供应链上的后向整合外包与协调策略分析①

王立明，刘丽文
（清华大学经济管理学院，北京 100084）

摘要：制造业企业在设计与构造供应链时所面临的一个核心问题是如何对纵向整合度进行权衡，通过一个单期、单制造商和单供应商的两级供应链模型研究这一问题. 制造商生产最终产品所需的零部件被分为两类，核心零部件与非核心零部件. 对于非核心零部件制造商既可以选择自制从而提高纵向整合度，也可以选择外包给上游供应商. 首先给出了制造商的最优整合外包策略，然后分析了整合外包策略对上、下游企业及供应链整体绩效带来的影响，最后讨论了几种基于整合外包方式的供应链改进与协调策略.

关键词：纵向整合；外包；供应链协调
中图分类号：F273.7　**文献标识码**：A　**文章编号**：1007 - 9807(2008)03 - 0078 - 10

0 引 言

在当今市场需求日益多样化、各种产品市场寿命周期越来越短的情况下，企业在制定供应链战略和设计供应链结构时所面临的一个重要问题是如何平衡纵向整合度与业务外包之间的关系. 近些年来，随着技术进步及市场环境发生深刻变化，外包迅速发展，新的企业组织形式如虚拟企业不断出现，纵向整合似乎成了一种过时的战略. 然而也可以看到这样的案例：在竞争激烈、外包行为极为普遍的服装行业中，西班牙的 ZARA 却采取了一种高度纵向整合的策略，这家企业拥有从分布在世界各地的 650 家专卖店开始到织布和印染几乎整条供应链，2001 年其净利润率是 10.5%，而其主要竞争对手如 H&M 为 9.5%，GAP 的净利润几乎为 0，这两家根本就没有自己的生产工厂[1]. 国内也有类似的案例. 因此不论外包还是整合，只要运用得当，都会成为企业构造具有独特竞争力供应链的决定性因素. 本文拟通过一个单期、单制造商和单供应商的两级供应链模型来研究外包整合策略给供应链的上下游企业和供应链整体带来的影响，以及如何通过不同的外包整合策略来改进供应链绩效并实现供应链协调. 在该模型中，作为供应链下游方的制造商要分别对两种制造能力进行决策：一种是核心能力，指制造商企业在这一领域具有较强竞争力或者根本无法从外部获取相关能力，因此只能由制造商自己提供；另一种是非核心能力，制造商可以选择不同的自制与外包程度，即全部自制、部分自制或全部外包. 本文将分析这些不同的整合外包策略对供应链双方的影响.

到目前为止，已经有不少文献从不同角度研究了如何平衡纵向整合与业务外包之间的关系. 在经济学领域，有关研究主要集中在外包的应用环境和作用分析、企业边界研究以及行业分析等，如文献[2]研究了产业中一体化与外包组织形式之间的均衡，指出在一个产业中不可能同时大量存在一体化的组织和从事外包供应的专业化组织，并指出产业中高度的资产专用性趋势则会抑制产业中的外包活动；文献[3]研究了外包对产业均衡价格的影响，并指出在规模经济条件下，外

① 收稿日期：2005 - 04 - 24；修订日期：2007 - 12 - 20.
基金项目：国家自然科学基金资助项目(70532004；70621061).
作者简介：王立明(1969—)，男，天津人，博士生，Email：wangliming.03@em.tsinghua.edu.cn.

包可以降低竞争的激烈程度；文献[4]和[5]从契约理论出发分析了一体化与非一体化所涉及的企业边界问题. 在战略管理领域，关于外包的研究主要是探讨外包在企业战略中的地位和作用机制以及外包战略的具体实施策略、方法及效果评价等[6~10]，比如文献[10]给出了一些判断标准来帮助企业区别哪些活动属于不应该外包的核心能力，哪些活动应该外包给供应商，并根据企业对外包活动灵活性和控制程度的不同需要讨论了各种外包形式. 在运作管理领域，关于外包的研究主要集中在以下几类问题：第一，生产计划问题，如文献[11]和[12]研究了如何在生产计划制定过程中综合考虑外包决策问题；第二，能力计划及分配问题，如文献[13]研究了在需求与供应都不确定条件下企业进行生产能力的外包决策问题；第三，外包供应商选择问题，如文献[14]研究了如何根据外包供应商在降低成本方面的改进潜力选择供应商进行动态外包决策的问题. 近些年来国内对外包的研究主要集中在战略、IT 以及物流领域[15~19]，比如文献[15]将制造规范概念引入外包决策，指出从企业长期竞争力和长期绩效出发，外包决策必须考虑制造业核心知识在企业和供应商之间的流动问题；文献[18]以 Hart 产权理论为基础，应用两阶段博弈模型分析了信息技术外包过程，指出任何产权结构都会存在专用性投资不足的问题. 由于企业外包活动是供应链管理的一个组成部分，而供应链管理思想强调的是系统集成管理[20,21]，因此近年来有一些文献从供应链系统的角度来考查外包，如文献[22]研究了关于外包的三种供应链契约对供应链双方投资决策的影响问题. 相比之下，本文的研究重点在于揭示企业关于整合外包的不同策略对供应链双方以及供应链整体的影响，并就基于整合外包方式的供应链改进与协调策略进行了讨论.

1 模　型

考虑由单制造商与单供应商组成的一个单期供应链. 制造商只生产一种产品，所需零部件被划分为两类，其中一类为核心零部件，这类零部件只能由制造商生产，无法通过市场获取；另一类零部件为非核心零部件，制造商可以自己生产这类零部件，也可以外包给供应商生产. 生产一个单位的最终产品只需要一个单位的核心零部件和一个单位的非核心零部件. 制造商为生产核心零部件所投资的生产能力被称为核心能力 x_c；为生产非核心零部件所投资的生产能力被称为非核心能力 x_n. 核心能力 x_c 与非核心能力 x_n 的度量分别为核心和非核心零部件的最大产出数量. 制造商所面临的市场需求是随机的，但概率分布已知. 市场需求用产品数量表示. 模型有关符号在表 1 中列出.

表1　模型符号

Table 1 Notations

Π_m：制造商期望运作收益；	Π_m^*：制造商最大期望运作收益；
Π_s：供应商期望运作收益；	Π_s^*：供应商最大期望运作收益；
x_c：制造商的核心能力；	x_n：制造商的非核心能力；
p：制造商单位产品销售价格；	p_s：供应商单位产品销售价格；
c_c：制造商单位核心能力投资成本；	
c_n：制造商单位非核心能力投资成本；	
c_s：供应商单位生产成本；	
D：制造商的市场需求；	y：需求 D 的随机变量；
$f(\cdot)$，$F(\cdot)$：需求 D 的概率密度函数和分布函数.	

本模型还有如下一些假设. 假设 1：供应链双方对待风险的态度均为中立（risk neutral），即双方决策的依据是各自的期望收益最大化. 假设 2：制造商生产的非核心零部件只供自己使用，不进入中间产品市场. 假设 3：供应商的生产能力无限，且不考虑供货提前期. 假设 4：不考虑产品生产的提前期. 假设 5：$c_s < c_n$.

制造商所面临的决策问题是在期初对其核心及非核心能力做出投资决策，并根据已有的供应商供应价格信息决定在多大程度上外包非核心零部件的生产. 在本模型中，采用报童模型的概念来描述能力决策问题. 也就是说，将企业期初对能力的决策视为传统报童模型中的采购量，能力投入不足会失去销售机会，而能力投入过剩则会造成浪费. 反映到本模型中，当 $D > x_c$ 时，超过部分的产品需求不被满足. 在许多季节性、流行性及短寿命周期产品所属行业中，如 IT、服装、家电等行业，此类模型较为具有实际意义.

这里需要进一步说明的是，关于 C_c 和 C_n，其含义为制造商期初的一次性核心和非核心能力投资的单位成本，制造商在生产过程中不再考虑与能力利用相关的成本. 相关研究已经表明，不考虑

能力的使用成本不会影响研究结果的一般性[13]. 此外,根据假设 3,c_s 的具体含义是供应商已有能力的使用成本或生产成本. 假设 5 反映的是如下常识:制造商如果要实行后向整合策略,就需要增加相关成本,比如上游产品技术的获得及保持成本、管理成本以及可能的不适当的规模效应带来的成本,因此制造商后向整合的成本通常要比专门供应商的成本更高一些.

制造商的决策顺序如下:第 1 步,在期初对核心和非核心能力 x_c、x_n 做出决策;第 2 步,根据市场需求的实际情况决定外包的数量,当 $D \leqslant x_n$ 时不外包,当 $D > x_n$ 时外包的数量为 $D - x_n$,但不会超过 $x_c - x_n$. 于是制造商的收益函数为

$$\Pi_m = Ep\min(D, x_c) - Ep_s\min[(D - x_n)^+, x_c - x_n] - c_c x_c - c_n x_n \tag{1}$$

$$\text{s.t.}\quad \begin{cases} x_n \leqslant x_c \\ x_c, x_n \geqslant 0 \end{cases}$$

式中,第 1 项为制造商的期望销售收入,第 2 项为制造商的外包成本,表明制造商要优先利用自己的非核心能力,其中 $(D - x_n)^+ = \max(0, D - x_n)$. 第 3 和第 4 项分别代表了制造商对核心和非核心能力投资的总成本. 约束条件 $x_n \leqslant x_c$ 反映了假设 2. 于是式(1) 可以展开为式(2)

$$\Pi_m = p\int_0^{x_c} yf(y)\mathrm{d}v + p\int_{x_c}^{\infty} x_c f(y)\mathrm{d}y - p_s\int_{x_n}^{x_c}(y - x_n)f(y)\mathrm{d}y - p_s\int_{x_c}^{\infty}(x_c - x_n)f(y)\mathrm{d}y - c_c x_c - c_n x_n \tag{2}$$

相应的,供应商的收益函数为

$$\Pi_s = (p_s - c_s)\int_{x_n}^{x_c}(y - x_n)f(y)\mathrm{d}y + (p_s - c_s)\int_{x_c}^{\infty}(x_c - x_n)f(y)\mathrm{d}y \tag{3}$$

$$\text{s.t.}\quad \begin{cases} x_n \leqslant x_c \\ x_c, x_n \geqslant 0 \end{cases}$$

2 制造商的整合外包决策

现在讨论制造商实行后向整合策略时的能力决策. 对制造商来讲,供应价格只是决策的一个参数而不是决策变量,因此制造商的决策变量只是核心能力与非核心能力,这二者是相对独立的.

引理 1 由式(2) 表达的制造商的收益函数是 x_c 和 x_n 的凹函数.

证明 为检验 Π_m 的凹性需要求出 Hesse 矩阵 $\boldsymbol{A}$,其中 $\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} \dfrac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_c^2} & \dfrac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_n\partial x_c} \\ \dfrac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_c\partial x_n} & \dfrac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_n^2} \end{pmatrix}$. 由式 2 可得

$$\frac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_c^2} = -(p - p_s)f(x_c) < 0 \qquad \frac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_c\partial x_n} = 0$$

$$\frac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_n^2} = -p_s f(x_n) < 0 \qquad \frac{\partial^2\Pi_m}{\partial x_c\partial x_n} = 0$$

于是显然有 $\det \boldsymbol{A} > 0$,即 $\boldsymbol{A}$ 为负定矩阵,因此 Π_m 为凹函数, 证毕.

令 $k = pc_n/(c_c + c_n)$,由引理 1 及 K - T 条件可得制造商的最优能力决策为表 2.

从表 2 可以看出,当制造商的非核心能力投资成本高于供应价格时,制造商就不再选择自制,这符合一般的常识. 但当非核心能力成本低于供应价格时,制造商也不是立刻选择全部自制,而是有可能选择部分自制和部分外包,这正说明了考虑不同程度的整合外包策略的意义. 从上面的分析中可以看出,制造商外包与否取决于三个参数,p_s、c_n 与 k,k 可以表示为 $k = mc_n$,其中 $m = p/(c_c + c_n)$. 令 $s = p_s/c_s$. 于是 m 和 s 分别反映了制造商和供应商毛利率的高低. 可以看出,第一,在 s 一定的情况下,c_n 越高,制造商就越可能倾向于全部外包;第二,在 s 和 c_n 不变的情况下,m 越高,制造商越倾向于部分外包. 反映到管理实践上,上述性质充分说明了外包的作用. 一方面,在竞争激烈的行业中,每个供应链环节的利润率都不会很高,企业间成本的微小差距也会造成制造资源的流动与集中,也就是说,如果制造商为后向整合所支付的成本过高,它就不会坚持这种策略. 另一方面,如果供应链中某一个环节的利润率很高,这一环节上的企业就有可能倾向于向后整合,因为高利润率一方面会为企业提供实行后向整合策略所需要的资源,另一方面企业也需要更加稳定的供应来保护自己高利润率的主业.

表2　制造商的能力决策

Table 2 Manufacturer's capacity decisions

	制造商的能力决策
情况1 $p_s > k$	$\dot{x}_c = F^{-1}\left(\frac{p - c_c - c_n}{p}\right)$ $\dot{x}_n = F^{-1}\left(\frac{p - c_c - c_n}{p}\right)$
情况2 $c_n \leqslant p_s \leqslant k$	$\ddot{x}_c = F^{-1}\left(\frac{p - p_s - c_c}{p - p_s}\right)$ $\ddot{x}_n = F^{-1}\left(\frac{p_s - c_n}{p_s}\right)$
情况3 $p_s \leqslant c_n$	$\dddot{x}_c = F^{-1}\left(\frac{p - p_s - c_c}{p - p_s}\right)$ $\dddot{x}_n = 0$

在众多论述外包作用的文献中，都强调外包非核心业务可以使企业将更多的资源用于其具有战略优势的核心业务，但是严格来讲，任何资源的投入都需要讲究效率，如果对非核心业务的投入回报超过核心业务，那么企业就可能会重新定义其核心与非核心业务. 在本模型中，可以从数量上说明外包对企业专注核心业务的积极意义.

由上文讨论可以看出，后向整合策略的实质是制造商通过对非核心能力的投资使其非核心能力的供应价格得到降低. 设 $\bar{p}_s$ 为制造商实行后向整合策略后的平均供应成本，则有 $\bar{p}_s = \frac{E\{c_n\min(D,x_n) + p_s\min[(D - x_n)^+, x_c - x_n]\}}{E\min(D,x_c)}$. 可以证明，当 $c_n < p_s$ 时有 $\bar{p}_s < p_s$，当 $c_n \geqslant p_s$ 时有 $\bar{p}_s = p_s$.

换个角度解释这个问题，制造商实行后向整合策略（不管是部分整合还是全部整合）相当于找到一家虚拟供应商，制造商将非核心零部件的生产以低于 p_s 的价格完全外包给这家虚拟供应商.

需要说明的是，制造商采用后向整合策略时的投入不是一个显性变量，它既包括为拥有非核心能力而必须的技术、人员储备，也包括为规模不经济以及因为期初的一次性投入 c_nx_n 而带来的能力浪费的风险（比如当 $D < x_n$ 时）. 现在考虑如果制造商将这部分投资不是用于向后整合，而是将其用于对核心能力的改造，使其表现为核心零部件单位成本 c_c 的下降，那么情况又如何?对此有命题1成立.

命题1　在非核心零部件完全外包的情况下，降低 c_c 对制造商收益的贡献率大于降低 p_s 对制造商收益的贡献率.

证明　对于非核心零部件完全外包的制造商，给定供应价格 p_s 和单位核心能力成本 c_c，就有一个最优的 $x_c(p_s,c_c)$ 和相应的制造商最大期望运作收益 $\Pi_m^*(p_s,c_c)$. 由表2知当非核心零部件完全外包时制造商的最优决策为 $\bar{x}_c(p_s,c_c) = F^{-1}\left(\frac{p - p_s - c_c}{p - p_s}\right)$，于是有 $\frac{\partial\bar{x}_c}{\partial p_s} = \frac{-[1 - F(\bar{x}_c)]^2}{c_c f(\bar{x}_c)} = \frac{-c_c}{(p - p_s)^2 f(\bar{x}_c)}$，和 $\frac{\partial\bar{x}_c}{\partial c_c} = \frac{-1}{(p - p_s)f(\bar{x}_c)}$. 将 $\bar{x}_c(p_s,c_c)$ 代入式(2)有 $\Pi_m^* = \Pi_m(\bar{x}_c(p_s,c_c),p_s,c_c) = (p - p_s)\int_0^{\bar{x}_c(p_s,c_c)} yf(y)\mathrm{d}y$. 于是有

$$\frac{\partial\Pi_m^*}{\partial p_s} = \int_0^{\bar{x}_c} F(y)\mathrm{d}y - \bar{x}_c, \frac{\partial\Pi_m^*}{\partial c_c} = -\bar{x}_c.$$

所以

$$\frac{\partial\Pi_m^*}{\partial c_c} < \frac{\partial\Pi_m^*}{\partial p_s} \tag{4}$$

式(4)说明制造商的最大期望收益对 c_c 的敏感度要高于对 p_s 的敏感度，即降低 c_c 对制造商收益的贡献率大于降低 p_s 对制造商收益的贡献率.

证毕.

命题1给出了一个简单的量化方法，使制造商可以从投资效率的角度来判断是进行后向整合还是投资于降低核心能力成本. 当相同的投资水平下有 $\bar{p}_s/p_s \geqslant \bar{c}_c/c_c$ 成立时，制造商就应该专注于核心能力的改进，其中 $\bar{c}_c$ 为改进后的单位核心能力投资成本.

3　整合外包策略对供应链双方的影响

这一节讨论整合外包策略对供应链双方会产生什么样的影响. 用 NBI(No Backward Integration) 上标表示制造商不实行后向整合策略，Π_m^{NBI} 和 Π_s^{NBI} 以及相应的 Π_m^{NBI*} 和 Π_s^{NBI*} 表示这种策略下制造商和供应商的期望收益及相应的最大期望收益，有以下命题2成立.

命题2 比较制造商实行和不实行后向整合策略的情况，当供应价格相同时，有 a. $\Pi_m^* \geqslant \Pi_m^{NBI*}$；b. $\Pi_s^* \leqslant \Pi_s^{NBI*}$；c. $\Pi_m^* - \Pi_m^{NBI*} \leqslant \Pi_s^{NBI*} - \Pi_s^*$.

在证明命题2之前需要进一步讨论一下 Π_m^* 和 Π_m^{NBI*} 的性质. 对此，有引理2成立.

引理2 a：对于不向后整合的制造商，在区间 $p_s \in [c_s, p - c_c]$ 内，Π_m^{NBI*} 是关于 p_s 的单调减函数；b：对于向后整合的制造商，当 $p_s \geqslant k$ 时 Π_m^* 与 p_s 无关，在区间 $p_s \in [c_s, k]$ 内，Π_m^* 是关于 p_s 的连续的单调减函数，但 Π_m^* 在区间 $p_s \in [c_n, k]$ 内关于 p_s 的下降斜率要小于 Π_m^{NBI*} 关于 p_s 下降斜率.（证明见附录A）

有了引理2就可以证明命题2成立，证明见附录B.

命题2表明，制造商的后向整合策略使供应链中的利润分配变得对制造商有利，而且这种变化是单向的，即制造商收益的增加是建立在供应商收益减少的基础之上的.

命题2还表明，后向整合策略造成了供应链效率的下降. 从模型上看，后向整合策略引起供应链效率下降的原因主要是由制造商非核心能力成本高于供应商成本的假设造成的. 在这种假设之下，不论制造商选择部分自制还是全部自制，其自制部分的成本都要高于供应商，也就是说自制部分的效率要比供应商的效率低下.

下面进一步分析如果制造商不进行向后整合，而专注于核心业务的改进，会对供应链双方产生什么影响. 对此有命题3成立.

命题3 制造商对非核心零部件采取完全外包策略的情况下，制造商核心能力成本的降低可以同时提高制造商和供应商的收益.

证明 由命题1知核心能力成本的下降可以使制造商的收益得以提高. 对供应商来讲，由式 $\bar{x}_c = F^{-1}\left(\frac{p - p_s - c_c}{p - p_s}\right)$ 可知，当 c_c 下降时，$\bar{x}_c$ 上升，因此制造商对供应商的需求增加，于是供应商的收益增加. 证毕.

命题3表明，与后向整合策略不同，制造商专注于核心能力的改进可以使供应链双方的绩效同时得到改进. 这就为供应商采取措施促使制造商专注核心业务，从而共同做大市场提供了一种可能. 在下一节中将进一步讨论这个问题.

4 供应链绩效改进与协调策略

由命题2可知，后向整合策略使供应链的利润进行了重新分配，其中制造商的收益增加而供应商的收益减少，但这种重新分配的结果却是整条供应链效率的下降，而下降的原因主要在于假设5. 因此如何最大限度地利用外包是提高供应链整体效率的主要方向. 本节将就这个问题进一步讨论.

4.1 基于预先订购的供应链绩效改进策略

制造商对非核心能力的投资实际上相当于引入了一个新供应商，制造商在期初一次性支付给这家新供应商 $c_n x_n$. 预先订购策略是指当 $p_s > c_n$ 时制造商不再自建非核心能力，而是在期初支付给供应商 $p_r x_n$，其中 $p_r (c_s \leqslant p_r \leqslant c_n)$ 为由双方协商确定的订购价格，然后供应商在期内根据制造商需求的实现情况最多提供 x_n 数量的零部件.

命题4 在制造商实行后向整合策略的供应链中，采用预先订购可以实现供应链绩效的改进.

证明 由于 $p_r \leqslant c_n$，因此制造商用于非核心零部件的投资支出减小了 $(c_n - p_r)x_n$，而供应商的收益函数则变为

$$\Pi_s = (p_s - c_c)\int_{x_n}^{x_c}(y - x_n)f(y)\mathrm{d}y + (p_s - c_s)\int_{x_c}^{\infty}(x_c - x_n)f(y)\mathrm{d}y + p_r x_n - c_s\int_0^{x_n} yf(y)\mathrm{d}y - c_s\int_{x_n}^{\infty} x_n f(y)\mathrm{d}y \tag{5}$$

由于 $p_r \geqslant c_s$，因此供应商会有部分利润的增加，这是因为

$$p_r x_n - c_s\int_0^{x_n} yf(y)\mathrm{d}y - c_s\int_{x_n}^{\infty} x_n f(y)\mathrm{d}y = (p_r - c_s)x_n + c_s\int_0^{x_n} F(y)\mathrm{d}y > 0 \tag{6}$$

证毕.

注意到式(6)中即使 $p_r = c_s$ 供应商都会有利润的增加，这是因为制造商是在期初一次性支付给供应商 $p_r x_n$，而供应商是按照制造商的实际需求向制造商分散提供产品的，当 $p_r = c_s$ 时供应商

利润增加的部分实际上相当制造商为需求不确定性向供应商支付的溢价. 但是当 $p_r = c_n$ 时，对制造商来讲采用预先订购就没有增加任何收益.

命题4 只表明预先订购可以实现供应链的改进而不是协调，这是因为这种方式并没有从供应链整体决策的角度考虑问题，而只是简单的将供应链中效率不高的制造商非核心能力投资部分进行了转移. 下文要介绍的两部制定价则可以实现供应链的协调.

4.2 基于两部制定价的供应链协调策略

两部制定价(Two Part Tariff)是指在通常根据产品交易数量而支付的费用之外，再额外支付一笔固定费用. 这种做法广泛用于公用事业和服务业，比如日常的固定电话收费就是一种两部制定价 —— 固定的月租费外加根据实际使用数量而支付的使用费. 但在一定条件下，也可以成为供应链的一种协调方式[23]. 以下讨论在本文所设定的供应链环境下，如何制定基于两部制定价的供应链协调策略.

设在期初由制造商付给供应商固定的一笔费用 T，然后供应商在整个周期内根据制造商的实际需求以其成本价 c_s 为制造商提供非核心零部件，数量最大不超过制造商期初设定的核心能力. 这种策略对供应商来说，由于其生产能力足够大，出于充分利用生产能力的考虑，供应商是愿意接受的；对于制造商来说，这种策略可以使其以一定的付出在必要时得到灵活的供应数量，因此也是愿意接受的. 在诸如机械、电子等生产能力比较充分的行业，这种策略都有现实的应用意义. 关于这种策略，有以下命题5成立.

命题5 在本文所设定的供应链环境下，采用两部制定价策略可以实现供应链协调.

证明 只需证明存在一个 T 使协调后供应链双方的收益之和等于一体化决策时的收益.

首先计算一体化决策时供应链的收益 Π_I.

$$\Pi_I = (p-c_s)\int_0^{x_c^I} yf(y)\mathrm{d}y + (p-c_s)\int_{x_c^I}^{\infty} x_c^I f(y)\mathrm{d}y - c_c x_c^I$$
$$= (p-c_s)\left(x_c^I - \int_0^{x_c^I} F(y)\mathrm{d}y\right) - c_c x_c^I \quad (7)$$

对式(7)显然有引理1成立，由一阶条件可得 Π_I 达到最优时有 $\bar{x}_c^I = F^{-1}\left(\frac{p-c_s-c_c}{p-c_s}\right)$.

对供应商来讲，设协调以后的收益函数为 Π_s^{CO}，则有

$$\Pi_s^{co} = 0 + T = T \quad (8)$$

因为协调后应有 $\Pi_s^{co} > \Pi_s$ 成立，其中 Π_s 由式(3)定义，于是有下式成立，

$$T > \Pi_s \quad (9)$$

对制造商来讲，设协调以后的收益函数为 Π_m^{co}，则有

$$\Pi_m^{co} = (p-c_s)\int_0^{x_c^{co}} yf(y)\mathrm{d}y + (p-c_s)\int_{x_c^{co}}^{\infty} x_c^{co} f(y)\mathrm{d}y - c_c x_c^{co} - T \quad (10)$$

因为 T 为制造商与供应商协商的一个固定值(常数)，因此显然对式(10)有引理1成立，由一阶条件可得 Π_m^{co} 达到最优时有 $\bar{x}_c^{co} = F^{-1}\left(\frac{p-c_s-c_c}{p-c_s}\right) = \bar{x}_c^I$. 即式(10)可改写为

$$\Pi_m^{co} = \Pi_I - T \quad (11)$$

因为协调后应有 $\Pi_m^{co} > \Pi_m$ 成立，其中 Π_m 由式(2)定义，因此由式(11)应有 $\Pi_m < \Pi_I - T$，于是有

$$T < \Pi_I - \Pi_m \quad (12)$$

将式(9)和式(12)合并有，$\Pi_s < T < \Pi_I - \Pi_m$

上式中右项减去左项得

$$\Pi_I - (\Pi_m + \Pi_s) = \Pi_I - \Pi_{solo}$$

其中：Π_{solo} 为双方单独决策时的收益之和. 由命题1知后向整合策略造成了供应链整体效率的下降，因此必有 $\Pi_I - \Pi_{solo} > 0$ 成立. 由式(8)和式(11)知协调后双方的总收益为 $\Pi_m^{co} + \Pi_s^{co} = \Pi_I$，于是可知 T 总是存在的. 证毕.

下面进一步分析 T 的取值范围. 令 Π_I^* 为一体化供应链的最优期望收益，将 $\bar{x}_c^I = F^{-1}\left(\frac{p-c_s-c_c}{p-c_s}\right)$ 代入式(7)可得 $\Pi_I^* = (p-c_s)\int_0^{\bar{x}_c^I} yf(y)\mathrm{d}y$.

当 $p_s \geqslant k$ 时，$T \in (0, \Pi_I^* - \Pi_m^*)$，其中

$$\Pi_m^* = (p-c_s)\int_0^{\bar{x}_c} yf(y)\mathrm{d}y$$

当 $p_s \in [c_n, k]$ 时，$T \in (\Pi_s^*, \Pi_I^* - \Pi_m^*)$

$$\Pi_s^* = (p_s - c_s)\int_{x_n}^{\bar{x}_c} (y - \bar{x}_n) f(y)\mathrm{d}y +$$

$$(p_s - c_s)\int_{\ddot{x}_c}^{\infty}(\ddot{x}_c - \ddot{x}_n)f(y)\,\mathrm{d}y$$

$$\Pi_m^* = (p - p_s)\int_0^{\ddot{x}_c} yf(y)\,\mathrm{d}y + p_s\int_0^{\ddot{x}_n} yf(y)\,\mathrm{d}y$$

当 $p_s \in [c_s, c_n)]$ 时，$T \in (\Pi_s^*, \Pi_I^* - \Pi_m^*)$，其中

$$\Pi_s^* = (p_s - c_s)\int_0^{\dddot{x}_c} yf(y)\,\mathrm{d}y + (p_s - c_s)\int_{\dddot{x}_c}^{\infty}\dddot{x}_c f(y)\,\mathrm{d}y$$

$$\Pi_m^* = (p - p_s)\int_0^{\dddot{x}_c} yf(y)\,\mathrm{d}y$$

上面各式中的 $\dot{x}_c$、$\ddot{x}_c$、$\ddot{x}_n$ 和 $\dddot{x}_c$ 见表2. 可见，与预先订购不同的是，即使当 $p_s \leqslant c_n$ 时，两部制定价也可以采用，并可以实现供应链的协调.

T 取值区间的长度实际代表了供应链协调后产生的全部收益. 当 T 取值区间下限时，表示供应链协调产生的收益全部被制造商独占；而当 T 取值区间上限时，则表示供应链协调产生的收益全部被供应商独占；当 T 取值区间中的某一值时，表示供应链协调产生的收益由双方分享，在现实中该收益的分享比例视制造商与供应商在供应链中的竞争地位及侃价能力来确定.

采用两部制定价的优点是：首先，加强了供应商与制造商之间的合作关系，这是因为由于存在预先支付的固定费用，所以制造商与供应商之间的关系由短期即时采购演变为在整个生产周期内的长期合作. 第二，两部制定价可以实现对供应链协调产生收益的任意分割，因此也更容易使双方实现合作.

4.3 其它供应链改进契约的讨论

除了预先订购与两部制定价外，命题 3 实际上也为供应链整体收益的改进提供了一个可能的途径. 供应商可以设计一种契约，将供应价格与制造商核心能力成本联系起来，如果制造商的核心能力成本下降，则相应的供应价格也下降，这样一方面促使了制造商更加专注于核心能力的改造，另一方面也抑制了制造商后向整合的冲动. 如果契约设计合适，就会实现供应链双方整体收益的提高. 下面进一步分析这种契约存在的可能性.

由式(3)，当全部外包时供应价格的下降不一定就会使供应商的收益下降，这是因为由式 $\bar{x}_c = F^{-1}\left(\dfrac{p - p_s - c_c}{p - p_s}\right)$ 可知，当 p_s 下降时，$\bar{x}_c$ 上升，即供应商的最终需求扩大了. 而命题 3 表明制造商核心能力成本的下降肯定会使供应商的收益上升. 因此供应商是有可能设计出一种这样的契约的. 具体如何设计，将作为未来进一步的研究内容.

5 结论及未来的研究方向

本文建立了一个单期、单制造商和单供应商的两级供应链模型，首先对制造商的最优整合外包策略进行了详细分析，结论表明，并不是任何情况下只要自制成本高于外包价格，制造商就会立即选择全部外包，而是有可能采取部分外包的策略，并且还应该考虑投资效率的问题，这些结论为现实企业制定合理的整合外包策略提供了一定的参考借鉴. 进而讨论了这种整合外包策略对供应链双方及整个供应链绩效的影响，指出尽管后向整合策略可以使制造商的平均供应成本下降从而提升自身的收益，却会因为自制成本高于供应商的成本而使整个供应链系统的绩效下降. 在此基础上，进一步给出了几种使供应链绩效得到改进和协调的策略.

本文还有若干可以考虑扩展的地方，例如，考虑供应商能力有限以及多供应商的情况，进一步深入研究 4.3 中提出的供应链改进契约，考虑其它供应链协调策略(比如供应价格折扣等) 等. 这些将作为未来的研究方向.

参 考 文 献：

[1] Ferdows K, Lewis M A, Machuca J A D. Rapid-fire fulfillment[J]. Harvard Business Review, 2004, 82(11): 104—110.

[2] Grossman G M, Helpman E. Integration versus outsourcing in industry equilibrium[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2002, 117(1): 85—120.

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

[4]Grossman S J, Hart O D. The costs and benefits of ownership: A theory of vertical and lateral integration[J]. Journal of Political Economy, 1986, 94(4): 691—719.

[5]Bolton P, Winston M. Incomplete contracts, vertical integration, and supply assurance[J]. Review of Economic Studies, 1993, 60: 121—148.

[6]Hamel G, Prahalad C K. Strategic intent[J]. Harvard Business Review, 1989, 67(3): 63—76.

[7]Prahalad C K, Hamel G. The core competence of the corporation[J]. Harvard Business Review, 1990, 68(3): 79—91.

[8]Mpoyi R T, Bullington K E. Performance implications of changing vertical integration strategies[J]. American Business Review, 2004, 22(1): 93—101.

[9]Fronmueller M P, Reed R. The competitive advantage potential of vertical integration[J]. Omega, International Journal of Management Science, 1996, 24(6): 715—726.

[10]Quinn J B, Hilmer F G. Strategic outsourcing[J]. Sloan Management Review, 1994, 35(4): 43—55.

[11]Kim B, Leung J M Y, Park K T, Zhang G, Lee S. Configuring a manufacturing firm's supply network with multiple suppliers[J]. IIE Transactions, 2002, 34(8): 663—677.

[12]Kamien M I, Li L. Subcontracting, coordination, flexibility, and production smoothing in aggregate planning[J]. Management Science, 1990, 36(11): 1352—1363.

[13]Kouvelis P, Milner J M. Supply chain capacity and outsourcing decisions: The dynamic interplay of demand and supply uncertainty[J]. IIE Transactions, 2002, 34(8): 717—728.

[14]Kim B. Dynamic outsourcing to contract manufacturers with different capabilities of reducing the supply costs[J]. Internal Journal of Production Economics, 2003, 86(1): 63—80.

[15]吴 锋，李怀祖. 基于核心制造规范的外包决策模型及实证研究[J]. 管理工程学报，2005，119(11)：34—40.
Wu Feng , Li Huaizu. The outsourcing decision model of core manufacturing specification based and case study[J]. Journal of Industrial Engineering / Engineering Management, 2005, 119(11): 34—40. (in Chinese)

[16]于 江，杨德礼. 供应链管理模式下的企业外包设计研究[J]. 大连理工大学学报(社会科学版)，2003，24(2)：63—66.
Yu Jiang, Yang Deli. Research on enterprise outsourcing design under supply chain management model[J]. Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences), 2003, 24(2): 63—66. (in Chinese)

[17]樊治平，王 岩. 信息技术外包决策的对策分析方法[J]. 管理工程学报，2002，16(3)：5—8.
Fan Zhiping, Wang Yan. A game analysis approach to IT outsourcing decision problems[J]. Journal of Industrial Engineering / Engineering Management, 2002, 16(3): 5—8. (in Chinese)

[18]李小卯. 信息技术项目产权结构及其管理模式的研究[J]. 管理科学学报，2002，5(5)：55—61.
Li Xiaomao. Study on property right and management model of IT project[J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(5): 55—61. (in Chinese)

[19]张文杰，陈宝国，琚泽钧. 存在效用遗传性时企业物流横向联合外包的决策分析[J]. 北方交通大学学报(社会科学版)，2003，2(1)：23—26.
Zhang Wenjie, Chen Baoguo, Ju Zejun. Decision making analysis of lateral consignation for internal logistics in utility heredity[J]. Journal of Northern Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2003, 2(1): 23—26. (in Chinese)

[20]刘丽文. 供应链管理思想及其理论和方法的发展过程[J]. 管理科学学报，2003，6(2)：81—88.
Liu Liwen. Survey on evolution of SCM theory and methods[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(2): 81—88 (in Chinese)

[21]王许斌，李文立，戴伟辉. 用系统理论造就供应链管理的核心理念[J]. 天津大学学报(社会科学版)，2004，6(4)：316—320.
Wang Xubin, Li Wenli, Dai Weihui. Theory of system brings up the core ideas of SCM[J]. Journal of Tianjin University (Social Sciences), 2004, 6(4): 316—320. (in Chinese)

[22]Van Mieghem J A. Coordinating investment, production, and subcontracting[J]. Management Science, 1999, 45(7): 954—971.

[23]Moothy K S. Managing channel profits: Comments[J]. Marketing Science, 1987, 6(4): 375—379.

Analysis of supply chain backward integration, outsourcing and coordination strategies

WANG Li-ming, *LIU Li-wen*
School of Economics & Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: A key issue in supply chain design for manufacturing firms is how to make a trade-off between the degrees of vertical integration. This paper studies this issue by a single period supply chain model with one supplier and one manufacturer. For the manufacturer, all the components needed for building the final product are divided into two classes: core and non-core. For the non-core components, the manufacture can either invest in building its own production capacities so as to promote the ratio of backward integration, or rely on outsourcing to an upstream supplier. The manufacture's optimal strategies on integration and outsourcing are first investigated, and then the impacts of such strategies on the performance of the manufacturer, the supplier and the whole supply chain system are analyzed. Finally several ways to improve and coordinate the supply chain are discussed.

Key words: vertical integration; outsourcing; supply chain coordination

附录 A: 引理 2 证明

由表 1 可得

$$\frac{\partial \dddot{x}_c}{\partial p_s} = -\frac{[1 - F(\dddot{x}_c)]^2}{c_c f(\dddot{x}_c)} = -\frac{c_c}{(p - p_s)^2 f(\dddot{x}_c)} < 0 \tag{A.1}$$

$$\frac{\partial \ddot{x}_c}{\partial p_s} = -\frac{[1 - F(\ddot{x}_c)]^2}{c_c f(\ddot{x}_c)} = -\frac{c_c}{(p - p_s)^2 f(\ddot{x}_c)} < 0 \tag{A.2}$$

$$\frac{\partial \ddot{x}_n}{\partial p_s} = \frac{[1 - F(\ddot{x}_n)]^2}{c_n f(\ddot{x}_n)} > 0 \tag{A.3}$$

当制造商不向后整合时,其决策收益函数为

$$\Pi_m^{NBI} = (p - p_s)\int_0^{x_c^{NBI}} yf(y)\,dy + (p - p_s)\int_{x_c^{NBI}}^{\infty} x_c^{NBI} f(y)\,dy - c_c x_c^{NBI} \tag{A.4}$$

对式(A.4)显然有引理 1 成立,由一阶条件可得 Π_m^{NBI} 达到最优时有 $\bar{x}_c^{NBI} = F^{-1}\left(\frac{p - p_s - c_c}{p - p_s}\right)$,代入式(A.4)得制造商的最优决策收益函数为

$$\Pi_m^{NBI*} = (p - p_s)\int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} yf(y)\,dy \tag{A.5}$$

对式(A.5)两边对 p_s 求导,结合式(A.1)有

$$\frac{\partial \Pi_m^{NBI*}}{\partial p_s} = -\int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} yf(y)\,dy + (p - p_s)\bar{x}_c^{NBI} f(\bar{x}_c)\frac{\partial \bar{x}_c^{NBI}}{\partial p_s}$$

$$= -\bar{x}_c^{NBI} F(\bar{x}_c^{NBI}) + \int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} F(y)\,dy - \frac{c_c \bar{x}_c^{NBI}}{p - p_s}$$

$$= -\bar{x}_c^{NBI} F(\bar{x}_c^{NBI}) + \int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} F(y)\,dy - \bar{x}_c^{NBI}[1 - F(\bar{x}_c^{NBI})]$$

$$= \int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} F(y)\,dy - \bar{x}_c^{NBI} < 0 \tag{A.6}$$

即 a 成立.

当制造商向后整合时,其最优决策收益函数为:

情况 1 当 $p_s \geq k$ 时制造商的收益函数为

$$\Pi_m = p\int_0^{x_c} yf(y)\,dy + p\int_{x_c}^{\infty} x_c f(y)\,dy - c_c x_c - c_n x_n \tag{A.7}$$

将 $x_c = x_n = F^{-1}\left(\frac{p - c_s - c_n}{p}\right)$ 代入上式得

$$\Pi_m^* = \int_0^{x_c} yf(y)\,dy \tag{A.8}$$

于是显然 Π_m^* 为常数.

情况 2 当 $c_n \leq p_s \leq k$ 时制造商的收益函数为式(2),将 $\dot{x}_c = F^{-1}\left(\frac{p - p_s - c_n}{p - p_s}\right)$,$\dot{x}_n = F^{-1}\left(\frac{p_s - c_n}{p_s}\right)$ 代入式(2)得

$$\Pi_m^* = (p - p_s)\int_0^{\dot{x}_c} yf(y)\,dy + p_s\int_0^{\dot{x}_n} yf(y)\,dy \tag{A.9}$$

将式(A.9)两端对 p_s 求导,结合式(A.2)和式(A.3)得,

$$\frac{\partial \Pi_m^*}{\partial p_s} = -(\dot{x}_c - \dot{x}_n) - \int_{\dot{x}_n}^{\dot{x}_c} yf(y)\,dy \leq 0 \tag{A.10}$$

对于相同的 p_s,显然有 $\dot{x}_c = \bar{x}_c^{NBI}$,因此由式(A.6)可将式(A.10)改写为

$$\frac{\partial \Pi_m^*}{\partial p_s}=\frac{\partial \Pi_m^{NBI*}}{\partial p_s}+\ddot{x}_n+\int_0^{\dot{x}_n} yf(y)\,dy \geq \frac{\partial \Pi_m^{NBI*}}{\partial p_s}$$

情况3 当 $c_s < p_s \leq c_n$ 时制造商的收益函数为

$$\Pi_m=(p-p_s)\int_0^{\ddot{x}_c} yf(y)\,dy+(p-p_s)\int_{\ddot{x}_c}^{\infty} \ddot{x}_c f(y)\,dy-c_c\ddot{x}_c$$

将 $\ddot{x}_c=F^{-1}\left(\frac{p-p_s-c_n}{p-p_s}\right)$ 代入上式得

$$\Pi_m^*=(p-p_s)\int_0^{\ddot{x}_c} yf(y)\,dy$$

因为有 $\ddot{x}_c=\bar{x}_c^{NBI}=F^{-1}\left(\frac{p-p_s-c_n}{p-p_s}\right)$，因此显然有 $\frac{\partial \Pi_m^*}{\partial p_s}=\frac{\partial \Pi_m^{NBI*}}{\partial p_s}\leq 0$. 证毕.

附录B：命题2证明

当不后向整合时，制造商的决策收益函数为式(A.4)，而供应商的收益函数为

$$\Pi_s^{NBI}=(p_s-c_s)\int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} yf(y)\,dy+(p_s-c_s)\int_{\bar{x}_c^{NBI}}^{\infty} \bar{x}_c^{NBI} f(y)\,dy \tag{B.1}$$

将 $\bar{x}_c^{NBI}=F^{-1}\left(\frac{p-p_s-c_c}{p-p_s}\right)$ 代入上式可得 Π_s^{NBI*}.

情况1 $p_s \geq k$

i. 对制造商来讲，由引理2知，当 $p_s \geq k$ 时制造商采用完全自制因而其最大期望收益函数 Π_m^* 已经与 p_s 无关了，而对于不向后整合的制造商来讲，此时 Π_m^{NBI} 依然随供应价格的上升递减.

当 $p_s=k$ 时，有 $\bar{x}_c^{NBI}\big|_{p_s=k}=F^{-1}\left(\frac{p-k-c_c}{p-k}\right)=F^{-1}\left(\frac{p-c_c-c_n}{p}\right)=x$，于是有

$$\Delta_1=(\Pi_m^*-\Pi_m^{NBI*})\big|_{p_s=k}=k\int_0^x yf(y)\,dy>0$$

由引理2知对任意 $p_s>k$，有 $\Pi_m^{NBI*}<\Pi_m^{NBI*}\big|_{p_s=k}$ 成立，因此必有 $\Delta_1>0$ 成立，即对相同的供应价格有 $\Pi_m^*>\Pi_m^{NBI*}$ 成立，即 **a.** 成立.

ii 对供应商来讲，当 $p_s \geq k$ 时显然有 $\Pi_s^*=0, \Pi_s^{NBI*}>0$，因此有 $\Pi_s^*<\Pi_s^{NBI*}$，即 **b.** 成立.

iii. 令 $\Delta_m=\Pi_m^*-\Pi_m^{NBI*}>0, \Delta_s=\Pi_s^{NBI*}-\Pi_s^*>0$，于是有，

$$\Delta_m-\Delta_s=\Pi_m^*+\Pi_s^*-(\Pi_m^{NBI*}+\Pi_s^{NBI*}) \tag{B.2}$$

将式(A.7)、(A.4)与(B.1)代入上式并整理得

$$\Delta_m-\Delta_s=p\int_0^{\dot{x}_c} yf(y)\,dy+p\int_{\dot{x}_c}^{\infty} \dot{x}_c yf(y)\,dy-c_c\dot{x}_c-c_n\dot{x}_n-\left[(p-c_s)\int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} yf(y)\,dy+(p-c_s)\int_{\bar{x}_c^{NBI}}^{\infty}\bar{x}_c^{NBI} f(y)\,dy-c_c\bar{x}_c^{NBI}\right]$$

知有 $\dot{x}_c=\dot{x}_n=F^{-1}\left(\frac{p-c_c-c_n}{p}\right)<\bar{x}_c^{NBI}=F^{-1}\left(\frac{p-p_s-c_c}{p-p_s}\right)$，于是上式可写为

$$\Delta_m-\Delta_s<p\int_0^{\dot{x}_c} yf(y)\,dy+p\int_{\dot{x}_c}^{\infty} \dot{x}_c f(y)\,dy-(c_c+c_n)\dot{x}_c-\left[(p-c_s)\int_0^{\dot{x}_c} yf(y)\,dy+(p-c_s)\int_{\dot{x}_c}^{\infty} \dot{x}_c f(y)\,dy-c_c\dot{x}_c\right]$$

$$=(c_s-c_n)\dot{x}_c-c_s\int_0^{\dot{x}_c} F(y)\,dy<0$$

即 **c.** 成立.

情况2 $c_n < p_s \leq k$

i. 对制造商来讲，在区间 $p_s \in [c_n,k]$ 内制造商的收益函数为式(2)，知当 $p_s=c_n$ 时，有 $\bar{x}_c^{NBI}\big|_{p_s=c_n}=F^{-1}\left(\frac{p-c_n-c_c}{p-c_n}\right)=\dot{x}_c\big|_{p_s=c_n}$ 及 $\dot{x}_n\big|_{p_s=c_n}=0$，

于是有 $\Delta_2=(\Pi_m^*-\Pi_m^{NBI*})\big|_{p_s=c_n}=0$

由引理2知 Π_m^* 和 Π_m^{NBI*} 都是 p_s 的单调减凸函数，但 Π_m^* 比 Π_m^{NBI*} 相对于 p_s 的下降斜率要小，因此在区间 $p_s \in (c_n,k]$ 内必有 $\Delta_2>0$，即对相同的供应价格有 $\Pi_m^*>\Pi_m^{NBI*}$ 成立，即 **a.** 成立.

ii. 对供应商来讲，制造商不向后整合时供应商的期望收益函数 Π_s^{NBI} 为式(B.1)，而制造商向后整合时供应商的收益函数 Π_s 为下式.

$$\Pi_s=(p_s-c_s)\int_{\ddot{x}_n}^{\ddot{x}_c} (y-x_n)f(y)\,dy+(p_s-c_s)\int_{\ddot{x}_c}^{\infty}(x_c-c_n)f(y)\,dy$$

对于相同的 p_s，显然有 $\bar{x}_c^{NBI}=F^{-1}\left(\frac{p-p_s-c_c}{p-p_s}\right)=\ddot{x}_c$ 成立，因此有，$\Pi_s^*-\Pi_s^{NBI*}=-(p_s-c_s)\left(\ddot{x}_n-\int_0^{\ddot{x}_n} F(y)\,dy\right)\leq 0$，即 **b.** 成立.

iii. 将式(2)、(3)、(A.4)与(B.1)代入式(B.2)并整理得

$$\Delta_m-\Delta_s=p\int_0^{\ddot{x}_c} yf(y)\,dy+p\int_{\ddot{x}_c}^{\infty} \ddot{x}_c f(y)\,dy-c_s\int_{\ddot{x}_n}^{\ddot{x}_c}(y-\ddot{x}_n)f(y)\,dy-c_s\int_{\ddot{x}_c}^{\infty}(\ddot{x}_c-\ddot{x}_n)f(y)\,dy-c_c\ddot{x}_c-c_n\ddot{x}_n-\left[(p-c_s)\int_0^{\bar{x}_c^{NBI}} yf(y)\,dy+(p-c_s)\int_{\bar{x}_c^{NBI}}^{\infty}\bar{x}_c^{NBI} f(y)\,dy-c_c\bar{x}_c^{NBI}\right]$$

知有 $\ddot{x}_c=\bar{x}_c^{NBI}=F^{-1}\left(\frac{p-p_s-c_c}{p-p_s}\right)$，于是有 $\Delta_m-\Delta_s=(c_s-c_n)\ddot{x}_n-c_s\int_0^{\ddot{x}_n} F(y)\,dy\leq 0$，即 **c.** 成立.

情况3 在区间 $p_s \in [c_s,c_n]$ 内，显然有 $\Pi_m^*=\Pi_m^{NBI*}, \Pi_s^*=\Pi_s^{NBI*}$，及 $\Delta_m=\Delta_s$ 成立.

综上所述，命题2成立. 证毕.