

培训讲座

A light gray world map with a grid of latitude and longitude lines, serving as a background for the title text.

精益MES/APS发展思考

王爱民

数字化制造研究所

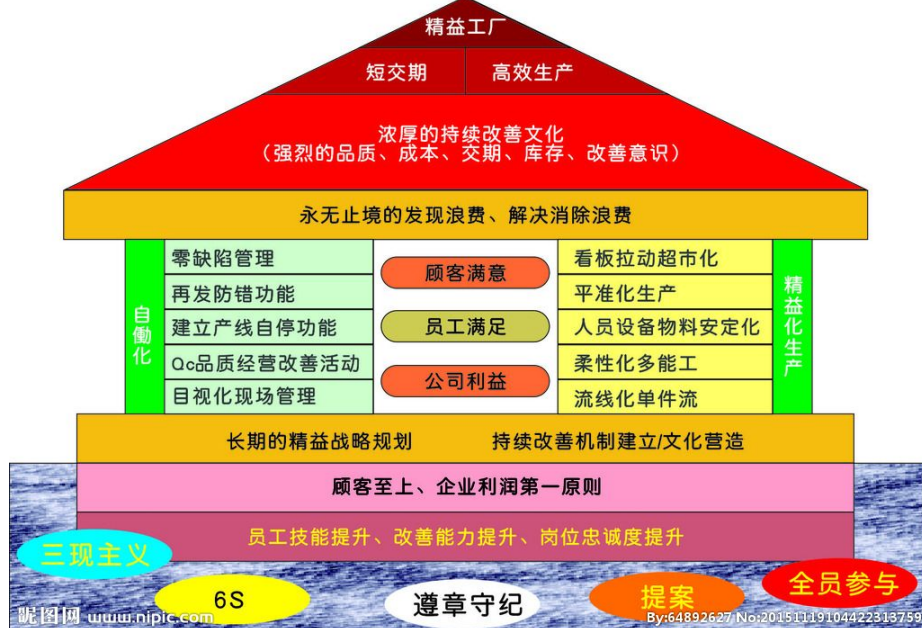
北京理工大学

提纲

- ✦ **精益与MES融合分析**
- ✦ 数字化转型下MES发展趋势
- ✦ 精益MES的规划与推进要点
- ✦ 精益APS实践

精益思想

- 精益思想的核心是：Just In Time (JIT)，翻译为中文是“旨在需要的时候，按需要的量，生产所需的产品”。
- 别名或落实：准时制生产方式、适时生产方式或看板生产方式。
- 消除浪费（0库存）、看板、快换工装



自働化 JIT

精益生产的管理理念与手段，其视野可以进一步放大



精益生产： 数字化工厂与智能工厂

数字化工厂 (JIT)

- 要素定义、环节操作、过程衔接的数字化
- 连续、规范、无中断的集成在一起
- 其本质是实现流程信息的集成
- 可称之为管理自动化



智能工厂 (自动化)

- 其本质是人机一体化与人机融合协同
- 人在决策回路中



自动化：人在决策回路

业务回路建设

数字化是基础：数字化环节要素、数字化业务过程、数字化执行操作

- 业务执行过程的规范化
 - 流程链条、流程网络、正常过程、异常过程
- 业务执行过程的数字化
 - 规范内容、规范格式、规范操作



智能决策提升

人机物融合环境：业务驱动下的人、机器、系统

- 精益信息流转
 - 正确信息（输入与输出）、正确环节、正确操作与分析
- 人机物一体化过程融合
 - 业务环节细分、智能化提升点



JIT: MES

✦ MES语境下，需求拉动的内涵

✦ 逆向思维：

- 按照需求拉动来规划生产的运行，比如以用户需求为起点向前拉动，推动了MTS（库存）、MTA（装配）、MTO（订单或生产）、MTE（设计）等生产组织方式的转变，比如在具体生产中，按照后序向前序拉动生产的方式，消除浪费和提高准时性。

✦ MES

- 应该分析业务链条或网络中关联关系，理解彼此的需求-供给关系，从按时、按需的角度，保证业务的顺畅衔接
- 生产计划作为MES运行的指挥中枢，是生产进度执行、物料物流配送、质检环节介入等有序、协调运行的控制中心。
- 各种数据、流程等中台类理念其实也是在更加有效的支持业务流程的编排、周转与协调。



JIT: MES

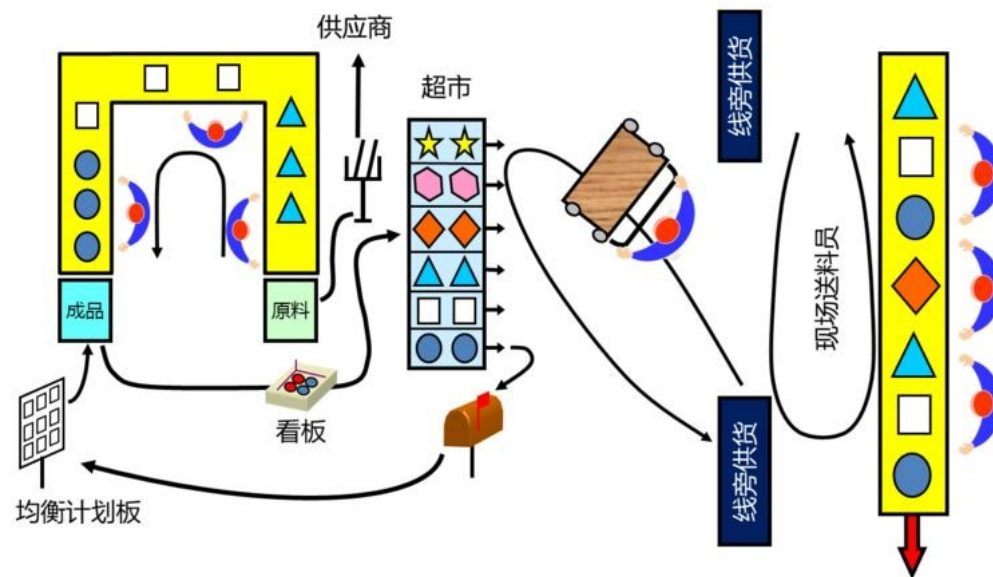
多品种变批量混流生产方式下，精益看板生产运行保障措施

看板与计划：即保证看板运行机制，属于“形似”的范畴

- 看板是后序拉动前序
- 计划约定了各个作业之间的前后关系，包括时间和数量，具有供应-需求的关联关系
- 看板更多的是一种物化的执行手段

抓住精益的本质，即保证精益生产的效果，属于“神似”的范畴

- 精益生产中提到的快换工装->APS中的组批控制；（硬件与软件配合）
- 精益生产中提到的单件流->APS中的单元化资源配置；



精益6种浪费与MES的关系（MES是信息加工生产线）

❁ (1) 错误，提供有缺陷的产品或不满意的服务

- ❁ **信息交付物：**保证生产过程的正确性保证是数字化业务管控系统建设的重要考虑内容，这种正确性，就要求部门之间的协调，或者部门之间的交付物，不管是半成品还是信息，尽量的消除错误。
- ❁ **过程中保证：**数字化业务过程，应该是正确无歧义的进行梳理和定义，系统各个环节之间的交付物应该明确清晰无歧义，这也是保证数字化业务管控系统运行过程当中不会出现过程或者信息卡壳的问题。
 - 例如：可以引入规则来进行判断这些交付物是否符合要求
 - 例如：可以利用数字化的优势进行冗余性的交叉检验与判断

精益6种浪费与MES的关系

❁ (2) 积压，因无需求造成的积压和多余的库存

- ❁ 精益所谓的积压，主要是体现物料和生产部门之间的不协调，其本质上是计划之间的不协调。
- ❁ 应该在正确的时间生产出正确数量的产品，这是APS应该发挥作用的地方。
 - 只有生产计划制定了之后，才能够对物料实现精益的牵引，不该准备的物料不需要准备，需要准备的物料，因为有计划时间节点制约，可以实现快速的库存周转，从而达到降低库存的目的。
- ❁ 对于精益生产来说，库存不仅包括成品库存和物料库存，还包括车间生产中存在的WIP，这就要求必须要通过APS，实现订单在车间流转时间长短的有效控制，这又涉及到APS的一些高级应用
 - 比如对一些订单采用单元化生产的方式，降低订单从开始到结束的流转时间
 - 比如通过APS实现工艺工序的并行生产以及工序之间的流式周转来降低流转时间以及进一步的在制品时间维度下数量水平。

精益6种浪费与MES的关系

❁ (3) 过度加工，实际上不需要的加工和程序

- ❁ 借助数字化的手段进行**基于过程加工质量数据基础之上的，未来产品指标的预测性判断**，这就要求在**MES系统当中建立相应的分析推理模型**。
 - 自适应加工

❁ (4) 多余搬运，不必要的物品移动

- ❁ 在APS中，可以将物流相关因素纳入到排产约束当中，
 - **面向订单的设备资源资源配置可以考虑设备相近距离以及物流的便利性**
 - **考虑周转的情况下，可以将一次周转过程当中的数量作为一种约束进行考虑。**
- ❁ 这种**搬运并不仅仅是物料，而是信息的流动**，
 - **数字化业务管控系统，应该保证信息流转的准确性（也类似一种搬运），其实没有必要让一些冗余或不相关的信息在系统当中漫无目的的流转，这也是为什么现在提出了一些数据中台的概念，可以在这个方面有更好的作用的。**
- ❁ 充分利用数字化的优势，**统一数据源、统一流程控制**
 - **西门子安贝格工厂，在进行smt生产的过程当中，提出了一种nc program generator的控制机制，Smt生产过程当中所需要的程序，是根据产品动态生成和精益下发，避免了无谓的人的手工干预，且容易犯错误的干预。**

精益6种浪费与MES的关系

- ❁ (5) 等候，因生产活动的上游不能按时交货或提供服务而等候
 - ❁ 对于数字化业务管控系统来说，这种环节之间的交货或者服务其实更多的是一种**信息上的交付物**，能够彼此准时的衔接和协同
 - 一方面来说在进行建设的时候要进行**流程的梳理**，定义明确和规范的业务流程，以及各个环节之间的协调关系；
 - 另一方面来说要**准备充足的预案**，考虑到任何一个环节如果出现问题，如何解决和处理？
 - ❁ 在新型数字化业务管控系统建设当中，应该考虑**流程引擎或者流程中台**的理念，不管实现形式是什么样子，但是应该达到这样的功能和性能要求。

精益6种浪费与MES的关系

- ❁ (6) 多余的运动，人员在工作中不必要的动作
 - ❁ 数字化业务管控系统运行过程当中最大的动作是什么呢？就是人的操作。
 - ❁ 作为一个良好的数字化业务管控系统，应该为人的介入时机，人的介入操作，人操作所应该具有的信息输入，以及所应该产生的正确的输出，进行系统性的考虑与规划。
 - ❁ 如果一个数字化业务管控系统建设完成了，人在进行系统操作的时候，如果我们需从大量无关的信息当中去抽取自己想要运用的信息，其实是一种不合理，也没有充分发挥数字化的优势。
 - ❁ 对于数字化业务管控系统来说，应该保证正确的信息在正确的时间到达正确的人手里，并且提供机制保证人能够（想做错都不行，加入一些防呆防错的措施）做正确的操作并产生正确的结果。

提纲

- ⊕ 精益与MES融合分析
- ⊕ **数字化转型下MES发展趋势**
- ⊕ 精益MES的规划与推进要点
- ⊕ 精益APS实践

MES内涵-业务视角

- **全过程管理**：对产品从输入到输出包括工艺准备、生产准备、生产制造、周转入库的全过程进行管理，包括过程的进展状态、异常情况监控；
- **全方位视野**：从工艺、进度、质量、成本等业务进行全面的管理；
- **全员协同参与**：车间领导、计划人员、工艺人员、调度人员、操作人员、质量管理人员、库存人员、协作车间人员等根据自身角色参与制造执行过程，在获取实时数据的基础上，通过及时的沟通与协调，实现业务协同；

有序、协调、可控、高效的制造执行效果

MES内涵-流转视角-三个闭环控制

实物流

- 工件周转、刀/夹/量/辅周转、工艺文件/图纸周转-**闭环控制**
 - 生产准备定义与现场准备情况的关联定义
 - 库存与现场的闭环控制
 - 条码技术与物流现场跟踪

精益协调

信息流

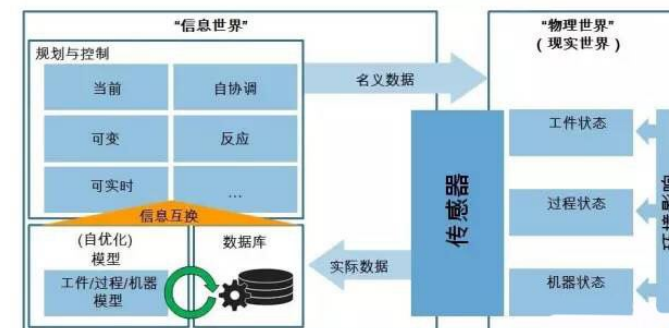
- 任务信息、工艺信息、执行信息等
 - 结构化、数字化的信息管理
 - 信息链路集成
- 任务执行过程的状态控制：任务-技术准备-生产准备-下发控制-过程执行-入库-**闭环控制**
 - 全过程管理

精准协同

控制流

- 主要是与硬件相关的指令流转-**闭环控制**
- 加工设备数控程序的自动下达
- 质量检验装置的自动采集

智能决策



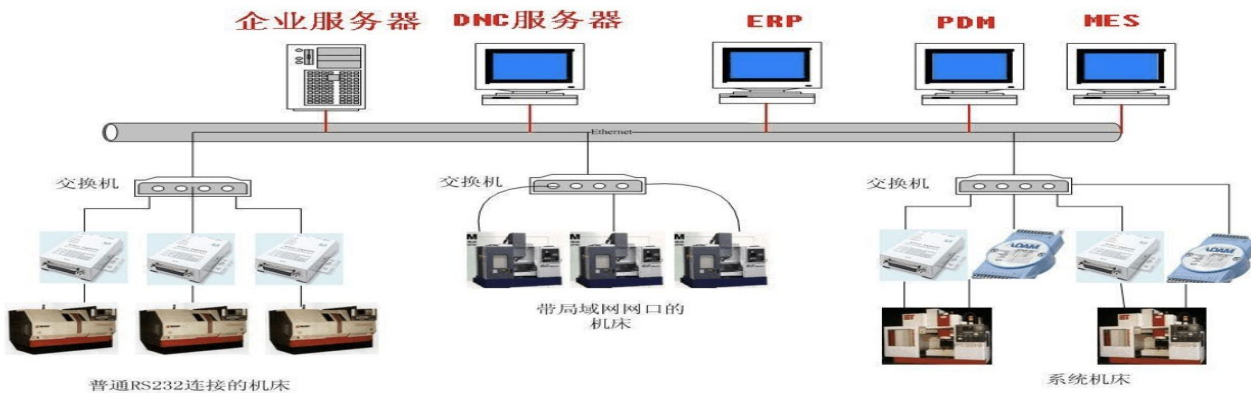
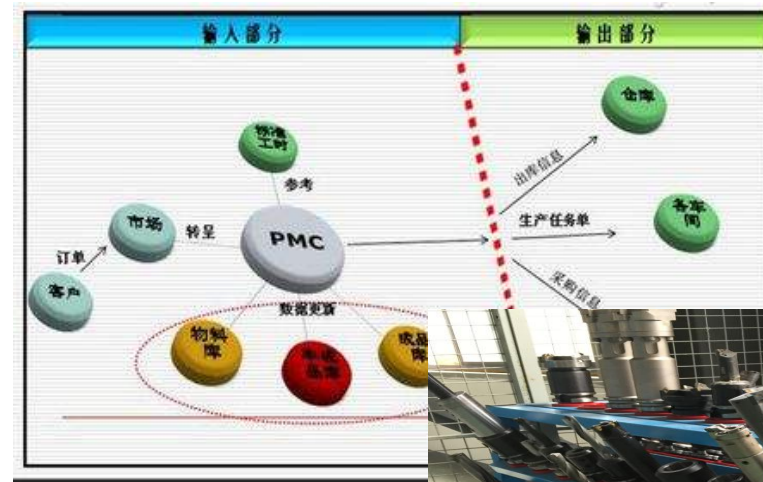
MES内涵-流转视角-融合

信息流与实物流的融合

- 以计划信息为纽带-精益生产
- 以订单工艺为主线-有序组织
- 以信息-实物关联为手段-码物一体

信息流与控制流的融合

- 计划牵引-精准执行
- 智能决策-正确执行



MES内涵-CPS视角

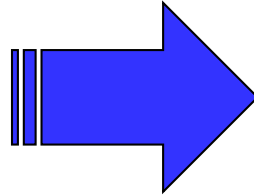
当前和持续的生产保证（感知）

- ❖ 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这些资源变化的预测

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 （分析决策执行）

- ❖ 生产任务指令下发到车间，工人就可以干活了，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

管理决策、工艺决策

应变和协同（分析决策执行）

- ❖ 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；
- ❖ 自适应工艺调整决策

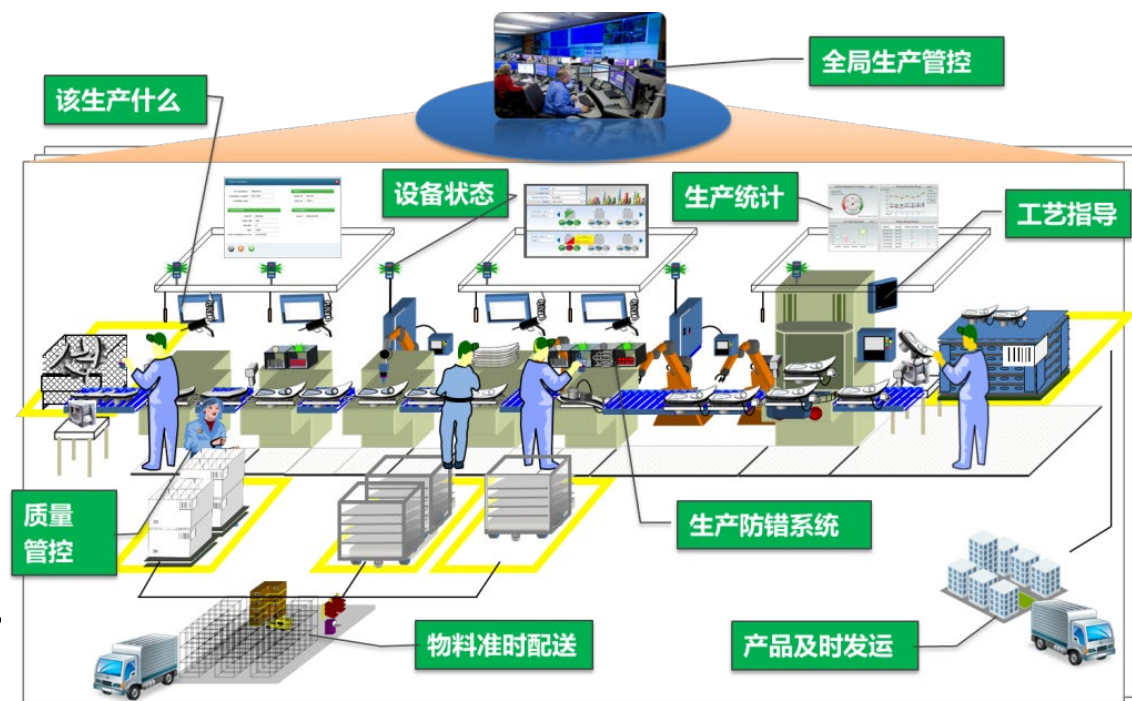
数字化转型背景下MES新特征

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
- ◆

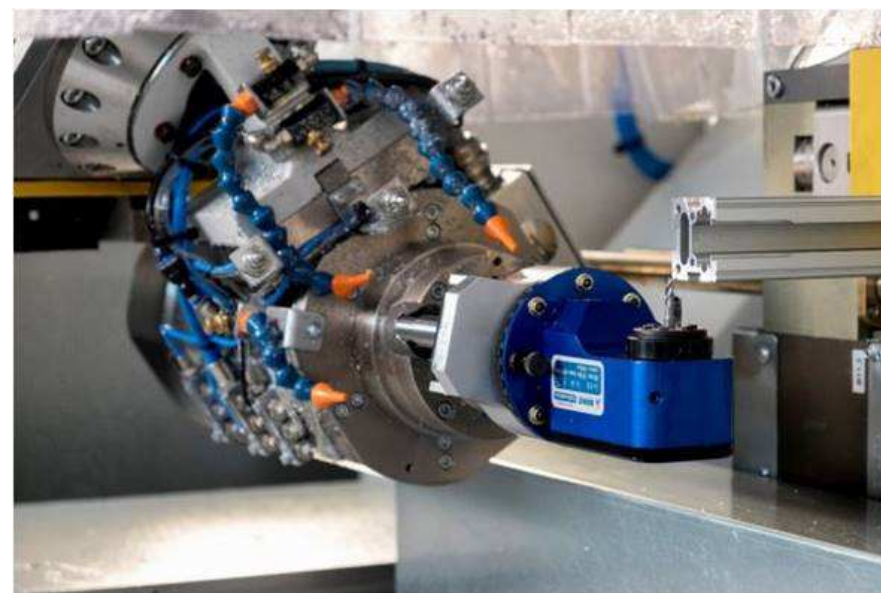
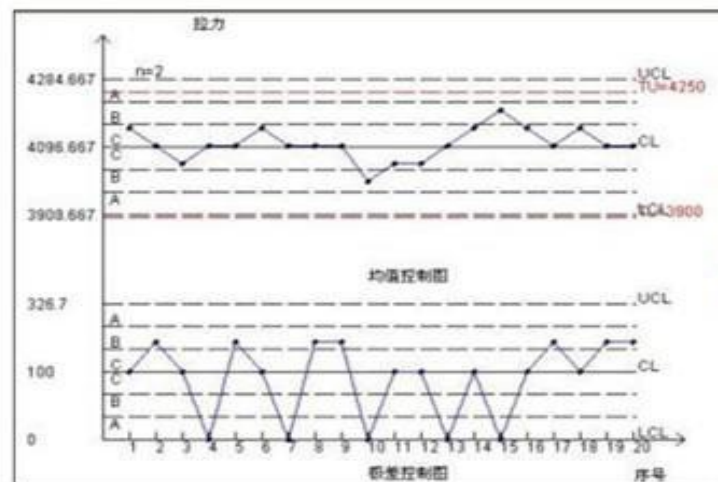
手工采集向自动化传感感知采集转变
人工经验向知识规则沉淀的转变
人工分析向基于知识的自动推理转变
人工调整执行向自动化指令下发执行转变



决策：MES必须与工艺融合

质量数据与工艺的融合

- ❑ 依靠SPC可以发现问题，如何解决？仍然依靠人？
- ❑ 比如，分析每一条指令代码下的设备状态、工艺参数等的变化（程序示波器），借助模型进行智能分析与判断；
- ❑ 比如，刀具磨损与断裂监测，借助模型进行智能换刀决策和智能加工补偿等；
- ❑ 比如，对于复杂产品，建立面向工艺流程的工序精度状态链条，建立智能的误差分析模型，实现基于上一步状态的当前这一步加工工艺参数的自适应调整，保证加工质量。



决策：MES必须与工艺融合

✦ 执行过程数据与工艺的融合

❏ 同样一个活，同样的机床，不同的人来做，时间和精度可能都存在较大的不同。其实这里面反映了工人技能水平的差异。**利用SOP（标准作业操作）机制来进行规范。**

❏ 比如通过进度数据的统计分析，从精细化数据的角度，找出彼此的差异，建立与加工工艺参数等数据的关联，分析挖掘干的又快又好的经验知识，逐步改进、固化、规范操作工艺的。

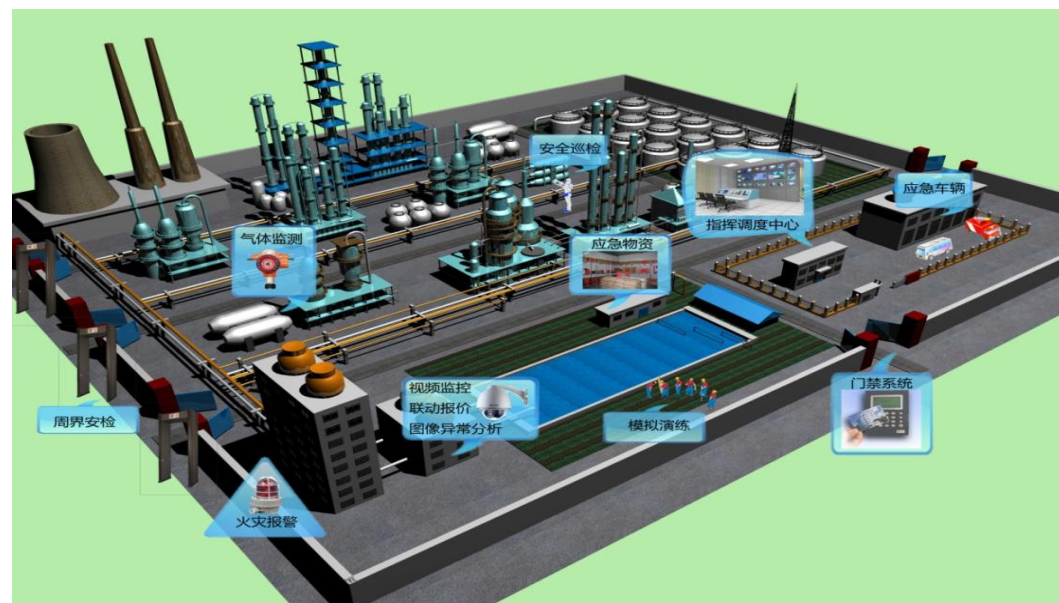
生产作业指导书				制作	审核	批准	受控状态
文件编号: WF-WI-TS-SC-164-1		生产页码: 第1页		日期: 2009.9.1		版本号	A/0
区分	TRANS	图号	PART NO		工程名		WI
作业条件		操作人员已通过此工单教育指导		设备器具			
机床		单轴皮带		除漆		备注	
规格-品牌	规格	规格	规格	规格	规格	规格	规格
5寸	USTC 0.1C-400	00	密捷	0.025T*10.0W 线黄	3		
OPIN规格: 1.0±0.05mm的套管。 OPIN规格: 1.0±0.05mm的套管。							
1. 按照要求设置线架、胶棒、端带的规格及方向。 2. 将卷筒物端面（少PIN侧）插入除漆机（机器侧有标识）。 3. 按启动开关或脚踏进行除漆作业。		先用0.105T*10.1W（线黄）的胶棒除漆		起始绕线OPIN		密捷，不能有缝隙，不能超过5层	
							
工具仪器		使用材料	相关表单	检查频率	版本	修订内容	
全自动绕线机		随工单	全检	A/0			

备注: 1. 全自动绕线机的设置依据操作说明进行设置。2. 制作过程中禁止使用非环保物料污染/混用。

决策：MES必须与工艺融合

❖ 设备/单元/产线状态数据与工艺的融合

- ❖ 产线级数字双胞胎的三维展示模块，通过“虚实同步映射”实现了三维产线运行状态的完整展示，但目前更多的是“实->虚”映射，其实“虚->实”的反馈控制味道是比较淡的，**相当于所谓的CPS没有实现闭环。**
- ❖ 设备/单元/产线级的CPS是能够实现从状态数据采集、分析推理决策、闭环控制执行的完整链条的，其中的分析推理决策环节是关键，需要**基于状态参数建立加工工艺的物理仿真推理模型。**



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。

提纲

- ⊕精益与MES融合分析
- ⊕数字化转型下MES发展趋势
- ⊕**精益MES的规划与推进要点**
- ⊕精益APS实践

精益MES规划的核心思路

- ⊕ 问题牵引、指标保证、运行改善
- ⊕ 逐级落实功能模块、支撑指标数据导向
 - ⊞ 没有任何功能模块是多余的
- ⊕ 基本原则
 - ⊞ 自我完善：MES具有自修复运行的特点（工时）
 - ⊞ 兼容性强：MES具有对业务鲁棒支持的柔性弹性特点（可重构）
 - ⊞ 适应变化：MES能够适应企业管理的持续改进与完善
 - 抽象的统一信息模型->物化实体性质的数据分发中心
 - 固化的业务流程逻辑->柔性化可配置的业务流程引擎
 - 紧密耦合的功能模块->基于服务封装的细粒度功能模块

MES选型建设的“问题-指标-功能”三步曲思路

❁ (1) 问题导向、以终为始

- ❁ 企业进行MES的建设必然是要解决问题的。
- ❁ 在进行MES建设的时候，一定要进行问题的梳理，找准痛点。

1) 库存高位运行（或在制品数量）：

- 在制品和库存如果保持在高位运行，管理现象：水落石出
- 库存水平和在制品数量与成本直接挂钩
- 降低库存水平或者在制品数量是企业规划实施制造执行系统的一个主要需求。

2) 订单按期交货难以保证：

- 订单按期交货难以保证、订单交货期难以答复
- 本质是订单生产周期（车架内的停滞时间）的问题，不仅影响交货，也增加在制品数量。

MES选型建设的“问题-指标-功能”三步曲思路

❏ 3) 资源利用不够充分问题:

- 如果企业的订单不够饱满，资源可能比较充裕不成问题
- 订单量饱满，资源利用上顾此失彼的现象其实也是经常性的现象
- 理论上自己的资源能力应该足够，实际却是资源闲置或开工不足

❏ 4) 生产效率低下问题:

- 工人的劳动技能参差不齐，经过长期的努力仍然不能实现有效解决

❏ 5) 质量问题频发与质量追溯困难:

- 质量控制手段落后，质量问题频发，车间生产及质量人员疲于奔命，在目前严厉的售后质量要求下，质量追溯手段落后。

MES选型建设的“问题-指标-功能”三步曲思路

❁ (2) 指标落实、直奔主题

- ❁ MES的建设是非常具有功利性的，必须结合上述的问题来定量而不是定性的进行衡量。
- ❁ 如果一个MES的运行不能产生支撑这些指标分析数据和达成指标改善，则存在盲目性建设的问题。
- ❁ 指标牵引-数据驱动-功能落实。

1) 库存数量水平

- 直观上是库存数量水平，背后与资源周转率、资源呆滞率等密切相关。
- 制造执行系统当中贯彻精益思想，这才是软件的灵魂。

2) 订单按期交货库率

- 订单按期交货率也是一个综合的指标
- 订单尽量不提前生产，但一般不能拖后
- 订单的按期交货跟资源的有效配置是密切相关的
 - 什么样的订单？按照什么样的优先级？什么时候下发？怎么来分配制造资源？这个都是需要考虑的重点，其实是对APS提出了更高的要求
- 订单按期交货，还涉及决策。
 - 是否能够及时的发现自己的生产能力不够而进行外协，基于APS来实现优化决策。

MES选型建设的“问题-指标-功能”三步曲思路

❖ 3) 资源利用率

- 精益拉式生产并不以追求资源利用率为目标；
- 资源利用率和订单按期交货率是需要综合考虑的，一般体现为APS的资源配置手段比较落后
- 资源利用率与资源的维护保障也有关

❖ 4) 生产周期缩短效果

- 生产周期缩短，其实是说这个订单一旦开始投产到离开车间，在车间里面所停留的流程时间是多少，包括订单分批、工序分批和周转分批等决策分析功能要求；
- 订单什么时候该下发到车间现场执行，这就是一个决策；
- 其次，一旦开始执行了，工序之间的衔接是否顺畅，应该尽量的避免某道工序生产完了之后进行不必要的等待，对APS的能力提出了更高的要求。比如单元流；
- 也涉及到对业务流程的顺畅衔接，以及库存的精益精准配送配送等方面的关联技术要求。

MES选型建设的“问题-指标-功能”三步曲思路

❏ 5) 生产效率提升

- 这个就需要对制造执行系统进行精细的生产统计分析，进行数据的细致分析。
- 分析不同人员的工作效率，可以按照**不同的时间段或不同的人统计比较分析**，对制造执行过程精细化管理的牵引要求。
- 生产效率的提升与流程梳理有关。目标是：**规范业务流程、规范数据传递、规范业务操作，避免无谓时间浪费。**

❏ 6) 质量控制指标

- 质量控制指标也是综合性指标
 - 比如一次合格直通率、质量问题分类控制水平等。
- 质量控制更多的还是需要和工艺结合，合适根源。
 - 比如通过自适应加工控制，来实现过程质量的控制。
 - 比如通过统计过程控制SPC，来对质量的指标趋势进行分析。

MES选型建设的“问题-指标-功能”三步曲思路

❁ (3) 功能规划、思想赋魂

- ❁ 对于MES来说，没有任何功能模块是多余的。
 - 所有的模块都至少需要为提供指标分析产生和提供支撑分析数据。如果某个功能模块不能够为指标做任何贡献，那这个功能模块可能就是多余的。
- ❁ 当然指标是有层次的，一个综合的指标还有很多层次或细小的指标来提供支持。功能模块及其输出也是与此相对应的。
 - 如果单一的功能模块不能够独立的为指标分析提供足够的支撑数据，那可能需要一个功能业务链条才能够有效的产出这些数据，这也是进行业务流程梳理的一个本质原则。
- ❁ 秉持这个思路，我们进行功能规划，基本所建立的系统应该是企业所需要的系统。
- ❁ 应该将精益制造等先进制造思想融合到这个系统中。
- ❁ 一个基本的考虑原则是：如果所建设的系统，只是现有模式的计算机化，那制造车间的运行水平基本不会有任何实质性的变化的。
 - 因此这个指标就间接衡量了制造执行系统当中是不是内涵了先进的管理思想，比如精益生产。如果制造执行系统当中贯彻精益思想，在很多方面都会带来一些深度的调整 and 改变，这是这个软件的灵魂。

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

所谓效益指标驱动的功能模块精益规划，就是要将效益指标贯彻落实到MES的每一个功能模块中，需要秉持没有任何功能模块是不为效益指标服务的原则进行规划，对于MES最终的效益指标，我们需要将其分解下去并体现在各个功能模块中。

效率、质量、成本

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

❁ (1) 效率指标

❁ **工人操作效率：**这个主要是影响进度监控模块，这个就要求在功能模块中体现如下几个方面：

- **工人效率水平的变化：**掌握工人随着时间的延展的生产效率变化数据：分时间段的进行统计分析，可以采取一定的措施来有针对性的提高工人的操作水平；
- **固化精进SOP：**掌握不同工人在生产同样的工件任务的时候，其时间的差异有多大，进一步的，选取优秀的，比如制定SOP，就是标准作业操作规范，实现全员生产率提高；
- **工序时间统计与改进：**统计工序的工时时间，这个对于现在的企业来说是非常有意义的，因为工时不准是现在企业普遍存在的问题，通过统计历史上的工时数据，当然是和设备要结合的，可以设置近期的权重比较大等方式，实现工时的一种统计（这个对于作业排产来说是非常有用的一种基础数据）；

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

⊕ (1) 效率指标

- ▣ **资源利用率**：对于具体产品来说，纯粹的加工周期其实是固定的，除非在工艺技术上做改进。但对于一个订单来说，除了加工时间之外，还有很多的流转时间，这个就涉及到资源的优化配置，
 - **优化工序之间的接续方式**：流水、零等待、物理单元，法院判例。
 - **优化订单和工序的优化分批**：资源优化配置规则、策略与算法，批量为1的极端
 - **保证瓶颈资源的足够“喂活”**：缓冲机制，什么时候设置，设置多大，能够支持什么样的运行效果，都需要APS进行优化控制。

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

☉ (1) 效率指标

- ☐ **订单按期完工率**：提高产出或产能提高跟资源利用率是密切相关的，尽量降低资源的等待时间，能够形成流水式单元化的生产效果是最好的，形成一种节拍化的大规模批量化生产运行效果。
 - **从订单的角度**
 - **订单的流转周期**代表了企业车间运行的一种综合水平，比如物料准确到位率、比如资源配置优劣性等
 - **各个订单的流转周期不同时期的流转周期的变化**情况，可以反映出车间生产组织有序性的变动情况，针对应改进；
 - **订单按期执行率**，比如按期开工有多少、按期完工有多少、随着时间变化改善情况如何等指标，并且间接实现了APS功能与性能的考核
 - 是否能够根据现场实际状态进行**动态调度**（如果能够动态调度，则后续的作业按期执行率会相应的提高）。
 - **从作业工序的角度**
 - 为了保证订单按期完工率，就必须细化到工序级的作业按期执行率控制，没有过程就谈不上结果
 - **作业按期执行率**也是车间运行的综合性评判指标，会反映出工时不准、资源准备不到位、功能技能水平等方面的综合问题。

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

- **减少切换次数：**
 - 通过APS对小订单的合批可以减少或者降低制造设备在不同订单之间的切换次数，降低制造设备的非工作时间。
 - 合理安排订单工序时间计划。
- **计划与排产的综合（这个问题是极其复杂的）：**
 - 可以在**提前投产和精益生产之间做出一个权衡**，就是能够部分接受某些订单提前生产出来，以实现制造资源的充分利用，但这样的后果一定是增加了部分订单的成品库存
 - 需要企业做出某种形式的权衡，对于MTS模式的企业来说，是可以接受的。
 - 其实也是**计划与排产的综合考虑**，涉及到**资源现状能力、可扩充能力，以及需求预测**
- **what-if能力要求：**
 - **交货期评估：**从系统工程的角度来说，我们不能等到即成事实发生，而是应该在前期接订单的时候，就应该进行评估，从而在综合考虑多订单并发，以及资源统一优化配置的情况下，给出的交货期才是有效的。
 - 外协决策、资源数量及能力日制的调整等决策；

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

❁ **(2) 质量指标：**质量指标的内涵其实很多，多是从工艺角度来进行提升，但MES也可以在某些方面做出改进。任何一个订单，在执行完毕之后，其实都留下了一个结合工艺流程的资源执行链条，是实际每道工序所用的制造资源。

❁ 重复性安排1：

- 每道工序在历史上都在哪些资源上进行过生产？各自生产所用的时间是多少？工件的加工质量如何？
- 这样有利于下次进行资源工序匹配的时候，可以考虑优先选用加工时间短和加工质量高的设备资源。如果数据足够丰富，价值足够有用，可以认为这是一种大数据分析。

❁ 重复性安排2：

- 每道工序历史上在哪些资源的加工应用次数？可以根据时间的维度进行分析，比如近期的具有更高的权重。
- 可以为开展排产调度应用时候，提供一种参考依据，因为如果重复使用这种资源的话，应该是重复性的工作，在加工质量以及工人所消耗的图纸工艺理解时间方面，都是非常有帮助的。

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

❖ 减少原材料库存。

- 原材料库存或者配套件库存之所以能够减少，是因为这些库存物料能够被快速地用于生产，其本质上来说也是对**物料周转利用率**的要求。
- 物料在库存里面停留或者呆滞的时间是由生产计划决定的，常见的情况，比如，为了保证生产，库存里面堆积大量的物料，以免生产的时候出现物料短缺的情况，但在追求精益的情况下，**企业采购哪些物料最终应该是由订单需求驱动的APS资源优化配置决定的。**
- 当资源能力被充分占用的时候（产能不足），很多订单或者物料想要投入生产也是不可能的。因此**必须通过APS建立生产计划资源配置和物料供应的协同关系。**
- 传统的做法，或者说狭义的APS，是当物料准备完备的情况下才进行那些订单的排产。但从APS本身的技术内涵来说，其包括两个方面，
 - 一方面是计划，另一方面是排产，计划要牵引出物料的需求或者实现某种形式的均衡，一般来说都应该考虑物料供应的前置时间，将其统一的纳入到APS当中，这样才能够实现精益的生产安排和物料供应。
- 其实这个涉及到，对于APS来说，是将其当成一个系统来看，还是当成一个工具来用。不同的企业生产模式是不一样的，根据自己的需求慎重的作出决定。

❖ 生产准备按时到位率：

- 生产过程不仅是订单按照工艺流程来展开，还有一项重要的工作就是生产准备是否能够按时到位。经常所提及的5M1E，其实都是生产准备的范畴。生产准备的按时到位率，也是衡量制造车间运行平稳和有效的重要依据，
 - **复杂产品的装配**：物料是否能够按时到位是很多企业急迫需要解决的问题。通过**统计不同物料的按期到位率或者缺件率**，可以发现供应链供应的很多问题，有可能区分出具体物料的问题，实现针对性的解决。。
 - **精细化的零件生产**：目前车间生产的精细化水平越来越高，即使采用APS进行资源配置，也应该是一种**多维资源的并行约束**，要求生产准备制造要素资源的齐套性完备准备，由于不同资源涉及到不同的部门，对部门之间的协同都是一种考验。通过对生产准备按时准备率的统计分析，有问题的一定会凸显出来

MES解构：效益指标驱动的功能模块精益规划

❁ (3) **成本指标**：从库存角度进行分析，其实我们说到降低库存的时候，意思是说提高周转利用率，减少库存物料的呆滞停留时间，所谓的精益生产很多都是体现在这个方面的。与APS相关的，主要体现在两个方面。

❁ 减少在制品库存（WIP）。

- 与缩短订单制造流转周期是密切相关的，当**订单中各个执行工序的周转衔接非常紧密或零等待**时，这时候的运行局面就是物料停留等待时间是很短的，在制品库存自然而然就降下来了。
- 对于某个订单这么进行资源配置是很简单的，但难点在于大量的并发订单，就复杂了。

❁ 提高库存周转率

- 或者说物料从进入库存到被使用所经历的时间长短，其实衡量的基本都是一种内涵。
- 良好的运行，应该库存都是基本属于一种精益性质的，最理想的局面是**正确的物料在正好的时间到达并被立刻使用**，但影响这种局面形成的因素很多，其实就是我们要解决的问题。
- 想要提高库存周转率
 - 首先生产**提出的物料需求要准确**
 - 第二**供应链准备的偏差要小、物流配送顺畅**，也是一种综合性的指标。
 - 可以根据物料价值进行A、B、C等分类，针对这些物料，**统计库存周转率的变化趋势**，看是否在向好的方向发展，如果不是或者提升太慢的话，可能就需要进行分析了，分析到底是哪个环节出现了问题，进行针对性的解决。

提纲

- ⊕精益与MES融合分析
- ⊕数字化转型下MES发展趋势
- ⊕精益MES的规划与推进要点
- ⊕精益APS实践

高级计划排产基本内涵

没有规矩不成方圆

计划排产

- 开始执行前
- 偏重于静态
- 偏重于总体

重计划、轻调度
以机器设备为核心的
多品种、变批量生产



执行

动态调度

- 过程执行中
- 偏重于动态
- 偏重于现场

轻计划、重调度
以人力资源为核心的
大型、单件装配/调试型生产

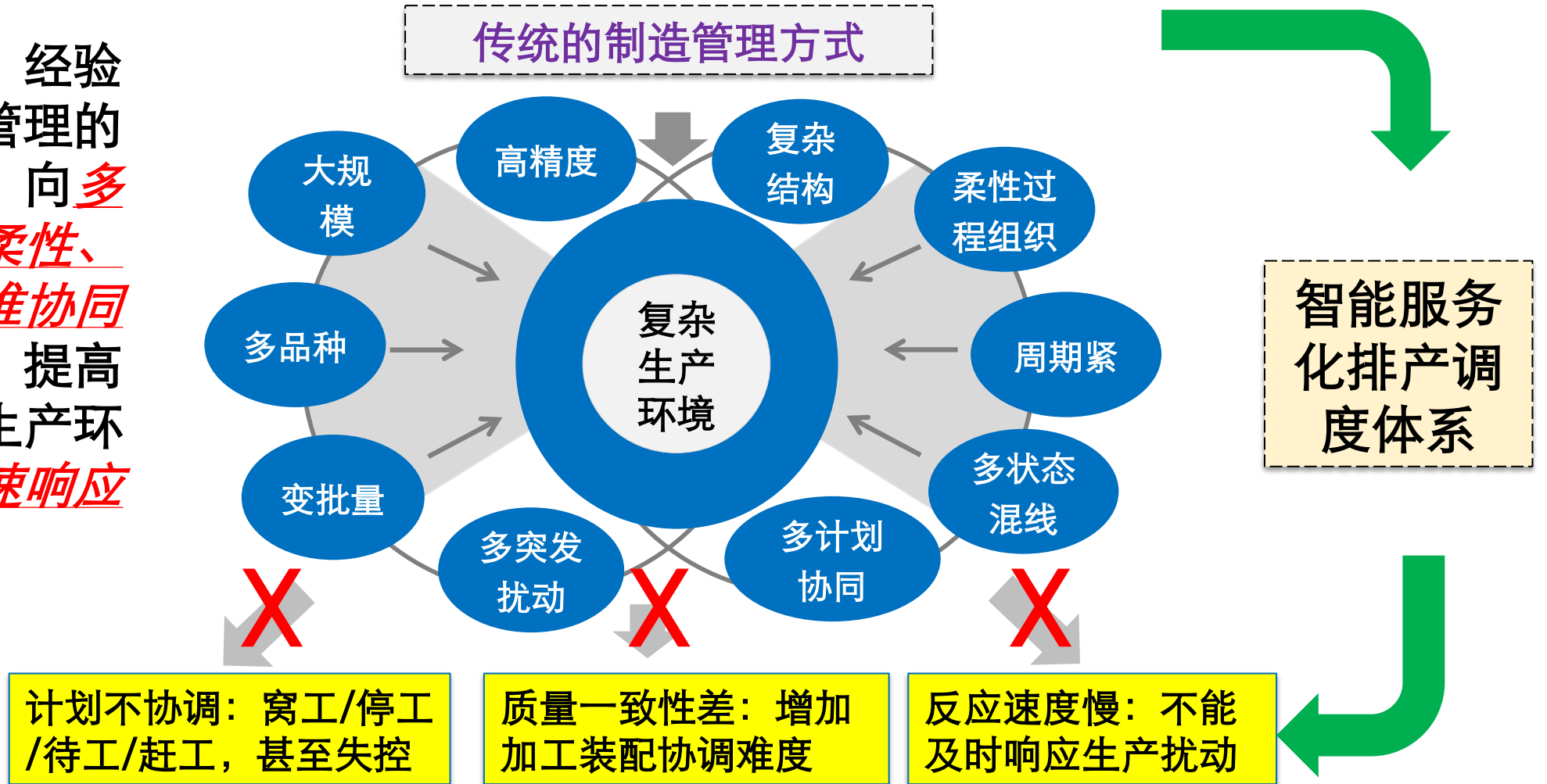
决策

有序、协调、可控、高效的作业调度效果

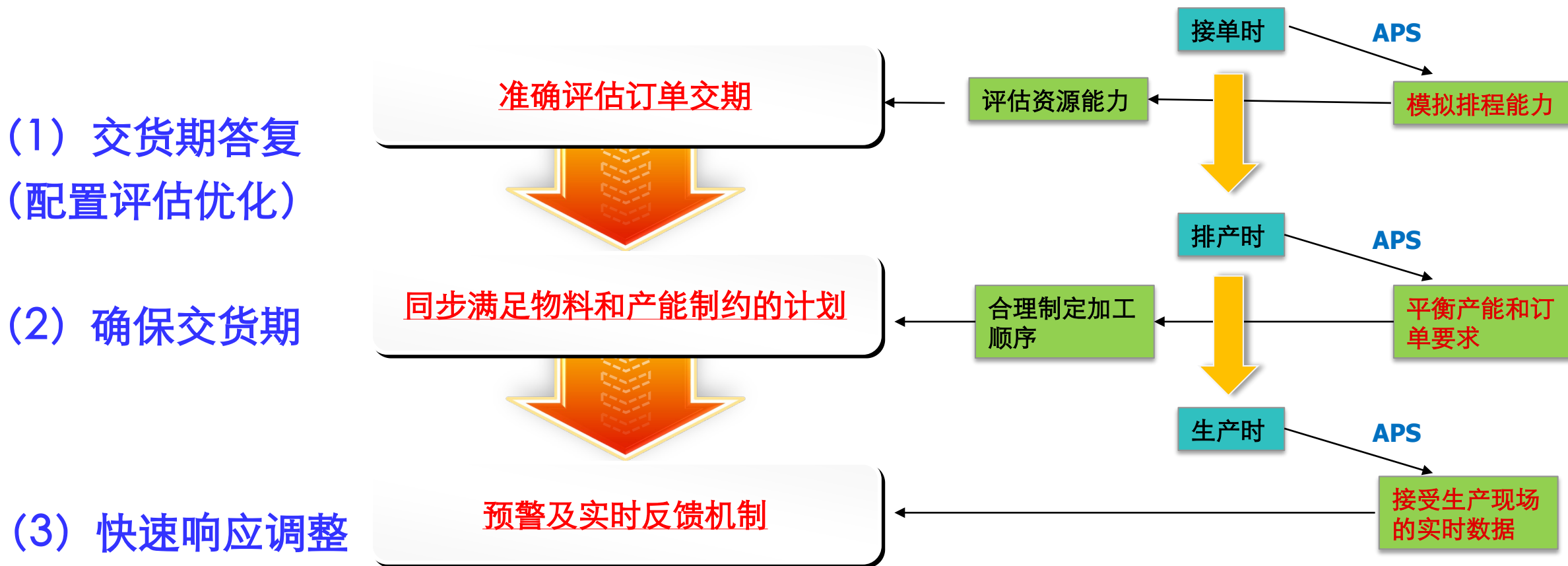
排产调度方案能够始终对现场保持指导性-自动或人机交互调整

实际面临的困境

传统粗放、经验式、手工管理的落后模式，向多作业计划柔性、精益、精准协同方向转变，提高复杂动态生产环境下的快速响应动态能力



APS应用的三个层次与重点



(1) 交货期答复

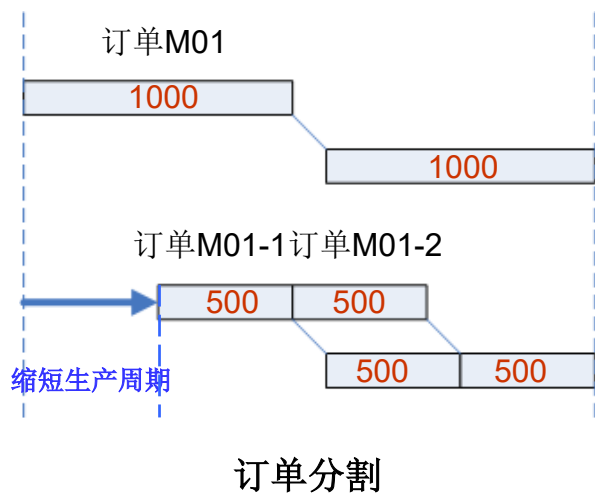
- 基于产线当前快照状态的排产，**不能假定产线是空的**。
- 如果**客户订单优先级高**，属于插入式而非追加式排产，是会对当前在制的交货期产生影响的，如何保证影响最小或特定追求，是需要解决的问题。
- 如果为了满足新订单的交货期，原先的任务是否要拿出去外协，**外协决策**如何做也是需要解决的问题。
- 一旦涉及到产能评估，就应该想办法提高**资源利用率**，**分批优化、单元化运行**等就是需要考虑的重点。
- 识别**瓶颈设备**并让瓶颈设备加班，或者所有设备都加班，加班到什么程度，也是需要考虑的问题。
- 现有在制订单可能相比新订单优先级更高，如何保证这个订单的交货期，也是需要解决的问题，部分**固定模式下的排产**。
- 物资供应也是问题，排产或能力评估应**满足物料供应的约束**，并且是**动态考虑**。

(2) 确保交货期-缩短生产周期

- APS可以通过对订单、工序的合理分割，以及工序间接续方式的优化设置缩短订单的生产周期，提高订单交货期的遵守率。

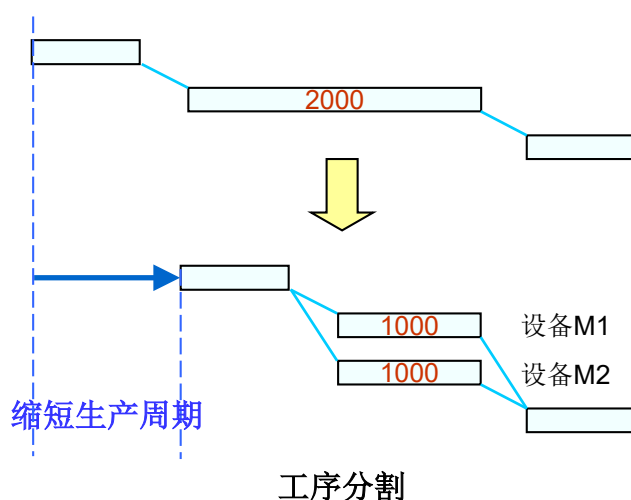
1) 订单分批

通过设置物品的批量，进行订单分割，从而实现小批量化生产，是缩短生产周期的常用方法之一。



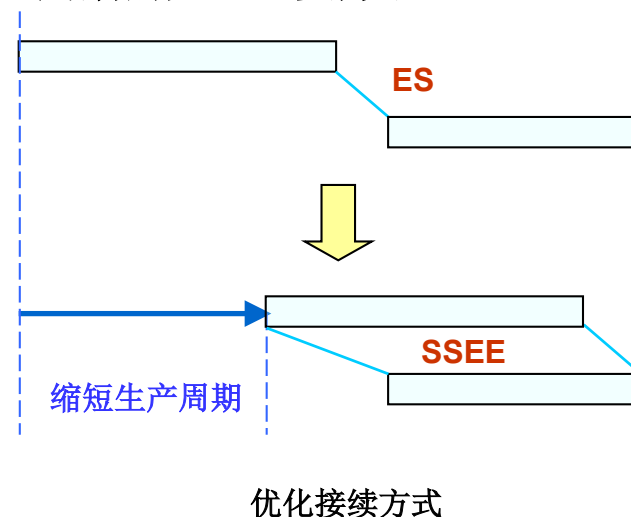
2) 工序分割（并行安排到设备组中）

通过BOM表中的静态分割设置，对订单中的某个工作进行分割，提高该工作的并行度，是缩短生产周期的另一常用方法。

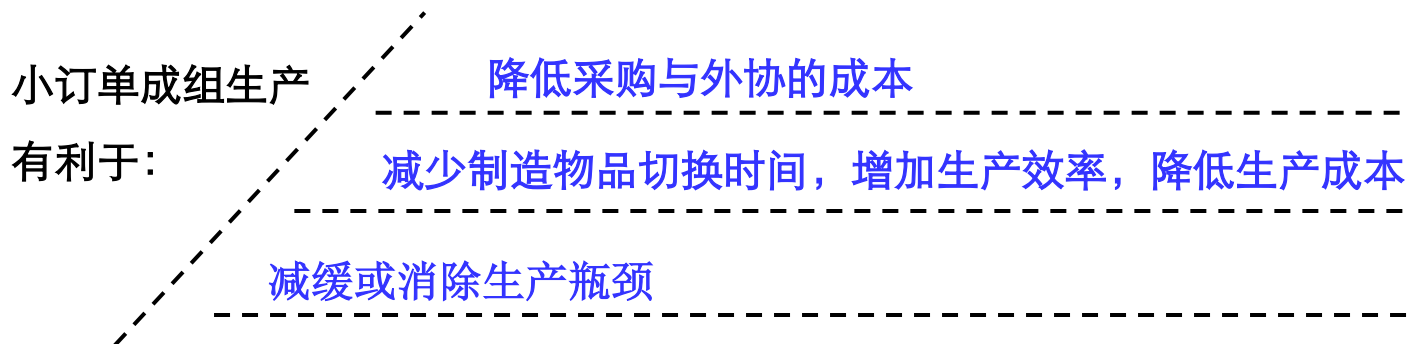


3) 接续方式（压件生产、规定数量的流转）

通过设置BOM中的接续方式设置，实现搬运小批量化，是缩短生产周期的又一重要方法。

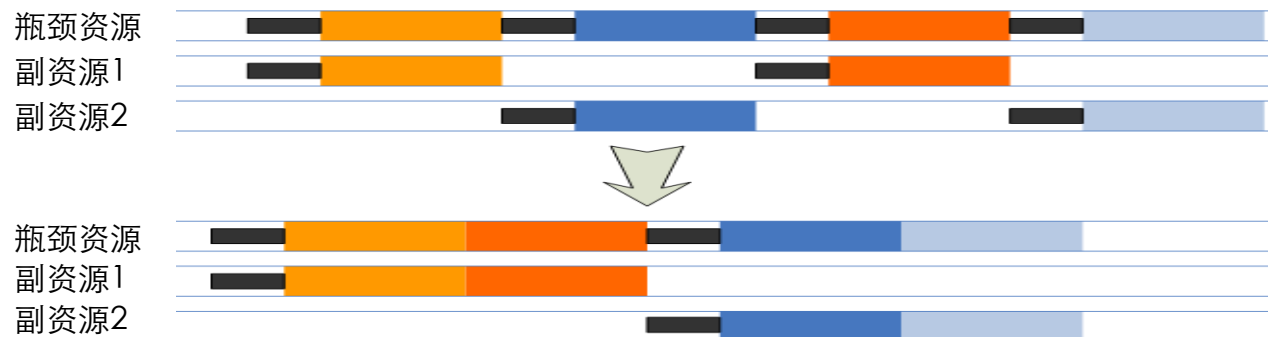


(2) 确保交货期-小订单成组生产



资源切换优化是一种重要的小订单的成组生产方式，防止产品频繁切换。

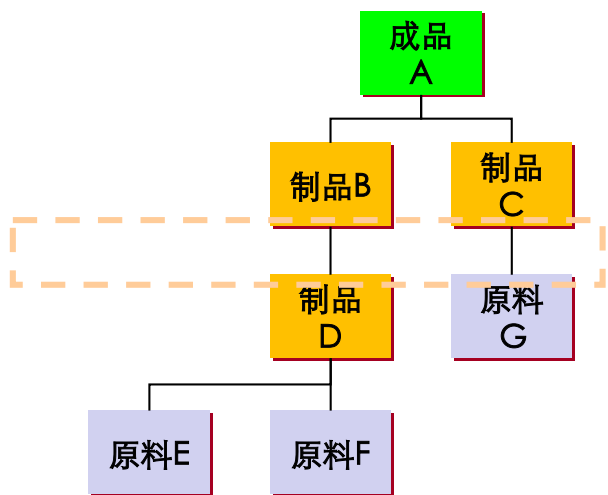
通过合理调整瓶颈资源上的加工顺序，消除切换副资源所带来的时间消耗。虽然在一定程度上导致部分订单被提前生产，但企业总的成本被降低了。



(2) 确保交货期-齐套协同生产

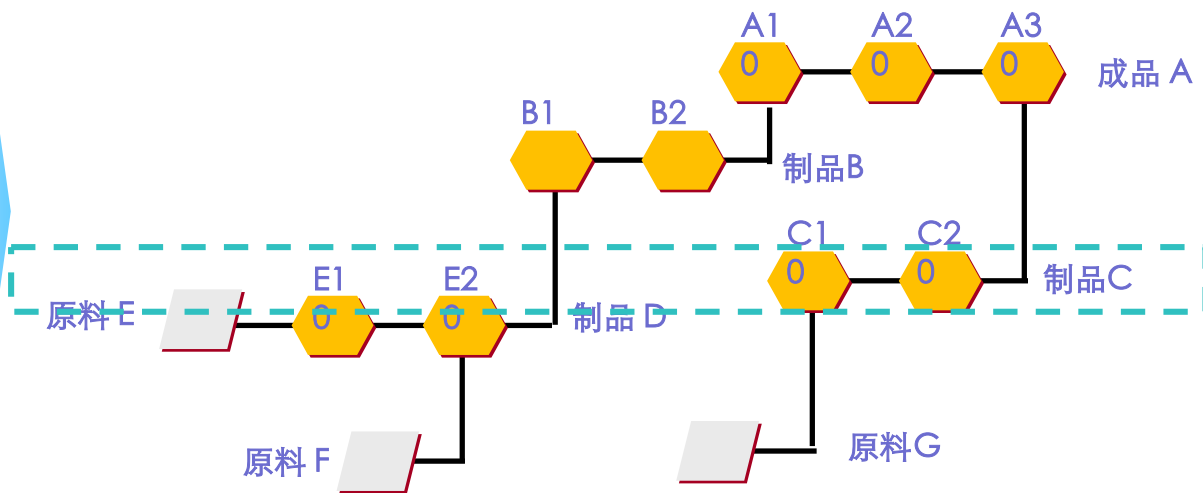
APS能够处理层级化订单、关联化工序的协同排产。

传统的BOM



BOM无法定义到工序级别。

APS的BOM



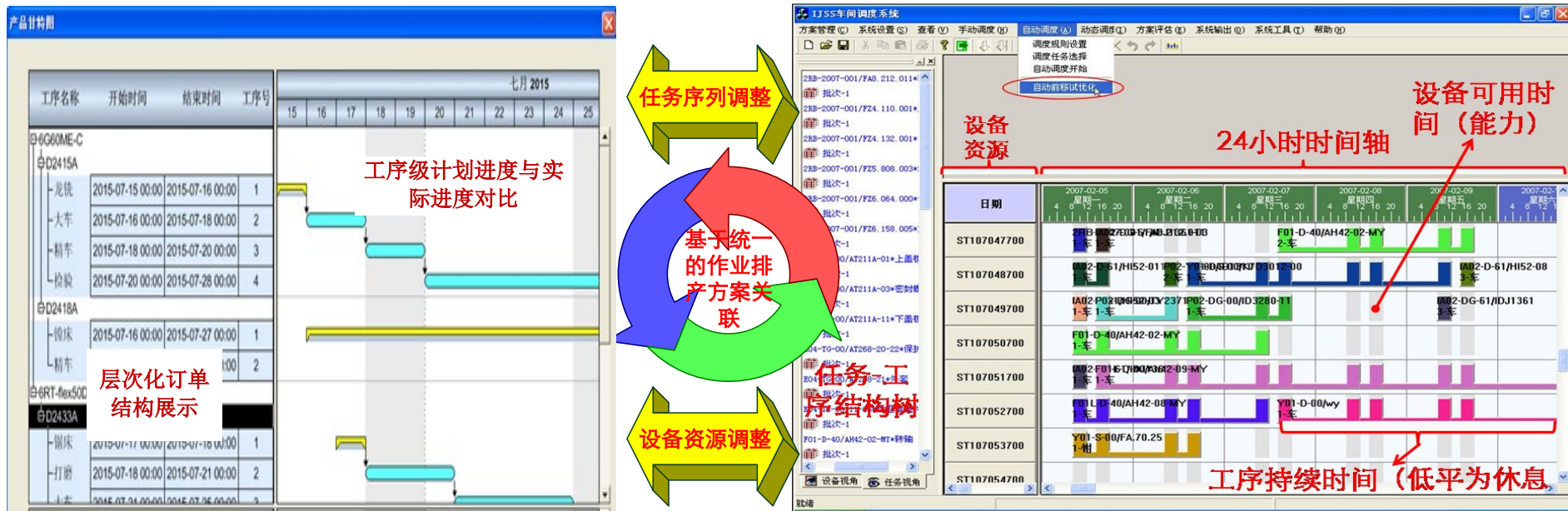
APS能够将制造BOM定义到工序级别，
实现关联性的计划排产。

MRP?

APS主流软件界面

(1) 图形化操作界面

- ◆ 提供与国际主流APS系统相一致的图形化界面显示风格;
- ◆ 提供24小时时间轴, 便于加班以及灵活的出勤模式设置, 支持时间轴缩放;
- ◆ 设备资源作业排产甘特图;
- ◆ 订单工序作业排产甘特图;



APS关键技术及软件界面

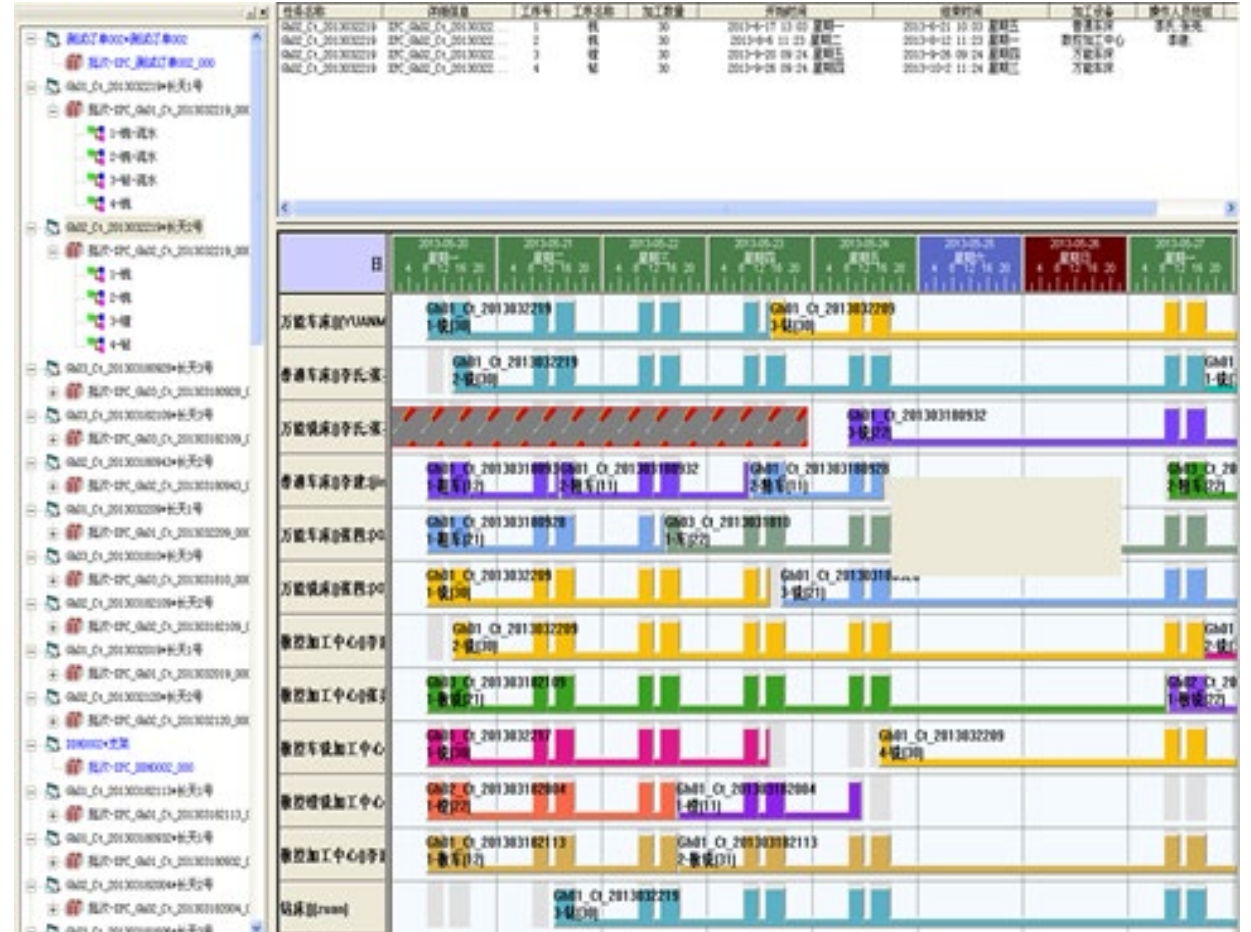
(2) 解决高效自动的快速优化排产问题

❏ 企业困惑

- ◆ 如何既保证订单按期完成，又保证资源充分/均衡利用？如何实现长期时间窗口、海量订单的并行协调排产？

❏ 解决方案：

- ◆ 订单交货期约束；
- ◆ 订单工艺路线约束；
- ◆ 设备资源能力约束（出勤模式，是否可安排作业）；
- ◆ 作业指定人员/设备/刀具/夹具等约束下的作业排产；
- ◆ 可设置为以天、小时、分钟为单位进行调度；



APS关键技术及软件界面

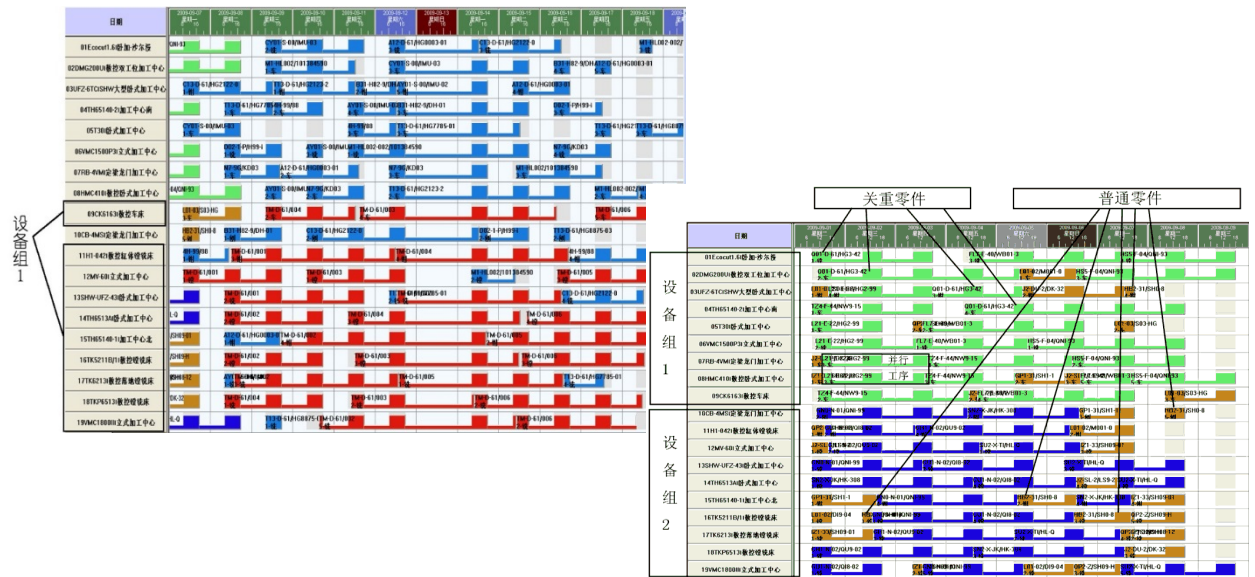
(3) 解决流水与离散混合约束下的排产（单元化运行）问题

企业困惑：

- ◆ 如何兼顾作业生产的效率和柔性，而进行排产？制造单元内单件流或具有顺序转移特点的作业排产？如何实现长线订单/工序的并行设备资源（资源组）安排？

解决方案：

- ◆ 单元化制造形式的混合调度约束处理：相似零件生产设备逻辑上形成单元下的流水生产；
- ◆ 支持压件式流水，保证资源的连续性生产，提高加工质量的一致性；
- ◆ 基于设备组或多设备并行的工序排产，化解影响节拍或流水式交接的瓶颈工序，如对时间较长的工序，安排多台设备并行生产；



APS关键技术及软件界面

(4) 解决关键工序间流水式生产约束下的排产问题

❏ 企业困惑:

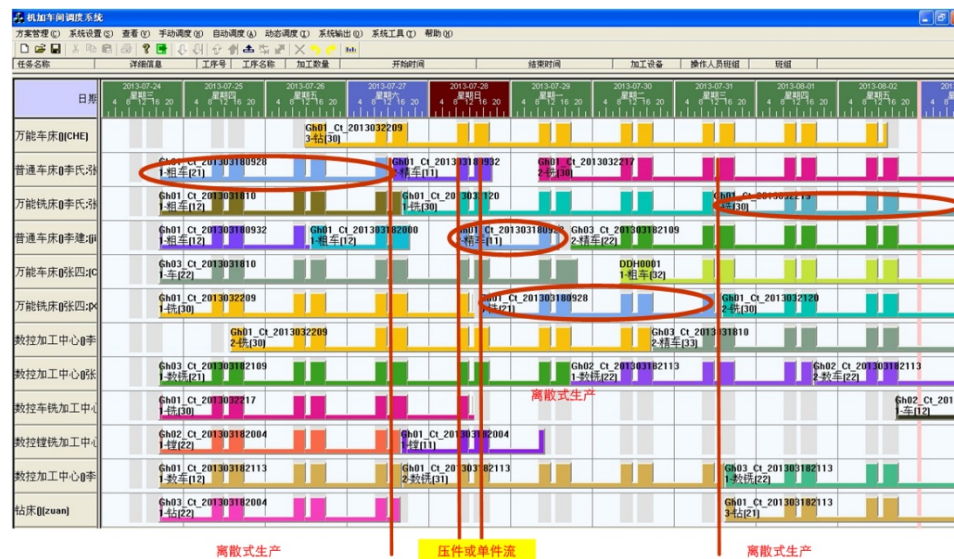
- ◆ 如何支持特定工序间的流水式生产要求? 如何实现单件流的作业排产?

❏ 解决方案:

- ◆ 支持单件流作业排产: 等同于订单数量为1的离散式生产, 支持同一种零件设备安排不变
- ◆ 支持过程流作业排产: 批量生产过程中的工序间单件流交接的调度 (流水和离散混合);

单件流: 等同于订单数量为1的离散式生产, 支持同一种零件设备安排不变

过程流: 批量生产过程中的工序间单件流交接的调度 (流水和离散混合)



APS关键技术及软件界面

(5) 解决工序级配作型约束下的排产问题

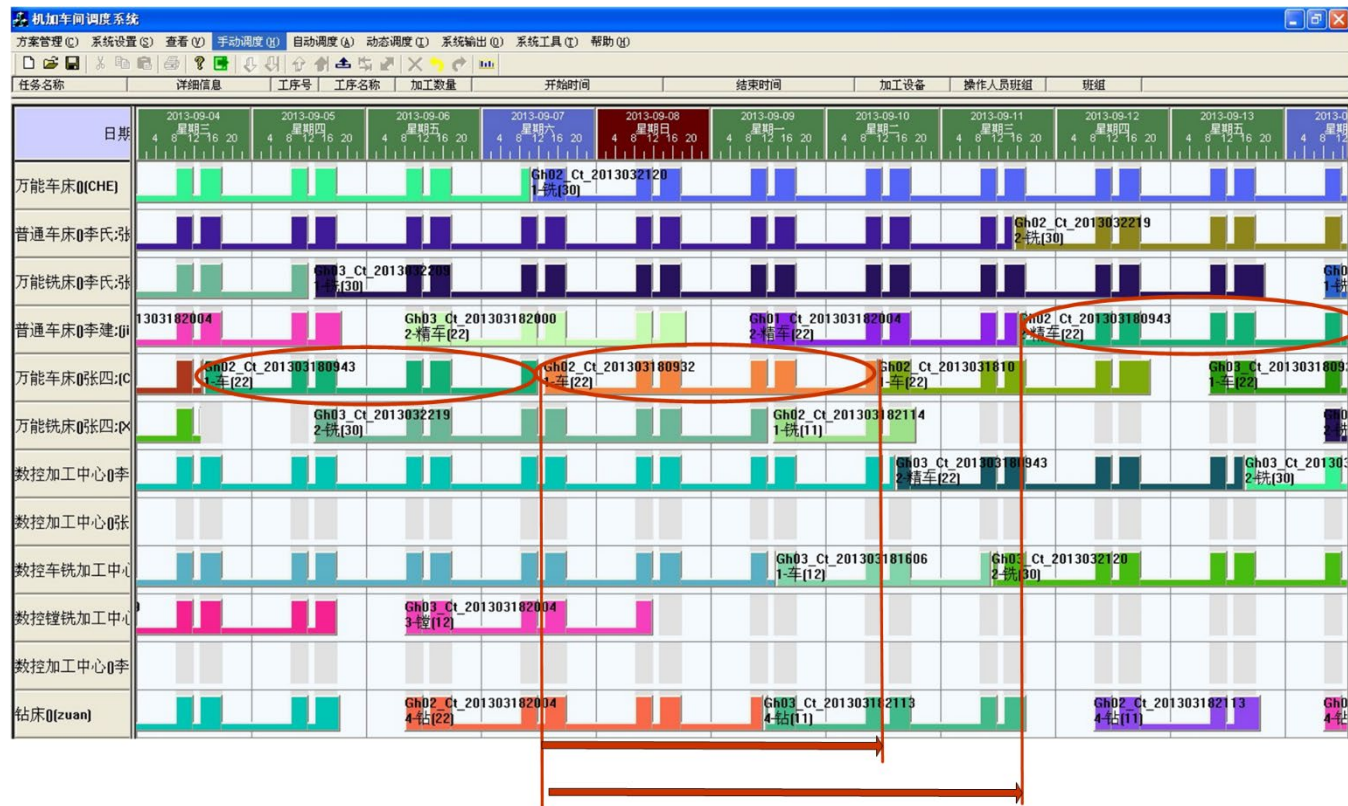
企业困惑:

- ◆ 有两个订单，例如A.7和B.8需要配合加工，如何排产？

解决方案:

- ◆ 支持工序级的配作约束处理，适用于精密件、大件或者难以做到事后互换的加工类型；

精密件等强调配合的生产，配做现象比较多，A为B配做，A的后一道工序开始时间要晚于B结束



APS关键技术及软件界面

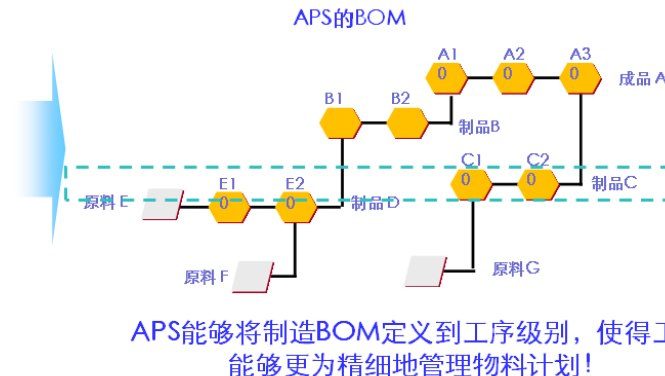
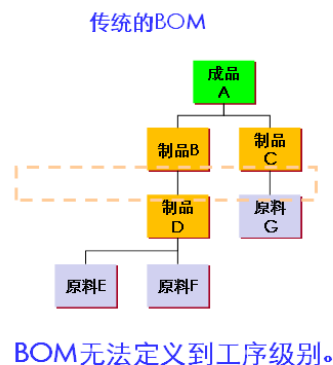
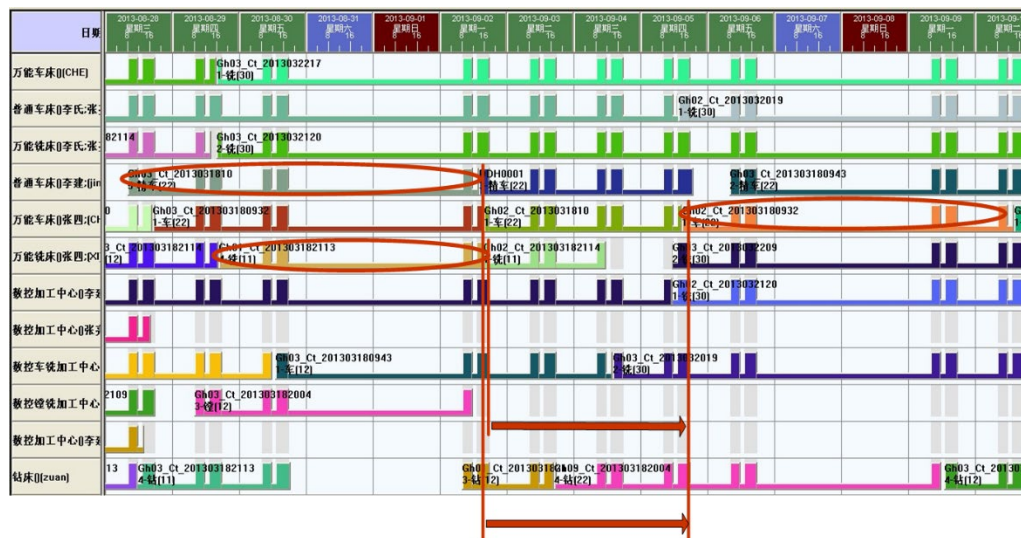
(6) 解决订单级配作型约束下的排产（层次化订单排产）问题

企业困惑：

- ◆ 企业的订单组织结构具有层次化的特点，例如根节点是一个组件/部件任务，要求在根节点任务开始时，其下的零件订单要结束，即在时间上要协调，如何排产？

解决方案：

- ◆ 父级件开始时间不早于所属件的结束时间，类似于MRP倒推运算，适用于加工与装配混合类型生产车间，能够从作业计划上保证装配件的自制或采购套，实现计划的协调；



APS关键技术及软件界面

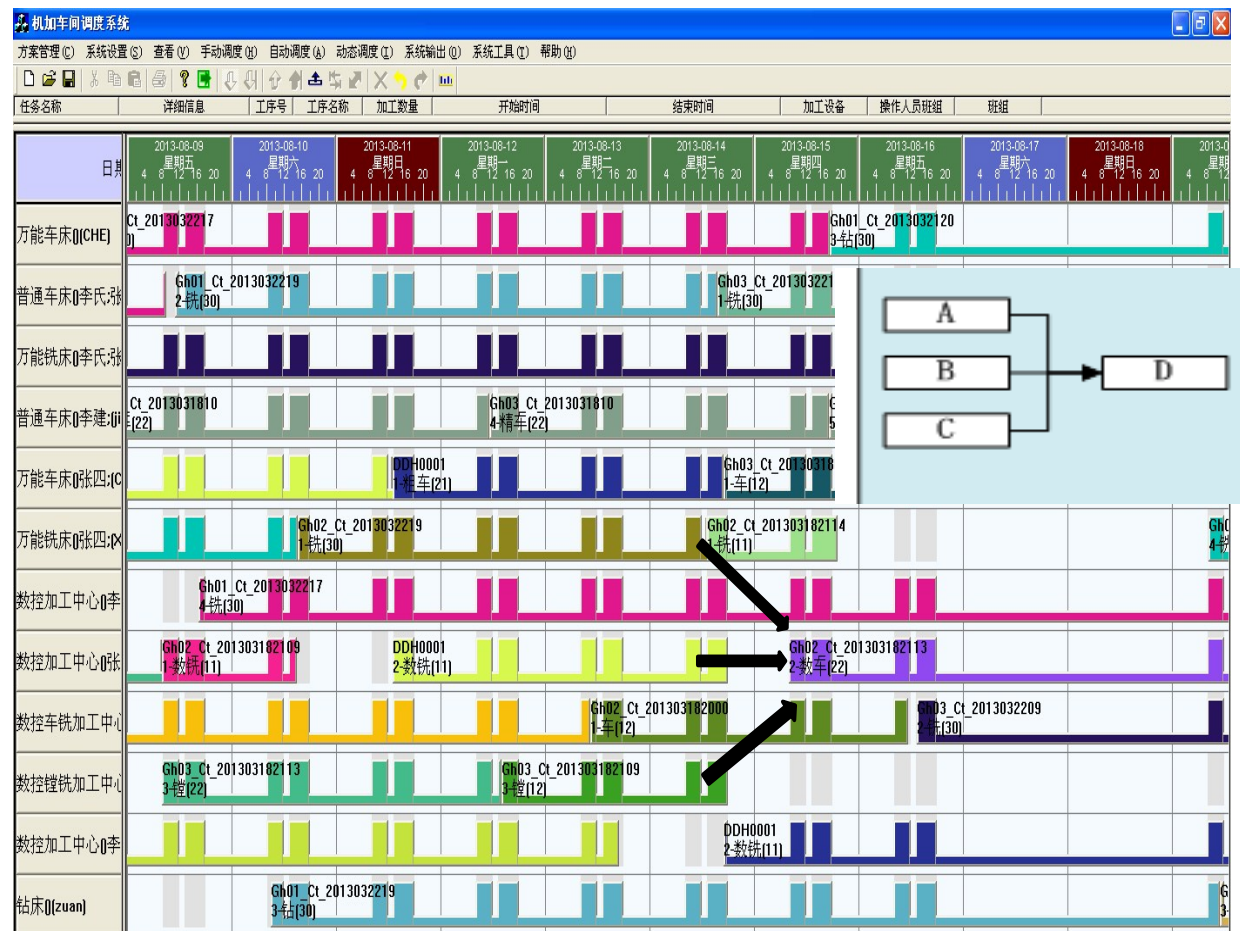
(7) 解决多工序配作型约束下的排产（也适用于热处理等批量组合型问题排产）问题

❏ 企业困惑：

- ◆ 企业存在加工和热处理穿插加工的特点，如何充分利用热处理容积，保证多订单同时并行结束，进入热处理的排产？企业产品很复杂，存在多对一的配作要求，如何排产？

❏ 解决方案：

- ◆ 支持热处理按照炉腔容积、订单品种组合数量等约束下的排产，可扩展支持具有弹性资源能力的调度约束处理；



APS关键技术及软件界面

(8) 解决人机交互的排产方案调整问题

❖ 企业困惑:

- ◆ 企业调度人员的经验，如何在作业排产方案中体现？自动排产方案与实际情况难以100%的合适，如何调整？

❖ 解决方案:

- ◆ 人机交互调整（在调整过程中实时进行约束检查，保证作业排产方案的合理性）；
- ◆ 支持完全手工排产形成作业方案；
- ◆ 支持基于已有方案的设备内移动、设备间移动（追加/插入），原有方案保持不变，只是做前后移动处理；
- ◆ 支持工序的取消操作；
- ◆ 支持工时调整操作；
- ◆ 支持设备加工日历调整；
- ◆ 支持并行工序手动分批

工序拖动
界面拆分
调整日历
用户指定
工序固定
工序状态



APS关键技术及软件界面

(9) 解决实际执行工时变化下的手工调整问题

企业困惑:

- ◆ 企业的作业执行并非总能够按照计划工时执行，可能存在提前或拖后情况，但作业排产方案属于“牵一发而动全身”的形式，如何进行调整，并保持方案的合理性与可执行性？

解决方案:

- ◆ 作业工序实际执行提前或拖后时，可以通过手工形式设定调整，也可以通过动态调度自动实现；



APS关键技术及软件界面

(10) 调整设备/顺序下的手工调整

企业困惑:

- ◆ 企业的作业执行并非总能够按照计划规定的设备执行，可能根据需要或者调度人员的经验，更换部分作业工序的设备，如何进行调整，并保持方案的合理性与可执行性？

解决方案:

- ◆ 调度人员可以根据经验，变更已安排作业工序所占用的设备，可以将其插入到其他设备的加工队列中，作业调度方案实时调整，保证合理性；



APS关键技术及软件界面

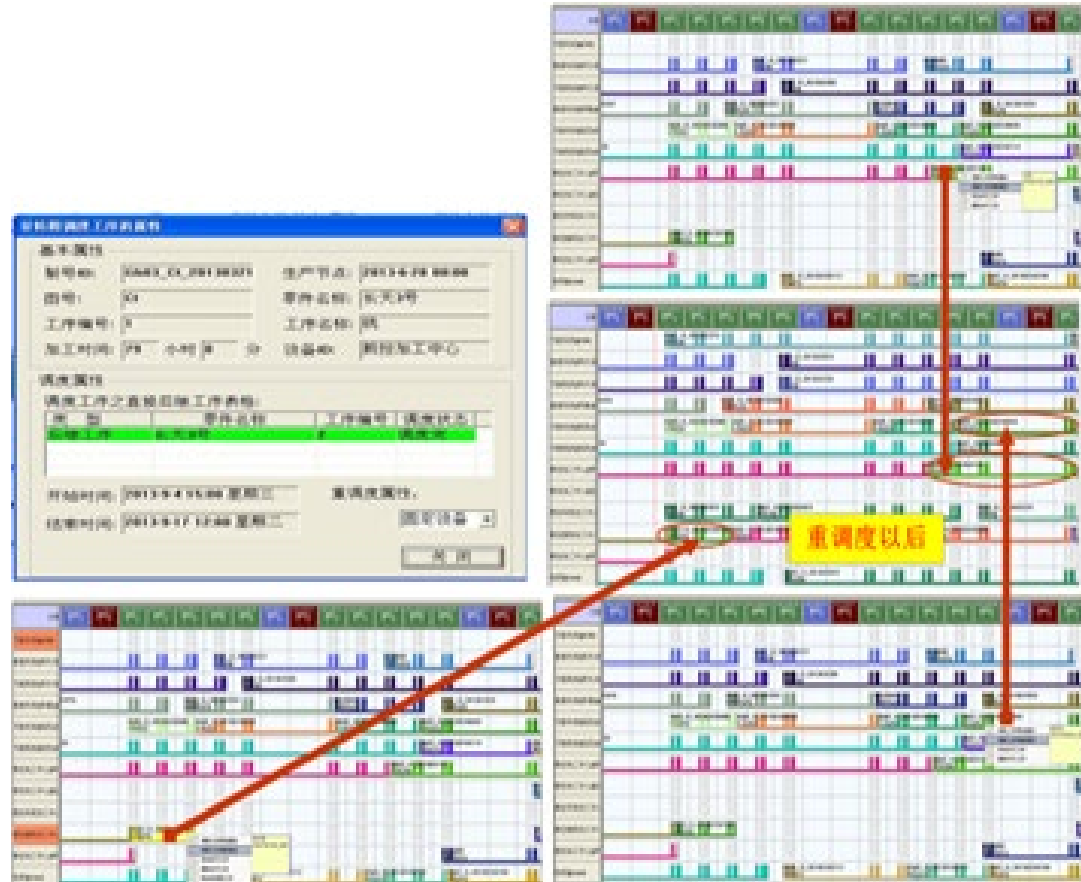
(11) 逐步求精式的手工调整（类似项目管理中的关键任务链）

❏ 企业困惑：

- ◆ 订单中存在一类关键订单，该订单的制造资源需要优先保证，如何进行优化调整，并保持方案的合理性与可执行性？

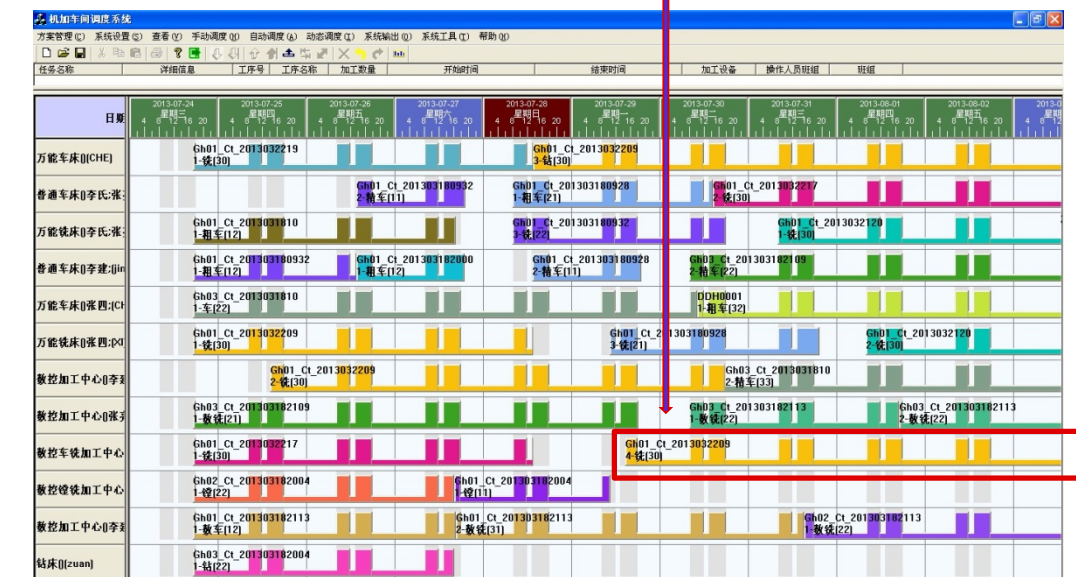
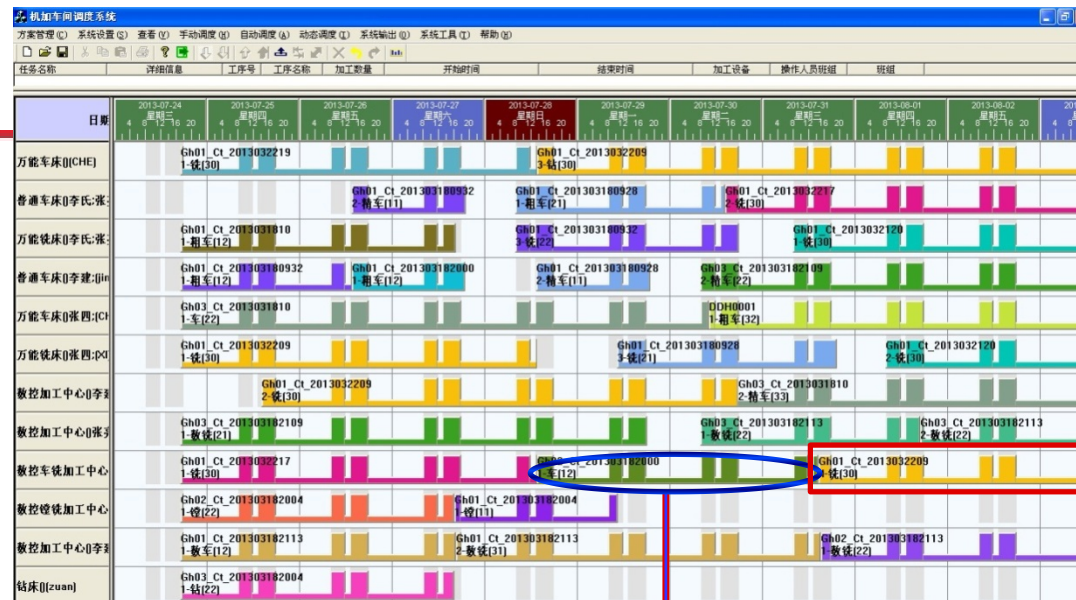
❏ 解决方案：

- ◆ 特殊订单或工序固定设备、固定时间，重调度后保持不变；
- ◆ 形成关键工序作业链，便于对关键进行任务进行严格管控；



APS关键技术及软件界面

(12) 手工调度-工序取消

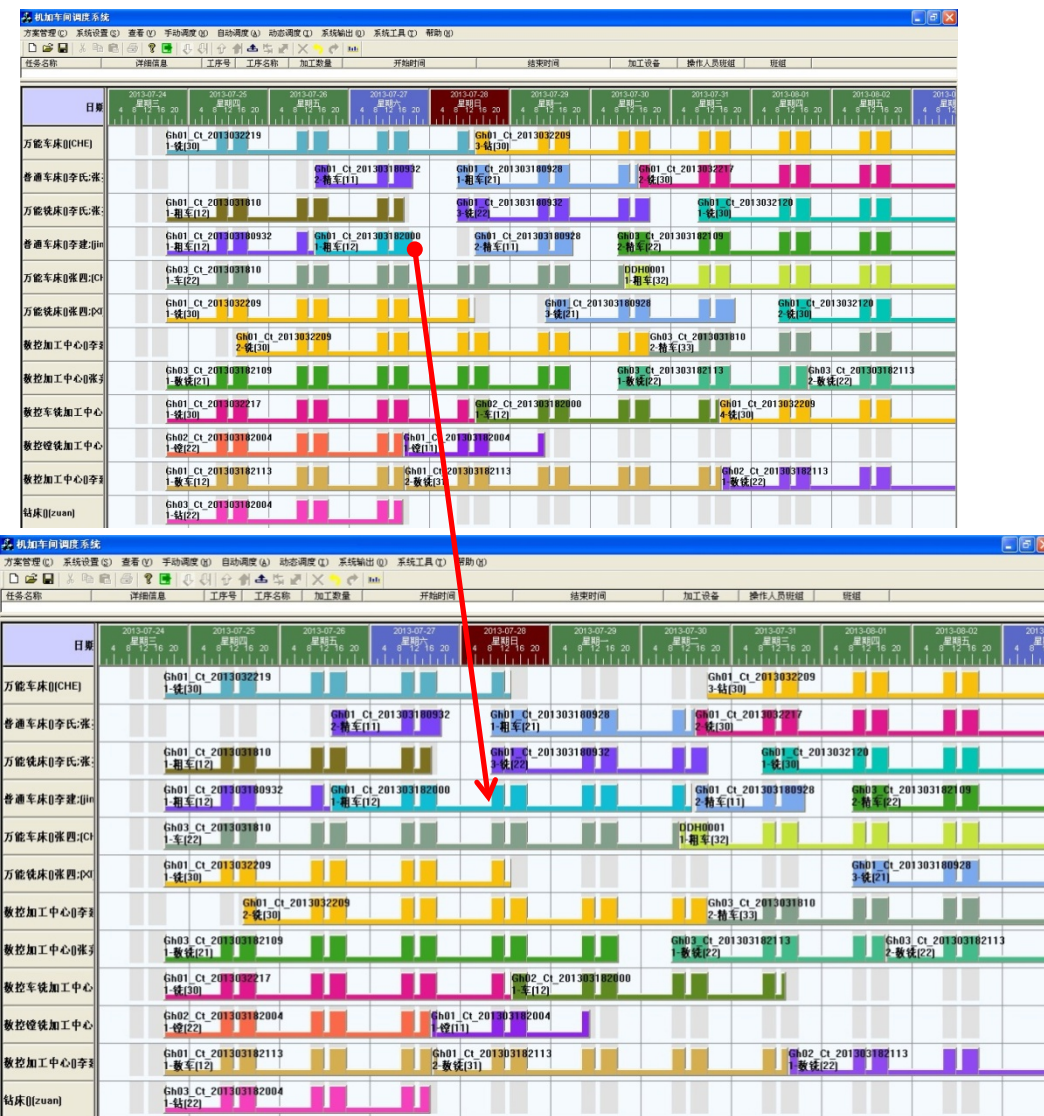


- 某工序撤销（暂停）
- 后续随动处理
- 排产调度方案调整

APS关键技术及软件界面

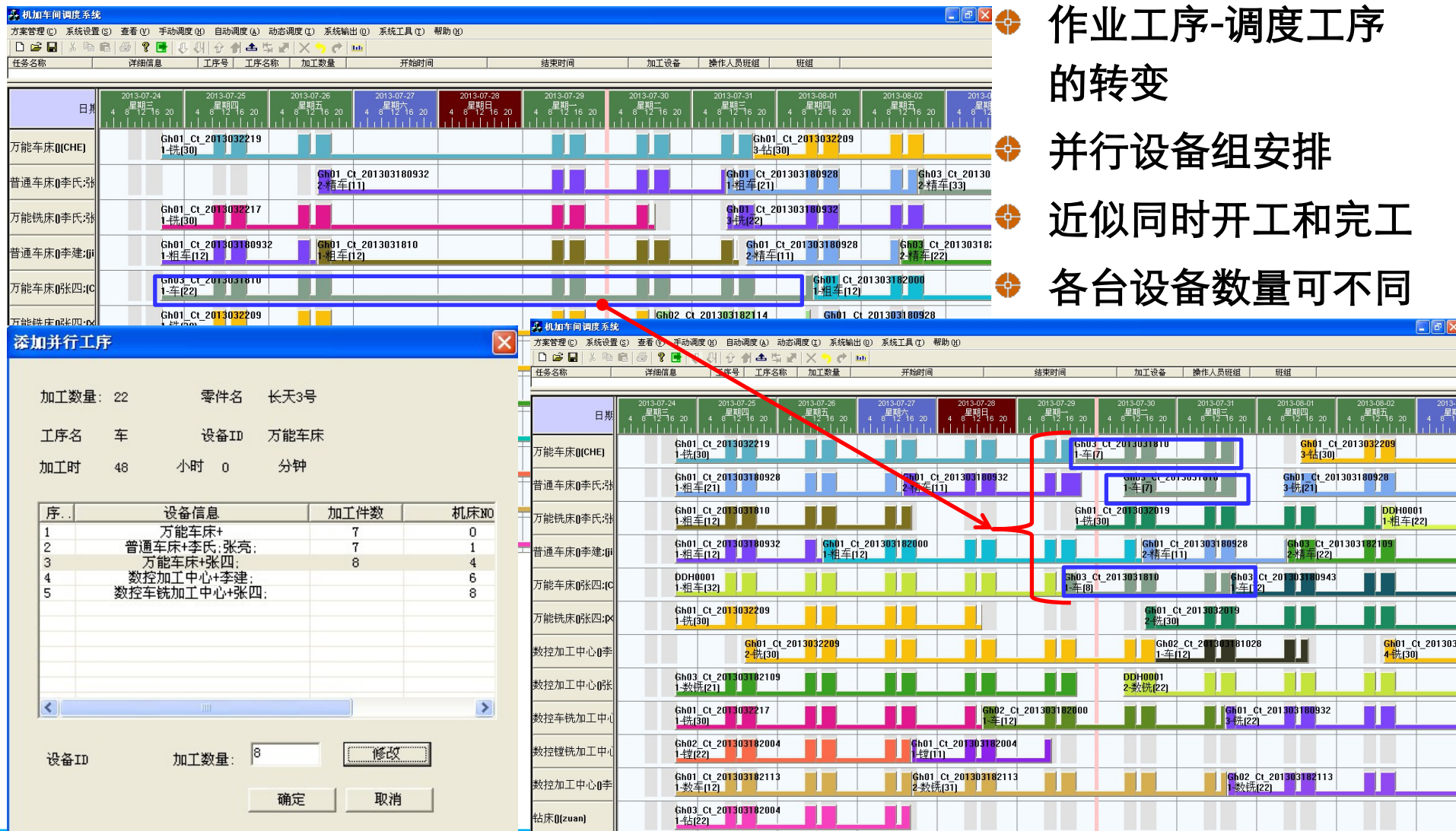
(13) 手工调度-工序 工时变更

- ✪ 工序时间变更
- ✪ 受影响工序随动调整



APS关键技术及软件界面

(14)
手工
调度-
并行
工序
分批



APS关键技术及软件界面

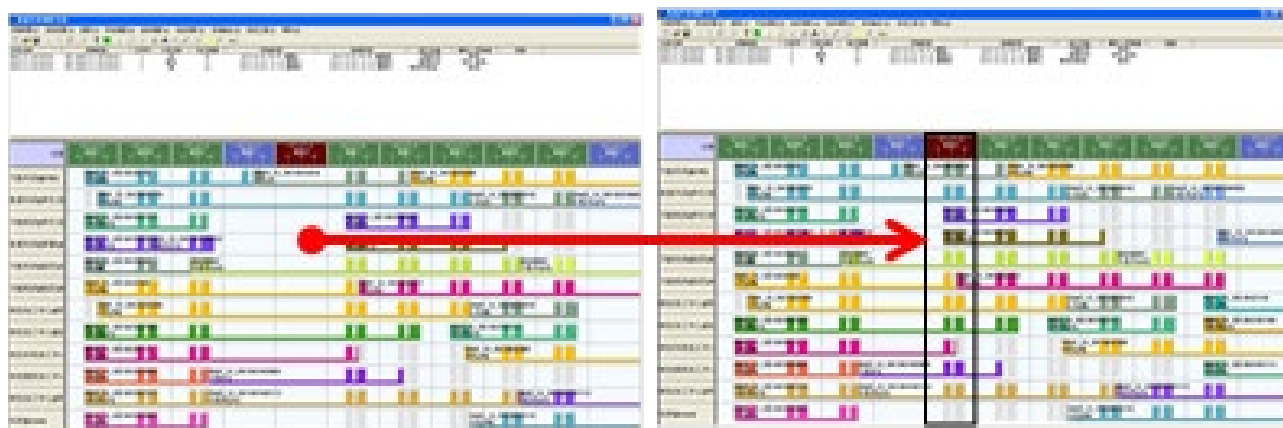
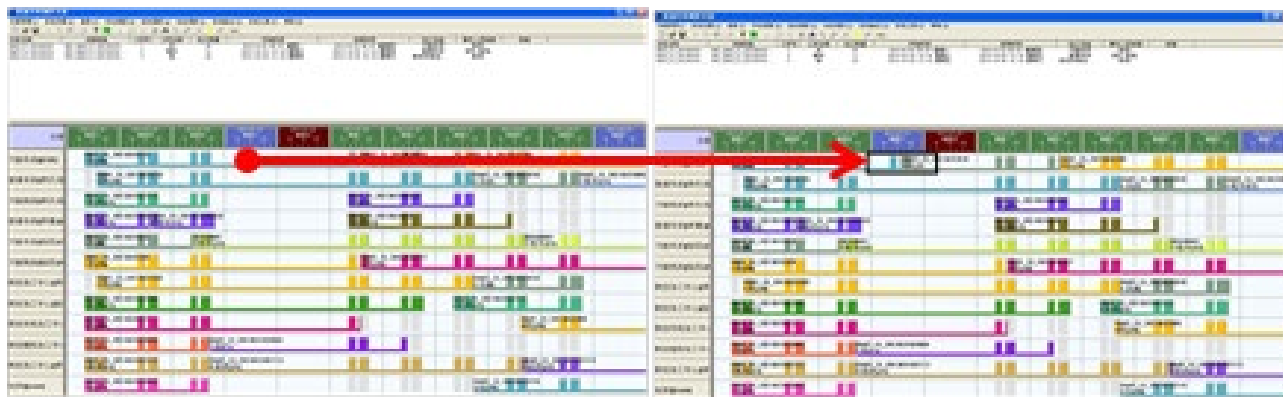
(15) 资源能力日制变更下的手工调整

❏ 企业困惑:

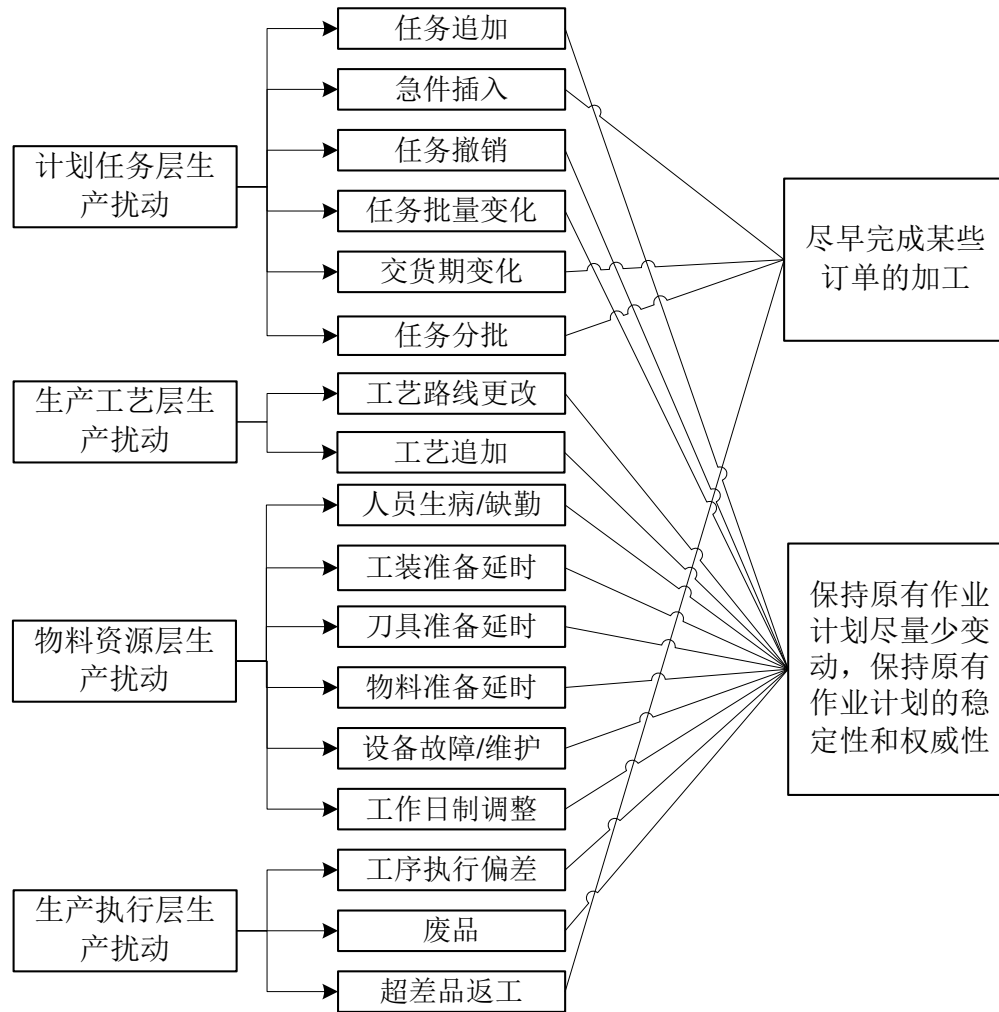
- ◆ 现有的作业排产方案，无法满足交货期要求，如何安排部分设备加班，作业方案发生变化并能够实时的查看和评估排产结果，如何调整？

❏ 解决方案:

- ◆ 支持特定设备、特定天、特定出勤模式-方案联动变，可以方便的进行能力评估；
- ◆ 持所有设备（或部分）、特定时间段、特定出勤模式-方案联动变更，可以方便的进行能力评估；

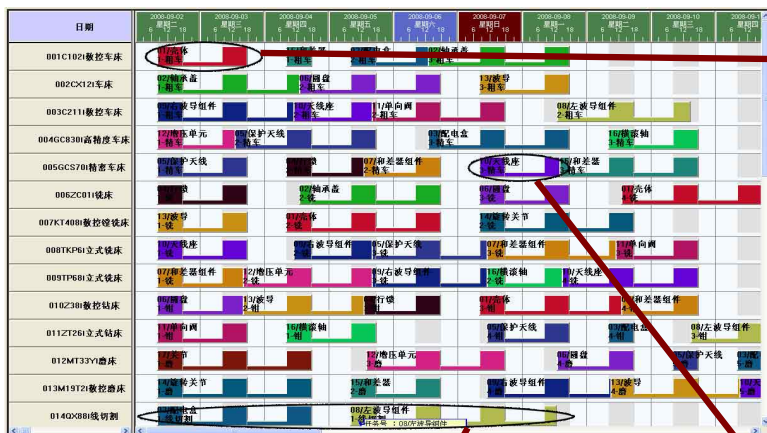


(3) 快速响应调整-动态调度

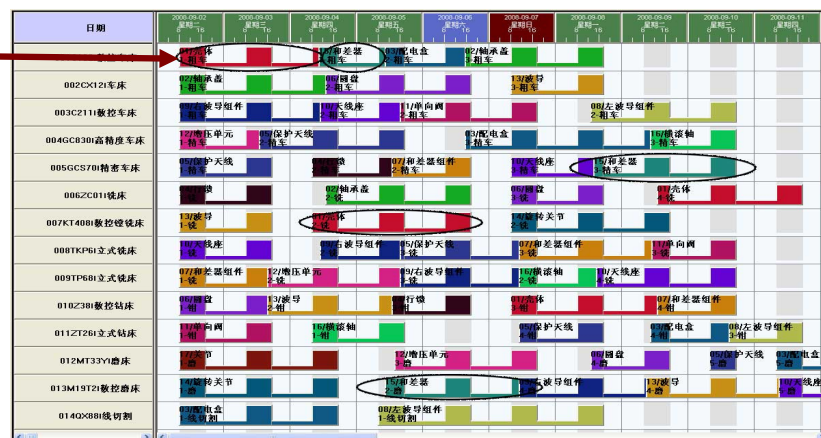


动态调度目标是在实时掌握生产现场资源使用情况、已有作业计划的执行情况等基础上，通过对作业计划的动态调整使**作业计划与生产现场的实际制造执行状态保持一致，始终保证对现场的指导性。**

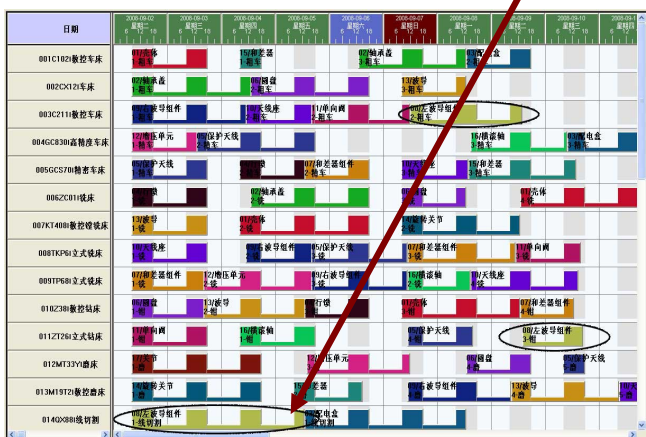
(3) 快速响应调整-动态调度



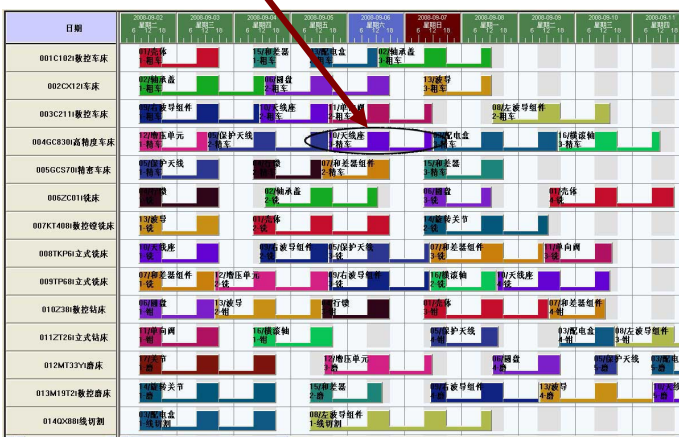
原始作业计划



实际完工时间误差调整方案



变更加工顺序的调整方案



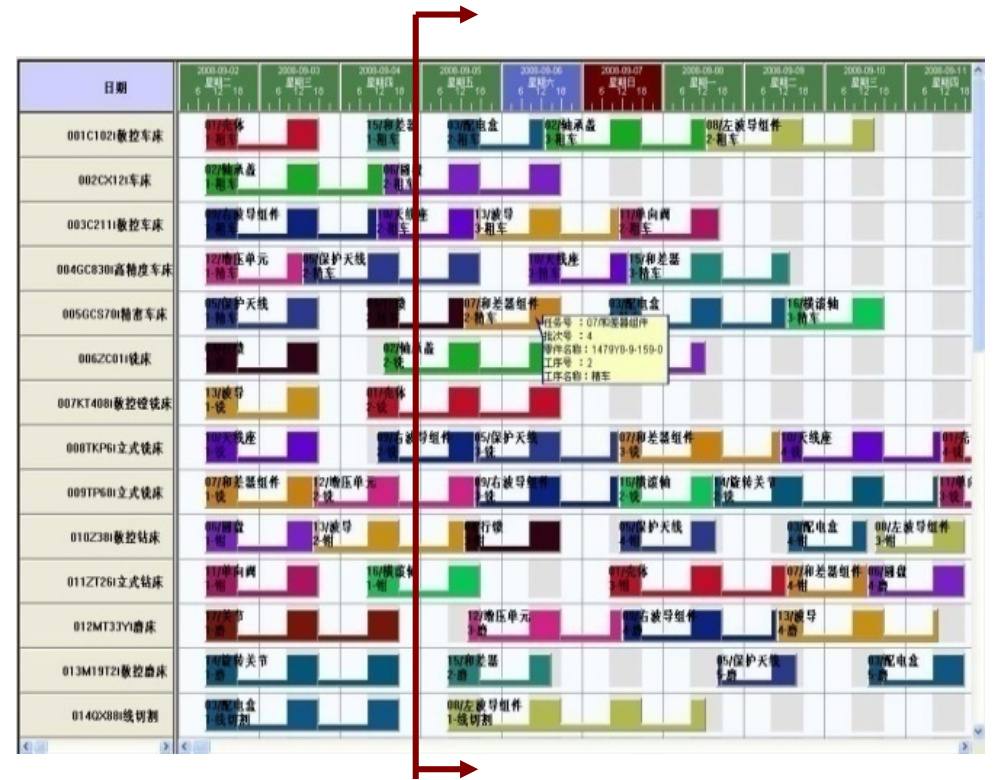
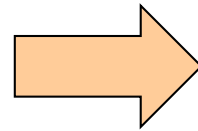
加工设备转换调整方案



重调度生成的新作业计划

动态调度-重调度

- 特定时间点之后的调度方案重新生成（调整工序-设备安排关系）
- 特定时间前之前保持不变，有利于近短期、长期兼顾，实现逐步的能力评估



动态调度的运行机制

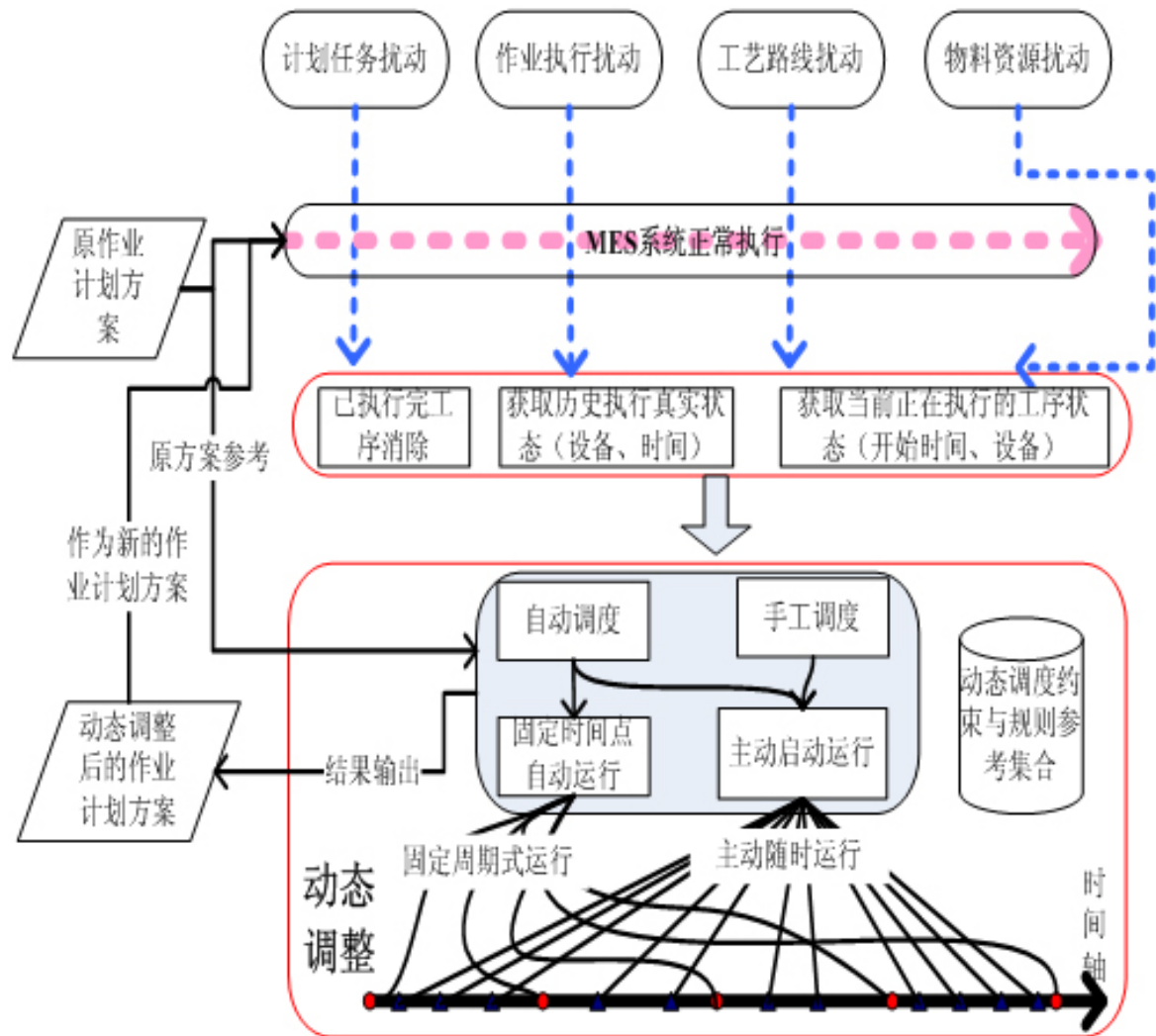
应对扰动事件

按需响应

◆ 本系统采取主动运行与按照时间间隔向结合的形式来运行。命名为Server端和Client端

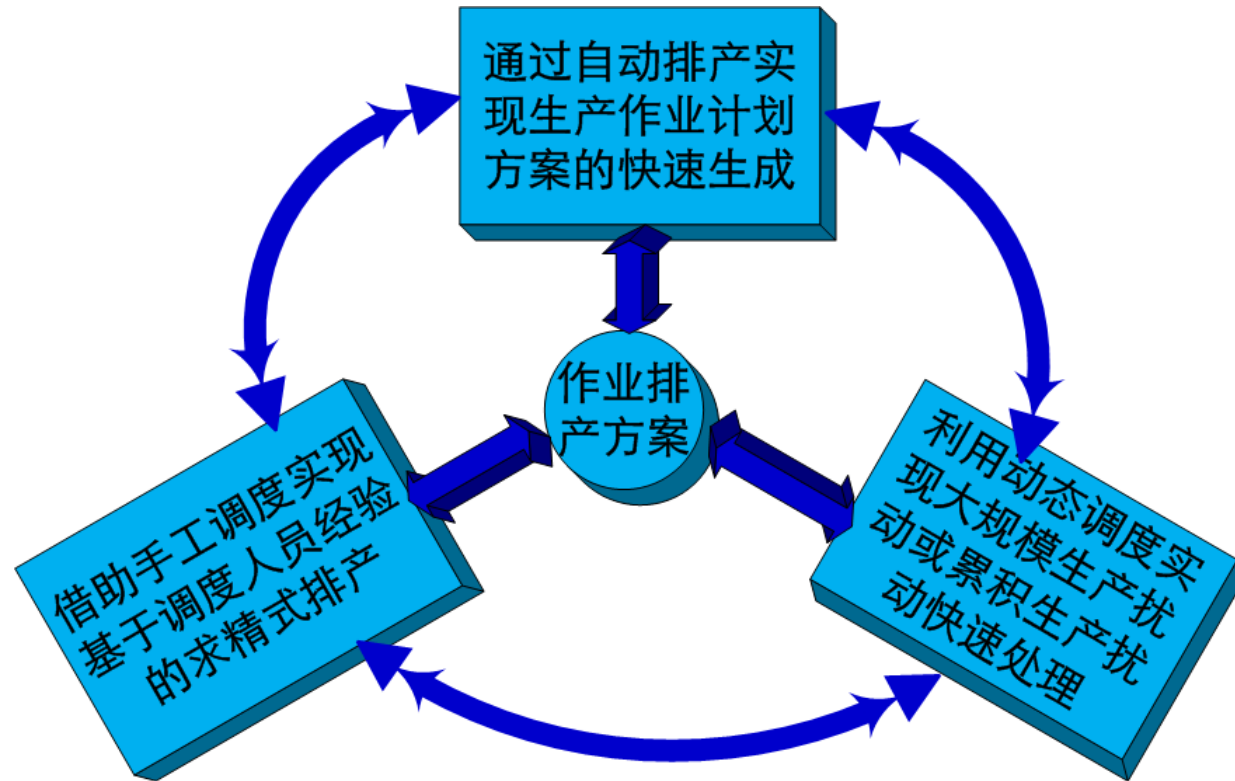
实时响应

◆ 由于车间作业执行过程中的生产扰动事件数量太过庞大，如由于工时不准，以14所某车间为例，一周需要完成800道工序（800次周转）的通常情况而言，最少具有1600次（开始和结束时间均不准）的生产扰动事件，如果每次均实时响应，则响应时间间隔为： $(5*8*60)/1600=1.5$ 分钟/次，任何计算机系统都难以承受如此高强度的计算。



关系一：自动排产、手工调度、动态调度

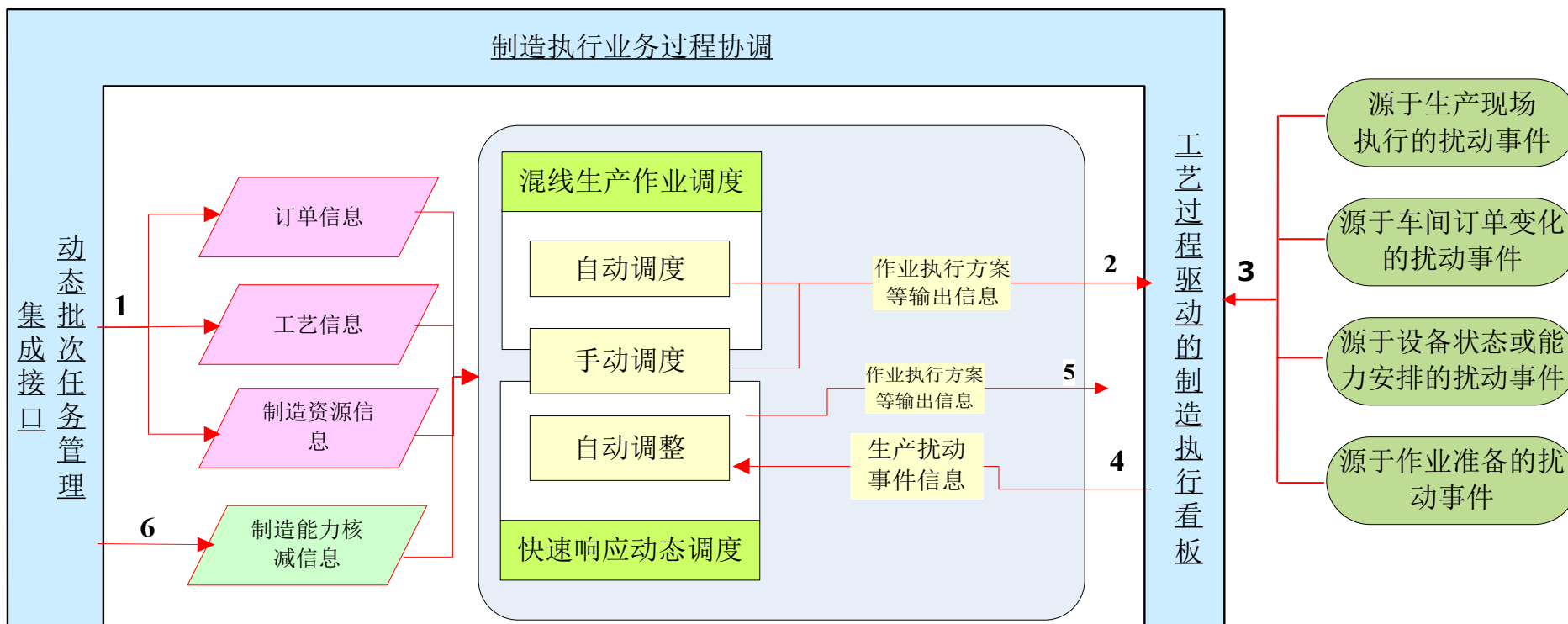
- 三者是从实际应用业务角度做的划分
- 后台共享约束处理技术，维护统一的作业排产方案
- 一般应用顺序



关系二：排产调度、MES

排产调度是MES的中枢模块

需要与MES紧密集成，实现计划与执行的同步调整



APS带来的管理变革

- ❁ 转变1：短期、手工、粗放 → 长期、自动、精细
- ❁ 转变2：频繁人员例会 → 基于方案协同
- ❁ 转变3：型号竖井/区域争抢 → 统一资源优化配置
- ❁ 转变4：静态方案 → 动态调整
- ❁ 转变5：被动调整 → 主动预测

有序、协调、可控、高效的排产调度



王爱民

北京理工大学 数字化制造研究所

所长、博士、副教授、博导

135 2266 2896

wangaimin99@Tsinghua.org.cn

谢谢!