

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.012

旋转机械振动测试平台的设计

孙晓¹, 周浩², 卢祥江¹

(1. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 旋转类机械振动测试平台易受实时环境的干扰, 可靠性较差, 在实际使用时易出现测试过程意外中断的现象。用 PLC+PC 的模块化方式设计一种振动测试平台, 现场试验表明, 该测试平台计算能力强, 各项性能稳定可靠。

关键词: 旋转机械; 故障诊断; 振动检测

中图分类号: TH825

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)02-0056-04

Design of Vibration Testing Platform for Rotating Machinery

Sun Xiao¹, Zhou Hao², Lu Xiangjiang¹

(1. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: The vibration testing platform of rotating machinery is poor reliable and vulnerable to the real time environment interference and in actual testing is likely to appear unexpectedly disruption. Puts forward a PLC+PC modular vibration test platform design, and the field tests show that the proposed test platform has great calculation ability and its various performances are stable and reliable.

Keywords: rotating machinery; fault diagnosis; vibration monitoring

0 引言

旋转机械是一种将机械动能通过旋转动作来实现能量形式转换的一种设备, 其结构性故障可通过检测振动来分析预测。机车上的冷却塔是一种典型的旋转机械, 能否正常工作关系到机车的运行安全。由于冷却塔安装位置等原因, 在线维护和维修比较困难, 其主要故障如: 传动轴跳动、断裂、飞出, 电机轴承啮死, 齿轮打坏, 固定螺钉松动, 叶片飞出, 甚至整台风机倒塌、陷落等^[1], 均可通过出厂前的振动检测进行预测和规避。

选用合适的检测设备并采用合理的检测方法, 对冷却塔这类旋转机械进行动态的状态监测与故障诊断, 实现从以往的“经验维修”到“预报维修”的转变, 可有效地保障旋转机械安全、可靠运行, 从而获得较好的经济效益。

1 测试台设计思路

旋转机械投入运行前, 可根据今后的工作特点设定一套检测方案, 经过振动测试平台一段时间的测试后, 对其可用性进行诊断, 通过对检测数据的分析可以进一步进行寿命预测。达到这一目的的关键

收稿日期: 2012-01-14

基金项目: 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目(CX1111)

作者简介: 孙晓(1972-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为机电控制与计算机技术,

E-mail: sxbug@163.com

是设计一种高效且可定制的稳定的旋转机械振动测试平台^[2]。利用上位机(PC机)强大的数据计算能力和友好的用户界面,以及PLC良好的稳定性,用模块化的设计方案进行有机整合。在测试时,通过PC机编制测试规程,由PLC控制实施;由PLC或采集器采集现场数据,PC机完成数据分析和数据存储,并实现后期对大量检测数据的分析,以图表的形式表征被测设备在X、Y、Z 3个方向的振动信号频率及其它信息,进而得出被测试设备的工作特性;结合旋转机械的固有特性,最终测试旋转机械是否达到应用要求。

2 系统设计

2.1 架构设计

基于PC机计算能力强^[3],用户界面友好,数据处理方便的特点,把它作为上位机,主要完成测试工艺的编制、实验参数的设定、后期数据的回放与分析等功能。基于PLC工作稳定、抗干扰能力强的特点,把它作为下位机,主要完成每个实验环节中对变频器和交流接触器等电气设备的控制,及底层的安全保护功能;其它设备如智能仪表、变送器、采集器等均采用485或232的标准方式进行连接^[4],以保证系统的可扩展性和模块化结构。由于系统需要对各种不同的旋转机械进行测试,设立一个独立的带保护功能的三相可调式稳压电源。系统组成框图如图1所示。

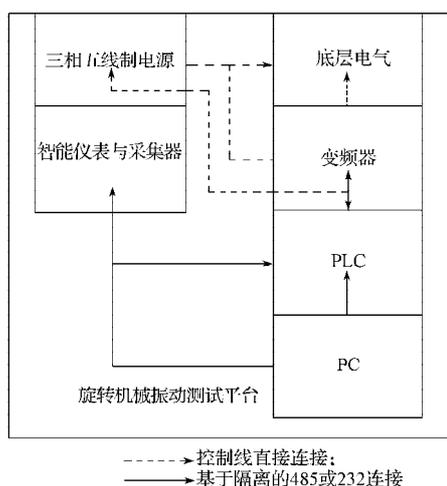


图1 系统组成框图

Fig. 1 The block diagram of the system

2.2 系统工作原理

旋转机械的振动测试平台^[5]通过编制的实验参数组,可自动测试如各类回转动力泵组、煤矿大型风机机组、机车冷却塔风机等设备,测试平台通过PC机编制不同的实验工艺,将工艺分解成具体执行内

容后,通过PLC实施^[6],PLC驱动被测对象,模拟旋转机械在各种不同工况下的运行状态,各类采集设备将被测对象的实时电压、电流、频率和振动信号及温度、压力、转速等信号送回测试平台,计算、显示电机输入功率、振动波形、报警信息等数据并保存。试验结束时,对设备的所有信息进行过滤,给出设备的各级共振点,额定工况下的工作状态,并指出该设备是否达到了国家相关标准的要求。如果用户需要对被测设备进行进一步的分析,可回放测试数据,进行小波或快速傅立叶变换等分析及预测故障等工作。为了提高测试速度,用户可对被测对象设定各阶段的阈值,若超过阈值,则测试终止,并报警显示该被测对象存在问题。

根据GB/T6075.1—1999《在非旋转部件上测量和评价机器的机械振动》^[7],我国将旋转类机械分为4类。I类:发动机和机器的单独部件,并完整地连接到正常运行状况的整机上,如15 kW以下的电机。II类:无专门基础的中型机器(15~75 kW输出功率的电机),在专门基础上刚性安装的发动机或机器(300 kW以下)。III类:具有一定质量且安装在刚性基础上、在振动测量方向上是相对刚性的旋转机械。IV类:具有一定质量、在振动测量方向上是相对柔性的旋转机械(例如输出功率大于10 MW的汽轮发电机组和燃气轮机)。

警告阈值划分为A、B、C、D 4类评价区域。A:优,新交付使用机器的振动通常属于该区域;B:良,振动值在该区域的机器可不受限制地长期运行;C:较差,振动值在该区域的机器不适宜长期持续运行,可在当前状态下运行有限时间,直到有采取措施的合适时机为止;D:差,振动值在该区域的机器振动剧烈,会引起机器破坏。各类机械阈值设置见表1。

表1 警告阈值设置

Table 1 The warning threshold setting

振动速度 均方根值 $/(mm \cdot s^{-1})$	机械类型			
	I	II	III	IV
0.28	A	A	A	A
0.45	A	A	A	A
0.71	A	A	A	A
1.12	B	A	A	A
1.80	B	B	A	A
2.80	C	B	B	A
4.50	C	C	B	B
7.10	D	C	C	B
11.20	D	D	C	C
18.00	D	D	D	C
28.00	D	D	D	D
45.00	D	D	D	D

3 软件实现

振动测试平台的实现是一个综合工程，涉及机电、计算机、通讯等多领域，其关键技术包括：PLC与变频器及其它数模转换模块的高效率通讯，振动数据的采集与数据处理。其主要流程见图2。

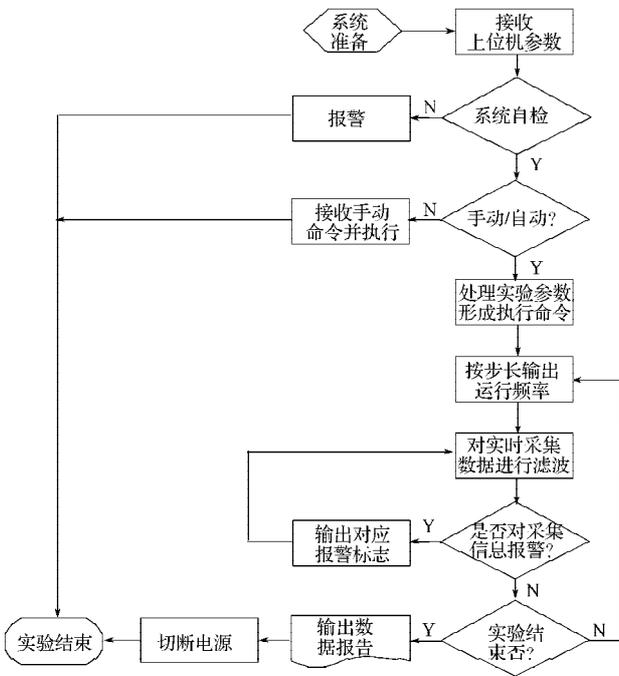


图2 控制流程

Fig. 2 Flow chart of control

3.1 通讯的有序控制

由于采用的FX1N系列PLC只能用RS指令进行通讯，不能使用FX3U的IVCK或IVDR，也不能使用FX2N的EXTR等高级指令，故所有通讯数据的组织和校验都需要用户实现。同时由于工作环境高频干扰严重，通讯的实现变得复杂，可靠性也受到影响。为使通讯不紊乱，采用双脉冲固定模式进行通讯。也就是固定一个10 Hz脉冲，每次在脉冲上升沿进行“写操作”，如果条件允许，就在相位滞后的短时间的脉冲上升沿准备通讯数据，在下降沿触发通讯。通讯开始后等待M8123单元的反馈，如果有反馈就将标志清空，同时使LOG处于通讯状态，并清除M8123单元，允许后继的“读操作”；如果M8123没有反馈，则等待。当允许“读操作”时，同样也在相位滞后的短时间的脉冲上升沿准备通讯数据，在下降沿触发通讯，开始一个读操作，并等待M8123单元的反馈；如果有反馈就将通讯缓存的数据立刻转移到公共数据区，并清除M8123单元，等待下一个写操作，PLC的读写时序见图3。

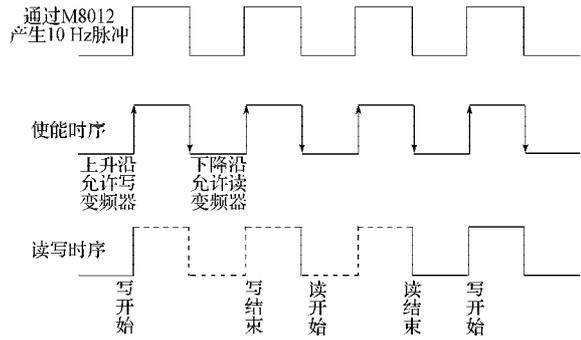


图3 PLC读写控制时序

Fig. 3 The W/R control order of PLC

3.2 数据处理

振动数据是采集器通过极坐标形式采集的，为了显示和处理，需变换成直角坐标。考虑测试实时性的要求，要实现式(1)的变换比较困难，为了减少计算量，需简化计算^[8]。

$$\begin{aligned} & [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)] = \\ & [(r_1 \cos \theta_1, r_1 \sin \theta_1), (r_2 \cos \theta_2, r_2 \sin \theta_2), \dots, \\ & (r_n \cos \theta_n, r_n \sin \theta_n)] \end{aligned} \quad (1)$$

在保持精度要求的前提下，引入

$$f(x + \Delta x) \approx f(x) + f'(x)\Delta x, \quad (2)$$

又因为

$$(\sin x)' = \cos x, (\cos x)' = -\sin x,$$

因此，可建立一个系统常用sin x, cos x表，表的大小可根据精度要求动态生成，见表2。

表2 系统常用三角函数表

Table 2 System commonly used trigonometric table

角 $x/(^\circ)$	1 000sin x	1 000cos x
10	173.6	984.8
20	342.0	939.7
30	500.0	866.0
40	642.8	766.0
	⋮	

这样将三角函数的计算简化成基本计算，可大大提高数据处理速度，获得较好的实时效果。此方法在某公司振动测试实验平台上得到了验证。三通道同时处理均无迟滞现象，设备在运行时检测结果的显示见图4。

由图4可知，本系统具有温度显示，湿度采集显示，电压、电流、功率以及频率等数字显示等功能，并设置了位移、速度、加速度警告，能够进行数字显示和波形显示切换。系统良好的人机界面，使操作人员能较快适应工作环境，减少误操作，降低了对操作人员工作经验的要求，有利于提高企业的生产效率。

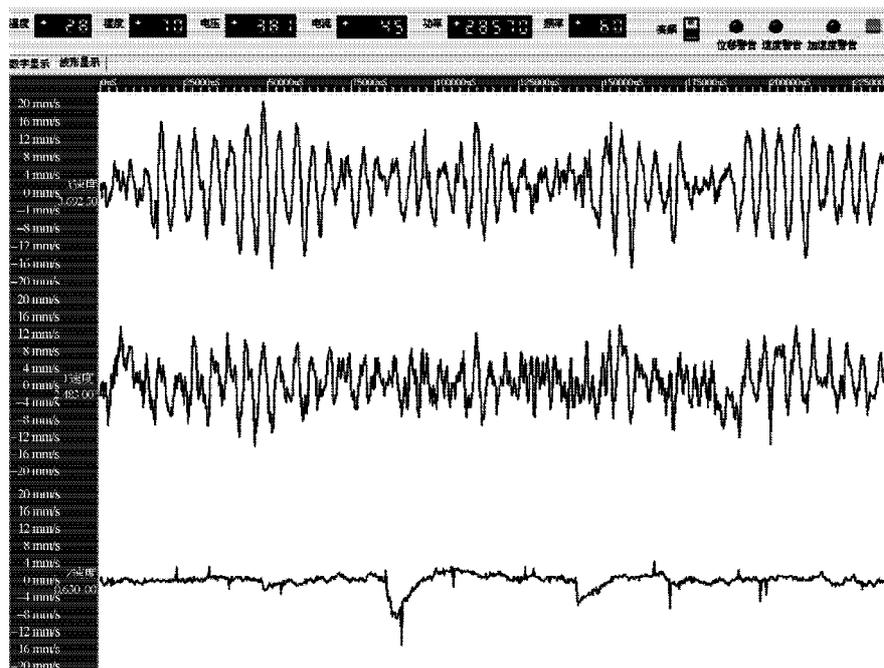


图4 人机界面

Fig. 4 Man-machine interface

4 结语

上述按 PLC+PC 机模块化的方式设计的旋转机械振动测试试验平台,在相关企业进行了生产实验,结果表明,系统具有良好的稳定性、可靠性、安全性及可用性,从而较好地解决了旋转机械振动测试平台的设计问题。其模块化结构和开放性特点,为测试平台的后期功能拓展及企业物联网的应用提供了基本的支持,对现有类似产品的改良提供了思路。

参考文献:

- [1] 何正嘉,陈进,王太勇,等.机械故障诊断理论及应用[M].北京:高等教育出版社,2010:291-434.
He Zhengjia, Chen Jin, Wang Taiyong, et al. Theory and Application of Machinery Fault Diagnosis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010: 291-434.
- [2] 姜海燕,彭涛.基于威布尔分布和支持向量机的滚动轴承故障诊断方法[J].湖南工业大学学报,2010,24(4):92-97.
Jiang Haiyan, Peng Tao. Fault Diagnosis of Rolling Bearings Based on Weibull Distribution and Support Vector Machine [J]. Journal of Hunan University of Technology, 2010, 24(4): 92-97.
- [3] 杨林.通风机振动分析与故障诊断的试验研究[D].重庆:煤炭科学研究总院重庆研究院,2009.
Yang Lin. Study of Vibration Analysis and Malfunction Diagnostic for Mine Ventilator[D]. Chongqing: Chongqing

- Research Institute of Coal Science Research Institute, 2009.
- [4] 宋伯生. PLC编程实用指南[M].北京:机械工业出版社,2007:450-477.
Song Bosheng. PLC Programming Practical Guide[M]. Beijing: China Machine Press, 2007: 450-477.
- [5] 莫文辉.机械振动的随机有限元方法[J].固体力学学报,2009,30(3):318-324.
Mo Wenhui. Stochastic Finite Element Method in Mechanical Vibrations[J]. Chinese Journal of Solid Mechanics, 2009, 30(3): 318-324.
- [6] 肖爱武,廖平,罗智勇,等.模糊控制在矿井风机风量控制中的应用[J].湖南工业大学学报,2008,22(1):85-87.
Xiao Aiwu, Liao Ping, Luo Zhiyong, et al. Application of Fuzzy Control in Mine Air Flowrate Control[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(1): 85-87.
- [7] 郑州机械研究所.GB/T6075.1-1999在非旋转部件上测量和评价机器的机械振动[S].北京:中国标准出版社,1999:5-11.
Zhengzhou Research Institute of Mechanical Engineering. GB/T6075.1-1999 Measurement and Evaluation of Mechanical Vibration on Non-Rotating Machines[S]. Beijing: China Standard Press, 1999: 5-11.
- [8] 李庆扬,王能超,易大义.数值分析[M].5版.北京:清华大学出版社,2008:51-95.
Li Qingyang, Wang Nengchao, Yi Dayi. Numerical Analysis[M]. 5th ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 51-95.

(责任编辑:邓光辉)