

计算机时代的计划控制技术

- CAP (Computer Aid Planning)计算机辅助计划

蔡 纰 编写

作者的话:

在 ERP 实施的如火如荼的今天，计划控制始终是我们要突破的难点，也是对 ERP 行业的巨大挑战，但也是在制造业、IT 业非常诱人的领域。

生产管理实际上就是计划，执行，控制的过程，在信息时代，我们要有效的利用计算机辅助我们生产管理人员进行生产计划控制。随着我们对生产计划管理理论的不断探索，也随着计算机技术发展，计划正朝着高级约束计划的方向发展。也正是计算机技术的突飞猛进的发展，使得许多高级计划技术得以在工业领域中实现。

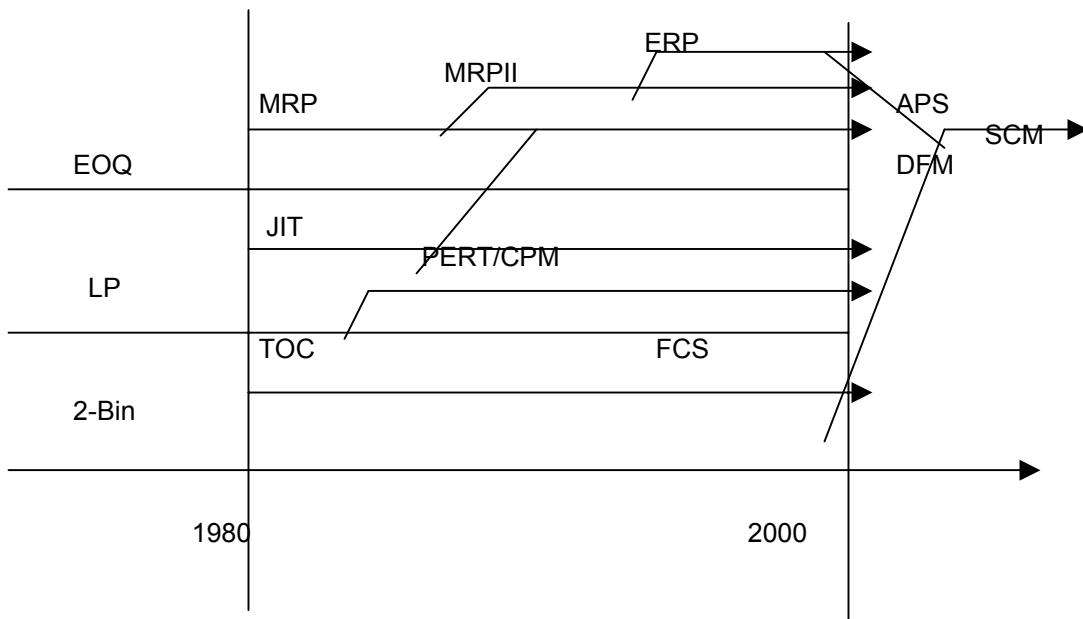
本文主要是从计算机辅助计划的历史，现在与未来，来论述计划管理的理论丛林的各种主要计划理论的代表，也就是想从中探讨出计划的规律。也相应介绍国际上计划研究领域的发展方向。

实际上，在我实施过的将近 100 多家的 ERP 的客户里，在实施 MRP 时，几乎都有潜在的高级的约束计划的需求，有的正在实施 DFM 需求流计划(看板计划的发展)，有的客户却用简单的订货点计划，有的客户需要 TOC 约束理论的指导，大多数客户都对目前的计算机计划知之甚少。特别是对多种计划理论的出现，使得很多人困惑或眼花缭乱。本文就是简要介绍，综合了各种计划技术，是想要提示一个重要的信息：就是面向客户的，敏捷的，同步的，具有约束的计划的运用已大势所趋。

概述

从二次大战以后，我们在生产管理上的生产计划上开发了很多类型的生产计划系统，最早是用 EOQ 经济订货点系统，双箱 2Bin 系统，LP 线性规划系统。因为在美国，物料资源较为丰富，生产管理上主要集中考虑人工的效率，所以产生了基于无限约束的 MRP 物料需求计划。同时在资源比较匮乏的日本，研究开发出了 JIT 看板拉式系统，主要集中考虑减少物料的浪费。在以色列，主要关心关键资源的能力效率，所以产生了 TOC 约束理论以用提高瓶颈资源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。随着管理的需要，MRP 系统与财务的结合就产生 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规划企业资源。

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 有限能力计划系统利用并扩展 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。同时把 JIT 和 TOC 的优势结合在一起，又产生了 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)

1. 独立需求计划-经济订货点-ECQ

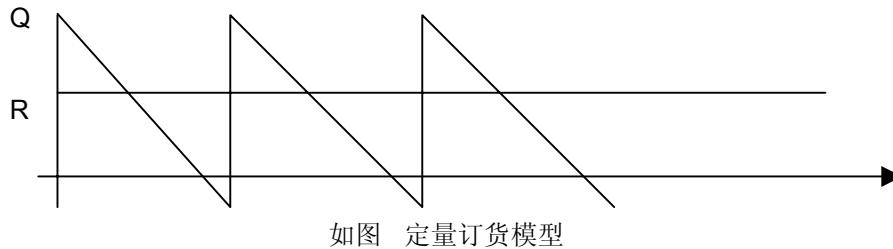
独立需求是外部对企业最终产品的需求，而非独立需求指的是企业内部对组成复杂产品的各种零件的需求。大部分行业中，这两种需求同时存在。举例来说，制造业的独立需求通常是指产成品、修理用配件以及运作所需物料；非独立需求是生产最终产品所需的各种零部件与原料。在消费品的批发和零售中，大部分需求是独立的，因为这些产品是最终产品，零售商和批发商不需要再对其进行装配。在定量订货模型和定期订货模型中，服务水平的影响体现在安全库存和再订购点的确定上。在计算机时代的早期，大多数计划库存管理系统均采用此两种系统的管理方法。如百货商店和汽车配件商店等非制造性企业现在也是采用此简单的办法来实现对库存的补货计划控制。

(1) 定量订货系统

定量订货系统要求规定一个特定的点，当库存水平到达这一点时就应当进行订购并且订购一定的量。订购点往往是一个既定的数。当可供货量（包括目前库存量和已订购量）到达订货点时，就应进行一定的批量的订购。库存水平可定义为目前库存量加上已订购量减去延期交货量。

以下这些假设与现实可能有些不符，但它们为我们提供了一个研究的起点，并使问题简单化。

- 产品需求是固定的，且在整个时期内保持一致。
- 提前期（从订购到收到货物的时间）是固定的。
- 单位产品的价格是固定的。
- 存储成本以平均库存为计算依据。
- 订购或生产准备成本固定。
- 所有对产品的需求都能满足（不允许延期交货）。



如图 定量订货模型

建立库存模型时，首先应在利息变量与效益变量指标之间建立函数关系。本例中，我们关心的是成本，下面是有关系的等式。

年总成本=年采购成本+年订购成本+年存储成本
即：

$$TC = DC + (D/Q) S + (Q/2)H$$

式中 TC —年总成本；

D —需求量（每年）；

C —单位产品成本；

Q —订购批量（最佳批量称为经济订购批量即 Q ）

S —生产准备成本或订购成本；

R —再订购点；

L —提前期；

H —单位产品的年均存储成本（通常，存储成本以单价的百分率表示，例如， $H = iC$ 式中 i 是存储成本的百分率）。

在等式右边， DC 指产品年采购成本， $(D/Q) S$ 指年订购成本（订购次数 D/Q 乘以每次订购成本 S ）， $(Q/2) H$ 是年存储成本（平均库存 $Q/2$ 乘以单位存储成本 H ）。

在模型建立过程中，第二步是确定订购批量 Q 以使总成本最小。我们将总成本对 Q 求导数，并设其等于零。具体计算过程如下：

$$TC = DC + (D/Q) S + (Q/2)H$$

$$\frac{d \, TC}{dQ} = 0 + \left[\frac{-DS}{QQ} + \frac{H}{2} \right] = 0$$

$$\text{最优订货批量} : Q = \sqrt{2DS/H}$$

因为该模型假定需求和提前期固定，且没有安全库存，则再订购点 R 为：

$$R = dL$$

式中 d —日平均需求量（常数）；

L —用天表示的提前期（常数）。

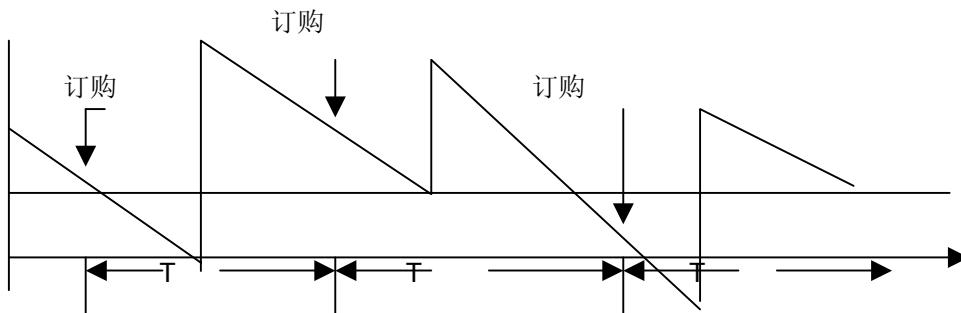
(2)定期订货系统

在定期订货系统中，库存只在特定的时间进行盘点，例如每周一次或每月一次。当供应商走访顾客并与其签订合同或某些顾客为了节约运输费用而将他们的订单合在一起的情况下，必须定期进行库存盘点和订购。另外一些公司实行定期订货系统是为了促进库存盘点。例如，销售商每两周打来一次电话，则员

工就明白所有销售商的产品都应进行盘点了。在定期订货系统中，不同时期的订购量不尽相同，订购量的大小主要取决于各个时期的使用率。它一般比定量订货系统要求更高的安全库存。定量订货系统是对库存连续盘点，一旦库存水平到达再订购点，立即进行订购。相反地，标准定期订货模型是仅在盘点期进行库存盘点。它有可能在刚订完货时由于大批量的需求而使库存降至零，这种情况只有在下一个盘点期才被发现。而新的订货需要一段时间才能到达。这样，有可能在整个盘点期和提前期会发生缺货。所以安全库存应当保证在盘点期和提前期内不发生缺货。

既定服务水平下的定期订货模型

在定期订货系统中，在盘点期 (T) 进行再订购，同时安全库存必须为：



如图 定期订货模型

盘点期为 T ，固定提前期为 L 的定期订货系统。

实际上，得到订购成本、生产准备成本、存储成本以及短缺损失的数据非常困难，有时甚至不可能。假设条件有时不切实际。所以，所有库存订货点系统都要做以下两个工作：1，是对每种库存物资进行适当的控制；2，是确保库存记录准确可靠。所以，在实际中，我们常用三类库存系统 1，任意补充系统。2，单箱系统。3，双箱系统

(1) 任意补充系统 (Optional Replenishment System)

任意补充系统强制系统以某一固定频率（例如每周一次）对库存进行盘点，当库存水平下降到某一数量以下时订购一个补充量。该系统适用定期订货模型。例如，可以根据需求、订购成本和短缺损失计算出最高库存水平 M ；因为发放每一个订单都需要花费一定的时间和资金，所以可以求出最小订购批量 Q ；每当盘点库存时，就用 M 减去现有库存量 I ，令 $(M-I)$ 等于 q 。如果 q 大于或等于 Q ，则订购 q ；否则在下一次库存盘点之前不订购。用数学语言表示如下：

$$q = M - I$$

如果 $q \geq Q$ ，则订购；否则不订购。

(2) 双箱系统 (Two-Bin System)

在双箱系统中，物资从一箱获得，另一箱的库存数量刚好等于再订购点的库存量。该系统采用的是定量订货模型。在该系统中，一旦第二箱的库存被拿到每一箱，则意味着要发放订单了。实际上，两箱可能搁在一块儿，二者之间只要有东西隔开就行。双箱系统操作的关键是将库存分为两部分，在一部分没有用完之前另一部分保持不动。

(3) 单箱系统 (One-Bin System)

单箱系统对库存进行周期性补充，以固定的时间间隔（例如一周）将库存补充到预定的最高水平。单箱系统与任意补充系统不同，任意补充系统的库存使用量超过某一最小数量时才进行下一次订购，而单箱系统则是期期订购、期期补充。单箱系统采用的也是定期订货模型。

需要指出的是降低库存需要库存管理的专门知识，而不只是简单的选择模型代入数进行计算的问题。首先，模型有时不适用；其次，有关数可能到处都是错误，或者是根据不正确的数据得出的结果。通常认为订购量的确定是一个交易问题，也就是说，是对存储成本和生产准备成本的平衡问题。当今许多企业的一个重要目标是减少库存，但是要注意的是这些方法的目标都是成本极小化，而企业的目标是满足客户需求，赢得利润。因此，在考虑使库存成本的降低的同时，要有助于企业目标的实现。通常说来，正确地减少库存能够降低成本、改进质量、提高绩效并增加利润。

2. 线性规划的生产计划-LP

线性规划是通过系统的迭代程序去解联立线性方程的一系列方法的名称。以前，线性规划恐怕已成为在制造业中的最广为人知的与最独特的一种运筹学算法。

线性规划可以应用于具有下列一般特征的问题：

- (1) 有可定义的目标（诸如利润、成本与在一定时间期内最大的生产量）
- (2) 有许多可用的替代解。例如，可以不同成本在一个生产单元上运行或在另一生产单元上运行；或可以不同制造成本与运输成本从不同制造厂获得补充的仓库补货订货。
- (3) 资源是有限的。例如，成本最低的设施其能力不足以生产全部所需产品。
- (4) 重要的成本与绩效变量之间的关系是线性（一次）代数方程式表达。

若成本与变量间关系为线性的，且需求被认为是已经确定的，可以用线性规（LP）编制生产计划。对于一般情况，可以用单纯形法。

我们对线性规划与数学技术的进行观察，当成本与变量关系是线性的，或可被近似分割为线性部分时，采用线性规划是可行的。考察工业中应用的复杂生产计划技术发现，只有线性规划的应用范围最宽。许多工作可用微软的 Excel 实现。对于软件来说，根本问题在于管理者对一般模型的态度。如果公司把建模作为解决问题的方式。它们可能会尝试更复杂的模型；并主要应用计算机作详细计划。在这些企业中，我们期望在其制定生产计划时，尝试用试算法制订备选计划。线性规划曾被应用于若干生产问题，主要是在流程工厂的计划，精炼厂、化学品、油漆与玻璃厂、最近还有柔性机器中心的日程计划。目前这种算法实际上在制造厂里用途有限，更简单与更有效的算法使得这些复杂的数学方法成为不切实际的。

3. 计划评审技术/关键路径法的项目计划-PERT/CPM

计划评审技术 (Program evaluation and review technique, PERT) 和关键路线法 (critical path method, CPM) 是两种最著名的项目计划技术。它们都产生于 19 世纪 50 年代。PERT 是美国海军特别计划委员会 (the U. S. Navy Special Projects Office) 于 1958 年制订北极星导弹研制计划时，作为一种计划与管理技术而最先使用并由此发展起来的。CPM 则是由雷明顿-兰德公司 (Remington-Rand) 的 J. E. 克里 (J. E. Kelly) 和杜邦公司的 M. R. 沃尔克 (M. R. Walker) 在 1957 年提出的，当时是为了帮助一个化工厂制定停机期间的维护计划而采用的。

关键路线技术 CPM 指的是一套用于计划和控制项目实施的图形技术。在任何给定的项目中，要考虑的三个因素都是工期、成本和资源可用性。关键路线技术已经发展到既可以单个处理，也可以综合处理各因素的阶段。

关键路线技术用网络图形描述出一项工程的全貌，并提示要将注意力集中在关键路线上，因为它决定了项目的完成时间。为了使关键路线技术最大限度地发挥作用，应用该技术的项目必须具有如下特点：

- 1) 工作或任务可以明确定义。它们的完成标志着项目的结束。
- 2) 工作或任务互相独立。即可分别开始、结束和实施。
- 3) 工作或任务有一定的顺序。它们必须按顺序依次完成。

建筑业,飞机制造业以及船业一般都符合上述要求,因此在这些行业中关键路线技术得到了广泛应用。在前面我们也曾经提到,项目管理和关键路线技术的应用在那些迅速变化的行业里正变得更加普及。

PERT 和 CPM 都强调时间参数的确定,必须通过分析作为项目计划和控制基础的任务网络,来发现所需时间最长的工作路线。两者都使用节点和箭线表示。初期的 PERT 和 CPM 最基本的区别在于: PERT 对完成活动所需时间采用三点时间估计—乐观时间、悲观时间和最可能时间,而 CPM 只使用最可能估计时间。由于这一差别, PERT 最初主要用于研究与开发项目,因为此类项目的主要特点是不确定性;而 CPM 则用于例行性的或已有先例的工程活动计划。但是随着时间的推移, PERT 和 CPM 这两个特点都已变得不明显。这主要是因为 CPM 的使用者也开始使用三点时间估计,而 PERT 的使用者也经常用节点表示活动。用节点表示活动在逻辑上比用箭线更加容易理解。三点时间估计可用于估计在规定时间完成任务的概率。因此,我们用节点表示活动,至于活动时间是用单点时间估计还是用三点时间估计,则取决于要实现的目标。而我们所说的 PERT 和 CPM 则指的是同一件事,尽管 CPM 较之 PERT 可能使用得更多。

从某种意义上讲,这两种技术的发展都应归功于它们的先驱—甘特图的广泛应用。对小项目,用甘特图可以直观地将各种活动和时间联系起来,但对于超过 25 或 30 个活动组成的项目,其可视性就变得极差,而且操作起来也十分困难。另外,甘特图也不能提供确定关键路线的直接方法。不过,尽管存在着理论上的缺陷,甘特图仍然具有很大的实用价值。

不过,在使用项目网络图和 CPM 或 PERT 时需要作出一些假定。当使用三点时间估计时,对于操作人员来说,最为困难的地方就是对统计学理论的理解。对活动时间的分布、三点时间估计、活动方差以及使用正态分布评价项目完成的概率等,都是产生误解的根源,会导致操作人员对计划的执行产生不信任和抵触情绪。因此,管理上必须确保负责监督和控制活动运作的人员懂得统计学。

项目应用关键路线法的高昂成本有时也会成为被批评的对象。然而,应用 PERT 或 CPM 的成本很少超过项目总成本的 2%。即使加入了工作分解图和其他各种报告后,其应用成本将大幅提高,但也很少会超过总成本的 5%。因此,这些新增加的成本通常远远低于计划改进和项目时间缩短节约的成本。

4. 非独立需求计划-MPS/MRP

主需求计划 MDS 或销售运作计划 SOP 来源于预测或销售订单,主要适合于最终产品或用于销售的半成品等。主生产计划 MPS 主要是对公司利润有重大影响或消耗关键资源的成品或原辅料,才被标记为主计划物料,计划时需要额外的控制与支持,需要单独的计划运行,需要计划时界来保护计划的稳定性。MPS 为企业管理者提供一个控制把手,来有效的控制计划:

1. 一种可以授权与控制并支持客户服务、获利能力与资本投资,劳动力水平,库存投资与现金流的手段。
2. 一种可以协调市场营销、销售、工程设计、制造与财务活动,来进行统一计划与提高团队协作的机制。
3. 一种可以调和市场营销及销售方面的需求与制造能力的方法。
4. 一种可以度量每一团队在执行共同计划中的绩效的手段。

MRP 的计划主要是计划相关需求,从最高的需求通过多层的 BOM(物料清单)计算而得。如零部件,半成品,原材料,辅料。制造作业中使用的大量物料的需求是由要生产某种含有这些物料的物品的决定所引起的。

MRP 通常是通过下列逻辑分析来处理的:

1. 我们何时要去制造多少这种具体产品?

2. 需要哪些组件（或成份）？
3. 这些物品已在手头的有多少？
4. 此外已经订了货的有多少，它们将在何时到达？
5. 何时需要更多些，而且需要多少？
6. 这些物品应何时订货？

这就是 **MRP** 的基本逻辑。它对订货生产、客户定制的产品如船舶、建筑物或专用机器，对定期成批制造的小量或大量产品，对流程工业以及对重复性大量生产都是同样适用的。**MRP** 逻辑适用于包含多种子件（成份）的一切类型的产品与过程。**MRP** 逻辑应用到这些不同的加工方法，要求采用不同的方法并使用不同的数据格式。然而，对所有这些加工方法，都要求有健全的物料计划与有效的计划控制：

1. 必须作出一个有效的主计划，它说明要制造什么，需制多少，对每一产品何时需要各种物品。这个主计划叫做主生产计划（**Master Production Schedule**，简称 **MPS**）。这些计划数字驱动 **MRP**。如果 **MPS** 所要求的产出超过了生产设施（工厂与供应商）的能力，则所有的有关计划都是无效与不现实的。

2. 准确的物料清单，它详细说明产品的组成结构，它是现代计划工作的框架，它说明当产品将被制造或被采购时产品的父物品与子件物品的关系。

3. 关于现有库存的准确信息，包括一个唯一的零件号、存货数量以及为制订计划所不可缺少的用来完整地描述该物品所需的数据。

4. 关于为了获得每一物品的增量而已发放的订单的准确信息，它包括外购的或自制的，它必须包括订货量与应交货日期。**MRP** 并不需要制造该物品各道工序加工数据与所需的时间。

5. 需要有采购或制造成批物料或特定物料批的可靠的提前期。

6. 必须有足够的物流去满足通过总的过程中涉及的每一设施（包括供应商的一切要求。

CRP 能力需求计划：

1. 粗能力计划，其能力需求计划可通过把所有产品的 **MPS** 转换成为工作中心所需的标准小时数而建立起来。把 **MPS** 中产品件数转换成各个工作中心里工作的标准小时数这一简单算法涉及资源清单的使用。

2. 细能力计划：对能力需求作非常详细的计算。要求是：

1. 所有已发放与已计划订单的有效到期日期。
2. 及时更新的工艺路线与加工信息。
3. 准确的生产调整与加工时间标准。
4. 处理所有作业的一个安排日程计划的程序。
5. 把工作分派到各个时间期间的一个加载计算程序。
6. 各工作中心的标准排队容差。
7. 计划外事件引起的负荷的估计。

典型的详细能力计划报告：

1. 有相当数量脱期工作
2. 最近将来的总负荷量，大多来自已发放订单
3. 在不同期间负荷有波动
4. 已发放订单在未来的趋势。

这样的一份负荷报告仅当其假设及它所根据的数据为有效时才是工厂情况的良好报告。除非精通加工负荷与安排日程计划的算法，否则很容易错误理解这些数据。即使在某些工作中心这样的能力波动是可能的，它们处理也是很困难的，原因如下：

1. 正式计划并不包括它将必须去处理的所有负荷。
2. 某些负荷必须保留在工作中心以提供计划中的标准排队，等待，运输。

除了正式计划所计算的详细负荷之外，能力需求还有其它来源：

1. 现行 MPS 中未包括的新产品。
2. 在危机时替代工艺路线与加工的使用。
3. 报废品的补货与返工作业。
4. 由于任何理由而需要的额外加工。
5. 额外物料需求所造成的记录误差。

从停产的产品、加工方法的改变与改善、新设备与过剩库存等原因引起的负荷减少，可部份地补偿负荷的增加。这些补偿只能靠估计以确定要比正式计划数净增或净减多少。只要持有在制品（排队）是为吸收工作中心上负荷波动所必要，确定该工作中心的能力需求时就必须把这些计划中的排队从总负荷中扣除。由于明显的理由，成功的公司总是不断地努力去减少这些波动并削减在制品。能力必须足以支持 MPS 并能处理额外的计划外需。

5. 有限能力计划-FCS

FCS 有限能力计划已发展十多年，在动态复杂的车间管理中，建立一计算机模拟原型，设定工作中心的能力是有限的，计划的安排按照优先级的规则进行排产。当工作中心负荷已满，就根据你定义的规则如基于订单任务(Job-based)， 基于事件(Event-based)， 基于资源(Resource-based) 来自动，优化的安排可行的生产计划。

它的基本算法是：

1. 基于订单任务(Job-based)

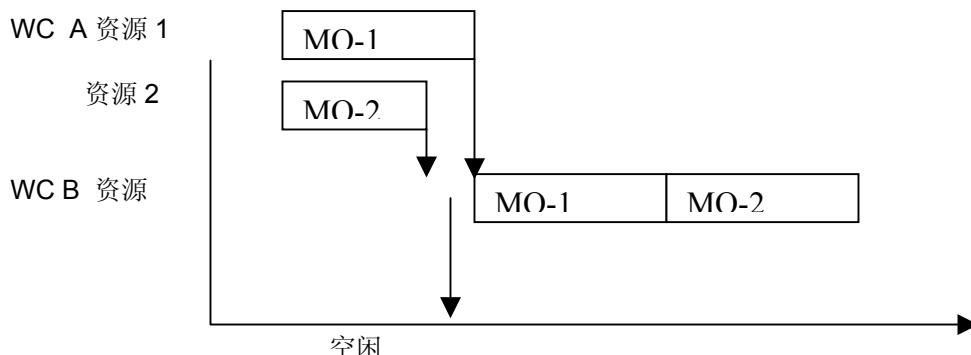
是基于订单的优先级决定下一个订单的加工，可以自动识别订单的优先级和手工定义优先级，在计算机自动的根据规则的优先级排出生产计划后，还可以手工介入，修改优先级进行重排。以满足复杂的现实的需要。

如：

工作中心 WC A 有两个资源工作中心 WC B 有一个资源。

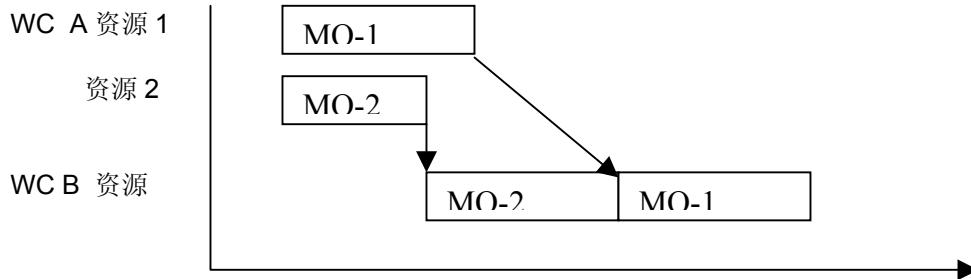
订单 MO-1 最高优先级。

订单 MO-2 次优先级。



2. 基于事件(Event-based)

是基于高利用率的方法。如：



3. 基于资源(Resource-based)

基于资源的约束，来优化计划。



对你定义的约束资源建模进行大量的模拟，来实现实际的详细计划。对所有资源可以模拟不同的批量(策略约束)来分析库存或完成日期的影响。

6. 同步制造计划-TOC

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。如 BN(Bottleneck)/CCR(critical constraining resources) 资源正在控制资源，它们就控制所有物流。对关键资源建模进行大量的模拟，对非关键资源的额外能力的计划是不重要的。瓶颈和次瓶颈资源 CCR 是用鼓来控制所有物流，所有，这些需要物料的资源建模来实现实际的详细计划。可以模拟不同的批量(策略约束)来分析库存或完成日期的影响。非瓶颈，非 CCR 非资源可以不同的选择如有限资源或无限资源能力。在 TOC 系统还有许多不同的方法对资源和物料进行模拟。

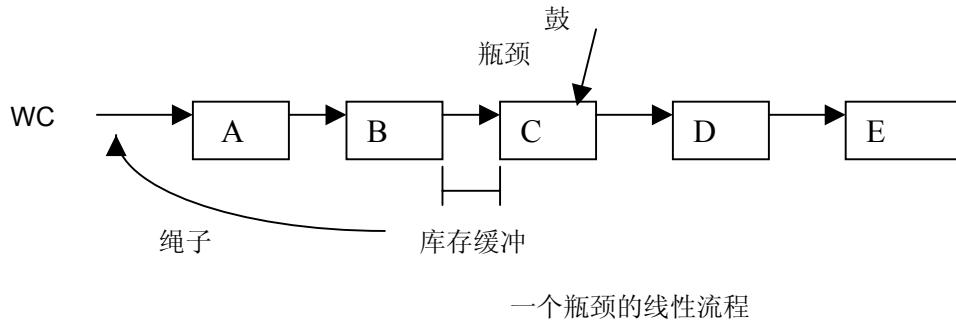
鼓、缓冲器与绳子(DBR)的逻辑：

每个生产系统都需要一些控制点来控制系统中的产品流动。如果系统中存在瓶颈，那么瓶颈就是最好的控制点。控制点被称为鼓，这是因为它决定了系统的其余部分（或者是它所能影响的部分）发挥作用的节奏。瓶颈是实际生产能力不能满足需求的资源，用瓶颈作为控制点的一个原因是确保其上游作业不过量生产，可以预防瓶颈不能处理的过量的在制品而出现的库存。

如果系统没有瓶颈，那么设置鼓的最佳位置莫过于次瓶颈资源（CCR）。次瓶颈资源是那些运行时间接近其生产能力，如果作业计划安排得当的话，还有适当剩余能力的资源。

如果一个系统既没有瓶颈，也不存在 CCR，那么控制点的位置可以任意选择。当然，一般来讲，最好的位置是物流分叉点，即该处资源的产出流向好几个下游作业。

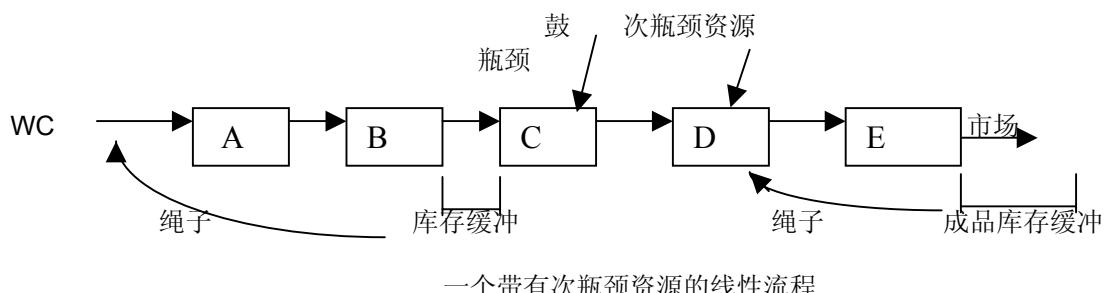
处理好瓶颈问题具有决定性的作用，如主要集中于确保瓶颈总有工作可做。图示为一个从 A 到 E 的线性流程。假设工作中心 C 是一个瓶颈，这意味着 C 的上下游的生产能力都比 C 的生产能力大。如果我们不对这个线性流程加以控制，那么加工中心 C 的前面必然出现大量的库存，而其他地方基本上没有库存。当然，也没有多少成品库存，因为（由瓶颈的定义可知）生产的所有产品都能被市场所接纳。



有两件与瓶颈有关的事情要做：

- 1) 在瓶颈前面设置缓冲库存确保瓶颈连续工作，这是因为瓶颈的产出决定了系统的产出。
 - 2) 将 C 的已加工信息传递给上游作业 A，以便 A 按需生产，这样才能避免库存的增加。这种信息的传递被称为绳子。它可以是正式的（如作业计划），也可以是非正式的（如日常讨论）。
- 瓶颈作业前的缓冲库存是一种时间缓冲。我们希望的是加工中心 C 总有工作要做，至于何种产品正被加工并不重要。

也许有人会问，时间缓冲要多大呢？答案是时间缓冲能够确保瓶颈连续工作就行。至于具体的确定办法，我们可以测出每种作业的变化，也可以估计。从理论上讲，缓冲的大小可以利用过去的作业数据进行统计计算来获得，也可以通过模拟来获得。不论采用何种办法，不要过于计较精度。缓冲大小最终还要靠经验来决定。如果鼓不是瓶颈，而是 CCR（这样它有少量的空闲时间），我们可以设置两个缓冲库存——一个设置在 CCR 的前面，另一个则是成品缓冲库存如图。成品库保证能够满足市场需求，而 CCR 前面的时间缓冲则保护了系统的产销率。在这种情况下，市场不能买走我们所能生产的所有产品，因此，我们希望只要市场决定购买我们的产品，我们就能确保有产品可以供应。



在这种情况下，我们需要两根绳子：一根绳子把信息从成品缓冲库存传到鼓点，以便鼓点增加或减少其产出；另一根绳子则把信息从鼓点传到原材料发放点，指明需要多少原材料。

不仅在可以瓶颈的前面设置了库存，而且还可以在非瓶颈资源的后面也设置了库存。这样做是为了确保产品离开瓶颈之后的流动速度不会减下来。

7. 什么是看板计划 JIT?

传统地确定看板卡的数量是建立看板控制系统需要确定所需的看板卡（或容器）的数量。对于两看板系统，我们要确定搬运看板的生产看板的套数。看板卡代表了装载用户与供应商间来回流动的物料的容器数，每个容器代表供应商最小生产批量。因此容器数量直接控制着系统中在制品的库存数。

精确地估计生产一个容器的零件所需的生产提前期是确定容器数量的关键因素。提前期是零件加工时间、生产过程中的准备时间及将原料运送到用户手中所需的运输时间的函数。所需看板的数量应该能覆盖提前期内的期望需求数加上作为安全库存的额外数量。看板卡套数的计算公式如下：

$$k = (\text{提前期内的期望需求量} + \text{安全库存量}) / (\text{容器容量}) = DL (1+S) / C$$

式中 k —看板卡套数；

D —一段时期所需产品的平均数量（单位时间）；

L —补充订货的提前期（用与需求匹配的单位表示）；

S —安全库存量，用提前期内需求量的一个百分比表示

C —容器容量。

由此可见，看板系统并不能实现零库存；只是它能控制一次投入工序中的物料数——通过控制每种零件的容器数的方法来实现。看板系统可以方便地进行调整以适应系统当前的运行方式，因为卡片的套数可以十分容易地增加或从系统中移走。如果工人发现他们不能准时完成零件的加工，则可以增加一个新的物料容器，也就是加入一个新的看板卡。如果发现存在多余的收集物料的容器，则可以很容易地拿走卡片，因此就减少了占用的库存数。

8. 需求流制造计划-Demand Flow Management

DFM是结合JIT和TOC的原理，DFM是物料补充动态看板计划，可视看板、自动看板和看板回路。复杂的，高级的需求管理，需求按预测、生产速度或用量分类，实际需求在动态看板流程中得出实际需求。多工厂管理，为多工厂环境提供物料补充能力。车间作业看板公告牌，车间作业采用看板公告牌进行管理、执行和传达工作单元排产计划。可以用TOC的原理(能力利用率)，显示工作单元能力和负荷信息，并自动识别瓶颈资源进行同步排产。管理物料短缺，突出显示物料短缺情况及其影响，显示对某一工作单元有影响的所有工作单元排产计划。可以根据用户自定义规则为工作单元排列优先次序。

在供应链管理上，DFM可以生产排产、现有物料和生产能力为基础确定可承诺量。基于因特网的看板公告牌，直接向供应商传达物料补充信息。自动生成采购订单根据动态看板信号生成订单。与供应商联盟，用以增强供应商绩效的多种交流方式。

需求拉动始终面临着一个挑战——用于管理库存量的看板数量绝大多数是静态的。定期更改和优化看板数量，以适应忽高忽低的库存量，是一件棘手的事。在多品种、低产量环境中，仅SKU数量这一项就会使许多零件的看板数量优化变得不可行。动态看板计划，确保在多品种或定制生产环境中维持最佳库存量。也就是说，即使已在人工环境中实施了需求拉动运作，采用动态看板计划后仍可实现库存效率的几何级提高。可以在多品种产品环境中可实施最佳运作，从而可脱离传统的MRP推式计划。

动态看板计划(Dynamic Kanban Plans):是指看板的数量和每一个看板的大小。以满足需求变化的需要。它可以达到生产与Takt时间（客户需求速率）同步，物料的连续流动与平衡的运作，作单元式厂房布局，补充信号或看板，其重点是消除非增值活动。

动态看板计划可以下列几种方式运行：

1. 看板大小(Kanban Size): 是每一个看板的物料的数量，如容器的大小。批量。
2. 看板卡(Kanban Cards): 是补充信号，每一个看板容器都有一看板卡。
3. 可视看板:在可视看板环境下，看板补充基于实际的视觉信号。这种信号可通过数据收集系统以人工或电子形式发送。例如，在一个双料箱可视系统中，员工若看到其中一个料箱变空，则把这个空料箱视为补充信号。当补充活动被记录后，DKP动态看板计划将立即给出正确补充量信号。
4. 自动看板:自动看板环境不采用视觉信号。看板量和补充触发器。当SKU的数量不稳定或需求变化频率过高导致难以应用可视看板时，自动看板则为首选。当供应链上任何一个环节发生库存事件，需要作生产或补充响应时，将根据既定的生产和补充规则采取相应措施。
5. 看板回路:是一种根据某种物料的容器数量来决定生产进度和库存量的方法。通过管理回路中的容器数量改善运作环境。当需求上升时，发出增加容器的要求；反之，则要求减少回路中的容器。

动态看板计划的公式：

$$(使用率 \times 提前期) + 订单周期 + (安全库存 / 安全提前期)$$

$$\text{动态的看板数} = \frac{\text{看板尺寸(容器容量)}}{\text{使用率} \times \text{提前期}}$$

$$\begin{aligned} \text{触发数(动态订货点)} &= \text{使用率} \times \text{第一次提前期} + \text{订单周期} + (\text{安全库存} / \text{安全提前期}) \\ \text{看板数(动态订货点)} &= \text{使用率} \times \text{第二次提前期} + \text{订单周期} + (\text{安全库存} / \text{安全提前期}) \end{aligned}$$

9. 高级计划与排程-APS

有些称高级计划系统(Advanced Planning System)，而有些叫高级计划与排程(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 应包括如下内容：

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

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。

基本流程：

1. 现实情况分析进行抽象
2. 建立模型：参数模型 (1)常量 (2)变量
3. 计算法则 (1)数学模型 (2)统计模型 (3) 作业研究 (4) 约束规则
4. 计算机处理:运算能力;储存能力;连接能力。
5. 决策，行动

基本原理: APS 综合四个方面:

1. 供应链的实际状况:实体的运筹配置(工厂，分销中心);物料结构 BOM;生产工艺路径;分销路径和提前期;成本(生产，分销，库存等)
2. 市场需求信息:销售预测;客户订单;补货订单
3. 原料供应信息:现有库存;在途量，在制量，调拨量;
4. 流动资金可用量信息:预计收款量;预计付款量。

APS 就是利用约束条件与商业规则:1，产能约束 2，原料供应约束 3，运输的约束 4，客户或区域的优先顺序 5，安全库存，批量等。通过 APS 引擎:(1)，在市场需求，约束条件，原料供应，生产能力无法同步平衡时及时警告问题的原因(2)，计划人员交互调控(3)，手动或自动的，实时重新计算保持供应链的同步平衡。来达到可行的计划与排程(1)，生产计划(2)，采购计划(3)，配销计划

10. 基于多层代理技术的高级计划

人工智能的技术 AI 已经用于智能制造二十多年了。然而，在新的领域分布式人工智能(DAI)的多层代理的近来发展已经带来新的趋势。于是，在过去的十年，研究者已经把代理技术集成到制造企业和供应链管理，制造计划，排程和执行控制，物料的处理，和库存管理以及开发新的生产类型系统如整子制造系统。(Holonic manufacturing systems)。

(1) 企业集成和供应链管理

企业集成是组织每一个单位将可以存取相关的信息。将理解怎样行动影响组织的其它部分因此，有能力选择可替换的，优化的组织的目标。制造企业的供应链是一个世界网络包括供应商，工厂，仓库，分销中心和零售。通过网络购买原材料，加工，交给客户。提高供应链管理是增强企业竞争地位和赢利的关键

战略。结果是企业正在转向更开放的结构，即在供应链网络里集成供应商，客户和伙伴。基于代理的技术提供这一自然的方法来设计实施这些环境。

(2) 制造计划，排程和控制

计划是选择和排序的活动的过程。如他们达到一或多个目标和满足一套约束。排程是在可替换的计划之间选择，分配资源和时间的一组活动。这些分配必需遵守一套规则或约束。来反映现实的关系即在共享资源的在活动和能力限制之间。这分配还影响最佳的排程，用各种条件如成本，延迟或产销量。总之，排程是一优化过程。在平行和顺序活动之间分配有限资源。制造排程是一困难的问题。特别的在开放的，动态的环境下发生。排程问题已经用很多方法研究:启发算法，约束繁殖技术，约束满意，模拟磨练，禁止搜寻，基因算法，神经网络等。代理技术近来已经被用来解决这类问题。

(3) 整子制造系统(Holonic Manufacturing Systems , HMS)

整子系统的基本构件是整子(Holon)。Holon 是从希腊语借过来的，人们用 Holon 表示系统的最小组成个体，整子系统就是由很多不同种类的整子构成。它的最本质特征是：

1. 自治性，每个整子可以对其自身的操作行为作出规划，可以对意外事件(如制造资源变化，制造订单的产品需要变化等)作出反应，并且其行为可控。
2. 合作性，每个整子可以请求其它整子执行某种操作行为，也可以对其它整子提出的操作申请提供服务。
3. 智能性，整子具有推理，判断等智力，这也是它具有自治性和合作性的内在原因。整子的上述特点表明，它与智能代理的概念相似。由于整子的全能性，也有翻译为全能系统。
4. 敏捷性，具有自组织能力，可快速，可靠的组建新系统。
5. 柔性，对于快速变化的市场，变化的制造要求有很强的适应性工程。

总之，计划控制的最终目的达到敏捷制造。以充分利用计算机技术，实现快速响应客户的复杂的需求，并且达到客户利益最大化，供应链的成本最小化，价值链管理思想就是要企业协同供应商，从产品设计开始一直到把产品交付到最终客户的完整流程。它包括协同产品开发，寻找货源，采购，生产制造，分销，运输，销售，售后服务等各个环节的作业，这些流程通常也代表不同的专门的产业，必须依靠不同的企业形成联盟来共同完成。而企业价值链管理 VCM 的核心思想就是要将供应链的运作模式，由专注与企业内部的静态系统，传统供应链的协同(未优化)系统，改造成以客户为中心的动态的优化系统。

参考资料:

- Production and Operation Management/Manufacturing and Services (Richard B. Chase and Nicholas J. Aguilano and F. Robert Jacobs)
- Finite Capacity Scheduling-management, selection, and implementation(Gerhard Plenert, Bill Kirchmier)
- MRP II/ERP 原理与实施(刘伯莹，周玉清，刘伯均)
- Solving Business Problems with MRP II (Alan D.Luber)
- The Haystack Syndrome (Dr. Eliyahu Goldratt)715, The Goal (Dr. Eliyahu Goldratt)
- DemandStream white paper by Fourth Shift
- Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey
(by Weiming Shen and Douglas H. Norrie)

作者简介: 蔡颖—ERP 专家，具有十几年以上生产制造，物料计划，工业工程，成本控制的管理经验和 ERP 项目实施经验。现任四班 (Fourth Shift) 华南地区高级实施顾问、AMT 资深会员。

E-mail: ycai@fs.com.cn