PPP 项目运营期间需求量下降情形下的补偿机制研究

高 颖，张水波，冯 卓
（天津大学管理与经济学部，天津 300072）

摘要：本文以最终用户付费的交通类 PPP 项目为分析对象，研究需求风险发生后政府如何采用需求量补偿机制以实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进。本文构建了私人部门收益和消费者剩余模型，分析、比较了价格上限不变和价格上限可重新设定两种情形下需求量补偿机制对私人部门收益和消费者剩余的影响，分析了该补偿机制能够实现帕累托改进的条件，同时通过算例进行了仿真验证。结果表明：(1) 在价格上限不变的情形下，需求量补偿机制只会诱导私人部门提高收费价格，损害消费者剩余，此时并不存在有效的需求量补偿范围；(2) 当政府重新设定合理的价格上限并且双方的重新谈判成本较低时，存在有效的需求量补偿范围来实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进。

关键词：公私合营模式（PPP）；重新谈判；需求风险；补偿机制
中图分类号：F224 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-6062(2015)02-0093-10
DOI：10.13587/j.cnki.jieem.2015.02.010

0 引言

公私合营模式（Public-Private Partnership，简称 PPP）作为通过私人部门与公共部门（政府）共同合作来提供基础设施的一种创新模式，在各国得到越来越广泛的应用[1,2]。相比于传统模式，PPP 模式具有减轻政府财政负担、提高基础设施供给效率、促使政府角色的转变以及共享投资收益等优点[3-5]。然而，相比于一般项目，PPP 项目具有建设规模大、投资额度高、资金回收周期长、参与方众多、合约关系复杂等特征，从而使得 PPP 项目存在更多而且更严重的风险[6,7]。在这些风险中，需求风险是 PPP 项目所面临的最主要风险之一[8]。由于未来需求量很难被准确估计并且容易受到其他因素的影响，因此需求风险在实践中发生的概率较高。需求风险可能会导致私人部门无法收回投资甚至破产，从而导致 PPP 项目的失败，损害政府和消费者的利益。因此，作为私人部门运营收益的直接影响因素，研究需求风险如何在私人部门和公共部门之间进行有效分配以使 PPP 项目可持续运作成为了学者们研究的重点。

一些学者从损失承受主体的角度，认为需求风险应该由直接承受损失的一方承担，以激励其控制该风险，如 Ng 和 Loosemore[9]，Li 等[10]。但需求风险是一种外生风险，私人部门和政府都无法控制其发生；而且任何一方都无力承受其损失，尤其是对于交通基础设施类 PPP 项目[11]；同时 PPP 模式的内在性质要求公私双方通过共同合作来提供基础设施，因此对于需求风险，双方也应当共同承担[12]。对于如何共担该种风险，学者们提出政府可以与私人部门通过签订事前保证协议[13]，如最低需求量购买保证[14]、最小收益保证[15]、收益上限保证[16]等以增加私人部门的投资激励，减少私人部门的风险损失。然而，PPP 项目的长期性以及人的有限理性可能会导致补贴过度或补贴不足[17,18]。事实上，实践中有很多项目正是因为事前保证无效以及风险分担不均衡而引发了重新谈判[19,20]。因此，针对动态、复杂的实践环境，一些学者将研究的视角转向需求风险发生后政府应如何进行补偿来实现 PPP 项目的可持续运作。Carmen 等建立了港口设施 PPP 项目的动态补偿模型，即政府第 j 年补偿额度的计算方法是第 j 年的累积净现值减去第 j-1 年的累积净现值，并与私人部门的最低期望收益进行比较来动态确定政府的补偿额度[21]；Ho 通过动态博弈模型对政府的事后补偿机制进行了研究，探讨了政府应该给予私人部门转移支付的范围[22]；宋波和徐飞以社会福利最大化为目标，给出了市场需求较低时政府应给予私人部门的最优转移支付或补贴[23]。这些研究为提高 PPP 项目的可持续运作提供了参考，但仍然存在以下两点不足：第一，目前学者们虽然将事后补偿这一概念引入了研究，但并没有考虑补偿金额的形成机制，在实践中应用时容易被公众认为不透明或政治腐败等。因此，只有设计一种

收稿日期：2012-10-22 **修回日期：**2013-04-24
基金项目：国家自然科学基金资助项目（71172149）；国家自然科学基金重点资助项目（71231006）
作者简介：高颖（1985—），女，黑龙江庆安人。天津大学工程管理专业，博士研究生，研究方向：PPP 项目合约治理、重新谈判。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

详细的，透明的补偿机制，才能解决这一问题。第二，这些研究主要基于的目标函数是私人部门最低期望利益或社会福利最大化，即使消费者剩余有较大损失，只要私人部门利益的提高大于消费者剩余的损失，政府也可以进行补偿。但是，只注重社会效率的提高而忽视社会剩余分配的公平并不利于 PPP 项目的可持续运作[10,24,25]。因此，在需求风险发生后，政府的补偿不应以一方利益的增加为目标，而应以实现私人部门和消费者的帕累托改进为目的，从而达到双方“共赢”。

鉴于此，本文以最终用户付费的交通类 PPP 项目为研究对象，研究需求风险发生后政府如何采用需求量补偿机制，即政府根据所补偿的需求量与私人部门的收费价格的乘积来确定补偿金额，以实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进。本文的研究结果旨在为政府建立有效的补偿机制、科学确定补偿范围提供理论支持，并在此基础上，指导私人部门和政府更加有效地进行分担风险以保证 PPP 项目的可持续运作。

1 问题描述与模型假设

本文研究当 PPP 项目的需求量下降时，如果政府对私人部门进行需求量补偿，应当如何确定需求量的补偿范围以实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进，即达到双方“共赢”。假设在初始合同阶段，私人部门被授予的运营期为 n 年（不包括建设期）。

针对该研究问题，本文的分析过程所基于的假设如下：

1）私人部门的建设成本在运营阶段可看作是沉没成本，用固定值 I 表示；私人部门的收费价格设为 p；私人部门和政府事前签订合约时预测每年的需求函数为 $D(p)$；私人部门每年的运营成本包括固定运营成本 K 和变动运营成本，其中变动运营成本与项目的运营年数 t 和需求量 D 有关[21,24]，记第 t 年的运营成本为 $O_P(t,D)$；假设在运营期第 t_1 年末需求风险发生，从此刻起未来每年的需求函数变为 $V(p)$。根据同领域的相关研究[23,26,27]，为了便于讨论，本文设需求函数和运营成本函数均为线性函数，即

$D(p)=bB-bp(b>0,B>0)$，

$O_P(t,D)=aD(p)+\beta t+K(0<a<B,\beta>0,K>0)$，

$V(p)=eE-ep(e>0,E>0)$，其中 $-b$，$-e$ 分别表示两个需求函数（原需求函数和变化后的需求函数）的斜率；B，E 分别为两个需求函数的截距，即表示恰好使需求量为零时的价格水平；a 表示需求量的边际运营成本，即在其他条件不变的情形下需求量增加一单位所增加的运营成本。假设 $0<a<B$，即需求量的边际运营成本必须低于需求量为零时的最低价格，否则不论需求量为何值，私人部门每年的收益都是负值；β 表示运营时间的边际运营成本，即在其他条件不变的情形下使用年限每增加一年所增加的运营成本；变化后的需求函数与原需求函数的关系为 $B>E$，$bB>eE$，此关系表明变化后的需求函数在原需求函数的下方，表示意外事件的发生导致需求量下降。

2）政府每年给予私人部门的需求量补偿设为 Q，由政府与私人部门经过谈判来确定，而且 $Q\in(0,\bar{Q}]$，其中 $\bar{Q}$ 是一个足够大的数值，表示补偿的需求量可以很大，但是不能够是无穷大，否则政府和私人部门都不清楚到底补偿多少需求量；私人部门和政府的重新谈判成本函数分别为 $R_P(\tilde{t})$ 和 $R_G(\tilde{t})$，其中 $\tilde{t}$ 为重新谈判的持续时间。这里的重新谈判成本表示双方由于重新谈判而放弃的其他有价值的活动的机会成本[28]。我们假设私人部门和政府重新谈判持续的时间越长，双方的重新谈判成本越高，即 $R_P'(\tilde{t})>0$ 和 $R_G'(\tilde{t})>0$。为了简便，本文在建立模型时并没有考虑折现的影响，事实上，这样的简化并不影响本文的分析。

3）假设政府的决策并不影响私人部门的运营，即如果政府不提供任何形式的补偿，私人部门仍会继续运营，政府补偿的目的是为了实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进，该假设主要是为了研究政府的补偿能否实现私人部门和消费者的帕累托改进提供比较的基准；为了简便而又不影响本文分析的实质，假设私人部门在投标时按照自身利益最大化而确定的收费价格在政府所规定的价格上限 $\bar{p}$ 的范围内；同时假设政府与私人部门在重新谈判的过程中，双方对原来的需求函数、变化后的需求函数、私人部门的运营成本函数以及双方的重新谈判成本函数所拥有的信息是相同的，即信息是对称的，因为不对称信息研究的重点主要是如何进行机制设计促进双方披露信息以抑制对方的机会主义行为，而本文是为了研究政府补偿对私人部门和消费者的影响，因此我们假设私人部门和政府所拥有的信息是相同的。

2 基准模型

本部分所建立的基准模型是指在运营期内，当需求风险发生时，政府不对私人部门进行补偿时私人部门的利润模型和消费者剩余模型，从而探究政府补偿对私人部门利润和消费者剩余的影响提供基准。

（1）未发生需求风险的情形

假设私人部门在运营期内未发生需求风险，则私人部门的期望利润为

$$\pi=npD(p)-I-\sum_{t=1}^{n}O_P(t,D) \tag{1}$$

消费者剩余为

$$S(p)=n\int_p^B D(x)dx \tag{2}$$

将需求函数和运营成本的表达式代入到式（1），得

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\pi = nb(p-a)(B-p) - I - \frac{n(n+1)\beta}{2} - nK \tag{3}$$

由于私人部门在运营期内未发生需求风险，即需求量与预期相同，则私人部门在运营期内会按照投标时确定的最优价格进行收费，由模型假设3）知，私人部门最优的价格决策模型为

$$\max_p \pi = nb(p-a)(B-p) - I - \frac{n(n+1)\beta}{2} - nK$$

由最优化一阶条件，有 $p^* = \frac{B+a}{2}$ （4）

根据式（4），可知在运营期内不发生需求风险时，私人部门的收费价格为 $p^* = \frac{B+a}{2}$，每年的需求量为 $D^* = \frac{b(B-a)}{2}$，私人部门所获得的利润和消费者剩余分别为 $\pi^* = \frac{nb(B-a)^2}{4} - I - \frac{n(n+1)\beta}{2} - nK$ 和 $S^* = \frac{nb(B-a)^2}{8}$。

（2）需求风险发生的情形

若在运营期第 t_1 年末发生需求风险，根据模型假设1），在政府未补偿的情形下，私人部门在整个运营期内的期望利润为

$$\pi_1 = (n-t_1)pV(p) + t_1 p^* D^* - I - \sum_{t=1}^{t_1} O_P(t, D^*) - \sum_{t=t_1+1}^{n} O_P(t, V) \tag{5}$$

消费者剩余为

$$S_1(p) = t_1 \int_{p^*}^{B} D(x)dx + (n-t_1)\int_p^E V(x)dx \tag{6}$$

将变化后的需求函数和运营成本的表达式代入到式（5），此时私人部门的最优价格决策模型为

$$\begin{aligned} \max_p \pi_1 =& (n-t_1)(p-a)e(E-p) + t_1 p^* D^* - I - t_1 a D^* \\ & - \frac{n(n+1)\beta}{2} - nK \\ s.t.\ & 0 < p \le \bar{p} \end{aligned} \tag{7}$$

由最优化一阶条件知，此时私人部门确定的最优收费价格为 $p_1^* = \frac{E+a}{2}$ （8）

根据式（8），当需求风险发生后，在没有政府补偿的情形下，私人部门为获得相对最大利润而会将第 t_1 年后的收费价格降低到 p_1^*（$p_1^* < p^* \le \bar{p}$），此时私人部门的利润与需求风险未发生时的利润差为

$$\pi_1^* - \pi^* = \frac{(n-t_1)[e(E-a)^2 - b(B-a)^2]}{4} \tag{9}$$

此时消费者剩余与需求风险未发生时的消费者剩余差为

$$S_1(p_1^*) - S^* = \frac{(n-t_1)[e(E-a)^2 - b(B-a)^2]}{8} \tag{10}$$

如果变化后的需求函数与原需求函数的斜率的关系满足 $\frac{e}{b} \ge \frac{(B-a)^2}{(E-a)^2}$，则有 $\pi_1^* \ge \pi^*$，$S_1^*(p_1^*) \ge S^*$，在这种情形下，政府即使不提供补偿，私人部门也能通过降价来实现帕累托改进；如果变化后的需求函数与原需求函数的斜率的关系满足 $\frac{e}{b} < \frac{(B-a)^2}{(E-a)^2}$，则有 $\pi_1^* < \pi^*$，$S_1^*(p_1^*) < S^*$，此时，私人部门会提出与政府进行重新谈判，而且由于消费者剩余的降低，政府也会考虑与私人部门进行重新谈判，从而使得私人部门利润和消费者剩余都能实现帕累托改进。本文研究的补偿情形就是针对需求风险导致私人部门利润和消费者剩余都下降的情形。

由于研究需求风险发生后，政府补偿与不补偿情形下私人部门利润和消费者剩余的变化，这时PPP项目的建设成本 I 以及前 t_1 年的收入和运营成本都已成为沉没成本，所以比较私人部门利润和消费者剩余的变化，只需要比较第 t_1+1 年到第 n 年私人部门的收益和消费者剩余即可。

当需求风险发生后，政府不对私人部门进行补偿时，私人部门从第 t_1+1 年到第 n 年的收益函数为

$$\begin{aligned} \tilde{\pi}_1^* &= (n-t_1)(p_1^* - a)e(E - p_1^*) - \beta \sum_{t=t_1+1}^{n} t - (n-t_1)K \\ &= \frac{e(n-t_1)(E-a)^2}{4} - \beta \sum_{t=t_1+1}^{n} t - (n-t_1)K \end{aligned} \tag{11}$$

当需求风险发生后，政府不对私人部门进行补偿时，第 t_1+1 年到第 n 年的消费者剩余为

$$S_1^* = (n-t_1)\int_{\frac{E+a}{2}}^{E} (eE - ex)dx = \frac{e(n-t_1)(E-a)^2}{8} \tag{12}$$

此时私人部门的收益函数（11）和消费者剩余（12）为下面研究政府补偿情形下私人部门的收益变化和消费者剩余的变化提供了比较的基准。

3 政府的需求量补偿机制

3.1 基于价格上限不变的情形

根据假设，需求风险发生后，政府决定对私人部门进行需求量补偿。这里的需求量补偿是指政府每年补偿私人部门需求量 Q，然后私人部门根据政府所补偿的需求量，通过对自身收益的分析，并在政府规定的价格上限范围内来确定所收取的价格，政府根据该价格与每年所补偿的需求量的乘积来向私人部门每年支付一定的补偿金额。

政府每年补偿私人部门的需求量设为 $Q \in (0, \bar{Q}]$，其中 $\bar{Q}$ 是一个足够大的数值；私人部门和政府的重新谈判的成本函数分别为 $R_P(\tilde{t})$ 和 $R_G(\tilde{t})$，下面分析需求量补偿对私人部门

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

收益和消费者剩余的影响。

（1）基于私人部门收益的分析

在补偿需求量的情形下，私人部门从第 t_1+1 年到第 n 年的收益函数为

$$\pi_2=(n-t_1)(p-a)e(E-p)+(n-t_1)pQ-\beta\sum_{t=t_1+1}^{n}t-(n-t_1)K-R_P(\tilde{t})$$

则私人部门的最优决策模型为

$$\max_p \pi_2=(n-t_1)(p-a)e(E-p)+(n-t_1)pQ-\beta\sum_{t=t_1+1}^{n}t-(n-t_1)K-R_P(\tilde{t}) \quad (13)$$

$$s.t.\quad 0<p\le\bar{p}$$

由最优化一阶条件可得

$$p_2^*=\begin{cases}\dfrac{E+a}{2}+\dfrac{Q}{2e}, & 0<Q\le 2e\bar{p}-e(E+a)\\ \bar{p}\quad, & 2e\bar{p}-e(E+a)<Q\le\bar{Q}\end{cases} \quad (14)$$

私人部门此时的最优收益为

$$\pi_2^*=\begin{cases}\dfrac{(n-t_1)e(E-a)^2}{4}+\dfrac{(n-t_1)(E+a)Q}{2}+\dfrac{(n-t_1)Q^2}{4e}-\beta\sum_{t=t_1+1}^{n}t-(n-t_1)K-R_P(\tilde{t}), & 0<Q\le 2e\bar{p}-e(E+a)\\ -(n-t_1)e\bar{p}^2+(n-t_1)(Q+eE+ae)\bar{p}-(n-t_1)aeE-\beta\sum_{t=t_1+1}^{n}t-(n-t_1)K-R_P(\tilde{t}), & 2e\bar{p}-e(E+a)<Q\le\bar{Q}\end{cases} \quad (15)$$

因此，需求量补偿前后私人部门的收益差值为

$$\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*=\begin{cases}\dfrac{(n-t_1)Q^2}{4e}+\dfrac{(n-t_1)(E+a)Q}{2}-R_P(\tilde{t}), & 0<Q\le 2e\bar{p}-e(E+a)\\ (n-t_1)\bar{p}Q-\dfrac{e(n-t_1)[2\bar{p}-(E+a)]^2}{4}-R_P(\tilde{t}), & 2e\bar{p}-e(E+a)<Q\le\bar{Q}\end{cases} \quad (16)$$

如果需求量补偿机制能被私人部门所接受，必有补偿后私人部门的收益不低于原来的收益，即应有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*\ge 0$。

根据式（16），得出如下命题：

命题 1 给定变化后的需求函数，在价格上限不变的情形下，如果私人部门的重新谈判成本与运营成本满足 $R_P(\tilde{t})\le\dfrac{(n-t_1)e[4\bar{p}^2-(E+a)^2]}{4}$，则对私人部门而言有效的需求量补偿范围为 $Q\in[Q_1^*,\bar{Q}]$，其中

$Q_1^*=\left\{Q\in(0,2e\bar{p}-e(E+a)]\,|\,\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*=0\right\}$。

证明　因为 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*$ 在区间 $(0,2e\bar{p}-e(E+a)]$ 上为增函数，在区间 $(2e\bar{p}-e(E+a),\bar{Q}]$ 上也为增函数，并且注意到该函数在 $Q=2e\bar{p}-e(E+a)$ 处连续，因此有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*$ 在区间 $(0,\bar{Q}]$ 上为增函数。

当 $Q=0$ 时，有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*|_{Q=0}=-R_P(\tilde{t})<0$；

当 $Q=2e\bar{p}-e(E+a)$ 时，

有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*|_{Q=2e\bar{p}-e(E+a)}=\dfrac{(n-t_1)e[4\bar{p}^2-(E+a)^2]}{4}-R_P(\tilde{t})$；

若 $R_P(\tilde{t})\le\dfrac{(n-t_1)e[4\bar{p}^2-(E+a)^2]}{4}$，

则 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*|_{Q=2e\bar{p}-e(E+a)}\ge 0$，因此存在 $Q_1^*\in(0,2e\bar{p}-e(E+a)]$ 使得 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*|_{Q_1^*}=0$，此时在区间 $[Q_1^*,\bar{Q}]$ 上始终有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*\ge 0$，从而得证。

命题 2 给定变化后的需求函数，在价格上限不变的情形下，如果私人部门的重新谈判成本与运营成本满足 $R_P(\tilde{t})>\dfrac{(n-t_1)e[4\bar{p}^2-(E+a)^2]}{4}$，则对私人部门而言有效的需求量补偿范围 $Q\in[Q_2^*,\bar{Q}]$，

其中 $Q_2^*=\left\{Q\in(2e\bar{p}-e(E+a),\bar{Q}]\,|\,\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*=0\right\}$。

证明　根据命题 1 的证明过程，可知 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*$ 在区间 $(0,\bar{Q}]$ 上为增函数。

当 $Q=2e\bar{p}-e(E+a)$ 时，

有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*|_{Q=2e\bar{p}-e(E+a)}=\dfrac{(n-t_1)e[4\bar{p}^2-(E+a)^2]}{4}-R_P(\tilde{t})$；

若 $R_P(\tilde{t})>\dfrac{(n-t_1)e[4\bar{p}^2-(E+a)^2]}{4}$，

则 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*|_{Q=2e\bar{p}-e(E+a)}<0$，因此当 $Q\in(0,2e\bar{p}-e(E+a)]$ 时，始终有 $\pi_2^*<\tilde{\pi}_1^*$。

但是在 $(2e\bar{p}-e(E+a),\bar{Q}]$ 区间内，由于 $\bar{Q}$ 足够大，所以当重新谈判成本固定时，一定存在 $Q_2^*\in(2e\bar{p}-e(E+a),\bar{Q}]$，使得 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*=0$。因此此时在区间 $[Q_2^*,\bar{Q}]$ 上，始终有 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*\ge 0$，从而得证。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（2）基于消费者剩余的分析

假设政府对私人部门的补偿以及重新谈判成本全部来自税收，则政府补偿私人部门需求量后的消费者剩余为

$$S_2=\begin{cases}(n-t_1)\int_{\frac{E+a}{2}+\frac{Q}{2e}}^{E}V(x)dx-(1+\lambda)[(n-t_1)(\frac{E+a}{2}+\frac{Q}{2e})Q+R_G(\tilde{t})], & 0<Q\le 2e\bar{p}-e(E+a)\\(n-t_1)\int_{\bar{p}}^{E}V(x)dx-(1+\lambda)[(n-t_1)\bar{p}Q+R_G(\tilde{t})], & 2e\bar{p}-e(E+a)<Q\le\bar{Q}\end{cases}\tag{17}$$

其中 λ 为单位税收的扭曲成本，$\lambda>0$。

如果需求量补偿机制对消费者而言有效，必有政府补偿需求量后的消费者剩余不低于未补偿时的消费者剩余，即应有 $S_2\ge S_1^*$。

通过式（17），得到下面命题：

命题 3 在价格上限不变的情形下，需求量补偿机制对于消费者而言不是一种有效的补偿机制。

证明 在价格上限不变的情形下，无论每年补偿的需求量如何，根据式（8）和式（14）都有，$p_2^*>p_1^*$。比较需求量补偿前后消费者剩余的变化，

有 $S_2<S_1^*=(n-t_1)\int_{\frac{E+a}{2}}^{E}V(x)dx$，因此在这种情形下需求量补偿机制对于消费者而言不是一种有效的补偿机制。

根据以上分析，可以得到如下结论：

结论 1 当政府规定的价格上限不变时，虽然需求量补偿机制能够提高私人部门的收益，但是会导致私人部门提高收费价格，损害消费者利益，所以在价格上限不变的情形下，求量补偿机制不能够实现帕累托改进。因此政府若采用需求量补偿机制，首先应该对价格上限进行重新设定。

3.2 基于价格上限重新设定的情形

本部分是在价格上限重新设定的情形下，对需求量补偿机制的分析。

（1）基于消费者剩余的分析

由上面的分析可知，要使补偿后的消费者剩余不低于不补偿时的消费者剩余，私人部门的收费价格必须满足 $p<\frac{E+a}{2}$。设私人部门的收费价格为 $p=\frac{E+a}{2}-\varepsilon$（其中 $0<\varepsilon<\frac{E+a}{2}$），则补偿需求量后第 t_1+1 年到第 n 年的消费者剩余为

$$S_3=(n-t_1)e\int_{\frac{E+a}{2}-\varepsilon}^{E}(E-x)dx-(1+\lambda)[(n-t_1)(\frac{E+a}{2}-\varepsilon)Q+R_G(\tilde{t})]\tag{18}$$

补偿需求量后第 t_1+1 年到第 n 年的消费者剩余与不补偿时的差值为

$$S_3-S_1^*=(n-t_1)e\int_{\frac{E+a}{2}-\varepsilon}^{\frac{E+a}{2}}(E-x)dx-(1+\lambda)[(n-t_1)(\frac{E+a}{2}-\varepsilon)Q+R_G(\tilde{t})]\tag{19}$$

由于该函数在 $\varepsilon\in(0,\frac{E+a}{2})$ 上为连续增函数，因此

当 $\varepsilon\to 0$ 时，有

$$S_3-S_1^*\to-(1+\lambda)[\frac{(n-t_1)(E+a)Q}{2}+R_G(\tilde{t})]<0\tag{20}$$

当 $\varepsilon\to\frac{E+a}{2}$ 时，由于 Q 有界，有

$$S_3-S_1^*\to\frac{(n-t_1)e(3E-a)(E+a)}{8}-(1+\lambda)R_G(\tilde{t})\tag{21}$$

根据式（21），得到如下命题：

命题 4 给定变化后的需求函数，如果政府的重新谈判成本满足 $R_G(\tilde{t})<\frac{(n-t_1)e(3E-a)(E+a)}{8(1+\lambda)}$，若需求量补偿机制对消费者而言是一种有效的补偿机制，那么重新设定后的价格上限必须满足 $\bar{p}_1\le\frac{E+a}{2}-\varepsilon^*(Q)$，

其中 $\varepsilon^*(Q)=\left\{\varepsilon\in(0,\frac{E+a}{2})\,|\,S_3-S_1^*=0\right\}$。

证明 若政府的重新谈判成本满足 $R_G(\tilde{t})<\frac{(n-t_1)e(3E-a)(E+a)}{8(1+\lambda)}$，则有 $\lim\limits_{\varepsilon\to\frac{E+a}{2}}S_3-S_1^*>0$。

根据函数的单调性知，无论政府补偿私人部门每年的需求量为何值，都一定存在唯一的 $\varepsilon^*(Q)\in(0,\frac{E+a}{2})$，使得 $S_3-S_1^*=0$。从而对任意的 $\varepsilon>\varepsilon^*(Q)$，都有 $S_3-S_1^*>0$。

因此，在该种情形下，如果政府重新设定的价格上限满足 $\bar{p}_1\le\frac{E+a}{2}-\varepsilon^*(Q)$，那么需求量补偿机制对消费者而言都是一种有效的补偿机制。

命题 5 给定变化后的需求函数，如果政府的重新谈判成本满足 $R_G(\tilde{t})\ge\frac{(n-t_1)e(3E-a)(E+a)}{8(1+\lambda)}$，则无论政府每年补偿私人部门多少需求量，需求量补偿机制对消费者而言都不是一种有效的补偿机制。

证明 若政府的重新谈判成本

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$R_G(\tilde{t}) \geq \frac{(n-t_1)e(3E-a)(E+a)}{8(1+\lambda)}$，则无论政府每年补偿私人部门多少需求量，都有 $\lim_{\varepsilon \to \frac{E+a}{2}} S_2 - S_1 \leq 0$，因此当 $\varepsilon \in (0, \frac{E+a}{2})$ 时，该函数始终是负值，即需求量补偿机制并不能提高消费者剩余，从而对于消费者而言，需求量补偿机制不是一种有效的补偿机制。

（2）基于私人部门收益的分析

假设政府的重新谈判成本满足命题 4，政府重新设定后的收费价格上限为 $\bar{p}_1 = \frac{E+a}{2} - \tilde{\varepsilon}$，其中 $\varepsilon^*(Q) \leq \tilde{\varepsilon} < \frac{E+a}{2}$。由于当 $p \in [0, \frac{E+a}{2}]$ 时，政府补偿私人部门需求量后私人部门从第 t_1+1 年到第 n 年的收益函数

$$\pi_3 = (n-t_1)(p-a)e(E-p) + (n-t_1)pQ - \beta \sum_{t=t_1+1}^{n} t - (n-t_1)K - R_P(\tilde{t})$$

是增函数，所以私人部门的收费价格即为价格上限，即 $p = \frac{E+a}{2} - \tilde{\varepsilon}$。此时补偿需求量后第 t_1+1 年到第 n 年私人部门的收益与不补偿时的差值为

$$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* = -(n-t_1)e\tilde{\varepsilon}^2 + (n-t_1)(\frac{E+a}{2} - \tilde{\varepsilon})Q - R_P(\tilde{t}) \tag{22}$$

此时补偿需求量后第 t_1+1 年到第 n 年的消费者剩余与不补偿时的差值为

$$S_3^* - S_1^* = (n-t_1)e\int_{\frac{E+a}{2}-\tilde{\varepsilon}}^{\frac{E+a}{2}} (E-x)dx - (1+\lambda)[(n-t_1)(\frac{E+a}{2} - \tilde{\varepsilon})Q + R_G(\tilde{t})] \tag{23}$$

由于 $(n-t_1)e\int_{\frac{E+a}{2}-\varepsilon^*(Q)}^{\frac{E+a}{2}} (E-x)dx - (1+\lambda)[(n-t_1)(\frac{E+a}{2} - \varepsilon^*(Q))Q + R_G(\tilde{t})] = 0$，因此可以将式（23）改写为

$$S_3^* - S_1^* = (n-t_1)(\tilde{\varepsilon} - \varepsilon^*(Q))[e\varepsilon^*(Q) + (1+\lambda)Q + \frac{e(E-a+\tilde{\varepsilon}-\varepsilon^*(Q))}{2}] \tag{24}$$

根据式（22），得出如下命题：

命题 6　给定变化后的需求函数，如果政府的价格上限以及双方的重新谈判成本满足

$$\begin{cases} \frac{E+a}{2} - \tilde{\varepsilon}^* \leq \bar{p}_1 = \frac{E+a}{2} - \tilde{\varepsilon} \leq \frac{E+a}{2} - \varepsilon^*(Q) \\ R_G(\tilde{t}) + R_P(\tilde{t}) \leq \frac{(n-t_1)e(E-a)^2}{8(1+\lambda)(1+2\lambda)} \end{cases}$$

那么对于私人部门而言存在有效的需求量补偿范围，并且该补偿范围为 $Q \in \left\{ Q \mid Q \geq \frac{2R_P(\tilde{t}) + 2(n-t_1)e\tilde{\varepsilon}^2}{(n-t_1)(E+a-2\tilde{\varepsilon})} \right\}$，其中 $\tilde{\varepsilon}^* = \min\left\{ \tilde{\varepsilon} \in [\varepsilon^*(Q), \frac{E+a}{2}) \mid \forall Q, \pi_3 - \pi_1^* \leq 0 \right\}$。

证明　根据式（22）可知，$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^*$ 在 $\tilde{\varepsilon} \in [\varepsilon^*(Q), \frac{E+a}{2})$ 上是减函数。

当 $\bar{\varepsilon} = \varepsilon^*(Q)$ 时，有

$$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* = -(n-t_1)e\varepsilon^*(Q)^2 + (n-t_1)[\frac{E+a}{2} - \varepsilon^*(Q)]Q - R_P(\tilde{t})。$$

因为 $S_3 - S_1^*|_{\varepsilon=\varepsilon^*(Q)} = (n-t_1)e\int_{\frac{E+a}{2}-\varepsilon^*(Q)}^{\frac{E+a}{2}} (E-x)dx - (1+\lambda)[(n-t_1)(\frac{E+a}{2} - \varepsilon^*(Q))Q + R_G(\tilde{t})] = 0$ （25）

将式（25）代入到式（22）中，有

$$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* = -\frac{(1+2\lambda)(n-t_1)e}{2(1+\lambda)}[\varepsilon^*(Q) - \frac{E-a}{2(1+2\lambda)}]^2 + \frac{(n-t_1)e(E-a)^2}{8(1+\lambda)(1+2\lambda)} - R_G(\tilde{t}) - R_P(\tilde{t})。$$

此时当 $\varepsilon^*(Q^*) = \frac{E-a}{2(1+2\lambda)}$ 时，$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^*$ 取最大值，有

$$\max \pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* = \frac{(n-t_1)e(E-a)^2}{8(1+\lambda)(1+2\lambda)} - R_G(\tilde{t}) - R_P(\tilde{t})。$$

如果 $R_G(\tilde{t}) + R_P(\tilde{t}) \leq \frac{(n-t_1)e(E-a)^2}{8(1+\lambda)(1+2\lambda)}$，则有

$\max \pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* \geq 0$。

因此存在 $Q \in [Q_3^*, Q_4^*]$，使得在区间 $[\varepsilon^*(Q_3^*), \varepsilon^*(Q_4^*)]$ 上都有 $\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* \geq 0$。

当 $\tilde{\varepsilon} \to \frac{E+a}{2}$ 时，有

$$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* \to -\frac{(n-t_1)e(E+a)^2}{4} - R_P(\tilde{t}) < 0$$

由于当 $\tilde{\varepsilon} \in [\varepsilon^*(Q), \frac{E+a}{2})$ 时，$\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^*$ 为减函数，因此存在 $\tilde{\varepsilon}^* \in [\varepsilon^*(Q), \frac{E+a}{2})$，使得对 $Q \in (0, \bar{Q}]$，有 $\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* \leq 0$，并且存在一个 $Q^* \in (0, \bar{Q}]$，使得等号成立。

综上，当 $\tilde{\varepsilon} \in [\varepsilon^*(Q), \tilde{\varepsilon}^*]$ 以及

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$R_G(\tilde{t})+R_P(\tilde{t})\le\frac{(n-t_1)e(E-a)^2}{8(1+\lambda)(1+2\lambda)}$ 时，对于私人部门而言存在有效的需求量补偿范围，并且该补偿范围为 $Q\in\left\{Q\,|\,Q\ge\frac{2R_P(\tilde{t})+2(n-t_1)e\tilde{\varepsilon}^2}{(n-t_1)(E+a-2\tilde{\varepsilon})}\right\}$。

通过以上的分析，可以得到以下结论：

结论 2 若采用需求量补偿机制，政府首先要对价格上限进行重新设定，设定后的价格上限 $\overline{p}_1$ 应当满足 $\overline{p}_1\in\left[\frac{E+a}{2}-\tilde{\varepsilon}^*,\frac{E+a}{2}-\varepsilon^*(Q)\right]$；其次，政府和私人部门必须要降低各自的重新谈判成本以满足

$R_G(\tilde{t})+R_P(\tilde{t})\le\frac{(n-t_1)e(E-a)^2}{8(1+\lambda)(1+2\lambda)}$，此时需求量补偿机制能够实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进，并且有效的需求量的补偿范围为 $Q\in\left\{Q\,|\,Q\ge\frac{2R_P(\tilde{t})+2(n-t_1)e\tilde{\varepsilon}^2}{(n-t_1)(E+a-2\tilde{\varepsilon})}\right\}$。

4 算例

本部分以需求风险发生后政府采用需求量补偿机制为例，分三种情形进行算例分析。第一种情形是价格上限不变的情形；第二种情形是价格上限重新设定后需求量补偿机制有效的情形；第三种情形是价格上限重新设定后需求量补偿机制无效的情形。在对算例分析的过程中，本文假设价格的单位为元，每年的需求量的单位为万，成本与收益的单位均为万元。

（1）假设政府事前确定的价格上限为 20 元，即 $\overline{p}=20$。投标时预测的每年的需求函数为 $D(p)=60-2p$，即 $b=2$，$B=30$；需求风险在运营期的第 5 年末发生，即 $t_1=5$，需求风险发生后每年预测的需求函数为 $V(p)=40-2p$，即 $e=2$，$E=20$；私人部门第 t 年运营成本为 $O_P(t,H)=6H+2t+5$，该运营成本的含义为私人部门需求量的边际运营成本为 6 元，时间的边际运营成本为 2 万元，每年的固定运营成本为 5 万元，即 $a=6$，$\beta=2$，$K=5$；私人部门的运营期限为 25 年（不包括建设期），即 $n=25$；私人部门的重新谈判成本为 40 万元，即 $R_P(\tilde{t})=40$；政府的重新谈判成本为 30 万元，即 $R_G(\tilde{t})=30$；单位税收的扭曲成本为 0.4，即 $\lambda=0.4$。

将上述数值代入式（12）、（16）、（17），得到有无需求量补偿导致私人部门的收益差值函数和消费者剩余的差值函数分别为 $\pi_2^*-\tilde{\pi}_1^*=\begin{cases}2.5Q^2+260Q-40, & 0<Q\le 28\\ 400Q-2000, & Q>28\end{cases}$ 和 $S_2-S_1^*=\begin{cases}-\frac{23}{4}Q^2-434Q-42, & 0<Q\le 28\\ -560Q-1022, & Q>28\end{cases}$，函数曲线如图 1 所示。通过图 1 可以看出，虽然补偿需求量可以提高私人部门的收益，但无论补偿的需求量为何值时都不能实现消费者剩余的提高。因此在价格上限不变的情形下，需求量补偿机制不是一种有效的补偿机制。

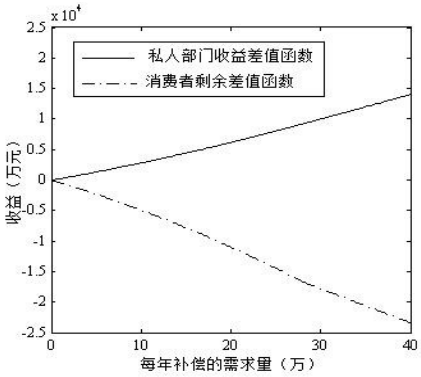

图 1 价格上限不变情形下的需求量补偿机制

（2）这部分考虑的情形与第一种情形相比，除了价格上限进行了重新设定，其余数值均与第一种情形相同。假设政府的价格上限为 $\overline{p}_1=13-[\varepsilon^*(Q)+0.5]$，其中 $\varepsilon^*(Q)=\frac{-(70+7Q)+\sqrt{(70+7Q)^2+10(182Q+21)}}{10}$，则有无需求量补偿产生的消费者剩余的差值函数和私人部门的收益差值函数分别为 $S_3^*-S_1^*=14Q+20\varepsilon^*(Q)+145$ 和 $\pi_3^*-\tilde{\pi}_1^*=-40[\varepsilon^*(Q)+0.5]^2+20[12.5-\varepsilon^*(Q)]Q-40$，函数曲线如图 2 所示。通过图 2 可以看出，政府对私人部门补偿的需求量可为 $[Q_A,Q_B]$ 范围内的任意数值，在此范围内，需求量补偿机制可以同时提高私人部门收益和消费者剩余，从而实现帕累托改进，这时需求量补偿机制对政府和私人部门而言都是一种有效的机制。

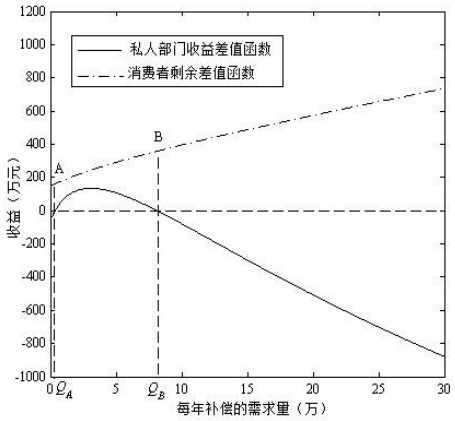

图 2 价格上限重新设定后需求量补偿机制有效的情形

（3）这部分考虑的情形与第二种情形相比，除了价格上限设定的不同，其余数值均与第二种情形相同。假设政府的价格上限表达式为 $\overline{p}_1=13-[\varepsilon^*(Q)+2]$，则有无需求量补偿产生的消费者剩余的差值函数和私人部门的收益差值函

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

数分别为 $S_3^* - S_1^* = 56Q + 80\varepsilon^*(Q) + 640$ 和 $\pi_3^* - \tilde{\pi}_1^* = -40[\varepsilon^*(Q)+2]^2 + 20[11-\varepsilon^*(Q)]Q - 40$，函数曲线如图 3 所示。通过图 3 可以看出，虽然政府对价格上限进行了重新设定，但是政府价格上限设定得不恰当，导致私人部门收益的下降，此时需求量补偿机制不是一种有效的机制，不能实现消费者剩余和私人部门收益的帕累托改进。

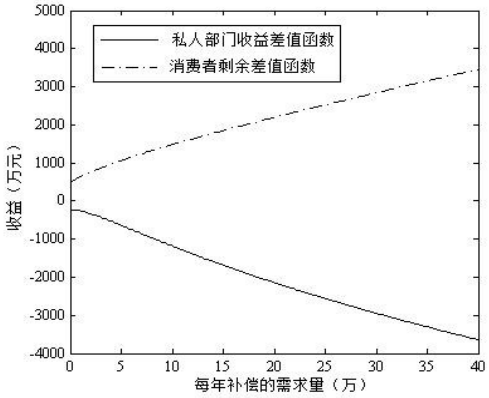

图 3 价格上限重新设定后需求量补偿机制无效的情形

5 结论

本文主要研究了 PPP 模式下当需求风险发生后政府如何对私人部门进行需求量补偿才能实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进。通过前面的分析，本文得出的理论结果是：1）当价格上限不变时，需求量补偿机制会诱使私人部门提高收费价格，损害消费者剩余，此时需求量补偿不能实现帕累托改进；2）当政府重新设定合理的价格上限并且双方的重新谈判成本较低时，存在有效的需求量补偿范围来实现私人部门收益和消费者剩余的帕累托改进。

本文的理论研究结果对于指导 PPP 项目双方进行风险共担有一定的启示意义。第一，在 PPP 项目的实践中，政府总是希望将所有的风险都分配给私人部门，认为这样的分配方式可以保护消费者利益。然而，本文的研究结果表明当需求风险发生后，政府适当地给予私人部门一些补偿不仅能够提高私人部门的收益，而且还能提高消费者剩余，从而实现双方的帕累托改进。第二，当需求风险发生后，政府不能只是简单地给予私人部门一个补偿金额，这样容易被公众认为不透明或政治腐败，从而导致政府的信用降低。需求量补偿机制更关注补偿金额的形成方式，即政府应该根据所补偿的需求量乘以价格来向私人部门支付一定的补偿金额，从而使该补偿金额更加合理，更有科学依据。第三，政府在采用需求量补偿机制时，必须要考虑价格上限的重新设定问题，因为这在很大程度上决定着需求量补偿机制能否实现帕累托改进。因此政府在采用需求量补偿机制时应该首先根据消费者剩余的提高来确定新的价格上限，然后再考虑补偿给私人部门多少需求量。综上，本文的研究结果旨在为政府科学确定补偿范围、建立有效的补偿机制提供理论支持，并在此基础上，指导私人部门和政府更加有效地进行分担风险以保证 PPP 项目的可持续运作。

参 考 文 献

[1] Qiu LD，Wang SS. BOT projects：incentives and efficiency[J]. Journal of Development Economics，2011，94：127-138.

[2] 张喆，贾明，万迪昉. PPP 背景下控制权配置及其对合作效率影响的模型研究[J]. 管理工程学报，2009，23(3)：23-29.

[3] 吴孝灵，周晶，王冀宁，*et al*. 基于 CAPM 的 BOT 项目“有限追索权”融资决策模型[J]. 管理工程学报，2012，26（2）： 175-183.

[4] Cheung E，Chan APC．Evaluation Model for Assessing the Suitability of Public-Private Partnership Projects[J]．Journal of Management in Engineering， 2011，27（2）：80-89．

[5] Tang L，Shen Q，Cheng EWL．A review of studies on Public-Private projects in the construction industry[J]．International Journal of Project Management，2010，28（7）：683-694．

[6] 叶苏东. 公共基础设施项目的混合开发模式研究[J]. 公共管理学报，2008，5(2)：66-72.

[7] Marjolein CJC，Cees JG，Nicole PV. The interplay of governance mechanisms in complex procurement projects[J]. Journal of Purchasing & Supply Management，2012，18：113-121.

[8] Jin XH，Zhang GM. Modelling optimal risk allocation in PPP projects using artificial neural networks[J]. International Journal of Project Management，2011，29：591-603.

[9] Ng A，Loosemore M. Risk allocation in the private provision of public infrastructure[J]. International Journal of Project Management，2007，25：66-76.

[10] Li B，Akintoye A，Edwards PJ，*et al*. Critical success factors for PPP/PFI projects in the UK construction industry[J]. Construction Management and Economics，2005，23：459-471.

[11] Medda F. A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships[J]. International Journal of Project Management，2007，25：213-218.

[12] Ke YJ，Wang SQ，Chan APC，*et al*. Preferred risk allocation in China’s public-private partnership (PPP) projects[J]. International Journal of Project Management，2010，28：482-492.

[13] Irwin TC. Government guarantees：allocating and valuing risk in privately financed infrastructure projects[R]. Washington DC：The World Bank，2007.

[14] 赵立力，卜祥智，谭德庆. 基础设施 BOT 电厂项目中的政府购买保证研究[J]. 管理工程学报，2008，22(1)：45-48.

[15] Wibowo A. Valuing guarantees in a BOT infrastructure project[J]. Engineering，Construction and Architectural Management，2004，11

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(6)：395-403.

[16] Jun J. Appraisal of combined agreements in BOT project finance：focused on minimum revenue guarantee and revenue cap agreements[J]. International Journal of Strategic Property Management，2010，14：139-155.

[17] Dequech D. Bounded rationality，institutions，and uncertainty[J]. Journal of Economic Issues， 2001，35(4)：911-924.

[18] Wibowo A，Bernd K. Selecting BOT/PPP infrastructure projects for government guarantee portfolio under conditions of budget and risk in the Indonesian context[J]. Journal of Construction Engineering and Management，2011，137 (7)：512-522.

[19] Marques RC，Berg S. Risks，contracts，and private-sector participation in infrastructure[J]. Journal of Construction Engineering and Management，2011，137 (11)：925-932.

[20] Guasch J. Granting and renegotiating infrastructure concessions：doing it right[R]. Washington：The World Bank，2004.

[21] Carmen J，Fernando O，Rahim A. Private-public partnerships as strategic alliances[J]. Transportation Research Record：Journal of the Transportation Research Board，No. 2062，2008，1-9.

[22] Ho SP. Model for financial renegotiation in public-private partnership projects and its policy implications： game theoretic view[J]. Journal of Construction Engineering and Management，2006，132(7)：678-688.

[23] 宋波，徐飞. 不同需求状态下公私合作制项目的定价机制[J]. 管理科学学报，2011，14(8)：86-96.

[24] 胡丽，张卫国，叶晓甦. 基于 SHAPELY 修正的 PPP 项目利益分配模型研究[J]. 管理工程学报，2011，25（2）：149-154.

[25] 孙慧，范志清，石烨. PPP 模式下高速公路项目最优股权结构研究[J]. 管理工程学报，2011，25（1）：154-157.

[26] 王东波，宋金波，戴大双，李铮. 弹性需求下交通 BOT 项目特许期决策[J]. 管理工程学报，2011，25（3）：116-122.

[27] Tan ZJ. Capacity and toll choice of an add-on toll road under various ownership regimes[J]. Transportation Research Part E，2012，48：1080-1092.

[28] Anderlini L，Felli L. Costly bargaining and renegotiation[J]. Econometrica，2001，69(2)：377-411.

PPP Projects: A Study of Compensation Mechanism with Unmet Demand

GAO Ying, ZHANG Shui-bo, FENG Zhuo

(School of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Public-Private Partnership (PPP), as an innovative way to provide infrastructure by the private sector, is widely adopted throughout the world. One of the most important risks faced by the private sector is demand risk. For years researchers have focused on how this kind of risk should be distributed between the government and the private sector. Some researchers argue that parties subject to losses should undertake the risk, which will help stimulate them to do better risk control. However, the demand risk is exogenous and thus cannot be prevented or controlled by either party. Considering the cooperation feature of PPP between the government and the private sector, the demand risk should be shared by both parties. Researchers put forward that signing ex ante guarantee arrangement with the government can be regarded as a method to reduce the risk losses of the private sector. However, the demand guaranteed by the government is specified at the time of contract signing before the occurrence of risk, problems of overcompensation or undercompensation may emerge due to bounded rationality. Therefore, currently researches have shifted their attention to how the compensation amount should be determined by the government when the demand risk occurs.

At present, there are two research gaps with regard to this issue. First, scholars failed to take into consideration the calculation method of compensation amount in their studies, leading to ambiguity and even possible occurrence of corruption as perceived by the public when the government honours compensation. To solve this problem, the demand compensation mechanism should be proposed and detailed, thus making the compensation process a transparent one. Second, previous studies only focused on efficiency improvement, leaving fairness of distribution neglected, which is harmful to the sustainable development of PPP projects. Therefore, both of private sector’s benefits and consumer surplus should be paid attention to when the government compensates the private sector so that a win-win situation can be achieved.

To fill these gaps, our study focuses on conditions of Pareto-improvement for both private sector’s benefits and consumer surplus under demand compensation mechanism in PPP transportation infrastructures whose revenue depends on charges collected from users. We first analyze how the demand compensation mechanism affects the private sector’s profit and consumer surplus when the ceiling price is fixed. Results indicate that in this situation the mechanism improves private sector’s benefits by an increasing price while damaging consumer surplus. Therefore, to realize both parties’ Pareto-improvement, the government should first reset the ceiling price.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

This study then explores the impact of demand compensation mechanism when the ceiling price is reset. Results show that effective zone of compensation amount exists to realize Pareto-improvement when both parties' renegotiation costs are low. In addition, numerical examples are applied to test and verify these results.

In summary, the demand compensation mechanism can realize Pareto-improvement when the ceiling price is allowed to be reset and the renegotiation costs for both parties are low. Our study results are of significance for the government to make correct decisions on compensation amount, and provide theoretical guidance for risk sharing between public and private sectors such that sustainable development of PPP projects can be promoted.

Key words: public-private partnership; renegotiation; demand risk; compensation mechanism

中文编辑：杜　健；**英文编辑：**Charlie C.　Chen

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net