

# 复杂产品系统集成协同研发平台的研究与实现

## 1 概述

复杂产品系统对于人类社会的发展起到了巨大的推动作用。从莱特第一次飞上天空到阿波罗登月，复杂产品系统发展十分迅猛且日新月异，人们每天都在享受着复杂产品创新带来的快乐和方便。复杂产品系统大多数属于多学科综合性产品，而且包含了较高的技术含量<sup>1</sup>。国外发达国家非常重视复杂产品研究与发展。尽管复杂产品研发投入多、技术难度大、需要单件或小批定制生产、研发周期长，但他们把复杂产品当作技术创新牵引力、产业辐射的推动力、高附加值创造者予以重点扶植。欧洲国家用了三十多年大力支持空中客车公司的发展、美国对航空航天、计算机信息通讯等领域投入巨资，日本也对高新技术领域投入大量人力物力。同时引领世界复杂产品高新技术发展的国外主要企业，在不断的实践过程中积累总结出对复杂产品系统的研发创新规律、模式和应用系统。我国改革开放以来十分重视复杂产品系统的研发和创新问题，通过不断努力基本建立起比较完善的体系。由于我们整体基础弱、技术储备少、实践经验不足，为满足新一代产品研发的需求仍缺乏对复杂产品系统研发创新模式和方法的深入研究与探索。

在我国复杂产品系统的研发实践中，各行业在分析研究借鉴国外的先进经验基础上都摸索和建立了有特色的研发创新模式和实施的路径方法。从企业内外部关系区分为主要的几种系统：基于产品数据管理（PDM）的产品研发集成系统、基于集成产品开发（IPD）的研发系统、基于产品过程项目管理的研发系统<sup>2</sup>、基于主-供网络协同（CPC）的产品研发系统等，每一种模式都有成功的经验，同时面对新一轮高科技复杂产品创新的任务又都有明显的缺陷。探索研究适应新形势下复杂产品系统研发创新方法具有重要的现实和长远意义。

## 2、新一代复杂产品系统研发的特征

近二十年来具有高科技特征的复杂产品系统发展十分迅猛，已经超出许多预测家的想象，摩尔定律预示科技进入爆炸式的发展的阶段。新环境新任务新需求不断

涌现，对复杂产品研发创新提出高标准高起点的挑战，出现了以下显著特征。

**综合集成特征。**多学科跨专业技术领域高度交叉与融合。一般复杂产品系统都是跨越多专业技术领域和具有许多关键技术特征的，航空航天涉及专业技术领域五十个以上，包含核心关键技术可多达数百个。面对产品研发新任务需求，专业技术需要高度进行融合和集成，例如飞机总体设计技术中已经不仅仅考虑气动力设计技术，必须考虑结构强度、电磁环境、隐身、材料工艺、成本核算等多专业多学科的优化技术。

**并行协同特征。**多样化需求使产品结构和功能变得越来越复杂，同时应用领域的不断扩展，IT 嵌入式软件技术逐渐成为复杂产品的核心技术部分<sup>3</sup>。因此造成产品研制周期越来越长，成本不断攀升，质量难以保证。为加快研发创新的进程，控制成本，市场开拓、技术预研、产品设计开发、生产制造和集成、试验验证、售后服务等团队合作方面需要高度并行协同工作，同时主集成商还需要与用户、各子系统、部件、模块供应商进行高度的协调合作。并行与协同成为新产品开发最关键的特征之一。

**全周期特征。**复杂产品研发管理覆盖从产品概念、关键技术预研、初步方案选择、方案详细设计、设计定型、制造和用户使用、报废处理等产品全生命周期的各个阶段，主要包含需求管理、指标管理、项目管理、设计数据管理、BOM 构型管理、变更管理、采购/供应商管理、制造工艺管理、质量管理、售后维护管理、技术出版物管理等企业各业务流程需求的内容。

**数字化集成特征。**以数字化信息化为代表的新技术的广泛应用催生了许多新技术新方法新工具，如 CAD/CAE/CAM/CAPP、CAI/CAQ/CAT、PDM、ERP、CRM SRM、CPC 等。这些技术的涌现极大带动了传统制造业的技术进步和研发理念的变革，改变了设计的理念、方法、流程和体系，大大加快产品研制进度、保证了质量、降低研发成本，已经成为企业核心竞争能力的体现。同时过多的异构的数字化工具也带来信息和应用工具孤岛现象，进而妨碍了先进手段的高效利用，需要建立统一开发的集成研发平台。国外著名公司都已经建立了适合自己的基于数字化的研发流程、组织模式和项目管理一体化的研发集成平台，从顶层上整合资源、减少重复与浪费，提高研发效率和效益。

**新研发合作模式。**优势企业联合研发模式成为应对新一代产品研发难度陡增、投资巨大、研制风险等难题的关键。新产品从技术、管理、资源约束、政策环境等方面都隐含着很大风险，由于复杂产品研发越来越复杂，单靠自己力量难以很好地完成任务，组织模式的选择变得十分重要，需要建立优势联合企业共同承担风险和研发资源，该联合企业既可以是实体运作，也可以异地虚拟企业运作。

通过分析研究产品研发创新方法特征，对比国内企业研发创新的发展现状，发现我国企业研发过程中存在若干共性问题：

一是信息孤岛问题，在研发产品过程中，注重专业技术分工和各自开发研究，缺乏产品系统总体功能性能和质量的统一协调，信息数据分散各个专业的文档系统，产生许多信息盲区。总集成商单位难以动态掌握各专业、各分系统的设计对整体功能和性能指标的满足和影响程度，对产品研发的全过程缺少有力的监督和改进反馈机制。

二是组织架构和流程的协调一致问题。很多企业的研发现状还没有作到将企业组织架构设计和产品研发流程紧密结合起来。对基于市场需求定位的产品研发创新模式内涵缺乏理解，对应的体系框架还未建立起来。对正确定义市场化的产品概念、跨部门跨专业的团队协同组织、全流程全要素系统整合等缺少实践经验。

三是对如何提升企业在产品研发阶段的原始创新能力方面没有系统的解决方案。从完全模仿创新、引进集成创新到独立自主创新发展过程伴随着研发创新能力不断提升与变化，夯实技术基础、挖掘知识经验、搜集钻研信息、使用新方法新工具、创造开拓创新的氛围可以快速提升原始创新能力。

从上述问题的可以发现困扰企业研发创新的核心难题是研发组织内外的高效协同、各个专业领域的协同、技术和产品的并行开发以及在产品研发全过程各关键要素的集成与优化。国内许多专家企业组织都开展了相关研究，取得了很多有价值的研究成果。

### **3、复杂产品研发创新平台的架构**

产品研发是一个综合而复杂的过程，企业不仅需要管理产品的图纸、工艺和材料信息以及结论性文档，还要管理产品研发全生命周期过程中的产品功能、性能、质量、指标这些特性类数据，更需要管理生成这些数据的过程和方法。同时，在产品

协同开发过程中,往往存在着大量的信息交换、共享,任务的交叉、变化、资源的分配、冲突以及分布式的协同<sup>4</sup>。企业需要一个高度整合的研发平台,可以把研发中的各种要素综合集成管理起来,包括更深层数据及其开发过程。

为了达到这个目标,通过改良现有平台已经不能满足需要,必须突破现有的以 PDM 为主的技术框架,建立一个可以融合企业中所有研发系统和工具的顶层架构,形成一个可以全面管理产品生命周期中所有研发要素的综合平台。既可以管理图纸、工艺和材料信息,也可以管理功能、性能、质量、指标这些特性类数据及其生成过程,并能集成 CAE、CAQ、CAI、CAT 等高端工具,使研发体系可以快速高效地应用这些工具,提高产品的先进性和技术附加值,并让质量要求落实到产品研发的每一个环节。经过和国内著名公司全面评估研究,结合主要行业的工程应用实践,本文提出了一种基于总线指标控制的集成研发协同平台的体系框架。

以系统工程霍尔三维结构模式理论为指导,结合产品公理化设计方法学的精髓,以数字化信息化为手段,针对企业产品的性能指标,提供从概念设计到产品试制全过程的协同化研发平台。企业研发人员利用研发平台所集成的仿真、优化、创新、质量等引擎工具,可进行差异性、高性能、高品质的产品研发。通过 CAX 集成、流程管理、数据管理等协同技术,提高产品研发效率。采用知识工程帮助企业把研发过程中的知识积累下来,成为产品升级换代的基础。

产品集成研发协同平台具备管理企业所有研发要素的能力。通过产品研发总线 (R&D-BUS) 技术管理企业研发活动的各项关键指标,满足企业高层、中层、以及各类业务人员对研发过程中指标的不同管理需求。企业可以对企业关注的各项指标进行分解,达到指标的收取、汇总、分析、处理、展现、控制,以做到企业研发的高效、可视、可控。

除了集成 PDM 系统之外,采用数据集成管控方案,对产品研发的全过程数据进行管理,特别是特性类数据(功能、性能、质量等数据)。把 workflow 方案用于管理研发的流程及其数据。开发设计仿真集成方案支持各种数字化技术优化与集成,建成以 DMU 3D 样机设计的方案支持多学科综合优化设计能力。

产品集成研发协同平台是一个专业、统一、集成的信息化技术平台,是在企业基础研发平台之上的扩展和提升。平台支持产品从概念设计、初步设计、详细设计

到样机试验等企业研发全过程，将创新、质量、仿真、试验等研发关键技术进行统一管理，实现研发项目、流程、数据、工具和知识等的协同应用。

产品集成研发协同平台是基于网络的分布式协同研发环境，利用强大的技术手段对产品进行创新设计、质量设计以及仿真分析，从而达到产品的改进与优化。系统借助于企业最佳研发实践和知识经验，提高产品性能和质量，从而提高研发水平、缩短研发周期、降低研发成本。系统能持续积累企业研发的智力资产，并通过先进的管理技术使得企业智力资产得以有效重用，提升企业核心竞争力。

### 3.1 基于总线指标控制的集成研发协同平台的体系框架

在协同开发环境支撑下，以数字化为基础的基于总线指标控制的集成研发协同平台的体系框架包含四个层面和一个平台。依次是用户层、应用层、技术支撑层、资源数据层、协同工作环境支持平台等。

(1) 用户层。用户层是基于 Web 的产品协同研发的系统用户的操作界面和单一访问入口。对门户用户进行统一管理，实现门户与各业务系统之间的数据同步，实现对门户系统基础信息的管理。根据市场需求分析，建立企业各产品系列研发指标体系，使研发用户从顶层上把握满足市场需求的产品功能和总体性能指标体系。

(2) 应用层。应用层是四层平台体系框架的核心。采用指标总线技术，建立产品研发总线。为企业研发过程提供宏观、精准的指标管控体系；通过各级指标的分解关系和相关关系，把不同层级之间的指标数据进行精确映射。通过产品研发总线将对总体、子系统、分系统到各专业应用技术系统和产品数据、流程、项目计划管理、供应商管理等进行综合数据管理，实现产品单一数据源的全过程并行协同管理。

(3) 技术支撑层。为支持产品从概念设计、初步设计、详细设计到样机试验等企业研发全过程应用，将 CAX、多学科优化、协同仿真技术同创新、质量、试验、知识管理等研发关键技术进行集成和融合，实现产品研发项目、流程、数据、工具和知识等的协同应用。

(4) 资源数据层。对于复杂产品系统研发需要充分利用行业已有的知识积累和经验数据，资源数据层作为产品研发的重要基础支撑包含了各种的设计模板资料、数学模型、材料工艺库、试验数据库、经验规范、各类设计工具和软件等核心资源。

(5) 协同研发环境支撑平台。框架内的产品研发协同平台是基于网络的分布式

协同研发支撑环境，支持企业完成多任务多项目和跨专业跨企业的并行协同工作。它包含两大方面内容：一是作为产品研发的主制造集成商内部的各专业领域的并行协同和各种流程、工具的协同；二是主制造集成商与各类分包商、供应商甚至虚拟制造企业的并行协同。

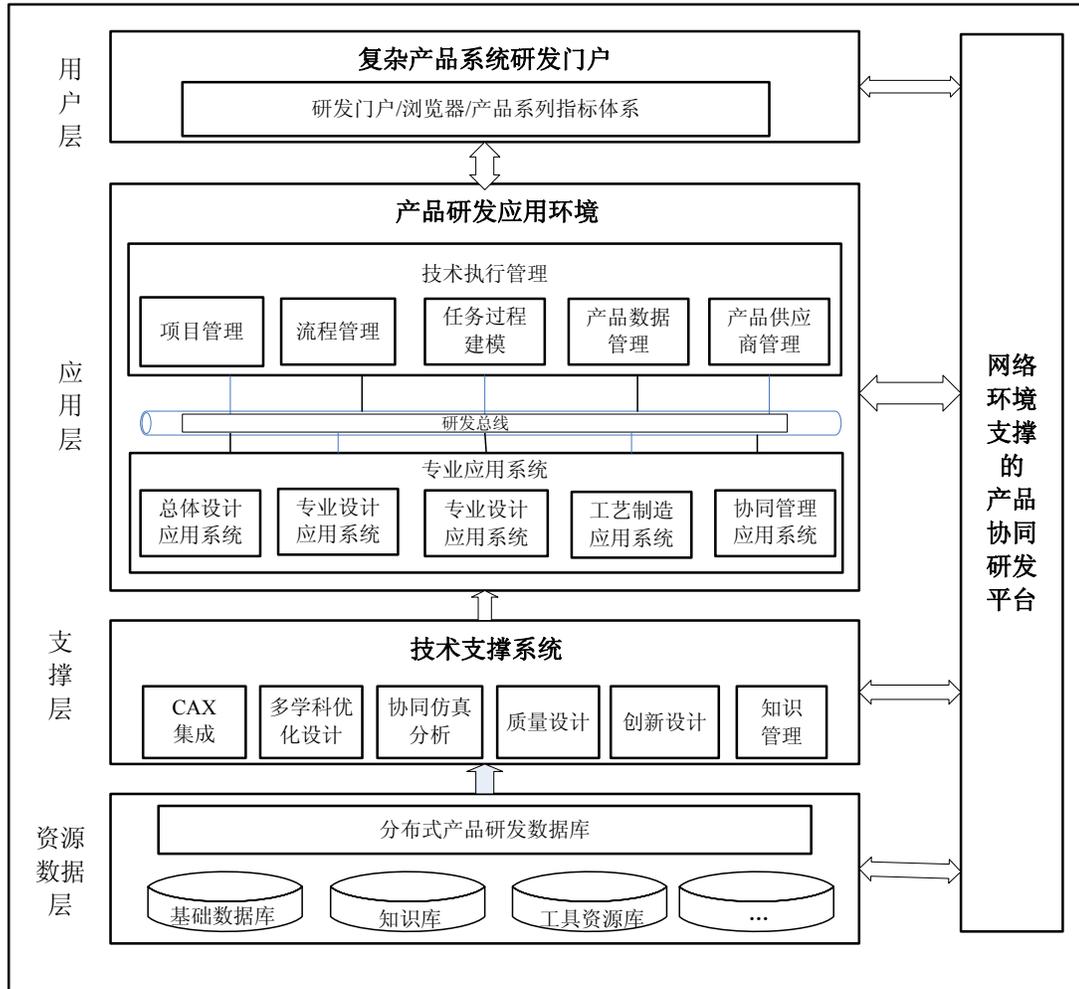


图 3.1 基于总线控制的集成研发协同平台的体系框架

### 3.2 平台的主要功能

#### (1) 平台门户

系统门户是基于 Web 的协同研发用户界面和单一访问入口，提供客户化的定制和多语言的支持。对门户用户进行统一管理，实现门户与各业务系统之间的数据同步，实现对门户系统基础信息的管理。通过标准的 Portlets 的定制开发以及基于 Webservices 的服务，实现支持以 SOA 模式集成到企业集成框架。

## **(2) 研发总线 (R&D-BUS)**

通过精益研发指标总线，为企业研发过程提供宏观、精准的指标管控体系；可以根据需要从项目、质量、成本、技术等不同维度进行指标分解和监控；应用价值分析和质量功能展开原理对指标进行分解和分析，确定关键的质量特性、技术瓶颈和设计参数；通过各级指标的分解关系和相关关系，把不同层级之间的指标数据进行精确映射；图形化状态显示不同颜色警灯显示某指标节点的异常状态，用不同颜色的线条显示关联指标的异常路线，随时监控存在风险指标，真正做到对风险的有效控制。

## **(3) 研发流程管理**

包含研发活动的多层次流程管理，并实现任务的分解、分派和监控等，实现流程细分与信息传递等紧密结合。定位于集成技术活动流程，完成研发数据的输入输出定义；图形化的流程定义；支持流程模版的定义与管理；支持业务流程（如校核、审核、批准），支持自动流程（自动化运行；完备的流程控制（人工交互/自动、条件控制、收回、退回、代办、流程重启动、中止等操作）；精确、直观的流程监控（执行状态、统计工具、运行日志）；流程中各个节点的信息传递的自定义（参数传递、输出/输入）；集成流程执行过程数据及结果数据管理；支持多种应用程序的集成

## **(4) 数据管理**

对精益研发过程中离散化的过程数据的实行网络化管理，保证数据完整性、可追溯性以及数据共享。基于产品研发总线包含的各项指标（及其分解指标的树）管理以及数据管理；支持项目、人员、工具、流程等信息构成的统一关联数据模型；定位于存储设计，分析、仿真的详细输入输出数据，参数，指标以及数据之间的关系；提供多视图操作，从多种维度查找数据；支持版本控制；支持数据信息的快速检索与定位；通过企业应用集成无缝衔接 PLM 等系统，形成企业全面的产品数据管理

## **(5) CAX 集成环境**

为企业的各种角色提供一个集设计、仿真、优化等工具一体化的工作台面，实现企业应用的整合，支持高效率的协同研发工作模式。通过集成软件系统作为客户端基础框架，可集成 CAX 工具，对设计、仿真分析进行统一管理。集成各种 CAX 工

具，封装自研程序，是研发数据输入输出的中枢，建立统一的工作界面环境；集成多学科耦合分析，实现各学科联合性能分析与优化。

#### **(6) 多学科优化环境**

通过综合多学科协同、优化设计、应用封装、并行计算等技术，实现桌面级、团队级、直至整个企业级的多学科协同设计与优化集成。基于组件的方式封装各种应用，将分析设计过程集成并固化；通过对企业组织、部门、角色以及用户的全面定义，实现信息的全方位管理；多种分析优化工具，提供了“*What-If*”、参数研究、试验设计、权衡分析、可靠性分析、梯度优化、遗传优化、代理模型优化等功能全面的、切合工程实际应用的算法工具包；通过充分利用现有的计算资源，在无需增加新硬件的情况下即可构建企业级网格计算环境，从而大大提高并行设计计算效率及精度。

#### **(7) 知识管理**

创新是企业发展的动力，知识是创新的力量源泉。企业要发展，就要不断更新、补充、扩充和创造更多的知识。知识管理系统通过对企业产品研发全过程相关知识和技术的整合，实现企业跨部门、跨领域的研发智力资产的可持续的经验积累机制，并通过对企业最佳研发实践和知识经验的重用，提高产品性能和质量、缩短研发周期、降低研发成本。支持知识采集、记录、抽取和积累，形成研发知识库；支持研发知识模板等各类研发经验和最佳实践的集成与定制，实现知识的重用；支持行业标准、设计分析规范、简化规则、评定规范等知识集成；支持材料库、插件库、模型库、流程库、方案库等知识库集成

#### **(8) 仿真分析专业包**

仿真分析专业包定位于企业的协同仿真技术，通过对各行业仿真分析规范、工具、流程、经验等各方面进行总结、分析，最终提炼出各行业仿真知识库、流程模板库等技术。主要包含：通过统一的仿真集成环境，实现单一环境下的多学科系能仿真支持仿真数据的前后继承（BOA）、多学科仿真数据（BOE）等谱系关系分析设计数据与仿真数据无缝传递打通设计工具与仿真工具间的数据接口，实现数据流的无缝传递

#### **(9) 质量设计专业包**

质量设计专业包把现代设计方法学与企业设计实际相结合，根据质量保证要求对设计过程进行策划，定义过程质量控制要求。建立从顾客需求、设计目标、质量特性和工艺特性等过程的关键指标映射，并进行评价、分析、优化和改进。对五性计划和设计数据进行管理，保证系统可靠性。对质量设计知识进行积累和重用，实现设计的高效率和高质量。

#### **(10) 创新设计专业包**

创新是企业发展的不竭动力，创新设计专业包提供基于 TRIZ 理论，结合本体论、现代设计方法学、多领域科学知识以及计算机技术综合而成的产品设计创新技术。该技术可以让产品的设计与改进从设计源头的创新做起，帮助设计者有效地利用多学科领域的知识和前人的智慧，分析和发现技术体系中存在的问题，获得具有创新性的解决方案，为企业从仿制设计到创新设计的发展提供了有效的技术支持手段。

### **3.3 预期可以实现的客户价值**

**构建企业研发能力。**利用统一集成的研发环境，打通创新、仿真、设计、试验整个研发过程的数据流和业务流；进行产品精益研发流程、数据和知识的系统管理，大幅提升企业的研发技术能力；通过优化研发流程和技术协同，节省大量研制成本实现研发知识积累。通过研发各环节的知识萃取和积累，形成企业智力资源中心。支持知识的学习和重用，快速产生价值基于知识的积累和创新，加快自主知识产权的形成。

**实现产品设计质量。**通过价值工程和价值分析，确定关键需求、关键技术路径和关键质量特性，集中优势资源重点对关键部分进行质量保证。通过系统设计、试验设计、参数设计和容差设计等设计和优化方法提高产品固有质量。通过可靠性预计、分配和失效模式分析，实现可靠性指标的计算和保证。

**增加产品技术附加值。**充分利用已有的专利技术，丰富产品技术体系。通过研发过程的经验积累和利用，实现产品的不断完善和提升。通过不断的系统优化和设计改进，实现产品质量、性能、可靠性以及经济性的综合提高。

**提升产品差异性。**利用价值分析和竞争力比较，使企业明确产品竞争差异点。精益研发不拘泥于传统的设计方案，利用创新平台对瓶颈技术进行创新和突破，提

高产品差异性。对关键设计指标进行质量设计、协同仿真和多学科优化，使产品在关键性能指标上明显优于竞争对手

**缩短产品研发周期。**通过明晰各级设计目标，明确工作任务，减少返工和工作浪费。通过研发总线技术，随时分析和监控产品研发各项指标，减少研发迭代次数。通过协同研发和并行研发，提高团队合作效率，减少等待和返工。利用企业最佳实践经验和最佳流程，显著缩短研发周期

参考文献:

---

<sup>1</sup> 陈劲,桂彬旺,陈钰芬. 基于模块化开发的复杂产品系统创新案例研究 [J].科研管理 2006(11):1-8

<sup>2</sup> 白洞明,邹礼瑞,汪浩.基于过程管理的企业技术创新系统模型 [J].科技与经济 2000 (3):33-36

<sup>3</sup> Andrew Davies, Tim Brady. Organizational capabilities and learning in complex product systems: towards repeatable solutions [J].Research Policy, vol. 29, 2000, 931 - 953.

<sup>4</sup> 孔建寿, 张友良, 沈春龙.基于 Web 的分布式项目管理系统的研究与实现 [J].南京理工大学学报,2001,25(6):592-596.