

第十九章 综合——整合各个环节

这并不是结束，甚至连结束的开始都不是。但是，它也许是开始的结束。

——温斯顿·丘吉尔 1942.11.10

19.1 细节的战略重要性

首先要承认的是，在这本书中我们是以技术的眼光来对待制造的。制造就是技术。如果我们只要做那些我们感觉对的，然后把产品卖出去就可以谋生的话那就好了。但是这样的生意存在的可能性越来越小了。在激烈的全球竞争压力之下，制造企业被迫持续提高成本效益，产品质量和交付速度。当然，首先必须要有一个战略愿景，从而能培养一种令这些绩效得以实现的环境。但是，这只有通过对于技术细节的深思熟虑才能实现。

二十世纪五六十年代，美国企业有足够的本钱忽视制造细节而关注高层级的市场营销和财务问题。在第二次世界大战期间，生产商不必在乎高了好几个百分点的成本和次品率。因为顾客几乎没有挑选的余地和太高的期望。但是到了二十世纪八九十年代，顾客开始看到来自日本、德国、韩国和很多其他地方的高质量、定价合理的产品。结果到了今天，甚至是在价格、质量或顾客服务上仅仅存在一个相当微小的差距，企业都会被逐出市场。

事实上，细节的战略价值远远超过了它在实现各种细小但重要的绩效改进中所扮演的角色。我们需要对制造系统进行深入理解的最重要原因是近些年技术改革的速度使得“试错（trial-and-error）”这种解决问题的方法几乎不再有用。亨利福特在整整一个时代中制造 T 型车，所以它可以通过观察和修补生产线来改进系统和解决问题。而与此相反，典型的个人电脑的使用寿命不到两年，这就意味着 PC 制造商必须在很短的时间里组建设备，提升产量，获得能够盈利的效率，达到保证良好顾客服务所需要的预测水平，并且淘汰过时产品。在系统的建立起来之前对其进行预测和分析需要有良好的直觉与适宜的模型，而这两者都是以对制造技术细节的理解为前提的。（647|648）

19.2 实施的实际问题

拥有合适的分析工具是对制造系统做出显著改进的关键前提条件。但是实施远不止于做对事情。一个有效制造业经理人必须将所有问题做成连贯的计划并努力使其实现。这就要求（1）明确说明正确的问题并且（2）说服别人使他们也认为这是必须解决的。第一步就是系统分析，然后第二步是解决制造管理中的人因问题。第六章和第十一章都讲到了这些内容，但是它们都非常关注实施过程，在这里我们简单复习一下这个过程。

19.2.1 系统的视角

工厂物理的定律和方程可以帮助我们识别杠杆区域，建立关于为什么一定的方法只在一定的环境下才起作用的直觉，以及评估并比较具体的策略。但是这些并不是思考的起点。制造系统的管理者必须在决定采用什么工具如何去解决问题之前决定他们需要做什么。因此，为了全面开发工厂物理学在应用中的战略潜能，将其应用于更大的解决问题的系统分析框架

是非常重要的。

回顾第六章中讲到的系统分析的关键要素（以及各种现代系统分析方法和业务流程再造）主要有：

1. 系统思考 (*A system view*)。从整体来观察系统及其子系统的内容。重点是从宏观、整体的角度来看待目标系统，而不应该侧重于某一个单一方面。

2. 方式-目的分析 (*means-ends analysis*)。目标往往首先是被识别出来，然后再针对目标寻找和评价各种可行方案。譬如，一个系统分析项目可能会以“灵活便捷的将最终产品运送到消费者手中”为目标，而不会用“提高处理采购订单的效率”。因为后者是一个“方式导向”的方法，它可能会排除潜在具有吸引力的方案——比如在通过建立一个全新的流程废除采购订单。

在系统分析时，目标通常被分解为一个目标层级体系，以识别基本目标和各种低层目标之间的联系。这可以帮助我们认识目标冲突（如低库存量和高满足率）以及低一级的目标如何支撑高一级的目标（如较短的周期时间在提高生产质量的同时也改善了顾客响应速度）。

3. 创造性备择方案的产生 (*creative alternative generation*)。有了目标之后，就应该在尽可能广的挑选范围内确定一个好的系统。譬如，为了降低产品的周期时间，我们不应该仅仅局限于思考加快每个过程的加工速度，而是思考决定周期时间的根本原因。许多结构化的头脑风暴技术可以激发人们对各种不易发觉的点子的思考。(648|649)

4. 建模与优化 (*Modeling and optimization*)。为了根据目标对方案进行比较，我们需要对相关的指标进行量化。然后通过建模/优化过程实现这一点，这一过程可能会像计算各方案的成本并选择最小成本这样简单，也可能是要求建立复杂的数学模型来进行分析。合适的细节水平会因为系统的复杂性以及潜在影响的大小的不同而存在很大差异。

5. 反复修改 (*Iteration*)。对于任何一个复杂系统分析项目，其目标、备择方案及模型都需要进行反复的修改。这是因为只有在多次分析中，我们才能不断理解系统。在第六章，我们把这个步骤建立为标准化的“推测与反驳”过程。

通过对项目进行系统分析，可以帮助我们更好的聚焦那些我们关心的问题（如主要的着力点在哪里），使我们更深刻理解系统，同时也可以培养出良好的团队合作能力。因此，系统分析对于任何制造改进项目都是至关重要的起点和参考结构。

19.2.2 开始变革

系统分析在产生和评估方案时是非常有价值的。但是不管一个方案多么好，如果不能被很好的沟通理解它将永远也不可能被执行。世界上所有的工厂物理学的争论将不会改变制造组织，除非组织中的人被说服从而认为有必要变革并明白如何进行变革。

克服制度上的束缚是非常困难的，就像马基雅维利说的：

没有什么事情比推行一套新的秩序更难、风险更大、不确定性更多。

推行一套变革项目所需要努力程度依情况而定。如果一个生产线的管理者从工厂物理学的观点出发，意识到缩短生产准备时间将会直接降低 **WIP** 数量和周期时间，并且有权利建立一个由工程师和机械操作工人组成的团队来减少生产准备时间的话，那么他应该很有可能会实施下去。喧闹、标语或者革命在系统进行细小的持续改善时都是不需要的。虽然说这样的变革不会再造这个企业，但是在企业的逐步改进过程中却是重要组成部分。

更大的变革，比如将工厂重新看作是基于时间竞争策略的一部分，这就需要很多部门的

支持了。通过弄清楚整个产品分销过程来从根本上减少顾客的提前期（这涉及销售、订单确认、制造、顾客服务以及其他一些职能）就需要具有强烈改革意愿的领导者的领导力。根据不同系统，这可能会是工厂经理，或者如果会影响到高于工厂层面的时候（例如产品开发或部件生产）可能就需要更高层的制造副总或者首席运营官。一旦负责系统变革的领导者确定下来，对他来说最重要的就是进行变革前的动员和提供推行变革的支持。如果这个负责人只是进行几场煽情的演讲然后就消失的话，那么进行改革的动力也就会随之很快消失。

一位有足够权力的有效领导者要做的就是不断的激励大家，促进改革，而并不需要自己亲手去进行改革。系统分析团队主要负责系统分析并检查在结构重组时的执行情况，这个团队可以用不同的方式来组建和管理（见海斯、威尔怀特和卡拉克 1988，哈默和钱皮 1993 的例子）。这一方面的具体我们不再赘述，但是我们总结出以下这些有关系统分析团队的观点：（649|650）

1. 团队不应该成为委员会。这样一来，队伍可以保持一个足够小的规模从而能够积极地发挥作用。如果团队成员超过十个人，就很难将所有人统一起来以至于影响团队的效率。

2. 团队中应该包括来自于改革所影响的各职能部门的关键人员。例如，如果要缩短产品的周期时间，团队里面就必须包含有制造、销售、生产控制等方面的人员。团队成员必须站在整个工厂的角度去进行改革，而不应该总是维护他们自己部门的利益。为此，可以为团队成员提供这样的机会：在完成项目以后，可以让他们继续留在系统分析团队继续另外的改革项目。这样就可以激励他们为工厂全局利益考虑，而不是只为本部门利益着想。

3. 团队应该包含有一些和系统要改革的内容没有直接联系的人。这些人可以是组织中其它部门的人，也可以是独立的顾问。加入这些人主要是为了打破公司原有的习惯思维及传统。团队中如果都是公司内部的人往往会导致事态继续朝着错误的方向发展。

得到了有影响力的领导和精心挑选的分析团队的支持后，系统分析就可以成为带给组织巨大变化的有力工具。

19.3 关注团队合作

在现在的制造企业中，大的失败并不是最大的危害，相反，最大的危害却是来自许多小的成功。当一个企业试图改进制造实践时所犯的明显错误将是一次崇高的努力和珍贵的学习机会。在一个良好的环境中（勇于冒险的人不会受到惩罚，人们对于一次失败不会有过激的反应），这样的失败是在持续改善道路上必要且积极的一步。

相反，在安全的小项目上做出很小的改进往往使领导者给出积极的业绩评价，但是却逐渐削弱企业的竞争力，其原因在于这些小的项目消耗了企业的各种资源。一个企业如果太关注于低收益的改进就等于是把生存机会拱手让给有更高目标企业。在竞争如此激烈的时代，“无风险”战略几乎就是失败的代名词。

上述结论意味着组建系统分析团队时最关键的第一步就是使团队将重点放在真正重要的问题上。实现这一点的一个方法是：保证系统分析团队研究的最初主题的范围足够大，以使它们能够识别出主要的着力点。作为一个例子，这里提供了多年前作者亲身参加的一个系统分析案例。这是在一个刚落成的工厂里，设定的目标是提高涂装的效率。在听取了许多涂装中存在问题细节后，我们询问了提高涂装效率的动机，得到的回答是因为他们的周期时间比竞争者长。但是在我们了解了更多的情况后，才知道涂装的时间在 10 周的周期时间中只占不到一天。最后，我们发现制约生产周期的主要因素是订单确认环节，它要花去 4 周甚至

更多的时间。这样，尽管我们找到了一个适合研究的关注点，但如果一开始的关注点是像“在更快速的竞争中保持盈利性”这样广泛的题目而不是狭隘的“提高涂装效率”的话，我们本可以更快的找到要分析的问题。(650|651)

19.3.1 帕累托定律

分析一个复杂制造系统并且从中挑选出最重要的方面的基本工具就是帕累托定律，有时候也被称为 80/20 准则，帕累托第一次将其作为经济学定律提出的，即“80%的财富掌握在 20%的人手中”。如果推广到更广泛的领域，它可以被表述成任何问题（利益）的大部分都是由它其中的小部分的所引起的。例如，占少数的一部分零件构成了需求的绝大部分，少数的维护条目占据了绝大部分的维护预算，少数的一部分顾客带来了大部分的销售额以及投诉。

帕累托定律可以作为一个管理指南，告诉我们将“重要的少数”和“不重要的多数”区别对待。少数大批量的零件应该在高效率的流水线上加工，那些小批量的零件则可以在效率较低的加工车间中进行。少数大批量的材料可能需要每天都按时配送一次，而那些小批量的零件则可以一次购买然后在库房存放着。少数机床往往是造成较长停工的主要原因，需要大量的维修工具以及专门的修理程序，而大部分的机床出了问题只需要按照一定的程序维修就可以解决，不会造成很长的停工。与大部分小需求的顾客相比，少数大需求的顾客可能会得到优惠。在每种情况下，我们都应该将有限的资源应用在可以发挥最大效用的地方。

帕累托定律也可以作为一个简化工具来应用。例如，在一个制造工厂中，当所有的因素都被考虑时，其流程将是错综复杂相当混乱的。当只考虑那些主要因素时，一个更加简单的模型就出现了。研究这个简化的模型很可能使我们更容易理解整个系统的本质核心所在。

19.3.2 工厂物理学定律

一旦系统通过应用帕累托定律精简到一个能够管理的水平时，支持系统分析团队进行分析的基本工具便是工厂物理学原理。首先最重要的是，工厂物理学定律提供了关于系统将如何运行的直觉。此外，工厂物理学定律也可以提供分析方法，这些方法在针对不同的问题也可以得到其他许多建模与分析技术的补充。

下面汇总了本书之前介绍过的主要工厂物理学定律。

定律（里特定律）：

$$WIP = TH \times CT$$

定律（最佳情形绩效）：给定 WIP 水平为 ω ，最短周期时间为

$$CT_{best} = \begin{cases} T_0 & \text{若 } \omega \leq W_0 \\ \frac{\omega}{r_b} & \text{其他} \end{cases}$$

给定 WIP 水平为 ω ，最大产出为 (651|652)

$$TH_{best} = \begin{cases} \frac{\omega}{T_0} & \text{若 } \omega \leq W_0 \\ r_b & \text{其他} \end{cases}$$

定律（最差情形绩效）：给定 WIP 水平 ω ，最差情形的周期时间为

$$CT_{worst} = \omega T_0$$

给定 WIP 水平 ω ，最差情形的产出为：

$$TH_{worst} = \frac{1}{T_0}$$

定义（实际最差情形绩效）：给定 WIP 水平 ω ，实际最差情形（ PWC ）的周期时间为

$$CT_{PWC} = T_0 + \frac{\omega - 1}{r_b}$$

给定 WIP 水平 ω ，实际最差情形（ PWC ）的产出为

$$TH_{PWC} = \frac{\omega}{W_0 + \omega - 1} r_b$$

定律（人力产能）：配备 n 个经过交叉培训、具有理想工作速率员工的产线的最大产能为

$$TH_{max} = \frac{n}{T_0}$$

定律（柔性人力的 CONWIP 产线）：在一条有 n 个相同工人、 ω 件工件（其中 $\omega \geq n$ ）的 $CONWIP$ 产线上，当未阻塞的加工任务可得时，任何不使工人空闲的策略都会使产出水平 $TH(\omega)$ 在以下区间

$$TH_{CW}(n) \leq TH(\omega) \leq TH_{CW}(\omega)$$

其中 $TH_{CW}(x)$ 表示所有机器配备了员工、有 x 件工件在系统中的产能。

定律（变动性）：变动性的增加总是会降低生产系统的绩效。

推论（变动性位置）：在投料独立于产出的产线中，前端的变动性比同等大小但在后端的变动性会导致更长的周期时间。

定律（变动性缓冲）：生产系统中的变动性可以通过

1. 库存
2. 产能
3. 时间

的某种组合来缓冲。

推论（缓冲的柔性）：柔性可以降低生产系统所需变动性缓冲的数量。（652|653）

定律（物料守恒）：在一个稳定的系统中，在长时期内，系统的产出等于投入减去产出损失，

加上系统内部正在生产的数量。

定律（产能）：在稳定状态下，所有工厂投入物料的平均速率严格小于其平均产能。

定律（利用率）：如果工站提高利用率而未采取其他任何措施，则平均 WIP 和周期时间将以高度非线性的速度上升。

定律（加工批次）：对于进行批量作业或具有较长切换时间的工站：

1. 形成稳定系统的最小加工批量可能大于一。
2. 随着加工批量的增大，周期时间相应成比例增长。
3. 周期时间可以在某些加工批量处达到最小值，而这些加工批量可能大于一。

定律（转运批量）：如果不需要等待运输设备，路线上某一段的周期时间大体上和其转运批量成比例。

定律（组装作业）：下面任何一项的上升都将降低组装工站的绩效：

1. 要装配组件的数量，
2. 组件到达的变动性，
3. 组件到达的不协调性。

定义（工站周期时间）：工站的平均周期时间由下列几部分构成：

周期时间 = 搬运时间 + 排队时间 + 生产准备时间 + 加工时间
+ 等待成批时间 + 批内等待时间 + 等待匹配时间

定义（产线周期时间）：产线的平均周期时间等于单个工站的周期时间之和减去两个或多个工站重叠的时间。

定律（重工）：对于一个给定的产出水平，重工会同时提高加工过程周期时间的均值和标准差。

定律（提前期）：在给定服务水平的产线中，一种工艺路线的制造提前期是周期时间均值和标准差的增函数。

定律（CONWIP 效率）：对于给定的产出，推式系统相对于同等的 CONWIP 系统具有更多的平均 WIP 量。

定律（CONWIP 稳健性）：CONWIP 系统遇到 WIP 水平出错时比纯推式系统更稳健，而后者则对于投料速率错误更稳健。（653|654）

定律（利己性 Self-Interest）：人，而非组织，是追求自身利益最大化的。

定律（个性 Individuality）：人是不同的。

定律（拥护 Advocacy）：对于几乎任何项目，总存在一个拥护者（champion）能够让它运行

起来——至少是运行一段时间。

定律（耗尽 Burnout）：人的热情会耗尽（People get burned out）。

定律（责任 Responsibility）：没有相应权力的责任会导致士气低落和适得其反的效果。

19.4 工厂物理学寓言

在这本书中我们已经介绍了许多概念，目的是为了建立和发展我们设计、改进制造系统的观点、直觉和工具。为了说明在一个改进特定系统的系统分析项目中可能需要多少工厂物理学知识共同发挥作用，我们来思考一个案例。这个案例实际上是许多不同公司的情况组成的，相当一部分数据来自于 Bourland（1992）的一个案例。然而，下面任何文字方面的缺陷由本书的作者完全负责。

19.4.1 出发（Hitting the Trail）

星期五下午 6:20，Carol 合上公文包，起身出去。她只是想着，该是出发去休假的时候了！四个月前当她接任德克萨斯工装模具公司的制造部门经理一职时，公司曾允诺给她一个星期的假期。但每次当她做好计划时，工厂总是会有麻烦迫使她推迟计划。并不仅仅是这次，几年来我一直希望可以去德克萨斯的西部骑马。

在 Carol 快要走出门的时候，电话响了。这样的情况已经不是第一次发生了，不要吧！她知道她不应该接的，但旅行社告诉她可以在最后一分钟打电话改变计划。因此，她提起电话。

“Carol Moura。”

“Carol，我是 Claude，很高兴你还在办公室，磨床又出故障了，比尔希望我们立刻到他的办公室，我马上就过去。”

Carol 气愤的挂了电话。没完没了！想到她远在康涅狄格州亲密的家人，以及她在密歇根州作为工科大一学生的日子，她感觉到从未有过的孤独和沮丧。

在去 Bill 办公室的路上，一个叫 Claude Chadwick 的生产经理在谈论发生的情况，强调 Carol 对于得到一个解决方案是多么关键。当然，他所希望的就是有人来做这个工作然后他就可以过好这个周末了。他根本不关心这个工厂，他只在乎他自己和他的市场营销 MBA 学位，这只是做其它更大更好事情的一个基石。“不要占用我的时间”他这样说道，就好像工厂是个监狱一样。

当 Carol 看到办公室中的制造部门副主管 William Whyskrak 时，她咬了咬牙。Bill Whyskrak！他自己总是念成“Wiss-krek”，他总是想办法使我难堪。就像那次在涂装车间的时候，他先是说我的缩短周期生产时间的想法是他所听过的最愚蠢的想法，然后他又让我冠冕堂皇的训斥我就该这么做，但当结果证明的确有效时，这又全变成他的功劳了。更糟糕的是，他告诉 Walker 先生他这几个礼拜一直在试图叫我做这件事情，但是我却故意拖延。Walker 先生只是告诉他“继续努力”，却对我笑了笑。这些意味着什么？好吧，我得给自己重新找一份工作了。（654|655）

在 Bill 的办公室里，在他还没有来得及说明最近的情况时，Carol 说道：“Bill，我已经被迫三次推迟我的假期了，我应得到这次休假，以后就没有机会了，下周见。”

这样做并不是很难，在去机场的路上她已经完全忘记了工厂的事情。正值五月初，花儿开得正艳，天气也很清爽。Carol 让自己彻底的放松并且开始享受旅程。去度过一个什么都

不用想的星期，只有我的马、睡袋、雨衣和帽子。唯一需要考虑的问题就是食物和水，而在货车上有充足的储备，这一定会是个美好的星期。

在旅行的前三天，Carol 大部分时间都没有去想关于工厂的事情。等到了第四天早上，她开始思考关于工厂的事情。在过去的四个月里边我到底完成了什么工作？处理了一堆小事和大量的危机。我根本没有机会去完成一些作用更大的任务，Bill 根本不相信我的能力，也许 Walker 先生也是这么认为的——可根本没有机会跟他谈过。可能回去后我就会丢掉这份工作，可找到这个工作对于我来说是多么的不容易啊。

旅行社的老板叫 Bob McAlister，他骑马到她的身旁打断了她的思考，“很庆幸马儿是认识路的。”

“什么意思？”几天来她并没有和 Bob 打交道，Bob 通常忙于确认每个人的旅行装备是否安全，而在其他的时候都很安静。他对她说的话几乎全是“早上好，小姐。”甚至在检查她的马鞍时，也总是斜戴着帽子，拍一下马屁股，完全一副牛仔的形象。

“我的意思是你不在这儿，而在其他某处。既然你花钱是为了离开那个地方旅游，为什么还要将那里的事情带来呢？”

“真聪明。”Carol 承认。

“你有一个取得心理学博士的旅行社经理，法律规定，你知道的。”Bob 是那种喜欢板着一本正经的脸然后说话直率的德克萨斯人，他会看外地人多久能够适应过来。“旅游也是需要动脑子的，你的马匹不会告诉你它的脚在疼，那里的母牛也不会发 e-mail 给你说它很渴，很明显有很多的事情烦恼着你。为什么？因为你就像一只待在到处都是摇摆椅的房间里不断抽搐的长尾猫。”

Carol 笑着“你说的很对，我正在想等我回去的时候那份工作还会有不会有。”

“也许我可以帮助你。我知道在工厂里你是一个很好的工程师。我不是工程师，但是我可以从你不能察觉的角度去看待一个工厂，看到一些事情。今天还要骑好长一段路程，我们可以慢慢的聊。”

“当然可以，但是我要提醒的是，那是需要技术的，我们在制作飞机的零部件并进行安装，我主要负责生产轮轴，我得到的指示是……”

过了十分钟左右，Bob 打断了 Carol 的陈述：“我不想知道所有的事情，我只是一个平凡的牛仔——只需要知道一些最基本的就可以了。也就是说，你们在将一块金属板加工成另一块不同的金属板，对吗？”

“是的，但是加工成的金属板有好多种……”

“等加工好这些金属板之后，你就想把这些金属板以合适的数量、合适的价格卖给合适的顾客，对吧？”

“当然了，但是还有好多种……”

“现在你需要用你工厂的设备来完成这些工作，对吗？”

“是的，但是……”

“并且你希望在顾客不需要等待或者不需要囤积大量库存的情况下完成这些工作。”
(655|656)

“是这个样子的，但那是一个复杂的工厂，事情也不是那么简单。”

“谁说事情简单了？但我至少知道一件事。”

“是什么？”

“具体细节可能不是很简单，但遵循的原则一定是很简单的。”Bob 取出他的水壶，喝了一口之后递给 Carol。

Carol 喝了一口，擦了擦嘴问道，“既然如此，那原则又是什么？我参加过每期的短期培训，每个专家会在结论中告诉我要去做一件事，而另一些专家又会让我去做其它的事。”

“事实上，我并不是真正的明白。”

Carol 转着眼珠，“好极了！也许我可以因此找到一份给马钉掌的工作。”

“还是不要找这样的工作，对于你来说太苦了。我所知道的原则并不像那样困难。你知道就像苹果从树上掉下来那样，我猜这些原则往往是隐藏在某些现象的背后。如果你只看树木，那样你就看不见树木所构成的整个森林了。我们现在所处的位置应该是座由石头构成的山。” Bob 环视四周后继续说。

“不管怎么样，许多年前，Extension Service 公司派了一个年轻的专家来提高当地消费合作社的效率。” Bob 几乎是“喷出”了专家这个词。“他把这儿搞得一团糟。我当时真是气疯了，我在会上站起来说，像我这样的牛仔都能把这份工作做得更好。悲观点说，当年如果他们不选举我为主席的话，我就需要重新找点事情去做了。当然，我会在他们开会的时候走进去然后只问一个问题：‘我们在这里到底是要干什么？’”

“你真应该看看当时的情景，他们认为会让我哑口无言，但是当人们开始回答那个问题以后，会场马上热闹起来了，我们得到了接近 20 种不同的答案，有的甚至是针锋相对的。人们出现了这样的情景，没有人知道我们该做什么。所以我们坐下来商量，对一些目标达成了一致，制定出了完成这些目标的方法。事实上，一旦我们开始做了就会非常简单。”

“可是到底原则是什么呢？” Carol 问道，但 Bob 没有看她，他注视着前边附近的一匹马。

“请原谅女士，好像有个家伙掉队了，一会再和你说。” Bob 拍着他的马向前跑去，追上一匹疾驰的母马，上面坐着一个受了惊吓的小男孩。

Bob 将马停下来，并很快将小孩送到他妈妈那里。可是 Bob 骑的马却丢了一个马掌，在回来的路上跌倒了，Bob 也摔在了地上。他的膝盖磕到石头上，碰掉了他早先牛仔表演时留下老伤的钢钉。厨师杰迪迪亚将 Bob 送到最近的一个牧场，他被赶紧送到医院。虽然伤的并不是很重，但接下来的一个月 Bob 将不能再骑马了。

等整个事件结束后，Carol 开始思索“原则”。但愿我的问题确实那样简单，但那个时候，不管 Bob 怎么说，我始终认为消费合作社的问题并不简单。毕竟，那个所谓的专家并没有解决它，也许大部分人的问题都和我所遇到的问题一样困难。也许每个人都在寻找一些有效的原则，就像苹果从树上掉下来一样。那是物理学。而我需要去管理一个工厂……等一下，我在学校学习的工厂物理学又是什么呢？到底存不存在着与工厂相关的原则呢？

在剩下的旅行中，Carol 继续思考着运用一些原则去确定出工厂存在哪些问题和怎样去修正，并找出这些问题。她很快意识到她需要帮助。刚刚被提升为市场主管的 Jane Snyder 看上去很有才能，还有 Ed Burleson，一个和我同时进入公司的制造工程师，是一个电脑专家，他们都是富有进取精神的人，他们使用的原则又是什么呢？也许我可以和他们一起制定一个计划，当然，我们不能花费太多钱，Bill 肯定不会愿意那样做的。但我们可以在车间做任何想做的事情，没有人会真正注意到这一切的——直到这个季度结束——或者顾客发出尖叫时。我听说他们正打算卖掉工厂，但如果可以让企业更好运作的话，我们就可以保住自己的工作。(656|657)

19.4.2 挑战

德克萨斯州工装与模具公司 (TTD) 是在二十世纪五十年代建立的，在德克萨斯福特沃斯贸易区的有一座工厂专门为飞机制造业提供零部件。在 Carol 接任前的两年，TTD 已经被一个调查机构购买，希望改善运营后，等待一个合适的时机将其出售以获取利润。紧接着 Bill Whyskrak，一个在多个行业都有着丰富管理经验的优雅演讲者，以及他的助手 Claude Chadwick 对整个工厂进行了重组。尽管进行了变革和大量资金的注入，面临竞争对手更低的价格、更好的顾客服务，公司的利润在逐渐下滑。

执行股东是一个叫 Sam Walker 的人，他最初是一位设计工程师，然后逐渐进入了管理层。Sam 坚信公司能够找到增加生产率（降低单位成本以获得更多的价格竞争优势）和减少周期时间（可以提供更有竞争力的客户响应）的方法。他指示 Bill 引进更多的制造方面的专家——这样就雇用了 Carol，拥有十年制造工程管理经验经理并且获得了运作 MBA，还有 Ed Burleson，一个英国工业工程标准下的制造工程师。在 Carol 和 Ed 进入公司两个月后，情况变得非常糟糕，一些投资者甚至希望卖掉公司，抽出他们的资金。Sam 说服其他股东们，再给他一次通过提高生产率和降低生产周期来挽救公司的机会。这些股东答应再让工厂运营六个月，但不会再给公司任何的资金投入了。

19.4.3 当前形势

一直以来，公司都是在周一内收集客户的订单，周五的时候将他们分组送入生产线，在生产目录中，TTD 承诺在星期五订单确认后的四个星期内交货。然而，竞争者三个星期就可以交货了，而且这个提前期每年还在逐渐下降。更糟的是，TTD 甚至在四个星期内还没有办法及时的完成交货。某些部门的平均周期时间甚至超过 8 周。

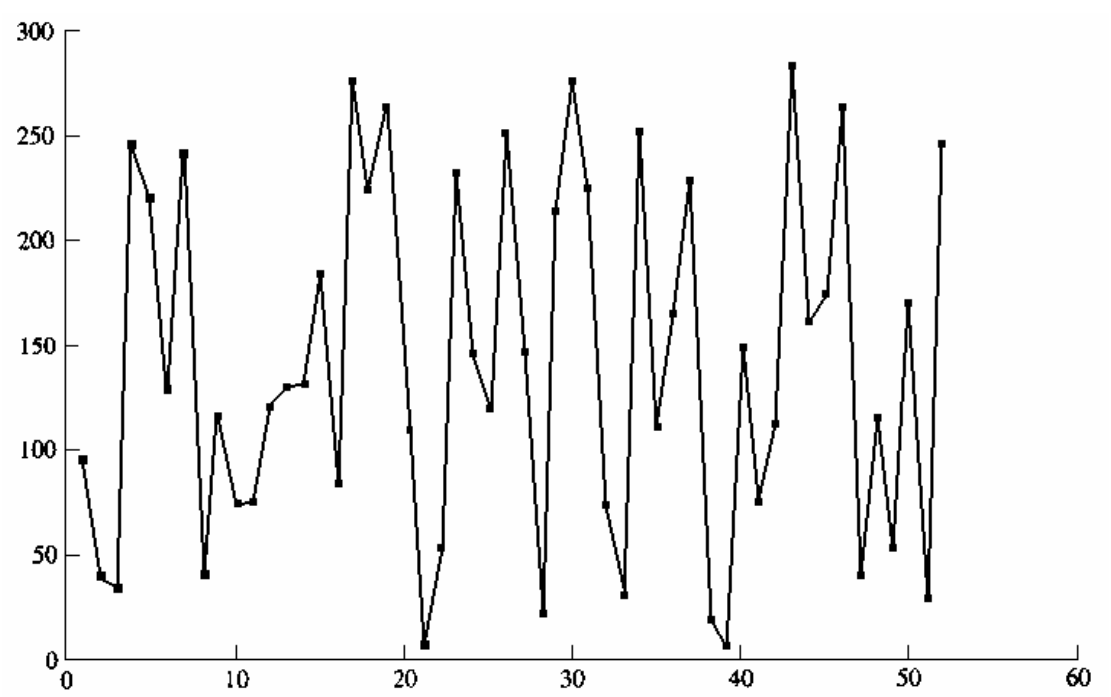


图 19.1 先前年份的总需求

表 19.1 平均需求与批量

部件	平均需求	批量
Hub 1	2,100	40
Hub 2	1,700	30
Hub 3	2,000	44
Hub 4	1,500	30

虽然平均需求依然很高，但需求的不确定性很大，有的时候整整一星期都没有需求。图 19.1 展示了前几年需求量的总和，表 19.1 给出了四个需求最大的产品下一年的预期需求情

况，他们占据了总需求量的 90%，同时也给出了每个产品的批量。对于其他产品的需求则是通过一个独立于其他产线（生产零件 Hub 1~4）的加工车间来完成的。

在 Carol 和 Ed 来之前的几个月，Bill 和 Claude 已经组织了生产 Hub1-4 的主要生产流程变为单元布置，意在消除非必要的物料搬运从而压缩周期时间。但预期的周期时间减少并没有实现。这种生产单元是由三个工作台（为生产准备工作服务）、四个立式车床（VTL）、一个清理毛刺工位、四个检查工位、两个磨床、两个钻床和一个修复工位所组成的。所有机器都受到偶然性故障的约束。表 19.2 是平均返工时间和平均修理时间的数据。

表 19.2 设备数据

设备组	组内序号	可靠性		指派的人力
		MTTF（小时）	MTTR（小时）	
工作台	3	160	8	备料员
立式车床	4	160	16	机械师
修毛刺	1	80	8	修理员
检测	4	40	8	检验员
修理	1	160	8	修理员
磨床	2	80	4	机械师
钻床	2	160	4	钻工

在每个工作单元中有 14 个工人，其中有三个准备工人被排在工作台上等候，三个修理工人主要负责修毛刺和修复工位，三个检查员负责检查工作，五个机床操作者操作立式车床，钻床和磨床。图 19.2 显示了设备的布置和工人的任务。减去休息占用的时间——计划和计划的——工人一般仅能工作总时间的 90%。（657|658）

Hub1 的加工顺序（线路）如图 19.3 所示，机器运行时间，准备时间和工人操作时间如表 19.3 所示。因为有许多操作是自动完成的，这些操作的工人操作时间少于机器运行时间，这就使得一个工人操作多台机器成为可能。其他产品的生产路线与运行时间和 Hub1 的生产基本相似。¹

如图 19.3 所示，Hub1 平均在检测环节可以发现 15% 的缺陷产品。有三分之二被送去返工，其余报废。在返工的过程中有大约 20% 的不能修复的也会报废。剩下的 80% 修复完成后会继续送去检验，要么被划为合格产品要么被划为不合格品。

¹ 具体每一部分的细节不是我们案例的重点，有兴趣的读者可以查阅 Bourland（1992）以了解这个案例的细节内容。

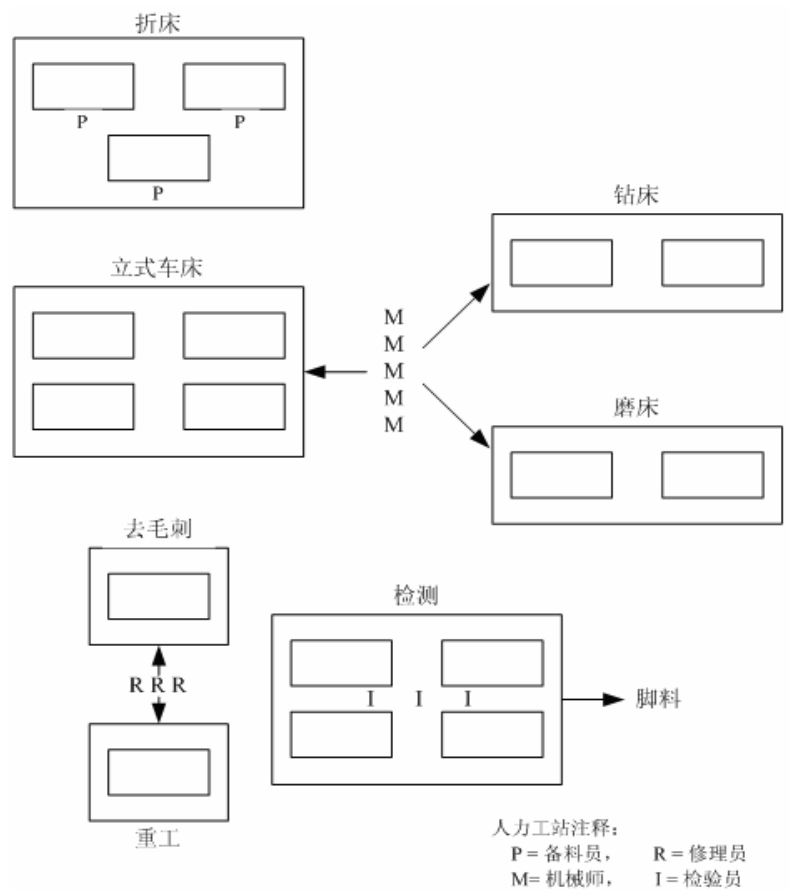


图 19.2 单元布置

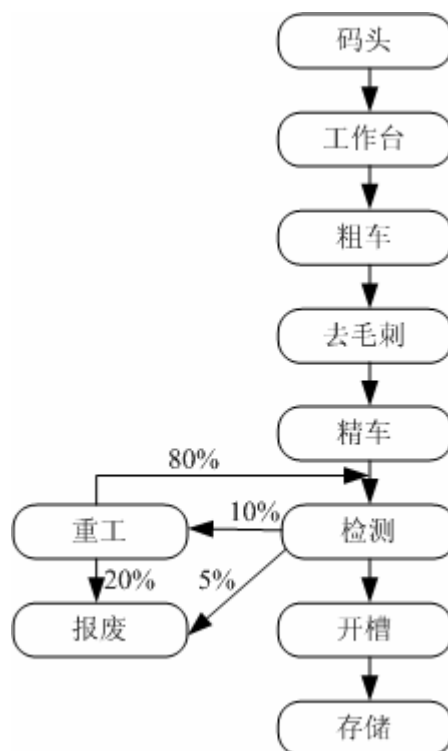


图 19.3 作业与路线

表 19.3 Hub 1 处的作业指派和加工时间

作业	设备	设备加工时间		工人操作时间	
		准备时间 (分钟)	加工时间 (分钟/件)	准备时间 (分钟)	加工时间 (分钟/件)
工作台	工作台	0	10	0	10
粗车	立式车床	180	17	180	15
修毛刺	修毛刺	0	10	0	10
精车	立式车床	120	26	120	20
检测	检测	7	12	7	7
重工	重工	90	32	90	32
钻孔	钻床	60	60	60	40

每个 Hub 由 4 到 6 个台座和一个套管组成的，每个台座由两个支架和两个螺钉组成。这些台座、螺钉、套管都是从供应商那里买来的。因为这几部分是大多数装配都需要的，所以 TTD 倾向于持有大量的库存。表 19.4 给出了打开包装并检查这些部件所花费的时间。这些台座、套管和 Hub 的安装是在组装区进行的，组装区有足够的产能，给生产单元供应不足的情况很少发生。(658|659)

表 19.4 外购件的作业指派和加工时间

作业	设备	设备加工时间		人工操作时间	
		准备时间 (分钟)	加工时间 (分钟/件)	准备时间 (分钟)	加工时间 (分钟/件)
台座					
拆封	工作台	12	2	12	2
检测	检测	0	3	0	3
支架					
拆封	工作台	12	0	12	0
检测	检测	10	0	4	0
螺钉					
拆封	工作台	12	0	12	0
检测	检测	12	0	4	0
套管					
拆封	工作台	12	3	12	3
检测	检测	0	3	0	3

19.4.4 团队协作挽救危机

Carol 带着焦急的心情度假回来。因为 Bill • Whyskrak 在她的语音信箱中留下了七条言辞越来越尖锐的留言。真是个大惊喜！在回复这些留言之前，她给 Jane Snyder 和 Ed Bursleson 打了电话——这两人都认为工厂存在很大的问题——她要求这两个人在工作后去当地的水洞酒吧见她。他们同意了。然后她给 Bill 打电话并忍受着又一次长篇大论的演说。

就在她挂断电话后不久，Claude 走进了她的办公室，Claude 仍然是他上一周的状态，并且痛苦的抱怨他整个周末都在工作。当他走后（终于走了！），Carol 把一堆没有回复的信件放桌子的另一边（它们将会被再放置一天），找到了旧的《工厂物理学》课本（尽管落有

灰尘，但看起来还是比较新)，并且开始查找原理。当到了要去酒吧的时候，她已经准备好了。(660|661)

原则。“我们到底是要干什么？”当她、Jane 和 Ed 等待啤酒和烤干酪辣味玉米片的时候，Carol 问道。在讨论了例如“保住工作”这样一些基本内容后，这三个人一致同意有两个基础问题是造成成本上升和收入下降的原因：过低的产出和过长的周期时间。如果他们能在这些方面做一些显著改进，他们相信 TTD 将能够转亏为盈。

Carol 预料到了这些并且准备好了工厂物理的一些原理。她首先指出生产力和周期时间是相关的：

里特定律

$$WIP = TH \times CT$$

“酷！”Ed 说，如果我们能提高并保持产出，然后降低 WIP，就会减少周期时间。

“正确！”Carol 知道这就是她一直问 Ed 问题的原因，“除非我们能小心的对生产力进行计划。”她展示了她下个工厂物理理论。

定律（产能）：在稳定状态，所有工厂投入物料的平均速率严格小于其平均产能。

“好，那就是我的意思，实际上，每个人都知道机器不会不停的工作。”

“哦，好？”Jane 张开了她的眼睛。“你以前有多少次听见 Bill 大声要求要 100% 的使用车床？但是如果我们要谈论这个问题的话，就把 Bill 放在一边吧。”忽视了 Ed 的声音，Jane 继续说道。“Carol，我非常想知道那个里特定律。它看起来是说我们在更小的 WIP 数量和更短的周期时间或者在更大的 WIP 数量和更长的周期时间下可以得到相同的产出量。我们应该选哪种好像是非常清楚的，但是他们的不同点又是什么呢？”

“以前我自己也说不清楚。”Carol 笑着说并且继续说出她的下一个定律。

定律（变动性）：变动性的增加总是降低生产系统的绩效。

“并且我觉得应该有更多现象遵循变动性定律。”

定律（变动性缓冲）：生产系统中的变动性可以通过

1. 库存
2. 产能
3. 时间

的某种组合来缓冲。

“书里也称作：现在支付还是稍后支付（pay-me-now-or-pay-me-later）定律，”她说。

“非常好的名字，”Ed 笑着说，“但是那是什么意思呢？”

“它的意思是说我们要么面对过大的变动性，要么就会有过多的 WIP。但是如果我们保持的 WIP 数量太低的话，我们将会降低产出，因此我们会得到能力缓冲，”Carol 解释。

“我们怎样才能持有更低的 WIP 呢？我想我们以前持有了太多的 WIP。”(661|662)

“每当由于缺少 WIP 而无法投料生产时，我们都会损失产出。”

“你的意思指就像是这一周你消失那样。”

“恩，但是在讨论出合理的目标产出之前，我们需要知道工厂的生产能力有多大。”

“我们怎么做呢？”

“你们想起来走走吗？让我们走向工厂吧。” Carol 建议，然后她拿起了桌上的笔记。

这种生产单元的场面太熟悉了。这种三个一套的 WIP 被堆在立式机床和磨床之前的工作台上进行加工。事情糟糕的是，工人们刚刚才将材料放回到库房以缓解拥堵。机械工人又在抱怨他们忙地团团转而维修工人却无事可做。当被问到的时候，一个无聊的维修工解释说他的工作是零星的，他有时候没事可干但也无可奈何。

“我们必须从自身出发来设计工作，” Ed 一边说一边走向停车场。

“但是我们应该从哪开始呢？” Jane 问道。

Carol 先到她的车前并且打开车门。“我建议我们应该听取机械工人们的意见。或许他们真的是超额工作了。我要去找一些数据来，我们明天来谈论这些，好吗？Ed。晚安，Jane。”

“晚安。”

产能分析。第二天早上，Carol 建了一个电子表格，并且迅速的估计了机械工人和维修工人的利用水平，她根据产品的供求关系通过计算总体的生产量来做这个表，包括当前设备规模下的准备时间。结果表明操作工人的平均工作量确实比维修工人的平均工作量要高的多。Ed 决定让一个维修工人在不减少维修能力的情况下转去加入机械师的工作。幸运的是，一位维修工人曾经做过机械工人而且也厌倦了维修工作，很乐意转换工作。因为没有人可以提出反对的理由，Carol 在那天下午对领班讲了所做的调换。

周期时间分析。接下来应该做什么不是那么明显，Carol 那个简单的表格没能提出更多的劳动力重新分配，并且也没有人能够对变动性对系统的影响提出一个明确的想法。几乎没有其他的事情可做。Ed 自愿建立了一个设备仿真系统，经过一周的编码，测试和试运行，他已经建立了一个基本的工作模型。他很高兴地向 Carol 和 Jane 展示他的仿真预测出在生产单元内当人员组成是 3 个维修工人和 5 个操作工人时，具有相当长（确实不能忍受）的周期时间。但是，如果将一个维修工人重新指派的话，那将会是 2 个维修工人和 6 个操作工人，模拟的周期时间下降到四至七周，其中 Hub1 有最长的周期时间。

“看起来我们做了正确的事情。”他笑着进行了总结。“周期时间将会很快的降下来。”

但是不久就看起来系统确实得到了改进。维修工人转换为作操作工人的两周后，产出量有了明显的增加。但是周期时间仍然在模拟预测的水平之上，团队对这个差异产生了困惑，并且重新对机器的工作时间进行检查。不管怎样，模拟出来的时间比在实际中观察到的时间总是要长。（662|663）

“那并不是真实数据。” Ed 将视线从键盘上移开。“还有什么原因可以导致周期时间比模拟出来的时间要长这么多呢？我们还有其他可以用来检测的数据吗？”

“没有了。” Carol 答道。“但是我们有 WIP 的数据，仿真是如何评价 WIP 的？”

“我也不太清楚。我重新运行一下，然后产出一些在不同设备组合下的 WIP 对比时间的图表。”

“好的。我可以用这些数据制作成表格，我们四点钟再会面，我会叫上 Jane。”

四点钟的时候团队成员围着一个咖啡桌，研究这两个表格。他们没有发现任何相似之处，仿真模型预测出 WIP 相当平稳的增加和减少，然而实际中的 WIP 数量图表却显示有大量的 WIP 充斥着工厂。

“是什么原因造成的呢？” Jane 问道。

“排队等待。” Carol 回答道。

“这一次的排队等待计算公式是什么？” Jane 提到了前不久的那本不再蒙灰的《工厂物

理学》。

“哇奥!” Ed 假装快要从小凳子上掉下来了“一个营销人员在问一个公式!”

“听我说, 市场营销是定量的, 这你知道, 公式是这样的。”

$$CT_q(G/G/1) = \underbrace{\left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right)}_{\text{变动性}} \times \underbrace{\left(\frac{u}{1-u} \right)}_{\text{利用率}} \times \underbrace{t_e}_{\text{加工时间}}$$

Jane 一边仔细研究这个公式, 一边嘀咕“因为我们的生产时间是合理的, 利用率也是合理的, 因此产出应该是正确的。”

“喔! 我猜你的市场营销思维的能帮你使用这个公式” Carol 说, 显然她很激动。

“那它一定是一个可变的数值了,” Ed 迅速的补充道。

“是哪个数呢?” Jane 问道。

“ c_e 应该比较大, 但不应该像现在那么大。而且我不明白为什么 c_a 也能这么大。” Carol 一脸疑惑的说道。

“那 c_a 和 c_e 是什么意思呢?” Jane 问道。

“ c_e 是机器加工时间变化量的度量, 表示的是随机到达情况。” Ed 解释到, 他轻松地找到了一个显示自己才华的机会。

“那什么是随机到达情况?”

“如果它们不是像钟表机械一样确定地每次到达一个, 那就是随机的到达。”

“当然他们也不是那么完全随机到达的, 我们是按照一个星期的批次投料加工的, 那是市场营销战略的一部分” Jane 解释道。

“很好!” Ed 笑着说, “你最好可以给我们讲讲那个战略。”

“我们告诉客户一个提前期, 从我们收到订单到我们发货的时间间隔是四个星期, 订单的确认日期是每周的星期五。周末订单被分解为批次, 然后周一将具体的任务下达到每个车间。这些年来我们都是这样做的。你们也知道, 这是顾及到效率的做法。”

“也许我们可以提高效率, 但是我敢打赌会造成更长的周期时间。难怪我们会看到这些 WIP ‘泡沫’。” Carol 一边说, 一边看着 Ed, “在模型中 c_a 的值我们取多少?” (663|664)

“由于找不到一个更好的数字, 我们设定为 1, 即假设为常用的指数分布。” Ed 匆匆看了 Jane 一眼, 以确定是否这样技术性的讨论会让她紧张, 不过好像没有。

“也许是太小了, 我猜想大于 10 会更合理些。”

“那样可能会更糟,” Jane 补充道。“我们的需求也有许多的不确定性, 看下这个。”

表 19.1 显示出了过去 12 月中每周的平均需求量为 146 件, 但范围却在 6 到 284 之间。因此, 如果工厂每个星期的最大生产力是 160 件产品, 它将面临“生产过剩或者不足”的情况, 也就意味着有些星期工厂无活可做, 而有的星期则会被工作淹没。

Ed 站起来, “我去修改一下模型中需求的建模方式, 明天我把结果给你们拿过来。”

Carol 陪 Jane 一起回到她的办公室, “Jane, 如果我们不是给定一个固定的提前期, 而是告知顾客一个交货日期将会发生什么? 并且如果那些交货日期比四周还短会怎么样?”

“当然，如果提前期少于 4 周的话就更好了。我们的竞争者就是这样打败我们的。如果我们按时交货的话，我想我们的许多客户都会对我们的报价满意。但是一些客户的 MRP 系统却是根据我们的提前期编制的，我们能给他们提供一个固定的提前期吗？”

“我想至少大部分情况是可以的。但如果在我们任务很重的时候，就可能很难保证这个既定的提前期了。”

“事实上，我并不认为会这么糟糕，通常当我们因为产能不足积压订单的时候，我们的竞争对手也是这样的。”

“的确是这样子的，最主要的事情是我们平均能够提供更短的提前期。”

“这正是我们客户所希望的。那我们需要做什么呢？”

“这应该叫做确定交货期 (*due date quoting*)，我们可以对每个产品线都这么做。这本书里边有具体的细节。” Carol 把《工厂物理学》递给 Jane。“看下排程那一章。”

“好的，我这就看。”

第二天早上，Ed 很早就来到 Carol 的办公室。

“我找到原因了。我改变了需求的到达过程，模拟的数据现在可以和实际的周期时间很好的吻合了。你猜现在发生了什么？”

“现在我们已经没有 WIP ‘泡沫’了。”

“怎么做到的呢？”

“我认为一个拉式生产系统可以很好的缓解生产压力。我会试着这么做。你看你能不能找到降低系统运行确定性的方法，好吗？”

“听起来像个计划。”

在接下来的一个月，Carol 在一个生产单元中建立了一个 CONWIP 系统。工作原理很简单，基本上仅仅由以压缩的生产卡片来减少 WIP 数量和以标准工作表单来安排工作释放组成的。而更多的挑战在打破传统工作量的释放。Carol 全身心投入到运作系统的执行，甚至让工作单元停工两个小时召开全体员工的会议。（她觉得 Bill 对于这样的情形都快气炸了！）对于操作工，常量 WIP 似乎是明显的，毕竟，为什么直到有能力生产时才释放工作到生产单元呢？一些人是进行产品控制的，他们主要负责运行 MRP 来安排工作量的释放，最初他们随意安排目标进度计划根本不考虑 CONWIP 系统。Jane 通过说明压缩提前期的市场价值，帮助 Carol 说服了他们。（664|665）

同时，Ed 针对有效加工时间中存在巨大的不确定性研究了他的仿真模型和工作单元的情况。一开始，加工时间似乎极有规律，因为加工过程自动化程度很高。然后他认识到他需要考虑停机时间的影响，不同机器上的停机时间平均从 4 至 16 小时不等。Ed 针对之前的失败进行了帕累托分析，结果发现大量的维修都是由少数常见的问题导致的。他和维修部门主管开发编制了一套有效的程序来处理大多数最常见问题，并将他们编成文档。在合适的地方，他们还设置了紧急更换工具。这样一来，维修机器的平均时间降至不到四个小时。虽然他们没有数据去制作每月的文档，但是对于生产线的效果却是立竿见影。

在 Carol 决定执行 CONWIP 的会议之后，Bill 突然变得对 JIT 很有兴趣，他给了 Carol 和 Claude 一本很流行的关于 JIT 的书，并让 Carol 在生产单元中建立看板系统，让 Claude 对物料的投入采用 JIT 方式。Carol 没有看这本书，相反每次 Bill 说话的时候她都会小心的将她提到的 CONWIP 系统比作看板。幸运的是，由于 Claude 的策略中存在的问题，Bill 没有过多的时间去关心她到底在做什么。

在 Bill 的关心下，Claude 不再像原来那样每月购买一次常用原料，而是每天向当地的一个供应商购买这种原料。原材料库存一下子降低了 80%，但是运输成本也相应的增加了许多。因为成本太高，Bill 插手管理这件事，并声称要取消供应合同。这家被激怒的供应商很快主动取消了合同。产品的生产计划非常混乱，生产实际上几乎停了两天，最后 Sam Walker

出马同供应商摆平了这件事，并重新建立起供需关系。

在 Bill 的鼓动下，Claude 开始在全工厂范围内推广准备时间削减计划，利用的是 Ed 最近为个别机器开发的一分钟换模技术（SMED）。因为这种技术没有被广泛应用，并且它产生的影响也涉及到生产的许多环节，Claude 缓慢的推行着这项技术。到了七月中旬，大概是两个月之前，他仅仅完成了贴标签区准备时间的显著减少。然而，就在 Claude 的计划快推行不下去时，Ed 从他正在进行的仿真研究中得出结论：准备时间的减少对于 VT 机床、钻床、磨床是非常重要的。他接手领导（非正式）这部分项目，到了八月底，他们已经降低了机床、磨床、钻床的大约 50% 的准备时间。在进行了这些改进后，Ed 的仿真结果显示他们的周期时间已经降为 9 到 22 天，大大少于之前的 5 到 9 周。

在接下来一次团队讨论时，Carol 将《工厂物理学》关于周期时间的公式抄到黑板上：

定义（工站周期时间）：工站处的平均周期时间由下列几部分构成：

周期时间 = 转运时间 + 排队时间 + 换模（生产准备）时间 + 加工时间
+ 等待成批时间 + 批内等待时间 + 等待匹配时间

“依我来看，CONWIP 和到达率的及时配置已经使得排队时间缩短了大约 80%。运行时间和搬运时间也不大。等待匹配时间不适用于单元布置。因此最后剩下要说明的就是等待成批时间。” Carol 坐下来，“Ed，在模拟模型中我们的搬运批量是多少？”

“就是我们在工厂中采用的，我想是用平方根公式计算出来的，有问题吗？”

“也就是说批量大小和搬运批量和加工批量是一样的？”（665|666）

“你们说的搬运批量和加工批量是什么意思啊？” Jane 问道。“我从来就没有听过这样的概念。”

“那就是我们的问题所在。” Carol 说道。“加工批量是在换模时间之间有多少产品在进行加工。搬运批量是我们每次搬运到下一工序的产品数量，他们并不是必须相同的。”

“为什么不是我说的那样！” Ed 把椅子移开，“让我们看看如果加工批量单独安排，而所有的加工单元中的搬运批量相同时模拟出来的情况是怎么样。”

“等会儿，让我先理清这个。” Jane 在 Ed 要离开的时候跳起来说，“你的意思是，拿 Hub1 来说，我们在转换加工另一型号的 Hub 之前加工 40 个 Hub1，但是在他们被加工好之后就一次性将他们运走？”

“正是！”

Carol 自信的认为她知道 Ed 模拟出的结果会是什么样子。较小的搬运批量就会导致较短的周期时间。但是她在等 Ed 估算出具体会减少多少批量时，Carol 开始考虑加工批量。既然我们缩短了准备时间，那我们也可以减少批量，但是会减少多少？因为没有办法衡量准备成本，所以 EOQ 模型没有办法提供有用信息。另外，不同 Hub 之间的批量关系是很复杂的，在排程那一章中有没有制定最优批量的方法来降低周期时间呢？

她正准备打电话给 Ed，他却走进来了。

“好消息！当搬运批量设为 1 的时候，周期时间就可以再降低 30%。如果我们将调整加工批量的话，就可以再做的更好，因此我准备好好读第十五章……”

“最优生产批量，你和我想的一样。我刚想打电话告诉你：我们应该试着确定生产批量。”

Carol 和 Ed 用了一个小时的时间建立了最优批量模型。采用试错的方式，他们确定了批量，如表 19.5 所示。第二天早上 Ed 见到采购主管，他正准备调整生产批量和搬运批量。生产单元中的积压情况得到了缓解。到了九月底，周期时间已经降至 4 到 7 天。

表 19.5 推荐的批量及其周期时间

部件	推荐批量	预测的周期时间
Hub 1	10	6.7
Hub 2	15	3.4
Hub 3	20	5.6
Hub 4	15	3.7

19.4.5 工厂获救

十月是一个决定性的时刻。Sam Walker 让 Bill 负责在董事会中组织一次关于改进计划的概述。Bill 告诉 Carol 和 Claude 他将自己来演讲。Carol 无论如何要制作一些幻灯片，以防万一。但 Claude 没有这么做。(666|667)

Sam 以一些简短的关于产出已经增加多少，周期时间下降多少和客户关系改进多少来开始这次会议。他用“现在我打算让 Bill 告诉我们做什么可以实现这个好消息”作为总结。

Bill 穿着礼服并使用了锃亮颜色的幻灯片。一些股东甚至嘲笑他的开场笑话。他准备全盘推翻这些！我们做的所有的工作。而且我们一点功劳也不会得到。在 Bill 进入他的演讲核心内容时，Carol 叹道。

“我们的周期时间削减计划的关键是认识到周期时间是什么。” Bill 打开了他主要的幻灯片，上面显示：

$$\text{周期时间} = \text{增值时间} + \text{不增值时间}$$

“像准备时间、搬运时间、不必要的会议时间等等，” Bill 在强调最后一条时瞥了 Carol 一眼。“全是浪费。或者，就像日语里说的 *muda*。消除浪费，你才能够缩短周期时间。” Bill 点开了下一张幻灯片，“我们最成功的一项努力就是通过应用 SMED 技术缩减了准备时间，以贴标签为例……”

“等等，Bill，” Sam 打断了他，“为什么我们想在贴标签上减少准备时间呢？在那里我们有足够的产能，在那片区域我从没看到过多的 WIP。这是什么道理？”

“好的，正如我说的，准备时间代表非增值时间。它们应该被消除。”

“那就是你去年冬天在印刷车间打算做的事情吗？我记得有一次你把 Carol 支开，你就取消了每个操作台的一辆手推车并且让操作工人共用一辆车。在我看来你似乎增加了工人搬运行走的时间。难道那就不是非增值时间了吗？”

把 Carol 支开！Carol 的心一沉，他认为我妨碍了他！

“好的，等等，这视情况而定。在这种情况下……，” Bill 自负的态度收敛了一点。“Claude，难道你就不想对 Walker 先生说一些关于我们敏捷制造计划的情况吗？”

Carol 觉察出 Claude 的脸上有一些恐慌。至少我不是唯一被 Bill 搞的难堪的人。但是 Claude 掩盖的很巧妙。

“好，我认为在它的价值方面证据相当明显。正如你们所看到的，Bill 的计划已经使状况好转了许多。” Claude 从 Bill 转向了 Sam，“不管你怎样称它。毕竟我们在这运营工厂而不是来起名字的。”

一些股东同意的点头。Sam 没有表态并很快转向 Bill。“除了准备时间的减少，你们没有其他项目了吗？”

“是的。您一定记得我们还建立了 JIT 配送系统。”

“我记得，” Sam 小声嘀咕道。

“并且我们在生产单元中设置了一个简单的看板系统,通过在机器之间拉动零部件从而提高效率……”

“抱歉打扰一下, Bill,” Sam 又一次打断说,“我已经去过车间并且我相信我听到操作员提及的新系统叫做 CONWIP, 而不是看板。这是为什么?”

“哦! 是这样的……它们基本是同一件事。事实上, Carol 在那方面帮了很多忙, 所以我们应该向她请教。”

Carol 深深咽了一下口水走向了投影仪。

“CONWIP 表示常量在制品, 并且它并不是大多数人认为的那个看板系统……” Carol 说话时鼓足了劲。她列举了变动性的重要性、批量的影响, 甚至举出了一些工厂物理的图表。她展示了由仿真模型预测出的周期时间图, 预测的周期时间随着改进措施不断引入而逐渐缩短。她的话越来越快, 肢体语言也越来越丰富。在意识到这些之前, 她已经没有停顿的说了二十多分钟了。她停下来急切的等大家来提问。房子里一片寂静。(667|668)

“谢谢你, Moura 女士。” Sam 的脸上掠过一丝诡秘的微笑。

那意味着什么呢? 我一定是说的太多了, 并且我不应该反驳 Bill, 可我现在已经这样做了。

“谢谢各位。这项工作完成得很好。现在请你们原谅, 我需要与股东们讨论一下。” 他示意他们离开。

当她和 Bill 及 Claude 一起出来时, Carol 能听到股东们恭喜 Sam 的声音。其中一个人与他握手, Sam 笑得很灿烂。

“我想一切都很好。” Bill 一进大厅就说。“除了你们用那些难懂的理论烦他们。Carol, 是看板还是 CONWIP——没有人关心! 但是至少我们还经营得下去。”

“是的,” Carol 不想掺和 Bill 和 Claude 的时候讨论。“我还有事要办, 再见。”

45 分钟以后, Carol 又回到了她的办公室。很机械地回复着电子邮件。就在这时她的电话响了。是 Sam 打过来的。他们想让她回到会议室。她心里忐忑不安的过去了。

“你好, Carol。” Sam 给她让了一个座位。“我们一直致力于我们自身的一些变化。”她扫了一眼头上的放映机, 那上面展示了一个组织图表。Carol 匆忙的扫了一眼她的名字, 却不在上面。啊, 不! 这下完了。现在我要去找工作了! 都怪我和我这张嘴!

“祝贺你。”其中一个股东说道。

祝贺我?! 为什么讽刺我? Carol 回头看了一下屏幕, 在标记着 VP 制造的方格里写着她的名字, 紧挨着经理的位置。制造工程师是 Ed Burtleson, Jane Snyder 被列在 VP 市场营销的位置。

Sam 从她的眼中看到了疑问, “我们已经和 Whyskrak 先生讨论了这件事情, 他和 Chadwick 先生已经决定离开公司自谋出路了。”

Carol 飞快的跑出大厅去寻找 Ed 和 Jane, 这感觉比啤酒和烤干酪辣味玉米片好多了!

19.4.6 后记

Carol 收拾着她的新办公室, 她抽出压在下面的《工厂物理学》课本, 它已经有好多页角卷起来了, 书脊也坏了, 她把它轻轻地放到书架上。这本书已经旧了, 我需要一本新的, 希望它还在印刷发行。

当她清空并处理完盒子时, 她开始整理她的信件, 她发现一封信中有个熟悉的名字:

Whyskrak & Company

“我们通过消除浪费来提高价值。”

听起来不错！她就把它扔进废纸篓里了。

然后她从本子里取出一个旧卡片，拨通上边的号码。经过一段暂停后说道“Bob？我是TTD的Carol Moura。还记得我们关于那些原理的讨论吗？”

19.5 前景

这本书主要关注于在操作范围内的制造业管理，并且把工厂物理学作为统一的视角。最后我们再来说一说什么是什么工厂物理以及未来我们可以从中能够得到什么，以此为本书的结尾再合适不过了。（668|669）

1. 工厂物理学是制造科学的一个开端。我曾经说过制造科学需要使管理者能够判断哪些策略在他们的系统中会更有效率而哪些不会。在过去大约三十年里，制造业被一个又一个的革命所驱使——MRP、JIT、TQM、TBC（基于时间的竞争）、BRP（企业流程再造）与SCM（供应链管理）等等。其中的每一个都毫无疑问的包含了有用的见解。但是由于每一个革命仅仅代表了一个独特的观点，它通常能引起激烈的争论并且以奇闻异事的证据形成合理的认识。制造经理缺乏一个基础，从而无法在它们之间作出取舍、对各种方法的特性进行组合或者是针对特定环境开发一个特殊的系统。只有能够描述制造系统中关键行为及其相互关联的一门科学才能为这些目标提供理解的桥梁。

我们在这本书中对于发展制造业科学的努力还远远不够。然而，我们感觉到至少在正文中为这个问题提出了一个框架。当我们依靠数学公式时，我们没有找到一门“工厂数学”。我们关注的焦点一直是制造业系统的实际行为。数学仅仅是精确描述这一行为的语言。例如，第七章提出的基本动力学公式就回答了这个问题。WIP、产出、周期时间如何相互决定？通过做出关于工厂行为的多种假设（如最佳情形、最差情形、实际最差情形），我们能够建立起一些如产出对WIP的曲线以及周期时间对WIP的曲线。这些关系使我们对一些问题有了更深刻的理解，像为什么许多工厂拥有过高的WIP水平，为什么变动性的减少能够减少周期时间以及应该怎样刻画生产线上的改进等等。然而，这些公式不一定就是关于WIP以及周期关系的定论。在第十二章我们回到这些曲线并且展示了当考虑报废损失时，产出可能随WIP水平降低——这些情况在第七章对应的例子中是不可能出现的。

由于制造系统是复杂多样的，毫无疑问，一些系统所展示出的行为我们在这本书中没有提及到。事实上，正当我们写下这些时，大量的调查已经投入到描述各种不同的生产系统中了（见Askin和Standrige 1993，Buzacott和Shanthikumar 1993，以及Graves、Rinnooy Kan和Zipkin 1993中最新的文献摘要）。这样在以后的几年里，我们期待着工厂物理学的范围和深度有更大的扩展。尽管在制造科学的深入发展并不会使制造业变成是仅仅分析性的训练，但我们更希望它会变得更像医学（即有科学基础、而且非常注重人的因素）而不像时尚潮流（即，随波逐流，没有指导性的原则）。

2. 工厂物理学是一个教育框架，包括：

- a. 基础知识
- b. 直觉
- c. 综合

为了在各种情况下给工厂行为一个精确的描述，我们需要适合的工具（如统计学、排队论、可靠性）。这样在工厂物理学框架内，它们就变得十分重要，不仅仅是因为自身的原因，而是作为构成模块，用以回答工厂物理最基本的问题即关于工厂是如何行为的。

我们反复强调良好的直觉是制造部门管理人员的一项重要技能,可以使他们将关注的焦点放在最值得关注的领域。通过描述现实中制造系统的发展情形,工厂物理学提供了一种建立这种直觉的构架。理解工厂物理学原理并用这些原则解释在实践中遇到的问题的管理者,可以比那些不懂工厂物理学知识的管理者更快地深入理解系统中某些现象所反映的本质问题。(669|670)

我们也不断的强调制造系统是涉及到许多不同的流程、人员、机器和多重目标的复杂多面的组织。在这样的环境下,提高效益的主要机会存在于接口部分(例如销售和制造之间,或者产品的开发和制造之间)。通过对工厂提供一个总体的描述,工厂物理学给我们提供了一种评估外部变化对工厂行为影响的方法。因此,它体现了制造部门和其他部门的联系。

3. 工厂物理学是联系制造流程和系统观的纽带。制造业的专家一般来自两个领域,一个是侧重于制造流程的,比如机器人技术、表面加工技术、辊轧技术和注塑成型技术。另一部分(也就是作者属于的这一部分)则侧重于系统观点,就像排程、库存控制、生产计划。很明显,这两个关注的问题对于工厂的有效运行都非常重要。不幸的是,两部分的人都认为只有自己的观点才是“正确的”。结果,关注流程的人只关注表面现象,关注系统的人则很少涉及流程的细节问题。工厂物理学用过程导向的描述(如平均停工时间、平均维修时间、准备时间)精炼为物流导向的描述(如平均有效加工时间),从而估计出系统导向的评价指标(产出、WIP 数量、周期时间)。这样,它就提供了一种用系统术语解释过程变化的方法。

4. 工厂物理学是一套将权衡定量化的工具集。就如我们之前所看到的,提高生产能力、降低浪费、提高柔性和可维护性、减少或压缩准备时间、提高外购零件的质量、小批量多批次运输和其他许多策略都可以产生相应的物流影响。通过结合工厂物理学工具以估算成本的形式评价这些影响,我们就可以找到彼此的相对优势。不仅如此,通过运用工厂物理学针对不同情况提供的工厂级评价指标,可以得到各种成本绩效曲线(如,产出与成本或者周期时间与成本)从而制定战略目标。

最后,从影响的角度看,再怎么强调工厂物理学的重要性都不为过。美国大约一半的经济(职位,以及 GNP)仍依赖于制造业。的确,在上个世纪九十年代制造业运作水平的提高促进了经济的繁荣。但随着世界制造业竞争的进一步激烈,企业开发出多种及时交货、低成本、快捷运送和可靠服务的产品的能力已经很快从成功的秘诀变成了生存的条件。过去,制造企业可以通过不断的尝试来确立高效的生产系统,但那个时代已经一去不复返了。企业只有通过使用各种方法原理、建立一个持续改进的机制来支持公司的战略发展,使得企业可以跟上时代的步伐。在二十一世纪,掌握工厂物理学的理念就像在二十世纪掌握大规模生产技术一样将成为制造业的核心竞争力。