

Exploration and Practice of Digital Production Line for Aerospace Products

Heyang Xu Jungui Zhao Dong Liu

China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing, 100076, China

Abstract

According to the manufacturing mode of “multi-variety and small batch” of aerospace products, this paper expounds how to build flexible digital production line of aerospace products with the help of the integration concept of “Two Industrialization”, solves the bottleneck and short link of model production capacity, and briefly introduces the construction results of typical digital production line.

Keywords

aerospace products; digital production line; construction method

航天产品数字化生产线探索实践

徐鹤洋 赵军贵 刘东

中国运载火箭技术研究院，中国·北京 100076

摘要

针对航天产品“多品种、小批量”的制造模式，论文阐述了如何借助“两化”融合理念建设航天产品柔性数字化生产线，解决型号生产能力瓶颈和短线环节，并简要介绍典型数字化生产线建设成果。

关键词

航天产品；数字化生产线；建设方法

1 引言

一方面，当前制造业正面临新一轮科技革命和产业变革，工业 4.0、“两化”融合、中国制造 2025 等一系列新的战略方针相继出台。另一方面，航天型号产品任务激增，传统的生产模式已经不能适应当前任务的需求。针对航天产品种类繁多、动态性强、研制周期紧迫、质量要求高等特点，亟须通过建设数字化生产线来提升航天产品生产能力，实现生产资源的有效利用，满足型号研制快速响应和批产如期交付需求，确保重大工程和重点型号研制生产任务顺利完成。

2 航天产品数字化生产线构建方法研究

2.1 定义内涵

数字化生产线是指以生产对象所要求的工艺和设备为基础，以信息技术、自动化、测控技术等为手段，用数据链接生产运行过程不同单元，对产品生产活动进行规划、管理、诊断和优化的生产线^[1]。航天产品数字化生产线则是在此基础上进行了丰富和拓展，指面向航天产品，通过新一代信息

技术与先进制造技术的深度融合，依据产品生产工艺流程，由人员、设备、配套物资、技术方法、环境设施、管理类文件等要素组成、实现产品功能性能的制造系统。

2.2 系统架构

生产线论证与建设要统筹考虑硬件设备、软件系统、基础网络以及管控平台，即“一硬、一软、一网”+“一平台”系统架构。其中，“一硬、一软、一网”是构成生产线的基础要素，“一平台”是优化要素。生产线系统架构如图 1 所示。

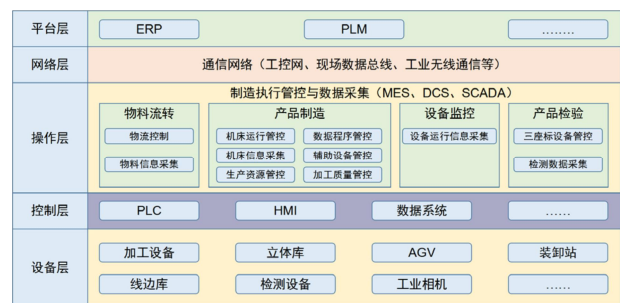


图 1 生产线系统架构

【作者简介】徐鹤洋（1987-），男，中国北京人，硕士，工程师，从事先进制造研究。

2.2.1 “一硬”——生产线运行的基础

“一硬”是指与生产线建设相关的加工、装配、检测、

试验等硬件设备(设备层)。生产线论证与建设应结合产品特点、产能需求、信息化需求,优先选用自动化、数字化设备,具备相应信息化接口。论证时需要根据生产批量、技术可行性和投资规模,综合平衡各种设备的应用。

2.2.2 “一软”——制造资源管理的基础

“一软”是指与生产线建设相关的工业软件(控制层、操作层),主要是制造执行系统(MES),也包括其他必要的工业软件,如仓储物流系统(WMS)、车辆调度系统(AGVS)、高级排程系统(APS)、数控程序管理与发送系统等,可根据生产线实际需要进行配置。

2.2.3 “一网”——设备互联互通的基础

“一网”是指基础网络,包括涉密网、工控网和传感设备等(网络层)。通过工控网实现生产线设备的互联互通,并部署具有一定感知能力、计算能力的信息传感设备。以边缘计算技术为基础,通过光纤网络、数据采集网关、工业智能网关、工业控制平台及设备接口和通信协议,对生产设备、机器人、AGV、自动化立体仓库、测量测试等数字化设备进行互联互通,实现生产线状态信息、产品质量信息的实时采集与传输。

2.2.4 “一平台”——实现软硬统一的基础

“一平台”是指综合管控系统(平台层),实现对“一硬、一软、一网”的综合管理,主要包括生产线运行状态、科研生产状态和企业运营状态的实时感知等功能。

2.3 论证及建设流程

生产线论证及建设流程如图2所示。

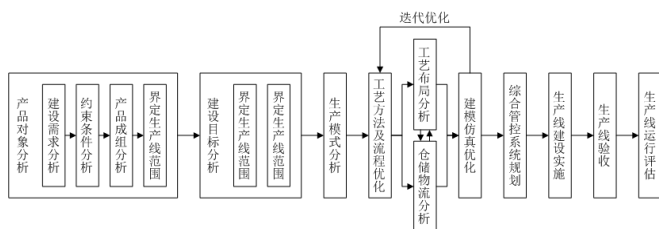


图2 数字化生产线论证及建设流程

2.3.1 产品对象分析

①建设需求分析。生产线建设之前应开展建设需求和必要性分析:企业核心产品的现有生产能力是否可以满足当前及未来任务需求;现有生产能力是否可以满足设计方案以及制造方案改进的需要;现有技术能力及生产水平是否能满足产品合格率、质量稳定性和生产一致性等要求;生产模式是否存在手工作业多、操作难度大、交接环节多的生产环节;生产流程中是否存在易燃易爆、放射性、强腐蚀性等有毒、有害的生产环节。

②约束条件分析。确定生产线建设可以使用的资源边界,主要包括经费预算、周期要求、可利用的场地和设备条件、人员编制、工艺定额、外部配套等。其中场地条件须统筹考虑现有厂房条件及新建厂房的规划,在满足工艺需求的

基础上,考虑环保、安全、消防等要求;人员编制方面须综合考虑人员数量、技能水平、资质资格等要求;工艺设备方面须充分考虑现有设备的可利用性,引进大型非标设备要重点论证必要性、经济性和技术可行性。

③产品成组分析。开展产品生产纲领、产品特点及工艺流程统筹分析,基于成组技术,在几何形状、产品尺寸、产品特征、产品精度、材料体系、工艺方法等方面,选择具备相似性的产品,形成产品族,针对产品族开展生产线的设计与规划建设。

④界定生产线范围。基于产品对象的工艺方案和工艺路线,根据产品特点及工艺要求,明确适用于生产线的工艺流程起点和终点,明确在线及离线工序,界定生产线的应用范围。

2.3.2 建设目标分析

①产能目标。统筹考虑产品生产纲领、实际生产计划以及中远期任务需求,明确生产线建设的产能目标。

②功能目标。从工艺水平先进性、自动化率、关键工序数控化率、关键要素和信息的数字化率、过程数据采集率、各工位平衡率、关键设备设施国产化率等方面,统筹考虑生产线的功能目标。

2.3.3 生产模式分析

在产品对象、建设目标确定之后,应根据产品生产任务、工艺流程特点,确定产品的生产模式。

生产模式按生产节奏快慢划分,可细分为固定站位生产线、连续移动生产线、脉动生产线^[1]。生产线按产品多样性又可划分为刚性/专用生产线、柔性生产线。结合产品特点及生产流程选择合适的生产模式。

2.3.4 工艺方法及流程优化

生产线建设前,应重新审核产品工艺方案,开展工艺改进和流程再造工作。具体操作如下:

①针对产品工艺不稳定、工艺方法落后、工艺方法和流程基于单件试制模式、与数字化制造环境条件不适应等问题,应首先提出工艺改进和流程优化的目标,开展必要的工艺试验和工艺验证,对新工艺参数边界、应用边界摸边探底,避免建设过程中由于工艺方法落后造成产能提升效果有限或因为工艺方案不稳定出现调整和反复等问题。

②对产品生产工艺进行结构化分析,将工艺流程逐级分解细化至每一个动作,采用“取消、合并、重排和简化”(ECRS)方法,即取消不必要工序、合并多个工序或并行开展多个工序、重排工序次序及简化工序内容,对流程、动作、时间、质量等各项指标进行优化。在明确工艺流程、工作项目、劳动时间、人员和设备需求的基础上,确定工艺方案。

③进一步结合产能目标、工作班时、设备类型、工序劳动量、生产线均衡等因素确定生产节拍及工作站位数量。通过优化、调整工位数量,使各工位、工序的生产节拍与整

条产品生产线节拍相匹配。

2.3.5 生产线工艺布局分析

根据生产线总体架构、产品工艺流程及相关约束条件,研究确定生产线的整体布局方案。初步明确基本生产功能区、辅助生产功能区、物流系统等各功能区设置及其相对位置,预估各功能区占地面积,规划产品、工具和人员的移动、流转路线。基于系统设施规划方法(SLP)分析各功能区之间及各功能区内部的物流强度,反复迭代,不断优化各功能区相对位置和占地面积,实现生产线整体布局最优配置。

2.3.6 生产线物料仓储及配送手段分析

生产线物料仓储及配送手段选择应与生产线工艺布局分析同步考虑。生产线物料仓储及配送手段应基于产品准时生产需求,考虑物料配送时机和物流配送路径,可利用立体仓库、射频、自动导引小车(AGV)等新技术新手段,保障生产线节拍生产需求。生产线物料仓储及配送手段一般包括以下组成部分:

①自动化仓储设备,一般用于存储原辅料、零部件、半成品及成品。包括但不限于自动化立体仓库、移动货柜、堆垛机、线边仓等。

②自动化拣选设备,一般用于出入库拣选,包括但不限于智能夹具、智能分拣机等。

③自动化输送设备,一般用于车间内部各工序间的物料周转、原辅料及零部件从仓库到生产线的配送、半成品及成品从生产线到仓库的搬运。包括但不限于自动导引小车(AGV)、无人叉车、智能叉车、有轨穿梭车、移动式协作人等。

2.3.7 生产线建模仿真优化

生产线建模仿真优化是在产品工艺流程以及生产线工位布置的基础上,建立符合生产线实际的三维布局仿真模型,直观分析工艺布局是否合理,解决各功能区空间布局不合理、物流路径干涉等问题;结合生产计划,对产品生产过程开展生产线平衡分析,直观分析各工位工时和生产线节拍的关系,对生产过程中的工艺过程、工序工步进行优化和调整,解决生产线节拍不均衡等问题。

2.3.8 综合管控系统规划

应用工业互联网、大数据、人工智能技术,构建基于数据的综合管控系统。基于综合管控系统建立订单驱动、节拍拉动、供应链协同、动态排产与智能调度的生产管控模式,以提高生产线的敏捷性,实现透明可视、有序可控、优化决策,快速响应生产任务需要^[3]。

2.3.9 生产线建设实施

依据航天产品生产线建设方案,首先完成配套设施建设,确保建筑设施(厂房、库房等)、环境控制设施(空调、风淋等)、安全防护设施(消防、监控、防静电等)、资源供给设施(水、电、气、暖等)达到生产要求。

按照生产线工艺布局配置生产线运转所需的全部设备、仪器、工装、工具等,搭建制造执行系统(MES)终端、多媒体等支撑系统现场应用的硬件条件和涉密网、工控网等生产现场网络条件。配置工艺规程、图纸等相关技术文件以及生产线说明书、质量管理要求、设备管理规定等管理文件。

设置生产线岗位并配备各类人员,明确岗位职责、分工。对各类人员进行上岗培训,确保熟悉管理要求和工艺流程。生产线初步建设完成后,应开展生产线的试运行。试运行期要确保物料齐套、供应充足,充分识别生产线运行不畅环节,并持续进行完善、优化和迭代。

3 数字化生产线建设实践

3.1 大型零件柔性数字化生产线

面向多型号几十种大型零件,建立典型数字化示范生产线,形成研制批生产柔性制造模式,系统解决生产瓶颈问题,有效缩短加工时间30%左右,提升加工效率50%左右,预计年产能提高33.3%以上。深化制造过程管理系统应用,实现生产现场工艺文件、质量信息、任务信息以及制造资源等信息的综合集成和应用,实现了对生产任务、工艺调整、执行偏差、生产准备等层次突发事件的快速、柔性响应^[4]。

3.2 钣金加工数字化生产线

构建以产品为导向、以单元为基础的管理模式,对产品进行分类梳理,组建了瓜瓣和顶盖成形、旋压成形等9个加工单元。通过厂房改造及现场管理,解决钣金加工现场脏乱差的现象。从产品化、工艺改进和优化、手工工艺替代3个方面深入开展工艺优化,通过推进工装“模块化、序列化、标准化”设计,约束和规范工装设计行为,针对瓶颈产品板材框成形过程开展了通用化、柔性滚闸成形工艺装备的研发,有力地支撑了钣金柔性化生产线建设。

4 结语

通过典型产品数字化柔性生产线建设,探索适合航天特色的数字化生产线建设模式,系统解决生产能力瓶颈问题,深入挖潜现有能力,以增量投入带动存量优化,促进车间生产方式的转变,为未来全面建设完成航天数字化工厂奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] 曹永乐,桑庆宏,黄汕,等.信息化、自动化、精益化伺服装调生产线的实践[J].航天工业管理,2022(9):54-58.
- [2] 严金凤.飞机总装脉动生产线数字化仿真与优化关键技术[J].航天制造技术,2020,63(20):54-60.
- [3] 陈巍,康楠,史磊,等.航天电子数字化微组装生产线物联网应用技术[J].制造业自动化,2020,42(9):5-8.
- [4] 任燕,许辉.基于柔性生产线的数字化工厂系统搭建[J].现代制造技术与装备,2021,57(2):81-82.