

三维模型定义 (MBD) 发展动态

撰文 / DS SOLIDWORKS Oboe Wu (吴军) 胡其登

一、为什么应该对三维模型定义感兴趣?

首先做一个简单的比较。如图 1 和图 2 两种零件表达方式,哪一种更加直观清晰?

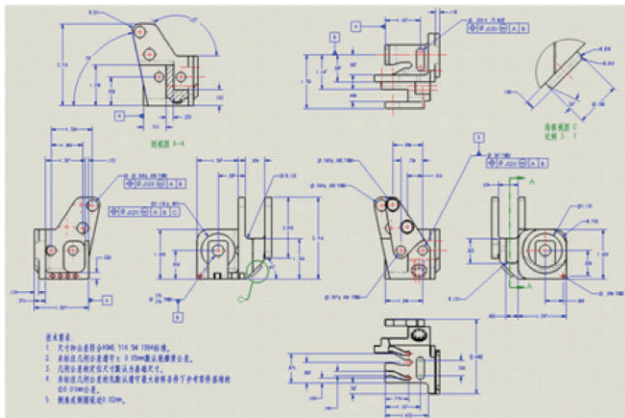


图 1 二维工程图

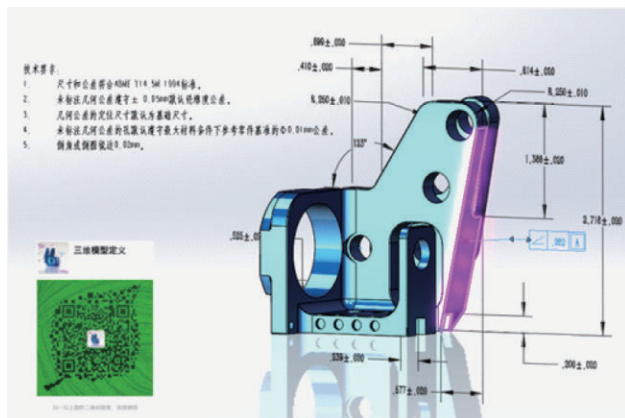


图 2 三维模型定义

很显然图 2 更加直观清晰,这就是三维模型定义的优势。三维模型定义 (Model Based Definition, MBD) 就是一项把三维标注和属性直接关联定义到三维模型的工程实践。

(1) 三维标注包括 (但不限于) 基准面标识、尺寸、公差、表面粗糙度、焊接符号、材料明细表、技术要求、标题栏和坐标系统等。目的是为生产制造提供必需的设计信息。三维标注在国际上也被称为三维产品和制造信息 (3D Product and Manufacturing Information, 3D PMI)。

(2) 属性包括零件号、材料、版本、颜色和日期等。可以由企业的产品数据管理、产品生命周期管理,或者企业资源管理软件关联驱动。这样通过管理软件做出的属性改动,可以自动更新到模型和三维标识中。

三维模型定义集成了三维建模和二维标注的优势,把二者结合到了一个三维总体文件当中。避免了创建和更新二维工程图,也避免了相应的大量问题。更为方便的是,三维模型定义可以内嵌在广为使用的 PDF 或者网页格式当中。读图人员可以使用免费的 Adobe 阅读器 (Adobe Reader) 或者互联网浏览器 (如 Internet Explorer 或 Chrome), 旋转、缩放和移动模型,动态读取三维模型和标注信息。如图 3 的三维 PDF 所示。

三维模型定义的效益已经被世界知名公司和机构反复验证,比如波音、丰田、通用电气和美国国防部。其中美国海军航空作战中心 Lakehurst 飞机分部 2013 年的试点估计,年度经费可以节约 24%, 约合 2100 万人民币。

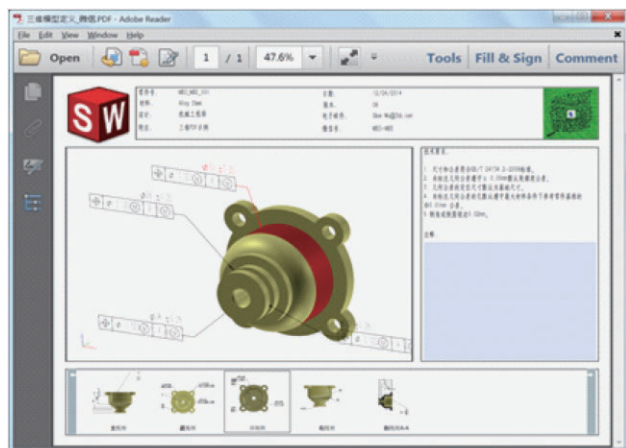


图 3 三维 PDF

二、三维模型定义解决了哪些问题？

三维设计软件已经广泛使用了 20 多年了。然而不管三维模型多么完善成熟，最终工程师还是习惯投影到二维图纸，进行标注，生成二维工程图。二维工程图是 200 多年前由法国人加斯帕尔·蒙日（Gaspard Monge）发明的（数据来源：Gaspard Monge, Géométrie Descriptive, 1800 年），200 多年后的今天，已经成为了全球通用的工程语言。它行之有效、广为使用。但是也具有极大的局限性，逐渐成为生产中的瓶颈。

主要的问题有以下几个方面。

（1）创建和更新费时费力，容易与三维设计脱节。根据美国国防部和若干国内外制造企业反馈，一个产品生命周期中，从概念到设计、到生产制造、到销售客服、到升级换代、到衰退淘汰，大约有高达 30% 的经费要花销在二维工程图。而即使如此昂贵，还是有多达 60% 的二维工程图与三维模型不匹配，带来巨大的生产风险。二维工程图不准确，那么下游生产和采购的零件、部件、总装，乃至最终产品都可能不合格。

（2）使用复杂。二维表达作为三维物体的投影抽象，不够直观，不符合人类认知习惯。创建二维图，需要把三维设计投影到二维平面。计算机软件可以在这个步骤中，提供一定帮助；进而解读二维图，又需要将二维投影在头脑中重构到三维。这个步骤绝大多数需要依靠读者的空间想象能力，要求较高，易于出错。这个过程事实上走了弯路：从三维到二维，再重新回到三维。如果一直保持三维设计和定义，那么会很有效地避免上述问题。

（3）图纸数量巨大。一个版本的产品设计可能派生出成百上千的计算机二维图，而这些图纸由于设计流程和工

具的限制，很多时候与三维设计关联并不紧密。接着它们被打印、拷贝、重新制作出成千上万的纸质白图、蓝图、硫酸图，与三维设计就更加缺乏数字化的关联。另外，非设计部门，比如工艺、铸造、工装夹具、冲剪、加工、装配、市场和销售、技术服务等，经常要根据自己的职责重新创建和维护一套独立的二维图，由此积累了大量图纸。而这还只是一个版本，如果牵扯到设计变更，那么图纸量就成倍增加了。例如英国 BAE 系统公司制造了一款战地装甲车交付美国国防部，随之提交的还包括所有用来定义说明该型号装甲车的纸质技术文档，其中主要是二维工程图纸。结果发现这些技术文档的重量比一辆坦克本身还要重。而且这还只是最终交付客户使用的文档，并没有包括制造流程当中产生的大量内部数据。

（4）与制造业信息化应用脱节。现代制造业已经发展出多种高效自动的信息化应用，比如计算机仿真，可以在三维模型上面直接施加载荷和边界条件，从而预言出应力、振动、热传导和疲劳一系列结果；或者计算机辅助制造，可以根据三维模型自动生成数控代码，直接指导加工中心，自动完成工序。而二维工程图作为三维产品的片面投影，损失了大量信息。无法像三维模型那样直接仿真，或者自动生成数控代码，所以丧失了信息化应用方面的巨大潜力。另外由于二维工程图跟三维信息化应用脱节，产品数据在沟通协作当中需要多次重新创建。40% 的制造企业经常被迫根据客户提供的二维图纸重建三维模型，并且手工重新录入数据，费时费力，滋生了错误和延误（数据来源：Chad Jackson, The 2014 State Of Model Based Enterprise Report, 问卷样本数量：575）。

三、三维模型定义的意义在哪里？

一家世界知名的制造企业提出来了一个发人深思的问题：“在过去的二十多年里面，我们所有在 CAD 软件方面的投资，无论是二维还是三维，最终结果都只是为了生成更快更好的二维工程图。难道这就够了吗？难道没有更好的办法吗？”

这一思考启发着全球制造业的一场重要升级。其意义不亚于从手工绘图到计算机绘图的革新。

（1）画法几何发明之后的 200 多年来，二维工程图逐渐广为使用，成为了“工程师的语言”。而三维模型定义则是在挑战二维工程图的权威地位，提供一种更迅速、经济、准确和自动化的工程交流方式。而且其效益已经被世界知

名公司和机构实证。接着这些公司和机构带动了大规模的涟漪效应，促使大量下游供应商、中小型企业也开始接受甚至实施三维模型定义。在中国，虽然三维模型定义工作开展时间不长，但是发展势头迅猛，在许多的行业和企业中已经提出了“三维图样下车间”的口号（数据来源：杨东拜，全国技术产品文件标委会 2012 年桂林会议论文集）。

(2) 三维模型定义与每天的工程项目息息相关。有研究报告表明，设计工程师和加工工人每周大概分别花费多达四分之三和三分之一的工作时间在二维工程图相关的任务上面（数据来源：Chad Jackson, The 2014 State Of Model Based Enterprise Report, 问卷样本数量：575）。比如创建、维护和更新图纸，澄清二维工程图表达的设计意图等。尽管如此巨大的时间和人力投入，二维工程图还是存在很多问题。三维模型定义则可以避免二维工程图，把关键制造信息直接定义在三维模型上面，极大提高了工程项目效率。

(3) 三维模型定义易于操作和理解，所有的工程人员都可以掌握。随着三维 CAD 软件的逐渐普及，大部分工程人员已经非常熟练于三维建模。三维模型定义只需要在三维建模的基础上更进一步：直接在模型上标注三维关键制造信息，比如基准面、尺寸、公差、表面粗糙度和焊接符号等，不必再受一些传统二维技术的约束，比如投影方向及角度、视图比例、图纸区域等。这样的易用性有助于提高三维模型定义的参与程度。2009 年，美国陆军对 455 家供应商问卷调查显示，69% 供应商表示乐意成为三维模型定义企业流程的一个有机组成部分（数据来源：Montana Mallett, 2009MBE Supplier Capabilities Assessment & Potential Certification Development）。2012 年，美国陆军对 46 家供应商的调查显示，89% 认为三维模型定义比二维工程图更有效的表达设计意图（数据来源：Catalyst, 2012 Supplier Feedback on the 3D Technical Data Package）。

四、三维模型定义带来的实际效益有哪些？

简单来说，三维模型定义的效益包括节省时间、节省经费、提高质量。事实胜于雄辩，具体的业界实例最有说服力。

(1) 节省时间。当今机电产品更新换代越来越快，生产周期需要不断压缩。一位资深工程师回忆曾经有一个新产品项目周期非常紧张，只有半年时间（5 月到 11 月）。

按照经验粗略计算，一张二维工程图平均要花费一天时间。而那个项目起码要三百张工程图，那么最快也要等到第二年 3 月份才可能完成。紧张的进度压力之下，他们被迫跳过二维工程图，直接在三维模型添加标注来指导生产。结果不但在 11 月份按时交货，而且还摸索出了一套新办法。现在这位工程师正在通用电气测量和控制事业部（GE Measurement and Control）主持三维模型定义流程，目标是在 2014 年至少 20% 的零件不再需要二维工程图，直接使用三维定义指导加工。

(2) 节省经费。如上文所述，美国海军航空作战中心 Lakehurst 飞机分部的实践表明，三维模型定义在零件加工、检测和装配等方面节省了显著的费用（表）。

表 美国海军航空作战中心 Lakehurst 飞机
分部三维模型定义经费节约清单

费用节约的领域	年度部门经费 (万人民币)	节约幅度	节约金额 (万人民币)
零件加工	6200	30%	1860
装配	1240	10%	124
质量检测	1240	10%	124
总计	8680	24%	2100

（数据来源：DEPARTMENT OF THE NAVY, Summary and results of the Commercial Technologies for Maintenance Activities, 2013 年）

(3) 提高质量。巴西的家具生产商 VIECELLIMOVEIS 通过提取三维模型里面的信息，比如尺寸、公差和材料，自动编程来控制钣金件的冲压和折弯，不但节省了传统二维工程图所需要的时间和人力，而且同时提高了准确度和质量，把废品和返工率降低了 50%（数据来源：DS SOLIDWORKS 客户案例分析，2014 年）。

五、为什么现在提倡三维模型定义？

三维模型定义并不是一个全新的概念。早在十多年前，领先的制造企业在在使用三维设计软件的过程当中就很自然地设想过绕开二维工程图。但是很遗憾，这个设想在当时并没有得到广泛普及。近年来，在主流工程领域，大规模实施三维模型定义逐渐成为可能。以下是几个重要的发展动态。

(1) 美国国防部在 2013 年 2 月推出的一套更新的军方标准 31000A（数据来源：Department Of Defense Standard Practice: Technical Data Packages, 2013 年），详细地阐明了三维模型定义的规范和要求，并且向其内部工程部门和整个供应链推荐使用基于三维模型的产品数据定义包（Technical Data Package, TDP）。在其

2013 年 10 月向美国国会提交的“年度工业能力报告”中汇报了如下进展（C-31 和 C-32 页）：“为了推进技术数据交流从二维向三维转变，国防部的客户及供应商协作项目（CSI, Customer/Supplier Interoperability）创建了一系列的工具，实现了人工操作的自动化，为国防工业迈向三维模型定义铺平了道路。通过与现行的优化操作办法逐一并排比较，客户及供应商协作项目的三维模型定义技术预计可以为三个试点制造商一年节约二千二百万美元（约一亿四千万人民币）。如果在整个国防采购项目中全面实施，预计可以一年节省五千万美元（约三亿三千万人民币）。 ”

（以上数据来源：Department Of Defense, 2013 Annual Industrial Capabilities Report to Congress）。美国国防部的决心在全球工业界产生了巨大的推动力，使得其一级、二级、三级和更多下游供应商，直至大规模的中小企业都开始考虑实施三维模型定义，形成了“链式反应”。举例来说：2014 年美国国防部敦促一级供应商 Bell 直升机公司试点。相应的 Bell 直升机确立了一款最新型的直升机全部采用三维模型定义，不再给下游供应商发送二维工程图。进而 Bell 直升机的各个供应商开始试点。并且开始要求各自下游供应商和加工厂接受三维定义，逐渐减少二维工程图（图 4）。

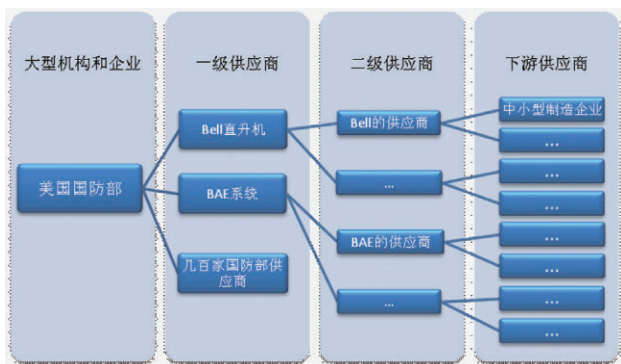


图 4 美国国防部供应链逐级扩展三维模型定义

（2）另外一个时间因素是日本电气和信息技术协会（Japan Electronics and Information Technology Association, JEITA）要求成员企业在 2014 年开始逐渐实施三维模型定义。日本电气和信息技术协会具备非常强的影响力。执行董事会由日本知名企业总裁组成。比如 2014 年董事会主席是富士的总裁 Masami Yamamoto，副主席包括夏普总裁 Kozo Takahashi、日立总裁 Toshiaki Higashihara、松下总裁 Shusaku Nagae 等。该协会下设众多部门，其中之一是日本工业标准（Japan Industry

Standard, JIS），相当于中国的国标。协会成员还在 2014 年特意参观访问欧洲和美国相关公司和机构，了解三维模型定义的最新进展。目的是在成员企业试点、总结经验、制定协会示范标准，最终制定并广泛推行三维模型定义日本工业标准（JIS）。

（3）2015 年初，中国国家标准技术产品文件标委会将会在 ISO 16792 和 GB/T 24734 基础上推出专门的三维模型定义国标。另外各个行业也已经积极探索技术改进项目，比如航空航天、机车、工程机械和兵器。其中南方和北方机车集团还投入千万人民币进行试点。

（4）除此之外，信息技术的发展也在促进三维模型定义的快速应用。当今工业界，三维设计渐渐成为主流，应用越来越广泛。因而直接进行三维交流、指导生产制造越来越顺理成章。三维数据当中蕴含着丰富的信息，比如形状、尺寸、公差、材料、零件号、装配关系、技术要求和材料明细表等。如果忽视三维数据的内在价值，就仿佛智能手机只被用来打电话，或者互联网只被用来查电子邮件一样。大量模型及衍生应用不断涌现，三维可视化工具不断增强普及，使得三维交流越来越方便。如本文示例的三维 PDF，只需要免费的 Adobe 阅读器（Adobe Reader）就可以浏览三维信息，而这个阅读器已经安装在全球 95% 联网计算机上（数据来源：3D PDF Consortium, 2014）。这使得三维模型定义的广泛传播水到渠成。另外一个推动力量是一些主流的 CAD 软件加大了这个领域的产品力度。比如，为了解决常见的大量三维尺寸彼此重叠、显示混乱的问题（业界俗称“刺猬”现象），以及多个生产环节数据格式不同、无法交流的难点，SOLIDWORKS 在 2015 年初专门发布了 MBD 产品。在已有的智能三维标注基础上，推出三维视图组织（图 5）、动态标注显示、PDF 模板定制（图 6），以及三维 PDF（图 7）和 eDrawings（图 8）

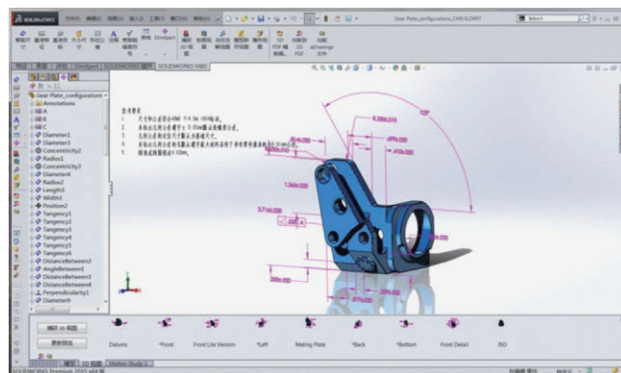


图 5 智能三维标注和组织

数据发布等一系列实用、新颖和专利功能，引起了美国国家标准和技术委员会（National Institute of Standards and Technology, NIST）和中国国家标准委员会的重视。

我国被称为“世界工厂”，制造业牵动着整个国民经济的发展。三维模型定义解决了制造业中传统二维工程图的大量问题，实现了巨大的经济效益。而且正好契合我国“智

慧制造”的战略，为广大企业带来了可喜的技术革新机会。时不我待，世界各国都在加速推进。在此与各位同仁共勉，为提高我国制造业效率、整体实力和国际竞争力尽一份力量。

如果读者想了解更多，比如最新的技术进展、企业案例、实施要领、相关标准和三维 PDF，欢迎关注后续文章，并加入微信 MBD-MBE 讨论，也可以向作者发邮件联系。作者的邮箱地址为：oaoe.wu@3ds.com。

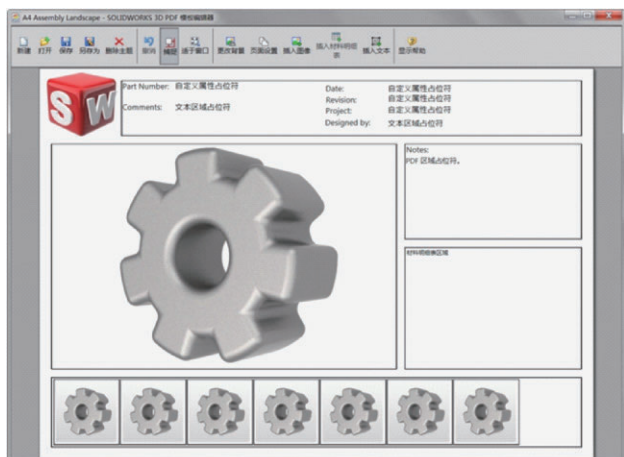


图 6 三维 PDF 模板定制

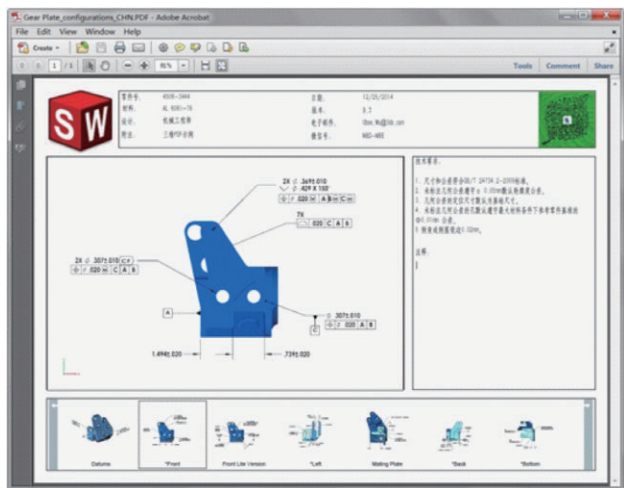


图 7 三维数据发布—PDF

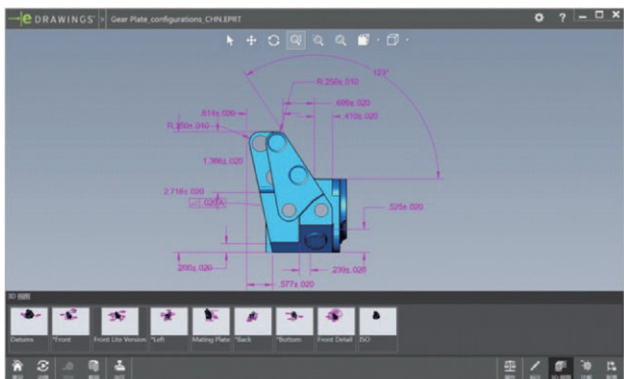
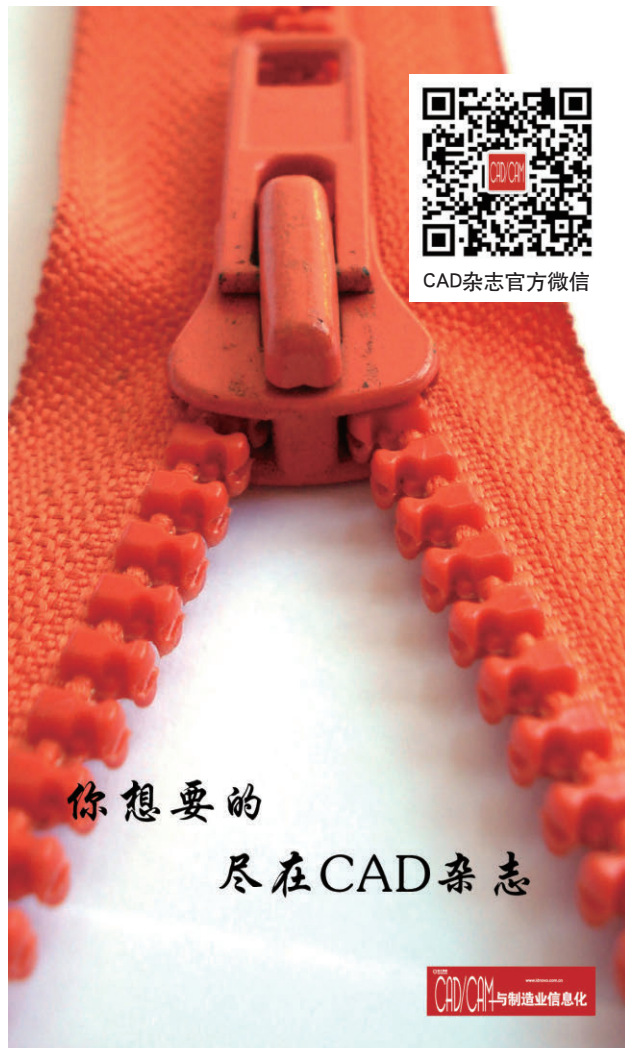


图 8 三维数据发布—eDrawings



《CAD/CAM与制造业信息化》杂志

地址：北京市西城区百万庄大街22号四层西厅（100037）

电话：010-68993880转：（编辑部）255/268/263

（市场部）274/276（发行部）236/293

传真：010-68311390

邮箱：cadcam@idnovo.com.cn

新浪微博：http://t.sina.com.cn/cadcam2010