

学校编码: 10384  
学号: 17720141151064

分类号\_\_\_\_\_ 密级\_\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

三地点联合订货与转运策略研究

Research on Joint Replenishment and Transshipment For  
Three Locations

许 印

指导老师姓名: 庄伟芬 副教授

专业名称: 管理科学与工程

论文提交日期: 2017年 4 月

论文答辩时间: 2017年 5 月

学位授予日期: 2017年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2017 年 4 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合相关法律法规和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘 要

如何做到供需平衡是库存管理中的重要问题，随着全球化发展以及国际贸易的逐渐扩大，许多公司共同面临的库存管理问题可以概括为以下两个方面：首先，在销售季开始时，需要分发商品至各地点用以满足消费者需求；其次，在整个销售过程中，如果某处的存货不足以满足该地消费者需求，那么可能需要从其他地点进行转运。

公司通常会在其销售区域设置多个销售地点，然而由于维数灾问题，多地点问题的研究异常复杂且多不可解。本文从三地点问题入手，考虑以下两个决策：销售季开始时一次性的订货决策以及销售过程中的转运决策。运用随机动态规划方法建立复合泊松需求过程下的三地点联合订货与转运模型，进一步研究模型的上下界问题以及两种不同决策对收益的贡献程度，提出可推广至多地点问题的启发式算法并进行算例研究。

研究表明，根据随机动态规划模型的结构特点可以刻画出需求到达后各地点的最优供应策略以及最优初始库存；通过“后见之明”算法以及静态策略分别构建的上下边界是渐近最优的；初始库存决策以及转运决策对于收益的贡献存在不同的量级；进一步发现由上界模型求得的初始库存解与最优初始库存解非常接近；通过启发式算法研究发现，将上界模型最优解作为初始库存并且在销售过程中采用一个简单的转运策略，由此获得的收益接近于最优收益。由此，可将本文的研究结果推广至多地点问题中，从而为解决多地点问题提供一个可行的方向。

关键词: 库存管理；随机动态规划；渐近最优

## Abstract

How to deal with the mismatch of demand and supply is an important issue in inventory management, with the fast development of globalization and the day-and-day growth of international trade, many firms face the following problem: one is the initial distribution decision at the beginning of the selling season; another one is the supply decision when demand arrives during the entire selling season.

Previous researches have shows some significant results for two distribution outlets/stores. Many firms generally have several selling locations, while it's always intractable for multi-location problem. Here, we pay attention to three distribution stores. There are two decisions: the first one is the initial stocking decision at the beginning of the selling season; the second one is the supply decision when a demand arrives over the entire selling season. Modeling the problem with compound Poisson demand by a stochastic dynamic programming; investigating the upper bound and lower bound and furthermore the contribution of the two decisions, providing some heuristics and numerical study.

The results indicate that the optimal transshipment/supply policy and the optimal initial stocking quantities can be obtained along with the structure properties of the value function; upper bound and lower bound derived by the hind-sight policy and static policy respectively are both asymptotically optimal; contributions to the profit of the two decisions are of different order; the optimal initial order solutions almost coincide with the upper bound solutions; heuristics use upper bound solution as the initial stocking quantity along with a simple transshipment policy can be expected to achieve a near optimal performance, which can be extended to multi-location problem, and in this way, the curse of dimensionality for multi-location problem can be avoided to some extent.

Key Words: inventory management; dynamic programming; asymptotically optimal

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景与意义 .....	1
1.1.1 库存管理中普遍面临的问题 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	3
1.2 研究内容及目的 .....	3
1.3 研究方法及论文结构 .....	4
1.3.1 研究方法 .....	4
1.3.2 论文结构 .....	4
第 2 章 文献综述 .....	7
2.1 主动转运模型研究 .....	9
2.2 被动转运模型研究 .....	11
2.2.1 两地点转运模型研究 .....	11
2.2.2 多地点转运模型研究 .....	12
2.3 收益管理相关研究 .....	13
2.4 库存共享相关研究 .....	14
2.5 研究评述 .....	15
第 3 章 随机动态规划及最优策略 .....	16
3.1 动态建模 .....	16
3.1.1 随机动态规划模型 .....	16
3.1.2 模型建立 .....	18
3.2 模型性质研究 .....	21
3.3 转运策略研究 .....	22
3.4 单位需求模型 .....	25
3.5 初始库存确定 .....	28
第 4 章 向下转运模型 .....	29
4.1 两层级模型 .....	29
4.2 三层级模型 .....	31

第 5 章 边界 .....	33
5.1 上界模型 .....	33
5.1.1 一般模型 .....	33
5.1.2 向下转运模型 .....	35
5.2 下界模型 .....	37
5.2.1 一般模型 .....	37
5.2.2 向下转运模型 .....	39
第 6 章 渐进 .....	42
第 7 章 数值研究及启发式算法 .....	47
7.1 边界表现 .....	47
7.2 启发式算法实验 .....	49
7.3 启发式算法扩展 .....	54
7.4 研究总结 .....	56
第 8 章 结论与展望 .....	58
8.1 结论 .....	58
8.2 工作展望 .....	60
参考文献 .....	61
附 录 .....	65
致 谢 .....	77

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b>	1
1.1 <b>Backgrounds</b>	1
1.1.1 Common Issues in Inventory Management	1
1.1.2 Research Significance	3
1.2 <b>Research Contents and Objective</b>	3
1.3 <b>Research Methods and Paper Structure</b>	4
1.3.1 Research Methods	4
1.3.2 Paper Structure	4
<b>Chapter 2 Literature Review</b>	7
2.1 <b>Proactive Transshipment Models</b>	9
2.2 <b>Reactive Transshipment Models</b>	11
2.2.1 Two-location Models	11
2.2.2 Multi-location Models	12
2.3 <b>Review of Revenue Management</b>	13
2.4 <b>Review of Inventory Pooling</b>	14
2.5 <b>Summary</b>	15
<b>Chapter 3 Stochastic Dynamic Programming and Optimal Policy</b>	16
3.1 <b>Dynamic Programming Formulation</b>	16
3.1.1 Stochastic Dynamic Programming	16
3.1.2 Model	18
3.2 <b>Properties</b>	21
3.3 <b>Optimal Policies</b>	22
3.4 <b>Unit Demand Model</b>	25
3.5 <b>Initial Stocking Decision</b>	28
<b>Chapter 4 Downward Transshipment Models</b>	29
4.1 <b>Two-tier Model</b>	29
4.2 <b>Three-tier Model</b>	31



<b>Chapter 5 Bounds</b>	33
5.1 <b>Upper Bound</b>	33
5.1.1 General Model	33
5.1.2 Downward Transshipment Model	35
5.2 <b>Lower Bound</b>	37
5.2.1 General Model	37
5.2.2 Downward Transshipment Model	39
<b>Chapter 6 Asymptotics</b>	42
<b>Chapter 7 Numerical Examples and Heuristics</b>	47
7.1 <b>Performance of Bounds</b>	47
7.2 <b>Performance of Heuristics</b>	49
7.3 <b>Extension of Heuristics</b>	54
7.4 <b>Summary</b>	56
<b>Chapter 8 Conclusions and Prospects</b>	58
8.1 <b>Conclusions</b>	58
8.2 <b>Future Works</b>	60
<b>References</b>	61
<b>Appendix</b>	65
<b>Acknowledgements</b>	77

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景与意义

#### 1.1.1 库存管理中普遍面临的问题

众所周知, 对于一个企业或公司来说, 如何解决供应与需求的不匹配问题是其库存管理中面临的最大挑战, 如果供过于求, 多余库存无法售出, 就会无法收回投入成本; 如果供小于求, 消费者需求得不到满足, 就会失去应得利润甚至影响消费者忠诚从而失去市场。随着经济全球化的快速发展, 越来越多的企业将业务开展到海外市场, 商务部统计数据显示, 2017年2月我国货物进出口总值达2493.1亿美元<sup>[1]</sup>, 国际贸易的广泛开展给企业带来了商机也带来了挑战, 随着供应链向全球广泛延伸, 供应链中面临的不确定性因素也越来越多, 因此如何制定一个有效的策略避免供应和需求不匹配问题的发生以及当出现供需不匹配时, 如何确定最佳解决策略, 从而实现收益最大化对于企业来说至关重要。

供需不匹配问题通常出现在销售过程中, 一般来说, 销售开始前, 需首先确定初始库存, 即进行订货 (或补货), 而在销售过程中, 当出现缺货时, 一般可以通过两种途径进行补救, 一是采用紧急补货策略, 即直接从上级供应商处进行补货, 二是从临近其他库存地点进行横向转运。但在现实中, 由于生产提前期, 订单处理时间, 运输提前期等等诸多因素的影响, 对于很多公司来说采用紧急补货往往是不现实的。随着世界贸易的逐渐扩大, 越来越多的公司不再满足于本国市场, 将业务扩展到海外市场, 其库存管理也面临更多的挑战。对于这类公司来说, 如何将产品运往销售地往往是一个复杂的问题, 其涉及到高昂的运输费用, 很长的运输时间等等问题, 于是为了控制成本, 越来越多的公司选择在海外设置仓库, 以满足特定区域的需求, 然后根据对需求的预测, 在特定时间进行补货, 当出现缺货情况时, 由于很长的运输或者生产等提前期, 紧急补货显然是不现实的, 因此对于此类公司来说, 当出现缺货情况时, 往往会选

择从临近库存地点进行横向转运。比如，中国作为世界上最大的生产大国吸引越来越多的外资企业在中国设厂或者进行外包生产，对于受季节影响的服装企业来说，很多服装企业选择福建或者广东作为其生产基地，以三个月为周期进行生产，再在每个季度将产品运往其分布在世界各地的分销中心，当在销售期间出现缺货时，则会从临近的若干分销中心进行转运。再比如，一家位于广州的公司，销售如视频游戏周边产品的各种小商品，通过 ebay 将其产品销往欧洲市场，其在欧洲设有若干分销中心，但是一次补货往往需要花费 53 至 56 天，当其中一个分销中心出现缺货时，为保证供应只能从另一个分销中心进行转运。此外，随着跨境电商的快速发展，唯品会、京东、阿里等国内大型电商平台已经纷纷进入海淘市场，对于跨境电商来说建立海外仓是提升物流的最普遍方法，2015 年，顺丰提出在全球建立 20 个仓库，覆盖住各主要目标市场：北美海外仓（包括美东、美西和加拿大）、欧洲海外仓（包括英国、法国、德国、意大利和西班牙）、俄罗斯海外仓以及澳大利亚海外仓，海外仓要求提前备货，当需求到达时，第一时间做出快速响应，当一个海外仓出现缺货时，则需要从其他临近海外仓进行转运。最后，零售商店也面临着同样的问题，零售店购物的一大特点就是实时取货，当消费者心仪的产品刚好缺货（比如衣服色号、鞋子尺码）时，零售店只能选择从其他相邻的商店进行调货。

由此可见，转运是解决销售过程中缺货问题的主要途径，但转运又往往具有两面性：当某地出现缺货时，如果不进行转运则会失去利润并且如果销售季结束后有多余未售出的存货还会导致无法收回成本，而进行转运的话可能导致本区域的未来需求无法得到满足。因此对于此类公司来说，如何实现利润最大化将包含两个方面的重要决策，首先，在销售季之前，需要对各个区域分配初始库存；其次，在销售期间，当需求到达时需要进行供货决策：即决定使用哪个地点多少库存满足需求，一般地，对于企业来说，需求到达时，首先会使用本地点库存满足需求，当某地出现缺货情况时，则需要进行转运决策，确定是否从其他地点进行转运以满足需求。

### 1.1.2 研究意义

随着全球化的快速发展以及国际贸易的逐渐壮大，将会有越来越多的公司面临着类似问题：一是由于运输成本过高或者很长的运输或生产提前期，需要对各地的销售点进行阶段性的订货；二是销售期间，当出现供需不平衡时，需要利用转运满足需求。如果无法保证供应，则会失去应得利润，不能促进品牌发展，失去市场，逐渐在某地区淘汰；如果存货过多无法售出，则会增加成本，无法保证业务的长期发展，因此对于此类公司尤其是开展国际贸易的跨国公司来说，找到一个现实可行的方案尽量避免供需不平衡情况的出现以保证其业务的长期可持续运营是至关重要的。

## 1.2 研究内容及目的

库存管理问题一直是众多企业关注的热门话题之一，如何解决供需不匹配又是库存管理中的热点话题。本文的研究对象是位于供应链同级的三个地点（可以是三个仓库、三个分销中心或者三个零售店）的联合订货以及转运问题。关于两地点的转运问题已被大量研究并已得出很多有现实指导意义的成果，但对于多地点转运问题，由于其结构复杂性，几乎不能得出其结构特点，多数学者采用简单的转运策略以及启发式算法对其进行研究，而本文从三地点问题入手，对三地点联合订货及转运问题进行随机动态规划建模，研究并刻画其结构特征，得出三地点问题的最优转运策略以及最优初始库存；并进一步研究了其上下边界，比较得出两种不同决策（初始库存以及动态转运策略）对收益的不同贡献，从而提出接近于最优表现的且可应用于实践的启发式算法。

本文研究内容可概括如下：对三地点联合订货及转运问题进行随机动态规划建模；探索随机动态规划模型的结构特点；基于结构特点提出最优转运策略；研究随机动态规划模型的上下边界问题；证明边界问题与随机动态规划模型的渐近最优性并得出两种不同决策（初始库存以及动态转运策略）对收益的不同

贡献程度；最后基于理论结果提出若干启发式算法并进行算例研究。本文研究的目的是得出两种不同决策对收益的不同贡献程度，从而提出可应用于实践的订货及转运策略并将其推广至多地点问题中，为解决多地点联合订货与转运问题提供一个可行方向。

### 1.3 研究方法及论文结构

#### 1.3.1 研究方法

本文主要运用的研究方法主要包括：数学建模、模型推导、比较研究。

数学建模：数学模型的建立是本文的重要部分，本文首先根据研究问题的特点使用随机动态规划方法对实际问题进行数学建模，接着分别利用“后见之明”算法 (hindsight-optimal policy) 和静态策略 (static policy) 对模型的上下界进行数学建模，并求出若干有效结果。

模型推导：本文使用模型推导的方法研究了最优转运策略，刻画出转运的最优临界点，并通过数学推导证明了上下界模型的渐近最优性以及两个不同决策对总目标的不同贡献程度。

比较研究：首先通过数值研究对由上下界模型求得的结果与最优解进行对比，从而验证理论结果；接着通过对比若干采用不同订货和转运策略的启发式算法，进一步证明了两种决策对总目标的不同贡献程度，并提出了可应用于实践的有效的启发式算法；在数值研究的基础上，进一步对基于不同服务水平的存货保留策略进行了对比。

#### 1.3.2 论文结构

本文共八章，分为五个部分，具体如下：

第一部分为第一章绪论和第二章文献综述，主要对本文的研究背景进行介绍，引出本文的研究意义，接着对研究内容及目的进行介绍，最后提出本文的

研究方法和结构；接下来对与本文研究内容相关的文献进行回顾，包括主动转运模型、被动转运模型、收益管理理论以及存货共享理论等相关文献，为本文的研究打下理论基础，指出本文与前人研究的不同之处。

第二部分为第三章随机动态规划及最优策略以及第四章向下转运模型，主要对实际问题进行建模求解，采用随机动态规划模型，利用数学方法证明模型的若干性质，并由此提出最优转运策略；并将一般模型推广至两个特殊的向下转运模型，将同级转运问题延伸至多级转运问题，并提出最优策略。

第三部分为第五章边界和第六章渐近，探索随机动态规划模型的边界问题，包括上界和下界，建立上界和下界模型并求解，并证明了边界的渐近最优性以及两个决策对总目标的不同贡献程度，从而引出启发式算法。

第四部分为第七章数值研究及启发式算法，基于理论结果进行数值实验，对上下边界的表现进行比较，提出若干启发式算法并对其表现进行比较，并进一步研究转运保留策略下的最优服务水平以及最优服务水平与不同参数之间的关系。

第五部分为第八章结论与展望，对文章内容及研究结果进行总结，指出本文研究的不足之处并提出未来工作展望。

本文结构如图1-1所示。

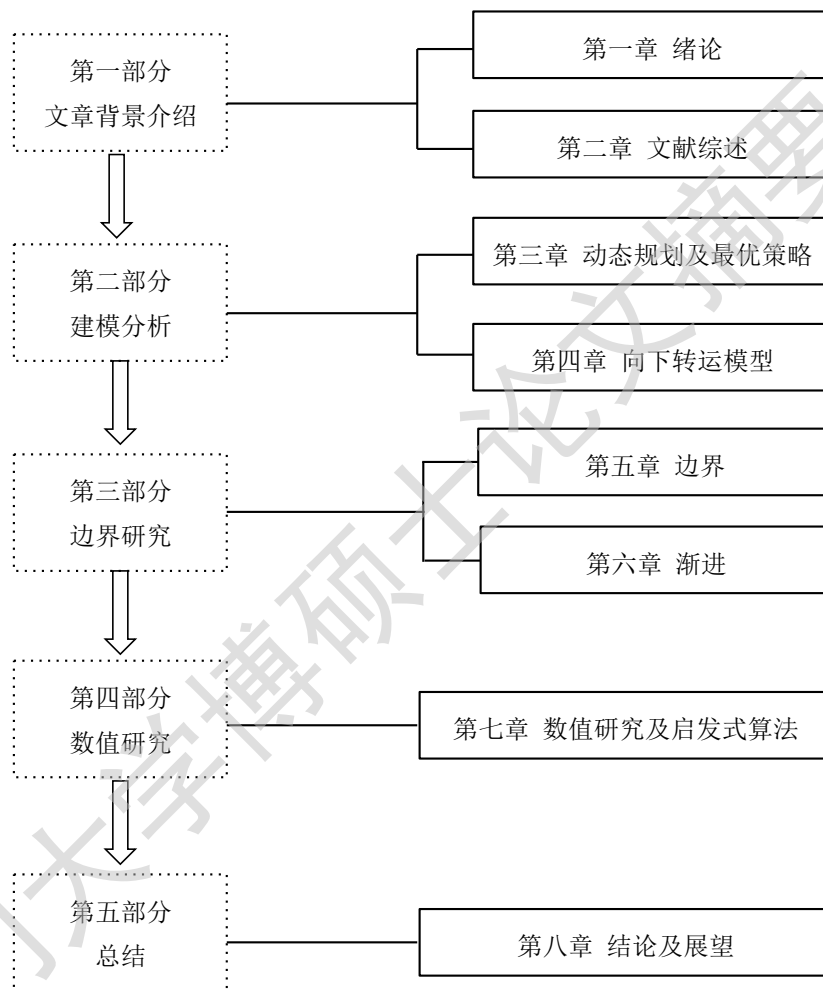


图 1-1: 论文结构图

## 第2章 文献综述

库存管理一直是国内外学者关注的热点问题，迄今为止，国内外众多学者从各种不同角度对供应链中的库存转运问题进行了研究。

众所周知，供应链是一个由供应商、生产商、分销商、零售商和顾客等多个主体组成的复杂系统，每类主体位于不同的供应链层级，每个供应链层级有一个或多个主体。任何公司的运作都离不开供应链管理，所谓供应链管理就是通过对整个供应链系统进行计划、组织、协调、控制以及优化以实现精确满足顾客需求的目的，其目标通常是使得总成本最小化或者总收益最大化。一般来说，供应链有两个主要功能，一个是物理功能，如对货物的运输、储存，另一个是市场调节功能，指的是在动态环境中，供应链可以通过调整产品的供应使得供需平衡，避免缺货或者存货过多情况的发生。以多个仓库间的转运为例，转运策略是指在具有多个仓库（分销商、零售商）的系统中，当某个仓库缺货时，将其他有可用库存的仓库中的存货运送给缺货的仓库。转运可以解决缺货问题，但往往也会产生成本，明显地，若出现缺货时，选择在仓库之间进行转运所需成本低于采用其他策略的成本（如向上级供应商再次订货），那么转运就是平衡供求差异的有效方法，转运使得各个仓库可以在不增加订货成本的情况下减少缺货成本，并且提高服务水平。而且，转运的实质是允许各仓库之间共享存货，因此，各仓库能够进行联合订货，从而降低订购成本。由此可见，转运策略既反映了供应链的物理功能，也体现了供应链的市场调节功能，并且与其他策略相比，转运策略一般比较容易实施并且所需成本较小。

供应链管理中关于转运问题的研究众多，不同文献根据其研究问题的不同对转运问题各方面有若干不同的规定。

首先，不同的研究根据其研究问题的特点对转运可以发生的范围以及转运顺序有不同的设定。以多个零售商之间的转运问题为例，一些研究允许所有位于供应链同一级中的零售商任意两两之间都可以进行转运；一些研究假定只有



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库