

# 持续生产循环下变动供需之供应链协调模型<sup>①</sup>

张锦特<sup>1</sup>, 郑淑玲<sup>2</sup>

(1 长庚大学资讯管理学系, 桃园 33302 中国台湾;

2 台湾大昌华嘉股份有限公司, 台北 11493 中国台湾)

**摘要:** 建立了在买卖双方供应链协调合作之下单一买方与单一供应商之整合模型. 为了符合实务上买方的需求与供应商的供给皆是变动的情况下, 模型系探讨在持续生产循环的期间下, 利用 JIT 采购制度“1次订购多次运送”的方式, 供应商以接单式生产的方式生产, 考量变动需求与变动供给. 借由最小化买方与供应商之总相关成本, 求解出 1次订购之最佳的运送次数与运送点及每个运送点的最佳运送数量. 不同于传统计量方法复杂的运算方式, 本模型利用混合整数规划 (mixed integer programming) 技巧, 只需将相关参数代入即可简单且容易求解, 由数值范例和敏感性分析的研究结果可获得验证. 此外, 研究结果也显示, 在多次运送存货的方式下, 变动的运送区间相较于固定的运送区间, 更可以达到最小化总相关成本的目标.

**关键词:** 供应链协调模型; 接单式生产; 变动需求; 变动供给

**中图分类号:** F4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2010)08-0022-11

## 0 引言

近年来经济迅速地发展, 企业所面临的是高度竞争与全球化的市场. 在过去资讯分享不易, 企业间彼此处于独立竞争的状态之下, 企业的策略与目标仅能以自身的利益作考量<sup>[1]</sup>. 但随着竞争市场环境的改变<sup>[2]</sup>, 在买卖双方要能协调合作的体认下, 针对单方的立场来考量的存货模型已无法满足需求, 相对的, 发展同时考量买卖双方利益的存货模型 (Goyal<sup>[3]</sup>、Banerjee<sup>[4]</sup>、Lu<sup>[5]</sup>、Kim 和 Ha<sup>[6]</sup>), 才能符合在面对不同市场需求时, 能够迅速反应且达到客户所要求的目标, 进而买卖双方也能在良好合作关系中获取最大利润.

在信息科技日新月异的环境下, 供应链的有效整合已被许多企业视为重要环节, 企业的成功不仅只有以企业自己本身的利益为依归, 而是应该同时考量整个供应链中的每个成员, 然而整合

的存货模型的最佳解可能是只有利于个别的成员, 而不是对每个成员的最佳利益. 因此透过协调机制的建立<sup>[7]</sup>, 让供应链中的成员可以借由最佳化彼此之间的关系与流程来协调合作, 进而达到双赢的局面.

过去一些探讨供应链整合模型的研究. 例如, Goyal<sup>[3]</sup>最早提出联合买方与供应商共同最佳化的概念, 利用最小化总相关成本的模型, 求得最佳的生产次数与采购周期. Banerjee<sup>[4]</sup>建立了联合经济批量模型 (joint economic lot size model), 在有限的生产率下, 透过买方与供应商合作, 达到买方与供应商能获得比彼此独立考量下更大的经济利益. Lu<sup>[5]</sup>提出在订购周期与生产周期不同的情况下, 买卖双方透过协商方式, 使得买卖双方都可减少成本的存货模型. 以上所提的这些文章仅单纯考量买方与供应商的整合模型, 并限制需求是固定的, 未考量需求是变动的情况.

① 收稿日期: 2008-05-28; 修订日期: 2009-12-17.

基金项目: 台北行政院国家科学管理委员会资助项目 (NSC 96-2416-H-018-007-MY2).

作者简介: 张锦特 (1958-), 男, 台湾新竹人, 博士, 教授. Email: chingte@cc.ncu.edu.tw.

事实上, 只有在产品生命周期处于成熟阶段, 其需求才会呈现平稳状态. 以高科技产业, 例如电子、电脑公司等来看, 其需求是常常受到季节性波动的影响<sup>[8]</sup>, 也就是所谓的淡季与旺季, 因此变动需求较能符合真实世界的情况. 为了放宽传统 EOQ 模型是固定需求的限制, Wagner 和 Whittin<sup>[9]</sup> 提出离散型需求的动态经济批量模型, 发展出前推演算法 (forward algorithm), 来探讨各期需求量不同时之最佳批量政策. Donaldson<sup>[10]</sup> 提出需求为线性递增的存货模型, 利用分析性解法来求得最佳解. 为了克服 Donaldson<sup>[10]</sup> 提出的方法既复杂又耗时的缺点, 因此有一些学者, 例如 Silver<sup>[11]</sup>、Mitra 等<sup>[12]</sup>、Teng<sup>[13]</sup> 以及 Goyal 和 Giri<sup>[14]</sup> 提出启发式 (heuristic) 的解法. 其他学者对于不同的需求模式, 也陆续提出一些方法来有效求解需求变动的问题, 例如 Chry 等<sup>[15]</sup> 发展出成本路径演算法 (cost path algorithm) 来求得动态批量模型的最佳策略. Hargra<sup>[16]</sup> 以反复叠代 (iterative) 的方法, 来决定最适的订购时点.

接单式生产是近年来高科技产业新兴的生产模式, 其能够在短时间内快速与弹性的生产, 并有效地满足客户对产品多样化的需求, 而且可以达到降低存货的目标. 例如知名的国际电脑厂商: HP, Dell 与国内的厂商如宏碁、神达等, 皆以接单后生产方式整合其 OEM /ODM 供应厂商来快速回应客户. Banerjee<sup>[17]</sup> 以供应商的观点, 在接单式生产的基础下, 建立一个同步决定供应商的存货与价格策略的模型.

过去的研究, 由于大部分的协调整合模型都着重在固定需求与固定供给的模式之下, 来考量最适买卖双方的存货模型. 而需求变动的模型, 也并非是以买卖双方整合的观点来探讨, 对于买卖双方协调整合型态的研究较少着墨. 而在接单式生产的生产型态应用下, 进一步让供给也是以变动的方式来做考量, 在实务上较符合一些高科技产业, 在企业接单后, 才会安排生产的情况. 因此针对一般的存货政策, 本研究希望发展出能符合实务上需求的模式, 在买卖双方的充分分享资讯下, 考量变动需求与变动供给的情况, 即供应商是根据买方的需求来生产, 建立可达到买方最适采购与供应商最适生产的模型.

因此本文延伸 Kim 和 Ha<sup>[6]</sup> 的模型, 运用张锦特与罗子芸<sup>[18]</sup> 所提出的混合整数规划 (mixed integer programming) 的解法, 提出单一产品, 单一买方与单一供应商之协调模型. 在买方与供应商能充分地分享资讯之下, 本模型探讨在持续生产循环的期间下, 利用 JIT 采购制度“一次订购多次运送”的方式, 供应商以接单式生产的方式生产, 考量变动需求与变动供给. 借由最小化买方与供应商之总相关成本, 求解出一次订购之最佳的运送次数与运送点及每个运送点的最佳运送数量, 以达成买方最适采购与供应商最适生产之目标.

## 1 符号定义与基本假设

下列符号定义与基本假设用以建立本文所提出单一买方与单一供应商之整合模型.

符号定义:

$A$ : 买方的订购成本

$C$ : 供应商每小时的整备成本

$D$ : 买方每次订购的总订购需求量

$t_i$ : 规划周期之时间点,  $i = 1, 2, \dots, l$

$d_i$ : 买方每次订购在时间点  $t_i$  的需求量,  $i = 1, 2, \dots, l$

$d_{i+}$ : 买方每次订购在时间点  $t_i$  的需求量,  $a = i + 1, \dots, l$

$F$ : 每次货品运送, 买方需支付的固定运送成本

$h_B$ : 买方每规划周期每单位持有成本

$h_S$ : 供应商每规划周期每单位持有成本,  $h_S < h_B$

$H$ : 规划周期 (订购周期; 生产周期) 以月为单位

$H_{i+i+n}$ : 在两次成功的运送点  $t_i$  与  $t_{i+n}$  之间区

间  $[t_i, t_{i+n}]$ ,  $\sum_1^l H_{i+i+n} = H$  (决策变量),  $i = 1, 2, \dots, l$

$t_i^+$ : 在时间点  $t_i$  上, 运送存货后, 达到满足买方需求  $Q_i$  之时间点,  $i = 1, 2, \dots, l$

$\bar{t}_i$ : 在时间点  $t_i$  上, 运送存货前, 供应商持有需求  $Q_i$  之时间点,  $i = 1, 2, \dots, l$

$Q_i$ : 在时间点  $t_i^+$  的运送数量, 此数量必须充分满足在  $H_{i+i+n}$  区间内的买方所有需求 (决策变数); 在时间点  $\bar{t}_i$  运送存货前, 供应商的存货量,

$i = 1, 2, \dots, l$

$Q_{max}$ : 供应商每期最大的生产量

$M$ : 一个任意的大正数值,  $M \geq Q_{max}$

$x_i$ : 二元变量  $\{0, 1\}$ . 当  $x_i = 1$  时, 在时间点  $t_i^+$  会运送  $Q_i$ ; 反之, 当  $x_i = 0$  时, 则不会运送存货,

$i = 1, 2, \dots, l$

$x_a$ : 二元变量  $\{0, 1\}$ . 当  $x_a = 1$  时, 在时间点  $t_a^+$  会运送  $Q_a$ ; 反之, 当  $x_a = 0$  时, 则不会运送存货,

$a = i + 1, \dots, l$

$x_b$ : 二元变量  $\{0, 1\}$ . 当  $x_b = 1$  时, 在时间点  $t_b^+$  会供给  $Q_b$ ; 反之, 当  $x_b = 0$  时, 则不会供给存货,

$b = i - 1, \dots, l - 1$

$N$ : 每次订购的总运送次数,  $N = \sum_1^l x_i$  (决策变量),  $i = 1, 2, \dots, l$

$S$ : 供应商每次生产的整备时间 (以小时为单位)

$V$ : 买方订单处理与接收的单位变动成本

$D(x_i)$ : 买方在时间点  $t_i$  运送存货后之存货持有期间组合,  $i = 1, 2, \dots, l$

$G(x_i)$ : 在时间点  $t_i$  上, 买方次期需求量  $d_a$  之组合,  $i = 1, 2, \dots, l, a = i + 1, \dots, l$

$P(x_i)$ : 供应商在时间点  $t_i$  运送存货前之存货持有期间组合,  $i = 1, 2, \dots, l$

基本假设:

- 1) 考虑单一产品、单一买方与单一供应商;
- 2) 买方的需求为变动需求;
- 3) 供应商的供给为变动供给;
- 4) 买方与供应商能充分的分享信息, 供应商在生产周期的一开始 (即在时间点  $t_0$ ), 即可获得此次买方订购的订购区间 ( $H$ )、总订购需求量 ( $D$ ) 以及在每一时点  $t_i$  的需求 ( $d_i$ );
- 5) 在 JIT 采购下, 采用一次订购多次运送的方式来运送存货;
- 6) 每期生产, 供应商根据买方的需求接单生产;
- 7) 供应商每期的生产量皆等于买方的订购量;
- 8) 不考虑供应商生产周期有岁修的情况;
- 9) 每次订购, 供应商一开始的存货水准皆为零;

10) 所有的成本参数是已知且固定;

11) 不考虑缺货与欠拨的情况;

12) 不考虑数量折扣与前置时间的情况.

## 2 模型建立

本文建立之协调模型为同时考量买方相关成本与供应商相关成本之总相关成本.

### 2.1 买方的总相关成本

买方的总相关成本的成本函数等于订购成本加运送成本加持有成本加订单处理与接收成本, 即

$$TC(Q_i, H_{i+n})_{Buyer} = A + (F \times N) + \left\{ \frac{h_B}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)] + V \left( \sum_{i=1}^l Q_i x_i \right), \right.$$

$$D(x_i) = \begin{cases} \sum_{k=i+1}^l \prod_{a=i+1}^k (1 - x_a), & i < l \\ 0 & i = l \end{cases} \quad (1)$$

以下将分别对在买方的总相关成本式 (1) 中之成本项目加以说明. 根据符号定义与基本假设, 系采用一次订购多次运送的方式, 故一次订购成本为  $A$ . 运送次数  $N$  决定于是否有运送存货, 当  $x_i = 1$  时, 供应商会运送货品给买方; 当  $x_i = 0$  时, 供应商不会运送货品给买方. 因此将决定是否运送  $x_i$  的加总后可得总运送次数  $N$ , 也就是  $N = \sum_1^l x_i$ . 每次运送买方需支付的固定运送成本为  $F$ , 故多次运送的运送成本为  $(F \times N)$ . 当  $x_i = 1$  时, 供应商会运送存货  $Q_i$  给买方, 因此将每次运送的存货  $Q_i x_i$  加总后可得到此次订购下所有运送的存货为  $\sum_{i=1}^l Q_i x_i$ . 每一单位买方需支付的订单处理与接收成本为  $V$ , 故买方一次订购的订单处理与接收成本为  $V \left( \sum_{i=1}^l Q_i x_i \right)$ .

买方的持有成本为本文较复杂的部份, 首先以 1 个简单的释例 (如图 1 所示), 来说明持有成本的计算观念. 假设在规划周期  $H_{1,6}$  的情况下, 买方在时间点  $t_1$  到  $t_6$  下, 其需求量分别为  $d_1 = 100$ ,

$d_2 = 250, d_3 = 100, d_4 = 50$  与  $d_5 = 150$  假设最佳的运送时点分别为  $t_1$  与  $t_3$ , 所以最佳运送数量分别为  $Q_1$  与  $Q_3$ .  $Q_1$  为加总  $d_1$  与  $d_2$  的 2 期需求量;

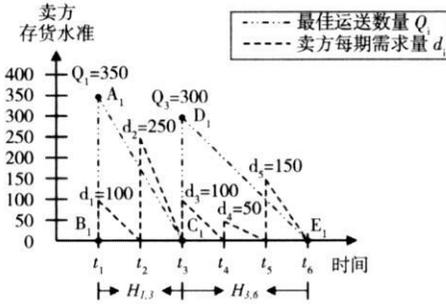


图 1 在  $H_{1,6}$  区间买方的持有成本释例图

Fig 1 The holding cost for the buyer during time period  $H_{1,6}$

$Q_3$  为加总  $d_3, d_4$  与  $d_5$  的 3 期需求量. 因此  $Q_1$  的持有期间有 2 期,  $Q_3$  的持有期间有 3 期. 所以在  $H_{1,3}$  与  $H_{3,6}$  时间区间下的持有成本, 即可分别以三角形面积 ( $A_1, B_1, C_1$ ) 与 ( $D_1, C_1, E_1$ ) 利用三角形面积公式来求解.  $h_B$  为买方每规划周期每单位持有成本,

故 ( $A_1, B_1, C_1$ ) 面积可表示为  $\frac{1}{2} [ (Q_1 \times \frac{2}{5}) \times h_B ]$ ,

( $D_1, C_1, E_1$ ) 面积可表示为  $\frac{1}{2} [ (Q_3 \times \frac{3}{5}) \times h_B ]$ .

由以上对买方的持有成本的基本介绍, 为求解

$\frac{h_B}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)]$  买方持有成本的一般式, 首先处理下列的问题:

**问题 P1** 为了在最小化买方与供应商的总相关成本目标下, 在时间点  $t_i^+$  的运送数量  $Q_i$  必须充分满足在  $H_{i, i+n}$  区间内的买方所有需求. 为求解 P1 本文应用张锦特与罗子芸<sup>[18]</sup> 所提出的混合整数规划 (mixed integer programming) 的解法, 其应用如下所示.

方程式 G1

$$\begin{aligned} \min & \frac{h_B}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)], \\ D(x_i) &= \begin{cases} \sum_{k=i+1}^l [ \prod_{a=i+1}^k (1-x_a) ], & i < l \\ 0 & i = l \end{cases} \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^l x_i Q_i = D \\ Q_i - x_i d_i - x_i G(x_i) & \geq 0 \\ G(x_i) &= \begin{cases} \sum_{k=i+1}^l [ \{ \prod_{a=i+1}^k (1-x_a) \} ] d_a, & i < l \\ 0 & i = l \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

$$(i = 1, 2, \dots, l) \quad (3)$$

**命题 1** P1 相当于 G1 因此它们有相同的最佳解.

**证明** 将目标式  $\frac{h_B}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)]$

展开如下

$$\begin{aligned} & \frac{h_B}{2 \times l} \{ Q_1 [ x_1 + x_1 (1-x_2) + \dots + x_1 (1-x_2) \dots (1-x_{l-1}) (1-x_l) ] + \\ & Q_2 [ x_2 + x_2 (1-x_3) + \dots + x_2 (1-x_3) \dots (1-x_{l-1}) (1-x_l) ] + \\ & \dots + Q_{l-1} [ x_{l-1} + x_{l-1} (1-x_l) ] + Q_l [ x_l ] \} \end{aligned}$$

将式 (3) 之限制式  $Q_i - x_i d_i - x_i G(x_i) \geq 0$  展开如下

$$\begin{aligned} & Q_1 - x_1 d_1 - x_1 [ (1-x_2) d_2 + (1-x_2)(1-x_3) d_3 + \dots + (1-x_2)(1-x_3) \dots (1-x_{l-1})(1-x_l) d_l ] \geq 0 \\ & Q_2 - x_2 d_2 - x_2 [ (1-x_3) d_3 + (1-x_3)(1-x_4) d_4 + \dots + (1-x_3)(1-x_4) \dots (1-x_{l-1})(1-x_l) d_l ] \geq 0 \\ & \vdots \\ & Q_{l-1} - x_{l-1} d_{l-1} - x_{l-1} [ (1-x_l) d_l ] \geq 0 \\ & Q_l - x_l d_l \geq 0 \end{aligned}$$

假设  $x_i = 1$  在时间点  $t_i^+$  就会运送  $Q_i$  就可由目标函数得到其持有成本

$$\begin{aligned} & \frac{h_B}{2l} \{ Q_i [ x_i - x_i (1-x_{i+1}) + x_i (1-x_{i+1}) \times \\ & (1-x_{i+2}) + \dots + x_i (1-x_{i+1})(1-x_{i+2}) \dots \\ & (1-x_{l-2})(1-x_{l-1}) + x_i (1-x_{i+1}) \times \\ & (1-x_{i+2}) \dots (1-x_{l-1})(1-x_l) ] \} \end{aligned}$$

由式 (3) 可知, 在时间点  $t_i^+$  的运送数量  $Q_i$  会充分满足在  $H_{i, i+n}$  区间内的买方所有需求. 证毕.

2.2 供应商的总相关成本

供应商总相关成本的成本函数等于整备成本加持有成本, 即

$$\begin{aligned} TC(Q_i, H_{i, i+n})_{\text{Supplier}} &= \\ & (C \times S) + \frac{h_S}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times P(x_i)] \}, \\ P(x_i) &= \begin{cases} \sum_{k=i-1}^{l-1} [ \prod_{b=i-1}^k (1-x_b) ], & 1 < i < l \\ 0 & i = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

以下将分别说明组成供应商的总相关成本式 (4) 中之各成本项目. 供应商每小时的整备成本为  $C$ , 每次生产的整备时间为  $S$ , 故供应商的整备

成本为  $(C \times S)$ .

同样, 供应商的持有成本也为式 (4) 中较复杂的部份, 先以一个简单的释例 (如图 2 所示), 来说明持有成本的计算观念. 假设在规划周期  $H_{0,8}$  的情况下, 买方在时间点  $t_1$  到  $t_7$  下, 其需求量分别为  $d_1 = 10Q$   $d_2 = 25Q$   $d_3 = 10Q$   $d_4 = 5Q$   $d_5 = 15Q$   $d_6 = 10Q$  与  $d_7 = 15Q$ . 由于每期的生产供应商是根据买方的需求接单生产, 供应商每期的生产量皆等于买方的订购量. 假设最佳的运送时点分别为  $t_1$ ,  $t_3$  与  $t_6$ , 所以最佳生产数量分别为  $Q_1$ ,  $Q_3$  与  $Q_6$ .  $Q_1$  为加总  $d_1$  与  $d_2$  的两期需求量;  $Q_3$  为加总  $d_3$ ,  $d_4$  与  $d_5$  的 3 期需求量;  $Q_6$  为加总  $d_6$  与  $d_7$  的两期需求量. 因为时间点  $t_0$  为开始生产的起点, 时间点  $t_1$  开始运送, 所以  $Q_1$  的持有期间仅有 1 期; 因为下一期生产量的持有期间为前期订购需求量耗用的时间, 所以  $Q_3$  的持有期间有 2 期,  $Q_6$  的持有期间有 3 期. 所以在  $H_{0,1}$ ,  $H_{1,3}$  与  $H_{3,6}$  时间区间下的持有成本, 即可分别以三角形  $(A_2, B_2, C_2)$ ,  $(D_2, C_2, E_2)$  与  $(F_2, E_2, G_2)$  利用其面积公式来求解.  $h_s$  为供应商每规划周期每单位持有成本, 故  $(A_2, B_2, C_2)$  面积可表示为  $\frac{1}{2} [(Q_1 \times \frac{1}{7}) \times h_s]$ ,  $(D_2, C_2, E_2)$  面积可表示为  $\frac{1}{2} [(Q_3 \times \frac{2}{7}) \times h_s]$ ,  $(F_2, E_2, G_2)$  面积可表示为  $\frac{1}{2} [(Q_6 \times \frac{3}{7}) \times h_s]$ .

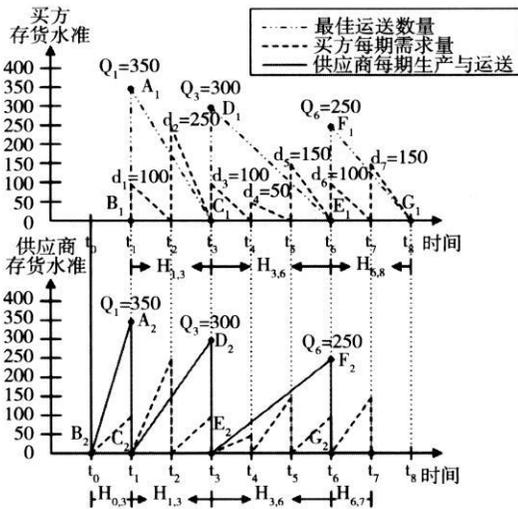


图 2 在  $H_{0,8}$  区间供应商的持有成本释例图

Fig. 2 The holding cost for the supplier during time period  $H_{0,8}$

为求解供应商持有成本的一般式  $\frac{h_s}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i +$

$x_i P(x_i)]$ , 首先处理下列问题

问题 P2 为了最小化买方与供应商的总相关成本目标, 在生产产能的限制下, 供应商是根据买方的需求接单生产, 供应商每期的生产量皆等于买方的订购量, 所以在时间点  $t_i$  的供应商存货量  $Q_i$  必须充分满足在  $H_{i, i+n}$  区间内的买方所有需求与产能的限制. 为求解 P2 本文应用张锦特与罗子芸<sup>[18]</sup> 所提出的混合整数规划 (mixed integer programming) 的解法, 如下所示.

方程式 G2

$$\begin{aligned} \min & \frac{h_s}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)], \\ P(x_i) &= \begin{cases} \sum_{k=i-1}^{l-1} \prod_{b=k+1}^i (1-x_b), & 1 < i < l \\ 0 & i = 1 \end{cases} \\ \text{s.t.} & Q_i \leq Q_{\max} \end{aligned} \quad (5)$$

命题 2 P2 相当于 G2 因此它们有相同的最佳解.

证明 将目标式  $\frac{h_s}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times P(x_i)]$  展开如下

$$\begin{aligned} & \frac{h_s}{2l} \{ Q_1 [x_1] + Q_2 [x_2 + x_2 (1-x_1)] + \dots + \\ & Q_{i-1} [x_{i-1} + x_{i-1} (1-x_{i-2}) + x_{i-1} (1-x_{i-3}) \times \\ & (1-x_{i-2}) + \dots + x_{i-1} (1-x_1) (1-x_2) \dots \times \\ & (1-x_{i-3}) (1-x_{i-2})] + Q_i [x_i + x_i (1-x_{i-1}) + \\ & x_i (1-x_{i-2}) (1-x_{i-1}) + \dots + \\ & x_i (1-x_1) (1-x_2) \dots (1-x_{i-2}) (1-x_{i-1})] \} \end{aligned}$$

假设  $x_i = 1$  在时间点  $t_i$  的供应商存货量  $Q_i$ , 就会可以满足在  $H_{i, i+n}$  区间内的买方所有需求, 就可由目标函数得到其持有成本

$$\begin{aligned} & \frac{h_s}{2l} \{ Q_i [x_i + x_i (1-x_{i-1}) + \\ & x_i (1-x_{i-2}) (1-x_{i-1}) + \dots + \\ & x_i (1-x_1) (1-x_2) \dots (1-x_{i-2}) (1-x_{i-1})] \} \end{aligned}$$

由式 (5) 可知, 供应商每期的生产量不会超过生产产能的限制. 证毕.

### 2.3 协调模型

目标式

综合以上说明之买方与供应商之总相关成本, 可得出本文之协调模型的总相关成本函数

$TC(Q_i, H_{i:n})_{Aggregate}$  即加总式 (1) 与式 (4), 该式亦为本文模型之目标式, 它等于买方订购成本加买方运送成本加买方持有成本加买方订单处理与接收成本加供应商筹备成本加供应商持有成本, 即

$$TC(Q_i, H_{i:n})_{Aggregate} = A + (F \times N) + \frac{h_B}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)] + V \left( \sum_{i=1}^l Q_i x_i \right) + (C \times S) + \frac{h_S}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times P(x_i)] \quad (6)$$

限制式

1) 总订购需求量限制 所有在时间点  $t_i$  的运送数量  $Q_i$  必须满足买方此次的总订购需求  $D$ , 即  $x_1 Q_1 + x_2 Q_2 + x_3 Q_3 + \dots + x_{l-1} Q_{l-1} + x_l Q_l = D$  所以得出下列的总订购需求量限制式

$$\sum_{i=1}^l x_i Q_i = D \quad (7)$$

2) 运送数量需求限制 在时间点  $t_i$  的运送数量  $Q_i$  必须充分满足在  $H_{i:n}$  区间内买方所有需求  $d_i$ , 所以得出下列的运送数量需求限制式

$$Q_i - x_i d_i - x_i G(x_i) \geq 0$$

$$G(x_i) = \begin{cases} \sum_{k=i+1}^l \{ [ \prod_{a=i+1}^k (1-x_a) ] d_a \}, & i < l \\ 0 & i = l \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, l) \quad (8)$$

3) 产能水准限制 因供应商每期最大的生产量为  $Q_{max}$ , 每次的生产量必须小于或等于此最大产能, 所以得出下列的产能水准限制式

$$Q_i \leq Q_{max} \quad (9)$$

4) 运送点限制 每规划周期  $H$  内, 时间点  $t_1$  为第 1 次运送货品的时间点, 为满足初始的需求, 所以得出下列的运送点限制式

$$x_1 = 1 \quad (10)$$

5) 资源限制 当  $x_i = 1$  时, 在时间点  $t_i$  会运送数量  $Q_i$ ; 反之, 当  $x_i = 0$  时, 在时间点  $t_i$  不会运送数量  $Q_i$ , 所以得出下列的资源限制式

$$Q_i \leq x_i M, \quad (i = 2, 3, \dots, l) \quad (11)$$

为了在最小化买方与供应商总相关成本下, 求出 1 次订购下最佳的运送次数、运送点及

在各个运送点下的运送数量. 本文建立的模型如下.

模型

$$\min \{ A + (F \times N) + \frac{h_B}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i \times D(x_i)] + \left( \sum_{i=1}^l Q_i x_i \right) (C \times S) + \frac{h_S}{2l} \sum_{i=1}^l Q_i [x_i + x_i P(x_i)] \}$$

s.t.

$$D(x_i) = \begin{cases} \sum_{k=i+1}^l \prod_{a=i+1}^k (1-x_a), & i < l \\ 0 & i = l \end{cases}$$

$$P(x_i) = \begin{cases} \sum_{k=i-1}^{l-1} \prod_{b=i-1}^k (1-x_b), & 1 < i < l \\ 0 & i = 1 \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^l x_i Q_i = D \quad (7)$$

$$Q_i - x_i d_i - x_i G(x_i) \geq 0$$

$$G(x_i) = \begin{cases} \sum_{k=i+1}^l \{ [ \prod_{a=i+1}^k (1-x_a) ] d_a \}, & i < l \\ 0 & i = l \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, l) \quad (8)$$

$$Q_i \leq Q_{max} \quad (9)$$

$$x_1 = 1$$

$$Q_i \leq x_i M, \quad (i = 2, 3, \dots, l) \quad (11)$$

### 3 范例与研究结果

为了验证与更进一步了解本文所提出的单一买方与单一供应商协调模型, 使决策者可以利用此模型在最小化买方与供应商总相关成本的目标下, 求出 1 次订购下最佳的运送次数、运送点及在各个运送点下的运送数量, 利用一个范例来加以说明, 并且针对运送单位成本、产能水准限制与买方持有单位成本的变化对总相关成本与运送次数的影响, 做了敏感性分析.

#### 3.1 范例

在一个 3 个月的专案规划周期下, 假设买方的总订购需求量  $D$  为 1 800 单位, 供应商每期产能限制  $Q_{max}$  为 400 单位, 在买方与供应商能充分的分享资讯之假设下, 订购周期每一时间点  $t_i$  的需求  $d_i$  如表 2 所示, 其他已知的成本参数如表 3

所示.

表 1 订购周期每一时间点的需求

Table 1 The demand ( $d_i$ ) at time  $t_i$  for the buyer

$i$	$d_i$	$i$	$d_i$
1	150	7	200
2	250	8	50
3	100	9	50
4	50	10	250
5	250	11	200
6	100	12	150

表 2 买方与供应商的成本参数

Table 2 The buyer and supplier's parameters

成本参数	
买方	供应商
$A = \$ 15/\text{次}$	$C = \$ 150/\text{小时}$
$F = \$ 80/\text{次}$	$S = 4\text{小时 (一次整备)}$
$h_B = \$ 3.6/\text{单位}$	$h_S = \$ 2.4/\text{单位}$

为了得出本范例之最佳解, 利用一般商用运算软件 LINGO 8.0 (Schrage<sup>[19]</sup>), 代入本文建立的模型求解, 结果如图 3 所示.

从图 3 可得知此范例的最佳决策是在 1 次订购策略下, 其最佳的运送次数为 7 次, 运送时间点分别为  $t_1, t_3, t_5, t_6, t_8, t_{10}$  与  $t_{11}$ , 最佳的运送数量分别为 400, 150, 250, 300, 100, 250 与 350. 总相关成本为 \$ 2 255. 若将此范例设定为每一时间点  $t_i$  皆固定运送其需求  $d_i$ , 即运送 12 次, 结果如图 4 所示, 总相关成本为 \$ 2 385. 此外, 也利用此范例将运送次数分别设定为运送 11 次、10 次、9 次、8 次、7 次、6 次与 5 次的情况, 在供应商每期产能限制的考量下, 随机选取运送点, 其运送次数与总相关成本的结果如图 5 所示. 因此, 发现利用本文建立的协调模型可以帮助买方与供应商获得节省成本的最佳决策.

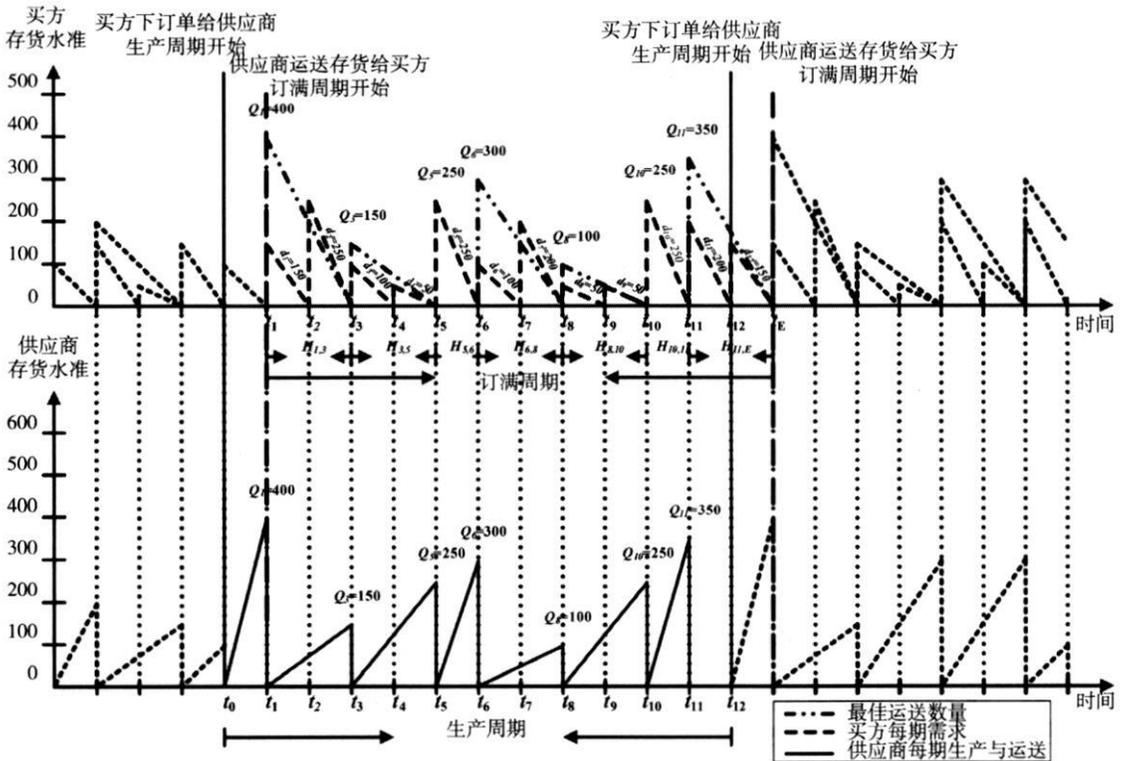


图 3 变动运送区间下买方与供应商存货水准

Fig. 3 The inventory level of variable delivery intervals

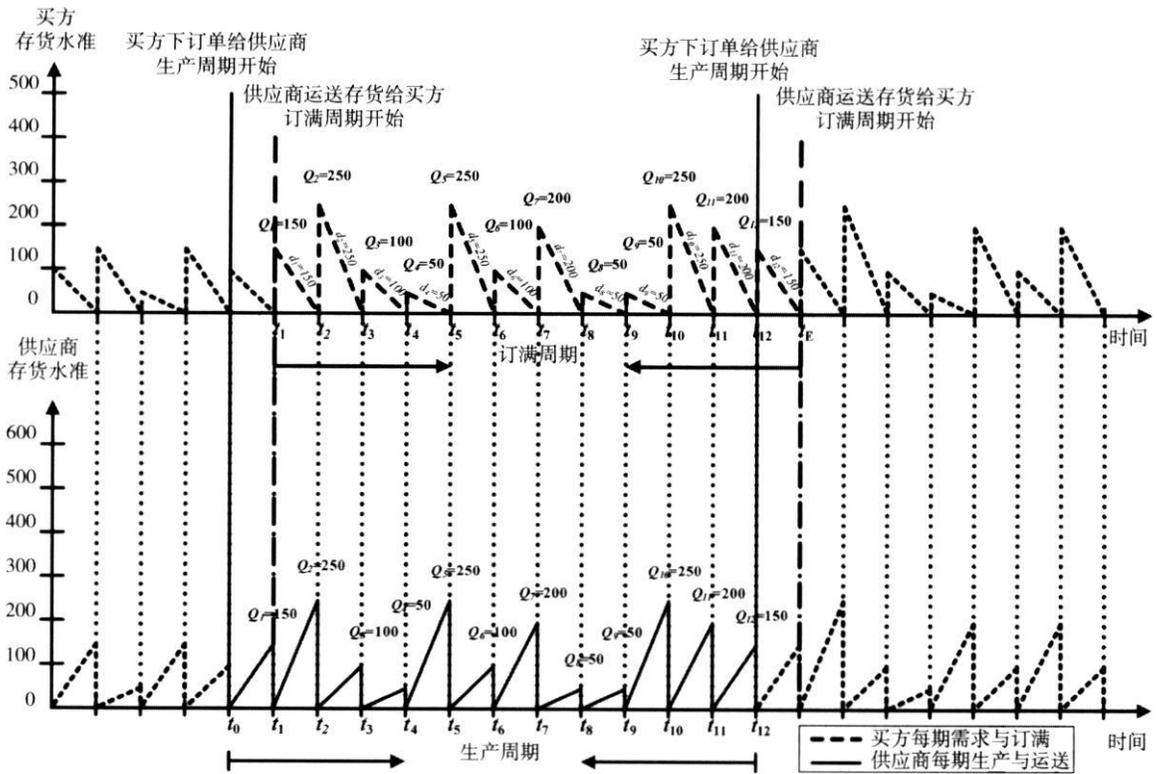


图 4 固定运送区间下买方与供应商存货水准

Fig 4 The inventory level of fixed delivery intervals

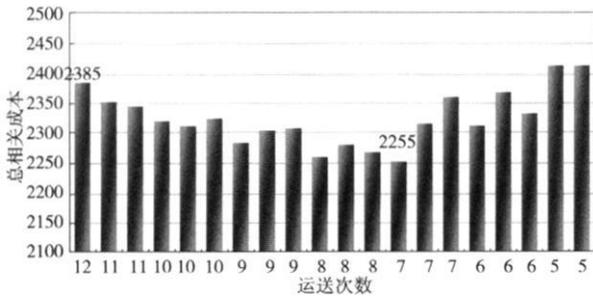


图 5 运送次数与总相关成本之关系图

Fig 5 The total relevant cost of each number of deliveries

### 3.2 敏感性分析

在运送单位成本的敏感性分析中, 在各时间点的需求量与其他成本参数不变的情况下, 测试的运送单位成本的范围为每运送 1 次 \$ 10 至 \$ 200 由结果可知, 在运送单位成本为 \$ 10 至 \$ 40 的情况下, 其最佳的运送次数为 12 次, 此时变动运送区间与固定运送区间的运送次数及总相关成本是相同的. 运送单位成本为 \$ 50 的情况下, 其最佳的运送次数为 10 次, 变动与固定运送区间的总相关成本只有极小的差异 \$ 12.5 从运送单位成本为 \$ 60 的情况开始至 \$ 200 其最佳的运送次数从 8 次逐渐减少至 5 次, 变动与固定运送区

间的总相关成本的差异也随着运送单位成本的增加而逐渐增加, 从运送单位成本为 \$ 60 时的差异 \$ 45 增加至运送单位成本为 \$ 200 时的差异 \$ 812.5 因此, 运送单位成本在 \$ 50 至 \$ 200 之间, 在最小化总相关成本的目标下, 运送单位成本与运送次数大致呈负相关.

在产能水准限制的敏感性分析中, 在各时间点的需求量与其他成本参数不变的情况下, 分别以运送单位成本为 \$ 60 \$ 80 \$ 100 \$ 120 \$ 140 \$ 160 \$ 180 与 \$ 200 的情况下, 测试的产能水准限制分别为数量 250 300 350 400 450 与 500 由结果可知, 在产能水准限制为数量 250 的情况下, 其最佳的运送次数皆为 10 次. 在产能水准限制为数量 300 的情况下, 其最佳的运送次数皆为 9 次. 在产能水准限制为数量 350 的情况下, 随着运送单位成本的增加其最佳的运送次数由 8 次逐渐减少至 6 次. 在产能水准限制为数量 400 450 与 500 的情况下, 其最佳的运送次数皆相同. 而变动运送区间的总相关成本与固定运送区间的总相关成本之差异随着运送单位成本的增加而增加. 因此, 由不同的运送单位成本, 在最小化总相关成本

的目标下, 产能水准限制与运送次数大致呈负相关。

在买方持有单位成本的敏感性分析中, 在各时间点的需求量与其他成本参数不变的情况下, 在考量买方的持有单位成本要大于供应商的持有单位成本, 测试的持有单位成本的范围从 \$ 3 至 \$ 15, 由结果可得知在持有单位成本为 \$ 3 与 \$ 3.6 的情况下, 其最佳的运送次数为 7 次, 变动与固定运送区间的总相关成本有较大的差异 \$ 162.5 与 \$ 130。持有单位成本为 \$ 4.2 的情况下, 其最佳的运送次数为 8 次, 变动与固定运送区间的总相关成本也有较大的差异 \$ 102.5。从持有单位成本为 \$ 4.8 的情况开始至 \$ 13.2 其最佳的运送次数从 9 次逐渐增加至 11 次, 变动与固定运送区间的总相关成本的差异也随着持有单位成本的增加而逐渐减少。在持有单位成本为 \$ 13.8 至 \$ 15 的情况下, 其最佳的运送次数为 12 次, 此时变动运送区间与固定运送区间的运送次数及总相关成本是相同的。因此, 持有单位成本在 \$ 3 至 \$ 13.2 之间, 在最小化总相关成本的目标下, 持有单位成本与运送次数大致呈正相关。

## 4 结束语

本文建立单一产品, 单一买方与单一供应商之协调模型。本模型探讨在持续生产循环的期间下, 利用 JIT 采购制度“1 次订购多次运送”的方式, 供应商以接单式生产的方式生产, 考量买方的需求为变动需求与供应商的供给为变动供给。在最小化买方与供应商之总相关成本的目标下, 求解出一次订购之最佳的运送次数与运送点及每个运送点的最佳运送数量。

由范例与敏感性分析的结果可知, 利用本文所提出的模型, 可以获得 1 次订购下最佳的生产、订购与运送的决策; 此外, 也验证变动的运送区间相较于固定的运送区间, 更可以达到最小化成本目标。

由数值范例来看, 此模型可以运用在高科技的电子产品制造业, 以接单式生产的模式为主的厂商, 来帮助买方与供应商获得节省成本的最佳决策。由敏感性分析得知, 运送单位成本与运送次

数大致呈负相关; 产能水准限制与运送次数大致呈负相关; 买方持有单位成本与运送次数大致呈正相关。

由运送单位成本的敏感性分析可知, 在油价高涨的环境下, 如何因应运送成本不断增加的冲击, 存货的运送方式, 会是很重要的考量。由产能水准限制的敏感性分析可知, 供应商的供货能力会直接影响供货的运送批量大小, 从产能水准的变化, 在产品每期的需求有增加或减少时, 该模型能有效调节存货的运送方式。由买方持有单位成本的敏感性分析可知, 当买方的持有单位成本提高时, 如仓储成本、保险费增加等等, 存货的运送如何有效的配置, 是在节省成本的目标下要去考量的重要因素。

本文所提出的模型有别于传统计量方法复杂的运算方式, 运用混合整数规划的技巧, 利用一般商用运算软体即可求解, 可让决策制定者在实务的运用上更具有效率与便利性。

综合以上的探讨, 本研究的贡献可归纳如下:

1) 以符合实务的考量, 整合买方的需求为变动需求 (或季节性需求) 与供应商的供给为变动供给, 来达到满足买卖双方的需求并达成供应链总相关成本最小化。

2) 将供应商接单后才依据买方的需求来安排生产, 以符合 JIT 的精神。

3) 本研究所提出的模型, 只需将相关的需求、成本参数与限制代入模型中, 运用一般商用运算软体 LINGO 8.0 (Schrage<sup>[19]</sup>) 即可快速求解, 可让决策制定者更有效率与容易的使用。

对于后续研究可朝以下方向进行:

1) 本文仅考虑单一买方与单一供应商的问题, 未来可考虑多买方与单一供应商的情况。

2) 本文之持有成本是以在每个运送点下平均耗用的观念来设定, 未来可改采在每个运送点下每期分别实际耗用的方式来设定, 使持有成本的计算更精确。

3) 本文之运送成本是以单位固定成本来决定, 未来可改采区间单位元变动成本的方式来考量, 使运送成本的计算更精确。

4) 本文是以供应商每期有最大的生产量来做产能水准的限制, 未来可将区间单位变动生产成

本加入考量, 使供应商的总相关成本的计算更精确.

5) 未来可加入安全存量与有不良品等来进一步探讨.

6) 未来可放宽缺货与欠拨的假设.

7) 未来可考虑数量折扣与前置时间的影响.

## 参考文献:

- [1] 柳 键, 马士华. 供应链库存协调与优化模型研究 [J]. 管理科学学报, 2004, 7(4): 1-8  
Liu Jian, Ma Shi-hua. Research on model of supply chain inventory coordination and optimization [J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(4): 1-8 (in Chinese)
- [2] 沈厚才, 陶 青, 陈煜波. 供应链管理理论与方法 [J]. 中国管理科学, 2000, 8(1): 1-9  
Shen Hou-cai, Tao Qing, Chen Yu-bo. Supply chain management Theory and method [J]. Chinese Journal of Management Science, 2000, 8(1): 1-9 (in Chinese)
- [3] Goyal S K. An integrated inventory model for a single supplier single customer problem [J]. International Journal of Production Research, 1976, 15(1): 107-111
- [4] Banerjee A. A joint economic lot size model for purchaser and vendor [J]. Decision Sciences, 1986, 17(3): 292-311
- [5] Lu L. A one vendor multi-buyer integrated inventory model [J]. European Journal of Operational Research, 1995, 81(2): 312-323
- [6] Kim S L, Ha D. A JIT lot splitting model for supply chain management: Enhancing buyer-supplier linkage [J]. International Journal of Production Economics, 2003, 86(1): 1-10
- [7] 王能民, 汪应洛, 杨 彤. 供应链协调机制选择与绩效关系研究综述 [J]. 管理科学, 2007, 21(1): 22-29  
Wang Neng-min, Wang Ying-luo, Yang Tong. Literature review and some issues on the relationship between supply chain coordination and performance [J]. Journal of Management Sciences, 2007, 21(1): 22-29 (in Chinese)
- [8] 张锦特, 赖玟玲. 季节性需求下受资源限制及缺货之存货模型 [J]. 管理科学学报, 2005, 8(3): 72-80  
Zhang Jin-te, Lai Wen-ling. Inventory models with resource constraints and shortages allowed on seasonal demand [J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(3): 72-80 (in Chinese)
- [9] Wagner H M, Whitin T M. Dynamic version of the economic lot size model [J]. Management Science (per-1986), 1958, 5(1): 89-96
- [10] Donaldson W A. Inventory replenishment policy for a linear trend in demand: An analytic solution [J]. Journal of Operational Research Society, 1977, 28(3): 663-670
- [11] Silver E A. A simple inventory replenishment rule for a linear trend in demand [J]. Journal of Operational Research Society, 1979, 30(1): 71-75
- [12] Mitra A, Cox J F, Jesse R R. A note on determining order quantities with a linear trend in demand [J]. Journal of the Operational Research Society, 1984, 35(2): 141-144
- [13] Teng J T. A note on inventory replenishment policy for increasing demand [J]. Journal of the Operational Research Society, 1994, 45(11): 1335-1337
- [14] Goyal S K, Giri B C. A simple rule for determining replenishment intervals of an inventory item with linear decreasing demand rate [J]. International Journal of Production Economics, 2003, 83(2): 139-142
- [15] Chry F, Lin T M, Ho C F. A new approach to the dynamic lot size model [J]. Engineering Costs and Production Economics, 1990, 20(3): 255-263
- [16] Hariga M A. The inventory lot sizing problem with continuous time varying demand and shortages [J]. Journal of the Operational Research Society, 1994, 45(7): 827-837
- [17] Banerjee A. Concurrent pricing and lot sizing for make-to-order contract production [J]. International Journal of Production Economics, 2005, 93, 94: 189-195
- [18] 张锦特, 罗子芸. 资源限制下的周期性需求存货模型之研究 [J]. 台湾管理学报, 2003, 3(2): 29-40

Zhang Jin-Te, Lo Ziyun. On the cycle demand inventory models with resource constraints[J]. Taiwan Academy of Management Journal 2003 3(2): 29-40 (in Chinese)

[19] Schrage L. LINGO Release 8.0. LINDO System, Inc. 2002

### Supply chain coordination model for variable demand and variable supply under continuous production cycle

ZHANG Jin-te<sup>1</sup>, ZHENG Shu-ling<sup>2</sup>

1. Department of Information Management, Chang Gung University, Taiwan, Changhua 33302, China;

2. DKSH Taiwan Ltd., Taiwan, Taipei 11493, China

**Abstract** This research develops a single buyer-supplier integrated model under supply chain coordination and cooperation mechanisms between buyer and supplier. In order to meet the condition that both the demand of the buyer and the supply of the supplier are variable in practice, the model we proposed is under continuous production cycle, and considers small lot sizing and frequent deliveries policies in JIT purchasing system. Moreover, we consider both variable demand and variable supply. The purpose of this study is to minimize the total relevant costs incurred by the buyer and the supplier, so as to obtain the optimal number of deliveries, shipping points and shipping quantities in each shipping point. The solution of the proposed model is quite different from the complicated conventional economics. For developing this model, we adopt a mixed integer programming approach, it can be easily solved using common commercial packages to determine the optimal result by substituting the related parameters. This can be proved by the results of the numerical example and sensitivity analysis. Furthermore, we also find that the variable delivery intervals probably can save more costs than the fixed delivery intervals under the frequent deliveries.

**Key words** supply chain coordination model; make to order; variable demand; variable supply

(上接第 21 页)

$$\frac{xf(x)}{F(x)} > (\text{或} <) \frac{yf(y)}{F(y)}$$

推论 2 的证明 若估价的概率分布函数  $F$  关于估价的弹性是估价的减(或增)函数, 对于  $x < y$ , 则

由命题 1 中式(4)可得

$$\frac{\partial \beta(u, \delta_i^1)}{\partial \delta_k^3} = \frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} \int_0^v \frac{G_i(x)}{G_i(v)} \left[ \frac{\frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} x}{F(\frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} x)} f(\frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} x) - \frac{\frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} v}{F(\frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} v)} f(\frac{\delta_i^1}{\delta_k^3} v) \right] dx \geq (\text{或} \leq) 0$$

类似地, 可得到其他不等式.