

三维模型定义 (MBD) 实施经验

——流程篇

撰文 / DS SOLIDWORKS 吴军 (Oboe Wu)

一、引言

上期总结了三维模型定义实施的十要和十不要(表1),并介绍了人员方面(人事结构和团队理念)的六点经验。本期将继续讨论流程方面(方法、步骤和工具)的三要和三不要。后面的两篇文章则会进入第三个领域“产品”。需要说明一下,这些总结来自于全球几十家企业的点滴实践经验,但远非完整的实施手册。真正实施涵盖的内容非常广泛,而且因企业而异,所以需要群策群力。

表1 三维模型定义实施十要和十不要

关键领域	十要	十不要
人员	1. 获得企业高层管理人员的支持 2. 组织三维模型定义实施的核心团队 3. 调动参与人员的积极性	1. 不要犹豫不前 2. 不要急于求成 3. 不要局限在设计部门
流程	4. 考量实施效果 5. 实现自动化工作流程 6. 更新基础设施	4. 不要再以二维工程图为基准 5. 不要只给供应链下发三维PDF 6. 不要忽视基于互联网的三维模型流程
产品	7. 选好一两种制造文档作为突破口 8. 清晰的组织和呈现三维标注和视图 9. 订制标准化模板 10. 验证模型、标注和衍生文件质量	7. 不要省略关键标注 8. 不要停留在图像层次的三维标注 9. 不要排除打印纸质文档 10. 不要停留在初级三维PDF

二、MBD 实施经验之流程篇：三点建议

在上期关于人员讨论的基础上,本期将重点分析三维模型定义实施的下一个关键领域:流程,主要侧重在方法、步骤和工具。首先提出三个建议。

1. 考量实施效果

有效的考量能帮助实施团队和高层回答一系列关键问题。

- ◎三维流程的时间和成本节省了多少?
- ◎哪些步骤节省的多(或少)?为什么?
- ◎哪些步骤没有收效?为什么?
- ◎什么类型的项目效益显著(或不显著)?为什么?
- ◎哪些团队和供应商能跟上(或跟不上)节奏?为什么?
- ◎瓶颈在哪里?为什么?
- ◎参与人员反馈如何?
- ◎下一个项目在人员、流程和产品技术方面如何改进?

实施会遇到各种阻力,对质疑最好的回答就是客观效益数据。在坚实的项目进展面前,反对者可能转变为支持者。而且积极的数据可以增强团队信心,争取更多的支持者、经费和项目。即使实施效果不理想,也需要定位哪里不理想及具体原因。反之如果没有扎实的数据,不仅会在质疑面前底气不足,危及未来项目,而且对如何改进也无的放矢。

那么如何考量效果呢?首先要建立基准,即摸清现状:现有各个步骤的方法、人员配备、时间和经费如何?主要问题在哪里?有什么样的期望?今后实施结果与现状比较之后才能确认改进或差距。如果企业已经具备完善的量化机制当然最好。如果没有,也可以从小处开始。如选定两个规模相

同的项目：一个采用传统二维工程图，另一个采用三维模型定义。从设计、工艺、采购、工具、加工、装配、检测、包装到成品，甚至到说明书，在各个环节记录时间、经费和质量，进行比对。

还有一个手段是调查问卷，在实施各阶段收集团队反馈，跟踪变化。可以发布周期性的问卷，比如一年一度，每一次的问题尽量保持一致，这样能够观察到同样问题在不同时间反馈的定量变化。另外一个工具是认证。企业可以设计一系列三维模型定义的测试问题，划分类型和难度级别来考察团队的认识和技能水平，并向通过的成员颁发认证。这既是一种鼓励和督促，也是职业发展的客观标杆。比如通用电气的“黑带”认证，思科的网络工程师认证等。认证达到一定的规模之后，实施团队就可以根据通过认证的人数、类型和级别来考量实施的进展。

认证不仅可以考察个人，还可衡量企业，如 ISO 9000 质量体系认证。关于三维模型定义和企业实践，美国国际标准和委员会定义了7个级别，供企业自评和供应链评估。图1只列出了要点，其他详细指标还包括非几何数据定义、数据关联性、质量检测、数据管理、设计变更和技术交流等。值得说明的是，从这个图表出发，如果企业给车间或供应链发送三维模型为基准，辅助以二维工程图，其实已经处在1级或2级水平了，离第3级三维模型定义并不遥远。

6级	<ul style="list-style-type: none"> · 三维模型企业 · 集成的制造流程；集成的内部企业运作和外部协作 · 主要输出文档：在线数字产品定义包
5级	<ul style="list-style-type: none"> · 三维模型企业 · 集成的制造流程；集成的内部企业运作 · 主要输出文档：数字产品定义包
4级	<ul style="list-style-type: none"> · 三维模型定义 · 集成的制造流程；缺乏集成的企业运作 · 主要输出文档：由产品生命周期（PLM）软件管理的三维标注模型和轻量化的可视化文件
3级	<ul style="list-style-type: none"> · 三维模型定义 · CAD软件格式模型用作计算机辅助制造（CAM）；缺乏集成的企业运作 · 主要输出文档：三维标注模型和轻量化的可视化文件
2级	<ul style="list-style-type: none"> · 模型为中心 · CAD软件格式模型用作计算机辅助制造（CAM）；缺乏集成的企业运作 · 主要输出文档：二维工程图和CAD软件格式模型
1级	<ul style="list-style-type: none"> · 模型为中心 · 中间格式CAD模型用作计算机辅助制造（CAM）；缺乏集成的企业运作 · 主要输出文档：二维工程图和中间格式CAD模型
0级	<ul style="list-style-type: none"> · 二维工程图为中心 · 缺乏集成的制造流程和企业运作 · 主要输出文档：二维工程图

图1 美国国家标准和技术委员会提出的三维模型企业的级别
(数据来源: MBE Maturity Capability Levels, Model Based Enterprise.org, 2015年)

2. 实现自动化工作流程

真正在企业级别开展三维模型定义，自动化必不可少。自动化不仅可以节省时间，还可以有效地提高企业标准化程度和产品质量，这对大批量和高精尖生产尤其重要。比如欧

洲一个家具制造商的产品数据管理系统里面有几百万的零件、装配体和配套的工程图。手动逐个发布三维 PDF 耗时太长，所以必需自动发布。另外对新型设计，公司要求所有定义都发生在零件或装配体中，而不是二维工程图。当存入产品数据管理系统时，后台运行的服务器自动为每一个三维定义的模型发布三维 PDF 存档。这样设计师只负责三维定义，无需手动发布，也无需修改发布的 PDF。设计变更更是如此，设计师只负责修改模型定义，存入之后所有相关文档自动生成新版本，并提醒所有相关人员注意。

上述只是一个三维发布自动化的案例，实际上众多领域都可考虑自动化，如三维标注、设计变更对比和可制造性分析等。有些功能商业软件直接提供，有些需要企业自身具备开发能力，通用电气电力和水力部门就配备了专门的软件开发团队。当然也可以外包自动化的开发项目。美国 Hill 空军基地在某攻击机机翼维护项目的标书中，明确要求自动生成三维零件报告和管路折弯表格等 (DraftPerformance Work Statement (PWS) For Automatic 3d Part Report Generation and Associated Engineering Services (A3DPRG), Hill Air Force Base, 2014年)。

3. 更新基础设施

工欲善其事，必先利其器。更新基础设施不仅可以有效的提高自动化，而且在各个方面都可以为三维模型定义锦上添花。比如强大的设计软件可以让三维标注更加准确、清晰和迅速；合适的技术交流软件可以输出信息丰富的三维 PDF，使得下游环节可以更方便地读取设计意图；再如工厂中的数字显示屏和局域网可以让技术人员在车间环境就能够查看数字化三维数据，从而顺利地执行加工和制造任务。图2宁夏吴忠仪表厂就实现了数字化工厂，直接在机床旁边建立了触摸屏“制造执行系统云看板”，可以实时查看模型、尺寸、工艺手册、材料明细表等，把样品研发时间缩短了六个月（数据来源：宁夏吴忠仪表厂案例分析，DS SolidWorks Corp., 2015年）。再如图3土耳其 Yaris Kabin 拖拉机厂在车间装备了触摸屏和条形码扫描器，可以实时显示装配手册、材料明细表和爆炸视图等。使得装配流水线能够迅速从700多个组别，3000多个零件中找到合适的零件和手册完成装配任务（数据来源：土耳其 Yaris Kabin 拖拉机厂案例分析，DS SolidWorks Corp., 2013年）。值得说明的是，这些车间硬件投资并非高不可攀。图3中的

触摸屏在车间粉尘和振动等恶劣环境下表现非常稳定，只有大约 6000 人民币，条形码扫描器大约 100 人民币。

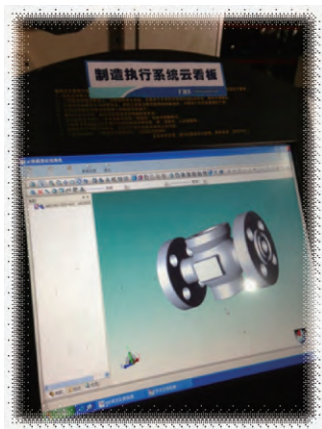


图 2 宁夏吴忠仪表厂制造执行系统云看板

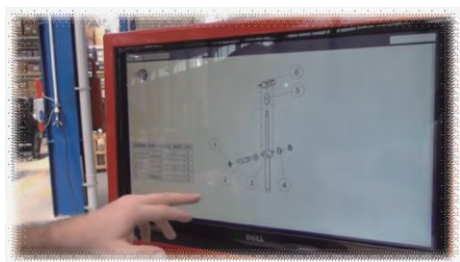


图 3 土耳其 Yaris Kabin 触摸屏显示装配爆炸视图、材料明细表和零件号

除了设备更新，已有设备的保养也很重要。以数控加工为例，即使可以直接利用三维模型编程，其零件质量也可能千差万别。刀具的磨损、步进控制的误差和传感器的误差等都会导致零件背离设计要求。

以上是流程方面的三点建议，考量实施效果、实现自动化工作流程、更新基础设施。下面讨论三个需要避免的误区。

三、MBD 实施经验之流程篇：避免三个误区

1. 不要再以二维工程图为基础

使用三维设计软件的企业经常遇到一个难题：有可能多达六成的二维工程图与三维设计不符（美国国防部、外围供应链和几家大型企业的抽样调查，2013 年）。原因很多：三维设计更新没有及时体现在下游众多工程图中；下游环节直接修改二维图样，而没有通知设计部门；设计人员与加工车间协商同意改动尺寸或公差，但是为了赶进度尽快红笔标注在图样上，而没有更新三维设计。

如果发现二维工程图与三维模型不一致，该以哪一个

为基准？这是一个重要的企业流程决策。可喜的是很多企业选择三维模型为基准。比如半数的 SolidWorks 用户就表示如此（2015 年 SolidWorks 中国用户问卷调查，样本数量：278）。这就为三维模型定义的实施奠定了基础。首先在理念上，三维取代了二维的传统权威地位。有了疑问，直接查找三维，而不再是二维。这使得进一步用三维标注取代二维标注水到渠成。其次在流程上，“三维为准”孕育了一套行之有效的规定和办法。比如有的企业严格禁止加工车间未经设计部门批准直接修改图样。即使要修改，也要通过完善的设计变更流程：从三维设计发起，通知所有受影响的部门，批准之后，更新图样，重新下发。再次，“三维为准”是高效三维制造应用的必要条件，比如三维打印和三维检测等。

反之，如果二维习惯根深蒂固，实施三维模型定义则需要多费周折。因为除了三维设计，其他各方面的人员和流程可能都是二维导向的，要改变这种习惯需要开阔的思路和长久的努力。首先企业管理层需要勇气和视野重新审视二维流程：“既然已经三维设计，为什么非要以二维为准？这样的流程存在哪些问题？”而不是当成默认状态。意识到的二维问题越突出，改进的动力就越充足。以二维与三维设计矛盾的例子来说，如果以二维特殊要求为准，短期内加工还可能勉强完成；但是如果三维设计变更出了新图样，这类二维特殊要求很容易丢失。最好的办法还是从源头，即三维，彻底更改设计和加工要求，保证单一和准确的信息源。之后就需要不断的实践磨练，总结经验，逐渐习惯新的流程。

2. 不要只给供应链下发三维 PDF

即使以三维为准，也还要注意另外一个误区，即过度依赖三维 PDF。三维 PDF 具备很多优势，极大地促进了三维模型定义的发展：如只需免费 Adobe 阅读器就可以打开，而且全世界 95% 的联网计算机都已经安装了阅读器（3D PDF Consortium, 2014）；能够动态显示三维模型，支持旋转和缩放；提供测量工具，可以动态得出模型尺寸等。企业青睐这种三维轻量化文件，甚至有些企业不再给供应链下发三维模型和二维工程图，只发送三维 PDF。这种做法在未来可能行得通，但就现状来说，还为时过早，会给供应链带来很多问题，甚至引发严重的抵触。

主要原因是很多制造软件还不兼容三维 PDF。一个突出的例子是 CAM 软件现在还无法直接读入三维 PDF 的丰富信息进行加工编程。所以数控加工厂有时不得不根据三维

PDF 手工重建 CAD 模型，导出 STEP 文件，再导入 CAM 软件。不仅拉长了工期，增加了成本，而且容易导致重新建模的人为失误，得不偿失。另外还有很多其他三维应用如坐标测量机检测，数字扫描检测，自动工艺设计等，对三维 PDF 的支持还在完善中。除了肉眼视觉读取，PDF 格式还不能数字化驱动这些三维应用。所以当前的一个要点就是与三维 PDF 一同发送 CAD 模型，STEP 或者其他需要的文件，协助提高供应链效率。

退一步来讲，上述误区蕴含了两条很重要的经验教训。

(1) 在转型初期，交流一定要充分，宁多勿少。习惯的文档还应该照样提供，并且确立三维 CAD 模型为基准，辅助以 STEP 模型以及二维工程图。在此基础上，三维 PDF 可以锦上添花。如果贸然取消日常加工需要的熟悉数据，无异于釜底抽薪。当合作各方逐渐适应了三维流程，那么可以协商取消或替代某些非关键文档，比如二维工程图。

(2) 三维 PDF 虽然强大，但是不要喧宾夺主。真正设计的权威数据应该是 CAD 模型。三维 PDF 毕竟是一个衍生输出格式，方便阅读。但是如果合作方具备相应的 CAD 软件，那么还是应该尽量发送 CAD 模型，以便最大程度的保证数据的完整性和准确性。比如通用电气测量和控制部门就推荐供应链使用与通用电气一致的 CAD 软件。

另外分享一个小窍门。很多企业希望把各种文件添加到 PDF 作为附件，便于管理和发送，但是误以为只有付费的 Adobe 软件才具备附件功能，其实免费的 Adobe 阅读器就可以给 PDF 文件添加附件，图 4 显示的注释功能面板上面，有专门的注释附件按钮。有的企业还巧妙地三维 PDF 开辟了专门的区域显示附件图标，附上 CAD 文件，如图 5 所示。

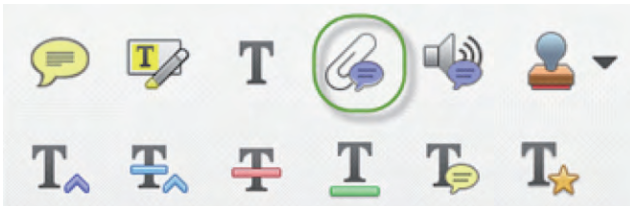


图 4 免费的 Adobe 阅读器附件功能

3. 不要忽视基于互联网的三维模型流程

除了分发三维 PDF 和其他文件，更进一步是把三维数据直接发布在互联网（包括广域网和局域网）上。细心的读者可能已经注意到，图 1 中三维模型企业第 6 级的一个指标就是在线三维产品数据包。所以本期分享若干案例，希望我

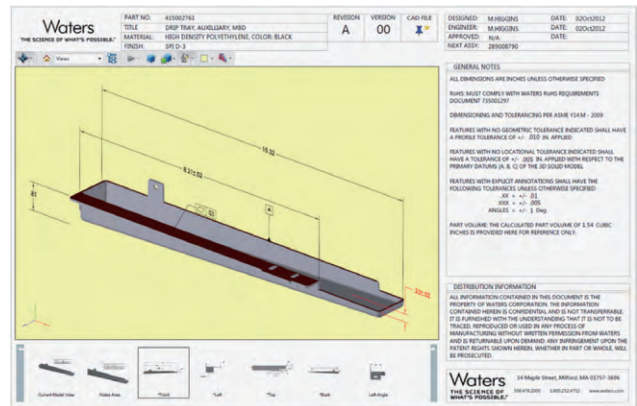


图 5 三维 PDF 专门显示 CAD 附件的区域

国企业不要忽视这个方向的潜力。注意这不是简单的文件上载，而是可以直接在线操控三维模型。图 6 中英国儿童三轮车厂商 Tomcat 在企业主页展示三维产品，供客户实时订制自己心仪的配置（颜色、座椅和踏板等），然后在线提交订单（<http://www.tomcattrikebuilder.com/en/trike-builder/>，2015 年）。美国一家起重机制造商在局域网发布三维零配件模型和规格、产品说明书和维修手册等数据，供经销商查询和订购。还有的企业利用局域网的三维数据，协调内部审阅批准设计变更，或提供工艺卡指导零件加工（图 2 中的宁夏吴忠仪表厂），或展示装配手册指导工人进行组装（图 3 中的土耳其 Yaris Kabin 拖拉机厂）。

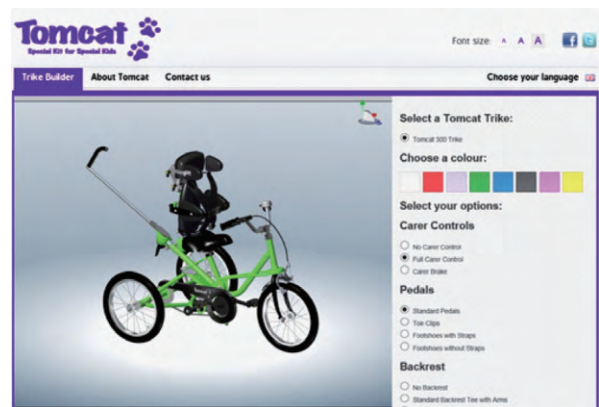


图 6 英国儿童三轮车厂商 Tomcat 在线三维产品订制

除以上民用案例，美国国家标准与技术委员会也大力支持互联网三维模型技术，力图更加流畅和丰富的在线体验。如图 7 所示，只需要一个网页浏览器，就可以实时浏览三维模型，如旋转、缩放和平移，显示或隐藏零件，观察爆炸视图、剖视图和向视图，保存和提取定制视图，在产品特征树

中查找、读取模型属性信息，评论、在线对话等。甚至可以在移动设备（图 8）上浏览三维模型和标注，而且三维标注还可以响应若干指令。



图 7 美国国家标准与技术委员会在线三维互动房车模型



图 8 美国国家标准与技术委员会在线三维互动模型和标注(移动设备演示)

(数据来源：美国国家标准与技术委员会，X3D - 3D Web Content, Sandy Ressler, 2014 年)

基于安全保密的考虑，美国海军工程服务中心早在 1996 年就开始评估使用基于内部局域网的三维模型平台，用来培训水下建筑工人。迄今已经发展到三维虚拟岸边建筑工程，可以迅速的评估各种零部件、舰艇、飞机和码头之间的空间位置和干涉。一方面可以作为边界条件改进新品设计来适应空间要求；另一方面如果产品已经生产，那么可以帮助明确岸上后勤人员的安装和维护需求。假设某个基地是为某型号的潜水艇设计服务的，如果有紧急任务其他型号的潜水艇需要停泊，那么三维网络平台模拟可以供总指挥部、潜水艇人员和基地团队很快提前判断是否能够停泊，有哪些注意事项等（数据来源：Navy Enterprise Web-Based 3D

Model Visualization: Supporting Collaboration among the Naval Systems Commands, Alex Viana, 2014 年)。

四、结语

综上所述，基于互联网的三维模型流程具备如下优势。

(1) 三维的直观性让信息更加清晰，协同合作更加有效，避免了二维图样的费力解读。波音公司一位资深工程师就提到，旋转、缩放、点击尺寸高亮显示关联特征和添加评论这些功能，使得全球团队审阅三维模型定义比二维容易很多。

(2) 实时交互更加吸引客户和合作团队的注意力，因为它给予观众更多掌控的空间，而不是像传统网页一样只能读取。网络游戏就是一个把实时交互性发展到极致的例子，由此不难理解在线三维互动模型的优势。

(3) 设计变更在网上审阅批准更加迅速。所有改变自动的发布到相关团队，各方面的批准也自动的汇总，使最新设计生效。而传统离线流程则需要专人携带文档，分别跑腿到各个部门通知和申请签字。

(4) 除了上述各种功能，一些网络图形图像技术还极大地改善了用户体验：常用网页浏览器可以动态显示三维模型，无需安装特殊软件，无需下载文件，而且促成了移动应用。

(5) 后台数据管理也轻松很多：无需分别发送重复文件，而是把数据集中到一个网站供自行选用。这样只需要统一整理和发布就可以保证为多方提供最新信息。

表 2 三维模型定义实施在“流程”领域的“三要，三不要”

关键领域	三要	三不要
流程	1. 考量实施效果 2. 实现自动化工作流程 3. 更新基础设施	1. 不要再以二维工程图为准 2. 不要只给供应链下发三维 PDF 3. 不要忽视基于互联网的三维模型流程

表 2 总结了在“流程”（方法、步骤和工具）领域的 6 点经验。下期文章将从“产品”的角度，讨论一些产品设计和制造的具体技术细节。如果您想了解更多，欢迎关注后续文章，比如实施案例、行业标准、最新技术和经验教训等，也欢迎与 Oboe.MBD@gmail.com 联系讨论。来信提出建议、想法、问题的同仁，都会免费得到一份精美的三维 PDF。 