第23卷第8期
2020年8月

管 理 科 学 学 报
JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA

Vol. 23 No. 8
Aug. 2020

信息不对称下医药营销服务外包契约设计①

高 杰[1,2]，樊慧荣[1,2*]，李萧萧[1,2]
(1. 西安交通大学管理学院，西安 710049; 2. 机械制造系统工程国家重点实验室，西安 710049)

摘要: 为了缩减销售成本，一些制药企业将营销服务外包给合约销售公司(contract sales organization，CSO) . 由于 CSO 的营销努力不可合同化，制药企业需要基于市场销量来激励 CSO 的营销努力. 然而，市场销量受制药企业定价决策的影响，因此 CSO 将面临制药企业提高定价的道德风险. 此外，药品营销难度信息可能是 CSO 的私人信息，这使得制药企业面临逆向选择问题. 当制药企业将营销服务外包给多个 CSO 时，由于制药企业针对同一药品在不同市场的售价相同，其定价决策对多个 CSO 所服务市场的销量具有共同的影响. 相对绩效的激励契约能够消除共同不确定因素对代理人产出的影响，从而更有利于激励代理人付出高水平的努力. 因此依据信息甄别的博弈模型，分析基于个体绩效与基于相对绩效的激励契约的有效性. 研究发现: 1) 药品营销难度信息对称时，基于相对绩效的激励契约占优于基于个体绩效的激励契约，且可以获得全局最优的营销努力和期望利润; 2) 药品营销难度信息不对称时，两种激励契约均不能获得全局最优的营销努力和期望利润. 数值分析表明，药品营销难度的先验概率，市场价格敏感性和高低类型药品营销难度差异的变化会影响制药企业的契约选择，较高的市场价格敏感性和较低的高低类型药品营销难度差异使得基于相对绩效的激励契约更有效.

关键词: 服务外包; 激励契约; 相对绩效; 道德风险; 信息甄别

中图分类号: F224　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1007 - 9807(2020)08 - 0109 - 18

0 引 言

近年来，在全球药品市场高度竞争、利润空间受压情况下，制药企业用于举办学术会议、差旅费用、广告支出等用途的销售费用面临监管和成本的压力. 销售代表的产出绩效逐渐下降，其流动性大，营销服务管理面临挑战. 合约销售公司(contract sales organization，CSO) 是受制药企业的委托，提供全方位营销推广服务的专门组织，其业务范围主要包括: 市场调研、科室会、学术会议、市场方面的策划或咨询等. 为了将新开发的处方药推向市场，制药企业往往需要开展大量的营销推广活动. 此时，制药企业可以将营销服务外包，充分利用 CSO 的核心优势以减少销售成本，聚焦核心业务，提升应变能力[1,2]. 近年来，全球 CSO 市场得到了快速发展.

然而，营销服务外包也带来了相应的管理问题. 首先，由于营销努力难以精确衡量(知识、技术、人力资源为代表性的知识性投入)，不可合同化，制药企业面临 CSO 营销努力投入不足的道德风险，需要基于市场销量支付 CSO 报酬，以激励 CSO 付出较高的营销努力[3]. 其次，在处方药市场中，在分类采购推行之后，制药企业可以直接向医院销售药品，药品价格由制药企业与医院直

① 收稿日期: 2018 - 12 - 18; 修订日期: 2019 - 07 - 01.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71571141) .
通讯作者: 樊慧荣(1992—) ，女，山西洪洞人，博士研究生. Email: fanhuirong@ stu. xjtu. edu. cn

接协商. 对于分散的医院而言，垄断的制药企业具有较强的议价能力，实际掌握了药品的定价权. 制药企业将新处方药推向市场时，由于不了解目标市场，需要在 CSO 完成营销服务，初步了解目标市场之后才制定药品价格. 在该销售模式下，由于市场销量还会受制药企业定价决策的影响，CSO 面临制药企业提高定价的道德风险. 最后，市场销量还会受到药品营销难度的影响，若 CSO 开展市场调研、举办学术会议等营销活动的难度较低，给定的营销努力所实现的市场销量较高; 反之，当药品营销难度较高时，对于给定的营销努力，所实现的市场销量则较低. CSO 通过市场调研可以充分掌握某个治疗领域与药品相匹配的医院科室资源信息和市场竞争情况，因而对药品的营销难度能够做出准确的评估，而制药企业自身可能由于聚焦于药品研发与生产且不从事相关的营销推广活动，难以评估药品营销难度. 这种在签约之前既已存在的不对称信息往往会引起逆向选择问题，因此制药企业需要提供激励兼容的契约以甄别营销难度，并使得 CSO 付出最优的营销努力[4]. 药品营销难度受药品目标市场的影响，因而不同的 CSO 营销同一种药品时所面临的药品营销难度是相同的.

CSO 在全国范围内的医院资源和营销网络具有地域性，这使得制药企业在不同的省级与不同的 CSO 合作，即采用多方外包模式，例如: 美安医药在江苏具有较强的地域优势，皓月医疗则立足东北. 多方外包模式下，同一种药品在不同市场上的定价往往是相同的，因此制药企业的定价决策对多个 CSO 所服务市场的销量具有共同的影响. 在营销服务外包中，制药企业可以采用基于个体绩效的激励契约，即 CSO 的服务报酬仅取决于其所服务的市场的销量水平; 也可以采用基于相对绩效的激励契约，即 CSO 的服务报酬取决于其所服务的市场和其他 CSO 所服务的市场的相对销量水平. 因此，制药企业可以选择与多个 CSO 合作并采用基于相对绩效的激励契约，以消除 CSO 营销努力不可合同化和制药企业定价决策对 CSO 激励的影响，提升 CSO 的营销努力水平. 基于此，研究多方外包模式下，营销努力不可合同化且多个 CSO 具有共同的药品营销难度私人信息时，基于个体绩效与基于相对绩效的激励契约对制药企业利润与 CSO 营销努力的影响.

相关的研究主要集中在以下两个方向: 1) 服务外包环境下的激励契约研究; 2) 相对绩效激励机制的研究.

大部分服务外包环境下的激励契约文献考察了单个客户企业将服务外包给单个服务商时的激励问题，因此多采用基于个体绩效的激励契约. 当服务产出结果仅受服务商努力的影响时，服务商努力的不可合同化会导致单边道德风险问题. 张宗明等针对 IT 服务外包中服务商的努力难以证实且服务需求不确定性的问题，分析固定价格合同、时间材料合同和收益共享合同的系统收益，其中需求确定时，三种合同均能达到整合供应链下的系统最优水平，需求不确定时，固定价格合同无法达到系统最优水平[5]. 在信息安全外包领域，安全漏洞预防努力和检测努力均不可观察，Cezar 等研究了这两种努力的不可合同化对外包分配决策和契约设计的影响，研究表明客户企业应将安全漏洞的预防和检测外包给同一个服务商，并可以通过奖惩机制规避服务商的道德风险[6]. 在设备维护外包中，不仅维护行为不可观察，而且由于旧设备报废和新设备加入，设备状态动态变化，维护努力水平也应动态变化，谢文明等比较了基于成本补偿机制与基于产出补偿机制对解决多期道德风险问题的有效性[7]. 此外，王先甲等则在传统的道德风险模型中引入公平偏好同时糅合公平敏感性[8]. 上述研究的服务产出结果能够由第三方证实，因此均采用正式契约来解决单边道德风险问题. 关系契约中允许存在无法客观测度或被第三方证实，而只能基于主观测度的承诺和规范，其契约标的仅仅可以由缔约双方感知. 因而，当服务产出结果无法被第三方证实时，张宗明等提出通过关系契约来激励服务商进行最优努力分配[9]. 唐国锋等针对应用服务外包中服务商在硬件及软件建设的多任务投入问题，设计了应用服务外包正式契约和关系契约[10].

当服务产出结果受服务商努力和客户企业参与配合的共同影响时，双方在服务过程中无法验

证的努力投入会导致双边道德风险. Elitzur 等提出可以缓解双边道德风险的激励契约，其由固定支付、项目成功时的支付和项目失败时的支付三个部分组成，研究表明最优契约不应包含项目失败时的支付，且服务商的激励分享比例应随项目重要性的增加而提高[11]. 代建生等从讨价还价博弈的角度考察了服务外包中客户企业参与生产的最优线性分成契约，分析了产出弹性系数、成本系数和谈判力因子对线性分成契约的影响，指出最优线性分成比例由产出弹性系数确定[12]. 针对正式契约无法有效激励服务商和客户共同努力的问题，宋寒等采用非正式的服务外包关系契约来应对双边道德风险问题[13]. 而 Lee 等则针对信息安全服务中的双边道德风险问题，构建了单个服务商对多个客户企业的相对绩效激励模型，研究发现包含固定支付和漏洞发生时服务商对客户企业补偿支付的双边退款契约不能有效解决该双边道德风险问题，并提出了能够完全规避双边道德风险的多边契约，该契约在双边退款契约的基础上加入了客户企业对服务商的补偿支付[14].

上述研究主要考虑了合同签订之后服务商及客户企业无法观测的质量努力(隐藏的行动)，而没有考虑签订契约之前双方拥有的私人信息(隐藏的类型). 在程红等的研究中,产品生产成本为制造商的私人信息，且销售商的营销努力无法观察，通过将数量折扣契约和 AGV 机制相结合的双向激励契约，有效地激励和协调了供应链企业[15]. 张宗明等进一步分析了服务商拥有私有成本信息时服务参与双方努力程度无法验证的问题，探讨了成本信息不对称对线性收益共享契约中收益共享比例的影响，以及服务商与客户企业的重要性程度(以服务商与客户企业对服务产出贡献的大小来衡量) 分别对非对称成本信息和双边道德风险所带来的损失的影响[16]. 针对服务商努力无法量化且客户拥有对服务估值的私人信息的问题，Zhang 等比较分析了小时费率合同与两部制合同[17].

关于相对绩效契约的研究多针对多个代理人的道德风险问题，尤其是代理人的产出受不确定因素(如生产环境，任务难度等) 的影响，从而需要承担支付报酬变动风险的问题. 这些不确定因素对多个代理人具有共同的影响，通过利用多代理人的产出集合中包含共同不确定因素的信息这一特点，这些研究比较分析了相对绩效契约和个体绩效契约的优势和劣势. Nalebuff 和 Stiglitz 发现当共同因素的方差较大时相对绩效契约更为适用，且当代理人数足够大时，相对绩效契约可以获得完全信息下的效用水平，此外还指出相对绩效契约不需要通过复杂的契约或谈判便能够适应生产过程中的技术改变[18]. 代理人的产出除了受共同不确定因素的影响外，还会受个体的不确定因素的影响. 采用不同的契约，个体不确定因素对代理人报酬变动风险的影响也不一样. Lazear 和 Rosen 研究表明: 即便不存在共同不确定因素，在某些情境下，基于排序(rank) 的相对绩效契约也可以缓解代理人个体的不确定因素对其报酬带来的风险，因此针对风险规避的代理人，委托人更倾向于选择相对绩效契约[19]. 但是，在相对绩效契约中，某一代理人的个体绩效不确定性因素也会对另一代理人的报酬产生影响，因此，相对绩效也可能会增大代理人报酬的不确定性. 在 Holmstrom、Green 和 Stokey 的研究中，当不存在共同不确定因素时，个体绩效的契约优于相对绩效的契约，当代理人的产出受共同因素的影响且其方差较大时，合理的相对绩效契约优于个体绩效契约[20,21].

上述关于相对绩效契约的研究未考虑代理人是异质的. 当代理人的类型信息在签约之前为其私人信息时，Levy 和 Vukina 研究发现存在交易成本(即: 代理人类型信息的获取成本) 时，若成本高，则对所有的代理人应采用统一的相对绩效契约，若成本低，则应采用具有信息甄别作用的相对绩效契约[22]. Tsoulouhas 指出相对绩效契约可以减少通过菜单式契约进行事前甄别的范围，甚至当得知代理人类型异质性程度较低时可以不进行对代理人的事前甄别，原因在于相对绩效消除了产出中由共同不确定因素带来的影响，且对不同类型代理人的具有相同的激励作用，从而使得委托人在产出实现之后能够更准确地推断代理人的能力类型[23]. Cao 指出供应商的产品可制造性信息在签订契约之前为其私人信息时，产品可制造性信息的先验概率会影响制造商对相对绩

效契约与个体绩效契约的选择[24]. Konrad 和 Kovenock 则考虑了代理人能力类型是随机的且其分散性不同的情形，在选择努力之前代理人仅了解其分布，高分散类型的代理人需要被支付较高的参与费用，因此代理人能力类型分散程度较高对代理人自身是有益的，从而更愿意参与竞赛[25]. 当代理人的类型信息在签订契约之前不能被契约双方观察到时，Tsoulouhas 和 Marinakis 研究指出代理人的异质性可以削弱相对绩效契约对代理人所承担风险的保障作用，因而当代理人异质性程度高时采用个体绩效契约占优，反之则相对绩效契约占优[26].

本研究基于相对绩效激励理论基础，探寻解决制药企业和 CSO 之间由药品营销难度信息不对称、营销努力不可合同化及制药企业定价决策所引发的服务激励问题的方法，并对比基于相对绩效与基于个体绩效的激励契约之间的差异性和有效性. 与已有文献相比，有如下特点: 1) 不仅考虑了 CSO 的道德风险问题，还同时考虑了药品营销难度为 CSO 私人信息的逆向选择问题; 2) 探讨了多方营销服务外包模式中，基于相对绩效的激励契约是否能够有效解决制药企业定价决策对 CSO 营销努力的影响.

1 问题描述及基准分析

1.1 问题描述

在新处方药市场中，一个风险中性的制药企业在 n 个独立的市场销售同一药品，并将市场营销外包给 n 个风险中性的 CSO，每个 CSO 负责一个独立的市场. CSO 可以掌握药品营销难度信息 $k \in \{k_L, k_H\}$，而制药企业可能由于不从事具体的相关市场营销活动，难以准确了解药品营销难度信息. 因此，营销难度信息是 CSO 的私人信息，制药企业需要通过菜单式契约来甄别这一信息. 当 CSO 接受契约所获得的期望利润高于保留利润时，则向制药企业报告药品营销难度信息，接受契约，并设定营销努力水平 $q_i (i = 1, 2, \cdots, n)$. 但该营销努力水平难以精确衡量，也无法被制药企业准确观测，CSO 实现该营销努力水平 q_i 所需的成本亦为 q_i[29]. 此后，制药企业设定药品销售价格 p 来最大化自身期望利润. 制药企业与 CSO 之间的博弈顺序可总结为图 1.

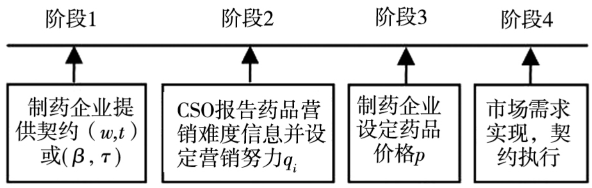

图 1 博弈顺序

Fig. 1 Model timeline

采用线性需求函数来构建市场 i 实现的销量[27-29]: $d_i = a - bp + \frac{\sqrt{q_i}}{k} + \varepsilon_i$. 需求参数 $a > 0$ 与 $b > 0$ 为公共知识，其中 a 表示市场规模，b 表示价格敏感性，ε_i 表示均值为 0 的随机变量. 营销努力 q_i 的增加对提高市场销量有正向作用，但受营销难度 k 的调节，且其边际效用递减. 对于给定的营销努力 q_i，当药品营销难度较高时，实现的市场销量较低，反之，当药品营销难度较低时，实现的市场销量则相对较高. 当制药企业提供基于个体绩效的激励契约 (w, t) 时，CSO 获得的期望报酬为 $w\bar{d}_i + t$，其中 $\bar{d}_i = \mathrm{E}[d_i]$，表示市场 i 实现的期望市场销量，w 表示基于市场销量的单位奖励，t 表示一次性固定支付; 制药企业提供基于相对绩效的激励契约 (β, τ) 时，依据 Levy 和 Vukina 所采用的相对绩效契约形式，CSO 获得的期望报酬表示为 $\beta\left(\bar{d}_i - \frac{1}{n-1}\sum_{j \neq i} \bar{d}_j\right) + \tau$[22]，其中 β 表示基于市场 i 实现的销量与整体市场销量均值的差额的单位奖励，τ 表示一次性固定支付. 不失一般性，为了便于分析，假定 $2bk^2 - 1 > 0$; 此外，假定药品边际成本与 CSO 的保留利润为 0.

1.2 集中决策

集中决策时，制药企业拥有药品营销难度信息，并决定营销努力和药品价格以最大化期望利润. 由于 n 个市场相互独立，制药企业仅需考虑在单个市场上的定价和营销努力决策，即求解如下优化问题

$$\max_{q_i, p} p\left(a - bp + \frac{\sqrt{q_i}}{k}\right) - q_i \tag{1}$$

可以证明，该问题的目标函数是营销努力和

药品价格的联合凹函数. 下面的引理给出了该优化问题的最优解，其中上标“S”表示集中决策.

引理1　集中决策时，制药企业决策结果为: 1) 药品价格 $p^S = \dfrac{2ak^2}{4bk^2-1}$; 2) 营销努力 $q_i^S = \dfrac{a^2k^2}{(4bk^2-1)^2}$; 3) 制药企业的期望利润 $\Pi^S = \dfrac{a^2k^2}{4bk^2-1}$.

2　药品营销难度信息对称时的契约设计

2.1　基于个体绩效的激励契约

在分散决策模式下，受博弈顺序的影响，CSO在设定营销努力时无法获知制药企业设定的药品价格. 此外，CSO的该营销努力水平也无法被制药企业准确观测，因此，CSO接受契约后，其营销努力水平决策与制药企业的定价决策可视为同时做出的. 给定基于个体绩效的激励契约(w, t)，由逆向归纳法可求得制药企业的药品价格关于该合同的反应函数为 $p^I(w) = \dfrac{2ak^2+(1+2bk^2)w}{4bk^2}$，CSO的营销努力反应函数为 $q_i^I(w) = \dfrac{w^2}{4k^2}$，$I$表示药品营销难度信息对称下基于个体绩效契约的均衡解. 当药品营销难度较高时，营销努力所带来的边际收益较低，因此CSO的营销努力水平与药品营销难度成反比. 较高的单位奖励会提高CSO的边际收益，因此营销努力与单位奖励成正比. 单位奖励不仅直接决定了CSO的营销努力水平，也间接地影响着制药企业的药品价格.

根据药品价格与营销努力的反应函数，制药企业决定激励契约(w, t)的优化问题如下所示

$$\max_{w,t}\ (p^I(w)-w)\left(a-bp^I(w)+\frac{\sqrt{q_i^I(w)}}{k}\right)-t \tag{2}$$

$$\text{s.t.}\ w\left(a-bp^I(w)+\frac{\sqrt{q_i^I(w)}}{k}\right)+t-q_i^I(w)\geqslant 0 \tag{3}$$

其中 式(3)表示CSO的个体理性约束，保证其接受契约.

命题1　药品营销难度信息对称时，存在均衡契约(w^I, t^I)，其中 $w^I = \dfrac{2ak^2}{4b^2k^4+4bk^2-1} < p^S$，且为$k$的减函数; $t^I = -\dfrac{a^2k^2(4b^2k^4+2bk^2-1)}{(4b^2k^4+4bk^2-1)^2}$，且为$k$的增函数.

由命题1可知，单位奖励小于集中决策下的药品价格，CSO无法获得通过其营销努力增加销量所带来的全部利润. 由于制药企业支付给CSO的奖励(w^Id_i)超过了CSO的营销努力成本，CSO需要支付给制药企业一笔固定支付($-t^I$)，其类似于现实中的代理费用，作用在于调节制药企业与CSO之间的利润分配. 此外，药品营销难度较高时，CSO的营销努力对制药企业的边际利润贡献较低，因而单位奖励随着药品营销难度的增加而减少. 为了保证药品营销难度较高时CSO仍然可以参与博弈，固定支付随着药品营销难度的增加而减小.

推论1　药品营销难度信息对称时，营销努力满足 $q_i^I < q_i^S$; 药品价格满足 $p^I > p^S$; 制药企业的期望利润满足 $\Pi^I < \Pi^S$.

由于市场销量同时受CSO营销努力和制药企业定价决策的影响，采用基于个体绩效的激励契约时，制药企业可以通过提高药品价格来降低市场销量，从而减少对CSO的奖励支出. CSO了解制药企业的动机后，会反过来降低自身的营销努力，因此，制药企业在制定契约时会降低对CSO的单位奖励，即 $w^I < p^S$. 而激励契约中单位奖励的降低，进一步降低了CSO的营销努力. 因此分散决策模式下，CSO的营销努力与制药企业的期望利润均低于全局最优水平.

2.2　基于相对绩效的激励契约

通过逆向归纳法，可求得采用基于相对绩效的激励契约(β, τ)时制药企业的药品价格反应函数为 $p^R(\beta) = \dfrac{2ak^2+\beta}{4bk^2}$，CSO的营销努力反应函数为 $q_i^R(\beta) = \dfrac{\beta^2}{4k^2}$. 令$R$表示药品营销难度信息对称下基于相对绩效契约的均衡解. 根据药品

价格与营销努力反应函数，制药企业决定激励契约(β ，τ) 的优化问题如下所示

$$\max_{\beta,\tau} p^R(\beta)\left(a-bp^R(\beta)+\frac{\sqrt{q_i^R(\beta)}}{k}\right)-\beta\left(a-bp^R(\beta)+\frac{\sqrt{q_i^R(\beta)}}{k}-\frac{1}{n-1}\sum_{j\neq i}\left(a-bp^R(\beta)+\frac{\sqrt{q_j^R(\beta)}}{k}\right)\right)-\tau \tag{4}$$

$$\text{s.t.}\ \beta\left(a-bp^R(\beta)+\frac{\sqrt{q_i^R(\beta)}}{k}-\frac{1}{n-1}\sum_{j\neq i}\left(a-bp^R(\beta)+\frac{\sqrt{q_j^R(\beta)}}{k}\right)\right)+\tau-q_i^R(\beta)\geqslant 0. \tag{5}$$

其中式(5) 表示 CSO 的个体理性约束，保证其接受契约.

命题 2　药品营销难度信息对称时，存在均衡契约(β^R ，τ^R)，其中 $\beta^R=\dfrac{2ak^2}{4bk^2-1}=p^R=p^S$，且为 k 的减函数; $\tau^R=\dfrac{a^2k^2}{(4bk^2-1)^2}$，且为 k 的减函数.

由命题 2 可知单位奖励与制药企业的药品价格以及集中决策下的药品价格均相同，CSO 可以获得通过其营销努力增加销量所带来的全部利润，因而采取集中决策下的最优营销努力. 由于仅当 CSO 实现的市场销量高于平均市场销量时其才能获得奖励，而 CSO 之间的同质性使得多个 CSO 实现的期望市场销量相同，所以 CSO 获得的期望奖励为 0. 与基于个体绩效的契约不同，当采用基于相对绩效的契约时，为了弥补 CSO 所付出的营销努力成本，制药企业需要支付给 CSO 一笔固定支付.

推论 2　药品营销难度信息对称时，基于相对绩效的激励契约占优于基于个体绩效的激励契约. 营销努力满足: $q_i^I<q_i^R=q_i^S$; 药品价格满足 $p^I>p^R=p^S$; 制药企业的期望利润满足: $\Pi^I<\Pi^R=\Pi^S$.

制药企业定价决策对制药企业在 n 个市场所实现市场销量的影响具有一致性，因而采用基于相对绩效的激励契约时，可以消除制药企业定价决策对 CSO 所服务市场销量的影响. 此外，制药企业通过将超出平均市场销量所带来利润全部奖励给 CSO，解决了 CSO 营销努力不可合同化导致的道德风险问题，因此基于相对绩效的激励契约可以获得全局最优的营销努力水平和期望利润.

3　药品营销难度信息不对称时的契约设计

当药品营销难度信息不对称时，考虑制药企业对药品营销难度的信念为: 药品营销难度是高类型 k_H 的概率为 $\rho(0\leqslant\rho\leqslant 1)$，是低类型 $k_L(k_L<k_H)$ 的概率 $1-\rho$. 制药企业为 CSO 提供菜单式契约 $\{(w_H,t_H),(w_L,t_L)\}$ 或 $\{(\beta_H,\tau_H),(\beta_L,\tau_L)\}$，其中 (w_H,t_H) 和 (β_H,τ_H) 是针对高药品营销难度的 CSO(高类型 CSO) 所设计的契约，(w_L,t_L) 和 (β_L,τ_L) 则是针对低药品营销难度的 CSO (低类型 CSO) 所设计的契约. CSO 报告药品营销难度类型信息，制药企业根据 CSO 报告的类型选择契约.

3.1　基于个体绩效的激励契约

当药品营销难度信息不对称时，如果制药企业仍然提供药品营销难度是对称信息时的基于个体绩效的激励契约 (w_H^I,t_H^I) 和 (w_L^I,t_L^I)，当低药品营销难度的 CSO 模仿高药品营销难度的 CSO 时，其边际营销努力所带来的销量增长大于高类型 CSO，所获得的奖励较高，从而可以获得比高类型 CSO 更高的利润，而此时低类型 CSO 的利润也要高于真实报告其药品营销难度信息时的利润，因此并不能甄别药品营销难度信息.

根据显示原理，"对每个会导致说谎的契约，存在另外一个契约，使得拥有信息的参与者没有说谎的动机，且不拥有信息的参与者得到相同的收益"[30]. 因此，本论文仅考虑激励兼容的激励契约设计. 制药企业针对不同的药品营销难度提

出不同的契约 (w_H, t_H), (w_L, t_L). 若 CSO 报告药品营销难度为高类型，则制药企业选择契约 (w_H, t_H)，并设定药品价格 $p_H^I(w_H)$；相反地，若 CSO 报告药品营销难度为低类型，则制药企业选择契约 (w_L, t_L)，并设定药品价格 $p_L^I(w_L)$. 此时制药企业的优化问题为

$$\max_{\{(w_H,t_H),(w_L,t_L)\}} \rho\left((p_H^I(w_H)-w_H)\left(a-bp_H^I(w_H)+\frac{\sqrt{q_{iH}^I(w_H)}}{k_H}\right)-t_H\right)+(1-\rho)\left((p_L^I(w_L)-w_L)\left(a-bp_L^I(w_L)+\frac{\sqrt{q_{iL}^I(w_L)}}{k_L}\right)-t_L\right) \quad (6)$$

$$\text{s.t.}\quad w_H\left(a-bp_H^I(w_H)+\frac{\sqrt{q_{iH}^I(w_H)}}{k_H}\right)+t_H-q_{iH}^I(w_H)\geqslant 0 \quad (7)$$

$$w_L\left(a-bp_L^I\left(w_L+\frac{\sqrt{q_{iL}^I(w_L)}}{k_L}\right)\right)+t_L-q_{iL}^I(w_L)\geqslant 0 \quad (8)$$

$$w_H\left(a-bp_H^I(w_H)+\frac{\sqrt{q_{iH}^I(w_H)}}{k_H}\right)+t_H-q_{iH}^I(w_H)\geqslant w_L\left(a-bp_L^I(w_L)+\frac{\sqrt{q_{iHL}^I(w_L)}}{k_H}\right)+t_L-q_{iHL}^I(w_L) \quad (9)$$

$$w_L\left(a-bp_L^I(w_L)+\frac{\sqrt{q_{iL}^I(w_L)}}{k_L}\right)+t_L-q_{iL}^I(w_L)\geqslant w_H\left(a-bp_H^I(w_H)+\frac{\sqrt{q_{iLH}^I(w_H)}}{k_L}\right)+t_H-q_{iLH}^I(w_H) \quad (10)$$

其中 $q_{iHL}^I(w_L)$ 表示高类型 CSO 模仿低类型 CSO 时的营销努力反应函数，$q_{iLH}^I(w_H)$ 则相反. 式(7) 和式(8) 表示 CSO 的个体理性约束，旨在保证两种类型的 CSO 都接受契约，式(9) 和式(10) 表示 CSO 的激励兼容约束，旨在保证 CSO 报告自己真实的类型信息. 令 AI 表示药品营销难度信息不对称下基于个体绩效契约的均衡解.

命题 3　药品营销难度信息不对称时，存在分离均衡契约 $\{(w_H^{AI}, t_H^{AI}), (w_L^{AI}, t_L^{AI})\}$：$w_H^{AI}=\frac{2ak_H^2}{4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+M}<w_H^I$，$w_L^{AI}=\frac{2ak_L^2}{4b^2k_L^4+4bk_L^2-1}=w_L^I$，$t_H^{AI}=-\frac{a^2k_H^2(4b^2k_H^4+2bk_H^2-1+M)}{(4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+M)^2}$，$t_L^{AI}=\frac{a^2k_H^4}{(4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+M)^2}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)-\frac{a^2k_L^2(4b^2k_L^4+2bk_L^2-1)}{(4b^2k_L^4+4bk_L^2-1)^2}$，其中 $M=\frac{4bk_H^4(1-\rho)}{\rho}\times\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$.

同一激励契约下，与高类型 CSO 相对比，低类型 CSO 总是可以获得较高的收益. 为了消除低类型 CSO 的模仿动机，制药企业需让其获得与模仿高类型 CSO 时相同的利润，即支付给低类型 CSO 一部分信息租金. 对于一定的营销努力，低类型 CSO 所实现的市场销量更大，单位奖励的降低对低类型 CSO 利润的影响较大，因而制药企业通过降低高类型 CSO 的单位奖励来减弱低类型 CSO 的模仿动机(单位奖励偏离). 低类型 CSO 始终能够通过选择针对高类型 CSO 的激励契约来获得正的利润，因此，制药企业降低了低类型 CSO 需要向其支付的固定支付以实现分离均衡(固定支付偏离). 但这使得高类型 CSO 的营销努力下降，制药企业的药品价格也相应降低. 制药企业由于需要支付给低类型 CSO 信息租金，且高类型 CSO 营销努力会偏离最优水平，所以在药品营销难度信息不对称情形下，其期望利润下降. 当采用基于个体绩效的激励契约时，药品营销难度信息对称与不对称两种情形下的结果总结为表 1.

表 1　采用基于个体绩效的激励契约时的均衡结果对比

Table 1 Equilibrium comparison under contract based on absolute performance

低类型 CSO	高类型 CSO
$q_{iL}^{AI}=q_{iL}^I$	$q_{iH}^{AI}\leqslant q_{iH}^I$
$p_L^{AI}=p_L^I$	$p_H^{AI}\leqslant p_H^I$
$\pi_{iL}^{AI}=\frac{(w_H^{AI})^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$	$\pi_{iH}^{AI}=0$
$\Pi_L^{AI}=\Pi_L^I-\frac{(w_H^{AI})^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$	$\Pi_H^{AI}\leqslant \Pi_H^I$

3.2　基于相对绩效的激励契约

当药品营销难度信息不对称时，如果制药企

业仍然提供药品营销难度是对称信息时的基于相对绩效的激励契约 (β_H^R, τ_H^R) 和 (β_L^R, τ_L^R) ，则当高类型 CSO 模仿低类型 CSO 时，高类型 CSO 所付出的营销努力较低，从而可以获得比低类型 CSO 更高的利润，而此时高类型 CSO 的利润也要高于真实报告其药品营销难度信息时的利润，因此并不能甄别药品营销难度信息. 此时，制药企业需要提供激励兼容的激励契约. 由于制药企业可以通过第一个 CSO 所报告的药品营销难度类型来获知其余 CSO 的药品营销难度信息. 因此本论文假定制药企业根据第一个 CSO 报告的药品营销难度信息，来选择契约，设定药品价格，并将该契约施加给其余所有 CSO. 若 CSO 报告药品营销难度为高类型，则制药企业选择契约 (β_H, τ_H) ，并设定药品价格 $p_H^R(\beta_H)$ ；若 CSO 报告药品营销难度为低类型,则制药企业选择契约 (β_L, τ_L) ，并设定药品价格 $p_L^R(\beta_L)$. 此时制药企业的优化问题为

$$\max_{\{(\beta_H,\tau_H),(\beta_L,\tau_L)\}} \rho\left(p_H^R(\beta_H)\left(a - bp_H^R(\beta_H) + \frac{\sqrt{q_{iH}^R(\beta_H)}}{k_H}\right) - \tau_H\right) + (1-\rho)\left(p_L^R(\beta_L)\left(a - bp_L^R(\beta_L) + \frac{\sqrt{q_{iL}^R(\beta_L)}}{k_L}\right) - \tau_L\right) \tag{11}$$

$$\text{s.t.} \quad \tau_H - q_{iH}^R(\beta_H) \geqslant 0 \tag{12}$$

$$\tau_L - q_{iL}^R(\beta_L) \geqslant 0 \tag{13}$$

$$\tau_H - q_{iH}^R(\beta_H) \geqslant \tau_L - q_{iHL}^R(\beta_L) \tag{14}$$

$$\tau_L - q_{iL}^R(\beta_L) \geqslant \tau_H - q_{iLH}^R(\beta_H) \tag{15}$$

其中 $q_{iHL}^R(\beta_L)$ 表示高类型 CSO 模仿低类型 CSO 时的营销努力反应函数，$q_{iLH}^R(\beta_H)$ 则相反. 式(12)和式(13)表示 CSO 的个体理性约束，旨在保证两种类型的 CSO 都接受契约，式(14)和式(15)表示 CSO 的激励兼容约束，旨在保证 CSO 报告自己的真实类型信息. AR 表示药品营销难度信息不对称下基于相对绩效契约的均衡解.

命题 4 药品营销难度信息不对称时，当 $0 \leqslant \rho \leqslant \frac{1}{4bk_L^2 + 1}$ 时，存在混同均衡契约 (β^{AR}, τ^{AR})：$\beta^{AR} = 2aQ$，$\beta_H^R \leqslant \beta^{AR} < \beta_L^R$；$\tau^{AR} = \frac{a^2Q^2}{k_L^2}$，其中 $Q = \dfrac{\frac{\rho}{k_H^2} + \frac{(1-\rho)}{k_L^2}}{\frac{4b}{k_L^2} - \frac{\rho}{k_H^4} - \frac{(1-\rho)}{k_L^4}}$. 当 $\frac{1}{4bk_L^2+1} < \rho \leqslant 1$ 时，存在分离均衡契约 $\{(\beta_H^{AR}, \tau_H^{AR}), (\beta_L^{AR}, \tau_L^{AR})\}$：$\beta_H^{AR} = \frac{2ak_H^2}{4bk_H^2 - 1}$，$\beta_L^{AR} = \frac{2ak_L^2}{4bk_L^2 - 1 + S}$，$\beta_L^{AR} < \beta_H^{AR} = \beta_H^R < \beta_L^R$；$\tau_L^{AR} = \frac{a^2k_L^2}{(4bk_L^2 - 1 + S)^2}$，$\tau_H^{AR} = \frac{a^2k_L^4}{(4bk_L^2 - 1 + S)^2} \times \left(\frac{1}{k_L^2} - \frac{1}{k_H^2}\right) + \frac{a^2k_H^2}{(4bk_H^2 - 1)^2}$，其中 $S = \frac{4bk_L^4\rho}{(1-\rho)}\left(\frac{1}{k_L^2} - \frac{1}{k_H^2}\right)$.

针对同一激励契约，高类型、低类型 CSO 所获得的期望奖励均为 0，但高类型 CSO 由于付出的营销努力较低，因此能获得比低类型 CSO 更高的利润. 为满足激励兼容约束，制药企业需让高类型 CSO 获得与模仿低类型 CSO 时相同的利润，从而使得高类型 CSO 获得信息租金. 相对于高类型 CSO，单位奖励的降低能更有效地减小低类型 CSO 的营销努力，也即可以更有效地减小针对低类型 CSO 契约的固定支付. 因此，可以通过同步减小对低类型 CSO 的单位奖励及固定支付(低类型偏离)，或增加对高类型 CSO 的单位奖励及固定支付(高类型偏离)，减弱高类型 CSO 的模仿动机，实现激励兼容. 根据式(14)与式(15)，激励兼容的可实施条件可以表示为：对高类型 CSO 的单位奖励不低于对低类型 CSO 的单位奖励，即 $\beta_H^{AR} \geqslant \beta_L^{AR}$. 而在对称信息下，对高类型 CSO 的单位奖励小于对低类型 CSO 的单位奖励，$\beta_H^R < \beta_L^R$. 综上而言，制药企业可以通过低类型偏离或高类型偏离来实现激励兼容.

高类型偏离会造成制药企业的支付成本增加,利润降低. 低类型偏离会造成营销努力降低，同样会造成制造企业利润降低. 在药品难度信息对称的情形下，针对高类型 CSO 契约的单位奖励和固定支付均小于针对低类型 CSO 的契约. 在药品营销难度信息不对称的情形下，当药品营销难度为低类型的概率较高时$\left(0 \leqslant \rho \leqslant \frac{1}{4bk_L^2 + 1}\right)$，为了减小低类型偏离带来的营销努力下降，制药企业倾向于采用高类型偏离来实现激励兼容，即增加高类型 CSO 的单位奖励. 此时，制药企业需要提高对高类型 CSO 的单位奖励，直到与低类型 CSO 的单位奖励相等，以满足激励兼容的可实施

条件，即: 提供混同均衡契约. 在该混同均衡契约下，高类型 CSO 的营销努力增加，制药企业为其设定的药品价格也相应增加. 为了缓解高类型偏离带来的成本增加，制药企业也会采用一定程度的低类型偏离. 这使得低类型 CSO 的营销努力下降，制药企业为其设定的药品价格也相应降低.

当药品营销难度为高类型的概率较高时 $\left(\frac{1}{4bk_L^2+1}<\rho\leqslant 1\right)$，低类型偏离所带来的市场损失较低. 制药企业为了减小高类型偏离所造成的支付成本增加，其倾向于采用低类型偏离来减弱高类型 CSO 的模仿动机，即减少低类型 CSO 的单位奖励. 低类型 CSO 的单位奖励只需减小到与高类型 CSO 的单位奖励相等即可满足激励兼容的可实施条件. 根据前面分析，此时，制药企业需要向高类型 CSO 支付信息租金. 为了降低该信息租金，低类型 CSO 的单位奖励会小于高类型 CSO 的单位激励($\beta_L^{AR}<\beta_H^{AR}$)，即实现了分离均衡. 在该分离均衡中，低类型 CSO 的营销努力降低，制药企业为其设定的药品价格也相应降低. 当采用基于相对绩效的激励契约时，药品营销难度信息对称与不对称两种情形下的结果总结为表 2.

表 2　采用基于相对绩效的激励契约时的均衡结果对比

Table 1 Equilibrium comparison under contract based on relative performance

$0\leqslant\rho\leqslant\frac{1}{4bk_L^2+1}$	
低类型 CSO	高类型 CSO
$q_{iL}^{AR}\leqslant q_{iL}^{R}$	$q_{iH}^{AR}\geqslant q_{iH}^{R}$
$p_L^{AR}\leqslant p_L^{R}$	$p_H^{AR}\geqslant p_H^{R}$
$\pi_{iL}^{AR}=0$	$\pi_{iH}^{AR}=\frac{(\beta^{AR})^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$
$\Pi_L^{AR}\leqslant\Pi_L^{AR}$	$\Pi_H^{AR}\leqslant\Pi_H^{R}-\frac{(\beta^{AR})^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$
$\frac{1}{4bk_L^2+1}<\rho\leqslant 1$	
低类型 CSO	高类型 CSO
$q_{iL}^{AR}<q_{iL}^{R}$	$q_{iH}^{AR}=q_{iH}^{R}$
$p_L^{AR}<p_L^{R}$	$p_H^{AR}=p_H^{R}$
$\pi_{iL}^{AR}=0$	$\pi_{iH}^{AR}=\frac{(\beta_L^{AR})^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$
$\Pi_L^{AR}<\Pi_L^{AR}$	$\Pi_H^{AR}=\Pi_H^{R}-\frac{(\beta_L^{AR})^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)$

4　算例分析

药品营销难度信息对称时，基于相对绩效的激励契约消除了 CSO 的道德风险与制药企业的定价决策对 CSO 营销努力的影响，制药企业获得了全局最优的期望利润和营销努力. 因此，本部分仅分析药品营销难度信息不对称时基于个体绩效与基于相对绩效的激励契约的有效性. 不失一般性，令市场规模 $a=1$，低类型药品营销难度 $k_L=0.72$，高类型药品营销难度 $k_H=\alpha k_L$(α 表示 k_H 与 k_L 的差异程度) 时，观察不同 b，ρ 和 α 对两种激励契约效果的影响.

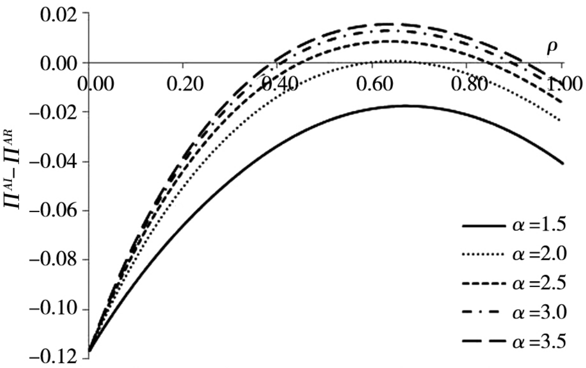

图 2　$b=1$ 时 ρ 和 α 的变化对 $\Pi^{AI}-\Pi^{AR}$ 的影响

Fig. 2 ρ and α influence on $\Pi^{AI}-\Pi^{AR}$ when $b=1$

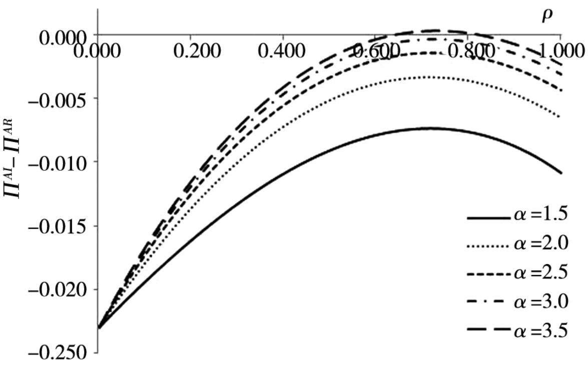

图 3　$b=2$ 时 ρ 和 α 的变化对 $\Pi^{AI}-\Pi^{AR}$ 的影响

Fig. 3 ρ and α influence on $\Pi^{AI}-\Pi^{AR}$ when $b=2$

当 $\Pi^{AI}-\Pi^{AR}\geqslant 0$ 时，制药企业倾向于采用基于个体绩效的激励契约，当 $\Pi^{AI}-\Pi^{AR}<0$ 时，制药企业倾向于采用基于相对绩效的激励契约. 图 2 与图 3 表明，药品营销难度的先验概率，市场价格敏感性和高低类型的药品营销难度差异的

变化会影响制药企业的契约选择. 较高的市场价格敏感性和较低的高低类型的药品营销难度差异使得基于相对绩效的激励契约更为有效. 采用基于相对绩效的激励契约时，制药企业的期望利润仅受到药品营销难度信息不对称的影响. 而采用基于个体绩效的激励契约时，制药企业的期望利润不仅受到其定价决策带来的道德风险的影响，还受到药品营销难度信息不对称的影响. 因而，可以从道德风险损失 H 与信息价值 V 两方面对两种激励契约的效果进行分析.

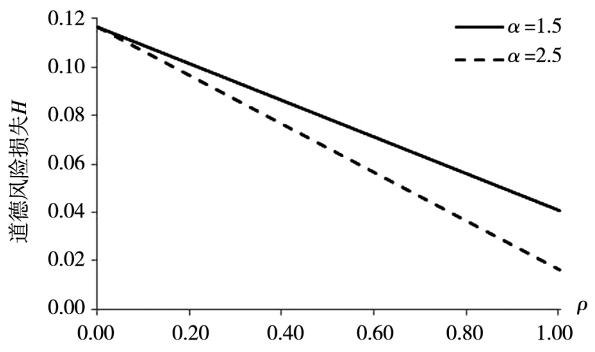

图4 $b = 1$ 时 ρ 和 α 的变化对道德风险损失 H 的影响

Fig. 4 ρ and α influence on moral hazard loss H when $b = 1$

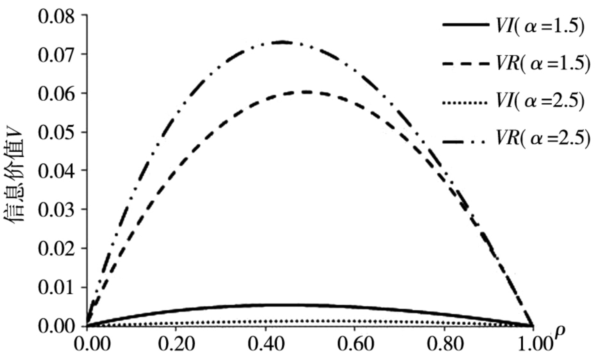

图5 $b = 1$ 时 ρ 和 α 的变化对信息价值 V 的影响

Fig. 5 ρ and α influence on information value V when $b = 1$

记道德风险损失为 $H = \rho(\Pi_H^S - \Pi_H^I) + (1 - \rho)(\Pi_L^S - \Pi_L^I)$；采用基于个体绩效的激励契约时的信息价值为 $VI = \rho\Pi_H^I + (1-\rho)\Pi_L^I - \Pi^{AI}$；采用基于相对绩效的激励契约时的信息价值为 $VR = \rho\Pi_H^R + (1-\rho)\Pi_L^R - \Pi^{AR}$. 图4 和图5 分别描述了高低类型药品营销难度的差异程度 α 对道德风险损失 H 和信息价值 V 的影响. 药品营销难度的增加降低了制药企业的期望利润，相应地降低了采用个体绩效的激励契约时所带来的道德风险损失. 因此，药品营销难度为低类型时，道德风险损失较大；反之，药品营销难度为高类型时，道德风险损失较小. 如图4 所示，随着 ρ 的增加，道德风险损失逐渐减小，且 α 的增加使得道德风险损失下降.

随着 α 的增加，采用基于相对绩效的激励契约时，药品营销难度信息不对称对制药企业期望利润的不利效应增强，而采用基于个体绩效的激励契约时，药品营销难度信息不对称对制药企业期望利润的不利效应则减弱. 此外，当 ρ 的取值接近于 0 或 1 时，药品营销难度信息的不确定性较小，而当 ρ 的取值位于 0.5 左右时，药品营销难度信息的不确定性较大. 如图5 所示，信息价值 V 随着 ρ 的增加而先增后减，且随着 α 的增加，采用基于相对绩效的激励契约时，信息价值 VR 逐渐增加，与此相反地，采用基于个体绩效的激励契约时，信息价值 VI 逐渐降低. 综上所述，当 ρ 较小时，采用基于个体绩效的激励契约时，制药企业的定价决策带来的道德风险损失 H 较高，因而基于相对绩效的激励契约占优于基于个体绩效的激励契约. 当 ρ 较大时，随着 α 的增加，采用基于个体绩效的激励契约时的道德风险损失 H 与信息价值 VI 均降低，而采用基于相对绩效的激励契约时的信息价值则增加，因而基于个体绩效的激励契约占优范围增大.

图6 和图7 分别描述了价格敏感性 b 对道德风险损失 H 和信息价值 VI 的影响. 价格敏感性的增加降低了制药企业的期望利润，相应地降低了采用个体绩效的激励契约时所带来的道德风险损失. 如图6 所示 b 的增加使得道德风险损失下降. 此外，随着 b 增加，在两种激励契约下，药品营销难度信息不对称对制药企业期望利润的不利效均减弱. 如图7 所示，随着 b 增加，在两种激励契约下，信息价值 VR 与 VI 均下降. 由于 b 增加使得 VI 趋于零，因而采用基于个体绩效的激励契约时，制药企业的期望利润损失主要来源是道德风险. 然而，采用基于个体绩效的激励契约时的道德风险损失 H 明显要高于采用基于相对绩效的激励契约时的信息价值 VR. 因此 b 的增

加使得基于相对绩效的激励契约占优范围增大.

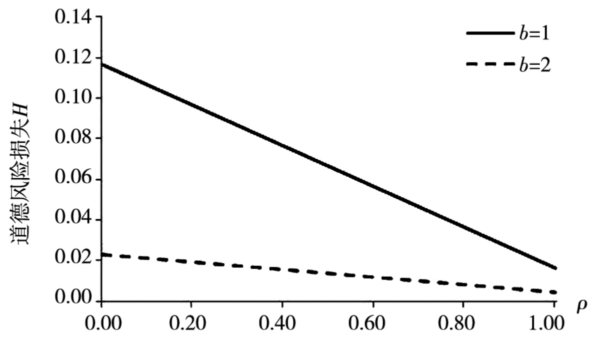

图 6　$\alpha = 2.5$ 时 ρ 和 b 的变化对道德风险损失 H 的影响

Fig. 6　ρ and b influence on moral hazard loss H when $\alpha = 2.5$

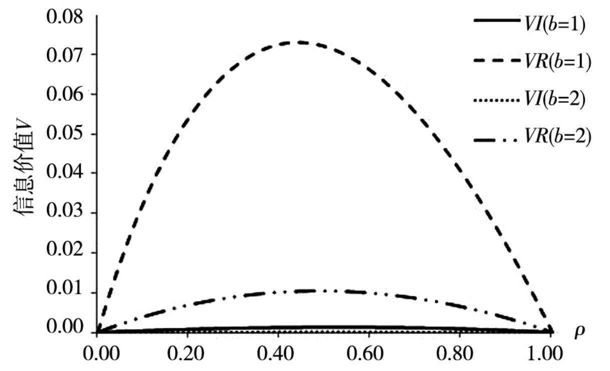

图 7　$\alpha = 2.5$ 时 ρ 和 b 的变化对信息价值 V 的影响

Fig. 7 The changes of ρ and b influencing on information value V as $\alpha = 2.5$

5　结束语

在营销服务外包中，制药企业面临 CSO 的营销努力不可合同化所带来的道德风险问题，以及 CSO 掌握药品营销难度的私人信息所带来的逆向选择问题. 由于制药企业在 CSO 完成营销服务之后制定定价决策，CSO 将面临制药企业提高定价的道德风险问题. 这些为制药企业设计有效的激励契约带来了挑战. 当制药企业将营销业务外包给多个 CSO 时，同一药品在不同市场的售价相同，因而其定价决策对多个 CSO 所服务市场的销量具有共同的影响，相对绩效能够消除共同不确定因素对代理人产出的影响，从而更有利于激励代理人付出高水平的努力. 基于此，本研究构建了单个制药企业对应多个 CSO 的博弈模型，分析并比较基于相对绩效的激励契约与基于个体绩效的激励契约的特征和有效性.

研究发现: 1) 当药品营销难度信息对称时，基于相对绩效的激励契约占优于基于个体绩效的激励契约. 基于相对绩效的激励契约可以消除制药企业定价决策对 CSO 所服务市场的销量的影响，并解决营销服务外包中的道德风险问题，帮助制药企业获得全局最优的期望利润和营销努力. 2) 当药品营销难度信息不对称时，两种激励契约均不能实现全局最优的结果. 数值分析表明当药品营销难度为高类型的概率较低时，基于相对绩效的激励契约占优于基于个体绩效的激励契约; 当药品营销难度为高类型的概率较高时，较高的市场价格敏感性和较低的高低类型的药品营销难度差异使得基于相对绩效的激励契约更为有效.

本研究的局限性体现在: 1) 研究过程中假设 CSO 为风险中性. 采用该假设得到了可分析的均衡解，尽管获得了一些结论，却牺牲了模型的普适性. 2) 研究中仅考虑了制药企业的药品价格在 CSO 完成营销服务之后制定，未研究制药企业的药品价格在签订契约之前就已经制定的情形. 对于上述两方面的拓展是未来进一步研究的方向.

参 考 文 献:

[1] Rogers B. Contract sales organisations: Making the transition from tactical resource to strategic partnering [J]. Journal of Medical Marketing, 2008, 8(1): 39 – 47.

[2] McGovern G, Quelch J. Outsourcing marketing [J]. Harvard Business Review, 2005, 83(3): 22 – 26.

[3] 孟庆峰，盛昭瀚，陈敬贤，等. 考虑行为外部性的多零售商销售努力激励 [J]. 管理科学学报，2014，17(12): 1 – 14.

Meng Qingfeng, Sheng Zhaohan, Chen Jingxian, et al. Motivating multi-retailers sales efforts considering external effects [J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(12): 1 – 14. (in Chinese)

[4] Laffont J J, Martimort D. The Theory of Incentives: The Principal-agent Model [M]. Princeton: Princeton University Press, 2009.

[5] 张宗明, 廖貅武, 刘树林. 需求不确定性下 IT 服务外包合同设计与分析 [J]. 管理科学学报, 2013, 16(2): 46 – 59.
Zhang Zongming, Liao Xiuwu, Liu Shulin. Design and analysis of contracts for IT service outsourcing with uncertain requirements [J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(2): 46 – 59. (in Chinese)

[6] Cezar A, Cavusoglu H, Raghunathan S. Outsourcing information security: Contracting issues and security implications [J]. Management Science, 2014, 60(3): 638 – 657.

[7] 谢文明, 江志斌, 汪益新, 等. 基于服务型制造的设备维护外包合同设计 [J]. 系统管理学报, 2013, 22(3): 289 – 294.
Xie Wenming, Jiang Zhibin, Wang Yixin, et al. Maintenance outsourcing contract design based on service-oriented manufacturing [J]. Journal of Systems & Management, 2013, 22(3): 289 – 294. (in Chinese)

[8] 王先甲, 张柳波, 关 旭, 等. 道德风险模型中代理人公平敏感性对契约影响 [J]. 管理科学学报, 2016, 19(8): 21 – 31.
Wang Xianjia, Zhang Liubo, Guan Xu, et al. Impact caused by agents' equity sensitivity in the moral risk model [J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, 19(8): 21 – 31. (in Chinese)

[9] 张宗明, 刘树林, 廖貅武. 不完全测度下多目标 IT 外包关系契约激励机制 [J]. 系统工程学报, 2013, 28(3): 338 – 347.
Zhang Zongming, Liu Shulin, Liao Xiuwu. Relational incentive contracts for multiobjective IT outsourcing with incomplete measurement [J]. Journal of Systems Engineering, 2013, 28(3): 338 – 347. (in Chinese)

[10] 唐国锋, 但 斌, 宋 寒. 多任务道德风险下应用服务外包激励机制研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(5): 1175 – 1184.
Tang Guofeng, Dan Bin, Song Han. Research on the incentive mechanism for multi-task moral hazard in application service outsourcing [J]. Systems Engineering: Theroy & Practice, 2013, 33(5): 1175 – 1184. (in Chinese)

[11] Elitzur R, Gavious A, Wensley A K P. Information systems outsourcing projects as a double moral hazard problem [J]. Omega, 2012, 40(3): 379 – 389.

[12] 代建生, 孟卫东, 魏立伟. 具有双边道德风险的服务外包线性分成契约 [J]. 系统管理学报, 2014, 23(3): 403 – 415.
Dai Jiansheng, Meng Weidong, Wei Liwei. Bilateral moral hazard and linear revenue-sharing contract in service outsourcing [J]. Journal of Systems & Management, 2014, 23(3): 403 – 415. (in Chinese)

[13] 宋 寒, 但 斌, 张旭梅. 服务外包中双边道德风险的关系契约激励机制 [J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(11): 1944 – 1953.
Song Han, Dan Bin, Zhang Xumei. Relational incentive contracts and double moral hazard in service outsourcing [J]. Systems Engineering: Theroy & Practice, 2010, 30(11): 1944 – 1953. (in Chinese)

[14] Lee C H, Geng X, Raghunathan S. Contracting information security in the presence of double moral hazard [J]. Information Systems Research, 2013, 24(2): 295 – 311.

[15] 程 红, 汪贤裕, 郭红梅, 等. 道德风险和逆向选择共存下的双向激励契约 [J]. 管理科学学报, 2016, 19(12): 36 – 45.
Cheng Hong, Wang Xianyu, Guo Hongmei, et al. Bilateral incentive contract with both moral hazard and adverse selection [J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, 19(12): 36 – 45. (in Chinese)

[16] 张宗明, 杜 荣, 廖貅武. 合作生产视角下的服务外包契约设计 [J]. 管理科学, 2014, 27(6): 77 – 89.
Zhang Zongming, Du Rong, Liao Xiuwu. Contract design for service outsourcing under joint production perspective [J]. Journal of Management Science, 2014, 27(6): 77 – 89. (in Chinese)

[17] Zhang H, Kong G, Rajagopalan S. Contract design by service providers with private effort [J]. Management Science,

2018, 64(6): 2672-2689.

[18] Nalebuff B J, Stiglitz J E. Prizes and incentives: Towards a general theory of compensation and competition [J]. The Bell Journal of Economics, 1983, 14(1): 21-43.

[19] Lazear E P, Rosen S. Rank-order tournaments as optimum labor contracts [J]. Journal of Political Economy, 1981, 89(5): 841-864.

[20] Holmstrom B. Moral hazard in teams [J]. The Bell Journal of Economics, 1982, 13(2): 324-340.

[21] Green J R, Stokey N L. A comparison of tournaments and contracts [J]. Journal of Political Economy, 1983, 91(3): 349-364.

[22] Levy A, Vukina T. Optimal linear contracts with heterogeneous agents [J]. European Review of Agricultural Economics, 2002, 29(2): 205-217.

[23] Tsoulouhas T. Do tournaments solve the adverse selection problem? [J]. Journal of Economics and Management Strategy, 2017, 26(3): 675-690.

[24] Cao B, Gao J. Quality contracts with the supplier's private product manufacturability information [J]. Computers & Industrial Engineering, 2018, 125: 309-318.

[25] Konrad K A, Kovenock D. Contests with stochastic abilities [J]. Economic Inquiry, 2010, 48(1): 89-103.

[26] Tsoulouhas T, Marinakis K. Tournaments with ex post heterogeneous agents [J]. Economics Bulletin, 2007, 4(41): 1-9.

[27] Desai P S, Srinivasan K. Demand signalling under unobservable effort in franchising: Linear and nonlinear price contracts [J]. Management Science, 1995, 41(10): 1608-1623.

[28] Desai P S. Advertising fee in business-format franchising [J]. Management Science, 1997, 43(10): 1401-1419.

[29] Salma K. Periodicity of pricing and marketing efforts in a distribution channel [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 228(3): 635-647.

[30] Myerson R B. Incentive compatibility and the bargaining problem [J]. Econometrica, 1979, 47(1): 61-73.

Design of contracts for pharmaceutical marketing service outsourcing with asymmetric information

GAO Jie[1,2], *FAN Hui-rong*[1,2*], *LI Xiao-xiao*[1,2]

1. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. State Key Laboratory for Manufacturing System Engineering, Xi'an 710049, China

Abstract: In order to reduce the marketing cost, some pharmaceutical firms outsource their marketing services to CSO (contract sales organization). The pharmaceutical firm pays CSO based on sales volume to incentivize its non-contractible marketing effort. However, the sales volume is affected by the pricing decision of the pharmaceutical firm, which makes CSO face the moral hazard of increasing price by the pharmaceutical firm. In addition, the pharmaceutical marketing difficulty may be the private information of the CSO, which will lead to adverse selection. When the pharmaceutical firm outsources marketing business to multiple CSOs, the pricing decision of the pharmaceutical firm has a common impact on the sales volume of the CSOs as the sales price is the same in different markets. The incentive contract based on relative performance can filter out the common shock effect on the output of agents, thereby effectively motivating the agents. The different effectiveness between incentive contracts based on relative and absolute performance is compared. It is shown that the incentive contract based on relative performance dominates the contract based on absolute performance when the pharmaceutical marketing difficulty is symmetrical information. Moreover, the incentive contract based on relative performance can achieve the first-best marketing effort and profit. Further, neither incentive contract can obtain the first-best marketing effort and profit when the pharmaceutical marketing difficulty is asymmetrical information. The numerical analysis further shows that a higher market price sensitivity or a lower difference between the high-type and low-type pharmaceutical marketing difficulty is more beneficial to the incentive contract based on relative performance.

Key words: service outsourcing; incentive contract; relative-performance; moral hazard; information screening

附录

引理 1 的证明

证明　制药企业优化问题的一阶最优条件为 $\frac{\partial \Pi^S}{\partial q_i} = \frac{p}{2k\sqrt{q_i}} - 1 = 0$，$\frac{\partial \Pi^S}{\partial p} = a + \frac{\sqrt{q_i}}{k} - 2bp = 0$，相应的海塞矩阵为 $H_{\Pi^S}(p,q_i)\begin{bmatrix} -2b & \frac{1}{2k\sqrt{q_i}} \\ \frac{1}{2k\sqrt{q_i}} & -\frac{p}{4k\,q_i\sqrt{q_i}} \end{bmatrix}$. $4bk^2 - 1 > 0$ 时，海塞矩阵 $H_{\Pi^S}(p,q_i)$ 为负定的. 由于满足假设 $2bk^2 - 1 > 0$，因此目标函数(1)是营销努力 q_i 和药品价格 p 的联合凹函数. 由一阶最优条件可以解得 $p^S = \frac{2ak^2}{4bk^2 - 1}$，$q_i^S = \frac{a^2k^2}{(4bk^2 - 1)^2}$. 同样，当假设 $2bk^2 - 1 > 0$ 成立时，销量满足 $a - bp > 0$. 将 p^S 与 q_i^S 代入目标函数可解得 $\Pi^S = \frac{a^2k^2}{4bk^2 - 1}$.

命题 1 的证明

证明　由逆向归纳法进行求解. 首先，在无法观察到 CSO 营销努力的情形下，制药企业设定药品价格来最大化其期望利润: $p^I = \arg\max_p (p - w)\left(a - bp + \frac{\sqrt{q_i}}{k}\right) - t$.

解得 $p^I = \frac{ak + \sqrt{q_i} + bkw}{2bk}$.

其次,CSO 在无法获知制药企业的药品价格的情形下设定营销努力来最大化自身期望利润: $q_i^I = \arg\max\limits_{q_i} w\left(a - bp + \frac{\sqrt{q_i}}{k}\right) - q_i + t$.

解得 $q_i^I(w) = \frac{w^2}{4k^2}$.

博弈均衡时 p^I 与 q_i^I 分别是对方的最优反应，因此有 $p^I(w) = \frac{2ak^2 + (1 + 2bk^2)w}{4bk^2}$.

在求解出制药企业设定药品价格与 CSO 设定营销努力的反应函数之后,制药企业决定最优的激励契约(w，t)来最大化其期望利润，此时约束(3)是紧约束，因为如果不是紧约束，制药企业总是可以在满足约束条件的同时通过降低 t 来提高自己的利润. 因此有 $\pi^I(w) = \frac{(a - bw)w}{2} + t = 0$，解得 $t^I = -\frac{(a - bw)w}{2}$，将 t^I 与引理 2 中的结论代入式(2)可得

$$\max_w \frac{1}{b}\left(\frac{2ak^2 - 2bk^2w + w}{4k^2}\right)^2 + \frac{(a - bw)w}{2} \tag{A1}$$

由于(A1)关于 w 的二阶导数 $\frac{1 - 4b^2k^4 - 4bk^2}{8bk^4} < 0$，因此制药企业的期望利润是 w 的凹函数，解得 $w^I = \frac{2ak^2}{4b^2k^4 + 4bk^2 - 1}$，$w^I$ 对 k 求导可得 $w^{I'}(k) = -\frac{4ak(1 + 4b^2k^4)}{(4b^2k^4 + 4bk^2 - 1)^2} < 0$，$w^I$ 是 k 的减函数. $t^I =$

$-\frac{a^2k^2(4b^2k^4+2bk^2-1)}{(4b^2k^4+4bk^2-1)^2}$，$t^I$ 对 k 求导可得 $t^{I'}(k)=\frac{2a^2k(16b^4k^8-1)}{(4b^2k^4+4bk^2-1)^3}>0$，$t^I$ 是 k 的增函数.

推论 1 的证明

证明　由命题 1 的证明可求得 $q_i^I=\frac{a^2k^2}{(4b^2k^4+4bk^2-1)^2}$，$p^I=\frac{a(3k^2+2bk^4)}{4b^2k^4+4bk^2-1}$，$\Pi^I=\frac{a^2(k^2+bk^4)}{4b^2k^4+4bk^2-1}$. CSO 的期望利润为其保留利润. $q_i^S-q_i^I=\frac{a^2k^2}{(4bk^2-1)^2}-\frac{a^2k^2}{(4b^2k^4+4bk^2-1)^2}=\frac{8a^2b^2k^6(2b^2k^4+4bk^2-1)}{(4bk^2-1)^2(4b^2k^4+4bk^2-1)^2}>0$，$p^S-p^I=\frac{2ak^2}{4bk^2-1}-\frac{a(3k^2+2bk^4)}{4b^2k^4+4bk^2-1}=\frac{ak^2(1-2bk^2)}{(4bk^2-1)(4b^2k^4+4bk^2-1)}<0$，$\Pi^S-\Pi^I=\frac{a^2k^2}{4bk^2-1}-\frac{a^2(k^2+bk^4)}{4b^2k^4+4bk^2-1}=\frac{a^2bk^4}{(4bk^2-1)(4b^2k^4+4bk^2-1)}>0$.

命题 2 的证明

证明　由逆向归纳法进行求解. 首先，在无法观察到 CSO 营销努力的情形下，制药企业设定药品价格来最大化其期望利润

$$p^R=\arg\max_p p\left(a-bp+\frac{\sqrt{q_i}}{k}\right)-\beta\left(a-bp+\frac{\sqrt{q_i}}{k}-\frac{1}{n-1}\sum_{j\neq i}\left(a-bp+\frac{\sqrt{q_j}}{k}\right)\right)-\tau.$$

解得 $p^R=\frac{ak+\sqrt{q_i}}{2bk}$ $\left(\text{CSO 之间的同质性使得 } \left(\bar{d}_i-\frac{1}{n-1}\sum_{j\neq i}\bar{d}_j\right)=0\right)$.

其次，CSO 在无法获知制药企业的药品价格的情形下设定营销努力来最大化自身期望利润

$$q_i^R=\arg\max_{q_i}\beta\left(a-bp+\frac{\sqrt{q_i}}{k}-\frac{1}{n-1}\sum_{j\neq i}\left(a-bp+\frac{\sqrt{q_j}}{k}\right)\right)-q_i+\tau.$$

解得 $q_i^R(\beta)=\frac{\beta^2}{4k^2}$.

博弈均衡时，p^R 与 q_i^R 分别是对方的最优反应，因此有 $p^R(\beta)=\frac{2ak^2+\beta}{4bk^2}$.

同理于命题 1 的证明，约束(5)是紧约束，因此有 $\pi_i^R(\beta)=-\frac{\beta^2}{4k^2}+\tau=0$，解得 $\tau^R=\frac{\beta^2}{4k^2}$，将 τ^R 与引理 3 中的结论代入式(4)可得

$$\max_\beta\frac{(1-4bk^2)\beta^2+4ak^2\beta+4a^2k^4}{16bk^4}. \tag{A2}$$

由于(A2)关于 β 的二阶导数 $\frac{1-4bk^2}{8bk^4}<0$，因此制药企业的期望利润是 β 的凹函数，解得 $\beta^R=\frac{2ak^2}{4bk^2-1}$，$\beta^R$ 是 k 的减函数. $\tau^R=\frac{a^2k^2}{(4bk^2-1)^2}$，$\tau^R$ 对 k 求导可得 $\tau^{R'}(k)=-\frac{2a^2k(4bk^2+1)}{(4bk^2-1)^3}<0$，$\tau^R$ 是 k 的减函数. 将 β^R，τ^R 代入引理(3)中可求得 $q_i^R=\frac{a^2k^2}{(4bk^2-1)^2}$，$p^R=\frac{2ak^2}{4bk^2-1}$，$\Pi^R=\frac{a^2k^2}{4bk^2-1}$，$\pi_i^R=0$.

命题 3 的证明

证明　当采用基于个体绩效的激励契约 (w_H,t_H)，(w_L,t_L) 时，若 CSO 报告药品营销难度为高类型，则制药企业选择契约 (w_H,t_H)，并设定药品价格 $p_H^I(w_H)=\frac{2ak_H^2+(1+2bk_H^2)w_H}{4bk_H^2}$；若 CSO 报告药品营销难度为低类型，则制药企业选择契约 (w_L,t_L)，并设定药品价格 $p_L^I(w_L)=\frac{2ak_L^2+(1+2bk_L^2)w_L}{4bk_L^2}$. 高类型 CSO 模仿低类型 CSO 时设定的最优营销努力为 $q_{iHL}^{AI}(w_L,k_H)=\frac{w_L^2}{4k_H^2}$，相反地，低类型 CSO 模仿高类型 CSO 时设定的最优营销努力为 $q_{iLH}^{AI}(w_H,k_L)=\frac{w_H^2}{4k_L^2}$. 制药企业的优化问题可以重写为

$$\max_{\{(w_H,t_H),(w_L,t_L)\}}\rho\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_H^2}-2b\right)w_H\right)^2-t_H\right)+(1-\rho)\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_L^2}-2b\right)w_L\right)^2-t_L\right) \tag{A3}$$

$$\text{s.t.}\quad \frac{w_H(a-bw_H)}{2}+t_H\geq 0 \tag{A4}$$

$$\frac{w_L(a-bw_L)}{2}+t_L\geqslant 0 \tag{A5}$$

$$\frac{w_H(a-bw_H)}{2}+t_H\geqslant \frac{w_L}{2}\left(a-bw_L+\frac{w_L}{2}\left(\frac{1}{k_H^2}-\frac{1}{k_L^2}\right)\right)+t_L \tag{A6}$$

$$\frac{w_L(a-bw_L)}{2}+t_L\geqslant \frac{w_H}{2}\left(a-bw_H+\frac{w_H}{2}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)\right)+t_H \tag{A7}$$

由(A7)可得 $\frac{w_L(a-bw_L)}{2}+t_L\geqslant \frac{w_H}{2}\left(a-bw_H+\frac{w_H}{2}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)\right)+t_H\geqslant \frac{w_H(a-bw_H)}{2}+t_H$，因此有，如果(A4)满足，则(A5)也一定满足．其次，(A4)必须是紧约束时才能均衡，否则可以在不违反约束(A6)和约束(A7)的条件下同时降低 t_H 和 t_L 相同的数量来最大化(A3)．再者(A7)必须是紧约束，不然可以通过轻微地降低 t_L 来最大化(A3)．

根据上述分析可将优化问题简化为如下形式

$$\max_{\{(w_H,t_H),(w_L,t_L)\}}\ \rho\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_H^2}-2b\right)w_H\right)^2-t_H\right)+(1-\rho)\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_L^2}-2b\right)w_L\right)^2-t_L\right) \tag{A8}$$

$$\text{s. t.}\quad \frac{w_H(a-bw_H)}{2}+t_H=0 \tag{A9}$$

$$\frac{w_L(a-bw_L)}{2}+t_L=\frac{w_H}{2}\left(a-bw_H+\frac{w_H}{2}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)\right)+t_H \tag{A10}$$

$$\frac{w_H(a-bw_H)}{2}+t_H\geqslant \frac{w_L}{2}\left(a-bw_L+\frac{w_L}{2}\left(\frac{1}{k_H^2}-\frac{1}{k_L^2}\right)\right)+t_L \tag{A11}$$

由(A9)，(A10)可求得 $t_H=-\frac{w_H(a-bw_H)}{2}$，$t_L=\frac{w_H^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)-\frac{w_L(a-bw_L)}{2}$，将其代入目标函数(A8)可得

$$\max_{\{w_L,t_L\}}\ \rho\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_H^2}-2b\right)w_H\right)^2+\frac{w_H(a-bw_H)}{2}\right)+(1-\rho)\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_L^2}-2b\right)w_L\right)^2-\frac{w_H^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)+\frac{w_L(a-bw_L)}{2}\right) \tag{A12}$$

$$\text{s. t.}\quad w_L-w_H\geqslant 0 \tag{A13}$$

目标函数的海塞矩阵为 $H(w_H,w_L)=\begin{bmatrix}\frac{\rho(1-4b^2k_H^4-4bk_H^2)}{8bk_H^4}+\frac{(1-\rho)}{2}\left(\frac{1}{k_H^2}-\frac{1}{k_L^2}\right) & 0\\ 0 & \frac{(1-\rho)(1-4b^2k_L^4-4bk_L^2)}{8bk_L^4}\end{bmatrix}$，该海塞矩阵为负定的．因此目标函数是 w_L，w_H 的联合凹函数，Kuhn-Tucker 条件为最优解的充分条件，因此可构造如下 Lagrange 函数，其中 μ 为不小于 0 的拉格朗日乘子

$$L(w_H,w_L,\mu)=\rho\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_H^2}-2b\right)w_H\right)^2+\frac{w_H(a-bw_H)}{2}\right)+(1-\rho)\left(\frac{1}{16b}\left(2a+\left(\frac{1}{k_L^2}-2b\right)w_L\right)^2-\frac{w_H^2}{4}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)+\frac{w_L(a-bw_L)}{2}\right)+\mu(w_L-w_H).$$

最优解要求满足以下所有条件

(1) $\frac{\partial L(w_H,w_L,\mu)}{\partial w_H}=\frac{\rho a}{4bk_H^2}+\frac{\rho(1-4b^2k_H^4-4bk_H^2)w_H}{8bk_H^4}+\frac{(1-\rho)}{2}\left(\frac{1}{k_H^2}-\frac{1}{k_L^2}\right)w_H-\mu=0$；

(2) $\frac{\partial L(w_H,w_L,\mu)}{\partial w_L}=(1-\rho)\left(\frac{a}{4bk_L^2}+\frac{(1-4bk_L^2-4b^2k_L^4)w_L}{8bk_L^4}+\mu\right)=0$；

(3) $w_L-w_H\geqslant 0$；

(4) $\mu\geqslant 0$；

(5) $\mu(w_L-w_H)=0$．

情形 1 $w_L-w_H>0$，$\mu=0$，$\frac{\rho a}{4bk_H^2}+\frac{\rho(1-4b^2k_H^4-4bk_H^2)w_H}{8bk_H^4}+\frac{(1-\rho)}{2}\left(\frac{1}{k_H^2}-\frac{1}{k_L^2}\right)w_H=0$，$(1-\rho)\left(\frac{a}{4bk_L^2}+\frac{(1-4bk_L^2-4b^2k_L^4)w_L}{8bk_L^4}\right)=0$，解得 $w_H^{AI}=\frac{2ak_H^2}{4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+\frac{4bk_H^4(1-\rho)}{\rho}\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)}$，$w_L^{AI}=\frac{2ak_L^2}{4b^2k_L^4+4bk_L^2-1}$，由于 $w^I=\frac{2ak^2}{4b^2k^4+4bk^2-1}$，且 w^I 是 k 的减函数．因此有 $w_H^I<w_L^I$，而 $w_H^{AI}<w_H^I$，$w_L^{AI}=w_L^I$，因而有 $w_L^{AI}-w_H^{AI}>0$ 始终成立，

由于存在最优的内点解，下面不再考虑边界解.

上述讨论表明存在分离均衡契约使得制药企业的利润最大化，均衡契约满足 $w_H^{AI}=\dfrac{2ak_H^2}{4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+M}$，其中 $M=\dfrac{4bk_H^4(1-\rho)}{\rho}\left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)$； $w_L^{AI}=\dfrac{2ak_L^2}{4b^2k_L^4+4bk_L^2-1}$； $t_H^{AI}=-\dfrac{a^2k_H^2(4b^2k_H^4+2bk_H^2-1+M)}{(4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+M)^2}$； $t_L^{AI}=\dfrac{a^2k_H^4}{(4b^2k_H^4+4bk_H^2-1+M)^2}\left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)-\dfrac{ak_L^2(4ab^2k_L^4+2abk_L^2-a)}{(4b^2k_L^4+4bk_L^2-1)^2}$.

命题 4 的证明

证明　当采用基于相对绩效的激励契约 (β_H,τ_H)，(β_L,τ_L) 时，若 CSO 报告药品营销难度为高类型，则制药企业选择契约 (β_H,τ_H)，并设定药品价格 $p_H^R(\beta_H)=\dfrac{2ak_H^2+\beta_H}{4bk_H^2}$；若 CSO 报告药品营销难度为低类型，则制药企业选择契约 (β_L,τ_L)，并设定药品价格 $p_L^R(\beta_L)=\dfrac{2ak_L^2+\beta_L}{4bk_L^2}$. 高类型 CSO 模仿低类型 CSO 时设定的最优营销努力为 $q_{iHL}^{AR}(\beta_L,k_H)=\dfrac{\beta_L^2}{4k_H^2}$，相反地，低类型 CSO 模仿高类型 CSO 时设定的最优营销努力为 $q_{iLH}^{AR}(\beta_H,k_L)=\dfrac{\beta_H^2}{4k_L^2}$. 制药企业的优化问题可以重写为

$$\max_{\{(\beta_H,\tau_H),(\beta_L,\tau_L)\}}\ \rho\left(\frac{(2ak_H^2+\beta_H)^2}{16bk_H^4}-\tau_H\right)+(1-\rho)\left(\frac{(2ak_L^2+\beta_L)^2}{16bk_L^4}-\tau_L\right)\tag{A14}$$

$$\text{s.t.}\quad \tau_H-\frac{\beta_H^2}{4k_H^2}\geqslant 0\tag{A15}$$

$$\tau_L-\frac{\beta_L^2}{4k_L^2}\geqslant 0\tag{A16}$$

$$\tau_H-\frac{\beta_H^2}{4k_H^2}\geqslant \tau_L-\frac{\beta_L^2}{4k_H^2}\tag{A17}$$

$$\tau_L-\frac{\beta_L^2}{4k_L^2}\geqslant \tau_H-\frac{\beta_H^2}{4k_L^2}\tag{A18}$$

观察约束条件可知(A16) 和(A17) 可以消去(A15)，因为 $\tau_H-\dfrac{\beta_H^2}{4k_H^2}\geqslant\tau_L-\dfrac{\beta_L^2}{4k_H^2}\geqslant\tau_L-\dfrac{\beta_L^2}{4k_L^2}$，所以如果(A16) 满足，那么(A15) 必定满足. 其次，(A16) 为紧约束时才能均衡，否则可以在不违反约束(A17) 和(A18) 的条件下同时降低 τ_H 和 τ_L 相同的数量来最大化(A14). 另外(A17) 必须是紧约束，否则可以通过轻微地降低 τ_H 来最大化(A14).

根据上述分析可将优化问题重写为

$$\max_{\{(\beta_H,\tau_H),(\beta_L,\tau_L)\}}\ \rho\left(\frac{(2ak_H^2+\beta_H)^2}{16bk_H^4}-\tau_H\right)+(1-\rho)\left(\frac{(2ak_L^2+\beta_L)^2}{16bk_L^4}-\tau_L\right)\tag{A19}$$

$$\text{s.t.}\quad \tau_L-\frac{\beta_L^2}{4k_L^2}=0\tag{A20}$$

$$\tau_H-\frac{\beta_H^2}{4k_H^2}=\tau_L-\frac{\beta_L^2}{4k_H^2}\tag{A21}$$

$$\tau_L-\frac{\beta_L^2}{4k_L^2}\geqslant \tau_H-\frac{\beta_H^2}{4k_L^2}\tag{A22}$$

由(A20)，(A21) 可得 $\tau_L=\dfrac{\beta_L^2}{4k_L^2}$，$\tau_H=\left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)\dfrac{\beta_L^2}{4}+\dfrac{\beta_H^2}{4k_H^2}$，将其代入优化问题可得

$$\max_{\{\beta_H,\beta_L\}}\ \rho\left(\frac{(2ak_H^2+\beta_H)^2}{16bk_H^4}-\left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)\frac{\beta_L^2}{4}-\frac{\beta_H^2}{4k_H^2}\right)+(1-\rho)\left(\frac{(2ak_L^2+\beta_L)^2}{16bk_L^4}-\frac{\beta_L^2}{4k_L^2}\right)\tag{A23}$$

$$\text{s.t.}\quad \beta_H-\beta_L\geqslant 0\tag{A24}$$

目标函数的海塞矩阵为 $H(\beta_H,\beta_L)=\begin{bmatrix}\dfrac{\rho(1-4bk_H^2)}{8bk_H^4} & 0\\ 0 & \dfrac{(1-\rho)(1-4bk_L^2)}{8bk_L^4}+\dfrac{\rho}{2}\left(\dfrac{1}{k_H^2}-\dfrac{1}{k_L^2}\right)\end{bmatrix}$，该海塞矩阵为负定的.

因此目标函数(A23)是β_H，β_L的联合凹函数，Kuhn-Tucker 条件为最优解的充分条件，因此可构造如下 Lagrange 函数，其中λ为不小于 0 的拉格朗日乘子

$$L(\beta_H, \beta_L, \lambda) = \rho\left(\frac{(2ak_H^2+\beta_H)^2}{16bk_H^4} - \left(\frac{1}{k_L^2}-\frac{1}{k_H^2}\right)\frac{\beta_L^2}{4} - \frac{\beta_H^2}{4k_H^2}\right) + (1-\rho)\left(\frac{(2ak_L^2+\beta_L)^2}{16bk_L^4} - \frac{\beta_L^2}{4k_L^2}\right) + \lambda(\beta_H - \beta_L).$$

最优解要求满足以下所有条件

(1) $\dfrac{\partial L(\beta_H,\beta_L,\lambda)}{\partial \beta_H} = \dfrac{\rho a}{4bk_H^2} + \dfrac{\rho(1-4bk_H^2)\beta_H}{8bk_H^4} + \lambda = 0$；

(2) $\dfrac{\partial L(\beta_H,\beta_L,\lambda)}{\partial \beta_L} = \dfrac{a(1-\rho)}{4bk_L^2} + \dfrac{(1-\rho)(1-4bk_L^2)\beta_L}{8bk_L^4} + \dfrac{\rho}{2}\left(\dfrac{1}{k_H^2}-\dfrac{1}{k_L^2}\right)\beta_L - \lambda = 0$；

(3) $\beta_H - \beta_L \geqslant 0$；

(4) $\lambda \geqslant 0$；

(5) $\lambda(\beta_H - \beta_L) = 0$.

情形 1 $\beta_H - \beta_L > 0, \lambda = 0$，$\dfrac{\rho a}{4bk_H^2} + \dfrac{\rho(1-4bk_H^2)\beta_H}{8bk_H^4} = 0$，$\dfrac{a(1-\rho)}{4bk_L^2} + \dfrac{(1-\rho)(1-4bk_L^2)\beta_L}{8bk_L^4} + \dfrac{\rho}{2}\left(\dfrac{1}{k_H^2}-\dfrac{1}{k_L^2}\right)\beta_L = 0$，解得$\beta_H^{AR} = \dfrac{2ak_H^2}{4bk_H^2-1}$，$\beta_L^{AR} = \dfrac{2ak_L^2}{4bk_L^2 - 1 + \dfrac{4bk_L^4\rho}{1-\rho}\left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)}$. 由$\beta_H - \beta_L > 0$可得情形 1 的边界条件为$-\dfrac{1}{k_H^2} < -\dfrac{1}{k_L^2} + \dfrac{4bk_L^4\rho}{1-\rho}\left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)$，化简得$\rho > \dfrac{1}{4bk_L^2+1}$.

情形 2 $\beta_H - \beta_L = 0$，$\lambda > 0$，$\dfrac{\rho a}{4bk_H^2} + \dfrac{\rho(1-4bk_H^2)\beta_H}{8bk_H^4} + \lambda = 0$，$\rho < \dfrac{1}{4bk_L^2+1}$，$\dfrac{a(1-\rho)}{4bk_L^2} + \dfrac{(1-\rho)(1-4bk_L^2)\beta_L}{8bk_L^4} + \dfrac{\rho}{2}\left(\dfrac{1}{k_H^2}-\dfrac{1}{k_L^2}\right)\beta_L - \lambda = 0$，解得$\lambda = \dfrac{\rho(4bk_H^2-1)}{8bk_H^4}\dfrac{2a\left(\dfrac{\rho}{k_H^2}+\dfrac{1-\rho}{k_L^2}\right)}{\dfrac{4b}{k_L^2}-\dfrac{\rho}{k_H^4}-\dfrac{1-\rho}{k_H^4}} - \dfrac{\rho a}{4bk_H^2}$，$\beta = \dfrac{2a\left(\dfrac{\rho}{k_H^2}+\dfrac{1-\rho}{k_L^2}\right)}{\dfrac{4b}{k_L^2}-\dfrac{\rho}{k_H^4}-\dfrac{1-\rho}{k_L^4}}$. 由$\lambda > 0$可得情形 2 的边界条件为$0 < \rho < \dfrac{1}{4bk_L^2+1}$.

因而，当$\dfrac{1}{4bk_L^2+1} < \rho \leqslant 1$时，均衡契约满足$\beta_H^{AR} = \dfrac{2ak_H^2}{4bk_H^2-1}$，$\beta_L^{AR} = \dfrac{2ak_L^2}{4bk_L^2-1+S}$，其中$S = \dfrac{4bk_L^4\rho}{1-\rho}\left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)$；$\tau_L^{AR} = \dfrac{a^2k_L^2}{(4bk_L^2-1+S)^2}$； $\tau_H^{AR} = \left(\dfrac{1}{k_L^2}-\dfrac{1}{k_H^2}\right)\dfrac{a^2k_L^4}{(4bk_L^2-1+S)^2} + \dfrac{a^2k_H^2}{(4bk_H^2-1)^2}$. 当$0 \leqslant \rho \leqslant \dfrac{1}{4bk_L^2+1}$时，均衡契约满足$\beta_H^{AR} = \beta_L^{AR} = \dfrac{2a\left(\dfrac{\rho}{k_H^2}+\dfrac{1-\rho}{k_L^2}\right)}{\dfrac{4b}{k_L^2}-\dfrac{\rho}{k_H^4}-\dfrac{1-\rho}{k_L^4}}$；$\tau_L^{AR} = \tau_H^{AR} = \dfrac{a^2\left(\dfrac{\rho}{k_H^2}+\dfrac{1-\rho}{k_L^2}\right)^2}{k_L^2\left(\dfrac{4b}{k_L^2}-\dfrac{\rho}{k_H^4}-\dfrac{1-\rho}{k_L^4}\right)^2}$.