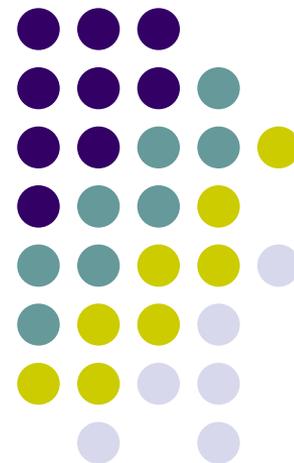
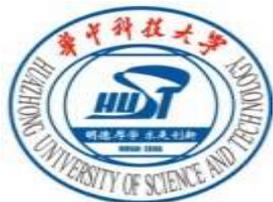


MES发展现状、关键技术与应用

华中科技大学 张国军

2008-6-3

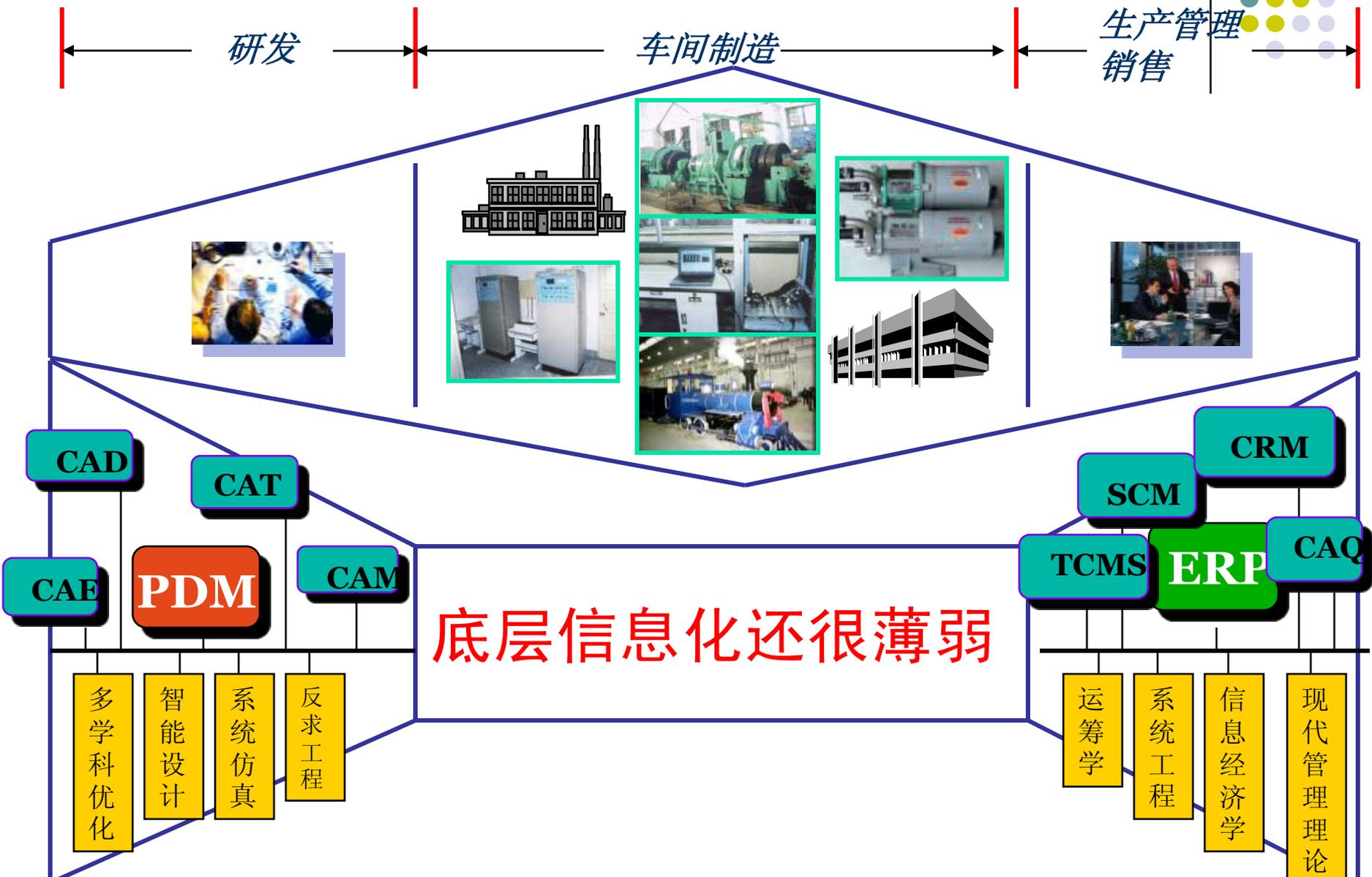




提纲

- **MES**发展现状、问题与对策
- 离散制造特点分析及其**MES**关键技术
- 混流生产优化方法及其应用
- 结语

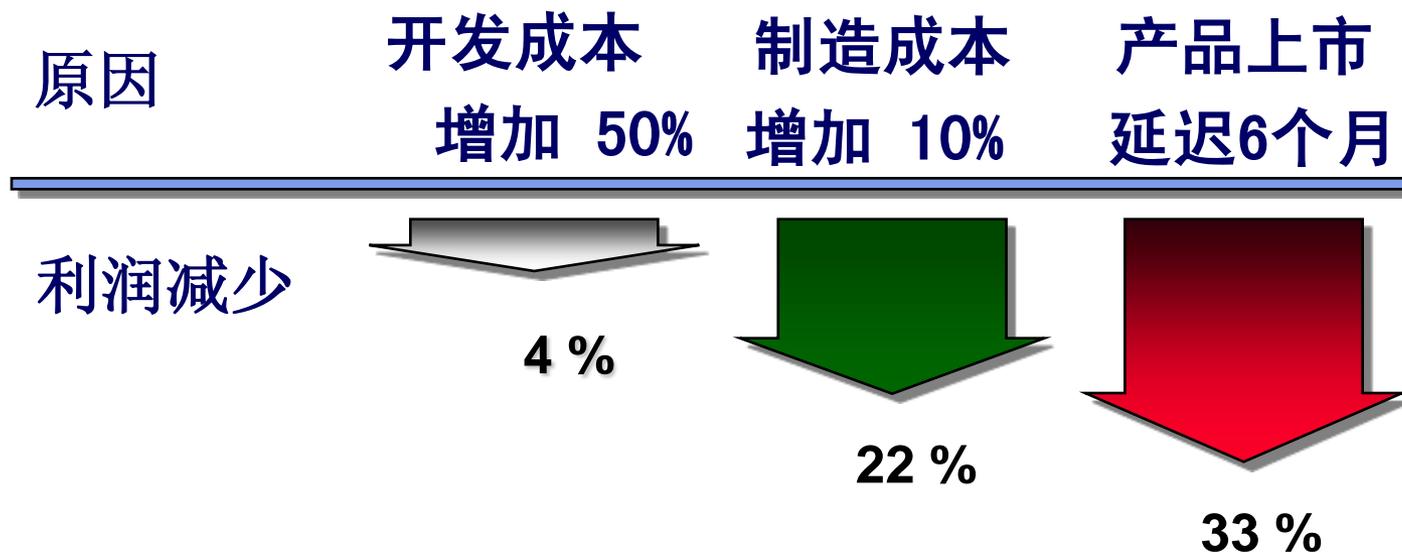
缺乏MES是造成上述差距的重要原因





制造业对MES的需求

(1) 提高市场响应速度



假设： 5 年的产品生命周期；
20%的市场增长率；
每年 2% 的价格降低。



制造业对MES的需求

(2) 产品质量及追溯

- 减少产品不良率
 - 对生产加工过程中每个环节进行实时的质量监控
- 商品召回制度
 - 2002年10月，国家质检总局正式向社会公布了《缺陷汽车产品召回管理规定》
 - 2003年1月，《上海市消费者权益保护条例》



制造业对MES的需求

(3) 降低生产成本

- 提高生产设备利用率
 - 通过**MES**建立一个完整、统一的厂区关键设备监控与管理系统
- 缩短生产周期
 - 通过**MES**对生产计划进行及时修正和调整，实现对现场异常情况的处理
- 减少在制品及库存量
 - 通过**MES**作业计划和实时调度弥补**ERP**系统通过市场预测的偏差



制造业对MES的需求

(4) 保障先进管理思想的实践

- 先进管理思想
 - 精益生产 (LP)
 - 准时生产制 (JIT)
 - 最优化生产技术 (OPT)
 - ...
- **MES**是是精益生产、准时生产和最优化生产技术等先进管理思想在生产过程中的具体实现



我国制造业MES的整体状况

- 从MES研发来看
 - 单元技术有所突破，集成平台缺乏
 - 形成基本解决方案，尚不具备成熟产品形态（**流程行业好于离散制造业**）
- 从MES实施与应用来看
 - 已经引起重视，尚未大刀阔斧
 - 开始局部实施，取得初步效果

观点：近时期将成为MES快速发展的拐点，尤其是从流程制造业快速向离散制造业推进！



我国MES发展面临的问题

(1) MES体系还不完整

- 基本功能具备，但缺乏过程管理与优化等面向典型行业的核心模块
- 针对离散制造业尚无完整、统一、系统的MES解决方案和体系架构

(2) 缺乏MES技术标准

- MES的设计、开发、实施、维护缺乏技术标准

(3) 集成性还没有完全解决

- 由于缺乏统一的工厂数据模型，MES与企业其它相关信息系统之间缺乏必要的集成，导致MES作为企业制造协同的引擎功能远未得到充分发挥。



我国MES发展面临的问题

(4) 通用性和可配置性较差

- 通常针对特定需求，很难应对企业业务流程的变更或重组
- 缺乏统一的数据模型、系统平台和集成技术，系统的可配置性、可重构性、可扩展性较差

(5) 实时性不强

- 缺乏准确、及时、完整的数据采集与信息反馈机制
- 在底层数据的实时采集、多源信息融合、复杂信息处理及快速决策等方面显得较为薄弱。

(6) 智能化程度不高

- 现有MES大多只提供了一个替代经验管理方式的系统平台



MES开发对策

(1) 针对行业特点、适应多种模式

	MES产品发源	MES产品	代表公司
1	自动化领域厂商	在自动控制基础上发展起来的	GE Fanuc、西门子、罗克韦尔等
2	ERP厂商	从ERP延伸发展出来的	SAP
3	台湾电子行业信息化厂商	台湾电子行业MES系统在大陆的推广	台湾资通、羽冠等
4	国内流程行业大型公司	实施MES中发展起来的	上海宝信、石化盈科、华铁海兴等
5	PLM厂商	从PLM延伸发展出来的	UGS等
6	自动识别、质量管理、组态系统、测控等不同领域的厂商	向MES领域进行渗透的	灵蛙等



MES开发对策

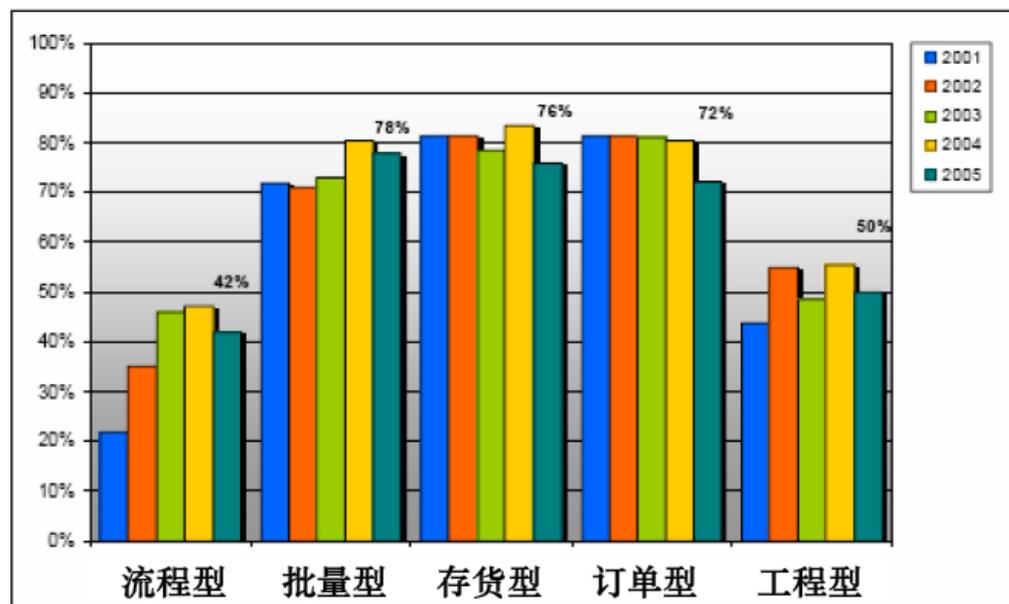
(1) 针对行业特点、适应多种模式

- 适应不同生产模式

- 生产过程连续性：离散型、流程型和混合型
- 生产规模：单件小批量、多品种中小批量、大批量流水生产

- 多种生产模式往往并存于同一家企业中

- 汽车的总装是大批量流水生产
- 汽车的发动机是批量生产
- 汽车的冲压件是按库存生产
- 汽车模具则是按订单生产



资料来源：LogicaCMG MES软件2005年调查报告



MES开发对策

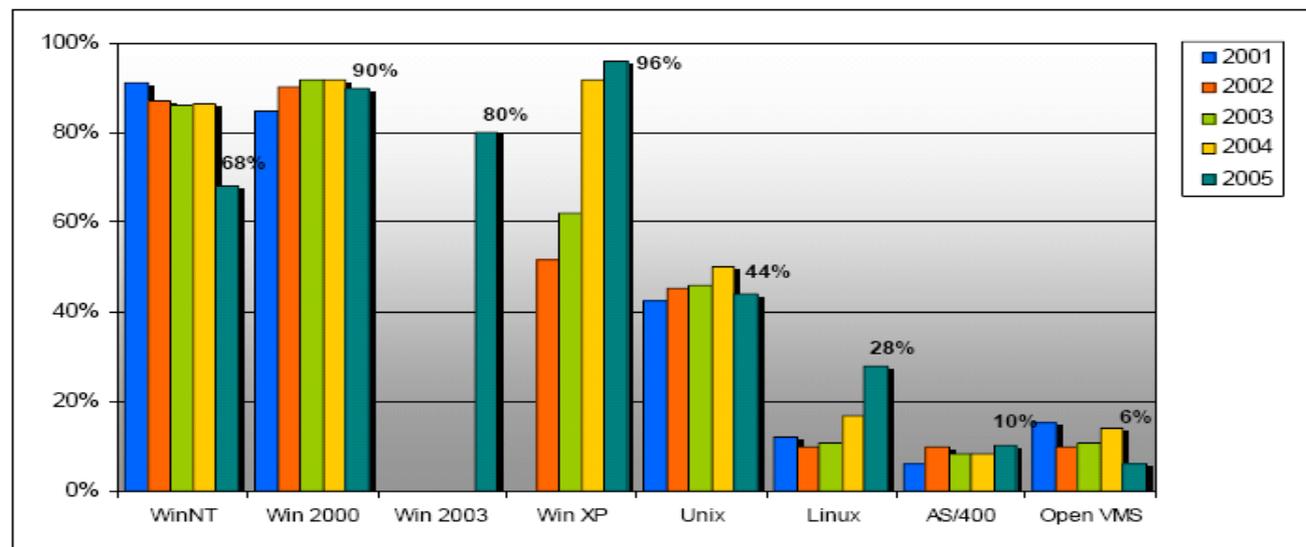
(2) 面向车间资源重构

- 企业通常会不定期的对企业内部组织结构、人员安排、生产流程、以及相关的资源进行重构
- 例如：
 - 层次化组织——扁平化组织
 - 按照产品制造要求对车间进行重构
- 要求：
 - 原来的MES需要按照新的生产制造流程进行配置和重新部署
 - 同时还要能够继承原MES系统的资源

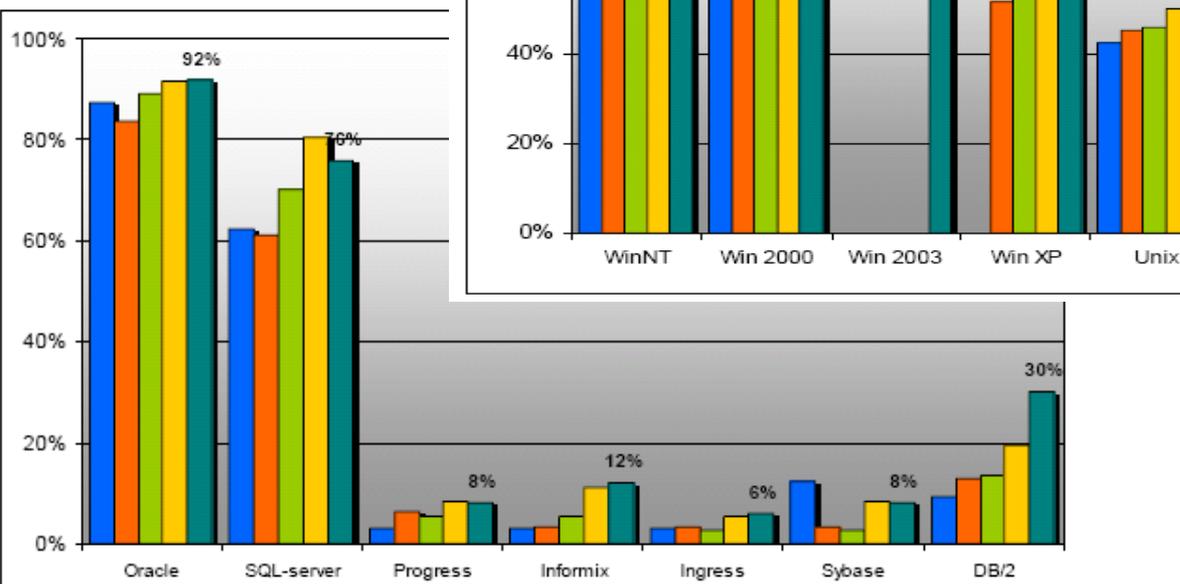


MES开发对策

(3) 面向多种运行平台和数据库



国外MES支持的平台

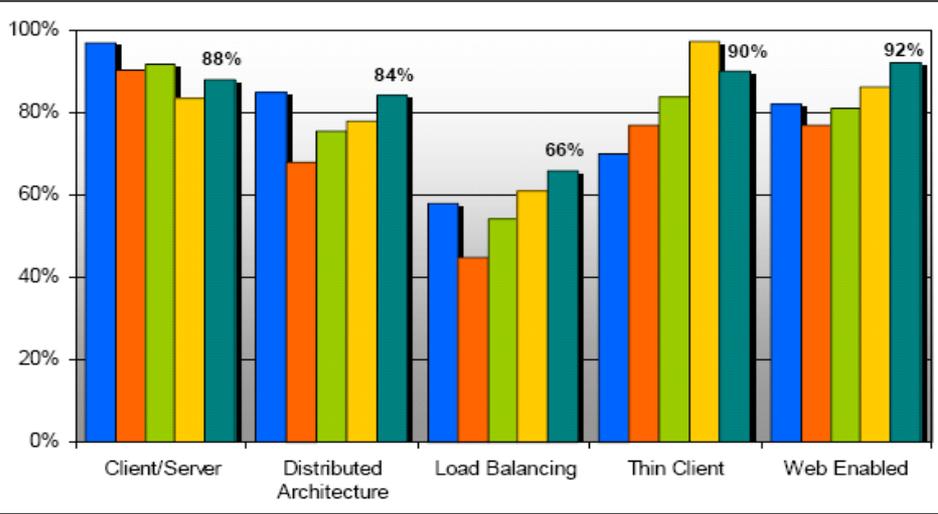


国外MES支持的数据库

MES开发对策



(4) 采用先进的软件架构 支持系统配置



国外MES的软件架构

Product	Business Logics				GUI				Reporting			
	Standard	Components	Libraries	Custom Made	Standard	Components	Libraries	Custom Made	Standard	Components	Libraries	Custom Made
ADICOM	60	25	15	0	80	10	10	0	60	10	20	10
aspenONE	70	20	10	0	80	25	15	0	50	30	20	0
Bigston MES	20	75	0	5	75	20	0	5	55	10	25	10
Bizbit Suite	60	20	10	10	60	20	10	10	30	30	30	10
Broner MES	40	55	5	0	55	35	10	0	30	40	30	0
Business FLEX	50	30	15	5	35	50	10	5	25	30	30	15
CitectIM	10	90	0	0	100	0	0	0	25	75	0	0
Clinicopia	70	25	5	0	100	0	0	0	65	10	10	15
DMI Compliance S.	60	20	0	0	80	20	0	0	25	50	25	0
Easy Works	60	35	5	0	85	10	5	0	10	50	0	40
Factelligence	40	40	0	20	40	40	10	10	20	40	40	0
FactorySuite A²	0	45	50	5	0	90	5	5	20	50	20	10
FACTORYworks	75	25	0	0	50	50	0	0	25	25	25	25
HMS Suite	65	15	10	10	65	15	10	10	80	10	5	5
Hydra	85	10	4	1	80	10	10	0	10	80	10	0
InSite	80	10	5	5	80	10	5	5	70	20	5	5
IntraFACTORY	50	30	10	10	70	20	5	5	70	20	5	5
iVisualizer	70	20	10	0	80	20	0	0	80	0	20	0
Kern-Stream	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0
Mercurius	60	20	20	0	100	0	0	0	80	20	0	0
MESplus	70	5	20	5	80	10	20	10	50	10	40	0
Mestec MES	20	70	0	10	20	80	0	0	20	30	20	30
MWare	50	20	20	10	50	20	20	10	50	20	20	10
Objective	60	20	10	10	30	50	15	5	30	10	20	40
OPTAL-mes	80	10	10	0	80	10	10	0	10	80	10	0
OptVISION												
PAS-X	80	10	10	0	85	10	5	0	25	25	30	20
PBA MES	25	25	25	25	50	20	20	10	50	20	20	10
PI System	50	30	20	0	50	30	20	0	50	30	20	0
Pinata												
PMX MES	70	20	8	2	50	20	20	10	70	20	8	2
POMS	70	10	10	10	80	0	0	20	50	20	10	20
PRODAC MES	50	20	20	10	30	30	30	10	25	25	25	25
Produmex OMP	80	15	5	0	80	10	10	0	30	30	0	40
Proficy												
PROMIS	80	20	0	0	90	10	0	0	50	5	10	40
PSimes	70	10	10	10	60	20	5	15	40	5	5	50
PVSS II	0	100	0	0	100	0	0	0	50	0	0	50
RSBizWare	5	60	30	5	30	40	15	5	10	50	30	10
SAIGA												
Shopfloor-Online	60	40	5	5	30	60	20	0	25	50	20	5
SIMATIC IT	50	10	40	0	50	10	30	10	50	20	20	10
Solumina	85	15	0	0	95	5	0	0	20	80	0	0
Tecnomatix	60	25	10	5	80	15	10	15	60	20	10	10
Viewlocity												
Visiprise Mntg	75	20	5	0	50	50	0	0	50	50	0	0
WIPtrac	70	10	10	10	100	0	0	0	70	10	10	10
XFP	75	10	10	5	50	30	10	10	80	5	5	10
XS Suite	80	10	10	0	70	20	10	0	50	30	20	0
Yokogawa MIPP	20	30	20	30	10	80	10	0	30	60	10	0

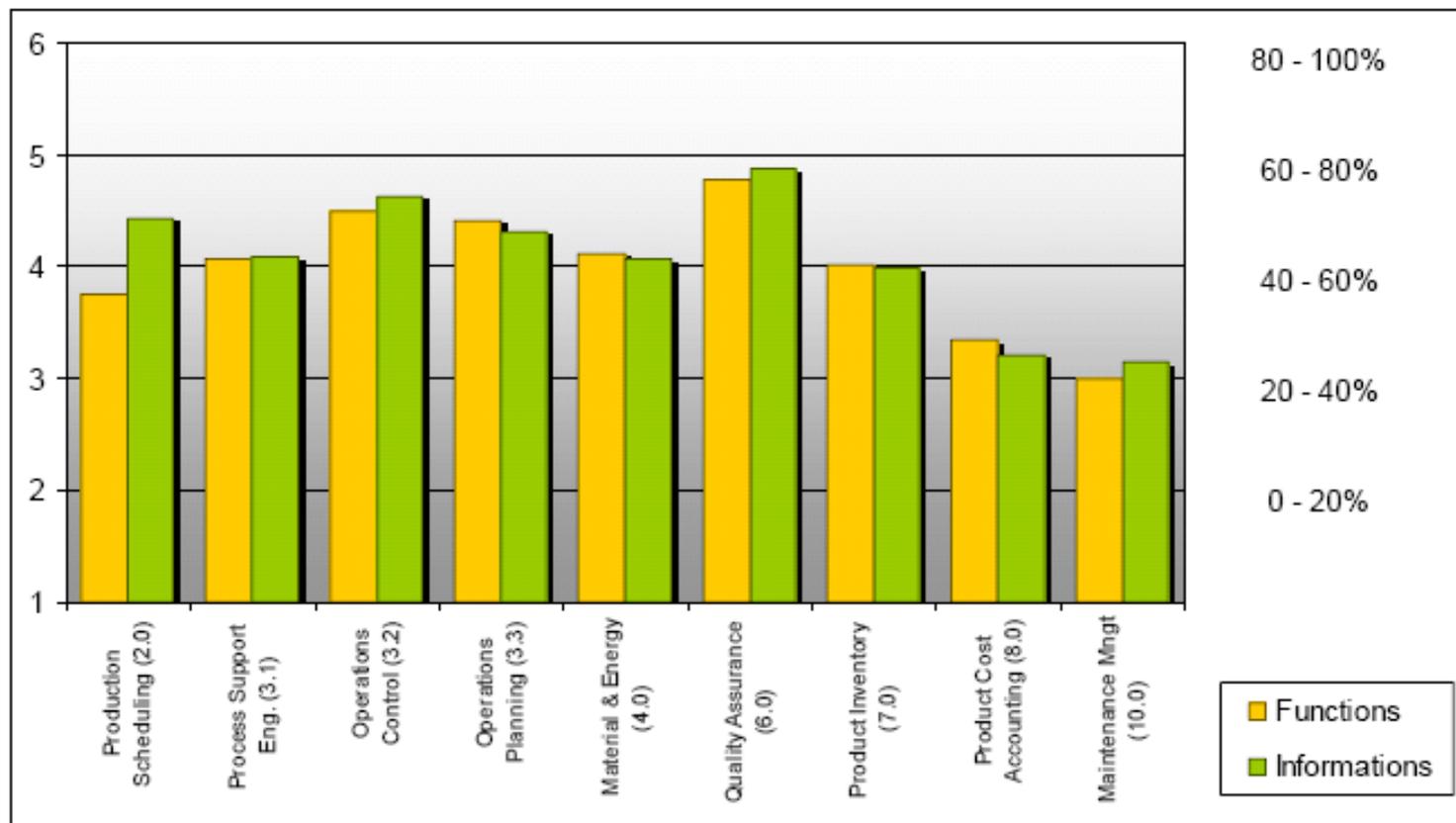
国外MES的可配置情况

资料来源: LogicaCMG MES软件2005年调查报告



MES开发对策

(5) 遵循国际标准，形成行业规范



MES软件产品与国际标准的符合程度

资料来源: LogicaCMG MES软件2005年调查报告



MES实施对策

(1) 理念先行

- 实施**MES**不仅仅是一项技术工作，同时也是车间的一次生产运作管理模式的变革
- 实施**MES**主要是锦上添花(对现有工作流程信息化)而不是雪中送炭(通过**MES**改变工作流程)，应科学认识
- 不能期望**MES**能够解决企业或车间的所有重大问题（如技术和工艺问题、基础管理问题等），对**MES**技术应当有合适的预期
- 人的因素是决定**MES**成功实施的关键，应强化人员培训，熟练掌握技术，转变观念，加强企业文化建设
- 着眼长远，总体规划，分步实施，重点突破



MES实施对策

(2) 基本条件

- 需求明确：包括总体预期目标和分阶段目标，管理层需求和现场流程需求等
- 资金充裕：软件费、硬件费、培训费、实施维护费、二次开发等
- 软件方面：管理基础较好、员工素质较高、基础数据较完善
- 硬件方面：企业骨干网，IT基础设施，基础自动化程度，设备控制接口及开放性

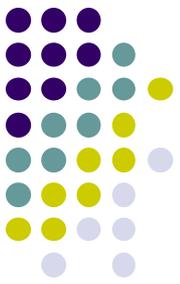


MES实施对策

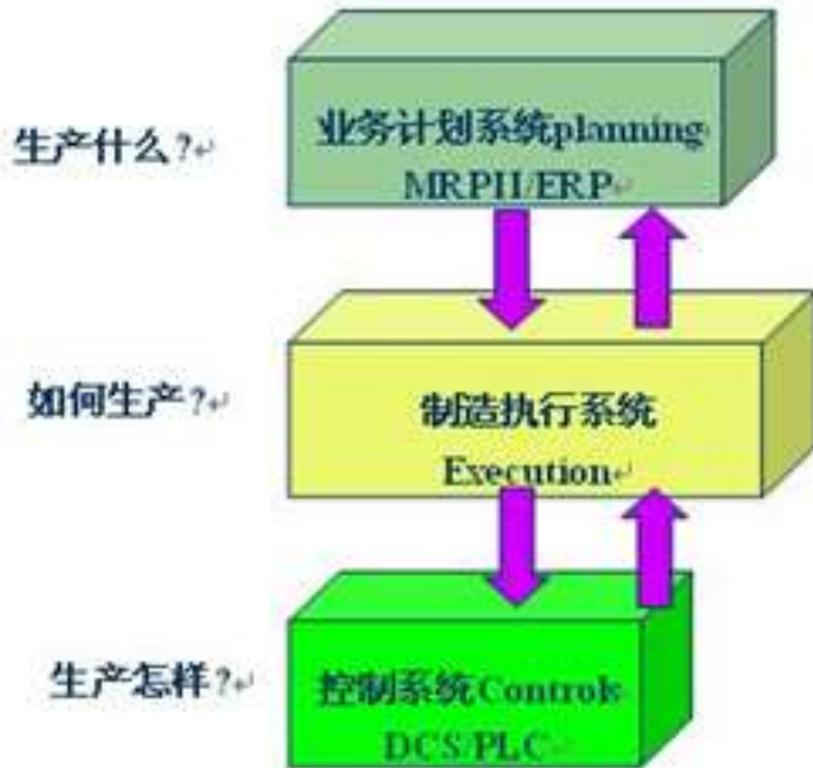
(3) 系统选型与功能取舍

- 量体裁衣，选择最适合的（软件功能满足程度好），注意行业差异
- 厂商实力强、软件技术水平高：
 - 适应性好，可扩展、可配置
 - 开放性好，具有二次开发功能
 - 可集成性好，便于与计划层和控制层的集成
 - 软件界面友好、简单易用
- 厂商实施能力强、服务质量好：技术开发与系统实施能力强、信誉好、产品升级有保障、合作态度积极
- 价格体系明晰，软件性价比高，投入产出效益大
- 考虑与现有MRPII/ERP系统的配套性，与车间设备控制的兼容性

先上ERP? MES?

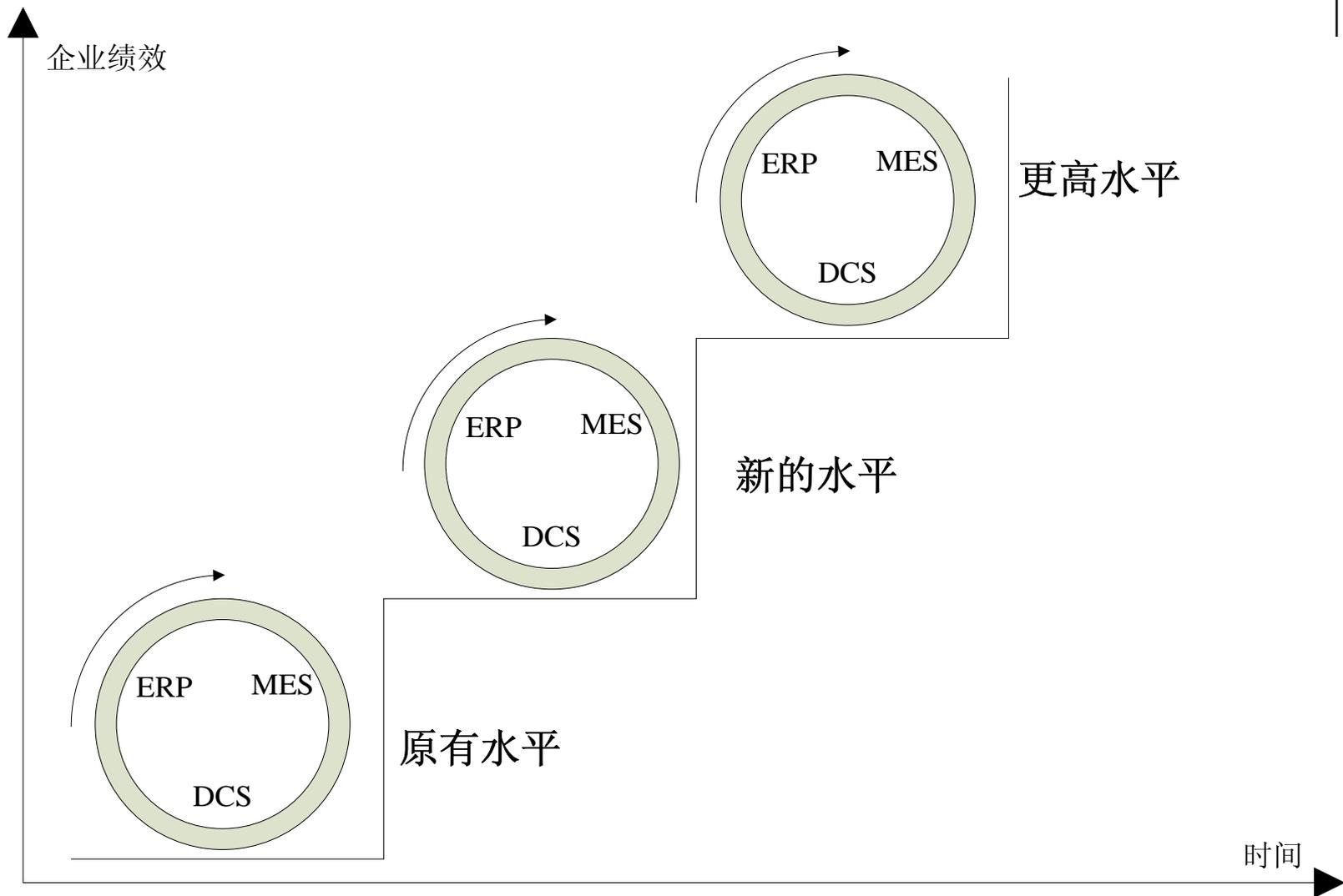


各系统在企业中的层次地位与相互间关系



- 做好企业整体信息化解决方案规划，定义好系统间接口，追求系统间的完美集成；
- 实施顺序并无严格先后，由企业生产模式与外部环境特征共同作用产生具体需求，再通过相关系统中对应模块完成相应功能；
- 特别的，对于流程型企业（化工、钢铁、烟草等）、流水装配线型企业（汽车装配），由于能够方便的从底层获取数据，上马MES属于水到渠成，并由下至上的支持ERP系统的实施部署。

ERP与MES



MES产业化对策



- 国家引导、市场驱动：
 - 通过科技项目支持等方式，营造**MES**研究、开发与产业化的氛围
 - 以企业对**MES**的迫切需求为动力，首先解决企业关注的问题
- 行业带动、龙头示范：
 - 探讨**MES**在重大行业中的多种应用模式与实施方法
- 优势互补、紧密合作：
 - 充分发挥各自的行业应用优势及技术优势
 - 建立以市场为基础的合作机制
(研究机构-开发单位-服务中介-应用企业)



提纲

- **MES**发展现状、问题与对策
- 离散制造特点分析及其**MES**关键技术
- 混流生产优化方法及其应用
- 结语

离散制造的特点

- 门类众多
- 集约度低
- 自动化程度低
- 产品结构复杂
- 制造工艺复杂，生产中各制造过程的关联性很强
- 生产环境更为复杂多变（临时插单、材料短缺等）
- 品种多、更新快



上述特点为离散制造运行管理带来一系列的困难与挑战！



离散制造不同行业及其特点

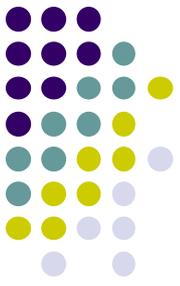
1) 航空行业（例如飞机制造）

□ 行业特点

- 飞机制造具有高技术和高成本的特点，需多家企业联合生产
- 航空产品制造采用分包生产方式：金字塔式管理，计划分级下发，层层制订。
- 以产品BOM表中内容为准则完成工作任务，BOM能够反映出生产计划的执行和完成情况。



离散制造不同行业及其特点



2) 航天行业（例如火箭发动机制造）



□ 行业特点

- 研制混线，车间作业计划和制造资源统一组织和协调管理困难
- 不同车间各具特点，有的是大批量生产，有的是单件生产
- 零件工艺复杂，加工成本高，质量要求高

离散制造不同行业及其特点



3) 船舶行业（工业齿轮箱制造）

□ 行业特点

- 兼有面向订单的工程、面向订单的生产的特点
- 设计变化频繁，制造层的技术资料难以与设计层保持同步
- 产品品种多，批量小，对生产中品种切换时间控制要求高，因此要求更准确及时的现场信息



离散制造不同行业及其特点



4) 模具行业（冲压模具加工）

□ 行业特点

- 每个品种基本上为单件生产
- 对关键工序设备的利用率要求高：关键工序瓶颈问题突出，关键工序设备无法充分利用
- 模具零部件加工过程之间存在大量的配合要求
- 存在大量各种紧急返修任务，对日常生产造成巨大冲击
- 零件加工时间无法标准化，对应不同订单的精度或者形位配合要求差异较大



离散制造不同行业及其特点



精密齿轮加工车间



汽车涂装车间



模具机加工车间



航天发动机生产

不同行业之间
差异巨大



船舶行业变速箱生产



飞机制造车间



装备数控加工车间



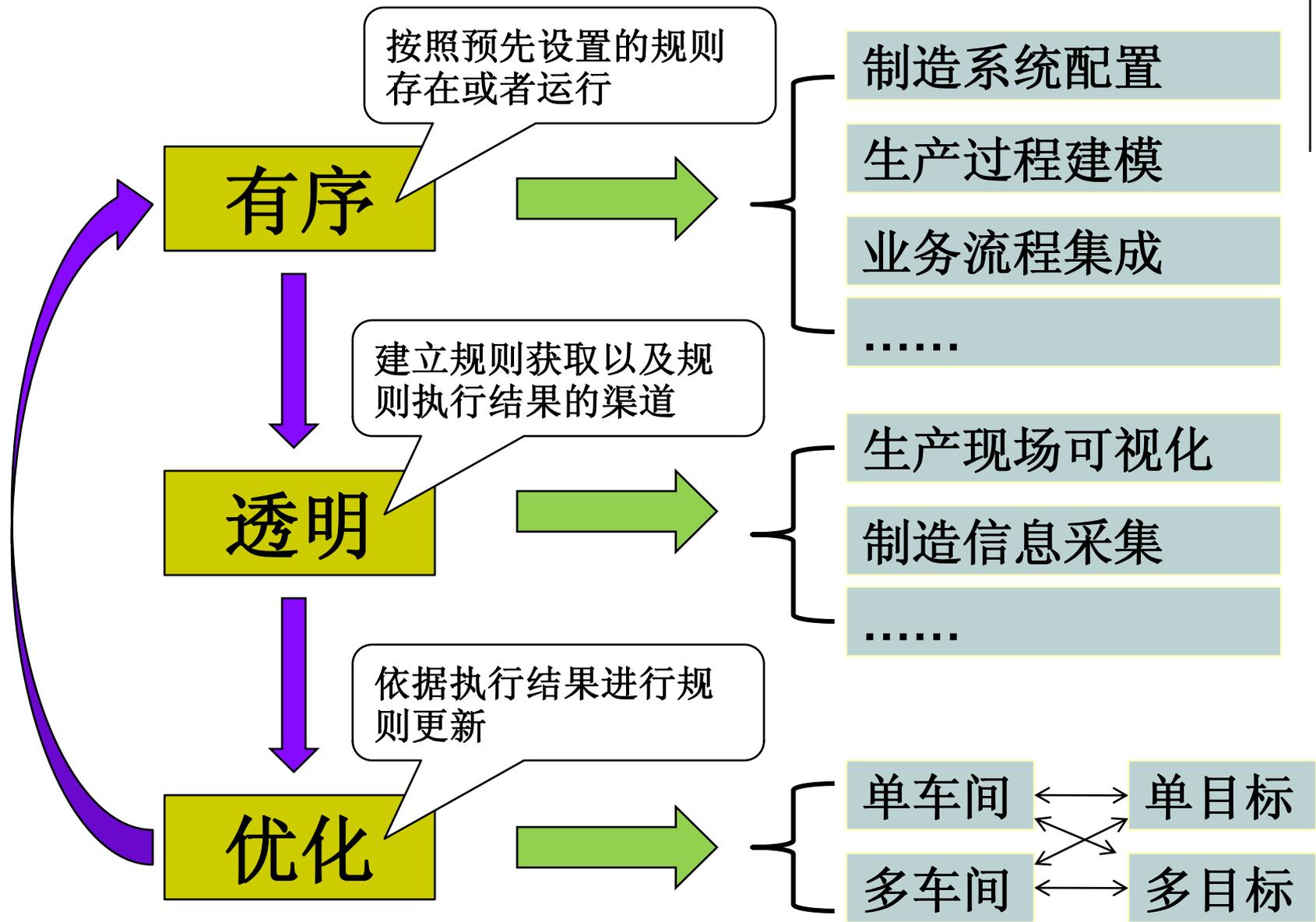
家电产品装配



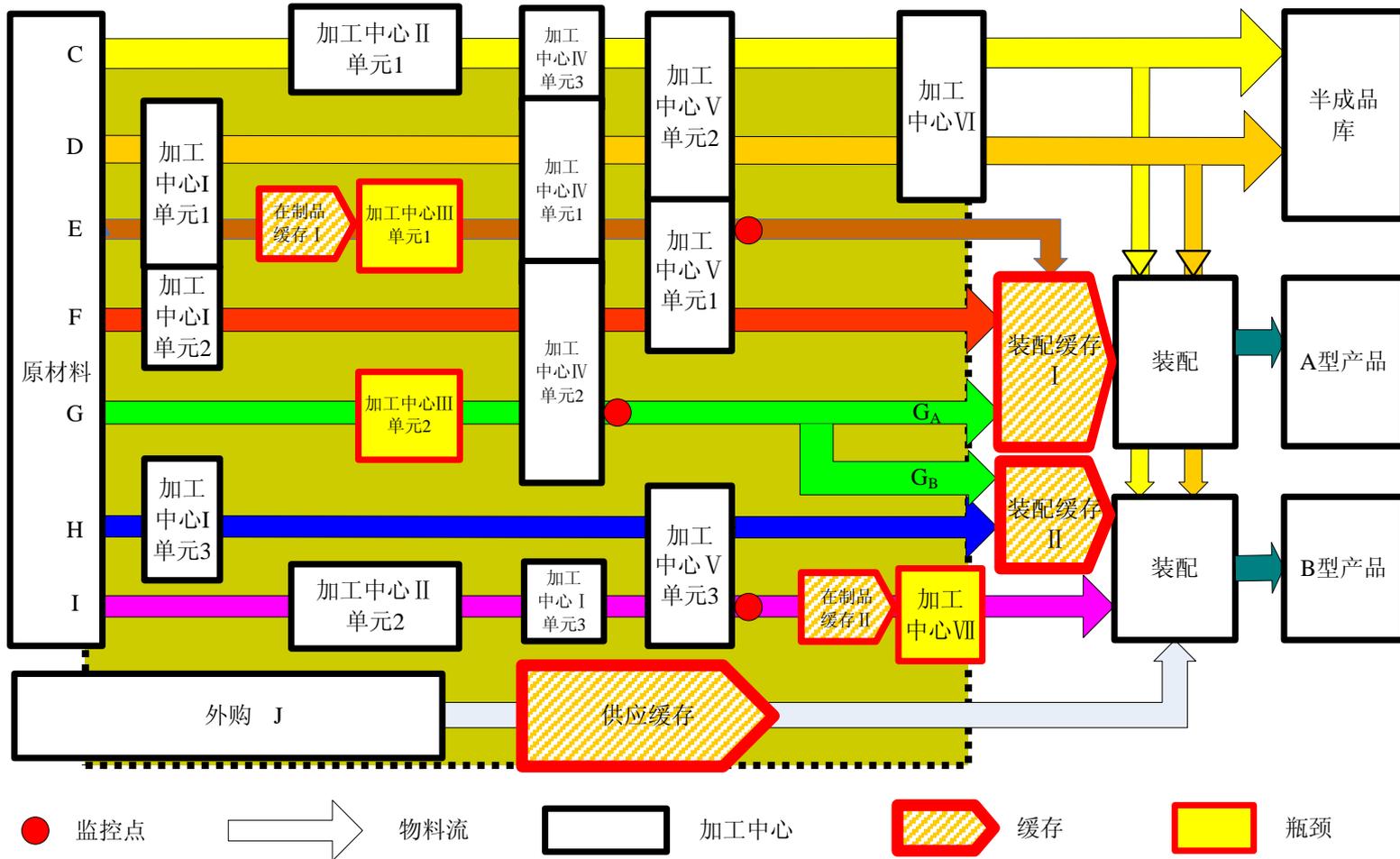
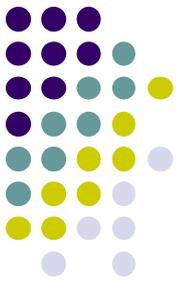
面临的挑战与问题

- 生产准备时间变长；
- 异常情况处理不及时；
- 在制品周转和等待时间长；
- 单元设备的利用率低
- 管理层与执行层之间存在断层，信息难以互通
- 车间现有管理工具智能化程度不高
- 生产现场的监控缺乏工具支持
- 数据采集相对滞后

离散制造MES关键技术



制造系统配置



- 动态混流路径规划技术：在传统的单元化制造技术基础上的延伸和发展，更多强调共享设备和逻辑单元（而非物理单元），以适应品种组合的变化。



生产过程建模

- 企业的生产过程可以看作是由一连串、具有一定逻辑关系的执行动作组成。
- 在**MES**系统里，则是按照这些逻辑关联的执行动作，完成相应的信息处理过程
- 要解决的问题：
 - 不同行业的典型生产流程分析比较；
 - 子流程、叶流程的划分和逻辑关系定义；
 - 生产流程建模方法。



业务流程集成

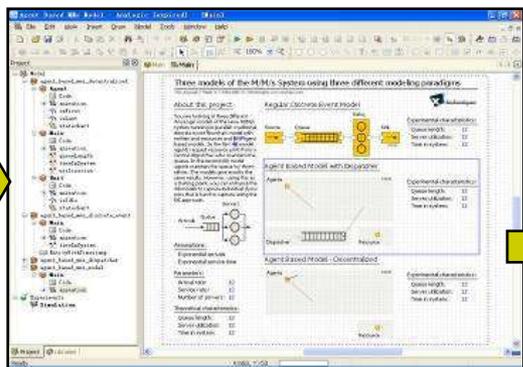
- 业务流程的整体实现，需要通过分布在不同应用中的子系统实现
- 要解决的问题：
 - 企业已经采用多个软件系统，实现了某些部门或业务的应用，但是在这些应用之间并没有形成一个有机的联系，无法组成一个完整的业务流程。
 - **MES**与企业内其它应用系统之间也缺乏必要的集成，存在着各式各样的功能重叠与冗余。并且系统之间的接口种类多，结构和形式各异。
 - 随着异地生产管理需求的出现，**MES**系统需要对多个异地的车间进行同步的生产过程管理，协同多个异地工厂间的生产活动。

制造系统建模与单元仿真工具

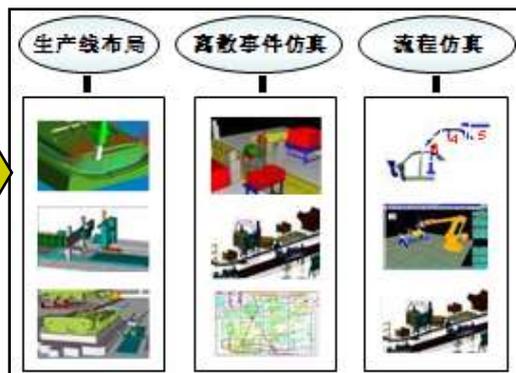


● 作用

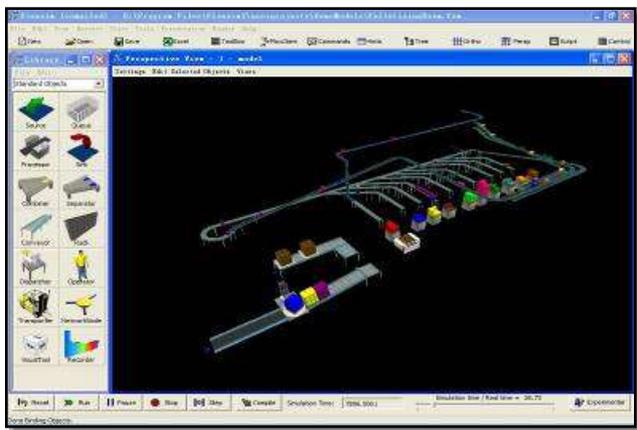
- 制造系统建模
- 离散/连续事件分析
- 制造系统动力学分析
- 生产线布局设计
- 生产线平衡分析



离散/连续混合分析与优化工具AnyLogic



制造系统配置与优化仿真平台TecnoMatix



三维建模与仿真工具Flexsim



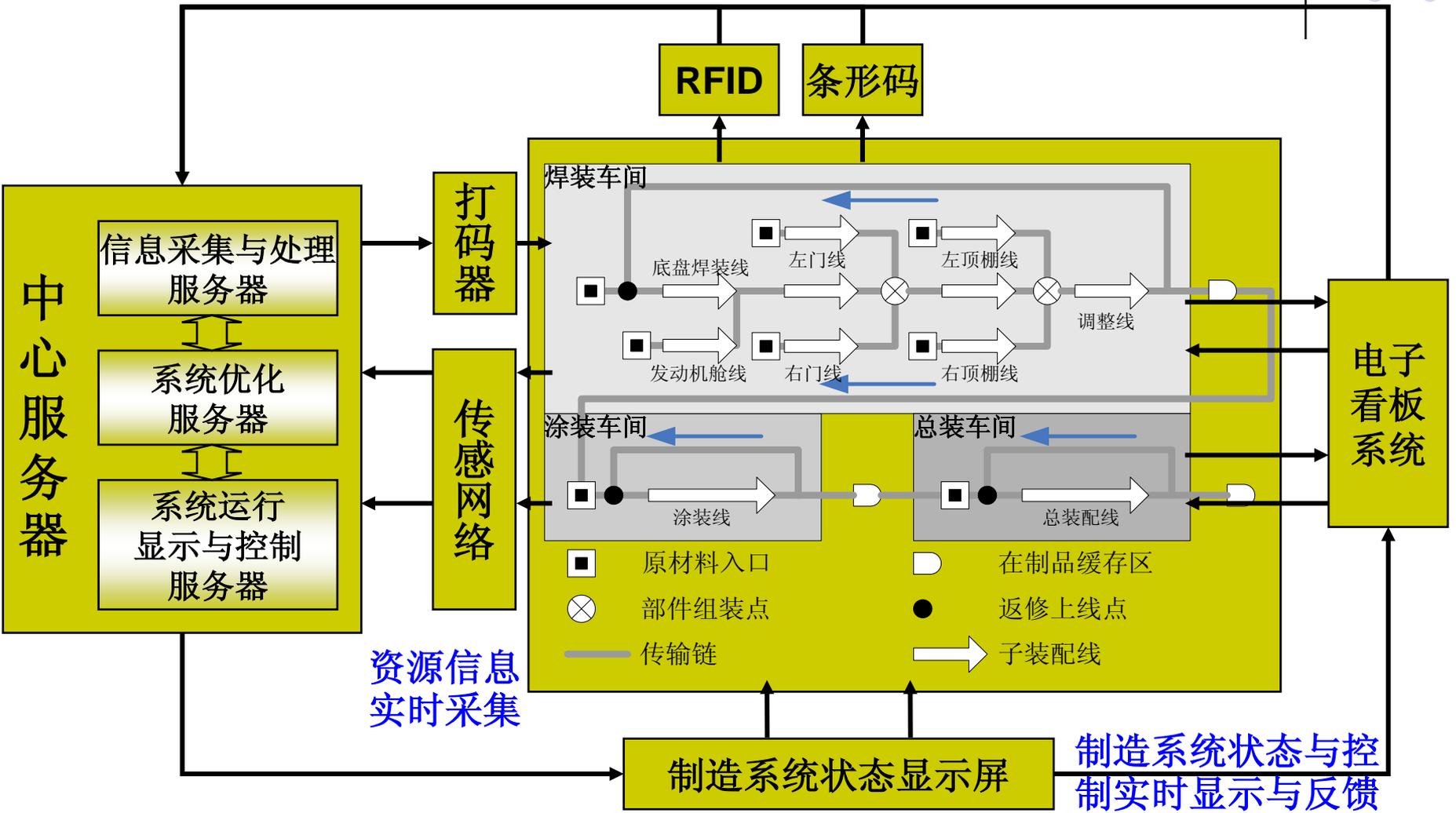
系统配置分析工具Proplanner

制造信息采集及可视化



产品信息实时采集

RFID 条形码



制造信息采集与可视化实例

汽车混流生产线



焊装

RFID与
打标器

涂装

传感网络与
控制终端

总装

电子看板
系统



优化调度技术

- 目前优化调度算法尚远未到实用的阶段，原因：
 - 离散型制造业所处环境的复杂性
 - 计划的不确定性
 - 任务变更
 - 制造资源不配套
 - 加工/等待/运输时间的模糊性
- 人工干预的手段：
 - 安排替代工序
 - 倒班



优化调度技术

- 观点：
 - 仅靠算法本身是无法很好解决优化调度和排产问题
 - 应将实际生产调度和排产的经验，上升为知识并形成知识库，运用知识工程技术，通过人机协同工作
- 手段：
 - 离散型优化调度方法；
 - 基于多目标、多约束和有限能力的生产计划调度实现方法；
 - 支持多种生产模式的优化调度算法库；
 - 智能化及人机协同交互式车间生产调度



提纲

- **MES**发展现状、问题与对策
- 离散制造特点分析及其**MES**关键技术
- 混流生产优化方法及其应用

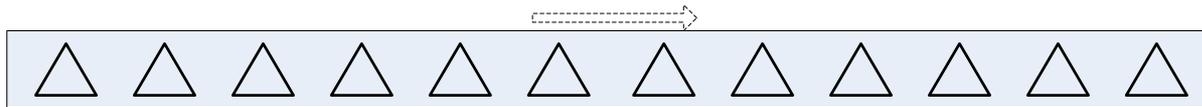
- 结语

混流生产(装配)的概念

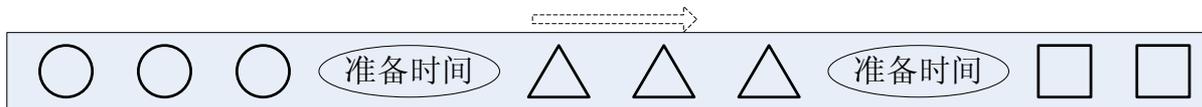


● 装配线类型

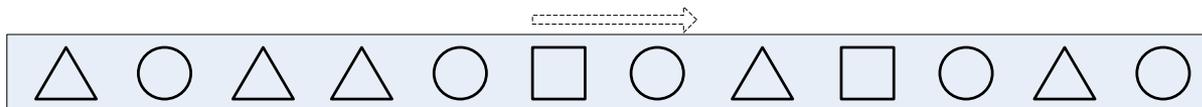
- 单一产品装配线：生产效率高，品质有保障，但产品单一，库存大(如导弹装配线)
- 多品种产品装配线：采取多批次轮番生产方式，兼顾品种与效率(如发动机装配线)
- 混流产品装配线：以逼近单一产品装配线的效率实现出产品种的多样化(如汽车装配线)



1、单一产品生产线



2、多品种产品生产线



3、混流产品生产线



混流生产的特点

- 混流生产方式是当前先进制造企业适应客户个性化需求普遍采用的一种生产组织方式
- 目标：
 - 出产品种多样化
 - 生产效率高
 - 生产成本低
- 手段：
 - 硬件：设备（如快速换模装备）
 - 软件：生产管理（如优化排产技术）

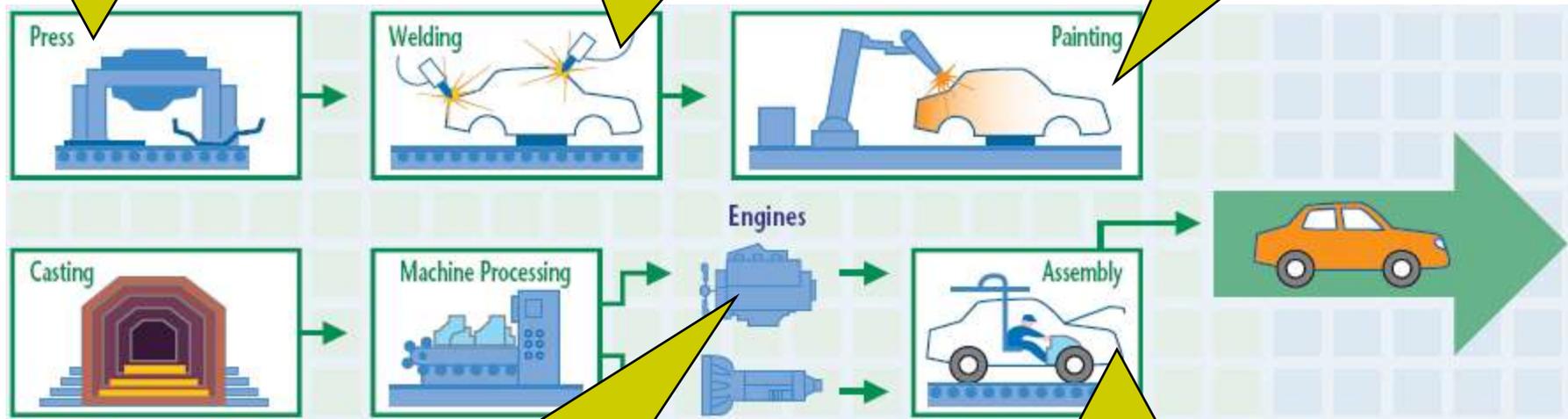
汽车制造系统



冲压车间：覆盖件生产
生产模式特点：作业型

焊装车间：车身焊接
生产模式特点：混流装配型

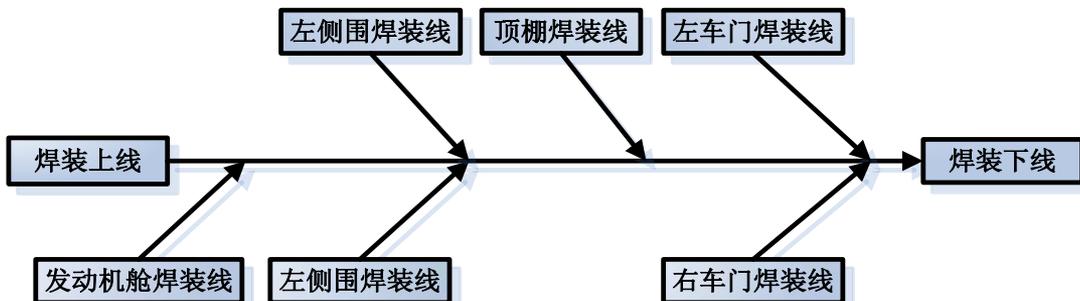
涂装车间：车身喷漆
生产模式：混流装配型



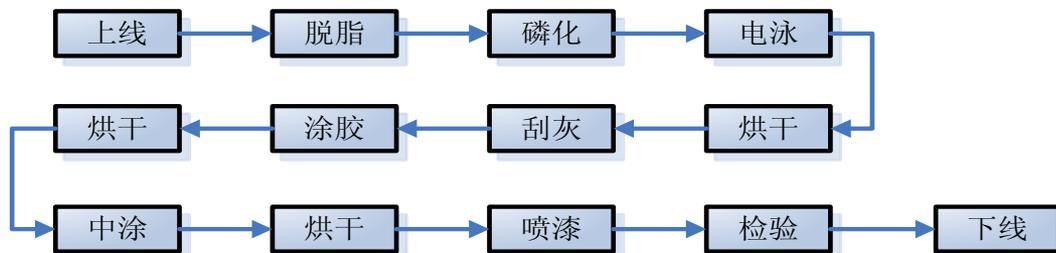
发动机车间：发动机加工及装配
生产模式：混合型

总装车间：汽车组装
生产模式：混流装配型

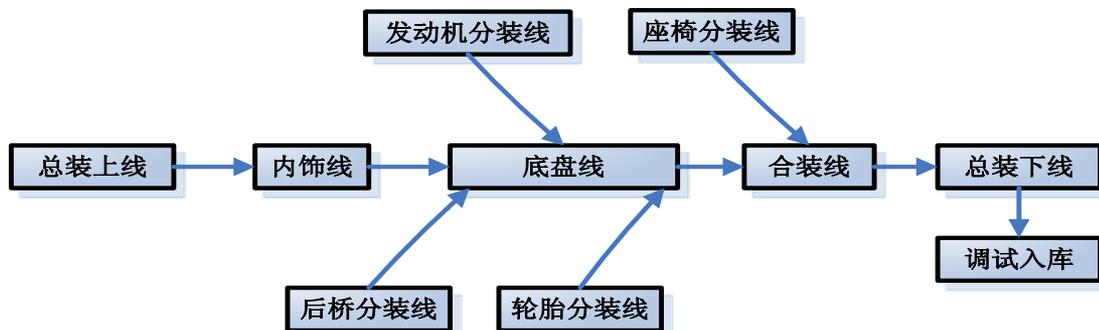
汽车混流装配工艺



焊装



涂装

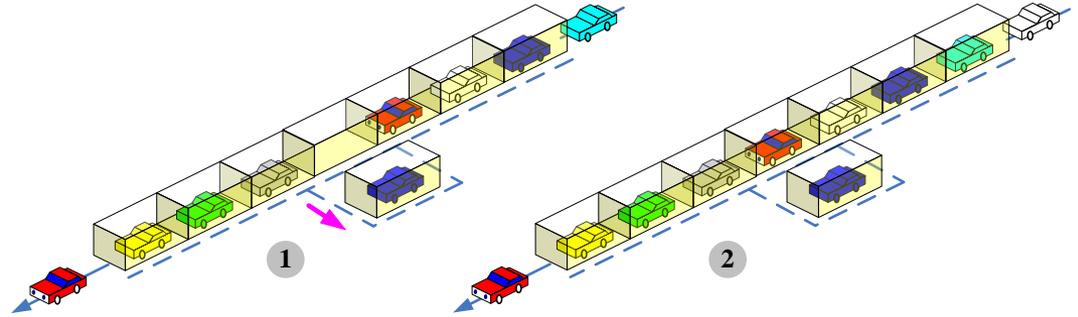
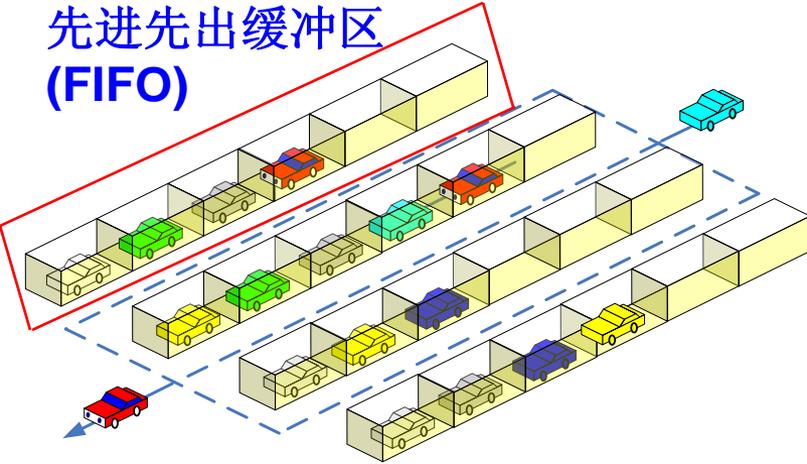


总装

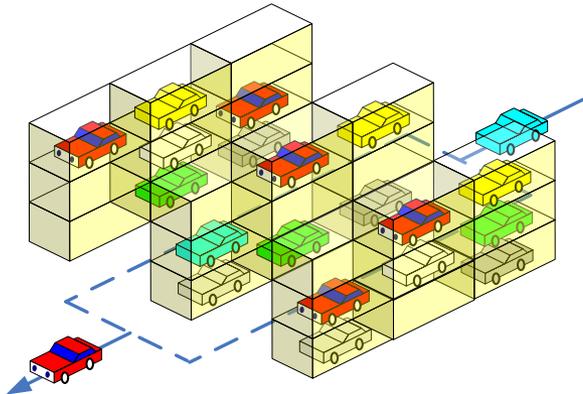
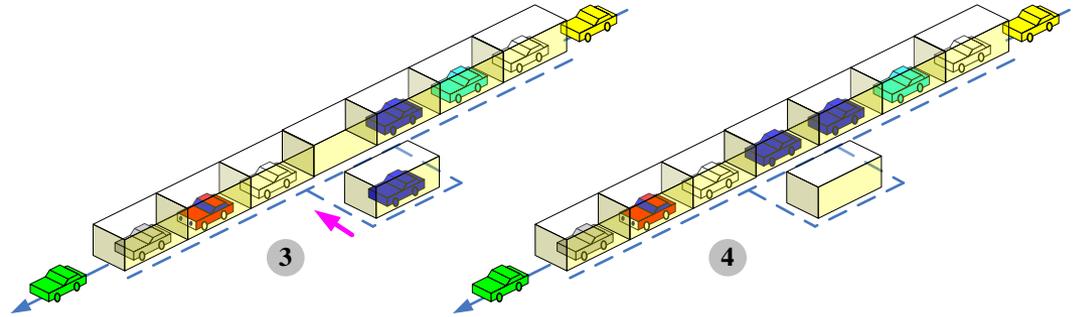
汽车生产中的常见缓冲区



先进先出缓冲区
(FIFO)



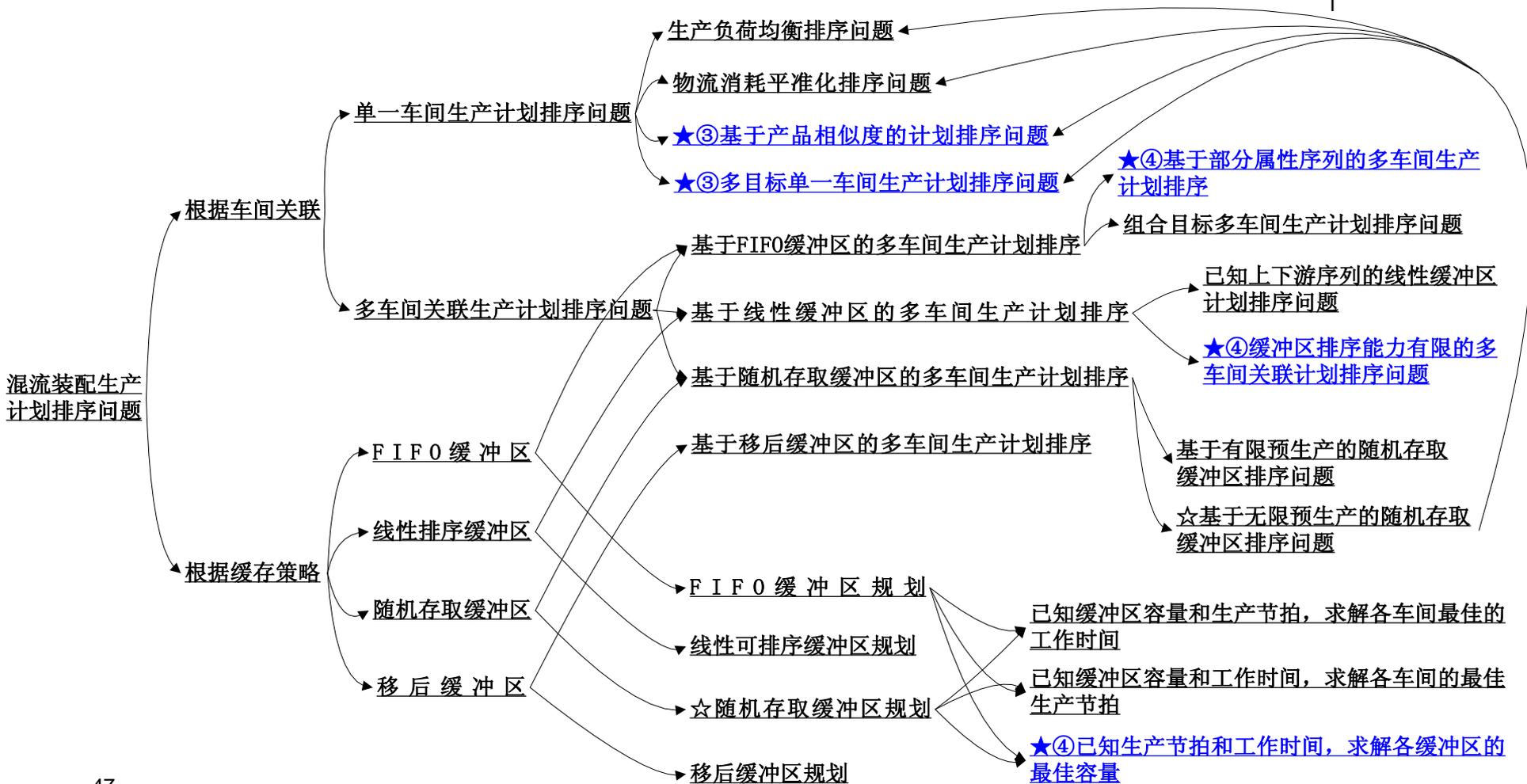
线性缓冲区
(Selectivity Bank)



后移缓冲区
(Pull-off Table)

随机存取缓冲区
(Free Access Buffer)

汽车混流装配计划排序分类



汽车混流装配排序优化的几个例子



- 单车间单目标的装配计划排序
 - 生产负荷平衡
 - 物流消耗平准化
 - 产品相似度
- 单车间多目标装配计划排序
- 多车间关联计划排序
 - **FIFO**缓冲区车身涂装配色规划
 - 基于线性缓冲区的汽车焊、涂装线关联排序

单车间单目标的装配计划排序



○ 计算样本

表1 主生产计划 (20)

计划编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
产品型号	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
数量	1	2	1	2	1	1	3	3	1	1	2	2

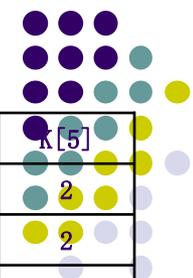
表2 对应产品的关键件与选装件配置表

产品	K[1]	K[2]	K[3]	K[4]	K[5]	O[1]	O[2]	O[3]	O[4]	O[5]
a	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
b	1	2	2	2	2	1	1	0	0	0
c	1	2	3	2	2	1	0	1	1	0
d	2	2	1	1	3	0	1	0	0	1
e	3	3	2	1	3	0	0	1	0	0
f	4	2	2	2	1	0	1	0	1	1
g	3	3	3	1	2	0	1	1	0	1
h	4	1	2	2	2	0	1	0	1	0
i	1	3	2	1	1	1	0	0	0	1
j	1	2	3	1	1	0	0	1	1	0
k	4	2	2	2	2	0	0	0	0	1
l	3	3	1	1	2	0	0	0	1	1

表3 选装频率

选装项	O[1]	O[2]	O[3]	O[4]	O[5]
$H_x : N_x$	3:4	4:7	3:5	2:3	2:3

传统的计划排序方法



产品	K[1]	K[2]	K[3]	K[4]	K[5]
f	4	2	2	2	1*
g	3*	3	3*	1*	2*
h	4*	1*	2*	2*	2
g	3*	3*	3*	1*	2
k	4*	2*	2*	2*	2
c	1*	2	3*	2	2
k	4*	2	2	2	2
b	1*	2	2	2*	2
i	1	3*	2	1*	1*
b	1	2*	2	2*	2*
e	3*	3*	2	1*	3*
d	2*	2*	1*	1	3
l	3*	3*	1	1	2*
d	2	2*	1	1	3*
g	3*	3*	3*	1	2*
l	3	3	1*	1	2
j	1*	2*	3*	1	1*
a	1	1*	1*	1	1
h	4*	1	2*	2*	2*
h	4	1	2	2	2

产品	K[1]	K[2]	K[3]	K[4]	K[5]
h	4	1	2	2	2
g	3*	3*	3*	1*	2
l	3	3	1*	1	2
b	1*	2*	2*	2*	2
k	4*	2	2	2	2
d	2*	2	1*	1*	3*
e	3*	3*	2*	1	3
f	4*	2*	2	2*	1*
i	1*	3*	2	1*	1
h	4*	1*	2	2*	2*
g	3*	3*	3*	1*	2
c	1*	2*	3	2*	2
j	1	2	3	1*	1*
a	1	1*	1*	1	1
d	2*	2*	1	1	3*
l	3*	3*	1	1	2*
k	4*	2*	2*	2*	2
b	1*	2	2	2	2
h	4*	1*	2	2	2
g	3*	3*	3*	1*	2

以生产负荷均衡为目标的排序结果(56)

以物料消耗平准化为目标的排序结果(56)

Car Sequencing Problem

以生产负荷平衡为目标的计划排序

* Parrello1986

Level Scheduling

以物流消耗平准化为目标的计划排序

Miltenburg1989

基于产品相似度计划排序



- 问题：上述目标优化的结果导致品种切换过于频繁



- 解决：基于产品相似度目标的混流装配排序模型

$$\max. f_p = \sum_{j=1}^{|D_j|-1} S(D_j, D_{j+1})$$

其中：

$$C(v_n, v'_n) = \begin{cases} 1, & \text{若 } v_n = v'_n \\ 0, & \text{若 } v_n \neq v'_n \end{cases}$$

产品相似度， $S(v, v') = \frac{\sum_{n=1}^{|v|} C(v_n, v'_n)}{|v|}$

产品	K[1]	K[2]	K[3]	K[4]	K[5]
d	2	2	1	1	3
d	2	2	1	1	3
l	3*	3*	1	1	2*
l	3	3	1	1	2
g	3	3	3*	1	2
g	3	3	3	1	2
g	3	3	3	1	2
e	3	3	2*	1	3*
i	1*	3	2	1	1*
a	1	1*	1*	1	1
j	1	2*	3*	1	1
c	1	2	3	2*	2*
b	1	2	2*	2	2
b	1	2	2	2	2
h	4*	1*	2	2	2
h	4	1	2	2	2
h	4	1	2	2	2
k	4	2*	2	2	2
k	4	2	2	2	2
f	4	2	2	2	1*

单车间单目标的装配计划排序



目标	负荷均衡	物流平顺	产品相似度
品种切换	56	56	19

● 结论之一:

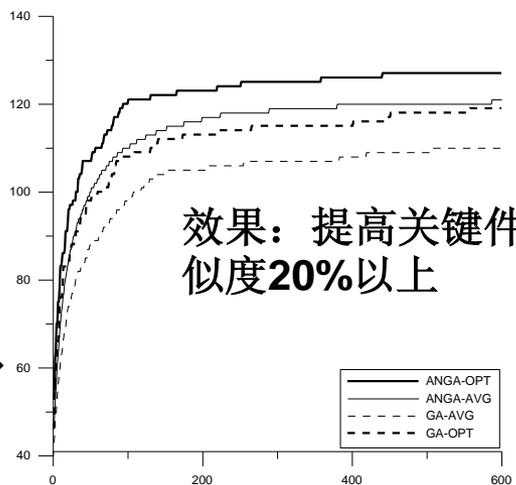
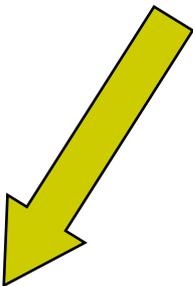
- 采用产品相似度目标能够大幅减少装配过程中的品种切换次数。

车型	发动机	驱动桥	减振器	空车身	ABS
a	4GA1	V6170	SB08-031R	V3260W1	国产
b	4GA1	V3100	SB18G-042	4ADMO	进口
c	4GA1	V3100	SB18G-039	4ADMO	进口
d	G4JS	V3100	SB08-031R	V3260W1	取消
e	D4BH	4A270	SB18G-042	V3260W1	取消
...

$$\text{Max. } f_{(x)} = \sum_{i=1}^{M-1} S(\alpha_i, \alpha_{i+1})$$

$$S(\alpha, \beta) = \frac{\sum_{n=1}^N C(\alpha_n, \beta_n)}{N}$$

$$C(\alpha_n, \beta_n) = \begin{cases} 1, & \text{若 } \alpha_n = \beta_n \\ 0, & \text{若 } \alpha_n \neq \beta_n \end{cases}$$





单一车间的装配计划排序

- 问题：仅考虑单一排序目标的不能满足需求



- 解决：多目标混流装配排序优化模型

$$\max f = w_c f_c + w_l f_l' + w_p f_p$$

$$\text{st. } w_c + w_l + w_p = 1$$

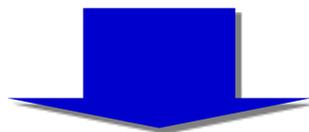
$$\text{其中 } f_l' = -f_l$$

单车间多目标混流装配优化排序



问题编号	w_c	w_p	w_l	问题描述
问题一	1	0	0	单独考虑生产负荷均衡目标
问题二	0	1	0	单独考虑产品相似度目标
问题三	0	0	1	单独考虑物料平准化目标
问题四	10	3	2	加权考虑以上三个目标

- 问题：仅考虑单一排序目标不能满足需求



- 解决：多目标混流装配排序优化模型

$$\max. f = w_c f_c + w_l f_l' + w_p f_p$$

$$\text{st. } w_c + w_l + w_p = 1$$

$$\text{其中 } f_l' = -f_l$$

单车间多目标混流装配优化排序



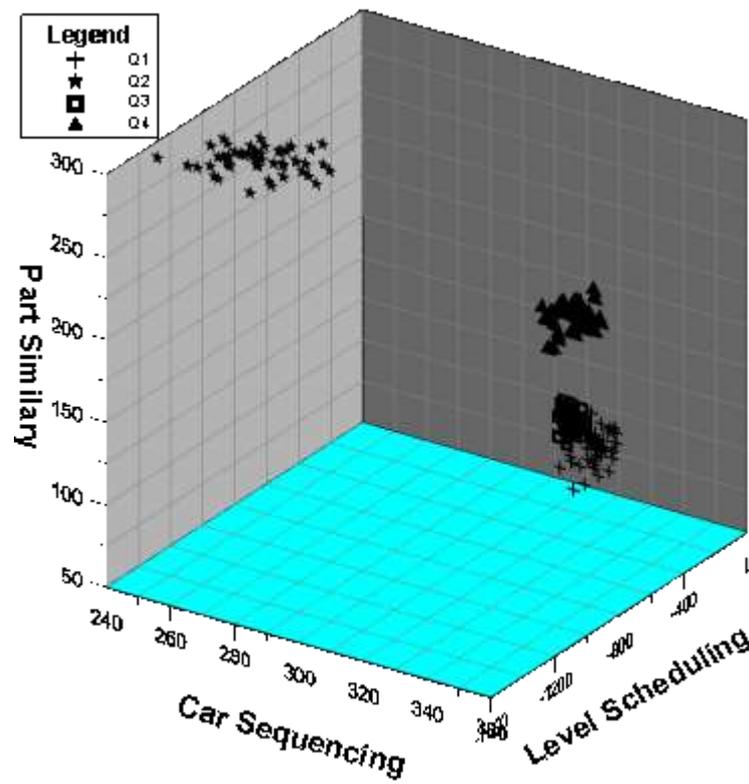
主生产计划
(70件)

产品品种	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
生产数量	8	7	2	9	3	8	7	2	5	6	5	8

问题	描述
Q1	单独考虑生产负荷平衡目标
Q2	单独考虑产品相似度目标
Q3	单独考虑物料平准化目标
Q4	加权考虑以上三个目标

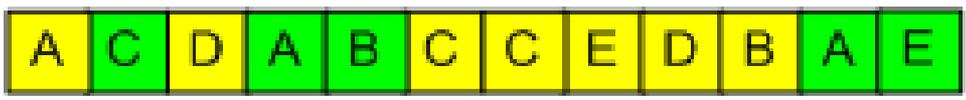
结果对比

	负荷 超限	品种 切换	物流 平顺
Q1	8	213	-592.571
Q2	99	48	-1165.43
Q3	36	235	-222.8
Q4	8	145	-588.457





FIFO缓冲区车身涂装配色规划

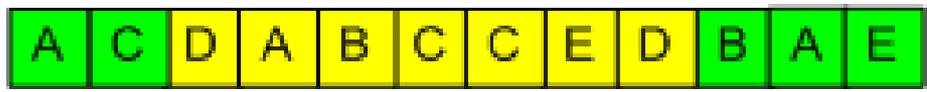
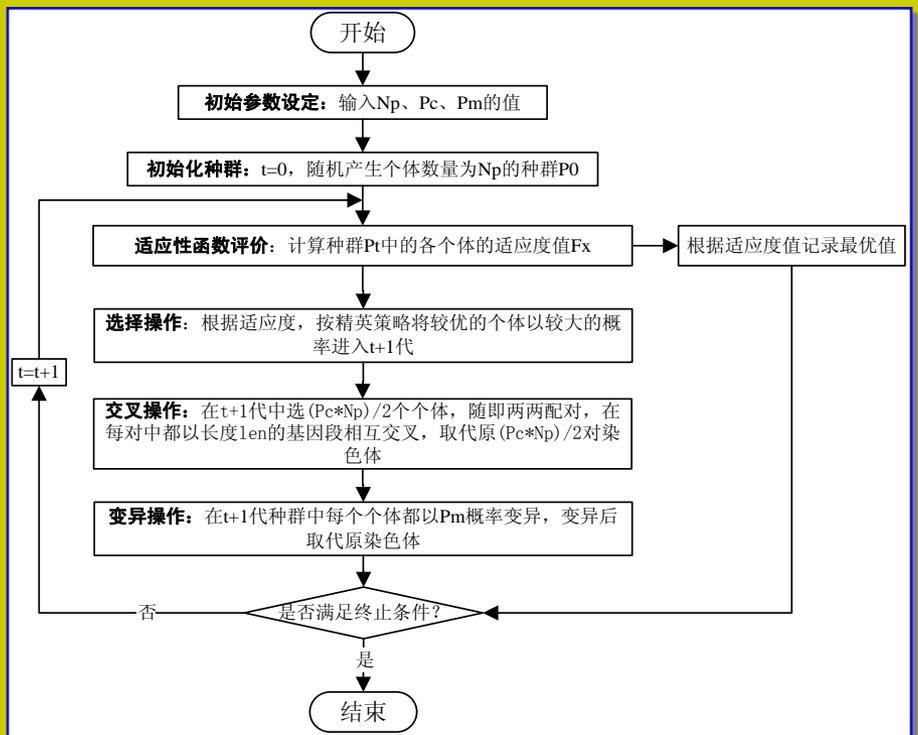


$$\begin{pmatrix}
 \delta(1,1) & \delta(1,2) & \dots & \delta(1,|\vec{w}|) \\
 \delta(2,1) & \delta(2,2) & \dots & \delta(2,|\vec{w}|) \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \delta(|\vec{w}|,1) & \delta(|\vec{w}|,2) & \dots & \delta(|\vec{w}|,|\vec{w}|)
 \end{pmatrix}$$

颜色切换矩阵



$$\begin{aligned}
 X &= (W, P, C, \vec{w}, \psi) \\
 \vec{\psi} &= \langle p_1, \dots, p_n \rangle = \langle w_1, \dots, w_n \rangle \langle c_1, \dots, c_n \rangle^T \\
 f(X) &= \sum_{i=1}^{n-1} \delta(p_i, p_{i+1}) \\
 \text{s.t. } p_i &\in S_0^*(i) \\
 S_0^*(i) &= \{p_j | w_j = w_i, j = 1, 2, \dots, n\} \\
 \delta(p_i, p_{i+1}) &= \begin{cases} 0 & c_i \neq c_{i+1} \\ 1 & c_i = c_{i+1} \end{cases}
 \end{aligned}$$

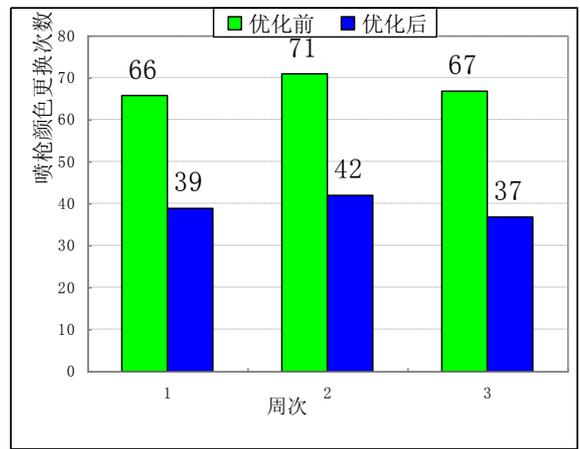
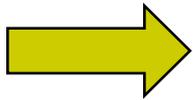




FIFO缓冲区车身涂装配色规划

在安徽江淮汽车等生产企业的实践表明，采用上述模型和算法可以较大程度的减少涂装生产中的换色问题，在降低油漆浪费的同时减小了清洗剂对环境的污染

序号	生产订单号	车型代码	车型名称	颜色	计划时间	计划数	已生产
1	460702771	V23C220011A25010	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	1	0
2	460702770	V23C220011E391010	二代康铂纯电动城市物流车	蓝色	2016-9-28	1	0
3	460702769	V23C22001A251010	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	5	0
4	460702768	V4S00100228	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	6	0
5	460702767	V23C22003A221000	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	9	0
6	460702765	V23A10005A221000	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	15	0
7	460702766	V23011000A221000	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	18	0
8	460702764	V17010005A221000	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	2	0
9	460702763	V17040100A221000	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-28	3	0
10	460702762	V17040100A221000	二代康铂纯电动城市物流车	银灰色	2016-9-27	20	0



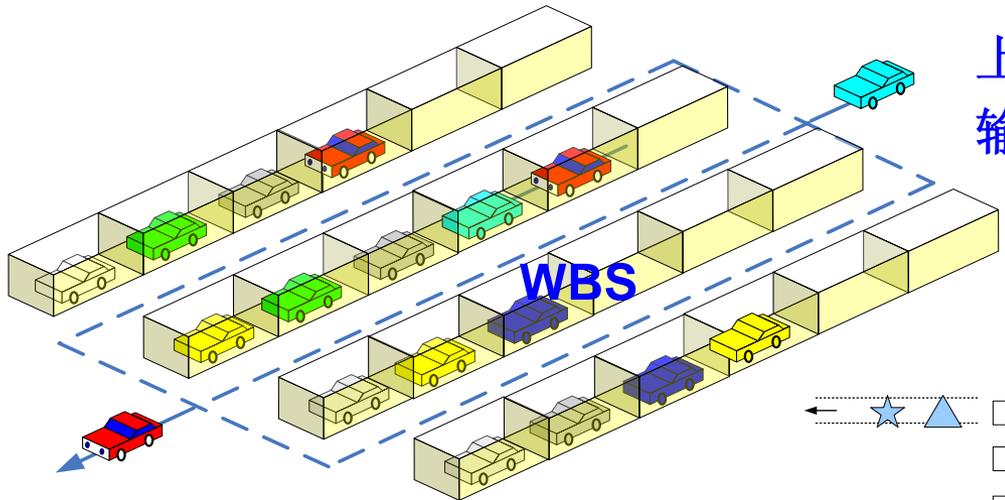
效果：降低换色次数30%左右



基于线性缓冲区的汽车焊、涂装线关联排序

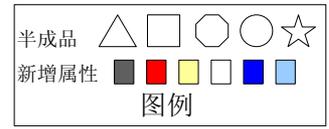
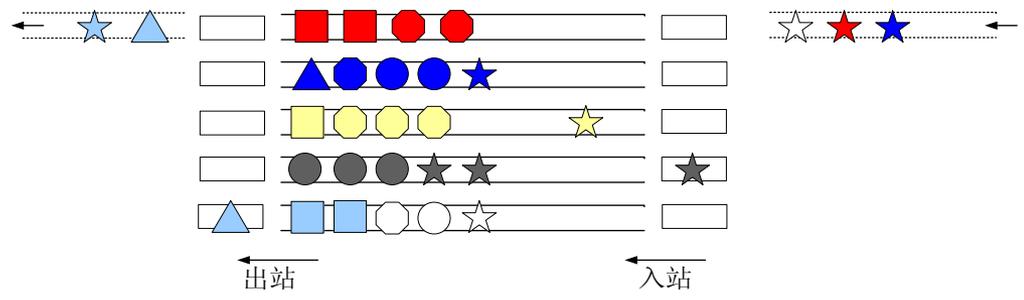
- 问题描述

- 汽车焊装车间和涂装车间及其WBS



上游车间：焊装车间
输出：白车身

下游车间：涂装车间
输出：空车身





基于线性缓冲区的汽车焊、涂装线关联排序

- 分析

- 目的：考量线性缓冲区为排序带来的灵活性是否足以使两个相邻车间独立制订各自的生产计划
- 方法：随机产生的焊装序列作为输入

- 计算结果

- 尽管焊装序列为随机产生且完全无序，但在**20**次运算最后生成的涂装序列中，活动换色次数却相差不大。

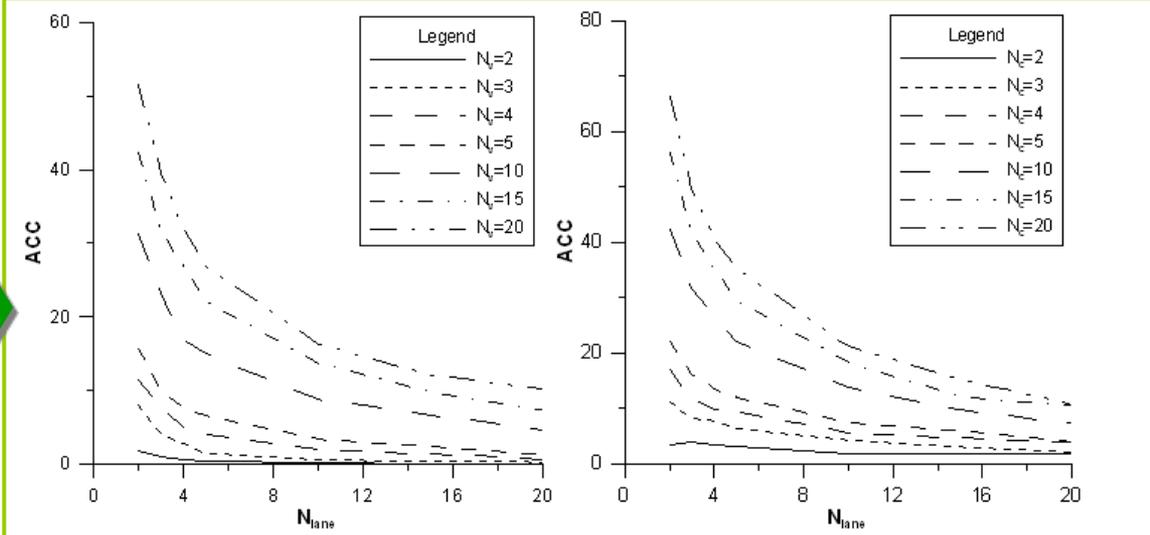
运行次数	换色次数	ACC(op.)	ACC(avg.)
1	14	9	9.24
2	13	8	8.13
3	13	8	8.45
4	13	8	8.32
5	15	10	10.26
6	13	8	8.34
7	14	9	9.66
8	10	5	5.4
9	13	8	8.29
10	13	8	8.44
11	14	9	10.19
12	14	9	10.47
13	12	7	7.24
14	13	8	8.25
15	13	8	8.32
16	14	9	9.37
17	12	7	7.21
18	14	9	9.28
19	13	8	8.52
20	14	9	9.17
平均值	13.1	8.1	9.0275



基于线性缓冲区的汽车焊、涂装线关联排序

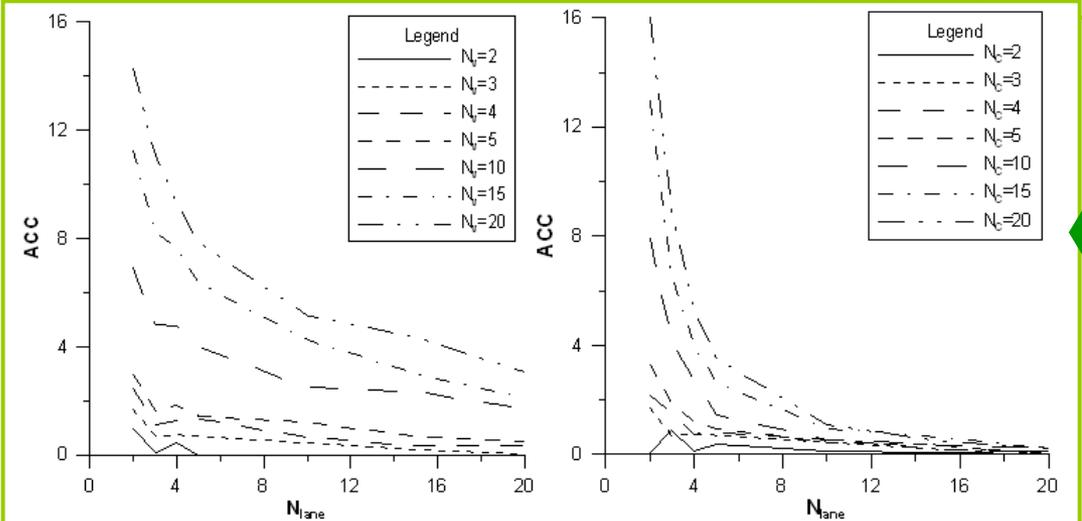
结论

- 在一定规模的线性缓冲区的支持下，焊装和涂装车间基本上可以不必考虑另一个车间的计划排序，独立制定自己生产计划



$N_c=15$ 时 ACC 随 N_{lane} 的变化趋势

$N_v=15$ 时 ACC 随 N_{lane} 的变化趋势



$N_c=3$ 时 ACC 随 N_{lane} 的变化趋势

$N_v=3$ 时 ACC 随 N_{lane} 的变化趋势



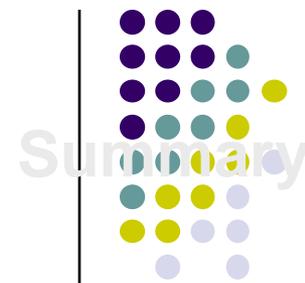
- N_v 较小 (<5) 时， N_c 增多对排序结果的影响很小；而在 N_c 较小 (<5) 时，白车身种类的增加对排序结果的影响更大



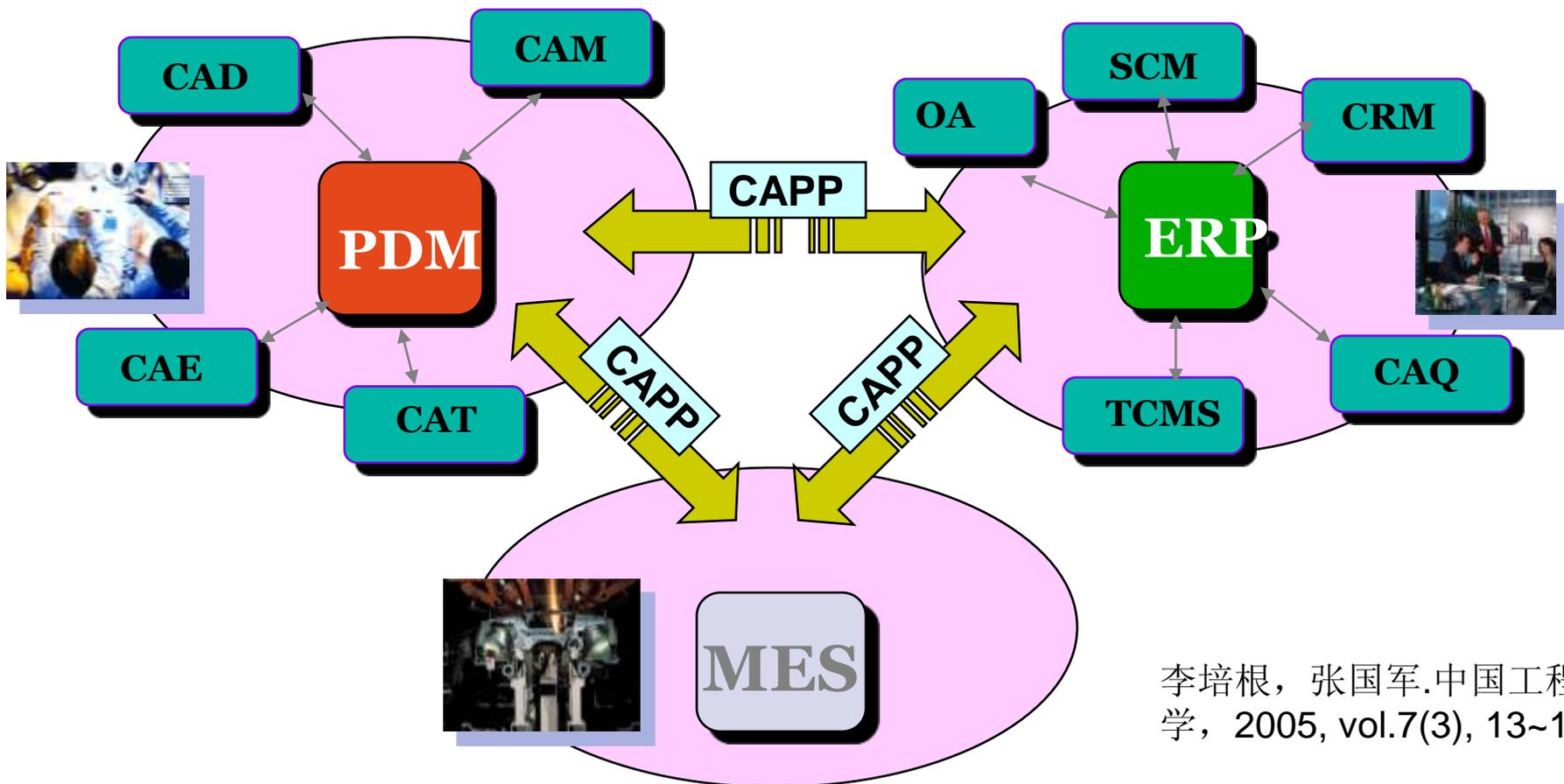
提纲

- **MES**发展现状、问题与对策
- 离散制造特点分析及其**MES**关键技术
- 混流生产优化方法及其应用
- 结语

MES:制造业信息化的第三大核心



- MES将会成为制造底层信息化的核心，是继PDM、ERP之后的第三大信息化平台。



李培根，张国军.中国工程科学，2005，vol.7(3)，13~16



结语——

MES即将成为制造业信息化新的核心平台，让我们共同探讨、群策群力，一起破解开发和实施MES的难题，为推动MES产业的发展，提升中国制造水平而努力。



敬请批评指正！



张国军
027-87557765
13507133747
zgj@mail.hust.edu.cn