率提高了 20.11%。

3 结 语

本文基于智能制造新模式的检测工艺, 设计研制了一种电机在线检测装备, 具有自动化程度高、信息交互能力强等特点, 装备运行稳定、测试数据准确、重复性好、维护简单方便, 保障了高强度、快速作业下的电机质量。装备的研制和应用为用户企业进行质量管理提供了设备支持和技术保障, 通过技术性降本增效提高了用户制造电机的竞争力。

(上接第 95 页)

理方法, 提升了故障类型的识别精度, 尤其适用于 NPC 三电平逆变器故障类型较多的情况, 能够很好地满足逆变器故障诊断的需要。

【参 考 文 献】

- [1] ABADI M B, MENDES A M S, CRUZ S M A. Method to diagnose open-circuit faults in active power switches and clamp-diodes of three-level neutral-point clamped inverters [J]. IET Electric Power Applications, 2016, 10(7): 623.
- [2] 万晓凤, 胡海林, 余运俊, 等. 光伏三电平逆变器故障检测和诊断技术研究进展[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12): 1727.
- [3] 郑连清, 邹涛, 姜洪立. 电力电子主电路故障诊断方法研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(3): 84.
- [4] CAI B, ZHAO Y, LIU H, et al. A data-driven fault diagnosis methodology in three-phase inverters for PMSM drive systems [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2017, 32(7): 5590.
- [5] CHENG L, GAO J, ZHANG B, et al. Fault diagnosis of subway auxiliary inverter based on EEMD and GABP[C]//The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC), 2014.
- [6] 李浩洋, 郭源博, 张晓华. 采用复合特征提取和 SVM 的三电平 STATCOM 故障诊断方法[J]. 电机与控制学报, 2019, 23(2): 53.
- [7] 王栋璿, 丁云飞, 朱晨煜, 等. 基于小波包和改进核

【参 考 文 献】

- [1] 袁彩微, 付勇. 工业化和信息化融合影响产业转型升级的文献综述[J]. 广西质量监督导报, 2018(12): 69.
- [2] 李廉水, 石喜爱, 刘军. 中国制造业 40 年: 智能化进程与展望[J]. 中国软科学, 2019(1): 1.
- [3] 章鹏杰. 电机制造工艺现状及发展动向[J]. 科技创新与应用, 2017(16): 158.
- [4] 阎阅, 尤德, 马四松. 电机智能制造信息化平台[J]. 电机与控制应用, 2017, 44(12): 119.
- [5] 中国电器工业协会. GB/T 1032—2012: 三相异步电动机试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- 最近邻算法的风机齿轮箱故障诊断方法[J]. 电机与控制应用, 2019, 46(1): 108.
- [8] 唐琛, 杨剑, 任兴, 等. 基于小波变换的开关磁阻电机系统功率变换器故障诊断[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(9): 125.
- [9] 陶洪峰, 周超超, 杨慧中. 基于 EMD-DTRVM 方法的三电平逆变器故障诊断[J]. 控制工程, 2019, 26(12): 2291.
- [10] TALHA M, ASGHAR F, KIM S H. A novel three-phase inverter fault diagnosis system using three-dimensional feature extraction and neural network [J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019, 44: 1809.
- [11] 陈丹江, 叶银忠. 基于多神经网络的三电平逆变器器件开路故障诊断方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(6): 120.
- [12] 王福忠, 曹斌, 韩素敏, 等. 二极管钳位式三电平逆变器功率管开路故障诊断[J]. 制造业自动化, 2019, 41(7): 17.
- [13] 李俊卿, 李忠徽, 全宗义. 基于支持向量机和 D-S 证据理论的双馈风机定子匝间短路故障诊断[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(5): 99.
- [14] 陶涛, 马小燕, 花良浩. 改进型 SVM 在轴向磁轴承转子位移自检测中的应用[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(10): 106.
- [15] 薛浩然, 张珂珩, 李斌, 等. 基于布谷鸟算法和支持向量机的变压器故障诊断[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 8.