三维模型定义（MBD）实施经验——产品篇（下）

撰文 /DS SOLIDWORKS 吴军（Oboe Wu）

上期文章总结了三维模型定义（MBD）实施过程中，在产品方面的四点建议：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。三维模型定义实施当中产品方面的“四要和四不要”如表 1 所示。本文将强调注意避免的常见错误。

表 1 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

一、不要省略关键标注

省略关键标注是三维模型定义受到下游生产环节、尤其是供应链抵触的一个常见原因。甚至有的加工厂误解三维模型定义是“不负责任的偷懒”。因为他们的客户一意孤行只提供三维模型。没有二维工程图、也没有三维标注。理由是信息在模型当中，加工厂只需要测量模型就可以了。但现实当中，车间还是需要关键尺寸和公差标注来加工和检测，所以被迫根据缺失标注的三维 PDF 或模型，自己生成二维工程图，添加标注，然后打印图样供车间使用。加工厂不但没有感受到任何改进，相反吃了亏：“可能我们的客户节省了点时间，因为他们不需要二维工程图，也不需要标注了。但是工作量被转嫁到我们头上。”更有甚者，一旦加工厂自行生成的二维图样违背了客户设计意图（工厂利益决定了其简化加工的倾向），或者零部件加工出现质量问题，互相指责很难避免：“你们没有测量模型！”“你们没有标明加工尺寸和公差！”由此对簿公堂也不罕见。

如下六点总结了在三维设计模型中，明确标注关键特征可以带来的好处和避免的问题。

（1）企业设计部门最了解产品用途、设计意图、重要特征和技术要求，因此最具权威在清晰的标注中传达关键信息。如果省略这些标注，而放手任人解读，很容易造成误会。而且下游制造环节本身会受利益驱使，倾向对制造过程最有利的解读，但并不一定对整个产品质量最有利。

（2）设计环节的标注不光是单向传递制造信息，而且是一个督促设计人员反思、审核乃至改进设计和可制造性的机会。跳过这个步骤意味着失去了一个审核改进的过程。

（3）制造信息量很大，如果下游部门每次都要重新测量得到关键尺寸，不仅费时费力，更重要的是容易遗漏设计要求甚至忽视加工错误，因为关键信息隐藏在模型中不可见。由此会危及质量、延长工期且提高成本，尤其是供应商的报价会升高。反之，明确的标注不仅方便每条信息的读取，而且还作为视觉提醒，呈现了一个完整的检查清单。

（4）下游环节不一定能够准确熟练的使用 Adobe 阅读器或 CAD 软件当中的测量工具。以图 1 中的 Adobe 阅读器为例：测量螺丝的长度，但是得到上下两个尺寸 5.076mm 和 5.0mm，该相信哪一个？这就体现了正确使用工具的重

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

要性。表 2 对比了错误和正确的使用。然而要得到正确的结果，还需要提前按下图 2 的两个按钮：面捕捉和垂直尺寸。由此可见一些细节很容易导致误读以及制造失误。而且这还只是一个简单的螺丝，试想在复杂的装配体成千上万个零件当中，如此测量失误在所难免，所以还不如把关键尺寸都标注出来，尽量避免不必要的麻烦。

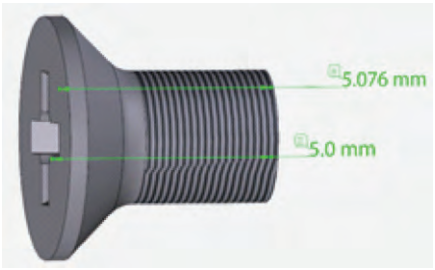
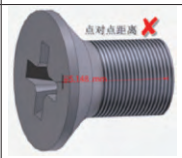
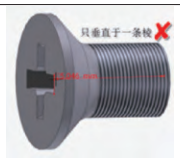
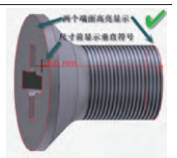


图 1 Adobe 阅读器测量得到两个相近尺寸

图 2 Adobe 阅读器测量端面距离的两个重要按钮

表 2 Adobe 阅读器测量工具错误和正确的使用对比

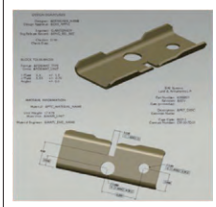
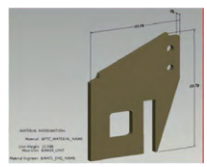
结果	错误	错误	正确
图例			

（5）从转变流程的角度讲，如前面“流程篇”所述，在初始阶段信息交流宁多勿少。清晰的标注避免不必要的冲突，让读图人员体会到“三维模型定义不会比二维图样减少信息，而只会提供更多的清晰度和功能，我的工作会更容易。”这样实施会更容易接受和成功。

（6）另外注意区分对待公差和尺寸。模型几何体本身可以提供尺寸信息，但是不一定具备公差。公差的缺失显然容易导致歧义：幸运的话，车间可能按照约定俗成的常规公差加工和检测。即使这样，真正设计的公差要求也无从知晓。也许某些零件常规公差即可；但也可能更严格的公差要求因为没有标注而被忽视，导致废品。不幸的话，有些模型连常规公差都没有要求，让生产人员无所适从。当然还有一种可能性是设计人员专门在草图或特征当中定义了尺寸和公差。如果这样，还是不如把这些定义明确显示成标注，既避免了重新创建，又避免了多次手动查找。

注意关键标注并非要求完全定义整个模型，因为并非所有特征都是关键，反而可能重要细节只在少数。所以在适当的场合完全可以简化标注。关于简化程度，表 3 是美国军标 31000A 的划分和应用场合：完全定义、部分定义和最简定义。

表 3 美国军标 31000A 三维标注细化程度

定义程度	推荐应用场合	关键元素	图例
完全定义	外协件、交付客户模型	• 总体边界尺寸 • 标题栏（常规）公差 • 轮廓公差 • 材料和表面处理 • 标题栏信息 • 全部尺寸 • 完整技术要求 • 辅助视图	
部分定义	初始加工步骤，为其他工序做准备	• 总体边界尺寸 • 标题栏（常规）公差 • 轮廓公差 • 材料和表面处理 • 标题栏信息 • 特殊尺寸 • 关键技术要求	
最简定义	激光切割、增材制造（三维打印）、原型样品加工	• 总体边界尺寸 • 标题栏（常规）公差 • 整个模型的轮廓公差 • 材料和表面处理 • 标题栏信息	

（数据来源：Military Standard 31000 Revision A, Department of Defense，2013 年）

当然，明晰的关键标注在未来完全集成的自动化生产流程中可能不再如此重要，因为机器和软件可以直接利用模型隐含数据进行公差分析、工艺规划、加工、报价、检测和采购等步骤（详见下节），但是当今绝大多数企业还没有达到完全无缝数字化集成。只要有一个环节需要人工读取制造信息，那么明晰的标注就比隐藏的更安全和有效。

二、不要停留在图像层次的三维标注

上节主要从人员读图的角度解释了三维标注的重要性，

下面介绍比视觉图像更深的一个层次，即具备智能含义和关联性的标注。二者的区别可以由图 3 的示例说明：上图为图像层次的标注，供视觉读取。但实际上标注本身并不知晓 16 孔阵列：16 可能是手工写入的，甚至可能标注中所有数字、字母或几何公差只是由形似的图像曲线构成，而非真正的数字、字母或几何公差。内含的缺失导致无法被其他软件程序读取，所以称为“人工可读标注”；下图是具备智能含义的关联标注。不仅可以视觉读取，而且真正解析了孔阵列特征，所以能够自动高亮 16 个孔，而且可以被其他软件如计算机辅助制造和坐标测量机直接利用，所以又称为“机器可读标注”。

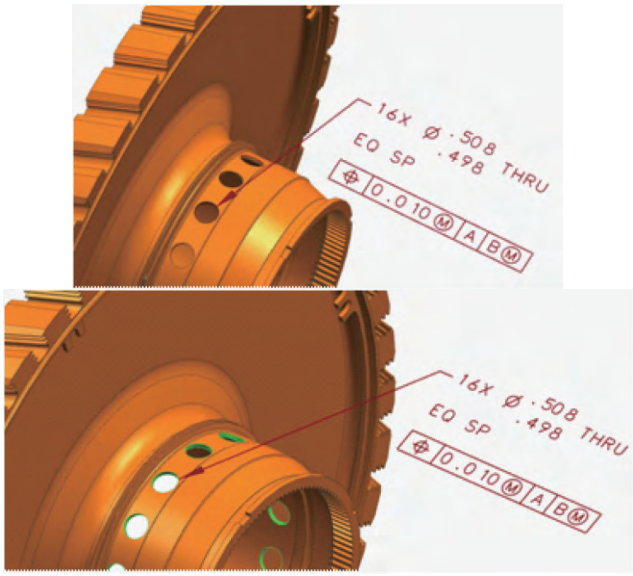


图 3 图像层次标注（上）与具备智能含义的关联标注（下）

（数据来源：Technical Data Package for the Digital Enterprise，Kong Ma，Rolls-Royce Corp，2014 年）

尽管图像层次标注可供视觉读取，但是具备很多局限性，比如缺乏与特征的关联、无法随特征更新、更重要的是无法被下游智能制造软件直接利用，这其实是一个值得警觉的信息流断档。因为三维模型定义的功效远不止于设计环节。实际上设计只是一个前奏，更加宏伟的乐章奏响于计算机辅助制造、检测、增材制造（3D 打印）、工艺乃至大数据分析等一系列应用。

◎ 数控机床程序可以读取三维表面处理标注及其关联特征，自动选择刀具，编排轨迹和步进速度。

◎ 三维坐标测量机可以根据模型和标注自动定义采样轨迹，而且比对实物采样点的坐标和模型理想坐标，自动判断产品是否满足标注公差要求，即合格与否。据有些厂商反映，仅采样轨迹编排一个步骤，智能关联标注可以极大的提高自动化程度，可以把原本 4 ～ 8 小时的手动编排任务降低到 5 ～ 15 分钟。

◎ 三维数字扫描检测的原理类似，只不过采样点扩大为整个实物扫描影像，与模型比对，根据公差自动判断是否合格，如图 4 所示。

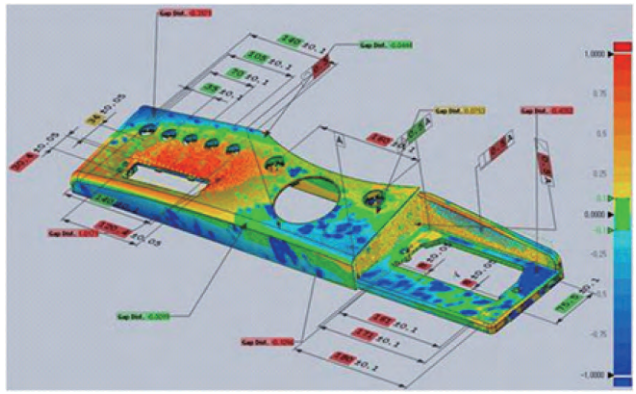


图 4 三维模型定义扫描检测

◎ 有了三维模型检测，增材制造（三维打印）的流程也更加水到渠成：直接从模型打印和检测，而无需二维工程图。例如通用电气测量和控制部门计划扩展三维打印，因而需要三维定义和检测来理顺流程。

◎ 再如计算机工艺计划可以根据三维标注要求自动安排工序，如车、铣、刨、磨和冷热处理等步骤。

◎ 最后，上述三维信息和应用，使大数据分析有了用武之地。例如 Rolls-Royce 分析大批量的三维检测数据，反馈给设计和制造部门，从而优化设计，提高成品率。一个常见的大数据案例就是挖掘合格率与公差要求、人员、机床、温度、时间等因素的相关性。

总结一下，关于标注，Rolls-Royce 的心得是：正确创建三维标注是实现真正的三维模型企业的关键。标注应该尽量保证“机器可读”（数据来源：Technical Data Package for the Digital Enterprise，Kong Ma，Rolls-Royce Corp，2014 年）。值得注意的是，2014 年底发布的 STEP 242 第一版不仅包含三维标注，而且特意要求超越图像层次，实现“机器可读”（数据来源：Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 242：Application protocol：Managed model-based 3D engineering，ISO

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

10303-242:2014）。另外 STEP 还适合长时间（跨度大于 70 年）文件的保存和提取（数据来源：STEP：STandard for the Exchange of Product model data，Allison Barnard Feeney and Thomas Hedberg，2014 年）。新的 STEP 格式无疑让上述智能制造应用如鱼得水。

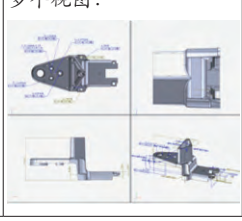
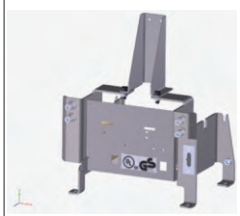
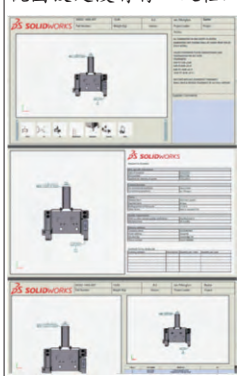
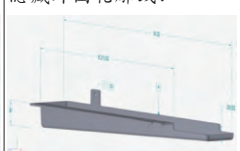
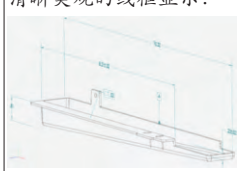
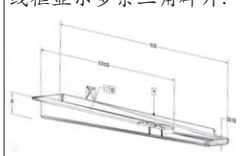
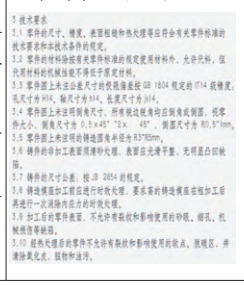
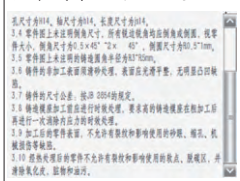
三、不要排除打印纸质文档

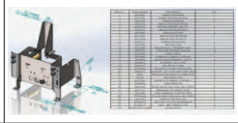
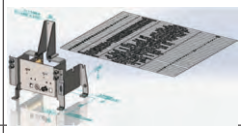
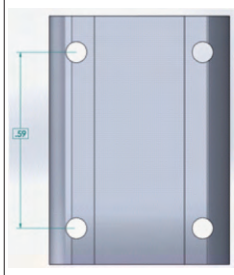
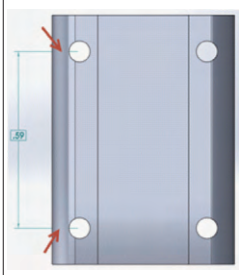
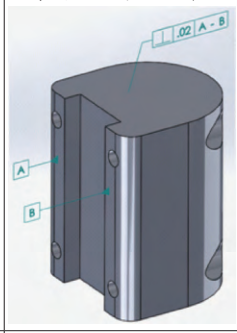
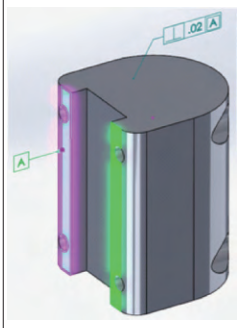
除了上述数字化应用，很多生产环境往往还需要纸质文档，比如在野外严寒环境中带着手套施工，在狭小的汽轮机内部装配，或在车间双手沾满润滑油操作机器，数字终端往往不适合使用。三维模型定义强调升级换代二维工程图，并不强求无纸化办公。事实上，美国 Hill 空军基地在 A10 攻击机机翼维护项目的标书中明确规定：零件报告要适于打印。电子三维 PDF 文档中的可视信息在打印文档中要一览无余，而且无需特殊修改（数据来源：DraftPerformance Work Statement (PWS)ForAutomatic 3D Part Report Generation and Associated Engineering Services(A3DPRG)，Hill Air Force Base，2014 年）。表 4 总结了三维模型定义打印的若干注意事项。

四、不要停留在初级三维 PDF

三维 PDF 只需要极为普及的 Adobe 阅读器就可以动态显示三维模型，受到广泛青睐。在过去的十多年里，这项技术突飞猛进，由最初的 U3D 格式，到 PRC 格

表 4 三维模型定义打印注意事项

注意事项	打印后易于读图	打印后不易读图
显示三维标注	显示三维标注：	无三维标注：
同时显示多个视图	多个视图：	只有一个视图：
同时显示多个页面和表格	多页面和表格支持：	只有一页视图：
视图的角度和设定要存入文档，保证打印的方便和一致	视图设定存入文档：	视图设定没有存入文档：
外围轮廓线要清晰显示	显示外围轮廓线：	隐藏外围轮廓线：
线框模式要清晰显示	清晰美观的线框显示：	线框显示多余三角碎片：
文字和表格（如技术要求和材料明细表）要完整显示，不要依赖数字文档的滚动条	技术要求显示完整：	技术要求显示不完整：

视图区文字和表格不应该随模型旋转	材料明细表保持与纸面平行：	材料明细表旋转后不易读图：
标注优先显示（尺寸、注释、尺寸线、界线、引线等）	尺寸界线优先显示：	部分尺寸界线被模型覆盖：
标注要明确，不要依赖数字高亮显示	清晰标注复合基准的每一个基准面。没有动态数字高亮也易于理解：	依赖动态数字高亮，不利于纸质文档理解：
格式美观	国标长仿宋字体，格式美观：	格式和字体混乱：

式，再到 2014 年底 PRC 格式被国际标准化组织（ISO）认证为 ISO 14739–2014 标准（数据来源：ISO 14739–1:2014，Document management——3D use of Product Representation Compact (PRC) format——Part 1：PRC 10001）。最新技术的数据准确性、丰富性和关联性都有了很大的进步，因而推荐我国企业在良莠不齐的三维 PDF 当中注意甄别。尤其是 U3D 格式已经停止了更新，其最后一次发布还是 2007 年，所以尽量避免大规模使用。图 5 和图 6 对比了两种三维 PDF 差别。

最根本的是数据的准确性。如上节验证文件质量所述，

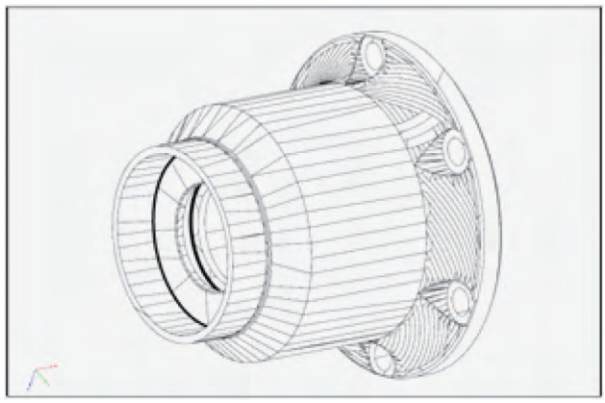


图 5　初级三维 PDF（单一碎片化模型视图）

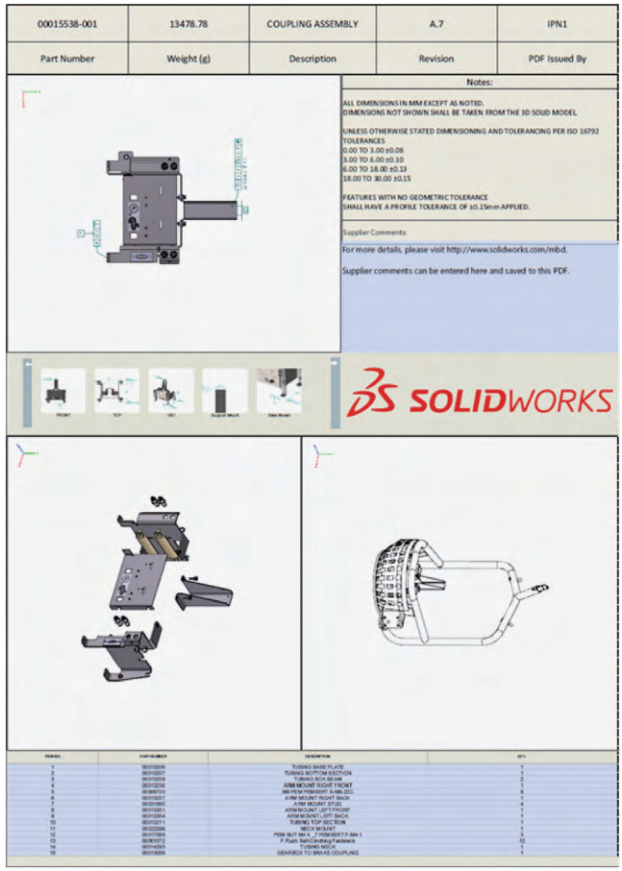


图 6 生产级别三维 PDF（数据准确丰富）

数据转换一定要注意保真度，否则后患无穷。ISO 14739–2014 标准的 PRC 格式三维 PDF 可以保证与 CAD 模型偏差小于 1 微米，满足绝大多数加工和检测要求。而其他形式的三维 PDF 保真度可能远达不到 1 微米。简单的视觉浏览或许差强人意，但是如果用于指导制造，就漏洞百出了。在保证准确性的基础上，PRC 的格式还尽量压缩数据，方便交

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

流传播。

其次是数据的丰富性。实际生产级别的三维 PDF 除了常见的一个三维视图，还应该严格遵循 CAD 模型当中的重要制造信息，如三维标注、技术要求、模型属性（零件号和版本等）、材质和材料明细表等。另外应该尽量匹配支持 CAD 模型当中的设计元素，如多配置、显示模式和订制视图等。更理想的是通过订制多视图、多页面、多表格的模板来管理输出形式，服务于不同类型的制造文档。

最后值得注意的是数据的关联性。如图 3 所示，具备智能含义的关联标注显然比图像层次更具优势，可以为下游智能制造铺路，应该是努力的目标。而且生产使用的三维 PDF 应该保持材料明细表与装配模型的双向关联性：选择一个零部件，相应的表格单元应该高亮显示；反向亦然。

五、结语

综上所述，三维模型定义的实施在产品设计和制造方面需要考虑大量细节，本文和上文解释了“四要和四不要”。至此，根据国内外几十家企业的反馈，从“人员，流程和产品”三方面总结的实施经验系列文章暂时告一段落。本系列的“十要和十不要”（表 5）只是蜻蜓点水，远非完整的实施手册。真正的实践涵盖的内容非常广泛，而且与企业自身习惯息息相关。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 5 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

《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