

# 高端变压器产品智能制造 数字化车间

文/特变电工股份有限公司

特变电工以中国制造2025为指导思想，以智能制造为企业转型升级的主攻方向，深入推动产品“数字化设计、智能化制造、网络化协同”，以 $\pm 1100\text{ kV}$ 超高压直流变压器等高端产品为制造对象，以沈阳、衡阳和新疆3个加工制造基地的制造过程自动化、智能化解决方案的开发和应用为基础，构建集成协同管控功能的数字化企业平台，逐步建设特变电工3地数字化协同制造的高端变压器产品智能制造数字化车间。

特变电工股份有限公司（简称“特变电工”）是为全球能源事业提供系统解决方案的服务商，国内拥有14个制造业工业园，海外建有2个基地。作为国内的大型能源装备制造企业，特变电工同时还是“一高两新”国家三大战略性新兴产业（即“输变电高端制造、新能源和新材料”）发展的承担者。多年来，特变电工传承中国变压器、电线和线缆制造历史，变压器自主研发位居世界第一位，铝电子新材料及太阳能光伏系统集成位居中国第一位，硅材料研制位居中国第二、世界前十位。

为进一步加快企业走出去的步伐，特变电工以中国制造2025为指导思想，以智能制造为企业转型升级的主攻方向，深入推动产品“数字化设计、智能化制造、网络化协同”，以管理信息化、生产数字化和产品智能化为抓手，积极开展创新实践。特变电工成为我国输变电产业内唯一一家智能制造示范单位，以 $\pm 1100\text{ kV}$ 超高压直流变压器等高端产品为制造对象，以沈阳、衡阳和新疆3个加工制造基地的制造过程自动化、智能化解决方案的开发和应用为基础，通过各层级生产网络的完善，在集团现有信息化基础上，逐步构建集成协同管控功能的

数字化企业平台，逐步建设特变电工3地数字化协同制造的“高端变压器产品智能制造数字化车间”，如图1所示。

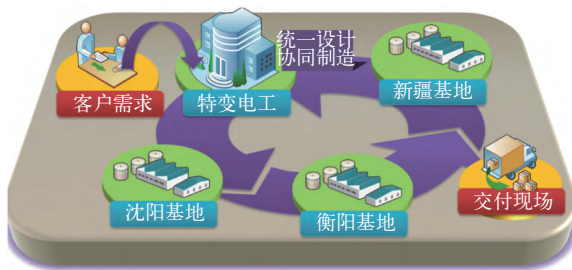


图1 实现高端变压器协同设计与协同制造

## 智能制造数字化车间体系架构

特变电工通过工业机器人技术、协同制造和虚拟制造等技术的应用，建立了覆盖设计、加工（处理）、装配、检测、质控、物流和服务等环节的数字化车间，构建了协同制造与协同服务的数字化企业平台，实现了产品向“数字化、网络化、智能化”生产模式的转变，提高了企业的核心竞争力。

特变电工高端变压器智能制造数字化车间体系架构如图2所示，可实现的整体智能功能包括：

- 1) 核心加工及检验设备的数字化、自动化



图2 高端变压器智能制造数字化车间体系架构

和智能化，部分实现操作指令的自动加载和加工/检验信息的实时输出，实现物料自动上下料，保证产品质量的一致性。

2) 基于物料、工件和人员标识的全流程跟踪、检验及数据记录，实现加工质量信息的可追溯。

3) 设备在线管理及系统故障诊断，实现关键设备故障自动预警。

4) 3个异地基地利用网络化智能管控平台，按合同项目进度和供应链实时状况组织异地协同生产制造。

5) 数字化企业平台，通过ERP、MES和PLM实现从设计、制造到经营管理的全面数字化和信息化，为混流生产和精益管理提供手段。

上述目标的实现，为特变电工变压器生产的整体化、智能化运营和精细化管理提供了较为完善的技术手段，实现了高效、精益的柔性生产，为其未来5~10年战略目标的实现打下坚实的基础；同时，也为我国变压器、乃至整个输配电装备行业开展智能制造，提供了优秀示范和解决方案的技术储备。

## 构建集成制造与集成服务平台

为了打造集成制造与集成服务平台，特变电工深入推动设计标准化、工艺结构化与制造模组化；推动装备智能化升级、工艺流程改造和基础数据共享等应用；建立车间级工业互联网，推动PLM、ERP、MES、机台控制和智能化物流五大系统集成；通过虚拟与现实的结合，全面构建贯穿产品生命周期的数据采集、集成、分析、调度

和应用的数字化企业平台。图3所示为特变电工基于产品生命周期的系统集成方案。

在虚拟制造方面，特变电工基于世界领先的虚拟仿真平台成功实现了车间、生产线和物流的规划设计及过程优化；基于统一研发平台实现了产品的模块化、参数化设计，产品3D设计及装配过程虚拟仿真技术的应用确保了产品研发过程及生产过程标准化；同时，机器人仿真及数字样机技术在各个工厂不断扩大应用，将实际生产过程中的场景在虚拟世界中再现，提高了实际生产过程的效率和质量稳定性。图4所示为特变电工数字化车间的设计制造一体化流程。

在智能应用方面，特变电工实现了从产品销售、定制化设计、智能生产、质量控制和售后服务全生命周期的智能管理；在智能设备方面，数字化生产线、数字化物流、智能机器人、AGV和数字化质检设备的大量应用充分体现了特变电工智能制造的领先水平；在生产数字化、信息化应用方面，依托云技术及统一平台的PLM系统做到了多生产基地的协同研发、协同制造；在车间数字化方面，基于MES系统的智能化管理将各车间的生产、计划、物料、质量和设备等各业务环节相互协同管控，产品各类数据完全可追溯。同时，产品智能化也是特变电工一直不断努力的方向，高端产品从运输、安装、日常运维和直到寿命结束均在特变电工统一的监控平台下管理，确保了产品运行稳定。

## 打造现代化的数字化车间

特变电工建设的“高端变压器产品智能制造

数字化车间”包括油箱、绝缘、铁心和装配等数字化车间。

### 1. 数字化油箱车间

油箱车间历来是变压器生产过程作业环境最差、工作强度最高的场所。大型变压器的高端金属件，通常要求整体加工，加工幅面大、精度高，普通车床及一般数控设备都难以满足高端金属件加工的要求，通过更新与升级车间现有装备，研发和应用金属件加工机床智能联动系统、焊接机器人、焊缝跟踪系统、智能焊材库系统、喷抛一体化生产线和涂装机器人等智能装置与系统，有效提高了产品质量与生产效率。

### 2. 数字化绝缘车间

绝缘件加工制造有37个加工流程，涉及151个环节，环节之间的物流以及加工环节本身的上下料主要依靠人工。通过改造、研制和应用油隙垫块集成化加工生产线、自动上下料系统、端圈自动化粘接生产线、纵向油道自动粘接机和数控机床加工中心等智能装置和部件，大幅缩减了人工成本，并且减少了工人的劳动强度。

### 3. 数字化铁心车间

铁心叠片历来是变压器生产过程的一大瓶颈，费人、费时且费力，即使生产水平较高的ABB和西门子也未能在这一工序上实现突破。特变电工通过实施钢板智能下料分拣系统、自动化硅钢片立体仓库等辅助性智能装置，提升了铁心加工质量和生产效率。

### 4. 数字化装配车间

装配车间是离散程度较高的生产车间，无法实现流程化生产。因此，通过研制和应用干燥处理智能监控系统和真空处理过程专家系统，对两大关键质量点提供辅助监控能力；同时建立设备运行参数智能采集系统，对关键设备实现实时在线监控，保证生产过程中设备运行状态的稳定；实现了各干燥罐数据的自动采集，集中实时管控，提升干燥效率及质量；真空处理过程全液压自动控制、自动反馈，确保压力恒定。

### 5. 制造执行系统

通过制造执行系统（MES），实现了生产计划管理、过程管理、质量管理、成本管理、采购管理和物流管理等功能；通过工业网络，完成从现场层、控制层到管理层的信息集成和应用。同时，利用面向服务的SoA架构贯通从数字化设计到数字化制造的数据语义、消除信息孤岛，真正

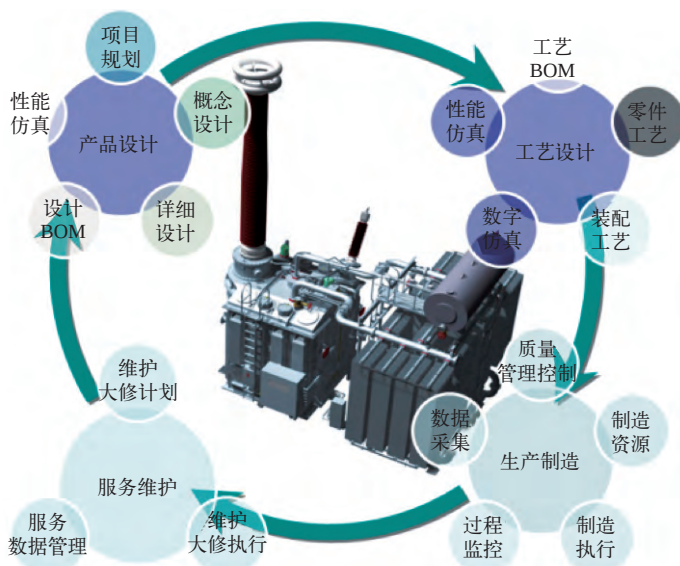


图3 基于产品生命周期的系统集成方案

实现了CAD/CAPP/CAM的一体化。

### 6. 数字化企业平台

在集团管控层面，针对特变电工所设计开发的数字化企业平台是以协同管控平台为核心，搭载了统一技术平台和制造协同平台两大功能的集团层级软件与数据平台。平台建于特变电工集团总部，采用云数据中心模式，实现与沈阳、衡阳和新疆三大生产基地的协同，并预留接口，未来可将天津基地和印度基地纳入平台服务范围。

## 结束语

与国外先进企业相比，我国输变电装备制造尚未建立系统的标准化体系，信息孤岛严重，质量在线追溯水平低；输变电装备制造精益化程度低，加工手段落后且员工劳动强度大，作业环境差。

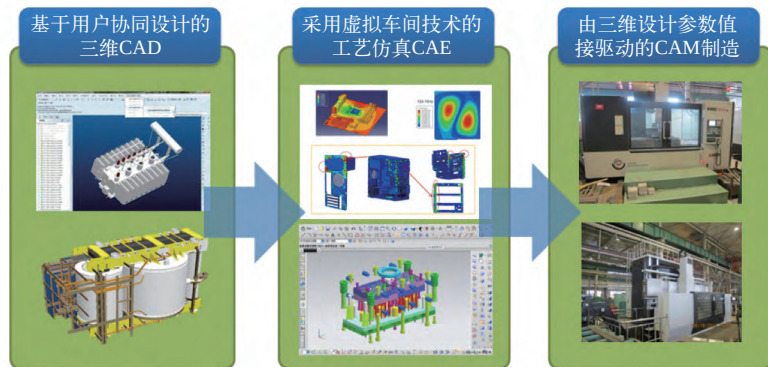


图4 设计制造一体化流程

（下转第60页）



常熟开关MES/ERP集成架构

系统的交互；采用恒流源与电流反馈技术，可大幅提高工作效率与检测精度；生产效率提高44%，各项性能指标均达到要求。CM3断路器磁轭支架自动铆接工作站利用两条递进式的送料机构完成随行夹具的移位和循环，依次完成黄铜支架上料和磁轭上料，同时进行两个零件的整形定位，再进入铆接、下料和回收动作；解决了目前磁轭支架人工装配铆接，质量不易保证和生产效率低等问题；生产效率提高50%。同时，工作站还配备有以太网口和数据接口，能够与企业数据库互联互通，实现生产数据与ERP系统的交互。

## 2. 基于信息网络系统的制程控制新模式

常熟开关完成了数字化车间典型产品的工艺

流程及布局数字化建模；引进TCM软件，完成了用户端电器产品数字化三维设计与工艺仿真；开展车间制造执行系统MES的建设，完成了用户端电器产品制造过程的现场数据采集与可视化建设；针对用户端电器典型产品的工艺流程及布局数字化建模进行客户化开发；在PLM系统平台上进行提高性建设，重点是针对用户端电器产品的特点进行数字化三维设计与工艺仿真的客户化开发；实现了ERP与PLM、MES系统的高效协同和智能优化。

常熟开关实现了产品三维设计与工艺仿真的协同、数字化车间典型产品的工艺流程及布局数字化建模；搭建物流导引体系，实现了物料配送管理标准化与系统化，提升物流管理水平；通过开展ACB车间生产过程的可视化管理，使制造过程中原本不可见的信息转变成可视化，使生产、品质和设备等相关信息变得形象、直观，实现管理的透明化。

## 结束语

智能制造是提升我国制造业水平的有效途径，是我国实现“制造业强国之梦”的必由之路。在实现“智造”的进程中，常熟开关深切地感受到，智能制造新模式应用项目不在于投资规模大，而是在于成效、在于对行业的影响力和带动作用。

如今，在常熟开关，智能制造已是常态。[EA](#)

(上接第53页)

此外，我国输变电装备制造在协同设计与协调制造等方面技术落后，重复建设与资源浪费现象十分严重。

特变电工智能制造建设路径包涵了三部分内容，即：数字化设计、智能化制造和网络化协同。

### 1. 数据化设计

建立产品标准化体系；通过协同设计与仿真，建立虚拟样机系统；建立基于PDM数据云的设计专家系统。

### 2. 智能化制造

研发智能装置，构建自动柔性生产线；建立智能仓储物流系统；实现PLM、ERP、MES、平台和物流系统集成。

### 3. 网络化协同

组建支持异地协同的设计与制造平台；建立适应企业生产模式的制造执行系统；建设远程在线服务平台。

特变电工制造2025的企业愿景是：在2018年前，依托“数字化、智能化和网络化”建设推进智能制造，改变传统生产制造模式，广泛建设柔性制造和精准制造的数字车间，达到或超越国际同行业的制造水平；在2020年前，推进数字车间的横向与纵向升级，增强协同创新能力，全面建成集成制造、集成服务的智能工厂；在2025年前，实现工厂间从智能制造到智慧服务的跨越，建成统一决策、协同运作、可提供服务全球整体能源互联网解决方案的智慧集团。[EA](#)