

航空发动机产品结构管理初探

Discussion on Product Structure Management of Aero Engine

■ 白明 / 中国航发

产品结构（PS）管理是构型管理的核心。针对高度复杂的航空发动机，产品结构管理可以提升产品相关业务流程的透明度和灵活性，并改善产品成本效益。

在产品全生命周期管理中，企业需要用一套有效的机制来控制 and 跟踪与产品相关的复杂数据和信息，以支持产品开发、提升产品质量、实现客户期望、满足适航要求，这套机制就是构型管理（CM）。从业务流程的角度看，构型管理主要包括构型标识、变更控制、状态核算和构型审计等4方面内容。构型管理的核心是产品结构（PS）的管理，前者所涉及的有效性管理、基线管理、更改管理、标识管理等都是围绕着后期的要素来进行的。

产品结构的建立

产品结构是产品相关业务和技术数据的有序集合，它通过对复杂产品的分解，支持流程更改、数据交换和数据追溯。产品结构描述了业务和技术数据之间的关联关系，为不同专业提供所需的信息和相关支持。

在航空发动机研发的各个阶段，不同的业务主体（销售、设计、制造、项目管理、维修等）所需的产品结构信息并不相同。因此必须采用一种通用的产品结构模式，使各个业务主体可以根据自身需要获取相应的信息。这种产品结构模式一般分为顶层、配置层和底层3个层级，每个层级又可以分为不同的子层级，

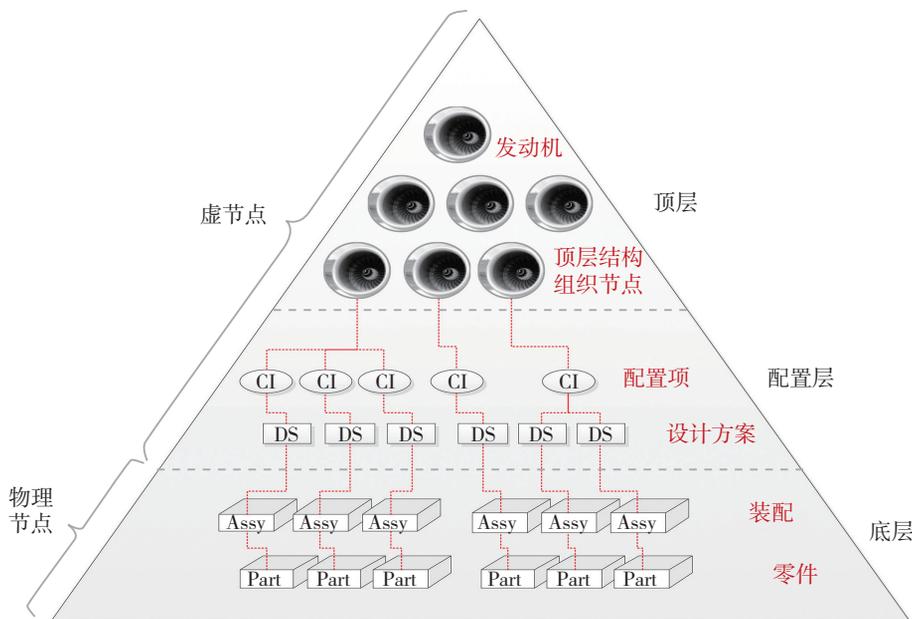


图1 发动机产品结构组成示例

如图1所示。

其中，顶层用来组织、建立、管理发动机的产品结构，通过顶层的结构分类，可以迅速调阅、查找底层的零组件。这一层结构基本不会发生变化，是虚的节点，主要用于管理下属功能。一般来说，在设计阶段，顶层结构主要按照专业来进行划分，用来在设计阶段进行各个专业的设计工作。在制造和装配阶段，产品结构的顶层与设计阶段的完全不同，装配的产品结构是发动机的物理分解，是发动机的制造、

工艺分解，完全采用以装配为导向的产品结构建设方式。

配置层主要通过建立构型项（CI），实现产品的有效管理和变更控制。向上，这一层级的构型项是顶层的管理节点；向下，从设计方案（DS）挂接了产品的装配和零件，管理零组件（三维模型和图样）。因为航空发动机产品的复杂性，难以用一个实体来进行构型管理，因此要分解到更小的要素，例如，大部件、工作包、组件装配等。这些要素就成为构型项（CI），在产品结构的建

立过程中，需要用分解的流程选择CI。这种自顶向下的流程应该将整个发动机分割成逻辑关联关系、集合关系，包括硬件、软件、加工的材料、服务或它们的组合。设计方案（DS）主要是定义和分析CI所要求的方案，一个CI有可能会有多个DS。

底层是DS管理的节点，主要由模型和图样组成。这一层主要为工程管理层，设计模型和图样在这一层通过构型项来进行统一管理。

产品结构和物料清单的差异

物料清单（BOM）属于设计数据集的管理范围，它基于图样集及其组件的属性进行更新，主要用产品结构的要素进行创建，如图2所示。

航空发动机的图样集由BOM、工程更改单、三维模型、二维图样以及技术文件组成。其中，BOM含有已定义的要素、要素组成、用于零件制造和装配的全部重要信息的

文件（如有图样清单、应用材料、防护处理、互换分类等列表信息）。

一些企业经常把不同阶段的产品结构的视图管理称为BOM管理，例如需求BOM、设计BOM、工程BOM、工艺BOM、服务BOM等，严格地讲，这种称谓是不准确的。根据BOM的定义，它一定会包括零件、数量、成本等信息，因此需求BOM的称谓无法满足这样的定义要求；而早期设计阶段的设计模型主要由点、线、面来组成，也无法满足此定义的要求。

实际上，BOM主要指的是工程BOM（EBOM），而不同阶段的产品结构和模型应该用产品结构视图来管理。例如，在初步设计阶段采用按照定义的结构（As-Defined）视图，在详细设计阶段采用按照设计/工程的结构（As-Designed）视图，在工艺阶段采用按照计划的结构（As-Planned）视图，在制造阶段采用按照

准备的结构（As-Prepared）视图等。

产品结构的变化

航空发动机的产品结构在设计、制造、装配、维护过程中并不是一成不变的，在不同阶段会发生不同的改变。它的变化过程有其内在的逻辑和关系，如图3所示。在设计阶段，顶层采用设计产品结构来管理和挂接设计阶段的配置层，以及底层的装配和零件。到了制造阶段，顶层就要采用制造（装配）产品结构来管理和挂接制造阶段的配置层，以及底层的装配和零件。

航空发动机在制造和装配阶段的顶层是组件装配（CA）。CA是管理节点，是可配置的物理交付物，它是物理性装配交付物而不是松散套件，向下挂接CI。CA反映了不同的装配流程，也就是说，不同的装配流程通过CA来实现。每个装配流程的所有者负责建立和跟踪CA构

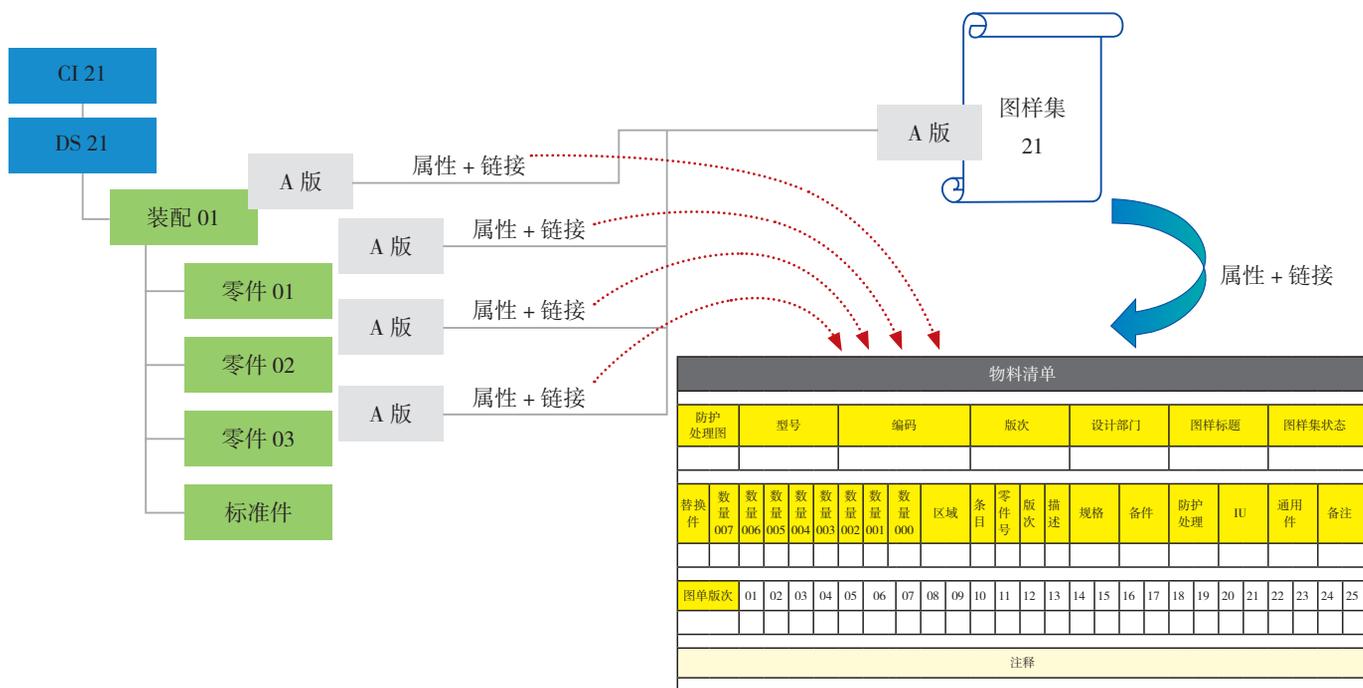


图2 BOM和产品结构的关系

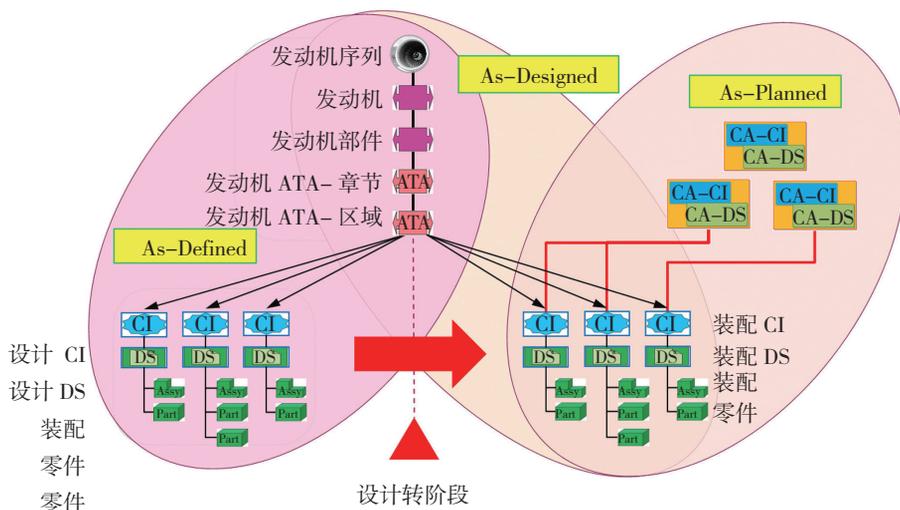


图3 航空发动机的产品结构变化过程

型，直到交付客户。

对于配置层也是一样。设计阶段的顶层和设计配置项、设计方案，一起组成了完整的设计产品结构（As-Defined视图）。按照构型管理的单一构型原则，配置层最好不变，但是随着设计阶段向制造阶段的发展，设计阶段配置层与制造阶段配置层肯定要发生变化。因此，采用“转阶段”的方法将设计配置层转变为装配配置层，同时设计产品结构向下挂接装配配置层，这样就形成了完整的工程产品结构（As-Designed视图）。到了制造阶段，将顶层装配产品结构向下挂接装配配置层，就形成了完整的装配产品结构（As-Planned视图，或者As-Prepared视图）。

需要注意的问题

准确识别和划分CI

在发动机的产品结构管理中，遇到的典型问题是对CI的识别和划分不准确。

CI是发动机产品结构中最重要的组成部分，承载了大量信息，用

来管理批次、台份、变更等业务过程，并且承载了项目管理、人员组织结构等方面的信息。CI需要按照功能来进行定义，既包括产品的功能，也包括装配功能等。同时，CI的数量多少与产品的复杂程度有关，也与系统集成度有关。不能定义太多CI，否则会影响构型管理的清晰度，使构型管理变得非常琐碎复杂，抓不住要领，并且增加管理成本。

例如，假设把每一个底层零件都作为一个CI，那么就意味着会有大量的变更流程，而每个变更流程都包括管理成本在内，意味着管理成本的大大增加。CI也不能选择太少，太少则缺少向下层的有效分解，不利于对子系统构型管理的进一步深化，例如，假设只把发动机定义成一个CI，那么大量的变更流程体现在一个发动机的CI上，发动机CI的版本就会极其混乱。

充分体现阶段性特点

传统的航空发动机产品结构管理的做法是在设计阶段早期建立设计产品结构；在设计产品结构的基

础上添加一些信息，来形成工程产品结构；然后在工程产品结构的基础上继续添加信息，来形成制造或装配产品结构。

也就是说，航空发动机的产品结构的变化，只是在初始创建的产品结构的基础上，以比较简单的方式不断添加信息来完成发动机的产品结构的演变过程。这样做的最大问题是无法形成对产品结构的精细化管理，从而难以在不同的产品研制阶段形成具有阶段性特点的产品结构。

造成这种现象，一方面是因为业务流程的梳理不足，例如CI的确定。由于航空发动机设计和制造单位的分立，彼此之间协同的不足，造成了产品结构在设计制造阶段转变时，CI基本只能满足设计阶段的要求，而忽略了制造和装配阶段的要求，也反映出信息化、数字化管理方法和手段的欠缺。

结束语

产品结构管理是航空发机构型管理的核心，不仅需要加强信息化、数字化，还需要改变传统的自底向上的设计方式，进行自顶向下方法的转变，并根据企业自身的具体情况将二者结合，同时还需要在业务层面有效地建立相应组织以及先进的业务管理流程。产品结构强化了对高度复杂产品的管理，是并行工程取得成功的基础，可以提升产品相关业务流程的透明度和灵活性，正确地实施产品结构管理可以实现对航空发机构型的有效管理，并改善企业的成本效益管理。 **航空动力**

（白明，中国航发，工程师，主要从事质量管理）