制造商对供方缺陷改善投资的双源采购决策研究①

陈崇萍[1]，陈志祥[2]，邵　校[2]
(1. 华南师范大学公共管理学院，广州 510006; 2. 中山大学管理学院，广州 510275)

摘要: 研究在供需均随机的情况下，面对供应原料存在质量差异的两个供应商，制造商考虑对供方进行缺陷改善投资的双源采购决策问题. 构建了制造商将高质量(缺陷率低)供应商作为缺陷改善低质量(缺陷率高)供应商的标杆，以求两供应商质量一致的双源采购决策模型. 获得了制造商在先改善投资后订货与同时改善投资和订货两种策略下最优订货量，供应商最优生产量与他们的最优利润. 分析了改善投资成功率对制造商订货量与利润的影响. 研究发现: 当改善投资成功率小于 1 时，先改善投资再订货时制造商利润比同时改善投资和订货时高; 而改善投资成功率为 1 时，两种订货策略没有差异.

关键词: 双源采购; 缺陷改善投资; 订货决策; 标杆管理; 制造 - 供应商关系
中图分类号: F224.5　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1007 - 9807(2017)12 - 0039 - 13

0 引　言

现实中，如果制造商采用单一供应商，如遇供应中断其损失将相当惨重，如 1997 年，作为丰田低成本战略唯一采用的供应商——日本爱信工厂被火灾烧毁，导致丰田生产线不得不关闭两周，为此丰田公司损失了整整 16 亿日元的收入[1]; 再如，2000 年，由于飞利浦公司的芯片生产厂遭到雷击，导致只采用飞利浦作为芯片供应商的爱立信公司生产中断，此时爱立信的竞争对手诺基亚却因不只采用了飞利浦一个芯片供应商借机占得更大的市场份额，最终导致爱立信在此事件中损失高达 40 亿美金[2].

供应中断的存在使得双源采购在一些全球性的大公司中被广泛的采用，主要是因为它能很好的降低供应不可靠性[3]. 著名的英特公司要求 20% 的原料必须采用双源或者多源采购，以便保证原料到达的安全性[4]，其他采用双源采购的还有惠普、宝洁等公司. 甚至美国政府也双源采购[5]. 因为研究证明，双源采购不仅可以降低采购风险，还能为制造商创造更好的采购价格，因为两个供应商之间能产生竞争[6].

但是，双源采购也带来了新的问题: 两个供应商同时供应一种原材料，质量如何统一? 这样的问题在现实中也确实存在，如韩国著名的面膜生产商可莱丝，同时从本地与日本采购面膜纸，但日本面膜纸质量更高，导致生产的面膜质量不统一，消费者一度因为害怕买到采用质量差面膜纸生产的面膜而转向其他品牌. 同样在网购中，也经常出现同一时间购买的相同产品存在很大质量差异，原因也是产品的原料双源采购但两供应商质量不同所致. 因为制造商大部分生产材料都是采购的，所以控制好供应商的质量才能控制好制造商产品的质量. 如福特公司的质量检测报告显示，公司最终产品的质量 76% 以上都是由零部件供应商的质量决定的[7]. 因此统一了双源采购供应商的质量才能统一最终产品的质量. 而企业之间最重要的竞争就是产品质量的竞争[8]. 本文将研究两供

① 收稿日期: 2016 - 01 - 28; 修订日期: 2017 - 01 - 07.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71372154; 71772191).
作者简介: 陈崇萍(1986—)，女，重庆大足人，博士，讲师. Email: chenchongping2011@163.com

应商质量不统一情况下最优的双源采购决策问题.

关于双源采购的研究很多，但与本研究相关的主要是双源采购库存问题、双源采购数量分配问题与双源采购条件问题. 与双源采购库存问题相关的研究主要有: 在订货量由产出浮动因素控制时，Inderfurth 等[9] 用马尔科夫过程以最低平均持有成本为目标求解了最优的库存策略. Hua 等[10] 采用函数的 L 重凸性求解了两个供应商提前期不同情况下最优的双源采购库存问题，并证明此算法可在原算法的基础上为采购商节约 1.02% 的采购成本. Allon 等[11] 考虑一个国内供应商和一个海外供应商组成的供应系统，求解了同时考虑成本与反应效率的双源采购库存问题. Ju 等[12] 研究了一个零售商向一个质量完美但价格高的本地供应商和一个质量存在缺陷但价格低的海外供应商采购的双源采购库存问题，提出了新算法解决此库存问题. 当两个供应商受到不同随机扰乱，且市场需求价格敏感时，Gong 等[13] 研究了一个销售商同时向两个供应商采购原材料的双源采购库存问题和最优定价问题. 当两个供应商存在不同成本函数、不同产出率和提前期时，Zhu[14] 研究了一个装配企业双源采购时最优的动态库存策略. Chen 等[15] 研究了半导体行业在双源供货期权采购模式下最优的能力计划库存问题.

也有不少学者研究了双源采购的供货数量分配问题. 如 Silbermayr 等[16] 权衡了双源采购在应对突发事件时的好处，与损失的单源采购规模效应而带来的采购成本减小的坏处，得到了在动态的环境下，装配企业最优的采购数量分配策略. Janakiraman 等[17] 研究了一个制造商向一个价格低提前期长的供应商和一个价格高提前期短的供应商双源最优采购量分配问题. Inderfurth 等[18] 研究了一个采用随机价格现货市场和固定价格国外市场采购的制造商最优的采购数量分配问题.

也有学者研究了双源采购的条件问题: 如在供应商存在随机供应的情况下，Kouvelis 等[19] 研究了古诺竞争的两个零售商采用单源和双源采购的临界条件. Fabian 等[20] 研究了制造商向战略供应商和备份供应商采购时的最优订货决策，研究发现，供应商同质性程度越高，双源采购在应对供应中断方面的效果越明显. Sawik[21] 在采购环境不确定的情况下，比较研究了双源采购与单源采购的优劣，模型采用多限制整数规划的方法，同时考虑了零部件采购成本最低与顾客服务水平最高两个目标. Shaw 等[22] 考虑了碳排放情况下的双源采购供应商选择问题，采用混合整数多产品双源采购模型求解了最优的双源采购供应商选择问题.

此外，也有一些学者研究了存在供应风险情况下的双源采购问题. Silbermayr 等[23] 在供应中断的情况下，研究了供应商存在学习能力减少成本时最优双源采购问题. 分别考虑采购商在风险中性和风险厌恶的情况下，Ray 等[24] 研究了需求和供应均不确定情况下采购商最优的双源采购策略.

本研究来源于近年来在中国汽车行业调研中发现的现实问题. 在调研中发现，中国多数汽车企业，如长春一汽、武汉神龙、上海通用、柳州五铃、重庆长安、广汽本田和广汽丰田等，都采用类似丰田精益生产的供应商管理方法，帮助供应商进行质量改善，制造商充分利用了自身的条件: 首先，在汽车行业，主机厂具有比供应商更好的质量管理技术和经验，因此制造商具备协助供应商开展缺陷改善活动的技术和管理能力; 其次，汽车厂一般资本雄厚，有资金实力帮助供应商质量改善; 最后，协助供应商改善产品质量，符合精益生产中持续改善的要求. 同时制造商帮助供应商缺陷改善提高质量，也可从别的地方得到回报，比如制造商可以获得更好的产品质量，从而提高自身的知名度，销售更多的产品，获得更多的利润. 同时对供应商进行流程改进下的采购问题也一直是一个值得研究的问题[25]. 因此假设制造商对高缺陷率供应商进行缺陷改善投资. 本文的研究是对现实管理问题的提炼，来源于现实企业，有很强的实际背景和应用价值.

本文中采用了标杆管理的思想，标杆管理是 20 世纪 90 年代三大管理方法之一. 在企业管理中，标杆管理一直是一种很好的管理方法，也早有研究，如周卓儒等[26] 提出了基于标杆管理的 DEA 算法，用以对公共管理部门进行绩效评价. 本文将标杆管理的思想运用在质量改善中，即将缺陷率低的供应商质量作为质量改善的标杆，是非常合适的.

以上分析显示，双源采购中的质量不统一问题值得研究，但现有研究主要集中在不同的零部件供应商供应不同零部件之间的协调与决策问题，很少文献研究双供应商供应同种零部件的质量管理问题，更少研究涉及质量投资用于解决双源采购中的质量统一问题. 为了弥补现有研究的不足，本文研究了在市场需求不确定与双供应商生产不确定的情况下，一个制造商向两个质量水平不同的供应商采购同种零部件的双源采购决策问题，分别研究了制造商在先缺陷改善投资后订货与缺陷改善投资与订货同时决策两种情况下，制造商最优的订货决策和供应商最优的生产决策，比较分析了制造商在两种情况下的最优利润，同时讨论了供应商质量水平和投资成功率对制造商利润的影响.

1　问题描述、符号说明与基本假设

本研究的概念模型如图 1 所示: 假设一制造商向两个质量水平不同的供应商采购同种原材料，供应商 1 的质量高，供应商 2 的质量低. 每个供应商均存在一定的生产不确定性，计划产量为 $x_i(i = 1,2)$ 时，有效产量仅为 $\alpha_i x_i$，其中 α_i 为生产扰动因子，主要是因为生产中存在的意外造成的生产能力损失，其概率密度函数与分布函数分别为 $f_{\alpha_i}(\alpha_i)$，$F_{\alpha_i}(\alpha_i)$. 制造商不检验直接接收供应商 $i(i = 1,2)$ 的零部件，单位价格为 ω_i，因高质量对应高价格，有 $\omega_1 > \omega_2$.

现实中，绝大多数企业在生产中用产品的不合格率代表产品质量(如企业一般采用不合格品率控制图控制质量)，但是英文中表示产品合格用 perfect，翻译成中文即完美的意思，英文里表示产品不合格用 imperfect，翻译成中文即不完美. 从汉语来讲，不完美即有缺陷，因此，本文所说的缺陷率实际表示产品不合格水平，即不合格率，和我国企业的质量不合格率意义是一样的，产品的质量水平越高缺陷率越低，质量水平越低缺陷率越高. 假设供应商 i 的质量水平为 μ_i，则缺陷率为 $1-\mu_i$，有 $1-\mu_1 < 1-\mu_2$.

假设将使用缺陷零部件生产的产品卖给顾客，顾客会要求退货，制造商会付出额外的代价 c_f，用于返修以及补偿对制造商商誉的影响等.

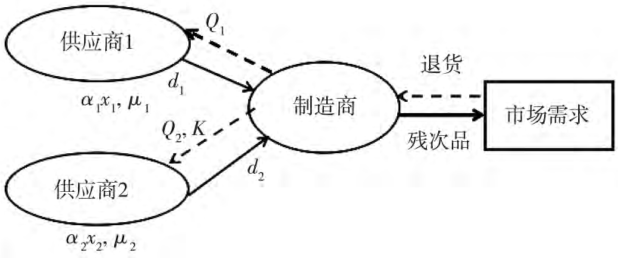

图 1　双源采购概念模型

Fig. 1 The dual-sourcing procurement conceptual model

制造商将缺陷率低供应商 1 的质量水平作为缺陷改善的标杆，对供应商 2 进行缺陷改善投资，改善的目的是让两个供应商质量一致. 假设制造商给供应商 2 的投资为固定值 K. 供应商 2 的缺陷率 $(1-\mu_2)$ 降低到供应商 1 的水平 $(1-\mu_1)$，叫投资成功，成功的概率为 θ，否则为失败，失败的概率为 $(1-\theta)$.

假设制造商面临的随机市场需求为 y，概率密度与分布函数分别为 $f_y(y)$，$F_y(y)$. 制造商的单位销售价格为 p，单位残值为 s，单位缺货损失为 ν. 且 $n^+ = \max(0,n)$，此处 n 代表下面出现的任何一个变量. 另有 $i = 1,2$ 时 $j = 2,1$.

本文的问题是: 面对质量存在差异的两个供应商，当制造商对低质量供应商进行缺陷改善投资时，采购决策的两个策略: 1) 先进行缺陷改善投资再进行采购订货. 2) 缺陷改善投资和采购订货同时进行，这两种策略哪个最优? 以及这两种策略下制造商的最优订货决策与供应商的最优生产决策是什么?

由于投资改善是否成功是一个随机事件，存在成功或失败两种可能，因此该决策是一个风险决策，可以用风险决策树描述如图 2 所示.

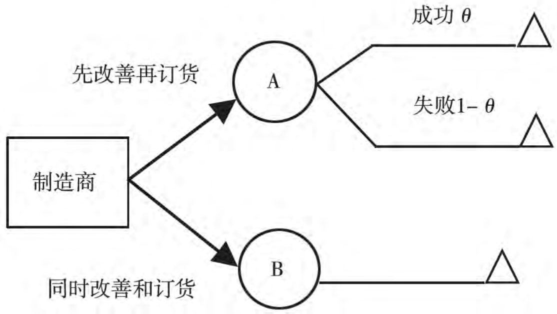

图 2　制造商的决策树

Fig. 2 The decision tree of the manufacturer

图 2 中两个策略，A 表示先进行缺陷改善投资后订货，B 表示缺陷改善投资和订货同时进行. 由于策略 A 订货决策在缺陷改善投资之后，而改善投资有两种结果，成功或失败，因此策略 A 就有两种订货决策：A1（先缺陷改善投资成功后再订货）和 A2（先缺陷改善投资失败后再订货）. 但在策略 B 中，因为改善决策和订货决策同时进行，所以无论改善的结果如何订货决策都一样，所以只有一种订货决策即一种情况 B.

本研究所涉及的有关符号和变量说明如表 1 所示. 其中（m = A1，A2，B），且（i = 1，2）.

表 1 相关符号说明

Table 1 Description of related symbols

符号	代表意义
x_i	供应商 i 的生产量
Q_i	制造商向供应商 i 的订货量
d_i^m	供应商 i 在 m 情况下的供货量
π_i^m	供应商 i 在 m 情况下的利润
Π_i^m	供应商 i 在 m 情况下的期望利润
π^m	制造商在 m 情况下的利润
Π^m	制造商在 m 情况下的期望利润
ω_i	制造商给供应商 i 的单位采购价格
c_i	供应商 i 的单位生产价格
p	单位产品销售价格
c_f	单位产品退货损失
μ_i	供应商 i 的质量
K	制造商向质量差供应商的改善投资
s	单位产品残值
ν	单位产品缺货损失
y	市场随机需求
α_i	供应商 i 的随机生产因子

主要假设有:

假设 1　制造商与 2 个供应商均为风险中性，且信息对称，决策者完全理性.

假设 2　不考虑制造商的生产质量水平，只考虑供应商零部件存在的缺陷问题.

2 模型构建

本文构建了制造商与两个供应商之间的 Stackelberg 博弈模型. 假设制造商是博弈的领导者，供应商是跟从者. 这种假设是合理的，一般在现实中，制造商比如丰田公司，由于其自身的资金、技术都比其他的供应商强很多，所以在采购谈判过程中，总是处于优势地位，可以先决策，供应商跟从制造商的决策. 在博弈中，制造商的决策是向两个供应商的订货量，而供应商的决策是生产量.

2.1 供应商最优生产量

在制造商给定的价格 ω_i 下，供应商的计划产量为 x_i（i = 1，2）时，制造商接收供应商 i（i = 1，2）的零部件数量为 d_i^m（$d_i^m = \min(Q_i^m, \alpha_i x_i^m)$，$m$ = A1，A2，B）.

此时供应商 i 的利润函数用 π_i^m 表示为

$$\pi_i^m = \omega_i d_i^m - c_i x_i^m \quad (m = \mathrm{A1}, \mathrm{A2}, \mathrm{B})$$

因此供应商的期望利润为

$$\Pi_i^m = \omega_i \mathrm{E}(d_i^m) - c_i x_i^m$$

假定制造商的订货量 Q_i^m 已知，可得供应商最优生产量 x_i^m 满足如下条件（证明见附录 1）

$$\omega_i \int_0^{\frac{Q_i^m}{x_i^m}} \alpha_i f_{\alpha_i}(\alpha_i)\, \mathrm{d}\alpha_i = c_i \quad (m = \mathrm{A1}, \mathrm{A2}, \mathrm{B}) \tag{1}$$

本文研究重点在制造商对质量差的供应商 2 进行缺陷改善投资的不同策略下最优的订货量，但供应商生产量会影响其供应量，从而影响制造商的决策，所以此处先求解供应商最优的生产量.

2.2 制造商最优订货量

2.2.1 策略 A：先对供应商 2 进行缺陷改善投资后订货

在策略 A 下，制造商决策订货量时，已经知道缺陷改善的结果，可以根据改善是否成功来决定订货量，所以下面将分为投资成功与失败两种情况，分析制造商的最优订货决策与最优利润.

1) A1：改善投资成功后再订货时制造商最决策

当制造商对供应商 2 改善投资成功后再订货时，供应商 2 的缺陷率降低到供应商 1 的水平，即 $1 - \mu_2 = 1 - \mu_1$. 假设此时制造商向供应商 i 的订货量为 Q_i^{A1}，有 $\sum_{i=1}^{2} d_i^{\mathrm{A1}} = \sum_{i=1}^{2} \min(Q_i^{\mathrm{A1}}, \alpha_i x_i^{\mathrm{A1}})$，制造商利润函数用 π^{A1} 表示为

$$\pi^{\mathrm{A1}} = p \min\left[y, \sum_{i=1}^{2} d_i^{\mathrm{A1}}\right] + s\left[\sum_{i=1}^{2} d_i^{\mathrm{A1}} - y\right]^+ - \nu\left[y - \sum_{i=1}^{2} d_i^{\mathrm{A1}}\right]^+ - \sum_{i=1}^{2}\left[(p + c_f)(1 - \mu_1) + \omega_i\right] d_i^{\mathrm{A1}} - K \tag{2}$$

因为

$$-\left[y-\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}\right]^{+}=-\max\left[y-\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1},0\right]=\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-y\right)-\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-y\right)^{+}$$

所以

$$p\min\left[y,\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}\right]=-p\max\left(-y,-\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}\right)]=p\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-p\max\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-y,0\right)=p\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-p\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-y\right)^{+}$$

式(2)可化简为

$$\pi^{A1}=-(p-s+\nu)\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-y\right)^{+}+(p+\nu)\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-\nu y-\sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_1)+\omega_i\right]d_i^{A1}-K \tag{3}$$

制造商此时的期望利润函数用 Π^{A1} 表示为

$$\Pi^{A1}=-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}-y\right)^{+}\right]+(p+\nu)\mathrm{E}\left[\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}\right]-\nu y-\sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_1)+\omega_i\right]\mathrm{E}(d_i^{A1})-K$$
$$=-(p-s+\nu)E^{A1}+(p+\nu)F^{A1}-\nu\mathrm{E}[y]-(p+c_f)(1-\mu_1)F^{A1}-C^{A1}-K \tag{4}$$

其中 E^{A1}，F^{A1}，C^{A1} 的表达式见附录 2.

定理 1　制造商先缺陷改善投资成功后再订货时，存在最优的向供应商 i 的订货量，使得制造商利润最优.

证明　对式(4)求订货量 Q_i^{A1} 的一阶导数为

$$\frac{\partial\Pi^{A}}{\partial Q_i^{A1}}=\mathrm{E}\left(\frac{\partial d_i^{A1}}{\partial Q_i^{A1}}\left[-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[F_y\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}\right)\right]+(p+\nu)-\left[(p+c_f)(1-\mu_1)-\omega_i\right]\right]\right)$$

当 $Q_i^{A1}\leqslant\alpha_i x_i^{A1}$ 时，$\frac{\partial d_i^{A1}}{\partial Q_i^{A1}}=1$，否则 $\frac{\partial d_i^{A1}}{\partial Q_i^{A1}}=0$；

所以有

$$\frac{\partial\Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}}=\left[-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[F_y(Q_i^{A1}+d_j^{A1})\right]+(p+\nu)-\left[(p+c_f)(1-\mu_1)+\omega_i\right]\right]\left[1-F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)\right] \tag{5}$$

对式(5)求订货量 Q_i^{A1} 的求二阶导数得

$$\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial(Q_i^{A1})^2}=-\frac{1}{x_{ia}}f_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)\left[-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[F_y(Q_i^{A1}+d_j^{A1})\right]+(p+\nu)-\left[(p+c_f)(1-\mu_1)+\omega_i\right]\right]-(p-s+\nu)\times f_y(Q_i^{A1}+d_j^{A1})\left[1-F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)\right]$$

$$\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}\partial Q_j^{A1}}=-(p-s+\nu)f_y(Q_i^{A1}+Q_j^{A1})\left[1-F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)\right]\left[1-F_{\alpha_j}\left(\frac{Q_j^{A1}}{x_j^{A1}}\right)\right]$$

明显有 $\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}\partial Q_j^{A1}}>\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial(Q_i^{A1})^2}$ 因为 $\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial(Q_i^{A1})^2}<0$；$\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}\partial Q_j^{A1}}<0$，所以 $\left|\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial(Q_i^{A1})^2}\right|>\left|\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}\partial Q_j^{A1}}\right|$ 海赛矩阵为 $\begin{bmatrix}\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_1^{A1}\partial Q_1^{A1}} & \frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_1^{A1}\partial Q_2^{A1}}\\ \frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_2^{A1}\partial Q_1^{A1}} & \frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_2^{A1}\partial Q_2^{A1}}\end{bmatrix}$，

$$H_1=\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_1^{A1}\partial Q_1^{A1}}<0;$$

$$H_2=\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_1^{A1}\partial Q_1^{A1}}\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_2^{A1}\partial Q_2^{A1}}-\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_1^{A1}\partial Q_2^{A1}}\frac{\partial^2\Pi^{A1}}{\partial Q_2^{A1}\partial Q_1^{A1}}>0.$$

可知以上 Hessian 矩阵负定，函数存在唯一最优向两个供应商的订货量使得制造商利润最大.

令式(5)为零可知

$$F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)-1=0$$，或

$$-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[F_y(Q_i^{A1}+d_j^{A1})\right]+(p+\nu)-(p+c_f)(1-\mu_1)-\omega_i=0 \tag{6}$$

因供应商的生产量会随着供应商生产能力的变化而随时变化，不可能随时都等于订货量，所以 $F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)\neq 1$. 只有式(6)成立，即

$$\mathrm{E}\left[F_y(Q_i^{A1}+d_j^{A1})\right]=\int_0^{\frac{Q_j^{A1}}{x_j^{A1}}}F_y(Q_i^{A1}+\alpha_j x_j^{A1})f_{\alpha_j}(\alpha_j)\mathrm{d}\alpha_j+\int_{\frac{Q_{ja}}{x_{ja}}}^{1}F_y(Q_i^{A1}+Q_j^{A1})f_{\alpha_j}(\alpha_j)\mathrm{d}\alpha_j=\frac{(p+\nu)-\left[(p+c_f)(1-\mu_1)-\omega_i\right]}{(p-s+\nu)} \tag{7}$$

在式(1)与式(7)中只有供应商的生产量与制造商的订货量两个变量，因此联立式(1)与式(7)即可解得此时供应商最优生产量与制造商最优订货量，证毕.

对制造商而言，产品的单位销售价格 p，单位残值 s，单位缺货损失 v 均是固定值，向两个供应商的采购价格 ω_i 是谈判所得，不可改变. 因此制

造商对供应商的最优订货量仅与生产扰动因子 α_i，供应商的质量 μ_i 有关，但生产扰动因子不是本文研究重点，以下仅讨论供应商产品质量对制造商订货量的影响.

定理 2 先对供应商 2 进行缺陷改善投资成功后再订货时，标杆供应商 1 的质量水平越高，制造商向两个供应商的订货量越多.

证明 因为

$$\frac{\partial \Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}} = \left[1 - F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{A1}}{x_i^{A1}}\right)\right]\left[-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[F_y\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A1}\right)\right] + (p+\nu) - \left[(p+c_f)(1-\mu_1) - \omega_i\right]\right]$$

又有 $\frac{\partial \Pi^{A1}}{\partial u_1} = (p+c_f)B^{A1}$，由隐函数求导可知 $\frac{\partial \Pi^{A1}}{\partial u_1} = \frac{\partial \Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}}\frac{\partial Q_i^{A1}}{\partial u_1}$，可得 $\frac{\partial Q_i^{A1}}{\partial u_1} = \frac{\partial \Pi^{A1}}{\partial u_1} / \frac{\partial \Pi^{A1}}{\partial Q_i^{A1}} > 0$ 证毕.

从定理 2 可以看出，当质量改善投资成功时，两个供应商的质量一致，即 $u_1 = u_2$ 时，也就是缺陷率高供应商质量水平等于标杆供应商 1 的质量时: 标杆供应商的质量越高，制造商向两个供应商的订货量越多.

2) A2: 改善投资失败后再订货时制造商最优决策

设此时制造商向供应商 i 的订货量为 Q_i^{A2}，且 $\sum_{i=1}^{2} d_i^{A2} = \sum_{i=1}^{2}\min(Q_i^{A2}, \alpha_i x_i^{A2})$. 制造商利润用 π^{A2} 表示为

$$\pi^{A2} = p\min\left[y, \sum_{i=1}^{2} d_i^{A2}\right] + s\left[\sum_{i=1}^{2} d_i^{A2} - y\right]^{+} - \nu\left[y - \sum_{i=1}^{2} d_i^{A2}\right]^{+} - \sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_i) + \omega_i\right] d_i^{A2} - K$$

化简为

$$\pi^{A2} = -(p-s+\nu)\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A2} - y\right)^{+} + (p+\nu)\sum_{i=1}^{2} d_i^{A2} - \nu y - \sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_i) + \omega_i\right] d_i^{A2} - K$$

制造商此时的期望利润用 Π^{A2} 表示为

$$\Pi^{A2} = -(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A2} - y\right)^{+}\right] + (p+\nu)\mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{A2}\right) - \nu\mathrm{E}(y) - \mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_i) + \omega_i\right] d_i^{A2}\right) - K$$

制造商此时的期望利润函数可化简为

$$\Pi^{A2} = -(p-s+\nu)E^{A2} + (p+\nu)F^{A2} - \nu\mathrm{E}(y) - D^{A2} - C^{A2} - K \tag{8}$$

其中 E^{A2}，F^{A2}，C^{A2}，D^{A2} 的表达式见附录 2.

定理 3 先缺陷改善投资失败后再订货时，制造商存在唯一最优向两个供应商的订货量.

证明 证明过程与定理 1 类似，略.

此时制造商最优订货量满足

$$\left[-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[F_y(Q_i^{A2} + d_j^{A2})\right] + (p+\nu) - \left[(p+c_f)(1-\mu_i) - \omega_i\right]\right] = 0$$

即

$$\mathrm{E}\left[F_y(Q_i^{A2} + d_j^{A2})\right] = \int_0^{\frac{Q_j^{A2}}{x_j^{A2}}} F_y(Q_i^{A2} + \alpha_j x_j^{A2}) f_{\alpha_j}(\alpha_j)\,\mathrm{d}\alpha_j + \int_{\frac{Q_j^{A2}}{x_j^{A2}}}^{1} F_y(Q_i^{A2} + Q_j^{A2}) f_{\alpha_j}(\alpha_j)\,\mathrm{d}\alpha_j$$

$$= \frac{(p+\nu) - \left[(p+c_f)(1-\mu_i) - \omega_i\right]}{(p-s+\nu)} \tag{9}$$

同样，联立式(1)与式(9)即可解得此时供应商最优生产量与制造商最优订货量.

所以制造商采用策略 1 最终获得的最大期望利润用 Π^{A} 表示为

$$\Pi^{A} = \theta\Pi^{A1} + (1-\theta)\Pi^{A2} \tag{10}$$

定理 4 先对供应商 2 进行缺陷改善投资失败后再订货时，供应商的质量越高，制造商向供应商的订货量越多.

证明 证明过程与定理 2 类似，略.

2.2.2 策略 B: 缺陷改善投资与订货同时决策

制造商缺陷改善投资与订货同时决策时，无论缺陷改善投资成功与否，制造商向供应商 i 订货量均为 Q_i^{B}，供应商总的供货量为 $\sum_{i=1}^{2} d_i^{B} = \sum_{i=1}^{2}\min(Q_i^{B}, \alpha_i x_i^{B})$.

在这种情况下，改善投资成功时制造商利润函数用 π^{B1} 表示为

$$\pi^{B1} = p\min\left[y, \sum_{i=1}^{2} d_i^{B}\right] + s\left[\sum_{i=1}^{2} d_i^{B} - y\right]^{+} - \nu\left[y - \sum_{i=1}^{2} d_i^{B}\right]^{+} - \sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_1) + \omega_i\right] d_i^{B} - K$$

以上利润函数可化简为

$$\pi^{B1} = -(p-s+\nu)\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^{B} - y\right)^{+} + (p+\nu)\sum_{i=1}^{2} d_i^{B} - \nu y - \sum_{i=1}^{2}\left[(p+c_f)(1-\mu_1) + \omega_i\right] d_i^{B} - K$$

制造商此时的期望利润用 Π^{B1} 表示为

$$\Pi^{B1}=-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[\left(\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}-y\right)^{+}\right]+(p+\nu)\mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}\right)-\nu\mathrm{E}[y]-\mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2}[(p+c_f)(1-\mu_1)+\omega_i]d_i^{B}\right)-K$$

改善投资失败时,向供应商 i 的订货量仍为 Q_i^{B},此时制造商利润函数用 π^{B2} 表示为

$$\pi^{B2}=p\min\left[y,\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}\right]+s\left[\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}-y\right]^{+}-\nu\left[y-\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}\right]^{+}-\sum_{i=1}^{2}[(p+c_f)(1-\mu_i)+\omega_i]d_i^{B}-K$$

可化简为

$$\pi^{B2}=-(p-s+\nu)\left(\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}-y\right)^{+}+(p+\nu)\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}-\nu y-\sum_{i=1}^{2}[(p+c_f)(1-\mu_i)+\omega_i]d_i^{B}-K$$

制造商此时的期望利润用 Π^{B2} 表示为

$$\Pi^{B2}=-(p-s+\nu)\mathrm{E}\left[\left(\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}-y\right)^{+}\right]+(p+\nu)\mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2}d_i^{B}\right)-\nu\mathrm{E}(y)-\mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2}[(p+c_f)(1-\mu_i)+\omega_i]d_i^{B}\right)-K$$

制造商最终获得的期望利润用 Π^{B} 表示为

$$\Pi^{B}=\theta\Pi^{B1}+(1-\theta)\Pi^{B2}$$

代入以上投资成功与失败时的期望利润函数得

$$\Pi^{B}=-(p-s+\nu)E^{B}+(p+\nu)F^{B}-\nu\mathrm{E}[y]-\theta(p+c_f)(1-\mu_1)F^{B}-(1-\theta)D^{B}-C^{B}-K \quad (11)$$

其中 E^{B},F^{B},C^{B},D^{B} 的表达式见附录 2.

定理 5　订货与缺陷改善投资同时决策时,制造商存在唯一最优向两个供应商的订货量.

证明　证明过程与定理 1 类似,略.

可知制造商获得最大利润时,必须满足

$$\frac{\partial\Pi^{B}}{\partial Q_i^{B}}=\left[-(p-s+\nu)\mathrm{E}[F(Q_i^{B}+d_j^{B})]+(p+\nu)-\theta[(p+c_f)(1-\mu_1)]-(1-\theta)[(p+c_f)(1-\mu_i)]-\omega_i\right]\left[1-F_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^{B}}{x_i^{B}}\right)\right]=0$$

即

$$\mathrm{E}[F(Q_i^{B}+d_j^{B})]=\int_0^{\frac{Q_j^{B}}{x_j^{B}}}F_y(Q_i^{B}+\alpha_j x_j^{B})f_{\alpha_j}(\alpha_j)\,\mathrm{d}\alpha_j+\int_{\frac{Q_j^{B}}{x_j^{B}}}^{1}F_y(Q_i^{B}+Q_j^{B})f_{\alpha_j}(\alpha_j)\,\mathrm{d}\alpha_j$$
$$=\frac{(p+\nu)-(p+c_f)[1-\theta\mu_1-(1-\theta)\mu_i]-\omega_i}{(p-s+\nu)} \quad (12)$$

同样,联立式(1)与式(12)可得此时供应商最优生产量与制造商最优订货量.

3　算例与管理启示

3.1　最优决策与最优利润

假设一个制造商分别向两个供应商采购原料,基本参数有:市场需求 $y\in[200,300]$ 的均匀分布.供应商 i 的生产扰动因子 α_i 均满足 $[0,1]$ 上的均匀分布.单位采购价格 $\omega_1=53$,$\omega_2=50$.两个供应商的单位生产成本 $c_1=23$,$c_2=20$,质量分别为 $\mu_1=0.983$,$\mu_2=0.919$;制造商的单位销售价格 $p=150$;单位补偿成本 $c_f=50$;缺陷改善投资成功的概率 $\theta=0.8$;缺陷改善投资 $K=100$;产品的单位残值 $s=70$,单位缺货损失 $\nu=50$.

采用 Matlab 软件,将制造商向两个供应商的订货量(图中用 $Q1$,$Q2$ 表示)作为 x,y 两个变化坐标变量,将制造商利润(图中用 T 表示)作为 z 坐标变量,可画出制造商利润随着两个订货量变化的三维图 3.

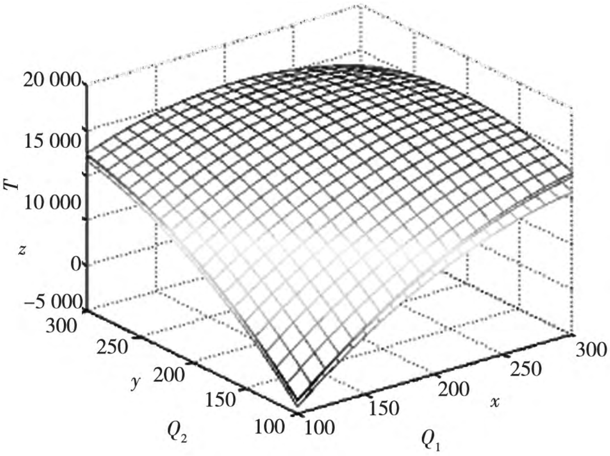

图 3　两个订货量对制造商利润的影响

Fig. 3 The effect of Q_1 and Q_2 on the manufacturer's profit

图 3 中图像有上凸的趋势,说明制造商利润确实存在最优值,最优值就是图 3 中凸出的最高点.

为了更加形象的验证定理 1,固定向供应商 2 的订货量($Q_2=208$),将制造商向供应商 1 的订货量(Q_1)作为横坐标,将制造商利润(Π^{A1}、Π^{A2}、Π^{B})作为纵坐标可画出图 4.

同上,固定制造商向供应商 1 的订货量($Q_1=195$)不变,将制造商向供应商 2 的订货量

(Q_2) 作为横坐标,纵坐标与图 4 一样,可画出图 5.

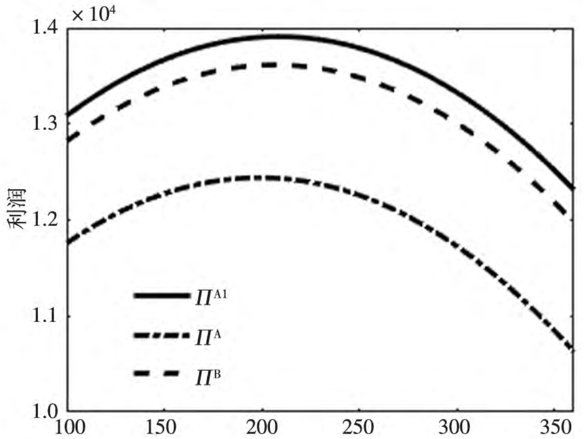

图 4 制造商利润随着向供应商 1 订货量的变化图

Fig. 4 The effect of Q_1 on the manufacturer's profit

由图 4 和图 5 可知,制造商利润随着向供应商 1 和供应商 2 的订货量先增后减. 所以制造商确实存在唯一最优向两个供应商的订货量,与定理 1 一致.

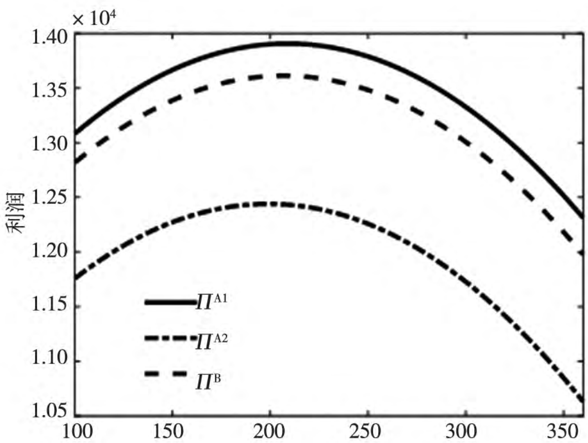

图 5 制造商利润随着向供应商 2 订货量的变化图

Fig. 5 The effect of Q_2 on the manufacturer's profit

以下求解供应商最优生产量,制造商最优订货量与最优利润. 将以上基本参数代入各式,联立式(1) 与式(7) 可解得,先对供应商 2 缺陷改善投资成功后再订货时供应商最优生产量 (x_1^{A1},x_2^{A1}) ,制造商最优订货量(Q_1^{A1},Q_2^{A1}) ,将此时最优订货量和最优生产量代入式(4) 中可解得,制造商此时的最优利润(Π^{A1}) ; 联立式(1) 与式(9) 可解得,在制造商先对供应商 2 缺陷改善投资失败后再订货时供应商最优生产量(x_1^{A2},x_2^{A2}) ,制造商最优订货量(Q_1^{A2},Q_2^{A2}) ,将此时最优订货量和最优生产量代入式(8) 中可解得,制造商此时的最优利润(Π^{A2}) ; 然后再将以上所得最优利润代入式(10) 中可得,制造商在先缺陷改善投资后订货时综合最优期望利润(Π^{A}) . 同样,联立式(1) 与式(12) 可解得,制造商在同时对供应商 2 进行缺陷改善投资与订货时最优生产量(x_1^{B},x_2^{B}) ,制造商最优订货量(Q_1^{B},Q_2^{B}) ,再将以上最优生产量和最优订货量代入式(11) 中可解得,制造商此时的最优利润(Π^{B}) . 在求解中发现,确实只有一组非零解,与定理 1、定理 3 和定理 5 的证明一致.

求解所得制造商和供应商在二种策略下最优的决策与最优利润如表 2 所示.

从表 2 中可以看出,对制造商的订货量,有如下结论:

1) 制造商对供应商 1 的订货量在策略 B(同时对供应商 2 进行改善投资与订货) 时大于在策略 A1(先对供应商 2 改善投资成功后再订货) 时订货量,小于在策略 A2(先对供应商 2 改善投资失败后再订货) 时订货量,即 $Q_1^{A2} > Q_1^{B} > Q_1^{A1}$.

2) 制造商对供应商 2 的订货量在策略 B(同时对供应商 2 进行改善投资与订货) 时大于在策略 A2(先对供应商 2 改善投资失败后再订货) 时订货量,小于在策略 A1(先对供应商 2 改善投资成功后再订货) 时订货量,即 $Q_2^{A1} > Q_2^{B} > Q_2^{A2}$.

3) 制造商在策略 A(先对供应商 2 改善投资再订货) 时最优利润大于在策略 B(同时对供应商 2 改善投资与订货) 时最优利润,即 $\Pi^{B} < \Pi^{A}$.

从表 2 中也可看出,对供应商 1 和供应商 2 的生产量,有如下结论:

1) 对于供应商 1 而言,在策略 B(制造商同时对供应商 2 进行改善投资与订货) 时,生产量大于在策略 A1(先对供应商 2 改善投资成功后再订货) 时的生产量,小于在策略 A2(先对供应商 2 改善投资失败后再订货) 时的生产量,即 $x_1^{A2} > x_1^{B} > x_1^{A1}$.

2) 对于供应商 2 而言,在策略 B(制造商同时对供应商 2 进行改善投资与订货) 时,生产量大于在策略 A2(先对供应商 2 改善投资失败后再订货) 时的生产量,小于在策略 A1(先对供应商 2 改善投资成功后再订货) 时的生产量,即 $x_2^{A1} > x_2^{B} >$

x_2^{A2}.

表 2　两种策略下最优决策与最优利润比较表

Table 2 Comparison of optimal decisions and optimal profits in two strategies

<table>
<tr><td rowspan="4">A</td><td rowspan="2">A1</td><td>x_1^{A1}</td><td>x_2^{A1}</td><td>Q_1^{A1}</td><td>Q_2^{A1}</td><td>Π^A</td></tr>
<tr><td>209.53</td><td>233.09</td><td>195.21</td><td>208.48</td><td rowspan="3">13 594.81</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A2</td><td>x_1^{A2}</td><td>x_2^{A2}</td><td>Q_1^{A2}</td><td>Q_2^{A2}</td></tr>
<tr><td>217.82</td><td>217.47</td><td>202.93</td><td>194.51</td></tr>
<tr><td rowspan="2">B</td><td rowspan="2"></td><td>x_1^B</td><td>x_2^B</td><td>Q_1^B</td><td>Q_2^B</td><td>Π^B</td></tr>
<tr><td>211.19</td><td>229.97</td><td>196.75</td><td>205.69</td><td>13 501.38</td></tr>
</table>

3.2　灵敏度分析

本研究重点在制造商的最优决策，因此以下将分析供应商质量与改善投资成功率对制造商决策的影响.

3.2.1　μ_1 对制造商订货决策与利润的影响

改变供应商 1 的质量水平，求解制造商在先改善投资成功后再订货时最优订货量与利润，可得表 3.

如表 3 所示，随着标杆供应商 1 质量水平的增加，制造商向两个供应商的订货量均增加，利润也增加. 与以上定理 2 的证明一致. 说明此时标杆企业的质量水平越高，制造商向两个供应商订货量越多，同时供应商生产量也越多，获利也越多.

表 3　μ_1 对最优决策和利润的影响

Table 3 The effect of μ_1 on decisions and profits

μ_1	Q_1^{A1}	Q_2^{A1}	Π^{A1}
0.893	186.42	199.33	9 334.18
0.923	189.35	202.38	10 847.56
0.953	192.28	205.43	12 348.60
0.983	195.21	208.48	13 908.46
0.983	195.21	208.48	13 908.46
0.983	195.21	208.48	13 908.46
0.983	195.21	208.48	13 908.46

3.2.2　两供应商质量水平变化对最优订货量的影响

首先固定供应商 2 的质量（$\mu_2 = 0.919$），改变供应商 1 的质量；然后固定供应商 1 的质量（$\mu_1 = 0.983$），改变供应商 2 的质量. 求解制造商最优订货量，如表 4 所示.

表 4　供应商质量对制造商最优订货量的影响

Table 4 The effect of μ_i on order decisions

μ_1	μ_2	Q_1^{A2}	Q_2^{A2}	Q_1^B	Q_2^B
0.893	0.919	183.28	205.01	185.79	200.47
0.923	0.919	189.83	201.51	189.44	202.21
0.953	0.919	196.38	198.01	193.10	203.95
0.983	0.919	202.93	194.51	196.75	205.69
0.983	0.949	199.31	201.06	196.03	207.00
0.983	0.979	195.69	207.61	195.30	208.31
0.983	0.983	195.21	208.48	195.21	208.48

由表 4 可知，随着供应商 1 质量的提高，制造商在策略 A2（先缺陷改善投资失败后再订货）时，向供应商 1 的订货量（Q_1^{A2}）逐渐增加，向供应商 2 的订货量（Q_2^{A2}）逐渐减少；随着供应商 2 质量的提高，制造商在策略 B（同时缺陷改善投资与订货）时，向供应商 1 的订货量（Q_1^B）逐渐减少，向供应商 2 的订货量（Q_2^B）逐渐增加.

由此可见，制造商应该综合考虑双供应商的质量水平，当某个供应商质量提高，应该适当增加向此供应商的订货量，减少向另一个供应商的订货量.

3.2.3　供应商质量水平对最优利润的影响

改变供应商质量，求解制造商的最优利润，可得表 5. 从表 5 中可知，无论供应商质量水平如何，制造商在策略 A 时最优利润均大于等于制造商在策略 B 时最优利润. 也就是说先缺陷改善投资再订货是制造商的一个占优策略.

表 5　策略 A 与策略 B 制造商最优利润比较

Table 5 Compare optimal profits for manufacturer

μ_1	μ_2	Π^A	Π^B
0.893	0.919	9 478.53	9 440.94
0.923	0.919	10 822.67	10 787.60
0.953	0.919	12 170.28	12 154.29
0.983	0.919	13 594.81	13 501.38
0.983	0.949	13 727.79	13 667.82
0.983	0.979	13 890.20	13 796.43
0.983	0.983	13 908.46	13 850.50

3.2.4　投资成功率对最优利润的影响

为了研究改善投资成功率对最优利润的影响，改变投资成功率，获得制造商在策略 A 和策略 B 情况下的最优利润如表 6 所示.

表 6　投资成功率对制造商最优利润的影响

Table 6 The effect of θ on manufacturer's optimal profits

θ	Π^{A}	Π^{B}	$(\Pi^{B}-\Pi^{A})/\Pi^{A}$ (%)
0	12 340.20	11 679.13	−5.66
0.1	12 497.03	12 219.45	−2.22
0.2	12 653.85	12 398.39	−2.02
0.3	12 810.68	12 589.16	−1.73
0.4	12 967.50	12 745.22	−1.71
0.5	13 124.33	12 947.23	−1.35
0.6	13 281.16	13 106.05	−1.32
0.7	13 437.98	13 336.88	−0.75
0.8	13 594.81	13 501.38	−0.69
0.9	13 751.63	13 705.28	−0.34
1.0	13 908.46	13 908.46	0

由表 6 可知：1）当投资改善的成功率小于 1 时，制造商采取策略 A 所得最优利润始终大于采取策略 B 所得最优利润. 2）随着改善投资成功率的增加，制造商采取两种订货策略所得利润的差异减少，当改善投资率等于 1 时，两种订货策略没有差异.

3.3　管理启示

现实企业普遍采用双源采购，但在双源采购中，如何统一从不同供应商采购原材料的质量是个难题. 本文探讨制造商对缺陷率高供应商以缺陷率低供应商为标杆，进行缺陷改善投资和订货决策的双源采购问题，得到的结论可为制造商解决双源采购中供应商质量不统一与质量监督问题提供新的思路.

启示 1：制造商引进新的供应商时，为了确保不同供应商的采购原材料质量一致，可将原有缺陷率低价格高的供应商作为开发新供应商的质量标杆，对新的价格低缺陷率高的供应商进行缺陷改善投资，帮助缺陷率高供应商降低缺陷率. 对新的供应商进行缺陷改善投资后，才与其签订采购合同，开始订货.

启示 2：制造商与供应商在合作的过程中，需要不断的对缺陷率高供应商进行缺陷改善投资，使缺陷率高供应商的质量水平稳定可靠. 在这之后，再根据两个供应商的质量水平，调整向两个供应商的采购量. 如若低成本供应商质量可靠，可主要向其采购.

启示 3：在缺陷改善投资完成之后，若如原有两供应商质量水平都难以提高，价格也难以降低，制造商可考虑按照启示 1 的方法开发新供应商替换缺陷率高供应商. 最终实现双源采购质量一致且花费成本最低的目标.

启示 4：制造商的质量部门与采购部门应该合作，质量部门应该积极的配合采购部门对缺陷率高供应商进行缺陷改善投资，在缺陷率高供应商的缺陷率降低之后，采购部门再向其采购.

尽管报童问题解决的是单周期库存最优问题，在本文中上一周期的缺陷改善决策一定会影响下一周期制造商的订货决策. 因此，如果制造商上一周期缺陷改善成功，制造商可以减少缺陷改善投资的力度，但仍需继续缺陷改善投资以保证低质量供应商的质量稳定可靠；如果上一周期缺陷改善失败，制造商应该总结上一次的经验教训继续进行缺陷改善投资.

4　结束语

在双源采购中，如何以最低成本获得双源采购中不同供应商供货质量的一致，是许多制造企业需要解决的现实问题. 本文的研究从现实企业需求出发，提炼了相关管理问题，探讨了在需求与供应均不确定的情况下，对缺陷率高供应商以缺陷率低供应商质量水平为标杆进行缺陷改善投资下的双源采购决策问题，分别分析了制造商先对缺陷率高供应商进行缺陷改善投资再订货时最优订货决策与利润，与制造商同时对缺陷率高供应商进行缺陷改善投资和订货时最优订货决策与利润，为制造企业如何以低成本实现双源采购中供应商的质量统一提供了有益的参考.

研究表明：先对供应商 2 进行缺陷改善投资成功后再订货时，向各个供应商的订货量与标杆供应商的质量水平成正比. 表明此时制造商选取的标杆供应商质量水平越高，制造商应该订货越多，供应商生产越多. 且制造商向各个供应商的最优订货量与两个供应商质量水平有关. 表明制造商向两个供应商的订货量应该根据他们之间的质量水平做调整.

研究结论: 1) 当投资改善的成功率小于 1 时,制造商采取策略 A 所得最优利润始终大于采取策略 B 所得最优利润; 2) 随着缺陷改善投资成功率的增加,制造商采取 2 种订货策略所得最优利润差距减少,当改善投资成功率等于 1 时,两种订货策略没有差异. 表明制造商最佳的订货策略是在对供应商进行缺陷改善投资之后再订货.

在本研究基础上,未来的研究可进行多方面的扩展,比如可以考虑缺陷改善投资的力度与改善后的产品质量有一定关系的情况下,制造商最优的改善投资力度; 也可研究制造商对两个供应商都进行改善投资的情况下,制造商最优的投资策略. 还可研究在订货的过程中,制造商对缺陷率高供应商进行缺陷改善时的利润分享机制问题.

参 考 文 献:

[1] Shin H, Collier D A, Wilson D D. Supply management orientation and supplier/buyer performance [J]. Journal of Operations Management, 2000, 18(3): 317 – 333.

[2] Nishiguchi T, Beaudet A. Self-organization and clustered control in the Toyota group: Lessons from the Aisin fire [J]. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2002, 12(2): 355 – 366.

[3] Sheffi Y. The resilient enterprise: Overcoming vulnerability for competitive advantage [J]. Mit Press Books, 2013, 1(1): 41 – 48.

[4] Tian F, Willems S P, Kempf K G. An iterative approach to item-level tactical production and inventory planning [J]. International Journal of Production Economics, 2011, 133(1): 439 – 450.

[5] Lyon T P. Does dual sourcing lower procurement costs? [J]. The Journal of Industrial Economics, 2006, 54(2): 223 – 252.

[6] Wu Z, Choi T Y. Supplier-supplier relationships in the buyer-supplier triad: Building theories from eight case studies [J]. Journal of Operations Management, 2005, 24(1): 27 – 52.

[7] Sherefkin R. Ford's recall challenge [J]. Atomotive News, 2002, 62(5985): 8 – 9.

[8] 文东华, 陈世敏, 潘　飞. 全面质量管理的业绩效应: 一项结构方程模型研究 [J]. 管理科学学报, 2014, 17(11): 79 – 96.

Wen Donghua, Chen Shimin, Pan Fei. The performance effect of total quality management: A structural equation modeling study [J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(11): 79 – 96. (in Chinese)

[9] Inderfurth K, Kiesmüller G P. Exact and heuristic linear-inflation policies for an inventory model with random yield and arbitrary lead times [J]. European Journal of Operational Research, 2015, 245(1): 109 – 120.

[10] Hua Z, Yu Y, Zhang W, et al. Structural properties of the optimal policy for dual-sourcing systems with general lead times [J]. IIE Transactions, 2015, 47(8): 841 – 850.

[11] Allon G, Van Mieghem J A. Global dual sourcing: Tailored base-surge allocation to near-and offshore production [J]. Management Science, 2010, 56(1): 110 – 124.

[12] Ju W, Gabor A F, Van Ommeren J C W. An approximate policy for a dual-sourcing inventory model with positive lead times and binomial yield [J]. European Journal of Operational Research, 2015, 244(2): 490 – 497.

[13] Gong X, Chao X, Zheng S. Dynamic pricing and inventory management with dual suppliers of different lead times and disruption risks [J]. Production and Operations Management, 2014, 23(12): 2058 – 2074.

[14] Zhu S X. Dynamic replenishment from two sources with different yields, costs, and leadtimes [J]. International Journal of Production Economics, 2015, 165: 79 – 89.

[15] Chen P, Erhun F, Hertzler E F, et al. Capacity planning in the semiconductor industry: Dual-mode procurement with options [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2012, 14(2): 170 – 185.

[16] Silbermayr L, Minner S. Dual sourcing under disruption risk and cost improvement through learning [J]. European Journal of Operational Research, 2015, 250(1): 226 – 238.

[17] Janakiraman G, Seshadri S, Sheopuri A. Analysis of tailored base-surge policies in dual sourcing inventory systems [J]. Management Science, 2014, 61(7): 1547 – 1561.

[18] Inderfurth K, Kelle P, Kleber R. Dual sourcing using capacity reservation and spot market: Optimal procurement policy and heuristic parameter determination [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225(2): 298 – 309.

[19] Kouvelis P, Tang S Y. Supplier diversification strategies in the presence of yield uncertainty and buyer competition [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2011, 13(4): 439 – 451.

[20] Fabian J S, Arnd H. Ensuring responsive capacity: How to contract with backup suppliers [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(2): 725 – 735.

[21] Sawik T. Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing [J]. Omega, 2014, 43(43): 83 – 95.

[22] Shaw K, Shankar R, Yadav S S. Carbon constrained dual sourcing supplier selection problem: A benders decomposition approach [J]. International Journal of Logistics Systems and Management, 2016, 23(3): 363 – 393.

[23] Silbermayr L, Minner S. Dual sourcing under disruptiion risk and cost improvement through learning [J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250(1): 226 – 238.

[24] Ray P, Jenamani M. Sourcing decision under disruption risk with supply and demand uncertainty: A newsvendor approach [J]. Annals of Operations Research, 2016, (1): 237 – 262.

[25] **黄 河，申笑宇，徐鸿雁. 考虑供应商流程改进的采购合同设计 [J]. 管理科学学报**，2015，18(10): 38 – 55.
Huang He, Shen Xiaoyu, Xu Hongyan. Procurement contracts design in the presence of process improvement initiated by the supplier [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(10): 38 – 55. (in Chinese)

[26] **周卓儒，王 谦，李锦红. 基于标杆管理的** DEA **算法对公共部门的绩效评价 [J]. 中国管理科学**，2003，(3): 73 – 76.
Zhou Zhuoru, Wang Qian, Li Jinhong. Performance evaluation by means of improved DEA method [J]. Chinese Journal of Management Science, 2003, (3): 73 – 76. (in Chinese)

Dual-sourcing procurement decisions in the presence of manufacturers' investment in suppliers' quality defect improvement

CHEN Chong-ping[1], *CHEN Zhi-xiang*[2], *SHAO Xiao*[2]

1. School of Public Administration, South China Normal University, Guangzhou 510006, China;
2. School of Management, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Considering the uncertainty in supply and demand, as well as the quality differences of purchased products from two suppliers, this paper investigates dual-sourcing decisions with defect improvement investment in suppliers' product. In this paper, a high quality (low defect rate) supplier is set as a benchmark for quality defect improvement, and the manufacturer decides the purchasing policies based on two scenarios: (1) purchasing after defect improvement, (2) simultaneously purchasing and investing in defect improvement. The differences of the two scenarios are compared. The impacts of success rate of quality defect improvement investments on the order quantities and the profit of the manufacturer are analyzed. The results indicate that when the success rate is less than 1, the profit of the manufacturer in the first scenario (purchasing after defect improvement) is higher than that in the second scenario (simultaneously purchasing and investing in defect improvement). When the success rate is equal to 1, there is no difference in the manufacturer's profits in the two scenarios.

Key words: dual-sourcing procurement; defect improvement investments; order decisions; benchmarking management; manufacturer-suppliers relationship

附录 1:

对供应商的期望利润函数求一阶二阶导数可得

$$\frac{\partial \Pi_i^m}{\partial x_i^m} = \omega_i \int_0^{\frac{Q_i^m}{x_i^m}} \alpha_i f_{\alpha_i}(\alpha_i)\,\mathrm{d}\alpha_i - c_i (m = \mathrm{A1,A2,B})\text{；}\quad \frac{\partial^2 \Pi_i^m}{\partial (x_i^m)^2} = -\omega_i \frac{(Q_i^m)^2}{(x_i^m)^3} f_{\alpha_i}\left(\frac{Q_i^m}{x_i^m}\right) < 0$$

因为二阶导数小于零，可知当一阶导数为零时，供应商的期望利润存在唯一最大值，条件为

$$\omega_i \int_0^{\frac{Q_i^m}{x_i^m}} \alpha_i f_{\alpha_i}(\alpha_i)\,\mathrm{d}\alpha_i = c_i (m = \mathrm{A1,A2,B})$$

附录 2: $m = (\mathrm{A1,A2,B})$

$$E^m = \mathrm{E}\left[\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^m - y\right)^+\right]$$

$$= \int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 \int_0^{Q_1^m+Q_2^m} (Q_1^m + Q_2^m - y) f_y(y)\,\mathrm{d}y f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 \int_0^{Q_1^m+\alpha_2 x_2^m} (Q_1^m + \alpha_2 x_2^m - y) \times$$

$$f_y(y)\,\mathrm{d}y f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} \int_0^{\alpha_1 x_1^m+\alpha_2 x_2^m} (\alpha_1 x_1^m + \alpha_2 x_2^m - y) f_y(y)\,\mathrm{d}y f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 +$$

$$\int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} \int_0^{\alpha_1 x_1^m+Q_2^m} (\alpha_1 x_1^m + Q_2^m - y) f_y(y)\,\mathrm{d}y f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2$$

$$F^m = \mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2} d_i^m\right)$$

$$= \int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 (Q_1^m + Q_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 (Q_1^m + \alpha_2 x_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 +$$

$$\int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} (\alpha_1 x_1^m + \alpha_2 x_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} (\alpha_1 x_1^m + Q_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2$$

$$C^m = \mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2} \omega_i d_i^m\right)$$

$$= \int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 (\omega_1 Q_1^m + \omega_2 Q_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 (\omega_1 Q_1^m + \omega_2 \alpha_2 x_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 +$$

$$\int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} (\omega_1 \alpha_1 x_1^m + \omega_2 \alpha_2 x_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} (\omega_1 \alpha_1 x_1^m + \omega_2 Q_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2$$

$$D^m = \mathrm{E}\left(\sum_{i=1}^{2} [(p + c_f)(1 - \mu_i)] d_i^m\right)$$

$$= (p + c_f)\left[\int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 ((1 - \mu_1) Q_1^m + (1 - \mu_2) Q_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_{\frac{Q_1^m}{x_1^m}}^1 ((1 - \mu_1) Q_1^m +\right.$$

$$(1 - \mu_2)\alpha_2 x_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 + \int_0^{\frac{Q_2^m}{x_2^m}} \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} ((1 - \mu_1)\alpha_1 x_1^m + (1 - \mu_2)\alpha_2 x_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2 +$$

$$\left.\int_{\frac{Q_2^m}{x_2^m}}^1 \int_0^{\frac{Q_1^m}{x_1^m}} ((1 - \mu_1)\alpha_1 x_1^m + (1 - \mu_2) Q_2^m) f_{\alpha_1}(\alpha_1)\,\mathrm{d}\alpha_1 f_{\alpha_2}(\alpha_2)\,\mathrm{d}\alpha_2\right]$$