

全自动平衡机系统组成与控制

李念峰^{1,2,3}, 丁 原³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 长春大学, 吉林 长春 130022;)

摘 要: 介绍了一种全自动平衡机系统的组成及体系结构, 并结合这种体系结构给出了系统的控制过程, 分析了控制过程中的关键技术及实现方法, 提供了去重模型和高层串行通信协议, 在此基础上研制了样机并给出了试验结果及结果分析。试验及实践结果表明, 研制的全自动平衡机系统能较好地实现对不平衡转子的动平衡修正。

关键词: 全自动平衡机; 动平衡; 控制流程; 通信协议

中图分类号: TP273

文献标识码: B

文章编号: 1009-0134(2007)11-0048-04

Composition and control of automated balancing machine system

LI Nian-feng^{1,2,3}, DING Yuan³

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Changchun University, Changchun 130022, China)

Abstract: Composition and architecture of fully automated balancing machine system were introduced. The controlled process of the system in this kind of architecture was provided. The key technology and implement methods in controlled process were analyzed. The contour milling correction model and a kind high-level serial communication protocol were proposed. The prototype was developed and the experiment results as well as analysis were given. The results of experiment and application show that fully automated balancing machine system could preferably realize dynamic balancing correction to the imbalance rotor.

Key words: fully automated balancing machine; dynamic balancing; controlled process; communication protocol

0 引言

机器设备中绕轴线旋转的零部件称为机器的转子。如果一个转子质量分布不均匀, 则在其转动过程中会因中心惯性主轴与回转轴线的不重合而造成轴承受到静压力及附加动压力的双重作用, 并且附加动压力将通过轴承传递到机器设备上, 引起整个机器设备的振动, 产生噪音, 增加能耗, 加快轴承的磨损, 降低设备的寿命, 严重时还会导致重大事故。解决这一问题最有效的方法就是对转子进行高精度的平衡。转子的动平衡就是通过改变转子本身

的质量分布来达到主惯性轴与旋转轴相重合的工艺过程。

动平衡技术是一门综合的应用技术, 涉及到动力学、电子学、光学、信号处理、传感器及测试技术等多门学科^[1-3]。就目前国内而言, 在动平衡测试理论和测试设备研究方面, 一些大学与科研院所取得了很多成果, 并与厂商合作研制成功了多种专用平衡机, 但除少数厂家引进国外全自动动平衡技术外, 大多数厂家的产品仍为手工去重。手工去重一般需操作4~5次, 不仅生产效率低、校正质量差(操

收稿日期: 2007-05-07

作者简介: 李念峰(1974 -), 男, 长春人, 博士生, 讲师, 主要从事计算机控制、EMC 等方面的研究工作。

作人员经验所引起校正偏差可达 10%~50%) ,而且对转子的破坏大^[4]。因此研制开发高精度、自动化的动平衡机成为必要。

1 全自动平衡机系统的组成与体系结构

一个不平衡的转子在其旋转过程中会对其支承结构和转子本身产生一个压力,并导致振动。因此,为了提高转子及其构成品的质量、减小噪声、减小振动、提高支承部件(轴承)的使用寿命、降低使用者的不舒适感、降低产品的功耗,使转子达到动平衡是非常必要的。全自动平衡机就是对转子在旋转状态下进行动平衡测量,计算不平衡量并实施校准(加重或去重),使之达到动平衡(剩余不平衡量在可容忍范围内)的机器装置。

高精度全自动动平衡机的实现,在于高精度的测量技术和高精度的去重技术。从测量技术原理上分,动平衡机可分为软支承动平衡机和硬支承动平衡机。软支承动平衡机支撑刚度低,传感器检测出的是与振幅成正比的不平衡量,为测幅型;硬支承动平衡机支撑刚度低,传感器检测出的是与离心力成正比的不平衡量,为测力型。由于硬支承动平衡机具有只需一次标定、通用性强等特点,近年来发展迅速,已成为动平衡机的主流。就平衡机的去重方式来讲,目前应用较多的有铣削去重和钻削去重^[5-6]两种平衡校正方式。铣削去重效率高,容易实现自动化,在中小型电机自动平衡校正中应用最广泛;钻削去重通常用于手动操作校正或半自动的平衡校正。本课题研制的全自动平衡机系统采用R型铣削去重,系统由平衡机本体、测控系统、上位机3大部分构成,如图1所示。

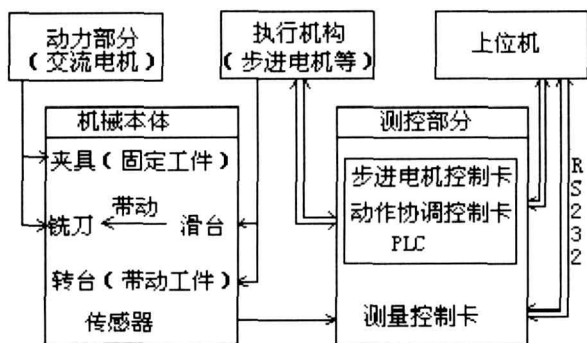


图1 全自动平衡机系统结构图

全自动动平衡机本体包括机械本体、动力部分(交流电机)、执行机构(含3个步进电机)及检测

传感装置,主要功能是实现工件自动动平衡检测加工所需的支承、驱动、动作及检测等;测控系统由测量控制卡、步进电机控制卡及系统动作协调控制卡、PLC等构成,主要完成不平衡信号的采集与整理、工件不平衡量(幅值和相位)提取、工件旋转速度的调节和控制以及与上位机的数据通讯等功能;上位机负责整个系统运行的协调、管理和维护工作;鉴于平衡机工作场所电磁环境恶劣,上位机采用工控机,并与测控系统中的PLC共同放置于一个综合控制机柜中。上位机软件基于DELPHI 7开发系统设计,采用面向对象技术^[7]完成。上位机一方面要接收各控制卡上传的数据,另一方面将设定参数、分析处理的结果传送给相应控制卡。主要功能包括工件标定、误差分析与补偿、平衡参数智能分析、故障诊断、控制协调及用户界面等,上位机与各控制卡的通讯采用RS232 串行总线。

2 全自动平衡机系统的控制过程

2.1 控制流程

对全自动平衡机的工作过程实施控制,主要是对工件(转子)不平衡量的测量及校正两个阶段实施控制,达到全自动实现的目的。控制过程的流程图见图2。其中,测量夹具夹/松操作、旋转夹具夹/松操作、铣刀转/停操作均由PLC控制,而负责工件旋转、进给的两个步进电机和负责带动铣刀快进/退、工进/退的步进电机的控制信号则由步进电机控制卡给出。由图2可以看出,全自动平衡机的工作过程主要包含两个步骤(1)不平衡量测量,信号处理,判断工件是否合格,是则打印测试报告并结束,否则进行步骤2;(2)按控制策略去重,并转步骤1,检测工件是否已达标。

步骤1中,不平衡量提取算法在国内外很多文献中均进行了讨论^[1-3],不是本文研究的重点。但是工件的转速、旋转持续时间却是本步骤控制的重点,因为工件的转速会影响不平衡量的测量精度及旋转持续时间(在加速度一定的情况下),旋转持续时间决定了流水线的吞吐率。在工件加速旋转过程中,分析测量信号,一旦测量信号稳定若干周期即停止旋转,并在减速过程中并行执行其他控制动作的方法,经实践检验是一个合理可行的控制方法。

步骤2中,建立去重模型是关键,决定了去重时间(能否一次完成)和精度。各工步间的配合、优化也是控制策略必须考虑的问题。

另外,不同类工件进行动平衡前,标定操作也是控制过程的一个重要环节;各工步的并行安排、优化配合是提高系统效率、节能降耗的保证。

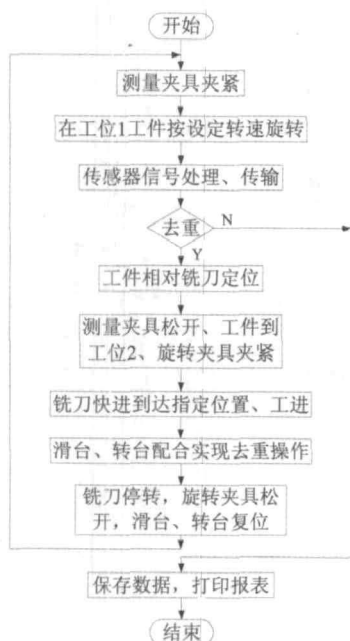


图2 全自动平衡机系统控制流程

2.2 R型铣削模型

R型铣削由于去除不平衡量大、定位容易等优点,在全自动平衡机中应用最广泛^[5]。R型铣削去重模型示意如图3。不平衡量通常的表示方法为“克·毫米”,是一个矢量,指转子校正平面一个点上的质量与该点到转子轴心距离的乘积。由于去重质量为在圆周、径向的分布,显然采用去重质量乘以其质心到转子轴心距离会有较大的误差,实际上应是去重面上各点不平衡矢量的积分。同时考虑转子圆周上其他因素的影响(如沟槽面的不规整度、表面的粗糙度等),去掉的不平衡量不可能是一个标准的拱形条块,本系统采用的去重模型可表示为:

$$W=k \cdot \rho \cdot l \cdot h \cdot \alpha \cdot x^2$$

式中, k 表示调整系数;

ρ 表示转子去重部分的密度;

l 表示铣削长度;

h 表示铣削深度;

α 表示去重圆心角

($\alpha=2\arcsin \frac{d}{2R}$, d 为铣刀厚度);

x 表示不平衡量的矢量半径,考虑径向分布的影响 $x=(R-h/2)$;

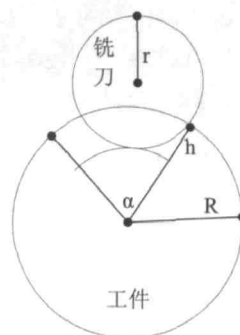


图3 R型铣削示意图

分析去重模型可以得出,铣削去重可按进给控制方式不同分为控制铣削深度和控制铣削长度两种加工方法,实际应用过程中可根据工件具体要求做出选择,并由软件实施相应控制策略。如果第1次去重操作未能使工件动平衡达标,第2次乃至第3次的去重模型要更复杂。

2.3 通信协议设计

全自动平衡机系统中,上位机与各控制卡的通讯采用RS232串行总线。转子每旋转一周(每分钟几百转)要采样25点,约100多字节有效数据,数据通信量较大,且使用现场工况复杂,干扰较强。因此,制定一种高效实用的高层串行通信协议就变得非常重要了。高层通信协议是指用户程序之间的一种对所收发数据的约束和解析方式。理论上讲,任何一种通讯双方的约定,都可以作为或说称作是一种高层串行通信协议,但就其通信效率、通信质量、应用灵活性等各方面来说协议之间的差距是很大的。作者参照HDLC的帧结构在系统中采用协议格式如表1。

在实际应用中,协议格式中的各项,除SOI字段和EOI字段是以十六进制解释十六进制传输外,其余各项都是以十六进制解释以ASCII码的方式传输,每个字节用两个ASCII码表示,即高4位(0~F)一个ASCII码,低4位(0~F)用一个ASCII码表示。

表1 通信协议格式

序号	项目	长度	表示意义	备注
1	SOI	1字节	起始位标志(START OF INFORMATION)	可用7FH
2	ADR	1字节	设备地址描述(1~254, 0、255保留)	可根据需要扩展
3	CID/AID	1字节	命令或响应信息标识码(数据或动作类型描述)	可扩展
4	LENGTH	2字节	INFO字段长度描述	
5	INFO	n字节	命令或应答信息, n由LENGTH决定	
6	CHK	2字节	校验码, 便于发现错误	计算方法灵活
7	VER	1字节	通信协议版本号	
8	EOI	1字节	结束码	可用0DH

例如: CID = 3BH, 传送时顺序发送 33H 和 42H 两个字节。这样做的好处是: 易于引起单片机中断; 除信息帧头、信息帧尾外, 其余各字节均在 30H-39H 及 41H-46H 之间, 易于发现传输错误。坏处是: 每个字节一分为二, 降低了传输效率。实践证明这种协议格式较好地实现了主机与各测控机构的通信, 效果良好。

3 实验结果及分析

本系统的一台样机于2006年在现场进行了较长时间的测试, 表2给出了其中比较典型的实验数据。

表2 全自动平衡机实验数据

工件序号	合格标准	测量幅值	去重角度	平衡次数	剩余量	所用时间
1	2	7.11	290	1	0.82	44
2	2	4.81	69	1	0.75	40
3	2	13.22	204	2	0.97	62
4	2	0.38	112	0	0.38	14
5	2	28	301	3	2.8	81

测试数据表明: (1) 研制的全自动平衡机系统能够成功实现不平衡转子的动平衡修正控制过程; (2) 为提高转子一次修正通过率并减少最小可达剩余不平衡量, 去重模型有待进一步完善; (3) 各工步的并行安排有待进一步优化, 以减少单件平衡时间, 提高系统工作效率。

4 结语

全自动动平衡机是一种机电一体化的复杂设

备, 开发难度较大。本文在研究动平衡机的工作原理及功能结构基础上, 提出了一种全自动平衡机系统的组成与体系结构, 并结合这种结构给出了系统的控制过程, 对控制流程中的关键技术进行了分析, 提供了控制策略中的去重模型, 设计了串行数据通信协议。试验及实践结果均表明, 研制的全自动平衡机系统较好的实现了对不平衡转子的动平衡修正。本文提供的全自动平衡机系统的组成与体系结构及控制策略对其他全自动动平衡机及类似工程机械的开发具有一定指导意义。

参考文献:

- [1] SPERLING L, RYZHIK B. Simulation of two-plane automatic balancing of a rigid rotor[J]. Mathematics and Computers in simulation, 2002, 58(4-6): 351-365.
- [2] DYER S S, SHI J. Robust optimal influence-coefficient control of multiple-plane active rotor balancing systems[J]. Transactions of the ASME - Journal of Dynamic Systems (Measurement and Control), 2002, 124(1): 41-46.
- [3] 赵午云, 郭维强. 动平衡测试技术方法浅析[J]. 机械工程师, 2004(4): 15-18.
- [4] 刘健, 潘双夏, 等. 全自动动平衡机关键技术研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(5): 777-782.
- [5] 刘健, 潘双夏, 杨克己. 全自动动平衡机去重建模与智能规划[J]. 设计与研究, 2005(7): 1-4.
- [6] DAVID B M, ANN A M. Testing armature balance: Correction methods[J]. Electrical Manufacturing, 1990, 4(2): 15-17.
- [7] 刘芝. Delphi面向对象编程思想[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

【上接第42页】

现代高技术的集中体现。随着军用无人机的迅猛发展, 民用无人机技术也随之发展, 性能日臻完善, 它能承担的任务范围进一步扩大。现代的民用无人机向多任务、全天候、远距离方向发展, 无人机的测控系统向微型化、数字化、智能化、高可靠性、低造价、低损耗方向发展。小型无人机飞行控制器充分体现了现代无人机的发展方向, 使PCB的面积大幅下降, 而且降低了功耗, 提高了工作速度, 最终提高了系统的可靠性, 增加了可编程应用的灵活性, 降低了系统的综合成本, 为小型民用无人机的飞行控制提供了一个高性能的硬件平台。

参考文献:

- [1] 耿德根. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用(修订版) [M].

北京: 北京航空航天大学出版社, 2002. 4-67.

- [2] Analog device Inc. ADX320 Datasheet[EB/OL]. [2004]. <http://www.analog.com>.
- [3] Analog device Inc. ADXRS150 Datasheet[EB/OL]. [2004]. <http://www.analog.com>.
- [4] PNI Corporation. Pni ASIC Datasheet[EB/OL]. [2005-9]. www.pnicorp.com.
- [5] Polaroid Corporation[Z]. SensComp/Polaroid technical documents.
- [6] JUNG D, LEVY E J, ZHOU D, FINK R, MOSHE J, EARL A, TSIOTRAS P. Design and development of a low-cost Test-bed for undergraduate education in UAVs[A]. Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005 Seville[C]. Spain, December 12-15, 2005.