供应链中考虑需求信息更新的最优防重新谈判合约①

周建亨 [1]，罗 瑶 [1, 2*]，李少坤 [3]，柳 璐 [4]

(1．东华大学旭日工商管理学院，上海 200051; 2．杭州电子科技大学管理学院，杭州 310018; 3．国铁物资有限公司，北京 100097; 4．展讯通信(上海)有限公司，上海 201210)

摘要：面对复杂的供应链环境，构建长期合作关系是上下游企业利益共享、抵抗风险的有效手段，而长期合约是否具有“防重新谈判”性质起着重要的作用.因此，在制造商和零售商的两阶段合作中，考虑需求不确定且类型在不同阶段随机变化（由于零售商更了解市场需求，因此文中也简称为零售商类型），分别构建了非对称信息下（不）完全承诺的三种合约模型，并从防重新谈判的角度分析了三种模型中的最优合约及其性质.研究发现：最优防重新谈判合约与零售商类型在两阶段的相关性相关，随着相关性逐渐增加，最优防重新谈判合约依次是完全承诺分离合约、不完全承诺分离合约、不完全承诺混同合约；当相关性较小时，零售商类型在不同阶段变化较大，导致制造商第一阶段通过分离零售商类型获知的信息并不能指导第二阶段合约的制定，因此完全承诺分离合约具有防重新谈判的性质且是最优防重新谈判合约；制造商利用第一阶段更新的信息可以制定不完全承诺分离与混同合约，当其更关注第二阶段期望利润时，不完全承诺混同合约是最优防重新谈判合约.

关键词：需求不确定; 非对称信息; 信息更新; 随机变化; 最优防重新谈判合约

中图分类号：F274 **文献标识码：**A

0 引 言

过去二十年里，供应链环境越来越复杂.一方面，需求不确定现象显著[1,2].当需求不确定导致库存短缺时，企业不仅损失潜在市场的利润而且提高了竞争对手的利润.如：Emmelhainz 等[3]的调查显示，缺货导致 14%的消费者流向其竞争对手.当需求不确定导致库存积压时，企业不仅无法收回生产成本还会断裂资金链甚至破产.如：中美贸易战中，美国对中国进口产品加征关税的行为导致相关产品在美国市场的需求减少，造成的货物积压使中国企业损失巨大[4].可见，需求不确定可能导致库存短缺或积压，在企业重视利润率的背景下，无论是丧失市场份额机会的前者还是忽视需求下降风险的后者都是不可取的；另一方面，需求信息非对称现象显著[5-7].对零售商来说，其擅长营销且直接面对消费者，往往更加了解需求，而专注于生产的制造商通常难以进行准确观测，如：快速扩张并占领市场的经销商制度导致李宁公司缺乏与消费者直接接触的机会②；运营商 C Spire 公司比苹果公司更清楚 iPhone 的销量[8].显然，零售商与制造商间需求信息非对称的情况已成为企业合作中不得不考虑的因素.

在需求不确定与信息非对称的供应链环境中，多阶段合作是成员实现利益共享、抵抗风险的常见手段[9,10].相比单阶段，多阶段合作更复杂.

① 收稿日期：
基金项目：国家自科面上项目(72372022)；上海市社科项目(2023BGL012)；中央高校基本科研业务专项资金项目(2232018H-07).
通讯作者：罗 瑶（1993—），女，山东临沂人，博士，讲师. Email：2228217145@qq.com

② https://www.sohu.com/a/292171701_597964

一方面，受行业和供应链本身等因素的影响，需求信息类型（由于零售商比制造商更清楚，本文简称为零售商类型）由前一阶段到后一阶段往往是随机变化的.如：Target 公司进军加拿大后，市场处于供不应求的状态，但激进的布局速度却使需求出现拐点，最后因供货不足影响了消费者购买意愿，直至退出加拿大市场[11].可见，企业在不同阶段面临的需求类型是变化的而非一成不变的.因此，探索需求类型在不同阶段随机变化更符合供应链实际.另一方面，成员间的博弈关系更微妙.对信息优势方来说，在单阶段博弈中，不涉及第一阶段的行动对后期的影响.但在多阶段博弈中，其在每阶段因行动而显示的信息都可对信息劣势方后期制定的合约产生影响，因此，信息优势方可能做出与其类型不一致的行动来避免后期对自己不利的合约，预估到此，信息劣势方需决策是否利用信息优势方的行动更新的信息去制定后期合约；进一步，事前决策的环境因需求不确定与信息非对称带来的干扰难以预测，双方也可能因事后信息发生更新发现合约存在改进的空间从而产生重新谈判的动机.如：当钢材价格上涨时，供货紧张局面下的钢企想要重新谈判以谋求更高的价格，钢材价格下行时，船企则有动机要求重新签订价格下调的合约来减少费用[12].通过重新谈判这一过程，可以利用历史信息来改进未来合约，使其朝着帕累托改进的方向发展.在长期合作中，若双方制定在任何历史之后都无法进行帕累托改进，无法提供此类重新谈判机会的可信合约，则称为防重新谈判合约[13].

基于上述分析，我们聚焦于供应链的需求类型前后两阶段随机变化的情形，讨论在多阶段合作中如何利用更新的信息，把长期合约的防重新谈判性质纳入模型，并寻求最优的防重新谈判合约.具体来说，信息劣势方可采用两种合约形式，一种是不能利用更新信息修改条款的完全承诺（Full Commitment）合约，此时，各方严格遵守多阶段合约的承诺，让初始合约随时间推移一直执行下去.如：Filene's Basement 公司在销售初就宣布了规定期内不允许改变的价格路径[14].考虑到完全承诺合约在信息模糊的合作初就制定全阶段策略，当信息劣势方在第一阶段了解私有信息后，会不会因事后拥有更精确的信息而产生改变此合约的动机？即：完全承诺合约能防止重新谈判（Renegotiation Proof, RP）吗？基于此，另一种不完全承诺（Commitment and Renegotiation）合约则允许利用更新的信息重新修改事前条款，此时，各方签订多阶段合约且只要任何一方想执行该合约，该合约就可以得到执行，但若各方都发现重新修改合约符合他们的利益，他们就可以重新修改[15].如：制药公司与 Lonza 公司签订的数量弹性合约规定了时间框架（通常是自签约之日起三年）、买方需要的生产量（具有一定弹性）及单价.生物制药生产能力成本高昂且 3 至 5 年的建设期使买方需要的生产量在签约时高度不确定.因此，需求实现后，数量弹性合约经常被重新修改[16].可见，不完全承诺合约考虑利用更新的信息不断改进事前合约从而是防重新谈判的.

本研究与三类文献相关.对于供应链中需求信息非对称的信息甄别模型，Zhou 等[17]在单一制造商和对新市场具有信息优势的零售商构成的供应链中，研究了双渠道定价如何影响供应链成员的行为和利润；Wang 等[18]在需求信息及其准确性为零售商私有信息的情况下，建立多维信息甄别模型并讨论了几种简单但信息结构下通常被研究的契约；刘露和李勇建[19]在保兑仓融资情形下，总结出信息造假、信息优势及信息隐匿三种需求信息非对称的表现形式，并提出了甄

别契约.总之，这类文献均探讨单阶段合作中的激励合约设计，但单阶段信息甄别模型无法描述供应链的多阶段合作.一方面，其激励机制在多阶段合作中不能有效甄别类型；另一方面，其无法刻画参与者根据历史信息不断更新信息结构的策略性交互过程，而这两点都是多阶段合作区别于单阶段合作十分重要的特点.因此，不同于上述文献，我们将重点放在供应链中的多阶段合作中，通过构造非对称信息下是否利用更新信息的三类合约，探究最优防重新谈判合约来为信息劣势方提供管理指导.

对于供应链中多阶段信息甄别模型，王志宏和温晓娟[20]在零售成本信息非对称下的供应链中，探索了多阶段商业信用契约激励机制；Mobini等[21]在一个由供应商和具有消费者需求和自身成本参数私有信息零售商构成的两级供应链中，研究了供应商多阶段最优供货合同的设计问题；Ni等[22]构建了一个由供应商和制造商组成的动态供应链微分博弈模型，分析了制造商过程创新效率信息非对称对供应链契约、流程创新以及动态产品定价策略的影响.总之，这类文献在多阶段信息甄别模型中考虑了不同的私有信息，但隐含的条件都是私有信息类型在多阶段不变且与私有信息类型相关的变量是确定的.此做法可以降低模型处理的难度，但也忽略了丰富的现实世界.一方面，尽管信息优势方掌握更多的需求信息，但受到内外环境的影响，其了解的信息是有误差的；另一方面，私有需求信息类型受到行业和供应链本身等因素的影响，在不同阶段可能发生变化.因此，对于前者，我们采用不确定的需求结构来刻画现实运作；对于后者，放松了私有信息类型在多阶段不变的假设，将零售商类型在前后两阶段发生变化的情形引入模型.此外，还探索了上述文献都未涉及的防重新谈判.

“类型相关性”和“防重新谈判”的文献集中在重复逆向选择的经济学领域.Baron和Besanko[23]、Hart和Tirole[24]、Laffont和Tirole[15]等都在此领域做了相关研究.此外，对“类型相关性”的概括性分析见Battaglini[25]；对“类型相关性”的归纳和“防重新谈判”的概括性分析见拉丰和马赫蒂摩[26].本文与以下“类型相关性”和“防重新谈判”交织的文献相关，拉丰和马赫蒂摩[26]在代理人类型前后两阶段不变下，讨论了有限承诺下两种不同的防重新谈判契约（完全分离和完全混同契约）的配置及选择问题；而本文探讨的是供应链中需求类型在两阶段变化下最优防重新谈判合约的选择问题，在需求类型两阶段不变的情况下，当谎报率为1时，与拉丰和马赫蒂摩[26]中的完全混同契约模型类似；当谎报率为0时，与拉丰和马赫蒂摩[26]中的完全分离契约模型类似，因此，本文是更普遍的一种表现形式；Laffont和Tirole[15]在代理人类型跨周期不变的两周期模型中刻画了具有承诺和再谈判采购模型的防重新谈判合同，Battaglini[13]则在此基础上扩展到代理人类型两阶段变化的情形，这两篇文献中与私有信息类型相关的变量是确定的，不同与此，我们采用不确定的需求结构来刻画供应链中与私有信息类型相关的变量.一方面，这刻画了信息优势方虽然拥有私人信息但信息也存在误差的现实；另一方面，不确定的需求结构在数学计算上较确定情况更困难.

综上所述，在供应链的多阶段合作中，利用报童需求刻画需求不确定，用零售商面临的需求类型在不同阶段随机变化刻画信息非对称，讨论最优防重新谈判合约.为此，分以下几步展开：第一，探析了对称信息情况作为信息掌握程度的基准并得到对称信息基准合约；第二，讨论非对称信息下为了防重新谈判可能存在的三种合约；第

三，讨论三种合约是否防重新谈判，得到不同参数区间上防重新谈判的候选合约；第四，将制造商的选择内生化，在候选合约中求出最优防重新谈判合约；最后，分析了最优防重新谈判合约中的最优委托数量、两阶段信息租金及供应链利润.

1 模型说明

考虑由单个制造商(M)和零售商(R)的多阶段合作（为简洁起见，本文讨论两阶段博弈）.如图 1 所示，在每个阶段，制造商以单位成本c生产且向零售商提供q单位产品，零售商在收到产品后给予制造商转移支付t并以零售价p（$0 \le c < p$）销售给消费者.

供应链环境不断变化是现代商业竞争最主要的特点之一，为了突出此要素，本文从以下几个方面描述供应链的不确定性.首先，假设产品具有不确定的需求结构$\theta + e$[8]，其中e为随机误差，其概率密度函数$f(.) > 0$，累积分布函数为$F(.)$，且分布被双方所知.θ是当前阶段需求的均值，由零售商调研得到，是其私有信息，不失一般性，以下简称θ为零售商类型.我们采用非对称信息模型中普遍的做法，假设θ存在高(H)低(L)两种类型[27,28]，制造商可能不清楚需求的确切类型，但了解其先验概率：$\Pr(\theta = H) = \rho$，$\Pr(\theta = L) = 1 - \rho$且$H > L$，由此双方产生了信息非对称.

进一步，与现有供应链管理文献中私有信息类型多阶段不变的假设不同[15]，本文令零售商类型将有可能在前后两阶段变化，但并非无序变化，而是存在相关性，所谓相关性，是指保持类型不变的概率$\Pr(\theta|\theta) = \alpha$，$\theta \in \{H, L\}$.从供应链实践中发现，前后阶段的零售商类型虽然会随机变化，但由于与零售商固有的营销能力、运营能力、危机处理能力间的关联性使其更可能倾向于前阶段相同的类型③，即两阶段类型相关性α较大，$\alpha \in (1/2,1]$[13]的情形，如：以下沉市场消费潜力为目标的电商平台拼多多，成立以来通过社交拼团方式在三线以下城市裂变，即便在 2020 年疫情影响下，其通过“抗疫情专用频道”、“政企合作，直播助农”等方式，仍然保持了强劲的销量④,⑤；反观永辉超市试水的新零售模式，却因传统零售思维和互联网思维等矛盾，在疫情前就处于亏损状态，并在疫情中彻底关闭⑥.显然，在疫情的冲击下，这些公司在两阶段获得了的相似需求类型，前者在两阶段持续为高，后者在两阶段持续为低.换言之，哪怕总体市场环境变化，在下阶段的需求虽然会变化，但延续上阶段需求状态的可能性较大.而当$\alpha = 1$时，即很多经典文献讨论的需求类型在前后阶段不变[15]，是本文讨论的特殊情形；另外，虽然零售商能观察到第一阶段（$T1$）初的需求类型，但其在第二阶段（$T2$）初只知道类型的分布.由此，双方博弈的$T1$为事前合约，$T2$为事中合约.

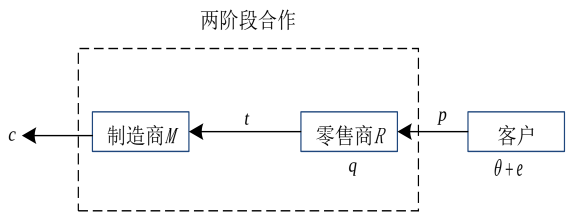

图 1 模型说明

Fig. 1 Model description

在合作的每一阶段，制造商和零售商均以期

③ 注意对$\alpha \in (0,1/2)$以及$\alpha \in (1/2,1]$两种情况，在技术求解上是对称的，结论也没有定性的变化.当$\alpha \in (0,1/2)$时，意味着前一阶段披露为θ类型时，以更高的概率在下一阶段披露为相反的$\tilde{\theta}$类型；当$\alpha = 1/2$时，意味着类型在两阶段完全独立，即后阶段的类型为H或L的概率完全相等，独立于前一阶段类型，前阶段的博弈对后期完全没有影响，本文侧重于在两阶段引入些许变化，即，α比较高，但不总是等于 1.因此，$\alpha \in (0,1/2)$和$\alpha = 1/2$ 的这两种情况不是本文讨论的范围.

④ https://new.qq.com/rain/a/20201128a09w9f00

⑤ https://www.aiyingli.com/237681.html

⑥ https://baijiahao.baidu.com/s?id=1700812240486679430&wfr=spider&for=pc

望利润最大化为目标进行决策，而具有确切需求信息的零售商存在欺骗制造商获取更高利润的动机⑦.其中，高类型零售商谎报类型的概率为$1-x$，$x\in[0,1]$，相应的，高类型零售商真实汇报类型的概率为x.为减少零售商谎报及非对称信息带来的损害，制造商的目标是根据零售商类型分布及变化制定相应的两阶段委托数量-转移支付合约菜单(q_h,t_h)，$h\in\{i,ij\}$，甄别零售商类型的同时考虑两阶段防重新谈判的可能性.根据所处的阶段不同，表示$T1$和$T2$需求信号的下标h可能为单下标或双下标.若$T1$披露为i，$i\in\{H,L\}$，则$h=i$；若已知$T1$披露为i，随后$T2$披露为j，则$h=ij$，$i,j\in\{H,L\}$.因此两阶段合约菜单为$\{(q_i,t_i),(q_{ij},t_{ij})\}$.用$\pi$、$\Pi$、$\Gamma$分别表示零售商、制造商、供应链单阶段的期望利润.每个阶段实际需求为θ，$\theta\in\{H,L\}$，零售商披露为h时，$\pi(h,\theta)=pE\min(q_h,\theta+e)-t_h$，$\Pi(h)=t_h-cq_h$，$\Gamma(h,\theta)=pE\min(q_h,\theta+e)-cq_h$.不失一般性，假设零售商的保留效用为0[29]，贴现因子$\delta\in(0,+\infty)$，反映了$T1$和$T2$间期望利润的关系[15].为了便于表述，定义$\Delta(q)\equiv F(q-L)-F(q-H)$，$G\equiv 1-\frac{c}{p}$，且$0<\Delta(q)<\min\left\{\frac{1-\rho}{\rho}G,\frac{\rho(1-x)(1-\alpha)+(1-\rho)\alpha}{\rho(1-x)\alpha+(1-\rho)(1-\alpha)}G,1\right\}$⑧；此外，需要保证$f(q_h-L)-\rho f(q_h-H)>\max\left\{\frac{1-\alpha}{\alpha}\rho\Delta'(q_h),0\right\}$，$h\in\{L,LL\}$，以满足二阶条件.

事件顺序如图2所示.1）零售商在$T1$获知类型θ；2）制造商根据零售商类型分布及变化确认采用完全承诺或不完全承诺合约，并制定相应的两阶段合约菜单$\{(q_i,t_i),(q_{ij},t_{ij})\}$；3）零售商拒绝或接受合约；若接受，则执行合约；4）$T1$合作完成；5）在$T2$，零售商再次观测到需求类型，继续执行（完全承诺）或重新修正$T2$合约（不完全承诺）并执行新合约；6）$T2$合作实现.

在实践中，制造商会在付出信息租金促使零售商尽早披露类型及节省信息租金承受信息劣势间权衡，不同情况下有不同的合约方案.本文将结合信息结构的变化讨论资源配置及租金支付，得到参数在不同区间下最优防重新谈判合约形式.分别用上标$\{*,C,S,P\}$表示对称信息、完全承诺(Commitment)、不完全承诺分离(Separating)及不完全承诺混同（Pooling）四种合约.

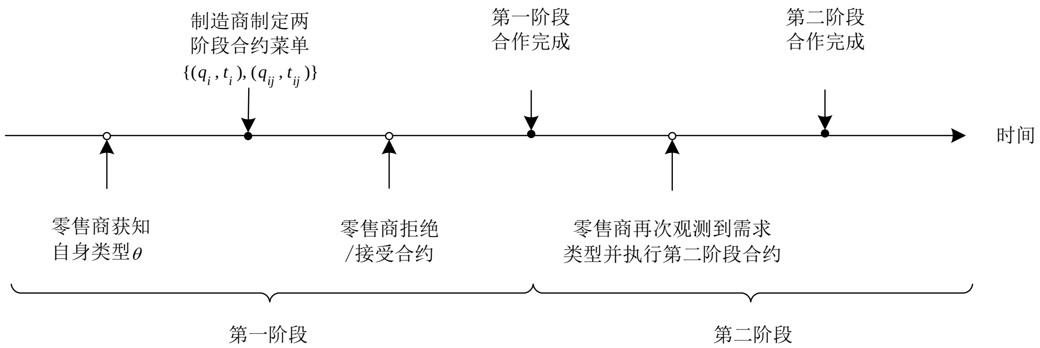

图2 事件顺序

Fig. 2 Timing of events

⑦ Heese 和 Kemahlioglu-Ziya[35]指出了零售商在各行各业谎报的证据，如：在食品行业，快餐连锁品牌唐恩都乐将被特许人告上法庭；在视频租赁行业，电影公司起诉 Blockbuster 和 Hollywood Video 等连锁公司，原因均在于供应商无法观察到需求，而这给了零售商谎报的动机，从而造成了供应商无法获得零售商真实销售收入的完整信息.

⑧ $\Delta(q)$的假设是为了保证后面求得的最优委托数量为正.

2 对称信息基准合约

本节分析对称信息的情况作为基准，用上标“*”标志.激励理论显示，制造商可通过合约留下零售商信息优势所得（若有，则称为信息租金（Information Rent））而获得所有剩余，因此零售商获取的总信息租金即为多阶段期望利润之和.令i类型零售商两阶段总的信息租金为：$IR_i = \pi(i,i) + \delta\sum_{j\epsilon\{H,L\}}(\Pr(j|i)\pi(ij,j))$，其中第二项表示$T1$披露为$i$类型，且$T2$披露为$j$类型时，$\pi(ij,j)$在概率$\Pr(j|i)$下的期望利润.此时，对称信息模型为：

$$(P^*):\max_{(q_i,t_i),(q_{ij},t_{ij})}\Pi(i)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|i)\Pi(ij))\quad i\in\{H,L\}$$

s.t.

$$(Pi-1)\qquad IR_i\geq 0\qquad i\in\{H,L\}\tag{1}$$

$$(Pj-2)\qquad \pi(ij,j)\geq 0\qquad i,j\in\{H,L\}\tag{2}$$

其中，目标函数是制造商两阶段的期望利润，对称信息下，制造商了解$T1$的类型，因此，类型i下的两阶段期望利润为$T1$的利润$\Pi(i)$与$T2$在不确定类型j下的期望利润$\Pr(j|i)\Pi(ij)$之和，注意，$\Pr(j|i)$表达了两阶段间需求类型的相关性，且其间接影响了双方的期望利润.约束$(Pi-1)$，$(Pj-2)$分别表示在博弈初及单独$T2$的参与约束（Participation）.进一步，求解模型可得定理 1，所有的证明过程请见附录.

定理 1 对称信息下，制造商的最优委托数量为：

$$F(q_H^*-H)=G;\ F(q_{HH}^*-H)=G;$$

$$F(q_{LH}^*-H)=G;\ F(q_{HL}^*-L)=G;$$

$$F(q_L^*-L)=G;\ F(q_{LL}^*-L)=G.$$

通过定理 1 可以发现，对称信息下，1）目标函数仅需满足紧的参与约束，这意味着制造商得到所有剩余且不支付信息租金，而零售商只能获得保留效用 0；2）制造商的最优委托数量仅与当前阶段的零售商类型有关，即：$q_H^*=q_{HH}^*=q_{LH}^*=F^{-1}(G)+H$，$q_{HL}^*=q_L^*=q_{LL}^*=F^{-1}(G)+L$，而不受前一阶段类型的影响，换言之，对于当前阶段同一类型的零售商来说，制造商在$T2$的最优委托数量是$T1$的简单重复；3）由于$H>L$，制造商委托给当前阶段高类型零售商的最优数量$F^{-1}(G)+H$高于低类型零售商的最优数量$F^{-1}(G)+L$，这意味着需求越大，最优委托数量越大.对制造商来说，零售商的类型是其委托数量的信号，此种情况在商业运作中广泛存在，如：永辉超市在选择零售产品提供商的过程中会评估商品的畅销能力，且商品越畅销采购的货物越多[⑨].

由此可见，双方在对称信息下都无信息优势，即双方在$T1$都知道确切类型，在$T2$都不知道确切类型.反之，非对称信息下，一方面，由于零售商在博弈初比制造商更了解需求，制造商需考虑甄别其类型；另一方面，制造商在事前决策，其还要克服因事后存在改进空间对防重新谈判造成的困难，本文将在下一节讨论.

3 非对称信息的（不）完全承诺合约

本节讨论制造商在信息不清晰下甄别零售商类型的可选合约.具体的，制造商在每阶段提

[⑨] https://wenku.baidu.com/view/54fe35f40622192e45361066 1ed9ad51f11d54ed.html

供H或L两种类型的合约，零售商需要选择不同类型的合约来披露需求信息.在多阶段博弈中，除了经常讨论的甄别类型，制造商还要讨论甄别时机，其可以激励零售商在$T1$完全披露和部分披露，而不同的披露方式意味着以不同的节奏获取信息租金，需要注意的是，两种方式中的$T2$（双方合作的最后阶段）类似于静态模型，且未真实披露的高类型零售商不再顾虑而真实汇报其类型.即：本节考虑制造商的承诺能力，且存在三种可能的合约形式，三种合约的具体分析如下.

3.1 完全承诺分离合约

本小节讨论制造商向零售商承诺签订两阶段合约的情况（Commitment），且用上标“C”标志.非对称信息下，制造商在$T1$初制定合约时不知道零售商的类型.因此，零售商有动机谎报类型从而获取最大的期望利润.为避免零售商谎报带来的危害，制造商在$T1$初向零售商提供一个两阶段完全承诺合约$\{(q_i,t_i),(q_{ij},t_{ij})\}$进行甄别，此时，显示原理保证零售商在$T1$真实地报告类型[15,24,26].制造商承诺执行到底的两阶段合约使得优化模型不分阶段，即：

$$(P^C):\ \max_{(q_i,t_i),(q_{ij},t_{ij})} \sum_{i\in\{H,L\}} \Pr(\theta=i)\left(\Pi\,(i)+\delta\sum_{j\in\{H,L\}}\left(\Pr(j|i)\Pi\,(ij)\right)\right)$$

s.t.

$$(ICi-1)\qquad IR_i\geq\pi(\tilde{\imath},i)+\delta\textstyle\sum_{j\in\{H,L\}}\left(\Pr(j|i)\pi(\tilde{\imath}j,j)\right)\qquad i,\tilde{\imath}\in\{H,L\},\tilde{\imath}\neq i \tag{3}$$

$$(ICj-2)\qquad \pi(ij,j)\geq\pi(i\tilde{\jmath},j)\qquad i,j,\tilde{\jmath}\in\{H,L\},\tilde{\jmath}\neq j \tag{4}$$

$$(Pi-1)、(Pj-2)\qquad i,j\in\{H,L\}$$

相对于模型(P^*)，(P^C)的目标函数中制造商连$T1$的类型也不了解，所以$T1$只能基于概率$\Pr(\theta=i)$算期望；同时，(P^C)在参与约束$(Pi-1)$、$(Pj-2)$外，增加了激励相容约束$(ICi-1)$，$(ICj-2)$.

化简$(PL-1)$、$(PL-2)$和$(ICH-1)$、$(ICH-2)$可得：

$$(PL-1')\qquad IR_L=0 \tag{5}$$

$$(PL-2')\qquad \pi(iL,L)=0\qquad i\in\{H,L\} \tag{6}$$

$$(ICH-1')\qquad IR_H=p\int_{q_L-H}^{q_L-L}F(e)de+\delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de \tag{7}$$

$$(ICH-2')\qquad \pi(iH,H)=p\int_{q_{iL}-H}^{q_{iL}-L}F(e)de\qquad i\in\{H,L\} \tag{8}$$

进一步利用IR_i和$\pi(ij,j)$替换目标函数中的转移支付，并结合约束$(PL-1')$、$(PL-2')$、$(ICH-1')$、$(ICH-2')$化简为：

$$\underbrace{\sum_{i\in\{H,L\}}\Pr(\theta=i)\left(\Gamma(i,i)+\delta\sum_{j\in\{H,L\}}\left(\Pr(j|i)\Gamma(ij,j)\right)\right)}_{\text{完全承诺下的配置效率}}$$

$$\underbrace{-\rho\left(p\int_{q_L-H}^{q_L-L}F(e)de+\delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\right)}_{\text{完全承诺下的租金效应}} \quad (9)$$

用A^C表示配置效率，则目标函数转化为：$A^C(q_L,q_{LL})-\rho IR_H(q_L,q_{LL})$. 对事前$q_g$，$g\in\{L,LL\}$，求最优值得到$A^{C\prime}(q_L,q_{LL})=\rho IR_H{}'(q_L,q_{LL})$.可以看出，将$g\in\{L,LL\}$类型零售商的委托数量增加$dq_g$时，制造商的期望收益增加$A^{C\prime}(q_L,q_{LL})dq_g$；但同时，委托数量的微小增量同样增加了租金效应，制造商的期望收益减小$\rho IR_H{}'(q_L,q_{LL})dq_g$. 公式$A^{C\prime}(q_L,q_{LL})=\rho IR_H{}'(q_L,q_{LL})$表达了事前资源配置效率与事前激励间的权衡.进一步，求解可得定理 2.

定理 2 完全承诺分离合约下，制造商的事前最优委托数量为：

$$F(q_H^C-H)=G;\ F(q_{HH}^C-H)=G;$$

$$F(q_{LH}^C-H)=G;\ F(q_{HL}^C-L)=G;$$

$$F(q_L^C-L)=G-\frac{\rho}{1-\rho}\Delta(q_L^C);$$

$$F(q_{LL}^C-L)=G-\frac{\rho}{1-\rho}\frac{2\alpha-1}{\alpha}\Delta(q_{LL}^C).$$

对比定理 2 与定理 1 发现，凡在两阶段披露过H类型（H，HH，HL，LH）的零售商，制造商事前委托给其的最优数量等于对称信息下的最优委托数量；而对于$T1$的低类型(L)和两阶段都为低类型(LL)零售商来说，$q_L^C<q_L^*,q_{LL}^C<q_{LL}^*$.即在完全承诺下，只要零售商表现了高类型，制造商委托给其的最优数量是当前类型的社会最优水平；否则，向下扭曲.进一步地，当e服从均匀分布时，由于零售商类型两阶段相关性较大（$\alpha\in(1/2,1]$），可知$q_L^C\le q_{LL}^C$，这意味着制造商事前委托给低类型零售商（L和LL）的最优数量向下扭曲，但随着时间的推移，扭曲量逐渐减小并趋于社会最优水平，原因在于$T2$初双方都不了解新的需求类型，因此制造商较$T1$会减弱向下扭曲的程度.此外，当零售商类型在两阶段变化（中间值$\alpha\in(1/2,1)$）时，$q_L^C\ne q_{LL}^C$，制造商事前委托给低类型零售商（L和LL）的最优数量存在时间不一致问题；而当零售商类型两阶段不变（端点值$\alpha=1$）时，$q_L^C=q_{LL}^C$，此时$T2$是$T1$的简单重复，这在经典文献已有类似的结论[26]，原因在于非对称信息下当双方签订完全承诺合约时，制造商不能使用零售商$T1$披露的私有信息，同时零售商的类型又两阶段保持不变，制造商的两阶段决策环境完全相同，即：$T2$中制造商了解的高与低类型零售商比例仍为ρ：$1-\rho$且无任何更新.因此，$\alpha\in(1/2,1]$涵盖了以往两（多）阶段非对称信息下经典文献研究的情形，且此种情形是本文的特例.

3.2 不完全承诺分离合约

本小节探析不完全承诺下的分离（Separating）合约，且用上标“S”标志.此时，不同类型的零售商在$T1$选择与其类型相符的合约类型，实现完全分离，因此，制造商在$T2$初获得零售商前阶段的准确类型信息，进一步，两阶段类型正相关使得制造商在$T2$初因决策更为主动从而更新合约(q_{ij},t_{ij}).

如图 3 所示，高类型零售商在$T1$真实汇报类型，由定理 2 可知，制造商在$T2$委托给其的最

优数量是随机变化后对应类型的社会最优水平.因此，$T1$的低类型零售商是$T2$的关注点且由于$T2$零售商类型随机变化，H/L类型的比例由原来的$\rho:1-\rho$变为$1-\alpha:\alpha$.

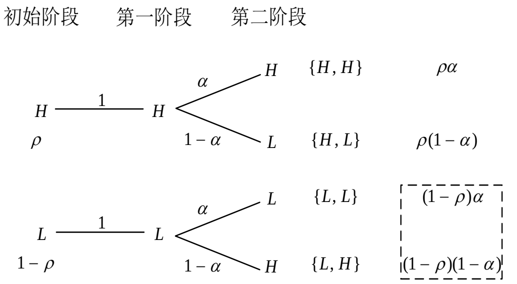

图 3 不完全承诺分离合约下零售商类型的转换

Fig. 3 The separation of retailer types under separate contract with commitment and renegotiation

基于上述分析，不完全承诺下主要目标是重新制订$T2$合约，由逆向归纳法，制造商$T2$的目标函数为:

$$(P^S):\ \max_{q_{LH},q_{LL}} \sum_{j\in\{H,L\}} (\Pr(j|L)\Pi(Lj))$$

s.t.

$$(PL-2'')\qquad \pi(LL,L)\geq 0 \qquad (10)$$

$$(ICH-2'')\qquad \pi(LH,H)\geq p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L} F(e)de \qquad (11)$$

$$(AIC)\qquad \pi(LH,H)\geq \pi^C(LH,H) \qquad (12)$$

其中，与模型(P^*)，(P^C)不同的是，(P^S)只考虑$T1$披露为L的零售商，在后验概率$\Pr(j|L)$中求期望即可，即$\Pr(H|L)=1-\alpha$，$\Pr(L|L)=\alpha$；除了$T2$中的约束$(PL-2'')$和$(ICH-2'')$，还需要满足配置改进约束(AIC)，让不完全承诺下给予LH类型零售商的信息租金不少于完全承诺分离合约规定的信息租金，以实现配置改进.进一步，求解可得定理 3.

定理 3 不完全承诺分离合约下，制造商的最优委托数量如下：

$$F(q_H^S-H)=G；\ F(q_{HH}^S-H)=G；$$

$$F(q_{LH}^S-H)=G；\ F(q_{HL}^S-L)=G；$$

$$F(q_L^S-L)=G-\frac{\rho}{1-\rho}\Delta(q_L^S)；$$

$$F(q_{LL}^S-L)=G-\frac{1-\alpha}{\alpha}\Delta(q_{LL}^S).$$

对比定理 3 与定理 2 发现，不完全承诺分离合约$F(q_{LL}^S-L)$中无参数ρ，这是因为(P^S)模型中关注的是$T1$结束后剩余的低类型零售商且H/L为$1-\alpha:\alpha$.此外，不完全承诺分离合约中当关联程度$\alpha=1$时，委托给LL类型零售商的最优数量达到对称信息下的社会最优水平，即：$q_{LL}^S=q_{LL}^*$.原因是当零售商类型两阶段无变化时，分离合约中高和低类型零售商于$T1$结束后分离，制造商于$T2$使用更新信息改进配置时面对的都是低类型零售商，无任何不确定性，即直接对已披露出来的L类型委托最优数量即可.

3.3 不完全承诺混同合约

本小节探析不完全承诺下的混同（Pooling）合约，且用上标“P”标志.此时$T1$的H类型零售商以比例x（即：制造商激励零售商披露类型的节奏）分离出来，而$1-x$比例的H类型将混同在L类型中进入$T2$的博弈.因此，虽然不完全承诺下的混同合约形式与上一小节分离合约一样，将利用更新的信息修改$T2$合约(q_{ij},t_{ij})，但是由于$T1$分离的强度不同，合约参数也不同.如图 4 所示，给定$T1$零售商类型为L，设υ为$T2$初H类型零售商的后验概率，则$\upsilon=\frac{\rho(1-x)\alpha+(1-\rho)(1-\alpha)}{1-\rho x}$.

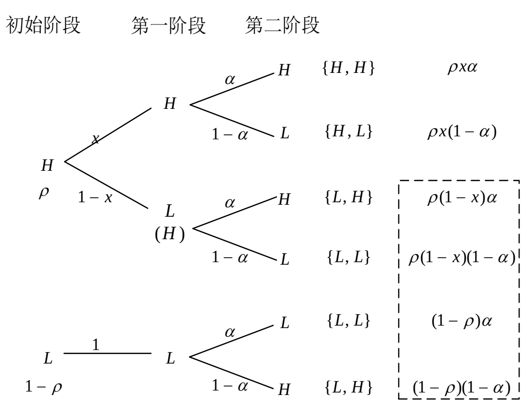

图 4 不完全承诺混同合约下零售商类型的转换

Fig. 4 The separation of retailer types under pooling contract with commitment and renegotiation

虽然形式上类似于模型(P^S)，但此时制造商已将高类型零售商的概率更新为υ.由逆向归纳法，$T2$模型为：

$$(P^P):\max_{q_{LH},q_{LL}}\sum_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Pi(Lj))$$

s.t.

$$(PL-2'')\qquad \pi(LL,L)\geq 0 \qquad (10)$$

$$(ICH-2'')\qquad \pi(LH,H)\geq p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de \qquad (11)$$

$$(AIC)\qquad \pi(LH,H)\geq \pi^C(LH,H) \qquad (12)$$

由前所述，$\Pr(H|L)=\upsilon$，$\Pr(L|L)=1-\upsilon$.在求解得到$q_{Lj}^P, j\in\{H,L\}$的基础上，倒推到$T1$时，制造商考虑的两阶段总模型为：

$$
\begin{aligned}
(P^{P1}):\max_{q_L,q_H,q_{HH},q_{HL}}\Big\{&\rho x\Big(\Pi(H)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|H)\Pi(Hj))\Big)\\
&+\rho(1-x)\Big(\Pi(L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|H)\Pi(Lj))\Big)\\
&+(1-\rho)\Big(\Pi(L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Pi(Lj))\Big)\Big\}
\end{aligned}
$$

s.t.

$$(Pi-1)、(Pj-2)、(ICi-1)、(ICj-2)$$

不同于模型(P^S)的目标函数，此时在$T1$分为高类型零售商真实报告类型的比例ρx，高类型零售商谎报为低类型的比例$\rho(1-x)$，低类型零售商的报告比例$1-\rho$三部分；基于此，$T2$分为类型不变化与变化两部分.进一步利用IR_i，$\pi(ij,j)$进行替换并结合$(PL-1')$、$(PL-2')$、$(ICH-1')$、$(ICH-2')$，目标函数转化为：

$$
\begin{aligned}
&\underbrace{\begin{aligned}&\rho x\Big(\Gamma(H,H)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|H)\Gamma(Hj,j))\Big)\\
&+\rho(1-x)\Big(\Gamma(L,L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|H)\Gamma(Lj,j))\Big)\\
&+(1-\rho)\Big(\Gamma(L,L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Gamma(Lj,j))\Big)\end{aligned}}_{\text{不完全承诺下的配置效率}}\\
&-\rho\underbrace{\left(p\int_{q_L-H}^{q_L-L}F(e)de+\delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\right)}_{\text{不完全承诺下的租金效应}}
\end{aligned}
$$

$$x\in[0,1] \qquad (13)$$

鉴于 $x\in[0,1]$概括了不完全承诺下的两种合约，用A^{PS}表示此承诺能力下的配置效率，目标函数转化为：$A^{PS}(q_L,q_{LL})-\rho IR_H(q_L,q_{LL})$.类似于完全承诺，公式$A^{PS\prime}(q_L,q_{LL})=\rho IR_H{}'(q_L,q_{LL})$表达了事后资源配置效率与事前激励间的权衡.但是不完全承诺放松了完全承诺下不能事后改进初始合约的强制要求，可通过事后重新谈判改进合约存在的无效性，其提高的事后资源配置效率增加了事前激励的难度.进一步求解得到定理 4.

定理 4 不完全承诺混同合约下，制造商的最优委托数量如下：

$$F(q_H^P-H)=G;\ \ F(q_{HH}^P-H)=G;$$

$$F(q_{HL}^P-L)=G;\ \ F(q_{LH}^P-H)=G;$$

$$F(q_L^P-L)=G-\frac{\rho x}{1-\rho x}\Delta(q_L^P);$$

$$F(q_{LL}^P-L)=G-\frac{\upsilon}{1-\upsilon}\Delta(q_{LL}^P),$$

$$\text{其中 }\upsilon=\frac{\rho(1-x)\alpha+(1-\rho)(1-\alpha)}{1-\rho x}.$$

对比定理 4 与定理 3 可见，相比 $F(q_{LL}^S-L)$，$F(q_{LL}^P-L)$因包含υ而多了x，这是由混同中$1-x$比例的高类型零售商在$T1$伪装成低类型零售商造成的.混同情况下，x的降低直接增加了零售商

在历史"L"后是高类型的可能性，因为更多在$T1$是高类型的零售商选择了此项，在类型随时间推移相互关联时又增加了$T2$高类型零售商的比例，从而后验概率$\upsilon/(1-\upsilon)$的增加导致了较小的最优委托数量q_{LL}^{P}，这对降低制造商付出的信息租金是有利的.当$x=1$时，$q_{LL}^{P}=q_{LL}^{S}$，此时，委托给LL类型零售商的最优数量为不完全承诺分离合约中的数量，即不完全承诺分离合约为混同合约在$x=1$时的特例.

4 三种合约的最优防重新谈判分析

上一节分别讨论了（不）完全承诺两种情况下的三种合约，本节进一步讨论它们防重新谈判的性质.

不完全承诺下的两种合约在$T2$利用前期披露的信息，改进合约从而克服了这一困扰，即：不完全承诺合约是防重新谈判的，称为RP合约.

相反，完全承诺分离合约是一种极端状况[26]，双方在$T1$初签订一份两阶段合约并一直执行，但是$T1$结束后，更新的信息使得此合约存在帕累托改进的可能性，因此合约有可能不防重新谈判.

为此，本节首先分析完全承诺分离合约是RP合约的条件；然后探索制造商期望利润最大的RP合约，即：最优RP合约；最后对最优RP合约进行分析.考虑到不确定需求结构计算的复杂性，下文以$e\sim U(0,1)$为前提进行分析.

4.1 防重新谈判合约的识别

本小节分析完全承诺分离合约在什么情况下是RP合约.完全承诺下，$T1$制定两阶段合约，其合约规定的委托数量在事后往往是无效的，因此双方往往具有重新谈判的动机.为使完全承诺分离合约在制定伊始就是RP合约，需要满足约束$(\widetilde{AIC})$：

$$(\widetilde{AIC}) \qquad \pi^{S}(LH,H)\le\pi^{C}(LH,H) \qquad (14)$$

其中，约束$(\widetilde{AIC})$表示完全承诺分离合约下的信息租金$\pi^{C}(LH,H)$不小于不完全承诺分离合约下的信息租金$\pi^{S}(LH,H)$，即原合约（完全承诺分离合约）下的信息租金不少于利用更新信息改进合约后的信息租金，从而保证完全承诺分离合约是防重新谈判的.化简后可得当零售商类型两阶段相关性$\alpha\le\alpha_1$，$\alpha_1=1/(1+\rho)$时，完全承诺分离合约是RP合约.

由此可知，当相关性α（$\alpha\le\alpha_1$）较低，即零售商类型在$T2$变化较大时，$T1$披露的信息价值有限，因此双方无重新谈判的动机，完全承诺分离合约是防重新谈判的.随着α增大，$q_{LL}^{C}<q_{LL}^{S}$成立，这是因为增大α后$T1$揭示的零售商类型信息使$T2$的判断更确切，通常也意味着完全承诺下事前委托数量不再有效，双方事后具有改进合约的动机.极端情况下，当零售商类型固定不变，即$\alpha=1$时，由于在$T1$完全披露了信息，双方$T2$信息完全对称，在此信息结构下制定的新的委托数量一定大于在$T1$初信息状态下的数量，此时完全承诺分离合约一定不防重新谈判.

综上所述，α较小，即：$\alpha\in(1/2,\alpha_1]$时，三种合约都是RP合约；α较大，即：$\alpha\in(\alpha_1,1]$时，仅有不完全承诺下的两种合约是RP合约.下节讨论不同区间下这些合约中的最优RP合约.

4.2 最优防重新谈判合约

基于上一小节提到的两个区间的候选RP合约，本小节分两步对比合约间制造商的期望利润并得到最优RP合约.为了便于表示，下文分别用Π^{C}、Π^{S}、Π^{P}表示完全承诺分离、不完全承诺分离、不完全承诺混同三种合约下制造商两阶段总的期望利润.首先在$\alpha\in(1/2,\alpha_1]$区间内对比Π^{C}

和Π^S.如图 5 所示，虚线与实线间灰色阴影高度表示的期望利润之差$\Pi^C-\Pi^S$随着α增加而逐渐降低，且在$\alpha=\alpha_1$时为 0，因此，$\Pi^C \geq \Pi^S$.

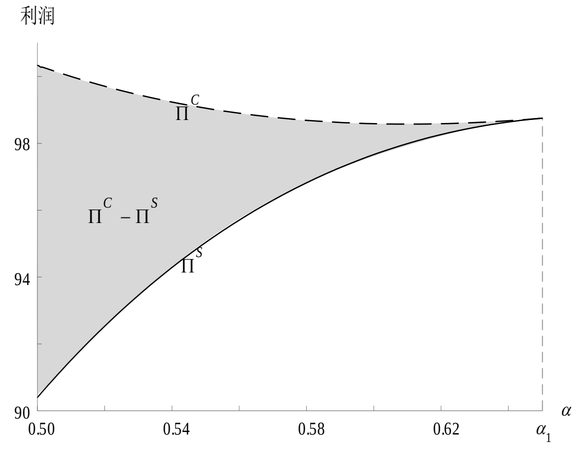

图 5 Π^C和Π^S的对比（$\rho=0.5381, H=0.99, L=0.01, p=20, c=1, \delta=4.3$）

Fig. 5 A comparison of Π^C and Π^S ($\rho=0.5381, H=0.99, L=0.01, p=20, c=1, \delta=4.3$)

进一步在$\alpha\in(1/2,1]$区间内对比不完全承诺下的Π^S和Π^P.由附录 B 可知，当且仅当$1/2<\alpha\leq\alpha_2$时，$\Pi^S>\Pi^P$，其中，$\alpha_2>\alpha_1$.

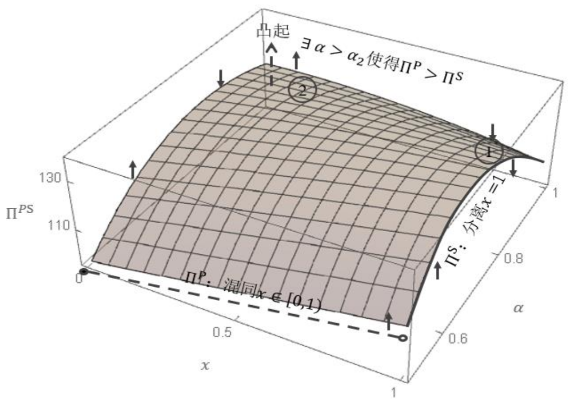

图 6 （a） δ足够大的情况（$\rho=0.28, H=0.98, L=0.01, p=13.14, c=4, \delta=20$）

Fig. 6 （a） For great value of δ ($\rho=0.28$, $H=0.98, L=0.01, p=13.14, c=4, \delta=20$)

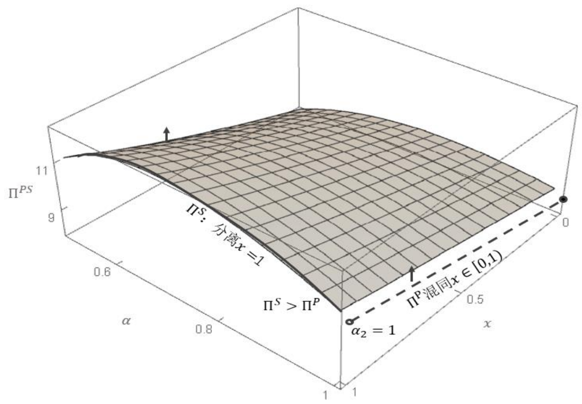

图 6 （b） δ足够小的情况（$\rho=0.28$, $H=0.98, L=0.01, p=13.14, c=4, \delta=1.01$）

Fig. 6 （b） For small value of δ ($\rho=0.28$, $H=0.98, L=0.01, p=13.14, c=4, \delta=1.01$)

为了形象地说明问题，图 6 绘制了不同贴现因子下两种不完全承诺合约关于x和α的图像.其中，虚线范围$x\in[0,1)$内的图像高度表示不完全承诺混同合约下制造商两阶段总的期望利润Π^P；实线$x=1$上的图像高度表示不完全承诺分离合约下制造商两阶段总的期望利润Π^S；箭头表示线条的变化.需要注意的是，不完全承诺分离合约是混同合约在$x=1$时的特例，因此，不完全承诺两种合约下制造商两阶段总的期望利润可以用 Π^{PS}（$x\in[0,1]$）来概括，且x的范围表示了合约状态.具体地，当$x\in[0,1)$时，为不完全承诺混同合约下制造商两阶段总的期望利润；当$x=1$时，为不完全承诺分离合约下制造商两阶段总的期望利润，即：

$$\underbrace{\Pi^{PS}|_{x\in[0,1)}}_{\Pi^P:\text{虚线所指面}}\text{和}\underbrace{\Pi^{PS}|_{x=1}}_{\Pi^S:\text{实线所指线}}.$$

如图 6（a）所示，当$\alpha\to1/2$时，Π^{PS}随着x增加而增加且在$x=1$（x的最大值）处取得最优值，即：最优RP合约是分离合约.当$\alpha>\alpha_2$时，Π^{PS}随着x的增加先增加后递减且在$x=1$上随着α递减，即：图中圆圈 1 区域呈“塌陷”状态，低于圆圈 2 区域的高度，其无法在$x=1$处取得最优值，最优RP合约是混同合约.进一步，分析发现

只有δ足够大时，混同合约才可能是最优RP合约. 而δ足够小时，如图 6（b）所示，对任意的$\alpha \in (1/2,1]$来说，Π^{PS}随着x增加而单调递增，此时，$\alpha_2 = 1$，即：$\alpha \in (1/2,1]$区间内不存在$\Pi^P > \Pi^S$. 综上所述，得到定理 5.

定理 5 当零售商类型两阶段相关性α：

$\alpha \le \alpha_1$时，完全承诺分离合约是最优RP合约且由定理 2 给出；

$\alpha_1 < \alpha \le \alpha_2$时，不完全承诺分离合约是最优$RP$合约且由定理 3 给出；

$\alpha_2 < \alpha \le 1$时，不完全承诺混同合约是最优RP合约且由定理 4 给出.

根据定理 5，以高与低类型零售商的先验概率之比$\rho/(1-\rho)$为横轴，以α为纵轴做出如图 7 所示的最优RP合约.当$\alpha \in (1/2, \alpha_1]$时，三种合约都能防止重新谈判，对比三者间的制造商期望利润可知$\max\{\Pi^C, \Pi^S, \Pi^P\} = \Pi^C$，即：完全承诺分离合约是最优$RP$合约；当$\alpha \in (\alpha_1, 1]$时，完全承诺分离合约不再满足约束$(\widehat{AIC})$，因此，只有不完全承诺的两种合约可以防止重新谈判，对比两者间的制造商期望利润可知：当$\alpha \in (\alpha_1, \alpha_2]$时，$\max\{\Pi^S, \Pi^P\} = \Pi^S$，不完全承诺分离合约是最优$RP$合约；当$\alpha \in (\alpha_2, 1]$时，$\max\{\Pi^S, \Pi^P\} = \Pi^P$，不完全承诺混同合约是最优$RP$合约.

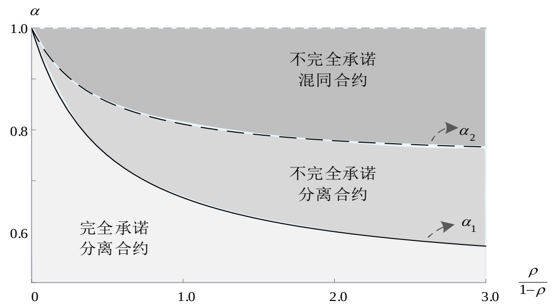

图 7 最优RP合约($H = 0.95, L = 0.2, p = 17.74, \delta = 65$)

Fig. 7 Optimal RP contract（$H = 0.95, L = 0.2, p = 17.74, \delta = 65$)

在两阶段合作中，制造商倾向于利用更新信息来改善扭曲的最优委托数量，但是只有在零售商类型两阶段相关性较大$\alpha_1 < \alpha \le 1$时，这种更新才有价值（不完全承诺占优）.否则当零售商类型在两阶段变化明显$1/2 < \alpha \le \alpha_1$时，利用更新后的信息制定合约会产生与当期信息不符的资源配置，反而不利于激励机制效率提升.此定理为处于信息劣势的制造商们提供了指导，在零售商拥有在两阶段变化的私有信息情况下，制造商们可以通过两阶段的关联性判定哪一种RP合约最优来实现长期稳定的合作.

4.3 最优防重新谈判合约的分析

本小节分析最优RP合约下制造商委托给低类型零售商的最优数量、零售商的两阶段信息租金及供应链的利润.

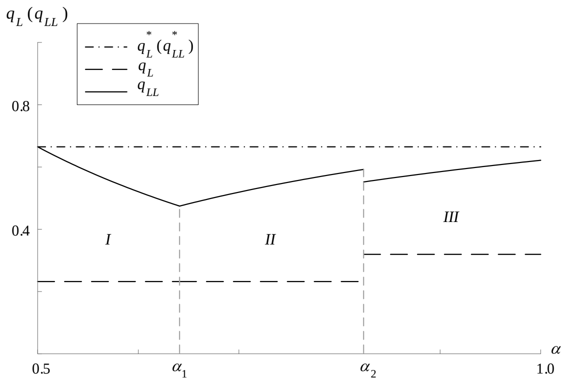

图 8 最优RP合约下制造商委托给低类型零售商的最优数量

($\rho = 0.56, x = 0.9, H = 0.68, L = 0.34, p = 11.79, c = 7.96$)

Fig. 8 The low-type retailer's optimal quantity under the optimal RP contract

($\rho = 0.56, x = 0.9, H = 0.68, L = 0.34, p = 11.79, c = 7.96$)

图8中分析了最优RP合约于$T1$和$T2$委托给低类型零售商的最优数量.为了叙述方便，区域I、II和III分别表示$\alpha \in (1/2, \alpha_1]$、$\alpha \in (\alpha_1, \alpha_2]$和$\alpha \in (\alpha_2, 1]$，且最优$RP$合约分别为完全承诺分离

合约、不完全承诺分离合约、不完全承诺混同合约，其中，实线为最优RP合约中制造商于$T2$委托给LL类型零售商的最优数量q_{LL}，虚线为最优RP合约中制造商于$T1$委托给L类型零售商的最优数量q_L，此外，点划线为对称信息基准合约中制造商于$T1$（$T2$）委托给L（LL）类型零售商的最优数量q_L^*（q_{LL}^*）.可以发现：1）不同区间内的三种最优RP合约中委托给低类型零售商的最优数量均发生扭曲，即：都与对称信息下的最优值有一定距离；2）制造商委托给低类型零售商的最优数量于α_2断开，此时，制造商面临着新权衡，一方面，混同直接减少了$T2$委托给低类型零售商（LL）的最优数量；但另一方面，却间接提升了$T1$委托给低类型零售商（L）的最优数量.因此，制造商的策略取决于直接和间接效应的叠加效应.

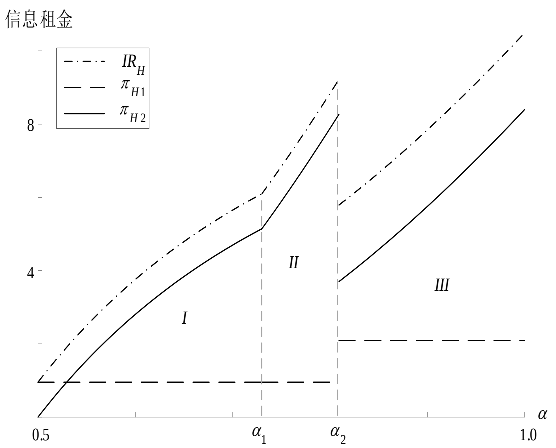

图 9 最优RP合约下零售商的两阶段信息租金

$(\boldsymbol{\rho = 0.37, x = 0.08, H = 0.92, L = 0.51, p = 12.14, c = 4.4, \delta = 8})$

Fig. 9 The retailer's overall information rent under the optimal RP contract

$(\boldsymbol{\rho = 0.37, x = 0.08, H = 0.92, L = 0.51, p = 12.14, c = 4.4, \delta = 8})$

图 9 分析了最优RP合约下零售商的两阶段信息租金IR_H.为了方便叙述，令$IR_H = \pi_{H1} + \pi_{H2}$.其中，虚线表示$\pi_{H1} = p\int_{q_L-H}^{q_L-L} F(e)de$，实线表示$\pi_{H2} = \delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L} F(e)de$，点划线表示$IR_H$.可以看出：1）零售商类型在两阶段的相关性反映在$T2$模型设置里，与$\pi_{H1}$无关，因此，$\pi_{H1}$在$I$、$II$、$III$中是常数，$IR_H$的变化取决于$\pi_{H2}$；2）$IR_H$在$I$、$II$中随着$\alpha$的增加一直增加，却在$II$和$III$交界点处降低，在$II$中，分离高类型零售商产生的高额信息租金催生了制造商减少此支出的动机，因此，III中不再将高类型零售商都甄别出来，而是放任一部分高类型零售商去模仿低类型零售商，从而直接降低了π_{H2}，但也间接增加了π_{H1}，制造商通过权衡两者进行决策，从而印证了图 8 区域III中提到的权衡，这表明制造商设计多阶段合约时要具备整体性思维.

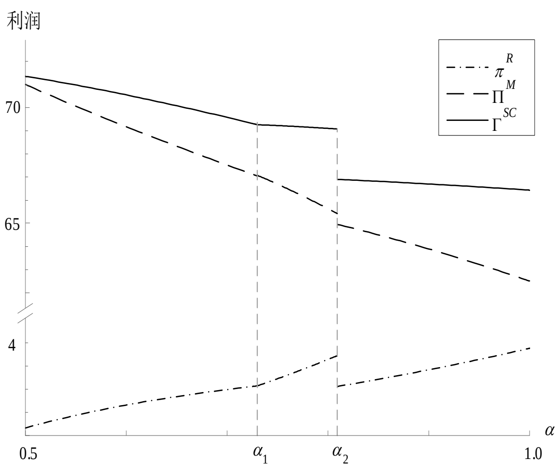

图 10 最优RP合约下供应链的利润

$(\boldsymbol{\rho = 0.37, x = 0.08, H = 0.92, L = 0.51, p = 12.14, c = 4.4, \delta = 8})$

Fig. 10 The supply chain's profit under the optimal RP contract

$(\boldsymbol{\rho = 0.37, x = 0.08, H = 0.92, L = 0.51, p = 12.14, c = 4.4, \delta = 8})$

图 10 分析了最优RP合约下供应链的利润.为了表述简洁，分别用Γ^{SC}、Π^M、π^R表示最优RP合约下供应链、制造商、零售商的两阶段总利润，且$\Gamma^{SC} = \Pi^M + \pi^R$.其中，点划线、虚线和实线分别表示$\pi^R$、$\Pi^M$和$\Gamma^{SC}$.可见：1）制造商利润呈下降趋势.零售商利润作为制造商支出的一部分，

其整体上升的趋势降低了制造商利润，此外，以完全承诺分离合约为例，化简后的利润为：

$$\Pi^C=\underbrace{\sum_{i\in\{H,L\}}\Pr(\theta=i)\left(\Gamma(i,i)+\delta\sum_{j\in\{H,L\}}\left(\Pr(j|i)\Gamma(ij,j)\right)\right)}_{\text{配置效率}}-$$

$$\underbrace{\rho\left(p\int_{q_L-H}^{q_L-L}F(e)de+\delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\right)}_{\text{租金效应}}. \tag{15}$$

将Π^C看成两部分，一部分是由高类型零售商（概率为ρ）获得的两阶段信息租金；除此之外，将从交易中所得的总剩余定义为配置效率.可以看出“租金效应”和“配置效率”共同影响着制造商利润，且两者在每一阶段均随着配置的增大而增大.然而前者对总利润不利而后者有利意味着配置的制定对制造商来说具有两难境地.此外，贴现因子在总利润中也起到了重要作用；2）供应链利润也呈下降趋势，但幅度较制造商缓和，这是由加入整体呈增长趋势的零售商利润后弥补差距所致；3）Γ^{SC}、Π^M、π^R均在α_2处断开.结合图 8 和 9 的解释可知，其本质原因在于三者均与制造商$T1$（$T2$）委托给$L(LL)$类型零售商的最优数量有关，而q_L和q_{LL}在α_2断开的状态直接导致了此结果.

5 结论

合约的防重新谈判性质在复杂的环境中对维系稳固的长期合作关系具有重要作用.因此，在需求不确定及非对称信息的现实环境中，考虑零售商拥有私有需求信息且类型两阶段随机变化，本文研究了制造商在两阶段合作中如何甄别零售商类型并决策最优RP合约以促进双方长期合作关系稳定发展.主要结论与管理启示为：

1）最优RP合约与零售商类型两阶段相关性密切相关.在长期合作中，事前决策的环境难以预测，双方也可能因事后信息更新发现合约存在改进的空间.基于此原因，制造商和零售商在事后可能会同意重新谈判这些无效性.因此，探索在任何历史都无法得到帕累托改进，无法提供此类重新谈判机会的合约对于维护双方关系的稳定具有重要意义.本结论为制造商在复杂环境中的决策提供了理论指导.具体地，其可从多种渠道关注零售商私有信息两阶段变化的关联性来判定哪一种RP合约最优，从而实现期望利润最大化的同时并促进双方长期关系的稳定.

2）完全承诺分离合约下，配置存在无效性，且制造商$T1$后了解了私有信息.直觉上，双方具有利用更新信息改进初始合约的诉求.但研究发现相关性较小$\alpha\in(1/2,1]$时，完全承诺分离合约并未随着信息的不断更新在事后处于劣势地位.换言之，当零售商的私有信息类型在两阶段变化较大时，虽然制造商通过$T1$分离高和低类型零售商获得了更准确的信息，但是并不会以此信息为依据制定$T2$合约，此时，双方采用事前规定不能修改的两阶段合约即可维持稳定的合作关系，即：完全承诺分离合约是最优RP合约.企业运作中，规定期内维持不变的合约往往不具有防重新谈判的性质而具有重新谈判的动机[30]，如：当需求存在较大不确定时的固定数量合约，但多阶段合作中，若合约签订前后私有信息变化较大，更新的信息对后期合约制定的指导价值不大时，双方会坚持初始合约而不改变.

3）当使用更新的信息改进合约时，制造商可以选择不完全承诺分离或混同合约，不同的是在$T1$分离还是混同零售商类型，而这与信息租

金相关.作为信息劣势方的制造商，获取更清晰的信息可以指导合约的设计，但这也会付出一定的费用.对制造商来说，在$T1$，其需要在分离零售商类型获取准确信息还是混同零售商类型获得粗略信息间进行权衡；对零售商来说，虽然其只能被动地接受或拒绝合约，但是比制造商掌握更加精准的信息却可以影响制造商制定的最优RP合约，因此，其可以主动搜集信息，通过创造信息优势来获取更多利润；对供应链来说，其整体利润与制造商和零售商利润相关，因此，其在运作过程中需具备系统性思想.

此外，本文仅考虑了零售商具有私有信息的情况，但在供应链实践中，制造商也有私有信息，如：成本信息[29,31]、风险信息[32,7]、产品质量信息[33]，更为普遍的是，双方不仅掌握一种非对称信息，还可能掌握多种非对称信息[18,34]，制造商是信息优势方及多维非对称信息是未来探索的方向；此外，本文探索的是两阶段非对称信息模型，将其扩展到多阶段并研究各个阶段信息披露的节奏将是非常有趣的.

参考文献：

[1] Wang W, Zhang Y, Zhang W S, et al. Incentive mechanisms in a green supply chain under demand uncertainty[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 279: 123636 -123649.

[2] 陈金晓, 陈 剑. 考虑断链风险的供应链绩效测度与Nash谈判[J]. 管理科学学报, 2023, 26(1): 1 -18.
Chen Jinxiao, Chen Jian. Supply chain performance measurement and Nash bargaining considering the risk of chain break[J]. Journal of Management Sciences in China, 2023, 26(1): 1 -18.（in Chinese）

[3] Emmelhainz M A, Stock J R, Emmelhainz L W. Consumer responses to retail stock-outs[J]. Journal of Retailing, 1991, 67(2): 138 -147.

[4] 禹海波, 李 欣, 李 健, 等. 基于信息收集的降低需求可变性两级供应链博弈研究[J]. 管理工程学报, 2021, 35(3): 229 -240.
Yu Haibo, Li Xin, Li Jian, et al. Research on two-level supply chain game for reducing demand variability based on information gathering[J]. Journal of Industrial Engineering / Engineering Management, 2021, 35(3): 229 -240.（in Chinese）

[5] Fu K, Wang C, Xu J Y. The impact of trade credit on information sharing in a supply chain[J]. Omega, 2022, 110: 102633.

[6] 刘 浪, 汪 惠, 黄冬宏. 生产成本信息不对称下零售商风险厌恶的回购契约[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(1): 113 -123.
Liu Lang, Wang Hui, Huang Donghong. Buy-back contracts of retailer risk aversion under asymmetric information of production cost[J]. System Engineering-Theory & Practice, 2021, 41(1): 113 -123.（in Chinese）

[7] 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）

[8] Hu B, Duenyas I, Beil D R. Does pooling purchases lead to higher profits?[J]. Management Science, 2013, 59(7): 1576 -1593.

[9] Zhou J H, Luo Y. Bayes information updating and multiperiod supply chain screening[J]. International Journal of Production Economics, 2023, 256: 108750.

[10] 周　慧，许长新．新规制经济学理论的发展[J]．经济评论, 2006, (2): 152 -158.
Zhou Hui, Xu Changxin. The development of new regulatory economics theory[J]. Economic Review, 2006, (2): 152 -158.（in Chinese）
[11] Begen M A, Pun H, Yan X H. Supply and demand uncertainty reduction efforts and cost comparison[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 180: 125 -134.
[12] 吴秀霞．船企钢企如何"相爱不相杀"[N]．中国船舶报, 2021 -4 -9 (5).
Wu Xiuxia. How do shipbuilding and steel companies build "love-love relationship"[N]. China Ship News, 2021 -4 -9 (5).（in Chinese）
[13] Battaglini M. Optimality and renegotiation in dynamic contracting[J]. Games and Economic Behavior, 2007, 60: 213 -246.
[14] Elmaghraby W, Gülcü A, Keskinocak P. Designing optimal pre-announced markdowns in the presence of rational customers with multi-unit demands[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2008, 10(1): 126 -148.
[15] Laffont J J, Tirole J. Adverse selection and renegotiation in procurement[J]. Review of Economic Studies, 1990, 57: 597 -625.
[16] Plambeck E L, Taylor T A. Implications of renegotiation for optimal contract flexibility and investment[J]. Management Science, 2007, 53(12): 1872 -1886.
[17] Zhou J H, Zhao R J, Wang W S. Pricing decision of a manufacturer in a dual-channel supply chain with asymmetric information[J]. European Journal of Operational Research, 2019, 278: 809 -820.
[18] Wang J, Liu Z B, Zhao R Q. On the interaction between asymmetric demand signal and forecast accuracy information[J]. European Journal of Operational Research, 2019, 277: 857 -874.
[19] 刘　露，李勇建．市场需求信息不对称下的保兑仓融资风险控制策略[J]．运筹与管理, 2019, 28(6): 136 -143.
Liu Lu, Li Yongjian. Risk control strategy of confirmed warehouse financing with asymmetrical demand information[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(6): 136 -143.（in Chinese）
[20] 王志宏，温晓娟．非对称信息下供应链两阶段商业信用契约设计[J]．计算机集成制造系统, 2017, 23(6): 1359 -1368.
Wang Zhihong, Wen Xiaojuan. Two-stage trade credit contract in supply chain under asymmetric information[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(6): 1359 -1368.（in Chinese）
[21] Mobini Z, Heuvel W V D, Wagelmans A. Designing multi-period supply contracts in a two-echelon supply chain with asymmetric information[J]. European Journal of Operational Research, 2019, 277: 542 -560.
[22] Ni J, Zhao J, Chu L K. Supply contracting and process innovation in a dynamic supply chain with information asymmetry[J]. European Journal of Operational Research, 2021, 288: 552 -562.
[23] Baron D P, Besanko D. Regulation and information in a continuing relationship[J]. Information Economics and Policy, 1984, 1(3): 267 -302.
[24] Hart O D, Tirole J. Contract renegotiation and coasian dynamics[J]. The Review of Economic Studies, 1988, 55(4): 509 -540.
[25] Battaglini M. Long-term contracting with Markovian consumers[J]. American Economic Review, 2005, 95: 637 -658.
[26] 让-雅克・拉丰，大卫・马赫蒂摩．激励理论:委托-代理模型[M]．北京：中国人民大学出版社, 2002.
Laffont J J, Martimort D. The theory of incentives: The principal-agent model[M]. Beijing: China

Renmin University Press, 2002.（in Chinese）
[27] Davis A M, Hu B, Hyndman K, et al. Procurement for assembly under asymmetric information: Theory and evidence[J]. Management Science, 2022, 68(4): 2694 -2713.
[28] Li M L, Zhang X M, Dan B. Cooperative advertising contract design in a supply chain with an offline showroom under asymmetric information[J]. Journal of the Operational Research Society, 2022, 73(2): 261 -272.
[29] Loeffler C, Pfeiffer T, Schneider G. Controlling for supplier switching in the presence of real options and asymmetric information[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 223: 690 -700.
[30] 彭鸿广，骆建文. 不对称信息下供应链成本分担激励契约设计[J]. 系统管理学报, 2015, 24(2): 267 -274.
Peng Hongguang, Luo Jianwen. Cost sharing incentive contract in supply chain with asymmetric information[J]. Journal of Systems & Management, 2015, 24(2): 267 -274.（in Chinese）
[31] Fang X, Ru J, Wang Y Z. Optimal procurement design of an assembly supply chain with information asymmetry[J]. Production and Operations Management, 2014, 23(12): 2075 -2088.
[32] Yang Z B, Aydin G, Babich V, et al. Using a dual-sourcing option in the presence of asymmetric information about supplier reliability: Competition vs. diversification[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2012, 14(2): 202 -217.
[33] 李余辉，倪得兵，唐小我. 双渠道条件下基于CSR的产品质量信号传递博弈模型[J]. 管理科学学报, 2022, 25(3): 88-106.
Li Yuhui, Ni Debing, Tang Xiaowo. Signaling product quality via corporate social responsibility in dual-channel supply chains[J]. Journal of Management Sciences in China, 2022, 25(3): 88 -106.（in Chinese）
[34] Huang S, Yang J. Information acquisition and transparency in a supply chain with asymmetric production cost information[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 182: 449 -464.
[35] Heese H S, Kemahlioglu-Ziya E. Enabling opportunism: Revenue sharing when sales revenues are unobservable[J]. Production and Operations Management, 2014, 23(9): 1634 -1645.

Optimal renegotiation proof contract with demand information updating in supply chain

ZHOU Jian-heng[1], *LUO Yao*[1, 2*], *LI Shao-kun*[3], *LIU Lu*[4]

1. Glorious Sun School of Business & Management, Donghua University, Shanghai 200051, China;
2. School of Management, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;
3. National Railway Materials Co. Ltd., Beijing 100097, China;
4. Spreadtrum Communications (Shanghai) Co. Ltd., Shanghai 201210, China

Abstract: With increasing complexity of the supply chain, the supply chain members aim to seek ways to establish long-term cooperation which is an effective mean of sharing the benefit and resisting risks. Renegotiation proof contract plays an important role in the long-term cooperation. This paper investigates the two-periods cooperation between the manufacturer and retailer, considering the retailer's types (i.e., demand types) change stochastically across periods under demand uncertainty. This paper models three types of long-term contracts under asymmetric information, respectively, and

examines the optimal renegotiation proof contract. We find that the serial correlation of the retailer's types influences the optimal renegotiation proof contract. Specifically, with the correlation increases, the optimal renegotiation proof contract is separate contract with full commitment, separate contract with commitment and renegotiation and pooling contract with commitment and renegotiation respectively. Separate contract with full commitment is consistent with the optimal renegotiation proof contract when the correlation is small, since the information obtained in the first period can't be used to design the contract in the second period when the retailer's type changes significant over periods. Separate and pooling contract with commitment and renegotiation can be updated with the first period signal. However, pooling contract with commitment and renegotiation is the optimal renegotiation proof contract when the manufacturer prefers to the second period expected profit rather than that of the first period.
Key words: demand uncertainty; asymmetric information; information updating; stochastic variability; optimal renegotiation proof contract

附录 A

在本附录中，我们主要对定理的内容进行了证明.

定理 1 证明

根据对称信息模型(P^*)，当i为H时，由于$(PH-1)$和$(Pj-2)$均为紧约束，因此，$IR_H=0$和$\pi(Hj,j)=0$.进一步，使用紧约束进行如下替换：

$$\begin{aligned}\Pi(H)&=-IR_H+\Pi(H)+IR_H\\&=-IR_H+t_H-cq_H+pE\min(q_H,H+e)-t_H\\&\quad+\delta\left(\sum_{j\in\{H,L\}}\Pr(j|H)\big(pE\min\big(q_{Hj},j+e\big)-t_{Hj}\big)\right)=pE\min(q_H,H+e)-cq_H\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Pi(Hj)&=-\pi(Hj,j)+\Pi(Hj)+\pi(Hj,j)\\&=-\pi(Hj,j)+t_{Hj}-cq_{Hj}+pE\min\big(q_{Hj},j+e\big)-t_{Hj}\\&=pE\min\big(q_{Hj},j+e\big)-cq_{Hj}\end{aligned}$$

因此，(P^*)中的目标函数转化为$\max\limits_{(q_H,q_{Hj})}pE\min(q_H,H+e)-cq_H+\delta\sum_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|H)\big(pE\min\big(q_{Hj},j+e\big)-cq_{Hj}\big)\big)$.分别对$q_H$、$q_{HH}$、$q_{HL}$求导即可得到：$F(q_H^*-H)=1-\frac{c}{p}$；$F(q_{HH}^*-H)=1-\frac{c}{p}$；$F(q_{HL}^*-L)=1-\frac{c}{p}$.同理，当$i$为$L$时：$F(q_L^*-L)=1-\frac{c}{p}$；$F(q_{LL}^*-L)=1-\frac{c}{p}$；$F(q_{LH}^*-H)=1-\frac{c}{p}$.

此外，二阶条件验证分 a)、b)、c)三步进行.

a)验证$T1$的二阶条件，其中，$h\in\{H,L\}$：

对q_H求二阶导数为：$-\rho pf(q_H-H)<0$；对q_L求二阶导数为：$-(1-\rho)pf(q_L-L)<0$.

b)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha\neq1$时，$h\in\{HH,HL,LH,LL\}$：

对q_{HH}求二阶导数为：$-\delta\rho\alpha pf(q_{HH}-H)<0$；对$q_{HL}$求二阶导数为：$-\delta\rho(1-\alpha)pf(q_{HL}-L)<0$；对$q_{LH}$求二阶导数为：$-\delta(1-\rho)(1-\alpha)pf(q_{LH}-H)<0$；对$q_{LL}$求二阶导数为：$-\delta(1-\rho)\alpha pf(q_{LL}-L)<0$.

c)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha=1$时，$h\in\{HH,LL\}$：

对q_{HH}求二阶导数为：$-\delta\rho pf(q_{HH}-H)<0$；对$q_{LL}$求二阶导数为：$-\delta(1-\rho)pf(q_{LL}-L)<0$.

综合 a)、b)、c)，对称信息基准合约下的二阶条件满足.

定理 2 证明

由 4.1 小节，完全承诺分离合约的目标函数为：

$$\max_{(q_i,t_i),(q_{ij},t_{ij})}\sum_{i\in\{H,L\}}\Pr(\theta=i)\left(\Pi\,(i)+\delta\sum_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|i)\Pi\,(ij)\big)\right)$$

其展开式为：

$$\max_{(q,t)}\Big(\rho(t_H-cq_H)+(1-\rho)(t_L-cq_L)$$
$$+\delta\Big(\rho\big(\alpha(t_{HH}-cq_{HH})+(1-\alpha)(t_{HL}-cq_{HL})\big)$$
$$+(1-\rho)\big(\alpha(t_{LL}-cq_{LL})+(1-\alpha)(t_{LH}-cq_{LH})\big)\Big)\Big)$$

因目标函数存在转移支付，利用转换的方式将其替换.首先考虑公式t_H-cq_H，因其含有转移支付t_H，因此，通过引入IR_H进行等价替换，即：$t_H-cq_H=-IR_H+pE\min(q_H,H+e)-t_H+\delta\big(\alpha(pE\min(q_{HH},H+e)-t_{HH})+(1-\alpha)(pE\min(q_{HL},L+e)-t_{HL})\big)+t_H-cq_H$.由于$\pi(HH,H)=pE\min(q_{HH},H+e)-t_{HH}$，$\pi(HL,L)=pE\min(q_{HL},L+e)-t_{HL}$，所以，

$$t_H-cq_H=pE\min(q_H,H+e)-cq_H-IR_H+\delta\big(\alpha\pi(HH,H)+(1-\alpha)\pi(HL,L)\big)\quad(1)$$

类似的：

$$t_L-cq_L=pE\min(q_L,L+e)-cq_L-IR_L+\delta\big(\alpha\pi(LL,L)+(1-\alpha)\pi(LH,H)\big)\quad(2)$$
$$t_{HH}-cq_{HH}=pE\min(q_{HH},H+e)-cq_{HH}-\pi(HH,H)\quad(3)$$
$$t_{HL}-cq_{HL}=pE\min(q_{HL},L+e)-cq_{HL}-\pi(HL,L)\quad(4)$$
$$t_{LL}-cq_{LL}=pE\min(q_{LL},L+e)-cq_{LL}-\pi(LL,L)\quad(5)$$
$$t_{LH}-cq_{LH}=pE\min(q_{LH},H+e)-cq_{LH}-\pi(LH,H)\quad(6)$$

进一步，将转化后的公式(1)-(6)带入目标函数并结合公式$(PL-1')$、$(PL-2')$、$(ICH-1')$、$(ICH-2')$进一步化简为：

$$\max_{q_i,q_{ij}}\left\{\sum_{i\in\{H,L\}}\Pr(\theta=i)\left(\Gamma(i,i)+\delta\sum_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|i)\Gamma(ij,j)\big)\right)\right.$$
$$\left.-\rho\left(p\int_{q_L-H}^{q_L-L}F(e)de+\delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\right)\right\}$$

此时，对转化后目标函数中的委托数量一阶求导令其为 0 即可得到$F(q_H^C-H)=G$，$F(q_{HH}^C-H)=G$，$F(q_{LH}^C-H)=G$，$F(q_{HL}^C-L)=G$，$F(q_L^C-L)=G-\frac{\rho}{1-\rho}\Delta(q_L^C)$以及$F(q_{LL}^C-L)=G-$

$\frac{\rho}{1-\rho}\frac{2\alpha-1}{\alpha}\Delta(q_{LL}^{C})$.

此外，与定理 1 的二阶条件证明类似，二阶条件验证分 a)、b)、c)三步进行.

a)验证$T1$的二阶条件，其中，$h\in\{H,L\}$：

对q_H求二阶导数为：$-\rho pf(q_H-H)<0$；对q_L求二阶导数为：$p\big(\rho f(q_L-H)-f(q_L-L)\big)<0$.

b)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha\neq 1$时，$h\in\{HH,HL,LH,LL\}$：

对q_{HH}求二阶导数为：$-\delta\rho\alpha pf(q_{HH}-H)<0$；对$q_{HL}$求二阶导数为：$-\delta\rho(1-\alpha)pf(q_{HL}-L)<0$；对$q_{LH}$求二阶导数为：$-\delta(1-\rho)(1-\alpha)pf(q_{LH}-H)<0$；对$q_{LL}$求二阶导数为：$\delta p\Big(\rho(1-\alpha)\big(f(q_{LL}-L)-f(q_{LL}-H)\big)+\alpha\big(\rho f(q_{LL}-H)-f(q_{LL}-L)\big)\Big)<0$.

c)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha=1$时，$h\in\{HH,LL\}$：

对q_{HH}求二阶导数为：$-\delta\rho pf(q_{HH}-H)<0$；对$q_{LL}$求二阶导数为：$\delta p\big(\rho f(q_{LL}-H)-f(q_{LL}-L)\big)<0$.

综合 a)、b)、c)，完全承诺分离合约下的二阶条件满足.

定理 3 证明

此证明过程分两步.第一步：对$T2$的最优委托数量求解.由 4.2 小节，$T2$目标函数为：

$$\max_{q_{LH},q_{LL}}\sum_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Pi(Lj))$$

因目标函数存在转移支付，类似定理 2 的证明过程将其替换后为：

$$\max_{q_{LH},q_{LL}}\left\{\sum_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Gamma(Lj,j))-(1-\alpha)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\right\}$$

因此，对化简后目标函数中的委托数量一阶求导令其为 0 即可得到$F(q_{LH}^{S}-H)=G$，$F(q_{LL}^{S}-L)=G-\frac{1-\alpha}{\alpha}\Delta(q_{LL}^{S})$.

第二步：对$T1$的最优委托数量求解.不完全承诺分离合约下$T1$目标函数与完全承诺分离合约一致，因此，由定理 2 可知：$F(q_{HH}^{S}-H)=G$，$F(q_{HL}^{S}-L)=G$，$F(q_{H}^{S}-H)=G$，$F(q_{L}^{S}-L)=G-\frac{\rho}{1-\rho}\Delta(q_{L}^{S})$.

此外，与定理 1 的二阶条件证明类似，二阶条件验证分 a)、b)两步进行.由于$T2$关注的目标集中于$T1$低类型的零售商，$T1$的求解类似于完全承诺分离模型，因此下面仅验证q_{LH}和q_{LL}的二阶条件.

a)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha\neq 1$时，$h\in\{LH,LL\}$：

对q_{LH}求二阶导数为：$-(1-\rho)(1-\alpha)pf(q_{LH}-H)<0$；对$q_{LL}$求二阶导数为：$-(1-\rho)p\big(f(q_{LL}-L)-(1-\alpha)f(q_{LL}-H)\big)<0$.

b)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha=1$时，$h\in\{LL\}$：

对q_{LL}求二阶导数为：$-(1-\rho)pf(q_{LL}-L)<0$.

综合 a)、b)，不完全承诺分离合约下的二阶条件满足.

定理 4 证明

此证明过程分两步.第一步：对$T2$的最优委托数量求解.由 4.3 小节，$T2$目标函数为：

$$\max_{q_{LH},q_{LL}}\sum_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Pi(Lj))$$

因目标函数存在转移支付，类似定理 2 的证明过程将其替换后为：

$$\max_{q_{LH},q_{LL}}\left\{\sum_{j\in\{H,L\}}(\Pr(j|L)\Gamma(Lj,j))\ -vp\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\right\}$$

因此，对化简后目标函数中的委托数量进行一阶求导令其为 0 即可得到$F(q_{LH}^P-H)=G$，$F(q_{LL}^P-L)=G-\frac{v}{1-v}\Delta(q_{LL}^P)$.

第二步：对$T1$的最优委托数量进行求解.不完全承诺混同合约下$T1$模型的目标函数为：

$$\begin{aligned}\max_{q_L,q_H,q_{HH},q_{HL}}\Big\{&\rho x\Big(\Pi(H)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|H)\Pi(Hj)\big)\Big)\\&+\rho(1-x)\Big(\Pi(L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|H)\Pi(Lj)\big)\Big)\\&+(1-\rho)\Big(\Pi(L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|L)\Pi(Lj)\big)\Big)\Big\}\end{aligned}$$

其展开式为：

$$\begin{aligned}\max_{q_L,q_H,q_{HH},q_{HL}}\Big\{&\rho x(t_H-cq_H)+\rho(1-x)(t_L-cq_L)+(1-\rho)(t_L-cq_L)\\&+\delta\Big(\rho x\big(\alpha(t_{HH}-cq_{HH})+(1-\alpha)(t_{HL}-cq_{HL})\big)\\&+\rho(1-x)\big(\alpha(t_{LH}-cq_{LH})+(1-\alpha)(t_{LL}-cq_{LL})\big)\\&+(1-\rho)\big(\alpha(t_{LL}-cq_{LL})+(1-\alpha)(t_{LH}-cq_{LH})\big)\Big)\Big\}\end{aligned}$$

需要注意的是：为了替换公式$\rho(1-x)(t_L-cq_L)$中的转移支付，定义$\Phi=pE\min(q_L,H+e)-t_L+\delta\big(\alpha(pE\min(q_{LH},H+e)-t_{LH})+(1-\alpha)(pE\min(q_{LL},L+e)-t_{LL})\big)$，因此，$\rho(1-x)(t_L-cq_L)=\rho(1-x)\big(-\Phi+pE\min(q_L,H+e)-t_L+\delta\big(\alpha(pE\min(q_{LH},H+e)-t_{LH})+(1-\alpha)(pE\min(q_{LL},L+e)-t_{LL})\big)+t_L-cq_L\big)=\rho(1-x)\Big(pE\min(q_L,H+e)-cq_L-\Phi+\delta\big(\alpha\pi(LH,H)+(1-\alpha)(LL,L)\big)\Big)$.
进一步，结合定理 2 证明过程中公式(1)-(6)以及公式$(PL-1')$、$(PL-2')$、$(ICH-1')$、$(ICH-2')$，目标函数转化为：

$$\begin{aligned}\max_{q_L,q_H,q_{HH},q_{HL}}\Big\{&\rho x\Big(\Gamma(H,H)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|H)\Gamma(Hj,j)\big)\Big)\\&+\rho(1-x)\Big(\Gamma(L,H)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|H)\Gamma(Lj,j)\big)\Big)\\&+(1-\rho)\Big(\Gamma(L,L)+\delta\sum\nolimits_{j\in\{H,L\}}\big(\Pr(j|L)\Gamma(Lj,j)\big)\Big)\\&-\rho\Big(p\int_{q_L-H}^{q_L-L}F(e)de+\delta(2\alpha-1)p\int_{q_{LL}-H}^{q_{LL}-L}F(e)de\Big)\Big\}\end{aligned}$$

对目标函数中的委托数量求解一阶导数令其为 0 得到$F(q_{HH}^P-H)=G$，$F(q_{HL}^P-L)=G$，$F(q_H^P-H)=G$，$F(q_L^P-L)=G-\frac{\rho x}{1-\rho x}\Delta(q_L^P)$.

此外，与定理 1 的二阶条件证明类似，二阶条件验证分 a)、b)、c)、d)四步进行.由于$T2$关注的目标集中于$T1$低类型的零售商，因此下面仅验证q_H、q_L、q_{LH}、q_{LL}的二阶条件.

a)验证$T1$的二阶条件，其中，当$x=0$时，$h\in\{L\}$：

对q_L求二阶导数为：$-pf(q_L-L)<0$.

b)验证$T1$的二阶条件，其中，当$x\neq 0$时，$h\in\{H,L\}$：

对q_H求二阶导数为：$-\rho xpf(q_H-H)<0$；对q_L求二阶导数为：$p\big(x\rho f(q_L-H)-f(q_L-L)\big)<0$.

c)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha\neq 1$时，$h\in\{LH,LL\}$：

对q_{LH}求二阶导数为：$-vpf(q_{LH}-H)<0$；对q_{LL}求二阶导数为：$-p\big(f(q_{LL}-L)-vf(q_{LL}-H)\big)<0$.

d)验证$T2$的二阶条件，其中，当$\alpha=1$时，$h\in\{LL\}$：

对q_{LL}求二阶导数为：$-p\big(f(q_{LL}-L)-vf(q_{LL}-H)\big)<0$.

综合 a)、b)、c)、d)，不完全承诺混同合约下的二阶条件满足.

附录 B

在本附录中，我们主要对α_2的存在性进行了证明.

在$\alpha\in(1/2,1]$区间内对比不完全承诺下的Π^S和Π^P，其大小关系由真实披露比例x决定.取$\alpha=\frac{1}{2}$处Π^P对x的导数为：$\frac{\partial\Pi^P}{\partial x}|_{\alpha=\frac{1}{2}}=\frac{p(H-L)^2\rho(2+\delta(-1+x\rho)^2)}{4(-1+x\rho)^2}>0$，这意味着当$\alpha\to\frac{1}{2}$时，$\Pi^P$随着$x$增加而增加且当$x$增加到最大值 1 时，$\Pi^P$取得最优值，即：最优$RP$合约是不完全承诺分离合约，又因为$\Pi^P$是连续且连续可导的，因此，必定存在$\alpha_2=inf\left\{\alpha\in\left(\frac{1}{2},1\right]|\frac{\partial\Pi^P}{\partial x}|_{x=1}<0\right\}$.同理，$\frac{\partial\Pi^P}{\partial x}|_{\alpha=\alpha_1}=\frac{1}{2}p(H-L)^2\rho(\frac{1}{(-1+x\rho)^2}+\frac{\delta\rho(2-2\rho+2\rho^2+x^2\rho^2-2\rho^3+\rho^4-2x(1-\rho+\rho^2))}{(1+\rho)(-1+\rho+(-1+x)\rho^2)^2})>0$且进一步推出$\alpha_2=inf\left\{\alpha\in(\alpha_1,1]|\frac{\partial\Pi^P}{\partial x}|_{x=1}<0\right\}$.综上，当且仅当$\frac{1}{2}<\alpha\leq\alpha_2$时，$\Pi^S>\Pi^P$，其中，$\alpha_2>\alpha_1$.