

浅析数字工程

达索系统中国 DELMIA 产品线 刘蔚明

摘要：为实现“数字样机”到“数字工程”，必须要有一套系统其能够充分利用“数字样机”的三维数据，实现在三维基础上的 3D 工艺规划，并对零件的加工过程、产品的装配过程、生产的规划进行 3D 模拟并验证。

第一章 数字样机与数字工程

对产品开发活动而言，简单地可概括为三个问题：P-Product “造什么-WHAT”；P-Process “怎么造-HOW TO MAKE”；R-Resources “用什么造-With What”。对原始个体手工能完成的简单产品，如弓箭，我们靠个人“手艺”完成，并将“手艺”传递给后人；对于复杂、需要多人完成的产品，如车船，为使他人能理解并制造出我们所需的产品，我们必须提供足够的信息来对其进行描述，用以交流、理解。

我们生活的世界是三维世界，所见、所用、所接触的物体皆为三维的。以往，我们只能将三维的物体，以不同视角作平面投影，用 2 维方式表达，从而得到“设计图纸”；工人根据二维图纸，读图、理解后加工回三维零件，这就回答了第一个问题“造什么-WHAT”；由于零件或装配件的制作方法要采用一定的规则，从而有了描述加工或装配过程的“工艺”（其对应的英文“Procss”就是过程的意思），这就回答了第二个问题“怎么造-HOW TO MAKE”。在实现产品加工或装配的过程中，要涉及到工具、工装、人员、设备等“资源”，故工艺中必须包含对这些“资源”的使用描述和管理，这就回答了第三个问题“用什么造-WITH WHAT”。

当我们完成一个产品设计时，我们会生成一个“EBOM”，即工程材料表，其包括了零件、装配件、外购件及其对应信息（图纸、文件、材料等等）；而要完成这产品的制造，我们还需要生产这些零件、装配件、外购件的工具、工装、人员、设备等，及其对应信息（图纸、文件、材料等等），这就是生产所需的“MBOM”（制造材料表）。

随着计算机技术的飞速发展，为提高画图效率，人们进行了“甩图板工程”，实现了计算机辅助二维设计（绘图更确切）；进而升级到计算机辅助三维设计，人类终于可以在自己生活的三维世界，描述所需的三维产品了-即在计算机数字模拟的环境中生成一个个三维“软零件或部件”并合成（不能叫装配）一个三维产品，既“数字样机”。

然而，要将计算机生成的三维“软零件”转化为“硬零件”（实物），还必须将其加工出来——或者用材料堆积成型，或者将材料去除成型；而如何成型，是否能成型，用什么帮助成型，工艺部门必须要对其作生产和工艺规划，以便加工者按指令用某个设备将其实现为实物。零件的工艺已如此复杂，那将成千上万个零件装配成部件、产品其工艺就更为繁复。计算机模拟的 3 维环境中合成的“数字样机”，要实现实际的装配，我们还须描述各零部件的装配关系、装配顺序、可视性、可达性及用何种工具、工装、或借助何种设备（如机器人），这样才能为生产制造部门提供所需的指令。由于产品多种多样，加工、装配的方法千差万别，所以各企业采用的工艺也就各有千秋，种类繁多。对一个企业而言，培养一名优秀的设计师要 3~5 时间，而培养一名优秀的工艺员要 8~10 年的时间——他不仅要有理解设计意图的能力，还需了解企业的加工能力，和各种各样工艺的经验。对一个产品开发而言，如果用百分比来划分，设计阶段占 20—30%，加工阶段占 20—30%，而工艺阶段达到 40—60%。可见工艺工程的能力对企业生存的重要性。

伴随计算机技术诞生的软件工程、数字化工程、互联网等技术的广泛应用，很多的企业在产品开发阶段引入了 CAD/CAE/CAM/CAID/PDM 等系统；在制造上采用了机器人、各种数控床、自动生产线等设备；在开发和生产管理上使用 MIS/ERP/PLM/CIMS 等等软件；企业的产品开发能力和加工能力有了极大的提高。

然而，人们遗憾的发现上述系统带给企业的制造能力和与之相关的生产调整能力并没产生相应的提升效果，因为，开发部门的“数字样机”数据不能直接用于 ERP 等系统，还必须通过生产部门进行生产规划、工艺规划、资源准备；由于“数字样机”并没考虑到产品的可制性，到生产才发现产品设计问题而进行更改、调整时，还是要花大量的时间、金钱进行协调，排故。如同驼峰，两边水平都很高，而中间的水平却很低——由此产生的瓶颈效应，极大地限制了企业的效能，耗费许多的时间，产生许多的费用。

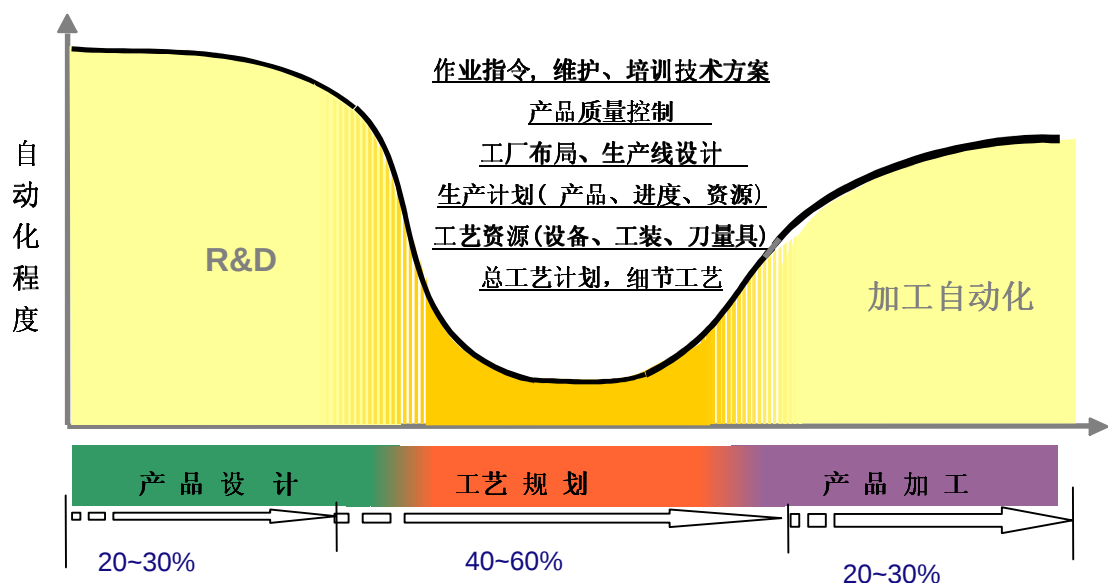


图1：工艺工程的能力对企业生存的重要性

为了提高“工艺”的水平和效率，人们借助计算机技术辅助进行工艺规划（CAPP）。不过市场上大多数系统其能力还停留在简单的计算机甩手工计划图表工作上，或 2D CAPP 上。为实现“数字样机”到“数字工程”，必须要有一套系统其能够充分利用“数字样机”的三维数据，实现在三维基础上的 3D 工艺规划，并对零件的加工过程、产品的装配过程、生产的规划进行 3D 模拟并验证；实际上就是通过这套系统在计算机环境中模拟完成一个产品制造的整个工程，在实际生产前得到验证，并将得到的结果数字化，生成用于 MES/ERP 等生产系统需要的图纸、指令、清单和报表等，以完成产品的加工、采购、装配过程，从而得到最终的产品。

由于此系统能帮助你完成在计算机数字环境中模拟产品的可制性，故也称之为“精益制造-Lean Manufacturing”系统。由于这个系统能帮助你完成在计算机数字环境中随意调整加工工艺，配置加工设备，规划资源，使得企业“硬”设备得到合理利用，故也就使你有“柔性制造-Flexible Manufacturing”能力。

简而言之，“数字工程”要达到的目标就是在产品实际生产前，在计算机模拟的环境中，完成“数字样机”的虚拟生产全部过程；并产生验证过的、实际生产所需的各种数据和文档。（见下图 DMU 与 DE 的任务比较）

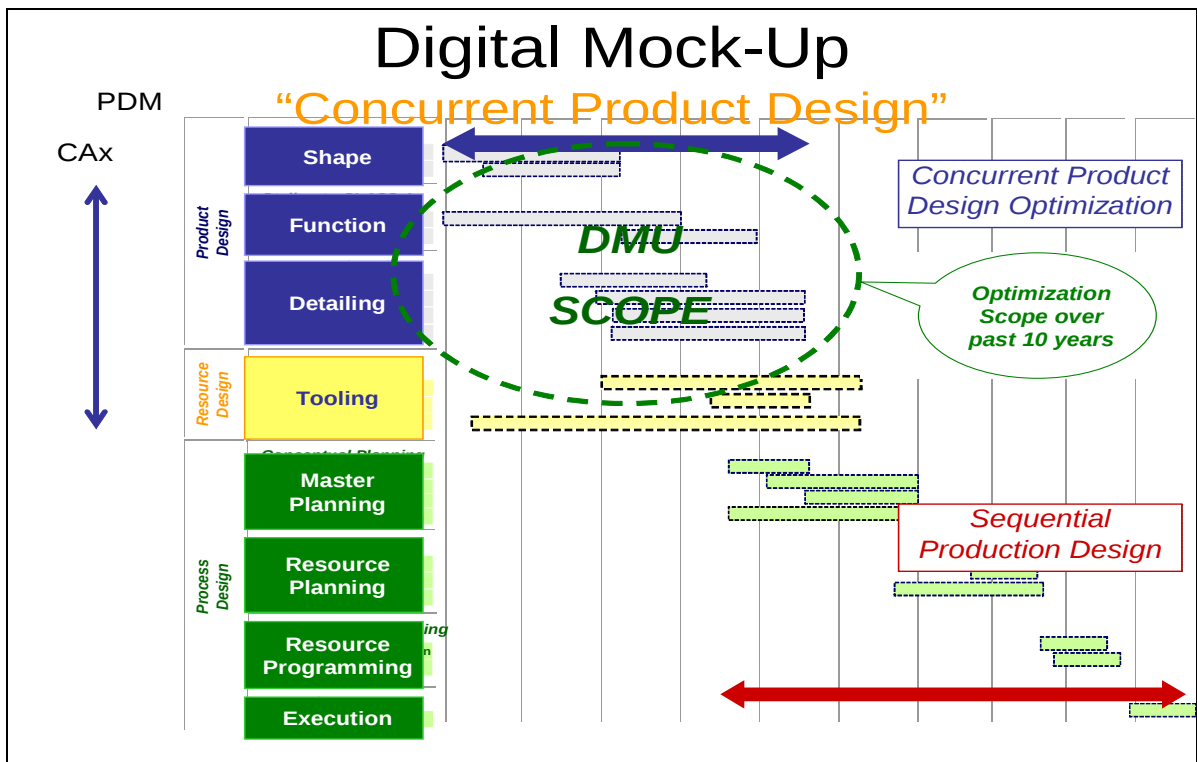


图2 DMU - Digital Mock-up

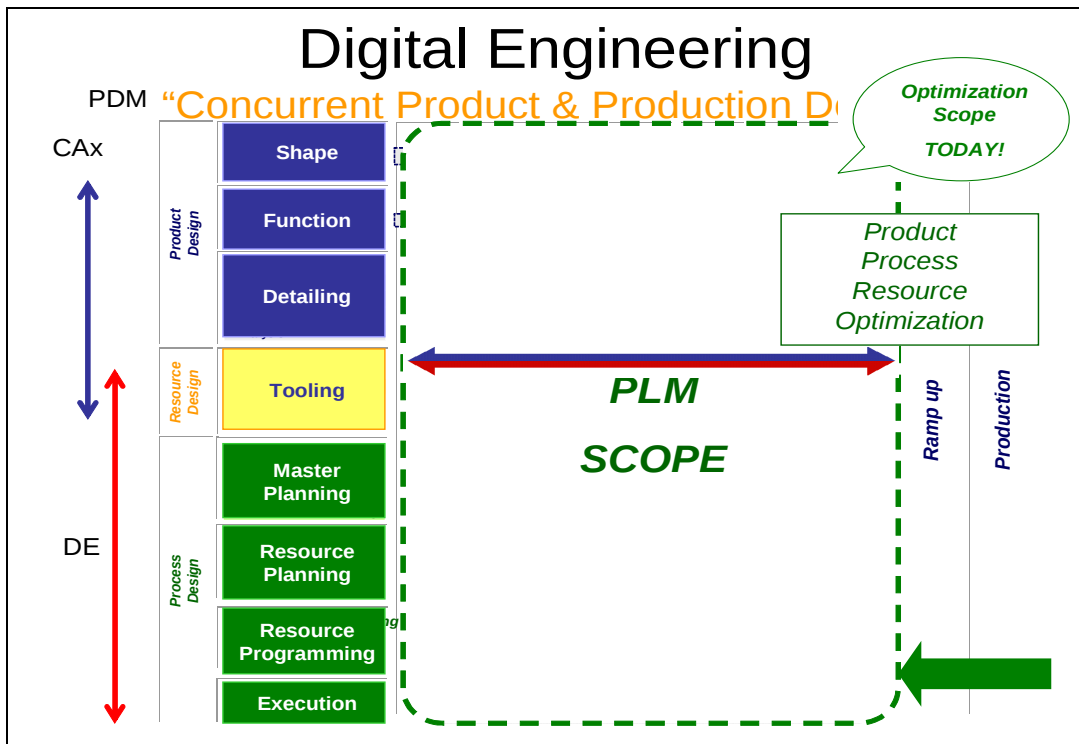


图3 DE - Digital Engineering

由此可知，DMU 或其他的 PDM/PLM/CPC... 等解决方案主要关注产品研发设计的并行工程的优化；而达索提出的 PLM（PPR）解决方案是面向工艺、制造及维护（Design for Manufacturing, Design for Assembly, Design for Maintenance）的整个产品研发并行工程的优化。

第二章 DELMIA - “数字工程”中数字制造解决方案

企业实现生产效能的提高有两种手段，一方面增加设备、厂房、工作人员及加长工作强度和ación；另一方面提高管理水平、改善工作方式、提高技术水平和技术创新能力。

而在当今市场变化剧烈、竞争加剧、产品生命周期缩短、国际合作、多边合作的环境中，采用第二种手段来提升生产能力，无疑是最好的抉择。采用和实施数字工程，也就成为提高生产效率、降低成本、加快上市时间也就成为企业最有效的革新。

企业实施数字工程是一个渐近的过程，目前多数企业面临最大的挑战，也是企业领导和 IT 规划者最关注的问题体现在如下方面：

确定数字工程概念；

统一数字工程模型；

明确数字工程实施方法；

保护企业数字建设已有投入；

提升、集成、简化、完善数字平台应用；

驾驭世界数字工程先进技术潮流，与国际先进技术接轨等。

达索系统公司作为“数字工程”解决方案的技术领导者，为制造业提供了世界最先进的数字工程模型：即在 PPR HUB 的基础上，按管理目标分为“工程中枢-Engineerng Hub”，“制造中枢-Manufacturing Hub”和“企业中枢-Enterprise Hub”。图例如下：

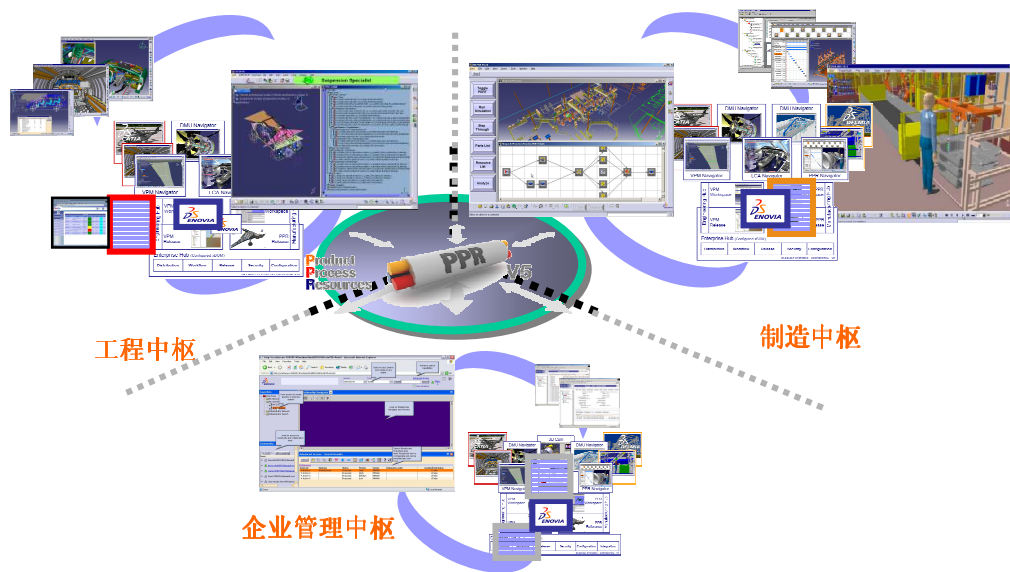


图 4 达索公司的数字工程模型

工程中枢管理的信息包括：CAID -辅助工业造型系统；CAD-辅助产品结构及系统设计系统；CAE-辅助工程性能分析系统；DMU-协调评审数字样机系统；PDM-开发部门产品数据管理系统；及产品开发数据发放安全及知识产权；与企业信息中枢的集成。最重要的输出信息为-EBOM 和 DMU。

制造中枢管理的信息包括：总工艺计划，细节工艺； 生产计划（产量、进度、资源）；工艺资源(设备、工装、刀量具等)；工厂布局、生产线设计；加工、装配等作业指令；维护、培训技术方案；产品质量控制等；及与生产执行系统（MES）和企业 ERP 系统的数据传递；与企业信息中枢的集成。最重要的输出信息为- MBOM 和 DM。

企业信息中枢管理的信息包括：各种 BOM 发放管理；产品生命周期管理；企业流程管理；各种文档/分发/复制管理；信息安全管理；知识产权管理；与伙伴、供应商、用户的信息关联管理。

DELMIA 的“数字制造”解决方案也可称为 3D（工艺）和虚拟制造系统。

并行工程要求在产品的设计阶段并行考虑产品全生命周期中的各种因素，如产品的功能、可制造性、可装配性、可维护性、报废与回收等，这种考虑主要是通过相关活动的信息在设计阶段充分集成实现的，PPR HUB 则是这一集成的关键。PPR HUB 在工艺建模过程中，自始至终贯彻并行工程的思想，在产品的设计过程中考虑产品的可加工性、可装配性和可服务性，在满足产品性能与功能的条件下改进产品的结构，使所设计出来的产品可以容易、快速、低成本地进行加工、装配和售后服务。

与传统 PDM 系统的强烈对比是，PPR-Hub 提供了一个方法，将产品的设计描述、制造流程和企业（工具配置、工厂、操作人员）资源联结起来。直接管理产品、工艺、资源等对象、以及对象间的关联。当一个用户修改产品设计时，DELMIA 内的相关制造流程定义和 PLM 内保存的资源数据能反映这些修改。充分利用 PPR 对象间的丰富关联，让其中的任一对象，都能在最早期进行可能的演变工艺数字化系统是企业管理信息系统的重要组成部分，工艺信息模型是工艺数字化系统的基础，是实现产品信息集成与管理的关键。传统 CAPP 软件解决工艺问题的焦点是放在如何快速生成各种各样的工艺卡片和工艺文件，使工艺人员从繁重的工艺文件编制劳动中得到解放。而 DELMIA 系统并不是仅仅局限于工艺文件的编制，而是要实现工艺设计全过程的管理、数据分析和工艺流程，更重要的是为企业生产提供快速、准确的数据源引 MBOM。

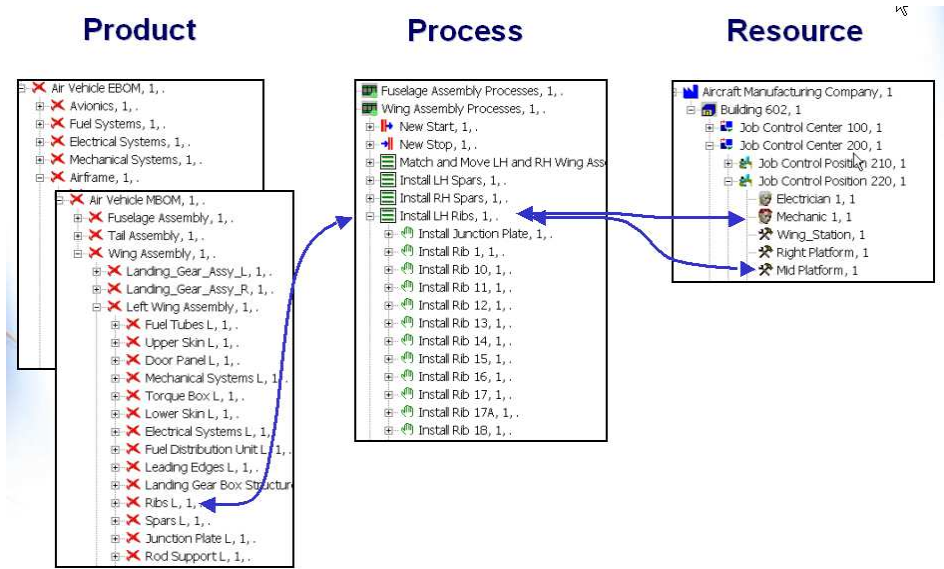


图 5：DELMIA 的制造流程数据关联体系

DELMIA 有上百个子模块，对制造用户按功能模块划分为三大应用：

A. DPE（数字工艺工程）

是一个工艺和资源规划应用环境，支持与 E-Hub 和 En-Hub 的 PLM 平台数据集成；通过导入产品设计各阶段产生的 EBOM 或 DMU 产品数据，资源数据（工装、卡具、工具等），并编制或重用已有的工艺，产生总工艺设计计划（分离面划分），工艺图表，工艺细节规划，工艺路径等，表明工艺与产品、资源的顺序和关联，构建单一 PPR 数据模型。并生成 MBOM。同时还可进行规划工厂和车间的流程和工时等工艺相关的应用。包括：DELMIA Process

Engineer（工艺工程）、DELMIA Process and resource planner（工艺及资源规划）、DELMIA Industrial Engineer（工业工程）、DELMIA Process Engineer Navigator（工艺工程导航器）、DELMIA Layout（车间布局）等相关功能。

B. DPM（数字制造工艺）

是一个工艺细节规划和验证应用 3D 环境。其将 DPE 产生的结构和图表，结合生产制造规则，形成 3 维虚拟制造环境，以实际产品的 3D（或 DMU）模型，构造 3D 工艺过程，分析产品的可制性、可达性、可拆卸性和可维护性，实现 3D 产品数据与 3D 工艺数据的同步的、真正的并行工程环境。包括：DELMIA DPM Assembly、DELMIA DPM Envision Assembly（实时、沉浸式 3D 多通道装配）、DELMIA Powertrain（发动机装配与加工工艺）、DELMIA DPM Shop（3D 工艺指令）、DELMIA CAx（各种 CAD 系统数据接口）、DELMIA CELLControl（工位控制）、DELMIA Device Builder（设备等建模器）等相关功能

C. Resource Modeling & simulation（资源与仿真）

是创建和实施与工艺规划和工艺细节规划应用相关的辅助工具。将人机工程、机器人、3D 设备/工装/夹具、生产线等资源均定义并加入到 DPE，DPM 环境中，构建虚拟的生产环境，仿真工厂作业流程，分析一个完整数字工厂（车间/流水线）环境。包括：DELMIA Quest（工厂作业流程分析）、DELMIA Human（人机工程仿真分析）、DELMIA Robotics（机器人仿真/操作分析）、DELMIA VNC（零件数控仿真分析）、DELMIA Inspect（零件检测分析）等相关功能。

D. 数字制造系统 DELMIA 产品实施流程如下：

M - 数字制造系统DELMIA 产品实施流程

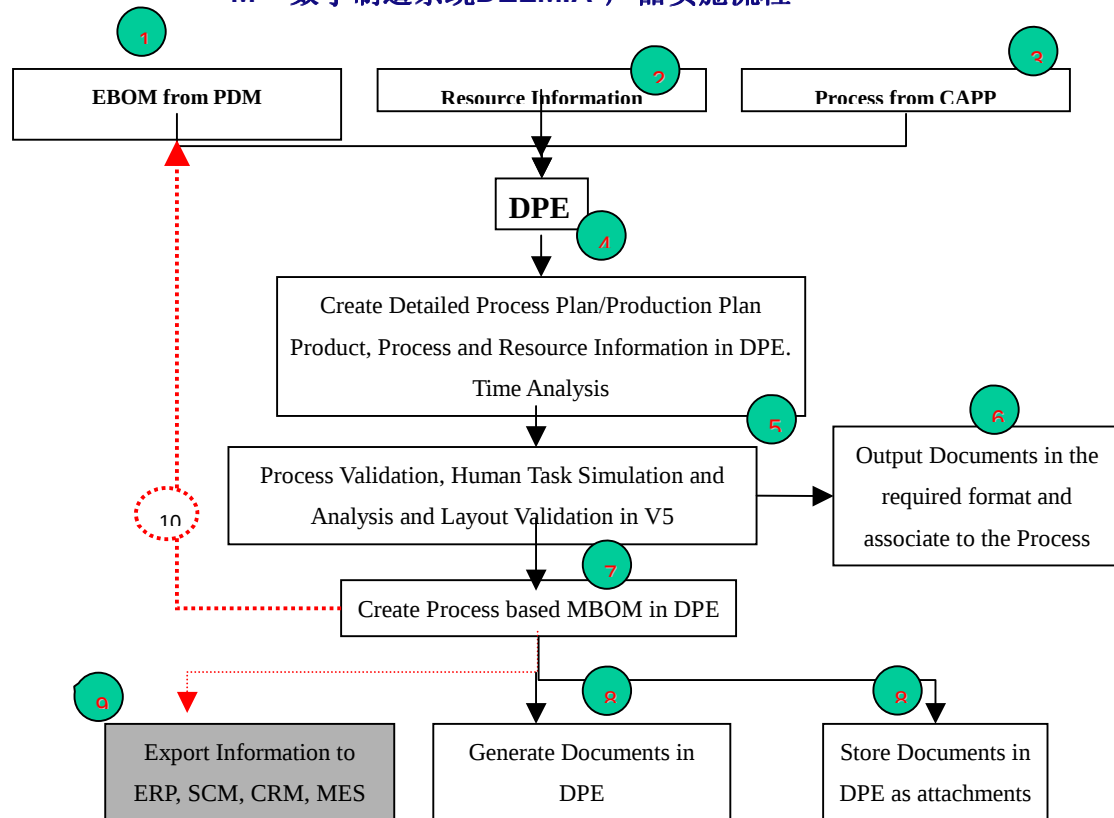


图 6：数字制造系统 DELMIA 产品实施流程

- 从 PDM 系统获取产品产品结构数据（EBOM）；
- 从工装工具、生产部门获取资源数据（由 3D CAD 系统生成），（目前大多企业只有少量或无资源 3D 数据，必须建立相应工装工具库）；
- 从工艺部门获取已有工艺信息；或在 DPE 中重新进行工艺设计；
- 在 DPE 中产生总工艺计划、细节工艺计划、生产计划及产品、工艺、资源关联信息。进行工时分析等；
- 进入 DPM 环境，用三维的方式进行工艺验证、人机任务仿真和分析，及工厂布局分析；
- 按照客户的要求，进行客户化，将分析、验证的结果输出（与工艺相关的质询单等）。或将数据传递到 CAPP 系统生产相应工艺文件；
- 或到 DPE 中产生基于 MBOM 的工艺计划；并与 PDM 系统集成，形成 PPR 模型；
- 产生相应工艺文档；或储存为 DPE 文档的附件（重用）；

- 按 ERP、SCM、CRM、MES 格式要求，输出相应生产、采购、招投标、维护、培训等信息；
- 完成与企业其他系统集成。

第三章 “数字工程” 建立企业新典范

通过实施 DELMIA 系统，企业能有效的实现从“数字样机”到“数字制造”延伸。由于在生产前已进行“数字样机”的“数字制造”的规划和验证，现在“数字样机”不仅在设计方面有着广泛的应用，在制造规划、仿真验证、工作说明文档的编撰，及传递给现场制造人员等方面也用途广泛，使得真正的无纸化制造工艺成为可能。并很容易延伸到“数字 3D 维护与修理”，产生相应的（说明）文档。

“数字制造”在设计周期的早期使用人体工程学分析，对操作与维护的情形进行仿真，以便在产品生命周期的后续阶段提高效率。这样就以系统化的方法，支持一个真正的「在设计时考虑可维修性」（Design for Maintainability）业务流程。

“数字制造”虚拟生产实体模型的整个过程，消除了对原型零件（用于验证制造工具/夹具的实体模型）的需求，以消除昂贵的装配/零件设计变更，减少成本与时间。

由于采用 PPR-HUB，可在编制工艺规划的初期开发出满足设计要求的、最新版本的工具单，以消除昂贵的工具/工装设计变更，缩短制造周期。

可在设计周期的早期进行设计修改，以配合人工装配与维修工作，因而能够除去对特殊工具的需求，降低制造成本。

DELMIA 产品实施后为制造业企业带来的效益十分显著：

- 将企业最重要的生产准备、工艺规划部门纳入数字工程一体化进程；
- 简化 PLM 平台模型，实现最先进的 PPR Hub 模式；
- 促进工艺应用水平的提高，及优秀的工艺经验继承；
- 实现真正的设计与工艺并行工程；提高设计能力，处理 ECO 的能力；
- 在计算机数字环境中随意调整生产工艺，配置相关设备，规划资源，使得企业“硬”设备得到合理利用；
- 促使企业尽快完成工装/夹具/工具/设备的数字化，并建立相应 3D 设备库信息。
- 提高装配质量，缩短生产准备过程，了解生产周期；

- 提高投标水平，提高国际合作数据一致性；
- 实现数字维护、数字培训、数字工厂。