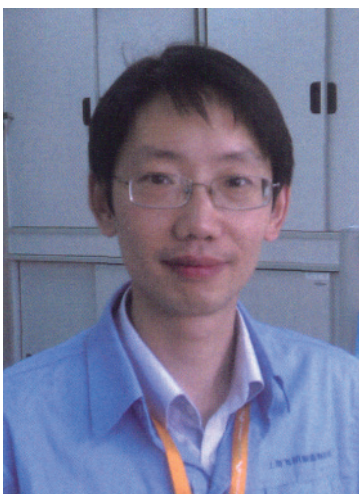


C919大型客机的协同数字化 工艺设计*

Collaborative and Digital Process Design for C919

上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所 卢 鹤 肖清明 李汝鹏 李明慧



卢 鹤

工学博士,高级工程师,北京航空航天大学毕业。现就职于上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所,主要从事数字化工艺技术研究,重点包括数字化装配仿真、装配协调准确度分析以及先进质量过程控制技术研究等。

数字化定义技术一直是推动航空企业核心创新能力的主要组成部分。以波音、空客为主的世界先进航空企业,在数字化技术的应用上已经达到一个崭新高度。波音

讨论了数字化工艺开展的条件、协同设计的基本方法,并给出了数字化装配工艺仿真分析、装配协调准确度分析的基本要素,提出并建立了基于模型定义的生产现场可视化方案,为 C919 飞机开展数字化协同设计奠定了基础。

公司的 787 项目,在合作伙伴中全面推行基于模型的数字化定义技术(Model Based Definition, MBD)。MBD 技术取消了传统的二维图纸,将三维尺寸标注、注释和公差标注等信息集成在三维的 CAD 实体模型文件当中。MBD 数据集是一系列协同定义、分析等工作的最终进化结果^[1-2]。

MBD 采用协同研制的模式,对传统的串行模式带来了变革。在并行设计过程中,工艺部门参与完成的工作主要包括提前开展装配方案设计、容差分配设计、产品的工艺结构设计,工业工程的设计与评估、工作指令的设计、以及相关的制造验证和仿真工作。MBD 的协同设计工艺带来的这种新模式和由此产生的各种

新技术,能大大缩短研制周期、提高研制质量、降低研制成本,从而更好地满足大型客机研制需求。

面向 MBD 的协同 工艺设计

MBD 环境下的协同工艺设计采用了数字化技术,在数字化研制过程中,加强了工艺设计、分析、评估等工作环节以及工程设计之间的协同,因此飞机制造手段和组织管理控制模式都发生了根本性的改变。这种改变带来了更有效的数据组织结构及更为高效的、更丰富的工艺指令文件,为提高生产效率带来了便利。

1 数字化协同设计的工艺流程

C919 飞机研制的突破重点基于统一平台的协同研制模式,第一次以

* 中国商用飞机有限公司上海飞机制造有限公司 C919 飞机关键技术攻关项目支持。

对等模式,实现设计制造工艺人员在线协同设计,将设计、制造、质量、运营维护等原本串行的工作任务重新梳理,打破原有的分隔界面。总装中心利用中国商飞统一部署的协同研制平台,在线参与数字化协同设计,重点开展基于模型定义(MBD)的装配仿真分析、装配分离面设计、工艺活动仿真分析、装配协调准确度分析等工作,在详细设计成熟度 M3 之前完成相关的仿真,并协助设计人员最终确定产品的形位公差、装配界面的定义和装配结构划分。同时在详细设计成熟度 M4 之前完成最终 MBD 数据集的最终完善工作(其中包括尺寸标注、捕获视图的建立、R 模型的定义等工作)。设计制造之间部分协同工作的职能分工如图 1 所示。

2 数字化工艺的主要活动^[3]

工艺人员在并行工程环境下,借

助相关的计算机辅助工艺设计、仿真分析等工具,开展相关的工艺设计活动,主要有以下几个方面的内容,其中包括容差设计与分析、装配仿真、制造结构转换、AO 设计、SPS 编制,其工作如图 2 所示。

(1)容差设计与分析。开展尺寸分析主要包含三方面内容:定义协调路线;形位公差的尺寸分析;装配协调的迭代优化。根据分析得到的敏感度分布,调整装配协调方案。

(2)装配仿真。以装配干涉为目标,开展产品、工装、运动机构、人机工效等工作仿真,此工作要求工艺部门在详细设计成熟度 M3 之前完成。

(3)制造结构转换。制造结构转换是工艺人员进行产品重新组合划分的工作,此工作在详细设计成熟度 M3 之前完成,并在 M4 阶段之前

完成产品结构的调整。

(4)AO 设计。此环节是进行装配过程设计,也是制部工艺人员主要的工作,与以前相比增加了装配顺序仿真,在 AO 编制时进行装配顺序仿真,多次循环迭代得到最优了装配顺序。MBD 环境下 AO 的表现形式是三维的。

(5)零组件厂际交付状态规范书 SPS 编制。在 MBD 环境下的厂际交付状态规范书编制过程中,加入循环迭代的定义协调路线和装配顺序仿真过程,从而能够更好地保证飞机各个部件之间的协调性。

装配仿真与验证的应用

C919 飞机研制中的装配仿真验证主要包含 3 个方面内容:

(1)飞机大部件的装配过程仿真。对飞机各大部件进行装配顺序

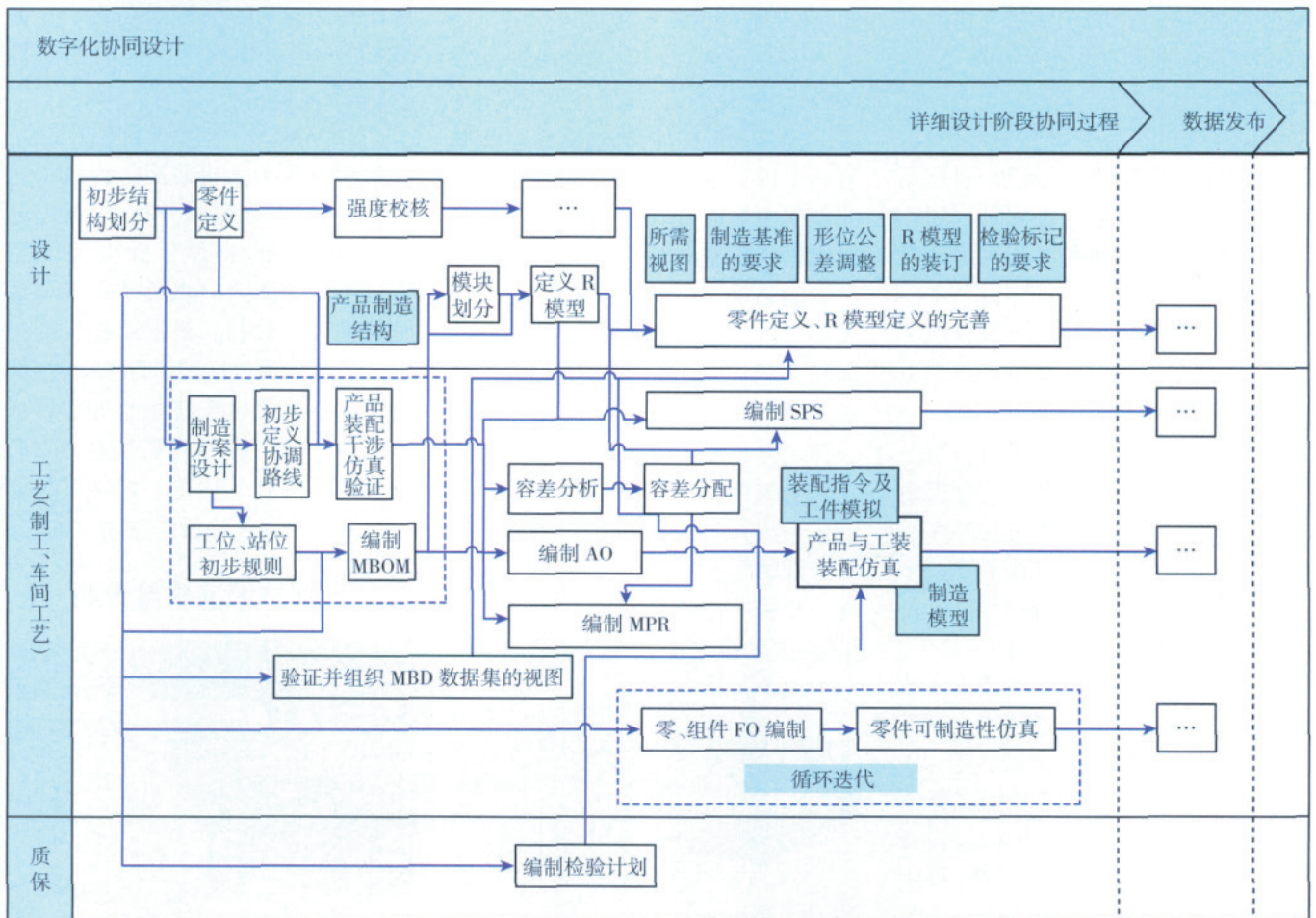


图1 设计制造之间的产品设计协同

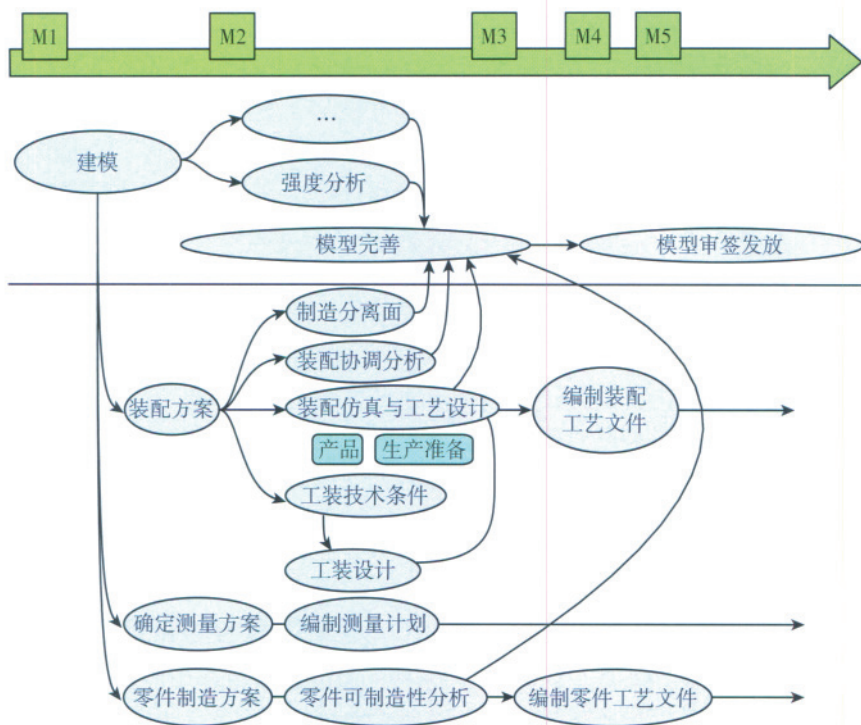


图2 协同设计中工艺人员的主要职责

规划和装配顺序仿真,通过与协调路线和制造方案的迭代来优化工位、站位的划分。

(2)飞机产品的可制造性仿真。依据设计好的装配工艺流程,对产品进行装配顺序规划、装配路径规划和装配顺序仿真,将装配过程和拆卸过程进行三维动态仿真,验证每个零件按设计的工艺顺序能否无障碍地装配上去,从而以发现工艺设计过程中装配顺序设计的错误。

(3)产品与工装结合仿真,对产品与工装进行装配规划。此过程中加入工装模型,从而检查装配顺序是否合理,装配过程是否存在干涉。

1 装配工艺过程的分析

对设计产品进行数字化预装配,评测其可装配性,检查仿真过程中的干涉,从而确保所有零部件的正确安装;改善零部件间配合协调性能。在实际制造前解决零部件装配过程中和装配完成后的空间干涉问题,验证操作人员在该环境下的可达性、可操作性,最终形成装配仿真的指导手册和装配仿真分析的评测方法。

2 生产线的仿真分析

生产线仿真利用成熟仿真分析软件系统,开展的仿真分析如图3所示。完善分析的评估条件,针对大型客机全机对接及其以后的系统安装、测试等总装工作展开仿真分析。吸取汽车行业流水生产线的理念,采用精益制造模式,通过分析手段,解决大型客机总装过程的优化、总装生产现场布置优化、现场可视化管理、物料配送方案设计与评估、生产线站位及移动方式等研究方案和手段实施,变革传统的批量装配生产方式为拉动式生产方式,以适应飞机快速生产和降低装配成本的需求,为大型客机的研制和批产提供保障。

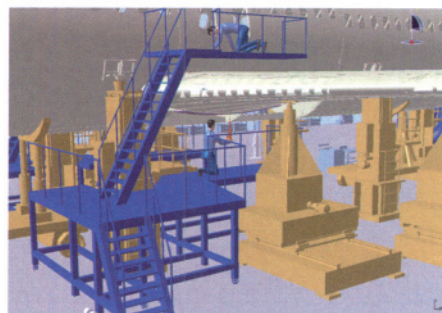


图3 装配流程的仿真分析

开展生产线仿真分析的目标是在实物生产开始之前,利用产品及工装的MBD数据集所遵循的几何特征、物理特征等,结合装配方案设计、生产线布局以及物流配送设计的结果,在生产线布局仿真系统中展开仿真分析,评估和分析各生产方案、减少方案的设计错误,提升并优化生产效率、减少库存,最终形成满足大客研制和批产飞机的生产线布局方案。

主要内容包括有:

(1)飞机生产线的能力仿真。分析飞机生产线的制造、装配过程,并将整个过程按照工位不同分成具有自治和协作能力的多个站位,从而建立细化的流程图。根据流程图进行基于仿真软件的能力建模;根据飞机生产线的物料配送能力仿真,分析流程图,建立各站位中各种零部件的配送路径图。根据事先确定的配送路径图进行实时配送仿真。在此基础上,建立物料配送能力仿真模型,如图4所示。

(2)按照所建的飞机生产线仿真模型对整个飞机装配过程进行运行仿真,并进行数据分析,如物流分析、生产节拍与瓶颈分析、设备利用率分析等,找出生产线布局的薄弱环节从而进行改善。根据所提出的布局方案分别提取详细仿真数据,根据所建立的飞机生产线规划方案评价指标体系,运用层次分析法对各布局方案进行综合性评价。最终根据评价结果推荐出一种最优方案。

装配协调准确度分析

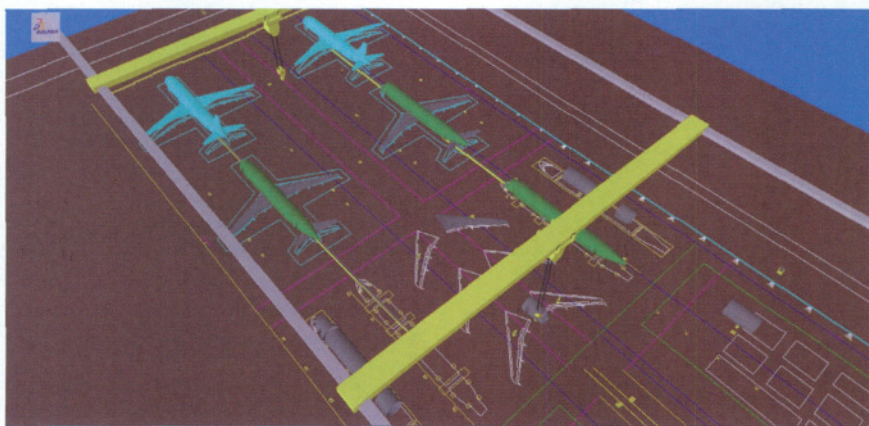


图4 生产线的配送仿真

开展对飞机装配后的协调准确度有效的尺寸公差统计分析,结合既有的数字化手段形成企业的装配协调准确度评估方法,积累提高企业的工艺能力。通过统计学方法,预测并验证装配方案以及初步给定的产品所能达到的装配协调准确度,并进行迭代优化。

1 装配协调准确度分析的基础

协调准确度是建立在统计学概念上的。若只是对 1~2 次的制造检测,即使其尺寸是符合公差的要求,也不能说明产品装配达到了协调准确度的要求。尺寸公差分析的过程就是对现行的装配工艺或计划实施评判,预测其能否在零组件装配后满足协调准确度的要求。

基于工艺能力指数的评价,通常在尺寸公差分析中,以工序的能力系数 C_p 和工序能力指数 C_{pk} 来评价工序的加工能力的强弱。

统计试验法(蒙特卡罗仿真法)是通过随机模拟和统计试验来求解数学、物理和工程技术问题求近似解的数值方法,将分析问题转化为一个概率解答的问题,然后用统计模拟解决这个问题。在飞机装配制造中采用统计学原理可以更好地进行尺寸分析计算,评估装配协调准确度。

2 基于统计学方法的装配协调准确度分析

根据设计经验,初步确定零部件的行为公差,并结合装配方案统一基

准策略,确定产品装配偏差模型;根据零件生产加工、装配定位方法产生偏差的统计学原理,利用统计试验法进行采样,模拟装配可能达到的偏差范围,评判装配工艺的优劣,进而给出优化调整的方向,改善装配协调所能达到的成本和精度水平。

图 5 为尺寸公差分析方法的执行步骤。使用尺寸分析工具验证尺寸公差,检查尺寸是否符合制造工艺的要求。在满足设计目标的前提下,尺寸分析对设计要求、装配顺序、定位方案、基准定义、验证计划、公差标注、制造性、经济性和其他管理风险等环节进行定量分析控制,得到的分析计算数值作为工艺人员进行工艺方案评估时的一种定量参考。

进行有效尺寸分析是建立在大量统计和试验数据基础上的,基于该统计方法设计人员与工艺人员可以

对尺寸公差进行定量的数字化分析。分析软件的应用要求对制造的工艺有很好的理解与阐述,这是进行容差分析重要的基础。

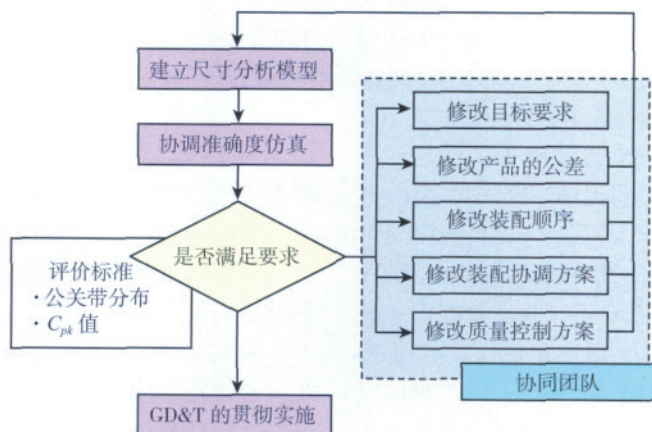
3 大客容差分析的案例研究

大型客机后段装配是飞机机身装配的典型协调工位,研究分析该装配协调对于控制后机身的装配质量具有重要作用。案例研究以后机身前段、后段和平尾假件装配为研究对象。参与装配的后机身前段和后段是经多级装配组成,且在装配过程中用到大量装配型架,整个装配协调是一个复杂空间定位装配的过程,该过程在 AVA-A 软件中进行尺寸链建模。

通过确定协调路线,并根据设计最终要保证的气动外形目标,设计产品工装的相关容差分配,并给出相应的测量方案。在确定的技术要求下,通过建立该装配方案下的尺寸链模型,利用 AVA-A、Visvsa 等软件分析,得到如图 6 所示的装配仿真测量点的偏差分布预测图,并给出了该装配方案下的 C_{pk} 等指数。

基于模型定义的生产现场可视化

在 MBD 技术体系下,所有的信息定义在计算机系统中,都需要采用部分量化技术以及现场执行系统等平台环境,最终实现信息流从设计

图5 装配协调准确度仿真分析的一般流程^[4]

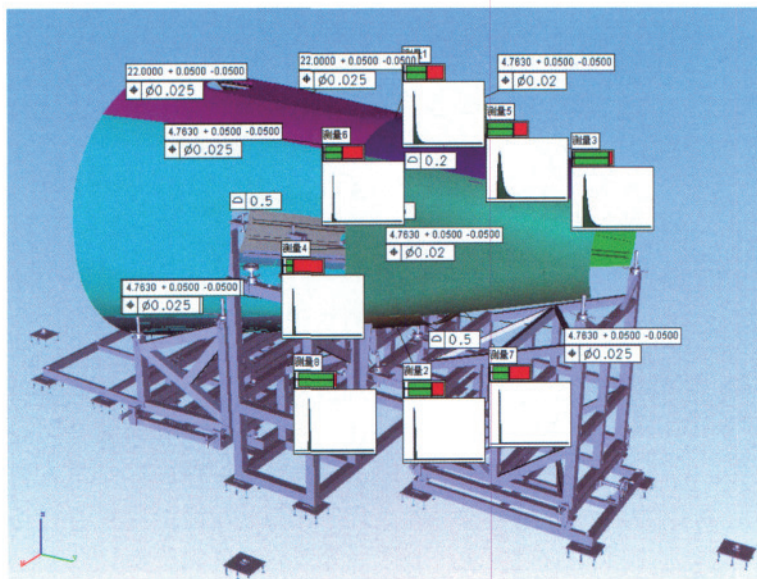


图6 装配仿真的偏差分析



(a) 工装使用说明



(b) 装配指令说明

图7 三维AO实例

员、工艺员到现场工人生产终端的传递。现场应用的数据类型包括工程定义的产品信息、工艺相关信息以及质检信息等。现场的数据是现场操作人员通过制造执行系统获取到的数据,是通过制造执行系统与产品数据管理系统的内部机制来保持其信息传递一致的。

1 工程信息现场应用的形式

工程信息是生产现场制造加工的主要依据,根据现阶段设备状况、人员素质情况以及生产成本的考虑,生产现场使用的工程信息可以分为以下三种形式:

(1) 利用 CATIA 直接读取 MBD 数据集;

(2) 利用免费的轻量化播放工具播放集成在各种工艺文件中的轻量化工程模型;

(3) 利用打印机打印纸质简图。

简图的创建与管理。现场使用的简图由车间现场工艺人员创建,通过工具创建,并在打印时印上醒目的有效性标识,声明只适用当前状态。由于现场简图是一种过渡的信息载体,创建的原则也保证了与工程数据集模型的一致,因此,当工程信息更改后要立刻贯彻到相关的简图中(由车间工艺人员来贯彻),原有简图

与制造结束后所使用的简图应报废。当需要重新加工和制造时,仍旧是通过 MBD 数据集创建简图的方式。

2 工艺信息现场应用的形式

工艺信息是利用工程的 MBD 模型创建的较 ARJ21 更为形象化的包含三维轻量化场景模型的相关信息。工艺信息一部分是由工艺人员创建的指令信息,这部分信息是面向产品的,是可重用的;另一部分信息是生产现场创建的信息,如产品的现场检验信息、记录信息等。工艺信息主要有以下两种形式^[5]:

(1) 三维 AO/FO,集成化的工艺指令信息,其内容包括轻量化模型,相关指令信息以及场景信息等,如图 7 所示。在生产现场,这些信息在电脑中记录和流转,在必要的情况下,可以输入纸质介质的工艺文档。

(2) 现场采集信息,通过 M3 提供的功能,将工艺执行后的记录以及检验记录的信息填写在流转 AO/FO 中。现场信息的采集根据 M 的规划,将所有信息都电子化,不再存留纸质的现场记录。

除此之外,在飞机的研制阶段,还将包含首件检验信息、工装技术条件、工装申请、指令等信息,这些信息都可以采用类似三维 AO/FO 的形式,

并采用格式化存储与管理,从而提高管理的质量,同时也可以采用集成平面图形的方式定义,可直接派生纸质介质的现场信息。

结束语

相对传统飞机装配工艺设计与管理,MBD 技术无疑带来了一场巨大的变革。MBD 技术完全以三维模型为基础,彻底颠覆了之前以工程二维图纸为依据的管理方法和工作模式。该研究集中以 MBD 数据集的协同定义为出发点,以数字化工艺设计、仿真分析为手段,并以基于三维的现场可视化信息集成为目标,从而实现 MBD 技术在总装中心的应用。

本文讨论了数字化工艺开展的条件、协同设计的基本方法,并给出了数字化装配工艺仿真分析、装配协调准确度分析的基本要素,提出并建立了基于模型定义的生产现场可视化方案,为 C919 飞机开展数字化协同设计奠定了基础。随着 C919 飞机详细设计的展开,数字化工艺技术应用将得到进一步的验证与完善。

本文共有参考文献 5 篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 岭雾)