

GONGYINGLIAN KUCUN
YOUHUA GUANLI

供应链库存 优化管理

赵 晗 宋士吉 廖 钰 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

供应链库存优化管理

赵 晗 宋士吉 廖 钰 著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

供应链库存优化管理 / 赵晗, 宋士吉, 廖钰著. --
北京 : 北京理工大学出版社, 2021.11

ISBN 978 - 7 - 5763 - 0706 - 1

I. ①供… II. ①赵… ②宋… ③廖… III. ①供应链
管理 - 库存 IV. ①F253

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 238390 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 155 千字

版 次 / 2021 年 11 月第 1 版 2021 年 11 月第 1 次印刷

定 价 / 78.00 元

责任编辑 / 徐 宁

文案编辑 / 徐 宁

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

库存管理，是物流与供应链管理中的经典问题之一，指的是对相关行业的各种物品、资料使用的全过程实施控制和优化管理。库存优化管理是极富理论性和应用性的领域，它的研究成果极大地推动和丰富采购计划、生产运作规划、系统工程、市场营销、工业组织学、后勤学等众多学科的发展。随着信息技术的发展、供需环境的变化、产品更新加快、多样化和个性化需求不断增强，供应链中企业面临由于不确定性而带来的更多的库存风险。企业持有适当的库存，可以应对外界的多源不确定性，降低损失。因此，强化库存管理，掌握最优库存水平并制定合理库存策略，对于降低不确定因素带来的风险、提高企业应变能力、增加企业经济效益有重要的影响。

作者在从事供应链管理、库存管理、物流技术、复杂网络系统的建模与优化的研究中，深刻感受到不确定性对供应链库存优化的重要影响，并体现在作者和合作者在国际权威著名杂志发表的一系列论文中。另外，许多新的研究理论、方法和技术在库存管理领域的广泛应用，以及作者长期的教学和研究体会，催发了作者著作本书的意愿。本书可作为普通高等学校物流管理、工业工程、运营管理、市场营销、工商管理等专业的硕士研究生、博士研究生参考教材，也可供其他专业的学生和从事物流与供应链管理领域工作的人员阅读。

本书针对多源不确定性带来的供应链风险，引入期权合同作为风险对冲工具，研究了基于不同类型期权合同的随机库存问题，构建了不确定环境下的供应链库存决策模型，解决了供应链中各节点企业的订货、生产和销售问题，在不确

定环境下，证明了引入期权合同能提高供应链性能，研究结果为供应链中企业期权合同类型的选择、参数选取和决策目标等提供依据和帮助。全书共分6章，第1章，作者针对供应链库存优化问题进行了较为详尽的文献回顾，充分阐述了目前现实供应链节点企业对于解决不确定性库存优化问题的迫切需要以及学术界给出的一些解决方案。第2~5章，作者利用随机性库存系统介绍了库存管理的基本方法，研究了服务水平约束、需求信息更新、决策风险偏好、碳税政策等多种因素对库存补给、退货等决策的影响，系统构建了不确定环境下的库存决策模型，给出了不同管理策略下库存系统的优化建模、分析求解，刻画了不同场景下的最优决策的结构性质，以及方法和结果的应用。每章在介绍基本研究内容后还给出了数值试验和本章小结，并扼要说明了某些内容的扩展，以帮助加深对有关内容的消化和理解。第6章，作者总结了本书的研究成果，给出了研究展望。

本书对于全球化竞争环境下的供应链库存决策具有重要的指导意义，能够帮助供应链节点企业制定合理的决策，推动供应链竞争力的进一步提升。同时，本书丰富了在供应链库存管理和风险管理方面的研究，对于管理科学领域的学科发展具有一定的推动作用。

本书的撰写工作得到了清华大学游科友教授、北京理工大学张玉利教授和陆军勤务学院孙邦栋教授悉心指导和无私帮助，在此表示衷心的感谢。北京理工大学出版社的各位编辑为本书的出版提供了巨大的帮助，在此深表感谢。

由于作者水平有限，加之时间紧迫，书中不可避免地存在一些不尽如人意之处，竭诚希望诸位专家、学者和广大读者不吝赐教。

作 者
2021年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 相关研究综述	3
1.2.1 基于期权合同的供应链决策模型	4
1.2.2 基于需求信息更新的供应链决策模型	13
1.2.3 基于风险优化的供应链决策模型	18
1.3 研究内容和主要创新点	25
1.3.1 研究内容	25
1.3.2 主要创新点	27
第 2 章 基于看涨期权契约的带有服务水平约束和需求更新的库存模型	29
2.1 引言	29
2.2 模型描述	31
2.3 模型及最优化问题	33
2.4 第二阶段最优订购策略	35
2.5 第一阶段最优订购策略	40
2.5.1 无价值信息	51
2.5.2 完美信息	54
2.6 数值试验	55

2.7	本章小结	57
第3章	基于双重期权契约和需求更新的库存模型	59
3.1	引言	59
3.2	模型描述	60
3.3	模型及最优化问题	62
3.4	第二阶段最优订购策略	64
3.5	第一阶段最优订购策略	70
3.5.1	无价值信息	78
3.5.2	完美信息	78
3.6	数值试验	82
3.7	本章小结	84
第4章	基于双向期权契约和 CVaR 准则的带有服务水平约束的供应链	
	决策模型	86
4.1	引言	86
4.2	模型描述与假设	87
4.3	不考虑双向期权合同的基础模型	89
4.4	考虑双向期权合同的扩展模型	94
4.4.1	风险厌恶零售商的订购决策	94
4.4.2	风险中性生产商的生产决策	105
4.5	讨论	106
4.5.1	双向期权合同的影响	106
4.5.2	服务水平的影响	109
4.6	供应链的协调	111
4.7	数值试验	114
4.8	本章小结	117

第 5 章 基于看涨期权契约和 CVaR 准则的低碳化供应链决策模型	119
5.1 引言	119
5.2 模型描述与假设	120
5.3 碳税政策和期权契约下风险厌恶零售商的订购策略	123
5.4 碳税政策和期权契约下风险中性生产商的生产策略	129
5.5 看涨期权契约的影响	132
5.6 数值试验	135
5.7 本章小结	138
第 6 章 总结与展望	140
6.1 全书总结	140
6.2 研究展望	142
参考文献	144

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景与意义

供应链是围绕核心企业，从产品生产到流通所涉及的供应商、生产商、分销商、零售商等企业以及最终用户连成的一个网络结构，信息流、物流和资金流是贯穿其中的关键要素^[1]。信息流是指各节点企业相互交流和协调的知识或信息，是物料和资金流动的依据；物流是指物料从上游企业通过加工、组装、包装、运输等过程交付到下游企业或用户，各节点企业通过这一流通过程的增值而获得收益；资金流与物流流向完全相反，是指资金从下游流向上游，它反映了资金在各节点企业中的分配与增值，促使了整个供应链的运营。供应链管理指各节点企业通过和上下游的交流与合作，优化和整合供应链中的物流、信息流与资金流，以获得各企业的竞争优势。

随着供应链的持续演化和供应链管理技术的快速发展，企业之间的竞争已经转化为供应链之间的竞争。只有供应链中的各节点企业相互协调运作，形成战略合作伙伴关系，才能提高其供应链的整体竞争力。战略合作伙伴关系的表现形式就是供应链中的上下游企业之间形成契约关系，双方或者多方企业签订相关的产品价格和数量协议，促使各方利益都不降低，但至少有一方利益得到增加，形成了收益共享与风险共担的供应链。

信息技术的快速进步，科技创新的飞速发展，促使全球化的信息网络和全球

化的市场环境逐步形成，市场的竞争不断加剧。科技的不断进步和竞争的不断激烈，促使企业之间在产品更新换代方面的竞争愈演愈烈，这恰好迎合了新时期客户需求日益个性化、多样化的特点，使越来越多的产品逐渐具有易逝品特征——生产提前期长、销售周期短、剩余产品残值低且市场需求不确定性大，如电子、半导体和计算机等高科技产品，石油、天然气和钢铁等工业产品。针对具有易逝属性的产品，零售商通常需要在整个生产提前期开始前进行订购，由于很难得到确切的产品需求信息，只能通过预测市场需求来制定最优的订购策略，这种仅从企业自身利益出发的订购决策更容易导致“双重边际效应”（double marginalization）^[2]。此外，供应链中节点企业之间容易产生需求信息不对称，导致“牛鞭效应”（bullwhip effect）^[3]的发生，这种库存成本的转移，严重损害了各节点企业的利益，降低了整个供应链的性能。与此同时，风险偏好、价格波动、运输等市场不确定性以及来自供应链外部的复杂多变环境和不确定性，也使企业面临更多的高风险。这些高风险会降低供应链效率，如玩具制造商 Mattel^[4]和爱立信公司^[5]就已经遭遇了这些问题。因此，易逝品特性导致的高额风险和不确定性对供应链中各节点企业库存优化提出了严峻的挑战。

为了应对复杂环境下供应链面临的多源不确定性和高风险，期权契约作为供应链风险对冲的一种金融衍生工具^[6]，逐渐被应用于不同企业和行业并取得成效。期权契约的作用在于：对下游企业来说，通过在生产提前期购买一定数量的期权（option），获得根据需求信息观测或现实市场需求对采购产品数量进行柔性调整的权利，延迟了决策时间，增加了零售商订购弹性和资金投入的灵活性，有助于其规避不确定风险和提高期望收益；对上游企业来说，利用出售期权提前获得一部分收益，降低了其投资生产的风险，使其生产不会过于保守，增加产品的供给弹性，有助于提高期望收益；对整体供应链来说，既能实现供应链成员共担风险，又能实现共享收益，有助于提高供应链的性能和效率。1996年，台湾半导体制造公司利用期权契约从生产商处进行生产能力预订^[7]；Hewlett Packard 利用期权合同（option contracts）建立一套从上游供货商处采购原材料的风险管理计划，累计为企业节约成本约4.25亿美元^[8]；中国电信每年通过期权合同从 Samsung、华为、爱立信等上游供应商处采购1 000亿元以上的配套产品^[9-11]；

Sun Microsystems^[12]，IBM^[13]和Boeing^[14]等公司也使用期权合同降低了大量成本。此后，伴随供应链采购管理、运作管理及生产管理等领域研究的不断发展，学术界和企业界对期权契约的研究也不断深入。当前，期权契约在易逝品供应链中的应用已成为研究的热点。

本书以钢铁企业的原材料供应、生产和销售为背景，以不确定环境下钢铁供应链的库存协同与优化问题为出发点，通过对不确定性风险进行建模和优化，为供应链各节点库存决策提供理论依据。钢铁产品是具有易逝属性的工业产品，其原材料供应、生产和销售过程都存在库存优化问题，面临着很多的不确定性风险。以宝钢为例，在2016年，集团有约1 500万吨的原材料铁矿石需要购买、运输、中转和库存，有约11亿元价值的钢铁产品需要库存，其中钢管产品约15万吨、热轧卷板200万吨、冷轧卷板约120万吨，以及其他钢材超过500万吨。上游供应商交付的原材料价格或数量的不确定性、运输过程的不确定性、钢材产能的不确定性、钢材价格的不确定性以及下游需求的不确定性等风险，都促使以宝钢为核心的供应链成员重视供应链运作中的不确定性及其库存协同和优化问题。解决好这些问题，可以降低供应链风险和成本，提高供应链性能和整体收益，使钢铁供应链更高效地运行。

本书运用期权合同能对冲供应链多源风险的优势，在供应链中企业风险决策优化中引入期权合同，研究不确定环境下的库存优化问题，系统构建了不确定环境下的库存决策模型，解决了供应链中各节点企业的订货、生产和销售问题，证明了不确定环境下期权合同的运用能提高供应链性能，实现各节点企业的帕累托(Pareto)提高。研究结果为供应链中企业期权合同类型的选择、参数设计和优化目标提供理论依据，对丰富和完善供应链库存优化理论和方法有重要的实用价值。

1.2 相关研究综述

近年来关于供应链运作管理的研究引起了学术界的广泛关注，取得了丰富的理论成果，基于本书的研究主题，本节拟从以下三个方面对与本书相关的国内外

文献进行梳理：一是基于期权合同的供应链决策模型；二是基于需求信息更新的供应链决策模型；三是基于风险优化的供应链决策模型。下面分别进行概括和总结。

1.2.1 基于期权合同的供应链决策模型

期权是在期货的基础上演变而来的一种金融衍生工具，又可称为选择权，它是指期权购买者预先支付一定特定标的物（underlying asset）数量的费用 [购买期权费（premium）] 后，获得在未来规定的时间范围内以预先约定的价格 [期权执行价格（exercise price）] 向期权供应者买入或卖出一定数量特定标的物的权利^[15]。实质上，期权是在金融范畴中分开定价权利和义务，对期权购买者而言，在期权规定的时间范围内，期权是一种买入或卖出的权利，但不是一种必须买入或卖出的义务；对期权提供者而言，期权是一种必须履行期权购买者行使权利的义务^[16]。

随着多学科交叉融合不断深入，利用金融思想和工具进行供应链管理已成为当前研究的一个新领域，期权就是借鉴金融的思想逐渐被应用于供应链的风险控制和管理之中，成为一类期权合同。期权合同一般包括如下五个要素^[4,17]。

（1）期权费，即期权的价格，是期权的购买者为获得期权合同所赋予的权利而必须预先支付给期权供应者的费用，是由双方在期权市场通过公开竞价所形成的价格。对期权购买者而言，期权费是其损失的最高费用。而对期权提供者而言，卖出期权就可获得一笔收入，且不需要立即交割。

（2）标的资产，即期权合同所规定的买卖双方未来要交易的某种物品，既可以是实物资产，如服装、报刊、电脑、钢铁产品等，又可以是金融产品，如普通股票、有价证券、基金等。

（3）交易数量，即期权合同中规定的期权持有者有权利买入或者卖出标的资产的数量。

（4）期权执行价格，也称履约价格，是期权合同预先规定的标的资产被交割的价格。当期权持有者按照期权合同规定的执行价格买入或者卖出标的资产，无论标的资产实际价格如何变动，期权的提供者都必须履行义务。

(5) 期权到期日 (expiration date), 即期权赋予购买方有期限限制的权利, 超过了规定的时间期限, 期权购买者将不再拥有交易的权利, 期权供应者也将不再承担义务。因此, 在期权到期日, 期权持有者需要决定是否行使交易的权利。

按照期权执行时间, 期权分为美式期权和欧式期权两种类型^[18-21]。

(1) 美式期权, 即在期权到期日之前 (包括到期日当天) 的任何一个时间点都可执行的期权。

(2) 欧式期权, 即只在期权到期日当天才可执行的期权。

在供应链运作管理中主要使用欧式期权, 较少使用美式期权, 本书采用的期权是欧式期权。

按照期权购买者的权利, 期权分为看涨期权 (call options)、看跌期权 (put options) 和双向期权 (bidirectional options) 三种类型^[22-25]。

(1) 看涨期权, 指期权购买者在向供应者支付一定的期权费后, 拥有在规定的时限内向期权供应者买入标的资产的权利, 但不承担必须买进的义务。看涨期权又可称为“延买权”和“多头期权”。在看涨期权交易中, 期权购买者预测价格会上涨, 而期权供应者预测价格会下跌。

(2) 看跌期权, 指期权购买者在向供应者支付一定的期权费后, 拥有在规定的时限内向期权供应者卖出标的资产的权利, 但不承担必须卖出的义务。看跌期权又可称为“延卖权”和“空头期权”。在看跌期权交易中, 期权购买者预测价格会下跌, 而期权供应者预测价格会上涨。

(3) 双向期权, 指期权购买者在向供应者支付一定的期权费后, 拥有在规定的时限内向期权供应者买进或卖出标的资产的权利。期权购买者购买双向期权是对未来价格不确定时而采取的一种策略, 只要价格上下波动, 就能执行权利获利。双向期权供应者则坚信未来价格变化幅度不会太大, 愿意卖出此种权利, 同时获得一定的期权费收益。

利用期权能规避风险和风险投资的特点, 在供应链中引入期权合同, 既能规避转移供应链风险, 又能提高资产投资效率。期权合同规定供应链下游企业必须在生产提前期预先购买一定数量的产品, 在获得需求信息观测或现实市场需求时

再订购或退货。对于下游企业而言，期权合同的使用增加了采购的柔性，延迟了决策时间，保证了供给；对于上游企业而言，期权合同的使用降低了其投资生产的风险，增加了产品的供给弹性，有助于合理匹配供给。因此，期权合同的使用能帮助企业克服“双重边际化效应”和“牛鞭效应”，实现共担风险和共享收益，被广泛应用于不同行业的供应链管理中，尤其适用于具有易逝品特性的供应链管理，如生鲜、报纸和时装等传统易逝品，电子、半导体和计算机等高科技产品，石油、天然气和钢铁等具有易逝属性的工业产品。下面对三类期权合同进行概括和总结。

1. 看涨期权合同

在供应链模型中，根据看涨期权合同是否与其他合同组合使用，可以把看涨期权合同的应用分为只使用看涨期权合同的情形（供应链上下游企业只签订看涨期权合同）和使用看涨期权合同与其他合同组合的情形（供应链上下游企业签订看涨期权合同和其他合同）。下面分别进行概括和总结。

1) 只使用看涨期权合同的情形

在库存管理方面，Kleindorfer 和 Wu^[26]考虑存在现货市场和供应能力约束，研究了一个供应商和多个相互竞争的零售商的 B2B（企业对企业）电力市场，给出了市场交易策略和最优合同组合，并导出了市场达到均衡的条件。Jörnsten 等人^[27]研究了在看涨期权合同下供应链上下游企业之间的风险转移问题，推出了看涨期权合同能同时使得零售商的风险下降和制造商的收益最大化，实现供应链帕累托改进。Lee 等人^[28]考虑存在供应能力约束和订购成本约束，研究了基于看涨期权合同的零售商最优的采购策略，构建了固定订购成本和供应能力约束为常数的成本函数，设计了相应的多项式算法并给出求解结果。Lee 等人^[29]考虑了一个损失规避的零售商和多个风险中性的供应商供应链问题，给出了看涨期权合同下损失规避零售商的最优订购决策，设计了相应的算法，并研究了零售商的最优订购决策与其损失规避行为之间的关系。以上文献考虑的均是单周期供应链情形。在多周期供应链情形下，Inderfurth 等人^[30]研究了零售商能同时通过现货市场和看涨期权合同获得产品的采购问题，采用动态规划方法推出了零售商最优的采购策略并给出了其表示形式，设计了遗传算法进行求解。Fu 等人^[31]在现货价

格和市场需求均不确定条件下,研究了多周期情形下如何通过看涨期权合同从多个供应商和现货市场采购产品,采用动态规划方法分析和研究了零售商最优的订货和定价决策问题。

在定价管理方面,Liang 等人^[32]考虑了单周期两级救灾物资供应链问题,通过采用二项式点阵法和看涨期权契约构建了一个定价模型,研究了看涨期权合同的运用对供应链成员的影响。Xu^[33]考虑了随机需求和产量下的两级供应链问题,研究了当看涨期权合同被运用时制造商最优的订购策略与供应商最优的生产策略,研究表明看涨期权合同的运用能实现供应商和制造商的利润都增加。Zhao 等人^[34]提出了一种基于价值的供应链期权定价方法,分别研究了单零售商和多零售商情形下的期权定价问题,分析了采用基于价值的定价方法的优势。文献[32-34]均没有考虑存在现货市场情形。在考虑存在现货市场情形下,Spinler 和 Huchzermeier^[35]构建了基于看涨期权合同分担风险的有关生产容量的易逝品供应链模型,分别导出了最优的订购量和最优的销售价格,进一步证明了同时考虑现货市场交易和期权合同双渠道方案相比只考虑单一渠道方案来说更能实现帕累托提高。Wu 等人^[36]研究看涨期权合同在 B2B 市场的运用,在存在现货市场环境下,分别建立了零售商最优的订购模型和制造商最优的期权定价模型,并给出了他们的最优决策。Pei 等人^[37]研究了当存在现货市场时如何设计期权合同的结构和期权价格,提出了当执行数量有折扣和溢价时,期权合同更有效率。Spinler 等人^[38]在考虑存在需求风险、成本风险和现货市场价格风险条件下,建立了通过期权合同分担风险的供应链模型,给出了买方最优的订购量和卖方最优的定价策略的解析表达式。

在供应链优化与协调方面,Zhao 等人^[39]考虑了单个零售商和单个制造商的易逝品供应链,运用合作博弈方法研究了如何使用看涨期权合同实现供应链的协调问题,研究发现与传统的批发价合同相比,期权合同不仅能够实现供应链的协调,而且可以实现零售商和制造商的帕累托提高。Luo 和 Chen^[40]考虑了随机产量和确定需求下的两阶段供应链问题,制造商可以通过现货市场和看涨期权合同两种方式获得产品,构建不存在看涨期权合同和存在看涨期权合同两种情形下的供应链决策模型,给出了看涨期权合同能提高供应链节点企业的

收益，证明了看涨期权合同能够协调供应链。Wang 和 Chen^[41]研究了基于看涨期权合同的数量易损耗的生鲜农产品供应链优化与协调问题，给出了零售商存在一个最优订购量和供应商存在唯一的最优期权价格，证明了当期权价格和执行价格为线性关系时看涨期权合同不能供应链协调。Chen 等人^[42]在看涨期权合同下研究了一个风险规避的零售商和一个风险中性的供应商的供应链模型，分别给出了零售商最优的订购策略和供应商最优的生产策略，进一步讨论了供应链能够被看涨期权合同协调的条件。除了文献 [42]，以上文献均是从单一视角下研究供应链单边协调问题。

2) 使用看涨期权合同与其他合同组合的情形

在库存管理方面，Jörnsten 等人^[43]考虑离散需求下零售商可以同时使用看涨期权合同和批发价合同向制造商订购产品的供应链问题，给出了通过两个合同混合订购和只使用单一合同订购两种情形下的零售商最优的订购策略，研究发现当制造商有风险规避偏好时混合合同比单一合同更有优势。以下文献都假设随机需求是连续型随机变量。Fu 等人^[44]考虑随机现货价格和市场需求的情形，研究了当存在批发价合同、看涨期权合同和现货市场三种采购方式时零售商最佳组合的采购策略，设计了一种获得最优采购策略的有效算法。Martinez - de - Albeniz 和 Simchi - Levi^[45]研究了制造商通过现货市场、看涨期权和长期合同多种方式进行采购的多周期问题，给出了最优组合的采购策略，研究还发现组合的订购方式能增加制造商的期望利润和减低制造商面临的金融风险。以上文献考虑了存在现货市场的情形。在不考虑存在现货市场的情形下，Feng 等人^[46]研究了零售商有采购资金约束的情形，给出了存在固定订购和期权订购两种订购方式时零售商最优的订购策略，发现当零售商的资金小于某一确定值时，零售商只采用固定订购方式；当零售商的资金超过确定值时，零售商增加期权订购量，同时减少固定订购量直到达到最优情况或资金用完。Chung 和 Erhun^[47]考虑了需求与天气相关的季节性产品的库存管理问题，在均值 - CVaR（均值 - 条件风险价值）风险度量（risk measure）准则下，研究发现引入期权的合同能提高风险规避型报童的最优订购量和最大的均值 - CVaR 风险度量值。上述文献均从顾客角度考虑了需求风险，而没有从供应方角度考虑供应风险。Hu 等人^[48]考虑存在缺货成本或延期未

交货成本,在需求和产出均为不确定情形下,给出了制造商最优的生产策略和零售商最优的订购策略。除了文献 [47] 考虑了风险偏好问题,上述文献均假设决策者是风险中性的。

在定价管理方面,在随机需求是加法形式的条件下,Wang 和 Chen^[9]研究了报童通过批发价合同和看涨期权合同两种方式采购产品时的定价和订货决策问题,研究发现在单一订购和混合订购两种方式下最优的定价和最优的订购量都是唯一确定的,相比较单一订购而言,混合订购方式是报童的最优选择。Hu 等人^[48]在需求和产出均随机情形下,考虑面临过量需求时零售商可以通过执行期权合同和紧急订购两种方式延迟供给的供应链问题,推出了零售商最优的订货决策和制造商最优的生产决策。Wang 和 Chen^[11]针对生鲜农产品易损耗的特点,考虑零售商通过批发价合同和看涨期权合同两种方式采购产品,研究了零售商最优的订货决策和生产商最优的定价决策,发现当期权价格趋向于最优值时,生产商利润上升而零售商利润下降,零售商对期权价格的变化更敏感。Burnetas 和 Ritchken^[17]在需求曲线为向下趋势情形下,研究了同时存在看涨期权合同和批发价合同两种采购方式时的期权定价问题,研究发现引入看涨期权合同将导致批发价格上涨和零售价格的波动性下降。以上文献没有考虑存在现货市场的情形。在考虑存在现货市场的情形下,Wu 和 Kleindorfer^[49]提出了基于看涨期权合同和远期合同的一个购买者和多个出售者的供应链问题,在确定性需求的情形下,建立了一个购买者和多个竞争的出售者的期权博弈模型,推出了市场均衡时的最优定价和投资组合。

在供应链优化与协调方面,Barnes - Schuster 等人^[4]研究了在两阶段需求相关条件下引入看涨期权合同的供应链模型,给出了引入期权合同的优势,进一步发现当期权执行价格与期权价格满足一定条件时可以协调供应链。Wang 和 Liu^[50]通过考虑零售商向制造商提供看涨期权合同,研究了零售商主导的共担风险和供应链协调问题,给出了零售商最优的期权合同选择和制造商最优的生产量。Cachon 和 Kök^[51]考虑了多个制造商通过单个零售商销售产品的供应链问题,在批发价合同、数量折扣合同和类期权合同下研究了多个供应商之间存在竞争的供应链协调机制。Wee 和 Wang^[52]在允许延期交货情形下,研究了存在期权合同