

三维模型定义（MBD）实施经验：人员篇

撰文 /DS SOLIDWORKS Oboe Wu（吴军）

一、引言

2015 年上半年的三篇文章先后介绍了国际上三维模型定义（MBD）的发展动态（本刊第二期），以及民用和军用领域的两个成功案例：通用电气电力和水力部门制定了三步走战略（本刊第四期）；美国海军航空作战中心 Lakehurst 飞机分部估计一年节约经费 2100 万人民币（本刊第五期）。相信读者朋友对三维模型定义有了一定的了解，也对其功效产生了兴趣。接下来很关键的一个问题就是如何在生产中实施。理念再好，如果不能付诸实践，那也只能束之高阁，无法带来效益。

可喜的是，市场反馈明显体现了企业对实施的关注度：如何开展三维模型定义以及三维模型定义成功案例相关英文博客的点击率和转载率往往数倍于其他话题。趁热打铁，笔者以下的系列文章将从人员、流程和产品三个方面，介绍全球几十家制造企业具体实施当中的经验和教训，可以简记为“三维模型定义实施十要和十不要”（表 1）。很多建议都是基于昂贵甚至惨痛的弯路和教训，希望对我国的企业有帮助。

二、MBD 实施经验之人员篇

万事以人为本。没有人，其他方面都是空谈，所以本系列第一篇文章从人员开始，主要侧重于人事结构和团队理念，后续几篇文章将分别讨论流程和产品两个方面。首先分享人员方面的三个注意事项。

1. 获得企业高层的支持

成功的三维模型定义实施必须得到企业高层从全局角

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

度的认可和支持，自顶向下的贯彻，而不是自底向上。三维标注及文档会指导众多下游生产车间和工序，比如调度、工艺、工具、冲剪、加工、装配、检测、采购和供应链等。实现这样企业范围的转变仅仅依靠一个部门远远不够，还需要顶层设计和布局。

有了高层的支持，实施所需要的人员、资金、时间和设备容易得到保障。而且部门之间的协调和障碍的疏通会更加及时有效。比如 2012 年，通用电气电力和水力事业部工程副总裁在自己的业绩考核里面写明要在 2013 年完成 100 个三维定义零件。这使得所有工程部门有动力和压

力跟产品设计团队合作实施。2014 年新任工程副总裁在自己业绩考核中也制定了类似的指标（数据来源：Model Based Enterprise at GE Power and Water, Prashant Kulkarni, 2014）。

反之，自底向上的工作会很难开展。三维模型定义不是一个独行侠可以自己完成的技术创新。它需要超越理念阶段，付诸实践，在整个企业生产协作的土壤中生根发芽，发光发热，由此也会带来大面积的影响和改变。比如要求工艺或检测部门停止多年使用的二维图样，改用三维文档。这种转变不亚于从手绘工程图向计算机绘图的转变，这些部门可能根本没有意愿、时间或者能力顾及。

2. 组建三维模型定义实施的核心团队

得到了高层的支持，下面很重要的步骤就是组建核心团队。团队至少应该由涉及到的关键部门代表组成，既能考虑多方诉求和利益，又能在各个部门树立分头推进的带头人。实施范围大小决定了成员的多少，但设计、制造和检测部门是通常应该包括的，因为它们覆盖了一个产品生产周期最基本的环节。此外一个关键部门是信息技术，负责软硬件环境和数据管理等，为其他部门提供平台。其他可能的部门还包括：工艺、铸造、装配、CAD 管理员、数据库的管理员、采购、培训和供应链等。

之后需要指定团队负责人和专门领域带头人。实施的总负责人至关重要。首先在权力方面，一定要得到高层领导的充分授权和支持，能够掌控人员、资金、时间、设备以及其他必要资源；其次在责任方面，实施成败的关键指标要制定在负责人的业绩考核当中。并且总负责人必须熟悉设计和制造流程，对三维模型定义富于胆识、热情和坚定的信心，能够鼓舞和带领团队及各个部门，而且在阻力面前不会轻易放弃。还需要项目管理的经验，能够有效的沟通、协调，跟踪进度、经费、考量改进前后的收效。同样，各个专门领域带头人也需要坚信三维理念，把实施关键指标制定在个人业绩考核中。最后需要注意的是带头人不应该只是各个部门随意敷衍交差的提名。每个人都需要能够独当一面，在各自部门当中充当先锋。

3. 调动参与人员的积极性

二维工程图到三维模型定义的改变从上到下会遇到重重阻力，受挫不可避免。团队成员很容易有中途退出的想法，比如几年前一个儿童娱乐设施和服务企业开始实施，但是团队的

一个关键成员就迫于难度选择退出。在挫折面前的另外一个风险是内耗、互相推诿责任。所以激发热情，达到 1+1 大于 2 而非相反，就至关重要。

调动积极性的方法很多，比如宣传三维模型定义的巨大效益、树立具有重大积极意义的共同目标、尊重独立自主的决策和执行、及时总结阶段性进展、组织成果竞赛、表彰突出贡献和考核业绩等。一个巧妙的范例是泰科电子（Tyco Electronics）的实施团队在 2013 年制作了一个精美的内部宣传片：假想在 2018 年，设计、制造、检测和采购等环节的工程师分别回忆从 2013 年到 2018 年五年间，各自实施三维模型定义的历程、挑战和成果。中心思想很简单：“虽然经历了种种困难，但是在坚实的改进面前蓦然回首，每个部门都欣慰当初决定转型到三维模型定义。”这个视频在整个公司广泛流传，非常有效的统一了目标，鼓舞了士气。

需要强调的一点是参与人员不应该只是实施团队的核心成员，对各个部门，尤其是下游生产环节的积极支持者也应该充分鼓励。另外对反对者，也不必在口头上之争高下，空谈于事无补。更有建设意义的是细心倾听反对的缘由。有些误解可以澄清；有些困难确实存在，可以共同解决，减少阻力：比如在第四期文章中介绍了通用电气在三维模型定义基础上快速创建“仿工程图”作为过渡文档，尽量照顾习惯二维图样的场合。

上文总结了“三要”，接下来提出三个“不要”，即注意避免的误区。

1. 不要犹豫不前

提起三维模型定义，企业可能顾虑重重，比如三维模型定义能否节省时间、二维工程图能否被取代、项目投资能否承受，是否必须为车间购买大量数字化设备，供应链能否接受等。顾虑可以理解，但是要意识到时不我待，美日德等制造强国都在大力推进。我国要实现“智慧制造”，三维模型定义是很重要的基石。中国有句老话：“不怕慢，就怕站”：哪怕缓慢前进，摸着石头过河，也比左右观望，错失机会强。限于篇幅，本文只针对几点常见顾虑分享一些客观案例和数据。

（1）三维模型定义能否节省时间？

很多工程师提出：“即使略过二维工程图和二维标注，还是需要三维标注，哪里能够节省时间？”要回答这个问题，首先要从整个产品生命周期来思考。三维模型定义一个重要

功效在于：清晰无歧义而且集成同步的三维标注大幅度提高下游生产环节的理解速度和准确率，减少废料和返工。一份研究报告通过对比发现表 2 的量化改进。

表 2 量化三维模型定义的价值

平均周期	改进领域	侧重使用三维标注的公司相比 侧重使用二维工程图的公司
每个星期	每位工程师创建、澄清、修改工程文档的时间	节省 6.6 个小时
每个月	临时调配人手和资源来解决紧急设计缺陷的次数	减少 2.5 次
每个月	工程文档的偏差或误读导致装配失败的次数	减少 4.9 次

（数据来源：Quantifying The Value of Model Based Definitions: Saving Time, Avoiding Disruptions, Eliminating Scrap, Chad Jackson, 2015 年，样本数量：366）

更进一步，一个生产流程之后，产品还会经历几年、十几年、甚至几十年的维护和升级换代阶段。以美国国防部为例，平均 65% ~ 80% 的产品生命周期费用实际发生在这个阶段。而且现代许多产品的生命周期大幅延长，比如某轰炸机预期寿命是 94 年（数据来源：Paul Huang, Reuse of Model Based Definition Data to Increase Army Efficiency and Reduce Lifecycle Costs 和 Technical Data Package Specification for 3D MBD and MIL-STD-31000 Overview, 2010 年）。漫长周期当中，汗牛充栋的纸质二维工程图非常容易丢失、破损或与三维设计脱节。而三维模型定义能够把产品制造信息清晰集成到三维数字文档，易于管理、维护、更新和查询。整个生命周期的效益会是三维标注一个步骤的成百上千倍。另外还要考虑到多种自动化的三维制造应用，如坐标测量机、三维扫描检测和大数据分析等。在三维模型定义的基础上，这些应用的效率会登上一个新的台阶，详见后续文章。

即使就三维标注这一个步骤来讲，三维模型定义也有可能节省时间，因为模型本身就包含了丰富信息。首先模型特征尺寸和公差有可能重（chong2）用显示在三维空间，而无需另外标注；其次，有些软件提供三维自动标注功能：选好模型类型、公差类型、基准面、需要定义的局部特征乃至整个模型，几秒钟就可以标注完毕。

(2) 二维工程图能否被取代？

另一个常见疑虑是二维工程图已经使用了 200 多年，并且行之有效，广泛使用。难道真的能被取代？答案很显然，

短期不可能取代。就像三维 CAD 已经推行了 30 年，但是世界 CAD 市场份额大概还有一半是二维。改变都需要时间，但是这不能否定新技术新方法的价值。

三维模型定义很重要的价值定位是完全可以兼容支持二维工程图的使用习惯：所有传统标注都可以创建，所有传统视图都可以呈现，甚至图面布局都可以延用二维工程图，简而言之就是“首先不会缺失信息”。这样就可以消除很多顾虑。在此基础之上，如果具备数字化环境，那么第三维优势就信手拈来：旋转、测量和关联响应等。所以不仅不会比二维工程图缺失信息，而且能够提供更加清晰和丰富的应用。因此准确来讲，三维模型定义是用来“升级”，而不是简单的取代二维工程图。表 3 技术升级的类比可以解释的更加清楚：手机兼容支持座机的所有功能，而且提供了附加的移动性和智能应用，既照顾了座机用户的传统习惯，又提供了更多价值。如今手机的普及率已经毋庸置疑了。此外一个更彻底的升级是从胶卷相机到数码相机。后者完全涵盖前者的功能，而且有百利而无一害，那么何乐而不为呢？

表 3 技术升级的类比

传统技术	升级技术（绿色粗体为增值功能）
 座机 <ul style="list-style-type: none">• 拨打、接听电话	 手机 <ul style="list-style-type: none">• 拨打、接听电话• 收发短信• 移动性• 智能应用• ...
 胶卷相机 <ul style="list-style-type: none">• 拍摄照片	 数码相机 <ul style="list-style-type: none">• 拍摄照片• 拍摄视频• 海量存储• 数字化图像处理• ...
 二维工程图 <ul style="list-style-type: none">• 标注尺寸、公差、表面处理• 定义技术要求、标题栏• 组织视图	 三维模型定义 <ul style="list-style-type: none">• 标注尺寸、公差、表面处理• 定义技术要求、标题栏• 组织视图• 三维动态旋转• 三维关联显示• 驱动三维坐标测量机• ...

(3) 项目投资能否承受？

如第五期案例所述：2013 年美国海军航空作战中心 Lakehurst 飞机分部，两个大规模试点项目总工时 1,220 小时，团队一共 12 人，人均投入约 100 小时，即不到三周；总投资 178 万元，只占 2014 年中国企业平均固定资产投资

的 5.4%。而且我国企业的试点项目规模不必像美国海军那么大，完全可以从点滴开始，哪怕只是一根轴，一个减速箱，可以降低初期投资。另外中国人力成本比美国有优势，也可以进一步缩小工时成本。只要我国的企业有决心，实施应该是力所能及的。

(4) 是否必须为车间购买大量数字化设备？

这个问题很大程度上源于对三维模型定义和无纸化两个概念的混淆。第四期通用电气的案例当中已经做了详细的澄清。简而言之：三维模型定义强调升级换代二维工程图，并不排斥打印图样，完全可以沿用图样流程，无需购买大量数字化设备。

(5) 供应链能否接受？

事实上，供应链对三维模型定义的接受程度可能比想象的要高，这里举两个例子。

首先是一家水处理设备公司。在 2014 年介绍三维模型定义的时候，出于顾虑，特意邀请了十多家供应商一起参加讨论。结果大多数供应商看到产品演示，特别是三维 PDF 之后，不但表示能够在未来项目中接受改变，并且还开始主动构想自己的企业应该如何实施。

还有一家企业 2009 年强制要求下游的供应链开始使用计算机辅助制造软件（CAM），读取原始的 CAD 格式，辅助以简化的二维工程图。起初一些加工厂反对，但是为了赢得生意，被迫尝试。然而新流程启用之后，无论是量产还是样品，加工的报价、数控编程和交货都明显提速。这正好是雪中送炭，因为当时任务量非常重，已经需要两班倒，效率的提高实现了供需双赢。更有意思的是，熟悉新流程之后，加工厂主动提出“为什么不能把所有信息都集成到一个三维文件当中？这样就可以省略二维工程图了。”可见在起初被动尝试之后，三维模型定义反而成为了供应链更进一步的主动选择，而且那是在 6 年以前。另外值得注意的是，这个加工厂并非大型高精尖企业。他们只是两人合伙经营的小作坊，配备了一台数控机床和 CAM。

上述两个例子非常具有代表性。早在 2009 年，美国国防部对几百家供应商的问卷表明，69% 表示愿意在三维模型定义流程当中运作（数据来源：MBE Supplier Capabilities Assessment, Department of Defense, 2009 年，样本数量：445）。进而在 2012 年，89% 的供应商表示三维模型定义能比二维工程图更好的传递设计意图（数据来源：

MBE Supplier Capabilities Assessment, Department of Defense, 2012 年，样本数量：46）。

以上简要讨论了五点常见的顾虑。希望能够帮助我国企业建立信心，大胆实践，而不是犹豫不前。下面回到需要避免的另外两个误区。

2. 不要急于求成

上节提到“不要犹豫不前”，然而过犹不及，这节提醒企业“不要急于求成”。美国陆军研究实验室的三维模型企业项目带头人 Paul Huang 分享了亲身经历的深刻教训。2009 年，陆军一个基地开始实施三维模型定义，挑选了一个非常复杂的项目：某装甲车“十字型”变速箱，总共 2000 多个零件。尽管项目完成了，但是也带来了很多问题。首先产品太复杂，拉长了周期。参与人员上手一次，长时间没机会重复，容易遗忘。不但人员缺乏机会练手，购买的软件硬件也没有机会更多的使用，浪费了资源。其次，复杂的产品一次带来太多的挑战，让团队难以适应，产生了消极情绪（数据来源：Paul Huang, Reuse of Model Based Definition Data to Increase Army Efficiency and Reduce Lifecycle Costs, 2010 年）。鉴于上述的教训，我国的企业可以根据自身情况循序渐进，从小规模试点开始摸索。理顺流程、积累经验、锻炼团队，为未来项目做铺垫。这样螺旋式上升会降低风险。

3. 不要局限在设计部门

另一个典型误解是三维模型定义只由设计人员领导，其他部门服从就可以了。这样的态度显然容易受到孤立和抵触。更务实的是同舟共济，合作共赢。

首先需要了解合作方：哪些要求会强人所难，哪些是力所能及的，哪些影响成本或工期。比如美国一家医疗器械公司非常强调熟悉加工环节的软硬件环境和需求。由于某些加工厂可以直接读入他们的 CAD 格式，设计部门可以只标注关键尺寸和公差，加工厂可以参考模型得到其他名义尺寸。所以这种条件下行之有效的办法是以 CAD 模型为主，以简化二维工程图为辅。但是如果有些设计需要寻找其他厂商完成，那么这套方法可能行不通，需要重新调研商定。

了解之后还要尽量配合。有正反两个例子很能说明问题。美国一家研究型制造企业规定：实施三维模型定义，技术要求必须显示在打印或者数字文档的第一页。这样调度人员只需扫一眼第一页，就可以迅速决定哪些项目需要外协，

哪些需要内联，哪些部门介入，大致工序如何等；而且加工人员无需翻页，可以立即确定特殊加工步骤。此外规定有些技术要求必须在相关的三维视图内部或附近显示，这样加工人员就可以一并读取视图和注释，而不需要来回翻页，即使打印之后也很容易看到，而不用担心关联的视图和技术要求失散。另外一个细致周到的规定是：全局注释要在每个页面都显示，还是为了方便读图、避免翻页、确保加工。反之如果一意孤行，合作方甚至有可能拒绝参与。比如 2014 年，美国一家直升机制造商要求最新的一款直升机完全由三维模型定义流程设计制造。由于预见到种种问题，又缺乏必要的支持，有些二线三线供应商宁可丢失这单生意，也不愿意冒着风险尝试新流程。

综上所述，三维模型定义实施在“人员”领域的六条经验总结如表 4 所示。如果您想了解更多，欢迎关注后续文章从“流程”和“产品”角度介绍其他经验和教训，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 4 三维模型定义实施在“人员”领域的“三要，三不要”

关键领域	三要	三不要
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

三、作者的话

对于本系列的文章，笔者有些话想讲：这些总结远非完整的实施手册，且篇幅有限，只能以点带面，希望今后有机会介绍更多的实施要点、成功案例、最新技术和标准。另外经验和教训都有其时效性：本系列文章根据大多数企业 2015 年现状提出建议，笔者将尽量做到既包括长远理想方案，又包括眼前的实际办法。也欢迎与 Oboe.MBD@gmail.com 联系讨论。

《智能制造》杂志征稿通知

一、征文范围

- 1. 数字化设计与制造
- 2. 智能设计理论、方法及系统
- 3. 自动化与现代制造系统
- 4. 机器人技术及应用
- 5. 虚拟设计与虚拟样机
- 6. 网络化控制与制造技术
- 7. 绿色设计与绿色制造中的智能技术
- 8. 智能加工、智能检测与控制
- 9. 数字企业与数字化工厂
- 10. 制造系统建模、运行、控制、优化与调度
- 11. 先进制造模式与战略
- 12. 制造信息与知识处理
- 13. 数控技术与数字化装备
- 14. 现场总线与无线传感网技术

注：以上内容范畴供参考，围绕智能制造全领域，具体题目请自拟。

二、论文遴选、刊录出版和基本要求

- 1. 《智能制造》编辑部组织编委会有关专家，对投稿进行审查、遴选，择优刊登。审查遴选期限为自编辑部收到稿件后的三个月。对于刊登的论文，编辑部提供正式录用通知。
- 2. 论文内容必须是作者未正式发表过的研究成果，论文主题与智能制造相关，投稿作者须恪守学术道德规范，文责自负，严禁一稿多投及中途撤稿。论文字数 4000 ~ 7000 字。
- 3. 论文应包括以下项目：论文题目；作者简介（200 字以内，包括姓名、工作单位、通信地址、电话、手机、电子信箱等）；中文摘要、关键词、标题和正文、参考文献。

三、编辑部投稿联系方式

联系人：张友苹
联系电话：010-68993880-293
邮箱：imchina@idnovo.com.cn