

# 基于“门到门”运输的铁路物流 “库存-运输”模型研究

汤银英 李佰城

西南交通大学，交通运输与物流学院，成都 610031

**摘要：**我国铁路货运改革提出了“门到门”运输的发展模式，给铁路物流企业提出了新的要求和挑战。对于铁路货运来讲，这是改变体制、面向竞争、融入市场的良好发展契机。铁路物流企业将来要更多的承担全程物流的任务，因此，如何在具有“效益悖反”的库存和运输之间获得整体最优的运输模式成为亟待解决的问题。本文分析了铁路物流系统中的库存和运输费用，用时间因素反映二者的效益悖反关系，建立了以铁路运输为主导、联合多种运输方式实现“门到门”运输的库存-运输整体最优模型，提出求解模型的模拟退火算法，并对一算例进行简单分析，最后基于模型为铁路物流企业的发展提供针对性建议。

**关键词：**“门到门”运输；铁路物流；“库存-运输”模型；模拟退火算法

中图分类号：F251

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2015)02-0004-06

DOI:10.3969/j.issn.1672-4747.2015.02.002

## Research on Railway Logistics Inventory-transport Model Based on “Door to Door” Transport Mode

TANG Yin-ying LI Bai-cheng

School of Transportation and Logistics,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

**Abstract:** China's railway freight innovation have put forward a “door to door” development mode, which is a new challenge for the railway logistics enterprises. It is a good opportunity for the rail freight enterprises to change the system and participate in market competition. The railway logistics enterprise will burden more assignment of the whole logistics. Therefore, it is a problem to be solved how to obtain an optimized transportation mode in spite of the trade-off between inventory and transport. Had analyzed the costs of inventory

收稿日期：2014-06-16.

基金项目：中国铁路总公司科技研究开发计划课题研究成果（项目编号：2013X008-A-1，2013X008-A-2，2013X008-A-3，2014X009-K）。

作者简介：汤银英（1979-），女，汉族，河南人，博士，西南交通大学交通运输与物流学院副教授。

and transport, an overall optimal inventory-transport model was built, which was dominated by the railway transport, and combined a variety of modes of transportation. Then, a simulated annealing algorithm was proposed to solve the model, besides, an example was simply analyzed. Finally, several suggestions based on the model for the development of the railway logistics enterprise were presented.

Key words: “Door to door” transportation, railway logistics, inventory-transport model, simulated annealing algorithm

## 0 引言

随着我国铁路货运改革的深入,“全程物流化”既是应对激烈的市场竞争所提出的新措施,也是适应现代物流发展的必要进程。原来的铁路运输企业将不仅仅承担物流系统中的运输环节,而是逐步转型为依托铁路资源的综合物流企业。因此,物流相关问题的解决办法也可以尝试应用在铁路物流企业决策中<sup>[1]</sup>。

关于库存-运输模型的建立和求解,国内外已有很多学者在相关领域进行了深入的研究和探讨。国外对此问题的研究较早开始,Harris于1913年就提出经典EOQ订货模型。之后,针对此问题相关的问题结构、模型条件、求解算法等方面又引起其他学者的兴趣。随着我国对物流业发展的逐步重视,一些具有前瞻性的国内学者也开始对此问题着手研究。杜文(2004)构造了描述此类问题特征的数学模型和有效的启发式算法,并对随机需求情况下的库存与运输优化问题进行了探讨<sup>[2]</sup>。叶志坚(2003)针对客户需求小批量、多批次配送的特点,以最小化长期平均期望总成本为优化目的,建立了VMI模式下的供应商库存补充和配送整合策略优化模型<sup>[3]</sup>。张茹秀等(2005)把运输费率看作是运输量的非线性函数,在允许缺货、满足一定服务水平等条件下,提出价格折扣/运输折扣的库存-运输联合优化模型<sup>[4]</sup>。刘立辉(2012)在其著作中对目前库存-运输整体优化问题的成果进行了系统的梳理,对四种不同配送网络分别建立模型、设计算法,并分析了今后的研究方向<sup>[5]</sup>。

本文将从铁路物流企业发展角度,建立依托铁路运输资源、联合多种运输方式的“门到门”库存-运

输模型,为铁路物流企业提供全程物流决策支持。

## 1 问题的描述

本文将铁路物流企业看作物流系统中的供应商角色,即生产商委托铁路物流企业将产品(货物)运送至指定的各个分销网点。铁路物流企业虽然拥有一定的仓储设施和运输能力,但由于库存与运输之间存在“效益悖反”<sup>[6]</sup>关系,因此,不能片面的追求单方面利益的最大化。此外,铁路运输能力也存在指令性波动(如春运、救灾等),不同时期、不同线路、不同的车流组织方式所产生的运输费用也不同。针对上述问题,结合当前铁路改革“门到门”运输的发展模式,本文提出建立以铁路运输为主导、联合多种运输方式的库存-运输整体最优模型,确定产品(货物)在需求与时间呈线性相关条件下物流总费用最小的解决方案。

## 2 建立库存-运输模型

### 2.1 库存费用分析

库存具有缓解供需矛盾、维持正常生产、应付波动需求的作用。在企业的库存管理中,所确定的物资采购批量不能按计划执行的现象是屡见不鲜的,或因质量不合格而发生退货,或因货源暂时不足而不能如数到货,或因运输困难不能按期到货等。因此,有一定的物资贮存(安全库存量)尤为重要。

本文考虑的库存费用主要包括以下费用:

(1) 库存保管平均费用。货物运到后租赁仓库及保管货物的费用。

(2) 订货费。指向生产商发出采购订单的成本, 包括提出请购单、分析供应商、来料验收等各项费用。一般视为固定成本, 年总订货成本随订货次数的减少而减少。

(3) 缺货成本。指由于库存供应中断或延迟所产生的延期交货损失。

### 2.2 运输费用分析

运输时间的长短会影响分销点的库存水平( 订货库存和安全库存)。如果选择运输费用低且时间长的线路, 那么会增加库存成本; 相反, 运输费用高且时间短的线路会抵消库存成本降低的情况。因此, 铁路物流企业提供的方案中最合理的应该是在满足运到期限条件下, 允许多式联运, 考虑库存和运输费用综合成本最低的一种。

### 2.3 库存-运输模型

本文研究的问题假设:

(1) 铁路货车站具有自己独立经营的各类仓储设施、设备, 且容量足够大;

(2) 联合运输中不考虑因在衔接处耽搁时间而产生的库存成本;

(3) 考虑货损、装卸费及延误几率等因素, 设定可转换运输方式的区段不超过4个;

(4) 铁路必须作为联运中的一种运输方式, 不考虑铁路货运部门制定计划需提前的时间及车流组织方式;

(5) 各种运输方式在划定的运输区段内的运输时间已知;

(6) 本文的订货量确定未进行讨论, 由企业根据自身要求制定相应订货策略。

(7) 假定生产商的供应量与分销点的需求量都与时间呈线性相关, 且前者单位时间提供的入库量大于后者单位时间的消耗量。

基于安全库存量的平均库存量如下:

安全库存量:

$$s = \alpha \sqrt{t_{\text{总}}} \sigma_D$$

式中:  $s$ ——安全库存量;

$\alpha$ ——安全系数, 决定于生产中允许缺货的概率;

$t_{\text{总}}$ ——总运输时间;

$\sigma_D$ ——需求量变化偏差值。

平均库存量:

$$\bar{Q} = \frac{1}{2}Q + s$$

式中:  $\bar{Q}$ ——平均库存量;

$Q$ ——订货批量。

平均库存费用表示为:

$$C_s = h \times \frac{1}{2}(Q + s) \times t_{\text{总}}$$

式中:  $C_s$ ——平均库存费用;

$h$ ——库存保管费用/单位 $\times$ 时间;

$t_{\text{总}}$ ——总运输时间。

由于市场存在需求突变的情况, 或者由于生产商与供应商之间出现某种问题而供货中断或延迟, 因此, 缺货费用为

$$C_D = p(S < D) \times C_d \times Q \times t_d$$

式中:  $C_D$ ——缺货费用;

$p(S < D)$ ——缺货概率;

$S$ ——单位时间供应量;

$D$ ——单位时间需求量;

$C_d$ ——缺货成本/单位 $\times$ 时间;

$t_d$ ——延误时间。

在运输过程中可能会出现不同运输方式之间的转换, 装卸费在整个运输过程中不可忽略, 甚至可能影响运输路线的选择, 因此, 装卸费用可表示为:

$$C_t = C_i \times Q \times \beta$$

式中:  $C_t$ ——装卸费用;

$C_i$ ——装卸费用/单位;

$\beta$ ——装卸次数。

为了方便研究, 可以先确定一条路线, 建立满足运到期限内采用多种运输方式联运的最低库存-运输成本模型<sup>[7]</sup>。

模型建立如下：

$$\min Z_{rk \in R}^* = C_s + (C_{\text{rail}}\sigma_1 + C_{\text{road}}\sigma_2 + C_{\text{ship}}\sigma_3 + C_{\text{air}}\sigma_4)_{i \in R} + C_D + C_T$$

s.t.

$$\begin{aligned} t_{\text{总}} &= \sum_{i \in R} \sum_j t_{ij} + t_{\text{装卸}} & t_{\text{限}} \\ \sum L_{ij} &= L_r \\ \sigma_k &\in \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4\} = \begin{cases} 0 & \text{未选择该种运输方式} \\ 1 & \text{选择该种运输方式} \end{cases} \\ \sigma_1 &= 1 \\ 0 < \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 &= 4 \\ 0 < p(S < D) < 1 \end{aligned}$$

式中： $R$ ——运输路线；

$r$ ——备选运输路线；

$C_{\text{rail}}$ ——铁路运输费用函数；

$C_{\text{road}}$ ——公路运输费用函数；

$C_{\text{ship}}$ ——水路运输费用函数；

$C_{\text{air}}$ ——航空运输费用函数；

$i$ ——运输区段；

$j$ ——运输方式；

$\sigma_k$ ——运输方式选择 0,1 变量；

$t_{\text{装卸}}$ ——在运输中的装卸时间；

$t_{\text{限}}$ ——运输期限；

$t_{ij}$ ——在  $i$  区段采用  $j$  运输方式对应的运输时间；

$L_{ij}$ ——在  $i$  区段采用  $j$  运输方式对应的运输里程；

$L_r$ ——路线  $r$  的中运输里程。

经路线比选后，库存-运输总成本最低即

$\min Z = \min \{Z_{r1}^*, Z_{r2}^*, Z_{r3}^*, \dots, Z_{rk \in R}^*\}$  所确定的运输方式组合和运输里程为最终方案。

### 3 模型的特点及求解

#### 3.1 模型的特点

本文建立的模型具有以下特点：

(1) 模型表示出由于运输方式、路线的不同而导致运输时间不同，所产生的平均库存费用和缺货费用也不同，将时间因素作为更好地反映库存成本与运输成本“效益悖反”的指标；

(2) 考虑铁路物流发展“门到门”运输的发展趋势，采用依托铁路运输资源的联合运输方式作为解决方案；

(3) 模型的可行解是在满足运输期限下的方案中产生的，这里体现了铁路物流企业以客户需求为服务目标的理念；

(4) 本文建立的模型库存-运输模型具有“背包问题”的特点，而“背包问题”是一个典型的 NP 完全问题。求解方法主要有一些启发式算法，如贪婪算法、蚁群算法等；也可用全局优化方法，如遗传算法 (GA) 和模拟退火算法 (SA) 等。本文探讨用模拟退火算法来对其进行求解。

#### 3.2 模型的求解

在求解之前，依货物的种类和合理的运输方式划分运输区段，并确定铁路运输的区段。根据  $t_{\text{总}}$ 、 $t_{\text{限}}$  条件预选出符合条件的路线，同时获取每条路线每个区段的运输时间和运输里程。具体求解步骤如下：

Step 1 令  $T = t_{\text{限}}$ ，即开始退火的初始温度，随机生成一个初始解  $\sigma_0 = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4\}$ ， $L_{ij}^0$ ，并计算相应的目标函数值  $E(\sigma_0)$ ；

Step 2 令  $T$  等于冷却进度表 (满足  $t_{\text{总}}$ 、 $t_{\text{限}}$  的  $t_{\text{总}}$  值集合) 中的下一个值， $T_i = t_{\text{总}i}$ ，相应解为  $\sigma_k = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4\}$ ， $L_{ij}^k$ ，目标函数值为  $E(\sigma_k)$ ；

Step 3 根据当前解  $\sigma_k$  进行 0-1 随机扰动 (即改变运输方式组合)，产生一个新解  $\sigma'_k$ ，计算相应目标函数值  $E(\sigma'_k)$ ，得到  $\Delta E = E(\sigma'_k) - E(\sigma_k)$ ；

Step 4 若  $\Delta E < 0$ ，则新解  $\sigma'_k$  被接受，作为新的当前解；若  $\Delta E > 0$ ，则新解  $\sigma'_k$  按概率  $\exp\left(\frac{-\Delta E}{T_i}\right)$  接受， $T_i$  为当前温度；

Step 5 在温度  $T_i$  下，重复  $L_k$  次的扰动和接受过程，即执行步骤 Step 3、Step 4；

Step 6 判断  $T$  是否已达到  $T_f$  (收敛条件)，是，则终止算法；否，则转到 Step 2 继续执行。

### 3.3 模型的拓展

上述模型适合于一般大宗稳定货物企业与铁路运输企业长期合作下的运输方案制定。然而，若考虑运输不平衡或需求波动，则是另外一种情形。铁路上引起运输不平衡的因素有很多，如运输市场需求的不断变化引起日装车量的波动、客货运力调整、铁路运能限制、施工及运输设备维修、行车事故、特殊气候及自然灾害影响等，而这将直接导致停时增大，影响铁路运输效益<sup>[7]</sup>。

铁路运输企业应对货运需求突然增加有车种代用、增调空车两种措施，为了保证铁路运输的时效性，即使出现货运需求突然减少，也允许欠轴编发列车。由于目前铁路货运营销的强制性，本文考虑货源突然减少是由于货主造成的（有些铁路局甚至把货源减少作为考核指标），且认为前述缺货成本已考虑此种情况，故不作重复讨论。从铁路运输企业角度看，当发生货源突然增加情况时将采取合理应对措施来尽可能降低运输成本，其他运输方式应对策略类似。因此，模型还应加入货运需求突然增加导致的额外运输成本（本文以铁路为例，其他运输方式有相应的调整策略）：

$$C_{add} = \min \{ C_{subs}, C_{alloc} \}$$

式中： $C_{add}$ ——额外运输成本；

$C_{subs}$ ——车种替代运输成本；

$C_{alloc}$ ——调运空车运输成本。

目前关于铁路车种代用和增调空车的运输成本研究文献不少，且涉及到运输路径的优化、运输时间成本、机会成本等因素，本文不再做深入分析。

## 4 算例分析

一批 600 t 货物需从生产企业 a 地运往 b 地，其中 b 地为一港口，且公路、铁路可进入港区。a、b 之间铁路运输里程 1 500 km，假设公路与铁路基本平行。有一港口 C，距 b 地水运距离 800 km，a 地至 b 地路线示意图如图 1 所示，相关参数设定如表 1 所示。为方便研究，简化三种运输方式的费用函数，以铁路

为基准，平均每吨公里运费按 0.15 元计，水路和公路平均每吨公里运费分别为其 1/2 和 3 倍计。另外，每次运输方式转换即换装时，假定增加总运输时间 12 h，并产生装卸费 15 元/t。

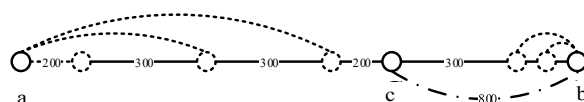


图 1 a-b 两地交通示意

Fig.1 Transportation demonstration between places a and b

（注：图中线段所标数字为公里数，虚线圆圈为铁路、公路换装点，实线表示铁路运输，虚线表示公路运输，点划线表示水路运；Cb 段公路运输距离均为 100 km）

表 1 算例相关参数设定

Tab.1 Relative factors of the example

| 模型变量       | 参数设定      |
|------------|-----------|
| $\alpha$   | 95%       |
| $\sigma_D$ | 6         |
| $Q$        | 600 t     |
| $P(S < D)$ | 5%        |
| $h$        | 0.5 元/t·h |
| $C_d$      | 1.5 元/t·h |
| $t_a$      | 12h       |
| $t_{限}$    | 48h       |

通过模型求解，得到最优货物运输方案为：由公路运输至距 a 地 200 km 的铁路货车站，换装后直接由铁路运输至 b 地，全程耗时 41 h，运费约 18.71 万元。

在模型求解过程中，若考虑时间最短的货物运输方案为：由公路运输至 C 地，再铁路运输至 b 地，全程耗时 37 h，但其花费约 33.04 万元，是运费最优方案的 1.7 倍。如何在运输时间与运费之间寻找最优方案，取决于货主对该批货物的时间价值和经济价值的考量。

## 5 结论及建议

本文考虑了铁路物流企业“门到门”运输的服务模式，通过对库存费用和运输费用分析，建立了在

满足运到期限条件下、依托铁路资源的多式联运库存-运输联合最优模型,并给出了采用模拟退火算法的求解步骤。

结合实际工作对模型的变量进行分析,我国铁路物流企业还应在以下几个方面着手改进以取得更多效益。一是改善铁路货运工作组织,调整货物集疏运

方式,缩短货物在途时间,并通过车流优化等手段降低发生晚点几率;二是对全程运输中铁路运程的运价进行合理调整,吸引更多的客户;三是建立综合型物流中心,并完善快捷铁路物流网络(包括运输设施网络、物流信息网络和营销网络),使铁路运输资源有效发挥网络经济性。

### 参考文献

- [1] Tang Yinying, Li Baicheng. Multimodal transport based on inventory-transport integrated optimization model [C]. Chengdu ,China :Proceedings of The 2014 International Conference of Logistics Engineering and Management , 1437-1442.
- [2] 杜文,袁庆达,周再玲. 一类随机库存/运输联合优化问题求解过程分析[J]. 中国公路报, 2004, 17(1):114-118.
- [3] 叶志坚,杜文,王清荣,朱健梅. 供应商管理库存系统中库存和运输计划整合[J]. 交通运输系统工程与信息, 2003, 3(4):82-88.
- [4] 张茹秀,徐天芳. 价格折扣/运输折扣的库存-运输联合优化模型[J]. 大连海事大学学报, 2005, 31(3):41-44.
- [5] 刘立辉. 库存与运输整合优化问题研究[M]. 济南:山东大学出版社, 2012.
- [6] 谭惠,汤银英. 基于供应链管理的钢铁企业库存与运输整合优化研究[J]. 物流技术, 2009, 28(11): 185-187.
- [7] Masami Amano, Takayuki Yoshizumi, Hiroyuki Okano. The modal-shift transportation planning problem and its fast steepest descent algorithm[C]. New Orleans, USA: Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 1720-1728.

(中文编辑:吴继屏)

上接第3页

### 参考文献

- [1] 李红启,刘凯,李电生. 基于 Rough Set 理论的铁路货运量预测[J]. 铁道学报, 2004, 26(3): 1-7.
- [2] 王隆基,张仲鹏,孙晓霞. 基于 BP 神经网络的物流预测方法[J]. 起重运输机械, 2005, (5): 30-32.
- [3] NELLO. C, JOHN S. T. 著,李国正,王猛,曾华军译. 支持向量机导论[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [4] 李红启,刘凯. 组合预测模型在物流需求预测中的应用[J]. 大连海事大学学报, 2004, 30(4): 43-46.
- [5] 欧阳凯,袁松宝,刘俐. 基于灰色模型的我国物流产业增加值预测[J]. 物流工程与管理, 2011, 33(11): 56-58.

(中文编辑:吴继屏)