

分类号

密级

UDC

编号

中南大學

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

硕士学位论文

论文题目 基于风险规避的供应链销量

回馈与惩罚契约协调研究

学科、专业 管理科学与工程

研究生姓名 王俏

导师姓名及
专业技术职务 许民利 副教授

原创性声明



本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名： 王 倩 日期： 2012 年 11 月 26 日

学位论文版权使用授权书

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文并根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

作者签名： 王 倩 导师签名： 王 倩 日期： 2012 年 11 月 26 日

摘 要

供应链协调是供应链管理研究中的一个热点问题,其中,在各参与者之间制定供应链契约,保证买卖双方协调,成为供应链协调研究的一个重要分支。然而,传统的供应链契约协调研究都是建立在风险中性的假设基础之上,未考虑决策者的风险偏好。近年来,大量实验和实证证据表明决策者具有风险偏好,基于风险偏好的供应链协调问题受到越来越多研究者和管理者的关注。

在需求依赖于价格或销售努力的情况下,已有的研究表明,单一的契约,如回购契约、销量回馈与惩罚契约、数量折扣契约等不能够保证供应链协调,而联合契约则能够实现渠道协调。但是,这些研究都基于风险中性的假设,在决策者风险偏好的假设下,这些研究结论是否依然适用是未知的。

有鉴于此,本文在决策者风险规避的假设下,对单供应商和单零售商构成的二级供应链进行了契约建模,并探讨了供应链的协调问题。具体地说,主要分析了以下三个方面的问题:

(1)基于风险规避且需求随机的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究。在供应商和零售商风险规避且需求随机的假设下,构建集中式供应链和分散式供应链的决策模型,探讨销量回馈与惩罚契约实现渠道协调满足的充分必要条件,以及协调时最优契约参数满足的条件。研究表明:存在多个这样的销量回馈与惩罚契约可以协调供应链。并且该契约的有效性取决于供应链(供应商)和零售商风险规避度之间的差异。如果两者的风险规避度相差太大,则销量回馈与惩罚契约不能实现供应链协调。

(2)基于风险规避和销售努力因素的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究。在零售商风险规避且需求受销售努力影响的假设下,分别在乘法需求模型和加法需求模型下,构建了含风险规避零售商的二级供应链契约模型,探讨销量回馈与惩罚契约实现供应链协调的必要条件。研究表明:在零售商风险规避且需求依赖于销售努力的情况下,销量回馈与惩罚契约仍然能够实现供应链协调。而且在加法需求模型和乘法需求模型下,能够实现供应链协调的最优契约参数满足的条件是一样的。

(3)基于风险规避和双因素影响的供应链协调研究。在零售商风

险规避且需求同时受价格和销售努力影响的假设下，构建了含风险规避零售商的二级供应链契约模型。研究表明：销量回馈与惩罚契约不再能够协调供应链。之后使用一个较简单的两部定价契约和联合契约进行协调分析，结果表明只有两部定价契约能够实现渠道协调。并且在协调时，两部定价契约中最优批发价等于供应商的生产成本，而固定转移支付值的大小反映了零售商风险规避度的大小。

关键词：供应链协调；风险规避；销量回馈与惩罚契约；两部定价契约；联合契约

ABSTRACT

Supply chain coordination is a hot topic in the research of supply chain management. And setting appropriate contracts among agents to ensure the coordination between the seller and the buyer has become an important branch of supply chain coordination. However, the traditional supply chain coordination research is based on the assumption of risk neutrality, without taking the decision maker's risk preference into account. In recent years, extensive experimental and empirical evidences show that decision makers may have risk preference, and the issue of supply chain coordination based on the assumption of risk preference is getting more and more attention from both researchers and practitioners.

In the context of price-dependent or sales effort-dependent demands, the existent researches have shown that a single contract, such as the buyback contract, sales rebate and penalty contract, quantity discount contract etc, can't achieve supply chain coordination, whereas joint contracts, could coordinate the supply chain. However, one of the common assumptions in these studies is risk neutrality. Under the assumption of risk preferences exhibited by decision makers, it is unknown whether the results derived from these studies are still applicable.

In light of this, this article models a two-stage supply chain by considering decision makers' risk aversions. The supply chain is consisted of a single supplier and a single retailer. The problem of supply chain coordination via setting appropriate contracts between agents is investigated. Specifically, this article has analyzed the following three issues:

(1) Supply chain coordination based on risk aversion and stochastic demand under a sales rebate and penalty contract. Both the supplier and the retailer are assumed to be risk averse. With a random and uncertain demand, the necessary and sufficient conditions for the sales rebate and penalty contract to achieve channel coordination are identified. Moreover, the conditions satisfied by the contract parameters when the supply chain is coordinated are explored. The results show that: there exist multiple

sales rebate and penalty contracts that can coordinate the supply chain. And the effectiveness of the contract depends on the difference in the degrees of risk aversions between the supply chain (supplier) and the retailer. Specifically, if the degrees are too far away, then channel coordination can't be achieved via setting a sales rebate and penalty contract.

(2) Supply chain coordination with risk-averse retailer and sales-effort dependent demand under a sales rebate and penalty contract. In the supply chain, the retailer is assumed to be risk-averse, and the market demand is sensitive to sales effort. Under both the multiplicative and additive demand models, the necessary conditions for the sales rebate and penalty contract to achieve channel coordination are determined. The results manifest that: in the context of a risk-averse retailer and sale effort-dependent demand, a single sales rebate and penalty can still coordinate the supply chain. Furthermore, under both the multiplicative and additive demand models, the contitions of the optimal contract parameters to satisfy are consistent.

(3) Supply chain coordination with risk-averse retailer and double factors dependent demand. Similarly, in this supply chain, the supplier is assumed to be risk-neutral while the retailer risk averse. Besides, the demand is sensitive to both the price and sales effort. The issue of supply chain coordination is studied. The research results reveal that: in the context of a risk-averse retailer and the demand depending on both price and the sales effort, a single sales effort and penalty contract can't coordinate the supply chain any more. A simplier two-part tariff contract and a joint contract are employed to achieve channel coordination. The results imply that only a two-part tariff contract can achieve supply chain coordination. Moreover, when the channel achieves coordination, in two-part tariff contract, the optimal wholesale price is equal to the supplier's production cost, and the value of the fixed transfer payment reflects the degree of the retailers' risk aversion.

KEY WORDS: supply chain coordination; risk aversion; sales rebate and penalty contract; two-part tariff contract; joint contract

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究的目的与意义	2
1.2.1 研究的目的	2
1.2.2 研究的意义	3
1.3 研究内容和章节安排	4
1.4 研究方法、思路与结构框架	5
1.4.1 研究方法	5
1.4.2 研究思路	6
1.4.3 研究的结构框架	6
1.5 研究的主要创新点	7
第 2 章 理论基础与文献综述	9
2.1 供应链与供应链管理的概念	9
2.2 供应链协调的定义及研究现状	10
2.3 供应链契约的定义及研究现状	11
2.3.1 供应链契约的分类	11
2.3.2 批发价契约和两部定价契约的研究现状	13
2.3.3 销量回馈与惩罚契约的研究现状	14
2.3.4 供应链契约研究的文献评述	15
2.4 需求依赖于价格或销售努力的供应链协调研究现状	15
2.4.1 需求依赖于价格的供应链协调研究现状	15
2.4.2 需求依赖于销售努力的供应链协调研究现状	16
2.4.3 需求依赖于价格或销售努力研究的文献评述	17
2.5 基于风险偏好的供应链协调研究现状	17
2.5.1 风险偏好的度量方法	17
2.5.2 风险偏好报童及供应链协调研究现状	19
2.5.3 基于风险偏好研究的文献评述	23
第 3 章 基于风险规避且需求随机的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究	24
3.1 模型构建与符号说明	24
3.2 集中式的供应链	25
3.3 分散式的供应链	26
3.4 供应链协调	28
3.5 数值分析	31
3.6 本章小结	40
第 4 章 基于风险规避和销售努力因素的销量回馈与惩罚契约协调研究	41
4.1 模型构建与符号说明	41
4.2 集中式的供应链	43
4.2.1 加法模式的需求模型	43
4.2.2 乘法模式的需求模型	44
4.3 分散式的供应链	45
4.3.1 加法模式的需求模型	45

4.3.2 乘法模式的需求模型	47
4.4 供应链协调	49
4.4.1 加法模式的需求模型	49
4.4.2 乘法模式的需求模型	51
4.5 数值分析	53
4.5.1 契约参数的取值	53
4.5.2 敏感性分析	57
4.6 本章小结	60
第 5 章 基于风险规避和双因素影响的供应链协调研究	61
5.1 模型构建与符号说明	61
5.2 集中式的供应链	63
5.3 单个契约下分散式的供应链	65
5.3.1 销量回馈与惩罚契约下分散式的供应链	66
5.3.2 两部定价契约下分散式的供应链	69
5.4 联合契约下分散式的供应链	71
5.5 供应链协调	72
5.5.1 单个契约下的供应链协调	73
5.5.2 联合契约下的供应链协调	75
5.6 数值分析	75
5.6.1 契约参数取值的确定	75
5.6.2 敏感性分析	77
5.7 本章小结	82
第 6 章 结论与研究展望	83
6.1 研究结论	83
6.2 研究展望	85
参考文献	86
致谢	93
攻读硕士期间主要研究成果	94

第1章 绪论

1.1 研究背景

进入 20 世纪 90 年代以来, 供应链 (Supply Chain) 作为一种有效的运营模式, 已被越来越多的企业所接受, 大大提高了企业生产运营的柔性和响应速度, 以应对科学技术迅猛发展, 经济全球化持续深入和市场竞争日益加剧的外部环境。原来单个企业与单个企业的竞争已经转变为供应链之间的竞争^[1]。为了实现供应链整体绩效的最优化, 供应链管理(Supply Chain Management)的思想应运而生, 它运用集成化的管理思想和方法, 通过上下游企业之间的战略合作与分工, 对整条“链”上的物流、信息流和资金流进行优化配置, 从而获得供应链的集体竞争优势^[2]。然而, 供应链系统往往是由市场中独立的经济实体构成的, 各参与企业之间处于分散决策的状态, 不同参与者拥有不同的优化目标、激励和私有信息。这些特点决定了供应链在追求整体一致性的同时也存在内部的冲突危机, 成员个体目标常会与整体目标发生冲突, 导致牛鞭效应^[3]和双重边际化效应^[4]等问题的产生, 从而降低供应链的效率, 削弱供应链的竞争能力。因此, 为了改善供应链的绩效, 供应链协调(Supply Chain Coordination)在现代供应链管理中变得至关重要, 也日益成为供应链管理研究中的热点问题。在文献中, 国内外学者们已经提出多种用于供应链优化和协调的政策。其中, 在各参与者之间制定供应链契约 (Supply Chain Contract), 在最近几年内获得了大量关注^[5-6]。自 Pasternack(1985)^[7]1985 年最早提出供应链契约的概念以来, 有关供应链契约的研究已经产生了丰富的研究成果, 例如, 在随机需求的环境下, 简单的批发价契约 (wholesale price contract) 不能实现供应链协调, 而回购契约 (buyback contract)、收益共享契约 (revenue sharing contract)、数量折扣契约 (quantity discount contract)、两部定价契约 (two-part tariff contract) 和销量回馈与惩罚契约 (sales rebate and penalty contract) 等能够有效地实现供应链协调。然而, 这些研究的一个共同假设是风险中性, 以期望利润最大化或者期望成本最小化作为供应链的目标, 而未考虑参与者的风险偏好。

随着产品的生命周期越来越短、更新换代速度的加快, 顾客的需求由原来的普遍化、单一化逐渐呈现出个性化和多样化, 顾客需求不确定性增大, 越来越多的产品呈现出“报童类”产品的特征, 即需求高度不确定、销售周期短和生产提前期长。这一切都导致企业和管理者的决策面临前所未有的不确定性。决策者对待风险的态度或者偏好对于其经济管理决策具有非常重要的作用, 也对供应链的

绩效产生深远的影响。大量的实证证据表明决策者风险偏好的存在(Kahn(1992)^[8], Fish and Raman(1996)^[9], Patsuris(2001)^[10])。Schweitzer 和 Cachon(2000)进行了一系列的实验要求被试解决报童类问题, 实验结果显示, 依赖于实验环境, 实验被试的订购量可能会系统性地高于或低于理论上风险中性报童的订购量。对于低利润的产品, 被试订购过多, 而对于高利润的产品, 被试订购不足^[11]。文献[12-14]也获得了相似的结果。而这些对于利润最大化订购量的偏离存在的一个主要原因就是决策者具有风险偏好。在供应链契约和协调的研究中, 学者们和研究者们也开始纷纷关注供应链参与者的风险偏好, 并探讨其对供应链绩效及协调的影响。

在大部分的传统供应链契约研究文献中, 需求被假定为随机的, 并且独立于价格或者销售努力。然而, 在实际的供应链运作环境中, 零售商通常会利用价格杠杆和销售努力来刺激目标顾客的购买欲望, 增大产品的销售量。研究者们也注意到了这个问题, 并对此展开了大量的研究, 探讨需求受价格或者销售努力影响下的供应链契约及协调问题。已有的结论表明, 当需求受价格或销售努力影响时, 单个的契约, 如批发价契约、回购契约、数量折扣契约和销量回馈与惩罚契约等是不能实现协调的^[5], 而这些契约的联合契约, 则能够实现激励和风险共担, 消除或缓解系统的双重边际化效应, 使供应链的绩效最大化。但是, 这些研究都是建立在风险中性的基础上, 当供应链的参与者具有风险偏好时, 单个契约能否实现协调, 抑或仍然需要使用联合契约才能实现渠道协调是未知的。

因此, 基于前人的研究成果, 本文探讨了具有风险规避参与者的供应链协调问题。以报童模型为研究框架, 考虑决策者风险规避, 并且需求依赖于销售努力或者需求同时受价格和销售努力影响, 构建供应链销量回馈与惩罚契约模型, 分析供应链的协调问题。

1.2 研究的目的是与意义

1.2.1 研究的目的

本文研究的主要目的就是协调参与者风险规避且需求受销售努力或需求同时受价格和销售努力影响下的二级供应链。具体来说, 本文研究的目的有如下几点:

(1)针对现有供应链契约文献中大部分假设下游零售商风险规避, 而上游供应商风险中性的局限性, 构建了供应链参与双方都为风险规避者且需求随机下的供应链销量回馈与惩罚契约模型, 并对该二级供应链进行协调分析, 探讨双方的风险规避偏好对各自最优决策和目标利润、供应链绩效的影响, 并分析该契约实现渠道协调的充分必要条件, 给出协调时最优契约参数满足的条件, 并用数值算

例验证理论模型的相关结论及该契约对供应链协调的作用；

(2)针对已有的考虑风险规避决策者的供应链契约文献研究中的不足，构建了当下游零售商风险规避和销售努力影响下的供应链销量回馈与惩罚契约模型，并进行供应链协调分析，探讨零售商的风险规避、需求的努力弹性对于其最优决策和供应链契约参数取值的影响，分析该契约实现渠道协调的必要条件，给出协调时最优契约参数满足的条件，并进一步扩展此模型，考虑需求同时受价格和销售努力影响下的供应链协调问题，探讨此环境下单个的销量回馈与惩罚契约能否实现协调。在证明该契约不再能够协调供应链后，使用两部定价契约及这两个契约的联合契约进行渠道协调分析，并使用数值算例来验证理论模型的相关结论；

(3)在供应链的参与者风险规避且需求受销售努力或需求同时受价格和销售努力影响时，分析比较单个契约和联合契约对于供应链协调的作用。由于在风险中性的假设下，当需求受价格或销售努力影响时，已有的研究表明联合契约比单个契约更加有效，只有联合契约才能实现渠道协调。然而，当零售商风险规避时，这一结论是否成立是未知的，而本文试图对此提供解答。

1.2.2 研究的意义

本文研究的主要意义包括：

(1)本文对供应链契约和协调的研究，能够丰富供应链管理的理论，促进供应链协调和契约机制的发展和应用。本文探讨了当供应链参与者风险规避情况下的供应链协调问题，使用供应链契约激励的方式使需求受销售努力影响或需求同时受价格和销售努力影响的二级供应链得到协调，帮助供应链中的参与者了解供应链失调的原因，并充分认识到供应链协调的重要性，促使供应链运作中相关决策主体使用合适的供应链契约机制和措施，化解各参与者之间的冲突和目标不一致，从而实现供应链整体绩效及竞争力的大幅度提高，并为链中企业获得更大的竞争优势。

(2)考虑决策者风险规避的模型更加贴近实际，增大研究的实用性。在实际中，由于市场竞争的加剧，产品需求的日益个性化和多样化，产品生命周期急剧缩短和更新换代速度加快所带来的市场环境的不确定性越来越大，导致供应链成员具有风险规避。理论和实证的研究也表明决策者的风险规避对于决策者的决策行为和目标产生影响，从而可能得出与风险中性假设下完全不同的结论。忽略供应链参与者风险规避的契约机制，在实际供应链运作中很难有效地实施。本文构建的供应链协调模型，由于考虑了相关决策主体的风险规避，使供应链协调问题更加符合实际情况，反映实际中管理者和决策者的行为，增大了研究的实用性，为供应链中的相关决策者进行科学决策提供了保障。

(3)丰富了现有的理论模型和文献。本文在前人研究的基础上,考虑供应链中的参与者风险规避的情况下,分别构建了当需求受销售努力影响及需求同时受价格和销售努力影响下的供应链销量回馈与惩罚契约模型,探讨了供应链的协调问题,丰富了现有供应链协调的模型和文献,补充了该领域的研究内容,填补了相应研究的空白。同时,本文为后续研究者们进行实证和实验研究提供了理论基础。此外,本文的研究也揭示出如何将传统风险中性的供应链契约模型扩展到包含风险规避参与者以及需求依赖于价格或销售努力背景下的供应链。

(4)本文所构建的供应链契约模型能够为实际供应链运作过程中相关决策主体的决策提供参考和指导。本文考虑了需求依赖于价格或者销售努力以及供应链参与者的风险规避,因此,所构建的理论模型能够为供应链管理实践者提供决策参考,揭示出相关决策主体使用何种契约,如何使用契约并确定最优契约参数以协调供应链,也为供应链参与者在实施供应链契约中遇到的新问题和新现象提供决策支持。

1.3 研究内容和章节安排

本文在总结已有供应链契约协调研究成果的基础上,假设产品为“报童”类产品,具有短生命周期,市场需求不确定,有关产品的需求结构、收益-成本参数等信息完全且对称,针对现有相关研究的不足,考虑由单一供应商和单一零售商构成的二级供应链,其中供应商为领导者,向下游的零售商提供契约,零售商为追随者,对于给定的契约作出回应,确定自身的最优决策。在参与者风险规避的情况下,首先构建了需求随机下的契约模型,并使用单个的销量回馈与惩罚契约,探讨其对于供应链协调的作用。之后,将此模型进行扩展,将销售努力考虑进来,构建需求依赖于销售努力情况下的契约模型,探讨单个的销量回馈与惩罚契约对于供应链协调的作用。最后,进一步扩展模型,构建需求同时受价格和销售努力影响下的契约模型,并探讨销量回馈与惩罚契约对于供应链协调的作用。在证明该契约不能实现协调后,运用两部定价契约及这两个契约的联合契约,探讨它们对于供应链协调的作用。每章的主要研究内容可概况如下:

第一章:绪论,主要介绍本文研究的背景、研究的目的与意义,本文研究的主要内容、研究的思路 and 结构框架,并阐明本文的主要创新点。

第二章:理论基础与文献综述,包括对供应链、供应链管理、供应链协调、供应链契约、需求依赖于价格、需求依赖于销售努力、需求依赖于价格和销售努力以及引入决策者风险偏好的相关理论及文献进行综述,并对现有文献做简要评述,指出现有研究的不足之处。

第三章:基于风险规避且需求随机的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究。

假定供应链上游的供应商和下游的零售商都为风险规避者,风险决策方法采用在金融风险管理中常用的均值-方差(MV)方法。使用在文献中较少对其进行探讨的销量回馈与惩罚契约,构建在供应商和零售商都为风险规避情况下的供应链契约模型,获得集中式供应链和分散式供应链的最优决策,并与风险中性情况下的进行比较,探讨销量回馈与惩罚契约实现供应链协调的充分必要条件,并给出协调时最优契约参数满足的条件,并通过数值算例验证理论模型的有关结论,分析供应商和零售商的风险规避度对各自最优决策、目标利润和供应链契约参数取值的影响。

第四章:基于风险规避和销售努力因素的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究。假定上游供应商风险中性,下游零售商风险规避,且需求依赖于销售努力,构建此环境下的二级供应链模型,并使用销量回馈与惩罚契约,探讨其是否仍然能够实现渠道协调。首先给出了集中式供应链的最优决策,之后给出了分散式供应链中风险规避零售商的最优决策,并与风险中性情况下的进行比较,然后分析单一的销量回馈与惩罚契约对于供应链协调的作用,给出该契约实现协调的充分必要条件及在协调时最优契约参数满足的条件,并通过数值算例验证理论模型的有关结论,分析零售商的风险规避度、需求的努力弹性和其他一些重要的参数对供应链契约参数取值的影响。

第五章:基于风险规避和双因素影响的供应链协调研究。在第四章的模型基础上,考虑零售商风险规避,且需求同时受价格和销售努力影响,构建在此环境下的二级供应链模型,并探讨单一的销量回馈与惩罚契约对供应链协调的作用。在证明该契约不能实现供应链协调后,使用另一更简单的两部定价契约和这两个契约构成的联合契约,探究它们能否实现供应链协调,给出契约实现协调的充分必要条件及协调时最优契约参数满足的条件,并通过数值算例验证理论模型得出的有关结论,分析需求的努力弹性、需求的价格弹性和其他一些重要的参数对于供应链契约参数取值的影响。

第六章:结论与研究展望,在对本文研究内容进行总结的基础上,指出相应的不足之处,并探讨未来研究可行的方向。

1.4 研究方法、思路与结构框架

1.4.1 研究方法

本文采用定性分析与定量分析相结合、理论分析与算例仿真相结合的方法,综合运用供应链协调、市场营销、报童模型、微观经济学、博弈论和金融风险等理论,采用数理建模中常用的“三步建模法”,构建具有风险规避参与者的供应

链契约模型, 探讨供应链协调问题。该法的建模步骤为:

(1)构建集中式供应链的决策模型, 求得集中式供应链的最优决策满足的条件及相应的系统绩效。

(2)研究由供应商和零售商组成的二级分散式供应链, 构建风险规避零售商的契约模型, 探讨风险规避零售商的最优决策, 并与风险中性情况下的最优决策进行比较。

(3)探讨销量回馈与惩罚等契约实现渠道协调时的充分必要条件, 并给出在供应链实现协调时, 最优契约参数满足的条件, 分析供应链参与者的风险规避度和一些收益-成本参数对契约参数取值的影响。

1.4.2 研究思路

本文拟采用以下的研究思路:

(1)考察风险规避对供应链协调的影响。以金融风险管理中最常用的利润方差作为风险测度的方法, 供应商作为供应链的协调者, 以供应链的目标最大化作为其目标, 零售商为博弈的追随者, 讨论供应商和零售商均为风险规避者的情况下, 集中式供应链(供应商)和零售商的最优决策, 以期发现与风险中性情况下的不同, 并探讨供应商和零售商的风险规避度对销量回馈与惩罚契约最优契约参数取值的影响。

(2)分析需求受销售努力影响对供应链协调的影响。当需求受销售努力影响时, 风险规避零售商的决策变量不只是订购量, 还有其最优努力水平。在乘法模式的需求和加法模式的需求模型下, 探讨销量回馈与惩罚契约能否仍然协调具有风险规避零售商的供应链, 并分析需求的努力弹性对最优契约参数取值的影响。

(3)分析需求同时受价格和销售努力影响对供应链协调的影响。当需求同时依赖于价格和销售努力时, 风险规避零售商的决策包括订购量、销售努力水平和定价。在加法模式的需求模型下, 探讨单个的销量回馈与惩罚契约能否协调具有风险规避零售商的供应链。若不能实现协调, 则探讨较简单的两部定价契约和联合契约对于供应链协调的作用, 并分析需求的努力弹性、需求的价格弹性对于最优契约参数取值的影响, 以及在需求同时依赖于价格和销售努力这样复杂的环境下, 探讨联合契约是否比单个的契约更加有效。

1.4.3 研究的结构框架

本文研究的结构框架见下图 1-1:

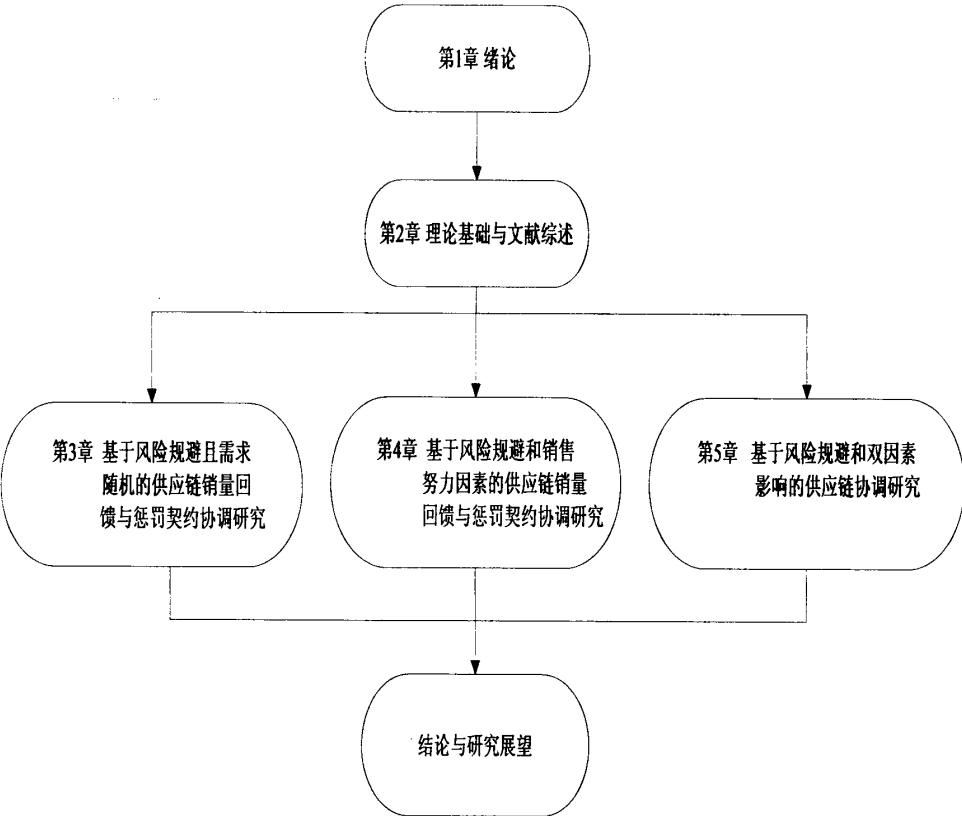


图 1-1 本论文的结构框架

1.5 研究的主要创新点

本文研究的可能创新点表现在：

(1)在前人研究的基础上，考虑随机需求，且供应商和零售商都为风险规避者，探讨销量回馈与惩罚契约是否能够实现供应链协调，给出该契约实现协调的充分必要条件以及协调时最优契约参数满足的条件。研究表明，当供应商和零售商都为风险规避者时，存在多个销量回馈与惩罚契约能够实现渠道协调，并且在协调时，零售商的期望利润等于其期望利润阈值，而供应商的期望利润等于供应链期望利润阈值减去零售商的期望利润阈值。此外，对于供应链和零售商风险规避度的不同组合，总存在可以协调供应链的契约参数值。

(2)在需求依赖于销售努力且零售商风险规避的环境下，给定需求依赖于销售努力的两种模型，即乘法需求模型和加法需求模型，探讨单个的销量回馈与惩罚契约是否依然能够实现供应链协调，给出该契约实现协调的充分必要条件以及协调时最优契约参数满足的条件，并比较两种需求模型下所获得的结论，丰富了相关的研究文献。研究表明，存在多个销量回馈与惩罚契约能够实现渠道协调，

并且在协调时,零售商的期望利润等于其期望利润阈值,供应商的期望利润等于供应链的最优利润减去零售商的期望利润阈值。但是,在加法模式和乘法模式的需求下,该契约实现渠道协调的条件不完全相同。在加法模式的需求下,该契约实现协调时,对风险规避零售商的最优努力水平没有额外的限制,但是,在乘法模式的需求模型下,当销量回馈与惩罚契约实现渠道协调时,对风险规避零售商的最优订购量和最优努力水平都施加了要求。

(3)在需求依赖于价格和销售努力且零售商风险规避的环境下,给定加法形式的需求模型,研究表明一个较复杂的销量回馈与惩罚契约不能实现供应链协调。因此,我们运用一个较简单的两部定价契约和联合契约,结果表明联合契约不能协调供应链,而一个简单的两部定价契约却能够实现供应链协调,且协调时最优契约参数满足的条件与风险中性情况下的相同,即最优批发价等于供应商的生产成本,而固定转移支付值等于供应链的最优期望利润减去零售商的最优期望利润。在协调时,零售商的期望利润等于其期望利润阈值,而供应商的期望利润等于固定转移支付值,因此,固定转移支付值反映了零售商的风险规避度。一个较大的固定转移支付值意味着零售商风险规避度越小,零售商并非特别风险规避,而一个较小的固定转移支付值则意味着零售商特别风险规避。此外,对于零售商不同的风险规避度,最优批发价不会发生变化,而固定转移支付值却随零售商风险规避度的增大而减少。

第2章 理论基础与文献综述

2.1 供应链与供应链管理的概念

在众多对供应链展开研究的文献和著作中,对于供应链的定义有多种诠释和理解,并没有一个统一的概念。

早期对供应链进行定义的研究者们将供应链看成是企业的一个内部操作过程,注重企业自身的独立运作,因此,这种定义相对来说是比较狭隘的。后来的学者对供应链的定义开始关注供应链的外部环境,注重供应链企业之间的联系,该定义消除了企业之间的冲突和不一致,能够保证供应链整体绩效的发挥,因而是一个更加全面和规范的概念。

而在 21 世纪的供应链运作中,对于供应链的定义则更加关注基于核心企业而形成的整体功能网链结构,不再将供应链中各参与者看成是相互独立且相互竞争的个体,而强调链中企业之间的战略合作伙伴关系,以供应链整体绩效最大化为目标,同时能够为所有企业带来收益。

然而,不管供应链的具体定义是什么,供应链始终是一个开放性的竞争的网链系统,涉及众多在空间上分散分布的节点企业,因为,是一条复杂的价值增值链。如何实现供应链的绩效最大化呢?对于该问题的探讨导致了供应链管理思想的应运而生。它通过集成化的思想和方法,调整和协调供应链上各成员之间的分工与合作关系,使供应链上各个节点有机结合在一起,从而实现供应链的全局最优。与供应链的概念类似地,供应链管理的概念和定义也并非唯一的,对供应链管理的各个定义侧重点和角度迥异。Stevens(1989)将供应链管理的目标解释如下:协调需求和供给,从而降低库存率和总的交易成本,提高顾客服务水平,实现这两个目标之间的平衡^[15]。王迎军(2005)认为供应链管理就是使用系统的观点来设计、规划和控制供应链中的物流、信息流和资金流,从而保证供应链中的成员能够获得相应的利润的一种管理观念^[16]。需要注意的是,在该定义中,物流和信息流既包括向下游企业方向的正向流,也包括向上游企业方向流动的逆向流。马士华(2005)认为,供应链管理就是以顾客的需求为目的,通过最低的成本,对从原材料的采购开始,到将产品传递给最终用户的所有过程中产生的物流、信息流和资金流等进行高效地操作,将产品以合适的价格,准确及时地送到消费者手中,从而实现供应链的最优化运作^[17]。

因此,供应链管理的核心思想就是“合作、共赢、集成”,将供应链上的各个节点看成一个不可分割的整体,以同步化、集成化计划为指导,依托于各种技

术, 对整体供应链进行计划、协调、控制和优化, 并使总成本最小。

2.2 供应链协调的定义及研究现状

在实际中, 供应链上的原材料供应、产品生产、加工、配送、销售等都是由不同的经济实体完成的, 这些经济实体处于分散决策的状态, 具有相对的独立性, 拥有不同的优化目标和私有信息, 谋求自身利益的最大化, 个体最优常常与供应链整体最优发生冲突, 导致“双重边际化”和“牛鞭效应”, 从而削弱供应链的竞争力, 降低供应链的效率。另一方面, 供应链处于不断的动态变化中, 受一系列随机因素的影响, 如: 客户订单的改变、产品及原材料价格变动、人员缺失、紧急订单的需求等。因此, 需要在各企业之间建立一种机制, 从而及时有效地应对各种随机因素的影响, 使个体目标与供应链整体目标协调一致, 实现供应链整体绩效的最优。供应链协调就是在这种环境中提出来的。

供应链协调属于供应链管理研究范畴, 是供应链管理的核心问题和热点问题, 供应链协调的概念有许多种, 这些概念因考虑的层次、角度不同而不同, 但是对供应链协调却没有一个统一的定义。本文将供应链协调定义为基于利益共享和风险共担的思想, 设计合适的激励机制, 在各节点企业之间建立战略合作伙伴关系, 解决不同利益主体之间的矛盾, 使供应链协同有序, 提高供应链的整体绩效, 使供应链的总效益大于各节点企业效益之和。

供应链的协调问题作为供应链管理研究中的一个重要分支, 虽然研究的历时不长, 但进展却非常迅速。国内外学者纷纷对供应链协调展开了研究, 这些研究大致可以分为两个方向: (1)侧重于供应链协调的理论研究, 主要有供应链协调种类和供应链协调层次等; (2)侧重于供应链协调的模型研究, 主要包含供应链协调机制或协调契约研究等。

Clark et al(1960)对于多级库存-分销系统的研究为供应链协调机制的研究拉开了序幕^[18]。Jeuland and Shugan(1983)从营销学的角度对渠道协调展开了研究^[19]。基于组织、经济及运作的角度, Chee Yew Wong(2004)等探讨了供应链的协调问题, 并提出影响供应链协调的原因, 主要包括: 信息不对称、企业的相互依赖性、分散决策、有限理性、各种不确定性、行为问题(如社会偏好、机会主义、风险规避)^[20]。

Thomas(1996)等对供应链协调的相关文献进行了综述, 从不同的功能出发, 将供应链协调分为三个方面: 生产-分销协调 (Production-Distribution Coordination)、买-卖协调 (buyer-vendor Coordination)、库存-分销协调 (Inventory-Distribution Coordination)^[21]。

Li et al(2007)综述了供应链的协调机制^[22], Gan et al(2011)将由多个独立决策

个体组成的供应链的决策问题看成是一个群决策问题,探讨供应链的协调问题,指出能够实现供应链协调的契约都是由供应链各成员一致同意的契约^[23]。

Bernstei and Federgruen(2003)提出了完美协调的概念,认为当分散决策的供应链中各成员的总效益等于集中决策下系统的效益时,此时的协调就是完美协调^[24]。

2.3 供应链契约的定义及研究现状

供应链契约,又称供应链合约,是指运用运筹学、博弈论等理论和模型,通过提供合适的信息和激励机制,平衡供应链各成员的决策,使成员的个体理性与整体最优相一致的一种激励机制。供应链契约的研究主要来源于多阶段库存理论,它是经济学中的契约理论表现在供应链中的一种形式。供应链契约的目的就是使供应链实现完美协调,或者即使不能实现完美协调,也可能存在帕累托最优解,从而导致每一方的利益都至少不比原来的差。目前,对于供应链契约的研究已逐渐成为供应链协调研究的一个重要分支和热点问题。

Pasternack(1985)于1985年最早提出了供应链契约的概念,此后,学者们从不同方向对供应链契约展开了大量研究,促使供应链契约研究取得长足的发展。1998年,Tsay(1999)等人综合论述了供应链契约建模的相关研究,指出以下供应链契约可以包含的条款内容:决策权的分配、定价、最小购买承诺、数量弹性、退货或返还政策、分配原则、订货提前期、质量要求等^[25]。Cachon(2003)对供应链契约进行了分类,认为供应链契约可以分为正式契约与非正式契约、单周期契约与多周期契约等^[5]。此后,王迎军、杨德礼等人也纷纷对供应链契约研究进行了回顾。

2.3.1 供应链契约的分类

按照契约参数的不同,可以将供应链管理中常用的契约划分为以下几种:

(1)批发价契约(Wholesale Price Contract):是最简单和最常见的一种契约形式,也是制定其他契约的基础。是指基于双方同意的批发价,零售商根据终端顾客的需求确定其订购量,供应商根据零售商的订单组织进行生产。在该契约中,供应商的利润是确定的,零售商承担由需求不确定性所带来的全部风险。因此,该契约不能实现协调。

(2)两部定价契约(Two-part Tariff Contract):由批发价契约演化而来,也是较简单的一种契约形式。该契约规定,除了批发价,零售商需要支付供应商一个固定转移支付值。这个固定转移支付值能够保证供应商获得一个正的利润。

(3)回购契约(Buyback Contract): 也称退货策略>Returns Policy), 是指在销售季节结束时, 供应商以一定的退货价, 从零售商处回购未售出的产品, 以刺激零售商增加订购量, 增大产品销量, 分担零售商订货过多的风险, 从而消除由于需求随机而产生的双重边际化效应。该契约广泛应用于生命周期较短的产品, 如书籍、报纸、杂志、音像制品、计算机软件和硬件、贺卡和医药产品等^[7]。

(4)收益共享契约(Revenue Sharing Contract): 为了保证零售商订购足够多的产品, 供应商以低于成本的批发价格将产品销售给零售商, 而零售商为了弥补供应商的利润损失, 在销售期末将收入的一定比例返还给供应商。此契约在音响、影碟租赁行业得到了成功运用。但是, 与回购契约相比, 该契约执行的管理成本和监控成本过高, 并且如果实施收益共享契约, 零售商的营销积极性有可能会大大降低^[26]。

(5)数量弹性契约(Quantity Flexibility Contract): 其基本思想是在销售季节开始前, 零售商可以从供应商处预定部分产品, 供应商据此组织进行生产, 在获得确定的产品市场需求后, 零售商可以根据实际的市场需求重新调整订购量, 基于供应商提供的产品数量范围, 确定其最终的产品购买量。相对于回购契约强调退货价格对于订购量的影响, 数量弹性契约强调使用补偿策略来调整订购量。该契约在电子和计算机行业中应用广泛, 也出现在汽车行业, 并且具有两种演化的形式: 备货契约(Backup Agreement)和延迟支付的能力预定契约(Pay-to-delay Capacity Reservation)。

(6)数量折扣契约(Quantity Discount Contract): 供应商根据零售商的订购量大小而给予不同的批发价格折扣。由于产品的批发价会随着零售商订购量的增大而减少, 零售商会倾向于提高订购量以降低成本, 从而扩大产品的销售量, 改善供应链的绩效。

(7)销量回馈契约(Sales Rebate Contract): 供应商设定一个销量目标, 对于零售商产品的销量超过该销量目标的部分, 供应商将给予零售商单位回馈, 供应商和零售商通过(订购量, 批发价, 单位回馈)形成业务关系。该契约包含的契约参数较多, 形式较复杂, 因而其应用并不广泛。该契约的一种变异形式为: 销量回馈与惩罚契约(Sales Rebate and Penalty Contract), 它与销量回馈契约不同的是, 对于零售商产品销量超过销量目标的部分, 供应商将给予零售商单位回馈, 而对于零售商销量低于销量目标的部分, 则供应商将给予零售商单位惩罚。

(8)期权契约(Option Contract): 该契约允许零售商在销售季节开始之前, 以正常的批发价购买产品, 以期权价格购买供应商供应的产品的期权, 然后在观察到市场的需求后, 部分或全部执行该期权, 以一定的执行价格确定最终的订购量大小。该契约形式主要运用在生产准备期比较长的产品中, 如汽车、农产品和计

算机等。

在上述的契约类型中,两部定价契约、数量折扣契约、销量回馈契约和期权契约可以由其他四种契约演化或者组合而得。并且,根据属性划分的契约分类可知,批发价契约、两部定价契约、回购契约、收益共享契约、销量回馈契约、销量回馈与惩罚契约和期权契约属于定价契约,而数量弹性契约、数量折扣契约、备货契约则属于订货量契约。由于供应链契约的种类较多,而本文则集中于批发价契约、两部定价契约、销量回馈与惩罚契约的研究,因此,仅对这三类契约做一简单综述。

2.3.2 批发价契约和两部定价契约的研究现状

Bernsahan and Reiss(2003)对于确定性需求下的批发价格契约展开了研究^[27]。Amipindi and Bassok(1999)将批发价契约扩展到包含无限连续销售周期的产品市场中,表明批发价契约在此环境下比单一销售周期更为有效^[28]。Lariviere(1999)对单供应商-单零售商的供应链的研究表明,零售商能够获取的供应链利润的比例将随着市场需求不确定性的增大而增大,并对此进行了详细的解释^[29]。Dong and Rudi(2004)在由单供应商和多零售商构成的供应链中运用批发价契约,这些零售商可以相互进行库存的调剂,并发现供应商可以从零售商之间的这种互动中获益,但各个零售商的处境则变得更加糟糕^[30]。Lariviere and Porteus(2001)也获得了相同的结论^[31]。

Cachon(2004)在需求信息更新并存在过剩库存下,探讨了零售商的最优决策,研究表明,在此环境下,供应商可以通过使用一个简单的批发价契约协调二级供应链^[32]。

Kaya(2011)分析了一个二级供应链的努力水平和定价决策,假定需求依赖于销售努力。在外包(outsourcing)和内生产(in-house production)两种模式下,分析比较了批发价契约、收益共享契约等5类契约的有效性,找到了在每种模式下最优的契约参数^[33]。

于辉等(2006)使用批发价契约探究了当供应链出现突发事件时如何实现协调的问题。在突发事件造成随机需求分布发生改变的假设下,得出了这样的结论:只有当突发事件造成足够大的需求分布变化时,供应商才调整批发价并实施应急管理^[34]。

任建标和陈庆伟(2009)考虑一个二级供应链,其中供应商允许零售商延期付款,并分别构建了这两者之间的三种模型:Stackelberg模型、批发价模型以及零利率的延期支付模型。他们的研究发现,作为Stackelberg博弈领导者的供应商将获得几乎全部的供应链利润,而零售商被允许进行延期付款可以大大提高供应

商和整个供应链的利润^[35]。

马士华等(2006)对需求依赖于时间和价格环境下的供应链进行了研究,使用批发价契约,分别构建了集中式决策和分散式决策下的 MTO 供应链决策模型,并求出模型的最优解,研究表明,当需求对于时间和价格都敏感时,集中式决策能够带来更大的供应链利润^[36]。

2.3.3 销量回馈与惩罚契约的研究现状

Taylor(2002)第一个对销量回馈契约进行研究,将其应用在计算机硬件、软件和汽车行业中。首先构建了当销售努力外生给定情况下的供应链模型,然后将该模型进行扩展,考虑销售努力为内生变量的情况,并分别使用线性回馈和目标回馈契约进行供应链协调分析。研究表明,目标回馈要比线性回馈更有效,并分别探讨了这两种回馈契约的适用条件,分析了销售努力对供应链协调的影响。然而,在该研究中,价格被认为是外生给定的,不会影响需求^[37]。

Wong et al(2009)研究了在供应商管理库存(VMI)下的二级供应链协调问题。该供应链中包含一个供应商和多个零售商。在供应商管理库存背景下,零售商的决策变量只有价格,订购量决策由供应商来执行。在零售商相互独立和零售商相互竞争的两种环境下,他们使用销量回馈契约来协调供应链。研究表明,销量回馈契约与 VMI 的联合使用能够实现供应链协调,并且供应商在零售商相互竞争的环境中能够获得更多的利润^[38]。

Krishnan, Kapuscinsk and Butz(2004)也将销售努力考虑进来,探讨了此环境下的供应链协调问题。他们的研究表明,如果批发价格大于生产成本,零售商的最优订购量就会小于集中式供应链的最优数量,即典型的“双重边际化”效应,而供应商的回购策略会大大降低零售商的促销积极性。此时,如果引入回馈契约,将回馈契约与回购契约联合起来,则能够协调供应链^[39]。

Frascatore and Mahmoodi(2008)构建了供应商和制造商的互动博弈模型,将长期合作合同和惩罚契约引入该博弈中,研究发现,长期合作合同的使用能够大大提高供应商供应的能力从而加大供应链获得更高收益的可能性,而惩罚契约则实现该可能性^[40]。

Chiu et al(2011)在由供应商和零售商构成的二级供应链中,假定需求不确定且与价格相关,使用批发价契约、回购契约和销量回馈契约的联合契约,分别构建了当价格影响需求不确定性方式的两种不同模型,给出了该联合契约实现渠道协调的充分必要条件,以及最优契约参数满足的条件。此外,他们还考察了帕累托改进问题,给出实现帕累托最优的契约参数满足的条件。他们的研究表明,在需求依赖于价格的背景下,存在多个这样的联合契约能够实现供应链协调,并

且总存在这样的联合契约能够使供应链实现帕累托最优^[41]。

何勇等(2005)考虑需求具有价格敏感性,构建了一个简单的二级供应链模型,并采用数量弹性契约,以探讨其对供应链协调的作用。他们的研究表明,在需求依赖于价格的环境下,单个的数量弹性契约不再能够协调供应链,因此,他们引入回馈与惩罚契约,发现由数量弹性契约和销量回馈与惩罚契约组合而成的联合契约能够实现协调的目的^[42]。类似地,何勇等(2006)考虑需求依赖于销售努力的模型,在证明单纯的收益共享契约不能使供应链获得协调后,同样使用销量回馈与惩罚契约,将由这两个契约构成的联合契约解决了单个的收益共享契约无法实现渠道协调的问题^[43]。徐最等(2008)Taylor 的研究基础上,在单供应商-单零售商的二级供应链中考虑零售商的销售努力水平影响需求的两种不同方式,线性和非线性,探讨供应商的回馈契约对于供应链的协调作用^[44]。何勇等(2007)进一步扩展之前的模型,考虑需求同时受价格和销售努力影响,采用数量弹性契约和回馈与惩罚契约的联合契约进行供应链的协调分析^[45]。曹细玉和宁宣熙(2007)在包含退货价格的易逝品供应链系统中,使用销量回馈与惩罚契约实现了该系统的协调^[46]。

2.3.4 供应链契约研究的文献评述

上述有关供应链契约的研究具有如下的主要特点:

(1)基于风险中性的假设设计契约机制,探究供应链企业的决策行为及供应链协调问题。

(2)以需求依赖于价格或销售努力、需求同时依赖于价格和销售努力及随机需求来代表需求的不确定性。

(3)对二级供应链的契约研究越来越丰富,考虑突发应急事件管理、销售努力、联合契约、一对多或多对一的供应链结构、多周期动态问题等。

(4)在研究供应链上下游参与者的互动博弈中,大都假定上游的供应商为博弈的领导者。

2.4 需求依赖于价格或销售努力的供应链协调研究现状

2.4.1 需求依赖于价格的供应链协调研究现状

Cachon and Lariviere(2005)认为在价格影响需求的环境下,收益共享契约可以实现渠道协调,但是却没有给出实现协调的最优契约参数满足的范围^[26]。

Qin et al (2007)在单供应商-单零售商的供应链中引入数量折扣契约和特许费协调机制。在需求与价格相关的假设下,他们的研究表明,单一的数量折扣契

约并不能够实现供应链协调,而在原契约的基础上加入特许费协调机制,则可以抵消由于数量折扣契约带来的损失,从而实现渠道协调^[47]。

Li Yao et al (2010)研究了由一个供应商和一个零售商构成的供应链,该供应链销售报童类的产品并且需求具有价格敏感性。他们定义了一个新颖的契约,该契约的契约参数独立于需求分布,且供应商和零售的利润线性相关。结果表明,这个新颖的契约能够协调供应链。由于给出了需求函数的一般化形式,因此,他们的分析框架综合了现有的需求与价格相关下的研究^[48]。

Granot and Yin(2005)在具有价格依赖性的报童模型中,探究了回购契约的有效性^[49]。类似地, Yao et al(2008)使用回购契约研究由单供应商和单零售商构成的供应链。分别在随机需求和需求受价格影响的环境下,建立了供应商和零售商之间的 Stackelberg 博弈模型,探讨该契约的性质,并使用数值仿真方法分析需求的价格敏感性及其不确定性大小对于回购契约改善供应链绩效作用的影响。结果表明,与批发价契约相比,回购契约改善了供应链的绩效,然而改善的幅度却受价格敏感性及其需求不确定性的影响。他们的研究说明单个的回购契约不能协调价格敏感性需求下的供应链^[50]。

Wen Zhao and Yunzeng Wang(2002)则在单制造商-单零售商的供应链中探究多时期动态联合定价-订购量/生产量决策问题。基于制造商和零售商的领导者-追随者环境下,他们提出了一种激励机制,保证制造商实现渠道协调^[51]。Sundar et al(2012)在由单制造商和单零售商构成的两级供应链中,考虑了需求依赖于价格环境下的订购、补给量、库存率等的最优化问题^[52]。

王勇、裴勇(2005)在由供应商和销售商组成的二级供应链中,构建了需求依赖于价格环境下的利益共享契约模型,给出了在此契约下集中式供应链和零售商的最优决策,并确定供应链实现协调的契约参数取值范围^[53]。类似地,陈菊红、郭福利和史成东(2008)也对需求具有价格敏感性的二级供应链进行了建模分析,并使用收益共享契约实现渠道协调的目的^[54]。

2.4.2 需求依赖于销售努力的供应链协调研究现状

Taylor(2002)将销售努力作为内生决策变量,并分别使用线性回馈和目标回馈契约进行供应链协调分析^[37]。Cachon(2003)考虑了需求依赖于销售努力的情况,并且证明在此环境下,收益共享契约将不再能够实现供应链协调^[5]。

Krishnan, Kapuscinsk and Butz(2004)在分散化的供应链系统中引入销售努力因素,在零售商先观测市场需求后进行促销努力水平决策的假设下,他们发现,回购策略会大大降低零售商的促销积极性。此时,如果引入回馈契约,将回馈契约与回购契约联合起来,则能够协调供应链^[39]。

Kaya(2011)分析了一个二级供应链的努力水平和定价决策,假定需求依赖于销售努力。在外包(outsourcing)和内生产(in-house production)两种模式下,分析比较了批发价契约、收益共享契约等5类契约的有效性,找到了在每种模式下最优的契约参数^[33]。

张菊亮、陈剑(2004)在需求与销售努力相关的情况下,提出了一个契约设计框架来设计一个契约机制,以协调在此环境下的供应链^[55]。

胡本勇和王性玉(2010)在需求具有销售努力敏感性的供应链环境中,基于委托代理理论,提出了一种收益共享演化契约,并证明该演化契约能够实现渠道协调^[56]。

2.4.3 需求依赖于价格或销售努力研究的文献评述

根据上述有关需求受价格或销售努力影响的供应链契约研究,可得以下研究的特点和不足:

(1)当需求依赖于价格或销售努力时,常见的契约不能实现协调,因此,大部分都集中于联合契约的协调分析中。

(2)基于风险中性的假设,未考虑决策者的风险偏好。

(3)未分析在相关决策主体具有风险偏好且需求依赖于价格或销售努力的环境下,单一契约或联合契约的供应链协调问题,并比较单一契约和联合契约的有效性。

2.5 基于风险偏好的供应链协调研究现状

近年来,越来越多的学者注意到决策者风险偏好的存在及其对供应链绩效的影响,并对此进行了大量的研究,现对这一类文献进行回顾。

2.5.1 风险偏好的度量方法

对于供应链中决策者风险偏好的度量,主要借鉴金融学领域的研究方法,常见的方法有如下几种:

(1)均值-方差(MV):在假定收益率的概率分布(或统计分布)确定的情况下,度量收益率这一随机变量,相对于期望收益率的总体性的平均离差。它运用数学期望和方差来刻画随机变量的特征,用期望收益代表投资回报,用方差代表回报的风险。均值-方差方法最早是由 Markowitz(1950)在1950年开创性地提出,并成为了金融风险管理的核心理论。Van Mieghem(2003)和 Buzacott et al.(2003)指出, MV 方法旨在提供一个可实施、实用且近似的解^[57-58]。Van Mieghem 指出,

最大化不变风险规避系数的效用函数或二次效用函数等价于最大化一个 MV 绩效变量。此外, Roy(1952)的研究表明, 一些有意义且实用的目标, 如安全第一目标(safety first objective), 可以在 MV 方法下构建^[59]。Levy and Markowitz(1979), Kroll et al.(1984)也证明, MV 方法产生了一个接近于期望效用(VNMU)理论下最优解的解^[60-61]。MV 方法的一个主要缺陷在于它将对于均值的正向和负向偏离都考虑进模型中, 但是风险只与对均值的负向偏离有关, 这将导致不正确的决策。

(2)期望效用理论(VNMU): 在决策科学中, 冯诺伊曼-摩根斯坦恩(1953)的期望效用理论是研究与风险有关的决策制定问题的一个主流方法^[62]。在 VNMU 框架下, 决策者的优化目标是期望效用而不是期望利润。对于风险规避决策者来说, 其效用函数是边际效用递减的, 满足 $u'(x) > 0, u''(x) < 0$, 对于风险中性者来说, 其效用函数是线性的, 满足 $u'(x) \equiv k > 0, u''(x) = 0$ 而对于风险爱好者来说, 其效用函数是边际递增的, 满足 $u'(x) > 0, u''(x) > 0$ 。期望效用较 MV 方法来说, 更加精准, 但是其应用有限, 原因在于在实践中, 很难获得个体决策者效用函数精确的表达式。

(3)负向风险(Downside-risk): 在注意到 MV 方法内生理理论缺陷后, Roy(1952)提出了负向风险的度量方法, 以开发一个确定风险与期望回报之间关系的实用方法^[59]。他提出, 投资者心理普遍具有在损失情况下“风险寻求”和在盈利情况下“风险规避”的特点, 因此, 损失与盈利两者对于风险确定的影响是不同的。Markowitz(1950)意识到负向风险控制的重要性, 因为负向风险与投资者相关, 并且回报的分布可能并非是对称的。Fishburn(1977)给出了负向风险的一般性定义, 以 LPM 形式将负向风险表示为随机回报低于某目标回报的加权概率函数^[63]。该方法更加符合投资者的真实风险感受, 模型应用的理论假设也更加简单, 无需存在对收益分布正态分布的假设。负向风险决策者的决策模型为:

$$\begin{aligned} \max_{Q \geq 0} & E(\pi(Q, x)) \\ \text{s.t.} & P\{\pi(Q, x) < a\} \leq \beta \end{aligned}$$

其中, a 的值由参与者给定, 当 $a=0$ 时, 由于利润小于 0 的概率非常小, 此时约束恒成立, 说明决策者风险中性。否则就是风险规避的。风险因素对 (a, β) 共同反映了决策者对风险的规避程度。

(4)VaR (Value-at-Risk)和 CVaR(Conditional Value-at-Risk): VaR 和 CVaR 是金融风险管理中常见的度量风险的方法, 主要用于投资组合中的风险分析与评价。Jorion(2001)指出 VaR 的定义, 指在正常的市场条件和某一给定的置信水平下, 测算出在给定的时间段内预期发生的最大损失^[64]。并且置信水平越大, VaR 越大。VaR 与负向风险紧密相关, 因为随机回报低于某目标回报的概率就等于置信水平。VaR 决策者的决策模型为:

$$\begin{aligned} & \max_{Q>0} T \\ & s.t. P\{\pi(Q, x) \leq T\} < 1 - \alpha \end{aligned}$$

$0 < \alpha < 1$ 表示置信水平, 反映了决策者的风险偏好, $\pi(Q, x)$ 是决策者的利润, T 是目标利润。相对于传统的风险度量方法, VaR 具有直观性、客观性, 且适用于测量多种类型的投资风险。

但是 VaR 模型不满足次可加性条件, 不是一致性风险度量变量, 其测量的风险值与投资者真是心理感受不相符, 因此在某种意义上并非是一个好的风险度量指标。CVaR 是指在正常市场条件和某一给定的置信水平下, 测算出在给定的时间段内损失超过置信水平的条件期望值。并且当置信水平越大, CVaR 值越大, 决策者对风险的规避程度越高, 当置信水平越小, CVaR 值越小, 决策者对风险的规避程度越低, 当置信水平为零时, 决策者为风险中性者。相比 VaR, CVaR 是一致风险度量变量, 并与二次或更多次订购随机占优一致。Rockafellar and Uryasev(2000)对 CVaR 的性质和求法进行了深入研究, 提出了以下求解公式:

$$CVaR_{\eta}(\pi(y, p)) = \max_{v \in R} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E[\min(\pi(y, p) - v, 0)] \right\}$$

其中, $0 < \eta \leq 1$ 反映了决策者的风险规避度, η 越小, 决策者风险规避度越大。E 是期望值, R 是实数集^[65]。

(5)损失规避(Loss Aversion)。不同于上述风险偏好的度量方法, 损失规避借鉴 Kahneman 和 Tversky(1979)的前景理论, 认为人们在面对损失时要比面对同等大小的收益时更加规避, 并且对于风险的感知依赖于参考点, 在参考点处决策者效用函数的斜率发生急剧变化^[66]。文献中常用的损失规避效用函数大都采用简单的分段线性效用函数:

$$U(w) = \begin{cases} w - w_0, & \text{if } (w - w_0) \geq 0 \\ \lambda(w - w_0), & \text{if } (w - w_0) \leq 0 \end{cases}$$

其中, w_0 代表初始财富, w 代表最终财富, $\lambda \geq 1$ 代表决策者的损失规避度, 如果 $\lambda = 1$, 决策者为风险中性者, 如果 $\lambda > 1$, 决策者为损失规避者, 并且 λ 越大, 决策者损失规避度越大。

在众多的风险偏好度量方法中, 均值-方差(MV)方法虽然具有一定的缺陷, 但是由于其计算简便, 易于被现实中的决策者理解, 在研究中仍然被广泛使用。因此, 本文也采用均值-方差(MV)方法, 来度量供应链参与者的风险规避, 分析其对个体及供应链绩效的影响。

2.5.2 风险偏好报童及供应链协调研究现状

Lau(1980)重新研究了报童问题, 提出了两个新的优化目标函数, 即最大化期望效用和最大化实现某一目标利润的概率, 以代替传统报童模型中期望利润最

大化的目标,其中效用函数等于期望利润和标准差的函数,并求出了在这两个优化目标函数下的最优订购量^[67]。

Eeckhoudt et al.(1995)使用期望效用函数探究报童的风险规避度对其最优决策的影响,发现风险规避报童的最优订购量总是小于风险中性报童的最优订购量,而且最优订购量随着报童风险规避度的增大而减小^[68]。

Chen and Federgruen(2000)使用 MV 方法对一些基本的库存模型重新进行了审查,他们的研究揭示出如何系统地展开均值-方差分析,以及由此获得的最优解如何与传统风险中性下获得的最优策略不同^[69]。

Agrawal and Seshadri(2000)分析了一个风险规避的报童模型,用期望效用最大化代表该报童的目标函数,并且假定需求依赖于价格,考虑价格影响需求不确定性的两种模型,探讨了该风险规避零售商的最优联合定价和订购决策,并将该最优联合决策与风险中性情况下的进行了比较。结果表明,相对于风险中性的报童,在乘法需求模型下,风险规避的零售商将倾向于选择一个较高的销售价格和一个较低的订购量,而在加法模式的需求模型下,风险规避的零售商则会倾向于选择一个较低的销售价格^[70]。

Choi et al.(2001)使用 MV 方法构建了无缺货成本和有缺货成本下的报童模型,揭示了该问题的结构属性,并分析了当零售商分别为风险规避者、风险中性者和风险爱好者情况下的最优解,揭示了 MV 方法与 VNMU 及安全第一目标(safety first objective)之间的关系^[71]。

Wang and Webster(2009)提出了一个损失规避的报童模型,并且将缺货成本纳入到模型中,他们的分析表明,如果缺货成本不可忽略,损失规避报童的最优订购量有可能大于风险中性报童的最优订购量,并且损失规避报童的最优订购量会随着批发价格的升高而增大,随着零售价格的升高而减小,这在风险中性的报童模型中是绝对不会出现的^[72]。

Choi et al.(2010)使用 VaR 准则刻画报童的风险规避,并构建了在此情况下的扩展报童模型,其中需求依赖于价格并且采用以往文献中乘法形式需求和加法形式需求,探讨了联合订购和定价行为的最优解,并揭示了在 VaR 准则下的最优解与经典期望利润最大化模型下最优解之间的差异^[73]。

Chen et al.(2009)等采用金融中的风险度量准则 CVaR 替代期望利润最大化这一优化目标来刻画风险规避报童的决策行为,分析了在此环境下报童的最优联合定价和订购决策行为。对于加法形式和乘法形式下的需求函数,给出了最优解存在性且唯一性的充分条件,并进行比较静态分析,探讨最优定价和订购决策的单调属性及其他特性^[74]。Zhang et al.(2009)在 VaR 和 CVaR 准则基础上,探究了单销售周期和多销售周期的库存问题^[75]。

在国内,文平(2005)使用前景理论对报童问题重新进行了讨论,得到了损失规避型报童的最优解^[76]。吴军和汪寿阳采(2004)用 CVaR 准则度量制造商的风险规避,构建制造商库存管理的模型,并求解获得风险规避制造商的最优订购量,分析风险规避度对该最优解的影响^[77]。

杨建奎等(2009)运用均值-方差方法来衡量报童模型中的利润和库存风险,并指出用均值-方差方法分析风险规避决策者的决策行为存在的缺陷,从而他们呼吁将均值-半方差方法引入模型中以刻画风险规避者的决策行为^[78]。

许明辉等(2006)在风险规避报童模型中考虑缺货惩罚,并用 CVaR 准则来刻画该零售商的风险规避,指出风险厌恶零售商的最优订购量与风险中性下最优解之间的大小关系与需求分布形式、风险规避度和缺货惩罚的大小有关^[79]。

从上述综述的文献看,研究者们使用多种方法来度量决策者的风险偏好,构建相应的决策模型,但是只集中于单个决策者库存订购行为,并没有考虑供应链的契约设计和协调问题。

有关风险偏好参与者的供应链契约设计和协调文献中,Lau and Lau(1999)研究了一个二级供应链,该供应链包含一个垄断性的供应商和一个零售商,他们各自拥有一个均值-方差的目标函数。研究者们使用回购政策探究了供应商与零售商之间的博弈,确定了使供应商期望效用最大化的最优批发价和回购价^[80]。但是,他们并没有考虑供应链协调的问题。

Agrawal and Seshadri(2000)考虑了由单风险中性供应商和多零售商构成的供应链,并在该供应链中引入了一个风险中性的分销商,他的作用就是代替零售商从供应商处采购所需要的产品。这些零售商为风险规避者,并使用不同风险度量方法对其进行刻画。研究证明,该风险中性的分销商向零售商提供对双方来说都是有利的契约菜单。根据该契约菜单,零售商对于每单位售出的产品,都要给予分销商一定的批发价,而分销商则要给予零售商一个固定旁支付。研究结果显示,这样的契约菜单能够诱使每一个风险规避的零售商主动揭示其风险规避的有关信息,并选择一个唯一的契约,从而最大化分销商的利润,导致风险规避零售商的最优订购量等于风险中性下所能获得的最优策略^[81]。

Gan et al.(2005)研究了单供应商-单零售商的二级供应链,其中供应商为风险中性者,而零售商为具有风险规避者,其风险规避的度量使用下行风险的方法。结果显示,供应链协调不能通过标准的回购或收益共享契约来实现。因此,他们提出了一个新的供应链协调的概念,并设计了一类风险共享的契约机制,为下游的零售商提供想要的风险保护^[82]。研究表明,所设计的契约能够实现渠道协调。

Wang and Webster(2007)在探究二级供应链的协调问题时,使用了一个全新的契约,及收益损失共享-回购(BGL)契约。该契约规定,零售商要将其收益的一

个比例共享给供应商,而对于损失,则能从供应商处获得一定比例的补偿,同时,在销售季节结束时,对于未售出的产品,供应商以回购价从零售商处收回。假定在此供应链中,制造商风险中性,而零售商具有损失规避特性,由一个简单的分段线性效用函数来刻画。研究证明,收益损失共享-回购契约能够协调供应链,并减降低零售商的损失规避特性所带来的影响。此外,他们还证明了一类特殊契约的存在,这些契约不仅能够实现供应链协调,还能在制造商和零售商之间任意分配供应链的利润,并且最优的契约参数并不依赖于需求分布^[83]。

K. Shi and T. Xiao(2008)也采用损失规避来刻画零售商的风险规避,并分析比较了回购契约和价格补贴契约在由风险中性制造商和损失规避零售商构成的二级供应链中的协调作用。类似地,他们也探讨了帕累托改进的问题^[84]。

Choi et al.(2010)使用 MV 方法探究了供应链的协调问题。在供应链中,供应链参与者具有不同的风险偏好。他们的分析表明,供应链成员不同的风险偏好可能会影响供应链的协调性,并给出了能够实现渠道协调的最优契约参数满足的充分必要条件。他们指出,供应链能否实现协调取决于链中参与者风险偏好的差异程度^[85]。

Chiu et al(2011)在单供应商-单零售商的供应链中使用销量回馈契约,其中供应商为风险中性者,而零售商为风险规避者,并使用 MV 方法来度量其风险规避特性。在需求随机的假设下,他们的研究揭示出销量回馈契约如何能够协调具有风险规避零售商的供应链,并且将该模型进行扩展,考虑销售努力影响需求下,该契约对于供应链协调的作用,并获得在此背景下,供应链实现协调的契约参数满足的条件^[86]。

在国内,柳键等(2010)考虑一个简单的二级供应链。在该供应链中,供应商风险中性而零售商风险规避,零售商的风险规避用 CVaR 准则来表示。未引入任何契约,只探究双方之间的博弈均衡问题,因而没有考虑供应链协调问题^[87]。叶飞(2006)先后利用收益共享契约和回购契约来探究供应链协调的问题。通过使用 MV 方法度量零售商的风险规避,并假定缺货成本为零,求出了实现协调的最优契约参数满足的取值区间,并用算例验证了模型的有效性^[88-89]。

于春云等(2007)将 CVaR 理论引入到一个二级供应链中,其中供应商和零售商都具有风险规避特性。构建了随机需求下具有不同风险规避特性参与者的供应链优化与协调模型,并对模型进行了求解分析,给出了实现协调的收益共享契约最优参数的数值解^[90]。类似地,基于 CVaR 准则,邱若臻和黄小原(2011)使用回购契约探讨了由单供应商-单零售商的两级供应链的协调问题,其中供应商风险中性而零售商具有风险偏好。他们考虑了零售商三种不同的风险态度,分别给出了在这三种不同风险态度下,零售商的最优订购决策,以及相应的最优回购契约

参数取值^[91]。黄松等(2011)则使用 VaR 度量零售商的风险偏好,利用收益共享契约,建立了单供应商-单风险偏好零售商(风险规避或风险爱好)供应链的契约模型,并进行了协调分析^[92]。

赵道致和何龙飞(2007)运用下行风险(Downside-risk)对一个三级供应链中分销商的风险厌恶进行刻画,而上游的制造商和下游的零售商都为风险中性者,并假定零售商为博弈的领导者,构建了这三个供应链成员之间博弈的契约模型,进行了渠道协调分析。结果表明,如果风险规避方能够从风险中性方处获得风险保护,使其风险约束得到满足,那么,供应链就能够实现协调^[93]。史成东和陈菊红(2010)也对由制造商、分销商和零售商构成的三级供应链进行了研究。所不同的是,他们假定制造商为风险中性,而分销商和零售商都具有下行风险规避特征,并使用补偿政策和回购契约的联合契约,探讨了该供应链的协调问题^[94]。

林志炳等(2010)探讨了由损失规避零售商和供应商组成的供应链收益共享契约的相关问题,揭示了损失规避特性对零售商最优订购量的影响以及收益共享契约参数与决策者目标函数之间的关系,但是并没有考虑渠道协调的问题^[95]。

2.5.3 基于风险偏好研究的文献评述

根据上述考虑风险偏好决策者的报童及供应链协调研究看出,现有研究还存在以下不足:

(1)在具有风险偏好决策者的报童及供应链契约协调文献中,对批发价契约、回购契约和收益共享契约的研究较多,而对销量回馈契约、销量回馈与惩罚契约、两部定价契约的研究较少。

(2)在考虑参与者风险偏好的供应链契约和供应链协调研究中,大都假设下游成员具有风险偏好,而上游成员风险中性,考虑上游参与者风险偏好或者上下游成员都具有风险偏好的文献很少,但是在现实供应链的运作中,这是可能的。

(3)在引入决策者风险偏好的契约协调文献中,大部分都假设需求为随机需求,而未考虑需求依赖于价格或销售努力的情况。该方向的研究难度比较大,所构建的模型也更为复杂,但却有较大的创新性,能够大大丰富已有的研究。

第3章 基于风险规避且需求随机的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究

3.1 模型构建与符号说明

考虑由单供应商和单零售商构成的二级供应链, 供应商通过零售商销售一种报童类(短生命周期)的产品。供应商和零售商都为风险规避者。零售商面临随机的市场需求 $x \geq 0$, 假设 x 具有概率密度函数 $f(x)$ 和分布函数 $F(x)$, 对于 $x \geq 0$, $f(x) > 0$, 具有连续的导数 $f'(x)$, $F(x)$ 可导, 且具有严格递增的逆函数 $F^{-1}(x)$, 令 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ 。供应商以单位生产成本 c 生产该产品, 并将产品以单位批发价 w 批发给零售商, 零售商销售单位产品的零售价为 p , 在销售季节结束后, 未售出产品的单位净残值为 v 。假定 p, c, v 外生给定。为了确保供应商有生产的动机, 且零售商有销售的动机, 假定 $p > w > c > v$ 。假定供应商具有无限的生产能力, 能够实现零售商任何订购量的要求, 有关需求结构和收益-成本参数的所有信息对于供应链的双方来说都是已知的。

销量回馈与惩罚契约 SRP (w, t, u) 指定, 除了支付给供应商批发价 w 外, 对于销售量超过销量目标水平 t 的部分, 零售商从供应商处获得单位回馈 u , 而对于销售量低于销量目标水平 t 的部分, 供应商将给予零售商单位惩罚 u 。在 SRP 契约下, 供应商和零售商进入一个 Stackelberg 博弈, 其中供应商作为领导者, 向零售商提供一个 SRP 契约, 规定契约条款, 零售商作为跟随者, 在给定的 SRP 契约 (w, t, u) 下, 做出订购量 q 的决策。假定 $u > 0$, $t > 0$, 博弈的顺序如下:

- 在销售季节开始前, 供应商做出三个决策: w 、 u 、 t , 并将由该三个契约参数所给定的契约提供给零售商, 零售商做出回应, 以 w 订购 q 单位的产品;
- 供应商收到零售商的订单, 组织进行生产, 并在销售季节开始之前将完工产品递送、销售给零售商;
- 销售季节开始, 零售商以单位零售价 p 销售该产品;
- 销售季节结束, 需求得以实现, 对于销售量超过销量目标 t 的部分, 供应商给予零售商单位 u 的回馈, 对于销售量低于 t 的部分, 供应商给予零售商单位 u 的惩罚。

在本研究中, p 被假定是外生的。当零售市场处于完全竞争状态, 以致零售商是价格的接受者, 或者供应商对于 p 具有很强的控制力时(如 MAP, Peers and Ramtsd, 2000), 那么该假设是合理的。下标 s 代表供应商, 下标 r, sc 分别代表零

售商和集中式的供应链。在本章中,我们关注的是供应链协调的问题,因此有必要在此给出供应链协调的定义。在文献中,当供应链中的参与者风险规避时,存在几种定义供应链协调的方法(见 Gan et al., 2004),我们采用如下的供应链协调定义方法。

定义 1 具有风险规避参与者的供应链协调

在一个契约下,如果存在一个自主决策 y^a 被所有供应链参与者采取,该决策 y^a 对于任何决策 y , $y^a = \arg \max G_{sc}(y)$ 成立,其中 $G_{sc}(y)$ 是供应链的目标函数,则该契约实现供应链协调。

由于在本章中,我们假定供应商和零售商都是风险规避者,并且供应商为供应链的协调者,关注供应链的目标最优化,而非自身的目标函数,因此供应商的决策就相当于供应链的决策。为了刻画风险规避者的决策问题,我们引入均值-方差(MV)方法(Markowitz, 1959; Choi et al., 2008)。

定义 2 令 $K_i > 0$ 表示风险规避者期望利润的阈值,在 MV 方法下,该风险规避者的决策制定问题定义如下:

$$\begin{aligned} \min & V_i(q) \\ \text{s.t.} & E_i(q) \geq K_i \end{aligned} \quad (3-1)$$

其中, $i = r, sc$, $E_i(q)$ 和 $V_i(q)$ 分别代表风险规避者的期望利润和利润方差。风险规避者在满足其期望利润不小于给定的阈值 $K_i > 0$ 的约束下,最小化其利润方差。

定义 $\bar{E}_i = E_i(q_i^*)$, 其中 q_i^* 为风险中性者的最优解,代表风险规避者的最大期望利润,则 $E_i(q) \leq \bar{E}_i$ 成立。因此, K_i 不能超过 $\bar{E}_i$, 否则,公式(3-1)无可行解。

3.2 集中式的供应链

首先我们考虑一个集中式供应链,其中供应商拥有自己的零售职能,完成生产后将产品直接销售给终端顾客。集中式供应链的最优解将作为后续进行供应链协调研究的基准。因此,供应链的利润、期望利润和利润方差分别为:

$$\Pi_{sc}(q) = (p - c)q - (p - v)(q - x)^+ \quad (3-2)$$

$$E_{sc}(q) = (p - c)q - (p - v) \int_0^q F(x) dx \quad (3-3)$$

$$V_{sc}(q) = (p - v)^2 \eta(q) \quad (3-4)$$

其中, $(q - x)^+ = \max(q - x, 0)$, $\eta(q) = 2q \int_0^q F(x) dx - 2 \int_0^q xF(x) dx - (\int_0^q F(x) dx)^2$ 。

命题 1 $E_{sc}(q)$ 是 q 的凹函数,且对于任何的 $q > 0$, $V_{sc}(q)$ 是 q 的严格递增函数。

证明 由(3-3)式,对 $E_{sc}(q)$ 分别求 q 的一阶导数和二阶导数,可得

$dE_{sc}(q)/dq = (p - c) - (p - v)F(q)$, $d^2E_{sc}(q)/dq^2 = -(p - v)f(q) < 0$ 。因此, $E_{sc}(q)$ 是 q 的凹

函数。

对于任何的 $q > 0$ ，由(3-4)式，对 $V_{sc}(q)$ 求 q 的导数，得

$$dV_{sc}(q)/dq = (p-v)^2 d\eta(q)/dq = 2(p-v)^2(1-F(q)) \int_0^q F(x)dx > 0$$

因此， $V_{sc}(q)$ 是 q 的严格递增函数。

Remark 1 由命题 1 可知，供应链的最优生产量/订购量 q 是唯一的，且当生产量/订购量 q 越大，供应链的利润方差也越大。令 q_{sc}^* 表示最大化供应链期望利润的最优 q 值，则 $q_{sc}^* = F^{-1}[(p-c)/(p-v)]$ ，相应的供应链期望利润为 $\bar{E}_{sc} = E_{sc}(q_{sc}^*)$ 。

令 $K_{sc} > 0$ 表示风险规避供应链(供应商)的期望利润阈值，因此，风险规避供应链(供应商)的最优解 $q_{sc,mv}^*$ 由下面的命题 2 给定。

命题 2 当 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$ ，则风险规避供应链(供应商)的最优生产量/订购量 $q_{sc,mv}^*$ 可由

$E_{sc}(q) = K_{sc}$ 唯一确定，且满足 $q_{sc,mv}^* \leq q_{sc}^*$ ；如果 $K_{sc} > \bar{E}_{sc}$ ，则(p1)无可行解。

证明 当 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$ ，我们可以通过使 $E_{sc}(q) = K_{sc}$ 成立来满足(p1)的约束条件。由命题 1 可知， $E_{sc}(q)$ 是 q 的凹函数，因此存在两个 q ， $q_1 \in (0, q_{sc}^*]$ ， $q_2 \in (q_{sc}^*, \infty)$ 能使 $E_{sc}(q) = K_{sc}$ 成立。但是，由命题 1， $V_{sc}(q)$ 是 q 的严格递增函数， $V_{sc}(q_1) < V_{sc}(q_2)$ ，因此，(p1)的最优解 $q_{sc,mv}^*$ 满足 $E_{sc}(q_{sc,mv}^*) = K_{sc}$ ，且位于 $(0, q_{sc}^*]$ 区域内，即 $q_{sc,mv}^* \leq q_{sc}^*$ 。而 $\bar{E}_{sc}$ 是供应链所能获得的最大期望利润，如果 $K_{sc} > \bar{E}_{sc}$ ，则(p1)的约束将永不能成立，相应的最优解也不存在。

Remark 2 命题 2 给出了风险规避供应链(供应商)的最优解。对于任何的 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$ ，风险规避供应链(供应商)的最优解 $q_{sc,mv}^*$ 满足：(1) $E_{sc}(q) = K_{sc}$ ；(2) $q_{sc,mv}^* \leq q_{sc}^*$ 。因此，如果给定 K_{sc} ，风险规避供应链(供应商)的最优生产量/订购量是可以唯一确定的。

3.3 分散式的供应链

现在我们考虑分散式供应链，其中供应商将其零售职能外包给另一个供应链实体，即零售商。供应商和零售商进入之前所描述的 Stackelberg 博弈，且都为风险规避者。值得注意的是，供应链契约类型只影响供应链利润在供应商和零售商之间的分配，并不影响供应链的利润、期望利润和利润方差。因此，给定 SRP 契约 (w, t, u) ，零售商的利润、期望利润和利润方差分别为：

$$\Pi_r(q) = (p-w)q - (p-v)(q-x)^+ + u(\min(x, q) - t) \quad (3-5)$$

$$E_r(q) = (p-w)q - (p-v) \int_0^q F(x)dx + u(q-t - \int_0^q F(x)dx) \quad (3-6)$$

$$\begin{aligned}
V_r(q) &= E(\Pi_r(q) - E_r(q))^2 \\
&= (p-v)^2 E\left(\int_0^q F(x)dx - (q-x)^+ \right)^2 + u^2 E((\min(x, q) - t) - (q-t - \int_0^q F(x)dx))^2 \\
&\quad + 2u(p-v)E[(\int_0^q F(x)dx - (q-x)^+)(\min(x, q) - t) - (q-t - \int_0^q F(x)dx)] \\
&= (p-v)^2 (\int_0^q (q-x)^2 f(x)dx - (\int_0^q F(x)dx)^2) + u^2 (\int_0^q (x-t)^2 f(x)dx + \int_q^\infty (q-t)^2 f(x)dx - (q-t - \int_0^q F(x)dx)^2) \\
&\quad + 2u(p-v)(\int_0^q F(x)dx(q-t) - \int_0^q F(x)dx - \int_0^q (q-x)(x-t)f(x)dx) \\
&= (p-v)^2 (2q \int_0^q F(x)dx - 2 \int_0^q xF(x)dx - (\int_0^q F(x)dx)^2) + u^2 (2q \int_0^q F(x)dx - 2 \int_0^q xF(x)dx - (\int_0^q F(x)dx)^2) \\
&\quad + 2u(p-v)(2q \int_0^q F(x)dx - 2 \int_0^q xF(x)dx - (\int_0^q F(x)dx)^2) \\
&= (p-v+u)^2 \eta(q)
\end{aligned} \tag{3-7}$$

同理，可得供应商的利润、期望利润和利润方差：

$$\Pi_s(q) = (w-c)q - u(\min(x, q) - t) \tag{3-8}$$

$$E_s(q) = (w-c)q - u(q-t - \int_0^q F(x)dx) \tag{3-9}$$

$$\begin{aligned}
V_s(q) &= E(\Pi_s(q) - E_s(q))^2 \\
&= u^2 E((q-t - \int_0^q F(x)dx - (\min(x, q) - t)))^2 \\
&= u^2 (\int_0^q (x-t)^2 f(x)dx + \int_q^\infty (q-t)^2 f(x)dx - (q-t - \int_0^q F(x)dx)^2) \\
&= u^2 (2q \int_0^q F(x)dx - 2 \int_0^q xF(x)dx - (\int_0^q F(x)dx)^2) \\
&= u^2 \eta(q)
\end{aligned} \tag{3-10}$$

命题 3 (a) $E_r(q)$ 是 q 的凹函数；(b) $V_r(q) > V_{sc}(q)$ ， $V_r(q) > V_s(q)$ ；(c) 对于任何 $q > 0$ ， $\Pi_r(q)$ 和 $\Pi_s(q)$ 负相关；(d) 对于任何的 $q > 0$ ， $V_r(q)$ 和 $V_s(q)$ 都是 q 的严格递增函数。

证明 (a) 在 SRP 契约下，零售商的期望利润由(3-6)式给定，对 $E_r(q)$ 分别求 q 的一阶导数和二阶导数，得：

$$\frac{dE_r(q)}{dq} = (p-w) - (p-v)F(q) + u\bar{F}(q) \tag{3-11}$$

$$\frac{d^2 E_r(q)}{dq^2} = -(p-v+u)f(q) < 0 \tag{3-12}$$

所以 $E_r(q)$ 是 q 的凹函数。

(b) 由 $V_{sc}(q)$ ， $V_r(q)$ 和 $V_s(q)$ 的表达式，我们可知

$$V_r(q) = (p-v+u)^2 \eta(q) > (p-v)^2 \eta(q) = V_{sc}(q)$$

$$V_r(q) = (p-v+u)^2 \eta(q) > u^2 \eta(q) = V_s(q)$$

因此，我们有 $V_r(q) > V_{sc}(q)$ ， $V_r(q) > V_s(q)$ 。

(c) 对于任何 $q > 0$ ， $\Pi_{sc}(q) = \Pi_r(q) + \Pi_s(q)$ 恒成立。

因为， $V_{sc}(q) = V(\Pi_r(q) + \Pi_s(q)) = V_r(q) + V_s(q) + 2\text{cov}(\Pi_r(q), \Pi_s(q))$ ， $V_{sc}(q) = (p-v)^2 \eta(q)$ ，

$$V_r(q) = (p-v+u)^2 \eta(q)，V_s(q) = u^2 \eta(q)$$

$$V_r(q) + V_s(q) = (p-v)^2 \eta(q) + 2u^2 \eta(q) + 2u(p-v) \eta(q) > (p-v)^2 \eta(q)$$

所以, $V_{sc}(q) = (p-v)^2 \eta(q) < V_r(q) + V_s(q)$, 那么 $\text{cov}(\Pi_r(q), \Pi_s(q)) < 0$, $\Pi_r(q)$ 和 $\Pi_s(q)$ 负相关。

(d)对于任何的 $q > 0$, 对 $V_r(q)$ 和 $V_s(q)$ 求 q 的一阶导数, 得:

$$\frac{dV_r(q)}{dq} = (p-v+u)^2 \frac{d\eta(q)}{dq} = 2(p-v+u)^2 (1-F(q)) \int_0^q F(x) dx > 0$$

$$\frac{dV_s(q)}{dq} = u^2 \frac{d\eta(q)}{dq} = 2u^2 (1-F(q)) \int_0^q F(x) dx > 0$$

因此, $V_r(q)$ 和 $V_s(q)$ 是 q 的严格递增函数。

Remark 3 由命题 3 可知, 在 SRP 契约下, 当订购量 q 增大时, 零售商和供应商的利润方差也跟着增大, 并且对于一个给定的订购量 q , 零售商的利润方差总是大于供应链和供应商的利润方差。换句话说, 零售商的利润不确定性总是大于供应链和供应商的利润不确定性。对于给定的 SRP 契约, 当零售商获得一个较高的利润时, 供应商的利润将减少, 反之亦反。因此, 在 SRP 契约下, 供应商也承担了一定的风险。此外, 零售商的期望利润是 q 的凹函数, 因此, 存在一个最优订购量 q_r^* , 使得零售商的期望利润最大化。令 $q_r^* = F^{-1}[(p-w+u)/(p-v+u)]$, 为风险中性零售商的最优订购量, 相应地, 零售商的期望利润为 $\bar{E}_r = E_r(q_r^*)$ 。

给定 $K_r > 0$ 为风险规避零售商的期望利润阈值, 因此, 在 SRP 契约下, 与命题 2 的证明类似地, 我们可得风险规避零售商的最优订购量 $q_{r,mv}^*$ 。对于任何的 $K_r \leq \bar{E}_r$, $q_{r,mv}^*$ 满足

$$E_r(q_{r,mv}^*) = K_r \quad (3-13)$$

$$q_{r,mv}^* \leq q_r^* \quad (3-14)$$

因此, 给定风险规避零售商的期望利润阈值 $K_r > 0$, 其最优订购量 $q_{r,mv}^*$ 可以被唯一确定。

3.4 供应链协调

由于供应商是供应链的协调者, 其关注的焦点为供应链的目标函数, 而非自身的目标函数。供应商通过向零售商提供一个 SRP 契约 (w, t, u) , 使零售商的最优 $q_{r,mv}^*$ 满足 $q_{r,mv}^* = q_{sc,mv}^*$, 从而达到渠道协调的目的。供应商和零售商都为风险规避者, 他们的期望利润阈值分别为 $K_{sc} > 0$ 和 $K_r > 0$ 。为了保证最优解的存在性, K_{sc} 和 K_r 分别满足 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$, $K_r \leq \bar{E}_r$ 。此外, 零售商的期望利润不能超过供应链所能获得的期望利润, 即 $K_r < K_{sc}$ 。

命题 4 通过预期风险规避零售商对于一个给定 SRP 契约的最优反应, 并且已知零售商的期望利润阈值 K_r , 供应商可以确定 (w, t, u) 以使 SRP 契约实现渠道协调

$(q_{r,mv}^* = q_{sc,mv}^*)$ 。具体地, 对于 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$, $K_r \leq \bar{E}_r$, $p > w > c$, $u > 0$ 和 $t > 0$, 一个 SRP 契约可以协调供应链 $(q_{r,mv}^* = q_{sc,mv}^*)$, 当且仅当 (w, t, u) 满足如下条件:

(1) $E_r(q_{sc,mv}^*) = K_r$; (2) $dE_r(q)/dq|_{q=q_{sc,mv}^*} \geq 0$ 。

证明 由前面的论述可知, 只要给定 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$, 风险规避供应链(供应商)的最优解 $q_{sc,mv}^*$ 可以被 $E_{sc}(q_{sc,mv}^*) = K_{sc}$ 唯一确定, 并且满足 $q_{sc,mv}^* \leq q_{sc}^*$ 。此外, $q_{sc,mv}^*$ 不受 SRP 契约参数的影响, 因此, 只要给定 K_{sc} , $q_{sc,mv}^*$ 可以被认为是固定的。而对于任何给定的 $K_r \leq \bar{E}_r$, 风险规避零售商的最优订购量 $q_{r,mv}^*$ 满足(3-13)式和(3-14)式。因此, 为了实现协调, 即 $q_{r,mv}^* = q_{sc,mv}^*$, 我们有 $E_r(q_{sc,mv}^*) = K_r$, $q_{sc,mv}^* \leq q_r^*$ 。由命题 3 可知, $E_r(q)$ 是 q 的凹函数, 并在 $q = q_r^*$ 处取得最大值 $\bar{E}_r$, $E_r(q)$ 在 $q \in (0, q_r^*]$ 是单调递增的, 并且 $dE_r(q)/dq|_{q=q_r^*} = (p - w + u) - (p - v + u)F(q_r^*) = 0$ 。由 $q_{sc,mv}^* \leq q_r^*$ 可知 $dE_r(q)/dq|_{q=q_{sc,mv}^*} \geq 0$ 。

Remark 4 命题 4 给出了 SRP 契约 (w, t, u) 实现协调的充分必要条件。由命题 4 可知, $E_r(q_{sc,mv}^*) = K_r$, $K_r \leq \bar{E}_r$, 意味着在协调时, 风险规避零售商的期望利润可能小于其在 SRP 契约 (w, t, u) 下所能获得的最大期望利润。在协调时, 风险规避零售商的期望利润等于 K_r , 因此, 供应商所获得的期望利润为 $E_{sc}(q_{sc,mv}^*) - K_r = K_{sc} - K_r$ 。这为 SRP 契约 (b, t, u) 实现帕累托改进提供了可能性和条件。

下面, 我们进一步探讨 SRP 契约 (w, t, u) 实现协调时各个契约参数所满足的条件。

在此之前, 我们给出如下的定义。

令 τ_0 为 $g_0(t) = 0$ 的解, $g_0(t) = t + \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*)$ 。对于任何给定的 $\varepsilon \geq 0$ 和

K_r , 令 τ_{ε, K_r} 为 $g_1(t) = 0$ 的解, $g_1(t)$ 的表达式为

$$g_1(t) = g_0(t)[K_r + (p - v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx] - (\int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx - t)[(p - v)(q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx) - K_r + \varepsilon]$$

命题 5 (1) 存在一个唯一的 $\tau_0 \in (0, \int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx)$; (2) 对于任何给定的

$K_r < (p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx < K_{sc}$ 和 $\varepsilon \geq 0$, 存在一个唯一的 τ_{ε, K_r} , 并且 $\tau_0 < \tau_{\varepsilon, K_r} < \int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx$ 。

证明 (1) 对 $g_0(t)$ 求 t 的一阶导数, 得 $\frac{dg_0(t)}{dt} = 1 > 0$, 即 $g_0(t)$ 是 $t > 0$ 的严格递增函数,

$g_0(0) = \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) < 0$, $g_0(\int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx) = (1 - F(q_{sc,mv}^*))q_{sc,mv}^* > 0$, 因此,

存在一个唯一的 $\tau_0 \in (0, \int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx)$, 使 $g_0(t) = 0$ 。

(2) 对 $g_1(t)$ 求 t 的一阶导数, 得

$$\begin{aligned} \frac{dg_1(t)}{dt} &= K_r + (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx + (p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r + \varepsilon \\ &= (p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) + \varepsilon > 0 \end{aligned}$$

因此, $g_1(t)$ 是 $t > 0$ 的严格递增函数。

$g_1(\tau_0) = -(\int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx - \tau_0)[(p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r + \varepsilon]$, 因为 $K_r < (p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx < K_{sc} < \bar{E}_{sc}$, 所以 $g_1(\tau_0) < 0$ 。

$$\begin{aligned} g_1(\int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx) &= g_0(\int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx)[K_r + (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx] \\ &= (1 - F(q_{sc,mv}^*))q_{sc,mv}^*[K_r + (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx] > 0 \end{aligned}$$

因此, 存在一个唯一的 $\tau_{\varepsilon, K_r} \in (\tau_0, \int_0^{q_{sc,mv}^*} \bar{F}(x)dx)$, 使 $g_1(t) = 0$ 。

命题 6 对于任何给定的 $K_{sc} \leq \bar{E}_{sc}$, $K_r < (p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx < \bar{E}_{sc}$ 和

$\varepsilon \geq 0$, SRP 契约 (w, t, u) 实现协调, 当且仅当各参数满足如下条件:

$$(1) w = p - \frac{K_r + (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - u(q_{sc,mv}^* - t - \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx)}{q_{sc,mv}^*};$$

$$(2) u = \frac{(p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r + \varepsilon}{g_0(t)};$$

$$(3) t > \tau_{\varepsilon, K_r}$$

证明 由命题 4 可知, 要实现协调, $E_r(q_{sc,mv}^*) = K_r$ 成立, 因为

$E_r(q_{sc,mv}^*) = (p-w)q_{sc,mv}^* - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx + u(q_{sc,mv}^* - t - \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx)$, 经过化简可得(1)

式, 即 w 满足的等式。因为 $c < w < p$, 所以我们有

$$u(q_{sc,mv}^* - t - \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx) < K_r + (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx。$$

由 $dE_r(q)/dq|_{q=q_{sc,mv}} \geq 0$ 得 $u\bar{F}(q_{sc,mv}^*) \geq (p-v)F(q_{sc,mv}^*) - (p-w)$ 。将 w 满足的(1)式代入, 经过简单的化简, 可得 $ug_0(t) \geq (p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r$ 。因为 $K_r < (p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx < \bar{E}_{sc}$, 所以我们有 $g_0(t) > 0$, 而由命题 5 可知, $t > \tau_0$ 。因为 $\varepsilon \geq 0$, 所以, $u = \frac{(p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r + \varepsilon}{g_0(t)}$ 等价于 $ug_0(t) \geq (p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r$, 因此, 我们可得(2)式。

因为 $u(q_{sc,mv}^* - t - \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx) < K_r + (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx$, 将 u 满足的式子(2)式代入, 经过简单的化简, 可得 $g_1(t) > 0$ 。由命题 5 可知, $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 。综合 $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 和 $t > \tau_0$, t 满足的条件为 $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 。

Remark 5 命题 6 更为详细地给出了 SRP 契约 (w, t, u) 实现协调的充分必要条件。

从命题 6 可知, 条件(2)和(3)都需要给定一个 ε 才能获得 u 和 t 值, 而(1)式 w 的值依赖于 u 和 t 。因此, 在确定可以协调供应链的 SRP 契约 (w, t, u) 时, 供应商需要首先给出 ε 值, 之后供应商在 $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 选择一个 t 值, 在选定 t 值后, 可以确定 u 的取值, 从而可以确定 w 的取值。此外, 命题 6 告诉我们, 如果给定 w 、 t 和 u 这三个值中的任何两个, 那么, 存在多个 SRP 契约 (w, t, u) 可以实现供应链协调, 因为 $\varepsilon \geq 0$ 并不是固定的。

3.5 数值分析

为了更好地说明本章所获得的解析性结果, 在本节中, 我们进行数值分析。首先, 我们给定进行数值分析时所需要使用的一些参数。假定需求服从正态分布, 具有均值为 1000, 标准差为 330。供应商生产产品的单位成本 $c=15$, 零售商以单位销售价 $p=60$ 将产品销售给终端市场。在销售季节末, 未售出产品的单位净残值为 $v=2$ 。供应商作为供应链的协调者, 通过变化 w 、 t 和 u 的取值来实现渠道协调。供应商和零售商都为风险规避者, 他们各自的期望利润阈值为 K_{sc} 和 K_r 。有了这些参数, 我们可以求得风险中性供应链的最优解 $q_{sc}^* = 1251.6$, 相应的期望

利润和利润方差分别为 39367.4 和 238563202。因此, 为了保证风险规避供应链(供应商)的最优解的存在, 我们假定 $K_{sc} \leq 39367.4$ 。下面, 我们求出在 K_{sc} 满足 $K_{sc} \leq 39367.4$ 下 K_{sc} 取不同值时, 风险规避供应链(供应商)的最优生产量/订购量, 及相应的供应链的期望利润和利润方差, 结果显示在表 3-1 中。

表 3-1 不同 K_{sc} 时供应链的最优生产量、期望利润和利润方差

K_{sc}	$q_{sc,mv}^*$	E_{sc}	V_{sc}
20000	452.2	20000	4126127.2
25000	574.3	25000	11545388.6
30000	709.7	30000	29412975.2
35000	879.4	35000	73627206.4
38000	1037.9	38000	138152130.9

从表 3-1 中我们可以看出, 对于一个给定的供应链期望利润阈值, 风险规避供应链的最优解 $q_{sc,mv}^*$ 是可以被唯一确定的, 并且其最优生产量/订购量总是小于风险中性供应链的最优生产量/订购量 q_{sc}^* 。这与许多研究风险规避报童最优决策的文献得出的结论是一致的(Agrawal and Seshadri, 2000; Eeckhoudt et al., 1995; H.S. Lau, 1998; Choi et al., 2008), 即风险规避报童的订购量总是小于风险中性下的订购量。此外, 当 K_{sc} 增大时, 风险规避供应链的最优解 $q_{sc,mv}^*$ 也随之增大, 导致其利润方差也逐渐增大。但是, 不论 K_{sc} 如何变化, 只要其满足 $K_{sc} \leq 39367.4$, 则供应链最优期望利润和利润方差都不能超过在风险中性下各自的最大值 3936.74 和 238563202。类似地, 风险规避零售商的最优解、期望利润和利润方差也有同样的性质。

由于在供应链协调中, K_{sc} 和 K_r 必须满足 $K_{sc} \leq 39367.4$, $K_r < (p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx$, 否则, 供应链无法实现协调。因此, 在下面的数值分析中, 我们仅考虑 $K_{sc} \leq 39367.4$, $K_r < (p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx$ 的情况。

根据命题 6, 我们可以按照以下的步骤来获得 SRP 契约的参数, 从而实现供应链协调:

步骤(1) 在 $K_{sc} \leq 39367.4$ 范围内给定 K_{sc} 的取值;

步骤(2) 计算 $(p-v)q_{sc,mv}^*F(q_{sc,mv}^*) - (p-v)\int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx$, 从而给定 K_r 的取值;

步骤(3) 确定 ε 值;

步骤(4) 计算 τ_{ε, K_r} , 即对于给定的 K_r 和 ε 能够实现渠道协调的 t 的下限值;

步骤(5) 在 $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 范围内给定 t 值;

步骤(6) 根据 $u = \frac{(p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - K_r + \varepsilon}{g_0(t)}$ 计算 u 值;

步骤(7) 根据 $w = p - \frac{K_r + (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx - u(q_{sc,mv}^* - t - \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx)}{q_{sc,mv}^*}$ 计算 w 值。

在下面的数值分析中, 我们给定 K_{sc} 分别为 20000, 25000, 30000, 35000 和 38000。令 $Y = (p-v)q_{sc,mv}^* F(q_{sc,mv}^*) - (p-v) \int_0^{q_{sc,mv}^*} F(x)dx$, 由 K_{sc} 的五个取值, 我们可以获得五个 Y 值, 分别为 891.9, 2398.3, 5812.5, 1359.2 和 24072.6。下面, 我们分别根据 K_{sc} 和 K_r 的不同取值组合来讨论协调时契约参数的取值情况。

首先, 假定 $\varepsilon = 0$ 。

情况 1 $K_{sc} = 20000$

$q_{sc,mv}^* = 452.2$, $Y = 891.9$, 分别取 K_r 分别为 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800 和 850, 从而可以计算在协调时, SRP 契约的参数值。首先, 对于所有的 K_r 分别 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800 和 850, 经过计算, 我们有 $160 > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 。因此, 我们令 $t = 160$ 。那么, 对于所有的 K_r 分别 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800 和 850, 我们可以获得 w 和 u 的取值, 结果总结在表 3-2 中。

表 3-2 $K_{sc} = 20000$ 时可以协调供应链的 SRP 契约参数

K_r	τ_{ε, K_r}	t	u	w	V_r
500	151.7	160	2.71	59.84	4522660.45
550	134.3	160	2.36	59.51	4471296.38
600	116.9	160	2.02	59.18	4420225.66
650	99.5	160	1.67	58.85	4369448.27
700	82.1	160	1.33	58.52	4318964.29
750	64.7	160	0.98	58.20	4268773.52
800	47.3	160	0.64	57.87	4218876.16
850	29.9	160	0.29	57.54	4169272.13

根据表 3-2, 我们可以看出, 当供应链的期望利润阈值取值为 $K_{sc} = 20000$, 此时, 能够实现渠道协调的风险规避零售商的期望利润阈值较低, 不超过 891.9,

否则,供应链可能不能实现协调。这在一定程度上说明了该契约对于渠道协调的局限性,即当供应链期望利润阈值较小时,只有当零售商的期望利润阈值也偏小时,SRP 契约才能实现供应链协调。此外,从表 3-2 中我们可以得出,给定销量目标水平 t ,随着 K_r 的增大, u 和 w 值逐渐减少, v_r 的值也因此而减少,即如果给定 t 值, u 和 w 都是 K_r 的减函数,因为 v_r 是 u 的减函数,所以 v_r 也是 K_r 的减函数。类似的结论可以在 K_{sc} 和 K_r 取其他值时获得。因此,对于其他情况,我们在此只给出结果,而不再进行分析。

情况 2 $K_{sc} = 25000$

$q_{sc,mv}^* = 574.3$, $Y = 2398.3$, 分别取 K_r 为 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 和 2200, 以及当 $300 > \tau_{e,K_r}$ 时, 令 $t = 300$, 因此, 我们获得表 3-3。

表 3-3 $K_{sc} = 25000$ 时可以协调供应链的 SRP 契约参数

K_r	τ_{e,K_r}	t	u	w	V_r
1000	265	300	5.41	59.24	13799742.21
1200	233	300	4.63	58.54	13465215.62
1400	201	300	3.86	57.84	13134793.65
1600	169	300	3.09	57.14	12808476.29
1800	137	300	2.31	56.44	12486263.56
2000	105	300	1.54	55.75	12168155.44
2200	73	300	0.77	55.05	11854151.94

情况 3 $K_{sc} = 30000$

$q_{sc,mv}^* = 709.7$, $Y = 5812.5$, 分别取 K_r 为 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 和 5500, 以及当 $400 > \tau_{e,K_r}$ 时, 令 $t = 400$, 可获得表 3-4。

表 3-4 $K_{sc} = 30000$ 时可以协调供应链的 SRP 契约参数

K_r	τ_{e,K_r}	t	u	w	V_r
2000	383.59	400	12.72	59.40	43713887.05
2500	346.42	400	11.05	58.05	41676223.99
3000	309.26	400	9.38	56.69	39687192.58
3500	272.10	400	7.71	55.34	37746792.82
4000	234.93	400	6.05	53.99	35855024.71
4500	197.77	400	4.38	52.63	34011888.25
5000	160.61	400	2.71	51.28	32217383.44
5500	123.44	400	1.04	49.93	30471510.28

情况 4 $K_{sc} = 35000$

$q_{sc,mv}^* = 879.4$, $Y = 13592.5$, 分别取 K_r 为 9000, 10000, 11000, 12000, 13000, 13500 和 5500, 以及当 $400 > \tau_{\varepsilon,K_r}$ 时, 令 $t = 400$, 结果总结在表 5 中。

表 3-5 $K_{sc} = 35000$ 时可以协调供应链的契约参数

K_r	τ_{ε,K_r}	t	u	w	V_r
9000	377.49	400	27.72	57.19	160815530.93
10000	346.32	400	21.69	53.31	138963056.83
11000	315.15	400	15.65	49.42	118705648.90
12000	283.99	400	9.61	45.53	100043307.14
13000	252.82	400	3.58	41.65	82976031.54
13500	237.24	400	0.56	39.70	75040543.56

情况 5 $K_{sc} = 38000$

$q_{sc,mv}^* = 1037.9$, $Y = 24072.6$, 分别取 K_r 为 20000, 21000, 22000, 23000, 23500, 和 24000, 则 τ_{ε,K_r} 的取值可以经过简单的计算获得, 在这种情况下, 我们并不固定 t 值, 而是根据 τ_{ε,K_r} 的取值情况而确定 t 值, 只要 t 满足 $t > \tau_{\varepsilon,K_r}$ 即可, 结果总结在表 3-6 中。

表 3-6 $K_{sc} = 38000$ 时可以协调供应链的契约参数

K_r	τ_{ε,K_r}	t	u	w	V_r
20000	473.79	500	47.94	50.26	460952526.37
21000	459.36	460	68.35	59.55	655676659.57
22000	444.94	450	59.29	55.43	565064166.89
23000	430.52	440	42.98	48	418825856.70
23500	423.30	430	38.29	45.86	380800842.79
24000	416.09	420	14.65	35.09	216793621.52

从表 3-6, 我们可以看出, 由于 t 不是固定的, 因此, 相应的 u 、 w 和 V_r 值没有呈现出如前面各情况所示的变化规律。

从上述各表中, 我们可得, 当零售商能取得的期望利润阈值很小时, 在协调时, 供应商获得供应链的绝大部分的期望利润, 而仅留很小的一个比例给零售商。例如, 当 $K_{sc} = 20000$ 时, 零售商可取的期望利润阈值很小, 不超过 1000, 因此, 在协调时, 零售商可取得的期望利润也不超过 1000, 那么, 供应商获得的期望利润至少为 $(20000 - 1000)$, 即供应商获得供应链绝大部分的利润。而当 K_{sc} 逐渐增大时, 零售商可取得的期望利润阈值也越来越大, 那么在协调时, 零售商获取的

供应链期望利润的比例也随之增大, 供应商的期望利润随之减少。如当 $K_{sc} = 38000$ 时, 零售商的 K_r 可以取的值很大, 可以大到 24000, 因此, 所获得的供应链利润比例很高, 而供应商所获得的期望利润为 14000, 小于零售商获得的期望利润。在上面的分析中, 我们都假定 $\varepsilon = 0$, 而由命题 6 可知, $\varepsilon \geq 0$ 和 $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ 可以被任意确定以实现供应链协调时的 SRP 契约参数。因此, 我们接下来分析 ε 和 t 的不同取值对供应链协调的影响。

(1) t 固定, ε 变化时可以实现渠道协调的供应链契约参数的取值

情况 1 $K_{sc} = 20000$

此时, 我们将 K_r 的取值固定, 并且 $K_r = 850$, 由于 $200 > \tau_{\varepsilon, K_r}$, 令 $t = 200$ 。给定 ε 的六个值, $\varepsilon = 100, 200, 300, 400, 500, 600$, 以探讨 ε 取值的变化对供应链协调的影响, 结果总结在表 3-7 中。

表 3-7 $K_r = 850$, $t = 200$, 不同 ε 值时可以协调供应链的契约参数值

ε	τ_{ε, K_r}	t	u	w	V_r
100	61.04	200	0.77	57.77	4238058.17
200	87.81	200	1.31	58.07	4316538.81
300	111.10	200	1.86	58.36	4395739.45
400	131.54	200	2.39	58.66	4475660.10
500	149.64	200	2.94	58.95	4556300.75
600	165.77	200	3.48	59.25	4637661.41

从表 3-7 中可以看出, 当 t 固定, K_r 给定时, 随着 ε 值的增大, τ_{ε, K_r} 值也随之增大。此外, u 、 w 和 V_r 值也随之增大, 即 τ_{ε, K_r} 、 u 、 w 和 V_r 都是 ε 的增函数。因此, ε 值可以直接影响零售商在 SRP 契约下的风险水平。当 ε 值增大时, 零售商的风险水平也增大。因此, 供应商可以通过调整 ε 的值来控制零售商的风险水平。对于其他的情况, 我们也可以获得相同的结论, 因此, 在此只给出各情况下的参数取值, 不再对它们进行分析。

情况 2 $K_{sc} = 25000$

表 3-8 $K_r=1800$, $t=300$, 不同 ε 值时可以协调供应链的契约参数值

ε	τ_{ε, K_r}	t	u	w	V_r
100	149.70	300	2.7	56.62	12646856.85
200	161.62	300	3.09	56.79	12808476.29
300	172.86	300	3.47	56.97	12971121.89
400	183.49	300	3.86	57.14	13134793.65
500	193.54	300	4.25	57.32	13299491.56
600	203.08	300	4.63	57.49	13465215.62

情况 3 $K_{sc}=30000$ 表 3-9 $K_r=3500$, $t=400$, 不同 ε 值时可以协调供应链的契约参数值

ε	τ_{ε, K_r}	t	u	w	V_r
100	277.25	400	8.05	55.47	38130982.24
200	282.27	400	8.38	55.60	38517116.92
300	287.16	400	8.71	55.73	38905196.88
400	291.93	400	9.05	55.86	39295222.09
500	296.59	400	9.38	55.99	39687192.58
600	301.14	400	9.72	56.12	40081108.33

情况 4 $K_{sc}=35000$ 表 3-10 $K_r=13000$, $t=280$, 不同 ε 值时可以协调供应链的契约参数值

ε	τ_{ε, K_r}	t	u	w	V_r
100	255.82	280	15.17	49	117163257.77
200	258.78	280	17.36	50.29	124283956.44
300	261.72	280	19.55	51.59	131614702.58
400	264.62	280	21.74	52.89	139155496.21
500	267.49	280	23.93	54.18	146906337.32
600	270.33	280	26.12	55.48	154867225.92

情况 5 $K_{sc}=38000$

表 3-11 $K_r = 24000$, $t = 450$, 不同 ε 值时可以协调供应链的契约参数值

ε	τ_{ε, K_r}	t	u	w	V_r
100	417.53	450	4.94	30.57	162694391.26
200	418.95	450	7.80	31.78	177821044.80
300	420.37	450	10.66	32.99	193619998.67
400	421.78	450	13.52	34.19	210091252.90
500	423.18	450	16.38	35.40	227234807.45
600	424.57	450	19.24	36.61	245050662.36

(2) ε 固定, t 变化时可以实现渠道协调的供应链契约参数的取值

情况 1 $K_{sc} = 20000$

固定 $K_r = 850$, 令 $\varepsilon = 1000$, 由于 $\tau_{\varepsilon, K_r} = 215.87$, 所以我们给定 t 的八个值, $t = 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000$, 以探讨 t 值变化对供应链协调的影响, 结果总结在表 3-12 中。

表 3-12 $K_r = 850$, $\varepsilon = 1000$, t 值变化时可以协调供应链的契约参数值

t	u	w	V_r
300	3.66	58.54	4665436.27
400	2.71	57.63	4522523.73
500	2.15	57.10	4439626.25
600	1.78	56.75	4385506.24
700	1.52	56.50	4347397.02
800	1.33	56.31	4319109.94
900	1.18	56.17	4297281.52
1000	1.06	56.06	4279926.55

情况 2 $K_{sc} = 25000$

表 3-13 $K_r = 1800$, $\varepsilon = 1000$, t 值变化时可以协调供应链的契约参数值

t	u	w	V_r
300	6.18	58.19	14138373.42
400	4.46	56.64	13389446.56
500	3.48	55.76	12976085.21
600	2.86	55.20	12714125.75
700	2.43	54.81	12533288.30
800	2.11	54.52	12400952.41
900	1.86	54.30	12299916.71
1000	1.67	54.12	12220252.69

情况 3 $K_{sc} = 30000$

表 3-14 $K_r = 3500$, $\varepsilon = 1000$, t 值变化时可以协调供应链的契约参数值

t	u	w	V_r
400	11.05	56.64	41676223.99
500	8.29	54.40	38406589.86
600	6.63	53.05	36509452.82
700	5.52	52.15	35271610.24
800	4.73	51.51	34400613.96
900	4.14	51.03	33754570.60
1000	3.68	50.66	3325636035
1100	3.31	50.36	32860480.45

情况 4 $K_{sc} = 35000$

表 3-15 $K_r = 13000$, $\varepsilon = 1000$, t 值变化时可以协调供应链的契约参数值

t	u	w	V_r
300	24.26	53.82	148073782.38
400	9.61	44.39	100043307.14
500	5.99	42.06	89620340.92
600	4.36	41.01	85087144.07
700	3.42	40.41	82553700.67
800	2.82	40.02	80936400.07
900	2.39	39.75	79814543.43
1000	2.08	39.54	78990763.43

情况 5 $K_{sc} = 38000$

表 3-16 $K_r = 24000$, $\varepsilon = 1000$, t 值变化时可以协调供应链的契约参数值

t	u	w	V_r
450	30.69	41.43	323037085.39
500	12.63	33.21	204867436.83
550	7.95	31.08	178628498.56
600	5.80	30.10	167178630.15
650	4.57	29.54	160773444.78
700	3.76	29.17	156683005.00
750	3.20	28.91	153845209.40
800	2.79	28.72	151761293.61

从表 3-12 至表 3-16 中, 我们可以得出, 当 K_r 和 ε 固定时, 只要 t 的取值满

足 $t > \tau_{\varepsilon, K_r}$ ，随着 t 值的增大， u 、 w 和 V_r 逐渐减少，即 u 、 w 和 V_r 都是 t 的减函数。这说明，当 K_r 和 ε 固定时， t 值越大，零售商所承担的风险水平就越小。

3.6 本章小结

基于金融领域风险研究中 Markowitz 所提出的均值-方差(MV)理论的基础上，本章探讨了当供应链中的供应商和零售商都为风险规避者的情况下，销量回馈与惩罚契约对于实现供应链协调的作用。研究结果表明，存在多个销量回馈与惩罚契约可以协调具有风险规避参与者的供应链。数值分析的结果显示，对于供应链(供应商)和零售商期望利润阈值的不同组合，总存在可以协调供应链的契约参数值，并且如果供应链(供应商)和零售商的期望利润阈值都固定，销量目标水平也固定，那么，在协调时，回馈(惩罚)值、批发价和零售商的利润方差都是 ε 的增函数，这意味着零售商承担的风险水平随着 ε 的增大而增大。另一方面，如果供应链(供应商)和零售商的期望利润阈值都固定， ε 的值也固定，则在协调时，回馈(惩罚)值、批发价和零售商的利润方差都是销量目标水平的减函数，零售商承担的风险水平是销量目标水平的减函数。换句话说，当供应商将销量目标水平设定得越高时，零售商所承担的风险水平越低。

第4章 基于风险规避和销售努力因素的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究

4.1 模型构建与符号说明

考虑由单供应商和单零售商构成的二级供应链，其中供应商为风险中性者，零售商为风险规避者。零售商(报童)销售一种报童类的产品，具有短生命周期，并面临一个不确定性的需求，这个需求依赖于零售商的销售努力。供应商在了解到需求的特征后，向下游的零售商提供一个销量回馈与惩罚契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ ，以实现整体供应链的最佳绩效。 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 是供应商基于零售商的实际销售量而给予零售商的回馈或惩罚。具体地，该契约规定，对于零售商销售量超过销量目标 t 的部分，供应商将给予零售商单位 u 的回馈，而对于零售商销售量低于销量目标 t 的部分，供应商将给予零售商单位 u 的惩罚。博弈的顺序如下：

- (1)在销售季节未到来之前，供应商向零售商提供一个销量回馈与惩罚契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ ；
- (2)在了解到供应商所提供的 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 后，零售商决定其订购量和销售努力水平；
- (3)供应商进行生产、并在销售季节开始前将产品递送至零售商处；
- (4)销售季节开始，需求得以实现；
- (5)在销售季节末期，对于零售商销售量超过 t 的部分，供应商将给予零售商单位 u 的回馈，而对于零售商销售量低于 t 的部分，供应商将给予零售商单位 u 的惩罚。

假定供应商具有无限的生产能力，能够满足零售商的任何订购量要求，并且在产品的整个生命周期里，零售商只有一次订购机会，而没有任何补给的机会。当产品的需求高于零售商的订购量时，假定没有任何缺货成本，而当产品的需求低于零售商的订购量时，未售出的产品具有单位净残值 v 。令 p 为销售价格， c 为供应商的单位生产成本， q 为零售商的订购量。 w 为批发价，是供应商将产品销售给零售商的单位要价， t 为销量目标水平， u 为单位回馈值(惩罚值)。假定 $p > w > c > v$ ， $u > 0$ ， $t > 0$ 。在本章中，我们使用销售努力水平 e 来总结零售商为了增加产品销量而采取的活动，如雇佣更多的销售人员、改善对销售人员的培训、增加广告投入的力度、提供吸引人的货物空间、由销售人员引导消费者进行购买等。令 $c(e)$ 为零售商付出努力水平 e 的成本。与 Taylor(2002)类似地，我们假定 $c(e)$

是凸且严格递增的函数, $c(0)=0$, $c'(e)>0$, $c''(e)>0$ 。因此, 销售努力的边际成本是递增的。

令 x 代表消费者的需求, 它依赖于销售努力水平 e 。在本章, 我们考虑两种需求依赖于销售努力的模式: (1)加法模式, 即需求 x 满足 $x=D(e)+\xi$; (2)乘法模式, $x=D(e)\xi$ 。其中 $D(e)$ 是 e 的函数, 代表期望需求。 $\xi \geq 0$ 为一个随机变量, 代表需求的随机部分, 它独立于 e , 并且具有均值 $\tau > 0$, 概率密度函数 $f(\cdot)$ 和分布函数 $F(\cdot)$ 。假定 $f(\cdot) > 0$, 具有连续的导数 $f'(\cdot)$, $F(\cdot)$ 连续、严格递增、可微、可逆。令 $F^{-1}(\cdot)$ 是 $F(\cdot)$ 的逆函数, $\bar{F}(\cdot)=1-F(\cdot)$ 。假定 $D(e)$ 是 e 的递增且凹的函数, 即 $D'(e) > 0$, $D''(e) \leq 0$ 。因此, 销售努力的边际效应是递减的。

值得注意的是, 加法模式和乘法模式都是经济学和运作管理文献中常用的需求模型(Petruzzi 和 Dada, 1999)。Petruzzi 和 Dada 指出, 这两者之间的主要区别在于销售努力影响需求不确定性的方式的不同。加法模式下的需求方差与销售努力无关, 而乘法模式下需求的方差则是关于销售努力的函数。因此, 当需求的方差不受销售努力影响时, 使用加法模式的需求更加恰当。相反, 当需求的方差随着努力水平的增加而增加时, 使用乘法模式的需求更加恰当。由于两种不同的需求模型可能会导致完全不同的分析结果(Mills; E&G, Granot 和 Yin; Petruzzi 和 Dada, 1999), 因此, 在本章中, 我们分别考虑这两种需求模型, 并对基于这两种需求模型得到的结果进行比较。

此外, 令 $(\cdot)^+ = \max(\cdot, 0)$, 下标 s 代表供应商, 下标 r, sc 分别代表零售商和集中式的供应链。对于供应链协调的定义, 我们仍然采用第三章里供应链协调的定义方法, 具体如下:

定义 1 具有风险规避参与者的供应链协调

在一个契约下, 如果存在一个自主决策 y^* 被所有供应链参与者采取, 该决策 y^* 对于任何决策 y , $y^* = \arg \max E_{\pi_s}(y)$ 成立, 其中 $E_{\pi_s}(y)$ 是供应链的期望利润, 则该契约实现供应链协调。

由于零售商为风险规避者, 因此, 同第三章类似地, 在本章中, 我们采用均值-方差(MV)方法刻画零售商的决策制定问题。

定义 2 令 $K_r > 0$ 表示风险规避零售商期望利润的阈值, 在 MV 方法下, 该零售商的决策制定问题为:

$$\begin{aligned} \min & V_r(Q, e) \\ \text{s.t.} & E_r(Q, e) \geq k_r \end{aligned} \quad (4-1)$$

其中, $E_r(Q, e)$ 和 $V_r(Q, e)$ 分别代表风险规避零售商的期望利润和利润方差。零售商需要同时决定其订购量 Q 和销售努力 e , 其联合决策的结果使得在满足其期望利润不小于给定的阈值 $k_r > 0$ 的约束下, 零售商的利润方差最小。定义 $\bar{E}_r = E_r(Q^*, e^*)$ 为零售商可取得的最大期望利润, 则 k_r 不能超过 $\bar{E}_r$, 否则, (4-1)

无可行解。

4.2 集中式的供应链

在本节中, 我们研究一个集中式的供应链, 并将集中式供应链的最优解作为后续供应链协调的基准。在集中式的供应链中, 单个供应商直接服务于一个消费市场。供应商的目标是选择努力水平 e 和产量 q 以最大化其期望利润。

4.2.1 加法模式的需求模型

首先, 我们考虑加法模式的需求, 由于产品的需求为 $x = D(e) + \xi$, 定义 $Q = q - D(e)$, $\eta(Q) = 2Q \int_0^Q F(\xi) d\xi - 2 \int_0^Q \xi F(\xi) d\xi - (\int_0^Q F(\xi) d\xi)^2$, 因此, 我们可得供应链的利润、期望利润和利润方差:

$$\Pi_{sc}(Q, e) = (p - c)D(e) + (p - c)Q - (p - v)(Q - \xi)^+ - c(e) \quad (4-2)$$

$$E_{sc}(Q, e) = (p - c)D(e) + (p - c)Q - (p - v) \int_0^Q F(\xi) d\xi - c(e) \quad (4-3)$$

$$V_{sc}(Q, e) = (p - v)^2 \eta(Q) \quad (4-4)$$

令 (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 和 $q_{sc}^* = D(e_{sc}^*) + Q_{sc}^*$ 分别代表最大化供应链期望利润 $E_{sc}(Q, e)$ 的最优联合决策和最优产量, 令 $\bar{E}_{sc} = E_{sc}(Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。

命题 1 在加法模式的需求模型下, 供应链的最优联合决策 (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 存在且唯一, 满足 $Q_{sc}^* = F^{-1}[(p - c)/(p - v)]$, $c'(e_{sc}^*) = (p - c)D'(e_{sc}^*)$ 。因此, 供应链的最优产量 q_{sc}^* 唯一, 并满足 $q_{sc}^* = D(e_{sc}^*) + F^{-1}[(p - c)/(p - v)]$ 。

证明 对于任何固定的 $e \geq 0$, 由(4-3)式, 我们对 $E_{sc}(Q, e)$ 分别求 Q 的一阶微分和二阶微分, 可得 $\partial E_{sc}(p, Q)/\partial Q = (p - c) - (p - v)F(Q)$, $\partial^2 E_{sc}(p, Q)/\partial Q^2 = -(p - v)f(Q) < 0$ 。因此, $E_{sc}(Q, e)$ 是 Q 的凹函数, Q_{sc}^* 存在且唯一, 并且独立于销售努力水平 e , 满足 $Q_{sc}^* = F^{-1}[(p - c)/(p - v)]$ 。

将 Q_{sc}^* 代入利润表达式得 $E_{sc}(Q_{sc}^*, e) = (p - c)D(e) + (p - c)Q_{sc}^* - (p - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - c(e)$,

对 $E_{sc}(Q_{sc}^*, e)$ 分别求 e 的一阶导数和二阶导数, 得

$$\frac{dE_{sc}(Q_{sc}^*, e)}{de} = (p - c)D'(e) - c'(e) \quad (4-5)$$

$$\frac{d^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, e)}{de^2} = (p - c)D''(e) - c''(e) \quad (4-6)$$

因为 $D'(e) \leq 0$, $c'(e) > 0$, 所以 $\frac{d^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, e)}{de^2} < 0$, 即 $E_{sc}(Q_{sc}^*, e)$ 是 e 的凹函数, e_{sc}^*

存在且唯一，满足 $c'(e_{sc}^*) = (p-c)D'(e_{sc}^*)$ 。

由 $q_{sc}^* = D(e_{sc}^*) + Q_{sc}^*$ 可得供应链的最优生产量 q_{sc}^* 唯一，并满足 $q_{sc}^* = D(e_{sc}^*) + F^{-1}[(p-c)/(p-v)]$ 。

Remark 1 命题 1 给出了在加法模式的需求下，集中式供应链的最优解。由命题 1 我们可知，该最优解是唯一的。作为供应链的协调者，供应商提供契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 的目的是使分散化的供应链的利润等于或者接近集中式供应链的最优期望利润 $\bar{E}_{sc}$ ，即供应商以 (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 作为其协调供应链的目标。

命题 2 在加法模式的需求下， $V_{sc}(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数，且独立于 e 。

证明 由供应链的利润方差表达式(3)式可以看出， $V_{sc}(Q, e)$ 独立于 e ，即 $V_{sc}(Q, e)$ 不受销售努力水平 e 大小的影响。因此， $V_{sc}(Q, e)$ 可以看成是 Q 的函数 $V_{sc}(Q)$ ，对 $V_{sc}(Q)$ 求 Q 的导数，可得 $dV_{sc}(Q)/dQ = 2(p-v)^2(1-F(Q)) \int_0^Q F(\xi) d\xi > 0$ ，因此， $V_{sc}(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数。

4.2.2 乘法模式的需求模型

在乘法模式的需求下， $x = D(e)\xi$ ，定义 $Q = q/D(e)$ ，因此，我们可得供应链的利润、期望利润和利润方差：

$$\Pi_{sc}(Q, e) = D(e)[(p-c)Q - (p-v)(Q-\xi)^+] - c(e) \quad (4-7)$$

$$E_{sc}(Q, e) = D(e)[(p-c)Q - (p-v) \int_0^Q F(\xi) d\xi] - c(e) \quad (4-8)$$

$$V_{sc}(Q, e) = D(e)^2 (p-v)^2 \eta(Q) \quad (4-9)$$

令 (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 和 $q_{sc}^* = D(e_{sc}^*)Q_{sc}^*$ 分别代表最大化供应链期望利润 $E_{sc}(Q, e)$ 的最优联合决策和最优生产量。

命题 3 在乘法模式的需求模型下，供应链的最优联合决策 (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 存在且唯一，

满足 $Q_{sc}^* = F^{-1}[(p-c)/(p-v)]$ ， $c'(e_{sc}^*) = D'(e_{sc}^*)[(p-c)Q_{sc}^* - (p-v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi]$ 。因此，供应链的最优生产量 q_{sc}^* 唯一，并满足 $q_{sc}^* = D(e_{sc}^*)F^{-1}[(p-c)/(p-v)]$ 。

证明 同命题 1。

命题 4 在乘法模式的需求下，对于任何给定的 $e \geq 0$ ， $V_{sc}(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数，而对于任何给定的 $Q \geq 0$ ， $V_{sc}(Q, e)$ 是 e 的严格递增函数。

证明 由 (4-9) 式，对 $V_{sc}(Q, e)$ 分别求 Q 和 e 的微分，可得

$$\partial V_{sc}(Q, e)/\partial Q = 2D(e)^2(p-v)^2(1-F(Q)) \int_0^Q F(\xi)d\xi > 0$$

$$\partial V_{sc}(Q, e)/\partial e = 2D(e)D'(e)(p-v)^2\eta(Q) > 0$$

因此, 命题 4 得证。

4.3 分散式的供应链

在本节中, 我们考虑分散化的供应链。在分散化的供应链中, 供应商和零售商是两个独立的供应链实体, 供应商通过零售商将产品销售给终端市场。供应商为风险中性者, 其目标是通过向零售商提供一个 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, 使整个供应链的利润最大化, 实现供应链协调的目的。零售商为风险规避者, 具有期望利润阈值 k_r 。零售商的期望利润不能超过供应链的期望利润, 因此, 假定 $k_r < \bar{E}_{sc}$ 。

4.3.1 加法模式的需求模型

在加法模式的需求下, 对于给定的 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, 令 $Q = q - D(e)$, $T = t - D(e)$, 则零售商的利润、期望利润和利润方差分别为:

$$\Pi_r(Q, e) = (p-w)D(e) + (p-w)Q - (p-v)(Q-\xi)^+ + u(\min(\xi, Q) - T) - c(e) \quad (4-10)$$

$$E_r(Q, e) = (p-w)D(e) + (p-w)Q - (p-v) \int_0^Q F(\xi)d\xi + u(Q - T - \int_0^Q F(\xi)d\xi) - c(e) \quad (4-11)$$

$$\begin{aligned} V_r(Q, e) &= E(\Pi_r(Q, e) - E_r(Q, e))^2 \\ &= (p-v)^2 E\left(\int_0^Q F(\xi)d\xi - (Q-\xi)^+\right)^2 + u^2 E((\min(\xi, Q) - T) - (Q - T - \int_0^Q F(\xi)d\xi))^2 \\ &\quad + 2u(p-v)E\left(\int_0^Q F(\xi)d\xi - (Q-\xi)^+)((\min(\xi, Q) - T) - (Q - T - \int_0^Q F(\xi)d\xi))\right) \\ &= (p-v)^2 \left(\int_0^Q (Q-\xi)^2 f(\xi)d\xi - (\int_0^Q F(\xi)d\xi)^2\right) + u^2 \left(\int_0^Q (\xi - T)^2 f(\xi)d\xi + \int_0^Q (Q-T)^2 f(\xi)d\xi\right. \\ &\quad \left.- (Q-T - \int_0^Q F(\xi)d\xi)^2\right) + 2u(p-v) \left(\int_0^Q F(\xi)d\xi(Q-T - \int_0^Q F(\xi)d\xi) - \int_0^Q (Q-\xi)(\xi-T)f(\xi)d\xi\right) \\ &= (p-v+u)^2 (2Q \int_0^Q F(\xi)d\xi - 2 \int_0^Q \xi F(\xi)d\xi - (\int_0^Q F(\xi)d\xi)^2) \\ &= (p-v+u)^2 \eta(Q) \end{aligned} \quad (4-12)$$

同理可得供应商的利润、期望利润和利润方差为:

$$\Pi_s(Q, e) = (w-c)D(e) + (w-c)Q - u(\min(\xi, Q) - T) \quad (4-13)$$

$$E_s(Q, e) = (w-c)D(e) + (w-c)Q - u(Q - T - \int_0^Q F(\xi)d\xi) \quad (4-14)$$

$$V_s(Q, e) = E(\Pi_s(Q, e) - E_s(Q, e))^2 = u^2 \eta(Q) \quad (4-15)$$

令 (Q^*, e_r^*) 和 $q_r^* = D(e_r^*) + Q^*$ 代表在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下, 最大化风险中性零售商期望利润 $E_r(Q, e)$ 的最优联合决策和最优订购量, 令 $\bar{E}_r = E_r(Q^*, e_r^*)$ 。

命题 5 在加法模式的需求下, 风险中性零售商的最优联合决策 (Q_r^*, e_r^*) 存在且唯一, 满足 $Q_r^* = F^{-1}[(p-w+u)/(p-v+u)]$, $c'(e_r^*) = (p-w+u)D'(e_r^*)$ 。

证明 对于任何给定的 $e \geq 0$, 由(10)式, 对 $E_r(Q, e)$ 分别求 Q 的一阶微分和二阶微分, 得: $\partial E_r(Q, e)/\partial Q = (p-w+u) - (p-v+u)F(Q)$, $\partial^2 E_r(Q, e)/\partial Q^2 = -(p-v+u)f(Q) < 0$, 所以 $E_r(Q, e)$ 是 Q 的凹函数, 最优订购量 Q_r^* 存在且唯一, 满足 $Q_r^* = F^{-1}[(p-w+u)/(p-v+u)]$ 。由 Q_r^* 的表达式可知, Q_r^* 独立于 e 。

将 Q_r^* 代入零售商的期望利润表达式, 得 $E_r(Q_r^*, e)$, 对 $E_r(Q_r^*, e)$ 分别求 e 的一阶导数和二阶导数, 可得:

$$\frac{dE_r(Q_r^*, e)}{de} = (p-w+u)D'(e) - c'(e) \quad (4-16)$$

$$\frac{d^2 E_r(Q_r^*, e)}{de^2} = (p-w+u)D''(e) - c''(e) < 0 \quad (4-17)$$

因此, $E_r(Q_r^*, e)$ 是 e 的凹函数, 存在一个唯一的最优努力水平 e_r^* , 满足 $c'(e_r^*) = (p-w+u)D'(e_r^*)$ 。

Remark 2 命题 5 给出了加法模式的需求下, 给定 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, 风险中性零售商的最优解。由命题 5 我们可知, 风险中性零售商的最优解是唯一的, 其最优的期望利润为 $\bar{E}_r$ 。因此, 为了保证(p3)问题解的存在性, k_r 必须满足 $k_r \leq \bar{E}_r$ 。对于任何的 $k_r > \bar{E}_r$, SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 不能协调供应链。

命题 6 (1) 对于任何的 $w \in (c, p)$, Q_r^* 、 e_r^* 和 $\bar{E}_r$ 是 w 的递减函数;

(2) 对于任何的 $u > 0$, Q_r^* 和 e_r^* 是 u 的递增函数;

(3) 对于任何给定的 $e \geq 0$, $V_r(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数, 而 $V_r(Q, e)$ 独立于 e 。

证明 由命题 5 可知, 风险中性零售商的联合决策 (Q_r^*, e_r^*) 满足:

$$(p-w+u) - (p-v+u)F(Q_r^*) = 0$$

$$(p-w+u)D'(e_r^*) - c'(e_r^*) = 0$$

因此, 由隐函数求导法则, 我们有:

$$\frac{dQ_r^*}{dw} = \frac{-1}{(p-v+u)f(Q_r^*)} < 0, \quad \frac{dQ_r^*}{du} = \frac{1-F(Q_r^*)}{(p-v+u)f(Q_r^*)} > 0$$

$$\frac{de_r^*}{dw} = -\frac{D'(e_r^*)}{(p-w+u)D'(e_r^*) - c'(e_r^*)} < 0, \quad \frac{de_r^*}{du} = -\frac{D'(e_r^*)}{(p-w+u)D'(e_r^*) - c'(e_r^*)} > 0。$$

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{E}_r}{dw} &= -D(e_r^*) + (p-w+u)D'(e_r^*)\frac{de_r^*}{dw} - Q_r^* + (p-w+u)\frac{dQ_r^*}{dw} - (p-v+u)F(Q_r^*)\frac{dQ_r^*}{dw} - c'(e_r^*)\frac{de_r^*}{dw} \\ &= -D(e_r^*) - Q_r^* < 0 \end{aligned}$$

因此, Q_r^* 、 e_r^* 和 $\bar{E}_r$ 是 w 的递减函数, Q_r^* 和 e_r^* 是 u 的递增函数。

此外, 从风险中性零售商的利润方差表达式(11)式, 我们可知, $V_r(Q, e)$ 不受零售商销售努力水平 e 的影响, 因此, $V_r(Q, e)$ 可看成仅为 Q 的函数。将 $V_r(Q, e)$ 对 Q

求导数, 可得 $dV_r(Q, e)/dQ = 2(p-v+u)^2(1-F(Q)) \int_0^Q F(\xi)d\xi > 0$ 。因此, $V_r(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数。

Remark 3 从命题 6, 我们可知, 当供应商给予零售商的要价 w 越大时, 风险中性零售商的最优订购量 Q_r^* 、可获得的最大期望利润 $\bar{E}_r$ 及所付出的销售努力水平 e_r^* 则会减少, 而当供应商基于零售商的销售量而给予零售商的回馈值(惩罚值)越大时, 零售商则会增大其订购量 Q_r^* , 并付出更高的努力水平 e_r^* , 以促进产品的销售。但是, 一个较大的订购量 Q_r^* 会导致零售商利润方差增大, 从而零售商获得一定的期望利润的不确定性增加, 而零售商付出的销售努力水平 e_r^* 不会影响其利润方差的大小。

由命题 6(3)可知, 对于任何的 $Q > Q_r^*$ 和 $e \geq 0$, $V_r(Q, e) > V_r(Q_r^*, e)$, 因此, 我们给出加法需求和 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下, 风险规避零售商的最优联合决策 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 所满足的条件。

命题 7 在加法模式的需求下, 已知风险规避零售商的期望利润阈值 $k_r \leq \bar{E}_r$, 则其最优联合决策 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 满足:

$$E_r(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r \quad (4-18)$$

$$Q_{r,mv}^* \leq Q_r^* \quad (4-19)$$

证明 由命题 5 可知, 风险规避零售商的期望利润 $E_r(Q, e)$ 分别为 Q 和 e 的凹函数。因此, 如果 $k_r \leq \bar{E}_r$, 那么, 风险规避零售商的决策模型 (p2) 的最优解由 $E_r(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$ 获得。而在 $(Q \leq Q_r^*, e \leq e_r^*)$ 、 $(Q > Q_r^*, e \leq e_r^*)$ 、 $(Q \leq Q_r^*, e > e_r^*)$ 和 $(Q > Q_r^*, e > e_r^*)$ 上分别存在一对联合决策 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 能够使 $E_r(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$ 成立。然而, $V_r(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数, 而 $V_r(Q, e)$ 独立于 e 。因此, $Q_{r,mv}^*$ 只能位于 $Q \leq Q_r^*$ 范围内, 否则 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 不是风险规避零售商的最优联合决策。所以我们有 $Q_{r,mv}^* \leq Q_r^*$, 而 $e_{r,mv}^*$ 可以分别在 $e \leq e_r^*$ 和 $e > e_r^*$ 范围内取得, 因为 $V_r(Q, e)$ 不受 e 取值大小的影响。综上所述, 我们可得(17)式和(18)式。

Remark 4 命题 7 给出了加法模式的需求模型下, 风险规避零售商的最优联合决策。从命题 7 我们可知, 风险规避零售商在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下获得的最优期望利润总是不大于风险中性零售商所能取得的最大期望利润, 这是风险规避的态度或偏好给零售商带来的利润损失。

4.3.2 乘法模式的需求模型

在乘法模式的需求下, 对于给定的 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, 令 $Q = q/D(e)$, $T = t/D(e)$, $T_r^* = t_r/D(e_r^*)$ 则零售商的利润、期望利润和利润方差分别为:

$$\Pi_r(Q, e) = D(e)[(p-w)Q - (p-v)(Q - \xi)^+ + u(\min(\xi, Q) - T)] - c(e) \quad (4-20)$$

$$E_r(Q, e) = D(e)[(p-w)Q - (p-v) \int_0^Q F(\xi) d\xi + u(Q - T - \int_0^Q F(\xi) d\xi)] - c(e) \quad (4-21)$$

$$V_r(Q, e) = E(\Pi_r(Q, e) - E_r(Q, e))^2 = D(e)^2 (p-v+u)^2 \eta(Q) \quad (4-22)$$

同理可得供应商的利润、期望利润和利润方差为：

$$\Pi_s(Q, e) = D(e)[(w-c)Q - u(\min(\xi, Q) - T)] \quad (4-23)$$

$$E_s(Q, e) = D(e)[(w-c)Q - u(Q - T - \int_0^Q F(\xi) d\xi)] \quad (4-24)$$

$$V_s(Q, e) = E(\Pi_s(Q, e) - E_s(Q, e))^2 = D(e)^2 u^2 \eta(Q) \quad (4-25)$$

令 (Q_r^*, e_r^*) 和 $q_r^* = D(e_r^*)Q_r^*$ 代表在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下，最大化风险中性零售商期望利润 $E_r(Q, e)$ 的最优联合决策和最优订购量，因此我们有如下的命题。

命题 8 在乘法模式的需求下，风险中性零售商的最优联合决策 (Q_r^*, e_r^*) 存在且唯一，满足(1) $Q_r^* = F^{-1}[(p-w+u)/(p-v+u)]$ ；

$$(2) c'(e_r^*) = D'(e_r^*)[(p-w)Q_r^* - (p-v) \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi + u(Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi)]。$$

证明 同命题 5。

命题 9 在乘法模式的需求下，对于任何给定的 $e \geq 0$ ， $V_r(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数，而对于任何给定的 $Q \geq 0$ ， $V_r(Q, e)$ 是 e 的严格递增函数。

证明 与命题 4 类似。

Remark 5 对比命题 6(3)与命题 9 可以看出加法模式的需求与乘法模式的需求之间的差异。在加法需求中，零售商的利润方差与其努力水平 e 无关，而在乘法需求中，零售商的利润方差随着他努力水平 e 的增大而增大。造成这种差异的原因正是加法需求与乘法需求中努力水平 e 影响需求的不确定性的不同。在加法模式的需求中，需求方差与 e 无关，从而利润不确定性与 e 无关，而在乘法模式的需求中，需求方差则是 e 的函数，导致零售商利润不确定性随 e 的增大而增大。

由命题 9 可知，对于任何的 $Q > Q_r^*$ 和 $e > e_r^*$ ， $V_r(Q, e) > V_r(Q_r^*, e_r^*)$ ，因此，我们给出乘法需求下，对于给定的 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ ，风险规避零售商的最优联合决策 $(Q_{r,mv}, e_{r,mv})$ 满足的条件。

命题 10 在乘法模式的需求下，已知风险规避零售商的期望利润阈值 $k_r \leq \overline{E_r}$ ，则其最优联合决策 $(Q_{r,mv}, e_{r,mv})$ 满足：

$$E_r(Q_{r,mv}, e_{r,mv}) = k_r \quad (4-26)$$

$$Q_{r,mv} \leq Q_r^* \quad (4-27)$$

$$e_{r,mv} \leq e_r^* \quad (4-28)$$

证明 由命题 8 可知，在乘法需求下，零售商的期望利润 $E_r(Q, e)$ 分别是 Q 和 e 的凹

函数。因此, (p2)问题的最优解由 $E_r(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$ 获得。而在 $(Q \leq Q_r^*, e \leq e_r^*)$ 、 $(Q > Q_r^*, e \leq e_r^*)$ 、 $(Q \leq Q_r^*, e > e_r^*)$ 和 $(Q > Q_r^*, e > e_r^*)$ 上分别存在一对联合决策 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 能够使 $E_r(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$ 成立。但是, 由命题9可知, $V_r(Q, e)$ 是 Q 和 e 的严格递增函数, 因此, $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 只能位于 $(Q \leq Q_r^*, e \leq e_r^*)$ 范围内, 否则 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 不是风险规避零售商的最优联合决策。因此, 我们有(4-26)、(4-27)和(4-28)式。

Remark 6 对比命题7和命题10, 我们可以看出加法需求模型与乘法需求模型的又一处不同。在加法模式的需求下, 风险规避零售商的最优联合决策满足(4-18)和(4-19)两式, 而在乘法模式的需求下, 风险规避零售商的联合决策则满足(4-26)、(4-27)和(4-28)三式, 这为后面的供应链协调分析带来不一样的结果。

4.4 供应链协调

在本节中, 我们探讨 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 对于供应链协调的作用。假定供应商为供应链的协调者, 他的目的是通过最大化供应链的期望利润来实现渠道协调。零售商为风险规避者, 具有期望利润阈值 k_r , 并且 $k_r < \overline{E_{sc}}$ 。在预期到风险规避零售商的最优反应 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 后, 风险中性的供应商向风险规避的零售商提供一个 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, 以使该零售商的最优决策 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 满足 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。

4.4.1 加法模式的需求模型

命题11 在加法模式的需求下, 对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$, 如果 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现供应链协调, 则: (1) $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$; (2) $\partial E_r(Q, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ 。

证明 (1)如果 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现渠道协调, 则 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。因为 $E_r(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$, 所以我们有 $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ 。另一方面, 从风险规避零售商的决策模型(p3)可知, $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) \geq k_r$ 。因为 $E_r(Q, e)$ 分别是 Q 和 e 的凹函数, 而 $V_r(Q, e)$ 是 Q 的严格递增函数。因此, 如果 $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) > k_r$ 成立, 则总存在一个 $Q < Q_{sc}^*$ 使得 $E_r(Q, e_{sc}^*) \geq k_r$, 且 $V_r(Q, e_{sc}^*) < V_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。那么, (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 不是风险规避零售商的最优联合决策。因此, 在协调时, (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 满足 $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ 。

(2)因为 $(Q_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$, 而由(18)式, 我们可知 $Q_{sc}^* \leq Q_r^*$ 。因为 $E_r(Q, e)$ 是

Q 的凹函数, 并在 $Q \in (0, Q_r^*]$ 上严格递增, 因此, 由 $Q_{sc}^* \leq Q_r^*$, 我们可知 $\partial E_r(Q, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ 。另一方面, 如果 $\partial E_r(Q, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} < 0$, 则存在一个 $Q < Q_{sc}^*$, 使得 $E_r(Q, e_{sc}^*) > E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 且 $V_r(Q, e_{sc}^*) < V_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$, 那么, (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 不是风险规避零售商的最优联合决策。因此, 我们有 $\partial E_r(Q, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ 。

Remark 5 命题 11 给出了加法需求模式下, SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现渠道协调的必要条件。在协调时, k_r 小于零售商在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下所能获得的最大期望利润。并且风险规避零售商的期望利润等于 k_r , 供应商的期望利润等于 $\overline{E_{sc}} - k_r$ 。下面, 我们更为详细地探讨在加法模式的需求下, SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现供应链协调时, 各个契约参数所满足的条件, 从而方便后面的数值分析。

定义 $g_0(t) = t + \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - q_{sc}^* F(Q_{sc}^*)$, 令 τ_0 为 $g_0(t) = 0$ 的解。定义 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = g_0(t)[k_r + (p - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*)] - (q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)(\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon)$, 令 τ_{ε, k_r} 为 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = 0$ 的解。

命题 12 (1) 存在一个唯一的 $\tau_0 \in (0, q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)$; (2) 对于任何给定的 $\varepsilon \geq 0$ 和 $k_r < \overline{E_{sc}}$, 存在一个唯一的 τ_{ε, k_r} , 并且 $\tau_0 < \tau_{\varepsilon, k_r} < q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi$ 。

证明 (1) 对 $g_0(t)$ 求 t 的导数, 得 $\frac{dg_0(t)}{dt} = 1 > 0$, 因此 $g_0(t)$ 是 $t > 0$ 的严格递增函数, $g_0(0) = \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - q_{sc}^* F(Q_{sc}^*) < 0$, $g_0(q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi) = (1 - F(Q_{sc}^*))q_{sc}^* > 0$ 。因此, 存在一个唯一的 $\tau_0 \in (0, q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)$, 能使 $g_0(t) = 0$ 。

(2) 对 $g_1(t, \varepsilon, k_r)$ 求 t 的一阶导数, 得

$$\frac{dg_1(t, \varepsilon, k_r)}{dt} = k_r + (p - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*) + \overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon > 0, \text{ 因此, } g_1(t, \varepsilon, k_r) \text{ 是 } t > 0 \text{ 的严格}$$

递增函数。 $g_1(\tau_0, \varepsilon, k_r) = -(q_{sc}^* - \tau_0 - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)(\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon) < 0$,

$g_1(q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi, \varepsilon, k_r) = (1 - F(Q_{sc}^*))q_{sc}^*(k_r + (p - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*)) > 0$ 。因此, 存在一个唯一的 $\tau_0 < \tau_{\varepsilon, k_r} < q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi$, 能使 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = 0$ 。

命题 13 在加法模式的需求下, 对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$, $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 能够实现供应链协调, 当且仅当存在 $\varepsilon \geq 0$, 满足: (1)

$$w = p - \frac{k_r + (p-v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*) - u(q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)}{q_{sc}^*}; \quad (2) \quad u = \frac{\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon}{g_0(t)}; \quad (3)$$

$t > \tau_{\varepsilon, k_r}$ 。

证明 (1)由命题 11 可知, 当 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现渠道协调时, $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$, 而 $E_r(Q, e)$ 的表达式由(10)式给定, 因此, 经过简单的化简, 我们可得 w 的表达式,

$$w = p - \frac{k_r + (p-v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*) - u(q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)}{q_{sc}^*}。 \text{ 因为 } w \in (c, p), \text{ 所以,}$$

$$u(q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi) < k_r + (p-v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*)。$$

(2)由 $\partial E_r(Q, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$, 可得 $u\overline{F}(Q_{sc}^*) \geq w - c$, 将 w 的表达式(1)式带入, 经过简单的化简, 我们有 $ug_0(t) \geq \overline{E_{sc}} - k_r > 0$, 所以 $g_0(t) > 0$, 由命题 12 可知, $t > \tau_0$ 。令

$$u = \frac{\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon}{g_0(t)}, \text{ 则该等式相当于 } ug_0(t) \geq \overline{E_{sc}} - k_r。$$

(3) 将 u 的表达式带入 $u(q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi) < k_r + (p-v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*)$, 可得 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = g_0(t)[k_r + (p-v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*)] - (q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)(\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon) > 0$, 因此, 由命题 12, 我们可得, $t > \tau_{\varepsilon, k_r}$ 。

Remark 6 命题 13 详细地给出了 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现协调时各个契约参数满足的条件, 从各个契约参数满足的条件可以看出, w 的取值依赖于 u 和 t 的取值, 而 u 的取值依赖于 t 的取值, t 的取值可以根据(3)式确定。因此, 我们可以根据(3)式, 确定一个 t 值, 然后根据 $\varepsilon \geq 0$ 和该 t 值确定 u 的值, 进而确定 w 的值。由于 $t > \tau_{\varepsilon, k_r}$, 因此 t 可以取多个值, 并且 $\varepsilon \geq 0$ 也并非固定的, 从而 u 也可以取多个值, 那么, w 也可以取多个值。即使固定 t 的取值, 由于 $\varepsilon \geq 0$ 并不是固定的, 因此, 仍然存在多个 u 值和 w 值可以实现供应链协调。因此, 从命题 13 我们可以看出, 存在多个 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 可以协调供应链。

4.4.2 乘法模式的需求模型

命题 14 在乘法模式的需求下, 对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$, 如果 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现供应链协调, 则: (1) $E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$; (2) $\partial E_r(Q, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$; (3)

$$\partial E_r(Q_{sc}^*, e)/\partial e|_{e=e_{sc}^*} \geq 0。$$

证明 (1)和(2)式的证明同命题 11，因此，我们在这里只证明(3)式。当 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现协调时， $(Q_{r, mv}^*, e_{r, mv}^*) = (Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。而由命题 10 可知， $e_{r, mv}^* \leq e_r^*$ ，所以 $e_{sc}^* \leq e_r^*$ 。因为 $E_r(Q_{sc}^*, e)$ 是 e 的凹函数，并在 $e \in (0, e_r^*]$ 上严格递增，因此，由 $e_{sc}^* \leq e_r^*$ ，我们可知 $\partial E_r(Q_{sc}^*, e)/\partial e|_{e=e_{sc}^*} \geq 0$ 。另一方面，如果 $\partial E_r(Q_{sc}^*, e)/\partial e|_{e=e_{sc}^*} < 0$ ，则存在一个 $e < e_{sc}^*$ ，使得 $E_r(Q_{sc}^*, e) > E_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 且 $V_r(Q_{sc}^*, e) < V_r(Q_{sc}^*, e_{sc}^*)$ ，那么， (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 不是风险规避零售商的最优联合决策。因此，我们有 $\partial E_r(Q_{sc}^*, e)/\partial e|_{e=e_{sc}^*} \geq 0$ 。

定义 $H_0(t) = t + D(e_{sc}^*) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - q_{sc}^* F(Q_{sc}^*)$ ，令 τ_1 为 $H_0(t) = 0$ 的解。定义 $H_1(t, \varepsilon, k_r) = H_0(t)[k_r + D(e_{sc}^*)(p - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*)] - (q_{sc}^* - t - D(e_{sc}^*)) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi (\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon)$ ，令 τ'_{ε, k_r} 为 $H_1(t, \varepsilon, k_r) = 0$ 的解。定义 $H_2(t, \varepsilon, k_r) = H_0(t)(\overline{E_{sc}} - k_r) - t(\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon)$ 。

命题 15 (1)存在一个唯一的 $\tau_1 \in (0, q_{sc}^* - D(e_{sc}^*) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi)$ ；(2)对于任何给定的 $\varepsilon \geq 0$ 和 $k_r < \overline{E_{sc}}$ ，存在一个唯一的 τ'_{ε, k_r} ，并且 $\tau_1 < \tau'_{\varepsilon, k_r} < q_{sc}^* - D(e_{sc}^*) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi$ 。

证明 与命题 12 类似。

命题 16 在乘法模式的需求下，对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$ ， $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 能够实现供应链协调，当且仅当存在 $\varepsilon \geq 0$ ，满足：

$$(1) w = p - \frac{k_r + c(e_{sc}^*) + D(e_{sc}^*)(p - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - u(q_{sc}^* - t - D(e_{sc}^*)) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi}{q_{sc}^*}；$$

$$(2) u = \frac{\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon}{H_0(t)}；(3) t > \tau'_{\varepsilon, k_r}；(4) H_2(t, \varepsilon, k_r) \leq 0。$$

证明 (1)、(2)和(3)的证明与命题 13 类似，这里只给出(4)式的证明。由 $\partial E_r(Q_{sc}^*, e)/\partial e|_{e=e_{sc}^*} \geq 0$ ，我们可得 $ut \geq \overline{E_{sc}} - k_r$ ，将 u 的表达式(2)式带入，经简单的化简，我们可得 $H_2(t, \varepsilon, k_r) = H_0(t)(\overline{E_{sc}} - k_r) - t(\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon)$ 。将 $H_0(t)$ 的表达式带入，我们可得 $H_2(t, \varepsilon, k_r) \leq 0$ ，即(4)恒成立。

Remark 7 由命题 13 和命题 16 可知，在乘法需求下， $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 实现协调时各契约满足的条件与加法需求下的条件一样。因此，在后面的数值分析中，我们只需

使 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 契约参数满足前面 3 个条件即可。

4.5 数值分析

在本节中, 我们进行详细的数值分析来验证上述理论模型所获得的结论。我们关注于加法需求模型的相关结论, 相似的结果也可以通过分析乘法需求模型获得。我们将数值分析分为两部分, 一部分是确定协调时, 各契约参数的取值及它们的相互变化过程, 另一部分是敏感性分析, 即探讨一些重要的收益-成本参数, 如需求的努力弹性、需求不确定性及努力的成本系数等对供应链及供应链参与者目标函数的影响。

4.5.1 契约参数的取值

为了确定在供应链实现协调时, $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 各个契约参数的具体取值, 我们需要首先给定一些重要的收益-成本参数及需求结构。假定 $D(e) = a + be$, $a = 400$ 为基本需求量, $b = 10$ 为需求的努力弹性。零售商付出努力水平 e 的成本为 $c(e) = \frac{1}{2}ke^2$, 其中 $k = 100$ 。 $p = 40$, $c = 5$, $v = 1$ 。随机变量 $\xi: U(A, B)$, $A = 0$, $B = 160$ 。因此, 根据这些参数, 我们可得集中式供应链的最优联合决策 (Q_{sc}^*, e_{sc}^*) 为 $e_{sc}^* = 3.5$, $Q_{sc}^* = 143.59$, $q_{sc}^* = 578.59$ 。相应地, 集中式供应链的期望利润和利润方差分别为 $\overline{E_{sc}} = 17125.32$, $V_{sc}(Q_{sc}^*, e_{sc}^*) = 3066929.65$ 。由于零售商的期望利润小于集中式供应链的期望利润, 因此, 在下面的分析中, 令 $k_r < 17125.32$ 。

从命题 8 中, 我们可以根据以下的步骤确定实现供应链协调时 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 各契约参数的取值情况:

步骤(1) 确定 ε 的值;

步骤(2) 给定 $k_r < 17125.32$, 根据 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = 0$ 计算 τ_{ε, k_r} 的值, 从而我们可以获得实现协调时 t 值的下限值;

步骤(3) 在 $t > \tau_{\varepsilon, k_r}$ 范围内取定 t 值;

步骤(4) 根据 $u = \frac{\overline{E_{sc}} - k_r + \varepsilon}{g_0(t)}$ 确定 u 的取值;

步骤(5) 根据 $w = p - \frac{k_r + (p-v) \int_0^{Q_x^*} F(\xi) d\xi + c(e_{sc}^*) - u(q_{sc}^*) - t - \int_0^{Q_x^*} F(\xi) d\xi}{q_{sc}^*}$ 确定 w 的取值。

值。

由于 $\varepsilon \geq 0$ ，所以我们分别讨论 $\varepsilon = 0$ 和 $\varepsilon > 0$ 的情况。

情况 1 $\varepsilon = 0$

取 k_r 分别为 2000, 40000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000 和 16000。

首先我们计算 τ_{ε, k_r} 的取值，其结果总结在表 4-1 中。

表 4-1 $\varepsilon = 0$, k_r 取不同值时 τ_{ε, k_r} 的取值

k_r	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000
τ_{ε, k_r}	499.14	493.28	487.42	481.56	475.70	469.84	463.97	458.11

由表 4-1，我们可知，当 k_r 取不同值时， t 的下限值 τ_{ε, k_r} 也跟着变化。具体地，随着 k_r 取值的增大， τ_{ε, k_r} 的值在减小。这是因为 $g_1(t, \varepsilon, k_r)$ 是 k_r 的增函数， $\partial g_1(t, \varepsilon, k_r) / \partial k_r = g_0 + q_{sc}^* - t - \int_0^{Q_x^*} F(\xi) d\xi = (1 - F(Q_x^*)) q_{sc}^* > 0$ 。因此，当 k_r 增大时， $g_1(t, \varepsilon, k_r)$ 也跟着增大，使得 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = 0$ 成立的 τ_{ε, k_r} 必然要减小。

现在，我们在 $t > \tau_{\varepsilon, k_r}$ 范围内取定 t 值。根据 k_r 取值的变化，我们分别在 t 满足的各下限范围内取一个 t 值，那么我们可以依次确定 u 和 w 的取值，结果总结在表 4-2 中。

表 4-2 $\varepsilon = 0$, k_r 取不同值时 t 、 u 和 w 的取值

k_r	t	u	w
2000	700	61.69	11.33
4000	650	67.25	11.90
6000	600	76.63	12.86
8000	650	46.75	9.80
10000	600	49.08	10.03
12000	550	53.85	10.52
14000	500	69.17	12.09
16000	500	24.91	7.55

从表 4-2 中，我们可以看出，随着 k_r 取值的增大， u 和 w 的取值并未呈现出一定的规律性。这是因为从 u 满足的等式中，我们知道， u 是 k_r 的减函数，也是 t 的减函数。然而当 k_r 增大时， t 的取值并没有表现出线性变化的特征，因此， u 的取值变化情况也变得复杂。类似地， w 的取值情况也未呈现出规律性。然而，当

k_r 的取值由 6000 增大为 8000, 由 14000 增大到 16000, t 的取值相应地由 600 增大到 650, 或者固定在 500 不变时, 我们可以看出, u 和 w 的值减小。因此, 如果我们固定 t 或者 k_r 的取值, 那么, u 和 w 的取值则可能会呈现出线性变化的趋势。

由于对于所有的 k_r 分别为 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000 和 16000, $700 > \tau_{\varepsilon, k_r}$ 。因此, 我们将 t 的取值固定, 取 $t = 700$, 此时, u 和 w 的取值变化规律总结在表 4-3 中。

表 4-3 $\varepsilon = 0$, $t = 700$, k_r 取不同值时 u 和 w 的取值

k_r	t	u	w
2000	700	61.69	11.33
4000	700	53.53	10.49
6000	700	45.38	9.65
8000	700	37.22	8.82
10000	700	29.06	7.98
12000	700	20.90	7.14
14000	700	12.75	6.31
16000	700	4.59	5.47

从表 4-3 中, 我们可知, 当 t 值给定, 随着 k_r 取值的增大, u 和 w 的取值减小。因为 u 是 k_r 的减函数, 并且 $q_{sc}^* - t - \int_0^{q_{sc}^*} F(\xi) d\xi < 0$, 所以 w 是 k_r 的减函数, 是 u 的减函数。因此, 当 k_r 增大时, u 减小, 由于 k_r 增大的幅度远大于 u 减小的幅度, 因此, 两者的综合作用导致 w 减小。

情况 2 $\varepsilon > 0$

表 4-4 ε 和 k_r 取不同值时 τ_{ε, k_r} 的取值

$\varepsilon \backslash k_r$	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000
100	499.21	493.38	487.55	481.72	475.88	470.05	464.22	458.39
200	499.29	493.48	487.68	481.88	476.07	470.27	464.47	458.66
300	499.36	493.58	487.81	482.03	476.26	470.48	464.71	458.93
400	499.43	493.68	487.94	482.19	476.44	470.69	464.95	459.20
500	499.50	493.78	488.06	482.34	476.62	470.90	465.18	459.46
600	499.57	493.88	488.19	482.49	476.80	471.11	465.42	459.73
700	499.64	493.98	488.31	482.65	476.98	471.32	465.65	459.99
800	499.71	494.07	488.43	482.80	477.16	471.52	465.88	460.24

我们仍然取 k_r 分别为 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000 和 16000, 因为 $\varepsilon > 0$, 取 ε 分别为 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 和 800。我

们计算此时 τ_{ε,k_r} 的取值情况，结果总结在表 4-4 中。

对比表 4-1 和表 4-4，我们可以发现，当 k_r 取值不变时，如果 ε 的值增大，则 τ_{ε,k_r} 的值也增大。这是因为对于 $t \in (0, q_{sc}^* - \int_0^{q_{sc}^*} F(\xi)d\xi)$ ， $\partial g_1(t, \varepsilon, k_r) / \partial \varepsilon = -(q_{sc}^* - t - \int_0^{q_{sc}^*} F(\xi)d\xi) < 0$ ，即 $g_1(t, \varepsilon, k_r)$ 是 ε 的减函数。因此，当 k_r 不变时，如果 ε 增大，则 $g_1(t, \varepsilon, k_r)$ 减小，使得 $g_1(t, \varepsilon, k_r) = 0$ 成立的 $\tau_{\varepsilon,k_r} < q_{sc}^* - \int_0^{q_{sc}^*} F(\xi)d\xi$ 必然要增大。而当 ε 不变时，如果 k_r 的值增大，则 τ_{ε,k_r} 的值减小，这与表 1 中 τ_{ε,k_r} 的取值变化规律是一致的。

现在，我们给定 t 的值。对于所有的 ε 分别为 100，200，300，400，500，600，700 和 800 和 k_r 分别为 2000，40000，6000，8000，10000，12000，14000 和 16000，我们有 $550 > \tau_{\varepsilon,k_r}$ 。因此，令 $t = 550$ 。那么， u 和 w 的取值情况分别由表 4-5 和表 4-6 所示。

表 4-5 ε 和 k_r 取不同值时 u 的取值								
$\varepsilon \backslash k_r$	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000
100	159.96	138.94	117.93	96.92	75.91	54.90	33.88	12.87
200	161.01	140.00	118.98	97.97	76.96	55.95	34.94	13.92
300	162.06	141.05	120.03	99.02	78.01	57.00	35.99	14.97
400	163.11	142.10	121.08	100.07	79.06	58.05	37.04	16.02
500	164.16	143.15	122.13	101.12	80.11	59.10	38.09	17.08
600	165.21	144.20	123.19	102.17	81.16	60.15	39.14	18.13
700	166.26	145.25	124.24	103.22	82.21	61.20	40.19	19.18
800	167.31	146.30	125.29	104.27	83.26	62.25	41.24	20.23

表 4-6 ε 和 k_r 取不同值时 w 的取值								
$\varepsilon \backslash k_r$	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000
100	21.23	19.08	16.92	14.77	12.61	10.46	8.30	6.15
200	21.17	19.01	16.86	14.70	12.55	10.39	8.24	6.08
300	21.10	18.95	16.79	14.64	12.48	10.33	8.17	6.02
400	21.04	18.88	16.73	14.57	12.42	10.26	8.11	5.95
500	20.97	18.82	16.66	14.51	12.35	10.20	8.04	5.89
600	20.91	18.75	16.60	14.44	12.29	10.13	7.98	5.82
700	20.84	18.69	16.53	14.38	12.22	10.07	7.91	5.76
800	20.78	18.62	16.47	14.31	12.16	10.00	7.85	5.69

从表 4-5 和表 4-6 我们可以知道, 当 k_r 取值不变时, 如果 ε 的值增大, 那么, u 的值也跟着增大, 而 w 的值却随之减小。这是因为, 当 k_r 取值不变时, u 是 ε 的增函数。因此, 当 ε 增大时, u 自然也跟着增大。但是, 由于 $q_{sc}^* - t - \int_0^{q_{sc}^*} F(\xi)d\xi < 0$, 所以 w 是 u 的减函数, 即 w 是 ε 的减函数。因此, 当 k_r 取值不变时, 如果 ε 增大, 则 w 减小。另一方面, 当 ε 的取值不变时, 随着 k_r 取值的增大, u 和 w 的取值变化情况同表 4-3 一致, 都呈现出递减的趋势。

4.5.2 敏感性分析

现在, 我们进行敏感性分析。首先, 我们分析需求的努力弹性水平 b 的变化所带来的影响。令 b 分别为 5, 10, 20, 30, 40 和 50, 其他参数都不变, 那么, 此时供应链的最优决策及相应的期望利润及利润方差如下表所示。

表 4-7 b 变化时供应链的最优解

b	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E}_{sc}$	V_{sc}
5	1.75	552.23	16665.95	3066929.65
10	3.5	578.59	17125.32	3066929.65
20	7	683.59	18962.82	3066929.65
30	10.5	858.59	22025.32	3066929.65
40	14	1103.59	26312.82	3066929.65
50	17.5	1418.59	31825.32	3066929.65

从表 4-7 中, 我们可知, 当需求的努力弹性水平 b 增大时, 供应链付出的努力水平 e_{sc}^* 增大, 相应的生产量 q_{sc}^* 也会增大, 导致整个供应链的利润增加, 然而由于供应链的利润方差不受努力水平 e_{sc}^* 的影响, 因此, 供应链的利润方差是不变的, 即供应链获得不同利润的不确定性是一样的。在实际中, 如果某种产品的需求对于促销活动的投入是富有弹性的, 则促销人员愿意付出更大的努力去提高产品的需求, 从而增大其订购量, 实现更大的利润。

现在, 我们来探讨 b 的变化带来的能够实现供应链协调的契约参数的变化。由于 e_{sc}^* 和 q_{sc}^* 的不同取值会导致 τ_{e,k_r} 值的变化, 因此, 我们首先给出 τ_{e,k_r} 值的变化过程, 如下表所示。

表 4-8 $\varepsilon=0$, $k_r=12000$, b 变化时 τ_{e,k_r} 的取值

b	5	10	20	30	40	50
τ_{e,k_r}	444.93	469.84	569.45	735.48	967.91	1266.76

从表 4-8 中可以看出, 随着 b 的增大, τ_{e,k_r} 值也跟着增大, 即如果需求的努

力弹性水平增大，那么，实现协调的 t 值的下限也跟着增大。由于 $1300 > \tau_{\varepsilon, k_r}$ ，因此令 $t=1300$ ，那么， u 和 w 的取值情况以及零售商的利润方差 V_r 如下表所示。

表 4-9 $\varepsilon=0$ ， $k_r=12000$ ， $t=1300$ ， b 变化时 u 、 w 和 V_r 的取值

b	u	w	V_r
5	4.37	5.45	3792014.04
10	4.90	5.50	3886671.32
20	7.32	5.75	4326612.77
30	12.63	6.30	5374568.79
40	24.93	7.56	8242086.73
50	68.05	11.98	23106898.11

从表 4-9 中可以看出，随着 b 的增大， u 、 w 和 V_r 的取值都跟着增大。这是因为，从 u 的表达式中可以看出， u 是 $\overline{E_{sc}}$ 的增函数，是 $g_0(t)$ 的减函数，而 $g_0(t)$ 是 q_{sc}^* 的减函数。而由表 7 可知，当 b 增大时， $\overline{E_{sc}}$ 和 q_{sc}^* 都增大，因此， u 也随之增大。 w 的取值变化情况更加复杂，涉及到 u 、努力的成本及 q_{sc}^* 的变化。这三个变量取值变化的综合作用使得 w 呈现表 4-9 中增大的趋势。而 V_r 是 u 的增函数，因此， V_r 也跟着增大。

下面，我们分析需求不确定性的变化所带来的影响。描述需求不确定性的变量为 $CV=\sigma/\tau$ ，即变量方差与均值的比值。因此，我们改变 A 和 B 的取值，从而使需求不确定性发生变化。令 $\varepsilon=0$ ， $k_r=12000$ 。因此，供应链的最优决策及相应的期望利润及利润方差如下表所示。

表 4-10 CV 变化时，供应链的最优解

CV	e_{sc}^*	Q_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E_{sc}}$	V_{sc}
15%	3.5	130.41	565.41	18294.66	377983.37
35%	3.5	301.07	736.07	21281.30	7269988.49
55%	3.5	742.34	1177.34	27953.40	77613436.38
75%	3.5	543.71	978.71	22727.41	57865666.60
95%	3.5	286.04	721.04	18218.15	19930003.49

由表 4-10，我们可知，随着需求不确定性的增大，供应链的努力水平 e_{sc}^* 保持不变，这是因为在加法模式下，需求方差与努力水平无关。但是，供应链的生产量却呈现出先增大后减小的趋势，进而导致供应链的期望利润和利润方差也呈现出先增加后减少的趋势。

现在，让我们分析当需求不确定性增加时， τ_{ε, k_r} 值的变化情况，总结在表 4-11 中。

表 4-11 $\varepsilon=0$ ， $k_r=12000$ ， B 变化时 τ_{ε, k_r} 的取值

CV	15%	35%	55%	75%	95%
τ_{ε, k_r}	503.24	588.58	779.21	629.89	501.06

由表 4-11 可知，当需求不确定性增大时， $\tau_{\varepsilon,k}$ 的取值先增大后减小。
令 $t=800$ ，满足 $t > \tau_{\varepsilon,k}$ ， u 和 w 的取值情况以及零售商的利润方差 V_r 如下表所示。

表 4-12 $\varepsilon=0$ ， $k_r=12000$ ， $t=800$ ， B 变化时 u 、 w 和 V_r 的取值

CV	u	w	V_r
15%	19.97	7.05	864227.50
35%	38.89	8.99	29000083.61
55%	236.22	29.23	3865108374.66
75%	53.23	10.46	323602570.27
95%	19.61	7.01	45005264.03

与表 4-10 类似地，当需求不确定性增大时， u 、 w 和 V_r 的值也呈现出先增大后减少的趋势。

最后，我们分析努力成本系数的变化所带来的影响。假设所有其他的参数不变，令 $k=100,140,180,220,260,300$ ，那么供应链的最优决策及相应的期望利润及利润方差如下表所示。

表 4-13 k 变化时供应链的最优解

k	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E_{sc}}$	V_{sc}
100	3.5	578.59	17125.32	3066929.65
140	2.5	568.59	16950.32	3066929.65
180	1.94	563.03	16853.10	3066929.65
220	1.59	559.50	16791.23	3066929.65
260	1.35	557.05	16748.40	3066929.65
300	1.17	555.26	16716.99	3066929.65

从表 4-13 中，我们可以得出，如果销售努力的成本系数增大，那么，供应链的努力水平 e_{sc}^* 、生产量 q_{sc}^* 、期望利润都随之减小。这是因为，如果同样的努力水平带来的成本增大，那么，供应链则会降低其努力水平，从而消极应对产品的销售，需求量减少，从而生产量也得以减少，供应链的利润自然而然地降低。但是，利润方差则保持不变。

表 4-14 当 k 变化时，取 $\varepsilon=0$ ， $k_r=12000$ ， $\tau_{\varepsilon,k}$ 值的变化情况

k	100	140	180	220	260	300
$\tau_{\varepsilon,k}$	469.84	460.35	455.08	451.72	449.40	447.70

因此，从表 4-14 中，我们可以知道，当努力水平的成本系数增大时， $\tau_{\varepsilon,k}$ 值减小。令 $t=550$ ，满足 $t > \tau_{\varepsilon,k}$ ， u 和 w 的取值情况以及零售商的利润方差 V_r 如下表所示。

表 4-15 $\varepsilon=0$, $k_r=12000$, $t=550$, k 变化时 u 、 w 和 V_r 的取值

k	u	w	V_r
100	53.85	10.52	17382199.69
140	47.53	9.87	15096495.86
180	44.47	9.56	14046997.93
220	42.66	9.38	13445386.68
260	41.47	9.25	13055625.62
300	40.62	9.17	127826471.16

从表 4-15 中可知, 随着 k 的增大, u 、 w 和 V_r 的值都随之减小。这是因为, 当 k 增大时, 从表 13 中我们可以看出, $\bar{E}_{sc}$ 和 q_{sc}^* 减小, 从而 u 值减小。而 V_r 是 u 的增函数, 所以 V_r 也减小。

4.6 本章小结

在本章中, 我们扩展了第三章的模型, 将销售努力因素考虑进来, 分析了当零售商为风险规避者, 并且需求依赖于销售努力的环境下, 销量回馈与惩罚契约是否仍然能够实现供应链协调。我们分别探讨了在加法模式的需求和乘法模式的需求下, 销量回馈与惩罚契约实现协调的必要条件及最优契约参数满足的条件, 并对由这两种需求模型所获得的结论进行了比较。

研究表明, 当产品的需求依赖于销售努力时, 存在多个销量回馈与惩罚契约可以协调零售商风险规避时的供应链, 但是, 在加法模式和乘法模式的需求下, 该契约实现渠道协调的必要条件不完全相同。在加法模式的需求下, 销量回馈与惩罚契约实现协调时, 对风险规避零售商的最优努力水平没有额外的限制, 而对于零售商的最优订购量则有要求。但是, 在乘法模式的需求模型下, 在渠道实现协调时, 对风险规避零售商的最优订购量和最优努力水平都施加了要求。然而, 在加法模式的需求和乘法模式的需求模型下, 最优契约参数所满足的条件是一致的。数值分析的结果表明, 如果销量目标固定, 则回馈(惩罚)值和批发价的取值减小, 而当零售商期望利润阈值取值不变时, 随着 ε 的值增大, 则 $\tau_{\varepsilon, k}$ 的值也增大, 并且协调时, 回馈(惩罚)值的值跟着增大, 而批发价的值随之减小。并且我们还进行了敏感性分析, 分别探讨了当需求的努力弹性、需求不确定性及努力的成本系数变化给供应链和供应链参与者的目标函数以及最优契约参数取值带来的变化, 进一步验证和补充了理论模型的结果。

第5章 基于风险规避和双因素影响的供应链协调研究

5.1 模型构建与符号说明

考虑一个单时期、单产品的二级供应链模型,该供应链由单个供应商和单个零售商构成。供应商为风险中性者,零售商为风险规避者。供应商以单位生产成本 c 生产该产品,并将该产品通过零售商销售给市场,供应商给予零售商的单位批发价为 w 。在本章我们考虑该产品为报童类的产品,具有生命周期短、需求不确定等性质。零售商(报童)面临一个随机需求,并且依赖于销售价格 p 和销售努力 e 。有关需求特性、收益-成本参数等所有信息对于供应商和零售商来说都是已知的。决策的顺序如下:供应商是 Stackelberg 博弈的领导者,具有无限的生产能力,在销售季节开始前,向下游的零售商提供一个契约。下游的零售商,在对供应商提供的契约进行详细了解后,对该契约做出回应,并在销售季节开始前确定订购量 q 、销售价格 p 和销售努力水平 e 。供应商进行生产并在销售季节开始之前,将产品递送至零售商处。之后,销售季节开始,需求得以实现。在销售季节末期,基于双方共同同意的契约,供应商和零售商执行相应的契约条款,实现转移支付。

在本章中,假定在产品的整个生命周期里,零售商只有一次订购机会,而没有任何补给的机会。当缺货发生时,未满足的需求都将失去,并未导致额外的惩罚成本,即缺货成本为0,而当产品的需求低于零售商的订购量时,未售出产品的单位净残值为 v ,假定 $v < c$ 。令 $t > 0$ 和 $u > 0$ 代表在销量回馈与惩罚(SRP)契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下的销量目标及供应商给予零售商的回馈(惩罚)值。 $G > 0$ 代表在两部定价(TPT)契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下的固定转移支付。同样地,在本章中,我们使用销售努力水平 e 来总结零售商为了增加产品销量而采取的活动。令 $c(e)$ 为零售商付出销售努力水平 e 的成本。与 Taylor(2002)类似地,我们假定 $c(e)$ 是严格递增且凸的函数, $c(0) = 0$, $c'(e) > 0$, $c''(e) > 0$ 。因此,销售努力的边际成本是递增的。

令 x 代表消费者的需求,它依赖于销售价格 p 和销售努力水平 e 。在本章中,我们仅考虑加法模式的需求模型,即需求 x 满足 $x = D(p, e) + \xi$ 。其中 $D(p, e)$ 是 p 和 e 的函数,代表期望需求。 $p \in (c, \bar{p}]$, $\bar{p}$ 是可允许的最大价格,满足 $x|_{p=\bar{p}} = D(\bar{p}, e) + \xi = 0$ 。 $\xi \geq 0$ 是一个随机变量,代表需求的随机部分,具有均值 $\delta > 0$ 。 ξ 独立于销售价格

p 和努力水平 e ，具有概率密度函数 $f(\cdot)$ 和分布函数 $F(\cdot)$ 。假定 $f(\cdot) > 0$ ，具有连续的导数 $f'(\cdot)$ ， $F(\cdot)$ 连续、严格递增、可微、可逆。令 $F^{-1}(\cdot)$ 是 $F(\cdot)$ 的逆函数， $\bar{F}(\cdot) = 1 - F(\cdot)$ 。假定 $D(p, e)$ 是 p 的严格递减函数，即 $\frac{\partial D(p, e)}{\partial p} < 0$ ， $D(p, e)$ 是 e 的递增且凹的函数，即 $\frac{\partial D(p, e)}{\partial e} > 0$ ， $\frac{\partial^2 D(p, e)}{\partial e^2} \leq 0$ ，因此，销售努力的边际效应是递减的。

对于乘法模式的需求，我们可以获得相似的结论，因此，在本章中，我们不再对乘法模式的需求模型进行分析。

我们列出在模型分析中将要使用到的符号。

x : 随机需求	c : 生产成本
$D(p, e)$: 期望需求	w : 批发价
ξ : 随机需求	v : 净残值
$f(\cdot)$: ξ 的概率密度函数	q : 订购量/生产量
$F(\cdot)$: ξ 的累积分布函数	p : 销售价
t : 销量目标	u : 回馈值/惩罚值
e : 销售努力水平	$c(e)$: 努力水平 e 的成本
Π : 随机利润	E : 期望利润
G : 固定转移支付	V : 利润方差

此外，下标 s 代表供应商，下标 r, sc 分别代表零售商和集中式的供应链。对于供应链协调的定义，我们采用第三章和第四章里供应链协调的定义方法，这里就不再赘述。为了保证模型结果的存在性和唯一性，我们给出有关 $D(p, e)$ 和 ξ 的以下两个定义。

定义 1 $D(p, e) \geq 0$ ，且是 p 的严格递减函数。令 $D(p, e)$ 的价格弹性为 $\lambda = -\frac{p \partial D(p, e) / \partial p}{D(p, e)}$ ，则 $D(p, e)$ 在 $p \in (c, \bar{p}]$ 上具有一个递增的价格弹性 (IPE)，如果：

$$\frac{d\lambda}{dp} \geq 0 \quad (5-1)$$

价格弹性 λ 衡量了价格 p 发生一个百分比的变化所带来的需求变化的百分比。IPE 属性是直观的，即当价格增大时，需求减少的百分比更多，从而决策者更加不愿意进一步提高价格。

在文献中，许多需求形式都具有 IPE 属性，如最简单的线性期望需求、富有弹性的期望需求、指数型需求等。

为了方便本章的分析，我们给定 $D(p, e)$ 的表达式，令 $D(p, e) = a + be - kp$ ，其中 $a > 0$ 代表基本需求， $b > 0$ 代表需求的努力弹性， $k > 0$ 代表需求的价格弹性， $D(p, e)$

是 p 和 e 的线性函数。我们可以很容易证明, $D(p, e)$ 满足 $\frac{\partial D(p, e)}{\partial p} < 0$, $\frac{\partial D(p, e)}{\partial e} > 0$, $\frac{\partial^2 D(p, e)}{\partial e^2} \leq 0$, $\frac{d\lambda}{dp} \geq 0$ 。

定义 2 定义 $r(\xi) = f(\xi)/(1 - F(\xi))$ 是 ξ 分布的故障率, 则 ξ 的分布具有一个递增的故障率 (IFR), 如果对于所有的 $\xi \geq 0$:

$$r'(\xi) \geq 0 \quad (5-2)$$

注意到, 在文献中, 很多随机分布函数都具有 IFR 属性, 包括均匀分布、正态分布等。

5.2 集中式的供应链

在本节中, 我们研究一个集中式的供应链, 并将集中式供应链的最优解作为后续供应链协调的基准。在集中式的供应链中, 单个供应商直接服务于一个市场。供应商的目标是选择价格 p 、努力水平 e 和生产量 q 以最大化其期望利润。值得注意的是, 不管使用何种类型的契约, 集中式供应链的最优决策并不会受到影响。

在加法模式的需求下, 定义 $Q = q - D(p, e)$, $\eta(Q) = 2Q \int_0^Q F(\xi) d\xi - 2 \int_0^Q \xi F(\xi) d\xi - (\int_0^Q F(\xi) d\xi)^2$ 。则供应链的利润、期望利润和利润方差分别由如下三式给定:

$$\Pi_{sc}(Q, p, e) = (p - c)D(p, e) + (p - c)Q - (p - v)(Q - \xi)^+ - c(e) \quad (5-3)$$

$$E_{sc}(Q, p, e) = (p - c)D(p, e) + (p - c)Q - (p - v) \int_0^Q F(\xi) d\xi - c(e) \quad (5-4)$$

$$V_{sc}(Q, p, e) = (p - v)^2 \eta(Q) \quad (5-5)$$

令 $(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 和 $q_{sc}^* = D(p_{sc}^*, e_{sc}^*) + Q_{sc}^*$ 分别代表最大化供应链期望利润 $E_{sc}(Q, p, e)$ 的最优联合决策和最优生产量。

命题 1 对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$, Q_{sc}^* 存在且唯一, 满足:

$$(p - c) - (p - v)F(Q_{sc}^*) = 0 \quad (5-6)$$

因此供应链的最优生产量 q_{sc}^* 是唯一的, 并满足 $q_{sc}^* = D(p, e) + F^{-1}(\frac{p - c}{p - v})$ 。

证明 对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$, 由(5-4)式, 我们对 $E_{sc}(Q, p, e)$ 分别求 Q 的一阶微分和二阶微分, 可得 $\partial E_{sc}(Q, p, e) / \partial Q = (p - c) - (p - v)F(Q)$,

$\partial^2 E_{sc}(Q, p, e) / \partial Q^2 = -(p - v)f(Q) < 0$ 。因此, 对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$, $E_{sc}(Q, p, e)$

是 Q 的凹函数, Q_{sc}^* 存在且唯一, 满足 $Q_{sc}^* = F^{-1}[(p-c)/(p-v)]$ 。因此, 由 $q_{sc}^* = D(p_{sc}^*, e_{sc}^*) + Q_{sc}^*$ 可得, 供应链的最优生产量 q_{sc}^* 唯一, 满足 $q_{sc}^* = D(p, e) + F^{-1}(\frac{p-c}{p-v})$ 。命题 1 得证。

由 Q_{sc}^* 的表达式可知, Q_{sc}^* 是 p 的函数, 并独立于 e 。利用隐函数求导法则, 对 Q_{sc}^* 求 p 的导数, 有

$$\frac{dQ_{sc}^*}{dp} = -\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)/\partial Q \partial p}{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)/\partial Q^2} = \frac{1-F(Q_{sc}^*)}{(p-v)f(Q_{sc}^*)} \quad (5-7)$$

所以, 由(5-7)式, 我们可知 Q_{sc}^* 是 p 的严格递增函数。因此, 我们有如下的命题。

命题 2 $p_{sc}^* \in (c, \bar{p}]$ 和 e_{sc}^* 存在且唯一, 满足如下两式:

$$b(p_{sc}^* - c) - c'(e_{sc}^*) = 0 \quad (5-8)$$

$$D(p_{sc}^*, e_{sc}^*) - k(p_{sc}^* - c) + Q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi = 0 \quad (5-9)$$

证明 由命题 1, 将 Q_{sc}^* 带入 $E_{sc}(Q, p, e)$, 对 $E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)$ 分别求 p 和 e 的一阶微分和二阶微分, 可得

$$\frac{\partial E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial e} = b(p-c) - c'(e) \quad (5-10)$$

$$\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial e^2} = -c''(e) \quad (5-11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p} &= D(p, e) + (p-c) \frac{\partial D(p, e)}{\partial p} + Q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi \\ &\quad + [(p-c) - (p-v)F(Q_{sc}^*)] \frac{dQ_{sc}^*}{dp} \end{aligned} \quad (5-12)$$

$$\begin{aligned} &= D(p, e) - k(p-c) + Q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi \\ \frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p^2} &= -2k + (1-F(Q_{sc}^*)) \frac{dQ_{sc}^*}{dp} \end{aligned} \quad (5-13)$$

因为 $c'(e) > 0$, 所以 $\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial e^2} < 0$, $\left. \frac{\partial E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial e} \right|_{e=0} = b(p-c) > 0$, 所以

$E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)$ 是 e 的凹函数。因此, 对于一个给定的 $p \in (c, \bar{p}]$, 最优努力水平 e_{sc}^* 存在且唯一, 满足

$$b(p-c) - c'(e_{sc}^*) = 0 \quad (5-14)$$

由 e_{sc}^* 的表达式可以看出, e_{sc}^* 可以看成是 p 的函数。

将(5-7)式代入(5-13)式, 我们有:

$$\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p^2} = -2k + \frac{(1-F(Q_{sc}^*))^2}{(p-v)f(Q_{sc}^*)} \quad (5-15)$$

令 $G(Q_{sc}^*) = f(Q_{sc}^*) / (1 - F(Q_{sc}^*))^2$ ，将其对 Q_{sc}^* 求导，可得

$$\frac{dG(Q_{sc}^*)}{dQ_{sc}^*} = \frac{(1 - F(Q_{sc}^*))df(Q_{sc}^*)/dQ + 2[f(Q_{sc}^*)]^2}{(1 - F(Q_{sc}^*))^3} \quad (5-16)$$

由定义 2 可知，对于任何的 $\xi \geq 0$ ， $r'(\xi) \geq 0$ ，因此 $dG(Q_{sc}^*)/dQ_{sc}^* \geq 0$ ， $G(Q_{sc}^*)$ 是 Q_{sc}^* 的递增函数，而 Q_{sc}^* 是 p 的严格递增函数，所以 $G(Q_{sc}^*)$ 是 p 的严格递增函数。

因此， $\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p^2}$ 是 p 的严格递减函数。令 p^0 满足 $\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)/\partial p^2 = 0$ 。如果 p^0

不存在，则 $\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p^2} < 0$ ，因为 $\lim_{p \rightarrow \infty} \partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)/\partial p^2 = -2k < 0$ ，那么，

$E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)$ 是 p 的凹函数。如果 p^0 存在，则对于 $p < p^0$ ， $\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p^2} > 0$ ，而对

于 $p > p^0$ ， $\frac{\partial^2 E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p^2} < 0$ ，即 $E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)$ 是 $p < p^0$ 的凸函数，是 $p > p^0$ 的凹函数。

因为 $\left. \frac{\partial E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)}{\partial p} \right|_{p=c} = (a + be - kc) + \int_0^{Q_{sc}^*(c)} \bar{F}(\xi) d\xi > 0$ ，所以 $E_{sc}(Q_{sc}^*, p, e)$ 是 $p \in (c, \bar{p}]$ 的单

峰函数。

因此，对于一个给定的 $e \geq 0$ ， p_{sc}^* 存在且唯一，满足

$$D(p_{sc}^*, e) - k(p_{sc}^* - c) + Q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi = 0 \quad (5-17)$$

因此，综合(5-14)式和(5-17)式，我们可得(5-8)、(5-9)两式。因此，命题 2 得证。

Remark 1 综合命题 1 和命题 2，我们可知，供应链的最优联合决策 $(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 和最优生产量 q_{sc}^* 是唯一的。相应地，供应链的最优期望利润为 $\bar{E}_{sc} = E_{sc}(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。

5.3 单个契约下分散式的供应链

现在，我们考虑分散式的供应链。在分散式的供应链中，供应商和零售商是两个独立的供应链实体，供应商通过零售商将产品销售给终端市场。假定供应商是风险中性者，其目标是通过向零售商提供一个契约，使整个供应链的利润最大化，实现供应链协调。零售商为风险规避者，具有期望利润阈值 k_r 。其决策制定问题采用第三章和第四章里定义的 MV 方法，即

$$\begin{aligned} & \min V_r(Q, p, e) \\ & \text{s.t. } E_r(Q, p, e) \geq k_r \end{aligned} \quad (5-18)$$

与第三章和第四章的决策问题所不同的是，在本章中，风险规避的零售商需要同时决定其订购量 Q 、销售价 p 和销售努力水平 e ，其联合决策的结果使得在

满足其期望利润不小于给定的阈值 $k_r > 0$ 的约束下, 零售商的利润方差最小。定义 $\bar{E}_r = E_r(Q_r^*, p_r^*, e_r^*)$ 为零售商可取得的最大期望利润, 则 k_r 不能超过 $\bar{E}_r$, 否则, (5-18) 无可行解。

但是, 当零售商的销售价和销售努力影响需求时, 供应链协调难以得到实现。这是因为, 能够协调零售商订购量决策的契约条款可能会扭曲零售商的定价和努力水平决策。因此, 在本章中, 我们分别使用单个契约和联合契约, 以实现供应链协调的目的。首先, 我们分析单个契约的作用, 然后再分析联合契约的作用。

5.3.1 销量回馈与惩罚契约下分散式的供应链

首先, 我们仍然使用在第三章和第四章中探讨过的 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 。在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下, 令 $Q = q - D(p, e)$, $T = t - D(p, e)$, 则风险中性零售商的利润、期望利润和利润方差分别为

$$\Pi_r(Q, p, e) = (p - w)D(p, e) + (p - w)Q - (p - v)(Q - \xi)^+ + u(\min(\xi, Q) - T) - c(e) \quad (5-19)$$

$$E_r(Q, p, e) = (p - w)D(p, e) + (p - w)Q - (p - v) \int_0^Q F(\xi) d\xi + u(Q - T - \int_0^Q F(\xi) d\xi) - c(e) \quad (5-20)$$

$$V_r(Q, p, e) = E(\Pi_r(Q, p, e) - E_r(Q, p, e))^2 = (p - v + u)^2 \eta(Q) \quad (5-21)$$

同理, 可得供应商的利润、期望利润和利润方差:

$$\Pi_s(Q, p, e) = (w - c)D(p, e) + (w - c)Q - u(\min(\xi, Q) - T) \quad (5-22)$$

$$E_s(Q, p, e) = (w - c)D(p, e) + (w - c)Q - u(Q - T - \int_0^Q F(\xi) d\xi) \quad (5-23)$$

$$V_s(Q, p, e) = E(\Pi_s(Q, p, e) - E_s(Q, p, e))^2 = u^2 \eta(Q) \quad (5-24)$$

令 (Q_r^*, p_r^*, e_r^*) 和 $q_r^* = D(p_r^*, e_r^*) + Q_r^*$ 代表在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 和 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下, 风险中性零售商的最优联合决策和最优订购量。

命题 3 对于由供应商提供的 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, 零售商的最优联合决策 (Q_r^*, p_r^*, e_r^*) 存在且唯一, 并满足

$$(p_r^* - w + u) - (p_r^* - v + u)F(Q_r^*) = 0 \quad (5-25)$$

$$b(p_r^* - w + u) - c'(e_r^*) = 0 \quad (5-26)$$

$$D(p_r^*, e_r^*) - k(p_r^* - w + u) + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi = 0 \quad (5-27)$$

证明 对于任何给定的 $p \in (w - u, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$, 对 $E_r(Q, p, e)$ 分别求 Q 的一阶微分和二阶微分, 得 $\partial E_r(Q, p, e) / \partial Q = (p - w + u) - (p - v + u)F(Q)$, $\partial^2 E_r(Q, p, e) / \partial Q^2 = -(p - v + u)f(Q) < 0$, 所以 $E_r(Q, p, e)$ 是 Q 的凹函数, 最优订购量 Q_r^* 满

足

$$(p-w+u)-(p-v+u)F(Q_r^*)=0 \quad (5-28)$$

利用隐函数求导法则，对 Q_r^* 求 p 的导数，有：

$$\frac{dQ_r^*}{dp} = -\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)/\partial Q \partial p}{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)/\partial Q^2} = \frac{1-F(Q_r^*)}{(p-v+u)f(Q_r^*)} \quad (5-29)$$

由(5-29)式可知， Q_r^* 是 p 的严格递增函数。

将 Q_r^* 带入 $E_r(Q, p, e)$ ，我们可得

$$E_r(Q_r^*, p, e) = (p-w)D(p, e) + (p-w)Q_r^* - (p-v) \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi + u(Q_r^* - T) - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi - c(e) \quad (5-30)$$

对 $E_r(Q_r^*, p, e)$ 分别求 p 和 e 的一阶微分和二阶微分，可得

$$\frac{\partial E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial e} = b(p-w+u) - c'(e) \quad (5-31)$$

$$\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial e^2} = -c''(e) < 0 \quad (5-32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p} &= D(p, e) + (p-w+u) \frac{\partial D(p, e)}{\partial p} + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi \\ &\quad + [(p-w+u)-(p-v+u)F(Q_r^*)] \frac{dQ_r^*}{dp} \end{aligned} \quad (5-33)$$

$$= D(p, e) - k(p-w+u) + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi$$

$$\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} = -2k + (1-F(Q_r^*)) \frac{dQ_r^*}{dp} \quad (5-34)$$

由(5-31)式，如果 $w-u > c$ ，我们可得 $\left. \frac{\partial E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial e} \right|_{e=0} = b(p-w+u) > 0$ ，

$\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial e^2} < 0$ ，那么， $E_r(Q_r^*, p, e)$ 是 e 的凹函数。因此，对于任何给定的

$p \in (w-u, \bar{p}]$ ，最优努力水平 e_r^* 存在且唯一，满足

$$b(p-w+u) - c'(e_r^*) = 0 \quad (5-35)$$

将(5-29)式带入(5-34)式，可得：

$$\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} = -2k + \frac{(1-F(Q_r^*))^2}{(p-v+u)f(Q_r^*)} \quad (5-36)$$

因为 Q_r^* 是 p 的严格递增函数，而由命题 2 可知， $G(Q_r^*)$ 是 Q_r^* 的增函数，因此 $G(Q_r^*)$ 是 p 的严格递增函数。从而可以推知， $\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2}$ 是 p 的严格递减函数，

假设 p^1 满足 $\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} = 0$ 。如果 p^1 不存在，则 $\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} < 0$ ，因为

$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} = -2k < 0$ ，那么 $E_r(Q_r^*, p, e)$ 是 p 的凹函数。如果 p^1 存在，则对

于 $p < p^1$, $\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} > 0$, 对于 $p > p^1$, $\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} < 0$, 即 $E_r(Q_r^*, p, e)$ 是 $p < p^1$ 的凸函数, 是 $p > p^1$ 的凹函数。如果 $w - u > c$, 因为

$\partial E_r(Q_r^*, p, e) / \partial p \big|_{p=w-u} = (a + be - k(w - u)) + \int_0^{Q_r^*(w-u)} \bar{F}(\xi) d\xi > 0$, 所以 $E_r(Q_r^*, p, e)$ 是 p 的单峰函数。因此, 对于任何给定的 $e \geq 0$, 存在唯一的最优销售价 $p_r^* \in (w - u, \bar{p}]$, 满足

$$D(p_r^*, e) - k(p_r^* - w + u) + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi = 0 \quad (5-37)$$

因此, 零售商的最优联合决策 (Q_r^*, p_r^*, e_r^*) 存在且唯一, 并满足(5-25)-(5-27)式。

此时, 零售商的最优订购量 q_r^* 也是唯一的, 相应地, 风险中性零售商的期望利润为 $\bar{E}_r = E_r(Q_r^*, p_r^*, e_r^*)$ 。

命题 4 对于给定的 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$, (1)对于任何的 $Q \geq 0$, $p \in (c, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$, $\Pi_r(Q, p, e)$ 和 $\Pi_s(Q, p, e)$ 负相关; (2) Q_r^* 和 e_r^* 是 w 的递减函数, p_r^* 是 w 的递增函数; (3) Q_r^* 和 e_r^* 是 u 的递增函数, p_r^* 是 u 的递减函数; (4)对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$, $V_r(Q, p, e)$ 是 $Q > 0$ 的严格递增函数, 对于任何给定的 $Q \geq 0$, $V_r(Q, p, e)$ 是 p 的严格递增函数; $V_r(Q, p, e)$ 与 e 的大小无关。

证明 (1)对于给定的 $p \in (c, \bar{p}]$, $Q \geq 0$ 和 $e \geq 0$, $\Pi_x(Q, p, e) = \Pi_r(Q, p, e) + \Pi_s(Q, p, e)$ 恒成立。因此, 我们可以得到 $V_x(Q, p, e) = V_r(Q, p, e) + V_s(Q, p, e) + 2\text{cov}(\Pi_r(Q, p, e), \Pi_s(Q, p, e))$ 。因为 $(p - v)^2 < (p - v + u)^2 + u^2$, $\text{cov}(\Pi_r(Q, p, e), \Pi_s(Q, p, e)) < 0$, $\Pi_r(Q, p, e)$ 和 $\Pi_s(Q, p, e)$ 负相关。

(2)由命题 3 可知, 风险中性零售商的最优联合决策 (Q_r^*, p_r^*, e_r^*) 满足(24)-(26)

三式, 因此, 由隐函数求导法则, 我们有

$$\frac{dQ_r^*}{dw} = \frac{-1}{(p - v + u)f(Q_r^*)} < 0, \quad \frac{de_r^*}{dw} = \frac{-b}{c'(e_r^*)} < 0, \quad \frac{dp_r^*}{dw} = -\frac{k}{-2k + \frac{(1 - F(Q_r^*))^2}{(p - v + u)f(Q_r^*)}} > 0。因$$

此, Q_r^* 、 e_r^* 是 w 的递减函数, p_r^* 是 w 的递增函数。

(3)由隐函数求导法则, 得

$$\frac{dQ_r^*}{du} = \frac{1 - F(Q_r^*)}{(p - v + u)f(Q_r^*)} > 0, \quad \frac{de_r^*}{du} = \frac{b}{c'(e_r^*)} > 0, \quad \frac{dp_r^*}{du} = -\frac{-k}{-2k + \frac{(1 - F(Q_r^*))^2}{(p - v + u)f(Q_r^*)}} < 0。因$$

此, Q_r^* 和 e_r^* 是 u 的递增函数, p_r^* 是 u 的递减函数。

(4)由(5-21)式,我们可知 $V_r(Q, p, e)$ 不含 e ,与 e 的大小无关。因此, $V_r(Q, p, e)$ 仅是 p 和 Q 的函数。对 $V_r(Q, p, e)$ 分别求 p 和 Q 的微分,可得

$$\partial V_r(Q, p, e)/\partial Q = 2(p-v+u)^2(1-F(Q)) \int_0^Q F(\xi) d\xi > 0,$$

$\partial V_r(Q, p, e)/\partial p = 2(p-v+u)\eta(Q) > 0$ 。因此,对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$, $V_r(Q, p, e)$ 是 $Q > 0$ 的严格递增函数,而对于任何给定的 $Q \geq 0$, $V_r(Q, p, e)$ 是 p 的严格递增函数。

Remark 2 由命题 4(1)可知,在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下,当零售商获得一个较高的利润时,供应商将获得一个较低的利润,即在 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 下,供应商也承担了一定的风险。命题 4(2)和命题 4(3)告诉我们,当零售商购买产品的成本增大时,他会降低其订购量和努力水平,同时增大其销售价,而当供应商给予零售商的回馈或者惩罚越大时,零售商会增大其订购量,并提高其努力水平,降低销售价以促进产品的销售。命题 4(4)告诉我们,当零售商订购量 Q 和销售价格 p 增大时,零售商利润方差也跟着增大,但是当零售商的销售努力水平 e 增大时,零售商利润方差则不发生改变。

5.3.2 两部定价契约下分散式的供应链

现在我们考虑两部定价契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 。 $\theta_{TPT}(w, G)$ 规定,除了支付给供应商单位产品的批发价 w 外,零售商还需要支付给供应商一个固定的转移支付 G 。因此,在给定的 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下,风险中性零售商的利润、期望利润和利润方差分别由如下式子给定:

$$\Pi_r(Q, p, e) = (p-w)D(p, e) + (p-w)Q - (p-v)(Q-\xi)^+ - G - c(e) \quad (5-38)$$

$$E_r(Q, p, e) = (p-w)D(p, e) + (p-w)Q - (p-v) \int_0^Q F(\xi) d\xi - G - c(e) \quad (5-39)$$

$$V_r(Q, p, e) = (p-v)^2 \eta(Q) \quad (5-40)$$

此时,供应商的利润和期望利润由下式给定:

$$\Pi_s(Q, p, e) = E_s(Q, p, e) = (w-c)D(p, e) + (w-c)Q + G \quad (5-41)$$

命题 5 在 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下,零售商的最优联合决策 (Q^*, p_r^*, e_r^*) 存在且唯一,满足:

$$p_r^* - w - (p_r^* - v)F(Q_r^*) = 0 \quad (5-42)$$

$$b(p_r^* - w) - c'(e_r^*) = 0 \quad (5-43)$$

$$D(p_r^*, e_r^*) - k(p_r^* - w) + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi = 0 \quad (5-44)$$

证明 对于任何给定的 $p \in (w, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$,由(5-39)式,对 $E_r(Q, p, e)$ 求 Q 的一阶微分

和二阶微分，可得 $\partial E_r(Q, p, e)/\partial Q = (p-w) - (p-v)F(Q)$ ，
 $\partial^2 E_r(Q, p, e)/\partial Q^2 = -(p-v)f(Q) < 0$ ，所以 $E_r(Q, p, e)$ 是 Q 的凹函数，最优订购量 Q_r^* 满足

$$(p-w) - (p-v)F(Q_r^*) = 0 \quad (5-45)$$

将 Q_r^* 带入 $E_r(Q, p, e)$ ，对 $E_r(Q_r^*, p, e)$ 分别求 p 和 e 的一阶微分和二阶微分，可得

$$\frac{\partial E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial e} = b(p-w) - c'(e) \quad (5-46)$$

$$\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial e^2} = -c''(e) < 0 \quad (5-47)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p} &= D(p, e) + (p-w) \frac{\partial D(p, e)}{\partial p} + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi \\ &\quad + [(p-w) - (p-v)F(Q_r^*)] \frac{dQ_r^*}{dp} \end{aligned} \quad (5-48)$$

$$= D(p, e) - k(p-w) + Q_r^* - \int_0^{Q_r^*} F(\xi) d\xi$$

$$\frac{\partial^2 E_r(Q_r^*, p, e)}{\partial p^2} = -2k + \frac{(1-F(Q_r^*))^2}{(p-v)f(Q_r^*)} \quad (5-49)$$

所以，与命题 2 和命题 3 的证明类似地，我们可得，风险中性零售商的最优联合决策 (Q_r^*, p_r^*, e_r^*) 是存在且唯一的，满足(5-42)-(5-44)式。

因此，零售商的最优订购量为 $q_r^* = D(p_r^*, e_r^*) + Q_r^*$ ，相应地，零售商的最优期望利润为 $\bar{E}_r$ 。

命题 6 (1) 在 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下，对于任何的 $Q \geq 0$ ， $p \in (c, \bar{p}]$ 和 $e \geq 0$ ， $\Pi_r(Q, p, e)$ 和 $\Pi_s(Q, p, e)$ 无关；(2) Q_r^* 和 e_r^* 是 w 的递减函数， p_r^* 是 w 的递增函数；(3) 对于任何给定的 $p \in (w, \bar{p}]$ ， $V_r(Q, p, e)$ 是 $Q > 0$ 的严格递增函数，对于任何给定的 $Q \geq 0$ ， $V_r(Q, p, e)$ 是 p 的严格递增函数； $V_r(Q, p, e)$ 与 e 的大小无关。

证明 (1) 由 $\Pi_{sc}(Q, p, e) = \Pi_r(Q, p, e) + \Pi_s(Q, p, e)$ 可知，

$V_{sc}(Q, p, e) = V_r(Q, p, e) + V_s(Q, p, e) + 2\text{cov}(\Pi_r(Q, p, e), \Pi_s(Q, p, e))$ 。对于给定的 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ ， $V_{sc}(Q, p, e) = V_r(Q, p, e)$ ， $V_s(Q, p, e) = 0$ ，因此， $\text{cov}(\Pi_r(Q, p, e), \Pi_s(Q, p, e)) = 0$ ，即零售商的利润 $\Pi_r(Q, p, e)$ 和供应商的利润 $\Pi_s(Q, p, e)$ 无关。

(2) 与命题 4(2) 的证明相似；

(3) 与命题 4(4) 的证明类似。

Remark 3 从命题 6，我们可得，与 SRP 契约不同的是，在 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下，供应商将不承担任何风险，因为其利润方差为零。这意味着不管零售商做出什么样的决策，供应商都将获得一个确定性的利润，而零售商的利润方差则随着其订购量 Q_r^* 和定价 p_r^* 的增大而增大。然而，无论零售商的努力水平如何变化，其获得一定期望利润的不确定性不会发生改变。类似地，在 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 下，随

着零售商购买产品成本的增加, 零售商会减少其订购量, 降低努力水平, 并且提高其定价, 以避免缺货所带来的利润损失。

5.4 联合契约下分散式的供应链

考虑一个联合契约, 该契约由 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 和 TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 组成。使用该契约时, 零售商除了支付给供应商一个固定转移支付 G 外, 对于每单位产品的订购量, 需要支付供应商批发价 w , 而对于零售商的销售量大于销售目标 t 的部分, 供应商将给予零售商单位 u 的回馈, 反之, 则给予零售商单位 u 的惩罚。

在联合契约下, 零售商的利润、期望利润和利润方差分别为:

$$\Pi_r(Q, p, e) = (p - w)D(p, e) + (p - w)Q - (p - v)(Q - \xi)^+ + u(\min(\xi, Q) - T) - G - c(e) \quad (5-50)$$

$$E_r(Q, p, e) = (p - w)D(p, e) + (p - w)Q - (p - v) \int_0^Q F(\xi) d\xi + u(Q - T - \int_0^Q F(\xi) d\xi) - G - c(e) \quad (5-51)$$

$$V_r(Q, p, e) = E(\Pi_r(Q, p, e) - E_r(Q, p, e))^2 = (p - v + u)^2 \eta(Q) \quad (5-52)$$

同理, 可得供应商的利润、期望利润和利润方差:

$$\Pi_s(Q, p, e) = (w - c)D(p, e) + (w - c)Q - u(\min(\xi, Q) - T) + G \quad (5-53)$$

$$E_s(Q, p, e) = (w - c)D(p, e) + (w - c)Q - u(Q - T - \int_0^Q F(\xi) d\xi) + G \quad (5-54)$$

$$V_s(Q, p, e) = E(\Pi_s(Q, p, e) - E_s(Q, p, e))^2 = u^2 \eta(Q) \quad (5-55)$$

由(5-51), 我们可以看出, 与在 SRP 契约 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 相同地, 在该联合契约下, 零售商的最优联合决策 (Q^*, p_r^*, e_r^*) 仍然满足(24)-(26)式, 这里就不再给出详细的证明。

现在, 我们给出风险规避零售商的最优决策。

命题 7 给定供应商提供的契约, 已知风险规避零售商的期望利润阈值 $k_r \leq \bar{E}_r$, 则其最优联合决策 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 满足:

$$E_r(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r \quad (5-56)$$

$$Q_{r,mv}^* \leq Q_r^*, \quad p_{r,mv}^* \leq p_r^* \quad (5-57)$$

证明 由前面的分析可知, 无论供应商提供的是单个契约还是联合契约, 零售商的期望利润 $E_r(Q, p, e)$ 是 Q 和 e 的凹函数, 并且是 $p \in (w - u, \bar{p}]$ 的单峰函数, 而

$V_r(Q, p, e)$ 分别是 p 和 Q 的严格递增函数, 但是独立于 e 。因此, 由(p3)可知, 风险

规避零售商的最优决策由 $E_r(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$ 确定。因为 $k_r \leq \bar{E}_r$, 因此, 在 $Q \leq Q_r^*$

和 $Q > Q_r^*$, $p \leq p_r^*$ 和 $p > p_r^*$, $e \leq e_r^*$ 和 $e > e_r^*$ 分别存在一对联合决策 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$

使得 $E_r(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$ 成立。但是, $V_r(Q, p, e)$ 分别是 p 和 Q 的严格递增函数, 因此, $Q_{r,mv}^*$ 和 $p_{r,mv}^*$ 必须在 $Q \leq Q_r^*$ 和 $p \leq p_r^*$ 范围内取得, 否则 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 并非 是风险规避零售商的最优决策。而对于 $e_{r,mv}^*$, 由于 $V_r(Q, p, e)$ 独立于 e , 因此 $e_{r,mv}^*$ 可以位于 $e \leq e_r^*$ 和 $e > e_r^*$ 两个范围内。因此, 我们得到(5-56)式和(5-57)式。

Remark 4 命题 7 给出了在供应商提供契约下, 风险规避零售商的最优决策。从命题 7, 我们可以看出, 由于零售商的风险规避偏好, 因此, 他能获得的最大期望利润总是不大于风险中性下所能获得的最大期望利润, 承担了一定的利润损失。

5.5 供应链协调

在预期到零售商面对给定契约的最优反应后, 作为供应链协调者的供应商通过向零售商提供一个契约, 以实现供应链协调, 获得最大的供应链期望利润。相应的供应链最优联合决策为 $(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。零售商为风险规避者, 具有期望利润阈值 k_r , 并且 k_r 小于供应链所能获得的最大期望利润, 即 $k_r < \overline{E_{sc}}$, 否则供应商获得的利润为负, 他将没有激励提供该契约来实现协调。协调者(供应商)的目标是通过确定最优的契约参数值, 而使零售商的最优联合决策 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*)$ 满足 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。下面, 我们一个契约实现供应链协调所满足的条件。

命题 8 对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$, 如果一个契约能够实现供应链协调, 则:

$$(1) E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r; (2) \partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0; (3) \partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} \geq 0。$$

证明 (1) 如果一个契约实现供应链协调, 则 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。因为 $E_r(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = k_r$, 所以我们有 $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ 。另一方面, 由于实现协调, 则由(p3)可知, $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) \geq k_r$ 。但是, 对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$, $V_r(Q, p, e)$ 是 Q 的严格递增函数, 对于任何给定的 $Q \geq 0$, $V_r(Q, p, e)$ 是 p 的严格递增函数, 并且 $V_r(Q, p, e)$ 与 e 的大小无关。因为 $E_r(Q, p, e)$ 是 Q 和 p 的连续函数, 如果 $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) > k_r$ 成立, 则存在某一个联合决策 $Q < Q_{sc}^*$ 和 $p < p_{sc}^*$, 使得 $E_r(Q, p, e_{sc}^*) \geq k_r$ 并且 $V_r(Q, p, e_{sc}^*) < V_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$, 那么 $(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 不是风险规避零

售商的最优联合决策。因此，如果一个契约实现供应链协调，则我们可得 $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ 。

(2)和(3) 因为 $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ ，而由命题 7 可知， $Q_{sc}^* \leq Q_r^*$ 。
 $E_r(Q, p, e)$ 是 Q 的凹函数，在在 $Q \in (0, Q_r^*]$ 上严格递增。因此，因此，由 $Q_{sc}^* \leq Q_r^*$ ，
 我们可知 $\partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ 。另一方面，如果 $\partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} < 0$ ，由
 于对于任何给定的 $p \in (c, \bar{p}]$ ， $V_r(Q, p, e)$ 是 $Q > 0$ 的严格递增函数，因此，一定存在
 某个 $Q < Q_{sc}^*$ ，使得 $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) < E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ ，并且 $V_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) < V_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ ，
 那么， $(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 不是风险规避零售商的最优联合决策，契约不能协调供应链。
 类似地，对于任何给定的 Q ， $V_r(Q, p, e)$ 是 p 的严格递增函数，如果
 $\partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} < 0$ ，则必然存在某个 $p < p_{sc}^*$ ，使得
 $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) < E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*)$ 并且 $V_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) < V_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ ，则 $(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 不是
 风险规避零售商的最优解，契约同样不能协调供应链。因此，我们有
 $\partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ ， $\partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} \geq 0$ 。

Remark 5 命题 8 给出了一个契约实现协调的必要条件。在协调时， k_r 小于零售商在该契约下可以获得的期望最大利润，并且此时，风险规避零售商的期望利润等于 k_r ，供应商的期望利润等于 $\bar{E}_{sc} - k_r$ 。

下面，我们更为详细地探讨本章使用的契约实现协调时各个契约参数所满足的条件。

5.5.1 单个契约下的供应链协调

命题 9 对于任何给定的 $k_r < \bar{E}_{sc}$ ， $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 不能实现供应链协调。

证明 由命题 8 可知，在协调时， $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ 。此外，由于在协调时，

$$\partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0, \quad \partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} \geq 0。由 \partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0 可$$

得 $(p_{sc}^* - w) - (p_{sc}^* - v)F(Q_{sc}^*) + u\bar{F}(Q_{sc}^*) \geq 0$ ，由 (6) 式，我们有 $u\bar{F}(Q_{sc}^*) \geq w - c$ 。由

$$\partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} \geq 0, 我们有 D(p_{sc}^*, e_{sc}^*) - k(p_{sc}^* - w + u) + Q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi \geq 0。而由$$

(5-9)式，经化简，可得 $u \leq w - c$ 。不存在这样的 u 值能使得 $u\bar{F}(Q_{sc}^*) \geq w - c$ 和 $u \leq w - c$

同时成立，因此，命题 9 得证。

Remark 6 从命题 9，我们可知，虽然单个的 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 能够协调如第三章和第四章所述环境下的供应链，但是，当产品的需求同时受到销售价格和努力水平影响时，这个契约不再能够实现渠道协调，这是该契约的局限性所在。

命题 10 对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$ ，TPT 契约 $\theta_{TPT}(w, G)$ 能够实现供应链协调，并且契约参数满足：(1) $w = c$ ；(2) $G = \overline{E_{sc}} - k_r$ 。

证明 类似地，在协调时， $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ ， $\partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ ， $\partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} \geq 0$ 。由 $\partial E_r(Q, p_{sc}^*, e_{sc}^*) / \partial Q|_{Q=Q_{sc}^*} \geq 0$ 可得 $(p_{sc}^* - w) - (p_{sc}^* - v)F(Q_{sc}^*) \geq 0$ ，由(6)式，我们有 $w - c \leq 0$ 。由 $\partial E_r(Q_{sc}^*, p, e_{sc}^*) / \partial p|_{p=p_{sc}^*} \geq 0$ 可得 $D(p_{sc}^*, e_{sc}^*) - k(p_{sc}^* - w) + Q_{sc}^* - \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi \geq 0$ ，由(9)式，我们有 $w - c \geq 0$ 。因此，我们可得 $w = c$ 。由 $E_r(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = k_r$ ，我们有 $(p_{sc}^* - w)q_{sc}^* - (p_{sc}^* - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - G - c(e_{sc}^*) = k_r$ ，因为 $(p_{sc}^* - c)q_{sc}^* - (p_{sc}^* - v) \int_0^{Q_{sc}^*} F(\xi) d\xi - c(e_{sc}^*) = \overline{E_{sc}}$ ， $w = c$ ，所以 $G = \overline{E_{sc}} - k_r$ 。命题得证。

Remark 7 从命题 10，我们可以发现，虽然 $\theta_{TPT}(w, G)$ 较之 $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 简单得多，但是，在需求依赖于价格和销售努力的复杂报童背景下，较简单的 $\theta_{TPT}(w, G)$ 却能够实现协调。这在一定程度上也说明了，在实际的供应链运作中，供应链合作伙伴或成员之间，应该尽可能使用较简单的契约，这不仅可以减少契约的执行成本，也可能会给供应链带来意想不到的利润增加。同时，从命题 10，我们可以看出 $\theta_{TPT}(w, G)$ 的稳健性。此外， $G = \overline{E_{sc}} - k_r$ ，因此， G 可以看成是零售商风险规避度的指示器，当 G 较大时，零售商的期望利润阈值减少，零售商风险规避度较小，反之，当 G 较小时，则零售商风险规避度较大。因此，如果在双方的讨价还价中，零售商愿意支付给供应商的转移支付较小，则说明零售商较风险规避。

我们可以发现，在零售商为风险规避者的供应链环境中， $\theta_{TPT}(w, G)$ 实现渠道协调时契约参数 w 和 G 所满足的条件与零售商为风险中性者时的条件是相等的，并在在协调时， $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ ，风险规避零售商的最优决策等于集中式供应链的最优联合决策。而当 $w = c$ 时，风险中性零售商的最优决策也等于集中式供应链的最优联合决策，即 $(Q_r^*, p_r^*, e_r^*) = (Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*)$ 。这是因此，零售商的期望利润是其订购量 Q 和努力水平 e 的凹函数，是定价 p 的单峰函数，其最优解是唯一的。这意味着，在协调处， $(Q_{r,mv}^*, p_{r,mv}^*, e_{r,mv}^*) = (Q_r^*, p_r^*, e_r^*)$ ，即此时风险规避零售商的最优决策等于风险中性下的最优决策。这表明 $\theta_{TPT}(w, G)$ 实现协调的条

件是较极端的,当供应链实现协调时,风险规避零售商的最优决策要等于其在风险规避下的最优决策。

5.5.2 联合契约下的供应链协调

命题 11 对于任何给定的 $k_r < \overline{E_{sc}}$, $\theta_{SRP}(w, t, u)$ 和 $\theta_{TPT}(w, G)$ 的联合契约不能实现供应链协调。

证明 同命题 9。

Remark 8 比较命题 9、10 和 11,我们可以得出,与我们的直觉相反地,在面对较为复杂的报童环境中,或许一个较简单的契约形式,会比一个较复杂的契约或者联合契约形式更有可能实现渠道协调。

5.6 数值分析

在本节中,我们进行数值分析来补充和验证本章理论模型所获得的结论。由于只有 $\theta_{TPT}(w, G)$ 能够实现供应链协调,因此,我们只分析该契约。数值分析可以分为两部分,一部分是探讨如何使用 $\theta_{TPT}(w, G)$ 以实现供应链协调,即契约参数的确定问题,另一部分是敏感性分析,即探讨一些重要的参数,如收益-成本参数对供应链及供应链参与者的目标函数的影响。基于这两部分数值分析所获得的结论,我们可以为实际供应链运作中的决策者和管理者提供参考和指导,揭示实际中使用的契约属性。

5.6.1 契约参数取值的确定

首先,让我们定义在数值分析中需要使用的成本-收益参数值和需求结构。假定基本需求量 $a = 600$, 需求的努力弹性 $b = 10$, 需求的价格弹性 $k = 10$, $v = 2$, $c = 15$, $D(p, e) = a + be - kp$ 。随机变量 $\xi: U(A, B)$, $A = 0$, $B = 160$, $c(e) = \frac{1}{2} \lambda e^2$, 其中 $\lambda = 100$ 。根据这些参数,我们可得集中式供应链的最优联合决策为 $p_{sc}^* = 42.46$, $Q_{sc}^* = 108.59$, $e_{sc}^* = 2.75$ 。因此,集中式供应链的最优生产量为 $q_{sc}^* = 311.45$,相应地,我们可以得出集中式供应链的期望利润和利润方差分别为 $\overline{E_{sc}} = 6684.47$, $V_{sc}(Q_{sc}^*, p_{sc}^*, e_{sc}^*) = 2144168.42$ 。由于风险规避零售商的期望利润阈值小于供应链所能获得的最大期望利润,那么我们在接下来的分析中假定 $k_r < 6684.47$ 。

令 k_r 分别为 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 和 6000。因此,在零售商期望

利润阈值 k_r 取不同值时, $\theta_{TT}(w, G)$ 实现供应链协调时契约参数 w 和 G 的取值如下表所示。

表 5-1 k_r 取不同值时, w 和 G 的取值

k_r	w	G
1000	15	5684.47
2000	15	4684.47
3000	15	3684.47
4000	15	2684.47
5000	15	1684.47
6000	15	684.47

从表 5-1 中, 我们可以看出, 只要供应商的生产成本 c , 在供应链实现协调时, 供应商将其批发价 w 定在其生产成本 c 处, 而通过零售商给予供应商的固定转移支付 G 来判断零售商的不同风险规避度。同时, 由于供应商的批发价等于其生产成本, 因此, 单位产品给供应商带来的收益为零, 但是供应商获得的固定转移支付则能保证供应商获得一个正的期望利润。

现在, 我们考虑变化 c 值下, $\theta_{TT}(w, G)$ 对于供应链协调的作用。取 c 分别为 5, 10, 15, 20, 25 和 30, 那么, 供应链的最优决策、期望利润和利润方差会发生变化, 结果总结在表 5-2 中。

表 5-2 c 取不同值时, 供应链的最优解、期望利润和利润方差

c	Q_{sc}^*	p_{sc}^*	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E}_{sc}$	V_{sc}
5	146.71	38.13	3.31	398.55	10224.66	2681786.00
10	126.62	40.34	3.03	353.53	8345.84	2527262.98
15	108.59	42.46	2.75	311.45	6684.47	2144168.42
20	92.25	44.51	2.45	271.67	5227.51	1677300.45
25	77.32	46.51	2.15	233.75	3964.64	1216104.52
30	63.60	48.47	1.85	197.35	2887.45	812277.93

从表 5-2 中, 我们可知, 随着生产成本的增大, 供应链的最优生产量和努力水平都会随之减少, 而销售价格则随之增大, 进而导致供应链的最优期望利润和利润方差都随之减少。

由于 $k_r < \overline{E}_{sc}$, 因此, 对于 $c=5$, 我们取 k_r 分别为 9000 和 10000, 对于 $c=10$, 我们取 k_r 分别为 7000 和 8000, 对于 $c=15$, 我们取 $k_r=6000$, 对于 $c=20$, 我们取 k_r 分别为 4000 和 5000, 对于 $c=25$, 我们取 $k_r=3000$, 对于 $c=30$, 我们取 k_r 分别

为 1000 和 2000。因此，契约 $\theta_{rr}(w,G)$ 的参数取值总结在下表中。

表 5-3 c 取不同值时， w 和 G 的取值				
c	k_r	w	G	V_r
5	10000	5	224.66	2681786.00
	9000	5	1224.66	2681786.00
10	8000	10	345.84	2527262.98
	7000	10	1345.84	2527262.98
15	6000	15	684.47	2144168.42
	5000	20	227.51	1677300.45
20	4000	20	1227.51	1677300.45
	3000	25	964.64	1216104.52
25	2000	30	887.45	812277.93
	1000	30	1887.45	812277.93

从表 5-3 中，我们可以得出，随着 c 的变化，由于集中式供应链的最优期望利润也跟着变化，而零售商的期望利润阈值 k_r 小于供应链的最优期望利润，因此，在不同的 c 值下， k_r 可以取的值也是不同的，但是，不管 k_r 取值如何变化，只要 c 值固定，那么， w 的值也固定，但是，固定转移支付 G 却随着 k_r 取值的变化而变化。同时，只要固定生产成本，零售商的利润方差也是固定的，并不会随着其期望利润阈值 k_r 的变化而变化。

5.6.2 敏感性分析

现在，我们分析一些重要的参数值变化对于协调时契约参数 w 和 G 的取值、供应链及供应链成员目标函数的影响。这里，我们主要分析基本需求大小、需求的努力弹性、需求的价格弹性、需求不确定性及努力成本系数的变化所带来的影响。

假定所有其他的参数值不变，我们现在改变 a 的取值，并分析当基本需求发生变化时，最优契约参数值及相应的目标函数的变化。首先我们给出当 a 值变化时，供应链的最优解的变化，结果总结在表 5-4 中。

表 5-4 a 取不同值时，供应链的最优						
a	Q_{sc}^*	p_{sc}^*	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E}_{sc}$	V_{sc}
400	89.62	31.55	1.66	190.64	2276.96	759542.71
500	100.66	37.05	2.21	252.19	4208.31	1378895.39

600	108.59	42.46	2.75	311.45	6684.47	2144168.42
700	114.60	47.82	3.28	369.23	9698.72	3046739.42
800	119.33	53.15	3.81	425.99	13247.31	4081278.80
900	123.16	58.46	4.35	482.01	17327.93	5244288.80
1000	126.32	63.76	4.88	537.47	21939.10	6533370.20

从表 5-4 中可知，随着基本需求 a 的增大，供应链的最优生产量 q_{sc}^* 、定价 p_{sc}^* 和努力水平 e_{sc}^* 都随之增大，而这三者的综合影响导致供应链的最优期望利润 $\overline{E}_{sc}$ 和利润方差 V_{sc} 也随之增大。

下面，我们分析当 a 取值变化时，契约参数 w 和 G 的取值及零售商利润方差的变化。首先我们给定零售商期望利润阈值的大小。对于 $a=400$ ，给定 k_r 分别为 1000 和 2000，当 $a=500$ 时，给定 k_r 分别为 3000 和 4000，当 $a=600$ 时，给定 k_r 分别为 5000 和 6000，当 $a=700$ 时，给定 k_r 分别为 7000 和 8000，当 $a=800$ 时，给定 k_r 分别为 10000，11000 和 120000，当 $a=900$ 时，给定 k_r 分别为 15000 和 16000，当 $a=1000$ 时，给定 k_r 分别为 17000，18000，19000 和 20000。如下表所示。

表 5-5 a 取不同值时， w 和 G 的取值				
a	k_r	w	G	V_r
400	1000	15	1276.96	759542.71
	2000	15	276.96	759542.71
500	3000	15	1208.31	1378895.39
	4000	15	208.31	1378895.39
600	5000	15	1684.47	2144168.42
	6000	15	684.47	2144168.42
700	7000	15	2698.82	3046739.42
	8000	15	1698.72	3046739.42
	9000	15	698.72	3046739.42
800	10000	15	2247.31	4081278.80
	11000	15	1247.31	4081278.80
	12000	15	247.31	4081278.80
900	15000	15	2327.93	5244288.80
	16000	15	1327.93	5244288.80
1000	17000	15	4939.10	6533370.20
	18000	15	3939.10	6533370.20
	19000	15	2939.10	6533370.20
	20000	15	1939.10	6533370.20

从表 5-5 中，我们可得，随着 a 的增大， k_r 的增大，由于供应链的最优期望利润和利润方差也随之增大，因而零售商的利润方差 V_r 也随之增大，但是固定转移支付 G 并未呈现出规律性的变化，而由于生产成本 c 固定，因而 w 值也固定。

下面，我们分析需求的努力弹性 b 的变化所带来的影响。首先给出在 b 值变化下，供应链最优解的变化，总结在下表中。

表 5-6 b 取不同值时，供应链的最优						
b	Q_{sc}^*	p_{sc}^*	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E}_{sc}$	V_{sc}
5	107.20	41.39	1.32	299.86	6412.67	1981564.10
10	108.59	42.46	2.75	311.45	6684.47	2144168.42
15	110.99	44.44	4.42	332.85	7189.68	2460640.42
20	114.51	47.72	6.54	368.18	8032.53	3028949.69
25	119.35	53.17	9.54	426.21	9437.79	4085589.99
30	125.82	62.85	14.35	527.97	11949.76	6302738.30

从表 5-6，我们可以看出，随着需求的努力弹性 b 值的增大，供应链最优联合决策和最优生产量都随之增大，进而供应链的最优期望利润和利润方差也随之增大。

当 b 取不同值时，契约参数的取值情况如表 5-7 所示。

表 5-7 b 取不同值时， w 和 G 的取值				
b	k_r	w	G	V_r
5	6000	15	412.67	1981564.10
10	6000	15	684.47	2144168.42
15	6000	15	1189.68	2460640.42
20	6000	15	2032.53	3028949.69
25	6000	15	3437.79	4085589.99
30	6000	15	5949.76	6302738.30

根据表 5-7，我们有，随着 b 取值的增大，由于供应链的最优期望利润和利润方差随之增大， k_r 取值又固定，所以固定转移支付 G 也随之增大，零售商的期望利润方差也跟着增大。而最优批发价仍然不变，等于生产成本。

类似地，我们可得需求的价格弹性 k 的变化所带来的影响，结果总结在以下的两个表格中。

表 5-8 k 取不同值时，供应链的最优

k	Q_{sc}^*	p_{sc}^*	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E}_{sc}$	V_{sc}
10	108.59	42.46	2.75	311.45	6684.47	2144168.42
15	85.98	30.10	1.51	249.59	3005.49	624093.45
20	65.58	24.03	0.90	194.02	1415.06	197492.60
25	47.02	20.41	0.54	142.17	627.37	57229.31
30	30.03	18.00	0.30	92.93	229.50	12414.59

从表 5-8 中，我们可以看出，与需求的努力弹性 b 相反地是，随着需求的价格弹性 k 的增大，集中式供应链的最优联合决策和最优生产量都随之减少，其最优期望利润和利润方差也随之减少。这是价格弹性的变化给集中式供应链的最优解及目标函数所带来的影响。

此时，最优契约参数的取值情况列于下表中。

表 5-9 k 取不同值时， w 和 G 的取值

k	k_r	w	G	V_{sc}
10	5000	15	1684.47	2144168.42
15	2000	15	1005.49	624093.45
20	1000	15	415.06	197492.60
25	300	15	327.37	57229.31
30	100	15	129.50	12414.59

接下来，我们分析努力的成本系数 λ 的变化给供应链及供应链参与者所带来的影响。令其他参数保持不变，给定 λ 取 50，100，150，200，250，300，350，400 这八个数，随着 λ 取值的变化，供应链的最优解及目标函数的变化总结在表 5-10 中。

表 5-10 λ 取不同值时，供应链的最优

λ	Q_{sc}^*	p_{sc}^*	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E}_{sc}$	V_{sc}
50	110.50	44.02	5.8	328.35	7082.91	2392227.01
100	108.59	42.46	2.75	311.45	6684.47	2144168.42
150	107.97	41.98	1.80	306.19	6561.01	2069637.90
200	107.66	41.74	1.34	303.63	6500.89	2033752.10
250	107.48	41.60	1.06	302.11	6465.33	2012644.76
300	107.35	41.51	0.88	301.10	6441.82	1998746.09
350	107.27	41.44	0.76	300.39	6425.13	1988901.97
400	107.20	41.39	0.66	299.86	6412.67	1981564.10

根据表 5-10，我们可得，当销售努力的成本系数 λ 增大时，供应链的最优联合决策和最优生产量减少，进而供应链的最优期望利润和利润方差也减少。

此时，最优契约参数的取值情况列于下表中。

表 5-11 λ 取不同值时， w 和 G 的取值				
λ	k_r	w	G	V_r
50	6000	15	1082.91	2392227.01
100	6000	15	684.47	2144168.42
150	6000	15	561.01	2069637.90
200	6000	15	500.89	2033752.10
250	6000	15	465.33	2012644.76
300	6000	15	441.82	1998746.09
350	6000	15	425.13	1988901.97
400	6000	15	412.67	1981564.10

最后，让我们分析需求不确定性给供应链及供应链协调带来的影响。在文献中，使用 CV 来定义需求的不确定性， $CV = \frac{\theta}{\delta}$ ，其中 δ 代表均值， θ 代表标准差。

在数值分析中，我们假定 ξ 在 $[A, B]$ 上服从一个均匀分布。因此，我们变化 A 和 B 的取值，以改变 CV 的值，从而求出在 CV 值变化的情况下，供应链的最优，结果总结在表 5-12 中。

表 5-12 CV 取不同值时，供应链的最优						
CV	Q_{sc}^*	P_{sc}^*	e_{sc}^*	q_{sc}^*	$\overline{E_{sc}}$	V_{sc}
15%	118.88	44.23	2.92	305.78	7943.38	299138.01
35%	258.03	48.88	3.39	403.12	10067.59	7684344.80
55%	644.01	59.85	4.48	690.37	15963.59	140943078.00
75%	432.47	51.50	3.65	553.96	10201.15	70700476.73
95%	202.19	44.19	2.92	389.50	6824.37	15724876.21

从表 5-12 中，我们可以看出，随着 CV 取值的增大，即需求不确定性的增加，供应链的最优决策和最优生产量呈现出先增大后减少的趋势，进而供应链的最优期望利润和利润方差也呈现出先增大后减少的趋势。

此时，契约参数的取值如下表所示。

表 5-13 CV 取不同值时, w 和 G 的取值

CV	k_r	w	G	V_{sc}
15%	6000	15	1943.88	299138.01
35%	6000	15	4067.59	7684344.80
55%	6000	15	9963.59	140943078.00
75%	6000	15	4201.15	70700476.73
95%	6000	15	824.37	15724876.21

5.7 本章小结

在本章中,我们分析了当零售商为风险规避者,并且产品的需求依赖于价格和销售努力时的供应链的协调问题。我们分别使用了在第三章和第四章已经使用过的销量回馈与惩罚契约、两部定价契约和这两个契约的联合契约实现供应链协调。结果表明:在需求依赖于价格和销售努力背景下的供应链中,销量回馈与惩罚契约已不再能够实现供应链协调,相反,一个简单的两部定价契约却能够实现协调,有效地改进供应链绩效,即使其实现协调的条件比较极端。而销量回馈与惩罚契约和两部定价契约的联合契约依然不能够实现渠道协调,这在一定程度上也说明,在越复杂的供应链环境中,并非一个较复杂的契约就能够实现渠道协调,相反,一个契约参数较少且简单易行的契约能够实现协调。

我们给出了在两部定价契约实现协调时,契约参数批发价和固定转移支付值满足的条件。其中批发价等于供应商的生产成本,而固定转移支付值保证了供应商能够获取一个正的利润,并且可以看成是零售商风险规避度的指示器。一个较大的固定转移支付值意味着零售商风险规避度越小,零售商并非特别风险规避,而一个较小的固定转移支付值则意味着零售商特别风险规避。数值分析的结果表明,对于零售商不同的期望利润阈值,最优的批发价不会发生改变,而固定转移支付则是零售商期望利润阈值的减函数。此外,我们还进行了敏感性分析,以探讨基本需求、需求的努力弹性、需求的价格弹性、需求不确定性以及努力的成本系数给供应链和供应链参与者、最优契约参数所带来的影响,以进一步丰富本章的理论分析。

第6章 结论与研究展望

6.1 研究结论

进入 21 世纪, 为了实现供应链整体利润的最大化, 供应链协调成为了供应链管理研究中的一个热点问题, 其中, 在各参与者之间制定供应链契约, 以协调买卖双方, 使个体理性与整体最优相一致, 在近几年获得了大量的关注。然而, 传统的供应链协调研究都是建立在风险中性的假设基础上, 未考虑决策者的风险偏好, 并获得了丰富的研究成果。虽然这些结论能够为供应链协调机制的设计和使用提供指导, 但是却不一定在实际的供应链运作中适用, 因为在现实生活中, 决策者可能具有不同的风险偏好, 在风险中性假设下得到的研究结论并不一定在风险偏好的假设下成立。有鉴于此, 基于前人的研究成果, 本文综合运用博弈论、运筹学、微观经济学、报童模型、市场营销和金融风险管理的理论和模型, 探讨由风险规避参与者构成的一个二级供应链的协调问题。分别在随机需求, 需求依赖于销售努力和需求同时依赖于价格和销售努力的环境下, 建立契约模型, 并进行供应链协调及数值仿真分析, 获得以下一些结论:

(1) 基于风险规避且需求随机的供应链销量回馈与惩罚契约协调

在供应商和零售商都为风险规避者的假设下, 由于供应商为供应链的协调者, 关注于供应链的目标最优而非自身利润最大化, 因此构建了集中式供应链和分散式供应链中零售商的决策模型, 得到集中式供应链和风险规避零售商最优解满足的条件。销量回馈与惩罚契约实现渠道协调满足的充分必要条件为: 在供应链的最优订购量 $Q_{sc,mv}^*$ 处, 风险规避零售商的期望利润等于其风险规避度, 且对 $Q_{sc,mv}^*$ 的一阶导数不小于零。而在协调时, 供应商的期望利润等于集中式供应链的风险规避度减去零售商的风险规避度。此外, 还给出了在供应链实现协调时, 销量回馈与惩罚契约的契约参数的取值情况, 表明存在多个这样的销量回馈与惩罚契约可以协调供应链。并且该契约对于供应链协调的作用取决于供应链和零售商风险规避度之间的差异, 若两者差异较大, 则销量回馈与惩罚契约不能实现供应链协调。数值分析的结果显示, 如果供应链和零售商的风险规避度固定, t 也固定, 则在协调时, u 和 w 随着 ε 值的增大而增大, 而如果同时固定供应链和零售商的风险规避度及 ε 值, 则在协调时, u 和 w 随着 t 的增大而减小。

(2) 基于风险规避和销售努力因素的供应链销量回馈与惩罚契约协调

在零售商风险规避且需求受销售努力影响的假设下, 分别在需求依赖于销售努力的乘法模型和加法模型下, 扩展上一章的模型, 构建含风险规避零售商的契

约模型,给出集中式供应链最优决策和分散式供应链中零售商最优订购量满足的条件。在销售努力影响需求且零售商风险规避的环境下,销量回馈与惩罚契约实现供应链协调的必要条件为:在加法形式的需求模型下,在供应链的最优联合决策 (Q_c^*, e_c^*) 处零售商的期望利润等于其风险规避度,且对供应链最优生产量 Q_c^* 的一阶导数不小于零,而对于供应链的最优努力水平大小则没有要求。在乘法形式的需求模型下,对于供应链的最优努力水平则施加了要求,即对于供应链的最优努力水平 e_c^* 的一阶导数不小于零。数值分析的结果表明,随着零售商期望利润阈值 k_r 值的增大, τ_{ε, k_r} 的值减小,如果销量目标 t 固定,则 u 和 w 的取值减小,而当零售商期望利润阈值 k_r 取值不变时,随着 ε 的值增大,则 τ_{ε, k_r} 和 u 的值的值也增大,而 w 的值随之减小。

(3)基于风险规避和双因素影响的供应链协调

在零售商风险规避且需求同时受价格和销售努力影响的假设下,在加法模式的需求模型下,进一步扩展上一章的模型,构建含风险规避零售商的契约模型,给出集中式供应链最优决策和分散式供应链中零售商最优订购量满足的条件。在价格和销售努力同时影响需求且零售商风险规避的环境下,研究表明,销量回馈与惩罚契约不再能够协调供应链。之后,运用两部定价契约和联合契约实现供应链协调的目的,分析表明,一个较简单的两部定价契约能够实现渠道协调,销量回馈与惩罚契约和两部定价契约的联合契约不能实现协调。并且能够协调供应链的两部定价契约中,最优批发价等于供应商的生产成本,而固定转移支付值的大小反映了零售商风险规避度的大小。数值分析的结果表明,对于零售商不同期望利润阈值 k_r ,最优的批发价 w 不会发生改变,而固定转移支付 G 则是 k_r 的减函数。

研究的管理借鉴:本文使用 MV 方法来分析风险规避参与者的供应链协调问题具有重要的管理意义。本文的研究可以解决在报纸、服装、电子产品如手机、音箱等和计算机等行业中产品的需求表现出高度的不确定,且分销渠道中的零售商对待风险持规避或厌恶的态度,通过投入销售努力或者同时使用价格杠杆来刺激产品销售情况下供应链的整体利润最大化问题。在这样的供应链环境中,决策者可以通过本文的分析明确单一契约和联合契约实现渠道协调的作用。本文的分析结果能够指导这类供应链的管理者和经营者在实现供应链协调和整体利润最大化时确定使用何种契约,理解该契约实现供应链协调的条件,明确契约参数取值的步骤,并根据最优契约参数满足的条件确定最优的契约参数取值,实现供应链的最优。因此,本文的研究结果不仅丰富了有关供应链协调的文献,也具有重要的管理借鉴作用。

6.2 研究展望

本文在决策者风险规避的假定下, 对一个简单的二级供应链进行了契约建模, 并探讨了供应链的协调问题, 获得了一些有意义的结论。但是, 仍然有一些问题需要进一步的完善并对此进行更深一步的研究。主要包括:

(1)三级供应链或更多级供应链的契约协调问题。本文仅考虑了由单供应商和单零售商组成的二级供应链, 而实际中供应链包含多个节点企业, 这些参与者的相互合作与博弈将使供应链协调问题变得更加复杂, 协调分析更加困难, 但是却具有更加丰富的现实意义。

(2)考虑信息不对称的供应链契约协调问题。在本文的研究中, 我们假定有关产品的需求信息、决策者的风险规避度和收益-成本参数对于供应链中所有参与者来说都是已知的, 而在实际的市场环境中, 供应链各个成员之间信息都处于不断更新中, 而且由于各自不同的目标和自私自利的心理, 参与者之间往往会隐瞒自身所拥有的信息或者虚报自己的信息, 从而大大削弱供应链的效率。因此, 探讨信息不对称情况下的供应链协调问题, 设计使供应链参与者揭示自身真实信息的机制具有重要的理论意义和现实意义。

(3)对供应链契约进行实证研究。当前对于供应链契约和协调的研究主要集中于理论建模分析, 在一系列限制性假设下, 通过严格的数学推导获得理论结论。然而, 在实际中契约实施的环境与理论假设完全不同。因此, 探讨在理论上有效的契约在实际中是否依然有效是一个值得探讨的问题。

(4)考虑决策者行为因素和社会偏好的供应链契约协调研究。本文只考虑了参与者的风险偏好, 并假定决策者完全理性, 而实际中决策者为有限理性者, 除了风险偏好, 还具有社会偏好。考虑决策者行为因素和社会偏好的研究更加贴近实际, 是一个有意义的研究方向。

参考文献

- [1] H. L. Lee, V. Padmanabhan, T. A. Taylor, S. Whang. Price protection in the personal computer industry[J]. *Management Science*, 2000, 46(4): 467-482.
- [2] 刘丽文. 供应链管理思想及其理论和方法的发展过程[J]. *管理科学学报*, 2003, 6(2): 81-88.
- [3] Cachon G. P., Fisher M. Supply chain inventory management and the value of shared information[J]. *Management Science*, 2000, 46(8):1032-1048.
- [4] Tirole J. The theory of industrial organization[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1998.
- [5] Cachon, G. P. Supply chain coordination with contracts[R]. Working paper, University of Pennsylvania, 2003.
- [6] 王迎军. 供应链管理实用建模方法及数据挖掘[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 107-120.
- [7] Pasternack, B.A. Optimal pricing and return policies for perishable commodities[J]. *Marketing Science*, 1985, 4(2):166-176.
- [8] Kahn, J.A. (1992). Why is production more volatile than sales? Theory and evidence on the stockout-avoidance motive for inventory holding[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 107(2): 481-510.
- [9] Fisher, M.A., Raman, A. (1996). Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales[J]. *Operations Research*, 44(1): 87-99.
- [10] Patsuris, P. Christmas sales: the worst growth in 33 years. *Forbes.com*, October 30, 2001.
- [11] Schweitzer, M.E., G.P. Cachon. (2000). Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence[J]. *Management Science*, 46(3), 402-420.
- [12] Benzion, U., Y. Cohen, R. Peled., T. Shavit. Decision making and the newsvendor problem: An experimental study[J]. *Journal of Operations Research Society*, 2008, 59(9): 1281-1287.
- [13] Bolton, G, E., Katok. Learning-by-doing in the newsvendor problem: A laboratory investigation[J]. *Manufacturing Service and Operations Management*, 2008, 10(3): 519-538.
- [14] Corbett, C.J., D. Zhou, C.S., Tang. Designing supply contracts: Contract type and

- information asymmetry[J]. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303-1314.
- [15] Stevens G. Integrating the supply chain[J]. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 1989, 19(8):3-8.
- [16] 高峻峻, 王迎军, 郭亚军等. 供应链管理模型的分类和研究进展[J]. *中国管理科学*, 2005, 13(5): 16-25.
- [17] 马士华, 林勇. 供应链管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 第二版, 2005, 8: 36-80.
- [18] A.Clark and H.Scarf. Optimal policies for a multi-echelon inventory problem[J]. *Management Science*, 1960, 6(4): 475-490.
- [19] Jeuland A., Shugan S. Managing channel profit[J]. *Management Science*, 1983, 1(2): 239-272.
- [20] Chee Yew Wong, John Johansen, Hans-Henrik Hvolby. Supply chain coordination problems: A literature review[J]. Working paper, Aalborg University, 2004: 19-20.
- [21] Thomas D J, Griffin P M. Coordinated supply chain management[J]. *European Journal of Operations Research*, 1996, 94(1): 1-15.
- [22] Li X, Wang Q. Coordination mechanisms of supply chain systems[J]. *European Journal of Operations Research*, 2007, 179(1): 1-16.
- [23] Gan X H, Sethi S P, Yan H. Coordination of supply chains with risk-averse agents[J]. *Production and Operations Management*, 2011, 13(2): 135-149.
- [24] Bernstein F., Federgruen A. Pricing and replenishment strategy in a distribution system with competing retailers[J]. *Operations Research*, 2003, 51(3): 409-426.
- [25] Tsay, A.A., Nahmias, S., Agrawal, N. Modeling supply chain contracts: a review. In S.Tayur, R. Ganeshan and M. Magazine (Eds.), *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Boston, MA: Kluwer Academic, 1999: 299-336.
- [26] Cachon, G. P., Lariviere, M.A. Supply chain coordination with revenue sharing: strengths and limitations[J]. *Management Science*, 2005, 51(1): 30-44.
- [27] Bresnahan T F, Reiss P C. Dealer and manufacturer margins[J]. *Rand Journal of Economics*, 1985, 16(2): 253-268.
- [28] Anupindi, R. and Y. Bassok. Centralization of stocks: retailers vs. manufacturer[J]. *Management Science*, 1999, 45(2): 178-191.
- [29] M.A. Lariviere. Supply chain contracting and coordination with stochastic demand[M]// Tayur S, Ganeshan R, Magazine M, eds. *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Boston: Kluwer Academic Publisher, 1999.

- [30] Dong L, Rudi N. Who benefits from transshipment? Exogenous vs. endogenous wholesale prices[J]. *Management Science*, 2004, 50(5): 645-657.
- [31] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: an analysis of price only contracts[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2001, 3(4): 293-305.
- [32] Cachon G. The allocation of inventory risk in a supply chain: push, pull and advanced purchase discount contracts[J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 222-238.
- [33] Onur Kaya. Outsourcing vs. in-house production: a comparison of supply chain contracts with effort dependent demand[J]. *Omega*, 2011, 39(2): 168-178.
- [34] 于辉, 陈剑, 于刚. 批发价契约下的供应链突发事件[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(7): 34-41.
- [35] 任建标, 陈庆伟. 考虑零售商延期付款的供应链协调机制研究[J]. *工业工程与管理*, 2009, 14(2): 10-15.
- [36] 马士华, 王福寿. 时间价格敏感型需求下的供应链决策模式研究[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(3): 13-19.
- [37] Taylor T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects[J]. *Management Science*, 2002, 48(8): 992-1007.
- [38] W.K. Wong, J. Qi, S.Y.S Leung. Coordinating supply chains with sales rebates contracts and vendor-managed inventory[J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 120(1): 151-161.
- [39] Krishnan, Kapuscinski, Butz. Coordinating contracts for decentralized supply chains with retailer promotional effort[J]. *Management Science*, 2004, 50(1): 48-63.
- [40] Frascatore M R, Mahmoodi F. Long-term and penalty contracts in a two-stage supply chain with stochastic demand[J]. *European Journal of Operations Research*, 2008, 184(1): 147-156.
- [41] C.H. Chiu, T.M. Choi, C.S. Tang. Price, rebate and returns supply contracts for coordinating supply chains with price-dependent demands[J]. *Production and Operations Management*, 2011, 20(1): 81-91.
- [42] 何勇, 杨德礼. 需求与价格具有相关性下的弹性数量契约模型研究[J]. *预测*, 2005, 24(2): 38-41.
- [43] 何勇, 杨德礼, 吴清烈. 基于努力因素的供应链利益共享契约模型研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2006, 12(11): 1865-1868.

- [44]徐最, 朱道立, 朱文贵. 销售努力水平影响需求情况下的供应链回购契约[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(4): 1-11.
- [45]何勇, 吴清烈, 赵林度. 考虑努力及价格因素的弹性数学契约模型[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(12): 2056-2059.
- [46]曹细玉, 宁宣熙. 考虑退货价格的易逝品供应链协调性研究[J]. 管理科学, 2007, 20(2): 31-35.
- [47]Y. Qin, H. Tang. Channel coordination and volume discounts with price-sensitive demand[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 105(1): 43-53.
- [48]Li Yao, Y.H. Chen, Yan H. Analysis of a supply contract for coordinating the newsvendor with price dependent demand[J]. International Journal of Production Economics, 2010, 109(4): 88-98.
- [49]Daniel Granot, Shuya Yin. On the effectiveness of returns policies in the price-dependent newsvendor model[J]. Naval Research Logistics, 2005, 52(1): 765-779.
- [50]Z. Yao, S.C.H. Leung, K.K. Lai. Analysis of the impact of price-sensitivity factors on the returns policy in coordinating supply chain[J]. European Journal of Operations Research, 2008, 187(1): 275-282.
- [51]W. Zhao, Y.Z. Wang. Coordination of joint pricing-production decisions in a supply chain[J]. IIE Transactions, 2002, 34(8): 701-715.
- [52]K.S. Sundar, S. Narayanan, D. Nagaraju. Coordination in two level supply chain with price dependent demand[J]. Applied Mathematical Science, 2012, 6(74): 3687-3703.
- [53]王勇, 裴勇. 需求具有价格敏感性的供应链的利益共享合约[J]. 中国管理科学, 2005, 13(6): 29-33.
- [54]陈菊红, 郭福利, 史成东. 需求具有价格敏感性的供应链收益共享契约设计研究[J]. 中国管理科学, 2008, 16(3): 78-83.
- [55]张菊亮, 陈剑. 销售商的努力影响需求变化的供应链的合约[J]. 中国管理科学, 2004, 12(4): 50-56.
- [56]胡本勇, 王性玉. 考虑努力因素的供应链收益共享演化契约[J]. 管理工程学报, 2010, 24(2): 135-139.
- [57]Van Mieghem, J.A. Capacity management, investment, and hedging: Review and recent developments[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2003, 5(1): 269-301.
- [58]Buzacott, J., Yan, H., Zhang, H. Risk analysis of commitment-option contracts

- with forecast updates[J]. Working paper, York University, 2003.
- [59] Roy, A.D. Safety first and the holding of assets[J]. *Econometrica*, 1952, 20(3): 431-449.
- [60] Levy, H., Markowitz, H.M. Approximated expected utility by a function of mean and variance[J]. *The American Economics Review*, 1979, 69(3): 308-317.
- [61] Kroll, Y., Levy, H., Markowitz, H.M. Mean-variance versus direct utility maximization[J]. *Journal of Finance*, 1984, 39(1): 47-61.
- [62] Von Neumann, J., O. Morgenstern. *Theory of games and economic behavior*[M]. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1953.
- [63] Fishburn, P.C. Mean-risk analysis with risk associated with risk-averse agents[J]. *The American Economic Review*, 1977, 67(2): 116-126.
- [64] Jorion, P. *Value at Risk: The new benchmark for controlling market risk*[M]. McGraw-Hill, New York, 2001.
- [65] Rockafellar, R.T., S. Uryasev. Optimization of conditional value-at-risk[J]. *Journal of Risk*, 2000, 2(3): 21-42.
- [66] Kahneman, D. and Tversky, A. Prospect theory: an analysis of decisions under risk[J]. *Econometrica*, 1979, 47(2): 263-291.
- [67] Lau, H.S. The newsboy problem under alternative optimization objectives[J]. *The journal of the Operational Research Society*, 1980, 31(6): 525-535.
- [68] Eeckhoudt, L., C. Gollier, H. Schlesinger. Risk averse (and prudent) newsboy[J]. *Management Science*, 1995, 41(5): 786-794.
- [69] Chen, F., A. Federgruen. Mean-variance analysis of basic inventory models[R]. Working paper, Columbia University, New York, 2000.
- [70] Agrawal V, Seshadri S. Impact of uncertainty and risk aversion on price and order quantity in the newsvendor problem[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2000, 2(4): 410-423.
- [71] Choi, T.M., Li, D., Yan, H. Newsvendor problems with mean-variance objectives[C]. *The Proceedings of the 5th International Conference on optimization: Techniques and Applications*, 2001: 1860-1870.
- [72] Wang, C.X., Webster, S. The loss-averse newsvendor problem[J]. *Omega*, 2009, 37(1): 93-105.
- [73] Choi, T.M., Chiu, C.H. Optimal pricing and stocking decisions for newsvendor problem with value-at-risk consideration[J]. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics*, 2010, 40(5): 1116-1119.

- [74]Chen, Y.H., Xu, M.H., Zhang, Z.G. A risk-averse newsvendor model under the CVaR criterion[J]. *Operational Research*, 2009, 57(4): 1040-1044.
- [75]Zhang D, Xu H, Wu Y. Single and multi-period optimal inventory control models with risk-averse constraints[J]. *European Journal of Operations Research*, 2009, 199(2): 420-434.
- [76]文平. 损失厌恶的报童-预期理论下的报童问题新解[J]. *中国管理科学*, 2005, 13(6): 64-68.
- [77]吴军, 汪寿阳. CVaR 与供应链的风险管理[C]. 中国运筹学会第七届学术交流会论文集, 2004: 633-639.
- [78]杨建奎, 周清, 杨磊. 报童模型的利润与亏损风险平衡分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(3): 100-105.
- [79]许明辉, 于刚, 张汉勤. 带有缺货惩罚的报童模型中的 CVaR 研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 10(10): 1-8.
- [80]Lau, H.S., Lau, A.H.L. Manufacturer's pricing strategy and returns policy for a single-period commodity[J]. *European Journal of Operational Research*, 1999, 116(2): 291-304.
- [81]Agrawal V, Seshadri S. Risk intermediation in supply chains. Modelling supply chain contracts: A review[J]. *IIE Transactions*, 2000, 32(9): 819-831.
- [82]Gan X, Sethi SP, Yan H. (2004). Channel coordination with a risk-neutral supplier and a downside-risk-averse retailer[J]. *Production and Operations Management*, 2005, 14(1): 80-89.
- [83]Wang, C.X., Webster, S. Channel coordination for a supply chain with a risk-neutral manufacturer and a loss-averse retailer[J]. *Decision Sciences*, 2007, 38(3): 361-389.
- [84]K. Shi., T. Xiao. Coordination of a supply chain with a loss-averse retailer under two types of contracts[J]. *International journal of information and decision sciences*, 2008, 1(1): 5-25.
- [85]Choi, T.M., Ying, W. Mean-variance analysis of supply chains under wholesale pricing and profit sharing schemes[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 204(1): 255-262.
- [86]C.H. Chiu, T.M. Choi, X. Li. Supply chain coordination with risk sensitive retailer under target sales rebatel[J]. *Automatica*, 2011, 47(8): 1617-1625.
- [87]柳键, 罗春林. 利润-CVaR 准则下的二级供应链定价与订货策略研究[J]. *控制与决策*, 2010, 25(1): 130-136.

- [88]叶飞, 李怡娜. 具有风险规避者加盟的供应链协作回购契约机制研究[J]. 工业工程与管理, 2006, 11(2): 1-4.
- [89]叶飞. 含风险规避者的供应链收益共享契约机制研究[J]. 工业工程与管理, 2006, 4(4): 50-53.
- [90]于春云, 赵希男, 彭艳东等. 基于条件风险值理论的供应链优化与协调模型研究[J]. 中国管理科学, 2007, 15(3): 31-39.
- [91]邱若臻, 黄小原. 基于条件风险值准则的供应链回购契约协调策略[J]. 运筹与管理, 2011, 20(4): 10-16.
- [92]黄松, 杨超, 杨珺. 考虑成员风险态度和 VaR 约束时的供应链协调模型[J]. 管理工程学报, 2011, 25(2): 136-141.
- [93]赵道致, 何龙飞. Downside-risk 控制下的供应链合作契约研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 4(1): 34-40.
- [94]史成东, 陈菊红. Downside-Risk 测度下三层供应链协调契约研究[J]. 中国管理科学, 2010, 18(1): 90-94.
- [95]林志炳, 蔡晨, 许保光. 损失厌恶下的供应链收益共享契约研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 33-41.

致谢

完成这篇学术论文时，我的两年半的研究生生涯也即将结束。回首这段求学时光，虽然充满苦涩与困惑，但是求知路上所带来的快乐也将使我终身难忘。虽然这只是我求学路上的一小段时光，却是我生命中最重要乐章。而这些，离不开老师、同学、朋友和家人的支持和帮助。

论文的顺利完成，首先离不开导师许民利副教授的悉心指导。在这几年的学习过程中，无论是生活上还是学术研究上，许老师都给予了我悉心的指导和关怀。在我的论文撰写过程中，提出了许多宝贵的意见，使我的论文顺利地进行下去。导师的谆谆教诲，严谨的治学态度及平易近人的作风都让我倍受感动，这份感动不断鼓舞并激励着我在学术研究的道路上不断努力，不断进步。在此，谨向恩师表达我最诚挚的敬意和谢意！

感谢商学院曾经授予我们课的老师，他们丰富的知识、精彩的授课方式使课堂不再枯燥，让我学到了很多不同方面的知识，并给予我很大的启发。

感谢商学院管理科学与工程班的同学们，让我在中南大学度过了一段美好的时光，拥有那么多美好的回忆。几年来的互相帮助、互相学习和互相交流，结下了深厚的友谊，他们的智慧和友谊帮助我成长。感谢我的研究生同门周依、周灿纯在生活和学习上给予我的支持和帮助。感谢我的室友张砚、申真和谭秀青，有了他们的陪伴，我的研究生生活不再孤单。感谢我的朋友曾辉、吴宣明等，他们和我共同成长，对我的论文撰写给予了很大的帮助。另外还要感谢我的男朋友欧阳林寒，无论成功或是失败，他都始终如一地支持我，鼓励我，在我失意和迷茫的时候一直陪伴在我身边，使我坚定信心，勇往直前。

最后要特别感谢我的父母和家人，感谢他们对我一如既往的支持，在我的生活和学习上给予我关怀和温暖，使我的研究生生活顺利地度过，让我在人生道路上不断进取。

衷心感谢在白忙之中评阅论文和参加答辩的各位老师，对评阅和答辩专家为本论文付出的努力深表谢意！

王俏

2012年11月于中南大学商学院

攻读硕士期间主要研究成果

- [1] 许民利, 王俏, 欧阳林寒. 食品供应链中质量投入的演化博弈分析, 中国管理科学, 20(5): 131-141, 2012.
- [2] Xu Minli, Wang Qiao. Supply chain coordination with loss-averse agents under a returns policy. Proceedings of 2012 International Conference on Management Science and Engineering(19th), 2012: 547-552, Dallas, USA.
- [3] Xu Minli, Wang Qiao. Optimal returns policy for the supply chain with loss-averse agents, Journal of the Operations Research Society of Japan, 2012, 已投在审中。
- [4] Xu Minli, Wang Qiao. Supply chain coordination with price-dependent demand based on behavioral factors, Mathematical Problems in Engineering, 2012, 投稿中。

基于风险规避的供应链销量回馈与惩罚契约协调研究

作者：[王俏](#)

学位授予单位：[中南大学](#)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y2426640.aspx