

民用飞机自动化装配生产线 规划技术研究

Civil Aircraft Automatic Assembly Line Planning

上海飞机制造有限公司 陈磊 唐水龙
上海交通大学机械与动力学院 习俊通



陈磊

研究员级高级工程师,任上海飞机制造有限公司副总工程师,航空制造技术研究所所长,国家商用飞机制造工程技术研究中心(筹)副主任,全国航空器标准化技术委员会委员等职。主要研究方向为民用飞机数字化柔性装配技术。主持和参与多项国家 863 计划科技部国际合作项目、工信部民机预研项目、上海市科研计划项目、大型客机关键技术攻关等项目。

随着民机产业的快速发展,在国内航空制造企业规划与建设自动化装配生产线势在必行。生产线的建设应该充分利用已有资源,结合自动化装配技术的发展,紧密围绕生产需求,实现流程优化、资源整合和生产组织的调整。本文结合公司自身生产线规划与建设的实际经验,重点针对生产线设计中遇到的一些实际问题及其解决方案进行总结提炼,从工艺、控制与管理等角度全面阐述了规划民用飞机自动化装配生产线的关键技术。

民用飞机的生产批量较大,产品安全可靠要求高。随着市场竞争的加剧,缩短生产周期,降低制造成本,提高产品质量,快速响应客户等要求越来越强烈,采用自动化的装配设备成为国内外航空制造企业的一致选择。

但自动化装配不是简单地采用自动化的制孔、连接设备,更重要的是在装配设备的基础上结合自动化装配工艺流程进行整体规划,形成完整的自动化装配生产线,并确保生产线的安全、质量、效率以及经济

性,兼顾可扩展性和兼容性。本文针对飞机自动化装配生产线建设,分析了生产线规划过程中需要注意的关键问题。

国外飞机自动化装配生产线

飞机的自动化装配,按飞机装配流程可以分为 3 个阶段:

(1) 壁板自动化装配: 在机身壁板和机翼壁板的装配中,空客和波音公司的大多数飞机均采用了柔性装配系统,主要有柔性机翼壁板装配系统、柔性翼梁装配系统、机身壁

板集成单元(IPAC)、机身环铆装配系统(MPAC)、混连结构双机器人自动钻铆系统等。

(2) 部件集成自动化装配: 机身半筒段、筒段、机翼的装配制孔和连接由于工作开畅性较差, 所需工装体积较大, 长期以来多采用手工制孔连接的方式, 自动装配技术发展较慢。近几年随着飞机结构工艺性的改进、复合材料机身段的应用, 通过采用机身环形自动钻铆设备、机器人自动钻铆设备以及复合材料机身段自动钻铆设备等实现了装配的自动化。

(3) 大部件对接结构总成自动化装配: 波音和空客公司均采用自动对接系统代替了大型的固定对接平台, 主要由计算机控制的自动定位器、激光测量系统和控制系统组成, 采用对接平台系统大幅度提高了机体装配质量, 并且能够适应不同尺寸的机身、机翼结构, 通用性强, 节省大量装配工装。

20世纪90年代, 随着数字化技术在飞机研制中的全面实施, 波音和空客将自动钻铆技术与数字化技术紧密结合, 分别形成了多种机型、多种部件的自动化装配生产线。自动化装配生产线有多种模式, 按照装配单元集中布置的单元生产模式、按照装配流程布置的流水线生产模式以及混合布置模式等, 如图1所示。传统的装配生产线一般采用按照装配单元集中布置的单元生产模式, 而近来一些新规划的生产线, 尤其是空客A350规划中的一些部件装配生产线多是采用按照装配流程布置的流水线生产模式。实际上所有的生产线很难完全采用单一理念, 最终采用混合布局生产线。在部装和总装阶段, 最具代表性的是波音公司建设的总装移动生产线^[1-2], 通过采用了移动生产方式, 大大缩短了飞机总装时间, 降低了总装成本, 提高了装配质量。

装配生产线规划的关键技术

为了充分发挥装配生产线的性能, 保证生产效率和速度, 需要按自动化装配工艺流程对生产线进行整体规划, 针对生产线从管理、工艺和控制等方面进行完善的设计, 重点包括流程优化、产能平衡、精益物流、集成控制以及生产线仿真等。

1 流程优化

飞机装配过程复杂, 工作量大, 采用自动化生产线的装配流程与传统的手工装配流程存在很大的区别。装配中既要考虑自动化装配作业的空间开敞性, 同时也要兼顾工位作业的平衡性, 正确的进行结构分段, 合理划分装配单元, 安排装配任务。而流程优化和改进是一个反复循环的过程, 这对自动化生产线的设计与规划提出了更高的要求, 生产线必须具有一定的柔性, 以满足流程优化的需求。

流程优化的另一个重要环节是飞机装配作业的规范化和标准化, 包括装配动作、时间、业务流程、设备以及工装夹具等。完成装配工作的标准化, 是建立自动化装配生产线的基础。对于飞机装配而言, 其

标准化工作主要包括以下几个方面:

(1) 装配动作的标准化。针对批生产, 将装配操作步骤和操作方法具体化、固定化, 保证过程的一致性、稳定性, 减少人为差异。(2) 业务工作标准化。绘制各类工作流程图, 固化工作流程, 缩短装配周期。如质量检验、生产计划与调度等业务工作。(3) 设备维护标准化。编制统一的生产线设备维护保养手册, 定期对设备进行维护保养, 提高设备的利用率。(4) 工装夹具通用化。通过工装夹具通用化, 采用组合工装和快换工装等技术手段, 保证工装夹具的可持续操作性。

2 产能平衡

生产线平衡问题已被认为是生产流程设计及作业标准化过程中关键的一环。企业实现均衡生产不仅有利于保证设备、人力的负荷平衡, 从而提高设备和工时的利用率, 同时还有利于建立正常的生产秩序和管理秩序, 保证产品质量和安全生产; 均衡生产还有利于节约物资消耗, 减少在制品数量, 加速流动资金周转, 从而降低生产成本^[3-4]。

生产线平衡率 = 各工序时间总和 / (人数 × CT) × 100%。式中,

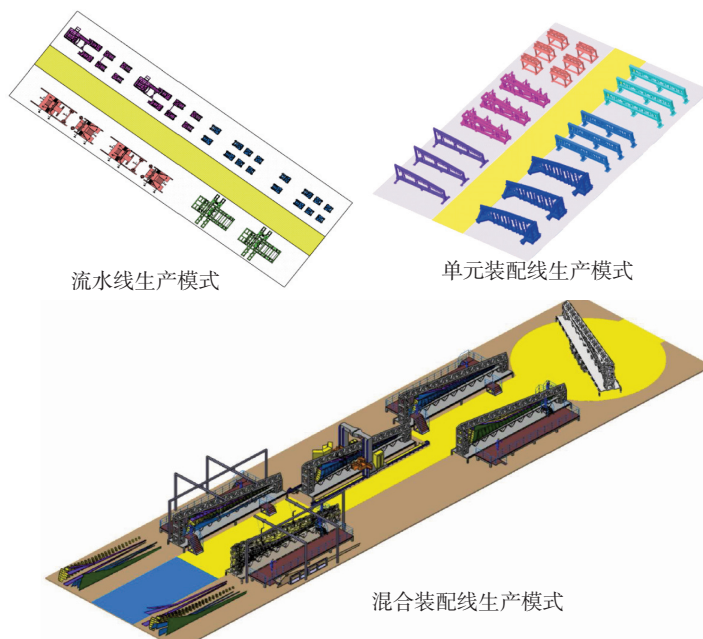


图1 装配生产线的布置模式

CT表示生产线中作业时间最长工序的作业周期^[5-6]。降低瓶颈工序的CT值,使生产线各工序生产负荷平均化是提高生产线平衡率的关键。生产线平衡率越高,生产线的工时损失就越小,生产线工序间的在制品就越少,生产线整体效率就越高。

装配线改善的基本原则和方法:

- (1)对瓶颈工序进行作业改善,如增加工装,工装自动化等;
- (2)将瓶颈工序的作业内容分担给其他工序;
- (3)增加作业人员,只要平衡率提高,人均产量也会提高,单位产品成本会随之下降;
- (4)合并相关工序,重新进行工序排布;
- (5)分解作业时间较短的工序,将该工序拆分后并入其它工序;
- (6)以顾客的需求CT为接近目标。

在生产线规划之前,必须进行产能平衡与优化,设计合理的工艺流程,保证生产线的效率。目前,生产线的平衡与优化一般通过仿真实现,主要使用的仿真软件有QUEST和eM-Plant,同时也有借助Petri网,建立生产线产能评估工具,实现产能平衡与优化。

3 精益物流

精益物流是保障生产线顺利运转的重要环节,物流配送需将准备好的完全成套件,按指定的架次、在指定的时间、按照规定的路线送到指定的地点,保证装配工作有序地进行。物流包括2个层次,第一个层次主要指企业内部物流,尤其是与装配生产线相关的物流配送和管理;第二个层次是企业外部的物流,涉及产品组成零组件的供应商,以供应链为基础。

企业内部物流是伴随着装配生产过程而产生的,生产物流运行的效率直接影响企业的效益。面向飞机装配生产线的生产现场物流配送需要结合飞机的装配流程、产品特征、生产线布局,充分考虑到物流通

道和配送手段,尽量减少传送、等待的时间,降低仓库、生产线边的库存。尤其是飞机零组件/大部件体积大、占用空间大、运送不方便,对物流通道和配送手段都提出了更高的要求。

在主制造商-供应商的制造模式下,企业外部物流的保障对于装配生产线的连续运转尤为重要。企业外部物流要整合供应链资源,加强对供应商的管理,提高零部件质量,统一信息、技术、设备、操作标准,建立供应商到货时间窗口,提高到货的准确性,确保供应商快速、高质量的安全供货。

4 集成控制

生产线的集成控制包含生产任务的下达、生产数据的采集与上传、

物流、工艺规程与标准规范的传输等。同时生产线控制还与企业的实际生产流程和习惯密切相关,是充分发挥生产线设备性能、提升效率最为关键的环节。生产线的集成控制一般由MES系统完成,其控制的层次结构如图2所示。

在面向飞机装配生产线的MES系统的规划与设计,除了考虑MES系统的一般功能之外,还应该关注飞机装配作业的特殊性,重点考虑以下问题:

- (1)强大的生产任务计划与调度功能。相对于一般产品,飞机的供应链比较长,同时飞机零部件的制造与装配也比较复杂,质量要求高,保证零部件的准时供应具有一定的难度,随时可能出现零部件供

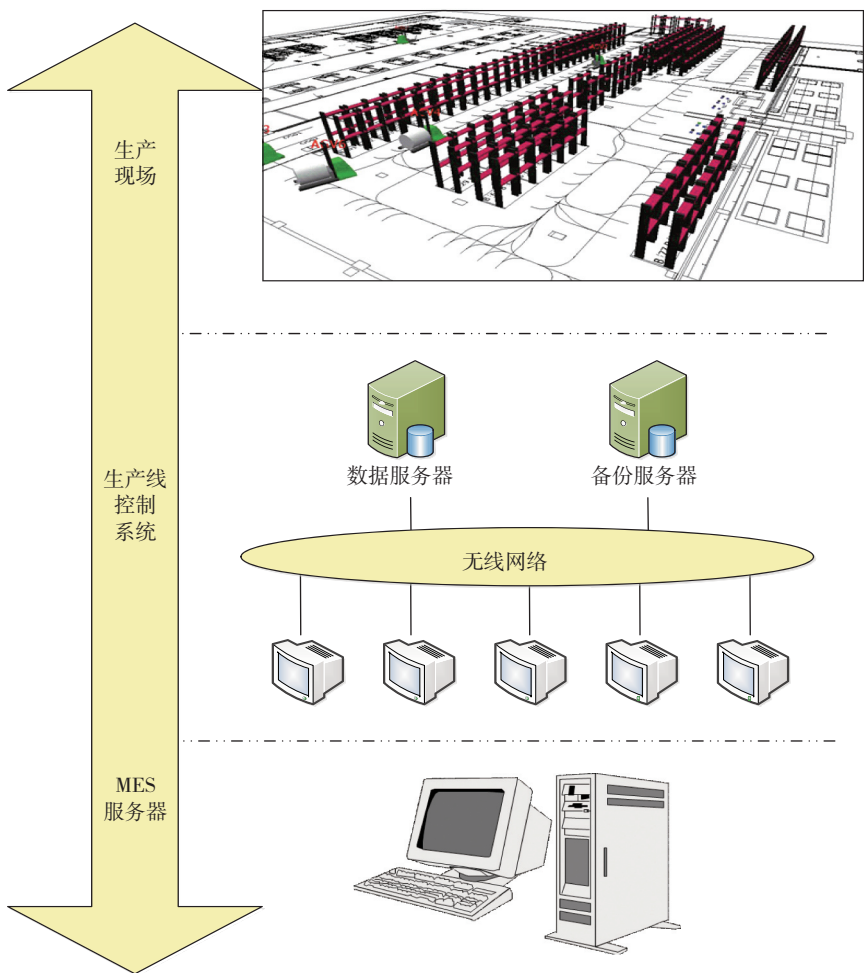


图2 生产线集成控制的层次

应不到位等突发事件。因此必须保证在缺件等突发情况发生时均能快速完成计划的调整,不能因突发事件而停滞生产。

(2)完善的质量统计、跟踪与管理功能。质量是飞机的生命线,在装配生产中,必须结合飞机装配工艺流程,严格控制生产每个环节的质量,用过程控制代替事后检验的传统质量管理模式。

(3)灵活、多样的数据采集功能。数据是MES系统和生产线控制的灵魂,在飞机装配生产现场,需要采集各种各样的数据,如设备信息、生产信息、物流信息、质量信息等,为计划管理和决策提供数据支持。

这些数据的采集方式也多种多样,可自动采集、可人工输入、也可以通过第三方设备采集。因此需要根据产品工艺流程、生产及检验要求,充分考虑监控、检测设备与生产线的软硬件接口,提供多样、灵活的采集数据手段。

(4)丰富的系统功能与数据接口。飞机装配生产需要大量的数据,包括产品数据、工艺数据、工装数据、标准规范等;同时也将产生海量信息,如质量信息、进度信息等。这些数据来源于不同的业务系统,同时也将要反馈到不同的业务系统。那么MES系统的建设需要统筹考虑公司现有的信息化基础,实现与业务系统的良好集成,避免出现信息孤岛。

5 生产线仿真

生产线的数字化仿真主要包括生产线布局仿真、干涉仿真、人机工程仿真以及物流仿真等。在生产线的规划过程中,通过仿真分析,可提前发现生产线中存在的干涉、生产瓶颈等问题,减少不必要的返工,节约时间和成本^[7-8]。

(1)生产线布局仿真:厂房规划、设计时仍然采用的是传统二维

平面图,缺乏立体效果,不能真实展示未来厂房的空间布局,更重要的是不能模拟真实厂房的动态生产。在沉浸式三维虚拟环境中对车间工艺布局进行仿真,快速便捷的展示生产线布局的方案。

(2)干涉仿真:完成生产线设备、产品与工装的干涉仿真分析,主要考虑以下两方面。静态仿真,静止状态时设备、产品与工装三者之间的干涉仿真。

动态仿真,在生产线运行过程中,根据产品、设备以及物流的运行状态,分析产品、设备与工装之间碰撞与干涉;值得注意的是,动态仿真分析应充分考虑产品在生产过程中状态的变化,如重量导致的重心改变等。

(3)人机工程仿真:人机工程仿真主要完成工人在生产过程中的安全性、开展各项装配工作的空间开敞性和可达性分析。

(4)物流仿真:对生产线的物流方案进行仿真,计算各个工位设备、车间运输工具利用率及产能,找出瓶颈站位,分析工艺规划及资源分配是否合理。更加准确的评价供应商提供的生产线布局方案、物流方案并提出合理的优化意见。

目前,针对生产线的仿真,上飞公司开发了车间三维工艺布局与物流仿真工具集成平台。平台实现了三维布局软件VR-Layout、物流仿真软件Quest以及DELMIA装配仿真软件的集成。

在沉浸式三维虚拟环境中对车间工艺布局进行仿真,能快速便捷的展示生产线布局的方案,相比以前的布局二维CAD图展示更加直观清晰。对生产线物流进行仿真,计算各个工位设备、车间运输工具利用率及产能,找出瓶颈站位,分析工艺规划及资源分配是否合理。前台的VR-Layout与后台Quest集成,实现以后台的物流仿真驱动前台的

三维场景进行实时、逼真的三维可视化物流过程仿真,并能随时输出物流仿真动画。VR-Layout与DPM集成,实现在前台VR-Layout布局仿真平台中进行DPM的装配动作仿真,可以检查生产线物流过程中是否存在干涉。

结束语

随着民机产业的快速发展,在国内航空制造企业规划与建设自动化装配生产线势在必行。生产线的建设应该充分利用已有资源,结合自动化装配技术的发展,紧密围绕生产需求,实现流程优化、资源整合和生产组织的调整。本文结合公司自身生产线规划与建设的实际经验,重点针对生产线设计中遇到的一些实际问题及其解决方案进行总结提炼,从工艺、控制与管理等角度全面阐述了规划民用飞机自动化装配生产线的关键技术。希望对于国内航空制造业生产线的建设具有一定的借鉴。

参考文献

- [1] 李洋, 桑龙. 浅谈飞机总装自动化装配生产线. 装备制造技术, 2011(10): 132-134.
- [2] 许国康. 飞机总装移动生产线技术. 航空制造技术, 2008(20): 40-43.
- [3] 孙建华. 生产线平衡的手段与方法研究. 成组技术与生产现代化, 2004, 21(4): 34-36.
- [4] 李雷. 生产线平衡技术在自动化装配线改善中的应用研究. 襄樊职业技术学院学报, 2008, 3(7): 16-18.
- [5] 徐学军, 陆德谋, 李文娇, 等. 生产线平衡与企业利润关系的研究. 工业工程, 2009, 4(12): 41-45.
- [6] 王森. 生产线中生产节拍与速度的若干问题的探讨. 雷达与对抗, 2004(2): 65-68.
- [7] 张新, 胡霏凌, 郭聪, 等. 基于DELMIA/QUEST的煤机生产线规划仿真与应用. 机械工程与自动化, 2012(2): 26-28.
- [8] 朱琼, 陈雪芳, 田世勇, 等. 基于仿真技术的生产线平衡优化研究与应用. 工业工程与管理, 2008(4): 110-113.

(责编 小城)