

三维模型定义 (MBD) 成功案例 — 湾流 (Gulfstream) 公司

撰文 / DS SOLIDWORKS 吴军 (Oboe Wu)

一、引言

2015 年的三维模型定义系列文章分享了通用电气和美国海军的成功案例，之后总结了实施经验“十要和十不要”。本文将继续介绍另外一家世界著名公司“湾流 (Gulfstream)”的成功经验。主要内容来源于 Dan Ganser，湾流公司产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management, PLM) 系统科学家，在 2015 年航空和国防工业 PLM 发展蓝图大会上面的发言。

湾流 (Gulfstream) 实施三维模型定义有两个突出特点。

(1) 收效显著。湾流 (Gulfstream) 率先实现了航空工业长久以来的一个梦想：完全数字化的三维飞机模型定义系统，并且通过了美国联邦航空管理局 (Federal Aviation Administration, FAA) 认证。2007 年 G650 机型开始全部采用三维模型定义设计，之后在 G500 和 G600 型号中大量重用，而且实现了这两个机型的并行设计，节省了大量时间和经费。

(2) 实施彻底。整个公司配备了近万套高端 CAD 系统，包括工厂车间。车间工人直接使用统一的高端 CAD 系统（而不是中间格式或阅读软件）读取关键制造信息，必要的时候可以查询丰富的建模信息。这扩展了车间工人职责，使得三维标注大量简化。除了内部广泛使用 CAD 系统，公司还要求所有供应商必须使用同样的 CAD 系统和版本。

二、湾流 (Gulfstream) 公司简介

湾流 (Gulfstream) 公司成立于 1958 年，一直致力于商务和私人飞机的设计、制造和服务，业务集中于机体结构、总体集成和内部装饰。公司以为客户提供极致的飞行体验，减少时差影响为使命。2015 年主要机型如图 1 所示，典型机舱如图 2 所示。总部设在美国佐治亚 (Georgia) 州。现有员工 1 万 5 千多人。图 3 总结了 6 个北美制造基地。

三、三维模型定义的实施过程和效果

湾流 (Gulfstream) 公司从 2003 年开始计划实施三维



图 1 湾流 (Gulfstream) 2015 年主要机型



图2 湾流 (Gulfstream) 典型机舱



图3 湾流 (Gulfstream) 6个北美制造基地

模型定义,有三个主要目标:增强协同合作;提高设计重用;减少零件号数量。刚开始一个很自然的问题是从哪里下手。如上文“三维模型定义实施十要和十不要—流程篇”建议的,初期实施不必求全责备,只需要在整个制造流程中选好一个突破口,从而步步为营,逐渐扩展。湾流 (Gulfstream) 选定了飞机总体集成(总成)步骤的内部装饰(内饰)设计作为试点。原因是内饰不会影响关键飞行性能,风险相对较低;主要组装成品或半成品,而无需费心于前期复杂的机加工零件和其他复杂的系统;而且零配件数量巨大(如紧固件),得以检验三维模型定义的收效。

图1中的G450是第一个完全采用三维模型定义来设计机舱内饰的机型,其内饰的零件号数量比二维工程图流程减少了50%(夹子和支架之类的零件减少的更多),立竿见影的实现了设计重用和减少零件号的初衷。这一成功很快就促使三维模型定义扩展到所有机型的内饰设计。2007年,湾流 (Gulfstream) 开始了一项具有突破性意义的项目:把三维模型定义实施扩展到G650机体结构设计。如果说机舱内饰还只是给飞机化妆,并未涉及根本的话,那么机体结构则

是整个飞机的筋骨,牵扯到众多性命攸关的飞行性能。这也体现了湾流 (Gulfstream) 的胆识和对三维模型定义的信心。顺便提一句,很多其他制造企业把三维模型定义确立为关键竞争优势,甚至到了保密的程度,不愿意其他人(尤其是竞争对手)窥探到他们的三维制造流程。Dan Ganser的发言很有借鉴意义,但也只是浮光掠影,很多重要的细节还是需要每个企业具体实践摸索。

G650新的机体结构设计流程带来了一系列的变化,比如新的软硬件系统、新的厂房和配套的反反复复培训。G650的成功不仅极大地增强了结构设计团队信心,而且其三维机体结构模型定义在G500和G600中得到高度重新利用,使得这两个新机型能够并行设计,并且在2015年同时交付试飞。值得注意的是,公司内部和外围供应链都必须使用三维模型定义。比如G650,机翼和尾部的结构设计由供应商来完成,然后与公司自身设计的其他结构进行三维集成。而G500和G600两个新机型完全由内部团队负责结构设计,因而交流和集成相对简单一些。

三维模型定义的收效还包括保证了数据的完整性和一致性。读取数据的人不必再担心数据缺失,或者分散在很多地方,难以提取。存档实时发生,设计审核随时随地都可以通过网络进行。如图4和5所示,电气系统也采用三维模型定义,并且与机械模型结合。可以对整个飞机进行电气仿真分析,保证信号按照设计意图达到目标元器件。

四、三维模型定义的实施经验

在过去的12年间,湾流 (Gulfstream) 公司在三维模



图4 局部三维电气线路和标注

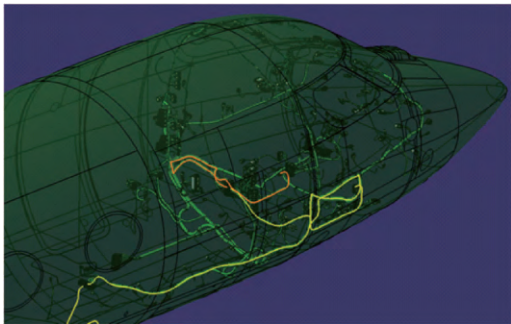


图5 驾驶舱三维电气线路示意

型定义领域取得世界瞩目的成功。Dan Ganser 作为亲身参与者和实施核心成员提到：“最让人兴奋的地方就是看着下游生产环节运用我创建的三维数据轻松高效地完成生产任务，而不再需要任何二维工程图。”公司积累了大量的实施经验和教训，从而总结出来一套自己的方法，下文列举了几个方面，但是这一切的前提是“动手尝试”。小马过河，不试不知道，与其隔岸观望，不如亲身实践。这也正是上文“实施经验十要和十不要——人员篇”提到的“不要犹豫”。

1. 统一平台

为了减少 CAD 数据格式转换带来的损失，公司要求内部所有团队和外围所有供应商统一使用一个 CAD 系统，并且停留在一致的大版本和小版本。为此，公司配备了近万套 CAD 软件，甚至包括工厂车间，如图 6 所示，装配工人使用 CAD 软件获取关键尺寸。



图6 湾流 (Gulfstream) 车间工人使用 CAD 软件获取制造信息

2. 简化三维标注

由于第一点的彻底实施，模型的三维标注可以非常简化。湾流 (Gulfstream) 要求车间工人能够熟练操作 CAD

软件，而不是单纯的中间格式或阅读软件，来获取与岗位相关的制造信息，比如 CAD 模型几何尺寸就被用作名义尺寸。这样上游工程部门的时间和人力就可以从繁复的三维标注中解放出来。

Dan 表示，在飞机内饰项目中，一条三维标注也没有；而在机体结构项目中，标注量也非常小。只在特殊或关键的特征上面标注，比如复杂的机加工零件。而其他完全依赖模型本身。湾流 (Gulfstream) 很早就意识到三维模型定义不代表“把所有信息都标注在三维模型上面”。正相反，大量信息都被存储在产品生命周期管理系统 (Product Lifecycle Management, PLM) 里面。这也是根据实际应用磨合出来的经验：比如过去，材料属性被定义到模型中。结果采购部门被迫打开模型才能得到材料信息，非常不便，遇到很大阻力。顺便解释一下，定义到模型当中的材料本来是渲染、重量分析、仿真以及其他应用所必需的，但是该 CAD 系统各个功能模块之间材料库的不一致，使得公司决定在设计阶段不给模型定义材料，而把材料直接写入 PLM。后期其他应用会单独定义材料。这不见得是最优化的，但是在现有 CAD 平台行之有效，当然也有未来继续改进的空间。

再比如供应商在报价的时候，除非很复杂的零件，很多情况其实并不关心模型本身，因为价格是由材料明细表、高精度的表面处理或公差、以及产品大致尺寸决定的。所以标注只着重在关键特征和特殊场合，其他都交给 PLM，比如通用公差就以存储在 PLM 系统的公司标准为依据，无需专门标注。材料明细表的收效更加明显。过去采购部门的材料明细表需要专门的管理员，花费五周，在大量的二维工程图当中找出来所有需要采购的零件。现在装配体是由 PLM 的结构和链接来定义的，所以能够随时在五秒钟内生成最新最准确的采购清单。

3. 维护数据的完整性和一致性

传统纸质二维工程图的天然优势是不论有多少种软硬件系统，什么样的工作环境，或者有多少人参与，起码每个人都可以拿创质图样，当然这其中出现的错漏是另一个问题。而三维模型定义就要复杂的多。尽管国际国内制定了各种三维标准，但目前尚无一种格式能像二维图样那样人人拿起来都能随意使用（三维 PDF 是一个很有潜力的方向）。由此不同的 CAD 平台，各种中间格式，多种附属文件等，这些都让维护数据困难许多。

另外 Dan 提到每次 CAD 平台升级,即使小版本升级,都会遇到数据错乱的问题,尤其是三维标注(与几何数据相比,各种 CAD 工具在三维标注领域还有待成熟)。有时候升级后,三维标注看上去保持一致,但实际上内部数值变化了,导致下游智能制造的应用程序读取错误的标注。其他的问题还包括硬盘失效,PLM/PDM 系统崩溃,操作人员无意删除了重要数据等。湾流(Gulfstream)花了很大的气力来解决上述问题,维护数据的完整性和一致性,同时还要保证易于获取,不会影响正常使用。因此要求所有的数据每天都归档,而且每天晚上都要验证比对文件的哈希属性(Hash Attribute),保证及时发现问题,快速查明根源,快速解决。如果验证不及时,那么查找根源,解决问题也会复杂很多。除此之外,为了满足美国联邦航空管理局的要求,最终发布的三维 CAD 格式内容必须非常简化,必须以 ISO 国际标准 STP 文件为准。具体来说,如果想确认什么样的数据可以放心的发布,最简单的办法就是把三维 CAD 模型导出到 STP,然后再导入到 CAD,只有剩下的数据才允许保留在最终发布的三维 CAD 数据当中。

软硬件系统的管理也非常严格。举例来说,所有的供应商和内部团队必须在同时升级 CAD 版本,尽管这意味着软件版本的滞后,但是统一版本的方便性更加重要。过去是每年圣诞节升级,后来延长到了 18 个月,现在周期是两年。另外如果被迫进行文件格式转换,那么转换的人最好是设计员本人。因为只有本人才最清楚设计内容,也最能够保证转换的准确。同样,供应商也必须通过质量部门的严格认证,确保能够准确读取模型,熟悉文档规范之后,才可能拿到订单。

4. 制定公司标准和培训工作人员

在三维环境中,每个人的使用习惯都不一样。比如颜色的使用就千差万别。有时颜色用来传递表面粗糙度,有时代表加工精度,有时代表喷漆,有时代表特殊表面。Dan 举了一次安装镜子的例子:装上去很容易,唯一的不足是镜面只能安装在朝墙的里侧,而背面只能朝外。问题在哪里呢?原来工程师在设计镜子的时候,把镜面涂上了黄颜色以示反光面,但并没有添加文字标注。到了生产环节,制造工人不理解颜色的意思,因而没有理会。但是除去颜色的差别,无论镜面反正,三维模型都是一样的,所以导致了废品。这只是一个例子,类似的习惯问题、语言问题和文件格式问题等还有很多。

为了解决上述问题,实施团队制定了大量公司标准,并且经常培训所有参与人员,包括供应商和售后服务。比如镜子的制造人员必须明白黄颜色是什么意思。Dan 回顾整个经历,也承认低估了改变供应商习惯的难度。比如过去二维工程图经常有注释说明“模型可以用来加工制造”,这实际上确认了二维工程图完全杜绝了人为虚假尺寸,从而与三维模型保持完全一致。所以加工商可以放心使用模型,为数控机床做必要的修改(如删除小孔、添加参照点等),只要最后按照二维工程图做质量检验就可以。在三维模型定义流程中,发布模型取代了二维工程图作为基准。但是有些加工商还是按照过去的习惯随意更改模型。数控加工出来之后,依据更改的模型进行质量检验。这就完全违背了发布的三维设计意图,带来了很大的问题。所以湾流(Gulfstream)不得不跟每家供应商反复强调以发布的三维模型为制造检验基准,而不是修改后的数控机床模型。

5. 发挥三维数据在下游生产当中的效用

三维模型定义(MBD)实施经验中提到的十要十不要就提到了,三维模型定义真正的效力点,在于下游生产环节。湾流(Gulfstream)把车间的制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)与 PLM 系统连接起来。如图 5 所示,每位工人可以直接提取三维数据,操作三维 CAD 软件,获得必要信息完成加工、调度、装配、检测的步骤。起初,公司还担心车间部门不一定有能力,或者不愿意使用三维 CAD,但实际上效果非常好。很重要的原因是现在的工人团队普遍年轻化,教育背景更偏重三维,而且接受新工具、新流程的能力很强。

图 7 显示了一个利用三维数据安装和检测紧固件的例子。铆钉、螺丝和螺母等紧固件数量巨大,作用关键,但是传统安装非常繁复。过去一个办法是把所有紧固件密密麻麻的位置人工画在一块尼龙布上面,然后把尼龙布蒙到机体上面进行安装或检测。如今这项新技术根据三维模型定义,提取紧固件的位置、种类、型号、需要的工具和预先钻好的孔等信息,然后用三维激光投影仪精确弯曲这些影像,严丝合缝的投影到弯曲的机体上。这样安装人员只需要按照投影信息就可以轻松操作,同理也可以进行检测。由于所有数据都是基于三维定义,所以无需额外编写复杂长篇的安装手册。如果设计有调整,那么投影也自动更新。数字化的方式不仅更加准确清晰,而且大量节省了时间和经费。

图 8 是另外一家公司 Northrop Grumman 在 F-35 战斗机项目使用三维紧固件投影指导安装。预计这项技术在整个项目生命周期将节省七千七百万美元（信息来源：<http://globalfastenernews.com/>，2015 年）。

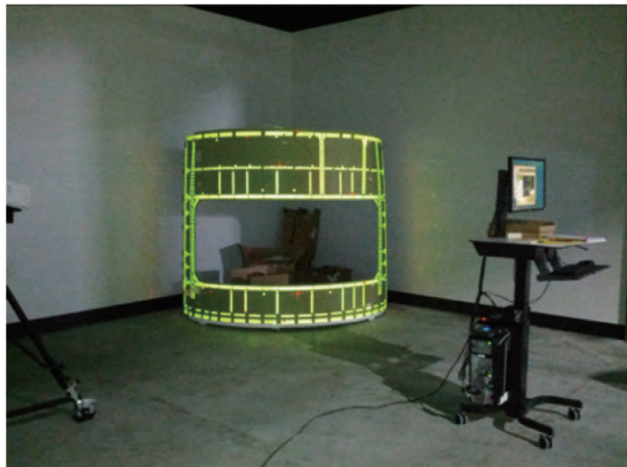


图 7 激光投影三维数据来安装和检测紧固件

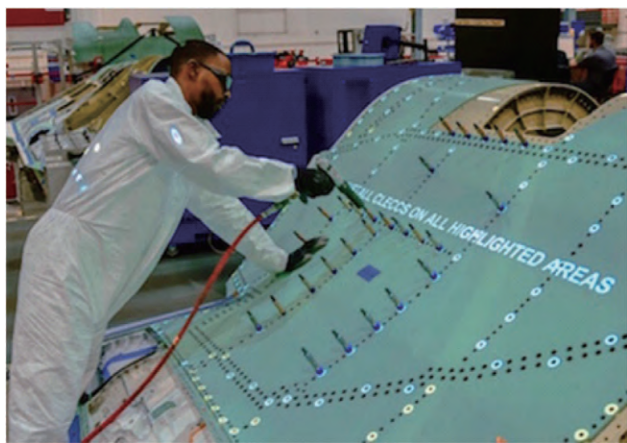


图 8 工人按照激光投影安装紧固件

五、让三维模型定义系统获取美国联邦航空管理局认证

除了上述实施经验，航空行业与其他行业不同，新的系统和流程需要得到美国联邦航空管理局的认证才能够上马，否则一切都是空谈。这也是湾流（Gulfstream）面临的巨大挑战。与管理局官员的众多会议至今还让 Dan 记忆犹新。比如一个很简单的问题：如何确定锁定的设计数据没有改变？Dan 的团队起初的回答很简单：我们的系统是保密的，没人能改动。但这引来了官员的一系列质疑和调查。

◎系统管理员能不能改动？

◎数据库管理员呢？

◎如果工程部门强迫管理员修改数据呢？原因可以很多：“我的设计发布错了”，“里面有拼写错误，请改正”，“我们的设计数据结构要改动，那样可以让下游协同更加顺利”。

◎如果有人给数据管理员 500 万美金，能改动吗？

由此可见，数据的管理非常复杂严格，这也是为什么每天晚上都要验证每个文件的哈希属性。由于湾流（Gulfstream）使用的数据管理系统的限制，航空管理局无法在外部登录。所以每两个月，公司都要给航空管理局邮寄一台笔记本电脑，里面有全部最新数据。调查官员登录后进行验证。更麻烦的是达拉斯的航空器认证办公室（Aircraft Certification Office, ACO）特殊安检程序需要扫描笔记本电脑。每次扫描都会让硬盘退磁，丢失数据。所以还要重新邮寄硬盘，并且申请特殊许可，避免扫描。久而久之，连航空管理局都觉得麻烦了。因此，他们在 2015 年决定改变流程，允许湾流（Gulfstream）只把笔记本电脑定期发送到本公司的机构授权认证处（Organizational Designation Authorization, ODA），管理局随时可以获取数据即可。

六、结语

综上所述，湾流（Gulfstream）实施三维模型定义比较彻底，成效显著，处于世界前沿水平，而且难能可贵的让三维模型定义流程获得了美国联邦航空管理局的认证。希望对我国制造企业同仁有所启发。也欢迎与 Oboe.MBD@gmail.com 联系讨论。来信提出建议、想法和问题的同仁，都会免费得到一份精美的三维 PDF。IM