

一、智能制造生产线简介：

智能制造生产线

功能特点：

- 智能制造生产线包括数字化建模、数控加工编程与仿真、工业机器人、智能仓储系统、加工制造单元、AGV运输单元、设备数据采集以及设备状态监控、自动化管理系统、质量数据管理与分析系统、数据展示系统等，包括智能制造领域的全部要素，实现了高度自动化和智能化生产。
- 既可作为一个完整的数字化自动生产系统，也提供了一个内容丰富的教学应用系统。主要用于智能制造工程专业、测控技术与仪器、机械设计制造及其自动化、电气自动化、控制工程等专业学生工程训练，同时对相关专业研究生培养提供智能制造科研平台。

核心技术：

- 建模与仿真：CAM软件应用、多轴加工仿真技术；
- 工业互联网及控制技术：设备物联、数据采集、实时监控、中控数采、网关数采；
- 机器人技术：工业机器人及协作机器人应用技术、SLAM导航AGV应用、自动化装配、仓储技术；
- 零件检测与清洗技术：在机检测技术、三坐标测量、激光打标、超声清洗；
- 数字孪生：模拟真实智能制造产线的实训环境，具备综合态势、飞行漫游、故障报警、数字人系统、实时报警等功能；
- MES系统：生产看板、设备看板、精益生产、质量大数据分析技术、数据分析与数据监控。

应用领域：

航空航天、通用机械、半导体行业、汽车制造、电子元件、医疗器械、精密仪器。随着未来技术的不断进步，智能制造生产线将在更多行业和场景中得到应用，推动制造业向更高水平发展。

1-控制平台 2-设备在校园布局图 3-生产线外部图 4-生产线内部运行环境 5-立体仓库系统

6-五轴加工中心 6.1-车铣复合机床 7-超声波清洗机 8-激光打标 9-三维坐标测量 10-自动装配系统 11-复合式AGV



实景图（一）



实景图（二）

二、智能制造生产线组成单元：

五轴加工中心

功能特点：

- 该设备型号HEM 500U，采用落地床身滑枕式结构，三个线性轴都是由刀具移动从而确保高动态性能和加工精度。核心模块由海德汉数控系统、控制功能模块、辅助系统构成，以X、Y、Z三轴联动与B/C双旋转轴为核心，通过海德汉数控系统精准操控刀具路径，用于实现复杂工件一次装夹全流程加工。
- 高刚性结构：床身和导轨经优化设计，确保高速切削时的稳定性。
- 联动平滑性：五轴同步插补（如X/Y/Z + B/C轴）支持复杂曲面连续加工，减少接刀痕。

核心技术：

- 机械—控制—软件的深度协同；
- 直接驱动技术：回转工作台和主轴直接驱动，避免传动链误差，实现高精度（定位精度可达 $\pm 5 \mu\text{m}$ ）和快速响应。
- 五轴联动控制技术；

核心参数：

- 主轴转速：12000rpm。
- 加工范围：X=500mm, Y= 450mm, Z= 400mm, B轴： $-65/+110$ 度, C轴：360度。
- 动态精度： $\pm 0.002\text{mm}$ （闭环补偿）。

应用领域：

航空航天、能源装备制造、通用机械、汽车制造、医疗行业、船舶与轨道交通等先进制造业领域。

- 航空发动机：涡轮叶片、叶盘、机匣等高温合金部件等；
- 飞行器结构：翼梁、起落架、舱门框架等大型铝合金构件等；
- 航天器：火箭发动机喷管、卫星支架等；
- 燃气轮机：叶片、轮盘、喷嘴环等；
- 核电设备：主泵壳体、蒸汽发生器管板等；
- 水电设备：水轮机转轮、导叶等；
- 骨科植入物：钛合金关节臼杯的球面精密加工（球形度 $\leq 5 \mu\text{m}$ ）等；
- 手术器械：微细结构（最小刀具 $\phi 0.1\text{mm}$ ）的防振加工等。



功能特点:

该系统为数字孪生教学系统,由数据收集与预处理、数据分析、3D模型构建、可视化和通讯以及孪生引擎功能模块构成,系统具备数据采集平台、数字孪生教学系统,用于模拟真实智能制造产线的虚拟实训环境,实现对三坐标、仓储物流、复合AGV、机器人、清洗设备、智能装配、激光打标机、CNC数控机床等关键设备的实时监控和深入数据分析。具备综合态势、飞行漫游、故障报警、生产看板、设备看板、数字人系统、实时报警、系统帮助、中控数采、网关数采、数据分析与数据监控等功能。

核心技术:

- 使用MQTT协议进行实时数据更新和设备状态监控,保证低延迟和高可靠性的数据同步。创建连接机制及同步机制,实现虚拟场景与实际设备的联动。
- 采用物理引擎,结合运动学映射,构建运动学模型算法,实现设备动作的运动同步。
- 采用GPU加速技术,将图形渲染任务分配到图形处理单元(GPU)上进行处理,充分利用GPU的并行计算能力,提高场景渲染的速度和效率,确保虚拟场景在大数据量和复杂模型情况下能够流畅运行。
- 多采集方式:支持单次采集和实时流数据采集两种模式。单次采集适用于对历史数据的一次性获取或不需要实时展示数据的定期获取;实时流数据采集则用于对设备运行状态的实时监测和即时分析。
- 数据格式转换:将采集到的不同格式的数据统一转换为数据分析所需的标准格式。

核心参数:

- 所有硬件设备3D建模:将设备模型按照实际现场设备连接关系,展示虚拟孪生场景。
- 数据采集与预处理:完成数据采集、数据清洗、数据转换。
- 数据存储与数据分析:为其他功能提供数据接口。
- 可视化和通讯:通过看板展示仓储管理、任务看板、AGV上下料、清洗打标、装配、机加组装等的状态、行为可视化呈现和实时更新。
- 孪生引擎:实现数据接入与实时监控、虚实联动与交互功能、性能优化与实时协作、场景漫游。完成仓储与物流数字孪生、AGV数字孪生、机加数字孪生、清洗打标数字孪生、三坐标数字孪生、装配数字孪生。
- 设备中控服务:完成非网关的设备数据采集及预处理。

应用领域:

构建一个真实智能制造产线的虚拟实训环境,实现对智能制造生产线中三坐标、仓储物流、复合AGV、机器人、清洗设备、智能装配、激光打标机、CNC数控机床等关键设备的实时监控和深入数据分析。通过该平台,使学生能够直观地了解智能制造产线的整体架构、设备运行机制以及各环节的协同工作流程,培养学生在智能制造领域的实际操作能力、问题解决能力、数据处理与分析能力以及创新思维能力,为相关专业课程提供强有力的实践教学支撑,培养出适应智能制造时代需求的专业技术人才。



功能特点:

该系统为智能制造大模型数字人系统,由智能制造大模型和智能制造问答数字人构成,用于针对产线相关讲解与智能制造相关知识的问答功能,支持自然语言交互,通过文本/语音输入,提供拟人化交互体验。基于RAG技术实现知识库检索,优先匹配结构化知识内容,确保回答准确性。通过AI模型深度学习,优化模型在专业场景(如设备维护、工艺规范)中的表现,与数字孪生平台可无缝对接,作为智能助手嵌入数字孪生系统,进行设备介绍及产线相关问题问答。

核心技术:

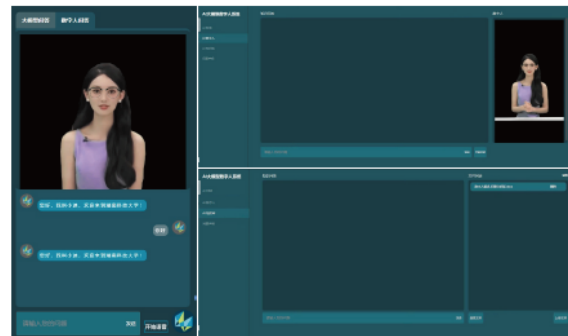
- 自然语言处理:提供包括基于深度学习的文本纠错、意图识别、关键词提取等操作,提高问题的准确性和清晰度,以便模型更好地理解用户的需求并给出更精准的回答。
- 知识推理与应用:大模型基于知识库中的知识和训练得到的模型参数,对用户提出的问题推理和分析,生成相应的答案和解决方案。例如,当运维人员询问某台设备出现特定故障的原因和解决方法时,模型能够结合自身已有数据及训练微调数据,给出可能的故障原因、维修步骤建议等回答。
- 自我学习与自我优化:在单轮对话中,基于大模型的深度学习能力和数字人根据用户与它的交互数据,包括提问内容、回答反馈等信息,不断优化自身的回答,提高回答问题的准确性和速度,实现准确率 and 性能的提升。

核心参数:

- 智能制造工业大模型:结合用户提供知识构建知识库,基于深度学习建立语言大模型,用户通过大模型库,能够更便捷、高效地了解当前产线的相关知识。
- 智能制造问答机器人:针对智能制造领域,集成人工智能技术知识库,提供快速响应的即时、准确、全面的知识和解决方案的问答,形成人工智能技术的新质生产力系统。
- 交互媒体技术:使用语音识别技术和文本实时转换技术实现与用户的交流。采用先进的音唇同步技术使得数字人的表现更加自然真实。

应用领域:

构建智能制造智能交互前端,通过融合语言大模型与数字人技术,实现自然语言问答、知识检索、培训指导等功能,AI大模型能够理解当前智能制造产线的知识,作为当前智能制造产线的知识大脑,提升智能制造场景下的交互体验与信息获取效率,推动实训教学工作的开展。



立体仓库系统

功能特点:

- 设备型号海克斯康HEX-AWS, 由人工上下料位、地轨机器人、立体货架、AGV接驳位、自动化控制柜、仓储管理软件等构成, 用于储存与周转毛坯、半成品及成品物料。
- 立体仓库系统通过PLC系统自动化控制, 实现托盘搬运、工件自动上下料、状态监视及安全逻辑控制。
- 仓储管理系统是一款专为仓储管理设计的软件, 具备库位管理、托盘与工件信息管理、机器人任务调度、数据查询、系统监控等功能, 能够实现仓储流程的自动化和信息化管理。

核心技术:

- 托盘搬运机构采用地轨+工业机器人机构, 能够实现快速移动到立体仓库的任意一个库位, 将工件从货架中取出或存入。
- 地轨机器人用于托盘搬运机构与料库之间托盘搬运, 具有过流过热保护装置。
- 仓储管理软件的多功能区域包括毛坯库位、成品库位展示区、PLC操作区、机器人以及上下料/接驳工位状态显示区、机器人当前任务列表区等, 方便用户全面了解仓储系统运行状态。

核心参数:

- 料库托盘最多可以兼容3种结构类型不同的工件, 避免了托盘频繁更换和出错。
- 料库设置24个库位, 最多可放置12个托盘, 能承载大于1000kg的重量, 每个托盘最多可放置4个工件, 可满足工序加工、清洗、检测等工艺要求, 减少频繁上下料。
- 采用高精度6轴工业机器人, 本体重复定位精度达到 $\pm 0.02\text{mm}$, 额定负载为25kg。

应用领域:

- 立体仓库系统在现代物流和制造业中应用广泛, 适用于汽车、电子、机械制造、医疗器械制造等领域。
- 立体仓库系统通过自动化与信息化技术的深度融合, 显著提升了仓储管理的效率与精度, 成为智能制造体系中的关键环节。



功能特点:

- 该设备型号台群L-35Y, 采用SIEMENS 828D智能数控系统, X向、Z向均采用高精度高扭矩动力加工头, 用于一次性完成车、钻、攻丝、车丝、端面内孔、侧面孔、侧面铣削等加工。
- 机床床身采用优质树脂砂造型、高强度铸铁材料铸造而成, 使机床得到高刚性和稳定的精度。
- 采用30°整体斜床身, 具有结构紧凑、刚性高、排屑流畅、操作方便等优点。
- 一次装夹可完成多个工序加工, 减少重复定位误差, 提高加工精度和效率。

核心技术:

- 采用高精度、高刚性主轴结构, 主轴跳动精度在0.003mm以内。
- 采用高精度、高刚性、高稳定性伺服及动力刀塔。
- X、Z轴丝杆采用进口C3级双向预紧力丝杆, 高速静音, 响应速度快, 定位精度高, 进给速度最高可达30m/min。
- 纵、横向驱动采用了SIEMENS高性能伺服电机, 定位精度高, 动作灵活可靠。

核心参数:

- 最大切削直径: $\phi 300\text{mm}$;
- 最大切削长度: 330mm;
- 最大回转直径: $\phi 520\text{mm}$;
- 最大棒料直径: $\phi 52\text{mm}$;
- 主轴转速0-4500 r/min, 采用BMT45动力刀塔(含Y轴), 换刀速度快, 可靠性高。

应用领域:

- 航空航天、能源装备制造、通用机械、汽车制造、医疗行业、船舶与轨道交通等先进制造业领域。
- 复杂零件的高效加工: 适用于多面体、曲面、偏心孔等异形零件加工。
- 高精度制造: 满足航空航天、医疗等行业的严苛公差要求。
- 自动化生产: 可集成机器人或AGV, 实现无人化/柔性化生产。



外球笼
MAT.45# TIME 64s



增压器转子轴
MAT.42CrMn TIME 297s



差速器壳体
MAT.铸铁 TIME 120s



球窝凸缘叉
MAT.45 TIME 226s

功能特点:

- 该系统由海克斯康在机测头IRP 40.02、机内激光对刀仪LTS 35.60组成，主要用于五轴加工中心提升加工精度、自动化水平和效率的关键辅助设备，可实现更智能化的“测量-加工-验证”一体化流程，显著提升工艺可靠性。
- 在机测头IRP40.02多用于加工前自动进行位置找正，找出基准点，自动更新设置工件坐标系；加工中或完成后直接测量工件特征（如孔位、曲面轮廓），实时反馈数据，避免二次装夹检测。
- 机内激光对刀仪LTS35.60多用于动态刀具测量，可实现对刀长、刀径的实时自动测量，刀具磨损、破损以及由于机床热变化、热漂移造成的参数变化的测量和补偿。

在机测头核心技术:

- HDR+ (High Data Rate+) 红外线高速率数据双向传输技术，调制频率19200kHz，信号安全稳定、传输效率高。
- Z向碰撞检测，异常撞击可视化，当前市场上首款带有Z向意外超程碰撞灯光显示的在机测头。

机内激光对刀仪核心技术:

- 采用聚焦型激光光束，实现非接触测量，激光安全等级2 (IEC825)。
- 采用TCS技术，切削扫描技术，实现高精度长度测量。
- 采用集成式清洁装置，超音速压力喷嘴，实现最大程度清洁。
- 该对刀仪能够在刀具高速旋转时进行测量，模拟实际加工状态，提高对刀精度。

核心参数:

- 在机测头单向重复性 $2\sigma \leq 0.5 \mu\text{m}$ ；最大触发超程XY: $\pm 12.5^\circ$ ，Z: -5mm 。
- 在机测头触发方向: $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$ 。
- 在机测头连续运行时，电池寿命可达800h。
- 机内激光对刀仪单向重复性 $2\sigma \leq 0.1 \mu\text{m}$ ，最小刀径 $\phi 0.008\text{mm}$ 。
- 密封等级已达到工业最高标准IP68，防尘，防水，防油。

应用领域:

- 应用于机加工、航空航天、模具制造等行业领域的在线检测。
- 机加工领域: 小批量、高精度零件的快速首件验证等。
- 航空航天: 涡轮叶片、机匣的五轴定位与在机质检等。
- 医疗器械: 微小刀具的精准监控，保障骨钉、关节等精密加工等。
- 模具制造: 复杂型面的快速修正与刀具磨损补偿等。
- 能源领域: 涡轮叶片等复杂工件的自适应加工等。
- 汽车领域: 汽车发动机缸体缸盖、载重车桥、行星架等。
- 电子行业: 手机壳、电脑外壳等。
- 水电风电行业: 叶片等复杂定位和曲面测量等。



功能特点:

- 该设备型号HEX-AMR，由AMR移动式机器人、节卡安全协作机器人、高精度双目3D相机、力反馈电动夹爪、西门子电控系统及移动料库构成，用于转运物料（毛胚、成品）的功能。
- 复合式AGV，贯穿于整个智能制造生产线，用于产线中仓储料库、机床、清洗机、打标机、三坐标、自动装配台等工位工件的上下料。
- 本体AGV+协作机器人能够实现物料自动搬运、上下料、分拣等作业，完成生产线的自动化集成。

核心技术:

- AMR采用激光SLAM导航方式，核心在于感知与定位能力，配备2D/3D激光雷达、6轴陀螺仪、加速度计及超声传感器，通过多模态传感器实现对环境的精准感知。
- 激光雷达传感器提供超20米的精确测距，3D相机捕捉深度信息，陀螺仪与加速度计确保姿态稳定，适应不同光线与场景需求。
- 采用协作型机器人，能够快速完成产线二次布置，实现高效、高品质、柔性的机器人对机床的上下料，提高生产效率和产品质量。
- 双目面扫光栅3D相机视觉识别抓取零件，适用于中小视野、近距离典型工件的识别定位，对环境光具备良好的适应性、可在60000Lux光照度下稳定运行。

核心参数:

- 复合式AGV: 定位精度: $\pm 5\text{mm}$, $\pm 0.5^\circ$ ，运行速度: $\leq 1.4\text{m/s}$ ，地图面积 (单幅): $\leq 20000\text{m}^2$ 。
- 协作机器人: 工作半径: 1425mm ，重复定位精度: $\pm 0.03\text{mm}$ 。
- 视觉识别: 采用埃尔森3D相机识别，有效视野: $420 \times 240\text{mm}$ ，工作距离: 450mm 。
- 电动夹爪: 电动夹爪单侧抓力最高达到300N，最大负载可达到6kg，满足更多样的抓取需求。

应用领域:

- 航空航天、通用机械、半导体、汽车制造、电子元件、医疗器械、精密仪器等行业。
- 复合机器人可以用于工件的搬运和装卸等作业，满足车间内全自动化柔性生产需求。
- AMR加上协作机械臂，配合车载的装卸机构，可用于装卸货物。
- 到达指定的位置之后，机械臂可以完成自动卸货，并且放到指定的位置上。
- 可以快速的进行分拣，实现物料的自动搬运和分拣，进而帮助实现自动化物流。



超声波清洗机

功能特点:

- HEX-Cleaner超声波喷淋清洗机由主机、水箱及水处理系统、升降机构、清洗、浪涌、吹干及气路系统、气动门、仪表、清洗液加热及控制系统组成。
- 用于清洗工件表面油污和杂质污垢，清洗介质为自来水加清洗剂，在热状态下清洗，循环使用。
- 清洗、吹干、排雾、清洗液过滤、清洗液加热均自动完成。

核心技术:

- 采用先进的超声波清洗技术，通过空化作用、直进流作用、加速度作用使液体粒子的高速运动来实现清洗效果。
- 喷淋清洗技术通过高压喷嘴将清洗液以雾状或柱状形式喷射到物体表面，利用清洗液的冲击力和化学作用去除污垢。
- 超声波清洗能够深入物体表面的微小缝隙和孔洞，去除难以触及的污垢，喷淋清洗能够覆盖物体表面，对大面积污垢进行快速去除，两者结合使用，可以显著提高清洗效率和清洗质量。

核心参数:

- 超声波振子全部采用进口晶片振子，超声频率28kHz。
- 节拍时间分配：超声波清洗180秒，浪涌30秒（边浪涌边过滤）上升后喷淋清洗30秒，清洗后吹干、烘干90秒，上升、下降各20秒，输送120秒，共计480秒/件。
- 采用热风机，烘干温度60-100℃，温度可由人工进行设定。
- 清洗液采用20 μm精过滤器过滤，经过滤后清洗液注回到液箱内。
- 采用西门子PLC中心控制，电箱一侧安装7寸彩色中文触摸屏，有自动与手动两种作业方式；程序互锁。

应用领域:

- 航空航天、通用机械、半导体、汽车制造、电子元件、医疗器械、精密仪器、电镀工业。超声波清洗机凭借其高效渗透和非接触式清洁特性，已在上述多个领域展现显著优势。



激光打标机

功能特点:

- 激光打标机及扫码装置由控制柜、激光器、计算机组成，是集激光技术、精密机械、电子技术、电脑等学科于一体的高新技术产品。
- 精密的光学系统由YLP激光器、扩束镜（为集成一体）、扫描振镜、聚焦透镜、光纤等组成。
- 采用先进的光纤激光器输出激光和高速扫描振镜，配合打标控制软件，可对工件进行精密、精细打标。

核心技术:

- Z轴带伺服电机控制，可实现升降，兼容不同工件的打标。
- 采用先进的光学系统，通过高稳定性精密位置检测传感技术及动磁式和动圈式偏转工作方式设计，驱动器采用全新拓扑电路设计，在电脑控制下输出一个伺服信号控制振镜偏转，从而精确地雕刻出图形。
- 激光打标处设置烟雾处理器，将打标时产生的烟雾进行吸收净化过滤，避免废气排出。
- 激光设备能接收打印数据并触发打标，接收的打印数据自动填入客户排版的打印格式中，打印格式中的时间变量能够按照客户要求自动填入。

核心参数:

- 激光类型：可输出波长为1064nm ± 5nm的连续可调激光，该激光属于红外光。
- 激光重复频率：25kHz - 100kHz。
- 最大雕刻范围：100 × 100mm。
- 激光雕刻深度：0.4mm。
- 激光雕刻最小线宽：0.1mm。
- 激光器输出功率：30W。

应用领域:

- 广泛应用于电子元件、集成电路（IC）、电工电器、手机通讯、五金制品、工具配件、精密器械、眼镜钟表、首饰饰品、汽车配件、塑胶按键、建材、PVC管材、医疗器械等。



► 功能特点:

海克斯康FLASH PLUS 05.06.05坐标测量机,由设备主机、HP-S-X1C测头、测针更换架、测量软件PC-DMIS CAD和自动化控制软件构成,用于对工件进行微米级的几何测量和评价,包括尺寸精度、定位精度、几何精度及轮廓精度等。

- 该机型无需气源,降低了使用成本和安装复杂度。
- 采用悬臂结构,具有三面开放性,方便工件上下料和编程操作。
- 采用全防护结构,多传感器温度补偿(温度范围可达15-35℃)。
- 配备全套保护罩和防尘罩,可应对苛刻的车间环境,具有抗污染能力,防止灰尘和污垢影响测量精度。
- 测量机结构紧凑,控制系统和计算机系统内置在底部支撑柜中,显示器和键盘安放在机器一侧支架上,满足人体工程学要求。

► 核心技术:

- 采用高可靠性直线导轨。
- 采用先进的测量原理和算法,确保在车间复杂环境下仍能实现高精度的尺寸和形状测量,测量精度达到微米级别,满足精密制造和质量控制的需求。
- 适应自动化生产,可与自动化生产线接入,实现测量数据的实时传输和处理,提高生产线的效率和质量控制能力,满足现代制造业对自动化生产的需求。

► 核心参数:

- 行程: X = 500 mm, Y = 580 mm, Z = 500 mm。
- 精度MPE (E0/E60): 2,2+3,3 L/1000 μm。
- 测针携带能力: 竖直: 20-225mm, 水平: 0-100mm。

► 应用领域:

- 汽车制造、航空航天、能源与重型机械、半导体、精密制造、医疗行业、通用制造业等。
- 发动机零部件: 测量缸体、曲轴、凸轮轴的尺寸和形位公差(如圆度、同轴度)等,确保装配精度。
- 变速箱与传动系统: 齿轮、轴承座的孔径、同轴度检测。
- 叶片与涡轮盘: 扫描航空发动机叶片的曲面轮廓。
- 机身结构件: 机翼肋板、起落架零件的孔位精度和装配协调性。
- 风电部件: 齿轮箱壳体、叶片根部的尺寸和位置度检测。
- 核电设备: 阀门、管道法兰的密封面平面度和孔距测量。
- 液压元件: 泵体、阀块的流道尺寸和位置度。
- 燃气轮机: 叶片榫槽尺寸、燃烧室组件的同轴度等。



► 功能特点:

- HEX-AAS自动装配系统由协作机器人、视觉机构(200万像素高精度2D相机)、工件夹具、料盘夹具组成,用于工件的自动化抓取与自动化装配。
- 协作机器人: 可以在生产线上进行人机协同工作,具有敏感的反饋特性,当达到已设定的力时会立即停止,在风险评估后不需要安装护栏,使人和机器人能协同工作。
- 感知能力: 通过电流转化为力感知周围的环境,并根据环境的变化改变自身的动作行为。
- 编程方便: 对于一些普通操作者和非技术背景的人员来说,都非常容易进行编程与调试。

► 核心技术:

- 配置有自动夹具,可实现工件的精准定位。
- 设备配置协作机器人,抓取工件灵活可靠,可实现工件的姿态调整。
- 机器人端配有视觉引导系统,工作台配有底部视觉系统,两个视觉系统相结合,从而保证装配精度,实现工件的可靠装配。

► 核心参数:

- 视觉机构: 达到2000万高分辨率像素,定制蓝色环光,精度达到0.03mm。
- 协作机器人: 自由度: 6; 可达半径: 1425mm; 重复定位精度: ±0.03mm。

► 应用领域:

- 汽车制造、航空航天、能源与重型机械、半导体、电子元件、精密工程、医疗行业、通用制造业等。



三、智能制造生产线整体流程图：

