

本书由贵州交通职业技术学院高层次人才科研启动金资助出版

基于实物期权理论的高速公路 PPP 项目政府担保研究

吴贞瑶 © 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

随着我国“一带一路”倡议和“交通强国”战略进程的不断加快，交通运输类基础设施的建设需求急剧增加。由于 PPP（Public-Private Partnership，政府与社会资本合作）模式能够缓解政府财政压力，提高项目运营效率，近年来被广泛应用于基础设施建设领域，如高速公路的建设。高速公路 PPP 项目的特许期较长，其间存在的风险因素众多，对项目造成的影响较大，甚至会导致项目失败。为了吸引投资并保障项目顺利运行，政府通过提供担保来分担项目风险。政府如何提供担保、担保程度如何设定等问题是目前理论研究和实践关注的重点。本书以交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险为研究侧重点，分析了在这 3 种风险下政府应如何提供担保才能均衡分担项目风险的问题。

第一，从现有理论研究、PPP 项目相关政策和高速公路 PPP 项目实践中的问题 3 个角度，阐明了交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险是高速公路 PPP 项目中发生概率较高、对项目影响较大，且需要政府部门和社会资本方共同承担的风险，但目前已出台的相关政策并未明确担保的具体方法和触发条件，可操作性较差，这是本书选取这 3 种风险作为研究重点的原因和意义所在。然后结合实物期权的优点及高速公路 PPP 项目的特征，说明了实物期权用于高速公路 PPP 项目的政府担保问题的适用性。

第二，通过改进的二叉树法与蒙特卡洛相结合，把交通量作为标的物，担保方式作为期权衍生物，分析了能够缓解交通需求风险的 5 种担保方式的特征，并从担保方式产生的财务影响和对抗交通需求风险的效率两个方面建立了比选框架。研究表明，有上限（如收入上限或交通量上限）的担保明显优于没有上限的，相比之下，最小交通量担保和交通量上限的结合

相对较优，能满足政府部门和社会资本的财务预期，且对抗交通需求风险的效率较高，因而适用范围更广，适用于大多数高速公路项目，尤其是交通量波动大的项目。

基于前文的研究提出了考虑交通需求和建设成本不确定性、政府部门和社会资本方利益及其风险承受能力的最小交通量担保上下限阈值决策模型。该模型主要由 3 部分组成：建设成本和交通需求量不确定性的描述，最小交通量担保和交通量上限收益共享的期权定价，以及考虑风险分配的阈值决策。在模型中，将建设成本和初始交通量看作是建设期的不确定因素，而年运营交通量是运营期的不确定因素。这些因素分别在二项式倒金字塔网络和二叉树网络的基础上，通过蒙特卡洛仿真描述其不确定性，并用风险中性定价方法衡量最小交通量担保和交通量上限收益共享的期权值，最终通过考虑政府部门和社会资本的风险承受能力来分配风险重要度，以决策出使项目总风险最小的上下限阈值组合。

第三，通过考虑利率风险对项目债务成本和收益的影响，提出了满足社会资本、政府部门和贷款方三方利益的政府利率担保方式，并以减小风险发生概率，均衡分配风险为目标来确定利率担保的阈值，即期望利率，通过对模型进行案例仿真分析，确认了该方式的可行性和合理性。研究发现，该方式能够有效降低项目相关各方风险发生概率和风险分配的不均衡性，使风险发生概率在相关部门的承受范围内，各方均有参与该项目的动力，从而保障项目的顺利运行。

第四，分析了通货膨胀对项目运营成本、交通量、现金流以及净现值的影响，梳理了现有用于对冲通货膨胀风险的调价方法，并指出单靠项目调价缓解通货膨胀风险的弊端。基于此，提出了政府分担通货膨胀风险的方法——收入调节法，且在考虑社会资本、道路使用者和政府部门三方利益的情况下，构建了基于 VaR-TOPSIS 多目标决策模型的收入调节比例——调价阈值的方案决策方法。研究发现，通货膨胀下，当其他条件不变时，若不进行调价，项目净现值明显低于无通货膨胀的情况，且特许期越长，通货膨胀对项目净现值的影响越大。政府通过收入调节能够分担部分通货膨胀风险，使项目净现值明显增加，社会资本的亏损状况得到有效缓解。VaR-TOPSIS 多目标决策模型能够决策出收入调节比例与调价阈值的联动组合方案，该模型可行。

第五，对于财务评价不可行项目的政府担保方式进行分析。考虑了项目的社会效益，建立社会资本方和政府部门双方投资项目的基准条件、区分确定性参数和不确定性参数，构建了蒙特卡洛仿真模型，据此计算分析了财务评价不可行的高速公路项目的补偿数量，验证了模型的可行性和合理性。所计算得到的最优补偿数量达到了社会资本方的投资基准条件，他们有投资动力，同时该项目的社会效益远大于提供的补偿数量，政府部门有较大的投资热情。

本书的研究不仅有助于政府部门衡量其提供担保的风险及价值，以制定合理的担保政策，而且有利于社会资本方和投资者评估项目风险并做出合理的投资决策。

本书由贵州交通职业技术学院高层次人才科研启动金资助出版。

吴贞瑶

2022年10月

目录

001	第 1 章 绪 论
001	1.1 研究背景和研究意义
004	1.2 国内外研究现状
014	1.3 研究范围、研究方法与研究内容
019	1.4 技术路线
020	第 2 章 高速公路 PPP 模式的理论与实践
020	2.1 PPP 模式概述及相关实践
032	2.2 PPP 项目的风险识别与分配
044	2.3 PPP 相关政策及其在担保问题上的不足
047	2.4 高速公路 PPP 项目的概念特征与亟待解决的问题
055	2.5 实物期权法及其适用性
059	2.6 本章小结
061	第 3 章 交通需求风险下政府担保方式的评估与比选
061	3.1 二叉树期权定价法的推导与改进
069	3.2 交通需求风险下的政府担保方式
074	3.3 政府担保方式的评估与比选
081	3.4 案例分析
093	3.5 本章小结
094	第 4 章 最小交通量担保与交通量上限的阈值决策研究
094	4.1 模型变量与参与方风险的确定
096	4.2 阈值决策模型的构建
106	4.3 考虑风险承受能力的风险重要度分配的博弈
116	4.4 模型的应用
122	4.5 本章小结

124	第 5 章 利率风险下高速公路 PPP 项目的利率担保方法
124	5.1 利率与债务成本概述
127	5.2 利率风险对债务成本及收益的影响
128	5.3 利率担保的原理及其期权价值
130	5.4 利率担保的影响及期望利率的决策
136	5.5 案例分析
143	5.6 本章小结
145	第 6 章 通货膨胀风险下高速公路 PPP 项目的收入调节
145	6.1 通货膨胀概述
147	6.2 通货膨胀对高速公路项目的影响
152	6.3 通货膨胀下的项目调价
155	6.4 政府分担通货膨胀风险的方法：收入调节
158	6.5 收入调节比例与调价幅度的方案决策
168	6.6 案例分析与方法应用
179	6.7 本章小结
181	第 7 章 财务评价不可行项目的政府担保
182	7.1 补偿模型原理分析
184	7.2 模型构建
187	7.3 算例分析
191	7.4 本章小结
192	第 8 章 结 论
192	8.1 主要研究结论
196	8.2 主要创新点
196	8.3 研究展望
198	附 录
202	参考文献

第1章

绪论

1.1 研究背景和研究意义

1.1.1 研究背景

“交通强国”战略的实施，使交通基础设施成为投资建设的重要领域。《交通强国建设纲要》《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》和《西部陆海新通道总体规划》中均提出应加大交通基础设施的投资建设力度，完善城市群间快速公路网络，提升省际公路可达性等建设指导意见^[1]。交通运输部公布2020年公路水路投资将达1.8万亿元。为了缓解投资建设中的资金短缺问题，提高社会市场活力和项目建设运营效率，近年来PPP项目作为吸引社会资本投资基础设施的重要途径而被广泛应用。2020年前三季度，采用PPP模式的交通运输项目数已达1781个，项目总金额达61822.14亿元^[2]。可见，PPP模式在交通基础设施项目建设中占有较大的市场比例。

我国早在1984年就开始在引入外资方面探索PPP模式的应用，但由于试点效果不理想，该模式的推进缓慢，甚至搁置。直到2014年，我国为了缓解政府在项目建设中的财政压力，提高项目建设运营效率，颁布了《关于推广运用政府和社会资本合作模式有关问题的通知》（财金〔2014〕76号），放宽了社会资本的准入机制，并鼓励社会资本参与基础设施建设^[3]。此后，财政部相继推出了三批PPP示范项目，投资规模分别为714亿元、4861亿元和11933亿元，截至2016年年末，入库项目总计11260个，投资总金额为13.5万亿元，PPP项目迎来了迅猛发展阶段。然后，由于相应

的法律法规和监管体制不完善，PPP 项目在执行时常被异化为新的融资平台，“假 PPP”“伪 PPP”泛滥，明股实债等问题严重，反倒增加了政府的隐性债务。2017 年国家发改委、财政部先后出台了制止 PPP 项目举债融资的文件^[4]，力求规范 PPP 项目的发展。相关部门下发的文件初步确立了“风险共担，收益共享”的风险分配原则。

高速公路项目由于其较为完善的使用者付费体系和运作流程而成为以 PPP 模式修建的典型项目之一。高速公路 PPP 项目的数量在 2016 年就已达到 248 个，占整个交通运输类 PPP 项目的 19%，落地率达 67%。由于该类项目的特许期长，投资金额高，若项目风险管理不到位，极易导致项目失败。交通需求风险被认为是高速公路 PPP 项目中的主要风险之一，其发生概率高达 93.3%^[5]，如马来西亚南北高速公路 PPP 项目、泰国二期高速公路 PPP 项目、美国加州全自动收费公路 PPP 项目、我国阳电高速公路等均发生过不同程度的交通需求风险。据相关研究调查显示，美国公路桥等交通基础设施的预测交通量平均高于实际交通量的 23%^[6]；在另外 14 个国家的共计 210 个收费公路项目中，有 50% 的项目严重高估了项目需求量^[7]。除此之外，利率风险、通货膨胀风险同样影响高速公路 PPP 项目的运营，像马来西亚南北高速公路 PPP 项目、匈牙利 M1-M5 高速公路 PPP 项目、英法海底隧道 PPP 项目、中国香港西海底隧道 PPP 项目等都曾受到过通货膨胀风险或利率风险的严重影响，其中，通货膨胀使英法海底隧道 PPP 项目的投资成本超支 80%，从而导致项目失败^[8]。因此，合理分担项目风险是保障 PPP 项目成功运行的关键。

由于风险的不确定性，政府部门通常不会一开始就对社会资本方进行补贴，而是通过担保的方式，分担那些需要政府和社会资本方共同承担的风险^[9]，如交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险等。政府针对交通需求风险的担保方式有最小收入担保、最小交通量担保、特许期调整等，其中最小收入和交通量担保还可分别搭配收入上限和交通量上限收益共享来共同执行，如韩国仁川机场到首尔的高速公路 PPP 项目、巴拉亚斯机场通道项目、北京地铁 4 号线。实践中，由于缺乏系统地选择担保方式和设置合理担保水平的方法，政府在提供担保时存在盲目性，从而出现过度担保或担保不足的情况。如：105 国道连平段、广东南海区路网项目就因为政府的过度担保，使政府承担了过量风险，造成了大量不必要的财政支出；而内

蒙古大成西黄河大桥、国道 325 线阳江段又因为政府担保不足而导致项目严重亏损。^[10]对于利率风险和通货膨胀风险而言,尽管大多数决策者和研究者都认为这两种风险需要政府和社会资本方共同承担,但由于缺乏行之有效的政府担保方法,即使风险发生,也难以提供合理的政府担保来分担风险,从而造成了项目损失。因此,政府应该如何提供担保,选择什么方式进行担保,如何设置担保水平才能达到风险的均衡分配等问题成为规范 PPP 项目制度、实现可持续发展的关键。

1.1.2 研究意义

针对高速公路 PPP 项目政府担保中现有研究存在的不足,结合实践中存在的问题,将研究范围圈定在交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险 3 个发生概率高,且需要政府和社会资本方共同承担的风险内。根据这些风险的特性,研究能够均衡风险的政府担保方式及担保程度,以期为政府担保政策的制定提供理论参考。其研究意义主要体现在如下方面:

1. 理论意义

(1) 进一步完善了交通需求风险下政府担保方式的比选和阈值决策优化的研究,弥补了现有研究在担保方式比选的定量方法上的不足,通过考虑利益相关方风险承受能力,拓展了阈值决策优化研究的理论体系。

(2) 为利率风险下的政府担保研究提供了新思路。在理论研究方面,传统研究主要集中在收入风险的政府担保研究上,对于利率风险的研究较少,且鲜有考虑受利率风险影响的贷款方利益。本书提出的针对利率风险的政府担保模型和方法纳入了贷款方的视角,是对现阶段 PPP 项目风险管理领域研究的进一步拓展。

(3) 丰富了通货膨胀风险下政府担保的研究思路和方法。本书论证并量化了通货膨胀风险造成的影响,并通过提出考虑政府部门、社会资本方和道路使用者三方利益的政府担保方法,为通货膨胀风险的评估和担保提供了理论依据。

2. 实践意义

(1) 为政府部门制定相关担保政策提供了可操作性的指导。分析交通

需求风险、利率风险和通货膨胀风险的影响，设计了各风险下的政府担保方法。该方法能够应用于实际案例中，对政府制定相关担保政策具有一定程度的理论和指导性意义。

(2) 为社会资本方评估项目风险、投资价值提供了计算和评估方法。社会资本方可以利用本书提出的模型、方法分析和评估项目风险所造成的影响，及其政府提供担保后项目的投资价值，帮助社会资本方的投资决策分析。

(3) 从社会资本方、政府部门、道路使用者、贷款方等 PPP 项目利益相关方的自身利益和承担风险的角度出发，分析和构建的政府担保方法有助于实现项目风险的合理均衡分担，促进多方共赢。

1.2 国内外研究现状

由于风险是一种在发生与否、发生时间和发生结果上都存在不确定性的事件，政府部门很少会选择在一开始就提供实质性的补贴来分担这些风险，而是通过政府担保的形式，在风险发生时予以支持^[9]。当交通（市场）需求风险、通货膨胀风险、利率风险等需要政府部门和社会资本方双方共同承担的风险发生时，政府部门通过事先商定的担保方式进行风险分担，从而保证了社会资本方的利益。交通需求风险是交通类 PPP 项目的主要风险之一，因而针对该风险的政府担保研究较多，主要包括政府担保价值评估与担保方式的阈值优化，而针对利率风险和通货膨胀风险的政府担保研究就相对较为匮乏。

1.2.1 针对交通需求风险的政府担保研究

交通需求风险是指由于交通需求量的高度不确定性所导致的项目收入损失。目前针对交通需求风险的政府担保研究主要分为政府担保评估与比选，以及担保阈值的选取两部分。

1.2.1.1 政府担保方式的价值评估与比选

1. 分担交通需求风险的担保方式

交通需求风险作为交通类项目中最大的不确定性风险而广受关注，目

前应对市场需求风险的政府担保方式有收入担保、交通量担保、收益担保、特许期调整、限制竞争担保、直接补偿以及价格补偿担保 7 类政府担保方式。现有研究主要是对这些担保方式的价值进行评估。

(1) 最小收入担保。

最小收入担保通过担保项目收入不低于预期的最小收入，来缓解项目运营过程中的市场需求风险和通行费价格风险所造成的收入损失。如何准确评估收入担保的价值是研究的重点，早期的研究只考虑了当实际运营收入低于预期最小收入时的情况^[11, 12]。随着研究的深入，研究者发现当收入过高时，社会资本方会获得超额收益损害公共利益。因此，为了保证项目合理收入的同时不获得超额收入，在最小收入担保中加入了超额收入共享机制（也称收入上限），即当实际收入超过约定收入的最大值时，社会资本方应与政府部门共享一部分超额收入^[13, 14]。研究中，实物期权理论被广泛应用于评估最小收入担保的价值，其中常用的方法为蒙特卡洛法、二叉树定价法和 Black-Scholes 定价法。Jun (2010)^[15]，Chiara 和 Kokkaew (2013)^[16]等，以项目净收入作为标的物，将最小收入担保和超额收入共享分别看作看跌期权和看涨期权，用蒙特卡洛仿真的方法评估了实施最小收入担保和超额收入共享时的期权价值；高峰等 (2008)^[17]、马红光等 (2018)^[18]则利用了 Black-Scholes 定价法构建了最小收入担保和超额收入共享的价格模型。Ashuri 等 (2012) 采用二叉树定价法分析了最小收入担保和收入上限的作用^[19]。此外，范小军等 (2009)^[20]和 Shi 等 (2016)^[21]还考虑了外部因素和信息不对称对收入担保价值的影响。

(2) 最小交通量担保。

最小交通量担保的关注点在于实际的交通需求量是否与预期最小值相符，当实际交通量低于预期，政府补偿交通量减少所损失的金额。同收入担保一样，为了避免交通量明显高于预期，使项目收入过高，会设置交通量上限收益共享机制（也称交通量上限），即当实际交通量高于约定交通量最大值时，社会资本方与政府部门共享这部分交通量带来的收益。在描述交通需求量的不确定性时，几何布朗运动方程和二叉树法是常用的方法。Brandao 和 Saraiva (2008)^[22]、Galera 和 Soliño (2010)^[23]认为交通需求的不确定性符合几何布朗运动的特征，用该方程构建了交通需求的表达式来评估最小交通量担保价值。Iyer 和 Sagheer (2011) 以交通量为标的物，

通过二叉树定价法评估了最小交通量担保的期权价值^[24]；吴贞瑶（2018）利用二叉树定价法和蒙特卡洛仿真分析了最小交通量担保、交通量上限和价格调整对项目投资价值的影响^[25]。秦敏（2018）利用 Black-Scholes 定价法、讨价还价博弈模型量化了高速公路 PPP 项目的最小交通量担保价值和项目投资价值^[26]。

（3）收益担保。

收益担保与收入担保类似，当项目收益低于预期时，政府补足差额部分。由于收益担保将项目的成本风险也纳入考虑中，保障了社会资本方收益的稳定。郭健（2013）^[27]和闵锐（2015）^[28]在交通需求不确定的情况下，通过实物期权构建政府收益担保模型，当社会资本方的收益低于收益下限时提供补偿，高于收益上限时上交超额收益，并以实际案例计算分析得到最小收益担保对项目价值的影响；王颖林（2015）利用讨价还价博弈模型，评估政府在 PPP 项目中提供最低收益担保的期权价值^[9]；Man 等（2016）分析了目前浮动投资回报率担保存在的问题，提出了一种嵌入激励行为的担保方法^[29]。

（4）特许期调整（弹性特许期）。

特许期调整是指政府根据项目的收益情况适当延长或缩短特许期，该方式能够一定程度上缓解外界因素变化所引起的项目收益变动^[30]。目前研究特许期调整的方法较多，如多目标规划法^[31]、博弈论^[32]、净现值法^[33]等。宋金波对特许期调整的研究较为深入和系统，首先利用蒙特卡洛仿真分析了污水处理 BOT 项目的污水处理量动态变化时，特许期的调整方法^[34]，然后将传统的 NPV 法和蒙特卡洛模拟相结合，分析了当交通量变化时通过特许期调节使项目收益达到预期水平的问题^[35]，随后采用经济学的供需原理建立了以交通量、价格为变量的供需方程，并综合考虑特许期调整的影响，建立了在交通需求变化的情况下，价格和特许期联动调整的方法^[36]。

（5）限制竞争。

限制竞争担保的作用主要在于担保因竞争而减少的交通需求风险。Wang 和 Ke（2008）^[37]，Yin（2011）^[38]明确了限制竞争担保的作用，但没有量化该类担保的价值；Liu 等（2014）以实物期权的方法，建立模型讨论了政府限制竞争担保对社会资本方和政府部门的影响，研究发现限制竞争对双方都有利^[39]。

(6) 直接补偿。

直接补偿 (Direct Cash Subsidy) 是指由于项目的财务不可行或市场需求下降等问题, 政府部门直接通过提供现金的方式补贴社会资本方。其研究核心是确定提供补偿金额的多少^[40]。起初, 直接补偿的研究主要针对财务评价不可行项目^[41, 42], 研究方法多为净现值法^[43~45]; 后来, 直接补偿也被用于分担交通需求下降风险、收益风险或建设运营风险等。如: 吴孝灵等 (2013)^[46]、吴汉美 (2016)^[47]考虑了项目建设和运营中可能存在的风险, 分析了使投资者收益和社会效益最大化的政府补偿机制; 高颖等 (2015) 分析了当交通需求量下降时, 社会资本方收益和消费者剩余达到帕累托最优的政府补偿策略^[48]; 吴孝灵等 (2016) 根据投资者不同的风险偏好, 通过博弈模型和情景建模来分析不同情况下政府的最优补偿策略^[49]。

(7) 价格补偿担保。

价格补偿担保是指当实际交通量低于约定值时, 社会资本方可提高通行费价格以增加项目收入, 或通过申请政府价格补偿的方法。刘婷 (2017) 对这种方式下的政府财政负担情况和项目债权融资能力进行了评估, 研究表明该方式能够改善项目的债权融资能力, 从而降低资金成本^[10]。但价格补偿担保在研究和实际应用中都较为罕见, 一是因为当实际交通量低于约定值时提高通行费价格并不一定能增加项目收入, 这主要受到该项目使用者的需求价格弹性影响; 二是若采取政府价格补偿的方法弥补交通量减少的损失, 其价格补偿数额难以界定。

2. 政府担保方式的比选研究

目前国内外针对交通需求风险的政府担保方式的价值评估研究成果较为丰富, 但这些研究的对象多为其中一种担保方式, 由于缺少对多种担保方式的优劣和适用性的比选研究, 在实际操作中难以抉择最合适的政府担保方式。为了解决政府担保方式的选择问题, Fische 和 Babbar (1996)^[50]、Irwin (2003)^[51]从担保方式的准确性、成本、融资能力的提高程度等方面说明了不同政府担保方式的优劣; Siemiatycki 和 Friedman (2012) 从财务影响、激励作用和政府控制力的角度定性分析了特许期调整、可用性付费和独立融资 3 种政府担保方式的影响^[52]。但这些研究只停留在定性分析层面, 无法量化比选结果。Wibowo (2004) 尝试通过或有债务分析, 量化最

小收入担保、债务担保、收费率担保、最小交通量担保对项目现金流的影响，为政府担保方式的比选研究提供了量化思路，但研究中忽略了交通量的不确定性^[53]。刘婷（2017）通过量化特许期调整、最低收入担保和可用性付费 3 种担保方式的影响，构建了考虑净现值和政府现金流两个指标的比选框架^[10]。

表 1-1 梳理比较了现有政府担保方式比选研究在考虑的指标、研究方法等方面的情况。

表 1-1 政府担保方式比选的现有研究

文献	针对的风险	比较的担保方式	考虑的指标	研究方法
Fishe 和 Babbar (1996)	收费公路项目中笼统的项目风险	延长特许期、汇率担保、补贴、最低收入担保等	政府的财政风险、融资能力的提高程度	定性研究
Irwin (2003)	基础设施建设项目中笼统的项目风险	未明确	准确性、透明度、成本	定性研究
Wibowo (2004)	基础设施建设项目中笼统的项目风险	债务担保、利率担保、收费率担保、收入担保等	财务影响	定量研究： 或有债务分析
Siemiatycki (2012)	城市快速交通项目中交通量风险	特许期调整、可用性付费和独立融资	财务影响、激励作用和政府控制力	定性研究
刘婷 (2017)	基础设施建设项目中的收入风险	可用性付费、价格补偿担保、弹性特许期	财务影响	定量研究： 参数估计

1.2.1.2 政府担保阈值的选取

政府担保不足可能无法吸引投资，而过度担保会使社会资本方获得过多收益，从而损害社会效益，因此，政府担保应设置在什么水平才能平衡交通需求风险在政府部门和社会资本方之间的分配成为近年来的讨论热点。

政府担保水平体现为政府担保的下限阈值和上限阈值的取值情况。下

下限值和上限值分别是最小交通量（收入）担保和交通量（收入）上限收益共享的触发条件。当交通量或收入低于政府担保的下限阈值时，政府补偿其差额部分；当交通量或收入高于政府担保的上限阈值时，社会资本方共享部分超额收益。通过调整优化政府担保的上下限阈值的取值，实现交通需求风险在政府部门和社会资本方之间的合理分配是该问题研究的宗旨。目前的研究考虑的主要变量是交通需求量，已有成果可归纳为以下几种状态：

1. 通过考虑社会资本方的利益或风险,提出了政府担保上下限阈值的选取方法

Vassallo 和 Soli ño (2006) 用实例研究的方法描述分析了智利实施最小收入担保的结果,认为政府担保的最低收入水平应确保覆盖项目运维成本,而政府担保的上限水平以期望收入为基准,通过最低担保水平的镜像得到^[54]; Kokkaew 和 Chiara (2013) 用多重最小二乘蒙特卡罗法调整了收入担保的上下限,验证了调整后的收入担保比传统方法更经济^[55]; Sun 和 Zhang (2014) 利用 NPV 法构建了政府担保下的项目的财务评估模型,政府担保水平的选取目标是让担保后的项目净现值趋近于期望净现值^[56]; 刘婷 (2017) 利用 NPV 法和蒙特卡洛仿真提出了政府收入担保上下限阈值的选取方法,担保的下限水平要保证项目收益能够覆盖项目运维成本和债务成本,上限水平应保证项目净现值均值大于 0^[57]。这 4 种方法能够求解决策出符合目标函数要求的政府担保上下限阈值,但他们只考虑了社会资本方的利益,忽视了政府部门,并没能实现项目风险的均衡分配。

2. 通过考虑政府部门和社会资本方的利益,讨论了政府担保阈值的选取问题

Shan 等 (2010) 提出一种管理运输项目收益风险的双限期权,并通过调整政府担保下限阈值的百分比来探讨担保水平对政府和社会资本方的影响^[58]; Buyukyoran 和 Gundes (2018) 综合考虑了政府部门和社会资本方的利益,认为政府部门的担保水平下限应保证项目净现值不小于 0,担保水平上限应保证政府支出不超财政预算,由此得到了政府担保上下限阈值的取值区间,但没有给出政府担保水平上下限的合理组合^[59]。他们的研究在考

考虑政府和社会资本方的利益的情况下，探讨了政府担保阈值的选取问题，为选取和优化政府担保阈值奠定了基础，但所提出的模型不能有效确定政府担保上下限阈值。

3. 通过考虑政府部门和社会资本方的利益或风险,提出了单一阈值(下限或上限)的选取方法

Carbonara 等 (2014)^[60]、Carbonara 和 Pellegrino (2018)^[61]在平衡社会资本方跟政府部门风险问题上做了进一步尝试,他们优化政府担保的下限阈值时考虑了社会资本方的期望最低投资回报,认为只有项目净现值不高于最低投资回报时,社会资本方才会选择投资,而政府部门的利益同样考虑支出不超过财政预算;靳璐璐 (2019)^[8]将消费者剩余作为项目超额收益分担指标,用 Black-Scholes 定价法分别构建了收益担保上限和下限阈值的决策模型。该研究只分别针对政府担保的上下限阈值进行建模,没有实现上下限阈值的同时调整优化。

表 1-2 从研究变量、考虑的利益相关方、是否考虑利益相关方风险承受能力,以及模型能够选取的阈值等 4 个方面,进一步整理了现有关于政府担保阈值选取研究的情况。

表 1-2 现有政府担保阈值研究情况

	变量		利益相关方		相关方	选取的阈值			
	交通量	建设成本	社会资本方	政府部门	风险承受能力	下限	上限	上下限联动	无确定阈值
Vassallo 和 Soli ño (2006)	✓		✓					✓	
Shan 等 (2010)	✓		✓	✓					✓
Kokkaew 和 Chiara (2013)	✓		✓					✓	
Sun 和 Zhang (2014)	✓		✓					✓	
Carbonara 等 (2014)	✓		✓	✓		✓			
刘婷 (2017)	✓	✓	✓					✓	
Buyukyoran 和 Gundes (2018)	✓		✓	✓					✓
Carbonara Pellegrino (2018)	✓		✓	✓		✓	✓		
靳璐璐 (2019)	✓		✓	✓		✓	✓		

1.2.2 针对利率风险的政府担保研究

交通类基础设施 PPP 项目的建设成本通常较高，因而债权融资成为这类项目的必要融资手段，而债权融资的成本受利率影响极大，利率的变动可能造成项目债务成本激增，项目收益降低甚至亏损，从而影响项目的正常推行^[62]。戴大双（2005）对 15 个国内外交通类基础设施 PPP 项目进行分析发现，利率风险的发生概率较高，达到 53.3%^[5]，为缓解该风险，政府曾为马来西亚高速公路项目提供了利率担保^[63]。李静华和李启明（2007）以北京地铁 4 号线为例，指出为降低利率风险对 PPP 项目的影 响，融资时可采用固定利率和浮动利率相结合的方式^[64]。唐聪（2019）认为利率受宏观政策因素影响较大，从而影响项目贷款融资成本，即项目利息的支出^[65]。

利率风险对 PPP 项目的融资成本、收益的影响较大的观点得到了较多研究者的认同和证实，但对缓解利率风险的方法及相关的政府担保研究还存在较大空白。Ho 和 Liu（2002）^[66]考虑到了 PPP 项目的债务融资问题，讨论了交通需求和建设成本的不确定性对项目债务成本的影响，但忽视了利率风险的影响。直到 2019 年，Pellegrino^[67]总结了政府收入担保的特点，设计了一个当利率高于期望利率时的政府利率担保方法，并评估了政府利率担保的价值。

1.2.3 针对通货膨胀风险的政府担保研究

Chan 等（2015）^[68]指出通货膨胀会增加劳动力和材料成本，从而导致项目的建设和运营成本增加。调查中，许多受访者表示通货膨胀对其项目收益造成了较大影响，因此他们通常采用上调价格的方式来缓解通货膨胀风险。1984 年英国电信发布了价格上限法来调价，以缓解通货膨胀带来的运营成本上升的状况，该方法的核心是调价幅度应为通货膨胀率与生产效率增长率的差额。唐聪（2019）^[65]认为即使考虑了生产效率，通货膨胀仍能导致成本增加，这是因为技术改进带来的成本节省是固定的，而随着时间的推移，成本支出是增加的。Ye 和 Tiong（2003）^[69, 70]沿用了价格上限法来分析存在通货膨胀时分别以销售价格、投资回报率为基础的调价方法所面临的风险和收益情况。何涛（2011）^[32]和孟惊雷（2019）^[71]研究了通货膨胀下调价频率对政府部门和社会资本方双方的影响，研究中将允许价

格上调看作是政府部门分担通货膨胀风险的手段。Cheng 和 Tiong (2005)^[62]提出了一个 Tariff-at-Risk 的方法, 计算得到了通货膨胀下的最小可行收费率。此外, 通货膨胀对政府补偿金额的影响也得到了一定程度的关注。如: Liou 等 (2012)^[43]通过回归分析的方法, 计算了通货膨胀率在 0.2% ~ 8% 波动时对政府补贴财务不可行项目的影响; Wibowo 等 (2012)^[72]从理论上分析了通货膨胀下由于外部因素变化导致调价延迟对项目补偿金的影响。

通货膨胀风险的不确定性较强, 政府部门和社会资本方任何一方单独承担该风险的压力较大, 通常被认为需要双方共同承担^[73]。但调价的方式仅仅是将通货膨胀风险部分或全部转移给使用者, 而非政府部门, 因而 Mirzadeh 和 Birgisson (2015)^[74]认为政府部门可以通过补偿成本的方式来降低社会资本方承担的通货膨胀风险而非调价, 因为通货膨胀最直接的影响就是项目成本的增加。该方法下, 风险完全由政府部门和社会资本方承担, 与调价相比, 政府需要大量财政支出去补偿成本的增加。蔡晓琰和周国光 (2017)^[75]提出了在调价基础上的收益调节方法, 当调价幅度低于通货膨胀率时, 政府部门给予补偿; 反之, 与社会资本方分享超额收益。该研究构想为通货膨胀风险的分担开辟了新思路, 将政府部门纳入了风险分担行列, 但考虑因素较为单一, 忽略了调价引起的交通量变化以及调价周期的问题。胡云鹏 (2019)^[76]从满意度均衡的角度出发, 通过仿真的方法模拟了通货膨胀风险对政府部门、社会资本方的影响, 认为可以通过调价和增加政府补偿的方式来均衡利益相关方的满意度, 但并未给出具体的操作方法。

针对 PPP 项目通货膨胀风险的现有研究如表 1-3 所示。

表 1-3 针对 PPP 项目通货膨胀风险的现有研究

	利益相关方 (视角)			研究内容		
	政府 部门	社会 资本	使用者	通胀的 影响	缓解通胀的 调价方法	通胀下的 担保方法
Ye 和 Tiong (2003)		√			√	
Cheng 和 Tiong (2005)		√			√	
何涛 (2012)		√			√	

续表

	利益相关方（视角）			研究内容		
	政府 部门	社会 资本	使用者	通胀的 影响	缓解通胀的 调价方法	通胀下的 担保方法
孟惊雷（2018）		√			√	
戴大双（2004）		√		√（定性）		
Chan 等（2015）		√		√（定性）		
Mirzadeh 和 Birgisson（2015）	√	√				√
蔡晓琰和周国光 （2017）	√	√				√
胡云鹏（2019）	√	√				√（定性）

1.2.4 研究现状评述

由于风险的不确定性，政府部门往往采用政府担保的形式，在风险发生时予以支持。近年来，研究者在 PPP 项目的政府担保研究上已经有所推进和突破，但在高速公路 PPP 项目的交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险的政府担保研究上仍存在一些不足。

（1）现有针对交通需求风险的政府担保研究的不足主要表现为：① 交通需求风险是高速公路 PPP 项目中的主要风险，对项目影响极大，但目前尚未有定量研究来比选那些能缓解交通需求风险的政府担保方式的优劣及适用性，且现有的比选模型多聚焦于量化担保方式所产生的财务影响，忽略了其缓解风险的效率，容易造成决策的片面性；② 在担保阈值选取的研究上，现有方法还未能实现在考虑政府和社会资本方利益及其风险承受能力的前提下，联动决策担保方式的上下限阈值。上下限阈值的选取反映了交通需求风险在政府部门和社会资本方之间的分担程度，若不充分考虑双方的利益和风险承受能力将有失风险分担的公平性和合理性。

（2）利率风险下的政府担保研究较为欠缺，研究成果较为薄弱，主要表现在 3 个方面：① 在研究视角上，现有研究大多只考虑了社会资本方和政府部门的利益，而忽视了同样受该风险影响的贷款方的利益，从而造成

了研究的局限性；②在研究方法和内容上，现有研究多为定性分析，且对利率造成的影响及应对方法考虑不充分，只考虑了利率过高时的应对方法，而忽略了利率过低的情况；③在利率的研究设定上，市场利率受所处经济发展阶段和国家宏观经济政策的影响，处于变化之中，在不同阶段具有不同的增减趋势和波动性，现有的政府担保研究多将利率视为一个固定值，或增长率为0的变量，不符合利率的实际变化规律。

(3) PPP项目通货膨胀风险的现有研究主要有通货膨胀的影响、缓解通货膨胀的调价方法以及通货膨胀下的担保方式3类，通货膨胀风险影响的研究多为定性分析，无法量化通货膨胀造成的影响；调价和政府担保是缓解通货膨胀风险的主要方法，前者将风险转移给了道路使用者，后者则转移给了政府部门。由于这些方法在研究中均未将道路使用者的利益纳入考虑范围，通货膨胀风险的分担存在片面性。

1.3 研究范围、研究方法与研究内容

1.3.1 研究范围

政府担保是指政府承诺在需要社会资本方和政府部门共同承担的风险发生时，或项目财务评价不可行时给予相应的补助，以分担该风险对项目造成的影响，确保项目的合理收益和顺利运营。由于PPP项目的风险众多，若对其一一进行研究则过于宽泛，且研究的针对性和深度欠佳。根据政府担保的定义，本书将研究的侧重点设定为交通需求风险、利率风险、通货膨胀风险以及财务评价不可行项目的政府担保问题。选取这3种风险作为分析要点的原因详见第2章，将分别从理论、政策和实践的角度阐明这3种风险是需要政府部门和社会资本方共同承担的（即属于政府担保的范围），且在高速公路PPP项目中发生概率较大，对项目影响较大，而目前政府的相关操作规范不完善，亟须对相关政府担保问题进行研究。而对这3种风险进行分担的前提是项目的财务评价是可行的，对于财务评价不可行的项目应先对其进行财务担保补贴，在保证项目财务评价可行的基础上，再对交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险进行担保。

利率风险和通货膨胀风险在PPP项目上的影响和相应的政府担保研究

尚处于起步阶段，关于这些风险怎么影响 PPP 项目，影响程度如何，政府应如何提供担保等问题还有待研究和讨论。因此，为了便于分析各风险所造成的影响及其合理的担保方式，本书采用了控制变量法：假设各风险之间是相互独立的，不存在关联性，即只研究单一风险发生的情况，不考虑多风险耦合带来的影响。

1.3.2 研究方法

1. 实物期权理论

实物期权是将金融领域的期权定价方法运用到实物资产上的一种方法，由于项目决策中的传统方法无法估计项目管理柔性和未来决策的价值，而实物期权恰能弥补这些缺陷，所以在项目决策领域得到推广和应用。实物期权的定价模型有多种，如 B-S 模型、二叉树定价模型、三叉树定价模型等。本书主要采用的是二叉树定价模型的原理和风险中性定价相结合，通过改进的二叉树网络和倒金字塔网络评估政府担保的期权价值。政府担保是非金融资产，其期权折现率难以确定，因此采用风险中性定价以排除因折现率估计不准而造成的价值偏差。

2. 蒙特卡洛仿真

蒙特卡洛仿真是一种随机抽样、统计试验的方法，其应用贯穿于第 4 ~ 7 章。例如，用二叉树及其延伸的二项式倒金字塔构建变量变化的框架，并用蒙特卡洛仿真法模拟变量的随机变化路径，从而得到变量的概率分布情况，以此来描述变量的不确定性，并在此基础上评估项目价值和政府担保的价值。

3. 文献分析法

文献分析法是研究中常用的定性分析的方法之一。本书采用文献分析法识别了高速公路 PPP 项目中的风险因素，并对其进行风险分配，发现交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险的发生概率高，且需要政府和社会资本方共同承担，而现有政府担保研究成果在这 3 个风险的研究上存在不足，为本书研究这 3 种风险所对应的政府担保提供了理论基础。

4. 讨价还价博弈

政府部门和社会资本方是高速公路 PPP 项目中交通需求风险的主要承担方，在实际操作中，双方在风险分担比例上通常会进行磋商讨论。对不完全信息条件下的讨价还价博弈，能够最大限度地模拟现实情况下的双方谈判过程，以完成风险承担比例的合理分配。

5. 多目标决策

高速公路 PPP 项目的相关利益者众多，在研究利率风险和通货膨胀风险的政府担保方法时，需要兼顾政府部门、社会资本方、贷款方以及道路使用者的利益。这些利益相关者的目标是不同的，且存在相互冲突的问题，因此采用多目标决策方法，能在多个相互矛盾的目标下选出优选方案，实现项目风险的均衡分担。

6. 实证研究方法

高速公路 PPP 项目的政府担保涉及风险对项目的影响、政府担保方法的期权价值评估、担保阈值的选取等内容。这些内容的建模分析均属于抽象的理论研究，在理论研究的基础上，通过实例分析验证模型的可行性和有效性是十分必要的。

1.3.3 研究内容

高速公路 PPP 项目因其使用者付费途径清晰，运营效果较好而得到极大的使用和推广，既缓解了政府财政压力，又提高了项目运营效率。但由于高速公路项目的投资金额较大，投资回收期较长，投资风险较高，合理分配和分摊项目风险是项目成功的关键。本书结合现有研究存在的不足和实践中存在的问题，对交通需求风险、利率风险、通货膨胀风险 3 个需要政府和社会资本方共同承担的风险，以及财务评价不可行项目展开研究。其研究内容主要分为以下 9 个章节：

第 1 章绪论。首先点明了本书的研究背景和意义，随后在国内外研究现状中，结合现有研究成果，分析了目前在交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险下政府担保研究存在的不足；阐明了本书的研究范围和方法，并根据研究对象和内容，制定了研究的技术路线。

第 2 章高速公路 PPP 模式的理论与实践。分别从 PPP 项目的风险识别与分配理论、PPP 项目的相关政策和高速公路 PPP 项目的运营实践 3 个角度，说明本书选取交通需求风险、利率风险和通货膨胀风险作为政府担保研究的侧重点的必要性，并阐述了实物期权理论在解决这些问题上的适用性。

第 3 章交通需求风险下政府担保方式的评估与比选。交通需求风险是高速公路项目的主要风险，且需要政府部门和社会资本方共同分担。本章对能缓解交通需求风险的 5 种政府担保方式进行了比较分析，将改进的二叉树定价法与蒙特卡洛相结合，评估了这些担保方式的价值和特征，提出了考虑担保方式所产生的财务情况和缓解风险效率的比选框架，总结了它们的优劣和适用范围。

第 4 章最小交通量担保与交通量上限的阈值决策研究。政府担保阈值设置的高低决定了政府的担保水平，即分担风险的程度。在第 3 章研究的基础上，把交通需求量和建设成本作为模型变量，通过考虑社会资本方的破产风险和政府部门的财政超支风险及其风险承受能力，利用二项式倒金字塔模型和蒙特卡洛仿真，构建了最小交通量担保和交通量上限的阈值优化决策模型，以使风险能够被政府部门和社会资本方合理均衡分担。

第 5 章利率风险下高速公路 PPP 项目的利率担保方法。通过分析利率风险对债务成本和项目收益的影响，提出了缓解利率风险的政府担保方式和担保价值的评估模型。为了利率风险能够在利益相关方之间合理分配，提出了考虑社会资本方、政府部门、贷款方利益的期望利率（利率担保阈值）的选取模型。

第 6 章通货膨胀风险下高速公路 PPP 项目的收入调节。本章论证了与无通货膨胀情况相比，通货膨胀对交通需求量、运营成本、项目收益以及项目净现值的影响，并根据分析得出的利用调价对冲通货膨胀风险所存在的不足，提出了政府分担通货膨胀风险的方法——收入调节法，并通过考虑社会资本方、政府部门和道路使用者三方利益，构建了 VaR-TOPSIS 模型，用于联动调整决策调价幅度与收入调节分担比例，实现通货膨胀风险的均衡分担。

第 7 章财务评价不可行项目的政府担保。在项目社会经济效益的基础上，提出了社会资本方和政府部门的投资基准条件，通过区分确定性和不确定性参数，构建了资金补偿数量的蒙特卡洛仿真模型；并以一个财

务评价不可行的高速公路算例为例，分析得到了该项目的最优补偿数量和不确定性参数对社会资本方、政府部门双方净现值的影响程度。

第8章结论。总结了研究结论与创新点，并提出了研究展望。

本书结构如图1-1所示。

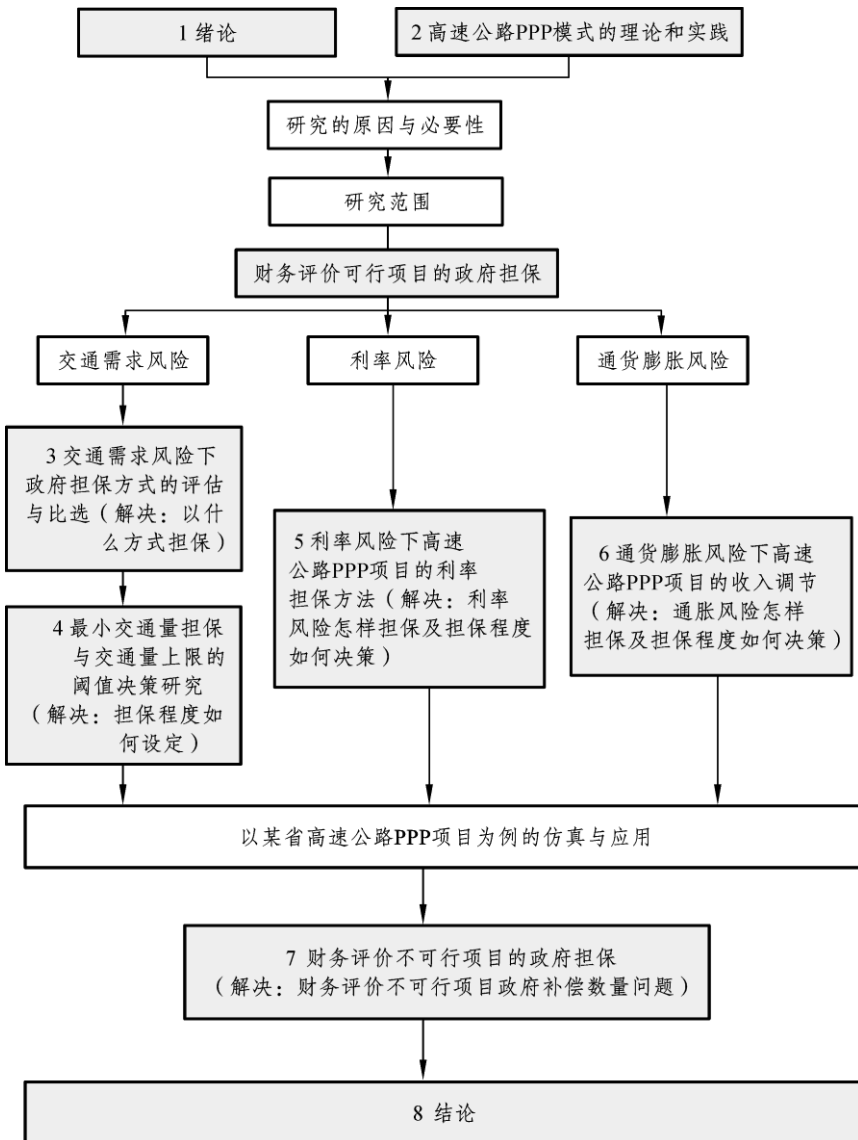


图 1-1 本书结构

1.4 技术路线

根据现有研究的不足, 结合实际存在的问题, 得出本书的技术路线(见图 1-2)。

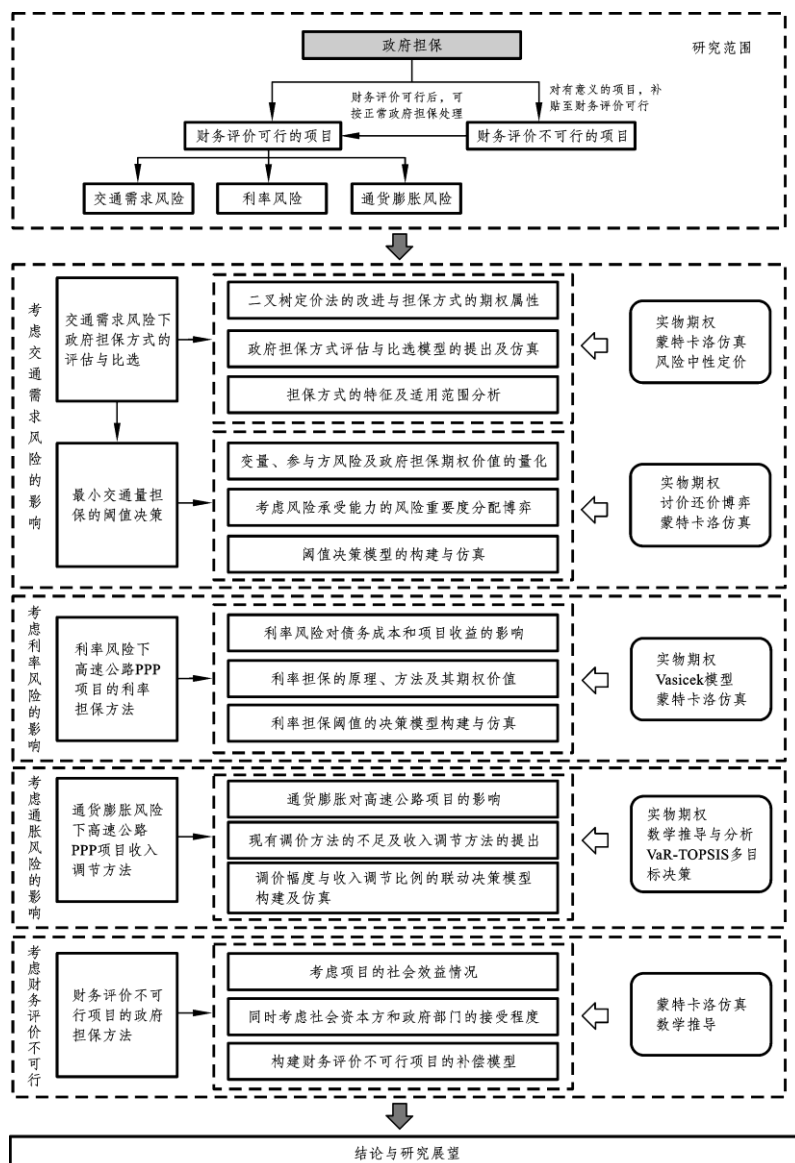


图 1-2 技术路线

