



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109895082 A

(43)申请公布日 2019.06.18

(21)申请号 201711282511.7

(22)申请日 2017.12.07

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所  
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街114号

(72)发明人 杜劲松 郑德超 常凯 郭锐

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 王倩

(51) Int. Cl.  
B25J 9/16(2006.01)

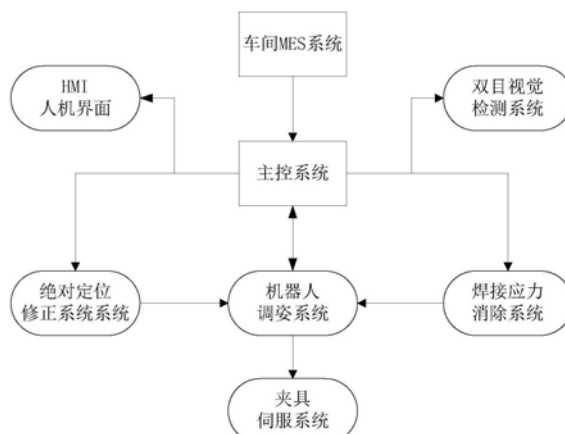
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

## (54)发明名称

一种应用于航天装配设备的控制系统

## (57)摘要

本发明涉及一种应用于航天装配设备的控制系统。系统包括：主控系统、双目视觉检测及测量系统、六自由度机器人调姿系统、机器人绝对定位修正系统、焊接应力消除系统。主控系统负责控制和协调各个系统之间的逻辑动作与数据处理；双目视觉检测及测量系统负责测量对接工件的特征点，并将该特征点转换为空间几何距离；六自由度机器人调姿系统根据视觉系统测出的具体空间坐标点，进行绝对位置调姿运算，并根据机器人绝对定位修正系统标定出的误差偏移量，最终形成机器人坐标系下的定位点，并驱动机器人进行定位。焊接应力消除系统启动并对应力进行消除。本发明最大程度排除人为不确定因素，从而实现零部件装配过程中的高精度、高可靠性、高效率的要求。



CN 109895082 A

1. 一种应用于航天装配设备的控制系统,其特征包括主控系统、双目视觉检测系统、机器人调姿系统、机器人绝对定位修正系统、焊接应力消除系统:

双目视觉检测系统,用于测量工件的特征点,并将该特征点转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统;

机器人绝对定位修正系统,用于标定机器人的误差,发送至主控系统;

机器人调姿系统,用于将主控系统发来的双目视觉检测系统测出的机器人坐标系下的坐标,进行绝对位置调姿运算,得到机器人位置;并根据机器人绝对定位修正系统标定出的误差对机器人进行位置修正;

焊接应力消除系统,用于对应力进行消除。

2. 根据权利要求1所述的一种应用于航天装配设备的控制系统,其特征包括所述双目视觉检测系统执行以下步骤:

通过视觉传感器测量工件两侧指定特征点的位置,然后拟合出工件的轴线位置,再经过坐标系的转换,将该轴线位置在测量坐标系下的三维坐标转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统。

3. 根据权利要求1所述的一种应用于航天装配设备的控制系统,其特征包括所述机器人绝对定位修正系统执行以下步骤:

1) 静态的参数修正:

首先,用EMD将机器人零点标定后,手动输入机器人控制器空载时的负载信息,包括TCP点的X,Y,Z偏移量,夹爪及工装的质量以及第三关节A3轴的固定负载量;

再手动操作机器人夹取工件,并移动到工作位置,重新记录下零点的偏移量,包括第一关节A1~第六关节A6轴的角度偏移值,并手动再次输入机器人控制器负载状态下的负载信息;

2) 动态位置修正:

首先将激光跟踪仪定位在一个固定位置,然后在机器人的6轴的法兰中心布置一个靶球,手动操作机器人先在工具坐标系下进行X、Y、Z三个方向分别移动,再在机器人笛卡尔坐标系下沿着X、Y、Z的三个轴线A、B、C进行旋转改变机器人的姿态,这样激光跟踪仪通过动态追踪靶球的位置建立机器人空间中绝对坐标系,该坐标系以机器人基座原点为中心;

建立好坐标系后,控制机器人抓取负载,将机器人的负载信息切换到静态参数修正中负载状态下的负载信息;然后定义多个绝对位置的三维坐标点,控制机器人定位;用激光跟踪仪测量机器人走到这多个点的实际位置,同时记录下在这多个点的位置处机器人6个轴的角度值;

将这多个绝对位置点与实际位置点的差值做正态分布曲线,得到机器人绝对定位误差的分布区间。

4. 根据权利要求1所述的一种应用于航天装配设备的控制系统,其特征包括所述机器人调姿系统执行以下步骤:

根据主控系统发来的双目视觉检测系统测出的特征点在机器人坐标系下的坐标,得到机器人运动轨迹,进而得到机器人各轴位置;

将各轴位置分别加上机器人绝对定位修正系统对应轴标定出的差值,驱动机器人定位。

5. 根据权利要求1所述的一种应用于航天装配设备的控制系统,其特征就在于所述焊接应力消除系统执行以下步骤:

当焊接完成后机器人夹爪还保持抓取状态,焊接应力消除系统开启机器人的A3、A4、A5这三个关节轴的扭矩限制模式:

设置这三个关节轴的轴角度可调范围为 $\pm 10^\circ$ ,转动角速度 $0.5\text{rad/s}$ ,扭矩上限为机器人扭矩保证值上限 $+20\text{N}\cdot\text{m}$ ,扭矩下限为机器人扭矩保证值下限 $-20\text{N}\cdot\text{m}$ ;当任一关节轴的参数超出上述阈值,则报警。

6. 一种应用于航天装配设备的控制方法,其特征就在于,包括以下步骤:

双目视觉检测系统测量工件的特征点,并将该特征点转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统;

机器人绝对定位修正系统标定机器人的误差,发送至主控系统;

机器人调姿系统将主控系统发来的双目视觉检测系统测出的机器人坐标系下的坐标,进行绝对位置调姿运算,得到机器人位置;并根据机器人绝对定位修正系统标定出的误差对机器人进行位置修正;

焊接应力消除系统对应力进行消除。

7. 根据权利要求6所述的一种应用于航天装配设备的控制方法,其特征就在于所述双目视觉检测系统执行以下步骤:

通过视觉传感器测量工件两侧指定特征点的位置,然后拟合出工件的轴线位置,再经过坐标系的转换,将该轴线位置在测量坐标系下的三维坐标转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统。

8. 根据权利要求6所述的一种应用于航天装配设备的控制方法,其特征就在于所述机器人绝对定位修正系统执行以下步骤:

1) 静态的参数修正:

首先,用EMD将机器人零点标定后,手动输入机器人控制器空载时的负载信息,包括TCP点的X、Y、Z偏移量,夹爪及工装的质量,第三关节A3轴的固定负载量;

再手动操作机器人夹取工件,并移动到工作位置,重新记录下零点的偏移量,包括第一关节A1~第六关节A6轴的角度偏移值,并手动再次输入机器人控制器负载状态下的负载信息;

2) 动态位置修正:

首先将激光跟踪仪定位在一个固定位置,然后在机器人的6轴的法兰中心布置一个靶球,手动操作机器人先在工具坐标系下进行X、Y、Z三个方向分别移动,再在机器人笛卡尔坐标系下沿着X、Y、Z的三个轴线A、B、C进行旋转改变机器人的姿态,这样激光跟踪仪通过动态追踪靶球的位置建立机器人空间中绝对坐标系,该坐标系以机器人基座原点为中心;

建立好坐标系后,控制机器人抓取负载,将机器人的负载信息切换到静态参数修正中负载状态下的负载信息;然后定义多个绝对位置的三维坐标点,控制机器人定位;用激光跟踪仪测量机器人走到这多个点的实际位置,同时记录下在这多个点的位置处机器人6个轴的角度值;

将这多个绝对位置点与实际位置点的差值做正态分布曲线,得到机器人绝对定位误差的分布区间。

9. 根据权利要求6所述的一种应用于航天装配设备的控制方法,其特征在於所述机器人调姿系统执行以下步骤:

根据主控系统发来的双目视觉检测系统测出的特征点在机器人坐标系下的坐标,得到机器人运动轨迹,进而得到机器人各轴位置;

将各轴位置分别加上机器人绝对定位修正系统对应轴标定出的差值,驱动机器人定位。

10. 根据权利要求6所述的一种应用于航天装配设备的控制方法,其特征在於所述焊接应力消除系统执行以下步骤:

当焊接完成后机器人夹爪还保持抓取状态,焊接应力消除系统开启机器人的A3、A4、A5这三个关节轴的扭矩限制模式:

设置这三个关节轴的轴角度可调范围为 $\pm 10^\circ$ ,转动角速度 $0.5\text{rad/s}$ ,扭矩上限为机器人扭矩保持扭矩上限 $+20\text{N}\cdot\text{m}$ ,扭矩下限为机器人扭矩保持扭矩下限 $-20\text{N}\cdot\text{m}$ ;当任一关节轴的参数超出上述阈值,则报警。

## 一种应用于航天装配设备的控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及自动化装配领域,用于航天装配生产线中,某一工位对零部件进行自动化对接、调姿定位及焊接的自动化设备。

### 背景技术

[0002] 航空航天事业对国家,具有中流砥柱的地位,是一个国家强大综合实力的体现。各种卫星应用技术、空间加工与制造技术、空间生物技术、空间能源技术大大增强了人类认识和改造自然的能力,促进了生产力的发展;同时,在军事国防上,远程核打击能力将直接影响到国家安全和国防力量。我国政府高度重视航空航天产业的发展,将其作为国家战略性新兴产业和优先发展的高技术产业。

[0003] 如今,中国航空航天事业获得了难得的发展机遇并将进入快速发展期。航天产业的发展进步,不仅体现在新的航天技术的研究与应用,也体现在生产企业生产加工环节自动化、精细化、信息化的提升。生产企业生产加工环节的进步不仅会加快新型号的开发进度,更会对所生产的产品的成功率起到决定性作用。因此,生产企业制造能力的提升将能够极大的推动整个行业的快速发展,生产企业的革新也将成为整个行业提升最强大的推动力。

[0004] 而目前制约我国航空航天业装配技术发展的,是因装配环节的自动化程度低、人工参与的工作量大,检测过程复杂,产品一致性很差,对操作者技能要求极高,而且在装配时测量记录繁琐,需要反复调整修正,装配效率低,工作强度大,故此亟待提高装配效率以提高产能。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一套完整的控制系统完成上述的装配功能。本发明中将控制系统的功能分解成几个独立的模块,每个模块都具有独立的功能,并且由控制系统来统一协调运行,从而实现了该工位自动化装配的功能。

[0006] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种应用于航天装配设备的控制系统,包括主控系统、双目视觉检测系统、机器人调姿系统、机器人绝对定位修正系统、焊接应力消除系统:

[0007] 双目视觉检测系统,用于测量工件的特征点,并将该特征点转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统;

[0008] 机器人绝对定位修正系统,用于标定机器人的误差,发送至主控系统;

[0009] 机器人调姿系统,用于将主控系统发来的双目视觉检测系统测出的机器人坐标系下的坐标,进行绝对位置调姿运算,得到机器人位置;并根据机器人绝对定位修正系统标定出的误差对机器人进行位置修正;

[0010] 焊接应力消除系统,用于对应力进行消除。

[0011] 所述双目视觉检测系统执行以下步骤:

[0012] 通过视觉传感器测量工件两侧指定特征点的位置,然后拟合出工件的轴线位置,再经过坐标系的转换,将该轴线位置在测量坐标系下的三维坐标转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统。

[0013] 所述机器人绝对定位修正系统执行以下步骤:

[0014] 1) 静态的参数修正:

[0015] 首先,用EMD将机器人零点标定后,手动输入机器人控制器空载时的负载信息,包括TCP点的X,Y,Z偏移量,夹爪及工装的质量以及第三关节A3轴的固定负载量;

[0016] 再手动操作机器人夹取工件,并移动到工作位置,重新记录下零点的偏移量,包括第一关节A1~第六关节A6轴的角度偏移值,并手动再次输入机器人控制器负载状态下的负载信息;

[0017] 2) 动态位置修正:

[0018] 首先将激光跟踪仪定位在一个固定位置,然后在机器人的6轴的法兰中心布置一个靶球,手动操作机器人先在工具坐标系下进行X、Y、Z三个方向分别移动,再在机器人笛卡尔坐标系下沿着X、Y、Z的三个轴线A、B、C进行旋转改变机器人的姿态,这样激光跟踪仪通过动态追踪靶球的位置建立机器人空间中绝对坐标系,该坐标系以机器人基座原点为中心;

[0019] 建立好坐标系后,控制机器人抓取负载,将机器人的负载信息切换到静态参数修正中负载状态下的负载信息;然后定义多个绝对位置的三维坐标点,控制机器人定位;用激光跟踪仪测量机器人走到这多个点的实际位置,同时记录下在这多个点的位置处机器人6个轴的角度值;

[0020] 将这多个绝对位置点与实际位置点的差值做正态分布曲线,得到机器人绝对定位误差的分布区间。

[0021] 所述机器人调姿系统执行以下步骤:

[0022] 根据主控系统发来的双目视觉检测系统测出的特征点在机器人坐标系下的坐标,得到机器人运动轨迹,进而得到机器人各轴位置;

[0023] 将各轴位置分别加上机器人绝对定位修正系统对应轴标定出的差值,驱动机器人定位。

[0024] 所述焊接应力消除系统执行以下步骤:

[0025] 当焊接完成后机器人夹爪还保持抓取状态,焊接应力消除系统开启机器人的A3、A4、A5这三个关节轴的扭矩限制模式:

[0026] 设置这三个关节轴的轴角度可调范围为 $\pm 10^\circ$ ,转动角速度 $0.5\text{rad/s}$ ,扭矩上限为机器人扭矩保证值上限 $+20\text{N}\cdot\text{m}$ ,扭矩下限为机器人扭矩保证值下限 $-20\text{N}\cdot\text{m}$ ;当任一关节轴的参数超出上述阈值,则报警。

[0027] 一种应用于航天装配设备的控制方法,包括以下步骤:

[0028] 双目视觉检测系统测量工件的特征点,并将该特征点转换为机器人坐标系下的坐标,发送至主控系统;

[0029] 机器人绝对定位修正系统标定机器人的误差,发送至主控系统;

[0030] 机器人调姿系统将主控系统发来的双目视觉检测系统测出的机器人坐标系下的坐标,进行绝对位置调姿运算,得到机器人位置;并根据机器人绝对定位修正系统标定出的误差对机器人进行位置修正;

- [0031] 焊接应力消除系统对应力进行消除。
- [0032] 所述双目视觉检测系统执行以下步骤：
- [0033] 通过视觉传感器测量工件两侧指定特征点的位置，然后拟合出工件的轴线位置，再经过坐标系的转换，将该轴线位置在测量坐标系下的三维坐标转换为机器人坐标系下的坐标，发送至主控系统。
- [0034] 所述机器人绝对定位修正系统执行以下步骤：
- [0035] 1) 静态的参数修正：
- [0036] 首先，用EMD将机器人零点标定后，手动输入机器人控制器空载时的负载信息，包括TCP点的X、Y、Z偏移量，夹爪及工装的质量，第三关节A3轴的固定负载量；
- [0037] 再手动操作机器人夹取工件，并移动到工作位置，重新记录下零点的偏移量，包括第一关节A1～第六关节A6轴的角度偏移值，并手动再次输入机器人控制器负载状态下的负载信息；
- [0038] 2) 动态位置修正：
- [0039] 首先将激光跟踪仪定位在一个固定位置，然后在机器人的6轴的法兰中心布置一个靶球，手动操作机器人先在工具坐标系下进行X、Y、Z三个方向分别移动，再在机器人笛卡尔坐标系下沿着X、Y、Z的三个轴线A、B、C进行旋转改变机器人的姿态，这样激光跟踪仪通过动态追踪靶球的位置建立机器人空间中绝对坐标系，该坐标系以机器人基座原点为中心；
- [0040] 建立好坐标系后，控制机器人抓取负载，将机器人的负载信息切换到静态参数修正中负载状态下的负载信息；然后定义多个绝对位置的三维坐标点，控制机器人定位；用激光跟踪仪测量机器人走到这多个点的实际位置，同时记录下在这多个点的位置处机器人6个轴的角度值；
- [0041] 将这多个绝对位置点与实际位置点的差值做正态分布曲线，得到机器人绝对定位误差的分布区间。
- [0042] 所述机器人调姿系统执行以下步骤：
- [0043] 根据主控系统发来的双目视觉检测系统测出的特征点在机器人坐标系下的坐标，得到机器人运动轨迹，进而得到机器人各轴位置；
- [0044] 将各轴位置分别加上机器人绝对定位修正系统对应轴标定出的差值，驱动机器人定位。
- [0045] 所述焊接应力消除系统执行以下步骤：
- [0046] 当焊接完成后机器人夹爪还保持抓取状态，焊接应力消除系统开启机器人的A3、A4、A5这三个关节轴的扭矩限制模式：
- [0047] 设置这三个关节轴的轴角度可调范围为 $\pm 10^\circ$ ，转动角速度 $0.5\text{rad/s}$ ，扭矩上限为机器人扭矩保持扭矩上限 $+20\text{N}\cdot\text{m}$ ，扭矩下限为机器人扭矩保持扭矩下限 $-20\text{N}\cdot\text{m}$ ；当任一关节轴的参数超出上述阈值，则报警。
- [0048] 本发明具有以下有益效果及优点：
- [0049] 本自动化设备旨在为企业集成研发一套适用于该零部件装配生产线上的，自动对接、调姿、焊接一体化的专机设备系统。专机设备的设计，基于对各给定零部件的基准点所在不同的区域，搭建了双目视觉检测及测量系统，通过主控制器发出的测量命令，依次将各个基准点的坐标值进行测量；测量完成后对测量值进行坐标系的换算，换算成机器人世界

坐标系下的坐标点；主控制器通过该坐标点控制六自由度机器人对零部件进行调姿运动；调姿完成后，启动对接及焊接工作；焊接完成后，总控制器可以通过机器人的受力方向，对焊接应力进行逆向消除。该自动化设备最大程度排除人为不确定因素，从而实现零部件装配过程中的高精度、高可靠性、高效率的要求。

### 附图说明

[0050] 图1本发明中控制系统的网络拓扑图；

[0051] 图2为本发明中控制系统的控制流程图。

### 具体实施方式

[0052] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0053] 本发明涉及航天制造领域重要零部件自动化装配设备中，总体控制系统的设计方法。系统包括：主控系统、分布式I/O系统、双目视觉检测及测量系统、六自由度机器人调姿系统、机器人绝对定位修正系统、焊接应力消除系统、HMI人机交互系统。主控系统负责控制和协调各个系统之间的逻辑动作与数据处理；分布式I/O系统分别布置于每个系统的电控柜内，负责接收与发送主控系统的控制命令；双目视觉检测及测量系统负责测量对接工件的特征点，并将该特征点转换为空间几何距离；六自由度机器人调姿系统根据视觉系统测出的具体空间坐标点，进行绝对位置调姿运算，并根据机器人绝对定位修正系统标定出的误差偏移量，最终形成机器人坐标系下的定位点，并驱动机器人进行定位。完成调姿后，工件焊接完成，焊接应力消除系统启动并对应力进行消除。

[0054] 一种应用于航天装配设备的控制系统，主要包括：主控PLC系统作为总控制器，可以全面的协调和控制双目视觉检测系统、六自由度机器人调姿系统、绝对定位修正系统、焊接应力消除系统这四大模块。

[0055] 该主控系统由控制层与执行层两部分组成；控制层作为控制系统的核心部分，同时使用Profinet总线、Profibus-DP总线、TCP/IP、OPC server等多种通讯方式。通过Profinet总线与机器人系统、分布式I/O进行数据通信；通过Profibus-DP总线与外部传感器进行通讯；通过TCP/IP协议与双目视觉检测及测量系统进行通讯；通过OPC Server与车间MES系统进行通讯；

[0056] 主控系统对机器人控制系统采用全闭环外部自动控制，不需要机器人内部编写程序，所有机器人的动作和逻辑控制全部由主控系统完成。

[0057] 主控系统通过获取双目视觉检测系统测量出工件装配的三维特征点，并对该特征点通过D-H坐标系变换，转换为机器人世界坐标系下的绝对三维坐标，以便于机器人进行调姿运动。

[0058] 在零件焊接完成后，主控系统通过实时监测机器人关节的应力，实时对机器人进行受力方向上的补偿运动，保证机器人不被焊接应力拉拽而损坏或破坏机器人定位精度。

[0059] 1. 确定了由主控系统为核心，双目视觉检测及测量系统、六自由度机器人调姿系统、机器人绝对定位修正系统、焊接应力消除系统、HMI人机交互系统为分支模块的主从结构的控制系统。

[0060] 2. 主控系统同时采用了Profinet总线、Profibus-DP总线、TCP/IP通讯、OPC



Server等四种通讯方式与其他分支模块进行通讯

[0061] 3. 双目检测及测量系统使用多台视觉传感器,同时测量被测零部件多处特征点,由该特征点可以拟合成对应的轴线与基准面,通过TCP/IP协议与主控制器通讯上传数据。

[0062] 4. 六自由度机器人调姿系统采用Profinet总线与主控系统进行通讯,其中机器人控制器作为从站,只需要接受主控系统发来的控制命令,不需要编写任何程序。

[0063] 5. 主控系统具备机器人绝对定位修正系统,根据系统标定值与机器人实际的绝对定位值的对比,算出修正值,用于补偿机器人的绝对定位误差。

[0064] 6. 主控系统具备焊接应力消除系统,对零部件对接调姿及焊接完成后,产生的焊接应力,进行实时检测及补偿的功能。

[0065] 如图1所示,主控系统安装在单独的总控制室,包含有主控PLC控制器、数字量及I/O模块、低压控制电器、8口交换机、24V直流电源模块、总线通信模块等。主控PLC采用西门子S7-1516-3PN/DP,具有三个RJ45网口,与一个DP接口,与下一层的各个模块之间依靠Profinet总线连接到相应设备的ET200SP分布式I/O模块处,采集该处的数字量与模拟量信号,再通过总线回馈给主控PLC。该ET200SP接口型号为6ES7 155-6AU00-0BN0。

[0066] 双目视觉检测系统由两组双目视觉传感器组成,传感器布置于被测零件两侧的传感器支架上。该视觉传感器主要用于测量工件两侧指定特征点的位置,然后拟合出工件的轴线位置,再经过坐标系的转换,将该轴线位置在测量坐标系下的三维坐标转换为机器人坐标系下的坐标,作为机器人动作的依据。主控PLC与该测量系统的上位机软件进行TCP/IP网络通信,定义好4组测量数据信号、2组启停信号、2组故障信号,在双目视觉检测系统的软件进行测量完成后,自动获取测量结果。

[0067] 六自由度调姿机器人选用KUKA KRC4系列重载机器人,该控制器上安装Profinet KRC-Nexxt和Remote Service软件包。主控PLC与机器人控制器之间使用Profinet总线连接,其中机器人作为Profinet I/O从站。总线通讯扫描周期为8ms,通讯字节数量为2032个,通讯地址在机器人侧从\$IN[2048]到\$IN[4080]以及\$OUT[2048]到\$OUT[4080]。机器人正常运行时处于AUT EXT外部自动模式,由主控PLC通过通讯总线给出运动位置及启动命令,机器人根据该命令执行相应动作,同时反馈机器人的运动状态、完成情况、拒动时给出原因、故障时给出故障代码。

[0068] 六自由度机器人控制器中添加EtherCat总线适配器及伺服控制模块,直接控制机器人夹爪上的伺服电机,完成夹取与松夹动作。主控PLC通过Profinet总线给机器人控制器下达夹爪运动参数,控制器根据这些参数,控制夹爪的夹持扭矩与夹爪的行走位移。

[0069] 本系统选用了重载机器人,其由于负载能力强、体积庞大故其绝对定位精度相应的会差一些,一般重复定位精度在0.1mm,绝对定位精度在1.8mm上下。为了保证设备对接时的精度,主控系统具有对机器人的绝对定位位置进行修正的功能,其中包括了静态的参数修正与动态位置修正。

[0070] 静态的参数修正过程主要是分别在机器人空载与重载两个状态下,设置机器人的负载信息及工具坐标点(TCP)的坐标信息。首先在整个系统的设备就位完成后,将机器人底座调平后,将地脚用膨胀螺栓固定在水泥地面上。用EMD(机器人零位标定模块)将机器人零点标定成功后,手动输入机器人控制器空载时的负载信息,包括TCP点的X,Y,Z偏移量,夹爪及工装的质量,A3轴的固定负载量。再手动操作机器人夹取工件,并移动到工作位置,重新

记录下零点的偏移量,包括A1~A6轴的角度偏移值,并手动再次输入机器人控制器重载时的TCP点位置与总负载质量。

[0071] 动态位置修正功能,主要是使用LEICA激光跟踪仪对机器人的绝对定位精度进行标定及校正。首先将激光跟踪仪定位在一个固定位置,然后在机器人的6轴的法兰中心布置一个靶球,手动操作机器人先在工具坐标系下进行X、Y、Z三个方向分别移动,再在轴坐标系下沿着X、Y、Z的三个轴线A、B、C进行旋转改变机器人的姿态,这样激光跟踪仪通过动态追踪靶球的位置建立了机器人空间中绝对坐标系,该坐标系是以机器人基座原点为中心的。建立好坐标系后,将机器人抓取实际负载,负载信息切换到重载的参数,然后定义20个绝对位置的三维坐标点,输入机器人系统编好移动指令进行定位,然后用激光跟踪仪测量这20个点所走到的实际位置,同时记录下在这20个点的位置处机器人6个轴的角度值。将这20个绝对位置点与实际位置点的差值做正态分布曲线,得到了机器人绝对定位误差的分布区间,根据此区间设置机器人绝对定位补偿参数,达到了对机器人绝对定位精度的修正功能。

[0072] 在设备调姿定位完成后开始焊接工作,主要任务是将机器人夹持部分与地面固定的部分进行焊接,焊接结束后由于热胀冷缩原理,会在焊接部位产生向内部收缩的焊接应力。在焊接完成后,机器人夹爪还保持抓取状态,所以该应力会使机器人的腕部受到一个拖拽力,会使机器人关节处电机及抱闸受到损伤并影响机器人的精度。通过分析得知该拖拽力主要施加在机器人的A3、A4、A5这三个关节轴上,在控制程序中开启这三个轴的扭矩限制模式,关闭机器人的常规监控功能同时启动基于扭矩控制模式下的监控功能。分别设置这三个关节轴的可调范围为 $\pm 10^\circ$ ,转动角速度 $0.5\text{rad/s}$ ,扭矩上限为 $\$HoldTorque\_Upper+20\text{N.m}$ ,扭矩下限为 $\$HoldTorque\_Lower-20\text{N.m}$ 。在这些参数的基础上编写扭矩控制模块子程序,当焊接应力导致工件变形时调用该模块,实现机器人腕部可以随着工件焊接应力变形的方向上进行补偿运动的功能,保证机器人关节及夹具不会因为该应力而产生损伤或对机器人定位精度产生影响,当应力消除完毕后自动给出完成信号。当出现应力过大、收缩角度超出监控范围等意外情况时立即报警。

[0073] 整个控制系统的工作流程图,如图2所示:设备全部回到原位,系统启动初始化,检测机器人安全防护正常、机器人就绪、双目检测及测量系统就绪、待装配的零部件A与零部件B全部到达装配区,其中零部件A是被机器人抓取工件,零部件B是固定在地面托盘上的工件;设备启动按钮按下,机器人带夹爪移动直零件A待夹取位置;夹取完成后,托盘上的支撑固定装置松开,机器人自动将零件A移动到测量区域;双目视觉检测及测量系统开始工作,测量出零件A到零件B特征点间的空间数据,转换成机器人坐标系下的三维坐标;机器人根据此坐标带动零件A进行位姿调整,调姿完毕后测量系统再次拍照测量,验证是否调姿到位,如果测量结果超过预先设定的允许误差值,再次进行调姿,如果连续3次未能调整成功,则启动报警程序,人工干预;调姿完成后,根据测量结果加工零件A与零件B之间的调整环,同时机器人带动零件A移出工作区域;调整环加工完毕后,机器人带动零件A再次返回最终调姿完成的位置,测量系统再次测量验证机器人定位是否准确;验证完成后,开始焊接调整环,同时机器人启动焊接应力消除程序;焊接应力消除完毕后,机器人松开夹爪自动返回原位,测量系统将测量零件A与零件B的最终数据并上传MES系统,整个控制流程结束。

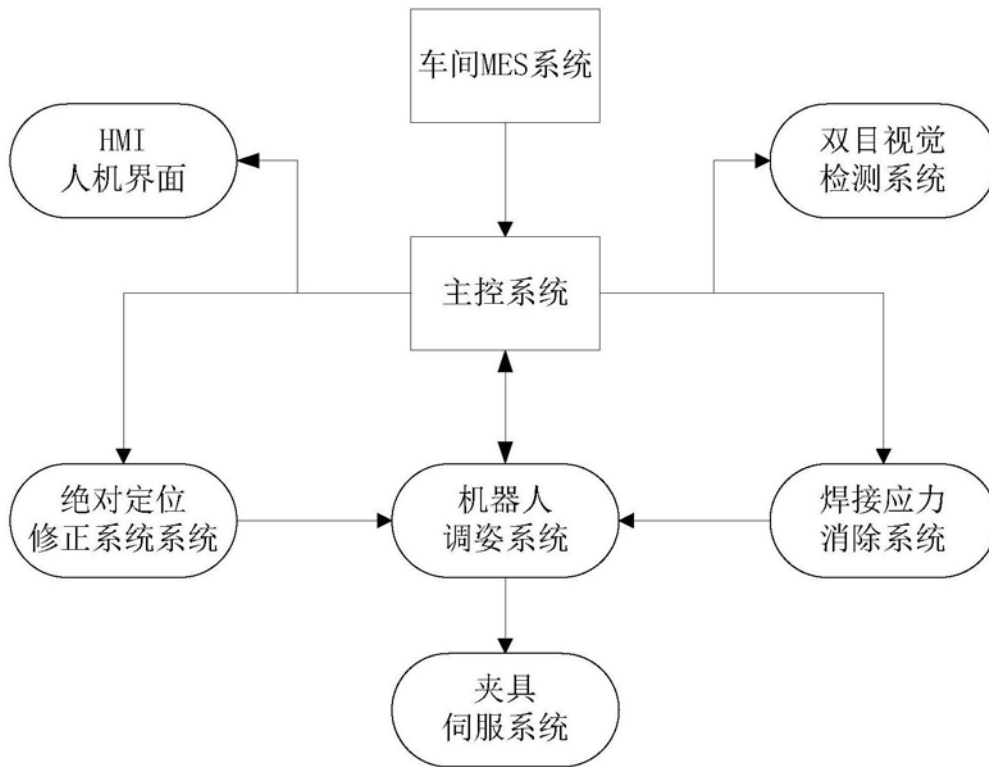


图1

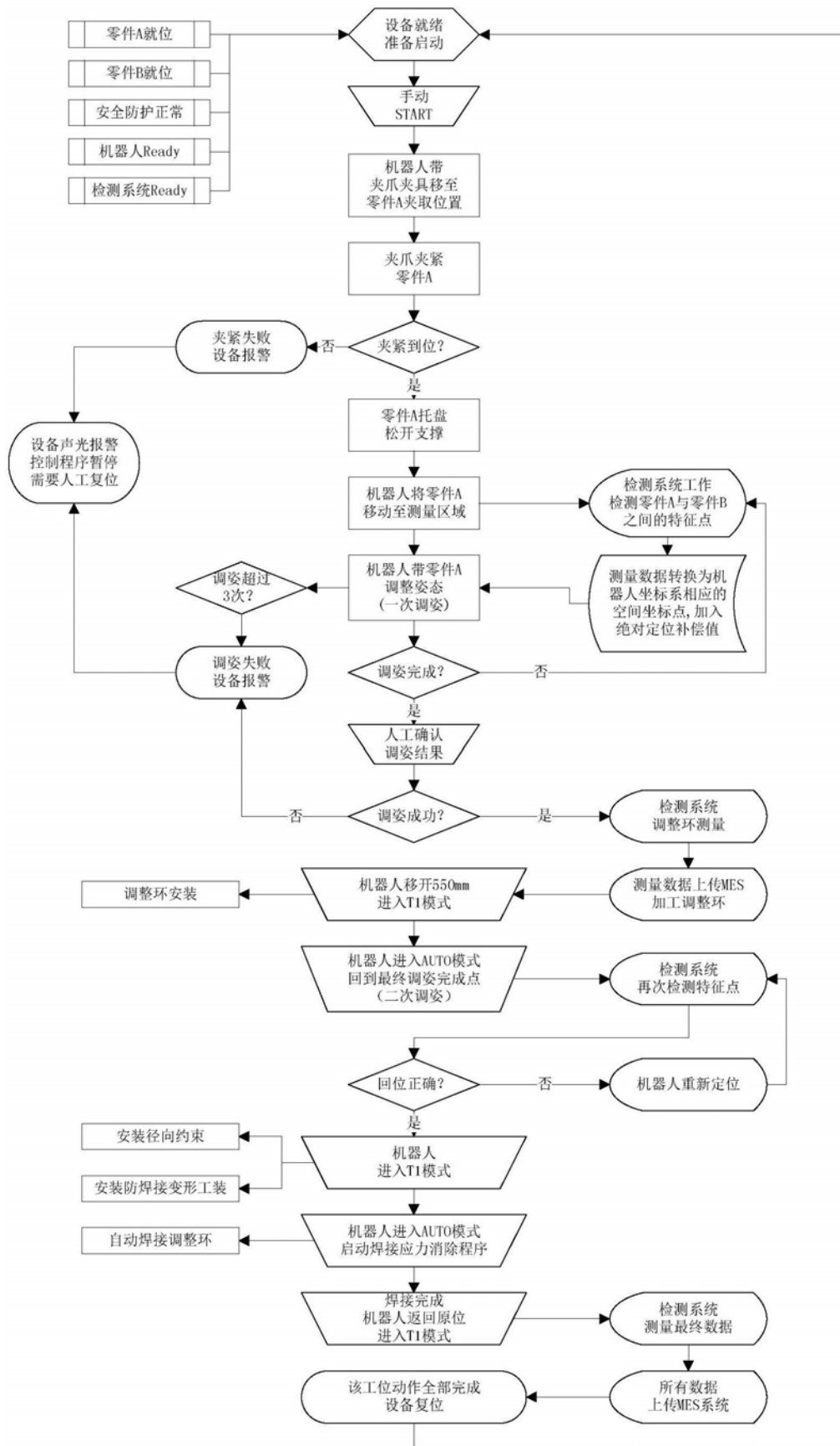


图2