

# 基于交叉熵法的大件货物运输方案优化研究

张义珂 荣晓凤

中国外运大件物流有限公司 山东济南 250300

**摘要:** 在国家政策引导与我国工业化进程迅速推进下, 建设重点工程项目不论从规模还是数量上不断增长, 重型化、大型化设备成为发展趋势。为探讨大件设备运输方案的最优化, 选取最低的运输成本为目标来建立方案优化模型, 从而选择多式联运方式下的最优方案, 同时提出关于大件设备运输方案选择优化的交叉熵算法。本文选取高山风电项目二期运输项目为实例, 以此来验证了该算法对于选择最优运输方案的有效性。

**关键词:** 大件货物运输; 交叉熵; 运输方案

## Research on Optimization of large cargo transportation scheme based on cross entropy method

Yike Zhang, Xiaofeng Rong

Sinotrans heavy cargo logistics Co., Ltd. Jinan 250300, Shandong Province

**Abstract:** under the guidance of national policies and the rapid advancement of China's industrialization process, the construction of key engineering projects continues to grow in both scale and quantity, and heavy-duty and large-scale equipment has become the development trend. In order to discuss the optimization of large equipment transportation scheme, the lowest transportation cost is selected as the objective to establish the scheme optimization model, so as to select the optimal scheme under multimodal transportation. At the same time, a cross entropy algorithm for the optimization of large equipment transportation scheme is proposed. This paper selects the second phase transportation project of Gaoshan wind power project as an example to verify the effectiveness of the algorithm for selecting the optimal transportation scheme.

**Keywords:** large cargo transportation; Cross entropy; Transportation scheme

### 引言:

2020年9月, 在联合国大会上习总书记发表重要讲话, 他宣布2060年前中国将实现碳中和, 对中国绿色能源经济发展有积极影响, 促进了大件运输企业发展。与国外发达国家相而言, 在大件运输行业上从车辆装备、管理水平与技术水平方面, 我国相对滞后。目前, 从我国大件货物运输方案的编写与超限设备操作运输方面来看, 大部分企业还是以实践经验为指导, 在相关技术创新还存在不足, 应考虑从系统整体方面, 对大件运输方案进行研究, 制定出适合我国大件运输的相关方法与理论。

### 一、研究综述

第一, 从方案优化的研究目标与研究内容方面看, 张建勇<sup>[1]</sup>选取优化目标为最低的总运输成本, 建立采取多式联运运输方式的佳选择模型, 客观的实现了多式

联运运输方式的合理组合。梁雪玲, 靳文舟<sup>[2]</sup>选取运输总成本为模型, 对货物的运输时间成本进行了分析量化, 得到最佳的运输方案。第二, 以运输方式优化方面进行分析, M.Beuthe<sup>[3]</sup>等从比利时货物运输分析, 选取多种运输方式模型, 以最低的运输成本来解决多种运输分配模型, 选取最优的交通方式及运输路径的货运量。F.Southworth<sup>[4]</sup>等人以多式联运方式的运输网络为模型, 有利于各种运输方式的货流进行处理。第三, 从运输方案的研究方法方面, 交叉熵算法隶属于启发式算法, 实践证明交叉熵算法可以较好地解决相关运输问题, 并取得了一些相关成果: Krishna Chepuri<sup>[5]</sup>采用CE与Monte Carlo抽样相结合的方法解决了带随机要求的配送路线问题(SVRP); Rubinstein<sup>[6]</sup>将交叉熵算法解决了TSP问题与最短(长)路径问题。

交叉熵算法可适用于大规模与不连续的相关优化函

数问题。获取目标函数的最优解可运用交叉熵算法解决，由于交叉熵算法的可适用性及计算的高效效率，故采取交叉熵算法来解决大件设备运输方案的最优化问题。

## 二、大件运输方案优化模型

### 1. 问题描述

当货物尤其是大件货物进行远距离运输时，选择单一的运输方式不一定是最佳的选择，因各种交通工具都有其独自的技术经济优势。对于一个操作大件货物运输企业来说，应如何充分利用各种运输方式的优势，选择最佳的运输方式组合，采用多式联运使得企业安全、如期及花费最少成本完成运输任务，是个探讨的问题。在多式联运过程中，多运输方式的联合运输不仅仅满足各类运输方式的内部最优化，满足各类运输方式如何组合从而达到最优化。

### 2. 运输方案优化模型

为了使研究问题简化，约定如下：①运输单价为定值，车辆未满载而提高的单价不在考虑范围内；②两个邻点城市只采用一种运输方式；③大件货物在同一城市仅进行一次转载；④货物到达时间与运输方式的承运能力具有上限。

建立数学模型如下：

$$\min z = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (C_{i,i+1}^k x_{i,i+1}^k + w_i^{k,l} m_{i,i+1}^k) \quad (3.1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K} x_{i,i+1}^k = 1 \quad (3.2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in K} w_i^{k,l} = 1 \quad (3.3)$$

$$q \leq Q_{i,i+1}^k \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in I} (\sum_{k \in K} h_{i,i+1}^k x_{i,i+1}^k + \sum_{k \in K} \sum_{l \in K} w_i^{k,l} t_i^{k,l}) \leq T \quad (3.5)$$

此模型的目标函数为整个多式联运过程中运输费用与换装费用最少。其中：

$C_{i,i+1}^k x_{i,i+1}^k$  表示将给定数量的货物由起始点送达到目的地时的总运输费用；

$w_i^{k,l} m_{i,i+1}^k$  表示中转城市转变运输方式时的所需费用之和；

$C_{i,i+1}^k$  表示从城市  $i$  到城市  $i+1$  采用运输方式  $k$  时的运输单价；

$h_{i,i+1}^k$  表示从城市  $i$  到城市  $i+1$  采用运输方式  $k$  运输货物所用的时间；

$m_i^{k,l}$  表示在中转城市  $i$  由  $k$  种运输方式转换成  $l$  种运输方式的单位中转费用；

$t_i^{k,l}$  表示在中转城市  $i$  由  $k$  种运输方式转换成  $l$  种运输

方式所需花费的时间；

$x_{i,i+1}^k \in (0,1)$  表示从城市  $i$  到城市  $i+1$  进行货物运输时，若采用  $k$  种运输方式时为 1，否则为 0；

$Q_{i,i+1}^k$  表示为从节点城市  $i$  到城市  $i+1$  采用  $k$  运输方式运输载重量能力；

$w_i^{k,l} \in (0,1)$  表示在节点城市  $i$  由  $k$  种运输方式转换成  $l$  种运输方式时为 1，不进行运输方式的转换为 0；

$T$  表示总运输时间的期限；

$I$  表示所有经过的节点城市集合；

$K$  表示所有运输方式的集合，令  $k=1$  为铁路运输， $k=2$  为公路运输， $k=3$  表示航空运输， $k=4$  表示水路运输；

$q$  表示为待运输货物的运输量。

在以上约束条件中，3.2是在两邻点城市间仅采用一种运输方式；3.3中是某一节点城市最多只能进行一次转运；3.4是特定时间内货物的运量不能超出运输方式的运输能力；3.5是中转时间与运输时间总和要小于运输期限。

### 3. 运输方案优化的交叉熵方法

本文从大件设备运输的多式联运方案优化着手，结合大件运输的相关特性，将这一问题转变为一个组合优化问题，采用交叉熵算法解决这个组合优化问题前，首先要解决以下两个问题：1) 如何通过随机机制来生成随机的样本数据；2) 如何在下一次迭代中更新参数  $u$ ，使得下一次迭代能够生成更优的样本。采用交叉熵算法解决大件货物运输方案优化问题是围绕这两个问题展开的，由于多式联运方案的特殊性，采用针对性的交叉熵算法来得到最优方案，该算法主要包括：算法(1)随机生成的大件货物多式联运过程中的可行运输方案  $Y_1, \dots, Y_n$ ；算法(2)更新升级的运输方案产生的更新参数，使得在下一步的迭代过程中获得成本更加小的最优运输方案。

(1) 在任意两个节点城市  $i$  到城市  $i+1$  之间，令各个运输方式  $x_{i,i+1}^k$  的初始备选概率为 0.5，这样  $a_i = \{\dots, \{0.5, \dots, 0.5\}, \dots\}_{k \times (n-1)}$ ，并且两个任意邻点城市  $i$  到城市  $i+1$  间满足  $\sum_{k \in K} x_{i,i+1}^k = 1$ ，迭代次数记为： $t=1$ 。

(2) 采取运输方案生成算法产生的  $N$  个可选的运输方案  $Y_1, \dots, Y_n$ ，计算  $N$  个运输方案的  $1-p$  位分位点的值  $\gamma_t = Z_{[(1-p)N]}$ 。

(3) 采用  $N$  个可选的运输方案对运输方式的备选概率  $a_t$  进行升级，选择更新计算公式为：

$$a_t = \alpha a_t + (1-\alpha) a_{t-1}$$

其中:

$$a_{p,t} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{\{(Y_s) \leq \gamma_i\}} y_{p,t}}{\sum_{i=1}^N I_{\{(Y_s) \leq \gamma_i\}}}, p \in n-1, s \in N$$

$$I_{\{(Y_s) \leq \gamma_i\}} = \begin{cases} 1 & I_{\{(Y_s) \leq \gamma_i\}} \\ 0 & I_{\{(Y_s) > \gamma_i\}} \end{cases}$$

$\alpha \in (0.7, 0.9)$   $\alpha$  为平滑参数

(4) 进行收敛度判断, 若  $\max(\min(a_t, 1-a_t)) \leq \rho$  ( $\rho$  是预先设定的极小的一个收敛条件), 则运算停止; 否则令  $t=t+1$ , 转到 (2)。

### 三、大件运输方案优化实例

为了加深对上述内容的理解, 现选择福建福清高山二期风电项目风机运输项目方案为实例, 运用交叉熵法进行大件运输方案的优化。

#### 1. 运输方案分析

福建高山风电项目二期运输风电项目风机采用多式联运的运输方案进行运输。在多式联运运输方案中, 在大件运输过程中从始发地天津送达到目的地福清市高山镇, 中间经过连云港、上海、温州、江阴县四个运输节点城市, 相邻的城市间有公路、海运和铁路这三种运输方式。

表 4.2 节点城市间的运费与运输时间

	编号	天津-连云港	编号	连云港-上海	编号	上海-温州	编号	温州-江阴	编号	江阴-高山
公路	1	6/13/80	4	4.3/8/80	7	5.4/10/80	10	3.5/6.5/80	13	1/1/80
铁路	2	6/10/100	5	6/10/100	8	4.8/6.5/100	11	2.5/4.5/100		
海运	3	5/44/100	6	2/17/100	9	2/21/100	12	2/18/100		

注: a/b/c a 表示运费 (百元/t); b 表示运输时间 (h); c 表示运输能力 (t)

在大件货物运输途中, 运输方式的转换时在邻点城市间, 从而产生相应的中转费用。根据调研, 此次风机运输项目的中转时间和中转费用如下:

表 4.3 节点城市间中转费用与中转时间

	铁路	公路	水运
铁路	0/0	1/24	2/48
公路	1/24	0/0	1/24
水运	2/48	1/24	0/0

注: d/e d 表示中转费用 (百元/吨); e 表示中转转换时间 (小时)

#### 2. 运输方案优化

在福建福清高山二期风电项目风机的多式联运运输方案中, 在大件运输过程中从始发地天津送达到目的地福清市高山镇, 中间经过连云港、上海、温州、江阴县四个运输节点城市。邻点城市间有多种运输方式可以采用, 运输费用、中转费用与运输时间如表 4.2 和 4.3 所示。

利用交叉熵算法进行求解, 在计算时选取样本量  $N=100$ , 收敛精度  $\rho=0.01$ ,  $\alpha=0.9$ , 在第一次迭代计算时, 所有运输方式的初始概率均为 0.5, 如图 4.4 所示, 图 4.5 表示最终的计算结果。其中横轴表示相应城市的运输方式, 纵轴表示各运输方式的选择概率。

大件运输方案最终优化结果为: 天津→海运→连云港→海运→上海→海运→温州→海运→福清江阴县→公路运输→高山镇, 运输总成本为 292.37 万元, 运输时间为 125 小时。

表 4.4 初始概率

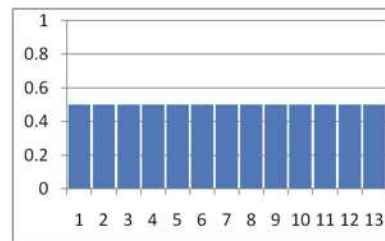
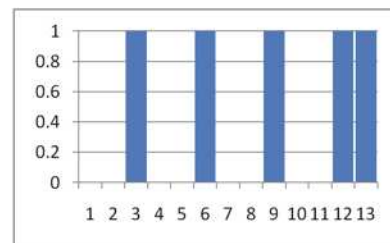


表 4.5 最终结果



### 四、结论

本文从大件运输方案优化角度为出发点, 采用多式联运方式, 探讨运输时间与运输能力的约束条件下, 建立了大件货物运输方案的数学模型, 采用针对性的交叉熵算法来优化大件货物多式联运运输方案, 例举出相关的计算步骤与方法。以实际的大件设备运输方案为实例, 验证了交叉熵算法解决大件运输方案优化的有效性, 该模型在大件运输存在多个节点的的多式联运过程中具有有效的优化, 并且有较强的实用性。但本文仍然存在进一步需要研究的问题, 如没有考虑大件货物的运输线路选择问题及在大件货物进行中转时可能存在的库存费用

问题等, 将在以后的研究中进一步完善。

**参考文献:**

[1]张建勇, 郭耀煌.一种多式联运网络的最优分配模式研究[J].铁道学报, 2002, 24(4): 114-116.

[2]梁雪玲, 靳文舟.运输方式选择的模型及算法研究[J].交通与计算机, 2008, 3(26): 38-40.

[3]Southworth F P B E. Intermodal and international freight network modeling[J]. Transportation Research Part C, 2000,1(8):147-166.

[4]UmutR. Tuzkaya S O. A fuzzy analytic network process

based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study[J]. Information Sciences, 2008.

[5]Chepuri K, Homem-de-Mello T. Solving the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands using the Cross-Entropy Method: Annals of Operations Research[J], 2005,1(134):153-181.

[6]Rubinstein. The cross-entropy method and rare-events for maximal cut and bipartition problems[J]. ACM Transactions on Modeling and Computer, 2002,12(1):27-53.