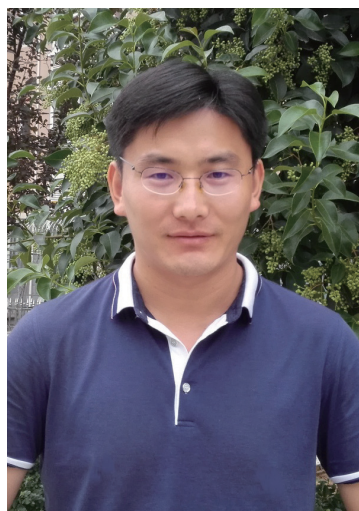


# MBD在国内飞机研制中的应用现状与问题探讨

Application Status and Problems of MBD in Domestic Aircraft Development

中航通飞华南飞机工业有限公司 巩玉强



巩玉强

高级工程师,主要研究方向为飞机大部件装配协调、飞机数字化装配及仿真、MBD 技术及应用等,曾先后主管某歼击轰炸机机身结构装配、某大型运输机部件自动化装配及其数字化仿真以及三维数字化装配工艺设计系统开发等工作;目前主要负责大型灭火/水上救援水陆两栖飞机全机结构装配协调、大部件对接以及适航检查工作。

自 1799 年法国学者蒙日发表《画法几何》以来,机械图样中的图形开始严格按照《画法几何》的投影理论绘制,工程师们一直使用二维平面工程视图来表达产品并逐渐演变为第一代通用标准工程语言,由于受到

MBD 技术不但是设计技术的革命,也是设计制造体系的革命,其产品信息和制造信息集成的特点对设计与制造体系提出了明确改革方向,也对设计与制造的融合提出了非常紧迫的要求,以波音公司为代表的先进航空制造企业在 MBD 技术及其体系建设中已走在世界最前沿,我国要在航空特别是民用航空领域迎头赶上,必须在基础技术方面加大研发力度,在研发体制方面加快改革步伐。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.18.050

纸制二维工程图表现力的限制,这种二维视图表达方式浪费了设计师/工程师大量的精力去定义和识别,很难避免出现歧义和偏差,使得绘制和判读二维工程图特别是复杂装配图成了需经严格专业训练的高难度技术工作。绝大多数情况下只有在产品制造时才能发现设计或识图错误所导致的问题,严重拖延了研制进度并导致成本大幅增加,特别是对于像飞机这样高度复杂的产品,以前不得不花费大量资金制造物理样机进行设计协调和装配协调。随着计算机软硬件技术的进步,借助计算机辅助设

计技术,采用电子化二维方式表达越来越成为工程表达主要方式,但限于二维工程图的表现力局限,手工绘制的二维工程图中固有缺陷在电子化二维图中依然存在,故其依然属于第一代工程语言的范畴。

随着数字化设计、制造技术的发展,在飞机设计领域逐渐采用三维数字化实体设计加电子化二维投影工程图的表达方法,大幅度提高了设计质量,使得设计及制造技术人员可在有三维实体模型参考的情况下进行二维工程图判读,工程技术人员可以非常直观地进行工艺设计工作。三

维数字化实体设计相对于第一代二维工程图设计来说是革命性的进步,属于第二代工程语言,当前大多数机电产品设计都是属于此类。随着大型三维协同设计软件以及基础标准研究的进步和成熟,在航空制造领域逐渐采用了基于全三维数字化模型的协同设计(即基于模型的设计,简称 MBD)并逐步成为第三代工程语言<sup>[1]</sup>。

MBD (Model Based Definition) 是美国机械工程师协会及波音公司等经过近 10 年的基础研究并在波音 787 飞机上正式全面推行的新一代产品定义方法。在基于 MBD 技术的产品设计中,用一个集成的三维数字化实体模型完整地表达产品信息,即将制造信息和设计信息(三维尺寸标注及各种制造信息和产品结构信息)共同定义到产品的三维数字化模型中,同时融入知识工程和产品设计/制造标准规范等,从而取消二维工程图,保证了设计数据的唯一性。MBD 不是简单的三维标注+三维模型,它不仅描述产品几何信息而且定义了三维产品几何信息和非几何的管理信息(产品结构、产品制造要求、BOM 等),使用人员仅需一个数模即可获取全部信息,减少了对其他信息系统的过度依赖。由于产品信息全部存在于三维模型中,上一代采用以三维数字化实体设计+二维电子工程图为工程语言,原来适用于第一代和第二代工程设计的体系和流程已无法适用于采用 MBD 技术的第三代工程设计,因此 MBD 对整个飞机的研制体系提出了需要重大变革的要求<sup>[2]</sup>。

### MBD 在国内飞机研制中的应用现状

我国飞机研制从仿制到自主研发经过了数十年,飞机设计所采用的技术也从模线样板、手绘二维工程图逐步过渡到三维数字化设计直至目前在新机研制中采用的 MBD 技术,

不管是飞机工程设计还是工艺设计都有了较大进步,但与波音等公司相比,我国飞机设计制造的技术能力在高度和广度上都还存在一定的差距,尤其是在基础标准和规范上的差距更大。下文分别就 MBD 技术在我国飞机研制中的工程设计和工艺设计两个方面进行探讨。

#### 1 MBD 在国内飞机工程设计上的应用

我国最早涉及三维数字化设计技术的型号是飞豹飞机,一飞院曾经完成了飞豹飞机的全机结构数字化建模工作,但其数据来源于飞豹飞机原有的二维图纸、模线样板以及工装等,实际上属于逆向工程范畴,还不属于真正意义上的数字化设计,其工程表达及制造依据仍然是二维工程图等纸质技术资料。我国最早真正采用三维数字化设计技术是从 ARJ21 支线客机开始的,该机采用的是三维数字化模型+二维工程图+零组件明细表。三维数字化设计技术的采用,大幅度提高了 ARJ21 飞机设计协调性,通过借助计算机技术进行干涉检查、运动机构仿真模拟等,极大地减少了结构之间、结构与系统之间以及系统与系统之间的不协调因素,但 ARJ21 产品三维数字化模型中没有定义零组件的制造属性,这些属性以及加工要求等全部在二维工程图等技术文件上体现,严格来说依然不属于 MBD 范畴。ARJ21 客机采用的设计方法对于工程设计技术来说是一项革命性的进步,而对于制造系统来说,除了工艺审查和装配工艺设计等方面受益于三维数字化设计外,其他如数据管理、工艺设计规范和标准等与制造体系相关的领域并没有因此受到冲击,故在这种情况下,原有的设计标准、规范以及数据管理体系依然可以继续运行。

近几年随着波音公司等波音 787 飞机设计中全面采用 MBD 技术后,我国相关高校和研究所对 MBD

技术进行了跟踪并开展了初步研究,通过对波音公司等 MBD 方面相关标准的研究,相关单位制定了一系列 MBD 设计、管理等方面的标准和规范。在此基础上,我国新一代大型运输机全面采用 MBD 的方法进行全机三维数字化定义,飞机设计单位借助达索公司的 VPM 协同设计平台实现了各专业并行设计,同时实现了设计领域的并行工程。采用 MBD 技术的飞机产品定义方法,彻底结束了二维工程图的使用,大幅度减少了设计工作量,使得研制周期缩短了 50% 以上,在某大型运输机研制批的制造中发挥了重要作用。目前我国正在研制中的民用飞机如大型客机 C919 和大型水陆两栖飞机 TA600 也采用了 MBD 技术进行全机三维数字化定义。

#### 2 MBD 在国内飞机制造工艺设计上的应用

在相当一段时间里,我国各主机厂大都是在对老型号进行改进改型,新型号非常少,原有型号大都是 20 世纪甚至是 20 世纪五六十年代的产品,其设计技术水平较低,基本上采用模线样板、纸质二维工程图以及零组件明细表等进行飞机产品的表达。由于产品图纸和工装图纸数量非常庞大,制造单位的工艺设计人员要有很高的识图能力和极大耐心才能较好进行工艺审查、装配工艺设计、工艺协调以及物料统计等工作,同时由于二维图纸表现力的局限,再加上设计本身有很多不协调的地方,导致工艺设计等工作量非常大,耗费时间长,很多产品、工装以及工艺方面的不协调问题只有到了实际制造时才发现,造成时间和资金上的极大浪费;工艺文件如装配指令等全部为文字表达,工人在现场施工时既要仔细判读二维工程图,又要逐字理解装配指令等文件,故现场使用体验很差,效率很低,最后导致普遍存在师傅干什么徒弟干什么的现象,很多人既不看图纸也不看装配指令,频繁出现飞

机设计及工艺更改被遗漏的情况,飞机装配故障层出不穷。如某飞机舱门一处结构有6个铆钉,被飞机设计人员更改图纸时漏掉,工艺人员没有发现,现场工人装配时绝大多数都没有看图纸,有的继续安装,有的安装5个或者4个,极少数人发现了则没有安装,上述此类情况都是整批次出现,涉及数十架飞机,客户对此非常不满。

随着 ARJ21 飞机等逐步采用三维数字化设计,特别是近几年在最新型号上全面采用了 MBD 技术进行飞机产品的定义,极大地降低了飞机工艺审查、工艺协调等工作的难度。工艺技术人员可以在三维数字化的环境下进行飞机零组件的形状、位置、施工空间等分析,同时可以借助三维仿真软件进行装配过程、人机功效、厂房布局的仿真,预先发现产品、工装以及工艺设计方面的问题并提前解决,大幅度提高了工艺设计工作的效率和质量并降低了成本。特别是以某大型运输机和 C919 为代表的型号全面采用 MBD 技术后,其产品采用标准化形式定义了设计信息和制造信息,使得制造工艺技术员无需翻阅大量二维工程图纸等技术文件便可全面掌握所需产品的制造等信息。采用 MBD 技术的三维数字化模型体现出来的所见即所得的表现力和操作体验也极大地降低了一线工人的理解难度,特别是一些主机厂开发了基于 MBD 技术的装配工艺设计系统并可发布三维可视化的装配指令,如成飞开发的三维 CAPP 系统和西飞在 DELMIA 基础上开发的基于 MBD 的三维数字化装配工艺设计系统等均实现了工艺设计过程的三维数字化和装配指令的三维可视化(如图 1 所示),改变了过去枯燥难懂的文字表达形式,使得工人从复杂的图纸判读中解放出来,仅通过简单易懂的三维可视化装配指令即可指导其装配工作。随着先进制造设备如机器人

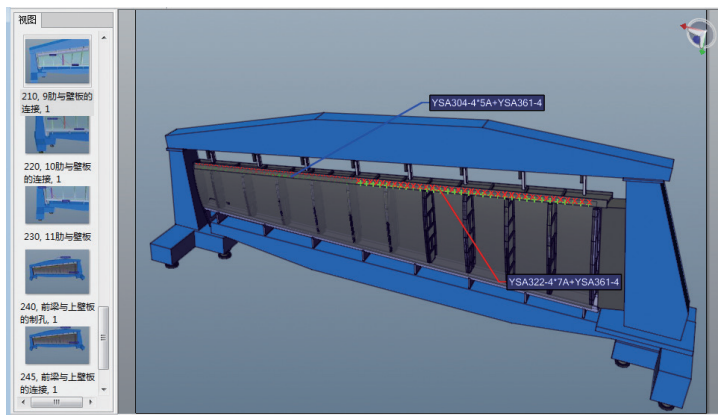


图1 三维可视化装配指令

自动化制孔系统逐步应用,先进的编程软件可以直接读取采用 MBD 技术定义模型中的制造信息进行数控编程,然后借助专业仿真软件进行数控程序的虚拟仿真和优化,最终生成自动化设备可以读取的 NC 代码,实现了飞机自动化装配的离线编程,大大提高了工艺设计效率,因此 MBD 技术的实施也为普及自动化装配设备打下了必要基础<sup>[3]</sup>。

## MBD 在国内飞机研制中的问题探讨

目前 MBD 技术在我国个别最新型号研制中进行了初步应用,在缩短研制周期、提高装配效率和质量方面取得了明显效果。但在型号的实际制造中发现了很多技术、管理等方面问题,有些问题甚至导致了较严重后果。针对这些问题,需要进一步开展更深入和广泛的研究加以改进。

### 1 MBD 技术相关的标准规范体系问题

最早提出 MBD 思想的是波音公司,但其真正实施 MBD 技术却经历了十几年的时间。在美国机械工程师协会及波音公司等经过近 10 年的基础研究并发布了 ASME Y14.41-2003 和 BDS 系列等与 MBD 相关的技术规范 and 标准后,波音公司才在波音 787 上全面实施 MBD 技术。MBD 技术的实施不是一蹴而就的,需要经过严谨细致的基础研究,包括飞机设

计标准和规范、制造商的制造技术管理体系和信息化水平、飞机自动化制造装备的技术要求等。MBD 技术的实施必须要对相应基础标准和规范进行全面、细致的前期研究,制定统一的基于 MBD 的基础标准规范体系,并在此基础上制定相互协调的设计技术、工艺技术和生产等管理体系,同时整合产品设计、工艺设计、数据管理以及生产管控等系统(如图 2 所示)。以 ARJ21 客机为代表的三维数字化设计是对设计技术和二维工程设计技术的革命,也是新的生产力对旧生产力的革命,整个飞机研制体系内的相关方也都是受益者,其实施过程几乎没有阻力。MBD 技术则对整个研发体系提出了变革要求,它推动整个研发体系的进步,但是这个体系中的很多部门和流程必须进行改革才能适应 MBD 技术发展要求,有很多部门和人员要做出利益上的妥协甚至牺牲,故全面实施 MBD 技术将会面对一定阻力。要真正发挥 MBD 技术作用,必须研究制定一系列与之相适应的设计、制造规范和标准并形成完整合理的基于 MBD 技术研发体系。然而在已经实施了 MBD 技术的型号中,设计部门制定与 MBD 相关的标准时极少甚至没有吸收制造部门的要求,设计和制造部门也没有像波音那样提前多年进行基础性研究和实践。制造部门对 MBD 技术不了解,在型号设计决定采用 MBD

技术后才开始相关标准的制定,虽然参考了波音等公司和机构的技术经验,但由于没有对其技术背景和制造体系进行深入研究和前期准备,导致制造部门在飞机开始设计后才开始进行相关数字化技术管理体系建设,包括飞机研制协同平台及生产管控系统等开发、工艺标准和规范的编制等。由于设计与制造部门缺乏紧密协同特别是缺乏基层技术人员参与,使得开发相关系统的使用体验很差,基层工艺等技术人员在使用过程中浪费大量时间,比如数据管理系统中很多可以由系统自动完成数据的提取、填写和管理,却需要使用人员手动进行操作,这些功能本该在系统开发前就通过相关规范来约束。缺乏紧密的部门整体协调结果就是各部门各系统之间无法有效衔接,扯皮严重,导致生产数据与实际数据不符,有时差距很大,没有很好地体现数字化体系应有的作用。与波音公司在实施 MBD 技术工程中遇到了很多阻力不同,我国在某型号实施 MBD 技术的过程中并未遇到过多阻力,但这不是现有的研发系统更加先进,相反是相关单位没有去改变现有体系去适应 MBD 技术要求,而是基本上维持现状。

设计部门虽制定了一系列标准,但是设计人员并没有严格按照标准要求贯彻执行,采用 MBD 描述的产品信息和制造信息格式不统一,数据遗漏、错误现象很多,标准化审查不严,流于形式,致使不规范的 MBD 产品数据发放到制造部门,同时产品设计特别是标准件大量存在只定义一侧而另一侧仅进行简单对称说明的错误做法,最终导致制造部门产生很多数据统计等方面偏差。例如某飞机设计部门统计的全机标准件数量为 60 万件左右,而其中一个制造商统计出来的标准件竟高达上百万件,如此大的偏差进一步证明了产品设计数据和制造数据在管理方面存在

的问题较为严重。

## 2 飞机研制体制问题

事实上,研发体制问题在国内已经讨论很多年,但由于我国航空工业一直以研制生产军用飞机为主,依然是由国家下达研制任务然后各设计、制造单位分工进行实施的计划经济,在这种情况下企业缺乏来自市场的压力进行体制改革。实际上这种发源于原苏联的体制已经不适应现代企业制度的发展要求,甚至于俄罗斯都已开始抛弃这种体制,例如成立的苏霍伊航空军工联合体就将设计和制造、军机和民机进行了整合。

飞机设计本身包括功能设计和工艺设计,功能设计保证技术成功,而后者则是保证造得出、造得起、买得起,两者本是协调统一的整体,然而我国这种设计和制造分离的体制导致了设计与制造在行政和利益上的分离,致使两者在技术、标准规范体系上难以真正融合统一。MBD 技术在实施过程中,其标准和规范是整个 MBD 技术的核心内容,由于采用 MBD 设计的产品既要涵盖设计信息又要表达制造信息,同时还要将设计和制造知识融入其中,因此 MBD 技术标准和规范不仅仅是设计部门的责任和权力,制造部门也必须深度融入其中。但是对已经实施了 MBD 标准和规范,在其制定过程中制造部门的话语权微乎其微,即便是参与也

只是协助角色,因此我国现在的 MBD 标准和规范在一定程度上反映出来的还是上一代的设计思想,即新技术旧思路。MBD 是实施并行工程的最佳工程语言和技术载体,但设计与制造分体制下制定的 MBD 标准和规范难以实现制造与设计思想的融合,因而很难实现功能设计与工艺设计的统一和实施真正的并行工程。在军机研制过程中也许原有的设计与制造分离的体制依然可以存续,但是对于竞争非常激烈、市场反应要求敏锐的民机特别是通用飞机产业来说,设计与制造分离的体制是没有竞争力的。波音公司、塞斯纳公司以及西锐公司等都是设计制造一体化,这种体制下设计必然对工艺方法等直接影响成本的因素予以高度重视,进而及时改进产品设计以参与市场竞争并占有一席之地。

## 3 飞机设计及制造信息化技术的问题

MBD 的设计方法,集成了大量设计信息和制造信息,对于大型飞机来说,整个飞机产品在 MBD 数模中包含庞大的数据量,然而在最先采用 MBD 技术的某运输机设计中,零组件的 MBD 信息几乎全部是手工创建和填写,比如在用点线等元素表达的标准件模型设计中,不同的设计人员有不同的建模方法和喜好,导致模型很不标准。事实上,产品 MBD 数据的信息是所有下游

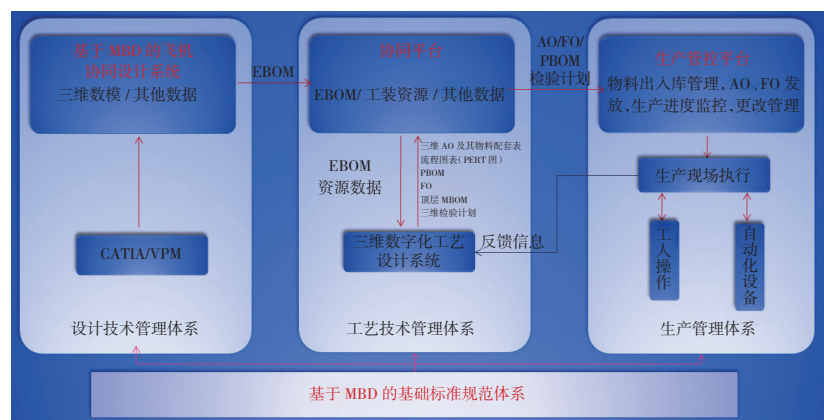


图2 基于MBD的标准规范体系和流程

制造系统的最重要的数据源和唯一的协调依据,产品数据不标准将导致制造数据管理系统的混乱,即便数据管理人员耗费大量精力进行数据的修改和校对,在面对大量的数据时也无法从根本上保证数据的准确性和完整性。因此采用MBD技术进行产品设计,必须要开发专用的MBD设计加速工具集,且这些辅助工具要集成包含设计标准、规范的数据库,特别是要集成制造知识,比如现在MBD表达标准件只是给出牌号规格,但要明确其对应的孔径大小、公差要求和制孔方法,仍然需要查询其他的技术条件和工艺规范,如果将此类数据作为标准化的知识集成到设计工具集中,必然会保证产品设计信息的规范、准确和完整,同时也大大减少设计人员和工艺设计人员的工作量并提高效率,见图3。对于要发放的数据也必须借助标准化程序对设计数据进行自动化检测,保证发送到制造部门的数据标准和规范,事实上前文讨论设计标准化存在的问题也是与设计部门缺乏先进的软件工具有很大关系。

制造部门其实也面对与设计类似的困难,实际上制造部门的数据管理比设计部门更加复杂,因为制造

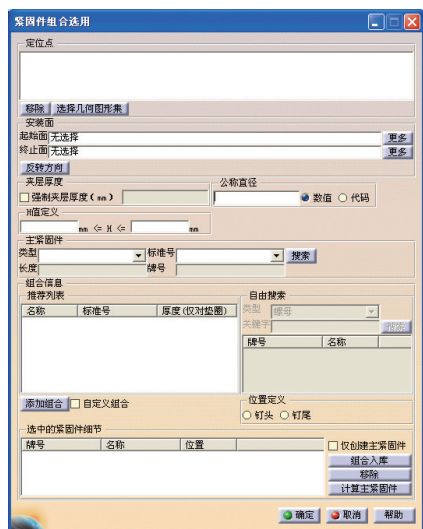


图3 紧固件设计工具

部门不但要管理设计发出的EBOM及其更改数据,还要管理在EBOM数据基础上产生的PBOM、MBOM及其更改数据等,故制造部门的数据更为庞大。装配工艺设计人员现在依然还是依靠无数的原始方法进行装配指令的编制和物流信息的统计,出错几率很大,在这种情况下如果MBD产品设计数据也存在错误,就很容易造成物料缺失或浪费问题。故在保证设计数据标准、完整、准确的前提下,制造部门也必须借助先进的软件工具进行工艺设计和数据管理,如图4所示,特别是把已有的可以标准化的工艺知识库集成到工艺设计工具中,必将大幅度提高工艺设计质量和效率。

当前设计、工艺技术人员能方便地借助工作站等产品MBD数据进行查询,而现场施工的操作人员对电脑等信息终端的需求则更加迫切。各大主机厂普遍存在一线较少配置电脑甚至不配置的现象,特别是禁止使用便携式计算机,由此导致负责大部件装配的工人不得不频繁上下飞机部件参阅飞机数模,这对生产效率有着极大损害,与所提倡的精益制造背道而驰,这些不必要的动作造成的损失远远大于购买电脑等产品所花费的资金。实际上在满足保密等工作的基础上,配备足够数量的便携式计算机并加强管理是没有技术难度的,如图5所示。

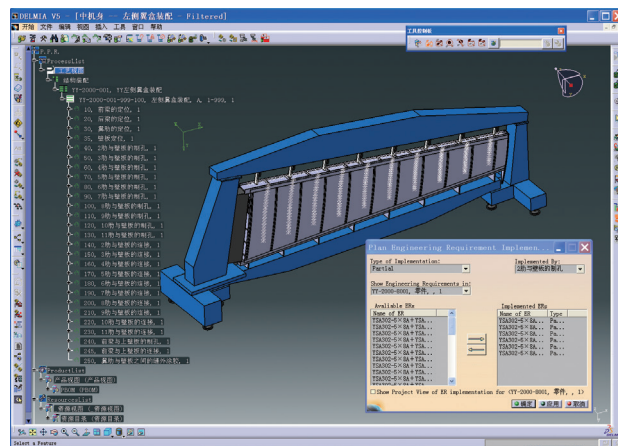


图4 采用DELMIA软件进行标准件的划分



图5 基于平板电脑的三维装配指令

## 结束语

MBD技术不但是设计技术的革命,也是设计制造体系的革命,其产品信息和制造信息集成的特点对设计与制造体系提出了明确改革方向,也对设计与制造的融合提出了非常紧迫的要求,以波音公司为代表的先进航空制造企业在MBD技术及其体系建设中已走在世界最前沿,我国要在航空特别是民用航空领域迎头赶上,必须在基础技术方面加大研发力度,在研发体制方面加快改革步伐。

## 参考文献

- [1] 冯潼能. MBD技术在协同设计制造中的应用. 航空制造技术, 2010(8):126-127.
- [2] 范玉青. 基于模型定义MBD技术及其应用 // 航空信息化论坛. 2011:15.
- [3] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.

(责编 古索)