
分类号: (F820; X322)

单位代码: 10363

密 级: 公开

学 号: 2211010109

题 目 基于 ESG 和 Knight 不确定性的最优动态
契约设计

英文并列

题 目 Optimal Dynamic Contract Design Based on
ESG and Knightian Uncertainty

学生姓名: 徐 玥

指导教师: 费为银 教授

专 业: 金 融

研究方向: 绿色金融

论文答辩日期: 2024 年 5 月 29 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

学位论文作者签名：

徐珂

日期：2024年5月29日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名

徐训

指导教师签名：



日期：2024 年 5 月 29 日

日期：2024 年 5 月 29 日

基于 ESG 和 Knight 不确定性的最优动态契约设计

摘 要

在双碳目标的背景下，ESG 投资理念受到广泛关注，它代表一种新发展理念，倡导企业在经营发展战略中要更加注重环境、社会责任和公司治理。ESG 理念与现阶段中国绿色和可持续发展理念高度契合，为经济社会转型发展、实现国家“碳达峰、碳中和”的双碳战略目标，提供了新的方法和依据，是实现经济高质量发展的有效工具。这种深入人心的理念也不可避免会影响最优委托代理契约。同时，考虑到现实世界的复杂性，人的行为还受到投资者情绪的波动和信息获取的不完全性的影响，缔约双方在相互作用时，所处环境的信息并不精确。基于此，本文构建了基于 ESG 和 Knight 不确定性的具有模糊厌恶的连续时间委托代理模型，力求解决现实生活中普遍存在的信息不对称问题，对研究双碳背景下的委托代理问题的研究具有重要的现实意义。我们重点分析企业 ESG 评级对最优委托代理契约的影响。

首先，假设委托人和代理人都是风险中性，委托人具有模糊厌恶，构建包含 ESG 评级 Knight 不确定的企业产出过程。其次，构建代理人的延续价值和委托人的期望收益的动态方程。接着，在满足激励相容的条件下，以代理人延续价值为状态变量，利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后通过数值模拟设置不同的 ESG 评级水平，分析企业 ESG 评级 Knight 不确定程度对最优契约的影响。我们的研究表明：在考虑企业 ESG 评级的最优委托代理契约中，ESG 评级 Knight 不确定性会对我们委托代理的最优模型产生不可忽视的影响。随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的增加，企业更倾向于绿色发展，代理人的努力成本会增加，企业代理成本也随之增加，委托人的最大预期收益不断下降。同时由于委托人是模糊厌恶的，他会在 ESG 评级 Knight 不确定程度增加的过程中，逐渐失去耐心，选择缩短代理人的试用期，此时，代理人因可以尽快进入到过度补偿区域，会选择企业朝着更绿色的方向发展。

然后，我们在已有模型的基础上，研究企业产出过程 Knight 具有不确定性

的委托代理模型。随着气候变暖,环境逐渐恶化,自然灾害频发,与环境相关的问题受到了广泛关注。企业开始意识到进行 ESG 绿色技术投资是可持续发展的关键,将投资视角转向 ESG 绿色技术投资。但是这种 ESG 绿色技术投资一般具有长期性的特征,通常需要委托人和代理人之间建立长期的合作关系,这也就不可避免会影响到最优委托代理契约。研究发现,ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度的降低可以降低风险、增加市场机会、提高市场认可度,从而帮助委托人实现期望的利润增加。而且投资绿色技术还可以提升企业的社会声誉,并满足投资者和利益相关者对可持续性发展的期望,从长远来看,有助于实现企业的可持续增长目标。同时,ESG 绿色技术投资还可以通过提高市场地位和带来经济回报等途径来增大代理人收益。

最后,我们将 ESG 评级具有 Knight 不确定的最优动态契约进行扩展。由于不同评级机构的评级标准不一致,会导致 ESG 评级具有不确定性。ESG 评级的 Knight 不确定性也会给最优委托代理契约的订立带来了挑战,使得代理人无法准确评估代理人的努力成本,从而可能导致错误指定的契约,进而影响契约的有效性和效率。最终发现 ESG 评级 Knight 不确定性会使得代理人低资历的代理人具有底部偷懒行为,而高资历的代理人将会具有较低的努力动机。并提出相关政策建议:(1)建立绩效考核机制:为了避免低资历代理人的底部偷懒行为,企业可以通过建立绩效考核机制,可以激励代理人更加努力地工作,同时从整体上监督他们的工作表现。这会让减少低资历代理人的偷懒行为。(2)提供培训和支持:对于资历浅的代理人,过度激励效果差是因为低资历的代理人被解雇的概率高,因此,企业可以提供必要的培训和支持,以帮助低资历的代理人尽快提高自己的延续价值,成为中等资历代理人,而绩效薪酬敏感度的设计方案对于中等资历代理人的效果较好,从而减少低资历代理人的偷懒行为。(3)个性化的激励方式:从 HJB 方程看出过度激励对于中等资历的代理人的效果最好,低资历的代理人会偷懒,高资历的代理人将会具有较低的努力动机。

关键词: ESG 评级; ESG 绿色技术投资; 错误指定契约; 委托代理模型; 模糊性; 动态规划原理; Girsanov 定理

OPTIMAL DYNAMIC CONTRACT DESIGN BASED ON ESG AND KNIGHTIAN UNCERTAINTY

ABSTRACT

In the context of the dual carbon objective, the ESG investment concept has received widespread attention and will inevitably affect the optimal principal-agent contract. Meanwhile, considering the complexity of the real world, human behavior is also affected by the fluctuation of investor's emotion and the incompleteness of information acquisition, and the contracting parties interact with each other with imprecise information about the environment they are in. Based on this, we constructs a continuous-time principal-agent model with ambiguity-aversion based on ESG and Knightian uncertainty, which seeks to solve the information imprecision problem prevalent in real life, and is of great practical significance to the study of principal-agent problems in the context of dual-carbon. We focus on analyzing the impact of corporate ESG ratings on the optimal principal-agent contract. Firstly, assuming that both the ambiguity averse principal and the agent are risk neutral, the firm output process with Knightian uncertainty ESG ratings is constructed. Secondly, dynamic equations for the continuation value of the agent and the expected return of the principal are modeled. Then, under the condition of incentive compatibility, the HJB equation that satisfies the principal's expected return maximization is derived using the dynamic programming principle with the agent's continuation value as the state variable. Finally, different levels of ESG ratings are set up through numerical simulations to analyse the impact of different degrees of greenness of the firm on the optimal contract. The study shows that in the optimal principal-agent contract considering the ESG rating of the firm, the Knightian uncertainty of the ESG rating has a significant impact on the optimal contract of our principal-agent. As ESG rating Knightian uncertainty increases, firms tend to move towards greener production and

operations, which inevitably comes at the expense of profits, and agents need to put in extra effort for the green development of the firm, i.e. the agent's effort cost will increase, and the firm's agency cost will also increase, and the principal's maximum expected return keeps decreasing. At the same time, as the principal is ambiguity averse, he will gradually lose patience in the process of increasing uncertainty in ESG ratings and choose to shorten the agent's trial period, and the agent will choose the enterprise to develop in a greener direction as she can enter the overcompensation zone as soon as possible.

Then, we study the principal-agent model of the firm's output process with Knightian uncertainty on the basis of existing models. With the warming of the climate, the environment gradually deteriorates, natural disasters occur frequently, and environment-related issues have received widespread attention. Enterprises have begun to realize that making ESG green technology investment is the key to sustainable development, and turn their investment perspective to ESG green technology investment. However, this kind of ESG green technology investment is generally characterized by a long-term nature, which usually requires the establishment of a long-term cooperative relationship between the principal and the agent, which will inevitably affect the optimal principal-agent contract. It is found that the reduction in the degree of Knightian uncertainty of ESG green technology investment can reduce risk, increase market opportunities, and improve market recognition, thus helping the principal to realize the desired increase in profit. Moreover, investing in green technology can also enhance the social reputation of the enterprise and meet the expectations of investors and stakeholders for sustainable development, which in the long run helps to realize the sustainable growth objectives of the enterprise. At the same time, ESG green technology investments can also increase agent returns by, for example, improving market position and generating economic returns.

Again, we extend the optimal dynamic contract with Knightian uncertainty for ESG ratings. The inconsistency of the rating criteria of different rating agencies can lead to the uncertainty of ESG ratings. The Knightian uncertainty of ESG ratings can

also pose a challenge to the formation of optimal principal-agent contracts, making it impossible for agents to accurately assess the cost of the agent's efforts, which may lead to misspecified contracts, and consequently, affecting the effectiveness and efficiency of the contracts. Ultimately, it is found that ESG rating Knightian uncertainty can make agents with low seniority have bottom loafing behavior, while agents with high seniority will have lower effort motivation.

Finally, we summarize and outlook the full paper and suggest shortcomings as well as possible subsequent research.

Xu Yue (Applied Finance)

Supervised by Fei Weiyin

KEY WORDS: ESG rating; ESG green technology investments; Misspecified contracts; Principal-agent model; Ambiguity; Dynamic programming principle ; Girsanov's theorem

目录

摘 要	I
ABSTRACT	III
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与研究意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 ESG 评级不确定下委托代理契约的相关研究	2
1.2.2 ESG 绿色技术投资不确定下委托代理契约的相关研究	5
1.2.3 错误指定契约下委托代理契约的相关研究	8
1.3 研究方法与创新点	10
1.4 主要研究内容与论文结构	11
第 2 章 ESG 评级具有 Knight 不确定的最优动态契约	13
2.1 基本模型	13
2.1.1 产出动力学	13
2.1.2 测度变换	14
2.1.3 代理人问题	16
2.2 最优契约	16
2.2.1 代理人延续价值的演变	16
2.2.2 ESG 具有评级 Knight 不确定性下的最优动态契约	19
2.3 数值模拟及经济学解释	23
2.3.1 委托人期望收益和代理人延续价值的关系	24
2.4 本章小结	26
第 3 章 ESG 绿色技术投资具有 Knight 不确定的最优动态契约	28
3.1 基本模型	28
3.1.1 产出动力学	28
3.1.2 测度变换	29
3.1.3 代理人问题	30
3.2 最优契约	31
3.2.1 代理人延续价值的演变	31
3.2.2 ESG 绿色技术投资收益具有 Knight 不确定性下的最优契约	33
3.3 数值模拟	36
3.3.1 委托人期望收益和代理人延续价值的关系	36
3.4 本章小结	38
第 4 章 ESG 评级具有 Knight 不确定的错误指定契约	40
4.1 错误指定契约下代理人的延续价值	41
4.2 ESG 具有评级 Knight 不确定性下的错误指定契约	42
4.3 ESG 具有评级 Knight 不确定性下错误指定契约的特征	44
4.4 本章小结	46
第 5 章 总结与展望	48
参考文献	51

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与研究意义

经济社会的高质量发展已成为当今时代发展的主题。我国 2020 年在联合国大会上明确提出二氧化碳排放力争在 2030 年前达到峰值,努力争取在 2060 年前实现碳中和。在 2021 年全国两会上,“碳达峰”“碳中和”被首次写入政府工作报告。并且,习近平总书记在主持召开中央财经委员会第九次会议时再次强调,要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局,拿出抓铁有痕的劲头,如期实现目标^[1]。在此双碳目标的背景下,ESG (Environment, Social and Governance)投资理念受到广泛关注。ESG 是环境(environmental)、社会(social)和公司治理(governance)的英文缩写,代表一种新发展理念,倡导企业在经营发展战略中要更加注重环境、社会责任和公司治理^[2]。ESG 理念与现阶段中国绿色和可持续发展理念高度契合,为经济社会转型发展、实现国家“碳达峰、碳中和”的双碳战略目标,提供了新的方法和依据,是实现经济高质量发展的有效工具^[3]。推进企业 ESG 发展对于贯彻我国“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念、构建我国经济“双循环”的新发展格局和实现“双碳”目标的国家战略具有重要意义^[4]。

根据中国责任论坛发表的《中国责任投资年度报告 2021》,我国可统计泛 ESG 公募证券基金规模 5,492.42 亿,ESG 股权基金规模约为 2000 亿元人民币。ESG 投资对资本市场有着重要影响^[5],因此,理解可持续投资对分析企业行为和订立委托代理契约是十分重要的。在国家政策要求和投资者具有 ESG 投资偏好的背景下,一些高碳企业势必需要进行一系列减排措施,那这些碳减排的举措会对企业带来什么变化,会对信息不对称下高碳企业的委托代理契约带来怎样的影响?这是本文需要探讨的问题。

2016 年的诺贝尔经济学奖颁发给了对于契约理论及其实际应用进行了广泛探索和深入研究的哈佛大学的 Oliver Hart 和麻省理工学院的 Bengt Holmstrom^[6]。他们对于不完全契约理论和委托代理契约中激励相容机制的研究成果对现实生活的契约设计具有重要意义。在现实生活中,由于委托人和代理人之间存在信息

不对称问题，公司需要协调管理者（代理人）和股东（委托人）的利益。但公司经营的环境很容易改变，竞争者的进入、新技术的产生或客户需求的变化等事件通常是无法预测的，这使契约提供激励的能力在未来难以预测。如果激励不足，会导致管理者努力程度不足，进而严重影响产量，不利于企业的经营和发展。

考虑到现实世界的复杂性，人的行为还受到投资者情绪的波动和信息获取的不完全性的影响，缔约双方在相互作用时，所处环境的信息并不精确，委托人和代理人的大部分决策都是信息不充分的条件下做出的^[7]。因此，设计出一个动态契约模型，在信息不对成的情况下，使得代理人和委托人可以在委托人价值最大化的基础上达到激励相容，又因 ESG 评级机构之间存在明显分歧导致 ESG 评级具有不确定性，故在委托代理契约的基础上，考虑 ESG 评级的不确定性对公司契约设计的影响。本文既考虑了双碳背景的宏观环境，又设计出基于 ESG 和 Knight 不确定性的企业最优动态契约，力求解决现实生活中普遍存在的信息不对成问题，这对研究双碳背景下的委托代理问题的研究具有重要的现实意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 ESG 评级不确定下委托代理契约的相关研究

现有关于 ESG 研究多数集中于 ESG 投资方面，从投资者投资标的选择方面探究 ESG 对于企业的影响。Pástor 等^[8]建立了考虑环境、社会和治理(ESG)标准的投资模型，他们发现在均衡状态下，绿色资产的预期收益较低，这是因为投资者喜欢持有它们，而且绿色资产可以对冲气候风险。他们采用 ESG 因子反映客户及投资者对绿色产品喜好变化，发现当 ESG 因子受到正面冲击时，绿色资产的表现会更好。他们的研究成果证明了投资者对于 ESG 投资标的的偏好且这种投资方式会对社会产生积极效用。Eliwa 等^[9]研究区分了 ESG 绩效和 ESG 披露，发现 ESG 绩效较强的企业债务成本较低，ESG 披露越多的企业债务成本也较低。这表明市场开始重视 ESG 的信息披露。Avramov 等^[10]从评级角度研究企业 ESG 评级的不确定性对资产定价和投资组合影响。他认为在均衡状态下，市场溢价增加，股票的需求下降，并表明 ESG 的不确定性会影响风险收益之间的权衡和经济福利。

而契约理论重点关注的是现实生活中委托人和代理人之间存在的信息不对

称问题^[7]，公司需要协调管理者（代理人）和股东（委托人）之间的利益。但公司经营的环境很容易改变，竞争者的进入、新技术的产生或客户需求的变化等事件通常无法预测，这使得契约提供激励的能力在未来也难以预测。如果提供激励不足，就会导致管理者努力不足，进而严重影响公司产量，不利于公司的经营和发展。随着学者们开始将契约理论应用于实际市场运作中，他们也愈发重视现实生活中实际存在的不确定性的问题。在描述委托人与代理人之间关系时，努力成本或生产率，要么是不变的（Spear and Srivastava^[11]、Holmström and Milgrom^[12]和 Sannikov^[13]），要么委托人知道他们的客观概率分布（Marinovic and Varas^[14]）。但考虑到现实世界的复杂性，人的行为会受到投资者情绪的波动和信息获取不完全性的影响，委托人和代理人的大部分决策都是信息不充分的条件下做出的。这种现实生活中经常面临的不确定性可以分为概率不确定和 Knight 不确定。概率不确定是指不确定的随机变量其概率分布是明确的，而 Knight 不确定指的是不确定的随机变量其概率分布是未知的（参见 Knight^[15]）。Chen 和 Epstein^[16]建立了模糊厌恶下多先验效用的连续时间跨期模型，且在将其应用到具有代表性的代理资产市场时，提出了对超额收益进行限制，反映并解释了风险溢价和模糊溢价。Epstein 和 Ji^[17]等建立了模糊波动率连续时间框架下的效用模型，关注模糊性对模型的影响。

迄今为止，也有很多学者研究了 Knight 不确定下的经济金融问题。Fei^[18]刻画了 Knight 不确定和非适应预期下投资者的最优消费与投资决策。Fei^[19]利用 α -最大最小期望效用(α -MEU)模型研究了 Knight 不确定性下的最优投资组合问题。费晨^[20]研究一个具有波动模糊性的最优消费和投资组合决策，证明了两基金分离定理。孙多好等^[21]建立平台生产力动力学模型，探讨 Knight 不确定对平台最优投资、平台的特许经营价值、平台生产力的边际价值的影响。张顺明和孙玉哲^[22]采用最大最小期望效用模型(MEU)进行决策，发现暧昧环境增加了风险资产价格和流动性关系的复杂性且会降低参与者的福利。在委托代理问题上，Di Tillio 等^[23]证明了在向模糊性厌恶的购买者出售物品时，卖方可以通过模糊机制来增加他的利润，即卖方可以通过隐瞒一些信息而获益。这说明在存在不确定性时，委托代理双方会产生利益冲突。不过 Dicks 和 Fulghieri^[23]认为，虽然不确定性会产生委托代理问题，加剧道德风险，但是可以通过设计对冲不确定性的激励契约，

减少不确定性,降低激励条款的成本,促进代理人努力。他们研究表明可以通过建立使委托代理双方达到激励相容状态的契约来解决代理问题。Sun 和 Tian^[25]建立了风险中性的委托人和代理人在连续时间内具有激励约束的随机最优控制模型。Sannikov^[13]研究了连续时间框架下的委托代理问题。Dumav^[26]则是将 Sannikov^[10]中的连续时间契约模型与 Chen 和 Epstein^[16]中的连续时间模糊决策模型使用连续时间框架联系起来,研究了具有模糊信息连续时间条件下的最优长期契约问题。Wang 等^[27]设计了 Knight 不确定下的委托代理最优契约,研究 Knight 不确定对于委托人最大利润和代理人消费水平的影响。Sung^[28]研究了均值-波动率联合模糊不确定性下的委托代理最优契约设计。凌爱凡等^[29]证明了当委托人对代理人披露的信息存在极大的不信任时,最优决策要求委托人提前终止契约。

为了使契约理论能更好的解决实际问题,国内外学者还对动态契约理论进行了大量研究。Wang^[30]研究了包含非自愿裁员和自愿退休的劳动力市场均衡模型。Demarzo 等^[31]研究了综合动态投资理论和动态最优激励契约的分析可处理模型,内化融资约束,认为投资随风险增加而减少,且与过去的利润、过去的投资和管理层薪酬呈正相关。Demarzo 和 Sannikov^[32]推导了连续时间委托代理环境下的最优动态契约,提出以较高利率信贷借款时,公司可能会持有补偿性现金余额,且会解决债务和股权之间经常会产生的资产替代和战略违约问题。Cvitanic 等^[33]提出可以用动态规划的方法解决连续时间中的委托代理问题。Part 和 Jovanovic^[34]解决了代理人素质的不确定性和代理人隐藏行为的长期契约问题,提出代理人素质随着时间的推移而显现出来,通过短期合同来提供激励变得更加困难。Spear 和 Wang^[35]探讨了在动态契约中,考虑外部劳动力市场经济环境的激励问题,论述了管理者的两种退休方式,一是代理人在糟糕的产出表现后被委托人解雇,一是代理人在良好的表现后,因自身价值变得太昂贵而使委托人无法再提供激励,只能选择退休。Fong 和 Li^[36]研究了一个有限责任关系契约模型,通过要求代理人每一时期的报酬不低于外生给定的工资下限来建模有限责任约束,刻画了博弈的完美公共均衡收益集的特征,并推导出最优关系契约的性质。Szydlowski 和 Yoon^[37]研究了存在模糊厌恶时,动态最优契约的设计问题。Gabaix 和 Landier^[38]讨论了 CEO 拥有较高薪酬的原因。

因此,企业经常面临 ESG 评级的 Knight 不确定性,由于企业的 ESG 得分高

低反映代理人努力产生成本的高低，从而会引起代理人付出成本的 Knight 不确定性，于是我们的委托代理契约问题就需要考虑 ESG 评级 Knight 不确定性对最优契约设计的影响。

1.2.2 ESG 绿色技术投资不确定下委托代理契约的相关研究

另一方面，我们也注意到，在最近几年，随着气候变暖，环境逐渐恶化，自然灾害频发，与环境相关的问题受到了广泛的关注。2022 年 12 月 10 日，美国农业部（USDA）公布了 2022 年 12 月的全球农作物供需报告。报告显示，受阿根廷干旱天气影响，全球小麦供应缺口扩大；潮湿天气和俄乌冲突扰动了全球玉米供应；大米国际库存持续减少，价格周期上行。气候灾害冲击了全球农业发展。近年来受气候变化的影响，海平面上升，气候变化严重威胁岛国（如斐济）生存。随着气候变化变得越来越明显，这可能会造成潜在的经济后果以及许多巨大影响。

环境治理问题刻不容缓。《巴黎协定》提出了将全球平均气温上升幅度控制在比工业化前水平高出 2 摄氏度以下的目标，并努力将升温幅度限制在 1.5 摄氏度以内。该协定将公平原则与消除贫困和可持续发展的更广泛目标联系起来，承认有效应对气候变化需要全球集体努力^[39]。

在我国，曾经政府主要关心的是经济增长。经过改革开放四十余年的励精图治，我国的经济建设取得了举世瞩目的成就，经济总量已位列世界第二，但同时早期粗放式的发展也造成了严重的环境破坏。如今，我国已经意识到了保护环境的重要性，遗留下来的环境问题通过近些年的大力整治已有极大改善。2020 年在联合国大会，我国更是提出了“双碳目标”的理念。在双碳目标的背景下，ESG(Environmental, Social and Governance)投资理念受到广泛关注。ESG 绿色技术投资受到企业青睐。Pástor 等^[8]就证明了投资者对于 ESG 投资标的的偏好且这种投资方式会对社会产生积极效用。Li 等^[40]将 ESG 环境的非金钱利益被引入到目标函数中，并比较了绿色平台(ESG 得分大于 0)和棕色平台(ESG 得分小于 0)上一些特征的差异。

ESG 绿色技术投资是指在环境、社会和治理（ESG）原则的指引下，将资金投资于推动环境可持续性和碳中和的绿色技术领域。ESG 投资是一种综合性的投资方法，不仅要考虑收益和风险，还要关注企业的环境影响、社会责任和有效的治理结构。它是一种将生态环境保护与经济发展相结合的新技术。Saunila 等^[41]

把绿色技术投资定义为：花费资金、知识等资源用于获取或者有效利用与废旧产品回收、能源节约、绿色产品设计、污染预防、环境管理有关的技术，其目的是减少供应链各个环节的污染排放和资源浪费。Wu 和 Strezov^[42]则认为绿色技术主要包括环境工程和科学技术、绿色能源技术、绿色数字和信息技术、绿色金融与经济、绿色和可持续材料等等。

通过投资和支持绿色技术，人们希望推动创新，减轻对有限资源的压力，降低对环境的负面影响，为未来创造更可持续的生活和经济模式。同时，这也为投资者提供了多样化的投资机会，满足越来越多人对可持续发展的需求。当今世界绿色技术产业方兴未艾，各国的经济发展越来越依赖科学技术的进步。科技进步和创新已成为增强国家综合实力的主要途径和方式，其作为核心竞争力日益成为国家间竞争的焦点。技术投资是一个国家和企业实力增长的阶梯，是企业走向成功的必由之路。在我国，多方因素共同决定企业选择 ESG 绿色技术投资的战略。

首先，越来越多的企业认识到它们在环境方面的责任和影响，以及将可持续性纳入业务战略的必要性。这促使企业投资于绿色技术以减少其碳排放、降低能源消耗并改善资源管理，从而降低环境影响。根据 2022 年沃达丰商业委托 B2B International 进行的“顺应未来”的研究显示，近四分之三(73%)的中国企业将可持续性视为“重要战略目标”，远超全球平均水平(60%)；65%的中国企业认可企业应重视防止气候变化，这一比例高于全球平均水平(44%)；56%超过一半的中国企业认为环境可持续性是企业的一项强有力的竞争优势。因此，中国企业在可持续发展实践的规划和实施方面领先于全球其他市场，研究 ESG 绿色技术投资对企业的影响具有重要意义。

其次，企业意识到进行 ESG 绿色技术投资是可持续发展的关键。通过投资于绿色技术，企业能够确保其业务在追求长期成功和稳定盈利能力的同时得到发展。这种投资符合日益增长的可持续发展趋势和压力，帮助企业在未来的市场中保持竞争力。中国工商银行绿色金融课题组张红力等^[43]选择上证 180 家企业为样本，运用自行研发的 ESG 绿色评级体系对企业 ESG 绩效进行评估，并构建了相应的绿色发展指数和绿色投资指数。孙东等^[44]研究发现 ESG 表现可以用来衡量企业在可持续发展方面的绩效，提出找出影响 ESG 表现的指标并对其进行优化调整将是左右企业能否获得投资者与国家支持的重要因素。

第三，市场趋势鼓励企业进行 ESG 绿色技术投资。消费者和投资者对环境友好产品和服务的需求不断增长，这促使企业改变其商业模式并提供绿色解决方案。Atan^[45]选取 ESG 指标和财务数据作为研究对象进行分析，发现环境、社会或公司治理这三类指标都无法单独对公司的盈利能力与公司价值产生影响，但三者的综合得分（ESG 得分）会对公司资本成本（WACC）产生积极显著的影响。通过投资绿色技术，企业能够满足消费者的需求，增强其品牌形象和市场竞争力。

此外，政府的环境政策和法规也推动了企业进行 ESG 绿色技术投资。政府鼓励和奖励那些采取环境友好举措的企业，同时制定了一系列环境法规来监管企业的行为。Gao 和 Zheng^[46]认为针对温室气体、废水和垃圾等仍在导致严重的环境恶化，政府可以引入不同的环境保护政策来规范绿色技术投资中经济主体的行为。通过投资绿色技术，企业能够遵守法规并获得政府的支持和激励。

最后，ESG 绿色技术投资也可以带来投资回报。Friede 等^[47]研究了 220 余篇关于 ESG 与财务业绩（CFP）的论文，发现约 90% 的论文结果证明了 ESG-CFP 的非消极关系。Zhao 等^[48]以中国大型上市发电集团公司为研究对象，构建了 ESG 与资本回报率（ROE）面板回归模型，发现良好的 ESG 表现可以提高财务绩效。研究表明，具备较好 ESG 表现的企业更有可能实现长期的盈利和价值增长。投资绿色技术还可以带来新的商机和市场份额，提高企业的竞争力。

因此，企业积极参与 ESG 绿色技术投资是双碳背景下企业发展的大势所趋。但是这种 ESG 绿色技术投资一般具有长期性的特征，通常需要企业委托人和代理人之间建立长期的合作关系，而契约理论就提供了分析委托代理关系的工具。可以通过设计满足激励相容状态的最优动态契约来确保委托代理双方的利益得到尊重和保护。Oliver 和 John^[49]将风险现金流引入两期模型，研究了最优资本结构问题，刻画了债务融资契约的部分动态性质。而 Biais 等^[50]研究发现连续时间模型不仅可通过微分方程等数学工具更方便地刻画最优融资合约的动态特征，而且易于比较动态分析。这促使学者们开始研究连续时间框架下的最优动态契约。Fu 和 Krishna^[51]研究了一个动态代理模型，描述了政策动态，并通过金融证券来执行最优契约。He^[52]研究了资本结构模型中股东和代理人之间的最优报酬问题，发现债务悬置对内生管理激励的影响降低了最优杠杆。He^[53]还研究了一个动态代理问题，发现当代理人的历史业绩足够好时，就会长期加薪。

同时，在 ESG 绿色技术投资中，一些关键细节和未来的情境很难事先确定，这导致了不完全契约的问题。契约理论认识到契约的不完全性，并提供了对这种不确定性进行分析的方法。通过契约的灵活性和机制设计，企业可以更好地应对不确定性和风险，以提高 ESG 绿色技术投资的成功率，所以带有不确定的契约开始成为契约理论进一步研究方向。Li 等^[54]制定合理的短期、长期和绿色技术投资决策，探讨了最优投资策略如何随企业特征而变化。He^[55]等引入不确定性来研究学习的最优长期契约，并用动态规划技术来描述最优契约。

所以，ESG 绿色技术投资和契约理论可以结合在一起，以帮助企业理解和管理其投资行为中的合作关系、不确定性和激励约束。成功的 ESG 绿色技术投资无论是对企业组织结构、制度的健全与发展和企业科技实力的提升，还是对技术的产业化和整个社会经济的发展，都居功至伟。但是需要注意的是，ESG 绿色技术投资毕竟属于风险投资的范畴，离不开风险二字。

虽然成功的 ESG 绿色技术投资会给中小型高科技企业带来巨大的经济效益，但是在高收益的背后是投资过程中充斥着巨大的诸如技术风险、资金风险、管理风险等不确定性因素，这就会导致 ESG 绿色技术投资收益率具有不确定性，进而影响企业最优委托代理契约。

因此，环境问题严重、灾害频发使得全球意识到保护环境的重要性，ESG 绿色投资理念受到广泛认同。政府开始鼓励和奖励那些采取环境友好举措的企业，同时制定了一系列环境法规来监管企业的行为。投资者也会在金融活动中更加倾向绿色金融，体现出对 ESG 投资标的的偏好。同时，企业进行 ESG 绿色技术投资不仅可以实现可持续发展、得到市场认同，还可以提升财务绩效，更有可能实现长期的盈利和价值增长。但是值得注意的是，高收益背后的高风险使得 ESG 绿色技术投资具有不确定性。ESG 绿色技术投资的在增加企业成本的同时产生的收益是高低不确定的。这会直接影响企业的产出过程，引起企业产出过程的 Knight 不确定性。于是在委托代理契约设计中，我们也需要考虑 ESG 绿色技术投资的 Knight 不确定对最优契约设计的影响。

1.2.3 错误指定契约下委托代理契约的相关研究

随着环境、社会和治理（ESG）因素在投资和商业决策中的重要性不断增强，ESG 评级成为投资者和利益相关者关注的焦点。ESG 评级旨在评估企业在环境、

社会和治理方面的绩效,为投资者提供有关企业可持续性和风险管理的重要信息。然而,正如 Avramov 等^[10]指出,不同评级机构的评级标准不一致,会导致 ESG 评级具有不确定性。他们从评级角度研究企业 ESG 评级的不确定性对资产定价和投资组合影响,认为在均衡状态下,市场溢价增加,股票的需求下降,并表明 ESG 的不确定性会影响风险收益之间的权衡和经济福利。由此可见,ESG 评级的 Knight 不确定性也会给最优委托代理契约的订立带来了挑战,使得代理人无法准确评估代理人的努力成本,从而可能导致错误指定的契约,进而影响契约的有效性和效率。

假设委托人和代理人都是风险中性,委托人是模糊厌恶的。借助 Hansen 和 Sargent^[56]文中模糊性概念,我们探讨委托人为了激励代理人努力如何进行契约设计。事实上,委托人具有模糊厌恶时,她会在最差情况的测度下评估每个契约,但是最坏情况的测度可能不同于代理人的真实测度。

我们区分两种情况:(1)委托人是老练的,即她明白代理人评估契约的真实测度,并且该测度不同于最坏情形的测度;(2)委托人经验不足,即她错误地认为代理人在最坏情形测度下评估契约。这是因为经验不足的委托人会用错误的概率测度来评估代理人的激励,我们也称这种契约是错误指定的。

在委托人不知道代理人的努力程度的情况下,委托人将按照最坏情况类型设计契约。只要委托人认为最坏情况过程是代理人的实际努力成本过程,那么最坏情况过程是否是代理人的实际努力成本过程是无关紧要的。在第四节中,我们明确地构建了当委托人对代理人的真实努力成本评估错误时代理人的优化问题,假设代理人的实际努力成本是恒定的。正如 Oyer 和 Schaefer^[57]所指出的,对于实证研究人员来说,衡量特定员工的努力成本或风险厌恶等特征是不可行的。我们应该预料到,委托人对代理人的这些特征也只有不精确的了解,所以将提供与代理人不完全匹配的合同。因此,代理人在针对最坏情况类型的合同下如何行为的问题具有实际重要性。

在考虑 ESG 评级 Knight 不确定性后,我们构建满足激励相容条件的模糊厌恶委托代理最优契约,其中我们利用 Girsanov 定理和动态规划原理等随机分析理论,推导出代理人真实延续价值的演变,并建立代理人价值函数的 HJB 方程。最终发现 ESG 评级 Knight 不确定性会使得代理人低资历的代理人具有底部偷懒

行为，而高资历的代理人将会具有较低的努力动机。

这一结果与大量有关动态合约的文献形成了鲜明对比，这些文献表明，契约终止有助于激励代理人努力工作。例如，Spear 和 Wang^[35]，DeMarzo 和 Sannikov^[32]，Biais 等^[50]，Wang^[30]，Garrett 和 Pavan^[58]，以及 Fong 及 Li^[36]。在他们的文章中，设置契约终止条件会让代理人有紧迫感和压力，从而使代理人为了不被解雇而努力工作，契约终止是一种激励手段。同时，在 DeMarzo 和 Sannikov^[32]文章中，他们认为委托人知道代理人在最优契约下的努力成本，绩效薪酬敏感度（PPS）足可以在所有延续价值下激励代理人努力。但我们研究的结果认为，如果契约是错误指定的，即使绩效薪酬敏感度是过高的，这个努力成本也不再是真实的。重要的是，我们关于底部偷懒的结果与经验证据一致。Flabbi 和 Ichino^[59]发现资历较低的员工更有可能被解雇，也更有可能出现高缺勤率或存在不当行为，这可以解释为偷懒，我们文章的结果与其实证结果相一致。

因此，我们将研究内容扩展到 ESG 评级的 Knight 不确定性下委托代理中产生错误指定契约。

1.3 研究创新与不足之处

1.3.1 创新点:

第一，研究内容新颖，探讨 ESG 因素对最优委托代理契约的影响。虽然对契约理论的研究已经很多，但是研究基于 ESG 的委托代理契约的文献却很少。本文将 ESG 评分和 ESG 绿色技术投资纳入模型建设，利用伊藤引理刻画包含 ESG 因素的委托代理均衡模型，探索绿色程度的 Knight 不确定对委托代理契约的影响。第二，研究角度多元，探讨多种因素影响下的最优委托代理契约。我们讨论 ESG 评级、ESG 绿色技术投资、错误指定等多种情形下的最优委托代理契约，探究绿色发展对于委托人最优期望收益和代理人最优延续价值的影响，对企业经营决策具有指导价值。第三，研究方法新颖，运用随机理论对 ESG 和 Knight 不确定环境下的最优委托代理契约问题进行建模。我们利用 Girsanov 定理和动态规划原理等随机理论，建立代理人价值函数的 HJB 方程。其中，本文利用密度生成元和 Girsanov 定理来进行测度变换，使得在原始测度下难以解决的问题转化为在变换后的测度下更容易处理的问题。

1.3.2 不足之处

本文类似 Szydlowski 和 Yoon^[37]动态建模的思想, 在考虑 ESG 评级 Knight 不确定性后, 构建满足激励相容条件的模糊厌恶委托代理最优契约, 将 ESG 评分和 ESG 绿色技术投资纳入模型建设, 利用伊藤引理刻画包含 ESG 因素的委托代理均衡模型, 探索绿色程度的 Knight 不确定对委托代理契约的影响。并在激励相容的条件下, 以代理人的延续价值作为状态变量, 利用 Girsanov 定理和动态规划原理等随机理论, 建立代理人价值函数的 HJB 方程, 并取得一些成果。但由于研究条件和个人经历有限, 当前研究仍存在一定不足:

(1) 本文着重从理论推导的角度研究了基于 ESG 和 Knight 不确定性的最优动态契约设计, 未来条件允许可以将研究成果扩展到实证研究, 提出更加具有现实意义的建议。

第二, (2) 本文仅对 ESG 评级 Knight 不确定和 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定两种情况进行数值模拟, 未来可以对于错误指定契约的 HJB 方程进一步进行数值模拟, 探究代理人的代理人的价值函数与激励强度之间的关系。

1.4 主要研究内容与论文结构

论文内容包括研究背景和相关领域的研究现状, 模型的构建和推导, 均衡下模型的解, 数值模拟和经济学分析, 总结与展望。具体安排如下。

第一章, 绪论。本章主要介绍的是本文的研究背景与研究意义, 国内外研究现状以及本文主要研究内容、创新点和论文框架。

第二章, 考虑 ESG 评级 Knight 不确定性下的最优委托代理契约。这种情形下, 企业的代理成本在 ESG 评级 Knight 不确定性的影响下遵循一个随机过程。假设委托人和代理人都是风险中性, 委托人是模糊厌恶的, 探讨委托人为了激励代理人努力如何进行契约设计。类似 Szydlowski 和 Yoon^[37]动态建模的思想, 在考虑 ESG 评级 Knight 不确定性后, 构建满足激励相容条件的模糊厌恶委托代理最优契约, 其中我们利用 Girsanov 定理和动态规划原理等随机分析理论, 建立代理人价值函数的 HJB 方程。结构安排如下: 第 1 节构建基准模型。构建引入 ESG 评级 Knight 不确定的委托代理契约的基本模型。第 2 节讨论最优契约。利用动态规划原理, 在激励相容条件下得出基于 ESG 评级 Knight 不确定的最优动

态契约价值函数的 HJB 方程。第 3 节数值模拟。通过 Matlab 数值模拟，并结合经济学原理给出一些具有现实意义的经济学解释。第 4 节为总结。

第三章，考虑 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定性下的最优委托代理契约。这种情形下，企业的产出过程在 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定性的影响下遵循一个随机过程。首先，假设委托人和代理人都是风险中性，委托人具有模糊厌恶，构建包含 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定的企业产出过程。其次，构建代理人的延续价值和委托人的期望收益的动态方程。接着，在满足激励相容的条件下，以代理人延续价值为状态变量，利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后通过数值模拟设置不同的 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度，分析企业 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定对最优契约的影响。

第四章，考虑考虑错误指定情形下 ESG 评级 Knight 不确定性的最优委托代理契约。这种情形下，代理人无法准确评估代理人的努力成本，从而影响契约的有效性和效率。在考虑 ESG 评级 Knight 不确定性后，我们构建满足激励相容条件的模糊厌恶委托代理最优契约，其中我们利用 Girsanov 定理和动态规划原理等随机分析理论，推导出代理人真实延续价值的演变，并建立代理人价值函数的 HJB 方程。最终探究 ESG 评级 Knight 不确定性对不同资历代理人的影响。

第五章，总结与展望。

第 2 章 ESG 评级具有 Knight 不确定的最优动态契约

在双碳目标的背景下，ESG 投资理念受到广泛关注，也不可避免会影响最优委托代理契约。因此本章构建了 ESG 评级 Knight 不确定下具有模糊厌恶的连续时间委托代理模型，分析企业 ESG 评级对最优委托代理契约的影响。首先，假设委托人和代理人都是风险中性，委托人具有模糊厌恶，构建包含 ESG 评级 Knight 不确定的企业产出过程。其次，构建代理人的延续价值和委托人的期望收益的动态方程。接着，在满足激励相容的条件下，以代理人延续价值为状态变量，利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后通过数值模拟设置不同的 ESG 评级水平，分析企业 ESG 评级 Knight 不确定程度对最优契约的影响。研究表明：在考虑企业 ESG 评级的最优委托代理契约中，ESG 评级 Knight 不确定性会对我们委托代理的最优模型产生不可忽视的影响。

2.1 基本模型

2.1.1 产出动力学

我们研究一个动态委托代理问题。时间是连续且无限的。代理人受委托人的委托，为其经营企业，该企业根据扩散过程产生收益，而扩散过程的漂移取决于代理人的努力。记 $\mathcal{F} = \{\mathcal{F}_t\}_{t \geq 0}$ 。在概率空间 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 上存在标准布朗运动 $B = \{B_t\}_{t \geq 0}$ 。假设企业产出过程 $X = \{X_t\}_{t \geq 0}$ 由下式给出：

$$dX_t = \mu dt + \sigma dB_t, \quad X_0 = 0 \quad (2.1)$$

其中， X_t 表示代理人在时间 $t \geq 0$ 时施加努力的产出。 μ 为在代理人付出努力的情况下委托人的平均收益。当委托人观察产出过程 X_t 时，她不能观察到代理人的努力决策。我们用 $\mathcal{F}^X$ 表示由 X 生成的域流，因为漂移和扩散系数是连续的，故随机微分方程(2.1)具有唯一的强解， X 生成的域流与 B 生成的域流一致，即 $\mathcal{F}^X = \mathcal{F}^B$ 。

记代理人不可被观测的努力水平为 $a = \{a_t\}_{t \geq 0}$ ， $a_t \in \{0, 1\}$ 。这表示代理人是二

元努力的。当 a_t 取 0 时，表示代理人完全不施加任何努力，在时刻 t 是偷懒的；当 a_t 取 1 时，表示代理人是完全努力的，在时刻 t 是认真工作。代理人努力水平将产生 $a_t dK_t$ 的成本流，其中， $K = \{K_t\}_{t \geq 0}$ 由下式给出：

$$dK_t = (\theta_0 + \lambda \eta) dt + dZ_t, \quad K_0 = 0 \quad (2.2)$$

这里， θ_0 是一个固定的常数，表示努力的基础成本， η 表示企业 ESG 的评级得分， $\theta_0 + \lambda \eta$ 代表代理人平均成本流，由于 ESG 评级得分具有不确定性，假设 $\eta \in [\underline{g}, \bar{g}]$ ，且要满足努力成本 $\theta_0 + \lambda \underline{g} \geq 0$ 。 $\{Z_t\}_{t \geq 0}$ 是 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 概率空间上的布朗运动。 Z 独立于 B 。 K 生成的域流与由 Z 生成的域流一致，即 $\mathcal{F}^K = \mathcal{F}^Z$ ，随机微分方程(2.2)具有唯一强解。

2.1.2 测度变换

代理人为了完成和委托人签订的契约所付出的努力成本是无法被委托人观测到的，委托人对代理人的努力成本是模糊厌恶的，它由与参考测度 P 相互绝对连续的一系列概率测度对代理人行为进行评估。根据 Chen 和 Epstein^[16]，这些测度可以由密度生成元和 Girsanov 定理构造。

g 为我们引入的一个随机过程 $g = \{g_t\}_{t \geq 0}$ ，如果 g 是 $\mathcal{F}^x$ 循序可测、平方可积的，并且满足 $\underline{g} \leq g_t \leq \bar{g}$ ，我们称 g 为可容许的，并用 G 表示可容许的 g 集合。

在整篇文章中，我们使用 $g \in \mathcal{F}^x$ 表示 g 是 $\mathcal{F}^x$ 循序可测的。

对于任何 $g \in G$ ， P -鞅 $z'_0(g)$ 由下式确定，并且我们可以通过 $dP^g / dP|_{\mathcal{F}_t} \equiv z'_0(g)$ 定义测度 P^g

$$z'_0(g) = \exp\left(-\int_0^t (\lambda \eta - \lambda g_s) dZ_s - \frac{1}{2} \int_0^t (\lambda \eta - \lambda g_s)^2 ds\right) \quad (2.3)$$

此时，类似 Chen 和 Epstein^[16]等式 (2.11)，在测度 P^g 下有布朗运动

$$dZ_t^g = \lambda(\eta - g_t) dt + dZ_t \quad (2.4)$$

将式(2.4)带入式(2.2)，可以将代理人的努力成本写成

$$dK_t = (\theta_0 + \lambda g_t)dt + dZ_t^g, \quad K_0 = 0 \quad (2.5)$$

参考 Sannikov^[13]，我们通过 Girsanov 定理表示代理人的不同努力选择。努力过程 $a = \{a_t\}_{t \geq 0}$ ，如果 $\mathcal{F}^{X,K}$ 是循序可测且平方可积的，则， $a_t \in \{0,1\}$ 是可容许的，任何可容许的努力过程都会将测度 P 改变为 P^a ，并且我们可以通过 $dP^a / dP|_{\mathcal{F}_t} \equiv \xi_0^t(a)$ 和 P -鞅 $\xi_0^t(a)$ 确定 P^a 。 P -鞅 $\xi_0^t(a)$ 由下式给定

$$\xi_0^t(a) = \exp\left(-\int_0^t \frac{\mu}{\sigma}(1-a_s)dB_s - \frac{1}{2}\int_0^t \left(\frac{\mu}{\sigma}(1-a_s)\right)^2 ds\right) \quad (2.6)$$

此时，在测度 P^a 下有布朗运动

$$dB_t^a = \frac{\mu}{\sigma}(1-a_t)dt + dB_t \quad (2.7)$$

将式(2.7)带入式(2.1)，可以将企业的产出过程写成

$$dX_t = \mu a_t dt + \sigma dB_t^a, \quad X_0 = 0 \quad (2.8)$$

给定 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 上的一对鞅 $\xi_0^t(a)$ 和 $z_0^t(g)$ ，过程 $z_0^t(a, g) = \xi_0^t(a)z_0^t(g)$ 也是一个鞅。现在，类似 Szydlowski 和 Yoon^[37]，我们通过 $dP^{a,g} / dP|_{\mathcal{F}_t} \equiv z_0^t(g)$ 定义测度 $P^{a,g}$ ，给出满足测度 $P^{a,g}$ 下二维布朗运动 (B_t^a, Z_t^g) 的如下引理。

引理 2.1 如果 (B_t, Z_t) 是 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 上的二维布朗运动，那么 (B_t^a, Z_t^g) 是 $(\Omega, \mathcal{F}, P^{a,g})$ 上的二维布朗运动，且 B_t^a 和 Z_t^g 在测度 $P^{a,g}$ 下是独立的。

由引理 2.1 可得

$$E^{a,g}[a_t dK_t | \mathcal{F}_t^{X,K}] = a_t(\theta_0 + \lambda g_t)dt \quad (2.9)$$

其中 $E^{a,g}[\cdot]$ 表示 $P^{a,g}$ 下的期望值。因此，我们可以将 dK_t 理解为时间 t 时已实现的努力成本流，将 $(\theta_0 + \lambda g_t)$ 理解为平均努力成本流。将 P^g 理解为代理人在 ESG 评级不确定下努力成本的概率分布。当代理人选择努力水平为 a_t 时，代理人观察不

到 $\{dK_s\}_{s>t}$ ，所以，只有 $\theta_0 + \lambda g_t$ 可以决定他的努力，其中， θ_0 是一个固定常数，代理人的努力成本主要受 ESG 评级 g_t 的影响。

2.1.3 代理人问题

一般来说，委托人和代理人之间会通过签订契约的方式达成委托代理关系。产出 X 对委托人和代理人都是可观察的，而努力 a 和已实现的成本流 K 是只有代理人才知道的信息。因此在订立契约时需要考虑信息不对称的问题。

委托人承诺契约 $\alpha = (a, c)$ ，并将其提供给代理人。假设委托人和代理人在零时刻签订契约，按照约定，委托人将会支付给代理人 $c_t = \int_0^t dc_s$ 的薪酬并满足 $dc_t \geq 0$ 。可容许的契约由 $\mathcal{F}^X$ 循序可测和平方可积的随机过程 $(\hat{a}, c)$ 和停时 τ 组成， c 是右连续的。我们将可容许契约的空间表示为 $\mathcal{A}$ 。这里， $\hat{a}$ 是由委托人根据对于产出 X 的观测决定的推荐努力，要么是工作，要么是偷懒。在均衡中，当代理人的激励相容性成立时，推荐努力实际上就是代理人的最优努力。约束条件 $dc_t \geq 0$ 反映了代理人的有限责任。停时 τ 表示代理人被解雇的时间，此时，公司破产，委托人获得的公司残值为 L ，而代理人获得零的外部价值。

我们假设委托人和代理人都是风险中性的。但代理人比委托人更没有耐心，并且贴现时间速率为 $\gamma > r$ 。当 $a_t = 1$ 时，他从委托人那里获得薪酬并产生努力成本。给定 $\alpha \in \mathcal{A}, g \in G$ ，当 $t \geq 0$ 时，代理人的延续价值为

$$W_t(\alpha, g) \equiv E^{a, g} \left[\int_t^\tau e^{-\gamma(s-t)} (dc_s - a_s dK_s) \mid \mathcal{F}_t^{X, K} \right] \quad (2.10)$$

2.2 最优契约

2.2.1 代理人延续价值的演变

委托人关于努力成本是模糊厌恶的。在建立模糊厌恶模型时，我们遵循 Hansen 和 Sargent^[56] 文中的“第 I 型模糊性”概念，委托人并不知道“真正的模型”，他认为代理人知道。故对于任何决策，委托人都会根据最坏情况模型来评估自己

的收益和代理人的激励措施，这反映出他对稳健性的担忧，以及他相信代理人知道真正的模型。即委托人认为，代理人知道在不确定测度集 $\mathcal{P}^G = \{P^g; g = (g_t), g_t \in [\underline{g}, \bar{g}], t \geq 0\}$ 中控制努力成本变化的真实测度，而这个测度对于委托人而言是未知的。因此，委托人和代理人之间存在信息不对称。

因为委托人模糊厌恶的特性，他就会在最差情况的测度 $P^{\hat{a}, g(\alpha)}$ 下评估每个契约 α ，这最小化了委托人的价值。更重要的是，因为委托人相信代理人知道真实的测度，所以他会在最坏的情况下评估自己和代理人的收益。对于激励相容契约，代理人的实际努力 a 与推荐努力 $\hat{a}$ 相同，因此 $P^{a, g(\alpha)} = P^{\hat{a}, g(\alpha)}$ 。

这有一个直观解释，即是委托人、代理人以及一种恶意自然（malevolent nature）的博弈。首先，委托人公布契约 α 。然后，恶意自然来选择努力成本 $\theta_0 + \lambda g_t$ ，这可以认为是代理人的技能与委托人的项目之间相互匹配的结果。最后，给定 α 和 g ，代理人选择她最优的努力。

在本模型中，委托人和代理人都是风险中性的。委托人获得来自产出过程 X 的收益，并向代理人支付薪酬。因此，委托人在激励相容契约下的最优收益是

$$J_0 = \sup_{\alpha \in \mathcal{A}} \inf_{g \in G} E^{a, g} \left[\int_0^\tau e^{-rt} (dX_t - dc_t) \right] \quad (2.11)$$

若存在发生偏离的努力 $\tilde{a} = \{a_t\}_{t \geq 0} \in \mathcal{F}_t^{X, K}$ ，对于偏离后契约 $\tilde{\alpha} = \{\{\tilde{a}_t, c_t\}_{t \geq 0}, \tau\}$ ，委托人最优收益需要满足激励相容条件

$$W_0(\alpha, g(\alpha)) \geq W_0(\tilde{\alpha}, g(\alpha)) \quad (2.12)$$

及参与约束

$$W_0(\alpha, g(\alpha)) \geq 0. \quad (2.13)$$

这表示偏离会降低代理人的延续价值，只有在激励相容状态下，代理人延续价值达到最优。故，当代理人的延续价值为 W_t 时， $J(W_t)$ 就是在给定了最优消费 $c(W_t)$ 和推荐努力 $a(W_t)$ 下委托人最大化的预期利润。类似 Szydlowski 和 Yoon^[37] 讨论得到如下命题。

命题 2.1 对于任意契约 $\alpha \in \mathcal{A}$ ，生成元 $g \in G$ ，在不失一般性的情况下，代

理人的最优努力是 $\mathcal{F}^X$ 循序的。存在一个 $\mathcal{F}^X$ 循序平方可积过程 $\psi = \{\psi_t\}_{t \geq 0}$ ，使得代理人的延续价值的动态方程为：

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g_t)dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a \quad (2.14)$$

除此之外，还满足激励相容条件 $\psi_t \geq \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda g_t)$ 。

证明：代理人在 t 时刻的总收益为 M_t ，由 Elliott^[37]的推论 3.2，我们可以得到

$$dM_t = e^{-\gamma t}(dc_t - a_t^*(\theta_0 + \lambda g_t)dt) + d(e^{-\gamma t}W_t(\alpha, g)) \quad (2.15)$$

根据 Elliott^[60]的定理 4.3，又有 $-M_t = -M_0 - \int_0^t e^{-\gamma s} \psi_s dB_s^{a^*}$ ，即

$$dM_t = e^{-\gamma t} \psi_t dB_t^{a^*} \quad (2.16)$$

将(2.15)和(2.16)联立可得，

$$\begin{aligned} dM_t &= e^{-\gamma t} \psi_t dB_t^{a^*} = e^{-\gamma t}(dc_t - a_t^*(\theta_0 + \lambda g_t)dt) + d(e^{-\gamma t}W_t) \\ &= e^{-\gamma t}(dc_t - a_t^*(\theta_0 + \lambda g_t)dt) - \gamma e^{-\gamma t}W_t dt + e^{-\gamma t}dW_t \end{aligned} \quad (2.17)$$

且布朗运动

$$B_t^a = \frac{1}{\sigma}(X_t - \int_0^t \mu a_s ds), 0 \leq t < \infty \quad (2.18)$$

将(2.18)带入(2.17)并移项可得

$$\begin{aligned} dW_t &= (\gamma W_t + a_t^*(\theta_0 + \lambda g_t))dt - dc_t + \psi_t dB_t^{a^*} \\ &= (\gamma W_t + a_t^*(\theta_0 + \lambda g_t))dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma}(dX_t - \mu a_t^* dt) \end{aligned} \quad (2.19)$$

因为在本文中只考虑完全努力的情形，故将 $a = 1$ 带入，得到满足激励相容条件 $\psi_t \geq \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda g_t)$ 的代理人延续价值 $dW_t = (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g_t)dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a$ 。

证毕。

该方程表明，代理人的延续价值必须以 γ 速率增长，以补偿其对时间的偏好。此外，薪酬必须对公司的业绩足够敏感，以保持激励相容性。我们可以将过程 ψ_t 解释为代理人的薪酬绩效敏感度，它决定了代理人的延续价值对产出变化的敏感

程度。在最优契约中，最差情况下的努力成本取决于代理人过去的业绩表现，并且在契约中存在两种机制。对于高延续价值，委托人对代理人的期望也较高，因此如果代理人继续提升他的延续价值，他的努力成本必然会处于最高水平 $\theta_0 + \lambda \bar{g}$ ，而对于低的延续价值，他的努力成本必然会处于最低水平 $\theta_0 + \lambda \underline{g}$ 。但是即使在委托人认为代理人的努力成本较低的情况下，模糊厌恶也会导致委托人选择薪酬绩效敏感度最高的方案，因为委托人总是会选择最强烈的激励来保证代理人不产生模糊性。

2.2.2 ESG 具有评级 Knight 不确定性下的最优动态契约

根据命题 2.1，当努力成本 $\theta_0 + \lambda g_t$ 大于延续价值的损失 $\frac{\mu}{\sigma} \psi_t$ 时，即 $\theta_0 + \lambda g_t > \frac{\mu}{\sigma} \psi_t$ 时，代理人会偷懒。如果契约具有薪酬-绩效敏感度 $\psi_t < \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda \bar{g})$ ，只要 $\theta_0 + \lambda g_t$ 在 $\frac{\mu}{\sigma} \psi_t$ 和 $\theta_0 + \lambda \bar{g}$ 中间，代理人的最佳选择就是偷懒。故对于任何薪酬绩效敏感度 ψ_t 和努力成本 $\theta_0 + \lambda g_t$ ，代理人的最优努力水平为

$$a(\psi_t, g_t) = I \left\{ \psi_t \geq \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda g_t) \right\} \quad (2.20)$$

由于委托人重视努力，每当 $\psi_t < \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda \bar{g})$ 时，最坏情况就是努力成本为 $\theta_0 + \lambda \bar{g}$ ，此时 $a = 0$ ，代理人偷懒。因此，当 $\psi_t < \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda \bar{g})$ 时，没有契约可以是激励相容的。为了防止代理人产生偷懒行为，委托人必须将薪酬绩效敏感度设置为最高水平，即使当 $g_t < \bar{g}$ 时，也存在 $\psi_t \equiv \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda \bar{g})$ 且独立于努力成本，这样，委托人才能够确保代理人在最坏的情况下工作。

在此激励相容条件下，我们给出委托人价值函数 $J(W)$ 满足的 HJB 方程。类似 Sannikov^[13] 中讨论 HJB 方程解是凹性的思路，可以得出 $J(W)$ 是凹函数的结论。最优契约即为以企业的 ESG 评级为控制变量，满足激励相容条件下使委托人期望收益最大的契约。

命题 2.2 最佳薪酬绩效敏感度 $\psi_t \equiv \bar{\psi} = \frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda \bar{g})$ ，对于所有 $0 \leq t \leq \tau$ ，最坏情况下的 ESG 评级得分 $g^* = \{g_t^*\}_{t \geq 0}$ 满足

$$g_t^* = g^*(W_t) = \begin{cases} \bar{g}, & W_t \geq W^0 \\ \underline{g}, & W_t \leq W^0 \end{cases} \quad (2.21)$$

在 ESG 评级不确定的环境下，委托代理最优契约利用动态规划原理和伊藤公式，由代理人延续价值 W_t 推导出委托人最优期望利润 $J(W_t)$ 所满足的 HJB 方程：

$$rJ(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} \mu + J'(W_t)(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g_t) + \frac{1}{2} J''(W_t) \psi_t^2 \quad (2.22)$$

为了使委托代理双方的效用最大化，其边界条件为：

$$J(0) = 0, \quad J'(\bar{W}) = -1, \quad J''(\bar{W}) = 0 \quad (2.23)$$

此外，对 $W_t < \bar{W}$ 有 $dc_t = 0$ ， W^0 是 $J'(W^0) = 0$ 的点。

此时，代理人的延续价值服从

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g^*(W_t))dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a \quad (2.24)$$

当 $W_t > \bar{W}$ 时，委托人是价值函数为 $J(W_t) = J(\bar{W}) - (W_t - \bar{W})$ ，委托人会立即支付 $(W_t - \bar{W})$ 给代理人，委托代理契约以代理人延续价值 $\bar{W}$ 延续。

证明：当 $W_t < \bar{W}$ 时，有 $dc_t = 0$ 。

由(2.10)式可得

$$J(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a,g} \left[\int_t^{\tau} e^{-r(u-t)} dX_u \right] \quad (2.25)$$

代理人延续价值

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g^*(W_t))dt - dc_t + \bar{\psi} dB_t \quad (2.26)$$

依据动态规划原理，得

$$\begin{aligned} J(W_t) &= \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a,g} \left[\int_t^{\tau} e^{-r(u-t)} dX_u \right] \\ &= \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a,g} \left[\int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u + e^{-rdt} J(W_{t+dt}) \right] \end{aligned} \quad (2.27)$$

又

$$J(W_{t+dt}) = J(W_t) + dJ(W_t) \quad (2.28)$$

将(2.28)式代入(2.27)式，得

$$J(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a,g} \left[\int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u + e^{-rdt} (J(W_t) + dJ(W_t)) \right] \quad (2.29)$$

等式两边同时乘 e^{rdt} ，得

$$(e^{rdt} - 1)J(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a,g} \left[e^{rdt} \int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u + dJ(W_t) \right] \quad (2.30)$$

由伊藤公式，得

$$\begin{aligned} dJ(W_t) &= J'(W_t)dW_t + \frac{1}{2}J''(W_t)dW_t dW_t \\ &= J'(W_t)[(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g_t)dt - dc_t + \bar{\psi}dB_t] + \frac{1}{2}J''(W_t)\psi_t^2 dt \end{aligned} \quad (2.31)$$

将 $dJ(W_t)$ 表达式带入到 (2.30)，得

$$\begin{aligned} (e^{rdt} - 1)J(W_t) &= \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a, g} \{ e^{rdt} \int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u \\ &\quad + J'(W_t)[(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g_t)dt - dc_t + \bar{\psi}dB_t] \\ &\quad + \frac{1}{2}J''(W_t)\psi_t^2 dt \} \end{aligned} \quad (2.32)$$

两边同时除以 dt ，且令 $dt \rightarrow 0$ ，得

$$rJ(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} \mu + J'(W_t)(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g_t) + \frac{1}{2}J''(W_t)\psi_t^2 \quad (2.33)$$

注意到，

$$J'(W) \begin{cases} \leq 0, W \geq W^0 \\ \geq 0, W \leq W^0 \end{cases} \quad (2.34)$$

得

$$g_t^* = g^*(W_t) = \begin{cases} \bar{g}, W_t \geq W^0 \\ \underline{g}, W_t \leq W^0 \end{cases} \quad (2.35)$$

为了计算最优契约，类似 Szydlowski 和 Yoon^[37]模糊厌恶下委托代理问题的最优动态契约的边界条件，得

$$J(0) = 0, \quad J'(\bar{W}) = -1, \quad J''(\bar{W}) = 0 \quad (2.36)$$

证毕。

我们对命题 2.2 中 g^* 的取值原因做出如下解释。Avramov 等^[10]认为因为 ESG 评级机构之间存在明显分歧，即使对同一家企业进行 ESG 评级，不同机构给出的评分也有较大差距，所以 ESG 评级具有不确定性。因此虽然 ESG 评级是客观的，但是由于评级的不确定和委托人具有模糊厌恶，委托人会在最坏情形下评估企业的 ESG 评级，记委托人在最坏情况下评估的企业 ESG 评级为 g^* 。

当 $J'(W) < 0$ 时, 委托人的期望利润随着代理人延续价值的增加而减少, 即代理人越努力, 委托人因需要补偿代理人的努力而造成的损失就越大, 此时模糊厌恶会使委托人在最坏情形下评估契约, 委托人会令代理人努力成本最大来使其损失最大化, 又因为代理人的努力成本仅受 ESG 评级的影响, 故最坏情形下 ESG 评级 $g^* = \bar{g}$, 委托人损失最大。当 $J'(W) > 0$ 时, 代理人的延续价值较低, 被解雇概率非常高。在这种情况下, 代理人通过增加努力, 降低其被解雇的概率, 而因解雇的概率降低所产生的收益大于补偿代理人努力所付出的成本, 故委托人实际上受益于 w_i 具有更高的预期增长率, 最坏情形下 ESG 评级 $g^* = \underline{g}$, 委托人收益最小。

满足 HJB 方程(2.22)和边界条件(2.23)的唯一凹函数 $J(W_i)$ 刻画了激励相容状态下委托人获得最优期望利润的最优契约, 最优契约基于代理人延续价值 w_i 为状态变量, 在存在不确定性的情况下, 会产生过度补偿和补偿不足问题。

当委托人的价值关于 w_i 递增, 即 $w_i \geq w^0$ 时, 模糊厌恶会使委托人会相信 $g_i = \bar{g}$, 即代理人的努力成本最大, 此时代理人很难被激励。也是因为 $g_i = \bar{g}$, 代理人的延续价值 w_i 的漂移较大, 为了补偿代理人的努力, 委托代理契约需要约定代理人拥有较高的预期收益。而且, 由于 w_i 处于最高水平, 补偿契约具有很高的薪酬-绩效敏感性, 代理人会面临强大的激励, 这样即使代理人的真实努力成本小于 $\theta_0 + \lambda \bar{g}$, 过度激励也会使代理人获得较高的薪酬, 即代理人是过度补偿的, 也就是说, 委托人会向代理人承诺比其努力成本更高的薪酬。此时, 代理人的延续价值降低至小于 w^0 的概率相对较小, 即一旦代理人达到较高的延续值, 他很可能会停留在过度补偿区域。这也与 Gabaix 和 Landier[38]文章讨论的 CEO 拥有较高薪酬的原因相一致。

另一方面, 当 $w_i \leq w^0$ 时, 委托人会认为代理人相对容易补偿, 但如果薪酬绩效敏感度不是最高水平, 委托人仍然会选择偷懒。因此, 代理人获得了非常强大的激励, 但同时他获得较低的收益, 且与没有模糊性的情况相比, 他获得的收

益更低，也就是代理人会处于补偿不足区域。正因为如此，在预期中，代理人的薪酬是少的，他被解雇的概率是相对大的。与没有模糊性的情况相比，代理人晋升到薪酬过高的体制需要付出更大的努力。

过度补偿和补偿不足的区域都出现在同一最优契约中，因此我们的模型生成了职业轨迹。在预期中，一名有良好历史业绩的代理人会继续获得超额报酬，除非他犯了一个极其严重的错误，导致恶劣的负面结果。一个有着不良历史业绩的代理人虽然可以通过努力移动到过度补偿区域，但是晋升的可能性比没有模糊性的情况下更低，而被解雇的可能性更高。比如一个年轻的经理人开始时处于补偿不足状态，但一般来说，过了足够长的时间他就会到达过度补偿区域。这一提升的速度取决于他的历史业绩。高绩效的经理人到达过度补偿区域的速度会更快，而低绩效的经理人到达过度补偿区域的速度可能会更慢，因此长期处于补偿不足状态，或者会被解雇。这也与 Szydlowski 和 Yoon^[37]的研究结论相一致。

但与 Szydlowski 和 Yoon^[37]的委托代理契约不同的是，本文创新性的讨论了 ESG 评级具有 Knight 不确定性对于最优委托代理契约的影响机制。

2.3 数值模拟及经济学解释

本节通过 MATLAB 软件进行数值模拟，重点研究 ESG 评级的不确定性对于最优委托代理契约的影响。以 (2.14) 和 (2.22) 式为基础，利用 MATLAB 软件进行数值模拟，求解出最优的契约条件下代理人延续价值和委托人期望收益的联系，并设置不同的 ESG 评级不确定程度，分析不同的 ESG 评级 Knight 不确定性对最优契约的影响，在数值模拟的基础上结合经济学原理，给出具有经济学意义的解释。

在命题 2.2 的基础上，我们令 $\underline{g} = 0$ ，用 η 表示企业 ESG 评级 Knight 不确定程度的参数值， η 越大，表示企业评级不确定程度越深，企业也越倾向于绿色发展。选取 ESG 评级 Knight 不确定程度参数值 $\bar{g}_1 = 0.7$ 、 $\bar{g}_2 = 0.8$ 、 $\bar{g}_3 = 0.9$ ，进行数值模拟， w_1 、 w_2 、 w_3 分别是 ESG 评级 Knight 不确定程度参数值 $\bar{g}_1 = 0.7$ 、 $\bar{g}_2 = 0.8$ 、 $\bar{g}_3 = 0.9$ 下，委托人达到最大预期收益时对应代理人的延续价值点，也称为委托人的最大期望收益点。

2.3.1 委托人期望收益和代理人延续价值的关系

为了刻画研究 ESG 评级的 Knight 不确定性对于最优委托代理契约的影响，我们设置不同的 ESG 评级 Knight 不确定程度参数值 $\bar{g}_1 = 0.7$ 、 $\bar{g}_2 = 0.8$ 、 $\bar{g}_3 = 0.9$ 进行数值模拟，图 2-1 为委托人期望收益关于代理人延续价值的变化曲线，其中 $g_1 = \bar{g}_1$ 、 $g_2 = \bar{g}_2$ 、 $g_3 = \bar{g}_3$ 。

观察图 2-1，我们得到随着企业 ESG 评级 Knight 不确定程度增大，委托人获得期望收益 J 和代理人延续价值 W 之间关系的变化情况和相关数据。表 2-1 是图 2-1 的相关数据。

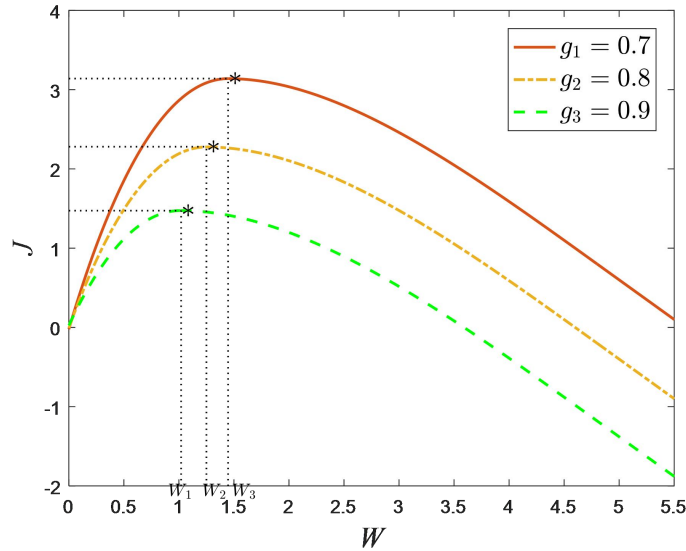


图 2-1 委托人最大预期利润随代理人延续价值的变化

首先，分析委托人最大预期收益和不同 ESG 评级 Knight 不确定程度之间的关系。如表 2-1 所示， $w_1 = 1.447$ 、 $w_2 = 1.240$ 、 $w_3 = 0.951$ 分别对应 ESG 评级不确定程度 $\bar{g}_1 = 0.7$ 、 $\bar{g}_2 = 0.8$ 、 $\bar{g}_3 = 0.9$ 时委托人的最大收益点，以及委托人对应的最大收益 $J(w_1) = 3.09$ 、 $J(w_2) = 2.24$ 、 $J(w_3) = 1.42$ ，结合图 2-1 和表 2-1，我们发现当 $\bar{g}_3 > \bar{g}_2 > \bar{g}_1$ 时， $J(w_1) > J(w_2) > J(w_3)$ 。

随着 ESG 评级不确定程度不断增大，委托人期望收益增加速度放缓且图形峰值下降。当 $\bar{g}_3 = 0.9$ 时，委托人预期收益最小，但仍为正收益。我们认为，这

是由于随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的增加，企业倾向于绿色发展，在满足激励相容条件的最优契约中，愿意为了绿色发展愿意牺牲一部分经济利益，承担起社会责任，这使得企业最优委托代理契约的代理成本不断增加，委托人最大预期收益不断下降。因此，分析图 2-1 可知，随着 ESG 评级不确定程度的加深会导致委托人最大预期收益的下降。

表 2-1 委托人最大预期利润随代理人延续价值变化的相关数据

ESG 不确定程度	最大收益点 W^0	委托人最大收益 $J(W^0)$
$\bar{g}_1 = 0.70$	1.45	3.09
$\bar{g}_2 = 0.80$	1.24	2.24
$\bar{g}_3 = 0.90$	0.95	1.42

其次，分析委托人的最大期望收益点与不同 ESG 评级 Knight 不确定程度之间的关系。结合图 2-1 和表 2-1，当 $\bar{g}_3 > \bar{g}_2 > \bar{g}_1$ 时， $w_1 > w_2 > w_3$ 。即，随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的增加，委托人的最大期望收益点不断左移。其原因是，委托人是模糊厌恶的，ESG 评级 Knight 不确定程度的不断增大，委托人会逐渐失去观察代理人的耐心，导致委托人选择缩短代理人的试用期，造成委托人的最大期望收益点的左移。结合第三节阐述的过度补偿区域和补偿不足区域，可以看出随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的增加，代理人更快的进入到过度补偿区域，而一旦代理人进入到过度补偿区域，他就会停留在这一区域，极小概率会退回至补偿不足区域，这对于代理人来说是有利的。因此，当其他条件不变，仅考虑企业绿色发展程度时，代理人会倾向于选择企业朝着更绿色、更环保的方向发展。即随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的加深会导致委托人的最大期望收益点不断左移，代理人倾向于企业绿色发展。

本文数值模拟的结果与 Szydlowski 和 Yoon^[37]、Sannikov 和 Demarzo^[32]文中委托代理模型相似，但是本文的创新之处在于设置不同的 ESG 评级水平，对比分析不同的 ESG 评级 Knight 不确定程度对最优契约价值的影响。

2.4 本章小结

本章研究了 ESG 评级具有 Knight 不确定的最优动态契约设计。为了使得企业生产经营朝着更加绿色环保的方向发展，势必会将以牺牲一部分利润为代价，这使得企业的成本增加，代理人需要为了企业的绿色发展付出额外的努力，即代理人的努力成本会增加，由此引发 ESG 评级的 Knight 不确定性会对委托代理的最优契约带来影响。

首先，假设委托人和代理人都是风险中性，委托人具有模糊厌恶（即委托人会在最差情况的测度下评估每个契约），考虑在动态模型中引入 ESG 评级 Knight 不确定性，构建包含 ESG 评级 Knight 不确定的企业产出过程。其次，构建代理人的延续价值和委托方的期望收益，并确定合适的最优契约所满足的激励相容条件。接着，在满足激励相容的条件下，以代理人延续价值为状态变量，利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后，将最优的控制变量带入 HJB 方程中将其转化为常微分方程，通过数值模拟求解出最优契约设计中代理人延续价值和委托人期望收益的联系，并设置不同的 ESG 评级水平，分析不同的 ESG 评级 Knight 不确定性程度对最优契约的影响，在数值模拟的基础上结合经济学原理给出相关研究的经济学解释。

研究发现，在考虑企业 ESG 评级的最优委托代理契约中，ESG 评级 Knight 不确定性会对我们委托代理的最优契约产生不可忽视的影响。随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的增加，企业倾向于生产经营朝着更加绿色环保的方向发展，这势必会牺牲企业一部分经营利润，同时代理人也需要为了企业的绿色发展付出额外的努力，代理人的努力成本会增加，企业代理成本随之增加，委托人的最大预期收益不断下降。而由于委托人是模糊厌恶的，在 ESG 评级 Knight 不确定程度增加的过程中，他会逐渐失去耐心，选择缩短代理人的试用期，使委托人的最大期望收益点的左移，此时，代理人因可以尽快进入过度补偿区域，会选择企业绿色发展方向。因此，绿色发展虽然会降低委托人的期望收益，但是对代理人有益，更有助于企业的长期发展。从企业层面看，选择绿色发展，会使代理人和企业之间的联系更加紧密，促使代理人更好的企业服务。从整个社会层面来讲，企业选择绿色发展，是积极承担社会责任的体现，符合企业高质量发展观，不仅可以促进生态环境健康发展，还能树立良好企业形象，有利于企业的长远发展。

目前为止，本模型的噪声源用经典布朗运动刻画，在 ESG 具有评级 Knight 不确定下寻求最优动态契约。但现实世界中的不确定中噪声往往具有波动率不确定，这类不确定噪声可以用 G-布朗运动刻画，接下来，我们可以利用彭实戈的非线性期望理论^[61]研究基于 ESG 绿色技术投资和 Knight 不确定环境的最优动态契约设计问题。

第 3 章 ESG 绿色技术投资具有 Knight 不确定的

最优动态契约

随着气候变暖,环境逐渐恶化,自然灾害频发,与环境相关的问题受到了广泛关注。企业开始意识到进行 ESG 绿色技术投资是可持续发展的关键,将投资视角转向 ESG 绿色技术投资。但是这种 ESG 绿色技术投资一般具有长期性的特征,通常需要委托人和代理人之间建立长期的合作关系,这也就不可避免会影响到最优委托代理契约。因此本章构建了 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定下具有模糊厌恶的连续时间委托代理模型,分析企业 ESG 绿色技术投资对最优委托代理契约的影响。首先,假设委托人和代理人都是风险中性,委托人具有模糊厌恶,构建包含 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定的企业产出过程。其次,构建代理人的延续价值和委托人的期望收益的动态方程。接着,在满足激励相容的条件下,以代理人延续价值为状态变量,利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后通过数值模拟设置不同的 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度,分析企业 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定对最优契约的影响。

3.1 基本模型

3.1.1 产出动力学

我们研究一个动态委托代理问题。时间是连续且无限的。代理人受委托人的委托,为其经营企业,该企业根据扩散过程产生收益,而扩散过程的漂移取决于代理人的努力。记 $\mathcal{F} = \{\mathcal{F}_t\}_{t \geq 0}$ 。在概率空间 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 上存在标准布朗运动 $B = \{B_t\}_{t \geq 0}$ 。记代理人不可被观测的努力水平为 $a = \{a_t\}_{t \geq 0}$, $a_t \in \{0, 1\}$ 。这表示代理人是二元努力的。当 a_t 取 0 时,表示代理人完全不施加任何努力,在时刻 t 是偷懒的;当 a_t 取 1 时,表示代理人是完全努力的,在时刻 t 是认真工作。假设企业产出过程 $X = \{X_t\}_{t \geq 0}$ 由下式给出:

$$dX_t = (\mu + \eta I) a_t dt + \sigma dB_t, \quad X_0 = 0 \quad (3.1)$$

其中, X_t 表示代理人在时间 $t \geq 0$ 时施加努力的产出。 μ 为在代理人付出努力的情况下委托人不含 ESG 绿色技术投资的平均收益。 I 为单位时间 ESG 绿色技术投资的投资量, η 为 ESG 绿色技术投资的投入产出比。 ηI 可以理解为在代理人付出努力的情况下单位时间 ESG 绿色技术投资能够带来的产出收益。但是由于 ESG 绿色技术投资收益率具有不确定性, ESG 绿色技术投资能够带来多少的产出是不确定的。ESG 绿色技术投资产出率 η 可往往由于环境、政策和人们行为的影响带来不确定性, 为了方便讨论, 我们假设 $\eta \in [\underline{m}, \bar{m}]$ 且要满足 $\underline{m}I \geq 0$, 其中 $\underline{m}, \bar{m}$ 是已知常数。当委托人观察产出过程 X_t 时, 她不能观察到代理人的努力决策。

我们用 $\mathcal{F}^X$ 表示由 X 生成的域流, 因为漂移和扩散系数是连续的, 故随机微分方程(3.1)具有唯一的强解, X 生成的域流与 B 生成的域流一致, 即 $\mathcal{F}^X = \mathcal{F}^B$ 。

代理人努力水平将产生 $a_t dK_t$ 的成本流, 其中, $K = \{K_t\}_{t \geq 0}$ 由下式给出:

$$dK_t = (\theta + \delta I)dt + dZ_t, \quad K_0 = 0 \quad (3.2)$$

这里, θ 表示代理的基础成本。而企业选择进行 ESG 绿色技术投资, 可能就需要购买绿色的生产设备、使用清洁能源、进行绿色技术研发等, 这些都会带来企业成本的增加。我们把这部分因进行 ESG 绿色技术投资而产生的成本用 δI 来表示, 其中 δ 代表绿色技术投资的成本率。 $\{Z_t\}_{t \geq 0}$ 是 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 概率空间上的布朗运动。 Z 独立于 B 。 K 生成的域流与由 Z 生成的域流一致, 即 $\mathcal{F}^K = \mathcal{F}^Z$, 随机微分方程(3.2)具有唯一强解。

3.1.2 测度变换

由于委托人无法预测企业进行 ESG 绿色技术投资带来的产出收益, 委托人对于企业的产出收益具有模糊厌恶性, 而企业的产出可以通过一组与参照方测度 P 在一定程度上保持绝对连续性的概率测度来衡量。在 Chen 和 Epstein^[16]的基础上, 我们采取了利用密度生成元和 Girsanov 定理来构造这些测度的方法。

引入的一个随机过程 $m = \{m_t\}_{t \geq 0}$, 如果 m 是 $\mathcal{F}^X$ 循序可测、平方可积的, 并且满足 $\underline{m} \leq m_t \leq \bar{m}$, 我们称 m 为可容许的, 并用 M 表示可容许的 m 集合。在整篇

文章中，我们使用 $m \in \mathcal{F}^x$ 表示 m 是 $\mathcal{F}^x$ 循序可测的。

参考 Sannikov^[13]，我们通过 Girsanov 定理表示代理人的不同努力选择。我们可以通过 $dP^{a,m} / dP|_{\mathcal{F}_t} \equiv \xi_0^t(a,m)$ 和 P-鞅 $\xi_0^t(a,m)$ 确定 $P^{a,m}$ 。P-鞅 $\xi_0^t(a,m)$ 由下式给定

$$\xi_0^t(a,m) = \exp \left\{ -\int_0^t \frac{I(\eta - m_s)a_s}{\sigma} dB_s - \frac{1}{2} \int_0^t \left[\frac{I(\eta - m_s)a_s}{\sigma} \right]^2 ds \right\} \quad (3.3)$$

此时，在测度 $P^{a,m}$ 下有布朗运动

$$dB_t^{a,m} = \frac{I(\eta - m_t)a_t}{\sigma} dt + dB_t \quad (3.4)$$

将式(3.4)带入式(3.1)，可以将企业的产出过程写成

$$dX_t = (\mu + m_t I)a_t dt + \sigma dB_t^{a,m}, \quad X_0 = 0 \quad (3.5)$$

现在，类似 Szydlowski 和 Yoon^[37]，我们给出满足测度 $P^{a,m}$ 下二维布朗运动 $(B_t^{a,m}, Z_t)$ 的如下引理。

引理 3.1 如果 (B_t, Z_t) 是 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 上的二维布朗运动，那么 $(B_t^{a,m}, Z_t)$ 是 $(\Omega, \mathcal{F}, P^{a,m})$ 上的二维布朗运动，且 $B_t^{a,m}$ 和 Z_t 在测度 $P^{a,m}$ 下是独立的。

由引理 3.1 可得

$$E^{a,m}[a_t dK_t | \mathcal{F}_t^{X,K}] = a_t(\theta + \delta I)dt \quad (3.6)$$

其中 $E^{a,m}[\cdot]$ 表示 $P^{a,m}$ 下的期望值。因此，我们可以将 dK_t 理解为时间 t 时已实现的努力成本流，将 $(\theta + \delta I)$ 理解为平均努力成本流。 $P^{a,m}$ 就是在考虑努力和 ESG 绿色技术投资收益不确定下企业投入产出的概率分布。当代理人选择努力水平为 a_t 时，代理人观察不到 $\{dK_s\}_{s>t}$ ，代理人的努力选择受 $\theta + \delta I$ 的影响。因此，本文中我们将 $\theta + \delta I$ 简化为代理人的努力预期成本。

3.1.3 代理人问题

通常情况下，委托人和代理人会以签订契约的方式建立委托代理关系。委托人和代理人都可以观测到企业的产出过程，但是只有代理人自己知道努力和已实现的成本流的信息。因此，在设计契约时必须考虑到信息不对称的问题。

委托人向代理人承诺并提供了一份契约。假设在时间零签订了契约，根据契约规定，委托人将向代理人支付报酬 $c_t = \int_0^t dc_s$ 的薪酬并满足 $dc_t \geq 0$ 。但是正如 Spear 和 Wang^[35] 探讨退休方式，当代理人在表现糟糕或因代理人价值变得太昂贵而使委托人无法再提供激励时，委托人就会将代理人解雇，契约终止。这是由于收入效应：当给代理人的延续价值足够大时，为了补偿代理人的努力，委托人的成本就太高了，所以让代理人的努力为 0 是最优的，即委托人让代理人退休是最优的。我们用停时 τ 表示代理人被解雇的时间，可容许的契约由 $\mathcal{F}^X$ 循序可测和平方可积的随机过程 $(\hat{a}, c)$ 和停时 τ 组成， c 是右连续的。我们将可容许契约的空间表示为 $\mathcal{A}$ 。这里， $\hat{a}$ 是由委托人根据对于产出 X 的观测决定的推荐努力，要么是工作，要么是偷懒。在均衡中，当代理人的激励相容性成立时，推荐努力实际上就是代理人的最优努力。约束条件 $dc_t \geq 0$ 反映了代理人的有限责任。同时我们假设当契约终止时，公司残值为 L ，代理人的外部价值为零。

我们假设委托人和代理人都是风险中性的。但代理人比委托人更没有耐心，并且贴现时间速率为 $\gamma > r$ 。当 $a_t = 1$ 时，他从委托人那里获得薪酬并产生努力成本。给定 $\alpha \in \mathcal{A}, m \in M$ ，当 $t \geq 0$ 时，代理人的延续价值为

$$W_t \equiv E^{a,m} \left[\int_t^\tau e^{-\gamma(s-t)} (dc_s - a_s dK_s) \mid \mathcal{F}_t^{X,K} \right] \quad (3.7)$$

3.2 最优契约

3.2.1 代理人延续价值的演变

因为委托人模糊厌恶的特性，她就会在最差情况的测度 $P^{\hat{a}, m(\alpha)}$ 下评估每个契约 α ，这反映出她对稳健性的担忧且会最小化了委托人的价值。而对于激励相容契约，代理人的实际努力 a 与推荐努力 $\hat{a}$ 相同，因此 $P^{a, m(\alpha)} = P^{\hat{a}, m(\alpha)}$ 。

在本模型中，委托人和代理人都是风险中性的。委托人获得来自产出过程 X 的收益，并向代理人支付薪酬。因此，委托人在激励相容契约下的最优收益是

$$J_0 = \sup_{\alpha \in \mathcal{A}} \inf_{m \in M} E^{a,m} \left[\int_0^\tau e^{-rt} (dX_t - dc_t) \right] \quad (3.8)$$

若存在发生偏离的努力 $\tilde{a} = \{a_t\}_{t \geq 0} \in \mathcal{F}_t^{X,K}$ ，对于偏离后契约 $\tilde{\alpha} = \{\{\tilde{a}_t, c_t\}_{t \geq 0}, \tau\}$ ，

委托人最优收益需要满足激励相容条件

$$W_0(\alpha, m(\alpha)) \geq W_0(\tilde{\alpha}, m(\alpha)) \quad (3.9)$$

及参与约束

$$W_0(\alpha, m(\alpha)) \geq 0. \quad (3.10)$$

这表示偏离会降低代理人的延续价值，只有在激励相容状态下，代理人延续价值达到最优。故，当代理人的延续价值为 W_t 时， $J(W_t)$ 就是在给定了最优消费 $c(W_t)$ 和推荐努力 $a(W_t)$ 下委托人最大化的预期利润。类似 Szydlowski 和 Yoon^[20] 讨论得到如下命题。

命题 3.1 对于任意契约 $\alpha \in \mathcal{A}$ ，生成元 $m \in M$ ，在不失一般性的情况下，代理人的最优努力是 $\mathcal{F}^X$ 循序的。存在一个 $\mathcal{F}^X$ 循序平方可积过程 $\psi = \{\psi_t\}_{t \geq 0}$ ，使得代理人的延续价值的动态方程为：

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta + \delta I)dt - dc_t + \psi_t dB_t^{a,m} \quad (3.11)$$

除此之外，还满足激励相容条件 $\psi_t \geq \frac{\sigma(\theta + \delta I)}{\mu + mI}$ 。

证明：代理人在 t 时刻的总收益为 Y_t ，由 Elliott^[60] 的推论 3.2，我们可以得到

$$dY_t = e^{-\gamma t} (dc_t - a_t^*(\theta + \delta I)dt) + d(e^{-\gamma t} W_t) \quad (3.12)$$

根据 Elliott^[31] 的定理 4.3，又有 $-Y_t = -Y_0 - \int_0^t e^{-\gamma s} \psi_s dB_s^{a^*,m}$ ，则

$$dY_t = e^{-\gamma t} \psi_t dB_t^{a^*,m} \quad (3.13)$$

将(3.12)和(3.13)联立可得，

$$\begin{aligned} dY_t &= e^{-\gamma t} \psi_t dB_t^{a^*,m} = e^{-\gamma t} (dc_t - a_t^*(\theta + \delta I)dt) + d(e^{-\gamma t} W_t) \\ &= e^{-\gamma t} (dc_t - a_t^*(\theta + \delta I)dt) - \gamma e^{-\gamma t} W_t dt + e^{-\gamma t} dW_t \end{aligned} \quad (3.14)$$

且布朗运动

$$B_t^{a,m} = \frac{1}{\sigma} (X_t - \int_0^t (\mu + m_t I) a_t ds), 0 \leq t < \infty \quad (3.15)$$

将 (3.15) 带入 (3.14) 并移项可得

$$\begin{aligned} dW_t &= (\gamma W_t + a_t^*(\theta + \delta I))dt - dc_t + \psi_t dB_t^{a^*,m} \\ &= (\gamma W_t + a_t^*(\theta + \delta I))dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} (dX_t - (\mu + m_t I)a_t^* dt) \end{aligned} \quad (3.16)$$

又当 $\theta + \delta I > \frac{\mu + m_t I}{\sigma} \psi_t$ 时，代理人会选择偷懒，因此存在激励相容条件

$$\psi_t \geq \frac{\sigma(\theta + \delta I)}{\mu + \underline{m}I} \quad (3.17)$$

因为在本文中只考虑完全努力的情形，故将 $a = 1$ 带入，得到满足激励相容条件 $\psi_t \geq \frac{\sigma(\theta + \delta I)}{\mu + \underline{m}I}$ 的代理人延续价值 $dW_t = (\gamma W_t + \theta + \delta I)dt - dc_t + \psi_t dB_t^{a,m}$ 。

证毕。

该方程表明，代理人的延续价值必须以 γ 速率增长，以补偿其对时间的偏好。此外，薪酬必须对公司的业绩足够敏感，以保持激励相容性。我们可以将过程 ψ_t 解释为代理人的薪酬绩效敏感度（PPS），它决定了代理人的延续价值对产出变化的敏感程度。当努力成本 $\theta + \delta I$ 大于延续价值的损失 $\frac{\mu}{\sigma} \psi_t$ 时，即 $\theta + \delta I > \frac{\mu + \underline{m}I}{\sigma} \psi_t$ 时，有薪酬-绩效敏感度 $\psi_t < \frac{\sigma(\theta + \delta I)}{\mu + \underline{m}I}$ ，此时，代理人的最佳选择就是偷懒。故代理人的最优努力水平为当 $\psi_t \geq \frac{\sigma(\theta + \delta I)}{\mu + \underline{m}I}$ 时， $a(\psi_t, g_t) = 1$ ；否则， $a(\psi_t, g_t) = 0$ 。

3.2.2 ESG 绿色技术投资收益具有 Knight 不确定性下的最优契约

在上述激励相容条件下，我们给出委托人价值函数 $J(W)$ 满足的 HJB 方程。类似 Sannikov^[13]中讨论 HJB 方程解是凹性的思路，可以得出 $J(W)$ 是凹函数的结论。最优契约即为以企业的 ESG 绿色技术投资收益为控制变量，满足激励相容条件下使委托人期望收益最大的契约。

命题 3.2 在 ESG 绿色技术投资收益 Knight 不确定性下，委托人最优期望利润 $J(W_t)$ 以代理人延续价值 W_t 状态变量，是二次连续可微且严格凹的，并且在 $[0, \bar{W}]$ 上满足

$$rJ(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} \mu + m_t I + J'(W_t)(\gamma W_t + \theta + \delta I) + \frac{1}{2} J''(W_t) \psi_t^2 \quad (3.18)$$

为了使委托代理双方的效用最大化，其边界条件为：

$$J(0) = 0, \quad J'(\bar{W}) = -1, \quad J''(\bar{W}) = 0 \quad (3.19)$$

对于所有的 t ，最坏情况下 $m = \underline{m}$ ，并且最佳薪酬绩效敏感度

$$\psi_t \equiv \bar{\psi} = \frac{\sigma(\theta + \delta I)}{\mu + \underline{m}I} \quad (3.20)$$

此外，对 $W_t < \bar{W}$ 有 $dc_t = 0$ ， W^0 是 $J'(W^0) = 0$ 的点。

此时，代理人的延续价值服从

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta + \delta I)dt - dc_t + \psi_t dB_t^{a,m} \quad (3.21)$$

当 $W_t > \bar{W}$ 时，委托人是价值函数为 $J(W_t) = J(\bar{W}) - (W_t - \bar{W})$ ，委托人会立即支付 $(W_t - \bar{W})$ 给代理人，委托代理契约以代理人延续价值 $\bar{W}$ 延续。

证明：当 $W_t < \bar{W}$ 时，有 $dc_t = 0$ 。

由 (3.7) 式可得

$$J(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} E_t^{a,m} \left[\int_t^{\tau} e^{-r(u-t)} dX_u \right] \quad (3.22)$$

代理人延续价值

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta + \delta I)dt - dc_t + \bar{\psi} dB_t^{a,m} \quad (3.23)$$

依据动态规划原理，得

$$\begin{aligned} J(W_t) &= \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} E_t^{a,m} \left[\int_t^{\tau} e^{-r(u-t)} dX_u \right] \\ &= \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} E_t^{a,m} \left[\int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u + e^{-rdt} J(W_{t+dt}) \right] \end{aligned} \quad (3.24)$$

又

$$J(W_{t+dt}) = J(W_t) + dJ(W_t) \quad (3.25)$$

将 (3.24) 式代入 (3.25) 式，得

$$J(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} E_t^{a,m} \left[\int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u + e^{-rdt} (J(W_t) + dJ(W_t)) \right] \quad (3.26)$$

等式两边同时乘 e^{rdt} ，得

$$(e^{rdt} - 1)J(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} E_t^{a,g} [e^{rdt} \int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u + dJ(W_t)] \quad (3.27)$$

由伊藤公式，得

$$\begin{aligned} dJ(W_t) &= J'(W_t)dW_t + \frac{1}{2}J''(W_t)dW_t dW_t \\ &= J'(W_t)[(\gamma W_t + \theta + \delta I)dt + \psi_t dB_t^{a,m}] + \frac{1}{2}J''(W_t)\psi_t^2 dt \end{aligned} \quad (3.28)$$

将 $dJ(W_t)$ 表达式带入到(3.27)，得

$$\begin{aligned} (e^{rdt} - 1)J(W_t) &= \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{g_t \in [\underline{g}, \bar{g}]} E_t^{a,g} \{e^{rdt} \int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dX_u \\ &\quad + J'(W_t)[(\gamma W_t + \theta + \delta I)dt + \psi_t dB_t^{a,m}] \\ &\quad + \frac{1}{2}J''(W_t)\psi_t^2 dt\} \end{aligned} \quad (3.29)$$

两边同时除以 dt ，且令 $dt \rightarrow 0$ ，得

$$rJ(W_t) = \max_{\psi_t \geq \bar{\psi}} \min_{m_t \in [\underline{m}, \bar{m}]} \mu + m_t I + J'(W_t)(\gamma W_t + \theta + \delta I) + \frac{1}{2}J''(W_t)\psi_t^2 \quad (3.30)$$

于是命题得证。

此时，契约具有静态最坏情况。在对产出过程具有模糊厌恶的一次性契约模型中，最坏的情况是生产率处于其可能的最低水平，动态契约中的最坏情况与静态契约中的相同。同时，最优契约也不会存在过度激励，因为即使代理人延续价值很高，模糊厌恶也会使委托人在最坏情况下评估代理人给其带来的收益，故产出过程的 Knight 不确定不会产生过度补偿问题。这也与 Szydlowski 和 Yoon^[37] 的结论相一致。

我们将命题 3.2 的结果与 Miao 和 Rivera^[62]和 Dumav^[63]的结果进行比较，在 Miao 和 Riviera^[62]的论文中，绩效薪酬敏感度可以高于激励努力所需的水平。这是因为他们的工作以熵成本为特色。较低的漂移通过熵成本增加了委托人的回报，因此最差情况继续取决于绩效薪酬敏感度的选择。由于这种相互作用，将绩效薪酬敏感度设置得比需要的高可能对委托人有利。如我们的命题所示，如果没有熵成本，即当我们处于标准的 max-min 框架中时，Miao 和 Rivera^[62]文章中的结果不会出现。与我们文中最高绩效薪酬敏感度设置的方法不同。在 Dumav^[63]和 Sannikov^[13]的论文中，不存在熵值的影响，代理人的努力是持续的。与没有模糊的情况相比，模糊厌恶降低了最优努力，并因此降低了最优绩效薪酬敏感度。

3.3 数值模拟

本节通过 MATLAB 软件进行数值模拟，重点研究 ESG 绿色技术投资的 Knight 不确定性对于最优委托代理契约的影响。以(3.18)和(3.19)式为基础，利用 MATLAB 软件进行数值模拟，求解出最优的契约条件下代理人延续价值和委托人期望收益的联系，并设置不同的投入产出比 η ， ηI 即为 ESG 绿色技术投资带来的产出，通过调节 η 来分析 ESG 绿色技术投资产出的 Knight 不确定对最优契约的影响，在数值模拟的基础上结合经济学原理，给出具有经济学意义的解释。

3.3.1 委托人期望收益和代理人延续价值的关系

在命题 3.2 的基础上，我们令 $\bar{m}=1.5$ ，ESG 绿色技术投资的 Knight 不确定程度参 m 选取数值 $m_1=0.8$ 、 $m_2=0.9$ 、 $m_3=1$ ，进行数值模拟， m 越大意味着 ESG 绿色技术投资的 Knight 不确定程度越低，同时 ESG 绿色技术投资越能给企业带来收益。 w_1 、 w_2 、 w_3 分别是 ESG 绿色技术投资不确定程度参数值 $m_1=0.8$ 、 $m_2=0.9$ 、 $m_3=1$ 下，委托人达到最大预期收益时对应代理人的延续价值点，也称为委托人的最大期望收益点。我们将参数设置为 $r=0.1$ 、 $\gamma=0.15$ 、 $\sigma=5$ 、 $\theta=1$ 、 $I=0.7$ 。图 3-1 为委托人期望收益关于代理人延续价值的变化曲线。

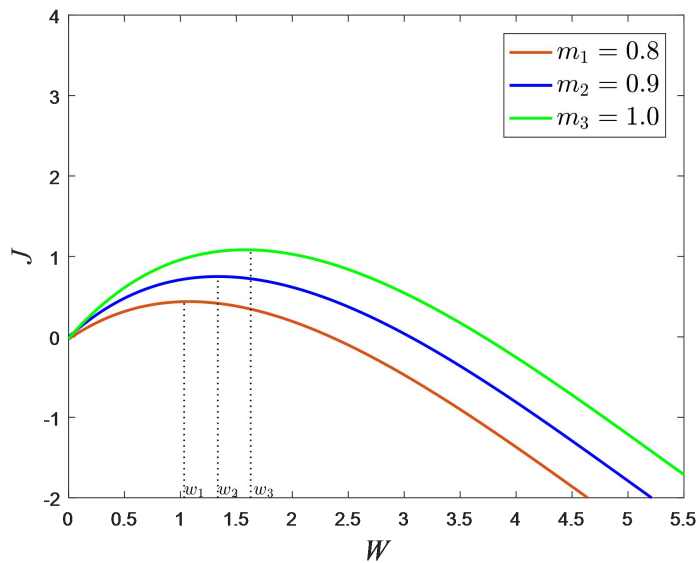


图 3-1 委托人最大预期利润随代理人延续价值的变化

我们分析委托人最大预期收益和不同 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度之间的关系。如表 3-1 所示， $w_1=1.033$ 、 $w_2=1.334$ 、 $w_3=1.628$ 分别对应 ESG 评级不确定程度参数值 $m_1=0.8$ 、 $m_2=0.9$ 、 $m_3=1.0$ 时委托人的最大收益点，以及委托人对应的最大收益 $J(w_1)=0.438$ 、 $J(w_2)=0.7501$ 、 $J(w_3)=1.082$ ，结合图 3-1 和表 3-1，我们发现当 $m_3 > m_2 > m_1$ 时， $J(w_3) > J(w_2) > J(w_1)$ 。

表 3-1 委托人最大预期利润与代理人延续价值相关数据

ESG绿色技术投资不确定程度	最大收益点 W^0	委托人最大收益 $J(W^0)$
$m_1 = 0.80$	1.03	0.44
$m_2 = 0.90$	1.33	0.75
$m_3 = 1.00$	1.63	1.08

委托人最大预期利润随代理人延续价值呈驼峰形变化。随着 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度不断减小，委托人期望收益增加速度变快且图形峰值上升。我们认为，这是由于随着 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度的减小，ESG 绿色技术投资带来的预期产出增加，从而通过降低风险、增加市场机会、提高市场认可度等因素，促进委托人期望收益增加。

(1) 降低风险：不确定性的减小意味着投资者能更好地预测和评估投资的风险。ESG 绿色技术投资通常有较低的环境、社会和治理风险，例如对碳排放的监管、可持续发展政策的推动等。减小的不确定性使得投资者相信这些投资更可靠和稳定，从而期望收益也随之增加。

(2) 增加市场机会：ESG 绿色技术投资的 Knight 不确定程度减小可能吸引更多的投资者进入市场，增加了市场的竞争和机会。这可能会促使投资者更积极地寻找并投资于具有潜力的绿色技术公司或项目，从而推动 ESG 绿色技术投资具有更高的收益率。

(3) 市场认可度提升：ESG 绿色技术投资的 Knight 不确定程度减小可能意味着该领域正在获得更广泛的认可和接受。这将吸引更多的资本和资源流入该领域，进一步推动了投资回报的增加。

综上所述，ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度的降低可以降低风险、增

加市场机会、提高市场认可度，从而帮助委托人实现期望的利润增加。同时，投资绿色技术还可以提升企业的社会声誉，并满足投资者和利益相关者对可持续性发展的期望，从长远来看，有助于实现企业的可持续增长目标。

3.4 本章小结

本文研究了 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定的最优动态契约设计。ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度的减小，会使委托人实现期望的利润增加，从而通过降低风险、增加市场机会、提高市场认可度等途径，影响委托代理的最优契约。

首先，假设委托人和代理人都是风险中性，委托人具有模糊厌恶（即委托人会在最差情况的测度下评估每个契约），考虑在动态模型中引入 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定，构建包含 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定的企业产出过程。其次，构建代理人的延续价值和委托方的期望收益，并确定合适的最优契约所满足的激励相容条件。接着，在满足激励相容的条件下，以代理人延续价值为状态变量，利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后，将最优的控制变量带入 HJB 方程中将其转化为常微分方程，通过数值模拟求解出最优契约设计中代理人延续价值和委托人期望收益的联系，并设置不同的 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度，分析 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度对最优契约的影响，得出结论：ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度的降低可以提供市场机遇、创新驱动、风险管理和政策支持，从而帮助委托人实现期望的利润增加。同时，投资绿色技术还可以提升企业的社会声誉，并满足投资者和利益相关者对可持续性发展的期望，从长远来看，有助于实现企业的可持续增长目标。

从委托人的角度，ESG 绿色技术投资会使得委托人期望的利润增加。但是代理人基于自己的利益角度考虑，也可能会选择增大 ESG 绿色技术投资。

（1）市场竞争和业务机会：代理人可能认识到 ESG 绿色技术投资在当前市场竞争中具有潜在的业务机会。ESG 绿色技术领域的市场增长迅速，代理人可能会看到这些投资在获得新客户、开拓新市场、扩大业务范围和增加销售的方面带来机会。代理人考虑到自身利益，会倾向于投资并推动 ESG 绿色技术投资的增加。

(2) 投资回报和利润增长：代理人也会关注 ESG 绿色技术投资的投资回报和利润增长。ESG 绿色技术投资在长期内可能带来良好的财务回报，特别是在受到政府政策和市场需求推动的情况下。代理人可能期望通过增加 ESG 绿色技术投资来实现自身的经济利益，例如获得更高的管理费、业绩激励或股权收益等。

(3) 公司声誉和市场地位：代理人也可能考虑到通过增加 ESG 绿色技术投资来提升公司声誉和市场地位的潜在益处。随着绿色技术和可持续发展的重要性不断增加，企业在 ESG 领域的表现和对环境和社会问题的关注日益受到市场和利益相关者的重视。代理人可能希望通过增加 ESG 绿色技术投资来提高公司声誉和市场地位，这样可以为代理人带来更多的商机、更高的竞争力、吸引人才、良好的合作伙伴关系和更大的社会影响力。

因此，ESG 绿色技术投资对于委托代理双方都益。那我们研究在企业进行 ESG 绿色技术投资的条件下，满足委托代理双方激励相容状态的最优契约，也具有现实意义。

目前为止，本模型都是在委托人可以正确评估代理人测度的情形下研究的，但实际上因为委托人的经验不同，经验丰富的委托人可以正确评估代理人的激励，但是经验不足的委托人会在错误的概率测度下评估委托代理契约，我们接下来拟研究这种评估差异对于契约设计的影响，从而使我们的模型会更加贴合实际。

第 4 章 ESG 评级具有 Knight 不确定的

错误指定契约

我们现在考虑一个错误指定的契约，并且这个契约不能使激励代理人始终处于努力状态。我们对模型做了如下修改。代理人相信， K 的演化是由参考测度 P 给出的，也就是说，他相信，对于任何的时间 t ， $g_t = \eta$ ，并且他评估任何契约都在测度 $P^{a,\eta}$ 下。委托人是模糊性厌恶的，并进行评估评估任何契约都在第三节定义的最坏情况 $P^{a,g(\alpha)}$ 下，

这也是本节与前文第二章的不同之处。在本节中，委托人的模糊厌恶会导致异质信念产生。而在第三节中，委托人和代理人都是在 $P^{a,g(\alpha)}$ 下评估契约，并不存在异质信念，对于任何激励相容合约，代理人的实际努力 a 与推荐努力 $\hat{a}$ 相同，因此 $P^{a,g(\alpha)} = P^{\hat{a},g(\alpha)}$ 。但是在错误指定契约中，即使当契约是激励相容的，代理人在 $P^{a,\eta}$ 下评估契约，而委托人在 $P^{a,g(\alpha)}$ 测度下评估契约，委托人的模糊厌恶仍然会导致异质信念产生，即委托人和代理人在同一情况下，对于委托代理契约的评估测度是不同的。

我们区分两种情况：(1)委托人是老练的，即她明白代理人在 $P^{a,\eta}$ 测度下评估契约，并且该测度不同于 $P^{a,g(\alpha)}$ ；(2)委托人经验不足，即她错误地认为代理人在 $P^{a,g(\alpha)}$ 测度下评估契约。这是因为经验不足的委托人会用错误的概率测度来评估代理人的激励，我们也称这种契约是错误指定的。

产生错误指定契约的原因在于，在最坏情况下，当努力成本足够接近 $\bar{g}$ 时，即使代理人获得了过高的报酬绩效敏感性，当代理人的延续价值 W_t 较低并且代理人趋向于解雇边界时，代理人仍然会选择偷懒。这是因为解雇实际上会降低代理人努力工作的动机。低延续价值的代理人即使选择努力，在到达支付边界 $\bar{W}$ 之前，他被解雇的概率依然很高，这个因素，再加上他在获得任何奖励之前需要经历补偿不足的过程，将降低努力的边际价值。当努力成本足够高时，这两个因素

足以使代理人不愿付出努力。

4.1 错误指定契约下代理人的延续价值

有了一个老练的委托人，这个模型就会演化成 DeMarzo 和 Sanniko^[32]文中的那样，在 DeMarzo 和 Sannikov^[32]文中，不管委托人的预期如何，如果委托人知道代理人使用测度 $P^{a,\eta}$ ，那么她知道代理人的努力成本是 η ，此时最优契约就是唯一的。因此，在本节的剩余部分中，我们将重点关注经验不足的委托人。

经验不足的委托人向代理人提供命题 1 中的契约。代理人认为委托人(错误地)相信延续价值遵循等式(2.14)中的 W_t 。因为代理人在测度 $P^{a,\eta}$ 下评估契约，因此他的真实延续价值不同于 W_t 。它由下式给出

$$V_t \equiv E^{a,\eta} \left[\int_t^{\tau} e^{-\gamma(s-t)} (dc_s - a_s dK_s) | F_t^{X,K} \right] \quad (4.1)$$

其中 $a = \{a_t\}_{t \geq 0}$ 表示代理的实际努力。

由于契约关于 W_t 中是 Markovian 的(参见命题 2.1)，则代理人可以使用错误指定的延续价值 W_t 来跟踪薪酬和解雇。并用

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g^*(W_t))dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t \quad (4.2)$$

控制动态代理问题。在这里，我们用 $a=1$ 来表示委托人在时刻 t 所要求的努力，这可能与代理人的实际努力 a_t 不同。当代理人逃避时，委托人和代理人的信息集在过程的漂移项会有所不同。如果代理人选择偷懒，他会知道 dX_t 遵循

$$dX_t = \sigma dB_t \quad (4.3)$$

另一方面，委托人无法观察到产出过程，因此仍然假设代理人正在付出努力，因此委托人认为的产出过程 dX_t 遵循

$$dX_t = \mu dt + \sigma dB_t \quad (4.4)$$

我们运用 Girsanov 定理进行测度变换，将 dB_t 和 dB_t^a 联系在一起，即

$$dB_t = dB_t^a - \frac{\mu}{\sigma}(1-a_t)dt \quad (4.5)$$

对 dB_t 和 dB_t^a 之间的差别直观理解如下。当代理人选择偷懒时，在 t 到 $t+dt$ 时刻，产出将低于 μdt 。假设产出的变化量是 $X_{t+dt} - X_t$ 。代理人知道布朗运动的实际实现是

$$B_{t+dt} - B_{dt} = \frac{1}{\sigma} X_{t+dt} - X_t \quad (4.6)$$

而委托人并不知道代理人是偷懒的，她会认为已经实现的布朗运动为

$$B_{t+dt} - B_{dt} = \frac{1}{\sigma} (X_{t+dt} - X_t) - \frac{\mu}{\sigma} dt \quad (4.7)$$

故而，委托人会将把低产出的原因归结为 $B_{t+dt} - B_{dt}$ 较低，并将相应地调整契约。

此时，在考虑偷懒行为时，代理人的延续价值就演变为

$$\begin{aligned} dW_t &= (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g^*(W_t))dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t \\ &= (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda g^*(W_t))dt - dc_t + \frac{\mu}{\sigma} \bar{g} \left(dB_t^a - \frac{\mu}{\sigma} (1 - a_t) dt \right) \\ &= (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda (g^*(W_t) - \bar{g}) + a_t \lambda \bar{g})dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a \end{aligned} \quad (4.8)$$

因此，如果代理人在委托人要求工作时选择偷懒，则延续价值 W_t 的漂移项会使得 $\bar{g}$ 减小，此时，根据等式(4.1)，这里代理人的真实延续价值由下式给出

$$V_0 = \sup E^{a,\eta} \left[\int_0^\tau e^{-\gamma t} (dc_t - a_t dK_t) \right] \quad (4.9)$$

过程 $\{c_t\}_{t \geq 0}$ 和停时 τ 是从命题 1 得到的，并且随着可允许的努力过程发生优化。以 W_t 为状态变量，我们现在刻画了代理人的 HJB 方程，并表明只要 W_t 足够低，代理人就可以偷懒。

4.2 ESG 具有评级 Knight 不确定性下的错误指定契约

命题 4.1 代理的真实延续价值 V_t 关于错误指定的价值 W_t 是 Markovian 过程的，即 $V_t = V(W_t)$ ，并且几乎处处满足 HJB 方程

$$rV(W_t) = \max_{a \in \{0,1\}} -a(\theta_0 + \lambda\eta) + V'(W)(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda(g^*(W_t) - \bar{g}) + a_t \lambda \bar{g}) + \frac{1}{2} V''(W) \bar{w}^2 \quad (4.10)$$

具有边界条件

$$V(0) = 0, \quad V'(\bar{W}) = 1 \quad (4.11)$$

$V(W)$ 对所有 $W \in [0, \bar{W}]$ 都是连续可微的, 在 $[0, W^0)$ 和 $(W^0, \bar{W}]$ 是二阶连续可微的。

代理人的努力始终满足

$$V'(W) \geq \frac{\eta}{\bar{g}} \quad (4.12)$$

存在一个 $\hat{\eta}$, 使得对于所有的 $\eta \leq \hat{\eta}$, 代理人总是施加努力。对于 $\eta \geq \hat{\eta}$, 当 $W \in [0, W_s(\eta)]$, $W \in [W^0, \bar{W}]$ 时, 代理人会工作。更甚者, 存在一个 $\tilde{\eta} \geq \hat{\eta}$ 以至于当 $\eta \geq \tilde{\eta}$, $V(W)$ 是凹的, 但是对于任意 $\eta \leq \tilde{\eta}$, $V(W)$ 在 $[0, W^0)$ 上是凸的, 在 $(W^0, \bar{W}]$ 上是凹的。

证明: 当 $W_t < \bar{W}$ 时, 有 $dc_t = 0$ 。

由 (4.9) 式可得

$$V(W_t) = \max_{a \in \{0,1\}} E_t^{a,\eta} \left[-\int_t^\tau e^{-r(u-t)} a_t dK_u \right] \quad (4.13)$$

代理人延续价值

$$dW_t = (\gamma W_t + \theta_0 + \lambda(g^*(W_t) - \bar{g}) + a_t \lambda \bar{g}) dt - dc_t + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a \quad (4.14)$$

依据动态规划原理, 得

$$\begin{aligned} V(W_t) &= \max_{a \in \{0,1\}} E_t^{a,\eta} \left[-\int_t^\tau e^{-r(u-t)} a_t dK_u \right] \\ &= \max_{a \in \{0,1\}} E_t^{a,\eta} \left[-\int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} a_t dK_u + e^{-rdt} V(W_{t+dt}) \right] \end{aligned} \quad (4.15)$$

又

$$V(W_{t+dt}) = V(W_t) + dV(W_t) \quad (4.16)$$

将(4.16)式代入 4.15)式, 得

$$V(W_t) = \max_{a \in \{0,1\}} E_t^{a,\eta} \left[-\int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} a_t dK_u + e^{-rdt} (V(W_t) + dV(W_t)) \right] \quad (4.17)$$

等式两边同时乘 e^{rdt} , 得

$$(e^{rdt} - 1)V(W_t) = \max_{a \in \{0,1\}} E_t^{a,\eta} \left[-e^{rdt} \int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dK_u + dV(W_t) \right] \quad (4.18)$$

由伊藤公式，得

$$\begin{aligned} dV(W_t) &= V'(W_t)dW_t + \frac{1}{2}V''(W_t)dW_t dW_t \\ &= V'(W_t) \left[(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda(g^*(W_t) - \bar{g}) + a_t \lambda \bar{g})dt + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a \right] \\ &\quad + \frac{1}{2}V''(W_t)\psi_t^2 dt \end{aligned} \quad (4.19)$$

将 $dV(W_t)$ 表达式带入到(4.18)，得

$$\begin{aligned} (e^{rdt} - 1)V(W_t) &= \max_{a \in \{0,1\}} E_t^{a,\eta} \left\{ e^{rdt} \int_t^{t+dt} e^{-r(u-t)} dK_u \right. \\ &\quad + V'(W_t) \left[(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda(g^*(W_t) - \bar{g}) + a_t \lambda \bar{g})dt + \psi_t \frac{1}{\sigma} dB_t^a \right] \\ &\quad \left. + \frac{1}{2}V''(W_t)\psi_t^2 dt \right\} \end{aligned} \quad (4.20)$$

两边同时除以 dt ，且令 $dt \rightarrow 0$ ，得

$$rV(W_t) = \max_{a \in \{0,1\}} -a(\theta_0 + \lambda\eta) + V'(W) \left(\gamma W_t + \theta_0 + \lambda(g^*(W_t) - \bar{g}) + a_t \lambda \bar{g} \right) + \frac{1}{2}V''(W)\psi^2$$

证毕。

4.3 ESG 具有评级 Knight 不确定性下错误指定契约的特征

在上述公式中，代理人在 t 时刻的激励强度由 $V'(W)$ 表示，只有当 $V'(W)$ 足够高时，代理人才会在 t 时刻投入努力。在没有 Knight 不确定的情况下，有 $g_t = \eta$ ，代理人的值函数满足 $V_t = W_t$ ，因此满足 $V'(W) = 1$ 时，代理人始终会付出努力。该命题包含在 ESG 具有评级 Knight 不确定性下，关于代理人的激励强度和他对风险的态度的重要结果。

第一是底部偷懒现象。在 ESG 具有评级 Knight 不确定性的情况下，契约的激励总是足以激励代理人工作。因为错误指定的契约中，代理人的绩效薪酬敏感度 $\frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda\bar{g})$ 大于 $\frac{\sigma}{\mu}(\theta_0 + \lambda\eta)$ ，即，契约具有过高的薪酬绩效敏感度，代理人被

过度激励。因此我们很容易得出这样的结论:此契约下的激励更强,并且代理人会一直工作。这是不对的。正与此相反,当代理人的延续价值 W_t 较低时,代理人会偷懒。从式(4.10)可以得到,最坏情况下的努力成本较低时,即 $g_t = \underline{g}$, W_t 的漂移也低。这增加了 W_t 在零处到达终止边界而不是收益边界 $\bar{w}$ 的可能性。换句话说,代理人更可能被解雇而不是获得薪酬。如命题所示,尽管有较高的绩效薪酬敏感度。这种底部偷懒的影响也会破坏代理人的激励。

这一结果与大量有关动态合约的文献形成了鲜明对比,这些文献表明,契约终止有助于激励代理人努力工作。例如, Spear 和 Wang^[35], DeMarzo 和 Sannikov^[32], Biais 等^[50], Wang^[30], Garrett 和 Pavan^[58], 以及 Fong 及 Li^[36]。在他们的文章中,设置契约终止条件会让代理人有紧迫感和压力,从而使代理人为了不被解雇而努力工作,契约终止是一种激励手段。同时,在 DeMarzo 和 Sannikov^[32]文章中,他们认为委托人知道代理人在最优契约下的努力成本,绩效薪酬敏感度(PPS)足可以在所有延续价值下激励代理人努力。但我们文章的结果认为,如果契约是错误的指定的,即使绩效薪酬敏感度是过高的,这个努力成本也不再是真实的。重要的是,我们关于底部偷懒的结果与经验证据一致。Flabbi 和 Ichino^[59]发现资历较低的员工更有可能被解雇,也更有可能出现高缺勤率或存在不当行为,这可以解释为偷懒,我们文章的结果与其实证结果相一致。

第二是峰形激励强度。代理人施加努力的边际价值为

$$V'(W_t)\lambda\bar{g} - (\theta_0 + \lambda\eta) \quad (4.21)$$

这可以从等式(4.10)得出,因此,代理人的激励强度与 $V'(W_t)$ 成正比。对于低于 w^0 的延续价值,该值首先增大,然后对于大于 w^0 的值,该值减小。

这也符合我们在上文中所讨论的结果,对于低延续价值,激励可能失效,因为低漂移意味着代理人被解雇的可能性大。随着 w 远离零,契约终止的可能性降低,代理人更有可能到达支付边界 $\bar{w}$, 正因如此,激励的强度会增加,但是,当 w 增加超过 w^0 时,代理人很可能到达支付边界,这是无论代理人付出或不付出努力的情况下,代理人都不太可能在被解雇。因此,激励的强度下降。总体而

言，对于中等的延续价值，代理人的激励最强。这些结果预测了具有低资历的代理人将会偷懒，而具有高资历的代理人将会具有较低的努力动机。

4.4 本章小结

本文研究了 ESG 评级具有 Knight 不确定的错误指定契约设计。由于 ESG 评级具有 Knight 不确定性，导致代理人的代理成本具有不确定性，而代理人的努力成本对于代理人是已知的，对于委托人来说是未知的，委托人只有预估代理人的成本并以此设立委托代理契约，由此引发 ESG 评级的 Knight 不确定性会产生委托代理的错误指定契约。

首先，假设委托人和代理人都是风险中性，委托人具有模糊厌恶（即委托人会在最差情况的测度下评估每个契约），考虑在动态模型中引入 ESG 评级 Knight 不确定性，构建包含 ESG 评级 Knight 不确定的企业产出过程。其次，构建代理人的延续价值和委托方的期望收益，并确定合适的最优契约所满足的激励相容条件。接着，在满足激励相容的条件下，以代理人延续价值为状态变量，利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后，对错误指定下代理人延续价值运用 Girsanov 定理，推导出代理人的真实延续价值，并构建代理人真实延续价值的 HJB 方程，发现错误指定契约的具有底部偷懒和峰形激励强度特征。

针对 ESG 具有评级 Knight 不确定性对错误指定契约的特征，可以对企业管理产生启示。

（1）建立绩效考核机制：为了避免低资历代理人的底部偷懒行为，企业可以通过建立绩效考核机制，可以激励代理人更加努力地工作，同时从整体上监督他们的工作表现。这会让减少低资历代理人的偷懒行为。

（2）提供培训和支持：对于资历浅的代理人，过度激励效果差是因为低资历的代理人被解雇的概率高，因此，企业可以提供必要的培训和支持，以帮助低资历的代理人尽快提高自己的延续价值，成为中等资历代理人，而绩效薪酬敏感度的设计方案对于中等资历代理人的效果较好，从而减少低资历代理人的偷懒行为。

（3）个性化的激励方式：从 HJB 方程看出过度激励对于中等资历的代理人

的效果最好,低资历的代理人会偷懒,高资历的代理人将会具有较低的努力动机。因此,可以依据代理人资历设计个性化的激励方案,提高激励效果。

第 5 章 文章结论

本文类似 Szydlowski 和 Yoon^[37]动态建模的思想, 假设委托人是模糊厌恶和风险中性, 代理人是模糊厌恶和风险厌恶的, 在考虑 ESG 评级 Knight 不确定性后, 构建满足激励相容条件的模糊厌恶委托代理最优契约。与 Szydlowski 和 Yoon^[37]契约模型不同的是, 本文将 ESG 评分和 ESG 绿色技术投资纳入模型建设, 利用伊藤引理刻画包含 ESG 因素的委托代理均衡模型, 探索绿色程度的 Knight 不确定对委托代理契约的影响。并在激励相容的条件下, 以代理人的延续价值作为状态变量, 利用 Girsanov 定理和动态规划原理等随机理论, 建立代理人价值函数的 HJB 方程。最后通过选取不同参数值, 结合行为经济学的知识, 利用数值模拟后的数据和图像进行分析。

首先, 第二章考虑在动态模型中引入 ESG 评级 Knight 不确定性。我们构建包含 ESG 评级 Knight 不确定的企业产出过程。然后, 构建代理人的延续价值和委托方的期望收益, 并确定合适的最优契约所满足的激励相容条件。接着, 在满足激励相容的条件下, 以代理人延续价值为状态变量, 利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后, 将最优的控制变量带入 HJB 方程中将其转化为常微分方程, 通过数值模拟求解出最优契约设计中代理人延续价值和委托人期望收益的联系, 并设置不同的 ESG 评级水平, 分析不同的 ESG 评级 Knight 不确定性程度对最优契约的影响, 在数值模拟的基础上结合经济学原理给出相关研究的经济学解释。研究发现: 在考虑企业 ESG 评级的最优委托代理契约中, ESG 评级 Knight 不确定性会对我们委托代理的最优契约产生不可忽视的影响。随着 ESG 评级 Knight 不确定程度的增加, 企业倾向于生产经营朝着更加绿色环保的方向发展, 这势必会牺牲企业一部分经营利润, 同时代理人也需要为了企业的绿色发展付出额外的努力, 代理人的努力成本会增加, 企业代理成本随之增加, 委托人的最大预期收益不断下降。而由于委托人是模糊厌恶的, 在 ESG 评级 Knight 不确定程度增加的过程中, 她会逐渐失去耐心, 选择缩短代理人的试用期, 使委托人的最大期望收益点的左移, 此时, 代理人因可以尽快进入过度补偿区域, 会选择企业绿色发展方向。因此, 绿色发展虽然会降低委托人的期望收益, 但是对代理人有益, 更有助于企业的长期发展。从企业层面看, 选择

绿色发展,会使代理人和企业之间的联系更加紧密,促使代理人更好的企业服务。从整个社会层面来讲,企业选择绿色发展,是积极承担社会责任的体现,符合企业高质量发展观,不仅可以促进生态环境健康发展,还能树立良好企业形象,有利于企业的长远发展。

其次,第三章考虑在动态模型中引入 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定,类似的,我们构建包含 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定的企业产出过程。然后,构建代理人的延续价值和委托方的期望收益,并确定合适的最优契约所满足的激励相容条件。接着,在满足激励相容的条件下,以代理人延续价值为状态变量,利用动态规划原理推导出满足委托人期望收益最大化的 HJB 方程。最后,将最优的控制变量带入 HJB 方程中将其转化为常微分方程,通过数值模拟求解出最优契约设计中代理人延续价值和委托人期望收益的联系,并设置不同的 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度,分析 ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度对最优契约的影响。研究发现: ESG 绿色技术投资 Knight 不确定程度的降低可以提供市场机遇、创新驱动、风险管理和政策支持,从而帮助委托人实现期望的利润增加。同时,投资绿色技术还可以提升企业的社会声誉,并满足投资者和利益相关者对可持续性发展的期望,从长远来看,有助于实现企业的可持续增长目标。

最后,第四章我们将第二章的内容进行了进一步拓展,考虑了 ESG 评级具有 Knight 不确定的错误指定契约设计。由于 ESG 评级具有 Knight 不确定性,导致代理人的代理成本具有不确定性,而代理人的努力成本对于代理人是已知的,对于委托人来说是未知的,委托人只有预估代理人的成本并以此设立委托代理契约,由此引发 ESG 评级的 Knight 不确定性会产生委托代理的错误指定契约。研究发现: 错误指定契约的具有底部偷懒和峰形激励强度特征。针对 ESG 具有评级 Knight 不确定性对错误指定契约的特征,可以对企业管理产生启示。(1) 建立绩效考核机制: 为了避免低资历代理人的底部偷懒行为,企业可以通过建立绩效考核机制,可以激励代理人更加努力地工作,同时从整体上监督他们的工作表现。这会让减少低资历代理人的偷懒行为。(2) 提供培训和支持: 对于资历浅的代理人,过度激励效果差是因为低资历的代理人被解雇的概率高,因此,企业可以提供必要的培训和支持,以帮助低资历的代理人尽快提高自己的延续价值,成为中等资历代理人,而绩效薪酬敏感度的设计方案对于中等资历代理人的效果

较好，从而减少低资历代理人的偷懒行为。（3）个性化的激励方式：从 HJB 方程看出过度激励对于中等资历的代理人的效果最好，低资历的代理人会偷懒，高资历的代理人将会具有较低的努力动机。因此，可以依据代理人资历设计个性化的激励方案，提高激励效果。

参考文献

- [1]邱牧远, 殷红. 生态文明建设背景下企业 ESG 表现与融资成本[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(3): 108-123.
- [2]周方召, 潘婉颖, 付辉. 上市公司 ESG 责任表现与机构投资者持股偏好——来自中国 A 股上市公司的经验证据[J]. 科学决策, 2020, 11: 15-41.
- [3]胡洁, 韩一鸣, 钟咏. 企业数字化转型如何影响企业 ESG 表现——来自中国上市公司的证据[J]. 产业经济评论, 2023, 1: 105-123.
- [4]李井林, 阳镇, 陈劲, 崔文清. ESG 促进企业绩效的机制研究——基于企业创新的视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(9): 71-89.
- [5]王海军, 陈波, 何玉. ESG 责任履行提高了企业估值吗?——来自 MSCI 评级的准自然试验[J]. 经济学报, 2023, 10(2): 62-90.
- [6]费晨, 余鹏, 费为银等. 道德风险下带有 Knight 不确定的最优动态契约设计[J]. 管理科学学报, 2020, 40(9): 2302-2313.
- [7]Gabaix X., Landier A. Why has CEO pay increased so much?[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2008, 123(1): 49-100.
- [8]Pástor L., Stambaugh R.F., Taylor L.A. Sustainable investing in equilibrium[J]. Journal of Financial Economics, 2021, 142(2): 550-571.
- [9]Eliwa Y., Aboud A., Saleh A. ESG practices and the cost of debt: Evidence from EU countries[J]. Critical Perspectives on Accounting, 2021, 79: 102097.
- [10]Avramov D., Cheng S., Lioui A., Tarelli A. Sustainable investing with ESG rating uncertainty[J]. Journal of Financial Economics, 2022, 145(2): 642-664.
- [11]Spear S.E., Srivastava S. On repeated moral hazard with discounting[J]. Review of Economic Studies, 1987, 54(4): 599-617.
- [12]Holmstrom B., Milgrom P. Aggregation and linearity in the provision of intertemporal incentives[J]. Econometrica, 1987, 55(2): 303-328.
- [13]Sannikov Y. A continuous-time version of the principal-agent problem[J].

Review of Economic Studies, 2008, 75 (3): 957-984.

[14]Marinovic I., Varas F. CEO horizon, optimal pay duration, and the escalation of short-termism[J]. Journal of Finance, 2019, 74(4): 2011-2053.

[15]Knight F.H. Risk, Uncertainty and Profit[M]. Houghton Mifflin Company, 1921.

[16]Chen Z., Epstein L. Ambiguity, risk, and asset returns in continuous time[J]. Econometrica, 2002, 70 (4): 1403-1443.

[17]Epstein L., Ji S. Ambiguous volatility, possibility and utility in continuous time[J]. Journal of Mathematical Economics, 2014, 50: 269-282.

[18]Fei W. Optimal consumption and portfolio choice with ambiguity and anticipation[J]. Information Sciences, 2007, 177: 5178-5190.

[19]Fei W. Optimal portfolio choice based on α -MEU under ambiguity[J]. Stochastic Models, 2009, 25: 455-482.

[20]费晨. G-布朗运动驱动随机系统的最优控制和最优消费投资组合[J], 应用数学学报, 2021, 44(3): 355-382.

[21]孙多好, 费为银, 邓寿年. Knight 不确定下基于代币的平台运营管理[J]. 系统管理学报, 2022, 31(4): 699-708.

[22]张顺明, 孙玉哲. 暧昧环境下的资产定价和流动性研究[J]. 计量经济学报, 2021, 1(1): 172-200.

[23]Di Tillio A., Kos N., Messner M. The design of ambiguous mechanisms[J]. Review of Economic Studies, 2017, 84 (1): 237-276.

[24]Dicks D., Fulghieri P. Uncertainty and contracting in organizations[R]. CEPR Discussion Papers, 2020.

[25]Sun P., Tian F. Optimal contract to induce continued effort[J]. Management Science, 2018, 64(9): 4193-4217.

[26]Dumav M. Moral hazard, dynamic incentives and ambiguous perception[R]. arxiv.org/abs/2110.15229v1, 2021.

[27]Wang K., Fei C., Fei W. Optimal contract for the principal-agent under Knightian uncertainty[J]. Journal of the Operations Research Society of China, 2020, 8: 637-654.

- [28]Sung J. Optimal contracting under mean-volatility ambiguity uncertainties[J]. *Economic Theory*, 2022, 74: 593-642.
- [29]凌爱凡, 谢林利, 胡志军, 唐乐. 允许契约提前终止的鲁棒动态金融契约模型[J]. *中国科学: 数学*, 2022, 52(10): 1203-1236.
- [30]Wang C. Termination of dynamic contracts in an equilibrium labor market model[J]. *Journal of Economic Theory*, 2011, 146(1): 74-110.
- [31]DeMarzo P.M., Fishman M.J., He Z., et al. Dynamic agency and the q theory of investment[J]. *Journal of Finance*, 2012, 67(6): 2295-2340.
- [32]DeMarzo P.M., Sannikov Y. Optimal security design and dynamic capital structure in a continuous - time agency model[J]. *Journal of Finance*, 2006, 61(6): 2681-2724.
- [33]Cvitanic J., Possamaï D., Touzi N. Dynamic programming approach to principal-agent problems[J]. *Finance Stoch*, 2018, 22: 1-37.
- [34]Prat J., Jovanovic B. Dynamic contracts when the agent's quality is unknown[J]. *Theoretical Economics*, 2014, 9(3): 865-914.
- [35]Spear S.E., Wang C. When to fire a CEO: Optimal termination in dynamic contracts[J]. *Journal of Economic Theory*, 2005, 120(2): 239-256.
- [36]Fong Y., Li J. Relational contracts, limited liability, and employment dynamics[J]. *Journal of Economic Theory*, 2017, 169: 270-293.
- [37]Szydlowski M, Yoon J.H. Ambiguity in dynamic contracts[J]. *Journal of Economic Theory*, 2022, 199: 105229
- [38]Gabaix X., Landier A. Why has CEO pay increased so much?[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2008, 123(1): 49-100.
- [39]Barnett M. Climate change and uncertainty: An asset pricing perspective[J]. *Management Science*, 2023, 69(1): 1-23.
- [40]Li R.Z., Fei C., Pan H.F., Fei W.Y. Analysis of investment and decision-making based on ESG token platform under jump-diffusion[J]. *International Journal of Systems Science*, 2023, 54(4): 907-928.
- [41]Saunila M., Rantala T., Ukko J., et al. Why invest in green technologies? Sustainability engagement among small businesses[J]. *Technology Analysis &*

Strategic Management, 2019, 31(6): 653-666.

[42]Wu J., Strezov V. Green technologies and sustainability: A new trend[J]. Green Technologies and Sustainability, 2023, 1(1): 100008.

[43]中国工商银行绿色金融课题组, 张红力, 周月秋等. ESG 绿色评级及绿色指数研究[J]. 金融论坛, 2017, 22(9): 3-14.

[44]孙冬, 杨硕, 赵雨萱等. ESG 表现、财务状况与系统性风险相关性研究——以沪深 A 股电力上市公司为例[J]. 中国环境管理, 2019, 11(02):37-43.

[45]Atan R., Alam M., Said J., et al. The impacts of environmental, social, and governance factors on firm performance: Panel study of Malaysian companies[J]. Management of Environmental Quality, 2018, 29(2): 182-194.

[46]Gao X., Zheng H. Environmental concerns, environmental policy and green investment[J]. International journal of environmental research and public health, 2017, 14(12): 1570.

[47]Friede G., Busch T., Bassen A. ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies[J]. Journal of Sustainable Finance & Investment, 2015, 5(4): 210-223.

[48]Zhao C., Guo Y., Yuan J., et al. ESG and corporate financial performance: Empirical evidence from China's listed power generation companies[J]. Sustainability, 2018, 10(8): 2607.

[49]Oliver H., John M., Default and renegotiation: A dynamic model of debt[J], The Quarterly Journal of Economics, 1998, 113(1): 1-41.

[50]Biais B., Mariotti T., Plantin G., et al. Dynamic security design: Convergence to continuous time and asset pricing implications[J]. Review of Economic Studies, 2007, 74(2): 345-390.

[51]Fu S., Krishna R.V. Dynamic financial contracting with persistent private information[J]. SSRN Electronic Journal, 2019, 50(2): 418-452.

[52]He Z. A model of dynamic compensation and capital structure[J]. Journal of Financial Economics, 2011, 100(2): 351-366.

[53]He Z. Dynamic compensation contracts with private savings[J]. The Review of Financial Studies, 2012, 25(5): 1494-1549.

[54]Li L., Fei C., Fei W.Y. Research on investment incorporating both environmental performance and long (short) term financial performance of firms[J]. International Journal of Systems Science, 2023, 55(2), 273-299.

[55]He Z., Wei B., Yu J., et al. Optimal long-term contracting with learning[J]. The Review of Financial Studies, 2017, 30(6): 2006-2065.

[56]Hansen L.P., Sargent T.J. Three types of ambiguity[J]. Journal of Monetary Economics, 2012, 59(5): 422-445.

[57]Oyer P., Schaefer S. Personnel Economics: Hiring and Incentives[J]. Nber Working Papers, 2011, 4: 1769-1823.

[58]Garrett D.F., Pavan A. Managerial turnover in a changing world[J]. Journal of Political Economy, 2012, 120(5): 879-925.

[59]Flabbi L., Ichino A. Productivity, seniority and wages: new evidence from personnel data[J]. Labour Economics, 2001, 8(3): 359-387.

[60]Elliott R.J. The optimal control of a stochastic system[J]. SIAM Journal on Control and Optimization, 1977, 15(5): 756-778.

[61]彭实戈. 非线性期望的理论方法及意义[J]. 中国科学: 数学, 2017, 47(10): 1223-1254.

[62]Miao J., Rivera A. Robust contracts in continuous time[J]. Econometrica, 2016, 84(4): 1405-1440.

[63]Dumav M. Continuous-time contracting with ambiguous perceptions[R]. Working paper, Universidad Carlos III de Madrid, 2017.

硕士期间发表的论文

- [1] Xu Y, Fei C, Fei W. Optimal dynamic contract with Knightian uncertainty of ESG rating[J]. International Journal of General Systems, 2024, 53(3): 381-402.

致谢

时光荏苒，岁月如梭，在这春暖花开的季节，我的研究生三年已经接近尾声。回想起两年多的学习和生活，不禁感慨万千，近三年忙碌又短暂的科研时光让人既兴奋又遗憾。在此论文完成之际，谨向两年多来给予我关心、支持和帮助我的良师益友、亲人致以最真挚的谢意！

我要特别感谢我的研究生导师费为银教授，感谢费老师在学习中给予我的极大帮助和孜孜不倦的指导。在他的指导下，我不仅掌握了基本的专业知识，还养成了良好的工作习惯。和费老师相处的近三年让我学会了很多知识和道理，是我人生中不可多得的财富。在本篇论文撰写过程中，费老师针对选题、构思和撰写等方面都提出了很多宝贵的意见和建议。在此毕业之际，谨向费老师致以最崇高的敬意和最衷心的感谢，祝愿费老师在以后的生活和工作中一帆风顺，事事如意。

其次，感谢在研究生学习阶段所有任课老师，是他们的辛勤付出给我打下了良好的研究基础，论文的研究还离不开讨论班的老师和同学们的支持与帮助。还要感谢同学李亮、吴开强、李任重等在学习过程中给予我帮助与支持以及在平日里的关心和帮助。感谢我的室友杨晴晴和我的老同学谈倩倩，陪我度过了一段快乐且幸福的研究生生活。

感谢我的父母和亲人，感谢你们一直以来的默默支持和付出，在我遇到失败和挫折时，是你们让我能够坚定信心继续向前。

最后，向参加论文评阅、答辩的专家和老师们致以衷心的感谢！