



天津大学  
Tianjin University



# 智能制造与数字孪生技术

——面向可持续制造方向发展



- 一、新一代智能制造模式下的思考**
- 二、智能制造与数字孪生技术**
- 三、新一代智能制造高端人才培养**



# 一、新一代智能制造模式下的思考

# 智能可重构数控系统

# 一、新一代智能制造模式下的思考



1.1 当代智能制造的发展阶段

1.2 智能制造时代企业如何生存和发展

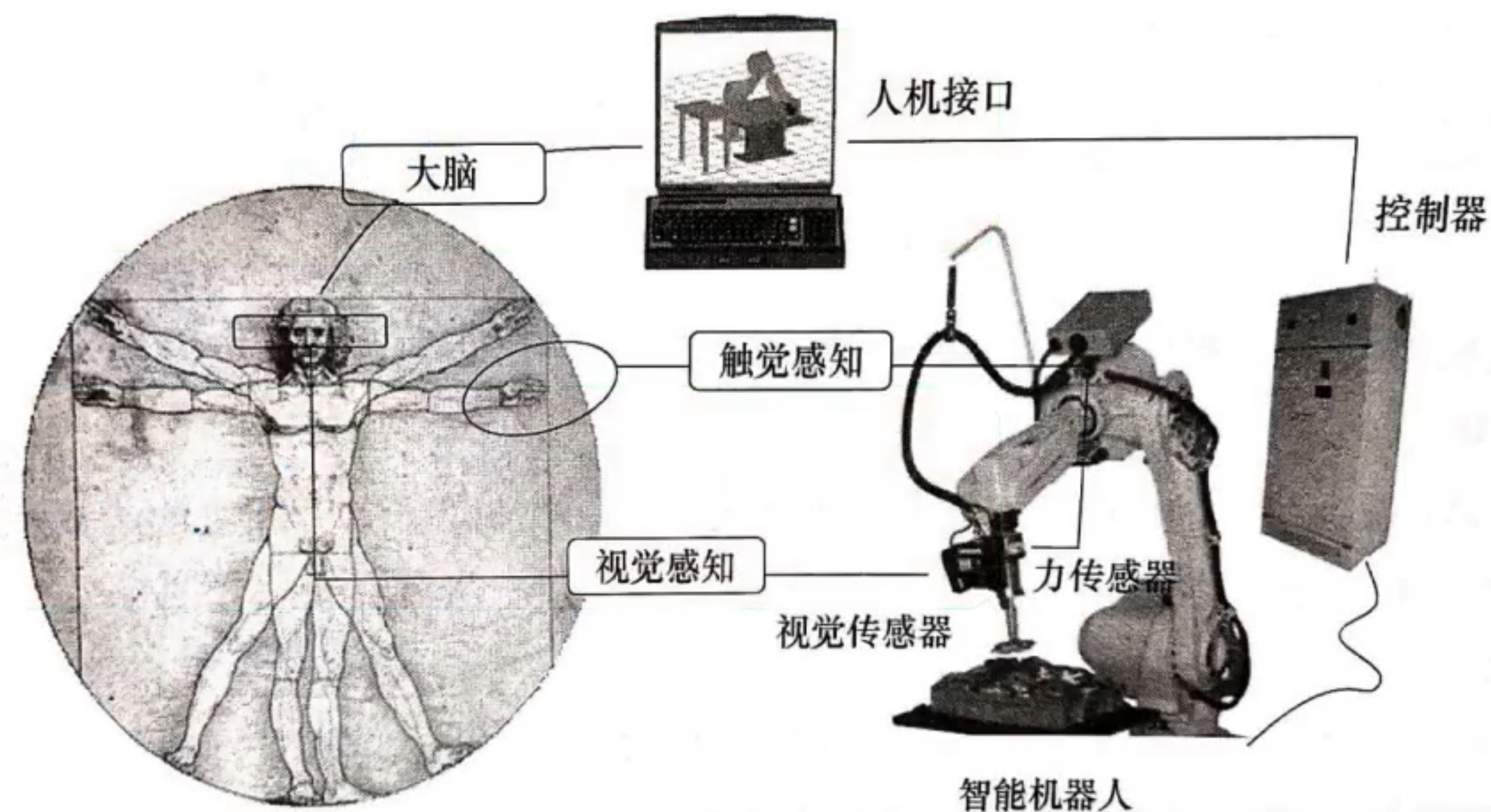
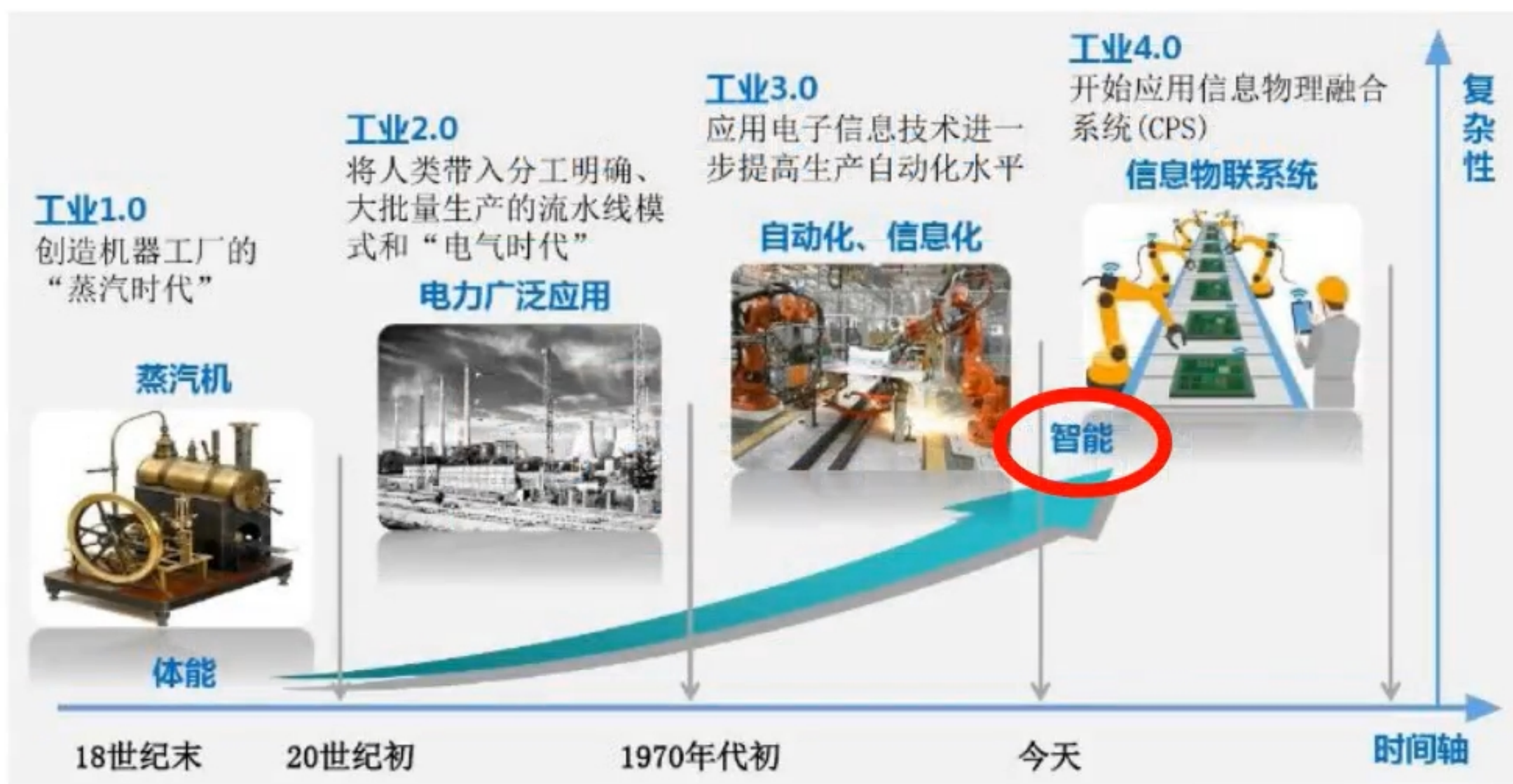
1.3 未来智能制造新业态的核心技术

# 1.1 当代智能制造的发展阶段

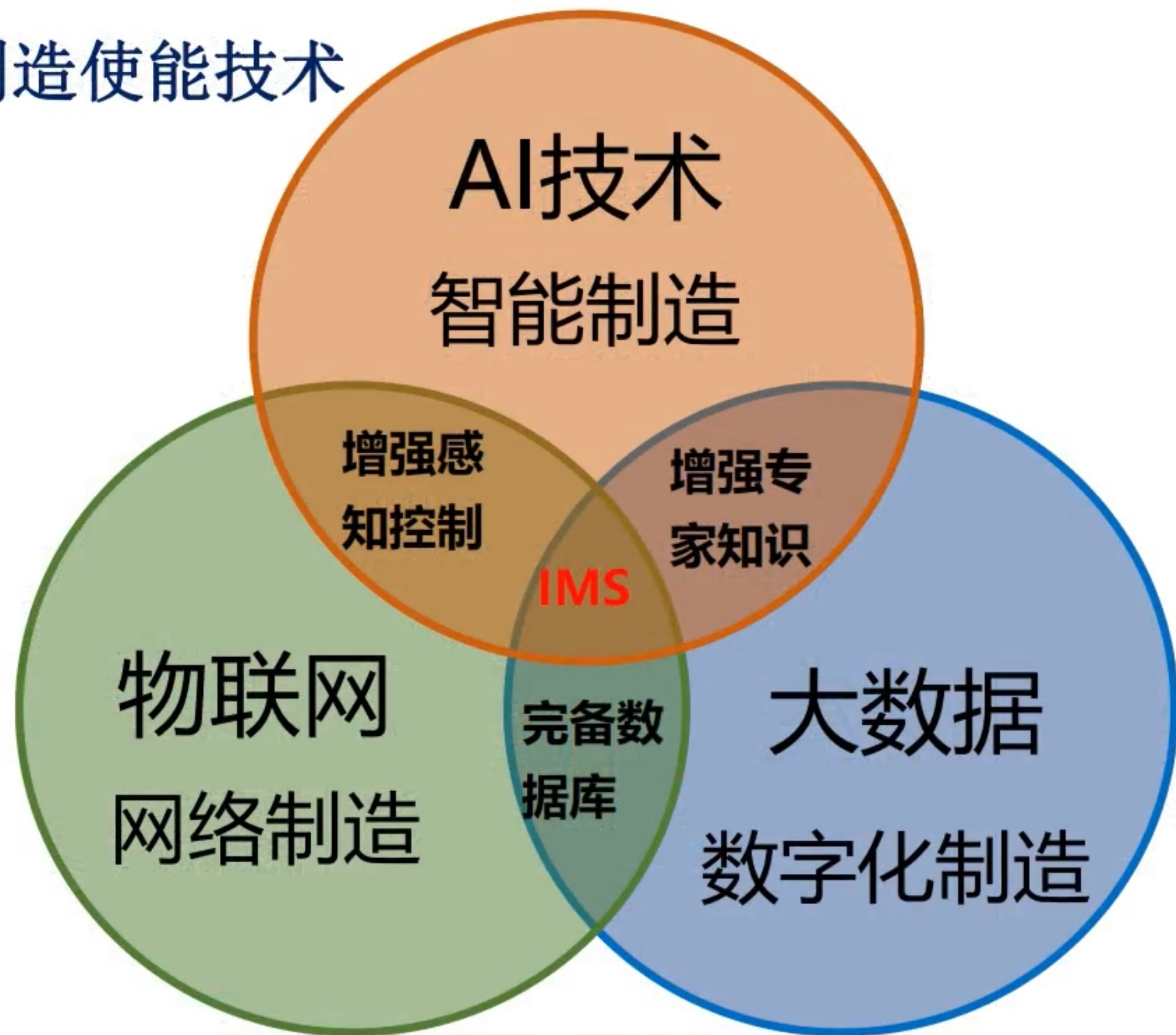


## ▶ 智能制造定义

- ❖ 智能制造是基于新一代信息技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式<sup>[1]</sup>。 --- 《国家智能制造标准体系建设指南》2015



### ▶ 智能制造使能技术



#### IMS：主要性能特征

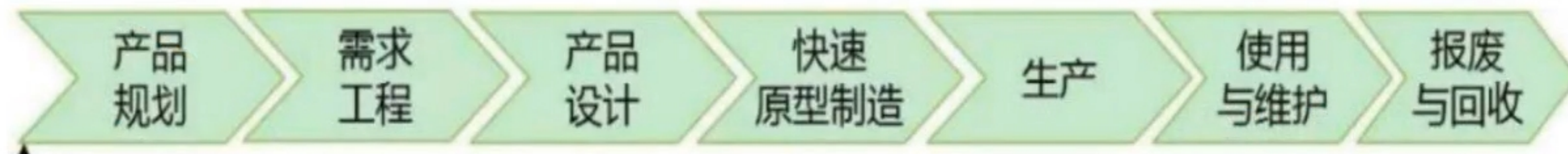
- ➔ 趋势预测——深层迭代，自学习、自推理以至于**寿命预测、故障溯源**
- ➔ 综合决策——实时性、准确性、多源（维）重现，多维仿真，深度推演以至于**数字孪生，多目标优化**
- ➔ 超前调整——处理未来事件推演最优决策以至于**协调或干预**

❖ 智能制造是基于**新一代信息通信技术**与**先进制造技术**深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有**自感知、自学习、自决策、自执行、自适应**等功能的新型生产方式<sup>[1]</sup>。

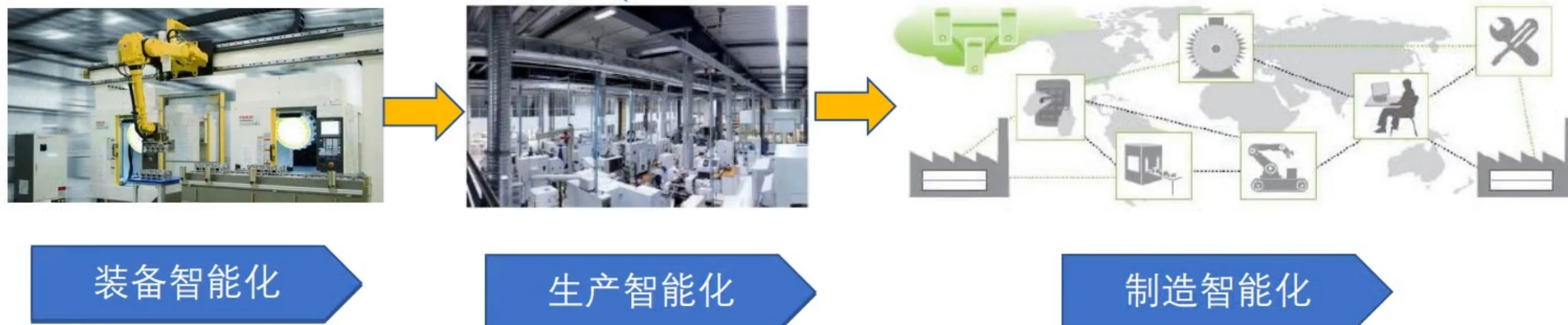
# 1.1 当代智能制造的发展阶段 赋能技术是关键



## 当前智能制造关键是赋能



智能制造将使能技术在生产诸环节上赋能是关键

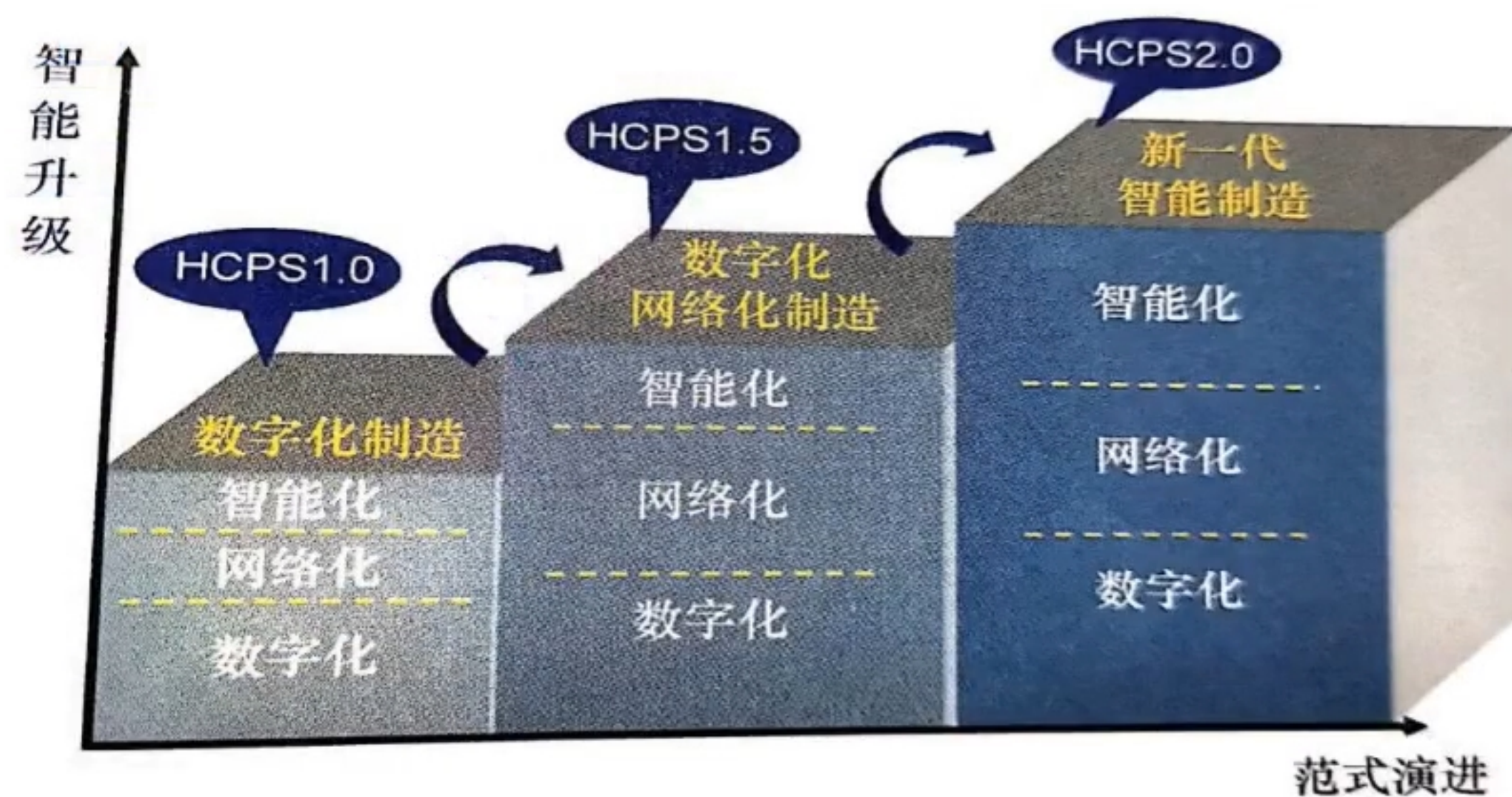
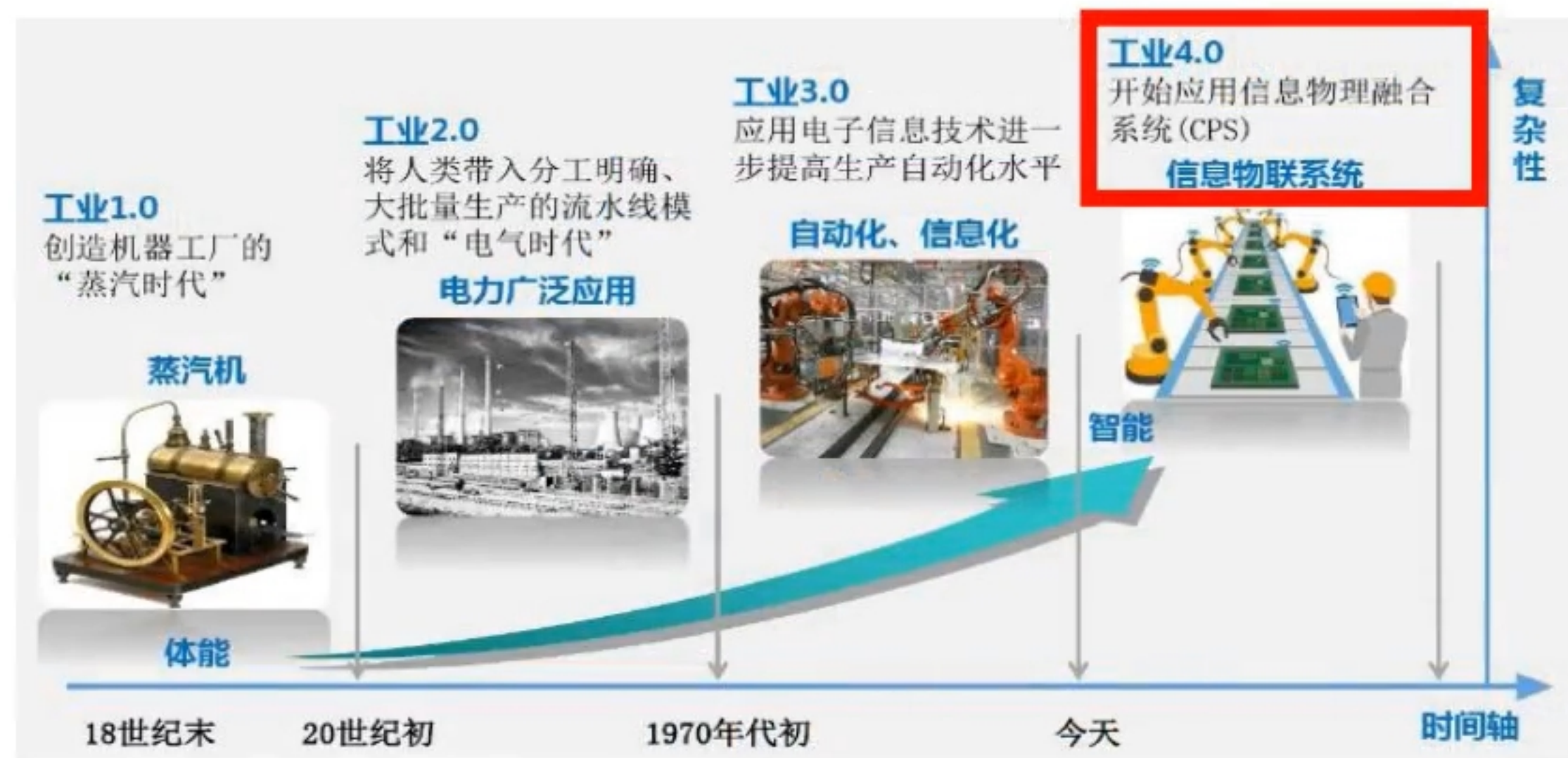


智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式<sup>[1]</sup>。

# 1.1 当代智能制造的发展阶段



➤ 数字化是基础、网络化是关键、智能化是趋势



- ✓ 智能制造是科技发展的必然阶段
- ✓ 智能制造时代已来，势不可挡！



- 把握本质积极应对
- 选择核心技术高质量落实
- 面向未来趋势，把我发展方向

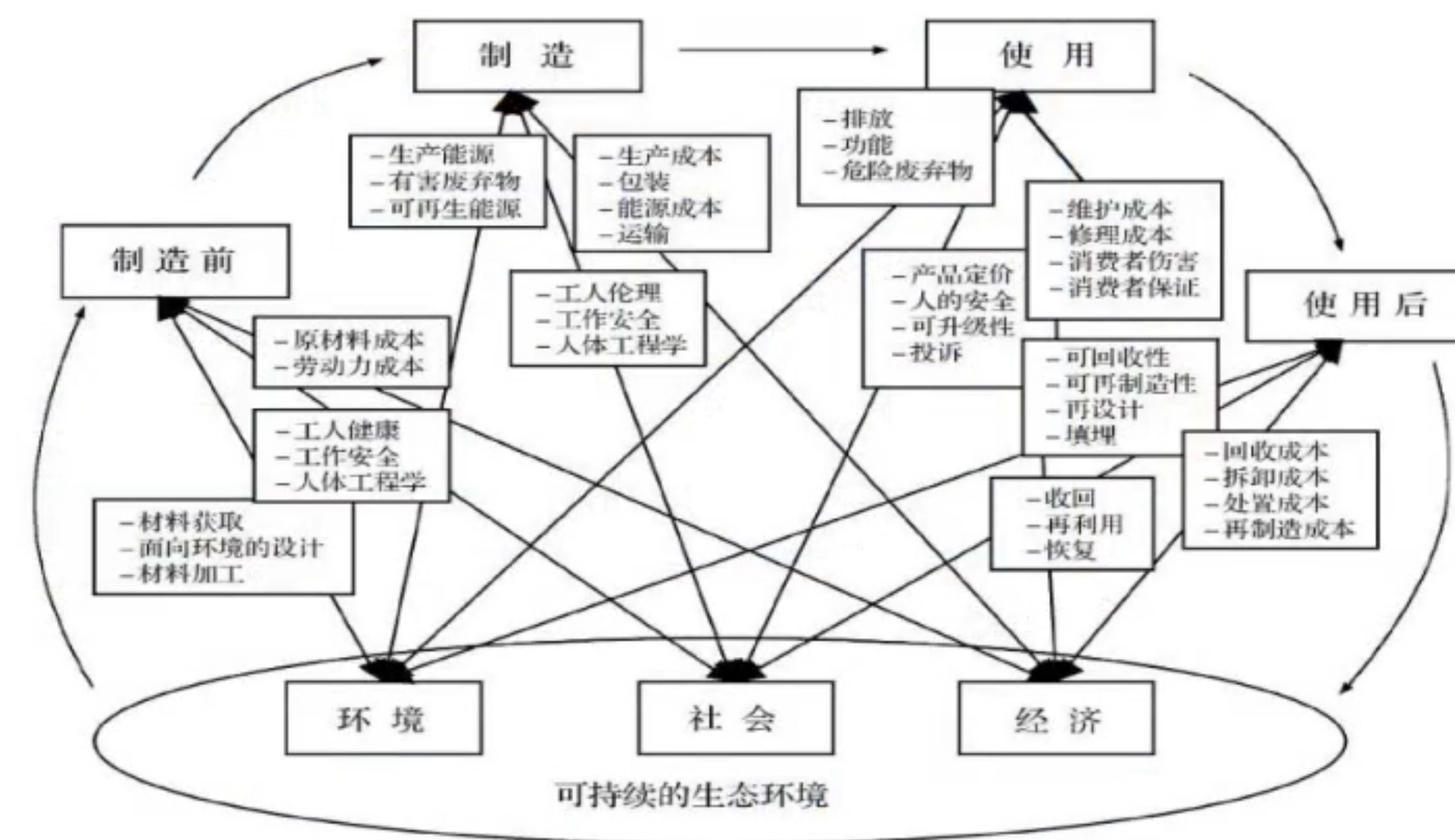
新一代信息技术



先进制造技术

### 什么是好的智能制造系统？

✓ 是满足**客户个性定制生产需求**的目标下，对生产**过程**诸环节进行**精准预测、规划**。并对制造过程的长期健康高效**运行**进行**精益控制**和**维护**。

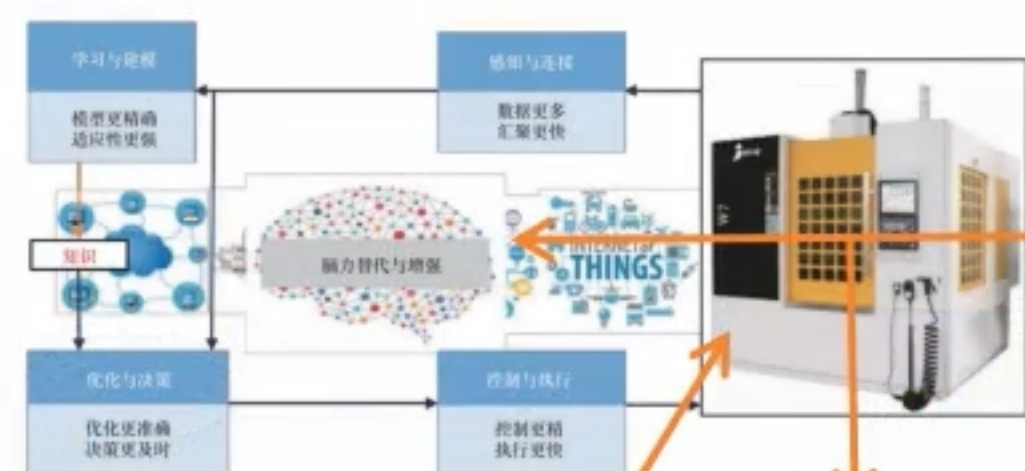


❖ 智能制造的最终**标准**是“人-制造-环境”**整体质量最优**的和谐发展即可**可持续制造**。

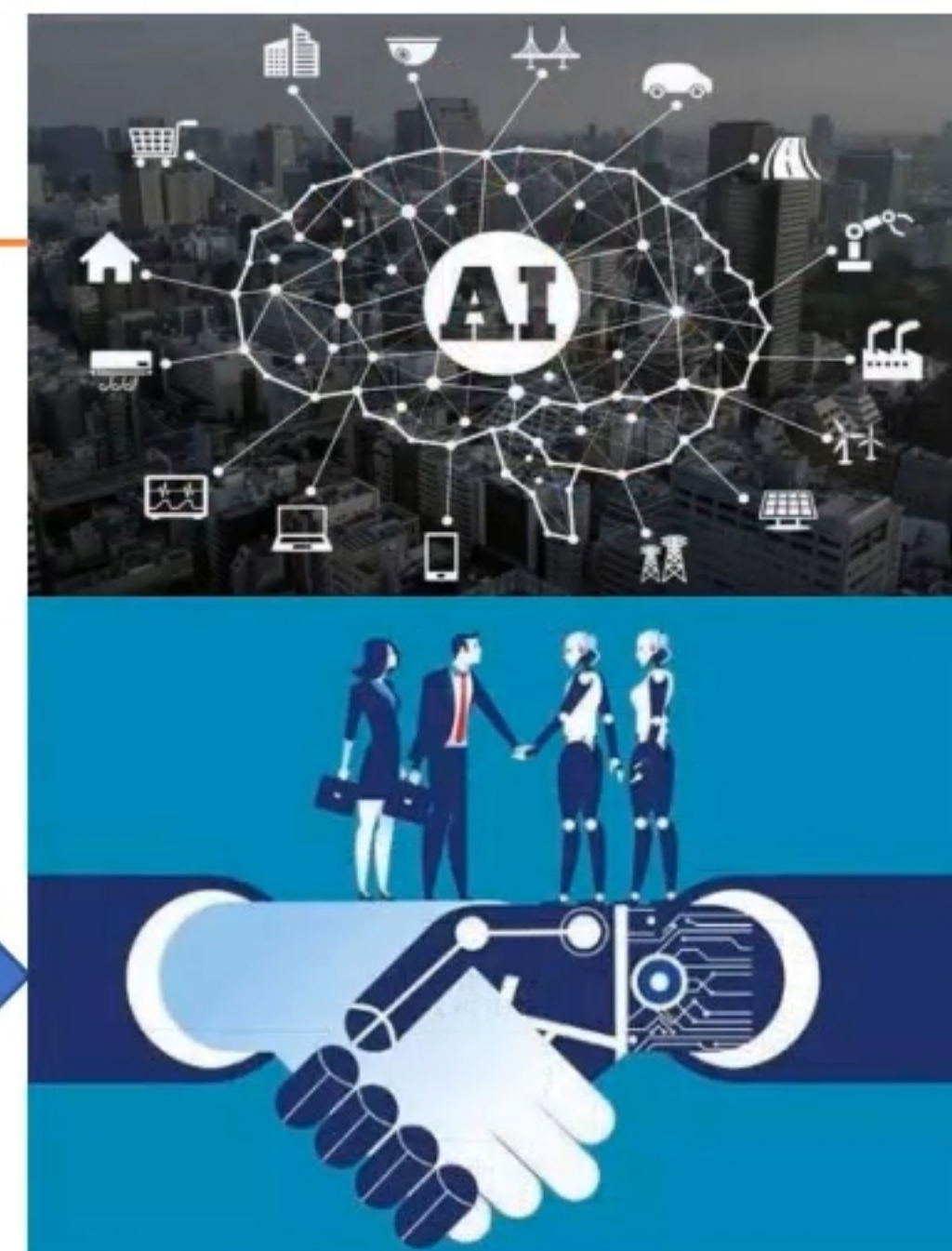
# 1.3 未来智能制造新业态的核心技术



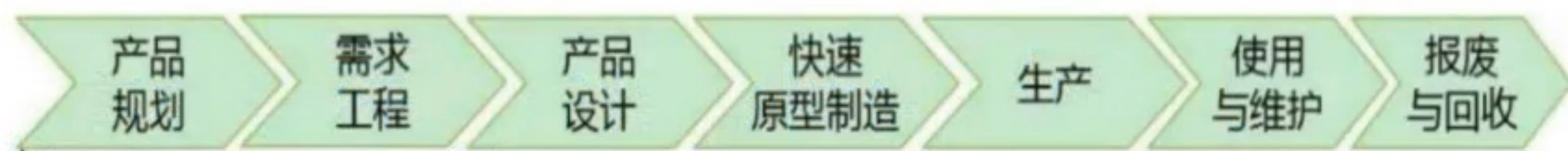
- 装备智能化 ←
- 生产智能化 ←
- 服务智能化 ←



新一代信息技术



先进制造技术



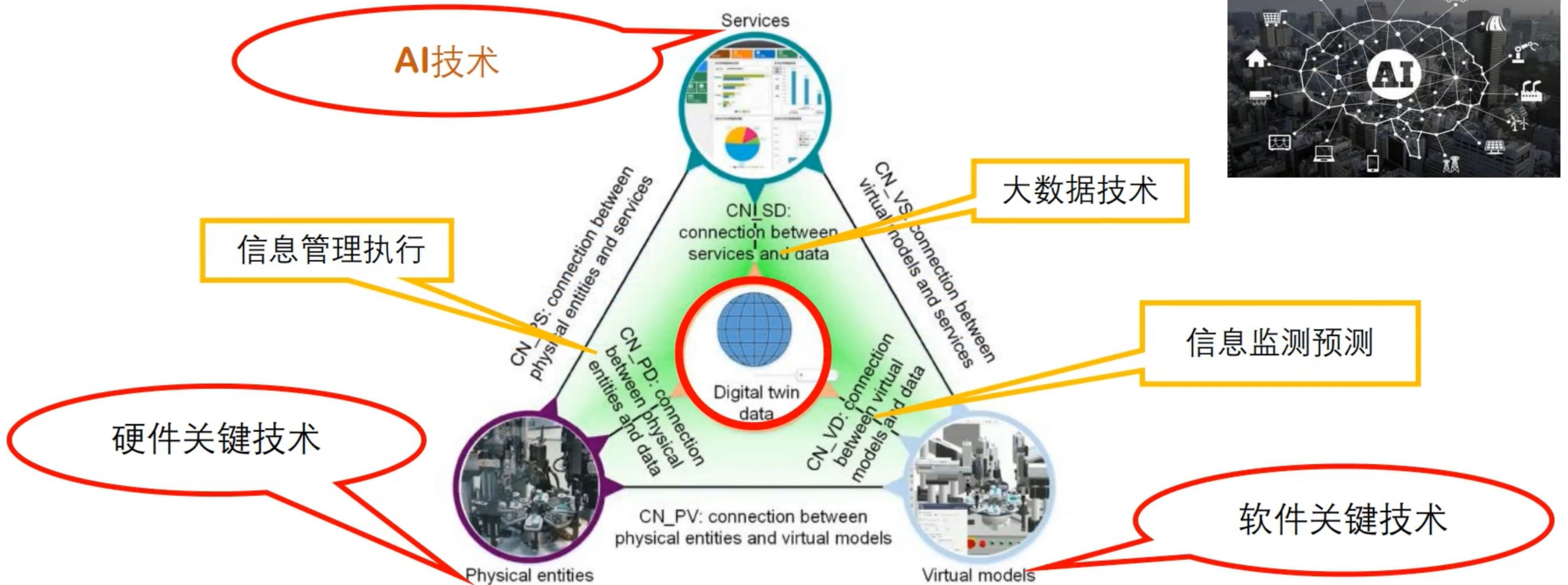
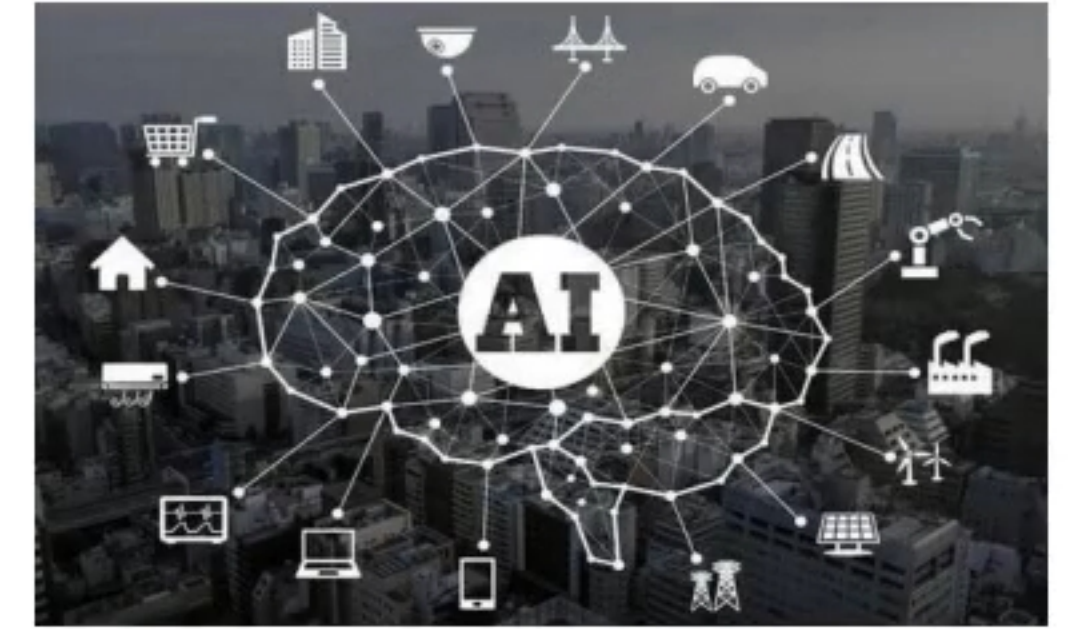
❖ 外脑功能系统复现的关键技术——数字孪生 ( Digital Twin )

[https://www.sohu.com/a/156820371\\_658106](https://www.sohu.com/a/156820371_658106)



## 二. 智能制造与数字孪生技术

# 2.1 数字孪生的概念



JCheng, H Zhang, Fei Tao\*, et al. DT-II: Digital twin enhanced Industrial Internet reference framework towards smart manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2020, 62: 101881.

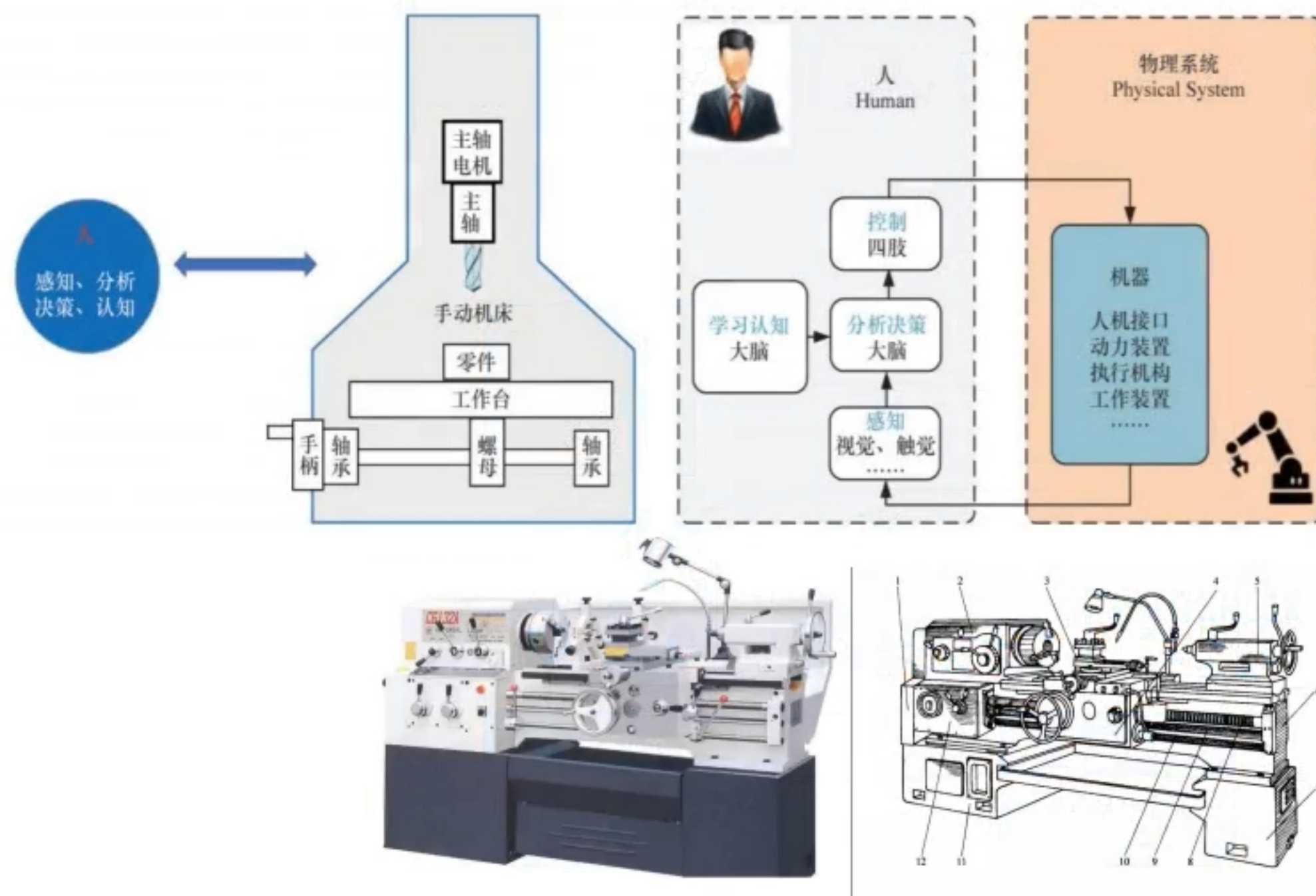
# 2.1 数字孪生技术——智能机床



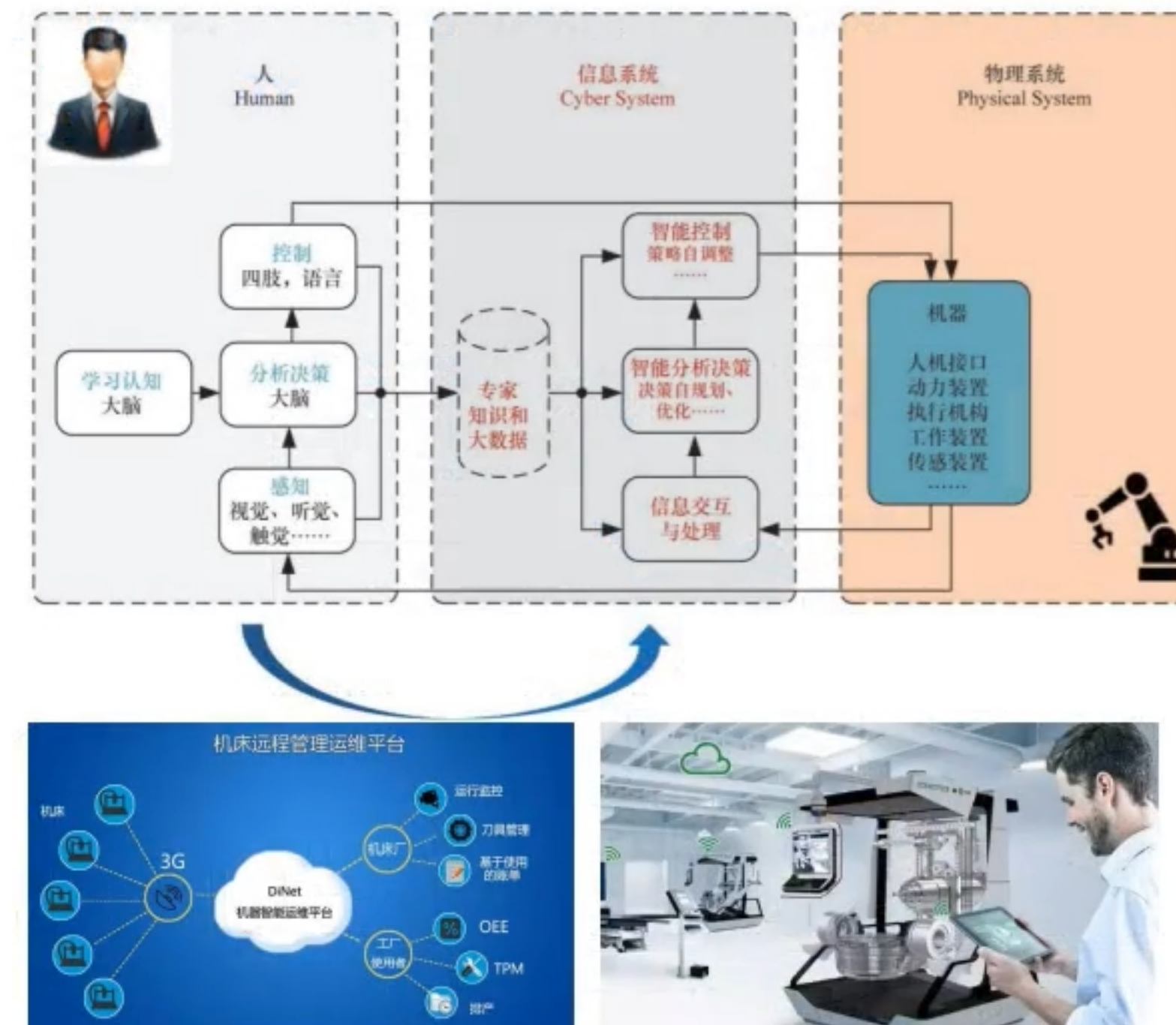
❖ 智能机床是对其加工制造过程能够进行**自动感知、智能辅助决策、智能监测、智能调节和智能维护**的机床，实现加工制造过程的**高速、高精、高可靠性和低功耗**。



## ➤ 数控机床与互联网+机床

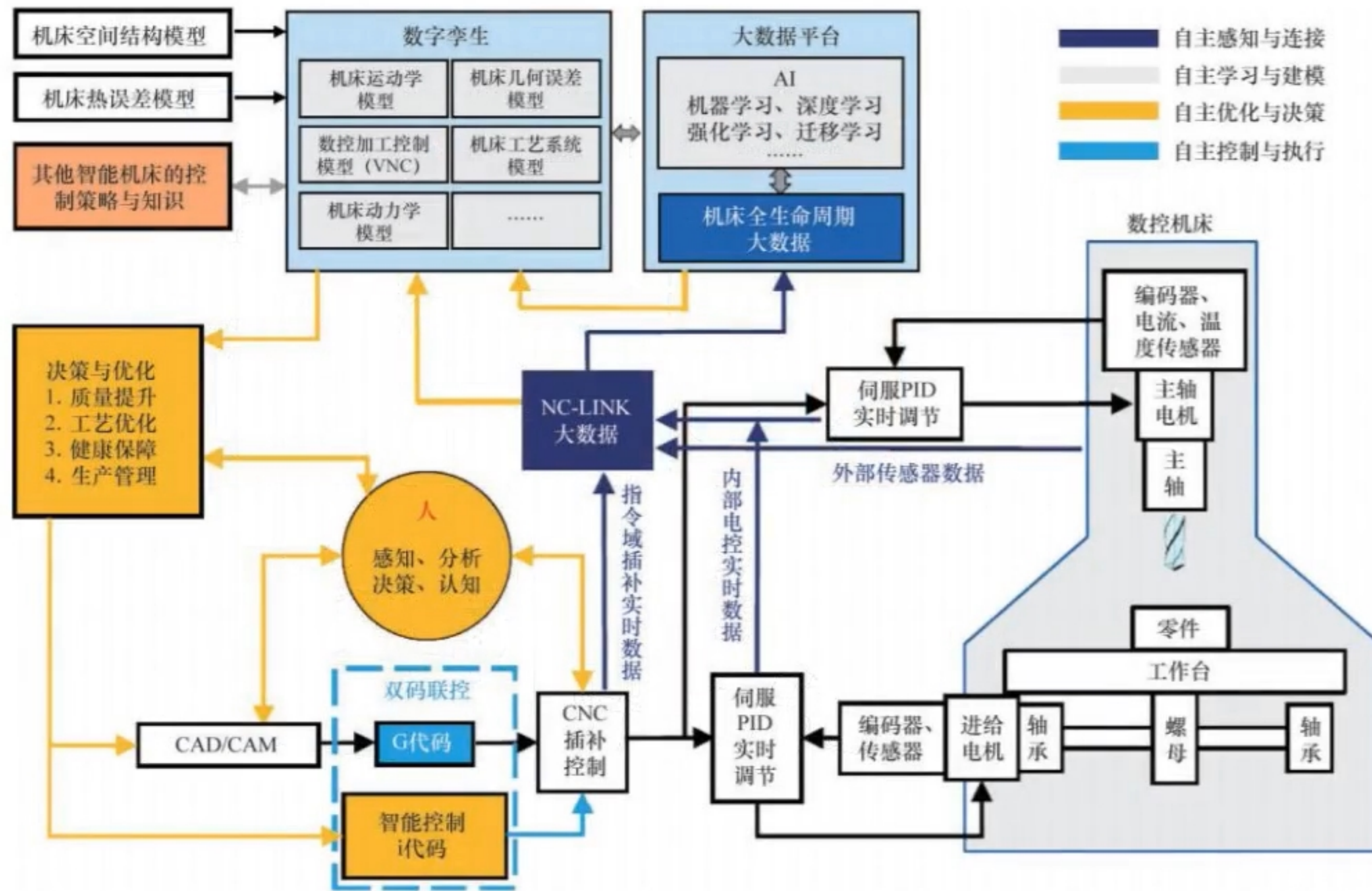


手动机床 (manually operated machine tool, MOMT) 是机床的最初形态, 它是人和机床物理系统的融合。操作者通过人脑的感知和决策, 用双手操控机床, 完成零件加工。



- ❑ 数控机床是“人-信息-机系统” ( human-cyber-physical systems , HCPS ) , 即在“人” ( human ) 和“机” ( physical ) 之间增加了一个信息系统 ( cyber system ) 。
- ❑ 随着“互联网+”技术的不断推进, 互联网、物联网、智能传感技术开始应用到数控机床的远程服务、状态 监控、故障 诊断、维护管理等方面。

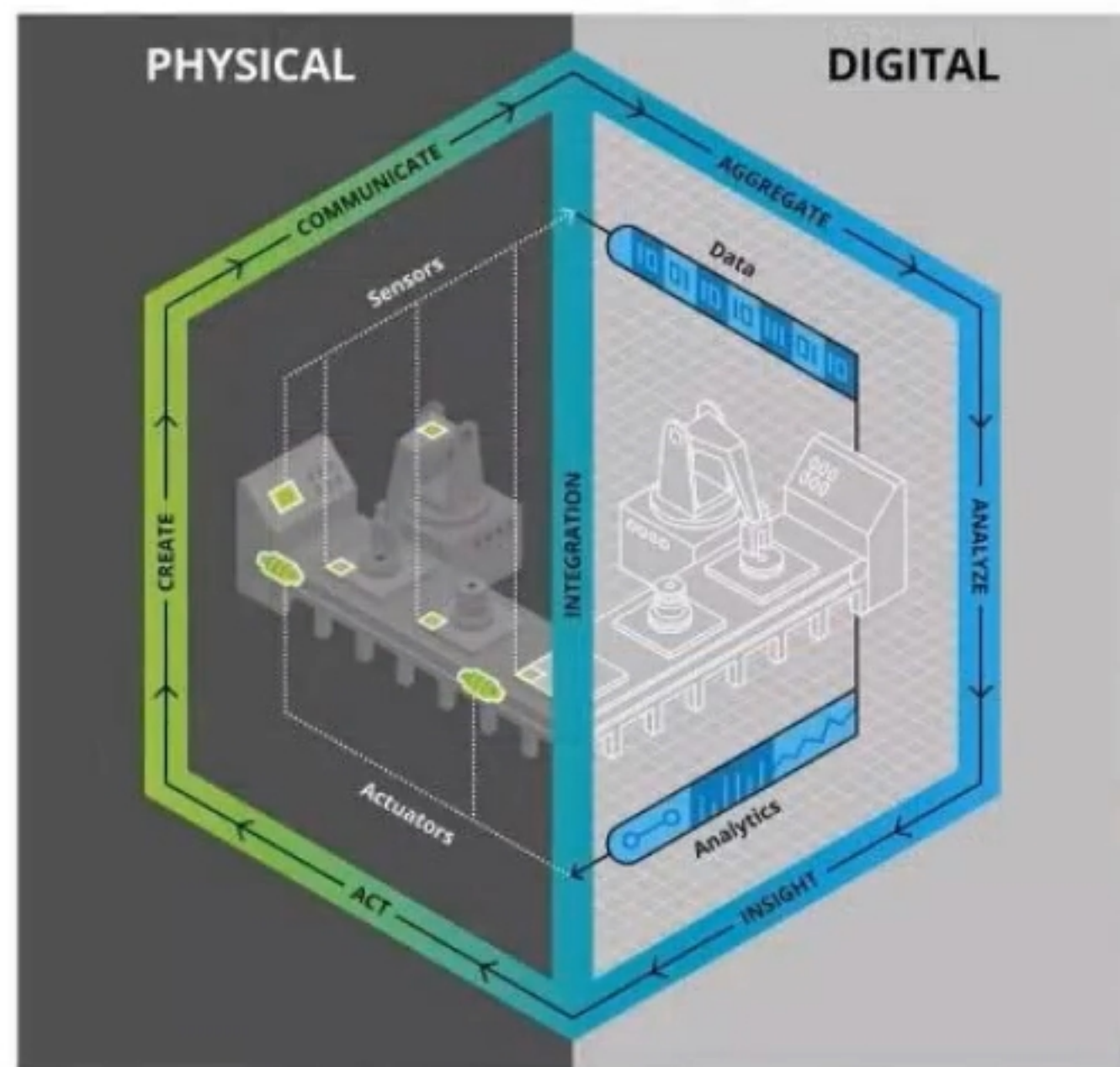
# 2.1 数字孪生技术——智能机床



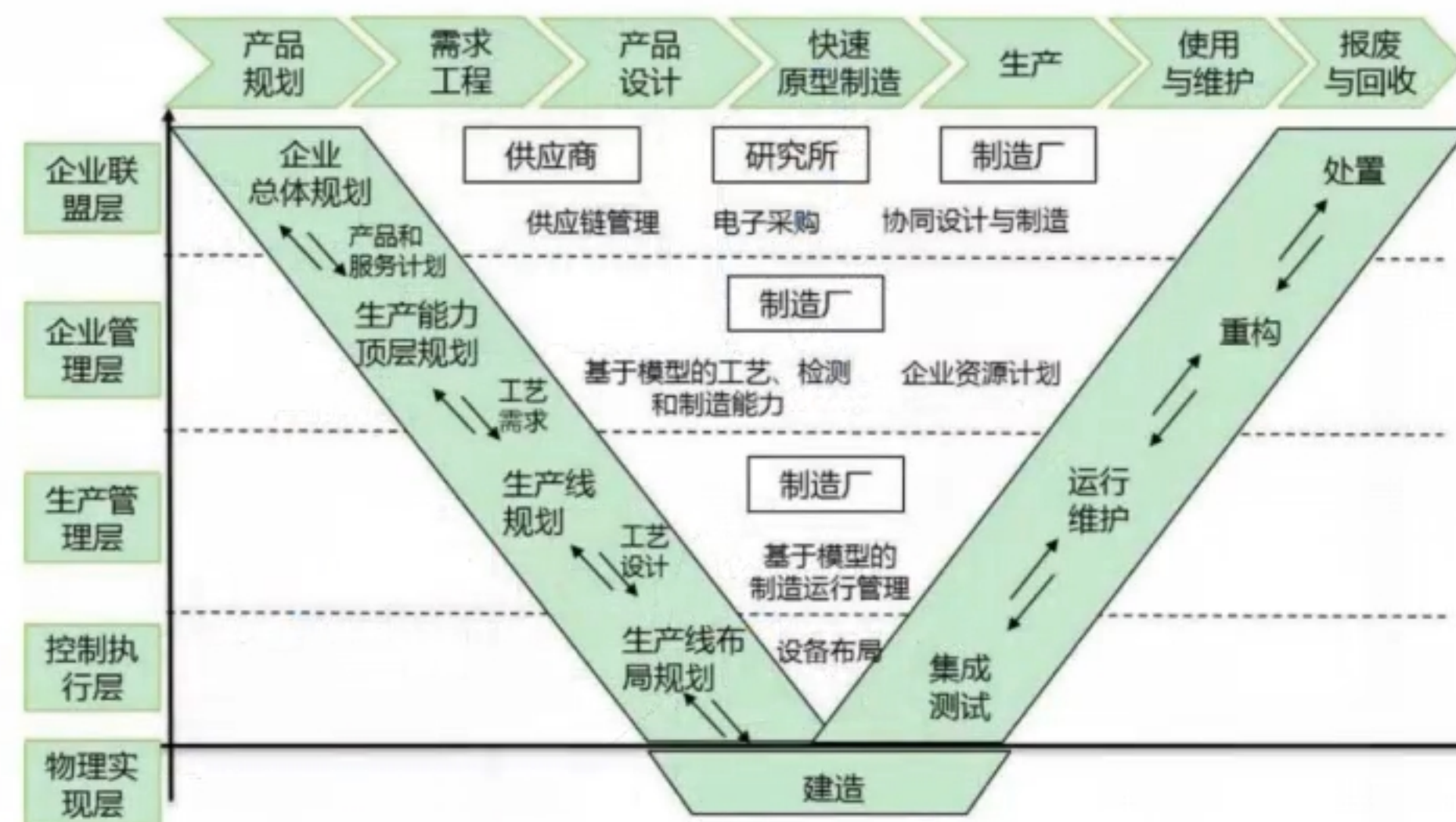
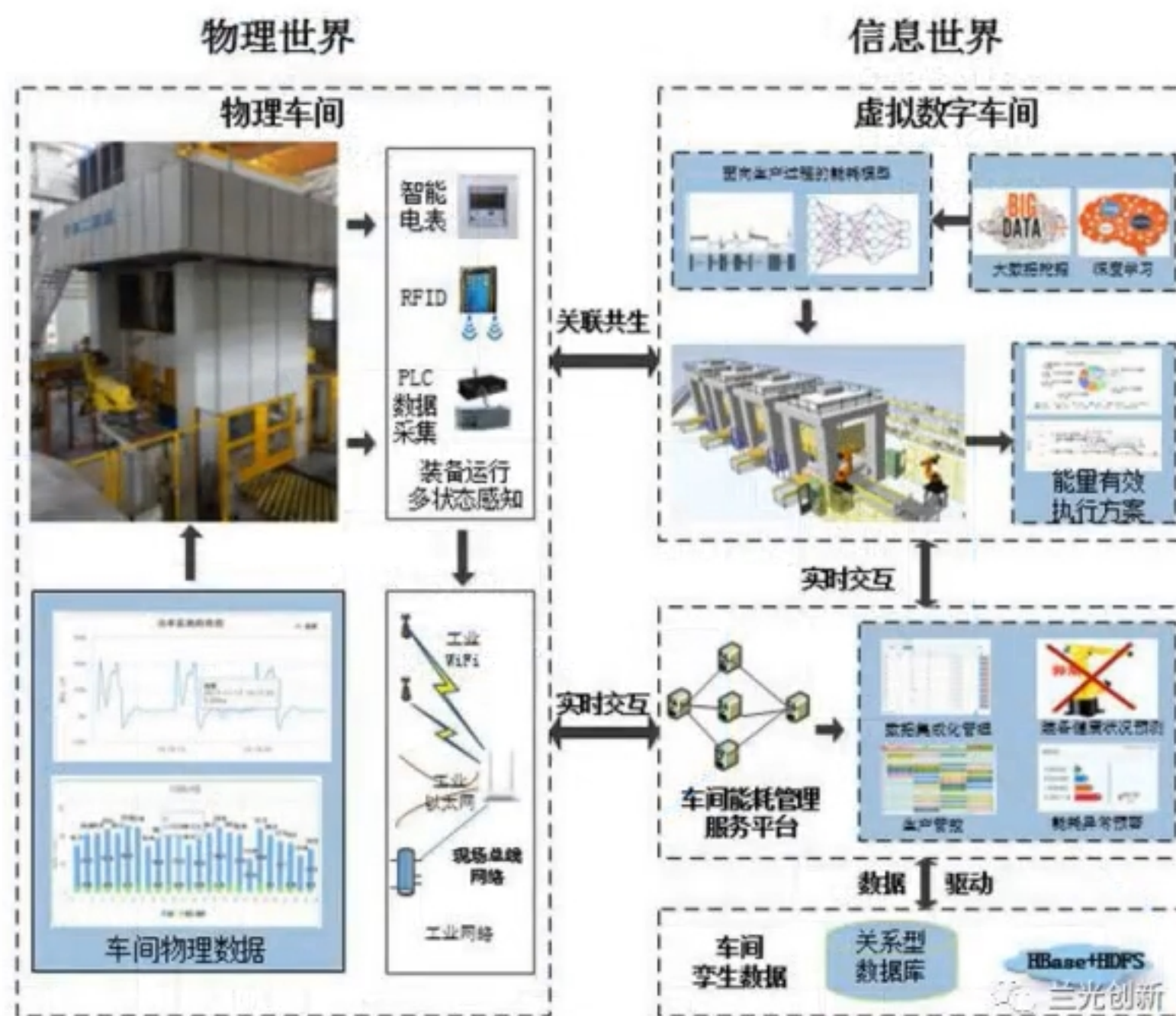
## 自主感知与连接、自主学习与建模、自主优化与决策、自主控制与执行

新一代人工智能技术融入数控机床，赋予机床学习的能力，可生成并积累知识。人的知识学习型脑力劳动交由数控系统完成。

## ➤ 数字孪生系统



Source: Deloitte University Press.



- ❖ 数字孪生是在虚拟空间中创建物理对象的高保真虚拟模型，以模拟其在现实世界中的行为并提供反馈，反映了双向动态映射过程。
- 开辟了物理活动与虚拟世界同步的新途径
- 打破了产品生命周期的隔离，提供了完整的产品数字足迹
- 能够更快、更准确地预测和检测物理问题，优化制造流程，提高产品质量

## ➤ 数字孪生核心技术

### ❖ 数字孪生模型

- 包括结构模型、物理模型、控制模型、数据接口模型、行为模型、算法模型

### ❖ 多源异构信息实时交互

- 通过OPC-UA、TCP/IP、HTTP等协议实现空间、时间、温度、电信号、振动信号等的实时交互

### ❖ 全要素仿真

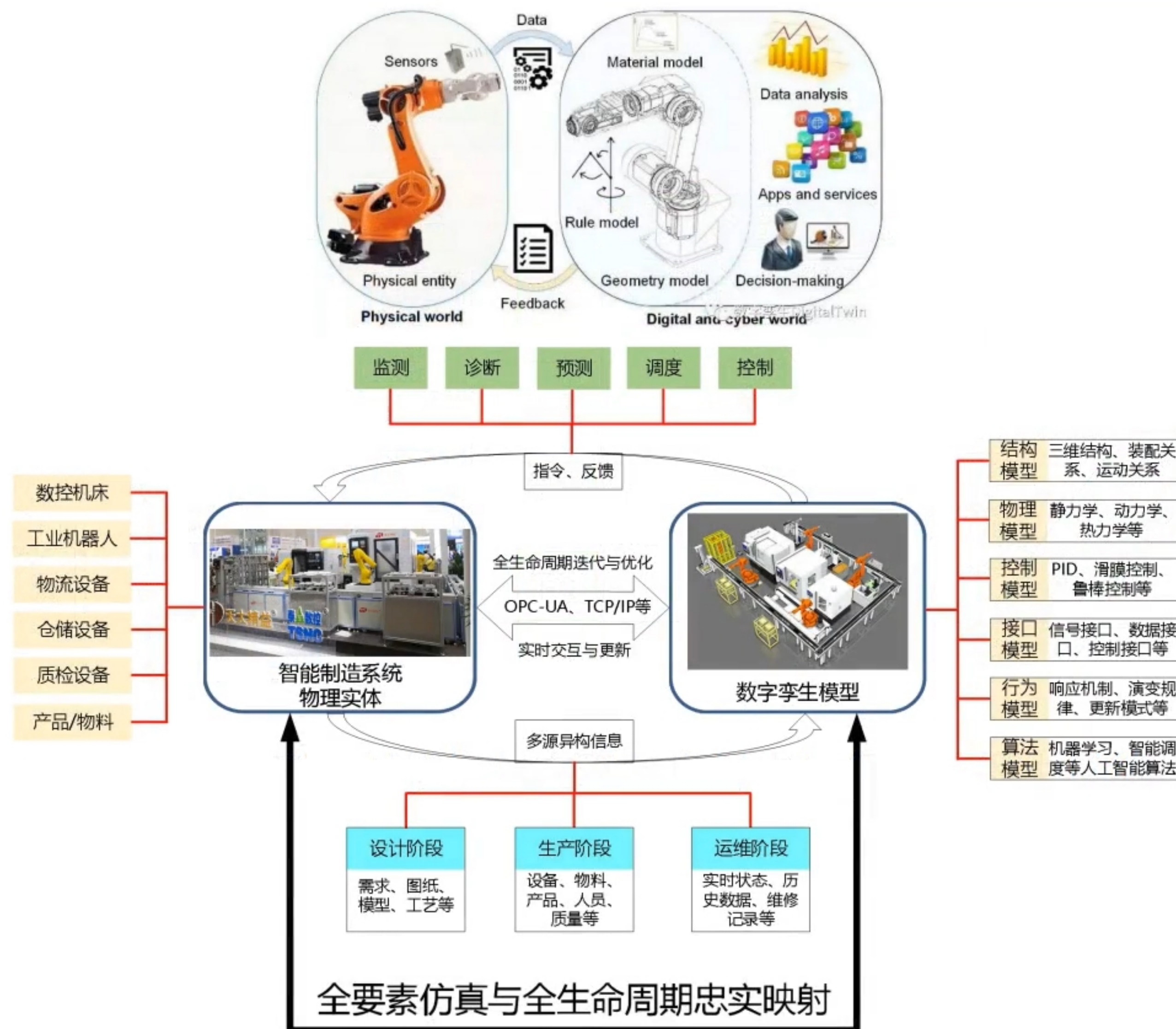
- 将数字孪生模型与多源异构信息深度融合，实现物理实体在信息空间中的全要素仿真

### ❖ 全生命周期的忠实映射

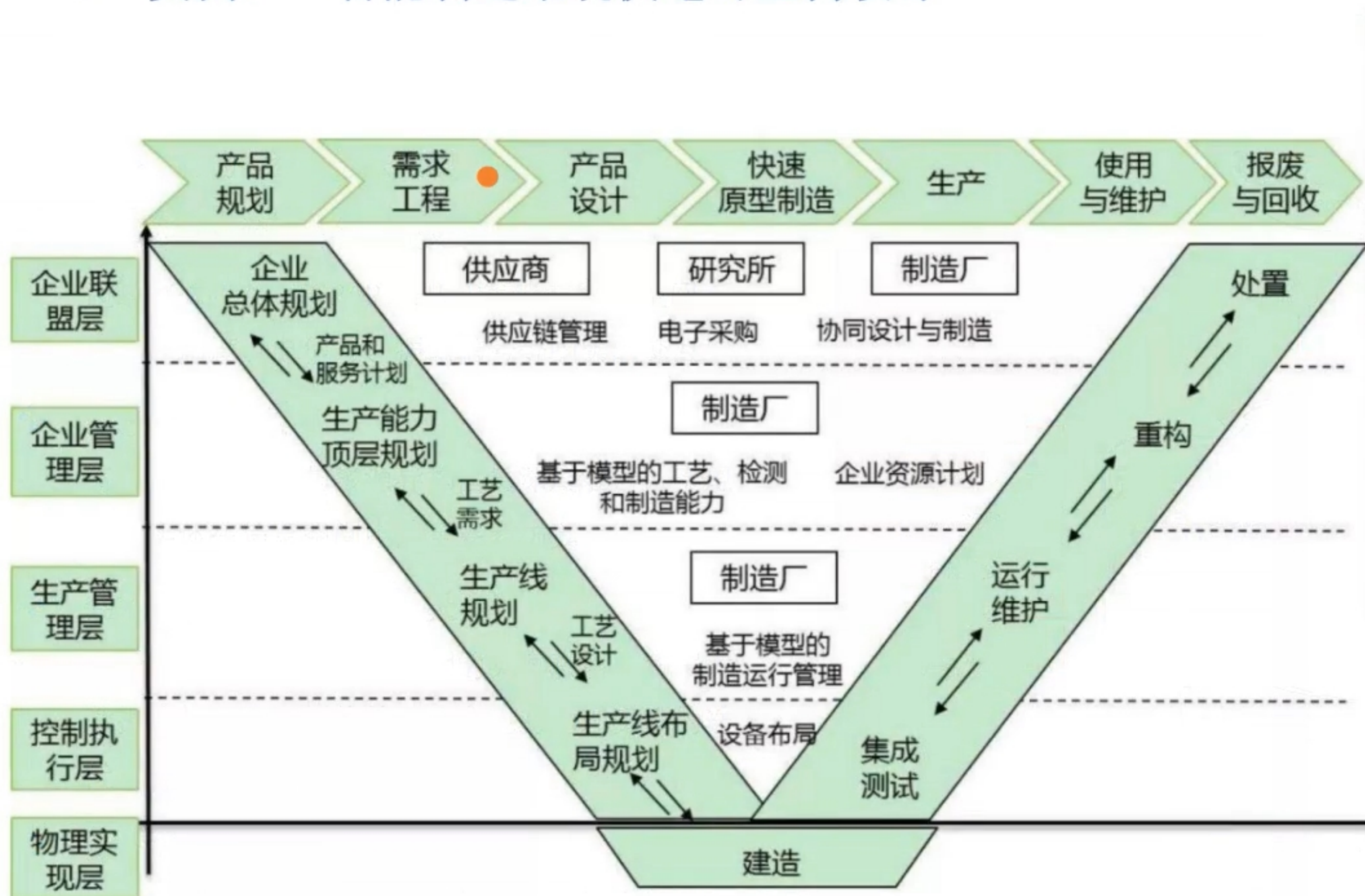
- 基于对物理实体全生命周期的实时映射，利用大数据分析和人工智能算法，实现对物理实体的迭代优化与实时决策

### ❖ 给定目标下的分析与决策

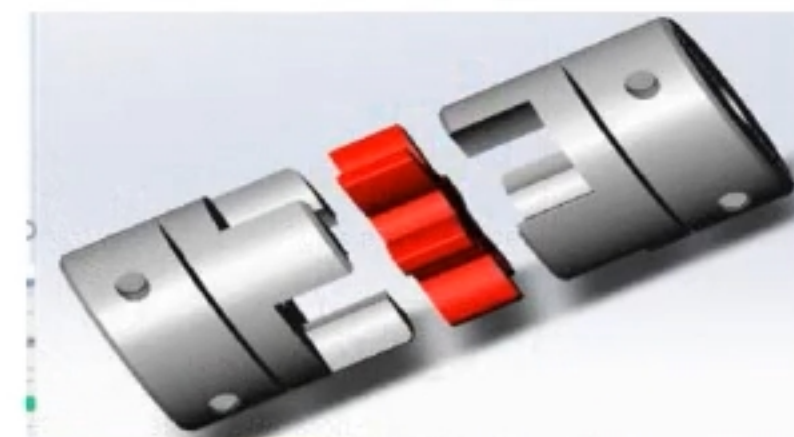
- 面向不同需求，选择不同分析工具，结合智能算法给出综合性分析与动态评价



## 实例1 —智能制造系统快速可重构设计



### 快速可适应规划技术



### 设备生产过程实时反馈



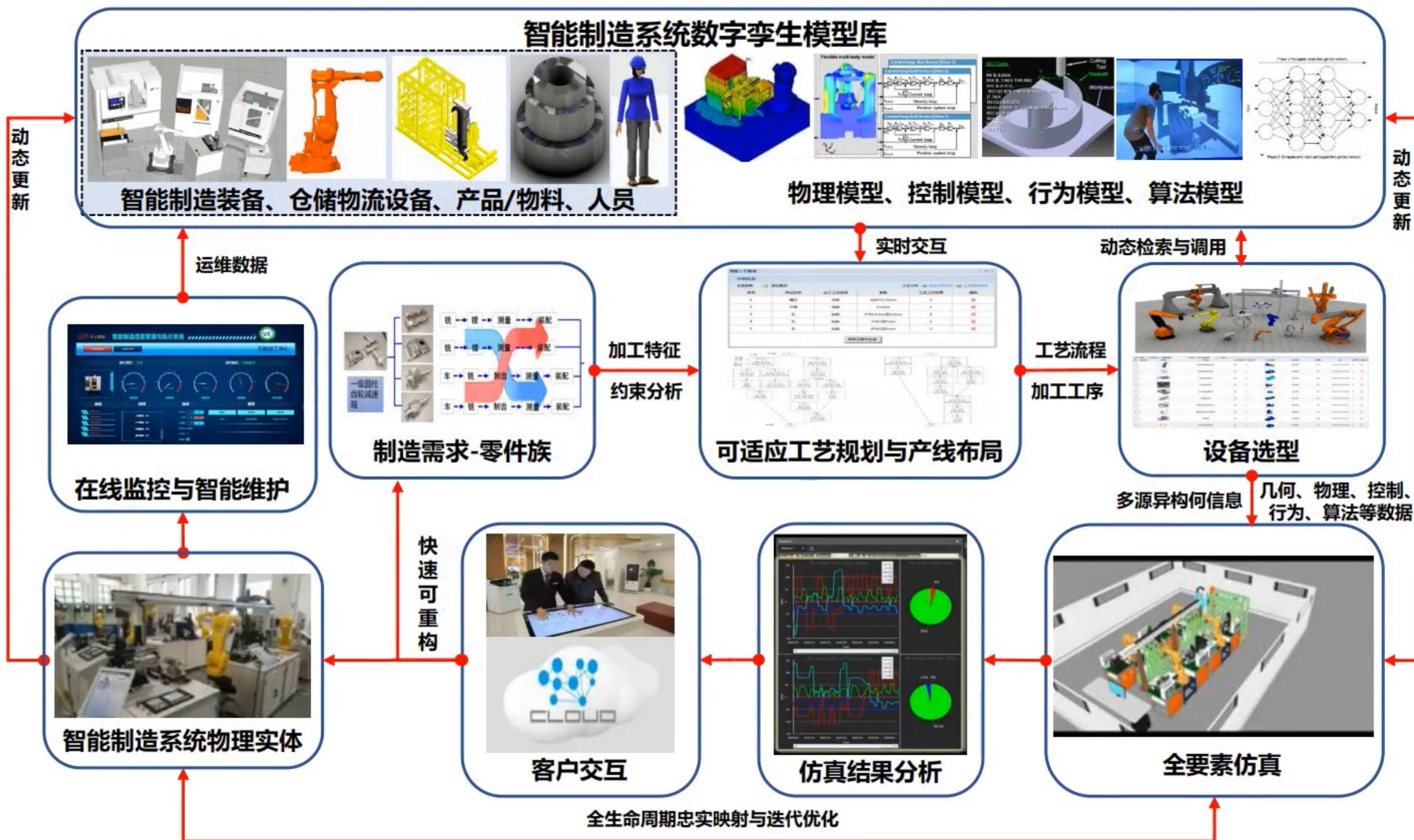
### 生产过程执行与管理



### 设备协调维护



# 2.2 数字孪生技术——智能生产规划





### 智能制造系统快速可重构

- 可适应工艺规划
- 设备快速选型
- 布局场景构建
- 生产调度与优化



### 智能制造装备网络模型库

- 丰富的模型种类与数量 (2400+)
- 权限开放与动态更新
- 支持多种格式二维图纸和三维模型导入



### 数控机床加工仿真

- CAM仿真
- NC数据快速生成
- 动态加工仿真



### 机器人示教仿真

- 基本机器人功能
- 机器人圆弧示教工具
- 机器人轨迹创建
- 机器人喷涂可视化



### 智能制造系统可视化仿真

- 高度逼真的渲染效果
- 摄像头仿真
- VR虚拟现实
- 手机APP



### 智能制造系统数字孪生仿真

- 支持OPC-UA、TCP/IP等多种通讯协议
- PLC交互 (虚拟调试)
- 虚实同步仿真
- 支持虚拟调试、测试、维护



### 项目交付项

- 2D、3D图生成
- 生成标准化项目文件
- 导出4K高清图像、3D PDF文件

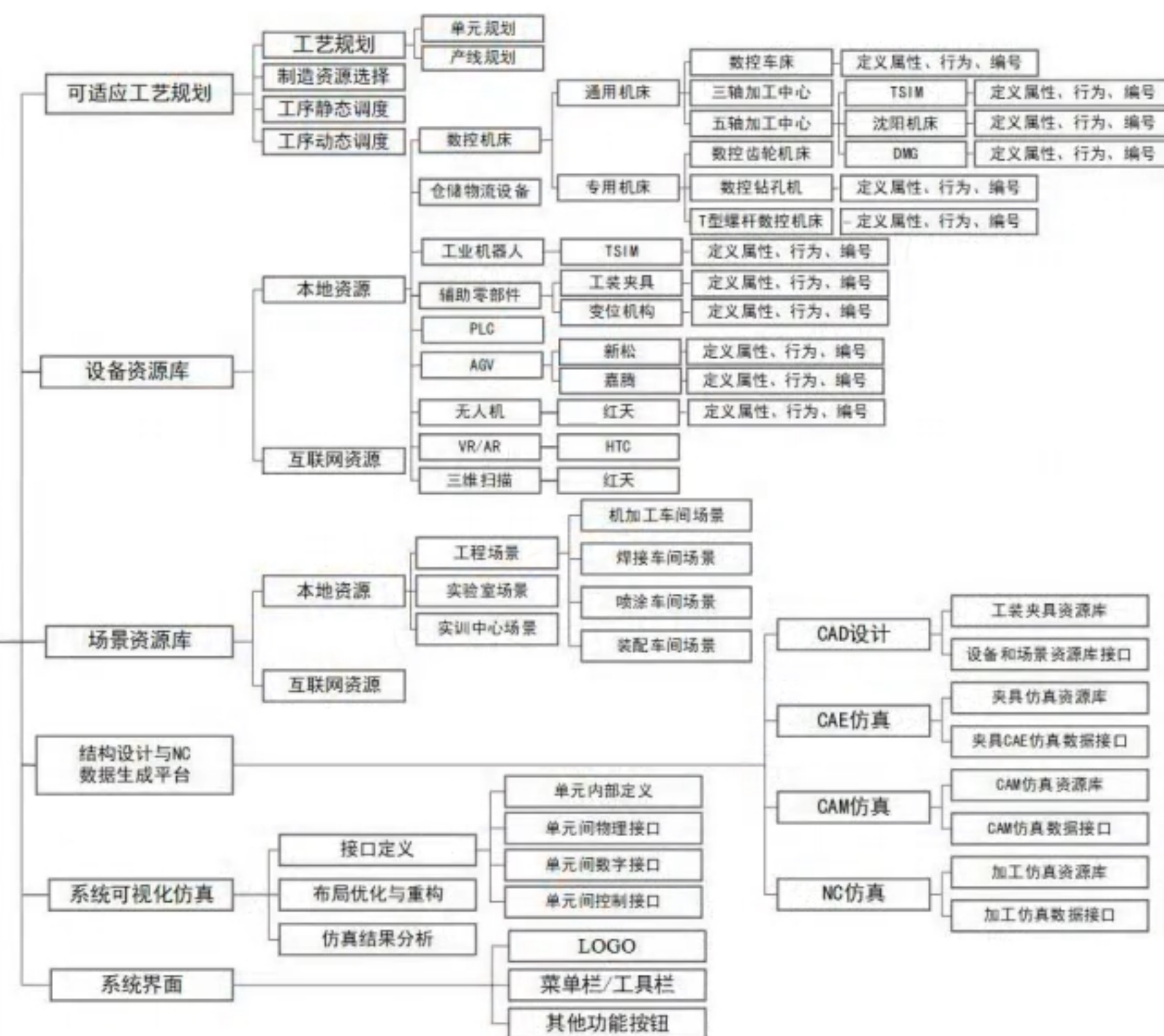


### 统计和报告

- 支持动态生产仿真数据可视化
- 支持导出PDF和XLS等格式的生产仿真数据
- 支持大数据分析

## VE<sup>2</sup> = Visual Engineering × Education

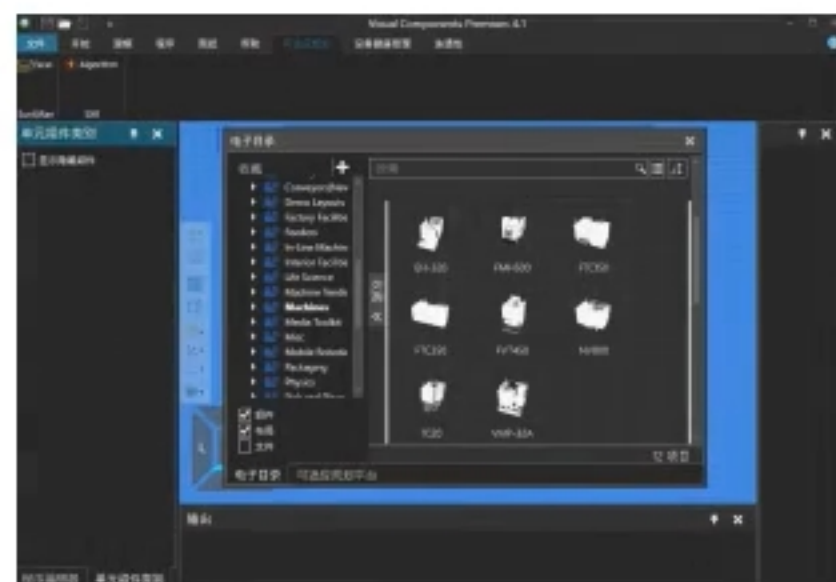
智能制造系统可适应规划仿真平台



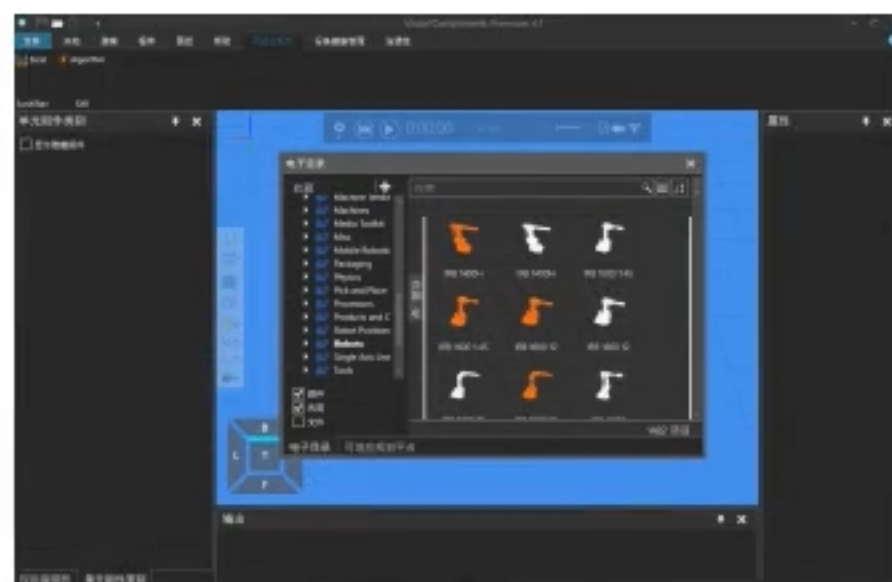
VE<sup>2</sup>总体架构

- ❖ 该平台为立足国际先进可视化仿真软件内核, 自主二次开发的智能制造系统高级仿真软件
- ❖ 该平台不仅适用于智能制造装备等工程过程的规划仿真与快速响应设计, 还可广泛应用于教学与实训
- ❖ 权限开放与动态更新的智能制造装备网络模型库 (已有2400+各种机床、机器人、仓储物流组件模型)
- ❖ 建模操作简单, 模型功能属性完善, 支持所有CAD格式导入
- ❖ 支持OPC-UA等多种通讯协议, 实现复杂智能制造系统数字孪生, 实现虚拟装调、测试与维护。
- ❖ 仿真效果逼真, 可导出4K高清图像、3D PDF文件。

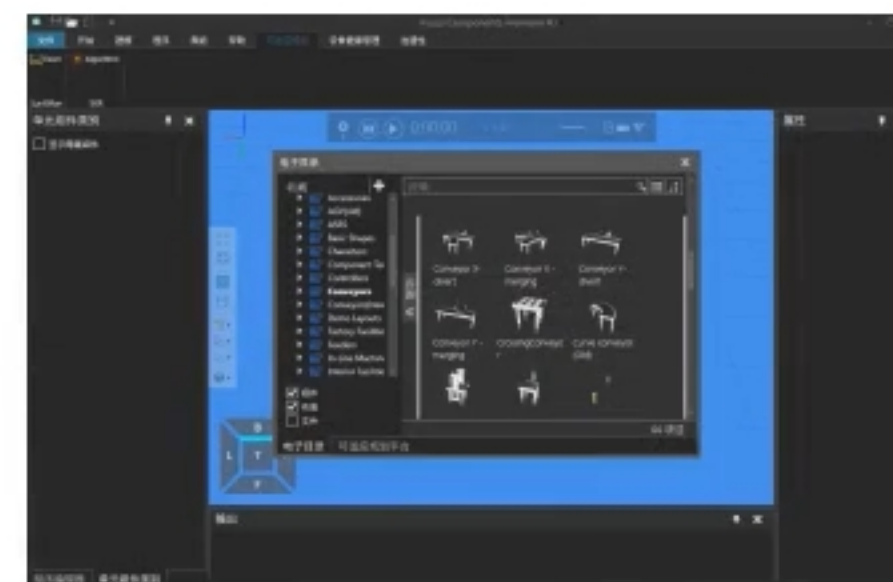
- ❖ 自定义个性化模型库
- ❖ 权限开放与动态更新的智能制造模型库 (2400+)
- ❖ 建模操作简单, 模型功能属性完善



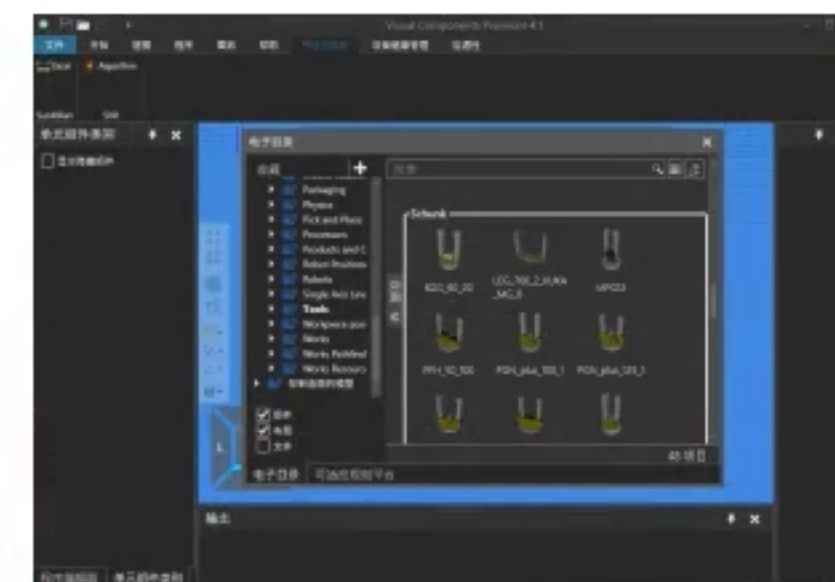
机床库



机器人库

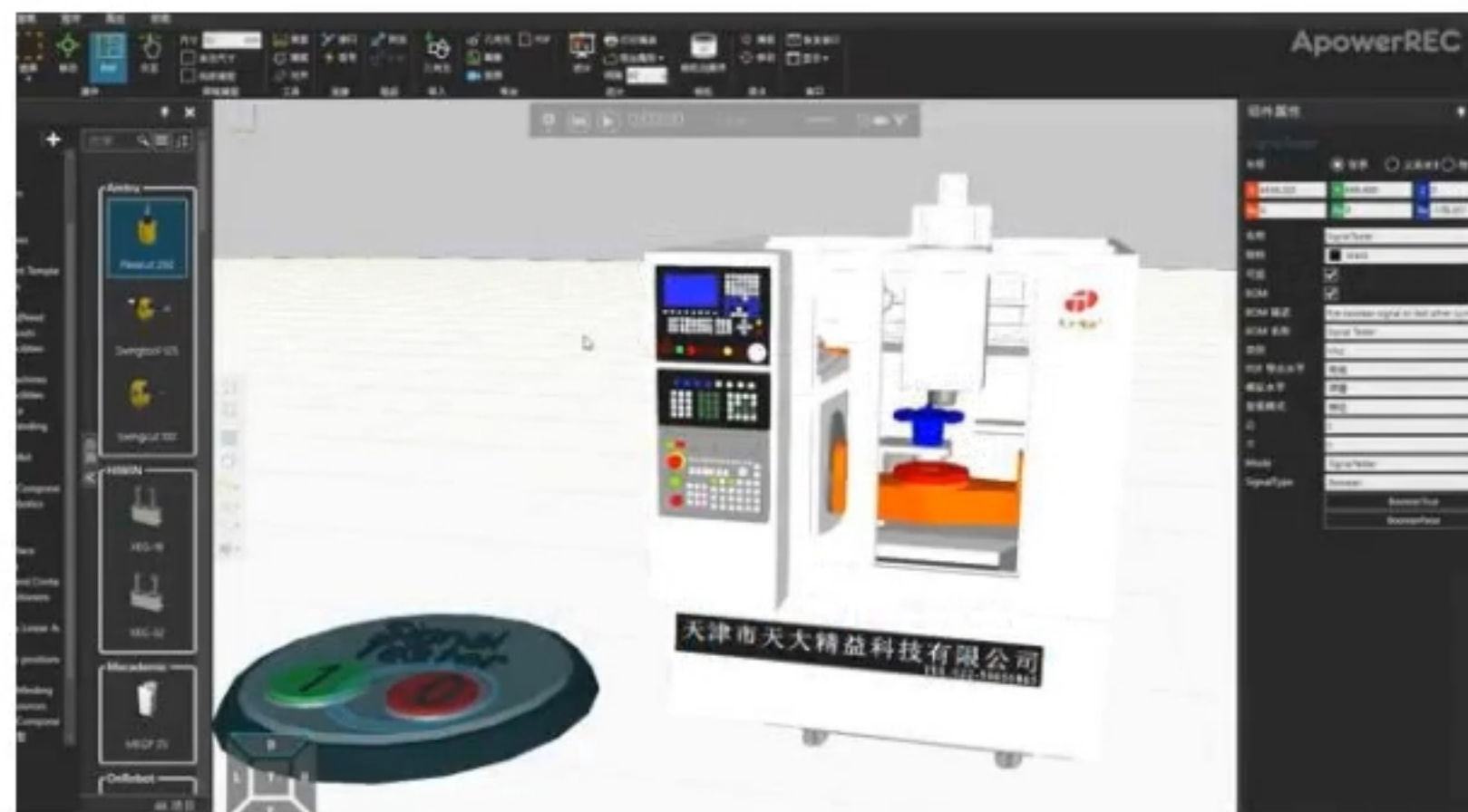


物流仓储设备库



夹具库

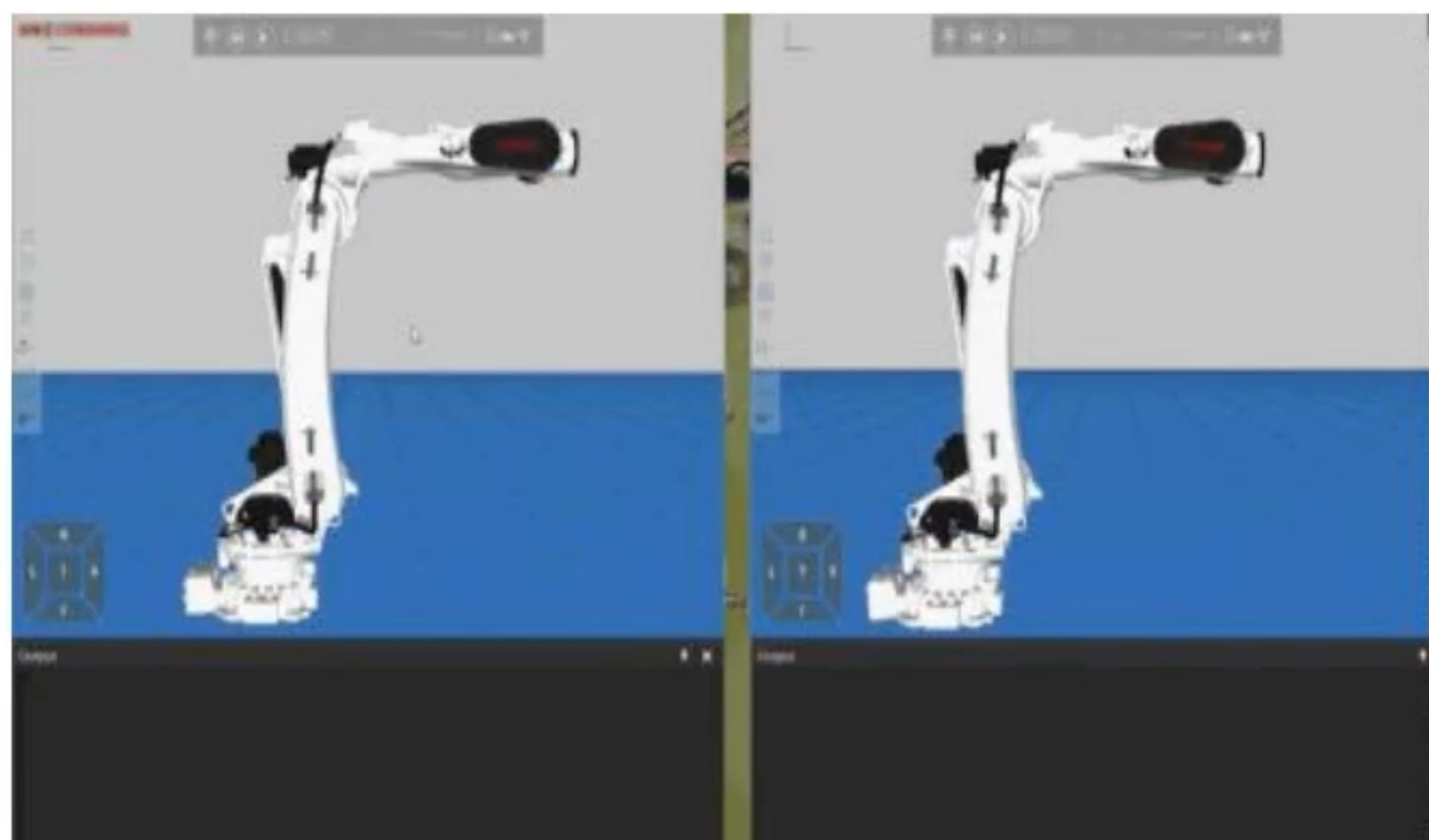
- ❖ 自定义模型行为、连接属性



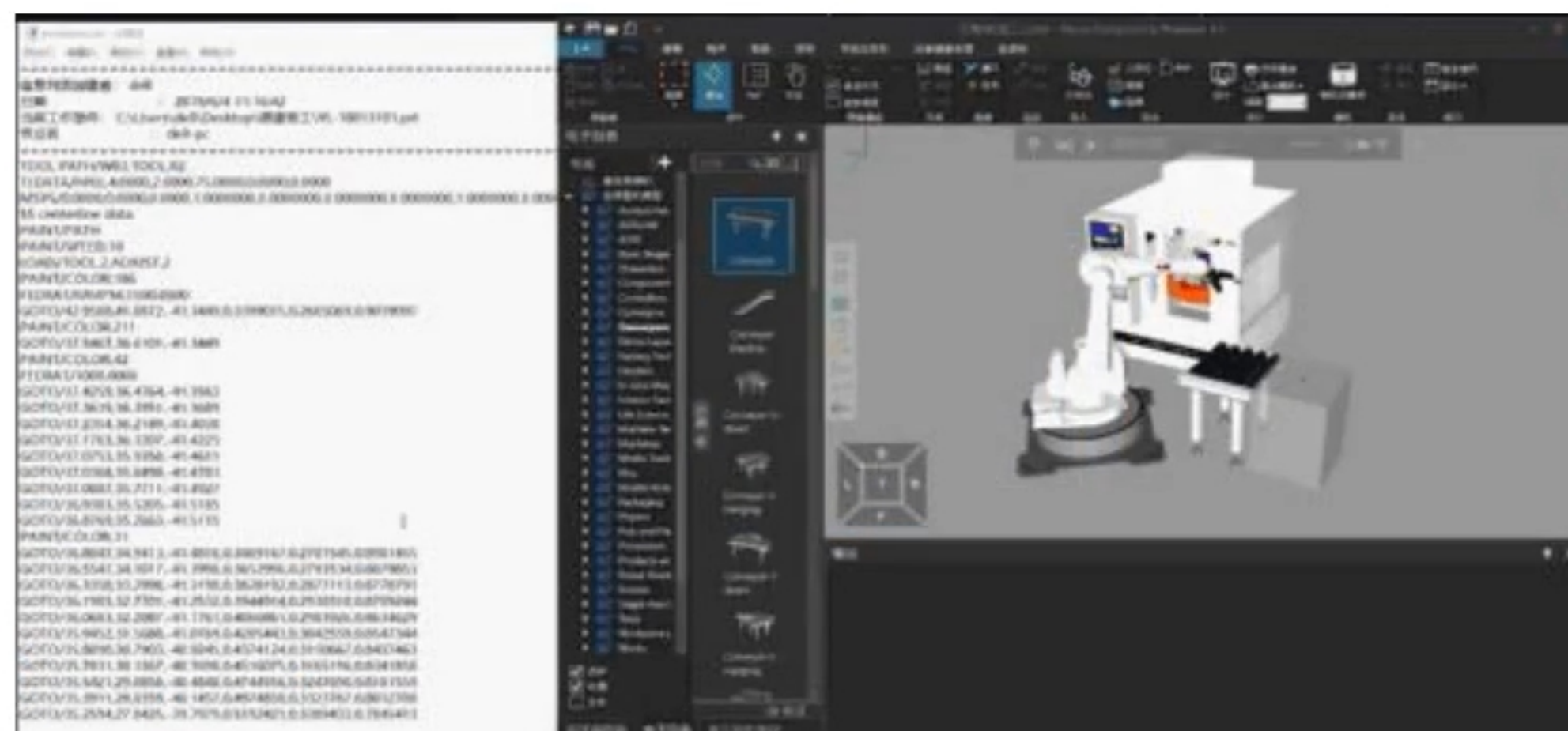
- ❖ 标准CAD模型导入



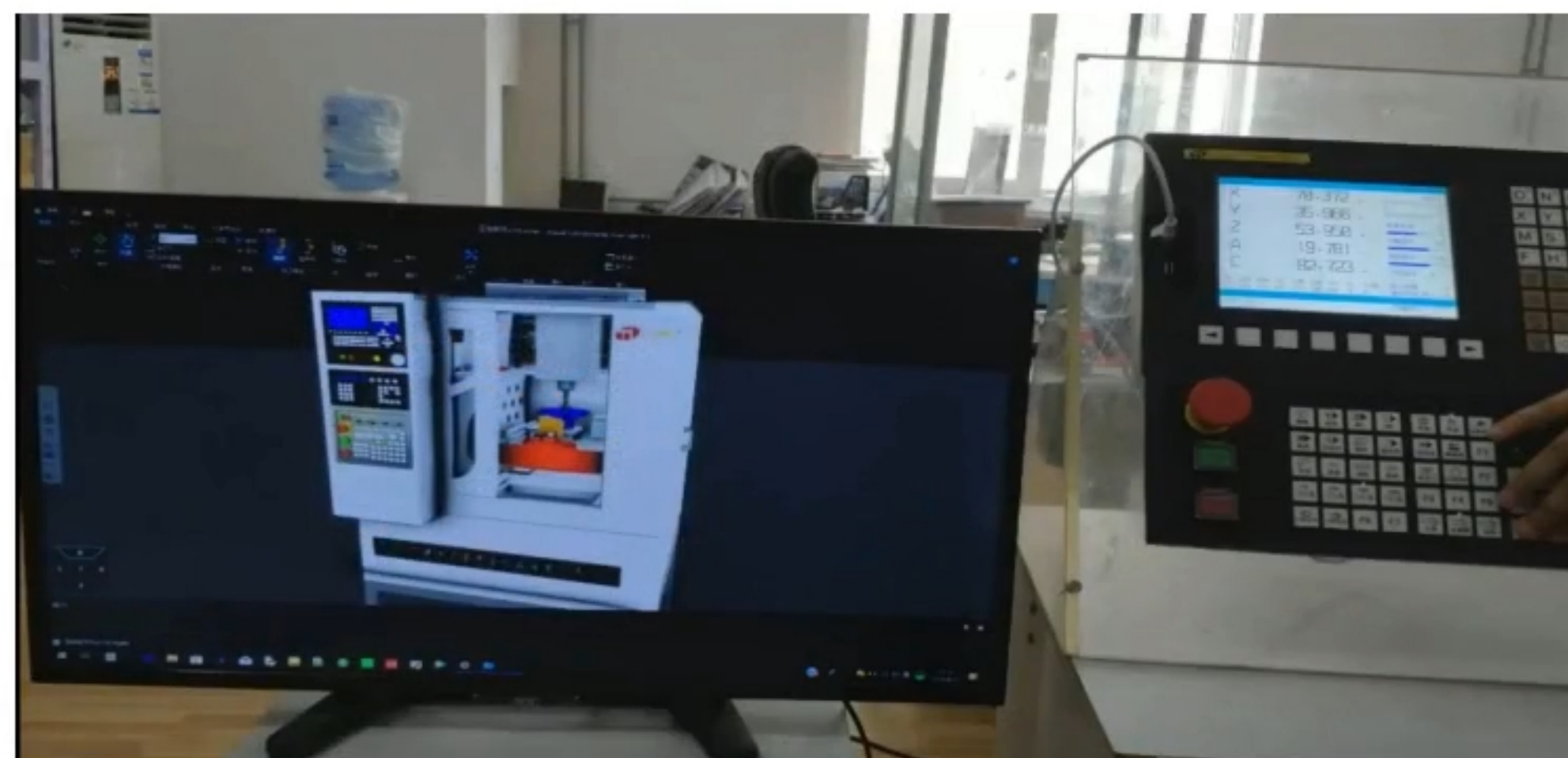
## ❖ 虚拟数控系统控制虚拟机床



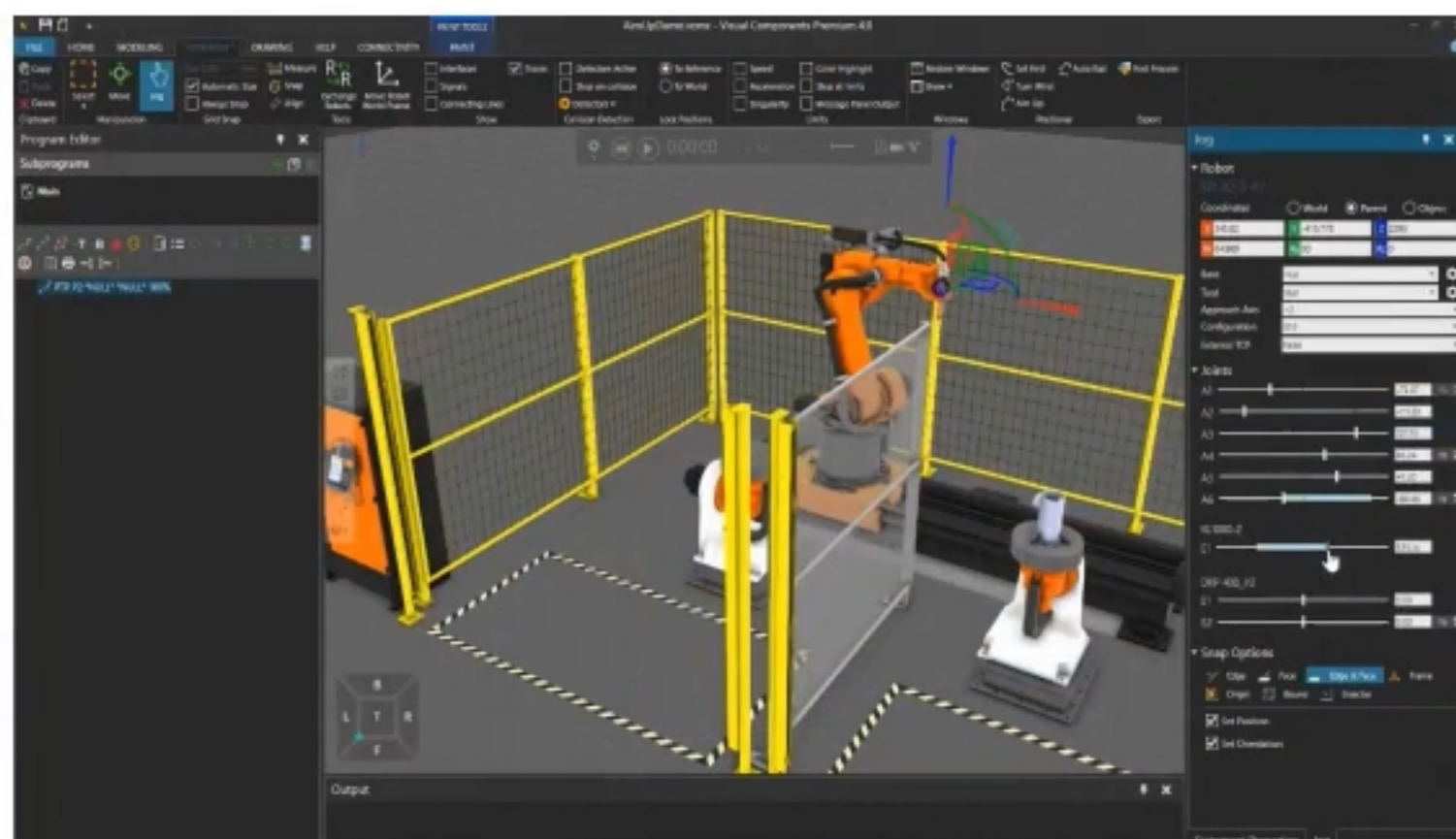
## ❖ 读取CAM刀位文件实现加工过程仿真



## ❖ 实际数控系统控制虚拟机床



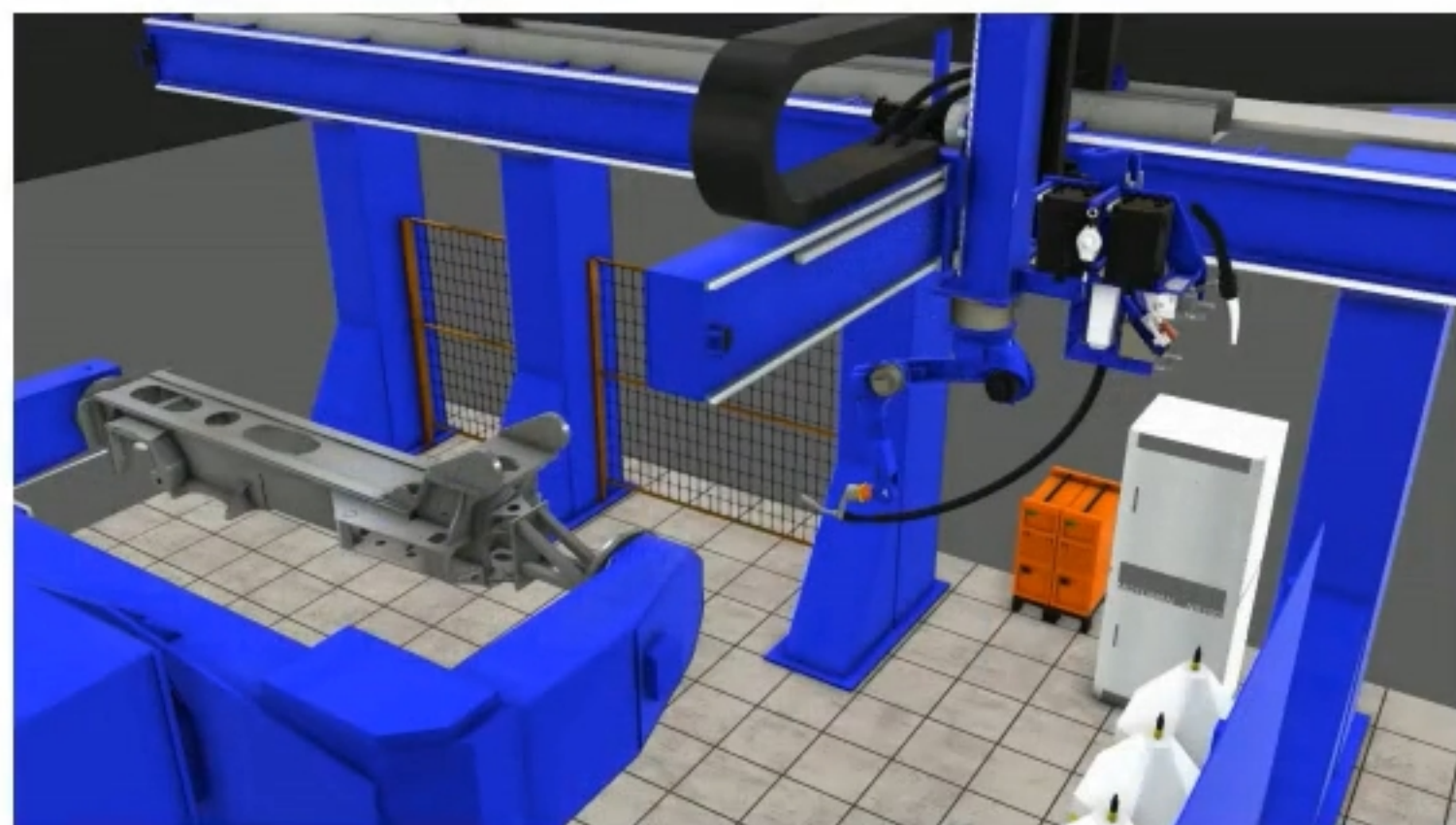
### ❖ 机器人圆弧示教



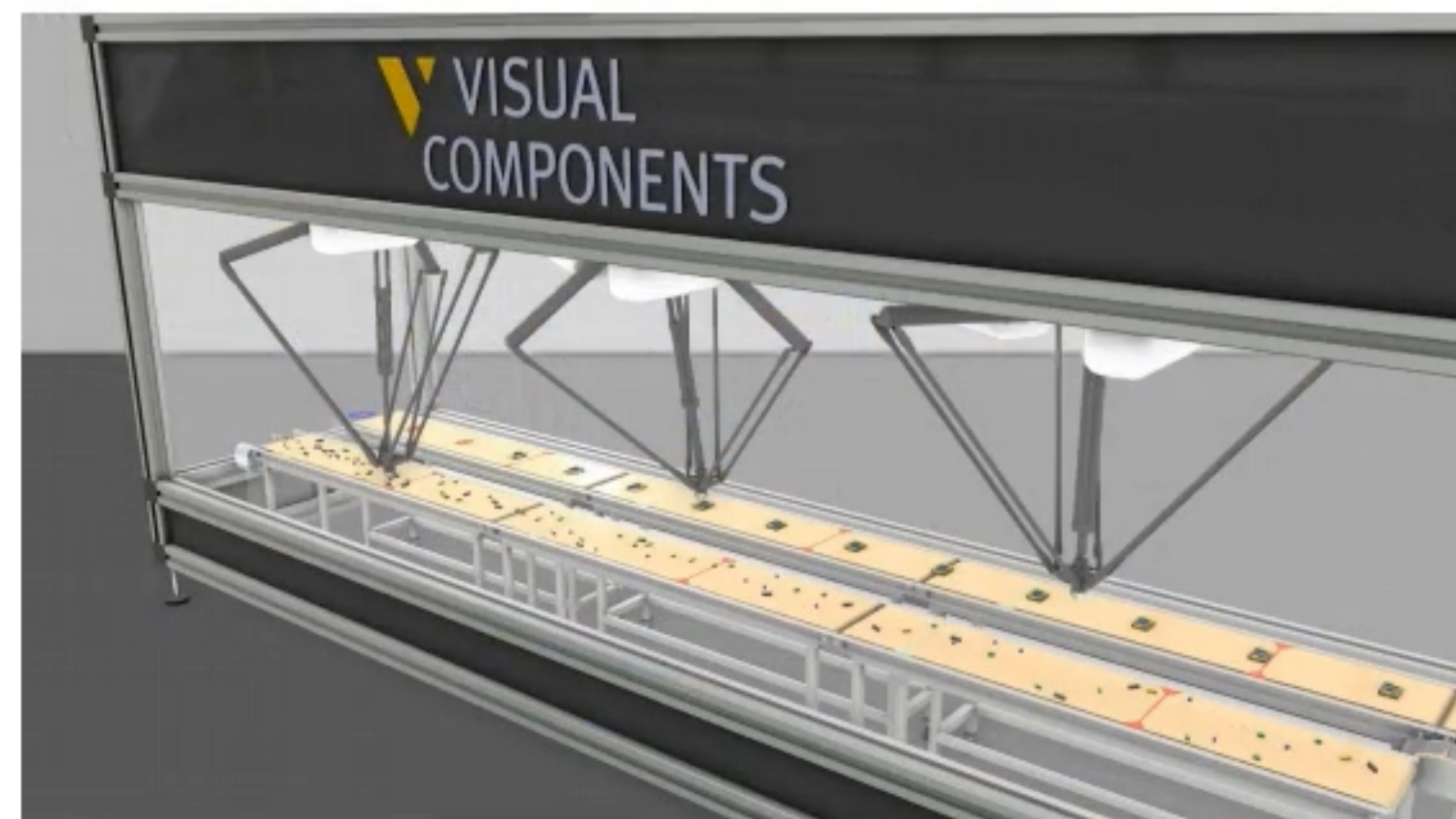
### ❖ 机器人抓取示教



### ❖ 机器人焊接示教



### ❖ 机器人识别抓取

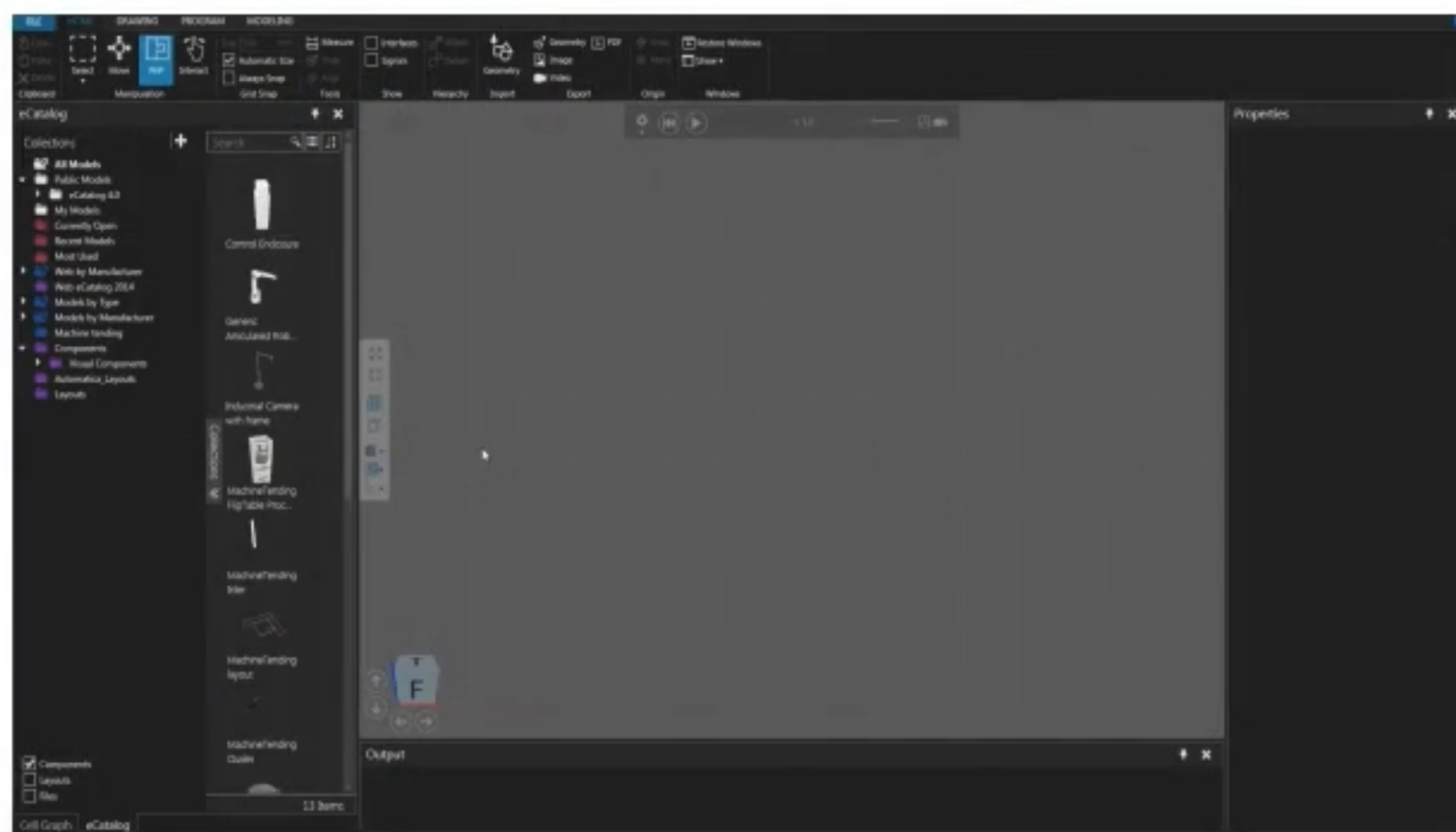


### Without PLC connection

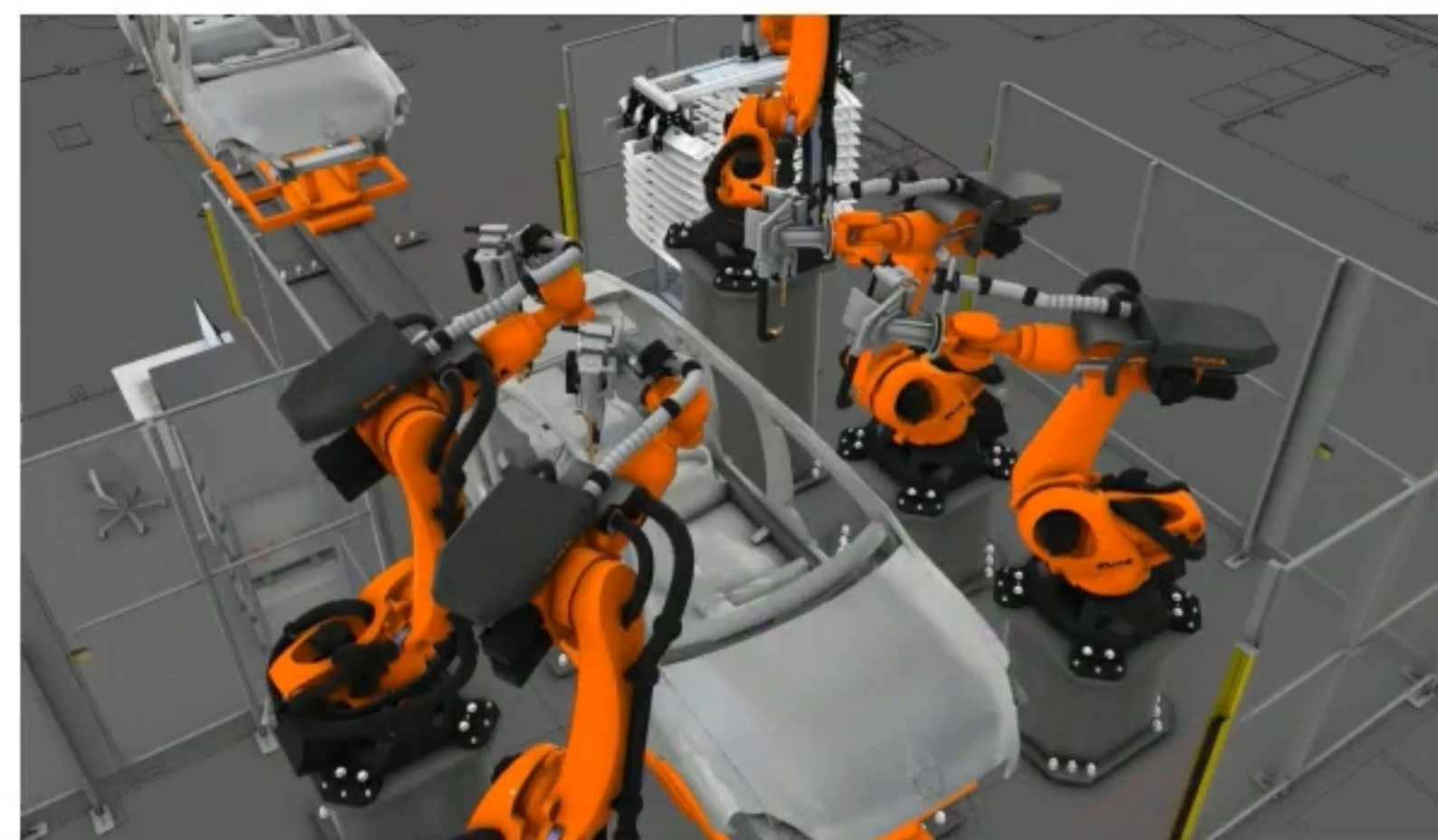
### With PLC connection

Structure	Simulation variable	Simulati...	Prepared...	Latest va...	Server variable
<b>Simulation to server</b>					
MainPusherExtended_IN	ControllesMainPusherExtended_IN	FALSE	FALSE	IO.MainPusherExtended_IN	
LiftHatchReady_IN	ControllesLiftHatchReady_IN	FALSE	FALSE	IO.LiftHatchReady_IN	
MainPusherRetracted_IN	ControllesMainPusherRetracted_IN	FALSE	FALSE	IO.MainPusherRetracted_IN	
PusherSensor_Bool_IN	ControllesPusherSensor_Bool_IN	FALSE	FALSE	IO.MainPusherSensorBool_IN	
FeedSensor_Bool_IN	ControllesFeedSensor_Bool_IN	FALSE	FALSE	IO.FeedSensorBool_IN	
<b>Server to simulation</b>					
J1_Closed_OUT	Pusher...	680	680	IO.pusher_J1_Closed_OUT	
FeedBlockerControl_OUT	ControllesFeedBlockerControl_OUT	FALSE	FALSE	IO.BlockerControl_OUT	
MainPusherControl_OUT	ControllesMainPusherControl_OUT	FALSE	FALSE	IO.MainPusherControl_OUT	
LiftHatchControl_OUT	ControllesLiftHatchControl_OUT	FALSE	FALSE	IO.LiftHatchControl_OUT	
TurnPusherControl_OUT	ControllesTurnPusherControl_OUT	TRUE	TRUE	IO.CornerPusherControl_OUT	
PowerOn	LoadinConveyor #3_PowerOn	TRUE	TRUE	IO.PowerOnConveyors_OUT	
PowerOn	LoadinConveyor #2_PowerOn	TRUE	TRUE	IO.PowerOnConveyors_OUT	

## ❖ 智能制造系统搭建可视化仿真



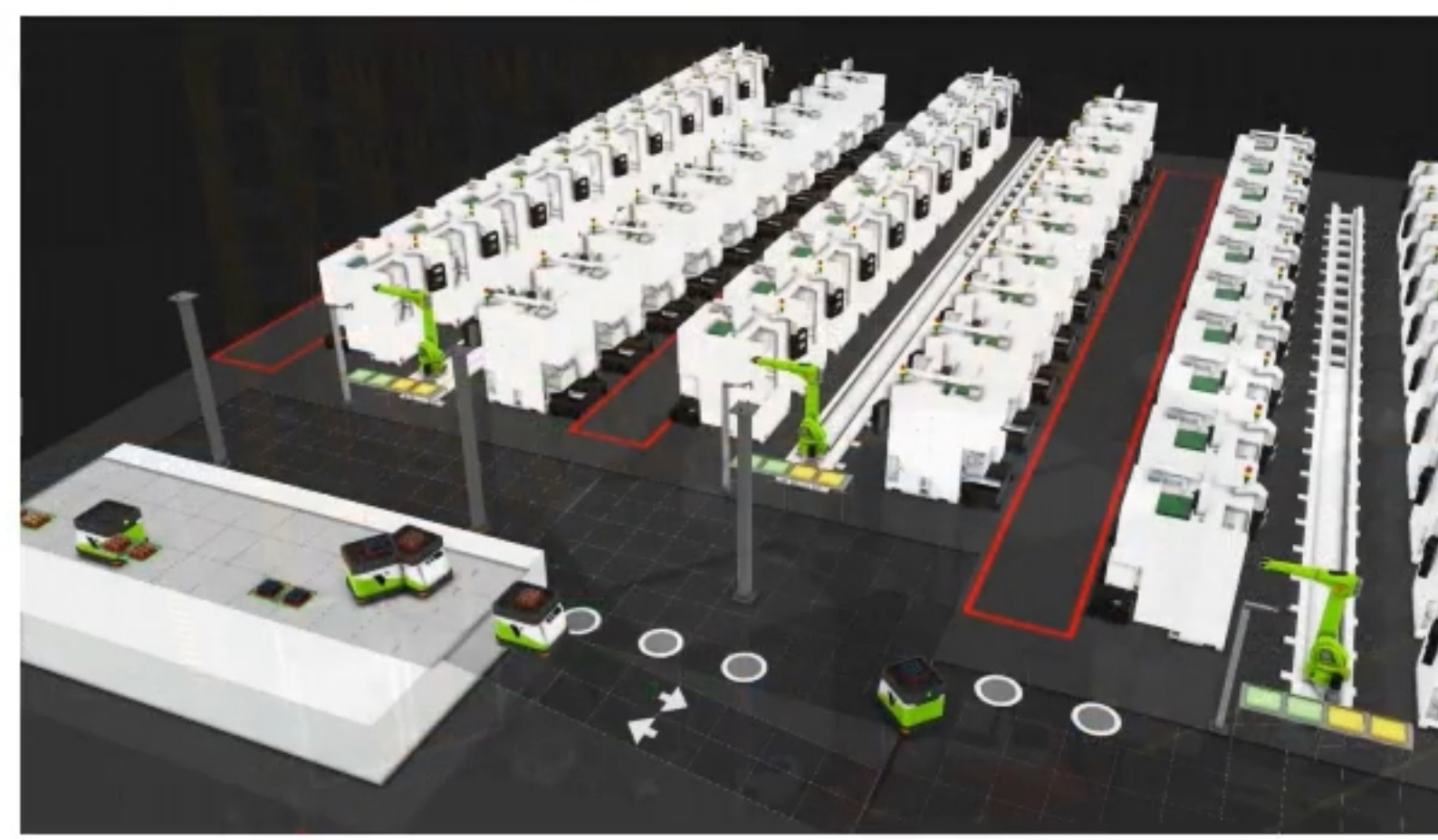
## ❖ 汽车装配可视化仿真



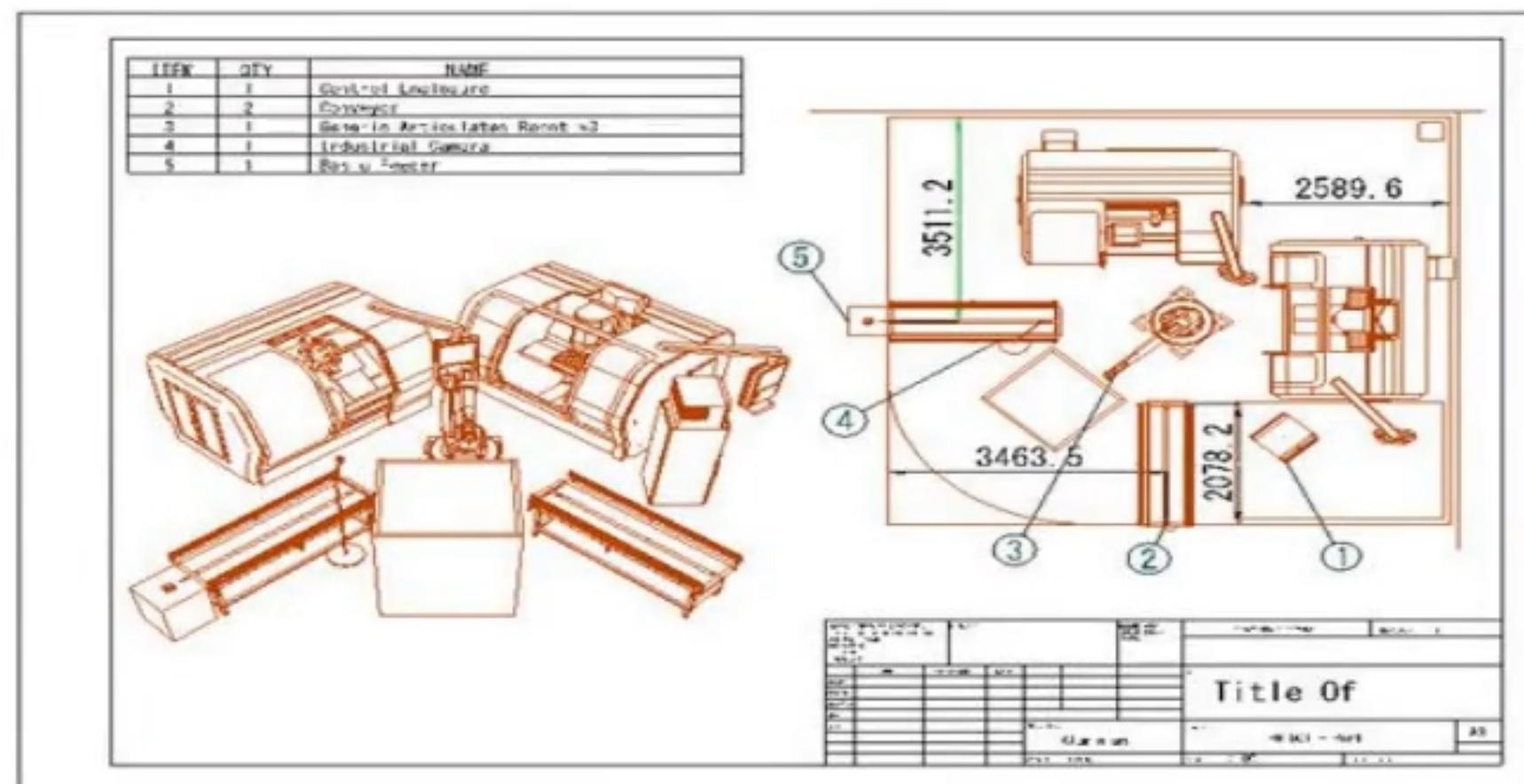
## ❖ 机械手自动上下料可视化仿真



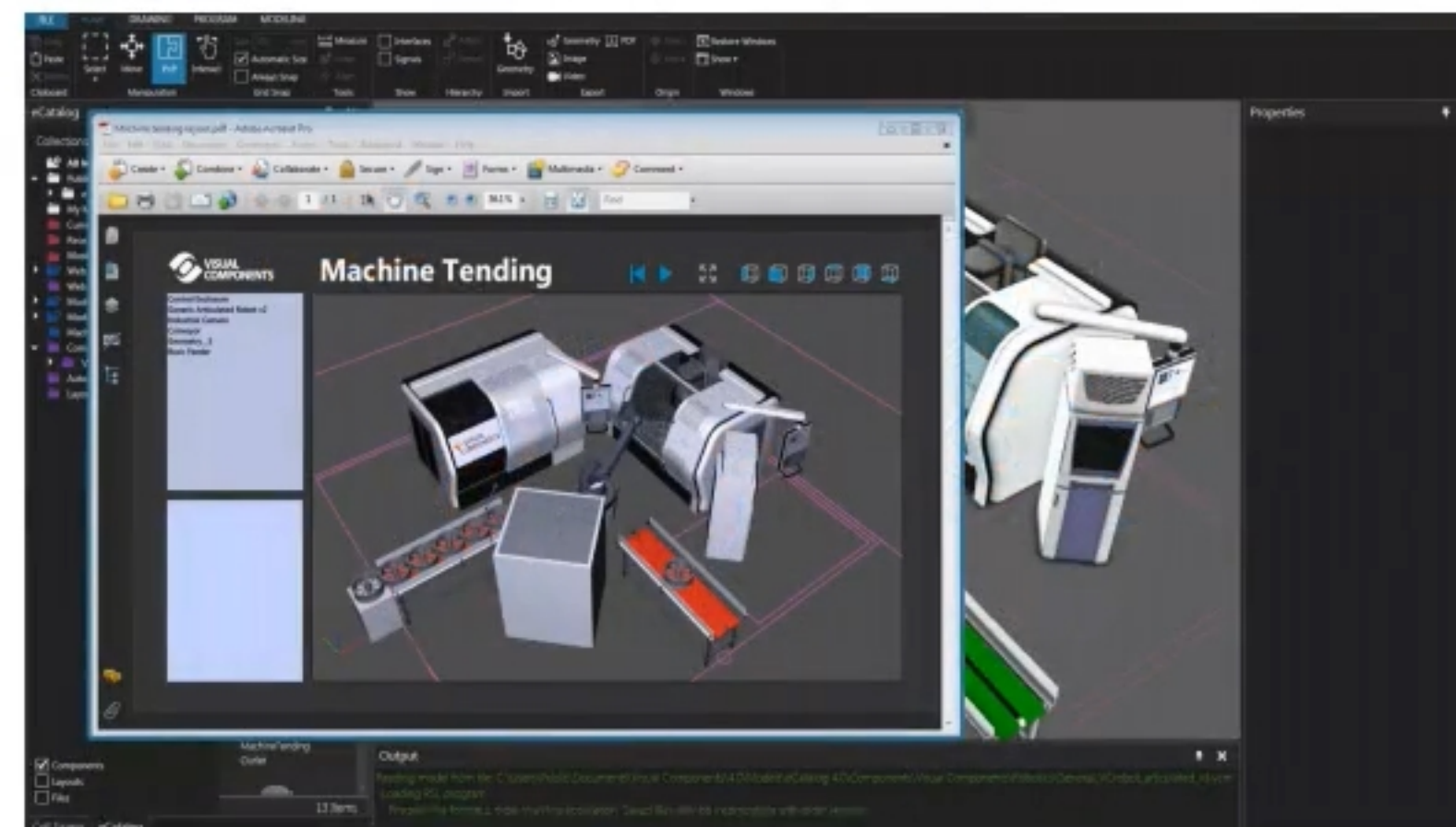
## ❖ 智能物流可视化仿真



### ❖ CAD工程图



### ❖ 3D PDF文件



### ❖ 4K高清动画视频



### ❖ VR





### 三. 新一代智能制造高端人才培养

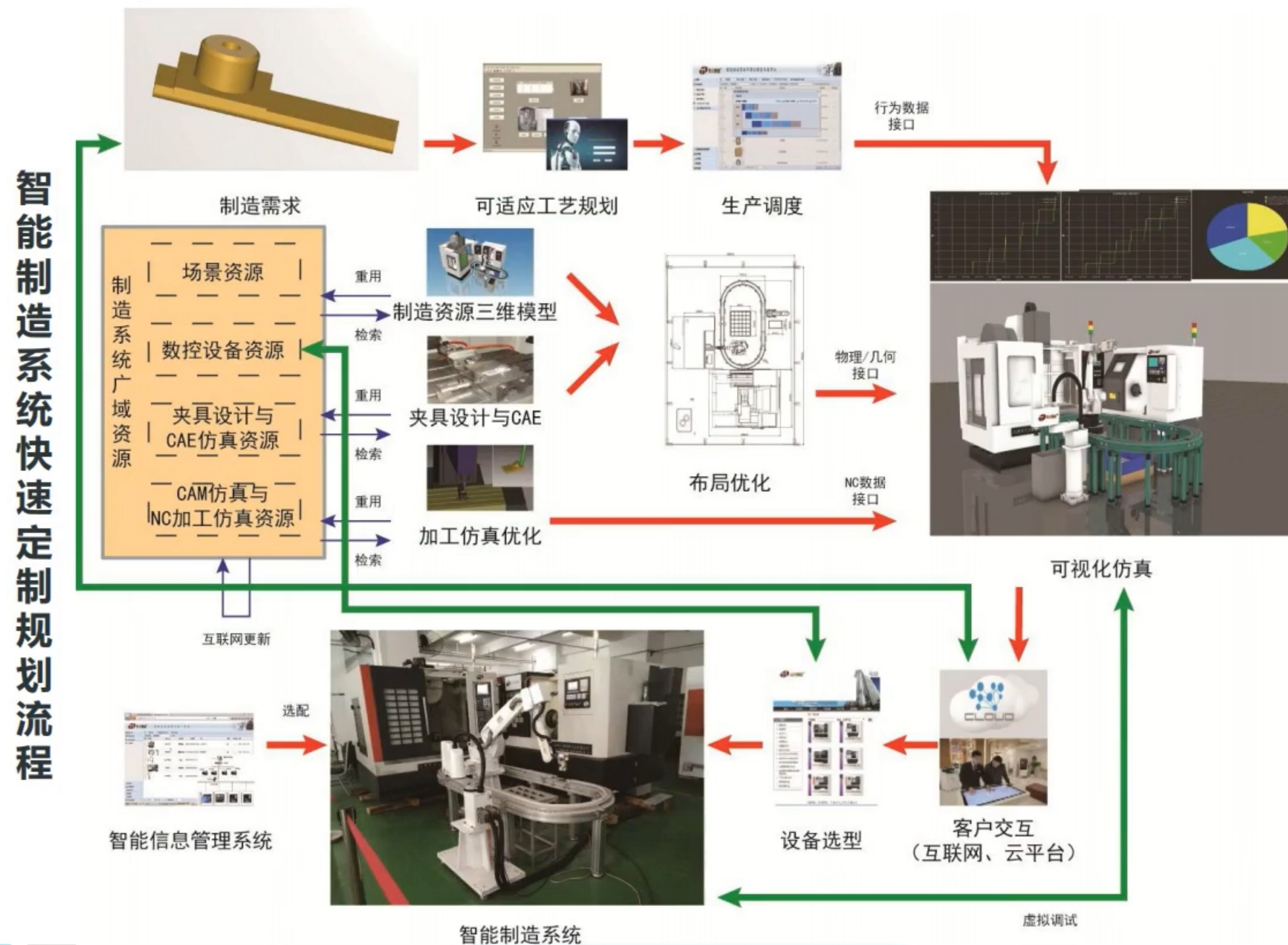
### ❖ 某工厂自动化孵化车间改造



#### ❖ TSNC-MTD系列车削智能上下料系统



## ❖ 车铣双工位环形智能制造单元(1/3)



## ❖ 车铣双工位环形智能制造单元(2/3)

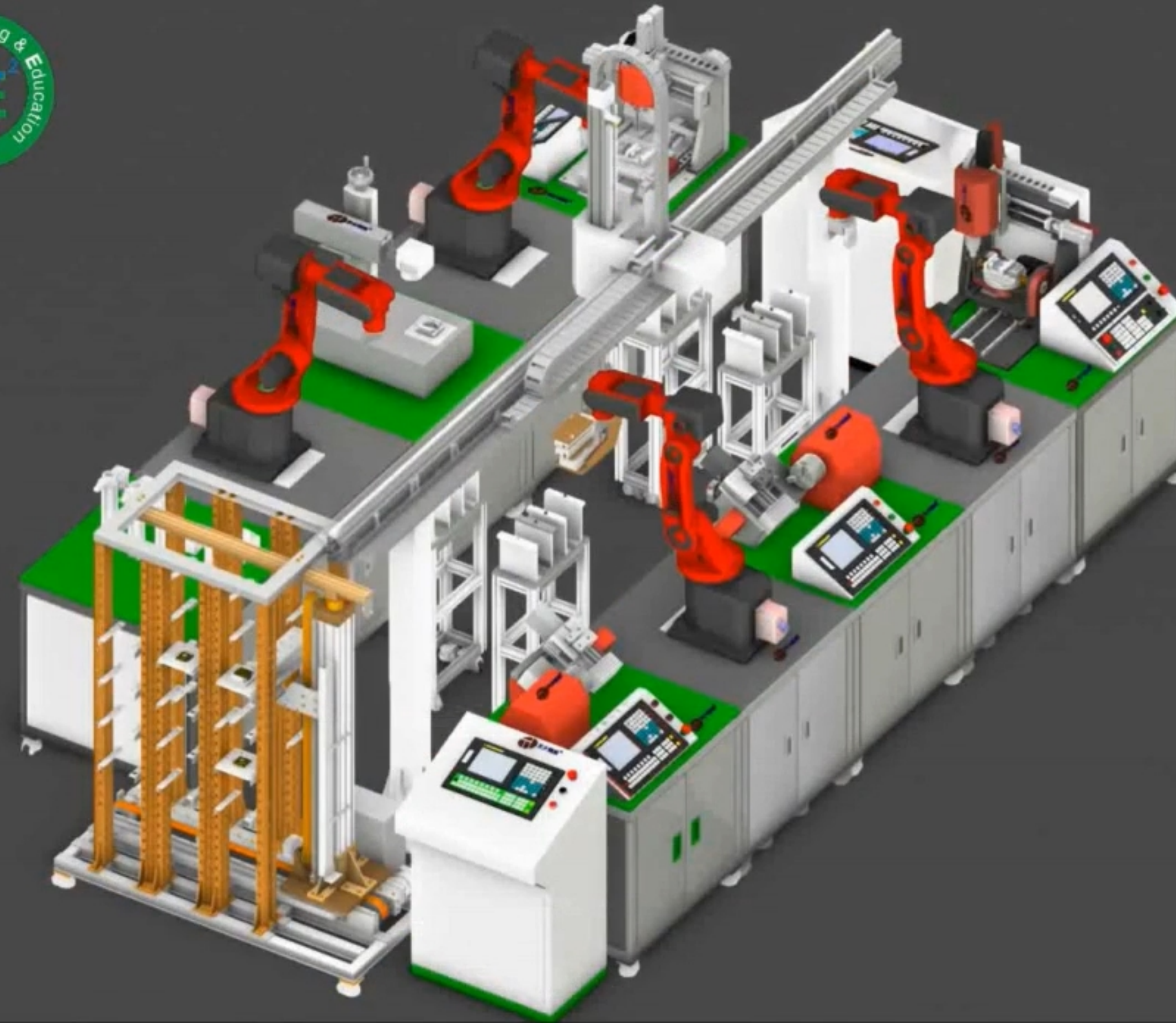


### ❖ 车铣双工位环形智能制造单元(3/3)





天大精益<sup>®</sup>



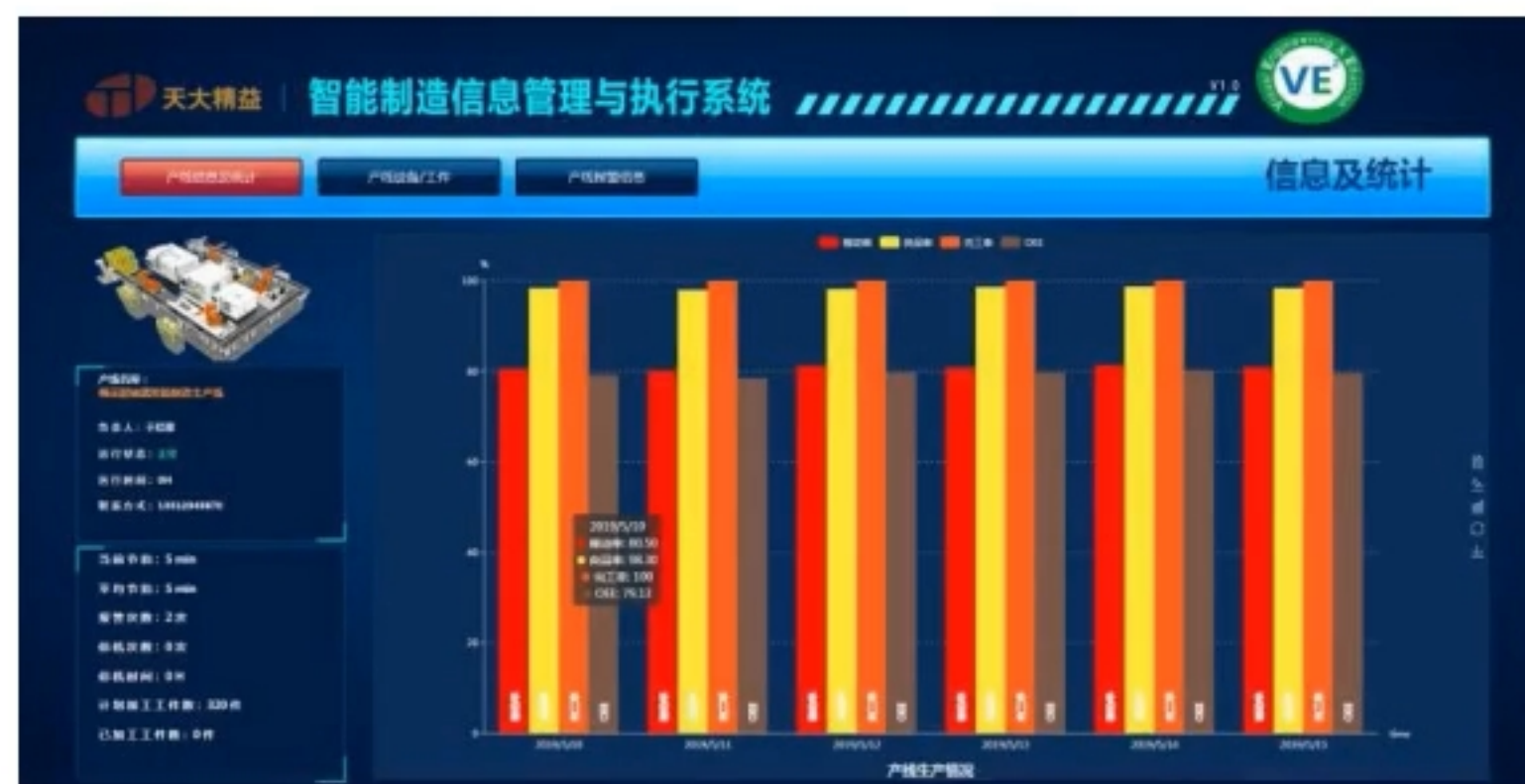
数字孪生模块化智能制造系统



## 2.9 数字孪生技术 ❖ 梅花联轴器柔性智能制造系统实物



### 3.3 多模块融合学习



生产信息统计与管理



仓储设备状态监测



机床状态监测



机器人状态监测

### 3.3 多模块融合学习



The screenshot shows a web browser window with the following elements:

- Browser Tabs:** Multiple tabs are open, including '智能', '产', '产线', '设备', '立体', '数控', '三轴', '五轴', '倍速', and '工业'.
- Address Bar:** The URL is `g2b4847447.wicp.vip:59346/iotall/productionlinelist_1.aspx`.
- Page Header:** Features the '天大精益' (Tianjin University Precision) logo, the title '智能制造信息管理与执行系统 V1.0', and a 'VE' logo for 'Virtual Engineering & Education'.
- Main Content:** A large blue button labeled '产线管理' (Production Line Management) is centered at the top. Below it, a light blue bar contains the text '产线' (Production Line) on the left and '柔性可重构智能制造生产线' (Flexible and Reconfigurable Intelligent Manufacturing Production Line) in the center.