

整车零件柔性自动化装配研究应用

罗维

(广汽乘用车有限公司, 广州 511434)

摘要: 主要研究整车总装车间设备的柔性自动化。从零件柔性自动化装配实现思路、零件柔性自动化装配在总装的应用2方面阐述广汽总装零件的柔性自动化装配应用, 并从方案概要、设备构成、关键部件以及功能等进行了详细的说明, 为将来需要导入该柔性自动化设备的人员提供参考。

关键词: 自动化装配 总装车间 柔性化

中图分类号: TP29; U468.2*2

文献标识码: B

DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20200309

Research and Application on Flexible Automated Assembly of Vehicle Parts

Luo Wei

(GAC Motor Co., Ltd., Guangzhou 511434)

Abstract: This paper mainly studies the flexible automation of equipment in vehicle assembly workshop, elaborates the application on flexible automatic assembly of final assembly parts from the realization of the idea of flexible automatic assembly of parts and its application on final assembly, then gives a detailed description of the scheme outline, equipment composition, key components and functions, which provides a reference for the personnel who need to introduce the flexible automatic equipment in the future.

Key words: Automated assembly, Assembly plant, Flexibility

1 前言

总装车间的特点是工艺多样化, 零件多样化, 线体多样化。为实现总装车间零件装配技术条件复杂多样的要求, 必须使用机器人感知技术对装配过程及结果进行检测。早期的机器人只能根据设定的程序或是根据示教轨迹进行动作的循环重复。而通过机器人传感器, 感知各种自身内部状态, 并把状态从信号转变为机器人自身或者机器人之间能够理解和应用的数据、信息, 从而使机器人具备感知能力, 能够感知与自身工作状态相关的机械量, 如角度、位移、速度、加速度、力和力矩等。随后, 机器人就能够根据实时感知的信息对自身的动作进行及时调整, 对出现的偏差进行及

时修正, 实现机器人动作过程的闭环控制, 实现零件的自动化装配。

2 零件柔性自动化装配实现思路

要实现零件的柔性自动化装配, 首先要有机机械结构保证设备能够适应不同的产品结构, 实现多平台多车型的零件抓取装配; 其次通过生产监控系统提供的车型派生信息以及传感器检测双重判断车型信息。通过工装上的检测传感器对零件进行车型派生识别; 再次通过工装上的对中夹紧机构保证每个零件在机器人抓取前的坐标点一致; 然后通过附带在机器人抓手上或者固定于生产线边的视觉相机、激光头对车身装配点进行定位识别并引导机器人抓取零件进行精确装配; 最

作者简介: 罗维(1988—), 男, 助理工程师, 学士学位, 研究方向为总装工艺规划、物流规划、智能制造。

参考文献引用格式:

罗维. 整车零件柔性自动化装配研究应用[J]. 汽车工艺与材料, 2021(2):54-62.

LUO W. Research and Application on Flexible Automated Assembly of Vehicle Parts [J]. Automobile Technology & Material, 2021(2):54-62.

后通过设计故障备用方案实现故障快速解决,整个系统由PLC系统、机器人视觉系统控制。

2.1 机械结构兼容技术

目前汽车厂1条生产线规划共线至少3~4款车型,部分线体可能还要兼容多个平台的车型共线生产。多平台多车型共线生产将会产生多种产品尺寸以及产品结构,设备为实现多平台多车型的兼容,必须在机械方面适应产品结构以及产品尺寸,而零件的原点定位以及零件的结构兼容需重点实现,本系统从对中夹紧机构以及夹具变距切换结构2方面进行解决。

2.1.1 对中夹紧结构

机器人抓取零件实现高精度装配的1个很重要的前提是机器人抓取零件的原点位置精度高,而现有的零件为人工上线方式,同时不同车型零件造型尺寸不一致,因此零件通过输送线到达机器人抓取的等待点时,不同车型派生以及每台车零件到达机器人抓取的原点位置都会不相同,为实现零件原点位置高精度定位,本系统设计了零件对中夹紧机械机构。主要通过设置零件对中台或者在输送线零件停止位增加对中夹紧机构方式实现每1个零件的相对位置一致。该方式可在风挡玻璃、轮胎零件上体现,以风挡玻璃为例,如图1所示,设置风挡玻璃夹紧对中台,对中台设置5个滑柱,底部2个滑柱保持不动,1号、2号、3号滑柱通过气缸对中夹紧与释放,可实现多车型不同尺寸的风挡玻璃对中定位。

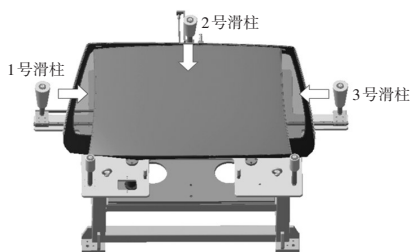


图1 风挡玻璃对中夹紧台

2.1.2 夹具变距切换结构

实现多车型柔性化装配首先需要产品方面的一致性尽可能高,我们可以输出一些工艺约束给设计,确保设备夹具可以兼容多车型的产品。但是由于市场以及设计的需要,类似一些产品造型尺寸方面无法实现工艺约束设计,因此我们需要在夹具上设计变距可切换结构来实现多车型抓取

兼容。以轮胎为例,不同平台车型轮胎拧紧螺栓分度圆不一致,A平台车型轮胎分度圆为108 mm,B平台车型轮胎分度圆为120 mm,有些平台差异还比较大,不同平台车型还有5轴拧紧与4轴拧紧的区分。为实现切换平台车型无需切换抓手,因此在抓手设计上增加拧紧轴对应的伸缩气缸,可实现拧紧轴的自动变距功能,如图2所示。

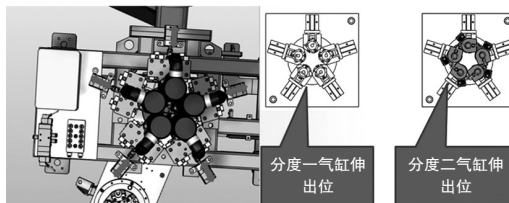


图2 轮胎自动变距抓手

2.2 车型派生识别防错技术

对于1套智能设备,不但要考虑多车型共线的设备机械结构兼容,还要考虑如何实现车型派生的防错。对于总装车间而言,随着车型容纳数越来越多,1条生产线需要兼容3~4款车型,而每款车型根据顾客的需求设计多种派生,比如同一款车型至少有3个尺寸规格的轮胎,而4款车型共线生产则会有12种规格的轮胎,由于派生太多,以往通过人工装配也会有错装的风险。有些派生的零件由于识别错误甚至导致装配的产品以及设备本身出现损坏,因此采用自动化的设备装配更是要实现车型派生的识别防错功能。本系统车身派生识别防错主要通过气路手段、电气手段、视觉识别手段以及智能监控系统手段。

2.2.1 气路手段

气路手段主要针对可以通过气杆定位夹紧且不同车型派生尺寸不一致的零件,比如风挡玻璃、轮胎,通过在气缸上增加位移传感器,对零件尺寸进行测量,并通过与开始设定的位移量进行对比防错。如图3所示为直线式位移传感器,通过输出直流电压信号,将位移、尺寸等物理量转换为容易计量的电信号。

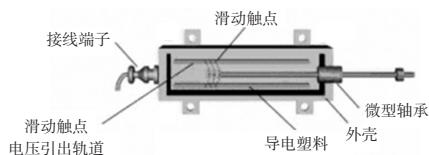


图3 位移传感器

2.2.2 电气手段

电气手段主要针对有特征的车型或者零件,通过特定的传感器对车型或者派生零件的差异点进行检测,传感器将信号输送给PLC,PLC程序对信号进行辨别,一旦出错则进行报警。如图4所示,当PLC收到上位系统发来的车型信息时,自动启用该车型识别传感器进行识别,传感器检测到有信号则进行下一步动作,否则停线并报警等待人工确认。

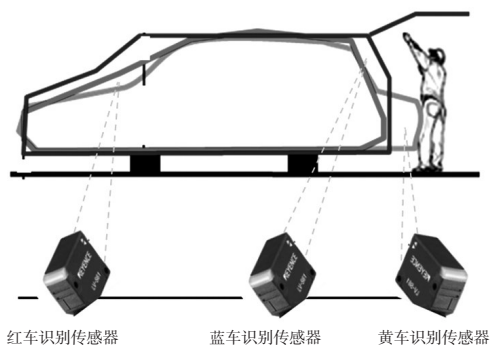


图4 传感器检测车型示意

2.2.3 视觉识别手段

视觉识别主要是针对不能通过气路手段以及电气手段满足的零件,比如通过输送线输送而来的座椅、有不同花纹的轮胎。这些零件在机器人取件前相对位置比较固定,可以通过相机对目标零件的孔、边缘等进行拍照,获取图像后与数据库里面的派生图像进行比对得出派生后再与上位系统提供的车型派生进行比对,如图5所示,当两者信息对比一致时则进行下一步动作,否则停线并报警等待人工确认。

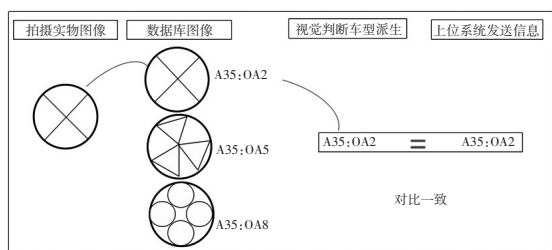


图5 视觉识别对比

2.2.4 智能监控系统手段

为了实现车身信息对智能设备的准确传达及监控,导入智能监控系统,线体关键工位采用超高频RFID的方式,RFID的芯片放置在车身顶部,芯片上的信息包含了车辆基本的车身号(VIN码)以

及车辆配置信息(MTOC)。从线体第一工位AF-ON开始放置一直流动至车辆下线AF-OFF处,中间无RFID形式变化,无芯片变化。当车辆逐辆经过每一条线的线首时,线首的RFID硬件读取芯片上的信息并形成当前线体的车辆队列,保存在监控系统PLC,保证队列稳定性和实时性。通过以上流程,监控系统PLC存储车间在线流动车辆队列,并经监控层网上传至监控层,实现总装车间在线车身流动自动化监控。

通过形成的线体车辆队列,系统根据工位信息将其发送给智能设备,智能设备根据VIN码及MTOC进行校验、程序识别,最终实现车型、派生防错,特别是为了加强校验效果,在智能设备处,如风挡机器人、轮胎机器人、座椅机器人工作站布置了RFID读写头,用于专用设备的车型派生识别,并将识别获得的车型信息与MES队列进行校验,如判断不一致则将发送信号给设备停止生产。

2.3 视觉检测引导技术

由于零件要求的装配精度非常高,比如风挡玻璃装配精度高达 $\pm 1\text{ mm}$ 。受限于设备的精度差异远远不能满足装配的高精度,因此,除了通过设置快速进入、快速移出的车位设置,在连续流动的生产线节拍中,抢出部分时间,让在快进、快出车位中间的少数车位静止,从而实现少数车位固定式装配方式,形成静止作业区^[1],以便于装配车体的定位之外对车身吊具滑板进行定点定位,更重要的是导入视觉系统对定位情况进行实际测量,得出偏差值进行修正,提高定位精度。视觉引导系统就像给机器人装上了一对“眼睛”,在机器人精度高、重复性好的特点上,增加了整体系统的柔性,恰好可以解决总装自动化应用需求的问题^[2]。摄像头根据节拍或者精度要求可以选择固定在地面或者固定在机器人抓手上,如图6所示。

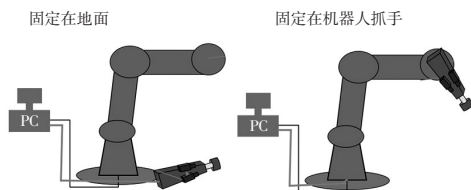


图6 摄像头装配位置示意

视觉引导系统根据测得的零件相对于零位状

态下位置及姿态的偏差来修正机器人运动轨迹,因此在初始调试机器人取件轨迹时,需要对零件进行零位测量建模,以记录零件在零位状态下的位置及姿态。零位测量与正常测量一样,通过视觉传感器对零件进行拍照,即可测得的零件的位置及姿态。但是零位测量时机器人不抓取零件,只进行测量。如图7所示,正常生产过程中,视觉传感器对零件进行拍照,得到实际的零件位置和姿态,并与零位位姿进行对比,通过一系列计算后得到机器人 offset 值,并基于此偏置信息调整机器人运动轨迹。

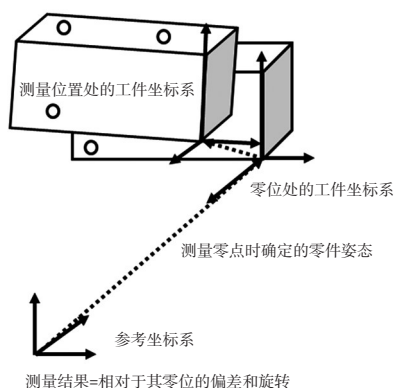


图7 视觉系统引导原理

视觉系统通常要获取目标物的3D坐标,常规技术有的双目视觉技术以及激光点云成像技术2种方式。双目视觉技术是基于视差原理,如图8所示,2个相机在同一时刻同时观看空间物体的同一特征P点,左右2个相机获取了P点的平面图像,而不能获取空间坐标,通过与开始标定的坐标进行值对比,得到视差图像之后便可以确定深度图像,并恢复场景3D信息。

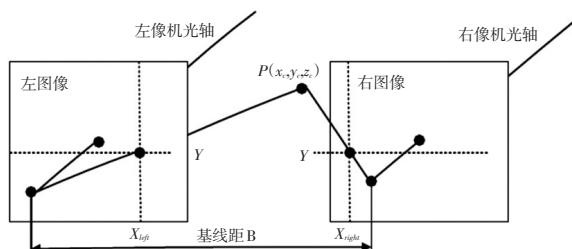
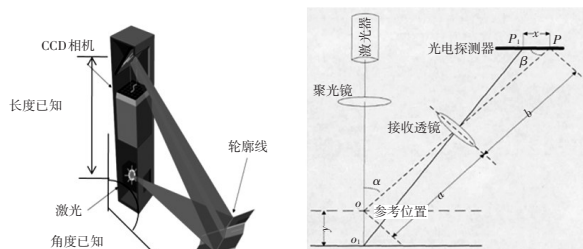


图8 双目视觉引导原理

激光点云成像技术就是镜头将可见激光射向物体表面,经物体反射的激光通过接受器镜头,被内部的CCD线性相机接受,根据不同的距离,CCD线性相机可以在不同的角度下“看见”这个光点。

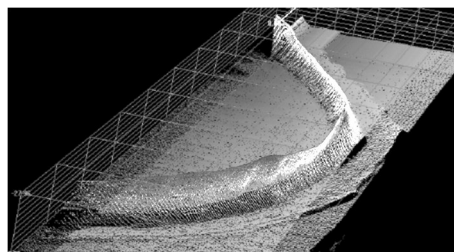
根据这个角度已知的激光和相机之间的距离,数字信号处理器就能计算出传感器和被测物之间的距离。通过不断发射激光并回收信号便可生成无数的点云,利用这些点云进行深度成像,并恢复3D场景,如图9所示。



(a) 激光三角成像原理



(b) 风挡玻璃胶型检测区域



(c) 风挡玻璃胶型激光检测成像

图9 激光视觉引导原理

2.4 PPA 预案

在实施智能化、自动化设备方案后,不可避免的会出现设备故障,而一旦出现设备故障将会造成生产线的暂停,严重影响生产的效率。因此在设计自动化设备时也应该考虑设备出现异常时候需要应对的方案,尽可能的避免对生产造成的影响。故障智能应对主要有2点对应思路:

a.通过设计相关的硬件以及程序,在工作站内相关的设备可以互为备用,从而保证在某一台设备故障时,另外一台设备可以调用备用程序继续完成故障设备的作业内容。

b.设计相关的硬件或者程序,保证在设备故障时候可以将装配的零件快速输出人工补充装配,

从而降低生产停线的时间。

3 零件柔性自动化装配在总装的应用

随着汽车市场竞争日益激烈,各汽车品牌不断向市场投放新车型,一方面生产线对于车型的容纳数有限,另一方面为了降低生产成本,柔性自动化装配成为了迫切需要解决的问题,当前国内外已经出现了部分零件自动装配案例,但是应用不够深入,推广不够全面。

3.1 零件自动化装配在汽车总装的应用发展历程

中国汽车工业起步较晚,自动化在总装的应用在上世纪80年代才兴起,但是也仅限于对风挡玻璃的自动涂胶,在零件自动装配工艺上还没有案例,如图10,直到2012年,长安福特才与ATN合

作完成了国内首套风挡玻璃自动装配工作站。自主品牌广汽传祺在2016年也实现了上件、涂胶、装配全自动的风挡玻璃装配站,随后的几年时间里,广汽传祺快速完成了座椅自动投放、轮胎自动装配、车门自动随行涂胶、前端模块自动装配等自动装配。

3.2 零件柔性自动化装配在广汽传祺的应用案例

广汽传祺近年来大范围的推广应用了风挡玻璃自动装配、座椅自动投放以及轮胎自动装配工作站。以最新应用工厂广汽宜昌为例,对于工作站的生产节拍要求为48 s,设备开动率 $\geq 99.8\%$ 。而工作站对于车间要求地面载荷为 $\geq 3 \text{ t/m}^2$,电压为 $3 \times 380 \text{ V} \pm 10\%$ 三相四线制,机器人功率为30 kW/单台,压缩空气压力为0.4 ~ 0.7 MPa。

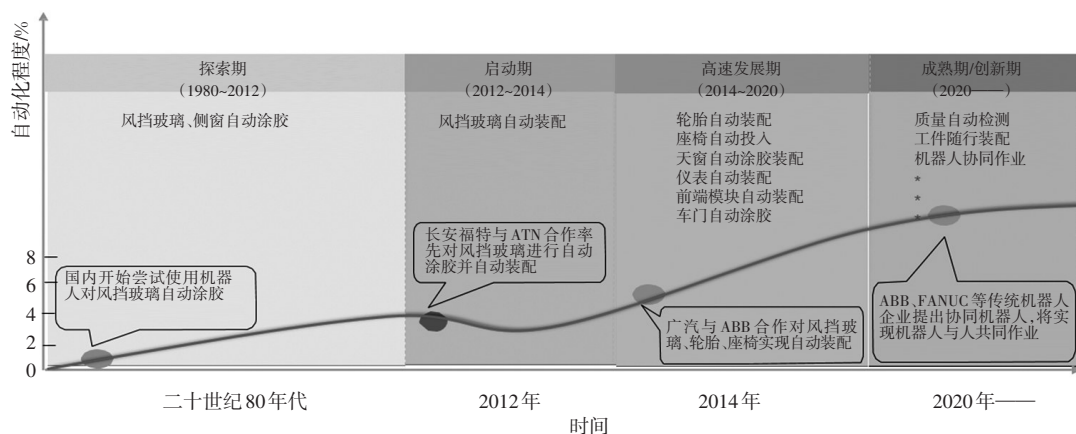


图10 中国工业机器人在汽车厂总装的应用发展历程

3.2.1 风挡玻璃自动装配工作站

广汽风挡玻璃自动装配流程主要包含上件底涂、输送、对中夹紧、涂胶、视觉检测、自动装配6个方面,如图11,机器人夹持玻璃涂胶、胶枪固定安装,涂胶完成后机器人自动安装玻璃。依靠集成在夹具上的激光扫描仪自动检测安装位置,安装精度可达 $\pm 1 \text{ mm}^{[3]}$ 。

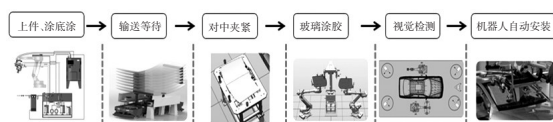


图11 风挡玻璃装配工艺流程

整个工作站核心配置4大系统,机器人系统,包含4套机器人、机器人底座和夹具;输送系统,包含2套皮带线、对中台和翻转机;视觉系统,包含2套车身双目视觉、车身激光扫描仪和胶型激光扫

描仪;涂胶系统,包含2套涂胶泵、定量机和胶枪。整个布局如图12所示,滑板输送线中间布置,南侧为2台前后挡视觉机器人,负责对车身进行视觉扫描。北侧为2台前后挡涂胶机器人,负责对玻璃进行抓取涂胶以及装配。2台涂胶机器人中间为集成双涂胶塔,涂胶枪固定在涂胶塔上。前后挡输送线对称布置在涂胶机器人两侧,主要是输送定位玻璃作用。

为实现风挡玻璃柔性自动化装配,机械结构上,首先设置了风挡玻璃对中台,实现了1个对中台可兼容所有车型风挡玻璃尺寸以及纠正由于上件导致的玻璃定位误差。其次为了兼容不同车型的风挡玻璃尺寸,在机器人抓手上设计兼容。如图13所示,后挡玻璃机器人抓手设置了6个红色可移动顶杆,这些顶杆通过气杆驱动位移,当生产

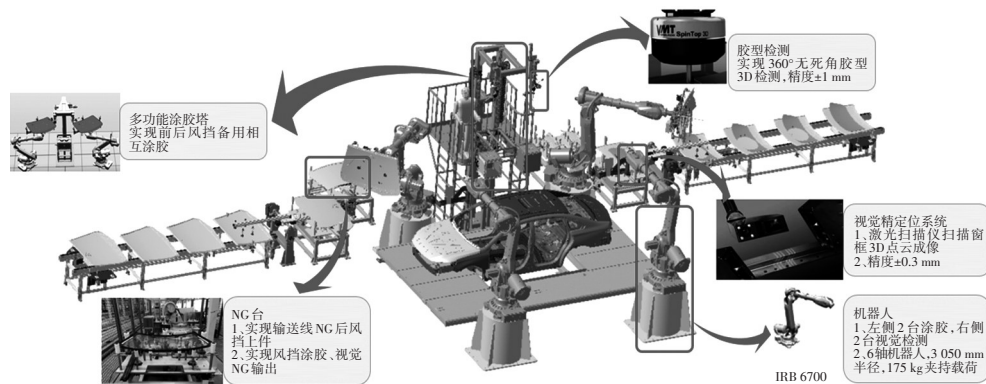


图12 风挡玻璃装配工作站布局

SUV车型时,气缸缩回状态,实现小玻璃的定位压紧,当生产轿车和MPV车型时,气缸打开,实现大玻璃的定位压紧。

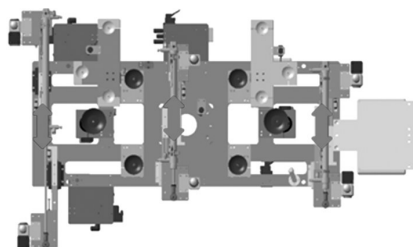


图13 风挡玻璃机器人可变距抓手

在视觉引导装配方面,主要包含车身与精定位2部分,由1套工控机、1套视觉引导软件、2套3D激光头和2套2D相机组成。如图14所示,风挡窗框的三维方位精定位激光仪采用1个固定于机器人手臂的激光仪对风挡窗框的边缘轮廓进行扫描测量(4个测量点),从而精确定位窗框的三维方位,并把相对于机器人示教位置的矫正量送到相应的机器人,机器人就能对风挡玻璃进行准确装配了。系统的测量成功率达到99.9%以上。系统的测量定位精度达 ± 0.2 mm,测量计算时间 < 2 s。

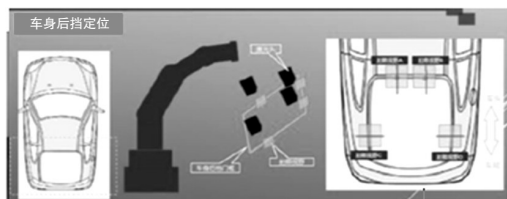
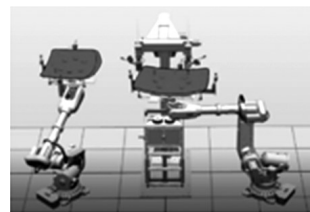


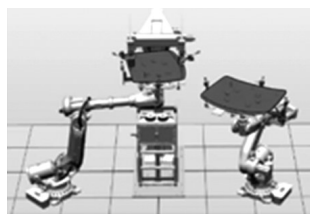
图14 风挡玻璃视觉引导测量

在PPA方案方面,保证设备在出现异常的时候依然能够正常运转不停线,减少对生产的损失。采用了多功能涂胶塔形式。如图15所示,前后挡风玻璃涂胶枪集成在1个涂胶塔上,同时涂胶

单元具备伸缩功能,与现在的前后挡风玻璃涂胶立柱分开设计,涂胶单元固定设置不同,集成一体化的涂胶塔不但可以实现2台机器人抓前后风挡玻璃同时涂胶,而且能实现任何1个涂胶单元、任何1个机器人故障时,另外1套设备都能实现共用,同时涂胶单元的可移动式设计给维修保养带来便利。



(a)前风挡机器人故障备用涂胶



(b)后风挡机器人故障备用涂胶

图15 多功能涂胶塔

全自动风挡玻璃涂胶机实现多车型风挡玻璃自动上件、自动涂胶、自动装配一体化技术。设备量产后可以实现 ± 1 mm高精度装配,实现48 s的单台生产节拍,设备实际开动率为99.9%,满足生产的需要。同时削减双班8人作业,有效避免漏水品质不良,故障智能应对方案可实现设备异常快速切换,保证生产。

3.2.2 前排座椅自动投放工作站

广汽前排座椅自动投放流程主要包含座椅来件检测、机器人夹持座椅、车身视觉检测、自动投

放座椅4个方面。如图16所示,机器人在座椅输送线上夹持座椅自动投放到车内相应位置,依靠集成在夹具上的相机自动检测安装位置,投放精度可达 $\pm 2\text{ mm}$ 。

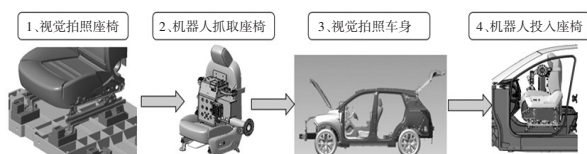


图16 前排座椅投放流程

整个工作站核心配置3大系统,机器人系统包含2套机器人和机器人底座、夹具;输送系统包含

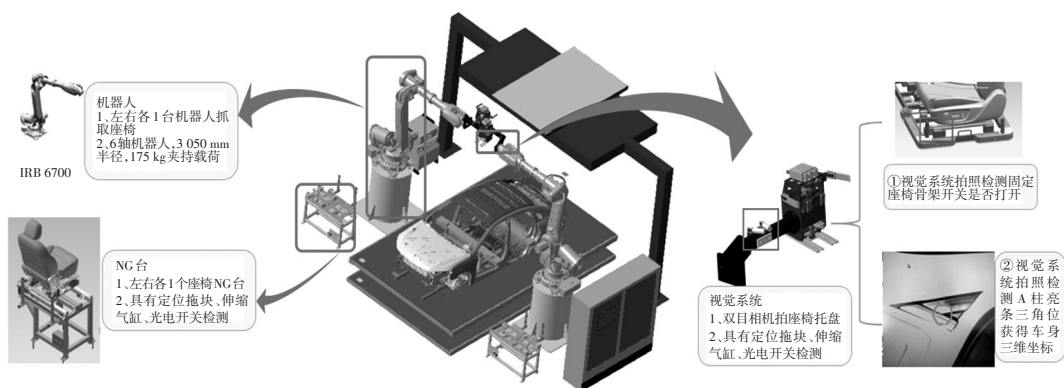


图17 前排座椅投放工作站布局

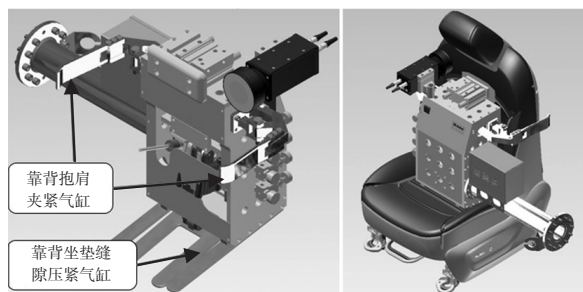


图18 前排座椅抓手

在视觉引导装配方面,主要由1套工控机、1套视觉引导软件、4套工业相机和2套条形光源组成。车身拍摄相机通过双目视觉原理定位车身的空间坐标,引导工业机器人将座椅投放到主驾与副驾相应位置。采用在机器人抓手自带的相机对车身A柱三角形亮条进行拍照,通过识别亮条与亮条内嵌三角板之间的差异来实现车身的定位,从而将车身偏移量发送给机器人引导其调整轨迹姿态进行投放座椅。视觉识别计算时间不超过2 s,引导精度可达 $\pm 1\text{ mm}$ 。

在PPA方案方面,为减少异常对生产的损失,设置了异常程序对应,当视觉拍摄故障时,机器人

2套动力NG台;视觉系统包含2套双目相机视觉。整个布局如图17所示,滑板输送线中间布置,单侧布置1台座椅机器人以及NG备用台,左右座椅设备对称布置,座椅输送线设计在离地高度3 m的车身输送线正上方。座椅通过托盘固定限位并通过输送线运行到机器人正上方。

为实现前排座椅柔性自动化投放,在机械结构上,座椅抓手选取了2个座椅结构变化较小的位置进行夹取,如图18,抓手通过底部插爪气缸压紧座椅坐垫与靠背,再通过夹具两侧夹紧气缸实现座椅靠背的抱肩夹紧,气缸选型上实现多款车型兼容。

可将座椅放置在NG台,或者将座椅放置在输送线滑板车体两侧上,通过滑板流至下个工位进行人工安装作业。

全自动座椅自动投放技术可以实现高精度装配,有效避免外伤品质异常;设备量产后实现41 s的单台生产节拍,设备实际开动率可达99.8%,满足生产需求;削减双班4人作业;PPA方案可实现设备异常快速切换保证生产,在行业内属于先进水平。

3.2.3 轮胎自动装配工作站

广汽轮胎自动装配是在1个工位上实现4个主胎自动装配以及1个备胎自动投放功能,如图19所示,轮胎智能装配流程主要包含轮胎定位视觉识别、机器人抓螺栓、机器人抓轮胎、视觉识别制动盘、轮胎装配拧紧5个方面。机器人在轮胎输送线上夹持轮胎自动装配到制动盘位置。依靠集成在夹具上的双目相机自动检测制动盘安装位置,装配精度可达 $\pm 1\text{ mm}$ 。

整个工作站核心配置5大系统,机器人系统,包含5套机器人、机器人底座和夹具;输送系统,包含2

套滚筒输送线;视觉系统,包含4套双目视觉和5套平面单相机;螺栓供料系统,包含4震动盘和分度盘;拧紧系统,包含20根ATLAS拧紧轴(含控制器)。整个布局如图20所示,1个工位内,车身输送线中间布置,右侧2台主胎机器人及轮胎输送线负责对右侧轮胎进行视觉识别装配。左侧为3台主胎/备胎机器人,负责对主胎以及备胎进行视觉识别装配。每台机器人配备1台螺栓振动盘,负责为其输送螺栓。同时每个主胎输送线定点上方配置1个相机对轮胎5个螺栓孔角度进行识别。

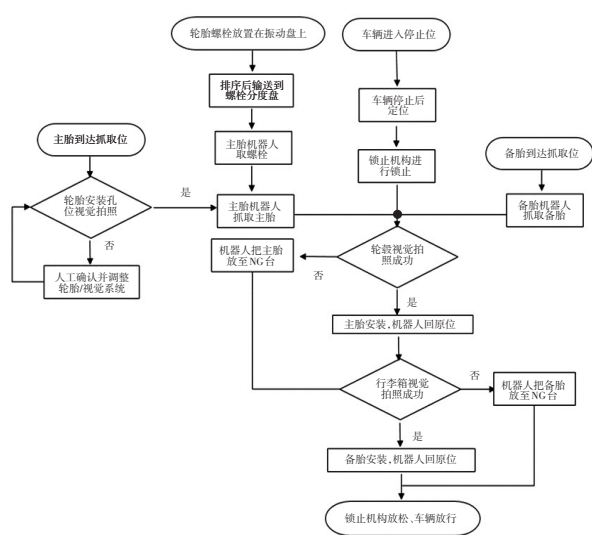


图19 轮胎装配流程

为实现轮胎柔性自动化装配,机械结构上,首

先设置了轮胎来件对中夹紧机构,实现了1个对中夹紧机构可兼容所有车型轮胎尺寸以及实现由于上件导致的轮胎定位误差。其次为了兼容不同车型的轮胎螺栓分度圆,设置了可变距拧紧轴结构。如图21所示,每根拧紧轴单独设置了1个小气缸模块,当生产C级车型时,气缸缩回,拧紧轴实现分度圆120 mm调整,当生产A/B级车型时,气缸打开,拧紧轴实现分度圆108 mm调整。

在视觉引导装配方面,主要由1套工控机、1套视觉引导软件、8套工业相机和8套条形光源组成视觉系统,主要包含制动盘识别、轮胎识别2方面。

a.制动盘识别,每个机器人抓手自带双目相机,通过机器人抓手上的双目相机对车身制动盘近距离拍摄取得 x 方向、 y 方向、 z 方向坐标信息后与理论标准模型坐标进行对比,机器人根据修正轨迹进行装配拧紧。该系统可以识别车身停止位置以及制动盘偏转位置,但是制动盘偏转超过 8° ,机器人将停止动作,因为该角度会导致机器人抓手与车身干涉。

b.轮胎识别,每个轮胎输送线轮胎定点上方1套相机,对夹紧后的轮胎进行拍摄取得5个螺栓孔的角度坐标,如图22所示,并通过与理论标准模型进行对比后引导机器人抓手5个拧紧轴调整角度对位抓取轮胎。

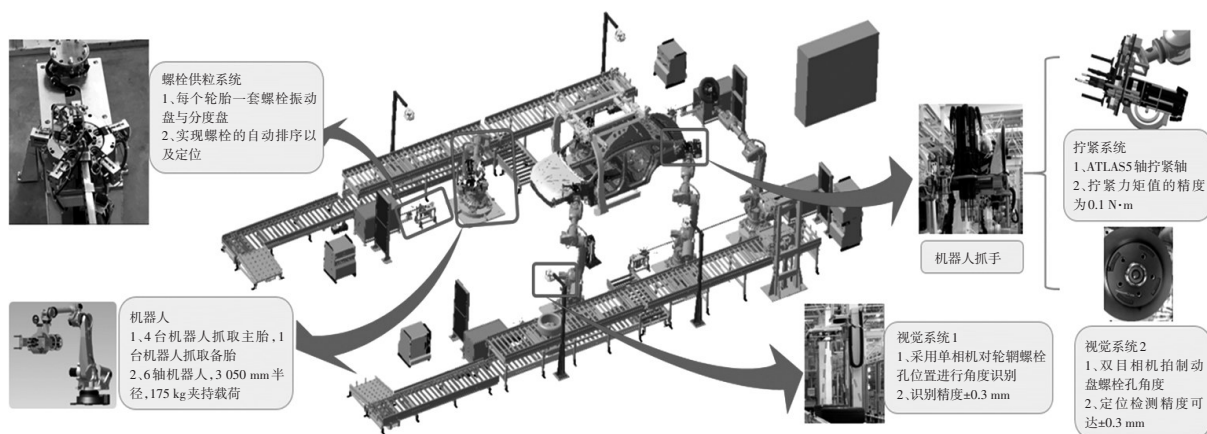


图20 轮胎装配工作站布局

在PPA方案方面,考虑到轮胎装配异常主要可能的原因有视觉拍摄异常以及拧紧NG 2方面,因此在出现异常的时候需要能够快速的将轮胎输出并人工补装。本PPA 预案采用双层轮胎输送线结构,上层为轮胎正常流入层给机器人抓取装配,而在下

层设计为设备故障时机器人将轮胎放置在NG 辊筒上,通过电机带动辊筒流出到下一个工位进行人工补装作业,整个过程基本不影响生产线的运行。

全自动轮胎装配站是实现同一个工位主胎与备胎同时装配技术,实现48 s的生产节拍,是国内最

