

[高压开关]

高压开关数字化样机标准设计流程分析

文/平高集团有限公司 李禹生 蒋晓旭 谢丽丹 安 影

由于高压开关的高电压、大电流等特殊工况环境，产品本身需要严格的装配指标进行过程控制，因此高压开关的数字化设计需要建立标准流程，规范产品设计过程，促进各部门高效协同，保障产品设计充分仿真验证，从而实现从设计方案到生产样机的科学转化，提升质量、创造价值。

数字化样机（Digital Prototype，DP或Digital Mock-Up，DMU）是进入21世纪以来在制造业信息化领域中出现频率越来越高的专业术语。数字化样机技术是以CAX/DFX技术为基础，以机械系统运动学、动力学和控制理论为核心，融合虚拟现实、仿真技术和三维计算机图形技术，将分散的产品设计开发和分析过程集成在一起，使产品的设计者、制造者和使用者在产品的早期可以直观形象地对数字化的虚拟产品原型进行设计优化（CAD、CAE）、性能测试、制造仿真（CAPP、CAM）和使用仿真，为产品的研发提供全新的数字化设计方法。数字化样机是对产品整机或具有独立功能的子系统的数字化描述，这种描述不仅反映了产品的几何属性，还至少在某一领域反映了产品的功能和性能。

从国家电网电力装备的未来发展趋势出发，数字化开关样机是将数字化样机技术在高压开关行业的初次尝试，是提升我国电力装备整体实力的重大基础技术支撑。在“中国制造2025”的指引下，电力装备领域中高压开关产品搭建面向制造的数字化开关样机信息系统成为企业发展的必然选择。建设面向制造的数字化开关样机信息系统，在制造前端通过数字化样机技术对开关产品的可制造性、可装配性以及产品性能等进行仿真

验证，从而在物理产品未生产时即可进行全方位的功能及性能验证，对于减少物理样机开发费用投入，提升制造效率与质量等具有重大社会和经济意义。同时前端的数字化开关样机也为下游的数字化开关智能制造打下必要的、坚实的基础。

高压开关数字化样机设计阶段分析

高压开关数字化样机设计思路是在开关设计初期，采用三维软件为设计平台，建立开关的参数化三维实体模型，进行干涉和碰撞检查、装配规划等；还包括由三维模型转化建立完全关联的二维工程图；建立描述产品的物理数据（如基本属性、明细表信息等），为产品全生命周期管理提供基础数据。

在开关设计中后期，建立基于三维模型的产品性能分析（CAE）、加工（CAM）及管理过程，进行开关的运动学和动力学分析，了解运动构件工作时的运动协调关系、运动范围、可能的运动干涉、产品动力学性能、强度和刚度等；实现虚拟加工，对加工工艺进行模拟，以检验产品设计的合理性、可加工性、加工方法、机床和工艺参数的选用，以及加工过程中可能出现的加工缺陷，为计算机辅助制造提供数据模型；通过PLM

系统实现产品开发过程管理，在一个设计周期内跟踪所有设计事务和数据的活动，并为设计进程

的自动管理提供必要的支持，总体设计思路如图1所示。

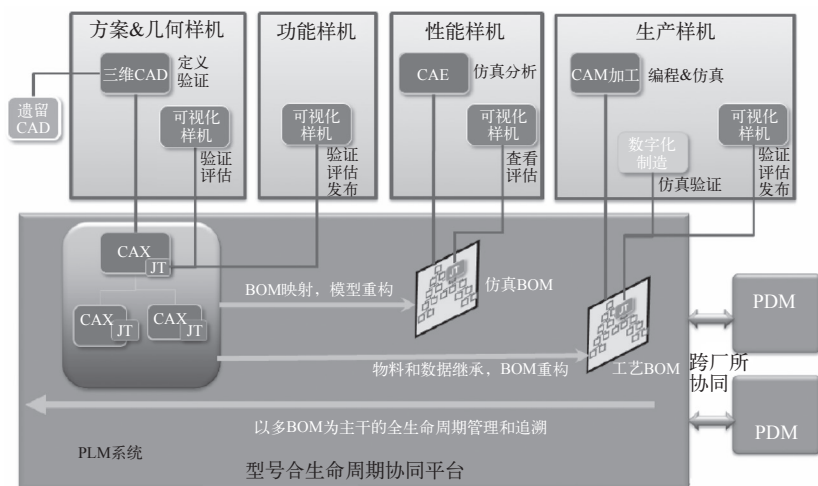


图1 数字化开关样机整体设计思路

在产品后期，通过虚拟样机显示产品的外观、内部结构、装配和维修过程、使用方法、工作过程及工作性能等。有关人员可以浏览产品的数据，充分发挥三维模型的作用。例如，可利用具有逼真效果的效果图来探测、确定各类用户对产品规格、性能和外观等的需求，实现用户驱动与用户定制。

数字开关样机贯穿了从开关的概念设计（工业设计）、工程设计（基于三维CAD和二维CAD

的双向集成，机电软件混合设计等技术）、工程分析（虚拟仿真）和市场推广（动画和3D广告制作）的全过程。在设计的验证阶段通过CAE仿真平台进行各种功能和性能验证，而全寿命周期管理为整个系统提供各种必需资源，支持协同开发。本项目的总体方案架构如图2所示。在产品设计的各个阶段，各个部门需要开展不同的业务，从而产生不同阶段的样机需求。包括方案样机、结构样机、功能样机、性能样机和生产样机等。



图2 数字化开关样机总体方案框图

高压开关数字化样机标准流程设计

1. 方案样机

1) 总体方案评审，进行外形、总体布局、初始结构组成、初步指标和子系统的包络空间，多方案的论证和比较。

2) 虚拟现实评估。

2. 结构几何样机

1) 完整的产品结构和几何信息定义，反映各功能子系统。

2) 在整个产品中的空间位置，零部件的构

型、尺寸信息,以及几何约束关系,产品坐标系、装配与配合关系等信息,结构分析(静态/动态干涉、间隙和重量特性等)。

3. 功能样机

- 1) 功能评估和验证(运动、绝缘等)。
- 2) 子系统间结构、功能方面的协调性。
- 3) 产品的可操作性、可装配性和可维护性。

4. 性能样机

- 1) 性能仿真和验证(力学、电场、温度场和电磁等)。

- 2) 产品工作性能指标,输入输出的工作特性。

- 3) 子系统指标和子系统间的性能耦合。

- 4) 产品的安全系数、寿命和可靠性指标。

5. 生产样机

- 1) 工艺过程的仿真和验证。
- 2) 零件工艺,装配工艺,机器人运动仿真。
- 3) 工厂布局/生产线仿真,物流仿真。
- 4) 人机功效(工具插入、人员运动)。
- 5) 技术出版物(制造、维护)。

高压开关数字化样机设计总体业务流程如图3所示。

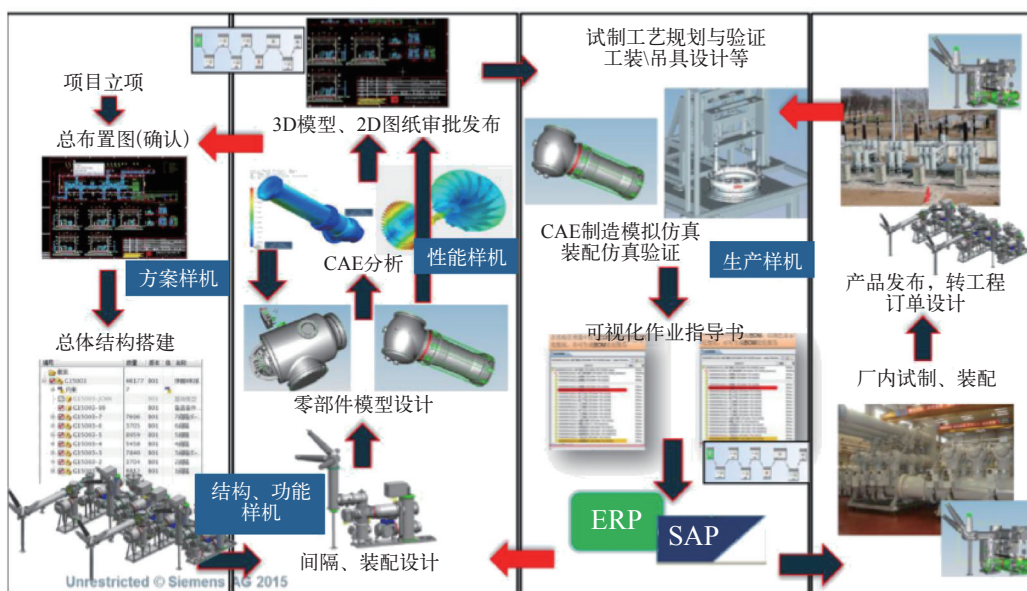


图3 高压开关数字化样机设计总体业务流程

标准流程设计高压开关的工艺仿真

高压开关产品结构比较复杂,产品配套的零件品种和数量众多,导致了产品装配过程的复杂性,是影响产品制造周期最主要的因素。产品装配在整个制造过程中,占据了很重要的地位。据统计,产品的装配费用占整个生产成本30%~50%甚至更高,因此标准设计流程设计的高压开关应增加以提高质量和效率、降低成本为目标的产品装配工艺改进和再规划,在最短的时间内高质量完成产品的制造任务,提高设计验证质量。设计观念及手段上,从过去的凭经验,依靠物理试验的方法转变为采用数字化仿真技术,采用先进的软件工具基于主模型的装配工艺解决方案,把装配工艺仿真放在系统环境中统一考虑,协助设计、工艺人员进行装配分析、装配规划进一步保证装配质量、缩减装配周期,降低产品的开发成本。

装配过程仿真提供了一个三维虚拟制造环境来验证和评价制造过程和制造方法,包括虚拟装配仿真、人机工程仿真和拆装过程仿真等。评价工装、设备和人员等影响下的装配工艺和装配方法,检验装配过程是否存在错误,零件装配时是否存在干涉、碰撞。如有问题,可直接在装配仿真环境中调整,结果会反馈到工艺设计环境中,更新原工艺数据。装配过程仿真把产品、资源和工艺操作结合起来分析产品装配的顺序和工序流程,并在装配制造模型下进行装配工装、夹具动作、产品装配流程和产品装配工艺性的验证,达到尽早发现问题,解决问题的目的。装配工艺仿真能够提供产品的装配顺序规划、布局规划、建立装配路径、进行动态分析、自动路径规划、工时计算、作业平衡和输出可视化装配仿真结果等能力。EA

(收稿日期:2018.08.02)

(编辑:朱金凤)