议价的 OEM 供应链在随机供需下的协调决策①

陈志明，陈志祥
(中山大学管理学院，广州 510275)

摘要: 品牌企业在与 OEM 供应商建立合作关系前,需要经过议价谈判达成交易意向,并且在做生产订货决策时,需要考虑需求与供应的随机性带来的风险. 随机需求源于难以预测市场消费,随机供应来自产品质量缺陷等原因,供需两端的随机性无疑给企业决策增添了难度. 针对议价谈判中存在的信息不对称,提出了基于 Bayesian 博弈的议价谈判模型,证明了存在一个均衡价格,该价格是双方达成交易意向的最佳条件. 而后,根据需求和供应的随机性特点,构建了分散决策下品牌企业和 OEM 供应商的利润函数,证明了该函数是凹函数,运用 Stackelberg 博弈求解出双方的最优批量决策. 分析了集中决策下 OEM 供应链的利润最大化条件,以此为优化目标,引入带缺货惩罚的额外收购契约. 品牌企业可以根据 OEM 供应商的生产数量实行缺货惩罚或额外收购,通过调整契约的参数,实现 OEM 供应链协调.

关键词: 供应链协调; 博弈论; 议价; 随机供应; 随机需求
中图分类号: F273.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 9807(2014) 05 - 0043 - 09

0 引 言

OEM 生产模式在经济的全球化发展中扮演了越来越重要的角色. 世界著名的信息技术巨擘 IBM 公司,体育装备龙头耐克公司,奢侈用品典范 LV 公司等都与全球不同地区的企业建立了 OEM 合作关系. 一方面,OEM 可以使品牌企业大幅减低生产成本,腾出更多的人力和物力致力于 R&D,提高核心竞争力,开拓消费市场; 另一方面,OEM 供应商可以充分利用产能,获取规模经济,借助品牌企业的销售渠道快速融入到全球市场中.

OEM 生产模式是指品牌企业设计出产品后,将生产业务部分或全部外包给 OEM 供应商. 待 OEM 供应商交货后,品牌企业经过简单加工或包装,贴上自己的品牌对外销售. 这种生产外包的特点,使品牌企业的产量受限于 OEM 供应商的交货量. 虽然品牌企业会与多个 OEM 供应商进行合作,但由于突发事件、产品工艺特性和运输不慎等原因,OEM 供应商的交货量具有随机性,使品牌企业可能面临缺货的风险. 例如,中国富士康是苹果公司的 OEM 供应商,由于一线生产员工无法适应 iphone5 手机苛刻的质检标准,郑州工厂于 2012 年 10 月发生了集体罢工,影响了 iphone5 手机的上市销售. 再如,电子芯片的制造过程十分精细复杂,其有效产出经常小于 50%,导致验收合格的产品数量具有随机性[1]. 另一个典型问题发生在运输环节,配送产品由于包装不当和路程颠簸,在送达后可能出现坏损的现象. 不仅如此,OEM 供应链还面临顾客需求的随机性. 由于欧债危机带来了经济低迷的阴霾,增加了市场的不确定因素,导致顾客需求起伏波动难以预测. 可见,OEM 供应链在供需两端的随机性给企业运营提出了挑战,如何在这些不确定因素的影响下做出最优决策,实现 OEM 供应链的协调管理具有重要

① 收稿日期: 2012 - 01 - 12; 修订日期: 2013 - 03 - 29.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70972079) .
作者简介: 陈志明(1984—) ，男，广西南宁人，博士生. Email: Topqq_msc@ 163. com

意义.

在外包问题的研究中，Cachon 和 Harker[2] 构建了 2 个服务提供商的竞争模型，指出在由价格和时效决定需求的情况下，存在双方都参与市场的纳什均衡. 如果允许将生产外包给 OEM 供应商，服务提供商都倾向于通过外包获取规模经济. Kim[3] 研究了 1 个品牌企业与 2 个 OEM 供应商的两层供应链，OEM 供应商的价格不同且存在学习效应，推导出品牌企业的最优外包生产数量. 王立明和刘丽文[4] 研究了自制策略和外包策略的选择问题，指出当非核心能力成本高于供应价格时，制造商会选择外包策略. 反之，制造商会根据毛利率的高低，既可能选择自制策略，也可能选择自制和外包的混合策略. 上述文献没有考虑供应商的供货数量存在随机性问题.

Gurnani 等[5] 研究了面临随机需求与随机供应下的组装生产供应链的协调问题，找出了最优订货数量与组装产品数量. Gerchak 等[6] 研究了组装系统在随机产出下的生产批量问题，构建了成本函数并证明了最优解的存在条件. Maddah 等[7] 考虑了存在合格产品与缺陷产品的生产库存系统，构造了在缺陷产品供应随机的情况下的利润函数，并证明了函数的凹性，找出最优订货批量. 这些论文讨论了供应链在集中决策下的生产订货问题，然而在分散决策时，由于存在双边际化效应，上述研究结论并非适用.

卢震和黄小原[8] 研究了不确定交货条件下的供应链协调问题，虽然考虑了分散决策的情况，但只用遗传算法求解最优的生产订货量，没有给出数学显式解. Gurnani 和 Gerchak[9] 研究了由 1 个制造商和 2 个供应商组成的组装系统在供应随机下的分散决策问题，提出了基于惩罚成本和附加惩罚成本的协调机制. 马士华和李果[10] 在前一篇的基础上提出了基于风险共享的供应链协调策略，当供应商的生产批量大于订货批量时，制造商给供应商补偿，反之给予惩罚. Yan 等[11] 进一步扩展了文献 [9] 的模型，加入机会成本和处理成本，提出剩余补贴契约，实现 1 个组装商和 N 个供应商的供应链协调. 上述文献仅考虑供应随机的问题，本文在此基础上增添了需求随机的情况，提出的协调机制兼顾了缺货的可能性与需求的波动性.

Güler 和 Bilgic[12] 研究了供应和需求随机下的分散决策的组装系统协调问题，指出当多余的零部件能被折卖时，制造商给供货最少的供应商补贴; 而多余的零部件发生存储成本时，制造商给供货最少的供应商惩罚的策略能够实现供应链协调. Hsieh 和 Wu[13] 研究了 3 层供应链在供应和需求随机下的生产、定价问题. 上述论文的模型设定条件与本文相似，但没有考虑博弈行为. 国内不少学者[14-19] 也对供应链协调中的价格决策问题做了探讨. 但这些文献都是运用完全信息下的 Stackelberg 模型推导出最优价格变量，而本文将价格视为私有信息，不为博弈双方知晓，通过议价谈判求解出不完全信息下的 Bayesian 均衡价格，切合实际的交易过程.

1 问题描述与模型建立

本文研究的 OEM 供应链由 1 个品牌企业和 1 个 OEM 供应商组成，两者相互独立，分别根据自身的收入 / 成本结构做出最有利决策. 品牌企业面临的市场需求是随机变量 y，其概率密度 f_y 和累积分布函数 F_y 能通过历史销售数据测算. 品牌企业决定将所有生产业务外包给 OEM 供应商，但在外包谈判过程中存在议价，OEM 供应商给出的外包单价是 s_1，品牌企业将商品贴牌后对外销售单价是 s_2. 只有当 $s_2 \geqslant s_1$ 时，品牌企业才会将外包业务授予 OEM 供应商，否则谈判破裂，品牌企业寻找新的 OEM 供应商. 品牌企业给 OEM 供应商的订货量是 Q，OEM 供应商的产量是 x，考虑到可能出现的质量缺陷，最终完好商品的数量是 αx，其中 α 是一个取值范围在 $(0,1]$ 的随机变量，其概率密度 f_α 和累积分布函数 F_α 为已知. 品牌企业的接收数量是 $\min(\alpha x, Q)$，假设产品交货后只需经过贴牌包装等简单处理即可销售，相关成本可以忽略不计.

品牌企业(brand corporation) 的利润函数是

$$\pi_b = s_2 \min(\alpha x, y, Q) - s_1 \min(\alpha x, Q) \quad (1)$$

式中，右边第 1 项是销售收入; 第 2 项是外包成本.

OEM 供应商(supplier) 的利润函数是

$$\pi_s = s_1 \min(\alpha x, Q) - cx \quad (2)$$

式中，c 为供应商的单位产品生产成本; 右边第 1

项是承接外包业务收入; 第 2 项是生产成本.

1.1　议价谈判模型

品牌企业在交易之前并不知晓 OEM 供应商的外包单价 s_1,只能通过相关市场的询价了解同类产品外包价格. 因此,s_1 是 OEM 供应商的私有信息,对品牌企业来说是随机变量,其概率密度 f_{s_1} 和累积分布函数 F_{s_1} 已知. 与此相似,OEM 供应商不清楚品牌企业的销售单价 s_2,但通过了解市场知道该产品售价的价格区间,即 s_2 是品牌企业的私有信息,对 OEM 供应商来说是个随机变量,其概率密度 f_{s_2} 和累积分布函数 F_{s_2} 已知. 在以下分析中,假设 s_1,s_2 服从均匀分布,双方知道 s_1,s_2 的分布,并且清楚对方知道这个情况.

当品牌企业与 OEM 供应商进行议价谈判时,双方各自有个心理价位. 对 OEM 供应商而言,心理底价是单位成本 c,只有当外包单价 $s_1 \geqslant c$ 时,才会承接外包业务; 对品牌企业而言,只有当外包单价小于等于销售单价,即 $s_1 \leqslant s_2$ 时,才能有利可图,否则谈判破裂,另寻便宜的 OEM 供应商. 在议价过程中,双方在不知晓对方心理价位的情况下都想使自身利益最大化,这是不完全信息下的 Bayesian 博弈,最优定价策略就是贝叶斯均衡价格.

假设 $c \leqslant s_1$ 且 $s_1, s_2 \in [A, B]$,A,B 为常数,该价格区间通过了解市场资讯获得. OEM 供应商的定价要使 $s_1 - c$ 尽可能大且不能超过 s_2,效用函数 U_s 为

$$U_s(s_1) = \int_{s_1}^{B} (s_1 - c) f_{s_2}(s_2)\, \mathrm{d}s_2 \tag{3}$$

命题 1　$U_s(s_1)$ 为 s_1 的凹函数,存在 $s_1 = s_1^*$ 使 OEM 供应商效用最大化.

证明　OEM 供应商效用最大化问题有如下 3 种可能

$$\frac{\mathrm{d}U_s(s_1)}{\mathrm{d}s_1} = 1 - F_{s_2}(s_1) - (s_1 - c) f_{s_2}(s_1) = 0 \tag{4}$$

$$\frac{\mathrm{d}U_s(s_1)}{\mathrm{d}s_1} = 1 - F_{s_2}(s_1) - (s_1 - c) f_{s_2}(s_1) < 0$$

且 $s_1 = A$　(5)

$$\frac{\mathrm{d}U_s(s_1)}{\mathrm{d}s_1} = 1 - F_{s_2}(s_1) - (s_1 - c) f_{s_2}(s_1) > 0$$

且 $s_1 = B$　(6)

因为 $F_{s_2}(B) = 1$,所以不等式(6) 不成立,故只需考虑情况(4) 和(5).

对于一阶条件(4),假设当 $s_1 = s_1'$ 时

$$1 - F_{s_2}(s_1') - (s_1' - c) f_{s_2}(s_1') = 0$$

那么,当 $s_1 > s_1'$ 时,

$$1 - F_{s_2}(s_1) - (s_1 - c) f_{s_2}(s_1) < 0$$

当 $s_1 < s_1'$ 时,

$$1 - F_{s_2}(s_1) - (s_1 - c) f_{s_2}(s_1) > 0$$

所以 $U_s(s_1)$ 在(A, B) 上是 s_1 的凹函数,存在极大值点 $U_s(s_1')$. 比较 $U_s(s_1')$ 与 $U_s(A)$,可得到最佳外包单价

$$s_1^* = \begin{cases} A & U_s(s_1') < U_s(A) \\ s_1' & U_s(s_1') \geqslant U_s(A) \end{cases} \tag{7}$$

证毕.

与 OEM 供应商的策略相似,品牌企业的定价要使 $s_2 - s_1$ 尽可能大,效用函数 U_{b} 为

$$U_{\mathrm{b}}(s_2) = \int_{A}^{s_2} (s_2 - s_1) f_{s_1}(s_1)\, \mathrm{d}s_1 \tag{8}$$

命题 2　$U_{\mathrm{b}}(s_2)$ 为 s_2 的增函数,存在 $s_2 = s_2^*$ 使品牌企业效用最大化.

证明　因为

$$\frac{\mathrm{d}U_{\mathrm{b}}(s_2)}{\mathrm{d}s_2} = F_{s_1}(s_2) > 0$$

所以,$U_{\mathrm{b}}(s_2)$ 是 s_2 的增函数,$s_2^* = B$ 使得效用最大化.　证毕.

根据式(7),可以求解出最佳外包定价 s_1^*,这是 OEM 供应商在不损害品牌企业利益下所能谋求到的最高定价. 一旦超过此价格,品牌企业存在亏损风险,失去谈判的兴趣,交易极有可能不欢而散. 从命题 2 可知,品牌企业的最佳售价 s_2^* 是公共价格区间的上限,因为在消费者合理的心理承受范围内,售价越高越好. 因此,议价谈判的均衡价格是(s_1^*, s_2^*),品牌企业和 OEM 供应商的效用都实现最大化.

1.2　分散决策下的生产订货模型

在确定定价策略之后,品牌企业向 OEM 供应商外包的生产量是 Q,后者不仅要考虑订货量 Q,还要根据自身收入/成本结构、可能发生的缺陷产品数量确定生产量 x. 该生产订货决策是一个 Stackelberg 博弈,其中品牌企业是领导者,先选择订货量 Q,OEM 供应商是跟随者,后选择生产量 x. 通过逆向递归法求解纳什均衡,先求最优生产

量 x^*，再求最优订货量 Q^*.

对 OEM 供应商，期望利润是对式(2)求数学期望

$$\Pi_s = \mathrm{E}(\pi_s) = s_1^* \mathrm{E}[\min(\alpha x, Q)] - cx$$
$$= s_1^* x\int_0^{Q/x} \alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha + s_1^* Q\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right] - cx \tag{9}$$

命题 3 Π_s 为 x 的凹函数，存在 $x = x^*$ 使 OEM 供应商的期望利润最大.

证明 OEM 供应商期望利润极值的一阶条件是

$$\frac{\partial \Pi_s}{\partial x} = s_1^* \int_0^{Q/x} \alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha - c = 0 \tag{10}$$

因为

$$\frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial x^2} = -s_1^* \frac{Q^2}{x^3} f_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right) < 0$$

所以 Π_s 是 x 的凹函数，存在 $x = x^*$，使 OEM 供应商的期望利润最大. 证毕.

对品牌企业，期望利润是对式(1)求数学期望

$$\Pi_b = \mathrm{E}(\pi_b) = s_2^* \mathrm{E}[\min(\alpha x, y, Q)] - s_1^* \mathrm{E}[\min(\alpha x, Q)]$$
$$= s_2^* \left[\int_{\alpha x}^{+\infty}\int_0^{Q/x} \alpha x f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha f_y(y)\,\mathrm{d}y + \int_0^{Q}\int_{y/x}^{1} y f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha f_y(y)\,\mathrm{d}y + \int_Q^{+\infty}\int_{Q/x}^{1} Q f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha\, f_y(y)\,\mathrm{d}y\right] - s_1^*\left\{x\int_0^{Q/x}\alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha + Q\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right]\right\} \tag{11}$$

命题4 Π_b 为 Q 的凹函数，存在 $Q = Q^*$ 使品牌企业的期望利润最大.

证明 品牌企业期望利润极值的一阶条件是

$$\frac{\partial \Pi_b}{\partial Q} = \left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right]\{s_2^*[1 - F_y(Q)] - s_1^*\} = 0 \tag{12}$$

假设当 $Q = Q^*$ 时

$$\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q^*}{x}\right)\right]\{s_2^*[1 - F_y(Q^*)] - s_1^*\} = 0$$

那么，当 $Q > Q^*$ 时

$$\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right]\{s_2^*[1 - F_y(Q)] - s_1^*\} < 0$$

当 $Q < Q^*$ 时

$$\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right]\{s_2^*[1 - F_y(Q)] - s_1^*\} > 0$$

所以 Π_b 是 Q 的凹函数，存在 $Q = Q^*$，使品牌企业的期望利润最大. 证毕.

联立方程(10)和(12)，可以求解出分散决策下均衡生产订货量(x^*，Q^*)，此时博弈双方都实现利润最大化. 需要注意的是，分散决策下 OME 供应商独立于品牌企业，做出生产决策时需要考虑自身的收入/成本结构，所以生产量不一定等于订货量. 令 $z = Q/x$，可以看出式(10)仅是 z 的方程，意味着一阶条件不取决于 Q 或 x，而取决于它们的比值 z. 因此，OME 供应商的最优生产量是在订货量的基础上乘以由式(10)决定的因子 $1/z$. 若 $z \geqslant 1$，式(10)等价于 $s_1^* \mathrm{E}(\alpha) - c = 0$，除非售价和成本的取值满足这一特定关系，否则一阶条件不成立. 进一步分析，若 $s_1^* \mathrm{E}(\alpha) - c > 0$，供应商的利润随产量增加而增加，最优产量趋于无穷大；若 $s_1^* \mathrm{E}(\alpha) - c < 0$，供应商的利润随产量增加而减少，最优产量为零. 上述两种情况不会被品牌企业接受，因此 z 必然小于 1，即 $Q < x$.

2 OEM 供应链协调

2.1 集中决策下的生产订货模型

在集中决策的 OEM 供应链中，品牌企业和 OEM 供应商能够相互协调，从供应链整体利益出发，做出使整体利润最大化的决策. 然而，现实中每个企业都是独立的主体，他们在决策时往往从自身利润最大化出发，而不管供应链整体利润是否最大化. 这种双边际化效应，使分散决策下的均衡生产订货量往往不是整体最优.

作为理想的状态，集中决策下的 OEM 供应链的整体期望利润是

$$\Pi_{sc} = s_2^* \mathrm{E}[\min(\alpha x, y)] - cx$$
$$= s_2^* \left[\int_0^1\int_{\alpha x}^{+\infty} \alpha x f_y(y)\,\mathrm{d}y f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha + \int_0^1\int_0^{\alpha x} y f_y(y)\,\mathrm{d}y f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha\right] - cx \tag{13}$$

因为 αx 是 x 的线性函数，线性函数是凹函数，且

凹函数特性在求最小值和数学期望后可被保留[20]，所以 Π_{sc} 是 x 的凹函数，存在最大值. 需要注意的是，式(13)中没有了 Q，因为集中决策下供应商和品牌企业视为一个整体，相当于摒弃了品牌企业下订单这一中间环节，由 OEM 供应商直接根据市场需求制定产量.

集中决策下的生产量 x^{**} 要使 Π_{sc} 最大化，则有

$$\frac{\partial \Pi_{sc}}{\partial x} = s_2^* \int_0^1 [1 - F_y(\alpha x^{**})]\alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha - c = 0 \tag{14}$$

分散决策下的供应链整体利润为式(1)与(2)之和的期望值，即

$$\Pi'_{sc} = s_2^* \mathrm{E}[\min(\alpha x, Q, y)] - cx \tag{15}$$

观察式(15)，因为

$\min(\alpha x, Q, y) = \min[\min(\alpha x, Q), y]$，而 $\min(\alpha x, Q) \leqslant \alpha x$，所以容易看出

$$\min[\min(\alpha x, Q), y] \leqslant \min(\alpha x, y)$$

即分散决策下的 Π'_{sc} 总是小于等于集中决策下的 Π_{sc}. 计算 Π'_{sc} 最大化的一阶条件，可得

$$\frac{\partial \Pi'_{sc}}{\partial Q} = s_2^* [1 - F_y(Q)]\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right] = 0 \tag{16}$$

观察式(16)，因为 $F_y(Q) < 1$，所以 $1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right) = 0 \Rightarrow x = Q$，此时可得

$$\min(\alpha x, Q, y) = \min(\alpha x, x, y) = \min(\alpha x, y)$$

所以 $x = Q$ 是分散决策时实现集中决策下的最大供应链利润的充分条件. 下面将提出 OEM 供应链的协调机制，使分散决策在 $x \neq Q$ 时，也能实现集中决策的最优结果.

2.2 OEM 供应链协调机制

针对需求和供应的随机性特点，协调机制应尽量减少因随机风险而产生的损失. 对品牌企业而言，存在质量缺陷的外包产品不能上市销售，可能造成缺货损失的机会成本. 对 OEM 供应商而言，为了降低不可预见的质量缺陷的影响，通常会提高生产量. 当最终完好产品数大于订单量时，该部分富余产品无法销售，形成积压库存，加重企业的运营负担. 为此，品牌企业可以和 OEM 供应商订立带缺货惩罚的额外收购契约，以期降低双方损失，提高供应链绩效. 由于 OEM 供应商是代工企业，缺乏开发自主产品能力，依靠承接订单维持运营，在签订契约的时候处于劣势地位，所以契约由品牌企业订立，具体内容如下：

1) 当合格产品数小于订单数时，品牌企业面临缺货问题. 由于市场需求的不确定性，该情形需一分为二看待. 当需求小于订货量时，呈现供过于求局面，缺货减小了品牌企业的积压库存，降低了滞销产品占用的流动资金和存储费用，是间接受益. 当需求大于订货量时，呈现供不应求局面，缺货导致品牌企业错失了销售机会，减少了企业利润，是间接损失. 此时，OEM 供应商必须为缺货付出代价，接受品牌企业的惩罚，设每件缺货产品的惩罚价格为 p，那么罚金数额为 $p[Q - \alpha x]^+$.

2) 当合格产品数大于订单数时，OEM 供应商面临滞销问题. 由于 OEM 供应商定位于代工角色，基本没有自己的销售渠道，富余产品带来了积压成本. 而品牌企业面临的市场需求存在未知性，有必要多备一些库存以防不时之需. 因此，品牌企业可以以低于 s_1^* 的价格额外收购富余产品，既帮助 OEM 供应商消化了积压库存，又降低了自己面临供不应求的风险. 设每件富余产品的收购价格为 m，那么供应商获得的补贴为 $m[\alpha x - Q]^+$.

在引入协调契约后，品牌企业的实际产品接收数量不再是订单数 Q，而是供应商生产的合格产品数量 αx. 此时，品牌企业新的利润函数是

$$\begin{aligned}\pi'_b = {} & s_2^* \min(\alpha x, y) - s_1^* \min(\alpha x, Q) - \\ & m[\alpha x - Q]^+ + p[Q - \alpha x]^+ \min\{[y - Q]^+, 1\}\end{aligned} \tag{17}$$

式中，$[x]^+$ 表示 $\max\{0, x\}$；右边第 3 项表示收购 OEM 供应商富余产品的支出；第 4 项表示只有当市场需求大于订货量时，才对 OEM 供应商的缺货产品进行惩罚.

OEM 供应商新的利润函数是

$$\begin{aligned}\pi'_s = {} & s_1^* \min(\alpha x, Q) - cx - p[Q - \\ & \alpha x]^+ \min\{[y - Q]^+, 1\} + m[\alpha x - Q]^+\end{aligned} \tag{18}$$

观察式(17)和(18)，带缺货惩罚的额外收购契约只是使供应链内部发生转移支付，集中决策下的供应链利润函数不变. 若供应链得到协调，那么分散决策下的供应链利润等于集中决策下的供应链

利润

$$\pi_b' + \pi_s' = \pi_{sc} \tag{19}$$

对 OEM 供应商的利润函数式(18) 求数学期望,有

$$\begin{aligned}\Pi_s' &= \mathrm{E}(\pi_s') \\ &= s_1^* x\int_0^{Q/x}\alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha + s_1^* Q\left[1 - F_\alpha\left(\frac{Q}{x}\right)\right] - cx - p\int_Q^{+\infty}\int_0^{Q/x}(Q-\alpha x)f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha f_y(y)\,\mathrm{d}y + \\ &\quad m\int_{Q/x}^1(\alpha x - Q)f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha\end{aligned} \tag{20}$$

求解 Π_s' 最大化的一阶条件,有

$$\frac{\partial \Pi_s'}{\partial x} = s_1^*\int_0^{Q/x}\alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha - c + p[1 - F_y(Q)]\int_0^{Q/x}\alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha + m\int_{Q/x}^1\alpha f_\alpha(\alpha)\,\mathrm{d}\alpha = 0 \tag{21}$$

当给定 x 时,式(20) 和(21) 都是 p、m、Q 的函数,记 $\Pi_s' = H(Q,p,m)$,$\frac{\partial \Pi_s'}{\partial x} = G(Q,p,m)$.

下面分析带缺货惩罚的额外收购契约如何发挥协调作用,使分散决策下的生产量 x 等于集中决策下的 x^{**},实现整体利润最大化. 首先,品牌企业作为供应链的领导者,可以先设定参数(Q,m),使 OEM 供应商在分散决策时选择生产量 $x = x^{**}$ 作为最优策略,即满足一阶条件式(21). 然后通过选择 p 的值,使 OEM 供应商的利润大于等于没有实行契约时的利润,即如下方程组成立

$$\begin{cases} G(Q,p,m)\big|_{x=x^{**}} = 0 \\ H(Q,p,m)\big|_{x=x^{**}} \geqslant \Pi_s^* \end{cases} \tag{22}$$

式中,Π_s^* 是没有实行契约时,OEM 供应商在分散决策下的最大利润. 这是一个两个方程三个变量的方程组,存在一个自由度. 对于一个指定的 OEM 供应商利润,可以通过选择 Q,令(p,m) 落在合理的取值区间. 根据式(21),可以将 Q 写成(p,m) 的函数代入式(20),那么 OEM 供应商的利润在 $x = x^{**}$ 时,仅为(p,m) 的函数. 于是,品牌企业可以调整(p,m) 的数值,任意控制 OEM 供应商的期望利润. 在双赢的情况下,双方的利润都可以比实行契约前的利润大.

3 算例分析

本节给出一个具体算例,分析品牌企业和 OEM 供应商如何进行议价谈判,并做出最优生产订货决策. 假设品牌企业面临市场需求随机,根据经验和以往销售数据,估计市场需求 y 服从正态分布:$\mu = 100$,$\sigma = 50$. 品牌企业决定将所有产品的生产业务外包,在接触 OEM 供应商之前,不知道具体的外包单价 s_1. 同时,OEM 供应商也不知道自己的产品交货贴牌后具体的销售单价 s_2. 双方在议价谈判之前都做了相关市场调查,知道价格区间,假设 $s_1, s_2 \in [15,36]$ 且服从均匀分布. OEM 供应商的单位生产成本 $c = 10$ 元/件,供货量因质量缺陷存在随机性,假设 α 服从[0,1] 上的均匀分布.

根据式(7) 可得最优外包单价为 $s_1^* = 23$ 元/件; 由命题 2,可得最优销售单价为 $s_2^* = 36$ 元/件. 当分散决策时,联立方程式(10) 和(12),求解出最优订货量 $Q^* = 83$ 件,利润 $\Pi_b = 421.1$ 元; 最优生产量 $x^* = 89$ 件,利润 $\Pi_s = 128.9$ 元. 当集中决策时,根据方程(14),求解出最优生产量 $x^{**} = 136$ 件,供应链 $\Pi_{sc} = 647.9$ 元. 引入带缺货惩罚的额外收购契约后,根据方程组(22),分散决策的品牌企业通过选择 $Q = 123$ 件、缺货的惩罚价格 $p = 1.29$ 元/件、富余品的收购价格 $m = 5.45$ 元/件,可以让 OEM 供应商的最优生产量 $x^{*\prime}$ 调整为 136 件. 此时 $\Pi_b' = 477.9$ 元,$\Pi_s' = 170$ 元,双方的利润都有所提高,且总和等于集中决策下的利润,实现供应链协调.

从该算例可以看出,分散决策下存在双边际化效应,双方以各自利益最大化为决策目标. 虽然品牌企业的订货量是 83 件,但 OEM 供应商考虑到产品可能出现缺陷,而将产量扩大为 89 件. 虽然该决策都使双方利润最大化,但缺乏效率,因为 OEM 供应链的整体利润仅为 550 元,比集中决策下的整体利润少了 97.9 元. 引入带缺货惩罚的额外收购契约后,尽管双方分散决策,但 OEM 供应商的生产量得到提升,与集中决策下的一致,双方

利润增加，实现双赢. 当给定 Q 时，品牌企业虽然可以通过选择(p, m)，任意调整 OEM 供应商的期望利润 Π_s'，但其取值存在下限和上限. 一旦低于下限，OEM 供应商需要对富余产品贴钱才能出售. 而超过上限时，品牌企业需要对缺货产品进行补贴. 这两种情况有违契约的实质，不会被双方接纳，所以(p, m) 存在有效的取值区间，如表 1 所示. 当 $m < 2.46$ 且 $p > 3.47$ 时，虽然供应链实现协调，但 OEM 供应商利润比分散决策时的小，缺乏参与契约的积极性. 因此，本例中符合双赢的条件是 $m^* \in (2.46, 7.2)$，$p^* \in (0.01, 3.47)$. 可以看出，供应商利润与 m 正相关，与 p 负相关；而品牌企业利润与 m 负相关，与 p 正相关，如图 1 和 2 所示.

表 1　当给定 Q 时，契约参数(p, m) 对企业期望利润的影响

Table 1 Effect of contract's parameters (p, m) on the firms' expected profits with the given Q

π_b'	π_s'	m	p	x	Q
551.9	96	0.07	5.22	136	123
541.9	106.0	0.80	4.69	136	123
531.9	116.0	1.52	4.12	136	123
521.9	126.0	2.25	3.62	136	123
519.0	128.9	2.46	3.47	136	123
511.9	136.0	2.98	3.09	136	123
501.9	146.0	3.70	2.56	136	123
491.9	156.0	4.43	2.03	136	123
481.9	166.0	5.16	1.50	136	123
471.9	176.0	5.88	0.97	136	123
461.9	186.0	6.61	0.44	136	123
453.9	194.0	7.20	0.01	136	123

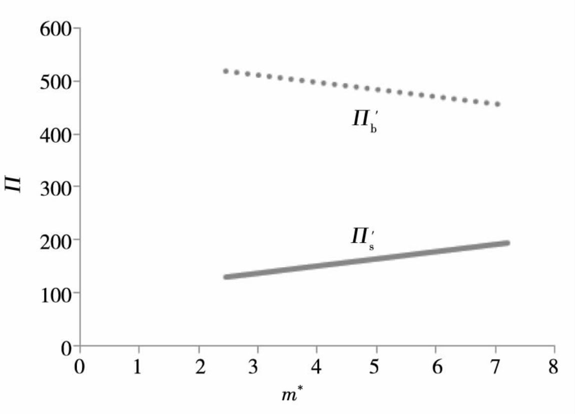

图 1　m^* 对企业利润的影响

Fig. 1 Effect of m^* on the firms' expected profits

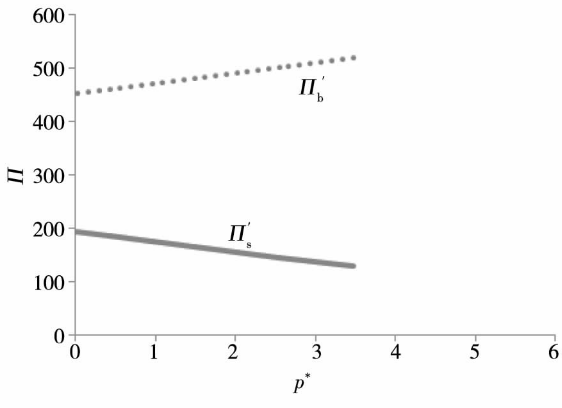

图 2　p^* 对企业利润的影响

Fig. 2 Effect of p^* on the firms' expected profits

在 3.2 节分析中知道，方程组(22) 存在一个自由度，这样的好处在于对给定的 OEM 供应商利润，可以调整 Q 的取值，令(p, m) 得到合理结果. 因为要使带缺货惩罚的额外收购契约切实可行，(p, m) 必须满足 $0 < m < s_1^*$ 且 $0 < p < s_2^*$. 倘若品牌企业希望 OEM 供应商利润为 160 元，那么随 Q 的取值变化，(p, m) 得到不同结果，如表 2 所示. 可以看出，当给定 π_s'时，m 随 Q 增大而减小，p 随 Q 增大而增大. 当 $Q \leqslant 83$ 时，p 为负值，契约参数没有意义，所以不能让订货量小于等于 83 件.

表 2　当给定 Π_s'时，Q 对契约参数(p, m) 的影响

Table 2 Effect of Q on the contract's parameters (p, m) with the given Π_s'

Π_b'	Π_s'	m	p	x	Q
487.9	160.0	4.72	1.82	136	123
487.9	160.0	12.22	1.24	136	113
487.9	160.0	15.49	0.75	136	103
487.9	160.0	17.23	0.27	136	93
487.9	160.0	18.32	−0.27	136	83
487.9	160.0	19.06	-0.97	136	73

4　结束语

本文研究了由 1 个品牌企业和 1 个 OEM 供应商组成的供应链的协调问题. 针对交易过程中存在的信息不对称，提出了基于 Bayesian 博弈的议价谈判模型. 根据供应和需求的随机性特点，构建了博弈双方的利润函数，比较分析了分散决策和集中决策下的均衡结果，并提出了结合缺货惩罚

和额外收购的协调机制. 通过分析和证明，得到结论如下:

1) 在议价谈判中，品牌企业和 OEM 供应商不清楚对方心理价位，最终交易存在贝叶斯均衡价格. 在均衡点上，外包定价受制于成本和销售定价，不能取得公共价格区间的最大值. 而销售定价可以取得最大值，因为在消费者合理的心理承受范围内，售价越高越好.

2) 在分散决策下，品牌企业和 OEM 供应商的利润函数是凹函数，存在能使利润最大化的均衡生产订货量. 在均衡点上，OEM 供应商为了降低交货量的随机性带来的负面影响，会使生产量超过订单数. 当集中决策时，由于品牌企业和 OEM 供应商联合为一个整体，可以最大限度满足市场需求，所以最优生产量大于分散决策的生产量，而且供应链的整体利润增加.

3) 品牌企业可以利用自身的优势地位，向 OEM 供应商施加带缺货惩罚的额外收购契约. 当合格产品数大于订单数时，品牌企业以低于正常买价额外收购富余产品，帮助供应商消化积压库存，同时降低自己面临供不应求的风险. 当合格产品数小于订单数且供不应求时，品牌企业对供应商的缺货产品进行惩罚，以弥补销售损失. 品牌企业通过调整订货量、惩罚和收购的价格，可以改善双方收益，实现供应链的协调.

由于 OEM 供应链在供需两端的随机性和定价的不确定性给构建、求解模型增添了难度，所以本文仅对一对一的供应链进行了探讨. 虽然这种两层供应链结构简单，但也是一种经典模式，不乏普遍性. 后续研究可以在此基础上进行扩展，考虑多个 OEM 供应商和一个品牌企业组成的两层供应链，也可以进一步向下游延伸，将分销商、零售商的决策纳入考虑范围，研究三层甚至更多层的 OEM 供应链协调问题.

参 考 文 献:

[1] Kulkarni S. The impact of uncertain yield on capacity acquisition in process plant networks [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2006, 43(7/8): 704 – 717.

[2] Cachon G P, Harker P T. Competition and outsourcing with scale economies [J]. Management Science, 2002, 48(10): 1314 – 1333.

[3] Kim B. Dynamic outsourcing to contract manufacturers with different capabilities of reducing the supply cost [J]. International Journal of Production Economics, 2003, 86(1): 63 – 80.

[4] 王立明，刘丽文. 供应链上的后向整合外包与协调策略分析 [J]. 管理科学学报，2008，11(3): 78 – 87.
Wang Liming, Liu Liwen. Analysis of supply chain backward integration, outsourcing and coordination strategies [J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(3): 78 – 87. (in Chinese)

[5] Gurnani H, Akella R, Lehoczky J. Supply management in assembly systems with random yield and random demand [J]. IIE Transactions, 2000, 32(8): 701 – 714.

[6] Gerchak Y, Wang Y Z, Yano C A. Lot sizing in assembly systems with random component yields [J]. IIE Transactions, 1994, 26 (2): 19 – 24.

[7] Maddah B, Salameh M K, Karame G M. Lot sizing with random yield and different qualities [J]. Applied Mathematical Modeling, 2009, 33(4): 1997 – 2009.

[8] 卢　震，黄小原. 不确定交货条件下供应链协调的 Stackelberg 对策研究 [J]. 管理科学学报，2004，7(6): 87 – 93.
Lu Zhen, Huang Xiaoyuan. Study on stackelberg game of supply chain coordination with uncertain delivery [J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(6): 87 – 93. (in Chinese)

[9] Gurnani H, Gerchak Y. Coordination in decentralized assembly systems with uncertain component yields [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 176(3): 1559 – 1576.

[10] 马士华，李　果. 供应商产出随机下基于风险共享的供应链协同模型 [J]. 计算机集成制造系统，2010，16(3): 563 – 572.
Ma Shihua, Li Guo. Collaborative model of supply chain based on risk sharing under random yield [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(3): 563 – 572. (in Chinese)

[11] Yan X M, Zhang M H, Liu K. A note on coordination in decentralized assembly systems with uncertain component yield [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 205(2): 469 – 478.

[12] Gler M G, Bilgic T. On coordinating an assembly system under random yield and random demand [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(1): 342 - 350.

[13] Hsieh C C, Wu C H. Capacity allocation, ordering, and pricing decisions in a supply chain with demand and supply uncertainties [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 184(2): 667 - 684.

[14] 顾巧论，高铁杠，石连栓. 基于博弈论的逆向供应链定价策略分析 [J]. 系统工程理论与实践，2005，25(3): 20 - 25.
Gu Qiaolun, Gao Tiegang, Shi Lianshuan. Price decision analysis for reverse supply chain based on game theory [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005, 25(3): 20 - 25. (in Chinese)

[15] 蔡建湖，黄卫来，周根贵. 基于提前订购策略的供需双方动态博弈模型研究 [J]. 管理工程学报，2007，21(2): 126 - 129.
Cai Jianhu, Huang Weilai, Zhou Gengui. Study on dynamic games model between a supplier and a buyer based on advanced order strategy [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2007, 21(2): 126 - 129. (in Chinese)

[16] 蔡建湖，黄卫来. 基于提前订购策略的两级供应链优化模型分析 [J]. 中国管理科学，2005，18(5): 2 - 6.
Cai Jianhu, Huang Weilai. Analysis on optimal model of two supply chain based on advanced order strategy [J]. Management Sciences in China, 2005, 18(5): 2 - 6. (in Chinese)

[17] 李义斌. BTO 环境下的供应链协调文题研究 [D]. 武汉：华中科技大学，2011.
Li Yibin. Study on supply chain coordination in BTO environment [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)

[18] 邱若臻，黄小原，葛汝刚. 信息共享条件下供应链在线与传统销售渠道协调定价 [J]. 管理工程学报，2009，23(4): 74 - 78.
Qiu Ruozhen, Huang Xiaoyuan, Ge Rugang. The coordination model for online and traditional channel in supply chain under information sharing [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2009, 23(4): 74 - 78. (in Chinese)

[19] 易余胤，袁 江. 渠道冲突环境下的闭环供应链协调定价模型 [J]. 管理科学学报，2012，15(1): 54 - 65.
Yi Yuyin, Yuan Jiang. Pricing coordination of closed-loop supply chain in channel conflicts environment [J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(1): 54 - 65. (in Chinese)

[20] Bertsekas D P, Nedic A, Ozdaglar A E. Convex Analysis and Optimization [M]. USA: Athena Scientific, 2003.

Coordination in a price-negotiable OEM supply chain with random supply and random demand

CHEN Zhi-ming, CHEN Zhi-xiang
School of Business, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: In this paper, we consider a decentralized supply chain that consists of one original equipment manufacturer (OEM) and one contract manufacturer (CM). In order to conclude a business, the OEM needs to bargain with the CM and to consider the risks from the random demand of customers and the random supply of the CM. Since the selling prices of both parties are private information in the bargaining, we model a Bayesian game to get the equilibrium prices which give each party the maximum utility. Then, we demonstrate the concavity of the expected profit of the OEM and the CM, and model a Stackelberg game to get the optimal ordering and production decisions. Finally, we propose a contract combining shortage penalty and surplus purchase to coordinate the supply chain. By adjusting the contract's parameters, we can make the decentralized supply chain's profit equal the maximum profit under the centralized setting.

Key words: supply chain coordination; game theory; price negotiation; random supply; random demand