

Research on Building Technology of Digital Flexible Riveting Assembly Line for Launch Vehicle Shell Products

Tiantian Tan¹, Liqiang Sun¹, Xiaoliang Zhang¹, Diange Huang¹, Lihui An²

¹Capital Aerospace Machinery Corporation Limited, Beijing

²China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing

Email: jdxyttd@126.com

Received: Jul. 14th, 2018; accepted: Aug. 6th, 2018; published: Aug. 13th, 2018

Abstract

According to the assembly process of Launch Vehicle Shell Products, building technology of Digital Flexible Riveting Assembly Line was studied. By building the operation and management framework, optimizing process and layout, combining information method, digital process design, manufacturing and inspection process technology, the Digital Flexible Riveting Assembly Line For Launch Vehicle Shell Products are built. At last, a case was studied to show the feasibility of the configuration.

Keywords

Launch Vehicle Shell Products, Riveting Assembly, Flexible Riveting Assembly Line, Operation and Management Framework, Operation and Management Process

运载火箭筒体壳段数字化柔性铆接装配生产线构建技术研究

檀甜甜¹, 孙立强¹, 张小亮¹, 黄殿阁¹, 安立辉²

¹首都航天机械有限公司, 北京

²中国运载火箭技术研究院, 北京

Email: jdxyttd@126.com

收稿日期: 2018年7月14日; 录用日期: 2018年8月6日; 发布日期: 2018年8月13日

摘要

本文针对运载火箭筒体壳段的装配过程,进行了数字化柔性装配生产线构建技术研究。通过构建生产线的运行管理框架,优化工艺流程和工艺布局,结合信息化手段及数字化工艺设计、制造、检测方法及设备,构建了运载火箭筒体壳段装配生产线。并通过实例验证,验证了方案的可行性。

关键词

运载火箭筒体壳段, 铆接装配, 柔性装配生产线, 运行管理框架, 运行管理框流程

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

运载火箭筒体壳段均为半硬壳筒段结构形式,主要由桁梁类零件、中间框、上下端框、蒙皮等零件组成。其构型复杂,可靠性要求高,生产过程中涉及到的工艺、人员、物料、工装、设备多样,且任务需求多变,一般采用混流排程、多品种小批量作业的生产模式。

“十三五”期间高密度发射任务的形势下,传统的生产模式已经不能适用运载火箭筒体壳段的制造需求,急需进一步革新运载火箭制造技术,转变制造模式,以提高生产效率,保证产品制造精度。但从理论上说,传统的大规模生产过细分工的装配线是不适合构型多、批量小,生产批量变化大的运载火箭筒体壳段产品的生产的[1][2],解决这一矛盾的主要方法是:采用精益制造原则和方法进行柔性装配生产线的构建[3]。

柔性装配技术是一种能适应快速研制和生产及低成本制造要求、设备和工装模块化可重组的先进装配技术。其具体表现为,以数字化柔性工装为装配定位与夹紧平台,以先进数控钻铆系统为自动连接设备,以激光跟踪仪等数字化测量装置为在线检测工具,在数字化装配数据及数控程序的协同驱动下,在集成的数字化柔性装配生产线上完成产品的自动化装配[4]。柔性装配生产线起源于飞机制造行业,其应用使飞机制造模式发生了革命性变化,大幅度的提高了航空制造业的装配效率和质量,如美国的 F35 的制造过程,通过柔性生产线融合了 CTOL、STOVL、CV 等多种机型的装配,大大提高了装配效率,并为整个项目节省了巨大的资金投入。

本文针对运载火箭筒体壳段产品装配过程,进行了数字化柔性铆接装配生产线的构建研究。通过构建生产线的运行管理框架,设计生产线的运行管理流程,优化工艺流程和工艺布局,结合信息化手段及数字化工艺设计、制造、检测方法及设备,构建了运载火箭筒体壳段铆接装配生产线。

2. 生产线的管理系统框架构建

构建数字化柔性铆接装配生产线,必须结合信息技术、物联网技术,采用先进的管理理念,对分散的、独立的管理信息平台及制造现场的加工及检测资源进行合理规划和重组[5]。本文建立的运载火箭筒体壳段数字化柔性铆接装配生产线的管理系统框架以生产现场的生产制造、物流转运、出入库活动为核心,以精益生产思想为指导,以集成化的数字化信息平台为载体,整合工艺设计与管理、生产计划与调

度、质量检测与控制、工装物料信息管理等多种平台，形成集生产任务接收与分解、协同工艺设计、动态排产、质量控制为一体的协同工作环境。

该框架结构由单元层、交互层、功能层和集成层构成。其中，单元层是制造活动的执行机构，通过交互层接收制造任务并反馈设备与产品实时状态；交互层承担上下层之间的信息交互；功能层向生产线参与人员提供生产线管理的各种功能，并下达具体指令；集成层是数字化生产线的纽带，通过集成各种管理系统进行数据处理并向功能层提供数据界面。具体结构如图 1 所示。

2.1. 单元层

单元层作为执行制造活动的主体结构，包含了一系列面向制造系统底层的制造资源，如机床、刀具、量具和材料等。本文中，将单元层划分为包含数字化仓储物流单元、零组件加工单元、组件装配单元、壳段自动化钻铆装配单元、数字化测量检测单元等按工艺相似性整合的虚拟逻辑实体。通过底层制造资源单元化的组织模式，整合人工资源和制造资源，并通过制造执行系统进行统一调配和管理。

2.2. 交互层

交互层基于部署在车间各个制造单元的电子屏、PC 机、数字化测量检测工具等信息化终端，将车间制造执行系统的功能延伸至车间生产现场。一方面，检验人员、操作工人能够通过信息交互终端及时接收和查看调度管理和工艺管理人员下发的加工任务单、工艺技术文档等信息；另一方面，通过信息交互

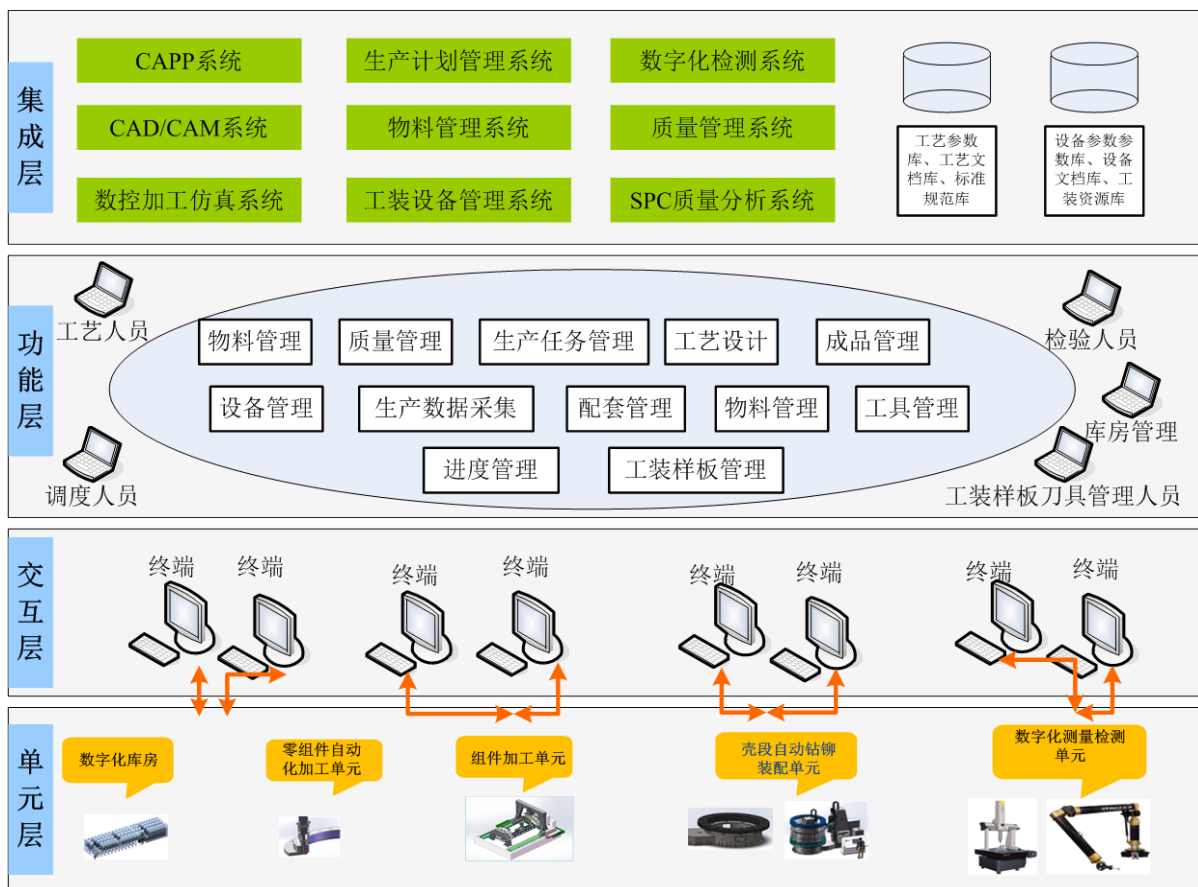


Figure 1. Operation and management framework of digital flexible riveting assembly line

图 1. 数字化柔性铆接装配生产线管理系统架构

终端,制造活动执行者还能够及时采集生产现场每个工位的生产进度、产品质量、设备状态等信息,并及时向上层计划管理部门反馈,检验人员能够实时关注产品加工状态,并通过数字化测量、检查设备接口将产品性能数据上传集成平台,进行质量控制与管理。

2.3. 功能层

功能层涵盖了数字化柔性装配生产线各系统涉及到所有功能。工艺人员、调人员度、库房管理、检验、工装样板管理等分管人员通过相应权限登陆生产线集成平台,进行工艺设计、生产进度管理、物料管理、工装样板管理等活动。通过交互层反馈的现场信息和质量数据,能够及时有效的对生产过程和产品质量进行控制。

2.4. 集成层

集成层是管理壳段产品柔性生产线制造活动和数据资源集成平台,包含系统集成和数据库系统集成两大部分。为了实现工艺、制造、质量各个流程的协同作业,集成层应包含工艺设计系统、CAD/CAM系统、数控仿真系统等为制造前的工艺准备提供支持;生产计划系统、制造执行系统、工装设备管理系统等进行制造活动的管理;数字化测量检测系统、质量管理体系等实现工序级和产品级的质量检验、不合格品审理功能。制造资源数据库为系统平台提供数据支持,包含工艺参数库、设备参数库、工艺文档库、设备文档库、标准规范库等,通过数据接口和其他系统集成,实现知识的共享、重用。

3. 生产线的运行流程设计

长期以来,运载火箭筒体壳段一直采用基于二维图纸和设计文件的研制模式,随着信息技术的发展和航天制造模式的转变,越来越多的新型号引入了基于三维数字化模型的设计、制造方法。数字化柔性铆接装配生产线的运行流程包括从设计任务跟随零组件、标准件等物料进入车间直至筒体壳段成品交付的过程。数字化柔性铆接装配生产线的运行流程如图2所示。

设计任务以二维图纸、文件或三维数字化模型的形式,通过接口技术下发到生产部门。工艺设计阶段,工艺人员根据设计任务,结合车间制造资源(设备、工装、工具等),利用CAD/CAM/CAPP等数字化工艺设计方法,进行工艺参数设定、工艺流程规划、实现铆接装配工艺过程仿真和数控程序的编制,

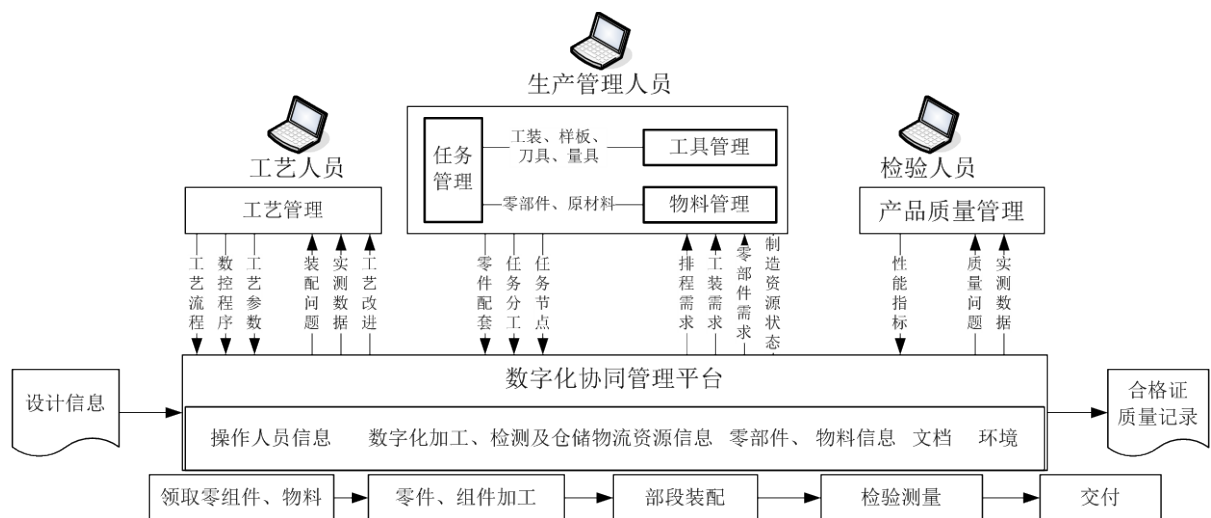


Figure 2. Operation and management process of digital flexible riveting assembly line

图2. 数字化柔性铆接装配生产线运行管理流程

并通过统一的协同管理平台下发。在制造执行阶段，生产管理人员根据工艺文件和生产任务节点，进行制造任务和制造资源的动态排程和调度，实现对定制任务的快速反应和冲突消解；操作工人在工艺文件的指导下，执行领料、零组件加工、部段装配、测量检验直至交付的生产过程，并实时反馈设备运行状态和产品装配问题；检验人员对产品装配过程全程监控，依据设计指标、技术标准和工艺文件在线检测或测量产品性能指标，并对合格产品开具合格证明，随产品交付。

4. 生产线的工艺布局优化

建设数字化柔性铆接装配生产线，必须实现以筒体壳段的自动钻铆工艺为核心的总体工艺流程再设计。而自动钻铆装配不同于传统的手工装配，自动钻铆人工干预环节少，数控装备参与的程度高[6]，因此，改变筒体壳段产品装配的传统工艺方法和流程，优化布局模式，以适应壳段自动钻铆和生产线柔性批产的需要。通过分析柔性生产线装配过程，在确定所属各零组件的装配顺序后调整工序安排，进行装配方法、路径的调整和装配工艺布局的优化，形成了柔性生产线装配的典型工艺流程，如图3。

典型的运载火箭筒体壳段数字化柔性铆接装配生产线应包含物料出库、零组件装配、壳段预装配、壳段自动钻铆，支架测量与装配、产品性能指标测量直至移交的整个过程。其各个单元的配置情况如下：

1) 数字化库房 - 零部件、标准件出库

柔性生产线的库房对运载火箭筒体壳段产品所涉及的所有桁条、蒙皮、支架、框等零组件，铆钉、螺钉、螺母等标准件进行入库、存储和出库操作。通过构建标准件数控回转库，加强标准件出入库数字化管理，实现标准件库存数据监控、自动采集及录入；组建数字化框、桁条、支架等零组件立体库，优化库存布局；结合条码技术、RFID技术和自动化物流转运设备优化出入库流程；通过数字化协同管理平台的出入库管理功能实现零组件、标准件的管理。

2) 零组件装配单元 - 零组件装配

零组件装配工位对支架类、桁梁类、框类零组件进行制孔和预组合。为适应柔性生产线的流转及自动化钻孔铆接装配的需求，配置高精度的数控制孔设备，并对零组件的加工工艺方法进行优化：支架类零组件采用高精度数控钻孔机制出装配孔，保证协调装配精度；桁、梁类零组件只在数控钻孔机上钻制少量装配协调孔，大面积导孔钻制移至壳段装配阶段；框类零组件保留半框组合工序，其余特征加工移至壳段装配阶段。

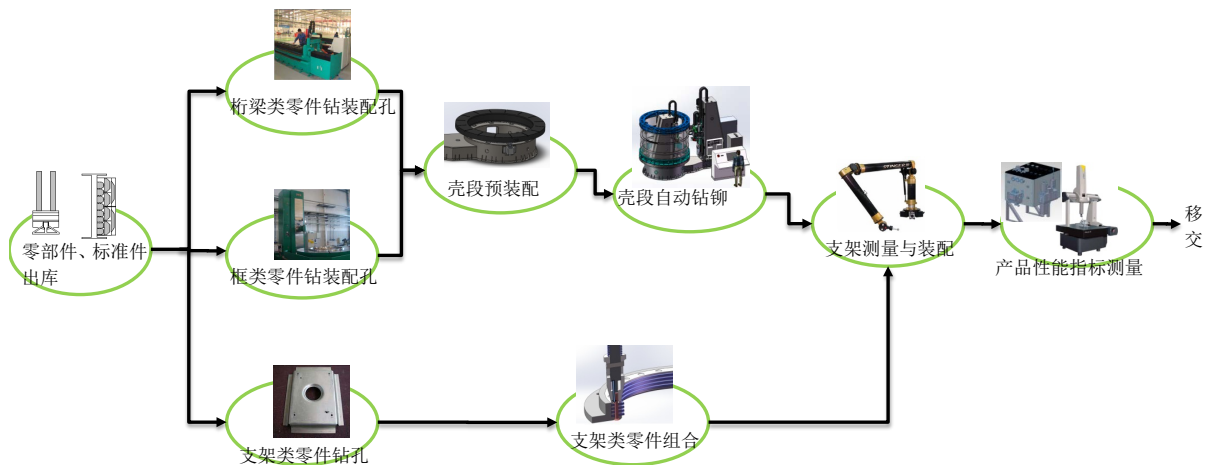


Figure 3. Process of digital flexible riveting assembly line

图3. 柔性生产线装配工艺流程

3) 壳段预装配单元 - 壳段预装配

壳段预装配工位进行运载火箭筒体壳段大面积铆接前的预装配。优化后的流程为：首先借助预装配柔性定位工装，通过桁条、框等零件预制的装配孔进行协调定位，初步铆接后形成骨架，再铺设蒙皮并进行蒙皮的定位铆接，形成刚性较强的筒体结构。

4) 自动制孔铆接工位 - 壳段自动钻铆

自动制孔铆接工位为生产线的主体工位，配置自动制孔、铆接设备实现运载火箭筒体壳段的自动制孔、铆接，并利用在线测量检测功能实现产品和设备状态的实时反馈。

5) 支架测量与装配工位 - 支架类零件的在线测量与装配

传统的支架测量和装配主要通过手工划线方式找正，改善后的工艺为，通过配置零件自动定位系统，实现支架类零组件自动定位装配，提高了装配效率降低了出错率。

6) 性能指标测量工位 - 产品性能指标的线下测量

数字化力矩扳手等装置实现螺钉、螺栓力矩施加及数据采集；自动化测量检测平台完成产品性能数据，如支架类零件装配位置、壳段产品形位公差等数据的采集；结合与测量检测硬件配套的软件系统，实现数据的自动采集、上传和保存。并通过质量分析系统进行产品性能指标的包络分析。

7) 移交

利用信息系统的相应功能实现移交过程在线可控。

此外，生产线各制造单元内设备布局 U 型为主、直线为辅的布局模式以实现产品从毛坯到成品在单元内的物流，使现场生产物流快捷、通畅，生产物流的过程应跟随生产工艺流程，物料在加工过程中移动距离尽可能最短，尽量避免物料的无效流动。

5. 应用效果

结合以上研究成果，以某总装厂典型的筒体壳段 - 助推器产品的生产过程为例，构建了柔性装配生产线。该生产线涵盖了 3 个型号，9 种产品，共 12 种构型的助推器筒体壳段。改变生产模式后，年产能提高 70%，铆接质量 100%符合 QJ782 铆接通用技术条件要求，壳体装配后各项形位公差全部优于设计指标要求。通过建设，全面提高物料及信息管理自动化水平、运载火箭壳段生产效率和产品质量，满足批产按需交付与研制快速响应需求。此外，新的工艺布局有效减少了厂房占用面积，改善了装配环境，可持续发展性良好。

6. 结论

本文结合数字化制造技术、信息技术，提出了转变运载火箭筒体壳段制造模式的方法。针对运载火箭筒体壳段的装配过程，进行了数字化柔性装配生产线构建技术研究，通过构建生产线的运行管理框架，设计生产线的运行流程，优化工艺流程和工艺布局，结合信息化手段及数字化工艺设计、制造、检测方法及设备，构建了运载火箭筒体壳段装配生产线。通过在某总装厂运载火箭助推器产品生产中的应用，验证了方案的可行性。

参考文献

- [1] 陈绍文, 王巧, 孙巧棚. 精益制造和飞机移动式装配线[J]. 航空制造技术, 2011(16): 34-37.
- [2] 刘炜, 刘峰, 倪阳咏, 白雪, 李霏. 航天复杂产品智能化装配技术应用研究[J]. 宇航总体技术, 2018(1): 33-37.
- [3] 黄鸣, 薛善良, 马继红, 李建平, 杨年宝. 航天产品精益装配平台集成技术研究[J]. 中国制造业信息化, 2012(17): 13-17.

- [4] 郭洪杰. 飞机数字化柔性装配生产线关键技术[J]. 航天制造技术, 2011(7): 40-43.
- [5] 蒋丹鼎. 航天复杂产品数字化生产线的研究与应用[J]. 航天制造技术, 2011(6): 33-36.
- [6] 侯东旭, 李聪颖, 朱建文. 运载火箭壳段自动钻铆仿真及工艺流程优化[J]. 航天制造技术, 2016(1): 28-32.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org