

第二篇 工厂物理学

A theory should as simple as possible, but no simpler.

——阿尔伯特·爱因斯坦

第六章 制造科学

我经常说当一个人能够度量你所说出的，并且以数字的形式表达出来，那么你就在一定程度上了解了这个问题；但是当你不能用数字的形式表达出来的时候，你的知识就比较贫乏并且不太令人满意；即使这样（能够用数字表达），这也仅仅是知识的开端，在你的脑海里几乎不可能上升到科学的高度，而不管是对于什么问题。

——罗德·开尔文

6.1 制造科学的原因

制造管理者们经常感到困惑。大量的书籍、短期课程、软件包、录像带、网站，以及其他推动竞争制造哲学和工具的资料足以将即使是最有经验的专家淹没。更可怕的是，就像我们在第一篇中看到的那样，制造管理的主要方法（如，经典库存控制、MRP 和 JIT）彼此之间不能完全兼容并且存在严重的个体缺陷。

很多制造管理者认识这个领域是通过大量的管理术语（如，MRP、MRP II、ERP、JIT、CIM、FMS、OPT、TQM、BPR）和继承专家思想或者经验。Micklethwait 和 Woolridge（1996）在他们的有启迪作用的书《巫医》（*The Witchdoctors*）中描述了这种倾向。

尽管一些制造管理术语经常反映事实的核心，但是它们真正的本性是提供一种简单的方法来应对所有的问题。因此，它们很少提供关于哪种方法适用以及何时适用的权衡观点。这些经常导致一种心理上以为是“流行管理”的不幸结果。雇员们，被一个接一个“革新”打击之后，产生了愤世嫉俗的观点“这也会销声匿迹”。但是，很多管理者依然勇敢地坚持他们的信念，坚信总会有人在某些地方会有个一劳永逸解决所有运营问题的方法。所以导致的结果就是，介绍时髦词汇的书籍与咨询业繁荣发展，但是制造管理真正的进步却很少。

当然，部分的混淆是由一些厂商或者顾问在营销其产品时过分夸张产生的。模糊的核心被炫目的推销材料包围，是经理们确切比较各种系统的要求难以实现。但是，我们认为问题的根源比这个还要深。我们相信，这种大尺度的混淆是我们缺乏下面所要讲的**制造科学**（**science of manufacturing**）的直接后果。（186|187）

6.1.1 为什么是科学？

对于物理学这样其目标是理解物质世界的领域，它们对科学的需要很明显。但制造管理是个应用领域，其目标是财务绩效，而不是发现知识。那为什么它也需要科学？

最简单的答案就是许多应用领域都依赖科学。医学建立的基础是生物、化学和其他自然科学。土木工程的前提是静力学、动力学和其他物理学分支。电气工程依赖于电与磁相关学

科的发展。在各个例子中，科学的基础提供了一套强有力的工具，但是科学本身并不是一个完整的应用领域。例如，医学实践的内容远多于简单地运用生物学原理。

更具体地，科学在制造管理的背景下提供了许多应用。

首先，科学提供精确性。正如本章开头引用的名言，“当你不能用数字来表达的时候，你的知识就比较贫乏并且不太令人满意。”因此，发展制造科学的原因之一就是要更精确地刻画系统行为。那些能够进行预测的关系是科学的**基础（basics）**。例如， $F = ma$ 是物理学的一个基本关系。那些如我们在第二章的库存系统中用于为不确定性建模的概率工具，就是工厂物理学重要基础知识的例子。

科学也提供**直觉（intuition）**。公式 $F = ma$ 很直观。对于同样的质量，作用力加倍，加速度也加倍。小学生要上一些科学课程，不是为了计算某个实验的结果，而是为了更好地理解身边的世界。知道了水结冰会膨胀，且这种膨胀能使发动机组产生裂纹，会使我们意识到需要防冻剂（不论我们会不会计算溶液的摩尔浓度）。类似地，管理者常常没有时间对一个决策作详细地分析。在这类情况下，模型真正的价值就是锐化直觉。良好的直觉能使管理者将精力集中在最关键的问题上。

最后，科学通过提供个统一的框架来促进不同观点的**综合（synthesis）**。例如，人们多年来一直以为电、磁与光学是不同的领域。然而，JC 麦克斯韦用四个式子将其统一。在制造业中，如 WIP 和周期时间等关键绩效指标，常常视为独立的。但如我们将在第七章中看到的，这些指标之间存在着定义良好且有用的关系。此外，制造企业是包含劳力、设备和资金的复杂系统。这样，我们就有多种看待它的方式：看作一群有共同价值观的人，看作一个开发新产品的创造性团队，看作一系列相互关联的物理过程，看作一个物流网络，或者看作一系列成本中心。通过提供前后一致的框架，制造科学给出综合这些不同观点的方法。将系统的不同部分纳入一个有效整体，这接近于管理职能的核心。

为了进一步强调制造科学的必要性，我们考虑两个例子。（187|188）

例 A：某产品设计

首先，假设一家汽车公司的市场营销部门已经完成一种市场需要的新型小汽车的设计构想

- 质量是 1000 千克（大约 2200 磅），安全，舒适。
- 10 秒内从静止加速到 60 千米每小时（大约 2.7 米每二次方秒的加速度），一种运动型的汽车。
- 当燃料充分燃烧时发动机可以产生不超过 200 牛的力（大约 45 磅）。

能做到么？

当限定在这些简单条件的框架下，问题的答案就很简单——根本不可能！物理的基本关系是：

$$F = ma$$

或者，本例中，

$$200N \ll (1,000kg)(2.7m/s^2) = 2,700N$$

式子清楚地告诉我们以上的条件不能同时满足。此外，这些物理分析也暗示要达到一个可行的设计需要在什么地方做出改变：假定加速度需求是需要首先被满足的，我们就需要要么减少汽车质量，要么增加发动机的牵引力。因此，我们需要考虑更多的这个理论背后的关于汽车引擎的一些更加复杂的方面，以便寻找出方法来减小质量，同时要保证安全性，或者

增加引擎推力，同时保证燃料的经济性。

具有物理和工程背景的读者很快就会指出这个例子过于简单，引擎的规格是按功率和转矩来分类的，而不是力，并且引擎产生的转矩会随着速度的改变而改变。尽管这些考虑的因素使问题的分析变得复杂，但是根本的一点不会改变：这种理论使我们在给定的一系列需求情况下，考察方案的可行性。

许多产品的设计，从半导体到桥梁，都是建立在良好发展的理论科学基础上的。虽然自然科学之间各不相同，但是它们都具有以下共同特征：

1. 它们都用数理关系来描述系统的行为（如， $F = ma$ ）。
2. 它们都建立在简单系统理论基础之上，围绕着简单系统理论延伸，就建立了更加复杂的现实世界系统（如，经典力学的关系都建立在没有空气阻力和摩擦力的基础之上的）。
3. 它们一般都包含很直观的关键关系，例如， $F = ma$ 清楚地表明，如果增加一倍质量 m ，在力不变的情况下，会减少半加速度 a 。通过一系列的观察，一个比 $F = ma$ 复杂的多的公式可能会更好的和实际数据吻合，但是却不会那么直观并且因此也不那么有用了。

例 B: 某工厂

接下来，假设我们有一个工厂规格设计书而不是一个产品的规格设计书。特别的，负责制造的副厂长要求在一家印制电路板（PCB）工厂生产（188|189）

- 为满足需求，每周产量为 3,000 件。
- 周期时间（从加工任务投放到完成的时间）不超过一个星期，保持反应效率。
- 不加班（每周工作 40 个小时），保持低成本。

能实现么？

这次，答案就不那么明显了。在工厂设计中人们不会使用等式 $F = ma$ 。¹工厂更像还未开发的汽车引擎的复杂组成部分。

如果工厂设计原理真的存在，那么它能告诉我们什么？对于一个印制电路板工厂来说一个可能性就是产生如图 6.1 种所示曲线这样的关系。 x 轴显示产能， y 轴显示由于产能变化导致的周期时间的变化。这三条曲线显示了每周不加班，加班 4 小时，加班 8 小时的产能和周期时间之间的关系。

¹ 正如我们即将在第七章看到的一样，在工厂设计中并不存在一个类似 $F=ma$ 的关系式，但是通过它本身也不足以回答以上提出的问题。

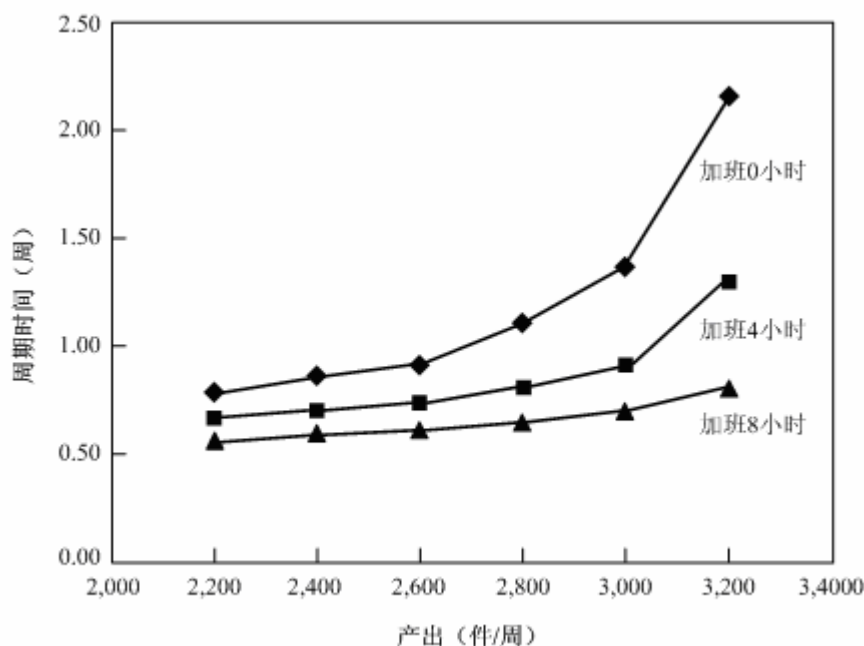


图 6.1 周期时间与产出的关系

从这个图中，我们立刻可以得到前面副厂长提出的问题的答案，就是不能。如果我们坚持平均周期时间不超过一周，而且不加班，我们每周最多生产 2,600 个电路板。如果我们坚持平均周期时间少于一周，而且每周生产 3,000 个电路板，那么我们需要每周加班 4 个小时。只要工厂的产能服从这些曲线，我们就没有办法满足副厂长的要求。但是这并不意味着完全不可能，只是说在工厂现目前的配置下不能实现。可以推测，接下来我们想要从原理得到的就是如何以一种低成本的方式改变工厂，从而改变图 6.1 以满足副厂长的需求。

注意到图 6.1 展示的关系满足我们先前引用的设计科学的共同属性：它们是定量的、简单的（我们可以知道它们是如何从简单的系统条件下得到的，后来又如何将这此结果应用到上述的曲线上）、直觉的（*quantitative, simple, intuitive*）。因而，即使它们不被用来解答数字性的问题，就像负责制造的副厂长提出的问题一样，像这样的关系也包含了非常有价值的管理见识。它们指出提高产出比率（从而提高产量）可能会引起周期时间的剧烈增加。也同样显示出，增加产能（这里指加班）使周期时间相对于产出比率不太敏感。在接下来的第二篇，我们将推测支配这种情况的定律和行为。（189|190）

6.1.2 定义制造系统

在我们发展制造科学之前，我们必须精确的定义什么是制造系统。我们使用如下定义，由 Deuermeyer 的定义修正而来

制造系统是实体在其中流动的具有目标导向的制程网络。（*A manufacturing system is an objective-oriented network of processes through which entities flow.*）

我们将该定义的关键词用斜体进行了强调。首先，制造系统有一个**目标（objective）**。这一般和利润相关，但是正如下面我们所讨论的，具体的说明基本的目标需要注意一些东西。制造系统包含一些列**制程（processes）**。这些过程可能是一般的物理过程（切、磨、焊等），但是也可能包括用来支持直接制造过程的步骤（订单输入、夹具安装、运输、设备维护等）。

实体 (Entities) 不仅包含那些被制造的零部件, 还包括用于控制系统运行的信息。**流 (flow)** 描述了材料和信息是如何被加工处理的。管理实体流是制造管理经理主要工作的重要组成部分。即使不会更重要, 管理它们之间的交互作用和管理单个的进程和实体也一样重要。

制造系统的以上定义强调了涉及制造系统的不同领域的角色。举个例子来说, 机械和电气工程主要处理制造过程和实体设计 (产品), 同时工业工程 (和持续流动系统中的化学工程, 如石油提炼厂和化工厂) 主要关注的是实体流和网络。管理活动关心的是朝着那个目的保证一切服从既定目标同时度量取得的进步。

6.1.3 规范性和描述性模型

在前面的例子中, 我们使用**描述性模型 (descriptive models)** 来决定系统是否达到所需的规格。在制造管理的教学和研究中, 使用的大部分模型是**规范性模型 (prescriptive models)**。即, 它们试图规定 (*prescribe*) 或优化 (*optimize*) 生产系统的设计与控制。规范性模型显然是需要的, 但在试图优化之前还得理解那些管控系统的基本关系。

规范性模型一般从一系列数学 (*mathematical*) 假设中推导得到。因此, 它们不同于物理和化学这些学科中陈述自然现象的模型。它们不是从数学表达式中推导, 而是完全独立的猜测。例如, 物理学的总体目标就是用最少量的基本推测去解释尽可能多的现象。由此得到的描述性模型为应用领域, 如机械和电子工程, 的实践者用于指导复杂系统设计与控制的描述性模型提供基础。(190|191)

例如, 考虑土木工程师在选择桥梁设计时面临的问题。每个可用的设计策略代表一种建立在经验与模型基础上的规范性解决方案。如, 要跨越很长的距离时, 吊桥往往是个好的选择。吊桥是用钢铁制造的缆索悬吊的, 缆索可以耐受非常大的张应力 (*tensile stress*) 但是却不耐受压应力 (*compression stress*)。与之相反, 跨距较短时常常使用钢筋混凝土桥, 支撑部分轻微上弯, 从而对载重部分产生压应力。混凝土可以承受大的压应力, 却不适合应对拉力。

土木工程师是怎么知道这些的呢? 在早期教育中, 在学习建造大型结构之前, 他们上了一系列工程学科的课程。其中的一些课程, 如静力学和动力学, 讲述了压力和拉力。在这里, 他们学到拱形如何将载重从顶部转移到底部。另一门早期课程讲述了钢与混凝土之类的材料的强度。我们认为, 这些都是描述性的课程。只有在理解了这些基础概念之后, 这个未来的工程师才开始学习设计或规范性课程。

可能有人会认为运营管理课程讲授的模型代表了制造管理的描述性模型基础。就像工程学科课程讲授的模型, 它们很基本, 并用作更复杂模型的构建模块。但是, 二者有个根本区别。如 Little (1992) 所指出的, 运营管理和工业工程 (IE) 所用的大部分数学模型是重复 (*tautology*)。也就是说, 在一系列假定下, 系统就会按特定的方式行为。重点是从假设到结论的合理推导, 而非该模型是否真实地代表了现实系统。从本质上讲, 模型的真实性和 (*truth*) 意为自容 (*self-contained*)。Little 甚至演示了一个以自己命名的“定律”(我们将在第七章研究) 其实根本不是定律, 而只是同义反复 (*tautology*)。既然里特定律在数学上被证明成立, 用经验数据来检验它也就毫无意义了。

和数学上的同义反复不同, 工程学科课程讲授的模型确实要对外部世界进行猜测。它们引导学生通过经验证据检查某些陈述 (学生在实验环节做的就是这些事)。公式 $F = ma$ 就是一个这样的猜测。这条定律不是数学上的同义反复; 它甚至不是严格地正确 (只在小于光速的情况下才正确)。尽管如此, 这个公式非常有用, 并且是许多复杂的工程模型的核心。物理学中很多重要的结论, 比如 $F = ma$ 和其他牛顿定律都因为简单而意义非凡。但是, 正如工程专业任何一个大二学生都了解的, 静力学和动力学领域很不简单, 尽管它们只建立在为数甚少且极其简单的对自然的陈述之上。

有必要认识到科学定律都无法证明。从第一原理推导出来并非证明，因为第一原理本身就是猜测。由于不可能观察到所有可能的情形（不同于数学归纳法），我们永远无法知道当前对观察现象的解释正确与否，以及是否还有更好的解释。若以历史为鉴，我们敢打赌所有的物理定律都将逐渐被挑战和推翻。

然而，科学实践并不像所见的那样无望。未被证明或已被驳倒的定律（比如 $F = ma$ ）可能很有用。关键是知道它在什么地方能用，什么地方不能用。这就是为什么我们不去检验假设而尽最大努力去反驳是那么重要。驳倒的越多，就越了解系统，继续存在的定律就会更好(Poyla 1945)。我们把这个过程叫做**猜测与反驳(conjecture and refutation)**(Popper 1963)。在很多方面，猜测与反驳之于自然科学，就像“连问五个为什么”之于 JIT 的设施。二者都代表着超越表象、深入根本的程序。(191|192))

尽管还没有一门被广泛接受的运营管理基础科学，许多研究者与教员都在开始做这方面的工作（见 Askin 和 Standridge 1993，Buzacott 和 Shantikumar 1993，以及 Schwarz 1996）。本书呈现了我们试图建立制造科学结构的努力。显然，它还远未完成。我们在这时候给出的工厂物理学关系式包括来自历史实践的见识、研究者与实践者的最新进展、来自排队论的公式以及来自我们自己研究工作的一些结果。但工厂物理学不是行话（buzzword）。它难以为所有情形提供解答，也并没有假装要这样做。工厂物理学只给出基本数量，如库存、周期时间、产出、产能、变动性、客户服务水平等等，之间的基本关系。我们的希望是，在制造科学，即使这门学科还是不完整的，的背景下理解这些关系，将使读者更好地设计和控制有效的制造企业。

6.2 目标、量度与控制

发展制造科学并不是一项微不足道的工作，就像应用这门学科解决制造问题那样困难。而系统方法对这两个问题都有益。

6.2.1 系统方法 (The Systems Approach)

猜测与反驳的主张不仅是科学研究的工具，它也极其有用的解决问题的方法论基础，如大家都知道的**系统方法 (systems approach)**，或者**系统分析 (systems analysis)**。系统分析 (SA) 已经被正式研究至少 30 年了（见 Ackoff 1956, Churchman 1986, Miser 和 Quade 1985、1988）；但除了名字之外早已是管理思想的一部分，则至少要追溯到 Chester (1938) 的工作。

简要地说，系统分析就是一种结构化的解决问题的方法，具有以下特征：

1. 系统观点 (*a systems view*)。问题经常在具有相互作用的子系统的系统的背景下呈现（例如，工厂就是一个系统，它由不同的产线组成，产线又由不同的段、班、线等组成的子系统所支持）。关键是生成一个广泛的、对问题整体的认识，而不是狭窄的、残缺的观点。

2. 手段-目的分析方法 (*means-ends analysis*)。首先指定目标，然后按照目标列示和评价备择方案。注意它和常用于政治领域的“手段第一 (*means first*)”方法形成鲜明对比，政治方法是先摆出备择方案，而目标只是达成一致过程中的权宜之计²。例如，系统分析可能会使用“把货物方便快捷地送达客户”的目标，而不会使用“提高处理采购订单的效率”的目标。后者就是“手段第一”方法，它可能排除一些潜在的有吸引力的选择方案（如，用全新的程序处理采购订单）。(192|193)

² Lindblom 把“means-first”方法定义为脱节的渐进主义 (*disjointed incrementalism*)，并且争论说这种方法在政治进程比在系统方法上更加适合。

3. 创造性的备择方案的产生 (*creative alternative generation*)。当我们的脑海中形成目标, 系统方法就会尽可能的大范围搜寻可供选择的方案。许多格式化的头脑风暴技术已被开发出来并且用于支持这个过程。不管我们使用了什么方法, 意图就是用一些非显而易见的方法去改善系统。例如, 要减少制造周期时间 (制造一件产品所花费的时间), 我们需要看得更远一点, 而不是简单地考虑如何加快单个工序和想方设法取消整个产品步骤中的一部分。

4. 建模和优化 (*modeling and optimization*)。以目标数值的形式来比较这些可选择的方案, 我们需要一些量化分析方法。建模/优化的步骤可能就像计算每个可选择方案的成本并选择最便宜的一个一样简单, 或者它也可能需要一个复杂的数学模型的分析。具体细化到什么水平则依赖与所研究系统的复杂性以及这些行为的潜在边际影响 (如, 为了节省\$52,000 却花费了\$50,000 来分析的行为一点意义也没有)。

5. 迭代 (*iteration*)。差不多每一次系统分析过程中, 目标、方案以及建模都是被多次修正过的。但这并不是因为我们傻; 而是因为现实世界的系统都是复杂的。发现错误和疏漏天生是猜测与反驳方法的一部分。

图 6.2 描述了系统分析过程中四个基本阶段的一个纲要: 运营分析、系统设计、执行和评估。正如反馈箭头所表示的那样, 这些阶段并不是按先后顺序的。迭代能够发生并且应该发生在阶段内部和阶段之间。此外, 在进行分析时, 研究的焦点还在真实世界和模拟 (模型) 世界之间摇摆不定。(193|194)

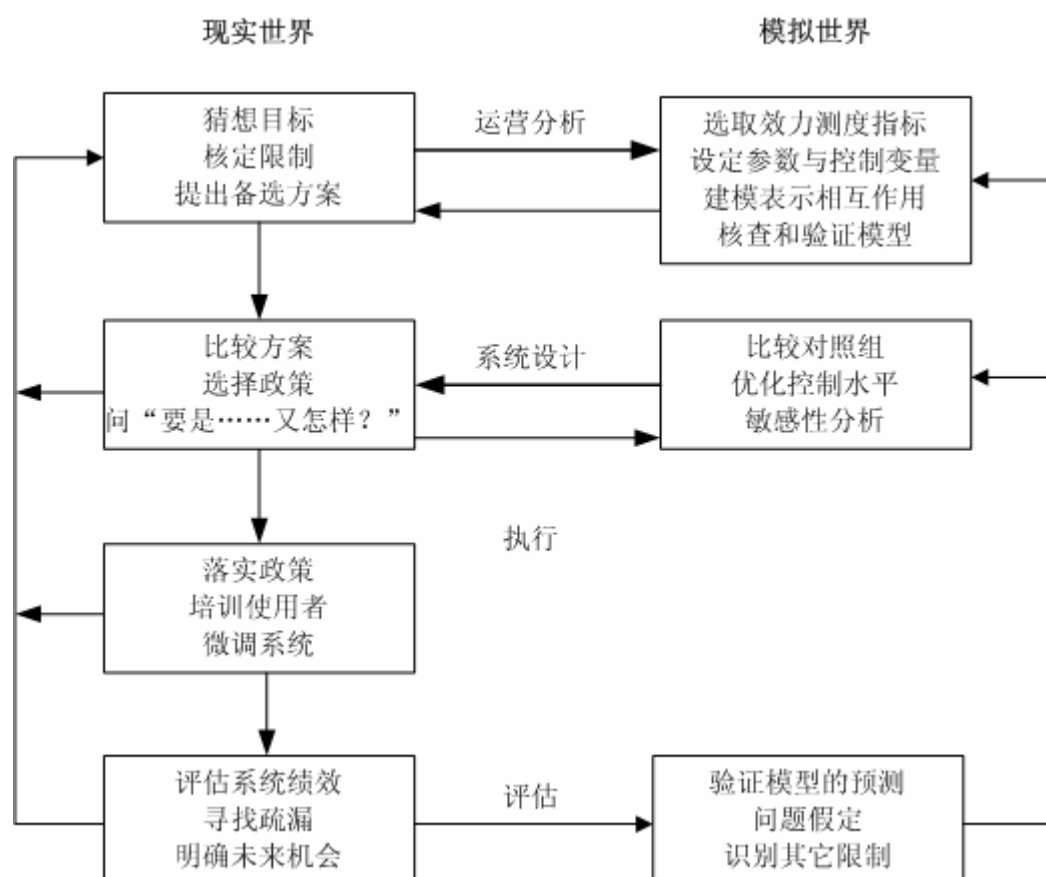


图 6.2 一个系统分析范例

系统分析开始于**运营分析 (operations analysis)**阶段, 在这个阶段我们的焦点集中于从本质上观察现实系统和建立合适有用的模型的科学 (*scientific*) 任务。要做到这些, 我们

要试着定义问题的目标、约束和可选择方案。开始的时候这些好像看起来很明显，但是实际上它们经常比我们所希望的难懂得多。因此，我们必须试验性的推测它们，然后寻找矛盾。随着项目的进行，新目标、新约束、新方案可能会出现，那么它们之间的相对重要性也可能改变。

另外一个涉及反复考虑目标和约束并且经常出现的问题是如何有代表性地选择。一个明显的喜好经常被声明为目标或者是约束。例如，最小化在预定的期限之后才被满足的客户订单数量可能就是一个目标。作为另一种选择，要求少于 2% 的订单被延迟满足可能就是一个约束，它们关注的实际上是一致的。这种把目标转换成约束的技巧被称为**满足法 (satisficing)**，并且这种方法在系统分析上被广泛的使用 (Majone 1985)。

反复考虑现实系统的目标、约束和备择的方案仅仅是运营分析阶段的出发点。在真实的复杂系统，我们不可能简单地通过观察实际系统就获得对系统的透彻了解，也不可能评价那些可选择的方案。主要有两个原因。第一，高水平的目标（如，最大化客户满意度）一般是不可度量的。第二，现实系统一般太过复杂而不允许我们来直接地描述各种组分和特殊方案对系统的影响之间的相互作用关系。为了加深我们对系统的理解和系统的可控选择方案，我们对系统的关键方面开发了类似物或模型。

现实系统的模型开始于定义低水平、可度量的作为真实系统效力代表指标的系统规范（如，迟于满足客户需求的加工任务的比例）。然后我们指定描述性的参数、可控变量，以及它们之间的相互关系来以某种模型的形式代表系统。建立模型的技术是非常复杂的，既要抓住系统关键的特征，又要简单从而允许可操作的分析，它也是一个复杂的任务，需要全体成员在创造性地解决问题和运用数学方法方面具有一定的技能。模型需要**检验 (verification)**（即，检查模型的逻辑）和**验证 (validation)**（即，比较模型和真实结果）。模型验证包括在分析的建模和观察方面之间的再三重复，而且应该贯穿于整个研究过程。

系统设计 (systems design) 阶段是这个系统分析范例中具有支配地位的工程 (engineering) 部分的开始。在运营分析阶段我们主要通过模型从现实世界过渡到模型世界。在系统设计阶段我们主要是从模型世界回到现实世界，通过把模型转换成可执行的方针政策。我们通过“优化”模型，同时考虑到效力的选择指标并且通过敏感性分析来检查结果的抗干扰性。接着我们将这些数学的或者象征性的解转换成实际的政策，然后检查这些政策在实际环境中的实用性。重要的是我们要记住无论一个数学模型多好，它仍然是现实的一个简化。就像开发合适的模型，解释结果来开发合理的行动步骤是一门永远不能完全机械化的艺术。

好的系统分析不会因为政策被提出终止。范例中的系统**实施 (implementation)** 给我们提供了一个机会，当这些方针被正确地采用，如果这里还有时间有效的处理它们的话，我们就能确定那些非预期的问题。(194|195)

最后，在**系统评价 (evaluation)** 阶段，我们需要在那些政策已经被贯彻执行之后，以最原始的目标来评估系统这些方面来回顾系统。这是一个非常重要的阶段，因为它提供了如何验证改进现实系统的模型的有效性，而反对仅仅是简单的描述系统行为。由于系统分析是应用型 (applied) 的问题解决办法，满足目标的程度必须总是所研究的结果。然而，因为大多数现实世界系统都是复杂的而且持续改变，所以特定研究的结束并不标志着分析的结束。对于将来那些模型和现实系统的改进机会应该被作为将来系统分析循环步骤的输入而予以确认。

6.2.2 基本目标

首先，为了实现目标，我们已经定义了制造系统为一个面向目标的 (objective-oriented) 网络，制造科学的显著的开始就是**基本目标 (fundamental objective)**。这是所有部分都要通

过的共同目标。它因为描述了一个可完全量化也可能不完全量化的长期期望而变得模糊不明。在一些公司中，基本目标被很正式称为使命陈述（*mission statement*）。然而，这个欺骗性的复杂训练经常变成一个华而不实的过程，时间被浪费去产生一些新的（往往是令人讨厌的）口号。因此，一定要认识到系统分析始于确定基本目标。从它本身来说，基本目标（或使命陈述）一般是没有有形资产价值的。

“用钱生钱”是基本目标的一个明显选择。但是，当我们发现有很多种方法可以赚钱的时候，包括出卖公司资产（也许短期内是好的，但是长期来看后果严重）还有违法处理滞销货（有利可图的，但是非法也不道德）。其他比较流行的口号比如“给客户想要的”也是同样不完善的——如果我们可以免费提供好的产品给客户，他们当然会非常满意。为了获得广泛的支持，基本目标必须平衡涉及到组织内部的各个部门的关注点。以下的陈述足够含糊，可以作为所有制造企业的基本目标：（195|196）

增加利益相关者（股东、雇员、客户）的长期福利。

我们认识到这是一个“老掉牙的”（*Mom and apple pie*）的陈述，它是如此的含糊以至于可以衍生出很多具体的指导。但是它的确为所有股东提供了一个共同点，并且强调说很多我们感兴趣的部分在向制造系统转变的过程中将可能被影响。

6.2.3 层级目标

一旦我们确定好一个阶段目标后，冲突就产生了，因为对一个股东有利的并非就对其他股东有利。通过降低工人的薪水来减少成本对企业的利润率和股东都有好处，但是对工人却正好相反。为了达到一个平衡，我们需要稍微的缩小我们的基本目标，或许就像：

取得“好的”长期投资回报率（*ROI*）。

这个陈述将会让所有股东满意，因为投资回报率支撑着股票价格。同样也在某个方面让工人满意，因为他们可以继续被雇佣而且可以得到一个更高的工资。最后，客户也会满意，因为如果客户不满意，长期来看他们就不可能得到好的回报。因此，这个陈述，仍然是高水平的，涉及我们感兴趣的主要部分所关注的，而且可以直接测量。

但我们不能简单地将企业的高层级目标告诉工人们。在车间标贴再多鼓励工人们达到好的投资回报率的标语也不能激发出卓越制造。人们需要知道他们的（*their*）工作如何影响基本目标，从而能够积极地产生影响。出于这一点，我们需要定于与生产更紧密相关的量度。

首先，注意到利润率和投资回报率可以通过三个财务指标——（1）**收入（revenue）**、（2）**资产（assets）**、（3）**成本（cost）**——来计算，如下：

$$\text{利润} = \text{收入} - \text{成本}$$

$$\text{投资回报率} = \text{利润} / \text{资产}$$

但即使这些指标对于日复一日的工厂作业来说也是层次太高。

在车间水平上和收入、资产、成本等价的是（1）**产出（throughput）**，每件时间内出售（*sold*）的产品数（生产出来而没卖出去对企业一点好处都没有）；（2）**资产（assets）**，特殊的能控制的资产比如库存；（3）**成本（cost）**，包括车间的运营成本以及特殊的可变成本如加班、转包和报废。这三个基本量提供了高水平的财政指标（如，投资回报率）和低水平的更加接近制造活动的指标（如，机器的可用性）之间的链接。（196|197）

图 6.3 说明了一个简单的层级目标，从基本目标到不同的**支持子目标（subordinate objectives）**。从利润的计算公式，我们可以看到高的利润率需要低的成本和高的产量（销售

额)。低成本意味着要降低单位成本，这需要高的产出、高的利用率和低水平的库存。正如我们随后将在第二篇看到的，要达到低水平的库存和较高的产出，产品的变化就要小。在层级的另一半，要增加销售额就需要人们愿意买的高质量产品与好的客户服务。高水平的服务需要快速反应和品种多样（任何客户所需要的）。快速反应又需要短的周期时间，低的设备使用率和高的库存水平。为了保持产品多样性需求得到满足，我们需要高的库存水平和高的变动性（在产品）。但是，要达到高质量，我们需要低的变动性（在制造过程）和短的周期时间（在缺陷发生时马上把它揪出来）。

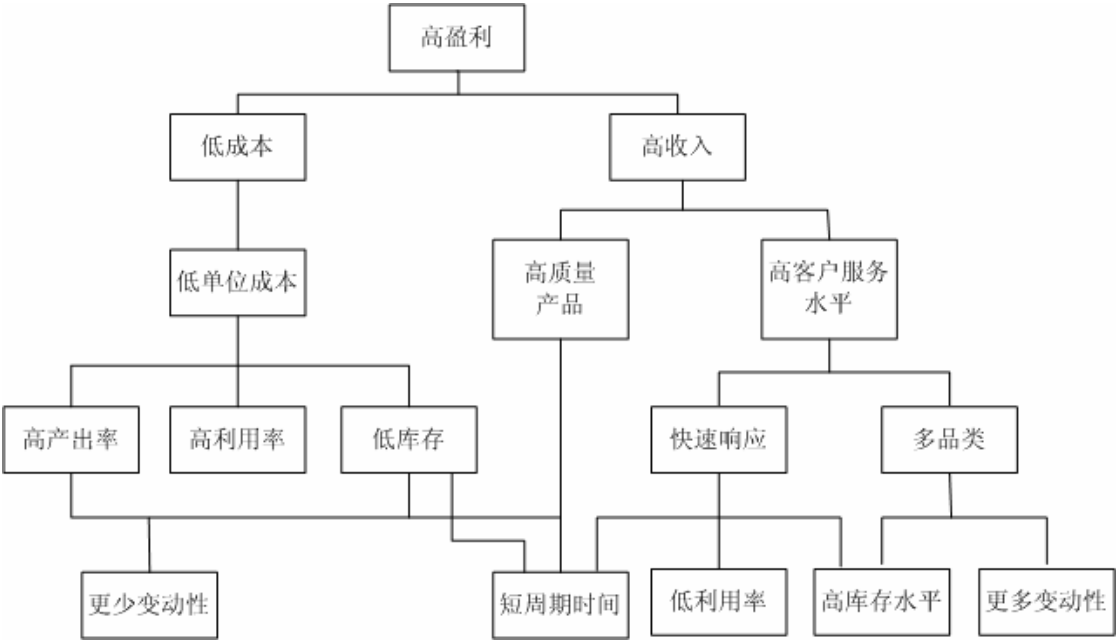


图 6.3 制造企业组织的层级目标

请大家注意，在这个层级中存在着冲突。例如，一方面我们要高的库存水平来保证快速反应，但是另一方面我们需要低的库存水平来让我们的资产总额处于较低的水平以达到高的资产收益率。我们想要高的设备使用率以便降低单位成本，但是较高的设备使用率又会使企业的反应能力下降。我们想要在产品种类上有更多的变动性，但是较低的变动性可以使库存水平降低，也能保持一个高的产出。尽管 JIT 鼓吹者不愿意用“t 打头的单词（t word）”，我们还是必须做出**权衡（tradeoff）**来化解这些冲突。

最后，从图 6.3 我们可以发现短的周期时间可以促进降低成本和提高销售额，这点对我们是有用的。这就是 90 年代重点强调速度背后的动机，具体的口号比如**快速响应制造（quick response manufacturing）**和**基于时间的竞争（time-based competition）**。我们会在第二篇建立起包括变动性在内的诸多因素之间的基本关系，并在第三篇研究如何减少周期时间这个重要的主题。

6.2.4 控制和信息系统

制造管理者们经常面对可以用来实现目标的一大堆的控制措施。产品设计、设施规划、设备维护、作业排程、人力政策等，还有许多其他方面都给他们提供了控制制造系统的机会。在工厂物理学中除了要关注物流，还不能过分局限于与物流直接相关的控制措施（如，排程）。另外一些控制措施看起来和产出联系不那么密切，但对于达到系统基本目标它们同样重要。

为了给考虑可选方案的范围提供一个结构化方法，Schwartz（1998）比较了一个运营经理和一个投资组合经理的行为。投资组合经理使用证券组合的方式以达到好的稳定的投资回报率。运营管理者管理三种基本的资产来产生投资回报率：信息、控制和缓冲。信息包括对于系统我们知道什么（如，从 ERR 系统得到的库存状态数据）。控制包括影响系统行为的运营策略（如，库存存储规则）。缓冲就是在保护系统免受不确定变化的影响（如，安全库存）。这三部分必须一起来管理以获得有效的全面绩效。如果缺少某个部分（如，关于需求的不完全信息），它就必须被其他两个部分的某种组合来补偿（如，对生产时间安排更多的控制，或持有更多的安全库存缓冲）。

例如，考虑一项由 MRP 系统控制的备货生产。信息系统收集关于当前库存、计划接收量、能力和需求预测的数据。控制系统使用 MRP 把这些信息转换成实际加工任务再释放到车间，并追踪它们的完成情况。控制系统也可能包括当需求发生变化时的调整应对。缓冲包括安全库存、安全提前期和系统的额外能力。这些是十分必要的，因为预测永远不可能绝对正确，并且 MRP 也不是一个完美的生产过程模型。（197|198）

这三个部分中的任何一个都提供了改进的机会，同时，它们之间的组合也可能提高系统的整体绩效。例如，好的（较早的）需求信息将会通过接单生产的方式满足更多的订单来减少库存缓冲需求。一个完全柔性的工人数（更多控制）将会减少对于额外能力的需求（较少缓冲）。较好的预测系统物流（比 MRP 模型提供的更好）将会减少额外的安全提前期和 WIP 水平（缓冲）的需求。这些就是在精益制造所推崇的政策类型，基本上就是关于通过更好地利用信息和控制来减少对于缓冲的需求。然而，我们将在第九章看到，无论得到的信息多么完整，无论控制措施多么得力，仍然需要一些缓冲。

6.3 模型和绩效量度

图 6.3 的层级目标给我们提出了两个实际的问题。第一，我们如何解决它所确定的冲突？第二，我们如何把这些高水平的目标转换成详细的运营策略？

解决第一个问题的方法是应用模型来进行量化权衡。我们面临的挑战是建立足够精确的模型能够恰当的代表它们之间的制约关系，但是模型又要足够简单而能够给我们提供好的直觉。第二篇剩余的许多内容都在开发这样的模型，而这些模型将成为第三篇对作业程序进行讨论的基础。

6.3.1 简单模型的危险性

正如我们在第五章讨论的，在 MRP 中使用的固定提前期将导致对客户反应迟钝，而且还会产生额外的库存。主要原因是周期时间的潜在模型。不管产线上的 WIP 水平是多高，MRP 假定周期时间都是一样的。也就是说，不管我们如何增加系统的负担，任务都用同样的时间完成。从数学上看，MRP 模型就是简单的 $CT = T_{MRP}$ 。

通过把上述的估计值分成产线相对空闲和饱和两种情况，我们可以为周期时间建立更精巧的模型。当产线的 WIP 相对较少时，我们使用 $CT = T_{approx}$ 的类 MRP 模型，其中 T_{approx} 表示加工任务通过无拥堵产线的时间。当产线 WIP 饱和时，我们假定这条产线最大产量为 C_{approx} ，即其产能。因此加工一定量 WIP 的时间就是 $CT = WIP / C_{approx}$ 。因为周期时间不能少于 T_{approx} ，那么完整的周期时间模型就是：

$$CT = \max \left\{ T_{approx}, \frac{WIP}{C_{approx}} \right\}$$

我们把这叫做产线的**传送带模型 (conveyor model)**，因为它行为就像一条传送带。当传送带不满的时候，产品在传送带上的时间是常量。一旦传送带满载，离开的时间就要用传送带之上以及之前的工件除以传送带速率来计算。

在实际中，一般把穿过空产线的时间 T_{approx} 设置得略高于真实时间（为了应对拥堵），

同时让 $CT = T_{approx}$ 略低于产线的最大产能（为了应对产线的一些低效率）。(198|199)

传送带模型只比 MRP 模型稍稍复杂一些，因为它需要估计两个参数而不是一个。但是，它比 MRP 模型精确得多。图 6.4 展示了 WIP 和周期时间之间关系的一个抽样，分别使用的是 MRP 模型和传送带模型。可以看到 MRP 模型和实际情况拟合地很差，尤其在 WIP 水平很高时；而传送带模型就更紧密地追踪了二者的基本关系。

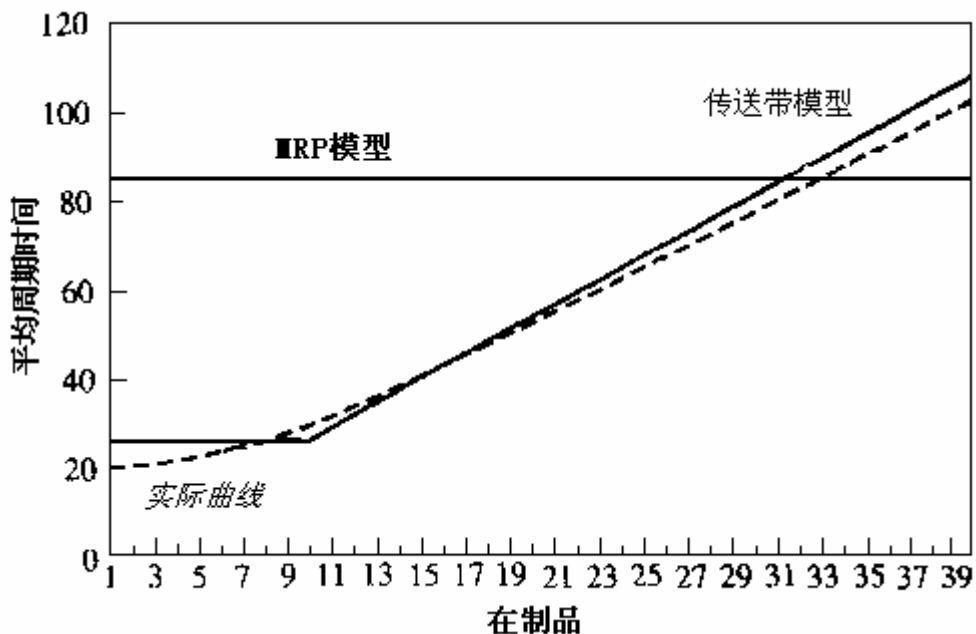


图 6.4 周期时间与 WIP 的关系

6.3.2 建立更好的规范性模型

更好的描述性模型是更好的规范性模型的基础。例如，我们能使用传送带模型去解决产能计划问题，就像下面的例子一样。

假设一个产能为 100 件/天的产线，（在没有拥堵时）需要三天来完成加工任务。现在我们有 FGI 的数量是 50 件，已在产线中呆了三天的 WIP 是 95 件（即，马上就开始产出了），在产线中呆了两天的 WIP 是 95 件，呆了一天的 WIP 是 100 件。由于两天和三天之前开始生产的都不足 100 件，这些天的产量就受限于当天的可用 WIP 数量。结果是此刻之前的最大产出是 50 件（立刻来自于 FGI），今天的最大产出是 95 件，明天是 95 件，从后天开始就是 100 件。假设未来 10 天的需求是 100、120、100、0、200、0、200、120、0 和 80。340 件的制成品以及现在的 WIP，将可以满足未来第一天、第二天、第三天以及第四天 200 件中的 20 件。这样，净需求就是 0、0、0、0、180、200、120、0 和 80。如果偏移三天来确

定应该在开始生产多少，就得到起始需求 0、180、0、200、120、0 和 80。我们当下的任务就是制定一个最小化库存并且产能可行的起始排程。

首先，我们使用提前期为四天的 MRP 模型来解决这个问题。由于周期时间被假定为常量，为接下来六天准备的投料就是将净需求简单地偏移四天，即 180、0、200、120、0 和 80，在接下来的 6 天里。但考虑到产能限制，我们第一天可以完成 100 件，第二天可完成余下的 80 件，以后每天生产 100 件。这就限制导致了第八天有 20 件的短缺。如果为了消除这种短缺而采用五天的提前期，则导致不可行（在 MRP 看来，这样就需要在第一天之前启动生产）。（199|200）

作为建立在 MRP 模型周期时间基础之上更精巧的程序，我们可以使用第二章中的 Wagner-Whitin 算法以及用换模成本来表示产能约束。仅仅在把换模成本设置得非常高以至于所有的生产都始于第一期时，这个排程才可能。特别地，换模与持有成本的比率必须最小是 1,200。这样的结果就是库存持有成本为 $340h$ ，其中 h 表示每件的单位时间库存成本。如果我们把换模与库存成本比率降低到 1,199，排程就会因第九天短缺 120 件而变得不可行。因此，Wagner-Whitin 算法生成的是或者高库存或者不可行的解。

或者，我们基于传送带模型建立一中简单的求解程序（将在第十五章进一步展开）。首先，令

D_t = 第 t 天的需求

X_t = 第 t 天的产量，是个决策变量

I_t = 第 t 天末的库存

C_t = 第 t 天的可用产能

我们从第 10 天向后计算产量。首先，设定第 10 天末的库存量为 0： $I_{10}=0$ 。于是对于任意的第 t 天，其产量为

$$X_t = \min\{C_t, D_t + I_t\} \quad (6.1)$$

注意到传送带模型不像 MRP 模型，它假设当天的产量被产能限制。因此，周期时间就是库存（以及积压的需求）的函数。要得到计算第 $t-1$ 天的产量，计算

$$I_{t-1} = I_t + D_t - X_t \quad (6.2)$$

然后继续（6.1）式。如果第 0 天末的库存大于零，则无论什么排程都无法使需求按当前产能得到满足。

在例子中，我们可以把这个步骤运用到净需求的计算，然后得到初始排程为 100、100、100、100、100、0 和 80。这个排程的库存持有成本是 $260h$ 。和 MRP 排程不同的是，它满足了所有的需求，并且还比“最优”的 Wagner-Whitin 算法的库存量低 24%。这种程序可以被延伸至多产品系统，如我们将在第十五章中讲到的。传送带模型也可以应用到产出追踪和交期提报，如我们将在第十三、十五章中讲到的。

6.3.3 会计模型

对于制造系统，运营管理课堂上学习的数学模型（EOQ、MRP、预测模型、线性规划等）决不是衡量绩效和评估管理政策的唯一工具。事实上，制造管理者使用的最普遍模型是那些和会计方法相关的模型。虽然会计有时仅仅被当作簿记或者成本追踪，但是它仍然是建立在模型基础之上的，因此有着某些与其他建模过程相同的缺陷。

成本核算的一个核心功能就是评估单个产品的成本，这些评估结果被广泛地用来做长期决策（我们应该生产什么样的产品？）和短期决策（我们应该给消费者提出什么样的价格？）但是，因为很多制造系统的成本不能直接分摊到单个产品，它们只能以模型的方式来估算。

直接成本，比如原材料成本，分摊起来很简单。如果我们采购一些铸件并且用机器生产成开关的防护外壳，那么铸件的价格就应该被包含在每件开关的成本中。如果工人生产不只一种类型的产品，直接劳动力成本将更加难于分摊。例如，如果一个操作工生产了两种开关外壳，为了有根据地分摊他的时间成本，我们必须找出他在每个部分上所花费的时间。但是这仍然是一个相对简单的计算。（200|201）

困难出现在分摊企业的经费成本上面，因此，我们需要一个模型。**管理费用（overhead**，也被叫做**固定成本（fixed cost）**或者**负担（burden）**）是指那些和产品不是直接相关的成本。工厂抵押贷款的偿付、总经理的薪水、研究和开发劳动力的成本以及公司的邮局产生的成本都是和生产单件产品不直接相关的成本。但是既然他们是总成本中的一部分，它们可以被称作生产产品的间接成本。我们面临的挑战是如何在不同的产品之间以一种合理的方式分摊这些经营成本。

传统方法（模型）按使用劳动时间分配管理费用，也就是说如果一个产品占用了工人总生产时间的 2%，那么它也应该分摊 2%的管理费用。它的理论基础是，在世纪之交的“现代”会计技术发展时，人们发现直接劳动力和原材料成本一般占到总成本的 90%（见 Johnson 和 Kaplan 1987 对会计方法的卓越总结）。今天，直接劳动力占总成本的比例不到 15%。因此，传统的会计方法越来越不适应企业的发展需要。Johnson 和 Kaplan 的书名叫《关联损失》（*Relevance Lost*）。

代替传统成本核算技术最主要的方式是**作业成本法（activity-based costing, ABC）**。ABC 和传统方法不同的地方是它是寻找管理费用和活动之间的联系，而不是直接和产品相关。例如，采购就是和管理费用相关的活动。我们以采购订单为件来度量采购活动的数量，然后以每个产品所产生的产购订单的数量为基础分摊采购费用，ABC 法试图以这种方式精确地分摊这部分经费。相似的方法也被应用到能够分配到特定活动的其他部分上。附录 6A 给出了一个例子，说明了 ABC 的机制，并与传统的劳力工时方法作了对比。

由于 ABC 把管理费用划入不同的类别，它更容易理解，并能逐渐减少这些费用。正因为如此，它在成本建模方面前进了一步。但是这种方法也不是全能的。基于成本的模型，不管多么详细，有时也会误导我们。

首先，存在着从系统的观点来看成本分摊是一个糟糕的建模焦点的情形。本书作者之一在一家化工厂中工作，在工厂中相当多的辩论和分析致力于决定一种物料的价格。它是一种产品的副产品以及另一种产品的原料。这种物质的使用者争辩说该它的价格应该是零，因为如果不使用的话就浪费了；而制造者争辩说使用者应该支付金钱，额度的多少由生产的花费所决定。实际上，这两个过程中的任何一个都不能从单独的运营中获益，但是当它们被放到一起时就都能很好地获益。分析和辩论的更好焦点应该是，这两个过程怎样以及在哪里提高产出（生产了多少产品）。

第二，无论模型多么详细，要想用适用于所有会计方法论的基于成本的方法来准确表示有限资源的价值都极端困难。这个结论适用于以上的**全成本（full costing）**或**全额成本（absorption costing）**算法以及未考虑管理费用的**可变成本（variable costing）**算法。（201|202）

如果我们建造一个新的工厂，我们关注的是工厂的所有成本，那么全额成本计算就是合适的。可变成本计算适用于经营现存的工厂，我们只需关注那些短期内能够控制的成本。例如，在一个新的工厂，机器和劳动力成本都应该被考虑。如果一个计划需要更多的固定投资，这些固定投资也占有一定的劳动力。那么这个计划就比一个需要较少固定投资的计划花费的多得多。另一方面，在一个现存的工厂，我们应该完全忽略机器的成本，因为它们早已被采购了。这叫做**沉没成本 (sunk cost)**。管理者们有时受诱惑想要在一个较贵的机器上生产更多产品，以便“回收它的成本”。但是从一个整体的视角来看，这种做法毫无意义，特别是当昂贵的机器反而没有便宜机器适合生产该种产品的时候。

大部分的产品核算（包括 ABC）是以全额成本而非可变成本为依据的。这可能导致糟糕的决策。如，如果一个客户要求一个需要在加工中心花费很长时间的部分，而加工中心现在任务很繁重。那么成本就使巨大的。但是如果有一个对某产品的需求，加工这个产品的过程现在只有很少的工作，那么成本基本上只是原材料成本。本质上，当没有其他事情做的时候，机器和劳动力都是免费的。下面的例子说明了用全额成本方法制订生产决策的危险性。

例子：生产计划

假设某工厂有三台机器，生产两种产品，A 和 B，正如图 6.5 所示。产品 A 原材料\$50，需要机器 1 加工 2 小时，机器 3 加工 2 小时；产品 B 原材料\$100，需要机器 2 加工 2.5 小时，机器 3 加工 1.5 小时。这样，两种产品都需要 4 小时机加工时间和 4 小时人工工时。劳动力成本是\$20 每小时（包括福利等），平均每天两班，或者说每天 16 个小时（工人们相互轮换着休息），平均每月工作 21 天，因此每个月总工时 336 小时。工厂无材料的消费（劳动力，监督，管理等）是每月\$100,000。两种产品件售价都是\$600 并且使用了同样数量的经费活动。市场部门估计两种产品的约需求量不超过 140 件。同样，为了保持市场地位，公司每个月至少要生产 75 件 A 产品，表 6.1 总结了例子中的数据。

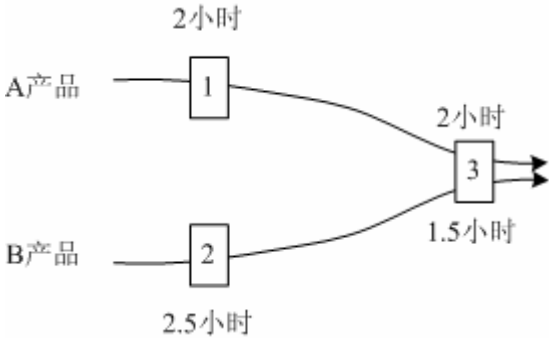


图 6.5 双产品工厂的布局

表 6.1 双产品工厂例子的数据

产品名称	单价	原材料成本 (\$)	总工时	单位成本 (\$)	每月最小; 最大需求
A	600	50	4	130	75; 140
B	600	100	4	180	0; 140

假如我们使用全额成本法来计算产品的成本，然后使用成本数据帮助我们计划每个产品的产量。因为两个产品都需要同样数量的劳动工时和经费活动，不管我们如何分摊经费，他们都具有相同的经费花费。因为这并不会影响这两个产品的相关成本，因此我们在两种产品

之间选择的时候将忽略这些成本，每卖出一件 A 产品获利（忽略经费和劳动力成本） $\$600 - \$50 = \$550$ 。而卖出一件 B 产品将获利 $\$600 - \$100 = \$500$ 。因为 A 的利润率大，好像我们的生产计划应该偏好 A 产品的生产。（202|203）

每个月有 $21 \times 16 = 336$ 个小时可用。因为每件 A 需要在机器 1 加工 2 小时，在机器 3 加工 2 小时，机器 1, 3 的月最大产量是 $336/2 = 168$ 件。因为潜在的需求只有 140，所以把 A 产量设置为做大的需求水平（140 件每月），当然满足了 75 件的最小需求。看起来好像很有道理。这个计划占用了机器 3 每月 280 个小时，剩下 $336 - 280 = 56$ 个小时在机器 3 上生产产品 B。因此，我们能生产 $56/1.5 = 37$ 件 B 每月（实际上是 37.33，我们按最大整数数值计算）。³

这个计划的月利润可以被计算了，用每种产品的数量乘以件利润再减去无材料消耗：

$$\text{利润} = 140 (\$550) + 37 (\$500) - \$100,000 = -\$4,500$$

这个计划使工厂亏本了！

不依靠会计模型，我们可以使用以**线性规划（Linear programming）**为基础的优化模型。线性规划的观点是以公式的形式建立模型，最大化利润同时满足需求和能力约束。对于这个例子，我们可以这样陈述我们的问题：

最大化 利润

受限于： 机器 1 使用时间 ≤ 336 小时

机器 2 使用时间 ≤ 336 小时

机器 3 使用时间 ≤ 336 小时

$75 \leq \text{A 产品数量} \leq 140$

$0 \leq \text{B 产品数量} \leq 140$

定义 X_A 和 X_B 分别代表产品 A 和产品 B 的月生产量，我们可以将我们的模型用公式表示如下：

$$\text{最大化 } 550 X_A + 500 X_B - 100,000$$

$$\text{受限于： } 2 X_A \leq 336$$

$$2.5 X_B \leq 336$$

$$2 X_A + 1.5 X_B \leq 336$$

$$75 \leq X_A \leq 140$$

$$0 \leq X_B \leq 140$$

这个模型就是一个**线性规划（Linear programming）**⁴的例子。在第十六章我们将详细讲述怎么建立和解决线性规划问题。现在，我们只是简单地知道很有效的技术来解决这种类

³ 注意我们不需要担心机器 2，因为它只被产品 B 使用。总共的 336 小时/月对产品 B 是够用的，可以生产 $336/2.5 = 134$ 件。因此，是机器 3 的产能决定了到底能生产多少件 B。

⁴ 称之为线性（linear）是因为目标函数与约束包含的都是 X_A 和 X_B 的线性表达式（即，乘以常量并加和）。术语规划（program）源于这项技术被用于寻找资源使用的最优计划（即，排程）的历史事实；与这种问题通常由计算机程序（program）求解的现象无关。

型的最优化模型，并且我们可以得出报告，这个粒子的解决方案是每月生产 75 件A和 124 件B。注意到这个计划是完全违反直觉的，当我们考虑产品的“成本”时，我们正在生产一个低利润的产品。但是这个计划实际利润如下（203|204）

$$\text{利润} = 75 (\$550) + 124 (\$500) - \$100,000 = \$3,250$$

这样竟然是获利的！

这个例子的寓意是，有限资源的价值决定于它们怎样被利用（*the value of limited resources depends on how they are used*）。静态的基于成本的模型无论多么详细，都不能准确地将成本分摊给受限于产能约束的机器这样的有限资源，并因而可能会产生错误的结论。只有更精巧的通过计算最优计划来动态确定此类资源成本的优化模型，才能一定避免错误。

除了为成本会计提供一个替代选择，约束优化模型可用于许多类的运营管理问题。在第三篇，我们将用这类模型具体求解与排程、长期生产计划以及劳力计划相关的问题。分析约束优化模型的方法，比如线性规划等，也因此成为制造经理们的关键工具。

6.3.4 战术与战略建模

模型很有用，但我们仍要记得它们只是工具，而不是现实。模型的合适形式取决于它要辅助做出的决策。制定战术决策时要被考虑施加约束的参数，常常受限于战略层级的控制。故而，某个模型可能对中期内计划产量有效，而另一个模型（可能仍然是个约束优化模型）要用于在长期内计划产量。第十三章以更详细的方式阐述了生产计划与控制模型之间的层级关系。这里我们将通过先前的例子凸显战术与战略计划的区别。

由于以上的例子聚焦于计划接下来几个月产量的战术问题，这时将产能和需求视为约束就很合适了。可是在较长的战略期间，产能和需求二者都是上下波动的。产能可以通过增加第三班而提升或取消第二班而降低。价格折扣可能提升需求，而竞争性（如，下一代）产品的出现可能会降低需求。

模型可以阐明战术与战略决策之间的关系，并帮助确保二者的协调。例如，通过使用线性规划（第十六章）的敏感性分析，我们可以知道每月最少生产 75 件 A 的约束有害于利润。事实上，如果取消这项约束并重新求解，就会生成一个生产 68 件 A 和 133 件 B 的计划，结果是\$3,900 的月利润，比原来提高了\$650。

这就意味着我们要考虑每月最少生产 75 件 A 的战略原因。若原因是它是一项对某个客户的固定义务，那就是必须的；可若它仅仅是对义务的近似估计，则使用较低的 68 件也会是合理的，并带来更多的利润。（204|205）

线性规划的敏感性分析功能提供的另一条信息是机器 3 处的可用时间每增加一小时（最高到每天再多七小时），利润将增加\$275。加班的成本离每小时\$275 还很远，所以可以考虑向短期计划加入加班。但在长期，是否要使用加班的决策涉及是否提升劳力规模、新增设备、外包生产等待战略决策。故而，该模型也指出这些应作为潜在的未来选项来考虑。

有效的计划需要对不同的问题使用不同的模型，以及模型之间的协调。战术模型，如前面使用的为接下来几个月生成生产计划的约束优化模型，可以提供直觉（即，哪个变量重要）、敏感性信息（即，杠杆点在哪儿）和数据（如，当前瓶颈资源的识别）用于战略计划。与之相反，战略模型，如长期产能计划模型，可以提供数据（如，产能约束）与建议替代选择（如，动态外包）用于战术水平。我们将在第十三章讨论协调，并在整个第三篇讨论适用于各种层级的具体模型。

6.3.5 考虑风险

制造管理中有多来源的不确定性，如需求波动、原材料采购不足、变动的产出损失、

机器故障、劳动力动荡与竞争者行动等。对于某些情形，不确定性应当明确地在模型表示出来。而对于另外一些情形，如我们将在第三篇见到的，不确定性在建模过程中被忽略也没事。但对于与建模和管理都相关的所有情形，不确定性的存在使得我们有必要考虑若某个假设不成立时会发生什么。

作为一个高层级战略的例子，考虑美国一家主要的汽车制造商的经历。在二十世纪七十年代末和八十年代初，公司的许多人认识到有投资来改善产品质量的需要，并计划通过产品和过程变动来实现这个目标。但是，许多这样项目的资金申请都被否决了，理由是它们不能在财务上被证明是合理的。审批人员有个隐含的假设，即该企业产品的与竞争者的竞争地位将保持不变。故而，这些产品的成本不会因为更好的销售收入预期而被认可。但是当竞争者以快于预期的速度提高了产品质量，该企业就经历了市场份额的灾难性损失。在十年的巨大损失和大量工厂关闭之后，直到九十年代，它才转为赢利。（但已经与当初的市场份额相去甚远了。）

该企业分析上的缺陷是根本原因。质量改进项目的估价被基于提高利润的潜力，而非避免损失利润的需要。因此，管理层没有充分考虑如果竞争者通过提供更好的产品超越了它时将会发生什么。产品和过程的改进不应该被视为增强获利性的选择，而是维持经营的约束。（205|206）

在不确定环境中评估潜在不良结果的程序称为**风险分析（risk analysis）**，它已在如石油开采这样的高风险行业中广泛应用。通过模型，分析人员猜测几种可能的情景，并给每种情景的发生赋以概率。⁵因为这些情景经常包含竞争部位的战略性移动，所以此类分析一般都由高级经理与技术专家和模型共同完成。一种评估潜在决策的方法是，用可能性给各种结果赋权，并计算一些绩效指标（如，利润）的期望值。另一种方法很多时候更加实际，就是检查不同情景并选择行动步骤阻止最坏情况的发生。它称为**最小最大（minimax）**（即，最大化最小伤害）策略，并常常用于军事领域。

假使先前提到的汽车公司采取了最小最大策略，则它很可能核准了比之前多得多的产品与过程改善项目，作为对竞争对手改善活动冲击的阻挡。当然了，由于后见之明是 20/20，我们在检讨过去时很容易这样说。最佳政策常常都不是预先显见的。事实上，高层管理任意的�主要工作就是在面对关于将来的大量不确定性时制定合理的长期战略。这些主管的高薪水，很大程度上是因为他们的任务非常困难。（只要公司成功，则究竟是因为他们聪明还是凭运气都不重要了。）

在工厂水平，运营管理者必须完成一个和高级管理者类似的功能，但是时期短一些，数量少一些。例如，考虑到如下普遍遇到的运营问题，为一个新产线选择机器。

例子：风险分析

假设计划产线所有的机器，除了一台特殊的 3C 273，都可以用来生产这个公司在不久的将来有可能选择作为的新产品。一个不同的机器 4C 273，可以被用来代替 3C 273，但额外花费\$100,000。4C 273 具有和 3C 273 相同的加工特性（转速、可用性、质量等），而且更富柔性，可以加工将来将会被引入的所有产品。问题是如何在 3C 273 和 4C 273 之间做出选择。

首先，我们形成可能的情形。公司在不久的将来要么会决定生产一种新产品，要么不会。如果不生产，那么 3C 273 或者 4C 273 都满足，如果生产，则需要 4C 273。如果我们现在安装 4C 273，它将会造成额外的\$100,000 成本。但是如果我们安装 3C 273 并且公司选择生产新产品，那么我们不得不将 3C 273 换成 4C 273。假设新机器将会花费\$375,000 再加上\$200,000 安装期间损失的收入，旧机器可以卖\$50,000。因此，如果我们安装 3C 273，然后

⁵ 也可以在权变计划（contingency planning）时不用概率来进行情景分析（scenario analysis）。

决定生产新产品，发生的净成本将会是⁶

$$\$375,000 + \$200,000 - \$50,000 = \$525,000$$

表 6.2 总结了四种可能的情景决定匹配的成本。(206|207)

表 6.2 机器安装例子的决策-情景对的成本

情景	决策	
	3C 273	4C 273
不引进新产品	0	100
引进新产品	525	100

接下来我们把决定的标准应用到数据上。如果我们使用最小-最大方法，我们选择最小化成本的决定。在这种情况下，对于 3C 273 决定来说最大的成本是\$525,000，而对 4C 273 决定来说是\$100,000。因此，运用最小-最大标准得出应该安装 4C 273。

但是，最小-最大标准法很可能过于保守。如果公司不太可能生产新产品，那么安装 3C 273 将更加有意义，并且抓住了我们的机会。为了把不同情形下的可能性集中到我们的分析中来，我们可以使用期望值法，令 p 代表公司生产新产品的可能性，我们得到安装 3C 273 预期的成本

$$0 * (1 - p) + 525 * p = \$525p$$

预期的安装 4C 273 的成本是\$100,000（因为这种情况下成本与情形发生与否无关）。因此，两种情形下预期的成本相等，当

$$525p = 100$$

$$p = 100/525 = 0.19$$

故而，如果 p 比 0.19 大，安装 4C 273 的预期成本就比安装 3C 273 的预期成本小。如果 p 比 0.19 小，那么安装 3C 273 的成本就小些，因此，要使用期望值标准法做决策，我们只需要知道 p 在那个区域。

对于以上分析有很重要的两点值得注意：

1. 我们没有猜测 p 值，然后使用它来计算这两种选择预期的成本，而是逆向寻找使一个选择比另一个选择好的分界点。原因是在新产品被引入以前，我们很难选择一个值作为它可能性的的大小。做决策的人一般也喜欢做出某个参数在某个区间或者另外一个区间的粗略的决策，而不是试图把它精确的确定下来。因为决策并不需要一个高精度的 p 值来解决问题，所以我们可以这样分析以至于可以不需要 p 值。

2. 我们把满足对新产品需求的这种需要视为约束。实际上，当然了，这是一个将在未来详细阐述的决策。但是，在做出当前的设备选择决策时为了考虑这种相关的不确定性，我们简单地把它当成将来可能发生也可能不发生的情境来对待。(207|208)

不确定情形下的决策建模问题，在**决策分析 (decision analysis)** 领域被作为一个大的主题来对待。Raiffa (1968)、Brown (1974) 与 French (1986) 等的资料为我们提供了关于这个巨大领域的一个良好介绍。

⁶ 注意我们没有考虑这项成本将在未来真实发生的事实。为了将其与现在安装 4C 237 的\$100,000 精确比较，我们可以用一个折扣系数与之相乘来表示资金的时间价值。但出于简洁性的考虑我们省略了这一点。

6.4 结论

本章为我们的工厂物理学方法开发现代制造经理所需的基础知识、直觉和综合的技能奠定了基础。关于这种方法呈现出的科学性、系统分析与建模范式的主要观点叙述如下：

1. 制造管理需要科学。尽管制造业中存在相多的民间智慧，还是有一小部分经验验证的、可归纳的知识可用于支持制造设施的设计、控制和管理。如果想超越时尚式或口号式管理，研究者和实践者需要合力开发真正的制造科学。

2. 系统方法是个有价值的制造管理工具。通过鼓励用系统视角看待制造企业以及明确政策与目标之间的关联，系统分析成为几乎所有制造问题求解的逻辑基础。

3. 好的描述性模型产生好的规范性模型。试图优化我们并不理解的系统纯属徒劳。我们需要描述性模型来锐化直觉并使注意力最大程度上聚焦于各种参数。此外，基于对系统行为精确描述的政策可能与系统的自然倾向更相符合而不是冲突。这类政策易于比那些尝试迫使系统按不自然的方式表现的政策更稳健。

4. 模型只是制造经理所必需的技能的一部分，但不是全部。系统分析要求基于目标对不同备择方案进行评估，所以实际上所有的制造决策问题都需要使用某种形式的模型来做权衡。这样的模型可能是简单的定量程序，也可能是精巧的优化与分析方法论。建模的艺术就在于为给定情形选择合适的模型，以及协调用于支持决策制定过程的多个模型。

5. 成本会计算法常常提供糟糕的制造运营模型。会计的目的在于陈述钱的去向，而不是怎样花钱。运营决策需要很好地刻画边际 (*marginal*) 成本而非全额成本，以及合适地考虑资源约束。

在此基础上，我们现在转向开发描述制造系统行为的具体模型。