

面向飞机设计的构型管理研究

文 | 金航数码科技有限责任公司 石振华

一、引言

飞机研制是一个复杂的系统工程，它涉及到多个学科和多个专业，一架飞机的零件数量和技术参数高达 10^7 量级，现代飞机研制具有技术密集、性能和质量要求高、配套 / 接口关系多以及参研单位多等特点，准确地掌握和控制每个零件的功能和物理特性，以及其所依据的构型文件的状态，对飞机整个研制过程进行全面优化，从而对产品结构与构型管理的重要性日益凸显出来。如何有效地组织产品结构，定义产品构型组织形式，以及对数以百万的零部件形成简化和准确的有效性定义方法，完成每架飞机的完整定义，是非常复杂和难以解决的问题，也是飞机构型管理技术的重要内容。

当前国内航空行业的主要设计院所均以构型管理的理念作为指导，采用模块化设计的理念，融入支撑飞机研制的信息化平台中，旨在解决飞机由概念设计 - 初步设计 - 详细设计阶段对全机 BOM 数据、MBD 数模和技术文件等的管理，并通过工程更改流程驱动实现了上述数据的更改影响分析和技术状态管控。通过从飞机设计初期就应考虑其多构型发展，帮助设计院所面向飞机系列化发展进行设计规划。因此，在飞机的设计阶段采用构型管理的思想具有重大意义，亟需对飞机设计构型管理方法进行深入研究。

二、构型管理概述

1、构型管理的概念

构型管理的概念是美国军方等在管理大型武器装备的研发过程中总结出来的，用于约束、控制和管理武器系统研制过程的能力，以获得满足性能要求的、按计划完成的和不超过费用预算的产品。之后由美国军方提出了构型管理的标准，要求在产品研制的整个生命周期内实施严格的技术状态管理，其核心对象是构型项 CI 及构型项定义的技术数据。其中，构型项是满足最终使用功能的某个构型内的实体，可以是任意的硬件、软件或者它们的组合。技术数据定义并标识了产品性能、功能和物理属性的技术文件，如图样、规范和设备清单等。

构型管理作为产品生命周期管理的一个组成部分，旨在为管理构型项提供一种有效的技术手段和管理框架的方法，建立和维护产品性能参数及其功能和物理特性的一致记录的活动。构型管理过程通过构型管理计划编制，支持对项目初期构型管理的工作进行策划，建立起规范化的产品研发秩序，保证产品需求和设计目标的实现。

2、以 BOM 为核心的构型管理

为满足飞机研制全生命周期中各种业务的数据需求，企业需要将产品全生命周期中所需要的数据、信息和知识进

行整理,通过模型进行多学科、跨部门和跨企业的产品协同设计、制造和管理。当前,国内航空行业通过 PLM 数字化协同研发平台进行飞机研制不同阶段 BOM 数据的组织和实现研制各阶段数据的连续、传递与应用,并基于 BOM 实现全生命周期一体化技术状态管理。同时,为了满足不同用户的业务需求,同一个产品通常需要多个视图的形式呈现展示,满足对数据的良好可视化,并且有利于提高数据的一致性,有利于基于业务链的数据交换传递。企业将通过各类 BOM 对产品研制相关数据进行结构化组织,实现数据间的关联管理。

目前航空工业基于 BOM 的构型管理理念,对标空客和波音等国际一流航空企业,基于国内航空企业产品研制的数据组织方式和管理特点,提出了下图所示的 BOM 多视图定义,在航空产品研制的不同阶段构建不同的 BOM,支持产品研制数据全生命周期的管理、追溯与维护。考虑到本文主要面向飞机研制的设计阶段,聚焦于由初步设计-详细设计阶段的三级样机管理,包括 DBOM、EBOM 结构视图和 EBOM 系统视图,产品研制全生命周期各阶段 BOM 多视图的定义如图 1 所示。

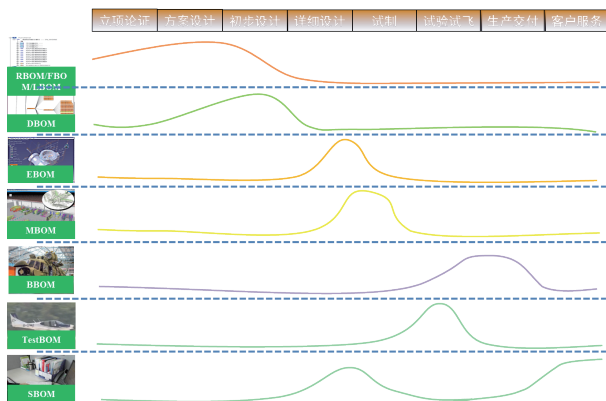


图 1 产品研制全生命周期各阶段 BOM 多视图的定义

三、飞机设计构型管理方法

1、面向设计构型的业务模型

在飞机设计过程中,总师单位(包括参研单位)组成的构型管理部门统一建立并维护型号的产品结构树,后由总师单位根据分工将相关构型项以数据包的形式发送给各直属单位,直属单位接收到数据包后在其 PLM 平台中构建相应的产品结构树,并在构型项下建立设计解决方案,从而开展各自部分的具体关联设计工作、上下文设计工作

以及相关评审工作。设计结束之后,按照标准的交付规范返回给总师单位进行设计数据的统一发放。实现设计过程的全要素构型管理,核心分为三步:全局规划、全局控制和全局纪实与审核。

(1) 设计构型始于全局规划

基于全局化思想,首先对技术状态管理的对象进行总体性规划,按照目前航空产品研制的规律,规划产品的系列化(族谱化)发展,在此基础上综合考虑产品共用基础和差异化发展,按照研制过程进行构型项和技术状态文件的规划,并形成和发布全局技术状态基线,全局规划的总体过程如图 2 所示

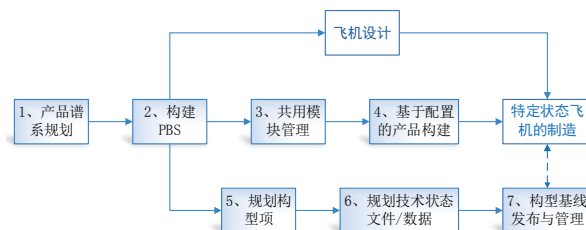


图 2 全局规划的总体过程

(2) 设计构型重于全局技术状态控制

以全局的技术状态标识为基础,当发生技术状态基线偏离(变更)时,应按照系统工程思想,从全局分析变更的影响和决策变更的可行性,并通过总体的变更方案实现对技术状态基线偏离的控制,保证整个产品系统偏离的合理性。当技术状态数据发生变更时,依据其所属构型项和受影响构型项,分析对相关技术状态文件的影响,从而形成全局的系统化变更,全局技术状态控制的总体过程如图 3 示。

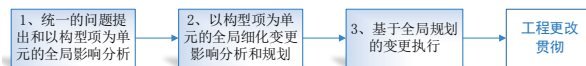


图 3 全局技术状态控制的总体过程

(3) 设计构型强于全局纪实与审核

为保证全局视角下技术状态管理的可追溯,需实现全局纪实和审核支持。首先,实现技术状态全局视图的可视化,在整个设计过程中能够让构型管理人员随时获得全局的技术状态描述,支持对构型项的持续和实时跟踪;其次,在不同阶段为技术状态审核提供构型项的全局固化和输出,支持设计构型纪实与审核业务的开展。

2、面向设计的 BOM 管理

面向设计的飞机构型应采用同一个 BOM 框架开展,如图 4 所示。总体上,BOM 将分为三个层级进行管理,实现产品结构的三层架构,在整个构型管理系统中贯彻以设计模块为核心的方法。

顶层产品结构对于一个指定的飞机型号来说是相对不变层,按照专业进行组织,该层结构比较稳定,通常不会变化。

构型层用于实现技术状态管理,是整个构型管理的控制点与核心,即在构型层进行有效性标识和更改控制,构型层由 CI-LO-DS 组成。其中,CI 为构型项,对应产品结构的一个管理对象,对于 EBOM 可以认为是一个模块,它不是一个真实的零件或者装配;LO (Link Object) 为连接对象,表示一个 CI 和 DS (Design Solution) 的对应关系,可以标识有效性信息,在某些 BOM 中,LO 不会作为一个真实对象存在;DS 是基于一个 CI 的需求所给出的定义或分析方案,是定义能满足 CI 要求的设计解决方案。DS 以下即是 BOM 底层。

底层结构用于构建一架飞机具体的设计解决方案,由顶层的具体设计构成。底层产品结构包括用于飞机构建的实际零部件及相关的技术数据。采用 CI-LO-DS 的构型标识方式,产品构型信息仅需要定义在 CI 层,零部件的设计更改则在 DS 中进行换版。这样极大的简化了构型控制的复杂度。

面向设计构型的 BOM 架构当前在航空行业主要衍生出三种 BOM 视图,分别是定义视图 DBOM、工程视图 EBOM 以及系统视图 System View。

(1) 定义视图 DBOM 出现在方案设计和初步设计阶

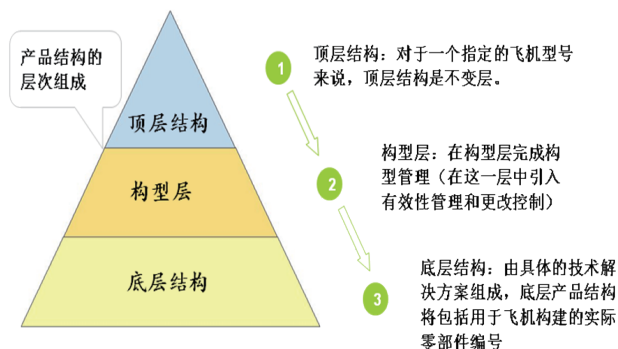


图 4 设计构型的 BOM 分层架构

段,在开展功能 / 逻辑架构设计工作后续阶段。DBOM 用于支持飞机的概念设计,通过 CATIA 等设计工具进行主要几何模型和总布置等模型设计,并产生设计规范(二维或文档),设计结果提交 PLM 基于 DBOM 组织管理。定义视图 DBOM 的三层架构如图 5 所示。

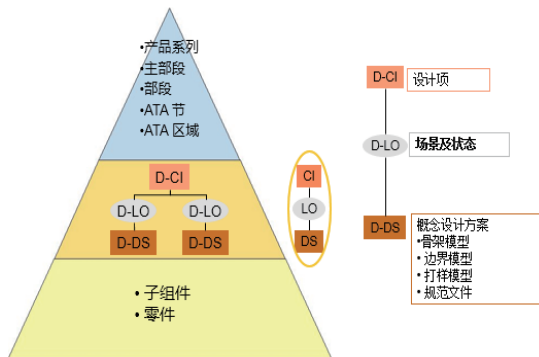


图 5 定义视图 DBOM 的三层架构

DBOM 的顶层由设计人员基于 ATA 标准规划出 DBOM 顶层结构。DBOM 的构型层以 DBOM 顶层为基础,设计人员在 PLM 进行 DBOM 构型层规划,包括 D-CI 和 D-LO 的规划,其中 D-CI 是具体的设计项,如 RAT 布置方案,D-LO 是规划的多个待选择的场景,如 RAT 机头安装场景和 RAT 机腹安装场景;针对 DBOM 中规划的场景,设计人员开展具体方案的设计,如骨架模型、边界模型、打样模型和设计规范等设计,设计结果提交 PLM 形成 DBOM 底层,其中,对于 3D 模型,首先在 PLM 中创建相应的 D-DS,然后通过设计工具集成接口将模型提交 PLM 并建立与 D-DS 的关联;对于 2D 模型和文档,首先在 PLM 中创建相应的 D-DS,然后将数据创建为文档并建立与 D-DS 的关联。DBOM 的构型层底层是具体的组件、零件及他们的数模和文档。

(2) 工程视图 EBOM 出现在初步设计完成后进入详细设计阶段,在设计制造一体化模式下,设计工艺联合开展工程定义,统筹考虑设计和制造分离面进行模块定义,保证模块思想从工程定义到生产制造过程的贯穿,在此基础上设计人员通过 CATIA 开展模块的 MBD 模型详细设计,设计结果在 PLM 系统中基于 EBOM 结构视图统一管理。工程视图 EBOM 的三层架构如图 6 所示。

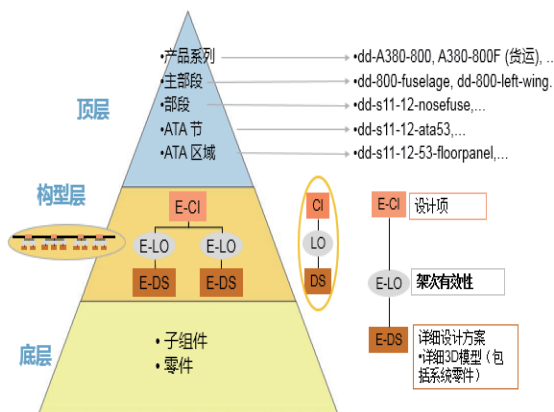


图 6 工程视图 EBOM 的三层架构

工程视图 EBOM 顶层与 DBOM 具有相同的顶层结构，首先由设计人员在 PLM 中通过对 DBOM 顶层的复制和转换形成结构完全相同的 EBOM 顶层结构；工程视图 EBOM 构型层以 EBOM 顶层为基础，设计和工艺人员联合进行 EBOM 构型层规划，包括 E-CI、E-LO 和 E-DS 的规划，其中 E-CI 是具体的模块，E-LO 连接该模块下不同的详细设计方案（E-DS），记录飞机对该模块下详细设计方案（E-DS）的选配架次，E-LO 的架次来自具体订单，初次规划时 E-LO 的架次有效性可以为空；工程视图 EBOM 底层针对 EBOM 中规划的模块，设计人员开展详细 MBD 设计，航空工业主机厂所主要通过 CATIA 开展设计，设计结果提交 PLM 形成 E-DS 的具体方案，从而构建出完整的 EBOM。面向不同用户的差异性需求，每个 E-CI 下可以设计多个方案（E-DS）。

（3）系统视图 System View 出现在详细设计阶段，根据总体单位提出的成品和系统需求，供应商将开展成品和系统的设计和交付，成品和系统数据在 PLM 将通过系统视图进行统一管理。EBOM 系统视图的作用在于满足系统设计师在进行系统设计时对系统功能规划和设备构型数据组织和控制的需求，是按照 ATA 章节和设备功能进行分解的产品视图。EBOM 结构视图基于功能标识号建立与 EBOM 系统视图数据关联，将设备的功能与其物理安装分离。与 EBOM 结构视图相比，EBOM 系统视图与 DBOM 无直接的继承关系，是以重建方式形成的一个 BOM。系统视图 System View 的三层架构如图 7 所示。

系统视图 System View 顶层根据总体、市场或适航相关部门对系统提出的相关需求，总体和系统等相关专业共同

制订飞机 ATA 分解结构和系统视图的顶层结构；系统视图 System View 构型层产生在顶层结构在系统中建立以后，设计人员将对其功能进行分解形成 F-CI，并为其分配功能标识号，如果 F-CI 可以进一步细分，则建立 F-CI 嵌套结构，直至到具有独立功能的具体设备，一般嵌套不宜超过三层。系统设计产生的接口文件、原理图、线路图和拓扑图等数据关联到 ATA 章节和 F-CI；系统视图 System View 底层是在 F-CI 确定以后，设计人员针对 F-CI 功能的实现将开展相应设计工作，通过供应商获取相关设备的数据，包括技术文件和三维外形数模，创建这些数据对应的设备描述 F-DS，并将其关联至相应的 F-CI。

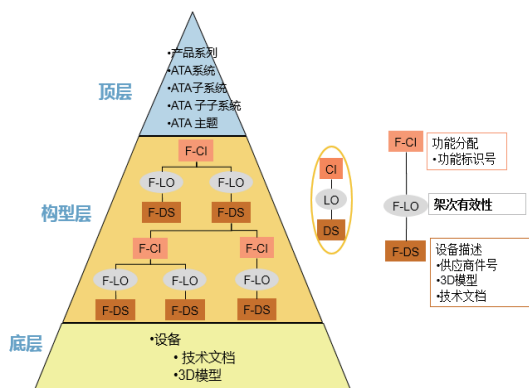


图 7 系统视图 System View 的三层架构

四、结论

飞机研制项目是一项极其复杂的系统工程，而构型管理有效解决了飞机全生命周期中技术状态管控的问题，从而减少了设计周期，缩短了版本更改的时间，并且避免了因频繁工程更改导致的错误，是现代飞机成功研制的关键因素。

本文面向国内航空行业的主机院所，对当前主要的设计构型管理方法进行了分析与研究，能够帮助读者有效地理解当前航空行业面临的由于系统的高度复杂性所带来的产品设计过程中涌现的问题及风险。同时，通过提供一种统一的三层 BOM 框架，支持主机院所对飞机设计阶段 BOM 的构建、转变、关联与追溯，并且该研究已经通过型号研制的工程验证，必将有力支撑技术状态管控能力的转化与落地，实现面向飞机设计构型管理的持续优化与迭代，以更好地满足市场和客户的需要，更优地完成型号工作。