吴文俊人工智能科学技术奖十周年
AWARD CEREMONY 颁奖盛典
2020中国人工智能产业年会

工业互联网发展新重点思考

王爱民
数字化制造研究所
北京理工大学

提纲

- 智能制造与数字化转型内涵
- 管理与工艺决策并重的MES发展趋势
- 基于CPS的智能生产线规划与控制
- 面向工业互联网的的MES模块化解构
- 基于制造能力整合的工业互联网发展态势

智能制造随笔
智能制造随笔

智能制造内涵

■ Industry 4.0

——德国高科技战略计划首位

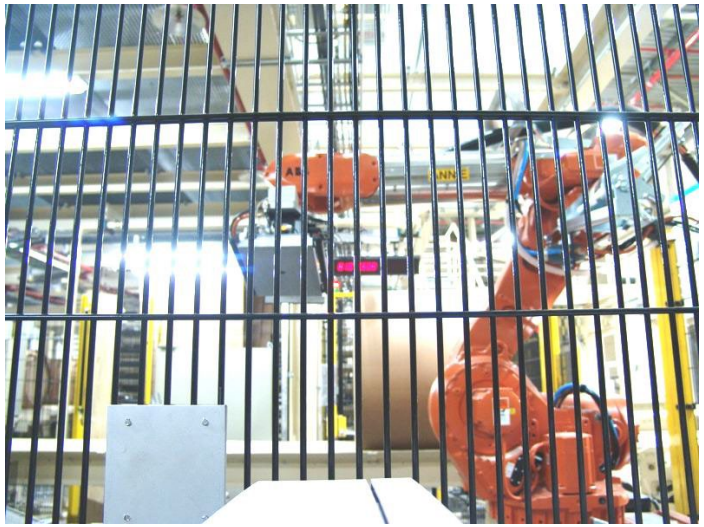
工业4.0的发展有其必然性，即使没有该概念，自动化及智能生产系统的发展也将自然而然发生，部分解释了智能制造之初将自动化或“机器换人”视为智能制造的盲目性；

- 数字化工厂（德国工程师协会）:是由数字化模型、方法和工具构成的综合网络，包含仿真和3D/虚拟现实可视化，通过连续的没有中断的数据管理集成在一起。其本质是实现信息以及自动化的集成。
- 智能制造：在制造过程中能进行智能活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等，通过人与智能机器的合作，去扩大、延伸和部分取代技术专家在制造过程中的脑力劳动。它把制造自动化扩展到柔性化、智能化和高度集成化。其本质是机器智能的充分运用。

数字化工厂和智能制造，是基础与提升的关系，具有并发的特点。智能的追求，从单点到系统，也是逐步演进的过程，且已有较多实践。

智能制造中的决策特点

- **人机共同构成决策主体：** 智能制造中人与“机器”共同构成决策主体，在信息物理系统中实施交互，信息量和种类以及交流的方法更加丰富，从而使人、机器的交互与融合达到前所未有的深度；**人与机器协同运行（包括系统）**



机器人不再被固定在安全工作地点而是与人一起协同工作

智能制造随笔

智能制造中的决策特点

- 智能制造系统：当前尚达不到人工智能阶段，更加强调人机一体化智能，属于混合智能，即在融合大数据和人工智能的智能机器与系统的配合下，更好发挥人的潜能。本质是人机一体化与人机融合协同（是当前的应用重点）

人在决策回路中

智能制造笔记

数字化转型的重点：决策

- 对于企业来说，效率是最重要的？还是质量是最核心的？
  - 制造大国的惯性心理、同质化竞争下追求效率
  - 试思考所谓隐形冠军的突出特质或印象是什么？
- 数字化转型的着眼点应该是决策，不管是基于管理的效率提升，还是基于工艺的质量提升，核心都是决策。
  - 管理方面：数据自动流动，不仅是效率的内涵，而是信息及其处理质量的要求，即使决策由人来做出，也要为人提供准确必要的信息；
  - 工艺方面：工艺是企业必须重视的；目前工艺人员参与智能制造的声音和数量都明显不足；工艺决策需要数据支撑，与数字化转型天然相关；

智能制造概念及技术的演变脉络

- 智能制造
  - 理念与模式，总纲
- CPS
  - 内在机制
- 大数据、人工智能
  - 具体技术手段
- 数字孪生
  - 突出系统机理与机制的智能分析
- 工业互联网
  - 产业生态与新模式
- 数字化转型
  - 手段与目标兼备

观察

演变1：宏观目标及其理念、技术手段、技术手段与目标的兼备

演变2：从高端智能制造引发的三个分支：

（1）正视现实的数字化基础补课-数字化转型

（2）强调决策的数字孪生（包括工业APP、工业软件、大数据、人工智能）

（3）强调做大产业规模与软件生态的工业互联网

提纲

- 智能制造与数字化转型内涵
- **管理与工艺决策并重的MES发展趋势**
- 基于CPS的智能生产线规划与控制
- 面向工业互联网的的MES模块化解构
- 基于制造能力整合的工业互联网发展态势

智能制造随笔
智能制造随笔

数字化转型背景下MES发展趋势

- **业务范围的扩大，带来MES更大广度的集成与协同**
  - 横向：从单独的产线/车间向多车间/多工厂的协同管控发展、从企业内部想多企业系统集成与协同发展
  - 纵向：从靠人来托底向自动化/智能化设备的一体化融合集成转变
- **业务深度的扩展，带来MES与工艺业务的深度融合**
  - 从管理业务为主向管理与工艺决策相综合的方向发展、从统计事后发现问题向实时解决问题方向转变
  - 工艺环节的智能工艺决策、工艺链条的智能工艺决策……
- **业务协同的深入，带来MES精益与精细的管控和决策**
  - 批量为1的未来极端生产组织，要求实现精细的管控
  - 精益管理决策：外协、加班、多车间/工厂协同计划决策等。
- **业务管理的动态性，决定了MES必须向柔性可扩充架构方向发展**
  - 适应企业的发展变化
  - 新的技术运用：服务化架构、中台化运行-模型驱动

MES内涵-CPS视角

当前和持续的生产保证（感知）

- 不是感知一两次，而是全面的前瞻预测。
- 不仅包括当前状态，也包括对未来一段时间生产能力能否保证的预测

手工采集、自动采集
单点感知、综合感知

生产过程的全面监控（感知）

- 任务情况和资源情况
- 每个生产资源（工人）接到生产指令后何时开始，何时结束？做了多少？质量情况？有什么异常？设备情况？运行数据？这些都是生产现场的数据反馈（可依托物联网、传感器来采集）。
- 产品的质量管理和质量追溯

时间、指令精准协调与控制（IT与OT的融合下的工艺决策）

- 生产任务指令下发到车间，如果生产资源是数控机床和自动化设备，那么系统应该通过PLC、DNC、SCADA等一些中间件、数据接口、控制系统来指挥它们作业
- 进一步的自适应工艺调整决策

管理决策、工艺决策

应变和协同（管理决策）

- 生产现场的异变是常态，必须重新对生产任务与资源的配置做出决策
  - 追赶或调整未能完成计划；
  - 市场订单变了，插单、撤单、设计需求改变了；
  - 设备故障、物料不到、质量返工等问题都要打乱既定的生产次序；

智能制造笔

延伸：制造装备/装置智能化的思考

- 是CPS的具体体现
- 是一种自动化运行控制过程
- 过程自动化的核心：
  - 经验感知向自动化传感感知转变
  - 人工经验向知识库的转变
  - 人工分析向基于知识的自动推理转变
  - 人工调整执行向自动化指令下发执行转变

凡是需要人工介入或者需要依靠经验来完成的生产、检测等环节，都具有智能化提升的机会和潜力。同时要考虑经济性。

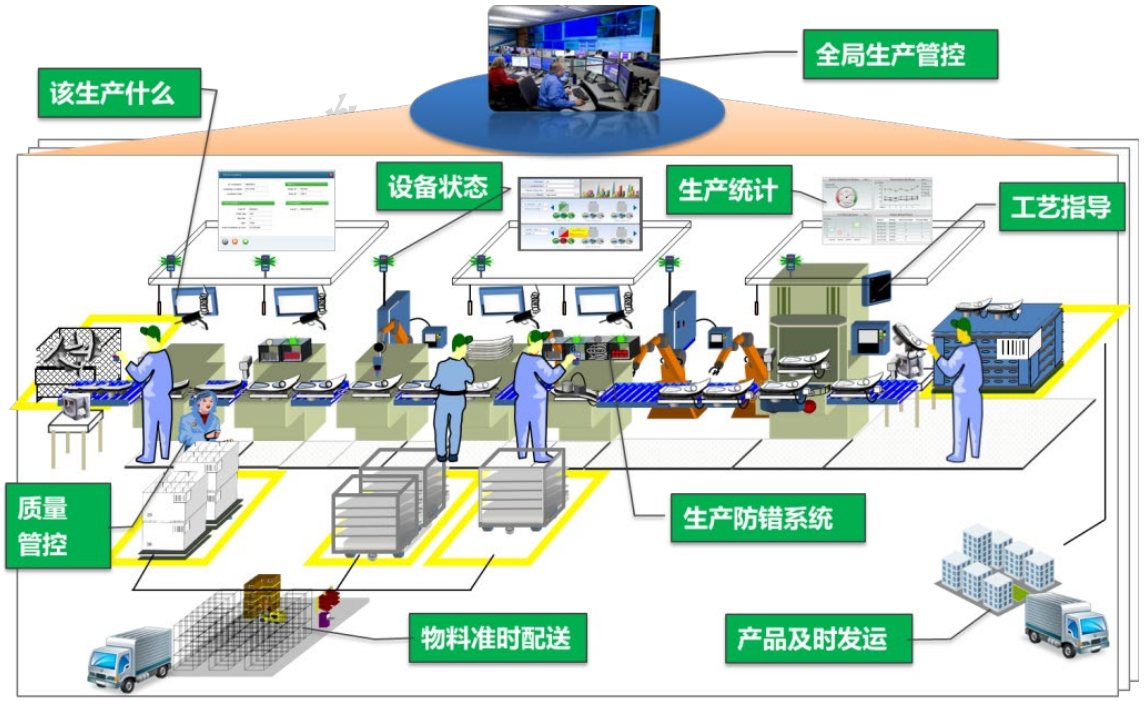
数字化转型背景下MES新特征

业务流程管理自动化

- 业务衔接顺畅、无歧义；规范的预定义数据格式和内容；规范的业务操作要求和信息内容与格式；
- 不仅支持正向顺次递进的流程，也包括应付各种突发情况的流程预案。
- *规范：包括流程规范、信息规范、操作规范。*
- *避免：“存在的就是合理的”，以及“现有流程计算机化”*

软硬一体化执行融合

- *实现从“人”来托底向自动获取转变*
- *比如MES直接从机床或设备等自动获取执行反馈状态；*
- *比如MES直接向机床或机器人等下发执行程序或执行指令；*
- *比如MES直接向AGV等物流设备下发执行指令等。*
- *比如MES根据实物的数字标识自动反馈获取实物状态；*
- *比如MES直接从硬件读取设备状态、工艺参数、工件精度等数据。*



数字化转型背景下MES新特征

决策功能日益突出

- 大数据等决策分析技术的发展，以及工业互联网状态反馈和精准执行控制技术
- *比如APS基于当前任务承担情况，给出客户新订单的精准交货期评估*
- *比如APS面对众多的生产扰动，给出快速响应评估分析与调整执行*
- *比如根据订单工件加工过程中前序环节的精度数据，给出后序环节的工艺基准调整分析结果并实现控制执行*
- *比如根据订单工序加工精度反馈分析，经过推理决策分析实现自适应的调整控制执行*
- *比如质量问题发生后的及时决策分析并制定改进措施，甚至直接对硬件装置进行干预*
- *比如电子产品“测”后问题的智能分析判断，辅助“调”人员快速解决*
- *……*

手工采集向自动化传感感知采集转变
人工经验向知识规则沉淀的转变
人工分析向基于知识的自动推理转变
人工调整执行向自动化指令下发执行转变

决策：MES必须与工艺融合

- 基本结论
  - 夯实基础
    - MES采集的大量数据，不能仅仅是存档入库，必须结合工艺才能有效的挖掘出其内在的价值，数据如何为工艺提供决策支撑，是企业智能化提升可以参考的结合点、切入点和发力点。
  - 提升水平
    - 现在MES厂商团队的人员大多偏重于计算机、管理等方面的人才，但随着智能制造的深入进行，工艺人才与知识的缺乏将成为其能否走的更快、走的更远的决定性制约因素。
- 企业在进行MES实施时，一定要在工艺上发力，才是长效发展的根本。

智能制造随笔
智能制造随笔

提纲

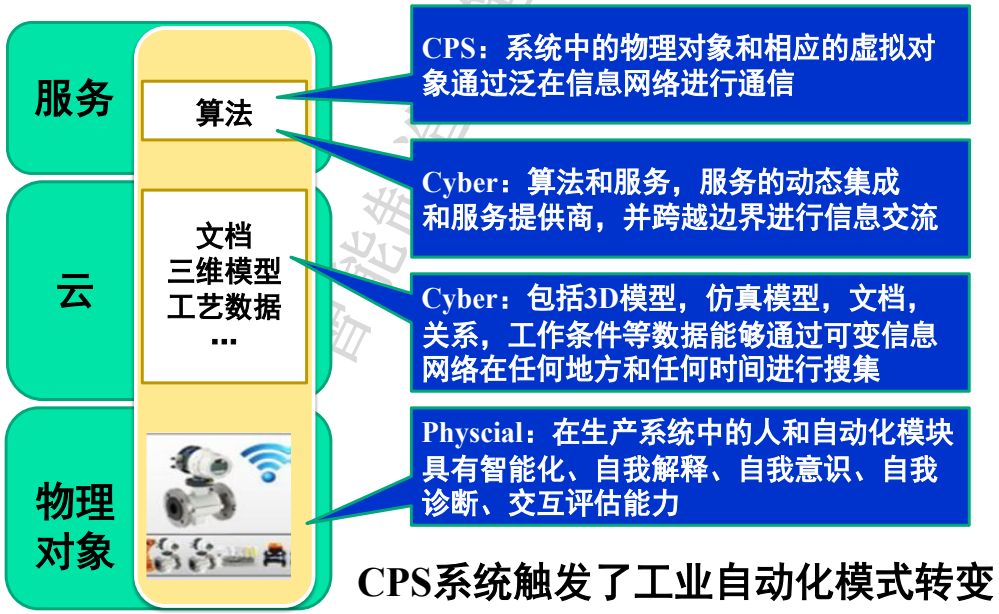
- 智能制造与数字化转型内涵
- 管理与工艺决策并重的MES发展趋势
- **基于CPS的智能生产线规划与控制**
- MES解构及基于工业互联网的模块化处理
- 基于制造能力整合的工业互联网发展态势

智能制造随笔
智能制造随笔

基于CPS的智能生产线规划与控制

- **信息空间与物理系统高度融合：** 智能制造具有生产过程中制造信息感知、获取、分析等能力，对于物理系统中的各个实体，信息空间中均对应存在一个与其融合的模型。信息空间与物理系统之间的深度交融可实现制造系统的自组织、自重构及资源的最优配置与利用，从而使自动化与柔性实现有机融合。

物联网、工业互联网



CPS系统触发了工业自动化模式转变

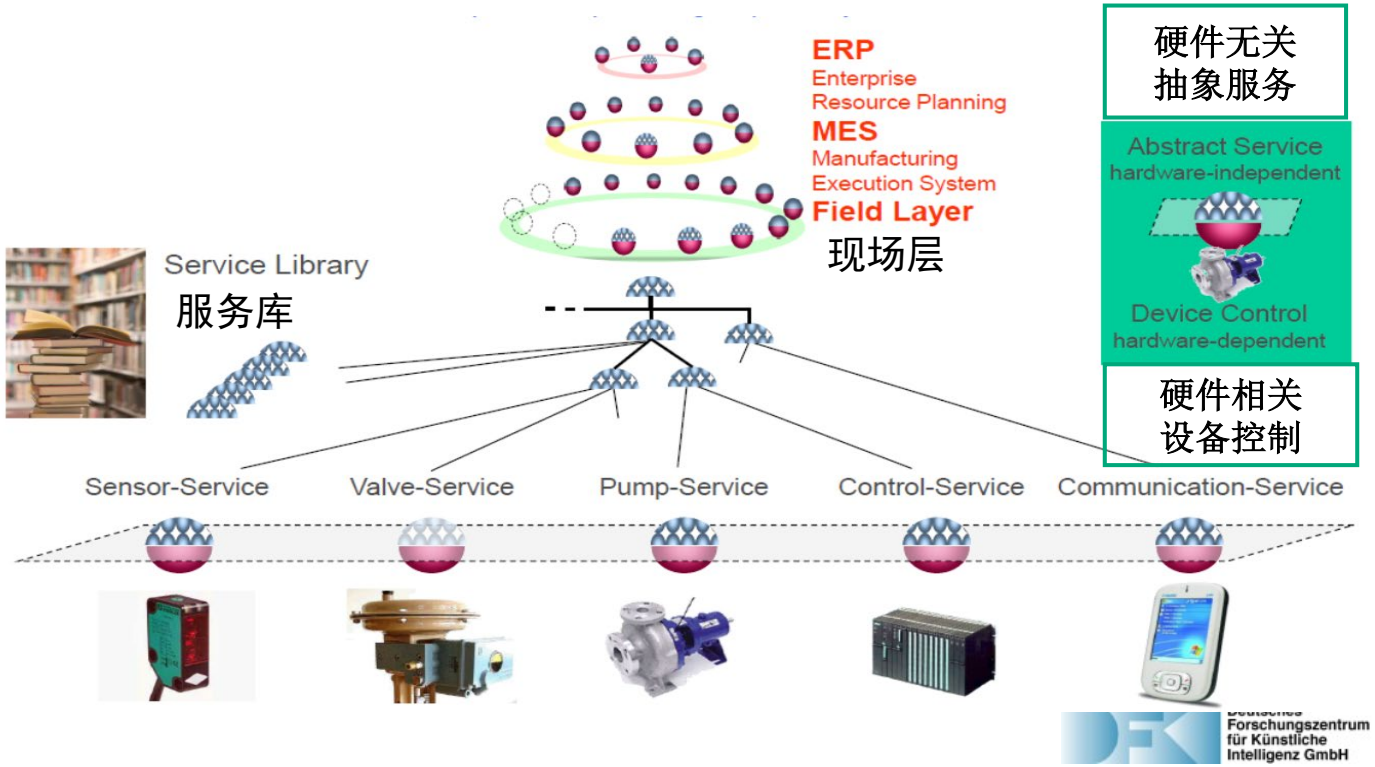
基于CPS的智能生产线规划与控制

- **软件定义制造：** 智能制造具有强烈而鲜明的系统工程属性，自组织、自循环的各技术环节与单元按照功能需求组成不同规模、不同层级的系统，系统内所有因素均是互相关联的。 **智能管控（优化配置、自适应、自组织）**

服务： 传感器服务、控制服务、通讯服务、校验服务、信息服务；

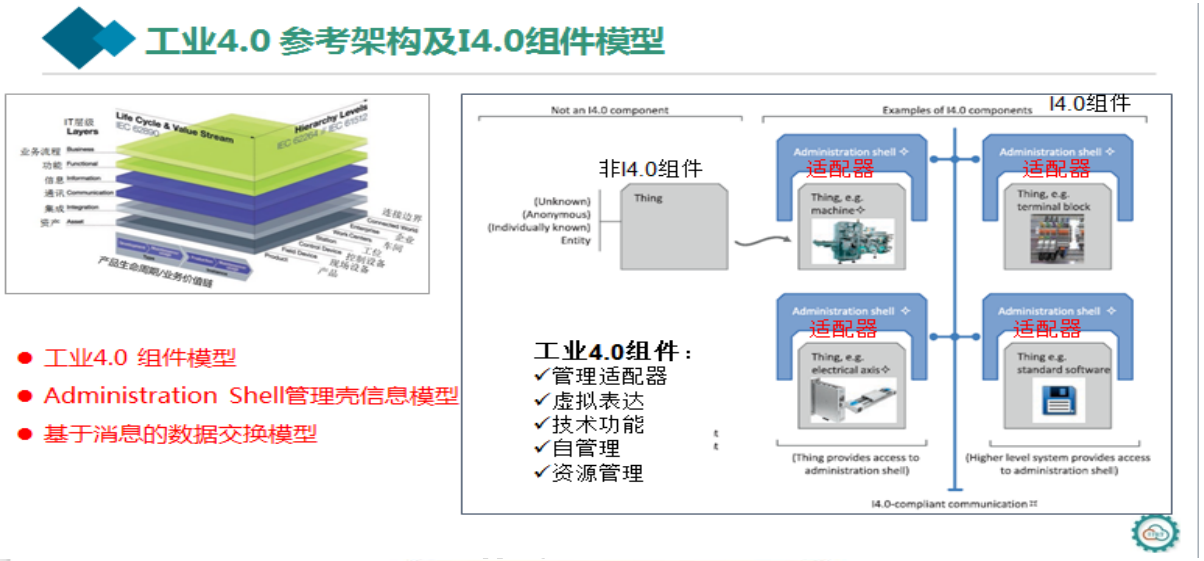
整个CPS网络系统就是一个服务连接网络，即**“务联网”**的概念。

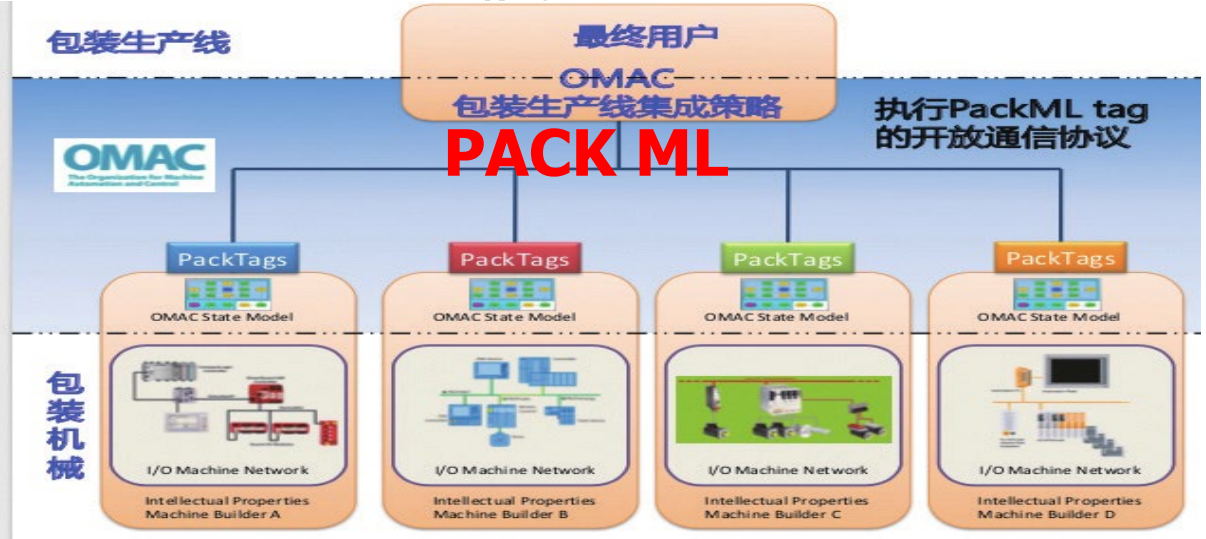
所谓智能管控，体现为硬件资源的离散化，通过服务化封装，实现业务资源链条的重构与控制->软件定义制造。



基于CPS的智能生产线规划与控制

- **提升自动线构成要素装置的CPS独立控制能力：**
  - 按照自动化产线线构成要素装置的离散化视角进行分解；
  - 制造要素按照状态反馈、指令执行的方式改造和提升；
- **支持任何构成要素装置的必要性联动控制能力：**
  - 并非某系列装置的固定时序，其核心目的是增加柔性，支持自动线上任何需要建立关联的构成要素装置能够实现联动控制。
  - 从产品的工艺流程角度入手，按照生产过程中各个构成要素装置动作关联关系进行分析

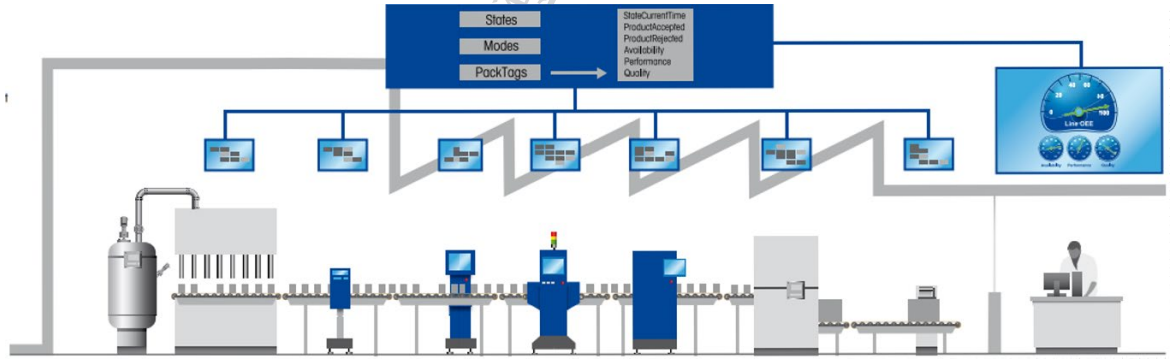




基于CPS的智能生产线规划与控制

- 以产品性能保证为核心的工艺知识沉淀及物化能力：
  - 引入机器视觉、自适应加工等机制，丰富自动线运行的知识基础上的智能化内涵。
- 多产品混线生产的关联控制与协调能力：
  - 自动的获取状态并进行分析，下发指令进行硬件装置的工作参数调整；
  - 根据需要为不同的硬件装置传递不同的数控程序，甚至实时产生数控程序（西门子安贝格案例）；
  - 不同产品的工艺流程通过柔性的联动控制，实现生产路径及工艺参数的快速转换，支持不同品种产品在自动线上的混流交叉生。
- 基于APS的软硬一体化控制的柔性控制：
  - 面向制造活动的精细化服务编排与柔性执行控制

这是一种面向自动化产线的工业互联网



彭瑜.OT-IT融合的基本问题和典型案例（二）Pack ML-OT-IT融合的典型案例[J].智慧工厂,2019(11):17-19.）

提纲

- 智能制造与数字化转型内涵
- 管理与工艺决策并重的MES发展趋势
- 基于CPS的智能生产线规划与控制
- **面向工业互联网的的MES模块化解构**
- 基于制造能力整合的工业互联网发展态势

智能制造随笔
智能制造随笔

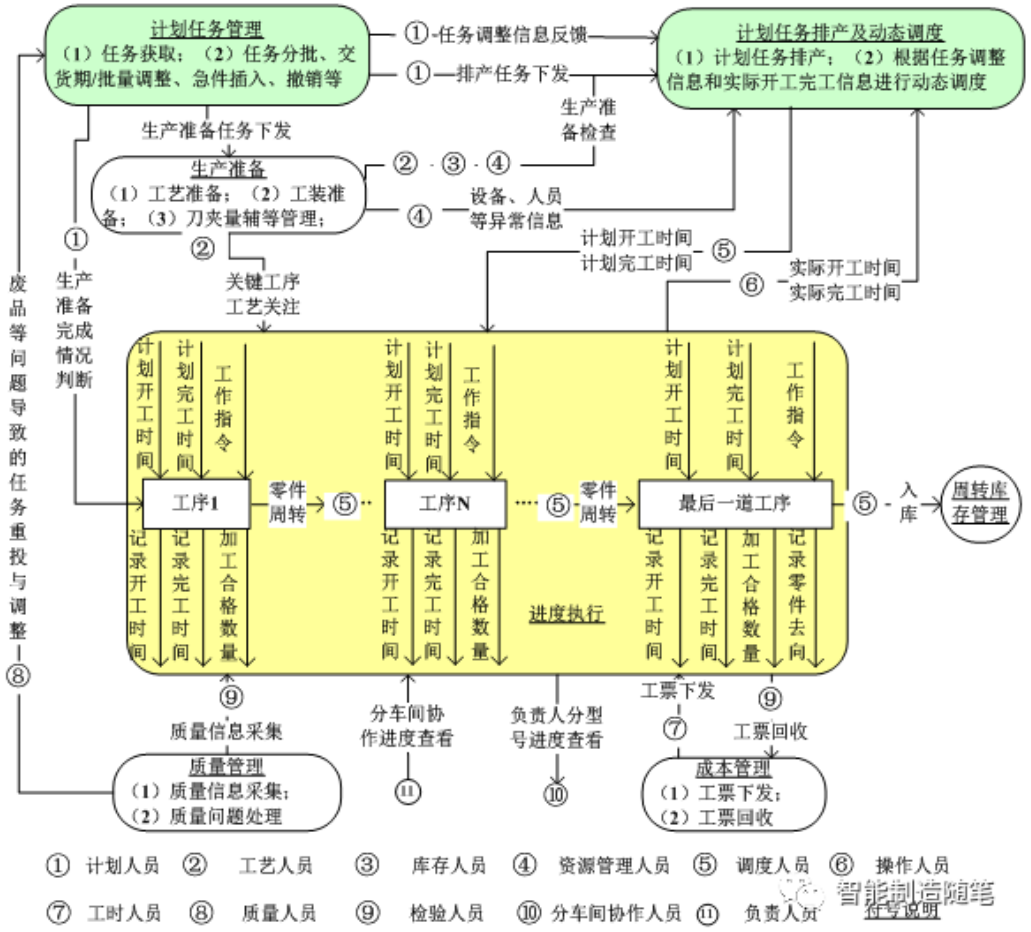
MES解构：业务过程驱动的精细制造要素的精益关联

- 人机料法环测等制造要素的基本含义
  - 人：人员-角色-权限，BMB17规范
  - 机：机床、工装、模具
  - 料：需要消耗掉或利用掉以形成我们所需要的产品直接相关的物料，以及消耗性的必需品，比如水、气等
  - 法：工艺规程文件，以及数控程序等，面向工艺决策的机理分析决策推理模型，医药行业中需遵守的国家规范等；
  - 环：能源和安全
  - 测：质量检测的数据采集

智能制造随笔
智能制造随笔

MES解构：业务过程驱动的精细制造要素的精益关联

- 制造执行过程的业务主线
  - 订单全过程主线：从订单创建、技术准备、生产准备、下发控制、计划排产、执行监控、动态调度以及完工入库的主流程管理，从而能够实现基于状态协调的订单全过程的管理；
  - 工艺流程展开主线：以工艺流程为主线，以订单工序节点为核心，实现现场执行进度、执行质量、执行物料、执行工艺等方面的全面控制，从而能够形成以工序节点为核心的制造执行数据包的有效管理。



MES解构：业务过程驱动的精细制造要素的精益关联

- 基于闭环的制造要素精益与精细关联
  - 精细化物料的闭环控制：
    - 先定义，再使用
    - 在生产准备业务中，指定订单或工序所需的物料，考虑物料牵引的精细化计划制定，计划驱动的精益物料配送与现场确认。
  - 其他制造要素的闭环控制：
    - 工艺规程，也应遵循事先定义、按需发放、及时确认的闭环过程。
    - 西门子安贝格工厂中具有NC Program Generator，体现了按需发放的精益和精细思想
  - 以计划排产和动态调度为核心的闭环执行控制：
    - 一是高效的计划排产能够有效地支持制造资源的优化配置；
    - 二是灵活的动态调度能够有效地支持对各种生产突发事件的响应处理；
    - 三是多维制造资源的并行排产及关联牵引。

智能制造有道 智能制造随笔

工业互联网语境下的MES模块化

- 针对制造要素，从降维的角度尽量的聚类，寻求制造要素的相似性，基于高度共性的东西进行模块化处理
- 针对制造流程，从升维的角度尽量的离散，寻求制造过程的最小粒度，基于最小的粒度进行模块化处理
- 基于服务架构的编排与运行引擎，实现柔性的组合运用，以及低代码的开发模式

智能制造随笔
智能制造随笔

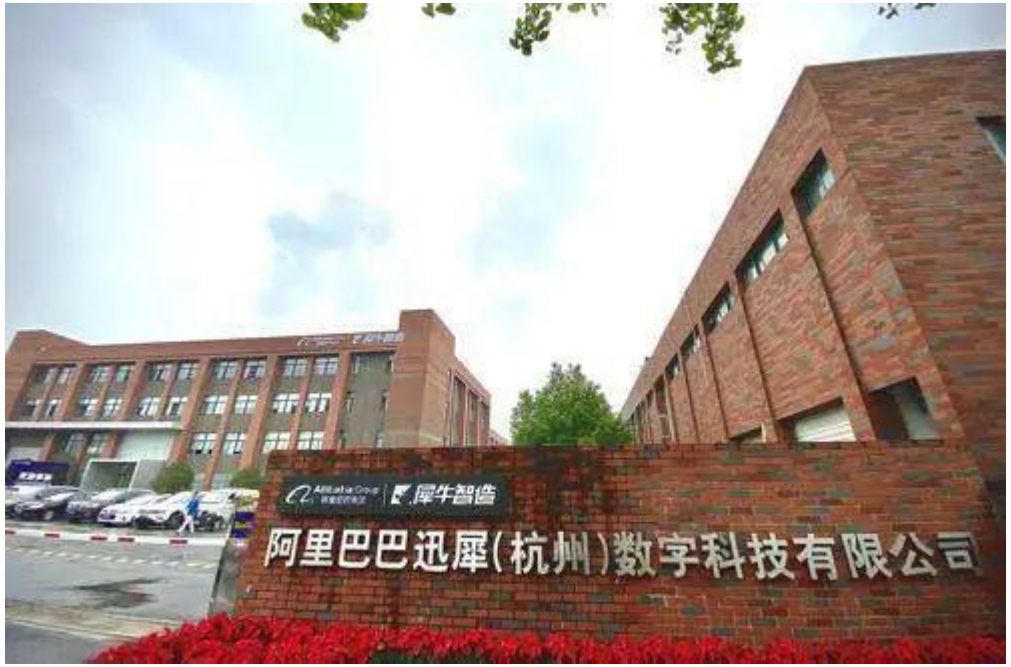
提纲

- 智能制造与数字化转型内涵
- 管理与工艺决策并重的MES发展趋势
- 基于CPS的智能生产线规划与控制
- 面向工业互联网的的MES模块化解构
- **基于制造能力整合的工业互联网发展态势**

智能制造随笔
智能制造随笔

基于制造能力整合的工业互联网发展态势

- 阿里（提供平台）
  - 犀牛工厂的制造摸索
  - 广域网络化协同制造



基于制造能力整合的工业互联网发展态势

- 海尔（提供平台、核心产品带动）
  - 家居
  - 基于产业园的制造能力聚集

智能制造随笔

基于制造能力整合的工业互联网发展态势

- 龙头企业（任务驱动）
  - 精细、精益、透明的业务扩散
  - 广域的工业互联
  - 制造资源能力链条的深度整合
    - 时序约束、时间窗

智能制造随笔