

面向无纸化制造的工艺现场 更改模式探索与实践

Exploration and Practice of On-Site Change Patterns for Paperless Manufacturing Technology

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 邹光勇 刘翔 白雪



邹光勇

高级工程师, 硕士, 曾任中航工业成飞计算中心软件开发室主任, 信息技术部软件工程室主任。现任中航工业成飞信息技术部信息技术高级师。

随着基于模型的工艺指令(MBI)技术的应用普及,我国新一代航空产品工艺设计已实现了三维化、数字化和无纸化。这促使制造过程中的现场装配指令/制造指令(AO(Assembly Order)/FO(Fabrication Order))等工艺文件无纸化成为发展的必然趋势。目前,我国航空制造业在借助制造执行系统(MES)推进制造过程无纸化的同时,把现场工艺文

本文探索了基于工艺文件实例化的无纸化工艺现场更改模式和技术途径,并通过MES/CAPP/PDM系统集成应用,较好解决了数字条件下工艺文件实例化、更改流程控制、消息触发和工序控制等技术问题,既强化了现场更改的可控性,又提升了现场更改的效率,同时也为面向特定架次、特定状态的零备件生产提供了无纸化制造依据。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.09.062

件无纸化作为一项重要内容来推进,并取得了重要进展,基本实现了AO/FO现场无纸化。但在无纸化条件下,如何实现工艺文件现场更改,做到既简单快捷,又控制有序,一直是一个技术难题。想要实现制造过程无纸化,工艺现场更改无纸化是一个不可逾越的重要环节。本文目的在于探索通过对AO/FO工艺文件实例化,构建一种在数字化条件下现场工艺更改的工作模式,满足现场更改无纸化要求,为实现制造过程全面无纸化奠定基础,同时也为构建数字化单机质量档案提供数据支撑。

应用环境分析

AO/FO工艺文件是生产过程和

技术信息的载体,制造部门根据AO/FO信息进行飞机零部件制造以及产品装配^[1]。AO/FO工艺更改有3种,即先行更改、修订换版和现场更改。先行更改就是要对AO/FO底图更改,其版本号和有效起止架次均不变。这类更改在涉及在制品时,必须重新打印纸质AO/FO,用来替换生产现场的AO/FO。修订换版与前者类似,唯一区别就是对底图的更改涉及有效起止架次变化,需要换版。由此可见,以上两种更改模式都需要更改底图,故又可统称为底图更改。现场更改是直接对现场使用的纸质AO/FO做更改,无需更改底图,更无需换版,可多次更改。由于这种更改是由工艺员到生产现场直接用钢笔在纸质

AO/FO 上进行涂改并签字,故这种更改方式又被形象地称为现场墨更。在纸质时代,现场墨更倒也简单快捷,但没有审签流程,随意性太强、不严谨,容易出现产品质量问题,技术风险也较大。当今,文字+二维工艺简图的 AO/FO 逐步被基于 MBI 的三维工艺数模+文字替代,现场用纸质 AO/FO 已经开始朝数字化、无纸化方向转变^[2]。没有了纸质的 AO/FO,现场墨更这种现场更改的具体表现形式,也就自然消亡。

引发现场更改的原因很多,有因设计变更影响到在制品,需要通过现场更改立即落实设计变更的;有因工艺自身原因,如交接状态变化,需要立即更改现场用工艺文件的;还有就是因排故处理,需要对在制品进行特殊一次性补偿/补充加工,必须立即更改相关现场工艺文件的。由此可见,现场更改航空产品制造过程中,是一个经常性的必然事件。虽然现场墨更消失了,但现场更改这种应急工艺处理方式却始终存在。要想实现制造过程无纸化,现场更改数字化和无纸化是一个不可逾越的重要环节。

因为 AO/FO 底图只包含有相对静态的技术信息内容,没有与现场生产信息、制造资源信息和质量信息发生关联,所以电子 AO/FO 底图更改都封闭在相对独立的系统中完成。对于现场墨更而言,变化却是很大。首先,更改的载体变了,MES 系统通过与相关系统集成,已经可以实现在生产现场使用电子化、无纸化 AO/FO。工艺现场更改的载体从纸质变成电子数据;其次,更改的方式变了。在无纸化制造中,所有的产品制造信息都是以数字化的形式存在,数据之间相互关联,体现了整个企业信息系统集成的最高水平^[3]。现场在用电子 AO/FO,都不是孤立存在、单独使用的。它不但是技术信息载体,而且还是制造过程中管理、质量、

资源等信息载体,这些数据之间相互关联,不能简单地在数据库中随意更改,必须受流程控制,授权更改,确保电子数据的合法性、准确性和一致性。在推进制造过程无纸化的过程中,如何实现数字化条件下现场更改成为我们亟待解决的问题。

工艺文件实例化原理

借用统一建模语言(UML)中的类和对象关系来描述现实模式下电子 AO/FO 底图和纸质 AO/FO 的关系,即一份电子 AO/FO 底图相当于一个 AO/FO 类,打印一份纸质 AO/FO 并填写上具体的批架次号、质量编号等代表实物唯一性的生产信息就相当于从 AO/FO 类中创建一个新对象,一个新对象就是一个类的实例。对象实例化是使用它的类作为模板创建新对象^[4],打印纸质 AO/FO 过程就是 AO/FO 实例化过程。同理,映射到无纸化模式下(图 1),数据库中一份电子 AO/FO 底图可视为 1 个 AO/FO 类,一旦系统中的某个图号生产计划通过 AO/FO 号、架次号等信息匹配数据库中对应的 AO/FO 类,便从这个类中复制出一份 AO/FO 与生产计划关联,并通过赋予一些特征值后产生一份用于现场生产的电子 AO/FO 实例。由此可见,在这种模式下,实例化的 AO/FO 与对应类的 AO/FO 相互独立,两者之间实质成为一种关系解耦,无论对实例进行多少次更改,都不会影响到类的变化,即底图不会发生变化。现场更改就是

通过对 AO/FO 实例进行更改来实现。因此,在数字化条件下,从数据逻辑的角度,我们可以构建两个数据库,一个是底图库,用来组织管理电子工艺文件底图;另外一个就是实例库,用来组织管理从底图库中复制出来的用于生产现场的工艺文件实例。

工艺文件实例化触发机制

实现现场更改无纸化,现场 AO/FO 等工艺文件数字化、无纸化是前提,实例化是基础。所以无纸化制造过程中,首先要进行电子 AO/FO 的实例化处理,即根据生产计划对象的技术状态、有效性范围到底图类库中去匹配相应的电子 AO/FO 底图,一旦配套到符合条件的底图,便从底图类库中复制一份 AO/FO,并将批(架)次号/质量编号、版本号等特征值填入到该电子 AO/FO 中,形成实例放入到实例库中,生产信息、配套信息、质量信息、操作记录等过程信息都是以该实例作为载体进行记录,这些过程信息将来是单机数字质量档案的组成部分。AO/FO 实例化,选择好触发实例化的时机非常关键。前面所述,引起工艺更改的原因很多,其中设计更改引起的工艺变更,大多数情况下都是立即生效。为了尽量减少这类工艺更改给在制品带来的影响和对在制生产节拍带来的冲击,在 AO/FO 实例化之前,最大程度地完成工艺更改,也就是通过更改底图的方式完成工艺更改,这样可以有效降低受工艺更改影响的在制品数量,减少现场更改的次数。底图更改有严格的审签流程,完成工艺更改有一定的时间周期,如果实例化在生产过程中触发时间点选择靠前,留给工艺更改的周期就越短,未完成工艺更改的可能性越大,还有实例化时刻与开工时刻间隔越大,期间再次发生工艺变更的概率越大,特别是在新机研制阶段,对在制品的影响程度相

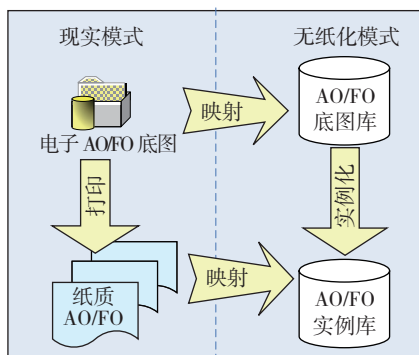


图1 现实模式与无纸化模式映射关系

应增加。所以实例化触发时机必须遵守最迟原则,即将工艺文件实例化选在正式开工时刻来触发。一旦开工,通过关联最新状态的 AO/FO 完成实例化,生成 AO/FO 实例。从此刻起,以后所需作用于现场的 AO/FO 工艺更改,必须通过现场更改方式实现,通过底图更改的工艺内容就只能对有效范围内的下个批(架)次生产起作用。以装配生产为例,通过分析装配生产业务流程(图 2)可以看出,在生产计划阶段,不涉及 AO 内容本身,无需关联 AO。在开工准备阶段,需要从 AO 中提取装配所需的资源清单,包括零(组)件、标准件、铆钉、成品件、耗材以及工装、设备、工具、人力等制造资源信息,进行预分配、预安排。这个阶段的工作结果是定性的,还没有固化定量,可随时从底图类库中调用对应的最新版本的 AO 进行动态关联,与资源库中的资源动态匹配,检查配套情况。一旦现场工人检查完开工条件,认为可以开工时,便可进行实例化,生成 AO 实例,同时实际配套的物料信息加入到实例 AO 中,生产进入执行反馈阶段。

基于实例化的现场更改模式

在生产进入执行反馈阶段后,只要有作用于现场 AO 的任何工艺改动,都是由工艺员通过现场更改来完成。任何现场更改,都是通过对实例的更改来实现。数字化条件下,一个典型的基于实例化的现场更改模式如图 3 所示。为规避操作工人使用正在变更中的 AO 进行加工制造而造成故障的风险,现场更改模式引入了工序“冻结”、“解冻”的机制对工序的执行进行控制。“冻结”即不能进行开工、完工操作,“解冻”即是解除“冻结”约束,恢复执行工序。为有效控制实物质量状态,工艺体系文件规定,已执行完成并关闭的 AO 工序和正在执行的工序,不能进行现场更改。无纸化现场更改模式分为 4 个阶段。第一阶段是发起,即由工艺员在制造执行系统(MES)中发起现场更改,系统自动冻结所有未开工工序,通过消息机制告知工人,该 AO 实例正在被更改,暂停工序执行,同时生成更改任务发送给工艺设计系统(CAPP);第二阶段是更改,即工艺员在 CAPP 中

接收更改任务后,系统自动调用在用 AO 实例,工艺员进行更改,自动生成“现场更改记录”,完成后提交电子审签;第三阶段是审签,即被更改的 AO 实例在产品数据管理(PDM)系统中通过校对、审签环节后,正式发布,并用消息通知 MES 系统;最后一个阶段是执行,即 MES 系统由消息触发,自动重新获取最新的 AO 实例,并“解冻”工序,现场工人继续进行后续加工,完成工艺现场更改,形成闭环控制。在制造过程中,同一份 AO 实例,可进行多次现场更改,但只保留最新的 AO 实例,可不保存历史记录,现场更改记录则必须记录每一次更改的内容、原因、时间、更改者等内容。整份 AO 等执行完成后由检验人员对其进行电子归档。

应用集成框架

面向制造过程无纸化的制造模式是以数字化技术为基础,通过系统集成 ERP、CAPP/PDM、MES 等企业级应用系统来实现的,就现场更改而言,要想实现全过程无纸化,需要有 MES、CAPP 以及 PDM 等 3 个应用系统协同工作才能完成,如图 4 所示。

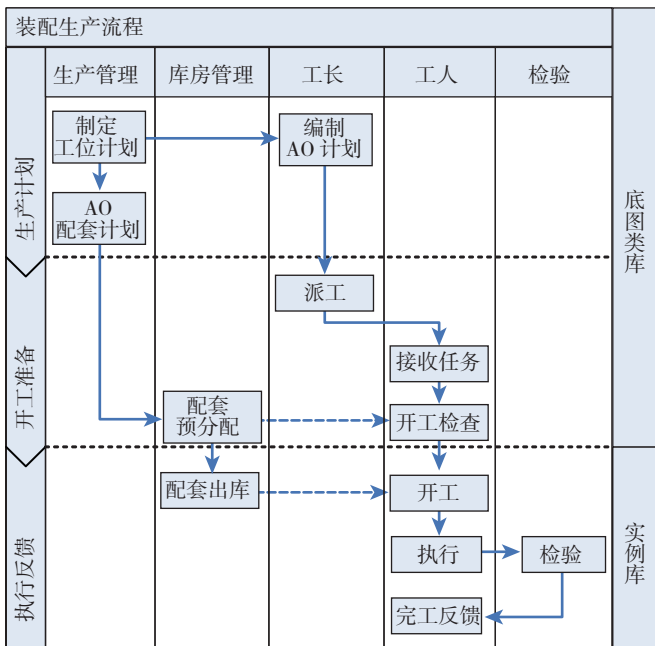


图2 装配生产流程

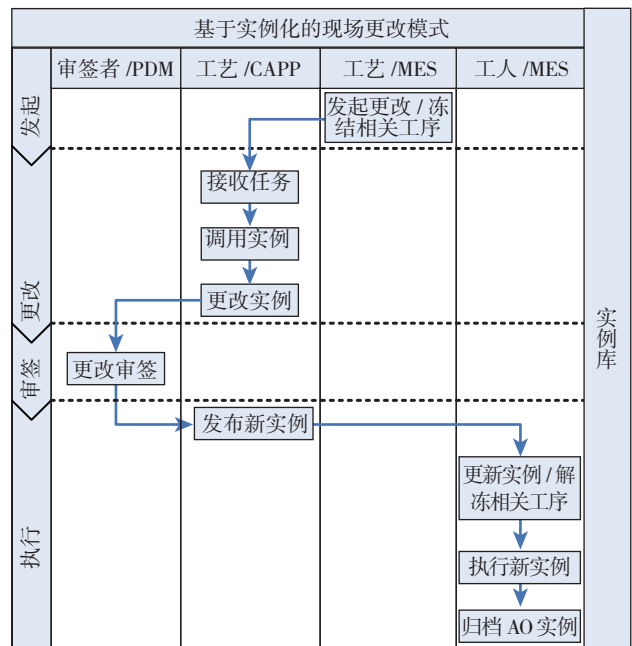


图3 基于实例化的现场更改模式

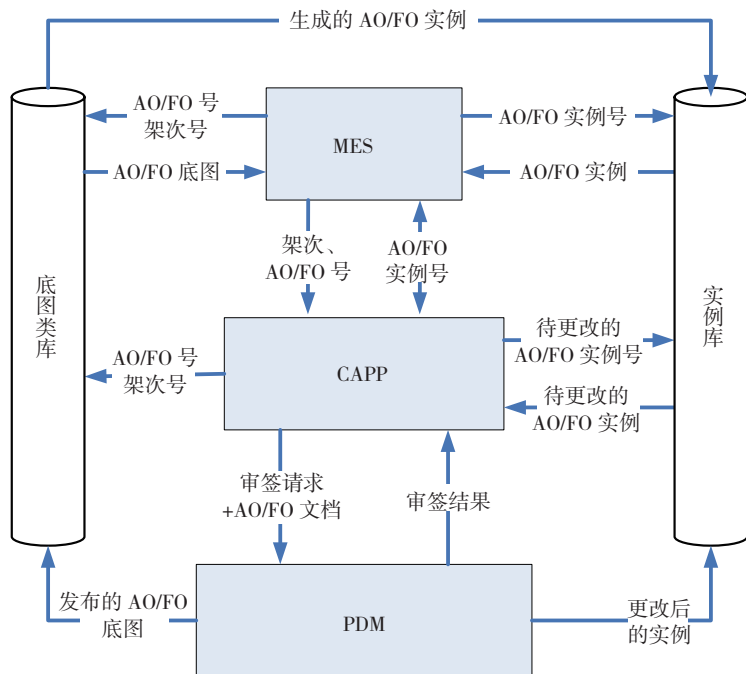


图4 应用集成框架

其中，MES系统是工艺文件的执行端，也是现场更改的发起端，CAPP是AO/FO编辑和更改的工具，PDM是工艺文件审签发布平台。CAPP将新编制的工艺文件发送到PDM系统进行审签，通过审签后发布到底图类库中；当MES端触发工艺文件实例化时，向CAPP系统传递生产的AO/FO号、批(架)次号信息，CAPP系统以此自动在底图类库中匹配对应的AO/FO底图并生成AO/FO实例至AO/FO实例库中，同时将生成的实例号反馈MES中，MES以此从实例库中自动调用新生成的实例，开始制造执行；当MES发起现场更改时，首先将需要更改的AO/FO实例号传递给CAPP系统，由CAPP系统根据实例号调用实例库中对应工艺文件实例进行修改，并经PDM审签后发布到实例库中覆盖原来的实例数据，同时系统自动将审签结果反馈给CAPP和MES，以此触发MES根据实例号自动更新实例，完成现场更改。

工程应用实践

根据某航空新产品研制要求，飞机装配制造要实现无纸化，其中最重

要、最基础性的内容就是现场AO无纸化以及工艺现场更改无纸化。为此，将本文提出的应用模式和应用集成框架思想融入到支撑装配制造无纸化的应用系统当中，通过装配MES系统与ERP、3D-CAPP及PDM等企业级应用系统的集成开发，实现该模式落地，并成功应用于新产品的实际生产中，率先在新产品部装配制造全过程实现了无纸化。生产现场完全取消了纸质AO，工艺现场更改完全在应用系统中完成，系统中的电子AO实例数据成为工艺信息和过程信息的唯一载体，彻底改变了以前实施装配MES系统工艺技术文件“两张皮”现象，即由于生产过程中一些工艺例外情况的处理是在应用系统之外的纸质AO上进行的，应用系统中的AO数据不是最新有效的，系统中的数据不真实，只能作为参考，纸质AO才是制造和质量归档的依据，造成MES实施效果不好。为保证应用系统中电子AO实例数据的权威性、有效性和合法性，还针对现行质量保证体系和工艺体系不适应无纸化的内容，专门作了修订，以适应数字化制造要求。工程应用验证表明，

该模式能够满足数字化条件下无纸化制造要求，强化和规范了现场更改过程控制，完全消除了现场纸质工艺文件。

结束语

数字化制造是航空制造业的发展方向，无纸化制造是数字化制造的必然结果。无纸化现场更改作为无纸化制造过程中一种常见的工艺临时处置手段，是无纸化制造的重要内容之一。本文探索了基于工艺文件实例化的无纸化工艺现场更改模式和技术途径，并通过MES/CAPP/PDM系统集成应用，较好解决了数字条件下工艺文件实例化、更改流程控制、消息触发和工序控制等技术问题，既强化了现场更改的可控性，又提升了现场更改的效率，同时也为面向特定架次、特定状态的零备件生产提供了无纸化制造依据。通过在某新产品装配制造无纸化实际应用验证，结果表明该模式简单可行，效果较好，能满足制造无纸化要求，具有在行业推广使用的价值。

当前，三维工艺文件已取代二维工艺文件成为主流，三维工艺文件除了结构化数据外，还包含轻量化数模等附件。当在MES端执行批处理实例化时，产生大量的工艺文件实例数据，导致数据量传递过大，如何对数据量进行分流传输，提高运行效率，还需在技术实现上做进一步探讨。

参考文献

- [1] 袁永建, 许建新. 基于BOM的飞机制造工艺业务管理系统研究. 机械制造, 2010(48):63-66.
- [2] 王成, 许建新, 余剑英, 等. 面向离散型数控车间的无纸化制造技术研究. 机械制造, 2014(5):67-68.
- [3] 张伦彦. 面向离散车间的无纸化MES研究. 航空制造技术, 2012(12):44-45.
- [4] Jim A, Ila N. UML和统一过程实用面向对象分析和设计. 方贵宾, 李侃, 张罡, 译. 北京: 机械工业出版社, 2003:90-92.

(责编 叶枫)