汽车电机智能制造综合标准化与新模式探索

文/卧龙电气驱动集团股份有限公司

成立于2011年的卧龙电驱EV电机事业本部，专注新能源汽车电机的研发、制造和销售。依托集团电机生产领域的全球领先优势，整合市场资源和创新技术，卧龙电驱打造的新能源电机数字化工厂，解决了汽车电机智能制造的关键技术瓶颈，带动行业创新发展，向数字化、智能化制造转型。

◎ 汽车电机制造数字化车间

随着全球性能源危机日趋严重，汽车能源和动力转型势在必行。自“十五”以来，我国新能源汽车进入快速发展阶段，在政策支持下中国有望成为世界新能源汽车产业中心，作为新能源汽车关键零部件之一的电机市场需求巨大。

卧龙电气驱动集团股份有限公司（以下简称“卧龙电驱”）经过三十多年的创新发展，现已成为全球主要的电机及驱动解决方案的制造商之一。卧龙电驱从2016年开始对新能源汽车电机智能制造新模式应用项目展开攻关，结合智能制造标准，攻克虚拟仿真、信息安全等关键技术，研发生产管理等核心软硬件，集成应用数控机床等关键技术装备，实现了融合研发设计等多系统为一体的智能制造新模式，最终建成了拥有自主知识产权的集冲压等多个关键工艺的新能源汽车电机制造数字化车间，现已投入实际运营。

实现信息化平台互联互通

要建设“高透明度、高效率、高水平、自动化”的数字化车间就要实现信息化平台的互联互通。卧龙电驱在新能源汽车电机制造数字化车间的建设中，主要从以下几方面入手：

1）对产品生产计划、制造工艺、质量管控、设备管理、物料配送和人员管理等多方位的业务流程进行梳理，对生产制造流程进行标准化和规范化，建立起流程之间的有效连接与信息共享。

2）建立一套基于制造运营的MES系统管理信息平台，在对车间各个环节生产数据实时采集的基础上，对数据进行跟踪、管理与统计分析，打造高效、精益及可视化现场管理，提升生产透明度与效率。

3）建立灵活、高效的制造过程控制体系，加强实行实时监控，基于MES系统的数据统计和分析，及时发现异常并进行快速处理，从而保证和提高生产过程能力，提高生产过程的稳定性，降低不良率。

4）构建产品快速追溯体系，为产品质量控制及质量改进提供高效追溯查询支撑。

5）实现生产过程信息数据的集中存储和网络共享，建立全公司信息平台，打通车间及SAP、PLM、WMS和自动化相关硬件，实现透明化、数字化工厂，构建智能化工厂管理系统。

项目实施后，电机数字化车间实现了7种信息化平台的互联互通和互操作，在原来孤立的各信息平台间建立了互联互通的渠道，实现了电机制造信息化系统中的信息流转，最终形成了电机行业的数字化车间信息化平台互联互通的智能制造新模式。这7种平台包括电机产品数字化三维设计与工艺仿真平台（PLM）、制造执行系统（MES）、过程控制系统（PCS和DNC）、企业资源计划系统（ERP）、智能物流仓储系统、在线检测系统和能效管理系统。

同时，本项目建设的数字化车间，从工业控制、信息管理与信息安全等方面建立全面的安全体系。

数字化车间建设的技术创新点

新能源汽车电机制造数字化车间建设了基于不同直径的定转子数字化生产线、嵌线数字化生产线、金加工数字化生产线、绝缘系统数字化生产线以及智能化装配数字化生产线。在这里，应用了大量自主研发的基于信息化的电机设备及关键部件生产和检测的自动化设备。

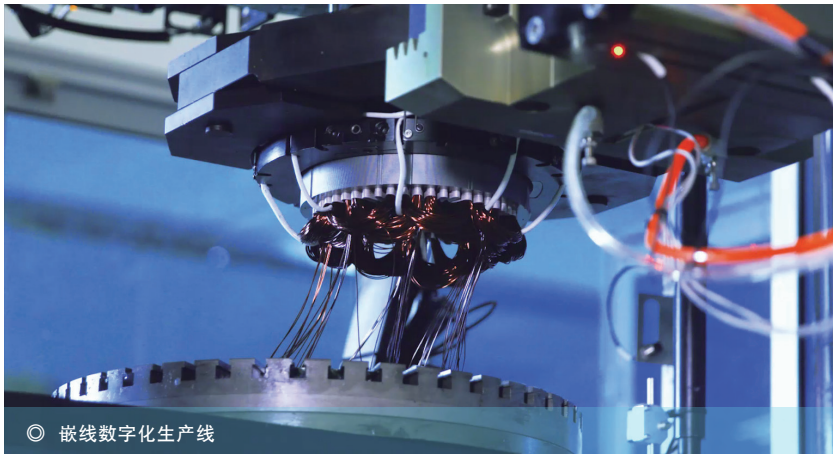
1. 基于不同直径的定转子数字化生产线建设

（1）自动冲压

针对传统冲压工艺中手工收集冲片速度慢、效率低且安全隐患大的问题，创新开发了定、转子冲片自动收集、转运、检测和码垛等技术。系统采用高精度机器人导向、定位、进给、调整控制技术及视觉检测等关键技术，完成了自动冲工序和在线检测系统，实现了产品的有序排列及自动装箱码垛。自动冲压关键技术实现了硅钢片冲压的最高生产速度达到350片/min，硅钢片的利用率达到70%以上。每个机器人都带有“安全域”的核心安全控制软件技术，确保机器人与机器人之间、机器人和设备之间保持安全距离。

（2）自动铸铝系统

针对传统铸铝工艺中生产环境差、产品质量难以保证、自动化程度低、工人劳动强度高和效率低等缺点，创新设计了转子铁芯自动进料、自动压铸及自动后处理等技术，完成转子铸铝的自动化和产品在线自动化检测。铸铝自动化使得电机的电性能可提高约 5 %，整体节拍约80 s/件；采用在线自动化检测可做到产品100%检测，达到控制转子质量的目的。


◎ 嵌线数字化生产线

2. 嵌线数字化生产线建设

针对传统手工下线劳动密集度高、产品质量不易保证和生产效率低等缺点，该项目开发了有绕组铁心的自动嵌线系统，具体为插槽绝缘、绕线、下线、中间整形、绑扎、封槽口、整形和检验等工序。实现嵌线的自动化，实现工件的自动化流程，提高了生产效率，打破了生产瓶颈，生产节拍可达到120 s/台。同时，还结合电机过程管理与生产管理的统一应用平台，设计安排了电机定子数字化生产车间的信息流与物流方向，制定了电机定子有绕组铁心制造的数字化信息的流转方案。

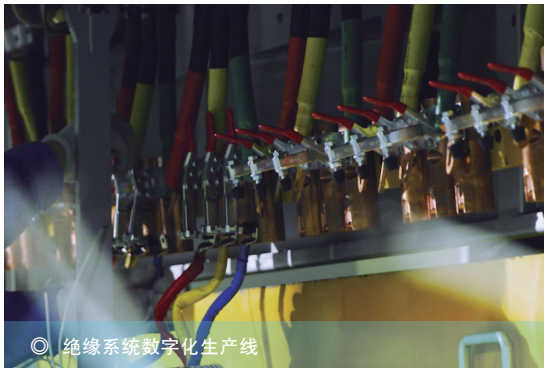
3. 金加工数字化生产线建设

针对汽车电机批量大、工艺复杂且质量要求高等特点，创新开发了机床、夹具、机器人、物流和测量单元。所有外部信号都通过独立的I/O模块输出至总线控制系统，总线控制系统通过实时采集的信号，完成对所有的设备下达正确合理的指令，实现生产线的自动运行及监控。结合DNC联网系统、车间条码管理系统等工具，使设备生产状态、利用率、加工产量和生产效率得到大幅提升。

4. 绝缘系统数字化生产线建设

针对传统浸渍工艺自动化程度低、产品质量难以保证和生产效率低等缺点，创新开发了真空连续浸渍工艺，达到自动化连续作业的目的，使浸渍更加充分，浸漆品质更纯更优，可以做到线圈浸透、烘干填满和粘牢；定子外表形成一层坚

◎ 金加工数字化生产线


◎ 绝缘系统数字化生产线

韧的漆膜，漆膜厚度≤0.1 mm（视粘度）；线圈表面形成的漆膜平整、光滑、无流痕及明显漆瘤，大大提高了线圈的导热性能和绝缘性能、电气强度和机械强度，提高了电机品质和生产效率，增产节能、降低浸渍成本，并实现了环保生产。

5. 数字化装配生产线建设

（1）上下双顶尖精定位技术

创新开发了定、转子总装机上下双顶尖精定位技术，实现转子压入定子，同轴度控制在0.02 mm以内。

（2）电动螺栓扭紧机和扭紧系统

创新开发了电动螺栓扭紧机，配套的扭紧系统具有防漏拧功能、扭矩和角度监控功能，整个系统操作和显示设备以及连接件按照现代化用户友好型设计进行排列，结构清晰可进行直观操作，无需任何复杂配置，壳体安全符合防护等级IP54。模块化接口，高度灵活，整个拧紧过程轻松实现自动化。

6. 数字化车间多总线集成与接口技术

过程控制系统是数字化车间数据的源头，系统之间数据信息的形成、交换，以及高效、实时和准确的通信是数字化车间稳定运行的前提。数字化车间的过程控制系统中有许多不同类型的系统及设备，如DNC系统、嵌线生产流水线系统、PLC、远程I/O、AGV小车、仪器仪表和条码扫描器等。这些系统与设备都具有不同的通信接口及通信协议，种类繁多。本项目充分调研了这些系统与设备，制定统一的接口与规范，解决了多总线系统的网络化集成架构、多协议通信技术、网络的静态规划配置与动态通信、对等通信等关键技术。针对DNC、嵌线生产流水线等系统， 通过数据库直接访问或OPC的形式接入以太网，与MES、PLM系统交互数据。而具有Modbus、USB、WIFI、Zigbee及其他现场总线接口的设备，则通过数据采集器进行数据中转，实现现场总线到以太网的无缝集成。

结束语

卧龙电驱通过建立电机设计数字化系统，研发实现电机过程管理与生产管理的统一应用平台，并通过对现有硬件系统的智能化改造，实现了汽车电机的智能化制造。新能源汽车电机制造数字化车间建设拥有多项技术创新：

1）建设拥有自主知识产权的定转子、嵌线、金加工、装配和绝缘系统等多工艺为一体的新能源汽车电机制造数字化车间；

2）建设DNC联网系统、车间条码管理系统等系统，使设备生产状态、利用率、加工产量和生产效率大幅提升；

3）研发真空连续浸渍工艺，达到自动化连续作业目的，生产效率大幅提高，同时使浸渍更加充分，浸漆品质更纯更优；

4）定、转子总装机上下双顶尖精定位技术，实现转子压入定子，同轴度控制在0.02 mm以内，解决电机装配难题；

5）电动螺栓扭紧机和扭紧系统，可防螺栓漏拧、扭矩和角度监控功能；

6）建设具有工业控制、信息管理与信息安全等全面的安全体系，保障新能源汽车电机的智能化生产顺利进行。

本项目的实施突破了汽车电机智能制造的关键技术瓶颈，引领全产业链向数字化、智能化制造转型，实现总体生产效率提高25%、生产运营成本降低25%；产品不良品率降低40%、产品研制周期缩短35%；能源综合利用率提高10%；实现产品设计的数字化率达到100%、关键加工工序数控化率达到85%及故障率＜3%。EA