

# 航空数字化技术的新发展 ——工艺仿真系统

## Process Simulation System: New Development of Aviation Informatization Technology

中国航空综合技术研究所 宁振波 王立书 邓 虎



宁振波

中国航空综合技术研究所副总师、研究员。金航数码科技有限责任公司副总经理。多年来,一直从事航空制造业信息化工作。曾荣获国防科技工业一等奖、中华人民共和国国家科技进步二等奖,同时在各型飞机首飞、定型、改型中,多次荣立一、二、三等功。

长期以来,航空企业对于工艺的改进主要依靠经验和试验,一直缺乏一套专业的、有效的方法和手段。模拟是控制设计、制造过程并预测产品早期服役可能出现问题的最好解决方法。当前,有限元理论已十分成熟,相应的商业模拟软件也逐步趋于成

熟,并在各行各业逐步发挥其巨大的作用。

熟,并在各行各业逐步发挥其巨大的作用。

### 航空工艺 CAE 现状

笔者对航空工艺仿真系统情况进行了解,总结出了目前航空工艺仿真的应用现状。

#### 1 复合材料工艺

复合材料的工艺主要分为两大类:RTM 工艺和热压罐工艺。RTM 工艺目前大多数应用的是 PAM-RTM 软件,该软件主要针对 RTM 工艺过程进行仿真,主要用来优化浇注口位置和浇注速度以及预测干点等缺陷。对热压罐工艺,目前还没有看到成熟的 CAE 模拟软件。ESI 有个预研软件 AUTO-CLAVE,可以对热压罐的流场、温度场和固化过程进行仿真分析,另外有些单位也基于通用软件进行了一些开发工作,但这些软

件相对都不是很成熟。关于复合材料的成型,现在主要在用的是 PAM-FORM 软件,主要是针对复合材料的成型过程进行仿真,预测复合材料纤维的重新取向、起皱、断裂等缺陷,优化重击速度和压力。

值得一提的是航空材料研究所和 ESI 合作开发了一套复合材料数据库系统,可以对复合材料的各种信息,包括材料性能、材料工艺信息、数据来源、试验标准、材料标准和规范等进行管理。这为复合材料的工艺仿真过程奠定了基础。

由于复合材料的特殊性,谈复合材料的工艺就不得不谈一下复合材料的设计,目前复合材料的主流设计软件有 FiberSIM、SYSPLY、NASTRAN 等。

#### 2 冷加工工艺

航空冷加工工艺过程主要包括

钣金成形工艺和机加工工艺。

钣金成形工艺过程的模拟软件目前主要应用的是 PAM-Stamp 软件, 另外还有 ABAQUS、Dynaform 等。这些软件主要用来预测钣金成形过程中的起皱、破裂等缺陷, 优化钣金成形过程的工艺参数。目前航空钣金的九大工艺过程包括: 橡皮囊成形、蒙皮拉伸、超塑成形、型材拉弯、热成形、弯管成形、导管内高压成形、旋压成形和喷丸成形, 前 8 个工艺基本都可以进行仿真模拟, 对于喷丸成形, 目前还未见有相关专业的仿真软件

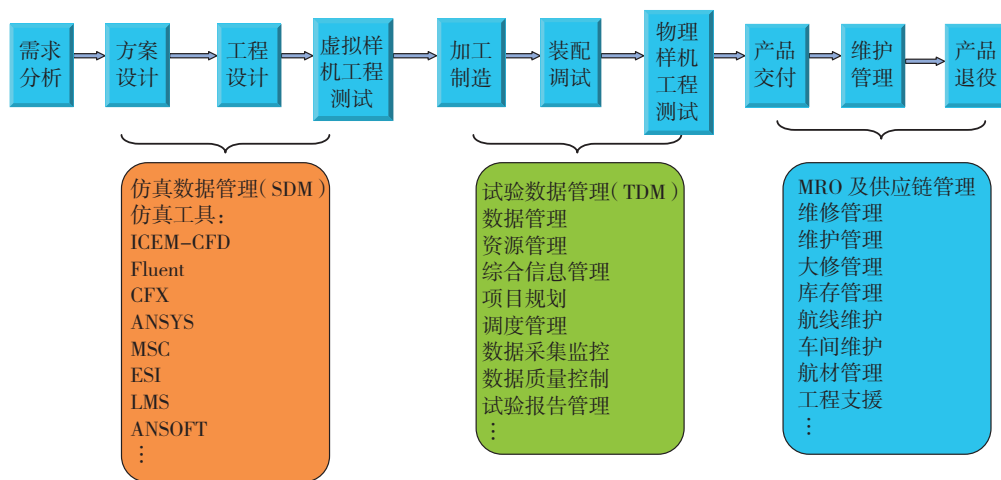
是发动机的核心技术。但是众所周知, 我国的发动机单晶叶片的工艺成品率极低。据有关报道, 国外罗·罗公司采用 Procast 进行单晶叶片的模拟铸造, 其工艺成品率在 80% 以上。虽然我国航空工业的有些单位也相应安装了 Procast, 但是目前主要应用在一些大型精铸零件上。针对单晶叶片的模拟仿真主要是航空材料研究所在进行, 其他单位也有所开展。另外也有一些其他的铸造软件产品, 国产软件如华铸 CAE、北方恒利等。

### 航空工艺仿真系统的重要性

现代航空制造工艺越来越复杂, 性能、精度要求也越来越高, 若依赖试验的设计手段, 其设计费用越来越高, 周期越来越长, 也越来越不容易保证可靠性。而从一些发达国家汽车行业的经验来看, 仿真技术的应用可以大大减少试验的比重, 减少设计的盲目性, 节省巨额的设计费用, 大大缩短设计周期。

当前, 我国要从制造业大国转变为制造业强国, 必须提高创新能力和

创新意识, 增强专利意识。航空制造业如何才能做到这一步呢? 笔者认为发展航空工艺仿真系统是我们的必由之路。当前我们必须将以往传统的靠经验的定性分析转变为借助航空 CAE 工具进行定性半定量分析, 最终达到借助航空 CAE 工具进行定量分析, 才能有效地提升我们航空制造工艺整体



实现产品全生命周期 (PLM) 流程管理

进行模拟仿真。据了解, PAM-Stamp 之所以成为主流软件主要是由于它对反弹的模拟比较准确, 如果真的能用仿真来减少目前钣金的校形工作量, 那么该意义不可小视。针对钣金工艺过程的模具问题, DIAMAKER for CATIA 与 PAM-stamp 反弹功能连在一起, 为模具的设计和修改提供了一套有效的解决方案。

关于机加工工艺过程的模拟仿真, 据了解目前都不是很成熟, 主要都是基于通用有限元进行二次开发来进行。

### 3 热加工工艺

航空热加工工艺主要分为铸造、锻造、焊接和热处理。

目前航空器上的主要铸造部件是发动机叶片, 尤其是单晶叶片的铸

锻件在航空领域发挥着核心作用, 飞机发动机的涡轮盘、后轴颈 (空心轴)、叶片、机翼的翼梁、机身的肋筋板、轮支架、起落架的内外筒体等都是涉及飞机安全的重要锻件。目前锻造模拟的软件主要是 DEFORM, 另外还有 Forge、Superforge 等。

对焊接模拟仿真, 目前在航空单位应用最多是 SYSWELD 软件, 主要用来解决焊接过程的变形和应力问题, 但总体来说焊接仿真刚刚起步。

热处理仿真在航空单位也是刚刚开始, 有些单位开始应用 SYSWELD 软件来进行热处理过程的模拟仿真, 主要是针对热处理工艺进行模拟, 预测应力、变形和硬度。

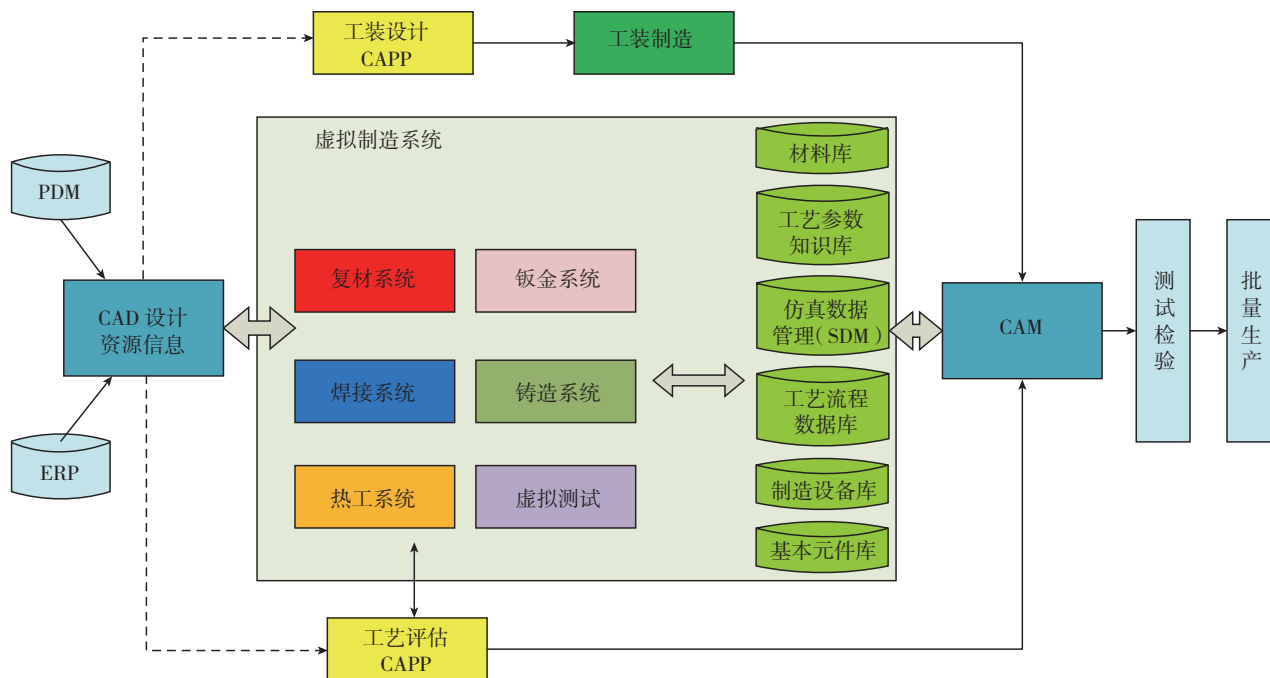
总体而言, 航空工艺仿真系统相对国外差距较大, 目前刚开始发展。

水平, 为航空设计提供有力的支撑, 推动整个国家信息化的进程。

### 试验与航空工艺仿真系统的辩证关系

鉴于航空工艺仿真系统研究的开展, 航空系统内对于试验与航空工艺仿真系统的关系讨论较多, 这里笔者给出自己的一点浅见。

试验与航空工艺仿真系统是对立统一的关系。航空工艺仿真系统不能替代全部的试验, 这是由航空工艺仿真系统的发展决定的。航空工艺仿真系统的发展必须依靠试验来为其提供理论基础和实践基础, 包括固定的边界条件等。试验也不能替代航空工艺仿真系统, 这也是由航空工艺仿真系统的发展决定的。航空



航空工艺仿真系统（虚拟制造系统）的典型架构

工艺仿真系统的发展目标就是要解决试验成本高、周期长等缺点。在整个航空工艺仿真系统的发展过程中，两者不是谁替代谁的关系，而是相互促进、相互发展的关系。

### 发展航空工艺仿真系统的建议

笔者从事数字化工程数年，有感于航空工艺仿真系统的发展，所以针对航空工艺仿真系统的发展提出自己的几点建议。

#### 1 航空工艺仿真系统发展的首要因素是人才

航空工艺仿真系统是一个复杂的学科，处于交叉学科的前沿，对于人才的要求较高；目前同行业单一软件应用效果参差不齐的主要原因就在于此。如何构造一个良好的尊重人才、鼓励创新的环境是航空工艺仿真系统发展的基础。如何解决人才外流、软件应用断档的问题是航空工艺仿真系统的首要问题。

#### 2 航空工艺仿真系统发展的有效模式是以点带面，阶梯推进

航空工艺仿真系统的发展，我个人认为应该首先针对工艺特点在典型单位进行典型工艺的仿真应用，并把应用好的总结经验进行大面积推广，这样既能避免盲目尝试的风险，也能有效地进行更多的尝试；根据各个单位的应用水平进行定性 - 半定量 - 定量的阶梯推进。

#### 3 航空工艺仿真系统的发展必然要经历定性 - 半定量 - 定量的过程

任何一个事物的发展都是量变到质变的过程，由于航空工艺仿真系统的复杂性，工艺工程师在应用过程必然要经历由陌生到熟练应用的过成，各种边界条件和简化，也必然要经历错误 - 正确 - 精确的过程，试验与工艺仿真系统结果也必然要经历试验验证工艺仿真系统、推进工艺仿真系统到工艺仿真系统推进试验的过程，所有这一切决定了航空工艺仿真系统的发展必然要经历定性 - 半定量 - 定量的过程。

#### 4 航空工艺仿真系统的基础是材料数据库

材料是航空工艺发展的基础，所

以材料数据库是航空工艺仿真系统的基础，很难想象，一个没有正确材料性能的软件可以将工艺过程计算无误。众所周知，工艺仿真分析对于材料性能的要求比较严格，而目前我们的航空材料手册中的数据已经远远不能满足航空工艺仿真系统的需求，各个单位虽然也测定了大量数据，但是数据存在共享性、正确性、完整性等诸多问题，这要求我们必须建立统一、完善和共享的材料数据库系统。

#### 5 航空工艺仿真系统的发展必然要求建立标准进行流程定制

做过仿真分析的人都知道，对于同一部件应用同一软件，不同的人的分析结果会有所不同。究其原因，主要是他们每个人的网格划分不同、边界条件不同、载荷处理不同、求解方法不同等，总之就是标准不同，流程不同。所以要达到航空工艺仿真系统的定量分析，必然要求对航空各个工艺仿真建立细节标准，进行详细流程定制。

(责编 侧卫)