DOI:10.19641/j.cnki.42-1290/f.2019.08.020

基于实物期权的PPP项目特许经营期决策

——以绥大高速PPP项目为例

郭雪萌(博士生导师), 秦宇飞, 李红昌(副教授)

【摘要】作为PPP模式中特许经营协议的核心内容,项目特许经营期的合理确定将关系到政府和社会资本方的利益分配以及项目的顺利实施。以绥大高速PPP项目为例,对高速公路PPP项目特许经营期的不确定性影响因素进行分析,在传统净现值决策模型的基础上引入实物期权理论,构建高速公路PPP项目特许经营期决策模型,综合运用蒙特卡罗模拟方法对模型进行求解,以政府为交通量波动做出的担保期权为例,计算实物期权法下的特许经营期并分析结果。研究发现:由于实物期权的价值来自于未来的不确定性,充分考虑了投资决策的柔性和灵活性,因此能够弥补传统净现值法的缺陷,且项目收益在考虑政府担保期权价值后有所增加,使得项目特许经营期缩短,因此社会资本方能够更快地获得预期回报,有利于政府和社会资本方的谈判。研究有利于丰富高速公路PPP项目领域应用实物期权理论求解特许经营期的文献,为政府和社会资本方合理确定特许经营期提供了一种可借鉴的方法。

【关键词】PPP项目; 特许经营期; 高速公路; 实物期权

【中图分类号】F542　　【文献标识码】A　　【文章编号】1004-0994(2019)08-0162-9

一、问题的提出

随着我国经济的高速发展和城市化进程的不断加快,社会公众对基础设施建设的需求日益增加,地方政府财政资金压力巨大且地方政府融资平台债务风险逐渐加大,为应对该趋势和平滑政府财政支出,我国政府自2014年开始在基础设施建设领域推广PPP模式。PPP模式即政府和社会资本合作模式,指在公共服务领域,政府通过公开竞争方式选择合适的社会投资者,双方通过签订协议明确各自的权利和义务,以此为基础建立合作关系。PPP模式起源于英国,其通过委托代理方式使政府与社会资本达成合作,最大限度地发挥公私双方各自的特长,从而促进资源优化配置[1]。作为PPP模式的关键要素,特许经营期的合理确定是整个项目成功运作的先决条件。特许经营期越短,项目移交时资产状况越好,对政府越有利,但对社会资本方加大项目建设与运营费用投入的激励效果越差;反之,特许经营期越长,则项目移交时的整体资产价值越低,将会影响项目的继续使用,对政府方越不利[2-4]。为了同时满足政府与社会资本方不同的利益诉求,对特许经营期的合理决策至关重要。但从PPP项目实操来看,政府与社会资本方目前仍采用类似项目经验的方式来进行谈判以确定特许经营期,明显忽略了地区经济水平、技术水平等因素的影响,这使得特许经营期的合理确定仍缺乏严格的论证,存在较大的问题[5]。

收费高速公路项目具有投资大、周期长、投资回收慢等特点[6],其建设将为社会带来巨大的经济效益和社会效益,对社会的经济、环境和生活水平产生重要影响。审计署2008年对12个省市35条收费公路建设运营情况的审计调查结果显示,由于特许经

【基金项目】中央高校基本科研业务费专项资金资助项目"中国式PPP项目落地难现象研究——基于地方政府视角的分析"(项目编号:2019YJS401)

营期过长，以济青高速为首的许多项目投资回报率高达数倍以上，而以西安至宝鸡高速公路为首的项目则由于难以收回投资而面临严重的债务困难[7]。除此以外，政府与社会资本方在进行特许经营期决策时，由于存在忽视项目风险差异而导致特许经营期与实际不匹配的问题，也为PPP项目的成功实施埋下了巨大的隐患。由于特许经营期的时限关系到政府和社会资本方的利益分配和项目的顺利实施，因此如何确定合理的特许经营期是高速公路PPP项目研究中的一个重点问题。

特许经营期的影响因素是建立决策模型的重要依据。有关PPP项目中特许经营期决策的研究，采用的方法主要有净现值法、博弈论法和蒙特卡罗模拟法三种，其中传统净现值法是基础，而博弈论法与蒙特卡罗模拟法是对传统模型的补充[3]。传统净现值法是指从项目未来现金收益的角度出发，识别影响特许经营期的参数和影响参数的内外部因素[8]，最终对特许经营期内现金流量进行计算并得出特许经营期的决策方法。由于该方法忽略了项目的潜在价值，近年来有学者引入了实物期权理论对PPP项目特许经营期的决策问题进行研究，即在政府和项目公司进行特许经营期谈判时，考虑期权价值将对特许经营期决策产生明显的影响[9]。实物期权方法是对传统特许经营期决策方法的完善，它可以通过建立期权定价模型准确地量化项目的期权价值[10]，能够在很大程度上淡化不确定性因素的干扰，不仅使项目期望收益显著提高，还将大大增加项目运营的灵活性[11]。

虽然实物期权方法在PPP项目的价值评估中获得了广泛的认可，但其在国内外特许经营期决策研究中涉及较少，因此有必要对基于实物期权计算特许经营期的方法进行进一步的探讨。本文首先从高速公路PPP项目特许经营期的不确定性影响因素展开分析，然后在传统净现值决策模型的基础上构建基于实物期权的高速公路PPP项目特许经营期决策模型，并运用蒙特卡罗模拟方法对模型进行求解，最后对比分析传统方法与实物期权方法确定的特许经营期的差异，以期为政府和社会资本方合理确定特许经营期提供一种可借鉴的方法。

二、理论基础

1. 高速公路PPP项目特许经营期概述。从社会资本方的角度出发，特许经营期越长越有利于增加投资回报；但从政府角度出发，项目特许经营期越短将越早实现对项目的控制。因此，特许经营期决策将直接决定政府和社会资本方的利益分配问题。由于高速公路基础设施建设的投资成本高、投资回收期长，且项目运营过程面临多种不确定性风险，因而政府与社会资本方在进行项目特许经营期决策时必须考虑一系列风险因素的影响。对于交通基础设施建设，项目建设期、交通流量、投资额、贴现率、收费标准以及运营成本等六大因素将对项目特许经营期产生重要影响[12]，项目资产折旧、摊销费用[13]与难以评估的项目偿债能力[14]也可能成为相关风险因素。此外，社会公众效益将通过影响项目收费标准[15]、通行车型将通过影响收费价格[16]进而影响特许经营期决策。

目前PPP项目特许经营期可以分为固定特许经营期与弹性特许经营期两种。在传统固定特许经营期决策方法中，属净现值法最为常用，即在社会投资方在特许经营期内获得预期投资回报与项目转交给政府后累计净现值大于零双重条件下，通过对项目特许经营期内现金流量的计算求出特许经营期的可行区间[8]；而弹性特许经营期决策方法则是将确定固定时间段为特许经营期的思路，替换成以某种固定收益为标准，在达到约定的收益后项目特许经营期随之结束[17]，该方法常用于高速公路项目。因为对于高速公路PPP项目而言，交通流量将直接影响项目的特许经营期决策。而交通流量是一个变化的因素，因此应针对多种情况下、多区段内的交通流量变化进行细致的分析[18]。

虽然传统固定特许经营期决策方法因其计算简单而被工程项目广泛使用，但由于其隐含的基本假设与收费高速公路项目投资不可逆、投资时机灵活、收益不确定等特征相矛盾，将导致对项目价值的低估，从而导致投资决策的失误。而弹性特许经营期决策方法目前仍处于发展阶段，并且在实际运营中社会资本方的收益计算标准不统一，由此这种方法不宜被广泛接受与使用。另外，根据项目的显性价值构建决策模型显然忽略了其潜在价值，在这种背景下，学者们开始尝试运用实物期权理论来弥补现有决策模型的不足，研究不确定环境下项目的价值评估与投资决策问题。

2. 实物期权理论与特许经营期决策。实物期权理论自被应用于收费公路BOT项目[19]以来，便得到了建设工程和管理领域的接受和认可。实物期权理论认为，在不确定性因素的影响下，将来改变战略

将会产生相当大的费用，这使得制定柔性战略或推迟决策有了价值。随着项目的开展，投资者也可以根据市场的变化和项目效益状况灵活地改变投资决策，比如在效益良好时扩大项目的规模或在市场情况不佳时放弃投资。针对不同项目特征，可选择的实物期权有延迟期权、增长期权、转换期权、放弃期权、分阶段投资期权、复合期权和改变规模期权等[20]。实物期权方法是动态的战略决策方法，其优势在于充分考虑了工程项目投资收益不确定、投资时机灵活等特征，适用于不确定性较大、存在或有投资决策以及需要进行战略修正的项目[21]。

现有研究包括：根据环保基础设施的特点引入增长期权并与博弈论结合建立决策模型，逆推归纳得到均衡解并计算特许经营期[22]；考虑交通运输基础设施特许经营期特点，建立包含实物期权价值的特许经营期决策模型[9]；将实物期权理论与最优停理论结合，以政府和社会资本方获取利益最大化为目标构建特许经营期决策模型[23]；基于PPP项目案例探讨将扩建作为扩张期权消除特许经营期不确定性因素的影响[11]；在风险偏好基础上建立政府担保的期权价值模型[24]；针对污水处理领域、供水工程领域、养老地产领域PPP项目中的政府担保价值，将其看作欧式看跌期权并利用蒙特卡罗模拟法计算相应期权的价值[25]或将其直接转化为特许经营期的延长[26]等。

3. *政府担保条件下的特许经营项目*。在特许经营项目中通常会出现两种情况：一是社会资本方获得过多利润，二是由于项目运营亏本导致社会资本方面临资金压力。这两种情况除侵害社会公众利益外，前者将引起社会争议[27]，后者还将损害社会资本方利益。政府将针对以上两种情况分别给予相应的财政补贴，并从中获得一定收益。在交通基础设施使用中，未来交通量的预测存在巨大的不确定性。国外学者2005年对国际重要公路、桥梁及隧道交通量情况的调查显示，23%的交通基础设施项目实际交通量比预测值低，诸如墨西哥Tribasa收费公路BOT项目、欧洲海峡隧道BOT项目的实际交通量均远远低于预期[28]。此时，社会资本方往往会要求政府部门对项目的运营收入风险提供一定担保，其中“政府最低收益担保”就是一种最常见的政府补贴行为[29]。

特许经营项目中的担保收益与公私双方利益和特许经营期的确定直接相关，政府担保行为可以有效地消除社会资本方的顾虑，充分引导社会资本方对PPP项目进行投资。一般情况下政府部门会对项目进行收益担保，即当项目运营收入低于某一值时，政府部门对其差额进行补贴。采用二叉树法可计算出社会资本方从项目运营中所获得的收益，在满足社会资本方预期收益率以及项目移交后净现值不为零的前提条件下，即可采用净现值法求解特许经营期上限和下限[25]。

4. *简要小结*。PPP项目传统投资决策仍局限于净现值法等固定特许经营期决策方法，显然在基本假设方面存在明显缺陷[21]，根据高速公路PPP项目管理的灵活性、不确定性等特征，将实物期权法引入项目决策，使项目具有期权性质，例如考虑政府最低收益担保对项目的期权价值并将其应用到特许经营期谈判过程中，可有效避免项目价值被低估、减少投资决策方面的失误，使公私双方能够更加合理地确定项目特许经营期。

上述研究已经注意到PPP项目中各类期权的价值对特许经营期决策的影响，但针对高速公路PPP项目的特点进行实物期权识别与特许经营期决策仍待研究。本文以黑龙江省绥大高速公路PPP项目为例，首先对高速公路PPP项目特许经营期的不确定性影响因素进行分析，在传统净现值决策模型的基础上构建基于实物期权的高速公路PPP项目特许经营期决策模型，然后运用蒙特卡罗模拟方法对模型进行求解，最后根据绥大高速公路PPP项目案例数据验证该方法，以政府做出的最低担保为研究对象，分别计算实物期权法下的特许经营期，并与传统净现值法下的计算结果进行对比分析，以期为政府与社会资本方合理确定高速公路PPP项目的特许经营期提供一种可借鉴的方法。

三、研究方法与案例选择

1. *研究方法选择*。案例研究是运用实例证据开展综合性研究的方法。本文采用单案例研究法，选取典型代表性PPP项目案例进行理论分析与模型构建。本文选择案例研究方法的原因是：①探索基于实物期权的高速公路PPP项目特许经营期决策属于“为什么”和“怎么样”的问题，与案例研究的经验主义探究类似[30]；②PPP项目的特许经营期决策问题，尤其是基于实物期权理论对特许经营期的决策分析仍处于探索阶段，采用案例研究有助于拓展现有理论。本案例研究中的高速公路PPP项目作为全国首个真正落地的收费公路PPP项目，与众多同类项目相比最具代表性，将研究结论应用于该案例将

有助于加深对高速公路PPP项目采用基于实物期权理论的特许经营期决策分析方法的理解。

2. 案例选取与介绍。本研究以收费高速公路PPP项目作为分析背景，根据案例选择的典型性原则，选取黑龙江省绥大高速公路（以下简称“绥大高速”）作为案例分析对象。绥大高速是黑龙江省“一带一路”陆海丝绸之路战略规划中的重点项目，是黑龙江省高速公路网中规划的重要省级主干线高速公路，连接重要的交通运输枢纽，并与周边高速公路全面对接，形成规模适当、布局合理、衔接顺畅的区域高速公路网络，对地方经济的发展、中蒙俄经济走廊和“一带一路”陆海丝绸之路经济带的发展具有重大意义。2015年5月，绥大高速正式作为政府与社会资本国家级重点合作项目被列入国家发改委PPP项目库，是黑龙江省第一个真正落地的高速公路PPP项目。同年5月9日，绥化市政府与江苏嘉隆工程建设有限公司正式签订绥大高速项目投资建设合同。绥大高速项目于2016年7月30日开工建设，预计2019年建成通车。本研究中的数据资料主要包括内部资料（来自PPP项目库管理平台等）和从公开渠道（新闻资讯、论坛等）获取的二手资料。

四、案例分析

1. 高速公路PPP项目特许经营期的影响因素与期权识别。与一些非经营性基础设施PPP项目不同，收费高速公路作为经营性基础设施其特许经营期存在很多特有的影响因素。国内外学者普遍指出，交通量、收费价格、税费、收费收入、运营成本和建设成本等多个关键风险因素对高速公路PPP项目特许经营期的决策都存在影响[31]，其中最重要的风险因素是交通量[32]。下面根据高速公路PPP项目特点与运营规律，将特许经营期影响因素按照内部因素与外部因素分为两类[8]，其中：内部因素包括建设期、投资额、预期回报[2]、运营成本与收入以及折现率[34]；外部因素包括政治因素、法律因素、市场因素以及金融因素[8]。具体如表1所示。

对于收费高速公路PPP项目而言，由于其建成后的道路具有服务特性与供给特性，交通量在众多特许经营期关键风险要素中重要性占比最大，而运营维护成本、收费价格也对社会资本方在特许经营期内能够获得的收益具有决定性影响，因此其重要性仅次于交通量。故本文将识别与交通量、运营成本、收费价格三大要素显著相关的不确定性较大的影响因素以及其所包含的实物期权，得到如下结果：

表1　高速公路PPP项目特许经营期影响因素

内部因素	建设期	项目从动工到完工的时间，由项目施工情况决定
	投资额	受项目规模、投资结构和技术方案等影响，较高的投资额需要更长的特许经营期
	预期回报	社会资本方的预期回报率越高，特许经营期越长
	运营成本	包括原材料、工资及福利、维护费和管理费等各种成本和费用
	运营收入	与市场需求和产品价格相关，直接影响项目未来的效益和现金流
	折现率	将项目未来现金流折现的比率
外部因素	政治因素	政府干预项目进程，包括政府信用、政府行为
	法律因素	法律条款变更、税收政策调整等
	市场因素	市场需求（交通量）和原材料价格变化
	金融因素	贷款利率变动、通货膨胀

（1）政治因素。政治因素包括政府信用和政府行为，政府信用风险是指政府拒绝履行合同中的相关义务和条款，比如拖欠工程款、缺少补贴资金、政府担保不能实现等。在这种情况下，社会资本方将蒙受巨大的损失，很可能导致社会资本方亏损或出现经营困难。为了保全自己的利益，社会资本方可以选择放弃继续投资该项目，此时放弃投资的权利可以看作放弃期权。放弃期权的持有者是社会资本方，期权价格是放弃该项目所付出的成本，期权价值为执行放弃期权所避免的损失和转而投资其他项目所带来的收益。

政府行为主要是指政府利用自身的权利对项目进行干预，比如通过相关条款征用项目公司的财产或限制项目产品进出口、征收额外费用等。由于政府部门处于主导地位，社会资本方并不能拒绝这些要求，因此政府的干预必然会导致项目的效益受到影响。在社会资本方发生亏损的情况下，可以执行放弃期权止损。

（2）法律因素。法律因素指法律条款变更和税收政策调整等。由于我国关于PPP项目方面的法规还不够完善，项目本身涉及的法律条款也比较复杂，所以法律风险较容易发生。当相关行业的法律条款变更或税收政策调整而使项目的进度受到影响时，社会资本方可以针对具体问题与政府协商来保证项目的顺利进行。如果政府保证弥补社会资本方的损失，则这种承诺可视为担保期权，期权价值为政府补贴带来的利益，但如果沟通失败而情况不太乐观时，社

会资本方只能终止项目，这种选择权是一种放弃期权，期权价值可以通过计算放弃投资和继续投资所产生的收益差获得，无论是担保期权还是放弃期权，期权的持有者都是社会资本方。

（3）市场因素。市场因素主要表现在市场需求波动方面，这会直接影响项目的运营收入。在市场行情对项目收益有利和不利两种情况下，社会资本方将持有不同类型的期权。

对于某些PPP项目，市场需求波动较大而且难以预测，此时社会资本方的收益就会缺乏保证。为避免亏损，社会资本方往往会和政府签订特许经营协议，要求政府对市场需求提供最低担保，即当市场需求低于这一担保值时，社会资本方可以要求政府进行担保。这种担保是一种担保期权，当市场需求小于担保需求时，社会资本方可以执行担保期权。担保期权的价格是社会资本方为获得该期权所付出的成本，期权价值为社会资本方因政府担保而获得的收益。

如果市场前景比较被看好，社会资本方也可以与政府约定当市场需求大于预期时，其有权扩大项目规模以获得超额收益，这一权利被看作扩张期权。期权持有人是社会资本方，期权价格为扩建项目的成本，期权价值为由于扩大项目规模所产生的额外收益。

如果市场上不确定性因素较多，那么社会资本方可以根据实际情况选择通过等待获得更多的信息从而做出正确的投资决策，这时社会资本方拥有推迟期权，期权价值为延迟项目投资和不延迟投资的收益差额。

（4）运营收入和成本。运营收入与市场需求量直接相关，同样拥有扩张期权和担保期权。运营成本受材料、能源等价格波动的影响，为了避免成本增长带来损失，社会资本方可以要求政府提供担保，对由于材料价格上涨而减少的收益进行补贴，但是只有材料或能源的价格超过其与政府约定的范围时，社会资本方才有权利执行该担保期权。担保期权的价值为政府对社会资本方提供的补偿。

政府对于运营收入和成本提供的担保也未必能完全弥补社会资本方的损失，当运营成本收入小于运营成本时，社会资本方有权执行放弃期权，选择放弃该项目。期权价格是终止该项目所付出的代价，期权价值为执行放弃期权带来的收益。

对于折现率、投资额和预期回报率等影响因素，由于存在不确定性且项目风险较低，因此不对其进行实物期权类型的识别。

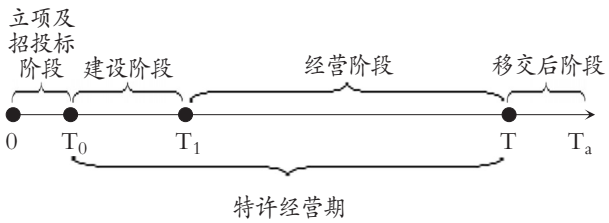
2. 绥大高速PPP项目概况。绥大高速PPP项目拟采用竞争性方式选择社会资本方，采用建设—运营—移交（BOT）方式实施，将项目的全部工作内容交由社会资本方实施，即项目优化设计、投融资、建设、运营和维护五部分内容全部包含在特许经营范围内，并采用使用者付费和政府可行性缺口补助等回报机制。项目全长176公里，总投资105亿元，建设期3年，运营期30年；项目预期投资回收额为2亿元；无风险利率为10年期债券票面利率3.52%；税金及附加税率为0.11%，所得税税率为25%。

项目折现率采用加权平均资本成本法[34]计算，该项目资本金比例为30%，其余资金通过银行贷款筹集，贷款利率为5.5%，权益资本收益率采用相关文献得到的经营性公路权益资本成本7%，由此得到项目折现率r=5%。该项目交通量基准值为700万辆/年，在运营期前十年增长率为8%，第10～20年为5%，最后十年为3%。公路平均收费标准为50元/辆，费用率按2%的通货膨胀率增长。运营成本包括养护、管理和大修等费用，其中养护、管理和大修费用的基准值分别为20万元/公里、10万元/公里和40万元/公里，且每十年大修一次，费用率按2%的通货膨胀率增长。项目公路采用直线法计提折旧，折旧年限为30年，不计残值。

根据以上数据，可计算得到如表2所示的项目权益资金现金流量表。

五、基于实物期权理论的特许经营期决策

1. 特许经营期的界定。下图描述了PPP项目全生命周期的时间过程。项目从t=0时刻开始，0～T_0这一时间段为项目立项与招投标阶段，政府与社会资本方在t=T_0时签订特许经营协议，T_0～T_1这一时间段为项目建设阶段，T_1～T这一时间段为项目运营阶段，项目从t=T时刻移交给政府直至t=T_a时刻项目全生命周期结束。项目特许经营期为T_0～T这一时间段。



PPP项目生命周期图

从政府角度考虑，基础设施项目提供的产品和

表 2 **案例项目权益资金现金流量** 单位：万元

年份	建设期			运营期							
	1	2	3	4	5	…	29	30	31	32	33
现金流入				35000	38556	…	222948.1	231955.2	241326.2	251075.8	261219.2
交通量（万辆/年）				700	756	…	2717.9	2772.2	2827.7	2884.2	2941.9
收费标准（元/辆）				50	51	…	82.0	83.7	85.3	87.1	88.8
项目收入				35000	38556	…	222948.1	231955.2	241326.2	251075.8	261219.2
现金流出				5318.5	5428.0	…	8907.6	9090.8	9277.8	9468.8	22415.8
建设成本	350000	350000	350000			…					
养护费用				3520	3590.4	…	5774.9	5890.4	6008.2	6128.4	6251.0
管理费用				1760	1795.2	…	2887.5	2945.2	3004.1	3064.2	3125.5
大修费用						…					12752.0
运营成本				5280	5385.6	…	8662.4	8835.6	9012.4	9192.6	22128.5
税金及附加				38.5	42.4	…	245.2	255.2	265.5	276.2	287.3
折旧摊销				35000	35000	…	35000	35000	35000	35000	35000
贷款利息	44100	44100	44100	44100	44100	…					
偿还本金											
利润总额				−49418.5	−45972	…	179040.4	187864.4	197048.4	206607	203803.4
所得税				0	0	0	44760.1	46966.1	49262.1	51651.7	50950.9
净现金流	350000	350000	350000	29681.5	33128.0	…	169280.3	175898.3	182786.3	189955.2	187852.6
折现现金流	338100	326620	315490	24142.0	25589.0	…	37860.3	37360.3	36869.2	36386.8	34172.8
净现值	−338100	−664720	−980210	−956068	−930479	…	−28618.1	8742.2	45611.5	81998.2	116171

服务需要被社会公众接受并广泛使用，因此项目需要在全生命周期结束前移交给政府并且在移交后仍能良好运行，即特许经营期结束后项目的净现值要大于零；对于社会资本方，其在签订特许经营协议后将在约定的特许经营期内进行项目的建设、运营并归还贷款本息，因此在特许经营期内收到的回报需能够达到预期的投资回报率。

2. 基于实物期权的高速公路PPP项目特许经营期决策模型。在考虑社会资本方和政府双方利益的条件下，社会资本方采用特许经营期（T_0-T）作为经营分析期，而政府则需对项目特许经营权移交后的现金流净现值进行分析评估，故可以得到如公式（1）和（2）的传统净现值法特许经营期决策模型[8]：

$$\text{社会资本方：}NPV_P=\sum_{i=T_0}^{T}\frac{CI_i-CO_i}{(1+r)^i}=E\times R_E \tag{1}$$

$$\text{政府：}NPV_G=\sum_{i=T}^{T_a}\frac{CI_i-CO_i}{(1+r)^i}\geqslant 0 \tag{2}$$

其中，T_0为项目建设期启动时点，T_a为项目全寿命期，T为项目特许经营期结束时点且$T<T_a$，CI_i、CO_i表示第i年项目的现金流入和流出量，r为折现率，E为项目总投资额，R_E为社会资本方预期投资回报率。

模型适用的前提条件比较容易达到，即同时满足项目移交后净现值大于零与社会资本方在特许经营期内达到预期投资回报率的条件。由于项目实施过程中存在很多不确定性，故有学者在传统净现值法基础上，运用蒙特卡罗模拟技术分析项目风险因素对项目净现值的影响[12]、通过CAPM模型计算出风险校正贴现率进而得到优化的特许经营期计算模型[34]、将项目带来的社会效益作为决策准则的修正[35]、运用系统动力学方法[36]等对特许经营期决策模型进行修正，试图消除不确定性因素的影响，逐步完善净现值法。

由于项目建设期较少受到市场波动的影响，而且政府方通常会提供一些支持，因此可以直接应用无风险利率进行折现，但在经营期内不确定性因素较多、风险较大，因此需要单独计算项目折现率。由上文可知，特许经营期的影响因素包含担保期权、放弃期权和扩张期权等，这些期权反映了项目的潜在

价值。由于期权价值会影响项目本身的价值，进而影响特许经营期的长短，因此在进行特许经营期决策时应加入期权价值。假设社会资本方在建设期内投资总额的净现值为NPV_1，在运营期内收益净现值为NPV_2，则特许经营期内加入实物期权后的净现值NPV_C为：

$$NPV_C=NPV_1+NPV_2 \quad (3)$$

为满足模型初始条件，即既保证项目移交后净现值大于零，又保证投资者在特许经营期内达到预期投资回报率，在项目价值中加入项目全部期权价值，加和计算得出特许经营期内加入实物期权的净现值。

本文认为政府与社会资本方在进行项目净现值评价时应选用不同的折现率。社会资本方在建设期内投资总额的净现值NPV_1可由项目在建设期内将相应年限投资额以无风险利率r_f折现计算，在运营期内的收益净现值NPV_2则可由项目在运营期内将相应年限收益以项目折现率r折现计算。综上所述，基于实物期权的特许经营期决策模型为：

$$NPV_C=-\sum_{i=T_0}^{T_1}\frac{I_i}{(1+r_f)^i}+\sum_{i=T_1+1}^{T}\frac{CI_i-CO_i}{(1+r)^i}+V_{ro}\geqslant E\times R_E \quad (4)$$

$$NPV_A-NPV_C=\sum_{i=T+1}^{T_a}\frac{CI_i-CO_i}{(1+r_f)^i}\geqslant 0 \quad (5)$$

其中，CI_i、CO_i为第i年项目的现金流入和流出量，T_0为项目建设期启动时点，T_a为项目全寿命期，T为项目特许经营期结束时点且$T<T_a$，在项目全生命周期内净现值为NPV_A，在特许经营期内全部期权价值总和为V_{ro}，r_f为无风险利率，r为项目折现率，I_i为项目公司第i年的投资额，R_E为社会资本方预期投资回报率，E为项目总投资额。

3. 期权价值的计算。高速公路PPP项目中各项风险可以看作是在特定时间内以项目未来具体价值为标的的资产。以政府在PPP项目中为社会资本方提供的最低收益担保为例，将最低收益作为执行价格的看跌期权。如果项目在未来第i年的收益（$CF_{Pi}=CI_{Pi}-CO_{Pi}$）小于政府当年担保的最低收益（$CF_{Gi}=CI_{Gi}-CO_{Gi}$），则社会资本方将获得政府提供的最低收益担保。即政府第i年提供的最低收益担保价值SF_i为：

$$SF_i=\max\{CF_{Gi}-CF_{Pi},0\} \quad (6)$$

将最低收益担保价值用无风险利率折现到远点则得到PPP项目中政府担保的期权价值V_{r1}，具体为：

$$V_{r1}=\sum_{i=T_0}^{T}\frac{SF_i}{(1+r_f)^i} \quad (7)$$

4. 结果分析。已知政治风险、法律风险和不可抗力对该项目的影响很大，这些风险一旦发生，项目很可能难以继续进行，社会资本方可能执行放弃期权；而当通货膨胀达到一定程度时，项目的运营成本和收入都会受到影响，社会资本方可以事先与政府达成协议，要求政府提供适当的担保，这时社会资本方拥有担保期权。而对于高速公路PPP项目，交通量将直接决定社会资本方的收益，受到周边道路的影响，项目投入使用后高速公路车流量可能会低于预测值。为了避免社会资本方的损失，政府在协议中承诺当社会资本方收益减少且无法维持正常运营或无法按期回收投资和合理利润时，政府须按政策规定对社会资本方给予补偿，这可以看作一种担保期权。

本文根据以往研究中对交通量概率分布预测的方法[37]，假定初始交通量服从均值为700万辆、标准差为50万辆的对数正态分布，交通量增长率前10年符合均值为8%、方差为4%的正态分布，第10～20年为符合均值为5%、方差为3%的正态分布，最后10年为符合均值为2%、方差为2%的正态分布。对交通量及其增长率进行1000次的蒙特卡罗模拟，得到政府担保的价值。以特许经营期内第33年为例，算得政府担保价值的平均值为106542.42万元，中间值为32201.65万元，由于其概率分布明显偏左，所以担保期权的价值取中间值32201.65万元。

分别计算每一年的担保价值，得到考虑政府担保期权后项目的净现值。以特许经营期内第33年为例，根据表2，项目在第33年的现金流净现值为116171万元，由上述蒙特卡罗模拟法求得项目第33年担保期权净现值为32201.65万元，故项目在第33年的现金流净现值$NPV_{C33}=116171+32201.65=148372.65$（万元）。以此类推，可求得考虑政府担保期权后项目的净现值，具体如表3所示。

在表3中，NPV_G为根据表2计算得到的项目在特许经营期内每一年的现金流净现值，V_{ro}为在特许经营期内每一年通过计算求得的项目含有的担保期权价值，NPV_C表示项目在相对应的特许经营期年限内各年具有担保期权的项目现金流净现值。由表3可得，在考虑政府担保的期权价值后，项目的净现值有所增加。根据表3中数据可看出具有担保期权的项目现金流将在第29年与第30年间由亏转盈，因而计算基于实物期权的特许经营期t如下：

表 3　　案例项目担保期权净现值　　单位：万元

	年份	NPV_G	V_{ro}	NPV_C
建设期	1	−338100		−338100
	2	−664720		−664720
	3	−980210		−980210
运营期	4	−956068	135.07	−955933
	5	−930479	638.90	−929840
	6	−903387	1132.92	−902254
	…	…	…	…
	29	−28618.10	29032.84	414.74
	30	8742.23	31032.84	39775.07
	31	45611.46	31221.84	76833.30
	32	81998.22	32132.92	114131.14
	33	116171	32201.65	148372.65

$t=29+(20000-414.74)/(39775.07-414.74)=29.50$（年）

而由传统净现值法模型即公式（1）得出绥大高速项目现金流净现值在第30年的某个月达到盈亏转折点，故特许经营期t′满足下式：

$t'=30+(20000-8742.23)/(45611.46-8742.23)=30.31$（年）

综上所述，仅考虑实物期权中政府担保价值后的项目特许经营期便比传统方法计算的期限有所缩短，即政府提供的担保实际上分担了社会资本方的经营风险，这种担保期权可以增加项目的价值，使特许经营期缩短，故将实物期权引入高速公路PPP项目特许经营期决策将有利于政府和社会资本方的谈判，能帮助双方更加合理地确定特许经营期。

六、研究总结

由于高速公路PPP项目存在高度的不确定性，因此会在项目建设与运营阶段面临一系列风险，这些风险将直接影响项目特许经营期的长度。要合理确定高速公路PPP项目的特许经营期，首先要对项目关键影响因素进行分析。本文以绥大高速PPP项目为例，将实物期权理论引入特许经营期的决策中，补充了传统净现值法求解特许经营期的方法，指出了高速公路PPP项目特许经营期的影响因素并进行实物期权识别，进而构建了基于实物期权的高速公路PPP项目特许经营期决策模型，将基于担保期权的特许经营期决策模型通过蒙特卡罗模拟，计算出期权价值，进而求出考虑担保期权后项目的特许经营期。研究表明，在政府提供最低收益担保的前提下，考虑期权价值与传统净现值法相比项目的价值会增加，从而缩短项目的特许经营期，因此证明社会资本方能够更快地获得预期回报，有利于政府和社会资本方的谈判。本文的研究有利于丰富应用实物期权求解特许经营期的文献，对收费高速公路PPP项目合理确定特许经营期存在一定的参考价值。但由于实际情况中特许经营协议可能包含一些其他担保条件，期权类型也可能更加复杂，因此期权对项目价值的影响还需要进一步探讨和研究。

主要参考文献：

[1] 王卓君，郭雪萌. 政府会计信息披露、官员晋升激励与地方政府选用PPP模式[J]. 当代财经，2018(10)：123～131.

[2] 杨宏伟，周晶，何建敏. 基于博弈论的交通BOT项目特许权期的决策模型[J]. 管理工程学报，2003(3)：93～95.

[3] 张继红. PPP项目特许经营期影响因素分析[J]. 经济论坛，2015(9)：126～128.

[4] 李明孝，叶婉. 基于财政承受能力的PPP特许经营期确定方法研究[J]. 工程管理学报，2016(5)：66～70.

[5] 宋金波，宋丹荣，谭崇梅. 垃圾焚烧发电BOT项目特许期决策模型[J]. 中国管理科学，2013(5)：86～93.

[6] 杭省策，田芳华. BOT项目特许权期决策方法研究[J]. 科技和产业，2013(6)：110～115.

[7] 黄修煌，黄书猛. 我国PPP项目最优特许期决策[J]. 莆田学院学报，2017(3)：57～62.

[8] 李启明，申立银. 基础设施BOT项目特许权期的决策模型[J]. 管理工程学报，2000(1)：43～46.

[9] 赵国杰，何涛. 基于实物期权的BOT项目特许期决策模型研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版)，2010(5)：27～30.

[10] 林北海，詹朝曦. 实物期权在基础设施PPP项目中应用综述[J]. 价值工程，2016(8)：1～4.

[11] 梁伟，王守清. 实物期权在城市轨道交通PPP项目决策中的应用[J]. 工程管理学报，2012(2)：23～27.

[12] Shen L. Y., Wu Y. Z.. Risk concession model for build/operate/transfer contract projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management，2005(2)：211～220.

[13] Wu M., Wing Chau K., Shen Q., et al.. Net

asset value-based concession duration model for BOT contracts[J]. Journal of Construction Engineering and Management,2011(2):304~308.
[14] Ashuri B., Kashani H., Molenaar K. R., et al.. Risk-neutral pricing approach for evaluating BOT highway projects with government minimum revenue guarantee options[J]. Journal of Construction Engineering and Management,2011(4):545~557.
[15] Hu H., Zhu Y.. Social welfare-based concession model for build/operate/transfer contracts[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2014(1):04014064.
[16] Wang D., Song J., Dai D., et al.. A decision method of concession period for traffic projects in a build-operate-transfer scheme[J]. Management Science and Engineering,2009(9):1935~1941.
[17] 王东波,宋金波,戴大双,韩首栋. BOT项目特许期决策方法研究评述[J]. 预测,2009(3):1~8.
[18] 侯县平,黄登仕,王俊明. 基于动态交通量的BOT公路项目特许期决策模型[J]. 管理评论,2010(7):39~45.
[19] Garvin M. J., Cheah C. Y. J.. Valuation techniques for infrastructure investment decisions[J]. Construction Management and Economics, 2004(4):373~383.
[20] Trigeorgis L.. Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation[M]. Cambridge: MIT Press,1996:1~427.
[21] 张俊生,王广斌. 分期BOT项目期权定价特许权期的决策模型与分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2012(9):1434~1438.
[22] 杨屹,郭明靓,扈文秀. 基于期权博弈的基础设施BOT项目二阶段特许权期决策模型[J]. 中国软科学,2007(6):81~85.
[23] 刘伟,吕俊娜,邹庆. 收益不确定下交通BOT项目特许期决策模型[J]. 系统工程,2012(12):51~56.
[24] Cheah C. Y. J., Liu J.. Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation[J]. Construction Management and Economics,2006(5):545~554.
[25] 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(10):92~95.
[26] 刘继才,罗剑,宋金龙. 政府担保条件下的PPP项目特许期研究[J]. 科技管理研究,2015(3):159~162.
[27] Kang C. C., Feng C. M., Kuo C. Y.. Comparison of royalty methods for build-operate-transfer projects from a negotiation perspective[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,2012(4):830~842.
[28] Bain R.. Error and optimism bias in toll road traffic forecasts[J]. Transportation,2009(5):469~482.
[29] 黄大卫,吕周洋. 基于担保期权的PPP项目特许经营期研究[J]. 水利经济,2016(6):26~29.
[30] Yin R. K.. Case study research: Design and methods third edition[J]. Journal of Advanced, 2010(4):108.
[31] 宋金波,王若宇,宋丹荣. 高速公路BOT项目特许期决策模型[J]. 系统工程,2014(2):91~97.
[32] 王东波,宋金波,戴大双,李铮. 不确定收益下公路BOT项目特许期决策方法研究[J]. 预测,2010(2):58~63.
[33] Ng S. T., Xie J., Cheung Y. K., et al.. A simulation model for optimizing the concession period of public-private partnerships schemes[J]. International Journal of Project Management, 2007(8):791~798.
[34] 秦旋. 基于CAPM的BOT项目特许期的计算模型[J]. 管理工程学报,2005(2):60~63.
[35] 赵立力,谭德庆. 基于社会效益的BOT项目特许权期决策分析[J]. 管理工程学报,2009(2):125~130.
[36] Dan S., Yisheng L.. Research on decision-making of PPP project franchise in large-scale stadiums: A system dynamics application[M]. UK: Francis Academic Press,2017:37~45.
[37] 张树建. 高速公路的交通流量构成与增长分析[J]. 天津建设科技,2000(2):21~23.

作者单位:北京交通大学经济管理学院,北京100044