

# 同济大学数学建模竞赛论文

参赛者：（姓名、学号、学院以及专业、联系方式）

# 供应链环境下的多级库存优化研究

## 摘要

本文针对网状结构供应链环境下的多级库存优化问题，以题目所给的 Excel 附件为基础进行大量的数据挖掘，利用持续检查库存补货的 (Q, R) 策略、牛鞭效应、分散集中库存与平方根理论等为理论基础进行了完整的建模工作。首先，通过数据处理得到五种产品在不同末端层级数的供应链下对应的末端需求、订货提前期的均值和标准差，统计并分析了本问题的产品流转数据及其网状结构。在此基础上，从持续检查的 (Q, R) 策略出发，联系牛鞭效应理论，以供应链联合管理为大环境建立数学模型，确定库存与到货率的关系以及一定的到货率下供应链网络的最优库存。最后，利用 Matlab 软件编程进行模型求解，将前期统计汇总的数据运用到模型中，求出在到货率 90% 的约束条件下理想的  $r$  和  $q$  值以及 95% 的到货率条件下供应商的最优库存。

针对问题一，根据该供应网络所有公司的库存管理均采用持续检查库存的 (Q, R) 策略进行订货，并考虑到产品的持续消耗导致实时库存不断变化，将平均库存定义为库存量。参考 (Q, R) 策略的经典理论，引入到货率对库存计算模型进行补充，结合到货率可能的影响因素，定性定量地完备描述了对某单一节点库存与到货率的关系。

针对问题二，基于问题一的结果，从供应链末端需求入手，以供应链联合管理下的集中库存为背景，从单一节点的订货量与订货点开始，依次分析推导得到供应链流通级数量相等的网络级订货量与级订货点、供应链流通级数量不同的网络级订货量与级订货点，从而从末端节点逆向推导每一流通级的库存量、订单量、安全库存及订货点水平。

针对问题三，供应商最优库存与到货率的关系，可由之前供应商库存与安全系数的关系来表示，代入到货率对应的安全系数，即可求得 95% 到货率要求下供应商的最优库存。考虑到到货率变化对库存的影响，应用问题二建立的模型，求解得到到货率变化对供应商最优库存的影响。

**关键词：**供应链 多级库存 补货点 订单量 到货率

## 一、背景介绍

随着经济全球化以及通信技术的发展，企业经营正面临着新的机遇与挑战。自从上世纪 80 年代诞生了供应链管理的理念以来，国内外许多学者对其进行了实证研究，这些研究成果先进的理念以及给企业创造的重要效益，获得了学术界和企业界的认可。如今，供应链管理已经大量运用到了企业经营管理之中，许多人都认同实施供应链管理有利于企业适应 21 世纪的全球化竞争。

库存管理是供应链管理中的一项重要内容。寻找供应链库存在库存水平、系统成本以及客户服务水平之间的平衡点，虽然是供应链管理研究领域的一个难点，却也是相关研究人员和企业经营者共同追求的议题。

库存具有四种功能：地域专业化、获取规模效益、平衡需求、降低不确定性，因此企业要保持着适量的库存。对于供应链而言，库存决策不仅具有巨大的风险，也对企业的盈利具有相当大的影响力。

企业的库存管理方法随着库存理论的引用和信息技术的不断应用也发生了很大变化。从早期的传统定量订货管理方法、ABC 库存管理方法以及定期订货管理方法，到现如今的供应商管理方法（VMI）、联合库存管理方法（JMI）、协同规划、预测与补给（CPFR）的管理方法和多级库存管理方法，在这些过渡之间，库存管理的关注点已经由企业库存最优转化到供应链整体库存最优。

在供应链库存管理模式下，供应链上下游供应商、分销商的库存形成了一个多级库存系统。在这个系统中，每一级的库存量的高低不仅影响着单个供应商、分销商的运营成本，并且制约着整个供应链的运作。通过制定有效的多级库存控制策略，不但可以提高供应链库存系统的运作效率，还能提升整个供应链的竞争能力[3]。

正是在这样的背景下，我们小组将通过该去库存问题研究供应链多级库存优化问题。对于目前我国企业发展的现状而言，研究供应链环境下的库存控制具有很强的现实指导意义。本文通过供应链多级库存的到货率和订货点两个因素统一来控制和优化供应链多级库存。

一个供应链一般由供应商、制造商（将原材料转变为成品）、若干级分销商、零售商和最终顾客几个部分组成，如下图所示。在正确的时间、地点持有准确数量的库存本就非常困难，再加上意想不到的顾客需求变化、无法保证的订单满足率、不确定的提前期等因素，令库存管理在整个供应链中显得更为困难。而供应商关心的问题：降低流通库存即去库存，就是联系与库存相关的因素变量，定性定量地确定他们之间的联系，从而通过对相关因素变量的优化达到供应链一个层级或者整个供应链层级的优化。

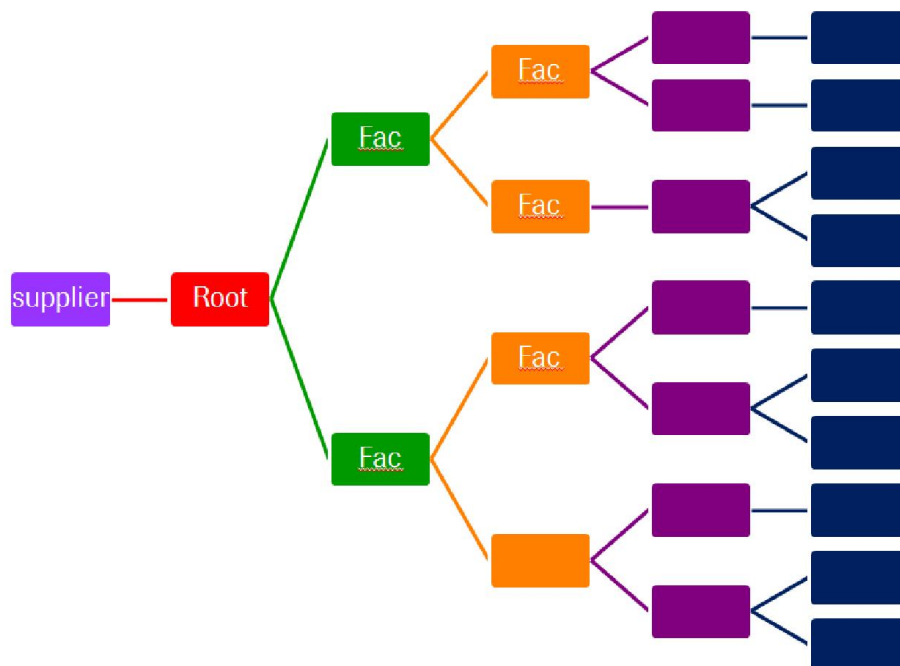


图 1. 供应链网络示意图

## 二、问题重述

某行业货物供应商通过各公司，进而向下级子公司直至零售商发行某种专业商品，一般地，某个发货商可能同时在其它订单中也作为收货商，所以某批货物可能的运输销售流程，通常会使各供应商与收货商的上下级关系形成一个网状结构。

在平日里，各公司都有一个初始库存，假设公司的库存量一旦小于某个  $r$  值时，就会立即向其某个上级下订单补货，订单量为常数  $q$ 。而上级供应商要向多个下级供货，因此下级发来的订单请求未必能得到满足，记下级收货商实际收到的货量占其需求量的百分比的值为到货率。目前该商品较为紧俏，末端收货商（实际使用部门）需求旺盛，到货率也仅有 90%。

该行业供应商关心如下问题，我们小组将在尚未提高生产能力之前进行提升到货率，降低流通库存的讨论与研究。

- (1) 库存与到货率之间究竟有什么关系？
- (2) 求若要满足目前到货率 90% 不变，并且使所有分销商的库存量总和最小， $r$  和  $q$  的值应该为多少？库存总和需要你自已定义。
- (3) 若生产能力提高，估算能使末端收货商的到货率提高至 95%，请重新估算供应商的最优库存。

## 三、问题分析

在给出的附件《产品流转网状关系参考》中，可以看到本文涉及的供应网络共有 7 个流通级，其中的产品流转关系较为复杂，主要包含以下四种情况：

- (1) 从较高流通级向下一流通级流转；

- (2) 从较高流通级向较低流通级的跨级流转;
- (3) 同一流通级间流转;
- (4) 从较低流通级向上一流通级流转。

本文通过对题目给出的网状关系参考及产品流转数据进行分析与处理, 结合供应链库存管理相关理论, 建立数学模型来研究一定的到货率条件下供应链网络的最优库存。

### 3.1 问题一分析

由题目的描述可知, 该供应网络所有公司的库存管理均采用持续检查库存, 依据  $(Q, R)$  策略进行订货。考虑到产品的持续消耗导致实时库存不断变化, 本文采用平均库存来表征库存量。参考  $(Q, R)$  策略的经典理论, 平均库存包括订单库存和安全库存两部分, 但该理论中库存计算模型未考虑上游对企业的到货率, 且研究对象为二级供应链。本文引入到货率对库存计算模型进行补充, 从而得到对某单一节点库存与到货率的关系。

### 3.2 问题二分析

由于本文中已知约束较少, 如以分销商库存总和最小为目标函数, 以到货率等为约束条件, 求解各级  $q, r$  的值, 解得的结果很可能不唯一。故在到货率一定的条件下, 使所有分销商的库存量总和最小, 一方面是通过合理的供应链库存管理策略, 减小牛鞭效应对实际需求的放大, 从而减少订货批量和安全库存; 另一方面是通过缩短订货周期, 调整订货批量, 使库存尽可能减少的同时满足对下游服务水平的要求。因此本文从需求入手, 以供应链联合管理为前提, 从末端节点逆向推导每一流通级的库存量、订单量、安全库存及订货点水平。

### 3.3 问题三分析

根据题目描述, 供应网络到货率低的主要原因是生产能力低下, 因此生产能力的提高使得到货率相应提高, 对下游企业而言, 库存将产生两方面的变化: 一方面是到货率提高降低了发货不确定性带来的风险, 企业可适当减小订货批量; 另一方面是企业的服务水平, 即应对需求不确定性的能力需相应提高, 即安全库存需适当增大。因此, 考虑到到货率变化对库存的影响, 应用问题二建立的模型, 求解到货率变化对供应商最优库存的影响。

## 四、模型基本假设

- (1) 消费者每天的总需求量服从一定的正态分布, 库存以一定的速度被消耗, 每天的消耗量即为每天的平均需求。
- (2) 库存指企业的实际库存, 库存的补充是瞬时完成的整批进货。
- (3) 上游企业对下游企业的到货率, 等同视为上游企业对下游企业的服务水平, 且在供应链网络中, 每一企业对其直接下游企业的到货率均保持一致。
- (4) 到货率只影响到货数量, 不影响提前期, 即上游企业接到订单后合理分配发货量, 保证发货时效, 无须等该下游企业所需批量全部满足才发货。如果某次到货时缺货, 则上游企业失去缺货部分的订单, 不考虑后期补货的情况。
- (5) 对同一产品的供应网络, 将同一流通级简化视作一个流通节点, 并假设同一流通级内各企业的订单量  $q$  和订货点  $r$  相等。
- (6) 所有层级的企业均采用持续检查的  $(Q, R)$  订货策略, 当库存量降到订货点  $r$  时, 即向上一级订货  $q$ 。订单发出后, 货物经过一定的提前期后到达。
- (7) 提前期主要取决于货物运输时间, 假设货物运输方式统一采用公路运输,

考虑到运输距离不同以及运输过程中可能出现延误等情况,提前期服从一定的正态分布。

(8) 从零售商到供应商的节点层级依次设为  $N=7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0$ , 物流方向为  $N$  级到  $N+i$  级, 对同一流通级内的货物流动, 将收货企业视为下一流通级, 不考虑货物逆向流动的情况。

(9) 本文涉及的五种产品需求与工艺流程相互独立, 互不替代或互补, 其库存也互不影响。

(10) 企业对上游发出订单后, 在订货提前期内不再重复发出订单, 即订货周期不小于订货提前期。

## 五、模型符号说明

符号	符号描述
$D$	消费者日需求的期望值
$STD$	消费者日需求的标准差
$n$	某一供应链或供应网络流通级的最大数目
$N_i$	第 $i$ 流通级包含分销商的数目
$P_i$	第 $i$ 流通级包含零售商的数目
$D_i$	第 $i$ 流通级直接面对的消费者日需求期望值
$L_i$	第 $i$ 流通级的订货提前期的期望值
$S_i$	第 $i$ 流通级的订货提前期的标准差
$q_i$	第 $i$ 流通级各企业的订货批量
$Q_i$	第 $i$ 流通级的级订货批量
$r_i$	第 $i$ 流通级各企业的订货点
$R_i$	第 $i$ 流通级的级订货点
$SS_i$	第 $i$ 流通级的级安全库存
$ss_i$	第 $i$ 流通级各企业的安全库存
$k$	任一流通级对其下一流通级的到货率或服务水平
$z$	安全系数
$T$	订货周期
$I$	平均库存

表 1. 模型符号说明

## 六、数据预处理

### 6.1 订货提前期的整理

根据本文的假设, 订货提前期主要取决于货物运输时间, 即受到货物运输距离的影响, 因此本文采用两个企业之间的货物运输时间作为该企业间订货提前期的期望值。由于供应网络中涉及的企业遍布国内各省, 本文分析不同流通级间运输距离的差异, 易知越靠近下游, 运输距离越短, 以相邻两个流通级间企业运输时间的期望及标准差, 作为该两个流通级间订货提前期的期望及标准差。

根据产品流转数据, 可以得到供应网络中企业所在城市与区县, 据此在网络货运平台上查询企业间物流时效, 即货物运输时间, 以此计算各流通级间订货提前期的期望值及标准差。

## 6.2 需求数据的整理

本文涉及的供应网络错综复杂、供应链条众多，且涉及五种产品。因此需先对数据进行分类汇总，统计每种产品的供应网络中，每一条供应链中零售商与上一级分销商的发货批量。由于供应链中牛鞭效应的存在，越靠近上游需求越被放大，故需要提取最接近供应链末端，即最接近真实需求的数据，并由此估算消费者的真实需求，以此计算供应链联合管理环境下各流通级的订货批量及订货点，以及供应商的库存量。

### 6.2.1 各产品末端货量

根据题目所给的产品流转网状关系参考将各长度供应链末端的收货商筛选出来列表，运用 SQL 将该表格与产品流转数据表格联立并统计各货物在各供应链末端的货物量，语句举例如下：（列名表名已重新命名简化）

```
select pro,上,下,CONVERT(DATE,DD),SUM(num)
from all$ join rec$ on R = B1
WHERE    pro = 'MTMKF 酯 JN' AND 上 = '0'
GROUP BY PRO,上,CONVERT(DATE,DD),下
ORDER BY 下, CONVERT(DATE,DD)
```

### 6.2.2 提前期

将产品流转数据表格中的发货商所在省、收货商所在省提取、删除重复项，通过 <http://www.kainan56.com/route/price/from/310115/to/650121> [4] 查询相应两省之间的物流时效并制表，这里我们假设相同省内的物流时效为 2 天，将该表与产品流转数据表联立并统计各货物每单的平均物流时效作为提前期，SQL 语句如下所示：（列名表名已重新命名简化）

```
select pro,上,下,DP,RP,DD,NUM,F3
from kk$ JOIN PPP$
ON DP =DCP AND Rp =rcp
```

### 6.2.3 各货物在各流通级别省内与跨省的单量、货物总量对比

运用 SQL 统计各货物在各流通级别的省内、跨省单量、货物总量，并用 excel 求占比，SQL 语句如下：（列名表名已重新命名简化）

跨省

```
select pro,上,D,R,sum(num),count(*)
from p$
where D<>R
group by pro,上,D,r
```

省内

```
select pro,上,D,R,sum(num),count(*)
from p$
where D=R
group by pro,上,D,r
```

### 6.2.4 分销商数量

根据所给的产品流转网状关系参考表，排除末端，列出供销商的名称，分级列表，运用 SQL 语句与产品流转数据表格联立，统计各货物的各级分销商数量，语句如下：（列名表名已重新命名简化）

```
select productname,count(rec)
from fen$
```

where rec in (select f22 from TT\$)  
group by productname

## 七、模型的建立与求解

### 7.1 问题一：库存与到货率间的关系

首先声明本文库存的含义。严格来讲，某一企业的库存状况等于其实际库存加上已订货但未送达的货物量，并减去缺货的量。本文中研究的库存为企业的实际库存，即仓库中实际持有的库存。

根据题目的描述，企业的库存量一旦小于某个  $r$  值便立即向某个上级下订单补货，订货量为常数  $q$ ，符合供应链库存管理中的持续检查模型与  $(Q, R)$  策略 [1]。在  $(Q, R)$  策略中，下游需求相对稳定时，订货周期也相对稳定，但库存随着消耗而动态变化。故根据  $(Q, R)$  策略的理论，以平均库存表示库存水平，可由以下公式计算：

$$I = \frac{Q}{2} + ss$$

$ss$  为应对需求不确定性设置的安全库存 (Safety Stock)，由以下公式计算：

$$ss = z * STD * \sqrt{L}$$

其中  $STD$  为需求的方差， $L$  为订货提前期， $z$  为满足一定服务水平对应的安全系数。下面给出本文讨论到的 90% 与 95% 到货率要求下的安全系数：

服务水平/到货率	90%	95%
$z$	1.29	1.65

表 2. 服务水平与安全系数

考虑到上游企业的到货率  $k$ ，即在  $(Q, R)$  理论中假设上游企业的到货率为 100%，所订货物全部到货，而在本文中到货率仅 90%，即企业向上游所下的订货量中仅 90% 被满足，因此需要用到货率对  $(Q, R)$  模型进行补充。在订货批量  $Q$  确定的前提下，到货率不影响安全库存，只影响在批量为  $Q$  的订单转化为库存的百分比，故对  $(Q, R)$  模型的库存计算公式做如下补充：

$$I = \frac{k * Q}{2} + z * STD * \sqrt{L}$$

以上即为题目所求的库存与到货率间的关系。

事实上，在  $(Q, R)$  策略中，订货批量  $Q$  是根据 EOQ 经济订货批量模型，综合考虑订货固定成本、库存成本和缺货惩罚成本计算得到，目的是使企业订货综合成本最小化，因而并不随着到货率变化而改变。而在本文中，如不考虑经济因素，只在一定的到货率的要求下最小化库存量，企业的订货批量将受到到货率的影响，这一点将在下文进行讨论。

### 7.2 问题二：库存总和最小条件下的订货批量和订货点

首先声明本文分销商库存的含义。在一个供应网络中，分销商的级库存等于分销商的库存加上零售商的在途库存和现有库存。本文研究的分销商库存，是指分销商的仓库持有的库存，以此处于动态变化之中，故以平均库存表征库存水平。则分销商库存量总和指供应网络中除供应商与零售商外所有中间商的仓库持有



的平均库存水平之和。

事实上，企业及其下游的仓库持有库存达到最小时，其级库存也达到最小。

### 7.2.1 单一节点的订货量与订货点

对单一节点而言，(Q, R) 策略示意图如下。

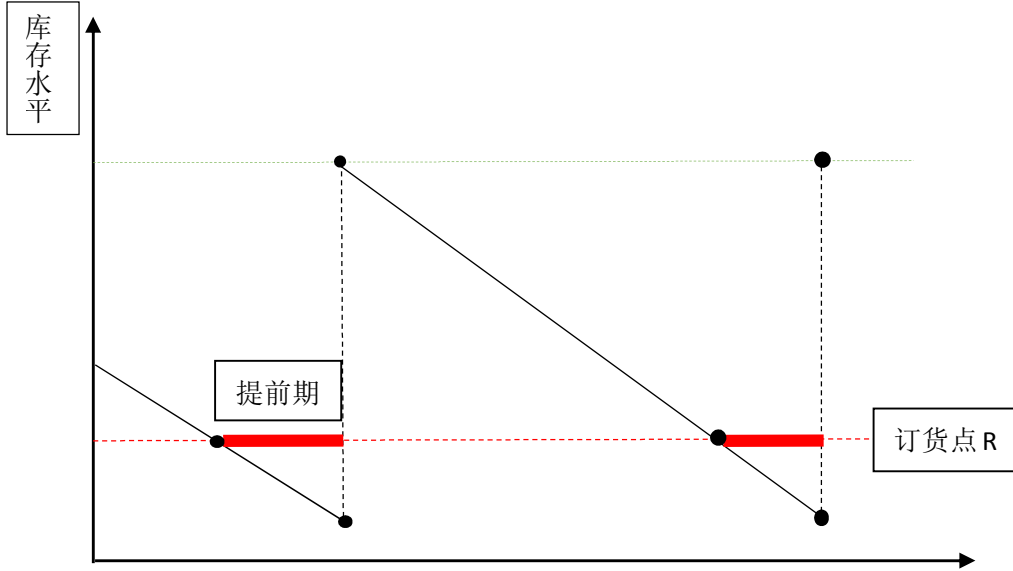


图 2. 单节点 (Q, R) 策略示意图

若该节点为零售商，则其面对的需求为消费者需求；若该节点为分销商，则其面对的需求为下游的订单量。根据问题一给出的库存计算公式：

$$I = \frac{k * Q}{2} + z * STD * \sqrt{L}$$

要降低库存水平，只能通过降低订货批量。假设下级需求恒定为 D，则订货周期为 T，有

$$Q = D * T$$

可知降低订货批量取决于缩短订货周期。根据 (Q, R) 策略，库存下降至 R 时订购货物量 Q，即仓库的库存至少需要满足订货提前期内的需求。为尽可能降低订货量 Q，直接订购订货提前期内需要的货物量，同时考虑到到货率 k，则有

$$Q = \frac{R}{k}$$

而订货点 R 取决于下游的需求，包括日平均需求和需求变动，即

$$R = L * D + z * STD * \sqrt{L}$$

### 7.2.2 供应链流通级数量相等的网络级订货量与级订货点

假设供应网络内，每一条供应链均包含 n 个流通级，如下图所示。

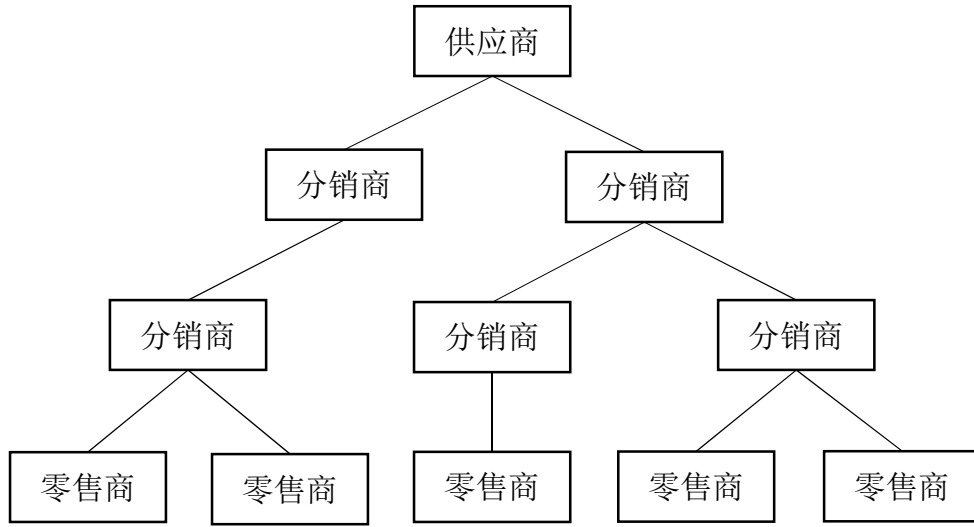


图 3. 各供应链流通级数量相等的供应网络示意图

将同一流通级简化视为一个节点，则供应网络可简化视作一条供应链。在供应链环境下由于牛鞭效应的存在，因此要使库存总和最小，一方面需要降低网络中单一节点的库存，另一方面需要采用供应链联合管理，控制需求往上游方向的过度放大。

对零售商（流通级 $i = n$ ）而言

$$R_n = L_n * D + z * STD * \sqrt{L_n}$$

$$Q_n = \frac{R_n}{k}$$

考虑到将同一流通级视为一个节点的简化处理，相当于把实际情况的分散库存处理为集中库存。为修正集中库存对安全库存量的影响，本文采用平方根定律，即分散模式下总安全库存和集中模式总安全库存存在 $n:\sqrt{n}$ 的比例关系，对订货点计算公式进行补充，则有

$$R_n = L_n * D + z * STD * \sqrt{L_n * P_n}$$

对上一级节点（流通级 $i = n - 1$ ）而言，采用供应链联合管理的情况下可获得更接近真实情况的销售或需求数据，因此可以不考虑末端节点的订货导致的需求放大，但为满足下游的需求，应对需求不确定性，联合管理情况下的订货点应采用级订货点，即

$$R_{n-1} = (L_{n-1} + L_n) * D + z * STD * \sqrt{(L_{n-1} + L_n) * N_{n-1}}$$

$$Q_{n-1} = \frac{R_{n-1}}{k}$$

以此类推，则对任一流通级为 $i$ 的节点，有

$$R_i = \sum_{x=i}^n L_x * D + z * STD * \sqrt{\sum_{x=i}^n L_x * N_i}$$

$$Q_i = \frac{R_i}{k}$$

### 7.2.3 供应链流通级数量不同的网络级订货量与级订货点

在实际情况下，更可能出现的情况是供应网络中不同供应链的流通级数量不完全相同，即在一流通级内既有分销商，又有零售商，如下图所示。

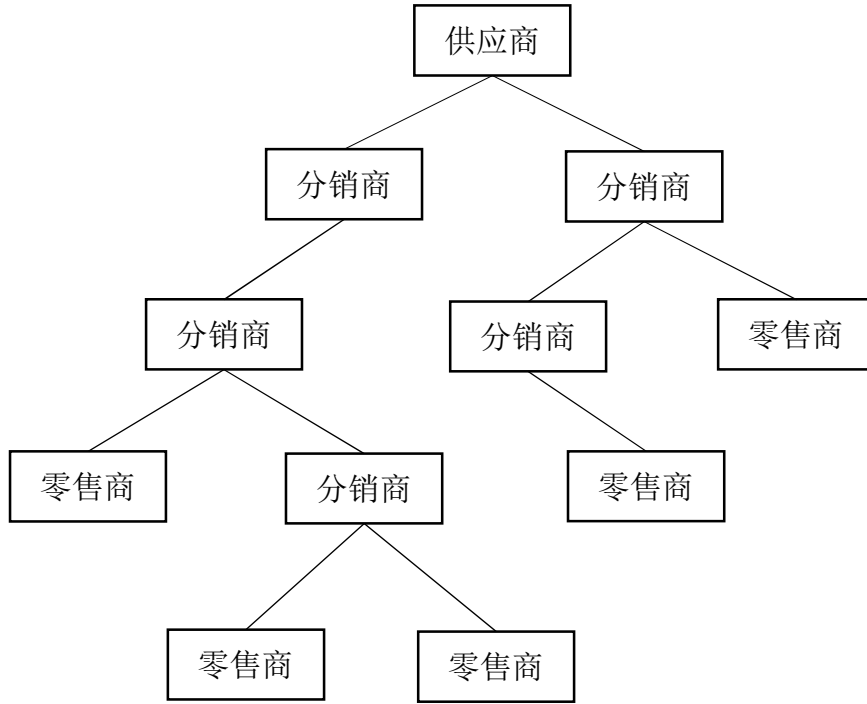


图 4. 各供应链流通级数量不完全相等的供应网络示意图

因此需在流通级数量相等的供应网络的基础上进一步补充。记供应网络的最大流通级为  $n$ ，流通级  $i = n$  时，该流通级内全部企业为零售商，有

$$R_n = L_n * D_n + z * STD_n * \sqrt{L_n * P_n}$$

$$Q_n = \frac{R_n}{k}$$

对上一级节点（流通级  $i = n - 1$ ）而言，除需满足下游零售商的订单需求外，还需满足消费者的需求，即

$$R_{n-1} = (L_{n-1} + L_n) * D_n + z * STD_n * \sqrt{(L_{n-1} + L_n) * N_{n-1}} + L_{n-1} * D_{n-1} + z * STD_{n-1} * \sqrt{L_{n-1} * P_{n-1}}$$

$$Q_{n-1} = \frac{R_{n-1}}{k}$$

若以此类推，越往上游订货点计算越复杂，且在以上计算方式下，对于流通级  $i$  的某企业，若参与到多条流通级数量不等的供应链中，将会被重复计算，因此进一步合理简化后得到如下公式：

$$R_i = \sum_{x=i}^n \left( L_x * \sum_{y=x}^n D_y \right) + z * STD * \sqrt{\sum_{x=i}^n L_x * (P_i + N_i)}$$

$$Q_i = \frac{R_i}{k}$$

由于所给数据中没有消费者的需求数据，且所要求的目标函数是分销商的库存综合最小，因此本文以零售商数据代替消费者数据，计算各流通级的分销商库存，而不再计算各流通级零售商库存，则对任一流通级  $i$  的分销商，有

$$R_i = \sum_{x=i}^n \left( L_x * \sum_{y=x}^n D_y \right) + z * STD * \sqrt{\sum_{x=i}^n L_i * N_i}$$

$$Q_i = \frac{R_i}{k}$$

根据本文同一流通级各企业的订货批量  $q$  与订货点  $r$  相同，则对任意流通级  $i$  的某一分销商，有

$$q_i = \frac{Q_i}{N_i} = \frac{R_i}{k * N_i}$$

$$r_i = \frac{R_i}{N_i} = \sum_{x=i}^n \left( L_x * \sum_{y=x}^n D_y \right) + z * STD * \sqrt{\frac{\sum_{x=i}^n L_i}{N_i}}$$

下表是问题二的模型求解结果。第二列是分销商所处的流通级，第三列和第四列是该级分销商的平均最佳订货点  $r$  和平均订货量  $q$  的值。

产品	流通级	订货点 $r$	订货量 $q$
BFZDKZSY	1	62745.0000	69716.0000
MTMKF 酯 JN	1	257.4065	286.0072
	2	73.2901	81.4334
	3	83.6717	92.9685
	4	97.8138	108.6819
	5	106.9699	118.8554
JYECGRS $\alpha$ -2aZSY	1	124.2618	138.0686
	2	32.7190	36.3545
	3	37.2889	41.4321
	4	42.1268	46.8076
	5	44.7836	49.7595

(接下表)

(续上表)

KPTBP	1	321.0091	356.6768
	2	108.7046	120.7829
	3	125.8653	139.8503
	4	146.4438	162.7153
	5	167.2866	185.8740
ZSYQTZDK	1	34.3584	38.1761
	2	11.9860	13.3178
	3	15.1933	16.8814
	4	16.9870	18.8745

表 3. 问题二 Matlab 求解结果

### 7.3 问题三：生产能力提高后供应商的最优库存

对供应商而言，不一定存在向上游订货的行为，尤其当供应商即为产品制造商时，库存的补充不是  $(Q, R)$  策略下的整批瞬时进货，而是根据工厂的生产效率逐渐补货。但供应商可通过合理制定生产计划，对库存和生产进行统筹与协调，使得生产能满足下游需求的同时保持较低的库存水平。因此，对供应商的库存而言，以上的最低库存计算模型依然适用。

对单一产品，具有  $n$  个流通级的供应网络的供应商的库存量为

$$I_0 = \frac{k * Q_0}{2} + z * STD * \sqrt{\sum L}$$

其中

$$Q_0 = \frac{R_0}{k}$$

$$R_0 = \sum_{x=0}^n \left( L_x * \sum_{y=x}^n D_y \right) + z * STD * \sqrt{\sum_{x=0}^n L_0}$$

即

$$I_0 = \frac{1}{2} \sum_{x=0}^n \left( L_x * \sum_{y=x}^n D_y \right) + 2 * z * STD * \sqrt{\sum_{x=0}^n L_i}$$

本文研究的供应商共提供五种商品。根据本文对供应网络中五种产品相互独立的假设，不同产品的库存量相互之间不影响，则供应商的库存总量为五种产品各自按以上模型计算的总量之和。记第  $j$  种产品的供应网络的最大流通级为  $n_j$ ，则有

$$I_0 = \sum_{j=1}^5 \left( \frac{1}{2} \sum_{x=0}^{n_j} \left( L_x * \sum_{y=x}^{n_j} D_y \right) + 2 * z * STD_j * \sqrt{\sum_{x=0}^{n_j} L_i} \right)$$

其中  $z$  为库存安全系数，反映企业的服务水平，即企业对下游到货率的要求。因此，供应商最优库存与要求到货率的关系，可由上式供应商库存与安全系数的

关系来表示,代入要求到货率对应的安全系数,即可求得该到货率要求下供应商的最优库存。

问题三经过 Matlab 编程计算求解,最终得供应商最优库存总和为 146220。

## 八、模型的评价和推广

### 8.1 模型的优点

(1) 充分理解并分析《产品流转网状关系参考》,从最简单的单一节点的订货量与订货点入手,依次分析了供应链流通级数量相等的网络级订货量与级订货点、供应链流通级数量不同的网络级订货量与级订货点,层层推进,思路明确清晰,推导出的公式形成的模型具有合理性、代表性,也具备一定的现实参考价值。

(2) 通过公式的合理逻辑推理,修正了订货点、订货批量与到货率的关系;参考已有文献资料,利用分散模式下总安全库存和集中模式总安全库存的比例关系(平方根定律)修正了集中库存对安全库存量的影响[2]。

(3) 以牛鞭效应为指导,将同一流通级视为一个节点的简化处理,运用供应链联合管理的理论将原先的分散库存转化为集中库存,利用级订货点的概念得到各级分销商订货点的表达式。

(4) 模型求解时充分运用了 Matlab 等数学软件,较好地解决了问题,得到了较理想的结果,最后对建立本模型后供应商和分销商去库存情况做出评价,具有明确的说服力。

(5) 运用 SQL 软件处理附件《产品流转数据》以及《产品流转网状关系参考》中庞大的数据并进行分类汇总统计,具有速度快、效率高、准确度高的优点。

### 8.2 模型的缺点

(1) 由于部分数据信息量不足、无法准确定位,在利用、处理该部分数据时存在丢弃遗失的状况,计算出来的结果可能没有达到最佳值。

(2) 由于需要保证模型一定的可靠性和简洁性,模型对到货率这一约束条件提出的假设是本批次的缺货不在后续补货,直接视为放弃该部分订单,但现实往往是在一定时间后上游对下游补齐所缺的订单量,若能够在该方面修正模型,通过算法求解所得的最优库存、订单量和订货点结果会更加精确。

(3) 在实际情况中往往不能达到供应链中上游对供应链末端需求的明确提取和掌握,只能做到层级之间的需求把握,因此逐级放大的牛鞭效应必然会影响到最优订货点和订单(货)量,乃至分销商库存量总和以及供应商最优库存。模型在与现实情况结合应用时还需进行考量与修正。

### 8.3 模型的推广

(1) 本文所建的供应链去库存模型具有一定的使用推广价值,而且算法时间、空间复杂度都不高,在管理协调、运行情况良好的供应链上可开发成供应商、分销商库存管理平台,并制定最优订货点和订单(货)量。

(2) 本文提出的供应链流通级数量不同的网络级订货量与级订货点模型可以推广到供应链网络层级更加复杂的情况,算法步骤的普适性也较强,模型十分灵活。

## 九、参考文献

[1] 大卫·辛奇-利维,供应链设计与管理——概念、战略与案例研究,北京:中国人民大学出版社,2010.

- [2] 苗壮,宋殿辉,集中存储对安全库存影响机理研究,物流技术,27(8):72-73, 2008
- [3] 许中容,多级供应链条件下库存优化模型及算法研究,北京:北京交通大学, 1-3, 2009.
- [4] 无, 凯南物流价格时效查询,  
<http://www.kainan56.com/route/price/from/310115/to/650121> , 20160504

## 附录：Matlab 程序

### 1. 订货点计算程序

```
function[R]=reorderpoint(D,L,z,n,N,S)
R=zeros(n,1);
for i=1:n
    sumL=0;
    sumQ=0;
    for x=i:n
        sumL=sumL+L(x);
        sumD=0;
        for y=x:n
            sumD=sumD+D(y);
        end
        Q=L(x)*sumD;
        sumQ=sumQ+Q;
    end
    R(i)=sumQ+z*S*sqrt(sumL+N(i))
end
```

### 2. 供应商库存计算程序

```
function[I]=inventory(D,L,N,n,z,S)
I=0;
for j=1:3
    sumQ=0;
    sumL=0;
    sumI=0;
    for x=1:4
        sumD=0;
        for y=x:3
            sumD=sumD+D(j,y);
        end
        sumL=sumL+L(j,x);
        sumQ=sumQ+L(j,x)*sumD;
    end
    sumI=0.5*sumQ+2*z*S(j)*sqrt(sumL);
    I=I+sumI;
end
```

### 3. 计算结果

#### 3.1 BFZDKZSY

D=17360.2;

L=2.6



```

z=1.29;
n=1;
N=1;
S=7194;
R=reorderpoint(D,L,z,n,N,S)

```

R =

```

6.2745e+004

```

```

>> Q=R/0.9

```

Q =

```

6.9716e+004

```

### 3.2 MTMKF 酯 JN

```

D=[4551;1400;318;195;63];
L=[2.43;2.39;2.39;2.21;2.14]
z=1.29;
n=5;
N=[148;450;266;174;135];
S=947;
>> R=reorderpoint(D,L,z,n,N,S)
R =

```

```

1.0e+004 *

```

```

3.8096
3.2981
2.2257
1.7020
1.4441

```

```

>> Q=R/0.9

```

Q =

```

1.0e+004 *

```

```

4.2329
3.6645
2.4730
1.8911

```

```

1.6045

>> r=R./N

r =

    257.4065
     73.2901
     83.6717
     97.8138
    106.9699

>> q=Q./N

q =

    286.0072
     81.4334
     92.9685
    108.6819
    118.8554

3.3 JYECGRS  $\alpha$ -2aZSY
D=[2911;393;96;106;22];
L=[2.40;2.32;2.29;2.24;2.17]
z=1.29;
n=5;
N=[138;389;246;174;141];
S=406;
>> R=reorderpoint(D,L,z,n,N,S)
R =

    1.0e+004 *

     1.7148
     1.2728
     0.9173
     0.7330
     0.6314

>> Q=R/0.9

Q =

```

```

1. 0e+004 *

1. 9053
1. 4142
1. 0192
0. 8145
0. 7016

```

```
>> r=R./N
```

```

r =

124.2618
32.7190
37.2889
42.1268
44.7836

```

```
>> q=Q./N
```

```

q =

138.0686
36.3545
41.4321
46.8076
49.7595

```

### 3.4 KPTBP

```

D=[3244;1551;335;185;86];
L=[2.39;2.39;2.27;2.26;2.24]
z=1.29;
n=5;
N=[130;406;245;167;121];
S=1400;
>> R=reorderpoint(D,L,z,n,N,S)
R =

```

```

1. 0e+004 *

4. 1731
4. 4134
3. 0837
2. 4456

```

2. 0242

>> Q=R/0.9

Q =

1. 0e+004 \*

4. 6368

4. 9038

3. 4263

2. 7173

2. 2491

>> r=R./N

r =

321. 0091

108. 7046

125. 8653

146. 4438

167. 2866

>> q=Q./N

q =

356. 6768

120. 7829

139. 8503

162. 7153

185. 8740

### 3. 5 ZSYQTZDK

D=[254;72;24;18];

L=[2. 39;2. 39;2. 21;2. 14]

z=1. 29;

n=4;

N=[64;143;69;46];

S=83;

>> R=reorderpoint(D,L,z,n,N,S)

R =

1. 0e+003 \*

```

2.1989
1.7140
1.0483
0.7814
>> Q=R/0.9

```

```
Q =
```

```
1.0e+003 *
```

```

2.4433
1.9044
1.1648
0.8682

```

```
>> r=R./N
```

```
r =
```

```

34.3584
11.9860
15.1933
16.9870

```

```
>> q=Q./N
```

```
q =
```

```

38.1761
13.3178
16.8814
18.8745

```

#### 4. 供应商库存优化计算

```
D=[0 17360.2 0 0 0 0;0 4551 1400 318 195 63;0 2911 393 96 106 22;0 3244
1551 335 185 86;0 254 72 24 18 0];
```

```
L=[3 2.6 0 0 0 0;3 2.43 2.39 2.39 2.21 2.14;3 2.40 2.32 2.29 2.24 2.17;3
2.39 2.39 2.27 2.26 2.24;3 2.39 2.39 2.21 2.14 0];
```

```
z=1.65;
```

```
n=6;
```

```
N=[1 1 0 0 0 0;1 148 450 266 174 135;1 138 389 246 174 141;1 130 406 245
167 121;1 64 143 69 46 0];
```

```
S=[7194 947 406 1400 83];
```

```
>> I=inventory(D,L,N,n,z,S)
```

```
I =
```

```
1.4622e+005
```