基于 SolidWorks 的产品开发模式的研究

供稿 / 湖南师范大学工程与设计学院 许弟洪 黄战
长沙凯士达信息技术开发有限公司 彭浩歌 郑钦尹

本文从设计史的角度分析了设计工具对产品开发模式的影响和决定作用，从现代设计理论与数字化设计工具融合的视角，探讨了基于设计重用的模块化设计模式、多学科协同设计模式、面向制造的设计模式。数字化设计技术是一种“使能”技术，必将引起产品研发模式的颠覆式创新，探索与数字化设计工具相适应的产品开发模式具有重要意义。

一、产品开发模式

模式是事件如何运行的标准样式或通常呈现出来的样式。产品开发模式描述产品开发过程中不断重复发生的工作流程，以及该流程运行过程中涉及的关键技术和解决方案。

应用上都能得到理想的实现。

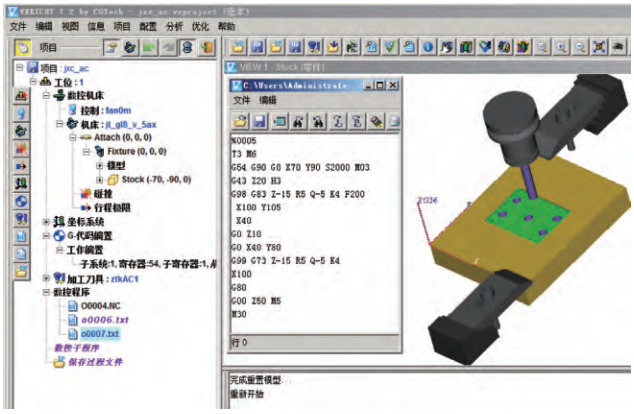

图 4 基于 HNC_M 编制程序的仿真加工

在基于 HNC 系统编制的程序在仿真调试中，若选用未修改定制的原 fanuc10m 系统库，由于未进行基于 HNC 钻镗循环新增变量的注册设置，当执行程序语法检查或运行加工仿真时，将会在信息区显示“xx 代码不支持”的信息警示。改用新定制的 HNC_M 系统库后重新进行仿真检查，则不再出现这些警示信息。

另外，若将图 3 所示的 01 组 G 代码取消固定循环均设定为“否”，当程序在几个钻镗循环之间使用了 G0/G1 的 Z 向运动时，就会出现“循环进给应沿着刀轴运动”的信息警示。只有将这些均设定为“是”，才不会出现警示信息。

由此可见，以上针对 HNC 数控铣削加工进行的 VERICUT 系统库环境的定制设置是成功的。

五、结语

VERICUT 作为一款基于 NC 程序实施加工仿真验证的软件，在业内具有较为广泛的应用，但其对国产数控系统的支持尚需用户自行构建系统库文件，方可实施正确的仿真。本文针对 HNC 与 FANUC 指令功能的相似性，仅就其间个性化差异展开探索，较粗浅地介绍了开发定制 VERICUT 控制系统库的方法，期望能为使用 VERICUT 进行数控系统环境定制的相关研究者提供一定的借鉴。

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

决定产品开发模式的因素包括：特定历史时期的产品制造模式、人们进行沟通的方式、设计师可以利用的设计手段和工具。

使能技术（enabling technology）是一种颠覆创新技术，该技术出现之前不可能实现的事情由于该技术的出现而变得轻而易举，这种技术就是“使能”技术。比如“千里眼”和“顺风耳”是中国古代传说中的两位神仙，这种传说中的“法力”在移动互联网时代变得轻而易举。CAD/CAE/CAM/PDM 技术（本文后续将简称为 C3P 技术）是信息时代产品研发的“使能”技术，该技术将彻底颠覆传统的制造模式和产品研发模式。根据制造模式和设计工具的不同，笔者将人类的设计制造活动划分为三个阶段，对应三种产品开发模式。

1. 手工艺时代的产品开发模式

在几千年的文明史上，人类完成了许多浩大的工程，在这些工程的设计过程中，图样是表达设计思想的主要手段。早期的图样主要靠徒手绘图，我国古人发明了规和矩等绘图工具，故有“没有规矩，不成方圆”之说。北宋时期李诫（字明仲）的《营造法式》是世界上最早地一部建筑规范巨著，该书收集了大量的图样，包括平面图、立面图、剖面图、详图及构件图，还有大量的立体图。这个时期的设计师通常也是艺术家。

2. 大工业时代的产品开发模式

18 世纪中叶，第一次工业革命带来了制造模式的巨大变革，大工业生产模式代替了手工艺制造模式，对设计的需求猛增。为了更加简单、规范地表达设计思想，法国的蒙日创立了画法几何学，确立了画法几何学在工程领域的地位。丁字尺、三角板和圆规是大工业时代的主流设计工具、二维工程图是大工业时代生产制造的基础，在设计、工艺、制造、销售和供应等各个环节信息流的传递均以二维工程图为媒介。

3. 信息时代的产品开发模式

20 世纪末期，人类迎来了第三次浪潮，信息技术以势不可挡的趋势融入到制造业的每一个环节。C3P 技术成为现代制造业的常规设计工具。20 世纪 90 年代美国提出了许多新的设计思想与哲理，如 DFX 设计、虚拟设计、产品全生命周期设计、并行工程与网络协同设计等等，2013 年德国提出了“工业 4.0”，为信息时代的制造模式描绘了一幅清晰的蓝图。

尽管 C3P 技术得到普遍应用，但制造业的制造模式及设计流程却还停留在大工业时代，严重制约了 C3P 技术的应用。深入分析信息技术为产品开发带来的革命性变化，探索信息时代的产品开发模式具有重要意义。

4. 几个概念的约定

为了本文叙述的方便，先约定几个概念。

产品模型：描述产品零部件功能要求建立的 3D 模型，也可以称为设计模型，是零部件制造的依据。

分析模型：对产品模型进行简化，压缩掉对 CAE 分析影响不大的细小结构，如小孔、倒角和退刀槽等，而形成的简化模型，用于仿真分析。最佳方式是先建立分析模型，仿真验证通过后，再在分析模型的基础进行深化设计形成产品模型。

工艺模型：在制造零件的过程中，为了加工的需要，为特定工序建立的描述该工艺过程加工要求的 3D 模型。通常一个产品模型可对应多个工艺模型。常见的工艺模型如铸造、锻造毛坯模型、焊接件模型和数控加工模型。

C3P 技术：CAD/CAE/CAM/PDM 技术简称，由福特汽车提出的一种产品研发平台构架。

5. 重新认识 SolidWorks

提到 SolidWorks ，大多数人想到的是一款易学易用、功能强大且高效智能的三维机械设计软件。SolidWorks 的确是以 Windows 平台下第一款三维机械 CAD 软件切入市场的，作为 CAD 行业的后起之秀，SolidWorks 采取了与行业霸主完全不同的市场战略，本人认为对于 SolidWorks 的成功起到了重要作用的特性主要有两点，其一是兼容，最新版本的 SolidWorks 可以兼容市场上主流的三维软件，CATIA、NX、Creo 和 Inventor 的模型可以在 SolidWorks 中直接打开、直接用于装配，企业可以充分利用已有的技术资源；其二是开放的二次开发平台和黄金伙伴策略，SolidWorks 提供了非常丰富的 API 函数和程序模板，可以轻松地开发与 SolidWorks 风格相同的第三方插件，SolidWorks 对二次开发产品进行认证，目前有近 1000 个二次开发产品被认证为黄金合作伙伴，可以为客户提供非常丰富的解决方案。

SolidWorks 通过一系列的收购、整合，已经具有了非常完整的产品线，其核心产品包括概念设计、工业设计、机械 CAD、电气 CAD、仿真分析和 PDM 系统等，可以为装备制造业的产品研发提供完成的解决方案，尤其在机电液一体化设计、设计仿真一体化方面独领风骚。

二、基于设计重用的模块化设计模式

1. 模块化设计与设计重用

模块化设计的过程是首先对某一类产品的历史数据进行系统的分析，抽取功能相同或相似的单元，用标准化的原理进行简化和优化，再进行科学的分类，相互独立的通用单元以模块的形式存在；产品设计时优先重用这些独立的通用模块，通过不同模块的组合形成满足客户个性化需求的产品。对产品进行分解和组合的全过程就是模块化，包括模块的分解和模块的组合两个过程。

模块化设计的核心思想是对历史数据的重用，即便是采用图板丁字尺进行设计，工程师也在尽可能地重用以前的设计，有了 AuotoCAD 之类的二维绘图软件后，设计重用的效率大大提高，但是二维 CAD 环境下，可重用的元素只是由点、线、弧构成的图块，三维 CAD 带来了颠覆式的创新，可以重用已有的特征、零件、部件和单元机，构建一种搭积木的产品开发模式，只有充分挖掘三维 CAD 的设计重用优势，才能大幅度地提高设计效率。

模块化设计是一个久远的梦想，实现模块化设计的“使能”技术包括支持配置设计的三维 CAD 软件和支持三维 CAD 软件的 PDM 系统。模块化设计系统包括三个方面。

◎ 可以重用的通用模块（以 3D 模型的形式保存）。

◎ 可把模块组合起来构成产品的三维 CAD 软件。

◎ 对通用模块进行科学管理、且方便调用的PDM系统。

2. 可重用的模块及建库技术

实现模块化设计的基础是大量可重用的通用模块，包括标准件库、外购件库和参数化的设计库（特征库、零件库、部件库和产品库）等；在 SolidWorks 中提供了下述可重用的模块。

（1）标准件库。

SolidWorks 提供了丰富的国家标准件库，同时还提供 ISO 标准、英制标准、德国标准及日本标准等世界主流标准件库。即使为国外设计产品也不用担心标准件的问题。SolidWorks 的标准件库使用非常方便，插入到装配体时可以自动调整尺寸、选择配置，其智能扣件功能可以根据设计意图智能地装配同系列的紧固件。

（2）外购件库。

SolidWorks 创办了一个制造业网络网站，上面有很多生产商提供的模型，如生产电机的生产商把自己的生产的各型号的电机模型放到网络上供别人下载，一方面为产品设计人员提供可重用的模型，另一方面，如果其它用户使用后觉得方便也可以增加电机生产商的销售机会。

（3）企业通用件库。

实现产品设计标准化、规范化和系列化的途径是建立企业的通用件库，通用件库通常由企业的标准化部门或委托专业服务公司建模。SolidWorks 提供了丰富的通用件模型库建模技术，包括配置设计技术、系列化设计技术和智能零部件技术。

3. 可重用模块的管理与调用

企业可以重用的模块和设计元素非常多，要想方便地查询和调用，首先要对其进行科学的分类，本文使用“设计库”一词来描述经过标准化部门优选的、保存在 PDM 系统中可重用模块和设计元素，通常包括标准件库、外购件库和企业通用件库。实施模块化设计的关键技术包括三个方面。

（1）共享统一的设计库。

设计库存储在服务器上，产品设计时只能从 PDM 的设计库中调用可重用模块，SolidWorks Enterprise PDM 可以智能管理装配体与可重用模块之间的映射关系。不允许把可重用模块拷贝到设计师的工作电脑上，这样会导致一物多码，引起生产的混乱。

（2）基于基型产品的变形设计。

SolidWorks Enterprise PDM 提供的“复制树”功能可以非常高效地实现基于基型产品的变形设计。在进行面向订单的产品设计时，先选择一个基型产品，拷贝其设计树，只把需要变形设计的零部件拷贝到新设计的工作目录中，可直接借用的零部件仍保存在基型产品的工作目录下，并自动建立文件的借用关系。

（3）设计库与 CAD 软件的深度集成。

PDM 中的设计库要与 CAD 软件深度集成，要能在 CAD 界面下直接访问设计库，让设计库唾手可得，从而大幅度提高设计效率。

三、多学科协同设计的产品开发模式

1. 机电液多学科设计的协同

在二维 CAD 模式下，电气设计与机械设计是相互分离的，电气设计只画原理图，不画真实的布线图；液压设计也是只画原理图，具体如何进行管路连接，由操作工人在现场

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn IMCHINA@idnovo.com.cn

自行决定。之所以出现这种情况是因为在二维 CAD 模式下，绘制真实的电气布线图和液压管路布置图是非常困难的、或者说是不可能的。

在 SolidWorks Premium 环境下，电气布线和布管都非常简单，而且可以自动计算管道和线缆的长度，自动出电气设计 BOM 和液压系统设计 BOM。SolidWorks Electrical 提供了完美的机电一体化设计解决方案，设计师只要完成电气原理图设计，系统可以自动生成三维电气布置图，并与机械设计部分完美集成，可以自动生成包含机械零件和电气元件的总体设计 BOM。

跨专业协同工作的平台是 PDM 系统，它承担着设计资源共享、产品设计数据存储、设计信息与数据传递以及设计师之间的通讯交流等多种职能。在 SolidWorks Enterprise PDM 平台下，机械工程师完成产品概念设计后，把概念设计的骨架模型存入 PDM，电气工程师和液压工程师可以根据 PDM 中概念模型完成自己的设计，将来机械设计发生修改，电气线缆布置和液压管路布置会关联更新，电气和管路发生修改也会在总装配中关联修改。设计是一个持续优化的迭代修改过程，项目小组成员只有基于 PDM 中的统一数据模型进行设计，才能实现一个零部件修改后，其他零部件和总装配体的同步更新。

2. 产品设计与仿真分析的协同

制造业的研发模式正在发生深刻的变革，变“经验设计”为“科学设计”，变“实测手段”为“仿真手段”，变“规范标准”为“分析标准”，仿真分析已经成为产品研发的一个重要环节，但传统模式下，产品设计过程与仿真分析过程是隔离的，仿真分析在产品设计完成之后进行，仿真分析的目的是对设计进行安全验证，只要没有重大安全问题，设计师是不会修改设计的，因为整个设计过程已经完成，修改的工作量是很大的。正确的方式是仿真分析要提前到概念设计阶段，仿真的目的首先是设计创新。

SolidWorks 是设计仿真一体化的倡导者，提供了完整的仿真分析解决方案。其结构仿真软件 SolidWorks Simulation Premium 涵盖了运动学分析、静力学分析、动力学分析、线性与非线性分析、复合材料分析等。流体动力学软件 SolidWorks Flow Simulation 涵盖了流体流动、热传导和电子冷却分析等。绿色设计软件 SolidWorks Sustainability 可以直接在 SolidWorks MCAD 设计窗口中对零件或装配体进行生命周期评估并实时了解它们对环境有何影响，将结果自动整理成文档。

SolidWorks 的仿真工具与 SolidWorks 机械设计软件拥有统一的用户界面，底层数据库相同，软件操作风格一致，集成化的仿真工具实现了设计模型与分析模型的关联修改。比如在使用 SolidWorks Simulation 进行仿真分析时，对 CAD 模型进行修改后，分析过程（包括网格划分、载荷定义、边界条件等）不需要重新定义，只需运行“分析”命令，程序就会对修改后的产品模型重新进行分析，方便快捷。对产品进行多方案比较分析时，可在 CAD 环境下为每种方案建立一个配置，在分析环境下只需对一个配置进行分析过程的定义，对其它配置进行分析时，只需执行一个“拖、拉”操作，将已经定义的分析过程拷贝到新的配置下即可。可以非常方便地实现多方案的比较设计。

三维 CAD 技术为仿真分析提供了三维模型，同时仿真技术又最大化地发挥了三维 CAD 技术的价值。但产品的分析模型和设计模型是不一样的，为了提高设计与仿真的效率，必须研究面向分析的产品建模技术、配置设计技术，做到设计模型与分析模型的统一，可通过下述方法实现设计模型与分析模型的统一。

对所有设计人员进行有限元分析知识的培训，了解有限元分析模型与产品详细模型的区别，要求设计人员在产品设计是考虑有限元分析要求，零件的主要特征先建，仿真分析时需要压缩的特征后建，对需要分析的零部件建立一个用于分析的配置。

从产品设计流程的入手，在产品设计流程中设立一个仿真分析阶段，先建一个用于仿真的分析模型，只有经过验证认可的模型才进入详细设计和工程图绘制阶段，以减少无效的劳动。

3. 协同机制与数据传递

为了实现多学科的协同设计，必须以系统的观点规划机械设计、电气设计、仿真分析和工业设计各学科之间的关系、明确各学科在产品开发各环节的分工，各学科的输入数据和设计交付物，规范设计过程中的各学科之间的协调与妥协机制，规范产品模型、分析模型、工业设计模型、制造模型之间的数据集成和数据传递。规范基于 C3P 技术的产品设计流程。

PDM 技术是协同设计的“使能”技术，各学科的输入

数据只能以 PDM 中的数据为准，所有输出数据或交付物必须存储在 PDM 中，以 PDM 中的数据作为企业唯一的产品数据源。

四、面向制造的产品开发模式

1. 产品设计与工艺设计交付物的重新界定

传统制造模式下，设计部门的交付物是二维工程图。在基于 C3P 技术的制造模式下，设计部门的交付物除了工程图，还必须有 3D 模型和设计 BOM，因为现在的工艺设计都是基于 3D 模型进行的，工艺文件要挂在产品结构树下。产品设计的交付物必须存储在 PDM 系统中，以便保证唯一数据源。工艺设计的输入数据只能从 PDM 中获取，纸质的技术文档仅作参考。

传统工艺设计模式下，通常不会提供铸造毛坯图、焊接件毛坯图、钣金件展开图。因为在二维 CAD 环境下，提供这些工艺模型是非常费时、甚至是不可能的；而在三维 CAD 环境下，这些工艺模型的生成是非常简单快捷的，所以工艺设计的交付物除了传统的工艺卡片外，还要交付 3D 的工艺模型。

2. 面向加工过程的产品建模

随着三维 CAD 的普及，工艺设计也开始迁移到三维平台上来，基于 3D 模型的工艺规划对工艺的描述会更加清晰。制造过程中不同的工序需要用不同的工艺模型来描述，SolidWorks 的配置功能有效地解决了工艺模型的快速建模问题。创建零件和装配体时，系统会为模型自动生成一个缺省配置，通常缺省配置就是产品模型，为了描述制造过程中某道工序的中间结果，可以添加一个工艺配置，即工艺模型。

为了更加方便地获得工艺模型，零件的建模顺序就要体现加工过程，比如铸造类零件要先建毛坯特征，然后用切除建模方法建模，建模过程模仿机械加工的过程，这样只需压缩部分特征，就可以为每道工序建立一个工艺模型配置。当然工艺模型也可以采用派生设计的方式建模，工艺模型由产品模型派生，产品模型与工艺模型保持单向关联，产品模型修改，工艺模型会做相应的修改。

SolidWorks 提供了一个很好的焊接件设计工具——焊接特征，使用接头裁剪、角撑板和顶端盖等焊接工具能高效率地进行焊接件设计，设计完成后能自动生成切割清单。插入焊接特征后，系统会自动生成两个默认配置：一个父配置是“按加工”，一个派生配置是“按焊接”，分别描述焊接状态和机加工后的状态。为了满足生产管理的要求，通常会用装配体进行焊接件建模。

3. 产品设计与工艺设计的协同

传统的工艺设计是基于工程图进行的，在 SolidWorks 环境下可以基于 3D 模型进行工艺设计并实现产品设计与工艺设计的协同。以塑料件的工艺设计为例，首先将塑料件的产品模型存入 PDM，工艺人员从 PDM 中获取产品模型，以产品模型为基础，采用派生设计的方式建立工艺模型（注塑成型的模型），产品模型与工艺模型保持单向关联，产品模型修改，工艺模型会做相应的修改，工艺模型修改，产品模型不会修改；在 SolidWorks 的模具设计工具中，基于工艺模型自动计算收缩率、生成模具型腔、完成型芯和型腔件的设计，最后把型芯和型腔件的模型导入 CAM 插件中生成数控代码。上述过程中的产品模型、工艺模型、工装模型和数控加工的文件必须存储在 PDM 中，每个环节都是从 PDM 获取数据，这样就可以实现产品设计与工艺设计的协同，当产品模型发生变更，工艺模型会关联地修改，模具的型芯和型腔件也相应更改，数控代码也可以方便地更新，上述过程如图所示。

图

五、结语

C3P 技术中蕴含了丰富的设计思想和制造哲理，这些先进设计思想和制造哲理在传统的二维 CAD 设计环境下是无法实现的，只有在三维 CAD 设计环境下才能落地，同时只有挖掘并应用了这些先进制造理念，C3P 技术的优势才能得以体现，所以三维 CAD 技术的应用不仅仅是一个技术问题，同时也是一个管理问题和哲学问题。SolidWorks 软件易学易用，高效智能，但要真正发挥其优势，必须积极探索并贯彻与 SolidWorks 相适应的产品开发模式。

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn