

研发竞赛设计研究综述

葛如一¹,张朋柱²

(1.上海商学院 信息与计算机学院,上海 200235;2.上海交通大学 安泰经济与管理学院,上海 200052)

摘要:研发竞赛是一种重要的研发激励机制。现有研发竞赛设计研究主要集中在是否要限制参赛者、如何确定奖金金额、如何分配奖金以及是否在竞赛过程中给予反馈等问题上。对国内外研究成果进行了总结和分析,指出了在该领域研究中存在的一些问题,并进一步探讨了今后可重点研究的几个方向。

关键词:研发竞赛;R&D竞赛;创新竞赛;研发激励;机制设计

DOI:10.6049/kjbydc.2012030768

中图分类号:G301

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2012)17-0157-04

0 引言

1714年,英国国会宣布了一项价值2万英镑的悬赏竞赛,用于奖励研发出经度测量仪器的人。自此以后,悬赏竞赛成为各国政府和企业资助或采购新技术和新设备的一种重要方式,此类竞赛活动被统称为研发竞赛(Research Tournament或R&D Contest)。进入21世纪以来,随着社会对于创新的需求越来越强烈,研发竞赛的数量和规模都在持续增长,全球的研发竞赛悬赏金额已超过百亿美元^[1]。随着政府和企业研发竞赛上的投入逐年增高,迫切需要建立相关理论来指导研发竞赛的开展,研发竞赛机制设计研究应运而生。

与普通的生产活动相比,研发活动具有更大的道德风险。一方面,由于研发活动主要是一种脑力劳动,研发主体的投入和行动具有不可观察性,使得委托者很难对研发过程进行监督和管理;另一方面,由于研发成果很难预先在契约中被清楚地描述,使得委托者很难设计一份完全契约对代理人进行约束。研发竞赛通过预先承诺一个支付水平,引入多个研发者竞争,最终通过成果比较得出优胜者的方法,尽可能地减少了研发过程中的道德风险^[2],并有可能获得更为丰富多样的研发成果^[3]。

研发竞赛通常可分为4个阶段:①委托人宣布一个研发项目,规定研发期限、奖金金额及其它竞赛规则;②符合资格的研发者参加竞赛,进行研发活动;③研发活动到期,参赛者把成果提交给委托人;④委托人

根据成果质量确定最终获胜者,并支付奖金。现有的研发竞赛机制设计研究主要围绕4个问题展开:是否应该对参赛者人数加以限制、应该如何确定奖金金额、应该如何分配奖金以及是否在竞赛过程中给予信息反馈。与普通竞赛相比,研发竞赛的最大特点在于研发活动的结果具有不确定性。因此,除非特别指出,本文中所讨论的研发竞赛模型都具有产出不确定的特征。

1 是否对参赛者人数加以限制

该问题的研究最早源自于Taylor(1995)。Taylor假设委托人设立一个奖金额为 P 的研发竞赛,并邀请 M 位同质(能力相同)的研发者来参加竞赛。Taylor的模型采用了一个多周期搜索模型来模拟研发者的研发过程,假设研发过程分为 T 个周期,在每个周期中研发者的投入为 C ,产出为一个随机值 X_t 。在每个周期结束后,研发者根据当前进展情况决定是否进入下一个研发周期。如果选择进入,那么再投入 C ,产出为一个大于或等于 X_t 的随机值;如果选择放弃,那么不用再投入资源,产出仍为 X_t 。给定上述假设,Taylor首先研究了“免费参赛”的策略,即参赛者不需要交准入费,任何人只要愿意都可以参赛。他证明在一个充分竞争的研发竞赛中,参赛者的数量 M 增加,参赛者会减少投入。当 M 超过某个临界值 $N = P/C$ 时,参赛者不会有任何投入,最终导致帕累托无效的结果。很显然,参赛者人数的增加会减少参赛者的获胜概率,使得参赛者投入的积极性降低。也就是说,如果委托人采用“免费参赛”的策略,那么过度的竞争会导致帕累托无效。为

收稿日期:2012-05-24

基金项目:国家自然科学基金项目(71171131,71101026)

作者简介:葛如一(1978—),女,上海人,博士,上海商学院信息与计算机学院讲师,研究方向为创新管理和IT管理;张朋柱(1961—),男,江苏淮安人,上海交通大学安泰经济与管理学院教授、博士生导师,研究方向创新管理和知识管理。

了避免过度竞争带来的无效率结果,委托人可以通过提高进入“门槛”,即收取准入费 E 来限制参赛者的数量。虽然参赛者的减少可能会间接减少委托人的收益,但是参赛者投资积极性的增加以及准入费本身都会增加委托人的收益。通过对正负两种效应的权衡,可以得出最优准入费 E^* , 以及最优的参赛者个数 M^* 。

虽然 Taylor 的模型简明清晰,但其参赛者同质的假设过于严格。Fullerton & McAfee (1999) 放松了 Taylor (1995) 关于参赛者同质的条件,构建了一个竞赛者异质的单阶段研发竞赛模型,对参赛者准入问题作了进一步的研究。他们假设委托人给出奖金 P 邀请 n 位研发者参加竞赛,每一位研发者的能力或效率可以用其边际成本 c 来表示, c 越小能力越大或效率越高, c 的分布满足函数 $H(c)$ 。研发者在接到邀请后决定是否参加竞赛,决定参加竞赛后就付出努力,如果第 i 位研发者付出的努力为 z_i ,那么其总成本为 $r + c_i z_i$,其中 r 是固定成本。研发者的努力会产生研究成果 x ,其分布函数为 $F(x | z_i)$,每位研发者的研究成果独立同分布。给定上述假设,Fullerton & McAfee 证明在该竞赛模型中高效率参赛者的努力水平存在唯一均衡,并且该均衡努力水平是奖金额 P 的增函数。同时,他们还证明在该竞赛模型中,如果参赛者的相邻边际成本差或边际成本比是恒定的,最优准入策略是只允许效率最高的两位研发者参加竞赛。为了挑选出效率最高的两位研发者,委托人必须能设置出合适的准入费,而在研发者效率是私有信息的情况下,委托人很难计算出合适的准入费数目。为此,Fullerton 和 McAfee^[5] 设计了一种准入费拍卖机制,想要参加竞赛的研发者给出他们各自愿意支付的准入费数目,并按该数目实际支付准入费。委托人根据准入费从大到小的顺序选出前 m 位研发者参加竞赛,入选的研发者会获得一个固定的补偿金 K ,最终的优胜者获得奖金 P 。他们证明通过这种机制,可以有效甄别出研发者的效率,挑选出合适的参赛人选。

韩建军等^[6] 采用与 Fullerton、McAfee (1999) 相似的研发竞赛模型,考虑在不同成本函数形式下的竞赛准入问题。他们的结论表明,设置准入费会增加委托人的收益,并且当参赛者同质且成本函数为线性或拟凹性时,最优参赛人数为 2;当竞赛参与人的成本函数为凸性时,最优的参赛者人数不一定为 2,而是与参赛者的边际成本和固定成本等因素相关。

上述研究在不同条件下都得出了限制参赛人数有利于提高委托人收益的结论。但是, Terwiesch 和 Xu^[3] 提出了另一种可能性。他们研究了与研发竞赛很相似的创新竞赛 (innovation contests), 根据不同的产出类型,他们把创新竞赛分为 3 类:①经验类竞赛的参赛者产出由参赛者的经验和努力程度决定;②创意类竞赛的参赛者产出由努力程度和随机因素决定;③实验类竞赛的参赛者产出由实验次数和随机因素决定。经验类竞赛由于不受随机因素的影响,从而不属于我们所定义的研发竞赛范围,创意类竞赛可看作是单阶段的研究竞赛,而实验类竞赛则是多阶段的研究竞赛(与

Taylor 的模型类似)。Terwiesch 和 Xu 的研究与之前研究最大的不同之处在于,他们假设委托人的收益由两部分组成:一部分是所有参赛者的平均产出水平,另一部分则是所有参赛者中的最高产出水平。他们的研究表明,如果委托人的收益完全由平均产出水平决定,那么对参赛者人数不加限制的开放式竞赛模式不是最优选择,这和之前的研究结论一致,因为这些研究都假设委托人的收益由参赛者的总产出水平(相对于平均产出水平)决定。然而,他们的研究还表明,如果委托人的收益完全由参赛者的最高产出水平决定,那么对于创意类和实验类竞赛而言,对参赛者人数不加限制的开放式竞赛模式是委托人的最优选择。这是由于虽然开放式竞赛带来的过度竞争会导致参赛者努力程度下降,但是开放式竞赛带来的多样性会带来更好的最高产出水平。Terwiesch 和 Xu 的这一研究结果是对已有研究结论的重要补充,它使人们意识到了委托人收益形式在参赛者准入问题中的重要性。

随后, Boudreau 等^[7] 的实证研究结果验证了 Terwiesch 和 Xu 的结论。其在著名软件竞赛平台 TopCoder.com 上搜集了大量的竞赛数据,对数据进行分析后发现,增加参赛人数确实会提高参赛者的最高产出水平,并且当竞赛难度越大、不确定性越高时,这种影响越明显。

2 如何确定奖金额

在现实生活中有很多研发竞赛都会预先给出一个固定的奖金额。虽然固定奖金操作容易,但是由于委托者并不了解确切的成本信息,所以预先确定奖金额会带来效率损失。为了减少由于预先设定奖金额而引起的效率损失, Fullerton 等^[8] 设计了一种拍卖型竞赛 (Auction-Style Tournaments)。其基本沿用了 Taylor (1995) 的竞赛模型,不同的是委托人并不预先设定奖金额,而是采用了事后拍卖的方法。每个参赛者在得到研发成果后,根据自己的成果价值 x_i , 用密封的方式提出一个标价 $b(x_i)$ 。委托人根据最大化自己收益的原则选择一个最优的 $(x_i, b(x_i))$ 组合。不难看出,低产出的参赛者通过压低标价仍然有获胜的可能性。这使得高产出的参赛者也不得不降低标价,从而加剧了参赛者之间的事后竞争,使得委托人从中获益。Fullerton 等证明,如果均衡标价 $b(x_i)$ 是产出 x_i 的增函数,那么拍卖型研发竞赛的成本严格小于固定奖金型研发竞赛。由于判断 $b(x_i)$ 是否是 x_i 增函数的难度较大, Fullerton 等给出了另一个判断条件:如果随机产出函数满足 $f(x) = \alpha x^{\alpha-1}$, 则拍卖型研发竞赛优于固定奖金型研发竞赛。随后, Fullerton 等又用实验经济学的方法对这一结论进行了检验,从实验中得到的证据足以支持该结论。Fullerton 等最后指出,从信息租金的角度来看,拍卖型竞赛优于固定奖金型竞赛的原因是,前者减少了委托人在缺乏信息的情况下预先设定奖金额所需支付的信息租金。

值得注意的是, Fullerton 等的研究假设参赛者是同质的。作为对 Fullerton 等研究的补充, Che 和

Gale^[9]研究了参赛者是异质的情况。他们构建了一个第一价格拍卖型竞赛模型,在该模型中委托人选择两位效率最高的研发者参赛,并且给出一个可选的奖金范围 $P=[0, P_h]$,参赛者可以在研发活动结束后根据自己的产出情况,在奖金范围内选择一个奖金报价,委托人综合考虑参赛者的研发成果和奖金报价后确定优胜者并支付奖金。随后,他们又证明当参与者的成本函数相同时,第一价格拍卖型竞赛机制是一个最优机制;当参与者的成本函数不同时,若成本函数满足某种正则性条件,则第一价格拍卖型竞赛仍然是最优机制。虽然 Che 和 Gale 假设参赛者异质,但是参赛者的成本函数是共同知识,所以他们的模型是一个完全信息模型。韩建军等^[10]则在不完全信息条件下进行了研究,并得出在不完全信息条件下,第一价格拍卖型竞赛严格优于固定奖金型竞赛。虽然 Che & Gale 和韩建军等都指明是对研发竞赛进行研究,但是为了求解方便,他们在模型中均假设参赛者产出是确定的,不受随机因素的影响,这使得他们的研究结论有很大的局限性。

Schöttner^[11]也研究了参赛者同质情况下第一价格拍卖型和固定奖金型竞赛的优劣。他假设有两个研发企业,企业产出 q_i 由企业投入 x_i 和随机因素 u_i 共同决定,其具体表现形式为 $q_i = x_i + u_i$ 。Schöttner 指出,如果采用第一价格拍卖方式来确定奖金,那么参赛者的报价由其与另一参赛者的产出差决定,该产出差是一个随机变量。当参赛者的产出差较大时,产出高的参赛者报价可能远高于产出低的参赛者,这样委托人的付出反而比在固定奖金情况下要多。从信息租金的角度来说,如果参赛者的随机产出差较大,委托人就必须设定报价上下限才能使拍卖有效,而要设定合适的报价限值,同样要求委托人拥有大量的信息,这也就意味着拍卖型竞赛并不能减轻委托人的信息租金。因此,拍卖型竞赛并不一定优于固定奖金竞赛。Schöttner 也证明,如果该随机变量分布函数的对数是凹的,则第一价格拍卖型竞赛最优;如果该随机变量分布函数的对数是凸的,则固定奖金型竞赛最优。

3 如何分配奖金

所谓奖金分配问题,是指竞赛奖金应该集中发给一位优胜者,还是应该分给多位优胜者。换言之,就是比赛是否要分多个名次,并按名次给予奖励。目前,绝大多数竞赛奖金分配研究都是在普通竞赛(参赛者产出确定)的情况下展开的^[12-16]。只有 Terwiesch 和 Xu (2008)的研究涉及到了研发竞赛(参赛者产出不确定)的奖金分配问题。如前所述,他们建立了 3 种不同类型的竞赛模型,其中创意类竞赛和实验类竞赛的产出都受到不确定因素的影响。假设这两类竞赛中参赛者的禀赋和能力都相同,他们指出奖金对于所有参赛者的激励作用是相同的,但是不同名次上的奖金具有不同的激励作用。第一名的奖金数目最大,所以具有最强的激励作用。因此,把所有的奖金集中奖励第一名会激发最多的努力。虽然 Terwiesch 和 Xu 的研究对于我们认识研发竞赛的奖金分配问题有所帮助,但是参

赛者同质的假设使得他们的研究结果有较大局限性。

目前,还没有学者在参赛者异质条件下研发竞赛奖金分配问题。不过,有关在参赛者异质条件下普通竞赛(参赛者产出确定)奖金分配问题的研究有不少进展^[15-16],其研究成果可以带给我们一些启示。Moldovanu 和 Sela^[15]指出,奖金分配策略影响委托人收益的根本原因是不同名次上的奖金会产生不同的激励作用。对于高能力的参赛者而言,他获得高名次的概率较大,所以高名次奖金对于他的激励作用大于低名次奖金;反之,对于低能力的参赛者而言,低名次奖金对于他的激励作用大于高名次奖金。因此,把奖金集中奖励给高名次优胜者(极端情况就是单奖金竞赛)意味着增加对高能力参赛者的激励、减少对低能力参赛者的激励,而把奖金分散给多位不同名次的优胜者,则意味着增加对低能力参赛者的激励、减少对高能力参赛者的激励。他们的研究表明,如果委托人的收益等于参赛者的最高产出,那么单奖金竞赛优于多奖金竞赛;如果委托人的收益等于所有参赛者的产出之和,那么奖金分配的最优策略取决于参赛者成本函数的形式。根据上述分析,我们可以进一步考虑在产出不确定条件下的情况。如果在考虑了随机因素对于参赛者产出的影响之后,依然是高能力的参赛者获得高名次的概率较大,低能力的参赛者获得低名次的概率较大,那么奖金分配所产生的激励作用就和产出确定时的情况相同,普通竞赛奖金分配问题的研究成果可以应用到研发竞赛中。

4 是否在竞赛中给予信息反馈

在研发竞赛中,委托人除了通过选择合适的奖金策略激励参赛者外,还可以通过选择合适的信息披露策略来进行激励。在竞赛过程中,参赛者通常只知道自己的表现,却不知道竞争对手的表现,而委托人则有可能观察到所有参赛者的表现。这时,委托人就面临一个选择:要不要在竞赛过程中给予参赛者信息反馈?这里的反馈信息主要是指参赛者的相对表现情况,比如在所有参赛者中排名第几,与其他人有多少差距等。

Aoyagi^[17]建立了一个随机产出的竞赛模型,该模型假设有两位竞赛者参加竞赛,竞赛分为两个阶段,每个阶段在参赛者投入的基础上都会产生一个随机的产出,两阶段的产出之和决定优胜者。参赛者 i 在阶段 t 的投入是 a_t^i ,产出是 $z_t^i = a_t^i + \epsilon_t^i$,其中 ϵ_t^i 是一个随机值。参赛者同质,成本函数为 $c(a_t^i)$ 。在阶段 1 结束时,参赛者观察不到自己和别人的产出,但是委托人可以观察到 $X_1 = z_1^1 - z_1^2$,并且决定是否要向参赛者披露 X_1 。如果选择披露,就称之为给予反馈策略;反之,则为不反馈策略。Aoyagi 的研究结果表明,选择是否给予反馈取决于参赛者成本函数的形式,具体来说,如果参赛者的边际成本是凹的,就应该给予反馈;如果参赛者的边际成本是凸的,则不应该给予反馈。

与 Aoyagi 的研究类似,Goldtsman 和 Mukherjee^[18]也假设两位同质参赛者参加竞赛,竞赛也分为两个阶段。不同的是,每个阶段结束后,参赛者的表现简单分为成功和失败两种类型。在整个竞赛过程中,获得成

功次数最多的竞赛者赢得竞赛。另外, Goltsman 和 Mukherjee 研究的是条件型反馈策略, 比如委托人可以根据参赛者的不同表现来决定是否给予反馈。例如, 在参赛者均表现良好的条件下给予反馈, 或者在部分参赛者表现良好、部分参赛者表现不佳的条件下给予反馈等。他们的研究结果显示, 在参赛者均表现不佳的条件下给予反馈是委托人的最优策略。

与以上研究都不同, Ederer^[19]研究了当参赛者异质时的最优反馈策略。他所采用的竞赛模型和 Aoyagi 的模型基本相似, 唯一不同在于参赛者的产出是由参赛者的能力、投入和随机噪音这 3 部分构成的, 公式为 $x_i^t = h(a^i, e_i^t) + \epsilon_i^t$, 其中 a^i 是参赛者 i 的能力系数, e_i^t 是在阶段 t 内的投入, ϵ_i^t 是随机噪音。Ederer 证明如果参赛者的产出由上述三者相加而得, 即参赛者的能力(此时的能力实际是指参赛者的禀赋)对于其边际投入的产出没有影响, 那么给予或不给予反馈并无差异; 如果参赛者的产出由其能力参数和其投入相乘再加随机噪音而得, 即参赛者的能力对于其边际投入的产出有直接影响, 那么, 当参赛者的成本函数为二次函数, 影响产出的随机因素满足标准分布条件时, 则给予反馈优于不给予反馈。

5 总结和讨论

研发竞赛的机制设计研究主要从参赛限制条件、奖金金额、奖金分配和信息反馈 4 个方面展开, 国内外的相关研究在不同假设条件下得出了不同的结论。然而, 现有的研究仍存在以下 3 点不足:

(1) 研发竞赛委托者的不同收益类型未受到充分重视。委托者的收益可分为两种类型: 一种是等于所有参赛者产出的总和; 另一种是等于所有参赛者产出中的最高产出。不同的收益类型, 很可能导致不同的最优策略。在上述研发竞赛研究中只有 Terwiesch 和 Xu 对于这两种类型分别进行了讨论, 其它研究都只考虑了第一种产出类型。

(2) 理论研究居多, 实证研究较少。在上述研究中只有 Fullerton 等(2002)通过实验验证了其设计的拍卖型竞赛的有效性, Boudreau 等(2011)通过实证研究验证了 Terwiesch 和 Xu(2008)的结论。除此之外, 所有的研究结论都只在理论上进行了证明, 并没有进一步给出实验或实证数据的支持。

(3) 国内研究的广度和深度不够。研发竞赛作为一种重要的研发激励手段, 还没有引起国内学术界和企业界的足够重视, 国内有关研发竞赛机制设计的研究很少, 既没有全面系统的研究成果介绍和比较, 也没有就某个问题的深入研究和探讨。

以上不足为研发竞赛机制设计的后续研究提供了可能的研究方向。另外, 今后的研究还应该考虑到适应新时代发展的研发竞赛机制设计。例如, 互联网改变了人们的生活也改变了人们的生产方式, 越来越多的研发活动在互联网上完成, 如何在互联网上组织有效的研发竞赛将成为一个有趣的课题。

参考文献:

- [1] McKinsey Report. And the winner is...capturing the promise of philanthropic prizes[DB/OL]. <http://mckinseysociety.com/capturing-the-promise-of-philanthropic-prizes>, 2009.
- [2] 陈志俊, 张昕竹. 科研资助的激励机制研究[J]. 经济学季刊, 2004, 4(1): 1-26.
- [3] TERWIESCH C, XU Y. Innovation contests, open innovation, and multiagent problem solving[J]. Management Science, 2008, 54(9): 1 529-1 543.
- [4] TAYLOR C. Digging for golden carrots: an analysis of research tournaments[J]. American Economic Review, 1995, 85(4): 872-890.
- [5] FULLERTON R L, MCAFEE R P. Auctioning entry into tournaments[J]. Journal of Political Economy, 1999, 107(3): 573-605.
- [6] 韩建军, 程玉, 郭耀煌. 随机 R&D 竞赛模型及最优参与人选择[J]. 运筹与管理, 2006, 15(4): 108-113.
- [7] BOUDREAU K J, LACETERA N, LAKHANI K R. Incentives and problem uncertainty in innovation contests: an empirical analysis[J]. Management Science, 2011, 57(5): 843-863.
- [8] FULLERTON R L, LINSTER B G, MCKEE M, et al. Using auctions to reward tournament winners: theory and experimental investigations[J]. RAND Journal of Economics, 2002, 33(1): 62-84.
- [9] CHE Y-K, GALE I. Optimal design of research contests[J]. American Economic Review, 2003, 93(3): 646-671.
- [10] 韩建军, 谭德庆, 郭耀煌. 不完全信息 R&D 竞赛费用支付方式比较[J]. 中国管理科学, 2005, 13(6): 102-107.
- [11] SCHOTTNER A. Fixed-prize tournaments versus first-price auctions in innovation contests[J]. Economic Theory, 2008, 35(1): 57-71.
- [12] GLAZER A, HASSIN R. Optimal contests[J]. Economic Inquiry, 1988, 26(1): 133-143.
- [13] CLARK D J, RIIS C. Competition over more than one prize[J]. American Economic Review, 1998, 88(1): 276-289.
- [14] BARUT Y, DAN K. The symmetric multiple prize all-pay auction with complete information[J]. European Journal of Political Economy, 1998, 14(4): 627-644.
- [15] MOLDOVANU B, SELA A. The optimal allocation of prizes in contests[J]. The American Economic Review, 2001, 91(3): 542-558.
- [16] MOLDOVANU B, SELA A. Contest architecture[J]. Journal of Economic Theory, 2006, 126(1): 70-96.
- [17] AOYAGI M. Information feedback in a dynamic tournament[J]. Games and Economic Behavior, 2010, 70(2): 242-260.
- [18] GOLTSMAN M, MUKHERJEE A. Interim performance feedback in multistage tournaments: the optimality of partial disclosure[J]. Journal of Labor Economics, 2011, 29(2): 229-265.
- [19] EDERER F. Feedback and motivation in dynamic tournaments[J]. Journal of Economics and Management Strategy, 2010, 19(3): 733-769.

(责任编辑: 郑兴华)