

可重构的多工位全自动动平衡机建模策略研究

刘 健, 肖文生

(中国石油大学(华东)机电工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:针对多工位全自动动平衡机集气动技术、数控技术、机械手控制技术于一体,具有典型的组合化、系列化的复杂精密机电设备的特点,以高精度、高效、柔性化和低成本为目标,提出了多工位全自动动平衡机整机布局设计及功能结构单元模块划分的策略,建立了可重构的多工位全自动动平衡机机电一体化产品模型。应用上述模型,已成功开发了两工位和六工位全自动动平衡机,大大降低了设计人员的工作量,设计周期较原先缩短了 60%。

关键词:多工位全自动动平衡机;可重构产品设计;公理设计;单元模块划分

中图分类号:TH122;TH165

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)01-0028-05

Research on modeling strategies of reconfigurable multi-station fully automated balancing machine

LIU Jian, XIAO Wen-sheng

(College of Machinery and Electronic Engineering, China University of Petroleum(East China), Dongying 257061, China)

Abstract: In view of characteristic of multi-station fully automated balancing machine, including mechanism, pneumatics, signal processing, digit control technique and computer technology, as both instrument and machine tools, plus manipulator such a complex, precision and automatic instruments, taking to set developing fully automated balancing machine which is high precision, high efficiency, flexibility and low cost as the target, strategy of configuration design and functional configuration unit module decomposition of product was put forward. And reconfigurable product design model of multi-station fully automated balancing machine was built. Finally, applying the above model, two-station and six-station fully automated balancing machine were developed. Workload of designers is greatly reduced and design cycle is shortened the original 40%.

Key words: multi-station fully automated balancing machine; reconfigurable product design; axiomatic design; module decomposition

0 引 言

多工位全自动动平衡机具有典型的组合化、系列化的特点,但由于客户对平衡效率、校正工艺等有不同要求,选择相应工位存在组合配置问题;即使工位不变,由于平衡校正工件的不同,也存在一个设备组合的问题。另外全自动动平衡机又属制造系统中底层设备,要求全自动动平衡机本身应具有一定的柔性和扩展能力,当制造系统无法满足生产需要时,全自动动平衡机要能根据整个生产线的节拍、生产条件的改变调

整,可通过采购、定制新模块,升级、扩充旧设备,快速集成来获取新的生产能力^[1]。显然,市场需求变化越激烈,对制造系统本身的可扩展、可重构的要求就越高。目前,代表动平衡机制造领域最高水平的德国申克和日本国际计测器株式会社开发的全自动平衡机已具备上述特点,而国内开发的全自动平衡机多是针对某一领域开发的,对产品的可重构研究尚未涉足^[2-4]。

全自动动平衡机的开发牵涉多个技术领域,为能高效地设计这样一类系统,必须遵循一定的设计方法和规则。否则仅靠一些领域专家在缺乏有效地协调和

收稿日期:2011-07-01

作者简介:刘 健(1970-),男,江苏赣榆人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事石油装备及自动化、动态测试技术、转子动平衡等方面的研究. E-mail:liujian503@163.com

沟通状态下开展工作,没有系统性组织,将很难设计出一套高质量的系统。为此,本研究针对全自动动平衡机的特点,提出可重构的多工位全自动动平衡机产品模型,实现产品设计的客户化和平衡生产的可重构化。

1 系统需求分析

系统化的设计首先要在明确设计需求的基础上,建立起能完整描述设计对象的准确模型,然后依据模型进行设计。

在需求驱动下的设计创新有两种基本形式:①某个产业领域内的革新性技术实现;②融合多个领域技术知识的复杂系统构造方法^[5]。多工位全自动动平衡机的设计任务就是复杂系统的可重组。

目前,我国生产的微特电机,年产量超过 30 亿台,约占世界总产量的 60%,可称为微电机生产大国^[6]。需要动平衡自动校正系统近 5 000 台,按每台价格 30 万元计算,行业市场空间就有 15 亿元。同时,由于电机及相关产品产销存在周期性特征,利用可重构技术可以根据实际生产状况进行调整,有助于提高企业的柔性 with 响应能力,提高投资回报率,缩短系统的设计、构建时间。具体设计要求如表 1 所示。

表 1 设计要求

技术规格	指标
产品用途及使用范围	电动工具、家用电器、汽车电机及各类办公自动化的中、小型电机转子自动平衡校正
工件质量范围	0.3 kg ~ 1.6 kg
工件最大直径	90 mm
工件轴径范围	3 mm ~ 15 mm
工件轴径两支承间距离范围	50 mm ~ 150 mm
平衡转速	500 r/min ~ 4 800 r/min
不平衡量显示	模拟图形和绝对值
最小可达剩余不平衡量(e_0)	$\leq 0.3 \text{ g} \cdot \text{mm/kg}$
不平衡量减少率(URR)	$\geq 95\%$
单件平衡时间/节拍	根据客户要求重构或定制
安全及其他	遵守相关工业标准、安全标准、知识产权、商标权与索赔规定

2 产品布局设计及功能结构单元模块划分

2.1 产品布局设计

动平衡校正工艺主要有测量、校正、检验 3 个工序,为实现全自动,通常还需自动传送、分拣等辅助工艺。一般两面平衡转子的动平衡自动校正工艺流程如图 1 所示。

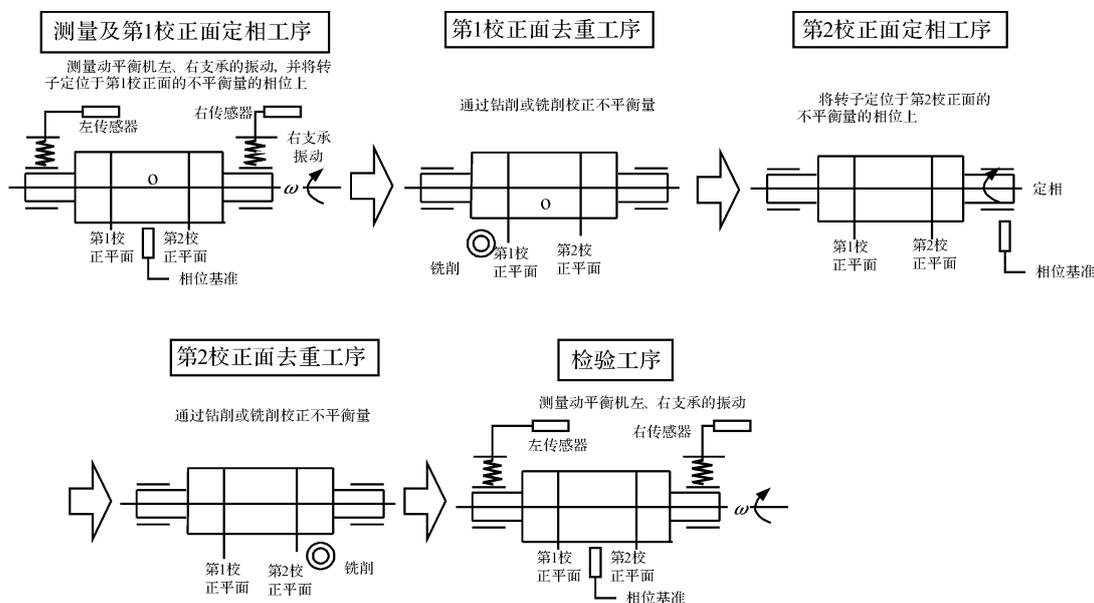


图 1 动平衡自动校正工艺流程

根据校正工序的布置,全自动动平衡机分两种形式:① 集中式—单工位,所有工序在一个工位上完成。这种方式生产节拍较长,被平衡工件的初始不平衡量不能太大,多用于极坐标测量方式的单面立式动平衡自动校正系统和汽车传动轴动平衡自动校正系统等。② 并行、分布式—多工位,校正工序还可细分为第 1 面去重、第 2 面转相、第 2 面去重 3 个分工序或者其他类别的分解工序,根据这些工序的不同组合,可实现不同工位的全自动动平衡机。因校正工艺被分为几个工序并行、同步进行,大大提高了平衡校正效率。另外将任务分解,在不同的工位并行处理,降低系统的集成度和复杂度,提高可靠性,更容易实现模块化。

根据中、小型电机转子的平衡工艺过程,典型的多工位全自动动平衡采用旋转式六工位布局方案,主要由准备工位、测量工位、第 1 面去重工位、第 2 面转相工位、第 2 面去重工位、检验工位以及旋转机械手传送装置、输送装置、控制系统、辅助系统等组成,如图 2 所示。

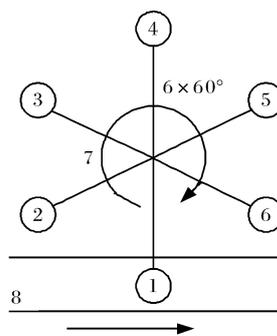


图 2 典型的旋转式六工位全自动动平衡布局示意图

1—准备工位;2—测量工位(包括第 1 校正面定相);3—第 1 校正面去重工位;4—转相(转到第 2 校正面相位);5—第 2 校正面去重工位;6—检验工位;7—旋转机械手传送装置;8—输送装置

机电测控系统的模块化设计与常规意义上的机械模块化设计本质上是相同的,都是通过相对独立功能模块之间的组合实现系统的整体功能。但是,机械模块的组合一般通过机械刚性连接,由彼此之间的几何相关条件来保证功能的组合与实现;而测控系统不同模块之间的连接,主要靠电气接口连接,实现模块之间的信息交换,完成相关控制任务。因此,在进行测控系统模块化划分和设计时,为了保证模块之间可靠地工作,提高系统的可靠性,必须遵循若干准则:① 模块间连接方式及信息交换简单、可靠;② 模块功能应相对集中、独立;③ 模块组合应有明确的目的性、较大的灵活性和良好的经济性。

在上述分析的基础上,为适合多工位全自动动平衡机的可重构和定制产品设计,本研究将产品划分如下功能结构单元模块,如图 3 所示。

2.2 产品功能结构单元模块划分

针对全自动动平衡机层次性鲜明的特点,对其中具有相同功能、相同结合要素和能互换的单元(零件、组件、部件或系统),采用可重构产品设计的思想来进行模块化设计,使新产品也可以沿用过去的结构模块。

可重构全自动动平衡机的模块化设计具体体现在以下几个方面^[7-8]:机械部件的模块化;各种驱动装置的模块化;控制系统的硬件模块化;控制系统的软件模块化;各种辅助工具的模块化。

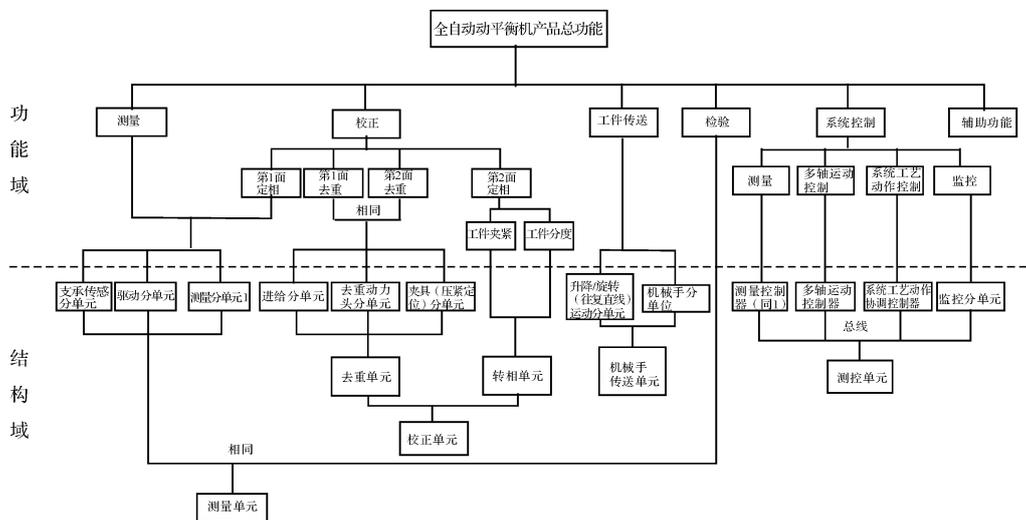


图 3 多工位全自动动平衡机产品功能结构单元划分

3 多工位全自动平衡机公理化设计方法

本研究采用公理化设计方法对多工位全自动平衡机进行最高层次系统设计。最高层次 FR_s/DP_s 功能结构关系的说明如表 2 所示,约束 C_s 为:成本、可靠性、安全性、适用性、可制造性。

表 2 功能结构关系

最高层次		
名称	功能需求(FR_s)描述	设计参数(DP_s)描述
	中、小型电机转子的全自动平衡	全自动平衡机系统
1. 处理(测量)	转子不平衡量的测量	测量单元
2. 处理(校正)	转子的去重	校正单元
3. 运输/供应	不同工位间转子的传送	机械手传送单元
4. 控制	系统功能的控制	测控单元

(1) FR_1 作为全自动平衡机系统的关键部分,用来测量转子的不平衡量幅值和相位,并将转子停在第 1 校正面的相位上,在转子校正完成以后,通常还需要对校正后的转子进行检验; DP_1 为测量单元,检验单元和测量单元相同。

(2) FR_2 ,通常包括转子两个平面的去重,和中间的一次转子的转相,该功能可以分解为 2 个或 3 个不同的工位; DP_2 作为校正单元,是去重单元和转相单元的总称。

(3) FR_3 ,不同工位间转子的传送,由测量单元、检验单元及校正工位数量决定机械手传送单元机械手的个数; DP_3 ,机械手传送单元。

(4) FR_4 ,通过测控单元将上述单元集成在一起; DP_4 ,测控单元。

由上述分析,建立最高层次系统设计矩阵为:

$$[FR_s] = [A_{ij}] \times [DP_s] = \begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ X & X & X & 0 \\ X & X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $[A_{ij}]$ 一对角矩阵。

由公理设计的独立公理^[9]可得,系统设计是解耦

的。由文献[10]可知,系统级设计满足可重构定理,故所设计的系统是可重构的。两工位全自动平衡机的开发和应用实践证明了这一系统设计的正确性,通过解耦的设计,减少设计的回溯。

多工位全自动平衡机主要由测量单元、校正单元(去重单元和转相单元的总称)、机械手传送单元、测控单元这 4 个单元模块组成。前 3 个部分的集成主要是信息的协调和平衡工艺动作协调(信息和工件物流的传递),重点体现在测控单元上。因此除对多工位全自动平衡机本体结构模块化设计外,测控系统的测控体系结构及软、硬件模块化设计同样重要,并且要和机械本体模块相适应。具体的多工位系统的组成则根据实际的需要由这些模块进行组合和扩展。

4 产品模型

由于系统的复杂性,设计采用自顶向下的进化设计方法,系统分解为低层的组成单元,并确定它们之间的关系。通过这种抽象,可以集中研究决定系统本质特性的局部的和空间的结构^[11]。

在多工位全自动平衡机布局设计和功能单元模块划分的基础上,将产品系统分为 4 层,即系统级、单元级、部件级和元件、标准件级,系统模型如图 4 所示。随着系统的分解,设计需求将不断地映射到分解的子系统,并解决设计中的不一致(冲突)。

由总体及布局方案的原理模型自顶向下建模,可以方便地表达产品的功能要求,自下向上和自顶向下双向建模可以实现产品快速定制设计。设计可遵循以下步骤:首先确定产品的结构层次,建立产品的装配模板;接着将装配模板实例化,实现模型的参数化驱动;然后,结合产品设计经验和规则,通过基于规则和基于事例的推理驱动产品模型实现快速设计^[12-14]。设计中产品模型描述的粒度的由设计创新的特性决定。

产品建模是快速产品设计的核心,只有将规范化和标准化的产品信息用计算机技术进行合理描述,建立相应的模型库,实现产品资源的可重用和快速变型,才能实现高质量、低成本,快速地响应客户需求,才能在市场竞争中成为胜者^[15]。

测量、去重、转相、机械手传送单元模块采用柔性布置方式与机架联接,可按转子的不同平衡需求、平衡节拍要求进行变换和重新组合。本研究通过测控单元将上述单元集成起来。这种模块化的组合,增加了多工位全自动平衡机设备的敏捷性和制造柔性。

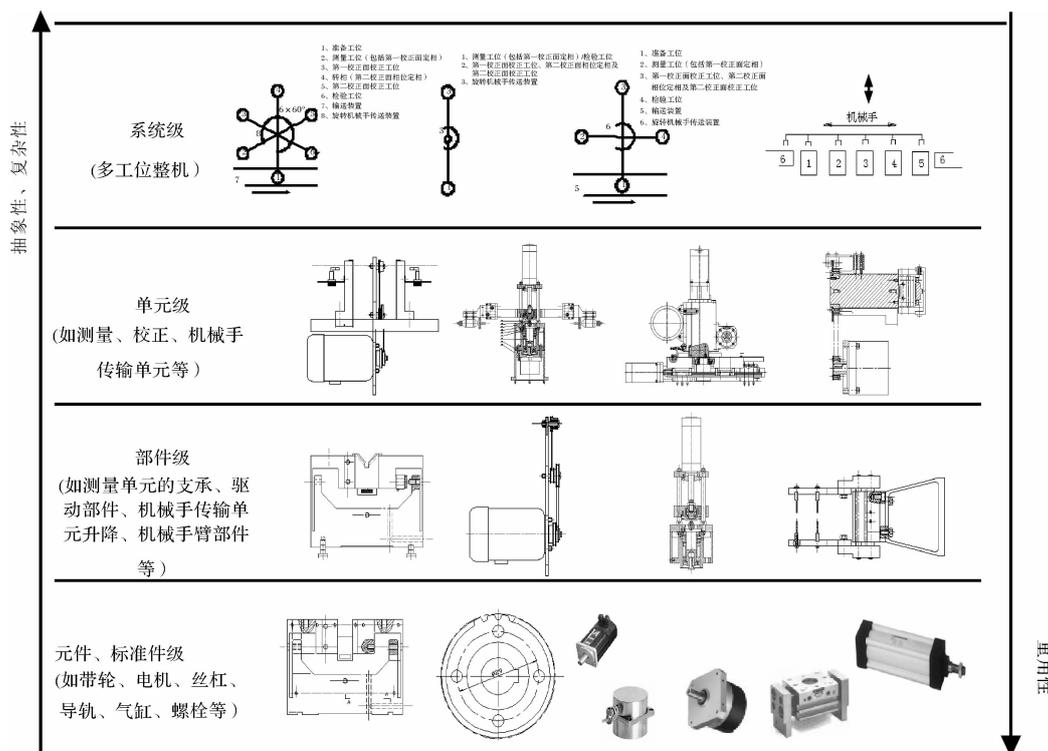


图 4 多工位全自动平衡机产品模型

5 结束语

用高新技术和先进设计方法改造传统动平衡产业已经成为我国动平衡机行业提高核心竞争力的必然趋势。本研究针对多工位全自动平衡机的特点,以高精度、高效、柔性化和低成本为目标,以可重构产品设计为基础对多工位全自动平衡机整机进行了分析、规划、建模,提出了可重构产品的设计策略,为多工位全自动平衡机系统设计开发提供了一种新的思路。

参考文献 (References) :

[1] 刘 健. 多工位全自动平衡机设计方法及关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院,2005:23-40.
 [2] 董迎红. 林业机械用全自动平衡机研究[J]. 吉林林业科技,2010,39(3):31-32,51.
 [3] 李常品,曾 胜,康成良,等. 四工位全自动转子平衡机的设计与实现[J]. 制造技术与机床,2008(12):89-92.
 [4] 李念峰,丁 原. 全自动平衡机系统组成与控制[J]. 制造业自动化,2007,29(11):48-51.
 [5] ULRICH K, EPPINGER S. Product Design and Development[M]. New York: McGraw-Hill, 1995.
 [6] 肖艳微. 特电机行业的市场及发展趋势[J]. 电机技术, 2008(4):56-57.
 [7] 许 虹,唐任仲,程耀东. 可重构机床控制的模块化设计方法[J]. 浙江大学学报:工学版,2004,38(1):5-10.

[8] LUCAS M R, WRIGHT P. Open architecture controllers for machine tools, part 1: design principles [J]. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, 1998 (120): 417-424.
 [9] 谢友柏,袁小阳,徐 华,等. 公理设计—发展与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
 [10] 罗振壁,于学军,刘阶萍,等. 可重构性和可重构设计理论[J]. 清华大学学报:自然科学版,2004,44(5):577-580.
 [11] SUH N P. Design and operation of large systems [J]. **Journal of Manufacturing Systems**, 1995, 14(3): 203-213.
 [12] MOORE P R, PU J, NG H C, et al. Virtual engineering: an integrated approach to agile manufacturing machinery design and control [J]. **Mechatronics**, 2003(13): 1105-1121.
 [13] ADOLFSSON J, NG A, OLOFSGARD P, et al. Design and simulation of component-based manufacturing machine systems [J]. **Mechatronics**, 2002(12): 1239-1258.
 [14] MYUNG S, HAN S. Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method [J]. **Expert Systems with Applications**, 2001(21): 99-107.
 [15] BULLINGER H J, WARSCHAT J, FISCHER D. Rapid product development — an overview [J]. **Computers in Industry**, 2000(42): 99-108.

[编辑:张 翔]