三维模型定义（MBD）实施经验——产品篇（上）

撰文 /DS SOLIDWORKS 吴军（Oboe Wu）

一、引言

前面两期文章总结了三维模型定义实施的十要和十不要，并深入介绍了人员方面（人事结构和团队理念）和流程方面（方法、步骤和工具）的经验和教训。在此基础之上，下面两期文章将重点分析三维模型定义实施的第三个关键领域：产品，即具体的产品设计和制造。本文作为产品篇的上半部分首先提出四条建议，下期将继续解释四个误区。

二、MBD 实施经验之产品篇：四点建议

1. 选好制造文档作为突破口

产品生命周期中，各种制造文档卷帙浩繁。初始实施不求全面转型，只需要集中精力找准一两种文档突破即可，以点带面，积累经验，然后逐步扩大范围。美国一家水处理设备公司 Waters 就是一个典型的例子。尽管实施团队满怀热情，计划全面取代二维工程图，但是遇到采购、检测等各个部门的阻力。经过协商，最终同意采纳简单、低风险的标准件或外购件采购文档作为试点，如螺丝、轴承、管路和三通等。以往这些零部件都由二维工程图定义，但实际上它们都是按照行业标准或规定设计和生产的，尺寸和公差都遵循行业通行的规范。所以采购部只需要确认零件号、种类、规格、材料和数量，这些信息大都已经在标题栏体现；而检验员只需要按照设计要求检查关键尺寸，完全没必要检测所有特征，因而不需要完全尺寸定义；公差更简单，除非特殊要求，其他绝大部分都已经在技术要求或标题栏中进行全局定义，例如线性尺寸小数点后两位精度公差为正负 0.01，三位精度公差为正负 0.005，角度公差正负 1 度。所以最终达成的双赢共识是如图 1 所示的三维 PDF。设计部门直接标注模型，省略大量非关键尺寸，发布三维 PDF，并检入产品生命周期系统，从而不再需要单独的二维工程图；而采购和检测部门从产品生命周期系统读取更加清晰的电子三维 PDF，得到关键尺寸。更重要的是，这个突破口可以让三维模型定义和三维 PDF 得到更广泛的关注和使用。

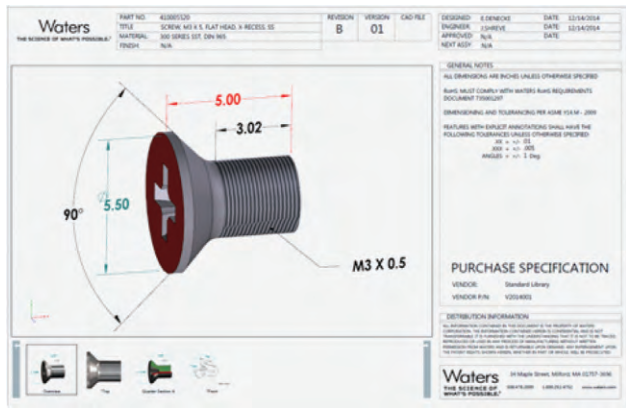

图 1 外购件或标准件三维 PDF 采购文档

类似突破开路的例子还有很多。比如一家日用消费品企业选定复杂的塑料零件在三维环境下标注关键特征，而其他非关键的有机复杂曲面则只在 CAD 模型基础上定义一个表面轮廓度公差要求。原因是有机曲面本身就很难完全标注准确，没有必要花费时间在二维工程图上。另外一家医疗仪器企业用三维钣金件 PDF 做询价单，可以增进加工厂的理解，提高报价速度。

2. 清晰的组织与呈现三维标注

制造信息的读取对制造的成败至关重要，因此组织和呈现三维标注应该得到与创建标注同等的重视。图 2 中繁乱的显示给理解设计意图造成了极大的不便，业界戏称为“刺猬现象”。这使三维模型定义备受诟病，经常给实施造成阻力。

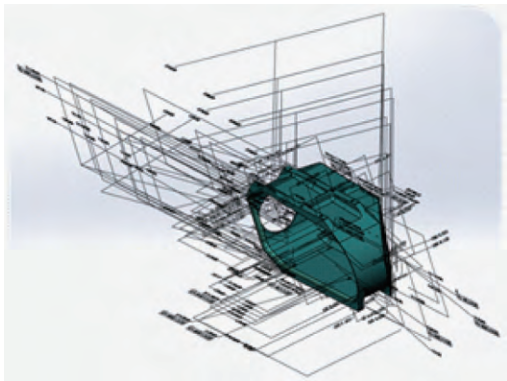

图 2 繁乱的三维标注显示（“刺猬现象”）

三维模型定义并不代表完全抛弃二维工程图行之有效的方法。比如二维图层清楚的组织重叠元素就广受欢迎。在三维模型中，图层也可以帮助有效地分类组织标注，尤其是同一个视角的不同元素。美国军标 31000A 规定：“标注应该能够分配到合适的图层和角度，从而有条理地组织和显示”，如图 3 所示（数据来源： MIL-STD-31000A，Department of Defense Standard Practice Technical Data Packages，2013 年）。比如前视角度可以分层显示或隐藏线性尺寸、角度尺寸、基准、几何公差、技术要求、表格、孔标注、端面标注和外形尺寸标注等。由此可见标注图层的分类组织可以非常灵活，完全由设计需要决定。

图 3 三维标注图层示例

在图层基础上，一些传统视图对呈现和领会三维标注也非常重要，比如三视图、局部视图、剖视图和断裂视图等。更进一步来看，三维空间的独到优势以及图层与视图的综合使用，使得其他显示模式成为可能，比如动态显示标注和三维视图缩影等，如图 4 ～ 6 所示。由此，众多的三维标注就可以合理地分配到各种图层和视图中，只在合适的情况下显示和使用。

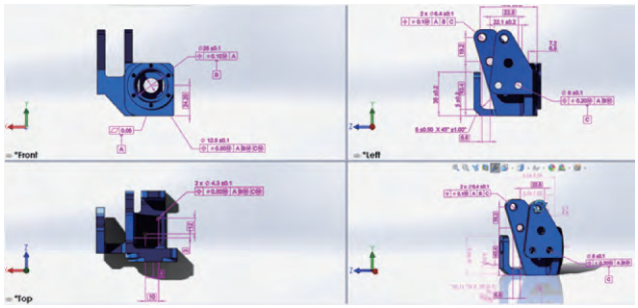

图 4 三视图（前视、左视、顶视）和动态显示标注
（右下，标注随旋转自动显示和隐藏）

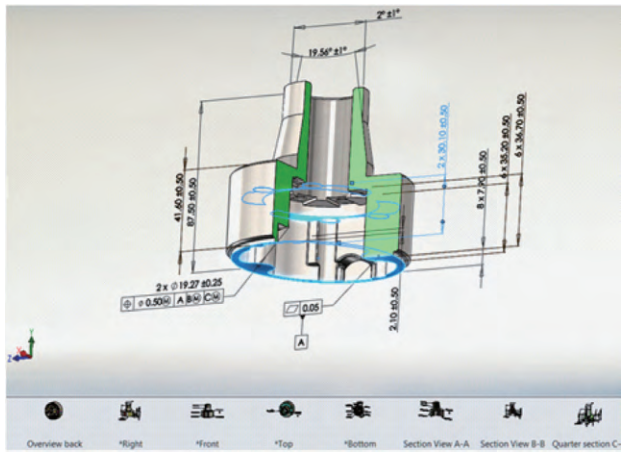

图 5 剖视图（上）和三维视图缩影（下，供视图之间快速切换）

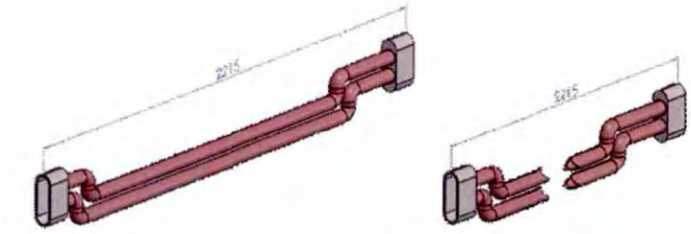

图 6 断裂视图（右）

3. 订制标准化模板

除了利用图层和视图清晰地组织和展示三维标注，订制标准化模板可以进一步组织和管理三维模型定义的大量数据，方便下游生产环节读取。而且有助于加速数据创建，统一风格，保证一致性。模板可谓一劳永逸，不需要经常修改，可以应用于很多场合，如三维标注、技术要求、三维 PDF、模型属性和表格等。这里简单介绍三个例子。

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

（1）三维标注模板。详细的三维标注可能会花费大量时间。比如欧洲一家汽车制造商的白车身底板零件可能包括上百个尺寸公差，而传动系统的气缸盖可能需要 800 多个。手动定义完成一个零件所有标注之后，这些信息会记录在一个模板当中。在其他类似的设计或配置当中，只需要利用这个模板就能把所有标注自动复制创建，而工程师只需要根据新设计的独特之处手动修改少量标注而不是全部。不仅节省了几天甚至几周的时间，而且还可以保留标注的布局、精度、公差风格以及与模型特征的关联性。

（2）技术要求模板。技术要求的条款可能很多，但是大都遵循一些言简意赅的模式，保证了一致性、避免误解。正如美国一家研究机构提到的：“我们不希望看到几十个工程师各自创建几十个不同的粗糙度或氧化处理的技术要求。”所以模板正好派上用场。这家机构把所有技术要求的条目都统一罗列在一个 Excel 模板文件中，由产品数据软件管理，对普通用户设置为只读。工程师无需自行书写技术要求，而是使用一个软件工具指定需要的条目，程序就可以自动从 Excel 中选择相应的内容发布到三维 PDF。类似的模板还可以包括其他文字内容，例如知识产权声明和保密声明等。

（3）三维 PDF 模板。如上文所述，制造文档类型繁多，而且每个种类的文件都需要一定的规范。使用三维 PDF 格式生成这些文档具备诸多优势，但是首先必须要满足类型规范。比如标准件采购文档需要公司商标、标题栏、模型视图和技术要求等；除了这些基本元素，装配手册还需要材料明细表、爆炸视图和装配步骤等；检测报告需要尺寸表格、实际测量尺寸文本框、批准签字区等。还有些文档需要封面，比如美国政府要求武器相关的文档第一页应该首先显示国际武器交易法规声明（ITAR，International Traffic in Arms Regulations），与出口相关的文档第一页应该显示出口管理法规声明（EAR，Export Administration Regulations）。其它面向客户的市场和培训等文档需要专业图片封面等。所有以上元素都可以定义在各种类型的三维 PDF 模板当中。发布三维 PDF 只需要选择合适的模板，然后一系列信息如模型、标注、属性、视图、表格、技术要求、图片和声明等都会按照模板规范自动输出，省去了重复劳动，极大地提高了效率和标准化程度。

4. 验证模型、标注和衍生文件质量

图样校验是传统流程中的一个关键步骤。在三维模型定义中，这个步骤不仅不能省略，而且职责更广，包括模型质量、标注质量和保存到 CAD 软件新版本之后的准确性、以及衍生文件的准确性。

模型质量涉及众多不易察觉的细节，所以问题可能比想象的要严重。比如美国陆军的一个试点项目显示某坦克传动系统，21% 的模型都有错误（数据来源：Certification of Model-Based Enterprise Data，Simon Frechette 和 Roy Whittenburg，2011 年）。图 7 列举了常见缺陷：堵塞的孔、裂缝、空缺和薄壁，导致加工故障。

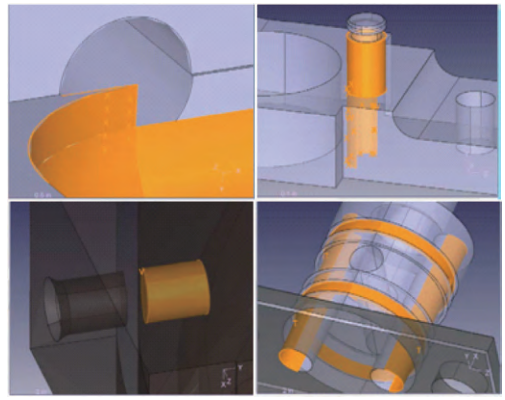

图 7 常见模型可生产性缺陷：（左起）堵塞的孔、裂缝、空缺和薄壁（数据来源：Doug Cheney，CADIQ Functional Overview，2012 年）

标注质量包括几何尺寸和公差（GD&T）的准确性、是否满足国标要求（三维模型定义国标为 GB/T 24734-2009）、与模型的关联性以及显示布置等。问题最多的是 GD&T。美国一家航空设备制造商提到：“我们把 GD&T 奉若经典。每个新工程师都要经过两周的专门培训。但即使这样，使用错误还是层出不穷，甚至出自资深工程师。”举一个简单的例子，图 8 为平行度与基准面 A 矛盾，有些软件可以自动检测提醒 GD&T 的错误。

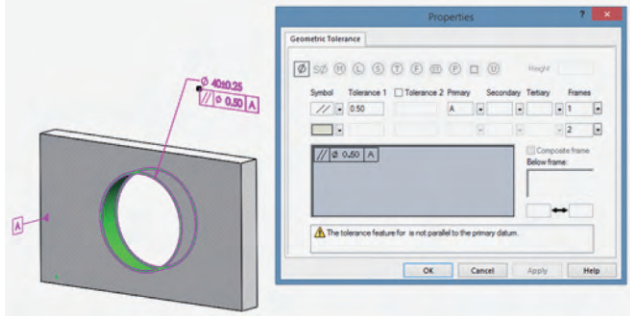

图 8 平行度与基准面 A 矛盾

升级到 CAD 软件新版本之后，也要注意标注的准确性。

如图 9 所示，模型升级之后直径公差丢失。

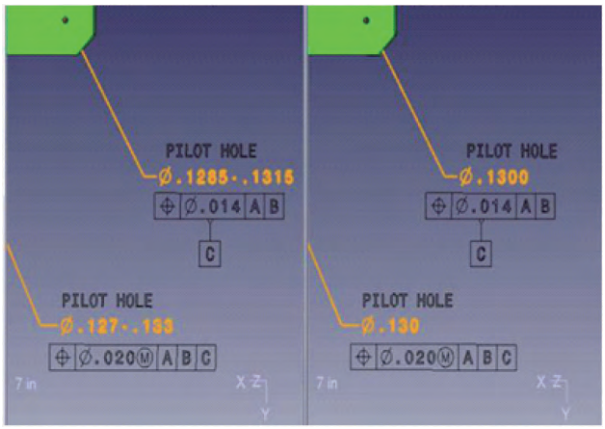

图 9 文件升级后，直径公差丢失
（数据来源：Doug Cheney，CADIQ Functional Overview，2012 年）

上述都是文件本身可能的质量问题，下面解释一下衍生文件可能出现的错误。众所周知，设计数据最理想的载体是 CAD 软件本身的格式，可以比较完整真实地保留信息。但是下游环节，尤其是外部供应链不一定能够读取 CAD 格式，所以各种三维衍生文件会经常用到。常见的如三维 PDF 供 Adobe 阅读器浏览模型和标注；STEP、IGS 和 JT 供计算机辅助制造软件（CAM）或坐标测量机（CMM）自动编程。国际标准化组织（ISO）还在 2014 年 12 月专门为三维模型定义发布了 STEP242 格式，在模型基础上包括了三维标注（数据来源：Industrial automation systems and integration —— Product data representation and exchange —— Part 242：Application protocol：Managed model-based 3D engineering，ISO 10303-242:2014）；此外还有 STL 或 AMF 供三维打印等。这些格式都方便了数据交流，但是使用当中要注意验证衍生格式是否忠实于原始数据。图 10 显示了一个衍生模型变形的例子。美国空军几家供应商就为此付出了惨痛的代价：某家一级供应商的模型和标注是在一款 CAD 软件平台上设计，其二级供应商无法直接读取这个格式。因此前者导出了中间格式发给后者进行加工。结果项目已经进行了半年之后，才发现导出的数据根本就不符合原始设计：有些特征变形，有些标注错位甚至丢失。不仅项目损失惨重，双方甚至有可能法庭相见。供应商的一位工程师回忆：“我们三维模型定义初始尝试令人难堪。客户没有验证输出数据的准确性和完整性就交给我们。现在公司管理层还在担心如果没有正确的流程，三维模型定义会更加耽误时间，导致更多错误。”

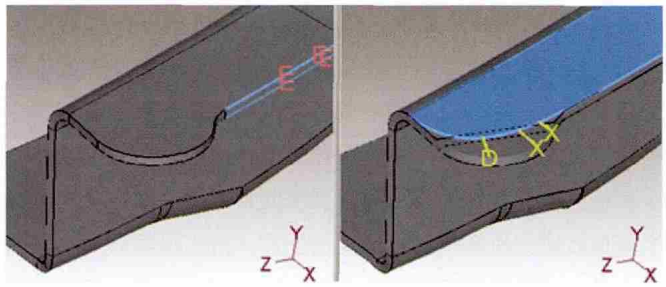

图 10 衍生模型形状改变
（数据来源：Doug Cheney，CADIQ Functional Overview，2012 年）

要解决上述问题，可以指定专人验证，类似二维工程图校对。另外有的软件工具可以进行自动验证，图 7 ~ 10 都是软件校验的例子。从商业合作角度出发，项目应该具备数据认证机制。数据发行方（甲方或乙方）必须要对关键交付数据进行认证。认证的数据要成为合同的一部分。如果出现问题，发行方、认证方要承担责任；而未经认证的关键数据不应具备投产资质。

三、结语

上文总结了四条注意事项：选好一两种制造文档作为突破口；清晰的组织和呈现三维标注和视图；订制标准化模板；验证模型、标注和衍生文件质量。下期将继续介绍四个注意避免的常见错误，如表所示。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。

表 三维模型定义实施在“产品”领域的“四要，四不要”

关键领域	四要	四不要
产品	1. 选好一两种制造文档作为突破口 2. 清晰的组织和呈现三维标注和视图 3. 订制标准化模板 4. 验证模型、标注和衍生文件质量	1. 不要省略关键标注 2. 不要停留在图像层次的三维标注 3. 不要排除打印纸质文档 4. 不要停留在初级三维 PDF

注：本系列文章是根据国内外几十家企业的反馈，从“人员，流程和产品”角度总结了实施当中的“十要和十不要”作为点滴经验和教训，但是远非完整的实施手册。真正的实施范围非常广，而且与企业自身习惯息息相关。

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