



APS 高级计划与排程

APS 高级计划与排程 基础理论知识

整理制作：人间烟火

2005-08-25

第一章 APS 概念、发展及构成

什么是高级计划与排程-APS?

被誉为供应链优化引擎，有称高级计划系统(Advanced Planning System)，也有叫高级计划与排程(Advanced Planning and Scheduling)。定义不是最重要的。最重要的是对所有资源具有同步的，实时的，具有约束能力的，模拟能力，不论是物料，机器设备，人员，供应，客户需求，运输等影响计划因素。不论是长期的或短期的计划具有优化，对比，可执行性。其将要采用基于内存的计算结构，这种计算处理可以持续的进行计算。这就彻底改变了批处理的计算模式。可以并发考虑所有供应链约束。当每一次改变出现时，APS 就会同时检查能力约束，原料约束，需求约束，运输约束，资金约束，这就保证了供应链计划在任何时候都有效。也将采用基因算法技术，它是一种搜索技术，它的目标是寻找最好的解决方案。这种搜索技术是一种优化组合，它以模仿生物进化过程为基础。基因算法的基本思想是进化就是选择了最优种类。基因算法将应用在 APS 上，以获得“最优”的解决方案。现在 APS 系统以将网络结构的 APS 主要是基于多层代理技术与制造内部的 APS 主要是基于模拟仿真结合起来，使得网络导向结构的 APS 解决制造同步化问题，模拟仿真 APS 的优化顺序器解决工厂的顺序冲突问题。这样，APS 计划的编制与顺序的安排就可以提供给制造商解决全球的优先权和工厂本地的优化顺序问题，来满足制造业对客户响应越来越强烈的需求。

APS 应包括哪那些内容?

1. 基于订单任务(Job-based)订单优先级计划
2. 基于事件(Event-based)资源利用率最大化计划
3. 基于资源(Resource-based, TOC)瓶颈约束计划
4. 基于物料约束的可行的计划
5. 基于历史，现在，未来的需求计划
6. 基于供应资源优化的分销配置计划
7. 基于运输资源优化运输计划

APS 为制造业的四类制造模型提供解决方案:

- 1, 流程式模型,APS 主要是顺序优化问题.
- 2, 离散式模型,APS 主要是解决多工序,多资源的优化调度问题.
- 3, 流程和离散的混合模型. APS 同时解决顺序和调度的优化问题.
- 4, 项目管理模型,APS 主要解决关键链(资源约束)和成本时间最小化问题.

APS 考虑不同行业的解决方案。APS 的主要着眼点是工序逻辑约束和资源能力约束,物料和工序流程紧密联结.各种优化规则.计算最早可能开始时间和最迟可能开始时间.物料可重分配和可替代,资源可重分配和可替代.计划排程考虑柔性(缓冲),考虑成本约束,考虑非确定流程和统计概率论.考虑多种优化方案的比较分析.

一般 APS 软件都由 5 个主要的模块组成: 需求计划、生产计划和排程、分销计划、运输计划,企业供应链分析等。

近年来,许多企业开始把注意力放在自己的核心竞争能力上,对一些非强项业务则尽可能外包给别的公司。结果,销售给顾客的产品或服务,其特征和质量在很大程度上取决于供应链上的所有相关企业。这便带来了新的挑战:如何实现供应链的集成?如何更有效地协调和控制企业间的物流、信息流和资金流?对于这些问题,需要有一个全新的管理理念和方法 - 供应链管理。**SCM** 方法的研究和实施为企业带来了很大的经济效益,今天,许多企业都选择了供应链和物流管理作为获取新的竞争优势所必须采取的战略步骤。

在过去十年中,信息技术(如强大的数据库管理系统),通信手段(如通过 **Internet** 的电子数据交换),以及复杂数学模型的各种求解方法(如数学规划)的发展为计划和控制供应链流程开阔了新的视野。顾客订单、需求预测或市场趋势可以被分解成必要的活动,立刻送到供应链各组织当中,并通过高级计划系统(**APS**)生成准确的生产计划和程序来保证按时完成订单。**APS** 与传统的企业资源计划(**ERP**)不同,它试图在直接考虑潜在瓶颈的同时,找到跨越整个供应链的可行最优(或近似最优)计划。

二、什么是计划?

为什么要计划?整个供应链中每分钟都有成百上千个决策需要制定和协调,这些决策的重要性不尽相同,既有相当简单的问题如“下一步各机床计划完成哪项工作?”,也有非常重要的决策如是否新开或关闭一家工厂。一个决策越重要,就越需要更好地准备,这种准备工作就是计划。计划通过识别将来的各种可行活动,选择其中好的甚至最好的来支持决策。计划过程可分为几个阶段:认识和分析决策问题;定义目标;预测未来状况;识别和评估可行活动;最后是选择最优方案。

供应链非常复杂,现实上要处理的每个细节并非都能(或应当)在计划中考虑,因此,有必要根据现实建立一个模型,以此作为制定计划的基础。建模的艺术就是要尽可能简单、尽需要详细地表现真实,也即简单而又不忽略现实中的重要约束。预测和仿真模型用于预测未来的状况,解释复杂系统输入和输出之间的关系,但它不支持从大量可行活动中根据标准来选择最优方案,这一工作通常由优化模型来完成,它与前者的差别在于增加了一个可用来求最大或最小的目标函数。

计划不是一成不变的,计划的有效期受到预定计划范围的限制。当达到计划范围时,需要重新制定一个新的计划来反映当前供应链的状况。根据计划范围的跨度和所做计划的重要性,计划任务通常可分为三个不同的计划层次:

长期计划:这一层次的决策也称为战略决策,它制定了未来企业/供应链开发所必要的框架,通常涉及供应链的设计和结构,对今后几年有长期影响。

中期计划:在战略决策的范围内,中期计划决定常规运作的框架,特别是决定了供应链中流程和资源的总的数量和时间,其计划范围从 6 个月到 24 个月,考虑了需求的季节性变化。

短期计划:最低计划层应当把所有活动明确为可供立刻执行和控制的详细指令,因此,短期计划模型要求高度的详细和准确。短期计划范围在几天到 3 个月之间,受到来自上层有关结构和数量范围决策的限制。对供应链的实际性能(如提前期,顾客服务,和其它策略问题)而言,短期计划是一个很重要的因素。

最简单的计划方法是查看所有可选活动,按给定的标准进行比较,然后选择最好的方案。不幸的是这一简单计划程序至少会遇到三个主要困难:

首先,计划活动中常常同时有几个标准,目标之间存在冲突,各方案之间的优先选择也不明确。例如,顾客服务水平应尽可能高,而与此同时又要保持库存最少,这种情况就没有最优解(也即不能同时使两个目标最优)。处理这种多目标决策问题的常用方法是设定一个目标在最小或最大的满意水平,然后优化另一个目标。在上面的例子中,人们可以在保证一个最低顾客服务水平的同时使库存最少。另一种处理多目标问题的有用方法是对所有目标按财

务收入或成本定价,然后使结果的边际利润最大,但不是每个目标都能以财务价值的形式来表达(如顾客服务)。还有一个更常用的方法是给每个目标定义一个系数值,然后加权求和,这种方法的缺陷是有可能产生伪最优解,因为它在很大程度上取决于任意的权值。供应链高级计划系统(APS)从原理上支持上面各种多目标寻优方法。

其次,供应链计划的可行方案数量巨大。例如,对连续决策变量(如订单大小或工作的开始时间),可选方案的数量实际上是无限的。对离散变量也是如此,如几个工作在机床上的加工顺序,可选的数量是一个组合大数。在这些例子中想通过简单枚举来找到最优方案是不可能的,甚至要找到一个可行的方案都很困难。在这种情况下,可应用运筹学(operations research)的数学方法来支持计划流程。线性规划或网络流算法能找到精确的最优解,然而,大多数组合问题只能通过启发式算法(heuristics)来计算近似最优解(局部最优),这些方法的成功也取决于问题的建模方法。

第三,最难的恐怕还是处理不确定性。计划通过分析在未来状况相关的数据来安排将来的活动,这些数据通过预测模型估计得到,或多或少存在预测误差。这种误差降低了产品的可用性(availability),因而也降低了企业提供的顾客服务水平。为了改进服务,安全库存被用来缓冲实际需求与预测之间的误差。当然,安全库存并非处理需求不确定性的唯一方法。

需求的不确定性使计划与现实之间存在偏差,因此必须进行控制,如果偏差过大,计划就要重新修改。“滑动范围窗”(rolling horizon basis)的计划方法就是这种计划-控制-修改的交互实施。计划范围(如1年)被分成若干时间段(如12个月),计划在1月份开始时制定,涵盖12个月,但只在第一个时段(1月份,称为冻结时段)计划才真正被付诸实施。新的计划在第二个时段(2月份)开始时重新制定,新计划考虑了第一个时段中的实际变化,并更新未来时段的预测。新计划的范围与原先的计划重叠,但延伸了一个时段(从2月份到第二年的1月份),如此类推。在传统计划系统和APS中,这种方法是处理运作计划中不确定性的常用方法。图1给出了这种不断滑动计划范围的计划方法。

另一种更有效地更新计划的方法是面向事件的计划(event-oriented planning)。新计划不是在正常间隔,而是在出现重要事件时制定,例如意外销售,顾客订单变化,机器故障等等。这种方法要求计划需要的所有数据(如存货,工作进程等)被连续更新,以便在事件发生的任何时刻都有数据可用。这种方法的一个例子就是APS,它利用来自ERP系统的数据,根据事件来更新计划。APS有下面三个主要特点:

它是整个供应链的综合计划,从企业(甚或更广泛的企业网络)的供应商到企业的顾客;

它是真正优化的计划,定义了各种计划问题的选择、目标和约束,使用精确的或启发式的优化算法;

它是一个层次计划系统,结合了上面两个特点:供应链最优计划既不能靠同时执行所有计划任务的单一系统形式获得(根本不切实际),也不可能靠依次执行各种计划任务取得(达不到最优)。层次计划折衷考虑了实用性和计划任务之间的独立性。

值得注意的是,ERP系统中的传统物料需求计划(MRP)在概念上没有上面这些特点:MRP只限于生产和采购领域,不做优化,在大多数情况下甚至不考虑目标函数,它是一个运作层面的连续计划系统。

层次计划的主要思想是把总的计划任务分解成许多计划模块(即局部计划),然后分配给不同的计划层,每一层都涵盖整个供应链,但层与层之间的任务不同。在最顶层只有一个模块,是企业范围的、长期的、但却是粗略综合的发展规划。层次越低,计划涵盖的供应链局部受到的限制越多,计划时间范围越短,计划也越详细。在层次计划系统的同一计划层中,供应链各局部计划之间通过上一层的综合计划来协调。图2给出了计划任务的层次结构框图。

在层次计划中向下(向上)分解(综合)数据和结果,可以取得计划详细程度的增加(减少)。综合主要涉及:产品(组合成批),资源(组合成产能组),和时间(把分段时间组合成更长的时间段)。各计划模块被水平和垂直信息流连接在一起,上层计划模块的结果为下属计划设定了约束,而下层计划也将有关性能的信息(如成本,提前期,使用率)反馈给更高的层次。层次计划系统(HPS)的设计需要仔细定义模块结构,模块计划任务的分配,和模块间信息流的详细说明。HPS 通常采用滑动范围的计划方法,在不同层次上计划间隔和范围的复杂协调方法可参阅文献[2]。面向事件的计划简化了 HPS 的使用,使它更加灵活,但前提条件是有一个通信系统能对有关的计划层和任务模块发出“事件”报告,此外,一个计划任务的结果也应能其它计划任务发出事件报告。

APS 有三个主要优点:信息可视化,减少计划时间,和允许方便地应用优化方法。正因为如此,许多计划人员或许会担心自己的工作会被计算机所代替。然而,模型只是现实的近似,人们的知识,经验和技能仍然需要来弥补模型和现实之间的差距。计划系统无论多么高级也只是支持人们制定决策的决策支持系统。在面向事件的计划中,通常要由计划人员来决定是否需要修改计划,此外,每一个计划模块也需要由人来负责它的功能、数据和结果。

三、供应链计划任务

整个供应链网络由网络中每个伙伴的内部供应链组成,内部供应链包括四个主要的供应链流程,其计划任务不尽相同。采购流程包括所有为生产提供必要资源(如物料和人力等)的子流程,资源的有限能力是生产流程的输入,生产流程也由许多子流程组成。分销流程弥合了生产地点和顾客(零售商或其它进一步处理产品的企业)之间的距离,销售流程确定顾客需求和订单数量,驱动其它三个流程。

供应链计划矩阵(SCP-Matrix)根据计划范围长短和供应链流程对计划任务进行分类(如图 3 所示),图 3 给出了大多数供应链类型中常见的计划任务,任务的内容随各行业不同而不同。图中长期任务只用一个长方框,体现了战略规划内容广泛综合的特点,其他方框是矩阵输入,表示不同的流程计划任务。SCP-Matrix 可供 APS 开发商用来定位他们的软件模块,以便涵盖矩阵中所有的供应链计划任务。

在层次计划系统中,各计划模块之间通过信息流协调和集成,可分为水平信息流和垂直信息流:

水平信息流:从供应链下游向上传递,包括顾客订单,销售预测,仓库补货订单,各部门之间的内部生产订单,和给供应商的采购订单,整个供应链受顾客需求驱动。计划模块之间(不仅限于相邻模块)更多信息的双向交换能够大大改进供应链性能(如“长鞭效应”),这些信息主要包括实际库存,可用能力,提前期和销售点数据。

垂直信息流:从上层向下流动,通过高层计划的结果协调下层的从属计划,主要信息包括分配给生产车间、部门或流程的综合数据,而协调则通过能力分配和设定交付日期来取得。从下层向上流动,提供上层有关供应链性能更详细的数据,如实际成本,生产率和设备使用率,提前期等等,这些信息在上层计划中用来预测下层更详细的流程结果。

四、APS 高级计划的历史

基于约束的高级计划和排程技术的是真正供应链优化的重要引擎,她给错综复杂的供应链丛林中的企业以敏捷的身躯,来快速反应与适应激烈竞争切变化多端的市场.实际上有多种需求导致 APS 的产生,其原因如下:

(1),业务系统是基于事物处理的,APS 更多的是在业务层以上的分析,这些系统的结构限制了计划和排程的能力,如 MRP,CRP 等等.直到现在,对许多使用业务系统的人们来说高级计划 APS 还都是新的内容.

(2),APS 的内部开发已经完成.技术已走向成熟,出现很多的供应商和产品的现象.

(3),许多咨询公司还没有涉足此领域,直到较好的产品和供应商出现.

(4),人们对 APS 的定义来源于较广的工业领域,APS 在不同的时间,不同的运用点渗透到不同的工业领域.当公司有能力管理自己的数据与业务时,实时,优化就显得更加的重要.流程行业最先使用 APS 技术,离散行业较后才使用.

(5),许多用相似的方案的供应商已经很积极的声明自己是 APS 供应商.

(6),对 APS 技术的贡献有 APICS,人工智能,计算机科学,决策支持系统,工业工程,物流,管理科学,运筹学,和生产运作管理,每一个领域都有自己的术语,此外,也导致了混乱.(甚至”计划”与”排程”都没有标准的意义),这也造就了创造新工具的机会.

APS 已经从企业内部持续改善的优化工具到满足公司间协作的供应链新技术的进化.这个论题是 John Layden,在他的<<排程逻辑的进化>>的文章描述的,让我们继续这个进化,看看有谁在此领域活跃了近二十多年.

计算机出现之前的 APS

在计算机之前,一些关键的概念已经形成了.一个是甘特图,它让人们看到可视的计划并可以交互的更新.这个简朴的概念一直延续到今天,我们用有颜色的橡皮带,块,钉子和粉笔在墙上,纸作标识.用数学建模的方式来解决计划问题的想法出现在至少在 1940 年.美国和前苏联让人们手工应用这一新的优化技术,它叫线性规划,运用它来解决与战争有关的后勤问题.

1950-1960 初,计算机已出现

APS 的进化已经和计算机的进步紧密相连了,在 1950 末或 1960 年初,许多大公司开始租赁计算机计算和购得大型计算机.计算机被用于研究计划问题的一部分,如优化几个关键的物料和能力的平衡,基于产品的需求与能力约束.或者找出批量产品的最低成本的配方.他们一般都使用线性规划的算法.其数学模型就象现在的小型的电子表应用程序(40-60 个方程式和 60-100 个决策变量).在此期间,有两个公司首先提供对计划的优化工具,他们是在 1957 成立的 Bonner and Moore 公司和 1962 年成立的 Haverly Systems 公司.优化的处理可以避免混乱,优化技术的严格实施是一个较好的解决方案或方法,保证找到对问题的”最好”的答案且智能的知道何时发生,多长时间发生.

今天,我们使用优化技术常常是用于一个较简单的寻找提高的方法或方案且不能保证找到最好的方案.简单的寻找提高的技术叫启发式算法.它们经常用于时间的限制或容限.(在 10 分钟,找到最好的答案).当这些优化的技术用于交替的变化,容易出现混乱.线性规划较适合严格的优化约束和识别约束,经常是对一个问题用于经济上如成本和收入的约束来决定”最好”的方案.

1960 中期-1970 初 计算机应用程序的进步

随着计算机的进步,人们有能力可以考虑更复杂的计划问题.先进的技术的工具可以考虑整个制造工厂和设置在最小化成本的运作且最大化利润.一些公司结合计算机程序对生产设备来优化他们的产品配方.人们也开始研究分销问题.如公司 EXXON 开发程序来集成库存,采购,制造,分销管理.

从 1960 初的几百个决策变量到 1970 的几千个变量,到 1970 年的后期的上万个变量.线性规划的这种技术也扩展到解决更困难的问题.如生产能力的决定,生产品种和生产线的选择和对分销中心的选址等.这些应用最早是出现在流程行业的计划层.许多大的化工公司如 Amoco, Chevron, Exxon, Marathon 和 Shell 都积极采购主机系统的计算机,部署到他们的制造工厂里,这些公司还采取了数据采集与集成数据的方法.由于业务的需求推动,优化技术较好的满足他们的许多流程和分销网络的特点.许多公司自己在大型机环境下开发自己的工具.开发线性规划的程序.也可以从几个供应商购买到.如 IBM 的 MPS(后称 MPSX),有些公司却使用现成的程序开发语言如 Assembler, Cobol, FORTRAN,和 PL/1 是常用的开发语言.这些程序是以批处理的模式运行.EXXON 甚至出版了关于一本关于他们计划系统的书.

计算机已成为解决排程问题的工具,模拟也被用于制造和分销设施的设计.模拟工具还开发成计算程序,按照能力和物料的消耗,顺序活动,计算批量可以得到排程的结果.可以对特别的排程问题进行开发的,且这些程序界面可以为用户交互使用.

基于排程工具的模拟开始出现在 1970 年.Pritsker 是一较早的供应商,另外一早期的产品是 IBM 的 CPPS.主要是些化工公司,在 1970 年就积极使用了计划工具.其他行业也在积极使用计划和排程程序.

1980 年初,轮胎制造商 Kelly Springfield, Philip Morris 已经使用了 APS 计划和排程程序.造纸公司如 St Regis,和国际造纸也实施和运用了 APS 工具.

1980 年-商业媒体发现了 APS

约束理论的发明者高特拉德(1983 年 9 月 5 日财富杂志人物)领导的创新产出公司(Creative Output),他们的产品 OPT,以批处理的模式,应用一系列的消除瓶颈的算法,这是一个非常积极的销售型组织,它获得了许多离散制造业的客户.创新公司在和 M&M/Mars 公司的法律争端之后,从市场很快的退出.而高特拉德扩展了 TOC(约束理论)的哲学,他本人却以出版和制造导师为职业.当时,和创新公司的同类 I2 公司仍然活跃在 APS 领域.财富杂志的文章提到 Numetrix 决策科学公司,以后又分拆为 Numetrix 公司和 Chesapeake 决策科学公司,这两个早期的 APS 供应商具有交互的产品和提供基于内寸分析技术.

在 APS 文章经常出现学术论坛和使用 APS 方案的期间,产品介绍开始出现在”商业周刊”,”Chicago Tribune”,”New York Times”,”Wall Street journal”,”Washington post”.媒体关注的中心是在 1984 年,由年轻的 AT&T 的研究者名为 Narendra Karmarkar 开发的算法.这个新技术解决了线性规划的问题,是被 AT&T 作为”真正的突破”和”设计解决了以前未解决的问题”来推销.AT&T 把这个算法绑定他们的计算机,价格近 9 百万美元.

1980,我们也看到了个人计算机和电子表格的引进.电子表是双刃剑,在积极的方面,他们引进了人们交互的使用预测,计划和排程.在很多公司使用的大型机时,用户使用简单近似存在的工具.不幸的是,当大型机系统出问题时,子系统也就不可能选择和验证详细的数据.许多化工公司积极开发计划排程系统,从 1970 年到 1980 年的后期,重视数据的质量和工具的精确性.

在 1980 年中期,许多大的化工公司认识到可用改善制造流程来阻止下降的利润.就开始检查他们供应链的活动.BASF,DOW, Du Pont 和 Rohm 和 Haas 都开始积极使用计划和排程的工具.他们使用自己开发的产品和工具或自己修改过的 APS 产品.目的是想要管理真正的整个供应链而不是某一局部的方案如制造或分销.

许多 MRPII 的供应商,为了满足市场需求也进入流程行业.有些公司却延迟开发 APS 工具或使用 APS 工具,而他们决定用 MRP,CRP 来满足他们计划和排程的需要.但是,在 1990 年初,许多大的化工公司已经选择了 APS 的供应商.许多大的航空公司也实施了复杂的计划和排程系统,美国航空集团也为其它航空公司建立这些高级计划排程系统.

1980 年后期,我们也看到了人工智能,专家系统的出现,许多公司把人工智能运用到计划排程系统.投资者和客户期望的难题就此解决.Du Pont 和 IBM 积极结合人工智能 AI 和存在的技术开发程序. IBM 也开发了一个派工系统, Du Pont 在他的来自 Chesapeake 决策科学公司的 MIMI 优化,模拟启发的产品里加入了专家系统.专家系统用它的数据验证,启发式的协作,方案解释的能力,为计划排程的制定起到有效的作用.实时的专家系统产品如 G2 在此时也出现了.人工智能 AI 世界同时也对 APS 的技术作出了贡献如基于规划的约束和基因算法.对人工智能 AI 的期待已经设置了极高的水平上了,用人工智能 AI 完全达到期望的要求,可能令人失望.不幸的是,有些人仍然认为是失败,许多人工智能 AI 的开发感到他们的技术仅仅应用于纯技术时髦.于是,在 1960 年到 1970 年,用许多时间和努力去重新开发一些功能,寻找其他的工具.

1980 年后期,也出现了图形用户界面,有些供应商试图结合个人计算机来增加它的图形运用能力,图形用户界面成为标准的预测,计划,排程工具的一部分.这个技术的革命巨大的影响了 APS 的市场化.

1990 年-APS 市场繁荣和产品增值

在 1990 年初,消费品公司(CPG)开始联系 APS 系统.虽然也有一些早期采用者,在此市场阶段,这个行业作为一个整体应用 APS 技术是很慢的.造纸业也是如此.一些已经有能力实施相对简单的制造排程的公司发现他们需要更复杂的系统,可以处理包括 SKU 数量,分销网络的地点的选择.许多公司也发现相似的问题,就是他们的预测能力,尤其是在 SKU 的数量的管理上,简单的预测工具却阻碍了预测的准确性,他们需要集成供应链的多地点的详细的需求,来为了运作决策.

1990 年初,SQL 的引进,允许 APS 工具和关系型数据库更动态的互动.计算机能力的增强和成本的降低,导致新的方案的出现.同时也发现问题的复杂性,所以,基因算法出现了.它们立刻形成多重的方案以结合现存方案的最好的特征来创立新的方案.人们开始使用反复模拟,想要建立更好的方案,但是,随着开发的工具处理百万的决策变量,对计算机和应用程序是一大挑战.

1990 年,APS 的供应商已经繁殖到更广的工业领域,如 I2, Fastman 已经进入电子装配,金属品制造等离散制造领域, I2 的市场导向品牌和销售战略,戏剧性的提高 APS 的空间,而这以前 APS 都是一直技术导向的市场.由于 I2, Manugistics, 等的市场的影响,引起了大咨询公司的注意,他们开始分配资源给这些产品作服务.但是,APS 对大的咨询公司而言有两个挑战,一个是它需要较深的应用专家,而不是集中在 IT 的应用上.二是固定的,标准项目实施方法对 APS 项目不太有效,该领域的专家仍然需要决定如何更有效的实施 APS.

1990 年中期,许多供应商转向微软技术的视窗环境下的用户界面,C/S 结构或整个转向 Window NT 环境,除了提供更直观的用户界面,报告能力而且使 APS 应用程序的环境转向低成本的,性能戏剧性的提高的计算机.1990 年中期,也看到了 APS 运用到部分的半导体公司,这些公司在改变产品技术方面有着极大的进取心.使产品具有极短的生命周期,这就对提高基于知识需求的 APS 来说是一大挑战,特别是在计划和排程层次上.和流程行业同时使用 APS 技术的公司有 Harris 半导体公司, IBM 公司, Intel 公司, Texas 仪器公司,用 APS 技术解决自

己业务的复杂问题。

最后,在 1990 年的中期,APS 还吸引了大多数 ERP 供应商的注意,随着 APS 市场的快速成长,产生了 ERP 供应商的新一轮的收购 APS 公司和自己内部开发 APS。许多专家认为 APS 必须嵌入 ERP 系统。

供应链引擎 APS 产品的功能特征的演变有以下四个阶段:

第一阶段的功能特征:人机交互可视化排产,简单的有限资源计算.

- 1,向前,向后和双向的订单的加载计算.
- 2,可以定义简单加载规则如按完成日期排序和设定优先级)
- 3,工序间的人机交互拖拉,编辑,批量分割
- 4,根据资源和时间对单独工序加锁/解锁
- 5,可以按工序的最早开始日期或订单的最早完成日期计算.
- 6,可以人机交互的替换,增加工序,交互处理故障,计划维修.
- 7,可以处理单一的加工工序,平行工序,可以对工序的单一资源进行约束
- 8,根据物料,时间,批量的生产率来排生产计划
- 10,可以对有限资源和无限资源或单个班次或假日来计划排程
- 11,可以在工作中心里自动选择资源,用户也可以定义资源
- 12,可以显示图形,文本,报表,可以订单跟踪,甘特图,等待表.

第二阶段的功能特征:基于各种资源约束优化计算

- 1,用户可以定制,配置数据,菜单,报表.
- 2,可以按工序和计划增加约束使用率.
- 3,具有换装时间矩阵的排序,可以选择最小化换装时间.
- 4,具有计算批量,计算运输批量和自动重复和自动停止订单的功能
- 5,具有 CTP(能力可用量)的查询
- 6,可以自动连接其它软件.

第三阶段的功能特征:基于多重资源约束优化和建模

- 1,具有每个工序的多重约束
- 2,基于当前工序的子工序的约束
- 3,可以使用优先资源选择规则
- 4.最大工序跨度和间隔,也可以延迟到下一个工序
- 5,可以计算在每个加工过程的顺序和平行批量
- 6,可以对装配线的建模和子装配线建模.

第四阶段的功能特征:多重资源约束,物料的动态约束,需求计划,分销网络配置计划,运输计划,全局 CTP,ATP.

- 1,从 MRP 处自动物料分配(静态物料约束控制).
- 2,可以从不同的订单自动连接工序,可以从不同的订单排序,平行的负荷工序
- 3,具有标准的派工规则:优先顺序,关键率
- 4,可以处理订单,生产或资源的特别规则
- 5,可以让用户自定义建立规则
- 6,可以处理动态物料约束控制

-
- 7, 可以处理供应链需求计划优化
 - 8, 可以供应链分销配置计划优化
 - 9, 可以供应链运输计划优化
 - 10, 可以对整个供应链的进行 CTP 和 ATP 的查询。

五、APS 的技术现状

APS-高级计划与排程，并不是一个独立的管理软件，而是与 ERP 系统集成在一起的一个专门负责生产计划和生产排程、生产排程的软件。由于 ERP 生产功能的核心 MRP 在功能上有很多不足，APS 的出现其实是弥补这种不足的必然。APS 的最大特点就是其中的‘高级’二字，这种先进是基于其核心技术的高深和困难，因为它所涉及到的基本都是相关学科中的最前沿领域。一般需要集中物流、管理学方面的专家以及基础数学和计算机算法方面专家，至少几年时间的努力才能有所成就。而这对讲究投资收益和市场变化极为迅速的 ERP 企业是不太可能的选择。以至于极少 ERP 厂商自己开发 APS，大都是直接购买专业公司的现成软件加以集成，即使 SAP、ORACAL 也不例外。

APS 的目标就是追求生产计划的优化和能力的平衡，这本身是有难度的工作，但是最难的还在于‘约束’，优化和平衡的追求都是在多种约束条件之下的追求。约束与优化成为一对最大的矛盾，甚至在特别复杂的约束下到底有没有最优，能优化到什么程度，理论上都成为疑问。

APS 的研究主要集中在车间的生产计划排程与生产调度程方面，许多学者作了大量研究，出了不少的研究成果。制造系统的生产排程和生产调度是针对一项可分解的工作（如产品制造），探讨在在尽可能满足约束条件（如交货期、工艺路线、资源情况）的前提下，通过下达生产指令，安排其组成部分（操作）使用哪些资源、其加工时间及加工的先后顺序，以获得产品制造时间或成本的最优化。在理论研究中，生产排程和生产调度问题常被称为排序问题或资源分配问题。方法可以简单分成静态和动态两种。

（1），静态排程是指所有待安排加工的工作均处于待加工状态，因而进行一次排程后、各作业的加工被确定、在以后的加工过程中就不再改变；

（2），动态排程是指作业依次进入待加工状态、各种作业不断进入系统接受加工、同时完成加工的作业又不断离开，还要考虑作业环境中不断出现的动态扰动、如作业的加工超时、设备的损坏等。因此动态排程要根据系统中作业、设备等的状况，不断地进行排程。实际排程的类型往往是 job shop 型，且是动态的。

一般的排程问题都是对于具体生产环境中复杂的、动态的、多目标的排程问题的一种抽象和简化，因而，一个排程算法可以通过其如何表述这些复杂性来进行分类。由于实际生产环境是千差万别的，那末，一个排程算法就应该根据其是否能适合对应的生产环境的重要特征来进行评估。Frederick 等人为了帮助区别不同的生产排程策略，给出了典型生产排程环境的五个特征，这将有助于我们了解各种不同的排程算法的应用环境。

1, 边界条件：生产排程常常是一个重排程问题，即修改已有的生产排程去适应新的作业。为提供重排程，排程算法应能处理生产系统中有关的初始状态。类似的生产排程通常是在一个有限的时间区域里进行的，系统的最优解（或次优解）亦是在限定的边界范围内来获取。

2, 分批大小和调整费用: 为有效地解决实际生产中的排程问题, 往往将任务分成多批进行, 并考虑改变已有排程结果所付出的代价 (调整费用)。

3, 加工路径: 在实际生产中, 作业的加工路径可能需要动态改变, 工艺顺序可能是半有序的(semiorder)。

3, 随机事件和扰动: 比如, 出现关键作业、设备损坏、加工操作失败、原料短缺、加工时间/到达时间/交货期的改变等。

4, 性能指标: 追求不同的性能指标往往会得到不同的优化解

5, 多目标: 同时, 系统目标也以多目标为主。

实际的排程问题有以下特点:

(1) 复杂性

由于装卸作业、装卸设备、库场、搬运系统之间相互影响、相互作用、每个作业又要考虑它的到达时间、装卸时间、准备时间、操作顺序、交货期等, 因而相当复杂。由于排程问题是在等式或不等式约束下求性能指标的优化, 在计算量上往往是 NP 完全问题, 即随着问题规模的增大, 对于求解最优化的计算量呈指数增长, 使得一些常规的最优化方法往往无能为力, 对于这一点 Garey 等 [16] (见文后所附文献目录) 给出了明确的证明。即便对单机排程问题, 如果考虑 n 个作业而每个作业只考虑加工时间及与序列有关的准备时间时, 就等价于 n 个城市的 TSP 问题。对于一般的装卸系统, 问题就变得更为复杂。

(2) 动态随机性

在实际的生产排程系统中存在很多随机的和不确定的因素, 比如作业到达时间的不确定性、作业的加工时间也有一定的随机性, 而且生产系统中常出现一些突发偶然事件, 如设备的损坏 / 修复、作业交货期的改变等。

(3) 多目标。

实际的计划排程往往是多目标的, 并且这些目标间可能发生冲突。Oraves 曾将排程目标分为基于排程费用和排程性能的指标两大类: Alia. S 等人将排程目标分三类: 基于作业交货期的目标、基于作业完成时间的目标、基于生产成本的目标。这种多目标性导致排程的复杂性和计算量急剧增加。

排程问题的研究方法如下:

一般的排程问题都是对于具体生产环境中复杂的、动态的、多目标的排程问题的一种抽象和简化, 因而一个排程算法可以通过其如何表述这些复杂性进行分类。由于实际中生产环境是千差万别的, 那么一个排程算法就应该根据其是否能适合对应的生产环境的重要特征进行评估。在对排程问题进行研究的方法上, 最初是集中在整数规划、仿真和简单的规则上, 这些方法不是排程结果不理想就是难以解决复杂的问题。随着各种新的相关学科与优化技术的建立与发展, 在排程领域也出现了许多新的优化方法, 比如神经网络、模拟退火法、遗传算法、禁忌搜索法等, 使得排程问题的研究方法向多元化方向发展。下面我们分别对这些方法进行总结:

(1) 运筹学方法

运筹学方法是將生产排程问题简化为数学规划模型,采用基于枚举思想的分枝定界法或动态规划算法进行解决排程最优化或近优化问题,属于精确方法。文[24][25][26][27][28]等提出了不同的分枝定界法,其不同点主要在于分析规则、定界机制和上界的产生这三方面存在差异。这类方法虽然从理论上能求得最优解,但由于其计算复杂性的原因、因而不能获得真正的实用。目前,Lenstra 在文[15]中声明,对一个标准的 10 作业——10 设备问题进行求最优解,需要在 Prime 2655 计算机上运行 1 小时,并产生 22000 个结点。对于复杂的问题,这种纯数学方法有模型抽取困难、运算量大、算法难以实现的弱点,对于生产环境中的动态排程实现复杂,解决不了动态及快速响应市场的问题。

(2) 基于规则的方法

对生产加工任务进行排程的最传统的方法是使用排程规则(Dispatching rules),已经有许多排程规则被应用,因其排程规则简单、易于实现、计算复杂度低等原因,能够用于动态实时排程系统中,许多年来一直受到学者们的广泛研究,并不断涌现出新的排程规则。许多学者在这方面已进行了探索及大量工作,如研究与制定较优的单元零件加工排程算法,在减少等待时间、提高生产率等诸多约束条件下达到了一种较为科学有效的排程效果。

Panwalkar 和 IskaDder 在文[30]中总结了 113 条规则,并将它们按形式分为了三类:简单规则、复合规则、启发式规则;M. Montazeli 等例举了常见的 20 条规则,并针对一个实际的 FMS,分析了这些规则对系统性能(如作业的平均等待时间、设备的平均利用率、作业总加工时间等)的影响;文[47]将多种规则组合起来实现排程;文[48]讨论了决策规则解决 FMS 车间排程问题的方法与规则库的具体实现,分析了各种规则与性能指标的关系,对如何合理地选用规则提出了建议;为了提高规则排程的质量,文[50]通过分析拖期时间与两个作业排程决策间的关系,提出了一种比较复杂的规则,并在以拖期时间最小的目标下,与 LST、LPT、LDD、LWR、LSWR、LSOR 等规则作了实验比较。随着计算机运算速度的飞速提高,人们希望寻找新的近似排程方法,它以合理的额外计算时间为代价,换得比单纯启发式规则所得到的排程更好的排程。在这方面比较有代表性的有移动瓶颈方法(Bottle neck Procedure),用来解决以最小化 Makespan 为目标的 Job Shop 排程问题,它通过不断地对移动的瓶颈设备进行单机排程,来获取更好的次优解。

总的说来,启发式规则直观、简单、易于实现。但是近十年的研究表明并不存在一个全局最优的排程规则,它们的有效性依赖于对特殊性能需求的标准及生产条件。它是局部优化方法,难以得到全局优化结果,并且不能对得到的结果进行次优性的定量评估。顾客需求的个性化及要求企业响应市场的敏捷性,往往在生产加工过程中加入了更多的不确定性及复杂性约束,寻找排程最优算法本身是一个 NP 完全问题,这些使得基于规则的排程思想已不能适合敏捷化制造的要求。

(3) 系统仿真的方法

基于仿真的方法不单纯追求系统的数学模型,侧重对系统中运行的逻辑关系的描述,能够对生产排程方案进行比较评价,分析系统的动态性能,并选择系统的动态结构参数。由于制造系统的复杂性,很难用一个精确的解析模型来进行描述和分析。而通过运行仿真模型来收集数据,则能对实际系统进行性能、状态等方面的分析,从而,能对系统采用合适的控制排程方法。仿真方法最早被用来作为测试排程启发式规则及分派规则的工具。后来,人们发现,通过将简单的优先权规则进行组合,或用一个简单的优先权规则将一些启发式规则进行组合,这样的排程优于单独的优先权规则。于是,仿真方法逐渐发展为一种人机交互的

柔性仿真工具，并用来进行车间排程。这样，就能通过仿真而动态地展现 Job Shop 车间的状态，分析在不同的排程方法下的系统性能，并运用知识和经验去选择合适的排程方法(规则)，从而改善排程性能。

Ki ran 等回顾和总结了在动态环境下基于纯仿真模型的 Job Shop 排程问题的研究状况；Baker 等人研究表明：机器数目对生产的相对效率影响不大；Nanot 说明了优先规则的相对效率并不因机器的构成而改变；文[19]中提出了基于纯仿真模型的排程方法，即在一个较短的时间段内用仿真来评价一个分派规则集，选取最小代价的规则进行排程，以适应系统状态的变化；文[49]运用纯仿真模型，同时解决 FMS 中作业排程和搬运小车及刀具的资源分配问题；文[51]中提出了一种混合的仿真 / 解析模型，用于分析和设计具有缓存的不可靠生产线问题。

基于纯仿真法虽然可以包含解析模型无法描述的因素，并且可以提供给使用者一个排程性能测试的机会，但其不可避免地存在以下问题：1) 鉴于其实验性，因此，很难对生产排程的理论作出贡献。2) 应用仿真进行生产排程的费用很高，不仅在于产生排程的计算时间上，而且在于设计、建立、运行仿真模型上的高费用。3) 仿真的准确性受编程人员的判断和技巧的限制，甚至很高精度的仿真模型也无法保证通过实验总能找到最优或次优的排程。

(4) 基于 DEDS 的解析模型方法

由于制造系统是一类典型的离散事件系统，因此，可以用研究离散事件系统的解析模型和方法去探讨车间排程问题，诸如排队论、极大/极小代数模型、Petri 网等。排程中的排队论方法是一种随机优化方法，它将每个设备看成一个服务台，将每个作业作为一个客户。作业的各种复杂的可变特性及复杂的路径，可通过将其加工时间及到达时间假设为一个随机分布来进行描述。文[33]针对 FMS 中一类特殊的 DEDS，利用了极大代数方法对其进行建模，并进行了系统的稳定性分析。

总的说来，排队网络模型由于从随机统计的角度来描述 FMS，难以表述系统中存在的某些特性（如有限的缓存空间等），同时，产生的输出是基于系统稳态操作的平均量，因此，很难得到比较具体的细节。Petri 网作为一种图形建模工具可以形象地表示和分析 FMS 中加工过程的并发和分布特征以及多项作业共享资源时的冲突现象，具有很强的建模能力，对于描述系统的不确定性和随机性也具有一定的优越性。在制造自动化领域，利用 Petri 网及其扩展形式的模型进行死锁分析、排程决策和性能评价等已有大量理论文献。赋时 Petri 网是在以往 Petri 网的基础上又引入了时间元素，使其能够用于 FMS 中加工的组合优化、生产进程的实时排程和性能估计等。Tien—Hsiang Sun 等人用赋时 Petri 网为 FMS 建模，它包括两个主要的子模型：静态的传送模型和变化的加工流模型。通过嵌入一个基于 A* 搜索算法，最后得到一个满意的作业加工排程。在此基础上还进行了一个实例研究。部分学者用赋时 Petri 网为 FMS 建模，通过优化变迁的发生序列来产生的搜索可标识集，从而得到较优的排程结果；甚或用赋时扩展着色 Petri 网模拟 FMS 的动态运行。

(5) 基于排序的方法

该方法是先有可行性加工顺序，然后才确定每个操作的开工时间，并对这个顺序进行优化，它虽然属于近似算法，但有可能达到最优的排程方案。它主要包括邻近搜索法，它在生产排程领域得到了相当广泛的应用，在探索解空间时，仅对选定的成本函数值的变化做出响应，因而通用性强。这类方法包括局部探索 (Local Search)、模拟退火法 (Simulated Annealing)、列表寻优法 (Table Search)，遗传算法 (Genetic Algorithms)。邻近搜索虽然可能得到最优的排程方案，但也存在各自的不足，很多学者采取混合算法来弥补单一方法的不足。

(6) 启发式图搜索法

对于表述为整数规划的排程问题,最初采用分枝定界法来解决,而后其他的启发式图搜索法也被应用于解决排程问题。在文[19]中 Balas 将排程排序问题用一个 **disjunctive** 图来表示,首先构造一个可行解,采用基于隐枚举的搜索方法不断提高解的次优性;在文[40]中采用束搜索法(**beam search**)来识别瓶颈机器,进行排程;为了解决搜索空间太大的问题,在文[45]中通过对分枝定界法和束搜索法进行系统的分析,提出了一种过滤束搜索法(**filter beam search**),用来解决单台机器提前/延期问题和加权延期的 **Flow Shop** 问题;文[45][47]中研究了基于 A^* 的优先树搜索法的优化作业排序问题;文[46]中针对基于树搜索的优先 A^* 算法需要大量内存的问题,提出了一个图搜索法,并对两种方法作了比较;文[46]中为解决 **Job Shop** 排程问题对 A^* 算法作了两点改进:1) 在搜索过程中只展开有限节点;2) 采用加权的评价函数。对于图搜索算法,如何提高搜索效率并减少内存使用以解决规模较大的问题,还需要进一步探索。

(7) 模拟退火法

模拟退火算法(SA)将组合优化问题与统计力学中的热平衡问题类比,另辟了求解组合优化问题的新途径。它通过模拟退火过程,可找到全局(或近似)最优解。其基本思想为:把每种组合状态 S_i 看成某一物质系统的微观状态,而将其对应的目标函数 $C(S_i)$ 看成该物质系统在状态 S_i 下的内能;用控制参数 T 类比温度,让 T 从一个足够高的值慢慢下降,对每个 T ,用 **Metropolis** 抽样法在计算机上模拟该体系在此 T 下的热平衡态,即对当前状态 S_i 作随机扰动以产生一个新状态 s' ,如果 $C(s')$ 模拟退火法的几个重要部分为:生成函数(**generation**)、容忍函数(**acceptance function**)、**Markov** 链长、降温过程和结束准则。模拟退火法的改进算法有加温退火法、有记忆的模拟退火法等。文[47]中为 **Flow Shop** 问题求解构造了一类模拟退火法,并通过六种不同的随机抽样方式分析了算法渐近收敛于全局最优解,分别解决了具有最小 **Makespan** 指标且具有无限中间存储(**UIS**)、有限中间存储(**FIS**)和无中间存储(**NIS**)的 **Flow Shop** 排序问题;文[43]提出了一种改进的模拟退火法,用来解决具有最小 **Makespan** 指标的 **Flow Shop** 排序问题,并与禁忌搜索法等进行了比较;文[48]用模拟退火法进行机器分组;文[49]用模拟退火法求解有资源约束的排程问题。另外,模拟退火法也可与其他方法相结合进行求解,如文[42]中先用贪心法(**greedy** 法)搜索,将得到的作业序列作为初始解,再用模拟退火法求解单机排程问题,其结果表明这种方法比单纯用模拟退火法和贪心法要好;文[44]中提出了将模拟退火法与启发式算法相结合的方法,求解具有交货期约束的 **Job Shop** 排程问题。由于模拟退火法能以一定的概率接受差的能量值,因而有可能跳出局部极小,但它的收敛速度较慢,很难用于实时动态排程环境。

(8) 禁忌搜索法

对于复杂的组合优化问题,禁忌搜索也是一种通过领域搜索以获取最优解的方法,**Glover** 曾在文[44][45]中叙述了它的基本原理。禁忌搜索是一种迭代方法,它开始于一个初始可行解 S ,然后移动到领域 $N(S)$ 中最好的解 s' ,即 s' 对于目标函数 $F(S)$ 在领域 $N(S)$ 中是最优的。然后,从新的开始点重复此法。为了避免死循环,禁忌搜索把最近进行的 T 个移动(T 可固定也可变化)放在一个称作 **tabu list** 的表中(也称短期记忆),在目前的迭代中这些移动是被禁止的,在一定数目的迭代之后它们又被释放出来。这样的 **tabu list** 是一个循环表,它被循环地修改,其长度 T 称作 **Tabu size**。最后,还须定义一个停止准则来终止整个算法。由于 **tabu list** 的限制,使其在搜索中有可能跳出局部极小。文[33][34]分别提出了解决 **flow shop** 排程问题的禁忌搜索算法。在文[37]中为了更有效地搜索解空间,引入了插入和移动相结合的机制提高了搜索效率。文[48]中采用了并行禁忌搜索法以加快搜

索速度。文[49]中针对求解公共交货期下带有等待时间惩罚的提前 / 拖期单机排程问题, 提出了一种禁忌搜索法。

(9) 神经网络优化

Hopfield 神经网络模型的提出为求解各种有约束优化问题开辟了一条新途径, 用 Hopfield 网络解决 TSP 问题就是其在组合优化问题中的最成功的应用之一。它的主要思路是: 通过一个 Lyapunov 能量函数构造网络的极值, 当网络迭代收敛时, 能量函数达到极小, 使与能量函数对应的目标函数得到优化。文[44]介绍了一种随机 Hopfield 网络来解决 Job Shop 排程问题的方法; 文[46]中为了解决大规模问题, 又提出一种改进的 Hopfield 网络的整数线性规划神经网络方法来解决 Job Shop 排程问题; 文[51]中也提出了一种用于解决 Job Shop 排程问题的神经网络方法。

(10) 遗传算法

美国 Michigan 大学的 J.H.Holland 于本世纪末提出了一种新的并行优化搜索方法: 遗传算法(Genetic Algorithm), 它是一种基于进化论优胜劣汰、自然选择、适者生存和物种遗传思想的随机优化搜索算法, 通过群体的进化来进行全局性优化搜索。它以其很强的并行性和很高的计算效率正日益受到人们的关注。它对组合优化问题求解的主要过程是: 给定一组初始解作为一个群体, 通过选择、交换和变异等遗传操作符来搜索问题的最优解。文[37]中提出了一种基于遗传算法的启发式方法, 用于解决以最小化 Makespan 为指标的 flow shop 排程问题; 文[39]用遗传算法解决 Job shop 排程问题; 有的学者将遗传算法与图搜索法相结合, 利用遗传算法进行知识的推理、启发, 再用过滤束搜索法(filter beam search)进行优化搜索, 以得到高质量的 FMS 静态排程; 文[27]提出了一种并行遗传算法, 试图解决常规遗传算法在解决 FMS 排程问题时产生的计算速度较慢及过早收敛等问题。总的来说, 遗传算法的最大优点是通过对群体间的相互作用, 保持已经搜索到的信息, 这是基于单次搜索过程的优化方法所无法比拟的。但是, 遗传算法也存在着计算速度较慢的问题。

(11) 基于智能的排程方法

近年来受实际需要的推动, 基于知识的智能排程系统和方法的研究取得了很大的进展。人工智能在 60 年代就将计划问题作为其应用领域之一, 但直到 80 年代, 以 Carnegie—Mellon 大学的 M.Fox 为代表的学者们开展基于约束传播的 ISIS(Intelligent Scheduling and Information System)的研究为标志, 人工智能才真正开始应用于排程问题。基于知识的排程方法是用专家系统自动产生排程或辅助人去排程。它是将传统的排程方法与基于知识的排程评价相结合的方法。在八十年代后期, 几位学者先后开展了基于排程系统处于不同的状态, 采用不同的排程规则策略的动态排程方法的研究。它们研究的共同特点是: 在支持某些活动发生的资源条件具备时(称为决策点), 根据系统当时所处的属性状态, 决定采取何种规则(策略), 确定或选择活动发生的顺序和时间, 即状态指导的智能排程方法。

Doublgeri 以一个柔性 PCB 安装系统为实例, 提出基于知识的排程方法 KBS, 它采用分级方法并利用仿真技术, 根据全局知识划分作业, 再根据局部知识将作业分配到设备, 通过满足一系列约束以及用户提出的总体和局部目标来产生实际排程。文[46]中探讨了一种基于知识推理的专家系统模型、以实现作业排序问题的求解, 并给出了采用三种不同知识表示方式和分段推理的排序知识处理方法。文[45]用黑板模型来组织和维护动态数据库、在规划层用数学规划求解、在排程控制层用基于知识的排程方法。文[36]介绍了动态 Job Shop 排程的工具软件 OCS, 提供了 Job Shop 排程管理中的集成决策支持系统, 它既能用专家知识自动产生和评价排程, 也能提供图形界面使用户能进行手工排程。另外还有基于 ERAI 网

的启发式决策支持系统、基于 Petri 网的决策支持系统、用专家系统实现的排程模型 SOJ437D、以及利用启发式知识进行资源优化分酸。

总的来说,主要包括智能排程专家系统、基于智能搜索的方法及基于多代理技术 (Multi-Agent System 简称 MAS) 的合作求解的方法等。其中,智能排程专家系统是人工智能应用的体现,由于专家系统中知识获取和推理速度这两个瓶颈,使得神经网络逐渐被采用,但还存在训练速度慢、探索能力弱等缺点。基于多代理技术的合作求解方法是较新的智能排程方法,它提供了一种动态灵活、快速响应市场的生产排程机制,它以分布式人工智能 (Distributed Artificial Intelligence 简称 DAI) 中的多代理机制作为新的生产组织与运行模式,通过代理 (Agent) 之间的合作以及 MAS 系统协调来完成生产任务的排程,并达到预先规定的生产目标及生产状态。在这种研究方法中,在 Agent 内部也可采用基于规则及智能推理相结合的混合方法,来构造基于 MAS 的生产排程系统。

排程方法存在的问题:

排程领域中的大部分问题都具有 NP 问题,虽然对它的研究已有几十年的历史,但至今尚未形成一套系统的方法和理论,理论研究与实际应用之间还存在着很大差距。尤其随着 JIT (Just-In-Time) 思想的广泛采用, E/T (Earliness/Tardiness) 排程问题,即使得工件尽量按交货期完成,变得越来越突出。实际应用中的排程方法能够响应系统的动态变化,但不能保证得到好的排程:一些理论上的最优化方法能提供最优排程,但由于其计算的复杂性,并且忽略了很多实际因素,离实际运用还有较大距离。基于最优化的方法,诸如动态规划算法与分枝定界算法等等,由于其大多数是建立在对可能排程的部分枚举上,因此只能解决小规模排程问题,距离实用还有较大距离。

由于大多排程问题属于一类 NP 困难组合问题,因此寻找具有多项式复杂性的最优算法几乎是不可能的。但因其解的最优性、至今仍激发着学者们进行不断的探索。各种近似 / 启发式方法、诸如基于规则的算法等,由于能在合理的时间内产生比较满意的排程,因此广泛应用于实际排程中,但其往往对所得的排程解的次优性不能进行评估。在这方面有必要探索更好的近似最优排程算法,可以考虑增加合理的计算时间代价,提高解的次优性。各种基于统计优化的方法、诸如模拟退火法、遗传算法等,提供了一种解决排程优化问题的新途径,但同别的优化算法类似,其也存在着一定程度的枚举、一般来说收敛到最优解很慢,并且对于判断解的最优性也很困难。在这方面也需要做进一步的研究。

在实际车间生产排程中,车间生产计划与车间生产排程往往是分层进行的,但这可能造成计划在实际排程中的不可行问题,如何将计划与排程结合考虑,以求总体的优化也是需要进一步研究的。另外,还有很多有待进一步研究的问题,比如实际车间排程的多目标性等。排程理论、方法与应用的研究是一项非常艰巨的工作,目前人们还在进行各种各样的探索性研究工作。

APS 排程关键技术 :

寻找车间排程的最优解从理论上将是 NP-完全问题,没有一个确定的算法来解决这个问题。许多约束条件,使得实际的排程问题变得非常困难,比如:设备的可选性、制造环境的动态与不确定性、约束条件的矛盾 (最小加工时间与最大设备利用率) 等等,实际上,生产排程问题大部分是集中于简化问题,然后寻找最优解或次优解。研究与开发排程系统面临的 key 问题主要有:

信息表达：包括排程任务及特殊信息（工作能力、可选生产计划等）的描述。

交互性设计：交互性不单指人机界面的问题，它应支持人对排程过程的直接参与，因为纯粹的自动化排程是不现实的，它忽略了具有最终决策职责的排程行家的重要作用。

多种排程方法的结合。

与已有信息环境的集成：现有企业都已具有了自己的信息技术基础结构，排程系统应能与现有环境进行通讯与信息交换，并作为信息系统的一部分，因此应提供与标准系统（如数据库、网络等）的通用接口。

典型应用：

由于排程问题的复杂性，实际生产排程的目标应定为寻找一个好的、可行的解决方案而常常不是最优的方案。尽管有大量的解决排程的方案，但是只有少数的方法应用于实际。其中，基于智能的排程方法应用人类专家的经验及特殊领域的知识，在解决排程问题上已经做出了很多成绩。

德国 Oldenburg 大学的 Jurgen Sauer 教授及高级软件工程师 Ralf Bruns 联合研究基于知识的排程系统，为实际的排程系统建立了一个通用的框架，它支持算法的重用并把基于知识的技术应用于环境的组织，同时适应各种动态的变化。他们把这一思想成功地应用于实际，并建立了各种实用的排程系统，其中有连续过程的排程系统、医疗行业排程系统及最有普遍意义的——Job-Shop 排程系统。在解决 Job-Shop 计划排程问题中，这些由大学研究人员及实际应用人员组成的项目组，首先实现了原型系统，并不断对其进行修改扩充，直到它能满足实际的要求，然后把该系统应用于生产管线零配件的 Siekmann Fittings 公司，设计开发了 PSY（生产计划与排程系统）。该系统使用 Prolog 语言在 SunSparc 工作站上开发，包括：人机界面、人机编程接口、与关系数据库（oracle 等）的接口，排程系统能够做长期和短期排程计划，能显示排程表与排程过程，用户可以直接参与选择排程策略及修改命令与操作。该系统的使用，极大地减少了排程时间，满足用户的需求，功能强大，目前已开始商品化并走向市场。

近年来对 DAI 基础性研究与制造系统的应用研究，表明基于智能、自治的 Agent 之间的相互合作的分布式制造系统可以敏捷地响应环境变化。各国科学家在 MAS 技术应用于制造业上已做了很多工作，建立了各种各样基于 Agent 的制造系统原型或仿真系统。各国科学家在 MAS 技术应用于制造业上已做了很多工作，在生产动态排程的研究领域，KHALID KOUISS 等人[4]针对动态排程问题，设计了基于全局优化目标的 Agent 排程系统。A.kwork and D.NORRIE[5]把 MAS 设计思想应用于 AGV，用 Small-talk 语言实现了 rule-based object 系统。ElpidaST[6]提出了基于订单生产的随机制造系统（RMS），该系统中包括可决定自动排程加工 Agent，引入投标、招标机制进行排程，增加生产的柔性和适应性，满足动态变化的订单生产要求。

从系统分析方法学角度而言，解决车间作业优化排程与控制主要涉及：运筹学、复杂系统分析、各种数学模型的分析与建立、人工智能理论、神经网络的方法、基于智能搜索的方法、基于多代理技术的合作求解的方法、用于实时控制的动态排程及建模方法。从信息技术角度而言，车间作业排程与控制技术是计算机应用领域面临的一个非常重要的难题，主要涉及的关键技术有：计算机网络与通信技术、数据库技术、系统建模与仿真技术、人机接口、虚拟现实技术。

中国 APS 的发展概况：

在国外，欧美国家已有很多比较成熟的 APS 供应商活跃在市场，不仅给 ERP 软件提供生产模块核心技术，同时给多行业多领域提供很多实用软件和基础功能。相比而言，中国在这方面还没有真正起步。内地各大 ERP 公司，无论用友、金蝶、神州数码的生产模块都还停留在 MRP 的层次上。虽然大陆地区基本上从 2001 年起普及了 ERP 的概念，但是经过几年 ERP 实践之后，MRP 和 BOM 还没有被很好利用起来，甚至 MIS 系统还在艰难代替手工劳动，APS 更是很遥远的概念。所以说市场的不成熟也限制了大陆地区软件企业对 APS 的重视程度。与各大软件企业对 APS 还处于一片空白状态相比，学院派的专家学者却对研究生产排程极为热门，可以说这是研究 CIMS、系统工程、计算机、运筹学、数学等方面学科的博士们以至院士们的老话题了。清华自动化系是这方面的权威，每年都发表大批论文。但是理论距离实用还有很大的距离，始终没有成熟的产品和成果出现，体现了中国在这方面的落后地位。唯一例外是最近出现的有海归和院士背景是北京小吉星公司发布了大陆第一个 APS 产品，从他们对一些模型问题的解上看拥有了约束和优化等 APS 的基本功能和特征，但是还看不到他们的软件在企业的实施效果，这可能需要一段时间，而且很难通过一两个特例说明中国 APS 的整体水平。

国内情况比较好的要属台湾地区的企业。台湾从 2000 年已经开始普及 SCM 的概念，同时 APS 成为热门，很多加工制造企业从那时起就开始引入国外的 APS 系统，很多台湾 ERP 公司也在不断研究开发 APS 系统。鼎新投资的鼎诚公司不久前已公开推出 APS 系统，用于印刷线路板和集成电路企业，从宣传上看是比较接近于真正意义上的 APS 系统，但是从其应用范围的限制和实际效果的有限，感觉核心技术没有本质的进展。台湾汉康的长项也在生产排程方面，但是基本还是围绕手工方法的简单排程和 MRP，不是真正的 APS 系统。而 03 年用友 2000 万与汉康的合作，神州数码与鼎新的合作，都是在比较低的技术层次上，仍然在对 MRP 进行完善。也说明台湾生产管理水平整体上基本停留在 MRP 阶段，与 APS 有很大差距。

六、APS 实例：i2 RHYTHM

位于德州达拉斯的 i2 Techonolgy 公司通过它的 RHYTHM 软件包提供各种 APS 软件模块。i2 成立于 1988 年，它的第一个软件产品是 Factory Planner，最初在金属工业中取得很大成功，目前 i2 为汽车、消费品和高科技工业提供各种优化 B2B 流程的软件模块。最近，i2 推出一套新的解决方案 TradeMatrix，提供公共和私营电子市场所必须的软件和服务。i2 在 2000 年与 Aspect Development 公司合并，并与 IBM 和 Ariba 结成了伙伴关系。图 4 根据供应链计划矩阵给出了 i2 RHYTHM 的部分 APS 模块，不同模块之间通过 RhythmLink 协调和集成，物料需求计划的任务则由其它 ERP 系统完成。

Supply Chain Strategist (供应链战略)：支持整个供应链上的"what-if"战略分析，决定生产地点、分销中心和其它设施的最优组合和定位，根据不同方案建立有关成本和约束的物流模型。

Demand Planner (需求计划)：提供各种统计方法，随机因素的包含，以及不同组织单位的多输入管理。提供 POS (销售点) 数据集成并能以不同方式查看需求信息。此外，OLAP (在线分析处理) 工具能有效存取有关数据，PRO (产品关系对象) 模块支持相关预测的生成。相关预测是指通过对产品组的预测来导出单个产品的预测。

Supply Chain Planner (供应链计划)：根据物料、能力、运输和顾客服务的约束建模和优化供应链。SDP (策略驱动计划) 模块允许计划人员定义问题类型和应用适当的算法 (如线性规划、启发式推理和基因算法) 进行优化。

Demand Fulfillment (需求满足)：生成约束驱动计划，提供所有分销和生产地点的成品、

半成品、原材料和资源能力在整个供应链范围的可视性。

Factory Planner(工厂计划): 根据需要日期向后排产或当考虑物料和能力约束时从当前日期向前排产来生成最优生产计划。在生成无限能力计划之后,有限能力计划由 i2 的专利产品 **Constraint Anchored Optimization(约束优化模块)**决定,不过计划人员也可以通过分析能力短缺和执行“**what-if**”分析施加影响。

Optimal Scheduler(最优排产): 建立基于基因算法的加工工序和排产计划。约束定义和优化算法的分开允许处理大量约束,这些约束包括车间能力,工作负荷平衡,物料可用性等等,此外,交互排产编辑器允许手动更改。

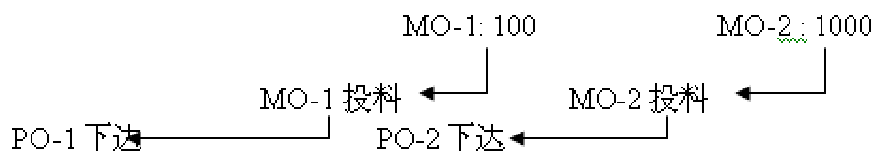
Transportation Modeler, Optimizer and Manager(运输建模、优化和管理): 是支持分销计划流程的工具。运输建模帮助企业有效地利用它的运输网络,实际数据被用来做“**what-if**”分析。运输优化根据交付、设备和人力约束自动建立和发送货物,决定装货和交付时间,此外,它也考虑了成组约束和自动选择接驳(**cross-docking**)机会。最后,运输管理器执行和管理从订单到顾客服务和财务结算的整个运输流程活动。

为了使供应链伙伴之间能互相协作,i2 还推出了 **TradeMatrix** 和 **Global Logistics Manager(全球物流管理)**模块。**TradeMatrix** 支持采购服务(如电子商务市场)、协作计划流程、谈判和其他 **B2B** 解决方案。全球物流管理模块是一个流程建模和监控系统,它提供多模式多企业物流运作的可视性,这一模块的功能包括:订单和库存的可见和跟踪,性能测量,失效报警和改进顾客服务。

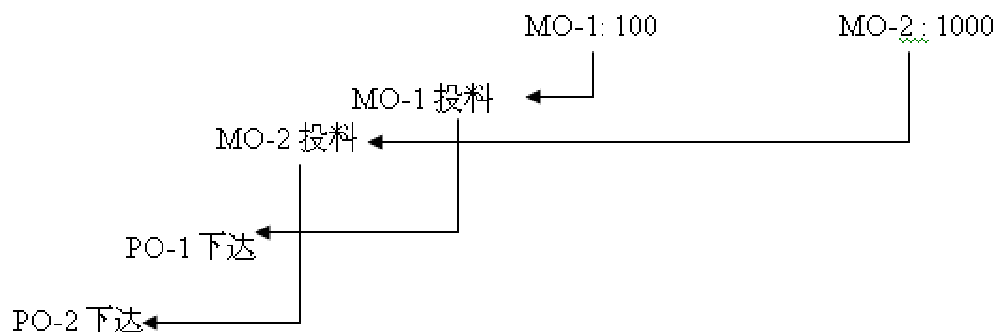
第二章 由 ERP 生产提前期的设定引发的思考

我们在实施 ERP 的 MPS/MRP 计划时,首先要考虑其产品的加工周期,这常常有两种设定方法,一是把提前期作为一常数,当然预先考虑的是平均批量的平均提前期。二是把提前期作为动态的数,随批量的变化而变化。

第一种方法的好处是对采购的提前期的影响较少,采购有顺序的先到给先需的生产定单。生产投料,在制品积压较少,但是,对生产定单的工期来说,就需要依赖能力计划 CRP 的分析进行大量的调整。

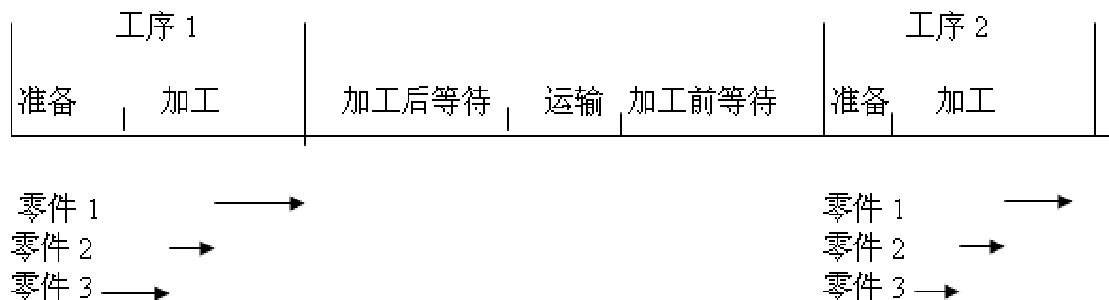


第二种方法的好处是提前期在随批量的变化而变化。导致先投料的单,后产出,引起在制品堆压在车间。对半成品来说,由于某一半成品的周期的变化,会导致其他半成品的等待或滞后,对采购计划的影响也非常大。经常发生后下达的采购单的物料,反而先到。



实际上这两种方法都没有解决提前期的根本问题，生产理论界迄今为止也没有更好的阐述。这就导致 ERP 在计划和生产的实施运用中难度最大。这就给实施者带来很大困惑。为什么 MRP 的结果总是和实际不吻合或提前期不准？事先作的计划总是要修改，甚至有的管理书上说追求提前期的准确是无意义的。它本身就是一个经验值，或是一个统计值。那么，对我们实际生产管理者来说因如何应对呢？请看生产提前期是如何构成的：

每个工序分解成 5 个部分：



1，加工后等待．2，运输．3，加工前等待．4，准备．5，加工．

实际上,许多生产专家如 Tully 很早就得出如下结果：

等待时间占整个生产周期的比例为 90%-95%

1,加工前等待时间 75%

2，运输时间 9%

3,检查时间 7%

4, 加工故障时间 3%

5, 而加工时间只占 6%

这就给我们显示了缩短生产周期的真正的焦点。我们应尽力缩短加工前后等待时间, 运输时间, 换装时间。

我们知道制造企业总是存在相互矛盾的目标。销售希望有较短的交货期和准时发货; 生产部门希望有一定的批量生产, 以提高生产率; 财务部门, 物料部门都希望有最低的原材料, 半成品, 成品。现在, 快速准时的交货的目标以改变了这些目标的权重, 更加强调交货期, 产销率, 低库存。由于企业实际的管理的难点是难以控制定单延迟, 在制品与库存积压, 对实际生产控制缺乏理解, 出现所谓”车间经验”。对此, 美国生产计划专家 G.W.Plossel 作过辛辣的描述并列出 6 个车间”神化”, 对我们现在制造业实施 ERP 的生产方面有重要的警示:

(1), 要想使一个车间的生产力提高, 就要多给它下达一些任务。

遗憾的是, 给一个超负荷的车间下达更多的任务, 会使在正确的时刻完成任务更加困难。

(2), 为了使重要的任务按时完成, 必须尽可能早地开始处理这个任务。

如下达更多的任务一样, 这也会使车间内的在制品库存增加, 从而使特定任务按时完成更加困难。

(3), 如果计划生产周期不够长的话, 就将它延长。

不可能通过修改计划数据的方法消除计划与实际生产周期之间的差距. 重要的是要提高生产能力, 消除超量的任务延迟。

(4), 如果不能为装配按时提供零件的话, 就将提供零件的时间提前。

这样肯定会造成更多的紧急任务, 从而使处理任务的灵活性减小, 使更多的任务与真正的紧急任务形成竞争, 并且影响数据的正确性。

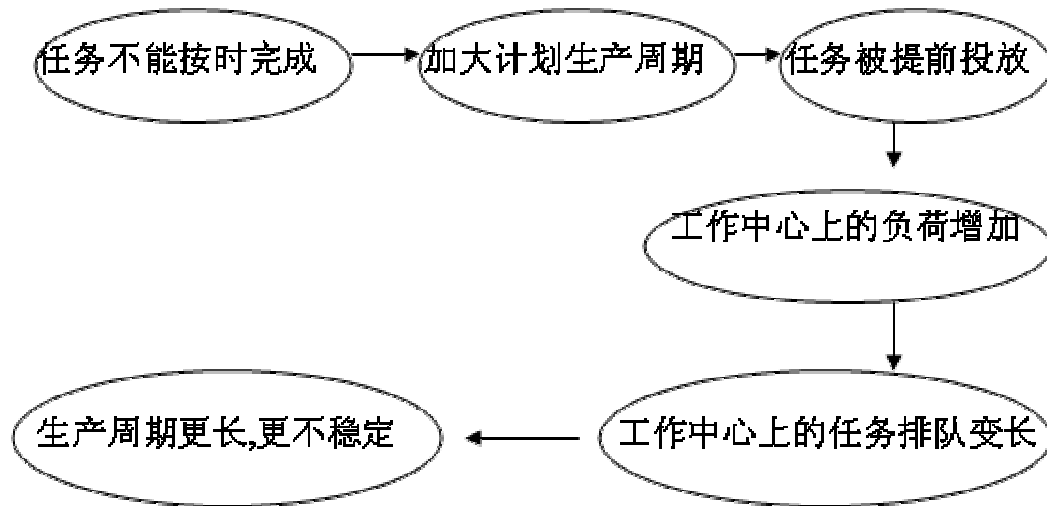
(5), 如果由同一台机床加工的几种零件都不够的话, 就将这些零件的加工批量分得更小。

这样看起来情况会有好转, 但如果涉及的是一个真正的瓶颈能力的问题的话, 这样的做法将引起许多更严重的问题。

(6), 如果几个紧急任务被很好的完成了, 那么再多几个可能完成得更好。

这种方法企图解决糟糕的计划和控制造成的问题, 但是一旦开始能力竞争时, 这种加快方法马上就失败了。

忽视目标与实际能力之间的相互关系会导致生产控制中错误的恶性循环：



摘自：面向负荷的生产控制(德国:Hans-Peter Wiendahl)

如果在 MRP 计划期间加大任务周期，根据 MRP 的倒退计划方法，订单会过早地进入车间，则势必等待时间加长，在制品数量增加。其结果延迟订单不仅没有好转反而变坏。只能通过加急定单和特别的行动才能将最重要的任务按时完成。那么，普通的定单则需要更长的时间，企业往往采取的措施是进一步加长生产周期。

从以上分析发现，生产周期牵涉到库存，在制品，能力，延迟任务。我们在 ERP 里设定的生产周期对生产周期所作的假设太简单了。

那末，如何管理与缩短生产提前期呢？

1,主要缩短等待，排队，运输时间

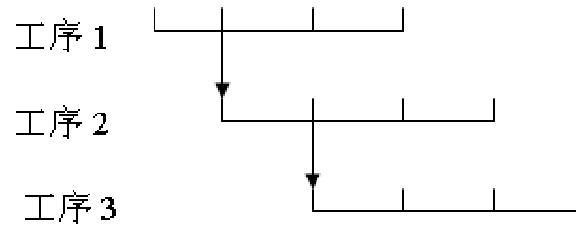
通过减小批量，优化生产布局，实现一个流的生产，看板技术是目前最有效的实现生产周期最小，库存最小的方法。

2，稳定生产周期-生产节拍均衡

在企业实施 ERP 时，我们经常采用 MPS 主生产计划策略来平衡实际不稳定的数量，使得所下达的定单的批量一致。来使生产提前期近似保持不变。并且把 MPS 主计划批量逐渐减小。

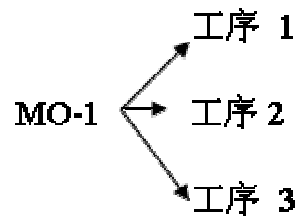
3,工序重叠-并行操作减少总的加工时间

利用 ERP 的提前期偏置，或进行平行移动的加工方法



4, 工序分解-交叉作业缩短加工时间

利用 ERP 的无限能力的工作中心调度或有限能力的自动调度

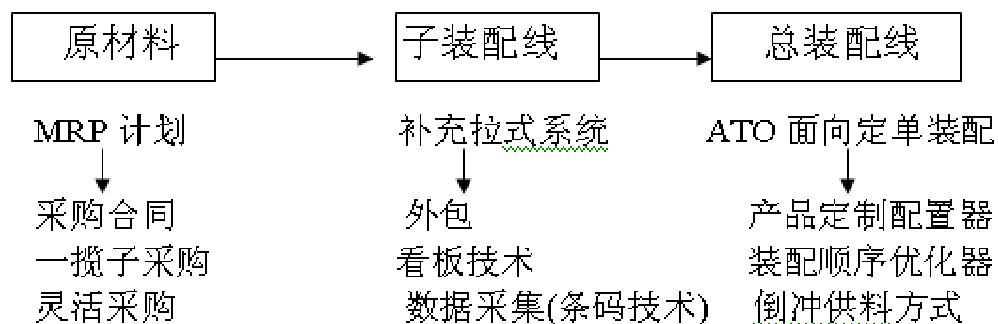


5, 基于规则的优化生产和基于瓶颈和非瓶颈的计划技术

使用 APS 高级计划排产技术, 通过选用适合自身的规则来优化生产周期。用 TOC 的约束理论技术来优化瓶颈和非瓶颈的生产周期。

6, 实现敏捷制造模式来快速响应市场变化

在最后装配线, 采用 ATO 方式, 实现按客户需求配置, 按客户定单优化顺序装配, 供料采用倒冲方式。在子装配线或加工工序, 实现拉式看板管理或外包即发外加工。并使用先进的条形码数据采集系统, 加速物流, 信息流动。在供应材料零件上, 实现与供应商联盟, 建立长期合同或一揽子采购定单及灵活多变的计划。



第三章 APS 中生产计划排程的基本原理

供应链管理（SCM）涉及企业间的集成以及在产销网络中协调物流和信息流的各个方面。作为企业信息中枢的 ERP 系统，现在已经在许多企业中用于作业处理和定单执行。高级计划系统（APS，Advanced Planning Systems）作为 ERP 的补充，用于协调物流、开发瓶颈资源和保证交货日期。APS 应用各种优化技术，并根据企业的商业目标来改进计划。APS 包括需求和供应计划、运输和生产计划排程等各种供应链计划模块，本文主要介绍 APS 中生产计划排程（Production Planning and Scheduling）模块的基本原理[1]。

决策状况描述

生产计划排程的目的是为车间生成一个详细的短期生产计划。排产计划（Production schedule）指明了计划范围内的每一个定单在所需资源上的加工开始时间和结束时间，也即指出了在给定资源上定单的加工工序。排产计划可以通过直观的甘特图（Gantt chart）形式给出。

排产计划的计划间隔可以从一天到几周，取决于具体的工业生产部门。合理的计划长度取决于几个因素：一方面，它至少应当涵盖与一个定单在生产单元中最大的流动时间（flow time）相对应的时间间隔；另一方面，计划间隔受到已知顾客定单或可靠需求预测的可用性限制。很显然，只有当排产计划适度稳定时，在一个资源上进行定单排程才是有用的。也就是说，它们不应受不期望事件经常变化的影响（如定单数量改变或中断）。

对某些生产类型（如 job shop），生产计划排程需要对（潜在）瓶颈资源上的任务定单进行排序和计划；而对另一些生产类型（如成组技术），生产计划排程要能自动地、按时段检查资源组的能力，看其是否能够在下一个时间段内完成成组加工的一组定单。然后，可以手工排序这组定单在下一个时间段内的加工次序。

排产计划任务能够而且也应当分散来做，这样可以利用每个地点人们的专业知识和车间当前状况的知识（例如人员的可用性）。

生产计划排程受到上层主生产计划的约束，主生产计划设立了在分散的决策单位中执行生产计划排程的框架。从主计划中可获得的相应指导包括：使用超时或加班的数量；在不同时间点上来自供应链上游设施物料项的可用性；涉及来自供应商输入物料的采购协议。此外，由于主生产计划在供应链上有更宽的视点和更长的计划区间，从中我们还可以得到：

计划结束时需要建立的各物料项的季节性库存量；

交付给供应链下游设施的定单截止日期（下游设施可以是紧接着的下一级生产单位，分销商或最终顾客）。

排产计划生成

由车间模型生成排产计划的一般程序可简单地描述为下面 6 个步骤（如图 1 所示）。

1、建模

车间模型必须详细地捕捉生产流程的特征和相应的物流，以便以最小的成本生成可行的计划。

由于一个系统的产出率只受潜在瓶颈资源的限制，因此，我们只需对车间现有全部资源的一部分 - 也即那些可能成为瓶颈的资源，建立一个清晰的模型。关于建模方法的细节我们将

在后面进一步阐述。

2、提取需要的数据

生产计划排程使用的数据来自 ERP 系统、主生产计划 and 需求计划。生产计划排程仅利用这些模块中可用数据的一个子集，因此，在建立一个给定生产单元的模型时，必须指明它实际需要哪些数据。

3、生成一组假定（生产状况）

除了从 ERP 系统、主生产计划和需求计划这些数据源中接收的数据之外，车间或生产单位的决策者或许对车间当前或未来的状况会有更进一步的知识或期望，这些信息在其它地方（如软件模块中）是不能得到的。再者，对车间的可用能力或许也可以有多种选择（如柔性的倒班安排等）。因此，决策人员必须有能力和建立某种生产状况（见图 1 中的第三步，点划线框表示这一步必须由决策人员执行，并且是可选的）。

4、生成一个（初始）排产计划

在有了模型和数据之后，就可以针对给定的生产状况，利用线性规划、启发式算法和基因算法等各种复杂的优化方法来生成排产计划。这项工作可以一步完成，也可以通过两级计划层次（先综合的生产计划，后详细的排产计划）完成。

5、排产计划分析和交互修改

如果通过两级计划层次完成，也即先生成综合资源的上层生产计划。那么，在生成一个详细的排产计划之前，人们或许首先要对这个生产计划进行分析。特别地，如果生产计划不可行，决策人员可以交互地指定一些计划途径来平衡生产能力（如增加加班时或指定不同的加工路径）。这或许要比修改在单个资源上的加工工序（下层排产计划）更加容易。

APS 采用了例外管理（Management Byexception）的技术，如果出现问题 and 不可行性（如超过定单交货期或资源过载），APS 就会发出警告（alerts）。这些警告首先被“过滤”，然后，正确的警告被传递到供应链中正确的组织单位。

此外，针对一种生产状况产生的排产方案还可以通过结合决策者的经验和知识交互地改进。当然，为了提供真正的决策支持，必要的修改次数应当受到限制。

6、生产状况核准

当决策人员确定已经评估了所有可选方案时，他/她将选择那个体现最佳生产状况的排产计划去执行。

7、执行和更新排产计划

决策人员选定的排产计划将被传递给：MRP 模块（分解计划）、ERP 系统（执行计划）和运输计划模块（在顾客定单完成时安排装运车辆）。

MRP 模块把在瓶颈资源上计划的所有活动分解成在非瓶颈资源上生产的那些物料或由供应商交付的物料；此外，对某些加工定单所必需的物料也将被预定。

排产计划将持续执行到某个事件信号发生时才进行更新，也即直到修改一个排产计划看来是可取的时候（见图 1 中的 LoopII）。这个事件可以是一个新定单的到来、机器故障或冻结的计划部分已执行完毕（后面我们还将对排产计划的更新作详细讨论）。

改变车间生产模型的情况不太经常（如图 1 中的 LoopI）。如果结构保持不变和只是数量上受到影响（例如一个机床组中的机床数或某些已知产品的新变种），那么，通过下载 ERP

系统中的数据，APS 能自动更新模型。但当变化很大时（例如具有某些新特征的新生产阶段的引入），那么，由专家对模型进行手动调整则是可取的。

下面我们将对车间生产流程模型的建模方法作更详细的阐述。

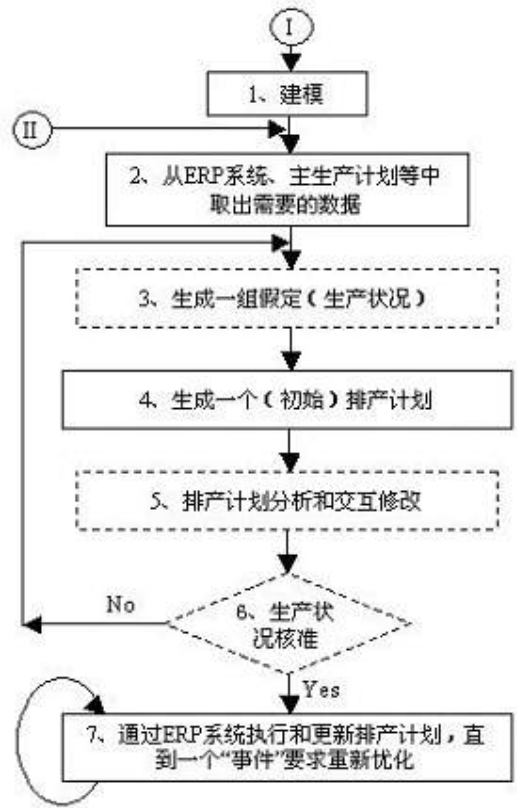


图 1、排产计划的一般步骤

生产流程建模

车间模型必须结合所有必要的生产流程细节来决定顾客定单的完成时间，模型需要的输入来自有关的物料和潜在的瓶颈资源。排产计划中每一步的时间间隔通常很小（如几个小时），有时甚至可以是连续的。

1、模型

我们可以把建模的范围限制在（潜在）瓶颈上执行的运作，因为只有这些资源限制了车间的产出。由于生产计划排程并不打算控制车间（这个任务留给了 ERP 系统），一些车间的细节（如监视定单当前状况的控制点）可以被忽略。

在模型的两个连续活动之间，在非瓶颈资源上执行的所有流程步骤都只被表达为固定的提前期差度（fixedleadtimeoffset）。这种处理方法与众所周知的“高级计划给出提前期只是作为计划的结果而不是一个事先给定的常数”这一叙述并没有矛盾。在这里，提前期差度仅包括前述非瓶颈资源上的加工和运输时间，因为等待时间不会存在。

模型可以通过关联的数据来定义，这些数据可分为结构数据（structuraldata）和状况相关数据（situationdependentdata）。

结构数据包括：生产地点，工件，物料单，工艺路径和相关的操作指令，（生产）资源，供应商清单，准备时间矩阵，和时间表（工厂日历）。

对车间分布在地方不同的一个大型供应链，把所有数据归集到一个专门地点或许会有好处。这样的话，一个零件就可以通过它的生产地点来识别，尽管它在顾客眼中是一样的。

物料清单通常是基于单层描述（存放在一个物料文件中），也即每一个零件号只连接到它下一层物料的那些零件号。一个给定零件的完整物料清单很容易在计算机上通过连接这些单层表达来构造。

每个工件的资源消耗可以从工艺路径和操作说明中得到。每个定单的工件数以及每个工件的资源消耗是计算单个定单顺序和排程所必须的。因此，可以用生产流程模型（PPM，ProductionProcessModel）来清晰地表达物料加工路径和生产操作。

图 2 给出了一个 PPM 的例子，它描述了一个特定尺寸和商标的瓶装蕃茄酱的两级生产流程。第一个 PPM 表达液体蕃茄酱的生产，包括清洗搅拌池，搅拌配料，和等待装瓶。一旦蕃茄酱准备好了，它将在 24 小时内被装瓶。蕃茄酱可同时用于不同尺寸的瓶子，每一种尺寸都将对应一个 PPM。

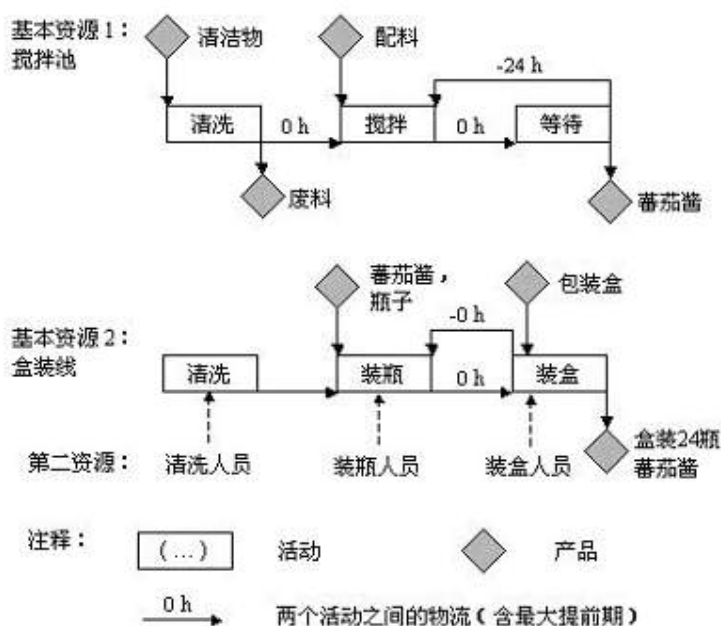


图 2、两级蕃茄酱生产流程模型（PPM）

一个 PPM 至少由一个运作（operation）组成，而每个运作包含一个或几个活动（activities）。一个运作总是与一个基本资源相关（如搅拌池）。二级资源 - 比如人员 - 也可归属于一个活动。活动或许要求一些输入物料并能产生一些物料作为输出。当然，我们必须指明什么时候需要输入物料和什么时候输出物料可用。在一个运作中，活动的技术顺序（也称为优先关系）可以用箭头线表示，就如同在项目计划活动中一样，可以用结束开始，结束结束，开始结束，开始开始关系和最大最小时间距离来连接。这就允许非常准确地建立包括平行执行活动（重叠的活动）在内的两个生产活动之间的时间约束模型。

一个顾客定单的计时、资源和物料需求可以通过有向标界线（peggingarcs）连接相关的 PPMs 导出（见图 3 中的粗体线和虚线）。有向标界线把一个 PPM 的输出物料（节点）与后一级 PPM 的输入物料（节点）连在一起。结果，从最后一级生产流程开始展开一个定单（如图 3 中的定单 C505X）和相应的 PPMs，就可以在各时间窗中生成关于资源和物料消耗的信息。这些时间窗可直接用于生成可行排产计划[2]。

工厂日历指明了休息日和其它资源工时的中断，另外还包括车间（或资源）是否以一班，

两班或三班运作的信息。高级计划系统（APS）通常提供几个典型日历可供选择。

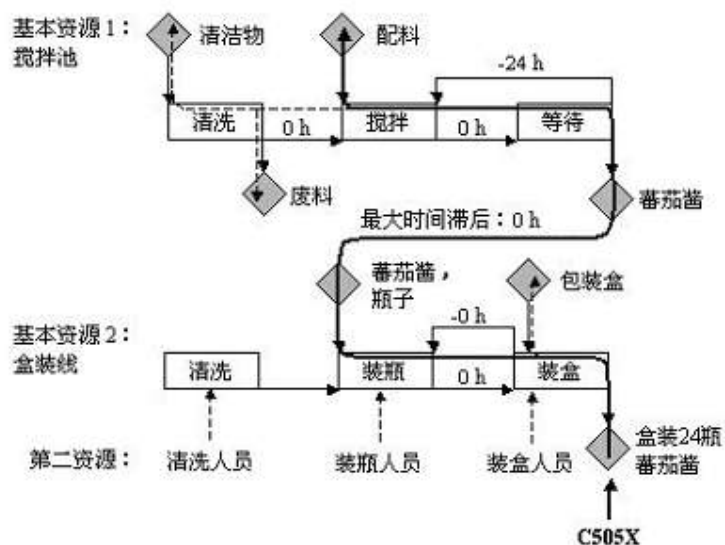


图 3、标界线：连接两个生产流程模型（PPMs）

状况相关数据随车间当前的状况而变，它包括：初始库存（含在制品库存）、资源的准备状态、和给定时间间隔内要加工的一组定单。由用户指定的运作规则数据包括：批量规则，优先规则和加工路径选择。

尽管建立批量规则最好是根据实际生产情况 - 例如资源的利用和相关成本的情况，但 APS 通常要求事先输入一些简单规则。这些规则可以是固定批量、最小批量或给定定单间隔时间的批量。APS 软件包或是提供一组规则可供选取，或是以高级编程语言的形式来编写它。在某个资源上决定定单优先次序的规则以类似的方式处理[3]。

如果执行一个生产定单存在可选路径，那么人们会期望 APS 在生成排产计划的过程中选择最佳路径。但经验表明，用户得自己选择一个适当的路径。有时可选路径是作为一个优先列表输入，只有当一个宁愿的路径导致不可行计划，求解器才会去试第二个最佳路径，然后试第三个最佳，等等。

2、目标

最后还要指定一个优化目标。这些目标指导寻找一个好的、期望能接近最优的计划方案。在生产计划排程模块中选择优化目标时，我们看到主要有下面一些面向时间的目标：

Makespan，完成所有定单任务所需要的时间。使 makespan 最小是多机床任务排序问题中常见的优化目标；

Lateness，定单任务完成时间和它的到期时间之差。使所有定单的 lateness 总和最小，或使单个定单中最大的 lateness 最小，是常见的排程目标。

Flowtime，一个定单任务在生产系统中花费的时间。使所有定单的 flowtime 总和最小也是一个优化目标。

Setup time，每个定单任务的生产准备时间。使所有定单的 setup time 总和最小也可以作为一个优化目标。

另外，还有三个与成本相关的目标，分别是：使可变生产成本总和最小；使生产准备成本总和最小；和使惩罚成本总和最小。

尽管在排产这个计划层对成本的自由度影响很有限，但我们可以看到，对于不同加工路径

的选择（例如，是安排标准定单或是紧急定单），也还是要以货币的术语来评估。

如果需要对“软约束”建模（例如，为备货生产定单履行计划的交货时间），我们可以把惩罚成本包含在目标函数中。惩罚成本也称为缺货成本，它是当需求出现时没有足够的现货来满足需求所招致的成本。

如果决策人员想要同时追求上面几个优化目标，使每个目标都达到最优，这样“理想”的解答通常是不存在的。那么，只好寻求一个妥协方案。一种方法是建立上面单个目标的加权和，这个组合目标函数可以象单目标函数一样对待，因此，可以应用同样的求解方法[4]。

3、解的表达

表达一个模型的解也即详细的排产计划，有几种选择。它可以简单地表达为一个任务清单，上面列出了每个任务在分配给它的资源上的起始和完成时间。要把排产计划传送到其它模块中，这是最恰当的表达方式。

决策人员通常更喜欢排产计划以甘特图表达（如图 4 所示），用甘特图可以在一定的时间间隔上平行地显示所有资源。人们既可以专注于一个指定顾客定单和它在相应生产阶段的排程，也可以把注意力集中在单个资源及其在时间上的排程。

如果决策人员允许交互地改变排产计划，例如把一个运作交互地移到另一个资源，那么以平行方式显示所有资源的甘特图是最好的表达。

下面我们再看看更新一个现有排产计划的一些选择。

排产计划更新

生产计划排程假定所有数据是确定已知的，也即决策状况是确定的。尽管这是一个理想的假设，但对一些时间段还是可以进行调整。为了处理不确定性（例如非计划的生产率变化或未预料的资源停工），软件工具允许监控人们假定发生在车间的变化，并生成一个更新了的期望的定单完成时间。这些变化是否大到需要重新优化排程将基于决策者的判断。在一个计划实际交付车间实施之前，可以通过提供大量的可选状况的生成和测试能力来帮助决策者的判断。这种方法也称为仿真，目前的 APS 软件工具都提供仿真手段（见图 1 的第 3 到第 5 步）。

在这里要提到的另一个特征是两步计划方法，也称为增量式计划。假定有一个新的定单到来。如果它落在生产计划排程的计划范围内，这个新顾客定单的活动可以插入到它所需资源上已排序好的定单中。在现行排产计划中寻找时间空隙，以便新定单的排程只须做微小的调整。如果能维持排产计划的可行性，那么就能导出新定单的一个计划交货期，并送回给顾客。

由于上面这一基本排程可以通过不同的定单顺序来改进，所以重新优化经常会被考虑，以便通过新的排序来减少成本。

下面我们就来举例说明。假定有 4 个定单需要在某个机床上排程，表 1 给出了定单交货时间，优化的目标是使顺序相关的生产准备时间总和最小。如果实际开始时间在 100（时间单位），所有定单的加工时间相同（1 个时间单位），顺序相关的准备时间是 0，1/3，2/3 或 1 个时间单位（表 2 给出了准备时间矩阵）。那么，最优的排程显然是 ABCD（如图 4 所示）。

表 1、数据：到期时间

订单	A	B	C	D
到期时间	102	104	107	108

表 2、数据：生产准备时间矩阵

t ₀	A	B	C	D	E
A	1	0	1	1	1
B	1	1	0	1	2/3
C	1	1	1	0	1/3
D	1	1	1/3	1	1
E	1	1	2/3	1	1

在开始加工订单 A 之后，我们被要求检查是否能够接收一个交货时间为 107 的新订单 E。假定不允许因为一个新（紧急）订单而中断一个已经开始执行的订单，那么我们可以检查在完成订单 A, B, C 或 D 之后，把工作 E 直接插入现行排程（如图 5 所示）。由于在订单 A 和 E 这个子顺序之间存在一个正的准备时间，插在 A 之后会违反订单 B 的交货期，因此是不可行的。依理可以找到三个可行排程，其中可选方案 c) 具有最小的准备时间总和。因此，交货期为 107 的新订单 E 可以被接受（假定订单 E 值一个时间单位的附加生产准备时间）。

当重新执行排程优化时，我们可以得到一个新的包括订单 E 的可行排产方案，它减少了 1/3 的生产准备时间（如图 6 所示）。

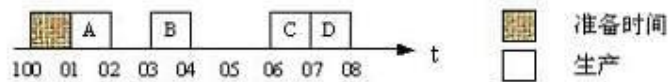


图4、在一台机床上具有到期时间和相关准备时间顺序的四个订单的甘特图

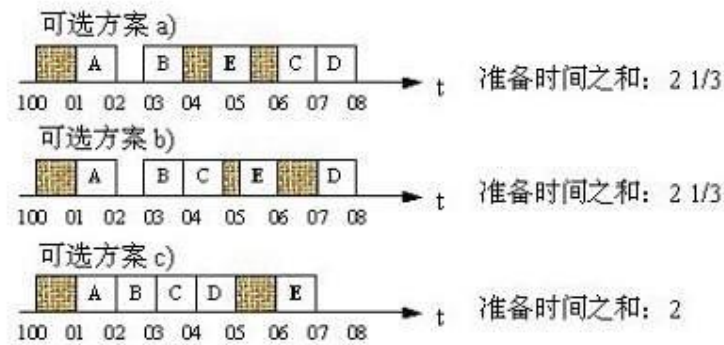


图5、生成新顾客订单E的到期时间

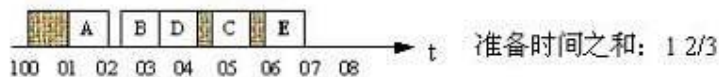


图6、重新优化后的排程

生成一个新的订单排程是费时的，并且通常会导致一些紧张（nervousness）。这些紧张是因为与先前的实际计划相比改变了订单开始的时间和生产的数量。紧张可能导致车间的额外工作，例如某些输入物料或许要更早交付，而这又要与供应商一起检查。为了减少紧张，通

常可以把在一个资源上接下来的几个定单固定,也即它们的加工顺序是固定的而不作为重新优化的一部分。开始时间落在一个给定时间段(称为冻结范围)的所有定单都将被固定[5]。

第四章 生产计划调度的灵魂: 约束规则

现在,约束计划的开发已经吸引各个领域的专家的高度注意,因为,它是有潜力解决现实中的非常难的问题。不仅基于很强的理论基础,而且,也广泛吸引商业利益。特别是在对变异的建模优化与满意问题。无论我们是用先进的基因算法,还是用人机交互式的仿真方法,都需要对制造业的复杂约束,多目标优化,大规模的搜索和车间生产的不确定性的问题进一步研究,以适用实际需要。

在人类努力的大多领域里,约束在不断的增加。它们在物理世界形成互相依赖。约束是在一些未知或变化里的简单的逻辑关系,在给定的领域里,每一个约束取一值。约束就限制了变化所带来的可能的值,它反映部分信息,约束也可以是不协调的,它可以在不同领域里互相约束。实际上,我们都用约束来指导推理和决策,是每天的常见行动的重要的一部分。如,我可以从5点到6点在那里。这就是典型的约束,我们用它计划我们的时间。自然,我们不能仅仅解决一个约束,因为约束很少是独立的。所以,我们不得不接受的现实是这些问题比较复杂。

约束计划是基于约束规则的计算机系统的程序,约束计划的概念是详述问题的约束来解决问题。结果是找到让所有的约束满意的方案。计划调度的实施的关键是基于约束规则,基于约束自动的调配资源,优化计划,来达到你所需要的计划目标。对离散的制造行业解决复杂的加工过程如多工序,多资源等(Jobshop调度),对重复式或流程式的制造行业解决顺序问题如优化排序等(Flowshop调度)。

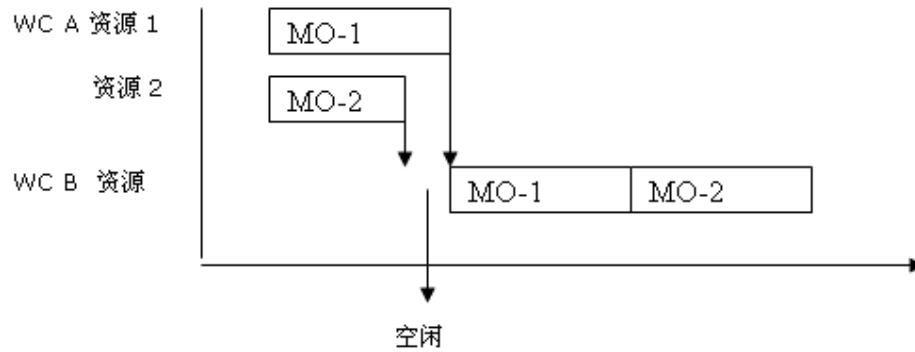
如你的主要目标是一个满足所有任务规定的完成日期吗?还是你重点是提高设备利用率,减少非生产时间(准备时间和设备维护时间)?确定基本计划的目标是选择合适的规则的先决条件。一旦决定你的目标,你就可以选择规则来完成目标。

一、基于订单(Job-based)排程方法

工作中心 WC A 有两个资源 工作中心 WC B 有一个资源

订单 MO-1 最高优先级。

订单 MO-2 次优先级



基于订单任务示意图

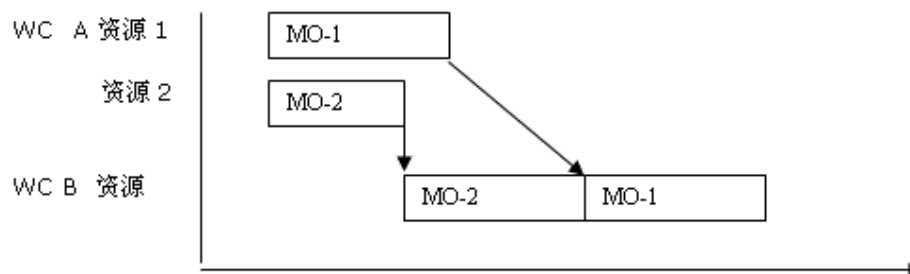
是基于订单的优先级决定下一个订单的加工，可以自动识别订单的优先级和手工定义优先级，在计算机自动的根据规则的优先级排出生产计划后，还可以手工介入，修改优先级进行重排。以满足复杂的现实的需要。

约束规则如下：

- (1) 瓶颈：基于次要任务选择规则的排列。向前和向后方法来计划所有未分配的任务订单。重点是瓶颈资源的工序的。双向模式只计划需要指明瓶颈资源的任务。能用任何可得到的规则计划剩余任务。
- (2) 完成日期：基于最早完成日期。
- (3) 先到先服务：按照先到订单，先安排生产。
- (4) 升序订单属性值：按规定的订单升序的值排列。订单的属性可以是数值，字母。
- (5) 优先级：按照最小数值优先。如果你用此规则，优先级字段必须在订单上定义。
- (6) 加工时间：按照订单最小的加工时间优先。
- (7) 下达日期：按照最早开始日期优先。
- (8) 相反优先级：按照最大数值优先。如果你用此规则，优先级字段必须在订单上定义。
- (9) 闲散时间：按照最小闲散时间优先。

二、基于事件（Event-based）的排程方法

是基于高利用率的方法。实现其计划的关键是二步导向的规则使用。有二个基本的规则：（1）工序选择规则 OSR；（2）资源选择规则 RSR。



基于事件示意图

针对不同产品和资源，必须选择不同的规则，在决定是使用工序选择规则或资源选择规则时，主要考虑的是什么是一个好的计划标准？一旦确定你的目标，你就可以选择工序和资源选择规则来完成目标。一般来说，先选择工序选择规则，然后选择合适的资源选择规则。在一些情况下，有关的资源选择规则被工序选择规则所决定。

工序选择规则 OSR (Operation Selection Rule)

至少一个资源是空闲的，二个或多个工序能用于这个资源，采用 OSR。此规则决定那一个工序被加载。这就是决定计划结果质量好坏的关键因素。独立的工序选择规则详细介绍如下：

- (1) 最早完成日期：选择最早完成的工序（也许是订单完成日期）
- (2) 最高优先级第一：选择最高优先级（最低值）的工序
- (3) 最低优先级第一：选择最低优先级（最高值）的工序
- (4) 最高订单属性字段：选择最高（最大）订单属性字段的工序
- (5) 最低订单属性字段：选择最低（最小）订单属性字段的工序
- (6) 动态最高订单属性字段：选择动态最高（最大）订单属性字段的工序
- (7) 动态最低订单属性字段：选择动态最低（最小）订单属性字段的工序
- (8) 计划档案订单：选择订单里出现先到先服务的工序
- (9) 关键率：选择最小关键率的工序。

$$\text{关键率} = \text{剩余计划工作时间} / (\text{完成日期} - \text{当前时间})$$

- (10) 实际关键率：选择最小实际关键率的工序

$$\text{实际关键率} = \text{剩余实际工作时间} / (\text{完成日期} - \text{当前时间})$$

- (11) 最少剩余工序（静态）：选择最少剩余工序时间的工序
- (12) 最长等待时间：选择最长等待时间的工序
- (13) 最短等待时间：选择最短等待时间的工序
- (14) 最大过程时间：选择最大过程时间的工序
- (15) 最小过程时间：选择最小过程时间的工序
- (16) 最小工序闲散时间：选择最小工序闲散时间的工序。

订单任务的闲散时间 = 任务剩余完成时间 - 剩余工作时间

工序闲散时间 = 任务闲散时间 / 完成任务的剩余工序数

- (17) 最小订单闲散时间：选择最小订单任务的闲散时间的工序
- (18) 最小工作剩余：选择所有需要完成订单的最小剩余过程时间的工序。

资源选择规则 (RSR) Resource Selection Rule

RSR 选择工序加载到资源组内的哪一资源。

- (1) 最早结束时间：选择将要最先完成工序的资源
- (2) 最早开始时间：选择将要最先开始工序的资源
- (3) 最迟结束时间：选择将要最迟完成工序的资源
- (4) 与前工序一样：选择被用于前一工序的资源
- (5) 非瓶颈最早开始时间：选择将要最早开始工序的非瓶颈资源

相关选择规则：

如果选择一工序选择规则，就自动的选择相应的资源选择规则。

(1) 系列顺序循环：选择同样或下一个最高（最低）系列值的工序。当没有最高值的工序，顺序将相反，选择最低的工序。

(2) 系列降顺序：选择同样或下一个最低系列值的工序

(3) 系列升顺序：选择同样或下一个最高系列值的工序

(4) 最小准备系列：选择最小准备时间及最近的系列值的工序。

(5) 最小准备时间：选择最小准备或换装时间的工序

(6) 定时区的系列顺序循环：选择同样或下一个最高（最低）系列值工序。且只考虑在特定的时区里的订单完成日期里的工序。当没有最高值的 工序，顺序将相反，选择最低的工序。

(7) 定时区的系列降顺序：选择同样或下一个最低系列值工序。且只考虑在特定的时区里的订单完成日期里的工序。

(8) 定时区的系列升顺序：选择同样或下一个最高系列值工序。且只考虑在特定的时区里的订单完成日期里的工序。

(9) 定时区的最小准备系列：选择最小准备时间及最近的系列值的工序。且只考虑在特定的时区里的订单完成日期里的工序。

(10) 定时区的最小准备时间：选择最小准备或换装时间的工序，且只考虑在特定的时区里的订单完成日期里的工序。

工序选择规则的分析

标准的工序选择规则有二十多个标准规则。不同的规则对应不同的目标。这些规则可以进一步分成静态与动态的规则。

静态规则：为所有在排队中的订单，所有等待的工序提供一简单的索引机制。这些规则在每一次预先模拟时间时不需要再次评估。用于工序选择规则的参数是固定的。例如规则是最早完成日期规则，完成日期在顺序排程中从未改变。在排队中的第一个工序被分配到一等待资源。因为规则总是选择第一个等待工序，此规则执行的非常快。

动态规则：每一个在排队的工序被每一次调用的规则检查。因此，我们是基于当前的订单任务和系统的状态决定我们的选择。这个机制充分考虑了任何改变出现的时间和事件的结果。例如，最小工序空闲规则，因为工序的空闲值随时在改变。因为动态选择规则需要在每一次事先模拟以后检查在排队中的每一个工序，它比静态规则要慢一些。

为有助于分析规则，我们对规则进行分类。分成四个主要类别来对应四个不同的计划目标。它们是 1、预先确定任务的参数。2、最小化任务缓慢。3、最小化任务流程时间。4、最大化设备利用率。我们将讨论每一个核心目标和相应的工序及资源规则以支持这些目标。规则的分类目的是帮助你为达到你的核心目标而缩小你的规则的选择。对某一类的规则选择是基于你的计划问题。每一个类别的规则都混合一些静态和动态的规则。

预先确定订单任务的参数：是基于预先定义订单任务的优先级来选择下一个工序或用户规定的属性字段（如成本）。一般来说，每一个规则由特性的最高，最低的值被调用。这类包括最高优先级，最低优先级，最高订单特性字段，最低订单特性字段，动态最高订单特性字段，动态最低订单特性字段，计划档案订单，最长等待时间，最短等待时间，和最大过程时间。

最高优先级和最低优先级是分别用最高或最低优先级选择工序的静态规则。

最高订单特性字段，最低订单特性字段是和优先级规则相似的静态规则，除了基于用户定义属性的选择。例如。最高订单特性字段规则用一个属性字段定义，如由成本的最高值来选择任务。因为这是一个静态规则，它假设当订单任务正在等待处理时成本是不变的。

动态最高订单特性字段，动态最低订单特性字段规则是动态的。虽然这些规则执行较慢，它们也适应当订单任务正在等待时属性字段可以改变的情况。

计划档案订单规则是一静态规则，是基于已进入数据库的订单来选择订单。这个规则和先到先服务规则相似。

最长等待时间，最短等待时间规则是一动态规则，它是基于订单任务被等待计划的时间来选择工序。

最大过程时间规则是用最大过程时间来选择工序。预先确定任务的参数规则一般用于订单任务的特性的情况。（如优先级或成本），不考虑任务完成日期或设备利用率。因为这些规则忽略完成日期，它们典型更适应面向库存生产(MTS)环境，而不是面向订单生产环境(MTO)。

最小化任务延缓：在许多面向订单生产环境（MTO），计划目标是保证每一个订单任务按期完成。最小化任务延缓的规则是建立一最小化延缓任务的计划。这类规则包括最早完成日期，最小化运行闲散时间，最小化订单闲散时间，关键率，和实际关键率。这些规则的最简单的是最早完成日期。这是一静态规则。虽然这个规则执行的非常快。这一类所有的规则是基于空闲时间计算的动态规则。空闲时间是完成日期和最早完成时间的差异。

最小订单闲散时间规则选择一个父项任务的工序，父项任务有最小的闲散时间。如它没被选择，这个订单任务大多可能是延迟的。

最小运行闲散时间规则是基于每一个工序的平均闲散时间（订单任务计算的闲散时间/剩余工序数量）而不是任务的剩余闲散时间。这个基于闲散时间的规则形成的基本想法是每一个剩余工序有一固有的风险，根据它延迟的可能性，每一个工序的最小闲散时间的订单任务是最关键的。因此，如果我们在同样的闲散时间中选择订单任务，我们会选择最大剩余工序数量的订单任务，因次，根据每个工序最小闲散时间的规则来选择处理风险最大的订单任务。

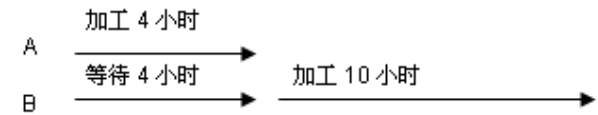
基于闲散时间规则的最后的差异是关键率。这个规则选择父项任务有最大关键率的工序。关键率是剩余工作时间/（剩余工作时间+闲散时间）。注意只要闲散时间是正的数，分母大于它，关键率就小于1。就此，任务还没有延迟。如果关键率大于1，闲散时间是负数，任务就不能按期完成。关键率规则与最小工序闲散时间规则相似。相同的是，它们都是用闲散时间来计算的。不同的是它的剩余工作已完成。它的基本的前提是剩余闲散时间本身在决定最关键订单任务时并不重要，即相关的剩余工作已完成。如我们有许多剩余工作，那么，我们需要较大的闲散时间来保证我们的订单任务不能延迟。

最小化任务过程时间：在一些环境，关键问题是计划设备的效率来最小化订单任务的平均时间。在最小化任务过程时间规则里忽略任务完成日期而集中于减少订单任务的时间。这类

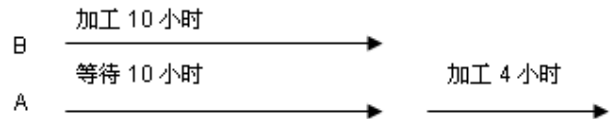
规则包括最小化流程时间，最少剩余工序，最小工作剩余。这类规则是基于过程时间最短的概念，减少所有订单任务的平均任务过程时间。

案例一：

有二个订单任务 A，B。在单一的机器上加工处理。让我们假设任务 A 需要 4 小时，B 需要量 10 小时。如我们加工 A，B，任务 A 立即开始及 4 小时完成，产生 4 小时的过程时间。任务 B 开始等待 4 小时，加工 10 小时产生 14 小时。两个订单一共用了 18 小时，所以平均过程时间是 9 小时。



如我们把加工顺序倒过来，B 的过程时间是 10，和 A 的过程时间是 14，。两个订单一共用了 24 小时，所以平均过程时间是 12 小时。



虽然，这是一个非常简单的例子。如果有许多机器和许多不同的订单任务的应用就较复杂。不管怎样，这类规则都是用同样的概念-最短处理任务的时间，仅仅不同的它是怎样决定最短任务。最小化处理时间规则是静态规则，用最短工序时间选择工序。最小化工作剩余规则是动态规则，它是基于父项任务的最小剩余工作选择工序。剩余工作是对所有任务的剩余工序的合计时间。最小化过程时间规则检查单一工序的加工时间，而最小化工作剩余规则检查所有的剩余工序的加工时间。最少剩余工序规则和最小剩余工作规则相似，除了这个规则是基于剩余工序数量而不是过程时间的合计。

最大设备能力：在一些面向库存生产的环境（MTS）中，关键的问题是设备效率。即最大化整个设备的生产能力。在最大化设备能力规则里忽略任务的完成日期而集中于设备的能力效率来产生计划。这类规则包括最小准备时间，系列顺序升 UP，系列顺序降 DOWN，系列顺序周期，和用系列的最少准备。另外，每一规则都与时间相连。所有这类规则都集中于减少转变成本，最大化的设备能力。这个转变成本能在一顺序相关的准备时间中设置。我们正努力消除设备的任何没有必要的非生产时间。

如果我们为整个工序的排序，在连续的工序之间，要考虑顺序相关的准备时间及转变成本，此时，我们就能用系列规则。

案例二：

在混合油漆中，我们在定义好的顺序中一般要逐渐从淡色移动到深色。如从深色移动到淡色时，就有整个清洗混合的油箱的准备时间即转变成本。在一些情况下，我们有事先规定好

的顺序。例如，我们也许要处理颜色顺序 A, B, C, , D, E 的订单，这就称为系列顺序。如果我们刚要加工颜色 A，我们会首先寻找有颜色 A 的其它订单。如没有，我们会寻找颜色 B 的订单，依此顺序，等等。系列规则提供这个能力。这些规则允许我们规定一个系列值。（如油漆颜色，温度，等等）。每一个订单/工序及动态建立系列，或自动的增加，减少，或使系列值上下循环。

在增加系列的情况下，系列升顺序规则选择一系列值并大于或等于被选择工序的系列值的工序。如，如果我们建立一零件尺寸的增加系列值，规则选择同样或下一个最大尺寸的工序。如等待工序没有同样或大的值，规则就开始一个新的系列顺序。

系列降顺序规则也是类似的。

案例三：

生产化工纤维材料时，根据产品的型号和厚度对品种进行分类， 对品种的最优排产。

如取最小值= { 3m/1。4m, 6m/1。4m, ... }来决定在哪个订单的加工顺序及哪个资源最经济。

系列顺序循环规则在增加顺序和减少顺序前后交替。如系列增加，它将继续增加，直到没有一样或较大的系列值订单剩余的订单。当这种情况出现，规则会转为减少系列值并开始选择有一样或较小系列值的订单。当所有这样的订单耗尽，它就回到增加系列的策略。这个规则以此方式继续，在增加和减少系列值之间重复循环。

案例四：

在热处理时，温度是间隔的增加到最高，然后降低。

最小准备系列规则结合最小准备时间规则和系列顺序循环规则。最小准备时间和最靠近的系列值的工序被选择。

定时的规则仅仅考虑任务完成日期正好落入规定的时区的工序。时区必须定义在数据库里。如，你要跟踪颜色的系列，但是，你仅想考虑在下一周的完成的订单任务。这个规则既要最小化颜色的改变。又要不能延迟订单任务。

资源选择规则分析

虽然工序选择规则在决定生产计划方面起着重要作用。资源选择规则在加工处理中也能起重要作用。尤其在最小准备时间和系列工序选择规则上，资源选择规则是由工序选择规则自动决定的。（如选择最小准备时间工序规则，最小准备时间资源选择规则被自动选择）。然而，在选择所有的剩余工序选择规则时，你必须在资源选择规则中选择其一。

最早结束时间是缺省的资源选择规则。它选择将完成的第一个的工序。基本策略是尽快完成工序。因此，此规则与工序选择规则的最小化过程时间相似。

最早开始时间规则选择将开始第一个工序的资源。这些规则集中减少资源闲散时间。

最迟结束时间规则选择将选择最后完成工序的资源。如果资源不包括在有效资源组，缺省最早结束时间规则。

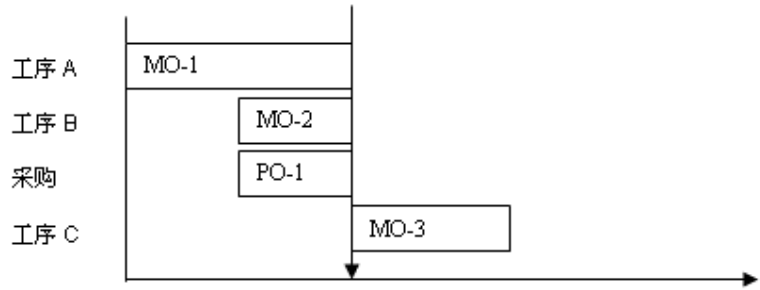
非瓶颈的最早结束时间规则将首先完成工序的非瓶颈资源。非瓶颈最早开始时间规则将首先开始工序的非瓶颈资源。

三、基于物料约束 (Material Constrain)

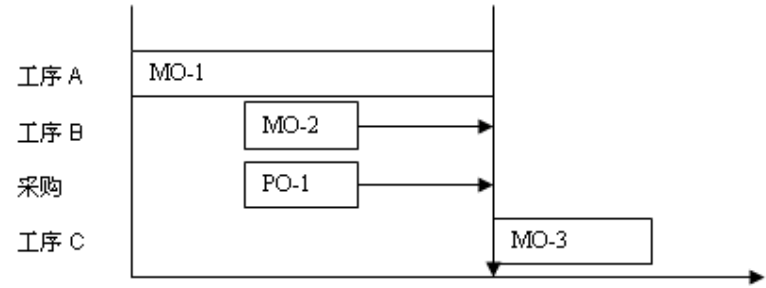
当生产计划想要计划一个需要某物料的工序时，它将仅仅计划库存水平足以满足当时或以后的工序。如果在计划时区不能满足条件，物料约束计划将首先查看是否有未分配的定单，产生库存需求。如果它找到这样的定单，它将首先计划定单，然后计划工序的库存需要。如定单产生库存需求另外的未有的库存，物料约束计划将象以前一样寻找定单来计划。这个过程将重复许多次。如果有不够，就需要库存补充。

静态物料约束规则 (SMC)

先对每一个物料从 ERP 系统导入建立可用量清单，最早开始的订单和被分配的物料，随着物料业务，订单日期的延迟，或变化，系统会自动调整或显示订单的变化。



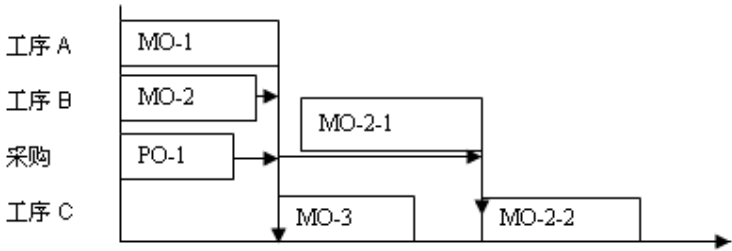
MO-3 只有在 MO-1，MO-2，PO-1 完成后，才能开工。



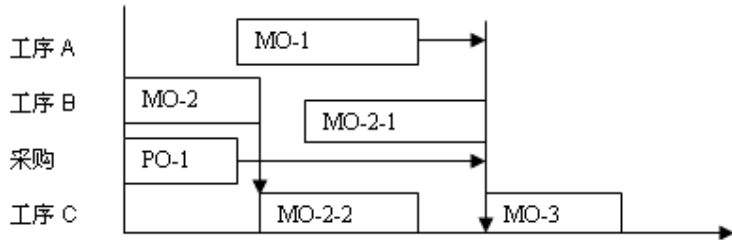
因为 MO-1 的延迟，自动调整 MO-3 的开工日期

动态物料约束规则 (DMC)

当计划建立时，动态分配物料，允许重新分配物料到另外的一个订单，它可以处理物料的有效期，变化的产出率，和减少在制品等实际问题。



MO-3 只有在 MO-1，MO-2，PO-1 完成后，才能开工。



而 MO-1 延迟，导致调整 MO-3 只能用 MO-2-1，PO-1，MO-1 的物料，而原来的 MO-2-2 的物料可以重新分配到 MO-2，PO-1 的完成后就可以开工。

从库存取出约束 (Take from stock kit)

定义在一工序需要的子项。 在我们做计划时，考虑子项物料从库存的可用量的约束来排计划。

放入库存约束 (Put to stock kit)

定义从工序的父项产出结果。在我们做计划时，考虑产出的约束，必须考虑库位所能容纳的约束。

生产计划根据产品结构的相关性来分配物料的约束，查询约束可以按物料编码报告物料约束。也可以按订单号报告物料约束。工具约束：工具子项反映关键工具作为资源，也可以作为约束物料，如你可以定义工具产生约束，如工具维修，故障。

总之，制造业对客户需求的响应越来越强烈。现在生产计划调度系统正开始将基于约束规则基因搜寻和模拟仿真模式结合起来，解决制造同步化问题和工厂的顺序冲突问题。

现在，约束计划已经成功应用到许多不同问题领域。它和分析 DNA 结构一样多样化。对医院的时间表和工业的排程。实践证明它能较好适应解决现实的问题。因为，许多应用领域自然的需要约束。分派问题也许是第一个工业应用约束解决工具。用甘特图来描述计划可能是最成功的应用领域如有限约束排程。

在现实中,约束计划可以广泛的运用,但是当前的工具也有可能没有涉及到的领域或局限和缺点。无论是从理论上,还是实际的观点来看,约束的定义促使问题可追踪是非常重要的,约束计划的有效性仍然是不可预测的:何时,如何使用约束。通常直觉是决策的最重要的部分。有时,盲目的快速搜寻如按时间顺序后排比约束进化(基因算法)更有效。在许多约束模型里的特别问题是成本优化。有时,它是对改善起初的方案是非常困难的。且一个小的改善就会花去很多时间。

约束计划也在不断的进化,它们能动态的增加约束。大部分情况下,约束系统产生的计划是可执行的。除了机器故障,延迟的计划,在最坏的情况下,新订单的接受。这是需要快速的重排计划或提高当前的方案来解决未预料的事件。同时,在通常较紧计划优化的方案和可以解决较少差异的,稳定的,次优化的方案之间交替选择。

当前的约束满意系统的缺点标志着未来研究发展方向,在它们之间,建模看上去是最重要的之一。已经开始讨论使用全局约束,把主要的约束预先设置到软件包。(如所有不同的约束规则)。目前,建模语言较多的使用 ILOG 公司的 (ILOG Solver) 来表示约束问题。(如名列前矛的商业管理软件供应商均采用此技术)

从较低层次的观点,可视化的技术越来越流行,他们帮助定义系统的瓶颈。各种约束解决方法交互研究是最具挑战的问题之一。混合算法结合各种约束技术是这个研究的结果。另外感兴趣的研究领域是解决协同和对应的结合的理论。约束满意技术和传统的 OR (Operation Research) 方法如整数规划是另外的挑战。研究平行和并行的约束已作为提高效率的方法,在这些系统里,多层代理技术是最有前景。

第五章 基于约束理论(TOC)的高级生产计划

很多人都看过《目标》一书,小说中的鼓、绳子、缓冲给我们很深的印象。但是,在实际计划工作中却不知道如何实现。本文就是浅谈 TOC 理论的生产计划,从 DBR 系统的基本原理谈起:(在国外,有些 APS 软件是基于模拟仿真或基因算法理论的,但有些 APS 软件却是基于 TOC 约束理论的,约束理论的计划是 APS 的一种)。

首先,介绍一下 DBR 的含义,DBR 系统的目的是:

- (1)识别企业的真正约束(瓶颈)。
- (2)基于瓶颈约束来建立生产计划(Drum 鼓的节拍)。
- (3)对 Buffer “缓冲”的管理
- (4)非瓶颈的物料的投入受到瓶颈的产出率的控制,即 Rope “绳子”所控制。

鼓:是约束资源的产出速度决定整个系统的运营速度,即瓶颈控制着企业同步生产的节拍,所以称为“鼓 Drum”。在安排生产计划时,首先把优先级计划安排在约束资源上,“鼓”反映了系统对约束资源的利用。“鼓”的目标是有效产出最大。

缓冲:分为时间缓冲、库存缓冲。是保证瓶颈不会出现因缺料而停工,在约束资源的后续装配工序前设置非约束资源缓冲,保证瓶颈能力 100%利用时间。

缓冲分为**鼓缓冲**,**装配缓冲**,**发运缓冲**.

鼓缓冲: 鼓缓冲可以在任何工作中心之前动态的布置,它被定义为鼓,并且使用协调计划处理.鼓缓冲是保护复杂制造环境的约束或瓶颈.约束理论 TOC 的概念是(Identified)定义加工过程中尽可能的需要的(Exploited)利用的约束,我们不能处理不可能运行的订单和理想的计划,在鼓上运行的时间之前布置时间缓冲.如果有了这个缓冲,我们就能具有一些缓冲渗透(buffer penetration)的数量来承受有限计划鼓的影响的风险.

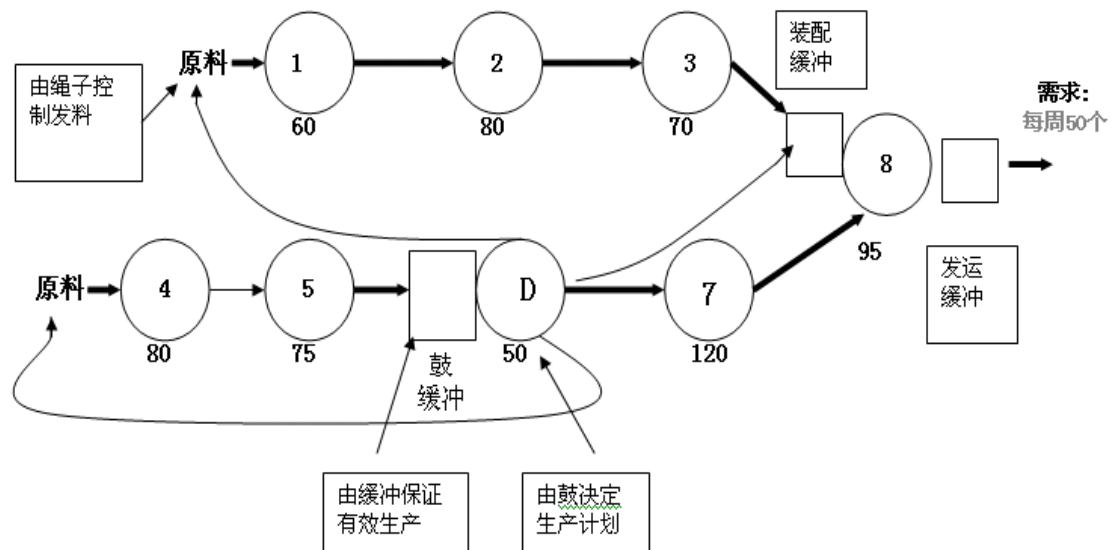
装配缓冲:

装配缓冲: 用于保证非-鼓链的装配,在足够时间到达,形成和关键鼓链的零件配套.装配缓冲是不提供对所有子项装配到达的偏置,只有是和通过鼓计划的子项配套时才会出现装配缓冲.如不同子项被要求为一个特别的订单装配.但是,如果这些子项没有一个是通过鼓计划的,装配缓冲是不会产生的.

发运缓冲: 发运缓冲是用来保护独立需求物料的交货.大部分情况下,发运缓冲将总是被分配的.所有的产品结构链都具有发运缓冲,它是在订单完成日期之前到达的时间缓冲.但是,由于加工过程中的变化,会导致有可能在理想的缓冲日期之后到达.在这个可以接受的日期之后到达和达到我们要求的时间点到达,我们就能继续考虑计划满足订单的完成日期(销售或预测).

绳子:

绳子的目标是在制品库存最小,绳子根据约束资源的生产节拍,决定上游原材料的发放速度,其原理类似于看板管理思想.



DBR 系统生产计划的实现过程:

(1) 计划: 主生产计划, 鼓计划和物料下达计划.

(2)执行：缓冲管理和采购/发放计划。

(3)控制：评估和过程指示

一、TOC 生产计划是如何计划计算加工时间？

加工时间是来加工一个完整的批量的时间.加工时间的开始点就是开始节点和结束点是结束节点.当计算加工时间时,在制品的每一批和现有库存是分别计算的.如果一个订单(销售或预测)的需要数量可以能用在制品数量和库存来满足,在制品数量和库存数量大于了订单需求的数量,将没有加工时间.WIP 是已经完成它的工序的库存.在变化的工作中心没有考虑准备时间.加工时间分别对批量进行计算.这个批量是在车间里加工的数量.

加工时间的计算公式：

整批的工序最大运行时间+ 在所有其它工序的每件,每批运行时间 + 所有工作中心的排队时间的合计+ 所有工序的闲散时间的合计

最大运行时间= 取整((任务量 / 批量) / 工作中心的单元数)*每批的运行时间

强制排队时间和闲散时间是固定的时间增加,它可以计算在加工时间的长度里.强制排队时间是对工作中心的特别时间,而闲散时间是对零件或工艺工序的特别时间.实际上,,它们被用于特别的处理过程如:在热处理工序以后,需要时间冷却.对油漆的”晾干”时间.在其它应用里,它们能被用已知的延迟或无正式文件处理过程如:预计有意义的等待或在特别的工作中心的排队时间.物料处理时间,移动物料从一个地方到另外一个地方. 这些时间要素是固定的.我们应该有区别的使用. TOC 计划在应用中,计算时间用动态的方法,依赖可用时间的计算,把强制排队时间以及闲散时间增加到加工周期时间里来处理可能例外的机会或由加快”渗透”时间的过程中.

二、TOC 的生产计划是如何计算缓冲时间？

如果没有鼓的订单,那么就只有靠发运缓冲来保护变化了.

一个积极的缓冲是排队缓冲+ 整个 Murphy 墨菲(经验值)缓冲.。排队缓冲是可以动态渗透,积极缓冲常用于订单(销售,预测)的完成日期合理化.缺省的积极缓冲是 ? 排队 + Murphy 墨菲.

鼓缓冲等于 1/3 的正常应用缓冲,大部分上游鼓将接受正常的缓冲和下游鼓将接受 1/3 的缓冲.首工作中心(可以直接下达原材料的工作中心)被定义为鼓将没有鼓缓冲. 装配缓冲不用于 “积极缓冲” 的计算.

使用缓冲,需要考虑的是:是否有一个鼓和在每一个链里有加工时间存在. 对发运缓冲规定的值被应用到所有独立需求的偏置加工时间.由排队+墨菲值的积极缓冲来满足发运. 当工作中心被选择作为一 “鼓”(瓶颈)时,在有限计划里. TOC 计划应用鼓缓冲值来偏置满足不同的鼓的加工时间.在这一点上的”积极缓冲”是可以计算的.如计算鼓缓冲和计算装配缓冲.

三、TOC 的生产计划是如何计算计划时间点？

现在,我们理解了加工时间和时间缓冲,现在就可以理解时间点的计算了. TOC 的生产计划对工序节点的鼓产生精确的开始和结束时间.

独立的客户和预测订单也有精确的时间, 这些时间可以被考虑是确认的计划日期. 对其它节点或非鼓链的工作中心,它只能计算开始日期和缓冲渗透(不计算完成日期).

当缓冲渗透是 0 或减少,开始日期本质是 DBD(不要在日期之前作).在任务时间应该开始时,应该分析任务的剩余缓冲.如果剩余缓冲>计划缓冲,那么任务不应该开始.

在鼓上的任务开始可以依赖于上游任务被完成.这是基本的加工时间+缓冲.在 TOC 计划时如果被标出红色警告,说明排定的订单(销售或预测)已经延迟.

EST:最早开始时间(Earliest Start Time),是任务可以最早开始的时间.考虑到完成所有紧接前的任务所花的时间.使用积极缓冲计算,装配缓冲被忽视-假设加快要完成. EST 从一确认计划节点被向前传播,上游鼓任务的结束时间已经确认了计划.最小化物料约束.(采购订单的到货日期,水平开始 + MRP 提前期).

特别节点的 EST 的计算公式是:

案例: 如果确认计划是上游鼓(瓶颈)任务或物料约束.当前节点是鼓.

EST = 确认计划节点的计划结束时间+ 加工时间+ 1/3 积极鼓缓冲

LDB: 最迟完成时间(Latest Due By).这是最迟的任务,应该是在它开始算尽缓冲之前完成. LDB 总是由向后传播计算的,是从确认计划节点如:订单的完成日期,以前计划鼓任务的确认计划.因为向后传播和决定考虑”理想”日期是什么,使用整个计划缓冲.在 TOC 计划的噪音处理它的 LDB 的任务.不管订单是否是旧或新的,LDB 都包括缓冲,除非加工时间为 0.

案例 1: 确认计划是鼓任务,当前节点是非-鼓节点.

LDB = 在鼓上的计划开始 - 常规鼓缓冲 - 加工时间-常规装配缓冲

LST: 最迟开始时间(Latest Start Time)在协调计划进程中使用来显示最迟的任务,它能提前于渗透到下游缓冲开始,此任务最终将要满足.这个计算直接跟踪 LDB,除了在 LDB 计算里,它计算鼓任务的开始时间而不是结束时间, LST 总是基于向后传播计算,从确认计划节点.如:订单的完成日期,先前的计划鼓任务的确认计划.因为 LST 计算是向后传播和决定什么是”理想”时间,整个计划缓冲被使用.

这个计算是精确时间到秒.还可以用在在任务将开始布置在鼓上决定顺序.LST 计算不对非-鼓节点计算.

DDb: 在之前不要作(Don't Do Before),在服从过程里使用.对所有非-约束工序不要在日期之前作.这个计算是和 LST 一样.

ET: ET 加快(开始)时间(Expedite (start) Time).紧紧追踪 DDB. ET 还可以从一确认计划向后传播计算.加快时间计算象 DDB,除了被消除的装配缓冲和在 DDB 里的常规缓冲计算的使

用,可以用积极缓冲所取代. 如果对订单的任务是被计划在大于 ET (开始时间 > ET), 订单就会迟.在协调时,任务布置在鼓计划上,开始时间 > ET 的任务将被显示为红色.在推出去 (Pushed Out)任务将保持红色,直到推到这个时间,直到可接受的预计完成日期和排定的订单(销售或预测). 加快时间是一个点,超越这个,订单需要合理化.超越 ET 的时间将是订单将被推出去(Pushed Out)的时间.

在 TOC 计划里,推掉订单 Pushing Orders Out 这个概念是让我们的订单有可以接受预计完成日期.由于实际的物料或制造零件装配不能及时完成,当我们推掉订单时(push an Order out), 我们不能推掉鼓上的任务或改变将要到达的采购订单 PO 的日期,但我们可以推掉 pushing out 排定的客户订单或预测,它是由于延迟的任务或延迟的采购 PO 影响.TOC 计划的概念是执行订单的合理性.基于今天制造环境的现实.TOC 的计划可以提供给我们能分析这些情况和选择的工具.但是,也可以阻止对客户订单的退掉(push an order).

四、TOC 的生产计划(Planning)的步骤:

1、计划的展开

它也是通过 BOM 展开并且把独立需求转换为非独立需求.在每一次展开的工作中心的负荷时间是基于订单(销售订单和预测)的当前完成日期和 WIP(时间和地点),库存和分配给订单的采购订单.当协调计划下一个鼓的运行时,如果用顺序来定义此任务.就决定需要在鼓上执行计划的任务,定义的鼓的计划先执行展开计算.

在执行服从其间非-约束上的链就决定 DDB (Do Not Do Before) 和缓冲渗透(缓冲剩余),在展开几次之前,系统确认考虑最近的计划决定.库存物料也可以在每次运行展开时,动态的分配.展开计算包括以下几个过程: (1), 路径的选择和净计算. (2), 在鼓节点产生供应.

实际上, TOC 的计划的展开过程是反复的.独立需求的最终产品(销售订单和预测)被标识为 0 层.展开是从独立需求的 0 层开始,按订单的完成日期(当前完成日期)升序排列,一次一个.如果要处理同样日期的订单,在升序的订单的里进行标识设置.每一个零件节点和路径的选择逻辑是决定那一个路径最快的可以得到供应. 如果一原材料节点的原材料可以达到或 WIP/库存足够满足需求的一只链.展开就停止在这个节点上.那么,展开就重新开始,沿着独立需求的另外的一只链.一旦第一个鼓节点遇到特别的链,它就会标志为第一层.展开就会重新沿着另外的链从 0 层(独立需求)展开,第一个鼓节点遇到的也可以是做为第一层.第一层的所有任务被选择为独立需求,沿着它们的 LDB 日期展开.一旦所有的 1 层的任务被选择,这些任务在它们的 LDB 日期顺序里进一步向下展开,下一个鼓节点遇到的是第二层,这个过程重复直到所有的鼓节点已经由足够的原材料库存或完成的在制品来满足需求.因此,层的数量是由在特别网络链里的鼓的数量来决定的.

路径的选择和净计算

当一特别任务需要生产,你有一选择: 现有量, 主要路径(PR), 计划的 MO, 生产订单(MO), 在途的采购订单 PO(外购或外加工的零件). 现有数量总是首先消耗的.在每一个零件节点上, TOC 计划首先计算 ET(加快时间). 对生产订单 MO 和采购订单 PO 供应来说, 当它们将要在节点上可用时, TOC 计划也要进行计算. 对未完成的生产订单 MO, 当它将要可以得到时, 计算是从在制品 WIP 位于的节点处开始对下游的时间计算, TOC 计划将增加加工时间.

对于采购单 PO 来说，在到货日期可以到达时，就可以计算制造计划。TOC 计划必须在三个明显选项之间选择。如一个采购订单 PO 路径不能得到或在 ET 加快时间之前不能得到时，那么就可以动态选择三个最早的时间的路径。如可以得到 MO 路径；可以得到 PO 路径；如果工作中心在主要 PR 路径里需要已经计划的鼓，就选主要 PR 路径，对每一个需求，都通过这个逻辑循环计算。

2、物料需求的计算

物料的可用性的功能是只有在鼓的能力计划之前得到。因此在 TOC 计划系统里，当检查没有鼓时。计划缓冲只有是发运缓冲。需求日期是基于订单(销售和预测)的完成日期和一般的发运缓冲(LDB)计算的。必须设置:物料优先级。物料延迟的容限。

物料约束被分成 3 种不同的方法，每一个方法用来分析当前物料和采购订单的状态：

(1)清除过期的采购订单 PO。

(2)原材料计划。

(3)有零件短缺的订单

最小和典型提前期的基本概念是:新订单是基于典型提前期处理，但是只有是最小提前期在计划过程中可以约束订单的执行。也就是说订单(销售和预测)的完成日期只被最小提前期所约束。

物料约束的概念是可以找到的较少的采购物料才是真正约束生产过程的。这些约束力是不可以加快满足生产需求日期的物料。最小提前期是在加快的模式下，一物料总是能有时间。任何少于这个时间是不可能的。于是，如果提前需要这个最小提前期，应该开始约束生产。最小提前期也可以被原料计划所修改。也可以把物料可以评估为例外。

(1)清除过期的采购订单 PO。就是用于到货期提前于今天的采购订单 PO。或规定一个结束日期。在考虑交货期或交货数量时，改变每一个采购订单成为更合理。可以只显示单一规定零件号的采购订单 PO 和到货日期或规定日期之前的日期的采购订单 PO。其逻辑是:如果完成日期 < 今天，那么完成日期将等于今天，可以对清除过期 PO 里改变:修改，增加，删除，拆分。

(2)原材料计划

原材料计划是物料的集中显示。它显示所有有的需求，且在最小提前期之前的，或在需求到货日期之前的，并落入短期的采购物料。初始图显示一个红的条，长度等于这些需求需要提前到的采购订单 PO 完成日期或最小提前期的天数。这是最短的。这就是延迟。逻辑是用 LDB 时间点，向后计划每一个独立需求来计算原材料需求。

原材料需求日期= 订单完成日期 - 发运缓冲- 加工时间

(3)有零件短缺的订单

零件短缺的订单是显示所有有短缺物料的订单，而不考虑订单的需求有多长远。提供所有有关独立需求的订单的信息。包括目标日期，且显示计算的延迟的天数。它是为对订单基于所

有的物料需求的评估。结果是基于物料需求日期，它大于在最小提前期之前的天数或采购订单 PO 完成日期。如果小于最小提前期，就分别为订单和它们的相应的延迟天数提供所有采购零件短缺清单。延迟=0 的订单，是由今天+最小提前期来决定是否有更糟的物料短缺需求情况。

(4)能力负荷计划的算法

能力负荷对所有的订单具有预计完成(当前完成)的时间，在以下之内显示净负荷：今天+ 展望期 - 1 + 常规发运缓冲

能力计算是对 (今天+ 展望期 - 1)。基于工作中心的单位数量和工作日历。负荷的时间是在任务工序的 LDB 日期。独立的订单每次展开一次，完成日期按升序排列的订单，使用尽早逻辑。用路径选择逻辑执行在制品和库存分配，数量需求被转换为负荷，在节点上，计算每一批运行时间的数量。设置到每一个独立的，节点上的任务。

在计划展开之后，通过每一节点的需求来维护单一的独立需求源。在正常或初始化的情况下，显示能力负荷图，并不显示鼓，显示需求和所有工作中心的时间。例外的是，在鼓排序计划时(发现延迟)，重新显示能力负荷图，重新基于反映被分配负荷的已经计划的鼓。如果没有鼓计划，路径选择逻辑将决不会在用尽未完成的生产订单 MO。而是开发利用一个计划的生产订单 MO。

五、TOC 的生产排程(Scheduling)的步骤

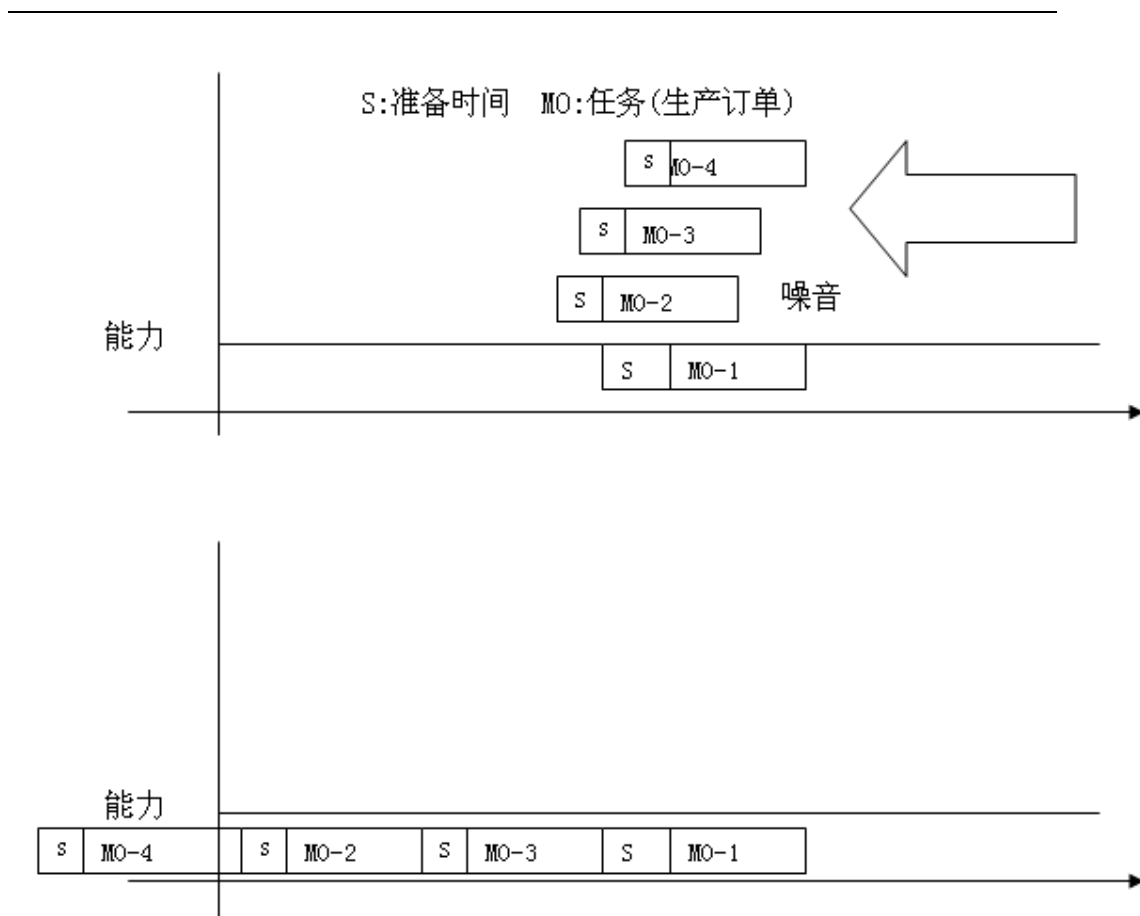
在选择鼓以后，就可以运行计划“产生鼓任务”的算法。它和展开逻辑能力负荷一样。但是，也有一个主要不同：没有鼓的链是完全停下来的。因此，在没有鼓的链上的物料约束的影响可以被完全忽略。因此，在鼓上没有产生任务的独立需求可以被忽略。这个算法的结果是，在它们的 LDB 的所有鼓上产生任务。选择的鼓可以产生”噪音”。

1、计划协调(开发)

在”噪音”里显示要铲平的任务。并运行向后和向前的计划排程。

1)向后排程：

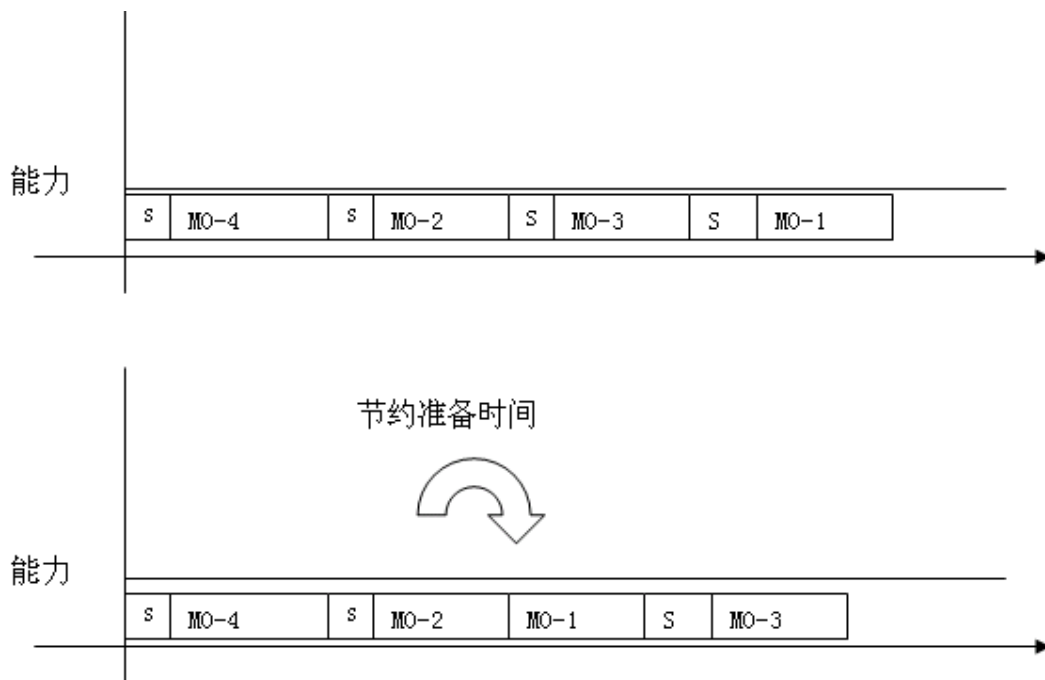
在 LST(latest start time)递减排列的订单里选择任务和有没有完成时间违反 LDB(latest due by)的任务，排程尽可能迟。任务尽可能的近于 LDB 日期而不违反能力约束，能力将被检查。任务将不会被分拆和处理，允许它尽可能近于它的 LDB。这样，也可能计划排程的一些任务排到了过去的时间，这就是有违反的现象，结果是过期的积压的订单或在鼓上争夺能力。在 LST 时间里，任务的顺序是不能违反的。注意任务的长度包括运行时间和主要准备时间。如果在一样的产品系列里任务碰巧互相相邻，就可以节约准备时间。在向后排程之后，可以在计划协调上，会出现一个差距数量和过期的任务。



第二步:向前计划

用计划开始时间从小到大索引所有任务。选择第一个任务，动态计算它的最早开始时间 EST。
 Max (EST, 在向后计划后开始计划)

注意 EST 总是要 \geq 今天日期，选择第二个任务在清单里和重复此过程。或许会有差距，进行协调。在任务的 EST 之前出现差距。在差距之后，仅有绿色任务。在任务的 EST 之后出现差距



2、在协调计划之中，合理化订单的完成日期。(Push Orders Out)

TOC 计划在排程处理中用三个不同方法推出订单：

- (1)在定义”物料约束”为选择的物料。
- (2)在鼓的排程中。
- (3)在非鼓链的协调计划之前。

在当前情况下的完成日期的改变。这个日期驱动排程的平衡。在协调计划的最后，这个日期要符合预计完成日期。一旦鼓完全被利用，订单(销售/预测)需要的完成日期将被合理化。在协调过程中，对订单的非-鼓的链不包含鼓任务。因此被推掉 Push Out 是肯定的，因为在这一点处理的是鼓链，也就是说瓶颈的生产线。

鼓推掉:TOC 在鼓上为每一个任务计算 LDB 和 ET。如果任务在 LDB 或之前被完成，就没有缓冲渗透。如果任务在 ET 之后开始，订单就会被预计延迟。两者 LDB 和 ET 都是向后传播。LDB 用常规缓冲计算，那里的 ET 用积极缓冲计算。

TOC 计划试图在鼓上 LDB 之前计划任务。然而，由于能力或 EST(Earliest Start Time) 约束，鼓任务也许被计划在它的 LDB 之后完成。如果这个任务在 ET 之前被计划开始，订单就不会被推掉。只有在 ET 之后，任务才被计划(任务计划开始时间>ET)此订单由延迟数被推掉(任务计划开始时间-ET)。注意一个单一的订单能在鼓上分为多层次的任务，甚至如果其中一任务在 ET 之后计划，定单将也会推掉(红色)。由于 ET 计算，订单的推掉是基于鼓的计划。

3、协调下一个鼓(同步和顺序)

一旦鼓被计划，它的计划就被固定，不能改变。在计划第一个鼓之后，第二个鼓也必须计划。定义第二个鼓有两个方法：1，同步：所有的鼓都必须在开始时定义。2，顺序：在前一个鼓已经计划后，从能力负荷图选择下一个鼓。

两者不同的是：在顺序选择里，能力负荷图必须再次产生，且完成库存的计算和展开分配。而同步只是作一次修正展开，不需要库存的再分配。注意，当下游的鼓在上游鼓之前计划时，顺序定义不能运行，这是因为事实是上游鼓被锁在已经确认计划鼓的日期和今天之间。于是就没有空间来平衡负荷或产生合理的计划。

(1)同步

当“产生鼓任务”的算法运行时，所有任务和它们的 LDB 日期被初始化。于是库存在处理过程中被分配。当选择下一个鼓时，“重新计算 LDB 日期”算法运行。这个算法是在当前完成和基于以前的鼓到下一个鼓的任务的 LDB 日期传递变化，注意的是初始化库存在第一次展开就被分配了。为所有的同步鼓进行维护。一旦 LDB 日期再次被计算，在鼓上就进行向前计划，向后计划等算法。同步计划的优势是所有鼓的能力都被考虑，在每一个单一的鼓/协调计划阶段。多重交互的鼓可以被计划。否则(用顺序)就作不到了。它的缺点是鼓供给另外的鼓(交互鼓)时，它们能被由”还没有计划”的鼓被没有必要的约束住。这是因为还没有计划的鼓被加载，没有任何已经作出的利用(决定)，于是预计的 EST 或 LDB 也许比必须的还要更迫切。

(2)顺序

在计划一个鼓以后，回到能力负荷图，另外被选择的，被协调(计划)的工作中心。可以被合适的重复许多次。当另外的鼓被顺序的定义，整个展开再次运行。“产生鼓任务”算法对这个鼓进行重复计算。库存被动态的重分配。一旦产生了任务，对协调的算法是一样的。当对一新的被选择的鼓执行协调展开计划时，如果产生一个“交互冲突”，显示一个警告信息通知你，说明这个工作中心由于这个交互鼓冲突可能不被计划。

顺序选择的优点是基于决策：当计划一个或多个先前的鼓时，在工作中心上的一些原来预计的明显的负荷，也许不再存在了。这也许是因为公共的需求可能已经推掉，释放了一些负荷。于是，它也许不需用象同步方法一样计划许多预计的鼓。另外的优点是在每一次新鼓被选择时，库存就被重新分配。例如，如果一原材料是许多制造件的共用件，但是，处于短缺，重新分配物料可能会产生更好或更早 EST。缺点是以上提到的“交互冲突”。

4、拉入早期订单(Pull in Early Orders)

当所有定义的鼓被计划，订单可以选择”拉入”，订单可以在早于它们的当前完成日期完成，这是因为在 LDB，鼓没有能力并且协调计划已经把任务铲掉一个更早时间可以节约使用了一个准备时间的决定，这一步提供可以选择一个或所有拉-入候选的选项直到没有执行拉入早一点的订单。在鼓执行的任何一组任务时(例如准备时间节约)，它将被生产订单下达反映给上游，生产订单也从一个鼓下达给下游时是由订单(销售和预测)的当前完成日期所驱动。现在，所有链上供给的订单都被考虑。已经被早期忽视的非-鼓链在这一点也被考虑。对所有其它非-鼓链，TOC 计划反映 DDB 日期。在这个阶段，一个被”拉入”，在非-鼓推掉

时将不会被推掉，因为在非-鼓链拉入反映 DDB 日期。鼓计划可以选择在 LDB 之前，一订单被及早考虑。

5、服从

在鼓已经计划和利用时，其余计划必需服从鼓的排程。鼓排程已经被固定。在服从过程其间，以下活动会出现：对非-鼓链的完成日期也被合理化。非-鼓 DDB 日期和产生计划订单下达。为每一个非-鼓节点剩余缓冲也可以计算。在鼓上整个计算展开包括(1)，重新排定；(2)，为采购计划展开；(3)，重复整个展开。

6、对非-鼓链合理日期

大部分订单(销售和预测)在鼓上有它们的合理完成日期(例如，由于鼓的能力缺乏，完成日期被推掉。然而，有两个例外的规则：非-鼓链是比鼓链有意义的长(大部分的事实是，万一加工时间是有意义的，由于外加工或超过强制排队时间或闲散时间。并不是所有的订单可以有一个任务在鼓上处理的。这可能是由于来源于鼓下游 WIP 或产品没有通过一个鼓的路径。在这个过程中，只有非-鼓的链被考虑。在这个链上的物料约束现在被考虑合理的日期。(注意在鼓链上的任何物料约束在排程的(协调)进程中都被考虑。缺省的行为是物料约束为一个采购订单 PO 在到货日期内可以得到。到货的提前期不被考虑推掉。通过所有非-鼓链的订单的 EST 被计算。如果计算最大化的 EST 大于当前完成日期，就有不同的订单被推掉。注意：对推掉使用积极的缓冲。并且装配缓冲没有被包括在积极的计算。也要注意要防止对新的或旧的订单的 EST 计算的差异。

7、最终计算供应

这是和整个展开相似，除了重新排定的逻辑以外，用于鼓的排程。非-鼓链又一次被忽略。在整个展开过程中，库存被重新分配。重新排定鼓的排程，用当前完成日期，在鼓上展开产生任务。在鼓上的排程被视为供应和上层产生的任务作为需求。在为供应和为需求的 LDB 日期的计划顺序中，供应按需求被排定，。注意：因为这个初始化在协调的排程中对成品排定。在这一步，还是可以改变。重新排定也能引起为单一订单的鼓任务分拆。

TOC 计划对订单建议了一个保守日期。物料在完成日期顺序中被分配和最早的订单得到 WIP。但是这个订单也可以在排程进程中被推掉。且 WIP 现在成为可用对一个较早的但是不同的需求，而此需求也可以被推掉，因为首先已经没有 WIP。如果软件对此可以拉入日期，这是因为它现在已经被排定给 WIP，它产生”蝴蝶”的影响整个订单。他们大部分任务会被重新计算和在反复循环里结束。而不是进入一复杂的优化问题(任何方法将不能满足所有参数)和对于最小化的蝴蝶影响，TOC 计划排程确定不可以拉入哪些订单和哪些有剩余完成日期就好象他们被提前重新排定的那样。

对整个非-鼓节点会出现一个完整的展开。一个鼓的上游的任务被鼓的排程(计划)所驱动。否则，任务被当前完成日期所驱动。对于非-鼓，产生 DDB 日期对每一个非-鼓节点在服从的过程中，两个值被计算它们是：对于非-鼓活动(DDB 日期)的开始日期和对于基于范围的开始日期和最终物料完成日期的剩余缓冲。在采购零件层用父项零件的 DDB 日期产生毛需求(采购信息)，如对任务的剩余缓冲的计算里使用确认计划日期，开始日期，约束物料可用日期。

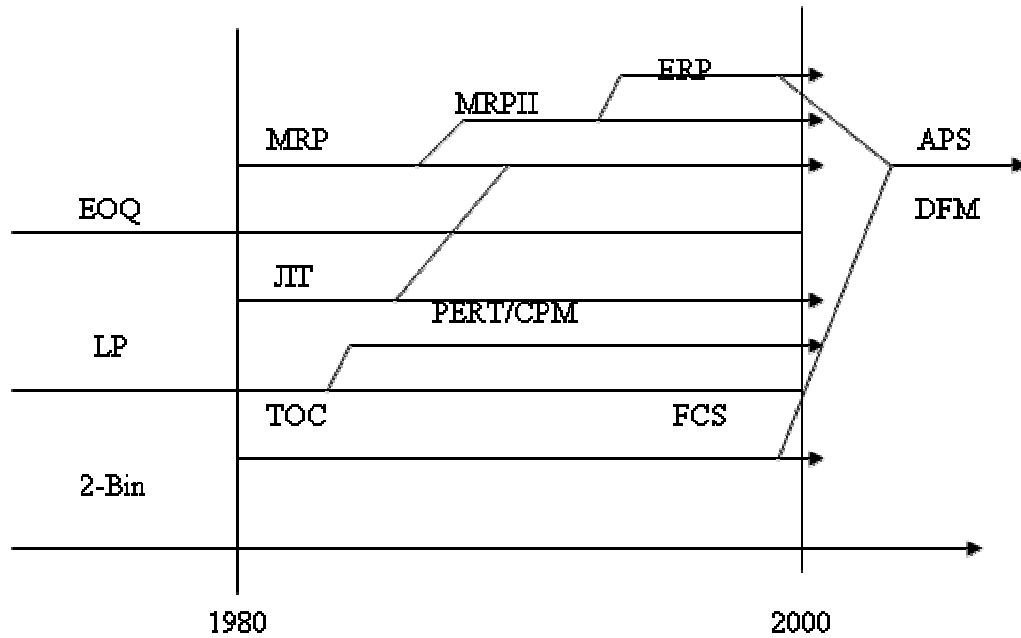
TOC 约束理论是歌德瓦特博士创立的,它是同步制造的哲学,按照市场需求,用一种系统的方法,达到快速的,平稳的生产物流,用三个简单的全局评价方法,产销量,库存,经营费用,在市场需求和生产约束下的生产达到企业的目标。它的核心思想是存在瓶颈工序或工作中心,最佳计划是基于瓶颈工序的计划。基于 TOC 的计划均可以考虑资源,物料,订单和管理策略的约束。TOC 的建模可以有限,也可无限能力。可以通过有限能力建模基于所有约束,同步化物流。任何资源均可以定义为瓶颈资源或关键资源及次瓶颈资源。对瓶颈资源采取双向计划,对非关键资源采用倒排计划。缓冲时间可以设置任何在复杂资源之间。DBR(Drum-Buffer-rope)逻辑是对关键工序同步化所有资源和物料。它较适用较复杂的,多层的 BOM 的离散制造环境。

第六章 在 ERP 的世界里实现 APS—基于工厂的生产计划

看一下生产计划的历史,现在与将来

从二战以后,我们在生产计划上开发了很多生产计划系统,最早是用 EOQ 经济订货点系统,2-Bin 双位系统,LP 线性规划,在美国物料资源较为丰富,在生产管理上主要集中在人工的效率,产生了基于无限约束的 MRP 物料需求计划,在资源比较匮乏的日本开发出 JIT 看板拉式系统,主要集中在减少物料的浪费.在以色列主要关心关键资源的能力效率,产生了 TOC 约束理论以解决提高瓶颈的效率来整体提高企业效率. 在一些项目管理时间较长的制造环境下如(造船),美国海军设计出 PERT 计划评审技术/CPM 关键路径法,MRP 系统与财务的结合产生 MRPII 制造资源计划系统来优化企业制造资源, 现在管理资源的领域已扩展到工程,人力资源,供应商,分销的 ERP 企业资源计划系统以整合企业资源.

不幸的是,以上的系统都没有很好的解决企业效率的基本问题-能力约束.FCS 有限能力计划利用 TOC 的原理,全面进行多重资源约束的优化计划.但是,仅仅能力约束还是不够的,还要考虑物料的约束,需求的约束,供应商资源约束,运输资源的约束,分销资源的约束,财务资金的约束,即产生了 APS 高级计划排程系统,结合 JIT 和 TOC 的优势产生 DFM 需求流制造系统.企业的竞争是供应链的竞争,整合企业上游下游的供应链,使之形成供应链联盟,就需要用到 SCM 供应链计划.



计划演变示意图(来源于 FCS 作者 Gerhard Plenert, Bill Kirchmier)

FCS 有限能力计划已发展十多年,它的基本算法是:

- 1, 基于订单任务(Job-based)
- 2, 基于事件(Event-based)
- 3, 基于资源(Resource-based, TOC)

APS 高级计划排程的基本算法是:

- 1, 基于订单任务(Job-based)订单优先级计划
- 2, 基于事件(Event-based)资源利用率最大化计划
- 3, 基于资源(Resource-based, TOC)瓶颈约束计划

具体算法请参阅

- 4, 基于物料约束的可行的计划
- 5, 基于历史,现在,未来的需求计划
- 6, 基于供应资源的分销计划

7, 基于运输资源运输计划

8, 基因算法计划-是未来的发展:一种自适应的学习的模式.起源于它的

在自然界的进化的行为,在程序里,建立一模拟个体的人类.在模拟的竞争环境,经历一进化的过程.它是基于生物基因繁殖,其计划主要是用生物基因的平行类推法,正在研究中.

在 ERP 系统上如何实现 APS

实施生产计划与控制系统 APS 是相当复杂的.首先要有良好的计划:

1, 软件计划.

2, 硬件计划.

3, 实施测试计划.

4, 培训计划.

5, 转换计划.

要有良好的 MRP 与 APS 的理论知识,改变现状的决心及数据的准确性.

APS 的主要功能是基于资源,工艺流程,物料约束,进行生产计划排程.要与 ERP 软件进行集成.对 ERP 里的生产订单和任务,及相应的生产活动,进行优化排程,产生生产订单和派工单,然后,导回到 ERP 系统.

资源和工艺路径信息

按照 APS 逻辑对每一个物料定义工艺信息,在物料组文件里,明确定义资源组和特别的资源如机器.明确定义每一个工序的人工资源和班组的大小.工序号必须和资源子项一致,并且和物料联系在一起.外加工工序也要设置.次要资源也需要定义.考虑替换资源.准备时间.要设置准备时间矩阵.在 ERP 里的虚项下面的资源子项需要重新设置工艺流程和工序号.

订单与排程信息

APS 计划提供几种方法处理生产订单和计划信息.如:

计算订单开始与结束时间: 可以根据批量,负荷,物料约束和计划规则自动计算开始日期和结束日期.这就取代了静态提前期为动态提前期.

机器分配: 对特别的机器要分配给一个工序,按机器的实际运行时间自动更新订单相关的工艺流程 ODR(Order-depend Routing).

车间文档: 车间文档能包括更详细的工艺信息.如次要资源和班组大小.

派工单：计划到小时和分钟。

自动订单下达：生产订单能基于计划员定义的参数自动下达。

自动平衡主生产计划的负荷：主生产计划能被自动确认，平衡生产活动的负荷。

订单任务状态

APS 逻辑提供几种方法决定未完成的工序和订单的剩余工作。这就意味着管理实际生产活动的方法会改变。

在实施 APS 之前，要按 APS 的逻辑进行数据准备：

资源：

资源是反映发生在工序上的生产能力。资源也许是单一的机器，一组机器或一组操作者。工作中心(Work Center) 通常定义为可互换的资源。其单位可以是 HR-小时，MN-分钟，SC-秒，DY-天。

资源类型：

在 ERP 的物料主文件里需要补充定义资源类型：

它们分为 N-单一资源，I-无限资源，C-并发资源，G-资源组，P-共享资源，A-可调整共享资源，S-准备资源资源的成本数据也必须在 ERP 里管理。

定义资源组：

把相似的机器定义资源组，在 ERP 的物料主文件里定义成组技术代码。然后，把每一个资源分配到资源组里。注意任何一个资源都可以分配给不同的资源组。

资源轮班的型式：

一旦资源转入 APS 系统，普通资源，无限资源，并发资源就要分配为不同的轮班形式。对并发资源可以定义容量，如重量，体积，长度。对共享和可调整的共享资源的定义它的可用时间和人数。如第一班和第二班也许人数不同。它们也可定义能力，对资源定义最大的订单数。APS 可以根据班组大小，最大的能力来计划多批订单。

资源清单(BOR)：

A, 序号：定义为工序号，对所有资源子项定义为同一工序号：如运行时间，准备时间，主要资源和次要资源子项，替换资源子项。如是物料约束的物料子项也要同样工序号。

B, 子项：资源子项物料：

1, 准备资源子项:通常是按订单的数量类型.在 APS 里可以设置准备工时矩阵.

2, 次要资源子项. 必须明确定义主要/次要标识.

3, 替换资源子项. (仅对标准工艺).必须标识替换资源子项,也避免 MRP 与成本滚加.

C,子项类型: APS 只考虑制造物料和物料约束(购买和外加工) .在 ERP 的物料主文件里 定义是约束物料,包括虚项里的资源和物料.

D, 生效/失效日期: 对替换资源设置为将来的生效日期,可避免 MRP 和成本滚加.导入 APS 后,不会考虑替换工序的生效日期.把标准工序导入 APS,,如工艺动态变更,用订单相关的工艺 ODR 实时导入 APS.

E,子项明细:设置主要资源/次要资源/替换资源..

主要资源: P 次要资源:S.后缀一位数是工序顺序号 P1-P5,S1-S5.如是平行工用” 0” .

替换资源: A,A0最高优先级,A1-5反映优先级顺序.当计划完成日期/时间或定单将超过延迟小时,APS 将用替换工序.那么,延迟小时是设置替换工序偏置.可以定义使用替换工序号的规则.Ax 意味 APS 可以考虑根据订单是否迟或早来采用替换工序.

物料成本与价格: APS 计划逻辑能基于可赢利,成本,价格来计划订单.在工艺明细设置价值策略.

物料约束: (Take from Stock Kit) : 定义在一工序需要的配套子项. (Put to Stock Kit): 定义从工序的产生的父项.APS 根据产品结构的相关性来分配物料的约束.

在实施 APS 时的处理方法:

资源组的处理:

首先,把一个资源硬分配给一工序,然后,定义一资源组包括一系列资源, APS 就能自动的根据规则计划资源组内的资源上的工序.在一资源组内,也可以把资源软分配给工序.就可以手工把工序移动给另外资源.可以定义一优先资源,APS 首先自动计划优先资源上的工序.对于不同能力的机器可以分成不同的组.如处理 LG(大),MD(中),SM(小)等等.对不同技能的人(班组)分成不同组.如处理:ME(机械班),EE(电器班), QC(质控组)等等.

轮班形式的处理:

正常资源的轮班形式:

1, 定义可用: 一资源或是 100%可用(上班)或是 0%(下班).

如: 上班: 一班,二班,三班. 白班和夜班.加班.

下班：机器故障．预防性维护．公司休假．

给每一种形式一个有意的颜色．就可以容易识别出轮班的状态．

2,定义每一独立的 24 小时的工作小时．如单班工序．7 天/每周

3,定义一相关白班的轮班天数的重复轮班．如 7 天/周

可以分配一周的白班(从星期天到星期六)．你必须定义开始日期．定义有意义的轮班：标准 5 天/周．夏季 5 天/周．标准 5 天/周-星期四加班．

4,把轮班形式分配给每一个资源．在定义资源的效率,计算加工时间．

5, 为同步资源定义能力．如一次例外．如加班．全局例外：如国庆假．时间段的例外：如夏季轮班形式．定义资源的替换轮班．

对共享资源的轮班形式：

1,不仅要规定可用期间,还要规定人数(班组大小)．如,大的班组用于高峰季节．小的班组用于加班．等等．

2, 定义每一独立的 24 小时的工作小时和班组大小．如二班工序．7 天/每周

3, 定义一相关白班的轮班天数的重复轮班．如 7 天/周．可以分配一周的白班(从星期天到星期六)．你必须定义开始日期．定义有意义的轮班：标准 5 天/周．10 人/组, 标准 5 天/周-10 白班和 7 个夜班．

4,把轮班形式分配给每一个共享资源．可以用效率分配给资源,计算加工时间．

5, 为共享资源定义能力．能力反映最大的订单数并能同时作计划．一次例外．如在期间班组里有人生病,休假或有临时人员．全局例外：国庆假．时间段的例外：如高峰期间．用到大的班组．轮班形式．定义资源的替换轮班

主要资源和次要资源的处理：

APS 假设主要资源是主要计算的资源的加工时间．所以也需要设置分配次要资源的加工时间．

对共享资源的次要资源需要特别的考虑：

班组人数：对主要资源定义工序加工时间,计算主要资源班组大小和次要资源班组大小的加工时间之间的比率．如：共享次要资源的加工时间是 0.75 小时．主要资源的加工时间是 0.25 小时．其比率为 3．这就意味着一个班组的 3 个人需要在一工序上．如果有一班组即另外的共享次要资源的加工时间是 0.125,那么比例是 $0.125/0.25=0.5$ 意味着只需要半个人在此工序上．因为共享资源不能作为主要资源,但是作为重要资源的人工,我们可以把人工作为主要

资源,定义成单独的人工作为无限资源类型.这是为了规定工序加工时间.

共享次要资源的加工时间能决定班组大小人数.(基于加工时间的比率).

共享资源的处理

一般来说,共享资源是定义为人工.共享资源意味着在连续期间内完成工作不能包括下班期间.在工序期间,如有可用的,规定的人数.才能作计划.工序在下班之前,必须完成.共享资源的轮班形式需规定可用人数.就是说,每一个工序必须在下班之前完成.

可调整的共享资源的处理

可调整的共享资源可以处理变化的人数和跨越不连续的期间(跨越下班期间),在工序开始期间规定人数.但是,也可以在开始是人数较少.以后通过人数调整加工时间.

无限资源的处理

它是没有能力的限制,它一般用于外加工.对外加工的供应商假设没有能力约束,它的单位是用天.它也可用于内部的工序.如 QA 假设没有能力约束等等.

也可用于工序加工的节奏.为了定义加工时间和所需计算的人数.你也可把工时定义为主要资源,当做无限资源进行处理.

并发资源的处理:

能同时处理多重工序.如烤箱或切割机.APS 把一订单的并行资源和相匹配属性的工序计算一个最长的加工时间.

有两种类型的并行资源:1,依赖订单数量.2,不依赖订单数量.

1, 如烘箱:它是依赖订单数量的.烘箱能装入很多重量一样的物料类型和需温度一样物料的订单,这主要取决于自定义的烤箱的容量(重量或体积).订单的容量需求取决于订单的数量.

2, 如切割机.它的能力需求不依赖订单数量.切割机能装入很多重量一样的物料类型的订单,这取决于自定义的切割机的能力(宽度).订单的能力(宽度)是固定的.不取决于订单的数量.切割机的加工时间直接的受到订单数量的影响变化.

当相同机器属性组的订单,有可能它们的加工时间不一样.APS 取最长的加工时间.

在同样的时间,把轮班形式和并发资源的能力分配给资源.注意定义的能力单位必须和每一个工序的匹配能力需求一致.就可以对每一个并行资源设计模拟规则(时间偏置).APS 逻辑是在偏置的天数之内计划一组的订单的完工期.

在 ERP 的工序明细屏幕上,有两类关键信息.

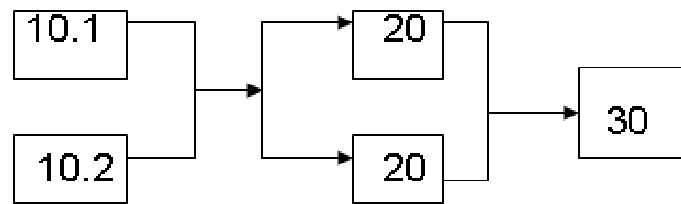
1, 机器属性: 对工序定义并发资源的属性. APS 在偏置的天数之内, 计划一组属性一样的订单的完工期,

2, 机器能力: 对工序定义并发资源的运行能力. 当把相同属性的订单成一组, APS 计划逻辑是在工序增加相同属性的数量, 这是为了装载资源到它的能力. 用户必须记住规定每一个工序的匹配能力需求和资源能力的计量单位要是一致的.

平行工序的处理:

APS 在工序顺序号加上后缀号反映平行工序. 如: 10.1 和 10.2 就是平行工序.

图:



平行工序必须定义为主要资源, 可以有多个可选次要资源和多个替换资源.

重叠工序的处理:

APS 是基于工序号来计划顺序的. 虽然有重叠工序偏置的工序允许后继工序提前开始. 重叠工序偏置可以定义为时间, 数量.

时间: 后继工序可以在消耗时间后开始. 时间可以表示小时 HR, 天 DY, 分钟 MN, 或秒 SC.

数量: 后继工序可以在完成规定的数量后开始. 把多重工序的每件运行时间乘上单位数量转成消耗时间.

替换工序的处理:

资源组: 一个资源组允许你按照不同的资源建立替换工序 (如不同的机器). 按照资源组定义工艺流程. APS 自动计划在一资源组里的可用资源. 你可以对一个工序定义在资源组里的优选资源. 在资源组里, APS 可以计划分配订单给优选资源, 然后, 也可以手工移动工序到另外的资源. 对一工序的被动态分配的资源上载到 ERP 的 ODB 订单的 BOR 资源清单上, 反映. 实际工艺流程. 对一个资源组的加工时间是反映平均加工时间. 当平均加工时间不能有效的反映生产活动时, 你可以用效率因子, 为每一资源规定机器特别的运行效率. 或着用资源运行时间矩阵或事先定义替换工序来处理不同的运行率.

依赖订单的工艺流程 (ODR):

在一生产订单已经下达, 你可以修正 ODR 来按照不同的资源或资源组定义的替换工序. 在标

准工序里事先定义替换工序的标志.替换工序的资源子项可以有不同的使用率.它可以拥有准备和次要资源子项.但它必须有同样的工序号,作为原始替换资源子项.它的有效日期必须在将来.MRP 和成本滚加不考虑替换子项.一个工序可以有多个替换子项.APS 考虑按优先序号使用替换工序,有两种方法:

- 1, 当订单延迟时,使用替换资源,当订单的计划完成日期超过替换工序偏置时间”延迟小时数)
- 2, 不考虑订单延迟,使用替换资源.APS 不考虑订单将迟或早.

工序内的外加工的处理:

在 ERP 里要用两个不同的子项定义外加工:

- 1, 供应商资源子项.为计划目的.
- 2, 采购物料子项.为成本/采购目的.

供应商资源子项: 在 ERP 的物料主文件定义一无限资源,用运行时间记录,规定计量单位为天或小时,规定一最适合的外加工的时间,再定义物料成本为 0.在 APS 里,分配一合适的轮班形式给供应商资源., 在 ERP 的单层 BOM 里定义供应商资源子项,在单层 BOM,其量类为每订单数量.反映消耗的天数或小时,并确定外加工工序的顺序号.

采购物料子项:在 ERP 的物料主文件里定义一采购物料.结合外加工工序和父项物料.规定计量单位,反映成本和外加工的采购属性.在 APS 一般不定义这些物料的约束.建立 BOM,反映材料成本和采购需求.用与供应商资源子项同样的工序号.

拆分生产订单工序的处理:

APS 允许你手工拆分一订单的工序.为了工序能在多个资源上运行..拆分订单的工序结果是在两个工序上的数量的合计是一个订单的总数.一个定单的工序可以被拆分为多个.每一个拆分的订单继承原订单工序的工序属性和准备时间,并且每一个拆分的工序都有一个被分配的资源.APS 可以把资源分配到一个拆分工序及时上载到 ERP 里 ODR 依赖订单的工艺流程.

准备时间与准备时间矩阵的处理

对工序的定义准备时间有几种方法:

- 1, 资源子项的准备时间
- 2, 工序有关的准备时间矩阵
- 3, 资源有关的准备时间矩阵

资源子项的准备时间:如果你只定义工序准备时间,就可以用准备资源子项和设置准备时间矩阵.

物料约束的处理:

1,定义约束物料: **Take from stock kit** : 定义在一工序需要的子项. **Put to stock kit**: 定义从工序的父项结果.APS 根据产品结构的相关性来分配物料的约束

2,查询约束可以按物料编码报告物料约束.也可以按订单号报告物料约束.

3,工具约束:工具子项反映关键工具作为资源,也可以作为约束物料,如你可以定义工具产生约束,如工具维修,故障.

瓶颈资源的处理:

对资源定义为瓶颈,APS 逻辑提供双向顺序计划.在瓶颈资源的计划工序执行.APS 向前计划下一工序和向后计划在前的工序.在瓶颈资源里没有工序的订单将不计划.剩余未分配的订单可以用任何订单规则来计划.同时可以设定资源为永久瓶颈,临时瓶颈.你可以检查能力利用率,决定是否设定瓶颈

工艺流程同步的处理

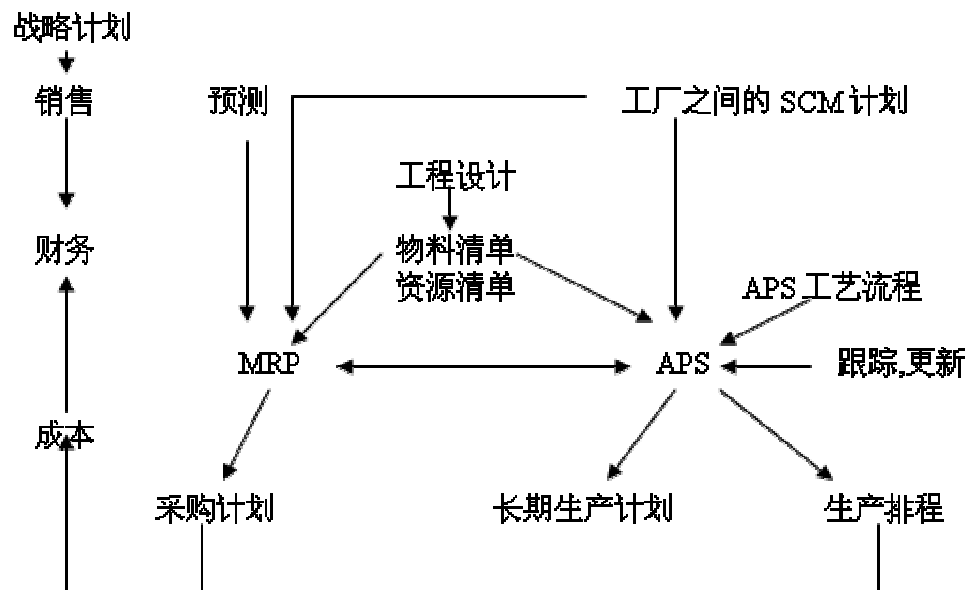
因为 APS 与 ERP 是两个数据库,这就需要在这两个数据库进行同步数据处理.主要同步的数据主要集中在依赖订单的工艺流程(ODR),由工艺流程同步处理器实时处理从 ERP 下载数据到 APS,再从 APS 优化的数据上传到 ERP.

计划订单同步的处理

下载处理器自动处理删除 APS 里的计划订单,避免在 APS 里有重复的订单.也可以自动改变或下达 ERP 的计划订单状态.

主计划同步的处理

APS 也可以处理长期的计划.如果你想用 APS 逻辑来处理主生产计划 MPS,那么,就把 MPS 的数据和一些相关的数据如标准工艺流程及资源,库存,采购接收等定义约束物料下载到 APS 系统,在 APS 里确定计划展望期(应大于 ERP 的计划展望期),进行有限资源排程,平衡过的 MPS 上传到 ERP 的 MPS.在运行 MRP 产生采购计划,以满足主生产计划.在 APS 里反映的约束物料,就是需要加快的物料.



ERP 与 APS 集成示意图(来源于 FCS 作者 Gerhard Plenert, Bill Kirchmier)

现在,我们拥有两套计划系统 MRP 和 APS. 谁先运行比较好?显然,应该先运行 APS,快速解决 ATP 计划可用量,CTP 能力可用量的问题,立即产生优化的,可信的计划.然后,上传到 ERP,计算采购计划,进行业务处理

第六章 基于工厂的仿真 APS 的算法分析

APS 的高级算法是基于规则,约束自动的调配资源,优化计划,来达到你所需的计划目标.本文是分析是基于工厂的模拟仿真的 APS 的算法分析与管理。

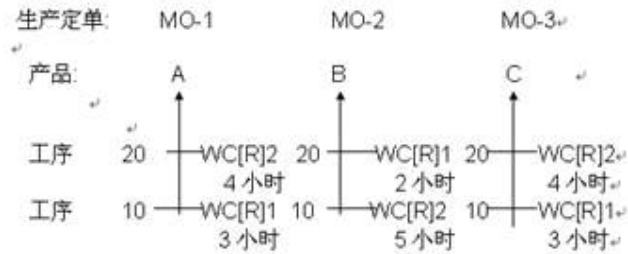
一,算法分析研究:

APS 有两种计划排产方法. (1),算法任务顺序计划: 一次一个定单或任务.(2),模拟顺序计划: 一次一个工序或操作.

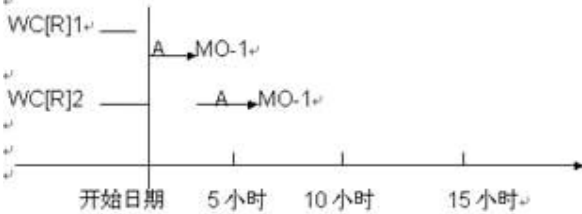
1,算法(Algorithmic)任务顺序计划: 一次一个定单或任务(Job at a Time).

算法顺序器选择一个定单,然后把每一个定单的每一个工序放在计划排程板.它重复这个过程,直到所有的定单,所有的工序已经加载. 满足约束的条件下第一次加载到可用时间间隔的每一个工序及特别的资源. 在一个 Job at a Time 顺序器, 这些计划被计划板上的选择的定单控制.因此,计划的质量关键是用于加载的定单的规则.

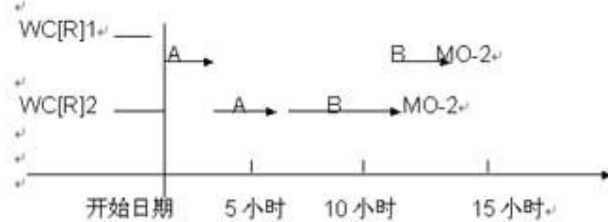
案例一:



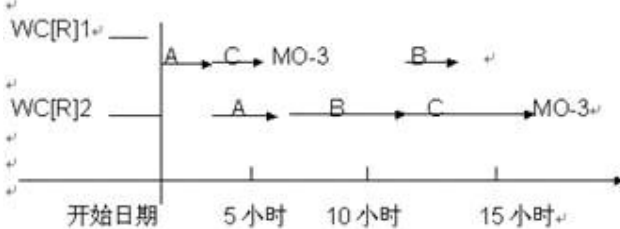
第一次加载生产定单 MO-1:



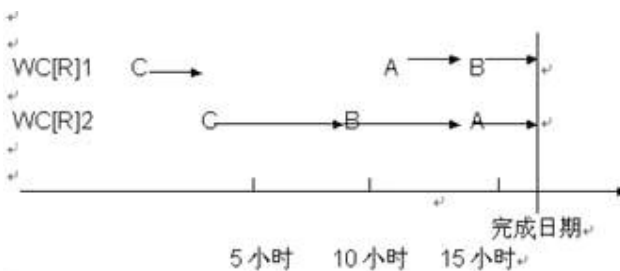
第二次加载生产定单 MO-2:



第三次加载生产定单 MO-3:



案例二:



向后顺序计划的算法顺序器优势是总是产生一个不会延迟的计划,然而,计划的开始时间也许不可行,基本上,一个向前 JOB-AT-A-TIME 顺序器固定了开始时间,决定结束时间,这也许

会违反完成日期.然而,一个向后 JOB-AT-A-TIME 顺序器固定结束时间,决定开始时间.虽然,理想的计划是没有延迟定单,这确实吸引人.但是后排计划需要一些特别的限制,甚至,在许多的情况下,会产生可行的方案.后排计划把所有的任务都放到计划板上,以至于它们当满足完成日期,尽可能的迟.这就意味着系统没有时间缓冲,由于任何中断出现(机器故障,物料延迟,等等)将会产生延迟定单任务.再加上,由于延迟使用能力.等待最后时刻开始每一个任务的因素,我们就可能放弃了一些机会来考虑需要增加的计划任务.

(3), 双向计划/瓶颈计划

我们选择任务顺序和计划工序的中一个工序用向前计划此工序的前一个工序,用后排计划此工序的后一个工序.这对瓶颈工序或利用率高的资源是非常有用的.我们要把一个工序分配给瓶颈资源,然后加载此资源的上游和下游工序. 瓶颈算法顺序器的优势是可以最小化所有任务的周期,使得所有的计划的能力,节拍受到瓶颈计划的约束.

算法任务顺序计划包括:

(1), 向前顺序计划

一个用于定单的规则是可以按优先值排序的任务,且已分配的每一个任务.其它可能的排序条件是提前完成就提前下达.和最小化闲散时间.从数学的角度说并不是所有的规则都是优化的.每一个规则代表不同的策略和计划的重点.如,完成日期相关的规则集中于减少延迟定单的数量,而基于优先级的规则努力尽快完成最重要的.

在一些应用中,一个特定的工序能用于二个或多个资源.如,一个钻孔工序也许用到二个钻床的任一个.在此案中,算法顺序器的计划是首先决定任务的顺序,然后,由规则决定在加载过程中分配给特定工序用那一个资源.

(2), 向后顺序计划

虽然一个算法顺序器是由第一个工序开始和通过最后工序加载每一个定单任务向前计划.它也能用同样的顺序设计,相反的流程.在此案中,顺序器由最后的工序开始计划到它的完成日期.那么,它在最后工序开始时间继续由前一工序加载到完成.这个过程是连续的后排计划,直到第一个工序被加载.在这一点上,算法顺序器会选择新的定单任务加载和重复整个过程,

案例三:



总之,算法顺序器是一简单和快速的把一套任务加载在计划板上的方法.计划完全是由规定任务的定单和资源之间的规则所决定的

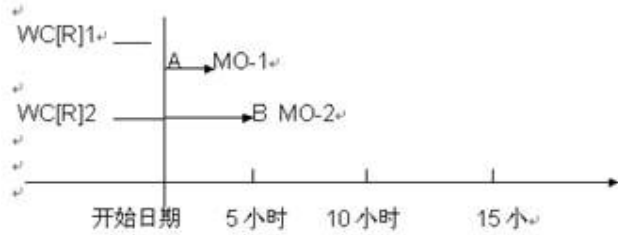
2,模拟(Simulation)的顺序计划: 一次一个工序或操作(Operation at a Time)

是一个模拟顺序器,它能产生算法顺序器所不能产生的许多计划.模拟顺序器选择和一次一个工序加载独立的工序而不是整个任务. 它是一个出色的控制工序加载到计划板上的方

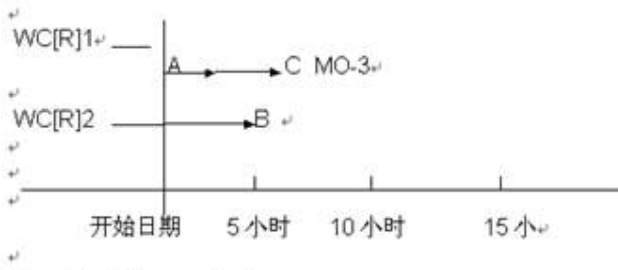
法. 用模拟顺序器产生计划主要是增加工序计划的灵活性。

案例四:

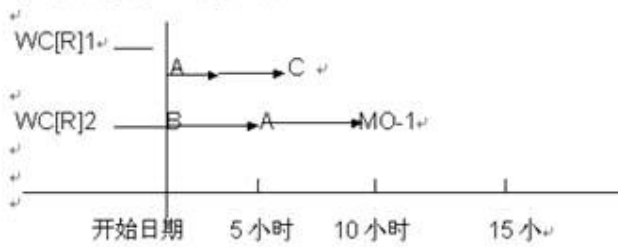
第一次加载第 10 工序: 产品 A,B



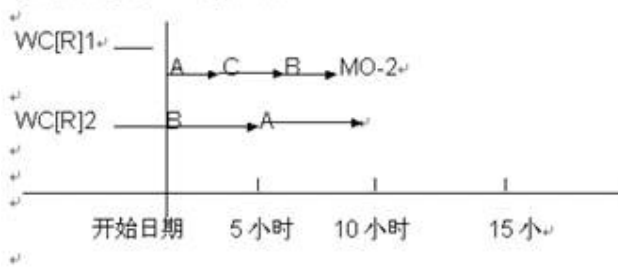
第二次加载第 10 工序: 产品 C



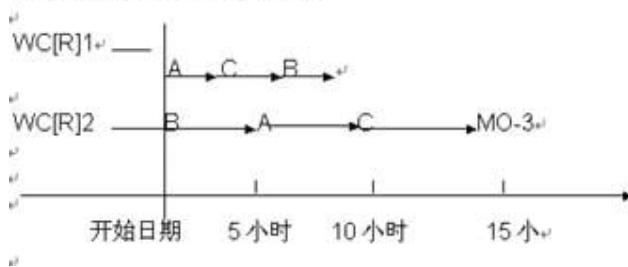
第三次加载第 20 工序: 产品 A



第四次加载第 20 工序: 产品 B



第五次加载第 20 工序:产品 C



从以上案例可以看出用模拟顺序方法生产周期明显缩短.它们的区别是算法顺序器是按定单任务加载,模拟顺序器是按独立工序加载而不是整个定单任务. 模拟顺序器是一个出色的控制工序加载到计划板上的方法. 用模拟顺序器产生计划主要是增加 **operation-at-a-time** 灵活性。

总之,模拟顺序器是在单一时间,模拟产生计划, 通过向前移动从一事件时间到下一个事件. 模拟顺序器是在当前时间开始及加载所有现在所有能开始的工序. 注意这些工序不是单一的任务. 一旦所有工序被加载,就能在此时间开始. 例如, 在计划板一但资源改变为空闲,就加载第一个需完成的任何工序.因此, 模拟顺序器企图在此新的事件时间上加载另外的工序,模拟顺序器持续这一方法. 模拟顺序器只能采用向前排计划.它仅仅向前移动所有工序。

算法顺序器是连续地向后或向前移动,它为每一个定单任务加载所有工序.它在当前时间开始,为第一个定单任务向前加载所有工序.然后,回到当前时间为第二个定单任务再次向前移动加载所有工序.它用此方法持续地向前和向后移动,直到所有任务全部加载到计划板上.因此,算法顺序器是通过时间固定一个定单和任务.一旦定单上的所有工序被加载,就可以加载下一个定单任务。

第七章 基于六种行业工厂仿真的 APS 的资源分析

虽然 **APS** 起源于工厂模拟仿真,但现在已被分为三种模式,一是基于网络供应链的;二是基于工厂的模拟仿真的;三是基于数学模型的。本文已六种行业的实例分析基于工厂的模拟仿真的的资源分析与管理。

资源分析研究: 我们知道制造资源是厂房, 生产线, 加工设备, 检测设备, 人员等等.

在 **APS** 里,按资源的属性分为五种:1. 单一资源 2.无限资源 3.并发资源 4.共有资源 5.可调整共有资源

这些资源类型的不同功能可以提供设置各种生产环境的模型

- (1), 单一资源: 是使用最多的资源类型, 如一台机器, 一个人, 一台设备, 一个夹具, 一个固定装置及任何可以用一种能力约束的资源。
- (2), 无限资源: 是指无限能力的资源。如外加工厂, 烘干设备,
- (3), 并发资源: 是指在同样时间作同样的活动, 所有活动一定是同步化, 它们必需有同样的开始与结束时间。如干燥炉, 它是用立方米来衡量能力。只要工件的体积不超过干燥炉的体积, 它同时加工多个工件。一旦装进与开始干燥炉, 你必需在加工其他零件之前完成。
- (4), 共有资源: 是一个共享资源, 任何任务, 工序都可以使用共享资源的任何一个。如

工时资源，固定设备，场地空间。虽然这些资源不能作为主要资源。共用资源主要针对整个工序范围。共有资源，可调整共有资源的不同是跨度资源被允许的方式不同。当一个工序的时间跨过一个处于下班状态的资源或资源效率减少时，我们称跨度，共有资源不允许跨度。共有资源就是典型的被用于每天 24 小时都可用来模具加工，夹具，和固定装置。

(5)，可调整共有资源：可调整的共有资源不仅允许跨度，而且还允许劳力数量根据工序的节拍。于是它是最多用于模具资源的。工序的节拍及效率是基于当前的可用的工人数。

在 APS 里按资源的重要性分为 1，主要资源 2，次要资源

任何工序都可以是主要资源与次要资源，一个工序的主要资源也可能是另一工序的次要资源。单一资源，无限资源，并发资源可以是主要资源与次要资源，而共有资源，可调整共有资源只能定义为次要资源。计划每一个工序必需在整个工序范围有一个单一主要资源(单一资源，无限资源，或者并发资源)。工序可以被分为三个工步：准备，加工，拆卸。次要资源可以定义为工序或工步，对于次要资源的定义可以不限数量，但是，次要资源过多，会导致计划排程过于复杂。

在 APS 里需定义资源组

资源组包括一个或多个资源，一般来说它包括同样类型的资源。然而，如果每一资源组只有一个资源，那么，可以起同样的名字。此外，一个资源可能存在多个资源组。

实际的案例运用如下：

1，制鞋

资源组	资源	组成员
外加工 WC[R] outside	无限资源	
裁机 (按尺码分)	单一资源	
WC[R]Small-size	WC[R]Line1	SS
	WC[R]Line2	SS
WC[R]Mid-size	WC[R]Line3	MS, LS
	WC[R]Line4	MS
WC[R]Large-size	WC[R]Line3	LS, MS
	WC[R]Line5	LS
裁刀 WC[R]Small-tool	WC[R]Tool1	SS
	WC[R]Tool2	SS
WC[R]Mid-tool	WC[R]Tool3	MS
WC[R]Large-tool	WC[R]Tool4	LS
针车(细分到组)		
WC[R]Group1	WC[R]1	G1, G2
	WC[R]2	G1
WC[R]Group2	WC[R]3	G2
	WC[R]1	G1, G2
WC[R]Group3	WC[R]2	G3, G1
	WC[R]5	G3
准备工时 WC[S]Group1	WC[S]G1	SG1
WC[S]Group2	WC[S]G2	SG2
WC[S]Group3	WC[S]G3	SG3

建立准备工时矩阵-基于鞋的尺码，颜色，款式

单位：小时

尺码	小	中	大	特大
小	0	2	2.5	3
中	2	0	3	3
大	2.5	3	0	3
特大	3	3	3	0

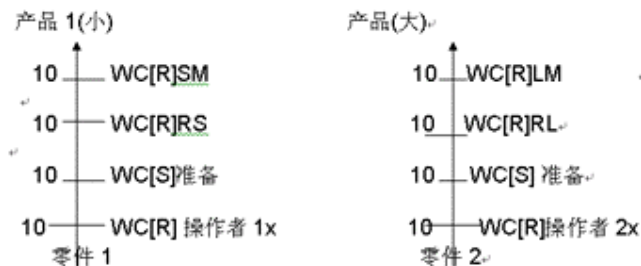
成品鞋加工

考虑加工线的分组及须考虑楦头资源的约束(略)



2, 机动车辆

资源组	资源	组成员
大机器 WC[R]LM	WC[R]机器 1	LM
	WC[R]机器 2	LM
小机器 WC[R]SM	WC[R]机器 3	SM
	WC[R]机器 4	SM
大房间 WC[R]RL	WC[R]Room A	RL
	WC[R]Room B	RL
小房间 WC[R]RS	WC[R]Room C	RS
	WC[R]Room D	RS
次要资源: 房间, 操作者, 机器准备时间		



3, 热处理

(1) 资源组 资源 组成员

烘炉 Oven A	并发资源	
WC[R]Oven-type A	WC[R]Oven1	Oven A.
	WC[R]Oven2	Oven A.
	WC[R]Oven3	Oven A.

(2) 基于物料属性设定并发资源

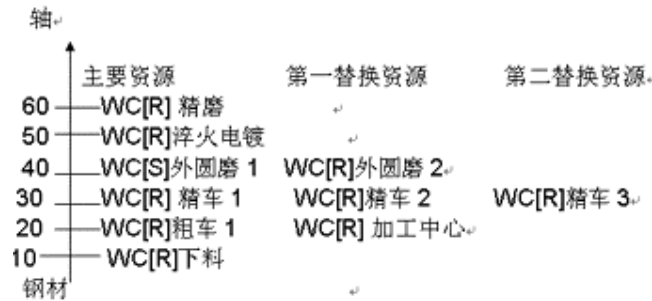
-物料属性和温度/时间周期

- 重量和体积
- 烘炉有限负荷是:重量和体积
- (3)其他问题
- 客户提供材料, 客户定单驱动生产 MTO 方式
- 工装夹具.
- 班次类型: 24 小时/天, 7 天/周



4, 轴加工

- (1),主要资源与替换资源
- 替换工序标识和时间限制
- 加工顺序和替换工序的有效日期
- 替换工序的不同运转率
- (2),资源组的准备工时矩阵
- 定义每个资源组的准备工时
- (3), 其他问题
- 资源组的操作时间和工时报告
- 工序批量(生产订单的数量分解)



5, 金属线

- 单元制造
- (1),挤压生产线单元(能处理 13 种不同型号)
- (2),A 类生产线单元
- (3), B 类生产线单元



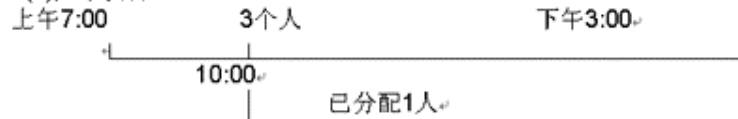
6, 铝锭

(1) 资源组	资源	组成员
12"铝压机 WC[R]AL12	WC[R]Press1	AL12
8"铝压机 WC[R]AL8	WC[R]Press2	AL8,AL5
5"铝压机 WC[R]AL5	WC[R]Press19	AL8
	WC[R]Press20	AL5
	WC[R]Press2	AL5,AL8
铸型机 WC[R]MoldM100	WC[R]M100-1	M100
	WC[R]M100-2	M100
操作者 15x		
WC[R]AL-Operators12	可调整共享资源	

(2),资源组的准备工时矩阵

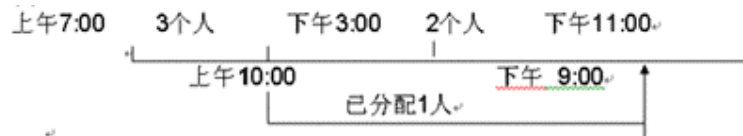
定义每个资源组的准备工时

(3)共享资源



如有需二人,6 小时的任务,如上午 8:00 开始,可以排计划到下午 2:00.

但是,如果上午 11:00 开始,到下午 3:00 只有 4 小时.它不会计划到第二天.



如 2 人,6 小时的任务,如果下午 1:00 开始到 3:00.正好有 2 人,100%的效率.

从 3:00 到 9:00 只有 1 人,效率 50%.9:00 到 10:00 有 2 人,效率 100%.所以共耗 9 小时.

如下午 4:00 开始,这时候只有一个劳力从 3:00PM 到 9:00PM,所以,工序的计划从 9:00PM 开始,在 9:00PM 有二个劳力.从 9:00PM 到 11:00PM,工序以 100%的效率进行二个小时.从 11:00PM 到第二天的 7:00AM,没有劳力,零效率.从 7:00AM 到 11:00AM 的四个小时,第二天工序以二个劳力,100%的效率进行。

第八章 SCM、APS 和 ERP

ERP 的功能和缺陷

60 年代开始,制造业企业逐步地广泛采用制造资源计划软件进行库存、采购和财务的管理,编制和控制生产进度计划等繁重工作都依赖于 MRP—MRPII—ERP 的集成和精确的处理能力。ERP 软件与管理人员的丰富经验相结合,至 90 年代中后期创造了 ERP 实践的辉煌时期。

在 1998 年以前,企业资源计划 ERP 被看作是采用数据库技术和专门的用户界面控制业务信息的企业系统,是面向整个企业的、统一的事物处理系统。ERP 软件支持和加快定单的整个执行过程,使业务和生产过程管理实现数据共享和集成,实现事物处理自动化和对财务、制造和分销资源进行跟踪。企业实施 ERP 还意味着业务流程再造、改进企业的灵活性和提高应变的响应能力。

ERP 无力承担企业之间的集成和协同

但是从 80 年代开始,一些重要的化学工业企业如 BASF, DOW, Du Pont 发现,单靠企业自身生产过程的优化、改进企业内部的管理所获得的收效变得越来越有限,开始分析为他们供应物料的上下游企业的活动。90 年代,随着商品市场国际化和竞争加剧,形成了产品用户化和交付期多变的环境,某些大型制造企业改进管理的焦点转移到相关的独立企业之间的协调和企业外部的物流和信息流的集成和优化。

但 ERP 仅仅是当时多数企业应用的制造资源计划 MRPII 而已,推出 ERP 的术语是为了反映当时的系统比原来有所进步,如加强了按行业的解决方案和扩展了需求管理、产品构型、电子数据交换、现场服务等功能;以及它采用的是 client/server 结构、关系数据库和开放平台等新的计算机技术等。90 年代中期,ERP 虽然增强了与客户和供应商业务的交互和 Internet 能力,但无论在计划技术基础或功能方面都不具备协调多个企业间资源的观念和能力,ERP 仍旧是面向企业内部的事物处理系统。

ERP 计划模型落后

另一方面,众所周知,ERP 的计划管理的模型仍然是 MRPII,其编制计划的方法仍然采用 MRP 和 MPS 计算物料的需求、发布补充定单等。这种于 60 年代出现的用最朴素逻辑、在计算机帮助下按产品 BOM 和工艺流程逐级推演,得到了在一般平稳生产条件下可以应用的生产计划方法,流行了近 40 年。但是 MRP 方法存在着以下重要的弱点:

- MRP 算法假定提前期是已知的固定值;
- 系统要求固定的工艺路线;
- 仅仅根据交付周期或日期来安排生产的优先次序;
- 所有工作都是在假定无限能力的前提下进行;
- 重复计划过程要花费相当多的时间。而相关计划的更改十分困难。

另外,MRP 极为贫乏的决策支持能力令制造企业的上层管理人员甚为不满。30 多年来 MRP 的这些缺陷虽然不断有些技巧性的改进、虽然 ERP 系统在做生产计划时考虑了能力资源的约束,但仍旧是一种串行过程的校验处理,始终没有实质性的改变。

在国际化多变的市场面前,MRP 的上述缺点显得愈加突出,传统 ERP 的计划模型越来越不能适应企业变化的需求。对于行业领先的大企业和重要的国际化制造商,替代 MRP 和扩展 ERP 是势在必行的。直至 90 年代中期,寻求克服 ERP 缺点的努力开始有了成果,这就是高级计划与排产技术(Advanced Planning and Scheduling, APS)的实用化和供应链管理(Supply Chain Management, SCM)。

供应链和供应链管理

早在 1982 年著名的管理大师 Oliver 和 Webber 就应用了供应链管理 Supply Chain Management 这术语。其后,通过在销售渠道研究(Channel Research)、协调与合作、在生产与分销网络中库存的分配与控制、生产计划层次等方面的研究给予扩大和完善,形成了供

应链管理的理论和实践。

供应链和供应链管理的定义

供应链 Supply Chain 是用过程观对企业活动的一种描述，即企业从最初获取原材料到转换成最终产品、直至交付给最终用户的整个生产、销售过程是由若干“供”——“需”环节作有序链接的。供应链包括了在企业内、外制造产品和提供用户服务的增值链中的全部功能。因此，供应链涉及两个以上通过物流、信息流和资金流关联在一起的法律上独立的组织。由于目前的企业往往是多产品的，供应链实际上是以自身企业为核心的全部增值过程(或活动)的网络。

供应链管理 Supply Chain Management 则是对供应链所涉及组织的集成和对物流、信息流、资金流的协同，以满足用户的需求和提高供应链整体竞争能力。简言之，供应链管理就是优化和改进供应链活动，供应链管理的对象是供应链的组织(企业)和它们之间的“流”；应用的方法是集成和协同；目标是满足用户需求最终是提高供应链的整体竞争能力。

供应链管理的理念

供应链是新的管理哲理的基础，认为从供应商到企业自身、到分销商、到最终用户之间的关系是合作、协同、信息共享、全程优化、相互利益的认同和共同赢利的。供应链的观点是对生产和销售活动的一种认识论，每个企业或组织的供应链或供应网络是客观存在的。应用供应链观点来分析生产—销售，就会发掘出企业过去不曾认识到的问题，应用供应链管理的方法和软件就是对企业现有的供应链进行改造，使企业的增值流更流畅和更有效。

供应链管理采用信息技术给包括交货运输、分销中心、工厂和原材料供应等各方面构成的日扩展的网络赋予自动的智能决策能力，引导供应和需求达到更加完美的平衡。按照这种模式，供应链中的每个环节都能利用最新和最好的相关信息来管理业务，实现产品从起点开始就以尽可能快地速度、最少的成本和更为完美的供需平衡流向客户的目标。

供应链管理软件

目前所说的供应链管理软件 **SCM** 则按照过程观进行供应链组织间的计划、安排进度表和供应链计划的执行与控制，着重于整个供应链和供应网络的优化以及贯穿于整个供应链计划的实现。好的 **SCM** 软件的供应商提供的套件包括了从定单输入到产品交付等并行于制造业务流程的全部业务过程，其中包括预测、供应链和生产计划、需求和分销管理、运输计划以及各种形式的业务智能。

一般 **SCM** 软件都由 5 个主要的模块组成：需求计划、生产计划和排序、分销计划、运输计划，和企业或供应链分析等。

1 需求计划模块：用统计工具、因果要素和层次分析等手段进行更为精确的预测。用包括 Internet 和协同引擎 (collaboration engines) 在内的通讯技术帮助生成企业间的最新和实时的协作预测。

2 生产计划和排序模块：分析企业内部和供应商生产设施的物料和能力的约束，编制满

足物料和能力约束的生产进度计划，并且还可以按照给定条件进行优化。各软件供应商根据不同的生产环境应用不同的算法和技术，提供各有特色的软件。

3 分销计划模块：帮助管理分销中心并保证产品可订货、可盈利、能力可用。分销计划帮助企业分析原始信息。然后企业能够确定如何优化分销成本或者根据生产能力和成本提高客户服务水平。

4 运输计划模块：帮助确定将产品送达客户的最好途径。运输计划模型的时标是短期的和战术的。运输计划模块对交付进行成组并充分利用运输能力。

5 企业或供应链分析：一般是一个整个企业或供应链的图图示模型，帮助企业从战略功能上对工厂和销售中心进行调整。有可能对贯穿整个供应链的一个或多个产品进行分析，注意和发掘到问题的症结。

供应链管理的技术基础

实现 SCM 有两大技术支柱：集成（Integration）和协同（Coordination）。而供应链的协同功能则以 3 项技术为基础：1）现代的信息和通讯技术；2）过程标定（基准）——以行业的最佳实践（Best Practices 或 “best-in-class”）企业的运行效果为基准模板（Benchmarking），实行供应链改造的后来者向这个模板看齐；和 3）高级计划与排产技术（Advanced Planning and Scheduling, APS）。APS 能够统一和协调企业间的长、中、近期的计划，是 SCM 的核心。

APS 支持 SCM 的发展

APS 是支持 SCM 进行供应链各个环节之间的计划和协同的最主要的手段。没有 APS，供应链管理就只能作为一种管理理念，而不可能成为计划和协同的工具，更不可能形成可推广的软件。

APS 的发展

从上个世纪 40 年代以来，用数学方法进行精确计算来安排计划 and 生产进度表就一直是一个传统的研究课题。线性规划作为管理科学的基础，在管理理论的教科书中比比皆是。数十年来，学院派的学者对这个课题的研究乐此不疲。但是现实世界太复杂，理论与实际存在较大的距离，即便使用大型计算机，也未取得可行的应用。随着 MRP 方法的诞生，生产计划管理领域就形成了两种方法或两种计划思想的发展道路，存在着并行的两种编制生产计划哲理：MRP 法和数学解析方法。

在 80 年代中期，从缩短计划运行时间开始的改进 MRP 的工作取得成效，有人开发了一种快速 MRP 的模拟技术。这种方法将生产作业模拟在独立计算机上的以常驻内存方式进行，脱离了当时占业务计算支配地位的主机，使制造企业完成生产计划排程只用几分钟而不是当时所公认的 20 多个小时。虽然当时的尝试并没有考虑计划的约束条件，但它已经成为一种新的计划与排程方法的开端。

著名的 OPT 发明人 Eli Goldratt 对 APS 的发展有显著的功绩。优化生产技术 OPT 本身

就是一种根据能力瓶颈的安排计划的哲理，后来他又继续发展成为约束理论 Theory of Constraints，开始在离散制造业优化排序中应用，出现了第一批 APS 公司和基于常驻内存运行的交互式 APS 产品。1984 年 AT&T 推出的 Karmarkar's 算法，成为线性规划突破性进展，以后几乎被所有现代 LP 解决方案所采用。90 年代一些主要的化工企业开始选用 APS 供应商的产品。

其后，新的计划与排程系统开发商，其中许多人具有数学或运筹学高级学位，花费多年的心血，将线性规划等优化方法适用化，在更新一代计算机的支持下，创造出几乎能在瞬间生成优化计划的程序，使理论的数学解析的计划方法达到了实用程度。这些新的软件包被称为 APS 引擎(advanced planning and scheduling engines)。在 MRP—ERP 的鼎盛时期，新的计划解决方案—APS 引擎的成熟，使生产计划方法的交替不可避免的发生。ERP 也出现了继续完善和扩充功能，及改变 ERP 的功能和性质这两种发展趋势。

APS 的核心和技术特征

APS 的核心是久经磨练的数学算法或解决方案。但 APS 所采用的并不是单一的技术，具体应用的算法（诸如线性规划 linear programs、整数混合规划 mixed-integer programming、推理 heuristics、约束理论 theory of constraints、模拟 simulation 等等），视需要解决问题的类型而定。APS 从 ERP 系统下载数据到专用服务器上做常驻内存的处理，实现计划的反复运算或对可选方案进行评估，直至得到可行的或基本上可获利的计划或进度表。由于这些系统通常不存在数据库查询和存取的问题，APS 的反复运算可以很快完成。

这样就形成了，高级计划与排程 APS 的 3 项技术的特征：

1、基于约束理论；2、采用多种数学解析的优化算法；3、采用脱离主服务器常驻内存运行的计算机技术。

APS 支持 SCM

由于 APS 是一种在资源约束前提下的优化技术，既可用于单个企业内部的短期的计划与排产，又可用于在已知条件下的长期预测和在企业间进行计划，成为改进和优化企业供应链管理的有力工具，所以自 APS 成熟之日起，就将它的应用范围与供应链联系在一起。另一方面，长期以来只有概念缺少有效工具的供应链管理在 APS 的支持下，得到迅速发展。

目前的 APS 软件与供应链管理软件 SCM 融会在一起，在媒体和商务中，多数情况下被混为一谈。但是，我们还是认为，APS 术语是专指 APS 引擎的。SCM 软件包括了更多的算法和较完整的管理功能，如需求管理中的统计预测方法、ATP (Available To Promise) 引擎、离散事件的模拟等。

供应链协会 (Supply Chain Council)

在供应链管理的发展过程中，必须提到“供应链协会”所起的重要的规范、指导、和推动作用。1996 年第一季度，在 PRTM (Pittiglio Rabin Todd & McGrath) 和 AMR (Advanced Manufacturing Research) 等研究机构和 Bayer、Compaq Computer、

Lockheed Martin 和 Texas Instruments 等 69 个企业的倡导下，成立了“供应链协会（Supply-Chain Council, SCC）”。SCC 是全球性的、成员单位联合的非赢利组织，为所有的企业和组织提供供应链改造的支持。目前 SCC 有 700 多个成员单位，包括企业、大学、咨询机构、政府部门，世界主要的制造、分销、零售企业，重要的 ERP、SCM 软件供应商都加入其中，成为供应链管理的广泛的行业组织。SCC 与美国 APICS 和美国国家标准局(ANSI)有着密切的联系。由于 SCC 的权威性和重要作用，新的成员单位以每月 30 个速度增加。

供应链作业参考模型 SCOR

供应链协会 SCC 的目标之一是开发一个跨行业的标准供应链参考模型（Supply Chain Operations Reference-model, SCOR），以帮助企业沟通供应链的研究成果、建立供应链的基本规范并影响下一代的 SCM 软件。1996 年 11 月 SCC 发布了 SCOR，2000 年 10 月又升级至 4.0 版本。SCOR 为供应链改进提供一个集成的、启发式的方法模型，它的主要功能是：

- 提供一组理解供应链和快速建模的工具；
- 提供一组评价供应链的工具；
- 发布供应链的最佳实践及其指标，作为供应链改造的追随
- 目标；
- SCOR 模型提供评价企业外部供应链性能的手段；
- 实现最佳实践的软件工具。

虽然 SCOR 并不干涉具体 SCM 的算法模型，但它建立了 SCM 系统的整体框架和过程的细节。SCOR 还将当前最重要的管理改进方法—业务流程再造 BPR、基准（Benchmarking，用行业的先进企业的管理效能作为典型和比照标准）和最佳实践分析（Best Practices Analysis）集成在一起作为 SCM 实施的指导。有了 SCOR 就可以度量 SCM 软件的性能和应用企业的实施效果，这比当时的 MRP/ERP 缺少评价标准是一个重大的进步。

SCOR 本身就是一种先进的管理改进的方法论。比照这种做法，可以建立 ERP、CRM、精益制造或其它管理思想的标准模型、实施方法、基准和评估标准。这种模型帮助应用企业少走弯路，规范软件供应商和咨询机构的行为和质量标准，是造福于整个制造行业的精益工程。

ERP 受到挑战和它的前途

??? SCM 与 ERP 功能范围的重叠 SCM 的功能实现了事物处理、业务应用和决策支持系统的再集成。SCM 的能力覆盖了供应链计划过程的全部关键工作：生产计划和排程、供应链的需求计划和运输计划，成为整个供应链，包括供应商、多生产工厂和复杂的分销网络的计划工具。APS 在用于作业进度排序或短期计划时，模型可以做得足够的详细；而用于长期规划时，APS 模型可以根据总体资源和产品族进行长达数年的预测。换句话说，APS/SCM 系统实际上完成了 ERP 的主生产计划、物料需求计划、能力计划或编制车间进度的工作。SCM 的结果可能生成在客户服务、成本、产量或利润诸方面兼顾的、可行的解决方案。显然 ERP 和 SCM 两种系统的功能出现了重叠。

更为重要的是，APS 在决策过程中考虑到包括了客户何供应商在内的整个供应链，APS

的计划范围就扩展到企业之外；并且 APS 系统采用决策技术帮助企业解决许多复杂的问题。所谓决策技术是指固化在软件中的运算法则，用其对整个供应链的约束进行模拟分析，并找出最佳的计划或解决方案来。多数 APS 软件还加入了 OLAP 数据分析功能。

多数情况下，ERP 系统成为了 APS 的信息源，为 APS 应用提供数据并接受 APS 处理的结果。 分页

“单项优势”软件对 ERP 的挑战

目前对 ERP 进行挑战的并不仅仅是一个 SCM 系统，在 90 年代最后几年，还有客户关系管理 CRM、电子采购 e-Procurement，电子贸易 e-Exchange 等等新的管理概念和软件出现。人们将这些经过长时期的发展而推出的、在某一功能领域内集成的，既在某一个方面有优于 ERP 的特长，又有很强的独立性的软件称为：“best-of-breed”应用软件，我们不妨称其为“单项优势”软件，这些软件的种类从 APS，SCM 到 CRM 和电子商务等等。“单项优势”软件供应商都是有拥有先进技术和竞争能力很强的独立软件供应商，这些软件以高技术奇货可居，价格居高不下。特别是他们出于重新分割市场的愿望，总在宣传替代 ERP 的舆论。于是出现了两类争议的问题：

1、对于应用企业来说，是否还要在 ERP 上投资？是选用 SCM、CRM 和其它“best-of-breed”软件，还是继续选用 ERP 软件？

2、对于 ERP 供应商来说，是否还应沿着扩展和改进 ERP 的功能来满足用户新的需求，继续对 ERP 进行投入，扩还是改弦换辙放弃 ERP 的发展呢？

这个问题无论是应用企业，还是软件供应商，这都是事关重大的。但制造软件供应商处在这三岔路口的抉择，则更是生死攸关。

APS 与 ERP 的集成

APS 与 ERP 的集成，或者说，给 ERP 装备 APS 引擎，或者 APS 使用 ERP 的数据的想法是很自然的，但必须解决很多难题。

从 APS 出发，目前系统毕竟不够大，信息也少，很难独立支持完成某项计算。企业现有的其它系统的数据也不够完整，因此与 ERP 的集成往往是迫不得已的。如在 APS 中的可供定货量的计算，就必须与工作定单管理、库存、BOM、工艺路线和采购系统相连接没有这些联系；APS 进行计划模拟时，必须与 ERP 的车间管理、能力数据做实时的交互，单独使用 APS 会是很麻烦和不完善的，最终会导致系统崩溃。从 ERP 的立场出发，有些公司企图在成套 ERP 系统中用 APS 引擎来替代基于 MRP 的计划模块，来解决 MRP 的固有缺陷。

但是因为两种系统的设计是源于不同哲理。APS 直接使用 ERP 的数据，是根本不可能的。有人形容这些措施如同人的心脏移植手术。计划模块 MPS 和 MRP 是 ERP 的心脏，心脏移植会引起“排异反应”。APS 进入 ERP 系统也会引发信息系统的心脏病发作。在将 ERP 与 APS 集成时，必须仔细地进行对照数据结构的原始定义对 ERP 的数据结构做小心的更改。

尽管存在问题，无论是 ERP 供应商或者是 APS 供应商，大家还是这样作了。ERP 的供应商都采用各自的策略在自己的产品中加入 APS 功能。如：或自行开发 APS 模块、或并购 1 个或多个 APS 供应商，将他们的产品改造装入 ERP 套件中；或与一个独立的 APS 供应商形成联盟关系，将其 APS 产品装入到 ERP 套件中来等等。

ERP 供应商建立自己的 APS 模块形成 APS 与 ERP 的无缝集成是最好的方案。但是只有少数 ERP 供应商能够采取这种策略。主要因为这种开发既需要大量的投资有消耗时间。若干资料提到，开发 APS 系统需要有数学或运筹学的专门人才历经 5 年左右的时间。在时间就是金

钱的竞争环境中，这几乎是不可能的途径。近 2 年来，几乎每个外国的 ERP 软件，无论是买的还是自己开发的，80% 有了与之集成的 APS 引擎。如 SAP 有了 SAP APO (Advanced Planning and Optimization), Baan 有 BaanSCS (Supply Chain Solutions), Oracle 买了 ILOG 的产品，PeopleSoft 购买了 Red Pepper，而 JD Edwards 则买了 Numetrix。最近专门供应航空和国防工业 ERP 软件的 Western Data Systems (WDS) 公司与 Adexa? , Inc 结成联盟为航空工业企业和 MRO 提供 SCM 的集成解决方案。ERP 和 APS 正在融合在一起。

尽管理论上说 APS、SCM 也包括了 CRM 软件都能独立运行发挥作用，但真正产生 APS 的效用，还必须有 ERP 的支持，ERP 还是 e-business 和 e-commerce 的基础。有专家说：建楼房不能从第二层开始。在这场 IT 经济革命交响乐中，没有 ERP，就不能奏响 CRM 或 SCM 的第二乐章、第三乐章，也就不会有再后续的 e-business 成功的新高潮。

ERP 定义的变化

SCM、CRM 等一批“单项优势”软件的出现，使 ERP 的定义正在悄悄地变化。近 1~2 年来，很多文献上已经将 ERP 系统定义为制造企业事物处理的中枢 (transaction backbone)，它将企业的各种业务功能（如人力资源、财务、制造、会计、分销等等）链接到一个共同的系统中，使企业业务流程流畅和事物处理工作自动化。这种定位实际在强调 ERP 的集成和作为数据源的作用。ERP 趋向于作为应用程序的集成框架。具体的业务作业（不仅仅是事物处理，新的业务作业在很大程度上并行着优化决策的功能），由 SCM、CRM、e-Procurement、e-Exchange 等软件来完成。从这个意义上说，企业应用 ERP 系统是必不可少的。

企业应用软件进入“春秋战国”时期

于是，企业应用系统沿着 3 条道路发展：

—少数大的 ERP 供应商推出目前称之为“扩展的 ERP, Extended ERP”的集成软件方案，将 APS、SCM、CRM、e-Purchase、e-Business 和 e-Commerce e-Exchange 都囊括进来。代表这种思想的作者，喊出了“long live ERP”的口号；

—许多新兴的“best-of-breed”供应商迅速发展它们的“单项优势”的独立软件从 APS、SCM 到 CRM、BI、以及冠以“e”或“i”的软件；它们强调新技术的优势，宣扬 ERP 寿终正寝。

—选用“best-of-breed”供应商与 ERP 供应商联合的预先集成的套件。

这样，企业应用系统完全不是 90 年代中期，基本是 ERP 一统模式、一种结构，不同软件系统仅仅在功能全、推出速度快和实施服务好等方面进行竞争。目前企业应用软件处在“春秋战国”时期，出现百家争鸣的局面。

我国的制造企业如何面对？笔者建议，企业先就自己的现状雄心排排队，再决定自己管理再造的策略。如：

—多数的基本应用企业，还是先老老实实地实施好面向企业内部的 ERP 系统，建立起基本的电子数据。

—而已经实施多年 MRPII 或 ERP 的集团化大企业，由于市场和企业结构的变化、当前应用软件的老化，正在面临着管理的改造和软件的更新。这些企业新软件的选型则必须有前瞻性，扩展的 ERP 可能是较稳妥的方案，当然要从国外引进软件，必须有足够大的资金和供应链再造的投入。

一不小心地引进独立的“CRM”、“SCM”等软件，用户永远不要忘记这些软件必须与自己企业内部以及供应链相关企业的其它软件相集成和协同工作。

而我国的企业软件供应商，在国外管理概念和软件飞速发展的压力下，低水平重复或强迫用户接受陈旧模式都是没有出路的，必须跳出低水平重复和空洞概念炒作的怪圈，加快对新概念软件的投入，开发出适应我国加入 WTO 以后制造企应用需求的新型软件。而真正的 CRM，特别是 SCM 在中国还是空白，正是中国制造软件行业发展的的大好时机。

第九章 从算法的角度分析 ERP、APS 与 MES 的关系

ERP 是……，APS 是……，MES 是……，这些概念早已为大家所熟知，谁也改变不了，所以不必多说。本文要做的是对它们所共有的‘生产计划’部分的对比和分析。

首先，我们我们谈论的是一个关于计算机的话题，那么就有一个最基本的问题：计算机能干什么？对这个问题似乎答案太多了，计算机本身就是一个大千世界，随便就能找出很多种答案。但是告诉你最基本的，计算机实际上只干两件事：读和写。它的所有花里胡梢的功能，最终不过是在用最笨的方式干这两件最简单的事情，速度快而已。

不信吗？仔细想一想，不必去深究它的基本原理，你可能会感觉到，无论上网、看电影听音乐、玩游戏、编写文档、操作数据库，这些的确都不过是在快速地‘读’和‘写’一些数据。但是，计算机还有‘计算’功能，这不象读写那么简单吧。比如你要算 25×96 ，计算机马上给出结果：2400。难道它能事先知道你要算这个数已经把结论保存在那儿了吗？难道这也是读和写的结果吗？没错！这个过程计算机的确只是进行了一些读写操作。不信，你找一支笔来，在纸上手算这个乘法题，然后逐步记录你的整个计算过程。

你一定先要算 $5 \times 6 = 30$ ，再算 $2 \times 6 = 12$ 、 $9 \times 5 = 45$ 、 $2 \times 9 = 18$ ，然后呢，你在纸上列出了这样四个需要错位相加的数字。

30

12

45

18

之后就是对准位置以后简单的个位加法计算： $3+2+5$ 和 $1+4+8$ ，2400 这个数字就这样算出来了。那么计算机呢，你可能会想，它应该有一些更高明的手段。告诉你，计算机也是这么算的！它同样没有办法直接计算出 25×96 ，而是把它分解成多个个位数字相乘和相加的运算，原理与你在纸上计算过程是一样的。你在计算的时候心里早就背会了一个小九九，计算机也早就把这个九九乘法表存在那里了，当要算 5×6 的时候，它就去把 30 调出来写到一个位置，算 2×6 的时候把 12 调出来写进去，然后呢， $1+1=2$ ， $2+3=5$ 这样的个位加法的所有组合也都早就存好了，直接去取结果就可以。看，只要有一个乘法表加上一个加法表，计算机就可以通过简单的读写操作计算出你的任何乘法计算。

这么看来，计算机并不比我们更高明，它用一种与我们手算相同的计算方法。而且，计算机如果有知觉，他根本不知道自己在干什么，有什么实际意义，它只知道按照一个固定的规则进行了一堆的读写操作，不会任何变通，只不过速度比我们快几百万倍，也正因为此，我们错误地感觉到它在计算，似乎比我们更聪明。

回到我们的话题，依此类推，ERP 是什么？MES 是什么？APS 又是什么？无论他们有什么功能，对企业有什么意义，不过都是计算机在读写一些数据而已。你用 ERP 把今天的订单录到计算机里再查询昨天的销售数据统计出一个报表保存到服务器上，另一台电脑读了这个报表再读 BOM 算出需要采购哪些物料和生产哪些物料，另一台电脑打印和显示出这些数据……。实际上这一切的本质不过是数据在硬盘和内存中快速的‘读’和‘写’，我们就不厌其烦地为类似这样的计算机‘读—写’过程起了无数个名字，ERP、MRP、SCM、CRM、PDM、PRM、MES 等等等等，还产生了无数的管理‘理念’和理论，并为此争论不已。

企业中那么多复杂的工作流程，那么多先进理念，其最底层的工作本质真的只是计算机简单存了一个数字再简单把它取出来吗？计算机真的只是比人快但是没有人聪明吗？先不要忙着下结论。

说到聪明，我们再回到那个乘法问题，一个一般智力的人只会用纸上手算的方法，但如果让一个‘聪明’的算术高手来计算这个题目，他很可能采取一种简化的方法，96 是 100-4，而 4×25 刚好=100，于是 $25 \times 96 = 25 \times (100 - 4) = 2500 - 100 = 2400$ 。不用繁琐的个位相乘，很快就能得出结果。你看，计算机就没有这么聪明，它必须按照自己固定的步骤走全部流程，不会随机应变，人比计算机聪明多了。

但是且慢，计算机虽然只会读写，但它有一个很大的优势，它很善于学习，记忆力很好。人只要把一种计算的方法转换成它能接受的‘读—写’方式教给它，它就变得和人一样聪明了，而且永远不会忘记，还能很快复制给其他同伴。一个一般智力的人把乘法手算方式教给计算机，计算机就拥有了乘法计算的功能。而一个更聪明的人利用复杂的条件判断语句可以把简化算法教会计算机，计算机就拥有了人的这种‘聪明’。这时候，一个智力一般的人不仅在速度上远远不如计算机，而且在方法上也显得没有计算机‘聪明’了。计算机的灵魂背后是人的思维。

这就引出了‘算法’的概念。任何人的手工乘法运算就是一种算法，聪明人的简化运算也是一种算法。计算机聪明与否，全看它所接受的算法是不是聪明的。如果计算机接受的是需要一定专业知识的专家级别的算法，那么计算机就会拥有一个专家级别的聪明，一般‘聪明人’在智力上也根本无法与之相提并论。

现在，我们评价一台计算机是不是聪明就有了一个新的标准：看人教给它的‘算法’是不是很高明。如果这种算法就是我们手工每天都在用的类似乘法运算的那种方法，虽然把这种方法教给计算机也需要很专业的知识，但是，计算机还是并不比我们更聪明，只是比我们快而已；而如果这种算法不是简单到谁都能想到的方法，例如简化乘法运算，那么这台计算机就是一台比较‘聪明’的计算机了。

算法，给了我们一个新的视角来观察 ERP。很多时候企业要求的是一个聪明人教會的拥有高

明算法的计算机，而不是一个智力一般的人用日常方法教會的计算机。但现实情况，很多 ERP 公司都只满足于低水平重复性地把日常手工的方法教會计算机，再给这种本质上是手工的方法起一个流行的名称，声称它多么高明。仔细考察，只不过是原来的手工方法和日常工作流程的电子化而已。而企业管理中需要很多真正高明的算法，所要求的‘聪明’程度远不象前面的简化乘法那么简单，需要很高深的数学知识。这时候绝大多数 ERP 公司由于自身缺乏对基础数学的深入研究和积累而无能为力，这并非单指国内 ERP 公司，国外大型 ERP 公司也并不例外。

举一个例子，计算圆周率 π ，一个中学生可能会去测量一个圆的周长和半径，这个方法无疑很笨，但是现在要求你用计算机来算，你能有什么好办法吗？我们来看一个数学家会用什么样的方法。方法 1： $(1-1/3+1/5-1/7+1/9-1/11+1/13+\dots)\times 4$ ；方法 2： $(1+1/4+1/9+1/16+1/25+\dots)\times 6$ 的开方。还有其他看起来不着边际的‘古怪’方法，例如 \arctan 级数展开法、算数几何平均值迭代法等等，但是它们的确有效。这些方法如此简单以致一个初学编程的中学生都可以开发出来。但是为什么用这么简单的似乎与圆周率毫不相干的算法可以得出 π 值？恐怕没有学通大学数学的人无法理解其中的奥妙，更无法给出证明或者灵活运用它。在这里，数学模型就起到了决定性的作用。

企业管理中在复杂的约束条件下要求寻找一个工艺流程的关键路径、寻找一个计划的最早和最迟开始时间、或者寻找目前生产计划中哪个资源最短缺的时候，运筹学、数论、图论、线性代数、模糊数学等等数学科学的最前沿理论已经取代了我们一般的直观分析。计算机解决这类问题已经不能再用简单通用的手工方法或者仅仅使用一般的小聪明全凭速度优势代替手工劳动，而是必须集成最前沿数学理论，拥有一个数学专家级别的专业算法。在整个企业管理中，无疑生产排程部分由于它的错综复杂的条件和对精确结果的需求，是最需要这种专家级别的算法的地方。

有了这些基础概念做为武器，我们可以回到关于 ERP、APS、MES 的‘正题’上来趟一趟这潭混水了。

一般说 MES 就是生产执行管理，但它在定义自己的时候喜欢把多多益善的东西都拉进来，于是侵犯了很多软件的传统领地，难免引发一场论战。MES 最乐道的是连接企业管理系统和生产控制系统，承上启下弥补了空白。但是，它声称的每个部分的功能都早有其他专业系统承担。比如资源分配和工序排程，是 APS 的领地；文件管理和控制一直属于 OA 的范畴；劳动力管理早有详细到每分钟工作记录的专业人力资源 HR 系统承担；维修管理则有企业资产管理 EAM 和专业设备—固定资产管理软件；制造流程控制和管理有 SFC(shop floor control)；质量管理有集成了更多功能的 ERP—QA/QC 模块；至于实时数据收集，有无数做硬件的 PLC、DCS 系统供应商提供与硬件设备的专业数据连接和分析系统，功能只会更强。这些且不说，就连最普通的 ERP 软件都声称拥有 MES 的绝大部分功能。看来实在是没有什么空白可以留给 MES 去弥补。实际的市场状况 MES 也一直处在多种软件的挤压下在夹缝中艰难生存，特别是它与 ERP 一直处于一种直接对抗状态。

MES 与其他系统的江湖恩怨与本文无关，本文只说 MES 与 APS 和 ERP 互相重合的生产排程这一段内容。对用户来说 MES 与 ERP、APS 概念的互相交错，软件商之间激烈争论，让人困惑。到底选择 ERP、APS、MES 有什么区别？

一般说软件之间的比较，不是看它集成的功能多不多，而是首先要看企业最需要的关键功能是不是有。如果都有，那就需要注意‘有’跟‘有’的差别很大，一个小小的区别可能就是本质的不同，要点就是要看它们的算法哪个更好。一个好的算法可以更深入地解决问题，运算速度快，很容易扩展到其他功能，修改起来方便等等。别的不说，在对比 ERP、APS 与 MES 之间的关系时，算法就起到关键作用。

在正常情况下，先进生产排程 APS 的算法比 MES 中的‘详细排程’以及‘资源分配’的算法要强很多。而 MES 中的算法比 ERP 中的 BOM/MRP 的算法也要强很多。ERP 中的 BOM/MRP 算法实在太简单，就是把平时手工的工作方式电子化，相比而言类似于开发一个乘法运算的难度。因此很多企业不需要 BOM/MRP 在 EXCELL 上也可以实现相同功能。而 MES 的排产功能肯定要强于 ERP 的生产计划功能。因为如果在这个关键核心功能上不占一定的优势，MES 就根本不会有自己的市场份额。但是，它在本质上也只是把一些手工的、经验性的‘好’方法集成进了软件，类似于简化乘法运算，虽然有很大的实用价值，但这与 APS 的以数学模型为基础的算法相差甚远。否则，MES 开发商就会把这部分拿出来单做成 APS 出售了，要知道其中的价格差异很大。（当然也不排除某些 MES 系统集成成了 APS 系统的可能，只是由于种种原因这种情况比较少见，不是本文重点。）APS 系统拥有以数学模型为基础的最强算法，可以满足更高难度、更广泛的需求。相比而言有点象用无穷级数法计算 π 值，其实现方法可能比 BOM/MRP 和 MES 还简单更容易，但它不是可以直观理解的方法，真正的难点不在于把算法变成软件，而是在于寻找和证明这个算法。因此，各 APS 公司对其核心算法和数学理论都是严格保密的，很难查到相关资料。与之对比，为了赢得客户 MES 很喜欢宣传它的算法，这是一个很大的不同。开发 APS 需要较长时间的理论积累，而高水平的开发人员数量有限，开发费用过高，因此绝大多数 ERP 公司都不自行开发 APS 系统。

当然对企业来说，算法也不是唯一的选择依据。一般说，整套系统中的某个功能不如专业系统的功能强大，但是价格低廉，与它集成在一起的功能很多，用起来方便，这是整套系统的优势所在。ERP 的生产管理部分对比 MES 和 APS 最简单但也最便宜，一般仅限于简单的物料需求计划。如果企业对生产计划要求比较低，只侧重于物流计划，就可以只选用 ERP 的生产模块。

MES 的排产功能更强一些，但是价格更高。适合于对生产计划要求不太高但是对生产过程管理比较精细的企业。目前国内自称提供 MES 系统的企业有很多，比如神州数码、上海科迅达、中江联合（北京）、南京比邻软件、台湾新能科技、艾加软件、台湾羽冠公司等。但其内容差别很大，水平良莠不齐，用户在选择的时候注意比较的关键是算法。从目前出现的趋势看，ERP 软件公司倾向于独自开发更高层次的可代替 MES 的生产排程系统，或者与 APS 系统集成，这是对独立 MES 系统生存最为不利的事情。

APS 是功能最强也是最昂贵的软件，适合于多品种、小批量、工艺流程变化很快、对生产计划有很高要求的生产型企业。由于一个 APS 项目的二次开发工作量很大，目前几乎所有 APS 开发商都只专注于生产排程功能，不搞其他相关系统。因此 APS 需要与其他软件集成在一起使用。目前，国际知名 ERP 全部都已和某个独立的 APS 系统集成在一起，常见的如 SAP 的 APO，ORACLE 的 ASCP。国内用户如果选择了国外 ERP 软件就可以考虑上它的 APS，但是加上大量的定制开发以后，其价格昂贵有可能会超过整个 ERP 的价钱。目前国内的 APS 有北京东方小吉星公司的 PRM 系统，还有一些台湾公司开发的针对特定行业的 APS 系统，如台湾鼎诚。由于价格较低，属于本土化服务，性能价格比要优于国外系统。

综上所述，我们要学会超越一个软件表面上的概念、功能、特点，而以算法作为判断的一个重要标准。这对 MES、APS、MRP II 这样的系统来说尤其重要。

第十章 APS 在定单管理中的应用

对于制造行业来说，一年到头在忙的事儿其实就是争取定单，然后按约定交货，并从中获利。无论最终的产品具体表现为什么形式，是日常消费品、家用电器也罢，还是纺织品或者汽车也罢，几乎每个制造企业的竞争优势都无外乎来自两种能力：一是及时交付产品的能力；二是能够对整个经营范围内的供货情况进行实时查询的能力，从而向客户提供最快捷、准确的信息。近期以来，企业对 APS 系统（Advanced Planning and Scheduling，先进计划与排程）的需求增长得非常快，其原因就是 APS 系统能够强有力地支持企业进行“全面定单管理”

（Total Order Management，简称 TOM），而这正是企业为了提升上述两种竞争力所必需的。概括来说，APS 的作用不仅表现为交货及时率的提高，而体现在生产周期缩短、库存成本压缩、产品组合更加合理化等多方面。

一旦企业把及时交货能力作为竞争优势之一来看待，那么定单管理处理流程的一场变革便势在必行。民航业就是一个很好的例证：在线订票系统启用之后，只要我们打个电话，订票系统就能马上做出答复，告知能否安排航班，而且航班的价格也并非一成不变，而是可以根据当时的供需情况以及某些行业规定进行实时动态的调整。

那么，制造业是不是也能借助 APS，提供令客户满意的定货服务，根据他们的需求进行安排，同时又能保证物料的排产计划能顺利的贯彻落实呢？答案是肯定的。其实民航业也存在“排产计划”，那就是座位的分配以及经济舱与一等舱在优先权上的不同等问题。民航业也根据预测，来决定究竟多少座位安排成一等舱，这和制造业中决定一个获利最大的产品组合矩阵有着异曲同工之处。

基本构架的比较：ERP 与 APS

一个典型的 ERP 系统是有一组基于共享数据库的应用程序所组成的，如图 1 所示。可见，数据库是各应用模块间沟通的桥梁和纽带。比如，对预测模块、定单录入模块以及计划模块来说，每个模块都可以独立地做出决策，输出某些指导性的结果。当定单通过定单录入模块的界面录入以后，系统会自动通过计划模块生成一个交付日期，然而这个日期只是根据生产能力、已排产计划等数据来生成的，未必能令客户满意。一旦客户对这个交付日期有异议，那么就要修改定单录入中的某些参数，重新交给计划模块来生成一个结果。这种工作可能会反复多次，直到客户满意为止。因此，无论是您，还是客户，对这种处理方法可能会有些抱怨。此外，事务信息更新所需的周期可能比较长，并不能给客户实时的响应。问题在哪里呢？关键是在于来自客户的约束条件没有被综合来考虑，这种约束条件有多种表现形式，如交货地点的要求、最少交货数量的要求、延期时间底限的要求等等。

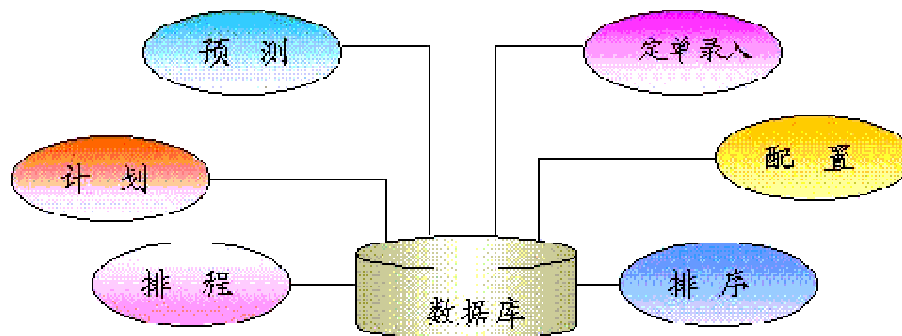


图1 基于共享数据库的应用程序包

相比之下，在一个全面集成的环境中，客户的需求可以在计划模块中得到充分考虑，模块件不仅是通过数据库来沟通，实际上定单录入模块的处理逻辑已经内含于计划与排产模块的处理逻辑中，如图2所示。

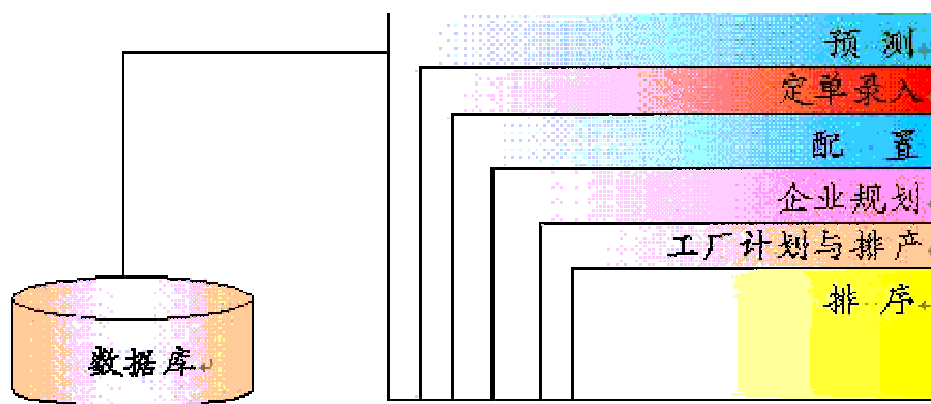


图2 “全面定单管理”中各应用程序的集成

请注意，图2的各功能模块之间是“同心”的关系，而不是一种序列的关系，这是为了强调，系统的目标是全局的优化，而不是数据本身。这时，计划模块会充分考虑种种约束规则，50%以上的定单必须按时交付；所有X、Y、Z产品必须同时发运等等。当然，技术上需要有一种机制，对种种业务规则进行描述，并且保证运用这些规则得出的处理结果是切实可行的。

制造业不仅在定货服务方面已经与民航业非常相似，而且制造业产品的实时变化也势在必行。根据定货的时间和数量，APS系统会触发相应的规则，并给出具体的报价。这种系统构架就使得APS成为整个组织的核心与关键，因此，一旦这个核心需要有数据的支持以做出智能的决策，那么所需数据就应该及时到位，耽搁不得。

有人会问：如何才能知道哪些数据是所需的呢？别忘了，上述系统构架的基本点是要确保决策系统不能因数据的缺乏而迟迟不能得出结果。TOM的作用就是利用有效的信息，及时地得出决策结果。为了做到这一点，靠的是ICP（Intelligent Client Processes，智能客户处理系统），用它来为APS提供“所需即所得”的信息。这种处理系统类似于一种智能的代理机构，通过某种机制自我保证所提供的数据恰是APS决策所需要的。下面举例来说明这种ICP是如何起作用的。假设有一笔新的定单录入到系统中来，这时系统就要对各种物料从供应商那里可以交付的时间进行查询。于是，一个专门物料采购的ICP马上就可以响应APS，

告知自己已经准备就绪。这样，APS 就能够放心地去进行计划排程的工作了，因为它知道 ICP 到时候会提供所需的信息。一旦 APS 收到 ICP 的响应信息，APS 就马上对新定单的录入做出响应，告知客户或销售人员系统已经开始工作。与此同时，APS 会把一些决策因素的优先级别实时地通知 ICP，有时交货期是最紧要的，也可能会首先考虑成本的因素。负责采购的 ICP 从而可以利用这些信息确定供应商的选择范围以及从他们那里提货的紧急程度如何。

然后，ICP 会向供应商的 ICP 发送一条信息，以寻求对应于此定单的最适宜的合作伙伴。每个供应商的 ICP 一旦获得定货数量、紧急程度、优先级别等信息，便对此笔定货的重要程度进行评估，向负责采购的 ICP 提交报价。ICP 从诸多报价中选择一家最适宜的，有时也会选择由几家供应商联合供货，即确定了究竟有谁来提供所需的物料。

通过以上的办法，APS 就可以及时地对客户做出应答，响应速度大大超过传统的处理方法。在这个过程中，APS 不必亲自等待每一个供应答复的到来，如图 3 所示。请注意，图中的处理方法与 EDI 或者一个简单的广播系统有很大的不同。每一个 ICP 的作用并不仅限于发送信息，而是自身就具有决策能力的智能单元。例如，负责采购的 ICP 可以从诸多的供应商报价当中选出最优的一个，并把决策结果通知 APS。不同的 ICP 可以负责不同的事务，比如还有进行仓库管理的 ICP、进行产品设计的 ICP 等等。客户端也可以有 ICP，负责把定单输入系统中，并与 APS 进行沟通。



图 3 ICP 在全面定单管理中的作用示意图

案例研究

随着来自国内外竞争的加剧，一家从事个人电脑生产的企业已经感受到了压力重重。在他们这个行业，产品的更新速度简直令人眼花缭乱，平均 6 个月产品就有一次大的更新，至于小的更新则是每个月都有一次。在产成品的成本中，一大部分是来自零部件。企业已经感到，只有追求更高的及时交货率、更低的库存、更短的生产周期，才能在这个行业中立足与发展。

如果零部件的成本暂且一定的话，那么尽可能地减少过期品与库存积压就成了降低成本的主要途径。具体可以通过以下几个办法来实现：1、对可能产生的过期品与库存积压进行实时的监控，以及时决定可以把哪些采购计划取消掉，把这些积压先尽可能地充分利用起来。2、寻找到一种逐渐消耗当前库存的方法，使得损失最小化。比如，有一批磁盘驱动器暂时积压，那么通过开发一种家庭适用型的产品，可能会把这些积压消耗掉。但是，以上两种办法仍然会收到需求波动的影响，那么，有没有一种动态的方法呢？下面就是一个例证。

一个销售员争从某个客户那里争取到了一份较大的定单，要求系统给出一个交货时间。显然，这笔定货是偶然的，系统中本来并没有预先的计划安排，而客户要求实时地，最好在几秒内就能提供交货期（分批发运）、价格等许多信息。但是，由于企业手头没有零部件的现货，所以只得再向供应商询问交货期和报价，继而根据自己的生产能力，决定出最后的报价。当这些信息到达客户那里时，往往就是几天以后了，如果这笔定单会涉及到多家零部件供应商、分包商的话，时间还会更长。这是因为从供应商那里得到反馈会花费相当长的时间，把这些反馈综合在一起做出决策也是一个枯燥而费时的过程。显然，这与我们上述系统的目标是不一致的，一个及时响应的系统应该向客户提供一个可靠、可行的答复，兼顾物料能否到达以及生产能否安排等许多问题，最终要让客户对这个答复感到满意，并切实地依据对客户的许诺把生产安排逐步展开。

在 APS 系统中，处理的方法与上面那种传统的方法就有很大不同。定单录入以后，APS 会向相关的 ICP 发出零部件能否到位的询问。ICP 返回所需零部件交货日期以及价格等信息，APS 调用系统存储的有关各工厂生产能力、库存情况以及已排产工作量等信息，来决定产成品的交货日期。请注意，这里强调的都是交付日期，至于采取何种运输方式（是联合快递还是卡车装运等）以及运输所需的时间，都已经留出了相应的余量。根据交货日期，负责定价的 ICP 输出针对每次发运的报价，并告知客户或销售员。

在大多数企业中，制定计划与更新计划的周期都相当长，其实会大大超过实际的生产周期，显然这是落后于市场需求的。由于市场预测是经常变动的，所以企业要想减少预测的不准确性的话，只有努力缩短计划周期（理想状态是零计划周期）。只有这样，企业才能快速响应客户，提供多种可能的建议方案，针对需求的波动进行实时动态的调整，增强企业的抵御波动的能力。

第十一章 高级计划的工艺流程网络基础理论

PRM（流程资源管理）是整套关于工艺流程网络的处理以及自动生成计划的理论体系。与以往的计划理论有本质上的不同。直接体现这套最新理论的生产管理、项目管理软件是‘小吉星 PRM1.0’。这个软件的主要基础理论如下：

1、工艺流程包含物料理论：

工艺流程中的每个工作都带有所需物料以及产出物料的信息，所有工作之间用逻辑关系连接在一起的同时，所有工序的物料信息也连接组成物料流程图。工艺流包含物流，这是一个重要的 PRM 基础理论。这个理论的提出否定了长期用于 ERP 的 BOM 图的方法，以及 JIT 的方式，以单一的工艺流程代替以前分别存在的工作流和物流。这样计算出来的物料信息同时包含了工序的全部信息，特别是有了精确的投料和产出的时间，对于生产过程控制、库存管理、企业减少资金占用意义重大。

2、工艺流程的物料投入产出和中间品理论：

每道工序的需求物料，首先从上道工序的产出物料中寻找，没有或者数量不够的，形成物料需求；每道工序的产出物料，首先满足下道工序的物料需求，没有被下道工序的物料需求所吸收的，形成物料产出。上道工序产出的被下道工序完全吸收的物料，是中间品。这样在一个流程中通过对每道工序投入产出物料的设定就很容易就定义了整个流程的物料需求和最终产出，可以满足多种需求。

3, 资源理论:

在 PRM 中, 资源必须附加在工序身上, 附属于工序。所以一个资源的出现, 一定是以某个工序为前提, 不存在独立于工序的资源。资源分成三种类别, 第一是‘约束资源’, 它的定义是: 在一个时间只能被一个工序占用的约束条件。约束资源形成了工艺流程在工作时间上的限制。比如一个约束资源已经被某个工艺流程计划所占用, 相当于限制了其他占用该资源的工艺流程的工作时间。第二是‘成本资源’, 定义是: 给工序带来成本耗费的所有‘占用’。比如一个工序对厂房的占用、租用设备的占用等等, 这种占用没有时间上的约束, 但是造成成本增加, 是为了计算工序成本专门设定。第三种很简单, 就是兼有约束资源和成本资源两种性质的资源。这才是最常见的资源, 比如一般的机器设备、人员班组等等。

无论哪种类型的资源, 给它一个‘单位时间成本’, 只要乘以预计工作时间, 就可以计算出‘预计成本’; 乘以实际时间, 得到‘实际成本’; 有了这个资源的每月财务费用以后, 除以它的总工作时间, 再乘以每道工序的工作时间, 就可以得到最接近于实际发生成本的‘分摊成本’。这种成本计算方法, 可以解决企业里常见的产产品实际成本搞不清楚的问题。

4, 逻辑关系理论

一个工艺流程体系内, 每道工序都可能与其他任何一道工序发生逻辑关系。逻辑关系分成四种类型: 结束开始、结束结束、开始结束、开始开始。最终的计划必须满足所有这些逻辑关系。一个工艺流程中的所有工序之间的逻辑关系不允许发生循环、矛盾或者逻辑冲突。

5, 强制连接理论:

工序之间除了逻辑关系以外, 还有一种特别的关系: 允许或者不允许时间间隔。如果两个工序之间不允许时间间隔, 那么他们就相当于被强制连接在一起; 如果允许时间间隔, 那么他们之间可以间隔任意时间。最终计划必须满足这个要求, 这在解决混合型企业的生产计划中经常遇到。

这个理论很重要, 因为在老的 ERP 和项目管理概念中, 流程型就是工作必须连续进行不允许有时间间隔, 比如化工、制药, 他们的技术特点是化学处理, 过程必须连续; 离散型就是允许时间间隔, 一般是物理加工, 如生产汽车先生产车身再入库等到组装时候再拿出来。在 PRM 中, 这些都简单归结为是否强制连接。

6, 最小间隔时间理论

这也属于工序之间的一种关系, 针对这种情况: 两个工序无论他们之间是何种逻辑关系, 是否强制连接, 他们的时间间隔必须保持一个最小时间数值。

这个理论与强制连接理论和逻辑关系理论组合在一起, 可以满足实际工作中的各种复杂情况, 比如在两个工序之间设定: 最短间隔时间、固定间隔时间、最长间隔时间、一定范围内的间隔时间等等。这从根本上保证了无论多么复杂的工艺流程或者工作流程, 都可以被 PRM 系统所接受和处理。

以上所有理论的一个直接结果就是否定了原来 ERP 领域里的流程型、离散型、混合型生产企业的概念, 变化为‘工序方式’与‘非工序方式’生产企业的概念, 目前的小吉星 PRM 只针对‘工序方式’, 对于非工序方式生产过程的理论和处理, 预计将在小吉星 PRM4.0 以上版本出现。

7, 最优计划理论: PRM 最终的结果是产生一个计划, 这个计划必须满足两个条件, 第一: 符合所有的限制条件, 主要是符合 1) 逻辑关系、2) 强制连接条件、3) 资源约束。第二:

这个计划必须保证在最短时间内完成整个流程。PRM 的最优计划理论保证了它所产生的计划是可行的和最优的。

8, 关键路径理论

以前的关键路径理论都是在整个流程中寻找一条时间最长的工作过程,这在 PRM 系统中由于多种逻辑关系和强制连接理论的存在已经失去意义。在 PRM 系统中对关键路径的定义是:工序时间增加将导致整个流程的最短时间延长的所有工序,以及这些工序组成的工作流程。

这个关键路径理论直接与最优计划理论联系,以最直接的方式回答了实现流程最优的关键工序,以及如何才能优化工艺流程,有很大的实用价值。

9, 资源排序理论:

一个资源如果在一个工艺流程中被引用两次或者两次以上,那么它在这个流程中就有以下两个问题需要解答:第一,在‘最优计划’的前提下,该资源的使用会不会发生冲突?也就是问:这个资源能否满足在最短时间内完成流程的要求,如果不能满足,那么解决办法有两个:1) 增加资源、2) 打破原有的最短时间,增加流程整体时间,以便让该资源能先后完成所有工作。第二:如果满足要求,按照什么顺序执行才能满足要求。这个顺序可能有很多个,用户必须能看到所有排序方案,每个排序方案将对应一种不同的最终计划,用户在所有方案中选择一个,就可以按照这个排序方案完成计划。

10,自由时间理论:

在最优计划中,每个工序包含了最早开始时间以及最迟结束时间。如果这两个时间的差大于该工序的工作时间,那么这个工序不必固定于一个特定时刻开始,而可以在一段时间内任意开始,相当于有了时间上的自由。因此称为自由时间。自由时间分为两种,第一种:如果这个工序在它的自由时间范围内任意移动,而不影响其他工序的时间参数(最早开始和最迟结束时间),那么这个自由时间就是‘绝对自由时间’。第二种:如果这个工序在它的自由时间范围内的变动,影响到其他工序的时间参数,那么它就是‘相对自由时间’。

‘相对自由时间’在实际工作中将导致计划的不确定性,它只是理论上存在的自由,是不可执行的。绝对自由时间则是简单、可执行和可操作的,而且是后面柔性排程理论的基础。因此,PRM 有一个重要的结论,绝对自由时间允许作为计划的最终结果,相对自由时间不能作为计划的最终结果。消除相对自由时间的办法,就是用户必须给出该工序在它的自由时间范围内的确定时间,相当于放弃自由时间,并计算在这种情况下其他工序的时间参数的变化。牺牲一个工序的相对自由时间,一般可以换取其他工序的绝对自由时间。用户可以根据实际需要选择不同的工序保留绝对自由时间。只有这样,才能得到一个内容明确的、可执行可操作的最终计划。

11, 工艺模型与排程理论:

一个项目或者企业生产过程,一般的工作方式都是多个流程同时存在,很少在一段时间只进行一个单独的工作流程。一个工作流程如何与其他工作流程互相影响?这是制定工作计划上的一个关键问题。在 PRM 理论中存在两种方法。第一种:把新的工艺流程与已经生成计划完毕的工艺流程合到一起,形成一个整体的大工艺流程,再对此流程进行计算,得到全新的整体计划。第二种:原有的计划不再动,新计划在老计划基础上加入,找自己的位置。

第一种的优点是做到了多个计划的整体最优,但是操作起来比较复杂。第二种方式优点是操作简单,但不保证是整体最优。一般,大型项目的计划可以采用第一种方式,企业日

常生产计划采用第二种方法。第二种方法的核心是工艺模型的下达和排产。

在 PRM 中，把工艺流程的最优计划结果保存起来就是工艺模型。工艺模型中没有具体时间，只有相对时间，也就是工序与工序之间相对的开始时间。给一个需求的时间点，把工艺模型与这个时间点上的原有计划进行对比，把所有相对时间都转化成为具体时间，这就是工序排程。工序排程必须满足以下要求：1) 资源不发生冲突、2) 排程结果距离需求时间最近。

排程结果也就是 PRM 的最终结果。在企业生产过程中，它就是生产作业计划，在一般性的计划中，它就是最终的工作计划或者行动计划。这个最终结果既体现了工艺模型中的最优计划（资源不冲突、时间最短），也体现了新计划与已有计划的资源不冲突、新计划时间最接近需求时间。而且，从这个结果上还直接体现了资源的最大能力。老的统计资源能力的方式一般是：在一段时间内能生产多少产量；而在 PRM 中，资源能力的体现方式是：完成这些工作最早在什么时间，或者最迟在什么时间。

12,可代替资源理论:

在前面的工艺模型与排程理论中，模型下达过程的排程最重要的就是新计划中的资源是否与已有计划冲突。如果冲突，新计划就必须推迟或者提前。这在只有一个同类资源的情况下是必然的。但是实际情况是：资源之间经常是可代替的，这个资源被已有计划占用了，还有其他的资源可以代替它，不用改变时间。这就是排程中的可代替资源理论。

这个理论允许一个资源建立它的‘替补资源’序列，一旦在排程中该资源被已有计划占用发生冲突了，就调用替补资源，如果替补资源还是被占用，就继续调其他的替补资源，直到最终找到一个或者找不到可以代替的资源为止。这个功能最大限度利用了一切可利用的资源保证计划时间最接近需求时间。

13, 柔性排程理论:

在前面的自由时间理论中已经介绍，工艺模型中允许绝对自由时间的存在，在排程的过程中，也按照尽量保留自由时间的原则进行排程。结果是：计划中包含自由时间。这对于排程过程来说是非常重要的。由于自由时间的存在，一个工作可以在一定范围内移动。在新计划与已有计划在资源上发生冲突的时候，PRM 首先考虑：是不是可以利用自由时间，通过在自由时间范围内移动工作来安排新的工作，并自动计算最优的移动方式。最大限度利用一切可利用的时间。这个理论与可代替资源理论一起保证了资源能力的准确性。

14, 成本管理理论:

PRM 中，每一个资源都有单位时间成本数值，根据这个数值可以很容易计算出预计成本。而且在计划的执行过程中，每个工序都有详细的时间记录，根据这个很容易计算出理论实际成本。在某个或者某些资源的财务成本统计出来以后，把这个最终实际成本除以理论实际成本，得到分摊系数，再乘以理论实际成本，就可以得到分摊后成本。一个工艺流程所有的资源都计算出分摊后成本，这个流程的总成本就可以得到，这个数值是最接近实际成本的。

15, 二级工艺流程理论:

前面说的工艺流程，都是把工序按照逻辑关系组织和连接在一起，形成一个工序网络，其中每道工序都包括了物料、时间、资源等相关信息。这样的工序网络可以称为一般工艺流程，也可以称为‘一级工艺流程’它的特点就是组成工艺流程的基本构成要素是‘工序’。但是有的时候，我们需要把这些由工序组成的‘一级工作流程’当成一个小工序一样，也按照如此方式组合起来，形成网络结构，这也是工艺流程，进行计算也可以得到计划。这样的

工艺流程的特点就是，它的组成基本要素不是工序，而是一级工艺流程，相当于把一级工艺流程组合成更高一级新的工艺流程，称为二级工艺流程。

这也相当于把一些小的计划打包，再用这些‘小计划包’形成更高一级的计划。先有大的粗略的计划，再有小的详细的计划，这是很多工作所要求的计划方式。二级工艺流程就是实现这个目的的理论。按照这种理论，工艺流程还可以有更多个级别，在 PRM 中，无论多么高级别的工艺流程，最终结论还是要得到每个具体工作的计划。在一些其他理论中，也称为工作分解。

16, 非确定性流程和概率理论:

前面介绍的所有 PRM 工艺流程，都有一个共同的特点：就是每个流程的工序组成、工序时间、逻辑关系等基础数据都是固定的，最终结局也是固定的。也就是说，只有先确定工作中的每个细节，每个结果，才能把它变成工艺流程的形式。这样的工艺流程应称为‘确定型工艺流程’。与此相对，在一些情况复杂的工作中，并不是每个细节都很精确很理想，经常会遇到其中某个细节确定不下来，只能给出一些可能性的因素，最后的结果如何也说不准。这样的工艺流程 PRM 称为‘非确定工艺流程’。

这种情况在企业的非常规生产过程、大型项目、企业日常经营活动，以及军事行动中经常出现。PRM 非确定流程理论的目的是解决这些不确定因素，以概率理论分析和解决各种复杂情况。

非确定流程理论的几个基本概念：

情况：就是有非确定事件出现的工作过程。一个工作流程中可能有多个工作都出现非确定事件，每一处就是一个‘情况’。

可能：一个情况包含有多个非确定事件，这些事件只可能实际发生其中一个。每个非确定事件都有一个发生概率，一个情况内的所有非确定事件的概率和一定为 1。每个非确定事件就是一个‘可能’。

情况间的逻辑关系：在一个流程中可能有多个‘情况’出现，有时候，一个‘情况’的发生是以另一个或者几个‘情况’为条件，这样情况之间就会形成逻辑关系。情况间逻辑关系决定了一个情况是否发生。‘情况’如果没有设定前提条件，那么它必定发生。

可能发生的结果：一种‘情况’是否发生，要根据它的前提条件和逻辑关系，以及其他情况的发生结果来确定。所有‘情况’的‘可能’都确定完毕，就出现一个有自己的发生概率的‘最终结果’。这个‘最终结果’相当于消除了所有不确定因素，结果是得到了一个‘确定型工艺流程’。但是，它只是多个‘可能发生的结果’中的一个。非确定流程理论的目的就是找出所有‘可能发生的结果’，它们的概率和一定为 1。

‘非确定工艺流程’实际上是包含了各种不确定因素的工艺流程。主要是帮助计划人员对复杂的多结局工艺流程进行分析。相当于把大量的可能性都保存在一起，一次性展示出所有可能结果，便于分析、选择和决策。

‘非确定工艺流程’功能从根本上改变了人们做‘计划’的方式。有了这个理论后，以前很难处理的不确定因素成为一种正常的状态。‘说不清工作时间’、‘过程大概如此’、‘可能是这样也可能是那样’，成为 PRM 理论中的标准数据和规范的计划方式，以前那种一切都固定不变的计划反而成为一种特殊情况。因此它扩展了科学决策的范围，大大增强了管理者对工作流程的整体上的把握、加强了对意外情况的处理和分析能力、从根本上改变了计划管理的基本思想。

17, 计划生成的时间、数量、品种原则

有了前面的所有这些基本功能，计划的生成方式就比较简单了。企业生产管理中，用

户只要简单给出需要生产的产品品种、需要数量和需要时间，剩下的就是计算机根据流程和模型进行计算，给出详细的作业计划、物料需求计划、出入库计划、成本计划等所有相关计划。对于项目管理来说，只要给定开始或者结束时间、选定工作流程，就可以得到全部工作计划。按照这个理论生成计划的方式非常简单。

18, 进度控制和报警理论:

PRM 除了保证计划的最优和可行以外，还对计划的执行过程有一套严格的控制理论。主要内容是：1) 计划执行过程的每个当前状态都随时反馈并与主计划进行对比。2) 对实际执行的进度是否可能造成时间延迟按照一套计算公式进行判断，如果有可能造成延迟预先报警。3) 当前计划执行的投入物料、资源运行、成本发生等数据与计划的对比需要建立相关的工作制度，责任制度。管理与计划紧密结合，以实现计划执行过程的最佳控制。

19, 资源负荷理论

企业里多数资源的特性是独占性，一个工序一旦开始试用这个资源，它就不能再被其他工序所使用，但是有些资源是可以同时被多个工序占用，每个工序占用资源的一定负荷，只要资源总的负荷不超过标准即可。比如一个锅炉可以为 5 台设备供气，一个工人同时照管 6 条生产线等。在这种情况下，小吉星 PRM 为每个工序的每个资源设定一个负荷系数。在排产的时候需要满足：1) 一个资源在一个时间总负荷系数不大于最高限度。2) 均衡生产，最大限度分摊资源负荷，延长资源使用时间。3) 最大限度利用资源负荷，完成生产目标。

20, 半成品供应理论

一个工艺流程中有些半成品或者原材料有两种方式获得：1) 自己生产 2) 库存领料。生产排产的时候自动选择的原则是：资源能力允许自行生产的，安排生产，不允许自行生产的，直接库存领料。这种方式可以保证企业最大限度利用现有资源，提高生产效率。

21,可代替模型理论

一个模型在某个时间无法下达，PRM 系统有三种处理方式，第一，直接给出这个时间无法下达的信息后停止运算。第二：下达时间向后或者向前移动直到找到可行时间。第三：就是换成可代替模型下达。一个模型可以有多个可代替模型，在某个时间点上依次利用这些可代替模型试验下达，直到寻找到一个可行的模型。如果无法找到，再自动向前向后移动时间或者结束。这种方式可以很方便地让企业最大限度在一个时间范围内寻找可行的生产方案。

22,扰动因素理论

一般说计划不可能是一成不变的，扰动因素就是导致已经下达的计划发生变化的各种因素。可能是生产上的意外情况导致工序延期，也可能是物料供应的变化、市场需求紧急变化等等。原来很复杂的计划遇到这些随时发生的复杂扰动因素以后，如何作出反应才能满足企业对灵活改变的要求，这是所有计算机生产排程必须面对的难点问题。PRM 对此的处理方式是两个：第一，把受到扰动影响的所有计划删除以后重新下达，生成符合新条件的新计划。这个方法虽然是最原始最笨的做法，但是只要速度足够快，就可以以最优方式处理所有类型的扰动因素。PRM 的强大功能和极快的计算速度为这个功能提供了保证。第二：通过 PRM 系统的强大计算能力计算找到一个扰动所产生的所有影响，也就是它所波及的计划范围，提供给人做为辅助决策的依据。也就是在 PRM 中纳入了人的因素，充分发挥计算机的计算能力和人的判断能力的各自长处，结合起来应对扰动因素。

总结：以上理论有些从单个来说并非独创，但是把这些理论综合在一起形成一个完整的理论体系，并可以深入解决实际问题，可以说是前所未有的创举。更重要的是，这个理论并非单独的管理理论，因为如果不依赖最前沿的数学成就和高级计算机算法，这套理论就是空中楼阁，没有任何实际意义。所以这是一套综合了最新的管理学研究成果、最前沿数学成就、最高级计算机算法的‘计算机—管理’理论。是目前中国人在项目管理软件、ERP 生产管理软件领域所达到的最高水平。它的产生必将改变项目管理和企业管理未来的发展方向。可以说在企业管理软件、项目管理软件最高层的核心技术方面大大缩短了中国与世界最先进水平的差距。

第十二章 用饭局的例子说明：MRP 还是 APS

一天中午，老张突然回到家里对妻子说：“亲爱的老婆，晚上几个同事要来家里吃饭。这次我专门回家来要用最先进的 ERP 理念来完成咱家的请客过程了，要把这次宴会搞成一次 ERP 家宴。你看，我已经用 CRM 客户关系管理模块全面管理与这几个同事的关系往来了。这次他们确定要来吃饭的相关信息，我已经放到了销售管理中的合同管理和订单管理中，而且已经自动传递相关数据到应收帐模块、财务模块、还有主生产计划模块中，根据客人的意向和要求，确定了最后做什么菜，也就是主生产计划都有了”。

妻子：“那太好了，家里就是你的生产车间了，我是车间主任，你的主生产计划里是哪几样菜，什么时候做？”

老张：“客人们 7 点左右就来了，最好 8 点钟能吃完。菜有：凉菜拼盘、糖醋里脊、西湖醋鱼、宫保鸡丁、清蒸河蟹、锅巴肉片，这些都是你的拿手菜，你看可以吗？”妻子：“没问题，看我的吧”

老张：我已经把这些菜的做法存入到 BOM 中了，下一步，让我来用 BOM 展开的方法，看看都需要什么菜。具体的物料有：鲤鱼一条、螃蟹一斤、瘦肉 1 斤、鸡肉半斤、锅巴一袋、白酒 1 瓶、番茄 5 个、鸡蛋 10 个、调料若干，看，这就是物料需求计划了。我已经把咱家冰箱里的东西都存入 ERP 库存模块了，让我看看库存还有多少…….还需要再买鱼、螃蟹、6 个鸡蛋、5 个西红柿、一袋盐、锅巴等等。

老张把这些数据记录到采购模块中，开始进行供应商对比查询，说：鱼应该去自由市场买，螃蟹东超市的最便宜、鸡蛋是街对面小卖部的最好，而且按照经济批量鸡蛋一次买 12 个最好、锅巴和盐最少一袋、鱼买一斤半一条的最好……看，采购计划已经有了，就照这个去买吧。

妻子立即出发，很快把需要的东西买回来了。老张把价格数量一一进行记录，做了质检记录合格后办理了入库——放入冰箱。老张再把花的多少钱一笔一笔都做帐存入财务模块，马上统计出这次采购金额、物料成本的信息。

现在的时间只是下午 3 点多，ERP 家宴一切准备齐全，工作效率很高。老张骄傲地说，看，ERP 的威力显示出来了吧？现在的工作流程是按照最先进的管理理念，最科学最合理的，以

前总是或者多买了剩下，或者就短缺，现在完全按照需求采购，真是大不一样啦。妻子也说，ERP 就是比手工好，以前帐总是乱的，现在清楚多了。

但是，事情还没有完呢，下一步该怎么办呢？客人们 7 点钟来，几点开始炒菜？早了菜凉了，晚了时间来不及。妻子问老张，老张说，这相当于生产调度，这是你车间具体执行的事情呀，你以前做菜怎么个做法，哪个工作应该提前多长时间开始，哪个是瓶颈资源，你应该有经验吧。但是妻子有点发蒙，以前从没有被要求在这么短时间做这么多的菜。各个做菜工序全加在一起总共需要 2 个多小时。仔细算了算，家里有三个煤气灶，正好可以同时开火坐上三个锅：炸锅、蒸锅、炒锅。妻子一人同时应付三个锅没问题，每道菜准备原料的过程还另外需要一个人，老张可以担任，这样，很多工作都可以同时做，应该用比 2 个小时短得多的时间完成。但是，这么多工作，从何入手呢？是一道一道菜做？还是两道一起做？能三道菜一起做吗？这道菜的关键资源是蒸锅，另一道是炸锅，好几个菜搀在一起是怎么回事谁知道？每道工序的提前期到底有哪些？关键的路径是什么？老张对此也说不出所以然。

这时候有同事打电话过来了，问几点能吃完，大家再去打保龄。正为此事发愁的老张含糊说 1 个多小时吧。这不是给了客户一个交货承诺了吗？从开始做饭到全部做完，1 个小时完的了吗？妻子更着急了。这时候女儿又打来电话，问晚上能不能请几个同学来吃饭，只要做两个菜？这时候还来填乱，不是更麻烦了吗。妻子说：不行不行，你们出去吃吧！

为了保证工期，避免延期违约的麻烦，妻子决定，立即动手开始干……。

几天以后，老张开始总结这次 ERP 宴会行动的得失。总结出来的问题主要有以下：

第一：螃蟹和鱼买的早了，本来是活着的，结果到了做菜的时候已死了 1 个多小时，味道不好了。

第二：有几个热菜早早做出了，等到客人来了上的却是凉菜。

第三：还有的菜上得太晚了，为了等最后一道菜大家空坐着半天，工序明显安排不合理。连最后去打球也耽误了。

总之，在前面所有管理环节都顺畅的情况下，最后的生产过程不如人意。

但是妻子很委屈。那么多菜，本来一道一道做要用 2 个多小时，最后给压缩成 1 个半小时做完，已经不容易了，菜上得晚了，但是厨房里已经一直在忙呢；想早吃完，只能早做，菜就难免会凉了；鱼和螃蟹死了，你的采购计划哪里有点买鱼和买螃蟹的提示。你的 ERP 家宴原定 1 小时，可为什么 ERP 不告诉你 1 个小时根本完不成？

老张无言以对，也开始考虑这个事儿。他知道，这些问题从本质上是作为 ERP 生产管理核心的 MRP 的缺陷所导致的必然。MRP 本身是针对物料需求计划的，根本得不出满足有限资源和多种约束条件下的生产作业计划。没有作业计划，哪来精确时间的物料需求计划？这可怎么办呢，看来只能对 MRP 反其道而行之，那就是 APS 了。有这么个软件吗，还真的有这个软件，叫流程资源管理，那就试试看吧。

终于，老张又请到另外几位同事，经过确认，还是跟上次一样的菜和时间。但这回 APS 家宴

与上次的 MRP 家宴有什么不一样吗？老张与妻子一起用 APS 来研究如何安排这顿晚宴。

老张首先把做每道菜的整个过程，用什么资源、物料、多长时间、逻辑关系等等都录入到 APS 系统中，再点击一个不起眼的‘计算’按钮，先看看能出现什么吧。计算机不停地眨着眼睛在计算，有一分钟的时间，这倒是很新鲜，它在算什么呢？妻子好奇地盯着它。结果终于出来了，那是一个详细的做饭的计划列表，还配有甘特图。仔细一看，两个人都大吃一惊，APS 系统明确回答：只要 42 分钟就能完成全部的做饭工作。而且精确指出鱼一条应该在 7:20:00 的时候用、螃蟹一斤应该在 7:40:00 用，其他各色物料各是多少，几点几分的时候需要，每道工序几点开始几点结束，中间有多少自由时间，哪些工序是关键工序。

这可能吗？两个人对着甘特图使劲检查，先看各道菜的工序安排对不对，没错，就连凉菜必须放一段时间才能装盘、里脊必须炸完 2 分钟以后才开始炒糖醋里脊、炸完锅巴必须立即炒锅巴肉片这样的细节都分毫不差。那么是不是有资源在冲突呀，两人依次检查配菜、蒸锅、炸锅、炒锅，每个资源都是在 42 分钟的时间里安排的十分紧凑的工作，但都是干完一件工序再开始干另外一件，环环相扣，丝毫不乱。这才是真正的‘资源计划’呀。两个人感叹，早知道有这么短时间完成的方法上次何至如此！

老张很快又算出了另外几种 42 分钟完成的方法，正在对比哪种更好。这时候又有同事打电话过来问时间，老张爽快地回答：一个小时搞定！女儿也打电话，问晚上加个菜：请同学吃炸丸子汤，成吗？这可是一道很难做的菜呀，先捏丸子，再炸，最后做汤，几个工序加起来时间要半个多小时。老张告诉不要急，在 APS 里加入这个菜算了一下。很快得出结果：在某个适当的时间开始做这道菜，充分利用资源的空闲，整个流程只增加了 11 分钟。没问题，来吧！看，原来赶跑的客户又回来了。

老张突然想到，我现在鱼和螃蟹的需求时间已经精确到秒了。这回我可以直接要求鲜货供应商给我按时送上门，他们有这个服务内容，我就不自己去采购了，到时候新鲜的鱼和螃蟹按时来了直接进厨房，根本不占库存，连冰箱都不需要用了。也就是说我把自己的生产计划与外部物流完全集成，这不就是形成 SCM 供应链了吗。看来做到 SCM 的前提是你必须自己先有精确的生产作业计划，要不外部物流再准时也没用。而把我的产品提供给客户的时间也是精确到秒，可以满足他们同样的要求。这样整条链上的各个环节不就能同时达到高效生产，最大限度降低库存了吗。原本很高深的 SCM 现在看来如此简单。

第二天，老张的同事们都在谈论昨天的宴会，重点不是菜的味道如何，而是老张和妻子神奇的做饭过程，三个锅同时开火，几道菜一起开工，一边炒一边蒸一边炸，眼见两人有条不紊不慌不忙，一样样地放下这件拿起那件，于是一道道菜不断上桌，象变魔术一样，实在厉害。吃过第一次请客的人都奇怪，同样的菜，这次为什么会如此不同？

老张这回对于 ERP 的理解有了更深刻的认识，ERP 关键就是要对‘资源’进行‘计划’，象 APS 做的家宴计划这种方式，明确给出每个资源应该怎么去工作，发挥出最大效率，同时满足多种约束条件。而不是原来的物料需求数量，或者是手工作业计划。根据自己的体会，老张在纸上写下了这样一个公式：

$MRP + MIS(\text{进销存财务}) = MRP II$

$APS + MIS(\text{进销存财务}) = ERP$

这大概就是 MRP 与 APS 最大的区别。

附：宴会模型菜谱

1) 凉菜拼盘，包括炸排骨、蒸腊肉、煮花生米。2) 糖醋里脊 3) 宫保鸡丁 4) 西湖醋鱼 5) 清蒸河蟹 6) 锅巴肉片。做菜的几个要点是，凉菜必须放一段时间才能装盘。做糖醋里脊炸的时候，炸完里脊 2 分钟开始炒里脊，时间长了短了口味都会不好。锅巴肉片的要点是炸完锅巴必须立即下锅炒菜，不允许放置。

所有菜的主要工序需要的资源有：一个配菜员、一个炒锅、一个蒸锅、一个炸锅，分别对应配菜、炒、蒸、炸这几道工序。所有这些菜的做法如下：

菜名	工序	逻辑关系	时间（分钟）	资源
凉菜拼盘 A	蒸腊肉	10 分钟以后才能装盘	6	蒸锅
	炸排骨	5 分钟后才能装盘	8	炸锅
	煮花生	15 分钟后才能装盘	10	炒锅
	凉菜装盘		5	配菜
糖醋里脊 B	炸里脊	必须炸完后 2 分钟开始炒里脊	8	炸锅
	炒里脊		5	炒锅
	配菜	配菜完毕才能炸里脊	5	配菜
西湖醋鱼 C	西湖醋鱼—炸鱼	炸完鱼后才能蒸鱼	7	炸锅
	西湖醋鱼—配菜	配菜完后才能蒸鱼	5	配菜
	西湖醋鱼—蒸鱼		10	蒸锅
宫保鸡丁 D	宫保鸡丁—配菜	配菜完才能炸鸡丁	10	配菜
	宫保鸡丁—炸鸡丁	炸完才能炒鸡丁	5	炸锅
	炒宫保鸡丁		12	炒锅
清蒸河蟹 E	清蒸河蟹—蒸蟹	蒸完才能配菜	15	蒸锅
	清蒸河蟹—配菜		5	配菜
锅巴肉片 F	锅巴肉片—配菜	配菜完毕才能蒸锅巴，才能炸肉	5	配菜
	锅巴肉片—蒸锅巴	蒸完才能炒菜	8	蒸锅
	锅巴肉片—炸肉	炸完肉以后必须立即开始炒菜	5	炸锅
	锅巴肉片—炒菜		8	炒锅

还是这个模型，再增加一道菜。

（丸子汤 F）

配菜，方法是配菜员一边做丸子一边下炸锅炸丸子，从配菜开始以后 2 分钟准时开始炸丸子，配菜的时间 8 分钟，用配菜员。

炸丸子，炸完丸子才能做汤，炸丸子时间 13 分钟，用炸锅

做汤，炸完丸子完成以后 10 分钟之内必须开始做汤，不能超过 10 分钟，做汤时间 10 分钟。用炒锅。

第十三章 APS 高级计划与排程实施实例

-----台湾液晶产业实施 APS 的案例

本篇文章将以鼎诚信息曾经参与奇美电子 FAB I APS 系统导入、友达光电 APS 系统雏形建立及中华映管 APS 导入规划等经验,说明目前 TFT-LCD 产业导入与建构 APS 系统的需求。本篇文章共分为三部份说明,首先将说明 TFT-LCD 整体产业背景,续而说明 TFT-LCD 产业的之制程限制特性,最后导出 TFT-LCD 产业规划流程与 APS 系统的需求。

一、 TFT-LCD 产业背景:

被誉为国内『第二半导体产业』之液晶产业,从最早敬业电子自美国引入 TN-LCD 技术,激活台湾第一条 TN-LCD 液晶显示器生产线开始,至 1997 年中华映管自日本三菱电机集团转投资公司 ADI 获取 TFT-LCD 量产技术正式迈入大尺寸 TFT-LCD 面板生产,1999 年间建构七条生产线,到 2002 年国内 TFT-LCD 的产值达到 67 亿美元,成为全球第二大 TFT-LCD 生产国。经济部的『两兆双星产业发展计画』更为 TFT-LCD 产业订下于 2006 年产值达到 1.3 兆元,超越南韩成为全球第一大 TFT-LCD 显示器供应国的目标。TFT-LCD 产业无疑将继续半导体产业成为政府极力扶植的明星产业。

1、 技术移转

TFT-LCD 产业为一资本与技术密集的产业,其结合了前段 Array 半导体制程技术,中段 Cell 液晶制程技术与后段 Module 组装制程技术。而国内主要 TFT-LCD 制造技术均移转于日本厂商,表一为国内主要 TFT-LCD 制造厂商及其技术移转对象与导入技术形态。

表一：国内主要 TFT-LCD 制造厂商及其技术移转对象与导入技术形态

国内厂商	技术移转对象	导入技术形态
中华映管	ADI(Advance display Inc.)	建厂、生产设计、整厂技术
奇美电子	FujitsuIBM Japan	MVA (Multi-Domain Vertical) 合资公司
广辉电子	Sharp	整厂技术
友达光电(原达碁科技)	IBM Japan Fujitsu	生产、设计技术 MVA
友达光电(原联友光电)	Matsushita	建厂、生产、设计、整厂技术
瀚宇彩晶	Toshiba	建厂、生产、设计、整厂技术
统宝光电	Sanyo	量产技术

资料来源：王淑珍 台湾迈向液晶王国之秘

2、 物料需求

另就 TFT-LCD 制造成本结构部份,材料成本占总成本高达 51% (如表二)也是一项 TFT-LCD 产业特性。其中彩色滤光片、偏光板、驱动 IC 则是目前 TFT-LCD 产业的关键零组件。虽然国内 TFT-LCD 材料厂商在关键零组件的供应能力近年来已有长足的增长,但除材料制造技术主要仍来自日本厂商外,就产业规模上与日本厂商更是有段差距。在国内厂商纷纷投入更高世代 TFT-LCD 技术生产之际,预计面板未来将会有供过求的现象,故面对的将

是面板价格降低，获利空间缩小的市场。因此如何降低整体制造成本将是获利与否的关键所在。由于关键制造技术与零组件仍大部份掌握在国外厂商手中，国内厂商降低整体制造成本的方法除了将关键零组件内制化或与材料供货商策略合作以降低材料成本外，另如何提升生产良率与提高设备使用率等提高制造能力的方法，亦是降低整体制造成本，提升企业竞争力的不二法门。

表二：TFT-LCD 制造成本结构

成本项目	所占比例	成本项目	所占比例
彩色滤光片	13%	靶材	1%
偏光板	6%	建物设备摊提	13%
其它 Cell 工程材料	2%	人事成本	6%
驱动 IC	10%	其它	16%
背光模块	8%	销售经费	8%
其它模块材料	9%	R & D + 权利金	6%
玻璃	2%		

资料来源：工业技术研究院

3. 制造信息系统

制造信息系统的辅助将是企业是否发挥其制造能力的关键，在此所指之制造信息系统包括：企业资源规划系统（ERP）、制造执行系统（MES）及先进规划与排程系统（APS）。若能发挥与整合上述制造信息系统的功能，企业制造能力将大为的提升。以鼎诚信息曾经参与奇美电子 FAB I APS 系统导入、友达光电 APS 系统雏形建立及中华映管 APS 导入规划的经验得知，目前国内 TFT-LCD 厂商在 ERP 与 MES 等系统的导入与建构上均已有成果，然而在执行生产规划与供应链规划之 APS 系统的导入之成功案例仍屈指可数。目前此部份规划工作主要还是以人工规划为主。以人工为主之排程除了无法精确考 TFT-LCD 复杂产能限制外，其费时费力的规划方式更是无法应付未来会更复杂之制程特性与供应链的规划需求。

二， TFT-LCD 制程特性

TFT-LCD 之生产制造技术结合半导体产业、化学材料产业及光电产业之制造技术及装配产业技术，主要可分为：列阵(Array)制程(或 TFT)、面板(Cell)组立制程(或 LCD)和模块组装(Module)制程(或 LCM)。各制程除了不同之生产规划目标特性外，同时有复杂的产能与物料限制(Constraint)。

1, TFT-LCD 制程

图一为 TFT-LCD 制程，列阵制造技术主要是将玻璃基板透过类似半导体制造技术（镀膜、曝光、显影、蚀刻等技术）在基板上形成为数众多的晶体管，由于国内半导体制作技术的成熟，国内在列阵制程良率均高。组立制造技术主要是将列阵制程完成的基板与彩色滤光片基板分别作配向处理，并透过检准机械对位压合，再进行框胶烧成，切割成预定尺寸面板，再注入液晶，并将偏光板贴附，并做检测工作，此制程难度甚高（亦是国内厂商自日本

技术移转主要部份），是 LCD 面板制作程序中良率最低的一环。最后则是面板模块制作，主要是将切割完成的面板与驱动 IC、电路板、背光模块等外部零组件组立起来成为 LCM，之后再做最后的检查。由于 LCM 制程并不复杂，国内多年来亦已累积相关的装配技术，良率应可达高水平的要求。

2, TFT-LCD 制程规划目标

如上所述在 TFT-LCD 制程中包含了半导体制程、液晶制程与装配制程，由于各阶段之制程特性不同，故各制程之规划目标亦会有差异。就 TFT-LCD 各制程之规划目标说明如下：

- **Array 制程规划目标**

考虑回流生产与共享机台的特性，使各设备对各产品的生产能平稳化，以达到各制程 WIP 的平衡 (balance)，进而降低制造周期时间 (cycle time)，增加产出。同时在满足最终产品需求的前提下达到瓶颈资源使用率的最大化。

- **Cell 制程规划目标**

考虑彩色滤光片、列阵制程的供货状况以及满足最终产品需求的前提下 (上下阶制程供需平衡)，尽可能提高各设备的资源使用率。

- **Module 制程规划目标**

配置各等级的产品给顾客，尽可能满足顾客的需求 (Demand Allocation)。

3, TFT-LCD 制程限制特性

除上述 TFT-LCD 各制程不同之规划目标外，于 TFT-LCD 各制程中亦存有不同之限制 (Constraint) 特性，归纳如下：

- **制程分级产出特性**

列阵的投入单位都是以玻璃基板 (substrate) 的片数计算，依最终面板的尺寸不同可制作成不同的面板片数 (panel)。在列阵制程结束后会依每片玻璃基板上面板的良品数进行分级。组立制程最后会依其品质的优劣对组立制程的完成品分级，等级的不同会影响下一制程的良率，下一制程 (模块组装制程) 所使用的组立完成品等级 (品质) 越高其良率就越高。模块组装制程最后一样会依品质的优劣分级，不同顾客对相同产品所能接受的等级不同。

- **时间相依性之良率与分级率特性**

制程有良率问题，且因制程技术的不断进步其良率随着时间的不同而改变。而上述之各制程之分级率亦有相同的特性。

- **时间相依性产能特性**

产能 (机台数量、工具数量、制程能力)，于不同规划周期内产能会有变更。

- **制程相依性整置时间**

机台之换线 (不同产品转换) 时间与前后连续之制程相关，非固定值。

- **特殊设备机台群组特性**

不同产品使用的机台不尽相同，各产品会有各自使用之设备群组。

- **前后制程绑机台限制特性**

后制程加工之机台会受限于前制程加工之机台。

- **等候时间限制特性**
于特定制程间等候时间之限制，前制程完成后需于特定等候时间限制内(外)进入后制程，超过此一时限会产生品质问题，需进行重工损耗产能；
- **个别/群组物料替代特性**
物料间彼此具有替代性。除个别替代外，亦会有群组替代。
- **经济制造批量特性**
具经济制造批量限制，当生产批量达经济制造批量时才可开始加工。
- **群组换线特性**
换线是以作业群组为主；亦换线是在不同作业群组间的转换，而非个别作业的转换。
- **连批生产特性**
由于换线时间很长，故需在满足需求下尽量减少换线的次数以避免产能的浪费。
- **在制品（WIP）数量上限特性**
由于实体暂存区（buffer）的空间上限，故某些制程前之 WIP 会有数量上限限制。
- **投入限制特性**
针对不同产品特性，每天会有投入量上限。

三、TFT-LCD 产业之 APS 系统需求

由于 TFT-LCD 在进行生产规划时具有上下游同步规划的特性，且为资本及技术密集性产业，对生产规划人员的挑战莫过于如何满足市场需求的前提，并受限于各厂不同的限制下，同步协调 TFT,LCD,LCM 的排程计划，以提升各厂的产能利用率，达成各厂各自及整体的生产目标。综观上述的特色与需求，在以往使用人力进行生产规划与排程的机置，在时效性上可能无法立即反应顾客所提出的需求与询问。因此，TFT-LCD 产业需有一先进的反应机置，以协助业务人员与生管人员快速响应顾客需求。

1、TFT-LCD 生产规划流程

鼎诚信息将 TFT-LCD 产业之生产规划流程主要分成四个阶段(如图二所示)：(1) 需求规划，(2) 供给规划，(3) 产能平衡规划及 (4) 绩效分析阶段。需求规划是由业务部门根据订单及销售预测提出最终产品的净需求，此部份大多于 ERP 系统的需求规划模块或供应链规划模块 (SCM) 进行规划。生产规划部门依需求规划的结果及各制程的在制品和库存，计算各制程的净投入量。此时求得的净投入量并未考量实际现场的产能，非真正能执行的计划，需经由 APS 系统考量制程特性，衡量现场所有资源的产能负荷及相关限制，同时平衡 TFT-LCD 厂内各制程的供给与需求，产生实际可行的生产计划，最后再进行绩效分析，评核此次规划的绩效。

2、TFT-LCD 产业之 APS 系统需求

综合 TFT-LCD 产业与制程特性与生产规划流程，兹将 TFT-LCD 产业之 APS 系统主要需求归纳如下：

- 一、在需求规划(demand planning)阶段，必须根据市场需求，考虑各阶制程的良率及分级率，以规划出各阶制程的时程化需求 (time-phased demand)。
- 二、为达到各阶制程的生产目标(实时程化需求)，在供给规划(supply planning)阶段，必须考虑各阶制程的良率/分级率及已生产未分配量(e.g., WIP, Bank)，以规划出各阶制程的时程化投入量(即制令)。
- 三、由于供给规划阶段并未考虑各阶生产现场的实际产能、生产限制与派工条件等制程特性，尚须经详细的生产排程规划，以规划出实际可行且可作为生产现场派工依据的日生产计划 (daily production plan)。

四、以实际可行且可作为生产现场派工依据的日生产计划，进行需求分配(demand allocation)，已达到订单满足(order fulfillment)的目标。

五、各阶制程规划时均有其特殊生产限制与派工条件考量。

四、 结论

由于 TFT-LCD 产业的产业特性及制程特性异于其它产业，以及项目的导入范围亦有所差异，造成其对 APS 系统的特殊需求，以致于 APS 系统无法以套装系统的方式进行导入。换言之，一个 APS 项目的导入无法与一般单纯信息系统导入相提并论。此外，APS 系统的导入涵盖企业作业型态、人员观念之转变、部门之沟通及信息科技之运用等复杂因素，因此一个完整之项目导入方法、人员之教育训练与专业的项目管理是项目成功的重要关键。碍于篇幅限制，继本文章之后将另辟一篇专文说明鼎诚信息之 TFT-LCD 产业项目导入手法、项目进行步骤及项目成功关键因素等。

继前文产业背景、制程特色、生产规划目标与 APS 系统需求，本文将接续说明鼎诚信息实际导入奇美电子 FAB I APS 系统之导入过程、系统架构与特色、导入效益及项目成功关键因素等。

奇美电子简介

一、 主要产品别及销售对象

奇美电子为世界 TFT-LCD (薄膜晶体管液晶显示器)领导厂商，产品以显示器、笔记型计算机用面板、液晶电视用面板为主。其亦是台湾 TFT-LCD 厂商中唯一自建彩色滤光片厂厂商。

二、 公司规模

1998 年 8 月成立，目前有 3.5 代厂，4 代厂各一座，5 代厂预计于 2003 年第四季可顺利量产。员工约 5000 人。

三、 营运规模

2002 年营业额 40,703,623 (新台币 仟元)。

四、 导入前 E 化的成效及能力

生产规划人员结合规划经验利用 Excel 自行开发生产规划系统，辅助进行生产规划工作。

导入过程：

奇美电子 FAB I APS 系统之导入过程可分为四个阶段，各阶段之工作内容说明如下：

一、 现况与需求分析

分析奇美电子 FAB I 以人工为主之规划流程、现场排程限制及确认 APS 系统的基本功能与报表需求。

二、 功能开发与功能测试

针对上一阶段所提出之基本功能需求，进行功能及报表的开发与测试。本阶段所开发之功能/报表均与使用者作需求的确认且经严格的功能测试完成。

三、 情节测试与功能调整

以上一阶段所开发之基本功能为基础，虚拟需求及现场资料，进行各厂初步之排程测试。期间并针对其特殊之排程需求，进行进阶排程功能的开发与完成测试。

四、 上线测试与功能调整

以上一阶段为基础，以实际需求及现场资料，进行各厂之排程测试与四厂（TFT、CF、LCD 及 LCM）整合测试。并请生产控制（PC）人员验证排程结果之合理性与正确性。最后并通过与现场实际排程结果资料（Actual）进行验证比较测试。

系统架构与特色

本小节说明奇美电子 FAB I APS 系统之系统架构与系统特色。

1. 需求规划与总需求分配计划

结合配销需求规划及企业本身的市场预测，依据产品的存货水准及策略，将需求予以时程化，概略决定每一规划时程所需出货的数量。（此作业目前是结合奇美电子内部其它系统完成）。

2. 主排程规划

主要承接需求规划所规划之最终产品的预计净需求量，考量各厂之良率、在制品与库存量，求得各制程各时程的净投片量。

3. 生产排程与产出平衡规划

承接主排程规划所规划出之各制程的净投入量，并考量各制程详细之生产特性、限制与派工法则下，产生各制程真正可行的生产计划；同时藉由上下游的产出平衡规划达到各制程间产出的平衡。

4. 物料规划

主要是以产能规划的结果，产生各制程物料需求时程计划。

二、 系统特色

1. 完整考虑现场实际限制下之生产规划

奇美电子 APS 系统于导入过程中鼎诚顾问与奇美使用者即充份讨论各项生产限制，并于系统建模或功能与法则的开发中将生产限制完整纳入考量。

2. 供需平衡之生产规划

奇美电子 APS 系统系由最终产品需求导出各制程之需求，并考量各制程在其生产特性与产能限制下的供给能力，进行生产规划工作，以求供给与需求平衡。

3. 弹性规划范围

TFT-LCD 的生产包括 Array(TFT)、Cell(LCD)及 Module(LCM)等各段制程，而生产规划工作即规划各段制程每日的投入量与产出量。通常各段制程可能在不同厂生产，且其规划工作亦由不同规划人员负责。奇美电子 APS 系统即提供可单独规划亦或同时整合规划各段制程之日投入与产出量的弹性。

4. 同步规划

由于 TFT-LCD 各段制程属于上、下游的生产关系，亦即下游（LCD、LCM）的生产受限于上游（TFT、LCD）的产出。故进行生产规划时必须同步协调各段制程的投入与产出，以求规划的一致性。奇美电子 APS 系统即提供同步规划的功能。

5. 弹性物料限制

奇美电子 APS 系统针对物料限制有 Hard 或 Soft 两种设定。若将其设为 Hard 则代表生产

规划时需将物料的库存与进料时程纳入考量并视其为必要的限制；反之若将其设为 **Soft** 则无须考量物料之库存与进料时程限制。使用者可根据物料取得之前置时间或进料时程可掌握的程度，判断其关键性，弹性设定物料限制。

导入效益

奇美电子导入 **APS** 系统之导入效益，概括为下列五点：

- 一、以生产排程系统替代原有之人工排程，藉以提高排程结果的时效性与正确性。
- 二、藉由系统良好的排程规划，提高产出，降低整体存货水准与成本，提高公司之竞争力。
- 三、降低人力负担，使规划人员能致力于产销协调，提供内部准确且一致的生产规划，降低产销失误与不正确性。
- 四、协助生产规划部门达到妥善运用四个厂之有效资源，并快速规划出能满足市场需求的生产排程，以面对竞争激烈的市场。
- 五、利用 **APS** 系统进行规划，让生产规划流程、产能信息、生产信息等完全透明化，相关人员可以随时取得相同且最新生产信息以取得规划结果的共识。

项目成功关键因素

归纳奇美电子 **FAB I** 导入 **APS** 系统项目之成功关键因素为：

- 一、奇美参与项目人员充份了解生产制程特性与限制。
- 二、奇美参与项目人员具备规划经验且熟悉原有之规划流程与方式。
- 三、奇美参与项目人员完全投入系统导入工作。
- 四、鼎诚顾问导入团队正确清楚了解使用者需求。
- 五、鼎诚系统开发团队快速客制使用者需求功能。
- 六、奇美与鼎诚高阶主管对项目的支持与协助。

结论

在国内 **TFT-LCD** 厂商五代厂纷纷即将量产之际，市场预期随着面板供给量的增加，面板价格亦将降低，其势必压缩整体产业的获利空间。面对如此严峻的挑战，如何利用先进规划与排程系统 (**Advanced Planning and Scheduling; APS**)，来协助企业提供更弹性的顾客服务及不断的缩短 **OTD** 的前置时间，进而挑战在没有多余的库存、没有增加营运成本与没有产能浪费下，增加企业整体的营运绩效，达到提升企业竞争优势的目标，是各厂商所必须积极思考的。

鼎诚信息将秉持一贯服务的精神与以其对 **TFT-LCD** 产业的充份了解及 **APS** 系统的导入经验，期能为这个台湾下一个明星产业贡献我们的心力，共创产业的未来

第十四章 企业管理的新境界

--以 ERP 为中枢,融入约束/精益的哲学

以 ERP 的信息集成为框架(**backbone**)，结合 **TOC** 约束理论的整体观点，实施 **Lean** 精益的管理方法，使企业管理达到全新的境界-信息集成支持决策，快速响应，分析企业发展的约束，最大限度的消灭浪费。

企业现流行的管理思想

1,什么是 ERP 中枢(backbone)?

ERP 系统是将企业的各种业务功能（如人力资源、财务、制造、会计、分销等等）链接到一个共同的系统中，使企业业务流程流畅和事务处理规范化。ERP 的集成和数据的共享使得 ERP 更趋向于扮演应用软件集成框架的角色。具体的核心业务作业,如一些自动的,智能的优化功能交给由 TOC, Lean, SCM, CRM 等软件来完成。其管理思想融入约束理论/精益生产的哲学。

2, 什么是 TOC 约束理论(Theory of Constraints)?

TOC: 任何系统至少存在着一个约束, 否则它就可能有无限制的产出。因此要提高一个系统 (任何企业或组织均可视为一个系统)的产出, 必须要打破系统的约束。任何系统可以想像成由一连串的环所构成, 环与环相扣, 这个系统的强度就取决于其最弱的一环, 而不是其最强的一环。相同的道理, 我们也可以将我们的企业或机构视为一条链条, 每一个部门是这个链条其中的一环。如果我们想达成预期的目标, 我们必须从最弱的一环, 也就是从瓶颈(或约束)的一环下手, 才可得到显著的改善。换句话说, 如果这个约束决定一个企业或组织达成目标的速率, 我们必须从克服该约束着手, 才可以更快速的步伐在短时间内显著地提高系统的产出。

TOC 有一套思考的方法和持续改善的程序, 称为五大核心步骤, 这五大核心步骤是:

- (1),找出系统中存在哪些约束。
- (2),寻找突破这些约束的办法。
- (3),使企业的所有其他活动服从于第二步中提出的各种措施。
- (4),具体实施第二步中提出的措施, 使第一步中找出的约束环节不再是企业的约束
- (5),回到步骤 1, 别让惰性成为约束, 持续不断地改善。

TOC 的九条生产作业计划制定原则:

- (1),不要平衡生产能力,而要平衡物流
- (2),非瓶颈资源的利用水平不是由自身潜力所决定,而是由系统的约束来决定
- (3),资源的利用与活力不是一码事
- (4),瓶颈损失 1 小时,相当于整个系统损失 1 小时
- (5),非瓶颈上节约开 1 小时,无实际意义
- (6),瓶颈制约了系统的产销率和库存
- (7),转运批量可以不等于 1,而且在大多数情况下不应该等于加工批量
- (8),加工批量不是固定的,应该是随时间而变化
- (9), 优先权只能根据系统的约束来设定,提前期是作业计划的结果(不是预先设定的)

3,什么是 LP 精益生产(Lean Production)?

LP 精益生产: 包括 JIT(Kanban),GT 成组技术(Cell manufacturing),TQM 全面质量管理.它是在流水生产方式的基础上发展起来的,通过系统结构、人员组织、运行方式和市场供求等方面的变革,使生产系统能很快适应用户需求不断变化,实施以用户为导向、以人为中心、以精简为手段、采用 Team Work 工作方式和并行设计、实行准时化生产技术(JIT)、提倡否定传统的逆向思维方式、充分利用信息技术等为内容的生产方式,最终达到包括产品开发、生产、日常管理、协作配套、供销等各方面最好的结果。

精益生产方式来源于丰田汽车。精益生产以准时制(JIT, Just In Time)为核心,寻求精益的方式进行产品开发、生产和销售,而精益思想体现在一下五个相互关联的领域:

- (1),据用户需求,重新定义价值

(2),照价值流重新组织全部生产经营活动

(3),使价值流动起来

(4),让用户的需要拉动价值流

(5),不断完善,达到尽善尽美

精益思想是和浪费直接对立的,浪费包括很多,如:残次品,超过需求的超量生产,闲置的商品库存,不必要的工序,人员的不必要调动,商品的不必要运输,各种等待等。所有这些都将导致不精益,因此也必将和精益思想从本质上是对立和不可调和的,因此精益思想反对和致力于消除任何形式的浪费。只有所有的活动和行为在致力于为顾客创造价值时这才是符合精益的原则。

约束理论和精益生产的共同之处

1,价值方面

约束理论和精益都强调以客户的价值为导向,客户的价值是最关键的。精益的价值观点仅仅被最终客户定义.同样,TOC的观点:产销量是被客户所付款的产量。所以客户的需求在增加产品的产量起到决定的作用。

2,价值流方面

LP 和 TOC 都强调价值流.对价值流进行分析,显示出互相依赖的不仅仅是生产的价值链.增值和

非增值活动.LP 和 TOC 都深刻地认识到公司里的每个人的工作是把库存变成产销量。定义系统并

且创造一实际的过程流。

3,物料流动方面

强调简洁是流动的重要性.并且物料希望象水一样流动,达到同步生产.同步的管理原则是平衡物流流动而不是平衡产能力.这是 TOC 和 Lean 所倡导的流动.LP 已经把流动概念从工厂内扩展到工厂外。

扩展到设计和订单接受的过程。

4,需求拉动

TOC 和 LP 都提倡拉式原则,并且使用的控制技术是基于市场拉动产品流动.Lean 的拉式概念是利用看板技术,在上游的人直到顾客下游地要求才应该生产.TOC 的拉式是鼓-缓冲-绳(Drum-Buffer-Rope)驱动源. DBR 作为市场需求的方法为计划提供约束 (鼓) 的基础,它是为发放任何材料的基础 (绳) 进行的生产过程。

5,追求完美

目标不断的变化,企业不停地为达到目标进行改善.无穷的追求完美.TOC 与 Lean 都是一致的. Lean 和 TOC 都强调为人员必须努力改善.在公司的改善过程中,员工的参予是非常重要的。

约束理论和精益生产的实践上的区别

1, 在不断改善过程中,TOC 和 Lean 有完全不同的侧重点: Lean 强调减少浪费.而 TOC 强调增加产销量。

Lean 追求消灭浪费.丰田生产系统提供内在的精益思想。丰田生产是一个有效的方法,因为它是为生产最终的目标-利益的一个有效的工具。为了完成这个目标,丰田生产系统的主要方法是减小浪费,或生产率的改善。费用减小和生产率改进是通过各种各样的浪费消除达到的.例如过度的库存和过度的人员。

在这两个世界里,利润计算的方法是一样的,减少经营费用.然而,TOC 倡导产销量-由增加利润为首要.所有的决策都是基于对产销量的影响来评估库存和经营费用。主要强调是在增加产销量。

在实际案例中,Lean 的持续改进,减少浪费和 TOC 的增加产销量,这都是公司的不同策略。

2,实施的方法-浪费的观点

显然,产品和服务应被客户定制并且要匹配市场需求,在大多数 实施 TOC 的公司,焦点是改进初始系统的现状。如果是市场的约束,那么它就可以由客户定义.如果约束是内部的,公司应正确做一些事情。其实,任何公司的长期健康取决于公司满足客户的需求的能力。

然而,在实践中,许多 TOC 实施者却错过机会消除真正的浪费.在实施 TOC 的公司里的许多经理在能力短缺的情况下,充分利用了约束资源,首先提高购买能力.高度集中且寻求最容易引起停工的浪费,而且禁止产销量。象物料的准备时间的约束,质量问题的约束,或材料短缺的约束直接影响产销量的约束。

Lean 认为 15 个浪费的 7 种类型:

- 1,吸收资源但是不创造价值的人活动。
- 2,错误要求校正。
- 3,生产出没有需要的,积压库存。
- 4,不必要的流程。
- 5,没有目的移动-雇员或商品从一个地方到另外一个地方。
- 6,闲散的能力-因为在上游活动没准时交付导致下游等待的人和商品
- 7,不能满足客户需要的产品与服务。

在 Lean 实现过程中,浪费减小是非常重要的.在成本世界里,这种思维的方法是非常吸引人的.不幸地,很少成功的公司依靠节省的方法达到繁荣。当消除浪费是一重要的任务时,不是所有的浪费是生来平等的。公司的优先级应该基于是否影响利润 (产销量,库存,经营费用的影响)。

3,价值流定义

TOC 和 Lean 是从价值链的观点来看企业,为客户创造价值。他们的极大地不同是在于如何定义自己的价值流.Lean 的企业是围绕特定的产品定义价值流。而这种观点的不利之处是公司的有些资源可以用在许多产品上的。

Lean 适用于针对特定的产品重组设备资源,形成一条生产线。导致某些机器和设备的潜在的未完全利用率。不幸地是,这个未完全利用率,有时是能够把非约束资源改变成约束资源。尽管 Lean 的倡导者建议减少特殊的大型机器,但是,不总是现实的。当小型机器不在时,系统仍然必须操作使用当前的资源。

TOC 的价值流的观点是包括价值流里的共享资源。在 TOC 企业经常围绕若干个产品,通过那些产品相互作用的普通资源来安排生产。在 TOC 实现的第一步之一是定义系统是改进。尽管这可以初始系统约束的定义,而没有到全部价值链,如需要时,将要定义价值链的另外部分:设计,订单接受,制造的约束。尽管如此,TOC 建议者将同意考虑并且改善整个价值流。

分析整个价值链时,经常是令人气馁的,甚至在开始时分析约束因素。价值链包括多重的职能,不同的公司,或不同的部门有不同的优先和措施,直到它被由于竞争严重地损坏,整个价值链才同意改善。任何系统分析的重点是约束工序(例如由于工程模具的缺少导致换模慢而导致批量,或由于糟糕生产设计导致质量问题)。在理想的情况下,应该是分析整个大的系统。然而,在整个系统分析时,不能低估系统相互作用的复杂性,应把焦点缩小到特定的价值流(包括共享的资源)。

4,库存

在对待库存上,TOC 的观点是简单的。库存的唯一的目的是在一段时间内支持产销量。在一些情况下,通过在上游的工序维持一个缓冲区以免于变化的库存。库存利用鼓-缓冲-绳的方法达到同步的流动。Lean 对缓冲区库存的缺少实际的想法,认为所有的库存是浪费。这个看法基于单件流动的概念。

两个哲学都倡导先减少缓冲区库存的可变性。其主要的区别是 TOC 将保留缓冲库存,并且减少可变性。Lean 去掉所有的缓冲库存且反对明显的变化。如果系统的约束是内部的-单元工序,没有缓冲区的概念将总是引起约束。这是由于在任何生产系统都是可变的这一现实。令人担心的是 Lean 建议者只看见库存减小,消灭 WIP 库存,而没有考虑到产销量的影响。在一些案例中,库存是真正浪费。在另外的案例中,它在约束工序的上游流动冲突时提供一个关键的缓冲角色。在清除库存期间,也许,甚至在以后,战略上维持被定义的缓冲库存,保护公司的产销量可能是必要的。

在面临一个不完美的系统时,缓冲库存管理提供一个工具来处理改善的优先级。缓冲库存管理的基础是记录并且分析在约束受到缺料引起停工的原因。这个分析区域是大多数需要改进努力的。由开始和经常引起穿过缓冲区的那些物料,既要保护产销量,也要在被改进以后,允许缓冲库存减少。

5,能力

就象多余的库存,Lean 也把多余的能力看作浪费。由设计流水线开始考虑每一件都运作或因质量问题全停。坦率地说,这些是所有人都不得不面对的问题。用这种方法很难让处于可变的,互相依赖系统的经理接受。

满负荷运转的系统的要求:

- (1), 多技能培训工人。因为完美地平衡生产线是不可能的。工人必须移动。
- (2), 机器是 100%可用且精确(TPM 全面预防性维护)
- (3), 工作团队工作的严格标准化
- (4), 错误能及时校正

甚至当上面的各个要素戏剧性地被改进时,我们已发现完全是一个被改进的生产的系统。在一段时间里,可变性是存在的。一个有秩序的,可预计的系统,在积极连续的改善进步的过程中,必须有保护的能力。

6,成本

传统的会计系统强调直接人工的成本核算.然而在 Lean 环境下,管理费用成为主要成本,它可能是直接人工成本的 20 倍.随着员工的多技能,开始维护设备等工作,直接人工与间接人工成本对于成本核算来说已变得很模糊了.Lean 的成本核算的管理费用是基于系统中产品的生产时间,而不是基于直接人工工时和机时.

TOC 的成本观点是库存成本只包括原材料成本.人工和其他间接费用都是运作费用的一部分,由工厂统一控制,而不分配到某一具体产品.毛利=售价-原材料,净利=毛利-运作费用.用毛利最大化来进行品种决策分析.

企业应选择约束理论和精益生产的最好的一面

作为 TOC 倡导者,Lean 的思想许多部分完全是一致.它可以用 TOC 的方法评估 Lean 的实践。

TOC 的前提是 5 个集中的步骤,提供了一个高度有效的范例,为管理企业提供改进的途径。结合许多 Lean 的实践和原理更加强实例。这种结合使组织能够得到更大的改进和利润。

1,接受产销量的观点。

库存和经营成本是为了创造产销量,其目标是利润。另外,产销量的观点是集中在组织外如何创造价值,组织如何能为它的客户创造更大的价值。

2,定义被改善系统,被改善的目标的措施。

开始时,在试着改变你的客户与供应商之前,你应该先获得内部的控制。当你获得内部的控制,你才能得到可靠的正确的方向来影响你的顾客或供应商。

3,定义系统的约束。使用价值流分析过程定义物流过程的流动。流程图形化来消除完全不必要的步骤。对于约束,不仅仅是减少费用,而是减少相关依赖性的且增加保护的能力。较少的相互依赖的工序意味着较少增加保护的能力.系统少些的混乱,缓冲库存,时间预定就更少,更短。

4,决定怎样利用系统的约束。

利用约束的过程也是为 Lean 的完美的应用。系统的约束是约束全部系统的产销量的资源。我们经常听见有些经理说:如"我们需要买另外的机器或雇用另外的工人";"我们没有足够的力量"。总是,在约束工序有大量的浪费。浪费与准备时间,浪费与不熟练技能的员工.同时,有技能的员工又处于短缺。约束工序应该是主要突破改善的目标。对约束工序建立每小时的产销量,经常是有效的。

5,服从系统的约束。

TOC 和 Lean 都包括服从的概念。在一个 DBR 系统,服从的主要是让的部分材料限制进

入系统以避免系统超负荷的想法.这就是Lean的看板系统,它类似在所有的资源之间的一系列短绳(通讯连接)。在DBR绳的概念,是连接材料投入到入口工序。一旦他们在工作中心出现,中间的工序是尽快快速处理。有许多其它部分的活动也是受到约束的服从。维护工作也应该服从约束工序。简言之,全部组织都要服从约束工序。这是基于只有在约束上增加了产销量,才能为全部系统增加产销量的思想。

6,评估约束。

前面以提到,当有未发现的约束时,经常采取的第一个步骤.事实上,在如此的例子,经营成本和库存比需要的高。多次利用并且服从的步骤.增加约束的能力。评估约束的过程是增加全面利用资源能力到高级阶段.在新的,交替的工艺路径中,有效的方法是卸下约束.顺便说一下,在"成本世界"的公司里,如果一个工艺路径的变化会增加部分的,全部的劳动力或机器,在产品上也会变化,明显的影响成本价格的计算。这是真实的,影响到公司的利润。

7,避免惯性。

如果约束被打破,定义下一个约束。组织将总是有至少一种物理的约束-原料,内部的资源,或市场的缺乏。当一个约束被打破,约束将转移到组织的另外的地方。不能自满成功,坚持,连续的改进。

ERP,约束理论,精益生产的有效结合-世界级企业

TOC的集中在且管理约束的不断的改进的概念也许不能象追求完美的Lean的目标那样鼓舞人心。然而,现代组织的复杂性与无限制的数据的系统要让经理们去改善,巨大的任务是足以让认真的经理望而生畏.同时,事实上,仅仅只有那些几百个有潜在的改进的业务,才能达到组织的目标。TOC的集中约束的方法是合理的,实际上,明确且强调约束是一种最快增加任何组织的产销量且最低的成本的有效工具.同时,Lean提供一条不同的改进途径.通过消灭浪费来消除组织的脂肪。一个组织是病态的,肥大的,从系统消灭浪费的想法是容易的.而且,很有吸引力。然而,大多数组织,努力减少浪费是一长时间的工作。你从哪儿开始?消除可变化性,也不是一项小任务。大多数情况下,也不是能很快的完成。此时,使用Lean这一工具就很有用了.然而,当他们集中在组织的约束资源上时,他们就更加有用的。

财务管理上,对外报表由ERP财务模块自动生成,间接费按人工分摊.而工厂内部的管理报表用TOC的观点-产销率,库存,运作费用来计算。

ERP提供基础数据的系统框架,集成TOC(APS,OPT)软件和LP(Demand pull Kanban)需求拉式系统来达到世界级企业.Fourth Shift推出融合精益生产和约束理论的管理思想的新产品DemandStream来帮助企业实现这一新境界。

第十五章 运用APS系统的正确原则

APS系统力图使计划计算机化。这可能会给众多计划人员带来一些烦恼和忧虑,因为他们会害怕被机器所取代。之所以有这种恐惧是因为APS系统有信息可视化,做计划的时间短,便于使用最优化方法三大优点。然而,建模只是现实环境的抽象和简化。无论多么高级的计划系统都仅仅是决策的支持系统,即用来支持决策者。

实际上，APS 系统成功实施已经证明取得成功的关键因素不是技术。APS 系统的安装和使用非常轻松，它使用了强大的技术。但是，它只是个工具。获得成功最关键的因素在于：

1. 保持切实可行的期望值。
2. 遵守 7 个重要原则。

一，保持切实可行的期望值：

我们在使用一个新工具时往往相信它能解决的所有问题。如会产生一些不切实际的期望：

“这将改变我们的世界”。

这实际上仅仅是一个我们用来改进业务过程的工具。

“它将修正我们的业务过程”。

它实际上是暴露了企业不合理的业务过程，而该业务过程是我们必须解决的。

“这将自动对任何事情进行排程”。

在我们录入订单时，它会给予我们对潜在问题的高度预警。使我们更多的时间进行调整。

二，遵守 7 个重要原则：

具有正确的期望非常重要，同时采用主要的计划原则也至关重要。

原则1：对重要的资源建立模型。

在为资源建立模型时，应控制受约束资源的数量。记住 80/20 规则-20% 的资源或物料会引起 80% 的问题。将注意力集中在妨碍你关注重要问题的事情上。避免建立过于复杂的模型。这有助于让您建立能够正常运行的系统并避免注意力的分散。

原则2：做出现实的承诺

实时地承诺和保留。为“保障订单”保留能力，而限制接受的订单数量。如果必须在无法验证可行性的情况下接受订单，应确保必须每日检查瓶颈工序及时发现存在问题的区域。

原则3：最小化批量设定和顺序设定

分配时合并批次。分配时决定生产单的顺序。试着考虑时间和周转率，不仅仅是数量和准备时间节省。

原则4：修改流程，而不要修改订单

重点是分析发现潜在问题，而不是加速订单发货。每日检查瓶颈和迟到订单，及时预见问题。

原则5：持续更新状态

及时准确地记录人工和物料处理。及时地关闭作业订单。建立切实可行的工作中心能力模型。保持工艺和物料清单的准确性。建立切实可行的采购物料提前期模型。维持正确的存货水平。

原则6：到期下达生产订单

尽可能晚些下达。但仍然需要一些闲置时间使无法预料的资源故障或物料发货延迟引起的风险降低到最小限度，但是不要因为具有闲置资源而提前下达。遵守高级计划创建的排程计划下达生产订单。 不要通过提前提供的车间订单对系统进行再评审，从而限制能力或预计需要。

原则7：保持统一

需要每个人都遵守所有这些原则。

在国外这些原则已经过成功使用 APS 系统的客户的验证。他们发现为获得一个固定过程所花费的大部分时间用在了改变人们的思维方式上，即让人们习惯使用一些主要的计划原则。 实施这些原则对于成功地使用 APS 计划排程非常重要，将这些原则应用到实际的业务中。

备注：如果你有好的建议或者对 APS 有更深刻的体会与经验，请与老黄交流， 特别感谢以上理论的专家与作者， 在此深表谢意！

联系老黄

QQ:14760655

MSN:hpj168@hotmail

[E-MAIL:HPJ168@126.COM](mailto:HPJ168@126.COM)