文章编号: 1001-0920 (2011) 02-0237-06

需求随机偏差下带有主从零售商的供应链协调

余睿武, 肖人彬
(华中科技大学 系统工程研究所，武汉 430074)

摘 要: 研究了确定环境下带有主从零售商的供应链协调的基本模型, 提出了应急环境下当需求偏差随机发生时集权和分权供应链的最优决策. 证明了无论需求随机偏差存在与否都可以运用线性数量折扣合同使得供应链有效达到协调, 并相应给出了最优批发单价、最优线性折扣率和转移支付的范围. 最后对最优售价、最优总订货量和最优批发单价随需求偏差幅度及其概率的变化进行了仿真分析.

关键词: 协调合同；偏差概率；线性数量折扣；分权供应链
中图分类号: F224.3 **文献标识码:** A

Supply chain coordination with dominant retailer and fringe retailer under the stochastic disruption of the demand

YU Rui-wu, XIAO Ren-bin
(Institute of Systems Engineering，Huazhong University of Science and Technology，Wuhan 430074，China. Correspondent：XIAO Ren-bin，E-mail：rbxiao@163.com)

Abstract: The basic model on the supply chain coordination with one dominant retailer and one fringe retailer is studied under the deterministic environment, while the optimal policies in the integrated and decentralized supply chains are proposed when the demand disruption happens randomly under the emergency environment. It is proved that linear quantity discount contract can be used to coordinate supply chain efficiently whether the stochastic disruption of the demand exists or not. Correspondingly the optimal per-unit wholesale price, the optimal linear discount slope and the scope of transfer payment are given. Finally, it are simulated and analyzed that the optimal retail price, the optimal total order quantity and the optimal per-unit wholesale price change with the demand disruption magnitude and its probability.

Key words: coordination contract；disruption probability；linear quantity discount；decentralized supply chain

1 引 言

供应链协调是研究在保障供应链按照一定工期、成本和质量正常运转的前提下, 如何设计可行的合同契约使得供应链的整体和参与方利益最大化[1-5]. 文献 [1]基于决策结构和需求特性等对供应链系统的协调机制进行了综述. [2] 研究了供应商和风险规避型销售商的利益共享和批量折扣合同契约. [3] 研究了随机需求下单供应商与单零售商组成的供应链关于订货数量决策的协调. [4] 研究了动态随机供应链的合作广告最优决策和收入共享协调机制设计. [5] 研究了多个制造商相互竞争时渠道的批发价、数量折扣和两步收费合同协调机制. 这些研究均没有考虑在应急环境下, 需求等参数在一定偏差幅度范围内随机发生的情况. 然而, 现实中不可抗力等突发事件往往会引起市场需求、成本和价格需求敏感系数等参数一个或多个同时发生偏差, 因此, 在应急环境下渠道参数出现偏差时, 如何实现有效的供应链协调近年来受到关注[6-11]. [6] 研究了需求偏差下全单位批发数量折扣与能力约束线性定价合同协调. [7] 研究了价格需求敏感系数偏差下成本为非线性二次函数时的数量折扣协调. [8] 研究了生产成本偏差下, 供应链面对线性与非线性价格需求关系时的协调. [9] 研究了市场规模与价格敏感系数同时变化时, 数量折扣机制可实现供应链收益最大及其合理分配. [10] 研究了需求偏差下, 双零售商竞争时线性数量折扣和全单位批发数量折扣协调机制. [11] 研究了需求偏差下带有主从零售商的线性数量折扣和 Groves 批发价协调. 以上研究均假设在应急环境下参数偏差幅度对渠道协调

收稿日期: 2009-10-06；**修回日期:** 2010-05-31.
基金项目: 国家自然科学基金项目(60974076).
作者简介: 余睿武(1979−), 男, 博士生, 从事供应链管理、演化博弈论与微观经济学等研究；肖人彬(1965−), 男, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统建模与仿真、群集智能与涌现计算等研究.

的影响, 没有考虑参数偏差幅度及其发生概率对渠道协调的联合影响.

实际情况中, 应急环境下突发事件造成的参数偏差往往是按照一定概率随机发生的, 偏差幅度值和发生概率大小都会对供应链的协调合同和最优决策产生影响. 本文以需求偏差概率作为权重得到的供应链期望收益为基础展开讨论, 论证了在预测需求偏差不存在和以一定概率发生这两种情况下, 都可以运用线性数量折扣机制对带有主从零售商的供应链进行有效协调, 并从理论和仿真角度分析了实际需求随机偏差幅度值及其实际发生概率大小对供应链协调时最优零售价格、最优订货量以及最优批发价的具体影响.

2 基本的供应链协调模型及其假设

以单个供应商 m, 1 个主导零售商 d 和 1 个从属零售商 f 组成的供应链系统为研究对象来建立模型. 假设在同一市场规模 a 下, 零售商 d 和 f 都从供应商 m 以同一批发单价 w 以及同一单位进货成本 c_r 来进货. 首先主导零售商 d 通过拥有的市场能力和优势资源来决定市场零售价格 p, 然后从属零售商 f 遵从 d 确定的 p 来销售商品[11].

令整个市场总需求量为 q_t, d 和 f 的需求量分别为 q_d 和 q_f, d 的市场需求份额为 β[11], 商品替代系数为 K, 则有

$$q_t = a - (1-K)p,\ q_d = \beta q_t,\ q_f = (1-\beta)q_t.$$

其中: $a, q_t, q_d, q_f > 0, p, w > 0; 1 > K > 0; 1 > \beta > 1/2$. 假设供应商 m 的单位生产成本为 $c_m > 0$, 零售商 d 给 m 的固定转移支付为 $H > 0$, 单位批发价格的线性折扣率为 $b > 0$[10], 则供应链中参与方 m, d 以及 f 收益函数分别为

$$\Pi_m = (w - c_m)q_t - bq_d^2 - bq_f^2 + H,$$
$$\Pi_d = (p - c_r - w)q_d + bq_d^2 - H,$$
$$\Pi_f = (p - c_r - w)q_f + bq_f^2.$$

整个供应链系统模型的总收益为

$$\Pi_t = \Pi_s + \Pi_d + \Pi_f = (p - c_m - c_r)(a - (1-K)p).$$

令 $1 - K = k,\ c_m + c_r = c,\ H\beta^{-1} = h$. 其中: k 表示弹性系数, c 表示供应商与单个零售商的总成本, h 表示调整后的固定转移支付. 这样 β 与 h 越大, H 取值就越大, 以下也将 h 简称为固定转移支付, 且 $p, c_r, c > 0,\ h > 0$. 因为 Π_t 为凹函数, 由 Π_t 对 p 求一阶与二阶导数, 可知零售商最优零售价格 $p^* = a/(2k) + c/2$, 最优订货量 $q_t^* = (a - kc)/2$[9].

根据以上假设可知, 如下定理 1 提供了包含最优单位批发价格 w^*, 最优线性折扣率 b^* 以及固定转移支付 h 范围满足具体关系式的线性数量折扣策略, 可以使得供应链在正常运营的前提下达到很好的协调.

定理 1 供应商采取线性数量折扣策略合同可以使得此供应链达到协调, 其形式为

$$(w^* - c_m)q_t^* - b^*\beta^2 q_t^{*2} - b^*(1-\beta)^2 q_t^{*2} + \beta h.$$

其中

$$w^* = (a\beta + k(2\beta c_m - \beta c_r - c_m))/(3k\beta - k),$$
$$b^* = 1/(3k\beta - k),\ (2\beta - 1)b^* q_t^{*2} \geqslant h \geqslant 0.$$

证明 根据收益 Π_d 可知

$$\Pi_d = (p - c_r - w)\beta q_t + b\beta^2 q_t^2 - \beta h =$$
$$(p - c_r - w)\beta(a - kp) + b\beta^2(a - kp)^2 - \beta h. \quad (1)$$

要使得 Π_d 最大, 则

$$p_d^* = \frac{a(1 - 2b^*\beta k) + k(c_r + w^*)}{2k(1 - b^*\beta k)}. \quad (2)$$

为了实现 Π_m 最大, m 通过 b^* 和 w^* 来尽可能获取 f 的收益, 有

$$\Pi_f^* = (p^* - c_r - w^*)q_f^* + b^* q_f^{*2} =$$
$$(p^* - c_r - w^*)(1-\beta)q_t^* + b^*(1-\beta)^2 q_t^{*2} = 0, \quad (3)$$

即

$$(a + kc)/(2k) - c_r = w^* - b^*(1-\beta)(a - kc)/2. \quad (4)$$

为了保证 Π_t 最大化, 令 $p_d^* = p^*$, 由式 (2) 可知

$$p_d^* = \frac{a(1 - 2b^*\beta k) + k(c_r + w^*)}{2k(1 - b^*\beta k)} = \frac{a + kc}{2k}. \quad (5)$$

因此有

$$w^* = (a\beta + k(2\beta c_m - \beta c_r - c_m))/(3k\beta - k),$$
$$b^* = 1/(3k\beta - k).$$

由 $\Pi_d^* \geqslant 0$, 可得到

$$\Pi_d^* = (p^* - c_r - w^*)\beta q_t^* + b^*\beta^2 q_t^{*2} - \beta h \geqslant 0,$$

故 $(2\beta - 1)b^* q_t^{*2} \geqslant h \geqslant 0$. □

3 带有主从零售商的集权供应链在需求随机偏差下的最优决策

假设由于突发原因以概率 x 发生偏差的市场规模为 $a_D = a + \Delta a > 0$, 其中 $\Delta a \geqslant 0$ 和 $\Delta a < 0$ 分别表示不确定市场需求以概率 x 增加或者降低. 令需求随机偏差按照概率 x 发生后的实际总需求量与销售价格分别为 q_{Dt} 与 p_D, 则 $q_{Dt} = a_D - kp_D$, 这里假设 k 不变. 且当 $q_{Dt} \geqslant q_t^*$ 时, 必须投入额外的资源, 如人、机和材等来加大生产产品以满足超额需求; 当 $q_{Dt} < q_t^*$ 时, 出现的过剩产品以低于成本 c 的价格进行销售处理[11]. 由以上假设可知, 本模型集权供应链在需求随机偏差下以偏差概率 x 为权重的加权总收益 $\mathrm{E}\Pi_t$ 为[12]

$$\mathrm{E}\Pi_t = (1-x)\tilde{\Pi}_t + x\Pi_{Dt} =$$

$$(1-x)(a-kp_D)(p_D-c)+x((a_D-kp_D)(p_D-c)-$$
$$c_u(a_D-kp_D-q_t^*)-c_s(q_t^*-a_D+kp_D)^+). \tag{6}$$

对式 (6) 变形, 可知加权总收益为

$$\mathrm{E}\mathit{\Pi}_t=(a-kp_D)(p_D-c)+x\Delta a(p_D-c)-$$
$$xc_u(a_D-kp_D-q_t^*)^+-$$
$$xc_s(q_t^*-a_D+kp_D)^+. \tag{7}$$

其中: $c_u>0, c>c_s>0$, $(y)^+=\max(0,y)$, c_u 和 c_s 分别表示实际需求量增加和减少的单位惩罚成本[11]. 式 (7) 第 1 项表示需求偏差没有发生时集权供应链总收益 $\tilde{\mathit{\Pi}}_t$, 第 2 项表示需求偏差以概率 x 发生时市场规模变动引起的收益变化值, 第 3 项和第 4 项分别表示需求偏差以概率 x 发生时增加产量和减少产量的总体惩罚成本. 可通过如下定理 2 研究需求偏差以概率 x 发生时, 集权供应链期望收益的最优决策解.

定理 2　在需求偏差以概率 x 发生时, 式 (7) 中最优售价 p_D^* 和最优总订货量 q_{Dt}^* 可分如下 3 种情况:

1) 当 $\Delta a>xkc_u/(2-x)$ 时, 有

$$p_{D1}^*=p^*+\Delta ax/(2k)+xc_u/2,$$
$$q_{Dt1}^*=q_t^*+\Delta a(2-x)/2-kxc_u/2;$$

2) 当 $xkc_u/(2-x)\geqslant\Delta a\geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 有

$$p_{D2}^*=p^*+\Delta a/k,\ q_{Dt2}^*=q_t^*;$$

3) 当 $xkc_s/(x-2)>\Delta a>-a$ 时, 有

$$p_{D3}^*=p^*+\Delta ax/(2k)-xc_s/2,$$
$$q_{Dt3}^*=q_t^*+\Delta a(2-x)/2+kxc_s/2.$$

证明　根据 $(y)^+=\max(0,y)$ 的性质, 通过比较 q_{Dt}^* 与 q_t^* 的大小, 将式 (7) 中加权总收益最优解等价变为两个表达式讨论; 再根据需求随机偏差幅度范围分别计算两种表达式的最优策略; 最后综合考虑, 可得式 (7) 中包含的最优零售价及最优总订货量分别为

$$\max_{p_D}\mathrm{E}\mathit{\Pi}_t^1=(a-kp_D)(p_D-c)+x\Delta a(p_D-c)-$$
$$xc_u(a_D-kp_D-q_t^*)^+,$$
$$a_D-kp_D\geqslant q_t^*; \tag{8}$$
$$\max_{p_D}\mathrm{E}\mathit{\Pi}_t^2=(a-kp_D)(p_D-c)+x\Delta a(p_D-c)-$$
$$xc_s(q_t^*-a_D+kp_D)^+,$$
$$a_D-kp_D\leqslant q_t^*. \tag{9}$$

式 (8) 和 (9) 的 Kuhn-Tucker 条件为

$$\frac{\partial\mathrm{E}\mathit{\Pi}_t^1}{\partial p_D}+\lambda_1^*\frac{\partial(a_D-kp_D-q_t^*)}{\partial p_D}=$$
$$a-2kp_D+kc+x\Delta a+kxc_u-\lambda_1^*k=0,$$
$$\lambda_1^*(a_D-kp_D-q_t^*)=0,\ a_D-kp_D\geqslant q_t^*, \tag{10}$$

其中参数 $\lambda_1\geqslant 0$ 为式 (10) 的最优 Lagrangian 算子.

当 $a_D-kp_D\geqslant q_t^*$ 时, 由式 (10) 可知

$$a_D-kp_D=$$
$$(a-kc)/2+(\Delta a(2-x)-xkc_u+\lambda_1^*k)/2. \tag{11}$$

由式 (10) 和 (11) 可知, 如果 $\Delta a>xkc_u/(2-x)$, 则 $a_D-kp_D>q_t^*$, 这意味着 $\lambda_1^*=0$, 且有

$$p_{D1}^*=p^*+\Delta ax/(2k)+xc_u/2,$$
$$q_{Dt1}^*=q_t^*+\Delta a(2-x)/2-kxc_u/2.$$

当 $xkc_u/(2-x)\geqslant\Delta a\geqslant -a$ 时, 意味着 $\lambda_1^*>0$, 也暗示 $a_D-kp_D=q_t^*$, 且有

$$p_{D12}^*=p^*+\Delta a/k,\ q_{Dt12}^*=q_t^*.$$

同理, 如果 $xkc_s/(x-2)>\Delta a>-a$, 则有

$$p_{D3}^*=p^*+\Delta ax/(2k)-xc_s/2,$$
$$q_{Dt3}^*=q_t^*+\Delta a(2-x)/2+kxc_s/2.$$

当 $\Delta a\geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 有

$$p_{D22}^*=p^*+\Delta a/k,\ q_{Dt22}^*=q_t^*.$$

假设 $p_{D12}^*=p_{D22}^*$, $q_{Dt12}^*=q_{Dt2}^*$, 由于 $p_{D12}^*=p_{D22}^*$, $q_{Dt12}^*=q_{Dt22}^*$, 当 $xkc_u/(2-x)\geqslant\Delta a\geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 有

$$p_{D2}^*=p^*+\Delta a/k,\ q_{Dt2}^*=q_t^*. \qquad \square$$

定理 2 表明:

1) 当 $\Delta a>xkc_u/(2-x)$ 时, 主导零售商的最优零售价格会额外增加 $\Delta ax/(2k)+xc_u/2$, 随着需求偏差发生概率 x 的增加而增加, 反之亦然. 供应商的最优订货量会额外增加 $\Delta a(2-x)/2-kxc_u/2$, 随着需求偏差发生概率 x 的增加而减少, 反之亦然.

2) 当 $xkc_u/(2-x)\geqslant\Delta a\geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 概率 x 对最优零售价格和最优订货量没有任何影响, 而最优零售价格会随着 Δa 正或者负而额外增加或减少 $\Delta a/k$, 最优订货总量维持 q_t^* 不变, 此时需求随机偏差范围相对最优订货总量而言为鲁棒范围。

3) 当 $xkc_s/(x-2)>\Delta a>-a$ 时, 最优零售价格会额外减少 $-\Delta ax/(2k)+xc_s/2$, 随着需求偏差概率 x 的增加而减少, 反之亦然. 最优订货量会额外减少 $\Delta a(2-x)/2-kxc_s/2$, 随着需求偏差概率 x 的增加而增加, 反之亦然.

4　带有主从零售商的分权供应链在需求随机偏差下的协调决策

当需求偏差按照一定概率 x 发生时, 由定理 3 可知, 在保障整个供应链正常运转的前提下, 供应商可以通过设计包括最优单位批发价格 w_D^*, 最优线性折扣率 b_D^* 以及主导零售商给供应商的固定转移支付 h_D 的线性数量折扣协调机制, 并让合同机制中的售价和总订货量分别等于集权供应链最优决策时的销

售价格 p_D^* 与总订货量 q_{Dt}^*, 这样不但使得集权供应链的整体最优收益得到满足, 而且使得分权供应链中供应商与主导零售商的最优收益也得到满足[11].

定理3 供应商采取具体合同形式为 $(w_D^* - c_m)q_{Dt}^* - b_D^*\beta^2 q_{Dt}^{*2} - b_D^*(1-\beta)^2 q_{Dt}^{*2} + \beta h_D$ 的线性数量折扣机制可使供应链协调. 其中: $b_D^* = 1/(3k\beta - k)$; w_D^* 和 h_D 分为如下3种情况进行讨论:

1) 当 $\Delta a > xkc_u/(2-x)$ 时, 有

$$w_{D1}^* = w^* + \frac{\Delta a(2x\beta - x - \beta + 1)}{3k\beta - k} + \frac{xc_u(2\beta - 1)}{3\beta - 1}, \tag{12}$$

$$(2\beta - 1)b_D^* q_{Dt1}^{*2} \geqslant h_{D1} \geqslant 0; \tag{13}$$

2) 当 $xkc_u/(2-x) \geqslant \Delta a \geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 有

$$w_{D2}^* = w^* + \Delta a/k, \tag{14}$$

$$(2\beta - 1)b_D^* q_{Dt2}^{*2} \geqslant h_{D2} \geqslant 0; \tag{15}$$

3) 当 $xkc_s/(x-2) > \Delta a > -a$ 时, 有

$$w_{D3}^* = w^* + \frac{\Delta a(2x\beta - x - \beta + 1)}{3k\beta - k} - \frac{xc_s(2\beta - 1)}{3\beta - 1}, \tag{16}$$

$$(2\beta - 1)b_D^* q_{Dt3}^{*2} \geqslant h_{D3} \geqslant 0. \tag{17}$$

证明 当需求随机偏差的概率为 x 时, 主导零售商的收益 Π_{Dd} 为

$$\begin{aligned}\Pi_{Dd} = &(p_D - c_r - w_D)\beta q_{Dt} + b_D\beta^2 q_{Dt}^2 - \beta h_D = \\ &(p_D - c_r - w_D)\beta(a_D - kp_D) + \\ &b_D\beta^2(a_D - kp_D)^2 - \beta h_D.\end{aligned} \tag{18}$$

要使得 Π_{Dd} 最大, 则 p_{Dd}^* 为

$$p_{Dd}^* = \frac{a_D(1 - 2b_D^*\beta k) + k(c_r + w_D^*)}{2k(1 - b_D^*\beta k)}. \tag{19}$$

为了实现 Π_{Dm} 最大, m 通过 b_D^* 和 w_D^* 来尽可能获取 f 的收益, 有

$$\begin{aligned}&\Pi_{Df}^* = (p_D^* - c_r - w_D^*)q_{Df}^* + b_D^* q_{Df}^{*2} = \\ &(p_D^* - c_r - w_D^*)(1-\beta)q_{Dt}^* + b_D^*(1-\beta)^2 q_{Dt}^{*2} = 0.\end{aligned} \tag{20}$$

即

$$p_D^* - c_r = w_D^* - b_D^*(1-\beta)(a_D - kp_D^*). \tag{21}$$

为了保证 Π_t 最大化, 令 $p_{Dd}^* = p_D^*$, 有

$$p_{Dd}^* = \frac{a_D(1 - 2b_D^*\beta k) + k(c_r + w_D^*)}{2k(1 - b_D^*\beta k)} = p_D^*. \tag{22}$$

联立式 (21) 和 (22) 可知

$$b_D^* = 1/(3k\beta - k), \tag{23}$$

$$w_D^* = 2p_D^*(1 - b_D^*\beta k) + a_D(2b_D^*\beta k - 1)/k - c_r. \tag{24}$$

将定理2中 p_D^* 与式 (23) 中 b_D^* 代入 (24), 可知当 $\Delta a > xkc_u/(2-x)$ 时, 式 (12) 成立; 当 $xkc_u/(2-x) \geqslant \Delta a \geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 式 (14) 成立; 当 $xkc_s/(x-2) > \Delta a > -a$ 时, 式 (16) 成立.

由 $\Pi_{Dd}^* \geqslant 0$ 可得到

$$\Pi_{Dd}^* = (p_D^* - c_r - w_D^*)\beta q_{Dt}^* + b_D^*\beta^2 q_{Dt}^{*2} - \beta h_D \geqslant 0.$$

故 $(2\beta - 1)b_D^* q_{Dt}^{*2} \geqslant h_D \geqslant 0$. 即当 $\Delta a > xkc_u/(2-x)$ 时, 式 (13) 成立; 当 $xkc_u/(2-x) \geqslant \Delta a \geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, 式 (15) 成立; 当 $xkc_s/(x-2) > \Delta a > -a$ 时, 式 (17) 成立. □

定理3表明, 需求随机偏差下最优转移支付 h_D 满足关系式 $(2\beta - 1)b_D^* q_{Dt}^{*2} \geqslant h_D \geqslant 0$, 与定理1中相应关系式形式上保持一致. 而最优线性折扣率 b_D^* 的变动与 Δa 和 x 无关, 最优批发单价 w_D^* 随着 Δa 的增加而增加, 反之亦然. 当 $\Delta a > xkc_u/(2-x)$ 时, w_D^* 随着需求随机偏差发生概率 x 的增加而相应增加; 当 $xkc_u/(2-x) \geqslant \Delta a \geqslant xkc_s/(x-2)$ 时, w_D^* 的变动与 x 无关; 当 $xkc_s/(x-2) > \Delta a > -a$ 时, w_D^* 随着概率 x 的增加而减少.

5 算例仿真与分析

令 $a = 10$, $c = 4$, $c_m = 2$, $c_r = 2$, $\beta = 0.6$, $c_u = 1.5$, $c_s = 1$, $k = 0.88$, 若最优零售价格 $p^* = a/(2k) + c/2 \approx 7.68$, 最优订货量 $q_t^* = (a - kc)/2 = 3.24$, 则此时 Π_t 达到最大. 根据定理1可知, 若供应链中供应商的最优批发单价 $w^* = (a\beta + k(2\beta c_m - \beta c_r - c_m))/(3k\beta - k) \approx 7.52$, 最优线性数量折扣率 $b^* = 1/(3k\beta - k) \approx 1.42$, 最优转移支付满足关系式 $2.98 \approx (2\beta - 1)b^* q_t^{*2} \geqslant h \geqslant 0$, 则此时供应链能很好地达到协调.

当需求随机偏差按照概率 x 发生时, 为了使得整个集权供应链的期望收益最大, p^* 和 q_t^* 要相应调整为 p_D^* 和 q_{Dt}^*, 而此时要达到供应链协调, 批发单价 w^* 要调整为 w_D^*, 线性数量折扣率 b_D^* 维持不变即为 b^*, 转移支付满足的关系式由 $(2\beta-1)b^* q_t^{*2} \geqslant h \geqslant 0$ 调整为 $(2\beta - 1)b_D^* q_{Dt}^{*2} \geqslant h_D \geqslant 0$.

需求随机偏差对最优售价、最优订货量、最优批发价的影响分别如图1～图3所示, 其中 EE, FF 和 GG 分别表示 x 为0.99, 0.5和0.3的变化关系曲线.

从图1可知如下特征:

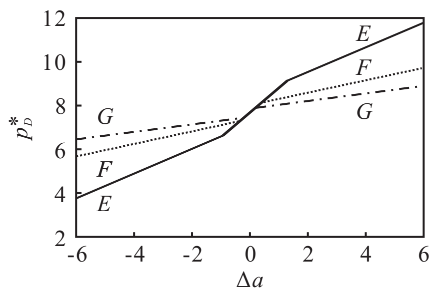

图1 需求随机偏差对最优售价的影响

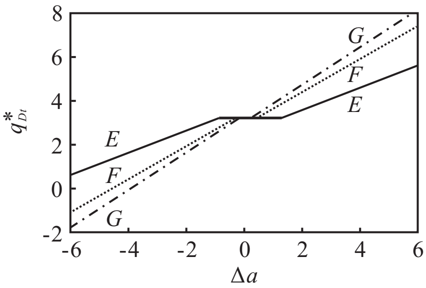

图 2　需求随机偏差对最优订货量的影响

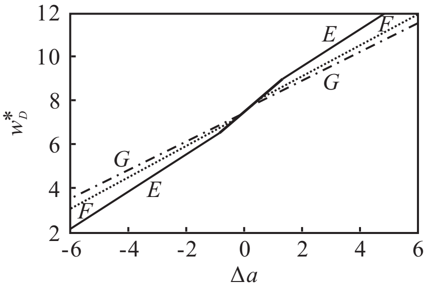

图 3　需求随机偏差对最优批发价的影响

1) 折线 EE(FF 和 GG) 中的粗实线段斜率大于上下细实线段 (虚线段和点横线段) 斜率, 这表明当需求随机偏差较小幅度变化时, 主导零售商大幅度运用价格手段阻止原有计划采购量出现波动.

2) 折线 EE, FF 和 GG 粗实线段的斜率相同, 均有 $1/k \approx 1.14$, 这表明最优零售价格不受随机偏差概率 x 的影响.

3) 折线 $GG(FF)$ 中粗实线段为折线 $FF(EE)$ 中粗实线段的真子集, 这表示随机偏差概率 x 越大, 最优零售价格调整幅度越大.

4) 折线 EE(FF 和 GG) 中的上下细实线段 (虚线段和点横线段) 相对粗实线段较平缓, 这表明当需求随机偏差较大幅度变化时主导零售商适当运用价格手段缓解采购量波动.

5) 折线 $EE(FF)$ 上下线段的斜率大于折线 $FF(GG)$ 上下线段的斜率, 这表明随机偏差概率 x 越大, 最优零售价格变化幅度越大.

6) 当 $6 \geqslant \Delta a > 0.3kc_u/(2-0.3) \approx 0.23$, 且偏差 Δa 相同时, 折线 $EE(FF)$ 对应的最优售价大于 $GG(GG)$ 的最优售价, 这表明此时概率 x 越大, 零售商最优售价越大; 当 $-0.16 \approx 0.3kc_s/(0.3-2) > \Delta a \geqslant -6$, 且偏差 Δa 相同时, 折线 $EE(FF)$ 对应的最优售价小于 $GG(GG)$ 的最优售价, 这表明此时概率 x 越大, 最优售价越小.

从图 2 可知如下特征:

1) 折线 EE, FF 和 GG 中间部分即粗实线段为水平线段, 斜率都等于零, 这表明最优订货量不受需求随机偏差概率 x 和 Δa 的任何影响而维持不变, 具有一定的鲁棒性.

2) 折线 $GG(FF)$ 中粗实线段为折线 $FF(EE)$ 中粗实线段的真子集, 这表明随机偏差概率 x 越大, 最优订货量维持不变范围越大.

3) 折线 EE(FF 和 GG) 中的上下细实线段 (虚线段和点横线段) 斜率大于零, 这表明在较大需求偏差时最优订货量与需求偏差大小成正比.

4) 折线 $EE(FF)$ 上下线段的斜率小于折线 $FF(GG)$ 上下线段的斜率, 这表明随机偏差概率 x 越大, 最优订货量变化幅度越小.

5) 当 $6 \geqslant \Delta a > 0.3kc_u/(2-0.3) \approx 0.23$, 且偏差 Δa 相同时, 折线 $EE(FF)$ 对应的最优订货量小于 $GG(GG)$ 的最优订货量, 这表明此时概率 x 越大, 最优订货量越小; 当 $-0.16 \approx 0.3kc_s/(0.3-2) > \Delta a \geqslant -6$, 且偏差 Δa 相同时, 折线 $EE(FF)$ 对应的最优订货量大于 $GG(GG)$ 的最优订货量, 这表明此时概率 x 越大, 最优订货量越大.

同图 1 比较, 图 3 中折线 EE, FF 和 GG 之间间隔相对较小, 这说明偏差发生概率 x 对最优批发单价 w^*_D 的影响程度相对较低, 3 条折线其余特征与图 1 中特征 1)~6) 相符合.

6　结　论

本文探讨了由单个供应商、1 个主导零售商和 1 个从属零售商组成的供应链系统在需求偏差按照一定概率发生时运用线性数量折扣机制的协调问题, 并得到如下结论:

1) 需求随机偏差下的最优批发单价和最优售价均随着偏差幅度的增加而呈折线形式增加; 在偏差鲁棒变动区域内最优批发价和售价随偏差变化折线的斜率相等, 而在其他区域里变化折线的斜率均随着偏差发生概率的增大而增大.

2) 主从零售商的最优订货总量均随偏差变化折线的斜率在偏差鲁棒变动范围内为零, 而在其他区域里最优订货总量均随着偏差幅度的增大而增大, 折线斜率均随着偏差概率的增大而减小.

3) 无论需求随机偏差发生与否, 供应商采取线性数量折扣机制达到供应链协调时, 最优线性折扣率维持不变, 即不受偏差影响, 而最优转移支付范围满足的关系式从形式上看均基本相同.

在现实中对于渠道决策而言, 当需求偏差幅度变化很小时, 偏差概率对最优决策不会造成任何实质影响, 偏差幅度会让售价和批发价作出大幅调整, 而订货总量维持不变. 这说明应急环境下, 供应链不会因为需求较小偏差发生的可能性作出任何特别调整, 偏差幅度会使得价格变量有所波动, 而零售商不会因为需求较小偏差的幅度以及发生概率大小作出变更原

有订购数量计划的决定. 当需求偏差幅度变化较大时, 偏差幅度大小会使得渠道决策计划相应作出较大调整, 而偏差概率会使得最优批发价和售价相对抬高, 零售商订货总量相对减少. 此时, 零售商面对多变的需求时会采取谨慎态度, 防止订货过多造成积压. 总之, 决策者必须对随机偏差概率和幅度值综合考虑来相应选择供应链最优策略.

参考文献(References)

[1] Li X, Wang Q. Coordination mechanisms of supply chain systems[J]. European J of Operational Research, 2007, 179(1): 1-16.

[2] 索寒生, 储洪胜, 金以慧. 带有风险规避型销售商的供需链协调[J]. 控制与决策, 2004, 19(9): 1042-1049.
(Suo H S, Chu H S, Jin Y H. Supply chain coordination with risk aversion retailers[J]. Control and Decision, 2004, 19(9): 1042-1049.)

[3] Zhou Y, Li D H. Coordinating order quantity decisions in the supply chain contract under random demand[J]. Applied Mathematical Modelling, 2005, 31(6): 1029-1038.

[4] He X, Prasad A, Sethi S P. Cooperative advertising and pricing in a dynamic stochastic supply chain: Feedback Stackelberg strategies[J]. Production and Operations Management, 2009, 18(1): 78-94.

[5] Cachon G. P, Lariviere A G. Competing manufacturers in a retail supply chain: On contractual form and coordination[J]. Management Science, 2010, 56(3): 571-589.

[6] Qi X T, Bard J, Yu G. Supply chain coordination with demand disruption[J]. Omega, 2004, 32(4): 301-312.

[7] 于辉, 陈剑, 于刚. 协调供应链如何应对突发事件[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(7): 9-16.
(Yu H, Chen J, Yu G. How to coordinate supply chain under disruption[J]. System Engineering Theory and Practice, 2005, 25(7): 9-16.)

[8] Xu M H, Qi X T, Yu G, et al. Coordinating dyadic supply chains when production costs are disrupted[J]. IIE Trans, 2006, 38(9): 765-775.

[9] 冯花平, 吕廷杰. 基于需求偏差的供应链协调问题[J]. 控制与决策, 2008, 23(5): 487-491.
(Feng H P, Lv T J. Problem of supply chain coordination based on demand disruption[J]. Control and Decision, 2008, 23(5): 487-491.)

[10] Xiao T J, Qi X T, Yu G. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete[J]. Int J of Production Economics, 2007, 109(1/2): 162-179.

[11] Chen K B, Xiao T J. Demand disruption and coordination of the supply chain with a dominant retailer[J]. European J of Operational Research, 2009, 197(1): 225-234.

[12] Yu H S, Zeng A Z, Zhao L D. Single or dual sourcing: Decision-making in the presence of supply chain disruption risks[J]. Omega, 2009, 37(4): 788-800.

下 期 要 目