



陈 杰 陈志祥◎著

# 多产品马氏质量过程下 风险厌恶型随机库存优化与控制



中山大學出版社  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

国家自然科学基金项目（71372154）研究成果

陈 杰 陈志祥 © 著

# 多产品马氏质量过程下 风险厌恶型随机库存优化与控制



中山大学出版社  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

多产品马氏质量过程下风险厌恶型随机库存优化与控制/陈杰, 陈志祥著. —广州: 中山大学出版社, 2017. 6

ISBN 978 - 7 - 306 - 06071 - 6

I. ①多… II. ①陈… ②陈… III. ①库存—研究 IV. ①F253

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 133699 号

---

出版人: 徐 劲

策划编辑: 李海东

责任编辑: 李海东

封面设计: 曾 斌

责任校对: 何 凡

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349, 84111997, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: [zdcbs@mail.sysu.edu.cn](mailto:zdcbs@mail.sysu.edu.cn)

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 8.5 印张 206 千字

版次印次: 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

---

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

## 内 容 简 介

多产品随机库存优化与控制是一类复杂的库存管理问题。本书运用马尔可夫过程理论刻画产品随机波动过程的特征，并考虑决策者在风险上的偏好性、融资能力约束等系统约束因素，建立具有随机质量波动过程（简称马氏质量过程）特征的多产品联合库存优化和控制模型，提出新的库存决策机制。本书用新的理论视角和研究方法研究随机库存优化问题，在理论上是一种尝试，拓展了现有的库存理论和研究方法，具有重要的学术价值和实践意义。

本书适合对随机库存优化与控制感兴趣的管理科学、应用数学、工业工程、运筹学与控制等专业的硕士研究生和博士研究生，以及对此感兴趣的其他相关科研工作者。

## 前 言

以“准时化”和“自动化”为支柱实现“双零”管理——“零库存”和“零缺陷”为目标的精细生产经营管理模式，是丰田公司在市场竞争中长胜不衰的制胜法宝。为了满足精细生产的准时化生产的要求，企业不但要在内部生产各环节做到零库存和零缺陷，在物料的采购库存管理中，对供应商提供的物料也提出了很高的质量要求，必须做到零缺陷和免检。这是一个非常高的管理要求，对于多数企业来说，这样的要求是一个完美的追求目标。

在现实中，产品存在质量缺陷，是一个客观存在的事实，任何企业的产品都会存在质量缺陷，而由于产品质量缺陷导致生产和供应中断，影响正常生产和产品销售的情况也很常见。除了这种质量缺陷的不确定性风险，需求的变化更是一个随时随地发生的需求风险。正因为产品质量的缺陷和需求的变化等不确定性因素的同时存在，在现实中，人们在物料库存管理中，即使是采用JIT零库存采购（准时采购）的企业也不得不考虑这种物料采购库存订货决策中的不确定性风险。因此，基于风险因素的物料采购库存管理中如何考虑产品质量和需求的随机波动，制定科学和合理的库存控制策略，是企业生产经营决策中必须面对的问题。

本书研究在供需受随机质量波动的影响下，考虑基于不同风险偏好的多产品随机库存优化与控制问题。为此，根据产品缺陷率的不同程度将其质量水平划分为不同的状态，并结合马尔可夫过程理论（简称马氏理论）给出各产品质量水平的变化规律，进而在不同的模型假设的基础上，利用质量水平的转移概率矩阵刻画库存系统供应能力和需求的随机过程，并构建相应的多产品随机库存系统的优化决策模型。

首先，假设多产品库存系统的供应能力依赖质量水平的条件下，将马氏理论和条件风险价值准则纳入决策优化模型的框架，提出随机质量波动下的多产品风险厌恶型随机库存优化与控制模型，并构建相应的优化决策机制。同时，利用马尔可夫过程中的不可约性、遍历性和首达性等基本理论分析该模型的基本性质。模型数值实验的结果表明：库存系统的最优期望订购量和期望销售利润关于供应能力和风险厌恶因子都为单调递增的；库存系统的可靠性跟随机质量过程的不可约性、遍历性等基本性质有关，即当随机质量过程为不可约的遍历马氏链时，模型的最优解具有平稳的极限性态。

其次,在上述模型的理论基础上,将融资能力纳入库存系统的决策机制,提出带有融资能力约束的多产品风险厌恶型随机库存决策模型,并运用 Phase-Type 分布分析库存系统的随机性。模型数值实验的结果表明:在有融资能力约束下,质量水平的随机波动性、风险厌恶因子和融资能力等核心因素对模型最优解具有重要的影响,其三者的取值确定了多产品库存系统的最优期望订购量和期望利润的变化趋势。当质量水平的波动性使得库存系统的供应能力提高时,质量水平与最优解之间的关系为正相关的;否则反之。库存系统的最优期望订购量与融资能力之间具有正相关性;但随着融资能力值进一步增大,其对最优期望订购量和期望利润的敏感性逐渐地趋弱。

再次,在多产品库存系统的供应能力和需求均依赖质量水平的条件下,以马氏理论和基于鞅的风险评估作为决策方法,构建多产品多周期风险厌恶型随机库存模型,并利用凸规划给出各模型每周期的最优解。为了利用鞅理论分析库存系统在运行过程中的风险性,本书在鞅的基本概念的基础上给出鞅风险库存系统的定义及其若干判别方法。同时,联合鞅论中的上下穿不等式以及极大、极小总期望幅度等新概念,提出鞅风险库存系统的上下穿风险评估体系及其具体的解析式。在一定的风险厌恶下,模型数值实验的结果表明:①当质量水平的波动性使得库存系统的供应能力和需求提高时,模型的最优解关于供应能力和需求为单调递增的。②当库存系统关于质量水平为上(下)鞅时,其最优期望利润随着周期数的增大而减小(增大);当库存系统关于质量水平为鞅时,其最优期望利润曲线具有平稳的趋势。③当鞅风险库存系统在未来给定的周期内上穿目标区间的次数的上限值和极大总期望幅度越大时,其在运行过程中所面临的风险性就越低;当鞅风险库存系统在未来给定的周期内下穿目标区间的次数的上限值越大和极小总期望幅度越小时,其在运行过程中所面临的风险性就越高。

最后,在假设随机缺陷率的分布函数为未知的条件下,以马氏过程和格里汶科定理为理论基础,导出随机缺陷率的马氏过程,进而在供需依赖质量水平的条件下,提出带有融资能力约束的多产品多周期风险厌恶型随机库存决策模型,并利用库恩—塔克条件证明模型的最优解的存在性和唯一性。同时,基于非常返和零常返等状态的属性提出“蜡烛定律”,以分析库存系统的随机性。模型的相关结论表明:①产品的缺陷率对系统的供应能力和需求具有负相关性,进而对库存系统的最优订购量和期望利润施加负面影响;②在一定产品的缺陷率和目标利润下,当融资能力和风险厌恶因子增大时,各产品的最优期望订购量和期望利润也随着增大;③当非常返或零常返态为全局利润劣势(占优)时,若其对应的概率不为零,则库存系统的最优期望利润具有上升(下降)的趋势。

本书用新的视角、新的方法研究随机库存问题,在理论上是一种尝试,拓展了现有库存理论与研究方法,有重要的学术价值,同时,研究所得到的管理启示也有一定

的实践意义。

本书是国家自然科学基金项目（71372154）研究成果的一部分，是关于产品质量不完备条件下物料库存优化与控制方面的研究成果。本书出版得到中山大学出版社李海东编辑的大力支持，在此表示感谢。

由于作者水平和时间、精力的限制，本书不妥之处在所难免，请读者批评指正。

## 目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究背景与问题提出	1
1.2 研究目的与意义	4
1.2.1 研究目的	4
1.2.2 研究意义	5
1.3 研究方法和技术路线	6
1.3.1 研究方法	6
1.3.2 技术路线	6
1.4 研究内容与本书结构	7
1.4.1 研究内容	7
1.4.2 本书结构	8
1.5 主要创新点	9
第2章 相关文献综述	11
2.1 考虑不完备质量下的库存模型	11
2.1.1 考虑带有质检策略的不完备质量库存模型	11
2.1.2 考虑允许缺货、可变提前期等情形下的库存模型	12
2.1.3 考虑带有学习效应的不完备质量库存模型	13
2.1.4 考虑折扣、返修、退货等情形下的不完备质量库存模型	14
2.1.5 不完备质量多级库存模型	14
2.1.6 建模方法导向下的不完备质量库存模型	15
2.2 多产品库存决策模型	16
2.2.1 决策理念导向下的多产品 EOQ 模型	16
2.2.2 建模方法导向下的多产品 EOQ 模型	17
2.2.3 决策理念导向下的多产品报童模型	18
2.2.4 建模方法导向下的多产品报童模型	20



2.3	风险厌恶型库存模型	21
2.3.1	基于效用函数准则的风险厌恶型库存模型	21
2.3.2	基于均值—方差准则的风险厌恶型库存模型	22
2.3.3	基于风险价值准则的风险厌恶型库存模型	23
2.3.4	基于条件风险价值准则的风险厌恶型库存模型	23
2.4	本章小结	24
<b>第3章</b>	<b>多产品马氏质量过程下基于 CVaR 的随机库存模型</b>	<b>26</b>
3.1	引言	26
3.2	模型的构建	27
3.2.1	模型描述和符号说明	27
3.2.2	马氏模型的基本概念	28
3.2.3	马氏质量过程下多产品风险厌恶决策模型	28
3.2.4	最优期望订购量和总期望报酬准则	30
3.2.5	模型的基本性质分析	34
3.3	数值算例分析	36
3.3.1	不同初始状态下模型的最优数值解	37
3.3.2	供应能力和模型最优解之间的敏感性分析	39
3.3.3	风险厌恶程度对最优期望订购量的敏感性分析	40
3.4	本章小结	42
<b>第4章</b>	<b>多产品马氏质量过程下带融资能力约束的风险厌恶型随机库存模型</b>	<b>43</b>
4.1	引言	43
4.2	模型的构建	44
4.2.1	模型描述和符号说明	44
4.2.2	马氏质量过程下带融资能力约束的多产品风险厌恶型库存模型	45
4.2.3	最优期望订购量和总期望报酬准则	46
4.2.4	库存系统的随机性分析	51
4.3	数值算例分析	54
4.3.1	模型的最优数值解	56
4.3.2	供应能力对最优解的敏感性分析	58
4.3.3	融资能力对最优解的影响性分析	59
4.4	本章小结	60

第 5 章 多产品马氏质量过程下带 VaR 约束的鞅风险随机库存模型 .....	62
5.1 引 言 .....	62
5.2 模型的构建 .....	63
5.2.1 模型描述和符号说明 .....	63
5.2.2 供需依赖质量水平的多产品风险厌恶型库存决策模型 .....	64
5.2.3 最优期望订购量和总期望报酬准则 .....	65
5.3 鞅风险库存决策分析 .....	69
5.3.1 鞅的基本概念和理论 .....	69
5.3.2 基于鞅的风险库存系统的评估体系 .....	71
5.3.3 鞅风险库存系统的判别方法 .....	72
5.3.4 上下穿风险评估体系的解析式 .....	75
5.4 数值算例分析 .....	77
5.4.1 模型的最优数值解 .....	78
5.4.2 风险厌恶因子和模型最优解之间的敏感性分析 .....	80
5.4.3 供应能力和需求与模型最优解之间的敏感性分析 .....	81
5.4.4 库存系统的风险性分析 .....	83
5.5 本章小结 .....	85
第 6 章 多产品马氏质量过程下带融资能力和 VaR 约束的随机库存模型 .....	86
6.1 引 言 .....	86
6.2 模型的构建 .....	87
6.2.1 模型描述、符号说明和模型假设 .....	87
6.2.2 马氏随机逼近法 .....	88
6.2.3 带融资能力和 VaR 约束的马氏质量过程库存模型 .....	91
6.2.5 模型的最优解 .....	94
6.3 库存系统的随机性分析 .....	96
6.4 数值算例分析 .....	99
6.4.1 数值模拟分析的基本假设 .....	99
6.4.2 模型的最优数值解 .....	100
6.4.3 融资能力和风险厌恶因子对模型最优解的影响 .....	102
6.4.4 库存系统的随机性的数值模拟分析 .....	103
6.5 本章小结 .....	106

第7章 结论和展望	107
7.1 研究结论	107
7.2 研究展望	109
7.2.1 研究的不足	109
7.2.2 未来的研究方向	109
参考文献	111

# 第1章 绪 论

## 1.1 研究背景与问题提出

2015年5月,国务院发布了“中国制造2025”战略,推动我国制造业从制造大国向制造强国转变。该战略提出了五个基本方针:①创新驱动;②质量为先;③绿色发展;④结构优化;⑤人才为本。

在这个制造战略中,质量被视为仅次于创新的第二个战略方针,说明质量在我国制造发展中的重要地位。实际上,在生产与运作管理活动中,质量就是其中最重要的三大核心问题之一。人们常说生产管理的核心问题是“QCD”,也就是质量(quality)、成本(cost)和交货期(delivery),可见质量的重要性。

日本丰田公司推行的精细生产方式(JIT生产,也叫精益生产)是一种准时生产方式,其核心理念是所谓的“双零”,即零库存、零缺陷。因此,JIT生产也叫无库存生产方式。<sup>[1]</sup>为了实现准时生产制,丰田公司要求供应商的质量达到免检的水平,实现准时化采购(在丰田公司的汽车主机厂,有相当一部分的供应物资一般只维持1~2天,或者几个小时的库存量,有的甚至达到供应厂和主机厂生产节拍达到同步的零库存)。在这种生产方式下,一旦供应商的产品存在质量问题,就会影响到丰田公司的正常生产,甚至停产,导致严重的损失。

作为准时生产的必备条件,虽然在JIT生产的物资采购中规定了很高的质量水平要求,但是质量缺陷是一个客观存在的事实,零缺陷只是一个理想境界,是一个目标。在现实中,任何企业的产品都可能存在质量问题。而且,质量存在一定的波动性,随时间不同而不同,这种随机性波动会导致供应的物资的有效数量因质量波动而减少。因此质量波动对准时生产的物资供应是一个很大的风险因素。显然,当供应物资的质量水平有波动时,物资库存系统的供应能力就存在波动。因此在物资采购的库存订货决策中,为了保证库存物资的有效供给,在库存订货决策时就有必要考虑供应物资的质量水平波动对供应能力的影响。除了质量波动这种风险因素对库存决策有影响,需求的随机性也是一个客观存在的风险。因此在质量和需求等随机因素的环境

下, 准时采购的风险是比较高的, 科学和合理的库存订货决策对实施准时生产有非常重要的意义。

传统的物资供应的库存决策理论是基于一定的假设条件的, 这些假设往往是为了理论计算的方便而为, 对许多现实的因素没有考虑, 与实践中企业的决策有很大偏差。例如经济订货批量模型, 假设需求是一个恒定值, 没有价格波动, 也没有质量缺陷等因素。为了克服这些问题, 理论界对库存决策理论进行了大量的修正和完善, 从不同的角度去考虑不同的决策因素, 从而产生了各种应用条件下的库存决策模型。从大类分, 库存决策分为确定型库存决策和随机型库存决策, 目前理论界的教科书和学术论文中比较常见的库存决策模型大多数是确定型库存决策模型, 而随机型库存决策模型比较少。虽然随机库存的理论模型复杂, 计算工作量大, 这是随机库存模型的缺点, 但是随机库存模型考虑了库存决策中的各种不确定性因素, 所得到的模型更加符合现实情况。从国内外的研究文献考察, 学术界目前对库存决策理论的研究, 考虑不确定性的因素拓展经典的库存模型是一个基本研究方向。

近年来, 国内外学术界考虑质量不完备性的因素拓展库存决策模型已有很多成果, 如在经典的 EOQ 模型中加入产品质量缺陷的因素, 或者在经济生产批量模型中加入质量缺陷下生产率减少因子, 或者考虑质量缺陷成本和检验、返修和退货等因素, 或者在多级库存中考虑质量成本的因素, 等等。尽管如此, 我们发现, 现有研究文献在拓展经典的库存理论研究方面, 仍有一些不足:

(1) 现有研究对考虑质量问题的库存模型基本上以确定型库存模型为主。这些扩展库存模型基本上还是确定型库存决策模型, 很少考虑随机库存决策环境。目前文献在随机型的库存决策模型中考虑质量缺陷因素的比较缺乏。

(2) 现有研究对质量水平通常假设为有一个固定值或者一种确定的函数。为了计算方便, 现有库存扩展性研究模型中, 对质量缺陷因子的考虑, 一般都是假设一个确定的质量水平, 或者一个固定的函数, 对质量波动的随机性问题没有考虑。

(3) 现有研究文献对供应和需求与质量水平的关系缺少考虑。现有研究虽然考虑质量成本因素, 但是在库存订货决策中没有对供应和需求与质量的关系做过多考虑, 除了少数建立质量水平相关的需求函数外, 没有从供应和需求两个方面结合考虑质量的影响。

(4) 现有研究对多因素下的随机库存问题缺少研究。一些随机库存模型, 如报童模型, 虽然考虑需求不确定性, 或者少数考虑质量因素, 但是缺乏对多种不确定性约束因素(如采购的资金约束的影响、风险偏好的影响等)的考虑。

(5) 现有研究针对单一产品的比较多, 对多产品的库存研究比较少。目前文献中不管是传统的库存决策模型, 还是考虑质量、需求等不确定因素的模型, 多以单一

产品问题为主,考虑多产品的随机型库存模型比较缺乏。

针对现有文献的以上不足,我们认为,库存决策理论研究仍存在一些目前研究文献中还没有涉及的,有待进一步研究解决的问题,这些问题就是本研究将要解决的关键问题。

(1) 如何刻画多产品质量的随机波动过程,使其更加符合实际,并融入库存的订货决策中?

产品质量的不确定性是一个客观存在的事实,但是传统的库存决策模型都假设产品质量为一个固定的值或者为一个固定的随机函数,而现实产品质量是一个波动过程。这种随机过程在库存决策模型中如何刻画,并融入库存决策中,是目前学术界需要解决的问题。

(2) 当决策者存在决策风险偏好时,如何构建质量风险和需求风险下的随机库存决策模型,如何用随机过程理论刻画库存风险?

尽管考虑决策风险的库存决策成为库存理论研究中的热点问题之一,但是现有研究库存风险测度的方法都是采用统计方差的方法,如 VaR 和 CVaR 等统计测度方法。在随机库存决策中,面临多种风险因素时,如何利用随机过程理论刻画库存决策风险,探讨新的风险评估和分析方法,这是一个新的挑战性的问题。

(3) 当产品的供应能力与产品质量水平相关时,如何进行风险厌恶型随机库存决策问题的优化和控制?

在随机质量波动的环境下,产品的缺陷率具有不确定性。当缺陷率达到一定程度后,必然会影响到库存系统的供应能力,同时顾客对产品的需求也会受到产品质量的波动的影响。目前,基于风险偏好的不完备质量库存优化的研究尚未有人涉及。同时,现有文献并未考虑到产品的质量水平与供应能力之间的关联性对库存决策的影响。因此,供应能力依赖质量水平条件下的多产品风险厌恶库存决策问题,有待于进一步研究和解决。

(4) 当企业的资金有限,如何在库存决策中考虑带融资能力约束,构建资金约束的多产品风险厌恶型随机库存决策模型和优化方法?

当前,我国许多制造企业面临着原料价格上升、人民币汇率波动以及用工成本增加的压力,这些因素直接导致企业使用资金的成本增加,在原料采购中资金的约束影响采购人员的决策,采购中考虑供应链融资能力约束成为一个值得关注的问题。在现有的参考文献中,针对风险厌恶库存系统的决策优化问题的研究,并未考虑随机波动对决策机制的影响。因此,在融资能力约束和随机质量波动的条件下,多产品风险厌恶库存系统的优化决策问题有待于研究和解决。

针对上面这些问题,在陈志祥教授主持的国家自然科学基金项目(编号:

71372154) 资助下, 我们对有关问题开展了深入的研究。我们把质量随机波动过程作为一个影响采购库存决策的重要因素来研究, 并考虑如需求不确定性、采购资金融资限制等因素, 利用随机过程理论和风险理论建立了考虑质量随机波动条件下的风险厌恶型随机库存决策模型, 对库存理论的研究方法进行拓展性研究, 具有重要的学术参考价值。本专著就是对我们的研究成果的归纳和总结。

## 1.2 研究目的与意义

### 1.2.1 研究目的

根据以上提出的研究问题, 本研究的主要目的是在产品质量随机波动的条件下, 考虑库存决策中的资金约束和决策者的风险偏好, 对多产品的库存联合优化和控制问题进行系统的分析与研究, 以随机过程马尔可夫链, 结合风险测度方法、随机库存理论等作为研究工具, 建立随机质量波动下的多产品风险厌恶型随机库存优化和控制策略, 为多产品库存系统的优化与控制提供科学的理论依据。

为此, 本著作要解决的关键问题是: 在随机质量波动的环境下, 如何构建带有风险厌恶因子的多产品库存系统的最优决策机制。

(1) 基于产品质量具有马氏随机过程波动特征, 在供应能力依赖质量水平的条件下, 分别构建考虑和不考虑融资能力约束的多产品风险厌恶型随机库存优化与控制模型。

由于产品质量的随机波动导致产品实际有效使用量减少, 因此本研究首先研究供应能力依赖产品质量水平条件下, 多产品的风险厌恶型随机库存优化与控制问题。为此, 本书在供应能力依赖质量水平的条件下, 首先构建多产品风险厌恶型库存系统的决策模型, 探讨不考虑融资能力约束的库存优化与控制问题。然后, 在该模型基础上加入企业采购物资融资能力受到约束的条件, 建立新的模型, 以解决带有融资能力约束的库存优化与控制问题。

(2) 基于产品质量具有马氏随机过程波动特征, 在供应能力和需求量均依赖质量水平的双重条件下, 分别构建考虑和不考虑融资能力约束的多产品风险厌恶型随机库存优化与控制模型。

产品质量随机波动不仅仅影响供应能力, 同时产品的质量会影响需求, 高质量产品一般需求率高, 低质量的产品需求率低。基于这种关系, 在前面模型的基础上, 继

续考虑产品需求和供应同时依赖产品质量的情况下, 风险厌恶型多产品随机库存模型。与前面一样, 我们也分别考虑有融资能力约束和没有融资能力约束两种情况的优化模型。

### 1.2.2 研究意义

本研究在理论上、实践上都有重要意义。在理论上, 生产运作管理的各种决策理论, 包括库存决策理论, 大多数是基于完备性条件的假设, 与现实存在一定的偏差, 因此需要从现实角度出发, 考虑不完备的生产条件, 包括质量不完备、设备不可靠、人的决策偏好和经验偏差等, 放宽传统的运作管理决策模型的理想假设条件, 考虑现实中的各种因素, 建立与现实环境条件相吻合, 或者接近现实的假设条件下的决策模型, 对于完善管理理论有理论参考价值。因此, 本书所研究的问题就是站在这样的现实视角, 把现实物料库存决策中比较常见的一个不确定性因素——质量波动性因素作为修正传统的库存决策模型的一个突破口, 并考虑风险和资金约束等多种现实决策因素, 探讨在这种现实环境下新的多产品随机库存决策优化模型, 对库存理论的发展有重要参考价值。

在实践上, 本研究也有一定的参考价值。本研究是基于国家自然科学基金项目的企业调查研究基础上提炼的一个研究内容。在课题调研过程中, 我们发现许多企业都存在由于采购物料质量波动影响生产的现象。由于供应商的物料供应存在质量的波动, 同时也由于需求的随机性波动, 企业通常通过建立一定的安全库存来维护生产的正常。另外, 我们发现, 不少企业在采购物资的过程中, 都对资金的使用保持谨慎态度; 当采购多种物资时, 都有对资金使用存在约束和决策风险偏好性。为此, 本书在随机质量波动的环境下, 研究构建多产品风险厌恶型随机库存系统的决策模型, 并通过数值模拟与仿真的方式, 证明模型的有效性和可行性。研究模型的数值算例的实验结果得到的启示告诉我们, 管理者可以利用质量水平的基础数据, 模拟出质量随机变化的统计规律, 提高库存决策的科学性, 提高库存系统的收益水平。因此, 本书所提出的决策模型具有一定的实践和应用意义。



## 1.3 研究方法和技术路线

### 1.3.1 研究方法

本书在文献梳理和评析的基础上，通过数学建模、理论推导、数值模拟及仿真相结合的方式，针对随机质量波动下的多产品风险厌恶库存系统的优化与控制问题进行了研究，主要运用到的研究方法具体如下：

- (1) 运筹学中的非线性规划方法；
- (2) 库存系统优化与控制理论；
- (3) 随机过程中的马尔可夫链和鞅论；
- (4) 金融风险理论中的风险价值和条件风险价值理论；
- (5) 数学软件中的 MATLAB 和 LINGO。

因为带有约束条件的报童模型需要在理论上论证模型最优解的存在性和唯一性，所以本项目拟运用非线性规划中的 Kuhn-Tucker 条件以及极值理论中的 Hessian 矩阵，来解决此问题。鞅论的背景源自公平赌博过程——在胜负机会均等的情况下，赌徒在参与下一轮赌博后的期望资金等于当前所持有的资金——已成为研究风险决策最主要的理论工具之一，并已广泛应用到期权定价、保险、股票和金融等研究领域。因为随机库存系统在运行的过程中受到多重随机因素的影响，需要不确定性理论来评估其潜在的风险性，所以本项目拟运用鞅论以及随机过程中的首达性、常返性、不可约性、遍历性、极限性态、Phase-Type 分布等基本理论，解决随机库存系统的风险载荷问题。因为在集成多要素于模型框架的情况下，模型的求解及其数值分析比较复杂，所以需借助 MATLAB 和 LINGO 等数学软件，以实现相关模型的数值模拟和仿真过程。

### 1.3.2 技术路线

本书在随机质量波动环境下，研究风险厌恶型多产品随机库存系统的优化与控制问题，具体的技术路线如图 1.1 所示。