栏目编辑 | 杨启森
yangqs@idnovo.com.cn

数字化车间建设研究与实践

文 | 何玺 何波 成都四威高科技产业园有限公司

摘　要：本文通过分析当前国内外制造行业发展的趋势和要求，结合自身建设实践经验，提出了数字化车间建设的基本思路、总体框架、建设内容、建设路线，可作为企业在进行数字化车间升级建设方面的参考。

关键词：数字化车间建设；基本思路；总体框架；建设内容；建设路线

一、概述

随着新一代信息技术的发展，德国的工业 4.0、美国的先进制造业国家战略计划以及中国的《中国制造 2025》纷纷出台，各国争相争夺智能制造的战略制高点。智能制造得到国家层面广泛的重视，来自于新一轮科学技术对工业的革命性的影响。企业试图在相应领域继续保持领先的地位，基本的途径就是通过实施智能制造（包括智能产品、智能装备、智能生产、智能管理和智能服务）先发制人，抢占产业发展的制高点，做到理念领先、技术领先、产业领先、标准领先和市场领先。工业与信息化部《智能制造发展规划（2016-2020）》中指出全球新一轮科技革命和产业变革加紧兴起，与我国制造业转型升级形成历史性交汇。智能制造在全球范围内快速发展，已成为制造业重要发展趋势。

从市场顾客的发展分析，在数字化制造的大趋势下，大都已全面推行数字化设计、制造，将逐步过渡到三维模型等无纸化生产。为跟进客户的发展要求，必须建立与之匹配的数字化制造条件，才能满足客户的要求。

二、基本思路

将高档数控机床和机器人等智能装备与信息技术、软件深度集成融合，实现精密零部件柔性混线生产，提高柔性数字化示范线加工过程的管控能力，实现生产效率、设备利用率和产品质量稳定性水平的综合提升，通过柔性数字化示范线监控系统的部署和应用，将生产线的实时生产状态信息与制造执行系统进行无缝集成，实现制造信息化系统与生产过程集成运行；通过监控系统对生产过程的实时监测、动态分析、优化决策以及精准执行，使柔性自动生产线高效、优质及低耗运行，实现生产环节的降本增效。

三、总体框架

数字化车间的总体框架如图 1 所示。

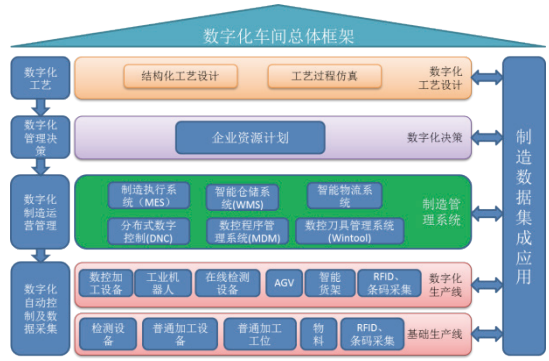

图 1 数字化车间总体框架

四、建设内容

以精益管理为指导思想，以互联互通为基础，以数字化为手段，采用新一代信息通信技术、先进制造技术和自动化技术等技术，重点提升生产过程信息化管控、车间仓储及物流配送等能力，完善设备、刀具和程序管理，实施系统集成，实现管理高效协同，实现产品生产制造全过程可视化管理，产品信息全流程可采集、可追溯，建设以高档数控机床为核心的精密零部件加工数字化车间。

同时，建立全车间覆盖的工业互联网，采集车间内数控

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

装备、工业机器人、智能检测设备、物流装备、仓储装备、工装夹具及刀具等数据，并建立中心数据库，利用数据资源，完善工业生产管理、优化生产流程、减少能源消耗、节约生产成本。

具体包括：

（1）对数控加工设备进行数字化、智能化改造提升，实现设备运行及产品加工状态的实时监控。

（2）采用加工中心、自动化夹具、机器人、AGV 智能物流系统及智能仓储系统等智能装备，通过协同控制，实现车间多种智能装备之间协同自动化作业。

（3）对车间总体布局、网络架构及软件体系进行系统规划，搭建柔性工作单元、柔性仓储物流系统，组成柔性制造车间，通过数字化车间三维建模、仿真手段对自动化协同建设方案进行规划验证。

（4）通过车间集中控制，车间生产数据、设备运行状态参数及产品质量检测数据自动采集，实现车间制造信息数字化。

（5）部署 RFID 识别系统，建立产品及刀具过程信息追溯系统。

（6）在线采集产品的质量数据，传输至 MES 系统，通过软件分析，实时优化制造工艺，实现产品质量闭环控制。

（7）根据发展需要，自研或联合开发新型制造执行系统，实现车间整体信息化、智能化。

五、建设路线

1、车间布局

根据产品的工艺要求和布局原则，进行车间布局设计，构建三维车间模型。在数字化车间环境中，可以进一步对布局进行优化调整，从工序内容的角度出发，设计每个工位的作业范围、空间等，针对工位具体的作业内容，确定操作者动作内容等。

借助三维车间布局平台，可以定性和定量地分析设备和装置之间的相互关系，通过仿真分析车间物流是否合理、设备的利用率以及设备位置是否发生干涉情况；通过虚拟操作仿真，进行人机工程分析，验证工作空间是否合理，工作域的可达性，以及人与机器的能力是否匹配；同时考虑到工作环境问题，综合考虑以上因素及其相互作用。

2、设备改造及升级

对现有设备进行功能改造和提升，引进配置自动对刀系统、工件自动寻边找正系统以及在线加工自动检测等功能系统，自动夹具系统等，提高加工设备的柔性化水平。加强现有单机设备的精益化管理，加强对设备的年检、精度校正和精度恢复调整工作。

联合自动化设备设计及生产厂家，针对企业产品及加工工艺过程特点进行分析论证，以改变现有部分离散、多工序及多工步的生产现状，通过自动化生产设备（或生产线）的方式进行生产制造，提高自动化、柔性化制造能力。

根据产品结构设计的发展趋势，逐步增加引进四轴、五轴及车铣复合等先进设备及生产线，以适应当前的发展趋势。

3、提升完善信息化基础能力

车间信息化建设应该主要开发、升级和完善车间制造执行系统、分布式数字控制系统、数控程序管理系统、数控刀具精益管理能力、机床监控与数据采集能力、网络及显示终端等。

（1）开发车间制造执行系统（MES）。

制造执行系统体现的是企业的生产制造管理思想。基于当前企业在制造环节面临的问题，应依托制造执行系统，结合智能物流系统、智能仓储系统，形成一种基于计划信息、现场工位实时进度信息进行工位物料配送的按需生产的精益制造新模式，即基于数据驱动的精益智能制造新模式。

制造执行系统建设方面，主要以数字化和智能化为主，利用车间网络将车间加工设备、物流仓储设施、数据采集系统接入，实现加工程序下载执行、刀具管理、物流及路径规划和现场数据采集均根据 MES 指令动态执行，形成数据驱动的制造车间决策支持系统。通过一套平台化的车间管理系统，围绕零部件数字化车间建设，建立统一的数字化制造管理协同工作平台。

（2）升级分布式数字控制系统（DNC）。

分布式数字控制系统（DNC）是以计算机技术、通讯技术、数控技术等为基础，把数控机床（含其他数字化设备）与上层控制计算机集成起来，从而实现数字化生产设备的集中控制管理，以及设备与上层控制计算机间的信息交换。

DNC 系统属于工厂信息化建设重要组成部分，是数字化车间的前提和基础，它负责对车间现场的生产设备进行数字化、集群化和网络化管理，负责数控设备的网络传输、程序集中统一管理，是 MES 系统与数控设备之间信息沟通的桥梁，是分布在车间的 MES 子系统。DNC 系统接收来自上层 MES 系统的计划指令，并将生产指令、数控程序等信息

传递给车间现场和设备。

DNC 系统需要满足以下功能要求：

◎网络通讯功能。

◎在线加工功能。

◎远程操作功能。

◎透明的传输过程。

◎传输管理功能。

◎强制上传功能。

◎良好的内部集成性。

◎稳定性和可靠性。

◎良好的兼容性。

（3）引进数控程序管理系统 (MDM)。

建立基于数据库的程序数据库管理，对数控程序及相关联的工艺及加工文档进行集中的科学管理，对程序实现严格的权限管理、版本管理、流程管理，实现数控程序的全生命周期管理，满足企业当前及未来的程序管理模式。系统可以根据用户的需求进行自定义配置和定制，解决文档的共享、查询、安全控制及版本管理问题。

数控程序管理系统应具备如下功能：

◎产品结构树管理。

◎多类文件管理。

◎生产文档的流程管理。

◎人员角色权限管理。

◎ MDM 与 DNC 机床联网通讯系统集成。

（4）建立数控刀具精益管理系统（Wintool）。

刀具管理在机械加工企业，尤其是数字化车间中扮演着重要的角色，而数字化车间除了需要将所有硬件软件设备（包括计算机、CAM 系统、MES 系统和数控设备等）通过 DNC 连接起来，刀具管理系统与 CAM 系统、MES 系统和 DNC 系统进行整合外，最重要的进行业务流、信息流上的无缝衔接，这包括所有的零件数据、设备数据和工具数据能够在各个部门间进行共享，达到实时传输的目的，杜绝生产过程中的死角，尽量做到不发生问题或者发生问题能够第一时间解决。

通过建立刀具管理系统，实现加工等待时间（如刀具准备等）的减少，如 NC 编程、刀具订单、刀具计划编排、刀具库存和刀具设定等环节会导致了正常使用的机床在做刀具准备时的等待的发生；实现串行工作流转变成并行工作流，提高工作效率，降低工作成本。

刀具管理系统至少应包括如下功能要求：

◎刀具信息管理。

◎文档管理。

◎版本控制。

◎库存管理。

◎流程管理。

◎条形码扫描。

（5）完善机床监控与数据采集能力（MDC）。

通过 MDC 系统，实现对全部机床的实时监控，实时获知每台机床的运行效率、工件生产数量，实现生产信息的自动、准确和实时采集，形成生产计划的闭环管理，从总体上实现柔性生产管理。通过条码扫描枪或操作屏幕在现场的应用，统计操作者的工作效率，可以清楚的分析不同的操作者在操作同一设备的工作效率比对，以及分析一个操作者操作不同设备工作效率的比对等。

（6）更新改造网络及显示终端。

通过对企业现有网络的分析，已经不能满足企业未来数字化制造转型发展的要求，可联合社会资源，根据企业发展的需求，更新改造建立数字化车间设备网络，从而满足企业发展要求。

同时，为适应未来无纸化制造的实际要求，需要配置满足三维数模显示要求的计算机等设备。

4、升级开发多车协同物流系统

根据工艺流程和生产计划实际情况使用近似算法（NPC）实现智能物流配送，AGV 调度系统从 MES 系统获取生产计划信息，以及物料配送计划，根据配送计划自动将待加工零件托盘从待加工存放区转运至相应的机床加工工位，加工过程中数据采集系统自动采集机床数据，并上传给 MES 系统，当托盘上零件加工完成后，MES 系统通知 AGV 调度系统自动将加工完工件托盘转运至检验区。

多车协同智能物流系统能大幅减少人工周转工作，提高物流周转效率和准确性，是车间物流运送智能化的集中展示。

5、升级开发智能仓储系统

（1）建立以仓储管理系统（WMS）为核心的物料存储中心库房。

为实现高效的面向工位的配送机制，同时减少库房人员工作量、提高拣货效率，需要建立起有效的仓储管理系统（WMS），对库房库位进行精确管理。能够按照工位生产需要进行快速的拣货、出库配送，同时可以精确地实现出入

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

库信息管理、上下架、库存盘点和齐套性分析提示等工作。

（2）建立以 AGV 为执行设备的仓储系统。

针对可以通过物料箱进行标准化放置并上架的物料，由仓储管理系统（WMS）控制 AGV 设备搬运标准料架，结合辅助拣选系统，高效地实现货到人的分拣方式，达到实现工位需求物料快速分拣的要求。信息流上，实现与 AGV 调度系统的无缝对接，保证物料存储过程和配送过程的平滑过渡。

6、异构系统集成

（1）MES 与 PDM/CAPP 系统集成。

MES 从 PDM/CAPP 系统中获得设计数据，包括设计图纸、物料和工艺文件等信息。这些信息可以在 MES 中进行浏览和查询，用于指导排产和生产控制。

（2）MES 与 ERP/WMS 系统集成。

在生产、物流、仓储管理、财务和质量管理等方面通过 ERP/WMS 系统进行管理，而 MES 系统主要实现车间生产订单的过程管理及监控；为了使 MES 信息化系统更好地进行数据共享，减少操作人员手工录入数据的工作，减小失误，需建立完整的生产订单信息互通，需要进行两个系统间通过接口实现数据传输。

（3）MES 与 MDM 系统集成。

MES 系统负责向 MDM 管理系统推送生产计划、图纸和工艺等信息；试切流程处理和意见反馈，即数控程序确认反馈。

MDM 管理系统负责向 MES 系统提供数控程序准备信息；是否需要进行数控程序确认信息；手工编制的数控程序上传至 MDM 制造数据管理系统后反馈信息到 MES 系统。

（4）MES 与 MDC 集成。

通过准确、及时、客观、自动的数据采集系统，为 MES 系统提供准确、及时的生产完工信息，以及所有机床可用状态等。实现实时获知每台机床的当前加工的工件和工件生产数量；实现 MES 系统对生产制造管理系统的车间作业子系统中的派工单进行管理；实现 MDC 系统采集机床运行信息后实时添加到 MES 中相关数据库，MES 系统提供对设备实时运行状态和历史运行数据的显示；实现 MDC 可以访问 MES 中生产作业计划的产品信息。

（5）Wintool 与 CAM、VERICUT 集成。

刀具管理系统与 CAM、VERICUT 系统结合起来，在数控编程时给予实际现场可使用的刀具，并给出实际的刀具参数值和几何轮廓，减少由于现场无法找到刀具和刀具实际值和编程值不一致造成的修正时间。同时，刀具管理系统将刀具的实际测量数据在每次加工结束后记录下来，在下次编程时直接输出给 CAM 系统，这样做到了理论和实际的匹配，提高工作效率。

（6）Wintool 与 ERP、MES 集成。

将刀具管理系统接入到 MES 和易飞系统中，实现通过 MES 系统自动触发获取生产零件的准备文件；实现与易飞系统协同获取采购状态。

（7）Wintool 与 DNC、MDC 集成。

刀具管理系统与 DNC、MDC 系统集成，实现刀具寿命控制管理（避免由于断刀导致的非正常使用的机床等待时间）。

7、基于数字化车间的集控中心建设

基于数字化车间，建设集控中心，结合 MES 等系统数据，融合数字化网络视频监控技术，使得生产过程透明化，可视化，极大的提高生产管理水平和管理效率。

8、典型零部件数字化示范线建设

为了提升企业制造能力的智能化水平，同时服务于企业数字化车间解决方案的展示，通过建立典型零部件数字化示范线的方式，整合多种信息化和自动化技术，展示生产线的智能化整体解决方案。

数字化示范线以数控加工机床为核心，通过机械手和快换托盘，实现机外装夹和自动上下料，通过在线检测系统，实现工件自动找正；通过机床通信，实现机床参数采集和机床运行控制，通过柔性单元中控系统与 MES 系统的通信，实现生产计划任意调整。通过室外 AGV，使物流配送更加及时，拉近仓储与加工现场的距离；数字化示范线极大地提高了数控机床的利用率，同时缩短了产品生产周期，提高了生产的灵活性，使无人生产成为可能，是数字化车间的缩影。

六、建设成效

通过以上建设，可明显提升企业的数字化、智能化制造水平，提高生产制造过程质量控制能力，可使生产制造全过程未端到端打通，降低沟通成本，降低重复劳动，提升业务运作效率，可使生产制造全过程进度信息流、实物流一致，进度可控，可实现生产效率、设备利用率和产品质量稳定性水平的综合提升。通过数字化能力建设，可使企业顺应行业发展潮流和趋势，抓住发展的机会，实现制造模式的升级转型，建立与顾客匹配的数字化制造条件，从而更好地满足顾客需求。