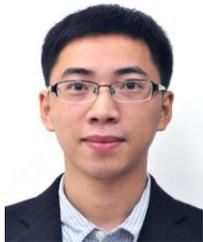


航天器总装 MES 系统的设计及关键技术

韩兴龙 李曼丽 赵永平 张旭明 周 乐

(北京卫星环境工程研究所, 北京 100094)



摘要: 针对卫星、飞船等航天器的总装业务, 分析了航天器总装过程管理中设计制造模式变化、业务流程优化等新需求, 提出了航天器总装 MES 系统的整体架构和核心功能模块设计, 对系统实现中的关键技术问题给出了实现思路和方法。

关键词: 航天器总装; MES; 制造执行系统; 系统设计

Design and Key Technologies of Spacecraft Assembly MES

Han Xinglong Li Manli Zhao Yongping Zhang Xuming Zhou Le

(Beijing Institute of Spacecraft Environment Engineering, Beijing 100094)

Abstract: Taking the spacecraft assembly of satellites and spaceships as objects, this paper analyses the new demands for manufacturing design mode change and operation process optimization of spacecraft assembly process management. Besides, it also proposes a general framework of MES system and its core module design, after which offers implementation idea and practical methods of the key techniques of the system.

Key words: spacecraft assembly; MES; manufacturing execution system; system design

1 引言

近年来, 以空间站和新型卫星为代表的一系列航天器产品复杂程度越来越高, 交付期要求也越来越短, 这对总装单位快速响应总装的能力提出了更高的要求。在时间紧、任务重、研制过程复杂的情况下, 只有优化业务流程, 形成高效的管理机制, 并贯彻到用于总装过程管理的 MES 系统中, 才能提高效率, 完成型号研制任务。

另一方面, 为适应三维数字化设计、制造的新形势, 设计部门和工艺部门都进行了系统的升级换代。总装业务的上游总体设计部建立了以 AVIDM 4.0 为平台的 PDM 系统, 实现了三维设计数据的有效管理; 总装工艺部门建立了以 Teamcenter 为平台的工艺设计系统^[1], 实现了工艺内容的三维化和结构化。此外, 工艺系统通过与 AVIDM 4.0 集成, 实现了设计数据的接收, 打通了“三维下厂”的第一道关卡。

因此, 业务流程的优化和三维数字化设计制造的

新形势都要求负责总装过程管理的 MES 系统进行系统级的重构, 与三维工艺系统实现集成, 形成新的数字化总装平台, 实现总装能力的提升。

2 航天器总装过程管理需求

当前, 航天器总装过程管理存在着如下问题:

a. 技术状态变更频繁

航天产品结构复杂, 产品零部件种类繁多, 其研制过程的各个环节均需要紧密协同。在技术方面, 研制过程中的产品设计变更、工艺变更较为频繁。一旦发生变更, 必须确保这些变更能够准确传达并得到落实, 否则就会出现质量问题。在生产方面, 库房的物料准备、生产计划的调度、现场问题的处理都需要及时反馈与处理。

b. 系统集成要求高

总装看板系统是建设较早的航天器总装 MES 系统, 其工艺数据来源于天河 CAPP2007 系统。由于早

期 CAPP 系统注重工艺文档的可视化, 工艺内容的结构化程度较弱, 给系统集成带来了非常大的难度。尽管通过制定严格的工艺编写格式规范和配备足够的运维人员, 最终实现了 CAPP 数据向看板系统数据的准确传递, 但是效率较低, 容易耽误生产进度。

c. 三维化提出新的要求

由于大部分航天器研制型号已经从设计源头取缔纸质设计图纸, 以三维模型为载体的 MBD 将是制造和验收的唯一依据。相应地, 工艺文件中以往的二

维图形也可能变成可视化的三维模型, 在航天器总装现场, 特别是在航天器舱内, 如何较好地查看设计模型和工艺内容成为一个新的问题。

3 航天器总装 MES 系统设计

3.1 航天器总装 MES 系统架构

航天器总装 MES 系统整体架构见图 1。

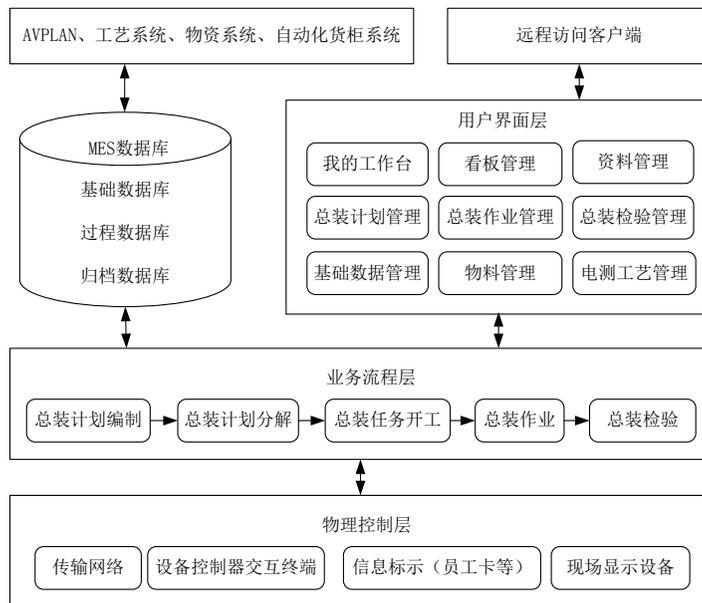


图 1 航天器总装 MES 系统架构

系统整体上以航天器总装业务流程为主线, 即从总装业务计划编制、计划下发与分解、总装任务执行到总装任务检验。主要功能模块均围绕这条业务主线设立。在总装计划编制之前, 首先需要确保物料齐套, 这是物料管理模块的功能; 作业计划的编制、下发在计划管理模块完成; 操作人员的总装操作以及检验的确认和记录在执行管理模块完成; 型号业务数据如工

艺文件、技术问题处理单等信息的查询属于综合查询模块; 质量问题统计、成本分析等功能则统一由数据分析模块完成。此外, 系统还包括一些基础数据维护、资料管理等辅助功能模块。

3.2 系统核心模块业务关系

系统主要核心功能模块以及与外部集成系统之间的关系见图 2。

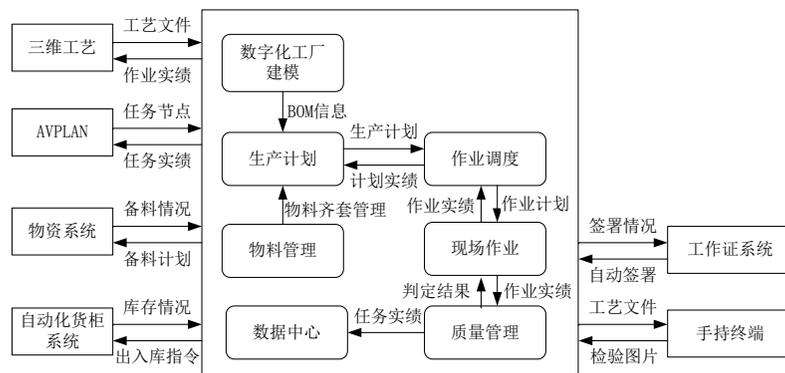


图 2 航天器总装 MES 系统核心功能模块

其主要业务管理过程如下:

a. 三维工艺系统是 MES 系统的主要数据源头, 三维工艺系统中完成审批的工艺文件会自动下发到 MES 系统中, 用于指导现场操作人员作业;

b. 库房人员根据工艺文件中的装入件清单准备物料, 以工序为单位进行物料齐套, 在这个过程中, 物料管理中的部分物料可能来自于自动化货柜, 一些辅助材料、标准件需要提交到物资系统;

c. 调度人员根据工艺文件, 以工序为最小颗粒度, 编制生产计划并下发到生产班组, 生产班组对任务进行分解;

d. 物料齐套的工序就可以开工进行总装执行, 操作人员和检验人员通过现场作业模块确认执行结果并记录检验数据, 该过程的用户身份确认可以借助工作证系统完成;

e. MES 系统的所有过程数据将定时导入数据中心系统, 通过分析过程数据, 为质量部门、生产调度部门以及型号领导决策提供数据支持。

4 关键技术

4.1 工艺数据的接收

工艺系统中的工艺文件采用结构化的形式组织工艺数据, 工艺内容分布在工序、工步、操作步骤、执行记录、装入件明细表等多个对象中, 文字形式的工艺指令存放在操作步骤对象中, 而轻量化三维模型则作为工序对象的附件存储。

工艺文件完成流程审批后, 将调用 MES 系统接口把工艺文件内容以 XML 字符串的方式传递到 MES 系统中。XML 字符串中的对象分为主要对象和辅助对象。主要对象包括工艺、工序、工步、操作步骤和状态参数。而辅助对象说明或者关联到主要对象, 包括产品、更改、文档、属性表、文件、前置后驱关系、资源。

需要说明的是, XML 格式的文本可以将工艺文件的文字部分传递到 MES 系统中, 但轻量化三维模型等文件仅在 XML 中提供了链接地址, 无需在 MES 系统中另存一份。

工艺系统以 XML 的形式将工艺文件发送给 MES 系统后, MES 系统将解析这些 XML 文本, 然后按自己的对象模型存储, 最后在 web 页面中将工艺内容还原。

4.2 现场工艺的可视化指导

由于 MES 系统为 B/S 结构, 从工艺系统接收过来的工艺内容将通过 web 页面展示, 这样操作人员可以在统一的界面进行工艺查看和操作结果的记录与确认。工艺内容将按照工艺文件封面、工艺说明页面、工艺路线图、工序目录、关键工序质量控制卡等分类显示。其中最主要的内容是通过工序目录打开的工序内容页面, 也是总装操作的主要指令页面。

在航天器总装现场, 需要能够方便地查看工艺文件中的可视化三维模型才能实现无图纸条件下的总装。为此, 通过在每个总装工位配备大屏幕显示器, 多名操作人员均可较远距离查看三维装配结构或操作动画, 更加直观地理解设计人员和工艺人员的意图。

为解决大型航天器如空间站舱内操作时无法直接查看显示器的问题, 在装配工位配备了手持终端。手持终端主要实现了两个功能, 一是工艺内容包括图片、三维模型的离线查看, 二是装配过程的拍照记录。这些功能由 MES 的手持终端客户端软件实现并与 MES 服务器数据同步。

4.3 工艺变更的处理

在航天器总装实施过程中, 不可避免地存在着工艺变更的情况。实现变更有两种途径, 划改正式工艺文件和编制临时工艺文件。

正式工艺文件的划改是在工艺文件签署完成并发送到 MES 系统后, 对工艺内容中文字的局部调整如修改错别字和技术要求参数, 这些调整不会影响工艺文件的工序结构。由于工艺内容是结构化的, 需要更改的部分可能涉及工艺操作程序、执行记录要求和装入件明细表等对象。

临时工艺文件的编制需根据现场执行情况决定, 如果需要对工艺进行较大调整, 应单独编制一份临时工艺文件。临时工艺文件可以视作一份全新的正式工艺文件, 只是其工艺内容较少, 一般只包含具体操作程序。

修改后的正式工艺文件将以新版本的形式发送到 MES 系统, MES 系统通过比对版本更新更改的工艺数据, 保证现场执行的永远是最有效的版本。临时文件以同样的方式发送到 MES 系统后, 作为一本新的工艺文件单独执行。

4.4 核心业务流程的优化

图 3 是航天器总装核心业务流程, 涉及物料准备、计划编制与下发、总装执行与检验的全过程。该业务流程主要属于串行流程, 实际总装生产过程即按照这

个流程的各个步骤开展工作。但是由于大部分工作节点都是以MES系统中的体现为准，即便线下实际已完成某个任务节点，如果不在系统上确认，将直接导

致整个流程暂停，耽误生产进度。因此，MES系统不仅要客观反映实际业务流程变化，还应建立一种促进流程节点流转的机制。

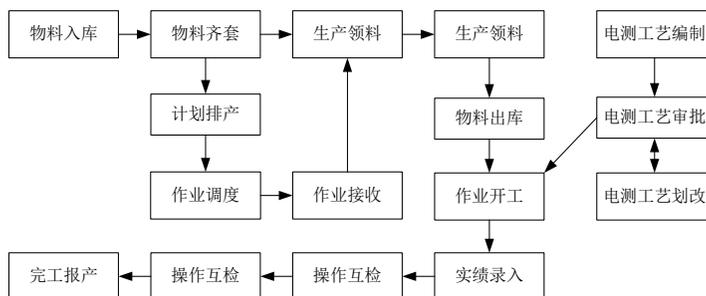


图3 航天器总装核心业务流程

在航天器总装MES系统中，目前在如下几个方面改进流程的运行：

a. 物料自动预齐套

物料齐套是航天器总装业务流程的关键起始节点，只有物料齐套才能开展后续工作。为确保物料入库后能及时齐套，系统根据入库物料类别与工艺下发的工序装件明细表自动预齐套匹配和齐套提醒。当物料需要齐套时，库房人员在预齐套的基础上进行齐套处理，全部齐套后，物料齐套完成。

b. 总装签署

总装签署主要是操作人员完成某道工序后的一岗自检、二岗互检和检验人员检验后的签署确认。由于三个人员的操作按顺序开展，导致在原系统中常常由于一岗签署不及时而影响后面两个人的签署。为此，在新的MES系统建设过程中，从技术上取消了必须顺序签署这一限制，改为所有人员完成即可签署，并从管理上规定，只要有人签署，其余人员应该在24h内也完成签署，否则就在班组人员考核中记录一项签署不及时。这样，系统就不会由于人为原因影响业务流程进度。

c. 计划监控

系统根据计划人员安排的总装计划，生成计划排产柱状图，直观显示班组每天的计划任务进度。计划人员和班组长可以根据计划排产柱状图，直观地看到班组任务的饱和情况，灵活安排总装计划，达到任务生产平衡，实现精益生产的最终效果。

4.5 总装过程的数据分析

MES系统中的型号总装过程数据很多，如果不加以整理，无法体现数字化制造带来的益处。总装数据

中心是航天器总装MES系统的子系统，是对航天器总装全过程数据进行分类、汇总、统计、分析、展现的商务智能(BI)系统。通过数据整合与分析处理后，总装数据中心形成各类角色需要的统计报表与分析图，辅助监控总装过程状态，为总装各类管理人员的决策提供数据支持。

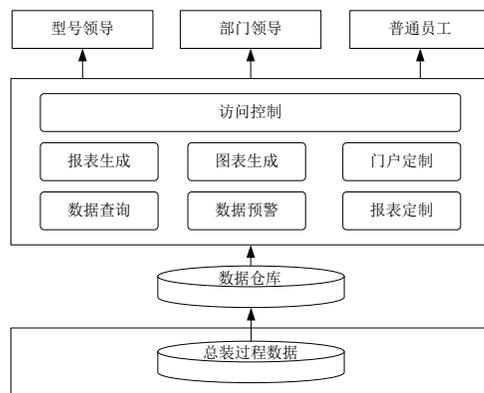


图4 数据中心子系统架构

图4是数据中心子系统架构图。该子系统利用存储过程对总装过程数据加工和模型化，将模型化后的数据计算加工成报表的指标数据，最后基于Cognos构建数据报表。目前系统统计数据涵盖型号运行状态分析、总装过程监视、质量数据分析、人力资源使用分析等多个方面。

5 实施效果

航天器总装MES系统基于神舟软件的ADP平台开发，借助该平台丰富的公共组件和业务领域组件，

