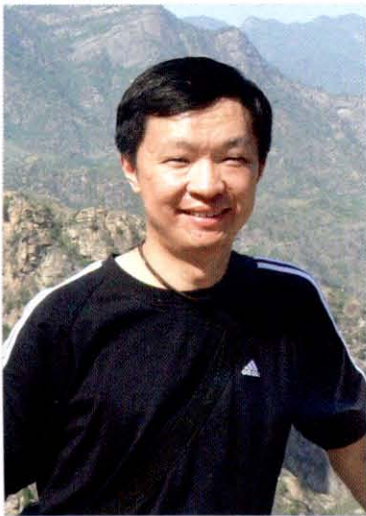


# 构造军工产品研发核心能力平台的关键技术

——多学科设计 / 仿真集成管理

Key Technology for Building Core Ability Platform of Military Product Research

北京天舟上元信息技术有限公司 彭旭 白文亮



彭旭

天舟公司总经理, 创始人之一。本科毕业于北航发动机专业, 硕士毕业于航天二院导弹总体设计专业。10多年间, 历任天舟公司开发工程师、总工程师、总经理等职, 曾长期工作在软件开发和客户需求分析第一线, 先后涉足CAX/PDM/PM 和设计 / 仿真集成管理等多个领域, 对军工企业信息化领域的需求、问题、解决方案方法有深刻见解。

## 军工行业当前信息化建设的 关键任务——构建产品研发 核心能力平台

我国军工行业目前正处于快速发展时期, 任务重、要求高, 能否短周

期、高质量完成军品科研任务已经成为军工企业面临的主要挑战, 这种挑战正在对军工企业的核心能力提出更高的要求。

期、高质量完成军品科研任务已经成为军工企业面临的主要挑战, 这种挑战正在对军工企业的核心能力提出更高的要求。

### 1 构成军工企业核心能力的关键要素

航空、航天、船舶、兵器、核工业等领域所研制的各类军品几乎都属于复杂产品, 诸如军用飞行器、航天器、作战车辆等, 它们的“客户需求复杂, 工作原理复杂, 技术基础复杂, 结构组成复杂”, 并由此导致产品的开发、试制、试验、生产、维护等过程都非常复杂。

在复杂产品的上述众多特点中, 最本质的特点无疑是工作原理复杂。因此, 要完成复杂产品的研发过程, 往往需要综合多个学科的专业知识, 依据多年实践总结的业务流程, 运用专业研发工具, 遵循专业研发规范, 参考计算 / 试验历史数据, 进行包括总体方案设计、部件 / 子系统原理设

计、详细设计和虚拟样机分析仿真等一系列跨越多个专业的复杂工作, 并以此为基础完成试制、试验、定型、生产、维护等过程。

因此, 相对于普通工业产品而言, 某种军工产品能否研制成功, 会更明显地依赖于军工企业针对此类产品在专业业务流程、工具、知识、规范和专业参考数据等方面的积累状况, 这些无疑是构成军工企业核心能力的关键要素。离开了这些关键要素的支撑, 要想高效率、高质量地完成军品科研任务几乎是不可能的。

### 2 制约军工企业核心能力提升的主要障碍——核心能力要素积累缓慢、缺乏整合

目前, 无论是与世界先进军工企业相比, 还是从装备研制迫切需求的角度来看, 在很多领域, 我国军工企业的核心能力仍然不足, 亟需提升。这种状况一方面源于相对薄弱的国

家整体工业基础,但企业多年来对核心能力要素积累缓慢、缺乏整合也是一个主要原因:

(1) 在很多企业,往往是一代人离开了,其多年积累的知识、工作流程、专用设计计算工具,乃至对工具的使用经验以及经验数据也随之大量流失了,后人难以在前人的基础上快速前进。

(2) 此外,在大多数军工企业里,即使对于现行研发过程中正在使用的业务流程、工具、知识、规范和专业参考数据,也往往处于离散运用的状态,既没有进行系统的整理,也没有采用相应手段让这些要素相互关联。因此,对这些要素的运用水平往往因人、因专业、因项目而异,从而导致这些要素不能在企业级范围内充分而稳定地发挥其效用。

### 3 构建产品研发核心能力平台,加快核心能力要素的积累和整合

核心能力要素积累缓慢、缺乏整合,既与军工企业过去对核心能力的积累和整合缺乏足够重视有关,也与缺乏适合的积累和整合手段有关。

目前,为了改变这种现状,部分军工企业已经开始探索如何利用信息化手段,构建可加快核心能力要素的积累,并对核心能力要素进行整合的产品研发核心能力平台。

通过这类平台的建设,军工企业期望能够整理、表达、积累、关联和重用专业产品研发业务流程、规范、标准、知识和专业参考数据,统一业务工具的使用方法,并以此为基础建设支持专业产品研发的业务流程自动化环境,从而一方面获得对核心能力要素进行持续积累的手段,一方面可以对核心能力要素进行有效整合,使其在企业级范围内稳定而充分地发挥作用。

### 构造产品研发核心能力平台面临的信息技术挑战

要构建产品研发核心能力平台,

需要企业自身对业务流程以及流程涉及到的工具、规范、知识、经验和参考数据进行整理,这是前提和基础。同时,这类平台也必然需要综合运用一系列信息化技术,尤其是运用管理信息化技术才有可能搭建起来。

那么传统信息化技术能否全面胜任产品研发核心能力平台的建设工作呢?要回答这个问题,首先需要分析军工复杂产品的研发特点。

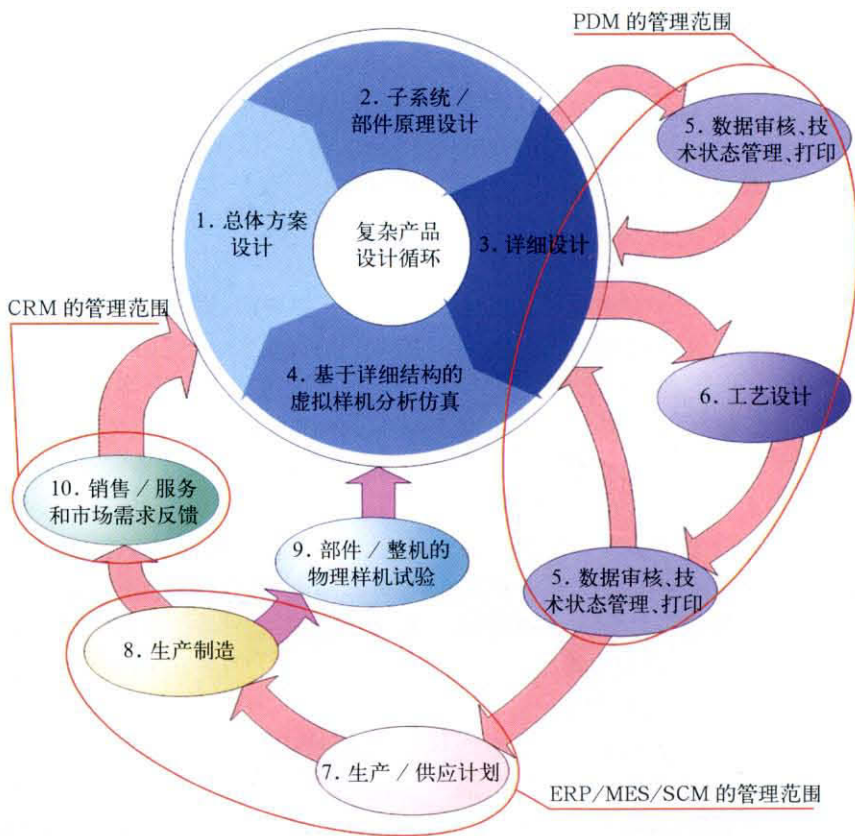
#### 1 复杂产品的研制生命周期

复杂产品的研制与简单工业产品有很大区别,简单工业产品的工作原理相对简单,初步进行总体方案规划后一般就可以进行详细设计,很少甚至不进行虚拟样机的分析仿真,工

“设计循环”。

从下图中可以看到,在已知产品战/技术指标的条件下,复杂产品的研制往往首先需要经历“设计循环”环节,包括“总体方案设计、子系统/部件原理设计、详细(结构)设计、基于详细结构的虚拟样机分析仿真”等阶段。其中:

- 总体方案设计可以采用自循环方式,以便进行多个总体方案的构思和多方案的性能估算及选优;然后基于一个或数个初步具备可行性的总体方案,分别为子系统/部件分配设计指标,并进入到子系统/部件原理设计阶段,以便进行子系统/部件的初步匹配设计;



复杂产品研制生命周期

艺设计、试制、样机试验也相对简单。复杂产品则不同,它的研发特点体现在其研制生命周期的下述3个循环中。

(1) 复杂产品研制生命周期中的

- 在子系统/部件原理设计过程中,如果发现矛盾或无法满足的设计指标要求,可能会要求进行总体方案的修改。因此该阶段与总体方案设计阶段可能出现反复迭代,并逐步

选优,形成各子系统/部件性能匹配的详细方案;

- 对于经过子系统/部件原理设计,预估可以到达或超过战/技术指标的方案,可以进入详细设计阶段,完成对子系统、部件(直至零件)的结构、电路、控制软件等方面的详细设计工作;

- 在进行详细设计的同时,还需要基于详细设计结果进行单学科乃至多学科的虚拟分析仿真,以便验证关键零件、部件、子系统乃至全系统是否达到各自的战/技术指标,并尽可能发现设计缺陷;

- 如果针对详细设计结果的虚拟分析仿真发现了设计缺陷或设计结果达不到战/技术指标,则需要对详细设计进行更改,甚至有可能导致子系统/部件方案的更改,乃至总体方案的更改。因此,基于详细设计结果的虚拟样机分析仿真阶段与前面的几个设计阶段也可能形成跨一个阶段甚至跨多个阶段的反复迭代。迭代逆向跨越的阶段越多,设计反复工作量就越大,设计周期就越长。但这些迭代毕竟是在设计循环内部完成的,因此,代价还是比较低的。

(2) 复杂产品研制生命周期中的“试制/验证和改进循环”。

对于大型复杂产品(如飞行器、发动机等),由于子系统/部件和关键零件众多且关键技术众多,一方面对大量的关键设计性能或其他设计指标的验证工作无法只依靠虚拟分析仿真手段,必须进行试制和试验;另一方面,为了加快技术成熟过程,缩短研制总周期,也必须将试制、试验工作与设计工作并行。因此,在设计循环的进行过程中,必然会将关键零件、部件、子系统(最终是产品全系统)投入试制,以便进行各类试验验证。

对于某些小型复杂产品,也许可以在整个产品设计循环完成后再进行产品试制和试验验证工作。

但不论是哪种情况,试制一般都

基于详细设计的结果,并且需要进行设计结果审核;在详细设计结果审核通过后,则可以进行工艺设计(或并行开展工艺设计);基于通过审核的详细设计结果和对应的工艺,制定试制计划,安排试制生产;然后再利用试制出的零部件、子系统乃至产品全系统进行各类试验,一旦发现问题,则可能引发设计更改,重新进入产品设计循环。这些更改可能只涉及到详细设计结果,也有可能涉及到子系统/部件的方案、甚至是总体方案,更改所逆向跨越的设计阶段越多,需要付出的工作量、周期、成本代价越高。

上述阶段就是“工艺设计、技术状态审核、试制、试验和设计更改循环”,可以简称为“试制/验证和改进循环”,此循环所涉及的人员、周期、成本开销远高于“设计循环”。实际工作中,该循环往往迭代次数多,周期长,代价高。这也是期望通过核心能力建设努力解决的问题之一。

(3) 复杂产品研制生命周期中的“批生产、维护、改进循环”。

在多次进行产品全系统试制和试验,达到产品定型大纲要求后,产品有可能定型、确认技术状态,并进入批生产阶段。批生产前还需要进行批生产工艺的编制和审核、批生产计划的编制,随后进入批生产制造过程;最后,定型产品提交用户或上级总成单位,进入服务和维护过程。

在这些阶段若发现必须进行设计更改的严重问题,则需要进行设计更改,并再次进入设计循环,这时所逆向跨越的阶段,所涉及的人员、周期、成本将更加巨大。这就是“批生产、维护、改进循环”。

总结复杂产品的上述研制过程,可以看出,要缩短研制周期、降低研制成本、保障研制质量,首先必须保障“设计循环”的有效性和科学性,其次还要保障“试制/验证和改进

循环”的快速性和有效性。

## 2 复杂产品研制生命周期中仍然缺失的关键信息化管理手段

综观军工复杂产品的研制生命周期,其历程之长,各阶段工作量之大、各阶段之间衔接关系之复杂,都是简单工业产品难以比拟的。因此,构建复杂产品的研发核心能力平台所涉及到的信息化技术也是非常多的。

目前,在复杂产品研制生命周期中,我们可以:

(1) 采用专业的总体方案设计软件进行产品总体方案设计和分析;

(2) 采用原理计算软件、CAE软件进行子系统/部件的原理设计和分析,如气动设计等;

(3) 采用CAD、EDA软件进行结构和电子电路详细设计,并采用PDM作为数据管理平台;

(4) 采用CAE软件,实现基于虚拟样机三维模型的详细分析仿真;

(5) 采用PDM系统管理详细设计数据的审核流程、技术状态、控制数据的打印和归档过程;

(6) 采用CAPP软件编制产品的工艺,采用CAM软件编制数控加工代码;并采用PDM系统作为工艺、加工数据的管理平台,管理和控制工艺审核流程;

(7) 采用ERP完成生产和供应计划,还可能使用SCM管理供应链关系;

(8) 采用ERP(还可能结合MES/DNC等系统)管控生产过程(但对试制生产往往管不好);

(9) 使用各种试验设备/设施进行物理样机的试验,生成试验数据;

(10) 采用CRM/SCM等系统支持部分的销售、服务、市场反馈业务。

可见,在复杂产品的研制生命周期中:诸如CAD、EDA、CAE、CAPP等工具软件仍然非常重要;

PDM、ERP 等管理信息系统也可以发挥重要的管理作用；但在产品“设计循环”中的“总体方案设计阶段”、“部件原理设计阶段”、“基于虚拟样机三维模型的详细分析仿真”阶段，包括 PDM 在内的传统信息系统却无法提供有效的管理支撑。在这些阶段，虽然可以使用相应的总体方案设计软件、原理计算软件和 CAE 分析仿真软件进行设计、计算和分析工作，但却缺乏相应的业务流程和数据管理工具，因此必然降低“设计循环”的有效性和科学性。此外，大量的试验过程和试验数据也缺乏管理手段，即使采用了一些工具进行管理，也与设计和分析仿真数据缺乏关联。这种状况不仅降低“试制/验证和改进循环”的快速性和有效性，也使分析仿真软件的分析结果置信度得不到验证。

### 3 复杂产品研发生命周期关键阶段缺失信息化管理手段带来的问题

由上述分析可以看到，对于复杂产品研发至关重要的“设计循环”和“试制/验证和改进循环”，目前缺失有效的信息化管理手段。这种缺失已经带来了一系列问题：

#### (1) 业务流程维护困难。

产品设计过程中的核心业务流程只能依靠人工维系；各专业设计/分析/仿真软件之间的数据传递过程只能依靠人工衔接；不仅工作量大，工作繁杂，多专业多学科协作困难，而且业务流程的维系质量因人而异，降低了设计团队的协作效率和协作质量。

#### (2) 业务流程和知识重用困难。

产品研发专业业务流程和知识缺乏积累，传承困难，容易出现知识断层。

#### (3) 计算、仿真、试验数据管理困难。

在发生设计变更时，很难保障同步的对多个学科的设计/仿真数据进行关联修改；也很难保障试验数

据与设计/仿真数据的关联性，容易导致各学科的设计/仿真/试验数据技术状态发生混乱，甚至导致错误的设计。

#### (4) 虚拟仿真的可信度难以保证。

由于长期缺乏对试验数据和经验数据的有效积累和整理，也没有对分析仿真数据和试验数据进行关联管理，难以对虚拟分析仿真的方法和结果进行校核，使虚拟仿真的可信度经常受到质疑，以至于对分析仿真软件“买而不用”。

### 4 基于传统信息化技术是否能构造复杂产品研发核心能力平台

综上所述，目前所熟知的传统信息化技术无法全面支持军工复杂产品生命周期中关键阶段的管理工作，也无法全面完成对军工企业核心能力要素的积累和整合任务。

在这里，特别值得反思的是 PDM 系统在产品研制生命周期中的定位和作用。数年来，随着 PLM 思想的深入人心，与 PLM 只有一字之差且有渊源关系的 PDM 已经被许多企业视为（更客观地说应该是被宣传为）解决产品研发过程中主要管理问题的管理信息系统。但是，多年的实践也已经证明，传统 PDM 虽然在管理三维模型、二维工程图纸、电子电路数据、工艺数据以及数据审核、更改流程方面非常有效，但是 PDM 既不能全面管理和驱动前述复杂产品研发关键阶段的业务流程，其数据管理模型也不能科学地容纳这些阶段反复迭代所生成的多方案、多状态计算/分析仿真数据和试验数据，PDM 更不能控制计算和分析仿真数据在各专业/学科之间的传递关系，也不能有效地维系设计数据与试验数据的关联关系。因此，PDM 最核心的应用价值仍然是基于详细结构设计得到正确的产品物料清单和配置，并从设计的角度支撑技术状态正确的生产制造。

### 在复杂产品研发核心能力平台建设过程中应运而生的多学科设计/仿真集成管理技术

基于复杂产品研发生命周期的特点，源于军工领域某些关键行业的核心能力建设需求，多学科设计/仿真集成管理技术应运而生，其主要目标就是解决对复杂产品研发生命周期“设计循环”各阶段的管理支持问题，并为专业业务流程、工具、知识、规范和专业参考数据等核心能力要素的积累和整合提供工具。

非常值得欣慰的是，在这一领域，我国自主知识产权的核心技术和商品化软件系统已经取得重大突破并进行了实际应用实施。

#### 1 典型的多学科设计/仿真集成管理系统——天舟 COMAN

天舟公司曾经长期致力于 PDM、PM、业务流程自动化等技术的开发和应用推广。近 5 年以来，在参与航空发动机行业的核心能力平台（航空发动机设计体系）建设过程中，在用户需求的拉动下，天舟公司深入研究和验证了包括产品数据管理、项目管理、业务流程自动化、仿真集成管理等技术对核心能力平台建设的作用，通过有效的需求抽象以及扎实的技术创新和系统集成，逐步开发出了较为完整的设计/仿真集成管理技术体系，并先后得到了国家科技部创新基金和国家高技术研究发展计划（863 计划）的大力支持。

2007 年 10 月，天舟正式发布了国内首个完全自主知识产权的商品化设计/仿真集成管理系统——天舟 COMAN。目前，天舟 COMAN 除在航空发动机行业继续得到深入应用之外，正迅速在军用车辆发动机、导弹、机电控制系统、引信等领域得到应用。

天舟 COMAN 具备以下能力：

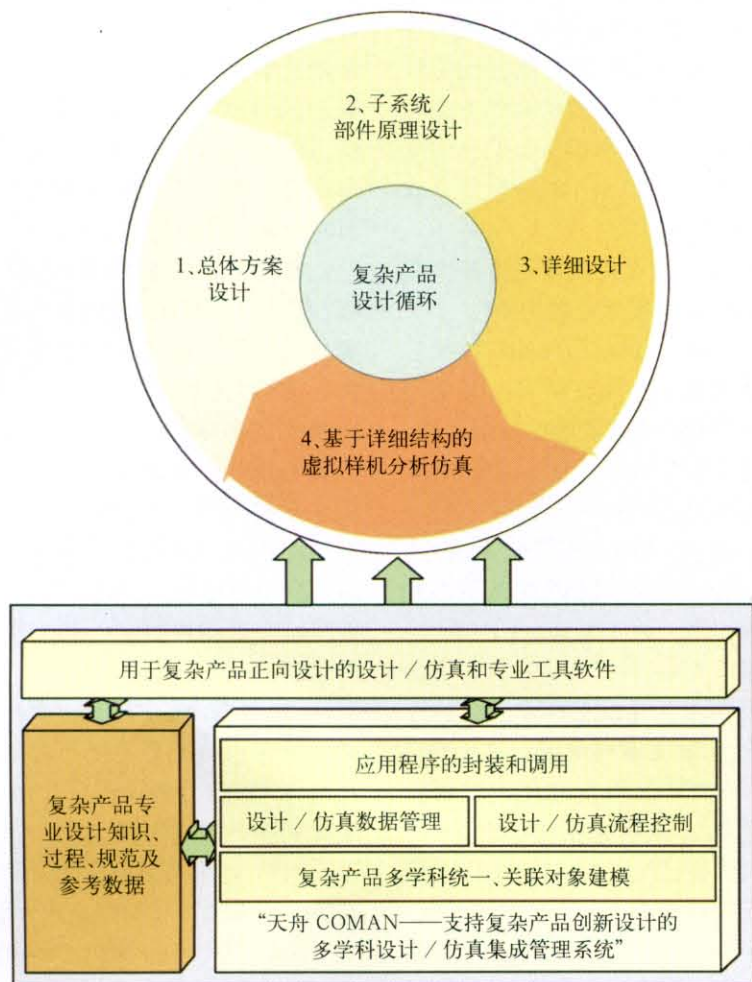
(1) 作为应用集成平台，可以集成、封装并调用各种专业设计/仿真

应用软件；

(2) 作为业务流程控制平台,可灵活定义并控制复杂产品设计过程中对各专业设计/仿真软件的调用过程,控制、维系软件间的数据流关系;

(3) 作为数据整合平台,可以管

天舟 COMAN 系统是完全针对复杂产品研发核心能力平台的建设需求而开发的设计/仿真集成管理系统。对于从事某种特定类型的军工产品开发的军工企业和科研单位来说,以 COMAN 基础技术架构,通



利用天舟 COMAN 构建复杂产品创新设计系统

理设计循环迭代过程中设计/仿真软件生成的设计/仿真数据;

(4) 作为设计理念、知识、规范的积累、继承、重用和驱动平台,可以积累和重用复杂产品设计/仿真模型,积累和重用复杂产品设计/仿真业务流程;

(5) 作为协作平台,可以在网络分布式环境中,依据复杂产品设计业务流程,对人员和专业软/硬件资源进行有效整合和协同,实现设计/仿真业务流程自动化。

过定制和应用实施,封装集成用于特定专业产品设计/仿真的工具软件,容纳特定专业产品的多学科设计/仿真业务流程,嵌入特定专业产品的设计方法和设计理念,并构造出支持特定产品“设计循环”的多学科设计/仿真专业集成设计环境。在此环境中,军工企业和科研单位的专业业务流程、工具、知识、规范和专业参考数据等核心能力要素可以得到有效的积累和整合。

## 2 天舟 COMAN 设计/仿真集成管理系统采用的关键支撑技术

与国外同类产品相比,天舟 COMAN 不仅在本土服务和投资经费等方面具有优势,更重要的是在多领域关联的设计/仿真对象模型管理,业务流程的表达、执行以及设计/仿真数据综合管理及数据流控制方面有重大创新。

天舟 COMAN 采用了一系列关键基础支撑技术,包括产品对象建模技术、设计/仿真数据管理技术、设计/仿真数据格式转换技术、设计/仿真对象的可视化表达技术、对设计/仿真计算结果数据的动态监测技术、对设计/仿真数据的实时管理技术、基于项目的任务流程管理技术、应用程序的封装和集成技术、任务对应用程序的驱动技术、数据流管理技术等。

## 3 多学科设计/仿真集成管理技术的应用前景

天舟公司 10 多年来秉承“根植需求、坚守使命、自主创新”的宗旨,根植于中国企业尤其是军工企业的信息化需求,不断研发拥有自主知识产权的核心技术和商品化软件,并在多学科设计/仿真在这一关键领域取得了重要突破。

我们认为:中国军工行业不仅需要应用全球最先进的信息化技术,也需要有中国自主知识产权的优秀信息化技术的支持。我们坚信:拥有自主知识产权的、符合军工行业需求的信息化技术和产品与军工行业自主创新的需求是完全吻合的,也有助于军工行业完成自己的历史使命。

目前,加强核心能力建设正逐步成为我国军工行业的共识,对各种核心能力要素进行积累和整合正成为行业的迫切需求,因此,包括设计/仿真集成管理技术在内的有助于企业核心能力平台建设的新技术必将获得更广泛的应用和发展。

(责编 魏冰)