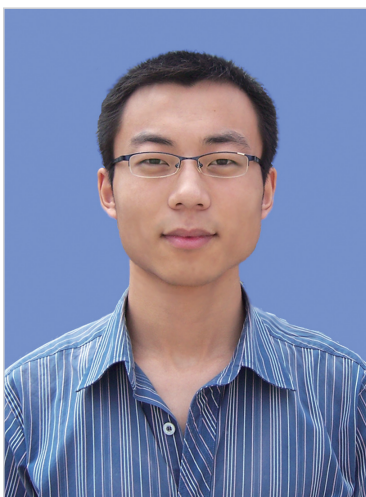


# 飞机复合材料车间生产计划 调度系统应用研究

## Application of Production Planning and Scheduling System in Aircraft Composites Component Manufacturing Workshop

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 刘永进 梅中义



刘永进

硕士研究生,主要从事复合材料数字化生产线MES的研究。

复合材料具有许多优异特性,可比常规金属结构减重 25%~30%,并可以明显改善飞机气动弹性特性,提高飞行性能<sup>[1]</sup>。但是由于成本高昂,极大地限制了复合材料构件的应用与发展。

复合材料低成本制造的研究主要有 3 个方面:制造设备、工艺技术以及计划与管理<sup>[2]</sup>。其中计划与管理主要通过企业信息化系统协同工作,使信息得到更快更有效的传递,从而合理安排车间生产计划,缩短生产周期与库存周期,降低成本。

飞机复合材料车间生产计划调度系统实现了复合材料车间计划层与生产执行层的信息集成,使生产计划信息、车间加工信息能够及时的传达到相关部门,解决了车间计划与生产过程脱节的问题,并通过对采集的数据进行统计,使计划调度更具有目标性和实效性,从而缩短复合材料构件的生产周期,降低制造成本。

在复合材料车间应用制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)可以把车间管理层、生产计划层、库房管理层、车间生产基层等联系起来,层与层之间信息互相通信,有效地解决复合材料车间的生产计划调度问题,提高了计划的实效性和管理的高效性。

### 复合材料低成本制造与 生产计划调度

#### 1 复合材料低成本制造

复合材料的成本主要包括 3 个方面:原材料、设计制造以及使用维护。低成本制造技术是低成本复合材料技术的核心,因此在实际生产中,为降低成本,设计/材料/制造一体化技术和成形工艺技术是复合材料低成本制造技术的研究重点。研究趋势如下:(1)完善已有工艺,开展低成本制造新工艺。逐步实

现已有工艺设计/材料/制造一体化技术,如树脂传递模塑成形技术(RTM);(2)逐步实现复合材料制造过程自动化,包括生产操作的自动化和工艺过程管理的自动化;(3)合理选择计划调度优化方案,以缩短装配制造周期和应用关键技术;(4)建立科学的制造成本模型与可行可信的估算方法;(5)在管理层面上,积极开展、制定低成本复合材料计划。

#### 2 制造执行系统和生产计划调度

制造执行系统位于企业的执行层,是企业计划层——企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)和车间控制层——车间层过程控制系统(Process Control System, PCS)之间的桥梁。MES的核心——计划调度功能通过信息传递对从订单下达到产品完成的整个过程进行优化管理。

根据美国先进制造研究机构(Advanced Manufacturing Research,

AMR)完成的一项统计显示,在企业中应用MES,制造周期缩短45%、数据输入时间缩短75%、半成品数量减少24%、为交班准备的纸面工作量减少61%、引导时间缩短27%、因纸面工作和设计蓝图所带来的损失减少56%、产品缺陷降低18%<sup>[3]</sup>。可见,通过MES的实施,企业能够较大幅度地提高生产效率,并带来可观的经济效益。

在复合材料生产制造车间实施制造执行系统,可以极大地促进复合材料制造过程管理的自动化,提高制造的实时性,从而降低复合材料制造的成本。

### 飞机复合材料构件加工工艺流程和车间业务流程分析

#### 1 飞机复合材料构件加工工艺流程

复合材料构件生产属于典型的面向订单生产的离散型制造业<sup>[4]</sup>,除了具有多品种、小批量的生产特点以外,还具有以下特点:(1)复合材料构件制造工艺复杂,加工过程中需要的工程装备、工具、相关的文件资料等品种众多,加工前需要进行大量的准备工作,以确保产品生产达到工艺要求,从而导致复合材料构件生产周期长;(2)自动化水平相对较低,多数复合材料生产的关键工序主要靠手工完成,由于工人熟练程度和操作技术差异,产品的质量也不相同<sup>[5]</sup>;(3)车间生产环境要求严格。例如下料、铺层等关键工序需要在恒温、无尘的空调室内完成。

复合材料构件的生产工艺流程总体分为3个部分:复合材料的下料铺层、固化热压成型和喷涂装配,它们在复合材料构件制造过程中具有特殊的工艺特点,从而导致车间制造工艺十分复杂。如表1所示。

#### 2 车间业务流程

在某航空企业复合材料制造车间中,由于加工工艺比较复杂等特殊性质,车间的业务流程也相应比较复杂,如图1所示。

表1 复合材料构件生产分析

类别	下料铺层	热压固化	喷涂装配
关键工序	下料、蜂窝加工、铺叠	热压、固化	胶接、检测(可选工序)
生产特点	需要温度环境、材料有保质期、需要真空铺层的零件生产时间较长	不同零件需要不同的温度曲线、压力曲线和生产时间	部分胶接件需要固化且有时间间隔,时间间隔可能达到32h
加工时间	除需抽真空件加工时间较短	固化或热压过程约2h	各工序时间较短
设备资源	下料机、投影、铺叠等数控设备	固化炉、热压罐	多位数控加工设备,包括无损检测设备

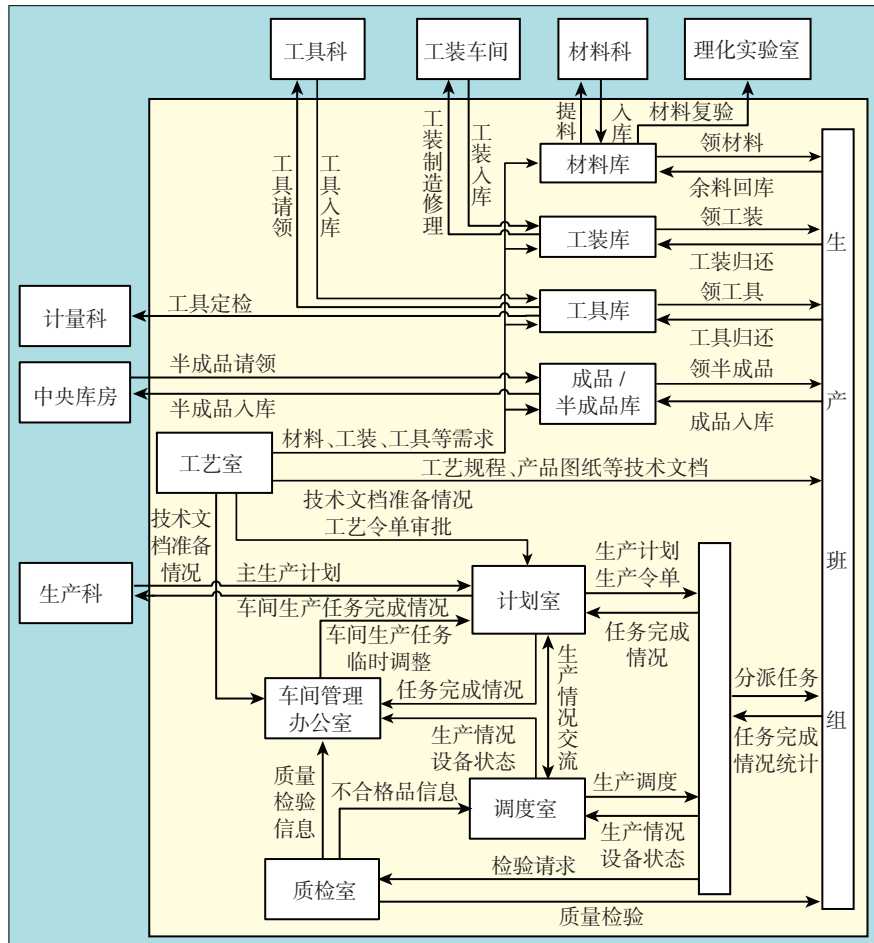


图1 某飞机复合材料车间业务流程图

生产科根据实际年度订单情况,提供飞机的生产计划,复合材料车间根据此计划和车间的负载能力、加工效率制定各月份的起始架次和终止架次,生成月生产计划,这就是车间的主生产计划。主生产计划是车间计划调度的开端,具有承上启下的作用,使生产计划由宏观转向微观。

主生产计划传递到复合材料计

划室后,经验丰富的计划员根据生产车间的实际生产情况,首先制定出各架次的飞机需要加工的零件的品种、数量,生成生产订单,并将计划下发到生产工段。工艺室根据复合材料构件加工工艺标准审核计划室的工艺订单,并打印工艺流程卡、生产订单和固化小票。调度室根据生产情况和设备状态,进一步调整生产计

划,并与计划室保持信息交流。

车间根据日生产计划安排,根据工艺室制定的材料、工装、工具等需求标准,从材料库、工装库、工具库领取材料,从成品/半成品库领取半成品,然后组织工人进行生产加工,并将合格的成品存入库房。其中,工具库、工装库、材料库和成品/半成品库根据库存的实际情况,可以进行相关的入库出库等行为。

由于复合材料构件加工工艺的复杂性,根据工艺室的技术要求,质检室对生产过程进行全面的质量检验,将检验结果上报给车间管理办公室和质量处,同时将不合格的产品信息传递给调度室,由调度室重新组织工人进行生产加工。

车间管理办公室作为复合材料车间的管理层,根据工艺室提供的技术文档的准备情况,计划室提供的车

间任务的完成情况,调度室提供的生产状况和设备状态,以及劳资室提供的生产经营情况,综合分析后,对生产计划进行适当的任务调整。

### 复合材料车间 MES 设计

复合材料车间 MES 的设计须由大到小进行。首先设计总体结构,然后再逐层深入,细化系统中包括的子系统,子模块等,最后再进行细化,直至进行每个模块每项功能的设计。

#### 1 总体设计

总体设计主要是指在系统分析的基础上,对整个系统(子系统)的划分、机器设备(包括软、硬设备)的配置、数据的存贮规律以及整个系统实现规划等方面进行合理的安排<sup>[6]</sup>。首先要确定制造执行系统的定位,即对复合材料车间制造过程信息加以控制,使企业计划管理层和车间作业

现场建立联系。如图 2 所示, MES 处于 ERP 系统和车间控制层之间,系统通过接口与 ERP 系统、CAPP 系统建立联系,分别从中获取计划信息和最新的加工工艺信息,并为 CAPP 提供订单号、流程卡号等信息。

#### 2 复合材料车间计划调度子系统设计

复合材料车间计划调度子系统是 MES 最主要的组成部分,包括日计划模块:主要完成日计划的编制、调整;车间信息采集与统计模块:主要完成车间加工工序、质量检测等扫描信息采集及统计,模块功能模型如图 3 所示。

广义上的计划室是由车间中的计划室和调度室合并,因此日计划模块的设计不仅包括日计划编制,还包括日计划调度。该模块的主要功能为:工艺路线维护、单机状态创建、订单单算编制、日生产计划制定、调度和

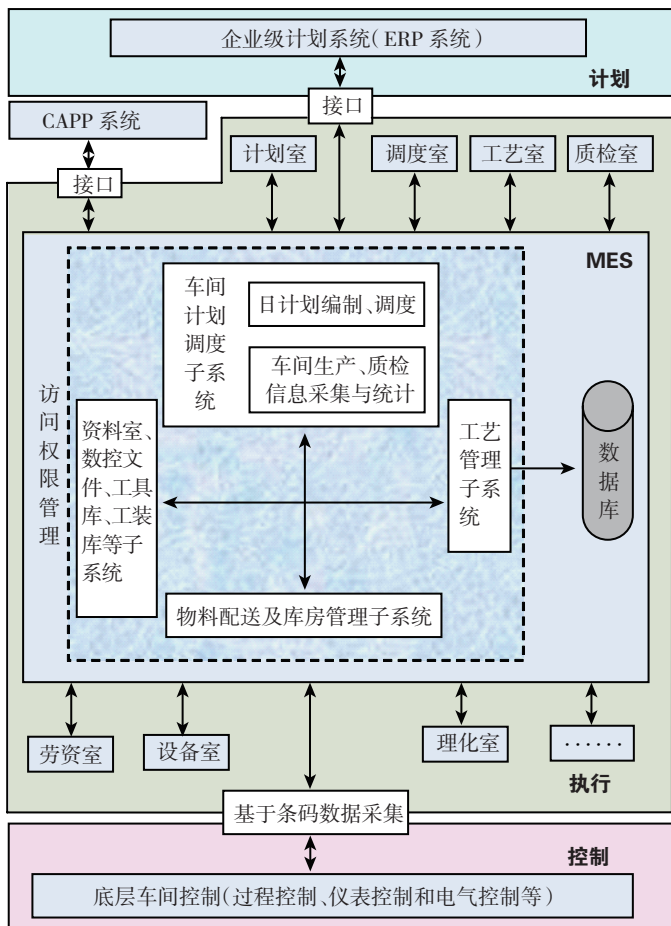


图2 复合材料车间MES总体结构

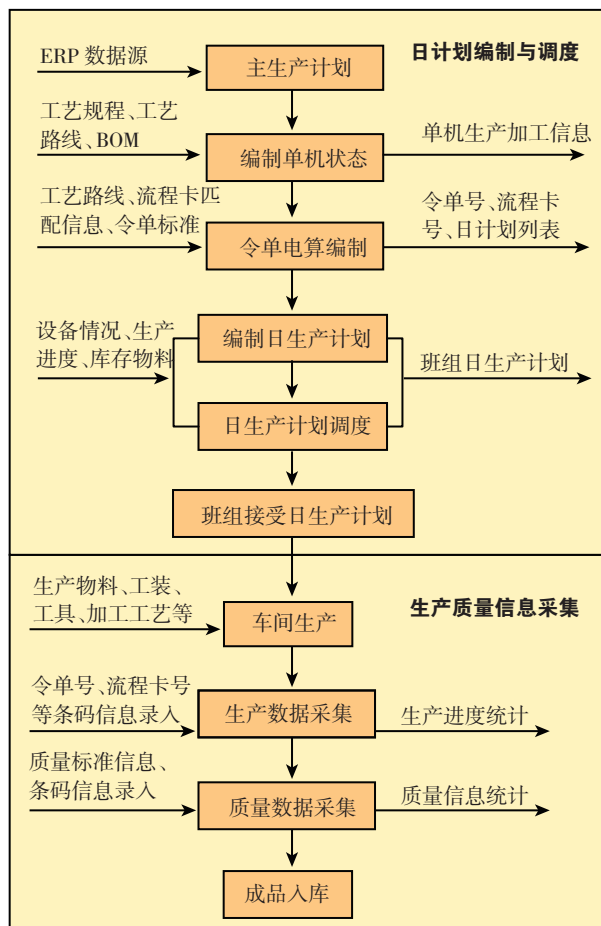


图3 日计划与信息采集模型

日计划执行、生产进度看板、班组接受日生产计划等。车间信息采集与统计模块包括生产现场数据采集、生产过程跟踪、质量检验数据采集。

### 复合材料计划调度系统的实际应用

计划调度系统把生产计划的详细制定与实际生产控制紧密结合起来,并通过工艺室、计划调度、材料库、生产过程管理、物料配送等主要模块,以及工具库、工装库、数控文件管理、资料室文件管理、成品/半成品库等相关辅助模块,把复合材料车间许多零散的部门整合在一起,实现信息的共享,而管理层可以通过系统清晰地获取车间中实时的相关信息。

#### 1 复合材料车间计划制定

首先计划员根据主生产计划创建相关月份和机型架次的粗略月生产计划,然后根据制定的架次和工艺室提供的复合材料零件的加工工艺确定每架飞机具体要加工的复合材料零件和相关工序,通过“类似创建”功能实现不同架次相同加工工序的创建。当飞机详细的加工需求确定后,计划员需要进行令单电算编制,

为新的计划生成令单号和车间流水号,生成日计划列表。工艺员根据生成的流程卡号和令单号,结合复合材料构件加工工艺流程,打印工作令单,并下发给各班组,然后计划员给每个班组安排具体日期的工作任务。例如图4为新建下料班2010-08-02的计划,这样生产班组的成员就可以通过系统查看自己在某一天的加工任务。

#### 2 复合材料车间加工质量信息的收集

采集生产数据主要是给管理层提供决策参考,同时为计划层制定计划提供依据。

为了简化工人操作流程,并保证准确度,均采用条码扫描技术,工人只需要将加工的工序号、员工号以及令单号流程卡号输入系统,系统会给出相应的开工或完工提示,然后系统会进行

表2 “工序跟踪”功能表

工序	工序名称	人员	开工时间	完工时间	状态
20	下料	刘丽华	2010-7-16 10:12	2010-7-16 13:13	完成
70	铺层	王永滨	2010-7-17 9:10	2010-7-19 16:17	完成
110	固化	景明	2010-7-20 9:10	2010-7-22 11:20	完成
130	切割钻孔	刘凤阁	2010-7-22 13:10	2010-7-22 14:23	完成
135	CMM检测	王明昊	2010-7-23 9:10		生产中

注:1.此表为某机型第51架次,零件号493Z2001-3加工过程;  
2.在制定零件加工工序时,排除了准备工序,因此表中工序号不连续。

表3 下料班2010-07-16日计划完成详情

架次	产品图号	名称	开工日期	完工日期	状态
51	493Z2001-3	下料	2010-7-16	2010-7-16	完成
51	493Z2001-4	下料	2010-7-16	2010-7-16	完成
52	493Z2001-3	下料	2010-7-16	2010-7-16	生产中
52	493Z2001-4	下料	2010-7-16	2010-7-16	计划

置,同时该模块也可以对当前完工的工序质量检测进行实时跟踪。

### 结束语

在人工操作占重要地位,自动化水平相对较低的复合材料车间应用计划调度系统,反映出航空企业信息化发展的决心。该系统实现了复合材料车间计划层与生产执行层的信息集成,使生产计划信息、车间加工信息能够及时的传达到相关部门,解决了车间计划与生产过程脱节的问题,并通过采集的数据进行统计,使计划调度更具有目标性和实效性,从而缩短复合材料构件的生产周期,降低制造成本。同时该系统的成功应用也为其他飞机复合材料车间计划调度的信息化发展提供了参考依据。

本文共有参考文献6篇,因篇幅所限未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。(责编 泰山)



图4 日计划功能实现

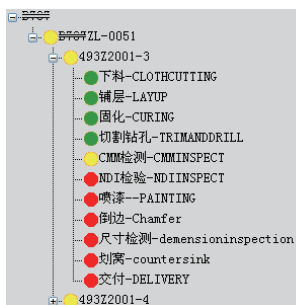


图5 生产进度看板

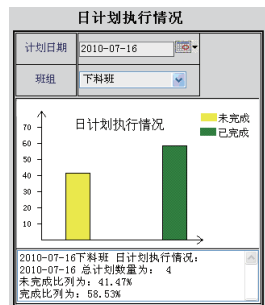


图6 下料班2010-07-16日计划执行统计图

“生产统计”。根据图5所示的“生产进度看板”,企业管理者可以很清晰地看到当前某个零件所加工的状态。管理层还可以通过“工序跟踪”功能,查看该零件的生产详细情况,如表2所示。同时车间的员工可以根据“日计划执行情况”的统计功能,查看当前自己在班组某天的工作任务状况,如表3和图6所示。计划员也可以根据班组日计划任务的完成情况,适当调节计划任务保证班组能够按时完成当天的任务,且没有工人闲