

一种伺服电机综合性能自动化测试平台的研发与应用

秦昌述, 张逸飞, 刘江涛, 刘晶, 王震, 杨巍

武汉华中数控股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年3月13日; 录用日期: 2023年4月10日; 发布日期: 2023年4月17日

摘要

一台电机, 从生产线上组装完成到出厂使用, 需要进行一系列的检测, 包括电机静态电气性能的检测、电机动态运动特性的检测。本文设计了一种伺服电机综合性能自动化测试平台, 通过上位机总控测试软件的控制, 华中8型数控系统强大的PLC逻辑控制, 进行测试过程中的电路切换及运转控制, 收集测试过程数据, 并与合格指标进行判断, 输出电机的综合检测结果。应用表明, 该电机综合性能自动化测试平台, 能够有效的对电机各项指标进行检测, 并能准确拦截不合格电机, 从而提高电机出厂时的检测效率, 提升电机的出厂合格率。

关键词

电机, 自动化测试, 华中8型数控系统

Development and Application of an Automatic Test Platform for Motor Comprehensive Performance

Changshu Qin, Yifei Zhang, Jiangtao Liu, Jing Liu, Zhen Wang, Wei Yang

Wuhan Huazhong Numerical Control Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Mar. 13th, 2023; accepted: Apr. 10th, 2023; published: Apr. 17th, 2023

Abstract

An electrical motor, from the assembled to the factory use, needs a series of tests, including static electrical performance test, the dynamic movement feature detection. This paper designed an

文章引用: 秦昌述, 张逸飞, 刘江涛, 刘晶, 王震, 杨巍. 一种伺服电机综合性能自动化测试平台的研发与应用[J]. 动力系统与控制, 2023, 12(2): 75-85. DOI: 10.12677/dsc.2023.122008

automatic test platform for motor comprehensive performance, through the process control of the test software, the powerful PLC logical control of Huazhong 8 numerical control system, to test the circuit in the process of switching, and control operation, collect data, test process and judgment with qualified index, the output of the motor comprehensive test results. Application shows that the automatic test platform, can be effective for motor testing, and can intercept unqualified motor accurately, so as to improve the detection efficiency of the motor test, improve motor qualified rate.

Keywords

Electrical Motor, Automatic Test, Huazhong 8 Numerical Control System

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着工业的不断发展,电机在各行各业领域中的应用越来越广泛,在响应国家高质量发展的大背景下,对电机产品更是提出了“由丝入微”的高性能和高质量指标。

以前,电机的质量检测主要由模拟设备及机械式测量仪器构成,检测流程比较分散,测试人员工作繁忙,数据统计工作复杂,且由于人工因素,数据测量存在误差。随着计算机技术的发展,各种数字式控制技术在工业中的应用越来越广泛。其中,肖东岳[1]等设计了基于 MATLAB 的步进电机自动化测试系统,通过 MATLAB 软件,一次对 4 台步进电机根据设定参数,使其按规定的方式运动,直到测试完成。吴丽花[2]设计了基于 LabVIEW 的电机自动化测试系统,实现了电机负载特性测试和转矩特性测试的自动化检测。袁凯南[3]等提出了电机测试技术的研发与应用,提供了 PC 电机测试技术、虚拟仪器的电机测试技术等。黄湘宁[4]提出了一种三相异步电机自动测试与控制系统,对电机的温升、负载等性能进行了测试。

上述研究均提供了一种电机自动化测试的方案,但是检测内容过于单一,更适合作为提升电机制造工艺及性能的研究阶段的单项分析测试。

本文提出一种伺服电机综合性能自动化测试平台,集成电气检测仪表、华中 8 型数控系统等部件于一体,旨在电机出厂前,对电机的综合性能(静态电气性能、动态运动特性)进行高效准确的评测,拦截不合格产品流入市场,提供了电机自动化测试的一站式综合解决方案。

2. 电机综合性能自动化测试平台设计方案

该测试平台由 PC 机单元、数控系统单元、伺服驱动单元、仪表单元、控制与通信单元、电机单元构成,框架结构如图 1 所示。其中,由运行在 PC 端的自动化测试软件控制电机的整体测试流程,仪表单元用于测试电机的静态电气性能指标,数控系统单元控制伺服驱动单元,带动电机单元进行运动,测试电机的动态运动特性指标,所有测试数据通过通信接口汇聚到 PC 端的自动化测试软件中进行分析评判。

为了提高测试效率,本平台预设了 9 个测试工位,单次可以对 9 台电机同步进行测试。控制流程如图 2 所示。

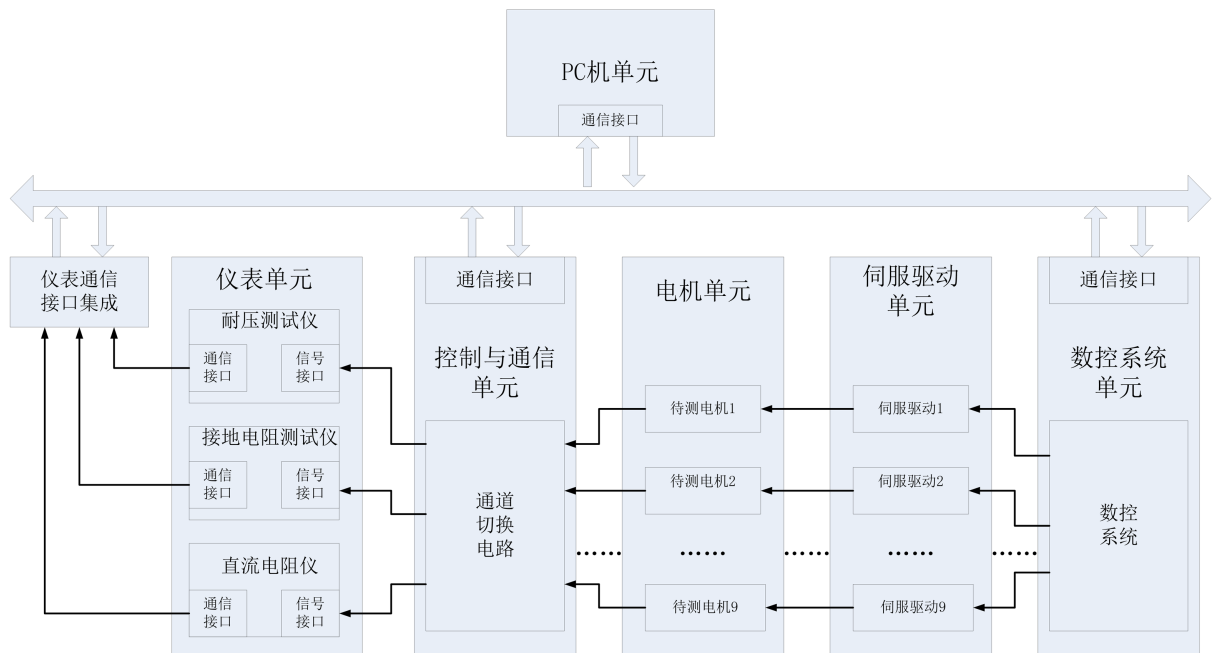


Figure 1. Overall framework of motor automation test platform

图 1. 电机自动化综合测试平台总体框架

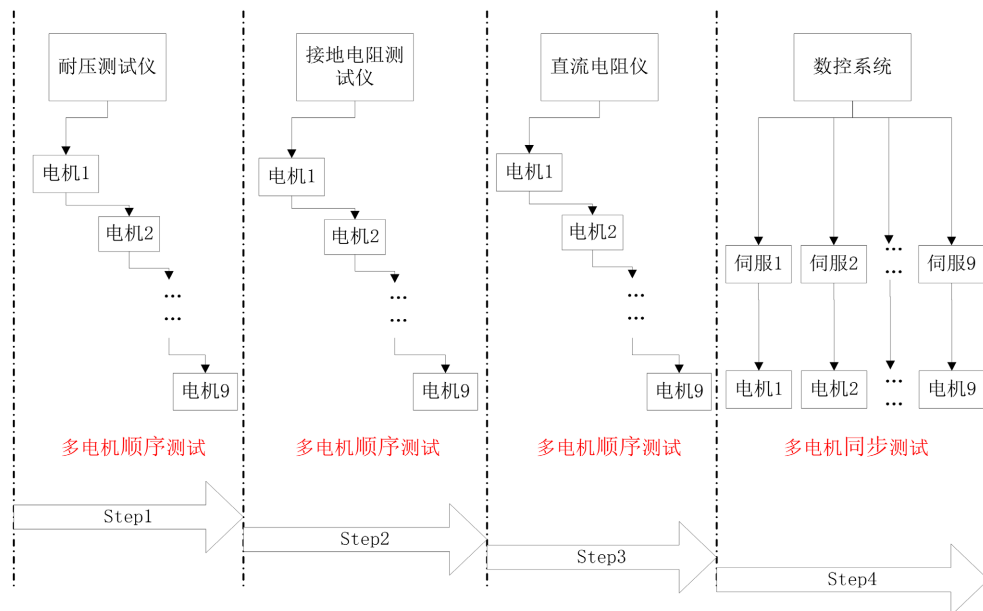


Figure 2. Process control sequence diagram of motor test

图 2. 电机测试流程控制时序图

2.1. 电气性能指标测试

电机的电气性能指标由仪表单元控制单台电机顺序检测，包括耐压测试仪、接地电阻测试仪和直流电阻仪表。

耐压测试：利用电机动力线，对电机动力插座 2 脚与电机 1 脚(PE)做耐压测试。设置耐压测试仪参数，使得仪表在 0.5 S 内电压由 0 V 上升到 1500 V，并持续 4 S 时间，而后 0.5 S 由 1500 V 降到 0 V。在

从发送开始测试到测试完成的 5 S 时间内, 分别在 1.5 S、2.5 S 和 3.5 S 时刻读取耐压测试仪的漏电流值, 将三次漏电流值取平均, 并与标准进行比对, 判断电机耐压测试是否合格。

接地电阻测试: 利用电机动力线, 对 PE 脚与电机外壳做接地电阻测试, 测试软件发送开始测试, 1 S 后, 每隔 1 S 读取一次检测电流和电阻值, 连续读取三次, 停止测试。将三次读取的电流及电阻值取平均, 并与标准进行比对, 判断电机接地电阻测试是否合格。

线电阻测试: 利用电机动力线, 切换相应绕组连接方式, 测试 R_{uv} 、 R_{vw} 、 R_{wu} 的电阻值。开始测试 1 S 后, 每隔 0.5 S 读取 R_{uv} 值, 读三次。切换相应绕组, 等待 1 S 后, 每隔 0.5 S 读取 R_{vw} 值, 读三次。再次切换绕组, 等待 1 S 后, 每隔 0.5 S 读取 R_{wu} , 读三次, 停止测试。将每组数据取平均, 并分别与标准进行比对, 判断电机线电阻测试是否合格。

由于电机的电气性能指标是电机正常运行的基础保障, 所以以上三项测试中, 任何一项测试未通过, 将不再进行后续动态运动特性的检测, 直接判为不合格。

2.2. 动态特性指标检测

电机动态特性检测由数控系统控制多台电机同步检测, 包括电机编码器数据写入及校核、电机调零、电机运行状态检测、电机零点校核、电机刹车器检测。

编码器数据写入及校核: 电机组装完成后, 电机编码器数据是空白的, 需要将电机本体属性与编码器进行绑定, 根据电机型号的不同写入相应编码器数据, 写入成功后, 重新读取编码器数据进行校验, 确保编码器能够正常读写。

电机调零: 读取电机型号对应的锁定电流值, 使得驱动器单元达到锁定电流值, 电流从 U 相进, V、W 相出, V、W 相电流各为 U 相电流的二分之一, 等待 1 S, 随后, 读取电机编码器位置数据, 在 1 S 内, 连续读取 5 次, 记录 5 次位置值的最大差值, 当最大差值小于标准偏差值时, 取 5 次位置值的平均值, 作为零点偏差值。此后, 电机按照 CCW 方向以一定转速旋转一圈, 读取此时编码器位置, 检查此位置值与上述零点偏差值的差值是否满足标准偏差, 满足则调零检测通过, 否则视为不通过。

运行状态检测: 控制电机以低速、中速、高速正反转运动, 采集过程中的速度、电流数据, 分析各速度段的速度电流数据的均值、有效值、方差等指标是否在合格标准内, 小于标准值则检测通过, 否则不通过。

零点校核: 旨在检测电机在一系列高低速运转之后, 零点位置有没有丢失, 检测步骤同电机调零。

刹车器检测: 用于带抱闸(刹车器)的电机的检测项, 分为刹车器打开和关闭状态的检测。刹车器打开状态下, 电机在位置模式控制下, 以配置的速度和运行圈数正反转运行, 检测正转电流和反转电流是否在允差范围内; 刹车器关闭状态下, 电机在转矩模式控制下, 驱动器单元输出相应的方向和电流, 形成转矩, 检测转矩前后的位置偏差是否在合理标准内, 范围内则测试通过, 否则不通过。

电机的动态特性测试, 采用 9 台电机同步测试方式, 得益于华中 8 型数控系统的多轴多通道控制技术, 本平台采用标准的单通道 9 轴控制模式, 最高可扩展至 8 通道 72 轴同步控制, 即一次可同时对 72 台电机进行测试, 这将极大的提高测试的效率, 相比于一些只能单台电机进行测试的平台, 具有划时代的意义。

2.3. 硬件平台和软件平台设计

根据图 1 所示的总体框架图及测试仪器, 设计了电机综合测试台电气柜, 如图 3 所示。运行于工控机上的测试总控软件, 如图 4 所示。

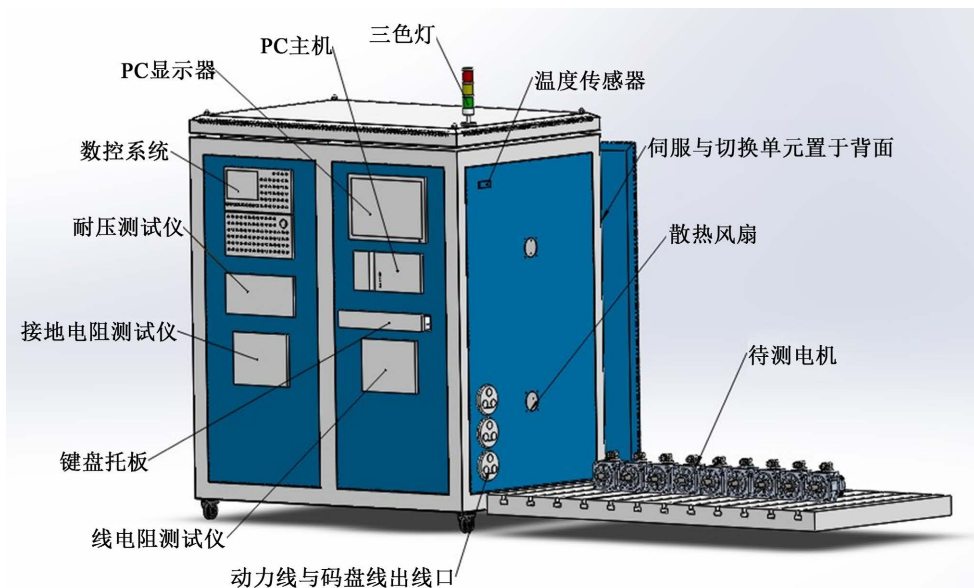


Figure 3. Schematic diagram of electrical cabinet

图 3. 电机综合测试台电气柜示意图

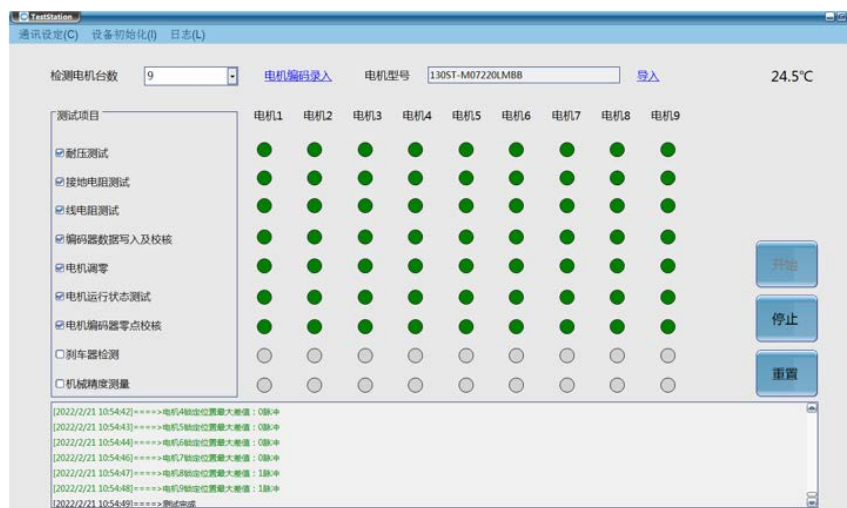


Figure 4. Main control software for motor automatic test

图 4. 电机自动化测试总控软件

3. 案例分析

某用户反馈一台问题电机，每次在断电重启后，第一次运行有异响，转速稳定后异响消失，周而复始。针对该问题，采集了该问题电机的运行速度曲线，如图 5 所示。

由图 5 的电机实际速度曲线可见，在 2.1 秒到 2.3 秒时间内，电机由速度 0 到 3000 mm/min 的过程中，存在速度抖动，在达到 3000 mm/min 的稳速后，抖动消失，因此可以判断，电机运行异响是由加速段的速度抖动造成，在速度稳定后，抖动消失，进而异响消失，与用户反馈现象一致。

选取一台正常电机和该异常电机做了对比实验，目的是找到一个可量化的指标来区分正常电机和异常电机，从而能够在自动化测试过程中，准确的筛选出问题电机。

实验采集了两台电机的指令速度、实际速度和负载电流 3 组数据，如图 6 和图 7 所示，重点关注电

机的实际速度曲线。

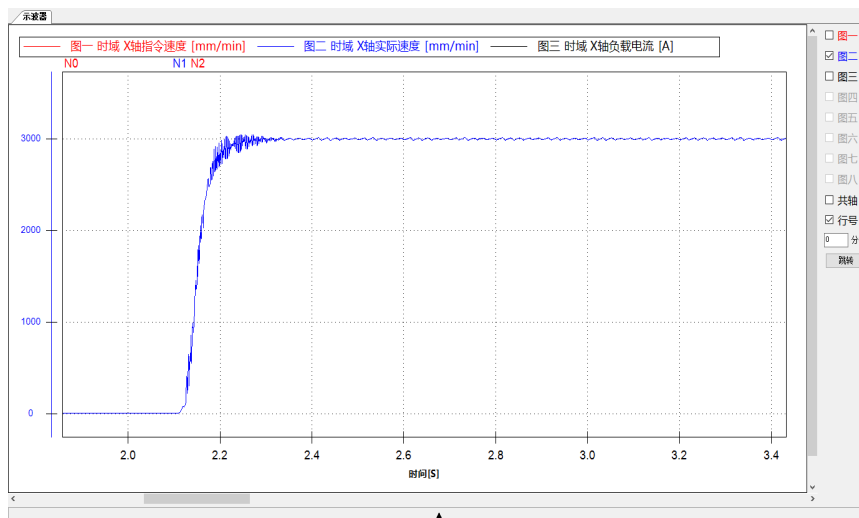


Figure 5. Motor running speed curve
图 5. 电机运行速度曲线

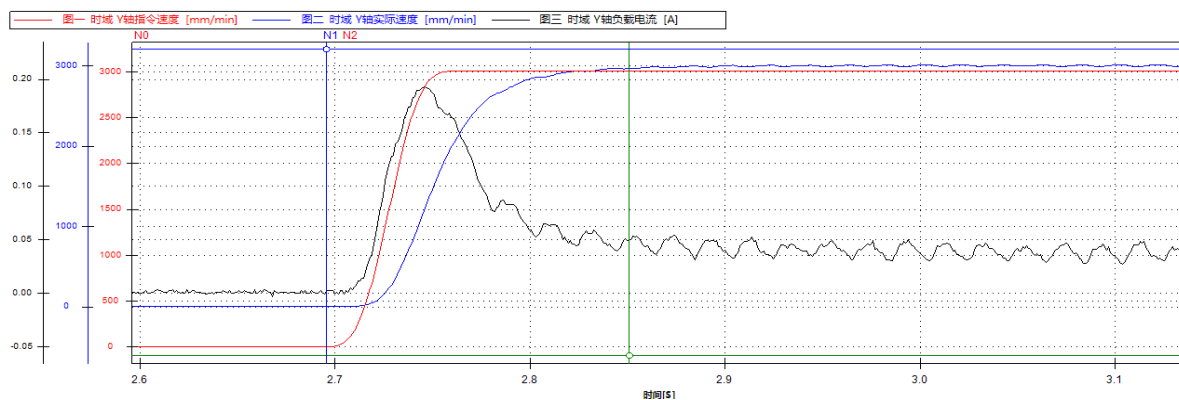


Figure 6. Normal motor curve data
图 6. 正常电机曲线数据

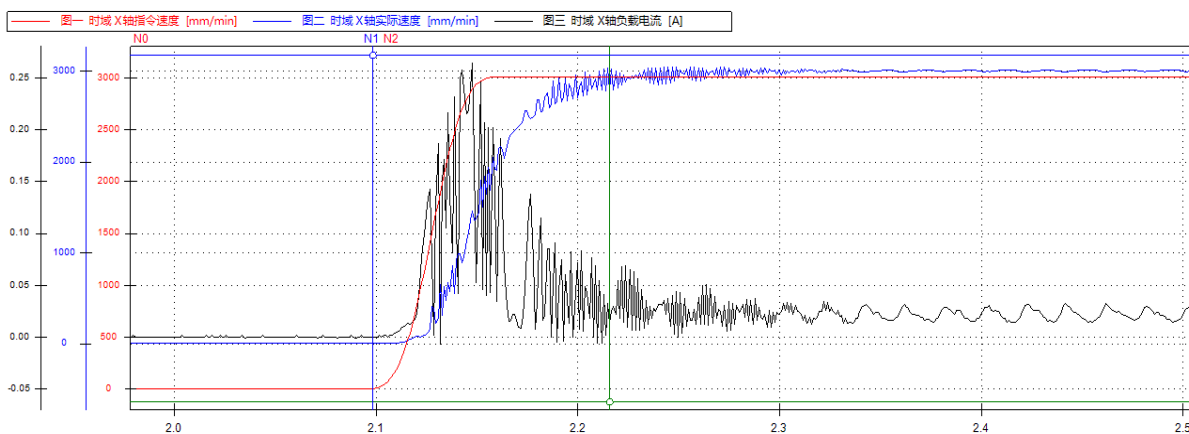


Figure 7. Abnormal motor curve data
图 7. 异常电机曲线数据

对实际速度的加速段做时域特性分析, 结果如下表 1:

Table 1. Motor qualified configuration table

表 1. 速度时域特性指标对照表

电机	最大值	最小值	峰峰值	平均值	有效值	均方差
正常电机	2999.4249	0.0715	2999.4965	2126.5016	2397.7066	1107.6949
异常电机	3028.5358	0.3576	3028.8935	1928.6725	1928.6725	1137.5690

根据表 1 统计数据, 可以看出正常电机和异常电机的各项指标差距不大, 不能通过一个或多个指标判断出异常电机, 因此无法直接通过对采集的速度进行时域分析, 进而筛选电机的好坏。

考虑到速度的抖动, 是由于加速度的不平稳过度导致的, 因此将正常电机和异常电机的实际速度做一阶微分处理, 绘制加速度曲线, 如图 8 和图 9 所示。

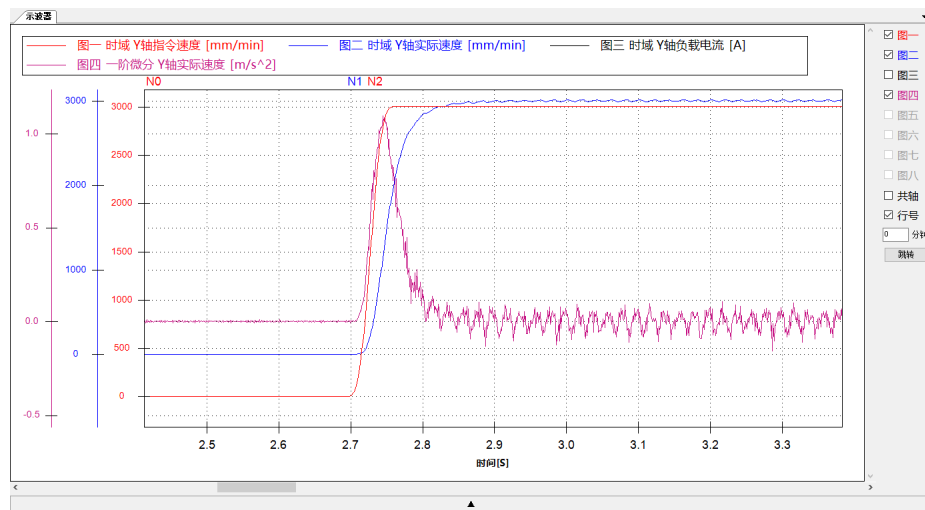


Figure 8. Normal motor acceleration curve

图 8. 正常电机加速度曲线

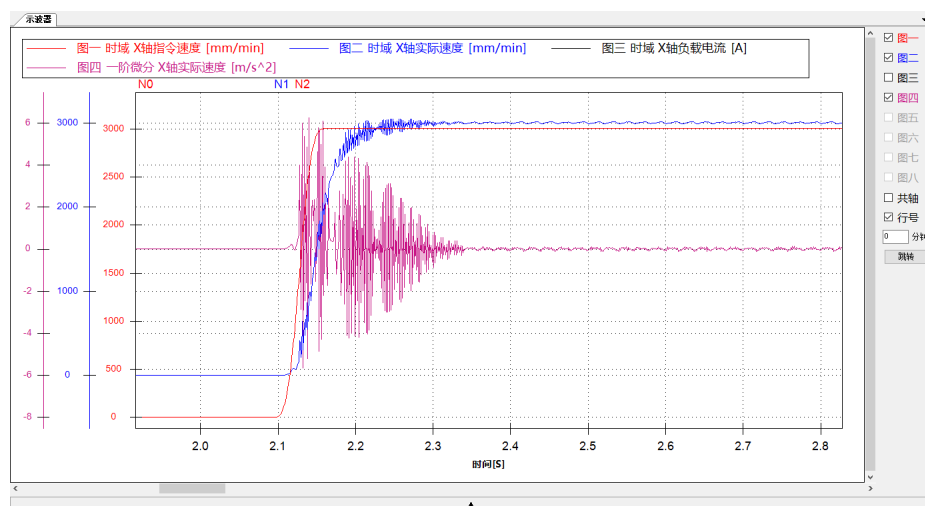


Figure 9. Abnormal motor acceleration curve

图 9. 异常电机加速度曲线

再次对加速段的加速度数据做时域特性分析，结果如下表 2 所示：

Table 2. Motor qualified configuration table
表 2. 加速度时域特性指标对照表

电机	最大值	最小值	峰峰值	平均值	有效值	均方差
正常电机	1.0943	-0.1323	1.2267	0.2230	0.3993	0.3312
异常电机	6.2251	-5.6517	11.8768	0.4068	2.4765	2.4428

通过表 2，可以明显看出正常电机和异常电机在指标上的差距，因此选用加速段的加速度均方差指标作为评判标准，筛选出异常电机。

将该正常电机和异常电机接入综合性能自动化测试平台，进行电机运行状态单项测试验证，结果如图 10 所示。



Figure 10. Motor running state test verification
图 10. 电机运行状态测试验证

通过该测试平台，可以看出能够准确筛选出异常电机，证明了该测试平台的有效性及准确性。

4. 应用验证

选取了型号为 130ST-M07220LMBB 共计 100 台电机进行测试。判定标准由电机厂家提供，如表 3 所示。

Table 3. Motor qualified configuration table
表 3. 电机合格配置表

指标名称	单位	合格标准	指标名称	单位	合格标准
漏电流	mA	0~9.9	锁定电流	0.01 A	585
接地电阻	Ω	0~0.99	锁定位置差值	pulse	200

Continued

线电阻	Ω	0.72~1.32	调零转速	1 rpm	30
机座号		4	零点误差	Pulse	200
额定电压	V	220	低速	1 rpm	500
额定功率	0.01 Kw	150	中速	1 rpm	1000
额定电流	0.01 A	950	高速	1 rpm	2000
额定转矩	0.01 Nm	720	低速波动	1 rpm	5
电机极对数		4	中速波动	1 rpm	8
额定转速	1 rpm	2000	高速波动	1 prm	15
最高转速	1 rpm	3000	刹车器开转速	1 rpm	60
转动惯量	0.0001 kg cm ²	1959	刹车器关力矩	0.01 A	100
编码器分辨率		131,072	刹车位置差	pulse	1000

在上位机总控软件中，导入上述电机型号的配置表，对该型号共计 100 台电机进行自动化测试，检测结果分项统计如下(见图 11~16):

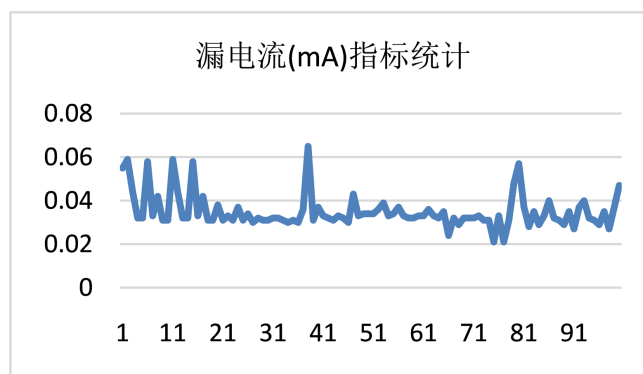


Figure 11. Statistical curve of withstand voltage test

图 11. 耐压测试统计曲线

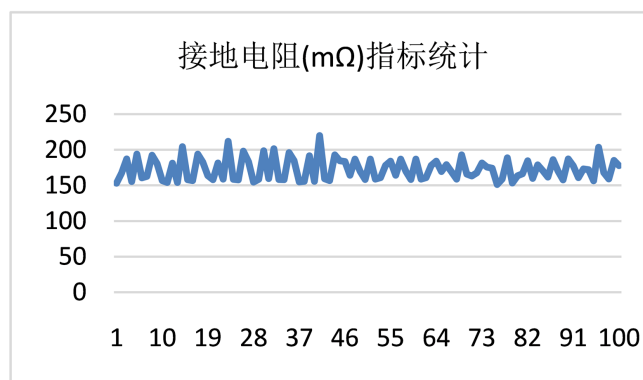


Figure 12. Statistical curve of grounding resistance test

图 12. 接地电阻测试统计曲线

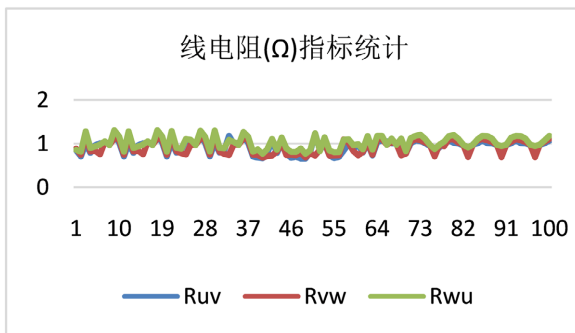


Figure 13. Statistical curve of line resistance test
图 13. 线电阻测试统计曲线

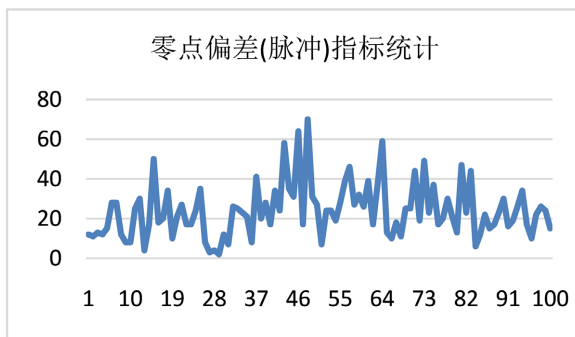


Figure 14. Statistical curve of zero test
图 14. 调零测试统计曲线

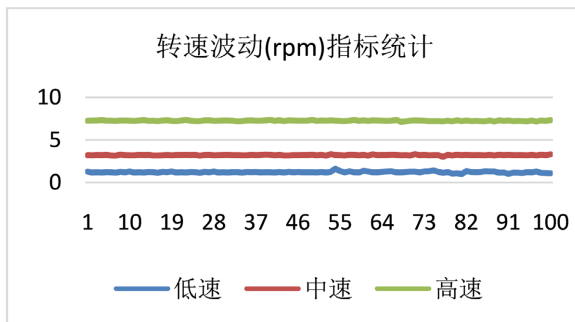


Figure 15. Statistical curve of running state test
图 15. 运行状态测试统计曲线

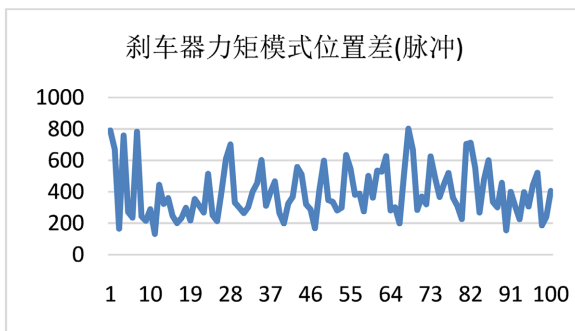


Figure 16. Statistical curve of brake test
图 16. 刹车器测试统计曲线

测试的统计数据显示, 各项的检测结果均在电机配置表的合格范围内, 能够对电机的电气性能及运动特性进行检测。

5. 结语

基于华中 8 型数控系统的伺服电机综合性能自动化测试平台, 能够对电机的综合性能(静态电气性能、动态运动特性)进行高效准确的评测, 拦截不合格产品流入市场, 提供了电机自动化测试的一站式综合解决方案。

基金项目

2021 年国家高质量发展专项: 2021 年高档数控系统及伺服电机(TC210H03A)。

参考文献

- [1] 肖东岳, 等. 基于 MATLAB 的步进电机自动化测试系统[J]. 制造业自动化, 2012, 34(9): 30-32.
- [2] 吴丽花. 基于 LabVIEW 的电机自动化测试系统开发[J]. 自动化应用, 2018(7): 35-36.
- [3] 袁凯南, 袁杰. 电机测试技术的研发与应用[J]. 黑龙江科技信息, 2013(22): 50.
- [4] 黄湘宁. 三相异步电机自动化测试与控制系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2003.