

# 面向智能制造的 PLM 视角下 数字化工厂实现技术研究

撰文 / 中航工业信息技术中心（金航数码） 饶有福

当前，航空、航天、船舶及汽车等行业正重点研究智能制造和工业 4.0，践行中国制造 2025，以实现先进制造企业的转型升级。在此趋势下，全球各大院校、科研机构 and 先进制造企业的研究重点之一——数字化工厂，并已初步形成一致的结论：数字化工厂是智能制造和工业 4.0 实现的必经之路。

## 一、智造趋势下的数字化工厂

随着国际竞争的不断加剧和制造业劳动力成本的不断上升，对设备效率、制造成本和产品质量等环节的要求不断提高。离散制造业中以汽车、工程机械、航空、航天和船舶为代表的大型企业已越来越重视数字化工厂的建设。数字化工厂借助信息化和数字化技术，通过集成、仿真、分析和控制等手段，可为制造型企业的制造和生产全过程提供全面管控的整体解决方案。自 20 世纪 90 年代开始，全球相关的企业和科研机构纷纷开展数字化工厂技术的研究，但到目前为止尚未形成统一的描述，其范围、内涵和实现框架也未统一。

众所周知，智能制造和工业 4.0 已成为全球的研究热点。智能制造以数字化、网络化和智能化为其三大要素，其中数字化是基础，要求产品模型化、资源模型化和过程可视化，不难发现其本质是在产品生命周期内实现模型驱动需求、设计、制造、生产、验证及服务全过程。工业 4.0 提出了物理赛博系统（CPS）、三大集成和八项行动等实现技术与规划，其核心是产品生命周期和生产生命周期（即两 PLM）的融

合，同时融合的基础还是模型。可见，智能制造和工业 4.0 的核心、本质及其实现的基础均离不开产品生命周期及在全过程中运行的模型。因此在智能制造和工业 4.0 的驱使下，从 PLM 视角入手，数字化工厂应充分继承前人的研究成果，结合新特征和技术以进一步向深度和广度延伸，满足智能制造和工业 4.0 的发展要求。

参考知名学者及国际电工委员会词汇库对数字化工厂的定义，本文认为数字化工厂 (Digital Factory)：是指以产品全生命周期的相关数据为基础，以模型为核心，在计算机虚拟环境中，对整个制造和生产过程进行仿真、评估和优化，并进一步扩展到整个产品生命周期的新型生产组织方式，是现代数字制造技术与计算机仿真技术相结合的产物。在 PLM 范畴下，“数字化工厂”的定位如图 1 所示，它是在数字化环境中贯穿整个工艺设计、规划、验证、直至车间生产工艺的整个制造过程。

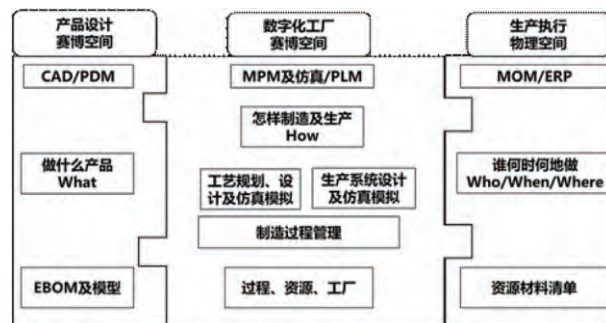


图 1 数字化工厂在 PLM 范畴下的定位

在 PLM 视角下，数字化工厂有三大内涵，分别为：以 MBD 模型为核心的数字化协同研制；以虚拟仿真为手段的数字化制造和生产过程的验证分析；以制造过程管控数据与模型为基础的数字化制造和生产过程的优化决策。

## 二、数字化工厂实现架构

### 1. 技术体系框架

根据工业化和信息化两化融合要求，数字化工厂技术体系框架如图 2 所示。顶层 T1 框内描述的为数字化工厂管控技术体系，T2 框代表数字化工厂实现的通用技术体系，T3 框代表数字化工厂应用技术体系，T4 框代表数字化工厂的一般业务过程体系，T5 框表示数字化工厂的基础能力体系。

(1) 管控技术体系。主要包含：①以工艺业务活动在线闭环跟踪为主的任务 / 计划管理；②以智能装备及企业资源管理 (Enterprise Resource Planning, ERP) 或制造运营管理 (Manufacturing Operations Management, MOM) 产生的大量的实时和历史的制造数据为基础的实时分析和优化管理；③以综合管理为基础的智能决策。

(2) 通用技术体系。主要包含：①应用流程梳理工具开展数字化工厂全业务域的流程和方法及流程优化再造的流程技术。②基于流程中涵盖的人 - 机 - 料 - 法 - 环 - 工具为基础，以产品、资源、设备设施、材料、能源、工装、人员、

厂房、物流、工艺过程等为内容构建模型的建模技术。③在数字化建模的基础上，对制造系统进行运动学、动力学、加工能力等各方面进行动态仿真优化的仿真技术。④在流程、模型基础上，应用 IT 技术和虚拟现实技术，提供立体的多维度的数据 / 信息展示和交互的环境的可视化技术。⑤以数字化工厂所涉及的流程、工具、方法、数据、知识及环境为要素的集成技术。

(3) 应用技术体系。主要有：①以构型为指导、以模型和数字样机为核心、以并行和协同为基础的数字化制造过程管理技术。②在可视化环境中，基于样机和模型，应用仿真手段完成协调和工艺总方案规划的数字化工艺规划技术。③以 MBD 为基础，以仿真为手段，完成装配、检测、数控、钣金、焊接、检测及工装等设计和作业指导书的数字化工艺 / 工装设计与仿真技术。④以制造系统中的制造要素和过程模型为基础，应用仿真手段完成制造系统的过程模拟并基于物理生产系统实采信息进一步仿真优化的生产系统设计与仿真技术。⑤数字化工厂中所涉略的资源、设备设施、材料、工装、人员、厂房、工艺过程及标准规范和知识等资源应用技术。

(4) 业务过程体系。数字化工厂的业务过程一般有：数字化工艺规划、仿真验证及管理，如图 2 中 T4 框内的 V1 所示；在数字化环境完成生产生命周期的规划、仿真验证及管理，如图 2 中 T4 框内的 V2 所示；物理环境中

生产系统的构建和运行及管理，如图 2 中 T4 框内的 V3 所示。

(5) 基础能力体系。主要包含数字化工厂的流程、工具、方法、数据、资源、知识管理和分析，并通过集成形成的数字化工厂环境。

### 2. 信息系统实现

按照数字化工厂确立的技术体系框架，根据其业务过程，总体上数字化工厂的应用架构如图 3 所示，总体上可以分为六大

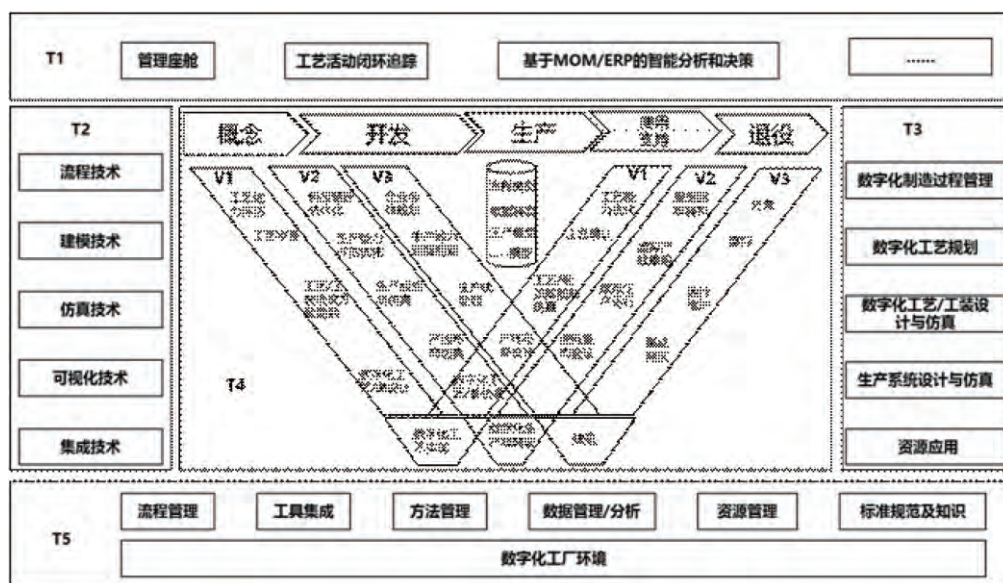


图 2 数字化工厂技术体系框架

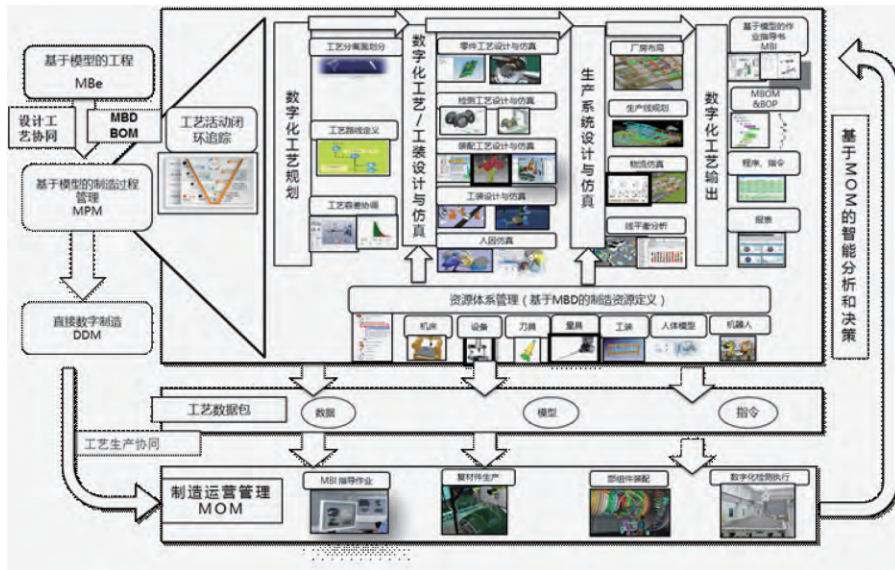


图3 数字化工厂应用架构

部分，分别为数字化制造过程管理、数字化工艺规划、数字化工艺 / 装设计与仿真、生产系统设计与仿真验证、资源体系管理及基于 ERP/MOM 的智能分析和决策。因此，数字化工厂平台的组成架构如图 4 所示。系统分为基础层、数据层、功能层、应用层、展现层及用户层，共六个层次。其中应用层的搭建按照应用架构进行展开。

### 三、结论

本文立足智能制造，从 PLM 视角下，提出了数字化工厂的概念，确立了其内涵与定位。针对数字化工厂的通用技术、应用技术、业务活动及管理等内容开展研究和分析，形成了数字化工厂的技术体系框架，并给出了支撑数字化工厂的信息系统的应用架构和系统架构。



图4 数字化工厂系统组成架构

数字化工厂的建设是一个复杂系统工程，企业在构建过程建议以系统工程方法论为指导。同时结合企业自身的状态，设计好数字化工厂的蓝图和评估评价体系，进行总体规划和分步实施。另外计算机、网络、数据挖掘及智能化装备等技术不断地飞速发展，因此在未来数字化工厂建设过程也将根据企业需要有步骤地融合相匹配的先进技术。IM