

基于政府最低交通量担保的高速公路 PPP 项目价值研究 *

秦 敏 秦中伏 **

(浙江大学建筑工程学院, 杭州 310058)

摘 要:在对公私合营模式(PPP 模式)的高速公路项目价值进行研究时,使用传统的评估方法(净现值)计算常常会忽略项目本身的管理柔性价值。本文在实物期权理论的基础上,对政府向私营机构做出的最低交通量担保价值进行估算,并采用讨价还价博弈理论,基于政府和私营机构的双方风险偏好,对政府最低交通量担保价值进行分配。最后基于政府最低交通量担保,将风险分担策略应用于某高速公路 PPP 项目的案例分析中,说明运用实物期权计算的项目价值与项目的实际价值更为接近,为政府和私营机构提供了定量分析的参考方法。

关键词:PPP 项目;实物期权;政府担保;博弈模型

中图分类号:F282 **文献标识码:**A **doi:**10.16507/j.issn.1006-6055.2016.06.037

Study on Highway PPP Projects Value Based on Government Minimum Traffic Volume Guarantee *

QIN Min QIN Zhongfu **

(School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

Abstract: The value of management flexibility is often ignored when assessing highway PPP projects value using the traditional assessment methods(NPV). In this paper, on the basis of real options, option values of government minimum traffic volume guarantee were estimated, and then the minimum traffic volume guarantee value distribution was determined using the bargaining game theory based on the risk preferences of both public and private. Finally, based on the government minimum traffic volume guarantee, the risk - sharing strategy was applied to a highway PPP project to illustrate the priority of the real option in PPP projects value. A kind of quantitative analysis methods is provided for both public and private.

Key words: PPP project; real option; government guarantee; game theory

1 引言

公私合营模式(Public-Private-Partnership, 简称 PPP 模式)是政府和社会资本在基础设施与公共服务领域建立的长期合作关系,是一种创新型管理与融资模式。PPP 模式的重要特征是政府和私营机构的利益分担与风险共享,具有缓解政府投资压力、拓宽项目融资渠道、提高公共服务效率、促使政府角色转变等优势,已被广泛运用于各种公共产品和服务的提供当中,尤其在基础设施领域得到大力的推广和应用。

从 1984 年开始,我国的高速公路建设开始以收费的方式筹集资金,到 1997 年正式开始引进社会资本,市场化已经成为我国高速公路产业发展的方向。

近年来,随着《收费公路管理条例》、《关于鼓励支持和引导个体经营等非公有制经济发展的若干意见》等法律法规的颁布,目前,我国形成了以高速公路为主体的收费公路和以普通公路为主体的免费公路的交通网络。政府鼓励社会资本通过 PPP 模式参与到高速公路的投资、建设、运营和维护中,通过引入竞争机制,进行全生命周期的管理,让社会资本能发挥自身的优势,与公共部门一起共同提高高速公路的质量和效率,从而实现建设、运营管理和养护的市场化。但是,在高速路 PPP 项目中,依旧存在着很多的科学问题有待解决,诸如在整个 PPP 项目周期中面临的政治、法律、政策风险,以及交通量风险、运营风险等等。因而,如何合理地分担风险是高速公路 PPP 项目能否取得成功的关键。

2015 年,财政部和交通运输部联合发布的《关于在收费公路领域推广运用政府和社会资本合作模式的实施意见》明确指出,在高速公路 PPP 项目中,政府要逐步从“补建设”向“补运营”转变。主要原

2016-07-15 收稿,2016-09-19 接受,2016-12-25 网络发表

* 浙江省建设科技专项资金(2016)资助

** 通讯作者, E-mail: qinzhongfu@zju.edu.cn

因是很多高速公路项目交通量达不到预期水平,直接影响项目的现金状况。尤其在一些西部地区,部分高速公路项目交通量明显低于预期,存在较大的偿债风险,极大地影响私营机构对高速公路项目的投资选择^[1]。

因而,高速公路 PPP 项目交通需求量的风险分担是 PPP 项目特许协议的重要内容。尤其是项目运营期间需求量下降情况下政府的需求量补偿机制如何有效地实现风险分担是私营机构所关注的问题^[2]。学者 Vassallo^[3]归纳了国际上通用的交通量风险分担的四种有效方式,即政府交通量或者收益担保、弹性特许期、弹性特许价格、保持特许期内内部收益率或利润的经济平衡。就我国的实际情况而言,弹性特许期、弹性特许价格以及保持特许期内内部收益率或利润的经济平衡这三种操作方式需要根据实际交通量水平进行调整,较难实现,所以,政府担保成为高速公路 PPP 项目交通量风险分担的有效方式^[4]。同时,越来越多的高速公路 PPP 项目合同中,私营机构要求政府能够对高速公路进行最低交通量担保,从而分担部分风险,提升高速公路的 PPP 项目价值。所以开展最低交通量担保价值的研究,探寻适合我国国情的有效的交通量风险分担策略是我国高速公路 PPP 项目亟需解决的课题。

在高速公路 PPP 项目中,交通量不稳定的因素大,PPP 项目往往特许期又很长,因此存在着极大的风险不确定性。很多学者意识到政府担保实际是一种期权,在研究 PPP 项目价值问题上,可以引入实物期权的方法,这对 PPP 项目的决策优化有很大的作用。国外学者 Brandao^[5]指出政府担保是分担 PPP 项目车流量风险的有效方式,并以巴西 BR - 163 公路项目为例,采用蒙特卡洛模拟的方法研究政府担保看跌期权对项目价值的影响。Iyer^[6]以印度高速公路 PPP 项目为例,采用二叉树期权定价的方法分析交通量风险的实物期权模型,计算政府担保的价值。然而他们的研究尚未涉足实物期权价值的分配问题。

国内的相关研究尚处于起步的阶段,郭健^[4]研究了 PPP 项目中延迟投资决策对 PPP 项目价值的影响,进而分析政府双边保证的期权特性,并且运用 Black - Scholes 期权定价公式计算期权价值。何涛^[7]将政府担保价值引入到特许期决策模型当中,认为考虑政府的担保价值使项目的最优特许期明显缩短,并将其运用到交通运输项目的决策计算中。

同时,博弈论的引入对研究 PPP 项目政府和私营机构的协商架构机制有较大的作用,通过博弈论可以探求双方各自愿意接受的条件。王颖林^[8]采用博弈理论建立了 PPP 项目超额收益分配原则,并且尝试将限制竞争担保作为一种价值引入博弈理论进行分配^[9],李林^[10]利用讨价还价博弈理论构建了完全信息和不完全信息下 PPP 项目风险的博弈模型,补充了 PPP 项目风险分配研究的不足。然而他们的研究尚未针对不确定交通量变化设计出相应的风险分担策略。

从上述文献总结可以看出,在高速公路 PPP 项目风险分担方面,对特许期协议和特许价格的研究较多,较少涉及政府担保的实物期权特许价值分析、相关风险的合理分配以及分担策略,尤其是针对政府担保与风险共担而提出有效的交通量风险分担策略的研究较少。基于此,本文首先用实物期权的方法分析高速公路 PPP 项目的实物期权特性,评估政府担保的实物期权价值,然后基于讨价还价博弈理论,研究政府和私营机构双方的风险分担策略,优化政府担保价值模型,最后将模型运用到实际的案例中去评估政府的担保价值以及项目的实际价值。

2 政府担保实物期权理论

2.1 政府担保

在高速公路 PPP 项目这类使用者付费项目中,政府按照实际交通量或使用量进行可行性缺口补助是有一定必要的,因为这类 PPP 项目特许期限长,私营机构投资额大,还需要承担项目从融资、建设、运营到最后移交过程中各个环节的风险,私营机构承担的风险远远超过一般投资的风险。因而,私营机构往往要求政府部门对项目中的有关事宜做出担保。需要指出的是,这里所指的政府担保并非法律意义上的“政府担保”,而是指政府的一种“保证”或“承诺”,并不会违背目前法律对政府对外担保的限制。目前,国际上常用的政府保证形式有:收益担保、车流量担保、产品购买担保、限制竞争担保、价格调整担保等等。其中收益担保和车流量担保是高速公路 PPP 项目常用的交通风险量风险分担模式。

2.2 政府担保的实物期权特性

政府的一些担保具有明显的期权特性,只是私营机构不需要向政府交纳担保费。对于交通基础设施 PPP 项目,由于交通量、通道竞争等一系列原因

造成项目本身的不确定性,因而也具有了实物期权的价值。实物期权是由金融期权理论演化而来的,是指期权所有者在进行投资决策时根据将来具体情况灵活应变的权利而非义务^[9]。

在高速公路 PPP 项目的特许期内,政府和私营机构将按照合同的约定,在每个运营期末去判断是否执行该期权以及相应的期权价值,然后在第二年重新启动新一轮的期权。当实际交通量大于政府保证的最低交通量,那最低交通量担保给私营机构带来的收益为 0,但是,当实际交通量低于政府保证的最低交通量,那政府根据前期的约定和相关的合同协议给私营机构带来的补偿就是政府最低交通量保证给私营机构带来的收益。因此,未来的交通量越小,政府给予私营机构的期权价值越高。

实物期权可以分为看涨期权和看跌期权,对于私营机构来说,政府最低交通量担保相当于每年都持有一个看跌期权的合约,期权的持有者有权以高于市场价格出售资产以避免损失^[11]。政府最低交通路担保即当实际交通量过低而造成实际收益差时,为了避免投资方承担风险而遭受的损失,政府部门给予的相关保证(表 1)。

表 1 政府最低交通量担保的期权特性

期权特征	最低交通量担保
期权类型	欧式看跌期权
标的资产	交通量
执行价格	交通量下限
到期日	每个运营期末
波动率	交通量的波动率
无风险利率	无风险利率

私营机构的主体收益如图 1 所示。有无政府最低交通量担保的情况下,投资方的主体收益不同。当有政府最低交通量担保时,投资方可以获得稳定的收入下限,即最低收入的保障。如图 1(b) 中所示,一旦第 t 年的交通量低于最低交通量 K_m , 私营机构就可以执行看跌期权,获得政府补贴。

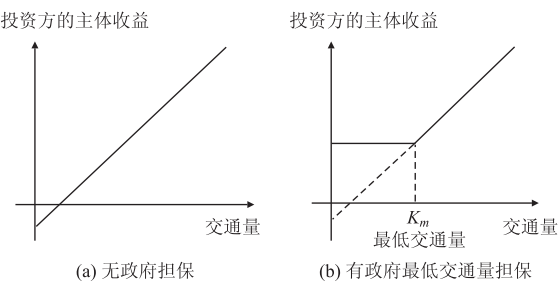


图 1 投资方的项目收益图

3 基于最低交通量担保的高速公路 PPP 项目价值计算

传统的高速公路 PPP 项目投资,主要是依据项目的净现值(NPV)进行项目的投融资决策。但是传统的 NPV 计算并没有考虑到高速公路特有的不确定性因素引起的一些问题,如未来的交通量的预测等等。实物期权的方法由于考虑了项目的投资柔性,比较适用于不确定条件下高速公路 PPP 项目价值的评估^[4]。

现有的基于政府交通量担保价值的实物期权计算方法主要有三种:Black-Scholes 期权模型方法、蒙特卡洛模拟方法、二叉树期权定价方法。Black-Scholes 期权模型公式复杂,基本假设多,对参数的要求高,并且要求标的高度可分割性,高速公路 PPP 项目很难满足要求,蒙特卡洛模拟方法需要借助相关的专业软件,过程较为复杂。故本文采用二叉树期权模型,为政府交通量担保的期权的价值进行估值。

二叉树期权模型可以看作是一种动态规划法,基于风险中性的假设,即在一个理想的投资环境下,所有资产都有相同的投资收益率,利用这种假设可以简化分析问题,并且结果在现实世界中也适用^[12]。二叉树模型将有效期内的期权分为若干时间段,且每个时间段相同,标的资产价值的变化有上升和下降两种可能。

假设私营机构预测高速公路 PPP 项目的初始价值为 F,从项目建设结束进入运营的有效期内,分为很多期,且每一期的时间长度都相等,记为 t,即单步二叉树的时间长度。在每一个节点经过的过程中,价值都会发生变化。在第一个单期二叉树中,在风险中性的条件下,价值以概率 p 上升到原来的 u ($u > 1$) 倍,或者以概率 $1 - p$ 下降到原来的 d ($d < 1$) 倍,这时的价值计为 F_u 和 F_d ,以此类推,在下一阶段,价值可能为 F_u^2, F_{ud}, F_d^2 三种可能性,二叉树模型如图 2 所示。

在构造这样的二叉树模型中,u 和 d 在每个节点上是相同的,并且单个二叉树的时间长度是相等的。根据学术界已有的计算方法^[13],可以通过价值的波动率确定二叉树模型中的参数 u、d 和风险中性概率 p:

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}; d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}}; p = \frac{e^{r \Delta t} - d}{u - d} \tag{1}$$

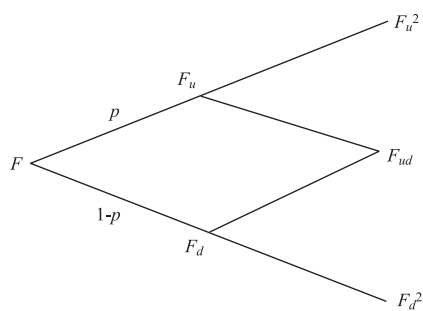


图2 二叉树模型示意图

高速公路 PPP 项目的最终价值可由倒推法得出。

$$W = e^{-r_f \Delta t} [p \cdot W_u + (1 - p) W_d] \tag{2}$$

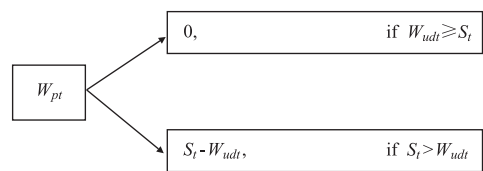
式中, r_f 是无风险利率。

国内学者^[14]将担保期权的价值波动率 σ 与交通量的波动率 σ_t 联系起来,认为第 t 年的价值波动率 σ 受交通量的波动率 σ_t 影响,并给出了相应的计算方法:

$$\sigma = \left(\frac{Q_t I}{Q_t I - E_t} \right) \sigma_t - \frac{E_t}{Q_t I - E_t} \tag{3}$$

其中, Q_t 是第 t 年的高速公路预测交通量, I 为当年的单车通行费, E_t 为第 t 年的支出,包括第 t 年的运营成本、需偿还的债务本息以及所得税支出。这样就把 u 和 d 作为了变量,二叉树模型得到了相应的改进。

由于在高速公路 PPP 项目中,政府对交通量有最低担保,而政府的担保期权能否执行是由 $\max \{ S_t - W_{udt}, 0 \}$ 来决定,其中 S_t 代表该 PPP 项目政府担保交通量下的净现金流, W_{udt} 是该高速公路 PPP 项目未来第 t 年净现金流可能上升或者下降的值。一旦第 t 年的投资方收益低于 S_t ,则可以获得政府补贴 $S_t - W_{udt}$,最小交通量担保的估值模型见图 3。图中, W_t 是第 t 年净现金流的预测值。



注: $W_{udt} = uW_t$ 或 $W_{udt} = dW_t$

图3 最小交通量担保的估值模型

所以在该高速公路 PPP 项目中,政府最低交通量担保在第 t 年的期权价值可由式(4)计算得出

$$W_{pt} = \{ p^{-r_f \Delta t} \{ p \cdot \max [S_t - uW_t, 0] + (1 - p) \max [S_t - dW_t, 0] \} \tag{4}$$

由于 $u > 1$,所以 $S_t - uW_t < 0$, W_{pt} 的最终表达式为

$$W_{pt} = e^{-r_f \Delta t} \{ (1 - p) \max [S_t - dW_t, 0] \} \tag{5}$$

则整个特许期内政府的担保价值为

$$W_p = \sum W_{pt} \tag{6}$$

此时,该高速公路 PPP 项目的价值 M 应在传统 NPV 的基础上,加上政府保证最低交通量的担保价值。

$$M = \text{传统 NPV 值} + W_p = \text{传统 NPV 值} + \sum W_{pt} \tag{7}$$

4 基于讨价还价博弈的交通量担保期权价值分配

考虑到高速公路 PPP 项目的风险性,私营机构往往要求政府部门提供最低交通量担保,在特许期内,当实际的交通量低于政府的最低交通量保证时,理论上政府将依据协议给予私营部门全额的补偿,即计算得到的最低交通量担保的实物期权价值,交通量越小,政府保证的价值量越大。当实际交通量大于最低交通量的时候,则此时政府的担保价值为 0。

高速公路 PPP 项目中,政府对私营机构提供的最低交通量的担保实质上是主动为其分担了项目运营时面临的风险。虽然这种担保只是政府对私营机构未来处理风险的一种承诺,但当实际交通量低于双方约定的下限时,政府则承担全部的市场风险,如果没有充分的评估,这将会给政府财政带来巨大压力。传统理论认为,无论是私营机构还是政府部门都是风险规避的,即都不愿意承担风险。政府部门在做最低交通量保证的时候,一定也会考虑到自身承担的风险,基于自身的风险偏好给予相应的政府补偿。实际情况中,市场需求具有不确定性,政府必须考虑如何充分调动私营机构运营维护高速公路 PPP 项目的积极性,当遇到由于私营机构自身的原因(诸如高速公路建设质量不佳、维护不当)而造成的交通量减少时,政府有权利要求私营机构分担相应的风险。此时,政府的最低担保量价值就会考虑到风险分担和价值分配的问题,政府并不是提供完全的担保,政府只承担部分的风险,而不是全部的风险。私营机构得到的政府最低车流量担保的实物期权价值也会因此有相应的折扣,这部分也应该是私营机构在对高速公路 PPP 项目价值进行评估时应该考虑在内的,相应的风险量也应该在私营部门可

以承担的风险范围内,符合私营部分的风险偏好,从而达成政府和私营机构各自比较接受的条件,否则双方无法达成一致,从而造成 PPP 项目的失败。

传统投资项目中,政府会直接依据实际情况给予风险的分配,就自身的风险偏好给予相应的政府补偿。但是在高速公路 PPP 项目中,更强调政府部分和私营部门风险共担,强调双方都有权利参与到风险分担的谈判中。考虑到实际情况中双方博弈需要一定的谈判成本,因而,本文采用博弈论中“三阶段讨价还价”模型构建政府最低交通量担保期权价值分配模型,从而帮助投资方考虑政府的风险偏好,有利于估算出项目的实际价值,从而做出准确的投资决策。

由于政府部门一般都是高速公路 PPP 项目的发起方,因而在博弈过程中,由政府先行动,政府占有主动地位。假设政府出价 P_{01} (风险分担的比例),私营机构若同意,双方的风险分担为 $(P_{01}, 1 - P_{01})$,如果私营机构不接受,私营机构基于政府部门做出决策为 P_{02} ,考虑到双方谈判中会有一些成本,包括双方所消耗的时间、支付的费用等,设政府和私营机构的贴现率分别为 (δ_1, δ_2) , $(0, 1]$,此时政府如果接受,双方达成共识为 $(\delta_1 P_{02}', (\delta_2 (1 - P_{02}')))$,政府部门若对此不满意,则继续出价 P_{01}' ,由此得到的第三阶段博弈结果为 $(\delta_1^2 P_{01}'', \delta_2^2 (1 - P_{01}''))$ 。理论上考虑,此时私营机构依旧可以对该结果不满意,继续出价 P_{02}' ,但是三阶段讨价还价博弈考虑到实际情况以及双方谈判的成本,因而对每一次出价都会慎重,从而得到双方都较为满意的第三阶段博弈结果就停止。三阶段讨价还价博弈如图 4 所示。

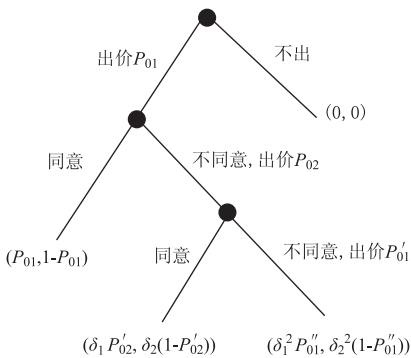


图 4 讨价还价博弈模型

根据讨价还价博弈模型,可以得到政府部门和

私营机构唯一的纳什均衡解:

$$P_{01} = \frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1\delta_2}, P_{02} = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1\delta_2} \tag{8}$$

将风险收益率(风险偏好) r 引入, $\delta_1 = \frac{1}{1 + r_1}, \delta_2 = \frac{1}{1 + r_2}$,不同地区的政府在遇到不同现实情况时,风险偏好会有所差异,在风险偏好不同的情况下,政府愿意承担的分担风险比例也会有所不同,相应的政府担保价值会发生变化。

代入 δ_1, δ_2 ,得到政府和私营机构风险分担的比例为

$$P_{01} = \frac{r_1}{r_1 + r_2 + r_1r_2}, P_{02} = \frac{r_2 + r_1r_2}{r_1 + r_2 + r_1r_2} \tag{9}$$

则期权价值分享比为

$$M_{01} = 1 - P_{01} = \frac{r_2 + r_1r_2}{r_1 + r_2 + r_1r_2}, M_{02} = 1 - P_{02} = \frac{r_1}{r_1 + r_2 + r_1r_2} \tag{10}$$

对政府而言,在投资方风险偏好确定的情况下,由于 $\frac{\partial P_{01}}{\partial r_1} = \frac{r_2}{(r_1 + r_2 + r_1r_2)^2} > 0$,所以政府对于该项目的风险偏好越小或风险收益率越低,政府承担风险的比例就越低。相应的当高速公路 PPP 项目实际交通量低于双方约定的下限时,政府的风险偏好越小,投资方得到的政府给予的担保价值就越低。在政府交通量担保比例确定的情况下,政府的风险偏好越大,政府愿意承担的风险比例越高,私营机构获得的担保价值越高,相对损失也会减小。

依据式(10),考虑双方的风险偏好,当政府认为交通量过低是由于投资方造成的,而不是客观因素导致时,政府愿意分担的风险比例为 P_{01} ,期权价值分享比为 M_{01} ,此时投资方得到的政府担保的实际价值则为 M_{02} ,基于不同风险偏好的政府交通量担保价值为

$$W_{pt} = \frac{r_1}{r_1 + r_2 + r_1r_2} \{ e^{-e\Delta t} (1 - p) \max[S_t - dW_t, 0] \} \tag{11}$$

5 案例分析

5.1 某高速公路 PPP 项目介绍

以一个西部地区某 PPP 高速公路项目为例,解释在具体的现实案例中,如何去衡量政府交通量的

担保价值,从而为私营机构投资决策提供参考。

该高速公路全长 90 km,双向 4 车道,设计时速 100 km/时,每年的运营费支出为 250 万元,每年增长 5%,所得税率为 30%,加权平均资本成本为 15%,无风险利率为 5%。

该高速公路 PPP 项目的交通量预测 $Q_m = 7$ 万辆/天,1~10 年的交通量的年增长率 5%,11~20 年的交通量的年增长率 2%,21~30 年的交通量的年增长率 0%。为了分散市场风险,政府给予最低交通量担保值。具体其他参数说明如表 2 所示。

表 2 案例项目指标说明

指标	说明
项目总投资额	30 亿元
期权类型	欧式看跌期权
到期时间	30 年
交通量波动率	30%
最小交通量担保值	$K_m = 85\% Q_m$
通行费用	20 元/辆

5.2 传统 NPV 价值计算

按照传统的净现值(NPV)评估方法计算,不考虑政府最低交通量担保价值,项目的净现值可以计算得出,案例现金流量表中各指标的详细计算见表 3。根据表 3,每一年的净现金流折现到第一年初的现值可以计算得出。 Σ 折现到期初现值 ≈ 284000 万元,项目的总投资额是 300000 万元,净现值=未来报酬总现值-建设投资总额,因此计算得出 $NPV = 284000 - 300000 = -16000$ 万元。由于 $NPV < 0$,该项目应该给予否定,投资方案不可接受。

5.3 基于讨价还价博弈的担保期权价值计算

考虑政府最低交通量的担保价值,政府最低交通量的担保相当于一份看跌期权,当交通量低于政府担保值时,私营机构有权利要求执行该期权。由于政府的最低交通量担保,项目的价值发生了变化。假设通行费用依旧是 20 元/辆,最低交通量的担保使得项目的投资价值发生了变化, $W_p = \sum W_{pt} = 84299$ 万元,各指标详细计算如表 4 所示,则此时项目的 NPV 由原来的 -16000 万元加上 84299 万元变为 68299 万元,项目即变为可行。

此时,基于讨价还价博弈,私营机构还应该考虑政府的风险偏好。假定投资方的风险偏好为 15% 不变,相应的政府风险偏好从 15% 逐步上升到 75%,即政府愿意分担的风险在发生变化,此时担保价值也会相应变化。当政府给予最低交通量担保

表 3 案例现金流量表

年份	日通行量(辆)	年增长率	年通行量(万辆)	通行费(元/辆)	年收入(万元)	年支出(万元)	所得税后净现金流(万元)	折现到期初现值(万元)
1	70000	5%	2555	20	51100	250	35724	30637
2	73500	5%	2683	20	53655	262	37375	27688
3	77175	5%	2817	20	56338	275	39244	25023
4	81034	5%	2958	20	59155	289	41206	22614
5	85085	5%	3106	20	62112	304	43266	20438
6	89340	5%	3261	20	65218	319	45429	18470
7	93807	5%	3424	20	68479	335	47701	16692
8	98497	5%	3595	20	71903	352	50086	15086
9	103422	5%	3775	20	75498	369	52590	13633
10	108593	5%	3964	20	79273	388	55219	12321
11	110765	2%	4043	20	80858	407	56316	10815
12	112980	2%	4124	20	82475	427	57434	9494
13	115240	2%	4206	20	84125	449	58573	8333
14	117545	2%	4290	20	85808	471	59736	7315
15	119895	2%	4376	20	87523	495	60920	6421
16	122293	2%	4464	20	89274	520	62128	5636
17	124739	2%	4553	20	91059	546	63359	4947
18	127234	2%	4644	20	92881	573	64615	4342
19	129779	2%	4737	20	94739	602	65896	3812
20	132374	2%	4832	20	96633	631	67201	3346
21	132374	0%	4832	20	96633	663	67179	3290
22	132374	0%	4832	20	96633	696	67156	2477
23	132374	0%	4832	20	96633	731	67131	2131
24	132374	0%	4832	20	96633	768	67106	1834
25	132374	0%	4832	20	96633	806	67079	1578
26	132374	0%	4832	20	96633	847	67050	1357
27	132374	0%	4832	20	96633	889	67021	1168
28	132374	0%	4832	20	96633	933	66990	1005
29	132374	0%	4832	20	96633	980	66957	864
30	132374	0%	4832	20	96633	1029	66923	743

值为 85% 时,高速公路 PPP 项目实际价值最终结果如表 5 所示。

可见,在高速公路 PPP 项目中,当引入政府不同偏好的最低交通量的担保价值,所得到的结果更贴近于项目的真实价值。在某些情况下,使用传统净现值计算可能是 $NPV < 0$,此时私营机构可能就会放弃该项目的投资,但加入政府担保的实物期权价值后,项目价值可能会大于 0,这时候私营机构也要考虑实际情况中政府的风险偏好,政府愿意分担风险的比重决定了担保价值的变化,相应的,项目价值也会再次得到预估和调整。

6 结论

在高速公路 PPP 项目中,政府部门往往通过最低交通量担保的形式吸引私营机构参与项目的投资建设,这种最低交通量担保有一定的价值。通过二叉树定价模型可以计算政府担保的实物期权价值,将项目的实际价值与传统的 NPV 计算方法联系起来。同时还需考虑政府担保额度的合理性,通过讨价还价博弈理论考虑政府部门和私营机构双方的偏好,设计出双方都可以接受的补偿额度,从而为私营

表 4 政府最低交通量担保价值的计算

特许期	$\frac{Q_i I}{Q_i I - E_i}$	$(\frac{Q_i I}{Q_i I - E_i})\sigma_i$	$\frac{E_i}{Q_i I - E_i}$	σ	u	d	p	$1 - p$	W_{μ}
1	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	1751
2	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	1839
3	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	1931
4	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2088
5	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2128
6	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2235
7	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2347
8	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2464
9	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2587
10	1.005	0.301	0.005	0.297	1.345	0.743	0.512	0.488	2717
11	1.005	0.302	0.005	0.296	1.345	0.743	0.512	0.488	2768
12	1.005	0.302	0.005	0.296	1.345	0.743	0.512	0.488	2820
13	1.005	0.302	0.005	0.296	1.345	0.743	0.512	0.488	2872
14	1.006	0.302	0.006	0.296	1.345	0.743	0.512	0.488	2926
15	1.006	0.302	0.006	0.296	1.345	0.743	0.512	0.488	2981
16	1.006	0.302	0.006	0.296	1.344	0.744	0.512	0.488	3036
17	1.006	0.302	0.006	0.296	1.344	0.744	0.512	0.488	3092
18	1.006	0.302	0.006	0.296	1.344	0.744	0.512	0.488	3150
19	1.006	0.302	0.006	0.296	1.344	0.744	0.512	0.488	3208
20	1.007	0.302	0.007	0.295	1.343	0.745	0.512	0.488	3267
21	1.007	0.302	0.007	0.295	1.343	0.745	0.512	0.488	3257
22	1.007	0.302	0.007	0.295	1.343	0.745	0.512	0.488	3249
23	1.008	0.302	0.008	0.295	1.342	0.745	0.514	0.486	3229
24	1.008	0.302	0.008	0.294	1.342	0.745	0.513	0.487	3229
25	1.008	0.303	0.008	0.294	1.342	0.745	0.513	0.487	3218
26	1.009	0.303	0.009	0.294	1.341	0.746	0.513	0.487	3207
27	1.009	0.303	0.009	0.294	1.341	0.746	0.513	0.487	3195
28	1.010	0.303	0.010	0.293	1.341	0.746	0.513	0.487	3183
29	1.010	0.303	0.010	0.293	1.340	0.746	0.514	0.486	3169
30	1.011	0.303	0.011	0.292	1.340	0.746	0.514	0.486	3156

表 5 基于政府不同偏好的最低交通量担保价值的计算

风险偏好(r_1, r_2)	(15% ,15%)	(30% ,15%)	(45% ,15%)	(60% ,15%)	(75% ,15%)
P ₀₁	46.5%	60.6%	67.4%	71.4%	74%
M ₀₂	46.5%	60.6%	67.4%	71.4%	74%
担保价值(万元)	39199	51085	56818	60189	62381
项目价值 M(万元)	23199	35085	40818	44189	46381

机构正确评估政府的担保价值以及评估高速公路 PPP 项目的实际价值做出理性的判断,有效促进公私双方达成一致的谈判意见。需要指出的是对于复杂的项目而言,存在多重的期权价值,各类期权之间相互影响,因而不能简单叠加,关于复合期权的交叉影响是有待下一步研究的课题。

参考文献

[1]郭健,尹洁林,林则夫. 期权视角下高速公路 BOT 项目风险分担策略研究[J]. 科技管理研究,2013,13(13):223-228.

[2]高颖,张水波,冯卓. PPP 项目运营期间需求量下降情形下的补偿机制研究[J]. 管理工程学报,2015,29(2):93-102.

[3]VASSALLO JM. Traffic Risk Mitigation in Highway Concession Projects:The Experience of Chile[J]. Journal of Transport Economics and Policy,2006,9(40):359-381.

[4]郭健. 公路基础设施 PPP 项目交通量风险分担策略研究[J]. 管理评论,2013,25(7):11-19.

[5]BRANDAO L E T, SARAIVA E. The option value of government

guarantees in infrastructure projects[J]. Construction Management and Economics,2008,26(11):1171-1180.

[6]IYER K C, SAGHEER M. A Real Options Based Traffic Risk Mitigation Model for Build Operate-Transfer Highway Projects in India[J]. Construction Management and Economics,2011,8(29):771-779.

[7]何涛,赵国杰. 基础设施 BOT 项目中政府担保估值与特许期决策研究[J]. 城市发展研究,2010,17(10):92-95.

[8]王颖林,刘继才,赖芃宇. 基于风险偏好的 PPP 项目风险分担博弈模型[J]. 建筑经济,2013,22(12):44-47.

[9]王颖林,赖芃宇,傅梦. 基于实物期权理论的 PPP 项目限制竞争担保研究[J]. 建筑经济,2015,36(2):46-49.

[10]李林,刘志华,章昆昌. 参与方地位非对称条件下 PPP 项目风险分配的博弈模型[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(8):1941-1948.

[11]唐丝丝,刘继才. 延迟期权在大型基建项目风险决策中的应用[J]. 世界科技研究与发展,2010,32(3):410-412.

[12]雷岩. 基于二叉树的 PPP 项目交换期权评价与应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2011.

[13]杨春鹏. 实物期权及其应用[M]. 上海:复旦大学出版社,2003.

[14]杨学英. 基础设施特许经营项目的经营模式、风险及财务评价[D]. 武汉:武汉大学,2005.