文章编号: 1003- 207(2007) 04- 0083- 06

供应链物流运作能力计划模型与分析

马士华, 申 文

(华中科技大学管理学院物流与供应链管理研究所, 湖北武汉 430074)

摘 要: 考察了某种产品供应链系统的一次性物流运作过程, 建立了这个系统的物流能力动态规划模型。针对供应链中物流运作能力的流通量指标进行了较为深入的理论分析, 探讨了使得系统成本最小化的最优物流能力及系统各阶段需配置的流通量。最优物流能力策略体现为两个关键量, 即下界和上界。如果可得输入量小于下界则选择不开展物流; 如果可得输入超出了下界, 物流能力可以足够大但不超过上界。运用数学归纳法对优化结果进行了证明, 并结合算例检验了模型的效果。

关键词: 供应链管理; 物流运作能力; 动态规划模型; 数学归纳法; 随机需求

中图分类号: F247 文献标识码: A

1 引言

上世纪 80、90 年代, 美国等发达国家的学者们最早提出了物流能力概念, 并多方面地探讨了物流能力与组织绩效之间的相互关系。唐纳德 J. 鲍尔索克斯等[1] 认为物流能力就是对厂商能否在尽可能低的总成本下提供有竞争优势的顾客服务的能力(capability) 的一种相对评估。1995 年, 密歇根州立大学全球物流研究组[2] 对物流能力进行了大规模的调查研究, 提出了世界级物流能力的层次结构体系。该研究被认为是国外最早对物流能力进行的系统性研究, 为以后物流能力的研究奠定了坚实的基础并起到了先导作用。Edward A Morash 等[3- 4] 将供应链物流能力分为需求导向的物流能力和供应导向的物流能力, 认为不同的物流能力能够支持不同的" 价值规范" 和战略重心。Stanley E Fawcett 等[5] 提出物流能力代表对企业物流绩效在成本、质量、递送、柔性和创性等重要方面的衡量, 证实了物流能力水平能够极大的提高公司绩效, 而物流能力的提升很大程度上取决于物流计划性和有用信息的获取。Daniel F Lynch 等[6- 7] 将物流能力划分为过程处理能力和价值增值能力两部分, 并分析了它们在与成本领先和差异化两个商业战略组合后与物流绩效之间的关系。Meng Zhao 等[7] 研究了在物流领域的以顾客为中心的能力和以信息为中心的能力。Closs 和 Clinton 等[8] 则讨论了信息技术对物流能力的影响。另外有学者从物流能力的某几项特征指标(如流通量、交付速度、可靠性、对市场的响应性、成本等) 对物流能力进行了实证研究[3~ 5], 这对物流能力的特征的了解很有帮助。虽然国外学者对物流能力的研究相对较多, 但大部分没有对物流能力的构成、决定因素等内容进行过相对具体的分析; 国外的研究主要是实证研究, 对物流能力决策问题也很少涉及。

在国内, 随着近年来物流的兴起, 物流能力研究也引起了学者们的关注。马士华等[10- 12] 提出供应链环境下的物流能力是由物流要素能力(capacity) 和物流运作能力(capability) 综合而成的。物流要素能力是指物流运作中投入的资源要素如设施、设备、人力等的静态能力, 它通常表现为一定时间内物流设施处理物流的最大数量。物流运作能力是在物流要素能力的基础上形成的一种综合动态能力, 它可以通过物流数量、质量、时间、服务水平等多种特性以及这些方面的综合绩效来衡量。刘晓群[13] 通过引入矢量分析, 对物流系统中的流通量和响应时间进行了测算, 由各个环节的流量计算了供应链整体的流通量, 分析了它们之间的关系。从物质流通的角度来看, 整个供应链的物流能力由供应物流、生产物流和分销物流等各个阶段的物流能力串接而成, 其中子系统物流能力又由节点能力和节点之间

收稿日期: 2006- 08- 31; 修订日期: 2007- 07- 15
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70332001)
作者简介: 马士华(1956—) , 男(汉族) , 天津市人, 华中科技大学管理学院教授, 博士, 博士研究生导师; 研究方向: 供应链管理、生产运作管理、物流管理、工程项目管理等.

的连线能力构成。节点的能力可以用单位时间内通过节点的流量来衡量,而节点之间的连线能力可以用货物周转量衡量,所以整个物流链的流通能力是各个物流节点单位时间流量、物流连线处理能力的综合反映。梅晚霞[14]对物流要素能力中关键决定因素——处理能力和流通量在节点处的计划问题进行了探索,建立了使得节点处的费用最低的相应处理能力和流通量的具体解析表达式,并通过算例进行了分析验证。这一研究结果为进一步研究物流能力中每个连线的年流通量、各环节能力的匹配等决定因素的具体分析工作提供了理论研究基础。

目前,国内学者热衷于讨论供应链管理环境下的物流能力问题,但是国内对物流能力的研究主要集中在宏观概念上的初步说明,尽管有些文献进行了具体量化上的分析,但是这些分析只是一些测量方法上的介绍。基于上述国内外研究现状和背景,本文集中于探讨对供应链物流运作能力的决策问题。通过运用动态规划建模方法,提出了一个多阶供应链系统的物流运作能力计划模型,结合物流要素能力和需求来考虑物流运作能力的流通量指标的最优匹配和决策。

2 基本模型

考虑一个连续运作的 N 阶供应链物流系统(如图 1),按照物流处理的顺序,将最后完成的物流阶段称为阶段 1,而最先的物流阶段称为阶段 N。物流的目的是满足在最后阶段对某种产品的一次性不确定需求。令 D 是需求随机变量,有分布函数 $\Phi(d)$ 和密度函数 $\varphi(d)$。随机变量 Z_n 表示阶段 n 的物流要素能力,有分布函数 $\Theta_n(z_n)$ 和密度函数 $\theta_n(z_n)$。假设这些随机变量相互独立,其分布函数连续且二次可导。

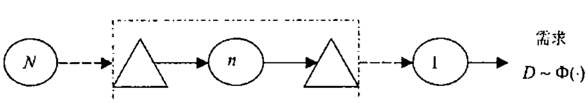

图 1 多阶供应链物流运作系统及产品流通模型

为了使问题简化,本文仅从物流数量(流通量或流通能力)上来定义物流运作能力,包括计划的物流运作能力和实际的物流运作能力。决策问题是确定每个物流阶段的计划物流运作能力 y_n,使期望的供应链物流总成本最小化。假设所有阶段之间的原材料或半成品的初始库存是 0,因此,当现实的物流要素能力 z_n 低于计划运作能力水平 y_n 的时候,实际运作能力可能小于计划运作能力,否则,全部计划目标能够得到满足。一般来说,阶段 n 的实际运作能力 x_n 被给定为 $min\{y_n, Z_n\}$。显然,阶段 n 的计划运作能力 y_n 要受到来自 n+1 阶段实际运作能力水平的约束;而 n+1 阶段的实际运作能力又依赖于 n+1 阶段的计划能力水平,依此类推。也就是说,$y_n \leqslant x_{n+1} = \min\{y_{n+1}, Z_{n+1}\}$。因此,某一阶段物流运作能力计划必须等到前一阶段的物流能力已知时才能具体确定。换句话说,$y_N, y_{N-1}, \dots, y_1$ 必须在获知前面阶段的能力的基础上相继决策。

模型中考虑了下面一些经济参数。物流要素能力成本包括固定成本和变动成本,固定成本不随物流量增减而变化。设阶段 n 的物流活动引起固定成本 W_n,而实际处理每单位产品物流引起变动成本 g_n。此外,未满足需求有单位惩罚成本 u,在阶段 n 加工或处理但在阶段 n-1 没有被使用的产品项目将会产生单位持有成本 hn,剩余原材料的沉淀成本表示为 h_{N+1}。在这个模型中强调单一产品的一次性物流,因此假设原材料、半成品和产品都没有残值。另外,假设满足条件(A1):$h_2 + u > g_1$ 和(A2):$h_{n+1} < g_n + h_n$,$n = 1, 2, \dots N$,以保证物流活动有利可图且物流活动仅由满足需求所推动。

假设从阶段 n 到阶段 1 都有最优输入决策,令 $C_n(x_{n+1})$ 是输入为 x_{n+1} 的 n-阶物流系统的期望成本。$C_N(x_{N+1})$ 表示整个系统的最小期望成本,这里 x_{N+1} 表示阶段 N 的可得原料;而 $C_0(x_1)$ 是系统运作结束后的残余成本。令 y_n^* 是 y_n 的最优值,对该问题的动态规划可以表述如下:

$$c_0(x_1) = E_D\{h_1\max\{0, x_1 - D\} + u\max\{0, D - x_1\}\} \tag{1}$$

$$C_n(x_{n+1}) = \min_{0\leqslant y_n\leqslant x_{n+1}}\{h_{n+1}x_{n+1} + W_n\Delta(y_n) + \Gamma_n(y_n)\},\quad n = 1, 2, \dots N \tag{2}$$

这里,$\Gamma_n(y_n)$ 是一个仅与 y_n 有关的函数,由下式给出:

$$\Gamma_n(y_n) = E_{z_n}(g_n - h_{n+1})\min\{y_n, Z_n\} + E_{z_n}C_{n-1}(\min\{y_n, Z_n\}) \tag{3}$$

其中 $n = 1, 2, \dots, N$,$E_D\{\cdot\}$ 和 $E_{z_n}\{\cdot\}$ 表示随机变量的期望。$\Delta(y_n)$ 是示性函数,如 y_n 存在,取值为 1,否则取值为 0。

从(2)式可以直接得到下面的引律。引律 1:如果对所有的 y_n 有 $\Gamma_n(0) < \Gamma_n(y_n) + W_n$,那么在阶段 n 开展物流活动是不值得的,因此 $y_n^* = 0$。引律 2:如果在阶段 n 没有输入物流,那么从 n 到 1 的最小期望成本等于未满足需求的期望惩罚,即 $C_n(0) = \Gamma_n(0) = uE[D]$。这些引律将在后面的分析和计算中应

用。

3　模型分析

对于上述模型, 如果假设成立, 那么, 最优物流运作能力策略的特征可以表示为两个关键数量 s_n 和 S_n, 并满足关系 $0 \leqslant s_{n-1} \leqslant s_n \leqslant S_n \leqslant S_{n-1} \leqslant \infty$, 其中, 下界关键数量 s_n 表示在阶段 n 愿意加工处理的最小输入量, 即最低物流运作能力; 上界关键数目 S_n 表示在阶段 n 能够加工处理的最大期望物流量, 即最大物流运作能力。

下面运用数学归纳法原理来证明上述结论, 探讨模型的解及特征。

(Ⅰ) 证明 $n = 1$ 时结论成立。为此, 重写(2) 式为

$$C_1(x_2) = \min_{0 \leqslant y_1 \leqslant x_2} \{h_2 x_2 + W_1 \Delta(y_1) + \Gamma_1(y_1)\} \tag{4}$$

首先考察 $\Gamma1(\cdot)$ 的特征, 因为它在决策中扮演着一个关键角色。通过(1) 和(3) 式, 求 $\Gamma_1(y_1)$ 的一阶和二阶导数:

$$\Gamma'_1(y_1) = [1 - \Theta_1(y_1)]a_1(y_1) \tag{5}$$

$$\Gamma''_1(y_1) = [1 - \Theta_1(y_1)](h_1 + u)\varphi(y_1) - \theta_1(y_1)a_1(y_1) \tag{6}$$

这里 $a_1(y_1) = g_1 - h_2 - u + (h_1 + u)\Phi(y_1)$ (7)

条件(A1) 和(A2) 意味着 $h_1 + u > 0$, 因此 $a_1(y_1)$ 随 y_1 递增。定义 S_1 使 $\Gamma'_1(S_1) = a_1(S_1) = 0$, 即, $S_1 = \Phi^{1}\left(\dfrac{h_2 + u - g_1}{h_1 + u}\right)$ (8)

因为 $h_2 + u - g_1 > 0$ 和 $h_2 + u - g_1 < h_1 + u$, 所以 S_1 是非负的确定值。那么 $a_1(y_1)$ 在$(0, S_1)$ 区间是负的, 在(S_1, ∞) 区间是正的。$\Gamma_1(\cdot)$ 的特性可以通过(5) 和(6) 式描述: (ⅰ) 对于 $y_1 \in (0, S_1)$, 有 $\Gamma'_1(y_1) \leqslant 0$ 和 $\Gamma''_1(y_1) \geqslant 0$, 因此 $\Gamma_1(\cdot)$ 是递减和凹性的。(ⅱ) 对于 $y_1 \in (S_1, \infty)$, 有 $\Gamma'_1(y_1) \geqslant 0$ 和 Γ'' 正负不确定, 因此 $\Gamma_1(\cdot)$ 是递增的。显然 $\Gamma_1(y_1)$ 在 $y_1 = S_1$ 得到它的总体最小值(如图 2)。

再考虑(4) 式的成本最小化问题, 特别是 $W_1 \Delta^* y_1) + \Gamma_1(y_1)$ 这一项。$W_1 \Delta(y_1) + \Gamma_1(y)$ 的特性与 $\Gamma_1(y_1)$ 的特性相同, 它也在 $S1$ 得到总体最小值 $W_1 + \Gamma_1(S_1)$。如果 $\Gamma_1(0) \leqslant W_1 + \Gamma_1(S_1)$, 正如引律 1 所述, 计划物流运作能力为零。另一方面, 既然 $\Gamma_1(\cdot)$ 在区间 $(0, S_1)$ 递减, 如果 $\Gamma_1(0) > W_1 + \Gamma_1(S_1)$, 存在唯一的 $s_1 \in (0, S_1)$, 使得

$$\Gamma_1(0) = W_1 + \Gamma_1(s_1) \tag{9}$$

且对于 $y_1 \leqslant s_1$, 有 $\Gamma_1(0) \leqslant W_1 + \Gamma_1(y_1)$; 对 $s_1 < y_1 \leqslant S_1$ 于, 有 $\Gamma_1(0) < W_1 + \Gamma_1(y_1)$。

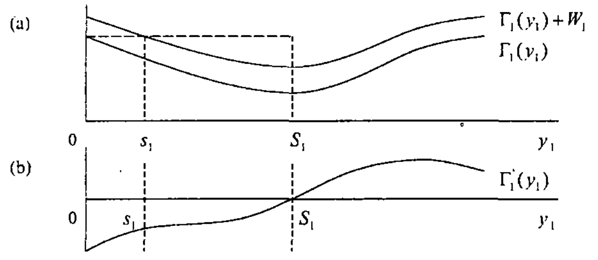

图 2　单阶供应链物流运作能力策略及其特征

因此, 根据输入物流 x_2, 一阶供应链物流运作能力策略就是: 对于 $x_2 \leqslant s_1$, 不开展物流, 因为要素能力固定成本 W_1 抵消了从物流运作中得到的期望节省 $\Gamma_1(0) - \Gamma_1(y_1)$。对于 $s_1 < x_2 \leqslant S_1$, 如果计划物流运作能力超过 s_1, 由物流运作所获得的利益 $\Gamma_1(0) - \Gamma_1(y_1)$ 可以补偿要素能力固定成本 W_1。事实上, 既然 Γ_1 在区间(s_1, S_1) 是递减的, 它应该选择尽可能高的物流运作目标, 所以最优能力简化为输入物流 x_2。最后对于 $x_2 \geqslant S_1$, 人们设置能力目标为 S_1, 因为只有在这一点, $W_1 + \Gamma_1(y_1)$ 取得总体最小值。这些结果可以概括为 $y_1^*(x_2) = \begin{cases} 0, x_2 \in (0, s_1) \\ x_2, x_2 \in (s_1, S_1) \\ S_1, x_2 \in (S1, \infty), \end{cases}$ 这里的关键数目 S_1 和 s_1 是(8) 和(9) 式的解, 且满足关系 $0 \leqslant s_1 \leqslant S_1 < \infty$。结论得证。

(Ⅱ) 假设 $n > 1$, 对于任意的 $1 \leqslant k < n$, 模型有可行解。那么, 令 $k = n - 1$, 下面的特征必定存在。

$$y^*_{n-1}(x_n) = \begin{cases} 0, x_n \in (0, s_{n-1}) \\ x_n, x_n \in (s_{n-1}, S_{n-1}) \\ S_{n-1}, x_n \in (S_{n-1}, \infty) \end{cases} \tag{10}$$

这里, 关键数量 s_{n-1} 和 S_{n-1} 满足

$$\Gamma'_{n-1}(s_{n-1}) + W_{n-1} = \Gamma_{n-1}(0) \tag{11}$$

$$\Gamma'_{n-1}(S_{n-1}) = 0 \tag{12}$$

$$0 \leqslant s_{n-2} \leqslant s_{n-1} \leqslant S_{n-1} \leqslant S_{n-2} \leqslant \infty \tag{13}$$

$\Gamma_{n-1}(\cdot)$ 在区间$(0, s_{n-2})$ 内是递增和上凸的; 在区间(s_{n-2}, S_{n-1}) 内递减且下凹; 在区间(S_{n-1}, S_{n-2}) 内递增; 在区间(S_{n-s}, ∞) 内递增且凸形。　(14)

也就是说, 根据输入物流 x_n, 阶段 $n - 1$ 的最优物流运作能力策略可以表示为两个关键量 s_{n-1} 和 S_{n-1}, 并满足 $0 \leqslant s_{n-2} \leqslant s_{n-1} \leqslant S_{n-1} \leqslant S_{n-2} \leqslant \infty$ 的单调关系(如图 3(a))。

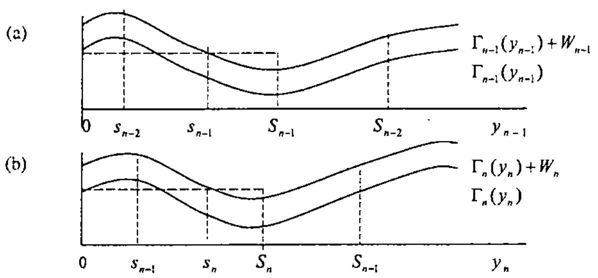

图 3　多阶供应链物流运作能力策略及其特征

(Ⅲ) 推导对于 $k=n$ 时结论也成立。由归纳法假设，定义 $s_0\equiv 0$, $S_0\equiv\infty$。首先探讨 $\Gamma_n(\cdot)$ 的行为，为此，微分(3)式中的 $\Gamma_n(y_n)$ 得到

$$\Gamma'_n(y_n)=(1-\Theta_n(y_n))[g_n-h_{n+1}+C'_{n-1}(y_n)] \tag{15}$$

其中 $C'_{n-1}(\cdot)$ 可以通过首先将 y^*_{n-1} 从(10)式代入(2)式，再求导得出。然后代入(15)式，可以得到，

$$\Gamma'_n(y_n)=\begin{cases}[1-\Theta_n(y_n)]a_n(y_n), & \in(s_{n-1},S_{n-1})\\ 1-\Theta_n(y_n)](g_n+h_n=h_{n+1}), & y_n\quad(s_{n-1},S_{n-1})\end{cases} \tag{16}$$

$$\Gamma''_n(y_n)=\begin{cases}[1-\Theta_n(y_n)]\Gamma''_{n-1}(y_n)-\theta_n(y_n)a_n(y_n), & y_n\in(s_{n-1},S_{n-1})\\ -\theta_n(y_n)g_n+h_n-h_{n+1}), & y_n\quad(s_{n-1},S_{n-1})\end{cases} \tag{17}$$

这里，$a_n(y_n)=g_n+h_n-h_{n+1}+\Gamma'_{n-1}(y_n)$ (18)

首先考察 $y_n\quad(s_{n-1},S_{n-1})$ 时 $\Gamma_n(y_n)$ 的动态。由(A2)知，$(g_n+h_n-h_{n+1})$ 总为正，那么等式(16)和(17)意味着 $\Gamma'_n>0$ 和 $\Gamma''n<0$，因此，Γ_n 在区间 (s_{n-1},S_{n-1}) 之外是递增的和凸性的。

为了探讨 Γ_n 在 $y_n\in(s_{n-1},S_{n-1})$ 内的行为，需要理解 Γ'_{n-1} 和 a_n 的行为。从(14)中所显示的 Γ_{n-1} 的特征，可以推导出：(ⅰ) 对于 $y_n\in(s_{n-2},S_{n-1})$，有 $\Gamma'_{n-1}(y_n)<0$ 和 $\Gamma''_{n-1}(y_n)>0$；(ⅱ) 对于 $y_n>S_{n-1}$，有 $\Gamma'_{n-1}(y_n)>0$。这些意味着 $\Gamma'_{n-1}(\cdot)$ 在 (s_{n-2},S_{n-1}) 内是负的和递增的，从 S_{n-1} 处跨过 0 点；对于 $y_n>S_{n-1}$，它保持为正。

现在考虑 $a_n(y_n)$ 在区间 (s_{n-1},S_{n-1}) 的行为。由(18)式，$(g_n+h_n-h_{n+1})$ 总为正，Γ'_{n-1} 在区间 (s_{n-2},S_{n-1}) 内是递增的。由(13)式，(s_{n-1},S_{n-1})，因此 $a_n(y_n)$ 在区间 (s_{n-1},S_{n-1}) 内是递增的。令 $\Gamma'(s^+)$ 是 Γ 在 s 处的右侧导数，也令 $a(s^+)$ 是当从右侧趋近 s 时的 a 值。为了进一步理解 $a_n(y_n)$ 的特性，我们提出下面的引律。

引律 3：如果 $(g_n+h_n-h_{n+1})>-\Gamma'_{n-1}(s^+_{n-1})$，那么在阶段 n 将不开展物流，即 $y^*_n=0$。证明：假设 $(g_n+h_n-h_{n+1})>-\Gamma'_{n-1}(s^+_{n-1})$，那么，由(19)式，$a_n(s^+_{n-1})$。既然 $a_n(y_n)$ 在区间 (s_{n-1},S_{n-1}) 是递增的，因此在这整个区间它都保持为正。由(16)式，$\Gamma'_n(y_n)$ 在区间 (s_{n-1},S_{n-1}) 总是正的。这就是说，对于所有的 y_n 有 $\Gamma_n(0)<\Gamma_n(y_n)$，这意味着在阶段 n 开展物流是不值得的，即 $y^*_n=0$。实际上，引律 3 说明了如果加工处理一个单位物流的有效成本 $(g_n+h_n-h_{n+1})$ 超过了在下一个阶段单位物流的最大化边际收益 $-\Gamma'_{n-1}(s^+_{n-1})$，人们将选择不开展物流。

因此，由引律 3 和(18)式，可以确信 $a_n(s^+_{n-1})<0$。通过将(12)代入到(18)并应用(A2)，$a_n(S_{n-1})>0$，因此存在一个 S_n 且 $s_{n-1}\leqslant S_n\leqslant S_{n-1}$，得

$a(S)=0$, 19)

很显然，对于 $y\in(s_{n-1},S_n)$ 有 $a_n(y_n)<0$；对于 $y_n\in(S_n,S_{n-1})$ 有 $a_n(y_n)>0$。由(14)式，对于 $y_n\in(s_{n-1},S_{n-1})\subseteq(s_{n-2},S_{n-1})$ 有 $\Gamma''_{n-1}(y_n)>0$。由(16)和(17)式可得到：(ⅰ)；$\Gamma'_n(S_n)=0$；(ⅱ) 对于 $y_n\in(s_{n-1},S_n)$，有 $\Gamma'_n(y_n)<0$ 和 $\Gamma''_n(y_n)>0$；(ⅲ) 对于 $y_n\in(S_n,S_{n-1})$ 有 $\Gamma'_n(y_n)>0$，但 $\Gamma''_n(y_n)$ 可能为正或负。这些特征意味着 $\Gamma_n(\cdot)$：(ⅰ) 在 S_n 点有一个局部最小值；(ⅱ) 在 (s_{n-1},S_n) 区间是递减的和凹形的；(ⅲ) 在 (S_n,S_{n-1}) 是递增的。至此，对 $\Gamma_n(\cdot)$ 的特征描述完成。

现在描述最优能力策略的形式。注意到对于 $y_n\in(0,s_{n-1})$，$\Gamma_n(y_n)$，得到其最小值 $\Gamma_n(0)$，而对于 $y_n\in(s_{n-1},\infty)$，$\Gamma_n(y_n)$ 得到其最小值 $\Gamma_n(S_n)$。因此，如果 $\Gamma_n(0)\leqslant\Gamma_n(S_n)$，在阶段 n 最优物流运作能力为 0；如果 $\Gamma_n(0)\geqslant\Gamma_n(S_n)$，即 S_n 是 $\Gamma_n(\cdot)$ 的总体最小值，那么开展物流可能是值得的，答案取决于要素能力固定成本 W_n。如果 $W_n\geqslant\Gamma_n(0)-\Gamma_n(S_n)$，即固定成本超过了物流运作得到的最大收益，那么不管输入物流 x_{n+1} 是多少，选择不开展物流；而如果 $W_n<\Gamma_n(0)-\Gamma_n(S_n)$，那么存在一个唯一的 $s_n\in(s_{n-1},S_n)$，使得

$$\Gamma_n(0)=W_n+\Gamma_n(s_n) \tag{20}$$

注意满足(20)式的点 s_n 不可能存在于 $(0,s_{n-1})$，既然 Γ_n 在这个区间递增且 $\Gamma_n(s_n)<\Gamma_n(0)$。由 s_n 的定义和 $\Gamma_n(y_n)$ 在区间 $(s_{n-1}),S_n)$ 的递减性得到：对于所有的 $y_n\leqslant s_n$，有 $\Gamma_n(0)\leqslant W_n+\Gamma_n(y_n)$ 对于所有的 $s_n<y_n\leqslant S_n$，有 $\Gamma_n(0)>W_n+\Gamma_n(y_n)$。

概括这些分析可以得出：按照输入物流 x_{n+1}，对于阶段 n 的最优物流运作能力仍然表现为两个关键数量 (s_n,S_n)。其形式可表达为：$y^*_n(x_{n+1})=$

$$\begin{cases}0, & x_{n+1}\in(0,s_n)\\ x_{n+1}, & x_{n+1}\in(s_n,S_n)\\ S_n, & x_{n+1}\in(S_n,\infty)\end{cases}$$

其中，关键数量 s_n 和 S_n 分别

是 $\Gamma_n(s_n) + W_n = \Gamma_n(0)$ 和 $\Gamma'_n(S_n) = 0$ 的解, 并满足单调性: $0 \leqslant s_{n-1} \leqslant s_n \leqslant S_n \leqslant S_{n-1} \leqslant \infty$(如图 3b)。对于一般的情况, 结论证毕。

4　数值算例

某种塑料产品供应链具有三阶段连续性物流运作系统, 三个阶段的物流要素能力: 原材料供应阶段为运输能力, 制造阶段为生产能力和运输能力, 分销配送阶段为仓储能力和运输能力。成本参数如下: $g_1 = 10, g_2 = 20, g_3 = 10; h_1 = 50, h_2 = 30, h_3 = 20, h_4 = 10; u = 210; W_1 = 40000 W_2 = 20000, W_3 = 25000$。假设需求和要素能力服从正态分布, 有概率密度函数 $\varphi(d) = \varphi(d \mid \mu, \sigma)$ 和 $\theta_n(z_n) = \theta(z_n \mid \mu_n, \sigma_n), n = 1, 2, 3$。分布函数的参数取值分别为: $\mu_1 = 5140, \sigma_1 = 1310, \mu_2 = 4560, \sigma_2 = 2430, \mu_3 = 5000, \sigma_3 = 1000, \mu = 1680, \sigma = 890$。

首先计算物流能力决策的两个关键数量。根据模型的参数独立的得到 $\Gamma'_n(S_n)$, 所有上界关键数量 S_n 可以通过 $\Gamma'_n(S_n) = 0$ 来计算。为了便于比较, 将所有的 S_n 报告如下: $S_1 = 2748, S_2 = 2436, S_3 = 2054$。下界关键数量使用 $\Gamma_n(s_n) + W_n = \Gamma_n(0)$ 进行递归计算, 得到 $s_1 = 160, s_2 = 300, s_3 = 472$。

可以观察到最优物流运作能力为一系列“两关键数量”: (472、2054)、(300, 2436)、(160, 2748), 并且满足单调性: $0 < s_1 < s_2 < s_3 < S_3 < S_2 < S_1 < \infty$。这种关系对于供应链物流的连续运作有很多直观的意义: (i) 下界关键数量随着向上游移动而增加; (ii) 上界关键数量随着向上游移动而递减。(iii) 在任何阶段的上界关键数量比所有阶段的下界关键数量更大。也就是说, 最大下界关键数量比最小上界关键数量都要小。(iv) 这些关键数量系列区间 $[s_n, S_n]$ 之间是一种嵌套关系, 即 $(s_3, S_3) \subseteq (s_2, S_2) \subseteq (s_1, S_1)$。因此, 除了阶段 N 必须遵循“两关键数量策略”之外, 对于所有下游阶段实际上只有“单一关键数量”策略。实际上, 最优策略只需计算 S_3 即可, 并不需要计算其它的上界关键数。

5　结语

本文考察了供应链物流运作能力的计划决策问题, 得到了一些规律性的初步结论。对于一个多阶的供应链系统, 确定了一个简单的“两关键数量”策略的最优性。为了有效的计算关键数量, 证明了关键数量之间的单调性特征。这些结果进一步提供了关于系统的各个阶段之间的相互关系的看法, 实际上, 整个供应链的物流运作能力上界取决于最上游阶段的上界关键数量; 对所有阶段的物流运作水平可以使用下界关键数量进行有效的控制。

本文仅从流通量上对物流运作能力进行定义, 没有考虑处理时间、服务质量等其他指标。在后续研究中, 将进一步探讨物流能力指标中“数量”和“时间”同时优化的问题。本文中设想了要素能力和需求的不确定性问题, 这在现实中是比较普遍的情形, 然而物流要素能力的决定, 以及需求和能力不确定性对物流运作的影响在本文中没有展开讨论。另外, 文中假设中间库存为零, 这可以进一步扩展到库存不为零的情况。

参考文献:

[1] 唐纳德 J. 鲍尔索克斯, 戴维 J. 克劳斯. 物流管理——供应链过程的一体化[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[2] Anonymous. World- class logistics: Managing continuous change[J]. Industrial Engineer, 1995, 27(12): 9-16.

[3] Edward A Morash, Cornelia L M Droge, Shawnee K Vickery. Strategic Logistics capabilities for competitive advantage and firm success[J]. Journal of Business Logistics, 1996, 17(1): 1-22.

[4] Edward A Morash. Supply chain strategies, capabilities, and performance [J]. Transportation Journal, 2001, 41(1): 37-64.

[5] Stanley E Fawcett, Linda L Stanley, Sheldon R smith. Developing a logistics capability to improve the performance of international operations[J]. Journal of business logistics, 1997, 18(2): 101-127.

[6] Lynch D. The integration of firm resources: the role of capabilities in strategy and firm performance[D]. Arkansas: University of Arkansas, 1998, 20-50.

[7] Daniel F Lynch, Scott B Keller, John Ozment. The effects of logistics capabilities and strategy on firm performance[J]. Journal of Business Logistics, 2000, 21(2): 47-67.

[8] Meng Zhao, Cornelia Droge. The effects of logistics capabilities on firm performance: customer- focused versus information- focused capabilities[J]. Journal of Business Logistics, 2000, 28: 91-103.

[9] David J Closs, Thomas J Goldsby, Steven R Clinton. Information technology influences on world class Logistics capability[J]. International Journal of Physical distribution & logistics Management, 1997, 27(1): 4.

[10] 马士华, 陈习勇. 供应链环境下的物流能力构成及其特

性研究[J] . 管理学报, 2004, 1(1) : 107- 111.
[11] 马士华, 孟庆鑫. 供应链物流能力的研究现状及发展趋势[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2005, 3 (11) : 301- 307.
[12] 马士华, 申文. 供应链物流能力的前提因素及其交叉作用研究[J] . 物流技术, 2005, 4: 5- 8, 21.
[13] 刘小群, 马士华. 供应链物流能力: 流通量和响应时间测算模型[J]. 华中科技大学学报(自科版), 2006, 9: 121- 124.
[14] 梅晚霞, 马士华. 供应链中转节点物流要素能力计划问题研究[C]. 全国第十届企业信息化与工业工程学术年会论文集, 2006.

A Planning Model and Analysis for Logistics Capability in a Multi-Stage Supply Chain

MA Shi-hua, SHEN Wen
(School of Management, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper considers a one- time logistics of a product in a multi-stage supply chain system, and a dynamic planning model of logistics capability is presented for this system. The quantity as one important index of the logistics capability is analyzed theoretically, and the optimal logistics capability with the lowest system cost and flow quantity allocated at every stage are derived. The optimal logistics capability policy can be characterized by two critical numbers: the lower and the upper. If available input is less than the lower, one chooses no logistics capability; if the available input exceeds the lower, one tries to provide capability as much as possible, but no more than the upper. The principle of mathematical induction is used to prove the conclusion, and a numerical example to test the result.

Key words: supply chain management; logistics capability; dynamic planning model; mathematical induction; stochastic demand