

分类号 \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

编号 \_\_\_\_\_

# 东北财经大学

## 硕士学位论文



论文题目 : PPP项目融资三方博弈分析及最优契约设计

学科、专业 : 国民经济学 投资经济

硕士生 : 赵欣

指导教师 : 屈哲 副教授

答辩日期 : 二00六年十二月

## 摘要

本文以 PPP 项目融资方式为研究对象,以博弈论理论为研究工具,采取理论分析与实证检验相结合的方法,研究了 PPP 项目融资方式下项目所有者、项目经营者和项目投资者三方的博弈行为及各自的最优策略,建立起 PPP 项目融资的融资决策和融资结构设计博弈模型,求得其均衡解,在此基础上得出了本文关于 PPP 项目融资的三个主要结论,即:①政府与私人企业之间就项目特许权等涉及到的利益分配问题谈判持续时间越久,对项目建立的影响就越大,并最终影响到项目后期的运营收益;②筹集资金时信息的公开程度和真实程度对融资成功与否有较大影响;为了确保项目的盈利能力以及项目经营者向其潜在的投资者承诺的报酬率的真实性和可靠性,项目经营者必须加大项目相关信息的透明度;③为了避免经营上的道德风险以及对经营者实现有效的激励和约束,融资契约设计中应引入外部股权投资者,并使外部股权的数量与经营者的经营能力成反比;即使经营者拥有足够的资本支持整个项目,所有者也应该引进外部投资者的股权。

本文最后以北京地铁四号线 PPP 项目融资方式为例,对这些结论进行了实证分析与检验,并对其应用的意义与前景作了说明。

本文共分五部分,各部分主要内容包括:

第一部分:PPP 项目融资的定义、组织结构、运作方式、特征、优势及其在我国的发展现状与应用前景。

第二部分:与 PPP 项目融资相关的博弈论理论基础。包括博弈的概念与分类、委托-代理理论、完全信息动态博弈及相应的子博弈精炼纳什均衡、不完全信息动态博弈及相应的精炼贝叶斯均衡、信号博弈和契约设计原理。

第三部分:PPP 项目融资决策阶段的基本博弈行为分析。包括:政府与私人企业之间就特许权协议等相关问题而进行的完全信息动态博弈分析以及相

应结论；项目经营者与投资者就融资问题进行的信号博弈分析以及相应结论。

第四部分：**PPP** 项目融资三方在项目全过程的不完全信息动态博弈分析及其均衡，在此基础上得出应采取的最优契约（融资结构）设计。

第五部分：以北京地铁四号线 **PPP** 项目融资为例对本文得出的结论进行了分析与验证。

**关键词：**PPP，项目融资，博弈，契约设计

## ABSTRACT

Based on the tool of game theory, theoretical analysis and empirical test, this paper research the optimal strategy of owner, manager and investor of the PPP financing project. Models also are set up to seek equilibrium of the game, and the conclusion is as follow: First, the more time government negotiates with the private sector, the worse to the establishment of the project. Second, financing activity will benefit from the transparent information, and the financing activity could successfully. To avoid the principal-agent problem, the financing structure should be more spread, if any; project should attract more outside equity investor. In the end of this paper, an example of Beijing Metro Line 4 is put to support the conclusion. And through this example, we also put a statement of the significance and the prospects of the application of the conclusions.

The main contents:

Part 1: The definition, organization structure, way of operation and the feature of PPP. This part also discusses why projects apply PPP in china, its current circumstance of development and its prospect.

Part 2: This part introduces some basis knowledge of The Game Theory that related with PPP, such as the definition and classification of The Game Theory, the Principal-Agent Problem, Information Dynamic Game, Sub-Game Perfect Nash Equilibrium, and Dynamic Game with incomplete information, Bayesian Equilibrium, Signaling Game and the principle of contract design.

Part 3: An analysis of the conduct of Game in the beginning of project. It contains: focus on the cooperation, the analysis, the equilibrium and conclusion of Information Dynamic Game between the government and private enterprise; focus on the financing activity, the analysis, the equilibrium and the conclusion of Signaling Game between manager and investor.

## ABSTRACT

---

Part 4: This part contains: the analysis and the equilibrium of the 3 players in the Dynamic Game with incomplete information. Based on the above equilibrium, we can make a conclusion of the optimal solution of financing structure.

Part 5: An example: Beijing Metro Line 4, which is adopt the way of PPP. This example tests the conclusions stated above, and it will support these conclusions.

**Keywords:** PPP, Project Financing, the Game, Contract Design

## 东北财经大学研究生学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的博士/硕士学位论文《PPP项目融资三方博弈分析及最优契约设计》，是本人在导师指导下，在东北财经大学攻读博士/硕士学位期间独立进行研究所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果，对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体均已注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。

作者签名：赵欣

日期：2006年11月20日

## 东北财经大学研究生学位论文使用授权书

《PPP项目融资三方博弈分析及最优契约设计》系本人在东北财经大学攻读博士/硕士学位期间在导师指导下完成的博士/硕士学位论文。本论文的研究成果归东北财经大学所有，本论文的研究内容不得以其他单位的名义发表。本人完全了解东北财经大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅。本人授权东北财经大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

作者签名：赵欣

日期：2006年11月20日

导师签名：于忠

日期： 年 月 日

## 引言

PPP 项目融资是一种新型的融资模式，主要应用于基础设施建设领域。它将政府、私人企业和金融机构各自的优势充分结合起来，既减轻了政府财政压力，又提高了项目建设质量和运营效率，是解决政府投资公共产品缺陷和财政资金紧缺状况的有效方式。

PPP 项目融资在我国有广阔的应用前景，可以有效地解决当前我国基础设施建设中存在的资金不足与效率低下的问题。我国现正处于经济高速发展时期，对于各种公共基础设施的需求十分迫切；而引入 PPP 项目融资方式，可以吸引国内外私人投资，缓解建设资金不足的局面。同时，由于私人资本带来了灵活的机制和先进的管理方法，又可以实现项目的高效建设与运营。

PPP 项目融资在国外已经有了比较成熟的理论和很多成功的案例，但在我国还刚刚起步；加强这方面的理论与实践研究对于在我国基础设施建设领域中引入和推广 PPP 模式、提高基础设施投资与运营效率具有重大的现实意义。

本文以博弈论为工具分析了 PPP 项目融资模式中项目所有者、经营者以及投资者基于项目本身而形成的相互合作与博弈关系，研究了 PPP 项目融资三方的博弈行为及各自的最优策略并求得其均衡解，在此基础上得出了关于 PPP 项目融资的融资决策和融资结构设计的一些原则性结论；希冀这些结论能对 PPP 项目融资在我国的应用与实践提供一些思路和借鉴。

## 一、PPP 项目融资的基本理论与发展现状

### (一) PPP 项目融资的基本概念

PPP 项目融资是一种非常复杂的融资行为，它所涵盖的内容也极其广泛；各国对 PPP 的理解与实践不尽相同，有关 PPP 的定义也有很多。基于此，本文有必要对 PPP 项目融资的内涵进行界定，就 PPP 项目融资的定义、组织结构以及运作方式等方面的内容进行系统的阐述和说明。

#### 1. 几种有代表性的 PPP 项目融资定义

(1) 联合国培训研究院：PPP 涵盖了不同社会系统倡导者之间的所有制度化合作方式，目的是为了解决当地或区域内的某些复杂问题。PPP 包含两层含义：一是为了满足公共产品需要而建立的公共和私人倡导者之间的各种合作关系；二是为了满足公共产品需要，公共部门与私人部门建立伙伴关系进行的大型公共项目的建设实施。<sup>①</sup> (2) 欧盟委员会：PPP 是指公共部门和私人部门之间的一种合作关系，其目的是为了提供传统上由公共部门提供的公共项目或服务。<sup>②</sup> (3) 加拿大 PPP 国家委员会：PPP 是公共部门和私人部门之间的一种合作经营关系，它建立在双方各自经验的基础上，通过适当的资源分配、风险分担和利益共享机制，最好地满足事先清晰界定的公共需求。<sup>③</sup> (4) 美国 PPP 国家委员会：PPP 是介于外包和私有化之间并结合了两者特点的一种公共产品提供方式，它充分利用私人资源进行设计、建设、投资、经营和维护公共基础设施，并提供相关服务以满足公共需求。<sup>④</sup> (5) 我国有学者认为：PPP 有广义和狭义之分。广义的 PPP 泛指公共部门与私人部门为提供公共产品或服务而建立的各种合作关系，而狭义的 PPP 可以理解为一系列项目融资模式的总称，它包含 BOT、TOT、DBFO 等多种模式。狭义的 PPP 更加强调合作过程中的风险分担机制和项目的资金价值(Value For Money)。不管是广义还是狭义，PPP



均是指一个大的概念范畴，而不是一种特定的项目融资模式，不能将 PPP 与 BOT、TOT 等特定项目融资模式并列起来进行比较。<sup>⑤</sup>

以上的 PPP 定义各有侧重，揭示了 PPP 某一方面的特征，反映了不同主体对 PPP 项目融资概念的不同理解；但是，这些定义都没有体现出 PPP 项目融资的特定含义与本质特征，没有体现出 PPP 项目融资与其他项目融资方式的根本区别。

## 2. 本文对此的界定

本文认为，PPP (Public-Private Partnership) 是指公共基础设施建设领域的一种新型的项目融资模式，即政府部门与私人企业合作模式。在该模式下，政府部门与私人企业基于某个特定项目进行合作，共同投入资金，共担项目风险，共享投资收益。通过这种合作形式，合作各方可以达到与预期单独行动相比更为有利的结果；政府方面可以减轻财政压力，解决基础设施建设资金不足的问题，提高投资效益，而私人企业则可以降低投资风险并从中获得回报。PPP 的优点在于将市场机制引入了基础设施建设投融资领域，鼓励私人企业与政府进行合作，参与公共基础设施的建设。PPP 代表的是一个特定的具体的项目融资概念。

以上定义表明：①PPP 是一种项目融资模式，而项目融资 (Project Finance) 是“以项目的资产、预期收益或权益作抵押取得的一种无追索权或有限追索权的融资或贷款”。<sup>⑥</sup>②PPP 是由政府部门与私人企业共同投资，解决了项目资金全部由私人企业承担而造成融资困难的问题。③PPP 模式下，政府并不是把项目的风险和责任全部转移给私人企业，而是由参与合作的各方共同承担，从而使得项目风险分配更合理。④PPP 模式中由于政府部门也投入资金，故其对项目拥有一定的决策权和控制权。

PPP 项目融资的典型结构为：政府部门通过政府招标形式与中标单位组成的特许经营公司签订特许经营合同（特许经营公司一般是由中标的私人企业和对项目进行投资的第三方组成的股份有限公司），由政府 and 特许经营公司共同投资、建设及经营。

与 PPP 相比，另一种典型的项目融资模式 BOT（Build-Operate-Transfer 建设-运营-转让）是指政府就某个基础设施项目与私人所有的项目公司签订特许权协议，由授予签约方的项目公司全权负责，独立来承担该项目的投资、融资、建设、经营和维护，在协议规定的特许期限内，这个项目公司向设施使用者收取适当的费用，由此来回收项目投入，融资、建造、经营和维护成本，并获取合理回报；政府部门则拥有对这一基础设施项目的监督权、调控权；特许期满，签约方的项目公司将该基础设施无偿移交给政府部门。在 BOT 模式下，私人企业和贷款人风险过大，难以顺利融到资金；且在特许期限内，政府对项目失去控制权。

### 3. PPP 项目融资的组织结构与运作方式

#### （1）PPP 项目融资的组织结构

PPP 项目融资的组织结构层次：上层是政府，是引入私人企业参与基础设施建设项目的有关政策和规则的制定者。政府对项目有一个完整的政策框架、目标和实施策略，对项目的建设和运营过程的参与各方进行指导和约束。中层是政府有关部门，负责对政府政策指导方针进行解释和运用，形成具体的项目目标。底层是项目私人参与者，通过与政府有关部门签署一个长期的协议或合同，协调自身的目标、政府的政策目标和政府有关部门的具体目标之间的关系，尽可能使参与各方在项目进行中达到预定的目标。这种融资模式的一个最显著的特点就是政府或者所属部门与项目的投资者和经营者之间的相互协调及其在项目建设中发挥的作用。其组织机构的设置如图 1 所示。

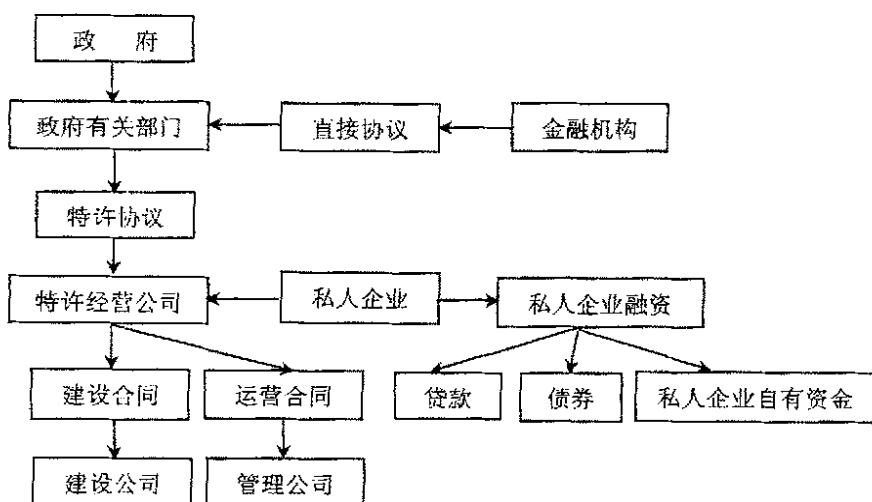


图 1: PPP 项目融资的组织结构

PPP 的组织结构非常复杂，合作各方之间不可避免地会产生不同层次、不同类型的利益和责任的分歧。因此，运用 PPP 模式进行建设的项目，首先要考虑的就是如何平衡参与项目建设的政府部门与私人企业的不同利益及要求。从政府的角度来看，政府部门一般会要求由私人企业实施的项目要达到相应的质量要求，公众的利益要得到相应的保障；从金融机构的角度来看，金融机构希望能够有保障地收回其贷款；而从私人企业的角度来看，私人企业则希望通过政府对项目的支持，确保从其所投资的项目中取得稳定的回报。如何平衡上述各方的利益及要求，不同项目做法不同，但其中的关键因素是在不损害项目利益平衡的前提下，分别根据政府和私人企业各自不同的风险管理能力来分配项目风险。

## (2) PPP 项目融资的运作方式

PPP 项目融资的运行程序是：政府部门选择项目合作方（私人企业）→确立项目→签订特许权协议→成立特许经营公司→招投标与项目融资→项目建设→项目运营与管理→项目移交。其运作方式如图 2 所示。

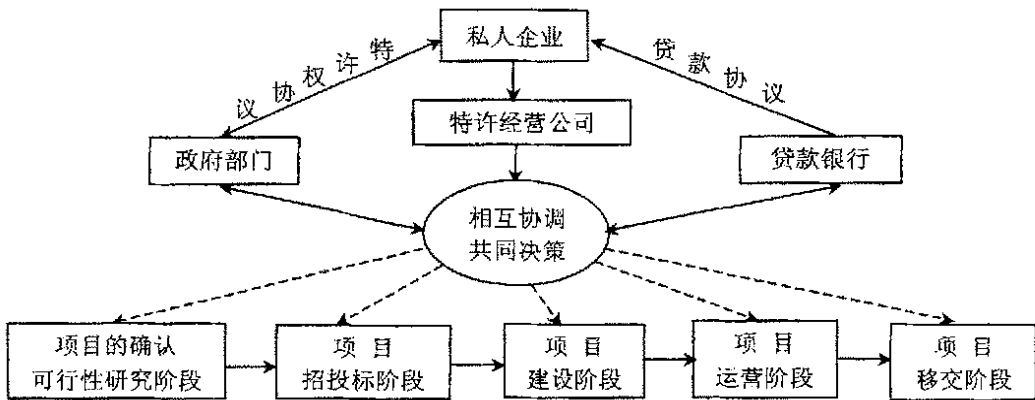


图 2: PPP 项目融资的运作方式

在图 2 中，参与各方虽然没有达到自身理想的最大利益，但总收益却是最大的，实现了“帕累托”效应，即社会效益最大化，这显然更符合公共基础设施建设的宗旨。

PPP 项目融资实际上是项目所有者、项目经营者和项目投资者共同投入、分享收益的过程。在 PPP 项目融资中，政府部门是项目的所有者，拥有该项目的建设许可权和最终拥有权，由其提供特许权协议并进行招标。特许经营公司的主要股权所有者即私人企业是项目经营者；私人企业参与竞标，获得项目的建设权和经营权，组建项目公司，实际控制着项目的建设与管理。不参与项目经营为获取项目收益而为项目投入资金的企业、金融机构或个人是项目的投资者。

在 PPP 项目融资中，政府部门始终在项目运作中占据重要的地位，往往不仅是项目的所有者，而且还是项目建成后运作中的监督者。政府部门通常与提供贷款的金融机构达成一个直接协议，这个协议不是对项目进行担保的协议，而是一个向借贷机构承诺将按与特许经营公司签订的合同对项目提供支持、支付有关费用的协定，这个协议使特许经营公司能比较顺利地获得金融机构的贷款。采用这种融资形式的实质是：政府通过给予私营公司长期的特许经营权和收益权来换取基础设施加快建设及有效运营。

政府部门与私人企业以特许权协议为基础，共同投资，相互合作。与以往

私人企业参与公共基础设施建设的方式不同，二者的合作始于项目的确认和可行性研究阶段，并贯穿于项目的全过程，双方共同对项目的整个周期负责。在项目的早期论证阶段，双方共同参与项目的确认、技术设计和可行性研究工作；对项目采用项目融资的可能性进行评估确认，采取有效的风险分配方案，把风险分配给最有能力的参与方来承担。只有政府部门与私人企业之间形成相互合作的机制，才能使得合作各方的分歧模糊化，在求同存异的前提下，完成项目的目标。

### （二）PPP 项目融资的优势

PPP 项目融资的优势主要包括以下四个方面：第一，PPP 是一种新型的项目融资模式。PPP 是以项目为主体的融资活动，是项目融资的一种实现形式，主要根据项目的预期收益、资产以及政府扶持措施的力度而不是项目投资人或发起人的资信来安排融资。项目经营的直接收益和通过政府扶持所转化的效益是偿还贷款的资金来源，项目的资产和政府给予的有限承诺是贷款的安全保障。第二、PPP 可以使私人企业更早地参与到项目中，有利于提高效率，降低风险。政府部门与私人企业以特许权协议为基础进行全程的合作，双方共同对项目运行的整个周期负责。PPP 的操作规则使私人企业参与到项目的确认、设计和可行性研究等前期工作中来，保证了项目在技术和经济上的可行性，这不仅降低了私人企业的投资风险，而且能将私人企业在投资建设中更有效率的管理方法与技术引入项目到中来，还能有效地实现对项目建设与运行的控制，从而有利于降低项目建设投资的风险，较好地保障国家与私人企业各方的利益。而且，PPP 只有当项目已经完成并得到政府批准使用后，私人企业才能开始获得收益，因此 PPP 有利于提高效率和降低工程造价，能够消除项目完工风险和资金风险。研究表明，与传统的融资模式相比，采用 PPP 模式融资的项目平均为政府部门节约 17% 的费用，并且建设工期都能按时完成。第三、PPP 可以在一定程度上保证私人企业获得一定利益，吸引私人资本进入公共基础设施项目。私人企业的投资目标是寻求既能够还贷又有投资回报的项目，无利可图的

公共基础设施项目是吸引不到私人资本的投入的。而采取 PPP 模式，政府可以给予私人企业相应的政策扶持作为补偿，从而很好地解决了这个问题，如税收优惠、贷款担保、给予私人企业其它优先开发权等。通过实施这些政策可提高私人企业投资公共基础设施项目的积极性。第四、PPP 可以在减轻政府初期建设投资负担和风险的前提下，提高公共设施服务质量。在 PPP 模式下，政府部门和私人企业共同参与公共设施的建设和运营。由私人企业负责项目融资，可以增加项目的资本金数量，节省政府的投资；还可以将项目的一部分风险转移给私人企业，从而减轻政府的风险。同时，双方可以形成互利的长期目标，更好地为社会和公众提供服务，提高公众的社会福利。而且，私人企业只有提供优质的服务才可能赢得顾客，实现盈利的目的，这有利于公共基础设施服务质量的提高。第五、PPP 的风险分配合理，提高了项目融资成功的可能性。PPP 在项目初期就可以实现风险分配，同时由于政府分担一部分风险，使风险分配更合理，减少了私人企业与投资者的风险，从而降低了融资难度，提高了项目融资成功的可能性。政府在分担风险的同时也拥有一定的控制权。第六、PPP 使得政府部门和私人企业能够充分利用各自的长处，即把政府部门的社会责任、远景规划、协调能力与私人企业的灵活机制、资金优势和管理效率结合到一起。

### （三）PPP 项目融资的发展现状<sup>②</sup>

PPP 项目融资虽然是近些年才发展起来的，但在国外已经得到了普遍的应用。1992 年英国最早应用了 PPP 模式；英国 75% 的政府管理者认为，PPP 模式下的工程项目达到或超过价格与质量关系的要求，可以节约 17% 的资金；80% 的工程项目按规定工期完成，常规招标项目按期完成的只有 30%；20% 未按期完成的、拖延时间最长没有超过 4 个月。同时，80% 的工程耗资均在预算之内，一般传统招标方式只能达到 25%；20% 超过预算的是因为政府提出调整工程方案。按照英国的经验，适于 PPP 模式的工程包括：交通（公路、铁路、机场、港口）、卫生（医院）、公共安全（监狱）、国防、教育（学校）和公共不

动产管理。智利是在国家为平衡基础设施投资和公用事业急需改善的背景下，于 1994 年引进 PPP 模式的；结果是提高了基础设施现代化程度，并获得充足资金投资到社会发展计划；至今已完成 36 个项目，投资额 60 亿美元；其中，24 个交通领域工程、9 个机场、2 个监狱、1 个水库；年投资规模由 PPP 模式实施以前的 3 亿美元增加到 17 亿美元。葡萄牙自 1997 年启动 PPP 模式，首先应用在公路网的建设上；至 2006 年的 10 年期间，公路里程比原来增加一倍。除公路以外，正在实施的工程还包括医院的建设和运营、修建铁路和城市地铁。巴西于 2004 年 12 月通过“公私合营（PPP）模式”法案，该法案对国家管理部门执行 PPP 模式下的工程招投标和签订工程合同做出具体的规定。据巴西计划部称，已经列入 2004-2007 年四年发展规划中的 23 项公路、铁路、港口和灌溉工程将作为 PPP 模式的首批招标项目，总投资约 60.66 亿美元。

由于 PPP 与传统的项目融资模式相比具有很多优越性，近二十年来，各国或地区都争相尝试将 PPP 模式应用于本国或区域内的基础设施建设。从 90 年代初期开始，全球 PPP 项目迅猛增长，并于 1997 年达到顶峰。伴随 1997 年亚洲、俄罗斯和巴西经济危机的出现，全球 PPP 项目有所减少，之后在平稳中又开始逐渐回升。有资料表明，在未来 15 年内，全球发展中国家大约需要 2 万亿美元投资于基础设施建设。因此，未来若干年内，全球很可能会出现 PPP 项目建设的新高潮。

### （四）PPP 项目融资在我国的应用前景及应注意的问题

#### 1. PPP 项目融资在我国的应用前景

PPP 项目融资在我国才刚刚起步。2005 年，北京市在国内首次采用 PPP 模式进行基础设施地铁 4 号线的建设。

长期以来，我国基础设施建设领域中普遍存在着资金不足、投资效率低、运营管理落后、经济效益差等问题。能否有效地解决上述问题，一是要看能否动员私人资本进入基础设施建设领域；二是要看能否大幅提高投资效益。我国

经济持续、快速和协调发展所产生的对基础设施建设的巨大需求，为私人企业参与其中提供了广阔空间。据测算，“十一五”期间，我国基础设施建设所需的资金将达到 7500 亿美元。面对这样大的需求，仅靠公共财政资金是远远不能满足的，需要动员包括私人企业在内的各种社会资源，同时更需要创造新的建设发展模式，提高基础设施的投资与运营效率。

在这种背景下，在我国基础设施建设中引进和应用 PPP 项目融资，建立公共部门与私人企业的合作伙伴关系无疑是一条有效的解决途径。PPP 模式可以积极吸引私人企业参与公共基础设施的建设，并将其按市场化方式运作。这既能有效地减轻政府财政支出的压力，又以大大提高基础设施建设的投资效益，同时又不会产生公共产权问题。因此，PPP 项目融资在我国有着广阔的发展前景。

## 2. PPP 项目融资在我国的应用中应注意的问题

PPP 项目融资在我国的应用中，应注意以下几方面的问题：（1）项目的选择。当一个项目满足以下条件时，政府可以考虑采用 PPP 模式：对私人企业的加入不存在法规管制；潜在私人企业之间存在着竞争，通过竞争可以达到低成本高效率的目的；服务的产出可以被简单的度量和定价；通过对用户的收费可以很快收回成本；可以提供创新机会；有利于促进国家或地区的经济发展。（2）设计合理的风险分担结构。PPP 项目融资是否能够成功最主要的因素是项目的风险分担是否合理。政府部门在设计风险分担结构时要考虑项目方案的吸引力；一个合理的风险分担结构是一个项目方案是否具有吸引力的关键。通常可根据各方获利多少的原则考虑相应承担的风险，使项目参与的各方包括政府部门、私人企业、贷款银行及其它投资人等都能够接受。只有项目方案具有强烈的吸引力，才能使项目具有可行性。（3）建立健全相关法律法规。在 PPP 模式下的项目融资中，参与的私人企业一般都是国际上大型的企业和财团。政府在与它们的谈判与合作中，所遵循的不仅有国内的法律和法规，同时也要遵循国际惯例。为适应这一形势的发展，政府应该在立法制度上有所突破，迅速完善我国的投资法律法规，使双方的谈判有章可循，有法可依。（4）形成有效的监



管框架。良好监管框架的形成和监管能力的执行，是一个项目得以完成以及未来顺利运营的关键。政府监管必须能够保证企业生产或运营的可持续性，让接受监管的企业得到合理的收益。政府监管必须确定一种承诺机制，以保证企业资产的安全性，降低企业融资成本，并给企业提供投资的激励。政府监管不力将会带来各种各样的风险，监管效率应成为政府监管的最重要目标。

---

<sup>①</sup>United Nations Institute for Training and Research. PPP-For Sustainable Development. 2000.

<sup>②</sup>The European Commission. Guidance For Successful PPP. 2003.

<sup>③</sup>John R. Allan. PPP:A Review of Literature and Practice. Saskatchewan Institute of Public Policy Public Policy Paper, No.4. 1999.

<sup>④</sup>The National Council For PPP, USA. For the Good of the People: Using PPP To Meet America's Essential Needs. 2002.

<sup>⑤</sup>王灏. PPP 的定义和分类研究. 都市轨道交通, 2004 (5) :23-24.

<sup>⑥</sup>蒋先铃. 《项目融资》, 中国金融出版社, 2004 年 8 月第 2 版: 1-2.

<sup>⑦</sup>数据来源: David Hall, Robin de la Motte, Steve Davis. Public Services International Research Unit (PSIRU) paper, 2003.

## 二、博弈论相关理论基础

一个采用 PPP 项目融资模式投资建设的项目，会涉及到众多参与者，包括项目所有者（政府）、私人企业、项目经营者（特许经营公司）、项目投资者（贷款银行或股东）、材料设备供应商、保险公司、建筑承包商和项目产品购买者或使用者等，但主要参与者是项目所有者、项目经营者和项目投资者。在项目融资过程中，这三者之间为了各自利益的最大化基于项目本身而形成了相互合作与博弈关系。本文以下对其中涉及到的博弈论相关理论做出说明。

### （一）博弈的定义与分类

#### 1. 博弈论基本概念

博弈论最早是由美国经济学家冯·诺依曼在 1937 年提出来的，他与经济学家奥斯卡·摩根斯特恩于 1944 年合著的《博弈论与经济行为》被公认为是博弈论诞生的标志。

博弈论（game theory）又称对策论，是使用严谨的数学模型研究决策主体的行为发生直接相互作用时候的决策以及这种决策的均衡问题的理论。换句话说，博弈论研究当某一主体的决策既受到其它主体决策的影响，而且该主体的相应决策又反过来影响到其它主体时的决策问题和均衡问题。

博弈论要解决的是：决策主体的行为在发生直接的相互作用时双方所采取的决策以及这种决策之间的均衡问题。其核心问题是：决策主体的一方行动后，参与博弈的其他人将会采取什么行动？参与者为取得最佳效果应采取怎样的对策？

博弈论的基本要素包括：参与人、行为、信息、战略、支付函数、结果、均衡。参与人是指博弈中选择行动以最大化自身利益（效用、利润等）的决策主体（如个人、企业、国家）。行动是指参与人的决策变量。战略是指参与人

选择行动的规则，它告诉参与人在什么时候选择什么行动。信息是指参与人在博弈中的知识，特别是有关其他参与人（对手）的特征和行动的知识。支付函数是参与人从博弈中获得的效用水平，它是所有参与人战略或行动的函数，是每个参与人真正关心的内容。结果是指博弈者感兴趣的要素的集合。均衡是所有参与人的最优战略或行动的组合。上述概念中，参与人、行动、结果统称为博弈规则。博弈分析的目的就是使用博弈规则预测均衡。

## 2. 博弈的定义

标准形式的博弈定义如下<sup>①</sup>：

①  $N$  个博弈者（**player**），表示为集合  $I = \{1, 2, \dots, N\}$ 。

② 每个博弈者  $i$  ( $i$  属于  $I$ ) 有一个行动集（**action set**） $A_i$ ， $A_i$  是博弈者  $i$  的所有行动可能集合。令  $a_i$ （属于  $A_i$ ）表示  $i$  所采取的特定的行动。因此，博弈者  $i$  的行动集为  $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}\}$ ，其中， $k$  是  $i$  所有可能行动的数目。令  $a = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_N)$  为每一位博弈者所选择的行动，称之为该博弈（**game**）的一个结果（**out come**）。

③ 每一位博弈者  $i$  有一个支付函数（**pay off function**） $\pi_i$ ，对于该博弈的每一结果，该函数取一个实数值  $\pi_i(a)$ 。

需要说明的问题有：（1）要区分  $A_i$  与  $a$ 。 $A_i$  为  $i$  的行为集； $a$  为所有博弈者所选择的特定行动的结果。（2）定义的第二点假定每一个博弈者的行动是有限的，有  $k$  个可能的行动。事实上，每一个博弈者的行动可能是无限的。

## 3. 博弈的分类

可以从不同角度对博弈进行分类：

（1）根据博弈者选择的战略，可以将博弈分成合作博弈（**cooperative games**）与非合作博弈（**non-cooperative games**）。合作博弈与非合作博弈之间的区别，主要在于博弈的当事人之间能否达成一个有约束力的协议；如果有，就是合作博弈；反之，就是非合作博弈。

例如，如果几家寡头企业通过订立并实行协议，限制产量，制定垄断高价，则称这种博弈为合作博弈。若寡头们在市场竞争中没有达成有约束性的协议，每个企业仅仅是在考虑到竞争对手可能采取的行为的条件下，独立地进行产量与价格的决定，则称这种博弈为非合作博弈。

(2) 根据参与人行动的先后顺序，可以将博弈分成静态博弈 (static game) 与动态博弈 (dynamic game)。静态博弈是指博弈中参与人同时选择行动；或者虽非同时行动，但行动在后者并不知道行动在先者采取了什么具体行动。动态博弈是指参与人的行动有先后顺序，而且行动在后者可以观察到行动在先者的选择，并据此做出相应的选择。

博弈的参与者相继行动，由于后行动者能够看到先行动者的决策行为，所以后面的决策要受到以前决策行为的影响，每一个参与者都要根据在决策时所掌握的全部信息来做出自己的最优策略，即每个人的策略是决策者在决策时所掌握全部信息的函数。换句话讲，参与者在某一个阶段做出的决策，要受到前边一系列决策信息的影响，是前边一系列决策信息的函数。动态博弈在一定范围内又是一个连续的过程。静态博弈经常是一次性的行为，决策一旦做出就不能再更改结果。动态博弈有一个重复的性质，前边的所有信息影响到后边的决策，博弈的结果要经过多次博弈之后才能看到，所以是一个连续的过程，这就决定了同一参与者在动态博弈时和静态博弈时表现出不同的行为。

(3) 根据参与人对其他参与人的了解程度，可以将博弈分成完全信息博弈 (games of complete information) 和不完全信息博弈 (games of incomplete information)。完全信息博弈是指在每个参与人对所有其他参与人 (对手) 的特征、战略和支付函数都有精确了解的情况下，所进行的博弈。如果了解得不够精确，或者不是对所有的参与人都有精确的了解，在这种情况下进行的博弈就是不完全信息博弈。

博弈的分类及对应的均衡概念如表 1 所示

表 1：博弈的分类及对应的均衡概念

	静态	动态
完全信息	完全信息静态博弈： 纳什均衡	完全信息动态博弈： 子博弈精炼纳什均衡
不完全信息	不完全信息静态博弈： 贝叶斯纳什均衡	不完全信息动态博弈： 精炼贝叶斯纳什均衡

## （二）委托-代理理论

### 1. 道德风险

道德风险（Moral hazard）是指从事经济活动的人在最大限度地增进自身效用时做出不利于他人的行动。道德风险一般存在于信息不对称、合同不完备、合同实施成本过大等情况下。信息不对称是指由于交易一方拥有私人信息，就占有信息优势，从而可以找机会降低努力水平以获取私人利益。合同不完备是指由于人们的知识和预测能力是有限的，不可能把所有可能发生的情况都写进合同中。合同实施成本过大是指即便能够把所有可能情况都写进合同中，但由于实施成本过大，往往也难以完全实施。

委托-代理理论中的道德风险一般是指代理人在签约后隐藏行动的自利行为。在委托-代理关系中，代理人具有委托人不知道的私人信息。

### 2. 委托-代理理论

#### （1）基本概念

委托-代理理论是信息经济学的基础之一，它主要研究信息不对称条件下市场参与者的委托-代理关系以及由此产生的激励约束机制问题，即委托人如何设计最优契约激励代理人。当市场主体间存在信息不对称并且信息双方存在利益

关系时，委托-代理关系就存在了。委托-代理关系是一种契约关系，在这种契约下，一个人或一些人（委托人 **Principal**）委托其他人（代理人 **Agent**）根据委托人的利益从事某些活动。委托人与代理人的权利与义务均在双方认可的契约中加以明确。

代理人与委托人之间存在着信息的不对称和利益目标的不一致问题。当代理人在代理活动中追求自身效用最大化时，他就不会完全按照委托人的利益目标行事，而又由于信息的不对称，代理人可能会通过“隐藏行动”而不完全承担其行为的全部后果，甚至会利用委托人授予的权力，以损害委托人的利益为代价，增加自身的效用。这样就产生了委托-代理关系的道德风险问题。

表 2：委托-代理理论

核心理论	如何决定最有效率的契约，以规范委托人与代理人之间的代理关系。
分析单位	委托人与代理人所签订的契约
行为假设	(a) 自利动机 (Self-interest) (b) 有限理性 (Bounded rationality) (c) 风险规避 (Risk aversion)
组织假设	(a) 组织成员间存在目标冲突 (b) 效率 (Efficiency) 是衡量组织效能 (Effectiveness) 的指标 (c) 委托人与代理人之间为信息不对称
信息假设	将信息视为可购买的商品
契约问题	(a) 道德风险与逆向选择 (b) 风险分摊
问题范围	探讨委托人与代理人之间的代理关系 (例如：报酬的决定等)

委托-代理理论认为可以通过激励约束机制的设计来解决委托-代理风险问题，其核心在于建立一个合理的激励机制。激励机制设计的目标就是设计一种机制或安排一种契约，使代理人效用最大化的目标与委托人效用最大化的目标相一致，实现两者的激励相容。也就是说提供一个在委托人与代理人之间安排风险、收益和动力相分享与承担的制度。给予代理人报酬并使报酬取决于企业

的经营绩效，能够对代理人形成较强动力，进而能使代理人自我抑制自身道德风险行为。另一方面，委托人要能够有效地对代理人的行为进行监督，对代理人的行为结果和代理人为取得这一结果所付出的努力做出准确与客观的评价，并将代理人的报酬多少与监督反馈的信息相联系，从而达到限制代理人道德风险行为的目的。另外，市场竞争作为外部的激励约束机制对抑制代理人的道德风险也有重要作用。代理人市场上的竞争能够产生约束代理人行为的信息。

在委托-代理理论中，委托人期望代理人努力工作，委托人根据某些可观察的变量观察到代理人行动的结果，但这些结果由代理人的行动和外生的随机因素共同决定，所以只是不完全信息，委托人就要根据观察到的不完全信息来决定如何选择代理人和如何激励代理人。

## (2) 委托-代理模型

委托代理模型用于解决以下问题：一个参与者（称为委托人）想使另一个参与者（代理人）按照前者利益选择行动，但委托人不能直接观测到代理人选择了什么行动，能观测到的只是另一些变量，这些变量由代理人的行动和其他的外生的随机因素共同决定，因而至多只是代理人的不完全信息。委托人的问题是如何根据这些观测到的信息来奖惩代理人，以激励其选择对委托人最有利的行动。

假设条件：①存在一个代表工作努力水平的一维变量，用 $e$ 表示，并且 $e$ 有两个可能的取值 $L$ （消极）和 $H$ （积极），令 $\vartheta$ 是不受代理人（和委托人）控制的外生随机变量（称为“自然状态”）； $\pi(e, \vartheta)$ 是货币收入（相当于产出），其所有权属于委托人； $x(e, \vartheta)$ 是 $e$ 和 $\vartheta$ 共同决定的一个观察结果，它可能是一个向量，可能包括 $\pi$ ，甚至 $e$ 和 $\vartheta$ （ $e$ 是可观测的）； $s(x(e, \vartheta))$ 表示给代理人的报酬，是委托人根据观测到的 $x$ 而设计的对代理人进行奖惩的契约。②当经营者工作积极（ $e = H$ ）时， $\pi$ 的密度函数为 $f_H(\pi)$ ；当工作消极（ $e = L$ ）时， $\pi$ 的密度函数为 $f_L(\pi)$ 。③ $c$ 是经营者积极经营时所付出的成本，取 $c(H)$ 和 $c(L)$ ； $\bar{u}$ （一般地假定 $\vartheta$ 是连续变量；如果 $\vartheta$ 只有有限个可能值， $g(\vartheta)$ 为概率分布）。是保留效用，是经营者不接受合同能得到的最大期望效用。委托人的问题是设计一个激励契约 $s(\pi)$ ，解下列最优化问题。

$$\begin{aligned} & \max_{s(\pi)} \int v(\pi - s(\pi)) f_H(\pi) d\pi \\ \text{s.t. } & (IR) \quad \int u(s(\pi)) f_H(\pi) d\pi - c(H) \geq \bar{u} \\ & (IC) \quad \int u(s(\pi)) f_H(\pi) d\pi - c(H) \geq \int u(s(\pi)) f_L(\pi) d\pi - c(L) \end{aligned}$$

其中：① *IR* (**Individual Rationality Constraint**) 是参与约束（又称个人理性约束），即代理人从接受契约中所得到的期望效用  $u$  不能小于不接受契约时能得到的最大期望效用，后者由其面临的市场机会决定。② *IC* (**Incentive compatibility Constraint**) 是代理人的激励相容约束，给定委托人不能观测到代理人的行动  $e$  和自然状况  $\vartheta$ ，在任何的激励契约下，代理人总是选择使自己的期望效用  $u$  最大化的行动  $e$ ，任何委托人希望的  $e$  都只能通过代理人的效用最大化行为实现。

因此，要想使企业的代理人（经营者）从委托人（所有者）的根本利益出发努力工作，必须使所有者的收益与经营者的最大化期望效用相统一。

### （三）完全信息动态博弈

#### 1. 完全信息动态博弈基本含义

完全信息动态博弈是指在博弈的每一个参与者对自己以及其他参与者的行动空间、收益函数等知识有完全的了解的情况下参与人之间的动态博弈。

在完全信息动态博弈中，参与人的行动有先后顺序，而且后行动的参与人在自己行动之前可以观测到先行动者的行动，并选择相应的战略。由于先行动者拥有后行动者可能选择战略的完全信息，因而先行动者在选择自己的战略时，就可以预先考虑自己的选择对后行动者选择的影响，并采取相应的对策。

对应于完全信息动态博弈的均衡概念是子博弈精炼纳什均衡。



## 2. 子博弈精炼纳什均衡

子博弈是原博弈的一部分，它本身可以作为一个独立的博弈进行分析。任何博弈本身则被称为自身的一个子博弈。只有当某一战略组合在每一个子博弈（包括原博弈）上都构成一个纳什均衡，这一战略组合才是子博弈精炼纳什均衡。

子博弈精炼纳什均衡的正式定义如下：<sup>②</sup>

扩展式表述博弈的战略组合  $s^* = (s_1^*, \dots, s_i^*, \dots, s_n^*)$  是一个子博弈精炼纳什均衡，其条件是

- ①  $s^*$  是原博弈的纳什均衡；
- ②  $s^*$  在每一个子博弈上给出纳什均衡。

定义中的条件①表明一个子博弈精炼纳什均衡在整体（原博弈）上，每一个参与者所选择的战略一定是针对其他参与者所选战略的最优反应。条件②又进一步从局部（子博弈）上确认相关参与者和相应的部分战略组合构成纳什均衡。因此，定义也可以概括为：如果参与者所选的战略形成的战略组合在每一个子博弈（包括原博弈）中都构成纳什均衡，那么这种纳什均衡就称为子博弈精炼纳什均衡，或者说，这种博弈均衡是（经过）子博弈纳什精炼的。

## （四）不完全信息动态博弈

### 1. 不完全信息动态博弈基本含义

不完全信息动态博弈是指在一个博弈中，至少有部分博弈方不完全了解其他博弈方的收益情况。是否了解所有博弈方的得益情况是一个非常重要的差别，因为这会影响对其他博弈方行为的判断，并最终影响各博弈方自己的决策和行为，以及博弈的最终结果。

在不完全信息动态博弈中，行动有先后次序，后行动者可以通过观察先行动者的行为，来获得有关先行动者的信息，从而证实或修正自己对先行动者的判断。此时的博弈变的很简单，某一参与人既不知道其他参与人的真实类型，

也不知道其他参与人所属类型的分布概率。他只是对这一概率分布有自己的主观判断，即有自己的信念。博弈开始后，该参与人将根据他所观察到的其他人的行为来修正自己的信念。并根据这种不断变化的信念，做出自己的战略选择。

对应于不完全信息动态博弈的均衡概念是精炼贝叶斯均衡。

## 2. 精炼贝叶斯均衡

不完全信息动态博弈的均衡概念是精炼贝叶斯均衡（**perfect Bayesian equilibrium**）。这个概念是完全信息动态博弈的子博弈精炼纳什均衡与不完全信息静态均衡的贝叶斯（纳什）均衡的结合。它要求：在每一个信息集上，参与人必须有一个定义在属于该信息集的所有决策上的一个概率分布（信念）；给定该信息集上的概率分布和其它参与人的后续战略，参与人的行动必须是最优的；每一个参与人根据贝叶斯法则和均衡战略修正后验概率。具体来说，精炼贝叶斯均衡是所有参与人战略和信念的一种结合。它满足如下条件：（1）在给定每个参与人有关其他参与人类型的信念的条件下，该参与人的战略选择是最优的。（2）每个参与人关于其他参与人所属类型的信念，是使用贝叶斯法则从所观察到的行为中获得的。贝叶斯法则是指概率统计中的应用所观察到的现象对有关概率分布的主观判断（即先验概率）进行修正的标准方法。

精炼贝叶斯均衡的正式定义如下：<sup>③</sup>

在不完全信息动态博弈  $G = \{u_1, \dots, u_n, \tilde{P}_1, \dots, \tilde{P}_n, H_1, \dots, H_n\}$  中，精炼贝叶斯纳什均衡是一个类型依存战略组合

$S^*(\theta_1, \dots, \theta_n) = (S_1^*(\theta_1), \dots, S_n^*(\theta_n))$  及一个信念组合  $\tilde{P} = (\tilde{P}_1, \dots, \tilde{P}_n)$ ，满足如下条件：

①  $\tilde{P}$  是先验概率  $P_i(\theta_{-i} | \theta_i)$  的集合，即  $\tilde{P} = (P_1, \dots, P_n)$ ， $P_i = P_i(\theta_{-i} | \theta_i)$ ， $\tilde{P}_i$  是第  $i$  个局中人在其进行行动选择的信息集上所有信念组成的组合，记  $\tilde{P}_{ih}$  为他在其第  $h$  个信息集上的信念；若局中人在信息集  $h$  上观察到的行动为  $a_{-i}^h$ ，则记  $\tilde{P}_{ih} = \tilde{P}_i(\theta_{-i} | a_{-i}^h)$ ， $i = 1, \dots, n$ 。

②  $H_i$  是局中人  $i$  的类型空间， $\theta_i \in H_i$  是他的一个类型； $i = 1, \dots, n$

③  $u_i = u_i(s_1^*(\theta) \dots s_n^*(\theta_n), \theta_i, \theta_{-i})$  是局中人  $i$  的类型依存支付（效用）函数；

$i = 1, \dots, n$

④在第  $i$  个局中人的每一个信息集  $h$  上, 有

$$S_i^*(\theta_i)|_h \in \arg \max_{S_i(\theta_i)|_h} \sum_{\theta_{-i}} \tilde{P}_i(\theta_{-i} | a_{-i}^h) u_i(s_i(\theta)|_h, s_{-i}^*(\theta_{-i}), \theta_i, \theta_{-i})$$

$i = 1, \dots, n$

⑤在均衡路径上,  $\tilde{P}_i$  是按照贝叶斯法则从先验概率  $P_i(\theta_{-i} | \theta_i)$ , 局中人  $i$  在信息集  $h$  上观察到的行动  $a_{-i}^h$  和  $S_{-i}^*(\theta_{-i})$  导出的。

### 3. 信号博弈

信号博弈是一种特殊的不完全信息动态博弈, 信号博弈通常描绘的是二个局中人之间的二阶段不完全信息动态博弈, 其中, 第一顺序行动的局中人的类型不为第二行动的局中人所知, 他只知道第一顺序行动局中人的不同类型的先验分布概率。第二顺序局中人试图从他所观察到的第一顺序行动局中人所选择的行动中对其类型做出概率判断, 从而选择自己的最优行动。

在这种博弈中, 后行动者主要关心的是先行动者的类型可能是什么, 而先行动者也知道这一点。因而他有动机或者试图告诉后行动者他的真实类型, 或者相反, 他可能会试图欺骗后行动者, 而努力将其有关他的类型的虚假信息告诉后行动者。当然, 先行动者可以直接告诉后行动者他的类型是什么, 但仅凭这种口头的承诺并不能使后行动者真正相信他所说的。如果他要后行动者相信他的话, 他就必须作出一种努力, 这种努力会使他蒙受一定的损失或存在一种成本。这种成本是当他仅是这种类型时才能支付的, 而如果他的类型不是这种类型, 他不能承担这种成本。博弈论上称这种成本支付是一种信号。通过它, 先行动者能告诉后行动者他的真实类型。当然, 说谎者也可以发出信号, 并让后行动者难以准确判断其真实类型, 如果这样做对先行动者是有利的话。

在金融市场上, 如果一个企业需要在金融市场上融资, 但投资者的对其真实的盈利能力具有不完全信息。于是, 真正有高盈利能力的企业就可以通过向投资者支付较高的权益份额来将自己区别于低盈利能力的企业, 从而让投资者识别出自己的真实类型而投资, 而低盈利能力的企业由于对自己的真实盈利能力心知肚明, 所以不敢模仿高盈利能力企业, 它承诺的权益份额就较低, 投资

者不会将资金投入该企业。

信号博弈的正式定义如下：<sup>④</sup>

在两个局中人 **S** (**Sender**, 信号发送者) 和 **R** (**Receiver**, 信号接收者) 的一个二阶段不完全信息博弈中。

①自然按照特定的先验概率密度  $P(\theta_i)$  从  $H_1 = \{\theta_1, \dots, \theta_n\}$  中赋予发送者 **S** 特定的类型  $\theta_i$ , 且有  $P(\theta_i) > 0$  和

$$\sum_{i=1}^n P(\theta_i) = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

②发送者观察到  $\theta_i$ , 随后从其类型依存的信号集  $M(\theta_i)$  中选择一个信号  $m_j$  发送给接收者 **R**;

③接收者 **R** 观察到  $m_j$ , 然后从信号依存的行动集  $A(m_j)$  中选择一个行动  $a_R$ ;

④发送者和接收者的支付为  $u_s(\theta_i, m_j, a_R)$  和  $u_r(\theta_i, m_j, a_R)$ 。

在很多具体的信号博弈中, 通常  $M$  与  $\theta_i$  无关,  $A$  与  $m_j$  无关。

按照精炼贝叶斯均衡的要求, 在均衡情况下, 上述过程中的②、③是按照发送者和接收者的最优行为进行的。

## (五) 契约设计原理

### 1. 契约设计的基本理论

契约设计是一种不完全信息静态博弈。委托人选择契约, 而不是使用一个给定的契约, 这是契约设计的一个基本特征, 从这个意义上说, 委托人是在设计一个博弈规则 (包括代理人的行动空间)。在这种博弈中, 有一个委托人和一个或多个代理人。委托人的支付函数是共同知识, 代理人的支付函数只有代理人自己知道, 委托人和其他代理人则不知道。委托人可以直接要求代理人报告自己的类型, 但代理人可能会不说实话, 除非委托人能提供给代理人足够的激励。而提供收益是有成本的, 因此委托人面临着成本与收益的问题: 如果不提供激励或激励不足, 则会遭受信息不准确带来的损失; 如果激励过度, 则会

以过高的代价获得价值不够高的信息。这两种损失均有可能发生，委托人的理智选择应是在其中寻找最佳平衡点。

激励的含义是契约设计者（委托人）诱使具有私人信息的代理人从自身利益出发而采取行动以符合委托人的目标要求。其中不完全信息的存在是激励存在的先决条件，正因为契约设计者不知道代理人的私人信息，也就是对他们的行为模式只有不确定性的了解，激励的使用才有必要。契约也可以视为使代理人真实公布（或表现）其私人信息的手段。委托人设计契约的目的是最大化自己的期望效用函数。

契约设计需要解决两个问题：一是信息成本问题，即所设计的契约需要较少的关于经济活动参与者的信息和信息（运行）成本。任何一个契约的设计和执行都需要信息传递，而信息传递是需要花费成本的，因此，对于契约设计者来说，自然是信息空间的维数越小越好。二是契约的激励问题或积极性问题，即在所设计的契约下，使得各个参与者在追求个人利益的同时能够达到设计者所设定的目标。

## 2. 契约设计博弈模型

契约设计博弈的一般结构是：存在一个委托人（局中人0）和  $n$  个代理人（局中人  $i$ ），委托人没有私人信息，代理人各自有其私人信息。记代理人  $i$  的类型为  $\theta_i$ ，类型组合为  $(\theta_1, \dots, \theta_n) \in \Theta$ ，根据概率模型，类型组合服从某种联合概率分布。

在这种委托-代理关系中，委托人需要设计一种契约以确定配置  $y = \{x, t\}$ ，其中  $x \in X$  是局中人的决策向量（行动）， $t = (t_1, \dots, t_n)$  为委托人给予代理人的转移支付（其元素可正可负）。

给定与类型有关的配置  $\{y(\theta)\}_{\theta \in \Theta}$ ，类型为  $\theta_i$  的代理人  $i$  的期望效用为：

$$U_i(\theta_i) = E_{\theta_{-i}} [u_i(y(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i, \theta_{-i}) | \theta_i]$$

委托人的效用为：

$$U_0 = E_\theta [u_0(y(\theta), \theta)]$$

委托人设计的契约  $m$  对每个代理人  $i$  定义一个信号空间  $\Omega_i$ ，代理人在其中选择一个  $\mu_i \in \Omega_i$  加以报告， $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)$  为报告的类型组合，委托人根据这种报告决定配置，相当于映射  $y_m : \Omega \rightarrow X \times R^I$ ，将报告类型映射为配置。

契约设计为三阶段博弈：第一阶段，委托人提出一种契约；第二阶段，代理人决定是否接受；第三阶段，进行博弈，代理人报告信号，委托人根据契约决定代理人得到的转移支付。

---

<sup>①</sup>冯·诺依曼, 奥斯卡·摩根斯顿:《博弈论与经济行为》, 三联书店, 2004 年 12 月第 1 版 : 123-124.

<sup>②</sup>罗伯特·吉本斯:《博弈论基础》, 中国社会科学出版社, 1999 年 3 月第 1 版 : 12.

<sup>③</sup>克里斯汀·蒙特, 丹尼尔·塞拉:《博弈论与经济学》, 经济管理出版社 2005 年 2 月第 1 版 : 116

<sup>④</sup>戴维·M. 克雷普斯:《博弈论与经济模型》, 商务印书馆, 2006 年 2 月第 1 版 : 156-157.

### 三、PPP 项目融资决策阶段的基本博弈分析

在 PPP 项目融资决策阶段，首先，私人企业在经过论证项目可行的前提下与政府进行关于特许权协议等合作问题的谈判，形成了 PPP 项目融资决策阶段的第一个主要博弈行为（完全信息动态博弈）。在此基础上，由特许经营公司与投资者之间进行关于具体融资问题的谈判，这构成了 PPP 项目融资决策阶段的第二个主要博弈行为（信号博弈）。

#### （一）政府与私人企业之间的博弈分析

##### 1. 博弈双方的动机

政府采用 PPP 项目融资的动机是充分利用私人的资本优势以及私人企业在投资和项目运营中的效率，减轻自己的风险和资金不足的压力，提高公共设施和运营的质量。它所考虑的主要问题是特许权期的确定、项目的承建、收费、技术转让以及自身可能承担的风险等。

私人企业的动机是商业性盈利动机，即参与项目是否能够获得期望的经济利益。它要考虑的主要问题是多方面的商业风险、投资环境、土地使用权、政府担保和合作、政府是否真心转让特许权、政府对项目的扶持态度等。

##### 2. 私人企业与政府之间的博弈行为

###### （1）基本博弈行为

私人企业与政府间的博弈主要是针对项目特许权（特许权期限、权力范围、融资方式、项目建成后运营的收费水平和计算方法等）而进行。两者之间的谈判最终反映到对收益的分配比例上。在项目决策阶段，私人企业与政府都对项目进行了充分的研究论证，对项目能产生的收益属于共有知识。

## (2) 博弈前提条件

① 特许权协议所涉及到的内容最后都能够量化反映到项目总收益  $GR$  中, 收益在政府和私人企业之间进行分配, 不涉及项目公司融资与其他投资者之间的收益分配。

② 双方针对特许权协议进行多次谈判, 在相关信息上具有共同知识, 如项目基本情况、项目回报率等; 而且每一轮谈判都对自己选择前的博弈过程完全了解。因此双方之间的博弈行为属于完全信息动态博弈。

## (3) 博弈进行过程

① 由政府提出特许权相关事项, 反映到  $GR$  中, 成为其中的一部分, 即通过政府提议分走项目总收益中的  $r_1$ , 私人企业在政府提出的特许权条件下能得到的收益为  $GR - r_1$ ; 第一轮谈判中, 私人企业可以选择接受或者不接受政府提议。若接受, 双方收益分别为  $r_1$  与  $GR - r_1$ , 谈判结束; 若不接受, 则进入下一轮谈判。

② 若私人企业不接受, 提出自己的特许权相关条款, 通过提出的特许权条款, 政府分得的收益为  $r_2$ , 自己分得  $GR - r_2$ ; 政府可选择接受或者不接受。设折现系数为  $\alpha (0 < \alpha < 1)$ , 若政府接受, 双方分得收益为  $\alpha r_2$  与  $\alpha (GR - r_2)$ , 谈判结束; 否则进入下一轮谈判。

③ 第三轮谈判中, 双方就折中的特许权条款提出条件, 即不管哪一方提出特许权条件, 都须考虑前两轮的谈判情况, 不能仅仅考虑自身利益最大, 而是明白双方对收益的期望值。因此, 在第三轮设定为政府提出特许权条款, 使收益分割形式为  $r$ , 私人企业得到收益为  $GR - r$ 。若私人企业接受则双方的收益为  $\alpha^2 r$  与  $\alpha^2 (GR - r)$ ; 若不接受, 则博弈结束, 双方收益为 0 (主要是因为政府提出  $r$  条件作为其最大让步条件, 超过这个条件, 政府则不能接受)。

## (4) 博弈均衡分析

在第三轮谈判中, 对于私人企业, 由于  $0 < \alpha < 1$ ,  $r > 0$ ,  $GR - r > 0$ , 因而, 私人企业的最佳战略是接受。虽然政府知道私人企业最终要选择接受, 但对于  $r$  的条件不能过高, 如果  $r$  过高, 使私人企业在筹资过程中付出代价过大, 以致其所得的  $GR - r$  不能弥补, 这时即使  $GR - r > 0$ , 私人企业也宁愿选择不接受。



第二轮谈判时，私人企业知道一旦博弈进行到第三轮，政府提出条件  $r$ ，自己收益将是  $\alpha^2(GR-r)$ ，政府的收益是  $\alpha^2r$ 。若私人企业提出的  $r_2$  条件使政府的收益小于第三轮谈判的收益，其提出的方案就会被拒绝，博弈就要进行到第三轮；若提出的  $r_2$  条件能让政府接受（意味着政府的收益不小于第三轮谈判的收益），而又能使自己的收益比第三轮的大，这时候的  $r_2$  就符合私人企业的利益。因此在第二轮谈判中既能让政府接受也使自身利益最大的  $r_2$  应满足： $\alpha r_2 = \alpha^2 r$ ，即  $r_2 = \alpha r$ 。则私人企业的收益为  $\alpha(GR - \alpha r) = \alpha GR - \alpha^2 r$ ，又因为  $0 < \alpha < 1$ ，所以  $(\alpha GR - \alpha^2 r) > \alpha^2(GR - r)$ 。

在分析博弈的第一阶段，政府预测到在进行到第三阶段时自己的收益为  $\alpha^2 r$ ，也知道私人企业在第二阶段会提出  $\alpha^2 r$  的利益分配给自己，进入到第二轮谈判的收益也是  $\alpha^2 r$ ，私人企业而会满足于得到  $\alpha GR - \alpha^2 r$ 。因此，如果政府在第一轮就给私人企业  $\alpha GR - \alpha^2 r$ ，而同时又能得到比  $\alpha^2 r$  更多的收益是最理想的形式。为了达到这一目标，令  $r_1 = GR - (\alpha GR - \alpha^2 r) = GR - \alpha GR + \alpha^2 r$ ，此时，政府的收益比第二轮和第三轮的谈判中  $\alpha^2 r$  的收益更大（因为  $0 < \alpha < 1$ ）。

综上得该博弈的子博弈精炼纳什均衡解为： $(GR - \alpha GR + \alpha^2 r, \alpha GR - \alpha^2 r)$ 。

### 3. 结论

从政府与私人企业之间的博弈均衡结果分析可知，双方博弈重点在于项目总体收益的分配。若不考虑其他因素，双方就项目特许权等涉及到的利益分配问题谈判持续时间越久，则对项目建立影响就越大，最终影响到项目后期的运营收益。因此博弈均衡结果受到折现系数  $\alpha$  的影响。这说明了在项目融资决策中，持久谈判对项目不利。若  $\alpha \rightarrow 0$ ，私人企业没有任何收益，项目最终不能建成。

通过以上分析得出了本文关于 PPP 项目融资的第一个原则性结论：

结论 1：政府与私人企业之间就项目特许权等涉及到的利益分配问题谈判持续时间越久，对项目建立的影响就越大，并最终影响到项目后期的运营收益。

## （二）项目经营者与投资者之间的博弈分析

私人企业对项目的可行性进行深入研究，并就项目的特许权相关问题与政府达成协议后，就开始成立一个特许经营公司（项目经营者），该公司在项目前期的主要职能是进行项目融资活动。特许经营公司融资活动实际上就是与投资者之间的博弈。

### 1. 博弈双方的动机

项目经营者的动机是以最小的代价尽快融到足够的资金进行项目建设，投资者的动机是在保证资金安全性的前提下获取最大投资收益。

### 2. 项目经营者与投资者之间的博弈行为

#### （1）基本博弈行为

项目经营者与投资者之间的博弈行为主要是针对项目融资条件、利率水平、项目预期收益率、盈利能力等方面进行。先由项目经营者提出融资要求，然后投资者审核并做出是否同意融资的决策。

#### （2）博弈前提条件

①投资者被视为外部资金的提供者，即通过提供贷款或购买债券、股票等方式对项目提供资金，不含共同出资组建项目公司的发起人。

②不管采取何种方式对项目提供资金的投资者，其行为均是个体理性行为，这一前提下投资所得到的利润应达到社会平均利润水平，否则投资者可投资其他项目。

③由于已经成立特许经营公司，说明就该项目经营者与政府已经达成协议，已将政府得益充分考虑，不再影响到经营者与其他参与方之间利益分配。因此，在本博弈行为中，政府可以作为一个局外人存在，不考虑其收益情况；

④博弈行为的局中人设定为两方，即项目经营者和投资者；根据项目情况和掌握的信息分布，该博弈可转化为一个信号博弈。针对 PPP 项目，所得到的利润  $e$  有两种情况：或者高或者低（ $e = L$  或  $H$ ，且  $H > L > 0$ ），若无利润或者

亏损，私人企业在项目可行性研究后就会终止该项目，因而不会出现  $e < 0$  的情况。

⑤项目所需外部资金为  $I$ ，项目收益为  $R$ （不含项目所在地政府所得收益），投资者投资于其他项目的收益率为  $i$ ，则  $R > I \times (1+i)$ 。

### （3）博弈进行过程

①项目拟建时其利润状况已基本确定，在考虑综合风险的情况下， $e = L$  的概率为  $p$ ， $e = H$  的概率为  $1-p$ ；

②项目经营者在了解项目利润  $e$  的情况，向其潜在的投资者承诺给予一定的报酬率  $r$ ，且  $0 \leq r \leq 1$ ；

③投资者观测到项目经营者发出的信息，即  $r$  的大小，然后决定是否利用资金进行投资；

④若投资者不投资于该项目而投资于其他项目，则他的收益为  $I \times (1+i)$ ，项目经营者的收益为  $e$ ，若投资者根据项目经营者的信号选择了出资行为，则投资者的收益为  $e \times r$ ，项目经营者的收益为  $e \times (1-r)$ 。

### （4）博弈均衡分析

首先，对项目经营者与投资者行为的决策点说明如下：

对于这种类型的博弈，信号发出方（项目经营者）的信号空间为一连续区间： $0 \leq r \leq 1$ （在实际项目运作中，项目经营者考虑最大化自身利益以及被投资者接受的可能性， $r$  的范围会更小），而信号接受方（投资者）的行为空间只有接受和不接受两种行为。投资者接收到项目经营者发出利润率  $r$  的信号后，推断项目  $R = L$  的概率为  $q$ ，则  $R = H$  的概率就为  $1-q$ ，在这这种情况下，只有当  $r \times [q \times L + (1-q) \times H] \geq I \times (1+i)$  时，即  $r \geq \frac{I \times (1+i)}{q \times L + (1-q) \times H}$  时，投资者才会

接受  $r$ 。而对于项目经营者来说，在考虑利润为  $e$  且以  $r$  为代价进行外部融资时，只有当  $e > e \times r$ ，项目经营者才开出  $r$  的利润率。

然后，对博弈行为中的合并贝叶斯均衡进行分析：

合并贝叶斯均衡的条件是不管项目的利润  $e$  是  $L$  还是  $H$ 。项目经营者均开出  $r$  的利润率，而投资者均接受  $r$  的条件。对项目经营者来说， $r$  是其均衡策略，

需满足  $e > e \times r$  ( $0 < r < 1$ )。对投资者一来说,  $r \geq \frac{I \times (1+i)}{q \times L + (1-q) \times H}$ , 投资者才

能投资。因此项目经营者发出  $r$  的信号, 投资者接受及相应判断成为合并贝叶斯均衡的前提条件为:  $\frac{I \times (1+i)}{q \times L + (1-q) \times H} \leq 1$ 。在这个条件下, 取出来的  $r$  的数

值就能以此为基础构成合并的完美贝叶斯均衡。

当  $q \rightarrow 0$ ,  $H > I(1+r)$ , 必然存在合并完美贝叶斯均衡;

当  $q \rightarrow 0$ , 只有  $L - I(1+r) \geq 0$  时, 合并完美贝叶斯均衡才能存在。

作为投资者判断项目利润为低的概率  $q$ , 前面的分析说明当投资者相信项目有较强的盈利能力时, 会接受较低的  $r$ , 当对项目盈利能力表示怀疑时, 必然会要求较高的  $r$ 。因此, 在这个贝叶斯完美均衡中, 项目经营者将无法使投资者相信项目具有较高盈利而付出一定的代价, 这个代价有时会大于项目经营者从该项目中取得的利润, 从而导致项目融资失败。这也说明对于一个具有一定盈利能力的项目, 提高其信息透明度对于前期的融资工作非常重要。

### 3. 结论

通过博弈均衡结果可知, PPP 模式下项目融资成功与否受到两个方面的影响: 一是投资所产生的机会成本  $I \times (1+i)$ , 它的存在使利润在项目发起人与其他投资者进行比较  $r$  发生变化。若机会成本  $I \times (1+i)$  越大, 则项目经营者划分出去的利润就越多, 证明了在实际进行项目融资时, 金融市场的利润水平对项目资金筹集有较大影响。二是在筹集资金时信息的公开程度和真实程度。在合并贝叶斯均衡中不管项目利润的高与低, 均受到  $r$  的影响。为了确保  $r$  的真实性和可靠性, 项目经营者必须加大项目相关信息的透明度。

故本文关于 PPP 项目融资的第二个原则性结论是:

**结论 2:** 筹集资金时信息的公开程度和真实程度对融资成功与否有较大影响; 为了确保项目的盈利能力以及项目经营者向其潜在的投资者承诺的报酬率的真实性和可靠性, 项目经营者必须加大项目相关信息的透明度。

## 四、PPP 项目融资全过程博弈分析及最优契约设计

PPP 项目融资全过程是指从项目立项开始到项目建成直至特许经营期结束后项目移交给政府的整个过程。在此过程中，项目所有者、经营者和投资者基于自身利益最大化而进行了一系列的博弈行为。本文以下将对此进行分析进而得出相应结论，并给出最优契约（融资结构）设计。

### （一）PPP 项目融资全过程三方博弈分析

#### 1. 基本博弈行为

PPP 项目融资的全过程可以描述成如下不完全信息动态博弈：由项目所有者提供项目特许经营权；项目所有者首先选择项目经营者，并与之签订特许经营协议；而后，项目经营者进行融资安排，选择投资者和融资结构，并与投资者签订融资合同，项目经营者按照协议要求开发建设项目并在有限的时间内经营项目、获得利润；最后，项目所有者收回项目。在融资过程中，项目经营者的资质和能力如何，项目经营者是否积极工作等等信息都是所有者无法直接掌握的。所有者、经营者和投资者之间存在着信息不对称以及委托-代理关系。为消除由此而产生的道德风险问题，所有者应在经营者、投资者之间设计一系列有效的契约，制订相应的激励机制促使其积极工作。

#### 2. 博弈前提条件

PPP 项目融资全过程中有 3 个主要参与者：项目所有者、项目经营者和项目投资者。项目所有者拥有项目所有权，与经营者签订特许权协议。项目经营者选择投资者和融资方案并进行项目建设；投资者为项目投入资金。这里假设可以以债权或股权的形式进行投资。根据现代企业理论，让经营者拥有一定比

例的股权可以激励其积极工作，并减少私有信息租金。本模型中，经营者投入一定的自有资金，作为项目股权支持项目运作。作为政府部门的项目所有者出于公共利益的要求是风险规避者，而项目经营者和项目投资者可以通过经营或投资于其他项目或资产而分散其特有的项目风险，因而假设是风险中性者。假定项目所需投资总额为  $I$ ，项目的建设结果有两种可能性：成功或失败。若成功，将给所有者带来收益  $R^H$ ；若失败，则收益为  $R^L$ ，其中  $R^H > R^L$ 。

如果不考虑其他外部因素的影响，则项目成功与否，取决于经营者的经营能力  $\lambda$  和努力水平  $\beta$ 。设  $\lambda$  为离散变量 ( $\lambda \in \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ )； $\beta$  为连续变量。当经营能力为  $\lambda$ ，努力水平为  $\beta$  时，项目成功的概率为  $p(\lambda, \beta)$ ， $p(\lambda, \beta) \in [0, 1]$ ，其中努力水平  $\beta$  的边际收益递减，即  $p'_\beta(\lambda, \beta) > 0$ ， $p''_\beta(\lambda, \beta) < 0$ 。其中  $p(\lambda_j, \beta)$ ， $p'_\beta(\lambda_j, \beta)$  均为  $\lambda_j$  的增函数，也就是说，对任意的  $\lambda_j > \lambda_i$ ，有  $p(\lambda_j, \beta) > p(\lambda_i, \beta)$  及  $p'_\beta(\lambda_j, \beta) > p'_\beta(\lambda_i, \beta)$ 。经营者拥有其自身经营能力的私人信息，并在项目经营过程中选择其努力水平  $\beta$  以最大化其期望报酬；而经营者的努力水平及经营能力则不能被所有者直接观测，所有者只能根据经营者选择的激励契约判断其经营能力。所有者和投资者对实际经营能力为  $\lambda_j$  的经营者有一个先验概率，设为  $\phi_j \in [0, 1]$ ， $j = 1, \dots, N$ 。经营者与所有者签订激励合同  $i$ ，当项目成功时所有者支付给经营者的报酬为  $T_i^H$ ，若项目失败，支付的净报酬为  $T_i^L$ ；为激励经营者积极工作，所有者必须使  $T_i^H > T_i^L$ 。则合同的激励动力来自于  $(1 - E_i)(T_i^H - T_i^L)$ ，其中  $E_i$  为股权。所有者的效用函数为  $U(R^i - T^i)$ ，其中  $i = H, L$ ； $U' \geq 0, U'' \leq 0$ ；投资者与经营者的效用函数为  $r(\pi) = \pi$ ，它们的保留利润水平分别为  $\pi^i \geq 0$  和  $\pi^M \geq 0$ 。

无论项目成功与否，经营者都必须偿还投资者的债务。设投资者的债权总额为  $Z$ ，假设经营者有能力偿付全部的债务；另一方面，投资者的投资还可以股权形式进行，此时经营者须从其收益  $(T - Z)$  中支付相应的股权收入，设其比例为  $E$ 。

假定融资博弈顺序为：项目所有者首先提出激励契约（特许权协议）。合同规定根据项目最终的成败而给予经营者的支付；之后经营者接受激励契约，假设激励契约及经营者的选择为共同知识（Common-know ledge）；接着经营者决定融资安排和相应的偿付投资方法；投资者接受或拒绝，若拒绝博弈结束；

若投资者接受合同，则经营者选择努力水平；一旦项目成果可被观测，经营者按激励契约规定获取收益。

### 3. 博弈行为分析

为保证项目能够成功，项目所有者不仅要考察经营者的资质和经营能力，并通过招投标等机制选择经营者；另一方面，为了防止经营者做出不利于己的行为。所有者还要尽可能地对项目的融资安排做出相应的规定。此时投资者可以通过对所有者的、经营者相关共同知识的了解，决定自己的投资行为。在这种状态下，贝叶斯博弈的顺序为：首先，所有者制订激励契约  $\{T_i^H, T_i^L, Z_i, E_i\}$ ，而经营者选择某一激励契约  $i$  以最大化期望所得；随后投资者接受或拒绝投资；最后经营者选择努力水平  $\beta$ 。博弈均衡时，以  $\pi_i(\lambda_j)$  表示能力为  $\lambda_j$  的经营者选择激励合同  $i$  时的所得，则其参与约束与激励约束分别为

$$(IR) \quad \pi_i(\lambda_j) \geq \pi^M \quad i \in [1, N]$$

$$(IC) \quad \pi_i(\lambda_j) \geq \pi_j(\lambda_i) \quad i, j \in [1, N]$$

此时，对于经营者的激励约束，仅仅在相邻的两种激励合同之间才有意义；对于其参与约束也仅仅是在经营约束为  $\lambda_i$  时起作用。即

$$\pi_i(\lambda_j) \geq \pi^j \quad (1)$$

$$\pi_i(\lambda_j) \geq \pi_{i-1}(\lambda_j) \quad (2)$$

其中

$$\pi_i(\lambda_j) = (1 - E_i) \left\{ \left( p(\lambda_j, \beta_j) \right) T_i^H + \left( 1 - p(\lambda_j, \beta_j) \right) T_i^L - Z_i \right\} - \beta_j, \quad (3)$$

$$\beta \in \arg \max_{\beta} \left\{ \left[ (1 - E_i) \left( p(\lambda_j, \beta) \right) T_i^H + \left( 1 - p(\lambda_j, \beta) \right) T_i^L - Z_i \right] - \beta_j \right\}$$

投资者的参与约束为

$$\sum_{j=1}^N q_{ji} \left\{ E_i \left( p(\lambda_i, \beta_j) \right) T_i^H + \left( 1 - p(\lambda_i, \beta_j) \right) T_i^L \right\} + (1 - E_i) Z_i \geq I + \pi^I \quad (4)$$

其中,  $q_{ji}$  为投资者认为当经营者选择激励合同  $i$  时其经营能力为  $\lambda_j$  的修正概率, 在最优条件下, 投资者的参与约束等式成立。而项目所有者在 (1) - (4) 约束下最大化自己的期望效用。其目标函数为

$$\max_{Z, E, T^H, T^L} \sum_{i=1}^N \phi_i \left\{ p(\lambda_i, \beta_j) U(R^H - T_i^H) + [1 - p(\lambda_i, \beta_j)] U(R^L - T_i^L) \right\}$$

建立拉格朗日函数  $L$ , 并解其一阶条件解:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{i=1}^N \phi_i \left\{ p(\lambda_i, \beta_j) U(R^H - T_i^H) + (1 - p(\lambda_i, \beta_j)) U(R^L - T_i^L) \right\} + \gamma_1 [\pi_1(\lambda_1) - \pi^M] \\ & + \sum_{i=2}^N \gamma_i \left\{ \pi_i(\lambda_i) - \pi_{i-1}(\lambda_i) \right\} \\ & + \sum_{i=1}^N \delta_i \left\{ \sum_{j=1}^N q_{ji} \left\{ E_i \left( p(\lambda_i, \beta_j) \right) T_i^H + [1 - p(\lambda_i, \beta_j)] T_i^L - Z_i \right\} - I - \pi^I \right\}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial L}{\partial V_i^H} = -\phi_i p(\lambda_i, \beta_j) U'(R^H - T_i^H) + \gamma_i (1 - E_i) p(\lambda_i, \beta_i)$$

$$-\gamma_{i+1} (1 - E_i) p(\lambda_{i+1}, \beta_{i+1}) + \delta_i \sum_{j=1}^N q_{ji} E_{ip}(\lambda_i, \beta_j) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial V_i^L} = -\phi_i [1 - p(\lambda_i, \beta_j)] U'(R^L - T_i^L) + \gamma_i (1 - E_i) [1 - p(\lambda_i, \beta_i)]$$

$$-\gamma_{i+1} (1 - E_i) [1 - p(\lambda_{i+1}, \beta_{i+1})] + \delta_i \sum_{j=1}^N q_{ji} E_i [1 - p(\lambda_i, \beta_j)] = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Z_i} = -\gamma_i (1 - E_i) + \gamma_{i+1} (1 - E_i) - \delta_i \sum_{j=1}^N q_{ji} E_i = 0 \quad (7)$$



由式 (5) - (7) 式得,

$$p(\lambda_j, \beta_j)U'(R^H - T_i^H) + [1 - p(\lambda_j, \beta_j)]U'(R^L - T_i^L) = 0,$$

但由于  $p(\lambda_j, \beta_j) > 0$ , 故只有  $U'(R^H - T_i^H) = U'(R^L - T_i^L) = 0$ ,

则有结论:

$$T_i^H - T_i^L = R^H - R^L \quad (i=1, \dots, N); \text{ 且 } E_i \text{ 为 } i \text{ 的减函数。}$$

结论表明: 项目经营者往往会报低自己的经营能力, 并在项目实施中减少努力水平。若经营者自己选择的经营能力很低, 则所有者要求经营者提供较大份额的股权给投资者, 这样将会限制经营者报低自己的经营能力, 以防止经营者隐藏其经营能力而获利; 但同时, 外部股权的存在, 将减少经营者的努力水平, 导致社会总福利的损失。因此若经营者的经营能力较高, 投入项目外部股权的比例将相应减少。另一方面, 经营者对激励合同的选择, 取决于项目成功所带来的增量受益  $(1 - E_i)(T^H - T^L)$ , 而不是所有者对经营者的转移支付。当经营者的经营能力高时, 它会选择较高的激励合同。从这个意义上说, 经营者能够承担相应的经营风险。经营者的经营能力越高则成功的可能性越大, 那么它就越希望承担经营风险。

## (二) PPP 项目融资的最优契约设计

由以上分析可知, 在 PPP 项目融资过程中, 经营者可以隐藏实际经营能力而在经营时提供较低的努力水平, 从而获得所有的剩余收入。为避免这种经营上的道德风险, 保证项目的成功运作, 融资的最优契约设计应该是: 由项目所有者对项目的融资结构进行安排, 所有者应引入外部股权投资者, 并使得外部股权的数量与经营者的经营能力成反比。这样, 不仅可以将风险分摊给风险中性的投资者, 还可以对经营者实现有效的激励和约束。在融资过程中, 即使是经营者拥有足够的资本以支持整个项目, 所有者也应该引进外部投资者的股权。这也是本文关于 PPP 项目融资的第三个原则性结论:

结论 3: 为了避免经营上的道德风险以及对经营者实现有效的激励和约束, 融资契约设计中应引入外部股权投资者, 并使外部股权的数量与经营者的经营能力成反比; 即使经营者拥有足够的资本支持整个项目, 所有者也应该引进外部投资者的股权。

目前, 在基础设施建设领域。我国已初步建立了比较完善的项目融资招标投标体制, 用于对经营者的资源和能力进行鉴别, 但对于项目运营过程中出现的道德风险却缺乏相应的约束机制。本结论的意义即在于指出合理的融资契约设计将有助于避免项目融资过程中的道德风险, 进而有利于项目的成功运作。

## 五、北京地铁 4 号线 PPP 项目融资实证分析<sup>①</sup>

北京地铁 4 号线是我国首个采用 PPP 项目融资模式建设的基础设施项目，本文以下将对这个项目融资过程进行具体分析，以验证前文所得出的三个原则性结论。

### （一）项目背景及概况

#### 1. 项目背景

在承办 2008 年奥运会的大背景下，北京地铁迎来了前所未有的发展机遇。到 2008 年，北京市要力争新增城市轨道交通线路 156 公里，总里程达到 251 公里，地铁在城市客运出行量中的比例达到 10% 以上。

目前，北京地铁每公里的平均造价是 5.2 亿元人民币；拟规划建设的地铁 4 号线、5 号线、9 号线、10 号线一期（含奥运支线）4 条新线路总长 103.54 公里，车站数量 87 个，总投资需要约 500 亿元。另外，已经建成的线路往往都由一家国有的企业运营，缺乏竞争，投资和经营效率非常低下，长期处于亏损状态，每年需补贴 1 亿元；若采用传统的地铁投融资管理体制建设，预计未来 4 条新线建成后每年还需要补贴 30 亿元。这样，到 2008 年，政府对地铁的补贴每年就需要 40 亿元，高额的投资成本和补贴将使得政府财政不堪重负。

为解决上述问题，2005 年北京市在国内首次采用 PPP 模式进行基础设施地铁 4 号线的建设。这是北京市基础设施投融资领域改革的重大举措，这有利于引进国际上先进的地铁建设与运营管理理念，提高北京地铁建设运营的整体效率和服务水平。通过引入 PPP 模式，在北京的地铁交通网络中，引入另外一家运营企业，打破独家垄断的局面，进行适度的竞争，可以建立有效的激励机制，大大改善目前政府为地铁运营支付巨额补贴的现状，为地铁交通行业的良性可持续发展建立一个科学合理的制度基础。基于此，未来几年将陆续投入建

设的地铁 10 号线、奥运支线、9 号线等项目，北京市还将继续运用 PPP 模式，支持私人企业参与项目的建设运营。

## 2. 北京地铁 4 号线概况

北京地铁 4 号线全长 28.65 公里，南起北京丰台区南四环马家楼站，北至海淀区龙背村站，全线共有宣武门、西单、西直门、中关村、颐和园等 24 个车站，由南至北穿越北京丰台、宣武、西城和海淀 4 个区，是贯穿北京城区南北的轨道交通主干线之一。项目总投资 153 亿元人民币，目前已有学院南站、中关村站、西单等 6 座车站开工建设，预计 2009 年 6 月通车，通车后日客运量预计将达到 50 万人次以上。

## （二）项目融资分析及对本文结论的检验

### 1. 项目特许经营方

北京地铁 4 号线 PPP 项目融资的特许经营方包括：

#### （1）北京基础设施投资有限公司

北京基础设施投资有限公司是由北京市国有资产监督管理委员会出资并依照公司法在原北京地铁集团公司基础上改组成立的国有独资有限责任公司，主要经营业务为城市基础设施（近期以轨道交通为主）的投融资和资本运营。截至 2003 年末，公司注册资本 25.17 亿元，总资产 143.4 亿元，净资产 77.35 亿元。

#### （2）香港地铁有限公司

香港地铁有限公司的前身为创立于 1975 年的地下铁路公司，是一家由香港政府全资拥有的法定机构，于 2000 年 10 月 5 日在香港联合交易所上市。该公司除提供地铁列车服务外，更积极参与发展沿线上盖的住宅及商用物业及提供各项设施包括商铺与海报广告位租赁、银行自动柜员机及个人通讯等服务。

香港地铁公司在香港经营 6 条共 90 公里的轨道交通，在过去 30 年的建设与运营中累积了丰富的管理经验，是香港特区政府控股的上市公司，也是世界上少数具有赢利能力的地铁公司；它将把香港地铁成功的运营经验和服务理念运用到北京地铁 4 号线。

### (3) 北京首都创业集团有限公司

北京首都创业集团有限公司重组成立于 1995 年 12 月，是直属北京市的国有独资大型投资运营企业。首创集团坚持“以投资银行为先导、以实业为基础，两个轮子相互促进，共同发展”的企业战略，以国内和国际两个市场为依托、两种资源为背景，倾力打造基本建设、房地产和金融服务三大产业。

北京地铁 4 号线特许经营公司以上三家公司持股，这三家公司实力雄厚，各有所长；这种组合，为地铁四号线高质量的建设和运营打下了坚实的基础。

## 2. 项目收益测算与分配

北京地铁 4 号线途经多处旅游景点及住宅区，预测前期客流量达日均 50 多万人次。采用特许经营方式后，地铁四号线票价仍将由北京市政府统一制定，平均票价约 3.4 元，一年的票务收入超过 6 亿元，加上特许公司将通过一些非票价方式，如在车站、车厢内设置广告和建立一些零售商业设施获得的非票务收入，估计总收入约 7 亿元。如果票价亏损较高，政府会适当给予补贴。票务收入与非票务收入都归特许经营公司，同时特许公司向北京市基础设施投资有限公司租赁洞体并支付租金。

此次合作引进香港地铁建设和运营先进的管理模式。香港地铁有着 30 年的地铁建设运营经验，地铁收入来源分为票价收入和非票价收入；而广告、零售、通信、地产等非票价收入是支持其赢利的重要方面。

## 3. 项目融资过程

2004 年 12 月 5 日，香港地铁有限公司、北京市基础设施投资有限公司与北京首都创业集团有限公司在北京共同签署了投资原则性协议，决定以 PPP

模式成立特许经营公司，合作投标北京地铁四号线特许经营权。同时，西门子公司、中铁建、北京地铁运营公司三方也已结成投资联合体争取四号线的特许经营权。北京市政府经过充分分析和论证，考虑到多方面因素，对这两大投资联合体提出的特许经营方案进行议标，最后确定由香港地铁、北京基础设施投资和北京首都创业组成的特许经营公司入主四号线。双方经过多轮谈判，2005年2月7日，北京市政府与特许经营公司草签《特许经营协议》。2006年4月12号协议获得国家发改委批准，得以正式签署。

北京地铁4号线工程总投资153亿元；根据协议，由北京市政府和特许经营公司按照7:3的比例进行投资。工程的建设和运营分为A、B两部分。A部分主要是征地拆迁和车站、洞体及轨道铺设等土建工程，投资107亿元，占总投资的70%，由北京地铁四号线投资有限责任公司代表北京市政府筹资建设并拥有产权；B部分主要是车辆等机电设备购置及安装，投资46亿元，占总投资的30%，由特许经营公司来负责完成。

特许经营公司自身投入即注册资本15亿元人民币，香港地铁和首创公司各出资7.35亿元，各占注册资本的49%；北京市基础设施投资有限公司出资0.3亿元，占注册资本的2%。其余31亿元将采用无追索权银行贷款，占B部分投资的2/3。

地铁四号线建成后，特许经营公司将通过与北京地铁四号线公司签订《资产租赁协议》取得A部分资产的使用权。特许经营公司负责地铁四号线的运营管理、全部设施的维护和除洞体外的资产更新，以及站内的商业经营。通过地铁票款收入及站内商业经营收入回收投资。特许经营期为30年，经营期满后特许公司将B部分项目设施无偿地移交给北京市政府，将A部分项目设施归还给四号线公司。如图3所示。

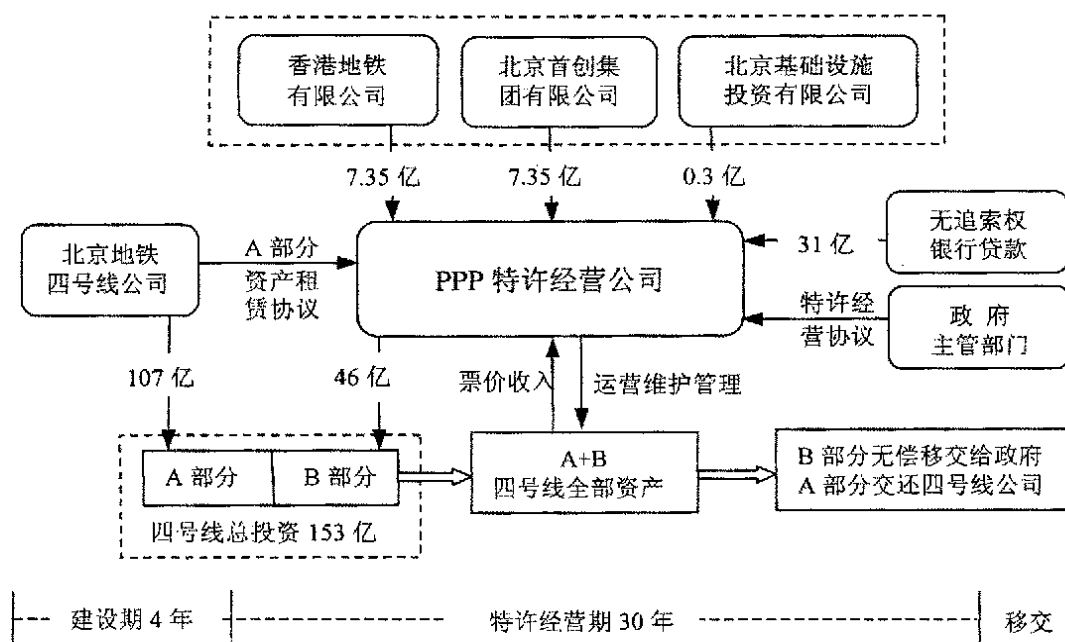


图 3：北京地铁四号线 PPP 项目融资模式

在北京地铁四号线 PPP 项目融资中，北京市政府按照《特许经营协议》规定，在建设期内将监督北京地铁四号线公司确保土建部分按时按质完工，并监督特许经营公司进行机电设备部分的建设。四号线运营票价实行政府定价管理，采用计程票制。在特许期内，北京市政府将根据相关法律法规、本着同网同价的原则，制定并颁布四号线运营票价政策，并根据社会经济发展状况适时调整票价，按有关运营和安全标准对特许公司进行监管。在发生涉及公共安全等紧急事件时，北京市政府拥有介入权，以保护公共利益。如果特许经营公司违反《特许经营协议》规定的义务，北京市政府有权采取包括收回特许权在内的制裁措施。北京市政府也要履行《特许经营协议》规定的义务并承担责任。

#### 4. 对本文主要结论的检验

##### (1) 对结论 1 的检验

本文结论 1 认为：政府与私人企业之间就项目特许权等涉及到的利益分配

问题谈判持续时间越久，对项目建立的影响就越大，并最终影响到项目后期的运营收益。在北京地铁 4 号线 PPP 项目融资谈判过程中，自 2004 年 12 月 5 日由香港地铁有限公司、北京市基础设施投资有限公司与北京首都创业集团有限公司组成的特许经营公司与北京市政府开始谈判至 2006 年 4 月 12 号国家发改委批准特许协议正式签署时止，谈判历时 1 年零 5 个月；这对于投资巨大的 PPP 项目来说是效率较高的。谈判双方充分考虑到自身和对方的利益需求，通力合作，求同存异，尽快地达成了特许权协议，避免了持久谈判对项目建立与长远收益的不利影响，为项目的成功建设和运营奠定了基础。从政府方面来说，地铁四号线是北京市南北交通的主动脉，它的尽早建设对于优化全市出行结构，改善地面交通状况，促进城市社会、经济的发展都有着重要的意义，可以使社会效益达到最大化。从私人企业方面来说，项目尽早建立可以使其节省建设和资金成本，提前收回投资，从而获取最大的经济利益。

### (2) 对结论 2 的检验

本文结论 2 认为：筹集资金时信息的公开程度和真实程度对融资成功与否有较大影响；为了确保项目的盈利能力以及项目经营者向其潜在的投资者承诺的报酬率的真实性和可靠性，项目经营者必须加大项目相关信息的透明度。北京地铁 4 号线 PPP 项目融资过程中，特许经营方对项目相关信息保持了较高的透明度，做到了信息公开、真实有效。项目的建设与发展前景、项目的谈判过程、特许权协议的内容及其法律效力、项目收益测算与分配方案、政府的支持措施和政策、项目外部经济环境，特许经营方的经济实力与经营能力等都为投资者所能够知悉，这些使得投资者对项目各方面有了充分的了解，增强了投资者对项目自身经济强度和未来收益的信心，对融资的顺利进行提供了有力支持，保证项目 31 亿元无追索权银行贷款可以顺利筹集。

### (3) 对结论 3 的检验

本文结论 3 认为：为了避免经营上的道德风险以及对经营者实现有效的激励和约束，融资契约设计中应引入外部股权投资者，并使外部股权的数量与经营者的经营能力成反比；即使经营者拥有足够的资本支持整个项目，所有者也应该引进外部投资者的股权。北京地铁 4 号线 PPP 项目融资中，由北京市政府主导进行融资结构安排，选择了经济实力和经营能力较强的由香港地铁有限公



司、北京市基础设施投资有限公司与北京首都创业集团有限公司组成的特许经营公司进行特许经营；所有者和经营者也都各投入了一部分资金。在本项目中，由于主要是想利用香港地铁的资金与经营能力，因此，香港地铁是实际上引入的主要经营者，其在特许经营公司中的股权占 49%，而北京首都创业集团则可以视为外部股权投资者，其在特许经营公司中的股权占 49%。这种融资安排使得项目各方可以相互制衡、相互监督，项目风险与收益得到合理分配，从而有效地避免了项目运营过程中的道德风险，为项目的成功运营建立了坚实的基础。

综上所述，经过本文博弈模型分析所得到的三点原则性结论在北京地铁 4 号线 PPP 项目融资实例中得到完全验证。

---

<sup>①</sup> 数据来源：国家发改委和北京市发改委官方网站。

## 结 语

本文从 PPP 项目融资的基本理论及相关博弈论知识出发,从不同角度对 PPP 模式进行博弈分析,得出了三个原则性结论。在此基础上,对北京地铁 4 号线 PPP 项目融资模式进行了实例分析,对结论加以验证。

本文在此再次强调一下这些主要结论,即:(1)政府与私人企业之间就项目特许权等涉及到的利益分配问题谈判持续时间越久,对项目建立的影响就越大,并最终影响到项目后期的运营收益;(2)筹集资金时信息的公开程度和真实程度对融资成功与否有较大影响;为了确保项目的盈利能力以及项目经营者向其潜在的投资者承诺的报酬率的真实性和可靠性,项目经营者必须加大项目相关信息的透明度;(3)为了避免经营上的道德风险以及对经营者实现有效的激励和约束,融资契约设计中应引入外部股权投资者,并使外部股权的数量与经营者的经营能力成反比;即使经营者拥有足够的资本支持整个项目,所有者也应该引进外部投资者的股权。

应该指出的是,本文的结论属于关于 PPP 项目融资的一般原则性结论,是原理性的证明,并不是为每一个具体的 PPP 项目都提供实际的指导,并不一定适用于所有的 PPP 项目。PPP 模式并不存在一个固定化的统一的规则,每个 PPP 项目都有其自身的特点,都有其独特的项目背景与要求,因此在实际操作中,应该具体问题具体分析。但本文的结论作为一般原则,可以为 PPP 项目融资的具体实践提供一些思路和借鉴,这正是本文的意义之所在。

## 参 考 文 献

- 1、张极井：《项目融资》，中信出版社，2003年11月第2版。
- 2、张维迎：《博弈论与信息经济学》，上海人民出版社，1996年第1版版。
- 3、蒋先铃：《项目融资》，中国金融出版社，2004年8月第2版。
- 4、冯·诺依曼，摩根斯顿：《博弈论与经济行为》，三联书店，2004年12月第1版。
- 5、普拉伊特·K·杜塔：《策略与博弈—理论及实践》，上海财经大学出版社，2005年5月版。
- 6、艾里克·拉斯缪森：《博弈与信息—博弈论概论》，北京大学出版社2003年第2版。
- 7、施锡铨：《博弈论》，上海财经大学出版社，2000年2月第1版。
- 8、李春好，曲久龙：《项目融资》，科学出版社，2004年8月第1版。
- 9、王鹤松：《项目融资财务分析》，中国金融出版社，2005年3月第1版。
- 10、马秀岩，卢洪升：《项目融资》，东北财经大学出版社，2002年4月第1版。
- 11、邢恩深：《基础设施建设项目投融资实务操作》，同济大学出版社，2005年1月第1版。
- 12、戴大双，王瑶琪：《项目融资》，机械工业出版社，2005年1月第1版。
- 13、王立国：《工程项目融资》，人民邮电出版社，2002年8月第1版。
- 14、谢识予：《经济学博弈论》，复旦大学出版社，2002年3月第1版。
- 15、朱会冲，张燎：《基础设施项目投融资理论与实务》，复旦大学出版社，2002年11月第2版。
- 16、程国平：《经营者激励—理论、方案与机制》，经济管理出版社，2002年3月第2版。
- 17、徐新，邱苑华：道德风险与基于委托—代理理论的最优保险契约模型：

《系统工程理论与实践》，2001 年第 3 期。

18、李永强，苏振民：PPP 项目风险分担的博弈分析；《基建优化》，2005 年第 10 期。

19、张勇，郝寿义：应用 PPP 模式促进城市基础设施建设发展；《生产力研究》，2004 年第 11 期

20、魏纪泳，汤书昆，崔浩，江文奇：基于利益相关者合作博弈的决策优化与收益分配；《运筹与管理》，2005 年第 4 期。

21、范小军，钟根元：基础项目融资风险的最优分配模式研究；《现代经济探讨》，2005 年第 3 期。

22、李军林，李岩：合作博弈理论及其发展；《经济学动态》，2004 年第 9 期。

23、张建英：博弈论的发展及其在现实中的应用；《理论探索》，2005 年第 2 期。

24、屈哲：项目融资的风险及其规避；《财经问题研究》，2002 年第 5 期。

25、李秀辉，张世英：PPP：一种新型的项目融资方式；《中国软科学》，2002 年第 2 期。

26、朱卫东：公益性基础设施项目融资新方式；《中国投资》，2002 年第 8 期。

27、张鸿：项目融资的实践和成功基础；《经济体制改革》，2002 年第 1 期。

28、Laffont, Martimort: 《激励理论(第一卷): 委托-代理模型》，中国人民大学出版社，2002 年

29、张涛，方城等：基于累积期望差异评价策略的重复博弈仿真研究；《系统工程》，2002 年 20(3)

30、Macho-Stadler,I.,and J.David Perez-Castrillo,2004: 《信息经济学引论: 激励与合约》，上海财经大学出版社，2004 年。

31、Peter k.Nevitt, Frank Fabozzi. Project Financing(Sixth Edition)「M」.Euromoney Publication PLC 1995.

32、Mustafa.,Amira. Public-private partnership:an alternative institutional model for implementing the Private Finance [J]Journal of Project Finance. 1999.

Spring: 56-71

33、 Michael Spackman. public- private partnerships: lessons from the British approach. Economic Systems, 2002,(26) .

34、 Drrrin Grimsey Mervyn K. Lewis Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects[J].International Journal of Projects Mannagement,2002,(20).

35、 United Nations Institute for Training and Research. PPP-For Sustainable Development. 2000.

36、 The European Commission. Guidance For Successful PPP. 2003

37、 John R. Allan. PPP:A Review of Literature and Practice. Saskatchewan Institute of Public Policy Public Policy Paper, No.4. 1999.

38、 The National Council For PPP, USA. For the Good of the People: Using PPP To Meet America's Essential Needs. 2002.

39、 The World Bank. Selecting an Option for Private Sector Participation. 1997.

## 后 记

两年半的硕士研究生生涯转眼就要过去了，在东北财经大学硕士阶段虽短暂却美好而充实的求学日子里，我收获良多。

首先我要衷心地感谢我尊敬的导师屈哲老师，在学习和工作上她给予了我许多帮助。在整个论文的写作过程中，导师为我指明了方向，并仔细认真的审阅全文，提出了宝贵的修改意见。导师高尚的人格、渊博的专业知识、严谨求实的治学态度、一丝不苟的敬业精神深深地熏陶了我，并将使我终生受益。

感谢武献华老师、马秀岩老师、惠恩才老师、王红岩老师、邢天才老师，他们生动的专业课授课讲解和渊博的知识令我钦佩和敬仰，在学习和工作等各个方面也给予了我许多帮助。学院的王立国老师、王来福老师、宋维佳老师、梁世连老师和院里其他各位老师也给予了我诸多的指导和关怀，在此深表感谢。

同时也要感谢全班的同学，两年半的学习和生活经历给我留下了许多美好的回忆，坚信我们的友谊将地久天长。

赵欣

2006年11月20日

# PPP项目融资三方博弈分析及最优契约设计

作者：[赵欣](#)  
学位授予单位：[东北财经大学](#)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1028485.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1028485.aspx)