

在变速器行业的“智能化”道路上，国外关键零部件龙头企业基本实现了智能化生产。国内零部件生产企业除少数企业达到一定程度的自动化和智能化生产，大部分企业在生产效率、产品质量、能耗和环保等方面还需要进一步提升，在关键零部件制造行业中，智能制造的推广还处于起步阶段。

□ 麦格纳动力总成（江西）有限公司 芦杰 蔡安旭 赵江英 曾林伟

智能制造在变速器加工中的应用研究

智能制造的发展是当前国内普遍关注的话题，且随着技术水平的日益提升，以及国家产业调整、推行智能制造等一系列政策的实施，我国变速器企业加大技术改造力度，部分企业的装备水平已达到国际先进水平，但是因为工艺设计理念和技术落后，使我们在关键零部件产品质量上与国际先进水平仍有差距，尤其在先进的三维实体参数设计和工艺仿真分析能力上，国内大多数企业还未能具备全面使用的条件，尤其是在与主机厂的同步设计上差距较大。

国外变速器关键零部件企业大量使用高档数控机床、精密磨床等加工设备，产品加工精度高，一致性好，机器人代替人工，车间智能化物流系统可进行实时追踪。国外在智能在线检测和柔性装配技术上具有强大的优势地位，关键零部件在线 100% 检测，如在液压挺杆装配线上达到零缺陷 100% 检测，生产节拍：1~2 s 完成 7 个零件组装的部件产品，建立了完善的质量体系，全程跟踪，售后不良品可追溯。

国内企业基本实现了自动化生产，但车间信息流不完整，信息孤岛多，有些生产环节还靠大量人工完成，核心智能装备使用率较低。国内关键零部件的在线实时检测能力有较大差距，有些环节靠手工检测、手工记录，检测信息的时效性和准确性不足。通过对国外先进智能装备的分析，研制国产自动检测柔性装配生产线是解决目前落后状态的根本措施。

CAD、CAE、CAM 和 PDM、PLM 的集成应用是制造业中影响力大、使用范围广的重要技术，国外公司在接到客户的三维 CAD 数据后，根据不

同的产品结构，最快可以 30 天内为客户提供产品样品。目前国内关键零部件生产企业很难具有这样的设计、制造能力。

变速器制造引入“智能制造”理念，可以实现信息化、智能化、自动化与现场加工过程的紧密结合，极大地提高了工作效率，在智能化，自动化制造方面又迈进了新的一步。

系统目标

实施智能制造，需要建立以下目标：车间 / 工厂的总体设计、工艺流程及布局建立数字化模型，并进行模拟仿真，实现规划、生产及运营全流程数字化管理。

1. 车间总体设计、工艺流程及布局数字化建模

实现虚拟车间与实际车间运动同步，同步延时时间不超过 2 s；监控数据应能根据要求提取，且响应时间不超过 2 s；在设备发生故障时，应有信息提示或者报警功能，并且可以通过虚拟监控软件定位，时间不超过 1 s。

2. 车间互联互通网络架构与信息模型

实现了高档数控机床与工业机器人、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备等关键技术装备之间的信息互联互通与集成。

建立工厂内部通信网络架构，实现设计、工艺、制造、检验、物流等制造过程各环节之间，以及制造过程与 MES 和 ERP 的信息互联互通。

通过车间拓扑网络的全面覆盖，配合区域无线网络应用，实现车间整体网络覆盖率 99.99%；



打通关键设备的通信协议和接口，关键设备互联率达到 90% 以上。

3. 产品数字化三维设计与工艺仿真

建立了产品数据管理系统（PDM），实现产品设计、工艺数据的集成管理；产品研发周期缩短 10%；对于作业指导书的更改，标准工序更改提效 90%，非标更改提效 55%。

4. 制造过程现场数据采集与可视化

建立生产过程数据采集和分析系统，实现生产进度、现场操作、质量检验、设备状态、物料传送等生产现场数据自动上传，并实现可视化管理；制造现场所有关键设备均可进行数据采集；现场数据采集响应频率达到 0.1 s；用作现场管理的数据有可视化看板配合显示，方便管理人员使用，采集设备通过数据采集与监视控制系统软件实现虚拟工厂设计，提高整体运营的可视化管理水平。

5. 现场数据与生产管理软件实现信息集成

采集后数据通过数据挖掘和云计算等手段，用于有关生产管理软件；各生产管理软件之间的数据可以集成显示，不同运营维度的指标做到集控管理。

6. 管理水平与协同管理效率提升

车间制造执行系统（MES）实现了计划、调度、质量、设备、生产和能效等管理功能。产品全生命周期管理（PLM）和企业资源计划（ERP）实现了供应链、物流、成本等企业经营管理功能，同时实现了信息系

统间高效协同与集成。根据公司集团化管理的需要，各基地三大系统的协同管理覆盖率应达到 99.99%；并结合公司生产管理需求进行相关的定制开发，使 PLM、ERP 与 MES 数据同步率达到 90% 以上。

7. 数据分析与优化

在实现数据采集后，形成生产制造的大数据库，将人工管理的经验转换为标准数字化管理模型；通过软件后台运算实现自动分析，提高运营决策的响应效率。通过持续改进，实现企业设计、工艺、制造、管理、物流等环节的产品全生命周期闭环动态优化，推进企业数字化设计、装备智能化升级、工艺流程优化、精益生产、可视化管理、质量控制与追溯、智能物流等方面的水平快速提升。

8. 按需拉动式智能物流管理体系

逐渐通过自动化立库、AGV 小车、地下输送线等物流运输自动化装备的使用，实现厂区之间的无人化运输；应用 RFID 等感知技术，实现厂内大物流的全程受控管理，各物流环节协同运作，最终实现以总装为中心的按需拉动式智能物流管理体系。建有工业信息安全管理和技术防护体系，具备网络防护、应急响应等信息安全保障能力。建有功能安全防护系统，采用全生命周期方法有效避免系统失效。

系统模块设计

1. 工厂 MES 支持拉式生产模式转型

根据经济生产批量、工作

时间、故障时间、设备利用率、每个零件工序加工节拍、看板张数、看板零件数、物料需求、废品率、物料配送容器、配送频次、配送策略、单位容器满装数量、配送地址、响应时间、安全库存以及配送经济批量等参数，系统按设定时间，检查 MIN-MAX 或生产需求自动释放生产看板订单。拉动系统实施后的收益包括：生产过程透明化、生产计划可自动下发到各生产单元、通过电子看板关联各个生产单元，提高了生产的均衡性，避免过度生产，减少了在制品库存。

搭建一个基于信息化、网络化的检验检测数据管理系统平台，实现项目范围内航电部、机电部的检测设备的数据数字化采集。与工厂结构化工卡系统集成，按照结构化工卡的标准，获取结构化工卡信息，并可将采集的设备数据返回结构化工卡系统。打通 MES、数字化工艺系统、质量管理体系间的信息孤岛，总体规划各系统间的数据交互接口。实现数字化质量数据采集，保证过程中数据的充分、真实、实时和易操作；从根本上解决检测数据和试验数据手工填写和产品记录纸质传递的管理现状，并实现修理全流程的无纸化在线运行。

2. 装配线 DCS 负责执行和数据采集

装配线 DCS 是位于工厂 MES 下层的负责生产执行、数据采集、指导生产，并与底层 PLC 进行交互控制的现场执行系统。工厂 MES 负责安排生产计划，进行订单排序，按订单

需求定时定点将物料配送到工位，如图 1 所示。

在实施 RFID 项目后，不再需要打印单据，所有动作全程实现信息化。物流配送到车间后系统自动接收；零件工序完工后系统自动报工；零件跨车间转移后系统自动接收；通过系统采集员工录入，系统自动统计生产节拍和转移的时间，如图 2 所示。

3. 智能装配防错系统 FlexPoint

FlexPoint 是一套基于投影和机器视觉的装配指导系统。它可基于照片、文字和位置等的投影，指导工人按顺序安装，

1	1	2	等待托盘到位
2	2	1	上料卡扣和导套
3	2	2	用套筒将卡环装配到位
4	2	3	检测卡环是否装配到位
5	3	1	安装6档滚针轴承
6	3	2	安装6档从动齿轮
7	4	1	安装3个开口挡圈和1个锁环
8	5	1	安装7档滚针轴承
9	5	2	安装7档从动齿轮
10	10	1	结束装配

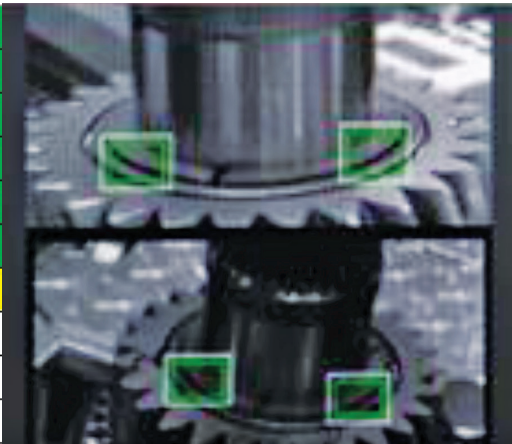


图 3 智能装配防错系统 FlexPoint

系统采用无纸化的操作指导书，通过摄像头以照片和视频的方式记录工作流程，并可实现追溯；利用人工智能与机器视觉相结合，可以测试、检查和强制

确认装配工作的顺序；同时可通过物料标签和 RFID 读写器实现追溯物料，如图 3 所示。

结束语

实现全方位的质量数据分析，让企业能够挖掘出质量过程支持经营目标实现的应有价值，以数据技术作为核心力量系统引入了“智能制造”理念，实现车间 MES 拉式生产，装配线 DCS 负责执行和数据采集，产线智能装配防错系统 FlexPoint，使整个过程智能化、自动化。

本系统能够有效地帮助工厂进行生产管理、提高生产效率、实现产品质量全程追溯、开展智能化转型，为后续的智能制造奠定了研究基础。AI

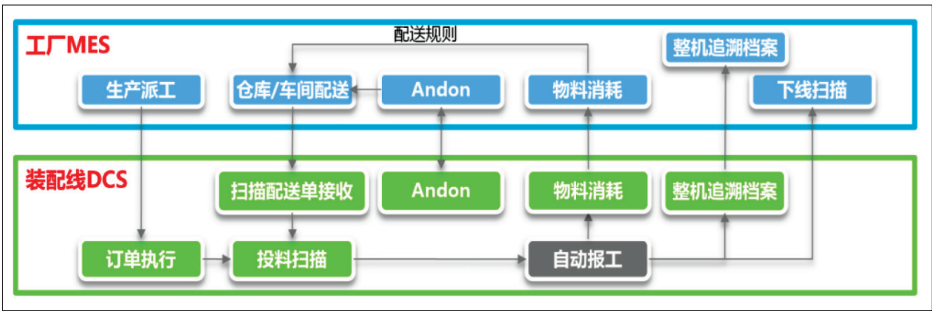


图 1 装配线 DCS 和工厂 MES

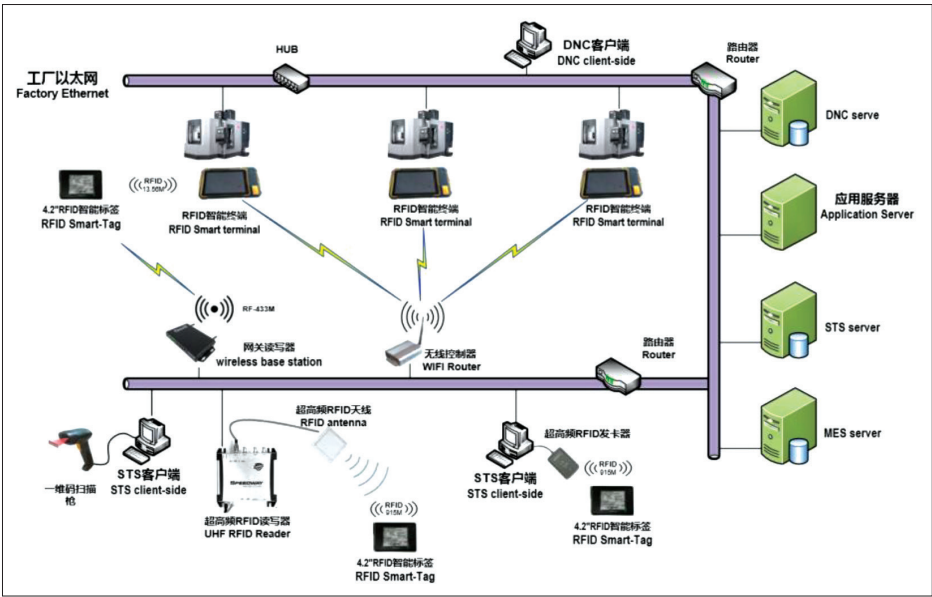


图 2 RFID 项目