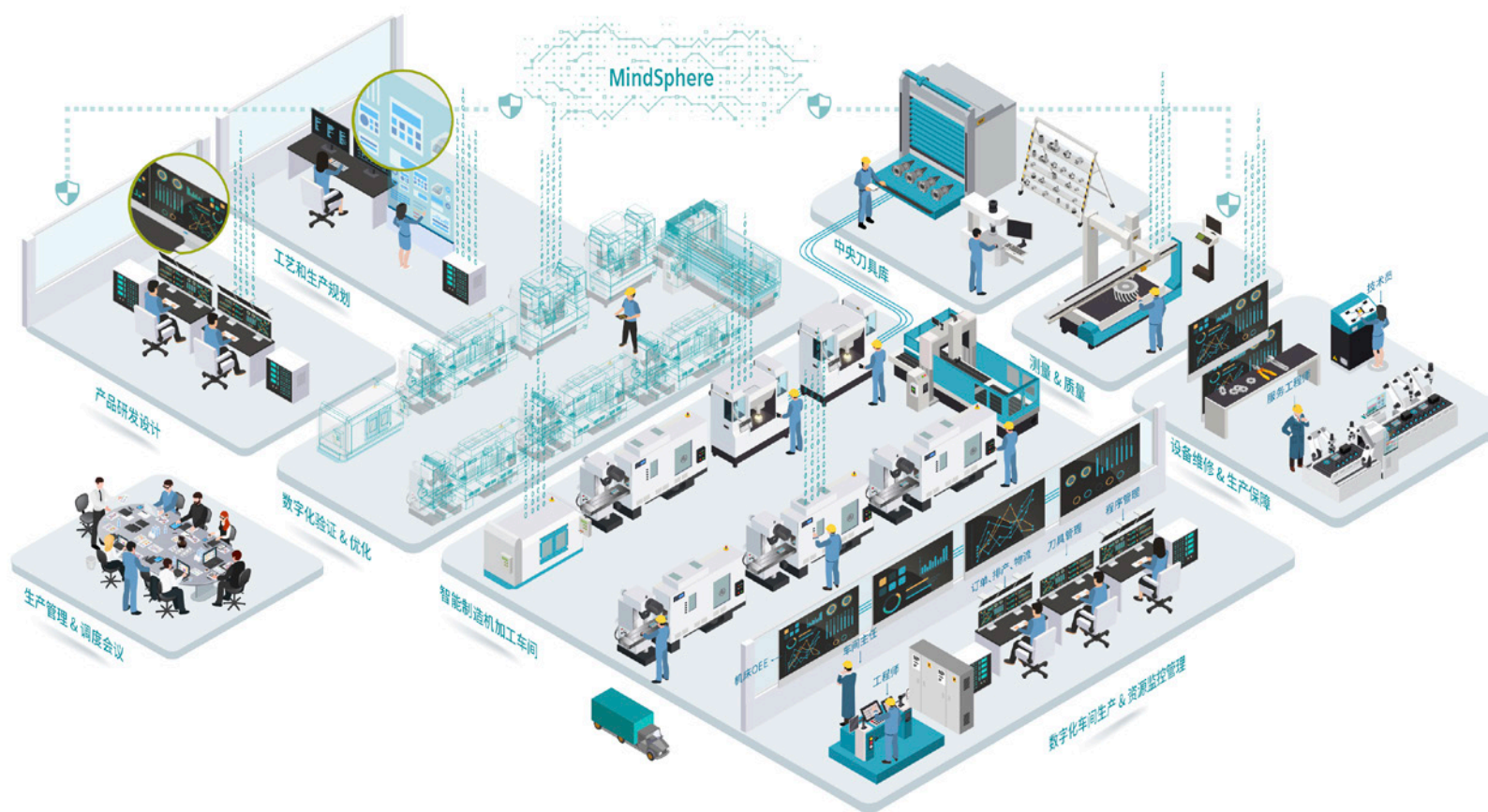




SIEMENS

机械加工 数字化技术白皮书



序言

机械加工是制造业的基石，举足轻重。中国作为世界制造中心，21 世纪是中国制造业的重要机遇期；由数量到质量，同样也面临诸多挑战。有序实现全面数字化、加速新产品上市、提高生产力，是赢得市场机遇的重要因素，这已经成为共识。

机械加工领域的数字化征途需始于足下。我们要从数控加工的内核“切削”抓起，而不仅仅是浮于热闹的表象和简单的数据展示。优秀的数控加工内核首先是熟悉各种加工工艺，运算能力强大、算法超前；其次是基础架构开放和科学，可以和机械加工领域生产、管理软件无缝集成，在虚拟世界中仿真加工任务，打造数字化双胞胎，实现虚拟仿真和现实加工的高度统一。

机械加工领域的数字化车间级框架要有全局眼光，不是布置单个软件工具就可以解决的。车间资源透明化、产品设计数字化、生产过程数字化、效能验证提升数字化，其中会涉及多个软件模块，产生大量数据。科学的框架、软件之间的集成和协作、统一的数据管理是机械加工数字化的必备基础。

本书系统地分析了机械加工领域的前景和挑战，解读了行业先行者的探索和实践，分享了我们对于机械加工领域全面数字化的经验和理解。

千里之行，始于足下。让我们共担责任，共同推动机械加工领域全面数字化，助力制造业的发展。

感谢参与编写本书的业内同仁们和同事们的辛苦努力。

西门子数字化工业集团

Wang Hui

目录

第一章：机械加工行业的挑战	4
1. 更短的新产品上市时间	4
2. “代工”模式下的高质量管理	4
3. 协同、统一、标准化的全球制造	5
4. 效率，以及更高效率	5
5. 提高机床研发效率，降低研发试错成本	7
第二章：先行者	8
1. 航空	8
2. 汽车	9
3. 能源	11
第三章：从研发到制造	14
1. 综合研发数字化平台	14
2. 从研发到制造：从计算机到机床的单一数据通道	17
3. 切削策略验证	19
4. 机加工质量管控解决方案介绍	21
5. 增材制造：直接连通研发与制造	26
第四章：车间管理——核心过程改进	29
1. 加工工艺管理	29
2. 刀具管理	31
3. 加工程序管理	33
4. 机床管理	34
5. 针对机加工的排产	35
6. 针对机加的现场执行管控	37
第五章：生产力工具，质量和工程	40
1. 深入挖掘，每一秒都很重要	40
2. 人工智能 / 边缘计算	41
3. 机器人全面提升加工效率与质量	42
第六章：未来之路——云技术的更多可能性	47
1. 机床云管理	47
2. 机床 OEE 云计算	48
3. 基于物联网的工业云平台挖掘企业数据潜在价值	49
4. 低代码开发云原生的 APP 激发员工最大创造力	50
第七章：数字化人才培养和生态圈建立	52
1. 人才需求的行业背景分析是定义行业人才能力培养方向的基石	52
2. 人才选育是行业人员招聘及人才梯队建设的痛点	52
3. 人才学习理念更新是行业传统技术技能人才转型的重点	53
4. 人才成长“社区”模式帮助行业搭建人才培养的易学生态圈	54

第一章：

机械加工行业的挑战

机械加工（金属切削）领域在智能制造大浪潮中，面临着衰退成为“夕阳产业”还是乘风破浪的战略挑战。各种所有制形成和核心产品以及行业周期可能各有不同，但是主要的挑战方向殊途同归。

1. 更短的新产品上市时间

市场的需求和挑战

快速灵活的市场响应、高效优质的交付，是每个装备制造企业如今所面临的市场竞争问题。传统装备制造企业难以克服人员能力不足、设备效率低下和生产安排不善等各方面问题，极大地制约了服务客户的效率。

国内某汽车行业客户面临的挑战是在不增加设备投资（间接不影响到厂房和工人）的前提下，一方面要满足销售旺季和销售淡季相差 >50% 的产能需求，同时要满足新车型上市节奏越来越快的要求。

提高研发、工艺、制造、质量等各环节的水平以及相互之间的协同将是主要的技术路线。



2. “代工”模式下的高质量管理

越来越多的企业追求“轻资产”运营，只把设计核心部件和总装留在企业内，而把大量零部件的制造分包给专业的“代工厂”。国有企业也将自己的业务中非核心业务以外包形式交给相关民营企业，实现更高的生产柔性和效率、更低库存以及低资产模式发展等。但如何对外包业务生产过程的进行有效监控，并将其纳入自己的品控、产能和效率系统，是当前企业面临的主要挑战。为保证正常生产所关注的要素，诸如订单、排产、工艺和质量等，需要更加专业和有效的需要更加专业和有效的系统保证制造生产中数据的采集、计算和分析。车间数字化管理软件提供了基于数控系统的局域网和云端的解决方案，助力代工业务的有效进行。

上市时间（Time to Market）：

是指产品从需求提出到商品正式销售所需要经历的时间，在竞争激烈的商业环境中，上市时间的长短，决定着产品能够发挥多大的价值。

“代工”模式：

委托方将自己产品中的部分或者全部零件交给代工方生产，代工方按照要求的技术指标，供货周期交付给委托方。“代工”模式极大的提高产业链效率，优化产能分配，让企业各自做最擅长的部分，高度细分产业。

在快速消费品市场中，以手机为例，如何在冗长的供应链中确保工艺方案和质量体系无差别的保证，长期以来成为制约国内制造商快速成长的主要瓶颈。

在高端制造领域，以航空为例，在航空制造业的全球供应链当中，主机厂甚至要求零部件制造商提供制造过程中的所有过程数据（切削速度，温度）等数据归档文件来确保所有质量都可追溯。



3. 协同、统一、标准化的全球制造

当前，制造业愈来愈紧密的集合在一起。如何在世界各地工厂实现统一平台制造的质量和标准，成为企业全球化成功的关键要素之一。这也要求企业可以通过互联网、局域网和云等方式，有效地进入到当地生产现场，实时、高效和安全的采集生产加工机床现场生产相关数据，并整合到在企业级管理系统，诸如企业资源计划、智能制造和产品生命周期等管理系统中，车间数字化管理软件给企业提供了整套的数字化解决方案，助力企业全球化。

国内某著名汽车零部件生产企业在急速扩张和全球化过程中，面临平台、协同、标准化和全球服务的问题。帮助客户建立企业全球网络平台，优化内部资源，实现企业全球工厂统一标准和及时的全球服务在市场竞争中占据优势地位。



4. 效率，以及更高效率

生产效率的持续改进是提高竞争力和赢利水平的关键所在。基于专家经验和规章制度的生产效力提升和工艺优化已经全面实施，很难取得更大的进步。

同时，不断增加的人力成本和运营成本进一步削弱企业的赢利能力。因此，深入挖掘生产力潜力，企业家们通常为了百分之一的提升而绞尽脑汁。当企

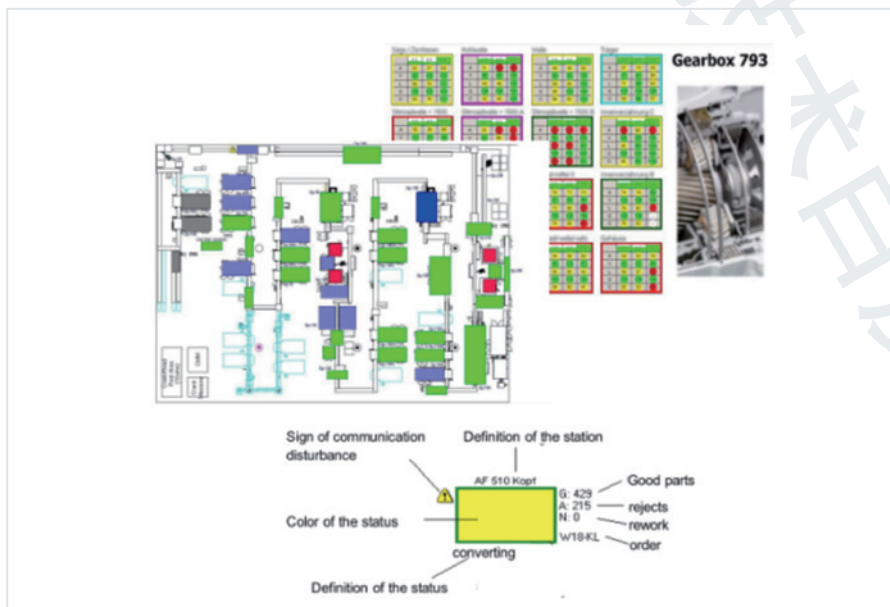
平台制造：

由一系列标准化的设备，工装，检验标准以及操作规范组成的标准体系，广泛应用于制造行业在全球部署生产基地的同时，确保全球一致的效率，质量和成本。目前国内的制造业大集团也在各个制造基地推广这一技术框架。

业从数字化的视角，重新审视技术和运营的现状后，将用降维打击的方式得到巨大的成效。



某国内知名减速机加工厂，在进行数字化改造之前，手工报表显示机床利用率为 80% 左右。改造完成后，通过机床 OEE 工具性能分析，实际利用率只有 57%。在数据透明化的基础上，各种“看不见”的潜力和空间被发掘出来，并采取措施加以改善。数字化技术减少了人工干预，流程变得更快速，更透明，减少浪费和空等待。车间完成虚拟加工，刀具管理，机床状态分析等数字化赋能后，加工产能提升 35%，这是任何传统技改都无法实现的进步，OEE 提升到 77%。



OEE: 设备综合效率

OEE: Overall Equipment Efficiency 即设备综合效率，由三个关键要素组成。

OEE: 可用率x性能指数x质量指数 数字化的时代，以设备数据透明度为基础，为提高生产设备效率提供依据。



“通过选择浏览比对历史 OEE 图形化信息，了解产线瓶颈，并能够得到产线优化后的结果”。

5. 提高机床研发效率，降低研发试错成本

高端机床一般都有着机床功能复杂，轴数多，需要多轴联动功能，精度高，加工零件复杂等特点，这就意味着机床设计和制造周期长，成本高。很多国内的机床制造业对研发高端机床望而却步，导致逆向研发盛行，正向研发无人问津。面对随之而来的“多品种、小批量、高复杂”的制造特征与“高质量、短周期、低成本”的矛盾，谁能够降缩短新型机床研发周期，降低机床研发的试错成本，无疑这将在市场竞争中获得优势。

机床设计过程包括机械，电气，液压，通讯等很多种独立的学科和部门。传统的机床设计是由各部门分工合作设计出相关的部件，制造出实物原型之后再行调试验证。因此当销售团队，结构设计团队，电子电气设计团队和自动化设计团队试图在一起工作时，他们面临着大量的挑战。最主要体现在：

- 传统的验证需要一个完整的实物原型；然而这是昂贵的并且常常只有在项目的后期的阶段才能实施。根据机床结构和功能的复杂程度，提前验证机床的设计方案非常困难，结果导致设计方案的批准与否，更多基于经验而非数学模型的验证。
- 相互协作，各部门独立进行设计，通过文档和项目协调会的方式进行，导致效率低下。
- 市场竞争要求更短的研发时间，机床交付时间短，传统的全物理样机的研发不够满足快速交付的要求。

现在越来越多的机床厂家，随着 VR、计算机网络、大数据等前沿技术的不断成熟，采用面向产品全生命周期的数字化设计系统，可在数字化双胞胎的 CPS 系统中实现产品的全数字化设计。花费较高的物理性能试验被高性能仿真取代，不但可以缩短研发周期，同时也有效降低了成本。

构建机床的数字化双胞胎，搭建一个虚拟调试环境。机械设计，电气设计和自动化工程可以并行进行，通过虚拟调试缩短从设计到物理实现的时间，提前测试机床运动部件干涉，验证数控系统和自动化编程等问题，这样可以使现场的调试速度更快，风险更低。

现在在国内机械制造领域的数字化双胞胎解决方案主要有几种：一种是侧重于产品设计阶段，通过 CAD 和 CAE 软件的集成，从产品的设计阶段过渡到制造以及后续阶段。还有就是通过三维的体验平台把 CAD/CAM 的模型数据进行数字化仿真。这两种的解决方案基本上只解决了从模型到实际加工的理论上的仿真。

CPS:

信息物理系统的简称
指信息物理系统

信息物理系统 (CPS, Cyber-Physical Systems) 是一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统,通过 3C (Computation、Communication、Control) 技术的有机融合与深度协作,实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。CPS 实现计算、通信与物理系统的一体化设计,可使系统更加可靠、高效、实时协同,具有重要而广泛的应用前景。

数字化双胞胎:

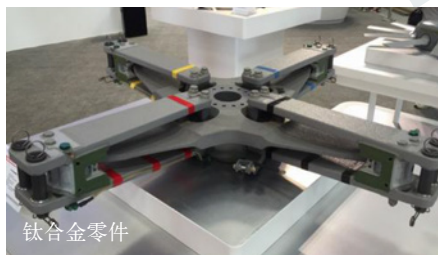
也叫数字孪生 (Digital Twin), 是指以数字化方式拷贝一个物理对象,模拟对象在现实环境中的行为,对产品、制造过程乃至整个工厂进行虚拟仿真,从而提高制造企业产品研发、制造的生产效率。

第二章： 先行者

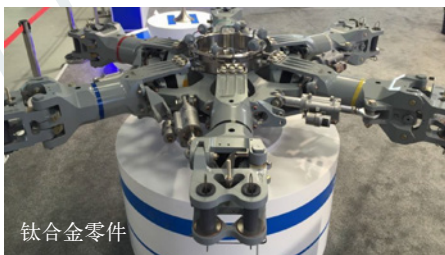
1. 航空

在以机加工为主的智能制造转型过程中，诸多领军企业通过创新和实践，不仅为其自身创造收益和价值，同时也为业界树立了数字转型的完美样本。

在有“大国重器”之称的航空行业，航空工业某航空厂的旋翼总厂，数字化企业套件中的自适应控制与监测系统在直升机旋翼系统制造智能车间生产设备中的大量实施，使该厂成为航空行业的数字化先行者。



钛合金零件



钛合金零件

该厂是我国直升机科研生产基地和航空工业骨干企业，产品涵盖多型号直升机。直升机的主旋翼由桨毂和数片桨叶构成，为满足长寿命以及结构轻量化等方面的性能要求，钛合金材料在现代直升机主尾桨毂部件的设计中被大量采用。但由于钛合金材料本身弹性模量低、弹性变形大、切削温度高、导热系数低、且高温时化学活性高，使得切削过程中粘刀现象严重，容易加剧刀具磨损或者甚至崩刃、碎刃，导致切削进给速度低，进给量低，切削加工效率低等问题。再者，为了保证零件的结构刚性及寿命要求，兼顾飞行器的减重需求，桨毂零件轮廓尺寸复杂，多深腔，深孔及薄壁叉耳结构，且尺寸及位置精度均达到了 H7 级精度甚至更高，这就使得该类零件加工难度大幅增加。

前期，该厂工艺人员对钛合金加工效率低的问题已经开展了大量的优化工作，也取得了很大的成效，但是在加工参数的优化方面，由于零件加工材料特性和刀具本身性能的限制，一直收效不大。其原因主要有以下两点：

第一、工艺人员在编写程序时，不仅需要考虑切削速率，还需要考虑切削量，刀具寿命，机床的稳定性，零件表面加工质量以及精度尺寸控制等因素。因此，很多情况下，不得不牺牲切削速率或者切削量，因而无法将切削效率进一步的提高。

第二、操作工人在零件加工过程中，不仅需要按照程序进行零件加工，还需要经常停下机床来检查零件加工质量，刀具磨损情况等，严重影响工件的加工效率。

总结来说就是在数控加工过程中，工艺人员在编制数控加工程序时，由于编程软件无法根据实际加工工况及刀具负载情况实时调整加工参数，因此一般

作者简介



张楠

北京航空航天大学机械工程及自动化学院航空宇航制造工程专业，硕士，正高级工程师；

西门子（中国）有限公司数字化工业集团技术专家，2005 年加入西门子公司从事数控机床改造相关工作，2011 年至今从事西门子航空航天行业技术支持工作。

自适应控制与监控系统：

自适应控制，让机床有了自我感知能力，根据当前的切削条件，自动调整机床进给速度，充分释放机床全部潜能，提高生产效率；通过对刀具负载和磨损监控，及时发现刀具破损或者过载，提高产线生产稳定性，减少停机时间！

采用恒进给方式，为了保证加工质量和加工稳定性，进给量一般偏于保守，这就导致零件加工效率偏低。另外，由于桨毂零件结构复杂，即使在恒进给切削的情况下，在加工零件不同部位时，刀具的切削宽度也可能有较大差别，这就使得加工过程中刀具受力不一致，特别是在加工难加工材料时，由于切削量的突变导致切削力突变，致使刀具磨损加剧，甚至发生刀具崩裂现象，严重影响零件加工效率和加工质量。此外，这种切削力的不停变化也会对设备主轴发生冲击，长期的冲击会使设备精度变差，甚至主轴报废。

针对上述钛合金零件加工效率、设备潜能未能充分发挥的问题，该厂采用了数字化企业套件中的自适应控制和监测系统。

自适应控制和监测系统介入加工过程后，其独有的智能专家系统在伺服驱动端会持续监测主轴的实际负载，针对指定的刀具及零件材料，计算出最合理的进给速度，并实时做出调整。在负载小的工况下，自动增大进给速度；遇到负载大的工况时，则自动减小进给速度。改变了以往“恒进给、变功率”的传统加工方式，科学的利用“恒功率、变进给”切削，使加工进给不再受限于程序设定，整个加工过程在保障机床和主轴稳定的同时提升加工效率。自适应控制技术可以确保关键的加工参数不会超出合理的范围。系统内置的专家系统随时会对即将发生的危险做出报警，必要时停止机床的切削动作。

通过在 3 台典型机床进行桨毂部件钛合金加工的测试，可以看到通过自适应控制和监测系统的功能已经实现零件加工过程自适应调节及补偿，系统可根据加工过程中的设备负载，刀具振动等情况自动调节加工参数，使得设备潜能得到充分发挥，达到提高零件粗加工效率 20% 以上、精加工效率 10% 以上的目标。并实现了自适应系统机床主轴保护、刀具磨损监测、主轴驱动保护等多项功能。与此同时，在测试验证过程中，通过建立刀具磨损监测机制，采集加工过程参数，并及时反馈至工艺程序当中，指导工艺人员完善工艺文件，持续优化零件加工方案，提高产品加工质量稳定性和加工效率。

2. 汽车

在 2020 年新冠肺炎疫情疫情影响下，世界汽车工业下行压力加大，全球汽车零部件产业也受到严重的影响。不仅如此，在全球汽车产业向着电动化、智能化、网联化、共享化的方向迈进的同时，新车型研发需求的变化，也将迫使全球汽车零部件产业面临巨大变革。

逆势之下，数字化离每个人更近，数字化转型加快

某汽车零部件企业是全球领先的汽车铝轮毂生产商。

作为数字化的先行者，早在 2010 年开始，企业就开始进行数字化的尝试，到目前为止，企业已经采用了以产品生命周期管理软件（PLM）、制造执行系统（MES）和全集成自动化（TIA）为核心的一整套数字化企业解决方案。

1) 监控并避免任何一个环节的缺失或瓶颈，保证安全优质的生产供给

与很多传统制造业企业一样，其也经历过企业生产资源利用效率较低的粗放式生产方式，在企业成立的初期，无论是在产品的生产过程，还是产品的营销过程都牵涉到大量的人力配备，并且缺乏生产的核心技术。随着企业业务

自适应控制和监测系统在高端数控系统中一般采用内嵌式解决方案，其主要特点如下：

1. 无需外部传感器及其他硬件；
2. 将自适应控制的软件算法安装到了数控系统内核里；
3. 通过加工程序的指令来触发自适应控制和监测的启动以及停止（无人工干预）；
4. 通过软件内部实时获取数字量主轴的功率和负载，根据主轴的功率和负载对加工进给速率进行调整；
5. 确保主轴的加工负载不会超出合理的范围，内置的专家系统随时会对即将发生的危险做出报警，必要时停止机床的动作。

“恒进给，变功率”：

是指无论加工过程中主轴负载是大还是小，进给率都是固定不变的。

“恒功率，变进给”：

是指根据主轴负载来调整进给率从而保证加工过程中主轴恒功率切削。

的进一步扩大，人员成本、产线效率提升以及产品质量成为企业发展的瓶颈，如何在单位成本里进一步挖掘效率，以及减少人对生产环节的影响，成为企业管理层急需考虑并面对的问题。以其在秦皇岛总部和浙江宁波分厂当年新建的工厂为例，经过数字化和自动化技术的融入，新的产线已经实现 1 人管理 12 个机床，生产过程中繁琐的纸质文档已经实现电子化，所有的生产数据检索更加便捷并且可追溯，与传统生产线相比，应对不同的轮毂类型，换型调整的工作时间缩短了 90%，工程整体效率提高 30%，不良产品率降低 30%，通过数字化方案的介入，不仅逐步降低产线对人的依赖，也将产线的柔性发挥到了极致。

另外一个工厂管理者通常会遇到的问题：如何高效地找到产线的瓶颈，并优化生产设备的利用率和使用率？经过不断的尝试，并通过数字化的手段，使整个生产的过程更加透明。以其在成都转向节工厂其中一个产线为例，整个产线由 12 台多主轴加工中心，2 台车铣复合和 2 台多工位加工中心组成，通过数字化软件对生产设备的 OEE 进行监控，生产经理对收集到的设备数据进行比对发现 3 号设备换班停机时间会间接影响到 6 号设备停机时间，在及时调整产线的工位布局后，整个产线 OEE 指标提高 2%。企业的成功经验是，如果不借助数字化的软件进行监控、数据收集和比对，则很难获得关键数据并第一时间计算出产线优化后的结果。因此，数字化的另一个好处是，借助计算机的计算能力加上逻辑算法，将过去需要通过经验做出判断的事情在短时间内获得更加优化的结果。

2) 锱铢必较，进一步提升加工设备效率

针对单机效率的进一步提升和挖掘，在零硬件成本零增加的情况下，企业通过数字化软件，持续监控主轴的实际负载，针对指定的刀具及零件材料，计算出合理的进给速度，并实时作出调整。在主轴负载小的工况下，增大加工进给速度，负载大的工况下，减小加工进给速度。同时，设定关键参数，保证调整的数值不会超过合理范围，对即将发生的危险动作进行预判，必要时停止机床，保护工件和刀具。

在多台设备上进行了实际切削测试：同等条件下，安装软件后加工时间缩短 10.74%。

3) “数字化双胞胎”帮助企业应对快速且频繁的产品迭代

在产品研发和工艺验证阶段，为了解决上市时间，产品成本，加工工艺，产品质量等多维关联的复杂问题，企业也进行了前瞻性的探索和实践。数字化双胞胎“Digital twin”概念是 2002 年由密歇根大学首次提出，18 年后的今天，数字化双胞胎已成为工业的未来。其理论简而言之，就是通过数据在现实的物理世界和计算机的虚拟世界之间的双向流动和闭环反馈，结合优化的算法，使产品的研发和优化迭代更敏捷高效准确。以汽车铝轮毂的研发为例，汽车轻量化技术是目前汽车生产的最重要课题之一，但轻量化的实现不是单纯的依靠减轻重量，而是功能改进、减重、结构优化与良好的成本控制的多方面结合，数字化双胞胎可以为测试环节节约大量成本和时间。在以往的研发过程中往往会花巨资验证各个不同的实体样本性能，企业需要花费大量成本和时间建造足够的实验样品以应对实验过程中的损坏和迭代。而利用数字化双

作者简介



张昆生

17 年机床行业工作经历，精益六西格玛绿带。西门子战略客户及汽车零部件行业 业务拓展高级经理，曾任职联合磨削中国 (United Grinding) 研发部经理。专注为汽车零部件企业提供数字化工厂规划、运营及机床生产效率提升等解决方案。

胞胎技术，企业在虚拟世界里高速低成本地进行无数次试验，这意味着企业可以通过这种技术提升产品的上市速度、降低测试成本。不仅如此，制造工艺也决定了新产品的加工成本，通过数字化双胞胎技术，并连接物理数控控制单元，在电脑端的设计软件上进行 1:1 的加工工艺模拟（包含设备 PLC 动作模拟）。这就意味着，在产品的设计完成阶段，工程师就可以立刻通过软件模拟进行工艺及工时研究，并进行可靠的成本分析，这让同步设计、同步测试、同步量产变为可能。

3. 能源

在传统发电设备制造领域，盈利能力，安全性以及环境兼容性已经日益受到人们的重视。而随着多种发电方式的快速发展以及对电力需求的持续提升，对自动化技术的适应性和性能提出了更高的要求，需要确保帮助客户实现更高的产能、能源效率、产品寿命以及产品质量。全集成自动化技术以及 CAD-CAM-CNC 技术在发电设备制造行业的广泛应用，使制造本身从虚拟世界到现实世界实现无缝连接。这种双向的数据流动在工业自动化领域揭开了全新的篇章，使用户能够完全规划生产布局，同时可以使整个产品生命周期实现更大的透明化。而全球化生产的产业布局、对产能的要求和产品推向市场以及产品迭代速度的要求，又对整个行业的数字化应用起到了助推的作用。数字化制造相关的产品和技术日益完备，市场应用也在快速铺开，一个全新的数字化制造时代已经迎面而来了。

清晰地透视生产过程，掌握设备的状态，从而合理组织安排生产，不断提升生产效率，是机械制造行业客户永恒的追求。因此设备状态数据的重要性得到越来越多客户的认可，通过机床设备数据采集和分析，挖掘设备潜力，成为机加工生产数字化改造的重要和基础的工作。国内某发电设备制造客户通过机床数据采集与分析，达到了下列预定目标：

1. 监控和分析机床状态；2. 通过数据采集和分析了解机床潜能；3. 快速查询最新的生产历史数据；4. 机床故障统计和分析；5. 分析并提升机床 OEE。

同时，对于单个机床也使用了提升加工效率的数字化软件，使得机床切削效率得到了显著提升。

当前的数控机床加工时进给速度是在程序中给定的，可是实际切削过程中，条件会发生变化，而设备却无法对持续变化的加工条件作出调整，因为切削条件的变化无法预测：比如切削量变化，刀具磨损情况，零件材质，环境温度，设备稳定性等因素都有可能变化。通过对主轴负载进行实时监控，根据某类零件在某种机床上进行加工的状态进行优化设置，自动调节进给速度，使加工状态和机床及刀具状态更佳匹配，从而有效提升切削效率，同时对刀具和机床提供了保护。



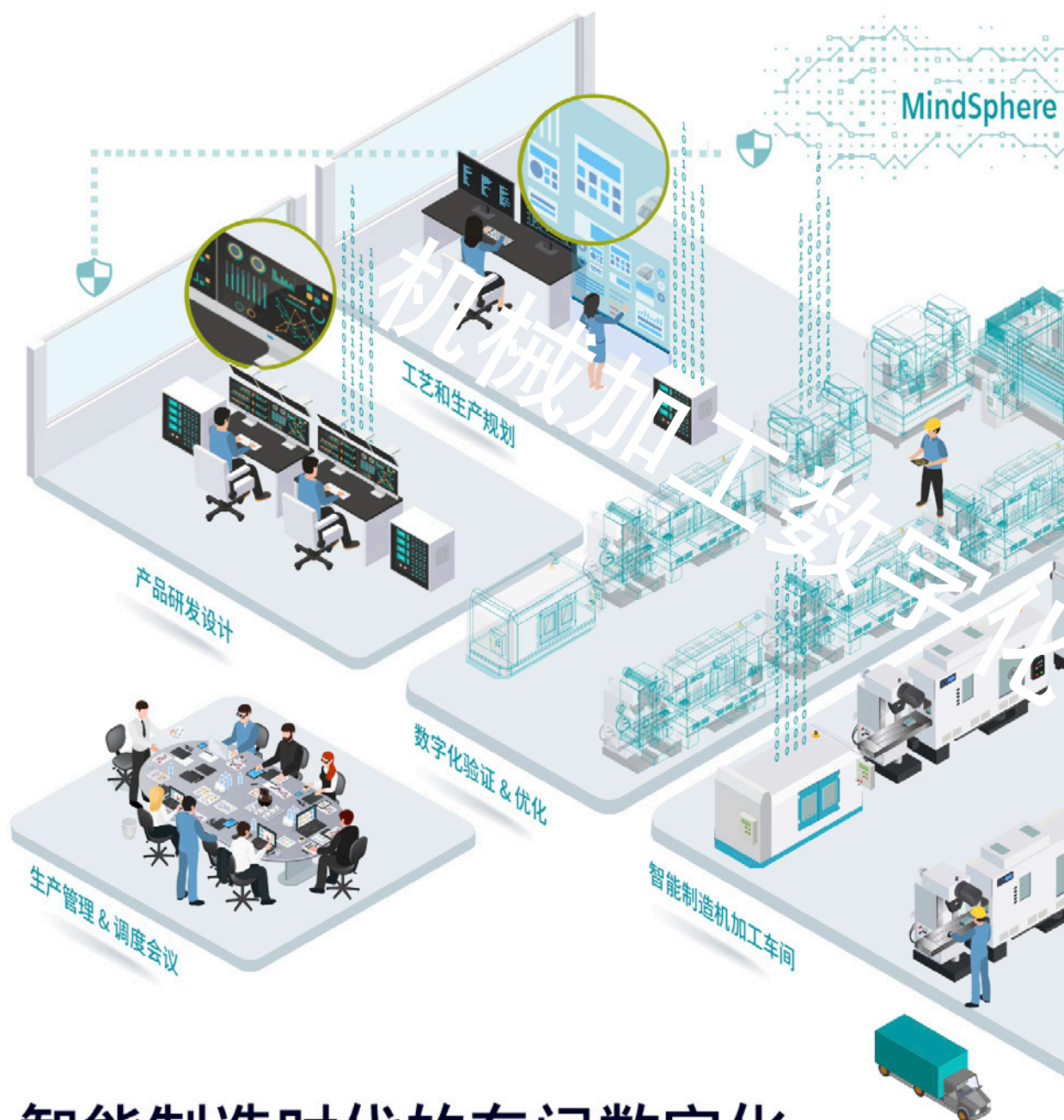
作者简介



边疆

北京航空航天大学制造工程系机械制造电子控制与检测专业毕业。先后在沈阳飞机工业集团和米其林沈阳轮胎有限公司从事技术工作。

2002 年加入西门子工程公司从事数控相关产品和工程销售工作，2010 年至今在西门子数字化工业集团专注于发电设备制造市场研究工作，与国内相关领域客户保持着密切联系。



智能制造时代的车间数字化

重构自动化和数字化全面融合的知识结构，打造制造业车间数字化生产体系

从宏观角度来看，智能制造时代各行业的完整机械加工车间数字化元素，应该是紧密围绕生产制造为主，涵盖产品设计研发及工艺和生产规划内容。同时，生产数据和产品数据能够通过统一的数据平台及时反馈给设计和管理部门，形成完整的制造全生命周期过程。生产制造是企业生产的核心，闭环控制是生产部门通过数字化手段来高效精准保证生产质量的关键。

在实际加工前，凭借基于数字化双胞胎构建的虚拟机床，进行与真实机床近乎 100% 仿真加工，提前验证加工程序，发现并规避机械干涉和碰撞，精确预知生产节拍，提供生产安全保障，缩短工艺试制时间；同时，使用智能刀路与工件切削技术分析加工程序，在早期优化程序与切削工艺，深度挖掘加工潜能，充分提高工件加工表面质量；同时依托数字化、网络化车间资源管理软件提升车间



当前，边缘计算和工业云等新技术的出现和应用也为车间数字化提高了强有力的技术保障，帮助企业实现数字化转型，开启数字化、智能化工厂的智慧之门。

第三章：

从研发到制造

1. 综合研发数字化平台

深处数字化时代的制造企业，唯有采用数字化技术全方位武装企业，形成自己数字化与业务深度融合的核心竞争力与铠甲，才能继续基业长青，否则将快速沉沦、或被跨界打击、或被降维打击。纵观国际国内众多领先的制造企业，在持续多年的数字化建设历程中：单纯的信息数字化（Digitization：从模拟形态到数字形态的转换过程）已经成为过去式，大多数企业已经完成了流程的数字化（Digitalization：运用数字技术改造业务流程、产生新的收益和价值创造机会）；部分先知企业正在开展如火如荼的数字化转型（Digital transformation：开发数字化技术及支持能力以新建一个富有活力的数字化商业模式），在产品本身的数字化、网络化、智能化转型过程中，同步实现产品研制及管理过程数字化、网络化、智能化，最终建立基于数据驱动的全新业务/商业模式。企业数字化的武装铠甲必须是结合自身产品研发业务的数字化，综合研发数字化平台是关键，也是支撑制造企业数字化转型的基础平台，已成为制造企业面向工业 4.0 未来的必杀技。如下图。



所谓综合研发数字化平台，是采用最新的数字化技术支撑制造企业产品研发生命周期中的全面业务过程（包含业务管理过程和工程技术过程）的综合平台性系统。其从广度上强调的大研发的概念：以系统工程思维和全生命周期视角，从早期的需求工程和架构定义，到具体的产品设计工程、制造工程、试验工程，直到服务工程的全过程，形成需求－设计－制造－服务的闭环大研发；从深度上强调工程业务过程的深入数字化：为产品机电软等维度定义全面统一的数字模型，基于数字模型进行早期的仿真验证与优化，开展精益的工艺、工厂的规划设计与仿真优化，开展虚实结合的数字化试验，基于数字样机开展服务工程分析和交互式技术出版物的制作，甚至结合物联网构建数字化双胞胎应用平台支撑产品运维。在综合研发数字化平台的支撑下，制造企业产品研发的主要关键过程已经全面变革：

作者简介



邹明政

毕业于西北工业大学，机械工程及其自动化专业博士。

十多年来一直从事航空国防行业的企业信息化工作；期间主要为国内（包括军用和商用）飞机主机厂所、发动机主机厂所以及机电航电企业提供 PLM 与数字化工厂方面的专业服务。

在西门子数字化工业软件公司，任职制造工程技术总监，成功交付过多个大型 PLM 项目。作为航空国防行业售前技术总监，主要为航空国防行业战略大客户的 PLM 与数字化工厂信息化规划、技术指导、协调与管理等相关服务。

- 基于系统工程驱动的产品研发管理：强调 V 型产品研制模型的应用。管理的业务范围贯穿结构化需求（性能指标）、产品设计、仿真验证、制造工程、维护维修工程等方面管理。并在开发过程中不断建立与维护数据之间的关联追溯关系，保证产品性能对于客户需求的满足。与此同时构建企业核心研发数据知识库，不断提升产品正向创新研发能力。
- 整机及系统级建模与仿真：通过多领域动态系统行为分析与控制验证技术，将先进的多学科系统分析能力与内建式专业知识，融合在一个包含集成模型和多域受控系统分析的仿真平台中。工程师可从概念设计阶段开始的整个设计周期内驱动虚拟的智能产品设计的整机及系统级验证，支撑企业的设计早期准确及时响应客户持续增长的性能需求与变更。
- 机电软集成化协同设计：实现产品设计多学科、多团队、异地的协同研制管理，包括机、电、软、光、化的多学科联合设计、联合仿真；包括跨小组级、部门级、工厂级、集团级的团队协同流程与机制；也包括异地的集团直管、联邦合作、集中管理等多种管控模式。可以实现设计、工艺、制造、检测、维护等数据的高度集成管理，消除了传统研发模式中不同专业数据之间的信息鸿沟，减少了创建、存储和追踪的数据量，保证了产品制造信息的正确、快速传递，从而有效地缩短了产品研制周期，减少了重复工作，提高了产品质量和生产效率。
- 基于 MBD 模块化设计：通过产品系列化、模块化的设计，实现产品平台化研发。在进行实际产品开发时，从产品模块库中快速选取标准模块或者在标准模块基础上进行改型设计，从而实现快速的产品设计。构建产品标准模块知识库，积累企业智力资产，加速产品开发效率，降低研发成本，提升产品研发质量，形成产品研发能力不断积累与提升的良性循环。
- 多专业多物理场仿真及协同管理：让专业设计工程师和专业分析工程师能够在一个平台上协作，包含功能性能的所有方面，并连接到设计、系统仿真、多专业设计仿真、多学科联合仿真和多学科优化、测试验证等业务，通过完整的仿真工具和仿真管理平台，将为仿真效率带来突破性改进，从而有效解决了复杂产品的工程设计。
- 工厂规划与仿真：在三维虚拟环境中进行工厂布局的规划以及工厂内部所有制造资源的建模。工厂模型中包括工厂 / 产品三维模型、空间布局、产能参数、性能参数、人体模型等；在构建完成的工厂三维制造虚拟环境中，可以进行“工厂产能预估”，“工厂物流规划”，“工艺可行性分析”，“工艺方案优化”等一系列的仿真分析工作。在虚拟制造环境中进行一系列的仿真分析工作，从而保证“新工厂建设方案”或者“老工厂优化方案”的可行性，从而降低“工厂新建 / 改造方案”的风险。
- 工艺规划与仿真：基于三维产品模型和三维虚拟工厂制造环境，进行各类工艺规划与仿真分析。对于装配工艺，开展三维结构化工艺规划、工艺过程仿真、工时与线平衡分析、物流规划与分析、装配及人机验证分析，实现产品结构及零组件的干涉检查，空间布局的协调性分析，检查零件的安

V 型产品研制模型：

是指 产品研发过程遵照系统工程方法论的验证与确认的过程

MBD：

Model Based Definition

基于模型的定义

装和拆卸情况，人机交互情况以及与装配工艺有关的尺寸与公差分配情况等。对于零件工艺，管理零件工艺的工艺过程、工艺参数、中间工序模型、工装以及加工设备；构建数字化三维加工虚拟环境，在虚拟环境中进行离线编程以及自动生成作业指导书；并可以进行加工过程的仿真分析，工时的评估。对于电装工艺，开展完整的电装工艺规划解决方案，包括导入 ECAD 数据与 BOM，拼版加工规划，设备程序 / 参数自动生成，上料表生成，手插件作业指导书编制，测试与维修工艺规划，外壳装配工艺规划，工时与产能评估；电装全过程工艺仿真。工艺规划所生成的数据可以作为基础数据传递给下游的“制造运营管理系统”。

- 闭环质量规划：将产品设计中的质量要求，工艺中的质量检测要求与实际制造时的质量检测数据相结合，形成企业质量管理的闭环。同时采用先进的三维容差仿真分析技术、高精度坐标测量机等检测手段、生产过程中尺寸测量规划与验证技术，基于包含产品制造信息的 MBD 模型为单一信息源和连续载体，实现企业内基于模型的全生命周期质量管理。实现从产品质量规划到制造质量数据反馈的闭环管理，打通上下游的质量数据，不断提升企业产品的质量规划能力，降低产品质量控制成本，提升产品总体质量水平。
- 虚实结合的试验验证闭环：创建虚拟控制器模型、虚拟试验台模型以及虚拟试验件模型，并依托平台级集成和联合仿真解决方案，实现虚拟控制器、虚拟试验台以及虚拟试验件模型的多学科集成和联合仿真，进而实现虚拟试验过程。通过连续不断地对系统与组件模型进行测试与验证并将之与实际测量数据比较以获得边界条件与参数定义，使仿真边界定义与参数设定更加准确，从而满足开发过程中高仿真精度的要求。
- 高效的服务工程与服务知识管理：实现产品实物配置状态和健康状态的全面可见性，使维护保障团队实现维护维修过程的数字化转型，更加有效地规划、执行、跟踪和管理维护活动，实现产品服务过程的规范化和服务知识的积累，并向产品设计的优化建议反馈。增强企业产品维护维修的数据管理能力，提高综合保障质量，更加确保产品的可用性和可靠性。
- 与供应商的高效协同：实现供应商信息管理、供应商评价及选择、合同管理、交付物管理、质量管理、协同管理等方面的数据和流程协同。
- 全生命周期 BOM 管理与构型状态管理：建立基于 BOM 的全生命周期的构型状态管理能力；通过需求 BOM - 逻辑 BOM - 设计 BOM - 工艺 BOM - 制造 BOM - 试验 BOM - 维护 BOM 的关联，管理各阶段产生的产品数据；使用基线技术，完成产品全生命周期的构型状态管控。精确的管控产品数据不同阶段的构型状态，减少由于数据有效性不一致引起的错误，提升企业产品质量认证的效率和能力。

总之综合研发数字化平台帮助制造企业实现产品数字化、产品研发过程数字化，并为数字化转型提供建设的数据基础和能力基础。

ECAD:

电子产品的计算机辅助设计工具

BOM:

Bill of Materials

物料清单

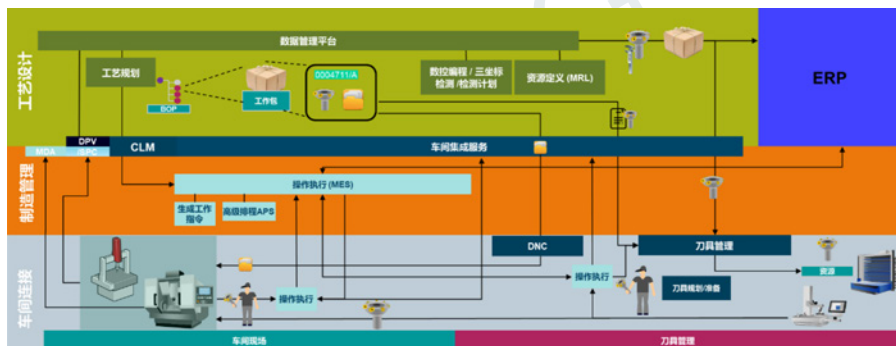
2. 从研发到制造：从计算机到机床的单一数据通道

■ 业务问题

1) 工艺与编程的分离

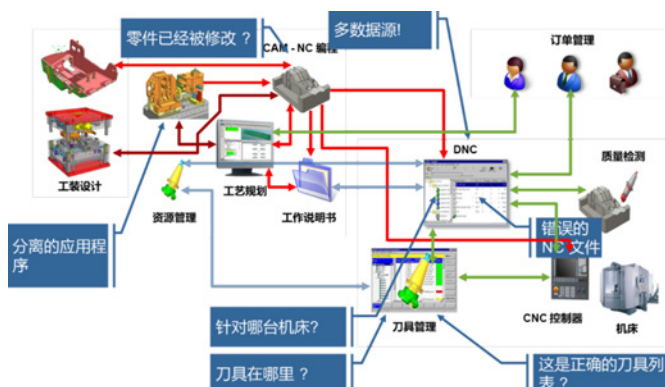
在机加行业普遍存在零件工艺与数控编程的分离，即编制工艺卡和数控编程的是不同的岗位。造成这种局面的原因是传统的数控编程很多直接在机床上手工完成，且通常需要熟悉数控指令和机床特性的技术人员，而编制工艺卡的人员未必熟悉这块业务，所以常见的场景是工艺员完成数控工序卡简单填写，但是很多涉及现场的信息都由现场编程人员自己来定，比如适用什么夹具？选用什么刀具？余量和转速应设置多少？等等。有时即使工艺员选填了这些信息，由于和现场情况不符，往往也是以现场编程人员所选为准。另外，经现场人员优化修改后的程序一般就随意存放在现场电脑中，缺乏统一管理。

工艺与编程分离的场景造成的结果是，企业实际生产中积累的数控工艺经验知识都存放在现场人员的头脑中，没有集中在工艺平台中进行管理；也正是因为缺乏统一的知识管理，对于类似甚至完全一样的零件，由于编程人员无法在系统中找到以前经过验证的工艺，不得不重新编制数控程序，从而造成人力浪费。



2) 异构工具与系统的困扰

机加零件工艺涉及的业务有产品设计、工艺编制、夹具设计、数控编程、检测编程、NC 仿真、程序下发与上传、车间计划与生产执行、刀具管理、数控执行、检测与报告等等，市面上提供涵盖这些业务板块的完整解决方案的供应商很少，而企业在信息化过程中往往由工具入手，最终形成了不同供应商的工具和系统并存的情形，如做产品设计 CAD 软件来自甲供应商，CAM 来自乙供应商，数控仿真采用另外一家，而工艺卡编制系统也是完全不同的供应商。这就造成了后续信息化建设中若要做业务流与数据流整合却面临异构数据兼容性困难，降低数据流通效率，增加更改成本；此外，由于异构系统难免信息转换，甚至还需要人工操作，容易造成信息不一致，增加出错可能性，如加工现场的模型 / 图纸、数控程序是否为最新版本？清单中的刀具是否与现场一致？数控程序是否经过仿真验证？等等。



■ 建设目标

1) 统一平台管理机加工工艺过程及知识

机加工工艺涉及的知识有几类，一是工艺参数库，系统可以基于刀轨选取的材料、刀具、加工策略等信息自动为刀轨匹配更优的切深、余量、切削速率和转速等工艺参数；二是工艺模板库，即针对典型加工特征、零件的工艺模板，通过程序自动或用户交互快速生成新的数控编程实例；三是工艺资源库，包括数控程序验证所需的机床几何模型及运动链、刀具模型及参数、工装夹具几何模型等。

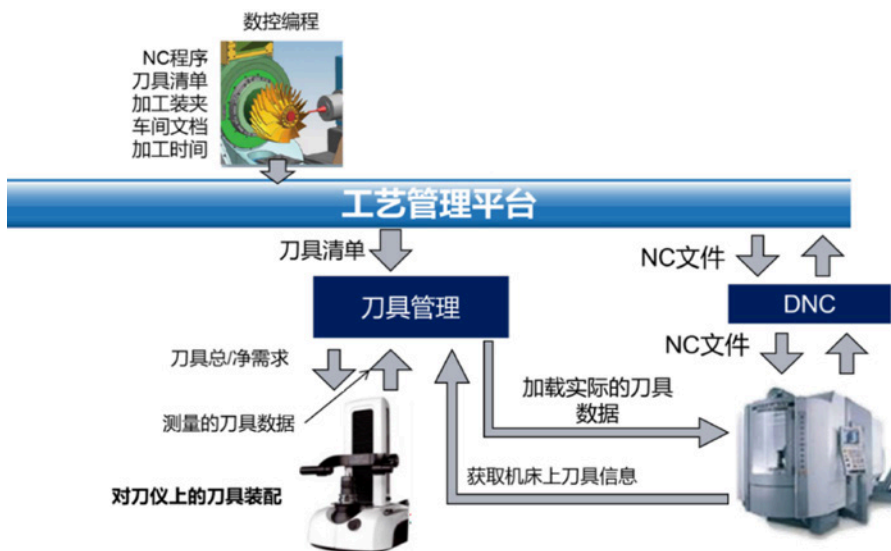
通过统一的平台管理机加工工艺编制的过程和可重用知识，用户在这个统一的平台下编制机加工工艺结构，创建工序，通过集成进入编程环境，自动同步工件模型，然后访问可重用机加工工艺库，调用工艺参数和机床、刀具、夹具，完成数控编程和仿真，通过后处理生成加工程序和刀具清单和装夹图等文档，并同步保存在结构化的工艺结构下。



2) 直接连接工艺管理平台与机床设备

工艺员完工艺结构编制和数控编程后，几何模型、机床、夹具和加工程序、刀具清单等信息都以结构化的形式挂接在工序节点下。生产现场的操作人员通过工序编号可以直接访问工艺管理平台，下载加工程序，查看工件模型和标注。刀具清单会下发到现场的刀具管理系统，后者与对刀仪同步，获取装

配刀具的实测数据，并将数据传给机床。操作人员在现场优化的加工程序也可上传工艺管理平台归档。机床执行后的刀具运行数据也可传送给刀具管理系统，用以维护刀具的寿命状态。



3. 切削策略验证

1) 机加零件工艺链

机加零件工艺有完整的工艺流程，CAD/CAM/CNC 工艺链。工艺人员首先将被加工零件的几何图形及有关的工艺过程用计算机能够识别的形式输入计算机，利用计算机内的数控系统程序对输入信息进行翻译，形成机内零件拓扑数据；然后进行工艺处理（刀具选择、走刀分配、工艺参数选择等）与刀具运动轨迹计算，生成一系列刀具位置数据（包括每次走刀运动的坐标数据和工艺参数）；从刀具位置信息中提取相关的加工信息，按照 NC 程序规范和指定数控机床驱动控制系统的要求进行分析、判断和处理，最终生成机床能直接识别的 NC 程序，该 NC 程序可以通过传送介质（如磁盘、U 盘等）或通讯接口送入机床的控制系统。

正确的 NC 程序不仅应该保证加工出符合图纸要求的合格工件，同时应能时时将系统的功能得到合理的应用与充分的发挥，以使数控机床能安全、可靠、高效地工作。所以 NC 程序的编制是一个比较复杂的工艺决策过程，如果将有效的切削策略验证环节加入决策过程，势必会提升零件加工效率。



CAD/CAM/CNC 工艺链

作者简介



柯庆

- 武汉理工大学工学硕士
- 西门子 Sales100 项目培训生
- 现为西门子数控系统数字化体验中心工程师

目前主要从事西门子机床数字化的应用支持，助力客户搭建创新型数字化双胞胎设计、仿真、性能提升平台；

数字化体验中心的日常维护，挖掘客户潜在数字化价值，助力客户数字化转型，提升市场竞争力。

2) 切削策略验证平台搭建

在 CAD/CAM/CNC 工艺链中, CAM 系统能综合刀具几何尺寸以及工件毛坯尺寸进行切削过程的仿真, 生成刀路轨迹可以进行刀轨路径仿真。仿真过程并没有加入真实数控系统控制因素, 仿真结果势必会独立于数控系统。如果在切削策略验证环节, 结合数控系统运行环境因素, 势必能提高切削策略验证的可靠性。

在切削策略验证环节, 引入数字化技术, 将虚拟数控内核集成在 CAM 软件当中, 优化 CAD/CAM/CNC 工艺链, 搭建一个切削策略验证的仿真平台——虚拟机床。在虚拟机床仿真验证平台当中, 利用 CAD 进行工件 3D 模型设计, 利用 CAM 将工件 3D 模型转化为零件加工策略, 运行后处理生成与实际物理机床数控系统匹配的 NC 程序, 并将 NC 程序导入一台装有虚拟数控系统的数字机床当中进行 NC 程序仿真, 进行切削策略验证。



CAD/CAM/VNCK/CNC 工艺链

为保证虚拟机床的切削验证可靠性, 需搭建一台跟实际物理机床 1:1 的数字机床: 数字机床与实际物理机床尺寸 1:1; 数字机床与实际物理机床运动 1:1; 数字机床与实际物理机床控制系统及参数设置 1:1。可以利用以下三要素进行数字机床的搭建:

- ① 建立机床的 3D 模型: 根据实际物理机床, 搭建机床的 3D 模型。
- ② 创建机床的运动模型: 根据实际物理机床, 进行运动学模型的建立: 机床基础部件、床身部件、运动组、毛坯、工件和夹具等。
- ③ 虚拟数控系统: 虚拟数控系统是要与真实的数控系统拥有相同的处理内核, 根据实际物理机床的备份数据要进行一致的参数设置包括 NC 参数、驱动参数等等。

利用实际物理机床的 3D 模型, 并创建该机床部件的运动模型, 导入集成了实际物理机床备份数据的虚拟数控系统, 数字机床就搭建完毕。数字机床的在执行零件程序时, 由于执行程序的虚拟数控系统导与真实数控系统拥有相同的数控内核, 而且导入了实际物理机床的机床备份数据, 保证了该程序的运行环境在真实环境运行的运行环境完全一致。数字机床中虚拟数控系统的内核的与实际物理机床中的数控系统内核完全相同, 都有 CNC 解释器、CNC 插补器和运动转换计算等典型功能, 保证了 NC 程序在数字机床上加工工艺的可靠性, 加工速度的可靠性, 加工质量的可靠性与在实际物理机床当中保持一致。机床机械部件的 3D 模型以及创建的机床部件的运动模型对于数字机床同样重要, 机床机械部件的 3D 模型将生产流程的每一时刻都可可视化, 这意味着可在电脑上实时监控生产流程。创建机床部件的运动模型, 建立各组件之间的运动关系, 将机床与刀具的运动可视化, 这样就能识别刀具与零件、夹具和机床部件是否存在干涉和机械碰撞。

CAD:

Computer Aided Design

计算机辅助设计, 利用计算机及图形设备帮助设计人员进行设计工作。

CAM:

Computer Aided Manufacturing

计算机辅助制造, 利用计算机辅助完成从生产准备到产品制造整个活动的过程。

CNC:

Computerized Numerical Control

计算机数控技术

NC:

Numerical Control

数控技术

VNCK:

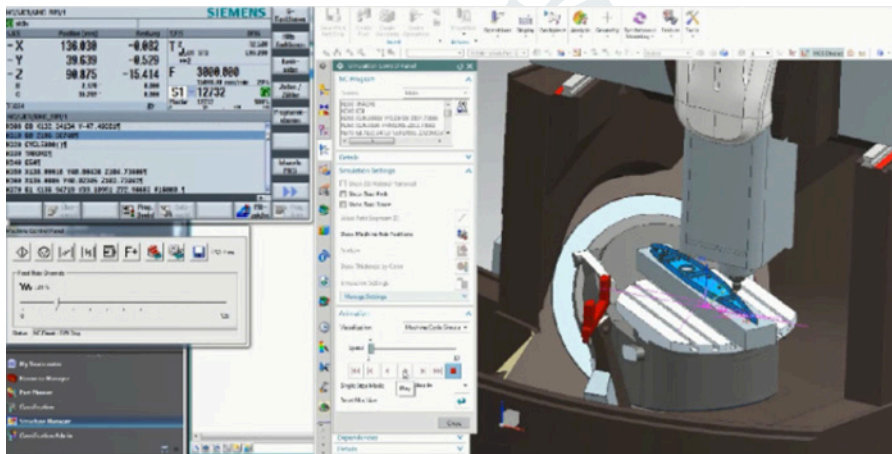
虚拟数控内核



虚拟机床解决方案

在虚拟机床仿真平台当中，工艺人员利用操作面板来启动加工程序，当程序运行后，机床换刀动作、机床各个轴的动作、刀轨路径、操作界面当中的各个参数以及工件材料的去除等，都能直观显示。工艺人员可以通过 MCP 面板来暂停程序，再通过数控系统操作界面进行参数设置或者 NC 程序的修改。工艺人员通过虚拟机床解决方案反复验证 NC 程序，最终得到一版可靠性更高的加工程序。

MCP:
Machine Control Panel
机床控制面板



虚拟机床解决方案，将虚拟数控系统集成在 CAD/CAM/CNC 工艺链中，为用户提供脱离实际物理机床的切削策略验证平台，实现不停机切削策略验证。虚拟机床切削策略验证平台不仅可以仿真刀轨路径、工件的材料去除，也可以进行机床动作的仿真；不仅可以全面、逼真地反映现实的加工环境和加工过程，也可以精确预知生产节拍；不仅可以为加工过程中出现的碰撞或者干涉提供相应的报警信息，也可以对产品的可加工性、工艺规程的合理性和加工精度进行评估、预测，达到节省资源、避免风险的目的。

4. 机加工质量管控解决方案介绍

过去，在机械加工车间中使用传统质量管控方式（如人为检测、监控、测量与加工分阶段进行的模式），虽然表面上成本低，实施起来简单易行，但传统质量管控方法测量系统中存在人为误差，测量数据不能自动采集，不能及

时进行统计分析，不能及时补偿加工精度，而且这些问题在传统的手段下还不能得到有效的解决。如今，在机械加工车间质量管控的各个环节中，已经有了非常成熟的数字化解决方案和技术手段，引进数字化质量管控解决方案，就能非常有效的突破这些技术瓶颈。

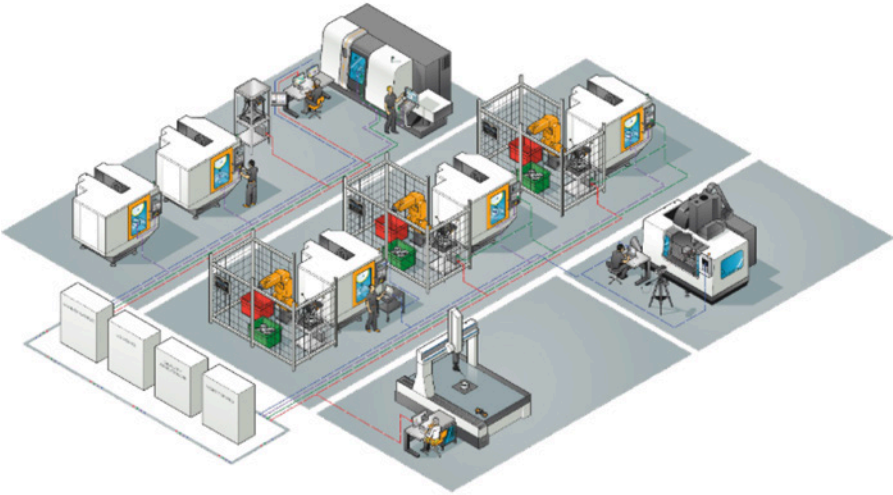


图 1：数字化质量管控车间示意图

目前，机加工数字化质量管控解决方案，具体体现在以下几个环节，如图 2 所示：



图 2：数字化质量管控解决方案示例

1) 加工制造基础环节：检测机床关键精度。

加工机床设备的精度是加工制造的基础，如果能在设备验收时使用数字化检测仪器实现准确的检测并作为设备精度基准，日常加工检测中实现准确、快捷的定期进行关键精度检查并形成数字化记录，一旦精度误差超出管控预警范围，则可利用仪器再次检测并补偿设备精度，这样就能防止设备精度误差过大造成产品报废，使加工设备保持在高精度状态下运行，如图 3 所示。如：使用激光干涉仪检测机床各轴的定位精度、重复定位精度及其他几何精度，可应用于设备验收，也可用于设备维护；球杆仪则可快速诊断出机床各项误差，可及时发现机床精度存在哪方面的问题，发现机床精度的主要问题后，再用激光干涉仪等设备去检测并补偿该项误差，或者及时对设备进行伺服或机械方面的调整，从而形成设备精度管控的闭环，能有效避免产线因设备本身精度误差超差造成产线长时间停机等情况的发生。



图 3：加工机床设备精度检测数字化方案示例

一些在线测量设备也能代替传统的手工量具，如：使用机床工件测头在加工制造前还能通过检测标定球在回转轴的转至不同角度的球心位置，来完成检测机床轴心线精度的工作，并由机床数控系统及时补偿轴心误差。有了这个方案，只需要定期调取检测程序运行，机床测头就能自动完成轴心检测和自动补偿工作，相比传统的手段如：使用千分表、芯棒等工具来检测机床轴心坐标，精度、效率和数字化程度的提升可想而知。

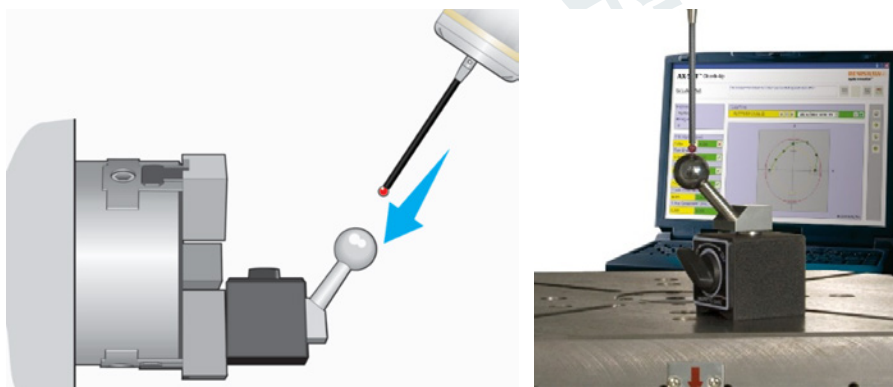


图 4：多轴机床回转轴心检测

2) 序前：自动识别工件信息，设定工件 — 自动检测工件或夹具位置或角度，设定刀具 — 检测刀具几何尺寸。

目前识别工件的技术手段也多种多样，例如，使用机器人 + 视觉系统自动识别工件、扫码自动读取并统计序列号、生产日期等信息，红外扫描等视觉系统识别工件形状、摆放位置、类别、甚至直接扫描出粗略的尺寸，实现自动抓取毛坯工件，将毛坯质量分类摆放等功能。使用机床测头能自动精准的设定工件坐标系，找正工件、夹具，机外或机内对刀仪能在切削前自动检测出刀具的几何尺寸，并结合数控系统或软件的刀具管理功能，可将生产所需全部的自动刀具数据上传和统计，相比人工操作设定可节约人力和时间，配合机器人自动上下料，这些方案为机加工生产自动化提供了技术基础，甚至能

实现无人化“关灯”生产，并有了加工前准确的工件位置、刀具几何尺寸等数据作为加工质量控制的前提。

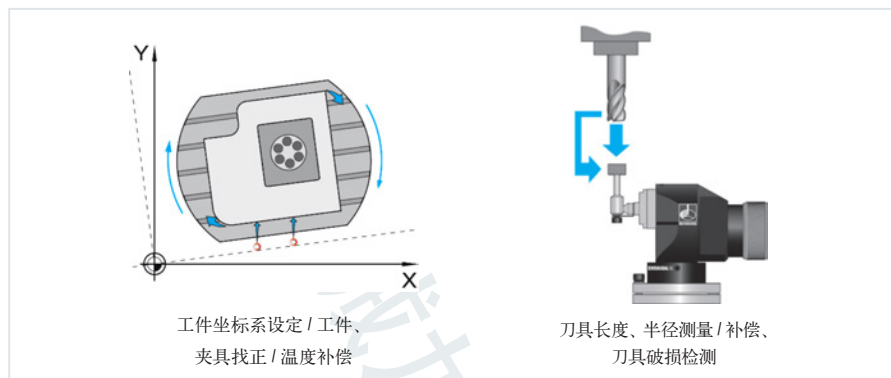


图 5：自动设定工件、刀具

3) 序中：在线检测，防错纠错，温度补偿

目前，在线检测的手段主要有机内在线检测和机外在线检测。

在加工生产准备阶段，使用机内在线检测，例如使用测头检测工件的初始精度。

在加工生产过程中，可使用机内在线测量可随时检测工件加工精度，及时管控加工精度，不浪费报废工步之后的加工时间；尤其对于大批量生产，使用机内在线测量也可及时发现精度问题，避免工件批量报废。如图 6 所示，在线检测还可实现在加工过程中完成工件线性尺寸或几何精度测量任务的同时，实时向数控系统或计算机反馈质量数据，由数控系统或计算机做出判断进行精度补偿，例如：根据检测误差数据自动调整刀具半径补偿数据，或及时发出产品超差 NC 报警来提示操作员工件已报废。

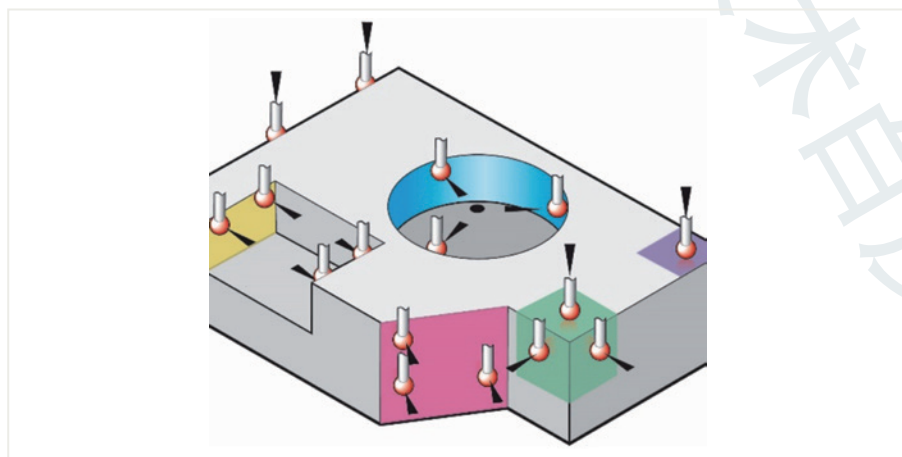


图 6：零件尺寸、形位公差检测与补偿

另外，在生产加工过程中，还可以使用机外在线测量，对零件某一工序加工后的成品的关键尺寸进行全检并利用机外计算机软件等进行记录、分析并设置精度管控线，超出管控线范围及时采取精度偏差质量管控措施，目前常用

的机外检测设备有比对仪、自动化专用量具、小型三坐标测量机等，它们各自的特点，考虑通用性，环境条件等因素，可选择不同的机外在线测量设备方案进行序中检测。

其次，在线检测还能实现数字化自动防错纠错功能。根据机床测头探测出的点位数据，结合数控系统的逻辑判断程序语句，进行例如工件或夹具是否装夹到位的判断，机床测头这一类传感器设备好比给了机床一双眼睛，让机床能“看到”安装或精度方面存在的问题，如图 7 所示，车床爪卡盘安装工件时如没有贴紧卡盘定位面，工件处于掉落状态时会被机床测头探测到点位偏移，此时程序跳转，让数控系统第一时间发出 NC 报警，如此能代替操作员自动完成防错纠错的工作，而且不会遗漏或出错。

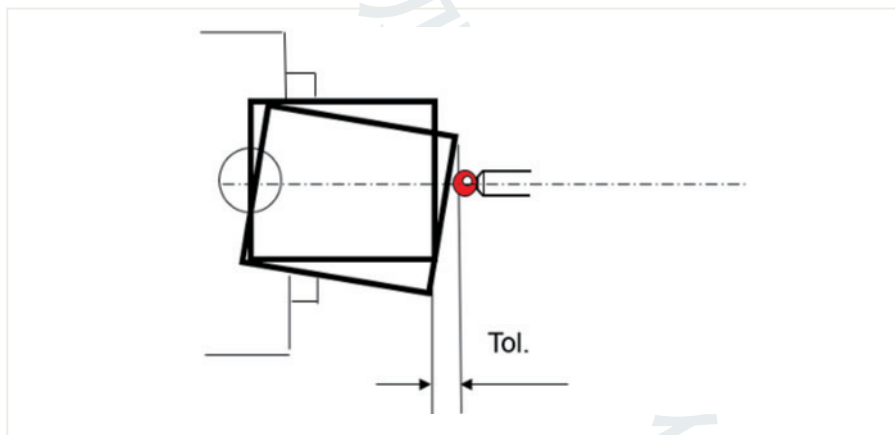


图 7：机床测头防错纠错示例

最后，高精度的在线检测还能通过测量零件准确尺寸大小、位置数据的变化，来分析机床热机后床身材料的温度变化给工件所带来的尺寸精度细微的误差，掌握温度和误差的规律后，实现自动“温度补偿”。也就是通过在线检测来定期监控并由数控系统自动计算补偿，将机床本身温度变化带来的误差排除掉。

4) 序后：最终检测

传统的序后检测方式，往往采用人工检测或由三坐标测量机抽检来完成，其中精密的三坐标测量机一直以来在机加工质量管控中扮演了最权威“裁判”的重要角色，但越来越丰富的检测手段也给三坐标测量机提供了好帮手，可以解决三坐标测量机只能抽检，测量效率跟不上生产节拍，环境条件要求严格等问题。

如果在线检测手段运用到序后检测，发挥其检测效率高，能进行关键尺寸序后全检的特点，则可实现全检数据统计数字化和三坐标测量机检测数据进行实时对比，能更好的辅助三坐标测量机作为质量管控最后一道关的判断，更能及时把握成品质量动态，数字化的测量数据配合抓取机器人还可以实现质量优劣自动分类摆放的功能，将不合格品在检测后马上筛选出来。某些轻便的机外在线测量设备譬如比对仪搭配巡检机器人车，还可实现机器人定期自

动在线巡检功能，防止出现三坐标测量机或人工抽检发现问题前，产线已经生产出了一大批废品的滞后情况。

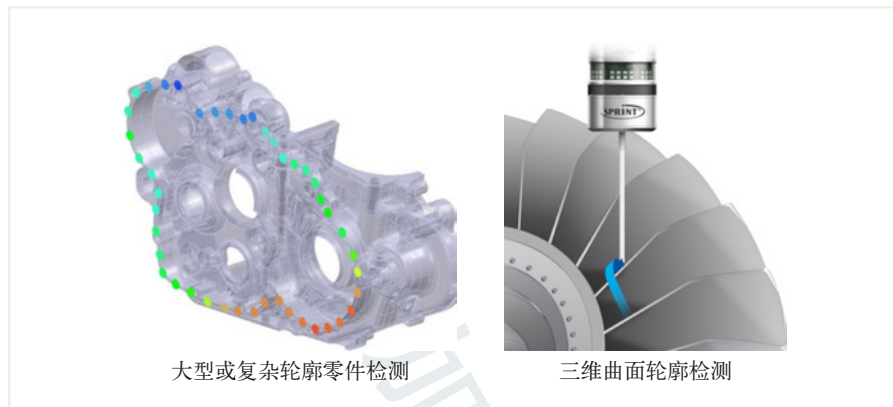


图 8：序后检测示例

如图 8 所示，对于大型或复杂轮廓工件的序后检测，如果将其从机加工夹具中卸下，再安装到三坐标测量机上的夹具上进行测量，不仅耗费大量反复装夹时间，而且关键尺寸需要修补时，还需要重新装夹到机加工夹具，产生重复定位误差。如果使用在线检测等技术手段，直接在加工工序后的机床夹具上检测，如：使用高精度 3D 机床测头探测三维轮廓曲面点，在机床上直接测量大型或复杂轮廓零件的尺寸或者几何精度，将会极大的节省反复拆装的时间，降低检测找正难度，省去修补工件重新找正的时间，如：航空航天大型零件、复杂轮廓模具、高精度发动机缸体、叶轮等高精度复杂工件的再次修补工作。

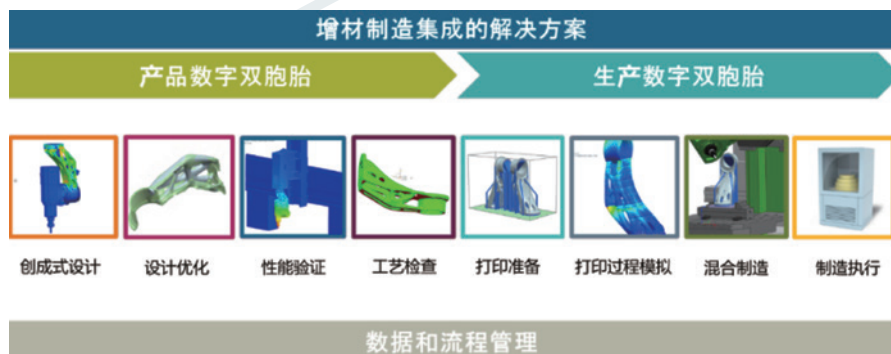
质量管控数字化解决方案不仅仅是信息时代，检测硬件、软件应用升级的体现，更是在机加工产线本来就拥有加工工具“双手”的基础上，再赋予机加工产线设备“大脑”、“眼睛”的一种概念的落地，是将机器人、计算机、传感器、统计学等技术和知识融入机加工质量管控的创新思维的展现，从另一个维度真正达到降低时间、人力成本，提高生产效率的目的。随着质量管控技术的创新发展，今后可能还会出现更多的技术手段，在机加工各环节实现目前意想不到的质量管控功能，如：高精度 3D 扫描技术，信息和语音人机交互等，也许会再次改变质量管控的方法思路，但朝着数字化方向发展的总体思路和进程是不变的。

5. 增材制造：直接连通研发与制造

增材制造（AM）通常称为 3D 打印，是采用离散化手段逐点或逐层堆积成型，依据产品三维设计模型，快速“打印”出产品零件，完成产品制造。增材制造改变了传统工艺制造模式，越来越多应用到各个领域，具有广阔的应用前景，已成为当前材料科学和制造领域国际前沿研究和竞争热点之一，也是企业实现数字化制造期待实现的首选制造技术。

AM:
Additive Manufacturing
增材制造

随着技术的不断进步，金属 3D 打印已成为增材制造工业化普及应用的重点，金属 3D 打印能够提升工业产品设计自由度，制造具有更复杂形状的晶体结构，显著提高产品性能。金属 3D 打印新的制造工艺给机械设计带来了新的改变和革新，完整的工业化金属增材制造流程是从正向研发到生产制造完成的设计制造协同过程，并不仅仅是单一的 3D 输出打印环节。先进的增材制造系统能够连通设计制造，从设计、性能仿真、打印完整度模拟、堆积轨迹模拟到驱动 3D 打印机。



面向增材制造的设计 - 创成式设计：在原有的三维 CAD\CAE\CAM 软件技术能力基础上，集合先进的创成式设计技术，运用拓扑优化算法，从产品设计开始就将性能需求纳入考虑。确定必要的设计空间和设计目标，基于所有定义的约束来寻求更佳解决方案，生成可以满足所有性能需求的仿生化更优产品外形，在减少重量和材料的同时，甚至具有更好的性能优势。创成式设计越来越得到更多实际应用，激发了设计师的丰富想象力和思想灵感，用前所未有的形状和形式重新构想产品，将各种自然仿生而复杂的设计方案从可制造性约束的束缚中解放出来，推动了产品开发的正向设计创新。

面向增材制造的仿真：工程分析团队能够利用更多的仿真功能，确保 3D 打印产品的强度、振动、运动、热等各种性能需求。增材制造工艺仿真预测打印过程中的变形并自动生成校正几何，实现“首次正确”打印。集成的设计仿真一体化能够实现仿真拓扑优化自动修改设计，实现设计仿真闭环及协同。

增材制造系统的打印工艺准备能力，包括零件定位、定向、嵌套、创建支撑结构等。软件和设备商的合作确保能够连接各种类型 3D 打印机，根据设备特性、材料和打印策略，包括特定应用的激光功率和速度等，创建正确的打印输出，驱动设备完成打印工作。

多轴混合增材制造为 3D 打印构建提供了更高的自由度，通过送粉或送丝的打印头在空间相对于打印零件做多轴的联动来实现打印路径的扫描。多轴增材制造工艺更简单，在打印过程中，通过多轴联动机床或机器人的运动自由度，可以方便地控制打印头相对于零件的角度，无需定义其他打印方式必须的支撑结构，减少了打印后处理的工作量，可以更快速度实现超大零件的打印。

多轴混合增材制造技术在同一台机床结合了传统的减材加工，已能涵盖了从零件模型准备，到打印形状分解、增材和减材几何的定义、增材和减材路径

CAD/CAE/CAM ；

计算机辅助设计 / 计算机辅助分析 / 计算机辅助制造

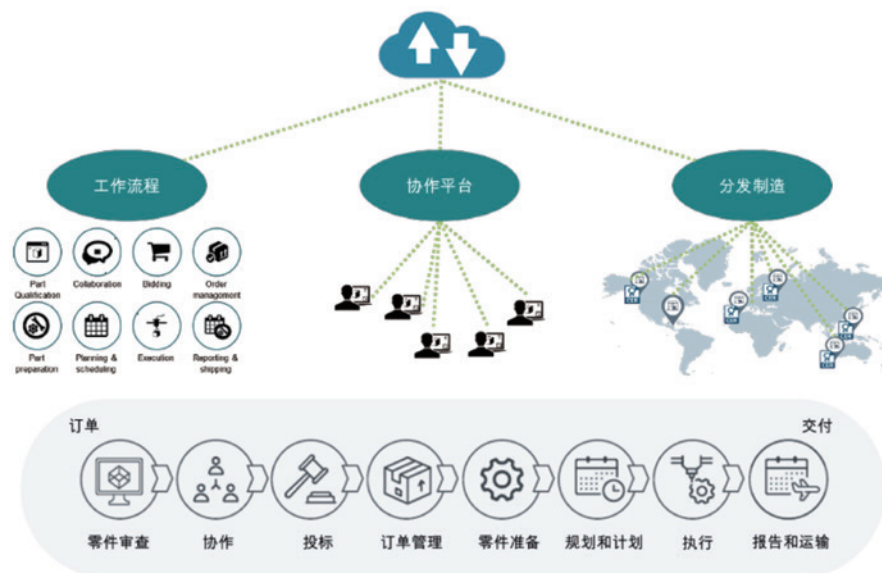
规划、增材和减材路径验证、增材和减材路径的后置处理等，生成满足多轴打印和零件精加工所需的程序，实现多轴增材和增减材混合加工的完整过程。



多轴混合增材制造方式更能适应现有制造和发展的需要，传统的铣、钻等减材加工工艺与金属增材组合在一起，利用单台机床生产高度复杂的零件产品，能够简化制造工艺，减少工装装备环节，缩短产品制造周期，为增材制造的大规模工业化量产提供可靠技术支撑，这是工业领域普及增材制造的关键。

为满足增材制造工业化的分布式、网络化应用趋势，基于云的增材制造网络（AM Network）在线平台能够实现在线订单到制造、交货的多方协作。云平台将与产品有关的人员聚集在一起，立即在需要的领域找到供应商和技术顾问，得到优质的技术支持，利用多方设备完成产品制造。

AM Network :
增材制造网络



端到端的技术和商业协作数字流程，解决了增材制造产品需求和生产企业规模上升带来的复杂问题，将零件需求与供应商网络连接起来，有助于实现增材制造全球协作生产，消除大规模工业增材制造技术和生产能力的障碍。

第四章：

车间管理 — 核心过程改进

1. 加工工艺管理

通常情况，当工厂接到新产品的生产任务后，要进行工艺设计和生产规划，这里的工艺设计就包括可用机床以及刀具，工装卡具，量具的选择，以及零件程序的设计，生产节拍的计算，工艺纪律，文档管理 等等。在这里我们主要讨论在加工过程中如何进行工艺的管理和通过改进加工工艺，从而提高产品质量和生产效率。

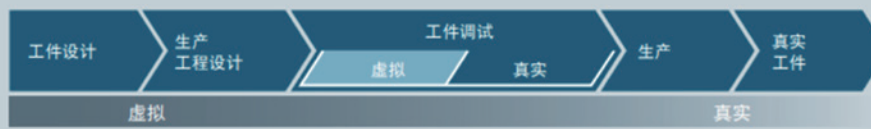
在生产前必须解决以下几个问题，才能保障加工顺利开展，并使机床具有高可用性：

- 加工程序运行时会不会产生干涉？
- 程序句法都正确吗？
- 机床上加工工件需要花费多长时间？
- 新的工件程序可以尽快开展试运行吗？

虚拟机床可以解决上述这些问题！ 它提供了一种可以显著提高机床可用性的解决方案，一条经过优化的、针对加工准备的 CAD/CAM-CNC 过程链，包含了和真实控制系统一样的仿真过程。有了虚拟机床可以无缝地集成到常规的产品开发过程中。生产企业可以拥有一个和真实系统一样的虚拟加工准备站，而不需要占用真实机床，从而大大解放了真实机床。企业可以在该虚拟环境中计划、改进并验证加工步骤。

该方案可以该用户带来哪些益处？

- 程序编制和改进可以离线进行，提高机床的可用性
- 程序经过了虚拟机床上的试运行，生产效率更高
- 安全：使用原始数控内核软件，程序可以几乎 100% 离线验证，保证加工不产生干涉
- 使用原始数控内核软件，高精度，比如：时间计算、数控算法等
- 高效的人员培训，学习环境和真实机床一样



数控机床以针对每个工序恒定的预编程进给率运行，即便在加工期间可能基于以下原因导致切削条件发生显著变化。

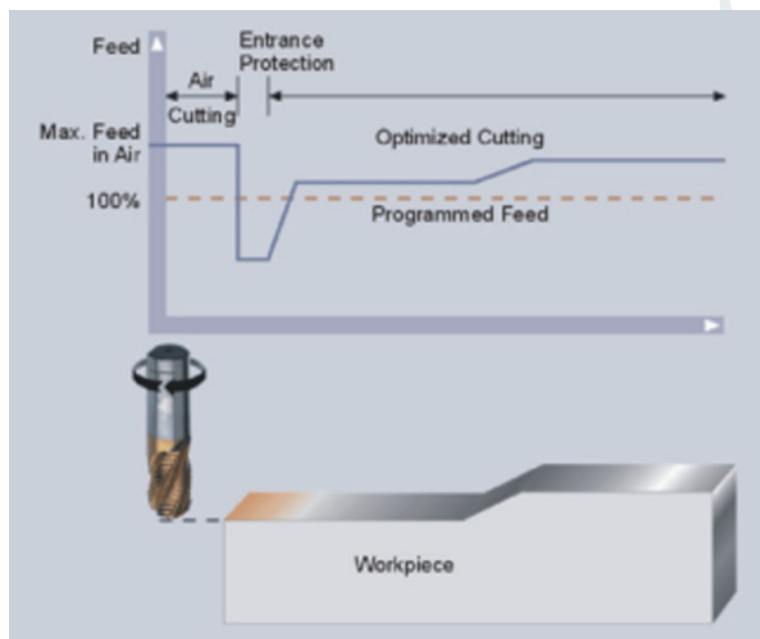
- 切削深度和宽度可能发生变化，尤其在粗加工时更是如此。
- 在加工过程中因刀具磨损导致刀具锐度下降。

- 每个工件内的材料硬度都有所不同。
- 工件表面往往并不均匀，不论坯件为棒料、锻件还是铸件。
- 所有工件的材料硬度和坯件尺寸都存在差异，不同批次之间的差异更大。
- 尤其在钻削时更可能导致切屑阻塞。
- 冷却质量在加工过程中不断发生变化。
- 动态变化的作用力可能影响装置的稳定性。

数控机床不具备根据切削过程中的动态变化作出调整的灵活性。自适应控制与监测系统针对这样的限制提供了解决方案。该系统实时监测实际切削条件，将每个工序的进给率自动调整，并在过载或断刀时停止机床运行。

主要功能如下：

- 实时进给率优化
- 断刀监控
- 保护主轴驱动
- 为补偿刀具磨损自动调整进给率
- 刀具磨损监控
- 断刀识别
- 刀具过载识别
- 延长刀具寿命
- 冷却剂流量监控
- 过程记录和显示
- 先进的孔加工



2. 刀具管理

刀具管理中包括采购、储存、组装、调试、重磨、重涂等环节。以上管理成本不合理会造成浪费，可能超过刀具的直接成本。通过科学的刀具管理，可降低刀具的库存，资金占用，减少备刀差错，从而显著降低刀具的间接费用，对降低生产成本有着很大潜力。

刀具管理基本功能的基础上，现代刀具治理还具有优化加工过程、提高加工效率。在设计编制加工工艺时，可根据被加工工件材料、所使用的机床等加工条件选择更好的刀具和更佳的切削参数，达到提高切削效率、保证加工质量的效果。此外，及时、正确的供刀还可以减少数控机床停机待刀的时间，提高昂贵的数控机床的利用率同样能为企业带来直接的经济效益。

对刀具管理的环节的要求：

1. 在产品制造阶段，对刀具进行正确的使用和物流管理。跟踪刀具的物流过程，提供刀具的正确位置，管理刀具的库存及使用状况，设置刀具的最低库存量，分析刀具的费用和刀具利用率、寿命。
 - A. 由刀具供给商提供刀具自动仓储柜。机床操作者可以通过识别卡对刀具的领用、归还，刀具室工作人员定时的补充刀具，可收到提高刀具使用率、降低刀具库存和刀具人工管理成本的效果。
 - B. 机床操作者直接领用。刀具室人员通过查询刀具位置，使用扫码枪对刀具条形码扫描，显示相关信息，输入领用数量。刀具室根据条码管理设立台账，定期生成月度报表，分析领者刀具使用率，设置刀具库存，减少资金占压。
2. 根据加工工艺和程序产生的刀具清单和调刀图，进行刀具准备。
 - A. 下发刀具清单和刀具数据
 - B. 刀具室人员根据刀具清单，准备相关刀具
 - C. 刀具室人员根据刀具数据和刀具调试图，调整刀具进行预调
 - D. 将调整后刀具在对刀仪上扫描。生成二维码。（二维码内容包括刀具加工数值信息）
 - E. 操作人员领用刀具
 - F. 操作人员安装刀具，用专用扫码枪扫描刀具二维码，机床自动读入刀具信息。

以上刀具管理前期的准备工作减少操作人员的工作量，使用扫码管理增加刀具数据准确性。减少操作员的加工前准备工作，降低工件加工成本。

3. 刀具的保养和维护

制定刀具和夹具维护保养制度，定期对结构复杂的刀具和夹具进行拆检、清洗、润滑、更换有问题的工件等工作，进行预防性维护保养。

在以上传统的刀具管理流程的基础上，为了解决如何通过工具库存的透明性

来支持生产订单的及时执行，比如：

- 在我的工具清单中有多少工具，它们在哪里？
- 如何确保机器上的工具有正确的偏移值？
- 如何支持机器操作员进行安装？
- 当加工需要时，如何确保所有必要的工具是可用的？

现在越来越多的工厂进行了网络化刀具管理，从设置、刀柜直到机床管理整个刀具流程。通过前瞻性的刀具计划，减少因刀具遗漏而造成的机床停工时间。刀具相关的循环时间和非生产时间得到了优化。对于 CNC 生产的中心任务而言，覆盖整个生产过程的刀具管理的作用是举足轻重的。要求：

- 刀具循环流畅
- 成本透明
- 库存及成本清晰

刀具管理软件使合理化潜能变得透明，并提供了实现已知节约 潜能的功能。可全面预览所用刀具并实现以下应用中的整套刀具数据循环：

- 单台机床、灵活式输送线或整个车间
- 高度自动化的数控系统
- 集成刀沿控制站或跨车间的刀具管理系统

刀具管理全部功能既可用于单台机床，也适用于机床联网运行，例如在单台机床或主系统上查看所有的刀具实际数据。未联网单台机床的功能范围：

- 刀具实际数据
- 寿命可在 10 到 100 % 之间变化
- 禁用刀具，刀具详细信息
- 导入 / 导出文件的接口
- 刀具传输凭借一致的客户端－服务器式解决方案以及通讯机制的使用，模块可灵活地分布在网络中，并可从任意位置加以访问

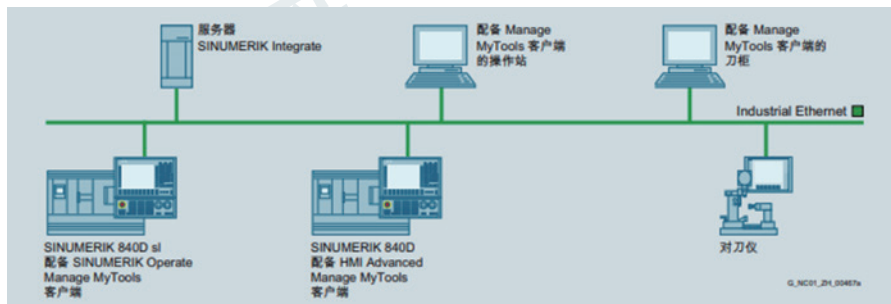
这样，在任意位置都能获取最新的信息。

下列功能可供使用：

- 为整个网络提供刀具实际数据
- 引导式装 / 卸刀操作，刀沿控制站可接收 TO 数据
- 基于当前刀库占用情况的刀具需求规划
- 刀具使用数据的统计评估
- 连接外部管理系统的接口
- 现有功能集合在一台服务器上，采用基于客户端界面的网络化 运行
- 独立的非网络兼容功能包，用于刀具计划和连接刀沿控制站

主要优点：

- 刀具循环的成本透明
- 刀具预算含有详细的库存、成本一览以及生产率提升潜力
- 模块化设计可实现以用户和需求为导向的 优化使用
- 可伸缩的应用方案，从单台机床到整个车间均可胜任



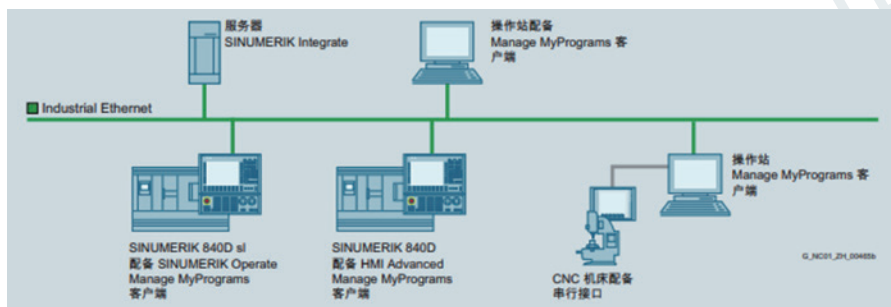
3. 加工程序管理

现在的机加工企业为了提高生产效率和保证加工工艺纪律经常面临着以下的困惑：

- 现在要生产的订单的加工程序在哪里？
- 什么时候，为什么，谁修改了加工程序？
- 在加工程序中修改了什么，最新的版本是什么？
- 如何数控程序可以快速和可靠地转移到我的机床下一个订单？

借助加工程序管理可提供高性能的客户端－服务器软件平台，从而实现高效的网络组织架构、CNC 程序的管理及传输。由于可轻松进行 CNC 程序的电子化管理和存档，整个生产区域中的机床都能随时使用最新的 CNC 程序。这尤其关系到具有高度灵活性和机动性以及 CNC 数据频繁变化的生产区域，例如加工中心、特种机床以及灵活生产线。

程序管理可在配备不同数控系统的车间中实现 CNC 程序数据的集中管理和分配。



可实现的功能 / 优点主要有：

- 降低 CNC 数据管理的成本：
 - 便捷的中央 CNC 程序管理，可提供 CNC 程序及附件，例如 PDF 和图片
 - 管理成本更低，操作简单，无需使用外部数据载体来进行 CNC 数据存档

- 由机床或服务器发起的进出机床的程序传输快速可靠
- 由于可快速可靠地提供 CNC 程序，机床运行时间增加并缩短了装调时间
- 经济可靠的电子化数据存档
- 轻松集成不同类型及世代的数控系统
- 加工程序管理可轻松进行 CNC 程序的导入和导出

4. 机床管理

在生产加工过程中，如何保证机床处于还得工作状态，什么原因造成的机床停机？当前加工的是什么工件？设备的整体利用率是多少？要回答这些问题首先要了解设备状态的信息，基于这些信息来进行分析和管理。主要的功能如下：

机器状态信息的获取：

- 通过 CNC 数据的逻辑组合可以实现对机器数据自动获取：
 - 标准接口（“即插即用”）基于已存在的默认 CNC 数据（例如：CNC 的方式组，进给倍率，故障信息）
 - 机床厂家可自行配置额外的 CNC 数据，来提升分析质量（例如：压缩空气的状态，机床刀具状态，工件更换系统）
 - 通过给不同工件分配状态信息来提升分析质量（工件计数器，循环时间）
- 通过机床操作者手动获取信息
- 自动存储状态数据
 - 机床本地的数据备份，可防止由于网络故障导致的传输中断
 - 在服务器上进行数据的中央存储

单个机床或整体加工过程的 OEE 指标计算公式：

- Availability 可用率

$$\text{可用率} = (T_{\text{计划}} - T_{\text{停机}}) / T_{\text{计划}} * 100 [\%]$$

$T_{\text{计划}}$ 指的是计划生产时间，已经排除了设备维护等计划停机时间

$T_{\text{停机}}$ 指的是非计划停机，如设备意外损坏，原料短缺导致的大的停机

- Performance 性能

$$\text{性能} = (\sum_{\text{各种零件}} (\text{总数}_{\text{某种零件}} * \text{单件加工时间}_{\text{最小}})) / (T_{\text{计划}} - T_{\text{停机}}) * 100 [\%]$$

性能表现低可能由于：机床状态不良，刀具不良，操作人员不熟练，小的调整停机等

- Quality 质量

$$\text{质量} = (\sum_{\text{各种零件}} (\text{总数}_{\text{某种零件}} - \text{不合格数}_{\text{某种零件}})) / (\sum_{\text{各种零件}} \text{总数}_{\text{某种零件}}) * 100 [\%]$$

质量表现低主要由于良品率低

- OEE 指标

$$\text{OEE 机床} = \text{可用率} * \text{性能} * \text{质量}$$

评估机床状态：

- 分析与评估
 - 车间机床状态图：机床状态可组态
 - 记录所有机床状态的日志
 - 基于时域的机床状态分析（甘特图）
 - 故障原因分析
 - 报警文本和报警统计
 - 一定时间间隔内机床加工零件总数和加工特定零件总数的计数器
 - 单个机床内某零件类型的循环时间
- 以 EXCEL 表格形式导出数据
 - 日志
 - 零件类型列表
 - 统计数据



5. 针对机加工的排产

机加工行业排产业务要求概述

随着产品个性化需求越来越强烈，机加工行业目前面临的竞争也越来越激烈。机加工行业的计划编制工作在这种多品种小批量、制造工艺复杂的场景下需要更加智能的计划排程系统帮助企业进行快速决策，以实现高效准确的回复客户交期、按时交付、提升机床等关键设备资源利用率、灵活安排人员派工上岗、降低在制品库存、缩短制造周期、降低生产成本等目标。



企业需要建立高效敏捷智能的计划排产系统模型，在考虑企业实际生产工艺约束限制（物料 / 设备 / 人员 / 技能 / 工治具等）的前提下，基于企业的生产优化目标，自动编排有限能力下可落地执行的详细生产调度安排，细化到每个设备机台的每个生产任务的排程时间点，所编制的生产计划可以与企业 ERP 系统物料计划协同，与车间 MES 系统执行的实绩进度协同，形成物料供应、生产计划、车间执行的系统闭环关联控制，帮助机加工企业实现精益敏捷的计划管理体系，灵活应对客户需求变化与生产异常、供应异常，提升资源利用率降低生产成本，提升企业综合竞争力。

库存控制与外协建议

机加工行业普遍存在成品库存高，在制库存高，毛坯库存高等现象，特别是在部分机加工以 MTS 按库存生产为主的企业，同时又会出现频繁的外协场景，其中有部分是因为产能不足而被迫外协，这些问题很多都跟计划调度编排的合理性有关系。

企业需要通过灵活定义不同产品的库存周转控制指标，对接装配需求结合库存控制指标、生产经济批量、有限产能齐套展开生成机加工生产计划、毛坯件需求计划，增强与装配计划、毛坯到料计划的协同性，帮助企业控制压缩库存，提升管理水平，减少资金占用，同时通过有限产能模型的建设，优化资源分配，评估人力需求，当能力不足时自动安排到外协资源，生成外协计划。

机加工排产的系统模型建设

机加工设备资源有新有旧，工艺路线各不相同，例如有些设备是多功能复合机床，很多工序都能够在该设备上完成，有些是数控设备，因而需要的相关作业人员数量较少，有些是传统机床，因而需要的作业人员比较多，有时还需要针对特定的人员及技能匹配进行派工；机加制造工艺复杂，生产过程所需机器设备和工装夹具种类繁多，生产交期难以评估；不同产品生产工艺流程各不相同，仅凭交货期难以评估每道工序的优先级；WIP 多，工序衔接往往不通畅，导致通道堵塞，现场管理混乱。

建设机加工排产模型可以帮助企业优化资源分配，利用资源优选算法分别设定每个设备资源对任务的评价标准，在该设备空闲时加载最适合此刻生产的任务。例如，优先采用多功能复合机床优先制作价值较高、复杂、交期比较紧张的任务，利用传统机床优先制作简单、精度要求低、交期较为宽松的任务，合理分配任务给不同设备资源。建设的系统模型需要支持针对人员技能的约束建模，可以将一个任务分配给多个人员，也可以将一个任务分配给拥有某个特定技能的人员，同时支持在任务的部分时间（例如换型切换时需要的人员）进行人员分配。

机加工系统模型建设需要具备订单询期答交的能力，我们可以基于目前已经加载的任务情况结合车间有限的设备资源、人数、工治具数、物料交期评估出新订单的交货期，改善客户服务质量，提升按时完成率。

MTS：

Make to Stock
面向库存的制造

WIP：

Work in Progress

ERP 中指在制品或流水线，又称车间生产管理。

指的就是工作中心在制品区。为工作中心提供原材料、完成产品、半成品的存储货位。在会计核算科目中一般以【WIP 物料】出现。

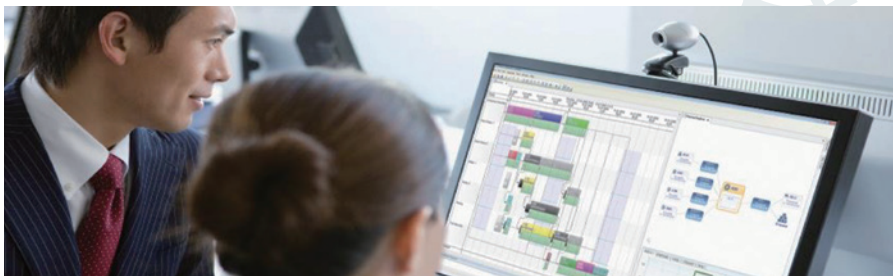


机加工的工序一般较长，不同订单工序任务的紧迫程度难以对比，在机加工排产建模时需要评估对比每个工序任务的紧迫程度，系统需要根据距离交货期设备资源能提供的总可用时间除以剩余工序任务所需工时的比值动态计算并对比工序任务的紧迫程度（CR 值），设备资源在进行任务加载时可以根据 CR 值优先加工最紧迫的生产任务，通过这种对比，可以帮助企业提升按期交付率。

机加工各个工序之前工序转交运输批量规则也会影响到交付周期，需要对此项进行梳理建模，明确工序之间的搬运规则，高亮显示瓶颈工序，针对瓶颈工序进行前拉后推，压缩生产制造周期，减少 WIP 数量，方便车间管理。

换型切换优化

机加工行业多数为多品种、小批量生产方式，经常会面临工装、模具、加工程序的切换，这些切换浪费了大量的生产时间，但有些场景下可以通过相同加工参数的合批生产降低换型切换时间，从而提升设备产能利用率，机加工不同的设备类型有不同的换型切换规则，例如有些设备资源会根据产品的长短、直径、内径、孔距等参数的不同确定是否需要换型切换时间，以及在不同规格属性的切换时，所采用的切换时间也各不相同，例如某机床在加工时如果工件先做长的再做短的，切换工装相对容易用时较少，但从短的切换到长的耗时则相对较长，产品切换时可能会涉及多种切换场景，例如换刀具、换工装等等。



建立不同属性规则的换型切换矩阵，将换型切换场景模型化，考虑不同换型场景的换型切换时间，通过产品的属性规格变化自动计算换型切换时间，并可采用系统内置的换型切换最小化算法进行整体切换时间的优化，提升车间产能利用率。

6. 针对机加的现场执行管控

随着互联网技术的不断发展，在今天的商业环境中，客户要求制造商在其规定的时间范围内提供他们想要的产品。相应的制造商需要以更高的效率、更

具灵活性的方式来响应客户的需求。即使拿到客户订单之后，制造商们还要应对来着多方面的挑战，例如，如何应对多品种小批量个性化的制造模式，另外由于需要降低生产过程中的成本，就需要在提高工作效率、减少过程中各种没有价值的浪费的同时，更大程度的节能降耗。

在制造型企业数字化转型的过程中，制造运营管理 (MOM) 解决方案扮演了重要的角色，其需要无缝对接 PLM 平台和自动化执行系统，形成产品设计、工艺和制造的一体化协同，从而帮助企业有效的实现数字化转型的战略目标。制造运营管理 (MOM) 解决方案推动了制造过程的优化和改善，提高了生产效率、提升了制造过程中的柔性化程度，并有助于缩短产品上市时间和提升生产制造和质量管理的透明化程度，形成端到端的，将车间作业、设备运行与产品开发、制造工程、产品生产和企业管理等业务环节连接起来。由于实现了生产过程的全面透明化，决策者可以随时随地的发现在产品设计和相关制造过程中需要改进的环节，并进行必要的工作调整，以实现更顺畅、更高效的生产制造。

所有工厂的生产流程标准化。保证统一的、一致的生产流程是一个非常关键因素。如果缺乏一致的生产流程，那么可能导致处于制造中的产品质量，从一个制造阶段过渡到另一个阶段之后，质量水平出现偏差。设备控制系统和工厂中孤立的业务系统都无法有效解决此问题；这需要一个企业级的、统一的、结构化和模型化的信息化环境来协调整个产品的生产过程。

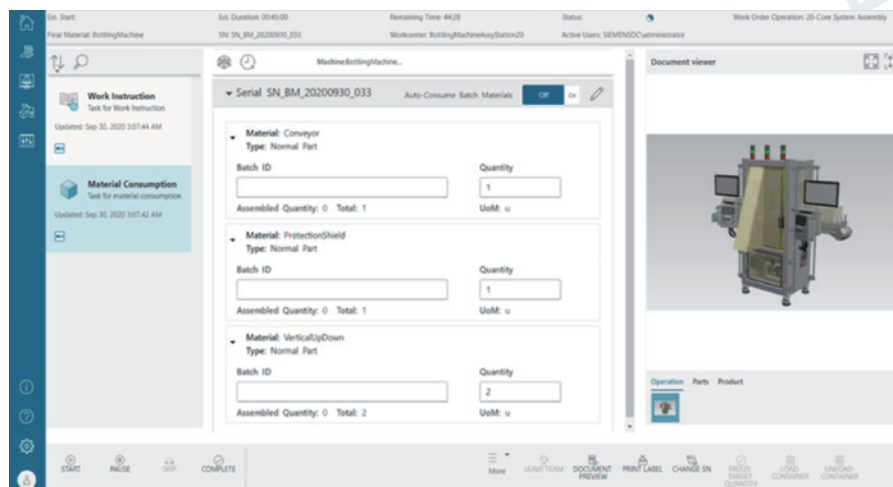
各执行单位遵守法规要求。产品制造受到行业或者政府质量标准和法规的约束，例如 ISO 和 VDA 已经在行业中使用了很长的时间。然而不断新出台的法规，强化了对生产过程及物料可追溯性的要求，其正在对企业现有的制造管理程序产生重大影响。MOM 将帮助制造型企业符合法规的要求，并保持物料和生产过程的全面可追溯性。

生产过程中的返工、废料和材料管理，通常情况下设备控制系统无法处理返工和报废。如果没有适当的管理，材料不受控制的现象会影响最终产成品的质量。此外，整个生产过程中的整体材料跟踪报告是正确评估生产成本的关键因素。

MOM:

Manufacturing Operation
Management

制造运营管理



全面提高生产过程的可见性。当前企业的管理人员，要全面的、高度透明化的了解工厂的运行情况，管理人员需要一个能够自动分析并生成生产报告的信息系统，将过程控制的参数与生产相关数据（订单号，批号，人员，材料等）关联起来，以便于排除生产过程中的故障并且对造成问题的根本原因进行有效的分析。制造执行系统可以提高生产过程的可见性，创造适当的条件来促进生产过程的改进并提高制造系统的效率。

提高制造质量，精确定位缺陷。如果没有工具来精确识别有缺陷的批次和追溯生产过程，企业可能无法解决有关产品质量的具体问题。企业可能还无法正确回应客户投诉或及时组织产品召回。高效的 MOM 系统可以提供完整的过程谱系来跟踪整个生产过程。它还可以精确地跟踪过程中所有物料转换过程，直到最终产品生产出来并交付给终端客户。

有效地减少非生产性时间损失。如果车间出现问题导致生产进程停顿怎么办？必须对非生产性时间损失（例如，故障停机时间，停工待料时间等）进行有效管理。通常需要多个业务部门共同参与问题的解决（例如，通知设备维护部门，生产调度部门进行重新排程，仓储与物流部门对当前生产物料进行调整等），MOM 解决方案可以协调各业务部门的工作内容，高效率的、有条不紊的来解决问题。

确保生产任务按要求执行

制造运营管理解决方案 MOM 另外一点就是要确保生产过程按工艺要求精准执行，能够做各个维度的防错处理。

- 生产作业人员的技能资质的验证
- 作业执行过程是按工艺要求一步一步的操作与控制
- 生产过程中的防错
- 生产物料的防错处理和跟踪
- 生产工具（刀具和工装等）的防错处理和跟踪
- 生产作业岗位上操作时间的控制
- 设备加工过程中某些参数（如进刀速度）的监控和控制
- 作业指导书等信息，在工位终端上联动展示
- 与外部 DNC 系统交互以进行 CNC 零件程序传输

第五章：

生产力工具，质量和工程

1. 深入挖掘，每一秒都很重要

追求生产效率，永远是生产型企业所探讨的最迫切的问题，因为在生产型企业里面，时间就是金钱。道理浅而易见，但真正要实现起来，却并不容易。诸如著名的精益生产，5S 现场管理，当前很火热的智能制造，数字化双胞胎技术等，需要投入大量的金钱和人力进行升级和改革，以追求极致的生产效率和生产质量。归结到不同的行业、不同的企业，在同一个大方向下，需要找到适合自身的方法和应用，才能脱颖而出。

在众多机床加工的工作场景之中，例如汽车领域、航空航天领域、精密零部件的加工等，挖掘机床在加工过程中的效率是最直接提升生产效率的途径。最常用的方式有调整和优化加工策略，优化机床的机电调试性能等，实现这些方法则需要有相关技术经验丰富的 CAM 编程工程师、机床调试工程师等，而这些工程师资源十分匮乏，加之需要一定的调试时间，多数企业难以协调资源，退而求其次，没能挖掘机床的最佳性能。

是否有一些方法能绕开上述的技术壁垒，让机床根据自身工作时的切削状态，环境参数的变化，进行自我调整，使机床运行在最佳状态，同时又能保证机床和刀具的安全？

将自适应技术应用到数控机床的加工中，无疑是上述问题的最佳答案。在一般的机床切削过程里，机床加工代码中固定了机床进给率的值，不会发生实时的变化。但是由于在加工过程中，每台机床的性能不同，工件毛坯的材料不均匀，装夹的效果不同，刀具的磨损程度不同等因素，导致给定进给率往往无法发挥机床的最佳性能。若在数控系统中加入自适应技术，进给率不再受这种限制，可以随着真实的切削状态的变化而改变，对机床的主轴负载，刀具及工件的切削参数值综合计算，将每一步走刀，每一秒的加工进给率进行重新调整，从而显著提高加工效率。同时，能够在切削过程中对刀具进行保护，例如遇到材料硬度突然增加时，通过降低进给率进行保护。若系统检测到实际负载大于机床承受的极限，例如有断刀的危险时，系统会发出警报和必要的停机保护。更进一步，能够将切削过程中的性能数据统计起来实时生成统计报表，供管理人员参考和评估。

我国某著名的汽车零部件生产制造商，就把此项技术应用到了在其生产汽车轮毂产线的立式加工中心上面，该产线的第三个工位用于加工轮毂上的各种孔和倒角。此项技术在该产线上除了最大程度的增效以外，还提供了检测的作用，经过测试后统计发现，安装软件后加工时间缩短 10.74%。

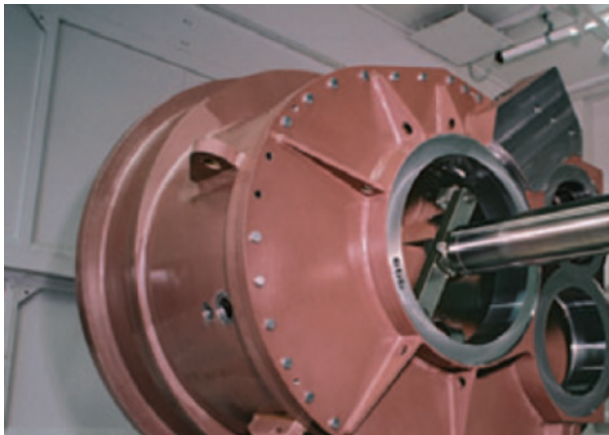
作者简介



武坤

北京理工大学工学硕士，高级工程师，西门子数字化工业集团数控系统业务技术经理。有着丰富的机加工现场调试、机电一体化、切削加工应用及服务维修经验。曾负责西门子数控技术应用中心的运营，重点关注西门子数控系统的培训、机加工行业数字化平台搭建与展示，参与编著《数控系统连接与调试（SINUMERIK 828D）》，目前主要负责西门子数控业务的技术能力建设及支持工作。

这样的自适应系统和数控机床的结合，不仅能大幅提升加工效率，还能保护机床和刀具，生成分析数据报表，提供了优化机床生产的新途径。



2. 人工智能 / 边缘计算

人工智能和边缘计算无疑是当今智能制造领域最火热的话题，也代表着未来工业应用发展的方向。随着当今计算机技术和数据处理技术的日益成熟，人工智能正逐步从科幻片或者实验室中走出来进入到真正的应用领域，近年来众所周知的 AlphaGo 与职业棋手的对弈，无人驾驶汽车上路载客，似乎人工智能真的离我们的生活越来越近，人们开始想象一些运用人工智能技术应用到现实生活的场景，能给工作生活带来何等的便捷，而对于机床行业，意味着什么呢？

数控机床和数控系统在工作时会产生海量的数据，若把所有数据都加以分析和利用，无疑需要巨大的成本和工作量。因此，并不是所有的数据都需要进行采集和上传，这时边缘计算就起到了作用。边缘计算基于这样一个概念：在本地处理大量数据，将管理者需要的数据进行筛选和打包，再上传云端进行分析应用。同时，边缘计算可以通过高速高频的数据通讯技术，将本地应用中处理得到的结果实时反馈到现场生产，生产管理人员能够第一时间发现生产中的偏差，及时调整工艺中的参数，实现生产工艺的闭环优化。当然，还需要保证机密信息的安全性，并实现数据的快速反馈，随着未来工业信息通信技术的日益升级（例如 5G 通讯技术等），边缘计算的应用能够打破更多瓶颈，实现更加多的功能和价值。并且使用边缘计算生成的数据可以转发到任何所需的实例系统：例如，本地 ERP（企业资源规划）、MES（制造执行系统）或云系统。

将人工智能技术应用到数控机床中，根据机床行业的特定需求，开发出相对独特的数据访问和数据分析应用，在车间生产中创造附加价值。基于人工智能技术，机床行业的主要需求和应用体现在以下三个方面：用分析并确保工艺和工件质量；确保工艺稳定性；以及通过增加产量和节约资源来提高生产率。例如，分析高频加工数据和优化零件程序；以毫秒的间隔监控位置、功率和偏差数据来确定刀具的磨损；加工中计算刀具在大型刀库中的最佳位置；收集分析机床

边缘计算：

是指在靠近物或数据源头的一侧，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台，就近提供最近端服务。其应用程序在边缘侧发起，产生更快的网络服务响应，满足行业在实时业务、应用智能、安全与隐私保护等方面的基本需求。边缘计算处于物理实体和工业连接之间，或处于物理实体的顶端。而云端计算，仍然可以访问边缘计算的历史数据。

ERP：

ERP 系统是企业资源计划 (Enterprise Resource Planning) 的简称，是指建立在信息技术基础上，集信息技术与先进管理思想于一身，以系统化的管理思想，为企业员工及决策层提供决策手段的管理平台。

MES：

制造执行系统 (Manufacturing Execution System, 简称 MES) 是美国 AMR 公司在 90 年代初提出的，旨在加强 MRP 计划的执行功能，把 MRP 计划同车间作业现场控制，通过执行系统联系起来。这里的现场控制包括 PLC 程控器、数据采集器、条形码、各种计量及检测仪器、机械手等。MES 系统设置了必要的接口，与提供生产现场控制设施的厂商建立合作关系。

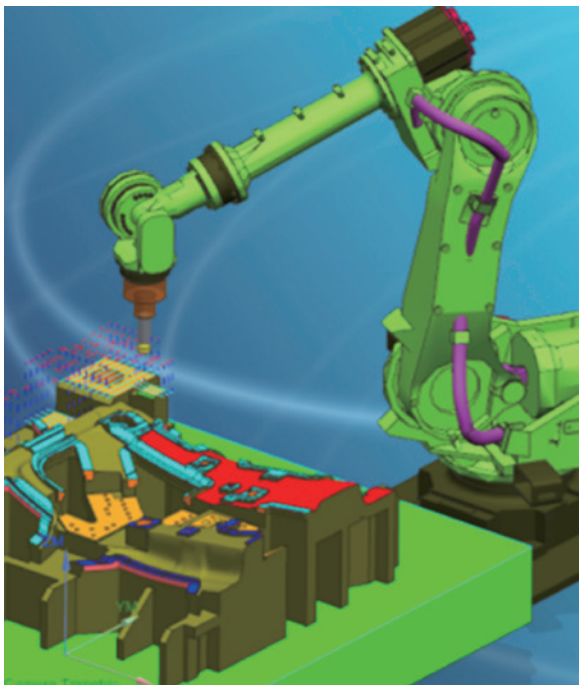
制造执行系统 MES 能够帮助企业实现生产计划管理、生产过程控制、产品质量管理、车间库存管理、项目看板管理等，提高企业制造执行能力。

的振动、轴数据等提供预测性维护报告；实时采集和监控机床的这些数据，使用应用中的不同分析功能，工艺人员能及时分析出实时加工与理想加工状态的偏差，及时调整生产，或及时叫停不达标生产，减少企业损失……。

除了具体的技术应用，工业人工智能的发展还会延伸到服务层面，人工智能应用将作为一种服务渗透到生产企业中。以往不同的企业只着力于研究和应用自己的优势技术，但随着人工智能和边缘计算的普及，海量的数据分析和趋向于统一的数据通讯协议将会逐步打破技术的壁垒，服务提供商针对客户生产的痛点开发越来越多的应用程序，应用程序的使用频率变高又会推动应用功能的完善。不同的服务提供商形成一个个“生态圈”，开发出更加多的应用程序。



3. 机器人全面提升加工效率与质量



机械加工行业正在进行着多产品、小批量、自动化生产的方向演进，除了大量采用数控加工中心进行产品的生产以外，越来越多的工业自动化设备逐渐

加入到生产制造单元中，实现了自动物料上下线、自动装夹、自动加工、自动检测和自动数据处理等生产场景。其中，工业机器人扮演了重要的角色，其应用领域正快速地扩展。

传统上，由于工业机器人主要采用串行运动链的结构形式，其结构刚度相比较于数控机床要弱，所以，在机械加工行业，之前主要用于产品毛坯和零件的上下料处理，即最基本的物料搬运功能，而工业机器人运动灵活，空间范围大、通过更换工具满足多种作业需求及易于编程和控制的特点并没有得到发挥。

随着工业机器人核心零部件的发展以及控制技术的发展，目前工业机器人的重复定位精度上得到了较大的提高，机器人载荷能力的提高也使得其刚度和振动得到了改善，使得工业机器人能够胜任越来越多的机械加工任务，例如切削、切割、焊接、检验、打磨、抛光等。另一方面，随着用工条件的变化，在某些相对恶劣的工作环境中，也越来越难以招募到高素质的工人。这些条件的变化，使得工业机器人在这些领域逐渐替代了手工作业，得到越来越广泛的应用。

为充分利用机器人在加工领域的能力，除了在自动化硬件的良好配置以外，更需要提升从规划、验证到执行的软实力。从数字化机器人加工的需求出发，需要在传统加工编程领域的成熟应用的基础上，结合在相关行业得到广泛应用和验证的高级机器人规划应用经验，形成一体化的加工规划、仿真、离线编程的能力。这样，工艺规划人员可以使用与数控机床编程同样的方法，在熟悉的应用界面中，扩展机器人在机械加工的应用领域，快速完成切削加工、抛光、切割、涂胶等以连续空间曲线驱动的机器人路径规划及优化，同时进行工位级仿真和机器人程序后处理和下载工作。在这样的工作场景下，设计的变更也可以快速地传递到机器人路径规划和编程环境中，通常，只需要进行一次“更新”操作，即可反映设计几何的变更，可以快速评估设计变更对生产制造过程的影响。

■ 该解决方案应具备如下能力和技术特点：

在三维可视化环境下进行各种机器人及相关自动化设施的定义：

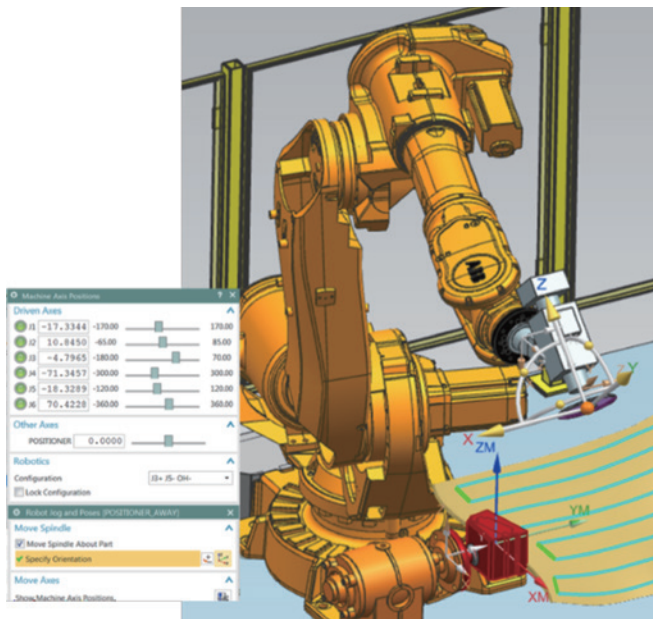
利用机床定义工具，可以基于机器人几何结构，快速定义机器人的运动机构链，该包含正确运动链机器人定义，是后期进行路径规划、姿态定义、控制的基础。

对于业界知名品牌的机器人，提供对应的机器人库，可以直接利用预定义的机器人运动机构，包括机器人及变位机等典型结构，用户也可进行客户化自定义或修改，得到完全客户化的生产制造单元定义，包含不同品牌、不同结构类型的机器人、工具、夹具、辅助设备等的定义。



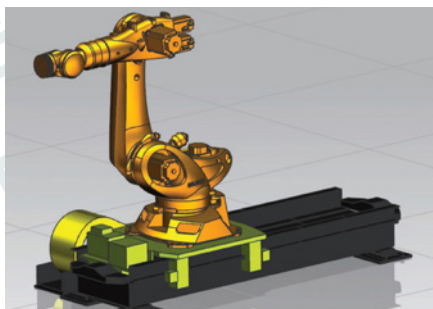
机器人运动路径规划：

需要利用传统数控加工软件提供的强大的路径规划和编程能力进行路径规划，利用其丰富的加工编程策略，针对机器人的末端工具中心点进行编程，这种编程的方式能够适应多种品牌的机器人，支持六轴以及含外部轴（滑轨、变位机等）的机器人编程，结合机器人定义，能够进行机器人的可达性检查，静态或动态干涉检查及机器人特有的奇异点检测等，由于六轴以上机器人在某工作位置存在多个可用解，在此图形界面也可方便选择机器人到达这些工作位置的姿态。



高级机器人单元规划：

某些零件的特点，可能存在某些难以到达的加工区域，通常会配合滑轨或变位机等外部机构，扩展机器人的可达范围，并以较好的运动姿态到达这些工作区域。这种多设备、多轴、多通道的运动控制，需要非常小心地处理这些运动机构和机器人之间的同步和协同，例如变位机可以是到达某个位置后保持静止，此时机器人开始工作；或者变位机与机器人同步旋转，相互配合进行工件的加工。同样的情况也发生在某些大尺寸部件的加工上，安装在滑轨上的机器人，能够与滑轨的运动配合，以扩大其加工的范围。这种复杂的运动控制，是难以依靠人员的经验和调教实现，需要利用数字化系统的能力进行规划和验证，才可达到安全高效地应用。



机器人运动仿真和验证：

提供完整的运动仿真和验证能力，可以结合切削仿真的能力，在机器人运动过程中显示材料去除的过程，能够同时进行碰撞检测和间隙检查，保证零件、机器人、工具、工装之间的安全，能够发现机器人或变位机的可达性问题，检查加工区域是否超出机器人和变位机的硬限位或软限位，也可检查和避免机器人运动路径中的奇异点。

机器人离线编程：

可以利用预定义好的、特定品牌机器人控制器的离线编程（OLP）工具，将验证过的机器人运动路径，转换成符合标准的机器人运动指令。除加工的运动指令外，还可增加进入、离开、干涉区控制、工具操纵等非运动指令。系统提供知名品牌机器人的离线编程后处理包，用户也可使用界面化的自定义工具，定义机器人的后处理程序。以满足不同品牌机器人的要求，以及客户自己公司特定标准的要求。

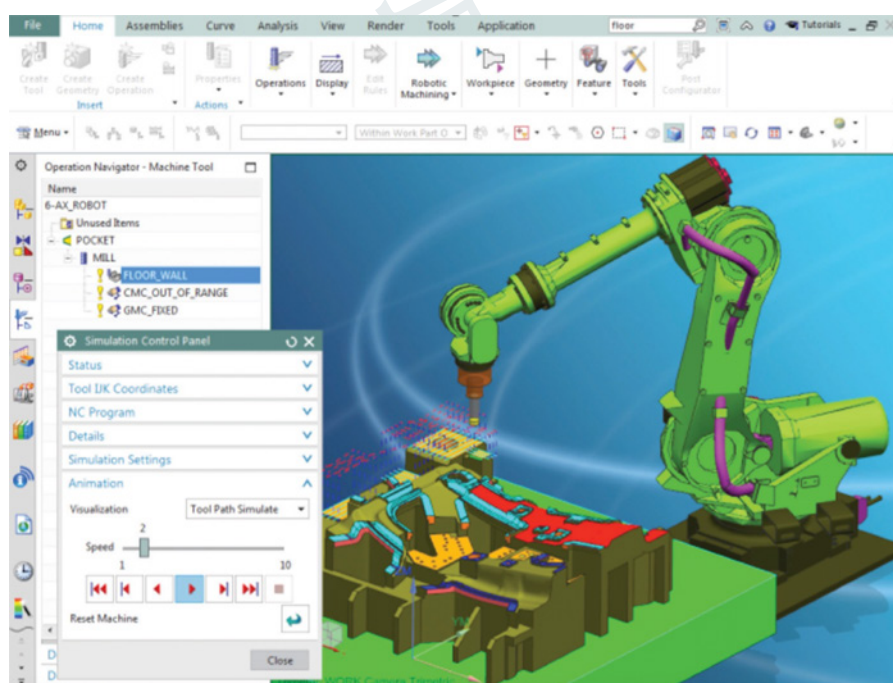
控制器集成：

无论是机器人直接加工的应用，还是机器人只负责上下料的应用，都需要让机器人系统与数控系统之间进行无缝的衔接。一方面，机器人离线编程完成的数控代码，可以直接按照运动控制器的格式进行后处理，生成运动控制的指令，实现利用数控机床的运动控制器直接控制机器人运动的加工。另一方面，在数控机床的运动控制器中，也可以直接插入机器人的运动指令，实现数控加工过程中对机器人的调用及相互之间的状态更新。

从设计、制造规划、加工仿真、优化到后处理执行的全流程支持

机械加工是多专业协同工作的环境，从产品设计到加工编程、仿真及后处理，往往跨越多人多专业的环境，另外，变更在此过程中也时有发生。需在统一的架构下，实现设计、制造规划、加工仿真、优化到后处理执行的应用，尽量不转换用户工作环境和工具。基于零件几何形状编制的刀路轨迹和机器人程序，是与零件的几何形状关联的，当发生设计变更的时候，可以快速地进行刀路轨迹和机器人程序的更新，快速规划、快速验证。

在统一的系统架构下，也使得用户工作环境的采购、安装、配置、培训等变得统一，也无需在多产品间进行转换，减少开发接口的数量、减少由于数据转换产生的信息丢失。



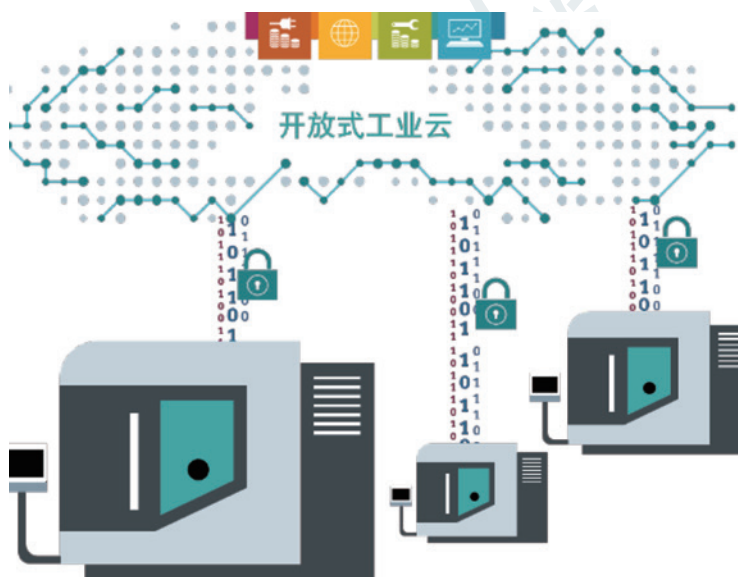
与产品数据管理系统间的集成：

机器人加工规划仿真环境将会产生大量的、各类相关制造规划数据，另外，设计、制造的变更，也将会产生各类数据的不同版本和状态，所以，机器人加工规划仿真，应对可以与产品数据管理系统进行集成，利用管理系统管理数据的创建过程和结果。同时，利用管理系统，妥善处理与用户权限、数据版本、审批流程和多用户多部门之间协同相关的问题。

第六章：

未来之路 — 云技术的更多可能性

当前，机床制造业从产品设计、生产制造、一直到售后服务等环节，存在着很多信息孤岛。但随着开放式工业云技术的不断发展迭代和深入应用，为机床制造业各个环节的互联互通、破除信息孤岛带来无限可能性。通过开放式的连接标准，企业可以将机床制造业复杂生产场景中的数据传送到工业云平台，再结合云平台上各种类型的 APP 应用程序，从云端对精准获取的生产数据进行大数据分析处理，进而帮助企业更好地把握生产过程的各个环节，有效提高机床利用率并减少故障时间，大幅提高生产效率，改善产品质量，降低产品成本和资源消耗，形成企业数据数字化闭环管理，最终实现将企业从传统工业提升到智能化的新阶段，大大提高市场竞争力，立于不败之地。



1. 机床云管理

随着机床制造业全球化进程的不断加速，当机床制造厂商更多的机床销往全球各地，机床最终客户建设更多的全球化制造工厂之后，分布在全球各地的机床设备状态不透明，产能低下，机床维修服务成本高昂等问题成了企业亟待解决的问题。通过开放式工业云平台中的机床云管理解决方案，企业可随时随地远程监控和管理分布在全球范围内的自有机床，轻松获取和分析机床设备和生产状态数据，有效提升机床生产关键数据的透明度，进行预测性维护，提高机床的可用性，减少机床停机，保障产能最大化，并可对设备进行远程诊断维修，降低维修服务成本，提高维修服务响应速度和客户满意度，多方位助力企业全球化，获得更多的市场业务机会和可能性。

作者简介



李展

- 西门子数控系统数字化先行者和技术领头羊
- 西门子数控系统数字化体验中心团队主管
- 高级工程师

16 年数控机床行业工作经历，具有非常丰富的高端复杂数控机床电气改造设计与编程调试、汽车发动机 / 变速箱等生产线和自动化设备现场调试和整体集成方案咨询和实战经验。随着数字化时代的到来，目前，主要负责西门子机床数字化、机器人、生产线、SINUMERIK 数控系统的调试与应用支持、整体解决方案咨询与提供，以及西门子数控数字化体验中心的搭建和运营管理，打造创新型的数字化双胞胎设计、仿真验证、性能提升平台，传递最新的数控数字化知识与经验，接待客户进行深度体验和数字化价值的挖掘，并为客户机床数字化项目提供咨询和灯塔项目实施，助力客户数字化转型，提升市场竞争力。



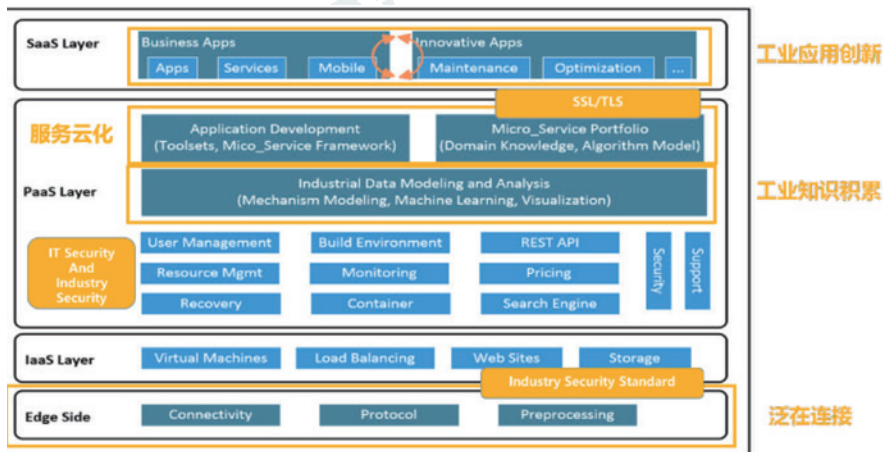
2. 机床 OEE 云计算

设备综合效率 OEE 已成为衡量企业生产效率的重要标准，OEE 的计算虽然简单，但是在实际的应用中，当与设备、产品、班次、员工等生产要素联系在一起时，便变得十分复杂，而长期借助并使用 OEE 工具，企业可以轻松的找到影响生产效率的一些瓶颈，进行改进和跟踪，最终达到提高生产效率的目的，同时也可以让公司避免不必要的资源耗费。依托于开放式工业云平台中的机床利用率监控解决方案和机床利用率定制化计算和数据可视化解决方案，可全天候跨越地域限制地对分布在全球各地的机床设备综合效率 (OEE)、可用性、性能、质量、生产计划等关键性能指标 (KPI) 进行自动监控、计算和比较分析，使企业管理人员轻松全面掌控机床利用率的透明度、提高资源和设备的利用率，无需增加新的投资，消除生产工艺瓶颈，充分挖掘生产潜力，降低生产和设备维护成本，提高生产力，改善产品质量直通率，并为企业规划和决策提供客观科学的数据支撑。



3. 基于物联网的工业云平台挖掘企业数据潜在价值

物联网 (IoT) 将给制造企业带来巨大的机遇：物联网的价值在于连接真实世界和虚拟的数据世界，为制造企业数字化转型开辟新的业务模式。在物联网中，数十亿物品都有其地址，并与互联网相联，它们可将数据传送至云端进行处理，并可通过工业应用程序进行管理和控制。计算机的微型化、传感器的廉价化、网络的无所不在性和“智能”设备的可用性越来越高，已使这一情景变成了现实。



工业互（物）联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求，构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系，支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台。其本质是通过构建精准、实时、高效的数据采集互联体系，建立面向工业大数据存储、集成、访问、分析、管理的开发环境，实现工业技术、经验、知识的模型化、标准化、软件化、复用化，不断优化研发设计、生产制造、运营管理等资源配置效率，形成资源富集、多方参与、合作共赢、协同演进的制造业新生态。

对于工业互联网平台，数据采集是基础：其本质是利用泛在感知技术对多源设备、异构系统、运营环境、人等要素信息进行实时高效采集和云端汇聚；工业 PaaS 是核心：其本质是在现有成熟的 IaaS（基础设施即服务）平台上构建一个可扩展的操作系统，为工业应用软件开发提供一个基础平台；工业 APP 是关键：主要表现为面向特定工业应用场景，激发全社会资源推动工业技术、经验、知识和最佳实践的模型化、软件化、再封装（即工业 APP），用户通过对工业 APP 的调用实现对特定制造资源的优化配置。

工业互联网平台已成为企业数字化智能化转型重要抓手。一是帮助企业实现数字化智能化生产和管理。通过对生产现场“人机料法环”各类数据的全面采集和深度分析，能够发现导致生产瓶颈与产品缺陷的深层次原因，不断提高生产效率及产品质量。基于现场数据与企业计划资源、运营管理等数据的综合分析，能够实现更精准的供应链管理和财务管理，降低企业运营成本。二是帮助企业实现生产方式和商业模式创新。企业通过平台可以实现对产品售后使用环节的数据打通，提供设备健康管理、产品增值服务等新型业务模

PaaS:
Platform as a Service
平台即服务

IaaS:
Infrastructure as a Service
基础设施即服务

人机料法环：
是对全面质量管理理论中的五个影响产品质量的主要因素简称。人，指制造产品的人员；机，指制造产品所用的设备；料，指制造产品所使用的原材料；法，指制造产品所使用的方法；环，指产品制造过程中所处的环境。

式，实现从卖产品到卖服务的转变，实现价值提升。基于云平台还可以与用户进行更加充分的交互，了解用户个性化需求，并有效组织生产资源，依靠个性化产品实现更高利润水平。此外不同企业还可以基于云平台开展信息交互，实现跨企业、跨区域、跨行业的资源和能力集聚，打造更高效的协同设计、协同制造，协同服务体系。

制造企业尤其是机械加工企业，属于重资产行业。企业内部的厂房与各种加工设备占据企业资产的大部分。通过物联网技术构建的工业物联网平台，实现预测式维护，不仅能确保企业制造资产的高效运行，还能降低运维成本，将极大提升企业的生产效率和盈利能力。

4. 低代码开发云原生的 APP 激发员工最大创造力

工业 APP 是基于工业互联网，承载工业知识和经验，满足特定需求的工业应用软件，是工业技术软件化的重要成果。企业知识占有量决定着企业的竞争力，而工业 APP 有效封装与显性化了企业知识，是企业重要的智力资产。企业可按照工业 APP 构建自有技术知识体系。工业 APP 通过将行业工业技术知识结构化、数字化和模型化，建立各种工业技术知识之间的有序关联，形成覆盖工业产品研发、生产和运维全过程的完整知识图谱。因此工业 APP 构建是工业互联网制造协作模式转换的核心内容，其关注对工业技术知识的提炼与抽象，将数据模型、提炼与抽象的知识结果通过形式化封装与固化形成 APP。

由于工业知识琐碎、工业应用复杂度高等问题，工业 APP 的开发需要具备跨领域的专业知识，例如数据采集、数据处理、数据分析和建模等等。传统做法是领域专家级工程师依靠经验提出需求，最终由应用程序开发人员实现整合。同时传统工业 APP 开发和迭代需要非常专业的软件开发人员，而且开发迭代周期比较冗长、费用高昂，无法及时响应业务需求。这就造成“懂业务的不会开发，而会开发的不懂业务”，合作成本高、又周期长。

新型基于微服务架构低代码开发云原生 APP 的方式，将彻底解决这一困局，已成为工业 APP 的主流开发方式。所谓低代码开发，是无需编码（0 代码）或通过少量代码就可以快速生成工业 APP 的开发平台。通过可视化模型化进行 APP 开发的方法（参考可视编程语言），使具有不同经验水平的开发人员可以通过图形化的用户界面，拖拽使用现有组件和模型驱动的逻辑来创建界面和移动应用程序。其一，低代码开发上手快：甚至完全不懂程序语言的业务人员都可以快速进行学习和应用开发。其二，低代码开发速度快：由于使用大量基于微服务架构的组件和封装的接口进行开发，使得开发效率大幅提升，并大幅降低开发成本；据行业统计数据显示，低代码能够提升 30% 以上的开发效率，而 0 代码（无代码）则能够数倍提升开发效率。其三，低代码开发运维快：一般情况下，低代码开发平台或 0 代码开发平台，由于采用基于微服务架构组件形式，以及面向对象的开发方式，使得代码的结构化程度更高，更容易维护。

微服务架构：

是一项在云中部署应用和服务的新技术。

低代码开发平台（LCDP）：

是无需编码（0 代码）或通过少量代码就可以快速生成应用程序的开发平台。通过可视化进行应用程序开发的方法（参考可视编程语言），使具有不同经验水平的开发人员可以通过图形化的用户界面，使用拖拽组件和模型驱动的逻辑来创建网页和移动应用程序。



基于微服务架构低代码开发云原生 APP 的方式，可彻底改变企业的开发模式：

- 培养企业全民开发工业 APP 能力：低代码开发模式，降低开发能力要求，使得每个工程师都可成为创新工业 APP 的开发者，逐步培养企业全民开发的能力，最终企业可把所有独特的工业知识真正沉淀到工业 APP 中。
- 促进企业内部协作开发：业务工程师可先采用无代码开发方式提出业务需求及界面框架；专职或专家级开发人员再继续深度开发，最终实现工业 APP。同时采用敏捷，快速实现开发业务工程师与专职或专家级开发人员之间的需求迭代。
- 促进传统 IT 人员的职业发展转型：新的工业互联网平台大大降低对传统基础 IT 和应用系统维护人员的需要；低代码开发云原生 APP 通过降低开发能力要求和快速响应可使传统 IT 人员快速成功转型为业务需求与应用软件的天然桥梁，人尽其用。
- 加速企业老旧应用系统的更新换代：企业众多的定制开发的老旧系统已经不能适应新的基础 IT 硬件环境，也缺乏开发维护资源持续更新，成为企业心病。采用低代码开发云原生 APP 和企业自身全民开发能力可以较低成本逐步将这些老旧系统迁移到新的工业互联网平台之上。

总之，基于微服务架构低代码开发云原生 APP 的方式，让懂业务的工程师发挥创造力，开发自己需要，包含专业知识的工业 APP，达到企业知识固化，使企业在数字化转型过程中变成知识型组织。

第七章：

数字化人才培养和生态圈建立

在当前的全球化制造背景下，企业的生存和发展离不开对成本和利润的科学管理。

机械加工企业想要在竞争中不断发展，在整个生产销售以及服务端都需要紧密围绕市场制定目标，如成本利润控制更优、产品迭代速度更快等……

在智能制造大背景下，排除企业间管理水平的差异，以上目标的实现归根到底是企业数字化技术应用水平和数字化技术技能人才工作能力的竞争；

再好的技术和战略也离不开人的执行与落实。因此，如何提升数字化人才的培养速度和效率也成为企业自身发展和竞争的重要工作。

在此，以数控数字化人才的培养和生态圈为例，从行业背景、人才选育、学习理念几个维度帮助大家进行分析数字化人才的培养：

1. 人才需求的行业背景分析是定义行业人才能力培养方向的基石

从行业角度来看，过去数十年间，随着我国在机械机电制造领域大面积推动数控化，利用数控加工技术规范化的特点极大推动了机械加工产品质量的提高。但是，未来十年，根据中国 2035 年 GDP 翻番的目标设定，要求 GDP 和工资要实现年均 4.5% 以上的增长。经济的高速持续性发展以及人口老龄化倒逼产业模式的自动化、数字化转型升级。机械与自动化数字化技术的融合，其核心是要求数控技术与传统自动化技术结合的同时，形成与数字化技术集成的“shopfloor”理念并与数控数字化双胞胎等技术相结合。围绕“实施机械加工车间数字化减少误操作”、“设备效能透明度与生产效率提升相结合”、“设计、调试、验证机电一体化集成”等，从实践的角度优化成本利润控制、加快产品迭代速度。

企业的产业升级要求技术人员水平和能力必须与产业的发展相匹配，传统通过学科化、集中学习培养工程师、技师的模式已经不能满足企业转型升级的新人才需求，如何加速将人才梯队从传统的“工程师”到数控数字化“新工程师”的数字化人才梯队转型，帮助机械加工企业抓住即将到来的中国制造业高速发展时代，是数控数字化人才所处行业需要解决的。

2. 人才选育是行业人员招聘及人才梯队建设的痛点

聚焦到机械加工制造的各领域，传统的单机作业、劳动密集型的生产作业模式随着国家环保政策及人口老龄化的到来越来越难以为继。2020 年开始，除了原有人口老龄化问题，由于新冠疫情爆发，严重依赖线下的生产加工产模

作者简介



杨轶峰

西门子（中国）有限公司教育行业高级经理。

负责数控 & 数字化相关行业教育政策与战略制定、校企合作管理。

研究方向是智能制造岗位群机械机电类人才胜任力模型与评价，职业活动导向课程开发技术，智能制造专业群相关专业建设咨询。

专业资质：

中国机械工程学会高级会员

国际认证职业培训师

中国智能制造挑战赛评审专家

中国职协学术委员会特聘专家

国家职业资格一级企业培训师

国家职业资格一级职业指导师

Shopfloor 理念：

Shopfloor 制造车间是产品生产和质量控制的核心环节。将整个制造业的工厂简化为多个车间和管理环节的模型模块的集成，这种方法会更方便地分析制造业现场效能的提升原理。

它通过数字化和自动化结合采集生产现场的数控机床等设备数据，并将数据保存并进行统计分析，将数据传送给需要的部门和人，为生产和制造过程提供依据。目的是在提升生产产能透明度的同时，显著提高生产率。

式受到冲击。在国家产业升级、研发税收抵扣等利民兴业政策的发布，越来越多具备前瞻视野的企业通过建立数字化车间及提高自动化水平降低线下生产对人工的过度依赖。技术的升级不可避免带来人员的需求变化，具备数字化能力的跨学科、复合型的新型技术技能人才，我们称之为新工程师亦或新技师成为企业高薪找平的主流，根据西门子 HR 部门过去 3 年的历史招聘数据调查显示，数字化相关的岗位平均招聘时间是传统岗位的 1.6 倍。可以预见同在工业制造业领域的机械加工制造数字化人才招聘竞争的激烈程度。

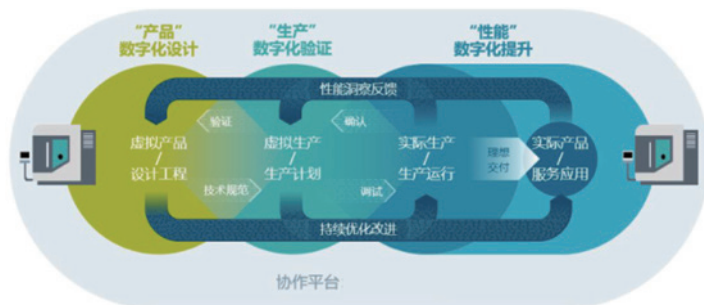
《人民日报》对三省六市 100 家企业的问卷调查结果显示，高达 73.08% 的企业认为，目前企业迈向高质量发展过程中最主要困难就是“技术人才缺乏”。制造业吸引人才正面临三难——“找不到”、“招不来”、“留不住”。《工业制造企业数字化人才战略指南》指出，超过 70% 的企业高管反映招聘到拥有合适技能的数字化人才并非易事。在企业内部，企业不是教育培训机构，在开展生产的同时配套齐全的培训队伍将加大企业的短期经营成本。企业后备人才方面，全球化制造业数字化技术的快速提升背景下，导致行业变化远远领先于院校的毕业生培养的师资与课程体系。传统的内培外招模式对数字化人才梯队的建立难度不小。如下问题成为困扰企业痛点：

- 制造现场人员到底需要提升哪些方面的数字化技术水平？
- 如何在不提高企业经营成本的前提下提高机械加工相关岗位员工的能力？
- 岗位新人从业后与企业的岗位技术技能差距较大，如何培养？
- 如何少用或不占用紧凑的工作时间，兼顾生活充分利用碎片化时间学习？
- 如何填补人员离职空挡组建“学与问”生态，帮助后备技术人员提升技术？

3. 人才学习理念更新是行业传统技术技能人才转型的重点

以上痛点，归根到底是“学什么”、“在哪儿学”、“怎么学”的问题。首先需要解决的是“学什么”！机械加工制造领域数字化战略的实施和流程改进需要全新的知识和技术技能体系；现有人员队伍从“管理人员—工程技术人员—现场操作人员”等不同人才层次，都存在完全或者部分不能满足业务发展的数字化理念或者技术的短板。

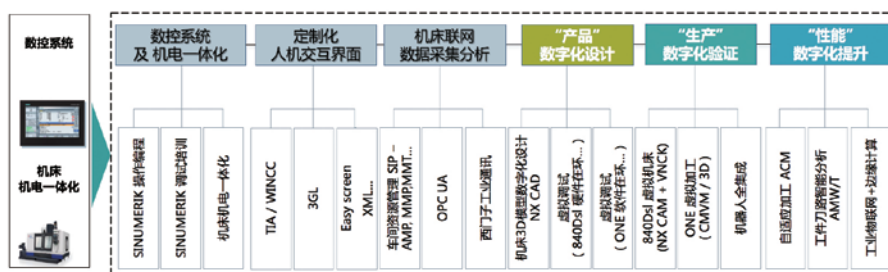
举例说，随着智能制造技术在机、电、信息融合的快速发展，“岗位与岗位”和“部门与部门”的界限越来越模糊。对于承担着生产制造领域核心技术工厂设备数控数字化新生产模式下的“工程师”而言，仅单一岗位能力已经不能满足现场工作需要。设备及现场工况变化倒逼他们成为必须具备跨专业、跨学科的综合知识能力和竞争力。以数控数字化工程师为例，围绕“工作内容”和“学习模式”两个方面，传统数控工程师或技师仅需掌握数控单一代码编程或者操作技术，或手动系统调试维修维护能力已经不能满足现场工作需要。从工作内容的角度来看（如下图），要求他们具备工作链、岗位群上下游的知识和能力，如岗位上游的产品设计数字化、生产工艺与验证数字化、并行岗位的设备能效数字化技术等，不仅解决问题，还需要发现和提出问题、避免问题，保证生产制造车间或售后服务的高质量。



机械加工领域数字化工作岗位整体实施和协同体系

重构传统知识结构，加速新工程师培养

那么，机械加工制造领域将会需要哪种类型的数字化人才呢？他们需要怎样的的知识结构来满足智能制造岗位群对机械加工技术的发展与迭代？如何推动机械加工制造行业工程师与技师的知识结构调整适应产业升级新形势的发展与变化？根据对通过对德国和中国灯塔型企业的规划和对优秀工程师的调研分析来看，如下图示表明，智能制造岗位群及工业 4.0 发展需要，新工程和新技术不仅需了解传统的数控系统技术，还需要强化 6 个纵向 18 个知识技术关键内容。



机械加工行业从业人员知识结构变化

4. 人才成长“社区”模式帮助行业搭建人才培养的易学生态圈

随着数字化、网络化学习时代的来临，在线学习平台因为其方便快捷知识更新迅速的特点成为新工程师学下的首选工具。针对企业的相关人才需求痛点，围绕“学习－激励－评估”构建数控数字化人才易学生态圈，为在职员工及新入职的员工提供提供贴近岗位与技术发展的学习库，通过“学习－激励－分享－思考”四维度建立积分会员体系促进持续性学习，并通过在线考核认证体系手段评估学习者的学校质量加强过程反馈。为企业数控数字化选人、育人、用人搭建生态圈系统。如下，以跟我数控网针对行业企业或者行业后备队伍的工科院校的知识体系（下图）实践为例，分析如何构建数字化人才成长社区与生态圈，解决行业痛点。



基于知识体系的行业人才培养与易学生态圈模式

完善知识学习库体系建设人才培养社区

知识学习库体系是通过易学易用的模式实现机械加工人才的培养。在线学习本身的知识库可以根据行业或者企业或者行业后备队伍的工科院校等的需要定向生成学习者的内容模块，可以包括分层级技术技能递进的专业视频、学习技术文章、小型案例研讨会。在这个过程中，持续记录学习过程与学习进度。同时，团队学习是数字化人才成长的重要形式，虚拟社区化的学习模式能够帮助行业人才融入学习、交流、互动的氛围，提升学习效果，推动机械加工行业人才培养，构建从设计、调试、数字化制造的人才生态圈，实现社区互助式学习共同提升，从而达到学习巩固的效果。

积分会员体系推动碎片化学习成为可能

从学习模式来看“返回学校或集中办班学习”的模式对于绝大多数人员实现难度非常大。有关资料显示，灵活的终身学习及多段学习已经成为制造业现场人员学习的主要形式，尤其是如何利用碎片化的时间系统学习已经成为机械加工人员跟上行业及企业的快速发展步伐，不断更新知识的重要手段。根据艾宾浩斯遗忘曲线的学习规律，通常学习方式是先快后慢，我们只有不断的重复才可以把短期记忆变成长期记忆。根据科学研究显示，每天若干次10-15分钟左右的时间，比如通过定期反复观看视频、阅读技术案例、聆听小型研讨会等，一年下来就能累计大量的行业技术。在学习手段上，随着互联网技术发展、智能手机的不断普及让这种碎片化的学习形式更为便利，为了避免和消除学习过程中的惰性并通过自我激励坚持学习，积分会员体系通过学习行为加分及分享成果激励的结构设计已经得到了普及应用，是评价在线或远程学习模式的重要标准。

搭建考核认证体系推动行业人才发展

机械加工制造行业的数字化发展，是智能制造领域实现重要“制造”环节输出的核心。搭建服务该行业的考核体系，需要具备三个要素：第一，体系的可靠性，需要具备数十年及以上的实体制造业经验积累，企业自身需要具备人才的工程教育或者二元教育长时间培养经验，及对行业发展的深刻理解；第二，体系本身需要配套基于技术技能实践和数字化发展的知识库；第三，

持续学习的激励体系。这样才能帮助学习者在进阶的学习内驱下不断学习。并在以上要素基础上，形成覆盖智能制造领域数控数字化全技术领域的在线学习体系。在这个体系下帮助行业企业（包括工科院校）培养大量在岗和未来新工程、新技师，更好地服务机械加工制造行业，支持制造业发展。

由于网络化的参与和共享机制，数字化知识和技能真正成为了一种可以完全分享化的资源。平台及平台支撑企业是否具备专业性、系统性、广泛适用性和规模性，能否依托平台全方位提升自身的知识结构、技巧、能力、方法、眼界，精准了解到行业发展趋势，提升数字化工作流程和数字化工具的应用能力，承担更加多元化的角色。学习者能否通过长期学习获得行业领军企业的认证，助力自身职业长期发展、甚至可能获得更高的薪水回报。这是行业企业及工科院校选择平台并坚持终身学习的重要因素，更是数字化人才培养和生态圈建立的价值体现。

扫一扫
查看更多



联系我们：

<http://www.ad.siemens.com.cn/CNC4YOU/>

主 编： 王海滨

副主编： 李 雷 杨大汉 方志刚

（以下按姓氏首字母顺序排列，排名不分先后）

特邀 SINUMERIK 数控专家委员会编委成员：

包鹏超 蔡 晶 方旭映 苟卫东 李郝林 林国勇

陆平山 雷学平 李 强 马建川 宋智勇 余学林

燕喜春 严昊明 曾令万 祝小军 周建华 张东元

张贝克

编 委： 边 疆 胡 毅 柯 庆 李 展 苏新宇

武 坤 杨轶峰 祖文全 周繁荣 张卓远

张 楠 张昆生 邹明政

感谢所有参与编写以及提供文献的西门子同事：

安允贵 陈德虎 吕 平 孟尔平 苏文键 汪 锐

钟 剑 张 悦

北方区

北京
北京市朝阳区望京中环南路7号
电话: 400 616 2020

包头
内蒙古自治区包头市昆区钢铁大街74号
国贸大厦2107室
电话: (0472) 590 8380

济南
山东省济南市舜耕路28号
舜耕山庄商务会所5层
电话: (0531) 8266 6088

青岛
山东省青岛市香港中路76号
颐中假日酒店4楼
电话: (0532) 8573 5888

烟台
山东省烟台市南大街9号
金都大厦16层 1606室
电话: (0535) 212 1880

淄博
山东省淄博市张店区心环路6号
汇美领域A座2314室
电话: (0533) 218 7877

潍坊
山东省潍坊市奎文区四平路31号
鸢飞大酒店2408房间
电话: (0536) 8221866

济宁
山东省济宁市任城区太白东路55号
万达写字楼1306室
电话: (0537) 239 6000

天津
天津市和平区南京路189号
津汇广场写字楼1401室
电话: (022) 8319 1666

唐山
河北省唐山市建设北路99号
火炬大厦1308室
电话: (0315) 317 9450/51

石家庄
河北省石家庄市中山东路303号
世贸广场酒店1309号
电话: (0311) 8669 5100

太原
山西省太原市府西街69号
国际贸易中心西塔16层1609B-1610室
电话: (0351) 868 9048

呼和浩特
内蒙古呼和浩特市乌兰察布西路
内蒙古饭店10层1022室
电话: (0471) 620 4133

东北区

沈阳
沈阳市沈河区青年大街1号
市府恒隆广场41层
电话: (024) 8251 8111

大连
辽宁省大连市高新园区
七贤岭广贤路117号
电话: (0411) 8369 9760

长春
吉林省长春市亚泰大街3218号
通钢国际大厦22层
电话: (0431) 8898 1100

哈尔滨
黑龙江省哈尔滨市南岗区红军街15号
奥威斯发展大厦30层A座
电话: (0451) 5300 9933

华西区

成都
四川省成都市高新区天华二路219号
天府软件园C6栋1/2楼
电话: (028) 6238 7888

重庆
重庆市渝中区邹容路68号
大都会商厦18层1807-1811
电话: (023) 6382 8919

贵阳
贵州省贵阳市南明区新华路126号
富中国际广场10楼E座
电话: (0851) 8551 0310

昆明
云南昆明市北京路155号
红塔大厦1204室
电话: (0871) 6315 8080

西安
西安市高新区天谷八路156号
西安软件新城二期A10、2层
电话: (029) 8831 9898

乌鲁木齐
新疆乌鲁木齐市五一路160号
新疆鸿福大饭店贵宾楼918室
电话: (0991) 582 1122

银川
银川市北京东路123号
太阳神大酒店A区1505房间
电话: (0951) 786 9866

兰州
甘肃省兰州市东岗西路589号
锦江阳光酒店2206室
电话: (0931) 888 5151

华东区

上海
上海杨浦区大连路500号
西门子上海中心
电话: 400 616 2020

杭州
浙江省杭州市西湖区杭大路15号
嘉华国际商务中心1505室
电话: (0571) 8765 2999

宁波
浙江省宁波市江东区沧海路1926号
上东国际2号楼2511室
电话: (0574) 8785 5377

绍兴
浙江省绍兴市越城区胜利东路375号
鼎盛时代大厦1105室
电话: (0575) 8820 1306

温州
浙江省温州市车站大道577号
财富中心1506室
电话: (0577) 8606 7091

南京
江苏省南京市中山路228号
地铁大厦18层
电话: (025) 8456 0550

扬州
江苏省扬州市邗江区博物馆路547号
德馨大厦1508室
电话: (0514) 8789 4566

扬中
江苏省扬中市前进北路52号
扬中宾馆明珠楼318室
电话: (0511) 8832 7566

徐州
江苏省徐州市泉山区科技大道
科技大厦713室
电话: (0516) 8370 8388

苏州
江苏省苏州市新加坡工业园苏华路2号
国际大厦11层17-19单元
电话: (0512) 8780 3615

无锡
江苏省无锡市县前东街1号
金陵大饭店2401-2402室
电话: (0510) 8273 6868

南通
江苏省南通市崇川区崇川路88号
国际贸易中心4006室
电话: (0513) 8102 9880

常州
江苏省常州市关河东路38号
九州寰宇大厦989室
电话: (0519) 8989 5801

盐城

江苏省盐城市盐都区
华邦国际大厦A区2008室
电话: (0515) 8836 2680

昆山

江苏省昆山市前进东路399号
台协大厦1502室
电话: (0512) 5511 8321

华南区

广州
广东省广州市天河路208号
天河城侧粤海天河城大厦8-10层
电话: (020) 3718 2222

佛山
广东省佛山市南海区灯湖东路1号
友邦金融中心2座33楼J单元
电话: (0757) 8232 6710

珠海
广东省珠海市香洲区梅华西路166号
西藏大厦13层1303A号
电话: (0756) 335 6135

南宁
广西省南宁市青秀区民族大道131号
万豪酒店25层朱槿厅
电话: (0771) 552 0700

深圳
深圳前海前湾1路前海嘉里中心
T1-5楼市场部
电话: (0755) 2693 5188

东莞
广东省东莞市南城区宏远路1号
宏远大厦1510室
电话: (0769) 2240 9881

汕头
广东省汕头市金砂路96号
金海湾大酒店19楼1920室
电话: (0754) 8848 1196

海口
海南省海口市滨海大道69号
宝华海景大酒店803房
电话: (0898) 6678 8038

福州
福建省福州市晋安区王庄街道长乐中路3号
福晟国际中心21层
电话: (0591) 8750 0888

厦门
福建省厦门市厦禾路189号
银行中心21层2111-2112室
电话: (0592) 268 5508

华中区

武汉
湖北省武汉市武昌区中南路99号
武汉保利大厦21楼2102室
电话: (027) 8548 6688

合肥
安徽省合肥市濉溪路278号
财富广场首座27层2701、2702室
电话: (0551) 6568 1299

宜昌
湖北省宜昌市东山大道95号
清江大厦2011室
电话: (0717) 631 9033

长沙
湖南省长沙市天心区湘江中路二段36号
华远国际中心24楼2416室
电话: (0731) 8446 7770

南昌
江西省南昌市北京西路88号
江信国际大厦14楼1403/1405室
电话: (0791) 8630 4866

郑州
河南省郑州市中原区中原中路220号
裕达国贸中心写字楼2506房间
电话: (0371) 6771 9110

洛阳
河南省洛阳市涧西区西苑路6号
友谊宾馆512室
电话: (0379) 6468 3519

技术培训
北京: (010) 6476 8958
上海: (021) 6281 5933
广州: (020) 3718 2012
武汉: (027) 8773 6238/8773 6248-601
沈阳: (024) 8251 8220
重庆: (023) 6381 8887

技术支持与服务热线
电话: 400 810 4288
(010) 6471 9990
E-mail: 4008104288.cn@siemens.com
Web: www. 4008104288.com.cn

亚太技术支持 (英文服务)
及软件授权维修热线
电话: (010) 6475 7575
传真: (010) 6474 7474
Email: support.asia.automation@siemens.com

公司热线
400 616 2020

扫描关注
西门子中国
官方微信



西门子（中国）有限公司
数字化工业集团

如有变动，恕不事先通知
订货号: DIMC-B80015-00-5DCN
5235-SH903002-05213.5

西门子版权所有

本样本中提供的信息只是对产品的一般说明和特性介绍。文中内容可能与实际应用的情况有所出入，并且可能会随着产品的进一步开发而发生变化。仅当相关合同条款中有明确规定时，西门子方有责任提供文中所述的产品特性。

样本中涉及的所有名称可能是西门子公司或其供应商的商标或产品名称，如果第三方擅自使用，可能会侵犯所有者的权利。