

机器人在卫星舱板装配中的应用研究

邱铁成, 张满, 张立伟, 赵璐, 徐奕柳

(北京卫星环境工程研究所, 北京 100094)

摘要: 因卫星部分外舱板上需要安装有效载荷, 而载荷与卫星主结构之间有多束电缆连接。舱板的安装通常需要使用翻转工装, 为了保证舱板的安装精度, 在装配过程中要求多名装配工人相互配合才能完成。文章对目前卫星舱板装配过程进行了分析, 结合舱板安装实际, 提出了机器人辅助自动化装配、半自动化装配方案及其运动路径基本算法。方案的实现有助于推动卫星自动化装配的进程, 并提高装配工作效率。

关键词: 机器人; 自动化装配; 舱板安装; 结构设计; 运动模式

中图分类号: TP242

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2012)05-0579-007

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2012.05.021

0 引言

由于卫星产品研制技术复杂, 涉及控制、推进、热控、有效载荷、机构结构、测量等多个学科领域, 再加上用户任务需求的不断变化, 使得卫星生产主要是以研制为主, 属单件生产模式^[1]。随着我国航天任务由试验型向应用型发展, 任务需求剧增, 航天技术尤其是卫星组网技术取得了快速发展(如北斗导航系统其卫星数目达到33颗)。为了满足任务剧增的需求, 我国开展了卫星平台化、产品化的研制实践, 已成熟的平台产品有“东三”卫星平台、“东四”卫星平台等。共用这些平台的卫星系列的技术状态完全一致, 已经具备了批量生产研制的特点, 为星船总装专业的发展(如总装技术能力、总装工作效率等提升)创造了条件^[2-3]。

本文对卫星总装过程中的关键工序——舱板装配进行了细致分析, 提出机器人辅助装配方案, 旨在提高装配效率, 推进自动化装配的进程。

1 卫星舱板装配分析

目前, 卫星舱板装配工作是通过手动调整舱板翻转支架车的各运动转轴来完成。装配过程中不仅需多名人员协作, 而且为了保证舱板装配的精度需频繁测量舱板四个角与卫星的距离, 为保证舱板与卫星的平行度而需敲击支架车轮脚, 为保证舱板

的水平度而需要两个操作人员各控制两个脚轮来旋转相同的圈数等, 这些都对装配人员的经验有非常强的依赖性, 且工作强度大, 效率不高。

如图1所示, 支架车具有前后、左右方向的调节机构, 使支架车主体(包含对接框)相对于其底盘在前后、左右方向能够微调节; 支架车还设计有翻转机构, 对接框借助翻转机构能翻转90°成竖直状态来满足舱板装配需要。

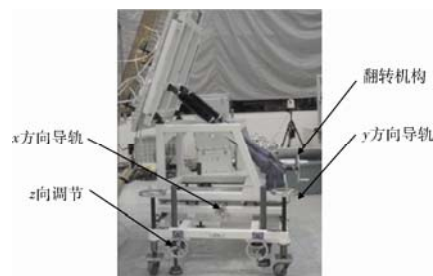


图1 用于舱板停放、翻转的支架车

Fig. 1 Overturned brace for spacecraft cabin board assembly

目前支架车能够满足舱板安装的工况需要, 但还存在以下可改进点:

1) 缺少旋转自由度, 表现为舱板装配过程中服务舱平面与推进系统平面不平行时, 是用榔头敲打、脚支撑来调节;

2) 目前支架车提供的每个自由度都是由独立的机构实现, 没有利用联动机构, 导致现在的支架车比较复杂、质量较大;

收稿日期: 2011-08-12

作者简介: 邱铁成(1985—), 男, 硕士学位, 现从事航天器总装科研生产计划管理工作。联系电话: (010) 68746243; E-mail: qiutiecheng@gmail.com。

3) 因各航天器型号的舱板尺寸不同, 安装孔位置也有差异, 所以用于服务舱停放、翻转的支架车不能重复使用, 导致一个新型号就需要配制一个支架车, 使得支架车积压太多, 既占用库房空间, 又造成成本浪费。

目前支架车的所有操作都是由人工手动实现, 在科学技术飞速发展的今天, 用电动方式替代手动操作已经不再是技术难题, 采用电动方式既能提高工作效率, 还有助于保证装配质量的稳定性。

2 机器人辅助装配系统方案设计

2.1 设计思路

根据通用化设计思路, 对舱板的总装期间需要用的地面机械支持设备提出如下思路:

1) 针对水平状态下的总装操作, 设计舱板停放支架车, 可通用、重用, 用于舱板在未装配状态下的总装、电测工作。

2) 针对翻转动作, 设计舱板装配专用机械臂, 可通用、重用。在舱板装配过程中, 机械臂从停放支架车上取下舱板, 通过卫星主结构上的3个销钉孔找到目标位置, 根据自身的位置计算出运动路径, 由操作人员监视, 逐步地向推进舱靠近并执行装配。

3) 设计舱板对接框, 不通用、不重用, 针对每个新型号的舱板, 只需要配制一个新的舱板对接框, 要求对接框能与停放支架车对接, 并设计一个与机械臂连接的法兰。

基于以上思路的实现可取得以下优势:

1) 只需要研制一个舱板装配机械臂和几个停放支架车, 针对不同的型号, 只需要配制舱板转接框, 就可以满足不同型号舱板的装配需要, 可大大节约成本。

2) 利用机器人的定位系统, 能有效地保证舱板装配精度, 既能提高装配质量的稳定性, 又能提高工作效率。

3) 实现半自动化乃至自动化装配, 并向流水线式总装迈进。

2.2 总体方案设计

基于实际的工况, 提出了机器人辅助装配方

案, 如图2所示, 主要由移动平台、机器人操作臂、控制柜、激光跟踪仪和柔性装置等组成, 具体功能如下:

1) 移动平台可将机器人运送到不同的安装工位, 实现一机多用;

2) 激光跟踪仪实现卫星主结构和舱板上销钉孔的位置检测;

3) 机器人根据规划的舱板运动路径完成装配;

4) 柔性装置提供装配中的容差放大功能, 使得装配更易实现。

整个机器人装配系统提供自动装配和半自动装配两种模式。自动装配模式是机器人依据激光跟踪仪检测到的销钉孔位置及离线编写的舱板运动路径程序来自动实现舱板的装配, 即可将期望的舱板运动通过程序化的方式来实现。半自动装配模式跟目前的人工装配模式相似, 可由装配人员通过手控器调整电池板的位置和姿态, 但不同之处在于机器人可通过多轴联动的方式直接调整电池板的位置和姿态, 而目前的装配模式只能调整固有工装的单个转轴, 电池板的位置、姿态和运动速度变化不直观、无量化; 而采用机器人装配系统则能更快更有效地将服务舱板送到目标位置, 然后由操作人员手动微调。

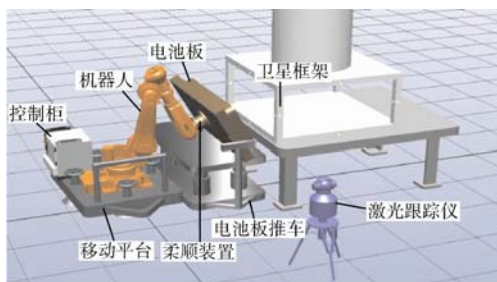


图2 方案示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the project

2.3 自动装配模式

自动装配模式, 就是在整个过程中都不需要操作人员来参与, 装配机器人会自动地将舱板安装到位, 操作人员只需要最后安装紧固件即可。自动装配模式的关键技术是如何测得平台上销钉孔的位置和机器人末端所连接的舱板上销钉孔的位置。根据此装配任务的特点, 提出了两种孔位置检测方案: 激光跟踪仪测量方案和机器人视觉测量方案,

它们分别对应着两种自动装配方案。

2.3.1 基于激光跟踪仪测量的自动装配方案

在整个自动装配过程中,激光跟踪仪始终固定在地面上,机器人安放在一个移动平台上并正对卫星主结构。在执行操作之前,需要进行机器人的标定工作,即让激光跟踪仪的测量坐标系和机器人的基坐标系重合。在标定好的坐标系下,通过激光跟踪仪测得卫星主结构上每个销钉孔的位置坐标,如图3所示。

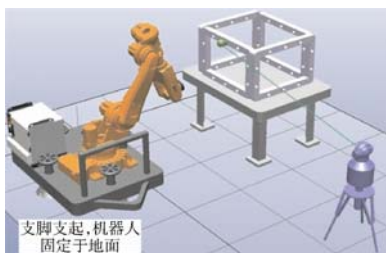


图3 激光跟踪仪测量卫星主结构销钉孔

Fig. 3 Dowel location on the satellite measured by the laser track instrument

在装配人员完成舱板与卫星主结构对接的准备工作后,将机器人末端通过柔性装置与舱板连接紧固,如图4所示。

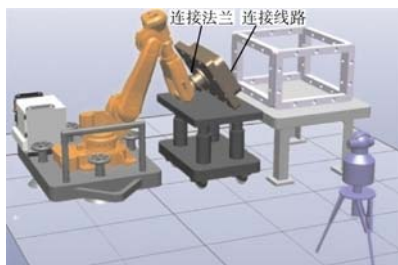


图4 机器人与舱板连接

Fig. 4 The robot connected with the cabin board

然后,由激光跟踪仪测得服务舱板上各个销钉孔的位置坐标,如图5所示。

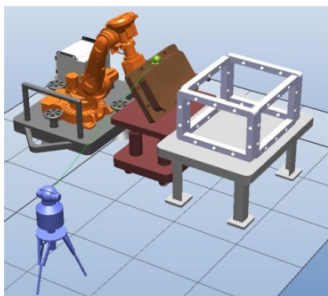


图5 激光跟踪仪测量舱板销钉孔

Fig. 5 Dowel location on the cabin board measured by the laser track instrument

至此,推进舱及服务舱板上的各个销钉孔位置坐标均已测得,控制软件利用这些数据规划机器人

的运行路径,并控制机器人执行装配任务;当完成了舱板的初步装配时,装配人员此时可以打入销钉孔,由于机器人末端和电池板之间采用的是柔性连接,具有较强的容差能力,确保销钉能够顺利装入,从而完成机器人辅助装配,如图6所示。待装配人员将所有的紧固件安装完毕后,可将服务舱板与机器人末端之间柔性装置拆开,机器人辅助装配任务结束。



图6 完成安装示意图

Fig. 6 The cabin board assembling

2.3.2 基于视觉测量的自动装配方案

针对装配过程中销钉孔的位置检测要求,考虑由于连接线路的限制,舱板可能无法在特殊位置(水平或垂直位置)进行位置检测,因此视觉定位模式采用视觉系统与机器人联合应用的方式进行。视觉检测系统包括两个相机,即采用平行双目的方式检测卫星主结构上的销钉孔位置。两部相机固定在机器人运载平台上,因此每次工作时相机与机器人相互位置不需重新标定,可提高系统工作效率。方案如图7所示。

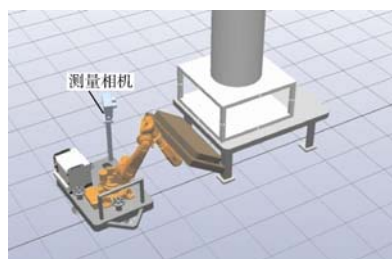


图7 基于视觉检测的自动装配方案

Fig. 7 The automatic assembly scheme based on vision inspection

视觉测量步骤:

1) 相机与机器人之间的位置标定。通过标定可以得到“手(机器人操作末端)—眼(视觉定位系统)”之间的位置转换关系矩阵,根据该矩阵,可以将视觉系统中所得到的某点坐标转换到机器人坐标系中,方便机器人的位置控制。这一步骤在相机和机器人都固定在移动平台上之后进行,一旦

位置标定完成,在不调整机器人与相机间的位置关系的前提下,标定无须在更换工件甚至工作场合的情况下重新进行。

2) 检测卫星主结构上销钉孔位置。检测方法是在机器人与电池板连接之前,采用平行双目视觉检测的方式,可以得到卫星主结构上销钉孔相对于机器人坐标系的位置信息。

3) 检测舱板上销钉孔位置。检测方法:在装配人员完成舱板与卫星主结构内部之间的连接后,将机器人末端通过柔性装置与电池板连接紧固;采用平行双目视觉检测方法可以得到舱板上销钉孔的位置信息,根据机器人各关节的姿态可以得到电池板在机器人坐标系中的姿态角度,进而得到舱板上销钉孔在机器人坐标系中的确切位置信息。

4) 关联卫星主结构与舱板的销钉孔位置。检测方法是根据步骤2和步骤3所得到的卫星主结构与舱板上的销钉孔在机器人坐标系中的数据,可以将它们关联起来。

5) 控制机器人。利用基坐标系中卫星主结构与舱板上的销钉孔位置之差做反馈,闭环控制机器人,将卫星主结构与舱板上的销钉孔对齐。

2.4 半自动装配模式

半自动装配模式如图8所示。在整个半自动装配模式过程中,无须使用激光跟踪仪进行销钉孔定位,一切操作均由装配人员通过机器人手控器来完成。

当待装配舱板就位时,将服务舱板通过柔性装置与机器人末端固连,然后操作人员可通过机器人手控器调整机械臂的运动,使舱板不断靠近推进系统,直到所有的销钉定位孔基本对齐。由于机器人末端和服务舱板之间采用的是柔性装置,可确保销钉孔的顺利装配。

在半自动装配模式中,操作人员可通过手控器直接控制舱板的位置和姿态,因此装配过程是直观的、可控的;而现有的装配模式只能通过调整支架车的某个转轴来实现舱板的运动,对整个装配过程而言是间接调整,因此装配过程不直观、可控性较差。

半自动装配模式既可以作为单独的装配方式来完成卫星装配任务,也可以作为自动装配模式的补充,在必要的时候进行人工介入。

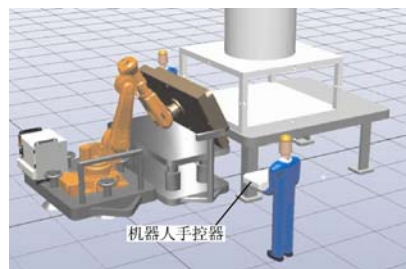


图8 半自动装配模式示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the semi-automatic assembly

3 关键技术

该机器人辅助装配方案的可行性与某些关键技术及某些设备选型方案紧密相关,具体介绍如下。

3.1 机器人结构设计

装配机器人的结构及机构如图9所示。该机器人的手臂固定在腰部,通过腰部、大臂、小臂、手腕等关节的共同作用完成卫星服务舱板的装配工作。

机械系统主要由4个关节组成,能实现腰部旋转、大臂俯仰、小臂俯仰、手腕回转等4种运动^[4],全部由交流伺服电机驱动。这种结构的机器人完全可以满足装配机器人的工作需求。



图9 用于卫星舱板装配的机器人结构

Fig. 9 The makeup of the robot for the satellite assembly

腰部底座关节的机械结构如图10所示。腰部底座的运动是由底部的伺服电机来控制空心轴,进而使机架实现旋转。

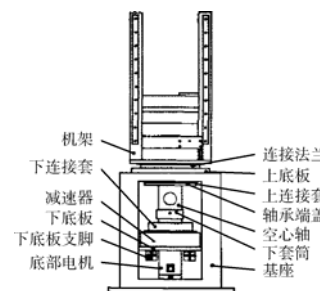


图10 腰部底座关节机械结构

Fig. 10 The makeup of the pedestal joint

3.2 运动路径基本算法

舱板与卫星主结构的装配思路, 通过激光跟踪仪测出舱板与卫星主结构上各 3 个销钉孔的坐标, 如图 11 所示。其中平面 1 可以看作是舱板所在平面, 本文将其称为初始平面; 平面 A 可以看作是卫星主结构待装配面, 平面 A 在整个过程是保持静止的, 它是平面 1 的目标位置, 本文将其称为目标平面; m_4 、 m_5 和 m_d 、 m_e 是在两个平面上假想的两个点, m_4 、 m_5 、可根据服务舱板上销钉孔与服务舱下底边的位置关系确定, m_d 、 m_e 可根据推进舱的销钉孔与下底边的关系确定。

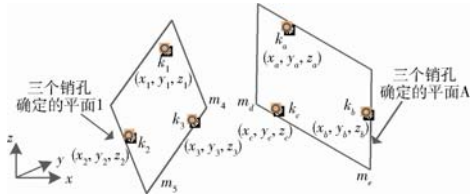


图 11 测出 6 个基本销钉孔的位置坐标

Fig. 11 The measured six basic dowel locations

由此可计算出平面 1、平面 A、直线 $k_2 k_3$ 以及直线 $k_b k_c$ 的位置方程。

平面 1 方程为

$$\frac{(y_a - y_b)(z_a - z_c)}{(y_a - y_c)(z_a - z_b)}(x - x_a) + \frac{(x_a - x_c)(z_a - z_b)}{(x_a - x_b)(z_a - z_c)}(y - y_a) + \frac{(x_a - x_b)(y_a - y_c)}{(x_a - x_c)(y_a - y_b)}(z - z_a) = 0 \quad (1)$$

$$\phi = \arccos \frac{|(x_4 - x_5)(x_d - x_e) + (y_4 - y_5)(y_d - y_e) + (z_4 - z_5)(z_d - z_e)|}{\sqrt{(x_4 - x_5)^2 + (y_4 - y_5)^2 + (z_4 - z_5)^2} \cdot \sqrt{(x_d - x_e)^2 + (y_d - y_e)^2 + (z_d - z_e)^2}} \quad (7)$$

将求出的 ϕ 传送给机器人, 机器人控制系统根据输入计算出需要转动的角度, 并完成实际转动, 使直线 $m_4 m_5$ 与直线 $m_d m_e$ 平行, 即 $\phi = 0$ 。

2) 计算点 k_3 与点 k_c 之间的 z 向距离, 即

$$d = z_c - z_3 \quad (8)$$

将 d 传送给机器人, 机器人控制系统根据输入计算相应运动轨迹, 并完成相应运动, 使点 k_3 与点 k_c 的 z 坐标相等, 即 $d = 0$ 。

3) 计算点 k_3 与点 k_c 之间 y 方向距离, 即

$$D = y_c - y_3 \quad (9)$$

将 D 传送给机器人, 机器人控制系统计算出相应运动轨迹, 并完成运动, 使点 k_3 与点 k_c 的 y 坐标相等, 即 $D = 0$ 。

平面 A 方程为

$$\frac{(y_a - y_b)(z_a - z_c)}{(y_a - y_c)(z_a - z_b)}(x - x_a) + \frac{(x_a - x_c)(z_a - z_b)}{(x_a - x_b)(z_a - z_c)}(y - y_a) + \frac{(x_a - x_b)(y_a - y_c)}{(x_a - x_c)(y_a - y_b)}(z - z_a) = 0 \quad (2)$$

直线 $m_4 m_5$ 的参数方程为

$$\begin{cases} x = (x_4 - x_5)t + x_4 \\ y = (y_4 - y_5)t + y_4 \\ z = (z_4 - z_5)t + z_4 \end{cases} \quad (3)$$

方向向量为

$$\mathbf{n}_1 = \{(x_4 - x_5), (y_4 - y_5), (z_4 - z_5)\} \quad (4)$$

直线 $m_d m_e$ 的参数方程为

$$\begin{cases} x = (x_d - x_e)t + x_d \\ y = (y_d - y_e)t + y_d \\ z = (z_d - z_e)t + z_d \end{cases} \quad (5)$$

方向向量为

$$\mathbf{n}_a = \{(x_d - x_e), (y_d - y_e), (z_d - z_e)\} \quad (6)$$

根据初始建立的两个平面及两条平面内直线的方程, 初始平面若要到达目标平面, 则需要以下几步:

1) 计算直线 $m_4 m_5$ 与直线 $m_d m_e$ 的夹角, 即

此时初始平面与目标平面的相对位置, 如图 12 所示。

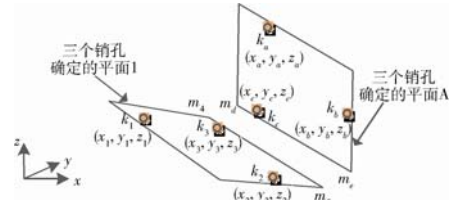


图 12 相对位置关系

Fig. 12 The relative connections of the locations

4) 计算平面 1 与平面 A 之间的夹角, 如图 12 所示。此时直线 $m_4 m_5$ 与直线 $m_d m_e$ 是平行的, 根据服务舱及推进舱的图纸, 可以得出直线 $k_1 k_3$ 与直线 $m_4 m_5$ 垂直, 且直线 $k_a k_c$ 与直线 $m_d m_e$ 垂直, 因此直线 $k_1 k_3$ 与直线 $k_a k_c$ 之间的夹角即为平面 1 与平面 A 之间的夹角, 即

$$\delta = \arccos \frac{|(x_1 - x_3)(x_a - x_c) + (y_1 - y_3)(y_a - y_c) + (z_1 - z_3)(z_a - z_c)|}{\sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 + (z_1 - z_3)^2} \cdot \sqrt{(x_a - x_c)^2 + (y_a - y_c)^2 + (z_a - z_c)^2}} \quad (10)$$

将求出的 δ 发送给机器人, 机器人控制系统计算出需要沿 y 轴转动的角度, 并完成实际转动, 使直线 $k_1 k_3$ 与直线 $k_a k_c$ 平行, 即 $\delta = 0$ 。

5) 计算平面 1 与平面 A 之间的距离, 只需计算点 k_3 与点 k_c 之间的距离, 即

$$D = x_c - x_3 \quad (11)$$

将 D 发送给机器人, 机器人控制系统计算需要在 x 方向上进给的距离, 使点 k_3 与点 k_c 重合, 即 $D=0$ 。

3.3 机器人运动正解

在上一节中, 多次提到了给机器人输入一个角度或一个距离, 机器人就会计算出所需要的运动轨迹^[5]。

为了便于对机器人并联机构的运动进行分析求解, 建立空间坐标系如图 13 所示, 坐标原点位于机器人腰部上顶面中心位置。当机器人处于零位时, 并联机构处于图中虚线位置, 此时机器人末端 D 坐标为 $(l_2, 0, l_1 + l_3)$ 。

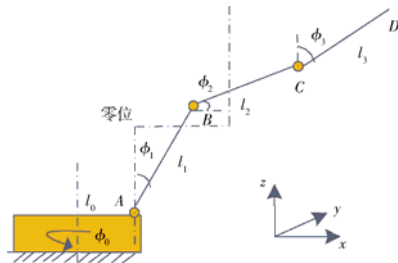


图 13 机器人模型
Fig. 13 The robot model

经过一定的运动后, 机器人末端到达了图 13 所示位置, 此时机器人末端的坐标为

$$\begin{cases} x = (l_0 + l_1 \sin \phi_1 + l_2 \cos \phi_2 + l_3 \sin \phi_3) \cos \phi_0 \\ y = (l_0 + l_1 \sin \phi_1 + l_2 \cos \phi_2 + l_3 \sin \phi_3) \sin \phi_0 \\ z = l_1 \cos \phi_1 + l_2 \sin \phi_2 + l_3 \cos \phi_3 \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{即 } (x, y, z) = f(\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3), \quad (13)$$

也就是机器人末端的位置坐标与各个关节轴旋转角度函数关系式。由公式(13)还可以得出

$$(\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3) = f^{-1}(x, y, z). \quad (14)$$

因此, 在给出机器人末端的目标位置坐标后, 就可以根据公式(14)计算出各个旋转轴需要旋转的角度, 并由伺服电机控制机器人的运动。

3.4 机器人运动轨迹规则

根据机器人的实际工作要求来进行其装配的轨迹规划, 使机器人能够精确地完成服务舱的装配工作。轨迹规划实际就是机器人运动反解的应用, 包括位姿反解、速度等。同理, 已知每个关节旋转的角度或移动的距离, 末端机械手的位置和姿态也可以求出。

根据前文, 我们可以由 5 种运动来完成平面 1 从初始位置到目标位置的运动。但是在实际的装配过程中, 由于服务舱与推进舱之间存在多束电缆, 为了保证在实际装配过程中电缆的安全, 装配过程不可能一步到位地直接将舱板翻转 90° , 而是根据实际需要制定成类似于图 14 所示的流程, 映射成机器人、服务舱板的运动, 就是如图 15 所示的流程。

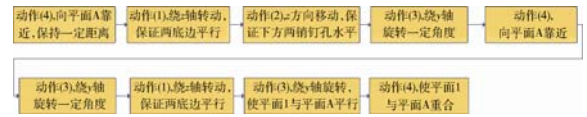


图 14 平面 1 运动过程
Fig. 14 The moving process of the plane 1

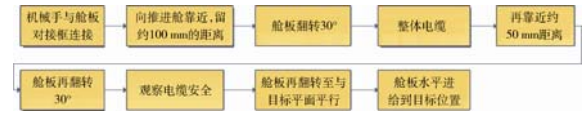


图 15 机器人辅助装配流程
Fig. 15 The flow chart of the robot assisted assembly

3.5 测定机器人的基坐标系

机器人具有 6 个自由度, 且 6 根轴均为回转轴。机器人的基坐标系位于机器人的安装基座的中心上, 垂直向上为 z 轴, 正前方为 x 轴。为此采用以下方法来确定机器人的基坐标系。

1) 旋转轴 1, 其他轴的角度保持不变: 每隔一定角度运用激光跟踪仪测量机器人末端凸缘盘上固定点的坐标值, 根据这些坐标点拟合出一个圆 1。

2) 旋转轴 2, 其他轴的角度保持不变: 每隔一定角度运用激光跟踪仪测量机器人手臂上一固定点的坐标值, 根据这些坐标点拟合出一个平面 2。

3) 测量基座所在的平面 B。

4) 根据圆 1 的法线和平面 B 的交点作为原点, 圆 2 和平面 B 的交线作为 x 轴, 圆 1 的法线作为 z 轴, 建立机器人的基坐标系, 如图 16 所示。

建立机器人的基坐标系后, 通过跟踪仪的测量软件将测量坐标系转换到该基坐标系上, 以后激光跟踪仪测得的值都是在机器人基坐标系下的值。

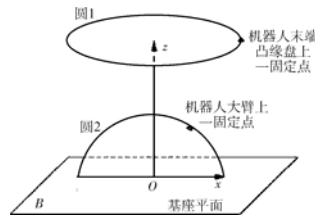


图 16 建立机器人的基坐标系

Fig. 16 The robot reference frame

3.6 柔性连接装置

优良的柔性装置在一定范围内能够很好地补偿机器人末端执行器的位置误差, 从而增大装配容差, 有利于装配作业的顺利进行, 并减小甚至消除互配零件间的相互碰撞。在本方案中拟采用从动柔性装置, 即利用不带动力的机构来控制电池板的运动以补偿其位置误差。该柔性装置是一种遥中心的柔性装置 (Remote Center Compliance, RCC), 其原理如图 17 所示。

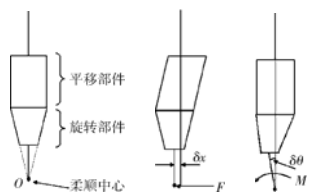


图 17 RCC 柔性装置工作原理

Fig. 17 The principle of the RCC

一部分允许轴作侧向移动而不转动, 另一部分允许轴绕遥中心 (通常位于离手爪最远的轴端) 转动而不移动, 分别补偿侧向误差和角度误差, 实现轴孔装配。一般地, 对于轴孔间隙为 0.01 mm 时, RCC 允许轴孔间的位置偏差为 1 mm, 角度偏差为 2°。

4 结束语

本文提出的可移动机器人辅助卫星装配方案, 实现了舱板翻转机构与舱板停放机构分离, 通过机器人实现舱板翻转功能, 可以半自动地或自动地完成舱板对接工作, 能够满足在不同工位、不同时段等多个卫星装配使用, 可有效地提高工作效率, 推动卫星装配的自动化。随着科技的发展, 这种数字化卫星装配的方式将是未来发展的方向。

参考文献 (References)

- [1] 徐福祥, 林华宝, 侯深渊, 等. 卫星工程概论[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2004
- [2] 洪元义. 生产与运作管理[M]. 武汉理工大学出版社, 2004
- [3] 马宗诚. 宇航飞行器总装与试验工艺[M]. 北京: 航空工业出版社, 1999
- [4] 殷际英, 何广平. 关节型机器人[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 20-52
- [5] 蔡自兴. 机器人学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 46-65

The satellite board assembly with robot

Qiu Tiecheng, Zhang Man, Zhang Liwei, Zhao Lu, Xu Yiliu

(Beijing Institute of Spacecraft Environment Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: As there are instruments mounted on the satellite outer boards that are connected to the satellite structure by some cables, there should be a proper brace that could uphold and overturn them for the satellite cabin board assembly, and many ship-fitters are required to work in close cooperation to ensure the assembly precision. This paper analyzes the process of the satellite board assembly and proposes a way to complete the assembly process with robot automatically or semi-automatically, to enhance the assembly precision and the work efficiency.

Key words: robot; automatic assembly; cabin board assembly; structure design; movement pattern