文章编号：1003－207(2013)02－0114－09

RFID 技术压缩提前期对供应链收益的影响与协调

范体军[1]，张李浩[1]，吴锋[2]，杨惠霄[3]

（1. 华东理工大学商学院，上海　200237；2. 中油吉林石化公司动力一厂，长春　132022；
3. 上海交通大学安泰经济与管理学院，上海　200030）

摘　要：RFID 技术能够压缩供应链的提前期，提高零售商的服务水平，同时也会增加供应链的成本，如何协调采用 RFID 技术后供应链成员的收益是迫切需要解决的问题。本文针对单供应商和单零售商的两级供应链，考虑提前期变化对供应链及其成员收益的影响，在假定 RFID 单位标签成本为一定值的情况下，研究了采用 RFID 技术前后分散式供应链和集中式供应链的收益，并探讨了契约参数的变化对供应链协调的影响。结果表明，收益共享契约能有效地协调采用 RFID 技术后的供应链，实现供应链成员的共赢，但是采用 RFID 技术后，能够协调供应链的契约参数的区间缩小，零售商的最优订货量减少，供应商的批发价格上升。最后得出供应链采用 RFID 技术后提前期压缩量的阈值，通过数值分析对结论进行了验证，该研究为供应链企业采用 RFID 技术提供了相应的管理启示。

关键词：两级供应链；RFID 技术；提前期压缩；收益共享契约；协调

中图分类号：C931　　**文献标识码**：A

1　引言

20 世纪 90 年代以来，时间已成为竞争的关键要素。早期 Stalk 等[1] 以及 Blackburn[2] 等的研究工作使得企业意识到现代商业环境中时间的重要性，基于时间的竞争（TBC）已成为供应链竞争的主导战略。缩短提前期可以减少安全库存、降低库存资金风险、加速顾客响应，改善顾客服务水平，实现多目标的同时改进[3]。现今“物联网”（Internet of Things）作为我国五大新兴战略性产业之一，被看作是推动世界经济复苏的重要技术动力，受到全世界的极大关注。“物联网”的核心技术——无线射频技术（Radio Frequency Identification，RFID）被认为是 21 纪最重要的技术之一，可以提高供应链企业的自动化水平，加速生产和流通过程，为供应链压缩提前期提供了可能。沃尔玛、乐购、麦德龙等大型零售商店已经采用了 RFID 技术，IDC 机构研究显示，2010 年我国 RFID 总产值达到 160 亿元，而到 2012 年有望突破 200 亿元，国内 RFID 的市场前景光明、潜力巨大，供应链采用 RFID 技术已经成为一种趋势。但是 RFID 技术的采用会增加供应链的成本，改变原有供应链及其成员的收益，如何协调采用 RFID 技术后供应链成员的收益是迫切需要解决的问题。

与本文相关的研究分为三个方面：提前期的压缩、RFID 技术对供应链提前期的影响及收益共享契约。

关于提前期压缩方面：大部分文献都是从定性分析的角度进行探讨，如 Iyer 和 Bergen[4] 通过对服装行业制造商和零售商供应链进行实证研究，若零售商将订货时间由 8 个月削减到 4 个月，可以使其对市场的需求预测误差从 65％减小到 35％；较少从定量分析的角度进行研究，如 Chen 等[5] 推广了传统的报童模型，给出了需求预测与提前期之间的一个线性关系，越是接近销售时点，预测的精度越高，但是 Chen 等[5] 没有涉及到如何协调供应链以达到最大收益的问题；宋华明等[6] 研究了两阶段供应链中提前期压缩对供应链及成员收益的影响，并提出了相应的协调机制，但没有考虑提前期压缩的成本，也没有具体指出提前期压缩的措施。

关于 RFID 技术对供应链提前期方面：Angeles[7] 通过实际案例研究了 RFID 对供应链信息共享和物流操作的影响，指出 RFID 技术不仅能减少生产企业内部的物流操作时间，还能加快上下游企业

收稿日期：2012－07－20；**修订日期**：2012－12－26

基金项目：国家自然科学基金资助项目（71171082）；教育部新世纪人才计划（NCET－11－0637）；中央高校科研基本业务费专项基金

作者简介：范体军（1967－），男（汉族），湖北洪湖人，华东理工大学（上海）商学院，教授，博导，博士，运营与物流供应链管理研究所所长，研究方向：业务外包、逆向供应链.

间的物流速度;张李浩等[8]以 VMI 下的两级供应链为研究对象,采用 Newsvendor 模型和逻辑证明的方法,分析了供应商采用 RFID 技术缩短提前期对供应链及其成员收益的影响,导出可使供应链收益提高的 RFID 成本约束条件,并证明供应商采用批发价格协调策略或零售商采用线性转移支付系数策略均可实现供应链成员收益的 Pareto 改进,但没有讨论如何将分散决策供应链的收益,协调至集中决策供应链的最优收益,更没有探讨采用 RFID 技术后,对供应链原有契约的影响。

关于收益共享契约协调方面的文献十分丰富,如 Mortimer[9]和丁胡送等[10]。但是目前关于收益共享契约的研究中,没有考虑投资 RFID 技术后,供应链成员间如何协调 RFID 技术应用的成本及收益分配的问题。本文研究了供应链采用 RFID 技术后,如何设计收益共享契约,以使分散式决策供应链收益通过协调后达到集中式决策供应链收益,并比较收益共享契约参数在供应链采用 RFID 技术前后的变化。

综上所述,现有文献,一方面集中于将 RFID 单位标签成本作为变量,研究供应链投资 RFID 单位标签成本的阈值,但较少研究投资 RFID 技术后,采用收益共享契约协调分散决策供应链以达到集中决策供应链收益,没有比较投资 RFID 技术前后供应链契约参数、零售商最优订货量及供应商最优批发价格的变化;另一方面集中于单个企业 RFID 技术投资决策分析,如张李浩等[11]。较少地从供应链协调的角度考虑。本文研究了由一个供应商和一个零售商组成的两级供应链,假定 RFID 单位标签成本为定值,市场需求预测误差与提前期之间存在一个线性关系,探讨了采用 RFID 技术压缩提前期对供应链及其成员收益的影响。研究了供应链采用 RFID 技术前后,分散决策下的非契约式供应链、分散决策下的收益共享契约供应链收益函数的变化情况。通过 Stacekberg 博弈的方法求得最优解后,与集中决策供应链收益进行对比,得出供应链采用 RFID 技术后提前期压缩量的阈值及能使供应链实现完美协调的收益共享契约的参数,并探讨了采用 RFID 技术后契约参数的变化趋势及零售商最优订货量和供应商最优批发价格的变化情况,为供应链企业采用 RFID 技术的决策提供一定的参考和管理启示。最后,通过数值分析对结论进行验证。

2　模型描述

现考虑一个由供应商和零售商组成两级供应链,零售商为追求自身收益最大化,根据其对市场需求量的预测和供应商所发布的批发价格,确定订货量。假定供应链成员间的信息完全对称,且为风险中性。

记 X 为商品的市场需求,假设服从正态分布,$\phi(x)$、$\Phi(x)$ 分别为 X 的标准正态分布的密度函数和分布函数,并且零售商从提交订单到收到货物的时间为 T,T 即为供应商的提前期。供应链不采用 RFID 技术时,零售商需在 0 时刻提交订单,此时供应链的提前期为 T,零售商预测的市场需求 $X \sim N(\mu,\sigma_0)$,其密度函数为 $f_{(x,0)}$,分布函数为 $F_{(x,0)}$;若供应链采用 RFID 技术后,由于 RFID 技术能有效提高自动化水平,减少人工操作,大大改善生产、运输、仓储等环节的运作效率,因而零售商可以在 t 时刻提交订单($0 \le t \le T$),即将供应链提前期压缩至 $T-t$,此时零售商预测的市场需求 $X \sim N(\mu,\sigma_t)$,其密度函数为 $f_{(x,t)}$,分布函数为 $F_{(x,t)}$。其中,t 即为采用 RFID 技术后供应链提前期的压缩量,μ 为随机变量 X 的数学期望,即 $E(X)=\mu$,σ_0、σ_t 分别为 0 时刻和 t 时刻零售商对需求预测的均方差。零售商在时间段 $[0,t]$ 内可以获取更多的市场信息,对商品需求信息的预测精度将会提高,即 $\sigma_t < \sigma_0$,根据蔡清波等[12]有 σ_t 是 t 的线性函数,即 $\sigma_t = \sigma_0 + \frac{\sigma_T - \sigma_0}{T}t$。

记 p 为零售商的市场售价,为外生变量;g 为零售商单位商品的缺货损失,如违约惩罚、顾客流失带来的损失等;h 零售商的单位库存费用,如削价处理带来的损失,库存费用等;c_s 为供应商的边际生产成本;w 为供应商给予零售商的批发价;c_t 为 RFID 技术的单位成本,由供应商承担;q 为零售商的订货量;其中 $c_s \le w \le p$(否则 $w < c_s$ 则供应商无利可图,$w > p$ 则零售商无利可图)。本文中,用 A 表示分散决策下的非契约式供应链,用 B 表示分散决策下的收益共享契约供应链,用 C 表示集中决策供应链。

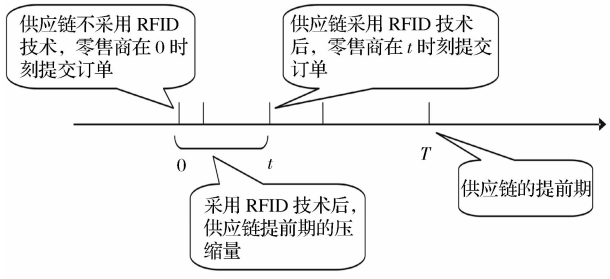

图 1　供应链采用 RFID 技术对提前期的影响

3 供应链不采用 RFID 技术时的收益模型

3.1 分散决策下非契约式供应链的收益模型

当供应链企业不采用 RFID 技术时，零售商需要在 0 时刻提交订单，在分散供应链中，供应商和零售商作为不同的决策主体，各自追求自身收益的最大化，供应商向零售商提供批发价 w_{s0}，零售商根据 w_{s0} 决定订货量，使收益最大化。记 $\pi_{Ar(q,0)}$、$\pi_{As(q,0)}$ 分别为此情形下零售商与供应商的期望收益。则有：

$$\pi_{Ar(q,0)} = p(\int_{-\infty}^{q} xf_{(x,0)}dx + \int_{q}^{+\infty} qf_{(x,0)}dx) - h\int_{-\infty}^{q}(q-x)f_{(x,0)}dx - g\int_{q}^{+\infty}(x-q)f_{(x,0)}dx - w_{s0}q \tag{1}$$

$$\pi_{As(q,0)} = (w_{s0} - c_s)q \tag{2}$$

在式(1)中，第一项和第二项为零售商的期望销售额，第三项为库存成本，第四项为缺货损失，第五项为批发成本。

可得供应商的最优批发价格 w_{s0}^*，从而零售商的最优订货量为：

$$Q_{A0}^* = F^{-1}(\frac{p+g-w_{s0}^*}{p+g+h}) \tag{3}$$

因为 $X \sim (\mu,\sigma)$，故 $\frac{X-\mu}{\sigma} \sim N(0,1)$，即 $F_{(Q_{A0}^*,0)} = \Phi(\frac{Q_{A0}^*-\mu}{\sigma_0})$，可求得：$Q_{A0}^* = \mu + z_{A0}\sigma_0$ $(z_{A0} = \Phi^{-1}(\frac{p+g-w_{s0}^*}{p+g+h}))$。

此时零售商、供应商的最大收益 $\pi_{Ar(q,0)}^*$、$\pi_{As(q,0)}^*$ 为：

$$\pi_{Ar(q,0)}^* = (p+g+h)[\mu\Phi(z_{A0}) - \sigma_0\varphi(z_{A0})] - \mu g \tag{4}$$

$$\pi_{As(q,0)}^* = (w_{s0}^* - c_s)(\mu + z_{A0}\sigma_0) \tag{5}$$

3.2 分散决策下收益共享契约供应链的收益模型

在收益共享契约供应链中，零售商从供应商那里以较低的批发价格 w_{s0}' 获得商品的同时，会以 $1-\varphi_0$ 比例的收益作为回报返还供应商。记 $\pi_{Br(q,0)}$ 为零售商的期望收益，则有：

$$\pi_{Br(q,0)} = \varphi_0 p(\int_{-\infty}^{q} xf_{(x,0)}dx + \int_{q}^{+\infty} qf_{(x,0)}dx) - h\int_{-\infty}^{q}(q-x)f_{(x,0)}dx - g\int_{q}^{+\infty}(x-q)f_{(x,0)}dx - w_{s0}'q \tag{6}$$

零售商最优订货量为：

$$Q_{B0}^* = F^{-1}(\frac{\varphi_0 p + g - w_{s0}'}{\varphi_0 p + g + h}) \tag{7}$$

同理得：

$$Q_{B0}^* = \mu + z_{B0}\sigma_0 (z_{B0} = \Phi^{-1}(\frac{\varphi_0 p + g - w'^{s0}}{\varphi_0 p + g + h})$$

将 Q_{B0}^* 代入式(6)可得零售商最大期望收益为：

$$\pi_{Br(q,0)}^* = (\varphi_0 p + g + h)[\mu\Phi(z_{B0}) - \sigma_0\varphi(z_{B0})] - \mu g$$

记 $\pi_{Bs(q,0)}$ 为供应商的期望收益为，则有：

$$\pi_{Bs(q,0)} = (w_{s0}' - c_s)q + (1-\varphi_0)p(\int_{-\infty}^{q} xf_{(x,0)}dx + \int_{q}^{+\infty} qf_{(x,0)}dx)$$

3.3 集中决策供应链的收益模型

在集中决策下，存在着一个唯一的决策者根据市场的随机需求，确定最优的商品订购数量，也即把供应商、零售商看作是一个利益一致的主体，他们通过合理安排生产、运输等，确定最优的商品订购数量 Q_{C0}^*，以实现整体期望收益的最大化。整个供应链的期望收益为：

$$\pi_{C(q,0)} = p(\int_{-\infty}^{q} xf_{(x,0)}dx + \int_{q}^{+\infty} qf_{(x,0)}dx) - h\int_{-\infty}^{q}(q-x)f_{(x,0)}dx - g\int_{q}^{+\infty}(x-q)f_{(x,0)}dx - c_s q \tag{8}$$

供应链的最优订货量为：

$$Q_{C0}^* = F^{-1}(\frac{p+g-c_s}{p+g+h}) \tag{9}$$

同理可得：

$$Q_{C0}^* = \mu + z_{C0}\sigma_0 \ (z_{C0} = \Phi^{-1}(\frac{p+g-c_s}{p+g+h})$$

由此可得供应链的最大收益为：

$$\pi_{C(Q_C^*,0)}^* = (p+g+h)[\mu\Phi(z_{C0}) - \sigma_0\varphi(z_{C0})] - \mu g \tag{10}$$

由于 $F(x)$ 是关于 x 严格单调递增的函数，在不提供协调机制下，供应商提供给零售商的批发价格必然满足 $w > c_s$。则有 $Q_{A0}^* < Q_{C0}^*$，$Q_{B0}^* < Q_{C0}^*$，而在市场售价 p 为外生给定时，分散供应链的绩效仅取决于零售商的最优订购量，这说明在无协调机制下，供应链存在“双重边际化”效应，此时零售商的决策对整个供应链而言通常不是最优的。易知，基于零售商的边际成本的决策和基于供应链的边际成本的决策结果显然是不同的。因此，为消除此现象，供应链成员之间必须采取一定的协调机制，使零售商从供应链系统期望收益最大化的角度来选择订购量。

3.4 收益共享契约供应链不采用 RFID 技术的协调分析

收益共享契约应该满足两个条件[13]:一是通过协调后,使得供应链的最优决策是供应链成员决策的 Nash 均衡点,即:供应商、零售商通过追求自身收益最大化过程中,也同时使得整个供应链的收益最大化,并且供应链成员在不损失其他成员的利益下,无法再获得更多的利益;二是契约必须能够使供应链各方的收益都得到改进,本文称之为 Pareto 改进。也就是说,契约不应使得博弈中的任何一方收益减少。

命题 1　若收益共享契约参数满足:

$$w'_{s0} = \frac{\varphi_0 p(h+c_s)+(h+g)c_s - ph}{p+g+h} \tag{11}$$

其中:$\varphi_0 > \frac{ph-(h+g)c_s}{p(h+c_s)}$,那么在该收益共享契约可有效地协调供应链。

证明:在市场售价 p 外生给定时,分散供应链的绩效仅取决于零售商的最优订货量,因此为使供应链绩效达到最优,需要 $Q^*_{B0} = Q^*_{C0}$,则有:

$$\frac{\varphi_0 p+g-w'_{s0}}{\varphi_0 p+g+h} = \frac{p+g-c_s}{p+g+h}$$

从而可得:

$$w'_{s0} = \frac{\varphi_0 p(h+c_s)+(h+g)c_s - ph}{p+g+h}$$

令 $w'_{s0} > 0$,得 $\varphi_0 > \frac{ph-(h+g)c_s}{p(h+c_s)}$

命题 2　当收益共享契约参数在保证协调的情况下,契约参数还要满足:

$$\frac{(p+h+g)[\mu\Phi(z_{A0})-\sigma_0\phi(z_{A0})]}{p[\mu\Phi(z_{B0})-\sigma_0\phi(z_{B0})]} - \frac{g+h}{p} \le \varphi_0 \le 1 - \frac{(w^*_{s0}-c_m)(\mu+z_{A0}\sigma_0)}{p[\mu\Phi(z_{B0})-\sigma_0\phi(z_{B0})]}$$

,那么在该契约下供应链各成员能够实现共赢。

证明:在该契约下供应链各成员能够实现共赢,即使得供应链各个成员获得比不用契约下更大的期望收益,即需满足:$\pi^*_{Br(q,0)} \ge \pi^*_{Ar(q,0)}$ 和 $\pi^*_{Bs(q,0)} \ge \pi^*_{As(q,0)}$,可以解得:

$$\varphi_0 \ge \frac{(p+g+h)[\mu\Phi(z_{A0})-\sigma_0\phi(z_{A0})]}{p[\mu\Phi(z_{B0})-\sigma_0\phi(z_{B0})]} - \frac{g+h}{p};$$

$$\varphi_0 \le 1 - \frac{(w^*_{s0}-c_m)(\mu+z_{A0}\sigma_0)}{p[\mu\Phi(z_{B0})-\sigma_0\phi(z_{B0})]}。$$

从命题 2 可以看出,收益共享契约能够实现供应链上各个成员的共赢,有很大的现实意义。但 φ_0 的取值,则要取决于供应商、零售商在供应链上的地位以及相互之间的讨价还价能力。

4　供应链采用 RFID 技术的收益模型

4.1　分散决策非契约式供应链的收益模型

供应链采用 RFID 技术后,零售商可以在 t 时刻提交订单,此时供应商向零售商提供批发价 w_{st}。

依据 2.1 的思路,可得供应商制订的最优批发价格为 w^*_{st} 时,零售商的最优订货量

$$Q^*_{At} = F^{-1}\left(\frac{p+g-w^*_{st}}{p+g+h}\right)$$

可求得:$Q^*_{At} = \mu + z_{At}\sigma_t$ $\left(z_{At} = \Phi^{-1}\left(\frac{p+g-w^*_{st}}{p+g+h}\right)\right)$。

此时零售商、供应商的最大收益分别为:

$$\pi^*_{Ar(q,t)} = (p+g+h)[\mu\Phi(z_{At})-\sigma_t\phi(z_{At})]-\mu g \tag{12}$$

$$\pi^*_{As(q,t)} = (w^*_{st}-c_s-c_t)(\mu+z_{At}\sigma_t) \tag{13}$$

4.2　分散决策收益共享契约供应链的收益模型

供应链采用 RFID 技术情形下,记零售商提出的收益共享系数为 φ_t,供应商制定一个较低的批发价格 w'_{st}。

依据 2.2 的思路,可得零售商的最优订货量:

$$Q^*_{Bt} = F^{-1}\left(\frac{\varphi_t p+g-w'_{st}}{\varphi_t p+g+h}\right)$$

可求得:$Q^*_{Bt} = \mu + z_{Bt}\sigma_t$ $\left(z_{Bt} = \Phi^{-1}\left(\frac{\varphi_t p+g-w'_{st}}{\varphi_t p+g+h}\right)\right)$。

此时零售商和供应商期望收益分别为:

$$\pi^*_{Br(q,t)} = (\varphi_t p+g+h)[\mu\Phi(z_{Bt})-\sigma_t\phi(z_{Bt})]-\mu g \tag{14}$$

$$\pi^*_{Bs(q,t)} = (w'_{st}-c_s-c_t)(\mu+z_{Bt}\sigma_t)+(1-\varphi_t)p[z_{Bt}\sigma_t(1-\Phi(z_{Bt}))+\mu-\sigma_t\phi(z_{Bt})] \tag{15}$$

4.3　集中决策供应链的收益模型

依据 2.3 的思路,可得供应链的最优订货量为:

$$Q^*_{Ct} = F^{-1}\left(\frac{p+g-c_s-c_t}{p+g+h}\right)$$

可求得:$Q^*_{Ct} = \mu + \sigma_t z_{Ct}$ $\left(z_{Ct} = \Phi^{-1}\left(\frac{p+g-c_s-c_t}{p+g+h}\right)\right)$。

由此可得供应链的最大收益为:

$$\pi^*_{C(Q^*_{Ct},t)} = (p+g+h)[\mu\Phi(z_{Ct})-\sigma_t\varphi(z_{Ct})]-\mu g \tag{16}$$

同理,有 $Q^*_{At} < Q^*_{Ct}$,$Q^*_{Bt} < Q^*_{Ct}$,在无协调机制下,供应链采用 RFID 技术后,仍然存在“双重边际化”效应,这时零售商的决策对整个供应链而言通常不是最优的,因此供应链成员之间采取收益共享契约进行协调。

4.4 收益共享契约供应链采用 RFID 技术协调分析

依据 2.4 的思路，讨论收益共享契约下的供应链采用 RFID 技术的收益协调问题。可得：

命题 3 供应链采用 RFID 技术后，若收益共享契约参数满足：

$$w_{st}^{'}=\frac{\varphi_t p(h+c_s+c_t)+(h+g)(c_s+c_t)-ph}{p+g+h} \tag{17}$$

其中，$0<\varphi_t<\frac{(p+h)(c_s+c_t)-hp}{p(h+c_s+c_t)}$，那么在该收益共享契约下可有效地协调供应链。

命题 4 当收益共享契约参数在保证协调的情况下，契约参数还要满足：

$\frac{(p+g+h)[\mu\Phi(z_{At})-\sigma_t\phi(z_{At})]}{p[\mu\Phi(z_{Bt})-\sigma_t\phi(z_{Bt})]}-\frac{g+h}{p}\le\varphi_t\le 1-\frac{(w_{st}^{*}-c_s-c_t)(\mu+z_{At}\sigma_t)}{p[\mu\Phi(z_{Bt})-\sigma_t\phi(z_{Bt})]}$ 时，那么在该收益共享契约下供应链各成员能够实现共赢。

从命题 4 可以看出，供应链采用 RFID 技术后，收益共享契约仍然能够实现上供应链各个成员的共赢，但 φ_t 的取值，则要取决于供应商、零售商在供应链上的地位以及相互之间的讨价还价能力。

5 RFID 技术对供应链收益及协调参数的影响

5.1 收益共享契约下 RFID 技术对供应链及其成员收益的影响

5.1.1 RFID 技术对供应链最优收益的影响

通过对比集中决策供应链在采用 RFID 技术前后的收益，即可得出供应链采用 RFID 技术后，所需压缩提前期量的阈值。

令 $\Delta_{\pi_C}=\pi_{C(Q_{Ct}^{*},t)}^{*}-\pi_{C(Q_{C0}^{*},0)}^{*}\ge 0$，可得：

$$t\ge\left[\frac{\mu c_t}{(p+g+h)}-\frac{\phi(z_{C0})-\phi(z_{Ct})}{\phi(z_{Ct})}\sigma_0\right]\frac{T}{\sigma_0-\sigma_T} \tag{18}$$

由式(18)可以发现，若供应链的提前期过短，那么采用 RFID 技术后会降低其收益。对于提前期较长的供应链来说，采用 RFID 技术后，压缩的提前期量大于上述阈值时，RFID 技术的采用才会增加供应链的收益。

5.1.2 RFID 技术对零售商收益的影响

对比采用 RFID 技术前后，收益共享契约下的零售商最大收益，令

$\Delta_{Br}=\pi_{Br(q,t)}^{*}-\pi_{Br(q,0)}^{*}=(\varphi_t p+g+h)[\mu\Phi(z_{Bt})-\sigma_t\phi(z_{Bt})]-\mu g-\pi_{Br(q,0)}^{*}$

当 φ_0 一定时，$\pi_{Br(q,0)}^{*}$ 为某一定值。可以发现：

(1)当供应链的提前期压缩量 t 一定时，收益共享系数 φ_t 越大时，零售商收益增量越大。

(2)当收益共享系数 φ_t 一定时，供应链的提前期压缩量 t 越大，零售商收益增量越大。

5.1.3 RFID 技术对供应商收益的影响

对比采用 RFID 技术前后，收益共享契约下的供应商最大收益，令

$\Delta_{Bs}=\pi_{Bs(q,t)}^{*}-\pi_{Bs(q,0)}^{*}=(1-\varphi_t)p[\mu\Phi(z_{Bt})-\sigma_t\phi(z_{Bt})]-\pi_{Bs(q,0)}^{*}$

当 φ_0 一定时，$\pi_{Bs(q,0)}^{*}$ 为某一定值。可以发现：

(1)当供应链的提前期压缩量 t 一定时，收益共享系数 φ_t 越大，供应商收益增量越小。

(2)当收益共享系数 φ_t 一定时，供应链的提前期压缩量 t 越大，供应商收益增量越大。

5.2 RFID 技术对零售商最优订货量的影响

命题 5 供应链采用 RFID 技术后，收益共享契约下零售商的最优订货量下降。

证明：对比收益共享契约下，供应链采用 RFID 技术前后零售商的最优订货量式 $Q_{C0}^{*}=\mu+\sigma_0\Phi^{-1}(z_{C0})$、$Q_{Ct}^{*}=\mu+\sigma_t\Phi^{-1}(z_{Ct})$，由于 $\sigma_0\ge\sigma_t$，$z_{C0}>z_{Ct}$，且 $\Phi^{-1}(x)$ 为严格递增函数，则有 $Q_{Ct}^{*}<Q_{C0}^{*}$。这是由于采用 RFID 技术后，缩短了零售商订货的提前期，使其有更多的时间收益市场需求信息，对市场预测更加精准，从而有效降低库存积压的风险。

5.3 RFID 技术对批发价格的影响

对比供应链采用 RFID 技术前后供应商制定的最优批发价格式(11)与式(27)，令 $\Delta_{w_s}=w_{st}^{'}-w_{s0}^{'}$，则有：

$$\Delta_{w_s}=\frac{\varphi_t p(h+c_s+c_t)+(h+g)c_t-\varphi_0 p(h+c_s)}{p+g+h}$$

即在收益共享系数相同的前提下，供应链采用 RFID 技术导致供应商的批发价格升高。

5.4 RFID 技术对收益共享契约参数的影响

对比供应链采用 RFID 技术前后收益共享契约系数的表达式，可以得出以下结论：

结论 1 $(\varphi_0)_{\min}\le(\varphi_t)_{\min}$；

结论 2 $(\varphi_0)_{\max}\ge(\varphi_t)_{\max}$；

结论 3 $[(\varphi_0)_{\max}-(\varphi_0)_{\min}]\ge[(\varphi_t)_{\max}-(\varphi_t)_{\min}]$。

其中，$(\varphi_0)_{\min}$、$(\varphi_0)_{\max}$ 及 $(\varphi_t)_{\min}$、$(\varphi_t)_{\max}$ 表示供应链不采用 RFID 技术及采用 RFID 技术时，能够有效协调供应链的收益共享系数的最小值、最大

值。

通过结论 1、结论 2、结论 3 可以发现:供应链采用 RFID 技术后,能够有效协调供应链的收益共享系数的下界上升,上界下降,协调的区间变小。这是因为 RFID 技术压缩供应链提前期后,契约系数对供应链成员的收益影响敏感度提高。因此,为确保采用 RFID 技术后,供应链不发生断链的现象,供应链成员需要进行更为谨慎的谈判。

6　数值分析

通过一组数值例子来验证上述结论。假定 $\mu = 1000$, $\sigma_0 = 500$, $\sigma_T = 50$, $p = 60$, $h = 5$, $g = 5$, $c_s = 20$, $T = 60$ 。

6.1　RFID 单位标签成本对提前期压缩量的影响

由式(18)可得供应链提前期压缩量最小值与 RFID 单位标签成本的关系为:

$$t_{\min} = 66.67 - \frac{1.905 * (13.06 - c_t)}{\phi[\Phi^{-1}(\frac{45 - c_t}{70})}$$

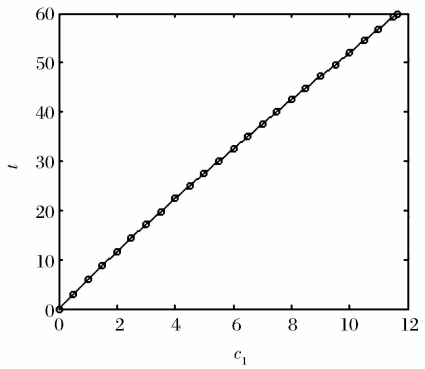

图 2　RFID 单位标签成本 c_t 对提前期压缩量 t 的影响

供应链需要压缩的提前期 t 随 c_t 的变化曲线如图 2 所示,可以发现 RFID 单位标签成本越大,需要压缩的提前期量越大,否则采用 RFID 技术会降低供应链收益。

6.2　收益共享契约下供应链采用 RFID 技术前后收益分析

目前 RFID 标签成本较高,因此在数值分析时,假设 RFID 单位标签成本 $c_t = 2$,由式(18)可知,此时供应链提前期压缩量至少大于 11.58 ,供应链才会采用 RFID 技术。

6.2.1　RFID 技术对供应链最优收益的影响

依据 4.1.1 的分析,带入相应数据,可得: $\Delta_{\pi_C} = 70[158.0 - 0.3825(500 - 7.5t)]$ 。如图 3 所示,可以发现:供应链最优收益增量 Δ_{π_C} 随着提前期压缩量 t 的增大而增大。

6.2.2　RFID 技术对零售商收益的影响

依据 4.1.2 的分析,带入相应数据,可得: $\Delta_{\pi_r} = (60\varphi_t + 10) * [158 - 0.3825 * (500 - 7.5t)]$ 。如图 3 所示,可以发现:当 φ_t 一定时,零售商收益增量 Δ_{π_r} 随 t 的增大而增大;当 t 一定时,零售商收益增量 Δ_{π_r} 随 φ_t 的增大而增大。

6.2.3　RFID 技术对供应商收益的影响

依据 4.1.3 的分析,带入相应数据,可得: $\Delta_{\pi_s} = [60 * (1 - \varphi_t) + 10] * [158 - 0.3825 * (500 - 7.5t)]$ 。如图 3 所示,可以发现:当 φ_t 一定时,供应商收益增量 Δ_{π_s} 随 t 的增大而增大;当 t 一定时,供应链收益增量 Δ_{π_s} 随 φ_t 的增大而减小。

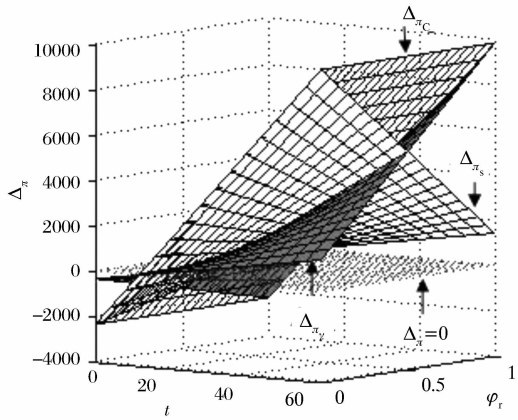

图 3　提前期压缩量 t 和收益共享系数 φ_t 对供应链及其成员收益增量的影响

6.3　RFID 技术对分散决策供应链成员收益的影响

将数据代入式(4)、(5)及(12)、(13)可得:

$\pi_{Ar(q,0)} = 70[1000\frac{65 - w_{s0}}{70} - 500\varphi(\Phi^{-1}(\frac{65 - w_{s0}}{70}))] - 5000$, $\pi^{As(q,0)} = (w_{s0} - 20)[1000 + 500\Phi^{-1}(\frac{65 - w_{s0}}{70})]$; $\pi_{Ar(q,t)} = 70[1000\frac{65 - w_{st}}{70} - 350\varphi(\Phi^{-1}(\frac{65 - w_{st}}{70}))] - 5000$, $\pi_{As(q,t)} = (w_{st} - 22)[1000 + 350\Phi^{-1}(\frac{65 - w_{st}}{70})]$

由于确保供应商获得最大收益的最优批发价格无法精确求得,故本文采用数值分析法进行求解。采用 Matlab 作图,可得 $\pi_{Ar(q,0)}$ 、$\pi^{As(q,0)}$ 随 w_{s0} 的变化曲线及 $\pi^{Ar(q,t)}$ 、$\pi^{As(q,t)}$ 随 w_{st} 的变化曲线,如图 4 所示,可以发现:分散决策供应链,不采用 RFID 技

术时，供应商的最优批发价格 $w_{s0}^{*}=35.9$，$\pi_{As(q,0)}^{*}=18241$，$\pi_{Ar(q,0)}^{*}=932$。采用 RFID 技术时，供应商的最优批发价格 $w_{st}^{*}=53.8$，$\pi_{As(q,t)}^{*}=20731$，$\pi_{Ar(q,t)}^{*}=1239$。即采用 RFID 技术后，供应商的最优批发价格上升，供应商和零售商的收益同时增加，但是供应商收益增量大于零售商收益增量。这是因为在分散决策供应链中，供应商会将 RFID 技术的成本通过批发价格转移给零售商，供应链提前期的压缩提升了零售商的服务水平，增加了订货量，同时零售商对市场需求的预测误差变小，降低了自身的库存成本及缺货损失。这也符合供应链中“谁投入谁受益”的原则，此时零售商坐享了压缩提前期的好处，供应链产生了收益的“溢出效应”。

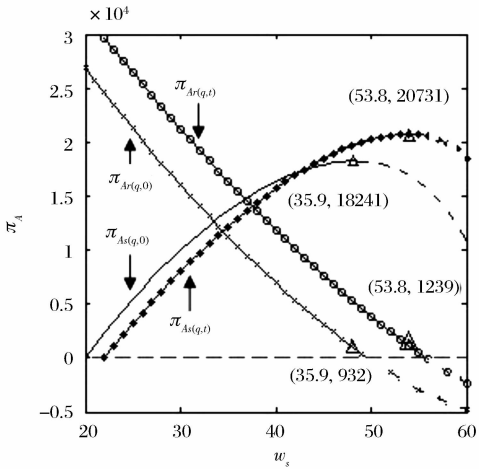

图 4　w_s 对分散决策供应链成员收益的影响

6.4　收益共享系数对供应链成员收益的影响

对比采用收益共享契约前后供应链成员收益的变化情况。供应链不采用 RFID 技术时，将相关数据代入，可得：$\Delta_{\pi_{Br0}}=\pi_{Br(q,0)}^{*}-\pi_{Ar(q,0)}^{*}=27379\varphi_0-1367$，$\Delta_{\pi_{Bs0}}=\pi_{Bs(q,0)}^{*}-\pi_{As(q,0)}^{*}=9138-27379\varphi_0$，同时，需满足 $w_{s0}'=\dfrac{1500\varphi_0-100}{70}\geq 0$，即 $w_{s0}'=\varphi_0\geq 0.067$。

供应链采用 RFID 技术时，将相关数据代入，可得：$\Delta_{\pi_{Brt}}=\pi_{Br(q,t)}^{*}-\pi_{Ar(q,t)}^{*}=29825\varphi_t-2147$，$\Delta_{\pi_{Bst}}=\pi_{Bs(q,t)}^{*}-\pi_{As(q,t)}^{*}=9094-29825\varphi_t$。同时，还需满足：$w_{st}'=\dfrac{1620\varphi_t-80}{70}\geq 0$，即 $\varphi_t\geq 0.049$。供应链采用收益共享契约后，零售商、供应商的收益增量共享系数的变化如图 5 所示，可以发现：当收益共享系数 $\varphi_t\in[0.072,0.304]$ 时，有 $\Delta_{\pi_{Brt}}\geq 0$、$\Delta_{\pi_{Bst}}\geq 0$，即在此条件下，供应链成员的收益均增加，可以有效实现供应链的协调。通过对比收益共享契约下，供应链采用 RFID 技术前后，能够实现供应链协调的收益共享系数 $\varphi_0\in[0.067,0.334]$、$\varphi_t\in[0.072,0.304]$ 可以发现：采用 RFID 技术后，能够协调供应链的收益共享系数下界变大，上界变小，并且区间范围缩小，很好地验证了 5.4 的结论。

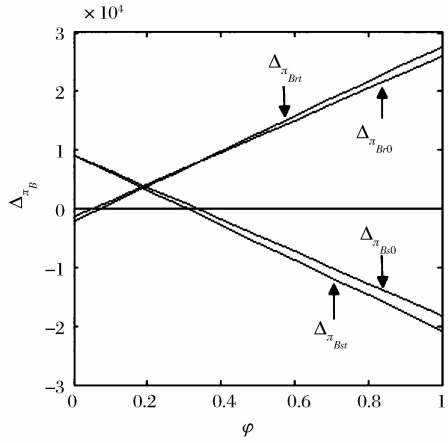

图 5　收益共享系数 φ 对供应链成员收益的影响

6.5　收益共享系数对批发价格的影响

为讨论供应链采用 RFID 技术前后，收益共享契约下最优批发价格的变化，将相关数据代入式(11)、(17)，可得，$w_{s0}'=\dfrac{1500\varphi_0-100}{70}$、$w_{st}'=\dfrac{1620\varphi_t-80}{70}$，其中，$\varphi_0\in[0.067,0.334]$，$\varphi_t\in[0.072,0.304]$。如图 6 所示。

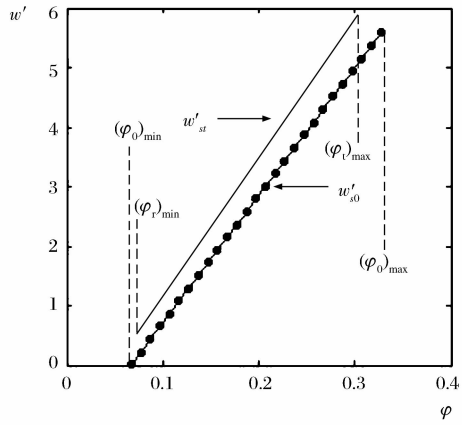

图 6　收益共享系数对供应商制定的最优批发价格的影响

由图 6 可以发现：采用 RFID 技术后，收益共享契约下最优批发价格变大，能够协调供应链的收益共享系数下界变大，上界变小，并且区间范围缩小。

7　结语

本文将提前期作为变量,构造了提前期与需求预测误差的线性关系,由供应商采用 RFID 技术压缩提前期。分别建立了采用 RFID 技术前后分散决策供应链、分散决策下的收益共享契约供应链和集中决策供应链这六种情况下供应链及其成员的收益模型,得出供应链提前期压缩量的临界值,以及使供应链实现协调的契约参数范围,并对供应链采用 RFID 技术前后的契约参数进行比较。通过本文的研究可以发现:

(1) 若供应链的提前期过短,采用 RFID 技术会降低其收益;对于提前期较长的供应链来说,采用 RFID 技术后,压缩的提前期量大于某一阈值时,RFID 技术的采用才会增加供应链的收益,并且这一阈值随着 RFID 单位标签成本的上升而增大。

(2) 与供应链不采用 RFID 技术相比,采用 RFID 技术后,能够实现供应链协调的收益共享系数范围变小,其取值下界变大,上界变小。

(3) 供应链采用 RFID 技术后,供应商制定适当的批发价格并且供应链成员选择适当的收益共享契约参数,可以使分散决策供应链的收益达到集中决策供应链的收益,各自都获得比分散决策更高的收益。

(4) 在收益共享契约协调下,提前期压缩量对零售商和供应商收益的影响趋势相同,各自的收益大小取决于收益共享契约系数。

需要指出的是,本文假定零售价格是固定的,没有考虑市场售价受产品上市时间的影响。另外本文的模型假设中,需求采用正态分布,当需求为均匀分布或其他分布时的两级供应链问题也可作为进一步的研究方向。

参考文献:

[1] Stalk G J, Hout T M. Competing against time: how time-based competition is reshaping global markets[M]. New York: The Free Press, 1990.

[2] Blackburn J D. Time-based competition: the next battleground in American manufacturing[M]. Homewood: Business One Irwin, 1991.

[3] Poole L W. Profiting from cycle time reductions[J]. Hospital Material Management Quarterly, 1997, 18(4): 67—71.

[4] Iyer A V, Bergen M E. Quick response in manufacture-retail channels [J]. Management Science, 1997, 43(3): 559—570.

[5] Chen M S, Chuang C C. An extended newsboy problem with shortage-level constraints [J]. International Journal Production Economics, 2000, 67(3): 269—277.

[6] 宋华明,马士华. 二阶段供应链中提前期压缩的影响与协调[J]. 管理科学学报, 2007, 10(1): 46—53.

[7] Angeles R. RFID technology: supply-chain application and implementation issues [J]. Information Systems Management, 2005, 22(1): 51—65.

[8] 张李浩,胡继承. VMI 下采用 RFID 技术对供应链收益的影响与协调[J]. 管理学报, 2013, 10(4): 590—596.

[9] Mortimer J H. The effects of revenue-sharing contracts on welfare in vertically separated markets: evidence from the video rental industry [R]. Working Paper, Harvard University, 2000.

[10] 丁胡送,徐晓燕. 收益共享协调机制下两阶段供应链提前期压缩的博弈分析[J]. 系统管理学报,2009,18(5): 544—550.

[11] 张李浩,胡继灵,范体军,等. 基于临界价格的易变质商品生产企业 RFID 技术投资决策[J]. 中国管理科学,2012, 20(2): 144—151.

[12] 蔡清波,鲁其辉,朱道立. 预测精度随时间变化的报童问题模型分析[J]. 预测, 2003, 22(5): 42—45.

[13] Haria G, Pierpaolo P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts[J]. International Journal of Production Economics, 2004, 89(2): 131—139.

Effectof RFID Technology on Lead-time Compression and Coordination of Supply Chain's Revenue

FAN Ti-jun[1], ZHANG Li-hao[1], WU Feng[2], YANG Hui-xiao[3]

(1. School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;
2. Ji-lin Corporation of China National Petroleum, Changchun 132022, China;
3. Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: RFID technology can reduce lead-time and increase the retailer's service level. However, it can also affect the income of the supply chain, which makes it urgent to study the coordination of the supply

chain members' revenue. It is assumed that the unit cost of RFID tag is fixed and the effect of lead-time compression on profit of supply chain actors is studied in this paper. With the lead-time compression, retailer collects more and more information about products sales and demands so that the market demand forecast will be more and more accurate. Using a Newsvendor model, the profits of both centralized and decentralized cases with/without consideration of deploying RFID technology are studied and the effect of changing contract parameters on the coordination of supply chain is found. The results show that the revenue sharing contract can coordinate the supply chain with RFID technology and allow all members of the supply chain to achieve win-win. However, the interval of contract parameters will shrink, the retailer's optimal order quantity will reduce and the supplier's wholesale prices will rise after adoption of RFID technology. Moreover, the threshold of lead-time compression amount with RFID is obtained, and a numerical simulation analysis is given to illustrate the model. This study provides some management revelations for application of RFID technology.

Key words: two-stage supply chain; RFID technology; lead-time compression; revenue-sharing contract; coordination