



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



荀子：不**闻**不若闻之，闻之不若**见**之；见之不若**知**之，知之不若**行**之；学至于**行而止**矣

装配系统的信息物理融合技术 研究与应用

胡小锋

Email: wshxf@sjtu.edu.cn

智能制造与信息工程研究所

2018-11-20





上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



主要内容

一、研究背景

二、CPS理念

三、关键技术

四、研究案例





上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

一、研究背景

Fraunhofer and SJTU

Project Center on Smart Manufacturing

Industry 4.0

China Manufacturing 2025



2016年4月6日国务院总理李克强主持召开国务院常务会议



一、研究背景

1. 产品商业化模式的内在机理

- 追求利润：销售价格 = 成本 + 利润
- 产品要能通过销售，转化为现金流
- 社会学角度分析：利润不会完全消费的，尤其是富人
- 商品的售价 > 老板的消费 + 工人的消费

结论：商品不可能在这个体系内都卖出去的。

- 某个企业/某个国家的商品可以销售，其他不能；
 - (1) 不能 → 减产 → 少开工资 → 工人购买力下降 → 经济崩溃
 - (2) 企业的 (价格战)，国家的 (贸易战/技术经济政治军事)



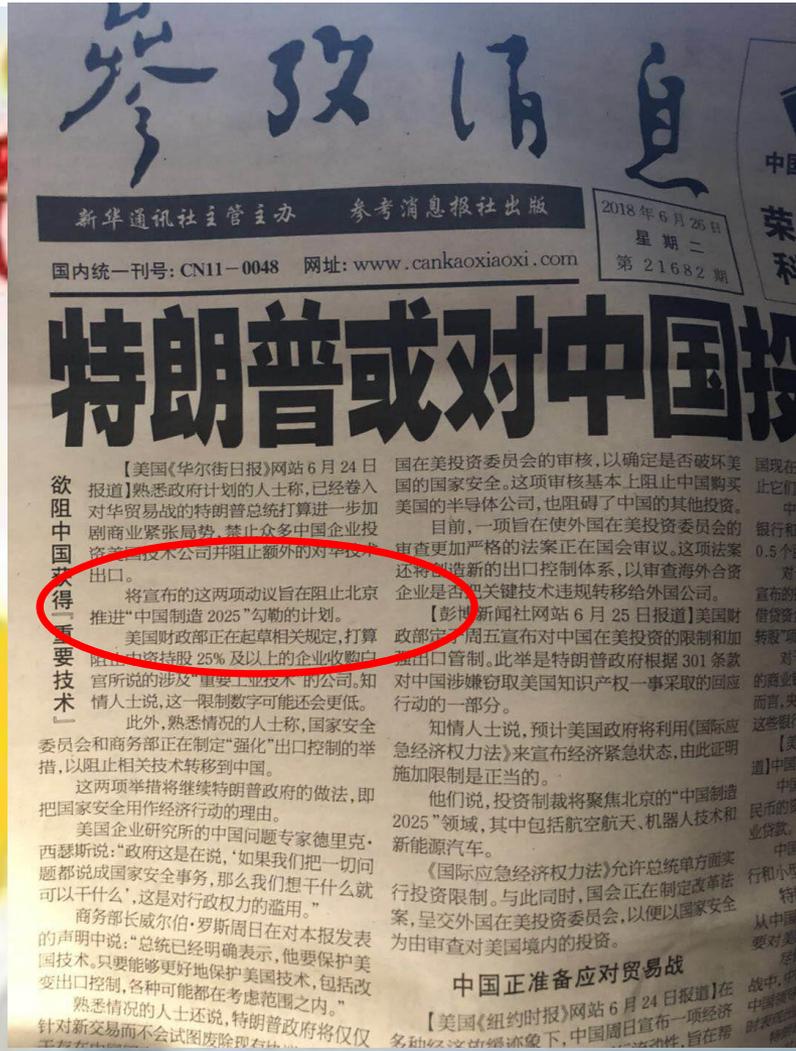
一、研究背景

2013年9月和10月，习主席在出访中亚和东南亚国家期间，先后提出共建“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”





一、研究背景

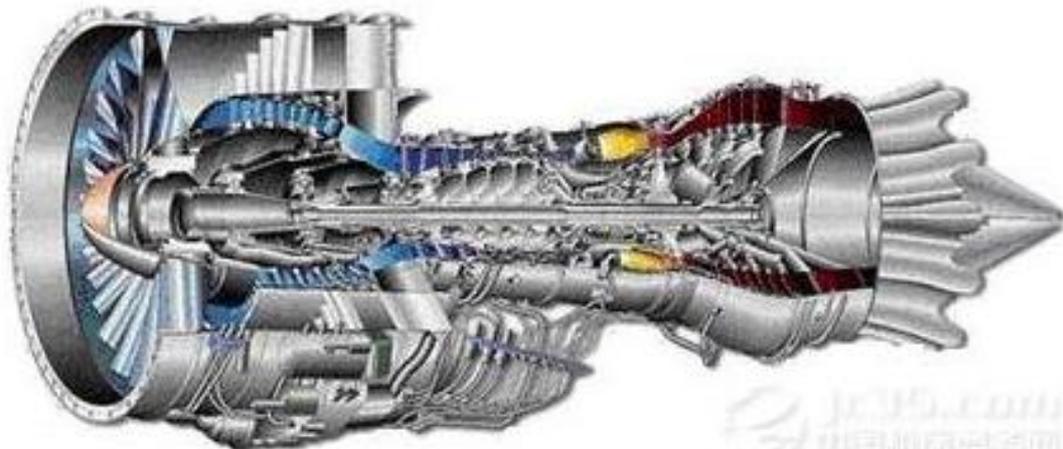


“阻止北京推进中国制造2025 勾勒的计划”



一、研究背景

2. 产品竞争力的四大要素



成本、质量、制造周期和品种，新增**服务**



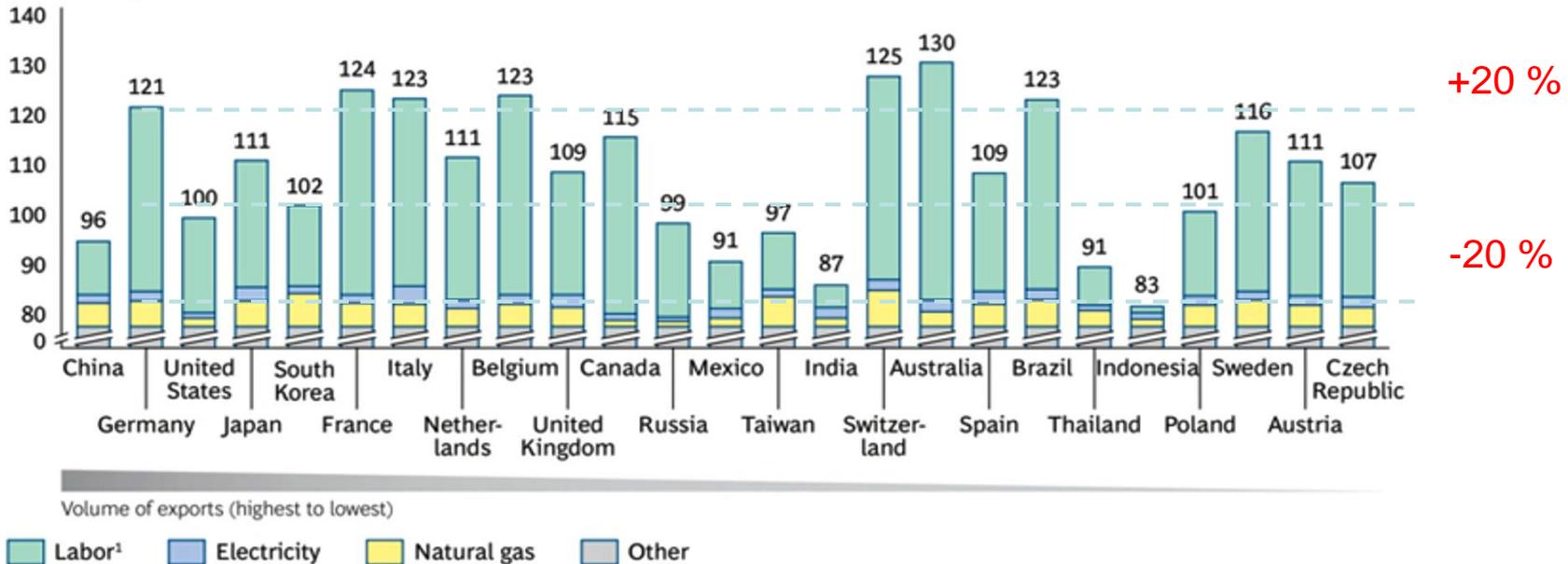
一、研究背景

Manufacturing cost index 2014

Manufacturing cost converge - globally and timely

EXHIBIT 1 | Comparing the Top 25 Export Economies

Manufacturing cost index, 2014 (U.S. = 100)



- 结论：**
- (1) 制造成本已经非常接近，不再是产品竞争力的核心。
 - (2) 欧美日已解决了质量问题，重心“时间和品种”
 - (3) 我国：**高端产品的质量/工艺问题**，部分是“时间和品种”



一、研究背景



汽车行业的发展态势



新能源汽车



个性化定制：**缩短制造周期，增加品种类型**



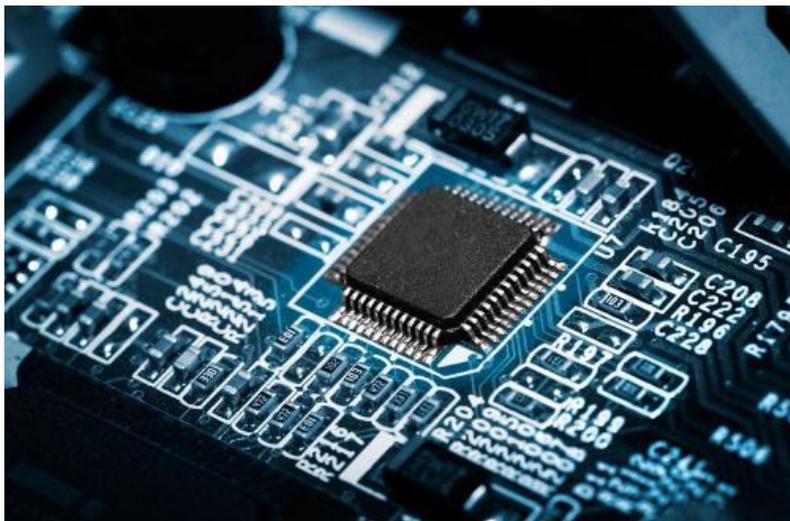
新工艺：车身激光切割，弯压成型





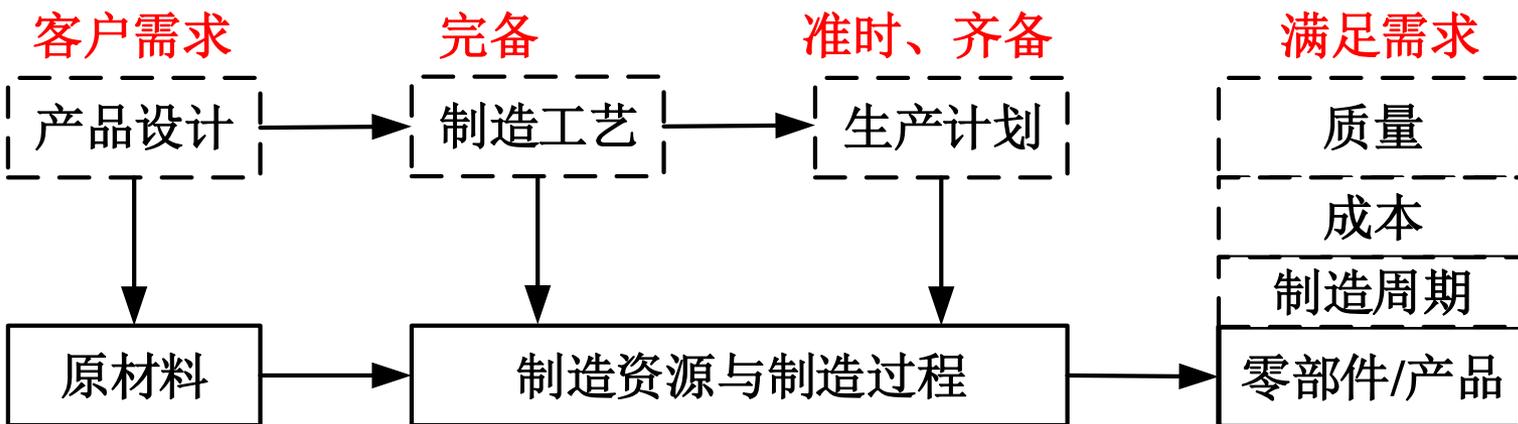
一、研究背景

- 航空航天/芯片/高新船舶等高端行业的发展态势
 - 芯片制造(中芯事件): 良率/质量问题→工艺问题
 - 船舶: 一次合格率(质量)→LNG船制造周期中韩比1.8:1
 - 航空发动机/重型燃气轮机: 服役期性能(维修/服役周期)



一、研究背景

2. 制造模式

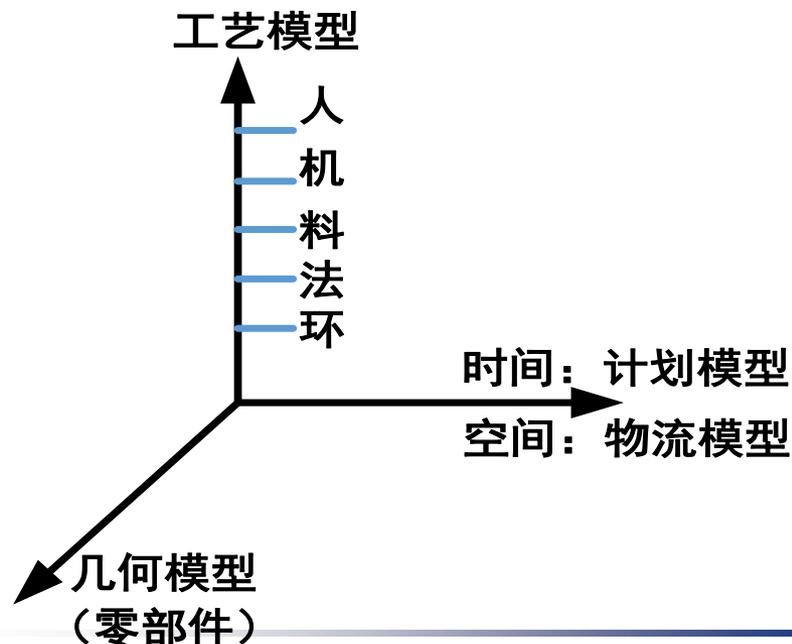


基本原则:

- (1) 工艺完备，物料齐备；
- (2) “三按生产”。

实际物理制造之前，确定所有变量。

挑战：不确定性，变化





一、研究背景

外部的市场需求变化

- 市场需求量的增加
- 市场需求产品类型的改变

内部的质量和成本等压力导致变化

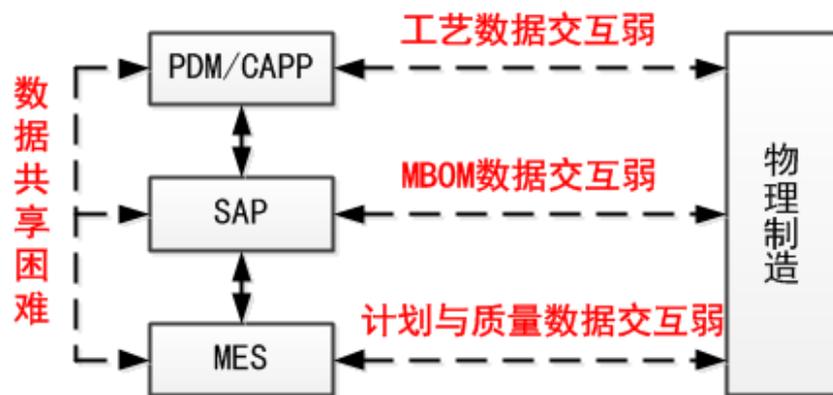
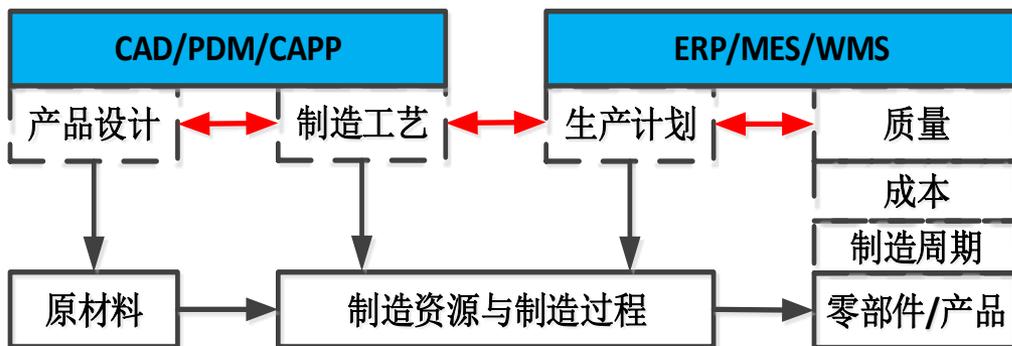
- 产品设计更新(Product **Redesign**)
- 工艺变更、装配工艺改进(Process **Replanning**)
- 装配质量的波动/异常
- 工人流动导致的装配技能水平变化/设备资源异常

装配过程处于不断**调整**和**变化**之中

(**Rebalancing**, **Reconfiguration**, **Rescheduling**)

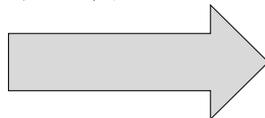
一、研究背景

3. 数字化制造的模式



C:数字制造

数据驱动



P:物理制造

- 问题:**
- (1) 拥有业界一流的软件; 缺少企业自己的有效数据。
 - (2) 设计、规划的数字制造与物理制造的状态偏离/差异。



一、研究背景

4. 装配系统CPS技术要解决的问题

- (1) **数据断流**：PDM，ERP和MES等未集成，无法驱动物理装配；
- (2) 工艺信息模型**缺乏工艺资源的实物信息**，如工人、设备、工位、量具和工装等实物状态的数据；
- (3) **未能描述物理装配过程/状态变化**，同一装配“人机料法环”工艺状态、装配过程、精度测量、计划进度等数据未关联/融合。
- (4) **统一数据源**难以实现：数字化 + 结构化 + 颗粒度/细化 + 完备性 + 唯一性 + 准确性 + 动态特性(关联变化)

结论：**数据**是装配系统CPS发展的瓶颈环节。



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



主要内容

一、研究背景

二、**CPS**理念

三、关键技术

四、研究案例

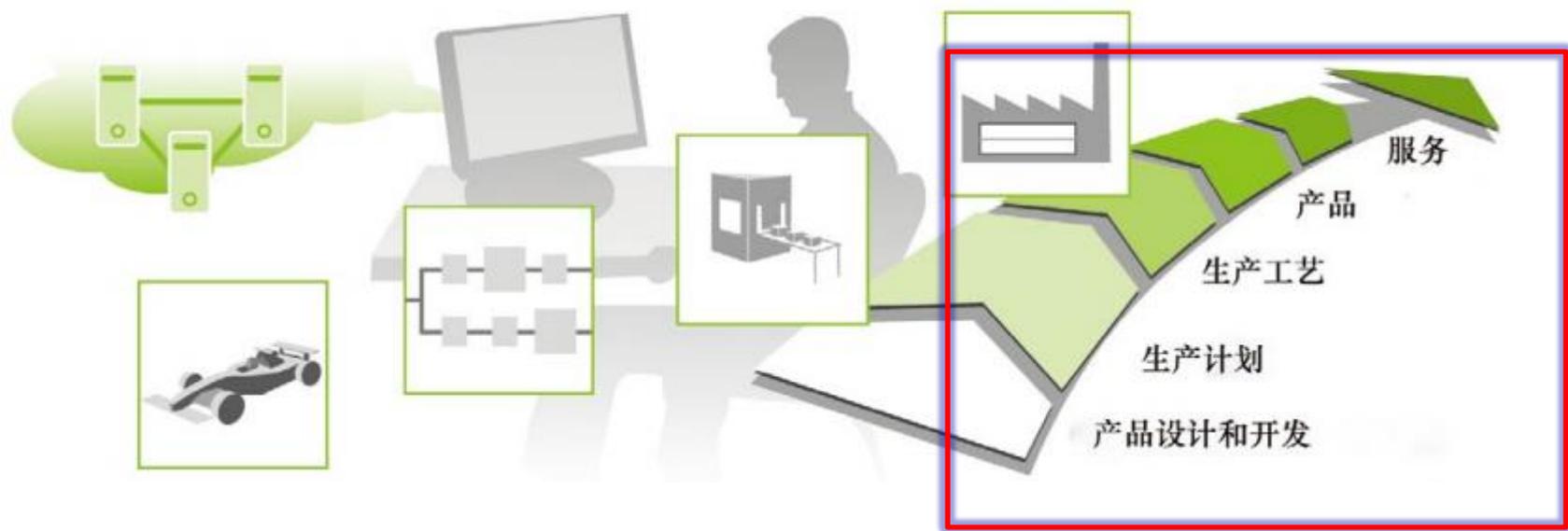




二、CPS理念

三大集成——纵向集成、横向集成、端到端集成

•贯穿整个价值链的端到端工程数字化集成：在所有终端实现数字化的前提下实现的基于价值链与不同公司之间的一种整合，将在最大程度上实现个性化定制。



•垂直集成和网络化制造系统：将处于不同层级（例如，执行器和传感器、控制、生产管理、制造和企业规划执行等不同层面）的IT系统进行集成。

Horizontal Integration 横向集成

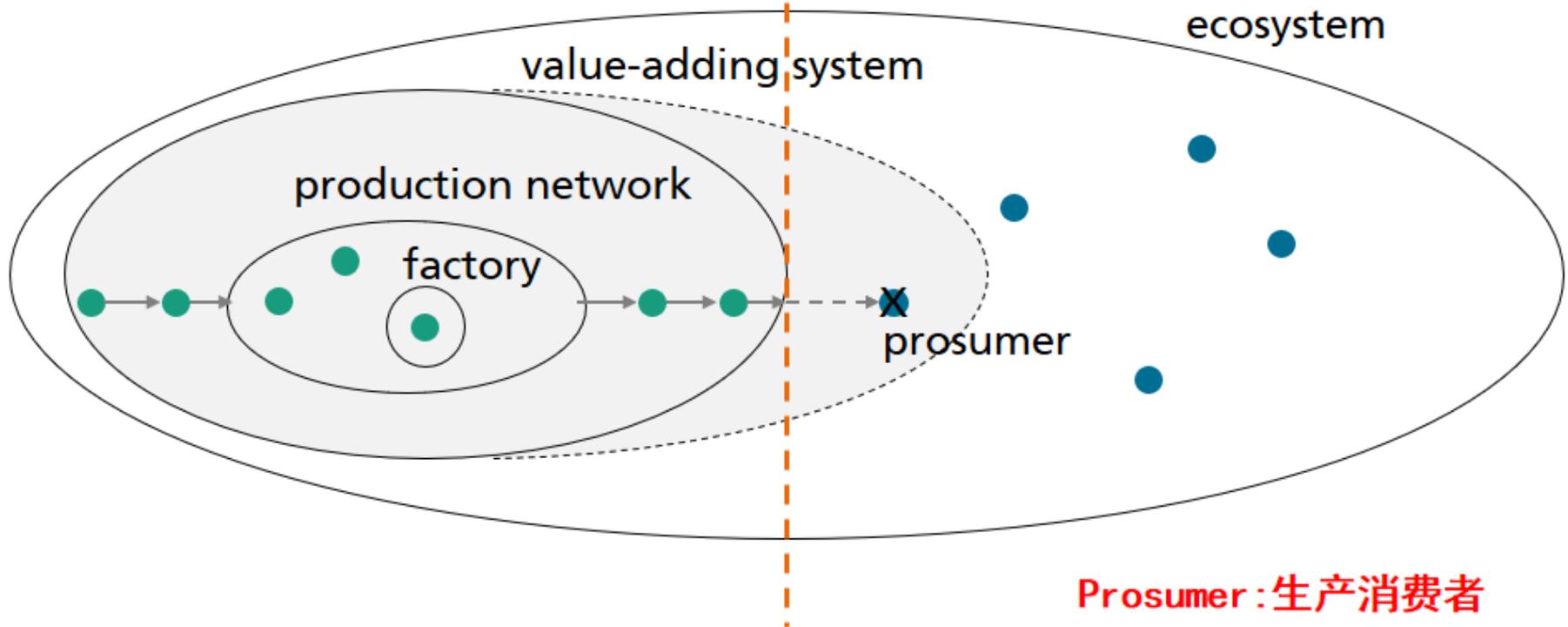
From B2B and B2C to Business to User (B2U)

Back End

Focus Value-adding

Focus Positioning

Front End

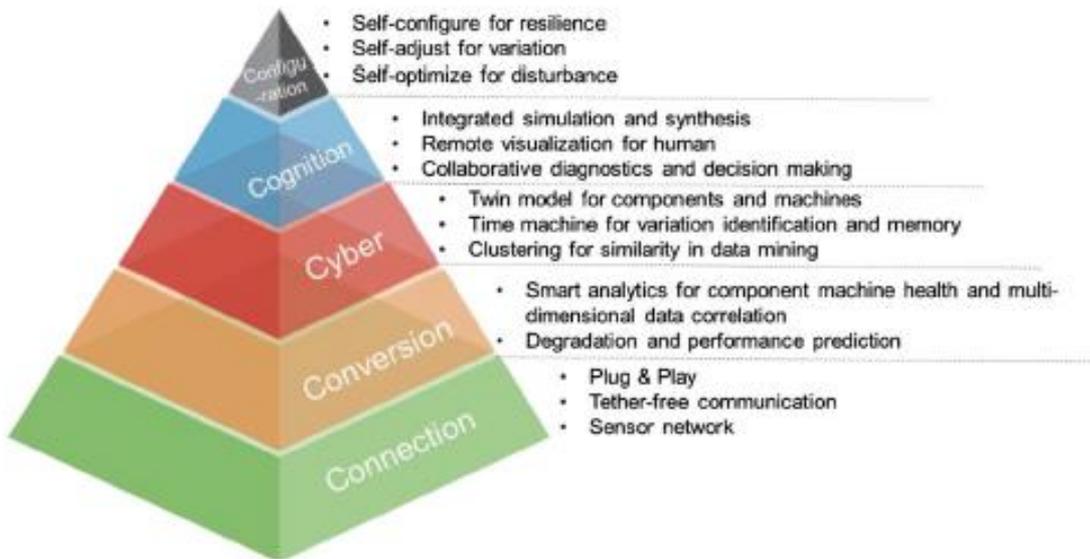




二、CPS理念

信息物理系统：物理制造 + 数据 + 功能 + 智能算法

将信息物理融合技术一体化应用于制造业和物流行业，以及在工业生产过程中使用物联网和服务技术，实现计算机网络世界与实体物理系统的融合，完成制造业在数据分析基础上的转型。



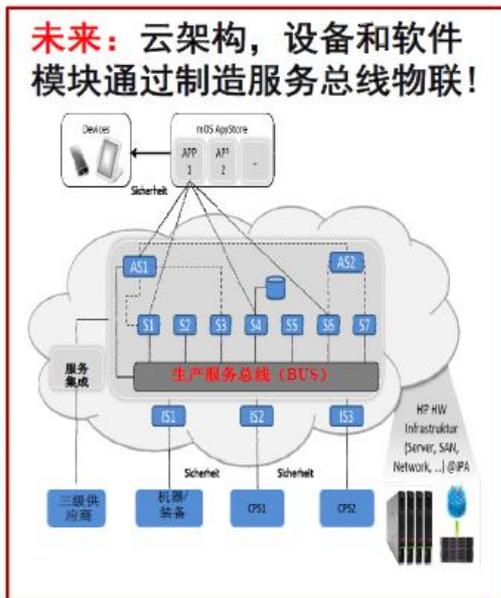
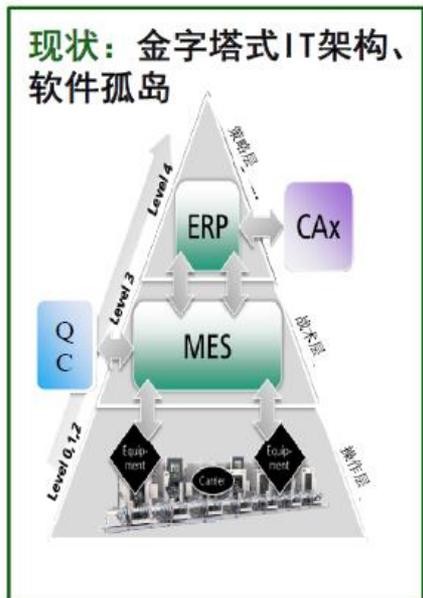
5C特征：

- Connection（连接）
- Conversion（场景）
- Cyber（数物共融）
- Cognition（预测认知）
- Configuration（决策控制）

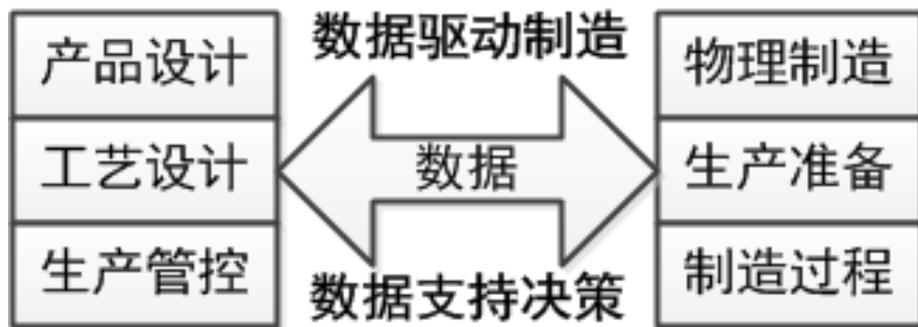
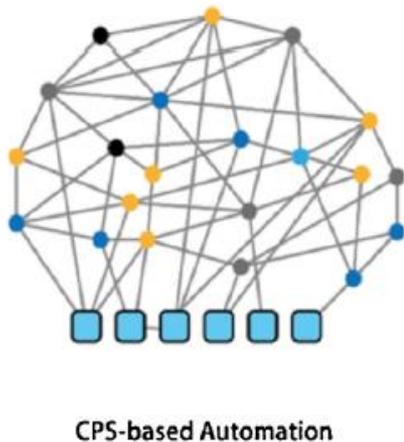
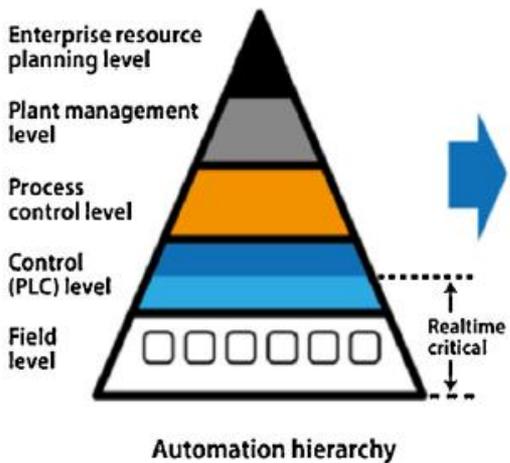
物与数据关联：将资源、信息、物体以及人员紧密联系在一起，构建制造物联网及相关服务，将生产工厂转变为一个智能环境！

二、CPS理念

工业4.0的CPS模式 (逐渐演化)



- 数字化
 - 结构化
 - 颗粒度/细化
 - 完备性
 - 唯一性
 - 准确性
 - 动态特性(关联变化)
- 制造总线
 - 服务总线





上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



主要内容

一、研究背景

二、CPS理念

三、关键技术

四、研究案例

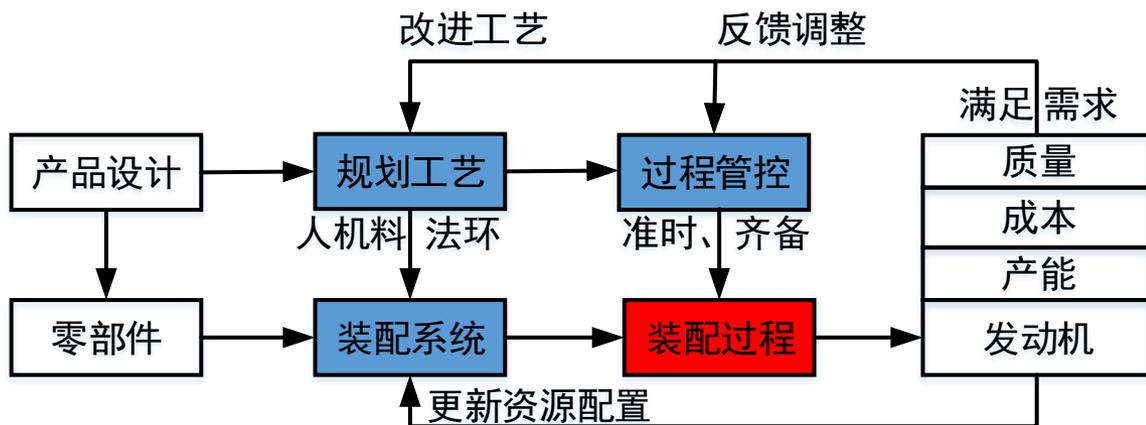
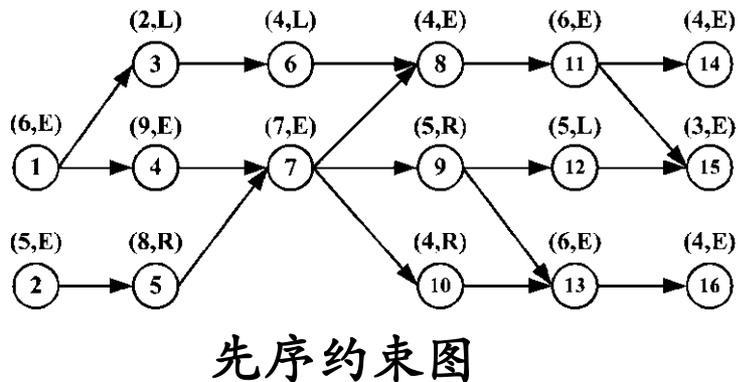


三、关键技术

装配系统的运行模式

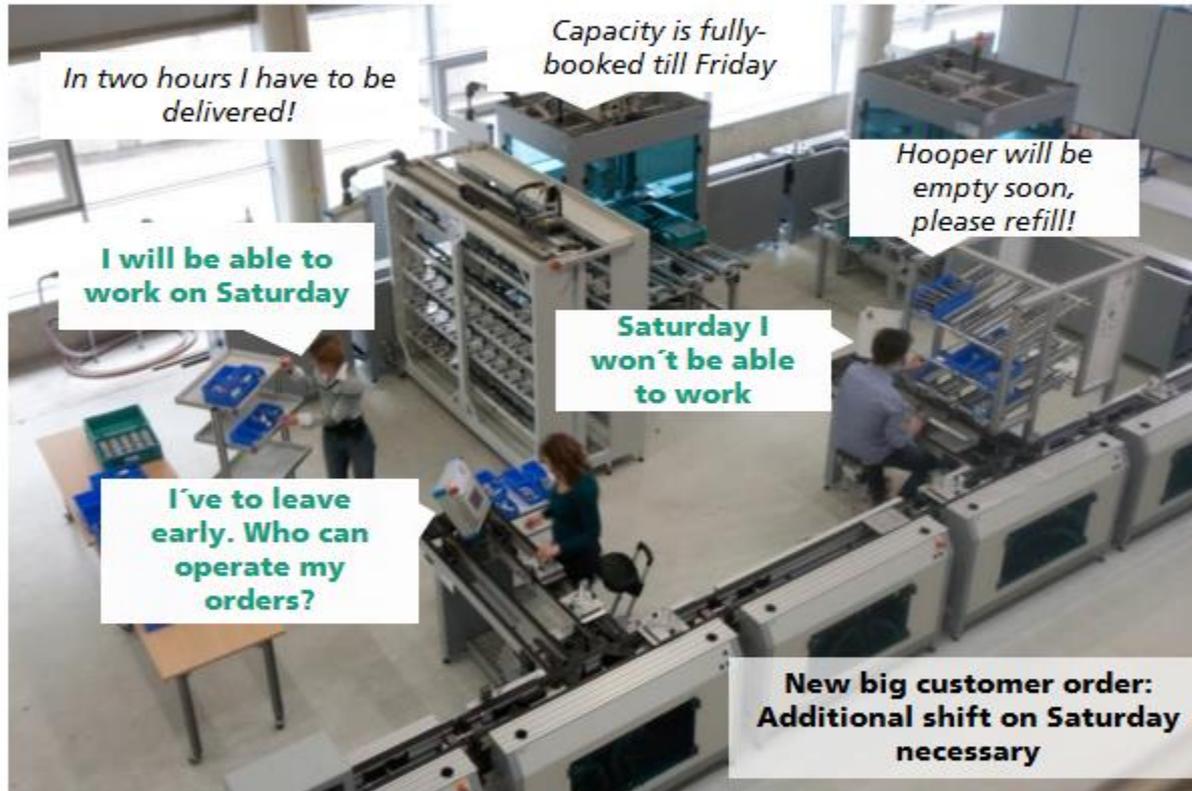
利用装配系统的设备等制造资源，按照工艺和管控计划，将零部件组装成产品；

- 装配工艺规划：人机料法环，任务分解、**先序约束**、作业时间测定
- 装配系统规划：任务分配、设备资源配置、设备布局、缓冲容量设置……
- 装配过程管控：装配作业计划、工人分配、控制策略（在制品、排班）……



Our future scenario of shop floor production

Decentralized self-organization of smart factories in real-time



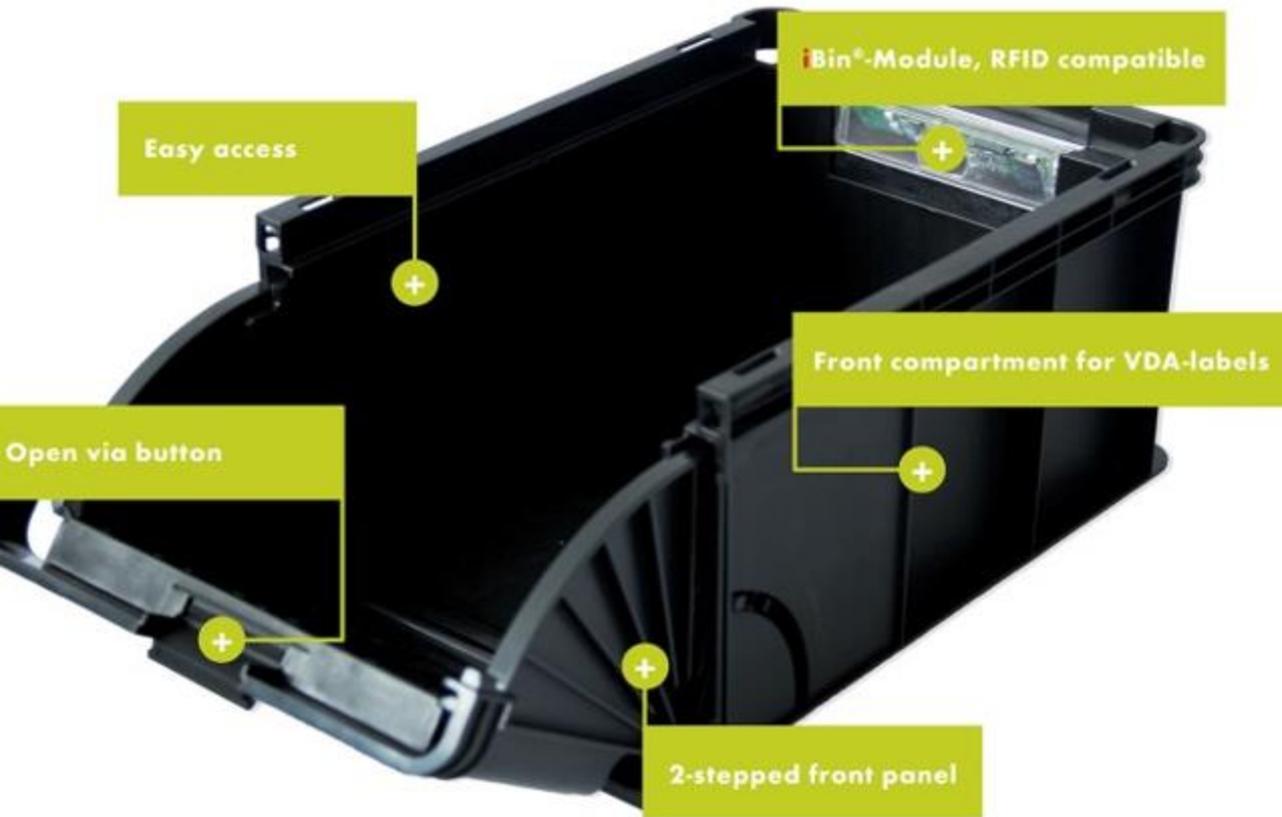
Cyber-physical systems (e.g. machines, facilities)

- Have an identity
- Communicate with each other and their environment
- Configure themselves (Plug and Produce)
- Store information
- Have easy-to-use human – machine interfaces

Decentralized self-organization in real-time

Each object in the factory becomes smart

iBin – Intelligent bins order their fillings autonomous



*The quantity can be obtained via the built-in camera,
the information will then be transmitted to the other IT-systems (e.g. ERP)*

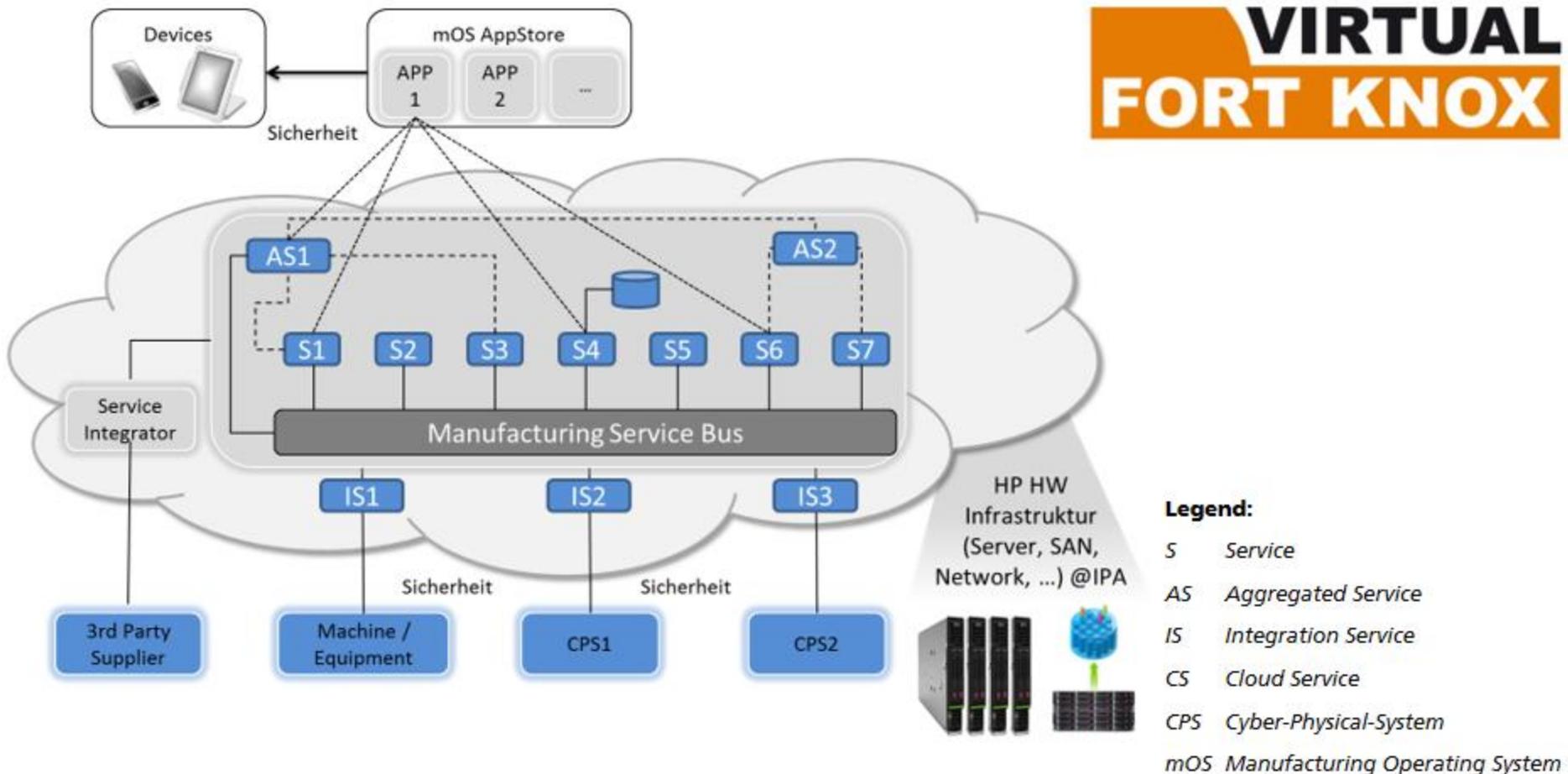
Based on: Fraunhofer IML, Prof. Dr. Michael ten Hompel



Fraunhofer IPA Cloud-Architecture for Industry 4.0

Virtual Fort Knox: supported, secure Cloud Platform

**VIRTUAL
FORT KNOX**



Robots will be mobile, flexible and safe

Example: SEW Eurodrive – freely navigating DTS (carries the robot for bin picking)

3D-camera system
ensenso N20

Magnetic gripper

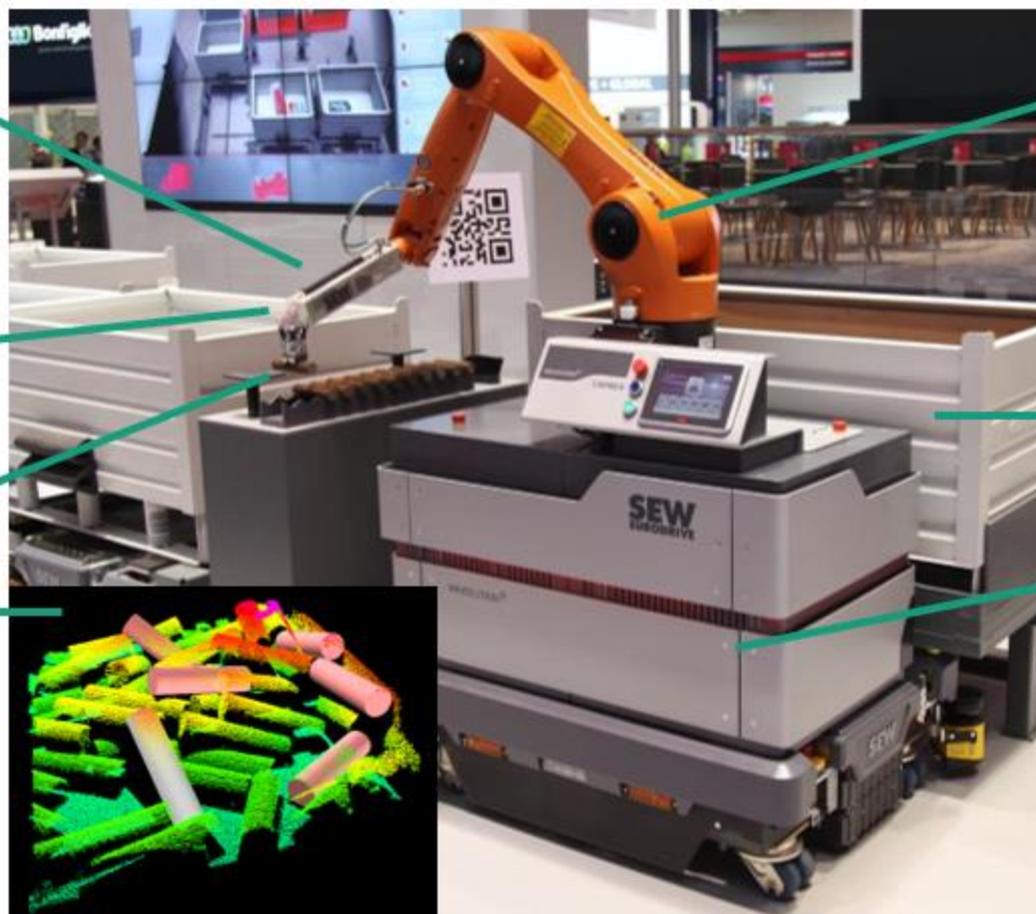
Cut-pieces

Point cloud

KUKA Agilus

Bin with
cut-pieces

Mobile platform –
Inductive power
transmission



source: IPA

Sense&Act

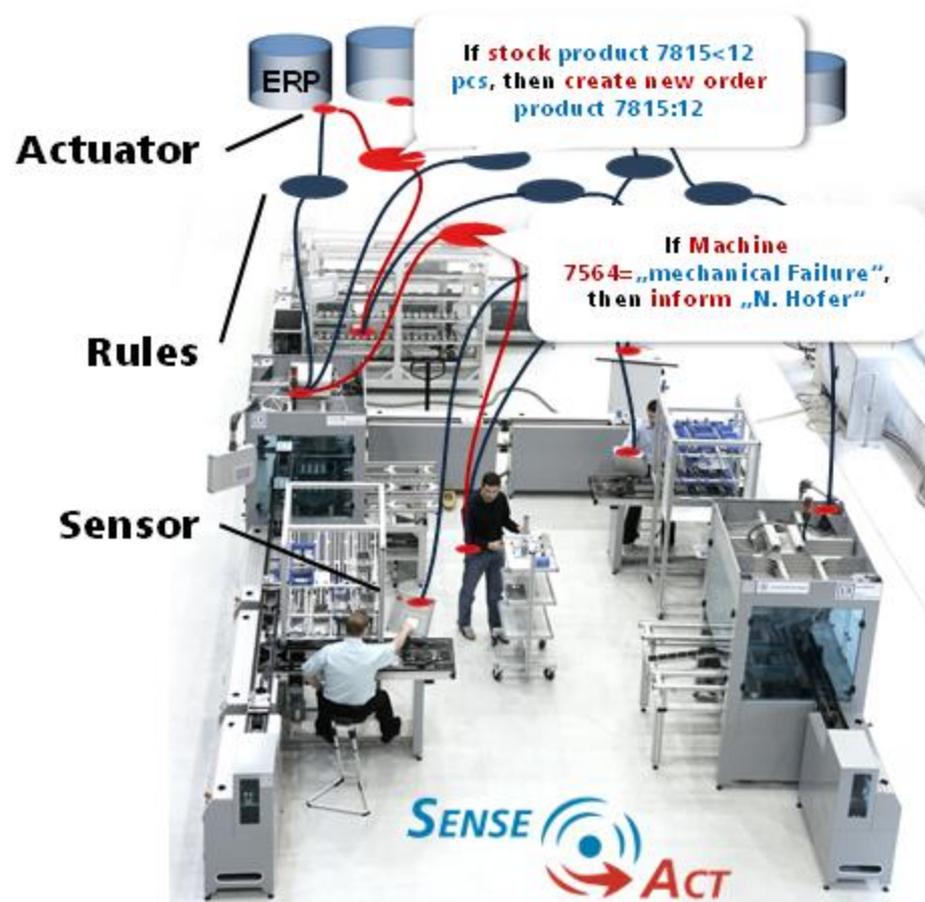
Rule based approach for production and logistics management

Features

- Simple way to define own/individual rules for interlinking the production entities
- Monitoring of sensor values
- Automatic triggering of predefined actions

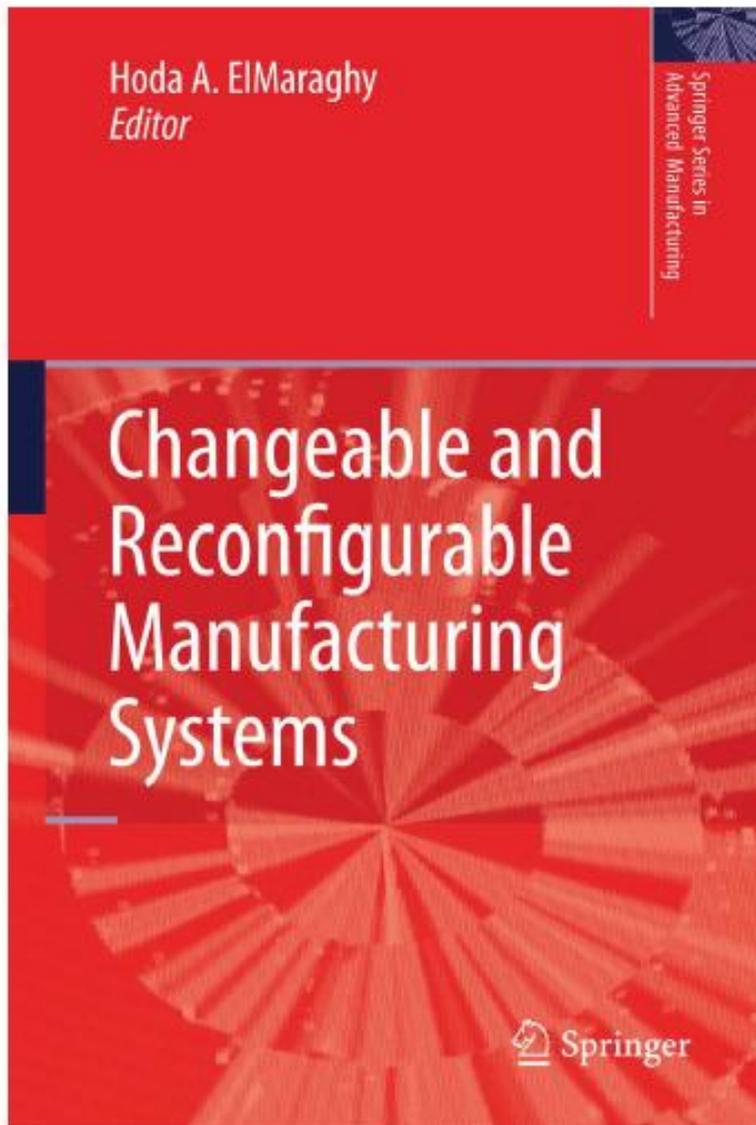
Benefits

- Flexible interlinking / integration
- Simple adaptation to company specific requirements and situations
- Enables rule based production
- Flexible/ transformable production IT





三、关键技术



2008年7月出版

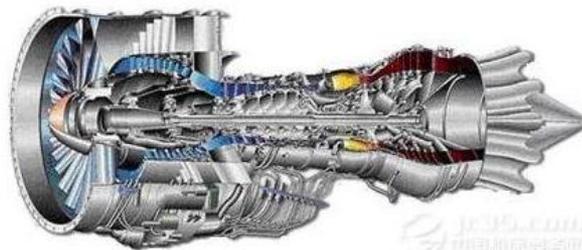
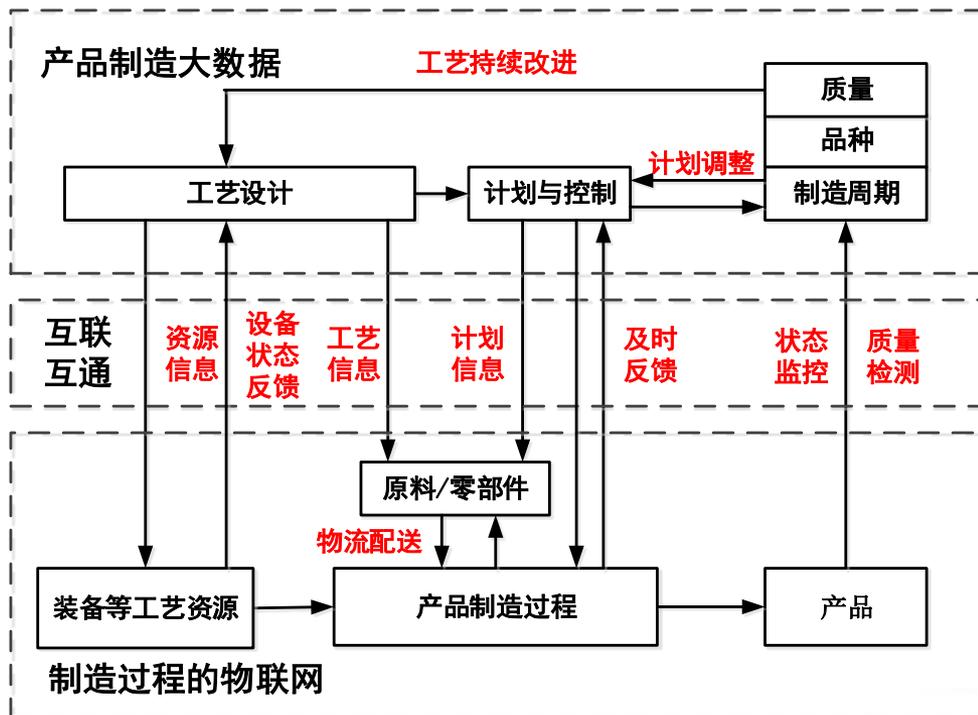
2006年2月发布《美国竞争力计划》
将信息物理系统(CyberPhysicsSystem
, CPS)列为重要的研究项目



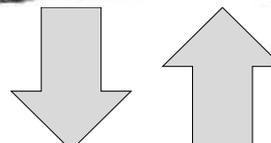
三、关键技术

1. 装配的CPS模式

- 数字化制造(大数据)→物理制造→信息感知→数据分析与决策→反馈制造。
- 数字化制造：**结构化工艺数据**，生产与物流计划，质量，数据传递。
- 物理制造：物料与资源配送，产品制造……
- 实时感知：制造过程实时监控，RFID，物联网，质量检查。
- 决策分析：工艺、计划、质量和制造过程的综合管控



C:
数字
装配



P:
物理
装配

二、关键技术

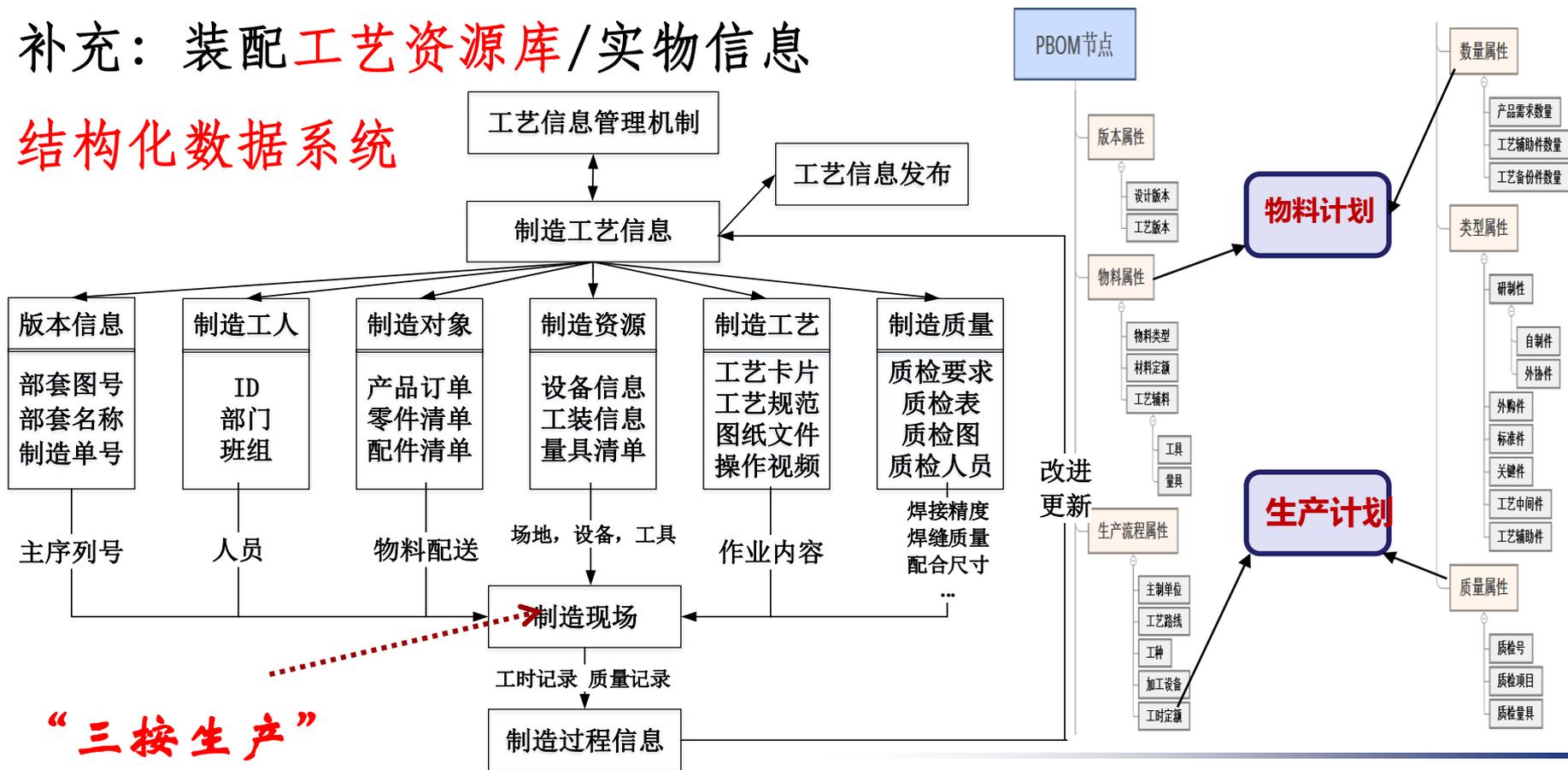
2. 装配工艺信息模型

确保工艺完备，后续各项工作的基础

➤ 装配工艺的**结构化信息模型**/人机料法环

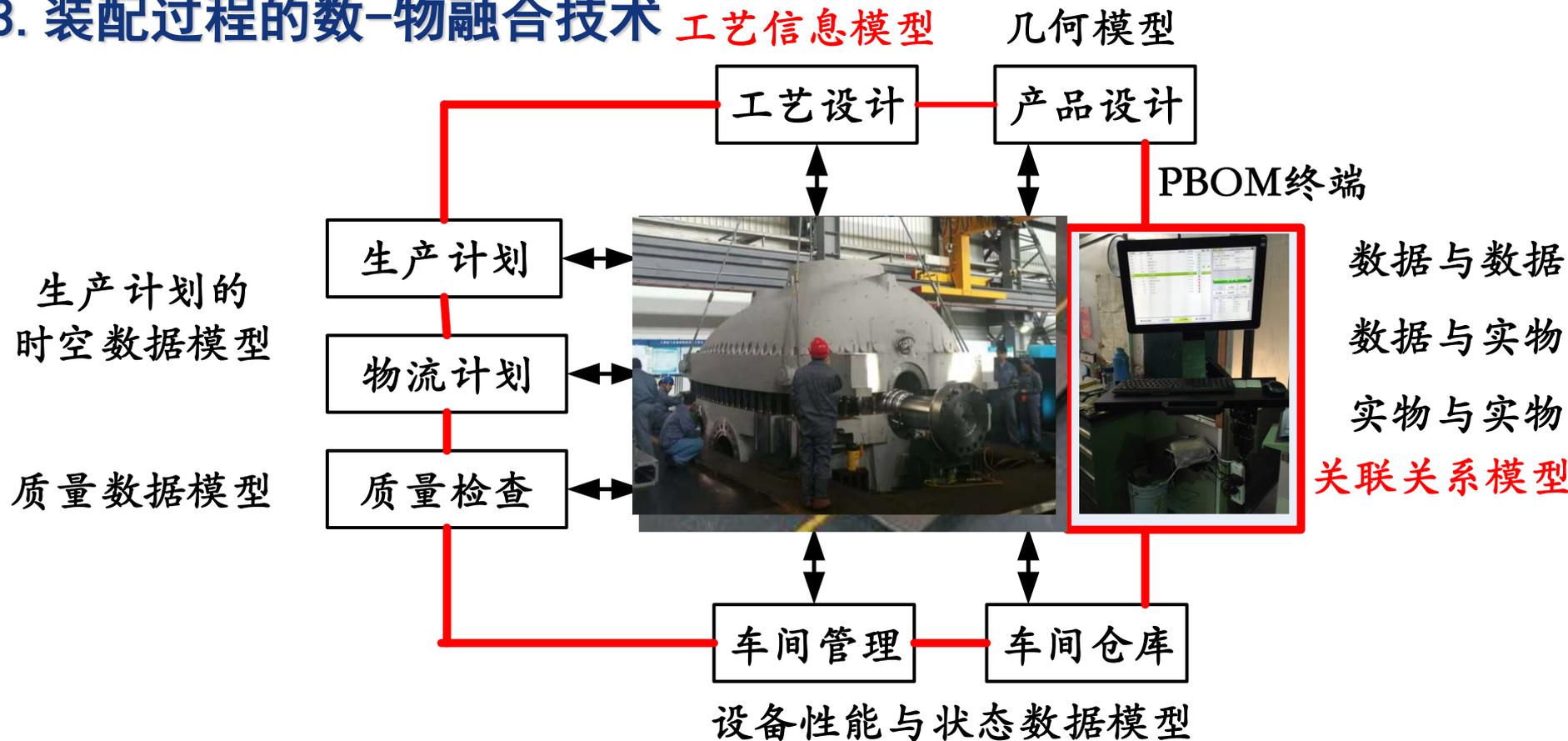
➤ 补充：装配**工艺资源库**/实物信息

➤ **结构化数据系统**



二、研究工作

3. 装配过程的数-物融合技术 工艺信息模型



非结构化：几何模型，工艺文件，质量/计划，性能测试……

关联关系：质量、计划等数据与产品，产品与设备、工人……

三、关键技术

4. 装配系统运行的管控体系

四个内容：作业计划

物流计划

工人配置

资源调度

三个层级：ATP能力计划

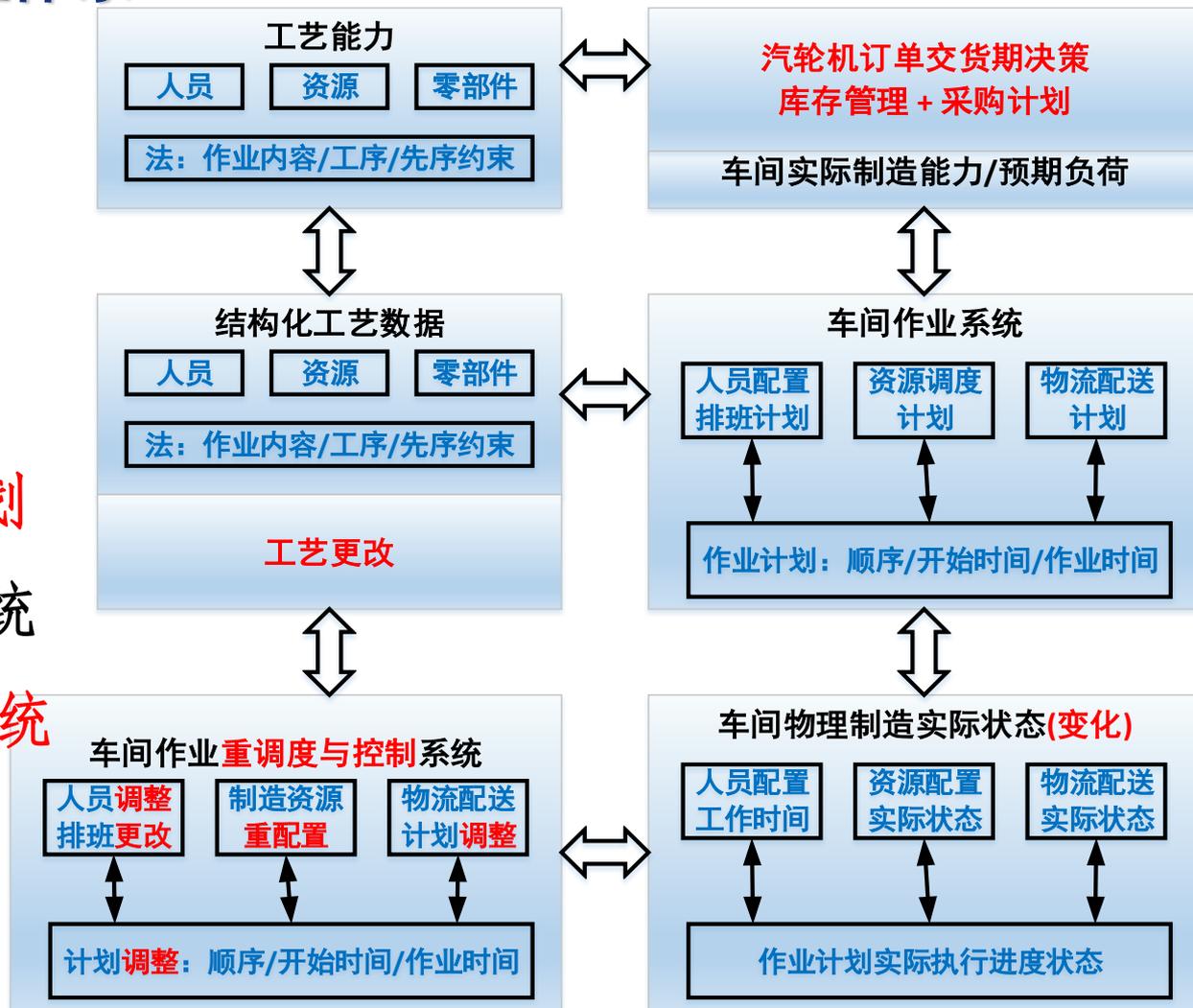
车间作业系统

作业控制系统

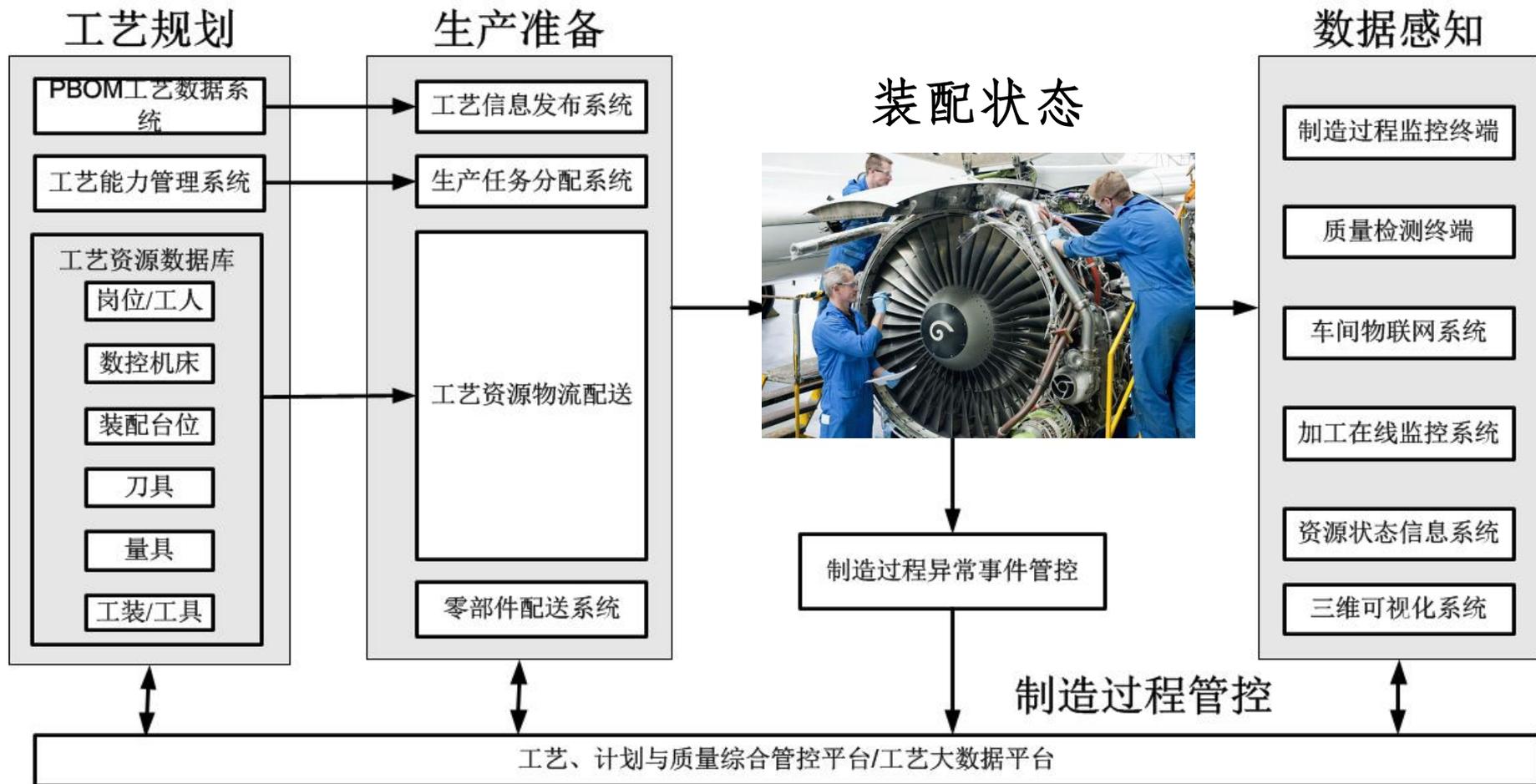
二个支撑：工艺数据

实际制造

一套系统：数据 + 算法 + 软件工具



二、关键技术



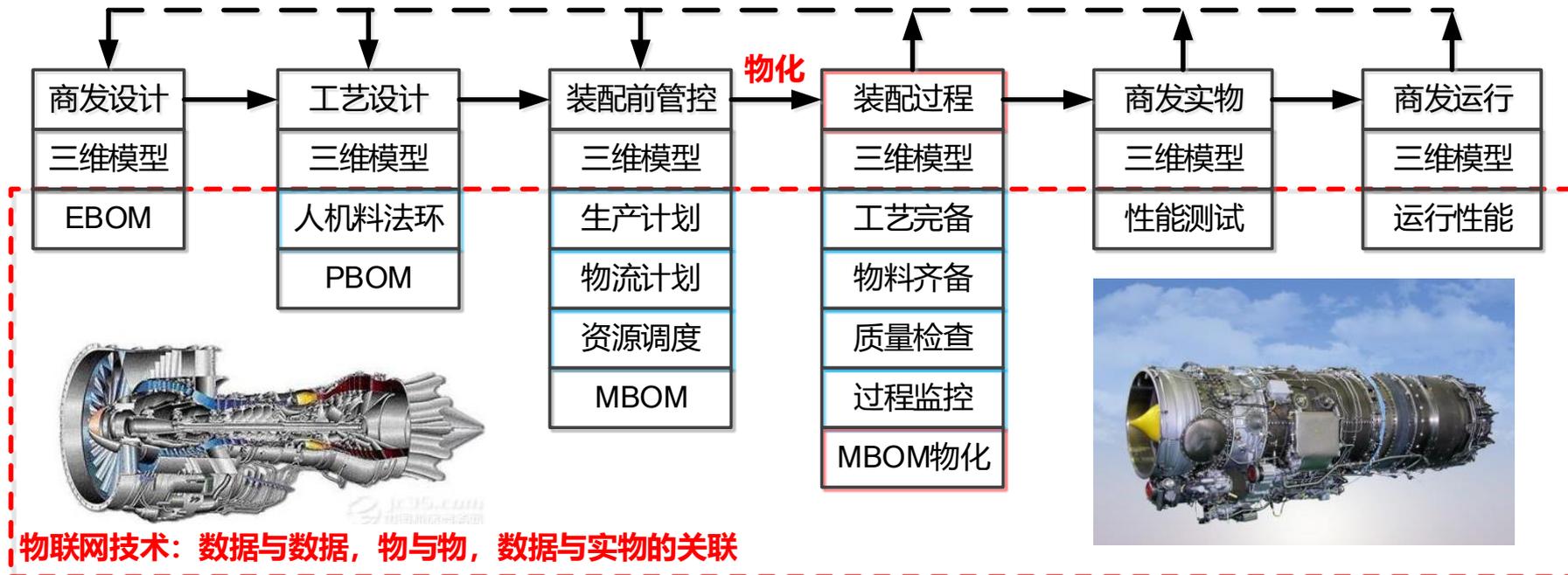
工艺状态：设计状态，准备状态，制造状态，结果状态

控制内容：人、机、料、法、环；时间与空间

三、关键技术

5. 装配的大数据平台

统一数据源：商发装配过程的大数据平台



- 数据完备描述制造过程：人机料法环的工艺状态，制造过程，测试与运行
- 数据与数据，物与物，数据与物的关联：数据驱动制造，制造状态动态反馈
- 初步智能制造的闭环体系：数据→执行→反馈→决策→数据→执行



三、关键技术

5. 与传统数字化制造的差异性分析

- (1) **实际制造过程的数据采集**：工艺执行状态/计划进度/物流/质量。
 - (2) **人机物的数据互联互通**：要素关联，数据共享，协同作业。
 - (3) **快速响应内外部变化**：资源配置、生产计划和物流计划协同管控
 - (4) **制造的差异**：人-机-物-软件系统(数据，知识，信息系统)共融制造
- 工艺：信息完整/细化/持续改进
 - 管控：全过程/全要素/快速响应
 - 制造：三按生产/稳定/可观可控



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



主要内容

一、研究背景

二、**CPS**理念

三、关键技术

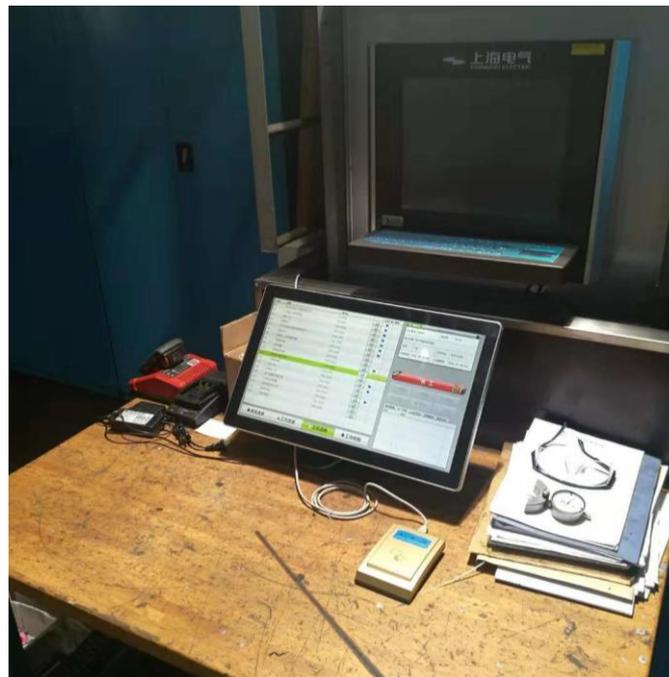
四、研究案例





四、研究案例：核电汽轮机

- 核电汽轮机单价高达**上亿元**
- 装配周期长达**几个月**，**严厉的deadline**
- **装配质量重要性**：核电安全性、产品服役性能、经济效益
- 装配系统：一次合格率，高效率(装配过程稳定性)，准时交货



四、研究案例：核电汽轮机

工艺资源库：刀具为代表，延伸量具/工装/夹具/机床/装配台位

- 刀具二维码技术 **7427种类型，刀具/量具/工装，42704把**
- 刀具基础数据系统
- 组合刀具管理
- 刀具库存管理
- 刀具清单管理
- 刀具配送系统
- 刀具修磨管理
- 生产任务工单
- 机床组管理
- 员工管理.....

图纸号: C159.24.01.01 工步号: 09 版本: v.0

查看 更改 刷新 保存 提交

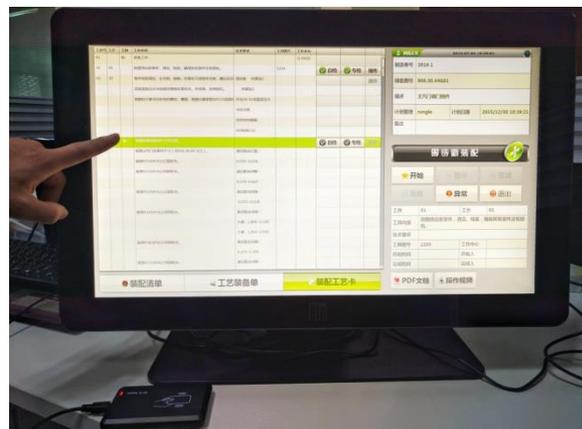
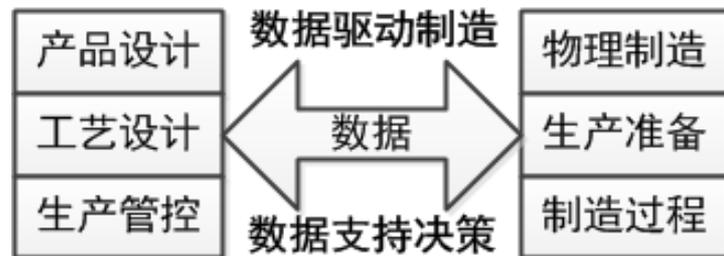
程序号	刀具编码	刀具名称	刀片编号	刀片型号	Vcode	刀号	工装号	
1	MPF1	0201E1101031	圆形车刀10	RCMT2006MO-422	RCMT2006MO-422	TK1776610KM63	D7	21720-6098A
2	MPF1	0201E1101032	圆形车刀10	RCMT2006MO-422	RCMT2006MO-422	TK1776611KM63	D8	21720-6098B
3	MPF1,MPF11	0201E1102012	菱形车刀1.2*75	SNMM190612EN-	SNMM190612EN-	KM63TSM5RNL19	D22	KM63UTMSRNL19
4	MPF1,MPF3	0201E1102011	菱形车刀1.2*75	SNMM190612EN-	SNMM190612EN-	KM63TSM5RNR19	D21	KM63UTMSRNR19
5	MPF1,MPF3,MPF5	0201E1102015	菱形车刀1.2*95	CNMM 190612 RH	CNMM 190612 RH		D2	KM63TSMCLNL19
6	MPF1,MPF3,MPF5	0201E1102014	菱形车刀1.2*95	CNMM 190612 RH	CNMM 190612 RH		D1	KM63TSMCLNR19
7	MPF1,MPF5	0201E1101042	圆形车刀6	RCMT1204MO-422	RCMT1204MO-422	DWG199825001	D394	21720-6051B
8	MPF1,MPF5,MPF6	0201E1101030	圆形车刀10	RCMT2006MO-422	RCMT2006MO-422	TK01226DKM63	D4	21720-6100B
9	MPF1,MPF5,MPF7	0201E1101041	圆形车刀6	RCMT1204MO-422	RCMT1204MO-422	DWG199825101	D393	21720-6051A
10	MPF1,MPF5,MPF7	0201E1101029	圆形车刀10	RCMT2006MO-422	RCMT2006MO-422	TK01225DKM63	D3	21720-6100A
11	MPF1,MPF7	0201E1101038	圆形车刀6	RCMT1204MO-422	RCMT1204MO-422	TK01238DKM63	D18	21720-6091
12	MPF10	0201E1101044	圆形车刀2.39	NRP4094R-KC730	NRP4094R-KC730		D31	KM63TSNSR4
13	MPF10	0201E1101045	圆形车刀3.18	NRP4125R-KC730	NRP4125R-KC730		D32	KM63TSNSR4
14	MPF10	0202E0702036	直槽剃刀10*25	N151.2-1000-80-4	N151.2-1000-80-4		D171	21330-5660B
15	MPF10	0202E0702036	直槽剃刀10*25	N151.2-1000-80-4	N151.2-1000-80-4		D172	21330-5660B
16	MPF10	0202E0702037	直槽剃刀3.18*18	N123G2-0318 000	N123G2-0318 000		D175	21330-5616B
17	MPF10	0202E0702037	直槽剃刀3.18*18	N123G2-0318 000	N123G2-0318 000		D176	21330-5616B
18	MPF10	0202E0402001	直槽剃刀2*6	N123U3-0200-000	N123U3-0200-000		D375	21330-5682B
19	MPF10	0202E0402001	直槽剃刀2*6	N123U3-0200-000	N123U3-0200-000		D376	21330-5682B
20	MPF11	0201E1101035	圆形车刀6	RCMT1204MO-422	RCMT1204MO-422	TK1816951KM63	D13	21720-6095A
21	MPF2	0201E0701025	圆形车刀10	RCMT2006MO-422	RCMT2006MO-422		D179	21720-6014
22	MPF2	0202E0702039	直槽剃刀19.05*130	BP-750030-235	BP-750030-235		D186	21330-5664
23	MPF2	0202E0702039	直槽剃刀19.05*130	BP-750030-235	BP-750030-235		D187	21330-5664
24	MPF2,MPF8	0202E0702043	直槽剃刀10.03*75	BP-400032-4125	BP-400032-4125		D387	21330-5684

四、研究案例：核电汽轮机

汽轮机装配过程的工艺状态监控技术

➤ 从实际装配过程中采集数据，描述制造的状态

- (1) 工艺资源状态信息采集技术，准备状态，健康状态，时间/空间状态；
- (2) 车间物联网技术，RFID和金属/纸质二维码；
- (3) 零部件状态信息采集技术，质量检查数据终端；
- (4) 汽轮机实际装配过程的实时数据采集技术；
- (5) 制造过程现场监控终端。



制造过程现场监控终端



质量检查终端



量具/夹具的二维码

四、研究案例：核电汽轮机

制造管控系统：过程量化评价体系

问题：哪些指标？用哪些数据评价？指导改进？

工序功能性指标

$$f_f(m, n) = - \sum_{i=1}^m \frac{1}{s_i} \left(\sum_{j=1}^n \gamma_j D_j \right)_i$$

时间结果指标

时间过程指标

制造周期
交货拖期
准时交货率
流转速度
生产效率
.....

资源利用率
计划准确率
计划执行率
计划下达率
计划反馈率
.....

质量指标

成本指标

品种指标

服务指标

工序质量性能指标

$$f_q(m, n) = - \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j Q_j \right)_i$$

工序效率性能指标

$$f_o(m, n) = - \sum_{i=1}^m \frac{1}{s_i} \left(\sum_{j=1}^n \beta_j T_j \right)_i$$

装配工艺、装配系统与性能的数据挖掘：影响效率、质量的因素

装配系统“瓶颈”：(1) 负荷最大的工位(前提：一直有效工作)

(2) 在制品、工人等资源增加，产能贡献最大工位

四、研究案例：核电汽轮机

装配管控系统：资源动态配置、装配计划与物流计划协同

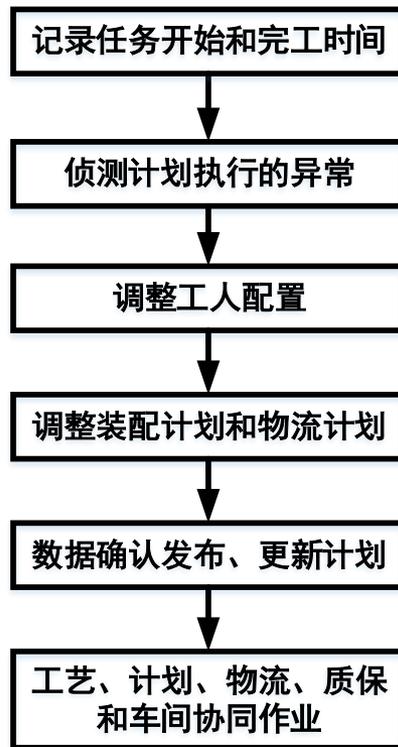
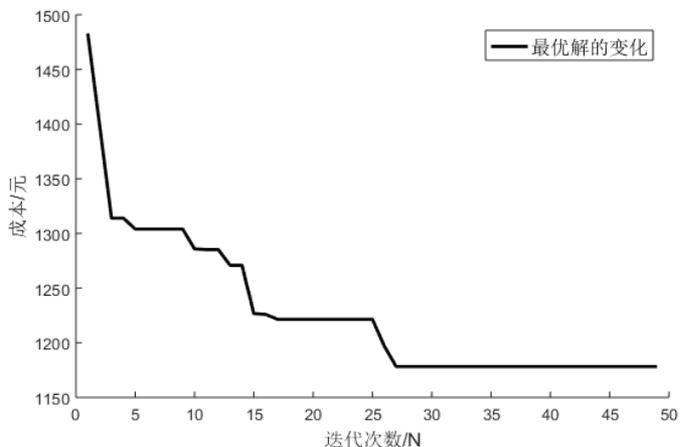
装配过程中扰动：质量异常，工艺变更、设备故障、物料短缺……

汽轮机装配特殊性：零部件单价高、体积大、搬运难、物流成本大

目标：增加最少的工人成本，以确保执行计划的平稳（变化最小）

$$\min \sum_{i=1}^{N_I} \sum_{j=1}^{N_J} C_j \cdot D_i \cdot x_{ij} + C_\tau \cdot \tau \cdot \sum_{i=1}^{N_I} y_i + C_\omega \cdot T_\omega$$

$$\min \sum_{i=1}^{N_I} |S_i - S_i^0|$$





四、研究案例：核电汽轮机

项目型产品装配的CPS系统

工艺检验

工序	步骤	工种	工序内容	技术要求	件数	单件定额	工具型号	工作中心	检验明细	是否操作
1	01	01	钳	按图切出各零件, 清洗	清洁度	内部漆 2		Q-03Q5	✓	✓
2	01	02	钳	零件视面清洗, 去毛刺	外部漆 3			Q-03Q5	✓	✓
3	02	01	检	测量#33与#39之过盈	直径配合过盈: 0.0			Q-03Q5	✓	✓
4	03	01	检	实测视壳与#2两座配	直径配合过盈: 0.5			Q-03Q5	✓	✓
5	03	02	检	实测视壳与#3两座配	直径配合过盈: 0.5			Q-03Q5	✗	✓
6	04	01	金	根据提供尺寸车准#2			016-02Q5		✗	✓
7	05	01	钳	拆工作台, 南门出入口				Q-03Q5	✗	✓
8	05	02	钳	装#3两座壳面漆上一步				Q-03Q5	✗	✗

工序: 03 步骤: 01
 工种: 检 件数:

工序内容: 实测视壳与#2两座配合之尺寸, 提供配车#2两座φ6

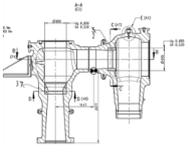
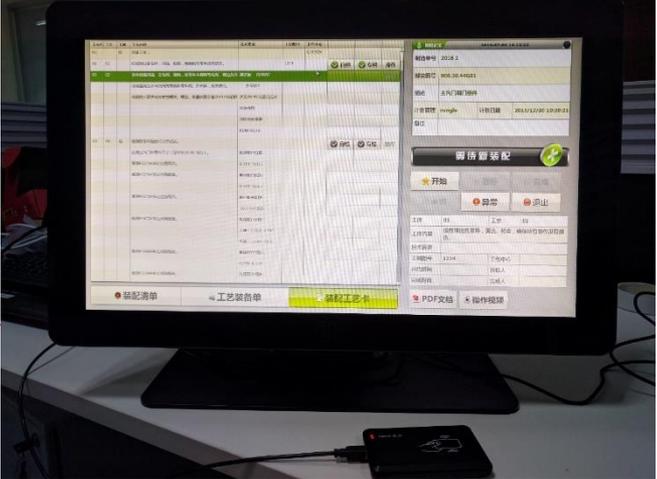
技术要求: 直径配合过盈: 0.530-0.655

单件定额: 工具型号:

工作中心: Q-03Q5 操作 PDF上传: 1509280945161788_*.pdf

 : 15092809556092795_*.flx

修改相关:

件号	名称	规格	数量	单位	备注
906.80.44.1/6	止口 螺帽	止口 螺帽	13	个	0.00
906.80.44.2/6	止口 螺帽	止口 螺帽	1	个	0.00
906.80.44.2/6	止口 螺帽	止口 螺帽	13	个	0.00
906.80.44.4/6	止口 螺帽	止口 螺帽	13	个	0.00
906.80.44.6/6	止口 螺帽	止口 螺帽	13	个	0.00
906.80.44.01001	止口 螺帽	止口 螺帽	13	个	0.00
906.80.44.0102	止口 螺帽	止口 螺帽	1	个	0.00
11030.18.M4X65	六角螺帽	六角螺帽	1	个	0.00
18001.844	合金螺帽	合金螺帽	5	个	0.00
18001.090	合金螺帽	合金螺帽	5	个	0.00
18001.091	合金螺帽	合金螺帽	3	个	0.00
18000.829	合金螺帽	合金螺帽	11	个	0.00
906.80.41.08001	合金螺帽	合金螺帽	1	个	0.00
906.80.41.0811	合金螺帽	合金螺帽	1	个	0.00
15002.849	合金螺帽	合金螺帽	1	个	0.00
15002.931	合金螺帽	合金螺帽	1	个	0.00
18000.828	合金螺帽	合金螺帽	1	个	0.00
11039.6	合金螺帽	合金螺帽	4	个	0.00
11039.10.2X2/2	合金螺帽	合金螺帽	2	个	0.00
11039.10.2X2/2	合金螺帽	合金螺帽	7	个	0.00
11702.2	合金螺帽	合金螺帽	20	个	0.00
11208.8	合金螺帽	合金螺帽	20	个	0.00
11702.2	合金螺帽	合金螺帽	18	个	0.00

开始 结束 返回

工序: 02 步骤: 01

工序内容: 测量#33与#39之过盈配合。

技术要求: 直径配合过盈: 0.019-0.076

工单来源: 工作中心: Q-03Q5

开始时间: 开始人

结束时间: 结束人



四、研究案例：核电汽轮机

件号	零件图号	零件名称	每件套数	是否装配	备注
	906.30.44-1/6	主汽门调门组件(右II)(阀门总体尺寸)1	(1)		总图
	906.30.44-2/6	主汽门调门组件(右II)(阀壳装配图)	(1)		总图
	906.30.44-3/6	主汽门调门组件(右II)(主汽门装配图)1	(1)		总图
	906.30.44-4/6	主汽门调门组件(右II)(主调门装配图)	(1)		总图
	906.30.44-5/6	主汽门调门组件(右II)(螺栓热紧图)	(1)		总图
	906.30.44-6/6	主汽门调门组件(右II)(阀门接口图)	(1)		总图
1	906.30.44.01G01	主汽门调门阀壳组焊图	(1)	是	
1/1	906.30.41.02	主汽门阀壳精加工	1		
1/2	906.30.44.02	主调门阀壳精加工	1		
1/3	S1030.18-M48X65	六角头螺栓	14		
1/4	18001344	合金焊条_E6015-B3_Φ2.5	1		
1/5	18001990	合金焊条_ER90S-B3_Φ1.2	1		
1/6	18001901	焊条_ENiCrFe-3_D2.5	1		
2	906.30.41.04G01	阀座			
2/1	906.30.41.04+1	阀座			
2/2	18001121	合金焊丝_stellite-21_Φ1.2	1		
3	906.30.42.04G01	阀座	(1)	是	
3/1	906.30.42.04+1	阀座	1		
3/2	18001121	合金焊丝_stellite-21_Φ1.2	1		
4	14017091	螺纹嵌件_AM10X15_INCONEL-X750_DIN814	4	是	
5	906.30.41.06G01	螺塞	(1)	是	
5/1	906.30.41.06+1	螺塞	1		
5/2	18001123	合金焊丝_stellite-6_Φ1.2	1		
6	10018598	螺纹钢芯_AM100X6X100_INCONEL-X750_DI	1	是	
7	10018600	螺纹嵌件_AM16X24_INCONEL-X750_DIN814	8	是	
8	906.30.41.07	垫片	1	是	
9	S1500.21-6X25	圆柱销	4	是	

1. 工艺信息

网络正常 2015-11-23 20:12:08

制造单号: teste1

部套图号: 999.999.999

描述: 测试用部套图号

计划管理: YJ 计划日期: 2015/11/17 13:44:52

备注:

2. 工单信息

等待新装配

开始 3. 装配控制 完成

重置 异常 退出

工序	工步
工序内容	
技术要求	
工具图号	
开始时间	开始人
完成时间	完成人

4. 工序信息

装配清单

工艺装备单

装配工艺卡

PDF文档

操作视频



四、研究案例：核电汽轮机

专用工具图号	专用工具名称	通用工具图号	通用工具名称	通用工具通用部套	车间自备及标准工具名称
123		78000-7463	支撑螺钉	196.30.60	
		78000-7450	钻孔固定工具	196.30.41	
		5-23080-0073	φ24.7接长钻	基本工具	
		23630-5381	φ25铰刀	196.30.60	
		78000-7458	螺纹环扳手	196.30.60	
		78000-7458	衬套吊装工具	196.30.60	
		78000-7204	安装工具	680.01.01	
		78000-7204	安装工具	680.01.01	
		78000-7208	拆卸工具	680.01.03	
		78000-7453	阀座吊装工具	196.30.41	
		78000-7459	螺纹环扳手	196.30.60	
		23630-5382	φ16铰刀	196.28.01	
		26140-5349	M90丝锥	WGS-10161-361050	
		78000-7442	吊阀杆螺母	196.30.41	
		78000-7043	螺栓加热器	168.01.02	
		84200-5780	测量工具	168.01.02	
		78000-7669	螺纹环扳手	195.30.41	
		78000-7503	环吊装工具	196.30.60	
		26140-308	M72丝锥	107.09.02	
		78000-7448	吊阀杆螺母	196.30.41	
		78000-7201	安装工具	680.01.01	
		78000-7449	安装工具	196.30.41	
		78000-7210	拆卸工具	680.01.01	

操作工在确认后
点击按钮，
将显示为

装配清单

工艺装备单

装配工艺卡



四、研究案例：核电汽轮机

装配过程的质量管控，集成MQCP

工序号	工步	工种	工序内容	技术要求	工具图号	工作中心
01		钳	准备工作：			Q-03Q5
01	01		按图领出各零件，清洁、检查，确保所有零件没有损伤。			
01	02		零件彻底清洁、去毛刺、倒角，各零件不得留有毛刺、翻边及异	清洁度 内部洁2		
			用高温高压水冲洗阀壳等铸件零件内、外表面，洗净油污。	外部洁3		
			根据技术要求对所有的螺纹、螺塞、测量仪器套管涂#110润滑油	详见28-91高温高压水		
			冲洗守则			
			涂防咬剂根据			
				KUN480.10		
02	01	检	复测各零件配合尺寸并记录。			
			复测主汽门各零件尺寸（见906.30.44-3(1)）。	直径配合过盈：		
			复测#33与#39之过盈配合。	0.019~0.076		
			复测#33与#36之间隙配合。	直径配合间隙：		
				0.570~0.667		
			复测#32与#36之过渡配合。	直径配合间隙：		
				-0.073~0.020		
			复测#34与#38之间隙配合。	直径配合间隙：		
				大端：1.800~2.100		
				小端：1.810~2.030		
			复测#38与#40之间隙配合。	直径配合间隙：		
				0.270~0.309		
			复测#32与#40之间隙配合。	直径配合间隙：		

质检：工人自检
检验：质量部检验



网络正常 2015-11-23 20:52:35

制造单号 test1

部套图号 999.999.999

描述 测试部套图号

计划日期 2015/11/17 13:44:52

备注

等待新装配

开始 暂停 完成

重置 异常 退出

工序	工步
工序内容	
技术要求	
工具图号	工作中心
开始时间	开始人
完成时间	完成人

装配清单

工艺装备单

装配工艺卡

PDF文档

操作视频

四、研究案例：核电汽轮机

装配工时管理，装配任务计划执行状态实时管控

等待新装配

★ 开始

⏸ 暂停

⌂ 重置

工序	01
工序内容	按图领出各零件。
技术要求	
工具图号	
开始时间	
完成时间	

生产异常

员工扫描

请扫描

安装返工

测试返修

工具缺失

物料缺失

元件更换

请扫描胸卡提交

取消



四、研究案例：江南造船

构建船舶制造大数据平台和基于CPS的船舶智能制造模式，实现“**人-机-物-信息系统**”的共融制造，从而持续提升船舶制造工艺水平，制造能力和制造过程的管控能力。

版图号	层次	桩位	材质	厚度T	长度L	宽度W	重量Kg	炉号批次	数量	备注
2576608HCNX01P	90	1-3-1	A	11.00	11920.00	2750.00	1310.00	123	1	代11.5*1900*8000

下达单号: 10014 项目号: 10
加工内容: H2576.701
工序: 10 工作中心: 001
开始时间: 2017/12/25 16:15:33 完成时间:

生产中

开始 暂停 完成
准备 异常 托盘

版图号	描述
2567201HCNX01p	Test1



工序	描述	工作中心
10	切割版图2576608H	零件上托盘

托盘: A35

序列号	件号	规格	电子托盘
1712010001	608-BM168A-W1	11920*2750*3859	A43
1712010002	701-FR139Q-S7	11920*2750*3859	A33

确认 取消

物料	托盘	实际托盘
11920*2750*3859	A43	A32
11920*2750*3859	A33	A32



四、研究案例：商发制造

构建商用航空发动机**装配工艺大数据平台**，研发数据驱动的**装配工艺、装配系统和装配过程的协同管控系统**，从而实现**装配工艺全要素、全过程的可观、可控**。

工步	描述	装配区	工装工具	物料
10	安装支架35000614	发动机装配分解培训区	✓	✓
20	安装支架组件38P6A9011005_1	发动机装配分解培训区	▶	✓
30	安装支架组件38P6A9011005_2	发动机装配分解培训区	●	✓
40	安装4、5、6号螺栓上的支架	发动机装配分解培训区	●	✓
50	安装12、13、14号螺栓上的支架	发动机装配分解培训区	●	✓
60	安装28、29号螺栓上的支架	发动机装配分解培训区	●	✓
70	安装2、3号螺栓上的支架	发动机装配分解培训区	●	✓

网络正常		2017-02-23 14:47:15	
下达单号	10011	产品型号	40001
装配内容	机匣装配		
工步	20	装配区	发动机装配分解培训区
开始时间	2017/1/23 21:05:13	完成时间	

显示当前登录操作员

30:46分
李永平

资源确认中

开始 暂停 完成

准备 异常 自检

零件清单	生产资源	人员/岗位	环境要求	指导文件
类型	描述			
工具	内六角扳手 (S=6)			✓
工具	开口扳手 (S=13)			✓

李永平 (P01)	2017/1/23 21:05:13	扫描员工卡提交操作
李永平 (P01)	2017/1/23 21:03:13	扫描员工卡提交操作
李永平 (P01)	2017/1/23 21:02:42	扫描员工卡提交操作
李永平 (P01)	2017/1/23 21:02:17	扫描员工卡提交操作
李永平 (P01)	2017/1/23 21:02:04	准备列表确认
李永平 (P01)	2017/1/23 21:01:57	扫描物料编码

工地上人眼看到的工步所需物料

零件清单 工艺资源 工艺清单 工步明细



四、研究案例:启示

子曰：“学而时习之，不亦说乎？”





四、研究案例:启示

- 寓言故事：刻舟求剑，《吕氏春秋·察今篇》
- “这辈子听了很多的道理，依然过不好这辈子！”





上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



谢 谢!

