



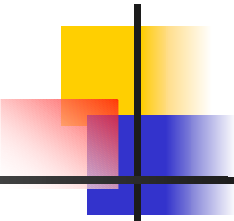
最优生产技术与TOC理论

邱灿华

同济大学经济与管理学院

Outline

- OPT技术与TOC理论
- OPT的九条原则
- OPT的计划与控制 DBR系统
- OPT软件产品
- 实施OPT的要求及条件

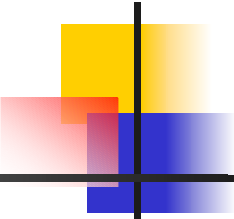


车间现场：

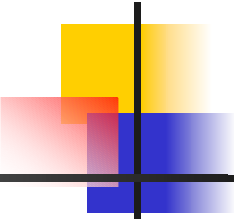
斯卡摩波格的车间工作绩效

背景

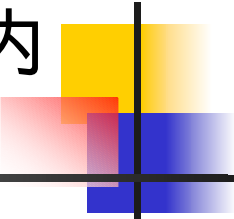
- 斯卡摩波格的HDS部门生产电子机械传感器(记录工具)，该传感器收集和处理用于石油和天然气开发的地质数据，该部门按传统车间的要求运作。这个部门的霍斯顿(Houston)工厂生产200种不同的产品，其各种生产用原件的库存达30000个。工程变化（有时是主要变化）是生产中不可避免的事实。记录工具必须根据他们所采用的钻孔类型，地下构造和其他地质的、气候的和业绩这些因素而专门定做。每种产品的月产量在1到20件之间，价格范围为5000美元到15000美元。月销售量在100万至1500万之间(有时低于100万)，这反映了石油和天然气行业的周期性特点。



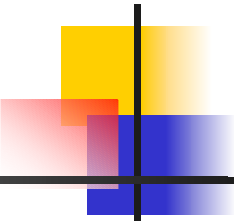
- 1985年夏天是HDS的困难时期。生产混乱，成本居高不下，产品质量不符合接收标准，这造成了顾客极大的不满。大约有15%的记录工具未能通过最终检验。大多数产品按老早就制定的计划生产，但按期交货的不超过70%，平均提前期超过12个月。高层管理对此也不满意。销售成本高得惊人(销售成本超过直接劳动力成本两倍可以说明这一点)，而且工厂库存激增，仅是在制品库存一项就平均相当于5个月的产量。



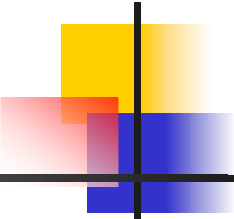
- 大多数车间管理人员立即认识到这些麻烦情况。在HDS车间，情况一直是这样，没有例外。在我们的经历中，按主生产计划准时交货的项目很少超过75%，还有可能低到20%。提前期在过去的十年中在不知不觉地增加，而且大多数车间在经营周期中未能有效地响应周期性交替。积压的货物(和提前期)在萧条时期减少了，但在稳定的经济增长时期又迅速增加。管理人员们将这种现象用一个口号解释为：“积压总是在复苏时期增加。”究竟如何解释车间面临的这些慢性的难以解决的问题呢？在HDS，大多数产品按批进行最终装配和检验，这些批量通常能满足两到三个月的需求。因此，按订单生产的提前期就至少是两到三月--并且在实际中要更长一些--即使大多数记录工具能在两周内装配和检验完毕。



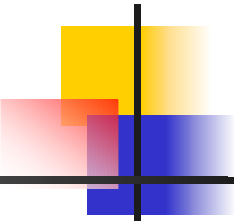
- 为什么要按批装配和检验呢？因为管理人员想要尽可能提高效率----极小化直接人工工资。在生产过程的每一个阶段，成批生产确实形成了短期的节约。但实际上，批量生产使得工厂的工人一直忙碌不停。
- 然而从长期来看，批量生产成为进一步提高效率的巨大障碍。较长的生产提前期，大批量和较长的排队等候总是会导致批量分割、损坏装置、部件丢失或缺陷、拖延交货和造成大的在制品库存发生。在每一个计划期末有一大批产品离开工厂。由于受到来自定额要求的压力，该厂便放松了质量标准；需要彻底返工的作业隐藏在在制品库存当中；生产优先顺序不断变化；车间每天都存在危机。



- 解决方法在于取消批量生产和人工的经济批量规模，并组织车间使其能够快速而有效地从生产一种产品转换到生产另一种产品而不致引起太大的拖延和增加太多的成本。
- HDS正是采纳了这种生产思想。它强调缩短生产提前期(从批量体系下的平均三个月减少到现在的两周)、减少直到不存在排队等待、低库存以及迅速发现和纠正缺陷。该工厂现在更能响应外在产品组合和批量上的外部变化。通过这种变化、该工厂也更便于管理，在任一特定时间的工作任务数量也变小了，因此其状态也就更易于监控。同样，问题的数量也变小了，因此它们能够被更快地处理。

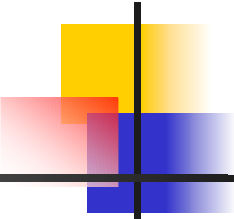


- 车间得到了控制，多余人员因而被削减。在1985年夏天，该部门的820个雇员中有520名雇员是白领雇员或非直接生产人员。现在非直接生产人员数是220名。人员裁减幅度最大的有三个部门——质量控制部门，发运、接收和仓库部门以及生产控制部门(督件员和调度人员)----他们的作用随着质量和准时交货行为的改进而消失。



遵循的具体的指示和行动包括：

- 使质量成为强制性的。质量的定义包括产品缺陷与拖延和部分交货两个方面。
- 对每一时刻都作计划。"按计划"是指每项作业按计划开始并按计划完成。相应的政策是决不提前开始作业。
- 不为成本而追求能力的平衡和充分使用。这要求管理人员按实际的人力需求而不是理想的生产力水平制定计划。
- 缩短准备时间。这包括加强工人交叉作业培训，简化生产指导和接JIT方式布局。
- 注重制造部件而不是运转追求机器。机器利用率不再是衡量车间绩效的指标。
- 可视化工作执行情况。使所有的工人了解每个作业的进度、纠正缺陷的速度和目前的以及预期的短缺情况。



一、 OPT技术与TOC理论

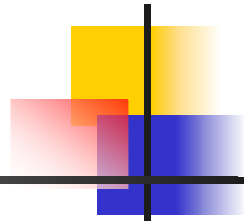
- 最优生产技术

Optimized Production Technology , OPT是以色列物理学家Eli Goldratt (高得拉特) 博士于20世纪70年代提出的。

- 进一步发展成为约束理论

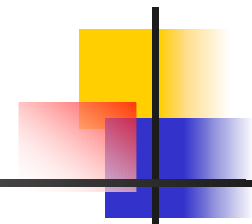
Theory of Constraints : TOC

- TOC理论和OPT技术产生时间不长，却取得了令人瞩目的成就，是继MRP和JIT之后出现的又一项进行生产组织与计划的新技术。



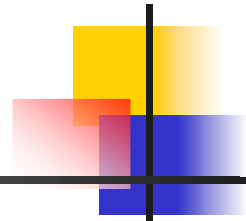
对公司目标的重新考察

- 目标：赚钱。
- 中间目标：
 - 机器利用率
 - 工时利用率
 - 成本指标
- 其他目标：
 - 提供就业机会
 - 增加销售额
 - 市场份额
 - 发展技术



TOC的思想

- 企业目标：最终目标是现在及将来赚取更多的利润。
- 衡量指标：
 - 净利润（Net Profit，简称NP）：即一个企业赚多少钱的绝对量。
 - 投资收益率（Return on Investment，简称ROI）：表示一定时期的收益与投资的比。当两个企业投资不同时，单靠净利润是无法比较他们效益的好坏的。
 - 现金流量（Cash Flow，简称CF）：表示短期内收入和支出的钱。没有一定的现金流量，企业也就无法生存下去。



TOC的思想（续）

■ 实现目标：TOC的理论的运作评价

■ 产销率（Throughput）

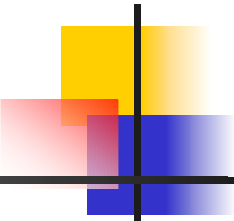
企业通过销售获取资金的速率，必须实际发生销售，产成品不是产销率，而是库存。

■ 库存（Inventory）

企业以销售为目的采购各种物资所占用的资金，不论是产成品还是在制品，只以包含的原材料成本来估价。

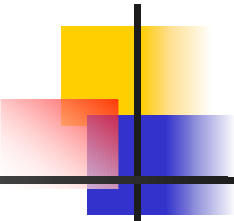
■ 运行费（Operating Expense）

企业将库存转化为产销率的一切费用。包括生产成本（直接人工、间接人工、存储成本、折旧、其他物料与供应）和管理费用。



生产率

- 传统的考虑：是根据单位工时的产出量来衡量的，导致高效率地生产卖不出去的产品。
- TOC理论：
 - 生产是否提高了产销率？
 - 是否降低了库存？
 - 是否减少了运作费用？
 - 生产率是公司向目标进军的一切行为。



指标之间的关系

- Goldratt指出，要想通过减少库存和运行费来实现多赚钱的目标是有限度的，因为极限的情况下也只能把库存和运行费减少到零，而通过增加产销率来增加利润却有着无限的可能。

企业目标:

现在和将来都能赚钱

财务目标:

净利润 (NP) ↑

投资收益率 (ROI) ↑

现金流量 (CF) ↑

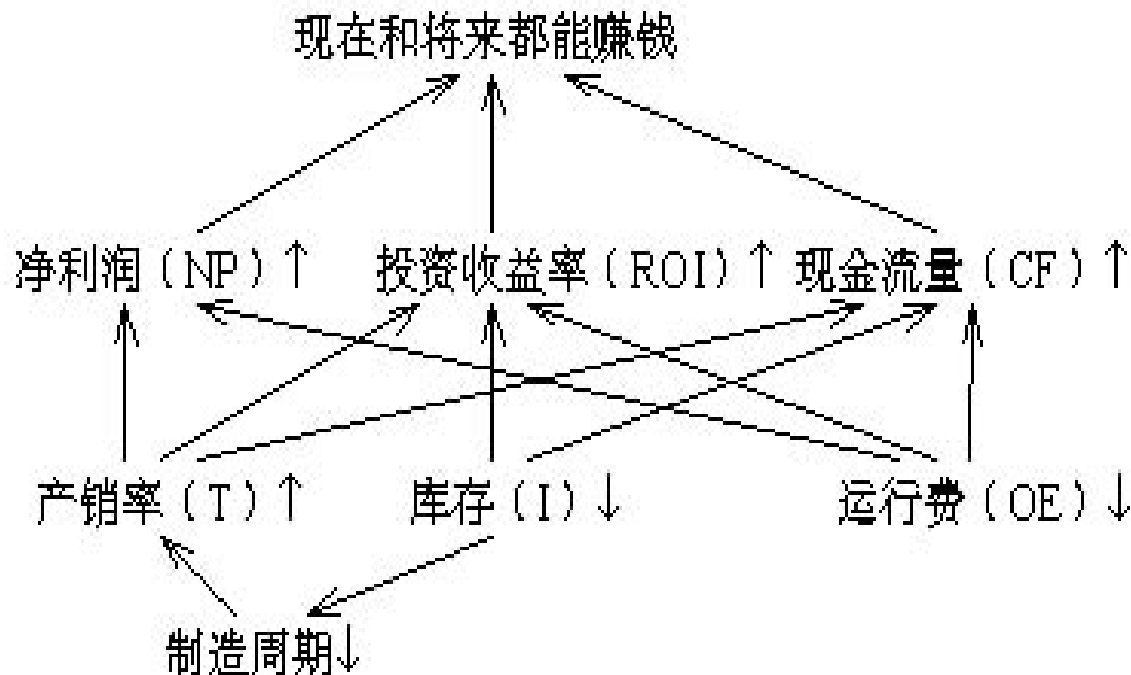
作业目标:

产销率 (T) ↑

库存 (I) ↓

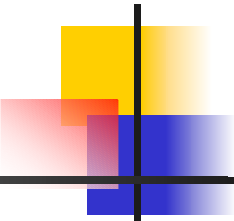
运行费 (OE) ↓

制造周期 ↓



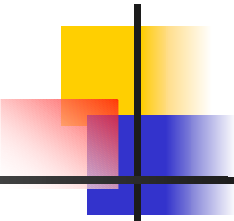
二、是否要平衡生产能力？

- 平衡生产能力适用情境
 - 各工作站的加工时间为常数；
 - 波动很小情况下；
- 多工序工作系统受非独立事件与统计规律的影响，工序之间的波动形成累积。
 - 下道工序的加工能力的发挥依赖上道工序；
 - 当波动发生在相互依赖的没有库存的工序之间时，就会丧失获得平均产出的机会；



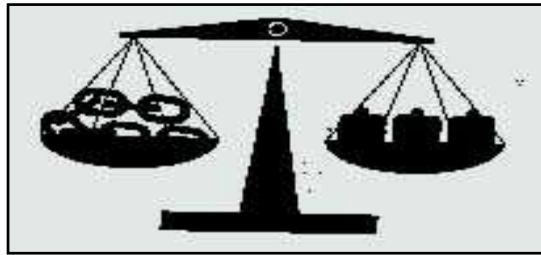
约束（Constraint）

- TOC认为，对于任何一个分阶段的系统来讲，如果各阶段是相互依赖的话，那个产出率最低的环节决定着整个系统的产出水平。
- 一个链条的强度是由它最薄弱的环节来决定的。在企业的整个经营业务流程中，任何一个环节只要它阻碍了企业去更大程度的增加产销率，或减少库存和运行费，那么它就是一个约束。
- 约束可以来源于企业内部，也可以来源于企业外部。有三种类型的约束：资源Resources）、市场（Markets）和法规（Policies）。

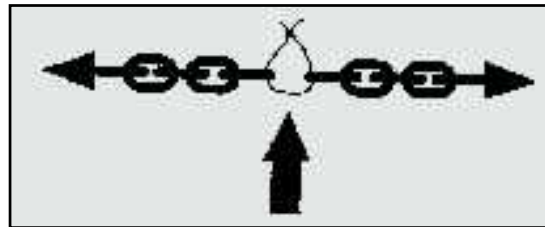


约束的分析

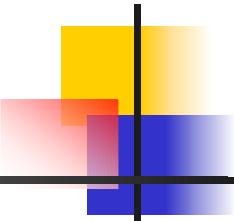
成本世界=链锁的重量
部分最优的总和=全体最优



边际收益世界 = 连锁的强度
部分最优的综合 全体最优

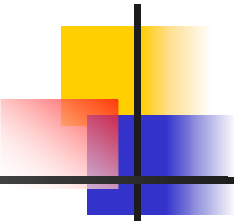


制约条件



瓶颈与非瓶颈资源（OPT的主要概念）

- 任何一个制造组织都可以看作是将原材料转化为产品的系统。
- 按一般的假设，在设计一个企业时，可以使生产过程中各阶段的生产能力相平衡。
- 但这只是一个理想的状态。因为，生产是一个动态的过程，随机波动时时存在，使得能力的平衡，在实际中实现极其困难，也可以说是达不到的。
- 生产过程中必然会出现有的资源负荷过多的环节。这样，一个企业的制造资源就存在瓶颈与非瓶颈的区别。



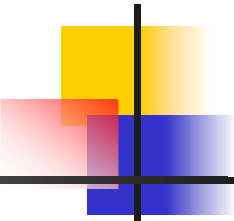
瓶颈与次瓶颈资源资源的含义

■ 瓶颈资源

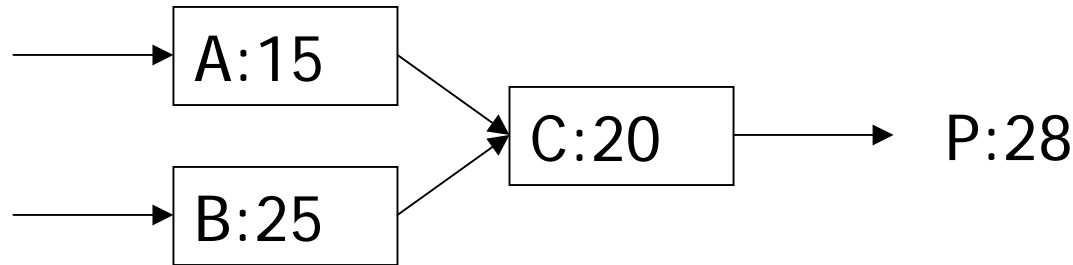
- 是实际生产能力小于或等于生产负荷的资源。
- 这一类资源限制了整个企业出产产品的数量，其余的资源则为非瓶颈资源。
- 判别一个资源是否为瓶颈，应从该资源的实际生产能力与它的生产负荷来考察。

■ 次瓶颈资源

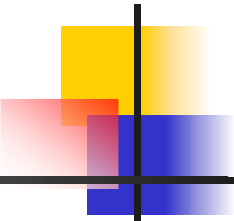
- 指利用率已接近实际生产能力，如果作业计划制定不好就可能成为瓶颈的资源。



例：假设某产品P的生产流程如图

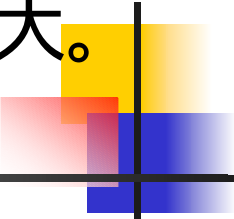


- 如果相对市场需求来说A、B、C都应该为瓶颈。
- 但根据OPT的定义，当前只有A为瓶颈，因为C生产能力虽然每周生产20个单位，但每周只能接到A所能生产的15个单位的最大生产负荷，即其生产能力超过了对它的需求量，为非瓶颈。
- B其生产能力每周生产25个单位，达不到市场的要求，但它产出的中间品已经在机器C前积压了，即其生产能力超过了后续环节对它的需求量，也是非瓶颈。



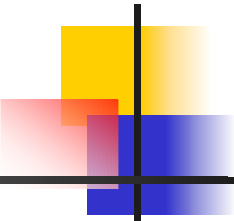
生产加工时间的构成

- 生产周期的构成
 - 生产准备时间
 - 加工时间
 - 排队时间
 - 等待时间
 - 空闲时间
- 对于等待通过瓶颈资源的零件来说，排队时间最长；对于非瓶颈资源来说，零件的等待时间很长；
- 通过增加生产批量的方法来减少生产准备时间，则其他所有的时间意味着增大，则在制品增大。



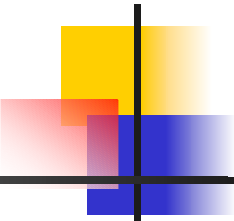
三、OPT的九条原则

- 任何企业只应该存在着少数的瓶颈资源。
- OPT的基本思想具体体现在九条原则上。这九条原则是实施OPT的基石。
- OPT有关生产计划与控制的算法和软件，就是按照这九条原则提出和开发的。
- 这些原则也可以独立于软件之外，直接用于指导实际的生产管理活动。



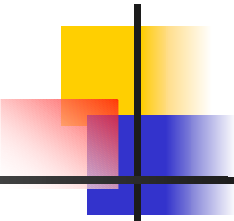
原则一:追求物流的平衡，而不是生产能力平衡。

- 生产能力平衡实际是做不到的。因为市场每时每刻都在变化；生产能力的稳定只是相对的。
- 所以必须接受市场波动这个现实，在这种前提下追求物流平衡。
- 所谓物流平衡就是使各个工序都与瓶颈工序同步，以求生产周期最短、在制品最少。



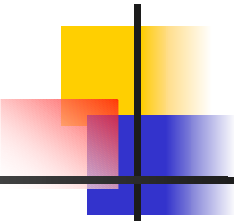
原则二:非瓶颈资源的利用程度不由其本身决定,而是由系统的约束决定的。

- 系统的约束只是瓶颈,因为系统的产出是由所能经过瓶颈的产品量决定的,即瓶颈制约着系统的产销率。
- 而且,非瓶颈资源的充分利用不仅不能提高产销率,还会使库存和运行费增加。
- 非瓶颈资源的使用率一般不应该达到100%。



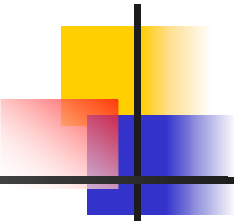
原则三:资源的“利用”（Utilization）和“运用”（Activation）不是同义词。

- 让一项资源充分开动运转起来同使该项资源带来效益不是同一个涵义；
- “利用”是指该项资源带来效益，“运用”是指资源使用的程度，。
- 从平衡物流的角度出发，应允许在非关键资源上安排适当的闲置时间。



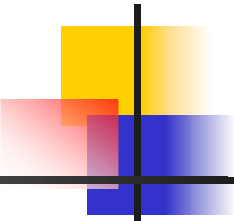
原则四:瓶颈上一个小时的损失则是整个系统的一个小时的损失。

- 瓶颈资源与非瓶颈资源上的调整准备时间的意义是不同的。
- 瓶颈资源必需保持100%的"利用"。
 - 减少调整准备时间和频率，瓶颈上的批量应尽可能大；
 - 实行午餐和工修连续工作制，减少状态调整所需的时间损失；
 - 在瓶颈工序前设置质量检查站，保证投入瓶颈工序的工件100%是合格品；
 - 设置缓冲环节，使瓶颈资源不受非瓶颈资源生产率波动的影响。



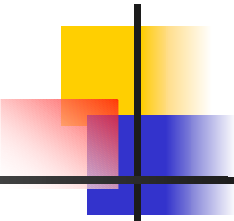
原则五:非瓶颈资源节省的一个小时无益于增加系统产销率。

- 因为非瓶颈资源上除了生产时间（加工时间和调整准备时间）之外，还有闲置时间。
- 如果节约了一个小时的生产时间，可以减少加工批量，加大批次，以降低在制品库存和生产提前期。
- 但这些结果能在多大程度上有益于系统追求的根本目标，依然牢牢受制于瓶颈资源。



原则六:瓶颈制约了库存和产销率。

- 产销率指的是单位时间内生产出来并销售出去的产品所创造的利润额。
- 瓶颈控制了产销率，所以企业的非瓶颈应与瓶颈同步，它们的库存水平只要能维持瓶颈上的物流连续稳定即可，过多的库存只是浪费，这样，瓶颈也就相应地控制了库存。



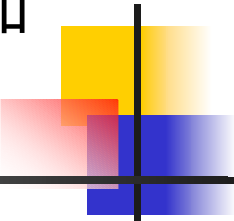
原则七:运输批量可以不等于（在许多时候应该不等于）加工批量。

- OPT采用一种独特的动态批量系统，分为两种不同的批量形式，即：

运输批量，是指工序间运送一批零件的数量；

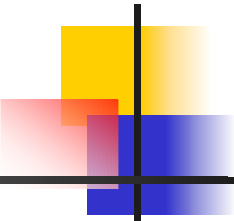
加工批量，指经过一次调整准备所加工的同种零件的数量，可以是一个或几个转运批量之和。

- 确定加工批量：考虑资源的合理应用（减少设备的调整次数）和合理的在制品库存。
- 确定运输批量：考虑提高生产过程的连续性、平行性，减少工序间的等待时间和减少运输工作量与运输费用。
- 根据OPT的观点，为了使瓶颈上的产销率达到最大，瓶颈上的加工批量必须大。但另一方面，在制品库存不应因此增加，所以转运批量应该小，即意味着非瓶颈上的加工批量要小，这样就可以减少库存费用和加工费用。



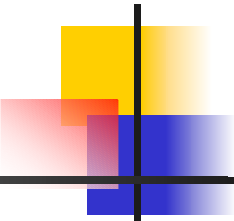
原则八:批量大小应是可变的，而不是固定的。

- 在OPT中，运输批量是从在制品的角度来考虑的；而加工批量则是从资源类型的角度来考虑的。
- 同一种工件在瓶颈资源和非瓶颈资源上加工时可以采用不同的加工批量，在不同的工序间传送时可以采用不同的运输批量，其大小根据实际需要动态决定。



原则九:编排作业计划（优先权）时考虑系统资源约束，提前期是作业计划的结果，而不是预定值。

- 在OPT中，不采用固定的提前期，而是考虑计划期内的系统资源约束，用有限能力计划法，先安排瓶颈工序上加工的关键件的生产进度计划，以瓶颈工序为基准，把瓶颈工序之前、之间、之后的工序分别按拉动、工艺顺序、推动的方式排定，并进行一定优化。
- 接下来编制非关键件的作业计划。所以，OPT中的提前期是批量、优先权和其它许多因素的函数，是编制作业计划产生的结果。

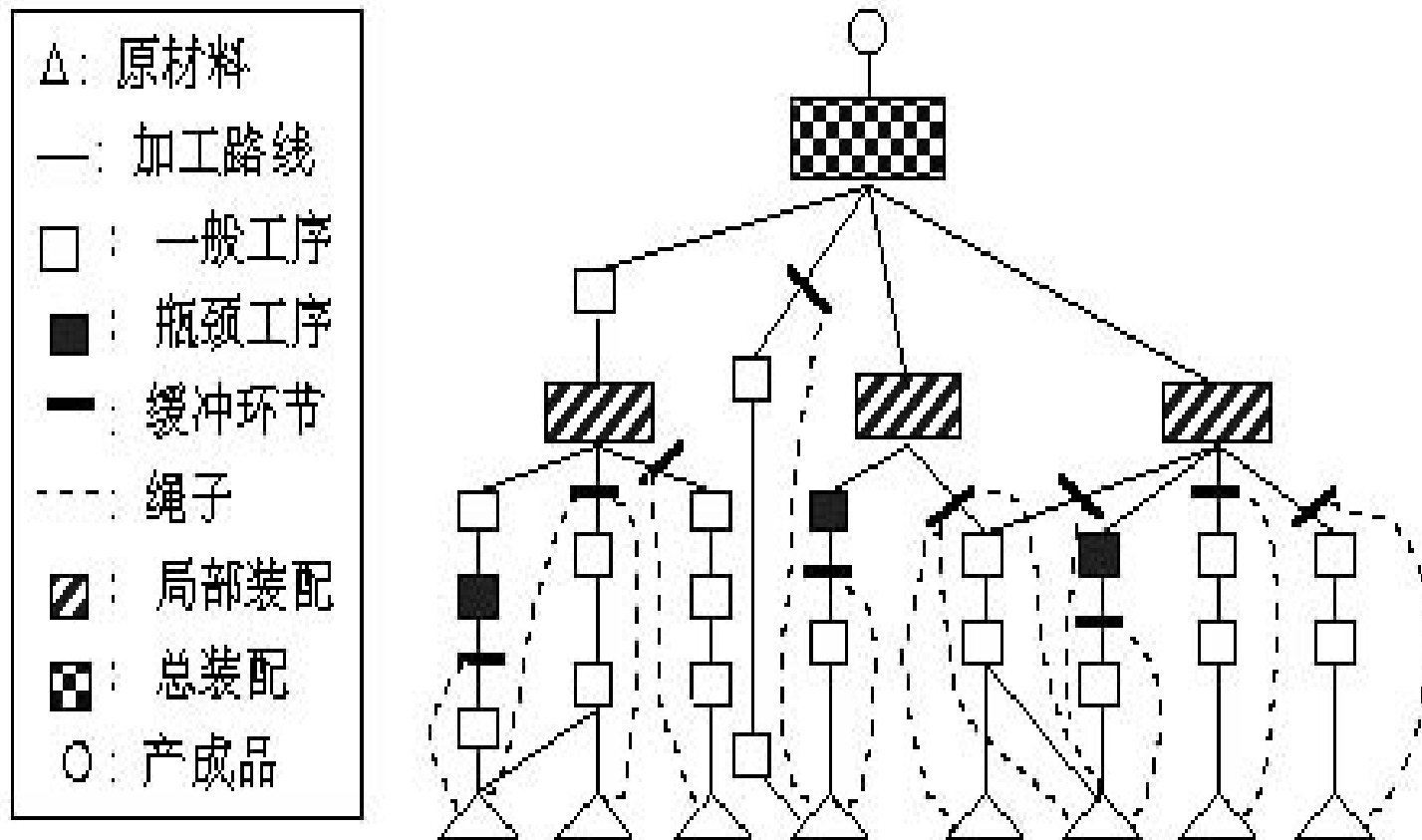


四、OPT的计划与控制

DBR系统

OPT的计划与控制步骤

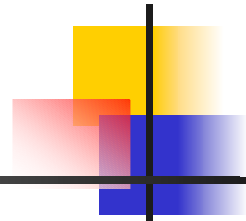
OPT的计划与控制是通过DBR系统实现的。即"鼓（Drum）"、"缓冲器（Buffer）"和"绳子（Rope）"系统。如图所示。



“鼓”

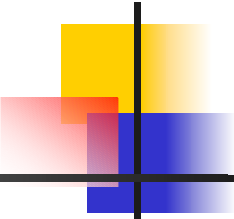
- “鼓”识别一个企业的瓶颈所在。瓶颈控制着企业同步生产的节奏--“鼓点”。
- 要维持企业内部生产的同步、企业生产和市场需求的同步，企业的生产如何能满足市场或顾客的需求而又不产生过多的库存。
- 安排作业计划时，必须按交货期给顾客赋予一定的优先权数，在瓶颈上根据这些优先权数的大小安排生产，并据此对上下游的工序排序，则得到交付时间。
- 为了使交付时间与交货期限相符，靠的是权衡在瓶颈上的批量规模。

从计划和控制的角度来看，“鼓”反映了系统对约束资源的利用。对约束资源应编制详细的生产作业计划，以保证对约束资源的充分合理的利用。



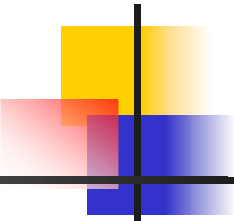
“缓冲器”

- “缓冲器”
 - 时间缓冲
 - 库存缓冲
- 在设置“时间缓冲”时，一般要考虑以下几个问题：
 - 要保证瓶颈上产出率相对较快的工件在加工过程中不致因为在制品少而停工。
 - 应考虑加工过程中出现的波动。如瓶颈上的实际产出率比原来估计的要快，或者瓶颈前的加工工序的产出率比原来估计的要慢，或者出现次品。
 - 根据OPT的原理，瓶颈上的加工批量是最大的，而瓶颈的上游工序则是小批量多批次的。
 - 要考虑在制品库存费用、成品库存费用、加工费用和各種人工费用。要在保证瓶颈上加工持续的情况下，使得整个加工过程的总费用最小。



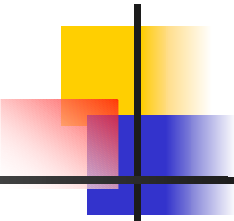
“绳子”

- 如果说“鼓”的目标是使产销率最大，那么，“绳子”的作用则是使库存最小。“绳子”起的是传递作用，以驱动系统的所有部分按“鼓”的节奏进行生产。
- “绳子”控制着企业物料的进入（包括瓶颈的上游工序与非瓶颈的装配）。
- 通过“绳子”系统的控制，使得瓶颈前的非瓶颈设备均衡生产，加工批量和运输批量减少，可以减少提前期以及在制品库存，而同时又不使瓶颈停工待料。



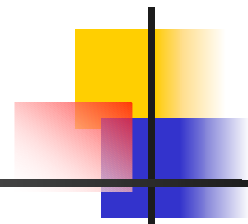
五、OPT软件产品

- OPT软件包是实现OPT思想的主要工具。OPT软件首先是由Creative Output有限公司（COI）开发的。



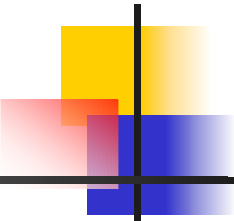
OPT软件的主要输出有

- 产品出产计划；
- 详细的生产作业计划；
- 交货期的执行情况；
- 资源的利用情况；
- 采购计划；
- 库存报告；
- 有关产出率和库存的财务报告。

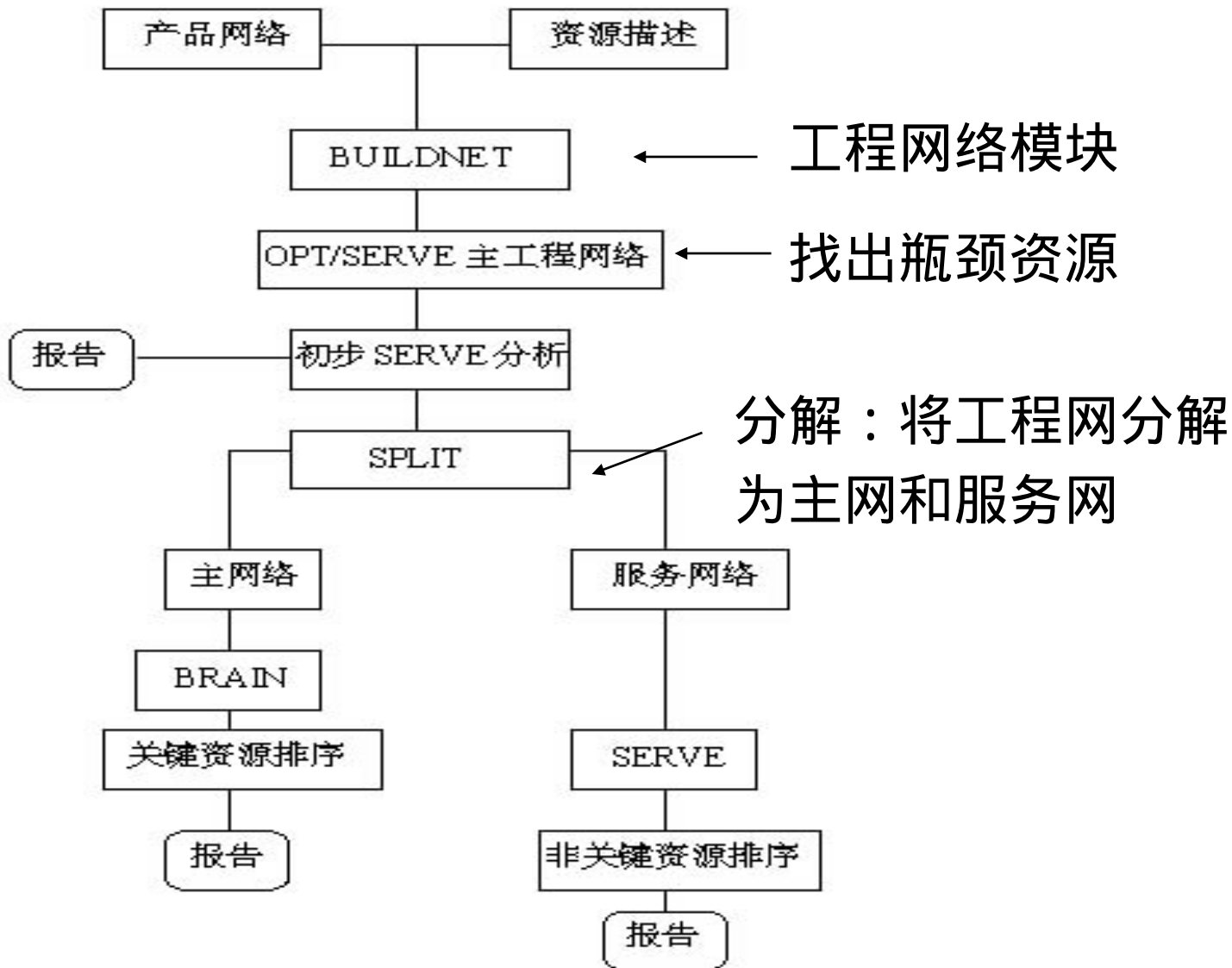


OPT软件的核心

OPT软件系统主要基于一个保密的算法，该算法的核心在于识别瓶颈和对瓶颈的排程安排（排序）。从模块构成来看，OPT系统主要由BUILDNET、SPLIT、SERVE和BRAIN几个模块构成。其信息流如下图所示。

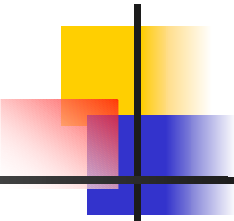


OPT软件的工作原理



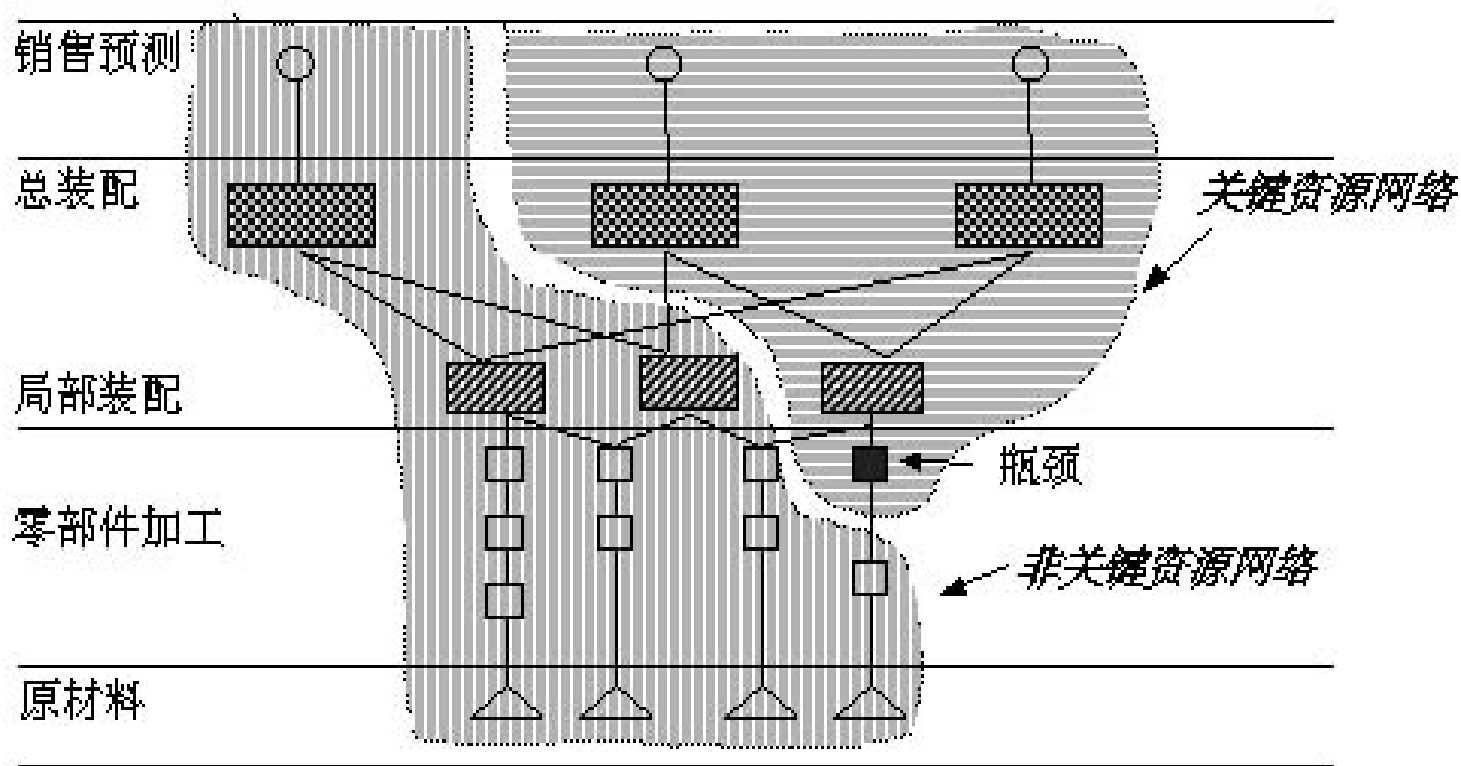
1、构造制造企业的模型

- 要运行OPT，第一步就是要对企业进行模型构造，这是由BUILDNET模块来完成的。每种资源（机器、工人、空间等）及其替代资源和它们的相互影响、允许加工时间、用于加工的某种资源的数量等，都在这个模块中被确定下来。
- BUILDNET模块是将“产品网络”和“资源描述”模块中的信息结合起来，生成一个工程网络。



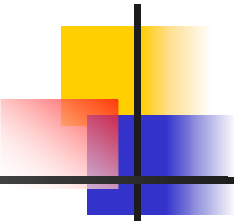
工程网络及分解

将产品网络及资源数据结合，形成工程网络，然后分解成主网和服务网。



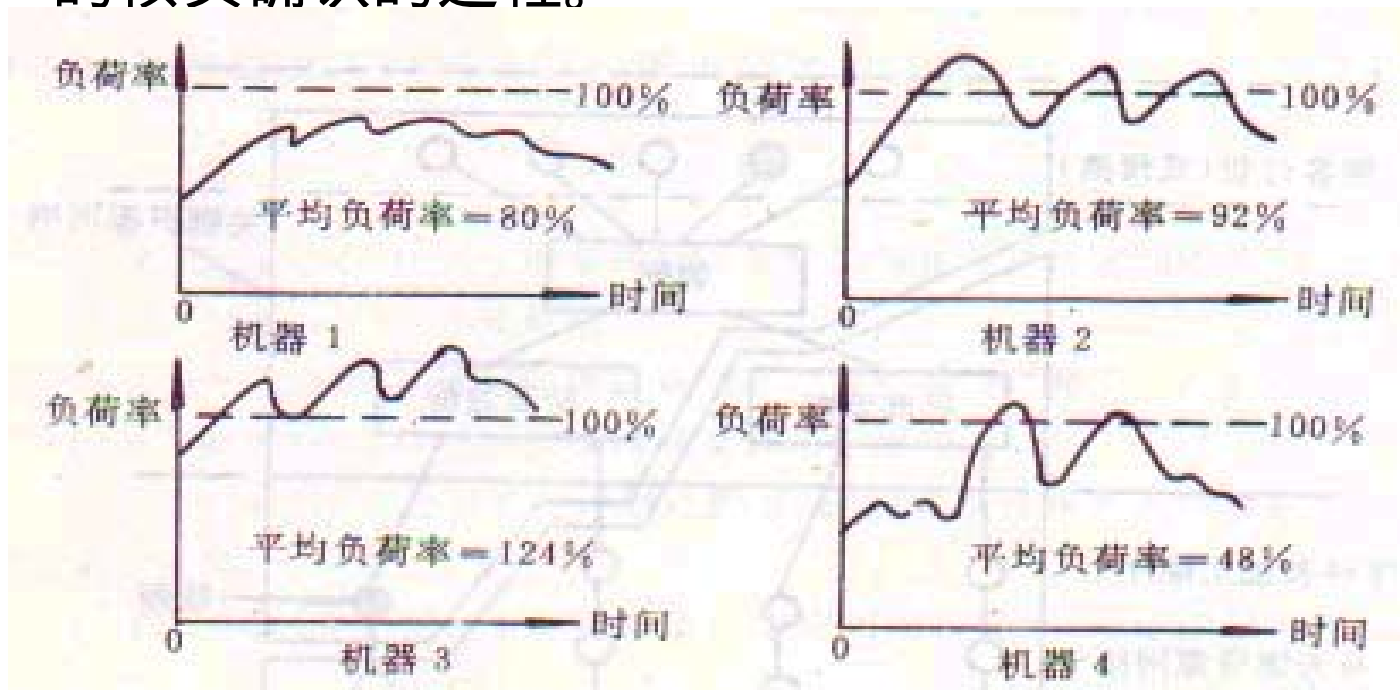
2、识别瓶颈

- 确定企业中的约束或瓶颈在哪里
- 由SERVE模块来完成的。通过运行工程网络以及采取类似MRP的倒排方法来实现，并假设每种资源的生产能力是无限的。



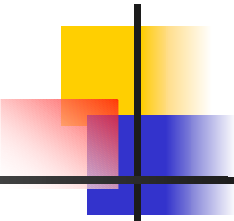
根据资源负荷确定瓶颈

- 资源的负荷率一般都是参差不齐的。SBRVE模块在计算各个资源的负荷率的基础上，还计算了每种资源的平均负荷率，并以此来确定瓶颈。如果工程网络的数据完全精确，很明显，平均负荷率最高的就是瓶颈，如图中所示的机器3。所以，这个阶段还包括一个数据的核实确认的过程。



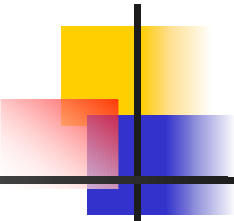
3、生产计划的生成

- SPLIT模块将工程网络分成两部分：
 - 主网络（关键资源网络）
 - 服务网络（非关键资源网络）
- 对于主网络，通过BRAIN模块采用有限能力顺排的方法编制作业计划，目标是使瓶颈上的空闲时间为零，使产销率最大。



4、计划的保护

- 设置安全库存或“缓冲器”。
 - 一是在瓶颈资源前；
 - 二是在非瓶颈资源与来自瓶颈资源加工路线的交叉点上。
- 以上步骤一旦完成，如果在系统中没有其它的约束或瓶颈，OPT的结果也就生成了。
- 通常在第一个循环的最后，如果还有其它的瓶颈，则应重新检查数据的合理性并返回重复以上的过程。直到所有的约束都移到工程网络的关键资源部分为止。



五、实施OPT的要求及条件

■ 对OPT看法

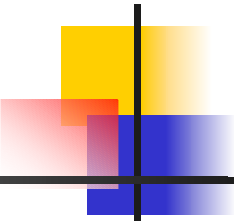
把OPT当做一种新的计划思想；

作为一种作业计划的仿真语言；

作为生成MPS、物料和能力需求计划及详细计划的一个软件包；

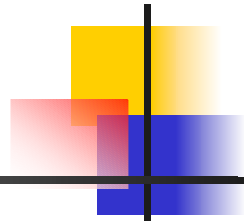
作为一种处理数据精确度的一种尝试，以求在数据未达到高度精确之前获得利润。

■ OPT强调的是车间现场，其着眼点在于企业车间现场的一些决策量上，并据此来实现对生产的计划与控制。



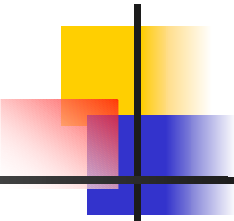
关键

- OPT实施的关键是制定计划后的落实工作。
- OPT则力求从全局的观点来进行考核，从原材料的采购一直追踪到产品销售。其考核体系对瓶颈与非瓶颈是分别对待的，认为对非瓶颈的考核不应以生产量为依据，而应以它生产的有效产品量来考核。
- 成本会计注重的是资源“运用”而非“利用”，而正确的做法应该是注重“利用”而非“运用”。



其他方面的要求

- OPT软件的具体运行和MRP一样需要大量的数据支持，例如产品结构文件（BOM）、加工工艺文件以及精确的加工时间、调整准备时间、最小批量、最大库存、替代设备等等数据。
- 同时要成功地实施OPT，还要求管理者必须对OPT产生的计划要有信心，要改变一些旧的作业方式，例如接受午餐和工休连续工作制的作法等。



适用条件

- 瓶颈要相对稳定；
- 瓶颈要保证达到100%的负荷能力；
- 需求是相对稳定的；
- 员工愿意而且能够服从计划的调度安排。

