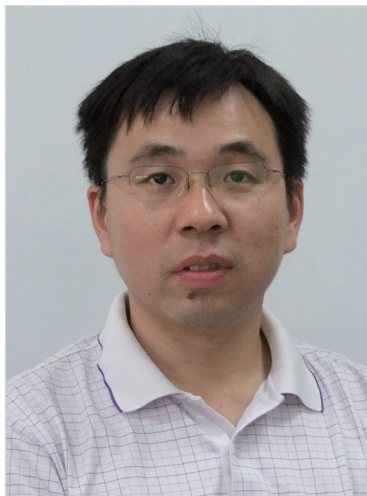


飞机装配制造执行系统关键技术 技术研究及系统实现*

Key Technology of Aircraft Assembly Manufacturing Execution System and Its Implementation

华中科技大学数字制造装备与技术国家重点实验室 朱海平 苟坤 何非 何杰



朱海平

工学博士, 华中科技大学机械学院副教授。主要从事制造系统建模与优化、可靠性分析与维修决策、制造执行系统(MES)关键技术的研究; 主持国家 863 重点项目课题 2 项、国家自然科学基金 2 项; 发表 SCI/EI 收录论文 30 余篇, 获国家科技进步二等奖 1 项, 省部级科技进步一等奖 2 项。

飞机制造是一个非常复杂的系统工程, 它以离散式制造为主, 以装配生产为重点。通常研制一架飞机需要 10 年, 其中从试制到批产需要 7 年时间^[1], 因此, 提高制造执行能

力、缩短制造周期并快速形成批量生产能力对于飞机制造企业具有重要的现实意义。

本文对飞机装配过程管控的业务需求进行了深入分析, 研究了装配 MES 的关键技术, 研发了飞机装配 MES, 该系统已在某民机制造企业成功上线应用, 并在应用中取得显著效果。

我国飞机制造企业经过多年的信息化建设, 在设计数字化和管理信息化方面已取得明显成效。但由于制造执行环节的信息化应用相对薄弱, 导致难以实现车间制造执行层与设计、管理、控制等层面实时的双向信息集成, 影响到企业整体生产效率的提升^[2]。体现为: 车间管理人员不能准确掌握在制品的数量及存贮位置; 生产和管理状态不明晰, 上级机关难于监管; 生产管理自动化水平较低, 对设计更改和工艺更改反应迟缓; 车间的信息传递与反馈仍以人工为主等。解决以上问题的根本途径是建立完整的制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)解决方案^[3], 通过工艺、计划、资源配置、物流配送、质量控制的协

同优化来实现生产过程的工作并行及有序可控。

本文对飞机装配过程管控的业务需求进行了深入分析, 研究了装配 MES 的关键技术, 研发了飞机装配 MES, 该系统已在某民机制造企业成功上线应用, 并在应用中取得显著效果。

同优化来实现生产过程的工作并行及有序可控。

本文对飞机装配过程管控的业务需求进行了深入分析, 研究了装配 MES 的关键技术, 研发了飞机装配 MES, 该系统已在某民机制造企业成功上线应用, 并在应用中取得显著效果。

飞机装配 MES 基本业务流程

与其他离散制造行业相比, 飞机大部件及装配过程具有以下特点^[4]:

(1) 构型复杂, 变更频繁。

MBOM (制造 BOM) 和 AO (装配大纲) 是飞机装配最重要的工程数据。MBOM 因构型变化, 每架次唯一; 作为波音、空客通用的工艺规程文件形式, AO 既是装配工艺规程, 又是生产指令, 也是检验规程和质量档案; AO 非常复杂且数据量大, 包括工序内容、工序参数表格、零组件

* 国家科技支撑计划(2012BAF10B08)、国家 863 课题(2012AA040909)资助。

清单、工装、材料、工具、版次记录、更改记录、附件等。飞机的工程更改非常频繁,如 ARJ21 机头每年有上千份更改,即使 AO 下发到生产现场后,仍需通过墨水更改或 AAO (先行装配大纲)的形式进行更改,如何保证 MBOM 和 AO 的架次有效性和更改一致性非常困难。

(2)长周期、多层次计划。

飞机大部件的制造周期较长,跨越多个计划阶段,计划执行过程的异常情况多,且计划的层次性非常明显,从年度项目计划到每日作业计划,计划逐级分解,因此要求对生产活动进行全过程、多粒度(架次、工位、AO、工序)、多视图(时间、质量、物料)的监控。

(3)物料配套复杂且动态多变。

飞机大部件的零组件种类多,如 ARJ21 机头包含 9000 多种零件;物料来源多,有自制件、外购件、外协件、外供件、工装、工具、飞走材料、辅助材料等;物料配送次数多,配套时间不一;一般按架次配套,但小组件按批次配套;齐套性要求高,如果零组件清单不能全部配套,则 AO 不能开工;配套需求变化多,MBOM 更改频繁,引起配套关系不断变化。

(4)装配工艺复杂易出错。

飞机大部件的装配工艺通常非常复杂,以 ARJ21 机头装配为例,包含几十个装配工位、几百份 AO、几千道工序,并且更改频繁,因此,工人在进行装配操作时,迫切需要有三维作业指导等直观手段来提供现场指导。

(5)过程质量管控非常严格。

飞机制造企业对质量管理的要求很高,具有严格的质量管控体系,需要建立产品完整的装配质量档案(其他行业一般只需要关键件质量档案),质检过程繁琐(内部质检、客户代表、适航代表),质量数据繁多,交付状态严格。另外,飞机复杂的构型控制和频繁的工程变更也对检验流程管理提出了更高的要求。

针对以上需求,本文以国内某民机制造企业为参考对象,设计了如图 1 所示的飞机装配 MES 业务流程。与 ISA95 建议的 MES 标准体系相比,本流程更加突出 MBOM 和 AO 管理、物料出入库、过程质量控制等环节,这和飞机装配过程的特点密不可分。

AAO。MBOM 既反映了产品的装配结构关系,也反映了装配的先后顺序。如图 2(a)所示,AO1 由“AO1-1 装配形成的工艺组件”、“AO1-2 装配形成的工艺组件”、“零件 1-1”、“零件 1-2”装配形成;而 AO1-1 则又由“AO1-1-1 装配形成的工艺组件”、

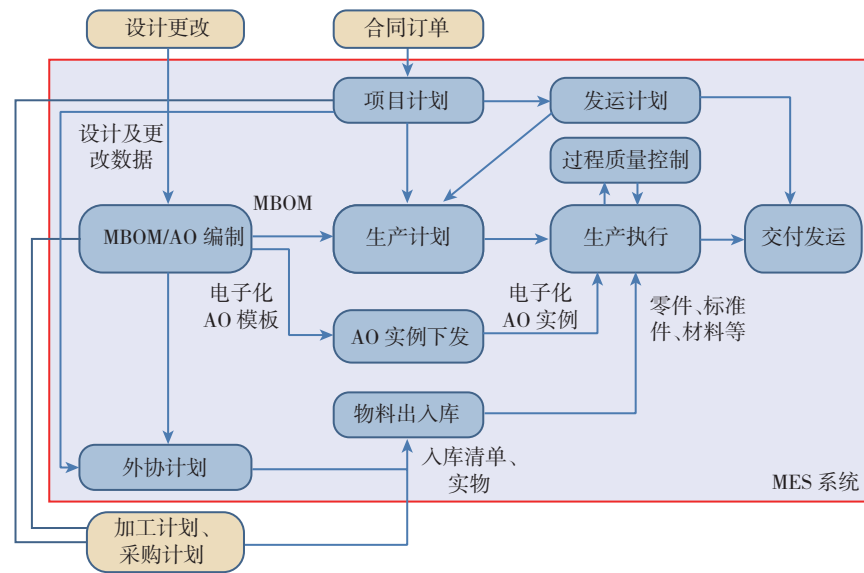


图1 飞机装配MES基本业务流程

飞机装配 MES 关键技术

结合飞机装配过程的特点,下面对全配置 MBOM 与架次有效性定义、三维装配作业指导、多层次计划与多粒度执行监控、架次质量档案管理等装配 MES 的关键技术进行探讨。

1 全配置 MBOM 与架次有效性定义

MBOM 和 AO 是工艺设计阶段生成的重要数据,它们也是装配 MES 的基础数据源^[5]。目前,很多飞机制造企业都未能通过信息系统实现对 MBOM 和 AO 的有效管理,这使得计划编制、物料配送和生产监控的电子化实现变得非常困难,针对这一现状,我们在装配 MES 中开发了工程数据管理模块,实现了 MBOM 和 AO 的集成管理。

MBOM 以项目为基础,其表现形式是一棵树,构成元素包括 AO 件(装配部件)、零件、标准件、组件和

“零件 1-1-1”和“零件 1-1-2”装配形成。

按架次管理是飞机装配的基本特征,每一架飞机的结构都是唯一的,即每一架次的 MBOM 都存在结构上的差异。因此引入全 MBOM 模板和架次 MBOM 视图的概念。如图 2(b)所示,每一个项目对应唯一一个全配置 MBOM 模板,简称全 MBOM,其中每一个 MBOM 节点都包含架次有效性。通过架次过滤操作,可动态过滤出每一架次的精确 MBOM 模板,或称 MBOM 视图。MBOM 模板物理存储,MBOM 视图动态显示。架次有效性通过“起止架次”的形式来表示,下列几种形式都是合法的有效性表达式:① 109; ② 101-110; ③ 101+; ④ 101-105, 107, 109-110, 115+。

2 三维装配作业指导

传统的装配工艺设计基于二维

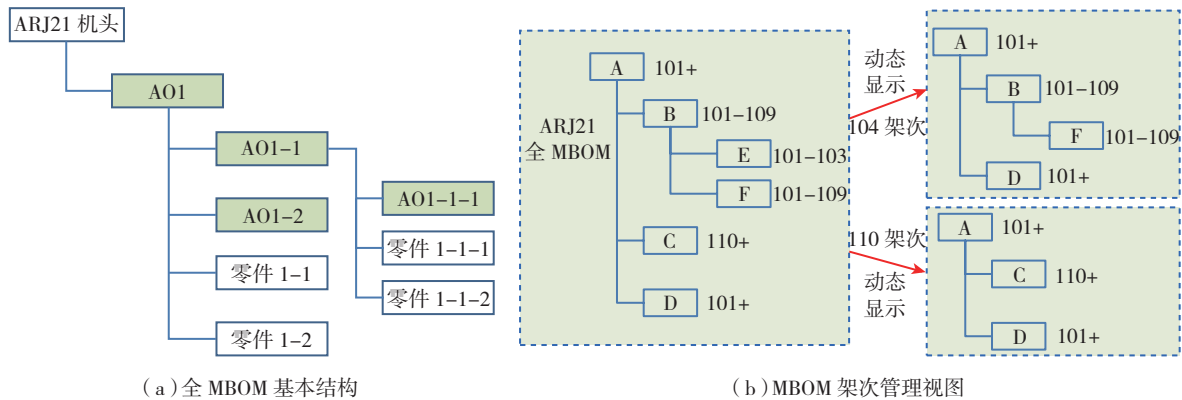


图2 全配置MBOM基本结构及架次视图

方式, AO 中的信息全部是文字描述和根据需要添加的二维简图。而飞机装配工艺十分复杂,很多情况下采用文字和二维图方式难以使工作人员理解零部件之间的相对位置,空间约束也难以表达清楚,同时一些额外信息无法直接获取,需要操作工人与工艺人员沟通,降低工作效率,也容易带来装配错误。

针对二维 AO 在作业指导中存在的不足之处,同时为了提高飞机装配质量和效率,充分利用上游的数据,借助第三方浏览控件,通过二次开发,实现三维装配作业指导。

3 多层次计划与多粒度执行监控

对于装配主流程来说,装配计划作为指令性的任务安排,是一条主线。配合这条主线的另外一条主线

就是装配物料的跟踪和配送。此外,跟两大主线直接连接的是实际装配过程,包括装配工序作业及相关的质保检验控制流程。当所有装配任务完成的时候,产品所有 AO 关闭,产品质量档案归档的工作会接着进行。计划总体上分为生产计划和配套计划,生产计划是主线,配套计划是生产计划顺利执行的保障。生产计划又分为多个层次,体现了计划由粗到细、由长到短的分解过程。

生产计划的执行需要进行监控,生产监控有不同的粒度,从粗到细依次为架次、工位、AO 和工序。图 3 详细定义了“架次 / 工位 / AO / 工序”的状态变迁图,并在 MES 系统中通过事件触发和响应来管理不同的状态的变化,从而实现了基于状态

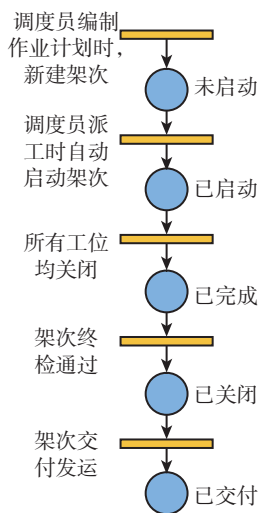
的多粒度监控。

4 架次产品质量档案管理

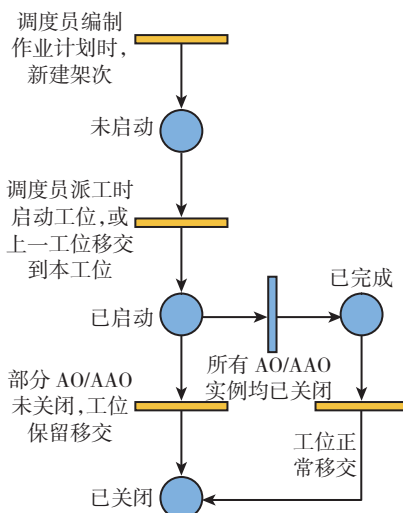
为确保过程记录的可追溯性,需记录每一架次飞机大部件详细的电子化质量档案,并作为交付资料提交给客户,一个完整的产品质量档案通常包括以下 5 方面内容。

(1) 架次 MBOM 实例: 记录实际的装机 BOM, 其中每一个节点包括质量编号等实物信息, 并且需要提供架次 MBOM 实例和理论 MBOM 的对比报告。

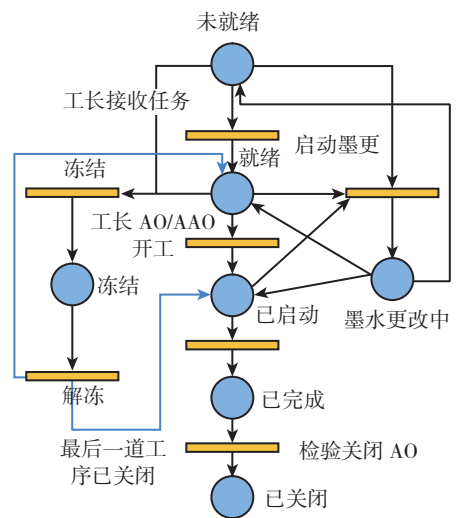
(2) 架次 AO 实例: 记录每一道工序的开工信息、检验记录和相关结果数据, 对于工序保留、工位保留、AO 架次记录、墨水更改等异常信息均需要保留; 一些重要的过程工艺参数(比如密封胶数据)也需要记录。



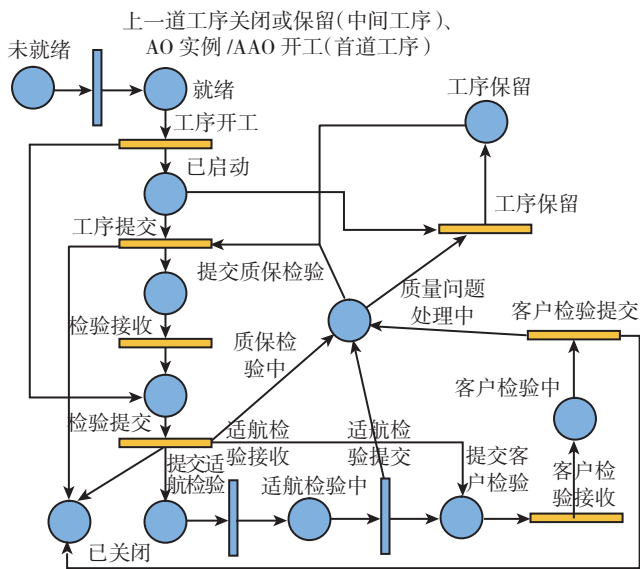
(a) 架次状态变迁



(b) 工位状态变迁



(c) AO 状态变迁



(d) 工序状态变迁

图3 装配执行过程的状态变迁图

(3) 工程更改单及执行报告: 工程更改执行报告记录物料更换、AO实例更改、MBOM实例更改等更改执行情况, 并和工程更改单进行对比, 从而确保所有更改要求均得到正确执行。

(4) 不合格品处置报告: 装配过程中如发现质量问题, 需启动不合格品处置流程, 生成故障通知单、DI-SR及不合格品报告等质量问题处理文件。

(5) 其他重要的质量记录。

不合格品处置报告是产品质量档案管理的难点, 它的生成和装配执行监控密不可分。MES系统中定义了流程驱动的质量数据采集及不合格品控制机制, 实现了产品检验提交、执行和关闭流程以及不合格品控制流程的电子化, 同时在系统里实现FR、DI-SR等表单的编制、审核、跟踪归零及打印功能。

飞机装配MES设计与实现

在以上关键技术研究的基础上, 基于最新的富互联网应用(Rich Internet Application, RIA)技术^[6]构建了MES系统, 主要业务流程如图1。该系统围绕“工艺准备→生产计

划→生产执行→产品交付”这一条主线, 并兼顾物料配套和质量控制, 从而实现对装配生产过程的全面管理。

(1) 工厂建模模块。实现系统管理任务, 维护系统的一致性和完整性, 包括用户管理、权限管理、系统初始的相关设置、项目定义、流程管理等。

(2) 工程数据管理模块。实现产品技术基础数据管理的主要模块, 包括MBOM编辑器, AO编辑器等, 实现全配置MBOM和架次MBOM的编辑和浏览。

(3) 制造资源管理模块。管理航空装配过程中使用和涉及到的大量工装、夹具以及自动化装配平台、数字化测量等辅助制造设备。制造资源模块分工装品种、工具品种和材料品种进行分类管理, 记录和控制上述资源的详细信息, 同时记录设备的维护维修信息。

(4) 物料管理模块。实现物料采购管理、外协管理、库存、盘存以及相关的出入库管理, 实现物料的精确跟踪。在架次模型的配合下, 物料管理实现了产品架次的齐套性自动检查。

(5) 项目管理。完成上层宏观的项目计划制定和计划跟踪, 包括项目交付计划、项目发运计划、项目发运管理、项目资源管理调度、项目监控与跟踪等细分功能。

(6) 生产作业计划模块。负责将上层的项目计划进行分解, 并且发出指导下层任务的命令。分为生产计划、作业计划、采购计划、外协计划

几部分功能。作业计划和生产调度关联, 计划时间落实到架次、工位、AO和工序。物料管理和生产现场依据发布完毕的作业计划进行物料配套和现场调度派工生产。各个计划模块都能根据实际计划的执行情况实时反馈。

(7) 生产监控与制造执行控制模块。主要完成整个生产的现场执行监控, 实现现场实时生产控制和生产信息记录。

(8) 质量管理模块。实现生产全过程的质量监控和管理, 包括检验计划的编制、质量预警、产品检验过程控制、质量归档和质量统计等功能, 并实现产品装配全过程的质量跟踪, 对于不合格产品系统会自动启动不合格品处理流程, 自动跟踪直到处理完毕。

结束语

飞机装配是典型的离散制造过程, 为提高其制造效率, 需要对工艺、计划、生产、物流、质量等过程进行全面的数字化管控, MES是实现这一目标的基本手段。本文对飞机装配过程管控的业务需求进行了深入分析, 研究了装配MES的关键技术, 研发了飞机装配MES, 该系统已在某民机制造企业成功上线应用并取得显著应用效果。

参考文献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 聂阳文, 田锡天, 贾晓亮, 等. 面向飞机装配的生产管理技术研究. 机械设计与制造, 2008(11):229-231.
- [3] Jaikumar V. Manufacturing execution systems. Computer World, 2003, 34(31):38-42.
- [4] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9):28-32.
- [5] 陶剑, 范玉青. 基于构型项的飞机研制建模技术. 北京航空航天大学学报, 2007, 10:1241-1245.
- [6] 方征. ExtJS在RIA开发中的应用. 电脑知识与技术, 2009(18):4994-4995.

(责编 深蓝)